核技术利用建设项目

成都市第五人民医院光华院区
核技术利用建设项目
环境影响报告表

（公示稿）

成都市第五人民医院

2025 年 05 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

成都市第五人民医院光华院区
核技术利用建设项目
环境影响报告表

建设单位名称：成都市第五人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：[redacted]

通讯地址：成都市温江区柳城镇麻市街 33 号

邮政编码：611130　　联系人：[redacted]

电子邮箱：/　　联系电话：[redacted]

打印编号：1746518743000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	bsrx22
建设项目名称	成都市第五人民医院光华院区核技术利用建设项目
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）	成都市第五人民医院
统一社会信用代码	12510100450751864B
法定代表人（签章）	[redacted]
主要负责人（签字）	
直接负责的主管人员（签字）	
二、编制单位情况	
单位名称（盖章）	浙江君安检测技术有限公司
统一社会信用代码	91330106593053975 4
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
莫圣浩	20230503533000000014	BH064685	莫圣浩

2. 主要编制人员

姓名	主要编写内容	信用编号	签字
潘立成	表1、表2、表3、表4、表5、表6、表7、表8、表9、表10	BH038966	潘立成
莫圣浩	表11、表12、表13	BH064685	莫圣浩

环评单位营业执照（复印件）

统一社会信用代码 91330106593053975 4 (1/1)

营业执照

（副本）

名　　称　浙江君安检测技术有限公司

类　　型　有限责任公司（自然人投资或控股）

法定代表人　[illegible]

经营范围　许可项目：职业卫生技术服务；辐射监测；[illegible]技术服务；检验检测服务；室内环境检测；放射性污染[illegible]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，具体经营项目以审批结果为准）。一般项目：环境[illegible]测；技术服务、技术开发、技术咨询、技术交流、技术转让、技术推广；环保咨询服务（除依法须经批准的项目外，凭营业执照依法自主开展经营活动）。

注册资本　捌佰万元整

成立日期　2012 年 03 月 22 日

营业期限　2012 年 03 月 22 日 至 2032 年 03 月 21 日

住　　所　杭州[illegible]区文一西路 767 号西溪国际商务中心[illegible]01 室

登记机关　杭州市西湖区市场监督管理局

2020 年 [illegible] 月 [illegible] 日

扫描二维码登录企业信用信息公示系统了解更多登记、备案、许可、监管信息

市场主体应当于每年1月1日至6月30日通过国家信用公示系统报送公示年度报告。

国家市场监督管理总局监制

国家企业信用信息公示系统网址：http://www.gsxt.gov.cn

报告编制人社会保险参保证明

浙江省(杭州市本级)
社会保险参保证明（单位专用）

单位名称：浙江君安检测技术有限公司　　**统一社会信用代码：**913301065930539754　　共1页，第1页

当前单位参保险种	养老保险	工伤保险	失业保险
当前参保缴费总人数	26	26	26

2025年06月 － 2025年06月，该单位（**养老保险**）参保人员信息如下

序号	姓名	社会保障号	缴费起止年月	缴费月数
1	莫圣浩	330682199310135037	202506 － 202506	1
2	潘立成	362204199010157812	202506 － 202506	1

备注：1.本证明已签署经国家电子政务外网浙江省电子认证注册的机构认证的电子印章，社保经办机构不再另行签章。
2.本证明出具后3个月内可在“浙江政务服务网”进行网上验证，授权码：317494387277241602 7，
验证平台：https://mapi.zjzwfw.gov.cn/web/mgop/gov-open/zj/2002199511/reserved/index.html#validate。
3.本证明涉及参保单位及参保职工信息，应妥善保管。因保管不当造成信息泄漏的，依法承担相应的法律责任。

（盖章）

打印时间：2025年06月09日

浙江省社会保险 电子专用章

环评项目负责人职业资格证书（复印件）

14

环境影响评价工程师

Environmental Impact Assessment Engineer

本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、生态环境部批准颁发，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职业资格。

姓　　名：莫圣浩

证件号码：330682199310135037

性　　别：男

出生年月：1993年10月

批准日期：2023年05月28日

管 理 号：2023050353300000014

中华人民共和国人力资源和社会保障部

中华人民共和国生态环境部

中华人民共和国
人力资源和社会保障部

中华人民共和国
生态环境部

目 录

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="5">成都市第五人民医院光华院区核技术利用建设项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="5">成都市第五人民医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>[redacted]</td><td>联系人</td><td>[redacted]</td><td>联系电话</td><td>[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="5">成都市温江区柳城镇麻市街 33 号；万春东路 56 号；大南街 1 号金江大厦 9-13 楼</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="5">温江区涌泉街道官河社区，东坡大道（光华 8 线）与规划五环路交叉口西北侧，成都市第五人民医院光华院区内</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">成都市发展和改革委员会</td><td>批准文号</td><td colspan="2">成发改政务审批[2023]20 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>[redacted]</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>[redacted]</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☑新建 □改建 □扩建 □其它</td><td>占地面积(m^2)</td><td>66308.44</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="4">☐ Ⅰ类 □Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 □Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="4">□Ⅰ类（医疗使用） □Ⅱ类 ☐Ⅲ类 □Ⅳ类 ☑Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>☑生产</td><td colspan="4">☑制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="4">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="4">☑乙 ☑丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="4">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="4">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="4">☑Ⅱ类 ☑Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="5">/</td></tr>
</table>

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位情况简介

成都市第五人民医院（统一社会信用代码：12510100450751864B）（又称成都市老年病医院、成都中医药大学附属第五人民医院、成都市老年疾病研究所、成都市肿瘤防治所，以下简称“医院”）始建于 1938 年，是一所历史悠久、文化底蕴丰厚，以肿瘤疾病防治和老年病综合治疗为特色的集医疗、教学、科研、预防、康复、急救于一体的三级甲等综合性医院。医院以温江为基点，辐射大邑、崇州、都江堰、邛崃及岷江流域近 700 万人口。医院现有 4 个院区，分别为西区（即综合医疗区，地址位于四川省成都市温江区麻市街 33 号）、东区（即老年病区，地址位于四川省成都市温江区万春东路 56 号）、北区（即教学区，地址位于四川省成都市温江区鱼凫路 47 号）和光华院区（在建），占地面积 14.7 万 m^2，建筑面积 19.6 万 m^2，编制床位 2180 张，开放床位 2188 张，2024 年医院门急诊 210 万人次，出院 10.9 万人次，住院手术 3.5 万人次。设有临床科室 31 个，医技科室 17 个，行政职能部门 22 个**（详见附件 1：《事业单位法人证书》）**。

1.1.2 项目由来

受医院用地和建设规模等方面制约，迫切需要改善就医环境，新增院区，增加住院床位，配置先进医疗设施及设备。并且，依据温江区城市规划，为满足光华片区医疗服务需求、弥补区域公共医疗资源不足，在成都医学城范围内东坡大道与五环路相交处规划了一处医疗用地。

本项目于 2023 年 03 月 17 日取得《成都市发展和改革委员会关于成都市第五人民医院光华院区项目可行性研究报告的批复》（成发改政务审批〔2023〕20 号），项目代码：2209-510100-04-01-448089（**详见附件 2**）。医院于 2023 年 3 月 17 日委托了成都蜀蓉恒舟环境技术有限公司编制了《成都市第五人民医院光华院区项目环境影响报告书》，并已于 2023 年 5 月 19 日取得了成都市生态环境局的批复（详见附件 3：《成都市生态环境局关于成都市第五人民医院光华院区项目环境影响报告书的审查批复》）。

项目地址位于温江区涌泉街道官河社区，东坡大道（光华 8 线）与规划五环路交叉口西北侧。项目投资概算 242249.66 万元，总建筑面积约 262295.08m^2，设置床位 1200 张（含 100 张感染床位）。地上建筑面积约 171193 平方米，包括门诊楼（4F）、医技住院楼（含停机坪）（11F）、科研教学楼（23F）、感染疾病楼（3F）、发热门诊（2F）、配套建筑。地下建筑面积约 91102.08 平方米，包括地下机动车库、医疗及配套用房、设备用房、物资用房、人防中心医

院、普通人防工程等。本项目建成后为新院区，并命名为光华院区，与老院区分别独立运营。现阶段，医院医技住院楼及门诊楼主体工程已建设完成，地下建筑中涉及核医学及放射治疗的部分暂未浇筑。

根据医院提供的设计规划，本项目核技术应用内容包括以下几个部分：

（1)拟在地下二层东侧设置放疗科，拟新建 3 间直线加速器机房和 1 间模拟定位 CT 机房，拟新增 1 台 15MV 医用电子加速器、2 台 10MV 医用电子加速器和 1 台模拟定位 CT，上述设备中医用电子加速器均属Ⅱ类射线装置，模拟定位 CT 属Ⅲ类射线装置。

（2)拟在地下二层东侧，放疗科北侧区域设置核素制备场所，场所包括 1 间回旋加速器机房及其控制室、设备间、热室、质控室、放化实验室、无菌检测、微生物实验、阳性对照等配套工作用房，新增 1 台回旋加速器（16.5MeV，100μA，带自屏蔽措施）用于制备放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr，制得的核素主要用于新院区内 PET 显像诊断和小动物 PET 显像实验，其中部分 ^{18}F 还拟配送至老院区（综合医疗区，成都市温江区柳城镇麻市街 33 号）核医学科用于诊断工作，医院拟委托具备相应资质的第三方单位对该部分药物进行配送。本项目核医学科核素制备场所非密封放射性核素日等效操作量为 4.53×10^{8}Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

（3)拟在地下二层东侧，放疗科西侧设置核医学核素诊断及敷贴治疗场所，场所内拟新增 1 台正电子发射计算机断层成像系统（PET-CT）和 1 台单光子发射计算机断层成像系统（SPECT-CT），拟使用放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc 用于影像诊断工作（其中 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 均由医院回旋加速器制取或部分外购成品药，^{99m}Tc 统一采购外部成品药并自主分装），拟配置 7 枚 ^{22}Na 放射源（1.48×10^{7}Bq1 枚+3.7×10^{5}Bq6 枚）和 3 枚 ^{68}Ge 放射源（1.11×10^{8}Bq1 枚+5.5×10^{7}Bq2 枚）用于 PET-CT 校准。拟在 PET-CT 机房南侧设置 1 间敷贴治疗室，拟使用放射性核素 ^{32}P 用于敷贴治疗。本项目核医学科核素诊断及敷贴治疗场所非密封放射性核素日等效操作量为 1.13×10^{8}Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所；拟使用的 ^{22}Na 和 ^{68}Ge 均为Ⅴ类放射源，拟配置的 PET-CT 和 SPECT-CT 均属Ⅲ类射线装置。

（4)拟在地下二层东侧，SPECT-CT 机房北侧设置核医学门诊治疗工作场所，场所内设置服药室、甲吸测定室、门诊注射室等核素治疗工作用房，拟使用放射性核素 ^{131}I 用于甲状腺吸碘率测定和甲亢治疗；拟使用放射性核素 ^{89}Sr 用于肿瘤治疗。本项目核医学门诊治疗工作场所

非密封放射性核素日等效操作量为 2.00×10^{8}Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

（5）拟在地下一层东侧设置核医学科动物实验场所并设置 1 间小动物 PET 影像机房，新增 1 台小动物 PET/SPECT/CT 三模态活体成像系统，拟使用放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc 用于动物实验（其中 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 均由医院回旋加速器制取或部分外购成品药，^{99m}Tc 统一采购外部成品药并自主分装），拟共用核医学核素诊断及敷贴治疗场所的 ^{22}Na 放射源（1.48×10^{7}Bq1 枚+3.7×10^{5}Bq6 枚）和 ^{68}Ge 放射源（1.11×10^{8}Bq1 枚+5.5×10^{7}Bq2 枚）用于设备校准，非密封放射性核素日等效操作量为 5.33×10^{6}Bq，为丙级非密封放射性物质工作场所；拟配置的小动物 PET/SPECT/CT 三模态活体成像系统属III类射线装置。

（6）拟在医技住院楼一层西北侧急诊科设置 2 间 DSA+CT 复合手术室（急诊手术室 1-2）新增 2 台数字减影血管造影系统（DSA）和 1 台滑轨式 X 射线计算机体层摄影设备（CT），CT 机不使用时存放入两间急诊手术室之间的 CT 暂存间内。DSA 均属II类射线装置，CT 属于III类射线装置。DSA 和 CT 主要用于心血管、外周血管的介入检查和治疗，以及各部位非血管介入性检查和治疗。预计单台 DSA 开展介入手术 600 台/年，摄影工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 30 秒；透视工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 10 分钟，平均每台介入手术 CT 扫描出束累积时间约 1min。

（7）拟在医技住院楼三层西南侧介入中心设置 4 间 DSA 手术室（DSA1-4 号手术室），新增 4 台数字减影血管造影系统（DSA），均属II类射线装置。DSA 主要用于神经血管、心血管、外周血管的介入检查和治疗，以及各部位非血管介入性检查和治疗。预计单台 DSA 开展介入手术 2000 台/年，摄影工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 30 秒；透视工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 10 分钟。

（8）拟在医技住院楼三层西侧内镜中心设置 2 间 ERCP 用手术室（1-2 号 ERCP 机房），新增 2 台经内镜逆行胰胆管造影（简称 ERCP）治疗用中型 C 臂机，均属II类射线装置。预计单台中型 C 臂机开展介入手术 600 台/年，摄影工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 60 秒；透视工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 15 分钟。

（9）拟在医技住院楼四层西南侧手术中心设置 2 间 DSA+MRI 复合手术室（复合手术室 1-2），新增 2 台数字减影血管造影系统（DSA），均属II类射线装置，主要用于神经血管、心血管、外周血管的介入检查和治疗，以及各部位非血管介入性检查和治疗。预计单台 DSA 开展介

入手术 2000 台/年，摄影工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 30 秒；透视工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 10 分钟。

针对本项目，医院拟为核医学相关工作配置 25 名辐射工作人员，为放射治疗相关工作配置 21 名辐射工作人员，为介入放射工作配置 126 名辐射工作人员。本项目拟配备辐射工作人员部分从医院外部招聘，部分从医院内部调配，辐射工作人员均不存在兼职其他辐射工作场所岗位情况。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第 7 号，2019 年修改）：辐射工作单位在申请领取辐射安全许可证前，应当组织编制或者填报环境影响评价文件，并依照国家规定程序报环境保护主管部门审批。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部令第 16 号），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—制备 PET 用放射性药物；使用Ⅱ类射线装置；乙级、丙级非密封放射性物质工作场所”，故应编制环境影响报告表。并根据四川省生态环境厅《四川省生态环境厅审批环境影响评价文件的建设项目目录（2025 年本）》，本项目应报四川省生态环境厅审查批准，并在取得环评批复后及时重新申领辐射安全许可证。

为保护环境，保障公众健康，成都市第五人民医院委托浙江君安检测技术有限公司对该项目进行辐射环境影响评价（项目委托书见附件 5）。评价单位在现场踏勘和收集有关资料的基础上，并结合项目特点，按照《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）等规定要求编制了本环评报告表，供生态环境行政审批部门审查。

1.1.3 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。依据国家环境保护部颁布的《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 5 月 9 日，在成都市第五人民医院官方网站上对该项目进行了全文公示， 以征求公众意见。截止目前，建设单位及评价单位未收到任何信息反馈。公示网站截图如下：

成都市第五人民医院
Chengdu Fifth People's Hospital

国家三级甲等综合医院、成都西部区域医疗中心
肿瘤疾病防治/老年病综合治疗为特色
成都中医药大学附属第五人民医院

全部

首页 | 医院概况 | 新闻中心 | 科室导航 | 患者服务 | 健康促进 | 党群工作 | 科研教学

医院动态 | 省政府信息 | 院务公开 | 招标采购 | 媒体报道 | 招贤纳士 | 视频宣传

您的位置：成都市第五人民医院 > 新闻中心 > 院务公开 > 详细

成都市第五人民医院光华院区核技术利用建设项目环境影响评价公示

发布时间：2025-05-09　　分享到：

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》及《建设项目环境保护管理条例》、《建设项目环境影响评价政府信息公开指南（试行）》等法律法规的要求，成都市第五人民医院光华院区核技术利用建设项目需进行环境影响评价并公示环境影响报告表信息内容。本次公示内容不涉及个人秘密、商业秘密、公共安全、经济安全、社会稳定等内容，予以全文公示。

1、公众查阅环境影响报告表的方式

从本公示之日起公众可以通过以下链接获取《成都市第五人民医院光华院区核技术利用建设项目环境影响报告表》（公示本）。

2、征求公众意见的具体形式

公众可以采取电子邮件、电话等多种方式发表意见，建设单位和环境影响评价机构将根据公众意见在最终的环境影响报告表中给出采纳与否的说明。

3、公众提出意见的起止时间

本文发布起的5个工作日内。

公示时间:2025年5月9日——2025年5月15日

4、联系方式

①项目的建设单位：成都市第五人民医院

联系人：黄林

联系电话：151 9669 2259

邮箱：15196692259@163.com

②承担评价工作的环境影响评价机构：浙江君安检测技术有限公司

联系人:谢老师

联系电话：156 5803 2125邮箱：junan@jiance.cc

附件：《成都市第五人民医院光华院区核技术利用建设项目环境影响报告表》（公示本）

附件1：成都市第五人民医院光华院区核技术利用建设项目.pdf

图 1-1　本项目全文公示截图

1.2 项目概况

1.2.1 项目名称、性质、建设地点

（1）项目名称：成都市第五人民医院光华院区核技术利用建设项目

（2）建设单位：成都市第五人民医院

（3）建设性质：新建

（4）建设地点：成都市温江区涌泉街道官河社区，东坡大道（光华 8 线）与规划五环路交叉口西北侧，成都市第五人民医院光华院区内

1.2.2 项目建设内容及规模

本项目建设地点位于成都市温江区涌泉街道官河社区，东坡大道（光华 8 线）与规划五环路交叉口西北侧，成都市第五人民医院光华院区。医院拟在地下二层东侧设置放疗科，在地下二层东侧（放疗科西侧）设置核医学科和核素制备场所，在地下一层东侧设置核医学科动物实验场所，在医技住院楼一层设置 DSA+CT 复合手术室，在医技住院楼三层介入中心设置 DSA 手术室，在医技住院楼三层内镜中心设置 ERCP 机房，在医技住院楼四层设置 DSA+MRI 复合手术室。

1.2.2.1 放疗科建设内容和建设规模

医院放疗科拟设置在医院地下二层东侧，拟新建 3 间直线加速器机房。包括 1 间 15MV 直线加速器机房（下称 1 号加速器机房）和 2 间 10MV 直线加速器机房（下称 2-3 号加速器机房），此外，还拟设置 1 间模拟定位 CT 机房及配套控制室用于放疗病人模拟定位。

①1 号加速器机房东墙为 1300mm 混凝土，南墙和北墙主屏蔽区为 3300mm 混凝土、北墙次屏蔽区为 2400mm 混凝土，南墙次屏蔽区为 2200mm 混凝土，顶棚主屏蔽区为 3300mm 混凝土、次屏蔽区为 1500mm 混凝土，机房西侧设 L 型迷路，迷道内墙为 1700mm 混凝土，迷道外墙为 1500mm 混凝土，防护门为 20mm 铅板+200mm 含硼聚乙烯。

②2 号加速器机房东墙为 1300mm 混凝土，南墙主屏蔽区为 3000mm 混凝土、次屏蔽区为 2200mm 混凝土，北墙主屏蔽区为 3300mm 混凝土、次屏蔽区为 2200mm 混凝土，顶棚主屏蔽区为 3000mm 混凝土、次屏蔽区为 1500mm 混凝土，机房西侧设 L 型迷路，迷道内墙为 2300mm 混凝土，迷道外墙为 2100mm 混凝土，防护门为 18mm 铅板+120mm 含硼聚乙烯。

③3 号加速器机房东墙为 1300mm 混凝土，南墙主屏蔽区为 3000mm 混凝土、次屏蔽区为 1800mm 混凝土，北墙主屏蔽区为 3000mm 混凝土、次屏蔽区为 2200mm 混凝土，顶棚主屏蔽区为 3000mm 混凝土、次屏蔽区为 1500mm 混凝土，机房西侧设 L 型迷路，迷道内墙为 1700mm 混凝土，迷道外墙为 1500mm 混凝土，防护门为 18mm 铅板+120mm 含硼聚乙烯。

上述 3 间机房外均新建控制室、水冷机房等配套功能房间，机房内拟配置 1 台 15MV 直线

加速器和 2 台 10MV 直线加速器（均配套设有 CBCT 功能，CBCT 参数：150kV，1500mA），均属Ⅱ类射线装置。

④模拟定位 CT 机房（有效使用面积 48.62 ㎡）四侧墙体均为 370mm 实心砖墙+10mm 硫酸钡涂料，防护门和观察窗均为 4.0mm 铅当量，顶棚为 260mm 混凝土，地坪为 250mm 混凝土。拟配置 1 台 CT 用于放疗病人模拟定位，属Ⅲ类射线装置。

1.2.2.2 核医学科建设内容和建设规模

（1）动物实验场所

医院核医学科动物实验场所拟设在地下一层东侧，拟新建 1 间小动物 PET 机房、1 间核医学科研实验室及缓冲间、解剖室、清洁间、污物暂存间、消毒灭菌室、注射室、注射后饲养室、储源室、接收室等配套房间。其中小动物 PET-CT 机房（约 22.5 ㎡）四周墙体为 370㎜ 实心砖+30㎜ 硫酸钡涂料，防护门和观察窗均为 10㎜ 铅当量；核医学科研实验室（约 37.4 ㎡）东侧墙体为 370㎜ 实心砖+10㎜ 硫酸钡涂料，其余三侧墙体为 240㎜ 实心砖+20㎜ 硫酸钡涂料，防护门为 3㎜ 铅当量，注射室（约 8.23 ㎡）、储源室（约 5.48 ㎡）、接收室（约 2.79 ㎡）、注射后观察室（约 6.86 ㎡）的四周墙体均为 370㎜ 实心砖+10㎜ 硫酸钡涂料，防护门均为 5㎜ 铅当量；清洁间（约 3.63 ㎡）、消毒灭菌室（约 3.74 ㎡）、解剖室（约 23.42 ㎡）、污物暂存间四周墙体均为 370㎜ 实心砖+10㎜ 硫酸钡涂料，防护门均为 3㎜ 铅当量；区域内过道的非公用墙体为 240㎜ 实心砖+30㎜ 硫酸钡涂料；缓冲间、退更检测室四周墙体为 240㎜ 实心砖+20㎜ 硫酸钡涂料，防护门均为 3㎜ 铅当量；区域整体顶棚为 180㎜ 混凝土，地坪为 260㎜ 混凝土。拟新增一台小动物 PET/SPECT/CT 三模态活体成像系统（80kV，1000μA），属Ⅲ类射线装置。

本项目核医学科动物实验场所拟使用放射性核素 ^{18}F（日计划最大操作量为 7.4×10^{7}Bq、年最大操作量为 3.7×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 7.4×10^{4}Bq）、^{13}N（日计划最大操作量为 3.7×10^{7}Bq、年最大操作量为 1.85×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 3.7×10^{5}Bq）、^{11}C（日计划最大操作量为 3.7×10^{7}Bq、年最大操作量为 1.85×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 3.7×10^{5}Bq）、^{68}Ga（日计划最大操作量为 3.7×10^{7}Bq、年最大操作量为 1.85×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 3.7×10^{5}Bq）、^{64}Cu（日计划最大操作量为 3.7×10^{7}Bq、年最大操作量为 1.85×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 3.7×10^{5}Bq）、^{89}Zr（日计划最大操作量为 3.7×10^{7}Bq、年最大操作量为 1.85×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 3.7×10^{6}Bq）和 ^{99m}Tc（日计划最大操作量为 7.4×10^{7}Bq、年最大操作量为

3.7×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 7.4×10^{4}Bq）进行小动物 PET 显像诊断实验，场所日等效最大操作量为 5.33×10^{6}Bq，为丙级非密封放射性物质工作场所，拟共用核医学核素诊断及敷贴治疗场所的 ^{22}Na 放射源（1.48×10^{7}Bq1 枚+3.7×10^{5}Bq6 枚）和 ^{68}Ge 放射源（1.11×10^{8}Bq1 枚+5.5×10^{7}Bq2 枚）用于设备校准（上述放射源均属Ⅴ类放射源）。

（2）核素制备场所

医院核医学科核素制备场所拟设置在医院地下二层放疗科北侧，拟新建 1 间回旋加速器机房及其控制室、打包间、设备间、热室、物料暂存间、质控室、无菌检测室、微生物检测室、放化实验室、阳性对照室、废物间等配套房间。其中回旋加速器机房（约 52.48m^{2}），四侧墙体、顶棚和地坪均为 600mm 混凝土，防护门为 15mmPb+100mm 含硼聚乙烯板。热室（约 65.49m^{2}）东墙为 600mm 混凝土，其余三侧墙体为 300mm 混凝土，防护门和传递窗均为 8mm 铅当量，热室合成柜采用一体式 100mmPb 当量防护；质控室（约 16.61 m²）四侧墙体均为 240mm 实心砖，防护门和传递窗均为 8mm 铅当量；2 间放化实验室（约 20 m²）北墙均为 370mm 实心砖，其余各侧墙体均为 240mm 实心砖，防护门均为 5mm 铅当量；无菌检测室（约 6.8 m²）的西、北侧墙体均为 240mm 实心砖，东、南侧为轻质墙；微生物检测室（约 16.62 m²）北、东、南侧墙体为 240mm 实心砖，西墙为轻质墙，防护门为 5mm 铅当量；阳性对照室（约 8.64 m²）的南、西、北墙均为 370mm 实心砖，东侧墙体为轻质墙；废物间（约 4.82 m²）四侧墙体均为 370mm 实心砖，防护门均为 5mm 铅当量，区域整体顶棚为 260mm 混凝土，地坪为 250mm 混凝土。拟配置 1 台回旋加速器（最大束流能量 16.5MeV，最大束流强度 100μA，带自屏蔽措施），属Ⅱ类射线装置。

本项目核医学科核素制备场所拟生产放射性核素 ^{18}F（日计划最大操作量为 4.10×10^{10}Bq、年最大操作量为 1.02×10^{13}Bq、日等效最大操作量为 4.10×10^{8}Bq）、^{11}C（日计划最大操作量为 1.07×10^{9}Bq、年最大操作量为 2.68×10^{11}Bq、日等效最大操作量为 1.07×10^{6}Bq）、^{13}N（日计划最大操作量为 1.07×10^{9}Bq、年最大操作量为 2.68×10^{11}Bq、日等效最大操作量为 1.07×10^{6}Bq）、^{68}Ga（日计划最大操作量为 3.33×10^{8}Bq、年最大操作量为 8.32×10^{10}Bq、日等效最大操作量为 3.33×10^{6}Bq）、^{64}Cu（日计划最大操作量为 3.33×10^{8}Bq、年最大操作量为 8.32×10^{10}Bq、日等效最大操作量为 3.33×10^{6}Bq）、^{89}Zr（日计划最大操作量为 3.33×10^{8}Bq、年最大操作量为 8.32×10^{10}Bq、日等效最大操作量为 3.33×10^{7}Bq）用于 PET 显像诊断和动物实验，其中生产的放射性核素 ^{18}F 除供应本项目核医学科使用外，还拟供应医院老院区（综合医疗区，成都市温江区柳城镇麻市街 33 号）核医学科使用，供应量不超过老院区原许可 ^{18}F 最大操作量（老院区

^{18}F 最大日操作量为 3.33×10^{10}Bq），医院拟委托具备相应资质的第三方单位对该部分药物进行配送。场所日等效最大操作量为 4.71×10^{8}Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

（3）核素诊断及敷贴治疗场所

医院核医学科核素诊断及敷贴治疗场所拟设在医院地下二层，拟新建 1 间 PET-CT 机房及其控制室、设备间、储源室（下称 1 号储源室）、PET 注射区、PET 注射后候诊室、PET 分装室（下称 2 号分装室）、PET 留观室、PET 区域清洁间、PET 区域污物暂存间、敷贴治疗室、敷贴制药室、1 间 SPECT-CT 机房及其控制室、SPECT 分装室（下称 1 号分装室）、SPECT 固废暂存室、抢救室、SPECT 注射室、SPECT 注射后候诊室、SPECT 留观室、清洁间、污洗打包间、受检者走廊、医护走廊、医护淋浴缓冲间等配套房间。其中 PET-CT 机房（有效面积 47.12㎡）四侧墙体为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，工作人员防护门和观察窗为 15mm 铅当量，受检者防护门为 10mm 铅当量；PET 注射区三侧墙体为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，注射窗采用 40mm 铅当量一体式注射窗；PET 注射后候诊室（约 18.42m^2）四侧墙体为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，防护门为 10mmPb 当量；PET 留观室（约 14.89m^2）四侧墙体为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，防护门为 10mmPb 当量；2 号分装室（约 13.64m^2）四侧墙体为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，防护门为 15mmPb 当量，手套箱为 60mm 铅当量；1 号储源室（约 4.58m^2）四侧墙体为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，防护门为 6mmPb 当量，传递窗为 10mmPb；PET 区域清洁间、PET 区域污物暂存间、PET 区域放废暂存间四侧墙体为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，防护门为 10mmPb 当量；敷贴治疗室（约 5.15m^2）北侧墙体为 370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料，其余三侧墙体为 240mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料，防护门为 2mmPb 当量；敷贴制药室北侧墙体为 370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料，其余三侧墙体为 240mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料，防护门为 3mmPb 当量，房间内手套箱为 10mmPb 当量；SPECT-CT 机房（有效面积 38.22m^2）北侧墙体为 300mm 混凝土，其他三侧墙体为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，工作人员防护门和观察窗为 8mm 铅当量，受检者防护门为 6mm 铅当量。抢救室（约 18.13m^2）、SPECT 注射后候诊室（约 21.56m^2）和 SPECT 留观室（约 8.1m^2）的四侧墙体均为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，防护门为 6mmPb 当量；SPECT 注射室（约 9.12m^2）的四侧墙体均为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，防护门为 10mmPb，注射窗为 10mmPb 当量；1 号分装室（约 20.09m^2）四侧墙体为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，防护门和注射窗口均为 10mm 铅当量，房间内拟设置 1 个 25mm 铅当量手套箱；区域整体顶棚为 260mm 混凝土，地坪为 250mm 混凝土。拟新增 1 台 PET-CT（CT 参

数：150kV，1500mA）和 1 台 SPECT-CT（CT 参数：150kV，1500mA），均属III类射线装置。拟配置 7 枚 ^{22}Na 放射源（1.48×10^{7}Bq1 枚+3.7×10^{5}Bq6 枚）和 3 枚 ^{68}Ge 放射源（1.11×10^{8}Bq1 枚+5.5×10^{7}Bq2 枚）用于 PET-CT 校准，均属Ⅴ类放射源。

本项目核素诊断及敷贴治疗场所拟使用放射性核素 ^{18}F（日计划最大操作量为 7.4×10^{9}Bq、年最大操作量为 1.85×10^{12}Bq、日等效最大操作量为 7.4×10^{6}Bq）、^{11}C（日计划最大操作量为 9.25×10^{8}Bq、年最大操作量为 2.31×10^{11}Bq、日等效最大操作量为 9.25×10^{6}Bq）、^{13}N（日计划最大操作量为 9.25×10^{8}Bq、年最大操作量为 2.31×10^{11}Bq、日等效最大操作量为 9.25×10^{6}Bq）、^{68}Ga（日计划最大操作量为 1.85×10^{8}Bq、年最大操作量为 4.63×10^{10}Bq、日等效最大操作量为 1.85×10^{6}Bq）、^{64}Cu（日计划最大操作量为 1.85×10^{8}Bq、年最大操作量为 4.63×10^{10}Bq、日等效最大操作量为 1.85×10^{6}Bq）、^{89}Zr（日计划最大操作量为 1.85×10^{8}Bq、年最大操作量为 4.63×10^{10}Bq、日等效最大操作量为 1.85×10^{7}Bq）进行 PET 显像诊断。拟使用放射性核素 ^{99m}Tc（日计划最大操作量为 2.78×10^{10}Bq、年最大操作量为 6.94×10^{12}Bq、日等效最大操作量为 2.78×10^{7}Bq）进行 SPECT 显像诊断。拟使用放射性核素 ^{32}P（日计划最大操作量为 3.70×10^{8}Bq、年最大操作量为 9.25×10^{10}Bq、日等效最大操作量为 3.70×10^{7}Bq）进行敷贴治疗。场所日等效最大操作量为 1.13×10^{8}Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

（4）核素门诊治疗场所

医院核素门诊治疗场所拟设置在地下二层 SPECT 机房北侧，拟新建 ^{131}I 给药室、^{131}I 给药后留观室、门诊注射室、3 号分装室、储源室（下称 2 号储源室）、废物暂存间、卫生通过间和甲吸测定室等配套房间。

^{131}I 给药室（约 6.71m^2）的四侧墙体均为 370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料，防护门为 8mmPb 当量，给药窗口为 20mmPb 当量；^{131}I 给药后留观室（约 8.61m^2）四侧墙体均为 370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料，留观室内卫生间防护门为 6mmPb 当量，其余防护门为 8mmPb 当量；门诊注射室（约 10.48m^2）四侧墙体均为 370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料，注射窗口为 20mm 铅当量，防护门为 8mm 铅当量；3 号分装室（约 14.72m^2）四侧墙体均为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，门诊注射窗口为 20mm 铅当量，防护门均为 8mm 铅当量，分装柜为 40mm 铅当量；2 号储源室（约 5.44m^2）四侧墙体均为 370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料，防护门均为 5mmPb 当量；废物暂存间（约 5.67m^2）四侧墙体均为 370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料，出口处防护门为 8mm 铅当量；卫生通过间（约 9.03m^2）四侧墙体均为 370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料，内部隔墙为 240mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料，入口处防

护门为 8mm 铅当量。

本项目核医学科核素门诊治疗场所拟使用放射性核素 ^{131}I 进行甲吸测定工作（日计划最大操作量为 9.25×10^{5}Bq、年最大操作量为 2.31×10^{8}Bq、日等效最大操作量为 9.25×10^{4}Bq）；拟使用放射性核素 ^{131}I 进行甲亢治疗（日计划最大操作量为 1.85×10^{9}Bq、年最大操作量为 4.63×10^{11}Bq、日等效最大操作量为 1.85×10^{8}Bq）；拟使用放射性核素 ^{89}Sr（日计划最大操作量为 1.48×10^{8}Bq、年最大操作量为 3.7×10^{10}Bq、日等效最大操作量为 1.48×10^{7}Bq）进行骨癌治疗，场所日等效操作量为 2.00×10^{8}Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

1.2.2.3 介入放射学建设内容和建设规模

医院介入放射学工作用房分布在医技住院楼一层西北侧急诊科、医技住院楼三层西南侧介入中心、医技住院楼三层西侧内镜中心和医技住院楼四层西南侧手术中心。

（1）医技住院楼一层急诊科

医院拟在医技住院楼一层西北侧急诊科新建 2 间 DSA+CT 复合手术室（下称急诊手术室 1-2，有效使用面积均为 54.98 ㎡），2 间手术室之间设置有移动 CT 暂存间，外围设置有控制室、设备间等配套房间。2 间手术室四周墙体除移动 CT 暂存间隔墙外均为 370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料，移动 CT 暂存间隔墙为钢架支撑 4mmPb 辐射防护板，顶棚为 150mm 混凝土+20mmPb 硫酸钡涂料，地坪为 200mm 混凝土+15mmPb 硫酸钡防护涂料，防护门和观察窗均为 3.5mm 铅当量。

拟新增 2 台 DSA（150kV，1250mA）和 1 台移动式 CT 机（150kV，1500mA）。DSA 属Ⅱ类射线装置，CT 属Ⅲ类射线装置。DSA 设备主要用于心血管、外周血管的介入检查和治疗，以及各部位非血管介入性检查和治疗。预计单台 DSA 开展介入手术 600 台/年，摄影工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 30 秒；透视工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 10 分钟，平均每台介入手术 CT 扫描出束累积时间约 1min。

（2）医技住院楼三层介入中心

医院拟在医技住院楼三层西南侧介入中心新建 4 间 DSA 机房及其控制室、设备间等配套房间。分别是 DSA 机房 1（有效使用面积为 50.56 ㎡）、DSA 机房 2（有效使用面积为 48.96 ㎡）、DSA 机房 3（有效使用面积为 85.26 ㎡）、DSA 机房 4（有效使用面积为 66.03 ㎡）。上述 4 间 DSA 机房四侧墙体均为 370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料，防护门和观察窗均为 4mm 铅当量，顶棚为 260mm 混凝土，地坪为 260mm 混凝土。拟新增 4 台 DSA（150kV，1250mA），均属Ⅱ类射线装置

DSA 设备主要用于神经血管、心血管、外周血管的介入检查和治疗，以及各部位非血管介入性检查和治疗。预计单台 DSA 开展介入手术 2000 台/年，摄影工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 30 秒；透视工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 10 分钟。

（3）医技住院楼三层内镜中心

医院拟在医技住院楼三层西侧内镜中心新建 2 间 ERCP 机房及其控制室、设备间等配套房间，分别是 ERCP 室 1（有效使用面积均为 33.91 ㎡）和 ERCP 室 2（有效使用面积均为 33.56 ㎡），2 间 ERCP 机房四侧墙体均为 370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料，顶棚和地坪均为 260mm 混凝土，防护门和观察窗均为 4mm 铅当量，拟新增 2 台 ERCP 用中型 C 臂机（150kV，1250mA），均属II类射线装置。预计单台中型 C 臂机开展 ERCP 治疗手术 600 台/年，摄影工作状态下，平均每台手术最长出束时间为 60 秒；透视工作状态下，平均每台手术最长出束时间为 15 分钟。

（4）医技住院楼四层

医院拟在医技住院楼四层西南侧手术中心新建 2 间 DSA+MRI 复合手术室，分别是复合手术室 1（有效使用面积 64.4 ㎡）和复合手术室 2（有效使用面积 72.38 ㎡），2 间手术室间设置有 MRI 机房，外围设置有控制室、缓冲间、库房、设备间等配套房间。2 间手术室四侧墙体均为钢架支撑 3mmPb 辐射防护板，顶棚和顶盖均为 260mm 混凝土，防护门和观察窗均为 3.5mm 铅当量。

拟新增 2 台 DSA（150kV，1250mA），属 II 类射线装置。DSA 设备主要用于神经血管、心血管、外周血管的介入检查和治疗，以及各部位非血管介入性检查和治疗。预计单台 DSA 开展介入手术 2000 台/年，摄影工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 30 秒；透视工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 10 分钟。

项目总投资 50000 万元，其中环保投资 806 万元，约占总投资的 1.6%。本项目主要组成内容及可能产生的环境问题见表 1-1。

表 1-1　项目组成及主要的环境问题表

名称	场所	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	医院放疗科拟设置在地下二层东侧，拟新建 3 间直线加速器机房、1 间模拟定位 CT 机房及其控制室、更衣室、水冷机房等配套房间，新增 1 台 15MV 医用电子加速器和 2 台 10MV 医用电子加速器，新增 1 台模拟定位 CT 机（150kV，1500mA）。	噪声、施工废水、扬尘、固体废物、射线装置安装调	X 射线、电子线、γ 射线、中子、感生放射性物质、废靶、臭氧、氮氧化物
	核医	医院核医学动物实验场所拟设在地下一层，拟新建 1 间小动物		X 射线、γ

		学科动物实验场所	PET 机房、1 间核医学科研实验室及缓冲间、解剖室、清洁间、污物暂存间、消毒灭菌室、注射室、注射后饲养室、储源室、接收室等配套房间。拟新增 1 台小动物 PET/SPECT/CT 三模态活体成像系统，属III类射线装置。 本项目核医学科动物实验场所拟使用放射性核素 ^{18}F、^{13}N、^{11}C、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 和 ^{99m}Tc 进行小动物显像诊断实验。	试阶段产生 X 射线等	射线、β射线、中子、放射性废气、放射性废水、放射性固废、β表面污染、感生放射性物质、臭氧、氮氧化物	
		核医学科核素制备场所	医院核医学科核素制备场所拟设在地下二层放疗科北侧区域，拟新建 1 间回旋加速器机房及其控制室、打包间、设备间、热室、物料暂存间、质控室（含无菌检测室、微生物检测室）、放化实验室、阳性对照室、废物间等配套房间。拟新增 1 台回旋加速器，属 II 类射线装置。 本项目核医学科核素制备场所拟生产放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 用于 PET 显像诊断和核医学动物实验。			
		核医学科核素诊断及敷贴治疗场所	医院核医学科核素诊断场所拟设在医院地下二层，拟新建 1 间 PET-CT 机房及其控制室、设备间、储源室（下称 1 号储源室）、PET 注射区、PET 注射后候诊室、PET 分装室（下称 2 号分装室）、PET 留观室、PET 区域清洁间、PET 区域污物暂存间、敷贴治疗室、敷贴制药室、1 间 SPECT-CT 机房及其控制室、SPECT 分装室（下称 1 号分装室）、SPECT 固废暂存室、抢救室、SPECT 注射室、SPECT 注射后候诊室、SPECT 留观室、清洁间、污洗打包间、受检者走廊、医护走廊、医护淋浴缓冲间等配套房间。拟新增 1 台 PET-CT 和 1 台 SPECT-CT，上述设备属III类射线装置。拟配置 7 枚 ^{22}Na 放射源和 3 枚 ^{68}Ge 放射源用于 PET-CT 校准，均属 V 类放射源。 本项目核医学科核素诊断场所拟使用放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 进行 PET 显像诊断；拟使用放射性核素 ^{99m}Tc 进行 SPECT 显像诊断；拟使用放射性核素 ^{32}P 进行敷贴治疗工作。			
		核素门诊治疗场所	医院核素门诊治疗场所拟设置在地下二层 SPECT 机房北侧，拟新建 ^{131}I 给药室、^{131}I 给药后留观室、门诊注射室、3 号分装室、2 号储源室、废源室、卫生通过间和甲吸测定室等配套房间。 拟使用放射性核素 ^{131}I 核素进行甲状腺吸碘率测定和甲亢治疗，拟使用 ^{89}Sr 进行骨转移癌治疗。			
		介入放射学场所	医院介入放射学工作用房分布在医技住院楼一层西北侧急诊科、医技住院楼三层西南侧介入中心、医技住院楼三层西侧内镜中心和医技住院楼四层西南侧手术中心。 拟在医技住院楼一层西北侧急诊科新建 2 间 DSA+CT 复合手术室，2 间手术室间设置有移动 CT 暂存间，外围设置有控制室、设备间等配套房间，拟新增 2 台 DSA（150kV，1250mA）和 1 台移动式 CT 机（150kV，1500mA）。用于心血管、外周血管的介入检查和治疗，以及各部位非血管介入性检查和治疗。 拟在医技住院楼三层西南侧介入中心新建 4 间 DSA 机房及其控制室、设备间等配套房间，共拟新增 4 台 DSA（150kV，1250mA）。机房用于神经血管、心血管、外周血管的介入检查和治疗，以及各部位非血管介入性检查和治疗。 拟在医技住院楼三层西侧内镜中心新增 2 间 ERCP 室及其控制室、缓冲间等配套房间，ERCP 室拟新增 2 台中型 C 臂机（150kV，1250mA）用于 ERCP 治疗。 拟在医技住院楼四层西南侧新建 2 间 DSA+MRI 复合手术室，外围设置有控制室、缓冲间、库房、设备间等配套房间。拟新增 2		X 射线、臭氧、氮氧化物	

		台 DSA（150kV，1250mA）用于神经血管、心血管、外周血管的介入检查和治疗，以及各部位非血管介入性检查和治疗。		
辅助工程		配套建设候诊区、诊室和护士站等设施		/
环保设施		◆废水：医院拟在医技住院楼东南侧地面下设置 2 套 3 级并联式衰变池，分为短半衰衰变池和长半衰期衰变池。每套均设置有 2 个污泥池和 3 个衰变池，短半衰期衰变池中单个衰变池有效容积为 42m³，总容积为 126m³，长半衰期衰变池中单个衰变池有效容积为 160m³，总容积为 480m³。核医学科各场所产生的短半衰期放射性废水暂存在短半衰衰变池中超过 10 个最长半衰期，长半衰期放射性废水暂存在长半衰衰变池中超过 10 个最长半衰期（含 ^{131}I 核素的暂存超过 180 天）。之后经提升泵送至院内污水处理站进一步处理，达标后排入市政污水管网。 ◆废气： 放疗科和介入放射学相关机房项目 本项目3间直线加速器治疗设计均采用强制排风系统，机房均分别设置进风管道和排风管道，管道均拟拟采用“S”型穿墙方式，并采用铅板对通风管道进行包裹屏蔽。机房内气体最终引导至地下一层的排风机房的风井排出。3间加速器机房拟设计风量均为1500m³/h，三间加速器机房中容积最大的约322m³，通风换气次数不小于4次/h 本项目模拟定位CT机房、急诊手术室、DSA手术室、复合手术室和ERCP机房，新风口和排风口均拟设置于装饰吊顶上，机房内废气经排风管道从风井统一排出室外，机房拟设的通排风措施符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风”的要求。 核医学科 ①核素制备场所： 核素制备场所：核素制备场所共设置有7套排风管路（以下简称1号至7号管路），1号管路连接回旋加速器底部的排风管道，该管路单独设置；2号管路排风口位于回旋加速器机房西南角，排风口距地300mm，该管路单独设置；3号管路排风口单独布设于热室房间内；4号管路排风口连接热室内合成柜及分装柜、质控室及放化实验室手套箱、阳性对照室无菌检测室和微生物实验室的生物安全柜；5号管路连接热室缓冲区内各功能间（洁净走廊、清洁间、消毒间、缓冲间、退更检测、一更、二更）；6号管路连接微生物实验室、无菌检测室及其缓冲区域；7号管路连接质控区域医护走廊及其缓冲区、阳性对照室及其缓冲区、废物间、灭菌间、清洁间、放化实验室和质控室。上述管路彼此互不干扰，管路导向区域北侧的排风井，最终于科研教学楼楼顶中部排放（二十三层楼顶，距地高度约104m）。相应合成柜、分装柜、手套箱及生物安全柜内腔顶部均匹配HEPA高效活性碳过滤器过滤，场所内所有排风均在排风口处设置了活性碳过滤装置。 ②核素动物实验场所： 场所内设置3套放射性废气排风管道系统，其中2套排风管道连接小动物PET机房、核医学科研实验室、缓冲间、解剖室、清洁间、污物暂存间、消毒灭菌室、注射室、注射后饲养室，另外1套排风管单独连接场所内的两台通风橱，通风橱顶壁风口安装活性炭过滤装置；上述管道最终经北侧排风井引至科研教学楼辅楼楼顶南侧排放（四层楼顶，距地高度约20m），排气口远离周围敏感目标。 ③核素诊断和敷贴治疗场所：	噪声、施工废水、扬尘、固体废物	噪声

	场所共设置有3套放射性废气排风管道系统，排风管道连接PET-CT机房、1号储源室、PET注射区、PET注射后候诊室、2号分装室、PET留观室、PET区域清洁间、PET区域污物暂存间、敷贴治疗室、敷贴制药室、SPECT-CT机房、1号分装室、SPECT固废暂存室、抢救室、SPECT注射室、SPECT注射后候诊室、SPECT留观室、清洁间、污洗打包间、受检者走廊、医护淋浴缓冲间等配套房间；此外，场所内1-2号分装室和敷贴制药室内的手套箱均独立设置排风管道，手套箱内腔顶部均匹配HEPA高效活性碳过滤器过滤，场所内所有排风均在排风口处设置了活性碳过滤装置。最终管路汇集至场所南侧核医学专用排风井内，最终引至医技住院楼楼顶东侧排放（十一层楼顶，距地高度约50m），排气口远离周围敏感目标。 ④核素门诊治疗场所： 核素门诊治疗场所：场所设置有2套放射性废气排风管道系统，排风管道连接131I给药室、131I给药后留观室、门诊注射室、3号分装室、2号储源室、废物暂存间、卫生通过间和甲吸测定室等配套房间；此外3号分装室内的手套箱单独设置一个排风管道，手套箱内腔顶部均匹配HEPA高效活性碳过滤器过滤，场所内所有排风均在排风口处设置了活性碳过滤装置。最终管路汇集至场所南侧核医学专用排风井内，与核素诊断及敷贴治疗场所排风管道一起共用南侧排风井，最终引至医技住院楼楼顶东侧排放（十一层楼顶，距地高度约50m），排气口远离周围敏感目标。 ◆固废：本项目核医学科产生的放射性废物暂存于各场所的废物暂存间，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，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 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天后，达到清洁解控水平，作为医疗废物处理。 ◆废物衰变桶：10mmPb，21 个；废物衰变箱：10mmPb，12 个。 ◆噪声：选取低噪声设备；利用建筑隔声；设置减振、软管连接等降噪措施。		
公用工程	依托医院的配电、供电、通讯系统及污水处理系统等。		/

1.2.3 本项目主要原辅材料及能耗情况

本项目主要原辅材料及能耗情况见表 1-2。

表 1-2 本项目主要原辅材料及耗能情况

类别	名称	年用量	来源	用途
主要原辅材料	^{18}F	[redacted]	回旋加速器自制或外购	小动物实验
	^{11}C		回旋加速器自制或外购	小动物实验
	^{13}N		回旋加速器自制或外购	小动物实验
	^{64}Cu		回旋加速器自制或外购	小动物实验
	^{68}Ga		回旋加速器自制或外购	小动物实验
	^{89}Zr		回旋加速器自制或外购	小动物实验
	^{99m}Tc		外购	小动物实验
	^{18}F		回旋加速器自制或外购	PET 显像诊断
	^{11}C		回旋加速器自制或外购	PET 显像诊断
	^{13}N		回旋加速器自制或外购	PET 显像诊断
	^{64}Cu		回旋加速器自制或外购	PET 显像诊断
	^{68}Ga		回旋加速器自制或外购	PET 显像诊断

		^{89}Zr	[redacted]	回旋加速器自制或外购	PET 显像诊断
		^{99m}Tc	[redacted]	外购	SPECT 显像诊断
		^{32}P	[redacted]	外购	敷贴治疗
		^{131}I	[redacted]	外购	甲吸检查
		^{131}I	[redacted]	外购	甲亢治疗
		^{89}Sr	[redacted]	外购	骨转移癌治疗
	能源	电（kW）	[redacted]	市政电网	—
	水	自来水	[redacted]	市政供水管网	—

1.2.4 本项目涉及的医用射线装置

本项目涉及医用射线装置的情况详见表 1-3 和表 1-4。

表 1-3 本项目医用射线装置基本情况表

序号	射线装置	型号	主要参数	类别	拟安装场所	备注
1	医用电子加速器	待定	X 射线：15MV 电子线：0-22MeV	II 类	放疗科 1 号加速器机房	1 台，拟购
2	医用电子加速器	待定	X 射线：10MV 电子线：0-22MeV	II 类	放疗科 2-3 号加速器机房	2 台，拟购
3	模拟定位 CT	待定	150kV，1500mA	III类	放疗科模拟定位 CT 机房	1 台，拟购
4	回旋加速器	待定	最大束流能量：16.5MeV， 最大束流强度：100μA； 带自屏蔽	II 类	核医学科核素制备场所回旋加速器机房	1 台，拟购
5	正电子发射计算机断层成像系统（PET-CT）	待定	CT 部分：150kV,1500mA	III类	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所 PET-CT 机房	1 台，拟购
6	单光子发射计算机断层成像系统（SPECT-CT）	待定	CT 部分：150kV,1500mA	III类	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所 SPECT-CT 机房	1 台，拟购
7	数字减影血管造影装置（DSA）	待定	150kV，1250mA	II 类	医技住院楼一层急诊手术室 1-2；医技住院楼三层 DSA 手术室 1-4；医技住院楼四层复合手术室 1-2	8 台，拟购
8	中型 C 臂机	待定	150kV，1250mA	II 类	医技住院楼三层 1-2 号 ERCP 机房	2 台，拟购
9	移动 CT	待定	150kV，1500mA	III类	医技住院楼一层急诊手术室 1-2	1 台，拟购
10	小动物 PET/SPECT/CT 三模态活体成像系统	待定	80kV，1000μA	III类	地下一层核素动物实验场所小动物 PET-CT 机房	1 台，拟购

表 1-4 拟购医用直线加速器主要技术参数一览表

设备技术指标	参数	
拟设置场所	1 号加速器机房	2-3 号加速器机房
射线模式	X 射线、电子线	X 射线、电子线
能量分档	[redacted]	
等中心剂量率		n

	[redacted]	
机头泄漏率	小于等中心处吸收剂量的 0.1%	小于等中心处吸收剂量的 0.1%
照射野	NTD=100cm 时，最大照射野为 40cm×40cm	NTD=100cm 时，最大照射野为 40cm×40cm
等中心高度	[redacted]	
射线束总张角度	半对角 14°锥形线束	半对角 14°锥形线束
备注	配套 CBCT 图像引导系统 CBCT 参数：150kV，1500mA	配套 CBCT 图像引导系统 CBCT 参数：150kV，1500mA

1.2.5 本项目涉及的医用核素

本项目涉及的医用核素及其特性情况详见表 1-5，涉及的密封型放射核素特性见表 1-6。

表 1-5 本项目涉及核素特性

序号	核素种类	主要射线和能量（MeV）	半衰期	物化状态	毒性分组	用途	来源
1	^{18}F	γ/0.511	109.77min	液态	低毒	小动物实验	回旋加速器自制或外购
2	^{11}C	γ/0.511	20.39min	液态	低毒		
3	^{13}N	γ/0.511	9.97min	液态	低毒		
4	^{68}Ga	γ/0.511	68.3min	液态	低毒		
5	^{64}Cu	γ/0.511	12.7h	液态	低毒		
6	^{89}Zr	γ/0.511	78.4h	液态	中毒		
7	^{99m}Tc	γ/0.141	6.02h	液态	低毒		外购
8	^{18}F	γ/0.511	109.77min	液态	低毒	PET 显像诊断	回旋加速器自制或外购
9	^{11}C	γ/0.511	20.39min	液态	低毒		
10	^{13}N	γ/0.511	9.97min	液态	低毒		
11	^{68}Ga	γ/0.511	68.3min	液态	低毒		
12	^{64}Cu	γ/0.511，1.346	12.7h	液态	低毒		
13	^{89}Zr	γ/0.511	78.4h	液态	中毒		
14	^{99m}Tc	γ/0.141	6.02h	液态	低毒	SPECT 显像诊断	外购
15	^{32}P	β/1.710	14.3d	液态	中毒	敷贴治疗	外购
16	^{131}I	β/0.602 γ/0.365	8.04d	液态	中毒	甲吸检查、甲亢治疗	外购
17	^{89}Sr	β/0.5846	50.53d	液态	中毒	骨转移癌治疗	外购

表 1-6 本项目涉及密封型核素特性

序号	核素名称	总活度（Bq）/活度（Bq）×枚数	类别	活动种类	使用场所	贮存地点	备注
1	^{22}Na	$1.48\times10^{7}/1.48\times10^{7}\times1$ 枚	V 类	使用	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所、地下一层动物实验场所	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所1号储源室	新增
2	^{22}Na	$2.22\times10^{6}/3.7\times10^{5}\times6$ 枚	V 类	使用	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所、地下一层动物实验场所	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所1号储源室	新增
3	^{68}Ge	$1.11\times10^{8}/1.11\times10^{8}\times1$ 枚	V 类	使用	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所、地下一层动物实验场所	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所1号储源室	新增
4	^{68}Ge	$1.1\times10^{8}/5.5\times10^{7}\times2$ 枚	V 类	使用	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所、地下一层动物实验场所	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所1号储源室	新增

1.2.6 本项目生产或使用核素工作场所分级

根据《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，

2016年3月7日施行），满足以下特点的放射性药品生产、使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：

（1）有相对独立、明确的监督区和控制区划分；

（2）工艺流程连续完整；

（3）有相对独立的辐射防护措施。

本项目核医学动物实验场所（小动物PET-CT机房及核医学科研实验室）拟设在地下一层东侧，核素制备场所（回旋加速器药物制备项目）拟设在地下二层东侧，核素诊断及敷贴治疗场所（PET诊断项目、SPECT诊断项目、敷贴治疗项目）地下二层东侧（核素制备场所西南侧），核素门诊治疗场所（甲亢治疗项目、骨癌治疗项目）拟设置在地下二层东侧（SPECT-CT机房北侧）。上述核医学科四个工作场所各自满足相对独立、具有明确的监督区和控制区划分，工艺流程连续完整，有相对独立的辐射防护措施，除此以外，四个工作场所的放射性三废处理上设计和布局各自独立（除放射性废水衰变池共用外）、工作人员也各自独立配置，因此将整个核医学科分成核医学动物实验场所、核素制备场所、核素诊断及敷贴治疗场所和核素门诊治疗场所四个单独场所进行日等效操作量核算。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录C提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法（日等效最大操作量计算公式为：日等效最大操作量=日最大操作量×毒性组别修正因子/操作方式修正因子），经计算本项目核素制备场所日等效最大操作量4.71×10^{8}Bq，核素诊断及敷贴治疗场所日等效最大操作量1.13×10^{8}Bq，核素门诊治疗场所日等效最大操作量2.00×10^{8}Bq，上述三个场所均属于乙级非密封放射性物质工作场所。动物实验场所日等效最大操作量为5.33×10^{6}Bq，为丙级非密封放射性物质工作场所，计算表见表1-7。

表1-7 本项目工作场所分级计算表

工作场所	核素种类	日最大实验量（只）	年最大实验量（只）	单只动物每次最大使用量（Bq）	给药方式	计划最大日操作量（Bq）	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	计划日等效最大操作量（Bq）	分级
地下一层动物实验场所	^{18}F	10	500	7.4E+06	注射	7.40E+07	0.01	10	7.40E+04	丙级
	^{11}C	10	500	3.7E+06	注射	3.70E+07	0.01	1	3.70E+05	
	^{13}N	10	500	3.7E+06	注射	3.70E+07	0.01	1	3.70E+05	
	^{68}Ga	10	500	3.7E+06	注射	3.70E+07	0.01	1	3.70E+05	
	^{64}Cu	10	500	3.7E+06	注射	3.70E+07	0.01	1	3.70E+05	
	^{89}Zr	10	500	3.7E+06	注射	3.70E+07	0.1	1	3.70E+06	
	^{99m}Tc	10	500	7.4E+06	注射	7.40E+07	0.01	10	7.40E+04	
	合计								**5.33E+06**	
工作	核素	日生产	年生产	单批次最	靶材	计划最	毒性	操作	计划日等	分

场所	种类	批次（次）	批次（次）	大生产量（Bq）	料	大日操作量（Bq）	组别修正因子	方式修正因子	效最大操作量（Bq）	级
地下二层核素制备场所①	^{18}F	2	500	2.05E+10	液态	4.10E+10	0.01	1	4.10E+08	乙级
	^{11}C	1	250	1.07E+09	气态	1.07E+09	0.01	1	1.07E+07	
	^{13}N	1	250	1.07E+09	液态	1.07E+09	0.01	1	1.07E+07	
	^{68}Ga	1	250	3.33E+08	液态	3.33E+08	0.01	1	3.33E+06	
	^{64}Cu	1	250	3.33E+08	固态	3.33E+08	0.01	1	3.33E+06	
	^{89}Zr	1	250	3.33E+08	固态	3.33E+08	0.1	1	3.33E+07	
	合计								**4.71E+08**	
工作场所	**核素种类**	**日最大诊疗量（人）**	**年最大诊疗量（人）**	**单人次最大使用量（Bq）**	**给药方式**	**计划最大日操作量（Bq）**	**毒性组别修正因子**	**操作方式修正因子**	**计划日等效最大操作量（Bq）**	**分级**
地下二层核素诊断及敷贴治疗场所②	^{18}F	20	5000	3.7E+08	注射	7.40E+09	0.01	10	7.40E+06	乙级
	^{11}C	1	250	9.25E+08	注射	9.25E+08	0.01	1	9.25E+06	
	^{13}N	1	250	9.25E+08	注射	9.25E+08	0.01	1	9.25E+06	
	^{68}Ga	1	250	1.85E+08	注射	1.85E+08	0.01	1	1.85E+06	
	^{64}Cu	1	250	1.85E+08	注射	1.85E+08	0.01	1	1.85E+06	
	^{89}Zr	1	250	1.85E+08	注射	1.85E+08	0.1	1	1.85E+07	
	^{99m}Tc	30	7500	9.25E+08	注射	2.78E+10	0.01	10	2.78E+07	
	^{32}P	5	1250	7.4E+07	敷贴	3.70E+08	0.1	1	3.70E+07	
	合计								**1.13E+08**	
地下二层核素门诊治疗场所	^{131}I(甲吸)	5	1250	1.85E+05	口服	9.25E+05	0.1	1	9.25E+04	乙级
	^{131}I(甲亢)	5	1250	3.7E+08	口服	1.85E+09	0.1	1	1.85E+08	
	^{89}Sr	1	250	1.48E+08	注射	1.48E+08	0.1	1	1.48E+07	
	合计								**2.00E+08**	

注：①本项目核素制备场所生产的核素分别运送至本项目核医学科核素动物实验场所、核素诊断及敷贴治疗场所以及医院现有院区核医学科使用（现有院区仅使用 ^{18}F，日最大操作量 3.33×10^{10}Bq，拟委托具备资质的第三方单位进行运送）。此外，每批次制药均需使用部分核素在核素制备场所的相关质控功能用房内进行质控检测；

②根据《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）的有关规定：

1.放射性药品生产中，分装、标记等活动视为“简单操作”；

2.医疗机构使用 ^{18}F、^{99m}Tc 相关活动为“很简单的操作”，使用 ^{131}I 核素相关活动视为“简单操作”。

1.2.7 工作制度和劳动定员

工作制度：本项目辐射工作人员每天工作 8 小时，每年工作 250 天。

劳动定员：本项目放疗科拟配备辐射工作人员 21 名；本项目核医学科动物实验场所拟配备辐射工作人员 4 名，核素制备及核素诊断、治疗场所拟配备辐射工作人员 21 名，介入放射学各机房共拟配备辐射工作人员 126 名，拟配备的辐射工作人员部分从医院外部招聘，部分从医院内部调配，辐射工作人员均不存在兼职其他辐射工作场所岗位情况。

表 1-8 本项目拟配备辐射工作人员情况表

场所	项目/岗位	配置人数

放疗科	直线加速器操作技师	12
	物理师	3
	医师	3
	模拟定位 CT 操作技师	3
核素制备场所	制药	2
	质控	2
	回旋加速器操作/药物转运	2
核素诊断及敷贴治疗场所	PET 药物分装、注射	2
	PET-CT 操作、摆位	4
	SPECT 药物分装、注射	2
	SPECT-CT 操作、摆位	3
	敷贴制药、给药	2
核素门诊治疗场所	分装、给药	2
核素动物实验场所	实验人员	4
医技住院楼一层急诊科	医师	4
	护士	4
	操作技师	4
医技住院楼三层介入中心	医师	26
	护士	20
	操作技师	20
医技住院楼三层内镜中心	医师	6
	护士	5
	操作技师	5
医技住院楼四层手术中心	医师	12
	护士	10
	操作技师	10

1.3 产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录(2024 年本)》（国家发展和改革委员会令第 7 号，2024 年 2 月 1 日施行），本项目属鼓励类中第六项“核能”第 4 条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”项目和第十三项“医药”中的第 4 条“高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”项目，其建设符合国家现行产业政策。

1.4 项目规划符合性分析

本项目位于温江区涌泉街道官河社区，东坡大道（光华 8 线）与规划五环路交叉口西北侧，项目作为医院“十四五”时期重要基础设施建设项目进行筹划，并已纳入《成都市卫生健康发展第十四个五年规划》医疗服务基础设施建设具体项目当中。

根据《成都市温江区城市控制性详细规划图》（2018-2035 年）和成都市温江区规划和自然

资源局出具的《关于有偿划拨涌泉街道官河社区部分国有建设用地使用权给成都市第五人民医院的请示》（温自然资发(2023)14 号），明确该项目用地使用性质为医疗卫生用地，项目用地合理。

1.5 实践正当性分析

核医学是应用放射性核素或放射性药物进行诊断、治疗疾病以及进行医学研究的学科。成都市第五人民医院核医学科一方面承担临床诊疗任务，另一方面还需完成相应的科研任务。为完成临床、科研职责，在综合核医学自身学科特殊性以及国内外医院核医学科临床经验的基础上，医院拟建立动物实验场所，通过多种体内/外实验快速实现放射性药物临床前评价，为新药的研发和临床转化提供支持。

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、病人治疗中所受的痛苦较小，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的使用不当可能会造成如下辐射影响问题：

（1）给辐射工作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；

（2）射线装置的不正当性操作会造成较大和一般的辐射事故。

建设单位在放射性诊断和治疗过程中，对射线装置的使用、其所在的辐射工作场所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，在正确操作和严格管理的情况下，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辐射工作人员、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，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践正当性”的要求。

1.6 项目选址、外环境关系、布局合理性分析

1.6.1 项目选址合理性分析

本项目位于温江区涌泉街道官河社区，东坡大道（光华 8 线）与规划五环路交叉口西北侧，成都市第五人民医院光华院区内。医院北侧为共和路（规划建设中），隔路为居民区（在建中）；西侧为同耕西一巷（规划建设中），隔路为花土街中学（在建中，距离医院西侧边界约 55m）；东侧为凤凰大街（规划道路）；南侧为荒地。**周边环境现状见附图 2，医院总平面**

布置图见附图 3。

本项目用地为医疗用地。医院周围为居民商住区，交通较为便捷，能为周围居民提供方便的就医设施。本项目评价范围内无自然保护区、保护文物、风景名胜区、水源保护区等生态敏感点，所开展的核技术应用项目通过采取相应有效治理和屏蔽措施后对周围环境影响较小，因此选址是合理的。

1.6.2 周边环境关系

（1）本项目四周关系

成都市第五人民医院光华院区位于温江区涌泉街道官河社区，东坡大道（光华 8 线）与规划五环路交叉口西北侧，医院北侧为共和路（规划建设中），隔路为居民区（在建中）；西侧为同耕西一巷（规划建设中），隔路为花土街中学（在建中）；东侧为凤凰大街（规划道路）；南侧为荒地。**医院地理位置图见附图 1。**

本项目分布于医院地下二层（放疗科、核医学核素制备场所、核医学核素诊断和敷贴治疗场所、核医学核素门诊治疗场所）、地下一层（核医学动物实验场所）、医技住院楼一、三、四层（均作为介入放射学治疗工作场所），此外，医院在院内东南侧设置埋地式衰变池。核医学工作场所、衰变池及放疗科工作场所东侧 50m 范围内为医院内部道路和绿化，南侧 50m 范围内为医院内部道路、绿化和荒地，西侧 50m 范围内为医技住院楼、门诊楼、医院内部道路和绿化，北侧 50m 范围内为科研教学楼、医院内部道路和绿化。介入放射学工作场所东侧 50m 范围内为医技住院楼、院内道路和绿化，南侧 50m 范围内为发热门诊楼、感染楼、院内道路和绿化，西侧 50m 范围内为院内道路和同耕西一巷，北侧 50m 范围内为门诊楼、院内道路和绿化。**项目周围环境关系见附图 2，医院总平面布置图见附图 3。**

（2）本项目布局合理性分析

本项目放疗科、核医学核素制备场所、核医学影像诊断和敷贴治疗场所、核医学核素门诊治疗场所设置于医院地下二层东侧，核医学科动物实验场所设置于地下一层东侧，介入放射学工作用房分布于医技住院楼的一层、三层和四层，衰变池位置位于医院东南侧。

本项目辐射工作场所设有专用的候诊区域和就诊通道，病人通道、工作人员通道互不交叉，减少了病人与医生的交叉影响。

本项目核医学科工作场所位置相对独立，且集中布置，设置有单独的出入口，医护通道、患者通道、药物通道出入口均设置独立门禁，无关人员不能直接进入。整个工作场所相对独立且封闭，核素生产、接诊等候、核素诊断治疗、扫描检查、工作人员办公区域划分明确，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，可以尽量避免公众和医护人员不必要的照射，平面布置较为合理，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中选址的要求（具体分析见表1-9）； 本项目放射性废物间设置在辐射工作场所靠近出口处，放射性废物能以最短距离被送出本项目区域，避免了对其他人员的二次照射，降低了医生及公众受照射的可能性，其设置合理；本项目共设置有两套衰变池系统，沿途管路均增设铅防护并设置专用污水管井和污水提升泵，2 套衰变池周边主要为土层，上方设置检修入口，周边人流量较小，降低了医生及公众受照射的可能性，其设置合理。

表 1-9 核医学工作场所与《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。	本项目核医学工作场所分布于医院地下二层（包括核素制备场所、核素诊断及敷贴治疗场所和核素门诊治疗场所）和地下一层（核素动物实验场所），各场所均为独立的非密封放射性物质工作场所，根据平面布置，上述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。	本项目核医学工作场所不毗邻产科、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。	本项目核医学工作场所控制区内设置有独立排风系统，且排风管道引至楼顶进行排放，且排放口朝向避开了周围高层建筑。	满足

综上所述，本项目辐射工作场所位置相对封闭且独立，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，从辐射安全防护的角度分析，其总平面布置是合理的。

1.7 现有核技术利用项目许可情况

（1）目前，成都市第五人民医院已取得四川省生态环境厅核发的《辐射安全许可证》（川环辐证[00372]，允许使用种类和范围为：使用Ⅴ类放射源；使用Ⅱ、Ⅲ射线装置；使用非密封性放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所；有效期至 2026 年 04 月 27 日，见附件 4）

（2）医院辐射安全许可证已登记的放射性同位素、射线装置和放射源情况见表 1-10，表 1-11 和 1-12。该医院现有核技术利用项目均已履行环评审批手续，相关项目均已完成环保“三同时”验收，环保措施和设施均运行正常；经现场踏勘，未发现有环境遗留问题。同时，经调查核实，医院开展放射性诊疗多年，目前未发生过辐射安全事故。

表 1-10 辐射安全许可证已登记的非密封性放射性同位素一览表

序号	场所名称	场所等级	使用核素	日等效最大操作量（Bq）	年最大使用量（Bq）	备注	
1	[redacted]		^{125}I（粒子源）	[redacted]			西院区
2			^{18}F				
3			^{18}F				
4			^{125}I				
5			^{131}I				
6			^{89}Sr				
7			^{99}Mo（^{99m}Tc）				
8			^{99m}Tc				
9			^{125}I（粒子源）				

表 1-11 辐射安全许可证已登记的射线装置一览表

序号	装置名称	场所名称	类别	设备参数	
1	X 射线骨密度检测仪	双能骨密度检查室	III类	[redacted]	西院区
2	胃肠机	胃肠室	III类		
3	移动式数字摄影X射线机	ICU	III类		
4	X射线计算机体层摄影设备	急诊CT室	III类		
5	平板DR（数字化医用X射线摄影系统）	急诊DR室	III类		
6	X射线计算机断层摄影设备	急诊DR室	III类		
7	移动式摄影X射线机	新生儿科照片室	III类		
8	医用血管造影X射线系统	3导管室	II类		
9	移动式C形臂X射线机	手术室7	III类		
10	正电子发射及X射线计算机断层成像系统	PET-CT机房	III类		
11	医用血管造影X射线系统	1导管室	II类		
12	血管造影X射线系统	2导管室	II类		
13	医用直线加速器	直线加速器机房2	II类		
14	医用电子直线加速器	直线加速器机房	II类		
15	移动式C形臂X射线机	ERCP室	III类		
16	医用血管造影X射线机	10手术室	II类		
17	放射治疗模拟机	8号楼模拟定位机房	III类		
18	乳腺X射线摄影系统	乳腺照片室	III类		
19	移动式数字X射线机	手术室8	III类		
20	数字化医用X射线摄影系统	急诊DR室	III类		
21	高频移动式X射线机	手术室9	III类		
22	数字化医用X射线摄影系统	DR室（2）	III类		
23	X射线计算机体层摄影设备	体检CT室	III类		
24	X射线计算机体层摄影设备	方舱CT室	III类		
25	X射线计算机体层摄影设备	CT室（2）	III类		
26	X射线骨密度仪	体检骨密度室	III类		
27	X射线计算机体层摄影设备	模拟定位CT机房	III类		
28	牙科X射线机	牙片室	III类		
29	口腔全景X射线机	全景室	III类		
30	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	CBCT室	III类		
31	X射线计算机体层摄影设备	东区CT室	III类	[redacted]	东院区

32	数字化医用X射线摄影系统	东区DR室	III类		

表 1-12 辐射安全许可证已登记的放射源一览表

序号	核素	类别	总活度（贝可）/活度（贝可）×枚数	活动种类	备注	
1	^{90}Sr（^{90}Y）	V类	[redacted]*1	使用	[redacted]	西院区核医学科
2	^{22}Na	V类	[redacted]7	使用		
3	^{68}Ge	V类	[redacted]*2	使用		
4	^{68}Ge	V类	[redacted]*1	使用		

1.8 现有核技术利用管理情况

医院遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关放射性法律、法规，配合各级生态环境主管部门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

（1）辐射安全与环境保护管理机构

建设单位已成立了辐射安全与防护管理委员会（**详见附件 6：相关规章制度**），明确了相关工作内容和职责，能够满足现有核技术利用项目运行过程中辐射防护管理和监督的需要。

（2）辐射安全管理相关规章制度

医院在现有核技术利用项目运行中已根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中相应要求，制定了《辐射安全与防护管理办法》：<组织机构与职责>、<辐射工作人员管理>、<辐射工作场所管理>、<放射性同位素和射线装置管理>、<放射源及放射性废物处理>、<辐射事故处理>、<成都市第五人民医院辐射安全与防护管理委员会>，《辐射事故应急处理预案》等规章制度（**详见附件 6**），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。同时，各科室根据项目开展特点，制定了相应的操作规程、岗位职责、管理制度等，并落实执行。

上述制度基本满足目前核技术利用项目开展的需要，实践过程中若发现与工作实践不符或采取的防护技术有变化的情况出现，医院会立即组织相关人员进行修订，以保持制度的适用性和规范性，最大限度保护环境和人员免受辐射影响。

（3）辐射工作人员培训情况

医院现有 344 名辐射工作人员，均已取得辐射安全与防护培训合格证书，医院定期安排辐射工作人员在生态环境部辐射安全与防护培训平台参加培训。

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）开展辐射监测工作的情况

①个人剂量监测：建设单位现有辐射工作人员均已委托浙江君安检测技术有限公司进行个人剂量监测，监测结果表明辐射工作人员个人季度有效剂量及年有效剂量均低于 1.25mSv/季度的约束值以及职业人员 5mSv/年的管理限值，个人剂量检测报告详见附件 7。

②工作场所和环境辐射水平监测：医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所进行年度监测，根据建设单位提供的监测报告，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。

（5）辐射事故应急处理及演练执行情况

医院在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好，运行过程中未曾发生辐射事故，若发生辐射事故时应立即启动辐射事故应急预案。医院每年开展一次辐射事故应急演练并对演习内容进行记录和保存。

（6）年度评估报告情况

医院在全国核技术利用辐射安全申报系统（rr.mee.gov.cn）中提交了“2024 年度四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告”，医院对 2024 年度的辐射场所的安全和防护状况以及辐射管理情况进行了评估说明。（见附件 8）

综上所述，成都市第五人民医院不存在原有辐射环境问题。

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}Na	[redacted] 1枚	Ⅴ类	使用	校准源	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所、地下一层动物实验场所	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所1号储源室	拟购
2	^{22}Na	[redacted] 6枚	Ⅴ类	使用	校准源	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所、地下一层动物实验场所	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所1号储源室	拟购
3	^{68}Ge	[redacted] 1枚	Ⅴ类	使用	校准源	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所、地下一层动物实验场所	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所1号储源室	拟购
4	^{68}Ge	[redacted] 2枚	Ⅴ类	使用	校准源	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所、地下一层动物实验场所	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所1号储源室	拟购
	以下空白							

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	实际日最大用量（Bq）	日等效操作量(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	^{18}F	液态\低毒 半衰期 109.77min	使用	7.40E+07	7.40E+04	3.70E+09	动物实验	很简单操作	地下一层动物实验场所	药物合成、自动分装后转运至动物实验场所储源室贮存，或由专业供应商送到动物实验场所储源室贮存	/
2	^{11}C	液态\低毒 半衰期 20.39min	使用	3.70E+07	3.70E+05	1.85E+09	动物实验	简单操作			/
3	^{13}N	液态\低毒 半衰期 9.97min	使用	3.70E+07	3.70E+05	1.85E+09	动物实验	简单操作			/
4	^{68}Ga	液态\低毒 半衰期 68.3min	使用	3.70E+07	3.70E+05	1.85E+09	动物实验	简单操作			/
5	^{64}Cu	液态\低毒 半衰期 12.7h	使用	3.70E+07	3.70E+05	1.85E+09	动物实验	简单操作			/
6	^{89}Zr	液态\中毒	使用	3.70E+07	3.70E+06	1.85E+09	动物实验	简单操作			/

		半衰期 78.4h									
7	^{99m}Tc	液态\低毒 半衰期 6.02h	使用	7.40E+07	7.40E+04	3.70E+09	动物实验	很简单操作		专业供应商送到动物实验场所储源室贮存	/
8	^{18}F	液态\低毒 半衰期 109.77min	生产	4.10E+10	4.10E+08	1.02E+13	显像诊断/动物实验	简单操作	地下二层东南侧核素制备场所	药物合成、自动分装后转运至动物实验场所储源室及 1 号储源室贮存（其中部分 ^{18}F 转运至老院区核医学科使用）	/
9	^{11}C	液态\低毒 半衰期 20.39min	生产	1.07E+09	1.07E+07	2.68E+11	显像诊断/动物实验	简单操作			/
10	^{13}N	液态\低毒 半衰期 9.97min	生产	1.07E+09	1.07E+07	2.68E+11	显像诊断/动物实验	简单操作			/
11	^{68}Ga	液态\低毒 半衰期 68.3min	生产	3.33E+08	3.33E+06	8.32E+10	显像诊断/动物实验	简单操作			/
12	^{64}Cu	液态\低毒 半衰期 12.7h	生产	3.33E+08	3.33E+06	8.32E+10	显像诊断/动物实验	简单操作			/
13	^{89}Zr	液态\中毒 半衰期 78.4h	生产	3.33E+08	3.33E+07	8.32E+10	显像诊断/动物实验	简单操作			/
14	^{18}F	液态\低毒 半衰期 109.77min	使用	7.40E+09	7.40E+06	1.85E+12	显像诊断	很简单操作	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所	由回旋加速器自行生产，自动分装后转运至1号储源室贮存，或由专业供应商送到动物实验场所储源室贮存	/
15	^{11}C	液态\低毒 半衰期 20.39min	使用	9.25E+08	9.25E+06	2.31E+11	显像诊断	简单操作			/
16	^{13}N	液态\低毒 半衰期 9.97min	使用	9.25E+08	9.25E+06	2.31E+11	显像诊断	简单操作			/
17	^{68}Ga	液态\低毒 半衰期 68.3min	使用	1.85E+08	1.85E+06	4.63E+10	显像诊断	简单操作			/
18	^{64}Cu	液态\低毒 半衰期 12.7h	使用	1.85E+08	1.85E+06	4.63E+10	显像诊断	简单操作			/
19	^{89}Zr	液态\中毒 半衰期 78.4h	使用	1.85E+08	1.85E+07	4.63E+10	显像诊断	简单操作			/
20	^{99m}Tc	液态\低毒 半衰期 6.02h	使用	2.78E+10	2.78E+07	6.94E+12	显像诊断	很简单操作		专业供应商送到 1 号储源室暂存	/
21	^{32}P	液态\中毒 半衰期 14.3d	使用	3.70E+08	3.70E+07	9.25E+10	敷贴治疗	简单操作			/
22	^{131}I（甲	液态\中毒	使用	9.25E+05	9.25E+04	2.31E+08	甲吸检查	简单操作	地下二	专业供应商送到2号	/

	吸）	半衰期 8.04d							层核医学核素门诊治疗场所	储源室暂存	
23	^{131}I（甲亢）	液态\中毒 半衰期 8.04d	使用	1.85E+09	1.85E+08	4.63E+11	甲亢治疗	简单操作			/
24	^{89}Sr	液态\中毒 半衰期 50.55d	使用	1.48E+08	1.48E+07	3.70E+10	骨转移癌治疗	简单操作			/
		以下空白									

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》（GB 18871-2002）。

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	装置名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II类	1	待定	电子	X 射线：15MV 电子线：0-22MeV [redacted]	X 射线等中心 1m 处最大 30Gy/min；	放射治疗	放疗科 1 号加速器机房	拟购
2	医用直线加速器	II类	2	待定	电子	X 射线：10MV 电子线：0-22MeV [redacted]	X 射线等中心 1m 处最大 30Gy/min；	放射治疗	放疗科 2 号、3 号加速器机房	拟购
3	回旋加速器	II类	1	待定	质子	最大束流能量 16.5MeV	最大束流强度：100μA	核素制备	核医学科核素制备场所回旋加速器机房	拟购
	以下空白									

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊和治疗、分析等用途

序号	装置名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	数字减影血管造影装置（DSA）	II类	8	待定	150	1250	介入手术	医技住院楼一层急诊手术室 1、2；医技住院楼三层 DSA 手术室 1、2、3、4；医技住院楼四层复合手术室 1、2	拟购

2	中型 C 臂机	II类	2	待定	150	1250	介入手术	医技住院楼三层 1 号、2 号 ERCP 治疗室	拟购
3	移动 CT	III类	1	待定	150	1500	复合手术	医技住院楼一层急诊手术室 1、2	拟购
4	模拟定位 CT	III类	1	待定	150	1500	放疗模拟定位	地下二层放疗科模拟定位 CT 机房	拟购
5	正电子发射计算机断层成像系统（PET-CT）	III类	1	待定	CT 部分：150	CT 部分：1500	显像诊断	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所 PET-CT 机房	拟购
6	单光子发射计算机断层成像系统（SPECT-CT）	III类	1	待定	CT 部分：150	CT 部分：1500	显像诊断	地下二层核医学核素诊断和敷贴治疗场所 SPECT-CT 机房	拟购
7	小动物 PET/SPECT/CT 三模态活体成像系统	III类	1	待定	CT 部分：80	CT 部分：1000μA	动物显像诊断	地下一层核素动物实验场所小动物 PET-CT 机房	拟购
	以下空白								

（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	
	以下空白												

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废水	液态	^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{131}I	＜0.01Bq	＜0.01Bq	总β≤10Bq/L	暂存在医院东南侧地面下设置的两套并联式衰变池中，每套衰变池均设置有2个污泥池和3个衰变池组成	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GB18871中8.6.2规定方式进行排放。 排放出的废水经提升泵送至院内污水处理

							站进一步处理。
放射性固废（服药杯子、污染物的注射器、手套、棉签、纱布、滤纸、破碎杯皿、擦拭污染物地面的物品和更换的废活性炭）	固态	^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{131}I、^{89}Sr、^{32}P 等	/	/	＜10Bq/g	暂存在放射性废物间（废药室、留置衰变室）的衰变桶中	经衰变10个半衰期以上（含^{131}I核素的放射性固体废物暂存超过180天）后达到清洁解控水平，作为医疗废物处理。
施用过放射性核素的实验动物尸体及组织	固态	^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc	/	/	＜10Bq/g	装入专用尸体袋中暂存在污物暂存间的冷柜中	衰变至解控水平后，依托动物实验室危险废物暂存、管理系统，严格执行危险废物执行转移联单制度，由有资质单位进行无害化处理。
回旋加速器固体靶片	固态	/	/	/	/	在回旋加速器机房内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。
加速器废靶件	固态	/	/	/	/	不暂存，厂家回收	厂家回收
DSA和中型C臂机手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物	固态	/	少量	少量	/	暂存在机房内的废物桶	手术结束后集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置。
放射性废气	气态	^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{131}I	少量	少量	/	经活性炭吸附处理后排放	活性炭吸附处理后，经屋顶排气筒排放。
感生放射性物质	气态	^{11}C、^{13}N、^{15}O、^{41}Ar	少量	少量	/		
臭氧、氮氧化物	气态	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧常温约 5 0 分钟下可自行分解为氧气。
动物饲养产生的 NH_3、H_2S 等恶臭气体	气态	/	少量	少量	/	不暂存	活性炭吸附处理后，经屋顶排气筒排放。
以下空白							

注：1、常见废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/m³，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg；

2、含有放射性的废弃物要标明其排放浓度、年排放总量，单位分别为 Bq/L（kg、m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国环境保护法》（1989 年 12 月 26 日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过；2014 年 4 月 24 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订），2015 年 1 月 1 日施行； （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2002 年 10 月 28 日通过，自 2003 年 9 月 1 日起施行；2016 年 7 月 2 日第一次修正；2018 年 12 月 29 日第二次修正）； （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令第六号），2003 年 10 月 1 日施行； （4）《建设项目环境保护管理条例》（1998 年 11 月 29 日中华人民共和国国务院令第 253 号发布施行；2017 年 7 月 16 日中华人民共和国国务院第 682 号令修订，自 2017 年 10 月 1 日起施行）； （5）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，（2005 年 9 月 14 日经国务院令第 449 号公布，2014 年 7 月 29 日经国务院令第 653 号修改，2019 年 3 月 2 日经国务院令第 709 号修改）； （6）《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，2008 年 12 月 6 日经环境保护部令第 3 号修改，2017 年 12 月 20 日经环境保护部令第 47 号修改，2019 年 8 月 22 日经生态环境部令第 7 号修改，2021 年 1 月 4 日经生态环境部令第 20 号修改）； （7）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（中华人民共和国环境保护部令第 18 号），自 2011 年 5 月 1 日起施行； （8）《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），自 2017 年 12 月 5 日起施行； （9）《关于发布<放射源分类办法>的公告》（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号），自 2005 年 12 月 23 日起施行； （10）《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》（公告 2019 年第 57 号）； （11）《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）；

	（12）《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部令第 16 号），自 2021 年 1 月 1 日起施行； （13）《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，中华人民共和国环境保护部办公厅，环办辐射函[2016]430 号，2016 年 3 月 7 日发布； （14）《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号），自 2018 年 1 月 1 日施行； （15）《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（国家环保总局，环发[2006]145 号）； （16）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（生态环境部令第 9 号），2019 年 11 月 1 日施行； （17）《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第 7 号），2024 年 2 月 1 日起施行； （18）《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，辐射函[2023]20 号，2023 年 9 月 11 日； （19）《关于贯彻落实 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有关事项的通知》（川环办函[2019] 507 号）； （20）《四川省辐射污染防治条例》，（四川省第十二届人民代表大会常务委员会公告第 63 号），2016 年 6 月 1 日实施； （21）《四川省人民政府关于落实生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线制定生态环境准入清单实施生态环境分区管控的通知》（川府发〔2020〕9 号），2020 年 6 月 28 日； （22）《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲》（川环函〔2016〕1400 号）； （23）四川省生态环境厅关于印发《四川省生态环境厅审批环境影响评价文件的建设项目目录（2025 年本）》的通知，川环规〔2025〕1 号。
技术标准	（1）《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）； （2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （3）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；

	（4）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； （5）《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）； （6）《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）； （7）《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）； （8）《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》（GBZT 201.2-2011）； （9）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）； （10）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）； （11）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）； （12）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； （13）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； （14）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （15）《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）。
其他	（1）环境影响评价委托书； （2）成都市第五人民医院提供的其它相关资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目的特点，结合《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》（HJ 10.1-2016）的相关规定，本辐射环境评价范围取本项目辐射工作场所实体边界外 50m 范围，评价范围详见**附图 2：本项目周边概况图，附图 3：医院总平面布置图。**

7.2 保护目标

根据附图 2 和附图 3 可知，本项目实体边界外 50m 评价范围内主要为医院内部建筑、绿化道路及停车位，无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感区。

本项目主要环境影响因素为电离辐射。环境保护目标主要是工作人员和周边公众。由于电离辐射水平随着距离的增加而衰减，因此选取辐射工作场所较近、有代表性的环境保护目标进行分析。项目具体环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标信息

环境保护目标类型		位置描述	距靶源最近距离(m)		估计人数	年有效剂量管理约束值
			水平	垂直		
放疗科	辐射工作人员	西侧控制室	10.1	0	10	5mSv
	公众	西侧患者通道、水冷机房、设备机房等	10.2	0	50	0.1mSv
		北侧回旋加速器机房、热室等	6.5	0	20	
		上方院内道路	0	10.7	20	
核医学科动物实验场所	辐射工作人员	控制区内	/	0	5	5mSv
	公众	东侧地下车库	2.0	0	5	0.1mSv
		南侧室内过道	2.0	0	30	
		西侧室内过道	2.0	0	50	
		北侧空调机房、排风机房	2.0	0	10	
		上方院内过道	0	4.0	50	
		下方核医学核素诊断及敷贴治疗场所、放疗科工作用房	0	5.0	50	
核医学科核素制备场所	辐射工作人员	控制区内、回旋加速器/热室控制室内	/	0	10	5mSv
	公众	南侧1号加速器机房、水冷机房、电梯、楼梯间等	6.5	0	20	0.1mSv
		西侧地下车库、补风机房等	2.0	0	20	
		北侧地下车库、医护走廊等	2.0	0	20	
		上方地下车库、净化空调机房、隔油提升	0	5.0	50	

		间等				
		下方地下车库	0	4.0	50	
核医学科核素诊断及敷贴治疗场所	辐射工作人员	控制区内、PET/SPECT控制室内	/	0	20	5mSv
	公众	东侧楼梯间、放疗科治疗计划室、物理室、示教室	2.0	0	20	0.1mSv
		南侧放疗科制模间、模具库、核医学科诊室、候诊区、卫生间等	2.0	0	20	
		西侧地下车库、强电井、排烟井等	2.0	0	50	
		上方核医学科动物实验场所、普通实验室、办公室等	0	5.0	30	
		下方地下车库	0	4.0	50	
核医学科核素门诊治疗场所	辐射工作人员	控制区内	/	0	10	5mSv
	公众	东侧医护过道、真空机房等	1.5	0	5	0.1mSv
		南侧楼梯间	2.0	0	20	
		西侧地下车库	2.0	0	50	
		北侧地下车库	2.0	0	50	
		上方地下车库	0	5.0	50	
		下方地下车库	0	4.0	50	
医技住院楼一层急诊手术室1-2	辐射工作人员	手术室内	0.5	0	3	5mSv
		北侧控制室	3.5	0	2	
	公众	南侧手术过道、医护人员缓冲通道	3.5	0	2	0.1mSv
		东侧楼梯间	4.0	0	5	
		西侧急诊病房	4.0	0	5	
		上方ICU、办公室	0	4.0	10	
		下方消防控制室、排烟机房	0	4.0	5	
医技住院楼三层DSA手术室1-2	辐射工作人员	手术室内	0.5	0	3	5mSv
		控制室	2.5	0	2	
	公众	北侧过道、电梯	2.5	0	5	0.1mSv
		东侧洁净走廊	2.5	0	5	
		西侧污物走廊	2.5	0	5	
		南侧设备间、库房	2.5	0	2	
		上方手术中心	0	4.0	15	
		下方急诊病房	0	4.0	15	
医技住院楼三层DSA手术室3-4	辐射工作人员	手术室内	0.5	0	3	5mSv
		控制室	2.5	0	2	
	公众	北侧设备间、库房	2.5	0	2	0.1mSv
		东侧洁净走廊	2.5	0	5	
		DSA手术室4南侧洁净走廊	2.5	0	5	
		DSA手术室3南侧设备间、净化机房	2.5	0	2	
		上方手术中心	0	4.0	15	
		下方急诊病房、输液区	0	4.0	15	
医技住院楼三层1-2号ERCP	辐射工作人员	手术室内	0.5	0	4	5mSv
		控制室	2.5	0	4	
	公众	南侧库房	2.5	0	5	0.1mSv
		东侧、西侧为洁净走廊、过道、内镜洗消区	2.5	0	10	
		北侧缓冲间、更衣室	2.5	0	5	

机房		上方无菌间、洁净走廊	0	4.0	5	
		下方急诊示教室	0	4.0	5	
医技住院楼四层1-2号复合手术室	辐射工作人员	手术室内	0.5	0	4	5mSv
		控制室	4.0	0	4	
	公众	东侧污物走廊	4.0	0	5	0.1mSv
		南侧污物走廊	4.0	0	5	
		西侧缓冲间、库房	4.0	0	5	
		北侧洁净走廊	4.0	0	10	
		上方休息室、屋面	0	4.0	5	
		下方DSA手术室1-4	0	4.0	10	

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限制

（1）根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

表 7-2 剂量限制的相关内容

对象	具体内容
职业照射剂量限值	应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： ①由审管部门决定的连续5 年的年平均有效剂量，20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv； ③眼晶体的年当量剂量，150mSv； ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。
公众照射剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果5个连续年的年平均剂量不超过lmSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv。
剂量约束值通常应在公众照射剂量限值10%~30%（即0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内。	

（2）参考《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中关于剂量约束值的规定：

a）一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为 5mSv/a。

b）公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

（3）参考《国际辐射防护和辐射源安全基本安全标准》第 GSR Part 3 号中的一览Ⅲ中的相关要求：连续 5 年以上眼晶体接受年平均当量剂量 20mSv（5 年内 100mSv），且任何单一年份内的当量剂量 50mSv。

建设调试期间工作人员作为非辐射工作人员，期间以不超过 0.1mSv/a 作为其年有效剂量约束值。

辐射工作人员年有效剂量按上述表 7-2 中规定的照射剂量限制的 1/4 执行，即辐射工作人员剂量约束值不超过 5mSv；公众剂量约束值按照上述表 7-2 中标准的 1/10 执行，即不超过 0.1 mSv。辐射工作人员眼晶体的年当量剂量约束值参考《国际辐射防护和辐射源安全基本安全标准》第 GSR Part 3 号中相关要求取 20mSv；辐射工作人员四

肢（手和足）或皮肤的年当量剂量约束值按照上述表 7-2 中标准的 1/4 执行，即不超过 125mSv。

7.3.2 辐射管理分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，应把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。

6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应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。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中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。

7.3.3 放射治疗机房辐射屏蔽要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）：

（1）放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。

（2）放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

（3）管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。

（4）剂量控制应符合以下要求：

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 a）和 b）

所确定的剂量率参考控制水平$\dot{H}_c$：

a）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$\dot{H}_{c,d}$ (μSv/h)：

机房外辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤100μSv/周；

机房外非辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤5μSv/周。

b）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$\dot{H}_{c,\max}$ (μSv/h)：

人员居留因子 T＞1/2 的场所：$\dot{H}_{c,\max}$ ≤2.5μSv/h；

人员居留因子 T≤1/2 的场所：$\dot{H}_{c,\max}$ ≤10μSv/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 250μSv 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 100μSv/h 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

7.3.4 DSA 机房、ERCP 机房、CT 机房安全措施和辐射屏蔽要求

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

（1）每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求；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 7-3 要求。

表 7-3 本项目涉及机房使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积㎡	机房内最小单边长度 m
CT（不含头颅移动 CT）	30	4.5
双管头或多管头 X 射线设备 [a]	30	4.5
单管头 X 射线设备 [b] （含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5
a：双管头或多管头 X 射线设备的所有管球安装在同一间机房内。 b：单管头、双管头或多管头 X 射线设备的每个球管各安装在 1 个房间内。		

（2）X 射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求

①不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护应不低于表 7-4 的规定。

表 7-4 各项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
标称 125kV 以上的摄影机房	3.0	2.0

标称 125kV 及以下的摄影机房	2.0	2.0
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

②医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 C 中表 C.4~表 C.7。

③机房的门和窗关闭时应满足表 7-4 的要求。

（3）机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

①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 2.5μSv/h；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间。

②CT 机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h；

③具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25μSv/h，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25mSv。

（4）工作场所防护用品及防护设施配置要求

根据工作内容现场应配备不少于 4 种基本种类要求的工作人员、患者和受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅防护衣；除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb；应为儿童的 X 射线检查配备有保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.5mmPb。详细情况见表 7-5。

表 7-5 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
介入放学操作	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	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选：铅橡帽子	——
CT体层扫描（隔室）	——	——	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	——

注1：“——”表示不需要求。
注2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防护手套。

7.3.5 核医学工作场所安全措施和辐射屏蔽要求

（1）表面污染控制水平

根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)，核医学工作场所的放射性表面污染控制水平见表 7-6。

表 7-6 核医学科工作场所放射性表面污控制水平（单位：Bq/cm²）

表面类型		β 放射性物质（Bq/cm²）
工作台、设备、墙壁、地面	控制区[1)]	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}
[1)] 该区内的高污染子区除外		

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）B2.2 规定，工作场所的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 11（见 7.3.5 中表 7-6）中所列设备类的控制水平的五十分之一以下时，经主管部门确认同意后，可当作普通物品使用。即控制区内表面污染≤0.8Bq/cm²。

（2）屏蔽要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）

6.1 屏蔽要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）中相关规定，本项目核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平详见表 7-7。

表 7-7 核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

场所	位置	剂量率控制水平（μSv/h）
核医学科	控制区外人员可到达处，距屏蔽体外 30cm 处	2.5
	控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处	2.5（人员居留因子≥1/2）
		10（人员居留因子＜1/2）
	放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位	2.5
	放射性药物合成和分装的箱体等设备外表面 30cm 处非正对人员操作位	25
	固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道外表面 30cm 处	2.5

（3）安全措施要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）

6.2 场所安全措施要求

6.2.1 核医学工作场所的放射性素操设备表面、工作台台面等平整光滑，室内地与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。

6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的病床旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。

6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相的去污措施。

6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐水平监测，无关人员不应入内，贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。

6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

7.3.6 放射性废物处理

（1）放射性废液

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

7.3.1 放射性废液收集

7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。

7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

7.3.2 放射性废液贮存

7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

7.3.2.3 核医学诊断和门诊碘-131 治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为 3-5 级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 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 GB18871 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 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB 18871 附录 A 表 A1 的要求。

7.3.3.3 放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）中相关规定，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（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。

医院应做好相关排放记录。

另根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）规定，综合医疗机构水污染物排放标准执行表 2 规定限值，详见表 7-8。

表 7-8 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放标准（日均值）

控制项目	排放标准	预处理标准
总α（Bq/L）	1	1
总β（Bq/L）	10	10

（2）放射性固体废物

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

7.2.1 固体放射性废物收集

7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

7.2.1.2 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，防止刺破废物袋。

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20 kg。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。

7.2.2 固体放射性废物贮存

7.2.2.1 产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

7.2.2.2 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

7.2.2.3 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。

7.2.2.4 含放射性的实验动物尸体或器官应装入废物袋做好防腐措施（如存放至专用冰柜内），并做好屏蔽防护。不需要特殊防护措施即可处理的尸体含放射性常用核素的上限值见附录 C。

7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 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。

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性α 发射体应小于 4 Bq/cm^2、其他 α 发射体应小于 0.4 Bq/cm^2。

7.2.3.3 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。

（3）放射性废气

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)：

核医学工作场所的通风按 7.3.3 中表 1 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。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 0.5 m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）中三、关于独立通风要求：

核医学标准第 6.3.4 节规定，手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。

7.3.7 环境质量及污染物排放的执行标准

（1）环境质量控制标准

1、环境空气质量执行国家《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准；

2、地表水环境质量执行国家《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中Ⅲ类标准；

3、声环境质量执行国家《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 2 类声功能区环境噪声限值。

（2）污染物排放标准

1、废气执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表 2 二级标准；

2、医疗废水排放执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中的预处理排放标准；

3、噪声执行 ①施工期：《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）标准；②运营期：《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）表 1 中 2 类区域标准。

4、固废：一般固废执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599-2020）。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

本项目位于成都市温江区涌泉街道官河社区，东坡大道（光华 8 线）与规划五环路交叉口西北侧，成都市第五人民医院光华院区内。医院北侧为共和路（规划建设中），隔路为居民区（在建中）；西侧为同耕西一巷（规划建设中），隔路为花土街中学（在建中）；东侧为凤凰大街（规划道路）；南侧为荒地。

本项目分布于医院地下二层（放疗科、核医学核素制备场所、核医学核素诊断和敷贴治疗场所、核医学核素治疗场所）、地下一层（核医学动物实验场所）、医技住院楼一、三、四层（均设置有介入放射学治疗工作场所），此外，医院在院内东南侧设置埋地式衰变池。核医学工作场所、衰变池及放疗科工作场所东侧 50m 范围内为医院内部道路和绿化，南侧 50m 范围内为医院内部道路、绿化和荒地，西侧 50m 范围内为医技住院楼、门诊楼、医院内部道路和绿化，北侧 50m 范围内为科研教学楼、医院内部道路和绿化。介入放射学工作场所东侧 50m 范围内为医技住院楼、院内道路和绿化，南侧 50m 范围内为发热门诊楼、感染楼、院内道路和绿化，西侧 50m 范围内为院内道路和同耕西一巷，北侧 50m 范围内为门诊楼、院内道路和绿化。**项目周围环境关系见附图 2，医院总平面布置图见附图 3。**

8.2 辐射环境现状

为了解本项目辐射工作场所周围辐射环境现状水平，浙江君安检测技术有限公司于 2025 年 4 月 1 日对工作场所周围环境β表面污染水平和中子周围剂量当量率进行监测；于 2025 年 6 月 9 日对工作场所周围环境γ射线剂量率进行监测。

8.2.1 环境现状评价对象

拟建项目辐射工作场所区域周边环境。

8.2.2 监测项目

γ射线剂量率、β表面污染水平和中子周围剂量当量率。

8.2.3 监测点位

根据现场踏勘、本项目工作场所平面布置情况及《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的相关要求，本次选择在建设地周围布设监测点位以反映区域辐射环境质量本底状况，环境现状监测点位图见图 8-1 至图 8-3，监测点位布设合理。

图 8-1 拟建辐射工作场所周围环境现状γ射线剂量率监测点位示意图

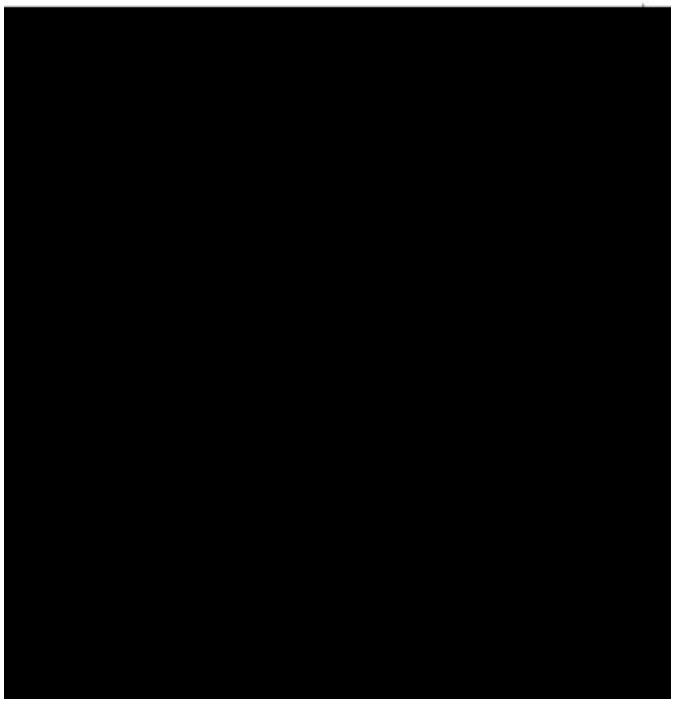


图 8-2 拟建辐射工作场所周围环境现状β表面污染水平监测点位示意图

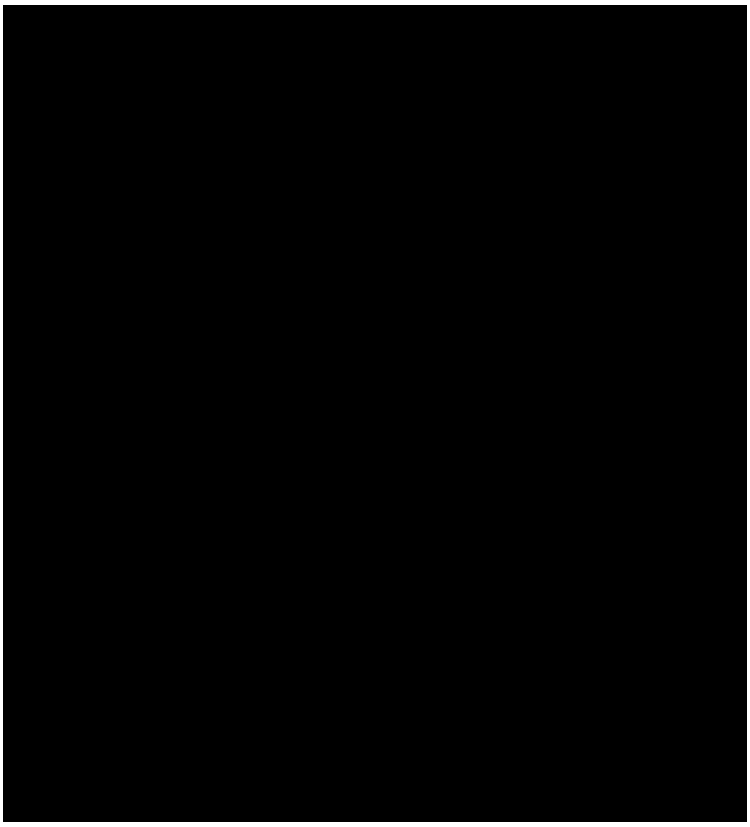


图 8-3 拟建辐射工作场所周围环境现状中子周围剂量当量率监测点位示意图

8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

8.3.1 监测方案

（1）监测单位：浙江君安检测技术有限公司

（2）监测日期：2025 年 4 月 1 日、2025 年 6 月 9 日

（3）监测方式：现场监测

（4）监测依据：《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）和《表面污染测定第一部分：β发射体（Eβmax>0.15Mev）和α发射体》（GB/T14056.1-2008）

（5）监测频次：依据标准予以确定

（6）监测工况：辐射环境现状

（7）天气环境条件：

2025 年 4 月 1 日：温度 13℃，相对湿度 78%，阴

2025 年 6 月 9 日：温度 27℃，相对湿度 30%，晴

（8）监测仪器

表 8-1　监测仪器一览表

监测项目	监测仪器信息		
	仪器名称	仪器编号	仪器参数及检定情况
γ射线剂量率	便携式 X、γ辐射周围剂量当量率仪	JAYQ-42	仪器型号：FH40G-X+FHZ672E-10 测量范围：1nSv/h~100μSv/h 能量响应：48keV~6MeV 校准因子：0.99 检定/校准单位： 证书编号：2024 检定/校准日期：2024 年 08 月 14 日 检定/校准有效期：2025 年 08 月 13 日
β表面污染水平	α、β表面污染仪	JAYQ-33	仪器型号：COMO170 探测器尺寸: 170×100×1mm^3 β表面发射率响应：0.41 检定/校准单位 证书编号：2024 检定/校准日期：2024 年 07 月 08 日 检定/校准有效期：2025 年 07 月 07 日
中子周围剂量当量率	中子周围剂量当量仪	JAYQ-32	仪器型号：RTM-3020 型 探测器：^{6}LiF 测量范围：0.01μSv/h～200mSv/h 校准因子 检定/校准单位 证书编号：DLjs 检定/校准日期：2024 年 09 月 05 日 检定/校准有效期：2025 年 09 月 04 日

8.3.2 质量保证

本次监测单位为浙江君安检测技术有限公司，该单位具有浙江省质量技术监督局颁发的资质认定证书（证书号：161118341686），并在允许范围内开展监测工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性。具体质量保证措施如下：

（1）合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性；

（2）监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗；

（3）监测仪器按规定定期经计量部门检定，检定合格后方可使用；

（4）监测仪器经常参加国内各实验室间的比对，确保监测数据的准确性和可比性；

（5）每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否良好；

（6）由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录；

（7）监测报告实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术负责人审定。

8.3.3 监测结果

本项目辐射环境现状各监测点位的γ射线剂量率监测结果见表 8-2，详见附件 9：辐射环境现状监测报告（报告编号：浙君检（辐）字 FH 2025 川第 0010 号）。

β表面污染水平监测结果见表 8-3，中子周围剂量当量率监测结果见表 8-4，详见附件 9：辐射环境现状监测报告（报告编号：浙君检（辐）字 FH 2025 川第 0001-1 号）。

表 8-2　拟建辐射工作场所区域周围环境γ射线剂量率监测结果

监测点号	监测点位	监测结果（nGy/h）		备注
		平均值	标准差	
1	[redacted]	56	1.2	室外
2	[redacted]	59	1.5	室外
3	[redacted]学楼）	67	1.0	室内
4	[redacted]	64	1.1	室内
5	[redacted]	69	1.3	室内
6	[redacted]空地）	62	1.3	室外
7	[redacted]	56	1.5	室外
8	[redacted]）	63	1.3	室外
9	[redacted]0m（凤凰南大街）	61	1.6	室外
10	[redacted]	63	1.2	室外
11	[redacted]楼）	74	1.8	室内
12	[redacted]楼）	68	1.7	室内
13	[redacted]巷）	67	1.4	室外
14	[redacted]	64	1.1	室外
15	[redacted]）	72	1.2	室内
16	[redacted]楼）	70	1.0	室内
17	[redacted]楼）	73	1.7	室内
18	[redacted]	61	1.4	室外

注：1、测量时探头距离地面约 1m；

2、每个监测点测量 10 个数据取平均值，以上监测结果均已对宇宙射线的响应值进行了修正；

3、环境γ辐射空气吸收剂量率=读数平均值×校准因子 k_1×仪器检验源效率因子 k_2-屏蔽修正因子 k_3×测量点宇宙射线响应值 D_C，其中校准因子 k_1 为 0.99，仪器使用 ^{137}Cs 进行校准效率因子 k_2 取 1，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数取 1.20Sv/Gy，k_3 楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，测量点宇宙射线的响应值 D_C 为 **8.9nGy/h；**

4、测量点宇宙射线的响应值依据 HJ61-2021 标准附录 D 中的方法对参考点监测值修正得出，参考点为浙江省宁波市东钱湖湖面（海拔高度：6.21m，地理经纬度：东经 121.683574°，北纬 29.791144°）。

表 8-3　拟建辐射工作场所区域周围环境β表面污染监测结果

监测点号	监测点位	监测结果（Bq/cm²）	备注
1	[redacted]	＜0.08	室外
2	[redacted]	＜0.08	室外
3	[redacted]大街）	＜0.08	室外
4	[redacted]科）	＜0.08	室外
5	[redacted]	＜0.08	室内

6	[redacted]楼）	＜0.08	室内
7	[redacted]	＜0.08	室外
8	[redacted]	＜0.08	室外
9	[redacted]	＜0.08	室外
10	[redacted]	＜0.08	室外
11	[redacted]	＜0.08	室内
12	[redacted]	＜0.08	室内

注：0.08Bq/cm²为 CoMo170 型α、β表面污染仪(JAYQ-33)的探测下限。

表 8-4　拟建辐射工作场所区域周围环境中子周围剂量当量率监测结果

监测点号	监测点位	监测结果（Bq/cm²）	备注
1	[redacted]	＜0.01	室外
2	[redacted]	＜0.01	室外
3	[redacted]	＜0.01	室外
4	[redacted]	＜0.01	室内
5	[redacted]	＜0.01	室外
6	[redacted]	＜0.01	室外
7	[redacted]	＜0.01	室外
8	[redacted]	＜0.01	室外

注：0.01μSv/h 为 RTM-3020 型中子周围剂量当量率仪(JAYQ-32)的探测下限。

8.4 环境现状调查结果的评价

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。

根据表 8-2，本项目拟建辐射工作场所区域周围环境γ辐射空气吸收剂量率范围为 56～74nGy/h，低于成都市生态环境局《2023 成都生态环境质量公报》中的成都市环境γ辐射剂量率连续自动监测年均值范围（67.0~119nGy/h），属于当地正常天然本底辐射水平。

根据表 8-3，本项目拟建辐射工作场所区域周围环境β表面污染水平均低于设备探测下限，属于当地正常水平。

根据表 8-4，本项目拟建辐射工作场所区域周围环境中子周围剂量当量率水平均低于设备探测下限，属于当地正常水平。

辐射环境现状监测报告**见附件 9**。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

本项目主体工程土建施工环境影响已包含在批复的《成都市第五人民医院光华院区项目环境影响报告书》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、γ 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。

9.2 工程设备和工艺分析

9.2.1 放疗科项目

9.2.1.1 模拟定位机项目

（1）设备组成

模拟定位机，用于放射治疗前的定位使用。主要由 X 射线机、诊断床、控制台、中央工作站和激光定位系统组成。

（2）工作原理

模拟定位机的全称是放射治疗模拟定位机，是模拟放射治疗机治疗的几何条件而

定出照射部位的放射治疗辅助设备，可分为常规模拟定位机和 CT 模拟定位机两种，本项目采用 CT 模拟定位机，其主要作用是在进行真正的放射治疗前，需要采集患者肿瘤组织和正常解剖结构等信息，以确定肿瘤范围和正常危及器官的位置，为制订放射治疗计划做准备。CT 模拟定位系统由一台 CT 扫描机、一套虚拟定位及计划系统和一套三维（或四维）移动激光射野模拟系统三部分组成。三大部分通过数据传输系统在线连接。CT 模拟的全过程包括体位确定、固定，建立原始坐标系，图像采集、传输、重建，靶区勾画和确定，射野选择和布置，射野等中心确定并将原始坐标系原点移至等中心等一系列步骤，为调强放射治疗做准备。

模拟定位机等 X 射线诊断装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的 靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。典型 X 射线管结构详见图 9-1。

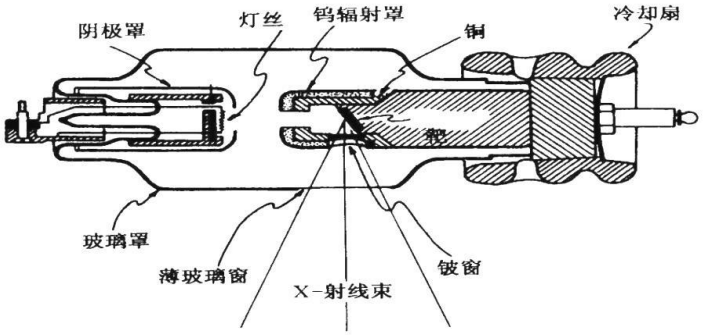


图 9-1 典型 X 射线管结构图

（3）工作流程及产污环节

病人经医生诊断后，预约登记诊断时间。受检者按约定时间在候诊区准备和等候。受检者进入机房在医务人员的指导下正确摆位。摆位完成后，除患者外，无关人员退出机房。工作人员检查无误后，即开启模拟定位机进行拍片/模拟定位。检查结束后，受检者离开机房。模拟定位机诊断流程及产污环节见图 9-2。

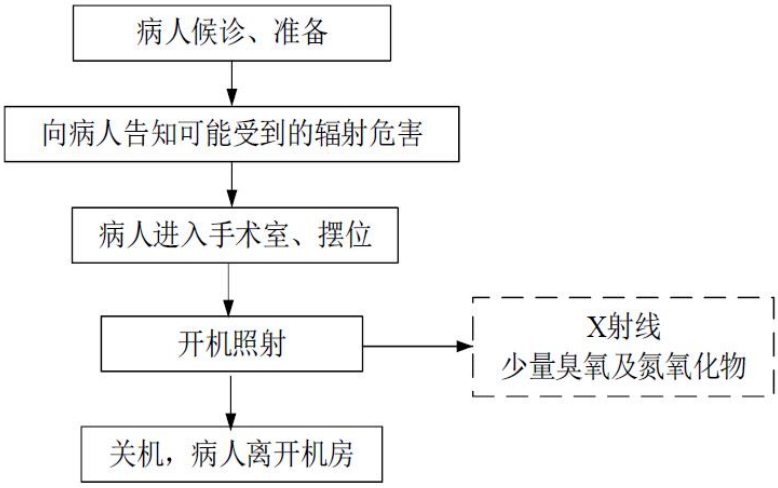


图 9-2 模拟定位机诊断流程及产污环节示意图

9.2.1.2 直线加速器项目

（1）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，主要由三大部分组成，既电子发射单元，电子加速单元和电子束引出单元，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。

电子治疗子系统基本组成部件主要包括初级准直器、散射箔、托盘、均整器、电离室、光阑、附件接口、限光筒等。

医用直线加速器内部结构框图见图 9-3，直线加速器有电子束和 X 射线两种治疗模式，X 射线治疗和电子治疗子系统结构见图 9-4，典型医用直线加速器外观结构见图 9-5，实景图见图 9-6。

图 9-3 医用电子直线加速器内部结构图

图 9-4 X 射线治疗与电子治疗系统结构图

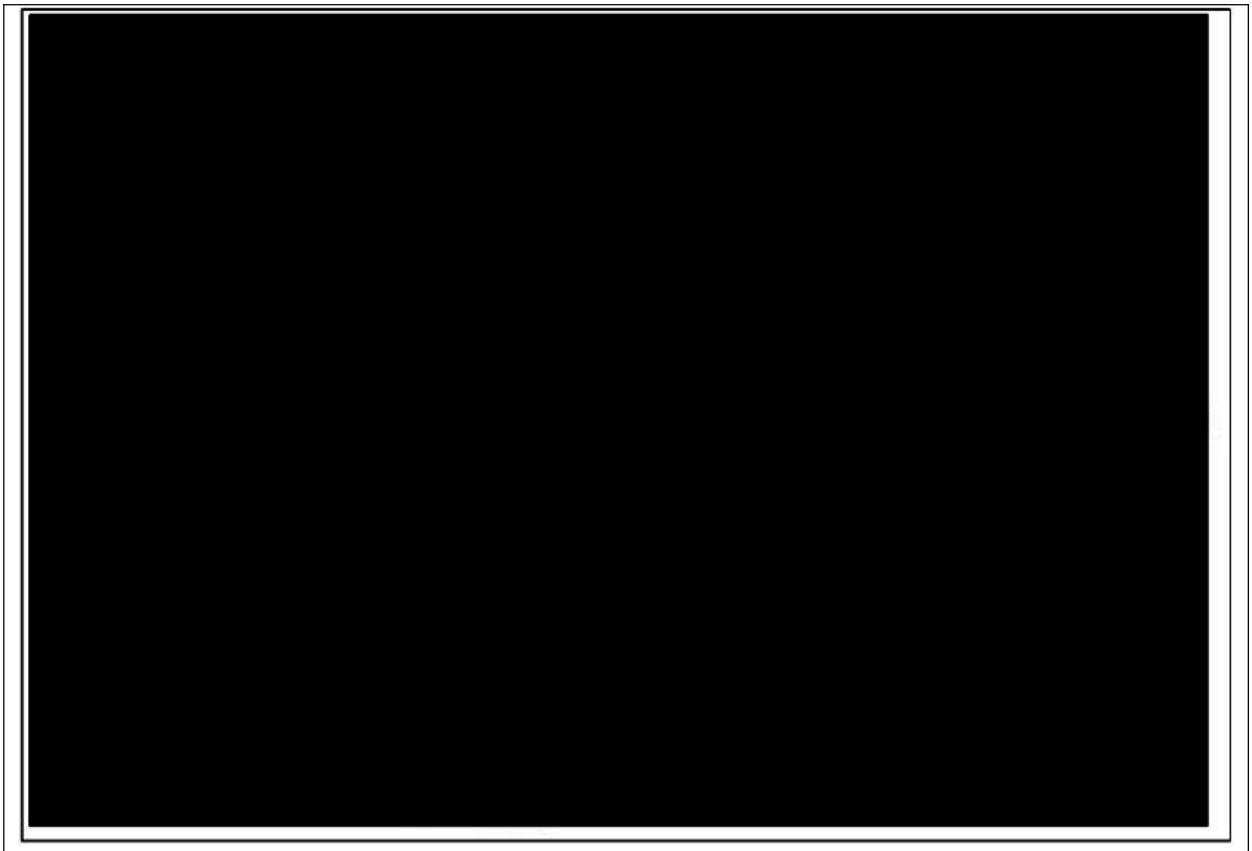


图 9-5 典型医用直线加速器外观结构图

图 9-6 典型医用直线加速器实景图

（2）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。

（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。根据经验，物理师进行质控操作，质控曝光时间约为放射治疗时间的 10%。

（4）工作负荷

正式投入使用后，预计本项目每台加速器治疗 30 人次/天，均保守考虑为适行调强放射治疗，每周 5 天，每年工作约 250 天，平均每人治疗 7 野次，每人次平均治疗剂量为 2Gy，则加速器每周工作负荷为 300Gy，每人次出束治疗时间最多为 2min（不含摆

位时间），则加速器日治疗有用线束出束时间 1h，周治疗出束时间 5h，年治疗出束时间约为 250h，其中 X 射线束与电子束治疗出束时间的比例约为 20:1。物理师年质控时间约为治疗出束时间的 1/10，年质控出束时间为 25h，加速器年出束时间共 275h。

（5）工作流程及产污环节

直线加速器在进行放射治疗时，患者在射线机房内，医务操作人员位于射线机房外隔室操作。治疗时，射线机房可为医务人员以及墙外停留或通过的人员提供足够的屏蔽防护，并可防止在开机过程中，无关人员误入射线机房。

本项目直线加速器涉及电子线浅表治疗模式和 X 射线治疗模式，在出束期间会产生电子束、X 射线；模拟定位 CT 机在开机工作时时产生 X 射线，不开机状态均不产生辐射。此外，X 射线与空气中的氧气相互作用会产生少量臭氧、氮氧化物等有害气体；另有更换的废靶件产生。

直线加速器治疗项目的操作流程如下，其工作流程及产污环节见图 9-7：

1）根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前预约登记，以确定治疗时间；

2）预约病人先在 CT 模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状，确定治疗中心，工作人员隔室操作；

3）确定肿瘤位置和形状后，物理人员根据医师给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划，该过程通常在电脑上完成；

4）医护人员和患者进入直线加速器机房，医护人员进行指导摆位，随后医务人员撤出直线加速器机房，确认机房内除了受诊患者无其他人员。

5）启动加速器，锥形束计算机断层扫描系统（CBCT）进行图像引导系统拍摄放疗体位下的照射部位数字影像，与放疗计划系统进行对比，并校正放疗体位，出束治疗。

6）治疗结束，医务人员关闭加速器，并进入机房指导协助患者离开。

图 9-7 医用直线加速器放疗流程及产污环节示意图

9.2.1.3 放疗科放射治疗机房人流物流路径规划

（1）人流

1）患者路径

患者从放疗科西南侧电梯或楼梯间进入地下二层放疗科，首先在模拟定位 CT 机房内进行模拟定位，模拟定位结束后登记预约放射治疗时间，计划完成后进入对应的加速器机房进行治疗，治疗结束后原路返回。

2）医护人员路径

负责模拟定位的工作人员由放疗科办公区域经公共过道进入模拟定位 CT 机房控制室，需对患者摆位的工作人员从控制室进入模拟定位 CT 机房内进行摆位，摆位结束后回到控制室，模拟定位工作结束后原路返回。

负责放射治疗的工作人员由放疗科办公区域经公共过道进入加速器机房控制室，

病人开展治疗前，由医护人员进入加速器机房内对病人进行摆位，摆位结束后回到控制室，完成工作后原路返回。

（2）物流

本项目三间加速器机房运营后产生医疗废物及辐射工作人员和患者的少量生活垃圾，在一天的工作结束后，由清洁人员统一收集，医疗废物通过放疗科南侧的污梯运至医院的医疗废物暂存间内，定期委托有资质单位外运处置，生活垃圾运至医院的垃圾收集点，交由环卫部门进行统一清运。

本项目放疗科各治疗机房人流路径规划详见图 9-8。

图 9-8 放疗科机房人流路径示意图

9.2.2 核医学科项目

9.2.2.1 回旋加速器核素制备项目

（1）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床上所需要的 ^{18}F、^{11}C 等放射性同位素。其中 ^{18}F 是目前临床使用标记示踪剂最多的正电子放射性核素。

回旋加速器工作原理见图 9-9。

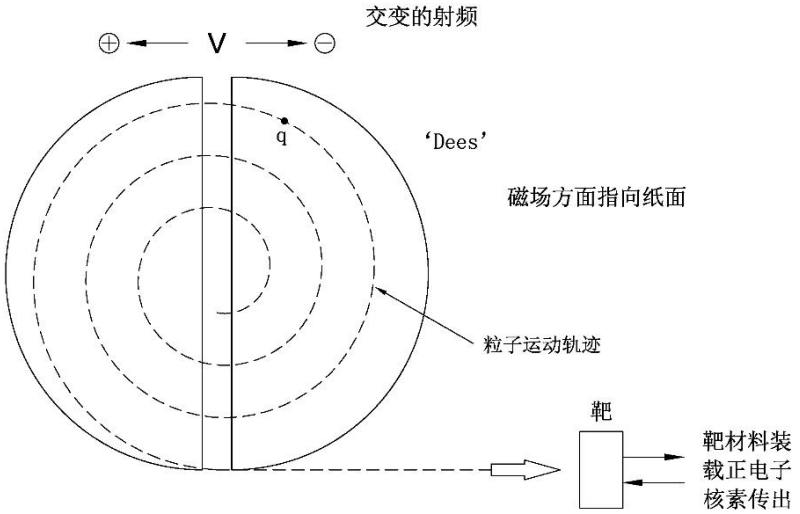


图9-9 回旋加速器工作原理示意图

（2）设备组成

1）回旋加速器设备

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，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的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：主要包括剥离碳膜、引出器等装置，该系统直接将加速的且具有最大能量的带电负离子从真空腔中引出，主要是通过剥离膜剥去 H^-的两个电子，使其转变成为带正电荷的 H^+，此时粒子束运行轨道发生逆向偏转，然后通过引出装置将束流引入靶内。

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。

冷却系统：包括水冷却系统和氦冷却系统，水冷却系统分为一级水冷却系统和二级水冷却系统。一级水冷却系统为普通的冷却机组，常年制冷；二级水冷却系统中的去离子水带走回旋加速器产生的热量，通过热交换传递给一级水冷却系统，达到为机器降温的目的。氦冷却系统主要是在束流轰击期间对靶室和靶窗的 havar 膜与钛膜之间腔隙进行冷却，主要由氦气、压缩机和流量计组成。氦气冷却系统的热量通过热交换传递给一级水冷却系统。

2）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。化学合成系统是在计算机控制下自动化地完成药物的合成。

药物合成、分装在热室合成柜、分装柜中进行，合成柜、分装柜主要由铅板构成自屏蔽体 计算机合成程序控制合成器进入自动合成过程，放置在一个密闭的铅罐中的无菌真空瓶，铅罐侧面预留一小管道供接收及抽取药品。回旋加速器及化学合成系统工作方式为加速两级真空泵支持其具有的高真空环境，高压射频提供粒子加速所需的能量，强磁场改变粒子运动方向，使粒子作近似圆周运动。自屏蔽系统较好地屏蔽了核反应过程中产生的中子及高能γ光子。加速器生产结束后，其产品都是从主屏蔽内部用气体推送方式，通过小的传输管道再穿过套在地沟中铅块覆盖的管道内传送到化学合成系统。合成前在合成器中加入合成前体，回旋加速器产生的放射性粒子经特殊管道传到合成器后，计算机合成程序使进入自动合成过程。合成结束后，采用气体推送方式将放射性药物传送到一个无菌真空瓶中。放射性药物完全传送到无菌真空瓶后，工作人员将铅罐放置在分装柜中，然后在分装柜中利用自动分装仪根据每个病人/动物/质检所需的放射性药物分装相应的剂量，将放射性药物放置在转运铅罐中，再将药物通过转运车送至本项目核医学科核素制备场所的质控区域、核素动物实验场所、核素诊断及敷贴治疗场所使用，另外医院拟委托具备放射性物质运输资质的第三方单位将部分生产的 ^{18}F 药物送至医院现有院区核医学科使用。

（3）设备参数

根据建设单位前期调研资料，本项目拟从市场常见的三款带自屏蔽结构的回旋加速器中进行选型。鉴于项目当前处于前期建设阶段，具体设备采购计划暂未明确，调研拟选的设备型号及主要参数见下表。

表9-1 本项目拟选用的回旋加速器的主要参数

设备型号	生产厂家	最大质子束流能量	最大束流强度	屏蔽体外1m处最大剂量率
[redacted]				γ剂量率：42.6 中子剂量率：17.3
				γ剂量率：55.9 中子剂量率：30.3
				γ剂量率：101 中子剂量率：51

上表中三款设备相关参数的调研资料详见附件 10，依据厂家提供的技术资料显示 回旋加速器在自屏蔽体外 1m 处的 γ 剂量率、中子剂量率均为三款设备中最高值，且其最大质子束流能量达 16.5MeV，显著高于其他机型。综合考虑设备运行对周边环境的潜在影响，本报告将采用该设备的相关参数作为环境影响评价的基准依据，详见表 9-2。

表 9-2 PETtrace 鲲鹏型回旋加速器技术参数

系统类别	参数	单位	数值
整体主机系统	质子最大束流能量	MeV	16.5
	束流引出质子最大束流强度	μA	100
束流引出系统	独立束流引出系统个数	个	2
	碳膜支持器	个	2
	单个碳膜支持器支持碳膜数	片	6
	碳膜总数	个	12
靶系统	可安装靶数	个	6

表 9-3 PETtrace 鲲鹏型回旋加速器生产同位素参数

序号	产物	靶材料	核反应	轰击时间	辐照能量	合成效率	典型最大产额
1	^{18}F	[redacted]					
2	^{11}C						
3	^{13}N						
4	^{68}Ga						
5	^{64}Cu						
6	^{89}Zr						

注：本项目所有靶材料均为外购，不涉及靶材料制备工艺。

（4）工作负荷

回旋加速器药物制备项目，每年工作 250 天，每周工作 5 天。根据 PET 诊断项目及动物实验的临床使用需求，生产 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr。其中 ^{18}F 为主要使用的核素，本项目各核素日生产批次及最大日产量相关技术参数见表 9-4。

表 9-4 拟制备放射性核素的相关信息

序号	核素种类	日生产批次（次）	年生产批次（次）	使用靶体	半衰期	物化状态	毒性分组	日产额（Bq）
1	^{18}F	[redacted]			109.77min	液态	低毒	4.08E+10
2	^{11}C				20.39min	液态	低毒	9.62E+08
3	^{13}N				9.97min	液态	低毒	9.62E+08
4	^{68}Ga				68.3min	液态	低毒	2.22E+08
5	^{64}Cu				12.7h	液态	低毒	2.22E+08
6	^{89}Zr				78.4h	液态	中毒	2.22E+08

（5）工作流程及产污环节

本项目回旋加速器制备 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 共 6 种放射性药物，供本项目核医学科核素动物实验场所、核素诊断及敷贴治疗场所以及医院现有院区核医学

科使用。

1）回旋加速器制药区制备放射性药物总体工艺流程

a）回旋加速器生产核素离子

①确定制备核素种类和数量，制定生产计划。

②制定好生产计划后，辐射工作人员进入加速器机房巡检和清场（重点进行各项联锁及安全装置有效性进行检查），并同步进行热室准备。根据生产核素的种类，准备对应的靶材料。不同核素的生产原理基本相同，只是所需的靶材料不同。靶材料分为气体靶、液体靶和固体靶，本项目回旋加速器生产 ^{18}F、^{13}N、^{68}Ga 使用液体靶，液体靶是将液态的靶材料密封在靶腔中进行轰击；生产 ^{64}Cu、^{89}Zr 使用固体靶；生产 ^{11}C 使用气体靶，通过质子轰击 N_2 和 O_2 的混合气体产生核反应，各类靶材料准备流程如下：

液体靶：将准备好的液体靶置于热室自动传靶装置上，启动程序，液体靶通过专用管道传输至回旋加速器液体靶位。液体靶需要工作人员定期进入加速器机房添加靶水，通常每月一次。

固体靶：通过专用管道传输至回旋加速器固体靶位。

气体靶：气体靶由一个与进入靶的束流形状相匹配的容器（靶室）和其它附件构成，这些附件包括两个用于冲靶、空靶和封闭靶的阀；一个用于连续地监测在生产期间靶压力的传感器；另一个 Havar 封闭箔膜使靶室与加速器真空箱封闭；两个箔膜之间由高速的 He 气流进行冷却，后法兰连接有靶气体管道和冷却靶室的冷却水管道。气体靶是由气瓶间通过管道自动输送到加速器，充靶程序是靶通过相应的气体压力计将气体充到规定的压力。充靶有一个固定的时间，经这个时间后，靶气体输入和输出阀门关闭。

本项目回旋加速器中，靶总是保持在被充状态，在充靶结束后可直接读出靶的压力，并且其压力必须在预先设定的生产压力范围内。如果相差超过允许的范围，轰击可能被终止。在轰击期间，束流和靶压被连续地监测，如果有一项指标超出允许的范围，轰击将被终止。^{14}N 和 ^{15}O 气瓶存储于气瓶间，一般使用期限可长达几年，更换气体罐的操作在气瓶间完成。本项目气瓶间设置于负一层（核素制备场所热室对应区域南侧位置），气体传输管道经热室南侧顶棚穿楼板后再穿过回旋加速器机房西墙，连接到加速器。

③靶材料传输至回旋加速器靶位后，开启回旋加速器，质子轰击靶材料，发生核

反应，生成所需要的核素。

④回旋加速器生产结束后将同位素产物经过专用的防护管道系统，在惰性气体的推动下，自动传输到热室的药物合成器内，回旋加速器冷却关机（本项目核素传输管道布设示意图见图 10-15）。

整个回旋加速器生产核素离子过程均为自动控制，生产过程中工作人员不会进入加速器室，仅在加速器操作间进行电脑操作与控制。

回旋加速器在生产放射性核素的同时伴随产生中子及粒子，成为瞬时辐射源，由于高能带电粒子直接轰击回旋加速器有关部件导致有关原件被活化从而产生中子活化产物，中子在慢化吸收过程中产生高能射线和放射性废物，另外回旋加速器长期运行会产生废靶。加速器室内的空气受中子照射后生成放射性活化气体，主要有 ^{11}C、^{13}N、^{15}O 和 ^{41}Ar 等感生放射性物质，以及回旋加速器在开机时会产生少量的非放射性有害气体，主要是臭氧和氮氧化物。

回旋加速器打靶时需要提供水冷却，采用多级冷却，一级冷却系统为密封的纯水，密封循环使用，不外排，直接冷却靶体；二级冷却系统采用去离子冷却水，去离子水制备过程中会产生一定的废离子交换树脂。

b）放射性药物的标记合成、质控及分装

加速器生产完放射性核素后，确认热室的防护门均处于关闭状态。放射性核素从回旋加速器机房通过地下输送管道，在惰性气体的推动下，传输至带有铅屏蔽的热室合成柜。操作人员在热室设置好参数，控制系统自动完成药物制备。放射性药物标记合成、分装在热室内进行。

在计算机控制下，液体靶和气体靶产物直接进行药物的化学合成，固体靶产物需首先在前处理模块内自动进行溶解纯化，再参与下一步化学合成反应。通过化学反应将生产的核素标记到生理性代谢物质上（如葡萄糖、氨基酸、胆碱等），形成所需要的放射性药物，经过化学反应、纯化等处理后制备的放射性药物自动传输至分装模块中，在分装模块按药物使用需求分装出所需的活度和体积，利用自动分装系统分装药物置于专用转运铅罐中。

药物质控过程中，工作人员取出少量放射性药物通过洁净走廊传递窗传至质控室，再分别送至放化实验室、微生物室、无菌检测室和阳性对照室内进行相关质控检测。工作人员在使用毛细吸管吸取微量抽检样品，检验药物的 pH 值、性状等。待质检

结果出来后，再进行成品药物分装，质控时每批次取 6 份核素样品，每份核素样品活度为 500 μCi，每次质控时间为 5 分钟。

回旋加速器机房的核素离子生产完成后，通过氦气吹扫专门的防护管道系统传输到热室的相应模块箱中。辐射工作人员会预先在热室内设置药物的合成和分装参数。

模块箱包括合成模块箱 4 套和分装模块箱 2 套，放置在带有铅屏蔽的合成分装柜中，用来合成分装生成的正电子核素。

在整个操作过程中，加速器操作人员在回旋加速器操作间内通过计算机控制自动完成核素制备及传输。生产工作人员于核素传输前在热室房间内进行合成分装准备，设置药物的合成和分装参数，通过计算机控制系统自动完成药物合成分装。放射性药物制备和分装工作结束，完成清场、监测后离开。

c）放射性药物的包装、运输

本项目生产的正电子放射性药物半衰期短，故本项目生产方式为按照药物使用计划定量生产，根据药物计划用量及使用时间进行生产，不贮存放射性药物。

合成出的正电子放射性药物由管路自动输入到成品瓶，根据患者/小动物实际使用活度，技术人员使用机械手分装至注射器内经标定活度后装入铅罐中，经热室北侧的传递窗送至打包间内进行贴标并完成外包后，通过转运车经药物运输通道（地下车库过道）送至负二层的核素诊断及敷贴治疗场所的 1 号储源室；通过转运车经核素制备场所北侧的工作电梯（1b-DT14）及地下车库过道送至负一层的动物实验场所的储源室内暂存，每批药物转运时间取 5 分钟；[redacted]

①配送计划：根据医院现有院区核医学科需要制定药物配送清单，注明药物名称、配送剂量、放射性浓度、体积等信息；

②外包放射性药物：按计划制备好放射性药物后，工作人员从热室的分装柜中取出装有放射性药物的铅罐，经热室北侧的传递窗送至打包间内进行贴标并完成外包后，对药物货包进行外表面剂量检测，小于剂量限值方可配送；

③药品交接及配送：[redacted]输单位进行运输、配送，[redacted]送人员轮流运输至医院现[redacted]输；

④药品交接：药品送达医院现有院区核医学科，由核医学科工作人员在药品配送订单上填写到达时间。

药物包装、运输过程中放射性药物衰变会发出β^+射线以及因发生正电子湮灭而产生的γ射线。

综上所述，回旋加速器制药工作场所整体流程及污染物产生环节如图 9-10 所示。

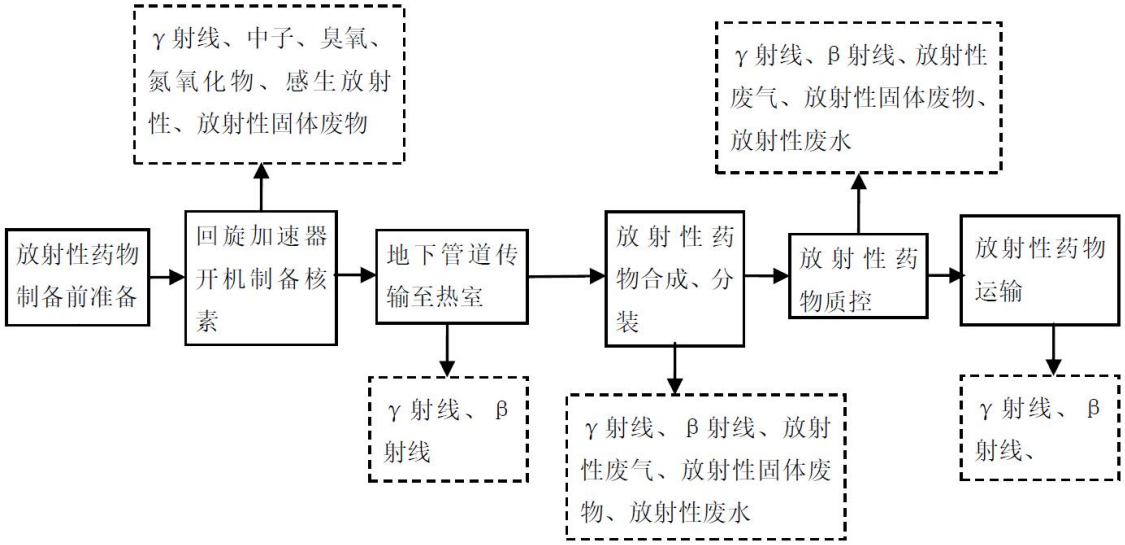


图9-10 回旋加速器制药场所工艺流程及产污环节图

2）液体靶生产放射性药物

本项目 ^{18}F、^{13}N、^{68}Ga 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 ^{18}F-FDG 放射性药物合成为例，其具体工艺流程如下：

a）^{18}F 核素离子制备工艺

^{18}F 每天打靶 2 次，核素制备前对回旋加速器运行参数进行确认。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。

自动装靶水装置将重氧水靶物质（丰度 95%的 $H_2{}^{18}O$）装入液体靶腔内，以高能质子束流轰击一定时间（具体视所需制备量而定）后可得到 ^{18}F-F^-。^{18}F-F^-需从轰击后的靶水中进行富集捕获，用阴离子交换柱捕获法。将制备的核素通过地下专用防护管道系统，在氦气推动下输送至热室中的合成模块箱内。

b）^{18}F-FDG 药物合成

回旋加速器所制备的 ^{18}F 经专用防护管道传送到化学合成模块箱，利用亲核氟代标记，加速器生成的 ^{18}F 液体首先通过分离柱，将氟离子吸附在 QMA 柱上，废水及其中的杂质离子留到废水瓶中收集，再使用洗脱液（K_2CO_3/K222 溶液等）将氟离子洗脱至反应容器内，加热除去乙腈与水的共沸物后，得到中间产物 $K^{18}F$/K222；加入无水乙腈

溶解的三氟甘露糖溶液，进行标记反应生成乙酰化的 ^{18}F-FDG，然后加热除去反应体系中的乙腈；加入氢氧化钠进行水解反应，加入酸中和，生成最终产物 FDG 和一些杂质的混合物；将 FDG 溶液粗产品通过纯化柱进行纯化，除去杂质，经过无菌滤膜过滤获得最终产品 ^{18}F-FDG，将 ^{18}F-FDG 抽入热室分装柱的产物瓶中。

c）质控、分装

由合成模块箱合成后的药物自动传送到分装模块箱，在分装模块箱自动测量产品活度。质检药品经自动分装至转运铅罐内，取出由洁净走廊经传递窗传送至质控室，工作人员使用毛细吸管将待检药物吸取微量抽检样品，检验药物的 pH 值或性状等。待质检结果出来后，再进行成品药物分装，药物在分装模块箱内根据使用需求自动分装。

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（打靶、合成、分装过程，辐射工作人员均位于控制室内）。

本项目生产的放射性药物以短半衰期药物为主，故其使用与即时质检可同步进行。每批次放射性药物均进行即时质检。不同药物的即时质检项目不同，一般质检项目包括标记药物的性状、pH、放射化学纯度、活度浓度检测，并判定检验结果是否满足《药品管理法》和《放射性药品管理办法》等相关法律法规要求。即时质检主要在质控室通风橱内进行，包括性状检查、pH 测定、放射化学纯度检验、放射性活度（浓度）测定等。

^{18}F-FDG 的质控检测约需 0.1ml 药液，流程具体如下：

①形状检查：在铅玻璃的屏蔽下，观察药物的澄明度。

②pH 值检查：在铅玻璃的屏蔽下，用毛细管蘸取药物点于精密 pH 试纸上观察比对， pH 测定工艺流程及产污环节见图 9-11。

[redacted]

图9-11 pH测定工艺流程及产污环节图

药物的 pH 值在 5.0～8.0 之间即合格。

③放射化学纯度检查：在铅玻璃的屏蔽下，用毛细管蘸取药物点于硅胶板上，置于约 20ml 的展开剂中（V/乙腈+水=V/95+5）爬板检测，放射化学纯度检查工艺流程及产污环节见图 9-12。

[redacted]

图9-12 放射化学纯度检查工艺流程及产污环节图

放射性药物的放射化学纯度不低于 90%，且在放射化学纯度项下的色谱图中放射性药物样品的 R_f值在 0.4～0.6 之间，即合格。

④放射性活度（浓度）测定：放射工作人员（质检）将装有即时质检样品的无菌瓶放入活度计中，测量放射性同位素 ^{18}F 的活度，记录测量时间及活度，并推算出放射性药物成品的放射性浓度。^{18}F-FDG 的放射性浓度不低于 370MBq/ml，并在标示值的 90%~110%之间，即合格。

即时检验过程在手套箱中进行操作，放射工作人员距离辐射源的距离约为 0.5m，全程操作时间约 5min。

除上述质检项目外，其余项目为追溯性质检项目，追溯质检样品必须衰变 10 个半衰期以上方可进行追溯性质检。每种正电子药物平均每月进行一次例行的追溯性质检，并根据临床应用情况，确定是否增加追溯性质检，故每批次药物必须留样用于追溯性质检。不同的药物的追溯性质检项目不同，一般包括细菌肉毒素检验、无菌检验，并判定检验结果是否满足《药品管理法》和《放射性药品管理办法》等相关法律法规要求。

以标记药物 ^{18}F-FDG 的追溯性质检为例，包括氨基聚醚含量检验、残留溶剂检验、细菌肉毒素检验、无菌检验，这类质检主要在阳性对照室、无菌检测室完成，阳

性对照实验等过程将涉及菌液移取、接种等操作，此过程可能产生少量含菌气溶胶，阳性对照实验均在二级生物安全柜中操作，拟在生物安全柜全柜配备高效能空气粒子过滤器（HEPA），经过滤后的通过排气筒高空放。

追溯性质检过程不考虑放射性废水、固废，产污以非放射性为主，包括实验固废、废水、废气。相关质检项目及流程如下：

⑤氨基聚醚含量检验：将药液放置 10 个半衰期，待放射性活度降低到可忽略的程度后，进行氨基聚醚含量检测。

取本品适量，作为供试品溶液。取氨基聚醚 25mg，精密称定，加水溶解并稀释至 250ml，作为对照溶液（1）。精密量取对照溶液（1）与等体积的水混合，作为对照溶液（2）；精密量取对照溶液（1）与等体积的供试品溶液混合，作为对照溶液（3）；照薄层色谱法试验，吸取供试品溶液、水、对照溶液(2)与对照溶液（3）各 2.5μl，分别点于同一经过处理的硅胶 G 薄层板（取 100g/L 的氯铂酸溶液 3ml，加入水 97ml 与 60g/L 的碘化钾溶液 100ml，混匀。将硅胶 G 薄层板浸泡在上述溶液中 5～10 秒，室温下避光干燥 12 小时）上 1 分钟后检视。对照溶液（3）应和对照溶液（2）类似，与水比较，斑点中心显深蓝色圆或圆环；供试品溶液的斑点中心如显深蓝色，应浅于对照溶液（2）中心的深蓝色（50μg/ml）。

⑥残留溶剂检测：将药液放置 10 个半衰期，待放射性活度降低到可忽略的程度后，进行残留溶剂检测。

取本品适量，作为供试品溶液。分别精密称量乙腈、乙醇、丙酮适量，用水定量稀释制成每个 1ml 中约含乙腈 0.4mg、乙醇 5mg、丙酮 5mg 的溶液作为对照品溶液。精密量取供试品溶液与对照品溶液各 1ml 至顶空瓶中，密封。照残留溶剂测定法第一法试验，以硝基对苯二酸改性的聚乙二醇（或极性相近）为固定液的毛细管柱为色谱柱，柱温 70℃，进样口温度为 200℃，检测器温度为 250℃，顶空瓶温度为 85℃，平衡时间为 10 分钟，进样体积为 500μl。取对照品溶液顶空进样记录色谱图，丙酮、乙醇和乙腈依次出峰，各主峰之间的分离度均应符合要求。精密量取供试品溶液和对照品溶液，分别顶空进样，记录色谱图，按外标法以峰值面积计算，乙腈、乙醇与丙酮的残留量均应符合规定。

⑦细菌内毒素实验：将药液放置 10 个半衰期，待放射性活度降低到可忽略的程度后，进行细菌内毒素检测。

⑧无菌检查将药液放置 10 个半衰期，待放射性活度降低到可忽略的程度后，进行无菌检查。

3）固体靶生产放射性药物

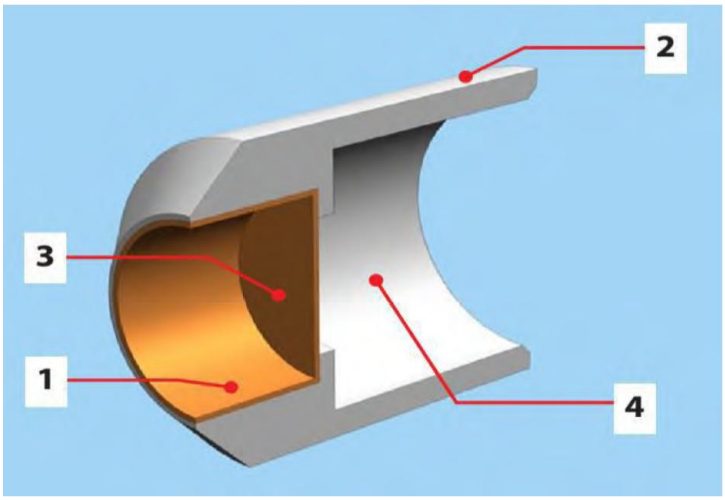
固体靶放射性药物的生产、合成、质控、分装、运输等流程与液体靶基本类似，主要区别在于固体靶准备过程需要在热室内全自动完成靶材料的制作准备流程，打靶完成后生成的是固体放射性核素，需要首先在合成热室内全自动完成固体放射性核素的溶解和纯化，然后再经化学反应、纯化等自动合成最终的放射性药物。

于[redacted]用室内溶解和纯化模块进行自动溶解和纯化，本项目拟生产的放射性药物 ^{89}Zr 为液体，不生产纳米粒子和微球。

本次仅以 ^{64}Cu 核素的生产过程及原理举例说明固体靶生产放射性药物流程。

a）准备靶、打靶

生产 ^{64}Cu 放射性药物使用的固体靶主体是由耐腐蚀的铝合金构成，靶梭内部的金属附着部件是由铂构成的，耐强酸及高温腐蚀，^{64}Ni 附着在靶梭上，具体结构如图 9-5 所示。



1和3为靶梭内部的金属附着部件，由铂构成的，耐强酸和高温；
2和4为靶梭靶体，由耐腐蚀的铝合金构成。

图 9-13 靶梭的结构图

将外购的靶梭自动传输至回旋加速器靶位，开启回旋加速器，质子轰击靶材料，发生核反应，生成所需要的核素。

b）溶解

将靶梭回输至热室（固体靶通过气动传输系统，自动传输），运行溶解程序，首先回输的靶梭先恢复到初始位置，然后通过盐酸溶液按照设定的反应顺序溶解靶梭上的 ^{64}Cu、^{64}Ni 等金属；^{64}Cu 及 ^{64}Ni 等金属被溶解后输送至收集瓶，溶解程序完成。

c）分离及纯化

^{64}Cu 及 ^{64}Ni 等金属被溶解后收集，利用不同摩尔浓度的盐酸对 ^{64}Cu 及 ^{64}Ni 等金属的溶解能力不同以及 ^{64}Cu 及 ^{64}Ni 等金属的原子半径大小的不同，可以使用 AG1-X8，利用分子筛的原理分离及纯化 ^{64}Cu 及 ^{64}Ni 等金属。运行传输设备初始化后使用氦气将溶液推运至 AG1-X8 柱子上、干燥。运行纯化程序，设备初始化后盐酸经过 AG1-X8 柱子，液体流入镍回收瓶、分离镍；同理盐酸分离钴和铜，最后干燥 AG1-X8 柱子、设备初始化。此时镍回收瓶、钴回收瓶及铜产物瓶处均可放置放射性的探头用于探测放射性剂量。

d）回收 ^{64}Ni

运行回收程序，设备初始化，清洗线路将残留的 ^{64}Ni 回收到镍回收瓶内，回收程序完成，装有残液的回收瓶置于热室合成柜内暂存衰变。运行清洗程序，清洗完成后，^{64}Cu 核素生产过程即完成。

固体靶生产放射性药物整个过程均为电脑程序自动运行，产污环节及污染物种类与液体靶生产放射性药物基本相同。

[redacted]

固体靶生产放射性药物用到的靶材料均置于非放物料暂存间内存放，根据其特性进行隔离储存，储存量一般不超过每周的用量，非放物料暂存间应保持干燥、清洁，

采取避光、通气等措施。

由于本项目固体靶生产放射性药物用到的靶材料纯度达到99%以上，因此放射性药物经分离纯化后残液中所含放射性核素量主要为轰击靶材料后形成的其他核素，且浓度非常低，生产放射性药物 ^{64}Cu、^{89}Zr 产生的残液中所含核素分别为 ^{61}Co、^{90}Zr，其中 ^{90}Zr 无放射性。

4）气体靶生产放射性药物

本项目回旋加速器生产 ^{11}C 使用气体靶，^{11}C 核素生产是通过质子轰击 N_2 和 O_2 的混合气体产生 ^{14}N（p，α）^{11}C 核反应，产生的 ^{11}C 自由基与 O_2 反应生成 $^{11}CO_2$。

通常使用高纯 N_2（99.5%）+O_2（0.5%）混合气体作为靶材料，经过质子照射后得到 $^{11}CO_2$（气态）。$^{11}CO_2$ 经过核素传输管道传送至自动化合成模块中，$^{11}CO_2$ 经过氢氧化铝还原转化为 $^{11}CH_3OH$，再经过氢碘酸（HI）碘代法生产出 $^{11}CH_3I$ 示踪剂（液态）。为了防止 CO_2 的污染，可在 N_2 进入靶室的管线间连接一个捕获器，捕获器内可以装载氢化铝锂、烧碱石棉剂、分子筛或聚苯乙烯固定剂，同时应注意捕获剂所带来的污染。为了防止外界渗透污染，应选用不锈钢材料的传送管道，并且在保证气体流量的前提下，管道的内径应尽可能细。

气体靶生产放射性药物整个过程均为电脑程序自动运行，产污环节及污染物种类与液体靶生产放射性药物基本相同。

5）产污环节

回旋加速器在生产核素的同时伴随产生大量中子，成为瞬时辐射源，由于高能带电粒子直接轰击加速器有关部件导致有关原件被活化从而产生中子活化产物，中子在慢化吸收过程中产生高能射线和放射性废物，另外回旋加速器长期运行会产生废靶。加速器室内的空气受中子照射后生成放射性活化气体，主要有 ^{11}C、^{13}N、^{15}O 和 ^{41}Ar 等感生放射性物质，以及回旋加速器在开机时会产生少量的非放射性有害气体，主要是臭氧和氮氧化物。

药物合成、分装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；合成分装模块内药物的挥发产生含放射性核素的废气。

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。

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、O_3和NO_X。

9.2.2.2 动物影像实验项目

（1）设备组成及工作原理

PET 正电子发射断层扫描（Positron Emission Tomography，PET）的工作原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或功能因子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术。

SPECT（Single Photon Emission Computed Tomography，单光子发射型计算机体层显像），是一种利用放射性核素的检查方法。SPECT-CT 的全称是单光子发射计算机断层扫描仪（Single-Photo Emission Computed Tomography）。其使用放射性核素进行诊断的基本原理是：受检者注射含放射性核素的药物，放射性核素在特定的器官或组织发射出γ射线，穿过组织器官后到达 SPECT 探测器。SPECT 使用低能准直器对γ射线进行准直，通过闪烁体将γ射线能力转换为光信号，再通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大，得到的测量值代表在该投影线上的放射性大小，再利用计算机从投影求解断层图形。其主要的功能特点是：除了显示脏器形态结构外，更重要的是可观察到脏器血流灌注、功能和代谢的变化。临床主要应用于骨骼显像、心脏灌注断层显像、甲状腺显像、肾动态显像等。

本项目拟采用小动物 PET/SPECT-CT 三模态活体成像系统，同时具备 PET 扫描功能、SPECT 扫描功能和 CT 扫描功能，能够在兼容本项目所使用的放射性核素（^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 和 ^{99m}Tc）的同时获得 CT 扫描图像，从而更有利对动物实验结果的判断。

（2）工作负荷

预计每年实验 50 周，^{18}F、^{99m}Tc 核素小动物最大注射药量为 200μCi/只，^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 核素小动物最大注射药量为 100μCi/只，单一核素每周最大实

验 10 只动物（每只 1 次）。

（3）工作流程及产污环节

本项目实验操作流程如下：

1）放射性核素制备完成后，所有核素的分装、活度测定均在注射室的手套箱中进行，此时，操作人员穿着铅衣，距离放射源约 0.5m。分装好后的放射性药物装入铅罐或注射器防护盒保护待用，上述流程每次用时 5 分钟。

2）将小动物固定在装置内，采用 1.5％异氟烷/氧气将其麻醉后，通过静脉注射放射性药物，单只动物注射用时约 30s,每批次试验最多对 10 只动物进行注射，故最多耗时 5 分钟。

3）分别于给药后不同时间（根据研究目的不同时间差异较大，通常为给药后 2、30、60、120min 等）显像。将小动物在麻醉状态下置于动物 PET-CT 的动物舱内，摆位合适后进行 PET 显像，单只动物摆位时间约 30s，摆位时使用 10mmPb 屏风作为屏蔽防护补偿，每次试验最多用时 5 分钟，非显像时间段将小动物饲养在注射后饲养间内。

4）图像采集结束后将动物从小动物 PET 机房转移至注射后饲养间，每批次动物转移时间 3 分钟，转运过程统一使用 10mmPb 动物转运箱，继续饲养并衰变至 10 倍最长半衰期后，经实验室工作场所东南侧传递窗转运至医院科研教学楼 23 层的一般动物饲养间。

5）根据实验方案不同，必要时，会对衰变至解控水平后的小动物实施安乐死（CO_2 吸入法）后解剖，该实验步骤于南侧解剖室进行，解剖后的动物尸体属于《国家危险废物名录（2025 年版）》中“HW01 危险废物卫生 841-003-01 病理性废物”，装入专用尸体袋中存放于污物暂存间的冷冻柜中贮存，依托动物实验室危险废物暂存、管理系统，严格执行危险废物执行转移联单制度，由有资质单位进行无害化处理。

实验操作流程见图 9-15。

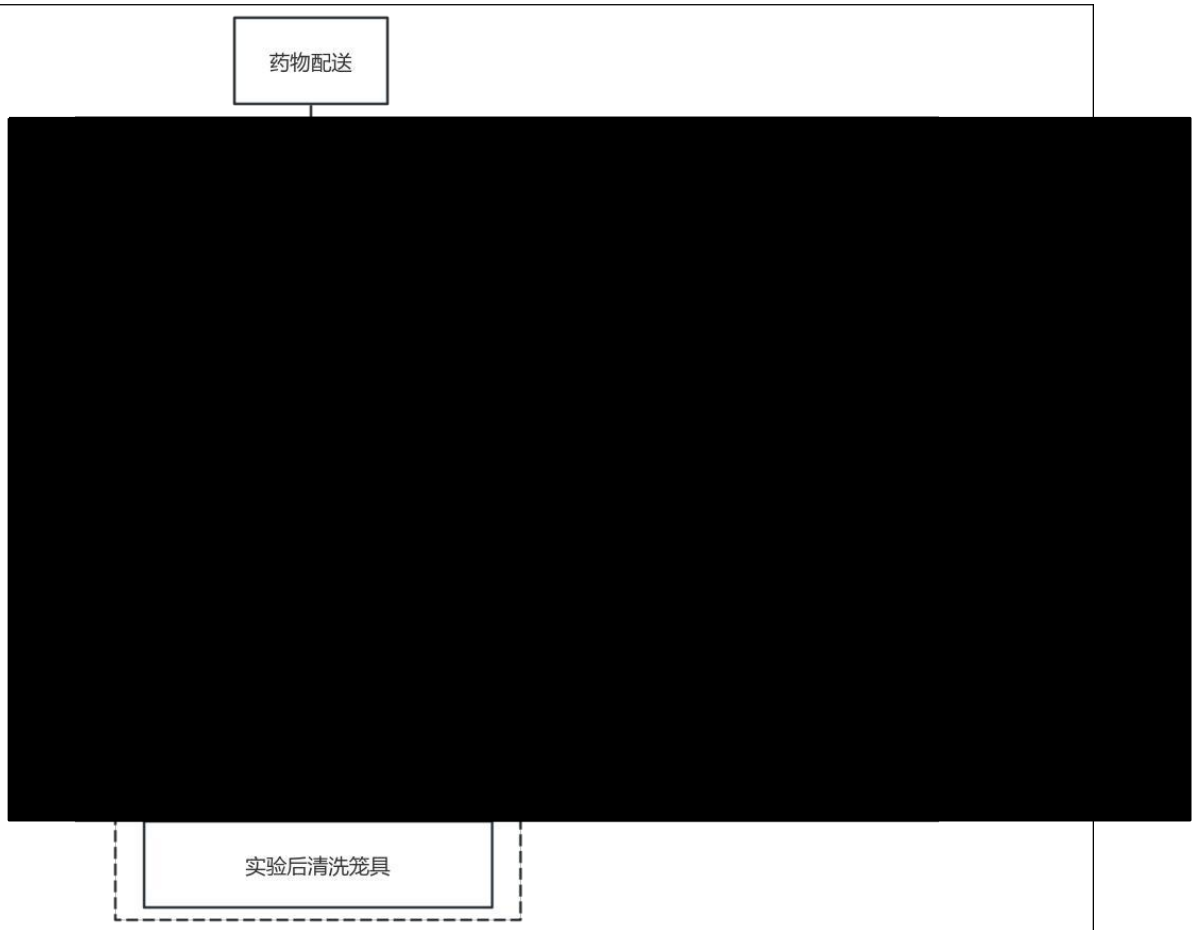


图9-15 动物实验流程及产污流程图

在核素显像检查过程中，主要环境影响为分装取药、注射对工作人员产生的外照射；分装取药、注射等过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程产生的放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头、可能沾染放射性药物的棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物、废活性炭等固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水、使用放射性药物受检动物的排泄物；动物在衰变时意外死亡会产生放射性动物尸体，衰变至解控水平后必要时进行解剖会产生动物尸体、组织及放射性固废和放射性废水；一批次实验结束后需清洗饲养笼会产生清洗废水及固废。

9.2.2.3 核素诊断项目

9.2.2.3.1 PET 诊断项目

（1）设备组成及工作原理

PET 正电子发射断层扫描（Positron Emission Tomography，PET）的工作原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶

器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或功能因子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术。

PET-CT 是将 PET 和 X 线计算机断层扫描（Computer Tomography，CT）组合而成的多模式成像系统，是目前全球最高端的医学影像设备，同时也是一种可以在分子水平成像的影像技术。PET-CT 将 PET 与 CT 融为一体，使两种成像技术优势互补，PET 图像提供功能和代谢等分子信息，CT 提供精细的解剖和病理信息，通过融合技术，一次诊断即可获得疾病的病理生理变化和形态学改变。

（2）工作负荷

PET 诊断项目正式开展后，使用 1 台 PET-CT 开展工作，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h，共规划使用 6 种正电子放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr。PET-CT 开展 ^{18}F 核素每日最多诊断 20 人，单人次最大使用量为 $3.7\times10^{8}Bq$；^{11}C 和 ^{13}N 核素每日最多诊断 1 人，单人次最大使用量均为 $9.25\times10^{8}Bq$；^{68}Ga、^{64}Cu 和 ^{89}Zr 每日分别最多诊断 1 人，单人次最大使用量均为 $1.85\times10^{8}Bq$。

（3）工作流程及产污环节

PET 诊断用的正电子放射性核素均为医院自行生产药物。根据规划的诊断计划，^{18}F 上午下午各生产 1 次，^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 依据科室实际工作需求提前预定生产时间。

工作人员根据临床诊断所需用药量、病人预约情况确定诊断所需药物的使用量，提前生产药物。药物生产完毕后自动进入转运铅罐，由专人使用转运小推车，将药物运至同层的核医学科核素诊断治疗场所，定点运送到 1 号储源室内。

本项目使用的正电子药物均采用静脉注射的方式给药，由医务人员将药物连同转运罐转移至手套箱内分装后，在 PET 区域注射窗的屏蔽下为病人静脉注射，单次药物分装、测活过程用时 1 分钟，药物从手套箱转移至注射窗口每次用时约 10s，注射过程每次用时约 30s。病人注射后在 PET 注射后候诊室内静躺候诊（注射药物候诊时间约为 15min），待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 PET-CT 机房。医生在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房指导（1/10 病人需医生进入机房进行现场摆位，机房内使用 10mmPb 屏风作为补偿屏蔽防护措施，单次摆位时间约 60s），摆位完成后离开机房进入控制室。医生隔室操作对患者进行 PET 扫描诊断，PET-CT 机房每次扫描流程耗时 20min。扫描完成后，进入观察室内留观 15 分钟，留观结束后由东北侧病人出口和

专用电梯离开核医学科。PET 诊断项目工作流程与产污环节分析见图 9-16。

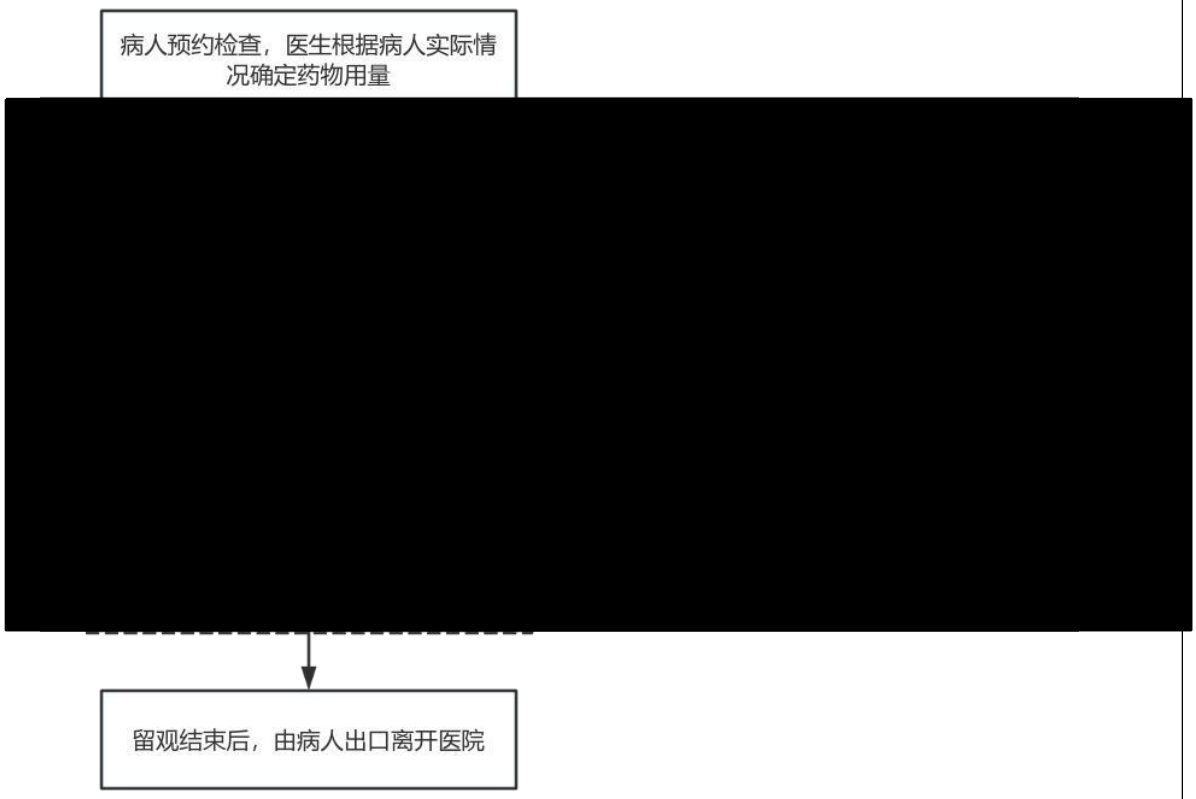


图9-16 PET诊断项目工作流程与产污流程图

工作人员注射完毕后的一次性注射器、棉签等放入专用放射性废物铅桶内。患者候诊时产生的尿液、粪便、呕吐物均冲入专用卫生间，纳入衰变池内衰变。

本项目拟为 PET-CT 设备配置校准源，拟配置的校准源均为Ⅴ类放射源，进行校准工作时：将校准源放置在病床上，做放射源透射的质量控制；进行病人检查，采集病人体内核素发射的射线，然后再采集校准源的透射线；将源卸下，至于专用铅盒中放入储源室保险柜保存。本项目校准源衰变放出β射线和γ射线，同时也会产生退役校准源固废。

9.2.2.3.2 SPECT 诊断项目

（1）设备组成及工作原理

SPECT（Single Photon Emission Computed Tomography，单光子发射型计算机体层显像），是一种利用放射性核素的检查方法。SPECT-CT 的全称是单光子发射计算机断层扫描仪（Single-Photo Emission Computed Tomography）。其使用放射性核素进行诊断的基本原理是：受检者注射含放射性核素的药物，放射性核素在特定的器官或组织发射出γ射线，穿过组织器官后到达 SPECT 探测器。SPECT 使用低能准直器对γ射线进行

准直，通过闪烁体将γ射线能力转换为光信号，再通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大，得到的测量值代表在该投影线上的放射性大小，再利用计算机从投影求解断层图形。其主要的功能特点是：除了显示脏器形态结构外，更重要的是可观察到脏器血流灌注、功能和代谢的变化。临床主要应用于骨骼显像、心脏灌注断层显像、甲状腺显像、肾动态显像等。

SPECT-CT 主要由三部分组成，即探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备。探头部分主要由准直器、晶体、光导、光电倍增管、模拟定位计算电路组成。SPECT-CT 自身带有一个 CT 球管，在 SPECT 核素扫描的基础上，可以同时获得 CT 解剖图像，从而更有利于对疾病作出全面、准确的判断。

（2）工作负荷

SPECT 诊断项目正式开展后，使用 1 台 SPECT-CT 开展工作，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h，规划使用放射性核素 ^{99m}Tc。SPECT-CT 开展 ^{99m}Tc 核素每日最多诊断 30 人，单人次最大使用量为 9.25×10^{8}Bq。

（3）工作流程及产污环节

1）药物外购

本项目计划使用放射性核素 ^{99m}Tc 进行 SPECT 诊断，其中放射性核素 ^{99m}Tc 为外购并自主分装。工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物以成品药物送至核医学科核素诊断及敷贴治疗场所，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在 1 号储源室。

2）注射

使用放射性药物时，由医务人员将药物连同转运罐转移至手套箱内分装后在 SPECT 区域注射室注射窗的屏蔽下为病人注射，单次药物分装、测活过程用时 1 分钟，药物从手套箱转移至注射窗口每次用时约 10s，注射过程每次用时约 30s。

3）扫描诊断

病人注射后在 SPECT 注射后候诊室内静躺候诊（注射药物候诊时间为 15min），待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 SPECT-CT 机房。医生在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房指导（1/10 病人需医生进入机房进行现场摆位，单次摆位时间约 60s），摆位完成后离开机房返回控制室。医生隔室操作对患者进行 SPECT 扫描诊断，

SPECT-CT 机房每次扫描约 20min。扫描完成后由西北侧病人出口离开核医学科。

SPECT 诊断项目的工作流程与产污环节详见图 9-17。

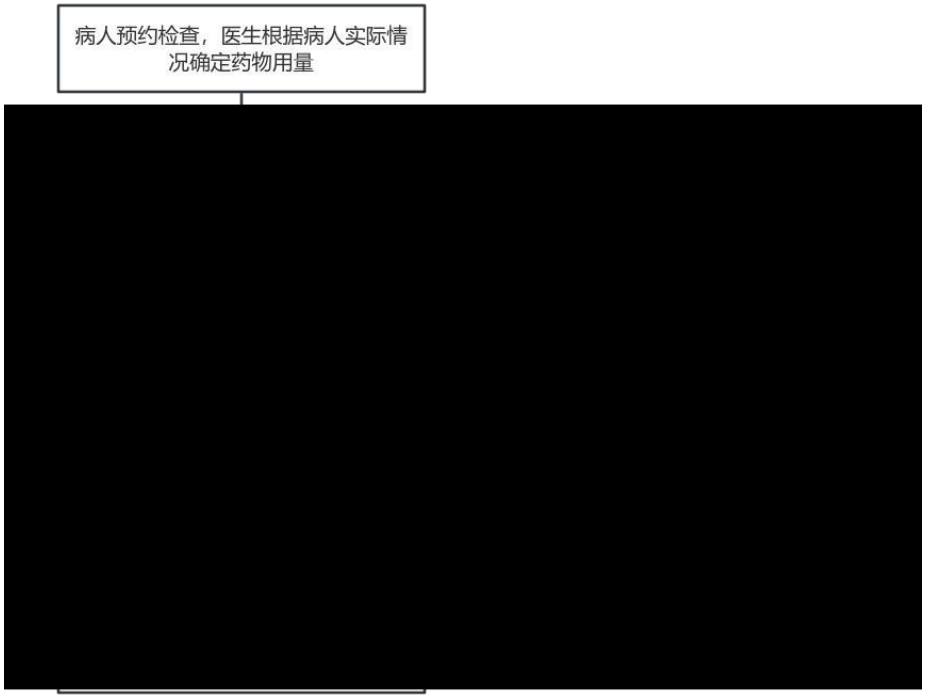


图9-17 SPECT诊断项目工作流程与产污流程图

9.2.2.4 ^{131}I 核素治疗项目（含甲吸检查项目）

9.2.2.4.1 甲亢治疗项目、甲吸检查项目

（1）工作原理

甲吸：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 ^{127}I，而 ^{131}I 为其同位素，具有相同的理化性质，但 ^{131}I 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 ^{131}I 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 ^{131}I 的吸收情况，从而判断甲状腺的功能状况。

甲亢：甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}I 的能力，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多，可高达血浆的几百倍，且在甲状腺内停留的时间较长，有效半衰期可达 3.5～4.5 天。在患者服用 ^{131}I 后，90%以上的 ^{131}I 都会聚集到患者的甲状腺，其余的 ^{131}I 随代谢排出体外。^{131}I 衰变为 ^{131}Xe 时放射出 95%的β射线，该射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有 0.5mm，一般不会造成甲状腺周围组织例如甲状旁腺、喉返神经等的辐射损

伤。因此，^{131}I 治疗可使部分甲状腺组织受到β射线的集中照射，使部分甲状腺细胞发炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的功能恢复正常，达到治疗的目的。

（2）工作负荷

甲亢治疗项目正式开展后，规划使用放射性核素 ^{131}I 进行治疗。每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h，单日最大就诊人数为 5 人。甲亢治疗核素单人次最大使用量为 3.7×10^{8}Bq。

甲吸检查项目正式开展后，规划使用放射性核素 ^{131}I 进行检查。每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h，单日最大检查人数为 5 人。甲吸检查核素单人次最大使用量为 1.85×10^{5}Bq。

（3）工作流程及产污环节

1）外购药物

本项目计划使用放射性核素 ^{131}I 进行甲亢治疗和甲吸检查，工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物以货包形式送达核医学科，安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在 2 号储源室。

2）指导服药/注射

开展甲亢治疗和甲吸检查时，工作人员在手套箱内测量活度并分装，随后转移至给药窗口指导患者服药，单次药物分装、测活过程用时 1 分钟，药物从手套箱转移至给药窗口每次用时约 10s，指导服药过程每次用时约 30s。

3）服药后治疗/诊断

甲亢患者和甲吸受检者服药后即可由场所南侧楼梯上至一层地面，离开核医学科，其中甲吸受检者分别于服药后 2h、4h、6h、24h 至核医学科核素门诊治疗场所甲吸测定室进行甲状腺功能测定。

本项目甲亢患者从 ^{131}I 核素治疗场所西南侧病人出口离开核医学科。

甲亢治疗流程见图 9-18，甲吸检查流程见图 9-19。

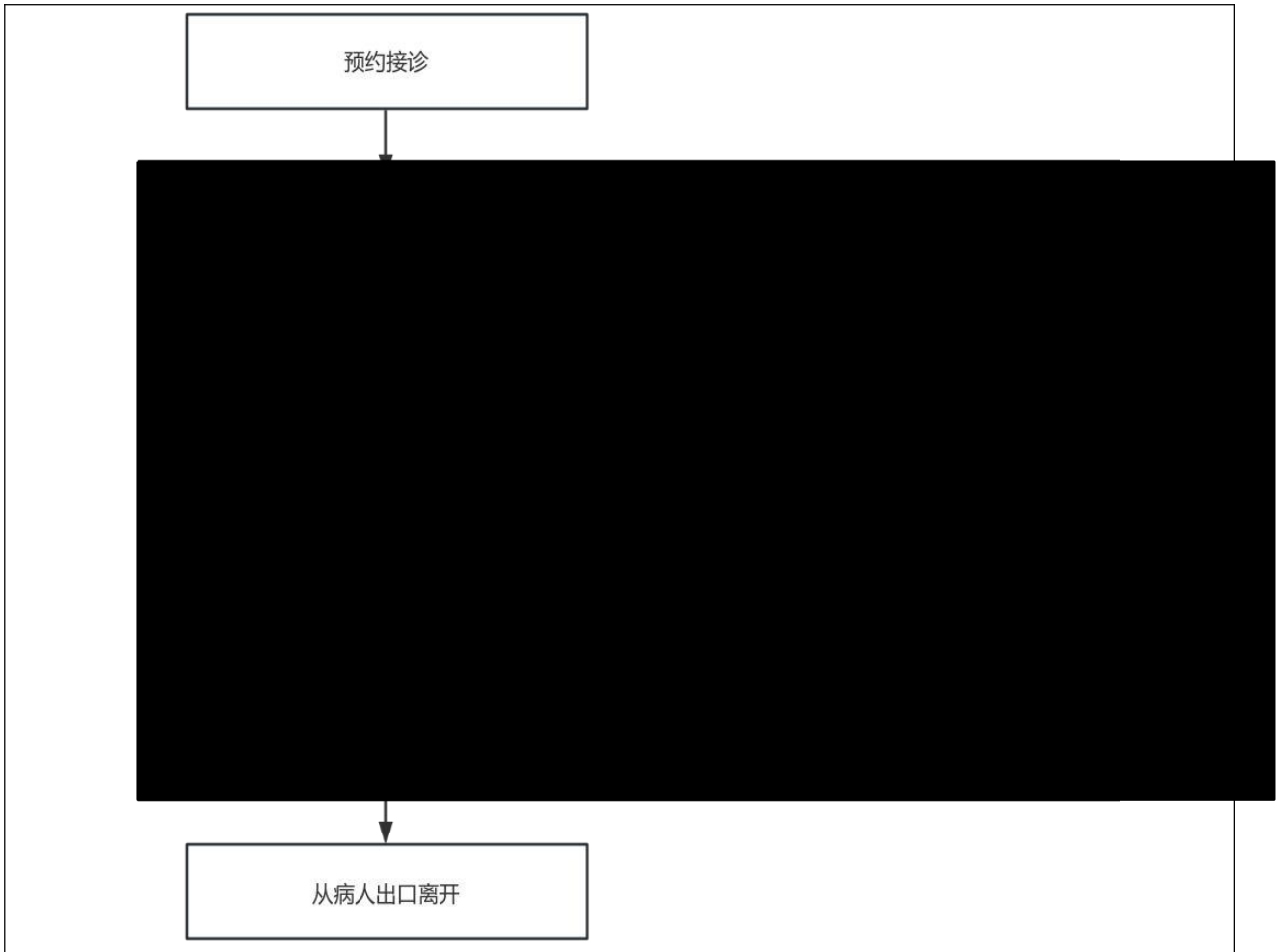


图9-18 甲亢治疗项目工作流程及产污环节分析

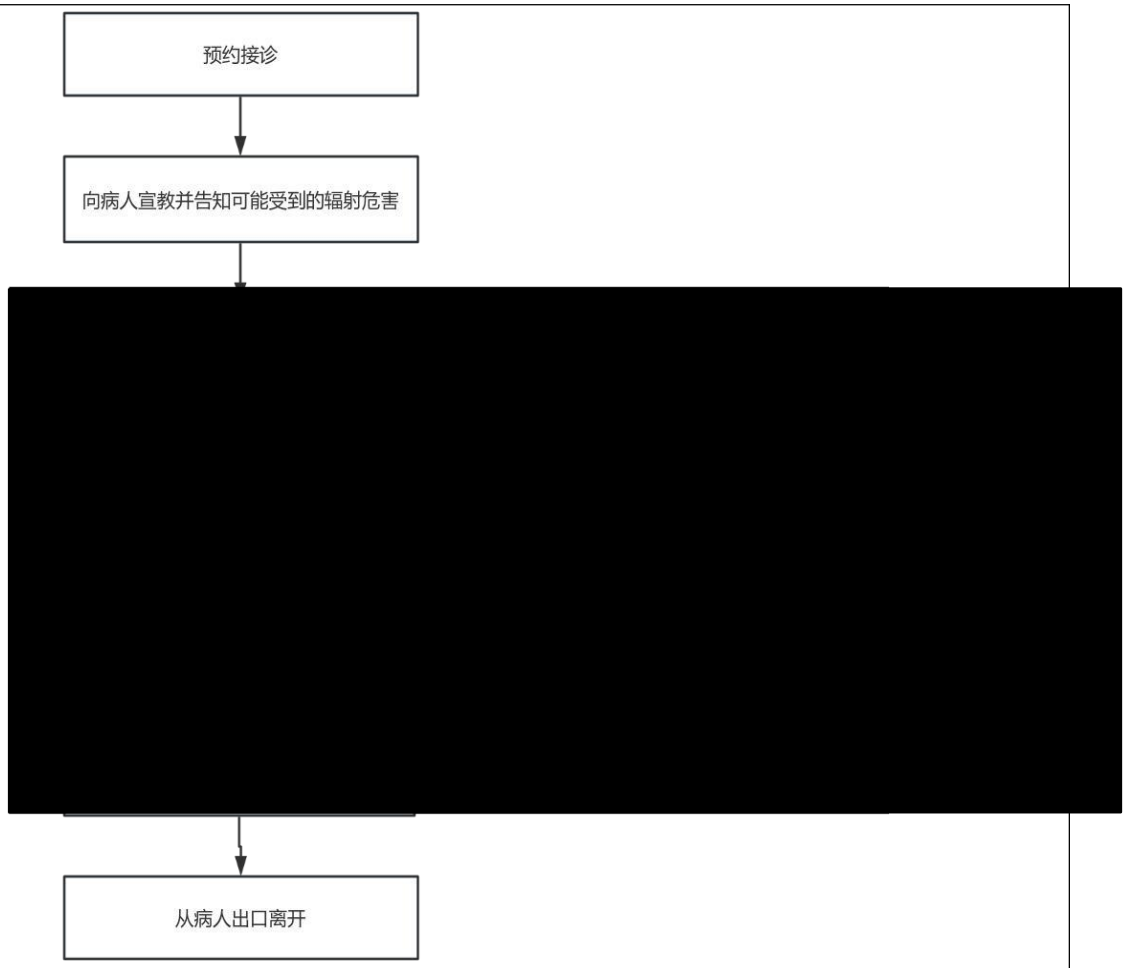


图9-19 甲吸检查项目工作流程及产污环节分析

9.2.2.5 核素敷贴治疗项目

（1）工作原理

当患者患有血管瘤、痣、疤痕疙瘩、酒渣鼻、毛细血管扩张、神经性皮炎、局限性慢性湿疹、局限性皮肤瘙痒和某些皮肤癌等症时，通过 ^{32}P 放射性同位素的敷贴照射，让敷贴充分接近病变皮肤，通过核素在衰变过程中释放的纯β射线，作用于增生组织细胞，可以降低细胞分裂速度，延长核分裂周期，闭塞毛细血管及止痒和镇痛等作用而达到诊疗目的。

（4）工作负荷

敷贴治疗项目敷贴治疗项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，规划使用放射性核素 ^{32}P。^{32}P 核素每日最多治疗 5 人，单人次最大使用量为 7.4×10^{7} Bq。

（3）工作流程及产污环节

^{32}P 敷贴器需要在使用前进行制作，根据预约情况购买成品药物，由送药商按预约用量，在约定时间将放射性 ^{32}P 溶液送达。为便于统一管理和保障药物的安全存放，^{32}P

药物暂存于 1 号储源室，药物密封于专用屏蔽容器中，使用前在由专业人员连同屏蔽容器一起转移至敷贴制药室中进行简单制作，制作全程在手套箱内进行。制作方法如下：①采用优质滤纸按病变形状要求剪成规格大小及形状不同的纸片，作为 ^{32}P 溶液的支持物，滤纸上画有格子；②用生理盐水分别将不同大小与形状的滤纸做一次吸水试验以确定滴加 ^{32}P 溶液的毫升数；③用手控移液管吸取预先计算好的混有色剂的 ^{32}P 溶液，按每张滤纸的吸水量分格滴加 ^{32}P 溶液，通过颜色的深浅来调整 ^{32}P 活度的分布均匀性；④调整色剂均匀分布后，对其进行烘干，用优质塑料薄膜与胶布套封，保证其密封性，在胶布上注明敷贴器的名称、制作日期、放射性活度等。

治疗前，医生先根据敷贴治疗的适应症和禁忌症，对具有正当理由的患者开据敷贴治疗申请单，并预约登记，医生根据病情制定治疗方案；治疗时，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。放射工作人员在分装注射室制成 ^{32}P 敷贴器，送至敷贴治疗室为患者进行敷贴治疗，治疗结束后患者离开核医学科，使用后的敷贴器由医生回收放置在装有塑料袋的放射性废物桶中进行衰变处理。^{32}P 敷贴治疗的工艺流程及污染因子图如图 9-20 所示

图9-20 ^{32}P敷贴治疗工作流程及产污环节分析

9.2.2.6 ^{89}Sr 核素治疗项目

（1）工作原理

^{89}Sr 核素是一种亲骨性放射性核素，进入人体内后同钙一样参加骨矿物质的代谢过程，静脉给药后，恶心肿瘤骨转移病灶内的摄取率大于正常骨组织的 2~25 倍，并滞留在癌灶中，发生平均能量为 1.463MeV 的β射线，半衰期为 50.53d，杀伤癌细胞，缩小病灶，起到良好的镇痛作用。

（2）工作负荷

^{89}Sr 核素治疗项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，规划使用的 ^{89}Sr 核素为外购单支成品药物。^{89}Sr 核素每日最多治疗 1 人，单人次最大使用量为 1.48×10^{8} Bq。

（3）工作流程及产污环节

根据医院提供的资料，患者需提前预约治疗。所使用的核素为外购单支成品药物，用于治疗的药物由工作人员在核素治疗区域手套箱内测量活度后直接在注射窗的屏蔽下为病人注射，每份用于治疗的放射性液体由供药商事先分装，预约病人后按约定用量和时间发货，治疗时不需再分装。患者进行注射治疗后，如无异常情况，可从病人出口离开医院。^{89}Sr 核素治疗项目的工艺流程及污染因子图如图 9-21 所示。

因此，^{89}Sr 核素治疗项目污染因子是：β射线、韧致辐射（X 射线）、β表面污染、放射性固废。

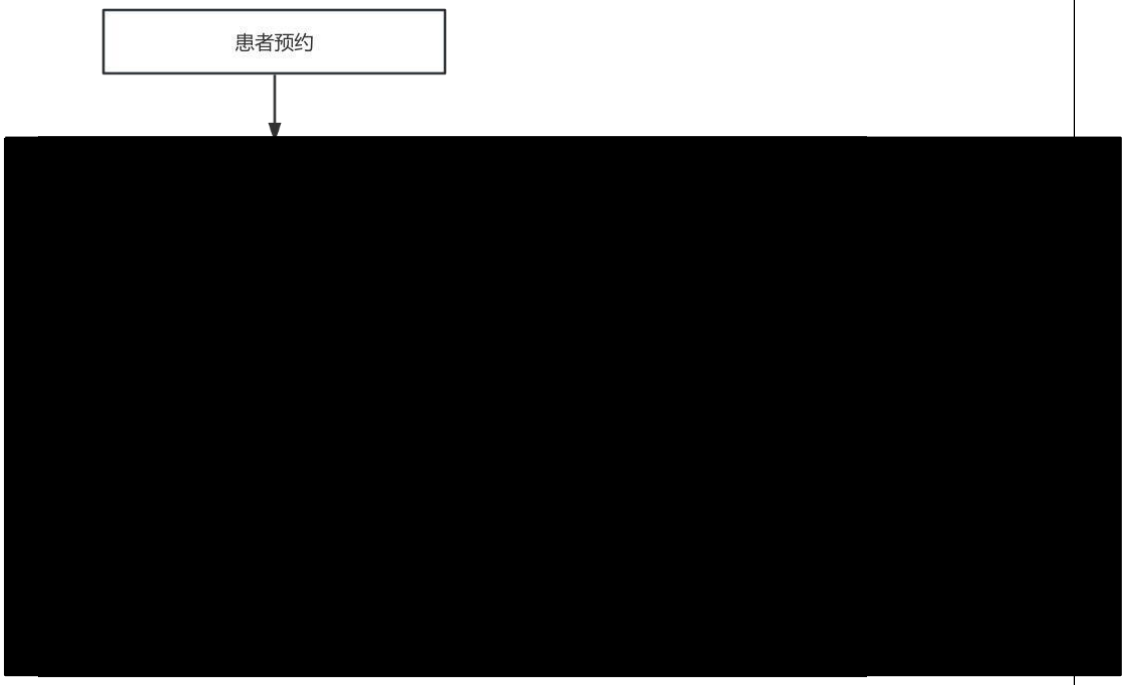


图9-21 ^{89}Sr核素治疗工作流程及产污环节分析

9.2.2.7 核医学科人流物流路径规划

本项目核医学科设置辐射工作人员通道、患者通道和放射性药物通道，规定通行路线和方向，地面设置辐射工作人员和患者单向行走标识；控制区患者入口防护门和患者出口防护门安装门禁系统，防止无关人员进入。核医学科外购的放射性核素均是由具有相关资质厂家按照协议，严格错开诊疗时间运送到储源间，储源间均采用双人双锁管理。本项目核医学科工作人员通道和患者通道不交叉，注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者通道不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，满足《核医学科辐射防护和安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

（1）动物实验场所路径规划

1）放射性药物路径规划

a）外购药物：供药公司人员开车到地下一层核医学动物实验场所东侧停车位后，手持药物转运铅罐将药物由场所东南侧传递窗送至接收室，由动物实验场所工作人员接收后转移至储源室内暂存。

b）回旋加速器制备药物：合成出的正电子放射性药物自动分装，标定活度后装入铅罐中，经热室北侧的传递窗送至打包间内进行贴标并完成外包后，通过转运车经核素制备场所北侧的工作电梯（1b-DT14）及地下车库过道送至负一层的动物实验场所，由场所东南侧传递窗送至接收室，由动物实验场所工作人员接收后转移至储源室内暂存。

2）放射性固体废物路径规划

放射性药物注射过程中产生的注射器、一次性手套、棉签、试纸等带放射性药物的放射性固体废物、饲养小动物使用的动物垫料以及通风系统中更换下来的废活性炭，由工作人员转运至实验室东南侧废药暂存间的铅废物箱内暂存。

施用过放射性核素的实验动物尸体及其排泄物由工作人员及时转运至污物暂存间冰箱内暂存。

3）辐射工作人员路径规划

工作人员经专用电梯到达地下一层后，依次经过一更、二更、缓冲，进入医护走道，之后分别进入小动物 PET 机房及其控制室、注射室、核医学科研实验室、实验解剖平台等房间进行相关实验操作，操作结束后进入退更检测室，检测确认无污染后，经一更离开场所。

4）动物路径规划

[redacted]

（2）核素制备场所路径规划

1）放射性药物路径规划

a）外运药物路线：合成出的正电子放射性药物由管路自动输入到成品瓶，根据患者/小动物实际使用活度，分装至注射器内经标定活度后装入铅罐中，经热室北侧的传递窗送至打包间内进行贴标并完成外包后，通过转运车经药物运输通道（地下车库过道）送至负二层的核素诊断及敷贴治疗场所的 1 号储源室；通过转运车经核素制备场所北侧的工作电梯（1b-DT14）及地下车库过道送至负一层的动物实验场所的储源室内暂存；另外医院拟委托具备放射性物质运输资质的第三方单位将部分生产的 ^{18}F 药物配送至医院现有院区核医学科使用，工作人员将包装好的 ^{18}F 药物从核素制备场所北侧交给有资质的放射性药物运输单位配送人员，配送人员将外包贴好标签的药物搬运到运输车上，运输至医院现有院区核医学科，药物配送按照放射性物品运输管理要求运输。

b）质控药物路线：质检药物经自动分装至转运铅罐内，自热室分装柜中取出，由洁净走廊经传递窗传送至质控室，再经医护走廊分别送至无菌检测室、微生物室、放化实验室、阳性对照室进行各项质控工作。

2）放射性固体废物路径规划

放射性药物分装、合成及质检过程中产生的树脂、滤膜、毛细管和废靶材收集在热室铅废物桶内的专用塑料袋中，每日工作结束后由工作人员转运至场所西侧废物暂存间的铅废物箱内暂存，通风系统中更换下来的废活性炭直接放入废物暂存间铅废物箱内暂存。

回旋加速器日常维护更换下来的靶体、靶膜、过滤网封存在回旋加速器机房内专用的铅废物桶内中，由厂家或有资质单位回收处理。

3）辐射工作人员路径规划

a）工作人员进入回旋加速器控制室及机房的路线：工作人员通过核素制备场所东北侧专用电梯到达地下二层核素制备场所，经北侧工作人员专用通道到达控制室内，如需要添加靶水，则需经设备间进入回旋加速器机房内，操作结束后原路返回。

b）工作人员进入热室路线：工作人员通过核素诊断及敷贴治疗场所西北侧专用楼梯到达地下二层，经过医护走廊、一更、二更、缓冲间后进入洁净走廊，向东到达热室，通过控制热室合成柜生产正电子药物。然后抽取少量药物通过洁净走廊的传递窗送至质控室和放化实验室进行质控操作，将分装在转运铅罐中的正电子药物通过热室西北侧传递窗送至打包间内进行贴标外包。

c）工作人员离开热室路线：经洁净走廊进入缓冲间，随后进入退更检测室使用表面污染仪进行表面污染检测，检测通过后进入一更，随后离开场所。

d）工作人员质控操作路线：工作人员通过核素诊断及敷贴治疗场所西北侧专用楼梯到达地下二层，经过医护走廊、淋浴通过、退更检测后进入核素制备场所质控区域，通过质控区域内医护走廊及相应功能间的更衣缓冲间分别进入质控室、放化实验室、无菌检测室、物生物室和阳性对照室进行相关质控操作，操作结束后原路返回。

e）工作人员转运药物路线同核素制备场所外运药物路线。

本项目核素制备场所路径规划见图 9-22。

（3）核素诊断及敷贴治疗场所路径规划

1）放射性药物路径规划

a）外购药物：供药公司人员开车到地下二层核医学科西侧停车位后，手推运输小车依次经核医学科就诊走廊、核医学科一次候诊区、缓冲间、患者通道，通过传递窗将药物送至 1 号储源室内暂存。

b）回旋加速器制备药物：合成出的正电子放射性药物自动分装，标定活度后装入铅罐中，经热室北侧的传递窗送至打包间内进行贴标并完成外包后，通过转运车依次经药物运输通道（地下车库过道）、核医学科就诊走廊、核医学科一次候诊区、缓冲间、患者通道，通过传递窗将药物送至负二层的核素诊断及敷贴治疗场所的 1 号储源室内暂存。

药物由核医学科工作人员接收，在摄像头监控下核对放射性药物信息量，与供药公司办理交接手续并存档。

2）放射性固体废物路径规划

放射性药物注射过程中产生的注射器、一次性手套、棉签、试纸等带放射性药物的放射性固体废物收集在分装室、制药室、敷贴治疗室、注射后等候室、留观室、患者走道铅废物桶内的专用塑料袋中，每日工作结束后由工作人员转运至对应的废物暂存间（其中制药室和敷贴治疗室产生的放射性废物转运至 SPECT 诊断区域放废暂存间）的铅废物箱内暂存。通风系统中更换下来的废活性炭直接放入废物暂存间铅废物箱内暂存。

3）辐射工作人员路径规划

工作人员通过核素诊断及敷贴治疗场所西北侧专用楼梯到达地下二层，护士、医师和技师路线分别为：

a）护士行进路线：护士沿医护走廊向南，经更衣、卫生通过间后分别进入 1 号分装室、2 号分装室、1 号储源室、敷贴治疗制药室进行操作，操作结束后原路返回。

b）医师、技师进出路线：显像诊断医师和技师沿医护走廊向南，分别进入 SPECT 控制室和 PET 控制室，操作结束后原路返回。另外敷贴治疗医师沿医护走廊向南，经更衣、卫生通过间、敷贴治疗制药室后，进入敷贴治疗室进行敷贴治疗操作，操作结束后原路返回。

4）患者/受检者路径规划

a）PET 显像诊断受检者路线：受检者在核素诊断及敷贴治疗场所南侧的诊室经过咨询、问诊和放置留置针后，在一次候诊区等候叫号。被叫号后由缓冲区进入患者走廊，随后向东到达 PET 注射窗口接受注射，然后在 PET 注射后候诊室内候诊，再进入 PET-CT 机房进行检查，检查后受检者在受检者走廊北侧留观室内留观，经主管医生确认图像质量满意后，受检者由北侧出口到达专用电梯，上升至地面后离开。

b）SPECT 显像诊断受检者路线：受检者在核素诊断及敷贴治疗场所南侧的诊室经过咨询、问诊和放置留置针后后，在一次候诊区等候叫号。被叫号后由缓冲区进入患者走廊，随后向西到达 SPECT 注射窗口接受注射，然后在 SPECT 注射后候诊室内候诊，再进入 SPECT-CT 机房进行检查，检查后受检者在患者走廊北侧留观室内留观，经主管医生确认图像质量满意后，受检者由西侧出口到地下车库乘车离开或由北侧出口经楼梯到地面后离开。

c）敷贴治疗患者路线：患者根据预约时间在核素诊断及敷贴治疗场所南侧的一次候诊区等候叫号，被叫号后向北进入敷贴治疗室接受敷贴治疗，治疗结束后原路返回

离开核医学科。

本项目核素诊断及敷贴治疗场所路径规划见图 9-24。

（4）核素门诊治疗场所路径规划

1）放射性药物路径规划

供药公司人员开车到地下二层核医学科北侧停车位后，手推运输小车经注射室、3 号分装室将药物送至 2 号储源室内。

药物由核医学科工作人员接收，在摄像头监控下核对放射性药物信息量，与供药公司办理交接手续并存档。

2）放射性固体废物路径规划

放射性药物注射/服用过程中产生的注射器、服药杯、一次性手套、棉签、试纸等带放射性药物的放射性固体废物收集在碘-131 给药室、注射室、3 号分装室铅废物桶内的专用塑料袋中，每日工作结束后由工作人员转运至场所北侧的放废暂存间的铅废物箱内暂存。通风系统中更换下来的废活性炭直接放入放废暂存间铅废物箱内暂存。

3）辐射工作人员路径规划

工作人员通过核素诊断及敷贴治疗场所西北侧专用楼梯到达地下二层，然后沿医护走廊向北，经更衣缓冲间进入 3 号分装室、2 号储源室进行操作，操作结束后原路返回；甲功能测定工作人员经医护走廊向北进入甲吸测定室进行操作，操作结束后原路返回。

4）患者/受检者路径规划

a）甲亢治疗及甲功能测定患者路线：患者从核素门诊治疗场所西北侧进入等候室等待叫号，被叫号后进入 ^{131}I 给药室内服药，服用药物后进入南侧留观室，留观结束后由南侧出口离开，甲功能测定人员依据约定时间返回到场所东北角的甲吸测定室进行甲功能测定。

b）骨癌患者路线：患者从核素门诊治疗场所西北侧进入等候室等待叫号，被叫号后进入注射室，本项目一天最多接诊一名骨癌治疗患者，患者注射完在注射室短暂留观后，由北侧出口离开。

本项目核素门诊治疗场所路径规划见图 9-25。

图 9-22 核素制备场所人流物流路径图

图 9-23 核素动物实验场所人流物流路径图

图例 工作人员路径 药物路径 病人路径 污物路径 场所边界

图 9-24 核素诊断及敷贴治疗场所人流物流路径图

图 9-25 核素门诊治疗场所人流物流路径图

9.2.3 介入放射学项目

（1）设备组成

数字减影血管造影装置（DSA）及中型 C 臂机是计算机与常规血管造影相结合的一种检查方法，是集电视技术、影像增强、数字电子学、计算机技术、图像处理技术等多种科技手段于一体的系统。DSA 及中型 C 臂机射线装置主要由 X 射线发生系统、C 型支架、接收器、图像显示器、导管床、操作台等系统组成。X 射线发生系统位于接收器正对方向；操作台集合控制系统和设备状态显示等功能，位于操作室内；机房内控制装置一般为脚闸控制，通过设备电缆引出、位于地面。其整体外观图如图 9-26 所示。

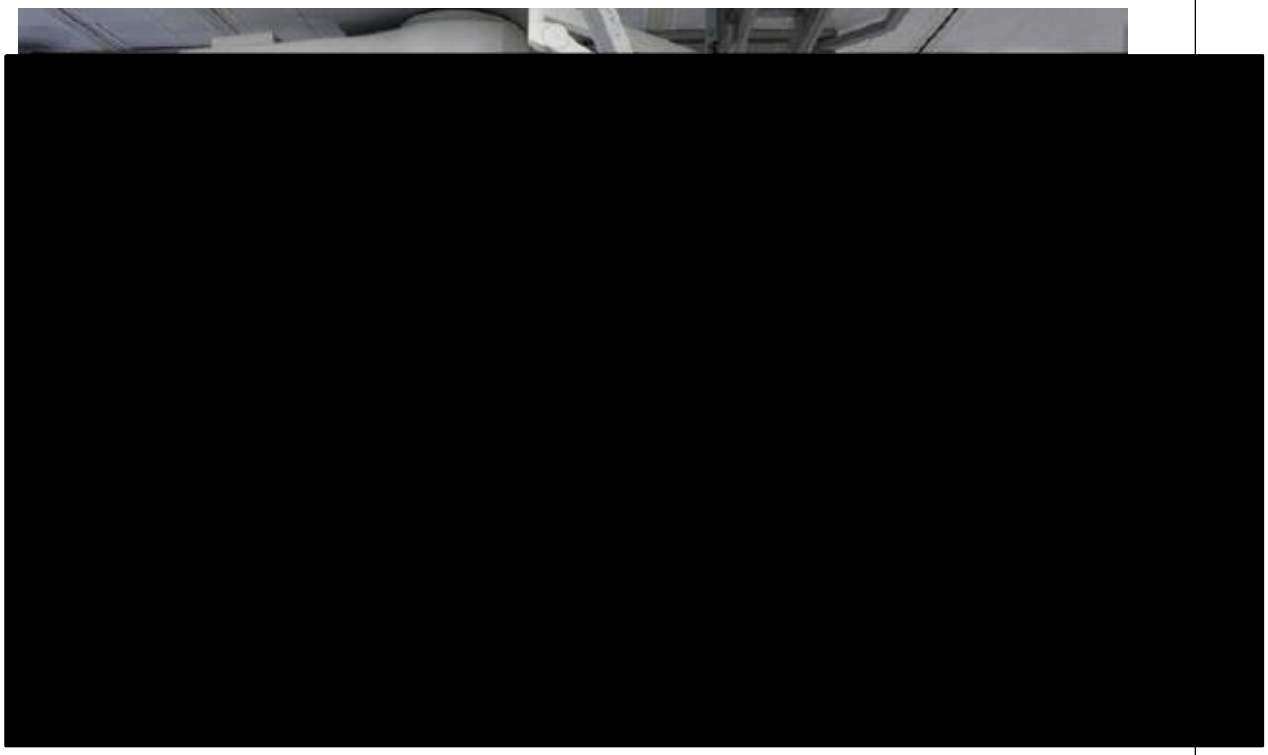


图 9-26 DSA 及中型 C 臂机射线装置整体外观示意图

（2）工作原理

X 射线诊断装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管和两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。典型 X 射线管结构详见图 9-27。

[redacted]

图 9-27 典型 X 射线管结构图

虽然不同用途的 X 射线机因诊疗目的不同有较大的差别，但其基本结构都是由产生 X 射线的 X 射线管、供给 X 射线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制 X 射线的“量”和“质”及曝光时间的控制装置，以及为满足诊断需要而装配的各种机械装置和辅助装置组成。

DSA 及中型 C 臂机成像的基本原理是将受检部位注入造影剂之前和注入造影剂后的血管造影 X 射线荧光图像，分别经影像增强器增益后，再用高分辨率的电视摄像管扫描，将图像分割成许多的小方格，做成矩阵化，形成由小方格中的像素所组成的视频图像，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像并分别储存起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得的不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换为普通的模拟信号，获得去除骨骼、肌肉和其它软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。

（3）介入治疗

介入治疗是在医学影像设备的引导下，通过置入体内的各种导管（约 1.5-2 毫米粗）的体外操作和独特的处理方法，对体内病变进行治疗。介入治疗具有不开刀、创伤小、恢复快、效果好的特点，目前，基于数字血管造影系统指导的介入治疗医生已能把导管或其他器械，介入到人体几乎所有的血管分支和其他管腔结构（消化道、胆道、气管、鼻管、心脏等），以及某些特定部位，对许多疾病实施局限性治疗。

心血管介入：

动脉导管未闭（PDF）是主动脉和肺动脉之间的一种先天性异常通道，多位于主动脉峡部和左肺动脉根部之间，约占先心病的 20%左右，采用封堵术进行治疗。术前准备：完善各项术前检查，如心电图、胸片、超声心动图及相关化验监测，必要时配血备用，准备好必要的抢救要求并签署知情同意书。诊断性心导管术：局麻或全麻下穿

刺股静脉，静脉推注肝素 100U/kg，行右心导管监测。穿刺股动脉行降主动脉造影，通常选择左侧位，测量 PDA 直径，了解其形体和位置。计算肺循环血流量、肺循环阻力等，合并肺动脉高压者判断其病变程度及行政，必要时行急性血管反应试验及堵闭试验。封堵操作：Amplatzer 主动脉导管封堵器及国产类似形状封堵器：将所选封堵器安装于输送钢缆顶端，透视下沿输送鞘管将其送至降主动脉。待封堵器盘面完全张开后，将输送鞘管及输送钢缆一起回撤至 PDF 主动脉侧。然后固定输送钢丝，仅回撤输送鞘管至 PDA 肺动脉侧，使封堵器腰部固定于 PDA 内。5-10min 后重复主动脉弓降部造影。若证实封堵位置合适、形状满意，无或仅有微量残余分流，且听诊无心脏杂音时，可操纵旋转柄将封堵器释放。

外周血管介入：

外周血管造影术是一种介入检查方法，即将显影剂注入血管内，利用 X 光无法穿透显影剂的特点来诊断血管病变。它可以清楚显示血管本身的形态改变，如狭窄、梗塞、畸形、扩张、痉挛和出血等，对诊断下肢血管的病变具有特殊的意义。从足背浅静脉针推造影剂，造影时病人取 30°斜立位，检查侧肢体必须完全处于不负重的松弛状态。造影时在踝部扎一止血带，以阻断浅静脉回流迫使造影剂进入深静脉系统，有利于显示深静脉。同时可阻断或减少浅静脉的充盈，从而减少深、浅静脉间的重叠。

神经内科介入：

神经内科的脑血管狭窄手术是指医生利用 DSA 或中型 C 臂机透视功能，通过股动脉穿刺，导管放置于狭窄部位，根据狭窄血管不同可预先于狭窄动脉处的远端置入脑保护伞，然后将球囊放置狭窄部位扩张，之后支架植入狭窄动脉内，支撑狭窄部位，使血流畅通，改善脑组织供血。

（4）ERCP 治疗：

ERCP 全称内镜逆行胰胆管造影术，ERCP 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。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。

ERCP 在操作过程中，患者通常需要接受局部麻醉或镇静镇痛处理，以确保手术过

程的顺利进行。诊疗时，患者需要在操作台上取左侧卧位，头部略向后仰，将口垫放置在患者的口中。医生会将带有内窥镜的十二指肠侧视镜从患者的口腔插入肠道内，经过胃、十二指肠到达十二指肠降部，然后将内窥镜通过十二指肠大乳头开口处插入胆总管或胰管内。在插管成功后，医生会将造影剂注入胆管或胰管内，使管道显影。通过观察造影剂的显影情况，医生可以了解胆道或胰管的病变情况，做出诊断。同时，也可以通过内窥镜观察管道黏膜的情况，了解是否有炎症、肿瘤等病变。然后根据病人情况进行取石术、括约肌切开术、支架或引流置入。

（5）复合手术治疗

复合手术室主要由 1 台 DSA 和 1 台移动 CT（或 MRI）及其他配套手术设施组成，设备组成图如图 9-28 所示。

图 9-28 复合手术室设备组成图

复合手术室是原本需要分别在不同手术室、分期才能完成的重大手术，合并在一个手术室里一次完成。患者不需要在不同手术室之间转移，不需要多次麻醉，大大降低了手术风险和术后并发症。复合手术室是通过智能化数字精控 CT 轨道，将移动 CT、DSA 两台射线装置结合在一起使用，将多种影像融合，提供术前快速诊断，术中实时成像、影像引导、精准定位、复合手术治疗、术后一站式实时复查的全面支持。

CT 和 DSA 独立使用，将根据需求来使用 DSA 或 CT，两者不分先后顺序。CT 隔

室影像检查可能在麻醉、外科手术、介入手术等操作之前或者之后进行，两台射线装置互相配合使用，但不同时使用，CT 使用完将推至暂存间放置。

（5）工作负荷

根据建设单位提供资料，单台介入手术或 ERCP 手术操作由 1 名医师、1 名技师和 1 名护士配合完成。本项目医技住院楼一层急诊科 2 间 DSA+CT 复合手术室（急诊手术室 1-2）每年每间手术室开展介入手术最多 600 台，拟配置 4 名医师、4 名护士和 4 名操作技师配合完成，其中单名医师年最大手术台数不超过 400 台，单名护士或技师年最大手术台数不超过 500 台；医技住院楼三层介入中心 4 间 DSA 手术室（DSA1-4 号手术室）每年每间手术室开展介入手术最多 2000 台，拟配置 26 名医师、20 名护士和 20 名操作技师配合完成，其中单名医师年最大手术台数不超过 400 台，单名护士或技师年最大手术台数不超过 500 台；医技住院楼三层内镜中心 2 间 ERCP 用手术室（1-2 号 ERCP 机房）每年每间手术室开展 ERCP 手术最多 600 台，拟配置 6 名医师、5 名护士和 5 名操作技师配合完成，其中单名医师年最大手术台数不超过 240 台，单名护士或技师年最大手术台数不超过 300 台；医技住院楼四层手术中心 2 间 DSA+MRI 复合手术室（复合手术室 1-2），每年每间手术室开展介入手术最多 2000 台，拟配置 12 名医师、10 名护士和 10 名操作技师配合完成，其中单名医师年最大手术台数不超过 400 台，单名护士或技师年最大手术台数不超过 500 台。

摄影工作状态下，平均每台手术 DSA 出束时间为 30s，中型 C 臂机出束时间为 1min；透视工作状态下，平均每台手术 DSA 出束时间为 10min，中型 C 臂机出束时间为 15min；复合手术时平均每台手术 CT 扫描累计出束时间为 1min。护士在手术过程中护士承担记录手术情况、传递医疗器械及辅助医师手术的工作，既有同室操作又有隔室操作，同室时间按透视模式总时间的 1/3 考虑；技师只需负责隔室操作设备。本项目劳动定员情况及工作制度计划见表 9-5。

表 9-5 本项目介入放射学手术劳动定员及工作制度计划表

工作场所	总手术数（台）	岗位	人员数量（人）	出束模式	操作方式	平均每台手术曝光时间（min）	单人最大手术台数（台）	年受照时间（h）	工作制度
医技住院楼一层急诊科两间	600 台/间，共计 1200	医师	4	透视	同室	10	400	66.67	8h/d、5d/week
				摄影	隔室	0.5		3.33	
				CT	隔室	1		6.67	
		护士	4	透视	同室	1/3×10	500	27.78	

DSA+CT 复合手术室	台			透视	隔室	2/3×10		59.72	
				摄影	隔室	0.5			
				CT	隔室	1		8.33	
		操作技师	4	透视	隔室	10	500	87.5	
				摄影	隔室	0.5			
				CT	隔室	1		8.33	
医技住院楼三层介入中心 四间 DSA 介入手术室	2000 台/间，共计 8000 台	医师	26	透视	同室	10	400	66.67	
				摄影	隔室	0.5		3.33	
		护士	20	透视	同室	1/3×10	500	27.78	
				透视	隔室	2/3×10		59.72	
				摄影	隔室	0.5			
		操作技师	20	透视	隔室	10	500	87.5	
				摄影	隔室	0.5			
医技住院楼三层内镜中心 两间 ERCP 手术室	600 台/间，共计 1200 台	医师	6	透视	同室	15	240	60	
				摄影	隔室	1		4	
		护士	5	透视	同室	1/3×15	300	25	
				透视	隔室	2/3×15		50	
				摄影	隔室	1		5	
		操作技师	5	透视	隔室	15	300	75	
				摄影	隔室	1		5	
医技住院楼四层手术中心 两间 DSA+MRI 手术室	2000 台/间，共计 4000 台	医师	12	透视	同室	10	400	66.67	
				摄影	隔室	0.5		3.33	
		护士	10	透视	同室	1/3×10	500	27.78	
				透视	隔室	2/3×10		59.72	
				摄影	隔室	0.5			
		操作技师	10	透视	隔室	10	500	87.5	
				摄影	隔室	0.5			

注：①单台手术操作由 1 名医师、1 名护士和 1 名操作技师配合完成；
②护士的同室时间按透视模式总时间的 1/3 考虑。

（6）介入手术工作流程及产污环节

1）操作流程

①病人候诊、准备、检查由主管医生写介入诊疗申请单；医生检查是否有介入诊疗的适应症，在排除禁总疾居完善术前检查和预约诊疗时间；

②向病人告知可能受到的辐射危害：医生向病人或其家属详细介绍介入诊疗的方法、途径、可能出现的并发症、可预期的效果、术中所用的介入材料及其费用等；

③设置参数，病人进入机房、摆位:根据不同手术及检查方案，设置 DSA 或中型 C 臂机系统的相关技术参数，以及其他监护仪器的设定，引导病人进入机房并进行摆位；

④根据不同的治疗方案，医生及护士密切配合，完成介入手术或检查，分为两种情况：

第一种情况，摄影模式，医生采取隔室操作的方式（即操作医生在控制室内对病

人进行曝光），医生、护士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，技师隔室在控制室操作设备。

第二种情况，透视模式，医生需进行手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，此时医生和护士位于铅屏/铅帘后身着铅服在曝光室内对病人进行直接的同室手术操作，技师隔室在控制室操作设备。

⑤治疗完毕关机：医生应及时书写手术记录，技师应及时处理图像、刻录光盘或照片；对单纯接受介入造影检查的病人。诊断报告由病人家属取回交病房病历保管。

2）产污环节分析

DSA 及中型 C 臂机的 X 射线诊断机曝光时，主要污染因子为 X 射线。注入的造影剂不含放射性，同时射线装置均采用先进的数字显影技术，不会产生废显影液、废定影液和废胶片。DSA 及中型 C 臂机拍片流程及产污环节如图 9-29 所示。

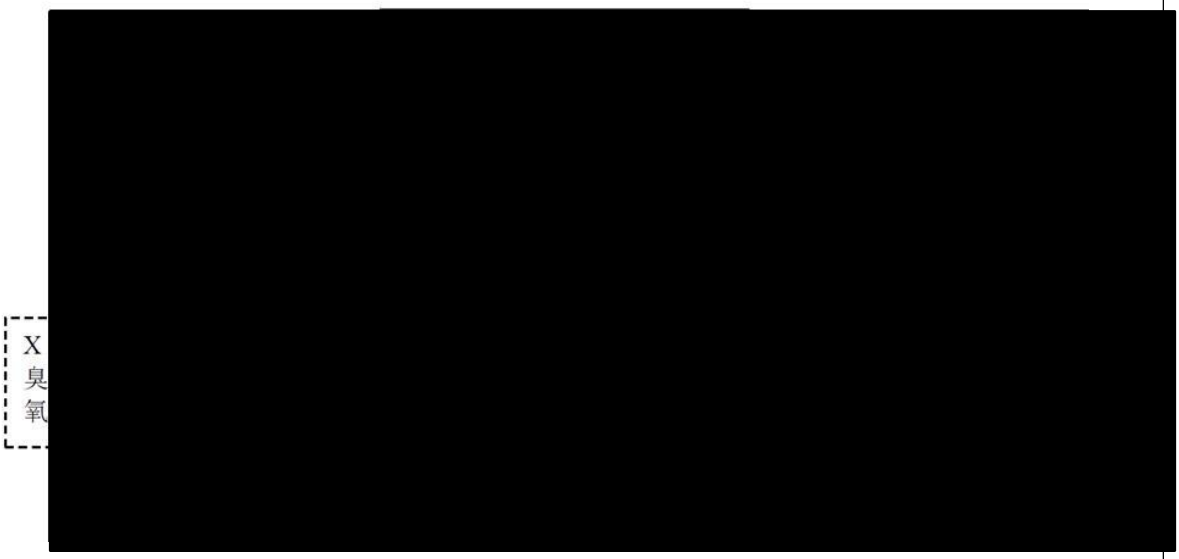


图 9-29 DSA 及中型 C 臂机操作流程及产污环节示意图

综上可知，DSA 及中型 C 臂机在开机状态下，产生的污染因子主要为 X 射线，无其他放射性废气、废水及固体废物产生。

DSA 及中型 C 臂机手术工作中可能产生的医疗废物，如针头、纱布、注射器等属于固体废物，具有直接或者间接感染性、毒性以及其他危害性，应收集后按要求集中处置。

（7）复合手术工作流程及产污环节

复合手术需由麻醉医生、外科手术医师、影像技师及介入手术医师合作、分步骤完成，当实施介入手术时，外科手术医师暂时离开复合手术室，介入手术只能由相应

的专业医师操作，当实施 CT 影像检查或 DSA 摄影时，所有工作人员离开复合手术室。

DSA 和 CT 独立使用，将根据需求来使用 DSA 或 CT，两者不分先后顺序。CT 隔室影像检查可能在麻醉、外科手术、介入手术等操作之前或者之后进行，但任何时候不会同时开启 DSA 和 CT 两台射线装置，CT 使用完将推至两间复合手术室中间的 CT 暂存间放置。

开展复合手术的污染源主要是 X 射线，由射线装置 DSA 和 CT 产生。DSA 在摄影和透视模式时将产生 X 射线，CT 在进行 CT 扫描时将产生 X 射线。复合手术的工作流程如图 9-30 所示。

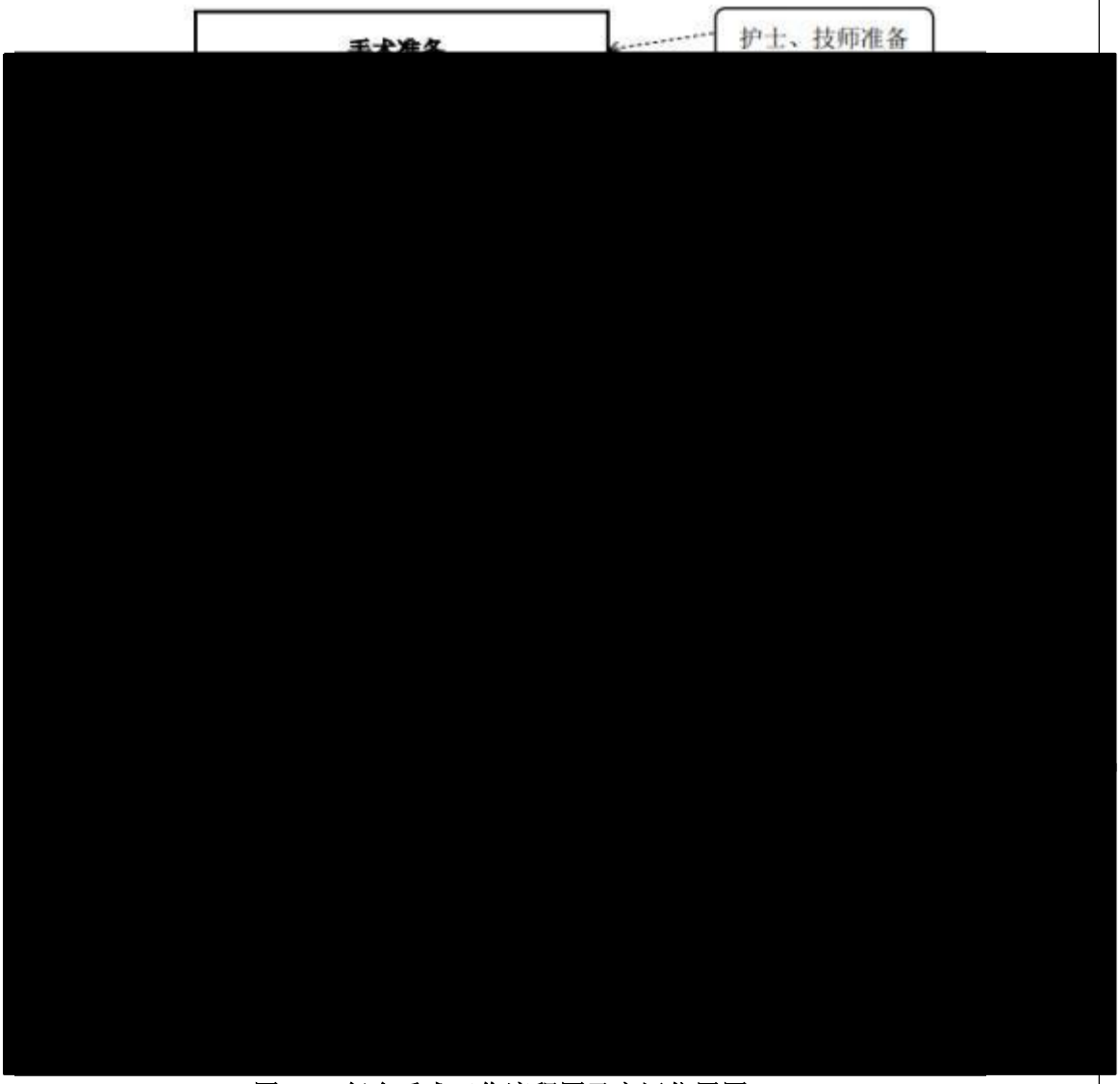


图 9-30 复合手术工作流程图及产污位置图

（8）人流物流路径规划

1）患者路径

医技住院楼一层急诊科患者由大楼西侧急诊门厅进入急诊科，随后依次通过缓冲间、手术通道进入急诊手术室 1-2，手术结束后，原路送出手术室并送至相应病房。

医技住院楼三层介入中心患者根据预约时间到达三层介入中心等候室，护师和护工带领病人在缓冲换床室换床后，依次通过洁净走廊、缓冲间进入相应手术室。手术结束后，送至恢复区，苏醒后送回住院病房。

医技住院楼三层内镜中心患者根据预约时间到达三层内镜中心等候室，护师和护工带领病人在患者更衣室更衣后，依次通过内镜中心内部过道、缓冲间进入相应 ERCP 机房，治疗结束后，患者由护士和护工将协作送到恢复区，患者苏醒后送离内镜中心。

医技住院楼四层手术中心患者根据预约时间到达四层手术中心，护师和护工带领病人在换车间换床后，依次通过洁净走廊、缓冲间进行相应手术室。手术结束后，患者由护士和护工协作送到 PACU，病人苏醒后送回到住院病房。

2）医护路径

医技住院楼一层急诊科：工作人员手术前由机房东南侧入口依次进入换鞋间、更衣室，更衣完成后由手术通道进入相应机房，随后进入控制室，由技师进行机器的预热；医师、护士在控制室内穿戴防护用品，穿戴完成后返回手术室。手术结束后，护师和护工将协作送病人到住院病房，医师、技师原路返回离开。

医技住院楼三层介入中心：工作人员手术前由介入中心东南侧医护电梯进入介入中心办公区域，再依次经过换鞋间、更衣室进入介入中心洁净走廊，随后进入控制室，由技师进行机器的预热；医师、护士在铅衣存放间内穿戴防护用品，穿戴完成后进入手术室。手术结束后，护师和护工将协作送病人回到住院病房，医师、技师原路返回离开。

医技住院楼三层内镜中心：工作人员手术前在内镜中心南侧更衣室进行更衣，随后经过内镜中心过道到达 ERCP 机房控制室，技师进行机器的预热，医师、护士在更衣室内穿戴防护用品，穿戴完成后进入手术室。手术结束后，护师和护工将协作送病人离开内镜中心，医师、技师原路返回离开。

医技住院楼四层手术中心：工作人员手术前由手术中心东北侧进入手术中心更衣室，更衣洗消后经过洁净走道进入控制室，由技师进行机器的预热；医师、护士在控制室内穿戴防护用品，穿戴完成后进入手术室。手术结束后，护师和护工将协作送病

人回到住院病房，医师、技师原路返回离开。

3）污物路径

医技住院楼一层急诊科：每台手术完成后，所有的医疗废物将由护师经污物通道送至急诊手术室北侧的污物处置室，在该房间内处理打包完成后送至污物暂存间内暂存，委托有资质单位外运处置。

医技住院楼三层介入中心：每台手术完成后，所有的医疗废物将由护师经污物通道送至介入中心西北侧的污物处置室，在该房间内处理打包完成后送至污物暂存间内暂存，委托有资质单位外运处置。

医技住院楼三层内镜中心：每台手术完成后，所有的医疗废物将由护师经污物通道送至内镜中心东南侧侧的污物处置室，在该房间内处理打包完成后进行暂存，委托有资质单位外运处置。

医技住院楼四层手术中心：每台手术完成后，所有的医疗废物将由护师经污物通道送至手术中心东南侧的污物处置室，在该房间内处理打包完成后送至污物暂存间内暂存，委托有资质单位外运处置。

9.3 污染源项分析

9.3.1 施工期污染源分析

（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。

[redacted]

图 9-31 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）

9.3.2 运行期污染源分析

9.3.2.1 直线加速器项目

本项目拟安装使用的直线加速器最大电子线能量 22MeV，最大 X 射线能量 15MV，故还需考虑中子辐射、中子俘获 γ 射线及感生放射性影响。

（1）正常工况

1）X 射线

直线加速器运行期间高能电子束与靶物质相互作用时将产生高能 X 射线，X 射线随机器的开、关而产生和消失。

2）电子线

直线加速器处于电子束模式下使用初始电子线进行浅层治疗时，会产生电子线，电子线最高能量为 22MeV，高能电子线随机器的开关而产生和消失。

3）中子

加速器在运行过程中产生的高能 X 射线与周围物质相互作用时，均会产生中子。加速器治疗机头外的杂散中子成为直接光中子，来源于 X 射线中能量大于 10MeV 的光子与加速器的靶、准直器及电子束和光子束通道上的其他物质互相作用发生光核反应所产生的中子。

4）感生放射性物质

电子能量大于 10MeV 的医用电子加速器运行过程中产生感生放射性，主要包括两个方面：①加速器机头结构材料的固态感生放射性。加速器运行期间，由于设备有足够的结构屏蔽，由部件产生的感生放射性不会危害屏蔽体外的人员；但当加速器停机后，职业人员进入机房时可能受到辐射危害。②气态感生放射性核素，在加速器运行过程产生的中子可与空气作用产生放射性核素。

根据《辐射防护手册——第三分册》（李德平、潘自强主编）P97 页表 4.4，核反应 ^{12}C（γ，n）^{11}C 的反应阈能为 18.7MeV，所产生核素 ^{11}C 的半衰期为 20.39min；核反应 ^{14}N（γ，n）^{13}N 的反应阈能为 10.6MeV，所产生核素 ^{13}N 的半衰期为 10.0min；^{16}O（γ，n）^{15}O 的反应阈能为 15.7MeV，所产生核素 ^{15}O 的半衰期为 124.0s；Ar 核反应阈能为 6.1MeV，所产生核素 ^{41}Ar 的半衰期为 1.83h。本项目加速器电子最大能量为 22MeV，X 射线能量最大为 15MV，电子能量超过相关核素的反应阈能，与空气中的 Ar、C、O、N 等相互作用，可诱发感生放射性核素 ^{41}Ar、^{11}C、^{15}O、^{13}N，因此本次评价考虑其感生放射性影响。

这些核素均为β、γ衰变体，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，根据《肿瘤质子放射治疗学》(唐劲天蔡明伟，曾逖闻主编，中国医药科技出版社，2004.4)按照最高能量连续运行状态下，加速器及束流通道的空气中 ^{41}Ar 活化感生放射性活度饱和浓度为 $6.2x10^3Bq/m^3$，实际工作过程中，且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，通过机房内通风系统排出后影响不大。

5）臭氧和氮氧化物

加速器在运行过程中，空气在辐射照射下，会发生辐照分解现象，主要产物为臭氧及微量氮氧化物，通过排风系统排入大气环境中。

①直线加速器电子束所致臭氧的产生率由下式计算：

平行电子束所致臭氧的产生率由下式计算：

$$p = 45d \cdot I \cdot G \qquad \text{（式 9-1）}$$

式中：

P——单位时间电子束产生臭氧的质量（mg/h）；

I——电子束流强度，取 0.1mA；

d——器外电子束在空气中所通过的距离，取 100cm；

G——空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数，取 10。

②X 射线所致臭氧的产生率由下式计算：

$$p = 2 \times 10^{-9} D_{10} \cdot S \cdot L \cdot \rho \qquad \text{（式 9-2）}$$

式中：

P—X 射线臭氧产生率（mg/s）；

D10—X 射线在距靶 1m 处的最大剂量当量率，取 0.5Gy/s；

S—最大治疗野面积，取值 $0.16m^2$；

L—X 射线在空气中的路径长度，取 1m；

ρ—臭氧密度，取 $2.14\times10^3mg/L$；

根据上式和本项目加速器机房工作负荷，X 射线治疗日出束约 1h，电子束治疗日出束约 3min；计算可得本电子束治疗（约 3min），所致臭氧产生量分别为：225mg。X 射线治疗所致臭氧产生量为：$1.23\times10^{-3}mg/h$，本项目三间加速器机房中最小容积

316m^3，所致机房臭氧浓度为 3.89×10^{-6}mg/m^3，能满足《室内空气质量标准》（GB/T 18883-2022）中臭氧 1 小时均值≤0.16mg/m^3 的标准限值。

③电子线治疗模式加速器机房内臭氧的平衡浓度

在加速器采用电子线治疗期间，臭氧不断产生，考虑到室内连续通风和臭氧自身的化学分解（有效化学分解时间约 50min），加速器机房空气中臭氧的平衡浓度 C_s 由下式计算：

$$C_s = \frac{P \cdot T_e}{V} \qquad \text{（式 9-3）}$$

$$T_e = \frac{T_v \cdot T_d}{T_v + T_d} \qquad \text{（式 9-4）}$$

式中：

T_e——臭氧的有效清除时间（h）；

T_v——加速器机房换气一次所需时间，机房排风量为 1500m^3/h，因此取 0.21h；

T_d——臭氧的有效化学分解时间，取 0.83h；

V——加速器机房容积，取三间加速器机房中最小容积 316m^3。

经计算，采用电子线模式治疗患者后，加速器机房内臭氧平衡浓度为 0.12mg/m^3，平衡浓度小于《室内空气质量标准》（GB/T 18883-2022）中臭氧 1 小时均值≤0.16mg/m^3 要求。

6）废靶件

直线加速器的金属靶件更换时会有废靶件产生，废靶件属于放射性固体废物，由厂家回收处理，不会在医院存储。

综上，开机期间，医用电子直线加速器主要污染因子为 X 射线、电子线、中子、感生放射性物质，另有少量臭氧、微量氮氧化物；更换金属靶件时，会有废靶件产生。

（2）事故工况

1）安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行加速器，则可能造成误照射事故。

2）除受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行加速器，则会造成机房中人员误照射。

9.3.2.2 核素制备项目

回旋加速器制药过程中污染因子主要包括：放射性核素生产过程中产生的中子、γ射线和β表面污染，还有含放射性核素的气态、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、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 1.190MeV，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）。放射性药物放射出的β粒子与周围物质相互作用会产生轫致辐射。

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，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，加速器运行及在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核素作用发生核反应，生成放射性的核素，称该非放射性核素被活化。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）。加速器在运行期间，中子活化空气产生的活化产物主要为：^{11}C（半衰期 20.9min）、^{13}N（半衰期 10min）、^{15}O（半衰期 2min）、^{41}Ar（半衰期 1.83h）。

这些核素均为β、γ衰变体，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%，加上另外由于回旋加速器产生的中子在自屏蔽体内慢化为热中子被吸收，在入射到自屏蔽体前只与自屏蔽体内 5~6m^3（设备厂商提供的参数）的空气发生作用，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。通过机房内通风系

统排出后影响不大。

（3）表面污染

工作人员在对含有放射性核素制剂的各种操作中，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

在放射性药物合成分装、质控时，药物挥发产生的含放射性核素的废气。

2）放射性废水

a）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 150L 计算。

3）放射性固废

放射性药物分装、合成及质检过程中产生的废离子交换柱、纯化柱、滤膜、棉签及擦拭废物、质检一次性实验耗材和废靶材等放射性固体废物，产生量约为 0.2kg/d，50kg/a（每年工作 250 天）；回旋加速器日常维护更换下来的靶体、靶膜、过滤网等带有感生放射性的内部构件（每年更换一次），产生量约为 3kg/a；通风系统中更换下来的废活性炭（每半年更换一次），每套管道产生量约为 25kg/半年；固体靶生产放射性药物产生的少量残液，使用玻璃瓶在热室合成柜自动分类收集并使用吸潮纸处理后作为放射性固体废物处置，置于热室合成柜内衰变，产生量约为 0.02kg/d，5kg/a，残液所含的放射性核素为 ^{61}Co。

（5）非放射性污染物

回旋加速器在运行过程中，空气在辐射照射下，会发生辐照分解现象，主要产物为臭氧及微量氮氧化物，通过排风系统排入大气环境中。

空气主要吸收γ射线辐射能量，分子发生辐射分解，重新结合形成臭氧和二氧化氮（二氧化氮占比为臭氧的 1/2），根据 NCRP-144 号报告，浓度计算公式如下：

$$\frac{dN}{dt} = gI - \alpha N - \kappa IN - \frac{QN}{V} \qquad \text{（式 9-5）}$$

式中：*dN/dt*—单位体积单位时间臭氧形成（或分解）的速率（m^3/s）；

N—辐照 *t* 时间后单位体积的臭氧数目，m^{-3}；

I—空气中单位体积光子能量沉积，$eV \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$；

g—参考《Radiological safety aspects of the operation of electron linear accelerators.Vienna,Austria:International Atomic Energy Agency Technical Report No.188》，*g* 值在高剂量率（＞4×10^8Gy/s）下取 0.103/eV，低剂量了下取值 0.074/eV，本装置按低剂量率取值；

α—臭氧分子的化学分解速率，取 $2.3\times10^{-4}s^{-1}$；

κ—单位光子能量沉积的辐照分解速率，取 $1.4\times10^{-16}eV^{-1}\cdot m^3$；

Q/V—通风频率，按不排风进行保守考虑。

该方程解为下式：

$$N(t) = \frac{gI}{\alpha + \kappa I}\left[1 - e^{-t(\alpha+\kappa I)}\right] \qquad \text{（式 9-6）}$$

假设长时间照射条件下，即上式 t→∞，得到臭氧的饱和浓度 N_{sat} 为：

$$N_{sat} = \frac{gI}{\alpha + \kappa I} \qquad \text{（式 9-7）}$$

$$I = 6.25\times10^{18}\varphi(\frac{\mu_{en}}{\rho})E\rho \qquad \text{（式 9-8）}$$

$$C = N\frac{M}{N_A} \qquad \text{（式 9-9）}$$

式中：*φ*—光子通量，P/m^2；

E—光子能量，保守取 $10MeV=10\times1.6\times10^{-13}J=1.6\times10^{-12}J$；

ρ—空气密度，取 $1.29kg/m^3$；

μ_{en}/ρ—光子在空气中的质能吸收系数，根据《辐射防护导论》附表 1 查得

$1.501\times10^{-2}m^2/kg$；

C—臭氧浓度，mg/m^3；

M—臭氧的摩尔质量，$4.8\times10^4mg/mol$；

N_A—阿伏伽德罗常数，取 $6.022\times10^{23}mol^{-1}$。

参考《Radiation Sources for C30-XP》（M-ID99705）试验资料，在（p,xn）反应下，单个质子打靶产生光子 2.82×10^{-2}，总的光子产额 Q_F 由下式计算。

$$Q_F = aI / e \qquad （式 9-10）$$

式中：a—单个质子打靶光子产量产额，取 2.82×10^{-2}；

I—束流强度，取 $1.0\times10^{-4}A$；

e—电子电量，取 $1.602\times10^{-19}C$。

经计算最大光子产额为 1.76×10^{13}，光子通量=$1.76\times10^{13}/4\pi=1.4\times10^{12}P/m^2$，经计算，在连续运行条件下，臭氧的饱和平衡浓度为 $4.21\times10^{-5}mg/m^3$，二氧化氮饱和平衡浓度为 $2.11\times10^{-5}mg/m^3$，远小于《工业场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2007）中臭氧的一小时平均浓度值 $0.3mg/m^3$，二氧化氮的一小时平均浓度值 $5mg/m^3$。

本项目废水为工作人员产生少量的生活污水。本项目的固体废物，主要为工作人员产生的办公垃圾；本项目噪声主要设备运行过程中产生的噪声以及排风系统风机产生的噪声。

9.3.2.3 动物影像实验项目和核素诊断治疗项目

（1）放射性污染物

1）X 射线和γ射线

PET-CT、SPECT-CT 扫描时产生的 X 射线；药物在分装、测活、注射、注射后候诊、扫描及留观等过程中产生的γ射线及β射线，放射性药物放射出的β粒子与周围物质相互作用产生的韧致辐射。

2）β放射性表面污染

医生在对放射性药物的操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的β放射性表面污染。

3）放射性废气

在放射性药物分装、测活、注射、口服过程中、患者摄入药物后候诊、扫描和留

观过程及小动物注射后扫描、饲养过程中，药物挥发产生的含放射性核素的废气。

本项目核医学科涉及使用的全部核素均属于液态放射性药物，且大部分放射性药物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，在药物分装、测活、注射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，在整个过程中注射类药物放射性核素气溶胶挥发量很小，几乎不产生放射性废气。本项目主要考虑使用的碘-131，属于易挥发性化合物，碘-131 在操作过程中存在裸露液面，存在一定的挥发量。保守考虑挥发量按日最大操作量的 0.1%（数据引自《非密封放射性核素治疗后的患者出院考虑》（ICRP 94 号出版物）。本项目碘-131 日最大操作量为 1.85×10^{9}Bq（仅在核素门诊治疗场所使用），经计算碘-131 废气日最大排放量为 1.85×10^{6}Bq。

4）放射性废水

a）动物实验场所

动物实验场所注射药物后的动物偶尔排泄物（尿液、粪便）产生量很少，采用托盘并铺以吸水性好的一次性医用吸收垫进行收集后，作为放射性固废处理，实验区域标记纯化废液、细胞实验产生的废细胞培养液及实验过程中产生的少量废水，此外场所产生的放射性废水主要为工作人员清洗淋浴废水、动物笼具清洗、应急洗消及场所清洗废水，按每天 130L 计算，每年工作 250 天，因此动物核医学实验区产生的放射性废水量约 0.13m^3/d，32.5m^3/a。

b）核素诊断和敷贴治疗场所

患者注射放射性药物后，在注射后等候室等候、留观室留观至离开前产生的排泄物，辐射工作人员洗手、淋浴及控制区场所清洗产生的放射性废水，敷贴治疗患者不产生放射性废水。SPECT 显像诊断及 PET 显像诊断患者均为门诊患者，每天最多诊断 55 名（其中 SPECT 显像诊断 30 人次/天，PET 显像诊断 25 人次/天），参考《综合医院建筑设计规范》（GB 51039-2014），患者用水量取 10L/天·人，按每周工作 5 天、每年工作 250 天工作计，辐射工作人员洗手及控制区场所清洗产生的放射性废水按每天 150L 计算，则核素诊断和敷贴治疗场所放射性废水产生量约为 10L/人×55 人/d+150L/d=0.7m^3/d，175m^3/a。

c）核素门诊治疗场所

患者摄入放射性药物后，在离开前产生的排泄物、辐射工作人员洗手及控制区场

所清洗产生的放射性废水。^{89}Sr 核素治疗患者在摄入药物后，仅休息片刻即从出口防护门离开，不产生放射性废水；^{131}I 甲亢治疗患者 5 人次/天、^{131}I 甲吸检查患者 5 人次/天，参考《综合医院建筑设计规范》（GB 51039-2014），患者用水量取 10L/天·人，按每周工作 5 天、每年工作 250 天工作计，辐射工作人员洗手及控制区场所清洗产生的放射性废水按每天 300L 计算，则核素门诊治疗场所放射性废水产生量约为 10L/人×10 人/d+300L/d=0.4m^3/d，100m^3/a。

5）放射性固废

a）动物实验场所

放射性药物注射过程中产生的注射器、一次性手套、棉签、试纸等带放射性药物的放射性固体废物、饲养小动物使用的动物垫料、动物排泄物，产生量约为 0.2kg/d，50kg/a（每年工作 250 天）；施用过放射性核素的实验动物尸体及组织，本项目使用的实验动物为大鼠和小鼠，每天的实验动物最大为 10 只，保守估算每只小动物重约 0.25kg，小动物的排泄物产生量约为 0.1kg/d，施用过放射性核素的实验动物尸体（保守按每天 10 只估算）及排泄物产生量约为 2.6kg/d、650kg/a；通风系统中更换下来的废活性炭（每半年更换一次），每套管道产生量约为 25kg/半年；小动物 PET-CT 中使用到一定年限后退役的校准密封源 ^{22}Na（每枚校准密封源 ^{22}Na 使用年限约为三年），产生量约为 7 枚/3a。

b）核素诊断和敷贴治疗场所

核素诊断患者摄入药物过程中产生的注射器、一次性手套、棉签、试纸等带放射性药物的放射性固体废物，其中 PET 诊断区域产生量约为 1.25kg/d、310kg/a，SPECT 诊断区域产生量约为 1.5kg/d、375kg/a（每年工作 250 天）；敷贴治疗过程中产生的空药瓶、棉签以及擦试废物废弃的 ^{32}P 敷贴器等带放射性药物的放射性固体废物，产生量约为 0.25kg/d、62.5kg/a（每年工作 250 天）；通风系统中更换下来的废活性炭（每半年更换一次），每套管道产生量约为 25kg/半年；PET-CT 中使用到一定年限后退役的校准密封源 ^{68}Ge（每枚校准密封源 ^{68}Ge 使用年限约为一年），产生量约为 3 枚/a。

c）核素门诊治疗场所

患者摄入药物过程中产生的注射器、一次性手套、试纸、口杯等含有放射性药物的放射性固体废物，甲亢治疗及甲功能测定项目产生量约为 0.25kg/d、75kg/a，90Sr 核素治疗项目产生量约为 0.05kg/d、12.5kg/a，；通风系统中更换下来的废活性炭（每半年

更换一次），每套管道产生量约为 25kg/半年。

（2）非放射性污染物

本项目废气为电离辐射产生的 O_3、NO_x 等废气，另外本项目动物实验场所小动物（大鼠、小鼠）在饲养过程中会产生 NH_3、H_2S 等恶臭气体；本项目废水为工作人员产生少量的生活污水；本项目的固体废物，主要为工作人员产生的办公垃圾等；本项目噪声主要设备运行过程中产生的噪声以及排风系统风机产生的噪声。

9.3.2.4 模拟定位机、移动 CT、DSA 和中型 C 臂机项目

X 线装置在辐射场中产生的射线通常分为两类：一类为有用线束（又称初级辐射），是直接由 X 射线管出射口发出，经限束装置准直能使受检部位成像的辐射线束；另一类为非有用线束（又称次级辐射），包括有用线束照射到受检者身体或诊断床等其他物体时产生的散射线和球管源组件防护套泄漏发出的漏射线。

有用线束能量相对较高，剂量较大，而散射线和漏射线的辐射剂量相对较小。X 射线装置在使用过程中产生的主要辐射影响及影响途径如下：

（1）正常工况

1）采取隔室操作，并且在设备安全和防护硬件及措施到位的正常情况下，射线装置机房外的工作人员及公众基本上不会受到 X 射线的照射。

2）进行介入手术治疗时，机房内进行手术操作的医生和医护人员会受到一定程度的 X 射线外照射。

3）X 射线装置开机运行时，机房内会有微量臭氧、氮氧化物等有害气体产生。

本项目模拟定位机、移动 CT、DSA 和中型 C 臂机运行时诊断结果在显示屏上观察或采用数字技术机打印，不使用胶片摄影，不会产生废显（定）影液、废胶片和报废感光原料。

（2）事故工况

1）射线装置安装调试阶段，可能由于设备参数设置不当、误操作、设备尚未具备正常运行的条件，或者人员未进行恰当的防护造成在场辐射工作人员受到过量照射。

2）射线装置投入运行后，由于设备故障、操作不当、辐射工作人员没有穿戴防护用品等情况下，医生在同室操作时可能受到超剂量的 X 射线照射。

3）门灯联锁装置和闭门装置出现故障，在屏蔽门没有关闭的情况下出束，或射线装置工作时无关人员打开屏蔽门并误入，对门外人员及误入人员造成误照射。

4）机房内无关人员未全部撤出机房，操作室人员操作失误启动射线装置，造成人员误照射。 5）检查或维修状态下，设备维修人员违反操作规程或误操作，造成人员误照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 放疗科项目设施安全与防护分析

10.1.1 工作场所布局分析及分区情况

（1）工作场所布局分析

本项目放疗科位于医院地下二层东侧，放疗科东侧为地下土层，西侧为核医学科核素诊断和敷贴治疗场所，北侧为核医学科核素制备场所，南侧为补风机房、楼梯间和电梯间。直线加速器机房上方为覆土层，地面对应区域为院内道路，下方为地下土层；模拟定位 CT 机房上方为地下车库，下方为地下车库。

直线加速器机房平面布局：

本项目三间加速器机房平面布局如图 10-1 所示，1 号加速器机房、2 号加速器机房和 3 号加速器机房自北向南依次排列，机房上方均为覆土层，地面对应区域为院内道路，东侧和下方均为地下土层，西侧均为控制室、相应辅助用房和过道。1 号加速器机房北侧为回旋加速器机房，南侧为 2 号加速器机房；3 号加速器机房北侧为 2 号加速器机房，南侧为补风机房和楼梯间。三间加速器机房内均设置“L 型”迷道，均设置于机房的西侧。三间加速器机房有用线束方向均拟朝向北墙、南墙、地坪和顶棚。

模拟定位 CT 机房平面布局：

模拟 CT 机房东侧为等候大厅，南侧为过道，西侧为控制室和库房，北侧为示教室，机房拟在南墙东侧设置 1 扇平移门，拟在西墙南侧和西墙北侧各设 1 扇平开门，铅玻璃观察窗拟设置在西墙中部，模拟 CT 拟斜向安放，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者”的要求。机房平面布局及设备摆位见图 10-2。

根据平面布置，本项目放疗科直线加速器机房和模拟定位机房位置独立，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。放疗科设置于地下二层东侧（加速器机房对应区域无下一层），避开了医院的儿科病房、产房和门诊等特殊人群区域或人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中关于选址与布局的规定，模拟定位机房满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中关于 X 射线设备机房布局的要求。

根据平面布置，本项目放疗科直线加速器机房位置独立，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 10-1。

表 10-1 平面布局与《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）对照分析一览表

序号	标准要求	设计落实情况	评价
1	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。	[redacted]	符合要求
2	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。		符合要求
3	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。		符合要求
4	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，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。		符合要求
5	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。		符合要求
6	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；其他治疗机房均应设置迷路。		符合要求

综上所述，本项目放疗科机房平面布置满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求，其平面布置合理。

（2）工作场所分区

医院根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的相关要求，并结合该院实际情况以及该项目的特点，拟将本项目放疗科辐射工作场所划分为控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。

本项目加速器机房控制区和监督区划分如下：

控制区：加速器机房内部区域（包含迷路）、模拟定位 CT 机房内部；

监督区：各机房紧邻的辅助工作用房（控制室、水冷机房）等。

[redacted]

图例 控制区 监督区

图 10-1 本项目加速器机房平面布局、“两区”划分示意图

图例 控制区 监督区

图 10-2 本项目模拟定位 CT 机房平面布局、“两区”划分示意图

管理要求：控制区需要最优化的辐射屏蔽和冗余的安全联锁系统，入口设置明显的电离辐射警告标志，标志图形、颜色、字体等均按照 GB18871-2002 规定要求设置，预防潜在照射及事故照射的发生。射线装置运行时，机房内禁止有人员滞留、禁止人员进入。只有经授权的放射性工作人员才能进入监督区进行操作，公众不允许进入。

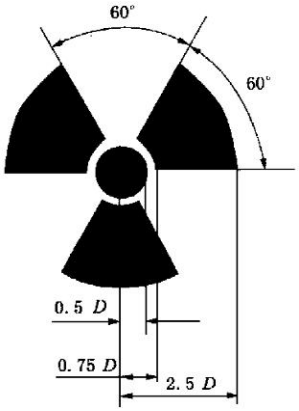


图 10-3 电离辐射标志和电离辐射警告标志

本项目放疗科放射机房控制区和监督区的划分如图 10-1 和图 10-2 所示，本项目放疗科辐射工作场所监督区、控制区划分明确、独立，设置合理，满足辐射防护管理和职业照射控制要求，符合 GB18871-2002 和 HJ 1198-2021 的规定。

10.1.2 辐射安全及防护措施

（1）机房辐防护屏蔽设计

该项目加速器机房四侧墙体、顶棚拟采用标准混凝土（ρ=2.35g/cm^3）浇注而成，机房防护门拟内衬铅板和含硼聚乙烯；模拟 CT 机房四侧墙体均拟采用实心砖墙并增设硫酸钡防护涂

料，顶棚和地坪均拟采用标准混凝土（ρ=2.35g/cm^3）浇筑而成，机房防护门拟内衬铅板，观察窗拟采用铅防护玻璃。机房设计参数详如表 10-2：

表 10-2　本项目放疗科各机房设计空间几何尺寸及墙体厚度表

直线加速器机房			
屏蔽体	1 号加速器机房	2 号加速器机房	3 号加速器机房
东墙	1300mm砼	1300mm砼	1300mm砼
南墙	主墙：3300mm砼 副墙：2200mm砼	主墙：3000mm砼 副墙：2200mm砼	主墙：3000mm砼 副墙：1800mm砼
西墙	见迷道	见迷道	见迷道
北墙	主墙：3300mm砼 副墙：2400mm砼	主墙：3300mm砼 副墙：2200mm砼	主墙：3000mm砼 副墙：2200mm砼
顶棚	主墙：3300mm砼 副墙：1500mm砼	主墙：3000mm砼 副墙：1500mm砼	主墙：3000mm砼 副墙：1500mm砼
迷道内墙	1700mm 砼	2300mm 砼	1700mm 砼
迷道外墙	1500mm 砼	2100mm 砼	1500mm 砼
防护门	[redacted]		
主墙宽度	南墙、北墙和顶棚：5800mm	南墙、北墙和顶棚：5800mm	南墙、北墙和顶棚：5800mm
治疗室南北尺寸	主屏蔽墙之间 7350mm	主屏蔽墙之间 8850mm	主屏蔽墙之间 7200mm
治疗室东西尺寸	8700mm	7500mm	8700mm
迷道长度	9050mm	9650mm	9200mm
迷道宽度	2200mm	2200mm	2200mm
迷道内入口宽度	2400mm	2400mm	2400mm
迷道外入口宽度	2000mm	2000mm	2000mm
高度	4900mm（装饰高度3300mm）	4900mm（装饰高度3300mm）	4900mm（装饰高度3300mm）
机房容积	约 316m^3	约 322m^3	约 316m^3
模拟定位 CT 机房			
屏蔽体		屏蔽材料	
四侧墙体		370mm 实心砖+10mm 硫酸钡	
顶棚		260mm 混凝土	
地坪		250mm 混凝土	

注：上表中砼为标准混凝土，密度为 2.35g/cm^3，施工过程中混凝土应连续浇筑。

模拟定位 CT 属于III类射线装置，其有效使用面积、最小单边长度应符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关要求，模拟定位 CT 机房的最小单边长度和最小有效使用面积见表 10-3。

表 10-3　模拟定位 CT 机房有效使用面积和最小单边长度一览表

机房名称	最小单边长度		最小有效使用面积		评价
	拟设置情况	标准要求	拟设置情况	标准要求	
模拟定位CT机房	6.66	≥4.5m	48.62	≥30m²	符合要求

（2）电缆穿墙设计

本项目加速器机房与控制室之间的电缆采取“U”型地沟形式在防护墙体下方穿过，如图10-4 所示。加速器机房与控制室之间弱电管道、强电管道和冷凝水管道均采用纵向斜穿墙体，如图 10-5 所示。机房采取管线布设方案符合相关要求。

_ “ ”

图 10-5　强电、弱电穿墙示意图

（3）通风设计

直线加速器运行过程中，周边空气中会产生一定的臭氧和氮氧化物，本项目直线加速器治疗室设计采用强制排风系统，机房分别设置进风管道和排风管道，1、3 号加速器机房管道拟从防护门上方穿墙沿迷路进入机房，2 号加速器机房管道拟从迷道外墙中部穿墙沿迷路进入机房。排风管道均拟采用“S”型穿墙方式，并采用铅板对通风管道进行包裹屏蔽，治疗机房进风管道均拟接至地下一层的补风机房，其中 1 号加速器机房新风口拟设置在治疗室的东北、东南、西南角吊顶上，排风口分别拟设置在治疗室西北角离地面 30cm 处和东北角吊顶上；2 号、3 号加速器机房新风口拟设置在治疗室的东北、东南、西北角吊顶上，排风口分别拟设置在治疗室西北角离地面 30cm 处和东南角吊顶上。各机房治疗室新风口和排风口对角设置，上进风，下排风，排风管再沿墙体内壁向上接近顶板处，从相应穿墙位置通往室外，排风口未设

置在有门、窗或人口流动较大的过道等位置，机房内气体最终引导至地下一层的排风机房的风井排出。

本项目加速器机房拟设计排风量不小于1500m^3/h，三间加速器机房中容积最大的约322m^3，通风换气次数不小于4次/h。加速器机房的新风口、排风口及排风量的设置符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“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，进风口与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”与《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于4次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。”的要求。

本项目模拟定位CT机房拟设置新风系统，新风口拟设置在机房吊顶上，排风口拟设置在机房东北角近地面处，风口距地30cm。预计能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“机房应设置动力通风装置，并保持良好通风”的要求。

图 10-6　放疗科机房通风管道布置图

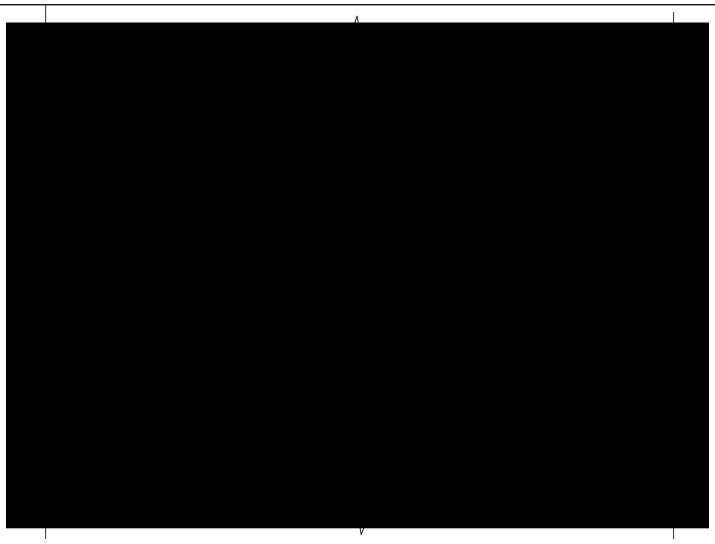


图 10-7　加速器机房新风/排风管穿墙方式示意图

10.1.3设备固有防护措施

1）加速器只有在开机状态时才有 X 射线或电子线产生，通过多叶准直器定向出来，其他方向的射线被自带屏蔽材料所屏蔽，断电停机即停止出束。

2）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状况。

3）条件显示联锁：加速器具有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂量选值、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。

4）控制台上有蜂鸣器，在加速器工作时发出声音以提醒人员防止误入。

5）时间控制联锁：当预选照射时间选定时，定时器能独立地使照射停止。

6）加速器设置有密码，操作密码只有具体操作人员掌握，只有输入正确的密码后才可能进行操作和参数的修改。

7）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。

8）急停按钮：医用直线加速器设备操作台和床体上均自带 1 个急停按钮。急停开关应为红色按钮，并带有中文标识，易于辨认。当发现异常后，按下操作盒上此开关，机器将自动切断加速器主电源。

9）钥匙开关：加速器控制台上设电源钥匙开关，只有当加速器一切都处于安全状态，并且要是就位后，加速器才能启动工作，一旦钥匙被取走，加速器将无法启动工作。钥匙由专人

使用和保管。

从加速器固有安全性能可以看出，加速器在防止事故发生方面，设有相应措施。只要操作人员按照加速器说明书要求严格执行，就能够减少 X 射线、电子线对人员的辐射危害和降低辐射事故的发生率。

本项目直线加速器安全联锁逻辑示意图参见图 10-8。

[redacted]

图10-8 本项目直线加速器安全联锁逻辑示意图

10.1.4其他防护措施

（1）直线加速器

1）固定式剂量率仪：加速器机房内迷路口处设置固定式剂量率仪，仪表指示装在控制室内。对监测点进行实时剂量率监测和报警。实时剂量率、累积剂量监测值同时显示在主机面板上，实时剂量率、累积剂量的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

2）视频监视系统、对讲系统：单个加速器机房的治疗室和控制室之间安装有监视器 6 个、对讲装置 1 套，控制室内能通过视频监视治疗室内患者的治疗情况，并通过对讲系统与室内人员联系，以便于医师在控制室观察患者在治疗室的状况、及时处理意外情况。视频监控数

量和位置能实时、全方位观察治疗室及迷道内状况，可以保障治疗室内及迷道不留视频监控死角，因此视频监控布局数量及位置可行。

3）急停开关：单个直线加速器机房的治疗室和控制室设置 8 个急停开关（主机架、治疗床及控制台各 1 个、东墙 1 个、南墙 1 个、西墙 1 个、北墙 1 个、迷道内墙 1 个），急停开关为红色按钮式开关，高度约 1.2m，易于辨认，人员可以在事故情况下按下急停开关， 按下后不能自动复位，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动。急停开关设置满足应急需求，布置位置和数量合理可行。

4）设置门机安全联锁，机房门关闭后，装置才能启动，防护门上方设有工作状态指示灯，能显示加速器工作状态，装置启动时工作状态指示灯亮起。防护门为电动移门， 防护门与墙搭接处应尽可能减小缝隙漏泄辐射，防护门宽于门洞的部分应大于“门-墙” 间隙的十倍。防护门设红外防挤压装置，防止人员被夹伤。另外防护门设紧急开门装置，紧急状况下，能从机房内开门。

5）加速器机房入口处设置电离辐射警告标识和中文警示说明。 6）每个辐射工作人员均配备 1 枚 TLD 个人剂量剂量计；另本项目每间加速器机房拟配备 2 台个人剂量报警仪；

7）医院拟配备 1 台便携式 X-γ剂量率监测仪，供放疗科、核医学科、介入手术室及 ERCP 手术室共用；

8）操作室上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等；。

本项目放疗科加速器机房辐射安全设施布置，见图10-9：

[redacted]

图10-9 放疗科工作场所安全设施示意图

（2）模拟定位 CT

1）源项控制：医师会根据病情状况针对不同的病人制定不同的计划（包括照射时间和照射剂量），有效进行源项控制。

2）安全联锁装置：门-灯联锁：开机出束，机房防护门关闭良好，工作状态指示灯亮；停止出束时，指示灯熄灭，机房防护门打开。

3）紧急止动装置：在控制室内控制台上拟设 1 个紧急停机开关。紧急停机开关应为红色按钮，并带有中文标识，易于辨认。在误操作或出现紧急情况时，按下开关即可随时切断供电电源。

4）警示装置：

①工作状态显示装置：在机房防护门外设 1 个工作状态指示灯或工作状态指示灯箱，并与机房防护门联锁。

②电离辐射警告标志：在机房防护门外醒目位置张贴电离辐射警告标志及中文警示说明。

电离辐射警告标志须符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002） 附录 F 要求。

5）监测设备：从事模拟定位诊断的辐射工作人员每人均配备 1 枚 TLD 个人剂量剂量计，要求在岗期间必须正确佩戴。

6）对讲装置：机房内和控制室内设 1 套扩音与对讲装置，便于控制室的工作人员与机房内的患者联系。

7）个人防护用品：本项目模拟定位机房拟根据 GBZ 130-2020 中的相关要求，分别配备两套个人防护用品，供患者及陪护人员使用。

10.1.5放疗科辐射安全与防护措施符合性分析

本项目加速器机房辐射安全设施和防护措施与《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）对照分析见表10-4。

表 10-4　加速器机房辐射安全设施和防护措施标准对照分析表

序号	标准要求	该项目采取的计划	评价
1	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。（GBZ 121-2020 6.2.1节）	[redacted]	符合要求
2	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，进风口与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。（GBZ 121-2020　6.2.2节）	[redacted]	符合要求
3	放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。（GBZ 121-2020　6.4.2节） 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。（GBZ 121-2020　6.4.4节） 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施： a）放射治疗室应设置门－机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施； b）放射治疗室应设置室内紧急开门装置，防护门应	[redacted]	符合要求

	设置防夹伤功能； c）应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发； f）安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。（HJ 1198-2021 6.2.3节）	[redacted]	
4	医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志： a）放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志； b）放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。（GBZ 121-2020 6.4.3节）	[redacted]	符合要求
	放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等： a）放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明； b）放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；（HJ 1198-2021 6.2.1节）		
5	控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。（GBZ 121-2020 6.4.6节）	[redacted]	符合要求
	控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。（HJ 1198-2021 6.2.1节）		
6	含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。（HJ 1198-2021 6.2.2节）		符合要求

10.2 核医学科项目设施安全与防护分析

10.2.1 工作场所布局分析及分区情况

（1）工作场所布局分析

本项目核医学科分为动物实验场所、核素制备场所、核素诊断及敷贴治疗场所、核素门诊治疗场所，共四个工作区域。

动物实验场所设置在地下一层东侧，该场所东侧为地下车库，南侧为电梯厅，西侧为办公室和一般实验室，北侧为空调机房和楼梯间，上方为院内过道，下方为核素诊断及敷贴治疗场

所、放疗科工作用房。其平面布局如图 10-10 所示。

核素制备场所设置在地下二层东侧（放疗科北侧），场所东侧为地下土层，南侧为放疗科，西侧为排风机房和地下车库，北侧为地下车库，上方为净化机房和地下车库，下方为地下土层和地下车库。其平面布局如图 10-11 所示。

核素诊断及敷贴治疗场所设置在地下二层东侧，场所东侧为放疗科，南侧为电梯厅和楼梯间，西侧为地下车库，北侧为地下车库和核素门诊治疗场所，上方为排烟机房、办公区、一般实验室和动物实验场所，下方为排风机房和地下车库。其平面布局如图 10-12 所示。

核素门诊治疗场所设置在地下二层东侧（SPECT-CT 机房北侧），场所东侧为补风机房，南侧为楼梯间，西侧和北侧均为地下车库，上方为汽车坡道，下方为地下车库。其平面布局如图 10-13 所示。

1）动物实验场所主要包括 1 间小动物 PET 机房、1 间核医学科研实验室及缓冲间、解剖室、清洁间、污物暂存间、消毒灭菌室、注射室、注射后饲养室、储源室、动物接收室等配套房间；

2）核素制备场所主要包括 1 间回旋加速器机房及其控制室、打包间、设备间、热室、物料暂存间、质控室（含无菌检测室、微生物检测室）、放化实验室、阳性对照室、废物间等配套房间；

3）核素诊断及敷贴治疗场所主要包括 1 间 PET-CT 机房及其控制室、设备间、储源室（1 号储源室）、PET 注射区、PET 注射后候诊室、PET 分装室（2 号分装室）、PET 留观室、PET 区域清洁间、PET 区域污物暂存间、敷贴治疗室、1 间 SPECT-CT 机房及其控制室、SPECT 分装室（1 号分装室）、固废暂存室、抢救室、SPECT 注射室、SPECT 注射后候诊室、SPECT 留观室、清洁间、污洗打包间、受检者走廊、医护走廊、医护淋浴缓冲间等配套房间；

4）核素门诊治疗场所主要包括 ^{131}I 给药室、^{131}I 给药后留观室、门诊注射室、3 号分装室、储源室（下称 2 号储源室）、废源室、卫生通过间和甲吸测定室等配套房间。

为防止工作人员受到放射性药物和服药后患者的交叉污染，核医学科设有独立的病人路径、送药路径和医护人员工作路径。核医学科住院区和门诊区独立设置，进入核医学科的门均拟设门禁，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。

表 10-5 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

序号	标准要求	设计落实情况	评价
1	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。	[redacted]	符合要求
2	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。		符合要求
3	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。		符合要求

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，便于放射性药物给药、注射及住院、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。

此外，PET-CT 和 SPECT-CT 中的 CT 部分属于III类射线装置，其有效使用面积、最小单边长度应符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关要求，上述机房的最小单边长度和最小有效使用面积见表 10-6。

表 10-6 PET-CT 和 SPECT-CT 机房有效使用面积和最小单边长度一览表

机房名称	最小单边长度		最小有效使用面积		评价
	拟设置情况	标准要求	拟设置情况	标准要求	
PET-CT机房	5.08	≥4.5m	44.25	≥30m²	符合要求
SPECT-CT机房	5.20	≥4.5m	38.22	≥30m²	符合要求

（2）工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871-2002 和《核医学放射防护要求》GBZ 120-2020，该项目拟将核医学科工作场所划分为控制区和监督区，严格按照相关要求进行管理，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证）和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，通常不需要采取专门防护手段或安全措施，但要需要经常对其职业照射状况进行监督和评价的区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标记；定期审查该区的条件，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。

1）动物实验场所分区

对于地下一层东侧动物实验场所，医院拟将小动物 PET 机房、核医学科研实验室、解剖间、污物暂存间、消毒灭菌室、注射室、注射后饲养室、储源室、接收室等区域划定为控制区；将一更、二更、缓冲间、退更检测间、过道等区域划定为监督区。动物实验场所辐射分区示意图见图 10-10。

2）核素制备场所分区

对于地下二层东侧核素制备场所，医院拟将回旋加速器机房、热室、质控室、放化实验室、微生物实验室及专用缓冲通道、无菌检测室及专用缓冲通道、清洁间、阳性对照间及专用缓冲通道，废物暂存间、实验室水处理设备间等区域划定为控制区；将设备间、控制室、非放物料暂存间、打包间、过道、卫生通过区域等划定为监督区。核素制备场所辐射分区示意图见图 10-11。

3）核素诊断及敷贴治疗场所分区

对于地下二层东侧核素诊断及敷贴治疗场所，医院拟将 PET-CT 机房、1 号储源室、PET 注射区、PET 注射后候诊室、2 号分装室、PET 留观室、PET 区域清洁间、PET 区域污物暂存间、

敷贴治疗室及其制药室、SPECT-CT 机房、1 号分装室、SPECT 固废暂存室、抢救室、SPECT 注射室、SPECT 注射后候诊室、SPECT 留观室、SPECT 清洁间、SPECT 污洗打包间、受检者走廊等配套房间划定为控制区；将注射前候诊区、注射前诊室、卫生间、病人入口缓冲间、病人出口缓冲间、PET-CT 机房控制室、SPECT-CT 机房控制室、工作人员进出口卫生通过间等区域划定为监督区。核素诊断及敷贴治疗场所辐射分区示意图见图 10-12。

4）核素门诊治疗场所分区

对于地下二层东侧核素门诊治疗场所，医院拟将 ^{131}I 给药室、^{131}I 给药后留观室、门诊注射室、3 号分装室、2 号储源室、放废暂存间和甲吸测定室等区域划定为控制区；将工作人员卫生通过间、病人等候室、病人离院缓冲间等区域划定为监督区。核素门诊治疗场所辐射分区示意图见图 10-13。

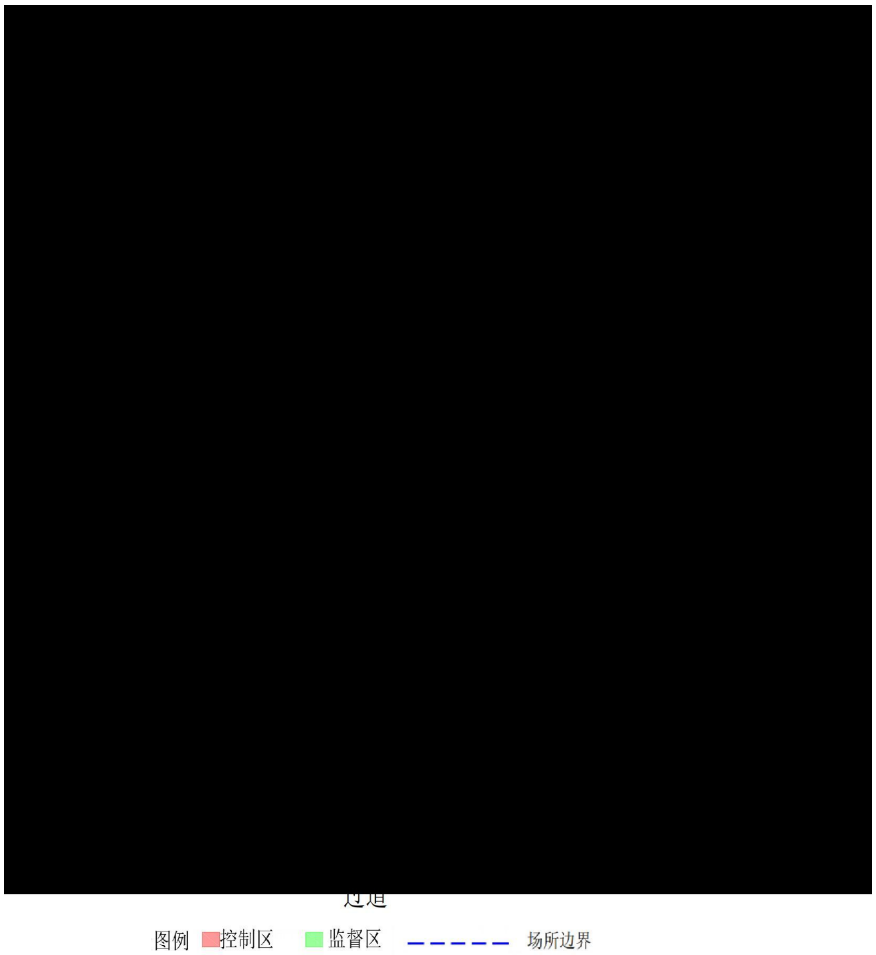


图 10-10 地下一层核医学科动物实验场所平面布局、“两区”划分示意图

图 10-11 地下二层核医学科核素制备场所平面布局、“两区”划分示意图

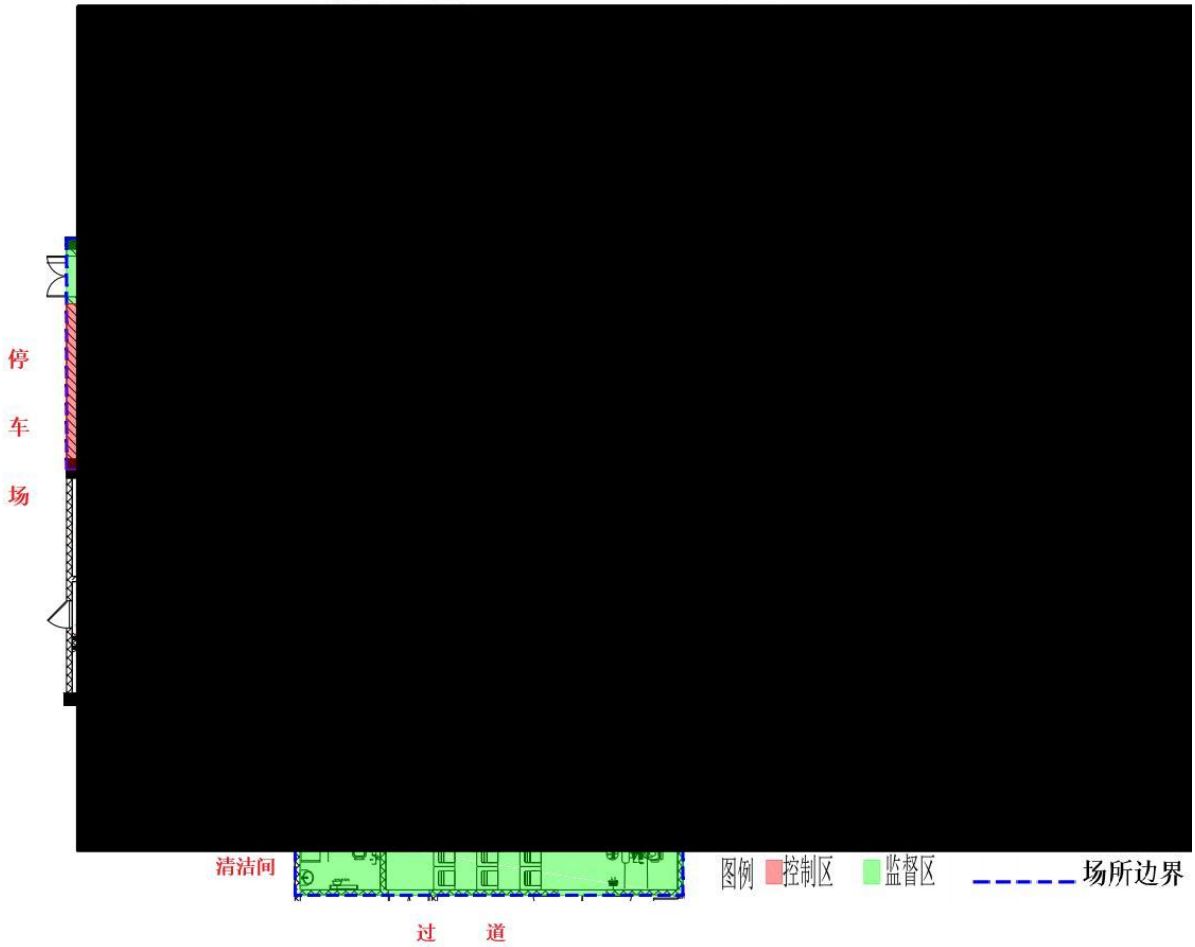


图 10-12 地下二层核医学科核素诊断及敷贴治疗场所平面布局、“两区”划分示意图

图 10-13 地下二层核医学科核素门诊治疗场所平面布局、“两区”划分示意图

管理要求：控制区需要最优化的辐射屏蔽和冗余的安全联锁系统，入口设置明显的电离辐射警告标志，标志图形、颜色、字体等均按照 GB18871-2002 规定要求设置，预防潜在照射及事故照射的发生。射线装置运行时，机房内禁止有人员滞留、禁止人员进入。只有经授权的放射性工作人员才能进入监督区进行操作，公众不允许进入。

本项目核医学科放射工作场所平面布局和两区划分如图 10-10 至图 10-13 所示，工作场所监督区、控制区划分明确、独立，设置合理，满足辐射防护管理和职业照射控制要求。

10.2.2工作场所分类

根据 GBZ120-2020《核医学放射防护要求》规定，应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三类。

核医学工作场所分类见表 10-7。

表 10-7 核医学工作场所分类一览表

分类	操作最大量放射性核素的加权活度 MBq
Ⅰ	＞50000
Ⅱ	50～50000
Ⅲ	＜50

加权活度=(计划的日操作最大活度×核素的毒性权重因子)/操作性质修正因子

依据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 G 中表 G.2，核医学常用放射性核素的毒性权重因子如表 10-8 所示。

表 10-8 核医学常用放射性核素的毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	^{75}Se、^{89}Sr、^{125}I、^{131}I、^{32}P、^{90}Y、^{99}Mo、^{153}Sm	100
B	^{11}C、^{13}N、^{15}O、^{18}F、^{51}Cr、^{67}Ga、^{99m}Tc、^{123}I、^{111}In、^{113m}In、^{201}TI	1
C	^{14}C、^{3}H、^{81m}Kr、^{127}Xe、^{133}Xe	0.01

本项目涉及的放射性核素 ^{68}Ga 参照上表中相关核素的毒性分类，核素的毒性权重因子取 1。

核医学常用放射性核素不同操作性质的修正因子如表 10-9 所示。

表 10-9 不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	操作性质修正因子
贮存	100
废物处理 闪烁法计数和显像 候诊区及诊断病床区	10
配药、分装以及施给药 简单放射性药物制备 治疗病床区	1
复查放射性药物制备	0.1

注：表 10-4 数据来源自 INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY，Nuclear Medicine Resources Manual，IAEA，Vienna（2006）。

本项目核医学科非密封放射性物质工作场所日最大加权活度计算结果与工作场所分类见表 10-10。

表 10-10 本项目核医学工作场所分类表

区域	放射工作场所	核素种类	计划日操作最大活度（Bq）	核素毒性权重因子	操作性质修正因子	加权活度（Bq）		场所分类
地下一层动物实验场所	注射室	^{18}F	7.40E+07	1	1	7.40E+07	4.00E+09	II类
		^{11}C	3.70E+07	1	1	3.70E+07		
		^{13}N	3.70E+07	1	1	3.70E+07		
		^{68}Ga	3.70E+07	1	1	3.70E+07		
		^{64}Cu	3.70E+07	1	1	3.70E+07		
		^{89}Zr	3.70E+07	100	1	3.70E+09		
		^{99m}Tc	7.40E+07	1	1	7.40E+07		
	小动物 PET-CT 机房、核医学科研实验室、注射后饲养室、解剖室	^{18}F	7.40E+07	1	10	7.40E+06	4.00E+08	II类
		^{11}C	3.70E+07	1	10	3.70E+06		
		^{13}N	3.70E+07	1	10	3.70E+06		
		^{68}Ga	3.70E+07	1	10	3.70E+06		
		^{64}Cu	3.70E+07	1	10	3.70E+06		
		^{89}Zr	3.70E+07	100	10	3.70E+08		
		^{99m}Tc	7.40E+07	1	10	7.40E+06		
	储源室	^{18}F	3.70E+08	1	100	3.70E+06	5.18E+07	II类
		^{11}C	3.33E+08	1	100	3.33E+06		
		^{13}N	3.33E+08	1	100	3.33E+06		
		^{68}Ga	3.33E+08	1	100	3.33E+06		
		^{64}Cu	3.70E+07	1	100	3.70E+05		
		^{89}Zr	3.70E+07	100	100	3.70E+07		

			^{99m}Tc	7.40E+07	1	100	7.40E+05		
		清洁间、消毒灭菌间	^{18}F	7.40E+06	1	10	7.40E+05	4.00E+07	III类
			^{11}C	3.70E+06	1	10	3.70E+05		
			^{13}N	3.70E+06	1	10	3.70E+05		
			^{68}Ga	3.70E+06	1	10	3.70E+05		
			^{64}Cu	3.70E+06	1	10	3.70E+05		
			^{89}Zr	3.70E+06	100	10	3.70E+07		
			^{99m}Tc	7.40E+06	1	10	7.40E+05		
	地下二层核素制备场所	回旋加速器机房、热室	^{18}F	4.10E+10	1	1	4.10E+10	8.01E+10	I类
			^{11}C	1.07E+09	1	1	1.07E+09		
			^{13}N	1.07E+08	1	1	1.07E+09		
			^{68}Ga	3.33E+08	1	1	3.33E+09		
			^{64}Cu	3.33E+08	1	1	3.33E+08		
			^{89}Zr	3.33E+08	100	1	3.33E+10		
		质控室、放化实验室	^{18}F	1.11E+08	1	1	1.11E+08	1.17E+10	II类
			^{11}C	1.11E+08	1	1	1.11E+08		
			^{13}N	1.11E+08	1	1	1.11E+08		
			^{68}Ga	1.11E+08	1	1	1.11E+08		
			^{64}Cu	1.11E+08	1	1	1.11E+08		
			^{89}Zr	1.11E+08	100	1	1.11E+10		
	地下二层核素诊断及敷贴治疗场所	1 号储源室	^{18}F	7.40E+09	1	100	7.40E+07	9.29E+08	II类
			^{11}C	9.25E+08	1	100	9.25E+06		
			^{13}N	9.25E+08	1	100	9.25E+06		
			^{68}Ga	1.85E+08	1	100	1.85E+06		
			^{64}Cu	1.85E+08	1	100	1.85E+06		
			^{89}Zr	1.85E+08	100	100	1.85E+08		
			^{99m}Tc	2.78E+10	1	100	2.78E+08		
			^{32}P	3.70E+08	100	100	3.70E+08		
		2 号分装室	^{18}F	7.40E+09	1	1	7.40E+09	2.81E+10	II类
			^{11}C	9.25E+08	1	1	9.25E+08		
			^{13}N	9.25E+08	1	1	9.25E+08		
			^{68}Ga	1.85E+08	1	1	1.85E+08		
			^{64}Cu	1.85E+08	1	1	1.85E+08		
			^{89}Zr	1.85E+08	100	1	1.85E+10		
		PET 注射后候诊室、PET-CT 机房、PET 留观室	^{18}F	7.40E+09	1	10	7.40E+08	2.81E+09	II类
			^{11}C	9.25E+08	1	10	9.25E+07		
			^{13}N	9.25E+08	1	10	9.25E+07		
			^{68}Ga	1.85E+08	1	10	1.85E+07		
			^{64}Cu	1.85E+08	1	10	1.85E+07		
			^{89}Zr	1.85E+08	100	10	1.85E+09		
		PET 污物暂存间、放废暂存间、清洁间	^{18}F	7.40E+08	1	10	7.40E+07	2.81E+08	II类
			^{11}C	9.25E+07	1	10	9.25E+06		
			^{13}N	9.25E+07	1	10	9.25E+06		
			^{68}Ga	1.85E+07	1	10	1.85E+06		
			^{64}Cu	1.85E+07	1	10	1.85E+06		
			^{89}Zr	1.85E+07	100	10	1.85E+08		
		敷贴治疗室	^{32}P	3.70E+08	100	10	3.70E+09	3.70E+09	II类
		敷贴制药室	^{32}P	3.70E+08	100	1	3.70E+10	3.70E+10	II类
		SPECT 注射室、1 号分	^{99m}Tc	2.78E+10	1	1	2.78E+10	2.78E+10	II类

	装室							
	SPECT 注射后候诊室、SPECT-CT 机房、SPECT 留观室	^{99m}Tc	2.78E+10	1	10	2.78E+09	2.78E+09	II类
	SPECT 放废暂存间、清洁间、污洗打包间	^{99m}Tc	2.78E+09	1	10	2.78E+08	2.78E+08	II类
地下二层核素门诊治疗场所	2 号储源室	^{131}I（甲吸）	9.25E+05	100	100	9.25E+05	2.00E+09	II类
		^{131}I（甲亢）	1.85E+09	100	100	1.85E+09		
		^{89}Sr	1.48E+08	100	100	1.48E+08		
	3 号分装室	^{131}I（甲吸）	9.25E+05	100	1	9.25E+07	2.00E+11	I类
		^{131}I（甲亢）	1.85E+09	100	1	1.85E+11		
		^{89}Sr	1.48E+08	100	1	1.48E+10		
	^{131}I 给药室	^{131}I（甲吸）	9.25E+05	100	1	9.25E+07	1.85E+11	I类
		^{131}I（甲亢）	1.85E+09	100	1	1.85E+11		
	门诊注射室	^{89}Sr	1.48E+08	100	1	1.48E+10	1.48E+10	II类
	甲吸测定室	^{131}I（甲吸）	9.25E+05	100	10	9.25E+06	9.25E+06	II类
	放废暂存间	^{131}I	1.85E+08	100	10	1.85E+09	2.00E+09	II类
		^{89}Sr	1.48E+07	100	10	1.48E+08		

根据表 10-10 可知，本项目核医学科工作场所含有Ⅰ类和Ⅱ类工作场所，对照 GBZ120-2020《核医学放射防护要求》对核医学工作场所具体分类办法，核医学工作场所的防护设计要求见下表。

表 10-11 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
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
分装柜	需要	需要	不必须
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 [a]	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 [b] 和去污设备	洗手盆 [b] 和去污设备	洗手盆 [b]
a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。			

b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

根据场所各级防护要求，本项目核医学科工作场所拟采取的辐射防护措施情况见下表。

表 10-12 拟采取的防护措施符合性分析

种类	拟采取措施
结构屏蔽	本项目核医学科辐射工作场所的墙体、楼板、门、观察窗、工作箱、手套箱、通风橱均按防护要求设计屏蔽结构，根据环境影响分析屏蔽结构外辐射剂量率满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）有关限值要求。
地面	本项目核医学科控制区内部房间地面与墙壁的连接处均采用圆弧设计，保证连接处无缝隙。
表面	工作台面和注射台表面拟采用不锈钢等易清洗材料
分装柜	医院拟设置足量的通风橱或手套箱（分装柜）
通风	拟设置核医学工作场所专用的排风系统，核医学相关工作用房均连接至独立排风管道，每套通风系统各安装风机；通风橱或手套箱（分装柜）均设立单独排风管道，安装独立风机，保证通风效果。所有排放口均在高于所在建筑屋顶排放。
管道	衰变池位于医院东南侧地下，下水管道与核医学距离较近，管道较短。大水流管道处按要求设有标记，以便维修检测。
盥洗与去污	卫生间洗手盆拟设置感应式或脚踏式等手部非接触开关控制，各卫生通过间均拟配备一套去污工具。

对比表 10-11、表 10-12，本项目核医学科工作场所放射防护设计能满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中最高类别（I 类）场所的防护要求。

10.2.3屏蔽防护设计

（1）工作场所屏蔽防护设计

本项目核医学科工作场所辐射防护屏蔽设计参数表见表 10-13。

表 10-13 核医学场所屏蔽防护措施一览表

区域	场所名称	屏蔽体	拟采取的屏蔽防护材料及厚度
地下一层动物实验场所	注射室	四侧墙体	370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料
		防护门	5mmPb 防护
		通风橱	一体式设计，六侧均为 20mmPb
	储源室	四侧墙体	370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料
		防护门	5mmPb 防护
	接收室	四侧墙体	370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料
		防护门	5mmPb 防护
		传递窗	8mmPb 防护
	注射后饲养室	四侧墙体	370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料
		防护门	5mmPb 防护
	清洁间	四侧墙体	370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料
		防护门	3mmPb 防护
	消毒灭菌室	四侧墙体	370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料
		防护门	3mmPb 防护
	小动物 PET-CT 机房	四侧墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
		防护门	10mmPb 防护
		观察窗	10mmPb 防护
	解剖室	四侧墙体	370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料
		防护门	3mmPb 防护
	核医学科研实验室	四侧墙体	东侧为 370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料 其余为 240mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料

			防护门	3mmPb 防护
			手套箱	一体式设计，六侧均为 20mmPb
		卫生通过间	四侧墙体	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
			防护门	3mmPb 防护
		场所全域	地坪	180mm 砼
			顶盖	260mm 砼
	地下二层核素制备场所	回旋加速器机房	四周墙体	南侧为 2400mm 砼 其余各侧为 600mm 砼
			防护门	15mmPb+100mm 聚乙烯
			顶棚	600mm 砼
			地坪	最底层，无需处理
		热室	四周墙体	东侧为 600mm 砼 其余三侧为 300mm 砼
			防护门	8mmPb
			传递窗	8mmPb
			合成柜、分装柜	其中四个合成柜和两个分装柜 柜体均一体式设计，六侧均为 100mmPb
			核素管沟	地沟覆盖 50mmPb 铅砖，设计为 U 型
		质控室	四周墙体	240mm 实心砖
			防护门	8mmPb
			手套箱	一体式设计，六侧均为 20mmPb
			传递窗	8mmPb
		两间放化实验室	四周墙体	北侧为 370mm 实心砖 其余为 240mm 实心砖
			防护门	5mmPb
			手套箱	一体式设计，六侧均为 20mmPb
		微生物实验室	四周墙体	东、南、北墙为 240mm 实心砖 西墙为轻质墙
		无菌检测室	四周墙体	北、西墙为 240mm 实心砖
		阳性对照室	四周墙体	东侧为轻质墙 其余各侧为 370mm 实心砖
			传递窗	5mmPb
		废物间	四周墙体	370mm 实心砖
			防护门	5mmPb
		场所全域（除回旋加速器机房外）	地坪	250mm 砼
			顶盖	260mm 砼
	地下二层核医学核素诊断及敷贴场所	检查走廊前区	四周墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
			南侧缓冲间防护门	均采用 2mmPb
			西侧防护门	8mmPb
			东侧防护门	15mmPb
			北侧防护门	10mmPb
		PET 注射区	四周墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
			注射窗	40mmPb
		PET 注射后候诊室	四周墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
			防护门	10mmPb
		PET-CT 机房	四周墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
			受检者防护门	10mmPb
			工作人员防护门	15mmPb

			观察窗	15mmPb
		PET 留观室	四周墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
			防护门	10mmPb
		PET 污物暂存间	四周墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
			防护门	10mmPb
		PET 放废暂存间	四周墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
			防护门	10mmPb
		PET 清洁间	四周墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
			防护门	10mmPb
		PET 区域受检者走廊	四周墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
			患者离院防护门	15mmPb
		敷贴治疗室	四周墙体	北侧和西侧为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料 南侧和东侧为 240mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料
			工作人员防护门	3mmPb
			病人防护门	2mmPb
		敷贴制药室	四周墙体	北侧为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料 其余为 240mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料
			防护门	3mmPb
			手套箱	10mmPb
		抢救室	四周墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
			防护门	6mmPb
		SPECT 注射室	四周墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
			防护门	10mmPb
			注射窗	10mmPb
		SPECT 注射后候诊室	四周墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
			防护门	6mmPb
		SPECT-CT 机房	四周墙体	北侧为 300mm 砼 其余为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
			受检者防护门	6mmPb
			工作人员防护门	8mmPb
			观察窗	8mmPb
		SPECT 留观室	四周墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
			防护门	6mmPb
		SPECT 放废暂存间	四周墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
			防护门	6mmPb
		SPECT 区域受检者走廊	四周墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
			患者离院防护门	8mmPb
		1 号储源室	四周墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
			防护门	6mmPb
			传递窗	10mmPb
		1 号分装室	四周墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
			防护门	10mmPb
			注射窗	10mmPb
			手套箱	25mmPb
		2 号分装室	四周墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
			防护门	15mmPb
			注射窗	40mmPb

		手套箱	60mmPb
	卫生通过间	四周墙体	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
		防护门	10mmPb
	场所全域	地坪	250mm 砼
		顶盖	260mm 砼
地下二层核素门诊治疗场所	^{131}I 给药室	四周墙体	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
		防护门	8mmPb
		给药窗口	20mmPb
	^{131}I 留观室	四周墙体	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
		北侧防护门	8mmPb
		南侧防护门（缓冲间）	8mmPb
		卫生间防护门	6mmPb
	^{131}I 离院缓冲间	四周墙体	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
		南侧防护门	8mmPb
	清洁间	四周墙体	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
		防护门	6mmPb
	门诊注射室	四周墙体	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
		防护门	8mmPb
		注射窗口	20mmPb
	3 号分装室	四周墙体	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
		防护门	8mmPb
		手套箱	40mmPb
	2 号储源室	四周墙体	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
		南侧防护门	5mmPb
		东侧防护门	8mmPb
	放废暂存间	四周墙体	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
		防护门	8mmPb
	甲吸测定室	四周墙体	370mm 实心砖
		防护门	普通门体
	卫生通过间	四周墙体	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
		防护门	5mmPb
	场所全域	地坪	250mm 砼
		顶盖	260mm 砼

（2）自屏蔽回旋加速器屏蔽体

[redacted]该层能衰减 1～2MeV 的中子能量并吸收大部分靶核反应的γ辐射以内及内层粒撞击产生的热中子。外层屏蔽体厚度为 70cm，由聚乙烯和碳化硼及承载混凝土构成，其主要目的是慢化中子，最终在硼材料中吸收中子，并使得加速器中产生的次级γ辐射衰减到最低。该回旋加速器本体的外形尺寸[redacted]t，回旋加速器的自屏蔽体外形尺[redacted]重量

（3）合成与分装装置的屏蔽

热室拟设置合成柜、分装柜。合成、分装模块位于合成柜、分装柜内，均为负压式设计，垂直层流通风，通风系统100%外排，内腔顶部匹配HEPA高效活性碳过滤器过滤，经北侧专用排风井，引至科研教学楼（主楼）楼顶排放。

根据建设单位提供资料，本项目核素制备场所热室中拟设置3套合成模块箱和2套分装模块箱，其中1套合成模块箱和1套分装模块箱，用来合成分装固体靶生成的正电子核素^{64}Cu和^{89}Zr；其余2套合成模块箱和1套分装模块箱，用来合成分装气体和液体靶生成的正电子核^{11}C、^{13}N、^{18}F和^{68}Ga。合成模块箱和分装模块箱分别置于3台合成柜和2台分装柜内，此外，还配置1台合成柜用于固体靶的溶解、纯化操作，本项目拟设合成柜和分装柜参数如下：

合成柜[redacted]成模块提供PET正电子放射性药物合成操作的过程保护，并可达到自动合成。另外在控制室设置一套配备液晶监视器及MTC触摸控制屏，远程操作、监视合成过程。

分装柜[redacted]橡胶手套[redacted]分装过程较短，分装柜门正面配备液晶监视器及MTC触摸控制屏，可实时监控分装柜内部视讯及剂量率等讯息。

（4）核素传输管道的屏蔽

回旋加速器制备的放射性同位素经管道自动传输到热室中，从回旋加速器机房至热室设置核素地沟，回旋加速器传输管道自西南角传输至西侧合成模块。核素地沟截面呈T型布置，下端截面尺寸为300mm×200mm，上端截面尺寸为500mm×250mm，管道下端顶部覆盖50mmPb铅砖，上端顶部覆盖承重钢盖板，本项目核素传输地沟布设方式及其穿墙方式见图10-14。

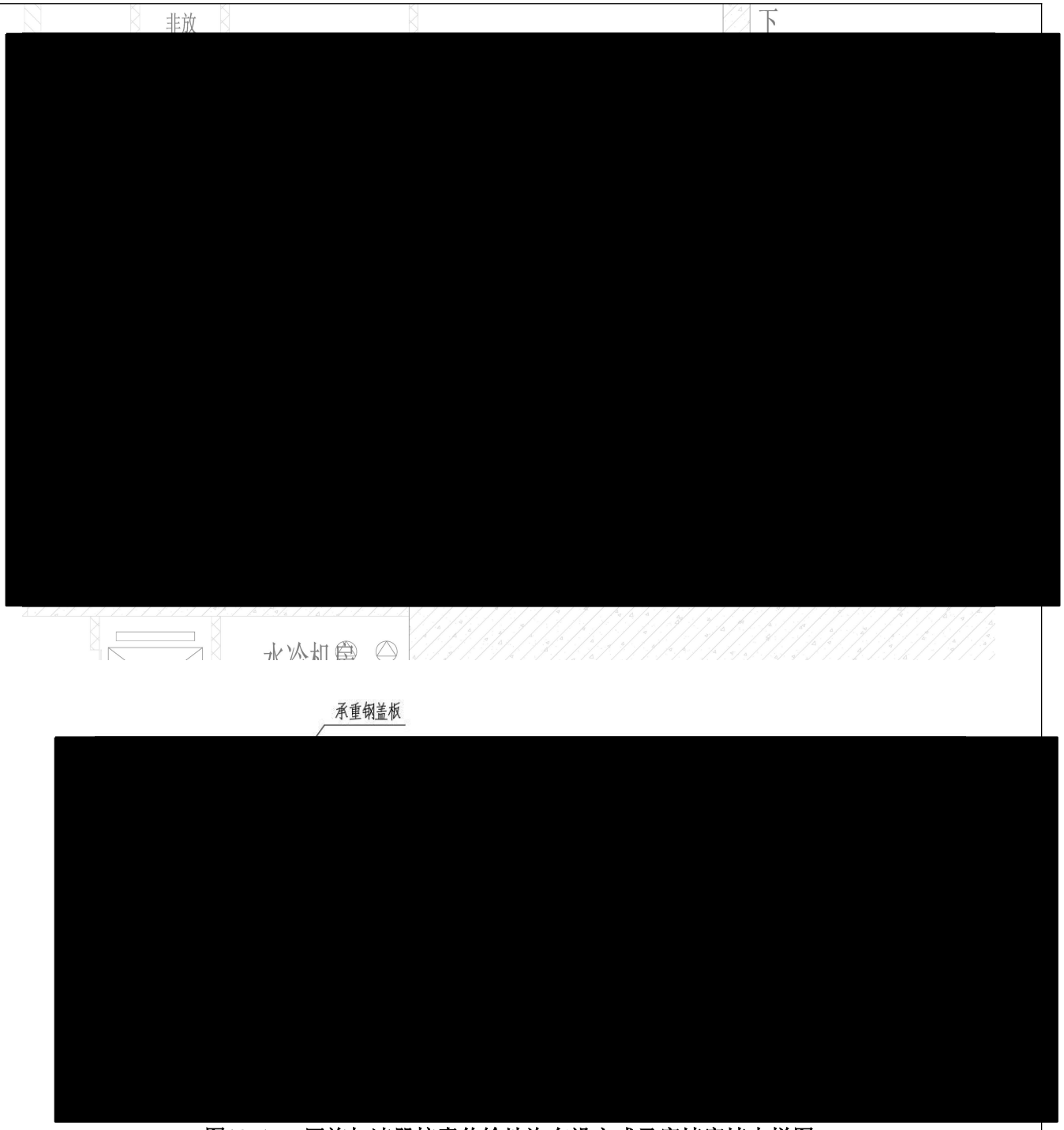


图10-15　回旋加速器核素传输地沟布设方式及穿墙穿墙大样图

（5）回旋加速器机房各类穿墙管线

回旋加速器机房通风管道及泄压管道采用“Z”型设计穿过机房屏蔽墙，电缆沟拟采用“U”型设计穿过机房屏蔽墙，通过多次折返的设计，增加管道中泄漏射线的散射次数和衰减，通风管道（新风/排风，截面尺寸 400mm×250mm）从机房东北侧防护门上方穿墙，穿墙口最低距地高度约 3.8 米；消防泄压管道（截面尺寸 700mm×340mm）从机房西北侧上方穿墙，穿墙口最低距地高度约 4.2 米；电缆沟（截面尺寸 200mm×300mm）从机房西北侧地面下方穿墙，

穿墙口最高处距地面为 300mm； 本项目回旋加速器机房各类穿墙管线除通风管道、泄压管道及电缆沟截面尺寸较大外，其余穿墙空洞为直径 25～150mm，且多为斜穿，回旋加速器机房通风管道、泄压管道及电缆沟穿墙大样见图 10-16，具体各类穿墙节点大样见附图 21。

[redacted]

泄压口穿墙大样 1:50

[redacted]

回旋加速器暖通留洞做法2 1:50

[redacted]

图10-16　回旋加速器机房泄压口、暖通及电缆沟穿墙大样图

10.2.4辐射安全和防护、环保相关设施

10.2.4.1辐射安全措施

（1）动物实验场所

1）电离辐射警告标志

建设单位计划在控制区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。在小动物 PET-CT 机房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为红色，防护门打开时，指示灯灭。

2）紧急止动装置及紧急开门按钮

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小动物 PET-CT 停止运行。

在防护门入口处设置有紧急开门按钮，一旦在检查过程中出现紧急情况，工作人员按动紧急开门按钮即可打开防护门。

3）操作警示装置

小动物 PET-CT 扫描时，操纵台上的指示灯变亮，警示装置发出警示声音。

（2）核素制备场所

1）回旋加速器室安全设施

①自屏蔽回旋加速器运行与自屏蔽装置实现联锁，即：回旋加速器本身有一套完整的安全联锁装置，只有当靶、离子源、D 型盒、磁铁线圈、冷水系统达到一定流量时，束流才能达到靶上；只有当自屏蔽体封闭、离子源射频屏蔽箱盖关闭、射频电源箱柜的门关闭才能出束。

②机房门-机联锁，即：回旋加速器机房门未关闭，或者运行时机房门开启，则回旋加速器无法正常运行，设备不能出束。

③工作指示灯：回旋加速器机房防护门外拟设置红黄绿三色工作指示灯信号，用于提示机房内设备的运行状态。红灯亮表示加速器正在出束工作；黄灯亮表示加速器已停机，加速器屏蔽门处于打开状态，非职业工作人员禁止入内；绿灯亮表示加速器已停机，屏蔽门处于关闭状态；

④电离辐射警告标志：回旋加速器工作场所入口醒目位置设置电离辐射警告标志；

⑤紧急开门开关：回旋加速器机房入口门内侧及外侧，靠近防护门处设置 1 个开门开关，当人员被关在机房内紧急情况下按下开关，可实现防护门从内部打开，同时加速器停止出束；

⑥急停开关：回旋加速器机房进出口、控制台操作台合适位置上各设置 1 个急停开关，人员滞留在机房内时就可以按下开关，实现加速器停止出束；

⑦钥匙控制：回旋加速器控制台的开关机用钥匙控制，钥匙由专人保管，其他非加速器控制人员不能接触。

⑧固定式剂量监测：回旋加速器机房防护门内设置固定式γ射线剂量率和中子剂量率监测探头；

⑨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，同时防护门也不能正常关闭。

⑩视频监控：回旋加速器机房内拟安装视频监控，监视器设置于控制室内，工作人员可及时掌握回旋加速器机房内部情况。

2）热室工作场所安全设施

①电离辐射警告标志：热室入口醒目位置设置电离辐射警告标志；

②当加速器制备出核素之后，放射性核素传输之前，热室设备将根据程序设定，自动检测

合成热室的门是否已经关闭，合成热室里面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剂量监测：热室内安装固定式剂量率仪探头，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。

3）质控室工作场所安全设施

①电离辐射警告标志：质控室入口醒目位置设置电离辐射警告标志；

②剂量监测：质控室内设置固定式剂量率仪，当探测到剂量率超过设置阈值时，则质控室内声光报警，人员马上撤离。

4）放化实验室安全设施

①电离辐射警告标志：放化实验室入口醒目位置设置电离辐射警告标志；

②剂量监测：放化实验室内设置固定式剂量率仪探头，当探测到剂量率超过设置阈值时，则放化实验室内声光报警，人员马上撤离。

综上，本项目核素制备场所辐射安全防护设施示意图见图 10-17。

图10-17　核素制备场所辐射安全防护设施示意图

根据上述辐射防护与安全措施可知，本项目回旋加速器在设备自检正常，各项安全系统正

常的情况下，方可由专人启动钥匙开关，设定开机程序，设备出束，工作状态指示灯亮。固定式剂量率仪检测机房内辐射剂量率水平，控制室内报警灯亮。反之，若未启动钥匙开关或防护门未关闭，则回旋加速器不能正常出束。本项目回旋加速器辐射安全联锁逻辑关系见图 10-18。

[redacted]

图10-18　本项目回旋加速器辐射安全联锁逻辑关系图

（3）核素诊断场所及敷贴治疗场所

1）电离辐射警告标志

建设单位拟在核医学科核素诊断及敷贴治疗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 机房和 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 或 SPECT-CT 停止运行。

3）操作警示装置

PET-CT 或 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、核素诊断工作及敷贴治疗场所出入口情况；PET-CT 机房、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

在核素诊断工作及敷贴治疗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。

（4）核素门诊治疗场所

1）医院对 ^{131}I 的给药、服药等全程采取监控措施；

2）核素门诊治疗场所出入口、铅废物桶表面拟设置符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志；

3）核素门诊治疗场所拟设置动力排风装置，并保持良好的通风；

4）医院在核素门诊治疗场所的控制区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。

10.2.4.2 辐射防护用品

根据国家标准要求，应为相关人员配备防护用品，以减少不必要的照射，该项目核医学工作场所拟配备防护设施及用品种类及数量见表 10-14。

表 10-14 本项目核医学科防护设施及用品配备计划

动物实验场所				
序号	防护用品名称	数量	相关参数	设置场所
1	储源铅箱	1 个	[redacted]	储源室
2	药物铅罐	2 个		储源室
3	通风橱	2 台		注射室、核医学科研实验室
4	活度计	1 台		注射室
5	注射器屏蔽套	1 套		注射室
6	放射性废物桶	6 个		核医学科研实验室、小动物 PET-CT 机房、污物暂存间、解剖室、消毒灭菌室、注射室
7	移动铅屏风	1 个		小动物 PET-CT 机房
8	铅防护动物转运箱	1 个		动物转运使用
9	废物衰变箱	2 个	1 50	废药暂存间
10	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	4 套		核医学科研实验室、数据处理室
11	去污工具	2 套		缓冲间
12	表面污染监测仪	1 台		缓冲间
13	个人剂量报警仪	2 台		人员随身携带
14	个人剂量计	1 个/人		人员随身携带
15	防护应急物品	若干		缓冲间、核医学科研实验室
核素制备场所				
序号	防护用品名称	数量	相关参数	设置场所

1	药物转运铅罐	3 个	[redacted]	热室
2	手套箱	3 台		放化实验室（2 间）、质控室
3	分装柜	2 台		热室
4	合成柜	4 台		热室
5	活度计	4 台		放化实验室（2 间）、热室
6	固定式剂量率仪	1 套		监测显示器设置在回旋加速器控制室，在回旋加速器机房防护门外、加速器控制室、热室、质控室、放化实验室内设置各设置 1 个监测探头和声光报警装置
7	放射性废物桶	4 个		放化实验室（2 间）、热室、回旋加速器机房
8	废物衰变箱	2 个	15 50c	废物间
9	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	4 套		热室、放化实验室、质控室
10	去污工具	2 套	/	缓冲间
11	表面污染监测仪	2 台	/	退更检测室
12	个人剂量报警仪	2 台	/	人员随身携带
13	个人剂量计	1 个/人	/	人员随身携带
14	长柄小推车	1 辆	/	核素制备场所
核素诊断及敷贴治疗场所				
序号	防护用品名称	数量	相关参数	设置场所
1	储源铅箱	1 个	[redacted]	1 号储源室
2	药物铅罐	3 个		1 号储源室
3	手套箱	1 台		2 号分装室
4	手套箱	1 台		1 号分装室
5	手套箱	1 台		敷贴治疗制药室
6	活度计	3 台		1 号分装室、2 号分装室、敷贴治疗制药室
7	入墙式注射台	1 套		2 号分装室
8	入墙式注射台	1 套		1 号分装室
9	注射器屏蔽套	2 套		2 号分装室
10	注射器屏蔽套	2 套		1 号分装室
11	放射性废物桶	4 个		2 号分装室、PET 注射后候诊室、PET 留观室、PET 患者注射窗台下方
12	放射性废物桶	5 个		1 号分装室、SPECT 注射后候诊室、SPECT 留观室、抢救室、SPECT 患者注射窗台下方
13	放射性废物桶	2 个		敷贴治疗室及其制药室
14	废物衰变箱	6 个	5	放射废物暂存间
15	移动铅屏风	5 扇		PET 注射后候诊室、SPECT 注射后候诊室各设 2 扇，PET 机房内设 1 扇

16	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	6 套	[redacted]	1 号分装室、2 号分装室、PET-CT 控制室、SPECT-CT 控制室、敷贴治疗制药室
17	去污工具	2 套		卫生通过间
18	表面污染监测仪	1 台		退更检测室
19	个人剂量报警仪	4 台		人员随身携带
20	个人剂量计	1 个/人		人员随身携带
21	防护应急物品	若干		抢救室、各留观室、各注射后候诊室
核素门诊治疗场所				
序号	防护用品名称	数量	相关参数	设置场所
1	储源铅箱	1 个	[redacted]	2 号储源室
2	药物铅罐	2 个		2 号储源室
3	手套箱	1 台		3 号分装室
4	活度计	1 台		3 号分装室
5	入墙式注射台	2 套		3 号分装室
6	注射器屏蔽套	2 套		3 号分装室
7	放射性废物桶	5 个		3 号分装室、^{131}I 给药室、留观室、门诊注射室、甲吸测定室
8	废物衰变箱	2 个	10 50c	放射性废物间
9	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	2 套		3 号分装室
10	去污工具	2 套	/	缓冲间
11	表面污染监测仪	1 台	/	退更检测室
12	个人剂量报警仪	2 台	/	人员随身携带
13	个人剂量计	1 个/人	/	人员随身携带
14	防护应急物品	若干	/	3 号分装室、留观室
其他				
1	环境辐射巡测仪	1 台	/	放疗科、核医学科、介入手术室及 ERCP 手术室等场所共用

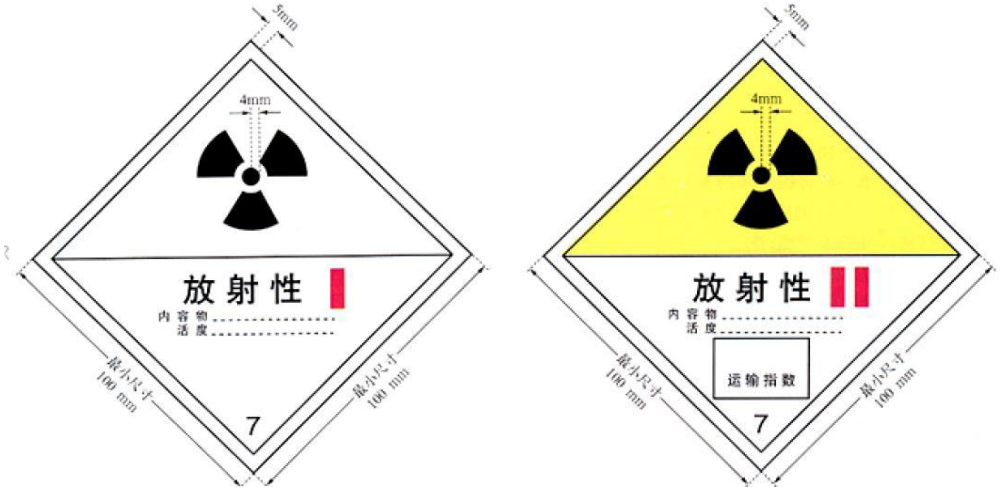
10.2.4.3 放射性药物的包装、运输控制措施

本项目核医学科核素制备场所生产的正电子放射性核素药物仅供医院内部[redacted]核医学科使用，相关药物包装、运输控制措施如下：

（1）建立放射性同位素生产台账，并定期上报环保管理部门。

[redacted]射性药物使用专用放射性物品包装容器，安全适用，具有与放射性剂量相适应的防护装置。本项目拟采用 A 型货包屏蔽容器，一般货包分为三层包装结构，第一层为与放射性物料直接接触的储液瓶（罐），储液瓶（罐）口有密封胶塞并压有铝盖，在搬运过程中不会发生液体倾洒，第二层包装结构为屏蔽辐射照射的屏蔽铅罐或铅套，第三层包装结

构为缓冲泡沫塑料和铁皮外桶或纸箱，起到保护屏蔽铅罐或铅套不受外力破坏的作用。货包准备好以后在装车前需对每个货包表面γ辐射剂量率和β表面沾污进行监测，并经监测达标后才进行装车，同时根据货包分级在外包装张贴标识（如图 10-19 所示）。对于例外货包需在包装外张贴“放射性”字样[redacted]辐射安全。



Ⅰ级（白）标志　　Ⅱ级（黄）标志

图 10-19 货包电离辐射标识

（3）对直接从事医院内部放射性药品转运的工作人员进行运输安全和应急响应知识的培训，并进行考核；考核不合格的，不得从事相关工作。对直接从事放射性物品运输的工作人员进行个人剂量监测，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

10.2.4.4 放射性药物的存放控制措施

本项目核医学科使用的正电子放射性核素药物为医院自行生产或外购，本项目核素制备场所生产的放射性药物分装好后经外包间送至负二层的核素诊断及敷贴治疗场所的 1 号储源室和负一层的动物实验场所的储源室内暂存，所有放射性药物均不在核素制备场所暂存。其余核医学科诊断治疗药物提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在 1 号储源室、2 号储源室或核医学动物实验场所的储源室内。

本项目热室、外包间均设置门禁，只有相关工作人员才能进入。此外，拟在热室、外包间、药物通道等区域设置监控设施。核医学科工作场所内放射性废物暂存间及储源室均设置储源室设置双人双锁保险柜、入侵防盗报警装置、固定式γ探头、监控等安保设施。放射性药物转运、放射性废物运出由专人完成，并形成记录，确保其运输过程的辐射安全。

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、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的“六防”安全设施的贮存场所，且不得将放射性药物与易燃易爆及其他危险物品放在一起。

10.2.4.5 表面污染控制措施

为保证非密封源工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，环评提出以下管理措施和要求：

（1）放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；

（2）操作放射性药物时，须在有负压的通风橱或手套箱内进行，防止放射性物质撒漏；

（3）放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品；

（4）操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

10.2.4.6 人员防护措施

（1）辐射工作人员的防护在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

屏蔽防护：通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的辐射危害；为核素操作人员配备铅防护手套、铅衣等个人防护用品，注射器配备注射防护套和注射器防护提盒。

时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

距离防护：在不影响工作质量的前提下，保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。

（2）其他人员防护

屏蔽防护：辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、地坪、门、窗等实体进行屏蔽防护。

时间防护：设置明显的警示措施，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：设置必要的防护、隔离、警示措施，尽可能增大人员与辐射场所之间的防护距离。

10.2.4.7 操作过程中的防护措施

医生在进行放射性药品分装、测活、注射操作时首先做好个人防护，包括穿戴铅衣，铅眼镜、铅手套、工作帽等，均具备 0.5mmPb 当量。放射性药品分装及 ^{32}P 敷贴器制作操作均在分装柜（通风橱或手套箱）内完成，分装柜设置有相应的铅当量防护层，分装测活后放射性药品装于配备屏蔽套的注射器中，将其置于注射器防护提盒内后转运至注射台，注射时医院和病人之间设置有相应铅当量的入墙式注射台。分药时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。分装柜底部设有废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。注射时注射器外还配有注射器铅防护套，注射操作台拟采用铅玻璃防护。注射操作时，医生（采取相应防护措施）与病人及药物分别位于铅玻璃的两侧，病人注射后进入注射后候诊室候诊。

敷贴治疗制药室拟配备 1 套 ^{32}P 敷贴器制作专用工具，敷贴治疗室内拟配备乳胶手套及 1 个有机玻璃面罩，用于保护辐射工作人员；拟配备 3 个 3mm 厚的橡皮在不接触患者皮肤的一面进行覆盖屏蔽；拟配备 1 个具有报警功能的计时器，便于每次治疗时能控制照射时间，治疗过程中应密切观察治疗反应和病变治疗情况，及时调整照射剂量，防止产生并发症。

核素治疗场所中甲亢治疗及甲吸检查使用的 ^{131}I 放射性药物均采用手动分装，医生在 3 号分装室的手套箱内分装分装完成后转移至给药窗口，语音指导患者服药，甲亢患者和甲吸受检者服药后即可离开核医学科。

医生在进行放射性药品质检操作时首先做好个人防护，包括穿戴铅衣，铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，均具备 0.5mmPb 当量。工作人员分装少量药物并置于铅防护罐内，通过药物传递窗口送达质控室。质控人员将药物转移至手套箱内，利用注射器或毛细管在手套箱内沾取少量药物进行质控检测。

10.2.4.8 对服药和注射后病人的防护措施

首先告知病人及家属辐射可能带来的危害性，患者要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在候诊室内驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区并尽量远离非密封源工作场所，同时需要求患者在注射后在注射后候诊室静候，禁止随意走动，呕吐物和排泄物要排入注射后候诊室内专用厕所，最终排入衰变池。

10.2.4.9 气流组织

本项目核医学科动物实验场所、核素制备场所、核素诊断及敷贴治疗场所和核素门诊治疗场所通风系统均独立设置，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉感染，保证工作场所的空气质量。且各辐射工作场所中的手套箱、通风橱、分装柜及合成柜均拟设置独立排风（设计风速不小于 0.5m/s），均拟设计放射性过滤装置，专用管道和风机，经风管引至建筑物的屋顶排出，排风机设置在屋顶，并在排风管路末端，保持整个管路负压。

10.3 介入放射学项目设施安全与防护分析

10.3.1 工作场所布局分析及分区情况

（1）工作场所布局分析

本项目介入放射学机房分布于医技住院楼一层、三层和四层。医技住院楼一层西北侧急诊科拟设置 2 间急诊手术室（DSA+CT 复合手术室），医技住院楼三层西南侧介入中心拟设置 4 间 DSA 手术室，医技住院楼三层西侧内镜中心拟设置 2 间 ERCP 机房，医技住院楼四层西南侧手术中心拟设置 2 间复合手术室（DSA+MRI），相关机房设置情况详见表 10-15 至表 10-18。

表 10-15　医技住院楼一层拟设急诊手术室情况一览表

机房	急诊手术室 1	急诊手术室 2
机房上方布局	治疗室、设备库房	办公室、库房、更衣室
机房下方布局	车库	车库
机房东面布局	CT 暂存间	楼梯间
机房南面布局	病人通道	病人通道、卫生间
机房西面布局	候诊过道	CT 暂存间
机房北面布局	控制室、设备间、过道	控制室、过道
防护门	北墙中部和东侧分别各设一扇平开门 南墙中部设一扇平移门 东墙中部设三扇推拉门（三联门）	北墙东侧和中部分别各设一扇平开门 南墙中部设一扇平移门 西墙中部设三扇推拉门（三联门）
观察窗	北墙东侧	北墙西侧
控制位	手术室北侧	手术室北侧

表 10-16 医技住院楼三层拟设 DSA 手术室情况一览表

机房	DSA 手术室 1	DSA 手术室 2	DSA 手术室 3	DSA 手术室 4
机房上方布局	洁净走廊、缓冲间、复合手术室 1	手术室 OR26、污物走廊	急诊手术室控制室、洁净走廊	手术室 OR28、污物走廊、MRI 机房
机房下方布局	急诊门厅	急诊抢救大厅	药房、门厅	急诊诊室、过道
机房东面布局	控制走廊	洁净走廊	控制走廊、缓冲间	洁净走廊
机房南面布局	设备间、导管库	导管库、设备间、污物走廊	设备间、净化机房	洁净走廊
机房西面布局	污物走廊	控制走廊	室外临空	控制走廊
机房北	电梯间、洁净走	洁净走廊	污物走廊、导管库	设备间、铅衣存放

面布局	廊、污物走廊			间、污物走廊
防护门	北墙东侧设一扇平移门； 西墙南侧设一扇平移门； 东墙南侧设一扇平开门	北墙西侧设一扇平移门； 南墙东侧设一扇平移门； 西墙南侧设一扇平开门；	南墙西侧设一扇平开门； 东墙北侧设一扇平开门； 东墙南侧设一扇平移门； 北墙西侧设一扇平移门	西墙北侧设一扇平开门； 北墙东侧设一扇平移门； 南墙西侧设一扇平移门
观察窗	东墙中部	西墙中部	东墙北侧	西墙中部
控制位	手术室东侧	手术室西侧	手术室东侧	手术室西侧

表 10-17　医技住院楼三层拟设 ERCP 机房情况一览表

机房	1 号 ERCP 机房	2 号 ERCP 机房
机房上方布局	手术中心过道、手术室 OR26	无菌间
机房下方布局	医护休息室	急诊示教室
机房东面布局	控制室	内镜洗消区、过道
机房南面布局	库房	室外临空
机房西面布局	洁净走廊	控制室
机房北面布局	缓冲间、更衣室	缓冲间、控制室
防护门	东墙北侧设一扇平开门 北墙西侧设一扇平移门	北墙东侧设一扇平开门； 西墙南侧设一扇平移门
观察窗	东墙中部	西墙中部
控制位	机房东侧	机房西侧

表 10-18　医技住院楼四层拟设复合手术室情况一览表

机房	1 号复合手术室	2 号复合手术室
机房上方布局	休息室、上人屋面	上人屋面
机房下方布局	介入中心 DSA1 号机房、控制室、库房	介入中心缓冲间、净化机房、洁净走廊、办公室
机房东面布局	污物走廊	污物走廊
机房南面布局	MRI 设备间	污物走廊
机房西面布局	缓冲间、库房、控制室	控制室、缓冲间、库房
机房北面布局	洁净走廊	MRI 设备间
防护门	西墙北侧和东墙北侧分别设一扇平移门 西墙南侧设一扇平开门 南墙中部设双扇推拉门	西墙中部和东墙中部分别设一扇平移门； 西墙北侧设一扇平开门 北墙中部设双扇推拉门
观察窗	西墙南侧	西墙北侧
控制位	机房西南侧	机房西北侧

本项目急诊手术室、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房布局与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）对照分析见表 10-19。

表 10-19 本项目急诊手术室、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房布局与标准对照分析

项目	GBZ 130-2020 要求	设置情况	评价
机房布置情况	每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求	本项目拟设置的 DSA 及中型 C 臂机设备均设有单独的机房，机房最小使用面积及最小单边长度均满足设备的布局要求	满足
	X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻	本项目急诊手术室、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房分布于医技住院楼一层、三层和四层，	满足

	室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全	相邻区域均没有产科、儿科等敏感科室，采取了相应的屏蔽防护措施，考虑了邻室及周围场所的人员防护与安全	
	应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位	本项目新增 DSA 及中型 C 臂机设备有用线束不会直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位	满足
受检者候诊区	受检者不应在机房内候诊	本项目急诊手术室、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房的受检者均不在机房内候诊	满足
机房面积	单管头 X 射线设备：机房最小有效使用面积不小于 20m^2，最小单边长度不小于 3.5m； CT：机房最小有效使用面积不小于 30m^2，最小单边长度不小于 4.5m（本项目急诊手术室应满足该要求）	急诊手术室 1（复合手术）：8.4m×6.55m=55.02m^2 急诊手术室 2（复合手术）：8.4m×6.55m=55.02m^2 DSA 手术室 1（介入手术）：7.9m×6.4m=50.56m^2 DSA 手术室 2（介入手术）：7.65m×6.4m=48.96m^2 DSA 手术室 3（介入手术）：11.6m×7.35m=85.26m^2 DSA 手术室 4（介入手术）：9.3m×7.1m=66.03m^2 1 号 ERCP 机房（中型 C 臂机房）：7.05m×4.81m=33.91m^2 2 号 ERCP 机房（中型 C 臂机房）：7.05m×4.76m=33.56m^2 1 号复合手术室（复合手术）：9.2m×7.6m=69.92m^2 2 号复合手术室（复合手术）：9.4m×7.6m=71.44m^2	满足

经对照分析可知，本项目拟建急诊手术室、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房的设置满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）平面布局的要求，急诊手术室、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房采取了防辐射的屏蔽措施，能够满足放射诊疗需求，并且充分考虑了相邻场所的防护安全，因此，本项目工作场所布局合理，平面布局图详见附图 18～附图 20。

（2）工作场所分区

医院根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的相关要求，并结合医院实际情况以及该项目的特点，拟将本项目急诊手术室、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房辐射工作场所划分为控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。

本项目急诊手术室、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房控制区和监督区划分如下：

控制区：急诊手术室（包括移动 CT 暂存间）、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房内部区域；

监督区：与急诊手术室、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房紧邻的辅助工作用房（控制室、准备间、设备机房）、相邻诊室等。

本项目急诊手术室、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房控制区和监督区的划分详见附图 18～附图 20。本项目急诊手术室、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房辐射工作场所监

督区、控制区划分明确、独立，设置合理，满足辐射防护管理和职业照射控制要求，符合GB18871-2002的规定。

10.3.2 辐射安全及防护措施

本项目DSA及中型C臂机射线装置的主要辐射为X射线，对X射线的基本防护原则是减少照射时间、远离射线源及加以必要的屏蔽。本项目对DSA及中型C臂机射线装置产生的X射线外照射的防护措施主要有以下几方面。

（1）设备固有安全性

本项目使用的DSA及中型C臂机射线装置，拟购买于正规厂家，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020），设备具备以下安全防护措施：

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的过滤板，以多消除软X射线以及减少二次散射，优化有用X射线谱。设备提供适应不同应用时所可以选用的各种形状与规格的准直器隔板和过滤板。

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，即称之为图像冻结（last image hold，LIH）。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配备相应的表征剂量的指示装置：配备有相应的表征剂量的指示装置，当机房内出现超剂量照射时会出现报警提醒。

⑥急停开关装置：介入手术床旁设置急停开关（各开关串联并与X射线系统连接）。X射线系统出束过程中，一旦出现异常，按动急停开关，可停止X射线系统出束，并在急停开关旁设置醒目的中文提示。

（2）本项目急诊手术室、DSA手术室、复合手术室和ERCP机房辐射屏蔽设计

本项目介入手术室、复合手术室和中型C臂机房防护设计方案详见表10-20。

表10-20 本项目急诊手术室、DSA手术室、复合手术室和ERCP机房防护设计方案一览表

场所	屏蔽体	拟采取的屏蔽防护材料及厚度
急诊手术室1-2	四侧墙体	370mm实心红砖+10mm硫酸钡涂料
	机房间隔墙	4mmPb辐射防护板
	顶棚	150mm砼+20mm硫酸钡涂料

	地坪	180mm 砼+15mm 硫酸钡涂料
	防护门	内衬 3.5mm 铅板
	观察窗	3.5mm 铅当量防护玻璃
DSA 手术室 1-4	四侧墙体	370mm 实心红砖+10mm 硫酸钡涂料
	顶棚	260mm 砼
	地坪	260mm 砼
	防护门	内衬 4mm 铅板
	观察窗	4mm 铅当量防护玻璃
1-2 号 ERCP 机房	四侧墙体	370mm 实心红砖+10mm 硫酸钡涂料
	顶棚	260mm 砼
	地坪	260mm 砼
	防护门	内衬 4mm 铅板
	观察窗	4mm 铅当量防护玻璃
复合手术室 1-2	四侧墙体	3mmPb 辐射防护板
	顶棚	260mm 砼
	地坪	260mm 砼
	防护门	内衬 3.5mm 铅板
	观察窗	3.5mm 铅当量防护玻璃
注：表中砼为标准混凝土，密度为 2.35g/cm^3；铅的密度为 11.3g/cm^3，实心红砖的密度为 1.65g/cm^3；硫酸钡涂料的密度不小于 2.79g/cm^3。		

根据医院采购意向，本项目 DSA 射线装置管电压不超过 150kV，中型 C 臂机射线装置管电压不超过 150kV。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C.1.2 可计算不同管电压下不同材料厚度等同的铅当量。

根据本项目 DSA 和中型 C 臂机设备的特性，工作场所顶棚主要考虑设备主射线的影响，其余区域主要考虑设备散射线和泄漏射线的影响，本项目 DSA 和中型 C 臂机设备在实际使用中不会使用到最大管电压（150kV），但保守估计，在折合屏蔽体铅当量时，仍分别按照 150kV 下辐射衰减拟合参数进行铅当量折算。

表 10-21 铅、砖、混凝土对射线装置管电压的 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压（kV）	铅			混凝土			砖		
	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ
150（有用线束）	1.757	5.177	0.3156	0.03243	0.08599	1.467	—	—	—
150（90°非有用线束）	1.791	5.478	0.5678	0.03240	0.07750	1.566	—	—	—
125（有用线束）	—	—	—	—	—	—	0.0287	0.067	1.346
注：①数据引自《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中表 C.2 和表 C.3，其中没有砖在 150kV 管电压下的拟合参数，考虑到本项目 DSA 和中型 C 臂机设备实际使用时一般达不到 125kV，故本项目采用砖在 125kV（有用线束）下的拟合参数，对其铅当量进行核算。									

本项目混凝土的密度为 2.35g/cm^3，铅的密度为 11.3g/cm^3，实心红砖的密度为 1.65g/cm^3。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C.1.2，可计算得出 150kV 主束辐射下：150mm 混凝土等效铅当量约为 1.6mmPb，180mm 混凝土等效铅当量约为 1.9mmPb，260mm 混凝土等效铅当量约为 3mmPb；150kV 散射辐射下：150mm 混凝土等效铅当量约为

1.9mmPb，180mm 混凝土等效铅当量约为 2.4mmPb，260mm 混凝土等效铅当量约为 3.6mmPb；125kV 主束辐射下：370mm 实心红砖等效铅当量约为 3.9mmPb。

本项目拟使用的硫酸钡防护涂料密度不低于 2.79g/cm³，参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）P105，管电压为 150kV 时，17mm 硫酸钡涂料（钡水泥）为 1mmPb，38mm 硫酸钡涂料为 2mmPb，利用插值法可计算得:10mm 硫酸钡涂料等效铅当量约为 0.6mmPb,15mm 硫酸钡涂料等效铅当量约为 0.9mmPb,20mm 硫酸钡涂料等效铅当量约为 1.1mmPb。

本项目急诊手术室、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房各屏蔽防护材料折算后的等效屏蔽铅当量，具体结果见表 10-22。

表 10-22 本项目急诊手术室、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房屏蔽材料的铅当量折算结果

场所	屏蔽体	拟采取的屏蔽防护材料及厚度	等效铅当量（mmPb）	GBZ130-2020 标准要求	评价
急诊手术室 1-2	四侧墙体	370mm 实心红砖+10mm 硫酸钡涂料	4.5	有用线束为 2.5mm 铅当量，非有用线束方向为 2.5mm 铅当量（按 CT 机房标准要求）	符合
	机房间隔墙（CT 暂存间）	4mmPb 辐射防护板	4.0		符合
	顶棚	150mm 砼+20mm 硫酸钡涂料	3.0		符合
	地坪	180mm 砼+15mm 硫酸钡涂料	3.3		符合
	防护门（包括 CT 暂存间防护门）	内衬 3.5mm 铅板	3.5		符合
	观察窗	3.5mm 铅当量防护玻璃	3.5		符合
DSA 手术室 1-4	四侧墙体	370mm 实心红砖+10mm 硫酸钡涂料	4.5	有用线束为 2mm 铅当量，非有用线束方向为 2mm 铅当量	符合
	顶棚	260mm 砼	3.6		符合
	地坪	260mm 砼	3.6		符合
	防护门	内衬 4mm 铅板	4.0		符合
	观察窗	4mm 铅当量防护玻璃	4.0		符合
1-2 号 ERCP 机房	四侧墙体	370mm 实心红砖+10mm 硫酸钡涂料	4.5	有用线束为 2mm 铅当量，非有用线束方向为 2mm 铅当量	符合
	顶棚	260mm 砼	3.6		符合
	地坪	260mm 砼	3.6		符合
	防护门	内衬 4mm 铅板	4.0		符合
	观察窗	4mm 铅当量防护玻璃	4.0		符合
复合手术室 1-2	四侧墙体	3mmPb 辐射防护板	3.0	有用线束为 2mm 铅当量，非有用线束方向为 2mm 铅当量	符合
	顶棚	260mm 砼	3.6		符合
	地坪	260mm 砼	3.6		符合
	防护门	内衬 3.5mm 铅板	3.5		符合
	观察窗	3.5mm 铅当量防护玻璃	3.5		符合

注：表中砼为标准混凝土，密度为 2.35g/cm³；铅的密度为 11.3g/cm³，实心红砖的密度为 1.65g/cm³；硫酸钡涂料的密度不小于 2.79g/cm³。

表 10-23 本项目急诊手术室、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房规格与标准对照表

机房名称	拟设置情况		标准要求		符合性评价
	最小单边长度（m）	有效使用面积（㎡）	最小单边长度（m）	有效使用面积（㎡）	
急诊手术室 1（复合手术）	6.55	55.02	4.5	30	符合

急诊手术室 2（复合手术）	6.55	55.02	4.5	30	符合
DSA 手术室 1（介入手术）	6.4	47.36	3.5	20	符合
DSA 手术室 2（介入手术）	6.4	48.96	3.5	20	符合
DSA 手术室 3（介入手术）	7.35	85.26	3.5	20	符合
DSA 手术室 4（介入手术）	7.1	66.03	3.5	20	符合
1 号 ERCP 机房（ERCP 治疗）	4.8	33.84	3.5	20	符合
2 号 ERCP 机房（ERCP 治疗）	4.76	33.56	3.5	20	符合
复合手术室 1（复合手术）	7.6	69.92	3.5	20	符合
复合手术室 2（复合手术）	7.7	72.38	3.5	20	符合
注：其中急诊手术室（DSA+CT 复合手术室）有效使用面积及最小单边长度按 CT 机房标准要求进行评价。					

通过表 10-22 至表 10-23 可知，本项目的急诊手术室、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房有效使用面积和最小单边长度均大于标准要求，其四面墙体、地坪、顶棚、防护门以及观察窗均采取了辐射屏蔽措施，充分考虑了邻室（含楼上及楼下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本项目急诊手术室、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

（3）距离防护

机房将严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在机房人员防护门的醒目位置张贴固定的电离辐射警告标志并安装工作状态指示灯。限制无关人员进入，以免受到不必要的照射。

（4）时间防护

在满足诊断要求的前提下，在每次使用射线装置进行诊断之前，根据诊断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射线照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照时间，也避免病人受到额外剂量的照射。

（5）其他辐射安全防护措施

①机房门外设电离辐射警告标志，机房门上方设有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；在监督区、控制区墙体合适位置张贴监督区、控制区警示标识；患者防护门为推拉门，设有防夹装置和门机连锁，且防护门上方的工作状态指示灯能与机房门有效关联；工作人员防护门为平开门，设有自动闭门装置和门机连锁，且防护门上方的工作状态指示灯能与机房门有效关联。

②控制室墙上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等。

③机房受检者出入口门外应设置黄色警戒线，警告无关人员请勿靠近。手术期间，陪护人

员禁止进入监督区域和控制区域。

④本项目所有辐射工作人员必须配备个人剂量计：在机房内的辐射工作人员应采用双剂量计检测方法（分别佩戴于铅橡胶围裙外锁骨对应的领口位置、铅橡胶围裙内躯干上）；机房内分别设置视频对讲装置 1 套，监视器位于控制台。在控制台上、介入手术床旁设置急停开关（各按钮串联并与 X 射线系统连接），一旦出现异常，按动任一个急停开关，均可停止 X 射线系统出束，并在急停开关旁设置醒目的中文提示。

⑤机房设置独立的通排风系统，能保持机房内良好的通风。

⑥电缆线通过电缆沟穿出机房，以斜 45°路径穿过机房墙体到达控制室，电缆沟表面铺设 2mm 铅板进行防护补偿，从而不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。

⑦机房内不堆放与本项目诊断无关的杂物。

⑧机房候诊区设置辐射防护注意事项告知栏。

⑨急诊手术室、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房应配备相应的防护用品与辅助防护设施，其配置要求需求按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求进行配制。

表 10-24 本项目拟配备个人防护用品与标准对照表

机房名称	人员类型	GBZ130-2020 要求		本项目拟配置情况		评价
		个人防护用品	辅助防护用品	个人防护用品	辅助防护用品	
急诊手术室 1-2；DSA 手术室 1-4；1-2 号 ERCP 机房；1-2 号复合手术室	工作人员	[redacted]				符合
	患者和受检者					符合

10.4 辐射工作场所安防措施

为确保本项目所使用的Ⅱ、Ⅲ类射线装置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 10-25。

表 10-25 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	防火	核医学各工作场所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

物质工作场所		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，可有效防止雨水渗入，同时各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核医学各工作场所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涉及放射性物质存放的场所均设计有独立的储源室，储源室已设计有实体保卫措施如：监控摄像头、入侵防盗报警装置、双人双锁及保险柜等，放射性物质的转入、转出均由专人进行台账管理。一旦发生盗抢事件，建设单位将立即启动应急预案并向生态环境、卫健和公安部门报告。 ③核医学各工作场所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	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。 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。 ③核医学科高放射性区域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辐射剂量率仪及表面污染监测仪，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。
射线装置工作场所	防盗、防抢和防破坏	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； ②各工作场均设置有红外线监控射线头实行 24h 实时监控； 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； 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。
	防泄漏	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《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）； 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。

10.5 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）中的相关检查内容，本次评价根据医院拟采取的辐射安全装置及设备进行了对照分析，具体情况见下表。

表 10-26 辐射安全防护设施汇总对照分析表

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
4		治疗室门与束流联锁（门-机联锁）	拟配置
5		治疗室内准备出束音响提示	拟配置
6	警示装置	入口电离辐射警示标识	拟配置

7		入口有加速器工作状态显示（门-灯联锁）	拟配置
8	照射室紧急设备	紧急开门按钮	拟配置
9		治疗室及迷道内有紧急停机按钮	拟配置
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率仪（超剂量联锁）	拟配置
12		个人剂量报警仪	拟配置
13		个人剂量计	拟配置
14		辐射剂量率仪 1 台（共用）	拟配置
模拟定位 CT 机房			
序号	**项目**	**规定的措施**	**落实情况**
1	场地设施	铅衣、铅围裙、铅眼镜等个人防护用品	拟配置
2		机房四周墙体、顶棚和地坪屏蔽	已设计有
3		观察窗屏蔽	已设计有
4		机房防护门	已设计有
5		通风设施	已设计有
6		入口处电离辐射警告标志	拟配置
7		入口处工作状态显示	已设计有
8		急停按钮	拟配置
9	监测设备	个人剂量计	拟配置
10		辐射剂量率仪 1 台（共用）	拟配置
核医学科核素制备场所			
序号	**项目**	**规定的措施**	**落实情况**
1	工作指示和警示	入口处电离辐射警告标志	拟设置
2		入口处工作状态显示	已设计
3		门内紧急开门按钮（指示、说明）	已设计
4		灯光和声音报警指示装置	已设计
5		紧急出口标志及应急照明	拟设置
6	安全联锁	控制台钥匙控制	已设计
7		门与加速器高压触发联锁	已设计
8		辐射剂量与门联锁	已设计
9		清场巡更系统与门连锁	已设计
10	场所设施	墙体、门防护	已设计
11		隔室操作	已设计
12		通风设施	已设计
13		门禁系统	已设计
14		清场巡更系统	已设计
15		紧急停机按钮	已设计
16		辅助防护用品	拟配备
17		回旋加速器制备场所内分区管理	已设计
18		地下沟管铅砖防护	已设计
19	监测设备	个人剂量计	拟配置
20		表面污染监测仪	拟配置
21		个人剂量报警仪	拟配置
22		固定式剂量率仪	拟配置
23		辐射剂量率仪 1 台（共用）	拟配置
24	其他	火灾报警仪	拟配置
25		灭火器材	拟配置
26		衰变池	已设计
27		放射性废物暂存间，防火、防水、防盗、防丢	已设计

		失、防破坏、防射线泄漏措施	
28		个人防护用品	拟配置
29		放射性表面去污用品和试剂	拟配置
核医学科动物实验场所、核素诊断及敷贴治疗场所、核素门诊治疗场所			
序号	**项目**	**规定的措施**	**落实情况**
1	场所设施	墙体、观察窗、机房防护门	已设计
2		场所门外电离辐射警示标志、通道标志	已设计
3		通风设施	已设计
4		有负压和过滤的工作箱/通风柜（乙级场所）	已设计
5		分区管理	拟执行
6		注射、给药用屏蔽设施	已设计
7		易去污的工作台面和防污染覆盖材料	拟设置
8		移动放射性液体时容器不易破裂或有不易破裂套	拟配置
9		放射性同位素暂存库或设施	已设计
10		放射性固体废物收集容器和放射性标识	已设计
11		安全保卫设施（贮存场所必须）	已设计
12		患者专用卫生间	拟设置（除动物实验场所外）
13		患者进出口单向门禁	
14		工作状态指示灯	拟设置（SPECT-CT 机房、PET-CT 机房）
15		门灯联锁装置	
16		室内安装紧急止动装置	
17		对讲装置	拟设置（核素诊断区、门诊治疗区）
18	监测设备	个人剂量计	拟配置
19		表面污染监测仪	拟配置
20		个人剂量报警仪	拟配置
21		辐射剂量率仪 1 台（共用）	拟配置
22	其他	火灾报警仪	拟配置
23		灭火器材	拟配置
24		衰变池	已设计
25		放射性废物暂存间，防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏措施	已设计
26		个人防护用品	拟配置
27		放射性表面去污用品和试剂	拟配置
DSA 和中型 C 臂机工作场所			
序号	**项目**	**规定的措施**	**落实情况**
1	场地设施	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
3		患者局部防护	拟配置
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
8		入口处工作状态显示	已设计
9		门灯联锁装置	拟配置
10		室内安装紧急止动装置	拟配置
11		对讲装置	拟配置
12		治疗室内准备出束音响提示	拟配置
13	监测设备	个人剂量计	拟配置

14		辐射剂量率仪 1 台（共用）	拟配置
15	其他	火灾报警仪	拟配置
16		灭火器材	拟配置
17		个人防护用品	拟配置

综上所述，本次环评涉及的辐射设备、工作场所及其人员拟采取的辐射安全措施符合中华人民共和国环境保护部令第 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序（第三版）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）等相关文件的要求。根据“表 11”中的预测结果，本项目在正常运行工况下，产生的辐射经按设计方案建设的屏蔽实体以及个人防护用品屏蔽后，所致工作人员的职业照射剂量和公众照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本次评价标准的要求，说明各辐射工作场所拟用的屏蔽材料和防护厚度是满足屏蔽防护要求的。按设计方案建设的各辐射工作场所，其拟采用的防护措施能够有效屏蔽各自辐射源产生的射线，符合相关标准要求。环评认为，本项目拟建的各辐射工作场所及其拟采取辐射安全防护措施是合理可行的。

10.6 三废分析

10.6.1 施工期三废治理

（1）废气

施工过程中产生的废气，属于无组织排放，但影响仅局限在施工现场附近区域。拟采取湿法作业控制排放扬尘，通过洒水增湿可以在很大程度上减少粉尘飞扬现象，加强管理。

（2）噪声

施工期噪声包括铺设电路时机器碰撞以及装修产生的噪声，由于施工范围小，施工期较短，施工噪声对周围环境的影响较小。

（3）废水

施工期废水主要包括施工废水和施工人员的生活污水，施工废水沉淀处理后回用，不外排。生活污水产量较小，拟依托医院临时污水处理设施进行处理。

（4）固体废物

施工中固体废物主要为装修过程产生的装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。装修垃圾能回收利用的继续利用，不能的送建筑垃圾处理厂堆放。施工人员生活垃圾由场内垃圾桶收集，日产日清，交由市政环卫部门统一收集清运。

10.6.2 运营期三废治理

10.6.2.1 废气处理措施

10.6.2.1.1 放疗科和介入放射学相关机房项目

医院拟在放疗科及介入放射学相关机房设置通、排风系统，本项目每间加速器机房拟设计排风量不小于 1500m^3/h，三间加速器机房中容积最大的约 326m^3，通风换气次数不小于 4 次/h。机房内产生的臭氧及氮氧化物经排风管道引导至地下一层排风机房内排放。

加速器机房的新风口、排风口及排风量的设置符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“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，进风口与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”与《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。”的要求。

本项目模拟定位 CT 机房、急诊手术室、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房，新风口和排风口均拟设置于装饰吊顶上，机房内废气经排风管道从风井统一排出室外，机房拟设的通排风措施符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风”的要求。

直线加速器、模拟定位 CT 机、DSA 及中型 C 臂机运行过程中产生的废气主要是微量臭氧和氮氧化物，臭氧在常温常压下稳定性较差，可自行分解为氧气，放疗科及介入放射学相关机房运行过程中产生的少量臭氧和氮氧化物对周围环境空气影响较小。

10.6.2.1.2 核医学科项目

本项目核医学科废气来源于核医学科放射性药品制备、操作过程产生的气载流出物。本项目核医学科动物实验场所、核素制备场所、核素诊断及敷贴治疗场所场所和核素门诊治疗场所的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。

（1）动物实验场所：场所内设置 3 套放射性废气排风管道系统，其中 2 套排风管道连接小动物 PET 机房、核医学科研实验室、缓冲间、解剖室、清洁间、污物暂存间、消毒灭菌室、注射室、注射后饲养室，另外 1 套排风管单独连接场所内的两台通风橱，通风橱顶壁风口安装活性炭过滤装置；上述管道最终经北侧排风井引至科研教学楼辅楼楼顶南侧排放（四层楼顶，距地高度约 20m），排气口远离周围敏感目标。新风进风量为 7000m^3，风机的排风量为 10000m^3。场所排风局部示意图见图 10-20，场所局部气体流向示意图见图 10-21。

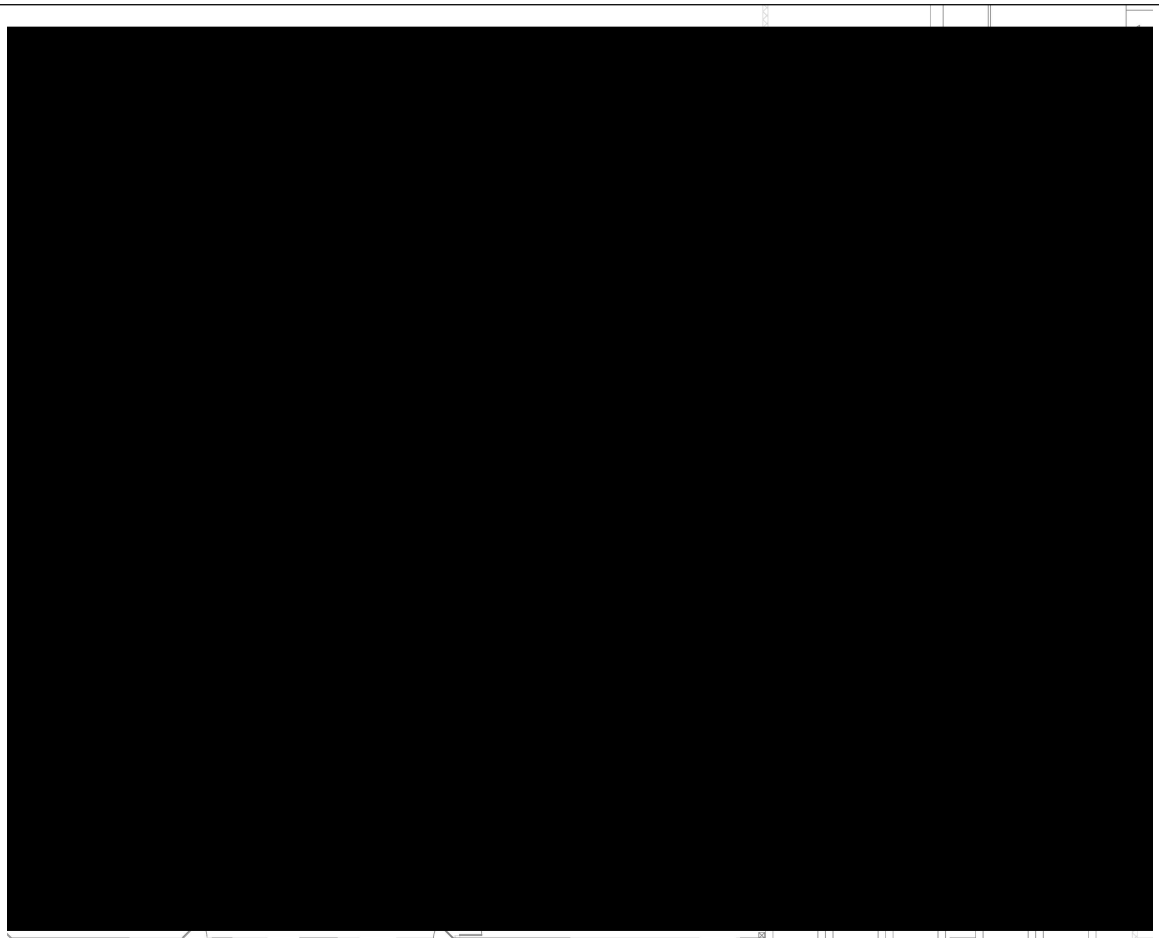


图 10-20 核医学动物实验场所排风示意图

图 10-21 核医学动物实验场所气体流向示意图

（2）核素制备场所：核素制备场所共设置有 7 套排风管路（以下简称 1 号至 7 号管路），1 号管路连接回旋加速器底部的排风管道，该管路单独设置；2 号管路排风口位于回旋加速器

机房西南角，排风口距地 300mm，该管路单独设置；3 号管路排风口单独布设于热室房间内；4 号管路排风口连接热室内合成柜及分装柜、质控室及放化实验室手套箱、阳性对照室无菌检测室和微生物实验室的生物安全柜；5 号管路连接热室缓冲区内各功能间（洁净走廊、清洁间、消毒间、缓冲间、退更检测、一更、二更）；6 号管路连接微生物实验室、无菌检测室及其缓冲区域；7 号管路连接质控区域医护走廊及其缓冲区、阳性对照室及其缓冲区、废物间、灭菌间、清洁间、放化实验室和质控室。

上述管路彼此互不干扰，管路导向区域北侧的排风井，最终引至科研教学楼楼顶中部排放（二十三层楼顶，距地高度约 104m）。相应合成柜、分装柜、手套箱及生物安全柜内腔顶部均匹配 HEPA 高效活性碳过滤器过滤，场所内所有排风均在排风口处设置了活性碳过滤装置，场所排风局部示意图见图 10-22，场所局部气体流向示意图见图 10-23。

图 10-22 核医学核素制备场所排风示意图

[redacted]

图 10-23 核医学核素制备场所气体流向示意图

（3）核素诊断及敷贴治疗场所：场所共设置有 3 套放射性废气排风管道系统，排风管道连接 PET-CT 机房、1 号储源室、PET 注射区、PET 注射后候诊室、2 号分装室、PET 留观室、PET 区域清洁间、PET 区域污物暂存间、敷贴治疗室、敷贴制药室、SPECT-CT 机房、1 号分装室、SPECT 固废暂存室、抢救室、SPECT 注射室、SPECT 注射后候诊室、SPECT 留观室、清洁间、污洗打包间、受检者走廊、医护淋浴缓冲间等配套房间；此外，场所内 1-2 号分装室和敷贴制药室内的手套箱均独立设置排风管道，手套箱内腔顶部均匹配 HEPA 高效活性碳过滤器过滤，场所内所有排风均在排风口处设置了活性碳过滤装置。最终管路汇集至场所南侧核医学专用排风井内，最终引至医技住院楼楼顶东侧排放（十一层楼顶，距地高度约 50m），排气口远离周围敏感目标。区域整体新风进风量为 7100m^3，总排风量为 9500m^3/h。场所排风局部示意图见图 10-24，场所局部气体流向示意图见图 10-25。

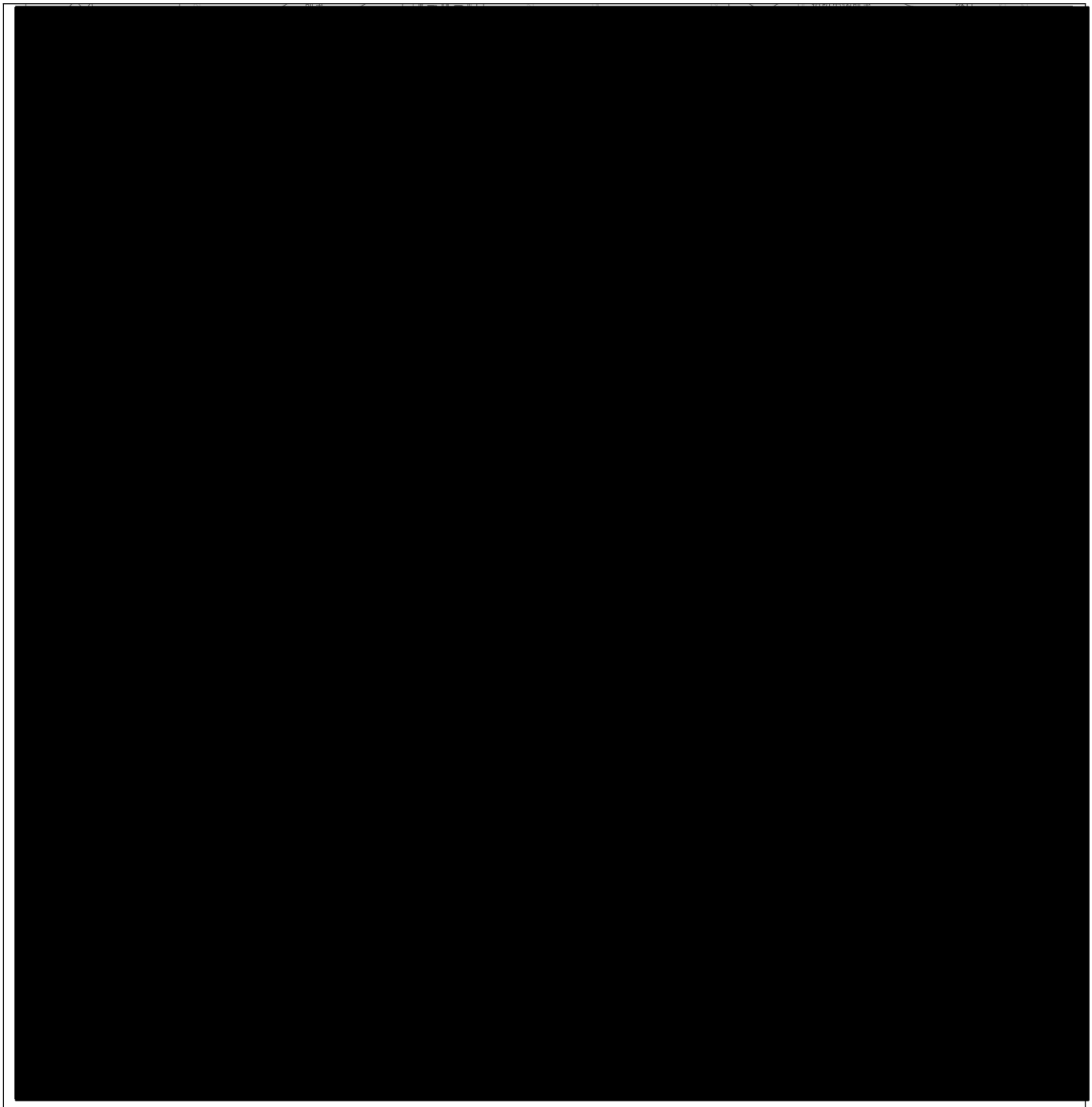


图 10-24 核医学核素诊断及敷贴治疗场所排风示意图

图 10-25 核医学核素诊断及敷贴治疗场所气体流向示意图

（4）核素门诊治疗场所：场所设置有 2 套放射性废气排风管道系统，排风管道连接 ^{131}I 给药室、^{131}I 给药后留观室、门诊注射室、3 号分装室、2 号储源室、废物暂存间、卫生通过间和甲吸测定室等配套房间；此外 3 号分装室内的手套箱单独设置一个排风管道，手套箱内腔顶部均匹配 HEPA 高效活性碳过滤器过滤，场所内所有排风均在排风口处设置了活性碳过滤装置和高效除碘过滤器。最终管路汇集至场所南侧核医学专用排风井内，与核素诊断及敷贴治疗场所排风管道一起共用南侧排风井，最终引至医技住院楼楼顶东侧排放（十一层楼顶，距地高度约 50m），排气口远离周围敏感目标。场所排风局部示意图见图 10-26，场所局部气体流向示意图见图 10-27。

[redacted]

图 10-26 核医学核素门诊治疗场所排风示意图

[redacted]

图 10-27 核医学核素门诊治疗场所气体流向示意图

核医学科气流流向为：清洁区、监督区、控制区，都单独设置了管道，控制区的负压高于监督区和清洁区，监督区为微负压，清洁区为常压，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。核医学科的放射性废气采用独立排风管道+活性炭过滤器的处理措施，过滤效率最少为95%。核医学科控制区各房间排风管道由排风井引至楼顶排放，排风口均加装活性炭过滤器，排气筒均高出屋顶，且远离周围的高层建筑，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的通风要求。此外，核医学科各场所设置的分装柜（手套箱或通风橱）及核素制备场所设置的分装、合成热室柜内腔顶部均匹配HEPA高效活性碳过滤器过滤，内腔均保持负压状态，压差均不小于-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。

核医学核素门诊治疗场所相关排风口处设置高效除碘过滤器，能有效的过滤及吸附废气中的碘-131等气载流出物，吸附效率不低于99%，达到气体排放要求。

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23～附图27。

10.6.2.1.3 非放射性废气

本项目非放射性废气主要来源于γ射线或X射线与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物，各房间已设计有排风系统(含在放射性排风系统)，少量臭氧和氮氧化物经各房间排风系统管道引至屋顶，并经过滤器过滤后排放。

本项目地下一层核素动物实验场所实验用小动物在饲养过程中会产生 NH_3、H_2S 等恶臭气体，经动物饲养间排风系统(含在放射性排风系统)的排风管道引至屋顶，经过滤器过滤后排放。

10.6.2.2 废水处理措施

10.6.2.2.1 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回旋加速器制备核素及质检过程中产生的废水、病人的排泄废水和各场所清洗废水，依据所在区域实际使用核素的半衰期情况，细分为长半衰期衰变系统和短半衰期衰变系统，长半衰期衰变系统主要承接核医学核素门诊治疗区域产生的废水，涉及放射性核素 ^{131}I（^{89}Sr 治疗病人在注射药物后直接离开，不产生放射性废水）；短半衰期衰变系统主要承接核医学核素制备场所、动物实验场所和核素诊断及敷贴治疗场所产生的放射性废水，涉及放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc。涉及的区域均设置有独立的专用卫生间，且设置有独立的放射性废水排放管道，由各功能房间地漏和下水通道统一汇总至地埋的预处理池（污泥池），然后收集的废水统一排放至衰变池中；卫生通过间、更衣应急淋浴间、污洗间等房间地漏与下水通道相连，集中收集废水排放至相应衰变池中。

医院拟在医院东南侧地面下设置放射性污水衰变池，共设置有 2 套衰变池，每套衰变池均包含 3 个衰变池，长半衰期衰变池单个池体有效容积 160m³，合计有效容积 480m³；短半衰期衰变池单个池体有效容积 42m³，合计有效容积 126m³。医院给排水总平面图及衰变池定位见附图 28，衰变池设计图见图 10-29 至图 10-31。

衰变池四周池壁和底板均采用 600mm 厚 C30 混凝土浇筑，各池体隔墙采用 400mm 厚 C30 混凝土浇筑，顶板采用 300mm 厚 C30 混凝土浇筑（顶板上方为 2000mm 厚地下土层），并进行防渗、防酸碱处理，池体内部铺设防水涂层，防渗系数≤10^{-7}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铸铁或 HDPE 高密度聚乙烯材质，对于排放管道裸露部分及衰变池检修井盖拟采用 10mm 铅皮包裹（屏蔽），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。

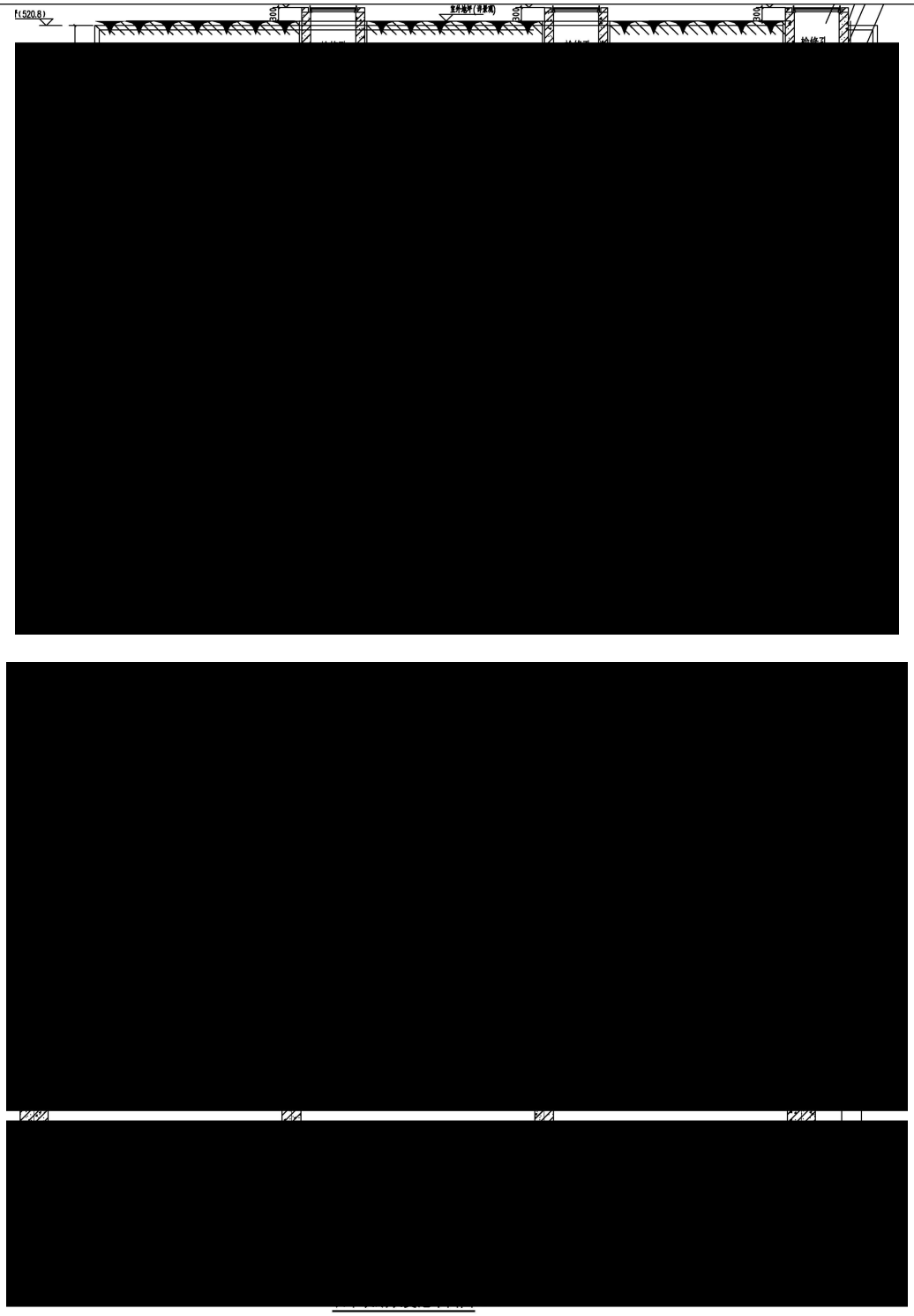
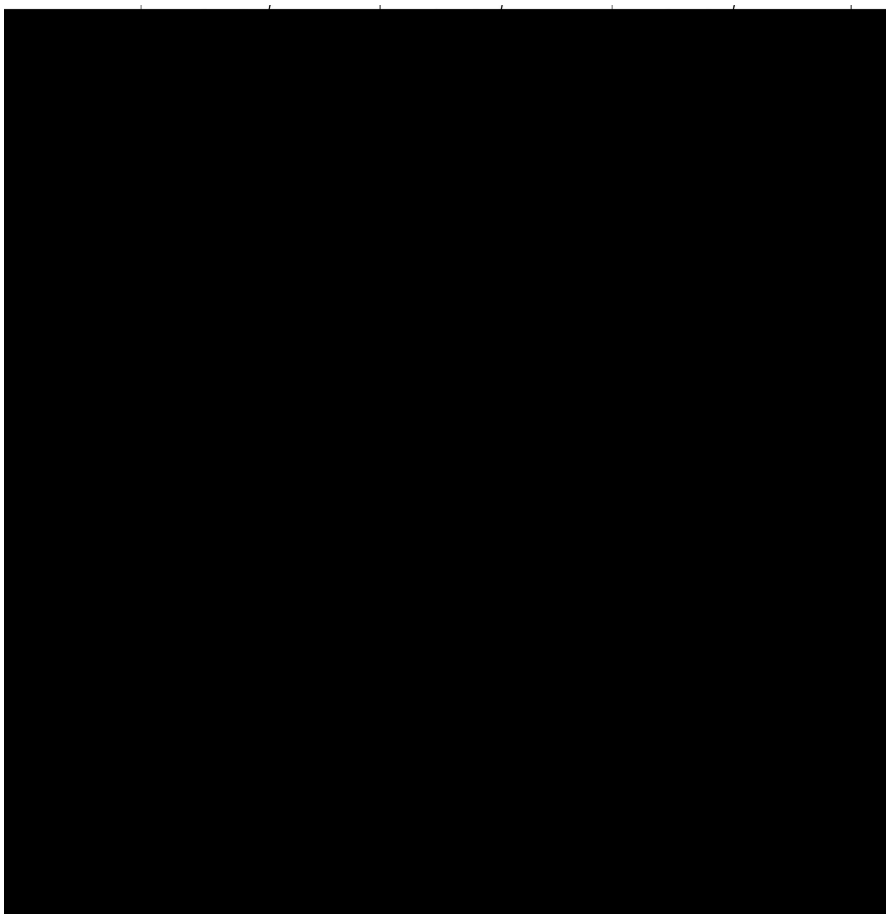
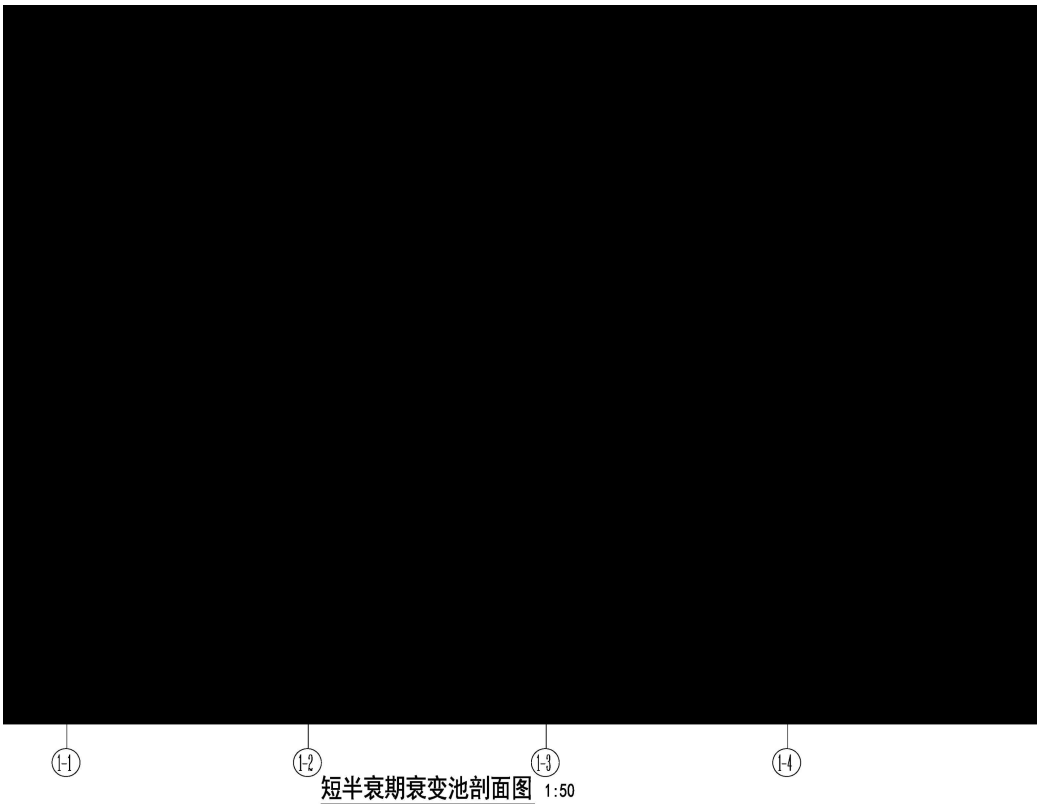


图 10-28 长半衰期衰变池系统图





短半衰期衰变池剖面图 1:50

图 10-29 短半衰期衰变池系统图

[redacted]

长半衰期污泥池平面图

图 10-30 污泥池系统图

（2）衰变池的运行原理

产生的放射性废液经专用管道排入污泥池进行固液分离，分离后的废液通过水泵排入 1 号衰变池。当 1 号衰变池收集废液时，2 号和 3 号衰变池进水阀门关闭，1 号衰变池收集满时关闭进水阀门并打开 2 号衰变池的进水阀门，2 号衰变池收集满时关闭进水阀门并打开 3 号衰变池的进水阀门，3 号衰变池废液收集满后，排放 1 号衰变池内存储的废水，排空后收集新产生的废液，如此循环反复。放射性废水自衰变池停止进水后开始计算衰变日期，经监测达标后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式排放进入医院污水管道，最终进入医院污水处理站进行处理。3 格衰变池轮流循环使用。衰变池加盖上锁，并安排专人管理。

（3）衰变池容量可行性分析

①短半衰期衰变池容量估算

本项目短半衰期衰变池主要承接核素制备场所、动物实验场所和核素诊断及敷贴治疗场所产生的放射性废水。

核素制备场所中回旋加速器制备放射性核素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；回旋加速器制备正电子放射性药物制备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；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；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 150L 计算。因此回旋加速器制药区产生的放射性废水量约 150+0.2+0.05*7+0.03*7=150.76L/d，即 0.1576m^3/d。

动物实验场所注射药物后的动物偶尔排泄物（尿液、粪便）产生量很少，采用托盘并铺以吸水性好的一次性医用吸收垫进行收集后，作为放射性固废处理，实验区域标记纯化废液、细胞实验产生的废细胞培养液及实验过程中产生的少量废水，此外场所产生的放射性废水主要为工作人员清洗淋浴废水、动物笼具清洗、应急洗消及场所清洗废水，按每天 130L 计算，因此动物核医学实验区产生的放射性废水量约 0.13m^3/d。

患者注射放射性药物后，在注射后等候室等候、留观室留观至离开前产生的排泄物，辐射工作人员洗手、淋浴及控制区场所清洗产生的放射性废水，敷贴治疗患者不产生放射性废水。SPECT 显像诊断及 PET 显像诊断患者均为门诊患者，每天最多诊断 55 名（其中 SPECT 显像诊断 30 人次/天，PET 显像诊断 25 人次/天），参考《综合医院建筑设计规范》（GB 51039-2014），患者用水量取 10L/天·人，按每周工作 5 天、每年工作 250 天工作计，辐射工作人员洗手及控制区场所清洗产生的放射性废水按每天 150L 计算，则核素诊断和敷贴治疗场所放射性废水产生量约为 10L/人×55 人/d+150L/d=0.7m^3/d。

综上所述，本项目核医学核素制备场所、动物实验场所和核素诊断及敷贴治疗场所，每日产生污水量为 0.9876m^3，本项目核医学科每周工作 5 天，则每周产生污水量为 4.938 m^3。本项目短半衰期衰变池单个池体有效容积为 42m^3，第三个衰变池蓄满后，第一个衰变池中第一周产生的污水存储时间至少为：42×2/4.938≈17.0 周（119.1 天），可确保废水在衰变池中贮存达 10 个半衰期以上（按 ^{89}Zr 计算，半衰期 78.4h）。故短半衰期衰变池设计满足要求。

②长半衰期衰变池容量估算

本项目长半衰期衰变池主要承接核素门诊治疗场所产生的放射性废水。

患者摄入放射性药物后，在离开前产生的排泄物、辐射工作人员洗手及控制区场所清洗产生的放射性废水。^{89}Sr 核素治疗患者在摄入药物后，仅休息片刻即从出口防护门离开，不产生放射性废水；^{131}I 甲亢治疗患者 5 人次/天、^{131}I 甲吸检查患者 5 人次/天，参考《综合医院建筑设计规范》（GB 51039-2014），患者用水量取 10L/天·人，按每周工作 5 天、每年工作 250 天工作计，辐射工作人员洗手及控制区场所清洗产生的放射性废水按每天 300L 计算，则核素门诊治疗场所放射性废水产生量约为 10L/人×10 人/d+300L/d=0.4m^3/d，本项目核医学科每周工作 5 天，则每周产生污水量为 2 m^3。

本项目长半衰期衰变池单个池体有效容积为 160m³，第三个衰变池蓄满后，第一个衰变池中第一周产生的污水存储时间至少为：160×2/2=160 周（1120 天），可确保废水在衰变池中贮存 180 天以上。故长半衰期衰变池设计满足要求。

衰变池每格均设有废水取样口，方便排放前对放射性废水进行取样监测，监测结果符合排放标准后可排放。每次排放应做好排放时间、监测数据、排放量等应详细记录，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衰变后的废水需监测达标（总β≤10Bq/L）才能排入医院污水处理站，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医院需建立衰变池排放台账，记录每次排放时间、排放量及监测结果情况并由专人负责管理记录；

③衰变池需设立明显的电离辐射警告标志，同时衰变池四周应设立拦挡；

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手动关闭进水阀门或自动关闭进水阀门，使废水进入另外的池体。

⑤衰变池和污泥池作为重点防渗区进行管理。

10.6.2.2.2 非放射性废水

本项目直线加速器机房、模拟定位 CT 机房、急诊手术室、DSA 手术室、复合手术室和 ERCP 机房运行后，无放射性废水产生，废水主要为辐射工作人员和患者产生的生活污水、医疗废水。

根据已经获得批复的《成都市第五人民医院光华院区项目环境影响报告书》：院区产生的各类废水经过分类预处理后进入院区污水处理站，污水处理站处理工艺为“格栅+调节池+生物

接触氧化（缺氧+好氧）+沉淀+消毒池（次氯酸钠）”，处理后的废水达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）规定标准限值要求后经院区污水管线排入市政污水管网，最终由温江区城市污水处理厂处理后达标排放。

10.6.2.3 固体废物处理措施

10.6.2.3.1 放射性废物

本项目核医学科产生的放射性固体废物主要是核素制备场所药物生产过程产生的废弃离子交换柱、纯化柱、滤膜、棉签及擦拭废物、废弃的固体靶件、质检一次性实验耗材；动物实验场所产生的一次性实验耗材、给药后动物排泄物及下垫物、放射性动物尸体及组织；核素诊断及治疗相关工作产所产生的一次性注射器、口罩、手套、空药瓶、棉签以及擦试废物、一次性口杯；还包括各场所空气净化系统产生的废活性炭等。涉及的放射性核素包括：^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{131}I、^{32}P 和 ^{89}Sr。本项目所涉及的工作场所内各功能房间均拟设置放射性固废收集桶用于分别核素种类收集产生的核素放射性固废，到达一定量时转入相应的放废暂存间内进行暂存衰变，并注明核素种类、转入时间，做好台账记录。待储存 10 个以上半衰期（其中含 ^{131}I 的放射性废物储存时间超 180 天），其活度低于 GB18871 清洁解控水平后（β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2），作为普通医疗废物处理。

回旋加速器固体靶片一般可重复使用，不需要更换。在意外损坏无法继续使用需要更换时，换下的废靶片、靶膜、过滤网等按放射性固体废物处理，在回旋加速器机房内专用的铅废物桶内中进行暂存，之后由厂家或有资质单位进行回收。排风口更换下来的活性炭按固体放射性废物处理，同样在废物间内暂存至其放射性比活度低于相应核素的解控水平后，交由有资质单位进行处置。医疗废物密度国家统计结果平均值是 488.85kg/m^3，颗粒柱状活性炭密度一般在 450～650kg/m^3，保守按 450kg/m^3 进行统计（本项目动物实验室产生的动物尸体及动物排泄物也按该密度进行核算）。各放射性废物间设置情况见表 10-27，各放射性废物间的暂存能力分析见表 10-28：

表 10-27　放射性废物暂存间设置情况一览表

工作场所	暂存场所	暂存间面积	有效容积/m³	备注
核素制备场所	固废暂存间	长 2.4m*宽 2.01m	7.24	有效容积按废物暂存高度 1.5m 计算
核素动物实验场所	污物暂存间	/	1.0	房间内设置 2 台 500L 冷柜
	废药暂存间	长 2.03m*宽 1.4m	4.26	有效容积按废物暂存高度 1.5m 计算

核素诊断及敷贴治疗场所	PET 放废暂存间	长 2.50m*宽 1.23m	4.61	有效容积按废物暂存高度 1.5m 计算
	SPECT 放废暂存间	长 3.03m*宽 1.88m	8.54	
核素门诊治疗场所	放废暂存间	长 2.66m*宽 2.13m	8.50	有效容积按废物暂存高度 1.5m 计算

表 10-28　放射性废物暂存间暂存能力分析表

暂存场所	涉及核素	放射性固体废物类别	废物所含核素半衰期	日产生量（kg/d）	最少暂存时间（d）	暂存周期内工作天数（d）	暂存物密度（kg/m³）	暂存所需容积（L）	暂存场所容积/m³
核素制备场所	^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{61}Co	废离子交换柱、纯化柱、滤膜、棉签及擦拭废物、质检一次性实验耗材等、固体靶生产放射性药物产生的少量残液（按固体废物处理）	78.4h（以 ^{89}Zr 计）	0.22	33	24	488.85	10.8	7.24
	/	废活性炭	78.4h（以 ^{89}Zr 计）	175 kg/半年	33	/	450	388.9	
	^{64}Cu、^{89}Zr	废靶件、靶膜、过滤网	78.4h（以 ^{89}Zr 计）	3kg/年	33	24	488.85	6.1	回旋加速器机房内设置 1 个 100L 的铅废物桶
核素动物实验场所	^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc	动物尸体及组织	78.4h（以 89Zr 计）	2.6	33	24	450	138.7	1.0(存储在污物暂存间的冷柜中）
		注射器、一次性手套、棉签、试纸等带放射性药物的放射性固体废物、饲养小动物使用的动物垫料、动物排泄物	78.4h（以 ^{89}Zr 计）	0.2	33	24	488.85	9.8	4.26
	/	废活性炭	78.4h（以 ^{89}Zr 计）	75 kg/半年	33	/	450	166.7	
核素诊断及	^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr	一次性注射器、口罩、手套、空药瓶、棉签以及擦试废物等	78.4h（以 ^{89}Zr 计）	1.25	33	24	488.85	61.4	4.61

敷贴治疗场所	^{32}P	空药瓶、棉签以及擦试废物等	14.3d	0.25	143	103	488.85	52.7	8.54
	^{99m}Tc	一次性注射器、口罩、手套、空药瓶、棉签以及擦试废物等	6.02h	1.5	30	22	488.85	67.5	
	/	废活性炭	14.3d（以 ^{32}P 计）	75 kg/半年	143	/	450	166.7	
核素门诊治疗场所	^{131}I	一次性口杯、口罩、手套、空药瓶、棉签以及擦试废物等	8.04d	0.25	180	129	488.85	66.0	8.50
	^{89}Sr	一次性注射器、口罩、手套、空药瓶、棉签以及擦试废物等	50.55d	0.05	505	361	488.85	36.9	
	/	废活性炭	8.04d（以 ^{131}I 计）	50 kg/半年	180	/	450	111.1	
注：①核素制备场所产生的废靶件，保守按一年的产生量核算暂存容积； ②各场所产生的废活性炭，保守按半年的产生量核算暂存容积； ③小动物 PET-CT 及核素诊断区域 PET-CT 中使用到一定年限后退役的校准密封源由供应单位回收处理，医院不暂存。									

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，β表面污染小于 0.8Bq/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。经监测达标后，转移至医疗废物暂存库，按照普通医疗废物处理。另外核医学科动物实验场所产生的动物尸体属于《国家危险废物名录（2025 年版）》中“HW01 危险废物卫生 841-003-01 病理性废物”，装入专用尸体袋中存放于污物暂存间的冷冻柜中贮存，衰变至解控水平后，依托动物实验室危险废物暂存、管理系统，严格执行危险废物执行转移联单制度，由有资质单位进行无害化处理。

回旋加速器固体靶片一般可重复使用，不需要更换。在意外损坏无法继续使用需要更换时，换下的废靶片、靶膜、过滤网按放射性固体废物处理，在回旋加速器机房内专用的铅废物桶内中暂存，由厂家或有资质单位进行回收。排风口更换下来的活性炭按固体放射性废物处理，同样在废物间内暂存至其放射性比活度低于相应核素的解控水平后，交由有资质单位进行处置。

核医学科 PET-CT 及小动物 PET/SPECT/CT 三模态活体成像系统使用的校准源，退役后由生产单位直接回收处理。

放疗科加速器金属靶件更换时会有废靶产生，废靶属于放射性废物，由生产厂家回收处理。

10.6.2.3.2 非放射性废物

本项目产生非放射性一般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。

10.6.2.4 噪声治理措施

区域通排风风机（位于本栋楼屋顶）工作时将产生一定的噪声，建设单位拟采购低噪声管道风机，设计噪声不高于 57dB（A）。

10.6.2.5 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。

10.7 环保措施及其投资估算

本项目辐射防护措施及其投资估算见表 10-29。本项目总投资 50000 万元，环保投资 806 万元，占总投资的 1.6%。

表 10-29　本项目环保预算一览表

项目		环保措施	投资（万元）
医用直线加速器机房	辐射屏蔽措施	屏蔽防护工程(含防护门)	计[redacted]用
	安全措施	通排风系统[redacted]	[redacted]
		门机联锁装置每个机房[redacted]	[redacted]
		门灯联锁设施每个机房[redacted]	[redacted]
		出束音响提示装置每个机房[redacted]	[redacted]
		紧急开门按钮每个机房[redacted]	[redacted]
		急停开关（每个机房不[redacted]	[redacted]
		监控系统每个机房[redacted]	[redacted]
		对讲系统每个机房[redacted]	[redacted]
		灭火装置每个机房[redacted]	[redacted]
		固定式剂量率仪[redacted]	[redacted]
		个人剂量报警仪[redacted]	[redacted]
		电离辐射警告标志、警示标[redacted]	[redacted]
		个人剂量计每人[redacted]	[redacted]
核素制备场所	辐射屏蔽措施	屏蔽防护工程（含防护门、观察窗、药物合成柜）	[redacted]
	防护设备	手套箱[redacted]	[redacted]
		分装柜[redacted]合成柜[redacted]	[redacted]
		药物转运铅罐[redacted]	[redacted]
		放射性废物桶[redacted]	[redacted]
		废物衰变箱[redacted]	[redacted]
		铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜[redacted]	[redacted]
		去污工具[redacted]	[redacted]
		活度计[redacted]	[redacted]
		表面污染监测仪[redacted]	[redacted]
		固定式剂量率仪[redacted]	[redacted]
		个人剂量报警仪[redacted]	[redacted]
		个人剂量计[redacted]	[redacted]
	废水	废水处理设施及相应管道	[redacted]
	废气	净化通风排风系统	[redacted]
核素动物实验场所	辐射屏蔽措施	屏蔽防护工程（含防护门、观察窗）	[redacted]
	防护设备	储源铅箱[redacted]	[redacted]
		药物铅罐[redacted]	[redacted]
		通风橱[redacted]	[redacted]

			放射性废物桶	[redacted]	
			废物衰变箱		
			移动铅屏风		
			铅防护动物转运箱		
			铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜		
			去污工具		
			活度计		
			表面污染监测仪		
			个人剂量报警仪		
			个人剂量计		
		废水	废水处理设施及相应管道		
		废气	净化通风排风系统		
	核素诊断及敷贴治疗场所	辐射屏蔽措施	屏蔽防护工程（含防护门、观察窗、注射台）		
		防护设备	储源铅箱		
			药物铅罐		
			手套箱		
			手套箱		
			手套箱		
			放射性废物桶		
			废物衰变箱		
			移动铅屏风		
			铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜		
			去污工		
			活度计		
			表面污染监测		
			个人剂量报警仪		
			个人剂量计		
		废水	废水处理设施及相应管道		
		废气	净化通风排风系统		
	核素门诊治疗场所	辐射屏蔽措施	屏蔽防护工程（含防护门、观察窗、注射台）		
		防护设备	储源铅箱		
			药物铅罐		
			手套箱		
			放射性废物桶		
			废物衰变箱		
			铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜		
			去污工具		
			活度计		
			表面污染监测仪		
			个人剂量报警仪		
			个人剂量计		

	废水	废水处理设施及相应管道	[redacted]	
	废气	净化通风排风系统		
介入放射学工作用房	辐射屏蔽措施	防护工程（含防护门、观察窗）	计	
	通排风系统	通排风系统每间机房 [redacted]		
	安全措施	门灯联锁每间机房 [redacted] 作状态指示灯每间机房 [redacted]		
		急停开关每间机房 [redacted] 床体和操作台各 [redacted] 拟在墙面增设 [redacted]		
		对讲系统每间机房 [redacted]		
		电离辐射警告标志、警示标志和警戒线 [redacted]		
		平开门每扇均配置闭门装置，电动平移门每扇均配置防夹装置		
		灭火装置每个机房 [redacted]		
	防护用品	个人剂量计 [redacted]		
		患者防护用 [redacted]		
		医护人员防护用品若干		
监测费用		射线装置工作场所监测费用		
其他		辐射剂量率仪 [redacted]		
		辐射工组人员、管理人员及应急人员的组织培训		
合计		[redacted]		

表 11 环境影响分析

11.1 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《成都市第五人民医院光华院区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。

11.1.1 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，可依托医院污水处理站处理，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，本项目拟采取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，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重叠量，避免各屏蔽体之间有漏缝产生。

11.1.2 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。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 放疗科工作场所辐射水平分析

本项目放疗科位于医院地下二层东侧，设置有三间加速器机房和一间模拟定位 CT 机房，1 号加速器机房、2 号加速器机房和 3 号加速器机房自北向南依次排列，其中 1 号加速器机房拟设置一台 15MV 的医用电子直线加速器（X 射线束靶 1m 处最高剂量率为 30Gy/min）,2 号和 3 号加速器机房均拟设置一台 10MV 的医用电子直线加速器（X 射线束靶 1m 处最高剂量率为 30Gy/min），三台医用电子直线加速器均带有 CBCT 功能（参数：150kV，1500mA）；模拟定位 CT 机房拟设置一台模拟定位 CT（参数：150kV，1500mA）。

11.2.1.1 模拟定位机工作场所辐射水平分析

本项目模拟定位 CT 机房四侧墙体均为 370mm 实心砖墙+10mm 硫酸钡涂料，防护门和观察窗均为 4.0mm 铅当量，顶棚为 260mm 混凝土，地坪为 250mm 混凝土。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，模拟定位 CT 机房周围屏蔽防护能够满足 2.5mmPb 的要求，机房正常运行时对周围的辐射环境影响较小。

11.2.1.2 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。本项目拟设置的三台医用电子直线加速器采用电子束进行治疗时最大电子线能量均为 22MeV，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。根据（式 11-15）计算，电子在混凝土中射程为 4.68cm，加速器机房墙体最小屏蔽厚度为 130cm，所以本项目加速器机房设计结构和屏蔽厚度足以屏蔽电子线，因此在运行过程中电子线对周围辐射环境影响较小。本次评价主要考虑 X 射线的辐射环境影响。

11.2.1.3 医用电子直线加速器 CBCT 模块辐射水平分析

医用电子直线加速器配备的 CBCT 模块用于放射治疗前对患者肿瘤位置进行验证，在考虑防护时，应考虑对 CBCT 产生 X 射线的屏蔽。

根据医院提供的资料，本项目医用电子直线加速器 CBCT 模块参数为 150kV/1500mA，产生的 X 射线能量远远低于医用电子直线加速器的射线能量，故本项目加速器机房设计厚度和结构材质完全能满足对 CBCT 的屏蔽要求。

11.2.1.4 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

2 号和 3 号加速器机房总体布局及面积基本一致，依据表 10-2 可知 2 号加速器机房部分区域墙体厚度比 3 号加速器机房更厚，故计算时仅论证 3 号加速器机房，3 号加速器机房屏蔽防护措施满足要求时，2 号加速器机房屏蔽防护措施亦满足要求。

本项目三间加速器机房，主防护墙均是北墙、南墙、顶盖上方和地坪。根据机房所在部位及其结构特点，可选取以下屏蔽防护剂量估算关注点。

1 号加速器机房各关注点分布如图 11-1 和图 11-2 所示。

A 点：南侧主防护墙外 30cm，2 号加速器机房；

B 点：南侧主防护墙和副防护墙连接处外 30cm，2 号加速器机房；

C 点：西侧防护墙外 30cm，控制室；

D 点：西侧防护墙外 30cm，水冷机房；

E 点：北侧主防护墙和副防护墙连接处外 30cm，回旋加速器机房；

F 点：顶盖主防护墙外 30cm，室外过道；

H1 点：顶盖主防护墙和副防护墙连接处外 30cm，室外过道；

H2 点：顶盖主防护墙和副防护墙连接处外 30cm，室外过道；

G 点：加速器机房防护门外 30cm，等候走廊。

[redacted]

[redacted]

图 11-2 1 号加速器机房关注点剖面布局图

3 号加速器机房各关注点分布如图 11-3 和图 11-4 所示。

a 点：南侧主防护墙和副防护墙连接处外 30cm，补风机房；

b 点：西侧防护墙外 30cm，变频器机房；

c 点：西侧防护墙外 30cm，控制室；

d 点：北侧主防护墙和副防护墙连接处外 30cm，2 号加速器机房；

e 点：北侧主防护墙外 30cm，2 号加速器机房；

f 点：顶盖主防护墙外 30cm，室外过道；

h1 点：顶盖主防护墙和副防护墙连接处外 30cm，室外过道；

h2 点：顶盖主防护墙和副防护墙连接处外 30cm，室外过道；

g 点：加速器机房防护门外 30cm，等候走廊。

图 11-3 3 号加速器机房关注点平面布局图

图 11-4 3 号加速器机房关注点剖面布局图

（2）屏蔽墙体计算方法

计算方法选用 GBZ/T 201.2-2011 中放射治疗机房屏蔽估算方法，参照 IAEA Safety report Series No.47 及 NCRP 151 报告中放射治疗机房屏蔽墙及防护门的一般核算方法。根据瞬时剂量率控制水平要求，按十分之一值层厚度法（TVL）估算符合剂量率目标要求的主、副屏蔽体厚度。

（a）有用线束和泄漏辐射的屏蔽估算

计算公式如下：

$$X=\left\{TVL\left[log\left(\frac{\dot{H}_o\cdot f}{\dot{H}_c\cdot R^2}\right)\right]+TVL_1-TVL\right\}cos\,\theta \qquad （式 11-1）$$

式中：X －符合剂量率目标要求的主(副)墙屏蔽厚度，cm；

TVL_1 －辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度，cm；

TVL －辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度，当未指明 TVL_1 时，$TVL_1=TVL$；

X 射线在普通混凝土（密度为 2.35g/cm^3）中的什值层如表 11-1 所示：

表 11-1 X 射线在混凝土中的什值层明细表

直线加速器 X 射线能量	10MV		15MV	
	TVL_1	TVL	TVL_1	TVL
有用线束在混凝土中的什值层	41cm	37cm	44cm	41cm
泄漏辐射在混凝土中的什值层	35cm	31cm	36cm	33cm
患者散射辐射（散射角30º）在混凝土中的什值层	28cm		31cm	

θ—斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角；

$\dot{H}_o$ －加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶(以下简称靶)1m 处的常用最高剂量率，μSv·㎡/h(以 Sv·㎡/min 为单位的值乘以 6×10^7)（本项目加速器最大输出剂量率为 30Gy/min，$\dot{H}_o$=1.80×10^9）；

f －对有用束为 1；对泄漏辐射为泄漏辐射比率，通常取 10^{-3}；

$\dot{H}_c$ －对关注点处要求的瞬时剂量率控制水平，μSv/h；

R －辐射源（靶点）至关注点的距离，m。

（b）患者一次散射辐射的屏蔽估算

$$X=TVL\left[log\left(\frac{\dot{H}_o\cdot\alpha_{ph}\cdot(F/400)}{\dot{H}_c\cdot R_s^2}\right)\right]cos\,\theta \qquad （式 11-2）$$

式中：R_s －患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph} －患者 400c ㎡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，10MV X 射线取 3.18×10^{-3}；15MV X 射线取 2.77×10^{-3}；

F －治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2（本项目加速器 F=40cm×40cm）。

（3）参数的选取及屏蔽墙体计算结果

（a）放射治疗工作负荷

正式投入使用后，预计每台加速器工作 30 人次/天，均保守考虑为适行调强放射治疗，每周 5 天，每年工作约 250 天，治疗时平均每人出束时间 2min，则加速器每周工作负荷为 300Gy，每人次出束治疗时间最多为 2min（不含摆位时间），则加速器日治疗有用线束出束时间 1h，周治疗出束时间 5h，年治疗出束时间约为 250h，其中 X 射线束与电子束治疗出束时间的比例约为 20:1。物理师年质控时间约为治疗出束时间的 1/10，年质控出束时间为 25h，加速器周出束时间共 5.5h，年出束时间共 275h。

（b）关注点的剂量率参考控制水平

加速器机房辐射屏蔽的剂量参考控制水平应同时满足《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/T 201.2-2011 和《放射治疗放射防护要求》GBZ 121-2020 的要求。

①有用线束在关注点的剂量率参考控制水平：

$\dot{H}_{c,d}=H_c/(t\cdot U\cdot T)$

式中：$\dot{H}_{c,d}$—周剂量当量率参考控制水平；

H_c—周剂量控制水平(μSv/周)，放射治疗机房外控制区工作人员：≤100μSv/周，放射治疗机房外非控制区的人员：≤5μSv/周；

U —治疗装置向关注位置的方向照射的使用因子；

T —人员在放射治疗机房外控制区和非控制区驻留的居留因子；

本项目居留因子参照《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）附录 A 中表 A.1 进行选取，详见表 11-2。

表 11-2 不同场所的居留因子

场所	居留因子（T）		停留位置
	典型值	范围	

全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	1/4	1/2～1/5	1/2：相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5：走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然停留	1/16	1/8～1/40	1/8：各治疗室房门 1/20：公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40：仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场，车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

t—治疗装置周最大累积照射小时数。

②泄漏辐射在关注点的周围剂量参考控制水平：

$\dot{H}_{c,d}=H_c/(t\cdot N\cdot T)$

式中：N—调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常取 N=5。

计算出的周剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 应与 $\dot{H}_{c,max}$ 相比较，取较小值作为关注点剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$。$\dot{H}_{c,max}$ 的值在人员居留 T≥1/2 的场所：$\dot{H}_{c,max}$≤2.5μSv/h；在人员居留 T＜1/2 的场所：$\dot{H}_{c,max}$≤10μSv/h。

③同时还需考虑医院内部管理要求：放射治疗机房防护门、墙体及顶棚外 30cm 处的周围剂量当量率（H_p）应不大于 2.5μSv/h。

表 11-3 和表 11-4 分别为 1 号加速器机房和 3 号加速器机房关注点参考剂量率控制水平计算。

表 11-3 1 号加速器机房关注点参考剂量率控制水平

关注点	线束	T	H_c μSv/周	$\dot{H}_{c,d}$ μSv/h	$\dot{H}_{c,max}$ μSv/h	H_p μSv/h	$\dot{H}_c$ μSv/h
A 点	主束	1/4	5	≤14.5	≤10	≤2.5	≤2.5
B 点	泄漏	1/4	5	≤0.7	-	≤2.5	≤0.7
	散射	1/4	-	-	≤10		
C 点	泄漏	1	100	≤3.6	≤2.5	≤2.5	≤2.5
D 点	泄漏	1/8	5	≤1.5	-	≤2.5	≤1.5
	散射	1/8	-	-	≤10		
E 点	泄漏	1/4	5	≤0.7	-	≤2.5	≤0.7
	散射	1/4	-	-	≤10		
F 点	主束	1/20	5	≤72.7	≤10	≤2.5	≤2.5
H1、H2 点	泄漏	1/20	5	≤3.6	-	≤2.5	≤2.5
	散射	1/20	-	-	≤10		
G 点	泄漏	1/8	5	≤1.5	≤10	≤2.5	≤1.5

表 11-4 3 号加速器机房关注点参考剂量率控制水平

关注点	线束	T	H_c μSv/周	$\dot{H}_{c,d}$ μSv/h	$\dot{H}_{c,max}$ μSv/h	H_p μSv/h	$\dot{H}_c$ μSv/h
a 点	泄漏	1/8	5	≤1.5	-	≤2.5	≤1.5

	散射	1/8	-	-	≤10		
b 点	泄漏	1/8	5	≤1.5	-	≤2.5	≤1.5
	散射	1/8	-	-	≤10		
c 点	泄漏	1	100	≤3.6	≤2.5	≤2.5	≤2.5
d 点	泄漏	1/4	5	≤0.7	-	≤2.5	≤0.7
	散射	1/4	-	-	≤10		
e 点	主束	1/4	5	≤14.5	≤10	≤2.5	≤2.5
f 点	主束	1/20	5	≤72.7	≤10	≤2.5	≤2.5
h1、h2 点	泄漏	1/20	5	≤3.6	-	≤2.5	≤2.5
	散射	1/20	-	-	≤10		
g 点	泄漏	1/8	5.0	≤1.5	≤10	≤2.5	≤1.5

（c）屏蔽防护计算

对于主防护墙，屏蔽防护计算只考虑主射线照射情况下的防护；对于次防护墙，则需考虑漏射线和病人一次散射情况下的防护。计算 1 号加速器机房的 B、G、E、H1、H2 关注点以及 3 号加速器机房的 a、g、d、h1、h2 关注点处屏蔽厚度时入射角θ取 30 度；计算 1 号加速器机房的 A、C、D、F 关注点以及 3 号加速器机房的 b、c、e、f 关注点处屏蔽厚度时按垂直入射考虑，计算结果及机房设计值详见表 11-5、表 11-6。

表 11-5 1 号加速器机房屏蔽计算结果及屏蔽设计厚度对照表

关注点	$\dot{H}_c$ μSv/h	***R*** (m)	R_s (m)	线束	计算砼厚度（cm）	[redacted]	[redacted]	设计厚度下剂量率估算值（μSv/h）	评价
A 点	≤2.5	8.28	-	主束	290.9			0.28	符合
B 点	≤0.7	8.79	-	泄漏	131.8			1.99E-03	符合
		-	9.50	散射	147.6				
C 点	≤2.5	10.80	-	泄漏	128.1			3.82E-06	符合
D 点	≤1.5	11.09	-	泄漏	134.6			0.51	符合
E 点	≤0.7	9.24	-	泄漏	130.6			3.35E-04	符合
		-	9.96	散射	146.5				
F 点	≤2.5	12.01	-	主束	277.6			0.13	符合
H1、H2 点	≤2.5	9.99	-	泄漏	112.9			0.55	符合
		-	10.99	散射	129.4				
G 点	≤0.4	11.10	-	泄漏	133.0			0.02	符合

注：①表中“砼”指标准混凝土，密度为 2.35g/cm^3；

②G 点处的辐射剂量率控制值取剂量率参考控制水平的一个分数 1/4。

表 11-6 3 号加速器机房屏蔽计算结果及屏蔽设计厚度对照表

关注点	$\dot{H}_c$ μSv/h	***R*** (m)	R_s (m)	线束	计算砼厚度（cm）	[redacted]	设计厚度下剂量率估算值（μSv/h）	评价
a 点	≤1.5	8.02	-	泄漏	118.1		0.02	符合
		-	8.77	散射	128.5			

b 点	≤1.5	11.18	-	泄漏	127.5	[redacted]		0.28	符合
c 点	≤2.5	10.80	-	泄漏	121.5			9.88E-07	符合
d 点	≤0.7	8.02	-	泄漏	127.0			4.92E-04	符合
		-	8.77	散射	136.5				
e 点	≤2.5	7.89	-	主束	265.3			0.29	符合
f 点	≤2.5	12.01	-	主束	251.8			0.12	符合
h1、h2 点	≤2.5	9.99	-	泄漏	107.0			0.19	符合
		-	10.99	散射	118.3				
g 点	≤0.4	11.10	-	泄漏	126.0			9.15E-03	符合

注：①表中“砼”指标准混凝土，密度为 2.35g/cm^3；
②g 点处的辐射剂量率控制值取剂量率参考控制水平的一个分数 1/4。

由表 11-5 和表 11-6 所列计算结果可知：本项目所 1 号加速器机房和 3 号加速器机房各侧墙体和顶棚的辐射防护设施拟采取的屏蔽厚度均大于理论计算值，符合标准要求。

（4）加速器机房防护门屏蔽计算

对于 10MV 医用电子直线加速器，迷道外入口处剂量主要是泄漏和散射辐射剂量。

对于 15MV 医用电子直线加速器，迷道外入口处剂量一般由三部分组成：一是中子俘获γ射线剂量，二是中子剂量，三是泄漏和散射辐射剂量。

（a）俘获γ射线剂量估算

在迷道内的俘获γ射线剂量取决于迷道长度和迷道内入口的总中子注量。总中子注量有下式计算：

$$\varphi_h = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \qquad \text{（式 11-3）}$$

式中：三项分别为加速器机头外杂散中子、治疗室内壁的散射中子及形成的热中子。

φ_h—等中心处 1Gy X 射线治疗照射时迷道内入口处总中子注量，(中子数/㎡)/Gy；

Q_n—等中心处每 1Gy X 射线治疗照射时射出加速器机头的总中子数，中子数/Gy；经查阅 NCRP No.151 中表 B.9 得知 **15MV 加速器 Q_n 最大为 2.0×10^{11}/Gy**；

d_1—等中心点至迷道内入口的距离，m；本项目为 d_1=8.0m；

S—治疗室内表面总面积（㎡），包括四壁墙、顶面和底面，不包括迷路内各面积；

在迷道外入口处中子俘获γ射线剂量率由下式计算：

$$\dot{H}_{\gamma} = 6.9\times10^{-16}\cdot\varphi_{h}\cdot10^{-(d_2+d_3)/TVD}\cdot\dot{H}_{o} \qquad \text{（式 11-4）}$$

式中：

$\dot{H}_{\gamma}$—机房门入口门外 30cm 处，无防护门时的中子俘获γ射线的剂量率，μSv/h；

6.9×10^{-16}—该方法中经验因子；

d_2—迷道内入口至迷道外入口的距离，m；

d_3—迷道外入口至机房入口的距离，m；

TVD—将γ辐射剂量减至其十分之一的距离（称为什值距离），取 3.9m；

（b）机房入口的中子剂量率

$$\dot{H}_{n} = 2.4\times10^{-15}\cdot\Phi_{h}\cdot\sqrt{\frac{S_0}{S_1}}\cdot[1.64\times10^{-(d_2+d_3)/1.9}+10^{-(d_2+d_3)/T_n}]\cdot\dot{H}_{o} \qquad \text{（式 11-5）}$$

$\dot{H}_{n}$—机房内的中子经迷路散射后机房入口门外 30cm 处无防护门时的剂量率，μSv/h；

2.4×10^{-15}—该计算方法中的经验因子，Sv/(中子数/㎡)；

S_0—迷路内口的面积，㎡；

S_1—迷路横截面积，㎡；

T_n—迷路中能量相对较高的中子剂量衰减至十分之一行径的距离(m)，是一个经验值，与迷道横截面积有关，$T_n = 2.06\sqrt{S_1}$。

（c）泄漏辐射和散射辐射的剂量估算

漏射辐射和散射辐射剂量 H_d 按下式估算

$$H_d = 2.64\times\left(H_{PS}+\eta\cdot H_S+H_{LS}+H_{LH}\right) \qquad \text{（式 11-6）}$$

式中：

H_d—迷道外入口处泄漏和散射辐射剂量率；

H_{PS}—病人散射辐射经迷道墙体散射，达到迷道外入口处的辐射剂量率；

η—病人透射因子，对于 10MV 医用电子直线加速器取 0.25，对于 15MV 医用电子直线加速器取 0.28；

H_S—主防护墙散射辐射经迷道墙体散射，达到迷道外入口处的辐射剂量率；

H_{LS}—机头泄漏辐射经迷道墙体散射，达到迷道外入口处的辐射剂量率；

H_{LH}—机头泄漏辐射穿过迷道内墙，达到迷道外入口处的辐射剂量率；

① $H_{PS}=\dot{H}_o\cdot\alpha_{ph}\cdot(F/400)\cdot(\alpha_1\cdot A_1)\cdot(\alpha_2\cdot A_2)\div(d_{sca}\cdot d_1\cdot d_2\cdot d_3)^2$ （式 11-7）

式中：

α_{ph}—患者受照面积 400cm^2 的散射因子；

α_1—迷道内入口墙体散射系数；

A_1—迷道内入口散射面积；

α_2—迷道外入口墙体散射系数；

A_2—迷道外入口散射面积；

d_{sca}—靶中心至体表散射点距离；

d_1—体表散射点至迷道内入口距离；

d_2—迷道内入口至迷道二次散射点距离；

d_3—二次散射点至迷道外入口距离；

$H_{PS}=6.49\mu Sv/h$；

② $H_S=H_o\cdot\alpha_0\cdot A_0\cdot\alpha_3\cdot A_3\cdot\alpha_4\cdot A_4\div(d_0\cdot d_4\cdot d_5\cdot d_6)^2$ （式 11-8）

式中：

α_0—主防护墙散射系数；

A_0—主防护墙散射面积；

α_3—迷道内入口二次散射点散射系数；

A_3—迷道内入口二次散射面积；

α_4—迷道内入口三次散射点散射系数；

A_4—迷道内入口三次散射面积；

d_0—靶中心到主防护墙最近距离；

d_4—主防护墙至迷道内入口二次散射点距离；

d_5—迷道内入口二次散射点至三次散射点距离；

d_6—迷道内入口三次散射点至迷道外入口距离。

③ $H_{LS}=f\cdot H_o\cdot\alpha_5\cdot A_5\cdot\alpha_6\cdot A_6\div(d_7\cdot d_8\cdot d_9)^2$ （式 11-9）

式中：

f —泄漏辐射比率，通常取 10^{-3}；

α_5—迷道内入口墙体漏射线散射系数；

A_5—迷道内入口散射面积；

α_6—迷道内入口二次散射点散射系数；

A_6—迷道内入口二次散射面积；

d_7—靶中心至迷道内入口距离；

d_8—迷道内入口至迷道二次散射点距离；

d_9—迷道二次散射点至迷道外入口距离；

④ $H_{LH} = f \cdot H_o \cdot B \div d_{10}^{\ 2}$ （式 11-10）

式中：

B—迷道的泄漏辐射屏蔽透射因子，$B = 10^{-(X_e + TVL + TVL_1)/TVL}$；

d_{10}—靶中心至迷道外入口距离。

（d）防护门屏蔽计算结果

表 11-7 俘获γ射线剂量率计算结果

参数	1 号加速器机房（15MV）	3 号加速器机房（10MV）
Q_n（中子数/Gy）	2.0×10^{11}	不考虑
d_1（m）	8.7	
S（㎡）	316.5	
d_2（m）	9.0	
d_3（m）	3.1	
TVD（m）	3.9	
$\dot{H}_o$（μSv·㎡/h）	1.80×10^9	
$\dot{H}_\gamma$（μSv/h）	0.9	

表 11-8 中子剂量率计算结果

参数	1 号加速器机房（15MV）	3 号加速器机房（10MV）
$\dot{H}_o$（μSv·㎡/h）	1.80×10^9	不考虑
S_0（㎡）	11.8	
S_1（㎡）	10.8	
T_n	6.8	
$\dot{H}_n$（μSv/h）	64.9	

表 11-9 H_{PS} 计算结果

参数	1 号加速器机房（15MV）	3 号加速器机房（10MV）
$\dot{H}_o$（μSv·㎡/h）	1.80×10^9	1.80×10^9

α_{ph}	8.64×10^{-4}	1.35×10^{-3}
α_1	22.0×10^{-3}	22.0×10^{-3}
A_1（㎡）	14.7	14.6
α_2	8.0×10^{-3}	8.0×10^{-3}
A_2（㎡）	10.8	10.8
d_{sca}（m）	1	1
d_1（m）	8.7m	8.9m
d_2（m）	9.0m	9.2m
d_3（m）	3.1m	3.1m
H_{PS}（μSv/h）	3.0	4.2

注: α_{ph}、α_1、α_2数据取自 GBZ/T 201.2-2011 附录 B；其中 15MV 时α_{ph}取 X 射线能量为 18MV，散射角为 45°时的数据；α_1取能量为 0.5MeV，入射角为 45°，反射角为 0°的数据；α_2取能量为 0.5MeV，入射角为 0°，反射角为 75°的数据。

表 11-10 H_S 计算结果

参数	1 号加速器机房（15MV）	3 号加速器机房（10MV）
$\dot{H}_o$（μSv·㎡/h）	1.80×10^{9}	1.80×10^{9}
α_0	3.4×10^{-3}	4.1×10^{-3}
A_0（㎡）	5.4	5.2
α_3	22.0×10^{-3}	22.0×10^{-3}
A_3（㎡）	14.7	14.6
α_4	8.0×10^{-3}	8.0×10^{-3}
A_4（㎡）	10.8	10.8
d_0（m）	4.7	4.6
d_4（m）	11.2	11.2
d_5（m）	9.0	9.2
d_6（m）	3.1	3.1
H_S（μSv/h）	0.43	4.9×10^{-2}

注: α_0、α_3、α_4数据取自 GBZ/T 201.2-2011 附录 B；其中 15MV 时α_0取 X 射线能量为 18MV，入射角为 0°，反射角为 30°的数据；α_3取能量为 0.5MeV，入射角为 45°，反射角为 0°的数据；α_4取能量为 0.5MeV，入射角为 0°，反射角为 75°的数据。

表 11-11 H_{LS} 计算结果

参数	1 号加速器机房（15MV）	3 号加速器机房（10MV）
$\dot{H}_o$（μSv·㎡/h）	1.80×10^{9}	1.80×10^{9}
α_5	4.5×10^{-3}	5.1×10^{-3}
A_5（㎡）	14.7	14.6
α_6	8.0×10^{-3}	8.0×10^{-3}
A_6（㎡）	10.8	10.8
d_7（m）	8.7	8.9
d_8（m）	9.0	9.2

d_9（m）	3.1	3.1
H_{LS}	0.17	0.20

注: α_5、α_6数据取自 GBZ/T 201.2-2011 附录 B；其中 15MV 时 α_5取 X 射线能量为 18MV，入射角为 45°，反射角为 0°的数据；α_6取能量为 0.5MeV，入射角为 0°，反射角为 75°的数据。

表 11-12 H_{LH}计算结果

参数	1 号加速器机房（15MV）	3 号加速器机房（10MV）
$\dot{H}_o$（μSv·m²/h）	1.80×10^{9}	1.80×10^{9}
B	2.4×10^{-6}	1.3×10^{-5}
d_{10}（m）	11.3	11.3
H_{LH}	6.8×10^{-2}	3.4×10^{-2}

表 11-13 加速器机房防护门外剂量率计算结果

参数	1 号加速器机房（15MV）	3 号加速器机房（10MV）
俘获γ射线剂量率 $\dot{H}_\gamma$（μSv/h）	0.9	/
中子剂量率 $\dot{H}_n$（μSv/h）	64.9	/
泄漏和散射辐射（X 射线）剂量率 H_d（μSv/h）	8.9	11.7
防护门中铅厚度，mm	20	18
防护门中含硼聚乙烯板厚度，mm	200	120
铅的 TVL_X（mm）	5.7	5
铅的 TVL_γ（cm）	3.1	/
含硼聚乙烯的 TVL_n（cm）	4.5	/
屏蔽后俘获γ射线剂量率（μSv/h）	0.2	/
屏蔽后中子剂量率（μSv/h）	2.3×10^{-3}	/
屏蔽后 X 射线剂量率（μSv/h）	2.8×10^{-3}	2.9×10^{-3}
防护门外总剂量率（μSv/h）	0.2	2.9×10^{-3}
剂量率控制水平 $\dot{H}_c$（μSv/h）	1.5	1.5
评价	符合	符合

由上述计算结果可知：本项目所涉及加速器机房各辐射防护设施拟采取的屏蔽厚度均大于理论计算值，加速器机房各屏蔽体外 30cm 处附加剂量率均低于剂量率控制水平，符合标准要求。

（5）主墙宽度计算

主屏蔽墙体的宽度计算公式：

$$Y_p = 2\left[\left(a + SAD\right)\cdot tan\theta + 0.3\right] \qquad \text{（式 11-11）}$$

式中：Y_p—机房有用射线束主屏蔽区的宽度，m；

θ—治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半，本项目加速器最大张角θ=14°；

SAD—源轴距，m（对于医用加速器 SAD=1m）；

a—等中心至“墙”的距离，m；

当主屏蔽墙区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽相连接的次屏蔽（或顶）的内表面；当主屏蔽墙区向机房外凸时，“墙”指与主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

该项目 3 间加速器机房均需考虑南墙、北墙、顶棚主防护区。

表 11-14 主屏蔽墙体的宽度计算一览表

机房名称	屏蔽体	距离 a（m）	计算宽度（m）	设计宽度（m）	评价
1 号加速器机房	北侧主屏蔽墙	4.58	[redacted]		符合
	南侧主屏蔽墙	4.47			符合
	顶棚主屏蔽墙	6.90			符合
2 号加速器机房	北侧主屏蔽墙	7.72			符合
	南侧主屏蔽墙	7.43			符合
	顶棚主屏蔽墙	6.60			符合
3 号加速器机房	北侧主屏蔽墙	4.40			符合
	南侧主屏蔽墙	4.80			符合
	顶棚主屏蔽墙	6.60			符合

由表 11-14 所列计算结果可知：该项目加速器机房主屏蔽墙宽度设计值均不小于理论计算值，满足标准要求。

（6）工作人员及公众个人剂量估算

根据表 11-5、表 11-6 和表 11-13 各关注点的剂量率，对本项目加速器机房工作人员和周围的公众人员进行年有效剂量估算。关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算，计算公式如下：

$$D_{Eff} = D_r \times t \times T \times U \qquad \text{（式 11-12）}$$

式中：D_{Eff}—辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

D_r—辐射剂量率，Sv/h；

t—年工作时间，h；

T—居留因子；

U—使用因子，线束向关注点照射的使用因子。

加速器机房外人员可能接受的周剂量和年剂量，计算结果详见 11-15 所示。

表 11-15 本项目加速器机房屏蔽体外剂量率及人员累积剂量计算表

机房	参考点	居留因子	使用因子	周出束时间（h）	附加剂量率（μSv/h）	附加周剂量（μSv）	附加年剂量（mSv）

1号加速器机房	职业人员	C点：机房西墙外30cm处（控制室）	1	1	5.5	3.82E-06	2.10E-05	1.05E-06
	公众人员：非本项目工作人员、公众人员	A点：机房南墙主墙外30cm处（2号加速器机房）	1/4	1	5.5	0.28	3.85E-01	1.93E-02
		B点：机房南侧副墙外30cm处（2号加速器机房迷道内）	1/4	1	5.5	1.99E-03	2.74E-03	1.37E-04
		D点：机房西墙外30cm处（水冷机房）	1/8	1	5.5	0.51	3.51E-01	1.75E-02
		E点：机房北侧副墙外30cm处（回旋加速器机房）	1/4	1/4	5.5	3.35E-04	1.15E-04	5.76E-06
		F点：机房顶棚主墙外30cm处（室外过道）	1/20	1/4	5.5	0.13	8.94E-03	4.47E-04
		H点：机房顶棚副墙外30cm处（室外过道）	1/20	1	5.5	0.05	1.38E-02	6.88E-04
		G点：机房防护门外30cm处（等候走廊）	1/8	1	5.5	0.2	1.38E-01	6.88E-03
3号加速器机房	职业人员	c点：机房西墙外30cm处（控制室）	1	1	5.5	9.88E-07	5.43E-06	2.72E-07
	公众人员：非本项目工作人员、公众人员	a点：机房南侧副墙外30cm处（补风机房）	1/8	1	5.5	0.02	1.38E-02	6.88E-04
		b点：机房南侧副墙外30cm处（变频器机房）	1/8	1	5.5	0.28	1.93E-01	9.63E-03
		d点：机房西墙外30cm处（2号加速器机房）	1/4	1	5.5	4.92E-04	6.77E-04	3.38E-05
		e点：机房北侧副墙外30cm处（2号加速器机房）	1/4	1/4	5.5	0.29	9.97E-02	4.98E-03
		f点：机房顶棚主墙外30cm处（室外过道）	1/20	1/4	5.5	0.12	8.25E-03	4.13E-04
		h点：机房顶棚副墙外30cm处（室外过道）	1/20	1	5.5	0.19	5.23E-02	2.61E-03
		g点：机房防护门外30cm处（等候走廊）	1/8	1	5.5	2.9E-03	1.99E-03	9.97E-05

注：①以上预测值均为本项目医用电子直线加速器建设后出束期间造成的附加剂量，不含天然本底值；

②本项目医用电子直线加速器主射束方向朝向北墙、南墙、地坪及顶棚，根据《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/T201.1-2011），偏安全考虑，主射方向处使用因子U保守均取1/4，泄漏辐射U取1；

③居留因子参照《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）附录A中表A.1进行选取，具体数值见表11-2。

根据上述计算结果，该项目正常运行时，本项目加速器机房外职业人员所接受的外照射年累计剂量最高为1.05×10^{-6}mSv，职业人员可能同时受到另外两间加速器机房的辐射影响，考虑三者叠加，所致辐射工作人员年有效剂量最大值为$1.05\times10^{-6}+(2.72\times10^{-7})\times2=1.59\times10^{-6}$mSv；公众人员所接受的外照射年累计剂量最高为$1.93\times10^{-2}$mSv，公众人员可能同时受到另外两间加速器机房的辐射影响，考虑三者叠加，保守估算所致公众人员年有效剂量最大值为$1.93\times10^{-2}\times3\approx0.058$mSv，符合《电离辐射防护

与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”要求，也低于《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）提出的工作人员 5mSv 和公众 0.1mSv 年剂量约束值。从预测计算结果可知，医用电子直线加速器运行期间，对周围工作人员和公众的辐射影响较小，满足评价标准的要求。由于剂量率与距离的平方成反比，因此加速器机房边界外 50m 范围的其他公众人员年有效剂量也可以满足公众剂量约束值不大于 0.1mSv/a 的要求。

11.2.2 核医学相关工作场所辐射水平分析

本项目核医学相关工作用房分布于医院地下一层和地下二层，其中核医学动物实验场所（小动物PET-CT机房及核医学科研实验室）拟设在地下一层东侧，核素制备场所（回旋加速器药物制备项目）拟设在地下二层东侧，核素诊断及敷贴治疗场所（PET诊断项目、SPECT诊断项目、敷贴治疗项目）拟设在地下二层东侧（核素制备场所西南侧），核素门诊治疗场所（甲亢治疗项目、骨癌治疗项目）拟设置在地下二层东侧（SPECT-CT机房北侧）。上述核医学科四个工作场所各自满足相对独立、具有明确的监督区和控制区划分，工艺流程连续完整，有相对独立的辐射防护措施，除此以外，四个工作场所的放射性三废处理上设计和布局各自独立（除放射性废水衰变池共用外）、工作人员也各自独立配置，因此将整个核医学科分成核医学动物实验场所、核素制备场所、核素诊断及敷贴治疗场所和核素门诊治疗场所四个单独场所对辐射水平进行分析。

（1）核素制备场所

① 回旋加速器计算参数

根据建设单位前期调研资料，本项目拟从市场常见的三款带自屏蔽结构的回旋加速器中进行选型。鉴于项目当前处于前期建设阶段，具体设备采购计划暂未明确，本项目拟选的设备型号及主要参数见下表。

表 11-16 本项目拟选用的回旋加速器参数

[redacted]	最大质子束流能量	最大束流强度	屏蔽体外1m处最大剂量率
	12MeV	100μA	γ剂量率：42.6 中子剂量率：17.3
	10MeV	100μA	γ剂量率：55.9 中子剂量率：30.3
	16.5MeV	100μA	γ剂量率：101 中子剂量率：51

上表中三款设备相关参数的调研资料详见附件 10，依据厂家提供的技术资料显

示子机为[redacted]

该加速器屏蔽体外1m处的γ剂量率和中子剂量率等高线分布见图11-5和图11-6。

[redacted]

图11-5 回旋加速器自屏蔽表面γ射线剂量率分布水平图

[redacted]

图 11-6 回旋加速器自屏蔽表面中子剂量率分布水平图

表 11-17 本项目回旋加速器屏蔽体外 1m 处最大剂量率情况

点位	γ（μSv/h）	平均γ能量	中子（μSv/h）	平均中子能量
左侧（东）	51	8MeV	51	5MeV
右侧（西）	21		0	
前侧（南）	101		31	
后侧（北）	101		21	
上方	101		50	

②回旋加速器机房外关注点

本项目回旋加速器型位于地下二层，下方和东侧均为土层，不对该处进行评价分析。本项目在回旋加速器机房四周选取 6 个关注点，各关注点见图 11-7。

回旋加速器机房四周关注点说明：

A1：回旋加速器控制室；

B1：回旋加速器机房南墙外 30cm 处，1 号加速器机房；

C1：回旋加速器机房西墙外 30cm 处，热室；

D1：回旋加速器北墙体外 30cm 处，设备间；

E1：回旋加速器机房顶棚外 30cm 处，过道；

F1：回旋加速器机房防护门外 30cm 处，设备间。

非放 下

[redacted]

③核素制备场所辐射屏蔽及剂量率分析

a、回旋加速器机房外辐射剂量率计算方法

回旋加速器机房屏蔽的主要对象是质子核反应产生的中子和γ射线。本项目选取最大γ射线和中子能量进行分析。根据生产厂家提供的泄漏辐射剂量等高线，采用近似方法估算。本项目回旋加速器穿过屏蔽墙体和防护门外关注点辐射剂量率估算公式如下：

$$\dot{H}_R = \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \cdot \left(\dot{H}_n \times 10^{-x/TVL_n} + \dot{H}_\gamma \times 10^{-x/TVL_\gamma}\right)$$ （式 11-13）

式中：

$\dot{H}_R$—回旋加速器室外关注点剂量率，单位为微希沃特每小时（μSv/h）；

r_0—参考点距靶心的距离，单位为米（m）；靶心距表面 1 米处的距离 r_0，本项目取 2.0m；

R—屏蔽墙外关注点距靶心的距离，单位为米（m）；

$\dot{H}_n$—参考点 r_0 处的中子剂量率，单位为微希沃特每小时（μSv/h），查生产厂家提供的泄漏辐射剂量等高线；

x—屏蔽墙厚度，单位为厘米（cm）；

TVL_n—中子射线的十分之一减弱层厚度，单位为厘米（cm）；

$\dot{H}_r$—参考点 r_0 处的γ射线剂量率，单位为微希沃特每小时（μSv/h），查生产厂家提供的泄漏辐射剂量等高线；

TVL_γ—γ射线的十分之一减弱层厚度，单位为厘米（cm）。

b、热室和放化实验室辐射剂量率计算方法

热室和放化实验室根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中工作场所的屏蔽计算，公示转换后可得经材料屏蔽后关注点的γ辐射剂量率计算方法如下：

$$H = 10^{-X/TVL} \cdot A \cdot \Gamma / R^2$$ （式 11-14）

式中：

H—γ辐射剂量率，μSv/h；

A—放射性药物的活度，MBq；

Γ—周围剂量当量率常数，$\mu Sv \cdot m^2 \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}$；

R—距离放射源的距离，m；

X—屏蔽层厚度，mm；

TVL—十分之一值层，mm。

c、计算结果

根据设备方提供的相关参数，并参考 NCRP Report No. 51，本项目回旋加速器泄漏辐射 γ 射线和中子所对应的不同屏蔽材料的 *TVL* 值见表 11-18。

表 11-18 回旋加速器泄漏辐射不同屏蔽材料的 TVL 值

材料名称	密度 g/cm^3	TVL_γ	TVL_n
混凝土	2.36	38	43
铅	11.3	5	47.8
聚乙烯	0.97	80	24

本项目利用回旋加速器生产 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu 和 ^{89}Zr，其中 ^{18}F 的单次生产量远大于其他核素，故本次以生产量最大的 ^{18}F 对核素制备场所进行屏蔽防护估算。医院 ^{18}F 日最大操作量为 4.07×10^{10}Bq，分 2 批次生产，回旋加速器机房和热室每次产量按 2.04×10^{10}Bq（20400MBq）和相关参数（^{18}F 对不同屏蔽材料的十分之一层厚度数据见表 11-27，周围剂量当量率常数见表 11-28）进行分析评价，放化实验室质控时单批次核素最大用量为 500μCi（18.5MBq）。

根据上述参数和计算方法，本项目核素制备场所各屏蔽体外关注点剂量率计算结果见下表：

表 11-19 核素制备场所屏蔽体外各关注点剂量率

关注点位置	自屏蔽体外 1m 处最大剂量率（μSv/h）	距离（m）	[redacted]	剂量率（μSv/h）
回旋加速器机房				
A1：控制室	γ 剂量率：101 中子剂量率：21	7.6	[redacted]	0.061
B1：南墙外 30cm	γ 剂量率：101 中子剂量率：31	6.0	[redacted]	3.61E-06
C1：西墙外 30cm	γ 剂量率：21 中子剂量率：0	5.1	[redacted]	0.021
D1：北墙体外 30cm	γ 剂量率：101 中子剂量率：21	5.0	[redacted]	0.14
E1：顶棚外 30cm	γ 剂量率：101 中子剂量率：50	11.0	[redacted]	0.038
F1：防护门外 30cm	γ 剂量率：101 中子剂量率：21	5.9	1[redacted]	0.115
热室				
关注点位置	^{18}F 源活度（MBq）	距离（m）	[redacted]	剂量率（μSv/h）
东墙外 30cm（回旋加速器机房）	20400	3.0	[redacted]	1.20E-07
南墙外 30cm 电梯间	20400	4.0	[redacted]	3.41E-06
南墙外 30cm（水冷机房）	20400	3.5	[redacted]	4.45E-06
西墙外 30cm（过道）	20400	6.5	[redacted]	1.29E-06
北墙外 30cm（打包间）	20400	5.5	[redacted]	1.80E-06
北墙外 30cm（物料暂存间）	20400	4.0	[redacted]	3.41E-06
北墙外 30cm（控制室）	20400	3.5	[redacted]	4.45E-06
顶棚外 30cm（净化空调机	20400	5.5	[redacted]	3.04E-06

房）、下一层地坪表面170cm处（地下车库）				
防护门外表面30cm（洁净走廊）	20400	6.5	[redacted]	2.15E-05
防护门外表面30cm（缓冲间）	20400	6.5	[redacted]	2.15E-05
传递窗外表面30cm（打包间）	20400	5.5	[redacted]	3.01E-05
传递窗外表面30cm（非放物料暂存间）	20400	4.0	[redacted]	5.69E-05
合成分装柜表面5cm处	20400	0.5	[redacted]	1.10E-02
工作人员身位			[redacted]	
质控：分装柜外5cm	18.5	0.5	[redacted]	0.66
转运：小推车上的铅罐外	20400	1.5	[redacted]	1.26
放射性核素传输过程剂			[redacted]	
传输管道外表面100cm处	20400	1.5	[redacted]	1.26

综上所述，项目运行后，核素制备场所的回旋加速器机房和热室四周屏蔽体、顶棚、地坪（除回旋加速器机房外）和防护门能满足要求，核素制备时热室合成分装柜外人员操作位及非操作位辐射剂量率最大值均为 1.10×10^{-2}μSv/h，满足 2.5μSv/h 和 25μSv/h 控制剂量率要求，

④工作人员及公众个人剂量估算

医院地下二层核素制备场所运行后，项目涉及的 ^{18}F 核素可自给自足，在完成合成、分装和质控工作后分别送至地下二层的 1 号储源室和地下一层的核医学动物实验储源室，另外部分 ^{18}F 药物送至医院老院区核医学科使用（该部分药物委托第三方公司转运）。制药时，工作人员仅在控制室操作，不进入机房，年工作 250 天，日工作 5h。

工作负荷及参数：以最大生产药量计算，则回旋加速器日生产时间约为 5 小时（上下午各一次）。PET 药物制备完成后，工作人员进入热室将分装模块内装有药物的铅罐取出，质控药物通过洁净走廊传递窗送至质控室、放化实验室等实验室进行质检。质控工作结束后使用长柄转运小推车将分装外包好的药物转运至各场所使用。

工作人员身体与转运铅罐（50mmPb）的直线距离取 1.5m，每批次转运时间取 5 分钟。

质控时按每批次质控 6 份核素样品估算，每天质控样品 12 份，每份核素样品取 500μCi 药物在手套箱（20mmPb）中进行质控，每次质控时间为 5 分钟，身体与药物的直线距离取 0.5m。

根据表 11-19，制备时控制室工作人员受到的辐射剂量率为 0.061μSv/h。药物质控

时工作人员身位辐射剂量率为 0.66μSv/h。转运时工作人员受到的辐射剂量率为 1.26μSv/h。计算可得，本项目辐射工作人员年有效剂量见表 11-20。

表 11-20 核素制备场所辐射工作人员年有效剂量估算

操作	工作负荷		辐射剂量率 H（μSv/h）	年有效剂量（mSv）
	s/次	次/年		
制药	5h/天（一天两次）	500	0.061	0.038/人（2 人轮岗）
质控	300	3000	0.66	0.083/人（2 人轮岗）
药物转运	300	500	1.26	0.026/人（2 人轮岗）

核素制备场所是相对封闭的区域，张贴有电离辐射警告标志，有严格的“两区”管理制度，除工作人员外，其它人员不得入内，普通公众成员不会到达控制区与监督区，因此，不会受到额外的辐射照射。

可能造成影响的主要为核素制备场所南侧电梯间、南侧水冷机房和上方的非辐射工作人员。公众照射时间取回旋加速器全年最长运行时间 1250h 进行核算，公众受照剂量见表 11-21。

表 11-21 核素制备场所周围公众年有效剂量估算

方位	辐射剂量率 H（μSv/h）	居留因子	受照时间（h）	年有效剂量（mSv）
核素制备场所南侧电梯间	3.41E-06	1/20	1250	2.13E-07
核素制备场所南侧水冷机房	4.45E-06	1/20	1250	2.78E-07
核素制备场所上方过道	0.038	1/20	1250	2.38E-03

由以上估算结果分析可知，本项目核素制备场所工作人员和公众成员所受到的额外辐射照射，均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求以及本项目剂量约束值的要求。

（2）核医学动物实验场所

①γ射线辐射影响分析

根据本项目的工程分析可知，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动物注射放射性核素，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。当动物注射了放射性药物之后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动物身体的射线辐射。

本项目核医学动物实验项目使用的放射性核素中，^{18}F 核素注射动物数量最多，日

使用量最大，且各核素操作流程相同，因此核医学动物实验核素对工作场所的辐射影响分析均按照 ^{18}F 核素进行辐射屏蔽分析。

根据医院实验流程，每次实验最多使用 10 只动物，动物在接受药物注射后转移至小动物 PET-CT 机房，显像结束后将动物由小动物 PET-CT 机房转移至注射后饲养室，饲养至衰变结束。

经过计算，本项目核医学动物实验相关辐射工作场所辐射剂量率预测结果见表 11-22。

表 11-22　核医学动物实验辐射工作场所辐射剂量率预测结果

场所名称（计算参考核素/源强）	屏蔽体	拟采取的屏蔽防护材料及厚度	距离（m）	辐射剂量率（μSv/h）
注射室（^{18}F/74MBq）	四侧墙体	[redacted]	1.5	6.08E-04
	防护门		1.5	9.15E-03
	地坪		4.0	2.44E-04
	顶盖		3.5	1.12E-04
	通风橱表面 5cm 处		0.5	0.165
	动物转运箱外表面		0.5	0.987
储源室（^{18}F/74MBq）	四侧墙体		1.5	6.07E-04
	防护门		1.5	9.15E-03
	地坪		4.0	2.44E-04
	顶盖		3.5	1.12E-04
接收室（^{18}F/74MBq）	四侧墙体		1	2.19E-02
	防护门		1	0.330
	传递窗		1	0.218
	地坪		4.0	3.92E-03
	顶盖		3.5	1.80E-03
注射后饲养室（^{18}F/74MBq）	四侧墙体		1.5	0.156
	防护门		1.5	2.35
	地坪		4.0	6.28E-02
	顶盖		3.5	2.88E-02
小动物 PET-CT 机房（^{18}F/7.4MBq）	四侧墙体		2.5	4.03E-03
	防护门		2.5	4.23E-02
	观察窗		2.5	4.23E-02
	地坪		4.0	6.28E-03
	顶盖		3.5	2.88E-03
	摆位工作人员身位		0.5	0.987
解剖室（^{18}F/7.4MBq）	四侧墙体		2.5	5.62E-03
	防护门		2.5	0.112
	地坪		4.0	6.28E-03
	顶盖		3.5	2.88E-03

核医学科研实验室（^{18}F/7.4MBq）	四侧墙体	[redacted]				3.51E-04
						9.26E-04
	防护门					6.97E-03
	地坪					3.92E-04
	顶盖					1.80E-04
	通风橱表面 5cm 处					0.264

注：①根据《放射卫生学》P77，硫酸钡防护砂浆属于低原子序数（＜56）物质组成材料，可以采用密度比，本项目混凝土密度不低于 2.35g/cm³，实心砖密度不低于 1.65g/cm³，硫酸钡防护涂料密度不低于 3.2g/cm³，故每 10mm 硫酸钡防护涂料折算成 13.5mm 混凝土或 19mm 实心砖。
②本项目动物注射药物后保守视为裸源进行计算。
③本项目注射室、注射后饲养室均按照 10 只实验动物用药最大用量保守视为点源进行计算。

由上表估算结果可知，上述各处工作场所剂量率预测值能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的相关要求，故本项目工作场所采取的屏蔽措施能够满足屏蔽防护的需求。

②工作人员及公众个人剂量估算

PET-CT 使用 ^{18}F 核素诊断过程中，工作人员主要受照射环节为分药、注射过程及动物扫描过程。本项目动物 PET-CT 实验显像过程中，职业人员及公众受照射的环节主要为：

1）放射性药物分装、注射操作过程，此操作在通风橱内进行，分药、注射时间分别约 0.5min/只，每次实验最多使用 10 只动物，每次实验分药、注射操作过程各约 5min。

2）将注射放射性药物后的小动物转移至注射后饲养室，分别于给药后不同时间（根据研究目的不同时间差异较大，通常为给药后 2、30、60、120min 等）转移至小动物 PET-CT 机房显像，显像结束后将小动物从机房转移至注射后饲养室，每次实验转移过程需近距离靠近动物共计约 3min。

3）将小动物在麻醉状态下置于动物 PET-CT 的动物舱内，摆位合适后，进行显像扫描，动物摆位时间约 0.5min/只，每次实验该操作过程共计约 5min；扫描时间约 2～10min/只，本项目按 10min/只进行保守估算，即每次实验扫描操作过程共计约 100min。

4）扫描结束后，动物饲养期间会在核医学科研实验室内对动物样品进行检测实验，相关检测实验均在 20mmPb 通风橱内进行，检测实验时间约 8min/只，每批次检

测实验操作过程共计约 80min。

4）根据实验方案不同，必要时，会对部分小动物实施安乐死后解剖，该实验步骤在小动物衰变至解控水平后于南侧解剖室进行，故此操作过程不会对工作人员及公众造成辐射影响。

5）受照时间保守考虑按照每年 50 批次计算，根据上述操作环节，本项目动物实验场所每批次操作时间合计为 248min，每年工作人员核素操作时间（受照时间）共计 206.7h；公众人员受照时间保守按每年总工作时间考虑，即 8×250=2000h。

6）地下二层核素诊断及敷贴治疗场所叠加影响

本项目核医学动物实验场所下方局部场所为核医学核素诊断及敷贴治疗场所，应考虑核素诊断及敷贴治疗场所对核医学动物实验场所的叠加辐射影响，根据表 11-29 中计算结果，保守考虑取核素诊断及敷贴治疗场所顶棚上方辐射剂量率最大值进行叠加计算，即：0.112μSv/h

根据表 11-22 的各关注点处辐射剂量率，结合工作时间，辐射工作人员和公众停留概率，并参照公式 11-12，即可得到各关注点处公众及辐射工作人员的年受照剂量，见表 11-23 和表 11-24。

表 11-23 核医学动物实验场所辐射工作人员年有效剂量估算

操作	工作负荷		辐射剂量率 H（μSv/h）	年有效剂量（mSv）	
	s/次	次/年			
分装、注射	600	50	0.165+0.112	2.31E-03	合计：0.012/人（4 人轮岗）
转运	180	50	0.987+0.112	2.74E-03	
摆位	300	50	0.987+0.112	4.58E-03	
扫描	100min	50	0.0423+0.112	1.29E-02	
动物样品检测实验（核医学科研实验室）	80min	50	0.264+0.112	2.51E-02	

表 11-24 核医学动物实验场所周围公众年有效剂量估算

方位	辐射剂量率 H（μSv/h）	居留因子	受照时间（h）	年有效剂量（mSv）
核医学动物实验场所南侧过道	5.62E-03	1/20	2000	5.62E-04
核医学动物实验场所东侧地下车库	2.19E-02	1/20	2000	2.19E-03
核医学动物实验场所西侧过道	4.03E-03	1/20	2000	4.03E-04
核医学动物实验场所北侧过道	6.07E-04	1/20	2000	6.07E-05
核医学动物实验场所北侧空调机房	4.03E-03	1/40	2000	4.03E-04
核医学动物实验场所上方过道	2.88E-02	1/20	2000	2.88E-03
核医学动物实验场所下方核素诊断及敷贴治疗场所	6.28E-02	1/4	2000	3.14E-02

由以上估算结果分析可知，本项目动物实验室工作人员和公众成员所受到的额外辐射照射，均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于

“剂量限值”的要求以及本项目剂量约束值的要求。

（3）核素诊断及敷贴治疗场所

①放射性核素产生的β射线辐射环境影响分析

本项目核素治疗使用的 ^{32}P 为纯β衰变，在衰变过中仅产生β射线。根据《放射防护实用手册》（主编：赵兰才、张丹枫），β射线在空气中的射程按下式计算。

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{max} \qquad （式 11-15）$$

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/cm^3；铅密度为 11.3g/cm^3；铅玻璃密度为 4.6g/cm^3；

E_{max}—β 射线的最大能量，MeV。

^{32}P 核素β射线在屏蔽材料中理论最大射程见表 11-25

表 11-25 ^{32}P 核素β射线在屏蔽材料中理论最大射程

核素	射线能量（MeV）	空气中射程（cm）	铅中射程（cm）	铅玻璃中射程（cm）
^{32}P	1.71	663	0.075	0.19

由表 11-25 数据可知，放射性核素 ^{32}P 产生的β射线在空气中的射程很短，而本项目核医学科核素诊断场所设置了足够的空间，且有墙体和铅门进行屏蔽，同时β射线在铅中的射程最大为 0.075cm，医护人员在操作过程中穿戴 0.5mmPb 的防护服，且有铅玻璃进行屏蔽，故放射性核素 ^{32}P 产生的β射线对职业人员和公众辐射影响是很小的，本次评价可以忽略。

但β射线在与物质作用会产生轫致辐射，轫致辐射所致 X 射线辐射剂量率估算根据《辐射防护导论》（方杰主编）P133 页：

$$H_r = 4.58\times10^{-14}\cdot A\cdot Z_e\cdot\left(\frac{E_b}{r}\right)^2\cdot\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)\cdot q\cdot\eta \qquad （式 11-16）$$

式中：H_r—距离屏蔽层源 r 米处的辐射剂量率，Gy/h；

r—参考点与屏蔽层的距离，m；

A—放射源活度，Bq；

Z_e—屏蔽材料的有效原子序数；

E_b—轫致辐射的平均能量，MeV；E_b 是入射β粒子的最大能量的 1/3，即

$E_b=E_{max}/3$；

μ_{en}/ρ—平均能量为 E_b 的轫致辐射在空气中的质量能量吸收系数，m^2/kg；

q—参考点所在区域相应的居留因子，保守取 1；

η—透射比，根据公式 $\eta=10^{-d/TVL}$ 得出（其中 TVL 为屏蔽层在 X 射线平均能量下的什值层，d 为屏蔽层的厚度）。

本项目放射性药物使用前均装在西林瓶或塑料注射器中，本次评价考虑在受照物体为有机玻璃的情况下，对 ^{32}P 核素导致的轫致辐射剂量率进行估算。参考《辐射防护导论》（方杰主编）P129 页表 4.4，有机玻璃的有效原子序数保守取值 5.85；根据 P98 页表 3.5 可推导出：^{32}P 核素轫致辐射的平均能量条件下，在铅中的什值层厚度约为 1.03cm。根据公式（式 11-16），职业人员操作过程中的轫致辐射剂量率估算结果见表 11-26。

表 11-26 ^{32}P 核素操作各关注点轫致辐射剂量率估算结果

关注点	源活度（Bq）	屏蔽物质原子序数	E_b（MeV）	μ_{en}/ρ（m^2/kg）	*TVL*（cm）	距离(m)	剂量率(μSv/h)
药物转运（20mmPb 药物铅罐）	7.40E+07	5.85	0.57	9.564E-03	1.03	0.5	2.82E-03
制作敷贴器操作位处（10 mmPb 手套箱）							2.64E-02

注：①有机玻璃的原子序数数据取自《辐射防护导论》表 4.4；
②表格中μ_{en}/ρ数据取自《辐射防护导论》附表 1，保守取 0.5MeVγ射线在铅中的数据；
③表格中 TVL 数据取自《辐射防护导论》表 3.5，保守取 0.5MV 宽束 X 射线在铅中的数据；
④Gy 到 Sv 的转换因子取 1。

根据计算结果可以得知，本项目 ^{32}P 核素在操作过程中轫致辐射对周围辐射剂量率贡献值很小，本次评价可以忽略。

②γ射线辐射影响分析

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：

$$x = TVL \times \lg(\frac{A \cdot \Gamma}{\dot{H}_p \times r^2})$$ （式 11-17）

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），见表 11-27；

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μSv·m^2/MBq·h，见表 11-28；

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（μSv/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：

$$H = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} \times 10^{(-x/TVL)}$$ （式 11-18）

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（μSv/h）。

本项目 PET 诊断工作使用的放射性核素中，^{18}F 核素诊断人数最多，日使用量最大，且各核素诊断流程相同，因此 PET 诊断用核素对工作场所的辐射影响分析均按照 ^{18}F 核素进行辐射屏蔽分析。SPECT 诊断项目仅使用 ^{99m}Tc 核素。同时，PET-CT 机房和 SPECT-CT 机房，除了要考虑 ^{18}F 发射的γ射线外，还应满足 CT 的防护要求。

CT 机产生的 X 射线能量（管电压 150kV）远低于放射性核素 ^{18}F 和 ^{99m}Tc 产生的γ射线的能量，因此 PET-CT 机房和 SPECT-CT 机房的厚度只要满足了屏蔽γ射线的需要，即可满足对 CT 产生 X 射线的屏蔽需要。

本项目放射核素屏蔽材料十分之一层厚度见表 11-27，放射性核素周围剂量当量率常数见表 11-28。

表 11-27　本项目放射性核素屏蔽材料十分之一层厚度(TVL)

核素	铅（11.3g/cm^3），mm	砖（1.65g/cm^3），mm	混凝土（2.35g/cm^3），mm
^{18}F	16.6	263	176
^{99m}Tc	1	160	110
注：数据来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表 I.1。			

表 11-28　本项目放射性核素周围剂量当量率常数

核素	周围剂量当量率常数（裸源）μSv·m²·MBq⁻¹·h⁻¹	患者或受检者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率μSv·m²·MBq⁻¹·h⁻¹
^{18}F	0.143	0.092
^{99m}Tc	0.0303	0.0207
注：数据来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表 H.1。		

根据医院诊疗流程可知，PET 诊断患者注射药物后休息 15 分钟即可进行扫描，PET 候诊室内最多 2 人候诊； PET-CT 每 20 分钟扫描一个病人；扫描完后需留观 15 分钟，PET 留观室内最多 1 人留观。SPECT 诊断患者注射药物后休息 15 分钟即可进行扫描，SPECT 候诊室内最多 2 人候诊；SPECT-CT 每 20 分钟扫描一个病人，扫描完后需留观 15 分钟，SPECT 留观室内最多 1 人留观。

经过计算，本项目核医学诊断及治疗相关辐射工作场所辐射剂量率预测结果见表 11-29。

表 11-29　辐射工作场所辐射剂量率预测结果

场所名称（计算参考核素/源强）	屏蔽体	[redacted]	距离（m）	辐射剂量率(μSv/h)
PET 注射区（^{18}F/370MBq）	四周墙体	370m	1.3	0.186
	注射窗		0.3	0.572
	地坪		3.0	0.056
	顶盖		4.5	0.022
PET 注射后候诊室（^{18}F/740MBq）	四周墙体	370	2.0	0.405
	防护门	10	2.0	1.06
	地坪		3.0	0.287
	顶盖		4.5	0.112
PET-CT 机房（^{18}F/370MBq）	四周墙体	370	3.5	0.066
	受检者防护门		3.5	0.694
	工作人员防护门		3.5	0.347
	观察窗		3.5	0.347
	地坪		3.0	0.144
	顶盖		4.5	0.056
	摆位技师身位	0.	0.5	31.73
PET 留观室（^{18}F/370MBq）	四周墙体	370	2.0	0.203
	防护门		2.0	2.126
	地坪		3.0	0.144
	顶盖		4.5	0.056
PET 区域受检者走廊（^{18}F/370MBq）	四周墙体	370	2.0	0.202
	防护门		2.0	1.06
	地坪		3.0	0.144
	顶盖		4.5	0.056
PET 放废暂存间（^{18}F/37MBq）	四周墙体	370	2.0	0.031
	防护门		2.0	0.33
	地坪		3.0	0.022
	顶盖		4.5	8.70E-03

SPECT 注射室（^{99m}Tc/925MBq）	四周墙体	[redacted]	注套	1.5	2.67E-07
	防护门			1.5	1.25E-14
	注射窗			0.3	3.11E-13
	地坪			3.0	1.66E-07
	顶盖			4.5	5.99E-08
SPECT 注射后候诊室（^{99m}Tc/1850MBq）	四周墙体			2.0	2.05E-02
	防护门			2.0	9.57E-16
	地坪			3.0	2.27E-02
	顶盖			4.5	8.19E-03
SPECT-CT 机房（^{99m}Tc/925MBq）	四周墙体			3.5	2.92E-03
					3.35E-03
	受检者防护门			3.5	1.56E-06
	工作人员防护门			3.5	1.56E-08
	观察窗			3.5	1.56E-08
	地坪			3.0	1.13E-02
	顶盖			4.5	4.09E-03
	摆位技师身位			0.5	24.22
SPECT 留观室（^{99m}Tc/925MBq）	四周墙体			2.0	1.03E-02
	防护门			2.0	4.79E-06
	地坪			3.0	1.14E-02
	顶盖			4.5	4.10E-03
SPECT 放废暂存间（^{99m}Tc/37MBq）	四周墙体			2.0	4.10E-04
	防护门			2.0	1.91E-07
	地坪			3.0	4.54E-04
	顶盖			4.5	1.63E-04
1 号储源室（^{18}F/7400MBq+^{99m}Tc/23125MBq）	四周墙体		储	1.5	2.7E-03
	防护门			1.5	4.9E-02
	传递窗		b	1.5	2.85E-02
	地坪			3.0	1.08E-03
	顶盖			4.5	4.23E-04
1 号分装室（^{99m}Tc/23125MBq）	四周墙体			2.0	3.76E-21
	防护门			2.0	1.75E-27
	地坪			3.0	4.15E-20
	顶盖			4.5	1.50E-20
	药物转运工作人员身位			0.5	8.86E-17
	手套箱			0.5	2.80E-21
2 号分装室（^{18}F/7400MBq）	四周墙体	3		2.0	0.39
	防护门			2.0	2.06
	地坪			3.0	0.28
	顶盖			4.5	0.108
	药物转运工作人员身位			0.5	246.42
	手套箱			0.5	1.03

注：①根据《放射卫生学》P77，硫酸钡防护砂浆属于低原子序数（＜56）物质组成材料，可以采用密度比，本项目混凝土密度不低于 2.35g/cm³，实心砖密度不低于 1.65g/cm³，硫酸钡防护涂料密度不低于 3.2g/cm³，故每 10mm 硫酸钡防护涂料折算成 13.5mm 混凝土或 19mm 实心砖。
②本项目各注射后候诊室、留观室均按照 2 个人药物最大用量保守视为点源进行计算

由上表估算结果可知，上述各处工作场所剂量率预测值能够满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的相关要求，故本项目工作场所采取的屏蔽措施能够满足屏蔽防护的需求。

实际上，患者在注射后候诊室等待过程中，由于衰变作用导致患者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工作人员及公众个人剂量估算

本项目核医学影像诊断工作过程中，职业人员及公众受照射的环节主要为：

3）药物分装：

场所内拟设置 2 个手套箱，药物测活和分装时间约为 60s/次。SPECT 诊断区取分装 ^{99m}Tc 时手套箱外表面剂量率：2.80×10^{-21}μSv/h；PET 诊断区取分装 ^{18}F 时手套箱外表面剂量率：1.03μSv/h。

4）药物转运：

药物转运时间约为 10s/人次，其中 SPECT 诊断区取 ^{99m}Tc 药物转运时工作人员身位处的辐射剂量率：8.86×10^{-17} μ Sv/h，PET 诊断区取 ^{18}F 药物转运时工作人员身位处的辐射剂量率：246.42 μ Sv/h。

5）药物注射

药物注射时间约为 30s/人次，其中 SPECT 诊断区取 ^{99m}Tc 药物注射时工作人员身位处的辐射剂量率：3.11×10^{-13} μ Sv/h；PET 诊断区取 ^{18}F 药物注射时工作人员身位处的辐射剂量率：0.572 μ Sv/h。

6）SPECT-CT和PET-CT诊断患者摆位

SPECT-CT 和 PET-CT 诊断患者摆位时间约为 60s/人次，患者在技师的辅助下（直线距离约 0.5m）进行摆位，摆位人员接触患者的整个过程中均穿戴 0.5mmPb 个人防护用具，PET-CT 机房内额外设置 10mmPb 屏风作为屏蔽防护补偿措施。SPECT-CT 机房内摆位人员处的辐射剂量率保守取 24.22μSv/h，PET-CT 机房内摆位人员处的辐射剂量率：31.73μSv/h。

7）SPECT-CT和PET-CT扫描

扫描时间约为 20min/人次，工作人员采用隔室操作设备进行扫描。依据表 11-29

计算结果可知，SPECT-CT 和 PET-CT 机房工作人员操作位处的最大辐射剂量率分别为 1.56×10^{-8}μSv/h 和 0.347μSv/h，考虑扫描时 PET-CT 的 CT 产生的 X 射线影响，本项目采用《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中规定的 CT 机房外周围剂量当量率限值 2.5μSv/h，作为工作人员操作位处的辐射剂量率，对工作人员的年有效剂量进行保守估算。

8）病人抢救

病人在给药后可能出现身体不适，需由核医学科工作人员进行抢救，抢救时间取 10min/人次，保守考虑每年抢救病人 10 例，抢救人员身位处最大辐射剂量率参考 PET-CT 机房指导人员处辐射剂量率：31.73μSv/h。

9）地下一层核医学动物实验场所叠加影响

由于本项目上方核素诊断及敷贴治疗场所中 2 号分装室和 1 号储源室上层为核医学动物实验场所，应考虑核医学动物实验场所对核素诊断及敷贴治疗场所工作人员的叠加辐射影响，涉及 PET-CT 诊断相关的转运、分装、注射操作，根据表 11-22 中计算结果，保守考虑取地坪下方辐射剂量率最大值进行叠加计算，即：0.0628μSv/h

表 11-30 核素诊断与敷贴治疗工作场所辐射工作人员个人年有效剂量估算

<table>
<tr><th rowspan="2">项目</th><th rowspan="2">操作</th><th colspan="2">工作负荷</th><th rowspan="2">辐射剂量率（μSv/h）</th><th colspan="2" rowspan="2">年有效剂量（mSv）</th></tr>
<tr><th>秒/次</th><th>次/年</th></tr>
<tr><td rowspan="5">SPECT-CT 诊断</td><td>测活、分装</td><td>60</td><td rowspan="3">7500</td><td>2.80E-21</td><td>3.50E-22</td><td rowspan="3">9.72E-15/人（2 人轮岗）</td></tr>
<tr><td>转运</td><td>10</td><td>8.86E-17</td><td>1.85E-18</td></tr>
<tr><td>注射</td><td>30</td><td>3.11E-13</td><td>1.94E-14</td></tr>
<tr><td>摆位</td><td>60</td><td>750</td><td>24.22</td><td>0.303</td><td rowspan="2">2.18/人（3 人轮岗）</td></tr>
<tr><td>扫描</td><td>20min</td><td>7500</td><td>2.5</td><td>6.250</td></tr>
<tr><td rowspan="6">PET-CT 诊断</td><td>测活、分装</td><td>60</td><td rowspan="3">6250</td><td>1.03+0.0628</td><td>0.108</td><td rowspan="3">2.21/人（2 人轮岗）</td></tr>
<tr><td>转运</td><td>10</td><td>246.42+0.0628</td><td>4.279</td></tr>
<tr><td>注射</td><td>30</td><td>0.572+0.0628</td><td>0.033</td></tr>
<tr><td>摆位</td><td>60</td><td>625</td><td>31.73</td><td>0.330</td><td rowspan="2">1.38/人 (4 人轮岗)</td></tr>
<tr><td>扫描</td><td>20min</td><td>6250</td><td>2.5</td><td>5.208</td></tr>
<tr><td>场所全域</td><td>病人抢救</td><td>10min</td><td>10</td><td>31.73</td><td colspan="2">0.053</td></tr>
<tr><td colspan="7">注：①一般情况下医生在控制室内采用语音系统指导患者摆位，必要时进入机房指导（1/10 病人需医生进入机房进行现场摆位），故现场摆位次数按总诊疗次数的 1/10 考虑。</td></tr>
</table>

根据表 11-29，本项目取核医学科核素诊断与敷贴治疗工作场所周围公众可能存在位置的最大剂量率估算居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）选取，具体数值见表 11-2。公众人员受照时间保守按每年总工作时间考虑，即

8×250=2000h。根据个人有效剂量估算公式可估算出工作场所周围公众年有效剂量，估算结果详见表 11-31。

表 11-31 核素诊断与敷贴治疗工作场所公众个人年有效剂量估算

估算对象	剂量率（μSv/h）	居留因子	受照时间（h）	年有效剂量（mSv）
东侧：PET 区域受检者走廊东侧放疗科办公区域	0.202	1/5	2000	0.081
南侧：PET 区域受检者走廊南侧制模间	0.202	1/5		0.081
西侧：SPECT 注射后候诊室西侧地下车库	0.0205	1/20		2.05E-03
北侧：SPECT-CT 机房北侧墙体外楼梯间公众	2.92E-03	1/5		1.17E-03
楼上：PET 注射后候诊室上方地下一层车库	0.112	1/20		0.0112
楼下：PET 注射后候诊室下方地下三层车库	0.287	1/20		0.0287

由以上估算结果分析可知，本项目核医学科核素诊断与敷贴治疗工作场所工作人员和公众成员所受到的额外辐射照射，均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求以及本项目剂量约束值的要求。

（4）核素门诊治疗场所

①放射性核素产生的β射线辐射环境影响分析

本项目核素治疗使用的 ^{89}Sr 为纯β衰变,在衰变过中仅产生β射线。根据《放射防护实用手册》（主编：赵兰才、张丹枫）β射线在空气中的射程计算公式（见式 11-15），，计算可得 ^{89}Sr 核素β射线在屏蔽材料中理论最大射程见表 11-32。

表 11-32 ^{89}Sr 核素β射线在屏蔽材料中理论最大射程

核素	射线能量	空气中射程（cm）	铅中射程（cm）	铅玻璃中射程（cm）
^{89}Sr	1.491	578	0.066	0.16

由表 11-32 数据可知，放射性核素 ^{89}Sr 产生的β射线在空气中的射程很短，而本项目核医学科核素诊断场所设置了足够的空间，且有墙体和铅门进行屏蔽，同时β射线在铅中的射程最大为 0.075cm，医护人员在操作过程中穿戴 0.5mmPb 的防护服，且有铅玻璃进行屏蔽，故放射性核素 ^{89}Sr 产生的β射线对职业人员和公众辐射影响是很小的，本次评价可以忽略。

但β射线在与物质作用会产生轫致辐射，轫致辐射所致 X 射线辐射剂量率估算公式见式 11-16。本项目放射性药物使用前均装在西林瓶或塑料注射器中，本次评价考虑在受照物体为有机玻璃的情况下，对 ^{89}Sr 核素导致的轫致辐射剂量率进行估算。计算可得，职业人员操作过程中的轫致辐射剂量率估算结果见表 11-33。

表 11-33 ^{89}Sr 核素操作各关注点韧致辐射剂量率估算结果

关注点	源活度（Bq）	屏蔽物质原子序数	E_b（MeV）	μ_{en}/ρ（m^2/kg）	*TVL*（cm）	距离(m)	剂量率(μSv/h)
药物转运（20mmPb 药物铅罐）	1.48E+08	5.85	0.497	9.564E-03	1.03	0.5	4.28E-03
注射操作位处（20mmPb 注射窗口）							4.28E-03

注：①有机玻璃的原子序数数据取自《辐射防护导论》表 4.4；
②表格中μ_{en}/ρ数据取自《辐射防护导论》附表 1，保守取 0.5MeVγ射线在铅中的数据；
③表格中 TVL 数据取自《辐射防护导论》表 3.5，保守取 0.5MV 宽束 X 射线在铅中的数据；
④Gy 到 Sv 的转换因子取 1。

根据计算结果可以得知，本项目 ^{89}Sr 核在操作过程中韧致辐射对周围辐射剂量率贡献值很小，本次评价可以忽略。

②γ射线辐射影响分析

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，计算公式同式 11-17：

本项目甲亢、甲吸治疗项目仅使用 ^{131}I 核素进行治疗。

本项目放射核素屏蔽材料十分之一层厚度见表 11-34，放射性核素周围剂量当量率常数见表 11-35。

表 11-34　本项目放射性核素屏蔽材料十分之一层厚度(TVL)

核素	铅（11.3g/cm^3），mm	砖（1.65g/cm^3），mm	混凝土（2.35g/cm^3），mm
^{131}I	11	240	170

表 11-35　本项目放射性核素周围剂量当量率常数

核素	周围剂量当量率常数（裸源）μSv·m^2·MBq^{-1}·h^{-1}	患者或受检者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率μSv·m^2·MBq^{-1}·h^{-1}
^{131}I	0.0595	0.0583

根据医院诊疗流程可知，甲亢患者服药后短暂留观即可离开核医学科，甲亢留观室内最多 1 人留观。

经过计算，本项目核医学诊断及治疗相关辐射工作场所辐射剂量率预测结果见表 11-36。

表 11-36　辐射工作场所辐射剂量率预测结果

场所名称（计算参考核素/源强）	屏蔽体	[redacted]	距离（m）	辐射剂量率（μSv/h）
^{131}I 给药室（^{131}I/370MBq）	四周墙体	3[redacted]	1.5	0.195
	防护门	[redacted]	1.5	1.83
	给药窗口	[redacted]	0.5	1.34
	地坪	[redacted]	3.0	8.28E-02
	顶盖	[redacted]	4.5	3.21E-02
	药物转运	[redacted]	0.5	1.34
^{131}I 留观室（^{131}I/370MBq）	四周墙体	3[redacted]	1.5	0.191
	北侧防护门	[redacted]	1.5	1.79
	南侧防护门（缓冲间）	[redacted]	1.5	1.79
	地坪	[redacted]	3.0	8.11E-02
	顶盖	[redacted]	4.5	3.15E-02
^{131}I 离院缓冲间（^{131}I/370MBq）	四周墙体	3[redacted]	1.5	0.191
	南侧防护门	[redacted]	1.5	1.79
	地坪	[redacted]	3.0	8.11E-02
	顶盖	[redacted]	4.5	3.15E-02
3 号分装室（^{131}I/1850MBq）	四周墙体	3[redacted]	2.0	8.34E-03
	防护门	[redacted]	2.0	7.84E-02
	地坪	[redacted]	3.0	6.29E-03
	顶盖	[redacted]	4.5	2.44E-03
	手套箱	[redacted]	0.5	0.102
2 号储源室（^{131}I/1850MBq）	四周墙体	3[redacted]	1.5	3.43E-06
	南侧防护门	[redacted]	1.5	6.03E-05
	东侧防护门	[redacted]	1.5	3.22E-05
	地坪	[redacted]	3.0	1.45E-06
	顶盖	[redacted]	4.5	5.64E-07

注：①根据《放射卫生学》P77，硫酸钡防护砂浆属于低原子序数（＜56）物质组成材料，可以采用密度比，本项目混凝土密度不低于 2.35g/cm³，实心砖密度不低于 1.65g/cm³，硫酸钡防护涂料密度不低于 3.2g/cm³，故每 10mm 硫酸钡防护涂料折算成 13.5mm 混凝土或 19mm 实心砖。
②本项目留观室按照 1 个人药物最大用量保守视为点源进行计算

由上表估算结果可知，上述各处工作场所剂量率预测值能够满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的相关要求，故本项目工作场所采取的屏蔽措施能够满足屏蔽防护的需求。

③工作人员及公众个人剂量估算

本项目核医学甲亢、甲测治疗工作过程中，职业人员及公众受照射的环节主要为：

1）药物分装：

场所内拟设置 1 个分装柜，药物测活和分装时间约为 60s/次。辐射剂量率取手套箱外表面剂量率：0.102μSv/h。

2）药物转运：

药物转运时间约为 10s/人次，保守考虑人工分装时转运人员身位剂量率：1.34μSv/h。

3）指导服药

指导服药时间约为 30s/人次，保守考虑取人工分装时转运人员身位剂量率：1.34μSv/h。

表 11-37 核素门诊治疗工作场所辐射工作人员个人年有效剂量估算

项目	操作	工作负荷		辐射剂量率（μSv/h）	年有效剂量（mSv）	
		秒/次	次/年			
甲亢治疗、甲吸测定	测活、分装	60	2500	0.102	4.25E-03	0.021/人（2 人轮岗）
	转运	10		1.34	9.31E-03	
	指导服药	30	2500	1.34	2.79E-02	

根据表 11-36，本项目取核医学科门诊治疗工作场所周围公众可能存在位置的最大剂量率估算。居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）选取，具体数值见表 11-2。公众人员受照时间保守按每年总工作时间考虑，即 8×250=2000h。根据个人有效剂量估算公式可估算出工作场所周围公众年有效剂量，估算结果详见表 11-38。

表 11-38 核素门诊治疗场所公众个人年有效剂量估算

估算对象	剂量率（μSv/h）	居留因子	受照时间（h）	年有效剂量（mSv）
东侧：3 号分装室东侧真空机房	8.34E-03	1/40	2000	4.17E-04
南侧：^{131}I 留观室卫生间南侧楼梯间	0.191	1/5		0.078
西侧：^{131}I 给药室西侧地下车库	0.195	1/20		0.020
北侧：2 号储源室北侧地下车库	3.43E-06	1/20		3.46E-07
楼上：^{131}I 给药室上方地下一层车库	0.0828	1/20		8.28E-03
楼下：^{131}I 给药室下方地下三层车库	0.0321	1/20		3.21E-03

由以上估算结果分析可知，本项目核素门诊治疗工作场所工作人员和公众成员所受到的额外辐射照射，均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求以及本项目剂量约束值的要求。

（5）校准用密封源

本项目所使用 ^{22}Na 校准源和 ^{68}Ge 校准源。一般情况下放射源储存在 1 号储源室的保险柜内，进行图片质量校准时从储源室中取出放置在需要校准的设备上采集信息。放射源处于贮存状态时，贮存容器和储源室的屏蔽设施能够完全屏蔽 γ 射线的影

响。校准状态时，使用场所在做了专门防护的检查室内，且校准时，源需放置在设备自带屏蔽体内部，对周围环境影响可忽略不计。

校准时间选择在非运营时间，故不会有非相关人员进入。专门负责校准的工作人员穿着铅衣在检查室对机器进行校准，且本项目使用的校准源活度较低，因此校准源使用过程中对周围环境影响很小，对工作人员的剂量贡献较低，可忽略不计。

11.2.3 介入放射学 DSA 和中型 C 臂机工作场所辐射水平分析

本项目介入放射学机房分布于医技住院楼一层、三层和四层。医技住院楼一层拟设置2间急诊手术室（DSA+CT复合手术），医技住院楼三层拟设置4间DSA手术室和2间ERCP机房，医技住院楼四层拟设置2间复合手术室（DSA+MRI复合手术）。其中2间急诊手术室配套使用2台DSA和1台移动CT（移动CT共用），DSA和CT在复合手术室内独立使用，将根据需求来使用DSA或CT，手术中2台射线装置互相配合使用，但不同时使用，CT使用完将推至2间急诊手术室中间的CT暂存间放置。

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。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可以代表评价范围内可能受到的最大辐射有效剂量。

本项目DSA和中型C臂机主射方向由下往上，机房内的辐射工作人员受到散射和漏射的影响。

（1）关注点选取

为预测本项目DSA、移动CT和中型C臂机安装好后，因装置的正常运行对机房外的辐射工作人员及公众的辐射影响，本报告采用模式预测的方法估算 DSA、移动CT和中型C臂机正常工作时机房外的周围剂量剂量率水平。关注点选取在距离机房墙、观察窗、防护门外0.3m处、顶棚上方(楼上)距顶棚地面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DSA和中型C臂机设备的工作原理，设备在正常工况时，本项目DSA设备参数无法同时达到最大管电压150kV，最大管电流1250mA，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。根据目前一些医院的实际值统计，摄影模式下，普遍情况下DSA和中型C臂机设备的管电压和管

电流为60～100kV/300～500mA；透视模式下管电压和管电流为60～90kV/5～15mA，本环评拟进行保守估算，**采用摄影工况下的设备参数：管电压100kV，管电流500mA；透视工况下的设备参数：管电压90kV，管电流15mA。扫描工况下的CT设备参数：管电压140kV，管电流500mA。**

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）：“除牙科摄影和乳腺摄影用X射线设备外，X射线有用线束中的所有物质形成的等效总滤过，应不小于 2.5mmAl”，本项目购置正规生产厂家生产的设备，滤过参数满足标准要求，本次计算总滤过取2.5mmAl保守读数，采用摄影工况下的设备参数：管电压100kV，管电流500mA；透视工况下的设备参数管电压90kV，管电流15mA；扫描工况下的CT设备参数管电压140kV，管电流500mA。根据《辐射防护手册》（第三分册） P58图3.1（见图11-8）可得到不同总滤过情况下不同电压下距靶1m处的空气比释动能，根据（式11-19）计算可得到射线装置距靶1m处的最大剂量率，见表11-39。

[redacted]

图 11-8 距 X 射线源 1m 处的照射量率随管电压及总滤过厚度变化的情况

根据《辐射防护导论》射线装置距靶 1m 处的空气比释动能率，按（式 11-19）计算：

$$\dot{K}=I\cdot\delta_x\cdot\frac{r_0^2}{r^2}$$ ……（式 11-19）

式中：

$\dot{K}$ —离靶（m）处由 X 射线机产生的初级 X 射线束造成的空气比释动能率，mGy/min；

I—管电流（mA）；

δ_x —管电流为 1mA，距靶 1m 处的发射率常数，mGy/(mA·min)；

r_0—取 1m；

r—源至关注点的距离，m。

表 11-39 不同管电压下距靶 1m 处最大剂量率一览表

设备	运行模式	滤过材料及厚度（mm）	离靶 1m 处空气中的空气比释动能（mGy/mA·s）	运行管电压（kV）	运行管电 流（mA）	距靶 1m 处的最大剂量率（μGy/h）
DSA/中型 C 臂机	摄影	Al，2.5	0.09	100	500	1.62E+08
	透视	Al，2.5	0.075	90	15	4.05E+06
CT		Al，2.5	0.17	140	500	3.06E+08

为更清楚的了解病人情况，医生需进入 DSA 和 ERCP 机房内进行治疗时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视；工作人员摄影模式下采取隔室操作。该手术操作过程共需 1 名医师和 1 名护士，此时第一手术操作位医师位于 0.5mm 铅当量的铅帘后身着 0.5mm 铅当量的铅服，戴铅围脖、铅眼镜等在曝光室内对病人进行直接的手术操作，距离主射线束距离为 0.5m；第二手术位的医师身着 0.5mm 铅当量铅服、戴铅眼镜、铅围脖，距离主射线束最近距离为 1m。

DSA 和中型 C 型臂机手术侧床下有 0.5mm 铅当量的铅帘，将球管完全遮挡，因此 DSA 或中型 C 型臂机球管的泄漏射线和散射射线先经过 0.5mm 铅帘屏蔽后才照射到手术人员，因此第一手术位医生实际上有 1.5mm 铅防护，第二手术位医生实际上有 1mm 铅防护。

（3）屏蔽计算方法及结果

（a）泄漏辐射环境影响分析

泄漏辐射剂量率按初级辐射束的 0.1%计算，计算公式如（式 11-20）所示：

$$H=\frac{f\cdot H_0\cdot B}{R^2}\quad\text{……（式 11-20）}$$

式中：

H—关注点处的泄漏辐射剂量率，Sv/h；

f—泄漏射线比率，取 0.1%；

H_0—距靶点 1m 处的最大剂量率，Sv/h；

R—靶点至关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）计算屏蔽透射因子，（式 11-21）如下：

$$B=\left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X}-\frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}}$$ ……（式 11-21）

式中：

B—屏蔽透射因子；

X—屏蔽材料铅当量厚度，mm；

Gy 到 Sv 的转换因子取 1。

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，本项目拟合参数取值见表 11-40。

表 11-40 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

管电压（kv）	材料	α	β	γ
90	铅	3.067	18.83	0.7726
	混凝土	0.04228	0.1137	0.469
	砖	0.03750	0.08200	0.8920
100（主束）	铅	2.500	15.28	0.7557
	混凝土	0.03925	0.08567	0.4273
	砖	0.03520	0.0880	1.149
100（散射）	铅	2.507	15.33	0.9124
	混凝土	0.03950	0.08440	0.5191
140（CT）	铅	2.009	3.990	0.3420
	混凝土	0.0336	0.0122	0.519
注：拟合参数均取自于《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），没有砖在 100kV 散射条件下的拟合参数，散射辐射影响时，保守用 100kV 主束的拟合参数进行计算；没有砖在 140kV（CT）条件下的拟合参数，散射辐射影响时，保守用 125kV 主束的拟合参数进行计算。				

各预测点泄漏辐射剂量率计算结果见表11-41。

表 11-41 各关注点处泄漏辐射剂量率计算结果一览表（Gy 到 Sv 的转换因子取 1）

场所	工作模式	关注点位置描述	*H_0(μSv/h)*	屏蔽材料及厚度	*R*（m）	*B*	辐射剂量率（μSv/h）
急诊手术室1和急诊手术室2	摄影	南墙、北墙	1.62E+08	[redacted]	3.5	1.89E-08	2.50E-04
		手术室1西墙、手术室2东墙	1.62E+08		4.0	1.89E-08	1.91E-04
		手术室1东墙、手术室2	1.62E+08		4.0	3.39E-06	3.43E-02

		西墙		[redacted]				
		防护门	1.62E+08		3.5	1.18E-05	0.16	
		观察窗	1.62E+08		3.5	1.18E-05	0.16	
		顶棚	1.62E+08		4.0	1.17E-06	1.18E-02	
		地坪	1.62E+08		4.0	6.07E-07	6.15E-03	
	透视	南墙、北墙	4.05E+06		3.5	4.33E-09	1.43E-06	
		手术室1西墙、手术室2东墙	4.05E+06		4.0	4.33E-09	1.10E-06	
		手术室1东墙、手术室2西墙	4.05E+06		4.0	3.69E-07	9.34E-05	
		防护门	4.05E+06		3.5	1.71E-06	5.65E-04	
		观察窗	4.05E+06		3.5	1.71E-06	5.65E-04	
		顶棚	4.05E+06		4.0	3.46E-07	8.76E-05	
		地坪	4.05E+06		4.0	1.83E-07	4.63E-05	
		机房内医师手术位（铅衣内）	4.05E+06	+	0.5	8.15E-04	13.20	
		机房内医师手术位（铅衣外）	4.05E+06		0.5	4.08E-03	66.10	
		机房内护士协作位（铅衣内）	4.05E+06	+	1.0	4.08E-03	16.52	
		机房内护士协作位（铅衣外）	4.05E+06		1.0	2.52E-02	102.06	
	CT	南墙、北墙	3.06E+08		3.0	6.67E-07	2.27E-02	
		手术室1西墙、手术室2东墙	3.06E+08		4.0	6.67E-07	1.28E-02	
		手术室1东墙、手术室2西墙	3.06E+08		4.0	1.50E-05	0.29	
		防护门	3.06E+08		4.0	4.32E-05	0.83	
		观察窗	3.06E+08		4.0	4.32E-05	0.83	
		顶棚	3.06E+08		4.0	4.96E-05	0.95	
		地坪	3.06E+08		4.0	3.26E-05	0.62	
DSA手术室1～DSA手术室4、	摄影	四侧墙体	1.62E+08		2.5	1.89E-08	4.90E-04	
		防护门	1.62E+08		2.5	3.39E-06	8.79E-02	
		观察窗	1.62E+08		2.5	3.39E-06	8.79E-02	
		顶棚、地坪	1.62E+08		4.0	2.51E-06	2.54E-02	

1号ERCP机房和2号ERCP机房	透视	四侧墙体	4.05E+06	[redacted]	2.5	4.33E-09	2.81E-06
		防护门	4.05E+06		2.5	3.69E-07	2.39E-04
		观察窗	4.05E+06		2.5	3.69E-07	2.39E-04
		顶棚、地坪	4.05E+06		4.0	1.05E-06	2.66E-04
		机房内医师手术位（铅衣内）	4.05E+06		0.5	8.15E-04	13.20
		机房内医师手术位（铅衣外）	4.05E+06		0.5	4.08E-03	66.10
		机房内护士协作位（铅衣内）	4.05E+06		1.0	4.08E-03	16.52
		机房内护士协作位（铅衣外）	4.05E+06		1.0	2.52E-02	102.06
复合手术室1、复合手术室2	摄影	四侧墙体	1.62E+08		4.0	4.14E-05	0.42
		防护门	1.62E+08		4.0	1.18E-05	0.12
		观察窗	1.62E+08		4.0	1.18E-05	0.12
		顶棚、地坪	1.62E+08		4.0	2.51E-06	2.54E-02
	透视	四侧墙体	4.05E+06		4.0	7.93E-06	2.01E-03
		防护门	4.05E+06		4.0	1.71E-06	4.33E-04
		观察窗	4.05E+06		4.0	1.71E-06	4.33E-04
		顶棚、地坪	4.05E+06		4.0	1.05E-06	2.66E-04
		机房内医师手术位（铅衣内）	4.05E+06		0.5	8.15E-04	13.20
		机房内医师手术位（铅衣外）	4.05E+06		0.5	4.08E-03	66.10
		机房内护士协作位（铅衣内）	4.05E+06		1.0	4.08E-03	16.52
		机房内护士协作位（铅衣外）	4.05E+06		1.0	2.52E-02	102.06

注：硫酸钡涂料的等效铅当量保守取《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）P105，管电压为 150kV 时的值：17mm 硫酸钡涂料（钡水泥）为 1mmPb，38mm 硫酸钡涂料为 2mmPb，利用插值法可计算得:10mm 硫酸钡涂料等效铅当量约为 0.6mmPb,15mm 硫酸钡涂料等效铅当量约为 0.9mmPb,20mm 硫酸钡涂料等效铅当量约为 1.1mmPb。

（b）病人体表散射辐射环境影响分析

对于病人体表的散射的 X 射线可以采用反照射率法估算，可按以下（式 11-22）进行估算。

$$H_S = \frac{H_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot \mathrm{s}}{\left(\mathrm{d}_0 \cdot \mathrm{d}_\mathrm{s}\right)^2} \quad \text{……（式 11-22）}$$

式中：

H_s—关注点处的患者散射辐射剂量率，μSv/h；

H_0—距靶点 1m 处的最大剂量率，μSv/h；

α—患者对 X 射线的散射比，α=a/400 查《辐射防护手册第一分册》P437 表 10.1 得 a=0.0013（90°散射）；

S—散射面积，取 100cm^2；

d_0—源与患者的距离，m；

d_S—患者与关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子。

各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果见表 11-42。

表 11-42 各关注点处散射辐射剂量率计算结果一览表（Gy 到 Sv 的转换因子取 1）

场所	工作模式	关注点位置描述	H_0(μSv/h)	[redacted]	d_0(m)	d_s(m)	B	辐射剂量率（μSv/h）
急诊手术室 1 和急诊手术室 2	摄影	南墙、北墙	1.62E+08	[redacted]	0.6	3.5	2.51E-08	3.00E-04
		手术室1西墙、手术室2东墙	1.62E+08	[redacted]	0.6	4.0	2.51E-08	2.29E-04
		手术室1东墙、手术室2西墙	1.62E+08	[redacted]	0.6	4.0	5.14E-06	4.70E-02
		防护门	1.62E+08	[redacted]	0.6	3.5	1.80E-05	0.22
		观察窗	1.62E+08	[redacted]	0.6	3.5	1.80E-05	0.22
		顶棚	1.62E+08	[redacted]	0.6	4.0	2.51E-06	2.29E-02
		地坪	1.62E+08	[redacted]	0.6	4.0	1.29E-06	1.18E-02
	透视	南墙、北墙	4.05E+06	[redacted]	0.6	3.5	4.33E-09	1.29E-06
		手术室1西墙、手术室2东墙	4.05E+06	[redacted]	0.6	4.0	4.33E-09	9.89E-07
		手术室1东墙、手术室2西墙	4.05E+06	[redacted]	0.6	4.0	3.69E-07	8.43E-05
		防护门	4.05E+06	[redacted]	0.6	3.5	1.71E-06	5.10E-04
		观察窗	4.05E+06	[redacted]	0.6	3.5	1.71E-06	5.10E-04
		顶棚	4.05E+06	[redacted]	0.6	4.0	3.46E-07	7.91E-05
		地坪	4.05E+06	[redacted]	0.6	4.0	1.83E-07	4.18E-05
		机房内医师手术位（铅衣内）	4.05E+06	[redacted]	0.6	0.5	8.15E-04	11.92
		机房内医师手术位（铅衣外）	4.05E+06	[redacted]	0.6	0.5	4.08E-03	59.67
		机房内护士协作	4.05E+06	[redacted]	0.6	1.0	4.08E-03	14.92

		位（铅衣内）		[redacted]				
		机房内护士协作位（铅衣外）	4.05E+06	[redacted]	0.6	1.0	2.52E-02	92.14
	CT	南墙、北墙	3.06E+08	[redacted]	0.6	3.0	6.67E-07	2.05E-02
		手术室1西墙、手术室2东墙	3.06E+08	[redacted]	0.6	4.0	6.67E-07	1.15E-02
		手术室1东墙、手术室2西墙	3.06E+08	[redacted]	0.6	4.0	1.50E-05	0.26
		防护门	3.06E+08	[redacted]	0.6	4.0	4.32E-05	0.75
		观察窗	3.06E+08	[redacted]	0.6	4.0	4.32E-05	0.75
		顶棚	3.06E+08	[redacted]	0.6	4.0	4.96E-05	0.86
		地坪	3.06E+08	[redacted]	0.6	4.0	3.26E-05	0.56
DSA手术室1～DSA手术室4、1号ERCP机房和2号ERCP机房	摄影	四侧墙体	1.62E+08	[redacted]	0.6	2.5	2.51E-08	5.87E-04
		防护门	1.62E+08	[redacted]	0.6	2.5	5.14E-06	0.12
		观察窗	1.62E+08	[redacted]	0.6	2.5	5.14E-06	0.12
		顶棚、地坪	1.62E+08	[redacted]	0.6	4.0	3.86E-06	3.53E-02
	透视	四侧墙体	4.05E+06	[redacted]	0.6	2.5	4.33E-09	2.53E-06
		防护门	4.05E+06	[redacted]	0.6	2.5	3.69E-07	2.16E-04
		观察窗	4.05E+06	[redacted]	0.6	2.5	3.69E-07	2.16E-04
		顶棚、地坪	4.05E+06	[redacted]	0.6	4.0	1.05E-06	2.40E-04
		机房内医师手术位（铅衣内）	4.05E+06	[redacted]	0.6	0.5	8.15E-04	11.92
		机房内医师手术位（铅衣外）	4.05E+06	[redacted]	0.6	0.5	4.08E-03	59.67
		机房内护士协作位（铅衣内）	4.05E+06	[redacted]	0.6	1.0	4.08E-03	14.92
		机房内护士协作位（铅衣外）	4.05E+06	[redacted]	0.6	1.0	2.52E-02	92.14
复合手术室1、复合手术室2	摄影	四侧墙体	1.62E+08	[redacted]	0.6	4.0	6.31E-05	0.58
		防护门	1.62E+08	[redacted]	0.6	4.0	1.80E-05	0.17
		观察窗	1.62E+08	[redacted]	0.6	4.0	1.80E-05	0.17
		顶棚、地坪	1.62E+08	[redacted]	0.6	4.0	3.86E-06	3.53E-02
	透视	四侧墙体	4.05E+06	[redacted]	0.6	4.0	7.93E-06	1.81E-03
		防护门	4.05E+06	[redacted]	0.6	4.0	1.71E-06	3.91E-04
		观察窗	4.05E+06	[redacted]	0.6	4.0	1.71E-06	3.91E-04
		顶棚、地坪	4.05E+06	[redacted]	0.6	4.0	1.05E-06	2.40E-04
		机房内医师手术位（铅衣内）	4.05E+06	[redacted]	0.6	0.5	8.15E-04	11.92
		机房内医师手术位（铅衣外）	4.05E+06	[redacted]	0.6	0.5	4.08E-03	59.67
		机房内护士协作位（铅衣内）	4.05E+06	[redacted]	0.6	1.0	4.08E-03	14.92
		机房内护士协作	4.05E+06	[redacted]	0.6	1.0	2.52E-02	92.14

		位（铅衣外）						

注：硫酸钡涂料的等效铅当量保守取《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）P105，管电压为 150kV 时的值：17mm 硫酸钡涂料（钡水泥）为 1mmPb，38mm 硫酸钡涂料为 2mmPb，利用插值法可计算得:10mm 硫酸钡涂料等效铅当量约为 0.6mmPb,15mm 硫酸钡涂料等效铅当量约为 0.9mmPb,20mm 硫酸钡涂料等效铅当量约为 1.1mmPb。

根据表 11-41 和表 11-42 的计算结果，将各个预测点的总的辐射剂量率统计于下表 11-43。

表 11-43 复合手术室各关注点处辐射剂量率估算结果一览表

场所	工作状态	关注点	泄漏辐射剂量率（μSv/h）	散射辐射剂量率（μSv/h）	总辐射剂量率(μSv/h)
急诊手术室 1 和急诊手术室 2	摄影	南墙、北墙	2.50E-04	3.00E-04	5.50E-04
		手术室1西墙、手术室2东墙	1.91E-04	2.29E-04	4.20E-04
		手术室1东墙、手术室2西墙	3.43E-02	4.70E-02	8.13E-02
		防护门	0.16	0.22	0.38
		观察窗	0.16	0.22	0.38
		顶棚	1.18E-02	2.29E-02	3.47E-02
		地坪	6.15E-03	1.18E-02	1.80E-02
	透视	南墙、北墙	1.43E-06	1.29E-06	2.72E-06
		手术室1西墙、手术室2东墙	1.10E-06	9.89E-07	2.09E-06
		手术室1东墙、手术室2西墙	9.34E-05	8.43E-05	1.78E-04
		防护门	5.65E-04	5.10E-04	1.08E-03
		观察窗	5.65E-04	5.10E-04	1.08E-03
		顶棚	8.76E-05	7.91E-05	1.67E-04
		地坪	4.63E-05	4.18E-05	8.81E-05
		机房内医师手术位（铅衣内）	13.20	11.92	25.12
		机房内医师手术位（铅衣外）	66.10	59.67	125.77
		机房内护士协作位（铅衣内）	16.52	14.92	31.44
		机房内护士协作位（铅衣外）	102.06	92.14	194.2
	CT	南墙、北墙	2.27E-02	2.05E-02	4.32E-02
		手术室1西墙、手术室2东墙	1.28E-02	1.15E-02	2.43E-02
		手术室1东墙、手术室2西墙	0.29	0.26	0.55
		防护门	0.83	0.75	1.58
		观察窗	0.83	0.75	1.58
		顶棚	0.95	0.86	1.81
		地坪	0.62	0.56	1.18
DSA 手术室 1～DSA 手术室 4、1 号 ERCP 机房	摄影	四侧墙体	4.90E-04	5.87E-04	1.08E-03
		防护门	8.79E-02	0.12	0.21
		观察窗	8.79E-02	0.12	0.21
		顶棚、地坪	2.54E-02	3.53E-02	6.07E-02
	透视	四侧墙体	2.81E-06	2.53E-06	5.34E-06
		防护门	2.39E-04	2.16E-04	4.55E-04
		观察窗	2.39E-04	2.16E-04	4.55E-04
		顶棚、地坪	2.66E-04	2.40E-04	5.06E-04
		机房内医师手术位（铅衣内）	13.20	11.92	25.12
		机房内医师手术位（铅衣外）	66.10	59.67	125.77
		机房内护士协作位（铅衣内）	16.52	14.92	31.44

和2号ERCP机房		机房内护士协作位（铅衣外）	102.06	92.14	194.2
复合手术室1、复合手术室2	摄影	四侧墙体	0.42	0.58	1.00
		防护门	0.12	0.17	0.29
		观察窗	0.12	0.17	0.29
		顶棚、地坪	2.54E-02	3.53E-02	6.07E-02
	透视	四侧墙体	2.01E-03	1.81E-03	3.82E-03
		防护门	4.33E-04	3.91E-04	8.24E-04
		观察窗	4.33E-04	3.91E-04	8.24E-04
		顶棚、地坪	2.66E-04	2.40E-04	5.06E-04
		机房内医师手术位（铅衣内）	13.20	11.92	25.12
		机房内医师手术位（铅衣外）	66.10	59.67	125.77
		机房内护士协作位（铅衣内）	16.52	14.92	31.44
		机房内护士协作位（铅衣外）	102.06	92.14	194.2

由表11-43估算结果可知，按照辐射屏蔽设计方案，本项目正常运行时急诊手术室、DSA手术室、复合手术室和ERCP机房摄影模式下机房外0.3m处的周围剂量当量率最高为1.00μSv/h，透视模式下机房外0.3m处的周围剂量当量率最高为3.82×10^{-3}μSv/h，急诊手术室CT扫描时手术室外0.3m处的周围剂量当量率最高为1.81μSv/h，均不大于2.5μSv/h，满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)的辐射剂量率控制要求。

（4）辐射工作人员和公众剂量估算

（a）工作人员年有效剂量

根据建设单位提供资料，单台介入手术或ERCP手术操作由1名医师、1名技师和1名护士配合完成。本项目医技住院楼一层急诊科2间DSA+CT复合手术室（急诊手术室1-2）每年每间手术室开展介入手术最多600台，拟配置4名医师、4名护士和4名操作技师配合完成，其中单名医师年最大手术台数不超过400台，单名护士或技师年最大手术台数不超过500台；医技住院楼三层介入中心4间DSA手术室（DSA1-4号手术室）每年每间手术室开展介入手术最多2000台，拟配置26名医师、20名护士和20名操作技师配合完成，其中单名医师年最大手术台数不超过400台，单名护士或技师年最大手术台数不超过500台；医技住院楼三层内镜中心2间ERCP用手术室（1-2号ERCP机房）每年每间手术室开展ERCP手术最多600台，拟配置6名医师、5名护士和5名操作技师配合完成，其中单名医师年最大手术台数不超过240台，单名护士或技师年最大手术台数不超过300台；医技住院楼四层手术中心2间DSA+MRI复合手术室（复合手术室1-2），每年每间手术室开展介入手术最多2000台，拟配置12名医师、10名护士和10名操作技师配合完成，其中单名医师年最大手术台数不超

过 400 台，单名护士或技师年最大手术台数不超过 500 台。

摄影工作状态下，平均每台手术 DSA 出束时间为 30s，中型 C 臂机出束时间为 1min；透视工作状态下，平均每台手术 DSA 出束时间为 10min，中型 C 臂机出束时间为 15min；复合手术时平均每台手术 CT 扫描累计出束时间为 1min。护士在手术过程中护士承担记录手术情况、传递医疗器械及辅助医师手术的工作，既有同室操作又有隔室操作，同室时间按透视模式总时间的 1/3 考虑；技师只需负责隔室操作设备。

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）对于工作人员穿戴铅围裙的情况，按照以下公式进行估算有效剂量：

$$E_{外}=0.79H_U+0.051H_O \text{……（式 11-23）}$$

0.79—系数，有甲状腺屏蔽时取 0.79，无屏蔽时取 0.84；

0.51—系数，有甲状腺屏蔽时取 0.051，无屏蔽时取 0.100；

$E_{外}$—有效剂量 E 中的外照射分量,单位为 mSv；

H_u—铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 H_p（10），单位为 mSv；

H_o—铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 H_p（10），单位为 mSv。

①手术医师四肢（手和足）或皮肤年当量剂量分析

本次评价对 DSA 或中型 C 臂机手术医生手部皮肤年当量剂量进行理论计算。进行介入手术时，使用床上 0.5mmPb 铅悬挂防护屏和 0.5mmPb 铅防护吊帘，医生手术时在推送导管时将手部置于床上 0.5mmPb 铅防护吊帘后，即手术医生手部皮肤处剂量率即为表 11-43 中“机房内医师手术位（铅衣外）”和“机房内护士协作位（铅衣外）”处的剂量率。

根据《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》(GBZ/T244-2017)和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，有辐射场空气比释动能率信息时，皮肤吸收剂量用下式进行估算：

$$D_S=C_{KS}\left(\dot{k}\cdot t\right)\cdot 10^{-3} \text{……（式 11-24）}$$

$$H=D_S\cdot W_R \text{……（式 11-25）}$$

式中：D_s—皮肤吸收剂量（mGy）；

C_{ks}—空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数（Gy/Gy），从表 A.5 查空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数 C_{ks}＝1.156mGy/mGy；

$\dot{k}$—手术位置的空气比释动能率，μGy/h；

t—人员累积受照时间，h；

H—关注点的当量剂量，mSv；

W_R—辐射权重因数，X 射线取 1。

②手术医师眼晶体年当量剂量

DSA 或中型 C 臂机设备上方带有 0.5mmPb 铅防护吊帘，手术医师和护士配戴 0.5mmPb 铅防护眼镜。即手术医生眼晶体处剂量率即为表 11-43 中“机房内医师手术位（铅衣内）”和“机房内护士协作位（铅衣内）”处的剂量率。

根据《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》（GBZ/T301-2017）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），有辐射场空气比释动能率信息时，眼晶状体吸收剂量用下式进行估算：

$$D_L = C_{KL} \cdot k \cdot t \quad \text{……（式 11-26）}$$

$$H = D_L \cdot W_R \quad \text{……（式 11-27）}$$

式中：

D_L—眼晶状体吸收剂量（mGy）；

C_{kL}—空气比释动能到眼晶状体吸收剂量的转换系数（mGy/mGy），根据《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》（GBZ/T301-2017），从表 A.4 查空气比释动能到眼晶状体吸收剂量的转换系数，保守取 0.07MeV～0.1MeV 中最大值 C_{kL}＝1.55mGy/mGy；

k—X、γ辐射场的空气比释动能率（μGy/h）；

t—人员累积受照时间，h；

H—关注点的当量剂量，mSv；

W_R—辐射权重因数，X 射线取 1。

手术医生手部皮肤和眼晶体年当量剂量结果见表 11-44。

表 11-44 手术医生手部皮肤和眼晶体年当量剂量计算结果

场所	工作人员	关注点位置描述	关注点剂量率（μSv/h）	年受照时间（h）	年当量剂量（mSv）	剂量约束值（mSv/a）
急诊手术室 1 和急诊手术室 2	手术医师	机房内医师手部皮肤处	125.77	66.67	8.39	125
		机房内医师眼晶体处	25.12	66.67	1.67	20
	手术护士	机房内护士手部皮肤处	194.2	27.78	5.39	125
		机房内护士眼晶体处	31.44	27.78	0.87	20
DSA 手术室	手术	机房内医师手部皮肤处	125.77	66.67	8.39	125

1～DSA 手术室 4	医师	机房内医师眼晶体处	25.12	66.67	1.67	20
	手术护士	机房内护士手部皮肤处	194.2	27.78	5.39	125
		机房内护士眼晶体处	31.44	27.78	0.87	20
1 号 ERCP 机房和 2 号 ERCP 机房	手术医师	机房内医师手部皮肤处	125.77	60	7.55	125
		机房内医师眼晶体处	25.12	60	1.51	20
	手术护士	机房内护士手部皮肤处	194.2	25	4.86	125
		机房内护士眼晶体处	31.44	25	0.79	20
复合手术室 1、复合手术室 2	手术医师	机房内医师手部皮肤处	125.77	33.33	4.19	125
		机房内医师眼晶体处	25.12	33.33	0.84	20
	手术护士	机房内护士手部皮肤处	194.2	13.89	2.70	125
		机房内护士眼晶体处	31.44	13.89	0.44	20

本项目辐射工作人员的年有效剂量估算结果见表 11-45。

表 11-45 工作人员年有效剂量估算结果

场所	工作人员	项目	剂量率(μSv/h)	单人手术台数（台）	单台手术时间(min)	工作时间（h）	总年有效剂量（mSv）	剂量约束值（mSv）
急诊手术室 1 和急诊手术室 2	医师	同室（铅衣内）	25.12	400	10	66.67	1.76	5
		同室（铅衣外）	125.77					
		隔室（摄影）	0.38		0.5	3.33		
		隔室（CT 扫描）	1.58		1	6.67		
	护士	同室（铅衣内）	31.44	500	10	27.78	1.00	5
		同室（铅衣外）	194.2					
		隔室（摄影）	0.38		0.5	59.72		
		隔室（CT 扫描）	1.58		1	8.33		
	技师	隔室（透视）	1.08E-03	500	10	83.33	1.48E-02	5
		隔室（摄影）	0.38		0.5	4.17		
		隔室（CT 扫描）	1.58		1	8.33		
DSA 手术室 1～DSA 手术室 4	医师	同室（铅衣内）	25.12	400	10	66.67	1.75	5
		同室（铅衣外）	125.77					
		隔室（摄影）	0.21		0.5	3.33		
	护士	同室（铅衣内）	31.44	500	10	27.78	0.98	5
		同室（铅衣外）	194.2					
		隔室（摄影）	0.21		0.5	59.72		
	技师	隔室（透视）	4.55E-04	500	10	83.33	9.14E-04	5
		隔室（摄影）	0.21		0.5	4.17		
1 号 ERCP 机房和 2 号 ERCP 机房	医师	同室（铅衣内）	25.12	240	15	60.00	1.58	5
		同室（铅衣外）	125.77					
		隔室（摄影）	0.21		1	4.00		
	护士	同室（铅衣内）	31.44	300	15	25.00	0.88	5
		同室（铅衣外）	194.2					
		隔室（摄影）	0.21		1	55.00		
	技师	隔室（透视）	4.55E-04	300	15	75.00	1.08E-03	5
		隔室（摄影）	0.21		1	5.00		
复合手术室 1、复合手术	医师	同室（铅衣内）	25.12	400	10	66.67	1.75	5
		同室（铅衣外）	125.77					
		隔室（摄影）	1.00		0.5	3.33		
	护士	同室（铅衣内）	31.44	500	10	27.78	1.02	5

室 2		同室（铅衣外）	194.2					
		隔室（摄影）	1.00		0.5	59.72		
	技师	隔室（透视）	3.82E-03	500	10	83.33	4.49E-03	5
		隔室（摄影）	1.00		0.5	4.17		

注：1、医生和护士隔室操作时，保守取本项目所有 DSA 和中型 C 臂机工作场所操作室的最大剂量率进行保守估算；

2、护士的同室时间按透视模式总时间的 1/3 考虑，其余时间按隔室（摄影）考虑；

3、技师操作位剂量率取本项目所有 DSA 和中型 C 臂机工作场所操作室的最大剂量率进行保守估算；

4、急诊手术室 1 和急诊手术室 2 在 CT 扫描模式下采用工作场所操作室的最大剂量率进行保守核算。

综上所述，本项目拟建的 2 间急诊手术室、4 间 DSA 手术室、2 间 ERCP 机房和 2 间复合手术室辐射工作人员手部皮肤的年当量剂量最大为 **8.39mSv/a**，辐射工作人员眼晶体的年当量剂量最大为 **1.67mSv/a**，均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的剂量限值要求和本项目提出的辐射工作人员眼晶体的年当量剂量约束值 20mSv；辐射工作人员四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量约束值 125 mSv 的要求；辐射工作人员年有效剂量最大为 **1.76mSv**，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的平均年有效剂量限值（不高于 20mSv/a）和本项目提出的辐射工作人员剂量约束值（不高于 5mSv/a）的要求。

（b）公众有效剂量估算

根据本项目拟建的 2 间急诊手术室、4 间 DSA 手术室、2 间 ERCP 机房和 2 间复合手术室周围环境保护范围内公众的可到达性及停留时间对公众的年受照剂量进行分析。公众年有效剂量计算结果见表 11-46。

表 11-46 公众有效剂量计算结果

场所	关注点位置描述	摄影模式辐射剂量率（μSv/h）	摄影年出束时间（h）	透视模式辐射剂量率（μSv/h）	透视年出束时间（h）	CT模式辐射剂量率（μSv/h）	CT年出束时间（h）	居留因子	年有效剂量（mSv）
急诊手术室1、急诊手术室 2	东侧（楼梯间）	4.20E-04	10.00	2.09E-06	200.00	2.43E-02	20.00	1/20	2.45E-05
	西侧（急诊病房）	4.20E-04	10.00	2.09E-06	200.00	2.43E-02	20.00	1/2	2.45E-04
	南侧（手术过道、医护人员缓冲通道）	5.50E-04	10.00	2.72E-06	200.00	4.32E-02	20.00	1/8	1.09E-04
	上方（ICU、办公室）	3.47E-02	10.00	1.67E-04	200.00	1.81E+00	20.00	1	3.66E-02
	下方（消防控制室、排烟机房）	1.80E-02	10.00	8.81E-05	200.00	1.18E+00	20.00	1/20	1.19E-03
DSA 手术室1、DSA 手术室	北侧（过道、电梯）	1.08E-03	33.33	5.34E-06	666.67	/	/	1/8	4.95E-06
	东侧（洁净走廊）	1.08E-03	33.33	5.34E-06	666.67	/	/	1/8	4.95E-06
	西侧（污物走廊）	1.08E-03	33.33	5.34E-06	666.67	/	/	1/8	4.95E-06

2	南侧（设备间、库房）	1.08E-03	33.33	5.34E-06	666.67	/	/	1/20	1.98E-06
	上方（手术中心）	6.07E-02	33.33	5.06E-04	666.67	/	/	1/2	1.18E-03
	下方（急诊病房）	6.07E-02	33.33	5.06E-04	666.67	/	/	1/8	2.95E-04
DSA 手术室 3、DSA 手术室 4	北侧（设备间、库房）	1.08E-03	33.33	5.34E-06	666.67	/	/	1/20	1.98E-06
	东侧（洁净走廊）	1.08E-03	33.33	5.34E-06	666.67	/	/	1/8	4.95E-06
	DSA 手术室 4 南侧（洁净走廊）	1.08E-03	33.33	5.34E-06	666.67	/	/	1/8	4.95E-06
	DSA 手术室 3 南侧（设备间、净化机房）	1.08E-03	33.33	5.34E-06	666.67	/	/	1/20	1.98E-06
	上方（手术中心）	6.07E-02	33.33	5.06E-04	666.67	/	/	1/4	5.90E-04
	下方（急诊病房、输液区）	6.07E-02	33.33	5.06E-04	666.67	/	/	1/2	1.18E-03
1 号 ERCP 机房、2 号 ERCP 机房	北侧（缓冲间、更衣间）	1.08E-03	20.00	5.34E-06	300.00	/	/	1/8	2.90E-06
	东侧（过道、内镜洗消区）	1.08E-03	20.00	5.34E-06	300.00	/	/	1/8	2.90E-06
	南侧（库房）	1.08E-03	20.00	5.34E-06	300.00	/	/	1/20	1.16E-06
	西侧（洁净走廊）	1.08E-03	20.00	5.34E-06	300.00	/	/	1/8	2.90E-06
	上方（无菌间、洁净走廊）	6.07E-02	20.00	5.06E-04	300.00	/	/	1/4	3.41E-04
	下方（急诊示教室）	6.07E-02	20.00	5.06E-04	300.00	/	/	1/4	3.41E-04
复合手术室 1、复合手术室 2	北侧（洁净走廊）	1.00E+00	33.33	3.82E-03	666.67	/	/	1/8	4.49E-03
	东侧（污物走廊）	1.00E+00	33.33	3.82E-03	666.67	/	/	1/8	4.49E-03
	南侧（污物走廊）	1.00E+00	33.33	3.82E-03	666.67	/	/	1/8	4.49E-03
	上方（休息室、屋顶）	6.07E-02	33.33	5.06E-04	666.67	/	/	1/4	5.90E-04
	下方（DSA 手术室 1-4）	6.07E-02	33.33	5.06E-04	666.67	/	/	1/4	5.90E-04

由上表可知，本项目 2 间急诊手术室、4 间 DSA 手术室、2 间 ERCP 机房和 2 间复合手术室外 50m 保护范围内公众受照剂量最大约为 **3.66×10^{-2}**mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求（不高于 1mSv/a）和本项目提出的公众剂量约束值不超过 0.1mSv/a 的要求。根据剂量率与距离平方成反比的关系，距离机房越远，辐射剂量率越低，距离机房更远处的公众人员受照剂量不会大于 **3.66×10^{-2}**mSv/a。

医院须严格按照《职业性外照射个人监测规范》(GB128-2019)的相关要求，为每一名辐射工作人员配置个人剂量计，所有辐射工作人员按照规范的要求正确配戴个人剂量计，个人剂量委托有资质的单位检测并建立个人剂量档案。对所有辐射工作人员进行合理分工分组。医护人员在机房内手术时须做好防护措施。

11.2.4 大气环境影响分析

（1）医用电子直线加速器及回旋加速器大气环境影响分析

（a）臭氧环境影响分析

直线加速器和回旋加速器运行过程中，X 射线或电子线会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物，根据“表 9”中相关计算分析，本项目直线加速器机房内 X 射线治疗模式所致臭氧浓度为 $3.89\times10^{-6}mg/m^3$；电子线治疗模式所致臭氧浓度为 $0.12mg/m^3$，平衡浓度均小于《室内空气质量标准》（GB/T 18883-2022）中臭氧 1 小时均值≤$0.16mg/m^3$ 要求。废气通过通风管道引至室外排放，经扩散后对机房周围的大气环境影响很小。

回旋加速器机房在连续运行条件下，臭氧的饱和平衡浓度为 $4.21\times10^{-5}mg/m^3$，二氧化氮饱和平衡浓度为 $2.11\times10^{-5}mg/m^3$，远小于《工业场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2007）中臭氧的一小时平均浓度值 $0.3mg/m^3$，二氧化氮的一小时平均浓度值 $5mg/m^3$。废气通过通风管道引至室外排放，经扩散后对机房周围的大气环境影响很小。

（b）感生放射性气体影响分析

根据《辐射防护手册——第三分册》（李德平、潘自强主编）P97 页表 4.4，核反应 ^{12}C（γ，n）^{11}C 的反应阈能为 18.7MeV，所产生核素 ^{11}C 的半衰期为 20.39min；核反应 ^{14}N（γ，n）^{13}N 的反应阈能为 10.6MeV，所产生核素 ^{13}N 的半衰期为 10.0min；^{16}O（γ，n）^{15}O 的反应阈能为 15.7MeV，所产生核素 ^{15}O 的半衰期为 124.0s；Ar 核反应阈能为 6.1MeV，所产生核素 ^{41}Ar 的半衰期为 1.83h。本项目加速器电子最大能量为 22MeV，X 射线能量最大为 15MV；回旋加速器粒子能量最大 16.5 MeV，能量均超过相关核素的反应阈能，与空气中的 Ar、C、O、N 等相互作用，可诱发感生放射性核素 ^{41}Ar、^{11}C、^{15}O、^{13}N，但感生放射性气体产生量较少，且产生的气态感生放射性核素半衰期均较短，一般在正常通风情况下，感生放射性气体不会对辐射工作人员和病人造成危害，对机房周围的大气环境影响很小。

另外由于回旋加速器产生的中子在自屏蔽体内慢化为热中子被吸收，在入射到自屏蔽体前只与自屏蔽体内 5~6m^3（设备厂商提供的参数）的空气发生作用，其中可以

生成 ^{41}Ar 的 ^{40}Ar 只占该空气体积的 1.3%，即 0.065~0.078m^3。所以，低的活化截面和小的活化空气体积，使得 ^{41}Ar 生成率很低，对环境影响很小，建议人员在停机 10 分钟后再进入机房。

（2）核医学科大气环境影响分析

在放射性药物分装、测活、注射、口服过程中、患者摄入药物后候诊、扫描和留观过程及小动物注射后扫描、饲养过程中，药物挥发产生的含放射性核素的废气。

本项目核医学科涉及使用的全部核素均属于液态放射性药物，且大部分放射性药物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，在药物分装、测活、注射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，在整个过程中注射类药物放射性核素气溶胶挥发量很小，几乎不产生放射性废气。本项目主要考虑使用的碘-131，属于易挥发性化合物，碘-131 在操作过程中存在裸露液面，存在一定的挥发量。挥发量按日最大操作量的 0.1%（数据参考《非密封放射性核素治疗后的患者出院考虑》（ICRP 94 号出版物）。本项目 ^{131}I 日最大操作量为 1.85×10^9Bq，经计算 ^{131}I 气溶胶日最大排放量为 1.85×10^6Bq。放射性废气排放时，采用活性炭过滤器+独立排风管道的处理措施，过滤效率大于 99%。因此经过滤后，^{131}I 日最大排放量为 1.85×10^4Bq。本项目核医学科全年工作 250 天，每天累积操作核素时间约 1h，假设人呼吸量为 1.2m^3/h，核医学科排气口所致公众吸入量预测结果见下表。

表 11-47 碘-131 排放浓度和排放速率计算结果

核素	日最大排放量（Bq）	排风量（m^3/h）	排气口气溶胶最大浓度（Bq/m^3）	公众日最大吸入量（Bq）	公众年最大吸入量（Bq）	公众年最大摄入量限值（Bq）
^{131}I	1.85×10^4	4000	4.62	5.54	1386	1.3×10^5

由上表可知，本项目排气口核素所致公众年吸入量小于《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WST 613-2018）规定的公众成员吸入放射性气溶胶年摄入量限值。

本项目核医学科拟设排气口位置位于楼顶，排气口附近无公众长期停留。因此，本项目核医学科产生的放射性废气经过空气稀释后，远低于预测公众年最大吸入量。

表 11-48 含放射性核素的气溶胶所致公众年吸入量预测结果

核素	公众年最大吸入量（Bq）	摄入量所致待积有效剂量转换因子（Sv/Bq）	气溶胶致公众年受照总剂量（mSv/a）
^{131}I	1386	7.2×10^{-8}	9.98×10^{-5}
注：摄入量所致待积有效剂量转换因子取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附表 B7。			

由上表可知，含放射性核素的气溶胶所致公众年受照射剂量远低于对公众照射剂量约束值 0.1mSv/a。因此本项目产生的含放射性核素的气溶胶对周围环境影响较小。

活性炭吸附装置的过滤使用寿命一般为 8～12 个月，医院需每半年对过滤效率进行一次维护和校证，以防止过滤装置失效，造成放射性污染事故。

（3）其他辐射设备大气环境影响分析

本项目涉及的模拟定位 CT、DSA、移动 CT、中型 C 臂机、PET-CT、SPECT-CT 及回旋加速器运行期间会产生少量的臭氧和氮氧化物，其臭氧产生量较小，且各机房均设置有通排风系统，产生的少量臭氧和氮氧化物经通排风系统排至室外经自然稀释后对环境影响较小。

此外，本项目负一层动物实验场所小动物在饲养过程中会产生 NH3、H2S 等恶臭气体，由于本项目实验动物仅为小鼠或大鼠，且动物数量很少，饲养时间短，恶臭气体经动物饲养间排风系统（含在放射性排风系统）的独立排风管道引至屋顶，经过滤器过滤后排放，对周围大气环境影响较小。

11.2.5 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。本项目模拟定位 CT、DSA 及中型 C 臂机采用数字成像，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废水，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，监测达标（总β≤10Bq/L，碘-131 活度浓度≤10Bq/L）或短半衰期衰变池存够最长半衰期核素的 10 个半衰期后/长半衰期衰变池存够 180 天后通过抽水泵将废水排入医院污水管网最后通过医

院污水处理站处理后排入市政污水管网，最终由温江区城市污水处理厂处理后达标排放，对地表水环境影响较小。

11.2.6 固体废物环境影响分析

1、放射性固废

本项目放疗科加速器更换下来的废靶件，由生产单位直接回收处理。

本项目核医学科放射性固废核素种类包含：^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{32}P、^{131}I 和 ^{89}Sr。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，按照普通医疗废物处理。另外核医学科动物实验场所产生的动物尸体属于《国家危险废物名录（2025 年版）》中“HW01 危险废物卫生 841-003-01 病理性废物”，装入专用尸体袋中存放于污物暂存间的冷冻柜中贮存，衰变至解控水平后，依托动物实验室危险废物暂存、管理系统，严格执行危险废物执行转移联单制度，由有资质单位进行无害化处理。

回旋加速器固体靶片一般可重复使用，不需要更换。在意外损坏无法继续使用需要更换时，换下的废靶片、靶膜、过滤网按放射性固体废物处理，在回旋加速器机房内专用的铅废物桶内中暂存，由厂家或有资质单位进行回收。排风口更换下来的活性炭按固体放射性废物处理，同样在废物间内暂存至其放射性比活度低于相应核素的解控水平后，交由有资质单位进行处置。

核医学科 PET-CT 及小动物 PET/SPECT/CT 三模态活体成像系统使用的校准源，退役后由生产单位直接回收处理。

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，对周围环境影响较小。

另外本项目工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾不属于医疗废物，医院按照当地管理部门要求，由市政环卫部门收集清运处置。项目产生固废均得到合理处置，不会对周围环境产生明显影响。

11.2.7 声环境影响分析

区域通排风风机工作时将产生一定的噪声，本项目均选用低噪声风机。根据设计，建设单位拟采取隔声降噪措施，经过距离衰减后，噪声较小，对周围声环境影响较小。

11.3 辐射事故影响分析

11.3.1 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 11-49。

表 11-49 项目的环境风险因子、潜在危害及可能发生的事故等级

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人以上急性死亡。 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、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。

急性放射病发生参考剂量见表 11-50。

表 11-50 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	程度	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

11.3.2 非密封放射性物质及校准源辐射事故影响分析

（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：

（a）放射性药物发生丢失或被盗；

（b）放射性药物操作不当或因其他原因打翻，完全泄露；

（c）分装设备发生故障造成的放射性药物撒漏；

（d）校准源丢失、被盗、失控。

（2）放射性核素撒漏事故工况下辐射影响分析

（a）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。

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。

（b）剂量估算模式与参数选取

根据本项目实际使用核素及相应工作流程，本项目选取核医学科日操作量最大的三种核素 ^{18}F、^{131}I、^{99m}Tc，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。三种核 ^{18}F、^{131}I、^{99m}Tc 的日最大操作量分别为：4.08×10^{10}Bq、1.85×10^{9}Bq、2.78×10^{10}Bq。

（c）计算结果

根据事故情景假设条件计算得出，距源 0.1m~12.6m 范围内剂量率，计算结果见表 11-51。

表 11-51 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（μGy/h）		
	^{18}F	^{131}I	^{99m}Tc
0.1	583440.00	57546.00	11007.50
0.2	145860.00	14386.50	2751.88
0.5	23337.60	2301.84	440.30
1.0	5834.40	575.46	110.08
2.0	1458.60	143.87	27.52
5.0	233.38	23.02	4.40
7.6	101.01	9.96	1.91
10.0	58.34	5.75	1.10

（d）事故后果

根据上表可知，当日 ^{18}F 全部泄漏后，事故持续 1h 后，周围 7.6m 半径范围内的公众受照剂量将超过 0.1mSv，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。^{131}I 和 ^{99m}Tc 事故影响范围较 ^{18}F 小。

（3）校准源丢失、被盗、失控事故工况下辐射影响分析

（a）事故情景假设

①1 枚 ^{22}Na 校准源丢失、被盗、失控，活度最大为 $1.48\times10^{7}Bq$；

②距离最近的人员为 0.2m；

③从丢失、被盗、失控至找到放射源的时间为 12h。

（b）剂量估算

在假设事故情境下，人员在事故持续时间内的受照剂量为 104mSv/次。

（c）事故后果

在上述事故情景假设下，公众受照剂量已超过 5 个连续年的平均剂量限值（1mSv），不构成轻度急性放射病发病，事故持续周期内可造成人员超剂量照射而导致一般辐射事故。由于计算过程未考虑放射性核素衰变，计算结果偏保守。

11.3.3 射线装置辐射事故影响分析

11.3.3.1 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。本项目可能发生的辐射事故如下：

（a）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。

（b）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。

（c）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。

（d）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。

（2）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 151μSv/h（屏蔽体上方 1m 处，γ射线与中子射线剂量率总和），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 1m 处，其受照剂量为 0.005mSv，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，不构成辐射事故。

（3）回旋加速器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，根据建设单位提供的资料，回旋加速器机房核素地沟截面呈 T 型布置，管道下端顶部覆盖 50mmPb 铅砖，上端顶部覆盖承重钢盖板，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 2.04×10^{4}MBq），经计算距离其 1m 处辐射剂量率为 2.837μSv/h，人员居留时间为 8h，其最大受照剂量为 0.023mSv，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 1.92mSv/h，事故持续发生超过 10.4h，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。

11.3.3.2 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；回旋加速器主要环境风险因子为γ射线和中子，危害因素为γ射线和中子超剂量照射；医用直线加速器和回旋加速器只有在开机状态下才会产生射线，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：

（a）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。

（b）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。

（c）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）医用直线加速器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 30Gy/min。以最大吸收剂量率 30Gy/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 5.0Sv/次，超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 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。

11.3.3.3 Ⅲ类射线装置、DSA 和中型 C 臂机辐射事故影响分析

（1）可能发生的辐射事故识别

本项目共涉及Ⅲ类射线装置 5 台，分别为 1 台模拟定位 CT、1 台 PET-CT、1 台 SPECT-CT、1 台小动物 PET/SPECT/CT 三模态活体成像系统和 1 台移动 CT，另外本项目还涉及 DSA 和中型 C 臂机（Ⅱ类射线装置），所用射线装置均为数字成像，无废显定影液及废胶片产生，其主要危害为设备工作时产生 X 射线。上述射线装置管电压较低，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。本项目 5 台Ⅲ类射线装置以及 DSA、中型 C 臂机可能发生的辐射事故如下：

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

射线装置关机时不会产生 X 射线，不存在影响辐射环境质量的事故，只有当设备开机时才会产生 X 射线等危害因素。射线装置 X 射线能量不大，曝光时间都比较短，

事故情况下，假设考虑人员在无其他屏蔽的情况下处于机房内，由于机房内人员易接触的位置设置有“急停”按钮，只要按下此按钮就可以停止出束，因此受照时间取 30s。计算公众闯入时，距离按 2 米考虑，计算职业人员和检修人员受照时，距离按 1 米考虑。源强保守取 CT 扫描条件下距靶 1m 处输出剂量率计算，在事故状态下环境影响分析结果见表 11-52。

表 11-52 DSA、移动 CT 和中型 C 臂机事故情况下人员受照剂量值

人员类型	事故状况概述	距源距离（m）	事故状态下源强（μSv/h）	受照剂量（Sv）
职业	职业人员无防护受照	1	3.06E+08	1.35
公众	公众无防护受照	2	7.65E+07	0.64
职业	检修人员无防护受照	1	3.06E+08	1.35

根据上表，DSA、移动 CT 和中型 C 臂机在事故状态下短时间内可导致公众受照射剂量超过《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；可导致职业人员受照射剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员平均年受照射剂量 20mSv/a 限值，构成一般辐射事故。

根据上述分析，本项目可能发生的事故为一般辐射事故，若随着受误照人员受照时间的增加，其所受剂量可能远超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值，可能造成更严重的辐射事故。

11.3.4 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管理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，个人计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

12.1 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，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位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。

建设单位以“成五院发[2022]17 号”文成立了辐射安全与防护管理委员会，并于 2025 年对成员进行更新，现成员组成如下：

刘

彦

朗

任

任

星

辐射安全与防护管理领导委员会职责包括：①负责医院辐射防护与环境保护工作的监督与检查，并经常检查各项相关规章制度、辐射防护措施及环境保护措施落实情况；②根据相关法律法规政策组织修订辐射事故应急预案及规章制度；③负责辐射工作人员个人剂量和健康管理，并组织开展对辐射工作场所进行年度监测和年度评估报告的编制工作；④组织实施辐射安全与防护相关法律法规的培训学习，并落实辐射工作人员上岗培训计划；⑤负责对医院所有辐射安全与防护设施、设备进行定期保养，做好保养记录，如有损坏及时协同相关部门进行处理。⑥组织医院开展辐射事故应急演练及辐射事故应急处置及调查公众。

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 档案管理分类

医院应对相关资料进行分类归档放置，包括以下八大类：“制度文件”、“环评资

料”、“许可证资料”、“放射源和射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”。

12.2.2 主要规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2008 年修改）（环境保护部第 3 号令）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第 18 号令）的相关管理要求，非密封放射性物场所的单位应当具备有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。并根据《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》（川环办发[2016]1400 号）的相关要求，医院已制定了一系列辐射安全规章制度，辐射安全管理规章制度落实情况见表 12-1。

表 12-1 本项目辐射管理制度汇总对照分析表

序号	规定的制度	落实情况	备注
1	辐射安全与环境保护管理机构文件	已制定	本项目建成后，拟根据项目开展的实际情况对已有规章制度文件进行更新。
2	辐射安全管理规定(综合性文件)	已制定	
3	辐射工作设备操作规程	已制定	
4	辐射安全和防护设施维护维修制度	已制定	
5	辐射工作人员岗位职责	已制定	
6	放射源与射线装置台账管理制度	已制定	
7	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	已制定	
8	监测仪表使用与校验管理制度	已制定	
9	辐射工作人员培训制度(或培训计划)	已制定	
10	辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定	
11	辐射事故应急预案	已制定	
12	质量保证大纲和质量控制检测计划	已制定	

辐射工作场所需上墙的制度包括但不限于：《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作设备操作规程》和《辐射事故应急响应程序》。上墙制度的内容应字体醒目，简单清楚，体现现场操作性和实用性，尺寸大小为 400mmx600mm。

医院对于各项制度在日常工作中要加强检查督促，认真组织实施，并且应根据国家新发布的相关法律法规内容，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，目前医院已制定的规章制度内容较全面，操作性强，可满足本项目运行的需要。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测仪器和防护设备

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》提出，使用II类射线装置的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警仪、辐射监测仪等仪器。生产和使用非密封型放射性物质的单位还应当有表面污染检测仪。根据以上要求，建议建设单位依据表 12-2 的内容对本项目辐射工作场所进行辐射监测仪器配置。

表 12-2 本项目辐射工作场所辐射监测仪器拟配置清单

工作场所	监测仪器	拟配置数量	备注
核素制备工作场所	环境辐射巡测仪	[redacted]	放疗科、核医学科、介入手术室及 ERCP 手术室等场所共用
	表面污染监测仪		/
	多探头固定式剂量率仪		监测显示器设置在回旋加速器控制室，在回旋加速器机房防护门外、加速器控制室、热室、质控室、放化实验室内设置各设置 1 个监测探头和声光报警装置
	个人剂量报警仪		/
核素诊断及敷贴治疗场所	表面污染监测仪		退更检测室内
	个人剂量报警仪		/
核素治疗场所	表面污染监测仪		退更检测室内
	个人剂量报警仪		/
核素动物实验场所	表面污染监测仪		退更检测室内
	个人剂量报警仪		/
放疗科加速器机房	固定式剂量率仪		每间机房各配置 1 套
	个人剂量报警仪		/
医技住院楼一层急诊手术室	个人剂量报警仪		/
医技住院楼三层 DSA 手术室	个人剂量报警仪		/
医技住院楼三层 ERCP 机房	个人剂量报警仪		/
医技住院楼四层复合手术室	个人剂量报警仪		/

12.3.2 监测计划

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，医院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。

（1）个人剂量监测

医院辐射环境监测工作由辐射安全与防护管理委员会统一领导，各辐射工作业务科室负责组织具体实施。

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。加强检测管理和辐射工作人员职业健康检查管理，保证每名辐射工作人员的个人剂量应每三个月送有资质部门检测一次，并建立个人剂量档案终生保存。

①如果在单个季度出现个人剂量超过1.25mSv时需进行干预，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字。年剂量超过5mSv的管理限制时，暂停该辐射工作人员继续从事放射性作业，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字，并上报当地环境保护主管部门。单年剂量超过20mSv标准时，构成辐射事故，按事故应急预案处理，立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，由辐射事故应急处理领导小组上报当地环境保护主管部门及省级环境保护主管部门。同时上报公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。并及时组织专业技术人员排除事故。配合各相关部门做好辐射事故调查工作。医院须建立个人剂量档案，辐射工作人员调离辐射工作岗位，个人剂量档案要终生保存。

②个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度评估报告一起作为《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。

③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。建设单位应当将个人剂量档案终生保存。

（2）辐射工作场所及周围环境监测

①每年医务部负责联系有放射防护监测资质的机构对医院有射线装置及放射源的科室进行一次环境辐射影响安全防护监测。出具评估报告并存档。

②每年医务部负责联系有资质部门对全院有射线装置及放射源的科室进行安全防护及性能测试，出具评估报告并存档。

③对新增加射线设备做到先环评再建设，手续齐全后再使用。

④内部监测：由医院环保辐射专职监测人员每三月对全院有辐射装置及有放射源的科室进行一次安全监测并记录存档。

⑤应急监测：应急情况下，为查明放射性污染情况和辐射水平，可进行不定期的内部或外部监测。

（3）验收监测

本次评价项目竣工后，建设单位应根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）对配套建设的环境保护设施进行验收，建设单位应如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，报告编制完成 5 个工作日内，建设单位应公开验收报告，公示的期限不得少于 20 个工作日。建设单位在提出验收意见的过程中，可组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

（4）辐射监测的内容和要求

①监测内容：X-γ辐射周围剂量当量率、中子剂量当量率、β表面污染、放射性废水（总β、碘-131 活度浓度）；

②监测布点及数据管理：本项目监测布点应参考环评提出的监测计划（表 12-3）或验收监测布点方案。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。

表 12-3　本项目监测布点方案表

<table>
<tr><th colspan="2">设备名称</th><th colspan="2">监测项目</th><th>监测周期</th><th>监测点位</th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">医用直线加速器、回旋加速器机房</td><td colspan="2">X-γ辐射周围剂量当量率</td><td>委托有资质的单位进行监测，频率为1次/年；验收监测1次；自行开展辐射监测。</td><td rowspan="2">墙体四周外侧、操作人员操作位、防护门外、机房顶棚外等机房外敏感点</td></tr>
<tr><td colspan="2">中子剂量当量率</td><td>委托有资质的单位进行监测，频率为1次/年；验收监测1次</td></tr>
<tr><td rowspan="5">非密封型放射性物质工作场所（核素制备场所、核素诊断及敷贴治疗场所、核素治疗场所、核素动物实验场所）</td><td colspan="2" rowspan="2">X-γ辐射周围剂量当量率</td><td rowspan="2">委托有资质的单位进行监测，频率为1次/年；验收监测1次；自行开展辐射监测。</td><td>SPECT-CT机房和PET-CT机房四周墙体、门（及其门缝）、观察窗表面外 30cm 处、顶棚上方（楼上）距顶棚地面 30cm 处、地面下方（楼下）距楼下地面 170cm 处</td></tr>
<tr><td>距工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处、顶棚上方（楼上）距顶棚地面 30cm 处、地面下方（楼下）距楼下地面 170cm 处</td></tr>
<tr><td rowspan="2">放射性废水</td><td>总β</td><td>封闭暂存时间不满足要求时进行监测</td><td>短半衰期衰变池排放口</td></tr>
<tr><td>总β、碘-131 活度浓度</td><td>封闭暂存时间不满足要求时进行监测</td><td>长半衰期衰变池排放口</td></tr>
<tr><td colspan="2">β表面污染</td><td>每天工作完成后进行一次（出现放射性药物洒落应及时进行监</td><td>放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和</td></tr>
</table>

		测）	包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。
DSA、中型C臂机、模拟定位CT	X-γ空气吸收剂量率	委托有资质的单位进行监测，频率为1次/年；验收监测1次；自行开展辐射监测。	墙体四周外侧、操作人员操作位、防护门外、机房正上方对应区域、机房正下方对应区域等机房外敏感点

③监测范围：控制区和监督区域及周围环境

④监测质量保证

a）落实监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测单位的监测数据与医院监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；或委托有资质的单位对监测仪器进行检定/校核；

b）采用国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

c）完善辐射工作场所环境监测管理制度。

此外，医院需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

（5）辐射监测的可行性

环评认为，医院可以根据上述内容完善辐射工作场所和环境辐射水平监测方案与监测仪表使用与校验管理制度。制订的监测方案，应能够及时反映屏蔽设施的防护效能和放射废物排放达标情况。

12.4 年度评估报告情况

医院应按照规定的格式编写《辐射安全和防护状况年度评估报告》。医院应于每年1月31日前登录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）申报上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，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。

12.5 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等有关放射防护法律、法规的规定，结合医院实际情况，医院已制定了《成都市第五人民医院放射事故应急处置预

案》等应急管理制度和措施。并成立了放射事故应急处置组，应急处置组成员包含相关职能部门的负责人及辐射相关临床医技科室负责人，制度明确了应急处置组的主要职责。预案内容应包括：

（1）目的；

（2）组织架构及职责；

（3）放射工作管理制度；

（4）应急处置程序；

（5）保障措施。

项目单位应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保护部令第18号）第六章第四十三条规定，结合本项目实际情况，对原有辐射事故应急预案予以补充、完善，增加应急设备、应急演练计划等内容。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

（1）项目名称：成都市第五人民医院光华院区核技术利用建设项目

（2）建设单位：成都市第五人民医院（统一社会信用代码：12510100450751864B）

（3）建设性质：新建

（4）建设地点：温江区涌泉街道官河社区，东坡大道（光华 8 线）与规划五环路交叉口西北侧，成都市第五人民医院光华院区内。医院拟在地下二层东侧设置放疗科，在地下二层东侧（放疗科西侧）设置核医学科和核素制备场所，在地下一层东侧设置核医学科动物实验场所，在医技住院楼一层设置 DSA+CT 复合手术室，在医技住院楼三层介入中心设置 DSA 手术室，在医技住院楼三层内镜中心设置 ERCP 机房，在医技住院楼四层设置 DSA+MRI 复合手术室。

（5）建设内容：

①放疗科

医院放疗科拟设置在医院地下二层东侧，新建 3 间直线加速器机房。包括 1 间 15MV 直线加速器机房（下称 1 号加速器机房）和 2 间 10MV 直线加速器机房（下称 2-3 号加速器机房），此外，还拟设置 1 间模拟定位 CT 机房及配套控制室用于放疗病人模拟定位。

1 号加速器机房东墙为 1300mm 混凝土，南墙和北墙主屏蔽区为 3300mm 混凝土、北墙次屏蔽区为 2400mm 混凝土，南墙次屏蔽区为 2200mm 混凝土，顶棚主屏蔽区为 3300mm 混凝土、次屏蔽区为 1500mm 混凝土，机房西侧设 L 型迷路，迷道内墙为 1700mm 混凝土，迷道外墙为 1500mm 混凝土，防护门为 20mm 铅板+200mm 含硼聚乙烯。2 号加速器机房东墙为 1300mm 混凝土，南墙主屏蔽区为 3000mm 混凝土、次屏蔽区为 2200mm 混凝土，北墙主屏蔽区为 3300mm 混凝土、次屏蔽区为 2200mm 混凝土，顶棚主屏蔽区为 3000mm 混凝土、次屏蔽区为 1500mm 混凝土，机房西侧设 L 型迷路，迷道内墙为 2300mm 混凝土，迷道外墙为 2100mm 混凝土，防护门为 18mm 铅板+120mm 含硼聚乙烯。3 号加速器机房东墙为 1300mm 混凝土，南墙主屏蔽区为 3000mm 混凝土、次屏蔽区为 1800mm 混凝土，北墙主屏蔽区为 3000mm 混凝

土、次屏蔽区为 2200mm 混凝土，顶棚主屏蔽区为 3000mm 混凝土、次屏蔽区为 1500mm 混凝土，机房西侧设 L 型迷路，迷道内墙为 1700mm 混凝土，迷道外墙为 1500mm 混凝土，防护门为 18mm 铅板+120mm 含硼聚乙烯。模拟定位 CT 机房（有效使用面积 48.62 ㎡）四侧墙体均为 370mm 实心砖墙+10mm 硫酸钡涂料，防护门和观察窗均为 4.0mm 铅当量，顶棚为 260mm 混凝土，地坪为 250mm 混凝土。

项目开展后，每台加速器按预计每天治疗约 30 人，平均每次治疗量约 2min，每年工作 250 天，质控出束时间约为治疗出束时间的 1/10，加速器每年出束时间约 275h。

②核医学科

医院核医学科建设内容涉及地下二层和地下一层，共包括 4 个部分：

1）拟在地下二层东侧，放疗科北侧区域设置核素制备场所，场所包括 1 间回旋加速器机房及其控制室、设备间、热室、质控室等附属工作用房，新增 1 台 16.5MeV 的回旋加速器制备放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 用于 PET 显像诊断和小动物 PET 显像实验。核医学科核素制备场所非密封放射性核素日等效操作量为 4.71×10^{8}Bq，属乙级非密封放射性物质工作场所。其中回旋加速器机房（约 52.48㎡），四侧墙体、顶棚和地坪均为 600㎜ 混凝土，防护门为 15㎜Pb+100㎜ 含硼聚乙烯板。热室（约 65.49㎡）东墙为 600㎜ 混凝土，其余三侧墙体为 300㎜ 混凝土，防护门和传递窗均为 8㎜ 铅当量，热室合成柜采用一体式 100㎜Pb 当量防护；质控室（约 16.61 ㎡）四侧墙体均为 240㎜ 实心砖，防护门和传递窗均为 8㎜ 铅当量；2 间放化实验室（约 20 ㎡）北墙均为 370㎜ 实心砖，其余各侧墙体均为 240㎜ 实心砖，防护门均为 5㎜ 铅当量；无菌检测室（约 6.8 ㎡）的西、北侧墙体均为 240㎜ 实心砖，东、南侧为轻质墙；微生物检测室（约 16.62 ㎡）北、东、南侧墙体为 240㎜ 实心砖，西墙为轻质墙，防护门为 5㎜ 铅当量；阳性对照室（约 8.64 ㎡）的南、西、北墙均为 370㎜ 实心砖，东侧墙体为轻质墙；阳性对照室（约 8.64 ㎡）的南、西、北墙均为 370㎜ 实心砖，东侧墙体为轻质墙；废物间（约 4.82 ㎡）四侧墙体均为 370㎜ 实心砖，防护门均为 5㎜ 铅当量，区域整体顶棚为 260㎜ 混凝土，地坪为 250㎜ 混凝土。

2）拟在地下二层东侧，放疗科西侧设置核医学核素诊断及敷贴治疗场所，场所内拟新增 1 台正电子发射计算机断层成像系统（PET-CT）和 1 台单光子发射计算机断层成像系统（SPECT-CT），拟使用放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc 用于影

像诊断工作，拟配置 7 枚 ^{22}Na 放射源（1.48×10^7Bq1 枚+3.7×10^5Bq6 枚）和 3 枚 ^{68}Ge 放射源（1.11×10^8Bq1 枚+5.5×10^7Bq2 枚）用于 PET-CT 校准。拟在 PET-CT 机房南侧设置 1 间敷贴治疗室，拟使用放射性核素 ^{32}P 用于敷贴治疗。本项目核医学科核素诊断及敷贴治疗场所非密封放射性核素日等效操作量为 1.13×10^8Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所；拟使用的 ^{22}Na 和 ^{68}Ge 均为Ⅴ类放射源，拟配置的 PET-CT 和 SPECT-CT 均属Ⅲ类射线装置。其中 PET-CT 机房（有效面积 47.12㎡）四侧墙体为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，工作人员防护门和观察窗为 15mm 铅当量，受检者防护门为 10mm 铅当量；PET 注射区三侧墙体为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，注射窗采用 40mm 铅当量一体式注射窗；PET 注射后候诊室（约 18.42m^2）四侧墙体为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，防护门为 10mmPb 当量；PET 留观室（约 14.89m^2）四侧墙体为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，防护门为 10mmPb 当量；2 号分装室（约 13.64m^2）四侧墙体为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，防护门为 15mmPb 当量，手套箱为 60mm 铅当量；储源室（约 4.58m^2）四侧墙体为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，防护门为 6mmPb 当量，传递窗为 10mmPb；PET 区域清洁间、PET 区域污物暂存间、PET 区域放废暂存间四侧墙体为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，防护门为 10mmPb 当量；敷贴治疗室（约 5.15m^2）北侧墙体为 370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料，其余三侧墙体为 240mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料，防护门为 2mmPb 当量；敷贴制药室北侧墙体为 370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料，其余三侧墙体为 240mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料，防护门为 3mmPb 当量，房间内手套箱为 10mmPb 当量；SPECT-CT 机房（有效面积 38.22m^2）北侧墙体为 300mm 混凝土，其他三侧墙体为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，工作人员防护门和观察窗为 8mm 铅当量，受检者防护门为 6mm 铅当量。抢救室（约 18.13m^2）、SPECT 注射后候诊室（约 21.56m^2）和 SPECT 留观室（约 8.1m^2）的四侧墙体均为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，防护门为 6mmPb 当量；SPECT 注射室（约 9.12m^2）的四侧墙体均为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，防护门为 10mmPb，注射窗为 10mmPb 当量；1 号分装室（约 20.09m^2）四侧墙体为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，防护门和注射窗口均为 10mm 铅当量，房间内拟设置 1 个 25mm 铅当量手套箱；区域整体顶棚为 260mm 混凝土，地坪为 250mm 混凝土。

3）拟在 SPECT-CT 机房北侧设置核医学门诊治疗工作场所，场所内设置服药室、

甲吸测定室、门诊注射室等核素治疗工作用房，拟使用放射性核素 ^{131}I 用于甲状腺吸碘率测定和甲亢治疗；拟使用放射性核素 ^{89}Sr 用于肿瘤治疗。本项目核医学门诊治疗工作场所非密封放射性核素日等效操作量为 2.00×10^{8}Bq 为乙级非密封放射性物质工作场所。^{131}I 给药室（约 6.71m^2）的四侧墙体均为 370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料，防护门为 8mmPb 当量，给药窗口为 20mmPb 当量；^{131}I 给药后留观室（约 8.61m^2）四侧墙体均为 370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料，留观室内卫生间防护门为 6mmPb 当量，其余防护门为 8mmPb 当量；门诊注射室（约 10.48m^2）四侧墙体均为 370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料，注射窗口为 20mm 铅当量，防护门为 5mm 铅当量；3 号分装室（约 14.72m^2）四侧墙体均为 370mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料，门诊注射窗口为 10mm 铅当量，防护门均为 8mm 铅当量，分装柜为 40mm 铅当量；2 号储源室（约 5.44m^2）四侧墙体均为 370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料，防护门均为 5mmPb 当量；废物暂存间（约 5.67m^2）四侧墙体均为 370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料，出口处防护门为 8mm 铅当量；卫生通过间（约 9.03m^2）四侧墙体均为 370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料，内部隔墙为 240mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料，入口处防护门为 8mm 铅当量。

4）拟在地下一层东侧设置核医学科动物实验场所并设置 1 间小动物 PET 影像机房，新增 1 台小动物 PET/SPECT/CT 三模态活体成像系统，拟使用放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc 用于动物实验，非密封放射性核素日等效操作量为 5.33×10^{6}Bq，为丙级非密封放射性物质工作场所。其中小动物 PET-CT 机房（约 22.5 ㎡）四周墙体为 370㎜ 实心砖+30㎜ 硫酸钡涂料，防护门和观察窗均为 10㎜ 铅当量；核医学科研实验室（约 37.4 ㎡）东侧墙体为 370㎜ 实心砖+10㎜ 硫酸钡涂料，其余三侧墙体为 240㎜ 实心砖+20㎜ 硫酸钡涂料，防护门为 3㎜ 铅当量，注射室（约 8.23 ㎡）、储源室（约 5.48 ㎡）、接收室（约 2.79 ㎡）、注射后观察室（约 6.86 ㎡）的四周墙体均为 370㎜ 实心砖+10㎜ 硫酸钡涂料，防护门均为 5㎜ 铅当量；清洁间（约 3.63 ㎡）、消毒灭菌室（约 3.74 ㎡）、解剖室（约 23.42 ㎡）、污物暂存间四周墙体均为 370㎜ 实心砖+10㎜ 硫酸钡涂料，防护门均为 3㎜ 铅当量；区域内过道非公用墙体为 240㎜ 实心砖+30㎜ 硫酸钡涂料；缓冲间、退更检测室四周墙体为 240㎜ 实心砖+20㎜ 硫酸钡涂料，防护门均为 3㎜ 铅当量；区域整体顶棚为 180㎜ 混凝土，地坪为 260㎜ 混凝土。拟新增一台小动物 PET/SPECT/CT 三模态活体成像系统，属Ⅲ类射线装

置。

③介入放射学工作场所

1）医院拟在医技住院楼一层急诊科设置 2 间 DSA+CT 复合手术室（急诊手术室 1-2）新增 2 台数字减影血管造影系统（DSA）和 1 台滑轨式 X 射线计算机体层摄影设备（CT），2 间手术室之间设置有移动 CT 暂存间，外围设置有控制室、设备间等配套房间。2 间手术室除移动 CT 暂存间隔墙外均为 370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料，移动 CT 暂存间隔墙为 4mmPb 辐射防护板，顶棚为 150mm 混凝土+20mmPb 硫酸钡涂料，地坪为 200mm 混凝土+15mmPb 硫酸钡防护涂料，防护门和观察窗均为 3.5mm 铅当量。DSA 均属Ⅱ类射线装置，CT 属于Ⅲ类射线装置。DSA 和 CT 主要用于心血管、外周血管的介入检查和治疗，以及各部位非血管介入性检查和治疗。预计单台 DSA 开展介入手术 600 台/年，摄影工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 30 秒；透视工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 10 分钟。

2）拟在医技住院楼三层介入中心设置 4 间 DSA 手术室（DSA1-4 号手术室），4 间 DSA 机房四侧墙体均为 370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料，防护门和观察窗均为 4mm 铅当量，顶棚和地坪均为 260mm 混凝土。新增 4 台数字减影血管造影系统（DSA），均属Ⅱ类射线装置。DSA 主要用于神经血管、心血管、外周血管的介入检查和治疗，以及各部位非血管介入性检查和治疗。预计单台 DSA 开展介入手术 2000 台/年，摄影工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 30 秒；透视工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 10 分钟。

3）拟在医技住院楼三层内镜中心设置 2 间 ERCP 用手术室（1-2 号 ERCP 机房），2 间 ERCP 机房四侧墙体均为 370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料，顶棚和地坪均为 260mm 混凝土，防护门和观察窗均为 4mm 铅当量。新增 2 台经内镜逆行胰胆管造影（简称 ERCP）治疗用中型 C 臂机，均属Ⅱ类射线装置。预计单台中型 C 臂机开展介入手术 600 台/年，摄影工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 60 秒；透视工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 15 分钟。

4）拟在医技住院楼四层设置 2 间 DSA+MRI 复合手术室（复合手术室 1-2），2 间手术室间设置有 MRI 机房，外围设置有控制室、缓冲间、库房、设备间等配套房间。2 间手术室四侧墙体均为 3mmPb 辐射防护板，顶棚和顶盖均为 260mm 混凝土+10mmPb 硫酸钡涂料，防护门和观察窗均为 3.5mm 铅当量。新增 2 台数字减影血管造影系统

（DSA），均属Ⅱ类射线装置，主要用于神经血管、心血管、外周血管的介入检查和治疗，以及各部位非血管介入性检查和治疗。预计单台 DSA 开展介入手术 2000 台/年，摄影工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 30 秒；透视工作状态下，平均每台介入手术最长出束时间为 10 分钟。

项目总投资 50000 万元，其中环保投资 806 万元，约占总投资的 1.6%。

13.1.2 产业政策符合性与实践正当性分析

根据《产业结构调整指导目录(2024 年本)》（国家发展和改革委员会令第 7 号，2024 年 2 月 1 日施行），本项目属鼓励类中第六项“核能”第 4 条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”项目和第十三项“医药”中的第 4 条“高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”项目，其建设符合国家现行产业政策。

本项目按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践正当性”的要求。

13.1.3 选址的合理性结论

本项目位于温江区涌泉街道官河社区，东坡大道（光华 8 线）与规划五环路交叉口西北侧，成都市第五人民医院光华院区内。医院北侧为共和路（规划建设中），隔路为居民区（在建中）；西侧为同耕西一巷（规划建设中），隔路为花土街中学（在建中）；东侧为凤凰大街（规划道路）；南侧为荒地。

（1）加速器机房

本项目放疗科位于医院地下二层东侧（下方为土层，上方为覆土层，顶部距地面约 10.4m,地面对应位置为院内道路和绿化），本项目放疗科机房北侧 50m 范围内为科研教学楼、院内绿化和院内道路；东侧 50m 范围内为院内道路和绿化；南侧 50m 范围内为院内道路、院内绿化、荒地；西侧 50m 范围内为医技住院楼、门诊楼、院内道路和绿化。

（2）核医学工作场所

本项目核医学工作场所分布在医院地下二层和地下一层，衰变池位置位于医院东南侧，核素制备场所、核素诊断及敷贴治疗场所和核医学门诊治疗工作场所均位于地下二层东侧，上方为地下车库、净化空调机房、隔油提升间、核医学科动物实验场所、普通实验室、办公室等，下方为地下车库；核医学科动物实验场所位于地下一层东侧，上方为院内过道，下方为核素诊断及敷贴治疗场所、放疗科工作用房，衰变池位置位于医院东南侧。核医学科工作用房北侧 50m 范围内为科研教学楼、院内绿化和院内道路；东侧 50m 范围内为院内道路和绿化；南侧 50m 范围内为院内道路、院内绿化、荒地；西侧 50m 范围内为医技住院楼和院内道路；衰变池北侧 50m 范围内为医技住院楼、院内绿化和院内道路；东侧 50m 范围内为院内道路、绿化和荒地；南侧 50m 范围内为院内道路、院内绿化、荒地；西侧 50m 范围内为医技住院楼和院内道路。

（3）介入放射学工作机房

本项目介入放射学工作用房均位于医技住院楼内，包括医技住院楼一层的急诊手术室 1-2、医技住院楼三层的 DSA 手术室 1-4、医技住院楼三层的 1-2 号 ERCP 机房、医技住院楼四层的 1-2 号复合手术室。

急诊手术室 1-2 上方为 ICU 和办公室，下方为变电所；DSA 手术室 1-4 上方为手术中心，下方为急诊病房和输液区；1-2 号 ERCP 机房上方为无菌间和洁净走廊，下方为急诊示教室；1-2 号复合手术室上方为休息室和屋面，下方为手术中心。

介入放射学工作用房北侧 50m 范围内为门诊楼、院内绿化和院内道路；东侧 50m 范围内为院内道路和医技住院楼；南侧 50m 范围内为院内道路、绿化、发热门诊楼和感染楼，西侧 50m 范围内为院内道路和公共道路。

总结：本项目核医学工作场所、加速器机房和介入放射学机房区域周围 50m 范围内均为医院内部建筑及道路，不存在自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等敏感目标，项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的防护治理措施后对周围环境造成的辐射影响是可接受的，故本项目的选址是可行的。

综上分析，本项目的选址是合理的。

13.1.4 辐射环境质量现状分析

本项目拟建辐射工作场所区域及周围环境 X/γ 辐射空气吸收剂量率范围为 56 nGy/h～74 nGy/h，成都市生态环境局《2023 成都生态环境质量公报》中的成都市环

境γ辐射剂量率连续自动监测年均值范围（67.0~119nGy/h），属于当地正常天然本底辐射水平。

本项目拟建辐射工作场所区域周围环境β表面污染水平均低于设备探测下限，属于当地正常水平。

本项目拟建辐射工作场所区域周围环境中子周围剂量当量率水平均低于设备探测下限，属于当地正常水平。

13.1.5 环境影响评价结论

（1）辐射环境影响分析

本项目加速器机房、模拟定位 CT 机房、核医学工作场所各控制区、DSA 机房和 ERCP 机房屏蔽体外表面 30cm 处的剂量率预测值，满足国家标准的有关规定。

本项目辐射工作人员、周围公众及敏感点成员年受照射有效剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标志》（GB18871-2002）和《放射治疗辐射防护安全与防护要求》（HJ 1198-2021）剂量限值和本项目剂量约束值的要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

（2）水环境影响分析

本项目放射性废水主要来自于病人的排泄废水和清洗废水，依据所在区域实际使用核素的半衰期情况，细分为长半衰期衰变系统和短半衰期衰变系统，长半衰期衰变系统主要承接核医学核素门诊治疗区域产生的废水，涉及放射性核素 ^{131}I（^{89}Sr 治疗病人在注射药物后直接离开，不产生放射性废水）；短半衰期衰变系统主要承接核医学核素制备场所、动物实验场所和核素诊断及敷贴治疗场所产生的放射性废水，涉及放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{99m}Tc。本项目核医学工作场所产生的废水分别在短半衰期衰变池中停留 10 个半衰期、在长半衰期衰变池中停留超 180 天后，监测达标后，排入院内污水处理站，后纳管排放，对周围水环境影响轻微。

本项目放疗科和介入放射学相关辐射工作场所不产生放射性废水，废水主要为医疗废水和生活废水。

废水经过分类预处理后进入院区污水处理站，污水处理站处理工艺为“格栅+调节池+生物接触氧化（缺氧+好氧）+沉淀+消毒池（次氯酸钠）”，处理后的废水达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）规定标准限值要求后经院区污水管线排入市政污水管网，最终由温江区城市污水处理厂处理后达标排放。对周围水环境

影响是可以接受的。

（3）固废影响分析

本项目核医学科产生的放射性固体废物主要是核素制备场所药物生产过程产生的废弃离子交换柱、纯化柱、滤膜、棉签及擦拭废物、质检一次性实验耗材；动物实验场所产生的一次性实验耗材、给药后动物排泄物及下垫物；核素诊断及治疗相关工作产所产生的一次性注射器、口罩、手套、空药瓶、棉签以及擦试废物、一次性口杯；还包括各场所空气净化系统产生的废活性炭等。放射性固废采用专门的固废收集桶收集后，暂存于源库衰变 10 个半衰期（含 ^{131}I 的放射性废物衰变超 180 天）经监测达标后按照普通医疗废物由当地有资质单位定期处置；回旋加速器固体靶片一般可重复使用，不需要更换。在意外损坏无法继续使用需要更换时，换下的废靶片、靶膜、过滤网按放射性固体废物处理，在回旋加速器机房内专用的铅废物桶内中暂存，由厂家或有资质单位进行回收；另外核医学科动物实验场所产生的动物尸体属于《国家危险废物名录（2025 年版）》中“HW01 危险废物卫生 841-003-01 病理性废物”，装入专用尸体袋中存放于污物暂存间的冷冻柜中贮存，衰变至解控水平后，依托动物实验室危险废物暂存、管理系统，严格执行危险废物执行转移联单制度，由有资质单位进行无害化处理，不会对周围环境产生影响。

本项目放疗科和介入放射学相关辐射工作场所不会产生放射性固体废物。本项目主要在 DSA 介入手术预计产生少量废造影剂容量瓶、废棉签、废药棉、废纱布、废手套等医疗废物。产生的医疗废物先集中收集在污物暂存室，后转运至医院医疗废物垃圾间，定期委托有资质的单位统一外运后专门处理。其他生活垃圾集中收集在垃圾收集站后经分拣后由环卫统一清运。

综上所述，本项目产生的固体废物经妥善处理后对周围环境影响较小。

（4）废气影响分析

本项目核医学相关工作用房产生的废气均由专用排风管道汇集至核医学专用排风井，不与其他非辐射工作区域通排风系统交叉，排风口位于建筑物屋顶，相应密闭设备顶壁均设置活性炭过滤。本项目医用电子直线加速器、模拟定位 CT 机、SPECT-CT、PET-CT、DSA 和中型 C 臂机出束期间产生的臭氧和氮氧化物产生量较低，经机房通排风系统收集排放，对周围大气环境影响较小。

本项目负一层动物实验场所小动物在饲养过程中会产生 NH3、H2S 等恶臭气体，

由于本项目实验动物仅为小鼠或大鼠，且动物数量很少，饲养时间短，恶臭气体经动物饲养间排风系统（含在放射性排风系统）的独立排风管道引至屋顶，经过滤器过滤后排放，对周围大气环境影响较小。

（5）声环境影响分析

本项目采用低噪声设备，本项目通排风设备运行过程中产生的噪声经房间隔声、距离衰减措施后，对项目区域的声环境影响很小。

（6）事故风险与防范

建设单位应按规定完善各项规章制度和事故防范措施，及时修订辐射事故应急预案并严格贯彻执行，项目建成投运后，应认真贯彻实施，以避免发生辐射事故。

13.1.6 辐射防护措施有效性结论

（1）本项目医用直线加速器辐射工作场所门口设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯和机房相通的门能有效联动，加速器机房设有门机联锁和门灯联锁及剂量联锁，要求规格符合有关法律法规的规定。同时，在监督区入口设置中文警示标志，并在地面张贴警戒线。医用直线加速器设备操作台和床体自带急停开关，拟在加速器机房各墙体及迷道外墙上设置急停开关（位置位于人员容易接触位置），以使机房内的人员按动急停开关就能令加速器停机。机房和控制室之间拟设置对讲系统和监控系统。以便医师在操作时观测患者在治疗时的状况、及时处理意外情况。

（2）本项目核医学科拟设置铅注射窗、专用铅分装柜（通风橱或手套箱）、铅防护屏风、铅衰变桶、表面污染监测仪、环境辐射巡测仪、个人剂量报警仪等辐射防护用具，拟配备铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护衣等个人防护用品，在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少不必要的照射；核医学储源室防护门拟设计为铅防盗门，钥匙由专人负责保管；日常期间由值班人员 24 小时监控；出入口安装摄像头及红外报警系统并入科室监控系统；拟设置放射性废水的专用管线及衰变池、放射性废气专用管线及活性炭高效过滤器、放射性废物的专用铅收集桶等，工作用房的通排风均能满足相关标准规范的要求。

（3）本项目拟在介入放射学工作用房控制区入口设置电离辐射警告标志和中文警示标志，并安装工作状态指示灯，灯箱上拟设置如“射线有害，灯亮勿入”的可视警示

语句；拟在监督区入口门上设置电离辐射警示标志，地面拟张贴警示线；机房防护门拟设置闭门装置和防夹装置；控制室和各机房拟设置对讲装置；床体和控制室均拟设置急停按钮，并拟在机房墙面增设 1 个急停按钮。已为介入放射学医护人员和患者配备铅衣、铅眼镜、铅帽、铅防护围脖、铅手套、铅屏风等辐射防护用品。

（4）控制区拟设置相应的警示标志，限制无关人员进入。

（5）本项目运行后，辐射工作人员拟佩戴个人剂量计并建立个人剂量档案，定期进行职业健康体检并建立职业健康档案。拟配备个人剂量计、个人剂量报警仪，在加速器机房内拟设置固定式辐射报警仪。

综上所述，本项目拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

13.1.7 环保设施与保护目标

医院须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。

13.1.8 辐射安全管理的综合能力

建设单位目前已成立了辐射安全与防护管理委员会，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作；医院应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射管理制度，以适应当前环保的管理要求；本项目建成后辐射工作人员须进行上岗培训，并进行职业健康监护和个人剂量监测，建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

13.2 项目环保可行性结论

在坚持“三同时”的原则，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，评价认为，本项目运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.3 建议与承诺

13.3.1 工作场所建设

墙体施工时应请专门的施工单位进行施工，保证混凝土密度满足要求，砖块缝隙间水泥砂浆密实饱满，并确保墙面防护涂料涂抹均匀，保证防护厚度符合要求；使用的屏 蔽防护材料应向专业厂家购置；防护门、窗安装时注意搭接处的防护，防护门与墙、窗 与墙、墙体之间搭接处重叠宽度应不小于空隙的 10 倍。

13.3.2 人员培训

根据生态环境部《关于做好 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有

关事项的通知》（环办辐射函〔2019〕853 号）和《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》（2019 年，第 57 号）精神，医院应尽快组织新增辐射工作人员与原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员到生态环境部培训平台（http:/fushe.mee.gov.cn）报名并参加考核。

13.3.3 管理制度

（1）本项目竣工环境保护验收之前，确保拟制定的管理制度完成；原有制度应结合本项目实际情况予以补充、完善。

（2）严格执行本项目在医疗工作过程中对控制区和监督区管理措施，控制人流管理措施，落实分区管理措施。

13.3.4 其它建议和要求

（1）医院应进一步加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

（2）医院各辐射工作场所室内环境空气质量应达到《室内空气质量标准》（GB/T 18883-2022）的相关要求。

（3）加强对辐射工作人员个人剂量的管理，若发现季度监测数据超过 1.25mSv，应及时进行调查、查找原因，并采取相应的干预管理措施；定期将辐射监测设备送至有检定资质的单位进行检定，保证监测设备监测数据的有效性。

（4）医用射线装置报废前，医院应采取去功能化措施妥善处理，确保报废装置无法再次通电使用。

（5）定期进行辐射工作场所的检查及监测，如发现监测结果超过管理限制，应及时查找原因、排除事故隐患影响，把辐射影响减少到“可以合理达到的尽可能低的水平”。

（6）医院应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

（7）本项目环评审批后，医院应及时到四川省生态环境厅重新申领《辐射安全许可证》，办理前应登录“全国核技术利用辐射安全申报系统(网址 http://rr.mee.gov.cn/)”中实施申报登记。

（8）根据《建设项目环境保护管理条例》（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。建设项目正式投产运行前，建设单位应按规范进行项目竣工环保验收。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检查一览表见表 13-1。

表 13-1　项目环保竣工验收检查一览表

项目		环保措施
医用直线加速器机房	辐射屏蔽措施	屏蔽防护工程(含防护门)
	安全措施	通排风系统
		门机联锁装置每个机房[redacted]
		门灯联锁设施每个机房[redacted]
		出束音响提示装置每个机房[redacted]
		紧急开门按钮每个机房[redacted]
		急停开关（每个机房不少[redacted]
		监控系统每个机房[redacted]
		对讲系统每个机房[redacted]
		灭火装置每个机房[redacted]
		固定式剂量率仪[redacted]
		个人剂量报警仪[redacted]
		电离辐射警告标志、警示标志和警戒线[redacted]
		个人剂量计每
核素制备场所	辐射屏蔽措施	屏蔽防护工程（含防护门[redacted]物合成柜）
	防护设备	[redacted]
		分装柜[redacted]合成柜[redacted]
		药物转运铅[redacted]
		放射性废物[redacted]
		废物衰变箱[redacted]
		铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼[redacted]
		去污工具[redacted]
		活度计[redacted]
		表面污染监测仪
		多探头固定式剂量率仪[redacted]
		个人剂量报警仪[redacted]
		个人剂量计[redacted]
	废水	废水处理设施及相应管道
	废气	净化通风排风系统
核素动物实验场所	辐射屏蔽措施	屏蔽防护工程（含防护门、观察窗）
	防护设备	储源铅箱[redacted]
		药物铅罐[redacted]
		通风橱[redacted]
		放射性废物桶[redacted]
		废物衰变箱[redacted]
		移动铅屏风[redacted]
		铅防护动物转运箱[redacted]
		铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜[redacted]

			去污工具[redacted]
			活度计[redacted]
			表面污染监测仪[redacted]
			个人剂量报警仪[redacted]
			个人剂量计[redacted]
		废水	废水处理设施及相应管道
		废气	净化通风排风系统
	核素诊断及敷贴治疗场所	辐射屏蔽措施	屏蔽防护工程（含防护门、观察窗、注射台）
		防护设备	储源铅箱[redacted]
			药物铅罐[redacted]
			手套箱[redacted]
			手套箱[redacted]
			手套箱[redacted]
			放射性废物桶[redacted]
			废物衰变箱[redacted]
			移动铅屏风[redacted]
			铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼[redacted]
			去污工具[redacted]
			活度计 3[redacted]
			表面污染监测仪[redacted]
			个人剂量报警仪[redacted]
			个人剂量计
		废水	废水处理设施及相应管道
		废气	净化通风排风系统
	核素门诊治疗场所	辐射屏蔽措施	屏蔽防护工程（含防护门、观察窗、注射台）
		防护设备	储源铅箱[redacted]
			药物铅罐[redacted]
			手套箱[redacted]
			放射性废物桶[redacted]
			废物衰变箱[redacted]
			铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜[redacted]
			去污工具[redacted]
			活度计[redacted]
			表面污染监测仪[redacted]
			个人剂量报警仪[redacted]
			个人剂量计[redacted]
		废水	废水处理设施及相应管道
		废气	净化通风排风系统
	介入放射学工作用房	辐射屏蔽措施	防护工程（含防护门、观察窗）
		通排风系统	通排风系统每间机房[redacted]
		安全措施	门灯联锁每间机房[redacted]工作状态指示灯每间机房[redacted]
			急停开关每间机房[redacted]床体和操作台各[redacted]拟在墙[redacted]
			对讲系[redacted]房[redacted]
			电离辐射警告标志、警示标志和警戒线[redacted]
			平开门每扇均配置闭门装置，电动平移门每扇均配置防夹装置

			灭火装置每个机房	[redacted]	
		防护用品	个人剂量计	[redacted]	
			患者防护用	[redacted]	
			医护人员防护用品	[redacted]	
	其他		辐射剂量率仪	[redacted]	

表 14 审批

下一级环保部门预审意见： 经办人：　　公章 年　月　日
审批意见： 经办人：　　公章 年　月　日