

核技术利用建设项目

成都市中心医院（成都市第三人民医院
东部医院）（一期）项目（核技术利用
部分）

环境影响报告表

（公示本）

成都市第三人民医院

二〇二五年十二月

生态环境部监制

核技术利用建设项目
成都市中心医院（成都市第三人民医院
东部医院）（一期）项目（核技术利用
部分）
环境影响报告表

建设单位名称：成都市第三人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

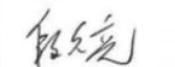
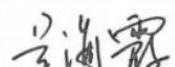
通讯地址：四川省成都市青羊区青龙街 82 号

邮政编码： 联系人：

电子邮箱： 联系电话：

打印编号: 1754272328000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	9a4vxb		
建设项目名称	成都市中心医院（成都市第三人民医院东部医院）（一期）项目 (核技术利用部分)		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）			
统一社会信用代码	125101004507543870		
法定代表人（签章）	刘早阳 		
主要负责人（签字）	仇滔 		
直接负责的主管人员（签字）	张琥		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）			
统一社会信用代码	91510100572251622F		
三、编制人员情况			
1 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
兰海霞	201403551035000003511510042	BH020450	
2 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
段久亮	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物（重点是放射性废物）、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状	BH029554	
兰海霞	项目工程分析和源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论与建议	BH020450	



统一社会信用代码
91510100572251622F

营 业 执 照

四川鑫锦程工程咨询有限公司
工程咨询有限公司(自然人投资或控股)

注册资本 伍佰万元整

成立日期 2011年04月22日

住 所 成都高新区天府大道北街39号

经 营 范 围 工程项目管理；环境评估服务；环保技术研发、技术咨询、技术服务；水资源保护服务；水环境保护咨询服务；水资源调查评价服务；水土保持技术咨询服务；节能减排技术开发、技术服务；水污染防治；大气污染防治；噪音与振动控制技术服务；检验检测技术服务；信息技术咨询服务。(依法须经批准的项目，经相关部门批准后方可开展经营活动)。



1. 由 2. 请 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100. 101. 102. 103. 104. 105. 106. 107. 108. 109. 110. 111. 112. 113. 114. 115. 116. 117. 118. 119. 120. 121. 122. 123. 124. 125. 126. 127. 128. 129. 130. 131. 132. 133. 134. 135. 136. 137. 138. 139. 140. 141. 142. 143. 144. 145. 146. 147. 148. 149. 150. 151. 152. 153. 154. 155. 156. 157. 158. 159. 160. 161. 162. 163. 164. 165. 166. 167. 168. 169. 170. 171. 172. 173. 174. 175. 176. 177. 178. 179. 180. 181. 182. 183. 184. 185. 186. 187. 188. 189. 190. 191. 192. 193. 194. 195. 196. 197. 198. 199. 200. 201. 202. 203. 204. 205. 206. 207. 208. 209. 210. 211. 212. 213. 214. 215. 216. 217. 218. 219. 220. 221. 222. 223. 224. 225. 226. 227. 228. 229. 230. 231. 232. 233. 234. 235. 236. 237. 238. 239. 240. 241. 242. 243. 244. 245. 246. 247. 248. 249. 250. 251. 252. 253. 254. 255. 256. 257. 258. 259. 260. 261. 262. 263. 264. 265. 266. 267. 268. 269. 270. 271. 272. 273. 274. 275. 276. 277. 278. 279. 280. 281. 282. 283. 284. 285. 286. 287. 288. 289. 290. 291. 292. 293. 294. 295. 296. 297. 298. 299. 300. 301. 302. 303. 304. 305. 306. 307. 308. 309. 310. 311. 312. 313. 314. 315. 316. 317. 318. 319. 320. 321. 322. 323. 324. 325. 326. 327. 328. 329. 330. 331. 332. 333. 334. 335. 336. 337. 338. 339. 340. 341. 342. 343. 344. 345. 346. 347. 348. 349. 350. 351. 352. 353. 354. 355. 356. 357. 358. 359. 360. 361. 362. 363. 364. 365. 366. 367. 368. 369. 370. 371. 372. 373. 374. 375. 376. 377. 378. 379. 380. 381. 382. 383. 384. 385. 386. 387. 388. 389. 390. 391. 392. 393. 394. 395. 396. 397. 398. 399. 400. 401. 402. 403. 404. 405. 406. 407. 408. 409. 410. 411. 412. 413. 414. 415. 416. 417. 418. 419. 420. 421. 422. 423. 424. 425. 426. 427. 428. 429. 430. 431. 432. 433. 434. 435. 436. 437. 438. 439. 440. 441. 442. 443. 444. 445. 446. 447. 448. 449. 450. 451. 452. 453. 454. 455. 456. 457. 458. 459. 460. 461. 462. 463. 464. 465. 466. 467. 468. 469. 470. 471. 472. 473. 474. 475. 476. 477. 478. 479. 480. 481. 482. 483. 484. 485. 486. 487. 488. 489. 490. 491. 492. 493. 494. 495. 496. 497. 498. 499. 500. 501. 502. 503. 504. 505. 506. 507. 508. 509. 510. 511. 512. 513. 514. 515. 516. 517. 518. 519. 520. 521. 522. 523. 524. 525. 526. 527. 528. 529. 530. 531. 532. 533. 534. 535. 536. 537. 538. 539. 540. 541. 542. 543. 544. 545. 546. 547. 548. 549. 550. 551. 552. 553. 554. 555. 556. 557. 558. 559. 560. 561. 562. 563. 564. 565. 566. 567. 568. 569. 570. 571. 572. 573. 574. 575. 576. 577. 578. 579. 580. 581. 582. 583. 584. 585. 586. 587. 588. 589. 589. 590. 591. 592. 593. 594. 595. 596. 597. 598. 599. 600. 601. 602. 603. 604. 605. 606. 607. 608. 609. 610. 611. 612. 613. 614. 615. 616. 617. 618. 619. 620. 621. 622. 623. 624. 625. 626. 627. 628. 629. 630. 631. 632. 633. 634. 635. 636. 637. 638. 639. 640. 641. 642. 643. 644. 645. 646. 647. 648. 649. 650. 651. 652. 653. 654. 655. 656. 657. 658. 659. 660. 661. 662. 663. 664. 665. 666. 667. 668. 669. 669. 670. 671. 672. 673. 674. 675. 676. 677. 678. 679. 679. 680. 681. 682. 683. 684. 685. 686. 687. 688. 689. 689. 690. 691. 692. 693. 694. 695. 696. 697. 698. 699. 699. 700. 701. 702. 703. 704. 705. 706. 707. 708. 709. 709. 710. 711. 712. 713. 714. 715. 716. 717. 718. 719. 719. 720. 721. 722. 723. 724. 725. 726. 727. 728. 729. 729. 730. 731. 732. 733. 734. 735. 736. 737. 738. 739. 739. 740. 741. 742. 743. 744. 745. 746. 747. 748. 749. 749. 750. 751. 752. 753. 754. 755. 756. 757. 758. 759. 759. 760. 761. 762. 763. 764. 765. 766. 767. 768. 769. 769. 770. 771. 772. 773. 774. 775. 776. 777. 778. 779. 779. 780. 781. 782. 783. 784. 785. 786. 787. 788. 789. 789. 790. 791. 792. 793. 794. 795. 796. 797. 797. 798. 799. 799. 800. 801. 802. 803. 804. 805. 806. 807. 808. 809. 809. 810. 811. 812. 813. 814. 815. 816. 817. 818. 819. 819. 820. 821. 822. 823. 824. 825. 826. 827. 828. 829. 829. 830. 831. 832. 833. 834. 835. 836. 837. 838. 839. 839. 840. 841. 842. 843. 844. 845. 846. 847. 848. 849. 849. 850. 851. 852. 853. 854. 855. 856. 857. 858. 859. 859. 860. 861. 862. 863. 864. 865. 866. 867. 868. 869. 869. 870. 871. 872. 873. 874. 875. 876. 877. 878. 879. 879. 880. 881. 882. 883. 884. 885. 886. 887. 888. 889. 889. 890. 891. 892. 893. 894. 895. 896. 897. 897. 898. 899. 899. 900. 901. 902. 903. 904. 905. 906. 907. 908. 909. 909. 910. 911. 912. 913. 914. 915. 916. 917. 918. 919. 919. 920. 921. 922. 923. 924. 925. 926. 927. 928. 929. 929. 930. 931. 932. 933. 934. 935. 936. 937. 938. 939. 939. 940. 941. 942. 943. 944. 945. 946. 947. 948. 949. 949. 950. 951. 952. 953. 954. 955. 956. 957. 958. 959. 959. 960. 961. 962. 963. 964. 965. 966. 967. 968. 969. 969. 970. 971. 972. 973. 974. 975. 976. 977. 978. 979. 979. 980. 981. 982. 983. 984. 985. 986. 987. 988. 989. 989. 990. 991. 992. 993. 994. 995. 996. 997. 997. 998. 999. 999. 1000. 1001. 1002. 1003. 1004. 1005. 1006. 1007. 1008. 1009. 1009. 1010. 1011. 1012. 1013. 1014. 1015. 1016. 1017. 1018. 1019. 1019. 1020. 1021. 1022. 1023. 1024. 1025. 1026. 1027. 1028. 1029. 1029. 1030. 1031. 1032. 1033. 1034. 1035. 1036. 1037. 1038. 1039. 1039. 1040. 1041. 1042. 1043. 1044. 1045. 1046. 1047. 1048. 1049. 1049. 1050. 1051. 1052. 1053. 1054. 1055. 1056. 1057. 1058. 1059. 1059. 1060. 1061. 1062. 1063. 1064. 1065. 1066. 1067. 1068. 1069. 1069. 1070. 1071. 1072. 1073. 1074. 1075. 1076. 1077. 1078. 1079. 1079. 1080. 1081. 1082. 1083. 1084. 1085. 1086. 1087. 1088. 1089. 1089. 1090. 1091. 1092. 1093. 1094. 1095. 1096. 1097. 1097. 1098. 1099. 1099. 1100. 1101. 1102. 1103. 1104. 1105. 1106. 1107. 1108. 1109. 1109. 1110. 1111. 1112. 1113. 1114. 1115. 1116. 1117. 1118. 1119. 1119. 1120. 1121. 1122. 1123. 1124. 1125. 1126. 1127. 1128. 1129. 1129. 1130. 1131. 1132. 1133. 1134. 1135. 1136. 1137. 1138. 1139. 1139. 1140. 1141. 1142. 1143. 1144. 1145. 1146. 1147. 1148. 1149. 1149. 1150. 1151. 1152. 1153. 1154. 1155. 1156. 1157. 1158. 1159. 1159. 1160. 1161. 1162. 1163. 1164. 1165. 1166. 1167. 1168. 1169. 1169. 1170. 1171. 1172. 1173. 1174. 1175. 1176. 1177. 1178. 1179. 1179. 1180. 1181. 1182. 1183. 1184. 1185. 1186. 1187. 1188. 1189. 1189. 1190. 1191. 1192. 1193. 1194. 1195. 1196. 1197. 1197. 1198. 1199. 1199. 1200. 1201. 1202. 1203. 1204. 1205. 1206. 1207. 1208. 1209. 1209. 1210. 1211. 1212. 1213. 1214. 1215. 1216. 1217. 1218. 1219. 1219. 1220. 1221. 1222. 1223. 1224. 1225. 1226. 1227. 1228. 1229. 1229. 1230. 1231. 1232. 1233. 1234. 1235. 1236. 1237. 1238. 1239. 1239. 1240. 1241. 1242. 1243. 1244. 1245. 1246. 1247. 1248. 1249. 1249. 1250. 1251. 1252. 1253. 1254. 1255. 1256. 1257. 1258. 1259. 1259. 1260. 1261. 1262. 1263. 1264. 1265. 1266. 1267. 1268. 1269. 1269. 1270. 1271. 1272. 1273. 1274. 1275. 1276. 1277. 1278. 1279. 1279. 1280. 1281. 1282. 1283. 1284. 1285. 1286. 1287. 1288. 1289. 1289. 1290. 1291. 1292. 1293. 1294. 1295. 1296. 1297. 1297. 1298. 1299. 1299. 1300. 1301. 1302. 1303. 1304. 1305. 1306. 1307. 1308. 1309. 1309. 1310. 1311. 1312. 1313. 1314. 1315. 1316. 1317. 1318. 1319. 1319. 1320. 1321. 1322. 1323. 1324. 1325. 1326. 1327. 1328. 1329. 1329. 1330. 1331. 1332. 1333. 1334. 1335. 1336. 1337. 1338. 1339. 1339. 1340. 1341. 1342. 1343. 1344. 1345. 1346. 1347. 1348. 1349. 1349. 1350. 1351. 1352. 1353. 1354. 1355. 1356. 1357. 1358. 1359. 1359. 1360. 1361. 1362. 1363. 1364. 1365. 1366. 1367. 1368. 1369. 1369. 1370. 1371. 1372. 1373. 1374. 1375. 1376. 1377. 1378. 1379. 1379. 1380. 1381. 1382. 1383. 1384. 1385. 1386. 1387. 1388. 1389. 1389. 1390. 1391. 1392. 1393. 1394. 1395. 1396. 1397. 1397. 1398. 1399. 1399. 1400. 1401. 1402. 1403. 1404. 1405. 1406. 1407. 1408. 1409. 1409. 1410. 1411. 1412. 1413. 1414. 1415. 1416. 1417. 1418. 1419. 1419. 1420. 1421. 1422. 1423. 1424. 1425. 1426. 1427. 1428. 1429. 1429. 1430. 1431. 1432. 1433. 1434. 1435. 1436. 1437. 1438. 1439. 1439. 1440. 1441. 1442. 1443. 1444. 1445. 1446. 1447. 1448. 1449. 1449. 1450. 1451. 1452. 1453. 1454. 1455. 1456. 1457. 1458. 1459. 1459. 1460. 1461. 1462. 1463. 1464. 1465. 1466. 1467. 1468. 1469. 1469. 1470. 1471. 1472. 1473. 1474. 1475. 1476. 1477. 1478. 1479. 1479. 1480. 1481. 1482. 1483. 1484. 1485. 1486. 1487. 1488. 1489. 1489. 1490. 1491. 1492. 1493. 1494. 1495. 1496. 1497. 1497. 1498. 1499. 1499. 1500. 1501. 1502. 1503. 1504. 1505. 1506. 1507. 1508. 1509. 1509. 1510. 1511. 1512. 1513. 1514. 1515. 1516. 1517. 1518. 1519. 1519. 1520. 1521. 1522. 1523. 1524. 1525. 1526. 1527. 1528. 1529. 1529. 1530. 1531. 1532. 1533. 1534. 1535. 1536. 1537. 1538. 1539. 1539. 1540. 1541. 1542. 1543. 1544. 1545. 1546. 1547. 1548. 1549. 1549. 1550. 1551. 1552. 1553. 1554. 1555. 1556. 1557. 1558. 1559. 1559. 1560. 1561. 1562. 1563. 1564. 1565. 1566. 1567. 1568. 1569. 1569. 1570. 1571. 1572. 1573. 1574. 1575. 1576. 1577. 1578. 1579. 1579. 1580. 1581. 1582. 1583. 1584. 1585. 1586. 1587. 1588. 1589. 1589. 1590. 1591. 1592. 1593. 1594. 1595. 1596. 1597. 1597. 1598. 1599. 1599. 1600. 1601. 1602. 1603. 1604. 1605. 1606. 1607. 1608. 1609. 1609. 1610. 1611. 1612. 1613. 1614. 1615. 1616. 1617. 1618. 1619. 1619. 1620. 1621. 1622. 1623. 1624. 1625. 1626. 1627. 1628. 1629. 1629. 1630. 1631. 1632. 1633. 1634. 1635. 1636. 1637. 1638. 1639. 1639. 1640. 1641. 1642. 1643. 1644. 1645. 1646. 1647. 1648. 1649. 1649. 1650. 1651. 1652. 1653. 1654. 1655. 1656. 1657. 1658. 1659. 1659. 1660. 1661. 1662. 1663. 1664. 1665. 1666. 1667. 1668. 1669. 1669. 1670. 1671. 1672. 1673. 1674. 1675. 1676. 1677. 1678. 1679. 1679. 1680. 1681. 1682. 1683. 1684. 1685. 1686. 1687. 1688. 1689. 1689. 1690. 1691. 1692. 1693. 1694. 1695. 1696. 1697. 1697. 1698. 1699. 1699. 1700. 1701. 1702. 1703. 1704. 1705. 1706. 1707. 1708. 1709. 1709. 1710. 1711. 1712. 1713. 1714. 1715. 1716. 1717. 1718. 1719. 1719. 1720. 1721. 1722. 1723. 1724. 1725. 1726. 1727. 1728. 1729. 1729. 1730. 1731. 1732. 1733. 1734. 1735. 1736. 1737. 1738. 1739. 1739. 1740. 1741. 1742. 1743. 1744. 1745. 1746. 1747. 1748. 1749. 1749. 1750. 1751. 1752. 1753. 1754. 1755. 1756. 1757. 1758. 1759. 1759. 1760. 1761. 1762. 1763. 1764. 1765. 1766. 1767. 1768. 1769. 1769. 1770. 1771. 1772. 1773. 1774. 1775. 1776. 1777. 1778. 1779. 1779. 1780. 1781. 1782. 1783. 1784. 1785. 1786. 1787. 1788. 1789. 1789. 1790. 1791. 1792. 1793. 1794. 1795. 1796. 1797. 1797. 1798. 1799. 1799. 1800. 1801. 1802. 1803. 1804. 1805. 1806. 1807. 1808. 1809. 1809. 1810. 1811. 1812. 1813. 1814. 1815. 1816. 1817. 1818. 1819. 1819. 1820. 1821. 1822. 1823. 1824. 1825. 1826. 1827. 1828. 1829. 1829. 1830. 1831. 1832. 1833. 1834. 1835. 1836. 1837. 1838. 1839. 1839. 1840. 1841. 1842. 1843. 1844. 1845. 1846. 1847. 1848. 1849. 1849. 1850. 1851. 1852. 1853. 1854. 1855. 1856. 1857. 1858. 1859. 1859. 1860. 1861. 1862. 1863. 1864. 1865. 1866.

本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、环境保护部批准颁发。它表明持证人通过国家统一组织的考试,取得环境影响评价工程师的职业资格。

This is to certify that the bearer of the Certificate has passed national examination organized by the Chinese government departments and has obtained qualifications for Environmental Impact Assessment Engineer.



Ministry of Human Resources and Social Security
The People's Republic of China



Ministry of Environmental Protection
The People's Republic of China



兰海霞 00014807

Full Name 兰海霞

性别: 女

Sex

出生年月: 1983年04月

Date of Birth

专业类别:

Professional Type

批准日期: 二〇一四年八月二十八日
Approval Date

签发单位盖章
Issued by

签发日期: 2014年09月28日
Issued on

2014035510350000003511510042

管理号:
File No.





四川省社会保险个人参保证明

本漢人姓名：丘海霞

社会信用号码: 31382214820411628



(一) 期末在保状态情况			
险种	当前在保状态	期许月数(个)	查询方用章
企事业单位在保险	参保缴费	191	
失业保险	参保缴费	115	
工伤保险	参保缴费	138	
生育保险	暂停缴费(中断)	138	

二、2023年09月至2025年08月的参保缴费年限

打印时间：2023年9月6日

说明：1. 表中“单位编号”对应的单位名称为：100102011530-深圳创程工程咨询有限公司
2. 本项目采用电子竞价方式发标，不再加盖红色公章，如需盖章，请将本公告下方的“单位编号”和“竞价系统网址”截图并粘贴于盖章处，竞价系统网址为：<http://sfjsgc.gdggzyjy.gov.cn>，竞价系统用户名为：QH111-QRRB111，密码为：QH111-QRRB111，首次
进场交易时间为2018年1月11日00时00分，投标人必须于1月11日00时00分前完成注册并
缴纳保证金。



人與俄羅斯

三

卷之三



目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	52
表 3 非密封放射性物质	53
表 4 射线装置	56
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	58
表 6 评价依据	61
表 7 保护目标与评价标准	64
表 8 环境质量和辐射现状	74
表 9 项目工程分析与源项	80
表 10 辐射安全与防护	134
表 11 环境影响分析	194
表 12 辐射安全管理	282
表 13 结论与建议	290

表1 项目基本情况

建设项目名称	成都市中心医院（成都市第三人民医院东部医院）（一期）项目（核技术利用部分）				
建设单位	成都市第三人民医院				
法定代表人	刘早阳	联系人	张琥	联系电话	
注册地址	四川省成都市青羊区青龙街 82 号				
项目建设地点	本项目位于龙泉驿区洪安镇长伍村五组、十二组、十七组及洛带镇宝胜村五组、六组拟建的成都市中心医院（成都市第三人民医院东部医院）（一期）内部（锦洛西路以南）				
立项审批部门	—		批准文号	—	
建设项目总投资（万元）	21000	项目环保投资（万元）	250.9	投资比例	1.19%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积 m ²	/
应用 类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类		
	非密封 放射性 物质	<input checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
	射线装 置	<input type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
		<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其他	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		

项目概述

一、概况

1、建设单位概况

成都市第三人民医院始建于 1941 年 7 月，是集医疗、科研、教学、预防、保健和康复为一体的国家三级甲等综合性医院。是四川省首批现代医院管理制度试点单位，承担成都中心城区医疗保障的核心功能。1993 年成为卫生部首批认证的国家级三级甲等综合医

院，2007 年成为西南医科大学非直属教学医院，2009 年成为重庆医科大学附属成都第二临床学院，2015 年成为西南交通大学临床医学院和附属医院。医院占地面积 138 亩，开放床位 1900 张。2023 年总诊疗约 221 万人次，出院约 11.12 万人次，住院手术 3.88 万人次。截至 2024 年 2 月底，医院职工总数 3763 人（含社会规培），博士研究生 201 人，硕士研究生 839 人。近年来，医院成功创建四川省、成都市院士（专家）创新工作站、四川省博士后创新实践基地，现为国家呼吸系统疾病临床医学研究中心分中心、国家消化系统疾病临床医学研究中心四川省分中心、国家老年疾病临床医学研究中心协同网络核心单位。先后成为国家胸痛中心示范基地、房颤中心示范基地、中国心衰中心、国家标准化心脏康复中心、国家高级卒中中心。入选全国首批罕见病诊疗协作网、国家疑难病症诊治能力提升工程联盟中心。设有国家住院医师规范化培训专业基地 19 个，四川省专科医师规范化培训专业基地 4 个。先后荣获“全国改善服务创新医院”“全国保障医疗安全示范医院”“中国医院质量管理奖（医疗 2019 年）卓越奖”“中国和谐医患先锋医院”等 30 余项荣誉。

为进一步优化全市医疗资源配置，提高医疗资源利用效率，推动医疗机构高质量发展，成都市卫健委组织制定了《成都市“十四五”医疗机构设置规划》，该规划提出：市属公立医院作为全市医疗卫生服务体系中的主力军，应当加强协作，形成特色鲜明、专业互补、错位发展、有序竞争的发展格局；支持实力强的公立医院在医疗资源相对薄弱、群众医疗需求较大的地区适度发展分院区。

成都市中心医院（成都市第三人民医院东部医院）项目按照“医教研培融合典范、 公共灾难救治标杆”的原则，充分满足平急两用需要，项目以“二中心、一基地”（省级呼吸疾病区域医疗中心、市级创伤急救中心和重大疫情防控救治基地）建设为目标，依托市三医院“钟南山院士工作站”，建设四川省医学中心及区域医疗中心“双中心”及成都市医学中心，瞄准国际呼吸疾病领域临床与基础研究的前沿，凝聚和培养一批国内外呼吸疾病相关研究领域杰出科学家的创新团队。依托市三医院骨科、 急诊科、普外科、胸外科等组成的创伤救治中心 MDT 专家团队，发挥综合医院的学科优势，对多发伤患者采用一体化救治模式，为严重创伤患者打通了绿色生命通道，为四川打造一块创伤急救“金字招牌”。院总体规划用地 400.21 亩，根据医院的总体发展规划，本项目拟先行实施一期（占地面积 324 亩，包括 1000 张平急转换床位及 1490 张综合医疗床位的独立医院），一方面满足成都市范围平急转换需求，同时满足项目附近的综合医疗服务需求，将二期用地（76.21 亩）作为预留发展用地。由此，本项目作为成都市中心医院（成都市第三人民医院东部医院）

(一期)项目被提出。

成都市中心医院(成都市第三人民医院东部医院)(一期)项目于2024年6月5日取得《成都市发展和改革委员会关于成都市中心医院(成都市第三人民医院东部医院)(一期)项目可行性研究报告的批复》(成发改政务审批〔2024〕22号),对项目进行了立项。2024年7月,成都市中心医院(成都市第三人民医院东部医院)(一期)项目主体部分进行了环境影响评价工作,并取得了成都市生态环境局《关于成都市中心医院(成都市第三人民医院东部医院)(一期)项目批复》(成都环审(评)〔2024〕47号)。目前院区主体尚未开工建设。

2、项目由来

为满足患者的就医需求,提升当地和周边区域群众的医疗服务水平,成都市中心医院(成都市第三人民医院东部医院)(一期)项目拟开展放射性诊断和治疗部分业务,该部分的具体内容包括:

1、在医院门急诊医技住院楼地下室负一层放疗科新建1间直线加速器机房,在1间加速器机房内配备1台X射线最大能量为10MV的直线加速器,开展放射治疗项目。

2、在医院门急诊医技住院楼地下室负一层新建PET药物生产区(位于核医学科东南侧),包含1座回旋加速器机房药物制备区、质控区及其他配套用房,并使用1台回旋加速器用于生产诊断药物(拟生产5种核素: ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr),拟外购发生器淋洗制备所需放射性核素药物(外购 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 发生器淋洗制备 ^{68}Ga),并在质控区对生产制备的放射性药品进行质控。

3、在医院门急诊医技住院楼地下室负一层新建核医学科(门诊部分),主要开展PET放射诊断、SPECT放射诊断项目、甲吸检查项目、甲亢治疗项目、肿瘤骨转移及敷贴治疗项目。PET放射诊断项目拟配备1台PET/CT和1台PET/MR,使用放射性药物 ^{68}Ga 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 开展显像检查(其中 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 使用回旋加速器制备,回旋加速器设置于核医学科东南侧);SPECT放射诊断项目拟配备1台SPETCT/CT,使用放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 开展显像检查;甲吸检查、甲亢治疗项目使用放射性药物 ^{131}I 开展门诊诊疗;敷贴治疗项目使用 ^{32}P 、 ^{90}Sr 进行敷贴治疗;肿瘤骨转移项目使用 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 进行肿瘤骨转移门诊治疗。

4、在医院门急诊医技住院楼1层新建核医学工作场所(核素病房区,核医学科门诊部分对应楼层上方),共设置6张核素病床,使用核素 ^{131}I 进行甲癌治疗,使用核素 ^{177}Lu 、

²²⁵Ac 进行多种肿瘤住院治疗。

5、在医院门急诊医技住院大楼二层介入中心新建 7 间 DSA 机房，在机房内各配备 1 台 DSA，开展放射诊断和介入治疗。

6、在医院门急诊医技住院大楼三层内镜中心新建 1 间 ERCP 治疗室，1 间纤支镜 DSA 室。在 ERCP 治疗室内配备 1 台 ERCP 医疗射线装置，用于开展胆管、胰腺及消化类等的介入治疗；在 1 间纤支镜 DSA 室内安装 1 台 DSA 射线装置，用于诊断和治疗呼吸系统疾病。

7、在医院门急诊医技住院大楼四层手术中心新建 1 间复合手术室，在手术室内配备 1 台 DSA，开展放射诊断和介入治疗。

8、在医院平急结合裙楼（位于门急诊医技住院大楼东侧平急结合裙楼区）的一层新建 1 间 DSA 机房，在机房内配备 1 台 DSA，开展放射诊断和介入治疗。

9、在医院动物楼一层新建 1 间 DSA 机房，在机房内配备 1 台 DSA，开展介入手术的动物实验。

为加强核技术应用医疗设备的辐射环境管理，防止辐射污染和意外事故的发生，确保相关医疗设备的使用不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，根据《中华人民共和国环境保护法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《中华人民共和国放射性污染防治法》等相关法律法规要求，建设单位须对该项目进行环境影响评价。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部 部令第 16 号）的相关规定，本项目属于名录中“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目——生产、使用Ⅱ类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）”，应编制环境影响报告表。为此，成都市第三人民医院委托四川鑫锦程工程咨询有限公司对该项目开展环境影响评价工作（附件 1）。我单位接受委托后，通过现场勘察、收集资料等工作，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制完成《成都市中心医院（成都市第三人民医院东部医院）（一期）项目（核技术利用部分）环境影响报告表》。

3、环境影响评价信息公开

为进一步保障公众对环境保护的参与权、知情权和监督权，加强环境影响评价工作的公开、透明，方便公民、法人和其他组织获取生态环境主管部门环境影响评价信息，加大

环境影响评价公开力度。依据原国家生态环境部颁布的《建设项目环境影响评价政府信息公开指南》（试行）的规定：建设单位在向生态环境主管部门提交建设项目环境影响评价报告表以前，应依法、主动公开建设项目环境影响评价报告表的全本信息；各级生态环境主管部门在受理建设项目环境影响报告表后应将主动公开的环境影响评价政府信息，通过本部门政府网站向社会公开受理情况，征求公众意见。根据以上要求，建设单位于2025年4月10日在医院官网对该项目进行了全文公示，以征求公众意见。公示网站截图如下



图1-2 环境影响报告表全本公示截图

信息公示至今，建设单位和环评单位均未收到相关单位或个人有关项目情况的反馈意见。

二、项目概况

（一）项目名称、性质、建设地点

项目名称：成都市中心医院（成都市第三人民医院东部医院）（一期）项目（核技术利用部分）

建设单位：成都市第三人民医院

建设性质：新建

建设地点：龙泉驿区洪安镇长伍村五组、十二组、十七组及洛带镇宝胜村五组、六组拟建的成都市中心医院（成都市第三人民医院东部医院）（一期）内部

（二）建设内容与规模

医院拟建的主体地面建筑主要包括：门急诊医技住院大楼（含共享医技平台、急诊急救中心、住院、平急结合裙楼等）、科教综合楼、动物楼、发热门诊楼、传染病大楼、管理后勤综合楼。此外地面设有污水处理站及垃圾站，库房（酒精及危化品）、垃圾房、液氧站等后勤保障用房。其中涉及射线装置或放射性物质的楼层主要位于门急诊医技住院大楼和动物楼。

针对涉及射线装置或放射性物质的工作楼层和区域，本次评价对其建设内容进行重点介绍如下：

1、放疗科

放疗科位于医院门急诊医技住院楼-1F层中部区域，拟新建1个加速器机房及配套功能房间，同时开展肿瘤治疗过程配套有1间CT模拟定位机房，拟配备使用1台额定管电压为150kV，额定管电流为1500mA的模拟定位机，型号待定，属于III类射线装置。

（1）直线加速器

门急诊医技住院楼-1F层中部区域新建1个直线加速器机房，加速器机房建筑面积为182.99m²，机房净空尺寸为长12.3m×宽8.8m×高3.8m，机房整体采用钢筋混凝土连续浇筑。本次在加速器机房内配置使用1台10MV医用电子直线加速器（型号未定，X射线最大能量为10MV：10MV时1m处X辐射剂量率最大为24Gy/min；电子线最大能量为20MeV，电子线等中心1米处最大剂量率为16Gy/min），属于II类射线装置。本项目拟建的直线加速器配置了CBCT，CBCT最大管电压150kV，最大管电流1000mA，具备颅内立体定向放疗（SRS）、体部立体定向放射治疗（SBRT）、容积旋转调强放疗治疗（VMAT）、影像引导放疗（IGRT）、调强放疗治疗（IMRT）、三维适形放疗（3DRT）及FFF无均整器模式功能。

此外，直线加速器配套建设模拟定位机房，位于直线加速器北侧约6m处，机房净空

尺寸为长 7.46m×宽 5.11m×高 4.94m，配套 1 模拟定位机，为III类射线装置。

工作负荷：根据建设单位提供资料，加速器日最大治疗病人为 80 人，年最大治疗病人 20000 人，平均每个病人每野次治疗剂量 1.5Gy，每人治疗照射 3 野次，周工作负荷 1800Gy/周（每周工作 5 天），本项目加速器等中心处治疗模体内参考点的常用吸收剂量率为 6Gy/min，周治疗照射时间取 5h/周，年治疗最大出束时间 250h。物理师每周末进行质控工作约 0.5h，年最大质控时间为 25h。综上所述，加速器年总出束时间为 275h（年治疗出束时间 250+物理师质控时间 25h）。

根据建设提供的设计资料，本项目放疗科辐射工作场所屏蔽措施情况见表 1-1。

表 1-1 放疗科射线装置及其工作场所情况表

序号	射线装置	数量 (台)	射线装置 类别	工作场所名称	用途	活动种 类
1	10MV 医用电子直线 加速器	1	II类	门急诊医技住院楼负一楼 放疗科医用电子直线加速 器机房	肿瘤 治疗	使用
2	模拟定位机（额定管电 压为 150kV，额定管电 流为 1500mA 的模拟 定位机，型号待定）	1	III类	门急诊医技住院楼负一楼 放疗科模拟定位机房	模拟 定位	使用

根据建设提供的设计资料，经计算，本项目放疗科辐射工作场所屏蔽措施防护情况按
下表可满足辐射防护评价要求 1-2。

表 1-2 放疗科设备机房的屏蔽情况表

设备机房 名称	屏蔽情况
加速器机房	机房下方无建筑物，整个机房为混凝土整体式浇筑，屏蔽如下： 水平面： 东、西侧主屏蔽墙体厚 3m，主屏蔽区宽度均为 5.2m，与主屏蔽相连的次屏蔽墙体均厚 1.7m；南侧墙体厚 1.70m，北侧“L 型”迷道长 8.8m，迷道内墙为 1.5m 厚混凝土、外墙为 1.4m 厚混凝土。 垂直面： 屋顶主屏蔽体厚 3.0m，主屏蔽区宽度为 4.8m，与主屏蔽相连的次屏蔽体厚 1.85m。 防护铅门为 20mm 铅当量（后文简写为“Pb”）+250mm 含硼聚乙烯（后文简写为“PE”）。
模拟定位机	机房下方无建筑物，屏蔽如下： 水平面： 机房四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖。 垂直面： 机房顶板为 260mm 厚钢筋混凝土。 防护铅门为 4mm 铅当量；防护铅窗为 4mm 铅当量。

2、核医学科

核医学科位于门急诊医技住院楼-1F 层中部（核医学科 PET 药物生产区及门诊部分）
和一层（核素病房区），其中负一层核医学科 PET 药物生产区，主要包括回旋加速器机房、

质控区及其他配套用房；负一层核医学科门诊部分，主要包括 SPECT/CT 检查区、PET/CT 检查区、PET/MR 检查区、甲亢治疗、甲吸及敷贴治疗区；一层核素病房区（核医学科门诊部分对应楼层上方）主要为核素病房及相关辅助用房，具体情况如下：

（1）PET 药物生产区

①工作场所

医院拟在核医学科楼负一层核医学科东南侧新建放射性药物制备区，占地面积约 407m²，拟新建 1 间回旋加速器机房及其控制室、配电室、设备间、热室、物料暂存间、全检质控室、无菌检测室、阳性对照室、一更间、二更间、废物间、污洗间等配套房间；同时，在热室南侧设置 1 间锗镓发生器间，用于淋洗制备射性核素药物 ⁶⁸Ga。

其中，拟建的回旋加速器机房面积约 53.04m²（L×B = 6.8m×7.8m），该机房四周墙体为 1.0m 厚钢筋混凝土，底板为 1.0m 厚钢筋混凝土，顶板为 1.0m 厚钢筋混凝土，防护门为 2cmPb+25cmPE，机房内西侧设置核素传输井（600mm×600mm，贴墙向上，回旋加速器打靶产生的放射性核素由屏蔽输送管道直接输送到合成热室内的合成分装模块中，由自动合成装置进行药物合成）；热室位于回旋加速器机房西侧，其东侧与回旋加速器机房共用 1.0m 厚混凝土，热室北侧、西侧，南侧墙体为 300mm 厚钢筋混凝土，底板为 260mm 厚钢筋混凝土，顶板为 260mm 厚钢筋混凝土，热室内设药物合成箱、药物分装箱各 1 组，拟采用 70mm 铅箱屏蔽，配套药物转运铅防护罐（30mm 铅当量）及铅废物桶（20mm 铅当量）。质检区内全检质控室、无菌检测室、阳性对照室等功能用房四周墙体均为 200mm 混凝土，顶部为 200mm 厚混凝土，全检质控室西侧防护门屏蔽效能均为 40mmPb，内设置 1 套手套箱屏蔽效能为 30mmPb；此外，锗镓发生器间四周墙体均为 200mm 混凝土，顶部为 200mm 厚混凝土，内设置 1 套手套箱屏蔽效能为 30mmPb。

②射线装置

PET 药物生产区拟新建一台回旋加速器并配套建设 PET 药物生产场所。其中新增一台

为单束流，最大质子束流强度为 100μA，属于 II 类射线装置，年最大出束时间约 1500h。该回旋加速器为自屏蔽式回旋加速器，具体自屏蔽材料情况见下表。

表 1-3 回旋加速器自屏蔽情况表

层数	材料	厚度 (cm)					
		前侧	右侧	左侧	后侧	上侧	下侧
第一层	聚乙烯	20.6	11.5	11.5	23.8	23.9	0
第二层	铁	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0
第三层	铅	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	0
第四层	铁	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0
第五层	混凝土 (添硼水)	62.2	56.4	56.4	59.3	59.4	0
第六层	铁	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0

③放射性核素使用

本项目新建的回旋加速器拟生产 5 种核素： ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr （每天制药最多打靶 3 种核素，最多 4 次，每天打靶 3h，生产模式为：每天先分别打靶生产 ^{18}F ，再打靶生产 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 中的两种或者一种），并配套热室内进行制备、分装。上述 5 种核素，在进行打靶制药时的日最大操作量、年最大操作量及日等效最大操作量情况如下：

^{11}C ： PET 药物生产区生产 ^{11}C 时的日生产量为 $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，每周制备 2 次，则日最大操作量为 $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，年最大操作量为 $3.7 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日等效操最大作量为 $3.7 \times 10^8\text{Bq}$ ；

^{13}N ： PET 药物生产区生产 ^{13}N 时的日生产量为 $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，每周制备 1 次，则日最大操作量为 $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，年最大操作量为 $1.85 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日等效操最大作量为 $3.7 \times 10^8\text{Bq}$ ；

^{18}F ： PET 药物生产区生产 ^{18}F 时的日生产量为 $1.11 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，每周制备 5 次，则日最大操作量为 $1.11 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，年最大操作量为 $2.78 \times 10^{13}\text{Bq}$ ，日等效操最大作量为 $1.11 \times 10^9\text{Bq}$ ；

^{64}Cu ： PET 药物生产区生产 ^{64}Cu 时的日生产量为 $1.85 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，每周制备 2 次，则日最大操作量为 $1.85 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，年最大操作量为 $1.85 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日等效操最大作量为 $1.85 \times 10^8\text{Bq}$ ；

^{89}Zr ： PET 药物生产区生产 ^{89}Zr 时的日生产量为 $8.33 \times 10^9\text{Bq}$ ，每周制备 2 次，则日最大操作量为 $8.33 \times 10^9\text{Bq}$ ，年最大操作量为 $8.33 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，日等效操最大作量为 $8.33 \times 10^8\text{Bq}$ 。

因回旋加速器每天最多生产 3 种核素，本次评价以日等效操作量最大的 3 种核素（以 ^{11}C (^{11}C 和 ^{13}N 日等效操作量相同)、 ^{89}Zr 和 ^{18}F 计) 来确定本项目回旋加速器打靶生产放射性药物时日等效操最大作量为 $2.42 \times 10^9\text{Bq}$ (以 ^{11}C 、 ^{89}Zr 和 ^{18}F 计)。

此外，同时本项目还拟使用外购 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 发生器淋洗制备 ^{68}Ga ，锗镓发生器的暂存、淋洗工作场所位于热室南侧专门的锗镓发生器间内，锗镓发生器规格为 50mCi ($1.85 \times 10^9\text{Bq}$)， $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 发生器淋洗效率为 80%，半年更换 1 次。其日最大操作量、年最大操作量及日等效最大操作量情况如下：

^{68}Ga (制备)： 本项目锗镓发生器淋洗效率约为 80%，保守均按照全部淋洗出来再分

装标记, 故⁶⁸Ga淋洗、分装、标记过程日最大操作量为50mCi, 故计算场所等级时取最大值按⁶⁸Ga制备过程的日最大操作量为 1.85×10^9 Bq计, 年最大操作量为 4.63×10^{11} Bq, 日等效操最大作量为 1.85×10^8 Bq;

⁶⁸Ge (制备) : 热室拟使用外购的镥镓发生器规格为50mCi (1.85×10^9 Bq), 半年更换1次, 则⁶⁸Ge的日最大操作量为 1.85×10^9 Bq, 年最大操作量为 3.7×10^9 Bq, 日等效操最大作量为 1.85×10^6 Bq。

(2) 核医学科门诊部分

1) SPECT/CT 检查区

主要工作场所包括: SPECT分装室(含接收)、储源室1、服药室、门诊留观室、服药室、肺通气显像准备室、放射性废物暂存间4、负荷准备室、SPECT/CT候诊室、医护卫生间1、抢救室1、中央控制廊、SPECT/CT检查室、SPECT/CT留观室、卫生间2、放射性废物暂存间1、医护通道、卫生通过间、患者通道等。

根据建设单位提供的资料, SPETCT/CT机房净空面积 44.02m^2 , 机房净空尺寸为7.86m×宽5.60m×高3.0m, SPETCT/CT机房内拟使用1台SPETCT/CT, 型号未定, 额定管电压为140kV, 额定管电流为500mA, 属于III类射线装置, SPET/CT型号未定。

本项目SPETCT/CT诊断时拟使用^{99m}Tc、¹³¹I两种放射性核素, 均为外购成品针剂, 由药物供货商负责药物运输至核医学科, 沿着药物通道送入储源室1进行暂存。具体核素的用药量情况如下:

①^{99m}Tc (注射) : 日最大诊疗人数40人, 单个病人最大用量为 9.25×10^8 Bq, 年诊疗天数250d, 则^{99m}Tc(注射)的日最大操作量为 3.70×10^{10} Bq, 年最大操作量为 9.25×10^{12} Bq, 日等效最大操作量为 3.70×10^7 Bq;

②^{99m}Tc (肺通气) : 日最大诊疗人数5人, 单个病人最大用量为 9.25×10^8 Bq, 年诊疗天数250d, 则^{99m}Tc(肺通气)的日最大操作量为 4.63×10^9 Bq, 年最大操作量为 1.16×10^{12} Bq, 日等效最大操作量为 4.63×10^8 Bq;

③¹³¹I (注射) : 日最大诊疗人数2人, 单人单次最大用量 3.70×10^7 Bq, 年诊疗天数250d, 则¹³¹I(注射)的日最大操作量为 7.4×10^7 Bq, 年最大操作量为 1.85×10^{10} Bq, 日等效操最大作量为 7.4×10^6 Bq;

2) PET/CT、PET/MR 检查区

主要工作场所包括: PET分装室(含接收)、储源室2、注射室2、抢救室2、医护卫

生间 2、PET/CT 注射后候诊室、检查前准备室、校准源室、设备间（PET/CT）、设备间（PET/MR）、中央控制廊、PET/CT 检查室、PET/MR 检查室、PET/MR 留观室、卫生间 3、清洁间、放射性废物暂存间 2、医护通道、卫生通过间、患者通道等。

根据建设单位提供的资料，PET/CT 机房净空面积 47.53m^2 ，机房净空尺寸为 $7.83\text{m} \times$ 宽 $6.07\text{m} \times$ 高 3.0m ，PET/CT 机房内拟使用 1 台 PET/CT，型号未定，额定管电压为 140kV ，额定管电流为 1000mA ，属于 III 类射线装置，由于 PET/CT 型号未定，校准源尚未确定，一般为 V 类源，可能使用的密封源为： ^{22}Na 、 ^{68}Ge ，单枚活度 $< 7.0 \times 10^9\text{Bq}$ （不大于 7 枚），于 PET/CT 检查室西侧校准源室内暂存。

本项目 PET/CT、PET/MR 诊断时拟使用诊断时拟使用 ^{68}Ga 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 六种放射性核素，其中 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 拟使用回旋加速器制备， ^{68}Ga 为 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 发生器淋洗制备，由放射性药物制备区制备后，沿着药物通道送入储源室 2 进行暂存。根据医院方核实，本项目拟 PET 药物是根据病人预约情况进行制备药物，不备药，具体核素的用药量情况如下：

① ^{68}Ga （注射）：日最大诊疗人数 8 人，单人单次最大用量 $1.85 \times 10^8\text{Bq}$ ，年诊疗天数 250d，则 ^{68}Ga （注射）的日最大操作量为 $1.48 \times 10^9\text{Bq}$ ，年最大操作量为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，日等效操最大作量为 $1.48 \times 10^6\text{Bq}$ ；

② ^{11}C （注射）：日最大诊疗人数 5 人，年诊疗天数 100d（约每周预约诊疗 2 天），单人单次最大用量 $7.4 \times 10^8\text{Bq}$ ，则 ^{11}C （注射）的日最大操作量为 $3.7 \times 10^9\text{Bq}$ ，年最大操作量为 $3.70 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，日等效操最大作量为 $3.7 \times 10^6\text{Bq}$ ；

③ ^{13}N （注射）：日最大诊疗人数 5 人，年诊疗天数 50d（约每周预约诊疗 1 天），单人单次最大用量 $7.4 \times 10^8\text{Bq}$ ，则 ^{13}N （注射）的日最大操作量为 $3.7 \times 10^9\text{Bq}$ ，年最大操作量为 $1.85 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，日等效操最大作量为 $3.7 \times 10^6\text{Bq}$ ；

④ ^{18}F （注射）：日最大诊疗人数 25 人，年诊疗天数 250d，单人单次最大用量 $3.7 \times 10^8\text{Bq}$ ，则 ^{18}F （注射）的日最大操作量为 $9.25 \times 10^9\text{Bq}$ ，年最大操作量为 $2.31 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日等效操最大作量为 $9.25 \times 10^6\text{Bq}$ ；

⑤ ^{64}Cu （注射）：日最大诊疗人数 5 人，年诊疗天数 100d（约每周预约诊疗 2 天），单人单次最大用量 $3.7 \times 10^8\text{Bq}$ ，则 ^{64}Cu （注射）的日最大操作量为 $1.85 \times 10^9\text{Bq}$ ，年最大操作量为 $1.85 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，日等效操最大作量为 $1.85 \times 10^6\text{Bq}$ ；

⑥ ^{89}Zr （注射）：日最大诊疗人数 5 人，年诊疗天数 100d（约每周预约诊疗 2 天），

单人单次最大用量 $1.665 \times 10^8 \text{Bq}$, 则 ^{89}Zr (注射) 的日最大操作量为 $8.33 \times 10^8 \text{Bq}$, 年最大操作量为 $8.33 \times 10^{10} \text{Bq}$, 日等效操最大作量为 $8.33 \times 10^6 \text{Bq}$ 。

3) 甲亢及肿瘤骨转移治疗区

主要工作场所包括：服药室、门诊留观室等。医院预约制度规划治疗时序，甲亢和肿瘤骨转移治疗病人，不同时在核医学科进行治疗。具体情况接收如下：

甲亢治疗：根据建设单位提供资料，每天进行甲亢治疗最多为 5 人，使用核素 ^{131}I ，年诊疗天数 250d，单人单次检查日最大操作量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$, 日最大操作量为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$, 年最大用量 $4.63 \times 10^{11} \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ；甲亢治疗时，医院根据与病人预约情况提前向药物供货商订碘 [^{131}I] 化钠成品溶液，由药物供货商负责药物运输至核医学科，沿着药物通道送入储源室 1，辐射工作人员在分装室内手套箱内进行药物分装，患者接到播报通知后在注射室窗口取药，由辐射工作人员远程指导患者口服药物，随后患者进入甲亢留观室留观后，观察无异常后病人沿病患通道从核医学科东北侧离开核医学科，进入下一病例。

肿瘤骨转移治疗：根据建设单位提供资料，每天进行肿瘤骨转移治疗病人最多为 7 人，使用 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 两种核素（其中 ^{89}Sr 日最大诊疗人数 5 人，单人单次最大用量 $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$, 日最大操作量为 $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$, 年诊疗天数 250d, 年最大操作量为 $1.85 \times 10^{11} \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ ； ^{223}Ra 日最大诊疗人数 2 人，单人单次最大用量 $5.55 \times 10^6 \text{Bq}$, 日最大操作量为 $1.11 \times 10^7 \text{Bq}$, 年诊疗天数 250d, 年最大操作量为 $2.78 \times 10^9 \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ ）。肿瘤骨转移治疗时，医院根据与病人预约情况提前向药物供货商订 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 注射液，由药物供货商负责药物运输至核医学科，按配送的药物直接给每个病人注射，不用稀释分装，病人在 SPECT 分装室的注射窗口注射，注射完毕后病人沿病患通道直接离开（由核医学科东北侧离开核医学科），进入下一病例。

4) 甲吸及敷贴治疗区

主要工作场所包括：病史采集室、留置针室、甲吸室、敷贴治疗室、甲亢留观室等。

甲吸检查：根据建设单位提供资料，每天进行甲吸检查病人最多为 10 人，使用核素 ^{131}I ，年诊疗天数 250d，单人单次检查日最大操作量为 $7.4 \times 10^5 \text{Bq}$, 日最大操作量为 $7.4 \times 10^6 \text{Bq}$, 年最大用量 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^5 \text{Bq}$ ；甲吸检查时，医院根据与病人预约情况提前向药物供货商订 ^{131}I 成品药物，由药物供货商负责药物运输至核医学科，沿着药物通道送入储源室 1 内暂存，辐射工作人员取 ^{131}I 药物后在分装室分装，

患者在分装室注射窗处取药口服，服药后病人随即沿病患通道离开（从核医学科东北侧离开核医学科），待到达规定时间后再进入甲吸室，进行甲状腺功能测定。

敷贴治疗：根据建设单位提供资料，每天进行敷贴治疗（对皮肤瘢痕疙瘩进行治疗）病人最多为 40 人，其中使用 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器的日最大人数为 20 人， ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器为 V 放射源，单枚活度为 $1.48\text{E}+9\text{Bq}$ ， ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器为外购，由供货商负责药物运输至核医学科，沿着药物通道送入敷贴治疗室内保险柜暂存，治疗时将敷贴器直接放置于病人病灶处，病人治疗完毕后随即离开，进入下一病例。使用核素 ^{32}P 进行诊疗的日最大人数为 20 人， ^{32}P 敷贴器（ ^{32}P 药物密封在专用的屏蔽容器中，使用前由工作人员在手套箱中根据所需治疗瘤、痔、疤痕等的面积制作，一般为 50cm^2 ~ 200cm^2 。根据医院核实， $\text{Na}_2\text{H}^{32}\text{PO}_4$ 溶液滴在滤纸上的规格约为 $6.765\text{E}+5\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，单次治疗最大敷贴面积约 200cm^2 ，则单人单次最大用量 $1.35\times 10^8\text{Bq}$ ，日最大操作量为 $2.7\times 10^9\text{Bq}$ ，年诊疗天数 250d，年最大操作量为 $6.75\times 10^{11}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $2.7\times 10^8\text{Bq}$ ）。治疗时，辐射工作人员提前制成 ^{32}P 敷贴器，送至敷贴治疗室，治疗人员将敷贴器摆放至治疗部位后，在不接触患者皮肤的面用 3mm 厚的橡皮泥覆盖屏蔽，敷贴后病人进入在敷贴治疗室留观，待留观完毕后，将敷贴器放入专门的放射性固废收集桶中后，病人离开。

（3）核素病房区

核素病房区位于门急诊医技住院楼一层，核医学科门诊部分对应楼层上方。设置 6 个核素病房（其中 ^{131}I 病房 3 间，每个病房 1 张病床； ^{177}Lu 病房 2 间，每个病房 1 张病床； ^{225}Ac 病房 1 间，设置 1 张病床）和辅助的分装室、储源室、服碘室、注射室、抢救室、废物间、污洗间、被服间、物资库房、物流机器人间、患者通道等，同时配套建设医生办公室等辅助用房。具体核素的用药量情况如下：

① ^{131}I （核素病房）：日最大诊疗人数 3 人，甲癌住院治疗就诊住院后，需住院一周，设置 3 个独立的 ^{131}I 核素病房。单个病人最大用量为 $7.40\times 10^9\text{Bq}$ ，年诊疗天数 250d，则 ^{131}I （核素病房）的日最大操作量为 $2.22\times 10^{10}\text{Bq}$ ，医院对病人数实行总量控制，年最大接诊人数为 250 人，年最大操作量为 $1.85\times 10^{12}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $2.22\times 10^9\text{Bq}$ ；

② ^{177}Lu （核素病房）：日最大诊疗人数 2 人，使用 ^{177}Lu 核素治疗的病人治疗住院后，需住院 2-3d，则每周两批次病人，设置 2 个独立的 ^{177}Lu 核素病房。单个病人最大用量为 $7.40\times 10^9\text{Bq}$ ，年诊疗天数 250d，则 ^{177}Lu （核素病房）的日最大操作量为 $1.48\times 10^{10}\text{Bq}$ ，医院对病人数实行总量控制，年最大接诊人数为 200 人，年最大操作量为 $1.48\times 10^{12}\text{Bq}$ ，

日等效最大操作量为 $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$;

③ ^{225}Ac （核素病房）：日最大诊疗人数 1 人，使用 ^{225}Ac 核素的病人治疗住院后，需住院 1-2d，则每周三批次病人，设置 1 个独立的 ^{225}Ac 核素病房。单人单次最大用量 $1.0 \times 10^7 \text{Bq}$ ，年诊疗天数 250d，则 ^{225}Ac （核素病房）的日最大操作量为 $1.0 \times 10^7 \text{Bq}$ ，医院对病人数量实行总量控制，年最大接诊人数为 150 人，年最大操作量为 $1.50 \times 10^9 \text{Bq}$ ，日等效操作最大作量为 $1.0 \times 10^8 \text{Bq}$ ；

核医学科各房间内部防护情况见表 1-3。

表 1-3 核医学科非密封放射性物质工作场所房间防护情况一览表

工作场所	墙体、屋顶和地板	防护门	其他辐射防护措施
PET 药物生产区			
回旋加速器机房	四周墙体为 1.0m 厚钢筋混凝土，底板为 1.0m 厚钢筋混凝土，顶板为 1.0m 厚钢筋混凝土	1 扇, 2cmPb+25cmPE	无
热室	东侧与回旋加速器机房共用 1.0m 厚混凝土，其余北侧、西侧，南侧墙体为 300mm 厚钢筋混凝土，底板为 260mm 厚钢筋混凝土，顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 10mm 铅当量	工作台 3 个，为 70mmPb 铅钢+铅玻璃结构
质控室等其他房间	四周墙体为 200mm 厚钢筋混凝土，底板为基础，顶板为 200mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 40mm 铅当量	手套箱 3 个，为 30mmPb
SPECT/CT 检查区			
SPECT 接收/分装室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖，底板为 260mm 厚钢筋混凝土，顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 为 5mm 铅当量	手套箱 1 个，为 30mmPb；服药/注射窗 1 个，为 20mmPb
储源室 1 (SPECT)	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖，底板为 260mm 厚钢筋混凝土，顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 3mm 铅当量	无
废物间 1 (放射性废物暂存间 1)	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖，底板为 260mm 厚钢筋混凝土，顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 3mm 铅当量	无
服药室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖，底板为 260mm 厚钢筋混凝土，顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 5mm 铅当量	自动化分药仪 1 个，原药罐 40mmPb，出药嘴 3mmPb
肺通气室 (肺通气显像准备室)	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖，底板为 260mm 厚钢筋混凝土，顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 为 3mm 铅当量	无
运动负荷室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖，底板为 260mm 厚钢筋混凝土，顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 3mm 铅当量	无
抢救室 1	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖，底板为 260mm 厚钢筋混凝土，顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 5mm 铅当量	无

检查前候诊室 (SPECT)	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 3mm 铅当量	无
SPECT/CT 检查室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 4mm 铅当量	观察窗 1 个, 为 4mmPb
SPECT/CT 留观室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 3mm 铅当量	无
甲亢留观室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 5mm 铅当量	无
放射性废物暂存间 3	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 4mm 铅当量	无
卫生通过间 1	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 5mm 铅当量	无
SPECT/CT 患者过道外侧墙体	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	3 扇, 4mm 铅当量	无
PET/CT 检查区			
PET 接收/分装室	北、南侧墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 东侧墙体为 370mm 厚钢筋混凝土, 西侧墙体为 500mm 厚钢筋混凝土, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 为 15mm 铅当量	手套箱 1 个, 为 50mmPb
废物间 2(放射性废物暂存间 2)	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 6mm 铅当量	无
储源室 2 (PET)	北、西侧墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 南、东侧墙体为 500mm 厚钢筋混凝土, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 10mm 铅当量	无
注射廊	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 15mm 铅当量	注射窗 1 个, 为 50mmPb
卫生通过间 2	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 15mm 铅当量	无
抢救室 2	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 10mm 铅当量	无
检查前候诊室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 15mm 铅当量	无
PET/CT 检查室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 15mm 铅当量	观察窗 1 个, 为 15mmPb

PET/MR 检查室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 15mm 铅当量	观察窗 1 个, 为 15mmPb
检查后留观室 (PET/CT)	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 15mm 铅当量	无
检查后留观室 (PET/MR)	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 15mm 铅当量	无
放射性废物暂存间 4	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 10mm 铅当量	无
PET/CT 患者过道外侧墙体	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	3 扇, 8mm 铅当量	无
核素病房区			
核素病房	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	共 8 扇 (每个房间 1 扇, 每扇为 15mm 铅当量)	无
应急治疗室	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	3 扇, 15mm 铅当量	无
抢救室	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 15mm 铅当量	无
放射性废物暂存间	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 8mm 铅当量	无
特殊污洗室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 8mm 铅当量	无
分装室	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 15mm 铅当量	手套箱 1 个, 为 40mmPb; 设置有 1 专用药品双扉互锁传药窗, 为 20mmPb; 设置自动化分药仪 1 个, 原药罐 40mmPb, 出药嘴 3mmPb
卫生通过间 3	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 15mm 铅当量	无
固废暂存间、清洁间、储源室 (分装室内)	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	各 1 扇, 10mm 铅当量	无
服碘室	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 15mm 铅当量	无
注射室	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为	1 扇, 8mm 铅当量	无

	350mm 厚钢筋混凝土		
患者通道	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	2 扇(入口出口各 1), 15mm 铅当量	无
其他门诊诊疗区			
甲亢留观室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 5mm 铅当量	无
甲吸室	东侧、南侧、西侧墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 北侧墙体为 200mm 厚钢筋混凝土, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	3mm 铅当量	无
阅片办公室 1	北侧墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 西侧、南侧、东侧为 200mm 厚钢筋混凝土; 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 3mm 铅当量	无
敷贴治疗室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 3mm 铅当量	无

注: 本项目使用的混凝土密度不低于 2.35g/cm^3 , 铅板的密度不低于 11.3g/cm^3 , 实心砖的密度不低于 1.65g/cm^3 。

核医学科病人就诊量及非密封放射性物质使用情况见表 1-4。

表 1-4 核医学科就诊病人量及非密封放射性物质用量情况表

使用核素	日最大诊疗人数(人)	诊疗天数(d)	年最大诊疗人数(人)	单人单次最大用量(Bq)	日最大操作量(Bq)	计算年用量(Bq)	用途
^{99m}Tc (注射)	40	250	10000	9.25E+8	3.70E+10	9.25E+12	SPECT 诊断、显像
^{99m}Tc (肺通气)	5	250	1250	9.25E+8	4.63E+09	1.16E+12	
^{131}I	2	250	500	3.70E+7	7.40E+07	1.85E+10	
^{68}Ga	8	250	2000	1.85E+08	1.48E+09	3.70E+11	
^{11}C	5	100	500	7.4E+8	3.7E+09	3.70E+11	
^{13}N	5	50	250	7.4E+8	3.7E+09	1.85E+11	
^{18}F	25	250	6250	3.7E+8	9.25E+09	2.31E+12	
^{64}Cu	5	100	500	3.7E+8	1.85E+09	1.85E+11	
^{89}Zr	5	100	500	1.665E+8	8.33E+08	8.33E+10	PET 诊断、显像
^{131}I	5	250	1250	3.70E+8	1.85E+09	4.63E+11	
^{131}I	10	250	2500	7.4E+5	7.40E+06	1.85E+09	
^{32}P	20	250	5000	1.35E+8	2.70E+09	6.75E+11	
^{89}Sr	5	250	1250	1.48E+8	7.40E+08	1.85E+11	肿瘤骨转移门
^{223}Ra	2	250	500	5.55E+6	1.11E+07	2.78E+09	

							诊疗疗
⁶⁸ Ga	/	/	/	/	1.85E+09	4.63E+11	制备 PET 药物
⁶⁸ Ge	/	/	/	/	1.85E+09	3.7E+09	
¹¹ C	/	/	/	/	3.7E+10	3.70E+12	
¹³ N	/	/	/	/	3.7E+10	1.85E+12	
¹⁸ F	/	/	/	/	1.11E+11	2.78E+13	
⁶⁴ Cu	/	/	/	/	1.85E+10	1.85E+12	
⁸⁹ Zr	/	/	/	/	8.33E+09	8.33E+11	
¹³¹ I	3	250	250	7.40E+9	2.22E+10	1.85E+12	甲癌住院治疗
¹⁷⁷ Lu	2	250	200	7.4E+9	1.48E+10	1.48E+12	多种肿瘤住院治疗
²²⁵ Ac	1	250	150	1.0E+7	1.00E+07	1.50E+09	

注：甲癌住院治疗就诊住院后，需住院一周，设置 3 个独立的 ¹³¹I 核素病房；使用 ¹⁷⁷Lu 核素病治疗的病人治疗住院后，需住院 2-3d，则每周两批次病人，设置 2 个独立的 ¹⁷⁷Lu 核素病房；使用 ²²⁵Ac 核素的病人治疗住院后，需住院 1-2d，则每周三批次病人，设置 1 个独立的 ²²⁵Ac 核素病房。

③核医学科射线装置和放射源统计

核医学科射线装置和放射源统计表见表 1-5。

表 1-5 核医学科射线装置和放射源统计表

序号	射线装置	数量 (台)	射线装 置 类别	最大管 电压	最大管 电流	工作场所名称	用途	活 动 种 类
1	PET/CT	1	III类	140kV	1000mA	核医学科门诊 PET/CT 检查室	显像诊 断	使 用
2	PET/MR	1	不属于射线装置				核医学科门诊 PET/MR 检查室	显像诊 断
3	SPECT/CT	1	III类	140kV	500mA	核医学科门诊 SPECT/CT 检查室	显像诊 断	使 用
序号	放射源	类别	活度 (Bq)	数量 (枚)	工作场所名称	用途	活 动 种 类	
1	⁹⁰ Sr	V类	1.48×10 ⁹	1	核医学科门诊敷贴 治疗室	敷贴治 疗	使 用	
2	²² Na、 ⁶⁸ Ge	V类	<7.0×10 ⁹ Bq/枚	不大于 7 枚	核医学科 PET/CT 检查室	校准源	使 用	

(4) 工作场所分级

1、工作场所分级依据

根据中华人民共和国原环境保护部办公厅文件《关于明确核技术利用辐射安全监管有

关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430号），满足以下3个特点的放射性药物使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：A、有相对独立、明确的监督区和控制区划分；B、工艺流程连续完整；C、有相对独立的辐射防护措施。

根据本项目布局特点，本项目所在门急诊医技住院楼-1F层中部的核医学科门诊区、核素病房区、放射性药物制备区等均相对独立、有明确的监督区和控制区划分，非密封放射性物质工作场所工艺流程连续完整，且有相对独立的辐射防护措施，核医学科辐射工作人员也不存与其他辐射工作场所交叉的情况。因此，本次将核医学科作为三个非密封放射性物质工作场所进行评价。分别为PET药物生产区（-1F层）、核医学科门诊区（-1F层）及核素病房区（1F层），各自场所范围图示下。

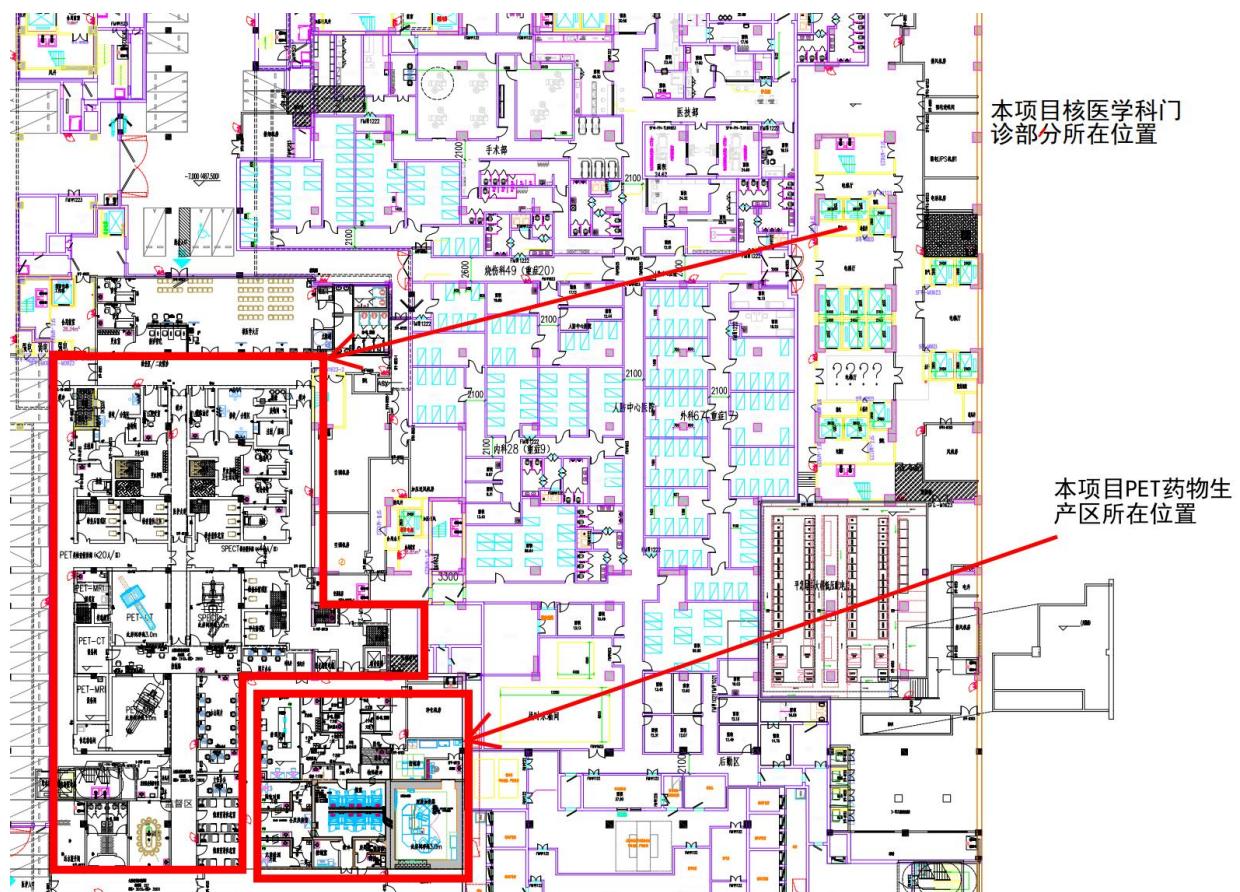


图 1-1 PET 药物生产区（-1F 层）、核医学科门诊区（-1F 层）分布位置示意图

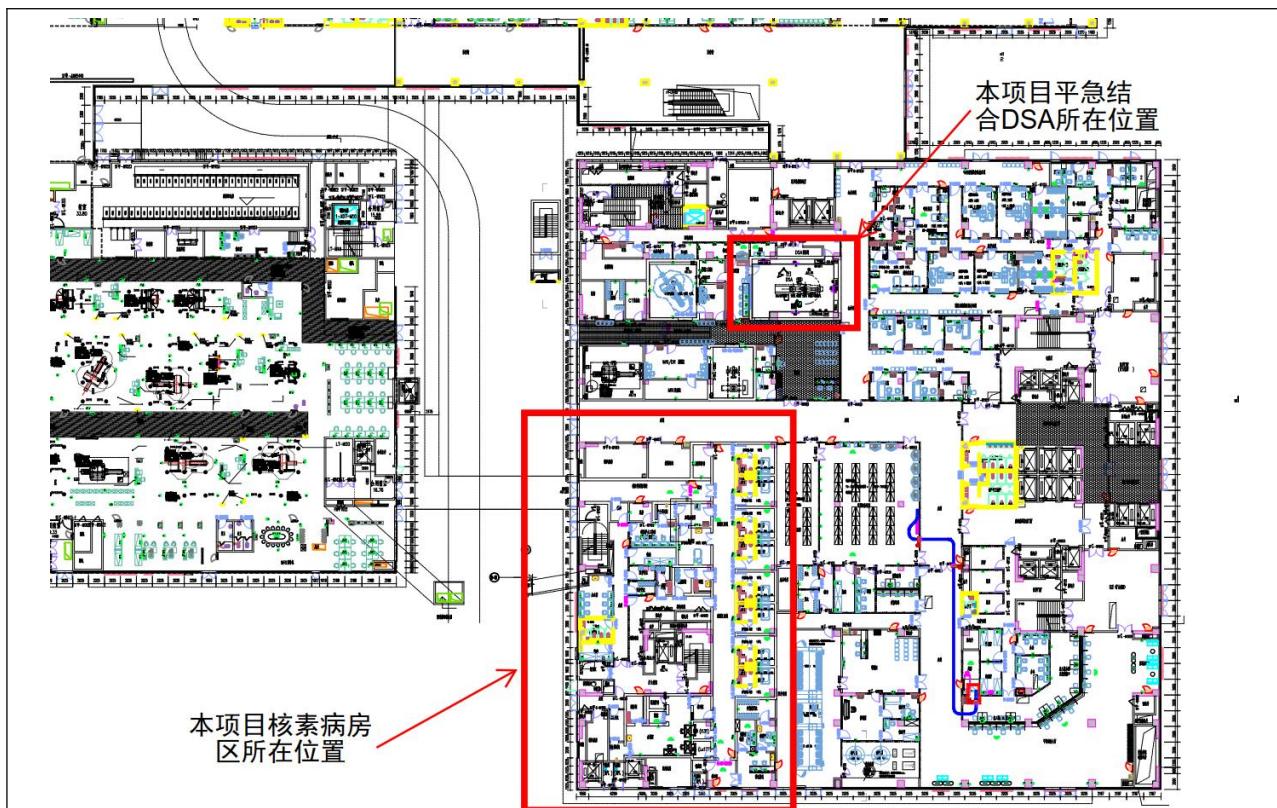


图 1-2 核素病房区 (1F 层) 分布位置示意图

依据按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录C, 非密封放射性物质工作场所的分级判据如表1-6。

表 1-6 非密封放射性物质工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/ (Bq)
甲	$>4\times10^9$
乙	$2\times10^7 \sim 4\times10^9$
丙	豁免活度值以上~ 2×10^7

根据建设单位提供的核素日最大操作量及《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录C确定的核素毒性因子、操作方式因子等(见表1-7、表1-8), 并结合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)附录A, 根据下式可以计算日等效最大操作量。

$$\text{日等效用量} = \frac{\text{日操作量} \times \text{毒性修正因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \dots \dots \dots \text{式 1-3}$$

表 1-7 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1

中毒	0.1
低毒	0.01

表 1-8 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较低的固体	液体, 溶液, 悬浮液	表面有污染的固体	气体, 蒸汽, 粉末, 压力很高的液体, 固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

2、本项目工作场所分级

根据本项目核医学科使用放射性同位素的毒性组别、操作方式和日等效操作量, 确定本项目核医学科工作场所级别。具体见表 1-9。

表 1-9 本项目非密封放射性物质工作场所分级

工作场所	核素名称	实际日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式与状态修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	场所内日等效最大操作量 (Bq)	工作场所等级
核医学科门诊区	SPETCT 诊断、显像区	^{99m} Tc (注射)	3.70E+10	0.01 (低毒)	10 (液体, 很简单的操作)	3.70E+07	1.18E+09 乙级非密封放射性物质工作场所
		^{99m} Tc (肺通气)	4.63E+09	0.01 (低毒)	0.1 (气体, 很简单的操作)	4.63E+08	
		¹³¹ I	7.40E+07	0.1 (低毒)	1 (液体, 简单操作)	7.40E+06	
	PET 诊断、显像区	⁶⁸ Ga	1.48E+09	0.01 (低毒)	10 (液体, 很简单的操作)	1.48E+06	
		¹¹ C	3.7E+09	0.01 (低毒)	10 (液体, 很简单的操作)	3.7E+06	
		¹³ N	3.7E+09	0.01 (低毒)	10 (液体, 很简单的操作)	3.7E+06	

	甲亢治疗	¹³¹ I	1.85E+09	0.1(中毒)	1(液体, 简单操作)	1.85E+08			
	甲吸检查	¹³¹ I	7.40E+06	0.1(中毒)	1(液体, 简单操作)	7.40E+05			
	敷贴治疗	³² P	2.70E+09	0.1(中毒)	1(液体, 简单操作)	2.70E+08			
	肿瘤骨转移治疗	⁸⁹ Sr	7.40E+08	0.1(中毒)	1(液体, 简单操作)	7.40E+07			
		²²³ Ra	1.11E+07	10(极毒)	1(液体, 简单操作)	1.11E+08			
PET 药物生产区		⁶⁸ Ga	1.85E+09	0.01(低毒)	1(液体, 简单的操作)	1.85E+07	2.31E+09	乙级非密封放射性物质工作场所	
		⁶⁸ Ge	1.85E+09	0.1(中毒)	100(液体, 源的贮存)	1.85E+06			
		¹¹ C	3.7E+10	0.01(低毒)	1(液体, 简单的操作)	3.7E+08			
		⁸⁹ Zr	8.33E+09	0.1(中毒)	1(液体, 简单的操作)	8.33E+08			
		¹⁸ F	1.11E+11	0.01(低毒)	1(液体, 简单的操作)	1.11E+09			
核素病房区	甲癌住院治疗	¹³¹ I	2.22E+10	0.1(中毒)	1(液体, 简单操作)	2.22E+09	3.80E+09	乙级非密封放射性物质工作场所	
	前列腺癌住院治疗	¹⁷⁷ Lu	1.48E+10	0.1(中毒)	1(液体, 简单操作)	1.48E+09			
	多种肿瘤住院治疗	²²⁵ Ac	1.00E+07	10(极毒)	1(液体, 简单操作)	1.00E+08			

注：本项目回旋加速器每天仅生产两种核素，生产模式为：每天先分别打靶生产¹⁸F，再打靶生产¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr中的两种或者一种，故场所等级以日等效操作量最大的¹¹C、⁸⁹Zr和¹¹F来确定场所等级；本项目镥镓发生器淋洗效率约为80%，保守均按照全部淋洗出来再分装标记，故⁶⁸Ga淋洗、分装、标记过程的日最大操作量为 1.85×10^9 Bq计。

由上表可知，本项目非密封放射性物质的各工作场所内日等效最大操作量均在 $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$ Bq之间，均为乙级非密封放射性物质工作场所。

(3) 介入中心

介入中心位于门急诊医技住院楼2F层东南侧区域，拟在内部设置7间DSA机房，在机房内各安装使用1台额定管电压为125kV、额定管电流为1000mA的数字减影血管造影机（DSA），具体设备型号未定，属于II类射线装置，每台DSA年曝光时间最大约687.5h（透视641.67h、拍片45.83h），用于开展介入手术，多科室使用，设备主射线束方向为从下往上。

介入手术室 1~7 室内面积均为 $54.58m^2$ ，净空尺寸约为 $7.6m$ （长） $\times 6.7m$ （宽） $\times 3.2m$ （高），每间手术室有 2 扇防护铅门，均为 4mm 厚铅当量，观察窗均 4mm 铅当量厚的铅玻璃。这 7 间介入手术室四面屏蔽体均为 370mm 厚页岩实心砖，顶板均为 260mm 厚混凝土，底板为 260mm 厚混凝土。

介入手术室配套功能用房包括控制室中心（位于 1~4 号 DSA 和 4~7#DSA 机房中部连通整体区域）、库房（可作为污物暂存间）、设备间等。

表 1-10 介入中心 DSA 设备工作场所房间防护情况一览表

工作场所	墙体、屋顶和地板	净空尺寸数据 (长×宽×高)	防护门	观察窗
介入手术室 1	7 间介入手术室四面屏蔽体均为 370mm 厚页岩实心砖，顶板均为 260mm 厚混凝土，底板为 260mm 厚混凝土	均为 $54.58m^2$ ， ($7.6m \times 6.7m \times 3.2m$)	7 间介入手术室均设置 2 扇，均为 4mm 铅当量	7 间介入手术室均设置 1 个，均为 4mmPb
介入手术室 2				
介入手术室 3				
介入手术室 4				
介入手术室 5				
介入手术室 6				
介入手术室 7				

注：本项目使用的混凝土密度不低于 $2.35g/cm^3$ ，铅板的密度不低于 $11.3g/cm^3$ ，实心砖的密度不低于 $1.65g/cm^3$ 。

（4）内镜中心

内镜中心位于门急诊医技住院楼 3F 层，新建 1 间 ERCP 治疗室和 1 间纤支镜 DSA 室，在 ERCP 治疗室内安装使用 1 台额定管电压为 150kV、额定管电流为 800mA 的 ERCP 射线装置，在纤支镜 DSA 治疗室内安装使用 1 台额定管电压为 125kV、额定管电流为 1000mA 的 DSA 射线装置。均属于 II 类射线装置，其中 ERCP 射线装置年曝光时间最大约 173.4h（拍片 13.33h，透视 160h），设备主射线束方向为从下往上；纤支镜 DSA 射线装置年曝光时间最大约 173.4h（拍片 13.33h，透视 160h），设备主射线束方向为从下往上。

ERCP 室内面积约为 $54.18m^2$ ，净空尺寸约为 $8.60m$ （长） $\times 6.30m$ （宽） $\times 3.1m$ （高），四面屏蔽体均为 370mm 厚实心砖墙，顶板采用 260mm 厚混凝土，底板采用 260m 厚混凝土，观察窗为 3mm 铅当量厚的铅玻璃；机房有 2 扇防护铅门，均为 3mm 厚铅当量。ERCP 室配套功能用房为控制室。

纤支镜 DSA 室内面积约为 $76.88m^2$ ，净空尺寸约为 $10.21m$ （长） $\times 7.53m$ （宽） $\times 3.1m$ （高），四面屏蔽体均为 370mm 厚实心砖墙，顶板采用 260mm 厚混凝土，底板采用 260m 厚混凝土，观察窗为 4mm 铅当量厚的铅玻璃；机房有 2 扇防护铅门，均为 4mm 厚铅当量。纤支镜 DSA 室配套功能用房为设备间、控制室等。

(5) 复合手术室

复合手术室位于门急诊医技住院楼 4F 层西南侧，新建 1 间复合手术室，在手术室内配备 1 台 DSA，在内安装使用 1 台额定管电压为 125kV、额定管电流为 1000mA 的数字减影血管造影机 (DSA)，属于 II 类射线装置，年曝光时间最大约 75h (透视 70h、拍片 5.0h)。

复合手术室室内面积约为 80.68m²，净空尺寸约为 10.01m (长) × 8.06m (宽) × 3.2m (高)；手术室四面屏蔽体均为 370mm 厚页岩实心砖，顶板均为 260mm 厚混凝土，底板为 260mm 厚混凝土，观察窗为 3mm 铅当量厚的铅玻璃；手术室有 3 扇防护铅门，均为 3mm 厚铅当量。复合手术室配套功能用房包括控制室、设备间等。

(6) 平急结合裙楼 DSA 室

在医院平急结合裙楼 1F 层新建 1 间 DSA 机房，在机房内配备 1 台 DSA，在内安装使用 1 台额定管电压为 125kV、额定管电流为 1000mA 的数字减影血管造影机 (DSA)，属于 II 类射线装置，年曝光时间最大约 75h (透视 70h、拍片 5.0h)。

平急结合裙楼 DSA 室室内面积约为 81.43m²，净空尺寸约为 10.96m (长) × 7.43m (宽) × 3.2m (高)；手术室四面屏蔽体均为 370mm 厚页岩实心砖，顶板均为 260mm 厚混凝土，底板为 260mm 厚混凝土，观察窗为 4mm 铅当量厚的铅玻璃；手术室有 3 扇防护铅门，均为 4mm 厚铅当量。复合手术室配套功能用房包括控制室、设备间等。

(7) 动物楼 DSA 室

在医院动物楼一层新建 1 间 DSA 机房，在机房内配备 1 台 DSA，开展介入手术的动物实验，在内安装使用 1 台额定管电压为 125kV、额定管电流为 1000mA 的数字减影血管造影机 (DSA)，属于 II 类射线装置，年曝光时间最大约 75h (透视 70h、拍片 5.0h)。

动物楼 DSA 室室内面积约为 50.21m²，净空尺寸约为 8.51m (长) × 5.9m (宽) × 3.2m (高)；手术室四面屏蔽体均为 370mm 厚页岩实心砖，顶板均为 260mm 厚混凝土，底板为 300mm 厚混凝土，观察窗为 4mm 铅当量厚的铅玻璃；手术室有 3 扇防护铅门，均为 4mm 厚铅当量。复合手术室配套功能用房包括控制室、设备间等。

动物楼中饲养的动物种类主要有 (大鼠、小鼠、猪、狗、兔、猴等)，其中用于 DSA 实验的动物为猪和猴，其中猪为购买成品成年猪，体重约 75kg，根据实验需要，用于 DSA 实验的猪饲养在线量 2 只，饲养周期约 1 周，年最大饲养量 60 只；猴为购买成品成年猴，体重约 25kg，根据实验需要，用于 DSA 实验的猴饲养在线量 2 只，饲养周期约 1 周，年最大饲养量 60 只。本项目涉及的试验动物主要进行 DSA 实验，无放射性药物使用，也不

涉及放射性废物产生，且动物饲养部分属于非放射性的医院主体工程评价内容，该部分已纳入医院主体评价内容，本次不再评价。

医院介入设备情况和所在位置见表 1-11，介入手术量及曝光时间统计表见表 1-12。

表 1-11 介入手术射线装置统计表

序号	射线装置	数量(台)	射线装置类别	最大管电压(kV)	最大管电流(mA)	主射方向	工作场所名称	用途	活动种类
1	DSA	7	II类	125	1000	由下往上	门急诊医技住院楼2F 楼 1~7#介入室	介入治疗	使用
2	ERCP	1	II类	150	800	由下往上	门急诊医技住院楼3F 层楼 ERCP 室	介入治疗	使用
3	DSA	1	II类	125	1000	由下往上	门急诊医技住院楼3F 层楼纤支镜DSA 室	介入治疗(内镜中心)	使用
4	DSA	1	II类	125	1000	由下往上	门急诊医技住院楼4F 层西南侧 DSA 复合手术室	介入治疗	使用
5	DSA	1	II类	125	1000	由下往上	平急结合裙楼一层新建 1 间 DSA 机房	介入治疗	使用
6	DSA	1	II类	125	1000	由下往上	动物楼一层新建 1 间 DSA 机房	介入试验	使用

表 1-12 不同科室开展介入手术量及曝光时间核算表

设备	科室	单台设备年手术数量(台)	单台手术平均拍片时间(s)	单台设备年拍片时间(h)	单台手术平均透视时间(min)	单台设备年透视时间(h)	单台设备年曝光总时间(h)
DSA (介入中心)	心内科、神经内科、心外科、神经外科	300	150	12.50	35	175	187.50
	介入科	800	150	33.33	35	466.67	500.00
	小计(单台设备)	1200	/	45.83	/	641.67	687.50
	共计(7台设备)	8400	/	320.81	/	4491.69	4812.5
ERCP	内镜中心	320	150	13.33	30	160.00	173.33
纤支镜 DSA		320	150	13.33	30	160.00	173.33
DSA	复合手术室	120	150	5.00	35	70.00	75.00
DSA	平急结合裙楼	120	150	5.00	35	70.00	75.00
DSA	动物大楼	120	150	5.00	35	70.00	75.00
合计		9400	/	362.47	/	5021.69	5384.16

(三) 项目组成及主要环境问题

本项目的项目组成及主要环境问题如下表。

表 1-13 建设项目组成及主要的环境问题表

名称		建设内容及规模	可能产生的环境问题	
			施工期	运营期
主体工程	放疗科	<p>加速器机房：位于门急诊医技住院楼-1F 层中部区域新建 1 个直线加速器机房，加速器机房建筑面积为 182.99m²，机房净空尺寸为长 12.3m×宽 8.8m×高 3.8m，机房整体采用钢筋混凝土连续浇筑。本次在加速器机房内配置使用 1 台 10MV 医用电子直线加速器（型号未定，X 射线最大能量为 10MV：10MV 时 1m 处 X 辐射剂量率最大为 24Gy/min；电子线最大能量为 20MeV，电子线等中心 1 米处最大剂量率为 16Gy/min），配置的 CBCT 最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA，属于 II 类射线装置。直线加速器配套建设模拟定位机房，位于直线加速器北侧约 6m 处，机房净空尺寸为长 7.46m×宽 5.11m×高 4.94m，配套 1 模拟定位机，为 III 类射线装置。</p> <p>加速器日最大治疗病人为 80 人，年最大治疗病人 20000 人，平均每个病人每野次治疗剂量 1.5Gy，每人治疗照射 3 野次，周工作负荷 1800Gy/周（每周工作 5 天），本项目加速器等中心处治疗模体内参考点的常用吸收剂量率为 6Gy/min，周治疗照射时间取 5h/周，年治疗最大出束时间 250h。物理师每周末进行质控工作约 0.5h，年最大质控时间为 25h。综上所述，加速器年总出束时间为 275h（年治疗出束时间 250+物理师质控时间 25h）。</p> <p>CT 模拟定位机房：位于直线加速器机房北侧，建筑面积 38.05m²，机房净空尺寸长 7.46m×宽 5.1m×高 3.0m，1 间 CT 模拟定位机房，拟配备使用 1 台额定管电压为 150kV，额定管电流为 1500mA 的模拟定位机，型号待定，属于 III 类射线装置。</p>	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	X 射线、电子线、臭氧、废放射源
	核医学科（场所及核素）	<p>核医学科位于门急诊医技住院楼-1F 层中部（核医学科 PET 药物生产区及门诊部分）和一层（核素病房区），其中负一层核医学科 PET 药物生产区，主要包括回旋加速器机房、质控区及其他配套用房；负一层核医学科门诊部分，主要包括 SPECT/CT 检查区、PET/CT 检查区、PET/MR 检查区、PET 药物生产区和甲亢治疗、甲吸及敷贴治疗区；一层核素病房区（核医学科门诊部分对应楼层上方）主要为核素病房及相关辅助用房，具体情况如下：</p> <p>(1) PET 药物生产区</p> <p>①工作场所</p> <p>医院拟在核医学科楼负一层核医学科东南侧新建放射性药物制备区，占地面积约 407m²，拟新建 1 间新建 1 间回旋加速器机房及其控制室、配电室、设备间、热室、物料暂存间、全质质控室、无菌检测室、阳性对照室、一更间、二更间、废物间、污洗间等配套房间；同时，在热室南侧设置 1 间镥镓发生器间，用于淋洗制备射性核素药物 ⁶⁸Ga。</p> <p>其中，拟建的回旋加速器机房面积约 53.04m² (L×B = 6.8m×7.8m)，该机房四周墙体为 1.0m 厚钢筋混凝土，底板为 1.0m 厚钢筋混凝土，顶板为 1.0m 厚钢筋混凝土，防护门为 2cmPb+25cmPE，机房内西侧设置核素传输井 (600mm×600mm，贴墙向上，回旋加速器打靶产生的放射性</p>	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	α 、 β 、 γ 射线、放射性废水、放射性固废、气载流输出物、 α 、 β 表面沾污、废校准源

主体工程	<p>核素由屏蔽输送管道直接输送到合成热室内的合成分装模块中,由自动合成装置进行药物合成);热室位于回旋加速器机房西侧,其东侧与回旋加速器机房共用1.0m厚混凝土,热室北侧、西侧,南侧墙体为300mm厚钢筋混凝土,底板为260mm厚钢筋混凝土,顶板为260mm厚钢筋混凝土,热室内设药物合成箱、药物分装箱各1组,拟采用70mm铅箱屏蔽,配套药物转运铅防护罐(30mm铅当量)及铅废物桶(20mm铅当量)。质检区内全检质控室、无菌检测室、阳性对照室等功能用房四周墙体均为200mm混凝土,顶部为200mm厚混凝土,全检质控室西侧防护门屏蔽效能均为40mmPb,内设置1套手套箱屏蔽效能为30mmPb;此外,镥镓发生器间四周墙体均为200mm混凝土,顶部为200mm厚混凝土,内设置1套手套箱屏蔽效能为30mmPb。</p> <p>②射线装置</p> <p>PET药物生产区拟新建一台回旋加速器并配套建设PET药物生产场所。其中新增一台回旋加速器,目前型号待定,根 [REDACTED]</p> <p>见附件12),取入能量为10MeV,为单束流,取入质子束流强度为100μA,属于II类射线装置,年最大出束时间约1500h。</p> <p>③放射性核素使用</p> <p>本项目新建的回旋加速器拟生产5种核素:¹¹C、¹³N、¹⁸F、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr(每天制药最多打靶3种核素,最多4次,每天打靶3h,生产模式为:每天先分别打靶生产¹⁸F,再打靶生产¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr中的两种或者一种),并配套热室内进行制备、分装。</p> <p>(2) 核医学科门诊部分</p> <p>1) SPECT/CT 检查区</p> <p>主要工作场所包括:SPECT分装室(含接收)、储源室1、服药室、门诊留观室、服药室、肺通气显像准备室、放射性废物暂存间4、负荷准备室、SPECT/CT候诊室、医护卫生间1、抢救室1、中央控制廊、SPECT/CT检查室、SPECT/CT留观室、卫生间2、放射性废物暂存间1、医护通道、卫生通过间、患者通道等。</p> <p>根据建设单位提供的资料,SPETCT/CT机房净空面积44.02m²,机房净空尺寸为7.86m×宽5.60m×高3.0m,SPETCT/CT机房内拟使用1台SPETCT/CT,型号未定,额定管电压为140kV,额定管电流为500mA,属于III类射线装置,SPET/CT型号未定。</p> <p>本项目SPETCT/CT诊断时拟使用^{99m}Tc、¹³¹I两种放射性核素,均为外购成品针剂,由药物供货商负责药物运输至核医学科,沿着药物通道送入储源室1进行暂存。</p> <p>2) PET/CT 检查区</p> <p>主要工作场所包括:PET分装室(含接收)、储源室2、注射室2、抢救室2、医护卫生间2、PET/CT注射后候诊室、检查前准备室、校准源室、设备间(PET/CT)、设备间(PET/MR)、中央控制廊、PET/CT检查室、PET/MR检查</p>		
------	---	--	--

主体工程	<p>室、PET/MR 留观室、卫生间 3、清洁间、放射性废物暂存间 2、医护通道、卫生通过间、患者通道等。</p> <p>根据建设单位提供的资料，PET/CT 机房净空面积 47.53m²，机房净空尺寸为 7.83m×宽 6.07m×高 3.0m，PET/CT 机房内拟使用 1 台 PET/CT，型号未定，额定管电压为 140kV，额定管电流为 1000mA，属于Ⅲ类射线装置，由于 PET/CT 型号未定，校准源尚未确定，一般为 V 类源，可能使用的密封源为：²²Na、⁶⁸Ge，单枚活度<7.0×10⁹Bq（不大于 7 枚），于 PET/CT 检查室西侧校准源室内暂存。</p> <p>本项目 PET/CT 诊断时拟使用诊断时拟使用⁶⁸Ga、¹¹C、¹³N、¹⁸F、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr 六种放射性核素，其中¹¹C、¹³N、¹⁸F、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr 拟使用回旋加速器制备，⁶⁸Ga 为⁶⁸Ge/⁶⁸Ga 发生器淋洗制备，由放射性药物制备区制备后，沿着药物通道送入储源室 2 进行暂存。</p> <p>3) 甲亢及肿瘤骨转移治疗区</p> <p>主要工作场所包括：服药室、门诊留观室等。医院预约制度规划治疗时序，甲亢和肿瘤骨转移治疗病人，不同时在核医学科进行治疗。具体情况接收如下：</p> <p>甲亢治疗：根据建设单位提供资料，每天进行甲亢治疗最多为 5 人，使用核素¹³¹I，年诊疗天数 250d，单人单次检查日最大操作量为 3.7×10⁸Bq，日最大操作量为 1.85×10⁹Bq，年最大用量 4.63×10¹¹Bq，日等效最大操作量为 1.85×10⁸Bq；甲亢治疗时，医院根据与病人预约情况提前向药物供货商订¹³¹I 化钠成品溶液，由药物供货商负责药物运输至核医学科，沿着药物通道送入储源室 1，辐射工作人员在分装室内手套箱内进行药物分装，患者接到播报通知后在注射室窗口取药，由辐射工作人员远程指导患者口服药物，随后患者进入甲亢留观室留观后，观察无异常后病人沿病患通道从核医学科东北侧离开核医学科，进入下一病例。</p> <p>肿瘤骨转移治疗：根据建设单位提供资料，每天进行肿瘤骨转移治疗病人最多为 7 人，使用⁸⁹Sr、²²³Ra 两种核素（其中⁸⁹Sr 日最大诊疗人数 5 人，单人单次最大用量 1.48×10⁸Bq，日最大操作量为 7.40×10⁸Bq，年诊疗天数 250d，年最大操作量为 1.85×10¹¹Bq，日等效最大操作量为 7.4×10⁷Bq；²²³Ra 日最大诊疗人数 2 人，单人单次最大用量 5.55×10⁶Bq，日最大操作量为 1.11×10⁷Bq，年诊疗天数 250d，年最大操作量为 2.78×10⁹Bq，日等效最大操作量为 1.11×10⁸Bq）。肿瘤骨转移治疗时，医院根据与病人预约情况提前向药物供货商订⁸⁹Sr、²²³Ra 注射液，由药物供货商负责药物运输至核医学科，按配送的药物直接给每个病人注射，不用稀释分装，病人在 SPECT 分装室的注射窗口注射，注射完毕后病人沿病患通道直接离开（由核医学科东北侧离开核医学科），进入下一病例。</p> <p>4) 甲吸及敷贴治疗区</p> <p>主要工作场所包括：病史采集室、留置针室、甲吸室、敷贴治疗室、甲亢留观室等。</p> <p>甲吸检查：根据建设单位提供资料，每天进行甲吸检查病人最多为 10 人，使用核素¹³¹I，年诊疗天数 250d，单人单次检查日最大操作量为 7.4×10⁵Bq，日最大操作量为 7.4×10⁶Bq，年最大用量 1.85×10⁹Bq，日等效最大操作量为 7.4×10⁵Bq；甲吸检查时，医院根据与病人预约情况提前向药物供货商订¹³¹I</p>		
------	--	--	--

	<p>成品药物，由药物供货商负责药物运输至核医学科，沿着药物通道送入储源室 1 内暂存，辐射工作人员取 ^{131}I 药物后在分装室分装，患者在分装室注射窗处取药口服，服药后病人随即沿病患通道离开（从核医学科东北侧离开核医学科），待到达规定时间后再进入甲吸室，进行甲状腺功能测定。</p> <p>敷贴治疗：根据建设单位提供资料，每天进行敷贴治疗（对皮肤瘢痕疙瘩进行治疗）病人最多为 40 人，其中使用 ^{90}Sr-^{90}Y 敷贴器的日最大人数为 20 人，^{90}Sr-^{90}Y 敷贴器为 V 放射源，单枚活度为 $1.48\text{E}+9\text{Bq}$，^{90}Sr-^{90}Y 敷贴器为外购，由供货商负责药物运输至核医学科，沿着药物通道送入敷贴治疗室内保险柜暂存，治疗时将敷贴器直接放置于病人病灶处，病人治疗完毕后随即离开，进入下一病例。使用核素 ^{32}P 进行诊疗的日最大人数为 20 人，^{32}P 敷贴器（^{32}P 药物密封在专用的屏蔽容器中，使用前由工作人员在手套箱中根据所需治疗瘤、痔、疤痕等的面积制作，一般为 50cm^2~200cm^2。根据医院核实，$\text{Na}_2\text{H}^{32}\text{PO}_4$ 溶液滴在滤纸上的规格约为 $6.765\text{E}+5\text{Bq/cm}^2$，单次治疗最大敷贴面积约 200cm^2，则单人单次最大用量 $1.35\times 10^8\text{Bq}$，日最大操作量为 $2.7\times 10^9\text{Bq}$，年诊疗天数 250d，年最大操作量为 $6.75\times 10^{11}\text{Bq}$，日等效最大操作量为 $2.7\times 10^8\text{Bq}$）。治疗时，辐射工作人员提前制成 ^{32}P 敷贴器，送至敷贴治疗室，治疗人员将敷贴器摆放至治疗部位后，在不接触患者皮肤的面用 3mm 厚的橡皮泥覆盖屏蔽，敷贴后病人进入在敷贴治疗室留观，待留观完毕后，将敷贴器放入专门的放射性固废收集桶中后，病人离开。</p> <p>（3）核素病房区</p> <p>核素病房区位于门急诊医技住院楼一层，核医学科门诊部分对应楼层上方。设置 6 个核素病房（其中 ^{131}I 病房 3 间，每个病房 1 张病床；^{177}Lu 病房 2 间，每个病房 1 张病床；^{225}Ac 病房 1 间，设置 1 张病床）和辅助的分装室、储源室、服碘室、注射室、抢救室、废物间、污洗间、被服间、物资库房、物流机器人间、患者通道等，同时配套建设医生办公室等辅助用房。</p>		
核医学科 (射线装置)	<p>SPECT/CT 机房、PET/CT 机房均位于核医学科内，机房内各拟配备使用 1 台额定管电压为 140kV，额定管电流为 500mA 的 SPECT/CT 和 1 台额定管电压为 140kV，额定管电流为 1000mA 的 PET/CT 进行显像诊断，均属于 III 类射线装置。</p> <p>PET/CT 需使用校正源进行设备的校准，校准源为 V 类源，型号未定，可能使用的密封源为：^{22}Na、^{68}Ge，活度 $< 7.0\times 10^9\text{Bq/枚}$（不大于 7 枚）。</p>	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	X 射线、臭氧
介入中心	<p>介入中心位于门急诊医技住院楼 2F 层东南侧区域，拟在内部设置 7 间 DSA 机房，在机房内各安装使用 1 台额定管电压为 125kV、额定管电流为 1000mA 的数字减影血管造影机（DSA），具体设备型号未定，属于 II 类射线装置，项目 DSA 过滤片 1mmCu，每台 DSA 年曝光时间最大约 687.5h（透视 641.67h、拍片 45.83h），用于开展介入手术，多科室使用，设备主射线束方向为从下往上。</p>	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	X 射线、臭氧、医疗固体废物
内镜中心	内镜中心位于门急诊医技住院楼 3F 层，新建 1 间 ERCP 治疗室和 1 间纤支镜 DSA 室，在 ERCP 治疗室内安装使用 1	施工废水、固体	X 射线、臭氧、医

		台额定管电压为 150kV、额定管电流为 800mA 的 ERCP 射线装置，在纤支镜 DSA 治疗室内安装使用 1 台额定管电压为 125kV、额定管电流为 1000mA 的 DSA 射线装置。均属于II类射线装置，其中 ERCP 射线装置年曝光时间最大约 173.4h（拍片 13.33h，透视 160h），过滤片 1mmCu，设备主射线束方向为从下往上；纤支镜 DSA 射线装置年曝光时间最大约 173.4h（拍片 13.33h，透视 160h），过滤片 1mmCu，设备主射线束方向为从下往上。	废弃物、噪声、扬尘等	疗固体废物
	复合手术室	复合手术室位于门急诊医技住院楼 4F 层西南侧，新建 1 间复合手术室，在手术室内配备 1 台 DSA，在内安装使用 1 台额定管电压为 125kV、额定管电流为 1000mA 的数字减影血管造影机（DSA），属于II类射线装置，过滤片 1mmCu，年曝光时间最大约 75h（透视 70h、拍片 5.0h），设备主射线束方向为从下往上。	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	X 射线、臭氧、医疗固体废物
	平急结合裙楼 DSA 室	医院平急结合裙楼一层新建 1 间 DSA 机房，在机房内配备 1 台 DSA，在内安装使用 1 台额定管电压为 125kV、额定管电流为 1000mA 的数字减影血管造影机（DSA），属于II类射线装置，过滤片 1mmCu，年曝光时间最大约 75h（透视 70h、拍片 5.0h），设备主射线束方向为从下往上。	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	X 射线、臭氧、医疗固体废物
	动物楼 DSA 室	医院动物楼一层新建 1 间 DSA 机房，在机房内配备 1 台 DSA，开展介入手术的动物实验，在内安装使用 1 台额定管电压为 125kV、额定管电流为 1000mA 的数字减影血管造影机（DSA），属于II类射线装置，过滤片 1mmCu，年曝光时间最大约 75h（透视 70h、拍片 5.0h），设备主射线束方向为从下往上。	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	X 射线、臭氧、医疗固体废物
环保工程		放射性废水： 本项目采用重力式排水的方式设计，拟设置 4 个并联式衰变池，位于地下负一楼东南侧，池体池顶标高-9.2m（低于负一层核医学科约 2.2m），4 个衰变池有效容积均为 256.2m ³ ，净空尺寸均为长 9.9m×宽 6.47m×高 4.0m，衰变池前端均修建了 1 格 2m ³ 预处理池（污泥池）。衰变池围池体均采用 400mm 厚钢筋混凝土建设。		放射性废水、放射性污泥
		放射性固体废物： 本次建设放射性废物暂存间 5 间，其中核医学科门诊部分的 PET 分装室东南侧拟建放射性废物暂存间 1，占地 3.19m ³ （2.53m×1.26m），放置 2 个放射性废物收集桶（20mm 铅当量）；PET/MR 机房南侧拟建放射性废物室 2 间，占地 6.52m ³ （2.86m×2.28m），放置 4 个放射性废物收集桶（20mm 铅当量）；SPECT 分装室东侧拟建放射性废物暂存间 3，占地 4.49m ³ （3.21m×1.40m），放置 2 个放射性废物收集桶（20mm 铅当量），甲亢留观区东侧拟建放射性废物暂存间 4，占地 4.26m ³ （2.23m×1.91m），放置 2 个放射性废物收集桶（20mm 铅当量）；核素病房区中部（位于核素病房区抢救室南侧）拟建放		放射性固体废物

	<p>射性废物暂存间 5，占地 $6.82m^3$ ($3.28m \times 2.08m$)，放置 4 个放射性废物收集桶 (20mm 铅当量)。</p> <p>放射性废气及臭氧：</p> <p>核医学科门诊部分：核医学科门诊部分共计设置 9 套排风系统，其中 SPECT 分装室配套的手套箱设置 1 套排风管道，废气通过手套箱单独自带 1 级过滤装置 (为除碘过滤器) 后再通过屋顶排口 (编号 P1) 处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；SPECT 检查区其他房间 (含分装室、储源室 1、放射性固废暂存间 4、注射/服药室) 等区域共同设置 1 套排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口 (编号 P2) 处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；PET 分装室配套的手套箱设置 1 套排风管道，废气通过手套箱单独自带 1 级过滤装置后再通过屋顶排口 (编号 P3) 处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；PETCT 检查区其他房间 (含分装室、储源室 2、放射性固废暂存间 3、注射室 2) 等区域共同设置 1 套排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口 (编号 P4) 处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；PETCT 检查室、PET/MR 检查室、SPECT 检查区、校准源室、检查前准备室、放射性废物暂存间 2 等区域等区域共同设置 1 套排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口 (编号 P5) 处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；SPECT 留观室、甲亢留观室、放射性废物暂存间 1、清洁间等区域与甲亢留观室、敷贴治疗室、甲吸室、淋浴间、医疗卫生间、肺通气室、负荷准备室、抢救室 1 等共同设置 1 套排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口 (编号 P6) 处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放。</p> <p>PET 药物生产区内设 3 套专用通排风系统，第 1 套用于收集回旋加速器机房产生的废气，拟在穿墙管道外侧至活性炭过滤装置 (含) 段裸露部分采用 $3mmPb$ 进行包裹，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口 (编号 P7) 处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；第 2 套专用排风系统用于收集热室、质控室、阳性对照室、无菌检测室、锗镓发生器间等产生的放射性废气，设置 1 套排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口 (编号 P8) 处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；</p> <p>此外，放射性废水收集系统为防止气阻，保障废水顺畅输送等原因，需设置设置 1 套独立的排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口 (编号 P9) 处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放。</p> <p>核医学科核素病房共计设置 4 套排风系统，其中分装室配套的手套箱设置 1 套排风管道，废气通过手套箱单独自带 1 级过滤装置 (除碘过滤器) 处理后再通过屋顶排口 (编号 P10)</p>	放射性废气、臭氧
--	---	----------

	<p>处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；分装室房间、储源室、放射性固废暂存间等区域共同设置 1 套排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号 P11）处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；核医学科核素病房区住院病房设置独立的排风管道，并在甲癌病房区废气收集管道处各设置 1 套除碘过滤器（3 个病房，共计 3 套，为避免淋浴等高湿度环境对除碘过滤器效率的影响，此处选用抗湿性核碘吸附器，采用陶瓷、分子筛或其他耐高温多孔材料替代活性炭，本身具有疏水特性），废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号 P12）处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；核医学科核素病房部分的其他区域（如过道、污染被服暂存区、抢救室、应急治理室、特殊污染洗间等）按照分区设置独立的排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号 P13）处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放。</p> <p>各系统废气在屋面排口处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置的处理）。</p> <p>医用电子直线加速器机房、DSA、ERCP 等机房均设置有通排风系统。</p>		
	<p>非放射性废物：</p> <p>生活污水、医疗废水依托医院的污水处理站处理后排入市政污水管网。</p> <p>项目产生的医疗废物收集暂存于医疗废物暂存间后，定期交由有资质的医疗废物处置单位收集；项目产生的生活垃圾暂存于垃圾收集间后交由市政环卫清运；</p> <p>此外，本项目动物楼在开展动物介入手术的动物实验时产生少量动物尸体，依托医院拟建设的医疗废物暂存间进行暂存和管理，最终进行统一处理；饲养动物产生的废水及动物粪便等依托医院的污水处理站处理后排入市政污水管网。</p>		依托
公用工程	配电、供电和通讯系统及污水处理系统等。		依托

（四）主要原辅材料

本项目核医学科涉及的主要原辅材料为放射性药物，其他科室涉及原辅材料的主要为介入设备，介入手术时使用的造影剂为碘佛醇注射液，为新型的含三碘低渗非离子型造影剂，具有含碘量高、粘稠度低、渗透压小理化性质稳定和容易排泄等特点，血管内注射后，能使途经的血管显像清楚直至稀释后为止。本项目使用的造影剂碘佛醇注射液规格为 100ml/瓶，平均每台介入手术使用 1 瓶，年使用量为 940L（每年 9400 台手术，因此每年使用 9400 瓶）。药品由医院每季度按需采购一次，储存于科室库房的不锈钢药品柜中。

本项目原辅材料消耗情况见下表。

表 1-4 本项目主要原辅材料及耗能情况

类别	名称	使用量 (Bq)	来源	用途
主要原辅材料	^{99m} Tc	计划年用量 1.04E+13	外购	SPECT 诊断、显像
	¹³¹ I	计划年用量 1.85E+10	外购	SPECT 诊断、显像
	⁶⁸ Ga	计划年用量 2.78E+11	镥镓发生器自行生产	PET 诊断、显像
	¹¹ C	计划年用量 1.85E+10	回旋加速器自行生产	PET 诊断、显像
	¹³ N	计划年用量 2.78E+11	回旋加速器自行生产	PET 诊断、显像
	¹⁸ F	计划年用量 3.70E+11	回旋加速器自行生产	PET 诊断、显像
	⁶⁴ Cu	计划年用量 1.85E+11	回旋加速器自行生产	PET 诊断、显像
	⁸⁹ Zr	计划年用量 2.31E+12	回旋加速器自行生产	PET 诊断、显像
	¹³¹ I	计划年用量 4.63E+11	外购	甲亢治疗
	¹³¹ I	计划年用量 1.85E+09	外购	甲吸检查
	³² P	计划年用量 6.75E+11	外购	敷贴治疗
	⁸⁹ Sr	计划年用量 1.85E+11	外购	肿瘤骨转移门诊诊疗
	²²³ Ra	计划年用量 2.78E+09	外购	
	重氧水	年用量约 20L	外购	回旋加速器制备 ¹⁸ F 原料
	氮氧混合气	年用量约 2L	外购	回旋加速器制备 ¹¹ C 原料
	乙醇水	年用量约 1.5L	外购	回旋加速器制备 ¹³ N 原料
	⁶⁴ Ni	年用量约 10g	外购	回旋加速器制备 ⁶⁴ Cu 原料
	⁸⁹ Y	年用量约 10g	外购	回旋加速器制备 ⁸⁹ Zr 原料
	⁶⁸ Ge	年用量为 3.70E+09Bq	镥镓发生器, 用于制备 ⁶⁸ Ga	核素显像
能源	电(kW)	约 28000 度	市政电网	/
水	自来水	约 3500m ³ /a	市政供水管网	/

(五) 主要设备配置、核素、放射源及其技术参数

本项目射线装置、非密封放射性物质工作场所使用的放射性核素及放射源等的主要技术参数见表 1-15~表 1-16。

表 1-15 本项目射线装置清单表

设备名称	型号	类别	数量	设备主要参数
医用电子直线加速器	未定	II类	1	最大 X 射线能量 10MV, 均带拉弧调强治疗模式, X 射线最大能量为 10MV: 10MV 时 1m 处 X 辐射剂量率最大为 24Gy/min; 电子线最大能量为 20MeV, 电子线等中心 1 米处最大剂量率为 16Gy/min。最大照射野 40×40cm ² , 等中心距地面高度:130m, 机架旋转角度: 0-360°, 主射

				线最大出束角度: 28°, X 射线泄漏率: ≤0.1%, 源轴距 SAD 为 1m。CBCT 最大管电压 150kV, 最大管电流 1000mA。
回旋加速器	未定	II类	1	最大能量为 20MeV, 最大质子束流强度为 100μA
DSA	未定	II类	11	额定管电压 125kV, 额定管电流 1000mA
ERCP	未定	II类	1	额定管电压 150kV, 额定管电流 800mA
PET/CT	未定	III类	1	额定管电压为 140kV, 额定管电流为 1000mA
SPECT/CT	未定	III类	1	额定管电压为 140kV, 额定管电流为 500mA
模拟定位机	未定	III类	1	额定管电压为 150kV, 额定管电流为 1500mA

表 1-15 本项目涉及的核素特征表

核素名称	半衰期	主要衰变方式	状态	毒性级别	主要射线及能量
^{99m} Tc	6.02h	IT、β-	液态	低毒	β 0.002MeV/ γ 0.14051MeV
¹³¹ I	8.02d	β -、γ	液态	中毒	β 0.602MeV/ γ 0.365MeV
¹⁸ F	109.8min	EC、β+	液态	低毒	β 0.64MeV/ γ 0.511MeV
⁶⁸ Ga	68.3min	EC、β+	液态	低毒	β 1.9MeV/ γ 0.511MeV
¹¹ C	20.39min	EC、β+	液态	低毒	β 0.96MeV/ γ 0.511MeV
¹³ N	9.97min	EC、β+	液态	低毒	β 1.19MeV/ γ 0.511MeV
⁶⁴ Cu	12.7h	EC、β+、β -	液态	低毒	β+ 0.65MeV/ γ 0.511MeV、 1.346MeV
⁸⁹ Zr	78.4h	EC、β+	液态	低毒	β 0.902MeV/ γ 0.909MeV
³² P	14.26d	β -	液态	中毒	β 1.71MeV
⁸⁹ Sr	50.53d	β -	液态	中毒	0.5846MeV
²²³ Ra	11.4d	α	液态	极毒	5.8713 (α), 0.4270 (β)
¹⁷⁷ Lu	6.71d	β -	液态	中毒	0.49 MeV
²²⁵ Ac	10.0d	α	液态	极毒	5.830 MeV (α) 150 keV (γ)

(六) 工作人员及工作制度

1、劳动定员

本项目共计新增辐射工作人员共 88 名。

(1) 核医学科

本项目核医学科拟设定 18 名辐射工作人员, 均为新增辐射工作人员, 具体如下。辐射工作人员均定岗定职, 不存在交叉工作的情况。

表 1-16 核医学科辐射工作场所人员配置情况表

工作场所名称	配置人数(人)		备注
核医学科(门诊部分)	SPECT 区域	2	分装、给药、注射
	PET (PET/MR) 区域	2	
	1		PET/CT 操作
	1		PET/MR 操作
	1		SPECT/CT 操作
	1		甲亢/甲吸治疗
	1		敷贴治疗
	1		肿瘤骨转移治疗
PET 药物生产区	2		PET 药物合成分装操作
	1		质检、质控
	1		药物运转人员
	1		回旋加速器操作人员
核医学科(核素病房部分)	2		病房管理
	1		分装、给药、注射
合计	18		新增辐射工作人员

(2) 放疗中心

本项目放疗科拟配置 6 名辐射工作人员，均为新增辐射工作人员，具体如下。

表 1-17 放疗科辐射工作场所人员配置情况表

科室	工作场所名称	配置人数(人)	备注
放疗中心	直线加速器治疗室	技师 2 名	新增 6 人，其中物理师负责加速器机质控工作
		医师 1 名	
		物理师 1 名	
	CT 模拟定位机房	2	
合计		6	

辐射工作人员均定岗定职，不存在交叉工作的情况，不涉及剂量叠加。

(3) 介入中心、内镜中心、手术中心

根据项目运行需求，建设单位初步拟定了放射工作人员配备计划，针对介入中心、内镜中心、手术中心，拟设置 64 名辐射工作人员，均为新增。介入手术室辐射工作人员不会再操作本项目 DSA 以外的其他辐射设备，护士一般情况负责术前准备和术后清理工作，确因手术情况需要时，会负责术中配合跟台手术，不直接操作介入手术，主要进行医疗器具的传递等工作。具体人员设置情况如下：

表 1-18 介入手术室主要辐射工作人员配置情况

设备	科室	人数(人)	小计
ERCP	内镜中心(1台ERCP设备)	手术医生 2 人	6 人
		医师 2 人	
		操作技师 1 人	
		护士 1 人	
DSA	内镜中心纤支镜 DSA 设备(1台 DSA 设备)	手术医生 2 人	6 人
		医师 2 人	
		操作技师 1 人	
		护士 1 人	
DSA	介入中心(7台 DSA 设备)	手术医生 7 人	28 人
		医师 7 人	
		操作技师 7 人	
		护士 7 人	
DSA	复合手术中心(1台 DSA 设备)	手术医生 4 人	10 人
		医师 4 人	
		操作技师 1 人	
		护士 1 人	
DSA	平急结合裙楼 DSA 室(1台 DSA 设备)	手术医生 4 人	10 人
		医师 4 人	
		操作技师 1 人	
		护士 1 人	
DSA	动物楼 DSA 室	实验医生 3 人	4 人
		操作技师 1 人	
合计		64 人	64 人

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部公告 2019 年第 57 号)：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，应通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台(网址：<http://fushe.mee.gov.cn>)进行相关知识学习，通过生态环境部培训平台报名并参加考核，取得辐射安全培训合格证书后方可从事辐射活动”。建设单位承诺在办理辐射安全许可证前组织本项目新增辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习相关知识并报名参加考核，考核合格并取得辐射安全培训合格证书后方可从事辐射活动。此外，辐射安全培训合格证书到期的人员仍需通过国家核技

术利用辐射安全与防护培训平台进行再学习考核。

2、工作制度

本项目辐射工作人员每年工作250天，每天工作8小时，实行白班单班制。

三、产业政策符合性分析

本项目属于核技术在医学领域应用，根据《产业结构调整指导目录（2024年本）》相关规定，本项目属于鼓励类中第三十七项“卫生健康”的第1条“医疗服务设施建设：预防保健、卫生应急、卫生监督服务设施建设，医疗卫生服务设施建设，传染病、儿童、精神卫生专科医院和康复医院（中心）、护理院（中心）、安宁疗护中心、全科医疗设施与服务，医养结合设施与服务”，是目前国家鼓励发展的项目。因此，本项目符合国家产业发展政策。

四、本项目外环境及选址合理性分析

1、医院外环境情况和选址合理性分析

本项目选址于成都市龙泉驿区洪安镇、洛带镇，现地块处于荒地。项目东侧已建汽车城大道，场地北侧为已建锦洛西路，锦洛西路北侧为神龙汽车有限公司成都分公司，场地西侧本项目二期待建空地、成都市紧急医学救援中心，场地南侧为规划道路（未建），该规划道路以南为三联家禽市场、规划居住用地，项目所在地块现状具体外环境关系如下：

东侧：紧邻规划绿地，70m 处为车城大道，159~820m 处为散居农户（47户，约141人），425m 处为变电站，504m 处为宝胜村村委会，1103m 处为四川顺杨建筑设备租赁公司；

东南侧：676~990m 处为威斯特再生能源公司，912m 处为新西南陶艺文创产业园，1032m 处为飞奔高分子建材厂，1190m 处为南山养老院；**东北侧：**615m 处为洛带溪，746~1228m 为散居农户（约 60 户，180 人）；

南侧：42.5m 处为三联家禽市场，437m 处为蔡家河，596~701m 处为达鑫汽车销售公司，705~838m 处为曙光电碳制品厂，694~815m 处为散居农户（2户，约 6 人）；

西侧：紧邻成都市中心医院二期预留用地，120m 处为成都市紧急医学救援中心，930~1126m 处为招商依云上城，934~1102m 处为西江河畔；

西南侧：50m 处为规划居住用地（现为空地），169~950m 处为成都西博西南食品城，726~1095m 处为西部建材城，997~1159m 处为西河镇专职消防队，621~983m 处为华东食品商会仓储物流中心；

西北侧：137m 处为华滋东江汽车零部件公司，436m 处为百事泰汽车零部件公司，438m 处为东神工业园，722~1125m 处为散居农户（约 40 户，120 人），1062m 处为中瑞方圆建材公司；

北侧：93~2154m 处为神龙汽车有限公司成都分公司；医院西侧、北侧为规划的大道及空地，其中西侧规划地块主要是绿地、供电用地、消防用地；北侧规划地块是二类住宅用地兼容商业用地。

项目位于城镇建成区，周围交通设施方便，项目周边环境安静，方便市民就医。根据《成都市中心医院（成都市第三人民医院东部医院）（一期）项目》中有关医院选址合理性章节内容，成都市中心医院（成都市第三人民医院东部医院）（一期）项目选址合理。目前医院尚未建设。

2、本项目外环境关系及选址合理性分析

本项目一期工程，包括门急诊医技住院大楼（含共享医技平台、急诊急救中心、住院 B、住院 E）、住院楼 D、平急结合裙楼（住院 A）、传染病大楼（住院 C）、发热门诊楼、管理后勤综合楼、学术综合管理大楼、科教综合楼、其他用房等。

共享医技平台位于中部，形成核心医技综合平台，便于医技共享，缩短院区就诊流线；急诊急救中心、门诊区位于北侧，面向锦洛西路展开，利于门急诊急救人流快速到达，与门诊区形成高效便捷的就诊区；各栋住院楼紧密布置于共享医技平台周围，或是通过简短的医疗街，或是直接相连，住院人流可快速到达，形成生命通道。平急结合裙楼与共享医技平台、急救通过医疗街相连，便于平急两用，平时作为综合医院的一部分，战时通过隔断医疗街，迅速转化为独立运行的方舱医院；在场地东南侧，布置发热门诊，便于急诊人流通过急诊广场分诊，迅速到达发热门诊楼；在场地南边，院区下风向区域，靠近城市规划支路，布置传染病楼，便于传染病人流的快速接诊及转运，减少院感的风险。传染病区（发热门诊、传染病大楼）整体布置在场地东南侧，通过南侧、东侧道路与外界地块隔离开，且最大程度的远离西南侧规划居住用地。

本项目东侧用地红线与汽车城大道（主干道）红线距离约 70m，设置公园绿地或防护绿地，传染病大楼西侧设置隔离绿地与管理后勤综合楼分隔；且在传染病大楼与平急结合裙楼的西侧及之间的空地设有应急场地。本项目用地红线及各楼栋间距及 退距均按成都市人民政务“关于同意公布实施《成都市规划管理技术规定（2024）》的批复”的细则规定设置。医院总体布局情况如下图。

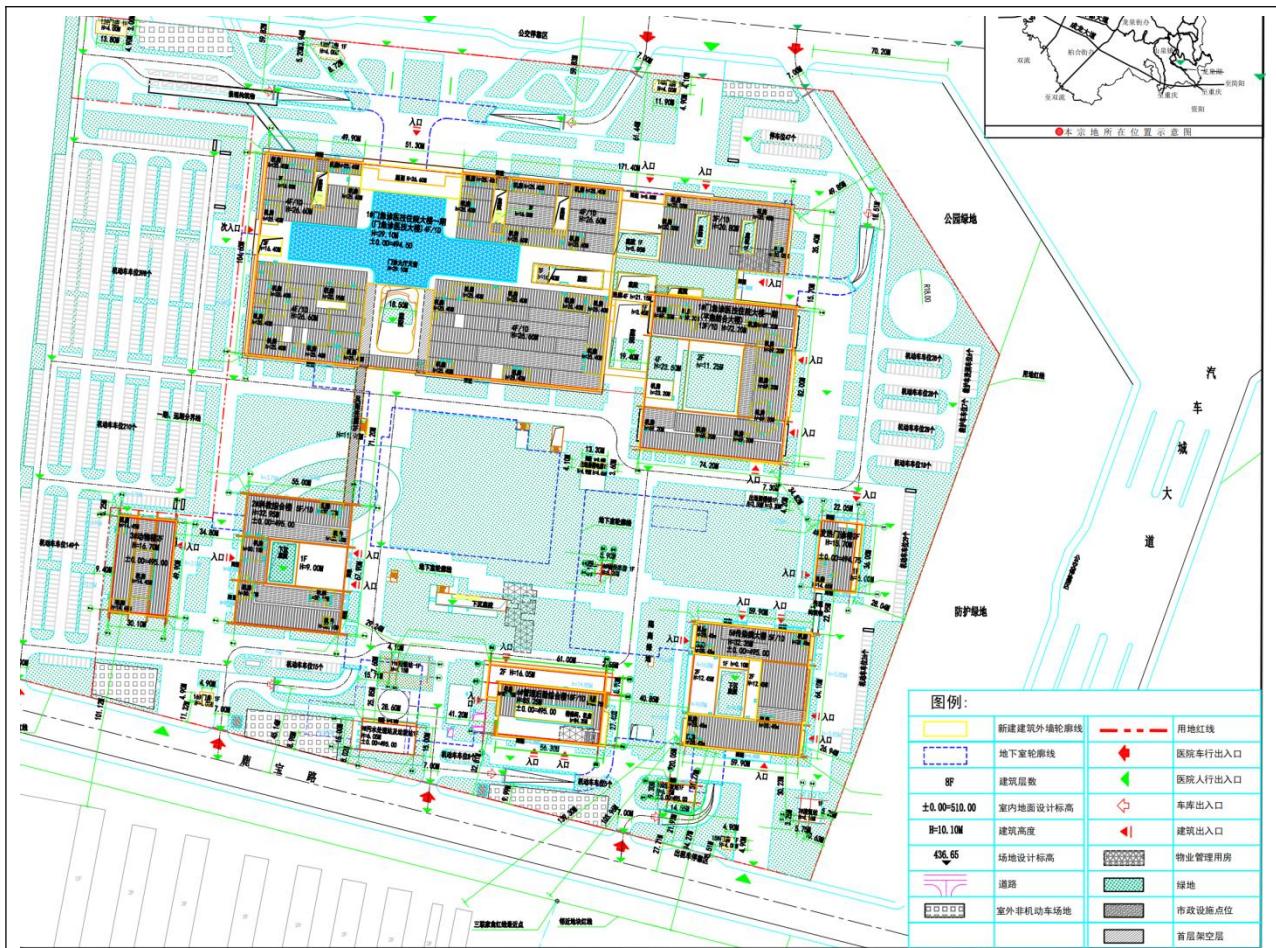


图 1-2 医院总平面布置图

本项目核医学科、放疗中心及介入设备等的情况介绍如下：

放疗科位于医院门急诊医技住院楼-1F 层中部区域，加速器机房东侧为下沉庭院兼吊装口；机房南侧为地下无建筑的实体封闭覆土区域；机房西侧主要为排风井、水冷机房、服务器机房及地下覆土封闭区域；机房北侧为控制室、设备间、模拟 CT 机房等区域；机房位于最底层，上部对应区域为覆土封闭空间，机房对应区域周边为绿化带。

核医学科位于门急诊医技住院楼-1F 层中部（核医学科门诊部分）和一层（核素病房区）。

核医学科门诊部分：位于该大楼最底层；楼上为核医学科的核素病房区部分；核医学科门诊部分东侧 2.4~19m 为空调机房、消防通道、消防电梯、净化机房、滤毒室等；再东侧 19~50m 为内科重症病房区、治疗室、库房；外科重症病房区、治疗室、库房等；南侧为停车区、车辆通道及部分地下覆土封闭区域；西侧 0~2.4m 为 PET/CT 病患通道；再西侧 2.4~16m 为负一楼停车区、车辆通道房等；再西侧 13~50m 为排风机房、放疗科直线加速器机房、模拟定位 CT 机房、库房模具室、医护办公室、抢救室、肿瘤计划室、资料室等。

PET 药物生产区：位于核医学科门诊部分东南侧，与核医学科紧邻。楼上为核素病房区、平急结合药房区 VIP 治疗舱、控制室、储气罐等；楼下为地下无建筑的实体封闭覆土区域。东侧 0~50m 为储油间、进风扩散室、风井间、固定式柴油站、配电控制室、排风扩散室、集气室、柴油发电机房、通道等；南侧 0~50m 为衰变池及地下无建筑的实体封闭覆土区域；西侧 0~23m 为核医学科内值班休息室、示教室、污水提升间等，再西侧 23~50m 为停车区、车辆通道房、回旋加速器机房及地下无建筑的实体封闭覆土区域等；北侧 0~50m 为核医学科甲亢留观室、SPECT 检查留观室、抢救室、运动负荷室、空调机房等。

核医学科核素病房区：位于门急诊医技住院楼 1F 层，楼上为 2F 层 EICU 病房、治疗室及其他辅助用房等；楼下为核医学科各功能用房、PET 药物生产区各功能用房等。东侧 0~50m 为高压氧舱治疗区及配套办公辅助用房、出入院办理大厅及过道等；南侧 0~50m 为楼外空地及二期待建设用地；西侧 0~24m 为楼外过道，西侧约 24~50m 处为门急诊住院大楼放射科（CT、数字化胃肠机等机房及办公、辅助用房）；北侧 0~50m 为平急结合门诊放射科（MRI、DR、CT 等机房及办公、辅助用房）等。

衰变池位于核医学科同楼层东南侧位置，池体与核医学科直线距离约 18m，衰变池池体上方为医院内部绿化带。

介入中心 DSA 机房：位于门急诊医技住院楼 2F 层东南侧区域，楼上为呼吸睡眠治疗区内的睡眠治疗室、护士站及其他辅助用房等；楼下为平急结合诊疗区 CT、DR、MRI、DSA 检查室及配套用房等；东侧 0~32m 为走廊、UPS 机房、新风机房、医护电梯厅、弱电井间等，再东侧 32~50m 为大楼外部区域；南侧 2.8~45m 为走廊、EICU 病房、治疗区及其他辅助用房区域，再南侧 45~50m 为大楼外部区域；西侧 0~8.3m 为医护走廊、介入中心值班室、办公室、多功能室；西侧 8.3~24m 处为大楼外部区域，再西侧约 24~50m 为康复及检验中心用房区域（包括空调房、电梯、卫生间、办公室、库房、治疗室等）；北侧 0~11m 处为新风机房、弱电井间、生活垃圾间、医废间电梯等，再北侧 11~17m 为大楼北侧外墙区域，再北侧 17m 为心内科、心外科检查及诊疗室。

内镜中心 ERCP 机房：位于内镜中心位于门急诊医技住院楼 3F 层中部区域，楼上为 4F 层弱电井间、排风井及普通药物及肠外营养配置区；楼下为 2F 层标本库、净化机房等；东侧 0~50m 为内镜中心消化内镜室、内镜洗镜室、结肠镜室、纤支检查室及其配套用房等；南侧 0~16.6m 为控制室、水处理间、UPS 室、消防电梯、水井、风井、排烟机房等，再南侧 16.6~50m 为大楼外部区域；西侧 0~35.6m 为大楼外部区域，再西侧 35.6~50m 为手术中

心用房（包括前室、水井、加压送风井、弱电井间、清洁间、卫生间、工作电梯等）；北侧 0~25.7m 为弱电井间、UPS 室、药品间、排烟井、加压送风房、消耗内镜服务区、气动物流站、卫生间、消化内镜等候区等，再北侧 25.7~50m 为大楼外部区域。

内镜中心纤支镜 DSA 机房：位于内镜中心位于门急诊医技住院楼 3F 层中部区域，楼上为 4F 层能量吊塔区；楼下为 2F 层体检中心缓冲间、纯水间等；东侧 0~50m 为内镜中心纤支镜洗镜室、纤支镜室、标本库房、PCR 基因扩增实验室、捕获产物扩增富集区及走道等；南侧 0~17m 为控制室、纤支镜室检查室、值班室、水井房、污物电梯等，再南侧 17~50m 为大楼外部区域；西侧 0~34.9m 为控制室、膀胱镜室、消化镜室、ERCP 室及过道等，再西侧 34.9~50m 为大楼外部区域；北侧 0~27.2m 为内镜中心膀胱镜设备间、纤支镜 DSA 设备间、纤支镜 CT 设备间、控制室、纤支镜 CT 机房、强电井间、水井、风井、穿刺及呼吸内镜服务区等，再往北 27.2~50m 为大楼外部区域。

复合手术室 DSA 机房：位于门急诊医技住院楼 4F 层西南侧，楼上为大楼楼顶区域；楼下为 3F 层普通手术室及麻醉室等；东侧 0~24.8m 为控制室、CT 复合手术室及其配套用房等，再东侧 24.8~44.0m 为大楼中部镂空区域，再东侧 44.0~50m 为全自动软水机房及 UPS 室；南侧 0~8.5m 为手术中心走道、前室、UPS 室、电梯等，再南侧 8.5~50m 为大楼外部区域；西侧 0~30.6m 为手术中心监控室、过道、手术室等用房等，再西侧 30.6~50m 为大楼外部区域；北侧 0~30.2m 为手术中心手术室及其他配套用房、过道等，再北侧 30.2~50m 为大楼外部区域。

平急结合裙楼 DSA 室：位于医院平急结合裙楼 1F 层，楼上为 2F 层介入中心 DSA 室；楼下为-1F 层手术部小手术室及其辅助用房等；东侧 0~40.6m 为消化治疗室、消化复苏室、消化镜室、储镜室、卫生间及过道等，再东侧 40.6~50m 为大楼外部区域；南侧 0~50m 为平急检查等候区、过道、核素病房区、平急结合药房、过度兼 VIP 治疗舱等；西侧 0~23.6m 为控制室、器械工具间、平急结合 CT 检查室及其辅助用房、报警阀间、库房等，再西侧 23.6~39.2m 为大楼外部绿化带区域，再西侧 39.2~50m 为放射科新风机房、办公室、检查室等；北侧 0~12.2m 为 DSA 设备间、走道、无障碍电梯、抢救电梯等，再北侧 12.2~28.2m 外楼外绿化带区域，再北侧 28.2~50m 为急诊急救区学习室、办公楼、医护就餐区、更衣室、病床区等。

动物楼 DSA 室：位于医院动物楼 2F 层西南侧，楼上为 2F 层顶部区域；楼下为 1F 层动物免疫和饲养室等；东侧 0~20m 为动物手术室及其配套用房等，再东侧 20~50m 为大楼

外部绿化带区域和过道；南侧 0~16.5m 为动物手术室及其配套用房、电梯间等，再南侧 16.5~50m 为大楼外部绿化带区域和过道；西侧 0~50m 为大楼外部绿化带区域、停车区等；北侧 0~27.6m 为动物楼内 DSA 设备间、大动物观察复苏间、准备间、小动物观察复苏间、小动物麻醉间、大动物麻醉间、小动物间、大动物间、水井间、电梯间、卫生间、弱电井间等，再北侧 27.6~50m 为大楼外部区域、过道、停车区等。

本项目各辐射工作场所边界外 50m 范围内主要是医院内部和西侧规划道路部分区域，无居民区、学校等。辐射工作场所四周、楼上、楼下均不与儿科和产科相邻。

针对本项目核医学科，其位置相对独立，且集中布置，设置有单独的出入口，与周围非辐射工作场所有明确的分界隔离，不邻接产科、儿科、食堂等部门，避开了人群较集中的门诊大楼、住院区域等人群稠密区域，符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中选址的要求（见表 1-18）。核医学科配套的衰变池位于门急诊医技住院楼负二楼西北侧（核医学科下方西北侧），选址合理。本项目放疗科和介入中心所在位置相对独立且人流较少，为专门的辐射工作场所，周围无明显环境制约因素。

核医学科与《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 选址要求对照分析表见表 1-19。

表 1-19 核医学科与《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 选址要求对照分析

标准要求	本项目实际情况	备注
核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。	本项目核医学科位于门急诊医技住院楼负一楼（门诊部分）及一楼（核素病房区），均为独立的非密封放射性物质工作场所，根据平面布置，该非密封放射性物质工作场所已设置有独立的人员、物流通道，无关人员禁止入内。	满足
核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。	本项目核医学科不毗邻产科、儿科和食堂等部门，同时避开了医院内人流量较大的住院区域、门诊大厅区域，同时与周围非辐射工作场所有明确的分界隔离，并有实体屏蔽措施。	满足
核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。	本项目核医学科控制区内设置有独立排风系统，且排风管道引至门急诊医技住院楼顶进行排放，且排放口朝向避开了周围高层建筑。	满足

本项目直线加速器治疗室的选址满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 的要求，具体分析如下：

表 1-20 放疗科与《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 选址要求对照分析

标准要求	本项目实际情况	备注
5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周	本项目放疗科位于门急诊医技住院楼	满足

边环境的辐射影响,不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内;	负一层。	
5.1.2放射治疗场所宜单独选址、集中建设,或设置在多层建筑物的底层的一端,尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域,或人员流动性大的商业活动区域。	本项目放疗科位于院内门急诊医技住院楼底层(负一层)西北侧,周围没有特殊人群及人员密集区域,没有人员流动性大的商业活动区域。	满足

本项目依托的主体工程已于 2024 年 7 月取得了成都市生态环境局《关于成都市中心医院(成都市第三人民医院东部医院)(一期)项目批复》(成环审(评)(2024)47 号),医院选址合理性已在相关环评报告中进行了论述,本项目仅为门急诊医技住院楼内配套建设项目,不新增用地,本项目各辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施,产生的辐射经屏蔽和防护后对周围环境影响较小,从辐射安全防护的角度分析,本项目选址是合理的。医院地理位置和外环境关系见附图 1、附图 2。

3、与周边环境的相容性分析

项目产生的生活废水、医疗废水依托医院设计的污水处理站处理后排入市政污水管网,核医学科产生的放射性废水利用衰变池衰变后排入医院污水处理站处理后排入市政污水管网,不会对当地水质产生明显影响;项目产生的放射性废气通过独立的排风系统收集
(核医学科门诊部分:核医学科门诊部分共计设置 9 套排风系统,其中 SPECT 分装室配套的手套箱设置 1 套排风管道,废气通过手套箱单独自带 1 级过滤装置(为除碘过滤器)后再通过屋顶排口(编号 P1)处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放; SPECT 检查区其他房间(含分装室、储源室 1、放射性固废暂存间 4、注射/服药室)等区域共同设置 1 套排风管道,废气通过废气管道收集后,再通过屋顶排口(编号 P2)处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放; PET 分装室配套的手套箱设置 1 套排风管道,废气通过手套箱单独自带 1 级过滤装置后再通过屋顶排口(编号 P3)处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放; PETCT 检查区其他房间(含分装室、储源室 2、放射性固废暂存间 3、注射室 2)等区域共同设置 1 套排风管道,废气通过废气管道收集后,再通过屋顶排口(编号 P4)处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放; PETCT 检查室、PET/MR 检查室、SPECT 检查区、校准源室、检查前准备室、放射性废物暂存间 2 等区域等区域共同设置 1 套排风管道,废气通过废气管道收集后,再通过屋顶排口(编号 P5)处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放; SPECT 留观室、甲亢留观室、放射性废物暂存间 1、清洁间等区域与甲亢留观室、敷贴治疗室、甲吸室、淋浴间、医护卫生间、肺通气室、负荷准备室、抢救室 1 等共同设置 1 套排风管道,废气通过废气管道收集后,再通过屋顶排

口（编号 P6）处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放。

PET 药物生产区内设 3 套专用通排风系统，第 1 套用于收集回旋加速器机房产生的废气，拟在穿墙管道外侧至活性炭过滤装置（含）段裸露部分采用 3mmPb 进行包裹，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号 P7）处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；第 2 套专用排风系统用于收集热室、质控室、阳性对照室、无菌检测室、锗镓发生器间等产生的放射性废气，设置 1 套排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号 P8）处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；此外，放射性废水收集系统为防止气阻，保障废水顺畅输送等原因，需设置设置 1 套独立的排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号 P9）处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；**核医学科核素病房**共计设置 4 套排风系统，其中分装室配套的手套箱设置 1 套排风管道，废气通过手套箱单独自带 1 级过滤装置+除碘过滤器处理后再通过屋顶排口（编号 P10）处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；**分装室房间、储源室、放射性固体废物暂存间等区域**共同设置 1 套排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号 P11）处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；**核医学科核素病房区住院病房**设置独立的排风管道，并在甲癌病房区废气收集管道处各设置 1 套除碘过滤器（3 个病房，共计 3 套，为避免淋浴等高湿度环境对除碘过滤器效率的影响，此处选用抗湿性核碘吸附器，采用陶瓷、分子筛或其他耐高温多孔材料替代活性炭，本身具有疏水特性），废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号 P12）处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；**核医学科核素病房部分的其他区域（如过道、污染被服暂存区、抢救室、应急治疗室、特殊污染洗间等）**按照防火分区设置独立的排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号 P13）处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放）。

排放口位于医院门急诊医技住院楼楼顶（具体位置见附图 10-9），周边主要为待建空地，项目产生的放射性废气经收集处理后对周边区域影响较小；项目产生的医疗废物收集暂存于医疗废物暂存间后，定期交由有资质的医疗废物处置单位收集；项目产生的生活垃圾暂存于垃圾收集间后交由市政环卫清运；本项目产噪设备为风机，经采取降噪措施后噪声影响不大，不会改变区域声环境功能区规划；本项目运行阶段产生的电离辐射经有效屏蔽后对周围环境影响较小；同时本项目建设不占用医院消防通道和内部公共设施，与医院内部原有布置及周围环境相容。

4、实践正当性

本项目的建设可以更好地满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，提高对疾病（特别是恶性肿瘤）的诊断和治疗能力。核技术应用项目的开展，可达到一般非放射性诊治方法所不能及的诊断和治疗效果，是其它诊治项目无法替代的，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，由于放射诊断和治疗的方法效果显著、病人诊断中所受的痛苦较小，方法的优势明显，因此，该项目的实践是必要的。但是，由于在诊断或治疗过程中射线装置、非密封放射性物质的使用可能会造成如下辐射影响问题：

- (1) 给周围环境造成一定的辐射影响。
- (2) 给医务人员及周围公众造成一定的辐射影响，给病人造成一定的负面影响。
- (3) 射线装置、非密封放射性物质使用及管理的失误会造成较大和一般的辐射事故。

医院在放射性诊断和治疗过程中，对射线装置、非密封放射性物质的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，并建立相应的规章制度和辐射事故应急预案。因此，在正确使用和管理射线装置、非密封放射性物质的情况下，可以将本项目产生的辐射影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给医务人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术利用的实践具有正当性。

五、原有核技术利用项目许可情况

1、原有辐射安全许可情况

成都市第三人民医院现持有辐射安全许可证（川环辐证〔00271〕），许可种类和范围为：使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封性放射性物质，丙级非密封放射性物质工作场所；有效期至：2026年4月13日。建设单位已获许可项目具体见表1-21~23。

表 1-21 建设单位已获许可的放射源一览表

序号	活动种类和范围				
	辐射活动场所名称	核素	类别	活动种类	总活度(Bq)/活度(Bq)×枚数
1	PET/CT 检查室	Na-22	V类	使用	1.48E+7*1
2		Na-22	V类	使用	3.7E+5*6

表 1-22 建设单位已获许可的非密封放射性物质一览表

序号	活动种类和范围								
	辐射活动场所名称	场所等级	核素	物料状态	活动种类	用途	日最大操作量(Bq)	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量(Bq)
1	PET/CT	丙级	F-18	液态	使用	放射性	2.22E+10	8.88E+6	5.55E+12

	检查室					药物诊断			
--	-----	--	--	--	--	------	--	--	--

表 1-23 建设单位已获许可的射线装置一览表

序号	活动种类和范围					使用台账			
	辐射活动场所名称	装置分类名称	类别	活动种类	数量/台(套)	装置名称	规格型号	技术参数(最大)	生产商
1	CT 扫描室	医用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置	III类	使用	1	X 射线计算机体层摄影设备	SOMATOM DefinitionAS, 配置 128 层	管电压 140kV, 管电流 800mA	西门子
2	CT 室	CT	III类	使用	1	X 射线计算机体层摄影设备	u CT550	管电压 140kV, 管电流 420mA	上海联影
3	CT 室 3	医用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置	III类	使用	1	X 射线计算机体层摄影设备	SOMATOM Force	管电压 150kV, 管电流 260mA	西门子
4	CT 室 4	医用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置	III类	使用	1	X 射线计算机体层摄影设备(CT)	u CT530	管电压 140kV, 管电流 420mA	上海联影
5	DR 检查室	医用 X 射线装置	III类	使用	1	移动 DR	uDR 380i	管电压 150kV, 管电流 560mA	上海联影
6	DR 扫描室 2	医用诊断 X 射线装置	III类	使用	1	医用诊断 X 射线装置	Definium 6000	管电压 150kV, 管电流 800mA	北京通用
7	DR 室	医用诊断 X 射线装置	III类	使用	1	移动式数字化医用 X 射线摄影系统	uDR 370i	管电压 140kV, 管电流 400mA	常州联影
8	DR 室 1	医用诊断 X 射线装置	III类	使用	1	DR 机	Digital diagnost	管电压 150kV, 管电流 900mA	PHILIPS
9	DR 室 2	医用诊断 X 射	III类	使用	1	DR 机	Essenta DR Compact	管电压 150kV,	PHILIPS

		线装置						管电流 650mA	
10	PET/CT 检查室	医用 X 射线计 算机断 层扫描 (CT) 装置	III 类	使 用	1	PET/CT	Vereos PET/CT	管电压 140kV, 管电流 665mA	飞利浦
11	车载 CT 室	医用 X 射线计 算机断 层扫描 (CT) 装置	III 类	使 用	1	X 射线 计算机 体层摄 影设备	NeuViz210060	管电压 140kV, 管电流 320mA	东软医疗
12	放疗定 位思维 CT 室	医用诊 断 X 射 线装置	III 类	使 用	1	X 射线 计算机 体层摄 影设备 (CT)	SOMATOM Confidence	管电压 140kV, 管电流 800mA	西门子
13	骨密度 检查室 1	其他不 能被豁 免的 X 射线装 置	III 类	使 用	1	X 射线 骨密度 仪	MetriScan	管电压 60kV, 管 电流 0.333mA	Miles
14	骨密度 检查室 2	其他不 能被豁 免的 X 射线装 置	III 类	使 用	1	X 射线 骨密度 仪	MetriScan	管电压 60kV, 管 电流 0.333mA	Miles
15	骨密度 检查室 3	其他不 能被豁 免的 X 射线装 置	III 类	使 用	1	双能力 X 射线 骨密度 仪	AKDX-16H	管电压 80kV, 管 电流 1.2mA	深圳艾克
16	骨密度 检查室 6	其他不 能被豁 免的 X 射线装 置	III 类	使 用	1	双能力 X 射线 骨密度 仪	AKDX-16H	管电压 80kV, 管 电流 1.2mA	深圳艾克
17	加速器 治疗室	离子能 量小于 100 兆 电子伏 的医用 加速器	II 类	使 用	1	医用直 线加速 器	Elekta Synergy	粒子能 力 9MeV	医科达
18	介入中 心	血管造 影用 X 射线装 置	II 类	使 用	1	移动式 C 形臂 X 射线 机	Ziehm Vision RFD	管电压 120kV, 管电流 200mA	Ziehm

19	介入中心	血管造影用 X 射线装置	II 类	使 用	5	医用血 管造影 X 射线 机	Innova IGS 520	管电压 125kV, 管电流 1000mA	通用电器
							Innova IGS 520	管电压 125kV, 管电流 1000mA	通用电器
							Azurion 7M12	管电压 125kV, 管电流 813mA	飞利浦
							Innova IGS 540	管电压 125kV, 管电流 1000mA	GE
							Allura Xper FD20	管电压 125kV, 管电流 813mA	PHILIPS
20	门诊 CT 室 1	医用 X 射线计 算机断 层扫描 (CT) 装置	III 类	使 用	1	CT 机	Brilliancei CT	管电压 140kV, 管电流 1000mA	PHILIPS
21	门诊 CT 室 2	医用 X 射线计 算机断 层扫描 (CT) 装置	III 类	使 用	1	CT 机	SOMATOM M go.Fit	管电压 140kV, 管电流 625mA	上海西门子
22	乳腺 X 射线摄 影室	医用诊 断 X 射 线装置	III 类	使 用	1	乳腺 X 射线机	Senograph e Essentia Senograph e DS	管电压 49kV, 管 电流 100mA	通用电器
23	手术间	医用诊 断 X 射 线装置	III 类	使 用	1	移动式 C 形臂 X 射线 机	Ziehm Vision FD Vario 3D	管电压 110kV, 管电流 20mA	ZIEHMLMAGING GMBH
24	手术室	医用诊 断 X 射 线装置	III 类	使 用	1	移动式 C 形臂 X 射线 机	Ziehm8000	管电压 110kV 管电流 20 mA	ZIEHM IMAGINGGMBH
25	体检一 区	DR 机	III 类	使 用	1	医用 X 射线摄 影机	N600	管电压 150 kV 管电 流 630 mA	沈阳东软

26	胃肠 DR 检查室	医用诊断 X 射线装置	III 类	使 用	1	数字化 X 射线透视摄影系统	SONIAL VISION C200	管电压 150kV 管电流 800 mA	北京岛津
27	牙科检查室 1	口腔 X 射线机	III 类	使 用	1	口腔 X 射线机	KODAK2100	管电压 60kV 管电流 7 mA	Carestream Health, Inc
28	牙科检查室 2	医用诊断 X 射线装置	III 类	使 用	1	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	i-CAT 17-19	管电压 120kV 管电流 5 mA	imaging Sciences internationa 1, LLC
29	牙科检查室 3	医用诊断 X 射线装置	III 类	使 用	1	牙科又射线机	ORTHOPHOS XG5 Ceph	管电压 90kV 管电流 16 mA	Sirona Dental SystemsGmbH

2、辐射安全管理情况

成都市第三人民医院辐射防护安全管理领导小组，全面负责全院辐射安全与环境保护监督管理工作，明确了领导小组的主要职责。

医院制定了相关辐射安全管理制度，主要包括辐射安全管理规定、辐射工作人员岗位职责、辐射工作设备操作规程、辐射安全和防护设施维护维修制度、辐射工作人员岗位职责、辐射工作场所和环境辐射水平监测方案、射线装置台账管理制度、辐射工作人员培训制度、辐射工作人员个人剂量管理制度、辐射事故应急响应等多个管理制度，医院辐射安全管理制度的内容符合《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)》(川环函(2016)1400号)中的要求。本部各项管理制度实施情况：建设单位不同的工作场所有相应的操作规程，制度按规定上墙，满足设备运行辐射安全管理的需要，合理可行，并执行较好，建设单位自开展放射诊疗以来，未发生过辐射安全事件或者事故。

3、辐射安全培训情况

成都市第三人民医院现有辐射工作人员共 389 人，均参加了辐射安全与防护培训知识的学习，均进行了考核，均考核合格上岗。

根据《生态环境部公告 2021 年 第 9 号》《关于进一步优化辐射安全考核的公告》和《四川省生态环境厅关于进一步做好核技术利用单位辐射安全与防护考核的通知》(2021 年 3 月 29 日)，医院应根据辐射安全许可要求和实际工作情况，组织安排仅从事 III 类射

线装置使用活动的辐射工作人员参加自行考核；从事其他核技术利用活动的辐射工作人员应参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（<http://fushe.mee.gov.vn>）上的考试并取得相应的成绩报告单，申请辐射安全许可证时做到持证上岗。医院应根据上述规定落实本项目新增辐射工作人员辐射安全与防护培训工作，此外超过培训合格证或成绩报告单有效期后应进行复训。

4、辐射工作人员个人剂量情况

医院两个院区现有辐射工作人员 389 名，每名工作人员均配有个人剂量计，辐射工作人员近四个季度的个人剂量检测报告见附件 9，根据检测结果，全院辐射工作人员个人季度有效剂量在 0.01~0.26mSv 之间，年有效剂量在 0.005~0.58mSv 之间。均低于 1.25mSv/季度的约束值以及职业人员 5mSv/年的管理限值。

5、年度监测

成都市第三人民医院 2024 年度监测报告（附件 10），院区 II 类、III 类射线装置机房周围 X- γ 辐射空气吸收剂量率在 0.02~2.25 μ Sv/h 之间，均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中：CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h 的要求。

六、依托设施及其依托可行性分析

本项目在拟建的成都市中心医院（成都市第三人民医院东部医院）（一期）项目内部进行建设，本项目产生的生活污水、医疗废水和生活垃圾依托拟建的污水处理设施和生活垃圾收集设施处理。本项目产生的医疗废物，医院拟委托有资质单位进行统一收集、清运和处置。本项目核技术利用部分项目的将在医院依托环保设施建成投运后才开始运营，本项目产生的废物能够得到依托处置。

医院拟在院区南侧新建污水处理站一座，为地埋式污水处理站，处理能力 2160m³/d，采用“格栅+调节池+水解池+生物接触氧化+沉淀+过滤+消毒池（次氯酸钠）”的处理工艺。处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）中“表 2”预处理标准要求，再排入市政污水管网碰管（位于后勤楼西侧），进入西河污水处理厂处理达到《四川省岷江、沱江流域水污染排标准》（DB51/2311-2016）标准后排入地表水。医院污水处理站在设计阶段就已经考虑了本项目的废水处理需求，其设计处理能力能够满足本项目生活污水及医疗废水产生量和排放量的排放需求。因此，废水依托处置措施可行。

此外，院区内拟建设生活垃圾暂存间，产生的生活垃圾集中暂存，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。医院设有医疗废物暂存间，产生的医疗废物在此集中暂存，医院委托有资质单位进行统一收集、清运和处置。医院在设计阶段拟建设的固废收集处置措施已充分考虑了本项目的需求，因此，固废依托处置措施也是可行的。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	$^{22}\text{Na}/^{68}\text{Ge}$	$<7.0 \times 10^9$ /枚 (不大于 7 枚)	V	使用	PET/CT 校准	门急诊医技住院 楼负一层核医学 科 PEC/CT 机房	门急诊医技住院楼 负一层核医学科校 准源室储源装置	本项目新增
2	$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 敷贴器	$1.48 \times 10^9 \text{Bq} \times 1$ 枚	V	使用	敷贴治疗	核医学科门诊敷 贴治疗室	核医学科门诊敷贴 治疗室保险柜	本项目新增

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度 (n/s)。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量(Bq)	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量(Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	^{99m} Tc(注射)	液态、半衰期6.02h	使用	3.70E+10	3.70E+07	9.25E+12	影像检查	很简单的操作	门急诊医技住院楼负一楼SPECT诊断区	贮存于核医学科储源室1	本次新增
2	^{99m} Tc(肺通气)	气态、半衰期6.02h	使用	4.63E+09	4.63E+08	1.16E+12	影像检查	很简单的操作			本次新增
3	¹³¹ I	液态、半衰期8.02d	使用	7.40E+07	7.40E+06	1.85E+10	影像检查	简单操作			本次新增
4	⁶⁸ Ga	液态、半衰期68.3min	使用	1.48E+09	1.48E+06	3.7E+11	影像检查	很简单的操作	门急诊医技住院楼负一楼PET诊断区	贮存于核医学科储源室2	本次新增
5	¹¹ C	液态、半衰期20.39min	使用	3.7E+09	3.7E+06	3.70E+11	影像检查	很简单的操作			本次新增
6	¹³ N	液态、半衰期9.97min	使用	3.7E+09	3.7E+06	3.70E+11	影像检查	很简单的操作			本次新增
7	¹⁸ F	液态、半衰期109.8min	使用	9.25E+9	9.25E+06	2.31E+12	影像检查	很简单的操作			本次新增
8	⁶⁴ Cu	液态、半衰期12.7h	使用	1.85E+09	1.85E+06	1.85E+11	影像检查	很简单的操作			本次新增
9	⁸⁹ Zr	液态、半衰期78.4h	使用	8.33E+09	8.33E+05	8.33E+10	影像检查	很简单的操作			本次新增
10	¹³¹ I	液态、半衰期8.02d	使用	1.85E+09	1.85E+08	4.63E+11	甲亢治疗	简单操作	门急诊医技住院楼负一楼核医学科服药室		本次新增

11	¹³¹ I	液态、半衰期 8.02d	使用	7.40E+06	7.40E+05	1.85E+09	甲吸检查	简单操作	门急诊医 技住院楼 负一楼核 医学科甲 吸室		本次新增
12	³² P	液态、半衰期 14.26d	使用	2.70E+09	2.70E+08	6.75E+11	敷贴治疗	简单操作	门急诊医 技住院楼 负一楼核 医学科门 诊敷贴治 疗室	贮存于核 医学科敷 贴室保险 柜	本次新增
13	⁸⁹ Sr	液态、半衰期 50.53 d	使用	7.40E+08	7.40E+07	1.85E+11	肿瘤骨转 移治疗	简单操作	门急诊医 技住院楼 负一楼敷 贴治疗室	不暂存, 按 需供应	本次新增
14	²²³ Ra	液态、半衰期 11.4d	使用	1.11E+07	1.11E+08	2.78E+09	肿瘤骨转 移治疗	简单操作			本次新增
15	⁶⁸ Ga	液态、半衰期 68.3min	生产	1.85E+09	1.85E+7	4.63E+11	制备 PET 药物	简单操作	门急诊医 技住院楼 负一楼核 医学科东 南侧 PET 药物生产 区	按需生产, 当日用完	本次新增
16	⁶⁸ Ge	液态、半衰期 288d	生产	1.85E+09	1.85E+6	3.7E+9		源的贮存			本次新增
17	¹¹ C	液态、半衰期 20.39min	生产	3.70E+10	3.70E+8	3.70E+12	制备 PET 药物	简单操作			本次新增
18	¹³ N	液态、半衰期 10.0min	生产	3.70E+10	3.70E+8	1.85E+12		简单操作			本次新增
19	¹⁸ F	液态、半衰期 109.8min	生产	1.11E+11	1.11E+09	2.78E+13		简单操作			本次新增
20	⁶⁴ Cu	液态、半衰期 12.7h	生产	1.85E+10	1.85E+08	1.85E+12		简单操作			本次新增
21	⁸⁹ Zr	液态、半衰期 78.4h	生产	8.33E+09	8.33E+07	8.33E+11		简单操作			本次新增

22	¹³¹ I	液态、半衰期 8.02d	使用	2.22E+10	2.22E+09	1.85E+12	甲癌住院 治疗	简单操作	门急诊医 技住院楼 一楼核素 病房区	当日用完	本次新增
23	¹⁷⁷ Lu	液态、半衰期 6.73d	使用	1.48E+10	1.48E+09	1.48E+12	多种肿瘤 住院治疗	简单操作			本次新增
24	²²⁵ Ac	液态、半衰期 10.0d	使用	1.00E+07	1.00E+08	1.50E+09	多种肿瘤 住院治疗	简单操作			本次新增

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

表 4 射线装置

(一) 加速器, 包括医用、工农业、科研、教学等各种用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II类	1	未定	电子	X 射线能量最大为 10MV; 电子束最大能量 15MeV	X 射线 1m 处剂量率为 24Gy/min; 电子束 1m 处剂量率为 6Gy/min	肿瘤诊疗	门急诊医技住院楼负一层直线加速器机房	本次新增
2	回旋加速器	II类	1	未定	H ⁺	≤20MeV	≤100μA	制备 PET 药物	门急诊医技住院楼负一层回旋加速器机房	本次新增

(二) X 射线机, 包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	额定管电压 (kV)	额定管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	模拟定位机	III类	1	型号未定	150kV	1500mA	模拟定位	门急诊医技住院楼负一层模拟定位机机房	本次新增
2	SPETCT/CT	III类	1	型号未定	140kV	500mA	影像检查与诊断	门急诊医技住院楼负一层 SPETCT/CT 机房	本次新增
3	PET/CT	III类	1	型号未定	140kV	1000mA	影像检查与诊断	门急诊医技住院楼负一层 PET/CT 机房	本次新增
4	DSA	II类	7	型号未定	125kV	1000mA	介入治疗	门急诊医技住院楼 2F 楼 1~10#介入室	本次新增

序号	名称	类别	数量	型号	额定管电压(kV)	额定管电流(mA)	用途	工作场所	备注
5	ERCP	II类	1	型号未定	150kV	800mA	介入治疗	门急诊医技住院楼三楼 ERCP 室	本次新增
6	DSA	II类	1	型号未定	125kV	1000mA	介入治疗	门急诊医技住院楼3F层楼纤支镜 DSA 室	本次新增
7	DSA	II类	1	型号未定	125kV	1000mA	介入治疗	门急诊医技住院楼四楼手术中心 DSA 复合手术室	本次新增
8	DSA	II类	1	型号未定	125kV	1000mA	介入治疗	平急结合裙楼 1F 层 DSA 机房	本次新增
9	DSA	II类	1	型号未定	125kV	1000mA	动物实验	医院动物楼一层	本次新增

(三) 中子发生器, 包括中子管, 但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压(kV)	最大靶电流(μA)	中子强度(n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度(Bq)	贮存方式	数量	
本项目不涉及	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称		状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放疗科加速器机房	臭氧	气态	/	/	/	/	$7.64 \times 10^{-7} \text{ mg/m}^3$ ($<0.16 \text{ mg/m}^3$)	/	经通排风系统引至门急诊医技住院楼顶排放
介入中心、复合手术室、平急结合手术室等 DSA 机房	臭氧	气态	/	/	/	/	极少量	/	经通排风系统排至室外，臭氧在常温条件下可自动分解为氧气。
内镜中心 ERCP 机房	臭氧	气态	/	/	/	/	极少量	/	经通排风系统排至室外，臭氧在常温条件下可自动分解为氧气。
核医学科	放射性固废： 一次性注射器、 一次性肺通气给药器、针头、口罩、手套、空药瓶以及擦拭废物、工作场所清洁废物，一次性防护服；废卡套，纯化柱以及擦拭废物、废靶、一次性口杯、层析条（正电子、光	固体	^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{68}Ga 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 、 ^{90}Sr 、 ^{32}P 、 ^{223}Ra 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac	/	/	1.38t/a	小于清洁解控水平	按不同核素分类收集，放于核医学科放射性废物暂存间，并编号记录存储日期，所含核素半衰期小于24h的放射性固体废物暂存时间超过30天；）所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍；含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天。暂存衰变经监测达清洁解控水平后，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。	暂存衰变经监测达清洁解控水平后按医疗废物交有资质的单位处理。

	子、治疗核素），废 pH 试纸条，样品瓶，废移液枪头；PET/CT 射线装置废校准源；更换后的过滤器							
PET/CT 废校准源	固体	校准源未确定，可能使用的密封源为： ^{22}Na 、 ^{68}Ge	/	/	7 枚/a	/	更换后暂存在分装室东侧放射性废物暂存间 4 内	交由生产厂家回收
回旋加速器固体靶片	固体						在回旋加速器机房旁专用的铅废物桶内中暂存	在回旋加速器机房内专用的铅废物桶内中暂存，之后由厂家或有资质单位进行回收。
回旋加速器废靶件	固体						不暂存，厂家回收	不暂存，厂家回收
废发生器	固体	^{68}Ga 、 ^{68}Ge		/	2 个/a	/	更换后暂存在分装室东侧放射性废物暂存间 4 内	交由生产厂家回收
更换后的过滤器	固体	/	/	/	500kg/a	小于清洁解控水平	更换后暂存在放射性废物暂存间内	暂存衰变经监测达标后，由有资质单位回收处理。
放射性废水：含放射性核素的卫生间下水及清洗废水	液体	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{68}Ga 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{223}Ra 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac	/	/	1006m ³ /a	总 α 不大于 1 Bq/L、总 β 不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/L	放射性废水通过专用管道排至衰变池中暂存	核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放

	放射性气溶胶：含有液态放射性药物分装时挥发的微量气溶胶	气体	^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{68}Ga 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{223}Ra 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac	/	/	/	微量	不暂存	在手套箱内操作，经过滤后由专用管道排至门诊急诊医技住院楼主楼屋顶，排气口避开高层建筑。
	PET/CT 废校准源	固体	校准源未确定，可能使用的密封源为： ^{22}Na 、 ^{68}Ge	/	/	7 枚/a	/	更换后暂存在分装室北侧放射性废物暂存间 4 内	交由生产厂家回收
DSA 机房（含动物楼 DSA）	废注射器、废药棉、废造影剂、废造影剂瓶等	固体	/	/	/	少量	少量	进入医疗废物暂存、管理系统	由具备医疗垃圾回收处理资质的专业单位回收集中处理
动物楼 DSA	DSA 实验用动物尸体及饲养废水及粪便	固体、液体	/	/	/	少量	少量	动物实体依托依托医院拟建设的医疗废物暂存间进行暂存和管理，最终进行统一处理；动物饲养废水及粪便进入医院污水处理系统	动物尸体依托医院拟建设的医疗废物暂存间进行暂存和管理，最终进行统一处理；饲养动物产生的废水及动物粪便等依托医院的污水处理站处理后排入市政污水管网。

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³，年排放总量为 kg。

2. 含有放射性的废物要注明其排放浓度、年排放总量分别用比活度 (Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³) 和活度 (Bq)。

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(2015年1月1日实施)；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法(2018年修订)》(2018年12月29日实施)；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(2003年10月1日实施)；</p> <p>(4) 《国务院关于修改<建设项目环境保护管理条例>的决定》(国务院682号令)；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2005年9月14日国务院第449号令发布,2019年3月2日《国务院关于修改部分行政法规的决定》(国务院令第709号)对其进行了修改)；</p> <p>(6) 《放射性废物安全管理条例》(国务院令第612号)；</p> <p>(7) 《四川省辐射污染防治条例》(四川省十二届人大常委会第24次会议通过,2016年6月1日实施)；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环境保护部第18号令)；</p> <p>(9) 《关于发布<射线装置分类>的公告》(环境保护部/国家卫生和计划生育委员会,公告2017年第66号)；</p> <p>(10) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2006年1月18日国家环境保护总局令第31号公布,2017年12月12日《环境保护部关于修改部分规章的决定》(部令第47号)对其进行了修改,2019年8月22日《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》(生态环境部令第7号)对其进行了修改,2021年1月4日经生态环境部令第20号修改)；</p> <p>(11) 《建设项目环境影响评价分类管理目录》(2021版)(中华人民共和国生态环境部第16号令)；</p> <p>(12) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部公告2019年第57号,2020年1月1日施行)；</p>
------	--

	<p>(13) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告2021年第9号）；</p> <p>(14) 《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)>的通知》（川环函〔2016〕1400号）。</p>
技术标准	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(2) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；</p> <p>(3) 《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>(4) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）；</p> <p>(5) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；</p> <p>(6) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>(7) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(8) 《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ244-2017）；</p> <p>(9) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；</p> <p>(10) 《核技术利用放射性废物最小化》（HAD401/11-2020）；</p> <p>(11) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）；</p> <p>(12) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）；</p> <p>(13) 《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）；</p> <p>(14) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>(15) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>(16) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）；</p> <p>(17) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；</p> <p>(18) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）。</p>

其他	<p>(1) 生态环境部（国家核安全局）《核技术利用监督检查技术程序》（2020 年发布版）；</p> <p>(2) 《辐射防护手册》（第一分册、第三分册），李德平、潘自强主编，原子能出版社；</p> <p>(3) 《辐射防护导论》，方杰主编，原子能出版社；</p> <p>(4) 《电离辐射剂量学》，李士骏编，原子能出版社；</p> <p>(5) 《放射卫生学》，章仲侯主编，原子能出版社；</p> <p>(6) 《γ射线屏蔽参数手册》，中国科学院工程力学研究所编，原子能出版社；</p> <p>(7) 《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》（Published by Nuclear Technology Publishing）；</p> <p>(8) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430 号）；</p> <p>(9) 项目委托书及建设单位提供的其他资料。</p>
----	---

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据本项目的特点并参照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)中“核技术利用建设项目环境影响评价报告表的评价范围和保护目标的选取原则：放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”，确定本次评价范围为非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目所在工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内作为评价范围。

保护目标

根据本项目确定的评价范围，环境保护目标主要是医院辐射工作人员和周围停留的公众，由于电离辐射水平随着距离的增加而衰减，因此选取离辐射工作场所较近、有代表性的环境保护目标进行分析。

本次评价环境保护目标主要是医院辐射工作人员和周围停留的公众，由于电离辐射水平随着距离的增加而衰减，因此选取离辐射工作场所较近、有代表性的环境保护目标进行分析，详见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

场所	保护名单	人数(人)	方位	位置	距离辐射源的距离(m)
核医学科-门诊部分	职业	12 人	核医学科内	SPECT/CT 检查区： SPECT 分装室(含接收)、储源室 1、服药室、肺通气显像准备室、放射性废物暂存间 4、负荷准备室、SPECT/CT 候诊室、医护卫生间 1、抢救室 1、中央控制廊、SPECT/CT 检查室、SPECT/CT 留观室、卫生间 1、放射性废物暂存间 1、缓冲间、医护通道等。	0~50
				PET/CT 检查区： PET 分装室(含接收)、储源室 2、放射性废物暂存间 3、注射室 2、抢救室 2、医护卫生间 2、PET/CT 注射后候诊室、检查前准备室、校准源室、设备间(PET/CT)、设备	0~50

				间 (PET/MR) 、中央控制廊、 PET/CT 检查室、 PET/MR 检查室、 PET/MR 留观室、卫生间 3 、清洁间、放射性废物暂存间 2 、缓冲间、医护通道等	
				PET 药物生产区： 回旋加速器机房、控制室、储源室、热室、质控室	0~20
				甲吸及敷贴治疗区： 甲吸室、敷贴治疗室	0~7.7
				甲亢及肿瘤骨转移治疗区： 甲亢留观室、卫生间 4	0~4.6
				辅助用房： 储物及换鞋区、淋浴室、医护卫生间等	0~6.2
核医学科门诊区周围公众(患者,陪护人员、医院工作人员)	流动人员	东侧	SPECT/CT 病患通道、疏散通道	0~2.4	
			空调机房、消防通道、消防电梯、净化机房、滤毒室等	2.4~19	
			内科重症病房区、治疗室、库房；外科重症病房区、治疗室、库房等	19~50	
	流动人员	南侧	停车区、车辆通道及地下无建筑的实体封闭覆土区域等	0~50	
			PET/CT 病患通道	0~2.4	
	流动人员	西侧	停车区、车辆通道房等	2.4~16	
			排风机房、放疗科直线加速器机房、模拟定位 CT 机房、库房模具室、医护办公室、抢救室、肿瘤计划室、资料室等	13~50	
			核医学科接待大厅、消防工作电梯、强电井间、弱电井间等	0~12	
	50 人以上	北侧	烧伤病房区、排烟机房、患者出入口等	12~30.0	
			手术部大型手术室、医护办、石膏室、无菌器械傅料室、麻醉剂室等	30~50	
核医学科 -PET 药物生产区	职业	4 人	PET 药物生产内	一楼核素病房区(含核素病房、分装室、注射室、服碘室、分装室、医护办公室等)、卫生间等	3.6
				楼下为地下无建筑的实体封闭覆土区域	/
	公众	5 人以下	东侧	储油间、进风扩散室、风井间、固定式柴油站、配电控制室、排风扩散室、集气室、柴油发电机房、通道等	0~50
	流动人员	南侧		衰变池及地下无建筑的实体封闭覆土区域	0~50

			约 10 人	西侧	核医学科内值班休息室、示教室、污水提升间等	0~23
			约 10 人	西侧	停车区、车辆通道房、回旋加速器机房及地下无建筑的实体封闭覆土区域等	23~50
			50 人以下	北侧	核医学科甲亢留观室、SPECT 检查留观室、抢救室、运动负荷室、空调机房等	0~50
			50 人以上	楼上	核素病房区、平急结合药房区 VIP 治疗舱、控制室、储气罐等	3.6
			/	楼下	楼下为地下无建筑的实体封闭覆土区域	/
核医学科-核素病房区	公众	职业	5 人	核素病房区内	分装室、储源室、服碘室、注射室、抢救室、废物间、污洗间、被服间、患者通道等	0~43
			50 人以上	东侧	高压氧舱治疗区及配套办公辅助用房；出入院办理大厅及过道等	0~50
			流动人员	南侧	楼外空地及二期待建设用地	0~50
			流动人员	西侧	楼外过道	0~24
			50 人以上	西侧	门急诊住院大楼放射科（CT、数字化胃肠机等机房及办公、辅助用房）	24~50
			50 人以上	北侧	平急结合门诊放射科（MRI、DR、CT 等机房及办公、辅助用房）等	0~50
			50 人以上	楼上	EICU 病房、治疗室及其他辅助用房等	3.6
			50 人以上	楼下	核医学科各功能用房、PET 药物生产区各功能用房等	3.6
直线加速器房	周围公众	职业人员	6 人	南侧	控制室、物理师办公室、医生办公室等	0~18
		流动人员	10 人以上	东侧	停车区、车辆通道房等	5.6~17
					核医学科 PET/CT、PET/MR 检查室及设备间、医生休息办公室、阅片室；PET 药物生产区普通实验室、质控室等	10.8~50
		/	南侧	西侧	地下无建筑的实体封闭覆土区域	/
		5 人以下	排风井、水冷机房、服务器机房及地下覆土封闭区域		0~6.5	
		50 人以上	北侧	北侧	控制室、设备间、模拟 CT 机房、模具室、过道、资料室、放疗等候室等	0~38
		流动人员			停车区、车辆通道房等	38~50
		流动人员	楼上	楼下	机房上部为覆土封闭空间，机房对应区域周边为绿化带	3.6
		/	楼下		楼下为地下无建筑的实体封闭覆土区域	/
介入中心	DS A 介	职业人员	28 人	/	控制室、手术室内	0.3~11

入手术室			10人以下	东侧	走廊、UPS机房、新风机房、医护电梯厅、弱电井间等	0~32	
			/		大楼外部区域	32~50	
			50人以上	南侧	走廊、EICU病房、治疗区及其他辅助用房区域	2.8~45	
			流动人员		大楼外空地	45~50	
			10人以上	西侧	医疗走廊、介入中心值班室、办公室、多功能室	0~8.3	
			/		大楼外部区域	8.3~24.0	
			50人以上	北侧	康复及检验中心用房区域(包括空调房、电梯、卫生间、办公室、库房、治疗室等)	24~50	
			5人以下		新风机房、弱电井间、生活垃圾间、医废间电梯等	0~11	
			/		楼北侧外墙区域	11~17	
			50人以上		心内科、心外科检查及诊疗室	17~50	
			10人以上	楼上	呼吸睡眠治疗区内的睡眠治疗室、护士站及其他辅助用房等	5.2	
			10人以上	楼下	平急结合诊疗区CT、DR、MRI、DSA检查室及配套用房等	5.2	
内镜中心	ERC P室	周围公众	职业人员	6人	/	控制室、手术室内	0.3~4.0
			10人以上	东侧	内镜中心消化内镜室、内镜洗镜室、结肠镜室、纤支检查室及其配套用房等	0~50	
			5人以下	南侧	控制室、水处理间、UPS室、消防电梯、水井、风井、排烟机房等	0~16.6	
			/		大楼外部区域	16.6~50	
			/	西侧	大楼外部区域	0~35.6	
			5人以下		手术中心用房(包括前室、水井、加压送风井、弱电井间、清洁间、卫生间、工作电梯等)	35.6~50	
			10人以上	北侧	弱电井间、UPS室、药品间、排烟井、加压送风房、消耗内镜服务区、气动物流站、卫生间、消化内镜等候区等	0~25.7	
			/		大楼外部区域	25.7~50	
			约5人	楼上	4F层弱电井间、排风井及普通药物及肠外营养配置区	5.2	
			约5人	楼下	2F层标本库、净化机房等	5.2	
内镜中心	DSA室	职业人员	6人	/	控制室、介入手术室内	0.3~8.3	

		周围公众	50人以上	东侧	内镜中心纤支镜洗镜室、纤支镜室、标本库房、PCR 基因扩增实验室、捕获产物扩增富集区及走道等	0~50	
			10人以上	南侧	控制室、纤支镜室检查室、值班室、水井房、污物电梯等	0~17	
			/		大楼外部区域	17~50	
			10人以上	西侧	控制室、膀胱镜室、消化镜室、ERCP 室及过道等	0~34.9	
			/		大楼外部区域	34.9~50	
			50人以下	北侧	内镜中心膀胱镜设备间、纤支镜 DSA 设备间、纤支镜 CT 设备间、控制室、纤支镜 CT 机房、强电井间、水井、风井、穿刺及呼吸内镜服务区等	0~27.2	
			/		大楼外部区域	27.2~50	
			5人以下	楼上	4F 层能量吊塔区	5.2	
			5人以上	楼下	2F 层体检中心缓冲间、纯水间等	5.2	
			职业人员	10人	/	控制室、介入手术室内	0.3~8.3
复合手术室	DS A 室	公众	10人以上	东侧	控制室、CT 复合手术室及其配套用房等	0~24.8	
			/		大楼中部镂空区域	24.8~44.0	
			5人以下		全自动软水机房及 UPS 室	44.0~50	
			10人以上	南侧	手术中心走道、前室、UPS 室、电梯等	0~8.5	
			/		大楼外部区域	8.5~50	
			10人以上	西侧	手术中心监控室、过道、手术室等用房等	0~30.6	
			/		大楼外部区域	30.6~50	
			10人以上	北侧	手术中心手术室及其他配套用房、过道等	0~30.2	
			/		大楼外部区域	30.2~50	
			流动人员	楼上	大楼楼顶区域	5.2	
			10人以上	楼下	3F 层普通手术室及麻醉室等	5.2	
平急结合裙楼	DS A 室	公众	职业人员	10人	/	控制室、介入手术室内	0.3~8.3
			10人以上	东侧	消化治疗室、消化复苏室、消化镜室、储镜室、卫生间及过道等	0~40.6	
			/		大楼外部区域	40.6~50	
			50人以上	南侧	平急检查等候区、过道、核素病房区、平急结合药房、过度兼 VIP 治疗舱等	0~50	
			50人以上	西侧	控制室、器械工具间、平急结合 CT 检	0~23.6	

					查室及其辅助用房、报警阀间、库房等	
			/		大楼外部绿化带区域	23.6~39.2
			10人以上		放射科新风机房、办公室、检查室	39.2~50
				北侧	DSA设备间、走道、无障碍电梯、抢救电梯等	0~12.2
			流动人员		楼外绿化带区域	12.2~28.2
			5人以上		急诊急救区学习室、办公楼、医护就餐区、更衣室、病床区等	28.2~50
			5人以下	楼上	2F层介入中心DSA室	5.2
			5人以下	楼下	-1F层手术部小手术室及其辅助用房等	5.2
动物楼	DSA室	职业人员	4人	/	控制室、介入手术室内	0.3~8.3
		公众	10人以下	东侧	动物手术室及其配套用房等	0~20
			流动人员		大楼外部绿化带区域和过道	20~50
			10人以下	南侧	动物手术室及其配套用房、电梯间等	0~16.5
			流动人员		大楼外部绿化带区域和过道	16.5~50
		公众	流动人员	西侧	大楼外部绿化带区域、停车区等	0~50
			10人以上	北侧	动物楼内DSA设备间、大动物观察复苏间、准备间、小动物观察复苏间、小动物麻醉间、大动物麻醉间、小动物间、大动物间、水井间、电梯间、卫生间、弱电井间等	0~27.6
			流动人员		大楼外部区域、过道、停车区等	27.6~50
			10人以上	楼上	2F层动物免疫和饲养室室	5.2
			5人以下	楼下	医疗设备库房及停车区等	5.2
其他	医院周边	流动人员	四周		医院周边道路、人行道及绿化带等区域	10~50

评价标准

一、环境质量标准

- (1) 地表水环境质量执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中III类标准;
- (2) 臭氧需满足室外臭氧《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中二级浓度限值中1小时均值 $\leq 0.2\text{mg}/\text{m}^3$ ，同时满足室内臭氧《室内空气质量标准》(GB/T18883-2002)中1小时均值 $\leq 0.16\text{mg}/\text{m}^3$;
- (3) 声环境质量执行《声环境质量标准》(GB3096-2008)中2类标准。

二、污染物排放标准

- (1) 医疗废水执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)表2中预处理标准;
- (2) 废气执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)中的二级标准;
- (3) 施工期噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)相关标准;运营期噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中的2类标准。
- (4) 一般工业固废执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB18599-2020)、医疗废物执行《医疗废物处理处置污染控制标准》(GB39707-2020)。

三、辐射环境评价标准

1、剂量约束值

①职业照射:根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)第4.3.2.1条的规定,对任何工作人员,由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯平均)20mSv。评价项目要求按上述标准限值的1/4作为本项目职业照射年有效剂量管理限值,即5mSv/a;

②公众照射:第B1.2.1条的规定,实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过年有效剂量1mSv。项目按上述标准中规定的公众照射年有效剂量限值的1/10执行,即0.1mSv/a管理限值。

2、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)

(1) 第6.1款 屏蔽要求

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5 μ Sv/h,如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域,其周围剂量当量率应小于10 μ Sv/h。

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构,以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于2.5 μ Sv/h,放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于25 μ Sv/h。

(2) 放射性废水排放标准

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)7.3.3.1款,对于槽式衰变

池贮存方式：a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放； b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1 Bq/L、总 β 不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/L。

此外，根据生态环境部辐射源安全监管司“关于核医学标准相关条款咨询的复函”（辐射函〔2023〕20 号）中关于槽式衰变池中含碘-131 放射性废水排放，可按照下列任意一种方式进行排放：

（一）根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第 8.6.2 条规定，经监管部门确认单次排入普通下水道的废水中碘-131 活度不超过 1ALImin (9E+5 贝可)，每月排放的废水中碘-131 总活度不超过 10ALImin (9E+6 贝可)。

（二）暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。

（三）暂存不满 180 天但监测结果表明碘-131 活度浓度已降至不高于 10 贝可/升水平，也可直接排放。

（3）放射性废物清洁解控水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）7.2.3.1 款，固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08 Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8 Bq/cm² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；
- c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

3、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平不大于 6.1.4 中 a)、b)、c) 所确定的周围剂量当量率参考控制水平。

机房外各关注点的剂量率参考控制水平 H_c 由以下方法确定：

a) 治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高

度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面30cm处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列1) 和 2) 所确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子（可依照附录A选取），由以下周剂量参考控制水平(\dot{H}_c)求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)：

机房外辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

机房外非辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) $\leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

4、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

第 6.1.5 点 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 7-2 要求。

表 7-2 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

机房类型	机房内最小有效使用面积 (m^2)	机房内最小单边长度 (m)
单管头 X 射线设备（含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5

备注：本项目 DSA 和 EPCP 属于单管头 X 射线机。

第 6.2.1 点 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 7-3 要求。

表 7-3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量(mmPb)	非有用线束方向铅当量(mmPb)
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
CT 机（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房		2.5

备注：本项目 DSA 额定管电压为 125kV、EPCP 的额定管电压为 150kV。

第 6.2.3 点 机房的门和窗关闭时应满足表 7-3 的要求。

第 6.3.1 点 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

c) 具有短时、高剂量率曝光的摄影程序机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

5、放射性表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表B11工作场所的放射性表面污染的控制水平见表7-4。

表7-4 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型	α 放射性物质（ Bq/cm^2 ）		β 放射性物质（ Bq/cm^2 ）
	极毒性	其他	
工作台、设备、 墙壁、地面	控制区	4	40
	监督区	0.4	4
工作服、手套、 工作鞋	控制区	0.4	4
	监督区		
手、皮肤、内衣、工作袜		0.04	0.04
			0.4

7、其他

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）第6.2.1条的规定，放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。

根据第（GBZ121-2020）6.2.2条的规定，放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口和排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于4次/h。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理和场所位置

本项目位于成都市第三人民医院（位于龙泉驿区洪安镇长伍村五组、十二组、十七组及洛带镇宝胜村五组、六组拟建的成都市中心医院（成都市第三人民医院东部医院）（一期）内部）。本项目周围为以商业和居住为主的城市环境，主要植被为人工种植的花草树木和农作物外，无野生动植物。本项目评价区域范围内尚未发现受保护的文物和古迹。本项目现状见图 8-1。

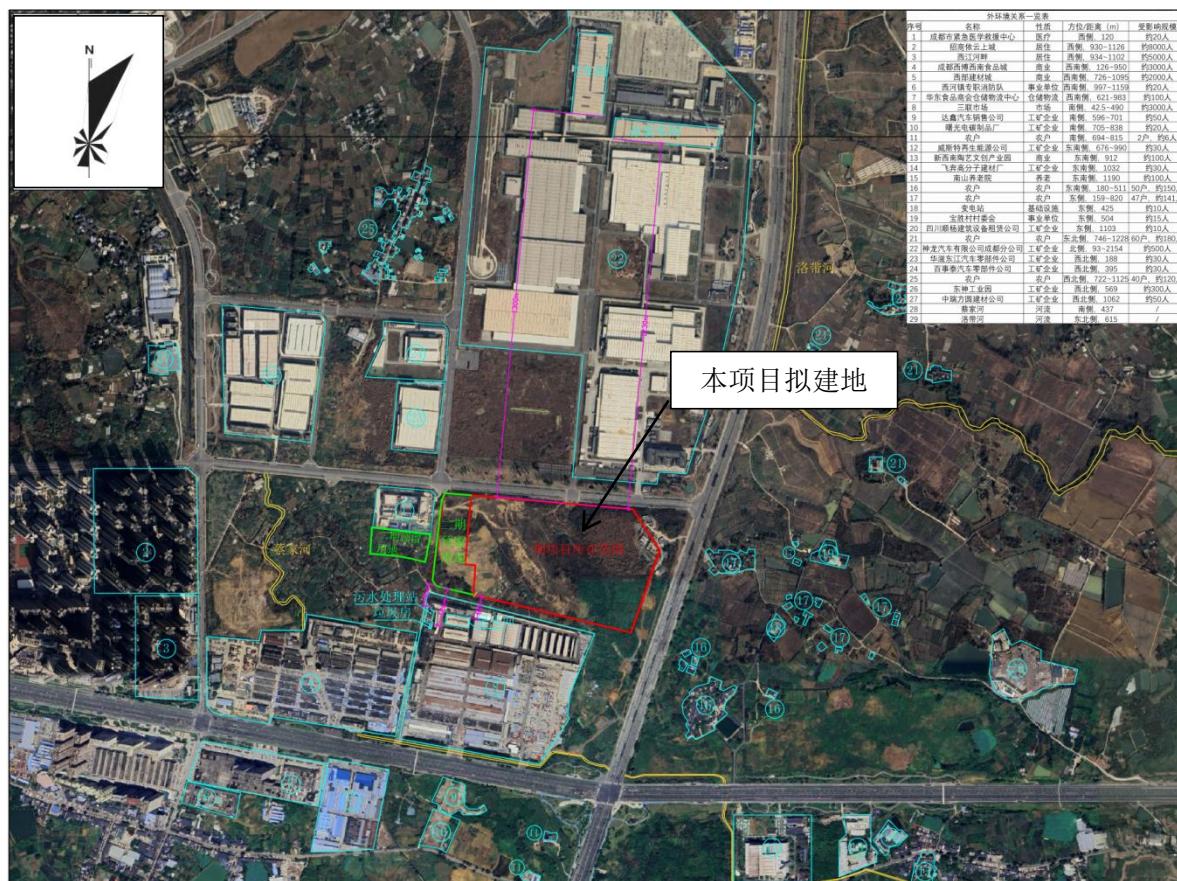


图 8-1 本项目周边现状情况示意图



图 8-3 本项目航拍图

二、本项目主要环境影响

本项目涉及乙级非密封放射性放射性物质工作场所、II类、III类射线装置和III类、V类放射源，根据工程分析项目主要污染因子为各工作场所运行时产生的 γ 射线、X射线、 α 表面沾污、 β 表面沾污、中子等。为了更好反映实际情况，本项目的环境监测选取为 γ 辐射空气吸收剂量率和 α 表面沾污、 β 表面污染水平、中子剂量当量率作为监测因子。

三、本项目所在地辐射环境现状监测

本次评价委托成都中辐环境监测测控技术有限公司于2024年12月12日对本项目所在地的辐射环境进行了现状监测；后期于2025年6月9日，委托四川省核工业辐射测试防护院(四川省核应急技术支持中心)对本项目所在区域的中子剂量当量率进行了补充监测，其监测项目、分析方法及来源见表8-1。

表 8-1 监测项目、方法及方法来源表

监测项目	依据标准	标准编号
环境 γ 辐射剂量率	《辐射环境监测技术规范》	HJ 61-2021
	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》	HJ 1157-2021
α 表面污染、 β 表面污染	《表面污染测定 第1部分 β 发射体($E_{\beta}^{\max}0.15\text{MeV}$)和 α 发射体》	GBT 14056.1-2008
中子剂量当量率	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》	GB 18871-2002

监测使用仪器及环境条件见表8-2。

表 8-2 监测使用仪器表

监测仪器	监测项目	仪器名称	仪器参数	校准证书编号	校准有效期	校准单位
	γ辐射剂量率	环境监测 X-γ辐射剂量率仪 (型号: MAFC-N2) (编号: 403065500002)	1) 能量相应范围: 30keV~3MeV 2) 测量范围: 0.01~100 μ Sv/h; 3) 校准系数: Cf=0.96; 4) 相对固有误差: 2.8%; 重复性: 0.5%; 不确定度: U _{rel} =4.0%, (k=2)	校准字第 JL24062931 22	2024.6.29~2025.6. 28	深圳市 计量质量检测 研究院
	α、β表面污染	α、β表面污染仪 (型号: TcS-362) (编号: R00447)	1) β表面发射率响应: R=0.30 2) β相对固有误差: E (%) =2.5 3) β重复性: v (%) =0.1	检定字第 20241110305 8号	2024.11.12~ 2025.11.11	中国测试技术 研究院
	中子剂量当量率	中子周围剂量当量仪	能量响应范围:0.025eV~15MeV	校字第 2025-N012 号	校准日期:2025-04-07 有效日期:2026-04-06	中国核动力研究设计院检测校准实验室
	温湿度	多功能气象仪 (型号: Kestrel 5500) (编号: 2330618) 温度监测部分	1) 测量范围: -29.0°C~70.0°C 2) 不确定度: U=0.5°C, (k=2)	230327155	2023.3.25~ 2025.3.24	深圳市 计量质量检测 研究院
		多功能气象仪 (型号: Kestrel 5500) (编号: 2330618) 湿度监测部分	1) 测量范围: 0.0%~100.0% 2) 不确定度: U=1%, (k=2)			
	风速	多功能气象仪 (型号: Kestrel 5500) (编号: 2330618) 湿度监测部分	1) 检出上限: 60.0m/s; 2) 不确定度: U=0.4m/s, k=2			
	监测环境	日期	天气	温度 (°C)	相对湿度 (%)	风速 (m/s)
		2024.12.12	晴	12.3~13.6	54.5~55.2%	0.0
		2025.6.9	晴	30.2~30.6	52.4%~52.6 %	0.0

四、质量保证

成都中辐环境监测测控技术有限公司及补充监测单位四川省核工业辐射测试防护院(四川省核应急技术支持中心)均通过了计量认证,具备完整、有效的质量控制体系。本次监测所用的仪器性能参数均符合国家标准方法的要求,均有有效的国家计量部门的校准合格证书,并有良好的日常质量控制程序。监测人员均经具有相应资质的单位试验,考核合格持证上岗。数据分析及处理采用国家标准中相关的数据处理方法,按国家标准和监测技术规范有关要求进行数据处理和填报,并按有关规定和要求进行三级审核。具体质量保证措施如下:

(一) 计量认证

成都中辐环境监测测控技术有限公司已通过了原四川省质量技术监督局的计量认证,证书编号为:232312051287,检测设备在有效期内;

四川省核工业辐射测试防护院(四川省核应急技术支持中心)已通过了国家级的计量认证,证书编号为:220020341133,检测设备在有效期内。

(二) 仪器设备管理

①管理与标准化;②计量器具的标准化;③计量器具、仪器设备的检定。

(三) 记录与报告

①数据记录制度;②报告质量控制。监测人员均经具有相应资质的部门试验,考核合格持证上岗。

五、监测点位布设及代表性分析

本项目所在门急诊医技住院楼目前未开工建设。评价范围内无其他辐射源的干扰。本项目监测点位选取拟建门急诊医技住院楼所在位置四周和附近最近的保护目标所在位置,具有代表性,根据辐射剂量率与距离的平方成反比的规律,能够体现项目建设前的辐射环境现状。因此,本项目监测布点合理。

六、环境现状监测与评价

监测所用仪器已由计量部门年检,且在有效期内;测量方法按国家相关标准实施;测量不确定度符合统计学要求;布点合理、人员合格、结果可信,能够反映出辐射工作场所的客观辐射水平,可以作为本次评价的科学依据。

本项目的监测结果列于表 8-3。

表 8-3 拟建项目周围 γ 辐射剂量率

编号	监测位置	γ 辐射剂量率	
		平均值 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准差
1	拟建动物楼中心位置处	0.18	0.01
2	拟建科教楼中心位置处	0.19	0.01
3	拟建门急诊医技大楼中心位置处	0.18	0.01
4	拟建平急结合裙楼（住院 A）中心位置处	0.20	0.01
5	拟建医院厂界北侧	0.14	0.01
6	拟建医院厂界东侧	0.19	0.01
7	拟建医院厂界南侧	0.18	0.01
8	拟建医院厂界西侧	0.19	0.01
9	拟建医院厂界南三联家禽厂区处	0.15	0.01

按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）中 5.5 规定，环境辐射剂量率测量结果按照以下公式计算：

$$D_{\gamma} = k_1 \times k_2 \times R_{\gamma} - k_3 \times D_c$$

D_{γ} ——测点处环境 γ 辐射空气吸收剂量率值， Gy/h ；

k_1 ——仪器检定/校准因子，本项目为 0.93；

k_2 ——仪器检验源效率因子 [$k_2 = A_0/A$ （当 $0.9 \leq k_2 \leq 1.1$ 时，对结果进行修正；当 $k_2 < 0.9$ 或 $k_2 > 1.1$ 时，应对仪器进行检修，并重新检定/校准），其中 A_0 、 A 分别是检定/校准时和测量当天仪器对同一检验源的净响应值（需考虑检验源衰变校正）；如仪器无检验源，该值取 1]，本项目，取 0.9；

R_{γ} ——仪器测量读数值均值（空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照 JJG 393，使用 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数分别取 1.20Sv/Gy 和 1.16 Sv/Gy ）， Gy/h ；本项目监测仪器校准源为 ^{137}Cs ，系数取 1.2。

k_3 ——建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，楼房取 0.8，平房取 0.9，原野、道路取 1；本项目为原野，无建筑物存在，取 1。

D_c ——测点处宇宙射线响应值（由于测点处海拔高度和经纬度与宇宙射线响应测量所在淡水水面不同，需要对仪器在测点处对宇宙射线的响应值进行修正，具体计算和修正方法参照 HJ 61）， Gy/h 。海拔高度差别 $\leq 200\text{m}$ ，经度差别 $\leq 5^\circ$ ，纬度差别 $\leq 2^\circ$ ，可以不进行修正。

根据上述公式折算后，本项目所在区域的 X- γ 辐射剂量率背景值均为 $97.6 \sim 132.5\text{nGy/h}$ ，与项目所在地成都市生态环境局发布《2024 成都生态环境质量公报》中

成都市环境 γ 辐射剂量率连续自动监测年均值范围(66.7~117) nGy/h 相较基本一致, 属于当地正常天然本底辐射水平。

本项目所在区域的 α 表面污染、 β 表面污染的背景值监测结果如下。

表 8-4 拟建项目周围 β 表面污染监测结果

点位号	监测位置	α 表面污染	β 表面污染
		计算结果	计算结果
1	拟建动物楼中心位置处	未检出	\leq LLD
2	拟建科教楼中心位置处	未检出	\leq LLD
3	拟建门急诊医技大楼中心位置处	未检出	\leq LLD
4	拟建平急结合裙楼(住院 A)中心位置处	未检出	\leq LLD
5	拟建医院厂界北侧	未检出	\leq LLD
6	拟建医院厂界东侧	未检出	\leq LLD
7	拟建医院厂界南侧	未检出	\leq LLD
8	拟建医院厂界西侧	未检出	\leq LLD
9	拟建医院厂界南三联家禽厂区处	未检出	\leq LLD

根据上表, 项目所在区域的 α 表面污染监测结果结果为未检出, β 表面污染监测结果结果为 \leq LLD。监测结果无明显异常。

本项目所在区域的中子剂量当量率的背景值监测结果如下。

表 8-5 拟建项目周围中子剂量当量率监测结果

编号	监测位置	中子剂量当量率	
		平均值(μ Sv/h)	标准差
1	拟建动物楼中心位置处	<0.01	/
2	拟建科教楼中心位置处	<0.01	/
3	拟建门急诊医技大楼中心位置处	<0.01	/
4	拟建平急结合裙楼(住院 A)中心位置处	<0.01	/
5	拟建医院厂界北侧	<0.01	/
6	拟建医院厂界东侧	<0.01	/
7	拟建医院厂界南侧	<0.01	/
8	拟建医院厂界西侧	<0.01	/
9	拟建医院厂界南三联家禽厂区处	<0.01	/

根据上表, 项目所在区域的中子剂量当量率监测结果均低于仪器测定下限(<0.01 μ Sv/h)。监测结果无明显异常。

表9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、施工期工艺分析

本项目主体工程土建施工环境影响已包含在批复的《成都市中心医院（成都市第三人民医院东部医院）（一期）项目一期环境影响报告书》（批复文号：成环审（评）〔2024〕47号）中进行了分析评价，本次评价不涉及。本项目施工期主要是机房装修施工阶段和设备安装、调试阶段。各机房建设过程中要保证屏蔽墙体没有漏缝，使用的水泥标号要满足设计要求，禁止使用残砖，混凝土浇筑墙体要连续施工，同时要防止噪声扰民。

本项目装修施工期主要环境影响因素为噪声、施工废水、建筑粉尘和建筑垃圾等。装修时应注意施工方式，保证各屏蔽体有效衔接，各屏蔽体应有足够的超边量，墙与墙之间须紧密贴合，防护门与墙的重叠宽度至少为空隙的10倍，门的底部与地面之间的重叠宽度至少为空隙的10倍，注射给药窗和观察窗等与墙体至少重叠5cm，且采用硫酸钡涂料灌缝，避免各屏蔽体之间有漏缝产生，防止辐射泄漏。

本项目装修施工期较短，施工量较小，在建设单位的严格监督下，施工方遵守文明施工、合理施工的原则，做到各项环保措施，可使其对环境的影响降至最小程度。施工结束后，项目施工期环境影响将随之消除。

本项目所有设备的安装、调试，均由设备厂家专业人员进行，建设方和医院方不得自行搬迁、安装及调试设备。在射线装置安装过程中，会产生少量包装废弃物；在射线装置安装调试阶段，主要污染因素为X射线、臭氧和少量包装废弃物。医院应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁并派人看守。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入设备区域，防止辐射事故发生。

二、运营期工艺分析

（一）核医学科诊断及治疗

1、PET/CT 显像诊断

本项目显像诊断使用的⁶⁸Ga、¹¹C、¹³N、¹⁸F、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr均为医院方自产。

（1）工作原理

①PET/CT 显像工作原理

PET 即正电子扫描仪（Positron Emission Tomography）为分子影像设备。 ^{68}Ga 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 等属于 β^+ 衰变方式，能产生正电子并发生湮灭效应，产生两个能量彼此运动相反的 γ 光子，根据人体不同部位吸收标记化合物能力的不同，同位素在人体内各部位的浓聚程度不同，湮灭反应产生光子的计数也不同，然后通过 PET 的 γ 射线检测器环列（例如闪烁计数器）监测 γ 光子辐射的轨迹线，经代谢后在脏器内外或病变部位和正常组织之间形成放射性浓度差异，通过计算机处理再成像。

PET/CT 的工作原理是把 PET 和 CT 放在一起，利用体外的 X 射线穿透人体而获得三维解剖图像的断层成像技术，通过 PET 扫描和 CT 扫描重建，联合扫描，使两者的硬件和软件有机地结合在一起。工作时，其 CT 球管发射 X 线穿透人体组织，其探测器获得的数据不仅用于重建 CT 图像，同时提供给 PET 作为衰减校正的参数，在此基础上再进行 PET 图像的重建。所显示的图像为两者图像的融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置。

当某种放射性核素或其标记物（ ^{68}Ga 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr ）通过注射等方式进入体内后，依其化学及生物学特性不同，随血流等进入某些特定的组织器官，参与或模仿某些生命物质在人体内的病理生理、引流代谢的过程。由于正常组织和病变组织在这个过程中的差异，使其聚集这种放射性核素或其标记物的能力发生了变化。利用 PET 来探测这种放射性核素发射的 γ 射线在体内的分布状态并还原成图像，其影像不仅可以显示脏器和病变的位置、形态、大小等解剖结构，更重要的是可以显示脏器的功能、代谢情况，提供有关脏器的血流、功能、代谢和引流等方面定性的和定量的信息。而血流、功能和代谢的异常，常是肿瘤的早期变化，出现在形态结构发生改变之前。因此，PET 放射性核素显像有助于肿瘤的早期诊断。

（2）工作流程及产污环节

PET/CT 注射和显像流程如下：

①接诊：病人进入核医学科后，由护士进行接诊并向病人告知病人可能收到得辐射危害并确定放射性药物的种类和用量；

②药物分装：医护人员先确定好药物用量，然后向供药商预定药物，药物由铅

罐贮存，并由供药商直接送至核医学科手套箱内。项目医护人员先将所需设备放置于手套箱内，医护人员（作好防护措施，穿铅衣、铅手套等）使用注射器对药物进行分装，药物按需要抽取到不同规格的注射器中，最后将装有药物的注射器放入活度计中测量 放射性活度。分装操作时间约 0.5min。

③注射：病人给药采用注射方式进行给药，工作人员（作好防护措施，穿戴铅帽、铅衣、铅围脖等）将将分装好药物的注射器装入防护套管（套管上有铅玻璃窗口，可 以观察到注射器刻度），再将套管放入铅盒，转移至注射室注射窗口操作台，在注射窗口铅玻璃的隔离状态下对病患进行药物注射。注射操作时间约 0.5min。

④候检、显像：注射病人注射后，在注射后等待室内候检，观察等待时间约 30~60min，然后进入 PET/CT 机房显像诊断，经医护人员摆位后，接受扫描诊断时间约 12~15min。诊断结束后部分病人在留观室留观一定时间后（约 5min）可直接离开。

显像诊断工作流程及产污环节见图 9-1。

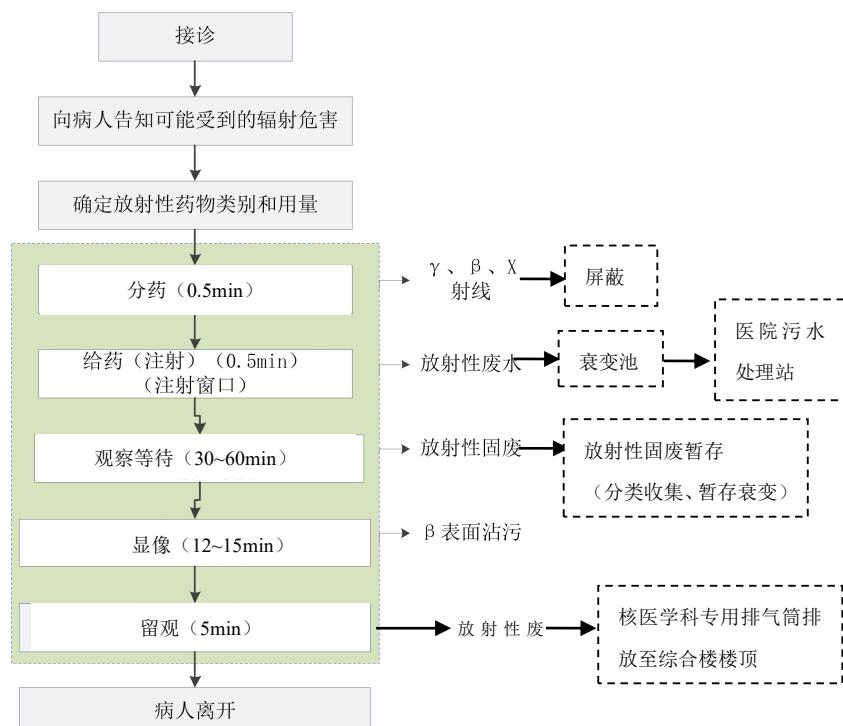


图 9-1 PET/CT 及 PET/MR 显像诊断工作流程及产污环节示意图

2、SPECT/CT 显像诊断

本项目显像诊断使用的锝-99m、碘-131 均为外购成品针剂。

（1）工作原理（SPECT/CT显像工作原理）

SPECT 即单光子发射计算机断层成像术 (Single-Photon Emission Computed Tomography)，本项目 SPECT 利用发射单光子的核素药物锝-99m、碘-131 进行检查。SPECT 的基本结构分三部分，即旋转探头装置、电子线路、数据处理和图像重建的计算机系统。SPECT 除显示肿瘤病灶外，尚可显示局部脏器功能的变化，如：左心功能、肾功能的改变等。本项目 SPECT 使用锝-99m 放射性核素，将放射性药物锝-99m、碘-131 引入人体，经代谢后在脏器内外或病变部位和正常组织之间形成放射性浓度差异，通过计算机处理再成像。SPECT 的基本成像原理是 γ 照相机探头的每个灵敏点探测沿一条投影线进来的 γ 光子，其测量值代表人体在该投影线上的放射性之和。

SPECT/CT 的工作原理是把 SPECT 和 CT 放在一起，利用体外的 X 射线穿透人体而获得三位解剖图像的断层成像技术，通过 SPECT 扫描和 CT 扫描重建，联合扫描，使两者的硬件和软件有机地结合在一起。工作时，其 CT 球管发射 X 线穿透人体组织，其探测器获得的数据不仅用于重建 CT 图像，同时提供给 SPECT 作为衰减校正的参数，在此基础上再进行 SPECT 图像的重建。所显示的图像为两者图像的融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置。

(2) 工作流程及产污环节

本项目显像诊断使用的锝-99m、碘-131 均为外购成品针剂。

①接诊：病人进入核医学科后，由护士进行接诊并向病人告知病人可能受到得辐射危害并确定放射性药物的种类和用量；

②药物分装：医护人员先确定好药物用量，然后向供药商预定药物，药物由铅罐贮存，并由供药商直接送至核医学科手套箱内。项目医护人员先将所需设备放置于手套箱内，医护人员（作好防护措施，穿铅衣、铅手套等）使用注射器对药物进行分装，药物按需要抽取到不同规格的注射器中，最后将装有药物的注射器放入活度计中测量 放射性活度。分装操作时间约 0.5min。

③给药：

A、注射病人（锝-99m 和碘-131）：病人给药采用注射方式进行给药，工作人员（作好防护措施，穿戴铅帽、铅衣、铅围脖等）将装有放射性药物的注射器置于转运铅盒，注射器用 5mm 铅当量的铅套包覆，然后在注射窗口给病人注射（注射时间 0.5min）。分装注射室的注射窗为 5mm 铅当量。

B、肺通气病人（锝-99m 肺通气）：工作人员（作好防护措施，穿铅衣、铅围脖等）将装有放射性药物的注射器（带防护铅套）置于转运铅盒转移至肺通气室，工作人员抽出放射性药物置于肺通气给药装置中，并连接一次性施给器置于肺通气患者口腔内，然后在铅屏风后指导病人用药。具体用药操作方式为：将 $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ 溶液，注入雾化器，控制气流量为 $8\sim10\text{L / min}$ ，使其充分雾化，经过过滤，产生雾粒大小合适的气溶胶。嘱受检者尽可能多地吸入气溶胶雾粒，单个病人吸入时间约为 5~8min。

④候检、显像：锝-99m（注射）、锝-99m（肺通气）和碘-131（注射）病人，在注射后候诊区候检，其中肺通气患者在给药后直接进入机房进行扫描；其余注射患者需观察等待时间约 20min，进入 SPECT 机房显像诊断，经医护人员摆位后，接受扫描诊断时间约 10min。诊断结束后病人留观一定时间（约 5min）后可直接离开。

显像诊断工作流程及产污环节见图 9-3。

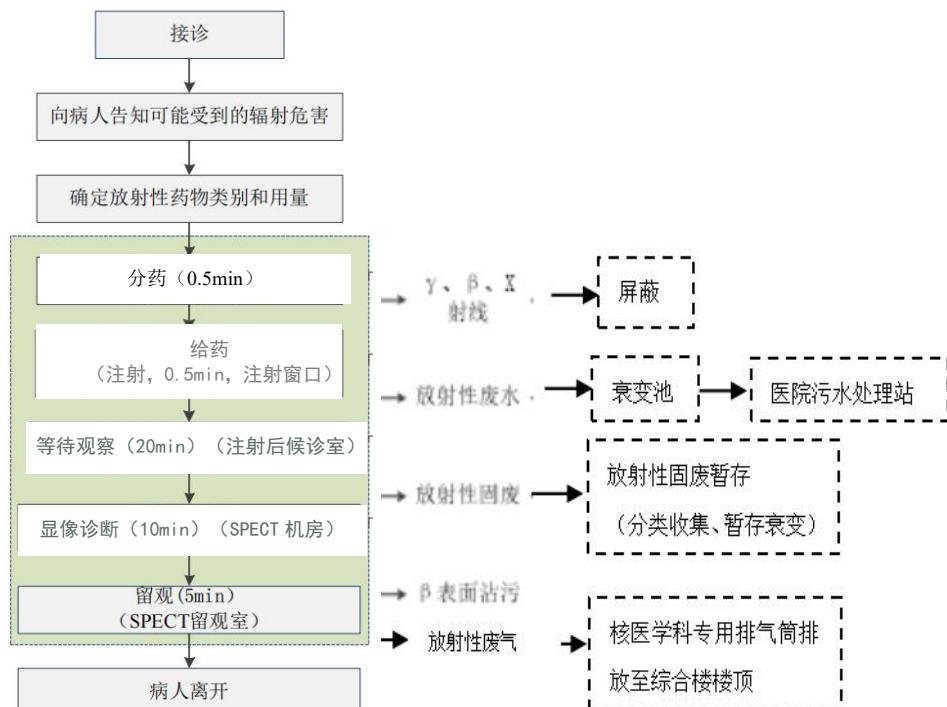


图 9-3 SPECT/CT（注射）显像诊断工作流程及产污环节示意图

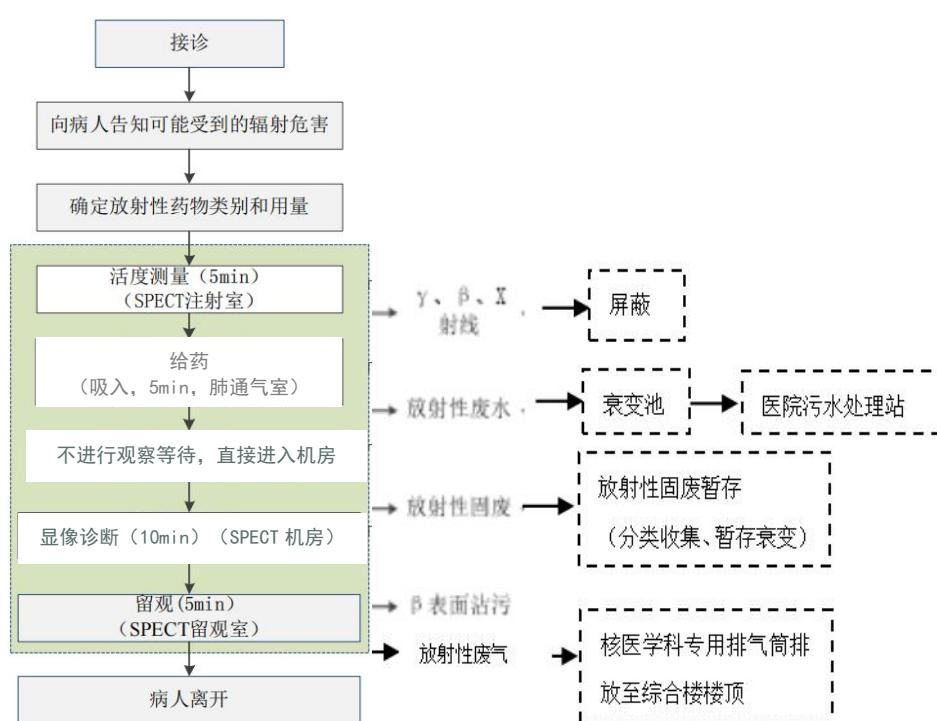


图 9-4 SPECT/CT（肺通气检查）显像诊断工作流程及产污环节示意图

（3）校准源操作的主要流程和产污分析

本项目 PET/CT 校准用放射源拟使用 V 类放射源，校准操作的主要操作流程如下：

①校准源取源操作

在接到需校准操作时候，由操作人员穿戴好防护服，打开校准源室门，进入校准源室；再由操作人员打开校准源储源装置，并操作长杆手取出校准源（操作时长约 3min）；

②放射源设置

由操作人员操作长杆手将柱状放射源（如 Na-22、Ge-68）置于探测器视野（FOV）中心，确保覆盖至少两个对面模块的最小范围，以减少散射干扰（操作时长约 2min）。

③数据采集与解析

采集足够数量的符合事件数据包，解析后统计各探测器模块间的时间差分布。例如，模块 $m\alpha$ 与其相邻模块 $m\alpha+1$ 的时间差均值作为基准，计算模块级时间偏差，生成第一级时间校正表（操作时长约 10min）。

④像素级校正

应用模块级校正后的数据，统计每个探测单元（像素）的时间差分布，生成第二级时间校正表。最终综合模块和像素校正表，迭代优化直至收敛，得到高精度的时间校正参数（操作时长约 10min）。

⑤校准操作完成，回收放射源

校准操作完成后，由操作人员穿戴好防护服，并操作长杆手将校准源放置入校准源室内的校准源储源装置，并关闭校准源储源装置（操作时长约 3min）；

⑥结束离开

校准操作完成后，关闭校准源室，人员离开。

具体校准操作和产污流程如下：

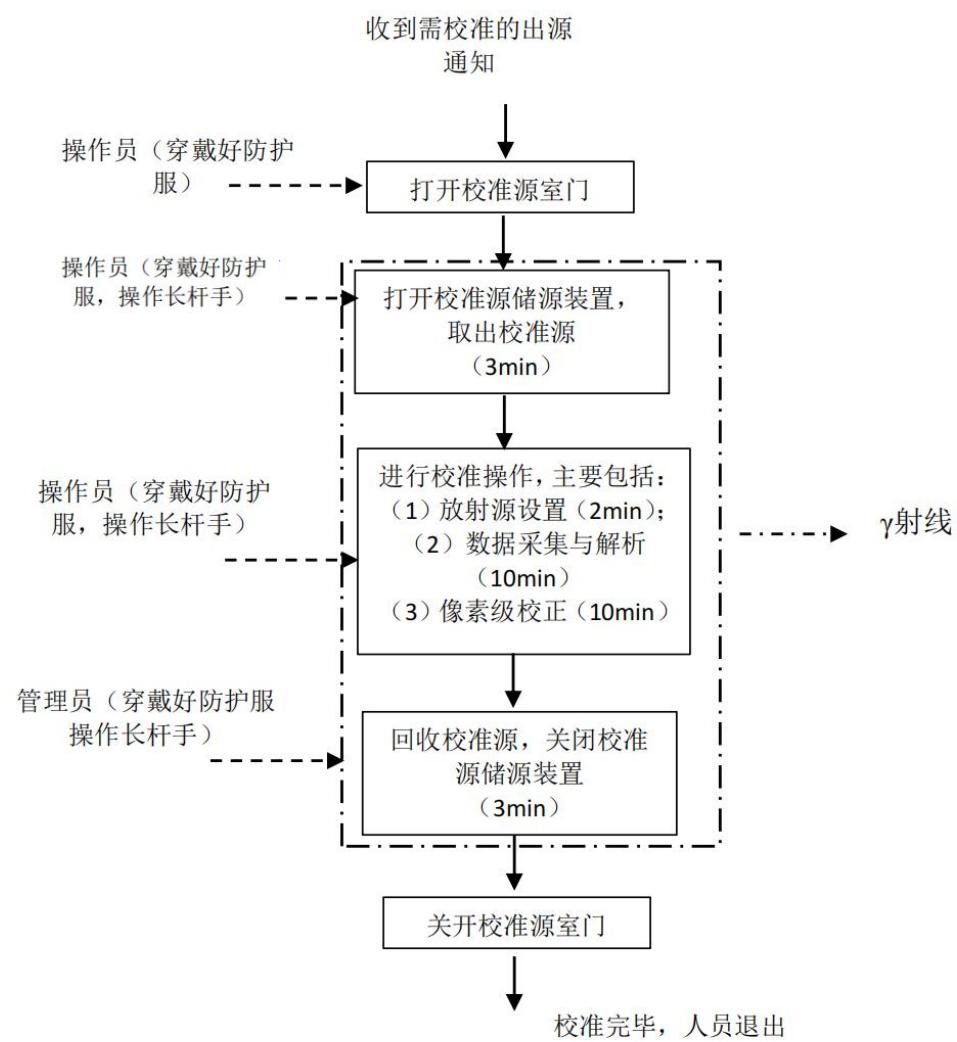


图 9-5 校准操作流程及产污环节示意图

(4) 回旋加速器的主要流程和产污分析

1) 回旋加速器的工作原理

回旋加速器通过电流和磁场使带电粒子得到加速轰击靶核后引起的核反应生产 放射性核素。在回旋加速器中心部位的离子源 (Ion Source) 经高压电弧放电而使气体电离发射出粒子束流，该粒子束流在称为 Dees 的半圆形电极盒 (简称“D 型盒”) 中运动。D 型盒与高频振荡电源相联为加速粒子提供交变的电场。在磁场和电场的作用下被加速的粒子在近似于螺旋的轨道中运动飞行。带电粒子经多次加速后，圆周轨道直径达到最大而接近 Dees 的边缘并具有最大的能量，在该点粒子经过束流提取系统的剥离碳膜。被加速的负粒子在通过碳膜期间被脱去二个电子，变成带正电的阳离子，此时，在磁场中粒子的运行轨道是逆时针方向偏转，直接将具有最大能量的带电粒子从真空室引出，通过调整提取膜的位置使引出的束流引导进入所确定的同位素生产靶系统，以一定的初始速度轰击靶体内填充的物质引发核反应。根据靶物质的不同，该系统在离子加速打靶后可完成临幊上所需要的放射性同位素。其中 ^{18}F 是目前临幊使用标记示踪剂最多的正电子放射性核素。其基本原理如下图。

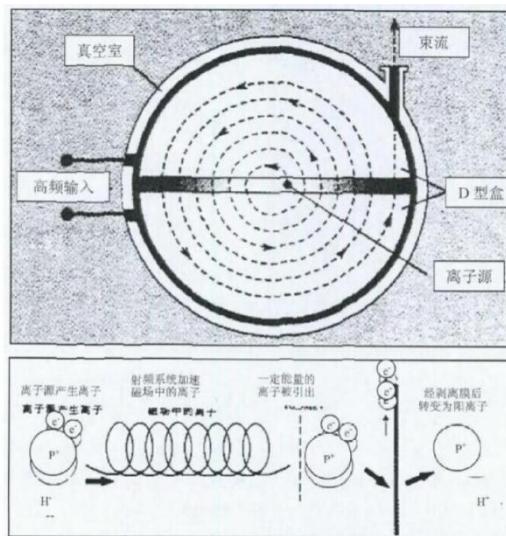


图 9-6 医用回旋加速器工作原理简图

2) 回旋加速器的设备组成

回旋加速器一般由磁场系统、射频系统、真空系统、离子源系统、束流提取系统、诊断系统、靶系统和冷却系统等组成，本项目使用回旋加速器各系统的主要作用如下：

磁场系统：由上下磁轭、线路极片、磁场线圈、磁场电源等组成，其作用就是提供偏转力使束流维持在上下磁极之间中心平面的准环形轨迹上。磁场线圈使束流在上、下磁极之间加速。磁场非匀场，而是采用深谷设计，对束流粒子在加速的中心层面提供了强聚焦力，引导粒子返回中心层面，产生高的束流引出效率。

射频系统：包括监测与控制元件、频率合成器、中级放大器、RF电源振幅器、共轴透射线、耦合网络和D型盒结构等，其作用就是对D型盒提供一交替的高电压电势，并将能量转至H⁺离子。随着束流加速得到能量，其轨道半径逐渐增加，这种轨迹被称为准螺旋形。当束流到达提取半径时，其能量也将达到预定能量。正常工作时，

射频频率自动受RF控制元件调整以维持D型盒结构的共振。

真空系统：包括真空室、排气泵、仪表和控制元件等。真空仪表和控制元件用于监测并显示真空室的压力以及在系统出现故障时对仪器起到保护作用。真空室需要连

续不断地抽气以排除来源于离子源及真空室内表面的气体。

离子源系统：包括离子源、ARC源、偏向电源与氢气流量控制器等。离子源产生H⁺离子，在正常操作中不需要进行调试或干预性操作。离子源存在电势差，用于电离氢气形成等离子浓聚体。进入离子源的氢气流量由电子质流控制器调控以与变化离子源和加速器运行条件相匹配。等离子体的电源（或ARC）由电流调节的开关型电源提供，在正常运行时，控制系统调节离子源的ARC电流以维持期望的靶电流。

束流提取系统：包括一个或者两个束流提取器，其作用就是当H⁺通过碳提取膜时，剥离其与氢核结合松散的两个电子，从而使束流由负电性变成正电性。

靶系统：是完成特定核反应而产生正电子核素的装置，一般包括靶体、准直器、靶膜、管路阀门等。靶材料包括液态、气态和固态靶三种类型，本项目制备¹⁸F、¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr使用液态靶，需要工作人员定期进入回旋加速器机房添加靶水。

冷却系统：从不同系统中将热量带出，带出的热量在二级冷却系统中进行热交换（二级水冷水量：120L/min；一级水冷水量：120-160L/min），并将热量传送到初级冷却系统。水冷却系统分为内循环冷却水系统和外循环冷却水系统。内循环冷

却水系统位于屏蔽体内，通过板式交换器与外循环水冷机进行热交换；外循环冷却水系统选用的冷水机组进行冷却。

化学合成系统：该系统包括合成分装模块以及相应的仪器设备，用于合成和分装 核素的药物。回旋加速器生产的放射性药品通过固体靶室打靶产生的放射性药物由屏 蔽输送管道直接输送到热室内的合成分装模块中，由自动合成装置进行药物合成，化学合成系统是在计算机控制下自动化完成药物的合成。

3) 放射性药物制备

医院提前一天根据患者预定的药物数量预定安排第二天的放射性药物生产量。在回旋加速器启动之前，工作人员须进入主机室进行巡视，确保机房内无人和各项准备工作（靶物质、冷却系统、通风系统等）就绪，然后关闭主机室防护门，进入控制室开启回旋加速器，回旋加速器运行期间，工作人员不进入加速器室内，仅在加速器控制室内操作。回旋加速器在每次正式制备放射性同位素前均进行预处理。先清洗靶并用纯氮吹干药物传递管道，然后注入靶物质，以一定的束流轰击一定时间（视所需制备量而定）后，将制备的核素通过专用核素传输井（600mm×600mm 混凝土，贴墙向上）内专用管道输送至药物合成热室内，通过核素沟进入自屏蔽化学合成系统（自动合成分装柜正面均为 70mm 铅当量，其余面均为 60mm 铅当量），分装后自动装入 40mm 铅当量的合金罐；以上整个过程（包括加速器打靶、化学合成及分装）为全自动控制，无工作人员参与，人员只在办公室监控整个过程的执行情况。

液态靶：

①靶材注入：¹⁸F 靶材为 ¹⁸O 水，¹³N 靶材为去离子水，靶材暂存于液体靶靶外围控制柜，打靶前通过回旋加速器控制软件选择对应的靶材腔，再通过靶材注入系统自动控制，将靶材注入靶材腔内。

②核素传输：打靶完成后，通过回旋加速器控制软件选择需要连通的合成模块，采用氮气吹送方式将核素经过对应的核素传输管道传输到对应的药物合成热室。

③靶腔清洗（非必须步骤）：核素传输完成后，可以选择用去离子水对靶材腔及核素传输管道进行冲洗，去离子水暂存于液体靶外围控制柜，整个过程也是通过回旋加速器控制软件自动操作。一般情况下无需进行靶腔冲洗，通常只有在生产的核素的量不够的情况下才会清洗靶材腔（原因在于残留的去离子水会稀释 ¹⁸O 水的

纯度，可能导致下一次生产的产额降低）。

本项目¹⁸F、¹³N 等放射性药物采用液体靶进行生产，除使用的靶材不同外，工艺流程基本相同，以¹⁸F-FDG 放射性药物合成为例，其具体工艺流程如下：

a) ¹⁸F 核素离子制备工艺

核素制备前对回旋加速器的运行参数进行确认。回旋加速器运行期间，工作人员不进入加速器室内，仅在加速器操作间内操作。

通过自动装置将重氧水（丰度 95% 的 H₂¹⁸O）靶材料装入液体靶腔内，以高能质子束流轰击，通过¹⁸O(p, n)¹⁸F 核反应生成¹⁸F⁻。将制备的含¹⁸F⁻的靶水通过地下专用防护管道系统，在惰性气体（如氦气）推动下输送至热室中的合成模块箱内。

b) ¹⁸F-FDG 药物合成

在化学合成模块箱，利用亲核取代反应标记。含¹⁸F⁻的靶水首先通过季铵盐阴离子交换柱（QMA），将氟离子吸附在分离柱上，废水及其中的杂质离子去除到废水瓶中，再使用洗脱液（K₂CO₃/K₂.₂.₂ 溶液等）将氟离子洗脱至反应容器内，加热除去水后，得到活化的中间产物¹⁸F⁻/穴醚复合物（¹⁸F-/K₂.₂.₂）；加入无水乙腈溶解的三氟甘露糖溶液进行亲核氟化反映，生成乙酰化的¹⁸F-FDG 中间体。加热除去反应体系中的乙腈；加入氢氧化钠进行水解反应去除乙酰基；再加入酸中和，得到粗产品（FDG 和一些杂质的混合物）；将粗产品通过纯化柱（如 C18 柱、氧化铝柱等）进行分离纯化，除去杂质。最后经过无菌滤膜过滤，获得符合注射剂标准的最终产品¹⁸F-FDG，并将其抽入热室分装柜的成品瓶中。

气态靶：

本项目回旋加速器生产¹¹C 使用气体靶，¹¹C 核素生产是通过质子轰击含微量 O₂ 的高纯 N₂ 产生¹⁴N(p, α)¹¹C 核反应，产生的¹¹C 自由基与 O₂ 反应生成¹¹CO₂。

通常使用高纯 N₂ (99.5%) + O₂ (0.5%) 混合气体作为靶材料，经过质子照射后得到¹¹CO₂（气态），经过核素传输管道传送至自动化合成模块中，¹¹CO₂ 先在无水条件下经过氢化铝锂 (LiAlH₄) 等强还原剂还原为¹¹CH₃OH，再经过氢碘酸 (HI) 碘代法生产出¹¹CH₃I 示踪剂（液态）这一关键的放射性前体。为了防止 CO₂ 的污染，可在 N₂ 进入靶室的管线间连接一个纯化捕获器，内装载氢化铝锂、烧碱石棉剂、分子筛或聚苯乙烯固定剂以吸附 CO₂，同时应注意捕获剂所带来的污染。传输管道宜选用管径较小、气密性好且不影响通量的不锈钢管，以减少残留、

渗透。具体操作流程如下：

①靶材注入：¹¹C 靶材为氮氧混合气体，暂存于气体靶外围控制柜，打靶前通过控制软件选择对应的靶材腔，系统自动将靶材注入。

②核素传输：打靶完成后，通过控制软件选择需要连通的合成模块，利用惰性气体（如氮气）经过对应的传输管道吹送至对应的合成热室。气体靶靶材腔通常无需冲洗。

固体靶：

固体靶放射性药物的生产、合成、质控、分装、运输等流程与液体靶基本类似，主要区别在于打靶前靶件制备和打靶后核素溶解纯化均需要在热室内全自动完成。打靶完成后生成的是固体放射性核素，需要首先溶解于酸等溶剂中，并经过纯化，才能用于后续化学反应合成最终的放射性药物。

①靶件制备：⁶⁴Cu 靶材为富集的⁶⁴Ni，通过电镀方式在靶基上制备镍层；⁸⁹Zr 靶材为⁸⁹Y，可直接购买成品⁸⁹Y 箔片，裁剪并安装于凹槽中即可。制备好的靶梭预装在配套的溶解传输装置中（该装置放置在双腔热室的下腔）。

②靶件传输：打靶前通过控制软件，控制溶解传输模块选择对应的靶梭，经预埋的靶梭传输管道自动传输至加速器室固体靶站进行辐照。辐照后的靶梭经传输管道再自动传回至热室内溶解模块，自动进行核素溶解。整个过程为全自动操作，正常情况下无需手动操作。

③靶件更换：辐照并溶解后的废靶梭自动回收至传输装置下方的废靶箱暂存衰变，一般放置 10 个以上半衰期再手动取出作放射性废物处理。下一次打靶重复第②步即可。

4) 质控

药物生产完成后，工作人员进入合成热室将合成分装模块内装有少量质检用药物的铅罐取出，经传递窗送至外包间，再由工作人员通过传递窗送至质控室进行质量检验，质控室设手套箱，工作人员在手套箱内将待检药物注射器吸取微量抽检样品，检验药物的 pH 值和性状，经检验满足《药品管理法》和《放射性药品管理办法》等相关法律法规要求后，方可开展后续工作。主要质检工艺流程描述如下：

①pH 值测定

用注射器抽取少量样品，取一滴于 pH 试纸上，观察颜色并与标准比色板进行

比对。

②放射性活度（浓度）测定

活度计法：对于 γ 或高能 β 核素，可用活度计直接进行测量。将放射性样品置于活度计中直接读出放射性活度值。测量前必须根据被测条件进行仪器校准给出相应的校准系数。

液体闪烁计数器法：对于 α 、 β 核素类以及含有 α 、 β 核素杂质的放射性药品，采用液体闪烁计数器进行测定。在通风橱中用精准移取待测放射性样品适量置液闪瓶中，充分摇匀后，放入液体闪烁计数器样品室进行活度测定。

③放射化学纯度测定

纸色谱法、薄层色谱法：在防护手套箱中，用取样器移取少量样品，根据放射性浓度进行适当的稀释后，用毛细管吸取适量样品，在铅玻璃防护屏后，点于层析纸或薄层板上，晾干展开。将展开、晾干后的层析纸或薄层板用 γ 、 β 计数器或薄层色谱仪进行测定。

液相色谱仪法：采用液相色谱仪法，在防护手套箱中制备一定活度样品放入液相色谱仪进行分析。

④细菌内毒素、阳性对照分析

待放射性产品衰变一定活度后，用移液器取适量放射性样品进行稀释混合，经过滤后作为供试品溶液。取细菌内毒素工作标准品用细菌内毒素检查用水复溶并封口，采用混合仪混合，再用细菌内毒素检查用水稀释并做好标记。取一定体积的供试品溶液、阳性对照溶液，混合后制成供试品阳性对照溶液。向每支鲎试剂中加入细菌内毒素检查用进行复溶，然后分别加入供试品溶液、阳性对照溶液、供试品阳性对照溶液、细菌内毒素检查用水，用封口膜封口，保温一定时间后观察结果。

⑤无菌检测

无菌检测可采用薄膜过滤和直接接种两种方法。放射性样品通常采用直接接种法，在铅屏后面操作；短半衰期核素可在衰变完全后进行操作，长半衰期可采用全封闭的薄膜过滤系统进行操作。

产污环节：药物质控过程中核素衰变发出 β^+ 射线以及因发生正电子湮灭而产生的 γ 射线；操作过程中，可能会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成放射性表面污染；发生药品泄露后医务人员去污、应急洗消、

场所清洗时可能产生少量放射性废水；手套箱药物的挥发产生含放射性核素的废气；作业产生废棉签、口罩、手套等放射性固废。

5) 放射性药物传递

PET 药物制备完成后，制药工作人员身着铅衣、铅手套进入热室将合成分装模块 内装有药物的铅罐(50mmPb)取出，将放射性药物放置到不锈钢长臂小车上(人体与手推车间的距离约 1.2m)，通过核素通道送入核医学科，储源室 2。

6) 工艺流程汇总

以上整个过程(打靶、合成、分装)为计算机全自动控制，工作人员不参与操作，只是监控整个过程的执行情况；质控环节由工作人员在手套箱内操作。

因此，回旋加速器项目污染因子主要是： γ 射线、中子、活化气体、 β 表面污染、放射性废水、放射性废气以及放射性固废、O₃和 NO_x。

综上所述，结合工作原理，本项目回旋加速器生产制备放射性药物的流程及产污环节如下图所示。

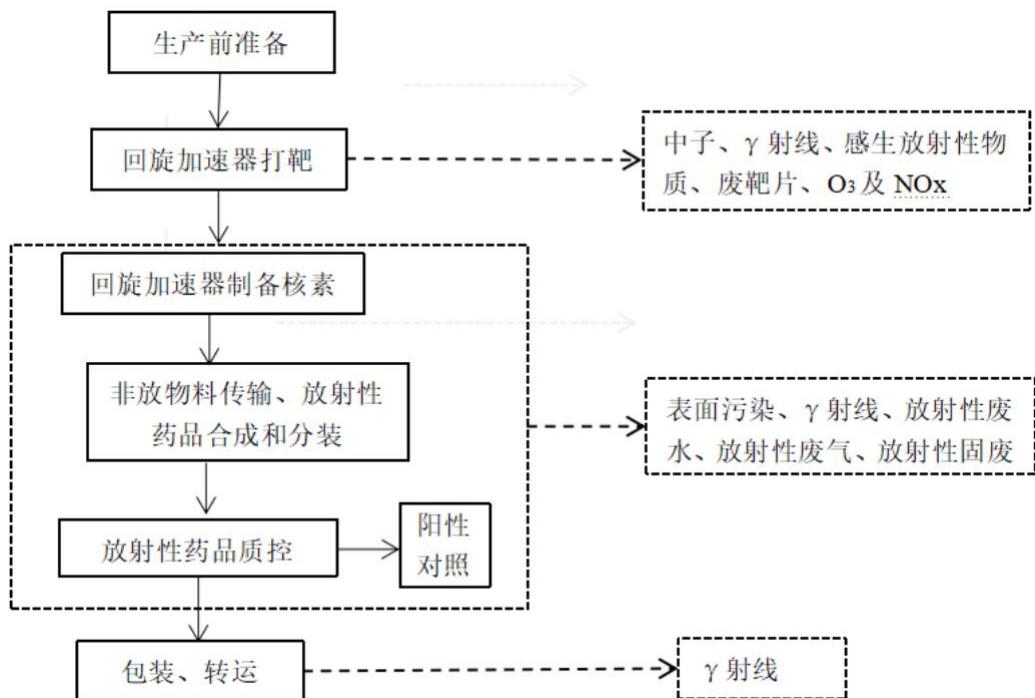


图 9-7 医用回旋加速器生产制备放射性同位素工艺及产污流程示意图

(5) 锶镓发生器制备⁶⁸Ga 主要流程和产污分析

1) 锶镓发生器

本项目锶镓发生器是医院向有资质的药物供货商进行购买。锶镓发生器使用 1

个/半年，单次购买的最大规格为 50mCi。发生器均由供货商在医院上班前负责运输至核医学科楼负一层交给医院放射性药物生产区物料接收人员。

① 锗-镓发生器淋洗原理

由供货商在医院上班前负责运输至核医学科楼负一层交给核医学科楼负一层交给医院放射性药物生产区物料接收人员。 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 同位素发生器是由母体核 ^{68}Ge (半衰期: 为 287 天) 和子体核 ^{68}Ga (半衰期为: 63.8 分钟) 组成。它具有母体半衰期长, 便于长期使用, 子体核是正电子发射, 在医学诊断中可采用正电子扫描、提高确诊率, 以及子体核半衰期短, 降低病人所受的辐射剂量等优点。

锗镓发生器属于色谱柱 (Chromatographic column) 型发生器, 基本部件是活化氧化铝柱、淋洗系统和用于保护工作人员的辐射屏蔽套。 ^{68}Ga 由活化氧化铝柱内 ^{68}Ge 不断裂变产生, 并不被活化氧化铝柱吸附, 当加入适当的淋洗剂时, ^{68}Ga 便以 $^{68}\text{GaO}_4$ 的形式被淋洗出来, 称之为“挤奶”。为了使用方便, 一套锗镓发生器除基本部件外, 常附加子体核素溶液接收瓶 (即负压瓶) 和一定量的淋洗剂 (0.05~0.15NaCl)。由于母体核素的不断衰变就不断地产生子体核素, 因而核素发生器可以反复淋洗制得子体核素。但为了保证有效的使用量, 两次淋洗之间必须有一定的时间间隔, 以保证子体核素在分离柱上的再积聚。一般情况下, 锗镓发生器每隔数小时可淋洗一次。发生器的内部结构见图 9-8。

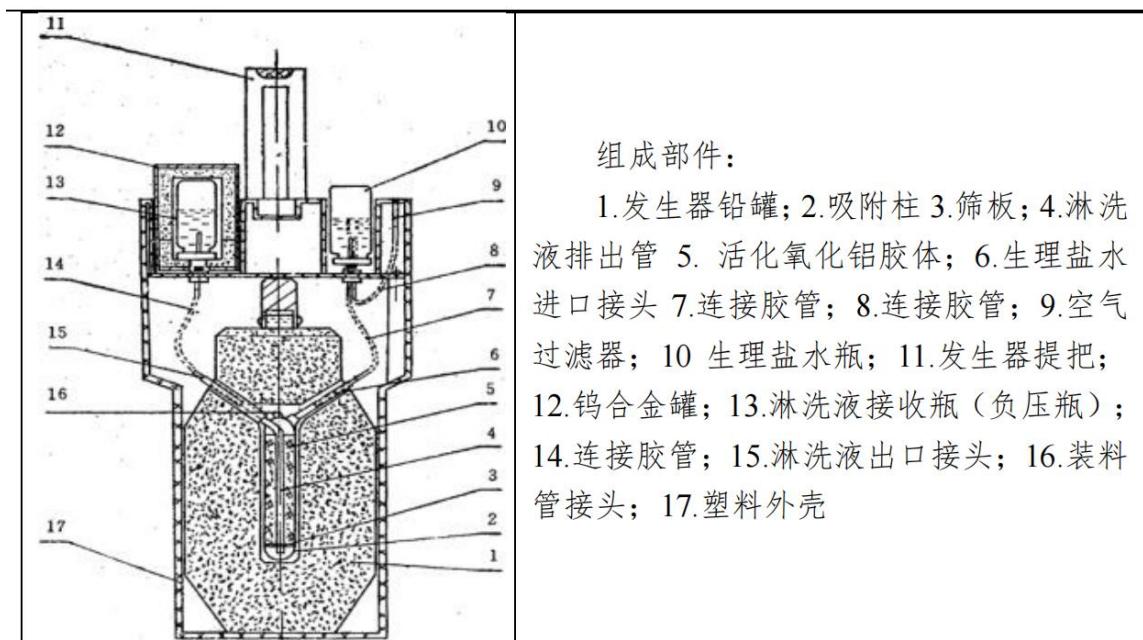


图 9-8 典型发生器的内部结构图

②操作流程及产污环节

镥-镓发生器淋洗的具体操作流程如下：

A、订药：根据病人的需要进行预订，然后制定制药计划，在手套箱内进行制药。

B、检查药盒完整性：负责标记操作的工作人员在淋洗操作前检查待标记药盒的完整性，主要内容为检查药盒是否破损、过期，厂家药品名是否符合。经检查合格后，放入防护罐中用 75% 酒精棉球消毒瓶口 2 遍，盖上盖子备用。

C、淋洗：在热室内手套箱内对发生器进行淋洗操作。具体的淋洗操作如下：

D、准备：开负压瓶、0.9% 生理盐水瓶，把负压瓶装入铅制的防护罐。

E、消毒：用 75% 酒精擦拭负压瓶、0.9% 生理盐水瓶。

F、淋洗：先把 0.9% 盐酸瓶插入发生器的双针，然后把外有防护罐的负压瓶插入发生器的单针，直至 0.9% 盐酸被吸干，1 分钟后整体拔下外有防护罐的负压瓶，制得的淋洗液贮存于外有防护罐的负压瓶之中。通常整个淋洗过程约需 5min。

需淋洗得到的核素母体镥-68 与发生器柱子结合，淋洗柱外用钨合金罐包装，在整个使用过程中镥-68 都保持在相应发生器柱子里，使用后的柱子随铅罐包装一同回收至发生器生产厂家。据医院提供资料，各发生器合金罐表面的 γ 剂量率小于 0.1mSv/h。发生器放置在 70mm 铅当量防护厚度的手套箱内，整个制药过程均在手套箱内进行，经过发生器的合金罐及 70mm 铅当量防护厚度的热室柜屏蔽后，各发生器内的镥-68 对职业工作人员影响非常小，而在整个制药过程中，公众不能进入热室，而在非工作期间，工作人员将场所上锁，公众仍然无法进入制药区，因此经屏蔽后，发生器内的镥-68 对公众人员没有影响。

G、测量活度：测量活度在热室柜内进行，由负责标记的工作人员完成。工作人员用注射器吸取上一步制得的少量淋洗液（0.1ml），垂直放入热室柜内的活度计中，测量其放射性活度，得出该瓶淋洗液的比活度，同时可测量淋洗液的纯度。

H、标记：标记在热室柜进行，工作人员同测量活度的人员为同一人，用于标记的冻干药盒在标记操作前经完整性检查后传递至热室柜，自动标记合成。整个过程需要 30min。

根据需要，将质检需要的放射性药物用注射器抽取少量滴在专用 pH 纸条上、

或者层析条上、或西林瓶中，送至质检区进行质检，将病人注射需要的放射性物质储存铅罐通过专用药物传送梯送至影像诊断区储源室。

操作流程及产污环节图见图 9-9。

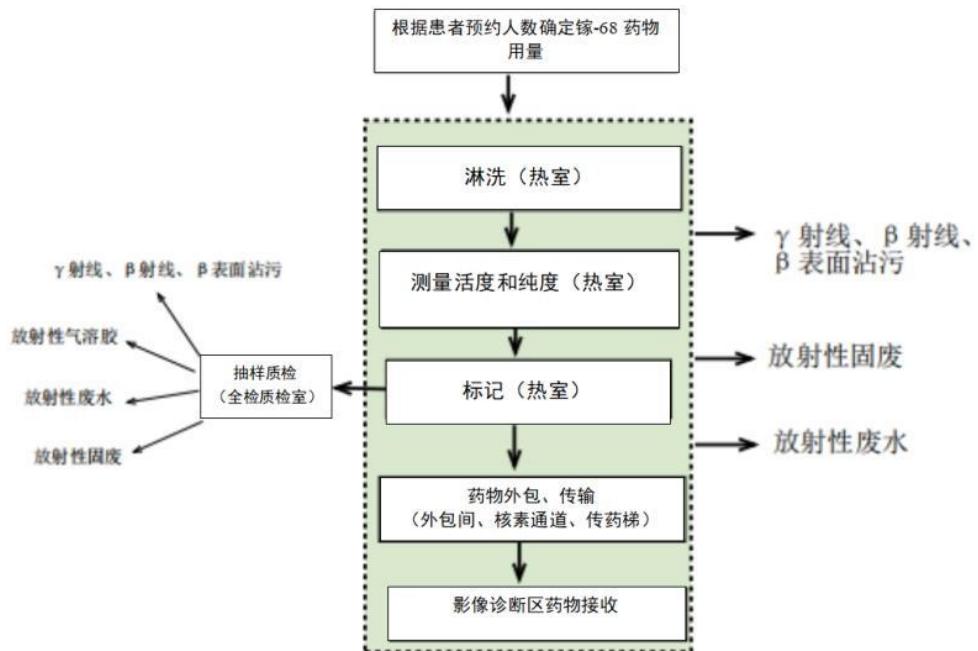


图 9-9 镓-68 淋洗工作流程及产污环节示意图

3、碘-131 甲状腺吸碘功能测定（甲吸测定）

（1）工作原理

甲状腺吸碘功能测定简称为甲吸。甲状腺具有选择性摄取和浓聚碘的功能，其摄碘的速度和数量以及碘在甲状腺的停留时间，均取决于甲状腺的功能状态。食物中的碘为¹²⁷I，而¹³¹I 为其同位素，具有相同的理化性质，但¹³¹I 具有放射性，在其衰变时发出γ射线。因此，给检查者口服一定量的¹³¹I 后，即被甲状腺所摄取，在体外用特定的γ射线探测仪就可测得甲状腺对¹³¹I 的吸收情况，从而判断甲状腺的功能状况。

（2）工作流程及产污环节

甲状腺吸碘功能测定检查流程如下：

- ①接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害；
- ②医生根据病情确定使用核素的剂量；
- ③工作人员在分装给药室的手套箱内将¹³¹I 药物分装后，转移至注射窗供病人口服，单个病人服药量最大为 5μCi，服药后患者直接离开核医学科；

④患者分别于服药后 2h、4h、6h、24h 从核医学科南侧患者入口进入甲吸检查室进行甲状腺功能测定，检查完毕由核医学科门诊区患者专用出口通道离开核医学科。

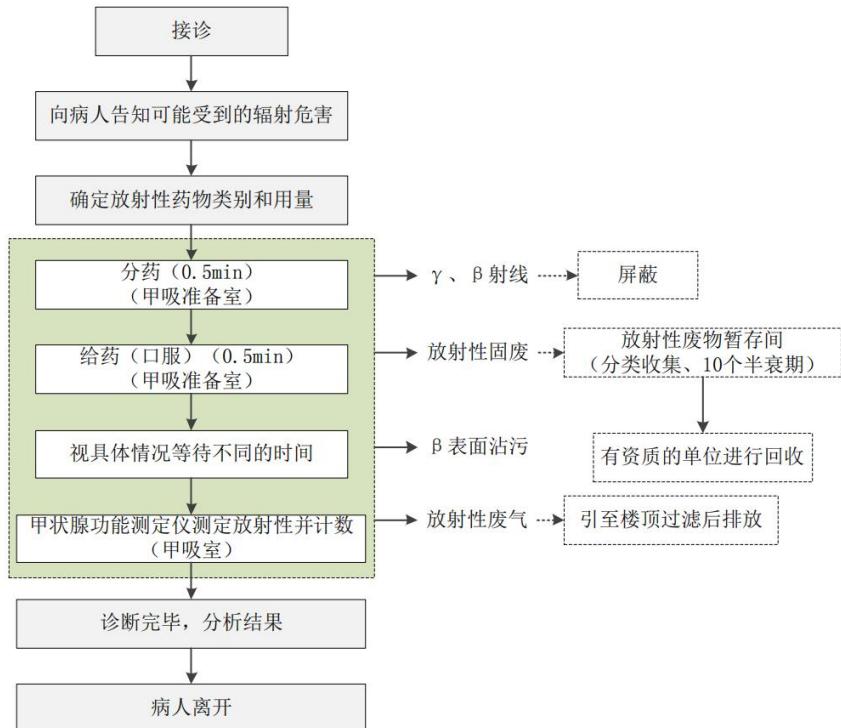


图 9-8 碘-131 甲状腺吸碘功能测定治疗工作流程及产污环节示意图

4、碘-131 甲状腺治疗

(1) 工作原理

碘是合成甲状腺激素的物质之一，甲状腺细胞通过钠/碘共转运子（NIS）克服电化学梯度从血液循环中浓聚碘-131。碘-131 在甲状腺组织内的有效半衰期约为 3.4~3.5d，碘-131 衰变发射的β射线在组织内平均射程为 1mm，所以β粒子携带的能量几乎全部释放在甲状腺组织内，对甲状腺周围的组织和器官影响较小。由于β射线在组织内有一定的射程，将产生“交叉火力”作用，使甲状腺组织不是均匀的接受辐射，腺体中心的组织接受来自四周的辐射，而表面的甲状腺组织则只接受来自甲状腺体内的辐射，甲状腺周围的组织不摄取碘-131，不会对甲状腺表面的组织形成空间的辐射。因此，甲状腺中心部分接受的辐射剂量大于腺体表面，如给予适当剂量的碘[¹³¹I]化钠，利用放射性“切除”部分甲状腺组织的同时保留一定量的甲状腺组织，使甲状腺功能恢复正常，达到治疗甲亢的目的。

(2) 工作流程及产污环节

本项目购买现成的碘[¹³¹I]化钠溶液，辐射工作人员利用自动分装仪将¹³¹I药物自动分装，远程指导患者口服（患者在服药室服药）。甲亢病人每天最多5例，单个碘-131甲亢病人最大服药量为10mCi，病人服药经门诊留观室留观后即可离开核医学科。

碘-131甲亢治疗流程及产污环节见图9-5。

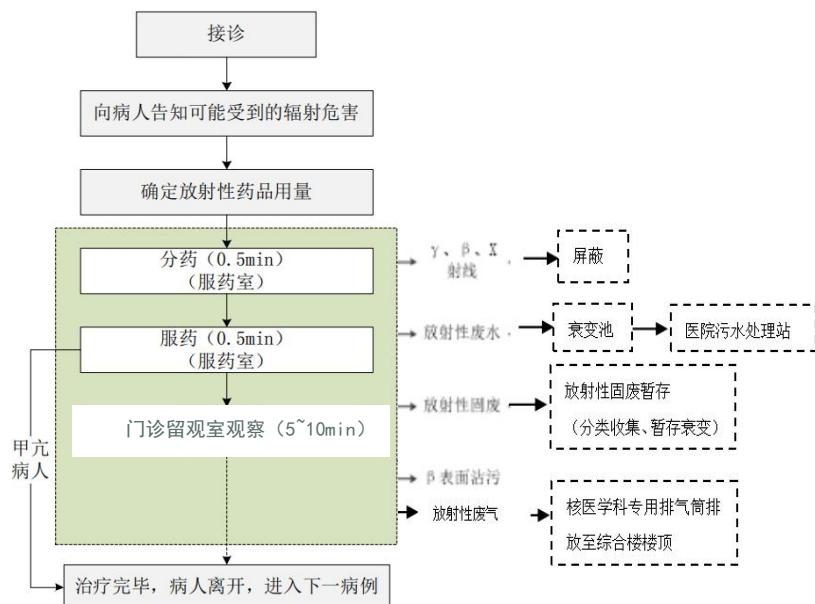


图 9-9 碘-131 甲亢治疗工作流程及产污环节示意图

5、⁹⁰Sr、³²P 敷贴治疗

(1) 工作原理

β 射线有较强的电离能力，在人体组织内的射程仅有几毫米。一定剂量的发射 β 射线的放射性核素作为一种外照射源紧贴于病变部位，通过 β 射线对病变部位的电离辐射生物效应，可达治疗目的。敷贴器即是根据以上原理制成。

针对⁹⁰Sr-⁹⁰Y敷贴器，⁹⁰Sr衰变为⁹⁰Y，⁹⁰Y衰变发出能量为2.3MeV的 β 射线，发挥治疗作用，⁹⁰Sr敷贴器为外购成品，平时拟存放于敷贴治疗室专用的敷贴器保险柜内，使用时由取出，用敷贴器大小的铅皮裁剪出相应病灶的形状覆于病灶处，病灶对准裁剪缺口，敷贴器覆于铅皮上不接触病灶进行治疗。由于⁹⁰Sr半衰期长，使用过程中只需每年校正衰变一次。

针对³²P敷贴器，含³²P药物密封在专用的屏蔽容器中，使用前由工作人员在

手套箱中根据所需治疗瘤、痔、疤痕等的面积制作，一般为 $50\text{cm}^2\sim200\text{cm}^2$ 。根据医院核实， $\text{Na}_2\text{H}^{32}\text{PO}_4$ 溶液滴在滤纸上的规格约为 $6.765\text{E}+5\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，单次治疗最大敷贴面积约 200cm^2 ，则单人单次最大用量 $1.35\times10^8\text{Bq}$ ，日最大操作量为 $2.7\times10^9\text{Bq}$ ，年诊疗天数 250d ，年最大操作量为 $6.75\times10^{11}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $2.7\times10^8\text{Bq}$ 。治疗时，辐射工作人员提前制成 ^{32}P 敷贴器，送至敷贴治疗室，治疗人员将敷贴器摆放至治疗部位后，在不接触患者皮肤的面用 3mm 厚的橡皮泥覆盖屏蔽，敷贴后病人进入甲亢留观室留观，待留观完毕后，将敷贴器放入专门的放射性固废收集桶中后，病人离开。

敷贴治疗流程及产污环节见下图。

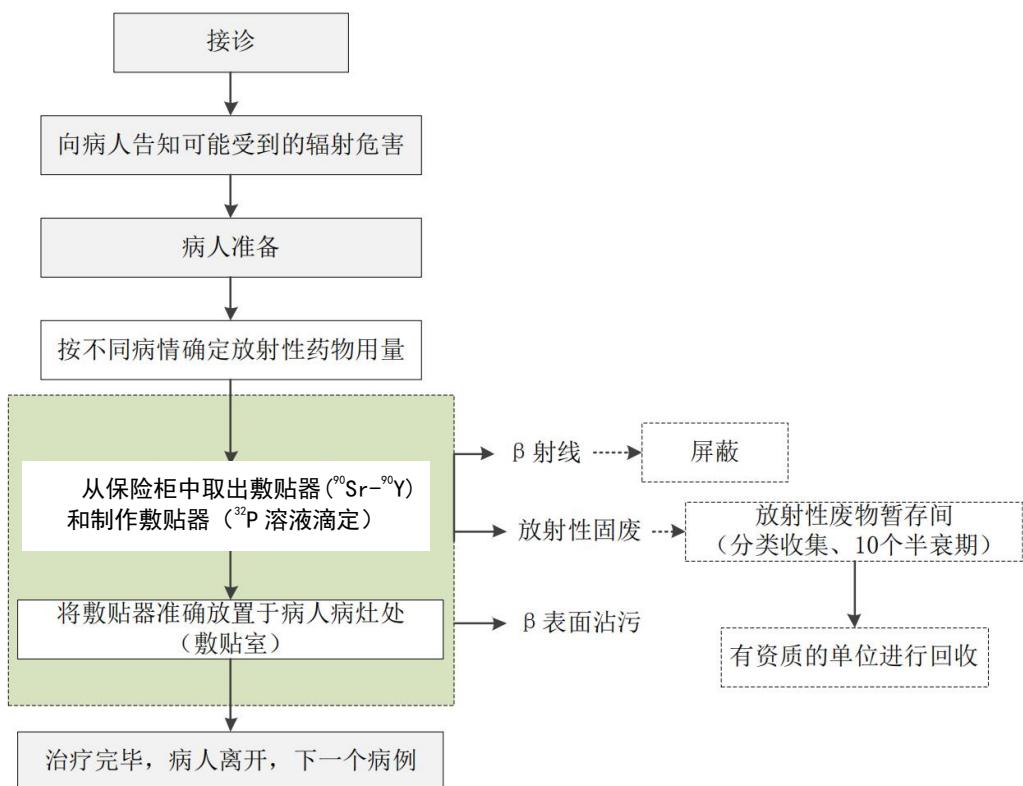


图 9-10 钽-90、磷-32 敷贴治疗工作流程及产污环节示意图

6、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 肿瘤骨转移治疗

(1) 工作原理

锶-89、镭-223 放射性药物主要用于缓解前列腺癌、乳腺癌、肺癌、鼻咽癌、神经内分泌肿瘤等晚期恶性肿瘤骨转移所致骨痛，用于治疗肿瘤转移的放射性药物都是趋骨性的，骨组织代谢活跃的部分浓聚更多的放射性药物。骨肿瘤病灶部位由于

骨组织受到破坏，成骨细胞的修复作用极其活跃，所以浓聚大量的放射性药物。由于不是肿瘤细胞直接浓聚放射性药物，是肿瘤部位骨组织代谢活跃形成的放射性药物浓聚，因此是一种间接的浓聚机制。骨肿瘤病灶浓聚的放射性药物靶/非靶比值很高，非密封放射性物质衰变过程中发射 β 射线，辐射作用引起肿瘤组织内毛细血管扩张、水肿，细胞结构不清；染色体淡或固缩，炎细胞浸润；进一步肿瘤细胞核消失或空泡形成，坏死或纤维化形成，从而治疗骨肿瘤。

（2）工作流程及产污环节

医院根据与病人预约情况提前向药物供货商订 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 注射液，待病人进入服药室内，辐射工作人员直接将药物直接给每个病人注射（在SPECT/CT分装室的注射窗注射），不用稀释分装，病人治疗完毕后离开，进入下一病例。注射药物时，工作人员从铅罐内吸取药物进行注射。

医院预计使用锶-89病例每天最多5例，每名患者所使用锶-89的活度不超过4mCi，镭-223病人病例每天最多2例，每名患者所使用镭-223的活度不超过1.5mCi。医生将在治疗前告知病人治疗需前上厕所，病人在注射后即可直接离开核医学科，不在医院留观，治疗流程及产污环节见图9-11。

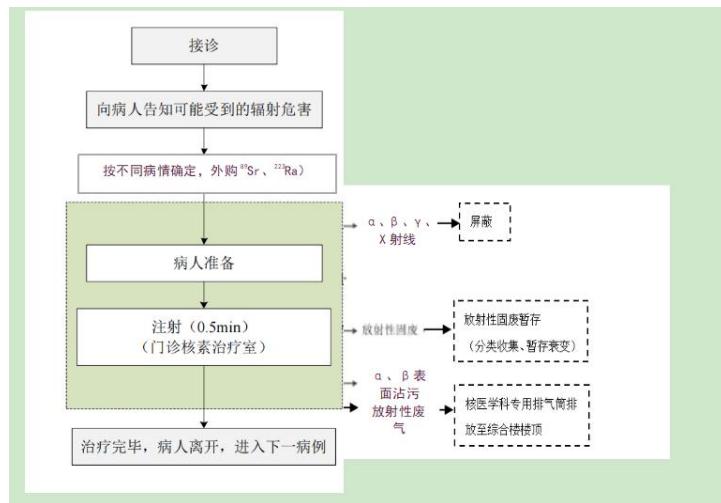


图 9-11 锶-89、镭-223 肿瘤骨转移治疗工作流程及产污环节示意图

7、 ^{131}I 甲癌治疗部分

（1）工作原理

放射性核素 ^{131}I 可以高度选择性聚集在分化型甲状腺癌及转移灶， ^{131}I 衰变时发射出的射程很短的 β 射线和能量跃迁时发出的 γ 射线，从而对病变组织进行内照射治疗，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的，

而邻近的正常组织的吸收剂量很低，从而达到治疗目的。

（2）工作流程及产污环节

^{131}I 甲癌治疗工作流程及产污环节介绍如下：

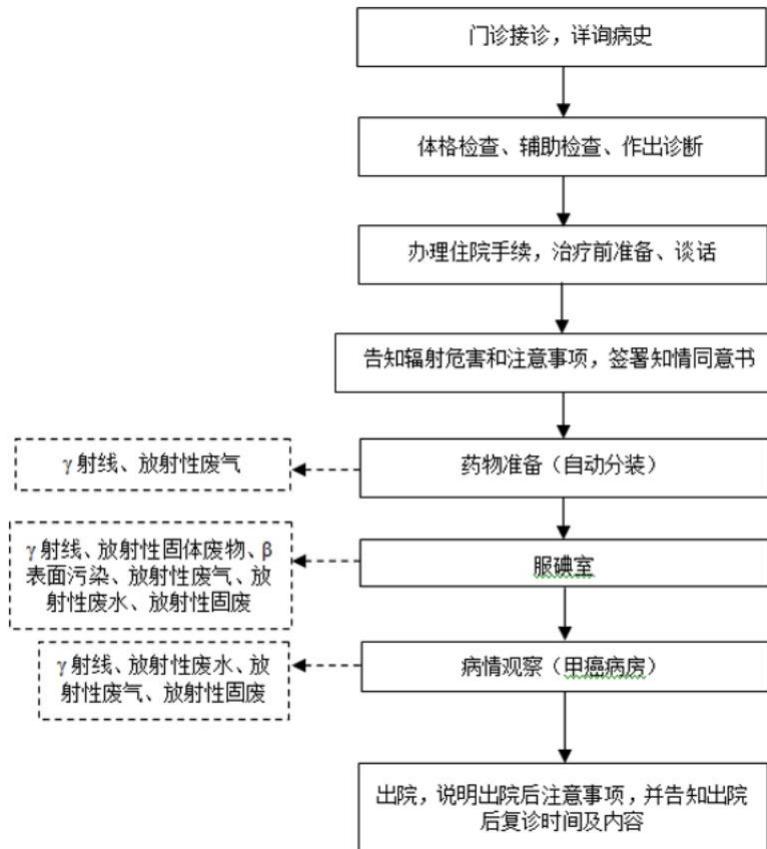


图 9-12 碘-131 甲癌治疗工作流程及产污环节示意图

8、 ^{177}Lu 核素治疗项目

（1）工作原理

^{177}Lu 专门用于所谓的肽受体放射性药物治疗，药物包含同位素 ^{177}Lu 和癌细胞表面上的特异性膜抗原 (PSMA)结合的蛋白质，可以识别位于癌细胞表面并与之结合的靶向受体，放射性成分附着在这种蛋白质载体上，从而将放射性药物靶向递送至恶性细胞。镥-177 为 β 治疗核素，根据也可以根据其载体的不同治疗不同类型的肿瘤，如神经内分泌肿瘤、前列腺癌、骨转移瘤及其他各种实体肿瘤等。

（2）工艺流程

①医院根据与患者预约情况提前向药物供货商订 ^{177}Lu 注射液，由药物供货商负责药物运输至核医学科楼负一楼的储源室。

②患者先在护士站登记并提前入册，然后医生根据患者情况进行分装配制药
物，并将分装后的药物吸入有铅防护的注射器中。

③医生通知患者进入服药室，按配送的药物直接给每个患者注射，不用稀释分
装（少数药物由于液体容积较大，无法注射，则采用输液给药）。注射药物时，工
作人员手持注射器，隔着铅玻璃对患者进行注射。

医院每天最多接诊¹⁷⁷Lu 病例 2 例，预计每名患者所使用¹⁷⁷Lu 的活度不超过
 $7.40 \times 10^9 \text{Bq}$ （200mCi）。接受¹⁷⁷Lu 治疗的患者用药后在¹⁷⁷Lu 病房住院观察，一
般住院 3~5 天即可离开医院。¹⁷⁷Lu 治疗流程见图。

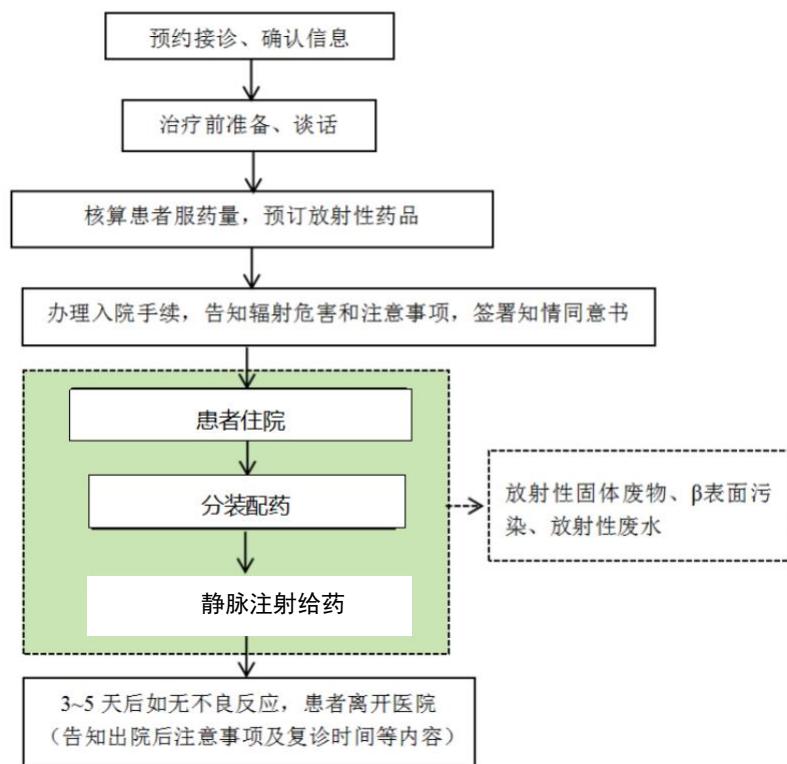


图 9-13 ¹⁷⁷Lu 治疗工作流程及产污环节示意图

9、锕-225 核素治疗项目

（1）工作原理

锕-225：锕-225 为 α 治疗核素，半衰期为 10 天。主要发射 α 辐射，具有较 β 射线
更高的传能线密度，可以直接损伤细胞的 DNA，具有极强的细胞杀伤能力，其在
组织中的穿透距离为 50-90 μm ，是细胞直径的尺度，在锕-225 的衰变过程中，可以
高效地释放 α 射线，可对周围病变细胞造成电离辐射，进而抑制病变细胞的生长甚
至杀死病变细胞。锕-225 根据不同载体治疗不同类型肿瘤，如用于前列腺癌、神经
内分泌瘤、肾上腺或肾上腺外的嗜铬组织肿瘤等。

(2) 工艺流程

需要治疗的患者在核医学科核素病房治疗区注射室窗口接受注射，注射完毕后分别在病房内留观。治疗流程及产污环节见下图。

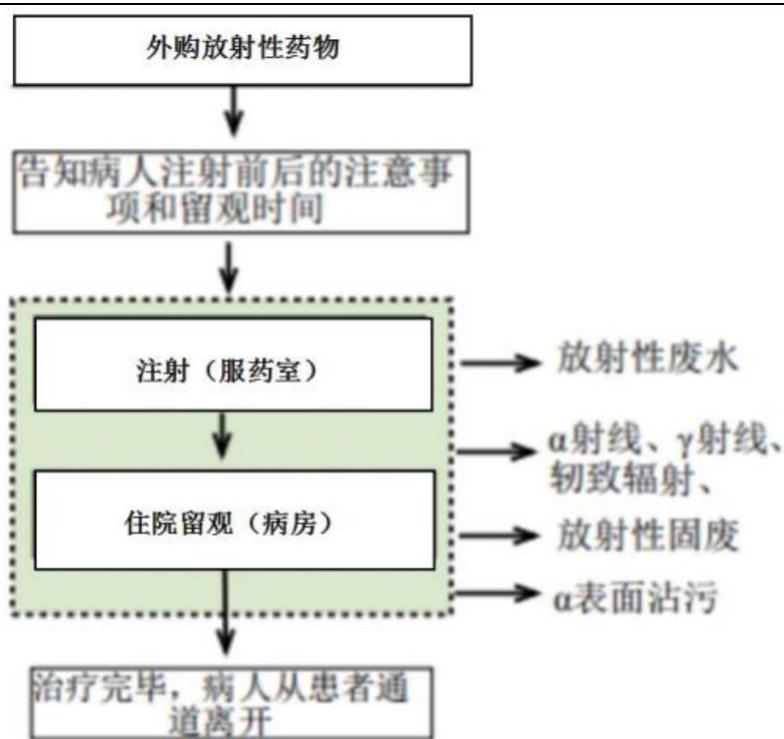


图 9-14 钢-225 治疗工作流程及产污环节示意图

10、核医学科人流、物流路径

核医学科（门诊部分）位于门急诊医技住院综合楼负一层。

核医学科放射性药物在院内的通行运输路径：医院所需放射性药物均外购，药物在医院上班前通过核医学科东南侧侧入口经患者通道进入核医学科区域，SPECT诊疗区所需放射性药物进入储源室1，PET诊疗区所需放射性药物进入储源室2，甲亢、甲吸、敷贴及肿瘤骨转移治疗所需放射性药物进入治疗诊室或储源室内。

核医学科人流、物流路径示意图详见下图。

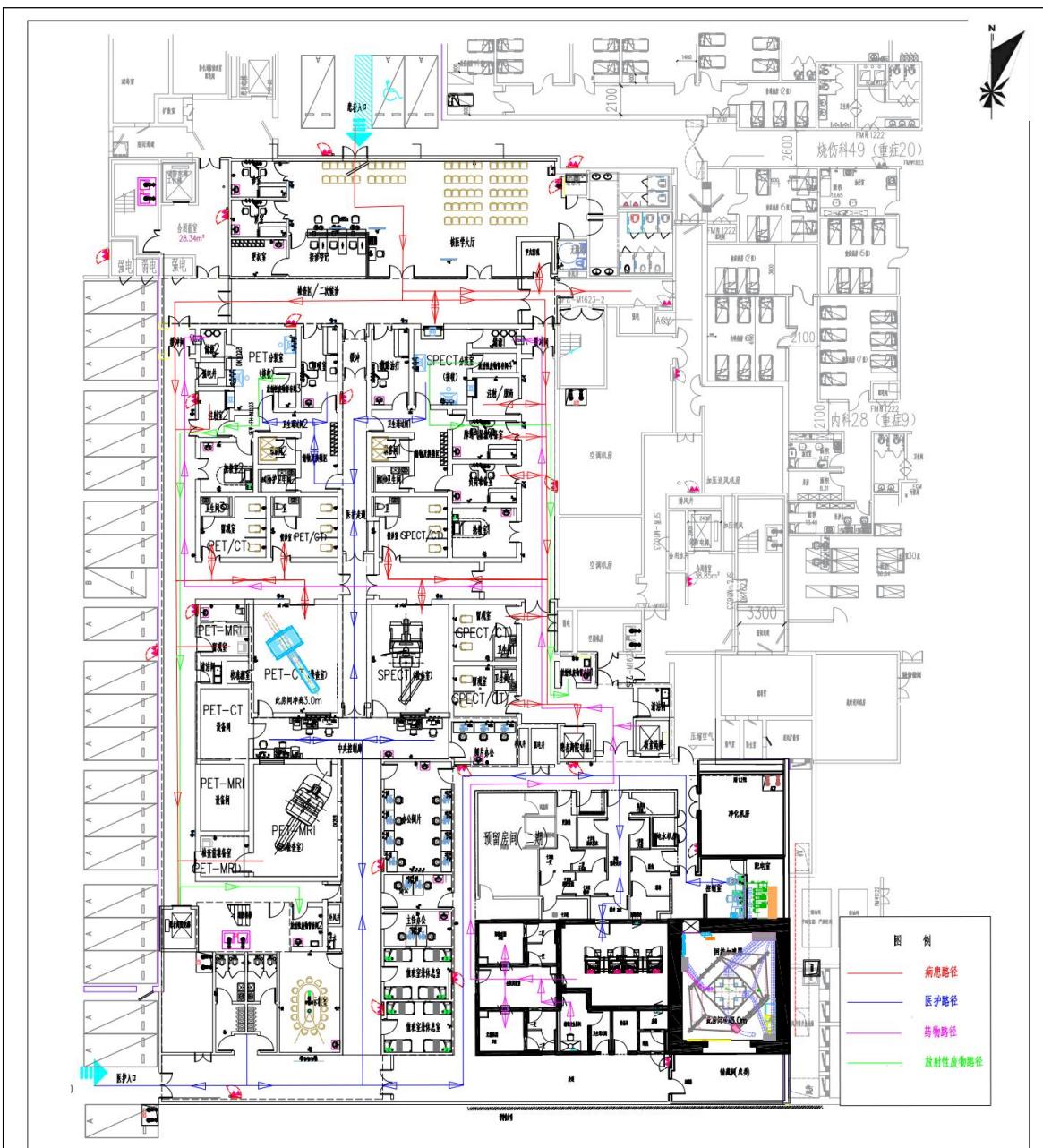


图 9-15 核医学科人流物流路径图（门诊部分）

①医生路径：工作人员从西南侧侧工作人员通道入口进入，医护人员、药物操作的工作人员等经过医护通道到达卫生通过间（更衣服，穿戴好防护用品）后进入分装注射室、储源室、甲亢室、甲吸室、敷贴治疗室等，待完成工作后进入更衣室更衣后原路返回。

射线装置操作人员经医护通道直接进入 SPECT/CT 机房控制室、PET/CT 机房控制室，待完成工作后原路返回。

②患者路径：

SPECT/CT 检查：病患在核医学科北侧进入，进入后在入口护士站登记后，在候诊大厅等待，接到播报通知后注射病人分别通过患者专用通道在 SPECT 分装室注射室窗口进行相应的核素注射（ ^{99m}Tc 肺通气病人则在取药后，在肺通气室内的给药装置中，通过连接一次性施给器置于肺通气患者口腔内，然后医生在铅屏风后指导病人用药），给药完成后，病人在 SPECT 注射候诊室等待，再进入 SPECT/CT 机房显像诊断，显像诊断完毕后进入 SPECT/CT 留观室留观，之后各自从东南侧出口乘电梯离开核医学科。

PET/CT 检查：病患在核医学科北侧进入，进入后在入口护士站登记后，在候诊大厅等待，接到播报通知后注射病人在 PET 分装室注射窗口进行核素注射，给药完成后，注射病人在 PET 注射候诊室，再进入 PET/CT 机房显像诊断，显像诊断完毕后进入 PET/CT 留观室留观，之后各自从西南侧出口乘电梯离开核医学科；

甲亢、肿瘤骨转移治疗：病患在核医学科北侧进入，进入后在入口护士站登记后，在候诊大厅等待，预约的病人接到播报通知后进入服药室。甲亢和肿瘤骨转移病人错峰诊疗，其中甲亢治疗病人（ ^{131}I ）接到播报通知后在注射室窗口取药，由辐射工作人员远程指导患者口服药物，随后患者进入甲亢留观室留观后，观察无异常后病人沿病患通道从核医学科东北侧离开核医学科；肿瘤骨转移病人（ ^{89}Sr 、 ^{223}Ra ）在 SPECT/CT 分装室的注射窗由辐射工作人员进行药物注射，注射完毕后病人沿病患通道离开（由核医学科东北侧离开核医学科）。

甲吸检查及敷贴治疗：病患在核医学科北侧进入，进入后在入口护士站登记后，在候诊大厅等待，预约的病人接到播报通知后在注射室窗口取药口服，服药后病人随即沿病患通道离开（从核医学科东北侧离开核医学科），待到达规定时间后再进入甲吸室，进行甲状腺功能测定；敷贴治疗患者（ ^{90}Sr 、 ^{32}P ）在敷贴室内进行敷贴治疗，其中 ^{90}Sr 治疗患者治疗完成后随即沿病患通道离开（各自核医学科东北侧离开核医学科）； ^{32}P 治疗患者治疗完成后，在敷贴治疗室内留观，待留观完毕后，将敷贴器放入专门的放射性固废收集桶中后，病人离开。

以上患者均是通过核医学科患者专用出口通道离开，患者通道设置单向门禁系统，以实现病人单向流通。

③药物运输路径：外购药物在每天核医学工作开始前，通过核医学科东南侧药物电梯经 PET 区域患者通道、SPECT 区域患者通道分别送入储源室 2 和储源室 1；

其中 **SPETCT/CT** 检查时，所需 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 两种放射性核素，均为外购成品针剂为成品药剂，由药物供货商负责药物运输至核医学科源，沿着药物通道送入储源室 1 进行暂存；

PET/CT 检查时，所需 ^{68}Ga 放射性核素， ^{68}Ga 为 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 发生器淋洗制备，沿着药物通道送入储源室 2 进行暂存；其余自产药物（ ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr ），直接由辐射工作人员送至核医学科门诊区 PET 区域储源室 2 暂存。

甲亢治疗时，医院根据与病人预约情况提前向药物供货商订 ^{131}I 化钠成品溶液，由药物供货商负责药物运输至核医学科，沿着药物通道送入储源室 1；

肿瘤骨转移治疗时，医院根据与病人预约情况提前向药物供货商订 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 注射液，待病人进入核医学科前，由药物供货商负责药物运输至核医学科，沿着药物通道送入储源室 1 暂存，按配送的药物直接给每个病人注射，不用稀释分装，病人进入后直接注射，治疗完毕后离开，**放射性药物不进行储存**。

甲吸检查时，医院根据与病人预约情况提前向药物供货商订 ^{131}I 成品药物，由药物供货商负责药物运输至核医学科，沿着药物通道送入储源室 1 内暂存；

敷贴治疗时，所需敷贴器，直接由药物通道进入敷贴室，在敷贴室专用保险柜内暂存； ^{32}P 敷贴治疗所需放射性药物密封在专用的屏蔽容器中，由药物通道进入储源室 1 暂存；

药品以最短距离进入核医学科控制区内，从而有效限制了非密封源工作场所表面污染的范围。从布局来说，药物通道设置合理。

④放射性废物路径：PET/CT 检查时，产生的含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 等放射性固废在废物室 3 暂存，SPETCT/CT 检查时，所产生的 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 等放射性固废在废物室 4 暂存，上述放射性废物各自存放至经监测达到相关解控标准后，由工作人员在结束当天工作后运出。上述两个放射性废物暂存间分别设置在储源室旁，下班无病人时，放射性废物从患者通道运出核医学科，然后运送至医疗废物暂存间。

此外，核医学科**甲亢及肿瘤骨转移**产生的含 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 等放射性固废在废物室 1 暂存（其中涉及 ^{223}Ra 的放射性废物由专门的收集桶收集）；核医学科**甲吸检查及敷贴治疗**产生的含产生的含 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P 放射性固废在废物室 2 暂存，上述放射性废物各自存放至经监测达到相关解控标准后，由工作人员在结束当天工

作后运出。上述放射性废物暂存间设置于核医学科东北、西北角处，下班无病人时，放射性废物从患者通道运出核医学科，然后运送至医疗废物暂存间，且靠近出入口，能够方便放射性废物的转运。

核医学科（核素病房部分）位于门急诊医技住院综合楼一层。

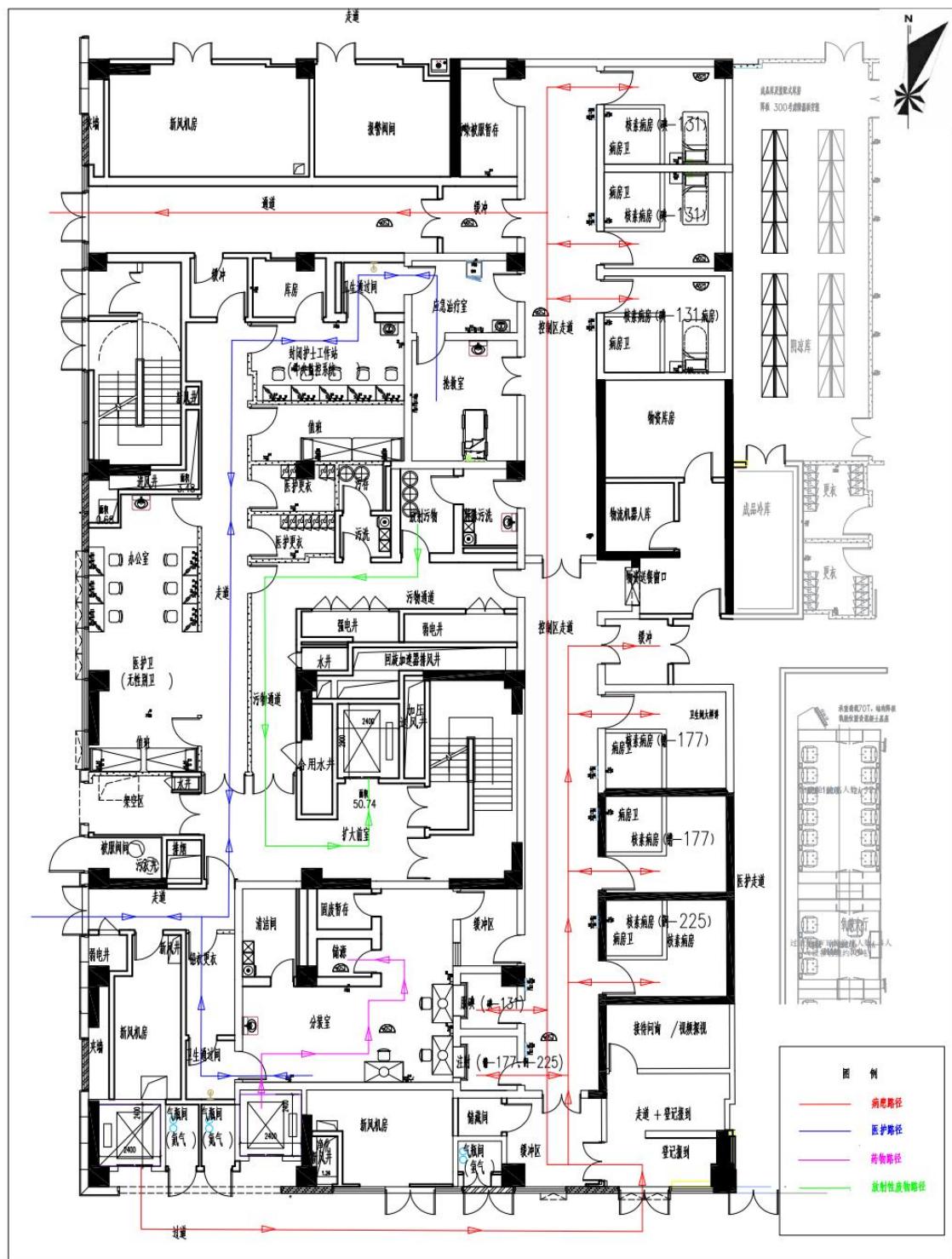


图 9-16 核医学科人流物流路径图（核素病房诊部分）

此外，核医学科工作场所相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间单向开展，最大限度的减少了人员的流动性，有助于辐射防护；医护人员与病患有各自独立的通道，核医学科门诊区工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于临床核医学工作场所的要求。

（三）放疗科

1、10MV 电子医用电子直线加速器

（1）工作原理

医用直线加速器主要是根据被加速的电子轰击高原子序数的金属靶而产生高能 X 射线的原理，利用加速器产生的不同能量的电子束和 X 射线，根据人体正常组织和肿瘤组织对射线照射的反应不同，以最佳输出能量对人体肿瘤进行照射治疗，属 II 类射线装置。

电子线束治疗工作原理：电子发射源发射的电子，进入真空加速管被加速，然后经磁偏转装置，使电子束转向，一般转 90° 或 270°，再经过一个电子扩散箔，使电子均匀射出，形成电子线束。通过散射箔扩大射束的直径，再通过光阑提高电子野的均整性，最后通过输出窗射出达到患者病灶实现治疗的目的，即初始电子束直接引出并经散射、均整后用于患者的治疗。

X 线束治疗工作原理：对 X 射线而言，除电子那部分构造外，还有一个金属靶和 X 射线准直装置，经过磁偏转转向的高速电子束，射向高原子序数的金属靶，当电子同金属靶的原子核相撞时，速度减慢并损失部分能量，电子损失的能量转换为 X 射线，X 射线经过一个平板滤片，二次准直射出达到患者病灶进行治疗。

本项目加速器还配备有 CBCT（Conebeam CT），即锥形束 CT，其工作原理是根据人体不同组织对 X 射线的吸收与透过率的不同，应用灵敏度极高的仪器对人体进行检测，然后检测所获取的数据输入电子计算机，电子计算机对数据进行处理后，就可摄下人体被检查部位的断面或立体的图像，发现体内任何部位的细小变化。CBCT 可在医用电子直线加速器治疗前以治疗体位同步进行 CT 扫描，进行实时在线配准，在治疗前纠正摆位、器官运动、肿瘤体积变化等带来的误差，实现精准放疗，在确保疗效的基础上，可大幅减轻放疗副作用，最大限度避免放疗损伤。

（2）设备组成

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、微波功率源、微波传输系统、电子注入系统、CBCT、脉冲调制系统、束流系统、真空系统、水冷系统、电源分配控制系统和应用系统等。电子枪产生的电子由行波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过2cm左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能X线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的X线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。本项目直线加速器在治疗机头安装了X射线管以及平板探测器（机载CBCT），每次放射治疗前，X射线管和探测板围绕人体一周扫描，经过计算机处理重建后，得到肿瘤靶区及周围一定体积三个不同位置（冠状位、矢状位，横断位）的影像（三维图像），与治疗计划图像对比，如果发现有误差，即调整患者位置使肿瘤靶回到治疗计划位置，让照射野仅仅“追随”靶区，进一步提高了射线照射的精确性，实现了影像学指导的放疗。本项目直线加速器未设置均整器，且由于内部独特的技术特点，因此等中心剂量率远高于常规直线加速器等中心剂量率。

电子直线加速器外形示意见图9-8。



图9-17 典型医用电子直线加速器外形示意图

(3) 质控流程

在进行放射治疗前，物理师先进行质控，质控流程为：物理师摆好体模，模拟对病灶部位进行准确定位，确定肿瘤的具体位置和形状，确定放疗靶区，完成治疗计划及验证。质控曝光时间约为放射治疗时间的 10%，约 25h。

(4) 治疗操作流程

①模拟定位：患者在经诊断确诊需要进行放射治疗后，放疗医师根据病灶的部位确定定位 体位，通过放疗科模拟定位 CT 机扫描采集影像资料，用于确定靶区位置、形状和大 小，提出放射治疗方案。

②制订治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。患者在治疗周期内，病情会随着治疗野次而变化，因此，在治疗周期内放疗计划会随着病人治疗的情况而调整，患者在放疗前需要先经过 CBCT 诊断校准靶区位置确认放疗计划，技师位于控制室内通过 CBCT 对患者进行拍片，根据校准后的图像确定是否需要更改放疗计划；

③操作人员确定门机联锁、门灯联锁、紧急停机按钮、监控系统等安全装置处于正常运行状态。

④固定患者体位：在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及照射野。

⑤物理师离开治疗室，操作人员关上铅门，在控制台上操作，设置参数，开机治疗。

⑥治疗结束后，停止出束，解除定位，关闭系统，患者离开机房。

本项目拟使用的医用电子直线加速器可提供 2 种治疗模式，一种是电子治疗模式， 利用电子线对浅表部位病灶照射放疗，电子线最大能量为 20MeV；一种是 X 射线治疗模式，用于深部病灶照射，X 射线能量最大为 10MV。使用加速器的治疗过程及其产污环节见图 9-18。

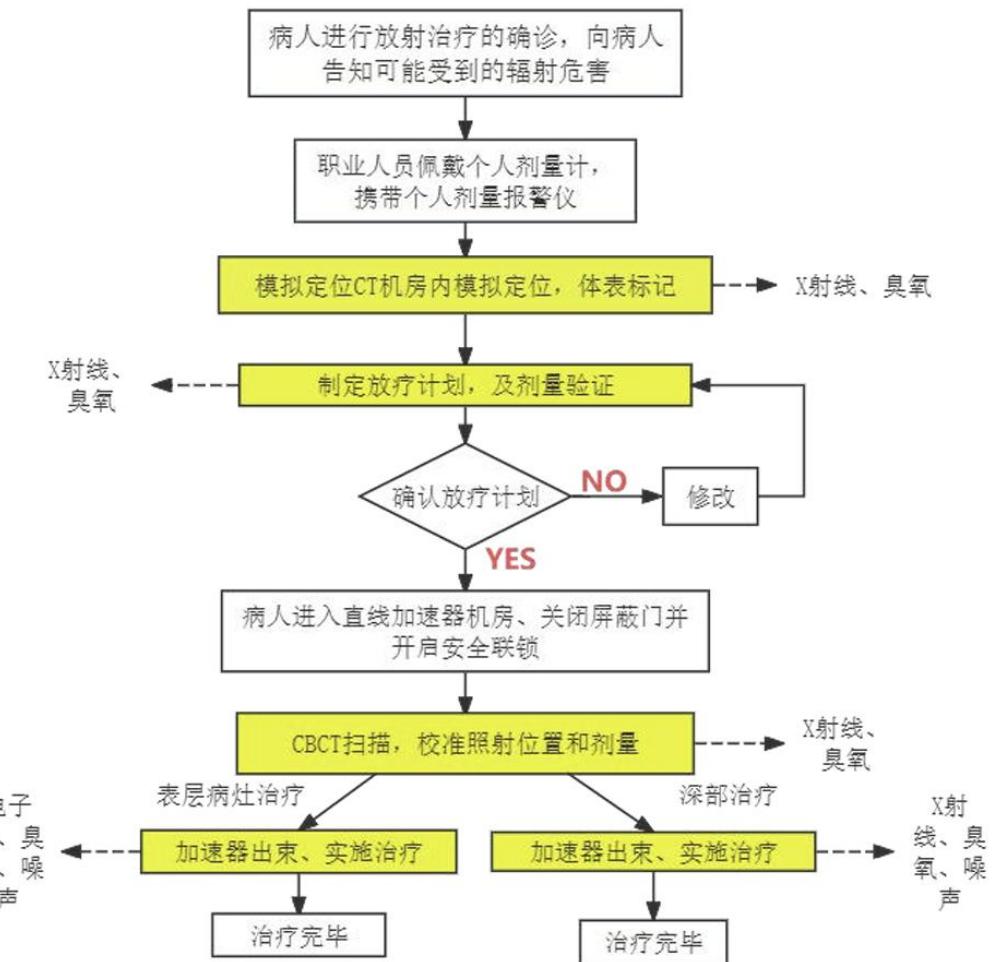


图 9-18 10MV 电子直线加速器治疗过程与产污环节简图

通过分析可知, 产污环节为: 模拟定位时产生的 X 射线和臭氧, CBCT 照射位置 校准过程中扫描产生的 X 射线、加速器质控及治疗过程中产生的 X 射线、电子线、 臭氧以及风机、水冷机房水泵产生的噪声。

(5) 主要技术参数和治疗参数

10MV 医用直线加速器:

射线类型: X 射线、电子线;

最大 X 射线能量: 10MV;

距靶点 1m 处最大 X 射线剂量率: 24Gy/min;

最大电子线能量: ≤20MeV;

电子线等中心最大剂量率为 16Gy/min;

最大照射野: 40×40cm²;

机架旋转角度: 0-360°

主射线最大出束角度: 28°

等中心距地面高度: 130cm

源轴距: 100cm

CBCT X 射线管电压 (kV) : 150kV

CBCT X 射线管电压 (kV) : 1000mA

加速器服务范围: 对肿瘤进行治疗

管理科室: 放疗科

使用科室: 放疗科

工作负荷: 本项目加速器用于常规放射治疗, 带有静态调强功能。放射治疗工作量每年最多 20000 人次, 均保守考虑为适行调强放射治疗, 加速器年 X 射线治疗出束时间 250h, 则病人年治疗最大出束时间 250h; 物理师每周末进行质控工作约 0.5h, 年最大质控时间为 25h。综上所述, 加速器年总出束时间为 275h (年治疗出束时间 250+物理师质控时间 25h)。

CBCT 工作负荷: CBCT 诊断平均每人治疗周期内需成像 7 次, 每次扫描时间最大 60s, 则年出束时间为 2333.3h。

3、放疗科人流路径图

放疗患者经患者通道进入 CT 模拟定位机房, 模拟定位结束后, 进入加速器患者准备间, 之后进入加速器治疗室治疗。医护人员进入控制室进行操作、观察和指导, 进入机房的路径与患者一致。放疗过程不产生医疗废物和放射性固废。如图 9-10 所示。

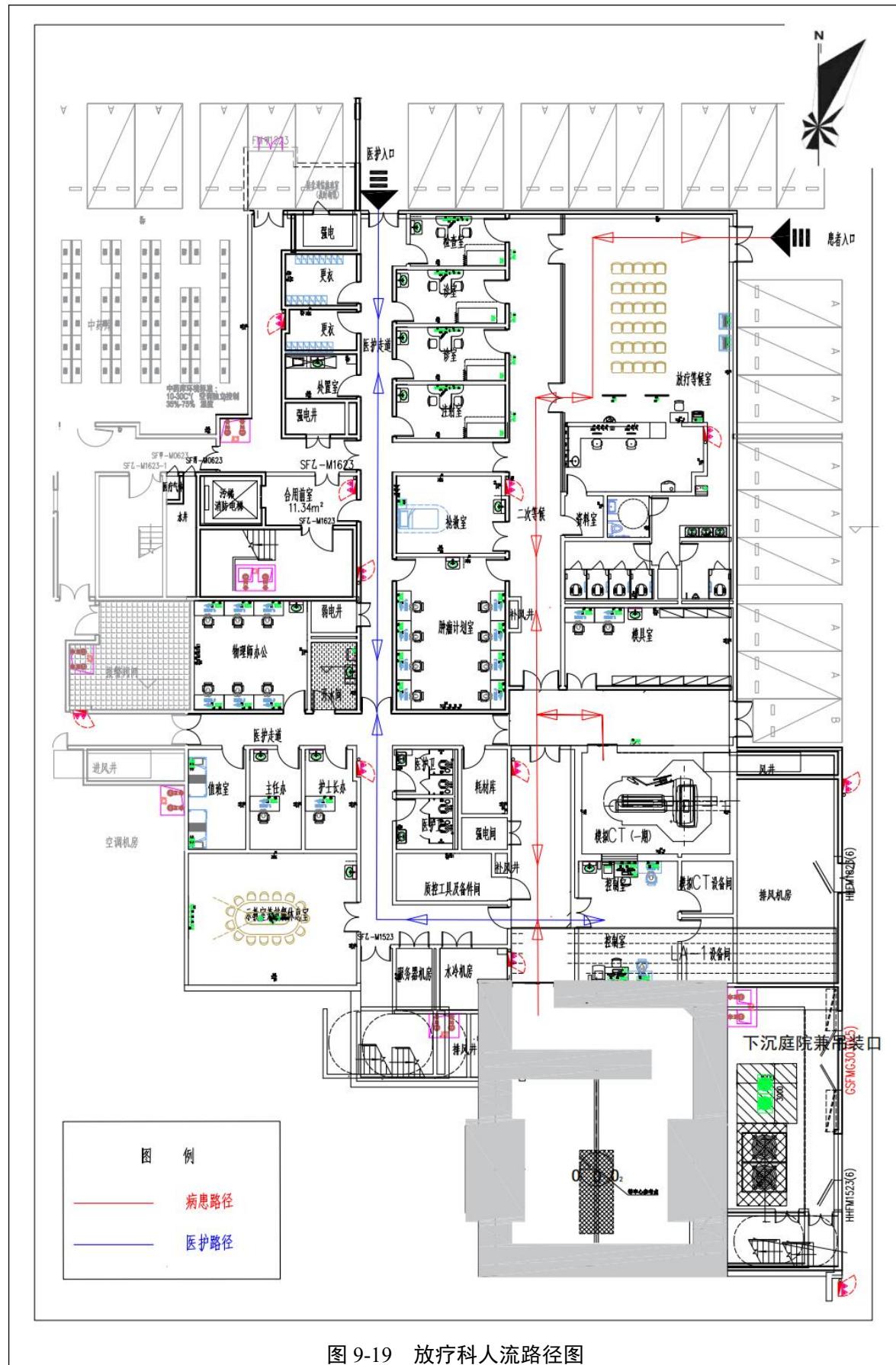


图 9-19 放疗科人流路径图

（四）DSA

1、DSA

（1）工作原理

DSA 是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得知一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示；由于造影剂用量少，浓度低，损伤小、较安全；通过减影处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

（2）设备组成

主要由多轴落地式 C 型机架、导管床、X 线高压发生器、X 线球管、非晶硅数字化探测器、数字图像采集处理系统、存储系统（含各种分析软件）、控制操作系统、防护设备、连接电缆以及附属设备等组成。

（3）操作流程

①接诊病人后，向病人告知可能受到的辐射危害；②病人准备完毕进入机房摆位、固定，然后进入机房内对病人进行局部消毒处理和局部防护处理；③技师退出机房，通过控制室操作台对病人进行拍片；④医生穿着防护服进入曝光室，经皮穿刺静脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管；⑤配合射线装置透视推送导管，并将导管送入指定位置；⑥完成后进行导管加压，将造影剂注入病人体内；⑦完成造影剂注入后，医生退出机房，技师通过控制室操作台对病人进行拍片，并进行减影处理后，得到最终病人的高清血管影像资料；⑧完成减影后，医生再次进入机房内并配合射线装置透视对病人病灶部位进行相应介入治疗。本项目 DSA 进行出束曝光时分为两种情况：

（1）拍片：操作人员一般采取隔室操作的方式（即操作医师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。

（2）透视：病人需进行介入手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有间

歇或连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时医生位于射线装置配备的铅帘后面，并穿戴铅服、铅眼镜、铅帽和铅围脖等在机房内进行同室介入手术室操作。

血管造影流程诊治流程及产污环节如图 9-20 所示。

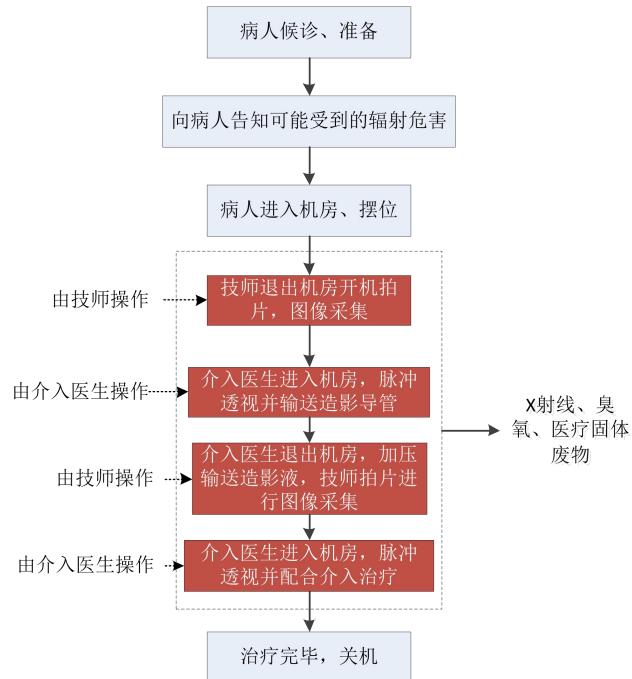


图 9-20 血管造影流程及产污环节示意图

(4) 使用工况

根据建设单位提供资料，拟在内部设置 11 间 DSA 机房，在机房内各安装使用 1 台额定管电压为 125kV、额定管电流为 1000mA 的数字减影血管造影机（DSA），具体设备型号未定，属于Ⅱ类射线装置，每台 DSA 年曝光时间最大约 687.5h（透视 186.667h、拍片 5.612h），用于开展介入手术，多科室使用。

DSA 的使用参数见下表：

表 9-1 本项目单台 DSA 使用参数

设备名称	年最大拍片时间 (h)	年最大透视时间 (h)	运行时最大管电压 (kV)		运行时最大管电流 (mA)	
			透视	拍片	透视	拍片
DSA (介入中心)	45.83	641.67	90	100	20	300
纤支镜 DSA	13.33	160.00	90	100	20	300
复合手术室 DSA	5.00	70.00	90	100	20	300
平急结合裙	5.00	70.00	90	100	20	300

楼 DSA						
动物大楼 DSA	5.00	70.00	90	100	20	300

(5) 人流、物流路径

门急诊医技住院综合楼 DSA 介入手术室候诊患者经患者走道通过换床缓冲间铅门进入机房，医护人员经医护通道由控制室进入机房，污物经污物铅门运出机房，通过污物通道经污物电梯运走，不与医护人员和患者通道交叉，路径合理，如图 9-8 所示。

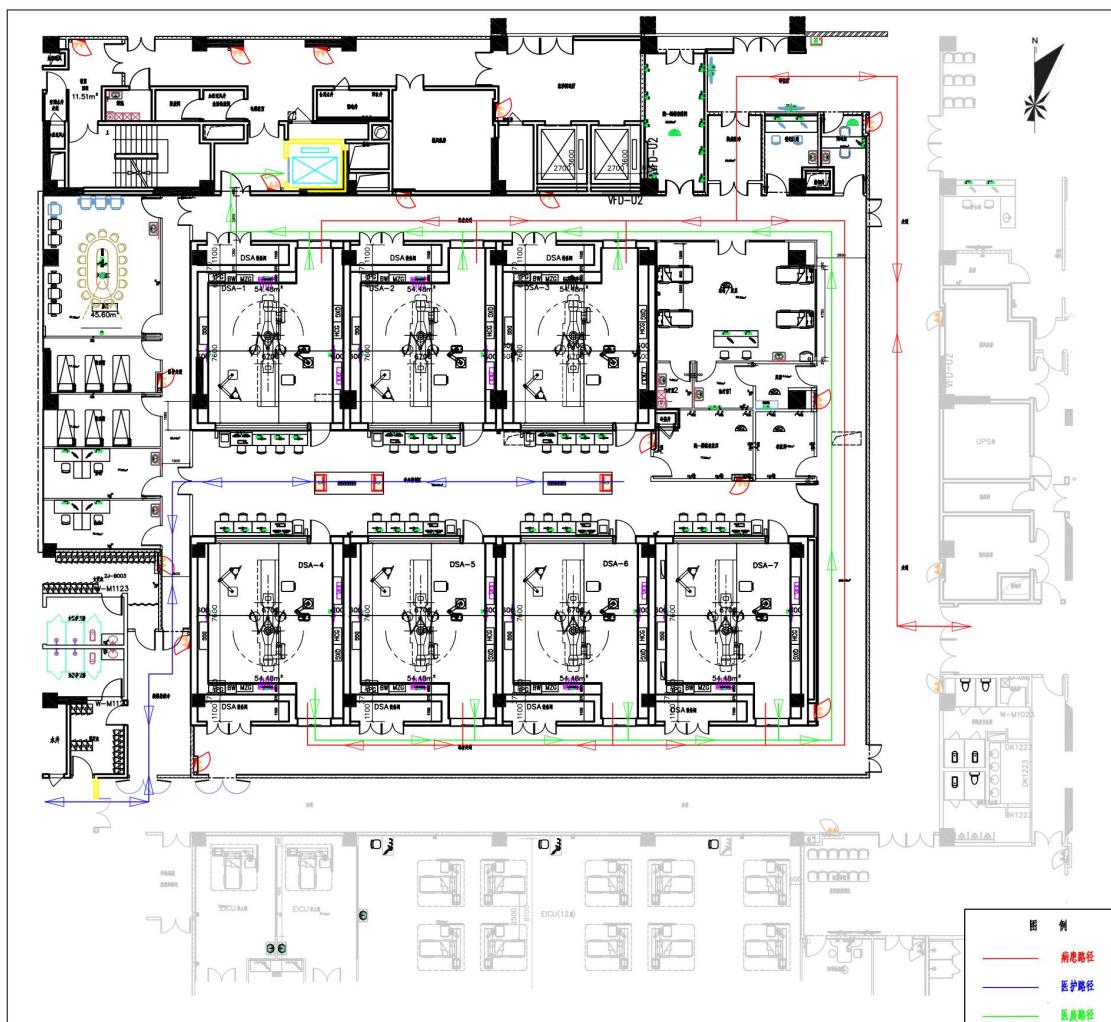


图 9-21 门急诊医技住院综合楼介入手术室人流物流路径图

门急诊医技住院综合楼 4 楼 DSA 复合手术室患者经洁净走廊进入手术室，医护人员经洁净走廊由控制室进入机房，污物经污物铅门运出机房，通过污物通道经污物电梯运走，不与医护人员和患者通道交叉，路径合理，如图 9-22 所示。



图 9-22 门急诊医技住院综合楼 4 楼 DSA 复合手术室人流物流路径图

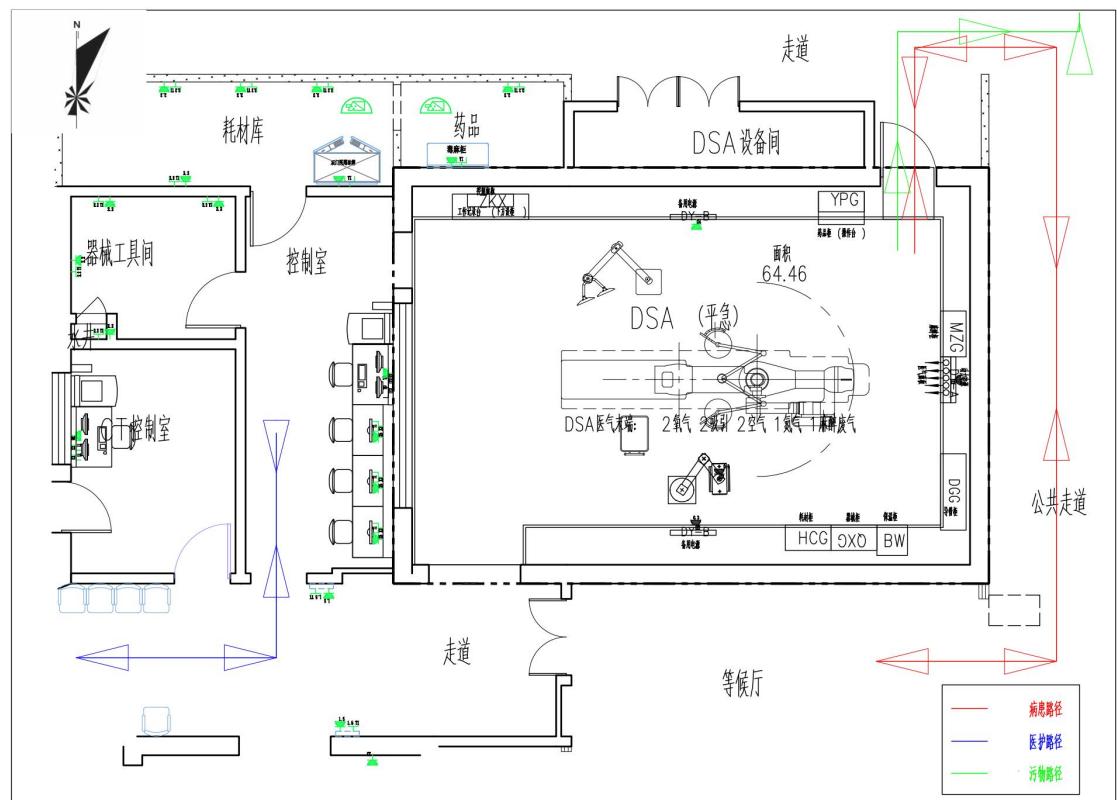


图 9-23 平急结合楼 1 楼 DSA 室人流物流路径图

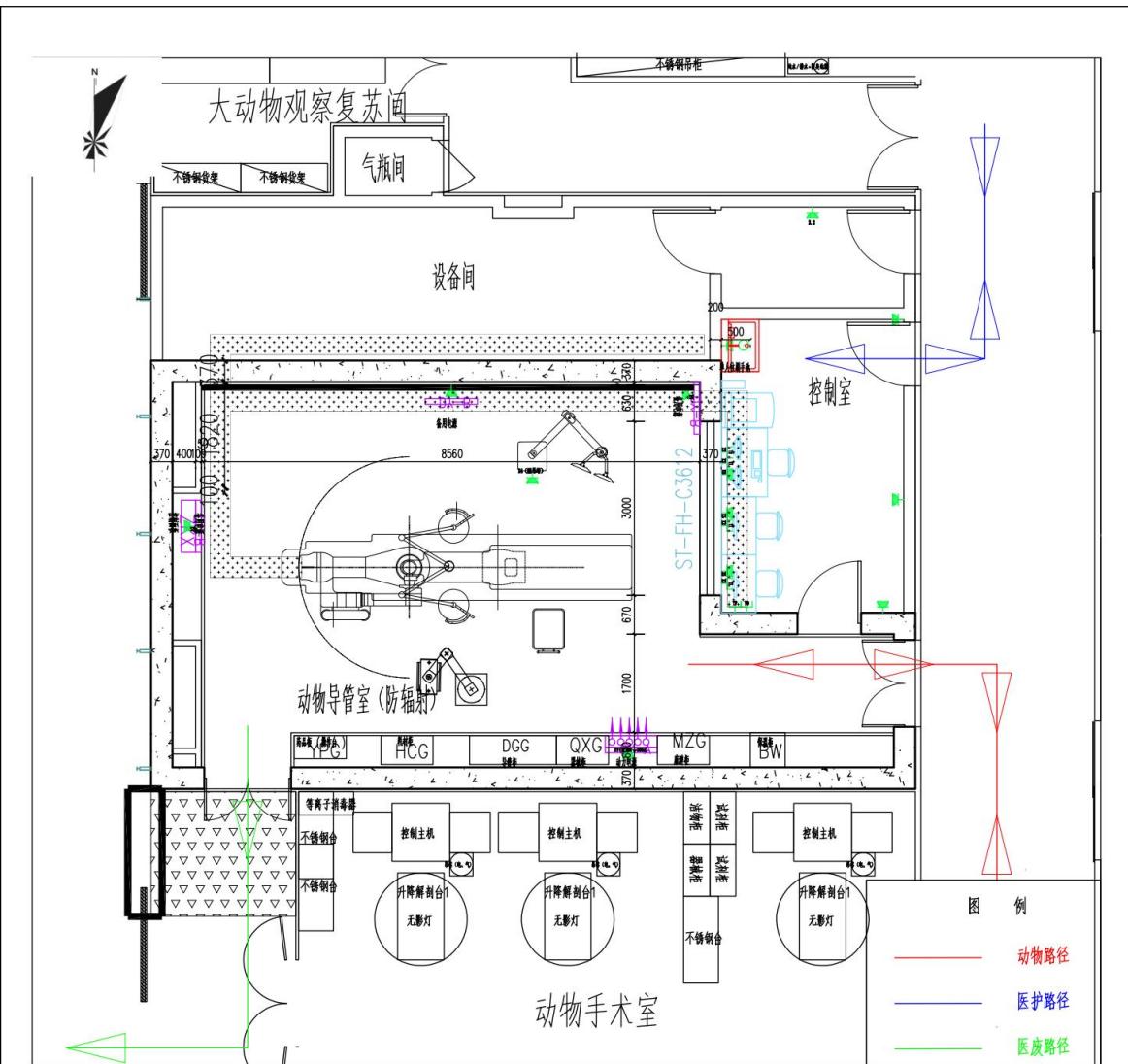


图 9-24 动物楼 2 楼 DSA 室人流物流路径图

2、ERCP

(1) 设备组成和工作原理

ERCP 即经内镜逆行胰胆管造影，是目前微创治疗胆胰疾病的主要手段之一，是将内镜经口插入十二指肠降部，找到十二指肠乳头，由活检管道内插入造影导管至乳头开口部，注入造影剂后进行 X 线摄片，以显示胰胆管的技术。在 ERCP 的基础上，可以进行十二指肠乳头括约肌切开术（EST）、内镜下鼻胆汁引流术（ENBD）、内镜下胆汁内引流术（ERBD）等介入治疗。ERCP 射线装置主要由带有影像增强器或平板探测器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图像处理系统、操作台、磁盘或磁带机、多幅照相机组成。

(2) 操作流程产污环节分析

接诊患者后根据其病情确认诊疗方法, 告知患者及家属采用介入治疗的辐射危害。患者进入机房后, 护士协助摆位。ERCP 手术操作过程主要分为以下几步:

①插镜: 患者一般采取俯卧位或左侧卧位, 十二指肠镜经口依次通过食管、胃、进入十二指肠降段, 找到十二指肠乳头。

②插管: 选择性插管是顺利进行 ERCP 诊断和治疗的基础。经活检孔插入导管, 调节角度钮及抬钳器, 使导管与乳头开口垂直, 将导管插入乳头。导丝引导下选择性插管成功率高, 并发症少。

③造影: 医生穿戴好防护用品后, 在透视下经造影导管给患者注入造影剂, 在荧光屏上见到胆管或胰管显影, 显示病变。尽量减少不必要的胰管显影, 以防术后胰腺炎的发生。

④拍片: 胰胆管显影后, 进行拍片存储。

⑤治疗: 根据拍片结果, 得到患者胰胆管病变情况, 医生采取不同内镜下治疗措施对病人病灶部分进行相应治疗。

ERCP 的诊治流程及产污环节如图 9-25 所示。

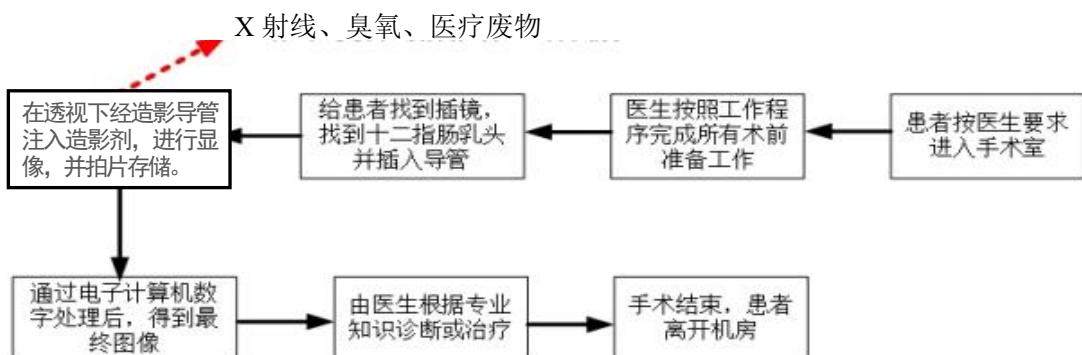


图 9-25 ERCP 手术流程及产污环节示意图

(3) 使用工况

根据建设单位提供资料, 本项目 ERCP 额定管电压为 150kV, 额定管电流为 800mA, 主要用于肝胆外科、消化科手术, 用于手术期间提供患者的透视和点片图像, ERCP 每年开展介入手术最多 320 台, ERCP 单次介入手术透视时间平均为 30min, 拍片为 150s, 年透视最大出束时间 160h, 年拍片最大出束时间 13.3h。ERCP 设备年出束时间最长约 173.33h。

ERCP 的使用参数见下表：

表 9-2 本项目 ERCP 使用参数

设备名称	年最大拍片时间 (h)	年最大透视时间 (h)	运行时最大管电压 (kV)		运行时最大管电流 (mA)	
			透视	拍片	透视	拍片
ERCP	13.3	160	75	100	1.5	320

(4) 人流、物流路径

ERCP 手术室候诊患者由东北侧患者通道区域进入 ERCP 手术区域，医护人员由东南侧控制室进入机房，污物经患者进出铅门运出机房，通过污物通道经污物电梯运走，不与医护人员和患者通道交叉，路径合理，如图 9-26 所示。

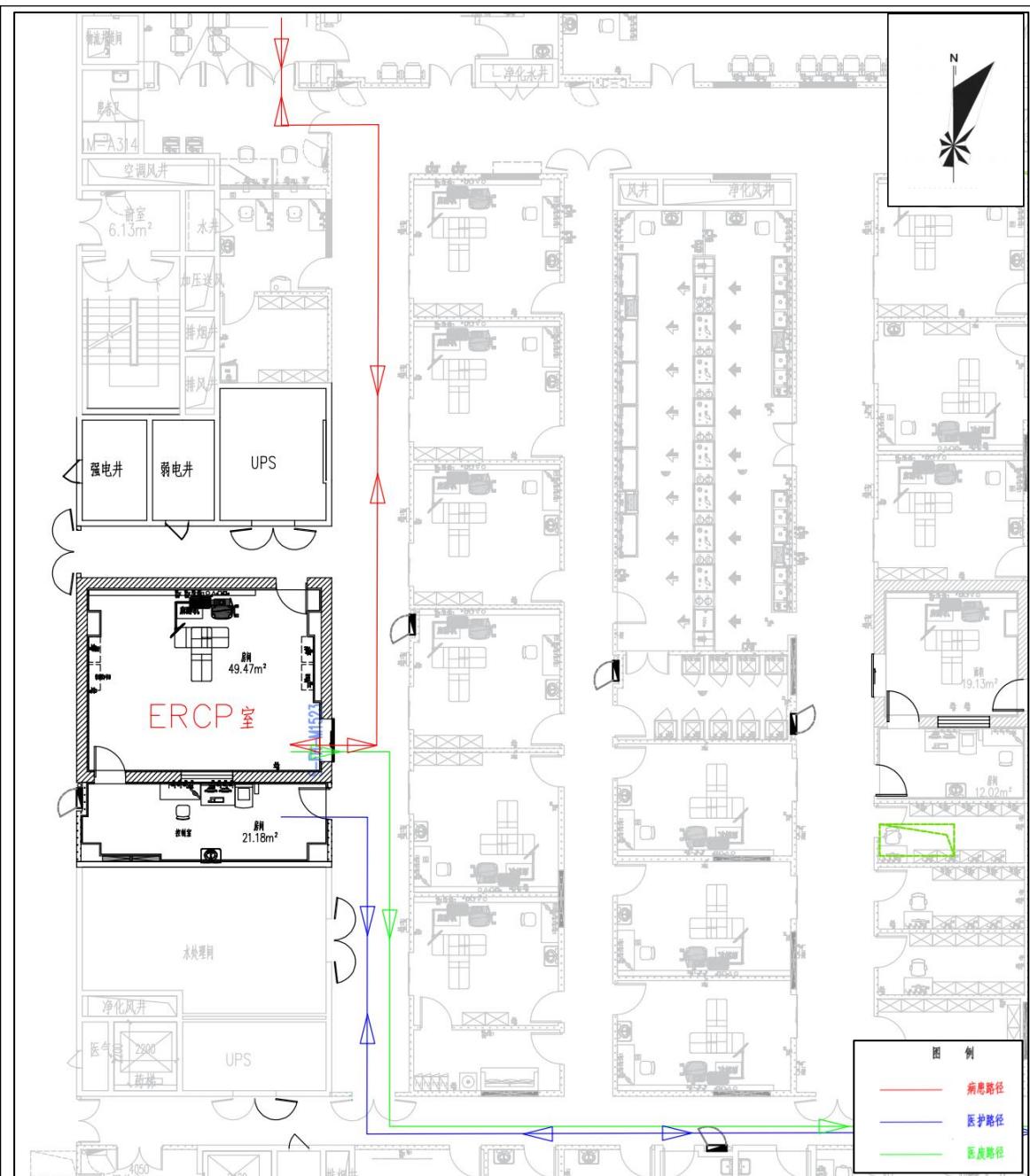


图 9-26 ERCP 手术室人流、物流路径图

3、纤支镜 DSA

(1) 工作原理

纤支镜 DSA 是在纤支镜引导或辅助下, 对支气管、肺及相关血管系统 (如支气管动脉、肺动脉分支、肺静脉等) 进行的血管造影检查。其本质是通过纤支镜精准定位目标区域, 结合 DSA 技术动态、清晰地显示血管结构, 为疾病诊断和治疗提供关键血管影像信息。

纤支镜 DSA 主要核心设备 DSA 是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方

法，它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得知一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示；由于造影剂用量少，浓度低，损伤小、较安全；通过减影处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

（2）设备组成

纤支镜 DSA 是纤维支气管镜技术与数字减影血管造影技术的联合应用主要设备系统包括纤维支气管镜系统和 DSA 系统组成，其中纤维支气管镜系统主要设备由纤支镜镜体、冷光源主机、成像处理器、显示器和操作附件：如活检钳、细胞刷、吸引器接口、注水/注气通道等）组成；DSA 系统主要由多轴落地式 C 型机架、导管床、X 线高压发生器、X 线球管、非晶硅数字化探测器、数字图像采集处理系统、存储系统（含各种分析软件）、控制操作系统、防护设备、连接电缆以及附属设备等组成。

（3）操作流程

接诊患者后根据其病情确认诊疗方法，告知患者及家属采用介入治疗的辐射危害。患者进入机房后，护士协助摆位，纤支镜 DSA 手术操作过程主要分为以下几步：

①插镜：患者一般采取俯卧位或左侧卧位，纤支镜经口/鼻插入，依次检查气管、支气管，定位病变区域（如出血点、肿瘤位置）。

②插管：在 X 线透视或 DSA 机引导下，经纤支镜活检孔道或单独经血管途径（如股动脉穿刺）置入造影导管，将导管尖端送至目标血管开口（如支气管动脉、肺动脉分支）。

③造影：医生穿戴好防护用品后，在透视下经造影导管给患者注入造影剂，在荧光屏上见到病变，动态采集血管影像。

④拍片：显影后，进行拍片存储。

⑤治疗：根据拍片结果，得到患者病变情况（如血管常狭窄、扩张、畸形、出血点、肿瘤位置等），医生采取不同内镜下治疗措施对病人病灶部分进行相应治疗。

纤支镜 DSA 的诊治流程及产污环节如图 9-27 所示。

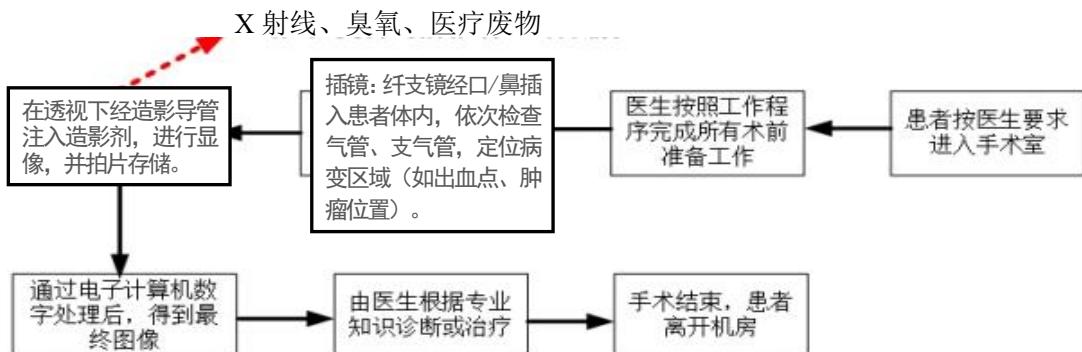


图 9-27 ERCP 手术流程及产污环节示意图

(3) 使用工况

根据建设单位提供资料，本项目纤支镜 DSA 额定管电压为 125kV，额定管电流为 1000mA，主要用于支气管、肺及相关血管系统（如支气管动脉、肺动脉分支、肺静脉等）进行的血管造影检查，用于手术期间提供患者的透视和点片图像，纤支镜 DSA 每年开展介入手术最多 320 台，纤支镜 DSA 单次介入手术透视时间为 30min，拍片为 150s，年透视最大出束时间 160h，年拍片最大出束时间 13.3h。纤支镜 DSA 设备年出束时间最长约 173.33h。

纤支镜 DSA 的使用参数见下表：

表 9-3 本项目纤支镜 DSA 使用参数

设备名称	年最大拍片时间 (h)	年最大透视时间 (h)	运行时最大管电压 (kV)		运行时最大管电流 (mA)	
			透视	拍片	透视	拍片
纤支镜 DSA	13.3	160	90	100	20	300

(4) 人流、物流路径

纤支镜 DSA 手术室候诊患者由西北侧患者通道区域进入手术区域，医护人员由东南侧控制室进入机房，污物经患者进出铅门运出机房，通过污物通道经污物电梯运走，不与医护人员和患者通道交叉，路径合理，如图 9-11 所示。



图 9-28 纤支镜 DSA 手术室人流、物流路径图

污染源项分析

一、施工期污染源项分析

1、施工阶段

本项目装修施工期主要环境影响因素为噪声、施工废水、建筑粉尘和建筑垃圾等。

2、设备安装、调试阶段

本项目射线装置安装调试阶段，主要污染因素为 X 射线、臭氧和少量包装废弃物。

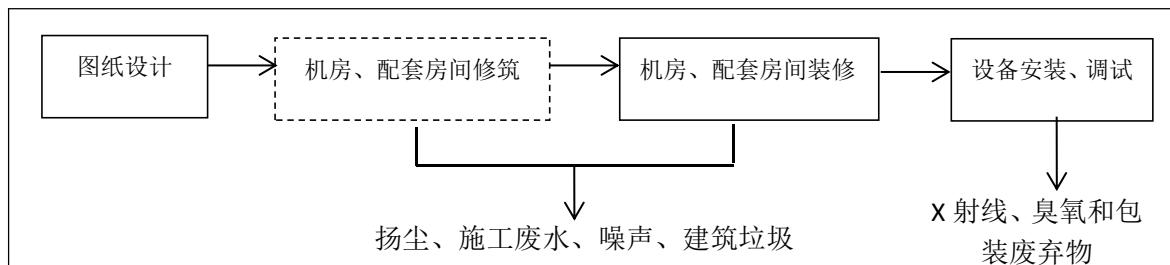


图 9-12 施工期施工工序及产污位置图（虚线框不属于本次评价内容）

二、运营期污染源项分析

1、核医学科污染源分析

（1）电离辐射

根据核医学科涉及使用的放射性核素，运行过程可产生的电离辐射包括： β 、 γ 射线，SPECT/CT、PET/CT 产生的 X 射线。

（2）废水

本项目 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 等显像诊断病人均不需要进行住院观察，所以在注射后候诊过程中产生的废水主要来源于诊断病人少量排泄废水、地坪的清洁工具清洗时可能会带有微量放射性废水。核医学科的工作台面如有撒漏，采用湿巾擦拭，不产生清洗废水。工作人员每日在铅衣外穿一次性的防护服，戴手套，不产生淋浴废水。具体用水定额及排水量如下：

①排泄废水

根据《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019），门诊病人用水定额取 10L/（人次·d），核素治疗病房（设单独卫生间）用水定额取 220L/（人次·d）；

②场所清洁废水

核医学科工作人员每天工作结束后对场地进行清洁，废水主要为清洗洁具可能会带有微量放射性的废水，用量约 400L/d。

③回旋加速器排水

回旋加速器运行时，次级中子与冷却水中的氧发生核反应产生感生放射性核素。参考同类项目，低能回旋加速器运行期间，冷却水中活化产物主要有 ^{16}N （半衰期 7.3s）、 ^{15}O （半衰期 2min）放射性核素，为短半衰期核素，放置一定时间可衰变至较低水平。正常运行期间，冷却水在冷却系统管路中循环使用，不外排。维保期间可能需要排除冷却水，以便进行设备检修，冷却水经特排管道排入衰变池暂

存，按每天 0.2L 保守估算。

b) 回旋加速器制备正电子放射性药物过程中会产生纯化柱、离子交换柱等清洗和纯化残液等废水，约 50mL/次；

c) 放射性药物质检过程中会产生玻璃器皿清洗以及废弃的分析混合液等废水，约 30mL/次。

d) 药物制备辐射工作人员洗手、淋浴，控制区场所清洗及回旋加速器靶体清洗产生的放射性废水。按每天 100L 计算。

综上所述，回旋加速器每天排水量保守按 0.15m³/d 计。

本项目核医学科放射性废水产生情况见表 9-4。

表 9-4 核医学科单日产生放射性废水排放汇总表

核素名称	半衰期	产生来源	用水量	排放量	日最大病人数(人)	年最大病人量(人)	日产生量(L/d)	年产生量(m ³ /a)			
^{99m} Tc	6.02h	排泄、清洗	10L/d•人	10L/d•人	45	10000	450	112.5			
¹³¹ I (SPECT)	8.02d				2	1250	20	5			
⁶⁸ Ga	68.3min				10	500	50	12.5			
¹¹ C	20.39 min				5	2500	20	5			
¹³ N	10.0min				5	500	10	2.5			
¹⁸ F	109.8min				25	250	300	75			
⁶⁴ Cu	12.7h				5	6250	20	5			
⁸⁹ Zr	78.4h				5	500	20	5			
¹³¹ I (甲亢)	8.02d				5	500	200	50.00			
¹³¹ I (甲吸)	8.02d				10	1250	50	12.5			
⁸⁹ Sr	成品药剂，直接注射；注射前医生病人治疗前上厕所，治疗完毕了随即离开， 不在医院留观，不产生放射性废水										
²²³ Ra											
场所洁具清洗废水			400L/d	400L/d	/	/	400	100			
¹³¹ I (甲癌)	8.02d	排泄、清洗	220L/d•人	220L/d•人	3	250	1540 (按照总排水量折算平均日排放量)	385 (单人住院天数按照 7d 考虑)			
¹⁷⁷ Lu (多种肿瘤)	6.71d	排泄、清洗	220L/d•人	220L/d•人	2	200	528 (按照总排)	132 (单人住院)			

							水量折算平均日排放量)	天数按照3d考虑)
²²⁵ Ac(多种肿瘤)	10.0d	排泄、清洗	220L/d•人	220L/d•人	1	150	264(按照总排水量折算平均日排放量)	66(单人住院天数按照2d考虑)
回旋加速器排水	冷却水排水、清洗和纯化残液、清洗废水等					150	38	
合计						4022	1006	

(3) 固体废物

¹⁸F、⁶⁸Ga、¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr、^{99m}Tc、¹³¹I、⁸⁹Sr、²²³Ra 等采取注射的方式进行给药，产生的固体废物包括：一次性注射器、一次性肺通气给药器、针头、口罩、手套、空药瓶以及擦拭废物，产生量约 20g/人·天。用于擦拭工作场所的湿巾和工作人员的一次性防护服每日产生量约 300g。

本项目核医学科场所排风口设置有活性炭过滤器，建设单位将每半年进行校正和更换，产生量约 500kg/a。PET/CT 废校准源交由生产厂家回收处理；在淋洗过程中产生的废锗镓发生器，产生量约 1 个/a，交由生产厂家回收处理。

根据前述分析，核医学科放射性固废产生情况见表 9-4。

表 9-4 核医学科单日产生放射性固废汇总表

核素名称	产生来源	产生量(g/d•人)	日最大病人数(人)	年最大病人数(人)	日产生量(kg/d)	年产生量(kg/a)
^{99m} Tc(注射)	一次性注射、针头、口罩、手套、药瓶以及擦拭废物	20	40	10000	0.8	200
^{99m} Tc(肺通气)	一次性注射、一次性肺通气给药器、口罩、手套、药瓶以及擦拭废物	20	5	1250	0.1	25
¹³¹ I	一次性注射、针头、口罩、手套、药瓶以及擦拭废物	20	2	500	0.04	10
⁶⁸ Ga	一次性注射、针头、口罩、手套、药瓶以及擦拭废物	20	5	1250	0.1	25

¹¹ C	一次性注射、针头、口罩、手套、药瓶以及擦拭废物	20	2	500	0.04	10
¹³ N	一次性注射、针头、口罩、手套、药瓶以及擦拭废物	20	1	250	0.02	5
¹⁸ F	一次性注射、针头、口罩、手套、药瓶以及擦拭废物	20	30	7500	0.6	150
⁶⁴ Cu	一次性注射、针头、口罩、手套、药瓶以及擦拭废物	20	2	500	0.04	10
⁸⁹ Zr	一次性注射、针头、口罩、手套、药瓶以及擦拭废物	20	2	500	0.04	10
¹³¹ I (甲亢)	一次性口杯、擦拭废物、空药瓶以及卫生用品	20	20	5000	0.4	100
¹³¹ I (甲吸)	一次性口杯、擦拭废物、空药瓶以及卫生用品	20	5	1250	0.1	25
¹³¹ I (甲癌)	一次性口杯、擦拭废物、空药瓶以及卫生用品	200	8	2000	1.6	400
³² P	塑料袋、手套、空药瓶、废弃敷贴器等	20	20	5000	0.4	100
⁸⁹ Sr	一次性注射、针头、口罩、手套、药瓶以及擦拭废物	20	5	1250	0.1	25
²²³ Ra	一次性注射、针头、口罩、手套、药瓶以及擦拭废物	20	2	500	0.06	5
¹⁷⁷ Lu	一次性注射、针头、口罩、手套、药瓶以及擦拭废物	20	2	500	0.04	4
²²⁵ Ac	一次性注射、针头、口罩、手套、药瓶以及擦拭废物	20	2	500	0.02	3
⁶⁴ Cu、 ⁸⁹ Zr	废靶件、靶膜、过滤网等	/	/	/	3	750
⁹⁰ Sr、 ⁹⁰ Y	废 ⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y 敷贴器	/	/	/	/	1个 /10~20年
/	工作场所清洁废物，一次性防护服	/	/	/	0.3	75
/	过滤器	/	/	/	/	200
/	PET/CT 废校准源	/	/	/	/	7枚
/	废镥镓发生器	/	/	/	/	2个
合计				5.10	2232	

(4) 废气

核医学科涉及使用的¹⁸F、⁶⁸Ga、¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr、^{99m}Tc、⁸⁹Sr、²²³Ra、¹⁷⁷Lu、²²⁵Ac等均属于液态放射性药物，且均属于非挥发性化合物，采用负压瓶或成品针剂进行密封储存，其中¹⁸F、⁶⁸Ga、¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr在分装过程中采取注射器

进行抽取, ^{99m}Tc 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 等为外购成品针剂, 并最终通过静脉注射进入病人体内, 在整个过程中注射类药物放射性核素气溶胶挥发量较小。

核医学科涉及使用的碘-131 (甲亢、甲吸治疗及甲癌治疗) 均属于易挥发性化合物, 且碘-131 在操作过程中存在裸露液面, 本次评价主要考虑碘-131 气溶胶的环境影响, 保守考虑挥发量按日最大操作量的 0.1%。项目碘-131 为外购成品针剂, 结合前文, 本项目所有含碘-131 药物的日最大操作量为 $2.41 \times 10^{10}\text{Bq}$, 通过两级过滤装置(手套箱自带一级+最终屋顶排口处设置一级过滤装置; 过滤效率均为 85%), 则经计算碘-131 日最大排放量为 $5.43 \times 10^5\text{Bq}$ 。

(5) α 、 β 放射性表面污染

在对含有放射性同位素 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{99m}Tc 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 等的各种操作中, 会因操作不慎沾污工作台、工作服和手套等, 造成小面积的 α 、 β 表面污染。

(6) 放射性同位素衰变子体

本项目使用的放射性同位素中, 大多数同位素经过一次衰变后能够达到稳定状态, 但是 ^{225}Ac 其子体存在多级衰变后才能达到稳定状态。

(1) ^{225}Ac 衰变链

^{225}Ac 半衰期为 10.0d, 产生的放射性同位素子体有 ^{221}Fr 、 ^{217}At 、 ^{213}Bi 、 ^{213}Po 、 ^{209}Pb 和 ^{209}Bi 。 ^{225}Ac 经过多次 α 衰变和 β^- 衰变后, 最终生成稳定的 ^{209}Bi 。 ^{227}Th 首先经 α 衰变, 生成半衰期为 4.8min 的子体 ^{221}Fr 。 ^{221}Fr 经 α 衰变, 产生半衰期为 32ms 的子体 ^{217}At 。 ^{217}At 中 99.9% 经 α 衰变, 生成半衰期为 45.6min 的子体 ^{213}Bi 。 ^{213}Bi 子体中 98% 进行 β^- 衰变后, 产生半衰期 4.2us 的 ^{213}Po , ^{213}Po 经过 α 衰变、产生半衰期 3.3h 的 ^{209}Pb 。 ^{217}At 另一条衰变经过 β^- 衰变后, 产生半衰期为 0.5ms 的子体 ^{217}Ra , ^{217}Ra 经 α 衰变, 产生半衰期 4.2us 的 ^{213}Po 。 ^{213}Bi 子体另一条衰变经 α 衰变后, 产生半衰期 2.2min 的 ^{209}Tl , 经过 β^- 衰变后, 产生半衰期为 3.3h 的 ^{209}Pb , ^{209}Pb 经过 β^- 衰变后, 生成稳定状态的 ^{209}Bi , ^{225}Ac 衰变链见下图。 ^{225}Ac 衰变链见下图。

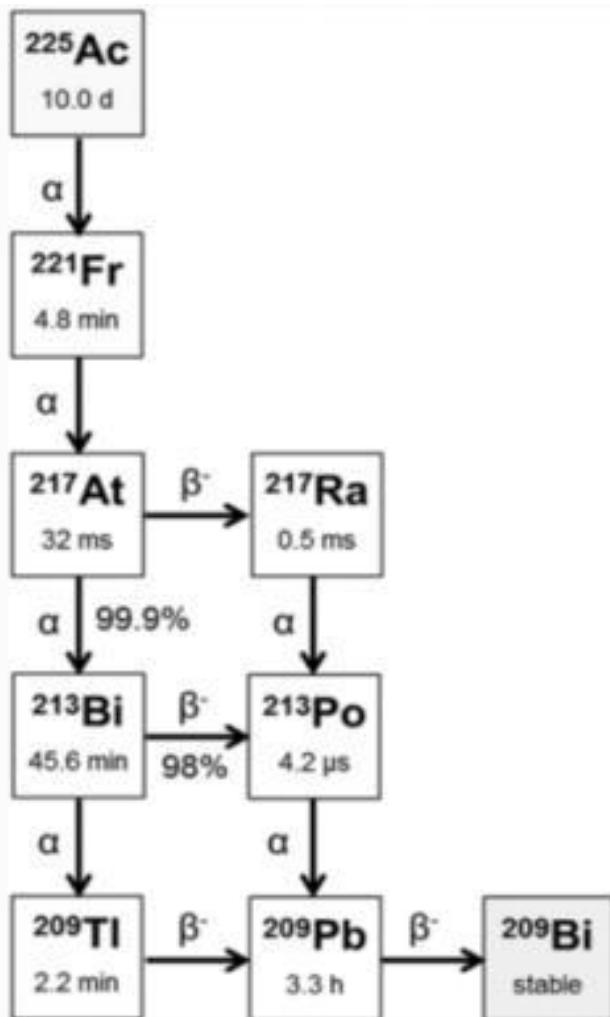


表 9-1 铜-225 衰变系衰变链

小结：根据上述衰变链，本项目使用的 ^{225}Ac 放射性同位素中含有 ^{221}Fr 、 ^{217}At 、 ^{213}Bi 、 ^{213}Po 、 ^{209}Pb 和 ^{209}Bi 。本项目 ^{225}Ac 衰变产生的子体半衰期均较短，且子体主要发生衰变与 ^{225}Ac 衰变特性相似，主要发生 α 衰变，释放的能量较低，射线射程较短，对环境的影响较小。因此，后文不再考虑衰变产生的子体对周围环境的影响。

2、医用电子直线加速器

(1) 电离辐射

本项目医用电子直线加速器加速粒子均为电子，当电子束经高能加速后与靶物质相互作用时产生韧致辐射（即 X 射线），本项目医用电子直线加速器可产生 X 射线和电子线，电子线和 X 射线是随机器的开关而产生和消失的，CBCT 照射位置校准过程中扫描产生的 X 射线，X 射线是随机器的开关而产生和消失的。由于本项

目医用电子直线加速器 X 射线最大能量不超过 10MV，根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），可以不考虑运行过程中的中子和感生放射性。

（2）废气

本项目所使用的医用电子直线加速器、CBCT 在运行过程中产生的有害气体主要是空气中的氧和氮在辐射作用下电离而生成的臭氧和氮氧化物，氮氧化物的产生量约为臭氧的十分之一，对环境影响很小，本次主要考虑臭氧。

（3）废水

本项目医用电子直线加速器使用的冷却水均循环使用不外排。

（4）固体废物

本项目医用直线加速器运营期不产生放射性固废，医生等工作人员和病人产生的生活垃圾直接依托医院已建的固废收集设施收集后统一进行处理。

3、放射性药物制备污染源分析

回旋加速器制药过程中污染因子主要为放射性药物生产过程中产生的中子、 γ 射线和 β 表面污染等，还有含放射性药物的气态、液态和固态废物，此外还会产生少量的臭氧及氮氧化物。根据工艺流程，具体分析污染物和污染途径如下：

1) 贯穿辐射

回旋加速器在制备药物过程中，高速质子与靶物质作用伴随产生中子，中子与靶、部件、屏蔽体等物质相互作用会放出 γ 射线，中子和 γ 射线具有较强的穿透力，如果对其屏蔽不好则可以穿过屏蔽墙、防护门、屋顶等对工作人员和公众产生一定辐射危害。

在进行药物合成分装、淋洗、交接、传输等操作时，核素衰变时会发出 β^+ 射线以及发生正电子湮灭产生的 γ 射线， β^+ 的最大能量为 1.8991MeV， β^+ 在空气中存在时间极短，极易与空气的电子结合（湮灭）而转化为两个 γ 射线光子（能量为 0.511MeV）。

核素制备、合成分装均为自动控制，以上过程中工作人员在加速器控制室进行监控，淋洗、分装均在热室柜中进行，工作人员受到的辐射影响较小。贯穿辐射主要来自质控及传递运输放射性同位素药物过程中。制药区无公众进入，回旋加速器打靶运行、药物转运过程中周围公众活动量很小，对公众造成影响的可能性较小。

2) 空气活化产物

粒子与稳定的非放射性药物作用发生核反应，生成放射性的核素，称该非放射性药物被活化。活化产物决定因素主要包括：中子发生率和能量、空气的组成、核反应截面、粒子在空气中的行径（自靶点至墙内表面的距离）。回旋加速器在运行期间，中子活化空气产生的活化产物主要为¹¹C、¹³N、¹⁵O、⁴¹Ar。

这些核素均为 β 、 γ 衰变体，其中¹¹C、¹³N、¹⁵O半衰期很短，在很短时间内即可发生衰变，故可以不予考虑。主要考虑⁴¹Ar的影响，由于空气中可以生成⁴¹Ar的⁴⁰Ar含量仅为1.3%，加上产生⁴¹Ar的活化反应截面很小，所以⁴¹Ar的生成率极其微小。

3) 表面污染

工作人员在对含有放射性药物制剂的各种操作中，可能会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等发生放射性沾污，造成放射性表面污染。

4) 放射性废物

(1) 放射性废气

在放射性药物打靶生产、淋洗操作、合成分装、质控时，药物挥发产生的含放射性同位素的废气。

(2) 放射性废水

核素制备场所中回旋加速器制备放射性药物的过程是在密闭系统中进行的，回旋加速器的水冷系统使用循环水，正常运行时冷却水不外排不产生废水，维保期间可能需要排除冷却水，以便进行设备检修，冷却水经特排管道排入衰变池暂存。药物医护人员去污、应急洗消、场所清洗时产生一定量的放射性废水。

(3) 放射性固废

核素制备场所中回旋加速器制备放射性药物的过程是在密闭系统中进行的，产生的放射性固体废物主要有合成分装、淋洗、质控过程中产生的固体废物，定期更换的废活性炭和废高效过滤装置，制药过程中产生的废靶部件（膜、片、活化部件等）。

4、DSA、ERCP及III类射线装置污染源分析

(1) 电离辐射

X射线机开机工作时，通过高压发生器和X光管产生高速电子束，电子束撞击钨靶，靶原子的内层电子被电离，外层电子进入内层轨道填补空位，放出具有确定

能量的X射线，本项目 DSA、ERCP 及III类射线装置不开机状态不产生辐射。

（2）固体废物

在进行 DSA、ERCP 介入手术时会产生一次性不含放射性的医疗用品及器械、废纱布等医疗固体废物。

（3）废气

X 射线因与空气发生电离作用产生少量臭氧。

（4）动物 DSA 实验产生的废物

此外，本项目动物楼在开展动物介入手术的动物实验时产生少量动物尸体，依托医院拟建设的医疗废物暂存间进行暂存和管理，最终进行统一处理；饲养动物产生的废水及动物粪便等依托医院的污水处理站处理后排入市政污水管网。

4、其它

（1）非放射性废水

医护人员产生少量生活废水，依托医院的污水处理站处置。

（2）非放射性固废

工作人员产生少量办公、生活垃圾以及废碘佛醇注射液药瓶，统一收集至医院的垃圾转运站后交由环卫部门统一处理。

（3）噪声

噪声主要来源于通排风系统的风机、空调。本项目均拟选用低噪设备，噪声源强约为 65dB（A）。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

通过污染源分析可知，本项目产生的主要污染物为 X 射线、 γ 射线、 β 射线和表面沾污。同时病人治疗和诊断过程还会产生放射性废水和放射性固废。针对这些污染物，建设单位在设计阶段均制定了相应的污染防治措施。

一、平面布置合理性分析

(一) 核医学科

本项目核医学科独立设置，进入核医学科的门均设有门禁，非工作人员引导不能进入，整个场所相对封闭，降低了公众受到照射的可能性，同时医护活动区域和病患活动区域完全分开，保证医护人员和病患就诊不交叉。

核医学科位于门急诊医技住院楼-1F 层中部（核医学科门诊部分）和一层（核素病房区）。其中核医学科门诊部分位于该大楼最底层负一楼；楼上为核医学科的核素病房区部分；核医学科门诊部分科重症病房区、治疗室、库房；外科重症病房区、治疗室、库房等，东南侧为 PET 药物生产区及配套用房；南侧为停车区、车辆通道及部分地下覆土封闭区域；西侧为地下停车位、放疗科（直线加速器机房及配套用房）等；核医学科核素病房区位于门急诊医技住院楼 1 层，核医学科门诊部分对应上部区域；核医学科核素病房区部分东侧为高压氧舱治疗区及配套办公辅助用房；南侧为楼外空地；西南侧为楼外空地，西侧约 24m 处为门急诊住院大楼放射科（CT、数字化胃肠机等机房及办公、辅助用房）；北侧为平急结合门诊放射科（MRI、DR、CT 等机房及办公、辅助用房）等。

表 10-1 核医学科平面布局与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）对照分析
一览表

标准要求	设计落实情况	备注
核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。	①本项目核医学科门诊部分位于门急诊医技住院综合楼-1F 层，核素病房区位于核医学科门诊部分的顶部区域的 1F 层，场所单独设置；②核医学科高活区域已采取集中布置设计，且布置于核医学科的一端，可防止交叉污染；③核医学科已设置独立的储源室和放射性废物暂存间，同时两个场所设置单向门禁系统，设置了留观室、可有效控制给药后患者的活动空间。	满足

<p>核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。</p>	<p>本项目设置有独立的工作人员和患者通道，可以避免医生病人交叉影响，同时针对放射性药物和放射性废物运送采取时间管控措施，避免交叉影响，且储源室和放射性废物室运送通道已尽可能短捷。</p>	<p>满足</p>
<p>核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。</p>	<p>①本项目核医学科设置有病人用药后的留观室，同时场所内设置病人单向流通门禁系统，可有效控制病人流动范围，避免工作人员和公众受到不必要的照射；②控制区出入口已设计工作人员卫生通过区域和缓冲区，配备工作人员使用的卫生通过间，包含更衣、淋浴和表面沾污监测设备，辐射工作人员需经过表面沾污监测→合格→更衣流程后离开；③已设计有给药患者后的专用卫生间，针对用药病人排泄废水的收集采用独立下水管道排入衰变池。</p>	<p>满足</p>

综上所述，本项目核医学科平面布局满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)，核医学科位置相对封闭且独立，功能用房相对集中且齐全，基本满足功能需要，设施布局顺序和诊断流程一一对应，便于放射性药物注射、检查等步骤的逐步实施，各组成部分功能分区明确，满足诊治工作要求，既能有机联系，又不相互干扰，从辐射安全的角度考虑，平面布置合理。

（二）放射性药物制备区

核医学科放射性药物制备区位于负一层，位于核医学科门诊部分东南侧，与核医学科紧邻。楼上为核素病房区、平急结合药房区 VIP 治疗舱、控制室、储气罐等；楼下为地下无建筑的实体封闭覆土区域。东侧为储油间、进风扩散室、风井间、固定式柴油站、配电控制室、排风扩散室、集气室、柴油发电机房、通道等；南侧为衰变池及地下无建筑的实体封闭覆土区域；西侧为核医学科内值班休息室、示教室、污水提升间等，再西侧为停车区、车辆通道房、回旋加速器机房及地下无建筑的实体封闭覆土区域等；北侧为核医学科甲亢留观室、SPECT 检查留观室、抢救室、运动负荷室、空调机房等。其工作场所行对独立，与院内其他非放射性工作场所有明确的分界隔离，本次新建的非密封放射性物质诊断工作场所避开了医院的产科、儿科、食堂等部门，避免了对公众不必要的照射。

放射性药物制备区布局符合性分析：

- (1) 本项目放射性药物制备区的回旋加速器机房、热室、控区等其集中分布在区域南侧，不分散，高活室集中分布在放射性药物制备区的南端；
- (2) 项目储源室及危废暂存间在满足需求的同时，存放范围较小，分布在放射性药物制备区南侧；
- (3) 本项目核医学科内拟设门禁系统，未经医护人员的许可，不能随意流动，有效的限制了给药后患者的活动空间；
- (4) 本项目运药均在营业之前，废物运出均在患者、医护人员离开之后，药物运进与废物运出路径不交叉的同时，在时间上能够和人流实现分流，且运送通道短捷；核医学科就诊患者与医生进出路径不交叉重叠，注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，药物与废物路径不交叉，人流与物流能实现时间隔离；
- (5) 本项目场所控制区所有进出口均拟设置门禁系统，病房区设置门禁系统及禁止串门标记，禁止无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动；
- (6) 本项目配套设施齐全，控制区内均设有给药患者的专用卫生间，同时拟为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。

综上所述，本项目放射性药物制备区的布局合理。

(三) 放疗科

本项目位于医院门急诊医技住院楼-1F层中部区域，加速器机房东侧为下沉庭院兼吊装口；机房南侧为停车区、车辆通道及部分地下覆土封闭区域；机房西侧主要为地下覆土封闭区域，西北侧为排风井区；机房北侧为控制室、设备间、模拟CT机房等区域；机房位于最底层，上部对应区域为覆土封闭空间，机房对应区域周边为绿化带。

模拟定位CT机作为医用电子直线加速器的配套机房布置于医用电子直线加速器机房的西侧，便于病人诊疗的衔接。

根据平面布置，本项目放疗科直线加速器治疗机房位置独立，且布局较为紧凑，便于病人就诊，周围没有其他科室，人流量少。对照《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)布局要求，本项目放疗装置平面布置合理性分析见表10-2。

表10-2 平面布局与《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)对照分析一览表

标准要求	设计落实情况	备注
放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设	本项目放疗科直线加速器均布置于门急诊医技住院楼-1F层西北侧，下方无房	满足

施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	间，同时控制室、辅助机房、准备室以及其他配套功能房间相邻布置，同时设计和建造。邻近房间无易燃、易爆及易腐蚀等危化暂存间。	
放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。	本项目放疗工作场所将实行两区管理，其中加速器机房及迷道划分为控制区，邻近的控制室和准备室等划为监督区，两区划分具体见表 10-4。	满足
治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。	本项目直线加速器主射方向和非主射方向均设置有满足屏蔽要求的混凝土屏蔽层，且根据辐射环境影响分析其屏蔽层厚度满足辐射防护要求。	满足
治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可能与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	治疗设备控制室与治疗机房进行了分开独立设置，且配套房间均围绕治疗机房进行布置。	满足
应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。	本项目医用电子直线加速器有用线束范围为东侧、西侧，控制室位于南侧，已避开被有用线束直接照射，机房楼上负一楼为停车场，楼下无房间。	满足
X射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。	本项目医用电子直线加速器设置有满足屏蔽要求的迷路。	满足

综上所述，本项目直线加速器机房平面布置满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)要求，其平面布置合理。

(四) DSA 手术室

介入中心 DSA 机房位于介入手术室位于门急诊医技住院楼 2F 层东南侧区域，楼上为呼吸睡眠治疗区内的睡眠治疗室、护士站及其他辅助用房等；楼下为平急结合诊疗区 CT、DR、MRI、DSA 检查室及配套用房等；东侧为走廊、UPS 机房、新风机房、医护电梯厅、弱电井间等；南侧为走廊、EICU 病房、治疗区及其他辅助用房区域；西侧为医护走廊、介入中心值班室、办公室、多功能室、康复及检验中心用房区域（包括空调房、电梯、卫生间、办公室、库房、治疗室等）；北侧为新风机房、弱电井间、生活垃圾间、医废间电梯、心内科、心外科检查及诊疗室等。

内镜中心 ERCP 机房位于内镜中心位于门急诊医技住院楼 3F 层中部区域，楼上为 4F 层弱电井间、排风井及普通药物及肠外营养配置区；楼下为 2F 层标本库、净化机房等；东侧

0~50m 为内镜中心消化内镜室、内镜洗镜室、结肠镜室、纤支检查室及其配套用房等；南侧 0~16.6m 为控制室、水处理间、UPS 室、消防电梯、水井、风井、排烟机房等，再南侧 16.6~50m 为大楼外部区域；西侧 0~35.6m 为大楼外部区域，再西侧 35.6~50m 为手术中心用房（包括前室、水井、加压送风井、弱电井间、清洁间、卫生间、工作电梯等）；北侧 0~25.7m 为弱电井间、UPS 室、药品间、排烟井、加压送风房、消耗内镜服务区、气动物流站、卫生间、消化内镜等候区等，再北侧 25.7~50m 为大楼外部区域。

内镜中心纤支镜 DSA 机房位于内镜中心位于门急诊医技住院楼 3F 层中部区域，楼上为 4F 层能量吊塔区；楼下为 2F 层体检中心缓冲间、纯水间等；东侧为内镜中心纤支镜洗镜室、纤支镜室、标本库房、PCR 基因扩增实验室、捕获产物扩增富集区及走道等；南侧为控制室、纤支镜室检查室、值班室、水井房、污物电梯等；西侧为控制室、膀胱镜室、消化镜室、ERCP 室及过道等；北侧为内镜中心膀胱镜设备间、纤支镜 DSA 设备间、纤支镜 CT 设备间、控制室、纤支镜 CT 机房、强电井间、水井、风井、穿刺及呼吸内镜服务区等。

复合手术室 DSA 机房位于门急诊医技住院楼 4F 层西南侧，楼上为大楼楼顶区域；楼下为 3F 层普通手术室及麻醉室等；东侧为控制室、CT 复合手术室及其配套用房、全自动软水机房及 UPS 室等；南侧为手术中心走道、前室、UPS 室、电梯等；西侧为手术中心监控室、过道、手术室等用房等；北侧为手术中心手术室及其他配套用房、过道等。

平急结合裙楼 DSA 室位于医院平急结合裙楼 1F 层，楼上为 2F 层介入中心 DSA 室；楼下为-1F 层手术部小手术室及其辅助用房等；东侧为消化治疗室、消化复苏室、消化镜室、储镜室、卫生间及过道等；南侧为平急检查等候区、过道、核素病房区、平急结合药房、过度兼 VIP 治疗舱等；西侧为控制室、器械工具间、平急结合 CT 检查室及其辅助用房、报警阀间、库房、放射科新风机房、办公室、检查室等；北侧为 DSA 设备间、走道、无障碍电梯、抢救电梯、急诊急救区学习室、办公楼、医护就餐区、更衣室、病床区等。

动物楼 DSA 室位于医院动物楼 2F 层西南侧，楼上为 2F 层顶部区域；楼下为 1F 层动物免疫和饲养室等；东侧为动物手术室及其配套用房等；南侧为动物手术室及其配套用房、电梯间等；西侧为大楼外部绿化带区域、停车区等；北侧为动物楼内 DSA 设备间、大动物观察复苏间、准备间、小动物观察复苏间、小动物麻醉间、大动物麻醉间、小动物间、大动物间、水井间、电梯间、卫生间、弱电井间等。

本项目各介入手术室依据科学规划、合理布局、辐射防护、安全管理的原则进行设计。总体来看，功能分区明确，与其他科室相互不交叉。手术室为洁净区域，非工作人员禁止进

入，周围人流较少，所处位置相对独立，便于进行分区管理和辐射防护。

综上所述，本项目射线装置、核医学科工作场所根据工作要求、有利于辐射防护和环境保护及各组成部分功能区明确，既能有机联系，又不互相干扰，且最大限度避开了人流量较大的门诊区或其它人流活动区，在设计阶段，所有辐射工作场所均进行了合理的优化布局，同时兼顾了病人就诊的方便性。从辐射安全的角度考虑，本项目各辐射工作场所产生的电离辐射经屏蔽后对周围辐射环境影响是可接受的，平面布置合理。

二、工作区域管理

1、分区原则

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，将本项目辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

监督区：通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的规定：放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗室，术中放射治疗室应确定为临时控制区。

与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

根据《核医学辐射安全与防护要求》（HJ 1188-2021）的规定：核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

2、控制区与监督区的划分

根据本项目的平面布置，核医学科、放疗科、核素病房区和各介入手术室等控制区和监

督区划分情况详见表 10-4。两区划分示意图见图 10-1~图 10-9。

表 10-4 本项目划分一览表

工作场所	控制区	监督区	备注
核医学科(门诊部分)	SPE/CT 分装室、储源室 1、放射废物暂存间 4、服药室、肺通气显像准备室、负荷准备室、SPE/CT 注射候诊室、卫生间 1、抢救室 1、患者通道、SPECT/CT 检查室、SPECT/CT 留观室、卫生间 2、放射废物暂存间 1	医疗走道、卫生通过间、控制室 1、污存污洗间 1、污存污洗间 2、设备间、控制室 2、前室、储物间、卫生间 5、留置针室、病史采集室、病人出院缓冲区、缓冲区、核医学科专用电梯、卫生通过间、淋浴间及外部医护通道等；	控制区内禁止外来人员进入，职业工作人员在进行日常工作时候尽量减少在控制区内停留的时间，且职业工作人员必须穿戴防护用品，以减少不必要的照射。 监督区范围内应尽量限制无关人员进入。 为防止无关人员进入核医学科衰变池所在位置，应在衰变池周围进行隔离围栏，并张贴电离辐射警示牌。在卫生通过间进出口应设置外照射及表面污染监测设备
	PET/CT 分装室、放射废物暂存间 3、储源室 2、注射室、抢救室 2 室、卫生间 3、PET/CT 注射候诊室、PET/CT 留观室、PET/MR 留观室、患者通道、PET/CT 检查室、PET/MR 检查室、检查前准备室、卫生间 4、放射废物暂存间 2		
	服药室、甲亢门诊留观、甲吸室、敷贴治疗室		
	污水提升间、衰变池		
核医学科(ET 药物生产区)	回旋加速器机房、热室、储源室、废药间、污洗间、阳性对照室（含更衣间）、全质质控室、无菌检测室等	控制室、缓冲间、净化机房、配电室、普通实验室、清洁走廊、物料缓冲间、消毒间、脱包间、洁具间、洗衣整衣间、清洁间、储藏间等	
核医学科(核素病房区)	核素病房（6 间）、控制区走道、污染被服暂存间、应急治疗室、抢救室、放射性废物暂存间、特殊污洗间、污物通道、清洁间、固废暂存间、储源室、分装室、服碘室、注射间、核素药梯等	卫生通过间、更衣室、医护走到、护士工作站、出院通道、储藏间、气瓶间、缓冲区、存衣、更衣间等	
放疗科	直线加速器机房（含迷道）、模拟定位机房	控制室、设备间	对控制区进行严格管理，禁止无关人员进入，在放射治疗过程中严禁除患者以外的人员进入。控制区设置清晰可见的电离辐射警告标志。职业工作人员在进行日常工作时候尽量减少在控制区内停留时间。
二楼介入手术室	DSA 介入手术室	中央控制室、设备间、手术室患者通道门外 1m 处	监督区范围内应尽
四楼复合 DSA 手术室	DSA 复合手术室	控制室、手术室患者通道门外 1m 处	
三楼纤支镜 DSA 室	DSA 手术室	控制室、手术室患者通道门外 1m 处	
三楼 ERCP	ERCP 手术室	控制室、手术室患者通道门	

手术室		外 1m 处	量限制无关人员进入。
平急结合裙楼 DSA 手术室	DSA 手术室	控制室、手术室患者通道门外 1m 处	
动物楼 DSA 手术室	DSA 手术室	控制室	



图 10-1 核医学科两区划分示意图（门诊部分+PET 药物生产区）

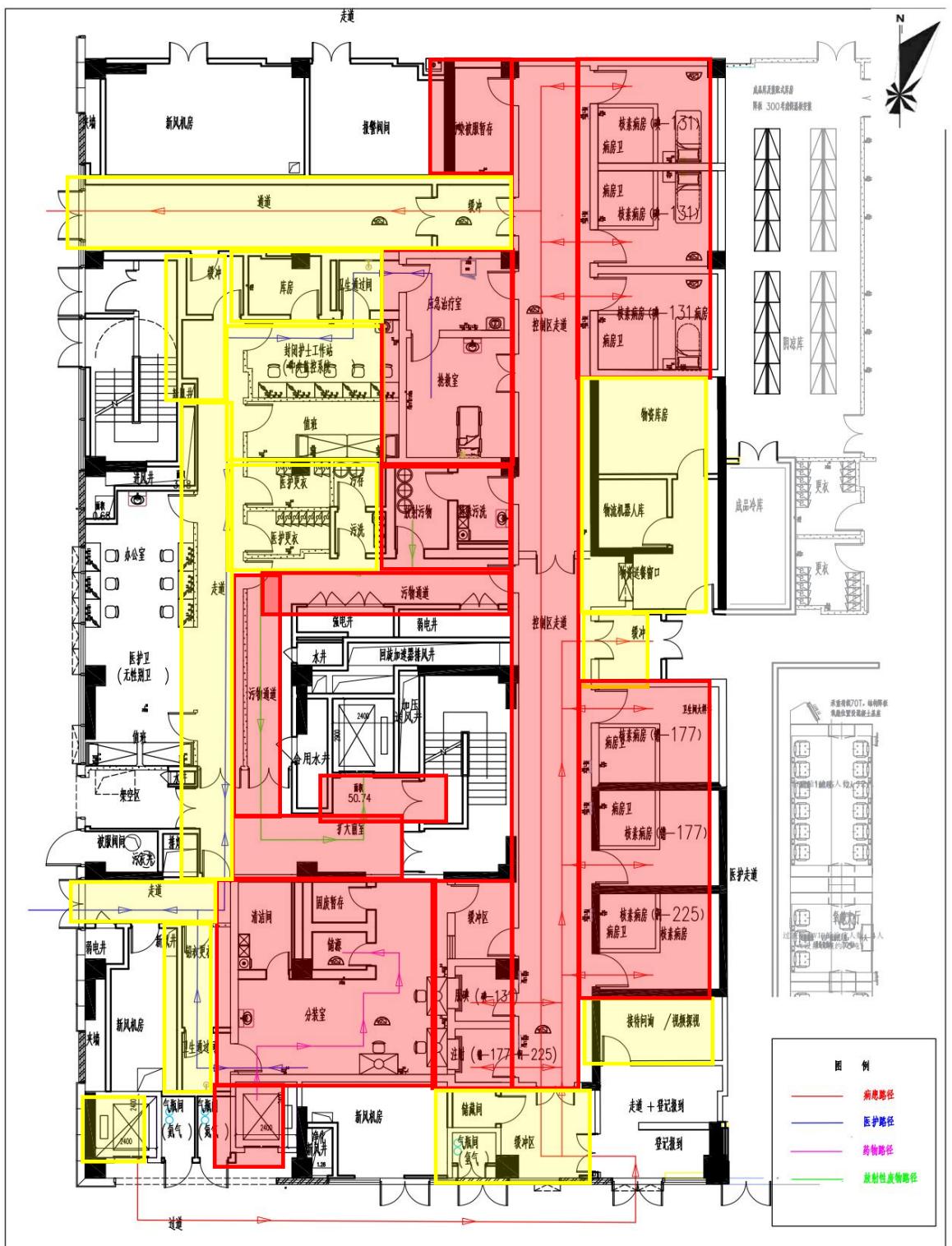
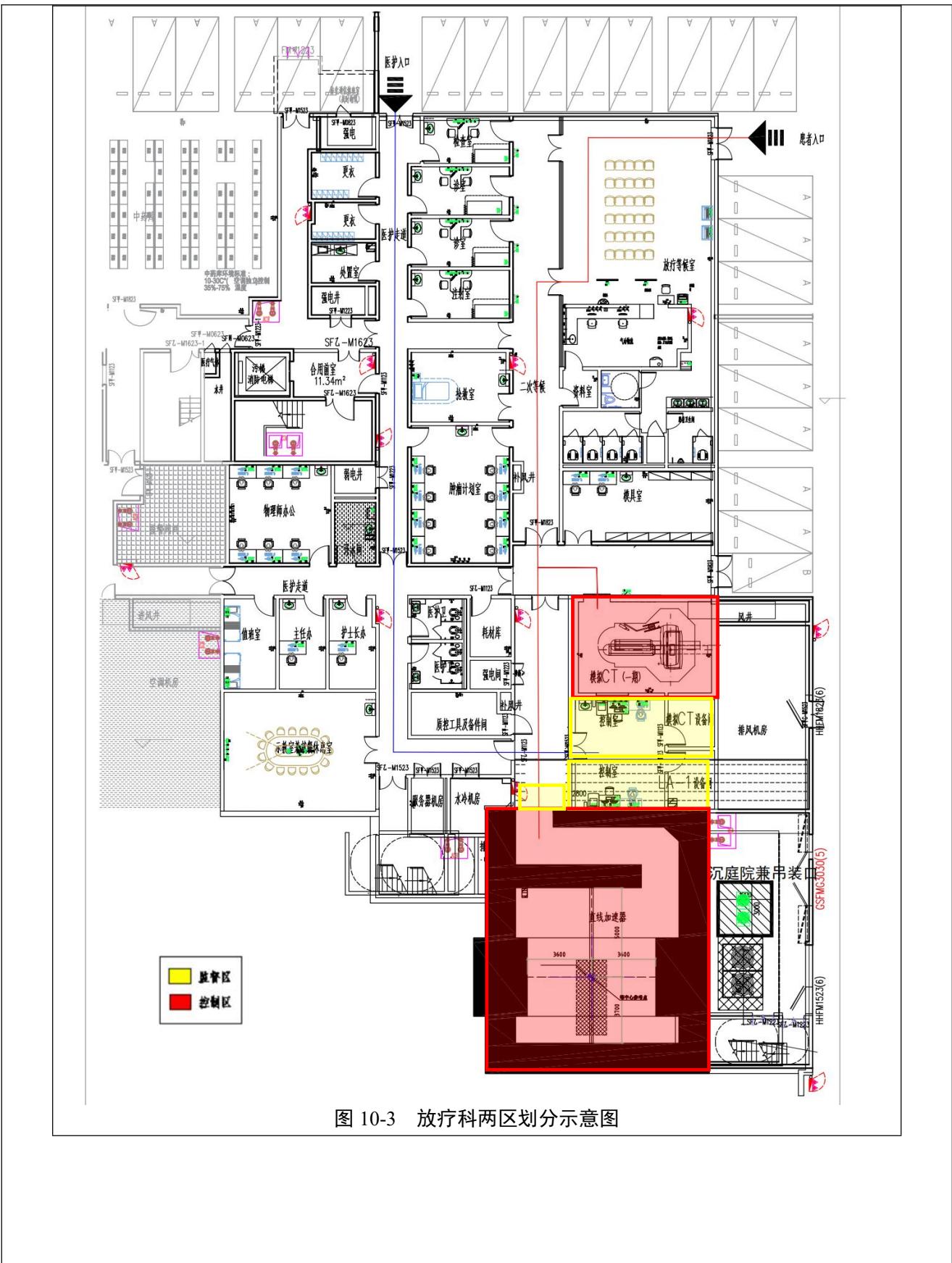


图 10-2 核医学科两区划分示意图（核素病房部分）



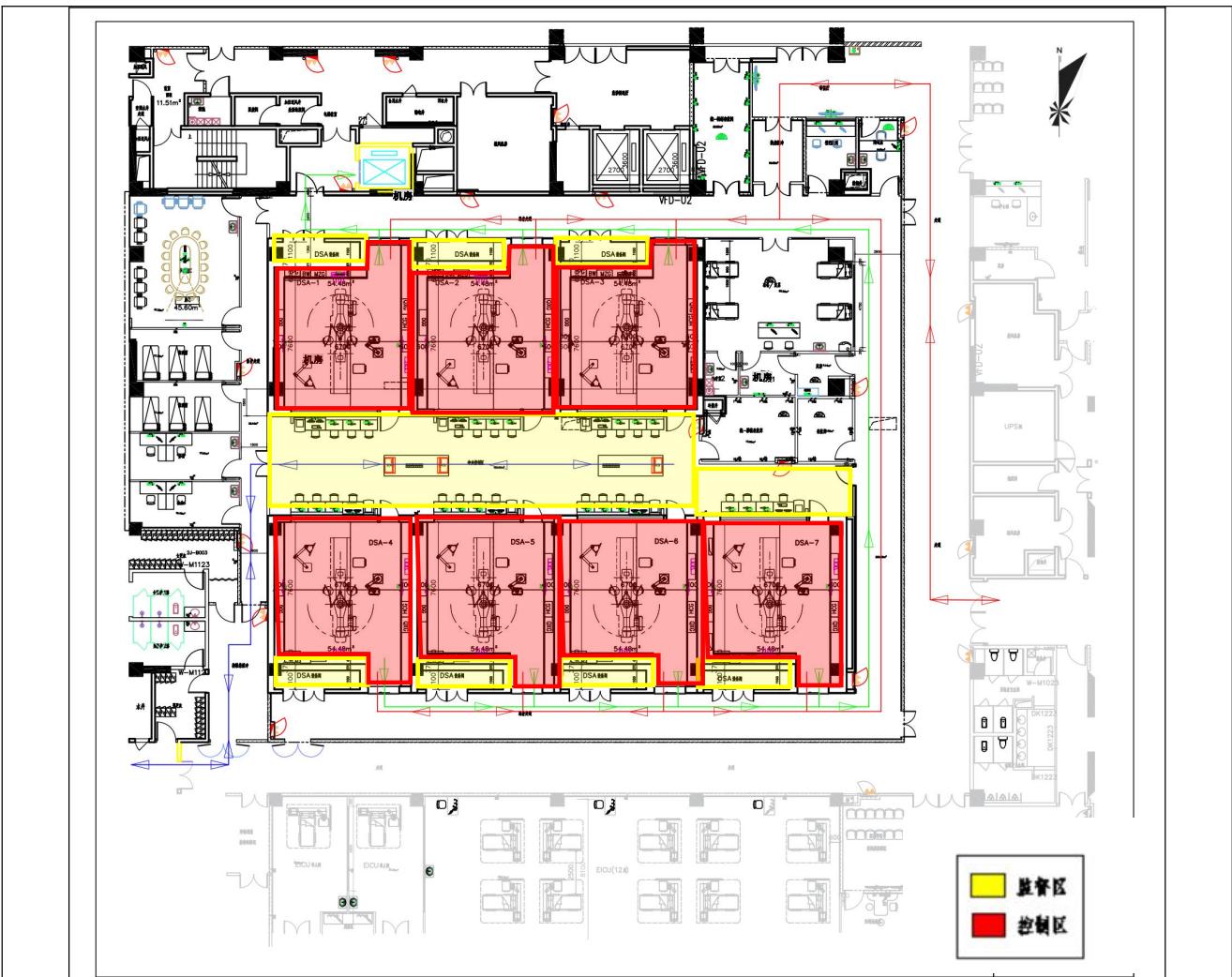


图 10-4 二楼 DSA 介入手术室两区划分示意图

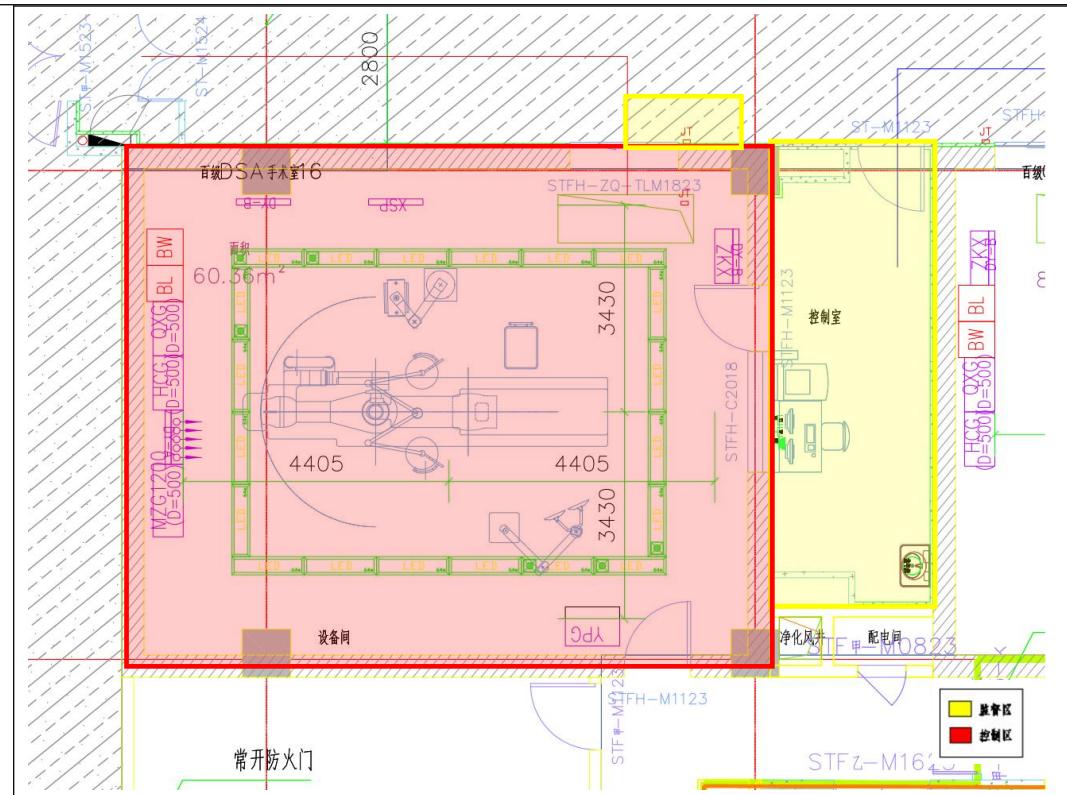
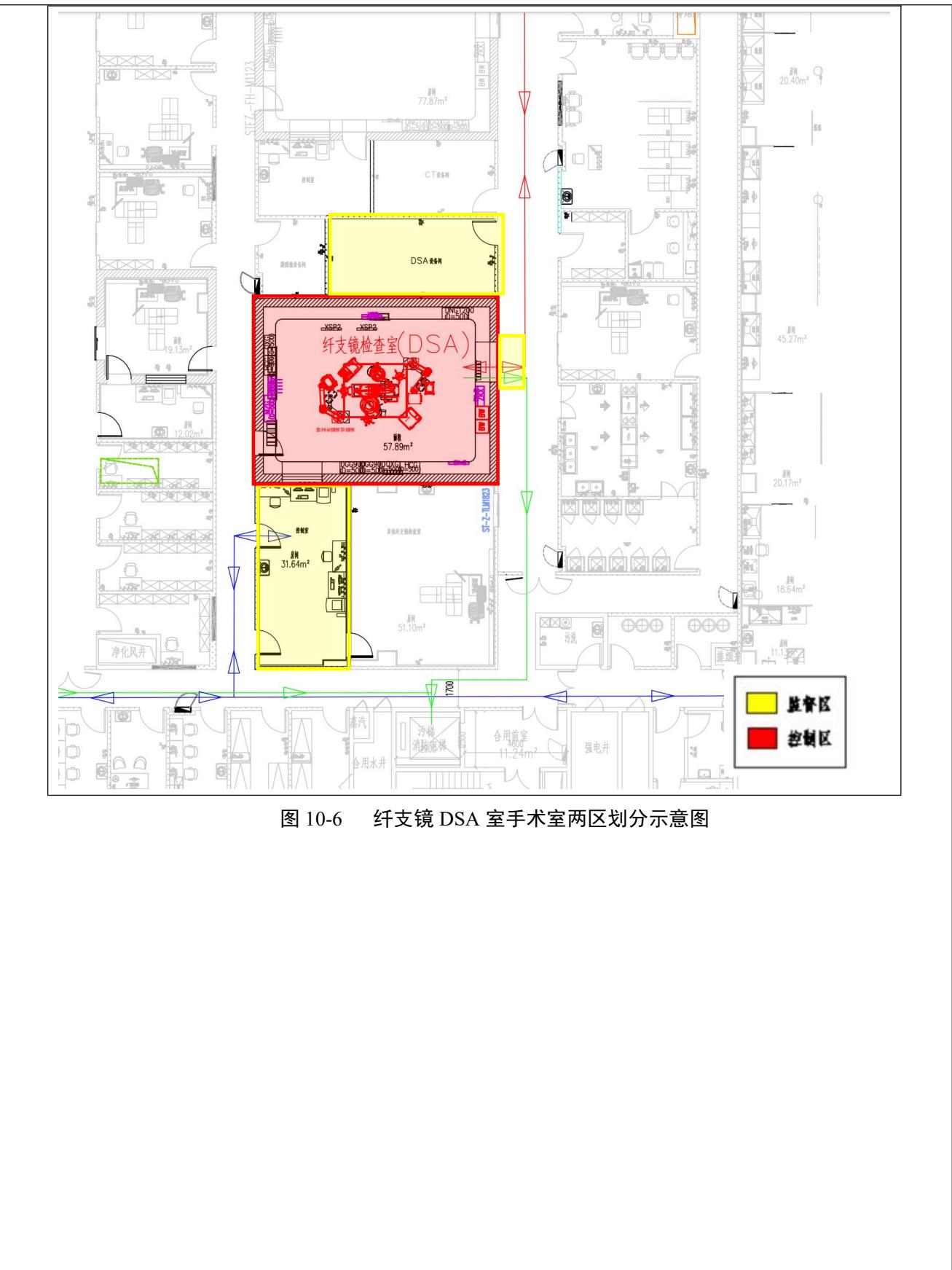


图 10-5 门急诊医技住院综合楼 4 楼 DSA 复合手术室两区划分示意图



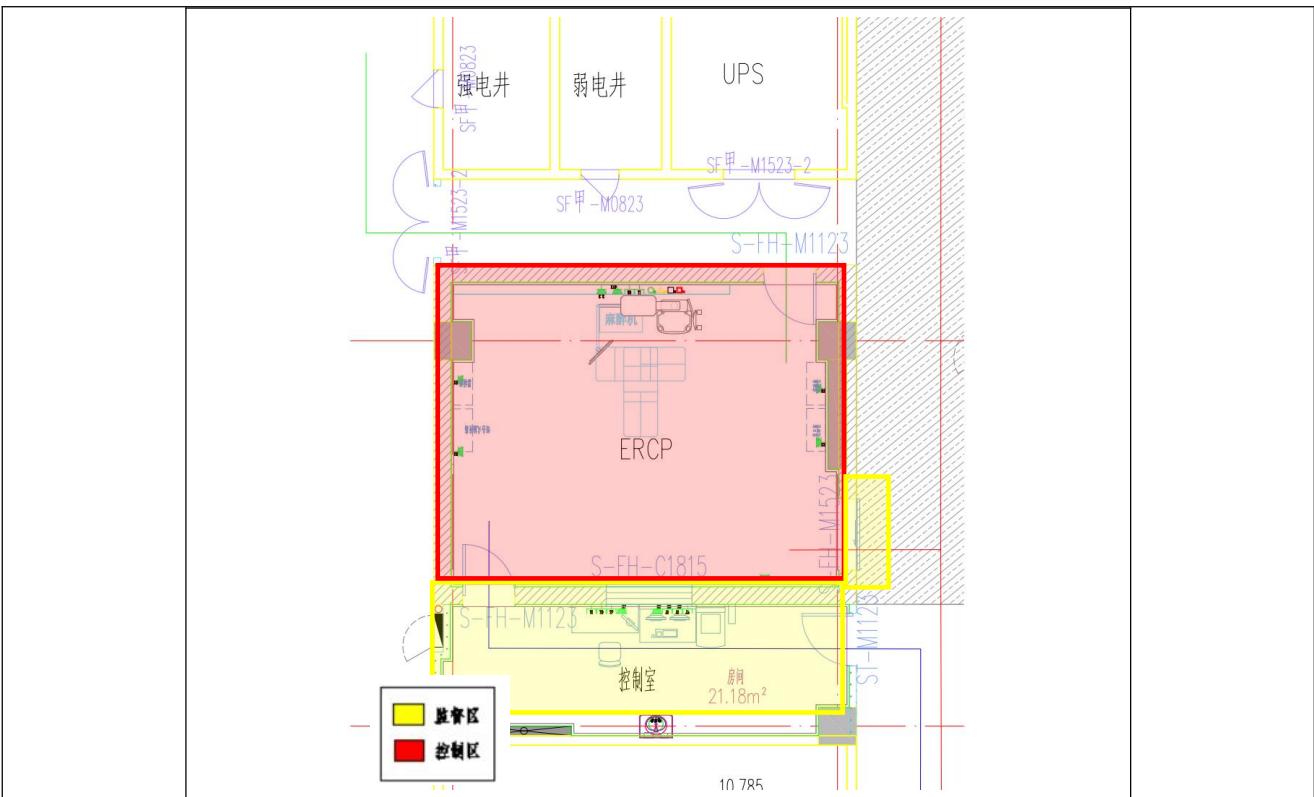


图 10-7 ERCP 室手术室两区划分示意图

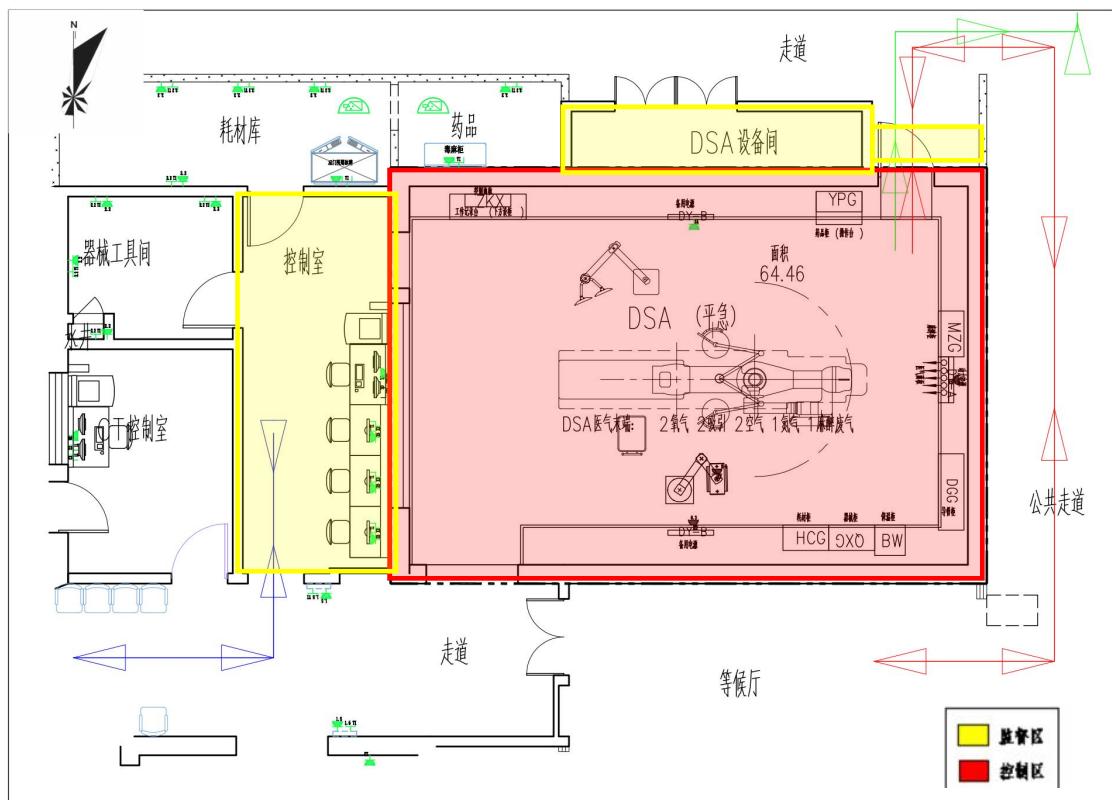


图 10-8 平急结合裙楼 DSA 室手术室两区划分示意图

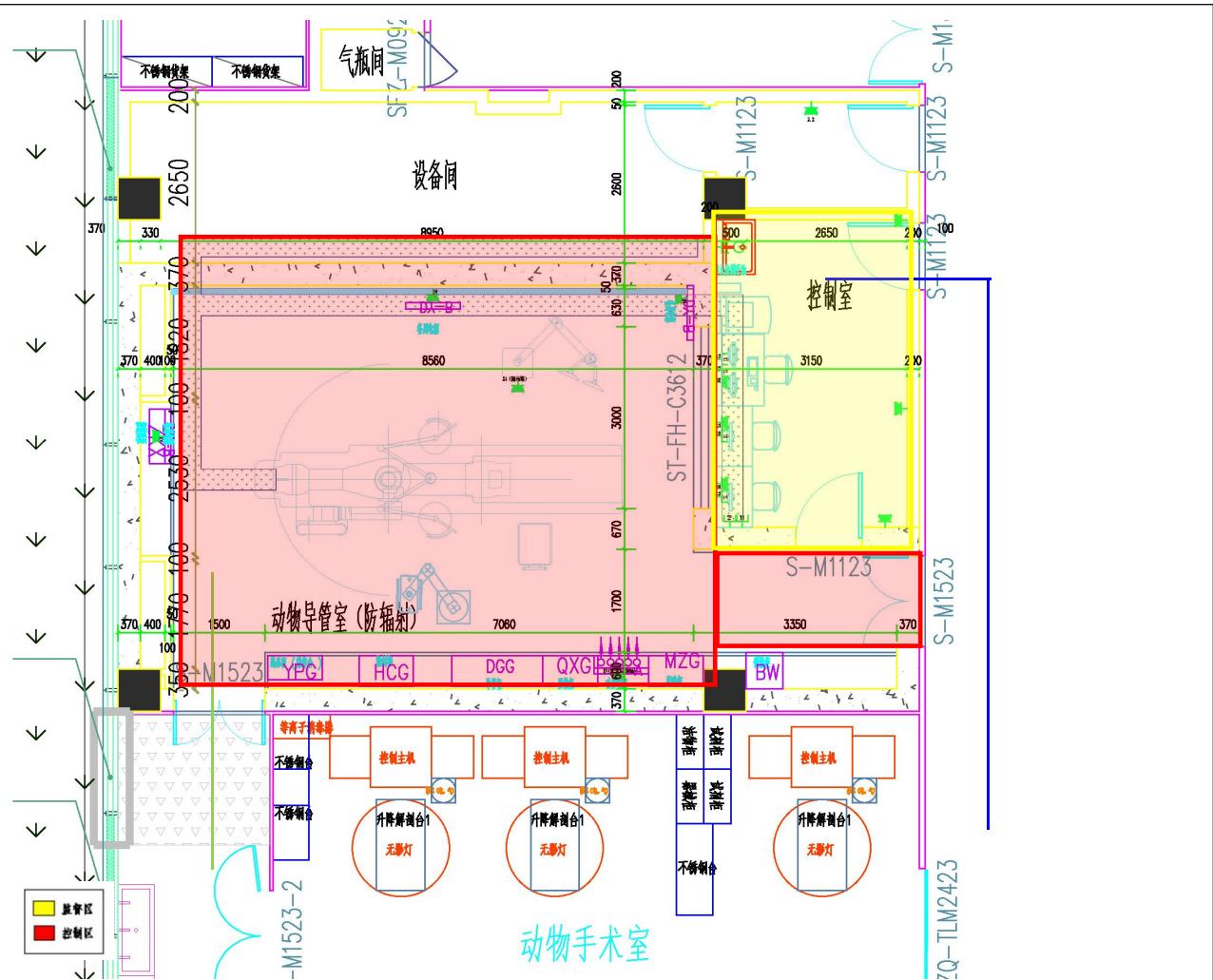


图 10-9 动物楼 DSA 室手术室两区划分示意图

3、控制区防护手段与安全措施

①控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志, 见图 10-6;

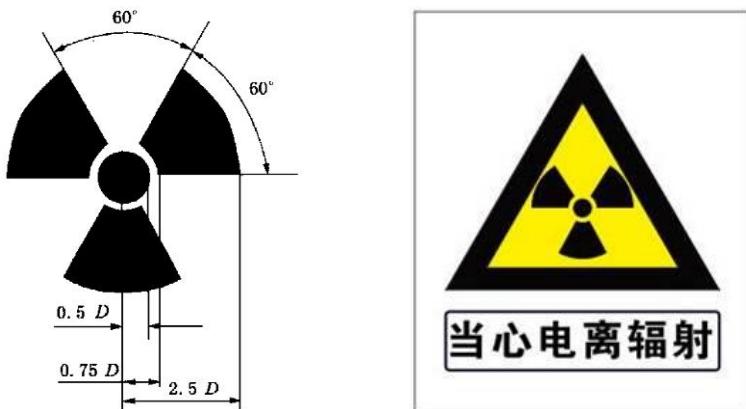


图 10-6 电离辐射标志和电离辐射警告标志

②制定职业防护与安全管理措施, 包括适用于控制区的规则和程序;

③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门禁）限制进出控制区；

④在卫生通过区域配备个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜等；

⑤定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施。

4、监督区防护手段与安全措施

①监督区边界以黄线警示；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

③定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

三、辐射安全及防护措施

（一）核医学科-放射性药物制备区

（1）回旋加速器机房安全设施

①自身固有安全设施

在回旋加速器出束前，会对磁铁电流、高频腔压、靶压、冷却氦气气压进行测量，如果实测值达不到预设值，或者各个设备冷却水单独一路的流量达不到最低值，此时系统将无法开启离子源，从而预防事故的发生。

回旋加速器运行时，系统实时监控靶压以及冷却氦气气压，在正常运行情况下，靶压和冷却氦气气压保持在一定范围内，如果一旦靶膜破裂或氦冷却循环回路泄漏（表现为压力骤降），此时系统将立刻关闭离子源电源、高频功率源输出及磁铁电源输出，从而停止打靶，防止产生过量的感生放射性或避免对加速器内部器件构成破坏。

回旋加速器用户操作控制界面设有密码，只有被专门授权许可的操作人员才能实现回旋加速器的开机操作。

②机房安全设施配置

为满足辐射防护的冗余性、多元性和独立性的要求，回旋加速器机房设置有其它安全装置，如下：

门与加速器高压触发/束流联锁：防护门与回旋加速器离子源系统及束流阻挡器联锁。当防护门处于开启状态时，加速器高压装置、离子源系统无法开启；运行过程中防护门意外打开时，加速器高压装置、离子源系统停止工作，同时加速器束流阻挡器落下，束流不能进入

靶腔。在回旋加速器开机运行前，防护门未正常关闭，回旋加速器不能正常开机出束。

电离辐射警告标志及门-灯联锁（工作状态指示灯）：回旋加速器机房入口设置电离辐射警告标志及工作状态指示灯，当防护门关闭时，工作状态指示灯亮起，并进行LED中文提示，如：正在工作/正在出束。

声光报警及语音播报：防护门入口均安装声光报警装置，其中灯光提示分绿、黄、红3种颜色。绿灯亮，指示加速器不工作，辐射水平处于安全水平；黄灯亮，指示加速器准备进入工作状态，并进行语音提示“准备出束”；红灯亮，指示加速器正在工作，红灯闪烁则表明此时加速器机房的辐射剂量超过安全水平。加速器准备出束时，语音提示无关人员撤离机房，运行过程中语音提示会持续响。

门-剂量联锁（固定式报警仪）：加速器机房外墙墙面设置固定式剂量监测探头并带有报警提示，机房内安装固定式 γ 剂量监测探头（带中子监测功能），监测剂量与防护门联锁，当剂量率超过设定阈值时（具体阈值由实际运行调试情况进行设定），防护门无法从外部正常开启。

视频监控系统：机房内和机房外入口设置红外视频监控系统，24h实时监控机房内状况。

紧急停机及紧急开门装置：在机房内四周墙面和控制台人员易接触的位置设置紧急停机按钮并进行中文标识，所有按钮进行串联，当任意紧急停机按钮按下，加速器高压功率源、离子源均停机，同时束流阻挡器落下。当紧急停机按钮被按下后，重新启用时，需进行人工复位。防护门内侧设置紧急开门按钮并进行中文标识，当人员误留房间内可通过该按钮实现防护门从内部打开，进行紧急逃逸，同时加速器停止运行。

清场巡更按钮：机房内设置巡检开关。当防护门打开后巡检开关自动复位，工作人员在关闭防护门前，需先进行巡检，并按下所有巡检开关后，防护门才能正常关闭。若巡检开关未被按下，加速器将无法正常启动，同防护门也不能正常关闭。

延时开门按钮：机房内安装延时开门联锁，加速器停机后需进行至少1h排风后，防护门才能从外部正常开启，防止机房内滋生放射性气溶胶对工作人员形成照射。

控制台和大厅门钥匙控制：控制台设置钥匙控制，当取出钥匙，加速器不能正常开启出束，只有获得资格且单位授权运行人员才能使用该钥匙。防护门入口设置钥匙控制，只有插入正确的钥匙，防护门才能正常打开。

气闸联锁：为保证场所洁净水平、并防止污染物扩散，回旋加速器机房、固体靶制备室等设置气闸联锁装置，即工作人员每次不能同时打开两道通道门。

(2) 热室辐射防护设施

①**电离辐射警告标志**：拟在热室入口（卫生通过间入口处）醒目位置设置电离辐射警告标志。

②**热室门与加速器药物传输系统联锁**：当回旋加速器室制备出核素之后，放射性核素传输之前，热室设备将根据程序设定，自动检测热室的门是否已经关闭，热室的压力是否满足负压要求；只有这两项条件均满足的情况下，放射性核素才能通过管道进行传送，同时在控制室内操作台上有相应的核素传输工作状态指示灯。

③**固定式剂量报警仪**：拟在热室内安装固定式多探头辐射剂量率仪，当探测到剂量率超过设置阈值时，则有声光报警，人员马上撤离。

④**视频监控**：拟在热室内安装视频监控系统，便于辐射工作人员观察操作场所内 及周边的情况。

⑤淋洗、药物分装过程防护措施

本项目使用核素⁶⁸Ga 采用发生器淋洗制得，其淋洗及其他药物分装过程是在热室内的热室柜/手套箱中进行。医护人员在进行核素药品的分药、标记及淋洗操作时首先做好个人防护，包括穿铅衣，戴铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，佩戴好个人剂量计，将药物储存罐（¹⁸F、¹¹C、¹³N 等）或发生器移至手套箱/热室内，进行分装、标记或淋洗操作。操作侧下方设两个活动式铅门，作为两个操作口， 医生通过此操作口进行操作。

(3) 全检质控室辐射防护设施

①**电离辐射警告标志**：拟在全检质控室入口醒目位置设置电离辐射警告标志。

②**固定式剂量报警仪**：在全检质控室内安装固定式多探头辐射剂量率仪，当探测到剂量率超过设置阈值时，则有声光报警，人员马上撤离。

(4) 放射性药物的存放控制措施

本项目正电子放射性核素药物均为医院自行制备，药物制备完毕后自动进入转运铅罐，工作人员使用长柄转运小推车进行药物转运，身体与转运铅罐（50mmPb）的直线距离取1.2m，转运时间取 3min，运至北侧的专用药梯，由专用传药梯传送至核医学科影像诊断区的储源室内。

建设单位必须配备专(兼)职人员负责放射性药物的管理并建立健全放射性物质的保管、领用、注销登记和定期检查制度。要求设置专门的台账（如交收账、库存帐、 消耗账），加强对放射性药物的管理，严防丢失。放置放射性物质的容器，必须容易开启和关闭，容器外

必须有明显的标签(注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起止时间、存放负责人等)。放射性药物要设有专门可靠的防火防盗等安全设施的贮存场所,不得与其他易燃易爆危险品放在一起。



图 10-7 本项目回旋加速器机房辐射安全设施布置示意图

（5）放射性“三废”辐射防护设施

①放射性废水：放射性药物制备区放射性废水排水管拟采用柔性接口含铅铸铁管，具有内壁光滑、少弯曲、扭拐等特点。医院拟在放射性药物制备区内放射性废管道裸露部分外增加铅皮（5mmPb）包裹。衰变池四周设置隔离，并设置电离辐射警示标志及中文说明，以提醒无关人员不要靠近和停留。

②放射性废气排风系统：PET药物生产区内设3套专用通排风系统，第1套用于收集回旋加速器机房产生的废气，拟在穿墙管道外侧至活性炭过滤装置(含)段裸露部分采用3mmPb进行包裹，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口(编号P7)处设置1套高中效过滤+

活性炭装置处理后排放；第2套专用排风系统用于收集热室、质控室、阳性对照室、无菌检测室、锝镓发生器间等产生的放射性废气，设置1套排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号P8）处设置1套高中效过滤+活性炭装置处理后排放。本项目区域内的放射性废气排风管道均通过核医学科内的排风井在核医学科楼楼顶经过高中效过滤+活性炭装置处理于屋顶排放。

③放射性固体废物：在放射性药物制备区产生的放射性固体废物经场所内布置的铅桶进行收集，然后暂存于回旋加速器机房北侧的放射性废物暂存间，在铅桶内经衰变清洁解控后，进行分类处置。

本项目放射性药物生产区辐射工作场所的设计和修建均由相应资质的单位进行设计和装修，房间的四周及屋顶均修建相应的屏蔽体对射线进行有效的屏蔽，屏蔽状况见表10-5，放射性药物生产区辐射屏蔽措施情况见表10-6。

表10-5 核医学科-放射性药物生产区防护情况一览表

工作场所	墙体、屋顶和地板	防护门	其他辐射防护措施
PET药物生产区			
回旋加速器机房	四周墙体为1.0m厚钢筋混凝土，底板为1.0m厚钢筋混凝土，顶板为1.0m厚钢筋混凝土	1扇，2cmPb+25cmPE	无
热室	东侧与回旋加速器机房共用1.0m厚混凝土，其余北侧、西侧，南侧墙体为300mm厚钢筋混凝土，底板为260mm厚钢筋混凝土，顶板为260mm厚钢筋混凝土	2扇，10mm铅当量	工作台3个，为70mmPb铅钢+铅玻璃结构
质控室等其他房间	四周墙体为200mm厚钢筋混凝土，底板为基础，顶板为200mm厚钢筋混凝土	1扇，40mm铅当量	手套箱3个，为30mmPb

表10-6 核医学科PET药物生产区辐射屏蔽设施

名称	数量	铅当量	拟设置场所
工作台	3个	70mmPb	热室
药物合成分装柜	1	50mmPb	热室
手套箱	3个	50mmPb	质控室等其他房间
放射性固废暂存容器	1个	20mmPb	废药间
转运铅盒	2个	5mmPb	热室
钨合金防护罐	4个	50mmPb	热室
铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜等个人防护用品	4套	0.5mmPb	更衣间

（二）核医学科-门诊部分及核素病房

1、防护要求

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施，依据操作最大量放射性核素的加权活度对放射性核素工作场所进行分级管理，把场所分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三类，不同级别工作场所室内表面和装备结构的基本防护要求见表10-7。

表10-7 按不同级别工作场所室内表面和装备的要求

工作场所	分类		
	Ⅰ类	Ⅱ类	Ⅲ类
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
手套箱	需要	需要	不必
室内通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道	普通管道	普通管道
清洗及去污设备	洗手盆和去污设备	洗手盆和去污设备	洗手盆

注①下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。
②洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

本项目核医学科具体设计情况见表10-8。

表10-8 本项目非密封放射性物质工作场所防护设计情况

工作场所	地面	工作台面	手套箱	室内通风	管道	清洗及去污设备
核医学科	地面采用PVC地面，墙面与地面交接作圆角处理，地面全部敷设易去污并可以拆除更换的材料，其边缘应高出地面15~25cm，且地面光滑，并具有易去污，受辐照后不易老化，且防水。	分装注射室内的操作台均设置了易清洗不锈钢台面。	已设计独立排风系统（其中手套箱设置独立排风系统，核医学科其他区域设置独立排风系统，按照防火分区分别设置），引至门急诊医技住院综合楼主楼屋面。	已设计独立下水系统，连接至并联衰变池。	拟设置表面沾污检测设备和去污设备。	

根据10-7、表10-8对比，本项目核医学科工作场所室内防护和装备要求能够达到《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中最高级Ⅰ类场所的防护要求。

2、防护措施

本项目非密封放射性物质工作场所采取的辐射防护与放射性污染防治措施主要包括以下方面：

（1）建筑物屏蔽防护

本项目辐射工作场所的设计和修建均由相应资质的单位进行设计和装修，房间的四周及屋顶均修建相应的屏蔽体对射线进行有效的屏蔽，屏蔽状况见表 10-9。

表 10-9 核医学科非密封放射性物质工作场所（门诊区及核素病房）房间防护情况一览表

工作场所	墙体、屋顶和地板	防护门	其他辐射防护措施
PET 药物生产区			
回旋加速器机房	四周墙体为 1.0m 厚钢筋混凝土，底板为 1.0m 厚钢筋混凝土，顶板为 1.0m 厚钢筋混凝土	1 扇, 2cmPb+25cmPE	无
热室	东侧与回旋加速器机房共用 1.0m 厚混凝土，其余北侧、西侧，南侧墙体为 300mm 厚钢筋混凝土，底板为 260mm 厚钢筋混凝土，顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 10mm 铅当量	工作台 3 个，为 70mmPb 铅钢+铅玻璃结构
质控室等其他房间	四周墙体为 200mm 厚钢筋混凝土，底板为基础，顶板为 200mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 40mm 铅当量	手套箱 3 个，为 30mmPb
SPECT/CT 检查区			
SPECT 接收/分装室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖，底板为 260mm 厚钢筋混凝土，顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 为 5mm 铅当量	手套箱 1 个，为 30mmPb; 服药/注射窗 1 个，为 20mmPb
储源室 1 (SPECT)	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖，底板为 260mm 厚钢筋混凝土，顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 3mm 铅当量	无
废物间 1 (放射性废物暂存间 1)	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖，底板为 260mm 厚钢筋混凝土，顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 3mm 铅当量	无
服药室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖，底板为 260mm 厚钢筋混凝土，顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 5mm 铅当量	自动化分药仪 1 个，原药罐 40mmPb, 出药嘴 3mmPb
肺通气室 (肺通气显像准备室)	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖，底板为 260mm 厚钢筋混凝土，顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 为 3mm 铅当量	无
运动负荷室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖，底板为 260mm 厚钢筋混凝土，顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 3mm 铅当量	无
抢救室 1	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖，底板为 260mm 厚钢筋混凝土，顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 5mm 铅当量	无
检查前候诊室 (SPECT)	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖，底板为 260mm 厚钢筋混凝土，顶板为	1 扇, 3mm 铅当量	无

	260mm 厚钢筋混凝土		
SPECT/CT 检查室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 4mm 铅当量	观察窗 1 个, 为 4mmPb
SPECT/CT 留观室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 3mm 铅当量	无
甲亢留观室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 5mm 铅当量	无
放射性废物暂存间 3	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 4mm 铅当量	无
卫生通过间 1	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 5mm 铅当量	无
SPECT/CT 患者过道外侧墙体	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	3 扇, 4mm 铅当量	无
PETCT/CT 检查区			
PET 接收/分装室	北、南侧墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 东侧墙体为 370mm 厚钢筋混凝土, 西侧墙体为 500mm 厚钢筋混凝土, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 为 15mm 铅当量	手套箱 1 个, 为 50mmPb
废物间 2 (放射性废物暂存间 2)	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 6mm 铅当量	无
储源室 2 (PET)	北、西侧墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 南、东侧墙体为 500mm 厚钢筋混凝土, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 10mm 铅当量	无
注射廊	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 15mm 铅当量	注射窗 1 个, 为 50mmPb
卫生通过间 2	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 15mm 铅当量	无
抢救室 2	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 10mm 铅当量	无
检查前候诊室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 15mm 铅当量	无
PET/CT 检查室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 15mm 铅当量	观察窗 1 个, 为 15mmPb
PET/MR 检查室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为	2 扇, 15mm 铅当量	观察窗 1 个, 为 15mmPb

	260mm 厚钢筋混凝土		
检查后留观室 (PET/CT)	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 15mm 铅当量	无
检查后留观室 (PET/MR)	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 15mm 铅当量	无
放射性废物暂存间 4	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 10mm 铅当量	无
PET/CT 患者过道外侧墙体	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	3 扇, 8mm 铅当量	无
核素病房区			
核素病房	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	共 8 扇 (每个房间 1 扇, 每扇为 15mm 铅当量)	无
应急治疗室	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	3 扇, 15mm 铅当量	无
抢救室	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 15mm 铅当量	无
放射性废物暂存间	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 8mm 铅当量	无
特殊污洗室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 8mm 铅当量	无
分装室	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 15mm 铅当量	手套箱 1 个, 为 40mmPb; 设置有 1 专用药品双扉互锁传药窗, 为 20mmPb; 设置自动化分药仪 1 个, 原药罐 40mmPb, 出药嘴 3mmPb
卫生通过间 3	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	2 扇, 15mm 铅当量	无
固废暂存间、清洁间、储源室 (分装室内)	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	各 1 扇, 10mm 铅当量	无
服碘室	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 15mm 铅当量	无
注射室	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 8mm 铅当量	无
患者通道	四周墙体为 300mm 厚钢筋混凝土, 底	2 扇 (入口出口各 1),	无

	板为 350mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 350mm 厚钢筋混凝土	15mm 铅当量	
其他门诊诊疗区			
甲亢留观室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 5mm 铅当量	无
甲吸室	东侧、南侧、西侧墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 北侧墙体为 200mm 厚钢筋混凝土, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	3mm 铅当量	无
阅片办公室 1	北侧墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 西侧、南侧、东侧为 200mm 厚钢筋混凝土; 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 3mm 铅当量	无
敷贴治疗室	四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖, 底板为 260mm 厚钢筋混凝土, 顶板为 260mm 厚钢筋混凝土	1 扇, 3mm 铅当量	无

注:本项目使用的混凝土密度不低于 2.2g/cm^3 , 铅板的密度不低于 11.3g/cm^3 , 实心砖的密度不低于 1.8g/cm^3 。

(2) 储存过程的防护措施

本项目自行制备的放射性药物 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 等在热室制备、分装完成后装入屏蔽铅罐内, ^{68}Ga 在锗镓发生器间内制备、分装完成后装入屏蔽铅罐内。且转入医院前各核素表面辐射剂量率水平满足《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019), 货包表面任意一点的最高辐射水平为 $0.005\text{mSv/h} < H \leq 0.5\text{mSv/h}$ 。

订购的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、由生产厂家先运至核医学科 SPECT 区域储源室 1 内, 为保证放射线药物的安全储存, 该储源室内设置双人双锁保险柜, 并建立放射性药物使用台账。

自行制备的放射性药物 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 等在热室制备、分装完成后装入屏蔽铅罐内, ^{68}Ga 在锗镓发生器间内制备、分装完成后装入屏蔽铅罐内, 再运至核医学科 PET 区域储源室 2 内, 分装操作由医护人员在手套箱内进行。

核医学科分装注射室、储源室均拟设置红外监控摄像头、固定式剂量报警仪及防盗入侵报警装置, 防止放射性物品被盗或破坏, 并建立放射性药物使用台账。

(3) 操作过程的防护措施

① 放射性药物的操作防护

^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{68}Ga 等置于 50mm 铅当量钨合金罐内, 工作人员将 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{68}Ga 药物从 PET 区域储源室 2 取出后, 在 PET 区域分装注射室 2 的手套箱内完成分装操作, 该手套箱设置有 50mm 铅当量防护层, 操作窗为 50mm 铅当量铅玻璃, 分装后的药物装于外套 5mm 铅当量铅套的注射器内, 注射器装于 5mm 铅盒中转运至注射台,

注射时医生和病人间设置有 50mm 铅当量的铅玻璃注射窗。操作过程中产生的放射性废物采用 20mm 铅当量铅桶收集屏蔽，待铅桶收集满，转运至放射性废物间内 20mm 铅当量的放射性固废暂存容器。操作过程医生穿着有铅衣、铅帽、铅围脖、戴铅眼镜等，其防护铅当量为 0.5mm。受检者在注射后休息室内等待时，患者之间设置 5mm 的铅屏风进行隔离。同时辐射工作人员在 PET/CT 检查室内对病人进行摆位时拟设置 5mm 铅当量铅屏风。

②^{99m}Tc、¹³¹I 放射性药物的操作防护

本项目 ^{99m}Tc、¹³¹I 为外购成品针剂。工作人员将 ^{99m}Tc、¹³¹I 针剂从 SPECT 区域储源室 1 取出后，在分装注射室 1 手套箱内完成 ^{99m}Tc、¹³¹I 活度抽样检测，该手套箱设置有 50mm 铅当量防护层，操作窗为 50mm 铅当量铅玻璃，活度检测后针剂（注射器防护套为 5mm 铅当量）放置铅盒（5mm 铅当量）中转运至注射台，注射时医生和病人间设置有 5mm 铅当量的铅玻璃注射窗。操作过程中产生的放射性废物采用 20mm 铅当量铅桶收集屏蔽，待铅桶收集满了，由工作人员把口袋提到放射性杂物间，分核素类别存放入放射性杂物间内 20mm 铅当量的放射性固废暂存容器。操作过程医生穿着有铅衣、铅帽、铅围领、铅手套、铅眼镜等，其防护铅当量为 0.5mm。^{99m}Tc、¹³¹I 受检者在注射后休息室内等待时，患者之间设置 5mm 的铅屏风进行隔离。同时辐射工作人员在 SPECT/CT 检查室内对病人进行摆位时拟设置 5mm 铅当量铅屏风。

表 10-8 核医学科门诊区辐射屏蔽设施

名称	数量	铅当量	拟设置场所
放射性固废收集桶	4 个	2mmPb	分装注射室 1, SPECT 注射候诊、SPECT 检查后留观、抢救室
	4 个	10mmPb	分装注射室 2, PET 注射候诊、PET 检查后留观、抢救室
放射性固废暂存容器	4 个	20mmPb	放射性废物室 1
	4 个	20mmPb	放射性废物室 2
	4 个	20mmPb	放射性废物室 1
	4 个	20mmPb	放射性废物室 2
手套箱	1 个	50mmPb	SPECT 区域分装注射室 1
	1 个	50mmPb	PET 区域分装注射室 2
注射窗	1 个	3mmPb	SPECT 区域分装注射室 1
	1 个	50mmPb	PET 区域分装注射室 2
注射器防护套	1 个	5mmPb	SPECT 区域分装注射室 1
	1 个	5mmPb	PET 区域分装注射室 2
转运铅盒	1 个	5mmPb	SPECT 区域分装注射室 1

	1 个	5mmPb	PET 区域分装注射室 2
防护铅屏风	4 扇	5mmPb	SPECT 区域、PET 区域注射候诊、检查后留观
钨合金防护罐	1 个	50mmpb	PET 区域储源室 2
检查床前铅屏风	2 扇	5mmPb	PET/CT 机房、SPECT/CT 机房
铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜等个人防护用品	8 套	0.5mmPb	更衣间

③对注射后病人防护措施

首先告知病人及家属辐射可能带来的危害性，注射病人要与陪护人员实行隔离，陪护人员应在核医学科大厅等候区等候，并尽量远离核医学科非密封放射性物质工作场所，同时需要求病人在注射后观察期内禁止随意走动，观察期间的呕吐物和排泄物要排入专用卫生间，最终排入衰变池。

（4）辐射安全措施

①电离辐射警告标志

医院计划在核医学科门诊区工作场所控制区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意辐射影响。在 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房受检者防护门上方设置工作状态指示灯，并与防护门联锁，防护门关闭时指示灯显示为红色，防护门打开时，指示灯灭。

②紧急止动装置

在控制台上、治疗床上安装供紧急情况使用的强制终止照射的紧急止动按钮。一旦在检查过程中出现紧急情况，工作人员按动紧急止动按钮即可令 PET/CT 和 SPECT/CT 停止运行。

③操作警示装置

PET/CT 和 SPECT/CT 扫描时，操作台上的指示灯变亮，警示装置发出警示声音。

④视频监控和对讲装置

在工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、核素诊断与治疗工作场所进出/口情况；PET/CT 机房和控制室之间，SPECT/CT 机房和控制室之间拟安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置于机房内受检者联系。

⑤门禁系统

在核素诊断工作场所受检者各出入口处设置专用门禁系统，对受检者的出入进行控制。

⑥注射后休息室与留观室等设置患者专用厕所，废水流向衰变池内。

⑦对控制区内带药病人的监督管理

医院应做好本项目控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；加强对控制区内病人的

监督管理，通过流程管理控制病人进入控制区的数量及时间，避免病人给药后随意走动，避免病人给药后的相互交叉；同时应告知检查完成后病人离开路线，防止其对公众造成不必要的照射。

⑧“两区”内安全防护措施规定

工作人员离开工作区域前洗手和作表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

⑨储源室安全措施

储源室拟设置双人双锁的保险柜，使用的放射性药物放置于铅罐中由供应单位派专人直接送至储源室暂存，未用完的放射性药物放置在储源室双人双锁的保险柜内，日常期间由值班人员巡视检查，储源室出入口安装摄像头、红外报警系统。

（5）本项目核医学科放射性药物储存安全措施

本项目使用的放射性同位素均由有资质单位供应，由厂商经室外通道进入核医学科储源室，并贮存于室内的双人双锁保险柜中，本项目储源室均设置有红外监控摄像头及红外报警装置，防止放射性物品被盗或破坏。

核医学科储源室、分装注射室墙体满足防护要求，采取了防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的“六防”安全措施。

建设单位应做到：

①放射性药物的存储容器要有合适的屏蔽。放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的那部分；

②储源室、分装注射室要有专人进行管理，并定期进行辐射剂量的监测，无关人员禁止进入；

③放射性药物要有进出登记，包括生产单位、生产日期、到货时间、核素种类、理化性质、活度和使用情况的详细记录等，建立放射性同位素台帐制度；

④医院应建立完善的放射性核素贮存、领取、使用、归还登记和检查制度，做到交接账目清楚、账物相符，记录资料完整。

（6）表面沾污防治措施

β表面沾污的影响主要来源于医生操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响，因此，为了使本项目非密封放射性

物质工作场所的 β 表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求，提出以下管理措施和要求：

①针对放射性核素的分装操作（特别是挥发的药物）采用负压隔离的方法进行防护，即本项目设置手套箱把放射性核素局限在某一空间内操作，操作过程手套箱内风速不小于0.5m/s，并保持手套箱内负压，防止放射性核素逸散到房间内。

②非密封放射性物质工作场所地面采用环氧树脂自流平地面，墙面与地面交接作圆角处理，地面全部敷设易去污并可以拆除更换的材料，其边缘应高出地面 15~25cm，且地面光滑，并具有易去污和防渗能力（渗透系数 $\leq 10^{-10}$ cm/s）。

③对于放射性核素的分装过程中在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。保持工作台面清洁，定期对工作台面采用湿法擦拭清洁，防止放射性核素沉降经伤口或皮肤渗透转移至体内，且严禁工作人员在开放性工作场所内进食、饮水和吸烟。

④放射性药品用后应及时存放在专用柜内，需防盗、防水、防火、柜外应有电离辐射标志。

⑤每天操作结束后，对场所内易接触的部位进行表面沾污监测，若出现超标情况，应即时按制定的去污操作规程开展去污操作，去污废水和擦拭纸等均需按放射性废物管理。

⑥辐射工作人员在进行工作前应做好个人防护用品的佩戴，包括：防护工作服、帽子、鞋子、手套、袖套、围裙、口罩、防护眼镜、个人剂量计、个人剂量报警仪等，在完成工作后按指定人员通道离开，同时缓冲区设置喷淋清洗区和表面沾污监测仪，并经过“洁衣剂量检查（监测不合格需经过“去污”过程）→脱洁衣→穿家常服→穿家常鞋→出口”的流程。

⑦所有辐射工作人员上岗前应经过专业培训，并熟悉自己岗位的操作流程，并具备相应的技能与防护知识，管理人员需定期进行检查，严禁人员违规操作。

⑧用药病人在入院前及出院前，医生需提前告知病人及家属辐射可能带来的危害性，就诊病人在用药后均实行病人与陪护人员及其他公众的隔离管控，用药病人候诊和留观期间禁止病人随意流动，尽量控制因吐痰或随意丢弃垃圾等行为造成表面污染范围，并使用病人专用厕所进行大小便，在留观结束后须按指定线路离开核医学科。

3、工作场所的气流组织

射线装置运行过程中，X射线与空气作用会产生少量臭氧等有害气体，机房设置有动力排风装置，并保持良好的通风。

本项目核医学科各工作场所均设置有新风系统及排风系统，气流流向为自清洁区向监督

区再向控制区，整个核医学科为负压工作场所，且控制区的负压高于监督区和清洁区，控制区的气流不会流向监督区。

4、其他防护措施

时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少工作人员的工作时间，使照射时间最小化。设置明显的电离辐射警告措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间。

距离防护：在不影响工作质量的前提下，工作人员保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。设置必要的防护、隔离、警告措施，尽可能增大人员与辐射场所之间的防护距离。

（二）医用电子直线加速器防护措施

1、源项控制

本项目医用电子直线加速器均购置于正规厂家，有用线束内杂散辐射和泄漏辐射不会超过《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）规定的限值，且物理医师会根据肿瘤模拟定位结果来判断病情状况，针对不同的病人会制定不同的放疗计划（包括放疗时间和放疗剂量），并通过可调限束装置进行参数设置，尽量避免不必要的照射，有效进行源项控制。

2、设备固有安全性

（1）医用电子直线加速器固有安全性

①控制台上有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行情况。

②条件显示联锁：加速器具有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

③控制台上配置有独立于其它任何控制辐照终止系统的辐照控制计时器，当辐照终止后能保留计时器读数，计时器复零，才能启动下次辐照。

④有控制超剂量的联锁装置，当剂量超过预选值时，可自动终止照射。

⑤有剂量分布监测装置与辐照终止系统联锁，当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止辐照。

⑥有全部安全联锁设施的检查装置，能保证所有安全联锁系统保持良好的运行状态。

⑦有时间控制联锁，当预选照射时间已定时，定时器能独立地使照射停止。

3、屏蔽防护

加速器机房建筑面积为 207.5m^2 , 机房内有效使用面积为 121.7m^2 , 机房屏蔽情况如下表。防护门两侧铅板搭接宽度大于门缝宽度 10 倍以上。

加速器机房屏蔽设计见附图 4、附图 8。

表 10-9 放疗科机房屏蔽防护设计

设备机房名称	屏蔽情况
加速器机房	机房下方无建筑物, 整个机房为混凝土整体式浇筑, 屏蔽如下: 水平面: 东、西侧主屏蔽墙体厚 3m, 主屏蔽区宽度均为 5.2m, 与主屏蔽相连的次屏蔽墙体均厚 1.7m; 南侧墙体厚 1.70m, “L 型”迷道长 8.8m, 迷道内墙为 1.5m 厚混凝土、外墙为 1.4m 厚混凝土。 垂直面: 屋顶主屏蔽体厚 3.0m, 主屏蔽区宽度为 4.8m, 与主屏蔽相连的次屏蔽墙体厚 1.85m。 防护铅门为 20mm 铅当量+250mm 含硼聚乙烯。
模拟定位机	机房下方无建筑物, 屏蔽如下: 水平面: 机房四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖。 垂直面: 机房顶板为 260mm 厚钢筋混凝土。 防护铅门为 4mm 铅当量; 防护铅窗为 4mm 铅当量。

4、机房穿墙屏蔽设计

本项目加速器机房控制电缆均布设于电缆沟内, 电缆沟采取“Z”型穿墙并设 1cm 厚不锈钢盖板屏蔽; 排风管穿墙处均采用“Z”型穿墙并设 5mm 厚铅板进行屏蔽补偿, 进风管穿墙处均采用“Z”型穿墙 5mm 厚铅板进行屏蔽补偿。电缆沟和通排风系统的布设方式不影响屏蔽墙体的屏蔽效果。如图 10-7~图 10-8 所示。

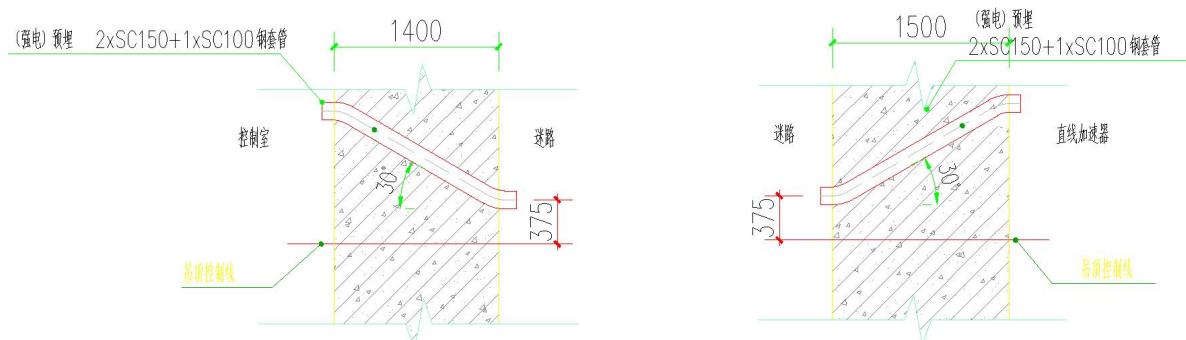


图 10-8 机房电缆穿墙示意图

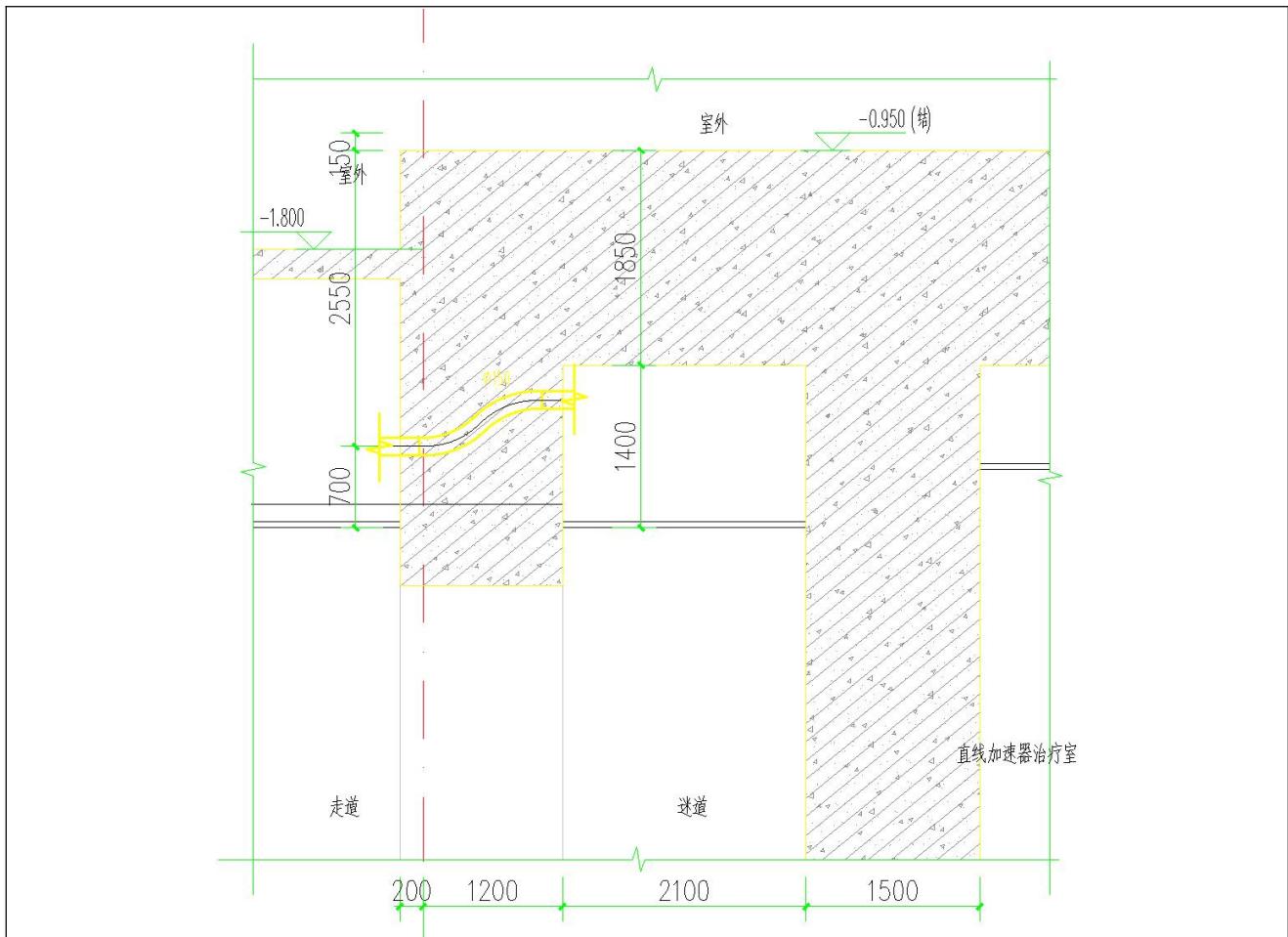


图 10-9 机房排风管穿墙示意图

5、机房安全装置设计与布置

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、生态环境部（国家核安全局）《核技术利用监督检查技术程序》（2020 年发布版）和《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函〔2016〕1400 号），本项目医用电子直线加速器机房内具体安全装置布置情况见表 10-11，各安全装置平面布置见图 10-10，各安全装置逻辑关系见图 10-11。

表 10-11 医用电子直线加速器机房安全装置布置表

安全装置	作用及安装要求	加速器机房配置数量
门-机联锁	在启动高压装置条件下，如果开启防护门，射线装置高压会失电并停止出束，以实现门-机联锁。	1 套
固定式剂量报警仪	机房内迷道内安装固定式剂量报警仪，并在控制室实时显示机房内辐射剂量水平报警，当机房内辐射剂量超过设定水平，工作人员可停止加速器照射。	1 套
紧急停机按钮	加速器机房内在工作人员易于接触的地方（距离地面 1.2m 高）	5 个

	处)设置紧急停机按钮(安装点包括墙体、治疗床、控制台),且相互串联,若触动任意开关可让加速器停止出束,以避免机房内人员尚未完全撤离的情况下开机,产生误照射。按钮位置应有中文标识。	
电离辐射警告标志	机房防护门上醒目处张贴电离辐射警告标志	2个
工作状态指示灯(门-灯联锁)	机房防护门口醒目处安装工作状态指示灯,并与防护门联锁,当防护门关闭时,工作状态指示灯亮起,当防护门开启时工作状态指示灯熄灭。	1套
紧急开门按钮	机房迷道入口屏蔽门内人员易接触的位置(距离地面1.2m高处)装有紧急开门按钮,在事故状态下室内人员逃逸至迷道内可通过该按钮开启防护门,实现紧急逃逸,按钮位置应有中文标识。	1个
视频监控	机房内不同位置均安装视频监控装置,实现对机房全覆盖,便于操作人员对机房内情况进行监控。	3个
语音播报及对讲装置	机房内设置语音广播系统,在准备出束时进行语音提示,告知非相关人员及时撤离机房,并可以通过语音对讲装置告知病人或未撤离人员。	1套
防止非工作人员操作的锁定开关	加速器控制台自带	1套
治疗室防夹人装置	加速器机房防护门设置防夹人装置	1套

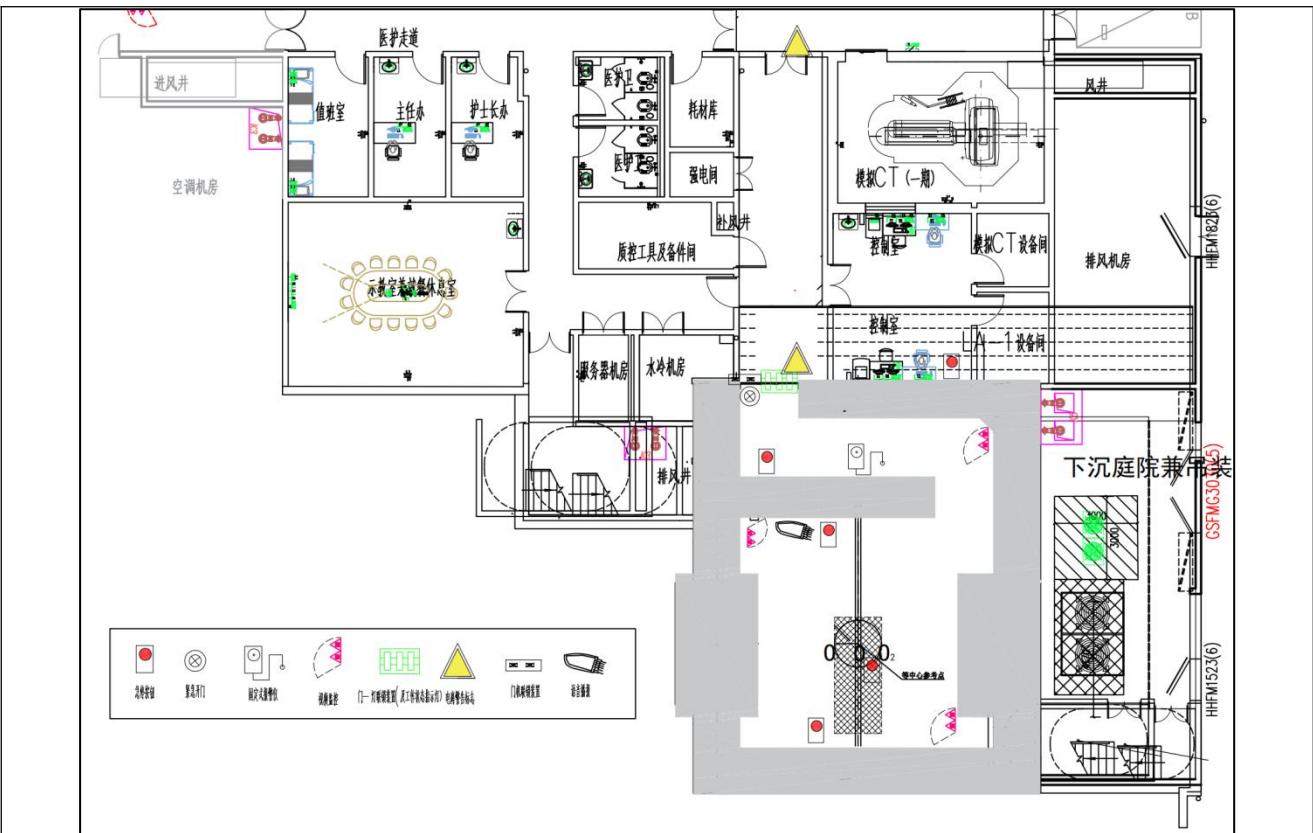


图 10-10 本项目医用电子直线加速器机房辐射安全设施布置示意图

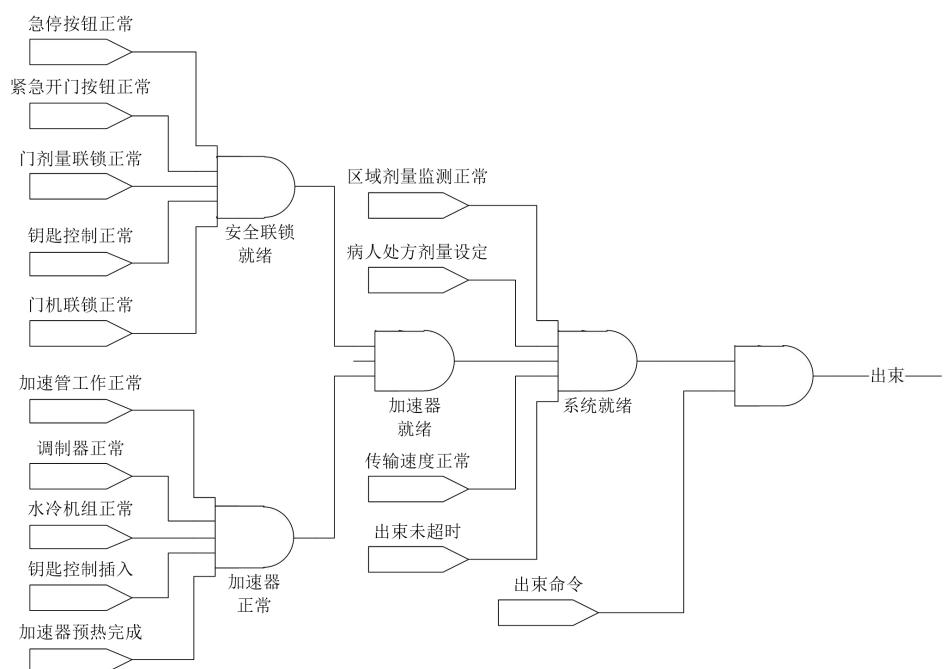


图 10-11 医用电子直线加速器联锁关系图

6、时间防护及距离防护

在满足治疗要求的前提下，在每次治疗之前，根据治疗要求和病人实际情况制定最优化的诊断方案，选择合理可行尽量低的剂量值，以及尽量短的照射时间，减少工作人员和相关公众的受照时间，同时也避免病人受到额外剂量的照射。

职业人员采取隔室操作的方式，控制室与机房之间以屏蔽墙体隔开，通过摄像头和对讲机与病人交流。同时，机房划定控制区和监督区，控制区入口处设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态下禁止任何人员进入辐射区域。

（三）DSA、ERCP 及III类射线装置辐射防护措施

1、设备固有安全性

（1）采用栅控技术：在每次脉冲曝光间隔向旋转阳极加一负电压，抵消曝光脉冲的启辉与余辉，起到消除软 X 射线、提高有用射线品质并减小脉冲宽度作用。

（2）采用光谱过滤技术：在 X 射线管头或影像增强器的窗口处放置合适铝过滤板，以多消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱。

（3）采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视（如每秒 25 帧、12.5 帧、6 帧等可供选择），改善图像清晰度；并能明显地减少透视剂量。

（4）采用图像冻结技术：每次透视的最后一帧图像被暂存并保留于监视器上显示，充分利用此方法可以明显缩短总透视时间，达到减少不必要的照射。

（5）配备有相应的表征剂量的指示装置，当曝光室内出现超剂量照射时会出现报警。

2、机房屏蔽设计

（1）主体结构屏蔽设计

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），X 射线装置设备机房屏蔽防护应满足表 10-12 所列要求。

表 10-12 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护要求

设备类型	机房内最小有效使用面积 (m ²)	机房内最小单边长度(m)	有用线束方向铅当量 (mm)	非有用线束方向铅当量 (mm)
CT 机	30	4.5	2.5	2.5
单管头 X 射线设备	20	3.5	2	2

本项目 DSA、ERCP、III 类射线装置机房由有相应资质单位进行设计和施工，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），本项目 DSA、ERCP、III 类射线装置机房与标准

屏蔽措施对照情况见表 10-13。

表 10-13 介入手术机房、III 类射线装置机房的实体防护设施对照表

场所	屏蔽体名称	机房结构及厚度	对应铅当量厚度	标准限值要求	对比结果
介入中心DSA 介入手术室	四面墙体	370mm厚页岩实心砖	3.0mm	有用线束和 非有用线束 方向铅当量 均不低于 2mm铅当量	满足
	屋顶	260mm厚混凝土	3.0mm		满足
	地板	260mm厚混凝土	3.0mm		满足
	防护门	2扇, 均为4mm铅当量	4mm		满足
	观察窗	1扇, 4mm铅当量铅玻璃	4mm		满足
	有效使用面积	54.58m ²	/	20m ²	满足
	最小单边长度	6.6m	/	3.5m	满足
内镜中心 ERCP治疗室	四面墙体	370mm实心砖	3.0mm	有用线束和 非有用线束 方向铅当量 均不低于 2mm铅当量	满足
	屋顶	260mm厚混凝土	3.0mm		满足
	地板	260mm厚混凝土	3.0mm		满足
	防护门	2扇, 均为3mm铅当量	3mm		满足
	观察窗	3mm铅当量铅玻璃	3mm		满足
	有限使用面积	54.18m ²	/	20m ²	满足
	最小单边长度	7.53m	/	3.5m	满足
内镜中心纤支 镜DSA室	四面墙体	370mm实心砖	3.0mm	有用线束和 非有用线束 方向铅当量 均不低于 2mm铅当量	满足
	屋顶	260mm厚混凝土	3.0mm		满足
	地板	260mm厚混凝土	3.0mm		满足
	防护门	2扇, 均为3mm铅当量	4mm		满足
	观察窗	3mm铅当量铅玻璃	4mm		满足
	有限使用面积	76.88m ²	/	20m ²	满足
	最小单边长度	6.3m	/	3.5m	满足
DSA复合手 术室	四面墙体	370mm厚页岩实心砖	3.0mm	有用线束和 非有用线束 方向铅当量 均不低于 2mm铅当量	满足
	屋顶	260mm厚混凝土	3.0mm		满足
	地板	260mm厚混凝土	3.0mm		满足
	防护门	3扇, 均为3mm铅当量	3mm		满足
	观察窗	1扇, 3mm铅当量铅玻璃	3mm		满足
	有效使用面积	80.68m ²	/	20m ²	满足
	最小单边长度	8.06m	/	3.5m	满足
平急结合裙 楼DSA室	四面墙体	370mm厚页岩实心砖	3.0mm	有用线束和 非有用线束 方向铅当量 均不低于 2mm铅当量	满足
	屋顶	260mm厚混凝土	3.0mm		满足
	地板	260mm厚混凝土	3.0mm		满足
	防护门	3扇, 均为3mm铅当量	3mm		满足
	观察窗	1扇, 3mm铅当量铅玻璃	3mm		满足
	有效使用面积	81.43m ²	/	20m ²	满足

	最小单边长度	7.43m	/	3.5m	满足
动物楼DSA室	四面墙体	370mm厚页岩实心砖	3.0mm	有用线束和非有用线束方向铅当量均不低于2mm铅当量	满足
	屋顶	260mm厚混凝土	3.0mm		满足
	地板	260mm厚混凝土	3.0mm		满足
	防护门	3扇, 均为3mm铅当量	3mm		满足
	观察窗	1扇, 3mm铅当量铅玻璃	3mm		满足
	有效使用面积	50.21m ²	/	20m ²	满足
	最小单边长度	5.9m	/	3.5m	满足
SPECT/CT机房	四面墙体	370mm厚页岩实心砖	3.0mm	有用线束和非有用线束方向铅当量均不低于2.5mm铅当量	满足
	屋顶	260mm厚钢筋混凝土	3.0mm		满足
	地板	260mm厚钢筋混凝土	3.0mm		满足
	防护门	2扇, 均为4mm铅当量	4mm		满足
	观察窗	4mm铅当量铅玻璃	4mm		满足
	有效使用面积	44.02m ²	/	30m ²	满足
	最小单边长度	5.60m	/	4.5m	满足
PET/CT机房	四面墙体	370mm页岩实心砖	3.0mm	有用线束和非有用线束方向铅当量均不低于2.5mm铅当量	满足
	屋顶	260mm现浇混凝土	3.0mm		满足
	地板	260mm现浇混凝土	3.0mm		满足
	防护门	2扇, 均为6mm铅当量	6mm		满足
	观察窗	4mm铅当量铅玻璃	4mm		满足
	有效使用面积	47.53m ²	/	30m ²	满足
	最小单边长度	6.07m	/	4.5m	满足
CT模拟定位机房	四面墙体	370mm页岩实心砖	3mm	有用线束和非有用线束方向铅当量均不低于2.5mm铅当量	满足
	屋顶	260mm现浇混凝土	3mm		满足
	防护门	2扇, 均为4mm铅当量	4mm		满足
	观察窗	4mm铅当量铅玻璃	4mm		满足
	有效使用面积	38.12m ²	/	30m ²	满足
	最小单边长度	5.11m	/	4.5m	满足

*注: 根据《辐射防护手册》(第三分册) P63 表 3.3, 保守查询 150kV 的管电压下, 240mm 实心砖(密度为 1.8g/cm³) 的铅当量为 1.8mm, 370mm 实心砖(密度为 1.8g/cm³) 的铅当量为 3.0mm, 200mm 混凝土(密度为 2.2g/cm³) 的铅当量为 2.3mm; 240mm 混凝土(密度为 2.2g/cm³) 的铅当量为 2.8mm; 250mm 混凝土(密度为 2.2g/cm³) 的铅当量为 3.0mm, 260mm 混凝土(密度为 2.2g/cm³) 的铅当量保守按 3.0mm 计, 400mm 混凝土(密度为 2.2g/cm³) 的铅当量按照插值法计算约为 5.1mm 计。

由表 10-13 可知, 本项目 DSA、ERCP 和其他 III 类射线装置机房的设计屏蔽状况满足《放

射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中机房内最小有效使用面积、机房内最小单边长度和屏蔽防护铅当量厚度要求。

（2）穿墙及防护门安装设计要求

DSA、ERCP 和其他 III 类射线装置机房内控制电缆均采用“Z”型穿墙，同时在电缆和风管穿越机房墙体处采用与机房设计相同铅当量的铅橡胶进行补偿防护。为减少接缝处射线的泄漏，要求防护门两侧铅板搭接宽度大于门缝宽度 10 倍以上。

3、介入手术过程屏蔽防护

（1）介入手术过程职业人员进入机房进行透视时，应佩戴好个人防护用具包括：铅衣、铅围脖、铅帽、铅眼镜等，其防护铅当量不低于 0.5mmPb；医院对本项目每个介入手术室配置铅衣、铅围脖、铅帽、铅眼镜等个人防护用品，均具有 0.5mm 厚的铅当量。

（2）手术医生在进行透视时，应使用床下铅帘及悬吊铅屏进行局部遮挡，其防护铅当量为 0.5mmPb。本项目 DSA 和 ERCP 由厂家配置床体旁的铅防护吊屏和床下铅帘一套（分别一件），具有 0.5mm 厚的铅当量。

（3）对病人进行透视时或拍片过程，应采用适当防护设施对病人非病灶部位进行遮挡。本项目 DSA 和 ERCP 治疗室拟为病人配置铅橡胶布、铅围脖、铅帽、铅衣等个人防护用品，具有 0.5mm 厚的铅当量。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的相关要求，医院计划为本项目配备的辐射防护用品符合情况如下表 10-14 所示。

表 10-14 医院拟配备辐射防护用品情况（DSA 和 ERCP）

标准要求			医院拟配备
工作 人员	个人防护 用品	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、 铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅围裙 33 件、铅围脖 33 件、铅帽 33 件、铅 防护眼镜 33 件、铅衣 33 件、均具有 0.5mm 厚的铅当量。铅手套 33 件，具有 0.025mm 的 铅当量。
	辅助防护 用品	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、 床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	ERCP 和每台 DSA 铅悬挂防护屏 1 件、床侧 防护帘 1 件，均具有 0.5mm 厚的铅当量。
受检 者	个人防护 用品	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方 巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	每个介入手术室配置铅橡胶布若干、铅围脖 若干，均具有 0.5mm 厚的铅当量
	辅助防护 用品	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方 巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	—

另外，医院拟为 ERCP、DSA 手术室内辐射工作人员及控制室辐射工作人员配备个人剂量计，每人 2 个。

4、机房安全装置设计与布置

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、生态环境部（国家核安全局）《核技术利用监督检查技术程序》（2020 年发布版）、《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函〔2016〕1400 号），本项目 DSA、ERCP 及 III 类射线装置机房具体布置情况见表 10-15。

表 10-15 本项目 DSA、ERCP 及 III 类射线装置机房安全装置布置表

安装装置	作用及安装要求	配置数量
紧急止动开关	控制室操作台和床体旁设置紧急止动开关，以避免机房内人员尚未完全撤离的情况下开机，产生误照射。按钮位置应有中文标识。	1 套×11 间
工作状态指示灯（门-灯联锁）	机房防护门口醒目处均安装工作状态指示灯，并于防护门联锁，当防护门关闭时，工作状态指示灯亮起，显示“射线有害，灯亮勿入”，当防护门开启时工作状态指示灯熄灭。	1 套×11 间
语音对讲装置	在准备出束时，操作台工作人员可通过语音对讲装置与机房内人员进行沟通交流。	1 套×11 间

四、辐射工作场所安防措施

确保本项目所使用的Ⅱ、Ⅲ类射线装置、Ⅴ类放射源和乙级非密封放射性物质工作场所的辐射安全，本项目采取的安全保卫措施见表 10-16。

表 10-16 辐射工作场所安防措施一览表

工作场所	措施类别	对应措施
非密封放射性物质工作场所	防火	核医学科拟安装烟气报警装置和消防栓，且各个房间功能单位需满足《建筑设计防火规范》（GB50016-2014，2018 版），本项目核医学科禁止储存易燃、易爆、腐蚀性等其他一切与本项目无关的物品。同时人员易接触的地方均配备干粉式灭火器。
	防水	整个场所做了较好的防水和防渗设计，四周设置有排水沟，并可有效防止雨水渗入，同时整个非密封放射性物质工作场所将敷设防水材料，避免放射性污染物下渗影响。
	防盗和防破坏	①整个核医学科控制区进行封闭管理，并设有门禁系统，非相关人员不能直接进入核医学科内。 ②各个非密封放射性物质储存场所设置有保险柜并设置双人双锁，非密封放射性物质的转入、转出均由专人进行台账管理。 ③整个核医学科控制区设置严密的监控系统，实行 24h 实时监控，并将核医学科作为保安人员重点巡查范围。

	防泄漏	<p>①本项目使用的各种放射性核素药品均来自于正规生产厂家，出厂时包装用铅罐密闭，铅罐表面剂量满足标准要求，且用完后的空铅罐经表面去污处理后放置于储源室内待厂家进行回收。</p> <p>②核医学科非密封放射性物质工作场所均采取有效的实体屏蔽措施，能够达到《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中工作场所的要求。</p> <p>③核医学科分装注射室和储源室拟设置固定式剂量报警仪，若出现放射性物质泄漏，将进行报警提示；建设单位还自行配备便携式γ辐射监测仪及β表面沾污仪，并进行定期或不定期场所监测，发现异常及时查明原因并进行处置。</p>
射线装置工作场所	防盗、防抢和防破坏	<p>①本项目II、III类射线装置机房均纳入医院日常安保巡逻的重点工作范围，加强巡视管理以防遭到破坏；</p> <p>②各工作场均设置有红外线监控射线头实行24h实时监控；</p> <p>③每台射线装置均安排有专人进行管理和维护，并进行台账记录，一旦发生盗抢事件，立即关闭设备和防护门，并立即上报地方生态环境部门和公安机关；</p> <p>④射线装置机房和邻近房间不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品等物品。</p>
	防泄漏	<p>①本项目所使用的II、III类射线装置购置于正规厂家，具有固有安全性，防护性能满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）、和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>②本项目所有射线装置工作场所均已按照有关规范要求进行了辐射防护设计，只要按照设计和环评要求进行落实，机房是不存在辐射泄漏的情况，根据辐射影响分析，机房屏蔽体外30cm处剂量率能满足2.5μSv/h标准要求。</p>

五、辐射安全防护设施对照分析

为保证辐射安全，防止发生辐射事故，根据生态环境部（国家核安全局）《核技术利用监督检查技术程序》（2020年发布版）和《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函〔2016〕1400号）中对非密封放射性物质工作场所、医用电子直线加速器、DSA、ERCP、III类射线装置辐射安全防护设施的要求，本次评价根据建设单位采取的辐射安全装置及设备进行了对照分析，具体情况见表10-17。

表10-17 辐射安全防护设施汇总对照分析表

非密封放射性物质工作场所（门诊区、核素病房区等）			
序号	项目	规定的措施和制度	落实情况
1	场所设施	工作场所功能、设置及分区布局	拟配置
2		场所分区的管控措施及标识	拟配置
3		电离辐射警告标志	拟配置
4		卫生通过间	场所已设计了卫生通过间或缓冲间
5		通风系统完整性及效能	已设计，场所设计了独立通排风管道，并采用活性炭和高中效过滤器处理废气后高空排放
6		有负压和过滤的工作箱/通风柜	拟配置手套箱
7		治疗病房病人之间防护（屏蔽、通风）	拟配置铅屏风
8		注射或口服药用屏蔽措施	设计有防护铅窗

9		易去污的工作台和防污染覆盖材料	拟配置
10		移动放射性液体时容器不易破裂或有不易破裂的套	拟配置 2 个转移铅盒和 2 个注射器铅防护套
11		病人专用卫生间	已设计
12		放射性同位素暂存或设施	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
13		放射性固体废物收集容器和放射性标识	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
14	监测设备	便携式辐射监测仪 (污染、辐射水平等)	拟配置, 1 套
15		个人剂量计	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
16		个人剂量报警仪	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
17		放射性活度计	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
18	放射性废物和废液	放射性下水系统及标识	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
19		放射性固体废物暂存间	已设计
20		废物暂存间屏蔽措施	已设计
21		废物暂存间通风系统	已设计
22	防护器材	个人防护用品	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
23		放射性表面去污用品和试剂	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
24		灭火器材	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
非密封放射性物质工作场所 (放射性药物制备区)			
序号	项目	规定的措施和制度	落实情况
1	场所设施	隔室操作	已设计
2		通风设施	已设计拟将回旋加速器机房、热室及合成柜、分装柜等管道采用铅皮包裹 (6mmPb)
3		单向门禁系统	已设计
4		工作场所功能、设置及分区布局	已设计
5		场所分区的管控措施及标识	拟配置
6	警示装置	电离辐射警告标志	拟配置
7		入口处工作状态显示	拟配置
8	照射室紧急设备	门机联锁	拟配置
9		紧急停机开关	拟配置
10		紧急开门按钮	拟配置
11		电视监控、对讲装置 广播系统	拟配置
12	监测设备	治疗室内固定式剂量报警仪 (超剂量联锁)	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
13		个人剂量报警仪	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
14		个人剂量计	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
15		便携式 X-γ 辐射监测仪	拟配置, 1 套
16		便携式表面污染监测仪	拟配置, 1 套
17		便携式中子剂量监测仪	拟配置, 1 套
医用电子直线加速器机房			
序号	项目	规定的措施	落实情况

1	控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	设备自带
2		控制台有紧急停机按钮	设备自带
3		电视监控与对讲系统	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
4		治疗室门与束流联锁 (门-机联锁)	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
5		治疗室内准备出束音响提示	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
6	警示装置	入口电离辐射警示标识	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
7		入口有加速器工作状态显示 (门-灯联锁)	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
8	照射室紧急设备	紧急开门按钮	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
9		治疗室及迷道内有紧急停机按钮	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
10		治疗床有紧急停机按钮	设备自带
11	监测设备	治疗室内固定式剂量报警仪 (超剂量联锁)	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
12		个人剂量报警仪	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
13		个人剂量计	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
14		便携式 X-γ 辐射监测仪	拟配置, 1 套

介入手术室机房 (DSA、ERCP)

序号	项目	规定的措施和制度	落实情况
1	场所设施	铅防护吊屏、床下铅帘	厂家配置
2		铅衣、铅围裙、铅眼镜等个人防护用品	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
3		患者局部防护	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
4		观察窗屏蔽	已设计
5		机房防护门窗	已设计
6		通风设施	已设计
7		入口处电离辐射警告标志	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
8		入口处工作状态显示	已设计
9		治疗室内准备出束音响提示	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
10	监测设备	个人剂量计	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
11		便携式 X-γ 辐射监测仪	拟配置, 3 套

III 类射线装置机房

序号	项目	规定的措施和制度	落实情况
1	场所设施	隔室操作或防护屏	已设计
2		观察窗防护	已设计
3		门窗防护	已设计
4		候诊位设置合理或有合适的防护	已设计
5		辅助防护用品	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
6		通风设施	已设计
7		入口处电离辐射警示标志	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
8		入口处机器工作状态显示	已设计
9	其它	个人剂量计	拟配置, 具体数量见后文表 10-21
10		灭火器材	拟配置, 具体数量见后文表 10-21

三废的治理

一、废气处理措施

1、核医学科放射性废气治理措施

核医学科涉及使用的¹¹C、¹³N、¹⁸F、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr、⁶⁸Ga、^{99m}Tc等均属于液态放射性药物，均属于非挥发性化合物，采用负压瓶进行密封储存，在分装过程中采取注射器进行抽取，并最终通过静脉注射进入病人体内，在整个过程中几乎不产生放射性核素气溶胶。本项目核医学科排风系统各自独立不交叉。且通排风系统采用独立设计，不与其他非辐射工作区域通排风系统交叉。具体如下：

①本项目针对放射性废气设置了独立的排风管道。**核医学科门诊部分**：核医学科门诊部分共计设置9套排风系统，其中**SPECT**分装室配套的手套箱设置1套排风管道，废气通过手套箱单独自带1级过滤装置（为除碘过滤器）后再通过屋顶排口（编号P1）处设置1套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；**SPECT**检查区其他房间（含分装室、储源室1、放射性固废暂存间4、注射/服药室）等区域共同设置1套排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号P2）处设置1套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；**PET**分装室配套的手套箱设置1套排风管道，废气通过手套箱单独自带1级过滤装置后再通过屋顶排口（编号P3）处设置1套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；**PETCT**检查区其他房间（含分装室、储源室2、放射性固废暂存间3、注射室2）等区域共同设置1套排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号P4）处设置1套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；**PETCT**检查室、**PET/MR**检查室、**SPECT**检查区、校准源室、检查前准备室、放射性废物暂存间2等区域等区域共同设置1套排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号P5）处设置1套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；**SPECT**留观室、甲亢留观室、放射性废物暂存间1、清洁间等区域与甲亢留观室、敷贴治疗室、甲吸室、淋浴间、医护卫生间、肺通气室、负荷准备室、抢救室1等共同设置1套排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号P6）处设置1套高中效过滤+活性炭装置处理后排放。

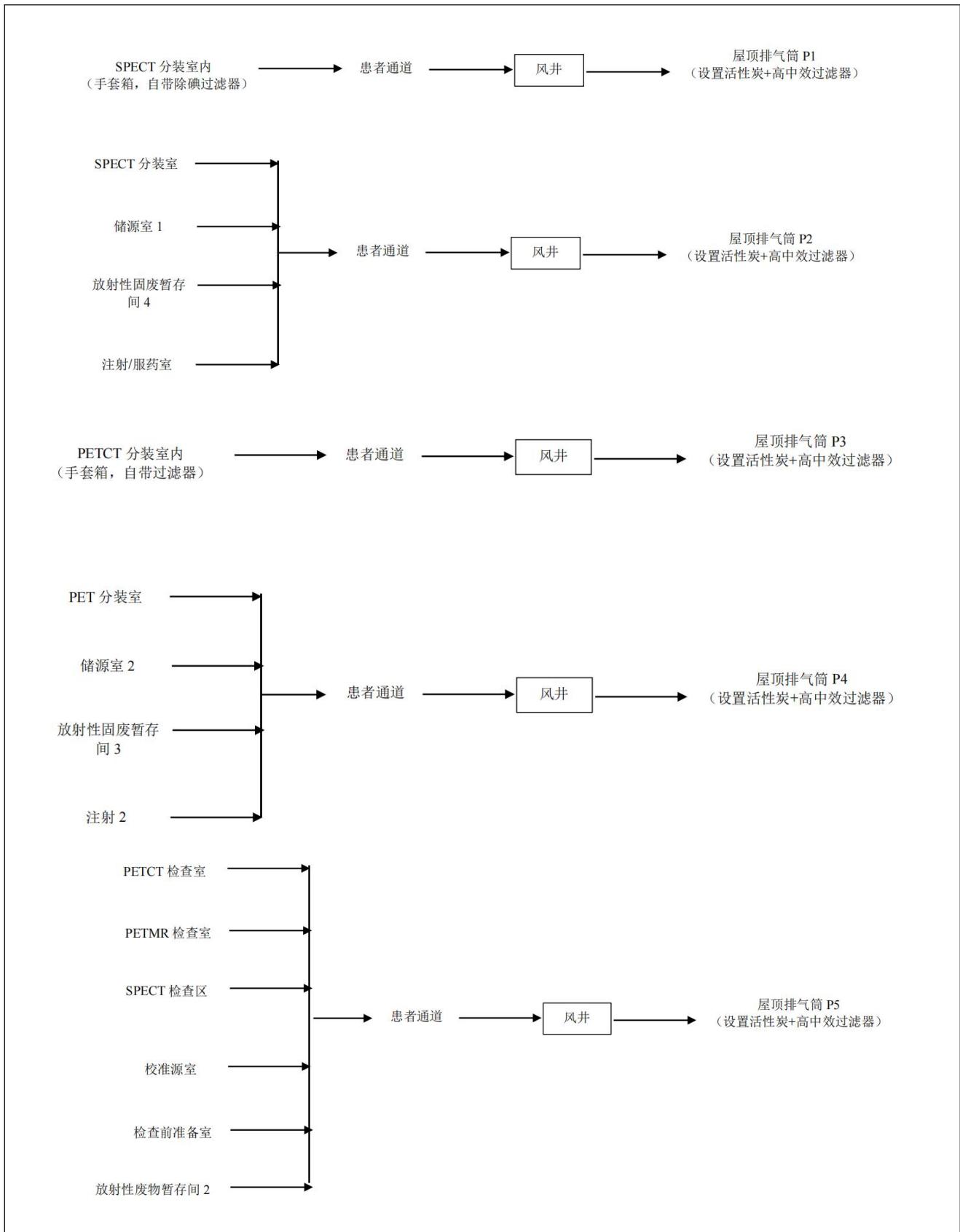
PET药物生产区内设3套专用通排风系统，第1套用于收集回旋加速器机房产生的废气，拟在穿墙管道外侧至活性炭过滤装置（含）段裸露部分采用3mmPb进行包裹，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号P7）处设置1套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；第2套专用排风系统用于收集热室、质控室、阳性对照室、无菌检测室、锗镓发生器间等产生的放射性废气，设置1套排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号P8）

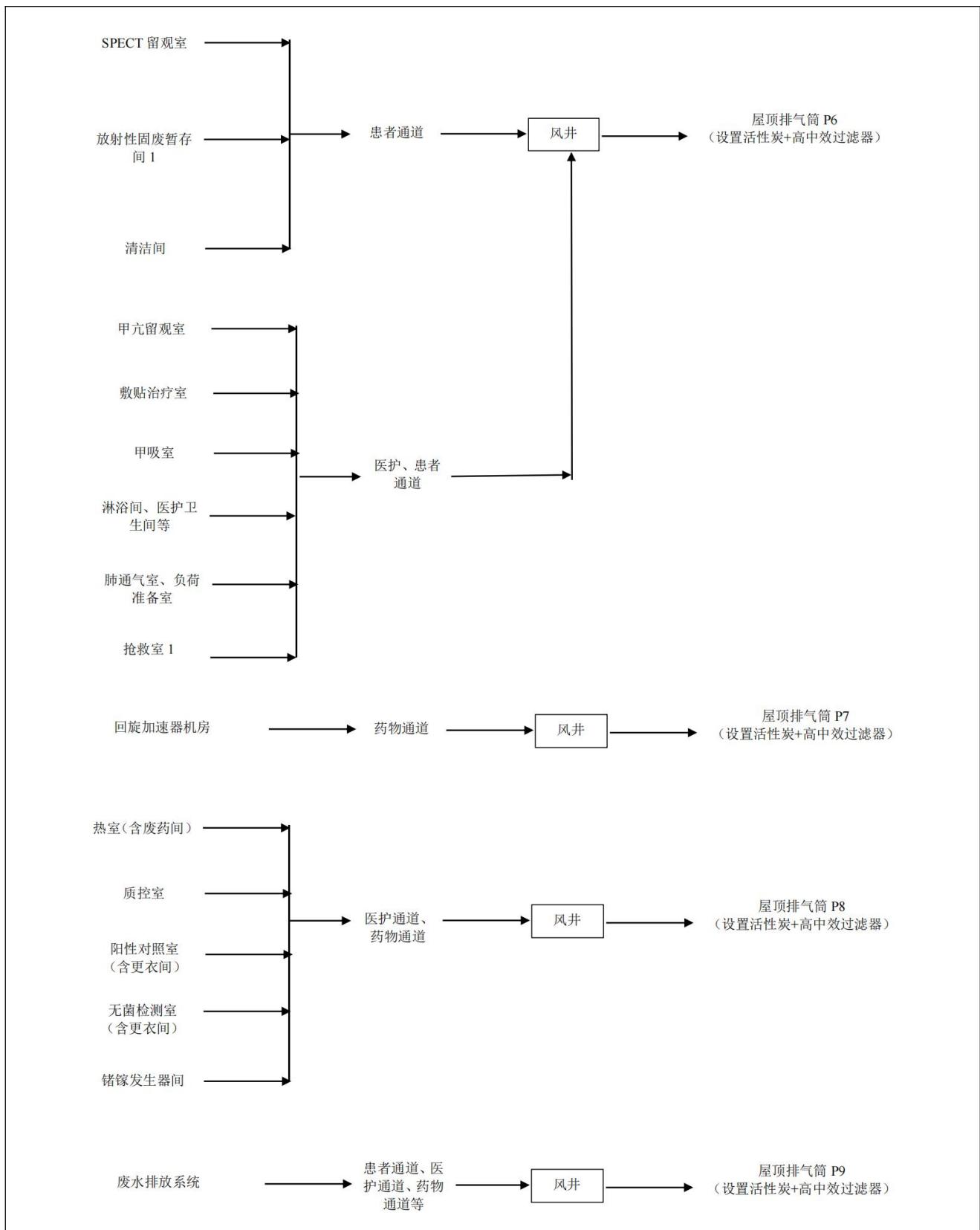
处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；此外，放射性废水收集系统为防止气阻，保障废水顺畅输送等原因，需设置设置 1 套独立的排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号 P9）处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；**核医学科核素病房**共计设置 4 套排风系统，其中**分装室配套的手套箱**设置 1 套排风管道，废气通过手套箱单独自带 1 级过滤装置+除碘过滤器处理后再通过屋顶排口（编号 P10）处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；**分装室房间、储源室、放射性固废暂存间等区域**共同设置 1 套排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号 P11）处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；**核医学科核素病房区住院病房**设置独立的排风管道，并在甲癌病房区废气收集管道处各设置 1 套除碘过滤器（3 个病房，共计 3 套，为避免淋浴等高湿度环境对除碘过滤器效率的影响，此处选用抗湿性核碘吸附器，采用陶瓷、分子筛或其他耐高温多孔材料替代活性炭，本身具有疏水特性），废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号 P12）处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放；**核医学科核素病房部分的其他区域（如过道、污染被服暂存区、抢救室、应急治理室、特殊污染洗间等）**按照防火分区设置独立的排风管道，废气通过废气管道收集后，再通过屋顶排口（编号 P13）处设置 1 套高中效过滤+活性炭装置处理后排放。

②核医学科气流排风为：自清洁区向监督区再向控制区，且都单独设置了管道，控制区的负压高于监督区和清洁区，控制区、监督区房间支管道均设置电动密闭阀，防止气载流出物互相扩散或向周围非辐射工作区域扩散，尽量减小公众及职业人员吸入内照射。

③核医学科废气引至门急诊医技住院综合楼屋面排放，排气筒高出屋面面层不小于 3m，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中：通风系统排气口高于本建筑物屋顶，尽可能远离临近的高层建筑的要求。此外，分装注射室的通风手套箱排风量均为 1000m³/h，保持负压状态，压差均为-5Pa，且风速均大于 0.5m/s，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中“合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s”的规定。

核医学科各房间排风管节点图见下图：





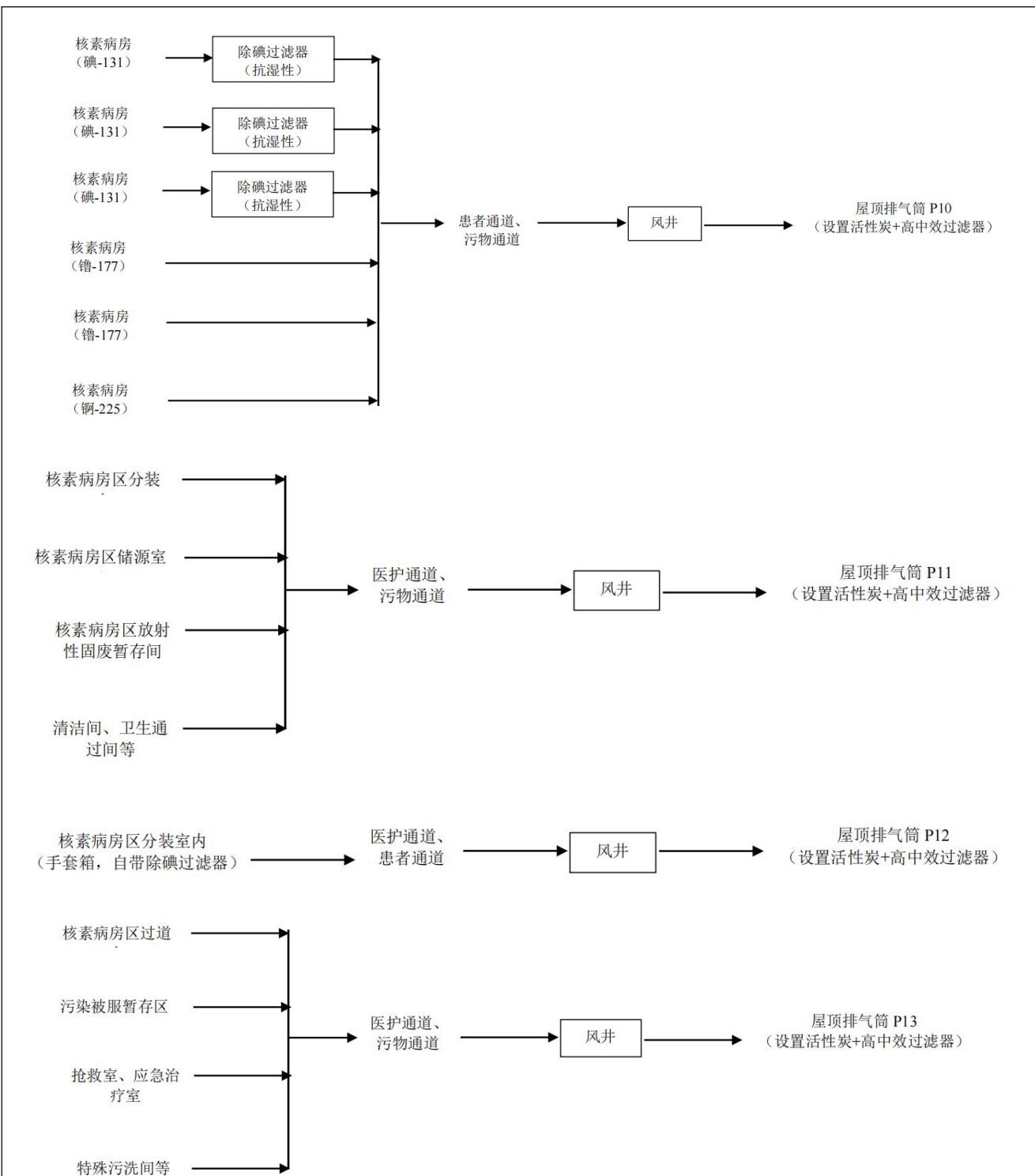


图 10-12 核医学科风管节点图

本项目核医学科通排风设计参数如下：

表 10-18 核医学科通排风设计参数一览表

序号	房间名称	排风		新风 新风量 (m³/h)
		换气次数	排风量 (m³/h)	
SPECT 区域				

1	SPECT 接收/分装室	5 次/h	900	800
2	储源室 1 (SPECT)	3 次/h	200	150
3	废物间 1 (放射性废物 暂存间 1)	3 次/h	200	150
4	服药室	3 次/h	350	300
5	肺通气室 (肺通气显像准备室)	5 次/h	200	150
6	运动负荷室	5 次/h	200	150
7	抢救室 1	5 次/h	950	800
8	检查前候诊室(SPECT)	3 次/h	250	200
9	SPECT/CT 检查室	5 次/h	600	500
10	SPECT/CT 留观室	3 次/h	200	150
11	甲亢留观室	3 次/h	250	250
12	放射性废物暂存间 3	3 次/h	200	150
13	SPECT 患者通道	2 次/h	800	700
PET 区域				
14	PET 接收/分装室	5 次/h	900	800
15	废物间 2 (放射性废物 暂存间 2)	3 次/h	200	150
16	储源室 2 (PET)	3 次/h	200	150
17	注射廊	4 次/h	300	250
18	抢救室 2	5 次/h	600	500
19	检查前候诊室	3 次/h	250	200
20	PET/CT 检查室	5 次/h	750	600
21	PET/MR 检查室	5 次/h	750	600
22	检查后留观室 (PET/CT)	3 次/h	200	150
23	检查后留观室 (PET/MR)	3 次/h	200	150
24	放射性废物暂存间 4	3 次/h	200	150
25	患者通道	2 次/h	800	700
回旋加速器区				
26	回旋加速器机房	10 次/h	1600	1400
27	热室	22 次/h	3270	4350
28	热室缓冲	20 次/h	330	420
29	洁净走道	20 次/h	720	860
30	洗衣整衣	12 次/h	180	240
31	灭菌	12 次/h	130	170
32	洁具	12 次/h	200	260
33	无菌检测/阳性对照	22 次/h	700	880
34	无菌检测/阳性对照二 更	22 次/h	250	290
35	无菌检测/阳性对照一 更	12 次/h	150	170

36	全质控室	12 次/h	700	720
核素病房区				
37	核素病房	3 次/h	200	150
38	应急治疗室	3 次/h	300	200
39	抢救室	3 次/h	300	200
40	放射性废物暂存间	3 次/h	200	/
41	特殊污洗室	3 次/h	200	/
42	分装室	5 次/h	1400	1000
43	固废暂存间、清洁间、 储源室（分装室内）	3 次/h	200	100
44	服碘室	3 次/h	200	100
45	注射室	3 次/h	200	100
46	患者通道	3 次/h	1400	900
甲亢及贴敷门诊				
47	甲亢留观室	3 次/h	200	150
48	甲吸室	3 次/h	200	150
49	阅片办公室 1	3 次/h	200	150
	敷贴治疗室	3 次/h	200	150
合计	/	/	24280	21960

为保证放射性废气处理设置正常安全运行，建设单位还需采取如下措施：

①建设单位需定期对通排风系统管道及过滤系统设施设备进行检修和维护，并建立设施设备维护台账，其中活性炭需根据设备要求进行过滤效率检定和更换，每半年至少进行一次维护和校正；

②更换下的滤芯应按放射性固体废物进行管理和处置。

③为防止公众进入楼顶避免不必要的误照射，要求建设单位将废气排风口楼顶划为管控区域，并进行封闭管理。

核医学科通排风系统图纸详见附图 10。

2、放疗科、介入中心非放射性废气治理措施

放疗科的医用电子直线加速器机房以及介入手术室产生的废气主要为臭氧，为有效清除臭氧，各机房均设置有通排风系统，其通排风量见表 10-19。其中，加速器机房换气次数不低于 4 次/小时，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

表 10-19 放疗科、介入中心通排风设计参数一览表

序号	房间名称	排风	新风
----	------	----	----

		换气次数	排风量 (m ³ /h)	新风量 (m ³ /h)
SPECT 区域				
1	直线加速器机房	10 次/h	3500	3000
2	介入中心 DSA 室 (单座)	4 次/h	1000	1200
2	内镜中心 ERCP 室	4 次/h	1000	1200
3	内镜中心纤支镜检查 DSA 室	3 次/h	1000	1200
4	复合手术 DSA 室	3 次/h	1000	1200
5	平急结合裙楼 DSA 室	4 次/h	1400	1600
6	动物楼 DSA 室	5 次/h	1000	1200

二、废水处理措施

1、核医学科放射性废水

(1) 处理措施

本项目放射性废水主要来自于病人的排泄废水和地坪的清洁工具清洗时可能会带有微量放射性的废水，病人产生的排泄废水和污洗间的清洁废水，分别经病人专用卫生间和污洗间设置的地漏由放射性废水排放管道排至预处理池（污泥池），然后收集的废水统一排放至衰变池中。

本项目采用重力式排水的方式设计，拟设置 4 个并联式衰变池，位于地下负一楼东南侧，池体池顶标高-9.2m（低于负一层核医学科约 2.2m），4 个衰变池有效容积均为 256.2m³，净空尺寸均为长 9.9m×宽 6.47m×高 4.0m，衰变池前端均修建了 1 格 2m³ 预处理池（污泥池）。衰变池围池体均采用 400mm 厚钢筋混凝土建设。本项目拟建衰变池的排水方案示意图如下，具体衰变池排水标高情况见 10-13。

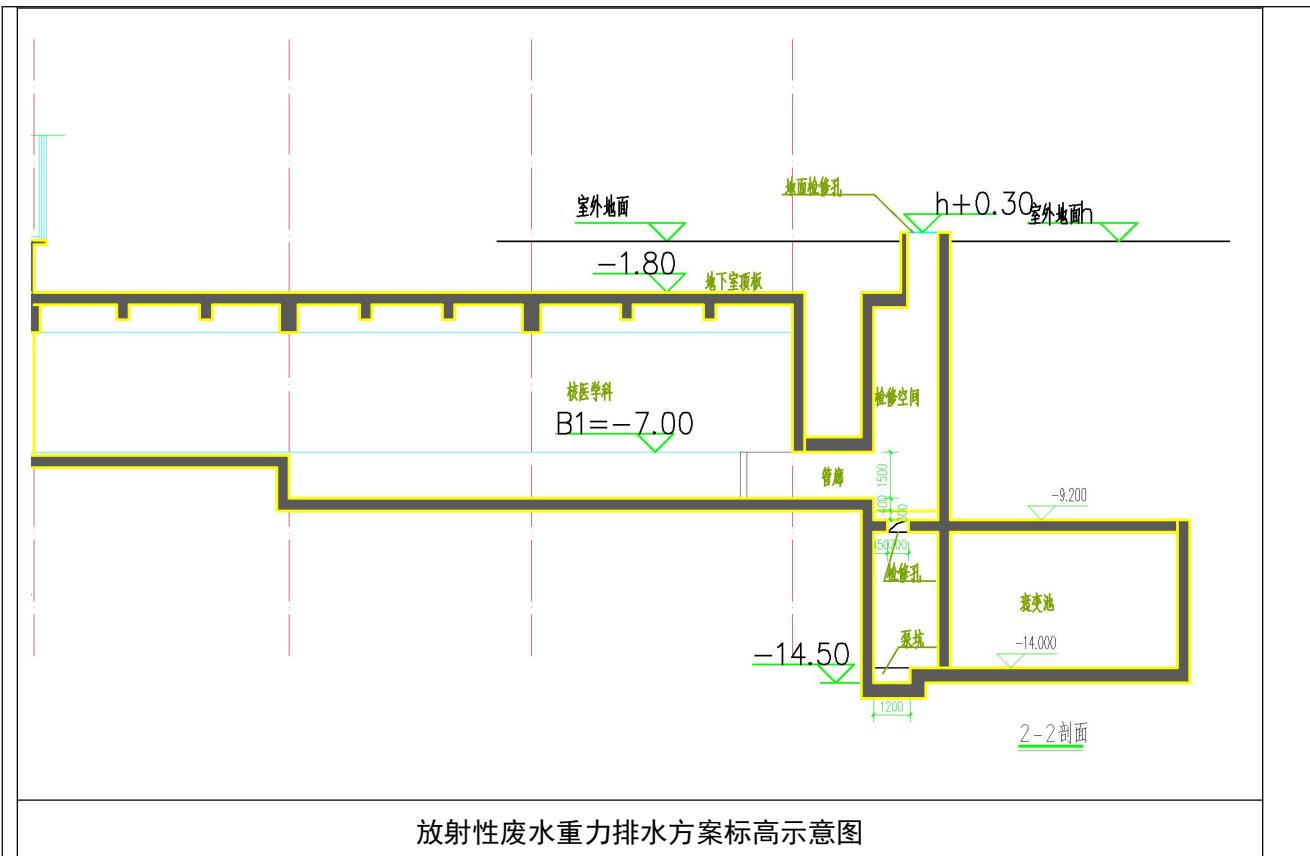


图 10-12 放射性废水重力排水方案意图

衰变池位于负一楼，核医学科东南侧，且避开人群集中活动区域，池体与核医学科直线距离约 18m，衰变池池体上方为医院内部绿化带。其中衰变池和预处理池（污泥池）的池壁、各池体隔墙、顶板和底板均采用 C30 混凝土浇筑，并进行防渗、防酸碱处理，池体内部铺设防水涂层，防渗系数 $\leq 10^{-7}\text{cm/s}$ ，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性要求。放射性废水的排放管道位于地下，要求全线不渗漏，并做好沿途的防护。核医学科放射性废水的排放管道采用 DN50~DN150 铅铸铁管，防止泄漏。排放管道走线避开人群密集区域，尽量减小对公众的辐射影响。

（2）衰变池的运行原理

本项目 4 座衰变池同时并联使用，初使用时，1 号衰变池电动阀开启，2 号、3 号、4 号衰变池电动阀关闭；1 号衰变池水位达到最高水位时，2 号衰变池电动阀打开，1 号、3 号、4 号衰变池电动阀关闭；2 号衰变池水位达到最高水位时，3 号衰变池电动阀开启，1 号、2 号、4 号衰变池电动阀关闭；3 号衰变池水位达到最高水位时，4 号衰变池电动阀开启，1 号、2 号、3 号衰变池电动阀关闭。如此循环反复。

放射性废水在衰变池内停留一个排水周期（达到解控排放标准后），最终进入医院污水处理站作为一般废水进行处理。衰变池加盖上锁，并作为控制区，并安排专人管理。

（3）衰变池容量可行性分析

本项目共有 4 格衰变池用于贮存、衰变和排放废液，1#、2#、3#、4#衰变池有效容积均为 256.2m^3 。

根据后文核算，本项目放射性废水产生量为 $4.022\text{m}^3/\text{d}$ ，考虑到含碘-131 核素的暂存超过 180 天，因此，180 天本项目含碘-131 废水量为 723.96m^3 。本项目 4 座衰变池的有效容积分别为 256.2m^3 ，运行时，4 座并联同时使用，能满足含碘-131 放射性废水 191 天（按 3 座存满进行衰变，1 座衰变池正在进行存水计算）的暂存需求，大于 180 天的需求，因此该衰变池设置合理。

综上所述，本项目设置的衰变池满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中：a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1 Bq/L 、总 β 不大于 10 Bq/L 、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L 。

此外，根据“关于核医学标准相关条款咨询的复函辐射函（2023）20 号”要求，含碘-131 放射性废水可按照下列任意一种方式进行排放：

（一）根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第 8.6.2 条规定，经监管部门确认单次排入普通下水道的废水中碘-131 活度不超过 1ALImin ($9\text{E}+5$ 贝可)，每月排放的废水中碘-131 总活度不超过 10ALImin ($9\text{E}+6$ 贝可)。

（二）暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。

（三）暂存不满 180 天但监测结果表明碘-131 活度浓度已降至不高于 10 贝可/升水平，也可直接排放。

建设单位应对每次排放时间、排放量等做好详细记录，设置专门的废水排放台账，台账应有专人管理，存档保存。

同时为保障该衰变池的长效可靠运行还需采取如下管理措施：

①预处理池（污泥池）内沉渣如难于排出，可进行酸化预处理再排入下水系统；

②核医学科投入运行后，预处理池（污泥池）清掏时应进行放射性监测，并记录每次清

掏时间和监测结果，并根据监测结果进行污泥处置。

③衰变池池体上方需设立明显的电离辐射警告标志；

④为防止衰变池过满溢出，每个衰变池设置液位计，随时监控衰变池内水位，到达预定位置时即可报警并提示自动关闭进水阀门，使废水进入下一个池体。

2、非放射性废水治理措施

非放射性废水主要来自于运行期间工作人员的生活污水，该部分废水直接排入医院污水处理站进行达标处理，排入市政污水管网后进入生活污水处理厂处理。此外，本项目动物楼在开展动物介入手术的动物实验时，在饲养动物期间会产生的废水及动物粪便等，均依托医院的污水处理站处理后排入市政污水管网。

本项目医用电子直线加速器冷却系统采用蒸馏水，内循环使用不外排，不会产生废水。

三、固体废物处理措施

1、放射性废物处理措施

本项目核医学科产生的放射性固体废物主要是一次性注射器、针头、口罩、手套、空药瓶以及擦拭废物和废活性炭等。涉及的放射性核素包括：¹⁸F、⁶⁸Ga、¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr、^{99m}Tc、¹³¹I、⁸⁹Sr、²²³Ra 等。本项目分装注射室、注射等候室、留观等候室、抢救室等房间内均设置有放射性固废收集桶用于分核素种类收集产生的核素放射性固废，到达一定量时转入放射性废物间进行暂存衰变，建设单位应将定期更换下的活性炭过滤器作为放射性固废进行收集处理。废校准源交由生产厂家回收处理。废锝镓发生器交由生产厂家回收处理。

本项目 PET/CT 检查时（分装、注射、留观、候诊、抢救）等产生的含 ¹⁸F、⁶⁸Ga、¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr 等放射性固废在废物室 3 暂存；PET/MR 检查时（检查、留观）等产生的含 ¹⁸F、⁶⁸Ga、¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr 等放射性固废在废物室 2 暂存；SPECT/CT 检查时（分装、注射、肺通气、负荷准备、候诊、抢救）及甲吸治疗、敷贴等所产生的 ^{99m}Tc、¹³¹I 放射性固废在废物室 4 暂存；SPECT/CT 检查时（检查室、留观室）及甲亢及肿瘤骨转移产生的含 ¹³¹I、⁸⁹Sr、²²³Ra 放射性固废在废物室 1 暂存（其中涉及 ²²³Ra 的放射性废物由专门的收集桶收集）；核素病房区产生的放射性废物在废物室 5 暂存。在本次建设放射性废物暂存间 5 间，其中核医学科门诊部分的 PET 分装室东南侧拟建放射性废物暂存间 1，占地 3.19m³（2.53m×1.26m），放置 2 个放射性废物收集桶（20mm 铅当量）；PET/MR 机房南侧拟建放射性废物室 2 间，占地 6.52m³（2.86m×2.28m），放置 4 个放射性废物收集桶（20mm 铅当量）；SPECT 分装室东侧拟建放射性废物暂存间 3，占地 4.49m³（3.21m×1.40m），放置 2 个放射

性废物收集桶（20mm 铅当量），甲亢留观区东侧拟建放射性废物暂存间 4，占地 4.26m³（2.23m×1.91m），放置 2 个放射性废物收集桶（20mm 铅当量）；核素病房区中部（位于核素病房区抢救室南侧）拟建放射性废物暂存间 5，占地 6.82m³（3.28m×2.08m），放置 4 个放射性废物收集桶（20mm 铅当量），满足暂存要求。

具体各类固废暂存间对应收集区域图示如下：

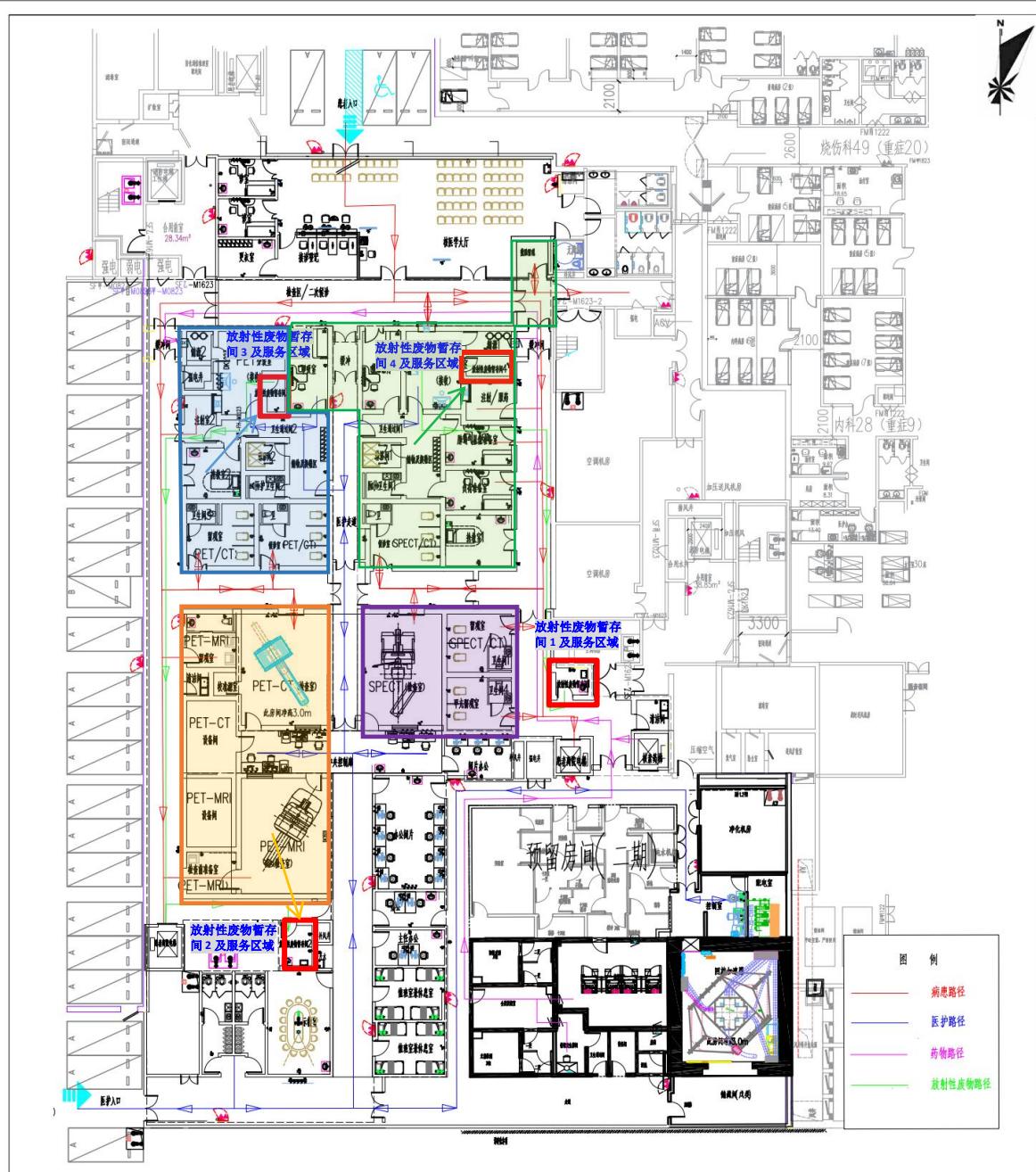


图 10-13 核医学科放射性废物暂存间服务分区图

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），针对放射性固废的收集、贮存和处理提出如下管理措施要求：

(1) 放射性固体废物收集

①按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理；②建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案；③放射性固废收集桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，放置刺破废物袋；④放射性废物每袋重量不超过 20kg，装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

(2) 放射性固废临时贮存和最终处理

①放射性废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录；②固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08 Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天；③固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

2、非放射性废物处理措施

本项目产生非放射性医疗废物包括一些药棉、纱布、手套等医用辅料，进入医疗废物暂存、管理系统。根据国家医疗垃圾管理制度，应严格执行医疗垃圾转移联单制度，由具备医疗垃圾回收处理资质的专业单位回收集中处理。工作人员产生的少量办公、生活垃圾，统一收集至医院的垃圾转运站后交由环卫部门统一处理。

此外，本项目动物楼在开展动物介入手术的动物实验时产生少量动物尸体，依托医院拟建设的医疗废物暂存间进行暂存和管理，最终进行统一处理。

四、噪声治理措施

区域通排风风机（位于本栋楼屋顶）、空调工作时将产生一定的噪声，项目拟选用低噪声设备，隔声采取降噪措施，经建筑物墙体屏蔽及距离衰减后对周围噪声环境影响较小。

五、射线装置报废处理

根据《四川省辐射污染防治条例》，“射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化”。报废后需确保射线装置不能正常通电，防止二次使用

造成人员误照射。

六、环保措施及其投资估算

项目辐射防护措施及其投资估算见表 10-21。本项目总投资 21000 万元, 环保投资 250.9 万, 占总投资的 1.19%。

表 10-21 辐射防护设施（措施）及投资估算一览表

项目	设施（措施）	数量	金额 (万元)	备注
核医学科				
	各房间辐射屏蔽（墙体、地板、楼板、门、窗屏蔽）	/	/	纳入主体工程范围
SPECT 区域	通风手套箱（5mm 铅当量）	1 个	15.0	/
	分装注射室注射窗（5mm 铅当量）	1 个	3.0	/
	注射器防护套（5mm 铅当量, 分装注射室 1）	1 个	0.4	/
	转运铅盒（5mm 铅当量, 分装注射室 1）	1 个	0.5	/
	防护铅屏风（5mm 铅当量）	2 扇	0.4	/
	检查床前铅屏风（5mm 铅当量）	1 扇	0.2	/
辐射屏蔽措施	通风手套箱（50mm 铅当量）	1 个	15.0	/
	分装注射室注射窗（50mm 铅当量）	1 个	15.0	/
	注射器防护套（5mm 铅当量, 分装注射室 2）	1 个	0.4	/
	转运铅盒（50mm 铅当量, 分装注射室 2）	1 个	0.5	/
	防护铅屏风（5mm 铅当量）	2 扇	0.4	/
	检查床前铅屏风（5mm 铅当量）	1 扇	0.2	/
	钨合金防护罐（50mm 铅当量）	1 个	2.0	/
PET 药物生产区	工作台（70mm 铅当量）	3 个	15.0	/
	药物合成分装柜（50mm 铅当量）	1 个	5.0	/
	通风手套箱（50mm 铅当量）	3 个	15.0	/
	钨合金防护罐（50mm 铅当量）	4 个	8.0	/
核素病房区	检查床前铅屏风	8 个	5.0	/
个人防护	个人剂量报警仪	20 台	8.0	/

用品	个人剂量计	23 个	4.4	/	
	辐射工作人员铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜等 (0.5mm 铅当量)	8 套	8.0	/	
	放射性活度计	2 台	2.0	/	
放射性废水	控制区独立下水系统及排水管道 屏蔽设施	1 套	/	纳入主体 工程范围	
	4 座并联衰变池	4 座	/		
放射性固废	SPECT 区域: 放射性固废收集桶 (2mm 铅当量, SPECT 区域分装注射室、注射候诊、检查后留 观室、抢救室各 1 个)	4 个	2.0	/	
	PET 区域: 放射性固废收集桶 (10mm 铅当量, PET 区域分装注射室、注射候诊、检查后留观 室、抢救室各 1 个)	4 个	2.6	/	
	核素病房区: 放射性固废收集桶 (10mm 铅当 量)	1 个	0.5	/	
	SPECT 区域: 放射性固废暂存容器 20mm 铅当 量 4 个; PET 区域: 20mm 铅当量 4 个; 核素 病房区: 20mm 铅当量 4 个	12 个	7.2	/	
	废物暂存室	2 间	/	纳入主体 工程范围	
安全 装置	分装注射室 1、分装注射室 2、回旋加速器机房、 核素病房区分装室红外监控系统各 1 套	4 套	4.0		/
	储源室红外监控系统各 1 套	4 套	4.0		
	分装注射室 1、分装注射室 2 固定式剂量报警仪 各 1 套	2 套	2.0		/
	控制区入口、出口单向门禁系统	1 套	3.0		/
	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标 识	1 套	0.3		/
通风 系统	气载流出物 (即放射性废气) 设独立通排风系 统	1 套	/	纳入主体 工程范围	
	过滤系统	/	10.0		/
其它	控制区地面防渗	/	/	纳入主体 工程范围	
医用电子直线加速器					
项目	设施 (措施)	数量	金额 (万 元)	备注	
辐射屏蔽 措施	医用电子直线加速器屏蔽机房	1 间	/	纳入主体 工程范围	
	防护门	1 扇	/		/
安全	门-机联锁装置	1 套	1.0	/	

装置	视频监控系统	1 套	1.0	/	
	语音播报及对讲装置	1 套	1.0	/	
	工作状态指示灯（门-灯联锁）	1 套	1.0	/	
	紧急开门装置	1 套	1.0	/	
	紧急止动开关	1 套	1.0	/	
	固定式剂量报警装置	1 套	2.0	/	
	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标识	1 套	0.5	/	
个人防护用品	个人剂量计	4 人	0.5	/	
	个人剂量报警仪	1 台	2.0	/	
废气	通排风系统	1 套	/	纳入主体工程范围	
DSA 和 ERCP					
项目	设施（措施）	数量	金额（万元）	备注	
辐射屏蔽措施	屏蔽机房（墙体、地板、楼板、门、窗屏蔽）	12 间	/	纳入主体工程范围	
安全装置	工作状态指示灯	12 间×1 套	3.0	/	
	紧急止动开关	12 间×1 套	3.0	/	
	语音对讲装置	12 间×1 套	3.0	/	
	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标识	3 套	0.3	/	
个人防护用品	个人剂量计	64 人	3.9		
	辐射工作人员铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜等（0.5mm 铅当量）	12 间×2 套	9.0		
	患者防护铅围裙等	12 间×1 套	0.6		
废气	通排风系统	12 间×1 套	/	纳入主体工程范围	
III 类射线装置机房（SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、模拟定位机房）					
项目	设施（措施）	数量	金额（万元）	备注	
辐射屏蔽措施	屏蔽机房（墙体、地板、楼板、门、窗屏蔽）	3 间	/	纳入主体工程范围	
安全装置	工作状态指示灯	3 间×1 套	3.0	/	
	紧急停机按钮各一套	3 间×1 套	3.0	/	
	语音对讲装置各一套	3 间×1 套	3.0	/	
	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标识各一套	3 间×1 套	0.5	/	

个人防护用品	个人剂量计	6 人	0.6	/
废气	通排风系统	3 间×1 套	/	纳入主体工程范围
综合管理				
项目	设施（措施）	数量	金额（万元）	备注
监测仪器	X- γ 辐射剂量率监测仪	3 台	6.0	
	表面污染监测仪	1 台	2.0	
辐射工作人员上岗考核		/	10.0	/
规章制度上墙		/	5.0	/
应急和救助的物资准备（应急通信设备、警戒线、警示标牌、应急演练等）		/	25.0	/
合计			200	/

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目主体工程施工环境影响已包含在批复的《成都市中心医院（成都市第三人民医院东部医院）（一期）项目环境影响报告书》中，本次评价不涉及。

本项目施工期主要是机房装修施工阶段和设备安装、调试阶段。

1、装修施工的环境影响分析

（1）大气环境影响分析

装修过程中采用“环保型”油漆及涂料，产生的废气污染物主要是扬尘，装修过程中采取湿法作业、加强通风或室内空气净化措施，可尽量降低粉尘对周围环境的影响。

（2）水环境影响分析

装修过程中施工人员会排放一定量的生活污水，可依托医院已建成的污水处理设施收集处理，经处理后污水进入城市污水管网，不会对周围水环境产生不良影响。

（3）声环境影响分析

装修过程会产生一定噪声，针对噪声影响，本项目拟尽量选择低噪音设备、避免夜间施工、注意对施工设备的维修、保养以使各种施工机械保持良好的运行状态等措施，可大大降低本项目噪声对周围的影响。

（4）固体废物影响分析

装修过程固体废弃物主要是生活垃圾、建筑垃圾。产生的废弃物如废材料、废纸张、废包装材料、废塑料薄膜等应妥善保管，及时回收处理；对于不可回收的建筑垃圾，应定点堆放，及时送当地指定的建筑垃圾堆放场；施工人员产生的生活垃圾依托医院生活垃圾收集设施收集后，交由环卫部门统一处理。

此外，加速器机房墙体采用混凝土连续浇筑方式施工，避免墙体或两面墙体衔接处有漏缝和气泡产生，防护门两侧铅板搭接宽度大于门缝宽度 10 倍以上。在符合建筑设计和辐射防护要求的前提下，保证各屏蔽体有效衔接，各屏蔽体应有足够的超边量，避免各屏蔽体之间有漏缝产生。

本项目装修施工期很短，施工量较小，在建设方的严格监督下，施工方遵守文明施工、合理施工的原则，做到各项环保措施，可使其对环境的影响降至最小程度。施工结束后，项目施工期环境影响将随之消除。

2、设备安装调试期间的环境影响分析

在射线装置安装调试阶段，主要污染因素为 X 射线、臭氧和少量包装废弃物。院方应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁并派人看守。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入设备区域，防止辐射事故发生。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响较小。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

运行阶段对环境的影响

一、放疗工作场所阶段辐射环境影响分析

本项目放疗科位于医院门急诊医技住院楼-1F 层中部区域，拟新建 1 个加速器机房及配套功能房间，同时开展肿瘤治疗过程配套有 1 间 CT 模拟定位机房，拟配备使用 1 台额定管电压为 150kV，额定管电流为 1500mA 的模拟定位机。本次在加速器机房内配置使用 1 台 10MV 医用电子直线加速器(型号未定，X 射线最大能量为 10MV: 10MV 时 1m 处 X 辐射剂量率最大为 24Gy/min; 电子线最大能量为 20MeV，电子线等中心 1 米处最大剂量率为 16Gy/min)，属于II类射线装置。本项目拟建的直线加速器配置了 CBCT, CBCT 最大管电压 150kV, 最大管电流 1000mA, 具备颅内立体定向放疗(SRS)、体部立体定向放射治疗 (SBRT)、容积旋转调强放疗治疗 (VMAT)、影像引导放射治疗 (IGRT)、调强放疗治疗 (IMRT)、三维适形放疗 (3DRT) 及 FFF 无均整器模式功能。

1、模拟定位机工作场所辐射水平分析

本项目 CT 模拟定位机每年累计曝光时间不超过 250 小时。CT 模拟定位室四周墙体为 370mm 厚页岩实心砖、顶板为 260mm 厚钢筋混凝土，铅窗为 4mm 铅当量，防护门为 4mm 铅当量含铅门。根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 表 3，结合附录 C 中表 C.7 可知，CT 模拟定位室周围屏蔽防护能够满足 2.5mmPb 的要求。因此，本次放疗科辐射环境影响主要考虑加速器的辐射环境影响。

2、医用电子直线加速器电子线辐射水平分析

医用电子直线加速器在运行过程中产生的电离辐射为：电子、X 射线。本项目 10MV

医用电子直线加速器采用电子束进行治疗，运行过程中最大电子线能量 20MeV。由于电子在物质中的射程是有限的，屏蔽比较容易，只要所选择的物质厚度大于带电粒子在该物质中的射程，就可以将其完全吸收。所以确定对于 10MV 的加速器是初级 X 射线决定了屏蔽状况。本次评价主要考虑 X 射线的辐射环境影响。

3、医用医用电子直线加速器 CBCT 模块辐射水平分析

本次拟配备的直线加速器带有 CBCT 系统，CBCT 系统管电压为 150kV，管电流为 1000mA。由于机房的防护均为混凝土结构且厚度最薄处为 1400mm 厚混凝土，远远超过《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关要求，故可忽略其对周围环境的辐射影响。

4、医用电子直线加速器 X 射线治疗辐射水平分析

（1）关注点选取

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第二部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的要求，在本项目 10MV 医用电子直线加速器机房外设定了关注点。从保守角度出发，在加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器最大工况运行并针对关注点最不利情况对机房进行辐射屏蔽核算。加速器机房的关注点设定及主要照射路径示意图（水平方向）见图 11-1，照射路径示意图（垂直方向）见图 11-2，机房下方无房间，防护不予考虑。

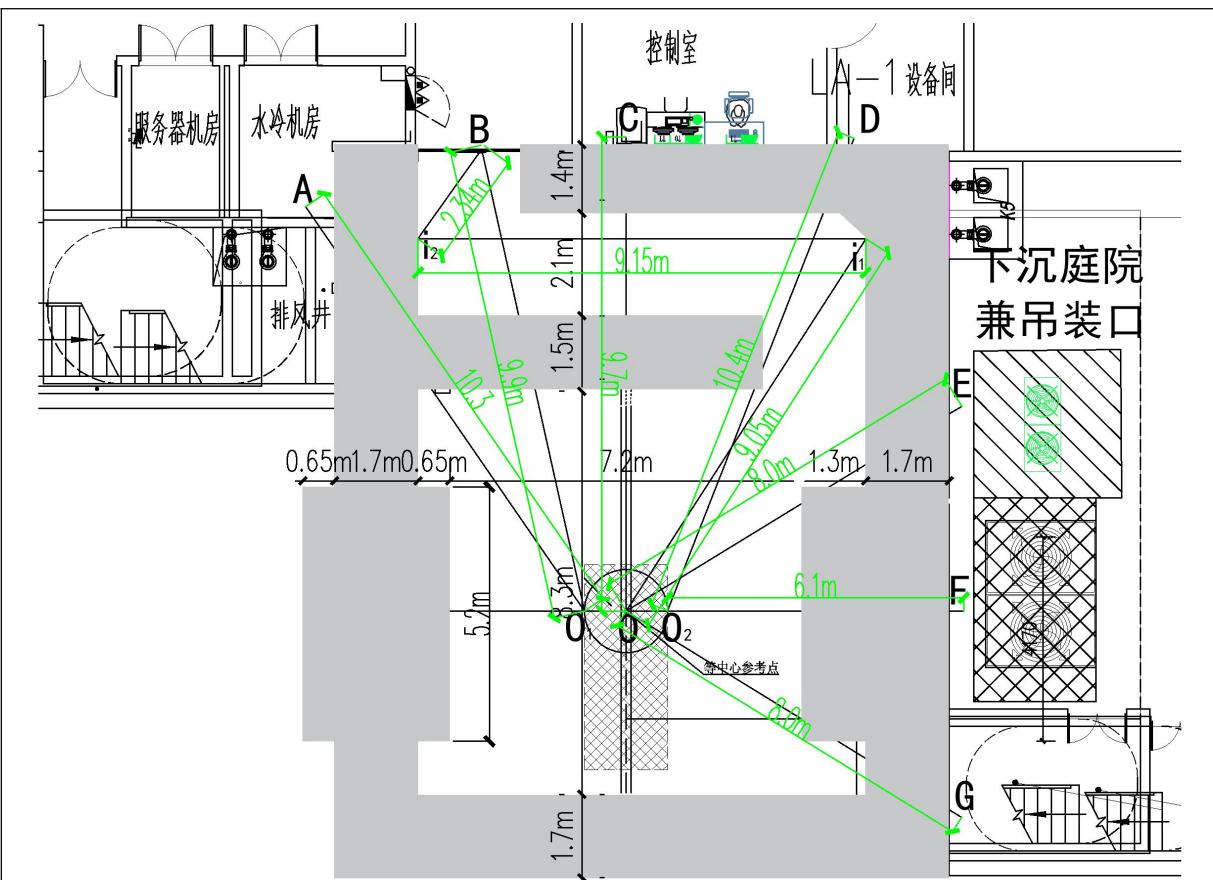


图 11-1 加速器机房关注点及主要照射路径示意图 (水平方向)

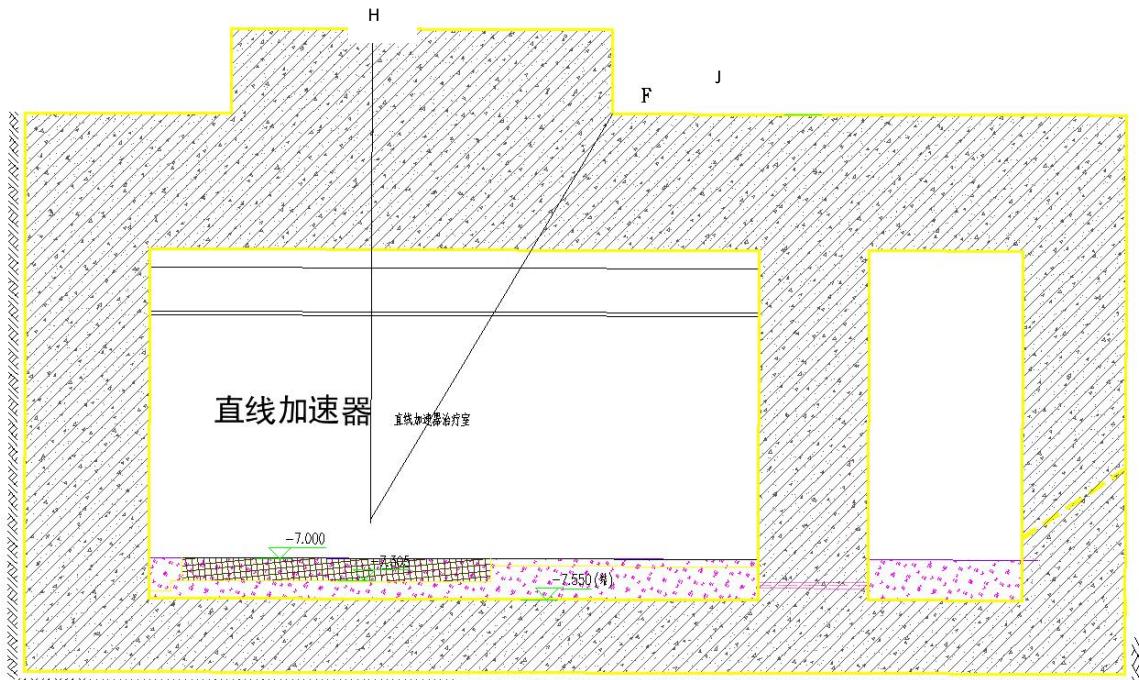


图 11-2 加速器机房关注点及主要照射路径示意图 (垂直方向)

(2) 直线加速器剂量率参考控制水平 (He)

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198—2021)，机房墙外30cm处各关注点的剂量率参考控制水平 He 由以下方法确定：

1) 使用放射治疗年工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，求得关注点的导出剂量率参考控制水平 He,d ；

$$\text{对于主射线束: } H_{e,d} = H_a / (t \cdot U \cdot T) \dots \dots \dots \text{ (式 11-1)}$$

$$\text{对于漏射辐射: } H_{e,d} = H_a / (t \cdot N \cdot T) \dots \dots \dots \text{ (式 11-2)}$$

式中：

$H_{e,d}$ —导出剂量率参考控制水平；

H_a —年剂量参考控制水平；职业人员取 $5000\mu\text{Sv/a}$ ，公众取 $100\mu\text{Sv/a}$ ；

U —主射线束向关注位置的方向照射的使用因子；根据医院实际治疗情况，朝向地面的时间占40%，每面墙体各占25%，屋顶占10%；

T —参照《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198—2021)中附录A，表A.1不同场所的居留因子；

N —调强放射治疗因子，保守取5；

t —年治疗照射时间；根据建设单位提供资料，加速器日最大治疗病人为80人，年最大治疗病人20000人，平均每个病人每野次治疗剂量1.5Gy，每人治疗照射3野次，周工作负荷1800Gy/周(每周工作5天)，本项目加速器等中心处治疗模体内参考点的常用吸收剂量率为6Gy/min，周治疗照射时间取5h/周，年治疗最大出束时间250h。物理师每周末进行质控工作约0.5h，年最大质控时间为25h。加速器年总出束时间275h。

对于与主屏蔽直接相连的次屏蔽区，属于复合辐射：根据(GBZ/T 201.2-2011)中附录A2.2复合辐射，导出剂量率参考控制水平 He,d 需考虑加速器的泄漏辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射，即与主屏蔽直接相连的次屏蔽区导出剂量率参考控制水平 $He,d=$ 泄漏辐射导出剂量率参考控制水平(该关注点单一泄漏辐射的一半，即 $He,d/2$) + 有用线束水平照射的患者散射辐射导出剂量率参考控制水平(该关注点最高剂量率参考控制水平的一半，即 $He,max/2$)。

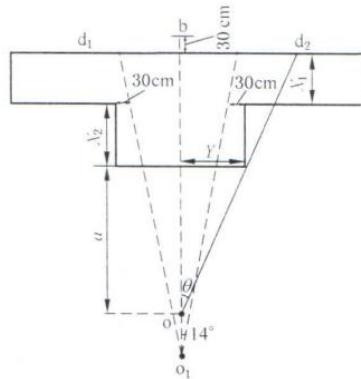
2) 关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{e,max}$:							
a) 按照关注点人员居留因子的不同, 分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{e,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) :							
人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{e,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$;							
人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{e,max} \leq 10 \mu\text{Sv}/\text{h}$, 本项目保守取 $\leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。							
b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射, 以年剂量 $250 \mu\text{Sv}$ 加以控制。							
c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶, 机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 加以控制 (可在相应位置处设置辐射告示牌)。							
由此确定的加速器机房各关注点的剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束见表 11-1。							
表 11-1 加速器机房外各关注点剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束							
关注点位	类型	居留因子	剂量率参考控制水平 (H_e) $\mu\text{Sv}/\text{h}$			主要考虑的辐射束	射线路径
			$H_{e,d}$	$H_{e,max}$	H_e		
A (水冷机房)	公众	1/4	5.8	2.5	2.5	泄漏辐射	$O_1 \rightarrow A$
B (防护门外)	职业	1	3.07 (漏射 1.82+散射 1.25)	2.5	2.5	泄漏辐射	$O_1 \rightarrow B$
						散射辐射	$O_1 \rightarrow O \rightarrow i_1 \rightarrow i_2 \rightarrow B$
C (控制室)	职业	1	3.64	2.5	2.5	泄漏辐射	$O \rightarrow C$
D (设备间)	公众	1/4	0.29	2.5	0.29	泄漏辐射	$O_2 \rightarrow D$
E (下沉庭院)	公众	1/4	1.4 (漏射 0.15+散射 1.25)	2.5	1.4	泄漏辐射	$O \rightarrow E$
						人体的一次散射辐射	$O_1 \rightarrow O \rightarrow E$
F (下沉庭院)	公众	1/4	0.29	2.5	0.29	主射线束	$O_2 \rightarrow F$
G (下沉庭院)	公众	1/4	1.4 (漏射 0.15+散射 1.25)	2.5	1.4	泄漏辐射	$O \rightarrow G$
						人体的一次散射辐射	$O_2 \rightarrow O \rightarrow G$

注: ①加速器正常运行时正常工况下, 机房屏蔽防护门内不会有人员居留, 事故工况下人员才会至该位置躲避, 居留因子保守取 $1/16$; 根据 GBZ/201.2-2011, 对于“迷道内墙泄漏辐射所需屏蔽厚度”

核算时, 剂量率参考控制水平应小于 $H_{e,d}$ 的 $1/4$; 本次保守按 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 剂量率参考控制水平的 $1/4$ 取值。

2、有用线束主屏蔽区宽度计算

本项目设计的 10MV 直线加速器机房, 主屏蔽区包括屋顶及墙体的部分位置, 加速器主射线的最大出束角度为 28° 。有用线束主屏蔽区示意图见图 11-3, 主屏蔽宽度计算结果见表 11-2。



$$Y = (100 + a + X_2) \tan 14^\circ + 30$$

$$\theta = \tan^{-1} (Y/a)$$

图 11-3 主射屏蔽范围计算示意局部图

表 11-2 加速器机房主屏蔽范围计算表

机房	主屏蔽范围计算值 (cm)	主屏蔽范围设计值 (cm)	结论
加速器机房屏蔽墙体(东、西侧, 内凸)	354.2	440	满足要求
屋顶(外凸)	473.4	520	满足要求

注: 内凸主屏蔽半宽度= $(100+a+X_2) \tan 14^\circ + 30$, 外凸主屏蔽半宽度= $(100+a+X_2+X_1) \tan 14^\circ + 30$ 。

(2) 医用电子直线加速器屏蔽体外贯穿辐射剂量率预测

根据 GBZ/T201.2-2011, 各预测点(见图 11-1 和图 11-2) 人员可能受到的最大剂量可根据以下公式进行计算:

主射线束和泄漏辐射剂量估算:

$$H = \frac{H_0 \times f}{R^2} \times B \quad \dots \dots \dots \quad (\text{式 11-3})$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{式 11-4})$$

$$X_e = X / \cos \theta \quad \dots \dots \dots \quad (\text{式 11-5})$$

式中:

B —屏蔽透射因子；

H_0 —加速器有用束中心轴上距产生治疗X射线束的靶1m处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$; 本项目为 $1.44\times10^9\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ (最高剂量率为24Gy/min), 后续计算均取此值;

R —辐射源点 (靶点) 至关注点的距离, m ;

f —有用束为1; 泄漏辐射为主射射线比率 (0.1%) ;

θ —斜射角, 即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角;

TVL_1 (cm) 和 TVL (cm) —辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度;

X_e —墙体有效屏蔽厚度, cm ;

X —墙体屏蔽厚度, cm 。

患者一次散射辐射剂量估算:

$$H = \frac{H_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \dots \dots \dots \text{ (式 11-6)}$$

式中:

H —关注点处的散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上垂直入射X射线散射至距其1m (关注点方向) 处的剂量比例, 又称 400cm^2 面积上的散射因子; 取患者散射角为 30° , 附录B表B.2查出10MV, 30° 的散射因子 α_{ph} 为 3.18×10^{-3} ;

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 ; 本项目为 $40\times40\text{cm}^2$ 。

α_2 —墙入射的患者散射辐射因子, 患者一次散射角为 45° , 墙入射角为 45° , 墙散射角近似按 0° 计算, 根据(GBZ/T201.2-2011)中5.2.6.1 b)可知, 通常使用其0.5MeV栏内的值, 查(GBZ/T201.2-2011)中附录B表B.6得混凝土墙 45° 入射、 0° 散射、 1m^2 的散射因子 $\alpha_2=22\times10^{-3}$ 。

A —散射面积, m^2 ; 散射面积为 2.0m (墙宽) $\times 5.6\text{m}$ (高) $= 11.2\text{m}^2$;

R_1 —第一次散射路径 ($O \rightarrow j$: 8.3m) ;

R_2 —第二次散射路径 ($j \rightarrow J$: 12.2m) ;

经计算, 加速器迷道入口关注点J处的X射线散射辐射剂量率 H

为 $186.86\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

机房迷道入口处辐射剂量估算：

$$H_{\text{防护门外}} = H_g \times 10^{(X/TVL)} + H_{og} \dots \dots \dots \text{ (式 11-7)}$$

式中： H_{og} 为 O_2 位置射线穿过迷路内墙的泄漏辐射在 $J1$ 处的剂量率；

H_g 为机房入口关注点处的散射辐射剂量率；

表 11-3 加速器机房主射线束和漏射辐射对关注点的剂量估算表

计算	主屏蔽区 (墙体 F 点)	屋顶主 射屏蔽 区 (墙 体 H 点)	次屏蔽墙		迷道 内墙 (B 点)	与主屏蔽区相连的			
			迷道外 墙 C 点	迷道外 墙 D 点		A 点	E 点	G 点	屋顶 (J 点)
屏蔽厚 度 X (cm)	300	300	140	140	150	170	170	170	185
斜射角 θ (°)	0	0	0	23	12	34	32	32	17
$\cos \theta$	1	1	1	0.92	0.98	0.83	0.85	0.85	0.96
有效屏 蔽厚度 X_e (cm)	300	300	140	152.09	153.3 5	205.06	200.4 6	200.46	193.45
TVL_1 (cm)	41	41	35	35	35	35	35	35	35
TVL (cm)	37	37	31	31	31	31	31	31	31
透射 因子 B	1.00 E-08	1.00E-0 8	4.10E-0 5	1.67E-0 5	1.52E -05	3.27E- 07	4.60E- 07	4.60E-07	7.74E-0 7
H_0 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.44 E+09	1.44E+ 09	1.44E+ 09	1.44E+ 09	1.44E +09	1.44E +09	1.44E +09	1.44E+09	1.44E+ 09
f	1	1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
R (m)	6.1	7.5	9.7	10.4	9.9	10.3	8	8	6.5

剂量当量 H ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	3.87 E-01	2.56E-0 1	6.28E-0 1	2.22E-0 1	2.24E -01	4.44E- 03	1.03E -02	1.03E-02 2	2.64E-0 2
控制值 H ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5	2.5	2.5	0.29	2.5	2.5	1.4	1.4	0.29
评价结果	满足	满足							

注: ① TVL_1 和 TVL 查 GBZ/201.2-2011 中表 B.1; ②根据 GBZ/201.2-2011, 泄漏辐射至迷道外墙的斜射角较小, 通常以 0° 垂直入射保守估算。

表 11-4 加速器机房与主屏蔽区相连的次屏蔽区漏射和患者一次散射对关注点的剂量估算表

计算参数	与主屏蔽区相连的次屏蔽区					
	墙体 B 点		墙体 E 点		墙体 G 点	
辐射束	泄漏射线	散射射线	泄漏射线	散射射线	泄漏射线	散射射线
屏蔽厚度 X (cm)	150	150	170	170	170	170
斜射角 θ	12	12	32	32	17	17
$\cos \theta$	0.98	0.98	0.85	0.85	0.96	0.96
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	214.6	214.6	214.6	214.6	207.9	207.9
TVL^1 (cm)	35	39	35	28	35	39
TVL (cm)	31	/	31	/	31	/
透射因子 B	1.61E-07	3.14E-06	1.61E-07	2.17E-08	2.65E-07	4.67E-06
H_0 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09
f	0.001	/	0.001	/	0.001	/
aph	/	3.18E-03	/	3.18E-03	/	3.18E-03
F (cm ²)	/	1600	/	1600	/	1600
R (m)	9.9	20.5	8	8.5	8	8.7
漏射/散射剂量当量 H ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) ②	2.36E-03	1.37E-01	3.62E-03	5.49E-03	5.95E-03	1.13E+00

控制值 H ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.29	1.25	0.29	1.25	0.29	1.25		
总剂量当量 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) ③	1.39E-01		9.11E-03		1.14E+00			
控制值 H ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.4			1.4				
评价结果	满足			满足				

注: ① TVL 查 GBZ/201.2-2011 中表 B.4 30°散射角对应的 TVL ; 当未指明 TVL 时, $TVL=TLV$; ② 根据 GBZ/201.2-2011, 对于“与主屏蔽区相连的次屏蔽区患者一次散射辐射所需屏蔽厚度”核算时, 剂量率参考控制水平取 $H_{c,max}$ 的一半。③与主屏蔽直接相连的次屏蔽区导出剂量率参考控制水平 He,d =泄漏辐射导出剂量率参考控制水平 (该关注点单一泄漏辐射的一半, 即 $He,d/2$) +有用线束水平照射的患者散射辐射导出剂量率参考控制水平 (该关注点最高剂量率参考控制水平的一半, 即 $He,max/2$)

表 11-5 加速器机房迷道入口处辐射剂量估算表

计算参数	机房迷道入口处 (防护门外)
机房入口处的散射辐射剂量率 H_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.36E-03
机房入口处的漏射辐射剂量率 H_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	3.51E-01
屏蔽厚度 X (mm)	15 (铅)
TVL (mm)	5 (铅)
经防护门屏蔽后的剂量当量 H ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.40E-01
控制值 H ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5
评价结果	满足

根据表 11-4~表 11-5, 本项目直线加速器运行后, 机房墙外各关注点处剂量率估算值最大为 $1.14\mu\text{Sv}/\text{h}$, 满足该点剂量控制水平 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$, 也满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) 中规定的治疗机房墙和入口门外人员居留因子 $T>1/2$ 的场所最大周围剂量当量率参考控制水平 $H_{c,max}\leq2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$, 人员居留因子 $T\leq1/2$ 的场所最大周围剂量当量率参考控制水平 $H_{c,max}\leq10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求。

4、医用电子直线加速器屏蔽体外人员所受剂量

由式 11-19 估算各关注点的年附加有效剂量:

$$E=H\times10^{-3}\times q\times h\times W_T \dots \dots \dots \text{ (式 11-8)}$$

式中：

H —关注点的剂量当量 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$);

E —关注点的附加有效剂量 (mSv/a);

h —工作负荷 (h/a); 本项目加速器年总出束时间 275h (包含了医师位于控制室的时间 50h)，物理师年最大受照时间 25h。

q —居留因子，参照《放射治疗放射防护要求》 GBZ121-2020 中附录 A，表 A.1 不同场所的居留因子；

W_T —组织权重因数，全身为 1。

由此估算的加速器机房周围各关注点的年附加有效剂量见表 11-6。

表 11-6 加速器机房周围环境保护目标的年附加有效剂量估算表

关注点	受照射类型	剂量当量 H 预测结果 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	工作负荷 (h/a)	居留因子	附加有效剂量 预测结果 mSv/a
A (水冷机房)	公众	4.44E-03	275	0.25	3.05E-04
B (防护门外)	公众	1.39E-01	275	1.00	3.83E-02
D (设备间)	公众	2.22E-01	275	0.25	1.53E-02
E (下沉庭院)	公众	9.11E-03	275	0.25	6.26E-04
F (下沉庭院)	公众	3.87E-01	275	0.25	2.66E-02
G (下沉庭院)	公众	1.14E+00	275	0.25	7.81E-02
C (控制室)	职	技师	6.28E-01	275	1.00
		物理师	6.28E-01	50	1.00
		医师	6.28E-01	50	1.00

根据表 11-6，职业人员受到的附加有效剂量最大为 0.173mSv/a，满足职业人员有效剂量不超过 5mSv/a 的管理限值要求；公众受到的附加有效剂量最大为 0.0781mSv/a，满足公众有效剂量不超过 0.1mSv/a 的管理限值要求。

二、核医学科运行阶段辐射环境影响分析

1、 β 射线辐射影响分析

本项目涉及使用的 ^{131}I 、 ^{68}Ga 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{89}Sr 和 ^{90}Sr 等核素在衰变过程中会有 β 粒子，但由于 ^{68}Ga 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{89}Zr 等产生的是正电子，迅速发生湮灭反应所以本次不考虑 β 射线影响。根据《放射卫生学》(章仲侯主编, P171)， β 粒子在不同介质中的射程按下式计算：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{MAX} \dots \dots \dots \text{式 (11-9)}$$

式中：

d —— β 射线在介质中的射程, cm;

ρ ——介质的密度, 空气密度为 1.29×10^{-3} g/cm³; 铅密度为 11.34 g/cm³; 铅玻璃密度为 4.6 g/cm³;

E_{MAX} —— β 射线的最大能量, MeV。

表 11-7 各核素 β 射线在空气中理论最大射程

核素	^{99m} Tc	¹³¹ I	⁶⁸ Ga	¹⁸ F	⁸⁹ Sr
β 射线能量 (MeV)	0.002	0.606	1.899	0.635	1.488
空气密度 (g/cm ³)	1.29×10^{-3}				
空气中的射程 (cm)	0.78	235.08	736.09	246.12	576.74
砖墙密度 (g/cm ³)	1.65				
砖墙中的射程 (cm)	5.56×10^{-4}	0.18	0.18	0.19	0.45
铅密度 (g/cm ³)	11.34				
铅中射程 (cm)	1.36×10^{-4}	0.03	0.03	0.03	0.07
铅玻璃密度 (g/cm ³)	4.6				
铅玻璃中射程 (cm)	1.36×10^{-4}	0.07	0.07	0.07	0.16

综上所述, 本项目涉及使用的核素在整个过程中均采取了有效的屏蔽措施屏蔽 β 射线, 同时在整个使用过程中职业人员还穿戴有 0.5mm 铅当量的防护铅服, 且公众与放射性核素之前还采取了距离隔离措施, 因此 β 射线对职业人员和公众辐射影响是很小的。

2、轫致辐射 (X 射线) 影响分析

由于 β 粒子在遇到重质材料 (如: 铅、铁等原子序数大于 56 的材质) 屏蔽时会产生轫致辐射, 因此本次评价主要考虑分装操作过程中有铅屏蔽时的轫致辐射影响, 根据《放射卫生学》 (P189), 韧致辐射在空气中的吸收剂量率计算公式如下:

$$D=1.49 \times 10^{-6} A \cdot Z \cdot (E/r)^2 \dots \dots \dots \quad (式 11-10)$$

式中: D —屏蔽层中 β 粒子产生的轫致辐射在 $r(0.5\text{m})$ 处空气中的吸收剂量率, Gy/h;

E —保守按 β 粒子最大能量带入计算, 韧致辐射能量为入射 β 粒子能量;

A —放射源活度, Ci;

Z —电子屏蔽材料的有效原子序数, 根据《辐射防护导论》表 4.4 查得铅有效原子序数为 82。

根据《辐射防护导论》 (P134) 经屏蔽体衰减后, 屏蔽体外剂量当量率由下式计算:

式中: D —屏蔽层中 β 粒子产生的轫致辐射在 $r(0.5\text{m})$ 处空气中的吸收剂量率, Gy/h ;
 d —屏蔽层厚度;

TVL—屏蔽层在 β 粒子平均能量下的什值层厚度, cm, 由《辐射防护导论》表 3.5 查得。

根据本项目使用放射性同位素的衰变方式和主要射线能量, 其中¹⁸F、^{99m}Tc 的日操作量最大, 此外⁸⁹Sr 产生的 β 射线能量最大。因此, 本项目放射性同位素产生的 β 射线产生的轫致辐射影响选用¹⁸F、^{99m}Tc 和⁸⁹Sr 在分装情景中进行分析, 其 β 粒子所致轫致辐射空气吸收剂量率及屏蔽体外辐射剂量当量率计算结果见表 11-8。

表 11-8 韧致辐射空气吸收剂量率及屏蔽体外剂量率计算表

核素	¹⁸ F	^{99m} Tc	⁸⁹ Sr
β粒子能量 (MeV)	0.635	0.002	1.488
轫致辐射能量 (MeV)	1.00	1.00	0.025
操作活度	(Bq)	9.25E+09	4.16E+10
	(Ci)	0.25	1.13
屏蔽前空气吸收剂量率 (μGy/h)	4.93E-05	2.21E-09	2.16E-05
屏蔽层铅当量厚度 (cm)	5	3	3
铅什值层厚度* (cm)	16.6	1	3.9
屏蔽体外操作位剂量当量率 (μSv/h)	2.46E-05	2.21E-12	3.68E-06

*注：⁸⁵Sr 由《辐射防护导论》表 3.5，保守按较高能量查得半值层厚度；其余取值由《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)表 I.1 查得。

经计算，在操作位距离辐射源 0.5m 处轫致辐射剂量当量率最大为 $2.46 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$ ，因此轫致辐射为周围辐射剂量率贡献值很小。

3、辐射工作场所 γ 辐射水平分析

辐射工作人员在放射性药物操作区进行相关放射性药物的分装和给病人注射放射性核素，这个过程主要是放射性核素产生的 γ 射线引起的辐射照射。当病人注射了放射性药物之后，病人又成为一个活动的辐射体，其所在的工作场所则要考虑来自病人身体的射线辐射。

参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），所有核素工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。将放射源看成点源来进行计算，计算公式如下。

$$x = TVL \times \lg\left(\frac{A \cdot \Gamma}{H_p \times r^2}\right) \quad \text{式 (11-12)}$$

式中: x ——屏蔽厚度, 单位为毫米 (mm);

TVL —— γ 射线的十分之一值层厚度, 单位为毫米 (mm);

A ——单个患者或受检者所用放射源的最大活度, 单位为兆贝可 (MBq);

Γ ——距源 1m 处的周围剂量当量率常数, 单位为 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$;

H_p ——屏蔽体外关注点剂量率控制值, 单位为微希沃特每小时 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$);

r ——参考点与放射源间的距离, 单位为米 (m)。

即: 经 x 屏蔽厚度后, 参考点处的 γ 辐射剂量率 H 的计算公式如下:

$$H = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} \times 10^{(-\frac{x}{TVL})} \quad \text{式 (11-13)}$$

式中: H ——屏蔽体外关注点剂量率计算值, 单位为微希沃特每小时 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)。

本项目 SPECT 诊断项目使用主要放射性核素为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 。该工作场所中使用的核素 ^{131}I 的周围剂量当量率常数最大, 其辐射环境影响更大。因此, 本评价 SPECT 预测选取 ^{131}I 作为代表核素进行分析;

本项目 PETCT 诊断项目使用主要放射性核素为 ^{68}Ga 和 ^{18}F , 由于 ^{18}F 较于 ^{68}Ga 的 γ 射线能量、周围剂量当量率常数相近, 且单次应用最大剂量、单日应用最大剂量、年应用剂量以及应用频次均大于 ^{68}Ga , 本评价 PETCT 预测选取 ^{18}F 作为代表核素进行分析。

根据医院设计规划, 拟在核医学科二层病房治疗区内使用核素 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、用于肿瘤治疗。其中 ^{225}Ac 主要发生 α 衰变, 但 ^{131}I 衰变过程中产生的周围剂量当量率常数更大, 且核素 ^{131}I 衰变产生的 γ 射线能量最大, 且核素单次和日操作量最大。因此, 本次评价选取核素 ^{131}I 作为核医学科一层核素病房屏蔽体外对周围环境的影响代表性核素是合理的。

本项目核医学科主要放射性药物工作场所辐射屏蔽计算参数如下。

表 11-9 使用放射性药物工作场所辐射屏蔽计算参数

核素	周围剂量当量率常数 (裸源) ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h} \cdot \text{MBq}$)	周围剂量当量率常数 (患者体内) ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h} \cdot \text{MBq}$)	TVL (mm)		
			铅 ($11.3\text{g}/\text{cm}^3$)	实心砖 ($1.65\text{g}/\text{cm}^3$)	混凝土 ($2.35\text{g}/\text{cm}^3$)
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.0303	0.0207	1	160	110

¹³¹ I	0.0595	0.0583	11	240	170
¹⁸ F	0.143	0.092	16.6	263	176

备注：周围剂量当量率常数来源于核医学放射防护要求（GBZ120-2020）附录L中表L.1和附录H中H.1，TVL取值来源于表I.1。

根据医院诊疗流程可知，SPECT 诊断患者注射药物后等待 15 分钟即可进行扫描；SPECT/CT 每 15 分钟扫描一个病人；扫描完后需留观 15 分钟。本项目 SPECT 诊断区设有 2 间 SPECT 等候室，候诊室内最多等候 2 人，SPECT 等候室每天最多可容纳 60 人；SPECT 诊断项目日最大诊断人数为 40 人，因此本项目 SPECT 等候室患者容量满足本项目就诊人数需求。

PET 诊断区内诊断患者注射药物后等待 30 分钟即可进行扫描；PET/CT 每 15 分钟扫描一个病人；扫描完后需留观 15 分钟。本项目设有 1 间 PET 等候室，最多 1 人，PET 等候室每天最多可容纳 30 人；PET 诊断项目日最大诊断人数为 20 人，因此本项目 PET 等候室患者容量满足本项目就诊人数需求。

此外，在计算时，PETCT 由于 ¹⁸F 较于 ⁶⁸Ga 的 γ 射线能量、周围剂量当量率常数相近，且单次应用最大剂量、单日应用最大剂量、年应用剂量以及应用频次均大于 ⁶⁸Ga，本评价 PETCT 预测选取 ¹⁸F 作为本次评价的关键核素进行分析；同理，SPECT 预测选取 ¹³¹I 作为本次评价的关键核素进行分析。

针对核素病房，由于 ¹³¹I 衰变过程中产生的周围剂量当量率常数更大，且核素 ¹³¹I 衰变产生的 γ 射线能量最大，且核素单次和日操作量最大。因此，本次评价选取核素 ¹³¹I 作为核医学科一层核素病房屏蔽体外对周围环境的影响代表性核素进行分析。

本项目核医学科内各关注点最大有效剂量见下表。

表 11-9 核医学科内（门诊部分）各关注点辐射剂量率预测结果

对应关注点编号	位置		A (药物的放射性活度, MBq)	R (关注点到辐射源的距离 (m))	f,1m 处的周围剂量当量率, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot (\text{hM Bq})^{-1}$	TVL 铅	TVL 砖	TVL 混凝土	屏蔽材料 1	厚度 (mm)	屏蔽材料 2	厚度 (mm)	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
1	储源室 (氟-18)	北侧墙体外 30cm 处	9250 (25 人 $\times 37\text{MBq}/\text{人}$)	1.8	0.092	16.6	263	176	实心砖	370	铅柜+铅盒	40	4.01E-02
2		西侧墙体外 30cm 处		1.3	0.092	16.6	263	176	实心砖	370	铅柜+铅盒	40	7.68E-02
3		东侧铅窗外 30cm 处		1.1	0.092	16.6	263	176	实心砖	370	铅柜+铅盒	40	1.07E-01
4		南侧墙体外 30cm 处		1.8	0.092	16.6	263	176	实心砖	370	铅柜+铅盒	40	4.01E-02
5		西侧墙体外 30cm 处 (缓冲间处)		4	0.092	16.6	263	176	实心砖	370	铅柜+铅盒	40	8.12E-03
6		楼上 30cm 处		3.3	0.143	16.6	263	176	混凝土	260	铅柜+铅盒	40	1.58E-02
7	手套箱 分装 (氟-18)	手套箱外表 面	370 (单人单 次最大用 量)	0.3	0.143	16.6	263	176			铅手套箱	50	5.72E-01
8				1	0.143	16.6	263	176			铅手套箱	50	5.15E-02
9	分装/ 接收室 (氟-18)	东侧墙体外 30cm 处	370 (单人单 次最大用 量)	0.8	0.092	16.6	263	176	实心砖	370			2.08E+00
10		南侧墙体铅 防护门外 30cm 处		5.3	0.092	16.6	263	176	实心砖	370	铅门	5	2.37E-02

11		南侧墙体外 30cm 处 北侧墙体外 30cm 处 北侧墙体外 30cm 处 (核 医学科大厅) 西侧墙体外 30cm 处 楼上 30cm 处	5.3 1.5 3.8 4.6 3.3	0.092 0.092 0.092 0.092 0.143	16.6 16.6 16.6 16.6 16.6	263 263 263 263 263	176 176 176 176 176	实心砖 实心砖 实心砖 实心砖 混凝土	370 370 370 370 260			4.75E-02	
12												5.93E-01	
13												9.24E-02	
14												6.30E-02	
15												1.62E-01	
16	注射廊 (氟 -18)	注射位 东侧墙体外 30cm 处 西侧墙体铅 防护门外 30cm 处 西侧墙体外 30cm 处 北侧墙体外 30cm 处 南侧墙体外 30cm 处 楼上 30cm 处	370(单人单 次最大用 量)	0.5 0.8 2 2 0.9 3.1 3.3	0.143 0.092 0.092 0.092 0.092 0.092 0.143	16.6 16.6 16.6 16.6 16.6 16.6 16.6	263 263 263 263 263 263 263	176 176 176 176 176 176 176	实心砖 实心砖 实心砖 实心砖 实心砖 实心砖 混凝土	370 370 370 370 370 370 260	铅手套箱 铅门	50 5	2.06E-01 2.08E+00 1.67E-01 3.33E-01 1.65E+00 1.39E-01 1.62E-01
17													2.08E+00
18													1.67E-01
19													3.33E-01
20													1.65E+00
21													1.39E-01
22													1.62E-01
23	检查前 候诊室	南侧墙体铅 防护门外	1100 (3 人 候诊×	3.9	0.092	16.6	263	176			铅防护门	10	1.66E+00

	(氟-18)	30cm 处	370MBq/人)								
24		南侧墙体外30cm 处		2.4	0.092	16.6	263	176	混凝土	240	
25		东侧墙体外30cm 处		1.5	0.092	16.6	263	176	混凝土	240	
26		西侧墙体外30cm 处		4.1	0.092	16.6	263	176	混凝土	240	
27		北侧墙体外30cm 处		2.6	0.092	16.6	263	176	混凝土	240	
28		楼上 30cm 处		3.3	0.092	16.6	263	176	混凝土	260	
29	留观室(氟-18)	南侧墙体铅防护门外30cm 处	740(2人留观×370MBq/人)	3.9	0.092	16.6	263	176		铅防护门	6
30		南侧墙体外30cm 处		2.4	0.092	16.6	263	176	实心砖	370	
31		东侧墙体外30cm 处		5.3	0.092	16.6	263	176		铅防护门	6
32		西侧墙体外30cm 处		4.1	0.092	16.6	263	176	实心砖	370	
33		北侧墙体外30cm 处		2.6	0.092	16.6	263	176	混凝土	240	
34		楼上 30cm 处		3.3	0.092	16.6	263	176	混凝土	260	
35	储源室(碘-131)	北侧墙体外30cm 处	74(最大日操作量)	1.8	0.0583	11	240	170	混凝土	240	铅柜+铅盒
36		东侧墙体外30cm 处		1.9	0.0583	11	240	170			铅防护门+铅柜+铅盒

37		西侧墙体防护门外 30cm 处 南侧墙体外 30cm 处 楼上 30cm 处		1.7	0.0583	11	240	170			铅防护门+铅柜+铅盒	45	1.21E-04
38				1.1	0.0583	11	240	170	混凝土	240	铅柜+铅盒	30	2.59E-04
39				3.3	0.0583	11	240	170	混凝土	260	铅柜+铅盒	30	2.19E-05
40	手套箱 测活 (碘-131)	手套箱外表 面	74 (最大日 操作量)	0.3	0.0583	11	240	170			铅手套箱	50	6.83E-04
41				1	0.0583	11	240	170			铅手套箱	50	6.14E-05
42	手套箱 分装 (碘-131)	手套箱外表 面	37 (单人单 次最大用 量)	0.3	0.0583	11	240	170			铅手套箱	50	6.83E-04
43				1	0.0583	11	240	170			铅手套箱	50	6.14E-05
44	接收/ 分装室 (碘-131)	北侧墙体外 30cm 处	37 (单人单 次最大用 量)	0.8	0.0583	11	240	170	混凝土	240			1.31E-01
45		北侧墙体外 30cm 处 (核 医学科大厅)		3.8	0.0583	11	240	170	混凝土	240			5.79E-03
46		南侧墙体外 30cm 处		5.3	0.0583	11	240	170	混凝土	240			2.98E-03
47		南侧铅防护 门外 30cm 处		5.3	0.0583	11	240	170			铅防护门	3	4.10E-02
48		西侧墙体外 30cm 处		2.2	0.0583	11	240	170	混凝土	240			1.73E-02
49		东侧墙体外 30cm 处		2.3	0.0583	11	240	170	混凝土	240			1.58E-02
50		楼上 30cm		3.3	0.0583	11	240	170	混凝土	260			5.85E-03

		处										
51	注射室 (碘-131)	注射位	37 (单人单次最大用量)	0.5	0.0583	11	240	170		铅手套箱	50	2.46E-04
52		北侧墙体 门外 30cm 处		3.7	0.0583	11	240	170		铅防护门	3	8.41E-02
53		东侧墙体铅 防护门外 30cm 处		3.5	0.0583	11	240	170	混凝土	240		6.82E-03
54		东侧墙体外 30cm 处		3.5	0.0583	11	240	170	混凝土	240		6.82E-03
55		南侧墙体外 30cm 处		1.4	0.0583	11	240	170	混凝土	240		4.26E-02
56		南侧墙体防 护门外 30cm 处		2.1	0.0583	11	240	170		铅防护门	4	2.12E-01
57		南侧墙体防 护门外 30cm 处		3.5	0.0583	11	240	170		铅防护门	4	7.62E-02
58		西侧墙体外 30cm 处		2.6	0.0583	11	240	170	混凝土	240		1.24E-02
59		楼上 30cm 处		3.3	0.0583	11	240	170	混凝土	260		5.85E-03
60	候诊室 (碘-131)	北侧墙体外 30cm 处	74 (2 人候 诊 × 37MBq/人)	2.6	0.0583	11	240	170	混凝土	240		2.47E-02
61		北侧铅防护 门外 30cm 处		2.5	0.0583	11	240	170		铅防护门	3	3.68E-01
62		东侧墙体外 30cm 处		3.4	0.0583	11	240	170	混凝土	240		1.45E-02

63		南侧墙体外 30cm 处 西侧防护门 外 30cm 处 西侧墙体外 30cm 处 楼上 30cm 处	37 (单人单 次最大用 量)	2.3	0.0583	11	240	170	混凝土	240			3.16E-02
64				3.3	0.0583	11	240	170			铅防护门	3	2.11E-01
65				3.4	0.0583	11	240	170	混凝土	240			1.45E-02
66				3.3	0.0583	11	240	170	混凝土	260			1.17E-02
67	SPECT 诊断病 人在留 观室 (碘 -131)	北侧铅防护 门外 30cm 处		3.3	0.0583	11	240	170			铅防护门	3	1.06E-01
68		北侧墙体外 30cm 处		2.3	0.0583	11	240	170	混凝土	240			1.58E-02
69		南侧墙体外 30cm 处		2.3	0.0583	11	240	170	混凝土	240			1.58E-02
70		南侧防墙体 外 30cm 处		2.3	0.0583	11	240	170	实心砖	370			1.17E-02
71		西侧防墙体 外 30cm 处		3.3	0.0583	11	240	170			铅防护门	3	1.06E-01
72		楼上 30cm 处		4	0.0583	11	240	170	混凝土	260			3.98E-03
73	SPECT /CT 机 房 (碘 -131)	摆位		1	0.0583	11	240	170			铅衣	0.5	1.94E+00
74		抢救位		1	0.0583	11	240	170			铅衣	0.5	1.94E+00
75		北侧墙体外 外 30cm 处		4.3	0.0583	11	240	170	实心砖	370			3.35E-03
76		东侧墙体外 30cm 处		3.3	0.0583	11	240	170	实心砖	370			5.69E-03
77		南侧观察窗 外 30cm 处		4.3	0.0583	11	240	170			铅防护门	4	5.05E-02

78		西侧墙体外 30cm 处		3.5	0.0583	11	240	170	实心砖	370			5.06E-03
79		西侧铅防护 门外30cm 处		3.8	0.0583	11	240	170			铅防护门	3	7.97E-02
80		楼上 30cm 处		3.3	0.0583	11	240	170	混凝土	260			5.85E-03
81	PET/C T 机房 (氟 -18)	摆位	370(单人单 次最大用 量)	1	0.092	16.6	263	176			铅手套箱	50	3.31E-02
82		抢救位		1	0.092	16.6	263	176			铅手套箱	50	3.31E-02
83		东侧墙体外 30cm 处		3.3	0.092	16.6	263	176	实心砖	370			1.22E-01
84		北侧墙体外 30cm 处		4.4	0.092	16.6	263	176	实心砖	370			6.89E-02
85		南侧墙体外 30cm 处		3.2	0.092	16.6	263	176	实心砖	370			1.30E-01
86		南侧观察窗 (控制室)外 30cm 处		4.4	0.092	16.6	263	176			铅防护门	4	1.01E+00
87		南侧铅防护 门 (控制室) 外 30cm 处		4.3	0.092	16.6	263	176			铅防护门	4	1.06E+00
88		西侧墙体外 30cm 处		3.2	0.092	16.6	263	176	实心砖	370			1.30E-01
89		楼上 30cm 处		3.3	0.092	16.6	263	176	混凝土	260			1.04E-01
90	PET/M RI 机房 (氟 -18)	摆位	370(单人单 次最大用 量)	1	0.092	16.6	263	176			铅手套箱	50	3.31E-02
91		抢救位		1	0.092	16.6	263	176			铅手套箱	50	3.31E-02
92		东侧墙体外 30cm 处		3.3	0.092	16.6	263	176	实心砖	370			1.22E-01
93		北侧墙体外		4.4	0.092	16.6	263	176	实心砖	370			6.89E-02

		30cm 处										
94		南侧墙体外 30cm 处	3.2	0.092	16.6	263	176	实心砖	370		1.30E-01	
95		南侧观察窗 (控制室)外 30cm 处	4.4	0.092	16.6	263	176			铅防护门	4	1.01E+00
96		南侧铅防护 门(控制室) 外 30cm 处	4.3	0.092	16.6	263	176			铅防护门	4	1.06E+00
97		西侧墙体外 30cm 处	3.2	0.092	16.6	263	176	实心砖	370		1.30E-01	
98		楼上 30cm 处	3.3	0.092	16.6	263	176	混凝土	260		1.04E-01	

表 11-10 核医学科内(核素病房区部分)各关注点辐射剂量率预测结果

对应 关注 点编 号	位置		A(药 物的放 射性活 度, MBq)	R(关注 点到 辐射源的 距离 (m))	f,1m 处 的周围 剂量当 量率, μSv·m ² · (hMBq) ⁻¹	TVL 铅	TVL 砖	TVL 混 凝 土	屏蔽材 料 1	厚度 (m m)	屏蔽材料 2	厚度 (mm)	辐射剂量 率(μSv/h)
1	核素病 房区-储 源室(碘 -131)	北侧墙体外 30cm 处	22000 (3 人× 7400MB q/人)	1.5	0.0583	11	240	170	实心砖	370	铅防护门+ 铅柜+铅盒	60	5.75E-05
2		东侧墙体外 30cm 处		1.5	0.0583	11	240	170	实心砖	370	铅防护门+ 铅柜+铅盒	60	5.75E-05
3		东侧墙体防 护门外		1.5	0.0583	11	240	170	实心砖	370	铅防护门+ 铅柜+铅盒	60	5.75E-05

		30cm 处											
4		南侧墙体外 30cm 处		1.3	0.0583	11	240	170	实心砖	370	铅防护门+铅柜+铅盒	60	7.66E-05
5		西侧墙体外 30cm 处		1.4	0.0583	11	240	170	实心砖	370	铅防护门+铅柜+铅盒	60	6.60E-05
6		楼上 30cm 处		3.3	0.0583	11	240	170	混凝土	350	铅柜+铅盒	40	3.61E-06
7		楼下 30cm 处		3.3	0.0583	11	240	170	混凝土	350	铅柜+铅盒	40	3.61E-06
8		核素病房区-手 套箱测活(碘 -131)	手套箱外表 面	7400 (单 人单次最 大用量)	0.3	0.0583	11	240	170		铅手套箱	50	1.37E-01
9					1	0.0583	11	240	170		铅手套箱	50	1.23E-02
10	核素病 房区-手 套箱分装(碘 -131)	手套箱外表 面	7400 (单 人单次最 大用量)	0.3	0.0583	11	240	170		铅手套箱	50	1.37E-01	
11					1	0.0583	11	240	170		铅手套箱	50	1.23E-02
12	核素病 房区-分 装室(碘 -131)	北侧墙体外 30cm 处	7400 (单 人单次最 大用量)	3.6	0.0583	11	240	170	实心砖	370		9.56E-01	
13		南侧墙体外 30cm 处		0.8	0.0583	11	240	170	混凝土	300		2.05E+00	
14		西侧铅防护 门外 30cm 处		5.9	0.0583	11	240	170			铅防护门	15	5.36E-01
15		西侧墙体外 30cm 处		5.9	0.0583	11	240	170	混凝土	300			2.13E-01

16		东侧墙体外 30cm 处	7400 (单人单次最大用量)	3	0.0583	11	240	170	混凝土	300			8.24E-01
17		楼上 30cm 处		3.3	0.0583	11	240	170	混凝土	350			3.46E-01
18		楼下 30cm 处		3.3	0.0583	11	240	170	混凝土	350			3.46E-01
19	核素病房区-服 药室(碘 -131)	东侧铅防护 门外 30cm 处		2.3	0.0583	11	240	170			铅防护门	15	1.24E+00
20		东侧墙体外 30cm 处		2.3	0.0583	11	240	170	混凝土	300			1.40E+00
21		北侧墙体外 30cm 处		1.4	0.0583	11	240	170	混凝土	300			2.05E+00
22		南侧墙体外 30cm 处		1.4	0.0583	11	240	170	混凝土	300			2.05E+00
23		东侧墙体防 护门外 30cm 处		2.5	0.0583	11	240	170			铅防护门	20	1.05E+00
24		楼上 30cm 处		3.3	0.0583	11	240	170	混凝土	350			3.46E-01
25		楼下 30cm 处		3.3	0.0583	11	240	170	混凝土	350			3.46E-01
26	核素病 房区-核 素病房 (碘 -131)	北侧墙体外 30cm 处	7400 (单人单次最大用量)	1.3	0.0583	11	240	170	混凝土	300			2.29E+00
27		东侧墙体外 30cm 处		1.5	0.0583	11	240	170	混凝土	300			2.05E+00
28		南侧墙体外 30cm 处		3.1	0.0583	11	240	170	混凝土	300			7.72E-01
29		西侧防护门		3.8	0.0583	11	240	170			铅防护门	15	1.29E+00

		外 30cm 处							
30		西侧墙体外 30cm 处	3.8	0.0583	11	240	170	混凝土	300
31		楼上 30cm 处	4.5	0.0583	11	240	170	混凝土	450
32		楼下 30cm 处	4.5	0.0583	11	240	170	混凝土	450

由上表各关注点估算结果可知,核医学科控制区外人员可到达处,距屏蔽体外表0.3m处的周围剂量当量率控制目标值不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$;控制区内屏蔽体外表0.3m的周围剂量当量率控制目标值不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$,距核医学工作场所各控制区内屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域,其周围剂量当量率小于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$;核医学科手套箱外表面0.3m处人员操作位处的周围剂量当量率控制目标值不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$,满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188—2021)的相关要求。实际上,病人在注射后等候室等待过程中,由于衰变作用导致病人体内核素的活度不断减少,因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

3、 β 表面沾污的防护措施

β 表面沾污的影响主要来源于医生操作时,放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面,对职业人员和公众造成辐射影响,因此,为了使本项目非密封放射性物质工作场所的 β 表面污染水平达到GB18871-2002规定的要求,环评要求建设方要做到以下防护措施:

- ①使用、操作放射性同位素的人员应经过培训,具备相应的技能与防护知识;
- ②开瓶、转移、标记、分离纯化等易产生放射性物质逸出或飞散的操作,其操作须在手套箱内进行;
- ③操作液体放射性物质应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行,并铺以吸水性好的材料;
- ④吸取液体的操作必须用合适的器具,严禁用口吸取;
- ⑤不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作;
- ⑥放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污,工作人员应进行淋浴;
- ⑦放射性药品用后应及时存放在专用柜内,需防盗、防水、防火、柜外应有电离辐射标志;
- ⑧做好就诊病人的管理,特别是已服药和注射放射性药品的病人管理工作,严格划定好控制区和监督区,禁止无关人员随处走动。
- ⑨如 β 表面污染水平超过GB18871-2002规定值,医院应暂停开展核医学活性区的相关业务,去污染经监测符合标准后方可重新开展业务,同时辐射工作人员出现手、皮肤、内衣、工作袜等出现污染情况(超过 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$)需及时进行去污操作并暂停放

射性物质操作评估其受照射剂量，并根据评估结果采取下一步措施（调整工作或接受治疗等）。

同时，经计算，本项目投运后，评价范围内职业人员受到的附加有效剂量低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的职业人员 20mSv/a，且满足职业人员 5mSv/a 的剂量约束值；公众受到的附加有效剂量最大为 0.0956mSv/a，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的公众 1mSv/a 剂量限值，且满足公众 0.1mSv/a 的剂量约束值。

根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离放疗科射线装置机房和核医学科辐射场所最近的关注点可以代表最大可能辐射有效剂量。在项目投入运营后，放疗科和核医学科产生的 X、 γ 射线经混凝土墙体、铅门屏蔽和距离衰减，核医学科使用的核素随着时间衰变后，周围环境保护目标年受照剂量远低于预测剂量，对放疗科和核医学科内以及门急诊医技住院楼周围公众影响更小。

4、辐射工作人员及公众个人剂量估算

（1）工作负荷及计算参数

1) SPECT 诊断

根据药物的使用方法和医务人员行走路径，医务人员一般不会长时间接触 SPECT 诊断显影病人，但在扫描时医务人员会近距离接触服药患者并协助摆位，因此职业照射估算分析按照患者均注射药物对工作人员的辐射影响。工作负荷及计算参数：SPECT 诊断显影药物测活、标记、分装均在 50mmPb 手套箱内进行。每天淋洗、测活、标记两次，每约 3min；SPECT 诊断显影药物 ^{99m}Tc 在手套箱中分装时，操作人员位于手套箱外表面 0.3m 处，该操作时间按照单份 1min 计。护士注射药物是在 50mmPb 当量的屏蔽窗口进行，每次注射用时约 30 秒，身体与注射器的直线距离约 0.5m。

受检者在摆位技师的辅助下（直线距离约 0.5m）进行扫描检查，摆位时间约 60 秒，摆位人员接触受检者的整个过程中均穿戴 0.5mmPb 个人防护用具。

2) PET 诊断

根据药物的使用方法和医务人员行走路径，医务人员一般不会长时间接触 PET 诊断显影病人，但在扫描时医务人员会近距离接触服药患者并协助摆位，因此职业照射估算分析按照患者均注射药物对工作人员的辐射影响。

工作负荷及计算参数：PET 诊断项目分装给药拟采用 PET 手套箱与人工注射。PET

诊断显影药物的分装可在 50mmPb 手套箱中进行，分装时辐射剂量率取手套箱外表面 0.3m 处的值，该操作时间按照单份 60 秒计。护士注射药物是在 50mmPb 当量的屏蔽窗口进行，每次注射用时约 30 秒，身体与注射器的直线距离约 0.3m。患者在接受药物注射后进入 PET 休息室候诊，然后进入 PET/CT 机房扫描，并在摆位技师的辅助下进行扫描检查，这一过程摆位人员与受检者的直线距离取 0.5m，摆位时间按 60 秒考虑，摆位人员接触受检者的整个过程中均穿戴 0.5mmPb 个人防护用具。

（2）辐射工作人员受照剂量预测

根据上述核医学科内屏蔽体外剂量率预测结果，个人年最大有效剂量估算公式如下：

$$H_r = H \cdot t \cdot T \cdot 10^{-3} \quad \text{式 (11-14)}$$

式中：

H_r —辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

H —辐射剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

t —年工作时间，h；

T —居留因子，职业人员保守按照 1 考虑，公众人员根据 NCRP144 中的取值进行考虑。

本项目核医学科拟配置辐射工作人员 11 人，其中 PET 诊断和 SPECT 诊断配置 8 人，均为新增人员。核医学科分装和注射均由护士负责，设备操作和摆位由技师负责，医生负责诊断，一班制，年工作时间为 250d。在严格按照设计提供的屏蔽防护方案建设后，辐射工作人员和周边公众年有效剂量计算结果如下：

表 11-11 核医学科所致辐射工作人员个人年有效剂量估算

操作	工作负荷		年工作负荷(h)	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	年有效剂量 (mSv)
	次 (s)	次/年			
分装和注射					
SPECT 测活	180	500	25.00	6.83E-04	1.71E-05
SPECT 分装	60	11750	195.83	6.83E-04	1.34E-04
SPECT 注射	30	11750	97.92	2.46E-04	2.41E-05
PET 分装	60	6250	104.17	5.72E-01	5.96E-02
PET 注射	30	6250	52.08	2.06E-01	1.07E-02
扫描和摆位					

SPECT 摆位	60	11750	195.83	1.94E+00	3.80E-01	2.11E+00
SPECT 扫描	900	11750	2937.50	5.05E-02	1.48E-01	
PET 摆位	60	6250	104.17	3.31E-02	3.45E-03	
PET 扫描	900	6250	1562.50	1.01E+00	1.58E+00	
抢救						
SPECT 病人抢救	1800	20	10.00	1.94E+00	1.94E-02	1.98E-02
PET 病人抢救	1800	20	10.00	3.31E-02	3.31E-04	

根据上表，负责扫描和摆位的技师最大年有效剂量为 2.11mSv/人，负责注射分装的护士受到的最大年有效剂量为 0.0705mSv/人，负责抢救的医生受到的最大年有效剂量为 0.0198mSv/人。

核医学科内辐射工作人员年有效剂量能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的“一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a”要求。

（3）环境保护目标的受照射剂量

本项目环境保护目标受到放疗科和核医学科的剂量叠加。在剂量叠加保护目标综合预测过程中，仅考场所屏蔽和距离衰减，不考虑其他建筑屏蔽。

保护目标年附加辐射剂量由下式进行计算：

$$E = H \times 10^{-3} \times q \times h \times W_T \quad \dots \dots \dots \quad (\text{式 11-15})$$

式中：

H—关注点的剂量当量（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）；

E—关注点的年剂量（ mSv/a ）；

h—年工作负荷（ h/a ）；

q—居留因子，经常有人员停留的地方取 1，有部分时间有人员停留的地方取 1/4，偶然有人员经过的地方取 1/16；

WT—组织权重因数，全身为 1。

表 11-12 环境保护目标辐射剂量率综合分析表

关注点编号	名称	对应射线装置/放射源	方位	对应关注点剂量率估算最大值（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	年最大照射时间（h）	居留因子	年最大辐射剂量（ mSv/a ）	照射类型

1#	消防过道	储源室 1 (SPECT)	东侧	9.69E-05	2000	0.0625	1.21E-05	公众
2#	过道及停车位	储源室 2 (PET)	西侧	8.12E-03	2000	0.25	4.06E-03	公众
3#	核医学科大厅	SPECT 分装室	北侧	5.79E-03	2000	0.25	2.89E-03	公众
4#	核医学科大厅	PET 分装室	北侧	9.24E-02	2000	0.25	4.62E-02	公众
5#	控制室 1	PETCT 机房	西侧	1.01E+00	2000	1	2.02E+00	职业
6#	控制室 2	SPECT 机房	南侧	5.05E-02	2000	1	1.01E-01	职业
7#	医生办公室、休息室等	PET/MR 机房、	东侧	1.22E-01	2000	1	2.45E-01	职业
8#	酒精及危化品库房	核医学科	楼上	5.67E-02	2000	0.25	2.84E-02	公众
9#	CCU 病房、过道、治疗区等	核素病房区	楼上	4.80E-02	2000	1	9.60E-02	公众
10#	-1F 过道、核医学科检查区等区域	核素病房区	楼下	4.80E-02	2000	1	9.60E-02	公众

根据上表，本项目投运后，评价范围内职业人员受到的附加有效剂量最大为 2.02mSv/a，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的职业人员 20mSv/a，且满足职业人员 5mSv/a 的剂量约束值；公众受到的附加有效剂量最大为 0.096mSv/a，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的公众 1mSv/a 剂量限值，且满足公众 0.1mSv/a 的剂量约束值。

根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离放疗科射线装置机房和核医学科辐射场所最近的关注点可以代表最大可能辐射有效剂量。在项目投入运营后，放疗科和核医学科产生的 X、 γ 射线经混凝土墙体、铅门屏蔽和距离衰减，核医学科使用的核素随着时间衰变后，周围环境保护目标年受照剂量远低于预测剂量，对放疗科和核医学科内以及门急诊医技住院楼周围公众影响更小。

5、 β 表面沾污的防护措施

β 表面沾污的影响主要来源于医生操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响，因此，为了使本项目

非密封放射性物质工作场所的 β 表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求，环评要求建设方要做到以下防护措施：

- ①使用、操作放射性同位素的人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；
- ②开瓶、转移、标记、分离纯化等易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作须在手套箱内进行；
- ③操作液体放射性物质应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料；
- ④吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取；
- ⑤不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；
- ⑥放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污，工作人员应进行淋浴；
- ⑦放射性药品用后应及时存放在专用柜内，需防盗、防水、防火、柜外应有电离辐射标志；
- ⑧做好就诊病人的管理，特别是已服药和注射放射性药品的病人管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动。
- ⑨如 β 表面污染水平超过 GB18871-2002 规定值，医院应暂停开展核医学活性区的相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务，同时辐射工作人员出现手、皮肤、内衣、工作袜等出现污染情况（超过 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）需及时进行去污操作并暂停放射性物质操作评估其受照射剂量，并根据评估结果采取下一步措施（调整工作或接受治疗等）。

2、III类射线装置运行时辐射环境影响分析

核医学科所使用的 III 类射线装置包括 PET/CT、SPECT/CT，额定管电压均为 150kV，根据《医用 X 射线治疗放射防护要求》（GBZ131-2017），在治疗状态下，当 X 射线管额定电压 $\leq 150\text{kV}$ 时，距 X 射线管焦点 1m 处的 X 射线源组件泄露辐射不超过 $1\text{mGy}/\text{h}$ 。经过至少 4mm 铅当量（查《辐射防护导论》图 18，取 150kV 的宽束 X 射线对 4mm 铅的透射系数为 8.0×10^{-3} ）的墙体、防护铅门和铅玻璃窗户的屏蔽作用，对周围的辐射环境影响较小。

3、V类放射源辐射环境影响分析

本项目 PET/CT 校准用放射源拟使用 V 类放射源，拟购于有资质单位销售厂家，

放射源在进场时带有至少 20mm 铅罐进行屏蔽，放射源的运输、装源、更换过程均由厂家负责，并由厂家承担相应过程中的辐射安全防护责任。放射源外面有不锈钢包壳，并存放在 20mm 铅当量铅罐中，日常存储于储源室 2 内，校准时由 PET/CT 操作人员着铅防护服、戴铅手套进行存取、转移，对操作人员辐射影响较小；校准时操作人员位于控制室内，经墙体屏蔽和距离衰减后辐射影响较小。

三、回旋加速器运行阶段辐射环境影响分析

（一）放射性药物制备区

在核素生产过程中，工作人员将原料送入回旋加速器机房后，回到操作室内设置相关参数，观察运行状态，在回旋加速器运行期间，不进入机房内。回旋加速器制药场所建成后，医院将实现 PET 用药自给自足，在制药区完成合成分装、质控后，再通过传药梯送至储源室。每天制药最多打靶 3 种核素，最多 4 次，每天打靶 3h，制药时工作人员仅在控制室操作，不进入机房。在核素生产过程中，主要环境影响因子为中子、 γ 射线、放射性废水、感生放射性物质、放射性固体废物等。

1、回旋加速器制药辐射环境影响分析

（1）回旋加速器运行时辐射环境影响分析

根据源项分析，回旋加速器运行过程主要的辐射影响因子为中子和 γ 射线。根据建

告中所列参数资料，源自该公司提供的技术资料见附件 12，拟采购的回旋加速器最大中子能量为 10MeV，该回旋加速器安装时采用了自屏蔽结构（见前文表 1-3），当回旋加速器正常运行时，该自屏蔽体各表面参考点的中子和 γ 射线的当量剂量率、平均能量、最大能量分别见表 11-14，其外部的能量场分布情况见图 11-4。

表 11-14 本项目回旋加速器最大能量和束流加速器表面 1 米外中子和伽马剂量率分布表

(回旋加速器周围 1m 处的剂量分布结果- γ)

(回旋加速器周围 1m 处的剂量分布结果- 中子)

图 11-4 回旋加速器周边剂量分布数值模拟结果图

由表 11-8 及图 11-5 可知, 本项目回旋加速器 γ 射线能量平均为 10MeV, 靶体表面 1m 处 γ 剂量率最大为 $55.9\mu\text{Sv}/\text{h}$, 靶体及机体表面 1m 处中子剂量率最大为 $112.7\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。由于正电子核素发生湮没反应后发出的 γ 射线能量远小于回旋加速器产生的 γ 射线的能量, 因此回旋加速器机房的屏蔽设计满足加速器产生的 γ 射线屏蔽要求, 同时也可屏蔽正电子核素产生的 γ 射线。本次预测关注点位见下图。

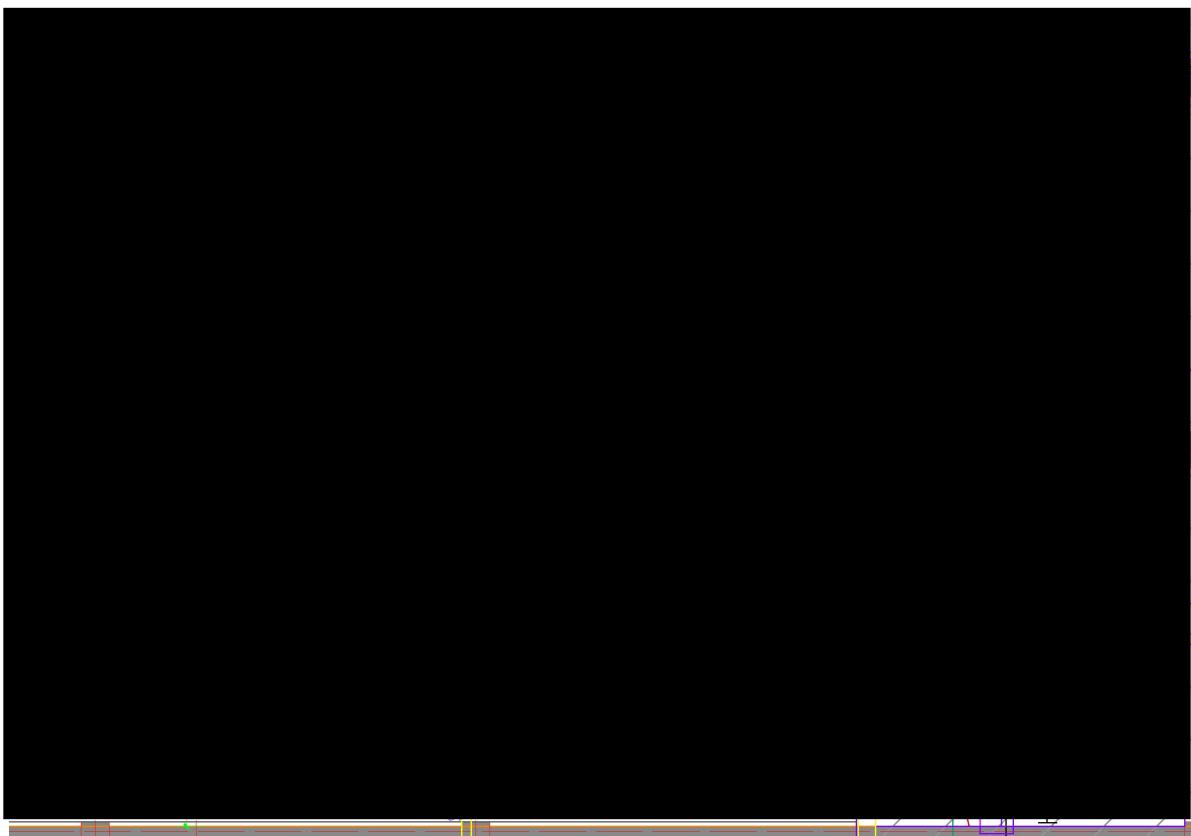


图 11-5 回旋加速器机房周围关注点示意图

① 屏蔽墙体外关注点辐射剂量率计算

根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020), 回旋加速器各屏蔽体外表面剂量率由下式估算:

$$H_R = \left(\frac{r_0}{R} \right)^2 \cdot \left(H_n \times 10^{-x/HVL_n} + H_\gamma \times 10^{-x/HVL_\gamma} \right) \quad \dots \dots \dots \text{式 11-16}$$

式中: H_R —回旋加速器机房外关注点处的剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

r_0 —参考点距靶心的距离, 取 1m;

H_n —参考点 r_0 处的中子剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

x —屏蔽墙厚度, cm;

HVL_n —中子射线的半值层厚度, cm; 根据《辐射防护导论》图 5.14 查得 20MeV 中子在混凝土中的半值层厚度约 11cm;

H_γ —参考点参考点 r_0 的 γ 射线剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

HVL_γ — γ 射线的半值层厚度, cm; 根据《Health Physics and Radiological Health (FOURTH EDITION)》图 6.11 查得 20 MeV γ 射线在混凝土中的半值层厚度约 15cm。

根据前文所列参数, 本项目各关注点周围剂量率计算结果见表 11-16。

表 11-16 各关注点剂量率计算参数及结果表

关注点	屏蔽体厚度 (cm)	关注点与射线源的距离 (m)	关注点处 γ 剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	关注点处中子剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	合计剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	备注
A ₂	100	5.6	3.84E-07	7.74E-07	1.16E-06	控制室 1
B	100	6.2	3.13E-07	2.38E-09	3.16E-07	控制室 2
C	100	4.7	5.45E-07	4.14E-09	5.49E-07	进风扩散室、风井房
D	100	4.8	5.23E-07	3.97E-09	5.27E-07	储藏间
E	100	6.1	3.24E-07	2.46E-09	3.26E-07	污洗间
F	100	5.2	4.45E-07	3.38E-09	4.49E-07	废药间
G	100	4.7	5.45E-07	4.14E-09	5.49E-07	热室
H	100	3.3	3.98E-07	3.02E-09	4.01E-07	楼上 (1F 层 VIP 治疗舱、控制室、储气罐等)

根据上述公式预测可知, 回旋加速器机房在现有屏蔽设计和最大工况运行条件下, 屏蔽体外辐射剂量率最大值为 1.16E-06, 远低于 2.5 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 控制剂量率限值, 本项目回旋加速器机房屏蔽体厚度能够满足屏蔽防护的要求。

②铅防护门外辐射剂量率分析

本项目回旋加速器机房迷道入口处拟设采用 2cmPb+25cmPE 厚铅防护门, 对于防护门外的辐射剂量率, 可通过以下公式计算:

$$H_2 = H_1 \cdot 10^{(-X/TVL)} \quad \dots \text{式 11-17}$$

$$\dot{H}_2 = H_1 \cdot 10^{(-X/TVL)} \cdot e^{-\Sigma r \cdot d} \quad \text{式 11-18}$$

式中: H_2 —防护门外的 γ 辐射剂量率;

H_2 —防护门外的中子辐射剂量率;

H_1 —未经过防护门屏蔽的辐射剂量率, 中子辐射剂量率 $2.84\mu\text{Sv}/\text{h}$, γ 辐射剂量率为 $1.41\mu\text{Sv}/\text{h}$;

X —屏蔽材料厚度;

TVL —射线的什值层厚度, 中子和 γ 射线均保守按照 0.5MeV 进行取值, 取 1.2cm ;

Σr —屏蔽材料对中子的宏观分出截面, 石蜡为 0.123cm^{-1} ;

d —屏蔽材料厚度, 聚乙烯厚度为 25cm

铅防护门外的剂量率计算参数及结果如下:

表 11-17 铅防护门外剂量率计算参数及结果表

关注点	屏蔽体 1 厚度 (cm)	屏蔽体 2 厚度 (cm)	关注点与射线源的距离 (m)	关注点处 γ 剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	关注点处中子剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	合计剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	备注
A ₁	2	25	6.3	3.03E-02	2.83E-03	3.32E-02	铅防护门外

经计算, 中子透射在防护门外造成的辐射剂量率为 $2.83\text{E-}03\mu\text{Sv}/\text{h}$, γ 射线透射在防护门外造成的辐射剂量率 $3.03\text{E-}02\mu\text{Sv}/\text{h}$, 合计剂量率为 $3.32\text{E-}02\mu\text{Sv}/\text{h}$, 小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的剂量率参考控制水平。因此, 本项目回旋加速器打靶作业时, 回旋加速器机房防护门能够满足要求剂量率参考控制水平。

(2) 放射性核素传输过程辐射环境影响分析

放射性药物在管线中输送时 (管道屏蔽厚度为 5mm 铅套管+ 60mm 铅盖板) 保守按照点源进行计算, 源强保守取单次生产量最大的氟-18 (3.0Ci) 核素进行核算, 每种核素每天最多两次打靶。

参照《核医学科放射防护要求》 (GBZ120-2020) 附录 I.1 公式推导, 放射性核素传输过程关注点处辐射剂量率计算公式如下

$$H = \frac{A \times \Gamma \times 10^{-X/TVL}}{R^2} \quad \text{式 11-19}$$

式中: H —关注点的剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

A—单日最大生产核素活度, $1.11 \times 10^5 \text{ MBq}$ (3.0Ci) ;

Γ —1m 处的周围剂量当量率, 取 $0.143 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot (\text{hMBq})^{-1}$;

R—关注点到辐射源的距离, 取 1m;

X—拟采用的屏蔽厚度, 65mm;

TVL— γ 射线在相应屏蔽材料中的十值层, 取 16.6mm。

经计算, 放射性药物在传输过程中, 管沟上方辐射剂量率最大为 $1.11 \mu\text{Sv/h}$, 管沟上方辐射剂量率满足 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的控制剂量率要求。

(3) PET 诊断药物合成、分装过程关注点处辐射剂量率计算

为保守考虑, 核算热室产生的辐射影响时, 选取操作量和周围剂量当量率常数均相对较大的氟-18 和氮-13 作为源项进行辐射剂量率的计算; 固体靶制备室以铜-64、锆-89 作为源项进行辐射剂量率的计算。

根据源项分析, 操作过程中主要辐射因子为 γ 射线产生的贯穿辐射和 β 离子产生的轫致辐射。 γ 射线产生的贯穿辐射由式 11-19 式计算。根据《辐射防护导论》(P133), 韧致辐射在空气中的吸收剂量率计算公式如下:

$$D = 4.58 \times 10^{-14} \cdot A \cdot Z \cdot \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot (\mu_{en}/\rho) \quad \text{式 11-20}$$

式中: D—屏蔽层中 β 粒子产生的轫致辐射在 $r(0.5\text{m})$ 处空气中的吸收剂量率 Gy/h ;

A—源活度, Bq ;

Z—吸收 B 粒子介质(或靶核)的有效原子序数, 来源于《辐射防护导论》表 4.4;

μ_{ew}/ρ —平均能量为 E_b ($E_b=E_{\max}/3$) 的轫致辐射在空气中质量能量吸收系数 $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, 由《辐射防护导论》附表 1 内插法查得;

r—计算点与放射源之间的距离, m 。

根据《辐射防护导论》(P134)经屏蔽体衰减后, 屏蔽体外剂量当量率由下式计算:

$$\dot{D} = D \cdot 10^{-X/TVL} \quad \text{式 11-21}$$

式中: \dot{D} —屏蔽体外剂量当量率, Gy/h ;

X—屏蔽层厚度, cm ;

TVL—屏蔽层在 β 粒子平均能量下的什值层厚度, cm , 由《辐射防护导论》表 3.5 查得。

①PET 药物制备辐射剂量率计算

热室合成分装柜表面辐射剂量率计算参数取值及计算结果见表 11-18 及表 11-9。

表 11-18 热室周围 γ 射线辐射剂量率计算表

操作核素 名称	^{18}F				^{13}N			
	热室 柜人 员操 作位	热室 柜其 他方 向	热室周 围	楼上	热室柜 人员操 作位	热室 柜其 他方 向	热室周 围	楼上
γ 射线能量 (MeV)	0.511	0.511	0.511	0.511	0.511	0.511	0.511	0.511
操作活度 (MBq)	6.4E+ 04	6.4E+ 04	6.4E+04	6.4E+04	3.70E+0 4	3.70E +04	3.70E+04	3.70E+04
周围剂量 率当量常 数(裸源) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2$ /MBq·h)	0.143	0.143	0.143	0.143	0.148	0.148	0.148	0.148
操作距离 (m)	0.5	0.6	1.7	3.3	0.5	0.6	1.7	3.3
屏蔽材料 及厚度	70mm Pb	70mm Pb	70mmPb +300mm 混凝土	70mmPb +260mm 混凝土	70mm Pb	70mm Pb	70mmPb+ 300mm 混 凝土	70mmPb +260mm 混凝土
γ 射线什值 层厚度 (mm) *	16.6	16.6	16.6/176	16.6/176	16.6	16.6	16.6/176	16.6/176
γ 射线剂 量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.22	1.54	3.79E-03	1.70E-03	1.33E+0 0	9.23E -01	2.27E-03	1.02E-03

*注：由《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)表 I.1 查得。

表 11-19 热室周围轫致辐射剂量率计算表

操作核素 名称	^{18}F				^{13}N			
	热室 柜人 员操 作位	热室 柜其 他方 向	热室周 围	楼上	热室柜 人员操 作位	热室 柜其 他方 向	热室周 围	楼上
β 粒子能 量(MeV)	0.635	0.635	0.635	0.635	1.19	1.19	1.19	1.19
β 粒子平 均能量 (MeV)	0.21	0.21	0.21	0.21	0.40	0.40	0.40	0.40
单次操作 活度 (MBq)	6.4E+ 04	6.4E+ 04	6.4E+04	6.4E+04	3.70E+0 4	3.70E+0 4	3.70E+0 4	3.70E+04
质量能力 吸收系数 ($\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.69E -03	2.69E- 03	2.69E-03	2.69E-03	2.95E-0 3	2.95E-0 3	2.95E-03	2.95E-03

操作距离 (m)	0.5	0.6	1.7	3.3	0.5	0.6	1.7	3.3
屏蔽材料 及厚度	70mm Pb	70mm Pb	70mmPb +300mm 混凝土	70mmPb +260mm 混凝土	70mm Pb	70mm Pb	70mmPb + 300mm 混凝土	70mmPb +260mm 混凝土
有效原子 序数	82	82	82	82	82	82	82	82
轫致辐射 什值层厚 度	1.43	1.43	1.43	1.43	2.78	2.78	2.78	2.78
剂量转换 因子	1	1	1	1	1	1	1	1
轫致辐射 剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.28E -31	8.87E- 32	1.10E-32	2.93E-33	1.73E-0 7	1.20E-0 7	1.50E-08	3.98E-09

经上述公式计算可知，轫致辐射对周围剂量率贡献较小。叠加 γ 射线辐射剂量率和轫致辐射后，热室屏蔽体外正对人员操作位辐射剂量率最大值为 $2.22\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 控制剂量率要求；非正对人员操作位辐射剂量率最大值为 $1.54\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 控制剂量率要求；热室四周及楼上辐射剂量率最大为 $3.79 \times 10^{-3}\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，远低于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 控制剂量率要求。

②固体靶制备室辐射剂量率计算

固体靶制备室辐射剂量率计算参数取值及计算结果见表 11-20 及表 11-21。

表 11-20 固体靶制备室 γ 射线辐射剂量率计算表

操作核素 名称	^{64}Cu				^{89}Zr			
	热室 柜人 员操 作位	热室柜 其他方 向	热室周 围	楼上	热室柜 人 员操 作位	热室柜 其 他方 向	热室周 围	楼 上
γ 射线能量 (MeV)	1.346	1.346	1.346	1.346	0.511	0.511	0.511	0.511
操作活度 (MBq)	1.85E +04	1.85E+0 4	1.85E+ 04	1.85E+04	8.33E+0 3	8.33E+03	8.33E+ 03	8.33E+03
周围剂量 率当量常 数(裸源) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2$ /MBq·h)	0.029	0.029	0.029	0.029	0.20	0.20	0.20	0.20
操作距离 (m)	0.5	0.6	1.7	3.3	0.5	0.6	1.7	3.3
屏蔽材料 及厚度	70mm Pb	70mm Pb	70mm Pb+30 0mm	70mmPb +260mm 混凝土	70mm Pb	70mm Pb	70mmP b+ 300mm 混凝土	70mmPb +260mm 混凝土

γ 射线什值 层厚度 (mm) *	16.6	16.6	16.6/17 6	16.6/176	16.6	16.6	16.6/17 6	16.6/176
γ 射线剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.30E -01	9.04E-02	2.22E- 04	9.96E-05	4.04E-0 1	2.81E-01	6.91E-0 4	3.09E-04

*注：由《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)表I.1查得。

表 11-19 热室周围韧致辐射剂量率计算表

操作核素 名称	^{64}Cu				^{89}Zr			
	热室 柜人 员操 作位	热室 柜其 他方 向	热室周 围	楼上	热室柜 人 员操 作位	热室柜 其 他方 向	热室周 围	楼上
β 粒子能 量(MeV)	0.657	0.657	0.657	0.657	0.396	0.396	0.396	0.396
β 粒子平 均能量 (MeV)	0.22	0.22	0.22	0.22	0.13	0.13	0.13	0.13
单次操作 活度 (MBq)	1.85E +04	1.85E +04	1.85E+04	1.85E+04	8.33E+0 3	8.33E+0 3	8.33E+0 3	8.33E+03
质量能力 吸收系数 ($\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$)	2.64E -03	2.64E- 03	2.64E-03	2.64E-03	2.94E-0 3	2.94E-0 3	2.94E-03	2.94E-03
操作距离 (m)	0.5	0.6	1.7	3.3	0.5	0.6	1.7	3.3
屏蔽材料 及厚度	70mm Pb	70mm Pb	70mmPb +300mm 混凝土	70mmPb +260mm 混凝土	70mm Pb	70mm Pb	70mmPb +300mm 混凝土	70mmPb +260mm 混凝土
有效原子 序数	82	82	82	82	82	82	82	82
韧致辐射 什值层厚 度	1.49	1.49	1.49	1.49	0.72	0.72	0.72	0.72
剂量转换 因子	1	1	1	1	1	1	1	1
韧致辐射 剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	3.72E -30	2.58E- 30	3.22E-31	8.54E-32	3.73E-8 1	2.59E-8 1	3.22E-82	8.56E-83

经上述公式计算可知，韧致辐射对周围剂量率贡献较小。叠加 γ 射线辐射剂量率和韧致辐射后，固体靶制备室外正对人员操作位辐射剂量率最大值为 $0.13\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 控制剂量率要求；非正对人员操作位辐射剂量率最大值为 $0.404\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ 控制剂量率要求；固体靶制备室四周及楼上辐射剂量率最大为

$6.91 \times 10^{-4} \mu\text{Sv}/\text{h}$, 远低于 $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 控制剂量率要求。

2、药物淋洗制备辐射环境影响分析

本项目还拟使用外购 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 发生器淋洗制备 ^{68}Ga , 镉发生器的暂存、淋洗工作场所位于热室南侧专门的镉发生器间内, 淋洗生产 ^{68}Ga 的辐射剂量率计算参数取值及计算结果见表 11-22 及表 11-23。

表 11-22 制备 ^{68}Ga 时 (在镉发生器间内) γ 射线辐射剂量率计算表

操作核素名称		^{68}Ga		
关注点位置	人员操作位	其他方向	镉发生器间周围	楼上
γ 射线能量 (MeV)	0.511	0.511	0.511	0.511
操作活度 (MBq)	9.25E+02	9.25E+02	9.25E+02	9.25E+02
周围剂量率当量常数 (裸源) ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$)	0.134	0.134	0.134	0.134
操作距离 (m)	0.5	0.6	1.7	3.3
屏蔽材料及厚度	70mm Pb	70mm Pb	70mmPb	70mmPb+260mm 混凝土
γ 射线什值层厚度 (mm) *	16.6	16.6	16.6	16.6
γ 射线剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	3.01E-02	2.09E-02	5.14E-05	2.30E-05

*注: 由《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 表 I.1 查得。

表 11-23 制备 ^{68}Ga 时韧致辐射剂量率计算表

操作核素名称		^{68}Ga		
关注点位置	人员操作位	其他方向	镉发生器间周围	楼上
β 粒子能量 (MeV)	1.8991	1.8991	1.8991	1.8991
β 粒子平均能量 (MeV)	0.63	0.63	0.63	0.63
单次操作活度 (MBq)	8.33E+03	8.33E+03	8.33E+03	8.33E+03
质量能力吸收系数 ($\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$)	2.94E-03	2.94E-03	2.94E-03	2.94E-03
操作距离 (m)	0.5	0.6	1.7	3.3
屏蔽材料及厚度	70mm Pb	70mm Pb	70mmPb	70mmPb
有效原子序数	82	82	82	82
韧致辐射什值层厚度	3.76	3.76	3.76	3.76
剂量转换因子	1	1	1	1
韧致辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	3.53E-01	2.45E-01	3.05E-02	8.10E-03

经上述公式计算可知, 韧致辐射对周围剂量率贡献较小。叠加 γ 射线辐射剂量率和

韧致辐射后，制备⁶⁸Ga时室外正对人员操作位辐射剂量率最大值为0.383μSv/h，满足2.5μSv/h控制剂量率要求；非正对人员操作位辐射剂量率最大值为0.266μSv/h，满足25μSv/h控制剂量率要求；制备⁶⁸Ga时热室四周及楼上辐射剂量率最大为 $3.06 \times 10^2 \mu\text{Sv/h}$ ，远低于2.5μSv/h控制剂量率要求。

3、药物质控辐射环境影响分析

全检质检室内手套箱单次只操作1种核素，本次选择操作量最大的2种代表核素（¹⁸F、¹³N）作为源项进行辐射剂量率的计算，每次种同位素每天最多2次，每次最多取用100uCi（0.37MBq），计算结果详见表11-24。

表11-24 药物质控γ射线辐射剂量率计算表

操作核素名称	¹⁸ F		¹³ N	
	手套箱周围	楼上	手套箱周围	楼上
γ射线能量(MeV)	0.511	0.511	0.511	0.511
操作活度(MBq)	0.37	0.37	0.37	0.37
周围剂量率当量常数(裸源)(μSv·m ² /MBq·h)	0.143	0.143	0.148	0.148
操作距离(m)	0.5	3.3	0.5	3.3
屏蔽材料及厚度	30mmPb	30mmPb+200mm混凝土	30mmPb	30mmPb+200mm混凝土
γ射线什值层厚度(mm)*	16.6	16.6/176	16.6	16.6/176
γ射线剂量率(μSv/h)	3.30E-03	5.53E-06	2.04E-01	5.73E-06

*注：由《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表I.1查得。

经计算，全检质检室内手套箱屏蔽体外最大辐射剂量率为 $2.04 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，满足2.5μSv/h控制剂量率要求，楼上辐射剂量率最大为 $2.44 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$ ，满足2.5μSv/h控制剂量率要求。

4、其他区域屏蔽体外辐射剂量率分析

①质控：PET用药物制备完成后，工作人员进入热室将热室柜内取出质控需要的药物量，装入药物的铅罐（10mmPb），通过通道进入全检质控室，在全检全检质控室进行检测。每种核素药物每次制备完成后均需在质控室手套箱（10mmPb）中进行质控，每次药物抽检100uCi（3.7MBq），每次质控时间为5min。

②阳性对照：阳性对照由质控人员在阳性对照室的生物安全柜内完成。每次用量约10uCi（0.37MBq），每次操作时间约5min，身体与药物的直线距离取0.3m。屏蔽措施为质控人员的铅衣、铅手套和铅眼镜（均为0.5mmPb）。

③质控完成，再在热室柜中将放射性药物装入铅罐（50mmPb），经过外包、留样和贴标签后，通过核素通道和传药梯将放射性药物送入一层储源室。

放射性药物制备区制备的各种放射性核素中，本次选择 γ 射线能量、周围剂量当量率常数、生产制备量最大的 ^{18}F 进行分析评价，计算公式为式 11-25。

表 11-25 其他区域关注点处辐射剂量率估算结果表

关注点位置		距离 (m)	屏蔽防护设计	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
全检质控室 (源强 3.7MBq)	手套箱外表面	0.5	手套箱 30mmPb	3.30E-02
	东侧墙体外 30cm 处 (热室)	1.1	手套箱 30mmPb+混凝土 300mm	1.35E-04
	南侧墙体外 30cm 处 (更衣间、无菌检测室)	2.3	手套箱 30mmPb+混凝土 300mm	3.08E-05
	西侧墙体外 30cm 处 (过道)	5.8	手套箱 30mmPb+混凝土 300mm	4.84E-06
	防护门外 30cm 处 (过道)	5.8	手套箱 30mmPb+铅防护门 10mmPb	6.12E-05
	北侧墙体外 30cm 处 (阳性对照室、更衣间)	2.8	手套箱 30mmPb+混凝土 300mm	2.08E-05
	正上方区域 (核素病房区的视频探视、接待询问室)	3.3	手套箱 30mmPb+混凝土 200mm	5.53E-05
阳性对照间 (源强: 0.37MBq)	人员操作位	0.3	铅手套、防护服 (0.5mmPb)	5.48E-01
	东侧墙体外 30cm 处 (更衣间)	3.4	混凝土 200mm	3.34E-04
	东侧防护门外 30cm 处(更衣间)	3.5	铅防护门 10mmPb	1.08E-03
	南侧墙体外 30cm 处 (全质质控室室)	2.7	混凝土 200mm	5.30E-04
	西侧墙体外 30cm 处 (过道)	0.9	混凝土 200mm	4.77E-03
	北侧墙体外 30cm 处 (普通实验室)	1.3	混凝土 200mm	2.29E-03
	正上方区域 (核素病房区的储存更衣间)	3.3	混凝土 200mm	3.55E-04
核素通道 (源强: 7400MBq)	送药铅罐外表面	1.2	铅罐 (50mmPb)	7.15E-01
	东侧墙体外 30cm 处	1.1	铅罐 (50mmPb) +混凝土 200mm	1.68E-02
	西侧墙体外 30cm 处	1.1	铅罐 (50mmPb) +混凝土 200mm	6.21E-02
	防护门外 30cmch	1.1	铅罐 (50mmPb) +混凝土 200mm	6.21E-02

	正上方区域(核素病房区)	3.3	铅罐 (50mmPb) + 混凝土 200mm	6.90E-03
传药梯 (源强: 7400MBq)	四周墙体外 30cm 处	1.5	200mm 混凝土+铅罐 (50mmPb)	3.34E-02

根据上述公式计算, 正常工作状态下, 屏蔽体外辐射剂量率最大为 $0.715\mu\text{Sv}/\text{h}$, 满足《核医学辐射防护与安全要求》6.1 中“放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构, 以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ”的要求。

5、环境保护目标的受照射剂量

保护目标年附加辐射剂量由下式进行计算:

$$E = H \times 10^{-3} \times q \times h \times W_T \quad \dots \dots \dots \quad (\text{式 11-20})$$

式中:

H—关注点的剂量当量 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) ;

E—关注点的年剂量 (mSv/a) ;

h—年工作负荷 (h/a) ;

年工作时间按下表计算。

表 11-26 回旋加速器辐射工作人员工作时间表

工作场所	工作内容	操作内容	操作时间	年最大操作时间 (h)
回旋加速器控制室	制药	打靶植被	每天制药最多打靶 3 种核素, 最多 4 次, 每天打靶 3h	750
热室	淋洗制备	发生器淋洗、标记	每天每种发生器最多淋洗一次, 每天最多 1.5h	375
	取药操作	从模块内取出需要转运和质控的药物	3min/次, 每天最多 21min	87.5
核素通道	放射药物转运	放射药物转运	3min/次, 每天最多 21min	87.5
全检质控室	质控	质控检测	10min/次, 每天最多 40min	166.8
阳性对照间	对照检测	阳性对照检测	10min/次, 每天最多 40min	166.8

q—居留因子, 经常有人员停留的地方取 1, 有部分时间有人员停留的地方取 $1/4$, 偶然有人员经过的地方取 $1/16$;

WT—组织权重因数，全身为 1。

表 11-27 环境保护目标辐射剂量率综合分析表（回旋加速器）

关注点编号	名称	对应射线装置/放射源	方位	对应关注点剂量率估算最大值（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	年最大照射时间（h）	居留因子	年最大辐射剂量（ mSv/a ）	照射类型
1#	进风扩散室	回旋加速器机房	东侧	8.31E-07	750	0.0625	3.90E-08	公众
2#	储藏间	回旋加速器机房	南侧	7.97E-07	750	0.0625	3.74E-08	公众
3#	过道	全质质控室	西侧	6.12E-05	750	0.0625	2.87E-06	公众
4#	普通实验室	阳性对照室	北侧	2.29E-03	750	1	1.72E-03	公众
5#	淋浴间	热室	北侧	2.27E-03	750	0.25	4.26E-04	公众
6#	配电室	回旋加速器机房	北侧	4.78E-07	750	0.0625	2.24E-08	公众
7#	楼上（1F层VIP治疗舱、控制室、储气罐等）	回旋加速器机房	楼上	6.07E-07	750	1	4.55E-07	公众
8#	核素病房区的视频探视、接待询问室	全检质控室	楼上	5.53E-05	750	1	4.15E-05	公众
9#	核素病房区的储存更衣间	阳性对照间	楼上	3.55E-04	750	0.25	6.65E-05	公众
10#	核素病房区	核素通道	楼上	6.90E-03	750	1	5.18E-03	公众
11#	控制室	回旋加速器机房	北侧	2.20E-06	750	1	1.65E-06	职业
12#	热室	淋洗制备	/	2.04E-01	375	1	7.66E-02	职业
13#		取药操作	/	2.04E-01	87.5	1	1.79E-02	职业
14#	核素通道	放射药物转运	/	3.34E-02	87.5	1	2.92E-03	职业
15#	全检质控室	质控检测	/	3.30E-02	166.8	1	5.50E-03	职业
16#	阳性对照间	阳性对照检测	/	5.48E-01	166.8	1	9.15E-02	职业

根据上表，本项目投运后，评价范围内职业人员受到的附加有效剂量最大为0.0915 mSv/a ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的

职业人员 20mSv/a ，且满足职业人员 5mSv/a 的剂量约束值；公众受到的附加有效剂量最大为 $5.18\text{E}\times 10^3\text{mSv/a}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的公众 1mSv/a 剂量限值，且满足公众 0.1mSv/a 的剂量约束值。

6、感生放射性物质影响分析

本项目回旋加速器以高射线能量运行 ($>10\text{MeV}$) 时，光-核反应产生的中子与回旋加速器结构材料和空气发生的 (n, γ) 反应产生感生放射性，空气中会产生少量感生放射性气体。回旋加速器在打靶运行过程中因射线强辐射作用，在空气中会产生极少量臭氧和微量氮氧化物等有害气体，还会产生少量 ^{11}C 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{41}Ar 等放射性废气。这些物质浓度过高会影响辐射工作人员健康。在回旋加速器打靶期间，由于加速器机房有足够的结构屏蔽，其部件产生的感生放射性不会危害屏蔽体外的工作人员，且本项目回旋加速器机房内除设备检修及更换靶材料外无人员进入，因此不考虑其对工作人影响。

根据建设单位提供的资料，回旋加速器机房拟设置排风风机，排气次数不低于 10 次/h，排放口位于核医学科楼西北侧楼顶。产生的感生放射性物质其中 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 半衰期很短，在很短时间内即可发生衰变，故可以不予考虑。主要考虑 ^{41}Ar 的影响，由于空气中可以生成 ^{41}Ar 的 ^{40}Ar 含量仅为 1.3%，加上产生 ^{41}Ar 的活化反应截面很小，所以 ^{41}Ar 的生成率极其微小。因此，排出的感生放射性气体对周围公众的影响可以忽略不计。

四、DSA 辐射环境影响分析

本项目在医院门急诊医技住院大楼二层介入中心新建 7 间 DSA 机房，在医院门急诊医技住院大楼四层手术中心新建 1 间 DSA 复合手术室，在医院门急诊医技住院大楼三层内镜中心新建 1 间纤支镜 DSA 室，在医院平急结合裙楼（位于门急诊医技住院大楼东侧平急结合裙楼区）的一层新建 1 间 DSA 机房，在医院动物楼一层新建 1 间 DSA 机房。

本项目 DSA 投运后，介入实验操作过程中，机房外四周、楼下的保护目标均受到 X 射线散射和漏射影响，楼上顶部受到主射影响；DSA 机房内的辐射工作人员受到散射和漏射的影响。

本次评价采用模式预测的方法进行影响分析各 DSA 机房周围的辐射环境影响。根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离手术室最近关注点受到的辐射剂量

量可以代表评价范围内可能受到的最大辐射有效剂量。

1、关注点选取

关注点选取在距离机房墙、观察窗、防护门外 0.3m 处、机房楼上（距地面 100cm 处），机房地面下方（楼下）距楼下地面 170cm 处。

2、运行工况及参数选择

根据建设单位提供资料，拟在内部设置 11 间 DSA 机房，在机房内各安装使用 1 台额定管电压为 125kV、额定管电流为 1000mA 的数字减影血管造影机（DSA），具体设备型号未定，属于Ⅱ类射线装置，用于开展介入手术，多科室使用。

本项目拟使用的 11 台 DSA 设备最大管电压均为 125kV，最大管电流均为 1000mA；正常工况时，不同手术类型和不同患者身体状况都会影响管电压和管电流的参数，实际使用时管电压通常在 90kV 以下，透视管电流通常为十几毫安，摄影时功率较大，管电流通常为几百毫安。根据建设单位核实，本项目拟使用的 DSA 常用最大透视管电压 90kV、最大拍片管电压 100kV，本次评价保守均按照各模式下最大管电压、管电流进行估算。

3、理论预测

（1）计算模式

①年附加有效剂量估算

$$E=H \times 10^{-3} \times h \times W_T \dots \dots \dots \text{式 11-21}$$

式中： H —关注点的剂量当量率（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）；

E —关注点的附加有效剂量（ mSv/a ）；

h —工作负荷（ h/a ）；

W_T —组织权重因子，取 1。

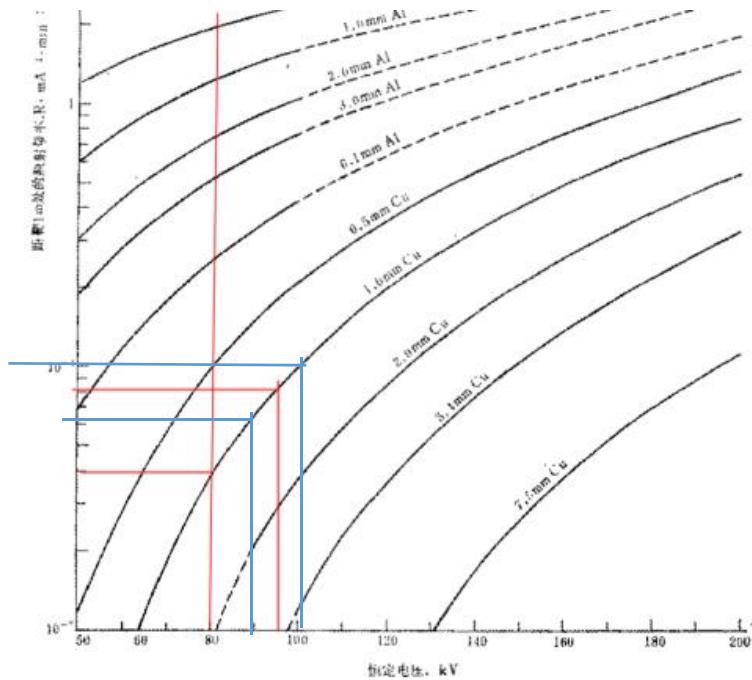
②主射线束剂量估算

根据《辐射防护手册》（第一分册）（李德平、潘自强主编），DSA 拍片和脉冲透视过程对主射方向 DSA 机房屋顶的公众所造成的辐射剂量可按下式估算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{X}_{lm}}{R^2} \cdot I \cdot \mu \cdot \eta \cdot B \times 8.73 \times 10^3 \times 60 \times W_R \dots \dots \dots \text{式 11-22}$$

式中： \dot{H} —关注点处的当量剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

X_{1m}^{\bullet} —每 mA 管电流产生的 X 射线在 1m 处的照射量率, $\text{R}\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; 本项目 DSA 过滤片 1mmCu (来源于业主方提供的设备参数确认表), 查《辐射防护手册》(第一分册) 图 4.4c, 当透视模式 (90kV) 时, 查得 $X_{1m}^{\bullet} = 0.07\text{R}\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; 当拍片模式 (100kV) 时, 查得 $X_{1m}^{\bullet} = 0.1\text{R}\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。其取值结果图如下:



(3) 4.4c 恒定电压为50—200kV的X射线机的输出量¹⁴¹
对于半波发生器, 输出量约为图中所示数值的1/3—1/2。

236

图 11-6 每 mA 管电流产生的 X 射线在 1m 处的照射量率取值结果图

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

I —管电流, mA;

μ —利用因子, 取 1;

η —对防护区的占用因子, 表示人员在防护区停留的时间;

W_R —辐射权重, X 射线为 1;

B —屏蔽透射因子, 按照《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)附录

C 中公式计算:

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma x} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \dots \dots \dots \text{式 11-23}$$

式中: α 、 β 、 γ —不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数;

X—铅厚度, mm。

$$X = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln \left(\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right) \quad \text{式 11-24}$$

式中：X—不同屏蔽物质的铅当量厚度；

α 、 β 、 γ —不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

B—给定铅厚度的屏蔽透射因子，mm。

本项目 DSA 常用最大透视管电压 90kV、最大拍片管电压 100kV，查《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 C.2 的 X 射线辐射衰减有关的拟合参数，因此，透视工况采用表中 90kV、拍片工况采用表中 100kV 对应的 X 射线辐射衰减有关的拟合参数。散射线的透射因子将根据实际情况，采用常用工况下散射线拟合参数进行计算；泄漏射线因和主射线能量一样，故采用常用工况下主射线拟合参数计算其透射因子。

表 11-28 屏蔽材料对 X 射线的辐射衰减拟合参数

管电压 90kV (透视)			
材料	α	β	γ
铅	3.067	18.83	0.7726
混凝土	0.04228	0.1137	0.4690
砖	0.03750	0.08200	0.8920
管电压 100kV (主束) (拍片)			
材料	α	β	γ
铅	2.500	15.28	0.7557
混凝土	0.03925	0.08567	0.4273
砖	0.03520	0.0880	1.149
管电压 100kV (散射) (拍片)			
材料	α	β	γ
铅	2.507	15.33	0.9124
混凝土	0.03950	0.08440	0.5191
砖	0.03520	0.0880	1.149

根据计算，DSA 机房不同防护措施对应的屏蔽透射因子见表 11-29。

表 11-29 DSA 机房设计屏蔽参数及防护措施铅当量一览表

屏蔽方位	屏蔽材料与厚度	屏蔽透射因子 B (透视)	屏蔽透射因子 B (拍片)	
			主束	散射
四周墙体	370mm 厚页岩实心砖	2.57E-07	7.42E-07	7.42E-07
顶部	260mm 厚混凝土	1.05E-06	2.51E-06	3.86E-06
地面	260mm 厚混凝土	1.05E-06	2.51E-06	3.86E-06
防护门	4mm 铅当量铅门	3.69E-07	3.39E-06	5.14E-06
防护窗	4mm 铅当量铅玻璃	3.69E-07	3.39E-06	5.14E-06
操作人员	0.5mmPb 铅衣 + 0.5mmPb 铅帘	4.08E-03	7.36E-03	1.05E-02
辅助操作位	0.5mmPb 铅衣	2.52E-02	3.66E-02	4.72E-02

根据 NCRP147 报告, 患者和接收器对初始线束的减弱倍数为 10~100 倍, 因此主射方向照射量率保守取主射束的 10%。

据此将主射方向 (顶部) 所受辐射剂量计算结果列于表 11-30。

表 11-30 (1) 介入中心 DSA 主射方向所受辐射剂量预测结果表

关注点位		模式	辐射源点至关注点的最近距离 R (m)	防护情况	屏蔽透射因子 B	占用因子 η	I(mA)	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	有效剂量 (mSv/a)	总有效剂量 (mSv/a)
方位	位置									
机房楼上 (距地面 100cm处)	楼上	透视	3.0	260m m厚 混凝土	1.05E-06	1	20	4.81E-03	3.09E-03	2.05E-0 2
					3.86E-06	1	300	3.79E-01	1.74E-02	

表 11-30 (2) 纤支镜 DSA 主射方向所受辐射剂量预测结果表

关注点位		模式	辐射源点至关注点的最近距离 R (m)	防护情况	屏蔽透射因子 B	占用因子 η	I(mA)	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	有效剂量 (mSv/a)	总有效剂量 (mSv/a)
方位	位置									
机房楼上 (距地面 100cm处)	楼上	透视	2.9	260m m厚 混凝土	1.05E-06	1	20	5.06E-03	8.10E-04	6.13E-0 3
					3.86E-06	1	300	3.99E-01	5.32E-03	

表 11-30 (3) 复合手术室 DSA 主射方向所受辐射剂量预测结果表

关注点位		模式	辐射源点至关注点的最近距离 R (m)	防护情况	屏蔽透射因子 B	占用因子 η	I(mA)	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	有效剂量 (mSv/a)	总有效剂量 (mSv/a)
方位	位置									
机房楼上 (距地面 100cm处)	楼上	透视	3.0	260m m厚 混凝土	1.05E-06	1	20	4.81E-03	3.37E-04	2.23E-0 3
					3.86E-06	1	300	3.79E-01	1.90E-03	

表 11-30 (4) 平急结合 DSA 主射方向所受辐射剂量预测结果表

关注点位		模式	辐射源点至关注点的	防护情况	屏蔽透射因子 B	占用因子 η	I(mA)	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	有效剂量 (mSv/a)	总有效剂量 (mSv/a)
方位	位									

	置		最近距离R(m))
机房楼上 (距地面 100cm处)	楼 上	透 视	3.0	260m m厚 混凝 土	1.05E-06	1	20	4.81E-03	3.37E-04	2.23E-0 3
		拍 片			3.86E-06	1	300	3.79E-01	1.90E-03	

表 11-30 (5) 动物楼 DSA 主射方向所受辐射剂量预测结果表

关注点位		模 式	辐射源 点至关 注点的 最近距 离R(m)	防 护 情 况	屏蔽透射 因 子 <i>B</i>	占 用 因 子 <i>η</i>	I (mA)	剂 量 率 (μ Sv/h)	有 效 剂 量 (mSv/a)	总有效 剂 量 (mSv/a)
方 位	位 置									
机房楼上 (距地面 100cm处)	楼 上	透 视	3.0	260m m厚 混凝 土	1.05E-06	1	20	4.81E-03	3.37E-04	2.23E-0 3
		拍 片			3.86E-06	1	300	3.79E-01	1.90E-03	

根据表 11-30, 本项目各 DSA 透视时主射方向的辐射剂量率最大值为 $5.06 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$; 拍片时主射方向的辐射剂量率最大值为 $3.99 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$, 满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中机房外周围辐射剂量率控制目标值不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。各机房楼上公众所受年有效剂量最大为 $2.05 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$, 满足本项目要求的公众照射年有效剂量 0.1mSv/a 的标准要求。

③体表散射辐射剂量估算

对于体表的散射 X 射线可以用反照率法估计。根据《辐射防护手册》(第一分册) (李德平、潘自强主编) P437, 可按下式进行预测估算:

$$H_s = \frac{\dot{X}_{1m}}{(d_0 \cdot d_s)^2} \cdot I \cdot \mu \cdot \eta \cdot \frac{\alpha}{400} \cdot S \cdot B \times 8.73 \times 10^3 \times 60 \times W_R \quad \text{式 11-25}$$

式中: H_s —预测点处的散射当量剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{X}_{1m} —每 mA 管电流产生的 X 射线在 1m 处的照射量率, $\text{R}/\text{mA} \cdot \text{min}$;

α —患者对 X 射线的散射比; 据《辐射防护手册》(第一分册)表 10.1 查表取值, 本项目 DSA 透视最大管电压为 90kV、拍片最大管电压为 100kV, 保守取管电压 100kV、散射角 30°的散射比 α 为 1.5×10^{-3} ;

s —散射面积, cm^2 , 取 100cm^2 ;

d_0 —靶点与人的距离, m, 取 1m;

d_s —人与预测点的距离, m;

B —屏蔽透射因子;

I —管电流, mA; (拍片 150mA、透视 15mA);

μ —利用因子, 取 1;

η —对防护区的占用因子, 表示人员在防护区停留的时间;

W_R —辐射权重, X 射线为 1。

本项目 DSA 机房各关注点的散射辐射剂量率计算结果列于表 11-31。

表 11-31 (1) 介入中心 DSA 机房内及周围各预测点散射剂量预测结果表

关注点位		模式	与预测点的距离 d_s (m)	防护情况	屏蔽透射因子 B	占用因子 η	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	有效剂量 (mSv/a)
方位	位置							
1	机房内	操作位	透视	0.5	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅帘	4.08E-03	1	4.49E+00
2	机房内	辅助操作位	透视	1	铅服 (0.5mm 铅当量)	2.52E-02	1	6.93E+00
3	机房北侧外 (30cm 处)	通道	透视	5	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	2.83E-06
			拍片			7.42E-07		1.75E-04
4	机房北侧铅窗外 (30cm 处)	控制室	透视	5	铅防护门 (4mmPb)	3.69E-07	1	4.06E-06
			拍片			5.14E-06		1.21E-03
5	机房东侧外 (30cm 处)	医疗室	透视	3.7	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	5.16E-06
			拍片			7.42E-07		3.19E-04
6	机房南侧外 (30cm 处)	通道	透视	5.4	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	2.42E-06
			拍片			7.42E-07		1.50E-04
7	机房南侧铅窗外 (30cm 处)	控制室	透视	5.4	铅玻璃 (4mm 铅当量)	3.69E-07	1	3.48E-06
			拍片			5.14E-06		1.04E-03
8	机房西侧外 (30cm	通道	透视	3.5	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	5.77E-06
			拍片			7.42E-07		3.57E-04

	处)							
9	机房楼顶	睡眠治疗室、护士站等	透视	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	3.21E-05 2.06E-05
			拍片			3.86E-06		2.53E-03 1.16E-04
10	机房楼下	平急结合诊疗区 CT、DR、MRI、DSA 检查室及配套用房等	透视	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	3.21E-05 2.06E-05
			拍片			3.86E-06		2.53E-03 1.16E-04

注：居留因子全部保守取 1；介入中心 7 台 DSA 设备完全相同、机房尺寸完全相同，故选取 1 台 DSA 设备和 1 间 DSA 机房对 7 间 DSA 设备进行代表性分析。

表 11-31 (2) 纤支镜 DSA 机房内及周围各预测点散射剂量预测结果表

关注点位			模式	与预测点的距离 d_s (m)	防护情况	屏蔽透射因子 B	占用因子 η	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	有效剂量 (mSv/a)
方位		位置							
1	机房内	操作位	透视	0.5	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅帘	4.08E-03	1	4.49E+00	7.18E-01
2	机房内	辅助操作位	透视	1	铅服 (0.5mm 铅当量)	2.52E-02	1	6.93E+00	9.24E-02
3	机房北侧外 (30cm 处)	DSA 设备间	透视	4.4	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	3.65E-06	5.84E-07
			拍片			7.42E-07		2.26E-04	3.01E-06
4	机房东侧外 (30cm 处)	过道	透视	5.8	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	3.02E-06	4.83E-07
			拍片			7.42E-07		9.00E-04	1.20E-05
5	机房东侧铅门外 (30cm 处)	过道	透视	6.0	铅防护门 (4mmPb)	3.69E-07	1	1.96E-06	3.14E-07
			拍片			5.14E-06		1.21E-04	1.62E-06
6	机房南侧外 (30cm 处)	其他纤支镜室	透视	4.4	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	3.65E-06	5.84E-07
			拍片			7.42E-07		2.26E-04	3.01E-06
7	机房南侧铅窗外 (30cm 处)	控制室	透视	5.4	铅玻璃 (4mm 铅当量)	3.69E-07	1	3.48E-06	5.57E-07
			拍片			5.14E-06		1.04E-03	1.38E-05
8	机房西侧外	过道	透视	5.7	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	2.18E-06	3.48E-07
			拍片			7.42E-07		1.35E-04	1.79E-06

	(30cm 处)							
9	机房楼顶 4F 层能 量吊塔区	透視 拍片	2.9	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	3.43E-05	5.49E-06
					3.86E-06		2.70E-03	3.61E-05
10	机房楼下 体检中心 缓冲间、 纯水间等	透視 拍片	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	3.21E-05	5.13E-06
					3.86E-06		2.53E-03	3.37E-05

注：居留因子全部保守取 1。

表 11-31 (3) 复合手术室 DSA 机房内及周围各预测点散射剂量预测结果表

关注点位		模式	与预测点的 距离 d_s (m)	防护情况	屏蔽透射 因子 B	占用因 子 η	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	有效剂量 (mSv/a)
方位	位置							
1	机房内 操作位	透視	0.5	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅帘	4.08E-03	1	4.49E+00	3.14E-01
2	机房内 辅助操作 位	透視	1	铅服 (0.5mm 铅当量)	2.52E-02	1	6.93E+00	3.46E-01
3	机房北 侧外 (30cm 处)	过道	4.7	370mm 页岩实心 砖	2.57E-07	1	3.20E-06	2.24E-07
					7.42E-07		1.98E-04	9.90E-06
4	机房东 侧铅窗 外 (30cm 处)	控制室	6.1	铅玻璃 (4mmPb)	3.69E-07	1	2.73E-06	1.91E-07
					5.14E-06		8.14E-04	4.07E-05
5	机房东 南侧铅 门外 (30cm 处)	过道	6.9	铅防护门 (4mmPb)	3.69E-07	1	2.13E-06	1.49E-07
					5.14E-06		6.36E-04	3.18E-05
6	机房南 侧外 (30cm 处)	设备间	4.7	370mm 页岩实心 砖	2.57E-07	1	3.20E-06	2.24E-07
					7.42E-07		1.98E-04	9.90E-06
7	机房西 侧外 (30cm 处)	过道	4.5	370mm 页岩实心 砖	2.57E-07	1	5.01E-06	3.51E-07
					7.42E-07		1.50E-03	7.48E-05
8	机房楼顶 楼顶区域	透視 拍片	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	3.21E-05	2.25E-06
					3.86E-06		2.53E-03	1.26E-04
9	机房楼下 普通手术 室及麻醉 室等	透視 拍片	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	3.21E-05	2.25E-06
					3.86E-06		2.53E-03	1.26E-04

注：居留因子全部保守取 1。

表 11-31 (4) 平急结合 DSA 机房内及周围各预测点散射剂量预测结果表

关注点位			模式	与预测点的距离 d_s (m)	防护情况	屏蔽透射因子 B	占用因子 η	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	有效剂量 (mSv/a)
方位	位置								
1	机房内	操作位	透视	0.5	0.5mmPb 铅衣 + 0.5mmPb 铅帘	4.08E-03	1	4.49E+00	3.14E-01
2	机房内	辅助操作位	透视	1	铅服 (0.5mm 铅当量)	2.52E-02	1	6.93E+00	3.46E-01
3	机房北侧外 (30cm 处)	DSA 设备间	透视	4.5	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	3.49E-06	2.44E-07
			拍片			7.42E-07		2.16E-04	1.08E-05
4	机房东北侧铅门外 (30cm 处)	走道	透视	5.2	铅防护门 (4mm 铅当量)	3.69E-07	1	3.75E-06	2.63E-07
			拍片			5.14E-06		1.12E-03	5.60E-05
5	机房北侧外 (30cm 处)	药品间	透视	5.9	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	2.03E-06	1.42E-07
			拍片			7.42E-07		1.26E-04	6.28E-06
6	机房东侧外 (30cm 处)	公共走道	透视	4.8	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	3.07E-06	2.15E-07
			拍片			7.42E-07		1.90E-04	9.49E-06
7	机房南侧 (30cm 处)	等候大厅	透视	4.3	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	3.82E-06	2.68E-07
			拍片			7.42E-07		2.36E-04	1.18E-05
8	机房西侧铅窗外 (30cm 处)	控制室	透视	7.3	铅玻璃 (4mm 铅当量)	3.69E-07	1	1.90E-06	1.33E-07
			拍片			5.14E-06		5.68E-04	2.84E-05
9	机房楼顶	介入中心 DSA 室	透视	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	3.21E-05	2.25E-06
			拍片			3.86E-06		2.53E-03	1.26E-04
10	机房楼下	手术部小手术室及其辅助用房	透视	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	3.21E-05	2.25E-06
			拍片			3.86E-06		2.53E-03	1.26E-04

注：居留因子全部保守取 1。

表 11-31 (5) 动物楼 DSA 机房内及周围各预测点散射剂量预测结果表

关注点位			模式	与预测点的距离 d_s (m)	防护情况	屏蔽透射因子 B	占用因子 η	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	有效剂量 (mSv/a)
方位	位置								
1	机房内	操作位	透视	0.5	0.5mmPb 铅衣	4.08E-03	1	4.49E+00	3.14E-01

					+0.5mmPb 铅帘				
2	机房内	辅助操作位	透视	1	铅服 (0.5mm 铅当量)	2.52E-02	1	6.93E+00	3.46E-01
3	机房北侧外 (30cm 处)	设备间	透视	4.3	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	3.82E-06	2.68E-07
			拍片			7.42E-07		2.36E-04	1.18E-05
4	机房东侧铅窗外 (30cm 处)	控制室	透视	6.3	铅玻璃 (4mmPb)	3.69E-07	1	2.56E-06	1.79E-07
			拍片			5.14E-06		7.63E-04	3.82E-05
5	机房东侧铅防护门外 (30cm 处)	过道	透视	9.4	铅防护门 (4mmPb)	3.69E-07	1	1.15E-06	8.04E-08
			拍片			5.14E-06		3.43E-04	1.71E-05
6	机房南侧外 (30cm 处)	动物手术室	透视	4.1	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	4.20E-06	2.94E-07
			拍片			7.42E-07		2.60E-04	1.30E-05
7	机房西南侧铅门外 (30cm 处)	污物通道	透视	5.1	铅防护门 (4mm 铅当量)	3.69E-07	1	3.90E-06	2.73E-07
			拍片			5.14E-06		1.16E-03	5.82E-05
8	机房西侧外 (30cm 处)	楼外空间	透视	5.0	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	2.83E-06	1.98E-07
			拍片			7.42E-07		1.75E-04	8.74E-06
9	机房楼顶	顶部区域	透视	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	3.21E-05	2.25E-06
			拍片			3.86E-06		2.53E-03	1.26E-04
10	机房楼下	动物免疫和饲养室	透视	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	3.21E-05	2.25E-06
			拍片			3.86E-06		2.53E-03	1.26E-04

注：居留因子全部保守取 1。

④泄漏辐射剂量估算

根据中国原子能出版社 2012 年出版的《实用辐射防护与剂量学》（应用篇）第 9 章“辐射防护屏蔽设计”，泄漏辐射不应超过有用线束平均值的 0.1%。因此，计算方法同式 11-4，式 11-4 中的 $\dot{X}_{1m}^* \times 0.1\%$ 。

将各预测点处漏射辐射剂量率计算结果见表 11-32。

表 11-32 (1) 介入中心 DSA 机房内及周围各预测点漏射剂量预测结果表

关注点位		模式	与预测点的距离 d_s (m)	防护情况	屏蔽透射因子 B	占用因子 η	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	有效剂量 (mSv/a)	
方位	位置								
1	机房内	操作位	透视	0.5	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅帘	4.08E-03	1	1.33E+00	8.53E-01
2	机房内	辅助操作位	透视	1	铅服 (0.5mm 铅当量)	2.52E-02	1	4.62E+00	2.12E-01
3	机房北侧外 (30cm 处)	通道	透视	5	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	5.24E-06	3.36E-06
			拍片			7.42E-07		3.24E-04	1.48E-05
4	机房北侧铅窗外 (30cm 处)	控制室	透视	5	铅防护门 (4mmPb)	3.69E-07	1	7.52E-06	4.82E-06
			拍片			5.14E-06		2.24E-03	1.03E-04
5	机房东侧外 (30cm 处)	医疗室	透视	3.7	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	8.53E-06	5.47E-06
			拍片			7.42E-07		5.28E-04	2.42E-05
6	机房南侧外 (30cm 处)	通道	透视	5.4	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	4.60E-06	2.95E-06
			拍片			7.42E-07		2.85E-04	1.30E-05
7	机房南侧铅窗外 (30cm 处)	控制室	透视	5.4	铅玻璃 (4mm 铅当量)	3.69E-07	1	6.61E-06	4.24E-06
			拍片			5.14E-06		1.97E-03	9.04E-05
8	机房西侧外 (30cm 处)	通道	透视	3.5	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	9.31E-06	5.97E-06
			拍片			7.42E-07		5.76E-04	2.64E-05
9	机房楼顶	睡眠治疗室、护士站等	透视	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	4.81E-05	3.09E-05
			拍片			3.86E-06		3.79E-03	1.74E-04
10	机房楼下	平急结合诊疗区 CT、DR、MRI、DSA 检查室及配套用房等	透视	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	4.81E-05	3.09E-05
			拍片			3.86E-06		3.79E-03	1.74E-04

注：居留因子全部保守取 1。

表 11-32 (2) 纤支镜 DSA 机房内及周围各预测点漏射剂量预测结果表

关注点位		模式	与预测点的距离 d_s (m)	防护情况	屏蔽透射因子 B	占用因子 η	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	有效剂量 (mSv/a)
方位	位置							
1	机房内	操作位	透视	0.5	0.5mmPb 铅衣 + 0.5mmPb 铅帘	4.08E-03	1	1.33E+00
2	机房内	辅助操作位	透视	1	铅服 (0.5mm 铅当量)	2.52E-02	1	4.62E+00
3	机房北侧外 (30cm 处)	DSA 设备间	透视	4.4	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	6.46E-06
			拍片			7.42E-07		4.00E-04
4	机房东侧外 (30cm 处)	过道	透视	5.8	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	4.08E-06
			拍片			7.42E-07		2.52E-04
5	机房东侧铅门外 (30cm 处)	过道	透视	6.0	铅防护门 (4mmPb)	3.69E-07	1	5.52E-06
			拍片			5.14E-06		1.65E-03
6	机房南侧外 (30cm 处)	其他纤支镜室	透视	4.4	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	6.46E-06
			拍片			7.42E-07		4.00E-04
7	机房南侧铅窗外 (30cm 处)	控制室	透视	5.4	铅玻璃 (4mm 铅当量)	3.69E-07	1	6.61E-06
			拍片			5.14E-06		1.97E-03
8	机房西侧外 (30cm 处)	过道	透视	5.7	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	4.20E-06
			拍片			7.42E-07		2.60E-04
9	机房楼顶	4F 层能量吊塔区	透视	2.9	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	5.06E-05
			拍片			3.86E-06		3.99E-03
10	机房楼下	体检中心缓冲间、纯水间等	透视	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	4.81E-05
			拍片			3.86E-06		3.79E-03

注：居留因子全部保守取 1。

表 11-32 (3) 复合手术室 DSA 机房内及周围各预测点漏射剂量预测结果表

关注点位		模式	与预测点的距离 d_s (m)	防护情况	屏蔽透射因子 B	占用因子 η	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	有效剂量 (mSv/a)
方位	位置							
1	机房内	操作位	透视	0.5	0.5mmPb 铅衣 + 0.5mmPb 铅帘	4.08E-03	1	1.33E+00

2	机房内	辅助操作位	透视	1	铅服 (0.5mm 铅当量)	2.52E-02	1	4.62E+00	6.16E-02
3	机房北侧外 (30cm 处)	过道	透视	4.7	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	5.24E-06	8.38E-07
			拍片			7.42E-07		3.24E-04	4.32E-06
4	机房东侧铅窗外 (30cm 处)	控制室	透视	6.1	铅玻璃 (4mmPb)	3.69E-07	1	7.52E-06	1.20E-06
			拍片			5.14E-06		2.24E-03	2.99E-05
5	机房东南侧铅门外 (30cm 处)	过道	透视	6.9	铅防护门 (4mmPb)	3.69E-07	1	8.53E-06	1.37E-06
			拍片			5.14E-06		5.28E-04	7.04E-06
6	机房南侧外 (30cm 处)	设备间	透视	4.7	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	4.60E-06	7.36E-07
			拍片			7.42E-07		2.85E-04	3.79E-06
7	机房西侧外 (30cm 处)	过道	透视	4.5	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	6.61E-06	1.06E-06
			拍片			7.42E-07		1.97E-03	2.63E-05
8	机房楼顶	楼顶区域	透视	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	9.31E-06	1.49E-06
			拍片			3.86E-06		5.76E-04	7.68E-06
9	机房楼下	普通手术室及麻醉室等	透视	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	4.81E-05	7.70E-06
			拍片			3.86E-06		3.79E-03	5.05E-05

注：居留因子全部保守取 1。

表 11-32 (4) 平急结合 DSA 机房内及周围各预测点漏射剂量预测结果表

关注点位			模式	与预测点的距离 d_s (m)	防护情况	屏蔽透射因子 B	占用因子 η	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	有效剂量 (mSv/a)
方位	位置								
1	机房内	操作位	透视	0.5	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅帘	4.08E-03	1	1.33E+00	9.31E-02
2	机房内	辅助操作位	透视	1	铅服 (0.5mm 铅当量)	2.52E-02	1	4.62E+00	2.31E-01
3	机房北侧外 (30cm 处)	DSA 设备间	透视	4.5	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	6.23E-06	4.36E-07
			拍片			7.42E-07		3.85E-04	1.93E-05
4	机房东北侧铅	走道	透视	5.2	铅防护门 (4mm 铅当量)	3.69E-07	1	7.04E-06	4.93E-07

	门外 (30cm 处)		拍片			5.14E-06		2.10E-03	1.05E-04
5	机房北 侧外 (30cm 处)	药品间	透视	5.9	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	3.96E-06	2.77E-07
			拍片			7.42E-07		2.45E-04	1.22E-05
6	机房东 侧外 (30cm 处)	公共走道	透视	4.8	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	5.60E-06	3.92E-07
			拍片			7.42E-07		3.47E-04	1.73E-05
7	机房南 侧 (30cm 处)	等候大厅	透视	4.3	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	6.71E-06	4.70E-07
			拍片			7.42E-07		4.15E-04	2.08E-05
8	机房西 侧铅窗 外 (30cm 处)	控制室	透视	7.3	铅玻璃 (4mm 铅当 量)	3.69E-07	1	3.93E-06	2.75E-07
			拍片			5.14E-06		1.17E-03	5.86E-05
9	机房楼顶	介入中心 DSA 室	透视	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	4.81E-05	3.37E-06
			拍片			3.86E-06		3.79E-03	1.90E-04
10	机房楼下	手术部小 手术室及 其辅助用 房	透视	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	4.81E-05	3.37E-06
			拍片			3.86E-06		3.79E-03	1.90E-04

注：居留因子全部保守取 1。

表 11-32 (5) 动物楼 DSA 机房内及周围各预测点漏射剂量预测结果表

关注点位			模式	与预测点 的距离 d_s (m)	防护情况	屏蔽透射 因子 B	占用因 子 η	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	有效剂量 (mSv/a)
方位		位置							
1	机房内	操作位	透视	0.5	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅帘	4.08E-03	1	1.33E+00	9.31E-02
2	机房内	辅助操作 位	透视	1	铅服 (0.5mm 铅当量)	2.52E-02	1	4.62E+00	2.31E-01
3	机房北 侧外 (30cm 处)	设备间	透视	4.3	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	6.71E-06	4.70E-07
			拍片			7.42E-07		4.15E-04	2.08E-05
4	机房东 侧铅窗 外 (30cm 处)	控制室	透视	6.3	铅玻璃 (4mmPb)	3.69E-07	1	5.08E-06	3.55E-07
			拍片			5.14E-06		1.52E-03	7.58E-05

5	机房东侧铅防护门外(30cm处)	过道	透视	9.4	铅防护门(4mmPb)	3.69E-07	1	2.50E-06	1.75E-07
			拍片			5.14E-06		7.47E-04	3.73E-05
6	机房南侧外(30cm处)	动物手术室	透视	4.1	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	7.25E-06	5.07E-07
			拍片			7.42E-07		4.48E-04	2.24E-05
7	机房西南侧铅门外(30cm处)	污物通道	透视	5.1	铅防护门(4mm铅当量)	3.69E-07	1	7.27E-06	5.09E-07
			拍片			5.14E-06		2.17E-03	1.09E-04
8	机房西侧外(30cm处)	楼外空间	透视	5.0	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	1	5.24E-06	3.66E-07
			拍片			7.42E-07		3.24E-04	1.62E-05
9	机房楼顶	顶部区域	透视	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	4.81E-05	3.37E-06
			拍片			3.86E-06		3.79E-03	1.90E-04
10	机房楼下	动物免疫和饲养室	透视	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	4.81E-05	3.37E-06
			拍片			3.86E-06		3.79E-03	1.90E-04

注：居留因子全部保守取 1。

(2) 预测结果

根据上表的计算结果，本项目 DSA 机房室内及周围各预测点的总的附加剂量见表 11-33。

表 11-33 (1) 介入中心 DSA 机房内及周围各预测点的总附加剂量率预测表

预测点			模式	主射辐射剂量(mSv/a)	散射辐射剂量(mSv/a)	漏射辐射剂量(mSv/a)	总有效剂量(mSv/a)
序号	方位	位置					
1	机房内	操作位	透视	/	8.53E-01	2.88E+00	3.73E+00
2	机房内	辅助操作位	透视	/	2.12E-01	3.18E-01	5.29E-01
3	机房北侧外(30cm处)	通道	透视	/	3.36E-06	1.81E-06	5.17E-06
			拍片	/	1.48E-05	8.02E-06	2.29E-05
4	机房北侧铅窗外(30cm处)	控制室	透视	/	4.82E-06	2.60E-06	7.43E-06
			拍片	/	1.03E-04	5.55E-05	1.58E-04

5	机房东侧外 (30cm 处)	医护室	透视	/	5.47E-06	3.31E-06	8.79E-06	4.76E-05
			拍片	/	2.42E-05	1.46E-05	3.88E-05	
6	机房南侧外 (30cm 处)	通道	透视	/	2.95E-06	1.56E-06	4.51E-06	2.44E-05
			拍片	/	1.30E-05	6.87E-06	1.99E-05	
7	机房南侧铅窗 外 (30cm 处)	控制室	透视	/	4.24E-06	2.23E-06	6.47E-06	1.44E-04
			拍片	/	9.04E-05	4.76E-05	1.38E-04	
8	机房西侧外 (30cm 处)	通道	透视	/	5.97E-06	3.70E-06	9.67E-06	5.24E-05
			拍片	/	2.64E-05	1.64E-05	4.27E-05	
9	机房楼顶	睡眠治疗 室、护士 站等	透视	3.09E-03	3.09E-05	2.06E-05	3.14E-03	2.08E-02
			拍片	1.74E-02	1.74E-04	1.16E-04	1.77E-02	
10	机房楼下	平急结合 诊疗区 CT、DR、 MRI、 DSA 检查 室及配套 用房等	透视	/	3.09E-05	2.06E-05	5.15E-05	3.41E-04
			拍片	/	1.74E-04	1.16E-04	2.90E-04	

经预测可知，本项目介入中心各 DSA 室透视和拍片时在设计的防护条件下，屏蔽体外表面 30cm 外的瞬时剂量率均小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中 6.3.1 的要求。本项目 DSA 职业人员所受年附加有效剂量最大为 $3.73\text{mSv}/\text{a}$ ，满足职业人员年有效剂量 $5\text{mSv}/\text{a}$ 约束值要求，本项目介入中心 DSA 辐射工作人员除操作本项目 DSA 外，不再从事其他辐射工作，因此不存在剂量叠加；公众所受年附加有效剂量最大为 $2.08 \times 10^{-2}\text{mSv}/\text{a}$ (DSA 机房楼顶部)，满足公众照射年有效剂量 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ 的标准要求。

此外，根据附图 6-3 可知，本项目介入中心的 7 间 DSA 的布局是两列并排分布，四周被过道等区域包围，没有公众可以受到叠加影响的区域；因此，本次评价不需要考虑介入中心 7 台 DSA 叠加影响情况。

表 11-33 (2) 纤支镜 DSA 机房内及周围各预测点的总附加剂量率预测表

预测点			模式	主射辐射剂量 (mSv/a)	散射辐射剂量 (mSv/a)	漏射辐射剂量 (mSv/a)	总有效剂量 (mSv/a)
序号	方位	位置					
1	机房内	操作位	透视	/	2.13E-01	7.18E-01	9.31E-01
2	机房内	辅助操作位	透视	/	6.16E-02	9.24E-02	1.54E-01
3	机房北侧外 (30cm 处)	DSA 设备间	透视	/	1.03E-06	5.84E-07	1.62E-06
			拍片	/	5.33E-06	3.01E-06	8.34E-06
4	机房东侧外 (30cm 处)	过道	透视	/	6.52E-07	4.83E-07	1.13E-06
			拍片	/	3.36E-06	1.20E-05	1.54E-05
5	机房东侧铅门外 (30cm 处)	过道	透视	/	8.84E-07	3.14E-07	1.20E-06
			拍片	/	2.20E-05	1.62E-06	2.36E-05
6	机房南侧外 (30cm 处)	其他纤支镜室	透视	/	1.03E-06	5.84E-07	1.62E-06
			拍片	/	5.33E-06	3.01E-06	8.34E-06
7	机房南侧铅窗外 (30cm 处)	控制室	透视	/	1.06E-06	5.57E-07	1.61E-06
			拍片	/	2.63E-05	1.38E-05	4.01E-05
8	机房西侧外 (30cm 处)	过道	透视	/	6.72E-07	3.48E-07	1.02E-06
			拍片	/	3.46E-06	1.79E-06	5.26E-06
9	机房楼顶	4F 层能量吊塔区	透视	8.10E-04	8.10E-06	5.13E-06	8.23E-04
			拍片	5.30E-03	5.32E-05	3.37E-05	5.39E-03
10	机房楼下	体检中心缓冲间、纯水间等	透视	/	7.70E-06	5.13E-06	1.28E-05
			拍片	/	5.05E-05	3.37E-05	8.42E-05

经预测可知，本项目纤支镜 DSA 室透视和拍片时在设计的防护条件下，屏蔽体外表面 30cm 外的瞬时剂量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中 6.3.1 的要求。本项目 DSA 职业人员所受年附加有效剂量最大为

0.931mSv/a, 满足职业人员年有效剂量 5mSv/a 约束值要求, 本项目 DSA 辐射工作人员除操作本项目 DSA 外, 不再从事其他辐射工作, 因此不存在剂量叠加; 公众所受年附加有效剂量最大为 6.21×10^{-3} mSv/a (DSA 机房楼顶部), 满足公众照射年有效剂量 0.1mSv/a 的标准要求。

表 11-33 (3) 复合手术室 DSA 机房内及周围各预测点的总附加剂量率预测表

预测点			模式	主射辐射剂量 (mSv/a)	散射辐射剂量 (mSv/a)	漏射辐射剂量 (mSv/a)	总有效剂量 (mSv/a)
序号	方位	位置					
1	机房内	操作位	透视	/	9.31E-02	3.14E-01	4.07E-01
2	机房内	辅助操作位	透视	/	2.31E-01	3.46E-01	5.77E-01
3	机房北侧外 (30cm 处)	过道	透视	/	4.06E-07	2.24E-07	6.30E-07
			拍片	/	1.79E-05	9.90E-06	2.78E-05
4	机房东侧铅窗外 (30cm 处)	控制室	透视	/	3.76E-07	1.91E-07	5.67E-07
			拍片	/	8.01E-05	4.07E-05	1.21E-04
5	机房东南侧铅门外 (30cm 处)	过道	透视	/	3.04E-07	1.49E-07	4.53E-07
			拍片	/	6.47E-05	3.18E-05	9.65E-05
6	机房南侧外 (30cm 处)	设备间	透视	/	4.06E-07	2.24E-07	6.30E-07
			拍片	/	1.79E-05	9.90E-06	2.78E-05
7	机房西侧外 (30cm 处)	过道	透视	/	4.36E-07	3.51E-07	7.87E-07
			拍片	/	1.93E-05	7.48E-05	9.41E-05
8	机房楼顶	楼顶区域	透视	3.37E-04	3.37E-06	2.25E-06	3.43E-04
			拍片	1.90E-02	1.90E-04	1.26E-04	1.93E-02
9	机房楼下	普通手术室及麻醉室等	透视	/	3.37E-06	2.25E-06	5.61E-06
			拍片	/	1.90E-04	1.26E-04	3.16E-04

经预测可知，本项目复合手术室 DSA 室透视和拍片时在设计的防护条件下，屏蔽体外表面 30cm 外的瞬时剂量率均小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中 6.3.1 的要求。本项目 DSA 职业人员所受年附加有效剂量最大为 $0.407\text{mSv}/\text{a}$ ，满足职业人员年有效剂量 $5\text{mSv}/\text{a}$ 约束值要求，本项目 DSA 辐射工作人员除操作本项目 DSA 外，不再从事其他辐射工作，因此不存在剂量叠加；公众所受年附加有效剂量最大为 $1.97\times 10^{-2}\text{mSv}/\text{a}$ (DSA 机房楼顶部)，满足公众照射年有效剂量 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ 的标准要求。

表 11-33 (4) 平急结合 DSA 机房内及周围各预测点的总附加剂量率预测表

预测点			模式	主射辐射剂量 (mSv/a)	散射辐射剂量 (mSv/a)	漏射辐射剂量 (mSv/a)	总有效剂量 (mSv/a)
序号	方位	位置					
1	机房内	操作位	透视	/	9.31E-02	3.14E-01	4.07E-01
2	机房内	辅助操作位	透视	/	2.31E-01	3.46E-01	5.77E-01
3	机房北侧外 (30cm 处)	DSA 设备间	透视	/	4.36E-07	2.44E-07	6.80E-07
			拍片	/	1.93E-05	1.08E-05	3.01E-05
4	机房东北侧铅门外 (30cm 处)	走道	透视	/	4.93E-07	2.63E-07	7.55E-07
			拍片	/	1.05E-04	5.60E-05	1.61E-04
5	机房北侧外 (30cm 处)	药品间	透视	/	2.77E-07	1.42E-07	4.19E-07
			拍片	/	1.22E-05	6.28E-06	1.85E-05
6	机房东侧外 (30cm 处)	公共走道	透视	/	3.92E-07	2.15E-07	6.07E-07
			拍片	/	1.73E-05	9.49E-06	2.68E-05
7	机房南侧 (30cm 处)	等候大厅	透视	/	4.70E-07	2.68E-07	7.37E-07
			拍片	/	2.08E-05	1.18E-05	3.26E-05
8	机房西侧铅窗外 (30cm 处)	控制室	透视	/	2.75E-07	1.33E-07	4.08E-07
			拍片	/	5.86E-05	2.84E-05	8.70E-05
9	机房楼顶	介入中心 DSA 室	透视	3.37E-04	3.37E-06	2.25E-06	3.43E-04
			拍片	1.90E-02	1.90E-04	1.26E-04	1.93E-02
10	机房楼下	手术部小手术室及其辅助用房	透视	/	3.37E-06	2.25E-06	5.61E-06
			拍片	/	1.26E-04	3.16E-04	1.26E-04

经预测可知，本项目平急结合 DSA 室透视和拍片时在设计的防护条件下，屏蔽体外表面 30cm 外的瞬时剂量率均小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 6.3.1 的要求。本项目 DSA 职业人员所受年附加有效剂量最大为 $0.407\text{mSv}/\text{a}$ ，满足职业人员年有效剂量 $5\text{mSv}/\text{a}$ 约束值要求，本项目 DSA 辐射工作人员除操作本项目 DSA 外，不再从事其他辐射工作，因此不存在剂量叠加；公众所受年附加有效剂量最大为 $1.97\times 10^{-2}\text{mSv}/\text{a}$ （DSA 机房楼顶部），满足公众照射年有效剂量 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ 的标准要求。

表 11-33 (5) 动物楼 DSA 机房内及周围各预测点的总附加剂量率预测表

预测点			模式	主射辐射剂量 (mSv/a)	散射辐射剂量 (mSv/a)	漏射辐射剂量 (mSv/a)	总有效剂量 (mSv/a)
序号	方位	位置					
1	机房内	操作位	透视	/	9.31E-02	3.14E-01	4.07E-01
2	机房内	辅助操作位	透视	/	2.31E-01	3.46E-01	5.77E-01
3	机房北侧外 (30cm 处)	设备间	透视	/	4.70E-07	2.68E-07	7.37E-07
			拍片	/	2.08E-05	1.18E-05	3.26E-05
4	机房东侧铅窗外 (30cm 处)	控制室	透视	/	3.55E-07	1.79E-07	5.34E-07
			拍片	/	7.58E-05	3.82E-05	1.14E-04
5	机房东侧铅防护门外 (30cm 处)	过道	透视	/	1.75E-07	8.04E-08	2.56E-07
			拍片	/	3.73E-05	1.71E-05	5.45E-05
6	机房南侧外 (30cm 处)	动物手术室	透视	/	5.07E-07	2.94E-07	8.02E-07
			拍片	/	2.24E-05	1.30E-05	3.54E-05
7	机房西南侧铅门外 (30cm 处)	污物通道	透视	/	5.09E-07	2.73E-07	7.82E-07
			拍片	/	1.09E-04	5.82E-05	1.67E-04
8	机房西侧外 (30cm 处)	楼外空间	透视	/	3.66E-07	1.98E-07	5.64E-07
			拍片	/	1.62E-05	8.74E-06	2.49E-05
9	机房楼顶	顶部区域	透视	3.37E-04	3.37E-06	2.25E-06	3.43E-04
			拍片	1.90E-02	1.90E-04	1.26E-04	1.93E-02

10	机房楼下	动物免疫 和饲养室	透视	/	3.37E-06	2.25E-06	5.61E-06	3.22E-04
			拍片	/	1.90E-04	1.26E-04	3.16E-04	

经预测可知，本项目动物楼 DSA 室透视和拍片时在设计的防护条件下，屏蔽体外表面 30cm 外的瞬时剂量率均小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 6.3.1 的要求。本项目 DSA 职业人员所受年附加有效剂量最大为 $0.407\text{mSv}/\text{a}$ ，满足职业人员年有效剂量 $5\text{mSv}/\text{a}$ 约束值要求，本项目 DSA 辐射工作人员除操作本项目 DSA 外，不再从事其他辐射工作，因此不存在剂量叠加；公众所受年附加有效剂量最大为 $1.97\times 10^{-2}\text{mSv}/\text{a}$ （DSA 机房楼顶部），满足公众照射年有效剂量 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ 的标准要求。

（3）DSA 医生腕部皮肤受照剂量

手术医生和护士在 DSA 检查室内进行介入手术时，会穿联体铅衣、戴介入防护手套、铅防护眼镜、铅橡胶颈套等防护用品，但是仍然有部分皮肤暴露在射线下受到照射，手术医生腕部距离辐射源（非主射束方向）最近，因 X 射线随着距离的增加呈现衰减趋势，故以手术医生腕部剂量估算结果进行核算医护人员皮肤照射年剂量，根据《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）中的公式估算 DSA 检查室或 DSA 检查室人员年皮肤吸收剂量：

$$D_s = C_{ks} \dot{k} \cdot t \cdot 10^{-3} \quad \text{式 11-26}$$

$$\dot{k} = \frac{\dot{H}^*_{(10)}}{C_{KH}} \quad \text{式 11-27}$$

式中： D_s —皮肤吸收剂量， mGy ；

\dot{k} —X 辐射场的空气比释动能率， $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ；

C_{ks} —空气比释动能到皮肤吸收剂量的转化系数（ Gy/Gy ），本项目 DSA 可近似地视为垂直入射，而且是 AP 入射方式，从表 A.4 中查得空气比释动能到皮肤吸收剂量的最大转换系数 $C_{KS}=1.134\text{mGy}/\text{mGy}$ ；

t —人员累积受照时间， h ；

$\dot{H}^*_{(10)}$ —X 辐射场的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

C_{KH} —空气比释动能到周围剂量当量的转化系数 (Sv/Gy)，从表 A.9 可查得 X 辐射场空气比释动能到周围剂量当量的转化系数=1.72Sv/Gy。

手术医生在 DSA 手术室内进行介入手术时，会穿连体铅衣、戴介入防护手套、铅防护眼镜、铅橡胶颈套等防护用品，通常位于介入治疗病床侧面，面对病患，主要受到散射辐射和泄露辐射的影响。根据前述式 11-24 和式 11-5，医生操作时手部受到铅手套 (0.025mmPb) 屏蔽防护，则本项目医生手术时手部位置处的辐射当量剂量率为 $8.93 \times 10^2 \mu\text{Sv}/\text{h}$ (其中散射为 $6.89 \times 10^2 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，漏射为 $2.04 \times 10^2 \mu\text{Sv}/\text{h}$)。根据前文表 1-2 各科室介入手术工作量分配情况，各 DSA 设备单组年最大透视时间为 641.67h，根据建设单位提供资料：手术过程中医生随时在活动，其手部不会一直处于受照射位置不动，医生手术位手部皮肤约 1/5 的时间 (128.334h) 处于受照位置，根据式 11-26~式 11-27 核算出单组医生手部皮肤受到当量剂量最大为 75.56mSv/a，满足本项目职业人员四肢 (手和足) 或皮肤的年当量剂量约束限值 125mSv 的要求。

五、内镜中心 ERCP 运行阶段辐射环境影响分析

本项目内镜中心涉及的 1 台 ERCP，目前尚未运行，对介入手术室周围辐射环境影响评价采用模式预测的方法进行影响分析。

1、运行工况及参数选择

本项目 ERCP 装置均采用微机控制的自动剂量率控制高频 X 射线发生器，实际运行过程中会根据病人的身体情况和防护情况自动进行工况调节。根据建设单位提供资料，本项目 ERCP 透视常用最大管电压为 75kV，常用最大管电流 5.0mA，拍片时，最大管电压为 100kV，常用最大管电流 320mA。

本项目 ERCP 投运后，手术过程中顶部主要考虑主射影响，其他考虑漏射和散射。手术室内的辐射工作人员受到散射和漏射的影响。

2、理论预测

(1) 年附加有效剂量估算

根据辐射安全手册，X-γ射线产生的外照射人均年有效剂量计算公式如下：

$$E = H \times 10^3 \times h \times \eta \times W_T \dots \dots \dots \text{ (式11-23)}$$

式中：

H —关注点的当量剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)；

E —关注点的附加有效剂量 (mSv/a)；

h —工作负荷 (h/a)；

η —居留因子；经常有人员停留的地方取1，有部分时间有人员停留的地方取1/4，偶然有人员停留的地方取1/16；

W_T —组织权重因子，取1。

(2) 主射线束剂量估算

根据《辐射防护手册》(第一分册) (李德平、潘自强主编)，DSA拍片和透视过程对主射方向(楼上)的公众所造成的辐射剂量可按下式估算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{X}_{1m}}{R^2} \cdot I \cdot \mu \cdot \eta \cdot B \times 8.73 \times 10^3 \times 60 \times W_R \dots \text{ (式 11-24)}$$

式中：

\dot{H} —关注点处的辐射当量剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

\dot{X}_{1m} —每 mA 管电流产生的 X 射线在 1m 处的照射量率， $\text{R} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；本项目 DSA 过滤片 1mmCu (来源于业主方提供的设备参数确认表)，查《辐射防护手册》(第一分册)图 4.4c，当透视模式(90kV)时，查得 $\dot{X}_{1m} = 0.07 \text{R} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；当拍片模式(100kV)时，查得 $\dot{X}_{1m} = 0.1 \text{R} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

R —距靶点 1m 处至关注点的距离， m ；

I —管电流， mA ；

μ —利用因子，取1；

η —对防护区的占用因子；

W_R —辐射权重，全身为1；

B —屏蔽透射因子，按照《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)附录 C 中公式计算：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \dots \text{ 式 (11-25)}$$

式中：

B —给定不同屏蔽物质厚度的屏蔽透射因子；

X —屏蔽材料铅当量厚度, mm;

α 、 β 、 γ —对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数; 本项目 ERCP、常用最大透视管电压 75kV、最大拍片管电压 100kV, 因此用 100kV X 射线辐射衰弱的拟合参数更保守, 各屏蔽材料拟合参数表见前文表 11-28。

X —不同屏蔽物质厚度, mm。

根据 NCRP147 报告《Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities》, 患者对初始线束的减弱倍数为 10~100 倍, 因此有用线束方向照射量率保守取主射束的 10%; 根据 NCRP147 报告表 4.6, ERCP 图像接收器及组件对 X 射线的屏蔽厚度最少相当于 0.85mm 的铅当量。

据此将各方向关注点所受辐射剂量率计算结果列于表 11-36。

表 11-36 ERCP 室有用线束方向辐射剂量率预测结果表

关注点位		模式	辐射源点至关注点的最近距离 R (m)	防护情况	屏蔽透射因子 B	占用因子 η	I(mA)	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	有效剂量 (mSv/a)	总有效剂量 (mSv/a)
方位	位置									
机房楼上 (距地面 100cm处)	楼上	透 视	2.9	260m m厚 混凝 土	1.05E-06	1	5	1.27E-03	2.02E-04	5.86E-03
					3.86E-06	1	320	4.25E-01	5.66E-03	

根据表 11-20, 本项目 ERCP 有用线束方向透视和拍片工况下的辐射剂量率分别为 $1.27 \times 10^{-3} \mu\text{Sv}/\text{h}$ 和 $0.425 \mu\text{Sv}/\text{h}$, 均满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时, 周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求、具有短时、高剂量率曝光的摄影程序机房外的周围剂量当量率应不大于 $25 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 的要求。

(3) 泄漏辐射剂量估算

根据中国原子能出版社 2012 年出版的《实用辐射防护与剂量学》(应用篇)第 9 章“辐射防护屏蔽设计”, 泄漏辐射不应超过有用线束平均值的 0.1%。因此, 计算方法同式 (11-25), 式 (11-25) 中的 $\dot{X}_{1m} \times 0.1\%$ 。

本项目 ERCP 机房四周各关注点的泄露辐射剂量率计算结果见表 11-37。

表 11-37 不同模式下 ERCP 机房关注点处泄漏辐射剂量率计算结果表

关注点位			模式	与预测点的距离 d_s (m)	防护情况	屏蔽透射因子 B	占用因子 η	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	有效剂量 (mSv/a)
方位		位置							
1	机房内	操作位	透视	0.5	0.5mmPb 铅衣 + 0.5mmPb 铅帘	4.08E-03	1	4.49E+00	7.18E-01
2	机房内	辅助操作位	透视	1	铅服 (0.5mm 铅当量)	2.52E-02	1	6.93E+00	9.24E-02
3	机房北侧 (30cm 处)	楼内走廊	透视	2.4	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	0.25	1.23E-05	1.96E-06
			拍片			7.42E-07		7.59E-04	1.01E-05
4	机房东北侧铅门外 (30cm 处)	过道	透视	3.4	铅防护门 (3mmPb)	7.93E-06	1	1.89E-04	3.02E-05
			拍片			6.31E-05		3.22E-02	4.29E-04
5	机房东侧外 (30cm 处)	过道	透视	4.8	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	0.25	3.07E-06	4.91E-07
			拍片			7.42E-07		1.90E-04	2.53E-06
6	机房南侧铅窗外 (30cm 处)	控制室	透视	5.4	铅玻璃 (3mmPb)	7.93E-06	0.25	7.48E-05	1.20E-05
			拍片			6.31E-05		1.28E-02	1.70E-04
7	机房西南外 (30cm 处)	过道	透视	5.5	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	0.25	2.34E-06	3.74E-07
			拍片			7.42E-07		1.45E-04	1.93E-06
8	机房楼顶	弱电井间、排风井及普通药物及肠外营养配置区	透视	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	3.21E-05	5.13E-06
			拍片			3.86E-06		2.53E-03	3.37E-05
9	机房楼下	标本库、净化机房等	透视	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	3.21E-05	5.13E-06
			拍片			3.86E-06		2.53E-03	3.37E-05

注：①ERCP 设备自带铅防护吊屏和床下铅帘，均具有 0.5mm 铅当量，将球管完全遮挡，因此 DSA 球管的泄漏射线先经过 0.5mm 床下铅帘和 0.5mm 铅防护吊屏屏蔽后，才照射到手术人员，手术人员身着铅衣、铅围脖、铅围裙、铅眼镜、铅帽等个人防护用品，均具有 0.5mm 铅当量。因此第一手术位实际上有 1.5mm 铅防护；第二手术位医生按身着铅防护服的防护考虑，为 0.5mm。②介入手术室防护门和观察窗防护当量一致，本次保守取每个介入手术室距离射线源最近的防护门/观察窗进行评价。

(4) 病人体表散射辐射环境影响分析

对于病人体表的散射 X 射线可以用反照率法估计。根据《辐射防护手册》（第一分册）（李德平、潘自强主编）P437，可按下式进行预测估算：

$$H_s = \frac{\dot{X}_{1m}}{(d_0 \cdot d_s)^2} \cdot I \cdot \mu \cdot \frac{\alpha}{400} \cdot S \cdot B \times 8.73 \times 10^3 \times 60 \times W_R \quad \dots \dots \quad (\text{式 11-26})$$

式中： H_s —预测点处的散射当量剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

\dot{X}_{1m} —每 mA 管电压产生的 X 射线在 1m 处的照射量率， $\text{R} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；取值同（式 11-21）；

α —患者对 X 射线的散射比；根据《辐射防护手册》（第一分册）表 10.1 查表取值；本项目介入设备拍片常用最大管电压 100kV、透视常用最大管电压 75kV。本次保守取 100kV 管电压，散射角 30°的散射比 α 为 1.5×10^{-3} ；

s —散射面积， cm^2 ，取 100cm^2 ；

d_0 —靶点与病人的距离， m ，取 0.5m ；

d_s —病人与预测点的距离， m ；

B —屏蔽透射因子；取值同（式 11-22）；

I —管电流， mA ；

μ —利用因子，设备运行时，X 射线散射情况下职业及公众人员位于设备一侧的某一点位， μ 取 $1/4$ 。

W_R —辐射权重，全身为 1。

本项目 ERCP 治疗室四周和楼下各关注点的散射辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-38。

表 11-38 ERCP 室关注点处散射剂量率计算结果一览表

关注点位		模式	与预测点的距离 d_s (m)	防护情况	屏蔽透射因子 B	占用因子 η	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	有效剂量 (mSv/a)
方位	位置							
1	机房内	操作位	透视	0.5	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅帘	4.08E-03	1	1.33E+00
2	机房内	辅助操作位	透视	1	铅服 (0.5mm 铅当量)	2.52E-02	1	4.62E+00
3	机房北侧 (30cm 处)	楼内走廊	透视	2.4	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	0.25	1.63E-05
			拍片			7.42E-07		1.01E-03
4	机房东北侧铅	过道	透视	3.4	铅防护门 (3mmPb)	7.93E-06	1	3.00E-04
			拍片			6.31E-05		5.12E-02
								6.83E-04

	门外 (30cm 处)							
5	机房东 侧外 (30cm 处)	过道	透视	4.8	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	0.25	5.60E-06
			拍片			7.42E-07		3.47E-04
6	机房南 侧铅窗 外 (30cm 处)	控制室	透视	5.4	铅玻璃 (3mmPb)	7.93E-06	0.25	1.42E-04
			拍片			6.31E-05		2.42E-02
7	机房西 南外 (30cm 处)	过道	透视	5.5	370mm 页岩实心砖	2.57E-07	0.25	4.46E-06
			拍片			7.42E-07		2.76E-04
8	机房楼顶	弱电井 间、排风 井及普通 药物及肠 外营养配 置区	透视	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	4.81E-05
			拍片			3.86E-06		3.79E-03
9	机房楼下	标本库、 净化机房 等	透视	3.0	260mm 厚混凝土	1.05E-06	1	4.81E-05
			拍片			3.86E-06		3.79E-03

(5) 环境保护目标处剂量估算

表 11-39 DSA 机房周围各预测点总剂量率结果表

预测点			模式	主射辐射剂 量 (mSv/a)	散射辐射剂 量 (mSv/a)	漏射辐射剂 量 (mSv/a)	总有效剂量 (mSv/a)
序号	方位	位置					
1	机房内	操作位	透视	/	2.13E-01	7.18E-01	9.31E-01
2	机房内	辅助操 作位	透视	/	6.16E-02	9.24E-02	1.54E-01
3	机房北侧 (30cm 处)	楼内走 廊	透视	/	2.61E-06	1.96E-06	4.57E-06
			拍片	/	1.34E-05	1.01E-05	2.36E-05
4	机房东北 侧铅门外 (30cm 处)	过道	透视	/	4.81E-05	3.02E-05	7.82E-05
			拍片	/	6.83E-04	4.29E-04	1.11E-03
5	机房东侧 外 (30cm 处)	过道	透视	/	8.96E-07	4.91E-07	1.39E-06
			拍片	/	4.62E-06	2.53E-06	7.15E-06

6	机房南侧 铅窗外 (30cm 处)	控制室	透视	/	2.27E-05	1.20E-05	3.47E-05	5.27E-04
			拍片	/	3.23E-04	1.70E-04	4.93E-04	
7	机房西南 外 (30cm 处)	过道	透视	/	7.14E-07	3.74E-07	1.09E-06	6.69E-06
			拍片	/	3.68E-06	1.93E-06	5.61E-06	
8	机房楼顶	弱电井 间、排 风井及 普通药 物及肠 外营养 配置区	透视	2.02E-04	7.70E-06	5.13E-06	2.15E-04	5.96E-03
			拍片	5.66E-03	5.05E-05	3.37E-05	5.74E-03	
9	机房楼下	标本 库、净 化机房 等	透视	/	7.70E-06	5.13E-06	1.28E-05	9.71E-05
			拍片	/	5.05E-05	3.37E-05	8.42E-05	

根据上表剂量率统计结果，项目 ERCP 室透视和拍片时在设计的防护条件下，屏蔽体外表面 30cm 外的瞬时剂量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中 6.3.1 的要求。本项目 ERCP 职业人员所受年附加有效剂量最大为 $0.931\text{mSv}/\text{a}$ ，满足职业人员年有效剂量 $5\text{mSv}/\text{a}$ 约束值要求，本项目 ERCP 辐射工作人员除操作本项目 ERCP 外，不再从事其他辐射工作，因此不存在剂量叠加；公众所受年附加有效剂量最大为 $5.96 \times 10^{-3}\text{mSv}/\text{a}$ (ERCP 机房楼顶部)，满足公众照射年有效剂量 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ 的标准要求。

(6) ERCP 医生腕部皮肤受照剂量

本项目 ERCP 工作时，医生腕部皮肤受照剂量计算公式与 DSA 相同，见前文式 11-26、式 11-27。

手术医生在 ERCP 手术室内进行介入手术时，会穿连体铅衣、戴介入防护手套、铅防护眼镜、铅橡胶颈套等防护用品，通常位于介入治疗病床侧面，面对病患，主要受到散射辐射和泄露辐射的影响。根据前述式 11-24 和式 11-5，医生操作时手部受到铅手套 (0.025mmPb) 屏蔽防护，则本项目医生手术时手部位置处的辐射当量剂量率为 $2.23 \times 10^2\mu\text{Sv}/\text{h}$ (其中散射为 $1.72 \times 10^2\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，漏射为 $5.1 \times 10^1\mu\text{Sv}/\text{h}$)。根据前文表 1-2 各科室介入手术工作量分配情况，ERCP 设备单组年最大透视时间为 160h，根据建设单位提供资料：手术过程中医生随时在活动，其手部不会一直处于受照射位置不动，

医生手术位手部皮肤约 1/5 的时间 (32h) 处于受照位置, 根据式 11-26~式 11-27 核算出 ERCP 医生手部皮肤受到当量剂量最大为 4.71mSv/a, 满足本项目职业人员四肢 (手和足) 或皮肤的年当量剂量约束限值 125mSv 的要求。

五、大气环境影响分析

1、核医学科大气环境影响分析

本项目放射性核素为¹⁸F、⁶⁸Ga 和 ⁹⁹Tc 等，均属于液态放射性药物，且均属于非挥发性化合物，均采用负压瓶进行密封储存，锝-99m 为成品针剂不涉及分装，氟-18 在分装过程中采取注射器进行抽取，两种核素均通过静脉注射进入病人体内，在整个过程中几乎不产生放射性气溶胶。且放射性核素¹⁸F、⁶⁸Ga 和 ⁹⁹Tc 等分装均分别在手套箱内进行操作，手套箱内均单独设置了一个排风管道，手套箱单独自带 1 及过滤装置排出口处设置活性炭过滤装置+高中效过滤装置的处理措施；核医学科其他区域排风管汇》核医学科独立排风井后，在各自排出口处设置活性炭过滤装置+高中效过滤装置的处理措施。各排风管道经核医学科专用排气筒排放至门急诊医技住院综合楼屋面，避开了高楼层建筑。

本工程放射性核素废气经核医学科专用通风设施进行处理后，产生的放射性废气对周围辐射环境影响较小。

2、其他辐射设备大气环境影响分析

DSA、ERCP 及 III 类射线装置 X 射线能量较小，其臭氧产生量较小，且各机房均设置有独立的通排风系统，产生的臭氧经通排风系统排至室外经自然稀释后对环境影响较小。

本次评价主要考虑直线加速器使用过程中产生臭氧的环境影响分析。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018），在曝光过程中加速器主要考虑 X 射线产生的臭氧。

臭氧浓度根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）和《辐射防护手册（三分册）》2.6.8“ γ 辐照室”，由下式计算：

$$P=2\times10^{-9}D_{10}SL\rho \dots \dots \dots \text{ (式 11-26)}$$

式中：

P —X 射线臭氧产生率 (mg/s)；

D_{10} —X 射线在距靶 1m 处的最大剂量当量率, Gy/h, 本项目为 960Gy/h, 为 0.267Gy/s;

S —最大治疗野面积, 取值 0.16m²;

L —X 射线在空气中的路径长度, 取 1m;

ρ —臭氧密度, 取 $2.14 \times 10^3 \text{ mg/L}$;

V —加速器机房容积, 取 861 m^3 。

根据上式计算, 本项目直线加速器治疗室的臭氧产生量为 $1.83 \times 10^{-7} \text{ mg/s}$ ($6.58 \times 10^{-4} \text{ mg/h}$), 加速器机房运行时, 机房内臭氧浓度为 $7.64 \times 10^{-7} \text{ mg/m}^3$ ($6.58 \times 10^{-4} \text{ mg/h} \div 861 \text{ m}^3$), 能满足《室内空气质量标准》(GB/T18883-2002) 中臭氧 1 小时均值 $\leq 0.16 \text{ mg/m}^3$ 的标准限值要求。

五、水环境影响分析

1、非放射性废水

本项目直线加速器不产生医疗废水和放射性废水, 加速器冷却系统采用去离子蒸馏水, 内循环使用, 不会产生废水, 加速器设备自带水流量监测开关, 当加速器中的大功率负载等的冷却水流量不满足要求时, 加速器将自动切断高压电源, 由于蒸发耗损, 需要补充去离子蒸馏水时由厂家派专人补充。

本项目 DSA、ERCP 及 III 类射线装置采用数字成像, 无废显、定影液产生, 无需相关治理措施。

本项目非放射性废水主要来自于运行期间工作人员的生活污水和饲养动物产生的废水及动物粪便等, 该部分废水直接排入医院污水处理站进行达标处理, 最终排入市政污水管网, 对地表水环境影响较小。

2、放射性废水

本项目放射性废水由单独的排水系统排放至衰变池静置衰变, 暂存超过 180 天后通过抽水泵将废水排入医院污水处理站处理后排入市政污水管网, 对地表水环境影响较小。

六、固体废物环境影响分析

1、放射性固废

本项目核医学科放射性固废产生量为 5.1 kg/d , 核素种类包含: ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 等, 医院采用专门放射性固废收集桶分类收集后, 置于放射性废物暂存间进行暂存衰变, 经监测达标后, 转移至医疗废物暂存库, 按照普通医疗废物执行转移联单制度, 由有资质单位统一回收处理, 不外排。更換下的活性炭过滤器产生量为 500 kg/a , 监测达标后由有资质单位回收处理。废校准源交由厂家进行回收处理; 回旋加速器产生的固体靶片、废靶件等由厂家回收; 废 ^{90}Sr - ^{90}Y

敷贴器 10~20 年更换一次，由厂家回收。综上所述，本项目产生的放射性固废得到妥善处置，对周围环境影响较小。

2、非放射性固废

本项目产生非放射性医疗废物包括一些药棉、纱布、手套等医用辅料，进入医疗废物暂存管理系统。根据国家医疗垃圾管理制度，应严格执行医疗垃圾转移联单制度，由具备医疗垃圾回收处理资质的专业单位回收集中处理。此外，本项目动物楼在开展动物介入手术的动物实验时产生少量动物尸体，依托医院拟建设的医疗废物暂存间进行暂存和管理，最终进行统一处理。通过采取上述措施后，项目固废能够得到妥善处置，对周围环境影响较小。

七、声环境影响分析

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机、空调。本项目均拟选用低噪设备，噪声源强约为 65dB (A)。通排风系统拟采用低噪声风机并设置减振降噪装置，且加上建筑物墙体的隔声作用及医院场址内的距离衰减，噪声较小，无需采用专门的降噪措施。

事故影响分析

一、事故等级判断依据

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）和《四川省生态环境厅（四川省核安全局）辐射事故应急预案（2020 版）》，根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故（I 级）、重大辐射事故（II 级）、较大辐射事故（III 级）和一般辐射事故（IV 级）等四级，详见表 11-34。

表 11-34 国务院令第 449 号辐射事故等级分级一览表

事故等级	危害结果
特别重大辐射事故（I 级）	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人及以上急性死亡。
重大辐射事故（II 级）	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人及以下急性死亡或者 10 人及以上急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故（III 级）	III 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置导致 9 人及以下急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故（IV 级）	IV 类、V 类放射源丢失、被盗、失控，或放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

同时根据《职业性外照射急性放射病诊断》(GBZ104-2017)，急性放射病发生参考剂量见表 11-35。

表 11-35 急性放射病初期临床反应及受照剂量范围参考值

急性放射病	分度	受照剂量范围参考值
骨髓型急性放射病	轻度	1.0Gy~2.0Gy
	中度	2.0Gy~4.0Gy
	重度	4.0Gy~6.0Gy
	极重度	6.0Gy~10.0Gy
肠型急性放射病	轻度	10.0Gy~20.0Gy
	中度	/
	重度	20.0Gy~50.0Gy
	极重度	/
脑型急性放射病	轻度	50Gy~100Gy
	中度	
	重度	
	极重度	
	死亡	100Gy

二、核医学科非密封放射性物质辐射事故影响分析

1、事故类型

根据污染源分析本项目核医学科可能存在的最大潜在辐射事故包括：

- (1) 放射性药物发生丢失或被盗；
- (2) 放射性药物操作不当或因其他原因打翻，完全泄露；
- (3) 分装设备发生故障造成的放射性药物撒漏；

2、判定因子：环境剂量率

(1) 事故情景假设

①放射性核素分装过程中导致放射性药物试剂瓶或铅罐打翻或破碎，或其他任何原因造成放射性药物泄漏，本次以核素单日最大操作量计算，包括储存量。

- ②泄漏事故持续过程中按点源考虑；
- ③受照人员不考虑任何屏蔽措施。

(2) 剂量估算模式与参数选取

根据式 11-17，分别计算距辐射源 0.1m、0.2m、0.5m、1.0m、2.0m、5.0m、10m、

以及超过 0.1mSv/h 处的剂量率。

(3) 计算结果

根据事故情景假设条件计算得出, 距源 $0.1\text{m}\sim 12.6\text{m}$ 范围内剂量率, 计算结果见表 11-36。

表 11-36 放射性药物丢失和泄漏事故和下不同距离处剂量率分布表

距源距离 (m)	各事故持续时段的 γ 射线剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
	氟-18
0.1	396825.00
0.2	99206.25
0.5	15873.00
1.0	3968.25
2.0	992.06
5.0	158.73
6.3	99.98
10.0	39.68

(4) 事故后果

根据表 11-33 可知, 当日氟-18 全部泄露后, 事故持续 1h 后, 周围 6.3m 半径范围的环境剂量率将超过 0.1mSv/h , 超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中公众 0.1mSv/a 剂量限值, 构成一般辐射事故。

3、判定因子: 手部剂量

①事故情景假设

- A、假设发生事故时溅洒活度为单个病人操作活度;
- B、假设溅洒溶液在手部均匀分布, 沾染面积取成人平均手部表面积 280cm^2 ,
- C、假设事故处理时间持续 1min。

(2) 事故后果影响分析

根据《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》(Published by Nuclear Technology Publishing), 不同放射性核素溅洒到手部时, 每 $1\text{kBq}\cdot\text{cm}^{-2}$ 对皮肤造成的剂量率及事故状态下受照剂量见表 11-37。

表 11-37 放射性溶液溅洒对手部照成的剂量计算表

核素	手部沾染活度 (kBq)	每 $1\text{kBq}\cdot\text{cm}^{-2}$ 对皮肤造成的剂量率辐射剂量率 (mSv/h)	事故中皮肤受照剂量 (mSv)
氟-18	$3.70\text{E}+05$	1.95	42.95

经计算, 单次事故状态下氟-18 溶液对职业人员手部造成的大受照剂量为 42.95mSv , 小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中对四肢(手和足)或皮肤的年当量剂量 500mSv 的限值, 不构成一般辐射事故。

综上，本项目非密封放射性物质使用过程中发生辐射事故时，最大可能发生的辐射事故等级为一般辐射事故。

三、核医学科回旋加速器辐射事故影响分析

1、可能发生的辐射事故识别

根据污染源分析，本项目使用回旋加速器存在主要环境风险因子为中子、 γ 射线等，危害因素为中子、 γ 射线外照射导致人员超剂量照射，回旋加速器只有在开机状态下才会产生中子、 γ 射线，一旦切断电源，便不会再有中子、 γ 射线产生。由于回旋加速器在停机后存在剩余辐射，若处理不当也会对人员和环境造成一定的影响。本项目回旋加速器可能发生的辐射事故如下：

- 1、安全装置或设备控制系统出现故障，人员非法闯入正在运行的机房，操作人员开启回旋加速器导致人员误照射。
- 2、操作人员未按操作规程对机房进行清场巡更，导致人员滞留机房内，室外操作人员开启回旋加速器导致人员误照射。
- 3、机房开门延时联锁失效，停机后机房内未进行足够时间的排风，或者通风系统失效，工作人员直接进入机房导致受到感生放射性废气的误照射。
- 4、回旋加速器冷却系统失效或火灾事故，导致靶腔破裂，造成非密封放射性物质泄漏。
- 5、辐照后的固态靶件在传输过程中因传输管道堵塞导致卡靶或停靶。
- 6、工作人员误操作、转运、火灾或因管理不善而丢失被盗，导致放射性物质（原料、产品和废物）撒漏；
- 7、工作箱负压不足或破损泄漏导致放射性气溶胶逸散到操作区；
- 8、排风系统过滤装置达到饱和或受潮、断电导致过滤失效；

2、事故工况下辐射影响分析

（1）非法闯入或人员滞留机房事故后果影响分析

根据建设单位提供资料，回旋加速器机体表面 1m 处最大辐射剂量当量率为 $2468\mu\text{Sv}/\text{h}$ （见附件 12 中剂量率在加速器自屏蔽体表面的剂量率分布峰值结果），当人员非法闯入或滞留回旋加速器机房，假设受照时间为 2min，人员距离机体表面 2m 处，其受照剂量为 0.0823mSv ，导致人员受照剂量低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业 20mSv 的剂量限值，不构成一般辐射事故。若事

故持续发生 3h，可能导致人员受照剂量为 7.404mSv，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业 20mSv 的剂量限值，不构成一般辐射事故。

（2）停机后人员误入机房事故后果影响分析

假设停机后机房内活化气体未进行衰减和排放（氩-41 活度浓度为 $5.17 \times 10^3 \text{Bq/m}^3$ ），人员即刻进入机房进行巡检操作，受到氩-41 活化气体的照射，其关键照射途经为浸没外照射，照射时间为 2min，人员受照剂量为 $4.87 \times 10^{-5} \text{mSv}$ 。同时，回旋加速器停机后还存在比较高的剩余辐射剂量，若停机后立即进入机房会对误入人员造成外照射，根据同类加速器停机后的剩余辐射剂量为 164mSv/h，照射时间为 2min，人员受照剂量为 5.47mSv，未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员 20mSv 的剂量限值，但若持续发生 6min 将导致人员受照剂量超过 20mSv 的剂量限值，构成一般辐射事故。

（3）回旋加速器机房内射性物质泄漏事故后果影响分析

本项目涉及生产的液态放射性物质为氟-18、碳-11 和氮-13，其中因碳-11 和氮-13 半衰期极短，本次以氟-18 作为代表进行分析，单批次生产产额为 2.0Ci，当氟-18 发生泄漏时，泄漏体积约 20mL，体积量较小，主要造成机房及管路沿线β表面沾污超标，由于回旋加速器大厅设计有防渗措施，泄漏的氟-18 对土壤和地下水影响较小，同时氟-18 的半衰期相对较短，通过场所封闭衰变和后续去污措施，不会造成较大影响，其事故后果属于辐射事件。若存在工作人员误入情况，按单批次产额 2.0Ci 进行泄漏量考虑，机房内（距离 0.5m 处）最大辐射剂量率为 36.6mSv/h，若事故持续发生 33min 将导致工作人员受照剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业 20mSv 的剂量限值，构成一般辐射事故。

（4）卡靶或停靶事故后果影响分析

当发生卡靶时，辐照后的放射性固体靶将长时间滞留于管道中，会持续对周围辐射环境造成影响，回旋加速器设计地沟深度为 0.425m，管道屏蔽厚度为 3mm 铅套管，采用 60mm 铅盖板进行屏蔽，假设传输的放射性固体原料未发生衰变，以氟-18 为代表（单次生产活度为 $6.40 \times 10^4 \text{MBq}$ ），经计算距离其 1m 处辐射剂量率为 $1.47 \mu\text{Sv/h}$ ，人员居留时间为 8h，其最大受照剂量为 $11.76 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，人员受照射剂量未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业 20mSv 的剂量限值，不构成一般辐射事故。若工作人员私自打开铅盖板进行处置，其辐射剂量率将达到 6.04mSv/h，

事故持续发生 3.3h，可导致工作人员受照剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业 20mSv 的剂量限值，构成一般辐射事故。

（5）气态放射性物质释放事故状态下的影响分析

1) 热室柜泄漏导致气态放射性物质泄漏的事故影响分析

对于热室柜泄漏，选择易挥发的氟-18 作为评价核素，主要考虑吸入内照射所致剂量，假设气态放射性物质的释放量以每日最大操作为挥发量作为评价 (6.4×10^{10} Bq)，当热室柜泄漏时，气态放射性物质均匀分布于热室内（活度浓度为 2.1×10^8 Bq/m³），职业人员受照时间以 8h 计，受照剂量为 0.24mSv，超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员 20mSv 的剂量限值，不构成辐射事故。

（6）放射性物质撒漏事故状态下影响分析

对于使用热室柜、手套箱进行核素制备、分装的场所，放射性溶液撒漏不会直接沾染工作人员手部皮肤，因而对人体的影响不大。但在给病人服药时容易因误操作导致撒漏对工作人员造成辐射影响，其影响情形与前文非密封性物质事故状态影响情况基本一致；前文以单次事故状态下氟-18 溶液对职业人员手部造成的大剂量计算结果计算值为 36.6mSv，小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量 500mSv 的限值，最大可能发生的辐射事故等级为一般辐射事故。

四、医用直线加速器辐射事故影响分析

1、可能发生的辐射事故识别

根据污染源分析，医用直线加速器主要环境风险因子为 X 射线，危害因素为 X 射线超剂量照射，加速器只有在开机状态下才会产生 X 射线，一旦切断电源便不会再有射线产生。本项目可能发生的辐射事故如下：

（1）辐射工作人员还未全部撤出机房，外面人员启动射线装置，造成辐射工作人员被误照，引发辐射事故。

（2）安全联锁装置发生故障，加速器工作时无关人员打开屏蔽门并误入，造成有人员被误照射，引发辐射事故。

（3）加速器检修、维护过程，工作人员误操作，安全联锁装置失效，造成人员被误照射，引发辐射事故。

2、事故工况下辐射影响分析

本项目医用电子直线加速器对病人开机治疗时，距焦点 1m 处 X 射线的最大吸收剂量率为 24Gy/min。以最大吸收剂量率 24Gy/min 考虑，假设考虑加速器运行时人员误入机房，人员在无其他屏蔽的情况下处于加速器机头外 1m 远处的主射束方向。由于机房内安装有出束提醒并在人员易接触的位置设置有“紧急停机”按钮，只要误入人员按下此按钮就可以停机，所以受照时间取 10s，则事故情况下误入人员距加速器机头 1m 处受到的辐射剂量为 4.0Sv/次，超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众年受照射剂量 1mSv/a 限值，职业人员受照射剂量 20mSv/a 剂量限值。根据《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017），可能会发生重度骨髓型急性放射病，属于较大辐射事故。

五、DSA 和 ERCP 事故后果计算

1、可能发生的辐射事故识别

本项目所使用的 DSA 和 ERCP 的管电压较低，曝光时间较短，装置失控只可能导致人员受到超过年剂量限值的照射。DSA 和 ERCP 透视和拍片是两个完全不同的操作模式，如果设备设置为拍片模式，那么不能进行透视操作，因此不会出现模式设置错误导致医生被误照的情况。本项目 DSA 和 ERCP 可能发生的辐射事故见表 11-38。

表 11-38 本项目 DSA 和 ERCP 的环境风险因子和潜在危害

装置名称	环境风险因子	可能发生辐射事故的意外条件
DSA、ERCP —II类射线 装置	X 射线	①在防护门未关闭的情况下即进行曝光操作，可能给周围活动的人员造成不必要的照射。②医护人员开展介入治疗时，未穿防护服进行手术操作受到射线照射。

2、事故工况下辐射影响分析

DSA 的 X 射线能量不大，曝光时间较短，在计算事故情况下剂量率时，根据实际情况取透视状态下的曝光参数，单次事故发生时误受照人员的受照时间分别取 10s、0.5min、1min、10min，透射因子取 1，分别计算漏射剂量和散射剂量再相加，最终得出在事故状态下环境影响分析结果，见表 11-39。

表 11-39 DSA 和 ERCP 事故情况下剂量率计算结果表

人员类型	与主射线束 之间最近距离	事故状态曝光参数	居留位置有效剂量 (mSv)			
			10s	0.5min	1min	10min
职业	0.3m (非有用线束方向)	取透视时最大工况：管电压 75kV，管电流 12mA	0.32	0.95	1.89	18.9
公众	1m (非有用线束方向)		0.03	0.09	0.17	1.7

注：事故状况曝光参数保守按 DSA 透视工况进行计算。

根据表 11-34, DSA 和 ERCP 手术室误入公众人员停留 10min 所受的 X 射线辐射剂量最大为 1.7mSv/次, 超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中公众年受照射剂量 1mSv/a 限值, 为一般辐射事故; 职业人员不作防护 10min 所受的 X 射线辐射剂量率为 18.9mSv/次, 未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中职业人员年受照射剂量 20mSv/a 限值, 仅为辐射事件。

四、辐射事故综合分析

根据前述, 本项目可能产生的最大潜在事故条件及事故等级见表 11-40。

表 11-40 本项目放射性物质及射线装置最大潜在危害及事故等级

场所		环境风险因子	可能发生辐射事故的意外条件	事故影响后果	事故等级
核医学科	非密封放射性物质	γ 射线、放射性物质泄漏	①放射性药物发生丢失或被盗; ②放射性药物操作不当或因其他原因打翻, 完全泄露; ③分装设备发生故障造成的放射性药物撒漏;	人员超剂量照射、环境释放量超标	一般辐射事故
医用电子直线加速器		X 射线	①辐射工作人员还未全部撤出机房, 外面人员启动射线装置, 造成辐射工作人员被误照, 引发辐射事故。 ②安全联锁装置发生故障, 射线装置工作时无关人员打开屏蔽门并误入, 造成有人员被误照射, 引发辐射事故。 ③加速器检修、维护过程, 工作人员误操作, 安全联锁装置失效, 造成人员被误照射, 引发辐射事故。	人员超剂量照射, 并可能导致急性重度放射病、局部器官残疾	较大辐射事故
DSA、ERCP		X 射线	①人员误入机房或未撤离机房, 且无防护。	事故状态下公众停留 10min 受照射有效剂量最大为 1.7mSv, 导致人员受到超剂量照射。	一般辐射事故
			②医护人员开展介入治疗时, 未穿防护服进行手术操作受到射线照射。	事故状态下职业人员停留 10min 受照射有效剂量最大 18.9mSv。	未构成辐射事故

五、事故防范措施

为了杜绝上述辐射事故的发生, 环评要求建设方严格执行以下风险预防措施:

1、定期认真地对本单位射线装置的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查, 制定完善的辐射安全规章制度并有专人监督核实各项管理制度的执

行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生；

2、凡涉及对射线装置进行操作，必须有明确的操作规程，射线装置运行时，至少有2名操作人员同时在场，对辐射工作人员定期培训，使之熟练操作，操作人员严格按照操作规程进行操作，并做好个人的防护，并应将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置；

3、发生撒漏事件后，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦拭，直到擦干污染区。

4、严格执行核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。注射间、储源室设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

5、加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性废水和固体废物经足够长的时间衰变后，方可排放或按照普通医疗垃圾处理，并做好监测记录。

6、正确穿戴个人防护用品，主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅防护衣、防护镜等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人剂量仪佩戴于铅衣内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩、手套，防护眼镜。科主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

7、严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果监测表明防护墙外辐射水平偏高，应适当增加防护墙厚度。

8、射线装置治疗室每次开机前检查机房监控系统、门机联锁装置、门灯联锁装置和其他安全联锁装置，确保一切正常并安全的情况下，射线装置才能进行照射。

9、射线装置治疗室运行之前确保所有人员全部撤离机房后才能启动，防止误操作，防止工作人员和公众受到意外辐射。

10、定期对各射线装置机房治疗室的安全装置有效性进行检查。

11、建设单位所有辐射工作人员均需参加辐射安全与防护考核，并需取得合格证书，所有辐射工作人员均需持证上岗。

12、设备安装调试时必须由厂家专业人员负责完成，安装调试时关闭防护门，并在机房门外设立辐射警示标志。

13、辐射防护管理人员要经常对辐照工作场所进行巡视，及时纠正不利于辐射安全防护的行为。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理

一、辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求, 使用II、III类射线装置、V类放射源及非密封放射性物质工作场所的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构, 或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

目前建设单位已成立了辐射防护安全工作领导小组, 由法人作为组长, 全面负责全院辐射安全与环境保护监督管理工作, 保障辐射工作人员、社会公众的健康与安全。该文件明确了辐射安全和防护管理领导小组工作职责:

辐射防护安全工作领导小组的职责是:

- 1、全面负责医院内的辐射安全管理工作;
- 2、认真学习贯彻国家相关法规、标准, 结合医院实际制定安全规章制度并检查监督实施;
- 3、负责医院内放射工作人员的法规教育和安全环保知识培训;
- 4、检查辐射安全设施, 监督日常和年度辐射监测的开展;
- 5、实施辐射工作人员的个人剂量检测、健康体检及档案管理, 负责安排并监督医院辐射工作场所防护安全检测管理。
- 6、编制辐射事故应急预案, 并妥善处理医院有可能发生的辐射事故;
- 7、协调其他的有关放射防护的管理的重要事宜。
- 8、定期召开辐射安全与防护工作会议, 对辐射安全控制效果进行评议。定期对领导小组成员进行调整; 讨论辐射安全与防护工作计划和总结、放射人员职业危害控制等事宜。
- 9、对突发辐射事故应急预案、各辐射安全与防护制度进行定期修订。
- 10、对全院辐射安全与防护工作的监督检查过程中存在的问题提出整改意见并及时督导落实。

二、辐射工作人员考核学习

本项目拟设置 88 名辐射工作人员, 均为新增辐射工作人员, 建设单位承诺及

时安排辐射工作人员参加辐射安全与防护的学习和考核，并取得合格证书后上岗。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年 第 57 号）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。本项目新增的 18 名辐射工作人员应在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习相关知识并报名参加线下考核。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每 5 年接受一次再培训考核。

建设单位应尽快安排医院现有辐射工作人员尽快参加培训学习，取得合格证书后持证上岗。在辐射工作人员上岗前，建设单位应组织其进行岗前职业健康检查，并建立个人健康档案，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作。建设单位应当建立并保存辐射工作人员的培训档案。

三、辐射安全管理规章制度

（一）档案分类管理

医院应对本项目辐射相关资料分类归档，档案资料应包括以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”、“废物处置记录”，并由专人进行管理。

（二）规章制度

根据《生态环境部（国家核安全局）《核技术利用监督检查技术程序》（2020 年发布版）》和《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函（2016）1400 号）的相关要求中的相关规定，建设单位需制定的规章制度见表 12-2。

表 12-2 管理制度汇总对照表

序号	项目	规定的制度	落实情况
核医学科			
1	综合	辐射安全与防护管理大纲	需制定，院方需将所有辐射工作场所纳入大纲
2		辐射安全与环境保护管理机构文件	已制定
3		辐射安全管理规定	院方需根据本项目对该制度进行修订完善，每个辐射工作场所都

			制定针对性的制度并上墙。
4	放射性物质	非密封放射性物质的管理规定	需制定
5		物料平衡管理规定	本项目放射性药物均为外购
6	场所设施	场所分区管理规定（含人流、物流路线指示）	需制定
7		操作规程	需制定，需在操作场所上墙
8		安保管理规定	需制定
9		去污操作规程	需制定
10		安全防护设施的维护与维修制度	已制定，需将本项目纳入
11	监测	监测方案	已制定，需将本项目纳入
12		监测仪表使用与校验管理制度	需根据本项目新增仪器仪表修订完善
13	人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	已制定，根据最新要求完善
14		辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定，可沿用
15		辐射工作人员岗位职责	需制定
16	应急	辐射事故应急预案	将原有预案完善，将核医学科各类事故纳入应急预案，并在操作场所上墙
17	三废	放射性“三废”管理规定	需制定

医用直线加速器

序号	项目	规定的制度	落实情况
1	综合	辐射安全与环境保护管理机构文件	已制定
2		辐射安全防护安全管理规定	院方需根据本项目对该制度进行修订完善，每个辐射工作场所都制定针对性的制度并上墙。
3		辐射安全和防护设施维护维修制度	已制定，需将本项目纳入
4	场所	医用电子直线加速器操作规程	需制定，需在操作场所上墙
5		场所分区管理规定	需制定
6	监测	辐射工作场所监测方案	已制定，需将本项目纳入
7		监测仪表使用与校验管理制度	需根据本项目新增仪器仪表修订完善
8		校验源管理制度	需根据本项目新增仪器仪表修订完善
9	人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	已制定，根据最新要求完善
10		辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定，可沿用
11		辐射工作人员岗位职责	需制定
12	应急	辐射事故/事件应急预案	将原有预案完善，将直线加速器各类事故纳入应急预案，并在操作场所上墙

DSA、ERCP 与 III类射线装置

序号	项目	规定的制度	落实情况
1	综合	辐射安全与环境保护管理机构文件	已制定

2	场所设施	辐射安全管理规定	院方需根据本项目对该制度进行修订完善，每个辐射工作场所都制定针对性的制度并上墙。
3		射线装置操作规程	需制定，需在操作场所上墙
4		辐射安全防护设施的维护与维修制度	已制定，需将本项目纳入
5		场所分区管理规定	需制定
6		X射线诊断中受检者防护规定	需制定
7		患者管理规定	需制定
8		安保管理制度	需制定
9		监测方案	已制定，需将本项目纳入
10	监测	监测仪表使用与校验管理制度	需根据本项目新增仪器仪表修订完善
11	人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	已制定，根据最新要求完善
12		辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定，可沿用
13		辐射工作人员岗位职责	已制定，本项目相关场所将该制度上墙
14	应急	辐射事故应急预案	将原有预案完善，将新增介入手术场所纳入应急预案，并在操作场所上墙

建设单位需制定的其他制度

1	其他	质量保证大纲和质量控制检测计划	需制定
2		射线装置台账管理制度	已制定，需建立非密封放射性物质台账

建设单位需在辐射防护安全领导小组组织下及时完善和制定上述各项规章制度，明确各科室人员责任，并严格落实。领导小组需定期对辐射安全规章制度执行情况进行评议，并根据具体实践存在的问题及时进行修改和完善。

同时根据《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函（2016）1400号），各辐射工作场所职业人员操作室或医生办公室内需将所有制度中关于“辐射工作场所安全管理规定”、“操作规程”、“辐射工作人员岗位职责”和“应急响应程序”的内容需张贴上墙，且上墙制度的长宽尺寸不得小于600mm×400mm。

建设单位应根据规章制度内容认真组织实施，并且应根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对各项规章制度补充修改，使之更能符合实际需要。

四、辐射环境监测

根据《四川省辐射污染防治条例》“使用放射性同位素和射线装置的单位应当建立辐射监测制度，组织对从业人员个人辐射剂量、工作场所及周围环境进行监测，

并建立相应档案”。为了保证本项目运行过程的安全，为控制和评价辐射危害，设置了相应的辐射剂量监测手段，使工作人员和公众所受照射尽可能低。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中的相关规定，本项目个人辐射剂量、工作场所及周围环境监测要求如下：

1、个人剂量监测

项目建成投运后，建设单位应保证每名辐射工作人员均配备个人剂量计，并根据原四川省环境保护厅“关于进一步加强辐射工作人员个人剂量管理的通知”（川环办发〔2010〕49号）做好个人剂量管理的工作。同时根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）个人剂量常规监测周期一般为1个月，最长不应超过3个月，同时建设单位应建立个人剂量档案。辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料，医院应当将个人剂量档案保存终身。

建设单位辐射工作人员在日常接触辐射工作过程中应正确佩戴个人剂量计，于比较均匀的辐射场，当辐射主要来自前方时，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般在左胸前或锁骨对应的领口位置；当辐射主要来自人体背面时，剂量计应佩戴在背部中间。对于如介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计，并建议采用双剂量计监测方法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计（如头箍剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等）。

当单个季度个人剂量超过1.25mSv时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过5mSv时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关，检测报告及有关调查报告应存档备查；当单年个人剂量超过50mSv时，需调查超标原因，确认是辐射事故时启动应急预案。

2、辐射工作场所监测

（1）监测内容：射线装置工作场所监测因子为：X辐射剂量率；非密封放射

性物质工作场所监测因子为: γ 辐射剂量率、 α 、 β 表面沾污、中子剂量当量率及衰变池废水总 β 。

(2) 监测布点及数据管理: 监测布点应与环评监测布点、验收监测布点一致, 监测数据应记录完善, 并将数据实时汇总, 建立好监测数据台账以便核查。

(3) 监测频度: 对于 $X-\gamma$ 剂量率、中子剂量当量率应自行配备监测设备每1个月监测1次; α 、 β 表面沾污应在每次工作后, 离开放射性工作场所前进行监测。另外建设单位需委托有监测资质的单位在项目投运前开展验收监测, 并在投运后每年定期开展年度监测, 监测报告附到年度评估报告中, 于每年1月31日前将评估结果上传至全国核技术利用辐射安全申报系统(网址: <http://rr.mee.gov.cn>)。

(4) 监测范围: 射线装置工作场所主要监测屏蔽墙、防护门、观察窗外以及楼上、楼下区域和穿线孔洞外 X 辐射剂量率。非密封放射性物质工作场所主要监测控制区人员易接触的工作台、地面、墙面、病床、桌椅等表面沾污, 以及控制区内所有场所及控制区外邻近房间的 γ 辐射剂量率。

(5) 监测设备: $X-\gamma$ 辐射剂量率仪、 α 、 β 表面沾污仪。

(6) 质量保证: 制定监测仪表使用、校验管理制度, 并利用上级监测部门的监测数据与建设单位监测仪器的监测数据进行比对, 建立监测仪器比对档案。

表 12-3 监测计划一览表

项目	工作场所	监测项目	监测范围	监测频次	监测设备
自主监测	射线装置工作场所	X 辐射剂量率	机房楼上、楼下及四周屏蔽墙外、防护门外、观察窗外、穿线孔洞处	每季度一次(记录监测数据存档)	$X-\gamma$ 辐射剂量率仪
	非密封放射性物质工作场所	α 、 β 表面沾污	人员易接触的工作台、地面、墙面、病床、桌椅等	每次工作结束(出现放射性药物洒落应及时进行监测)	α 、 β 表面沾污仪
		γ 辐射剂量率	控制区内所有场所、控制区外邻近房间	不少于1次/月(记录监测数据存档)	$X-\gamma$ 辐射监测仪
		中子剂量当量率	控制区内所有场所、控制区外邻近房间	不少于1次/月(记录监测数据存档)	中子周围剂量当量仪
		α 、 β 表面沾污	手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽	每次工作结束(出现放射性药物洒落应及时进	α 、 β 表面沾污仪

				行监测)	
委托 监测	射线装 置工作 场所	X辐射 剂量率	机房楼上、楼下及四周屏 蔽墙外、防护门外、观察 窗外、穿线孔洞处	(1) 竣工环保验 收监测；(2) 年 度监测	X- γ 辐射 剂量率仪
	非密封 放射性 物质工 作场所	α 、 β 表面沾 污	人员易接触的工作台、地 面、墙面、桌椅等		α 、 β 表面 沾污仪
		γ 辐射剂量率	控制区、监督区		X- γ 辐射 监测仪
	其它	个人剂量	所有辐射工作人员	一季度一次（需 建立个人剂量档 案）	个人 剂量计

3、年度监测报告情况

建设单位应于每年 1 月 31 日前将上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》上传至全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>），近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并提交给发证机关。建设单位应按照《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函〔2016〕1400 号）规定的格式编写《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》。医院必须在“全国核技术利用辐射安全申报系统”（网址 <http://rr.mee.gov.cn/rsmsreq/login.jsp>）中实施申报登记。延续、变更许可证，新增、注销以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

五、辐射事故应急

为了加强对射线装置和非密封放射性物质的安全和防护的监督管理，促进射线装置和非密封放射性物质的安全使用，保障人体健康，保护环境，建设单位需根据最新要求完善现有的《辐射事故应急预案》，其内容应包括：①应急机构和职责分工；②应急人员的组织；③培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；④辐射事故分级及应急响应措施；辐射事故调查、报告和处理程序。

若本项目发生了辐射事故，建设单位应迅速、有效采取以下应急措施：

(1) 一旦发现放射性药物被盗或者丢失，按照应急预案实施程序及时向公安部门、地方生态环境主管部门和主管部门报告。

(2) 发现误照射事故时，工作人员应立即切断电源，将人员撤出机房，关闭机房门，同时向主管领导报告。

(3) 医院根据估算的超剂量值，尽快安排误照人员进行检查或在指定的医疗机构救治；对可能受放射损伤的人员，应立即采取暂时隔离和应急救援措施。

(4) 事故发生后的 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

(5) 最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

其他要求： (1) 辐射事故风险评估和辐射事故应急预案，应报送所在地县级地方人民政府生态环境主管部门备案。

(2) 在预案的实施中，应根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对预案作补充修改，使之更能符合实际需要。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：成都市中心医院（成都市第三人民医院东部医院）（一期）项目（核技术利用部分）

建设单位：成都市第三人民医院

建设性质：新建

建设地点：龙泉驿区洪安镇长伍村五组、十二组、十七组及洛带镇宝胜村五组、六组拟建的成都市中心医院（成都市第三人民医院东部医院）（一期）内部

本项目具体建设内容及规模为：

1、在医院门急诊医技住院楼地下室负一层放疗科新建 1 间直线加速器机房，在 1 间加速器机房内配备 1 台 X 射线最大能量为 10MV 的直线加速器，开展放射治疗项目。

2、在医院门急诊医技住院楼地下室负一层和 1 层新建核医学科新建核医学工作场所；其中负一层核医学科门诊部分，主要开展 PET 放射诊断、SPECT 放射诊断项目、甲吸检查项目、甲亢治疗项目、肿瘤骨转移及敷贴治疗项目。PET 放射诊断项目拟配备 1 台 PET/CT 和 1 台 PET/MR，使用放射性药物 ^{68}Ga 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 开展显像检查（其中 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 使用回旋加速器制备，回旋加速器设置于核医学科东南侧）；SPECT 放射诊断项目拟配备 1 台 SPETCT/CT，使用放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 开展显像检查；甲吸检查、甲亢治疗项目使用放射性药物 ^{131}I 开展门诊诊疗；敷贴治疗项目使用 ^{90}Sr 、 ^{32}P 进行敷贴治疗；肿瘤骨转移项目使用 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 进行肿瘤骨转移治疗；医院门急诊医技住院大楼一层（核医学科门诊部分对应楼层上方）为核素病房区，设置 6 张核素病床，使用核素 ^{131}I 进行甲癌治疗，使用核素 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 进行多种肿瘤住院治疗。

3、在医院门急诊医技住院大楼二层介入中心新建 7 间 DSA 机房，在机房内各配备 1 台 DSA，开展放射诊断和介入治疗。

4、在医院门急诊医技住院大楼三层内镜中心新建 1 间 ERCP 治疗室，1 间纤支镜 DSA 室，在 ERCP 治疗室内配备 1 台 ERCP 医疗射线装置，在 1 间纤支镜 DSA 室内安装 1 台 DSA，开展胆管、胰腺及消化类等的介入治疗。

5、在医院门诊急诊医技住院大楼四层手术中心新建1间复合手术室，在手术室内配备1台DSA，开展放射诊断和介入治疗。

6、在医院平急结合裙楼一层新建1间DSA机房，在机房内配备1台DSA，开展放射诊断和介入治疗。

7、在医院动物楼一层新建1间DSA机房，在机房内配备1台DSA，开展介入手术的动物实验。

二、本项目产业政策符合性分析

本项目属于核技术在医学领域应用，根据《产业结构调整指导目录（2024年本）》相关规定，本项目属于鼓励类中第三十七项“卫生健康”的第1条“医疗服务设施建设：预防保健、卫生应急、卫生监督服务设施建设，医疗卫生服务设施建设，传染病、儿童、精神卫生专科医院和康复医院（中心）、护理院（中心）、安宁疗护中心、全科医疗设施与服务，医养结合设施与服务”，是目前国家鼓励发展的项目。因此，本项目符合国家产业发展政策。

三、本项目选址及平面布局合理性分析

医院所在区域道路、给排水、电力等城市基础配套设施完善，为项目建设提供了良好条件；医院周围没有项目建设的制约因素，且本项目辐射工作场所相对独立，为专门的辐射工作场所，本项目产生的辐射通过采取相应的治理措施后对周围环境影响较小，其选址是合理的。本项目辐射工作场所根据工作要求、有利于辐射防护和环境保护来进行布置，功能分区明确，既能有机联系，又不互相干扰；在设计阶段，所有辐射工作场所均进行了合理的优化布局，同时兼顾了病人就诊的方便性。综上所述，项目总平面布置是合理的。

四、工程所在地区环境质量现状

根据现状监测，本项目所在区域的X-γ辐射剂量率背景值均为97.6~132.5nGy/h，与项目所在地成都市生态环境局发布《2024成都生态环境质量公报》中成都市环境γ辐射剂量率连续自动监测年均值范围（66.7~117）nGy/h相较基本一致，属于当地正常天然本底辐射水平；项目所在区域的α表面污染监测结果结果为未检出、β表面污染监测结果结果为≤LLD，监测结果无明显异常。项目所在区域的中子剂量当量率监测结果均低于仪器测定下限（<0.01uSv/h）。监测结果无明显异常。

五、环境影响评价分析结论

(1) 辐射环境影响分析

经现场监测和模式预测，在正常工况下，对职业人员造成的年附加有效剂量低于本次评价 5mSv 的职业人员年剂量约束值；对公众造成的年附加有效剂量低于本次评价 0.1mSv 的公众人员年剂量约束值。

(2) 大气的环境影响分析

本项目射线装置在运行过程中产生的臭氧经排风系统排出后浓度低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中规定的二级标准限值要求；非密封放射性物质工作场所产生的放射性废气经过过滤器+独立通风出入口排放后对周围辐射环境影响较小。

(3) 废水的环境影响分析

本项目投入运营后，废水主要为放射性废水和医院工作人员、患者产生的生活污水及医疗废水。本项目产生的放射性废水通过专用管道收集至衰变池内衰变处置。医院工作人员、患者产生的生活污水及医疗废水经过院内的污水处理站处理达预处理标准后，排入市政污水管网，对地表水环境影响较小。

(4) 固体废物的环境影响分析

本项目放射性固废采用专门固废收集桶分类收集后，衰变至监测达标后转移至医疗废物暂存库，按照普通医疗废物执行转移联单制度，由有资质单位统一回收处理，不外排，更换下的活性炭过滤器经暂存衰变至监测达标后由有资质单位回收处理。PET/CT 射线装置废校准源交由生产厂家进行回收处理。本项目产生的放射性固废得到妥善处置，对周围环境影响较小。

本项目产生非放射性医疗废物包括一些药棉、纱布、手套等医用辅料，进入医疗废物暂存、管理系统。根据国家医疗垃圾管理制度，应严格执行医疗垃圾转移联单制度，由具备医疗垃圾回收处理资质的专业单位回收集中处理，对周围环境影响较小。

(5) 声环境影响分析

项目噪声主要来源于通排风系统的风机、空调。本项目均拟选用低噪设备，噪声源强约为 65dB (A)。通排风系统拟采用低噪声风机并设置减振降噪装置，且加上建筑物墙体的隔声作用及医院场址内的距离衰减，无需采用专门的降噪措施，噪声较小，对周围声环境影响较小。

六、事故风险与防范

建设单位需按本报告提出的要求补充制定相关安全管理规章制度并完善辐射事故

应急预案，项目建成投运后，应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

七、环保设施与保护目标

建设单位需按环评要求配备较全、效能良好的环保设施，使本次环评中确定的绝大多数保护目标，所受的辐射剂量，保持在合理的、可达到的尽可能低的水平。

八、建设单位辐射安全管理的综合能力

建设单位辐射安全管理机构健全，有领导分管，人员落实，责任明确，辐射工作人员配置合理，拟制定辐射事故、应急预案与安全规章制度；环保设施总体效能良好，可满足防护实际需要。对在一落实设计的环保设施和相关的法律法规的要求后，即具备本项目辐射安全管理的综合能力。

九、项目环保可行性结论

建设单位在采取切实可行的环保措施，落实本报告提出的各项污染防治措施后，本评价认为，本项目在成都市中心医院（成都市第三人民医院东部医院）内进行建设，从环境保护和辐射安全角度看是可行的。

建议

1、认真学习贯彻国家相关的环保法律、法规，不断提高遵守法律的自觉性和安全文化素养，切实做好各项环保工作。

2、不断提高工作人员素质，增强职工环保意识和安全意识，做好辐射防护设施、设备的维护保养，避免发生辐射事故。

承诺

1、建设单位在变更辐射安全许可证前，注册并登录全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>），对建设单位所用射线装置的相关信息进行填写。

2、尽快安排未取得成绩报告单的辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习相关知识并报名参加考核。

3、项目应按照国家相关法律法规尽快进行验收。

4、接受生态环境主管部门的监督检查。

项目竣工验收检查内容

根据《国务院关于修改<建设项目环境保护管理条例>的决定》(国务院682号令),工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。项目投入运行后,建设单位应当按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序,自行对配套建设的环境保护设施进行验收,编制验收报告,并依法向社会公开验收报告。本项目竣工环境保护验收一览表见表13-1。

表 13-1 项目环保竣工验收检查一览表

项目	设施(措施)		数量
核医学科			
	各房间辐射屏蔽(墙体、地板、楼板、门、窗屏蔽)		/
辐射屏蔽措施	SPECT 区域	通风手套箱(5mm 铅当量)	1 个
		分装注射室注射窗(5mm 铅当量)	1 个
		注射器防护套(5mm 铅当量, 分装注射室 1)	1 个
		转运铅盒(5mm 铅当量, 分装注射室 1)	1 个
		防护铅屏风(5mm 铅当量)	2 扇
		检查床前铅屏风(5mm 铅当量)	1 扇
辐射屏蔽措施	PET 区域	通风手套箱(50mm 铅当量)	1 个
		分装注射室注射窗(50mm 铅当量)	1 个
		注射器防护套(5mm 铅当量, 分装注射室 2)	1 个
		转运铅盒(50mm 铅当量, 分装注射室 2)	1 个
		防护铅屏风(5mm 铅当量)	2 扇
		检查床前铅屏风(5mm 铅当量)	1 扇
PET 药物生产区	PET 药物生产区	钨合金防护罐(50mm 铅当量)	1 个
		工作台(70mm 铅当量)	3 个
		药物合成分装柜(50mm 铅当量)	1 个
		通风手套箱(50mm 铅当量)	3 个
核素病房区	核素病房区	钨合金防护罐(50mm 铅当量)	4 个
		检查床前铅屏风	8 个
个人防护用品	个人剂量报警仪		20 台
	个人剂量计		18 个
	辐射工作人员铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜等(0.5mm 铅当量)		8 套

	放射性活度计	2 台
放射性废水	控制区独立下水系统及排水管道	1 套
	屏蔽设施	
	4 座并联衰变池	4 座
放射性固废	SPECT 区域：放射性固废收集桶（2mm 铅当量，SPECT 区域分装注射室、注射候诊、检查后留观室、抢救室各 1 个）	4 个
	PET 区域：放射性固废收集桶（10mm 铅当量，PET 区域分装注射室、注射候诊、检查后留观室、抢救室各 1 个）	4 个
	核素病房区：放射性固废收集桶（10mm 铅当量	1 个
	SPECT 区域：放射性固废暂存容器 20mm 铅当量 4 个；PET 区域：20mm 铅当量 4 个；核素病房区：20mm 铅当量 4 个	12 个
	废物暂存室	2 间
安全装置	分装注射室 1、分装注射室 2、回旋加速器机房、核素病房区分装室红外监控系统各 1 套	4 套
	储源室红外监控系统各 1 套	4 套
	分装注射室 1、分装注射室 2 固定式剂量报警仪各 1 套	2 套
	控制区入口、出口单向门禁系统	1 套
	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标识	1 套
通风系统	气载流出物（即放射性废气）设独立通排风系统	1 套
	过滤系统	/
其它	控制区地面防渗	/
医用电子直线加速器		
项目	设施（措施）	数量
辐射屏蔽措施	医用电子直线加速器屏蔽机房	1 间
	防护门	1 扇
安全装置	门-机联锁装置	1 套
	视频监控系统	1 套
	语音播报及对讲装置	1 套
	工作状态指示灯（门-灯联锁）	1 套
	紧急开门装置	1 套
	紧急止动开关	1 套
	固定式剂量报警装置	1 套
	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标识	1 套
个人防护用	个人剂量计	4 人

品	个人剂量报警仪	1 台
废气	通排风系统	1 套
DSA 和 ERCP		
项目	设施 (措施)	数量
辐射屏蔽措施	屏蔽机房 (墙体、地板、楼板、门、窗屏蔽)	12 间
安全装置	工作状态指示灯	12 间×1 套
	紧急止动开关	12 间×1 套
	语音对讲装置	12 间×1 套
	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标识	3 套
个人防护用品	个人剂量计	64 人
	辐射工作人员铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜等 (0.5mm 铅当量)	12 间×2 套
	患者防护铅围裙等	12 间×1 套
废气	通排风系统	12 间×1 套
III 类射线装置机房 (SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、模拟定位机房)		
项目	设施 (措施)	数量
辐射屏蔽措施	屏蔽机房 (墙体、地板、楼板、门、窗屏蔽)	3 间
安全装置	工作状态指示灯	3 间×1 套
	紧急停机按钮各一套	3 间×1 套
	语音对讲装置各一套	3 间×1 套
	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标识各一套	3 间×1 套
个人防护用品	个人剂量计	6 人
废气	通排风系统	3 间×1 套
综合管理		
项目	设施 (措施)	数量
监测仪器	X-γ 辐射剂量率监测仪	3 台
	表面污染监测仪	1 台
辐射工作人员上岗考核		/
规章制度上墙		/
应急和救助的物资准备 (应急通信设备、警戒线、警示标牌、应急演练等)		/

合计