

核技术利用建设项目

凉山彝族自治州第一人民医院

(西昌医学高等专科学校附属医院)

长安院区扩建回旋加速器及核医学科

项目环境影响报告表

(公示本)

凉山彝族自治州第一人民医院(西昌医学高等专科学校附属医院)(公章)



2025 年 7 月

生态环境部监制

目录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	22
表 3 非密封放射性物质	23
表 4 射线装置	24
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	25
表 6 评价依据	27
表 7 保护目标与评价标准	30
表 8 环境质量和辐射现状	38
表 9 项目工程分析与源项	44
表 10 辐射安全与防护	63
表 11 环境影响分析	86
表 12 辐射安全管理	99
表 13 结论与建议	106
表 14 审批	111

表 1 项目基本情况

建设项目名称		凉山彝族自治州第一人民医院（西昌医学高等专科学校附属医院） 长安院区扩建回旋加速器及核医学科项目			
建设单位		凉山彝族自治州第一人民医院（西昌医学高等专科学校附属医院）			
法人代表	***	联系人	***	联系电话	***
注册地址		西昌市顺城街			
建设项目地点		西昌市长安街道长安西路 120 号凉山彝族自治州第一人民医院(西昌医学高等专科学校附属医院) 长安院区第二住院楼 1F			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	***	项目环保投资 (万元)	***	投资比例(环保 投资/总投资)	***
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其他			占地面积 (m ²) 1500
应用 类 型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
		☐ 使用	☐ I类(医疗使用) ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
	非密封放 射性物质	☒ 生产	☒ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类		
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类		
		☒ 使用	☒ II类 ☒ III类		
	其他	/			

项目概述:

一、建设单位基本情况

凉山彝族自治州第一人民医院（西昌医学高等专科学校附属医院）系政府举办非营利性三级甲等综合医院，始建于 1939 年，原名西康卫生院，1956 年改为西昌专区医院，1968 年更名为西昌地区医院，1979 年 5 月 1 日定名为凉山彝族自治州第一人民医院，现改为凉山彝族自治州第一人民医院（西昌医学高等专科学校附属医院）。

医院现设院本部（顺城街院区）、长安院区、马道院区，总占地 116.13 亩，开放床位 1600 余张。医院现有 37 个临床科室，34 个护理单元，10 个医技科室；医院

职工人数 3170 余人，其中，博士、硕士研究生 185 人，高级职称 328 人，各级学术技术带头人及后备人选 55 人。医院于 2008 年 11 月通过国家三级甲等综合医院评审，成为四川省民族地区最早的一家三级甲等综合医院。

凉山彝族自治州第一人民医院（西昌医学高等专科学校附属医院）长安院区位于西昌市长安街道长安西路120号，该院区设有6栋功能性建筑：门诊楼（1栋，最高7F），**第二住院楼（本项目所在楼，1栋，3F）**，第一住院部（1栋，最高4F）、医技大楼（1栋，3F）及放疗中心（1栋，1F）为**连通一体建筑**，锅炉房（1栋，1F），消毒供应室（1栋，1F），浆洗房（1栋，1F）以及食堂（1栋，2F）。**整个长安院区的全院区内无地下建筑。**

凉山彝族自治州第一人民医院（西昌医学高等专科学校附属医院）现已开展核技术利用项目，且已取得辐射安全许可证，编号为“***”，种类和范围为“使用II类、III类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所”，有效期至：2029 年 8 月 01 日。

二、项目由来

医院目前已有乙级、丙级非密封放射性物质工作场所，已在院本部（顺城街院区）设有一个核医学科门诊（属乙级非密封放射性物质工作场所），使用 ^{89}Sr 、 ^{131}I 核素进行放射性药物治疗，使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行显像检查；在长安院区肿瘤科CT室使用 ^{125}I （粒子源）开展粒子植入手术（属丙级非密封放射性物质工作场所）。此外，医院目前正在本项目所在的长安院区建设一个甲癌治疗场所（位于门诊附楼1楼，属乙级非密封放射性物质工作场所，已取得四川省生态环境厅的批复，正在申领辐射安全许可证）。

医院因发展需求，进一步提高医院的医疗水平，更好地满足全州广大人民群众의 医疗需求，正在筹备建设凉山彝族自治州地区第一个完整的核医学科，计划在有改造空间的长安院区集中建设具备综合性功能的核医学科制药及门诊区域。因此医院计划对长安院区第二住院楼1F原部分病房、各治疗室、办公室、更衣区、庭院等区域改造（具体改造区域见附图3）成为本项目核医学科回旋加速器中心辐射工作场所、核医学科门诊区辐射工作场所、衰变池、核医学科配套工作用房，改造面积约1500m²。

本项目核医学科回旋加速器中心辐射工作场所（乙级非密封工作场所）内拟配套使用1台11MeV的回旋加速器（II类射线装置），用于制备核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 以供本项目门诊区域进行PET-CT诊断工作。

本项目核医学科门诊区辐射工作场所（乙级非密封工作场所）拟使用 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 用于PET-CT显像，拟使用 ^{67}Ga 、 ^{111}In 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 用于SPECT-CT显像，拟使用 ^{32}P 用于敷贴治疗，其中 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 为核医学科回旋加速器中心辐射工作场所制备或外购，其余核素均外购。同时，核医学科门诊区辐射工作场所拟配套使用1台SPECT-CT及2台PET-CT（III类射线装置）。

本项目为建设两个乙级非密封放射性物质工作场所，依据《中华人民共和国环境保护法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《中华人民共和国环境影响评价法》和《中华人民共和国放射性污染防治法》等相关法律法规要求，建设单位须对该项目进行环境影响评价。

根据中华人民共和国生态环境部 16 号令《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目涉及使用“乙级非密封放射性物质工作场所”，应编制环境影响报告表。受凉山彝族自治州第一人民医院（西昌医学高等专科学校附属医院）的委托，江苏睿源环境科技有限公司承担该项目的环评工作。我公司通过资料调研、现场查勘、现场监测（委托检测单位：四川致胜创科环境监测有限公司）、评价分析，编制该项目环境影响报告表。本项目委托书见附件 1，承诺书见附件 2。

三、项目概况

（一）项目名称、性质、建设地点

（1）项目名称：凉山彝族自治州第一人民医院（西昌医学高等专科学校附属医院）长安院区扩建回旋加速器及核医学科项目

（2）建设单位：凉山彝族自治州第一人民医院（西昌医学高等专科学校附属医院）

（3）建设性质：扩建

（4）建设地点：西昌市长安街道长安西路 120 号凉山彝族自治州第一人民医院（西昌医学高等专科学校附属医院）长安院区第二住院楼 1F

项目地理位置见附图 1。

（二）项目建设内容与建设规模

医院拟将长安院区第二住院楼（1 栋，地上 3 层，无地下建筑，H=10.8m）1 楼原部分病房、各治疗室、办公室、更衣区、庭院等区域改造成为本项目核医学科回旋加速器中心辐射工作场所、核医学科门诊区辐射工作场所、衰变池、核医学科配套工

作用房，改造面积约 1500m²。

1. 场所构成

核医学科回旋加速器中心辐射工作场所位于第二住院楼 1F 的东北部，设计有回旋加速器机房、回旋加速器配套设备间、回旋加速器机房控制室、更衣区（一更室、二更室、退更检测室、紧急冲淋间 1），缓冲间 1、净化通道、洁具间 1、灭菌间、原料库、缓冲间 2（兼更衣）、质控室、放射废物暂存间 1、气瓶间、电井通道、电井、药物合成室（前区及后区）。

核医学科门诊区辐射工作场所位于第二住院楼 1F 的南部（含第二住院楼 1F 的庭院，庭院入口均设置门禁，后期进行管控，只允许医护人员及药物进入），设计有护士站、诊室、敷贴室、源库、紧急冲淋间 2、更衣室、药物分装室、SPECT-CT 注射室、PET-CT 注射室、控制廊（含铅衣/检测区）、SPECT-CT 机房、门诊设备间、PET-CT 机房 1、PET-CT 机房 2、缓冲间 3、缓冲间 4、病患走廊、抢救室/运动负荷间、SPECT-CT 注射后等候室及卫生间、PET-CT 注射后等候室及卫生间，PET-CT VIP 等候室及卫生间，留观室及卫生间、放射性废物暂存间 2、洁具间 2。

本项目配套工作用房集中在第二住院楼 1 楼的东部，设计有护士长办公室、主任办公室、医护走廊、办公/阅片室、示教室、库房 1、库房 2、男女更衣室及卫生间、2 间值班室、休息就餐、弱电间。

2. 核素及射线装置使用情况

2.1 核医学科回旋加速器中心辐射工作场所：

核医学科回旋加速器中心辐射工作场所配套建设 1 间回旋加速器机房，占地面积为 71.28m²（长 8.8m×宽 8.1m），净空使用面积为 52.44m²。本项目拟在回旋加速器机房内安装并使用 1 台回旋加速器，质子能量最大为 11MeV，最大束流为 100μA，生产厂家为***，型号为***，属于Ⅱ类射线装置，用于生产正电子放射性药物。该设备将用于生产 ¹⁸F、¹¹C、¹³N，日等效最大操作量合计为 2.22E+09Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。其中：¹⁸F 日最大操作量为 4.44E+10Bq，日等效最大操作量为 4.44E+08Bq，年最大操作量为 1.11E+13Bq；¹¹C 年日最大操作量为 8.88E+10Bq，日等效最大操作量为 8.88E+8Bq，最大操作量为 5.92E+12Bq；¹³N 年日最大操作量为 8.88E+10Bq，日等效最大操作量为 8.88E+8Bq，最大操作量为 5.92E+12Bq。本项目生产的核素仅供南侧门诊区使用。上述操作量已综合考虑各项损失，能够满足医院使

用需求。

2.2 核医学科门诊区辐射工作场所：

核医学科门诊区辐射工作场所拟使用 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 用于 PET-CT 显像，拟使用 ^{67}Ga 、 ^{111}In 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 用于 SPECT-CT 显像，拟使用 ^{32}P 用于敷贴治疗。上述核素日等效最大操作量合计为 $1.91\text{E}+08\text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 为核医学科回旋加速器中心辐射工作场所制备或外购，其余核素均外购。

其中 ^{18}F 年日最大操作量 $8.88\text{E}+09\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $8.88\text{E}+06\text{Bq}$ ，最大操作量 $2.22\text{E}+12\text{Bq}$ ； ^{11}C 、 ^{13}N 日最大操作量均为 $8.88\text{E}+09\text{Bq}$ ，日等效最大操作量均为 $8.88\text{E}+06\text{Bq}$ ，年最大操作量均为 $5.92\text{E}+11\text{Bq}$ ； ^{67}Ga 日最大操作量 $5.55\text{E}+08\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $5.55\text{E}+06\text{Bq}$ ，年最大操作量 $3.70\text{E}+10\text{Bq}$ ； ^{68}Ga 日最大操作量 $5.55\text{E}+08\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $5.55\text{E}+05\text{Bq}$ ，年最大操作量 $5.55\text{E}+10\text{Bq}$ ； ^{64}Cu 日最大操作量 $8.88\text{E}+08\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $8.88\text{E}+05\text{Bq}$ ，年最大操作量 $5.92\text{E}+10\text{Bq}$ ； ^{89}Zr 日最大操作量 $5.55\text{E}+08\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $5.55\text{E}+06\text{Bq}$ ，年最大操作量 $3.70\text{E}+10\text{Bq}$ ； ^{111}In 日最大操作量 $6.66\text{E}+08\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $6.66\text{E}+06\text{Bq}$ ，年最大操作量 $4.44\text{E}+10\text{Bq}$ ； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 日最大操作量 $1.48\text{E}+10\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $1.48\text{E}+07\text{Bq}$ ，年最大操作量 $3.70\text{E}+12\text{Bq}$ ； ^{131}I 日最大操作量 $9.25\text{E}+08\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $9.25\text{E}+07\text{Bq}$ ，年最大操作量 $2.31\text{E}+11\text{Bq}$ ； ^{32}P 日最大操作量 $3.70\text{E}+08\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $3.70\text{E}+07\text{Bq}$ ，年最大操作量 $9.25\text{E}+10\text{Bq}$ 。

同时拟配套使用 1 台 SPECT-CT(III类射线装置,型号未定,最大管电压为 150kV,最大管电流为 1000mA)及 2 台 PET-CT(III类射线装置,其中一台型号厂家为 GE 联影 uMI 780,最大管电压为 140kV,最大管电流为 833mA,位于 PET-CT 机房 2;另外一台型号未定,最大管电压为 150kV,最大管电流为 1000mA)由于诊断扫描。诊断设备预计配套使用 4-5 枚校准源,通常为V类源或豁免源,待医院在项目开展前确定后将按照《建设项目环境影响评价分类管理名录》填写建设项目环境影响登记表进行备案登记。

根据设备厂家提供参数,医院规划的药物制备量、给药量、日最大患者人数、年最大患者人数,以及各核素半衰期,制药/购药需求统计结果如下(已考虑质控及 SPECT-CT 的校准需求)。

表 1-1 本项目非密封放射性物质制备、用量统计表

核素名称	单个患者配药消耗实际最大用量（mCi/人/次）		日最大患者量（人）	日最大用量（Bq）	年最大病人量	年最大用量（Bq）
核医学科回旋加速器中心辐射工作场所						
¹⁸ F	***	***	***	4.44E+10	2000	1.11E+13
¹¹ C	***	***	***	8.88E+10	200	5.92E+12
¹³ N	***	***	***	8.88E+10	200	5.92E+12
核医学科门诊区辐射工作场所						
¹⁸ F	***		***	8.88E+09	2000	2.22E+12
¹¹ C	***		***	8.88E+09	200	5.92E+11
¹³ N	***		***	8.88E+09	200	5.92E+11
⁶⁷ Ga	***		***	5.55E+08	200	3.70E+10
⁶⁸ Ga	***		***	5.55E+08	300	5.55E+10
⁶⁴ Cu	***		***	8.88E+08	200	5.92E+10
⁸⁹ Zr	***		***	5.55E+08	200	3.70E+10
¹¹¹ In	***		***	6.66E+08	200	4.44E+10
^{99m} Tc	***		***	1.48E+10	5000	3.70E+12
¹³¹ I	***		***	9.25E+08	1250	2.31E+11
³² P	***		***	3.70E+08	1250	9.25E+10

2.3 核医学科场所等级计算

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 C1 非密封放射性物质工作场所的分级判据。

表 1-2 非密封放射性物质工作场所的分级

级 别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4\times 10^9$
乙	$2\times 10^7\sim 4\times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2\times 10^7$

根据附录 C2 放射性核素的日等效操作量的计算,放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。

表 1-3 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极高	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

根据*****: 放射性药品生产中,分装,标记(液体)等活动视为“简单操作”;医疗机构使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{125}I 粒子源相关活动视为“很简单操作,使用 ^{131}I 核素相关活动视为“简单操作”。根据*****“表 A.2 核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子”,放射性药品生产、分装、标记(液体)操作方式界定为“简单操作”,操作方式修正因子为 1;医疗机构使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (液态),操作方式界定为“很简单操作”,

操作方式修正因子为 10。参考*****“（1）贮存：把盛装在容器内的放射性溶液、样品和废液等密封后存放于工作场所的通风柜、手套箱、样品架、工作台和专用贮存柜内等属贮存操作。这类操作可能的危害最小。（2）很简单操作：例如少量稀溶液的合并、分装或稀释，污染不严重的器皿和工具等的洗涤等。这类操作，会有少量的放射性物质散布开来，主要是防止洒漏。（3）简单操作：例如溶液的取样、转移、沉淀、过滤或离心分离，萃取或反萃取，离子交换，色层分离，吸移或滴定放射性溶液等。这类操作，可能会有较多的放射性物质散布开来，除了会有表面污染外，还会有空气污染的出现。”，从而进一步确认操作方式。

由此可知：

（1）医院作为医疗机构，在开展诊疗工作的核医学科门诊区域内，与 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、同样利用 PET-CT 或 SPECT-CT 开展显像诊断，从回旋加速器中心或厂家送来的每瓶液体药物仅需要经历分装数次，为病人注射的过程的操作方式可界定为“很简单操作”。配套使用的耗材均为一次性用品，无须清洗；

（2）鉴于碘具有挥发性，符合上述材料中提及的“这类操作，会有少量的放射性物质散布开来，主要是防止洒漏。”的情况，因此即使实际用于放射诊断的 ^{131}I 的操作方式界定为“简单操作”。本项目使用 ^{32}P 制作敷贴器，在手套箱内吸取外购的成品溶液滴于敷料后带入敷贴室贴于患者的患处，符合上述材料中提及的“这类操作，会有少量的放射性物质散布开来，主要是防止洒漏。”的情况，操作方式可视为“简单操作”。

（3）回旋加速器中心作为核医学科供药及质控场所，需对生产的 PET-CT 诊断用的核素进行分装、标记及质控等活动，可能会有较多的放射性物质散布开来，除了会有表面污染外，还会有空气污染的出现，因此操作方式可界定为“简单操作”。

回旋加速器中心生产的药物均根据次日门诊需求进行生产，不存在贮存药物的需求。门诊区域根据用药需求从厂家处订购药物，不存在贮存药物的需求。

表 1-4 操作方式与放射源状态修正因子

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

本项目各非密封放射性物质毒性参考《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)表 H.1 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 D。考虑到部分核素半衰期较短,在购药及自行生产质控过程考虑多倍的余量。

表 1-5 本项目非密封放射性物质工作场所分级表

序号	核素名称	日最大用量/Bq	毒性分组	毒性组别修正因子	性状	操作方式	操作方式修正因子	日等效最大操作量/Bq	年最大用量(Bq)
核医学科回旋加速器中心辐射工作场所									
1	¹⁸ F	4.44E+10	低毒	0.01	液态	简单操作	1	4.44E+08	1.11E+13
2	¹¹ C	8.88E+10	低毒	0.01	液态	简单操作	1	8.88E+08	5.92E+12
3	¹³ N	8.88E+10	低毒	0.01	液态	简单操作	1	8.88E+08	5.92E+12
合计日等效最大操作量/Bq					2.22E+09				
核医学科门诊区辐射工作场所									
1	¹⁸ F	8.88E+09	低毒	0.01	液态	很简单操作	10	8.88E+06	2.22E+12
2	¹¹ C	8.88E+09	低毒	0.01	液态	很简单操作	10	8.88E+06	5.92E+11
3	¹³ N	8.88E+09	低毒	0.01	液态	很简单操作	10	8.88E+06	5.92E+11
4	⁶⁷ Ga	5.55E+08	中毒	0.1	液态	很简单操作	10	5.55E+06	3.70E+10
5	⁶⁸ Ga	5.55E+08	低毒	0.01	液态	很简单操作	10	5.55E+05	5.55E+10
6	⁶⁴ Cu	8.88E+08	低毒	0.01	液态	很简单操作	10	8.88E+05	5.92E+10
7	⁸⁹ Zr	5.55E+08	中毒	0.1	液态	很简单操作	10	5.55E+06	3.70E+10
8	¹¹¹ In	6.66E+08	中毒	0.1	液态	很简单操作	10	6.66E+06	4.44E+10
9	^{99m} Tc	1.48E+10	低毒	0.01	液态	很简单操作	10	1.48E+07	3.70E+12
10	¹³¹ I	9.25E+08	中毒	0.1	液态	简单操作	1	9.25E+07	2.313E+11
11	³² P	3.70E+08	中毒	0.1	液态	简单操作	1	3.70E+07	9.25E+10
合计日等效最大操作量/Bq					1.91E+08				

根据表 1-6, 本项目核医学科回旋加速器中心辐射工作场所日等效最大操作量为 2.22E+09Bq, 场所等级确定为乙级; 核医学科门诊区辐射工作场所日等效最大操作量为 1.91E+08Bq, 场所等级确定为乙级。

3. 本项目工作场所屏蔽设计

3.1 核医学科回旋加速器中心辐射工作场所

回旋加速器机房四周墙体均为 600mm 厚混凝土, 顶部为 90mm 混凝土, 回旋加速器机房区域上方 2F 的地面到吊顶范围内砌有一圈 250mm 厚混凝土围墙, 用以减小回旋加速器打靶过程中对于 2F 周围公众的影响, 围墙区域内为中空无人区域。机房南侧设计有一扇防护门, 防护门为 20mmPb 铅板+250mm 含硼聚乙烯。药物合成室北侧外墙为 200mm 实心砖墙, 其余用房内部隔墙均为 50mm 岩棉彩钢板。

本项目回旋加速器自带屏蔽体: 四周屏蔽体 3cm 钢+32cm 水+12cm 钢+15cm 水+3cm 钢+10cm 水+2.5cm 钢+20cm 聚乙烯, 顶部为 3cm 钢+22cm 水+12.5cm 钢+15cm

水+3cm 钢+8cm 水+2.5cm 钢+25cm 聚乙烯,靶区周围安装有 20cm 厚聚乙烯材料的局部屏蔽体。

药物合成室后区内共计 2 个合成热室 BC、1 个分装热室 A 及 1 个合成分装一体化的热室 D (由北至南依次编号 A\B\C\D), B 热室用于合成 ^{18}F , C 热室用于合成 ^{11}C , A 热室用于合成分装 ^{18}F 以及 ^{11}C , D 热室用于合成及分装 ^{13}N 。回旋加速器机房与药物合成室之间设计有 1 根核素传输管道,分流后进入 B、C、D 热室,因此实际同时段通常每次仅操作 1 种核素。A\B\C\D 四个热室箱体正面屏蔽(含观察窗)均 $\geq 70\text{mmPb}$,活度计预留孔铅屏蔽均 $\geq 70\text{mmPb}$,其余面铅屏蔽均 $\geq 60\text{mmPb}$ 。

核素传输管道:打靶产生的初级产物核素溶液通过专用管道气动装置(高纯氦气)自动传输至药物合成室后区的热室内。传输管道内管为 $\Phi 0.8\text{mm}$ 的聚四氟乙烯管,管道设在地沟槽内,地沟槽设计尺寸为深 $100\text{mm} \times$ 宽 100mm 。传输管道埋深约 20cm ,管道上方设置 50mmPb 铅砖防护,管沟地表上方设置钢盖板。

此外,回旋加速器中心拟使用 1 个 20mmPb 的药物转运防护铅箱、1 个 50mmPb 的废靶储存箱、3 个 20mmPb 质控铅罐、3 个 25mm 送药铅罐、2 个 10mmPb 的铅垃圾桶,2 个 20mmPb 的放射性废物暂存桶。

3.2 核医学科门诊区辐射工作场所

本项目核医学科工作场所四周墙体为: 240mm 实心砖墙、 370mm 实心砖墙、 370mm 实心砖墙+ 2mm 铅、 370mm 实心砖墙+ 14mm 铅;顶板为 90mm 混凝土、 90mm 混凝土+ 5mm 铅、 90mm 混凝土+ 10mm 铅、 90mm 混凝土+ 14mm 铅、 90mm 混凝土+ 25mm 铅、 90mm 混凝土+ 30mm 铅;防护门为 3mmPb 铅门、 5mmPb 铅门、 10mmPb 铅门、 14mmPb 铅门;拟设置 0.5mmPb 铅衣、 10mm 钨合金注射器、 3mm 铅当量传递窗、 10mmPb 注射窗(SPECT-CT)、 40mmPb 注射窗(PET-CT)、 60mmPb 手套箱(PET-CT)、 10mmPb 手套箱(SPECT-CT)、 5mm 铅当量观察窗(SPECT-CT)、 10mm 铅当量观察窗(PET-CT)、 60mmPb 铅罐、 5mmPb 铅垃圾桶(SPECT-CT)、 10mm 铅垃圾桶(PET-CT)。

风管、水管穿孔位置均采用与墙体等效铅当量的铅板进行屏蔽补偿,若是防护当量低的地方直接用铅板进行包裹,若是防护当量高的地方则在风管外侧用 $5\#$ 角钢做外骨架后使用铅板包裹,并用角钢联结楼板或梁柱支撑固定。

核医学科门诊区辐射工作场所屏蔽情况见下表:

表 1-6 核医学科门诊区辐射工作场所屏蔽一览表

场所	防护门	墙体	楼顶	其他
敷贴室	1 扇防护门(北)2mmPb 1 扇防护门(东)5mmPb	东墙 370mm实心 砖墙, 其余侧 240mm实心砖墙	90mm混凝土	/
源库	1 扇 5mmPb铅门	370mm实心砖墙	90mm混凝土	3mm铅当量传递窗 60mmPb储源罐
药物分装室	2 扇防护门(北)以及 1 扇防护门(西)为 5mmPb 1 扇防护门(南)为 10mmPb	370mm实心砖墙	90mm混凝土	1 扇 10mm 铅当量注 射窗 (SPECT-CT) 1 扇 40mm 铅当量注 射窗 (PET-CT) 1 个 60mmPb 手套箱 (PET-CT) 1 个 10mmPb 手套箱 (SPECT-CT) 10mmPb废物桶 5mmPb废物桶
SPECT-CT 注 射室	1 扇防护门(南)3mmPb 1 扇防护门(北) 10mmPb	370mm实心砖墙	90mm混凝土	1 扇 10mm 铅当量注 射窗、5mmPb 废物 桶
PET-CT 注射 室	2 扇 10mmPb铅门	370mm实心砖墙	90mm混凝土 +10mm铅	1 扇 40mm铅当量注射 窗、10mmPb废物桶
SPECT-CT 机 房	2 扇 5mmPb铅门	370mm实心砖墙 +2mm铅	90mm混凝土 +5mm铅	1 扇 5mm铅当量观察 窗、5mmPb废物桶
PET-CT 机房 1	2 扇 10mmPb铅门	370mm实心砖墙 +2mm铅	90mm混凝土 +25mm铅	1 扇 10mm铅当量观察 窗、10mmPb废物桶
PET-CT 机房 2	2 扇 10mmPb铅门	370mm实心砖墙 +2mm铅	90mm混凝土 +25mm铅	1 扇 10mm铅当量观察 窗、10mmPb废物桶
病患走廊	2 扇 14mmPb铅门	病患走廊整体为 370mm实心砖墙, 部分患者居留用 房对应贴有不同 厚度铅板	90mm混凝土 +14mm铅	/
抢救室/运动 负荷室	1 扇 10mmPb铅门	370mm实心砖墙	90mm混凝土 +10mm铅	10mmPb废物桶
SPECT-CT 注 射后等候室	1 扇 5mmPb铅门	370mm实心砖墙	90mm混凝土 +5mm铅	1 扇 2mm铅屏风 5mmPb废物桶
PET-CT 注射 后等候室	1 扇 14mmPb铅门	370mm实心砖墙 +14mm铅	90mm混凝土 +30mm铅	1 扇 12mm铅屏风 10mmPb废物桶
PET-CT VIP 注射后等候室	1 扇 14mmPb铅门	370mm实心砖墙 +14mm铅	90mm混凝土 +30mm铅	1 扇 12mm铅屏风 10mmPb废物桶
留观室	1 扇 14mmPb铅门	370mm实心砖墙 +14mm铅	90mm混凝土 +30mm铅	1 扇 12mm铅屏风 10mmPb废物桶
放射性废物暂 存间	1 扇 3mmPb铅门	370mm实心砖墙	90mm混凝土	10mm铅垃圾桶
洁具间	普通门	370mm实心砖墙	90mm混凝土	/

3.3 衰变池

本项目设计的衰变池位于第二住院楼 1F 庭院下方, 仅供核医学科回旋加速器中

心辐射工作场所及核医学科门诊区辐射工作场所使用，为3级并联衰变池。设计有2个污泥池（一用一备）和3级衰变池，用于存放含有核素的液态放射性废物（含有 ^{131}I 核素的液态放射性废物不进入），每级衰变池独立设计并使用混凝土分隔。衰变池每级池子可使用容积为 15m^3 ，总容积 45m^3 。

本项目衰变池采用地埋式现浇混凝土结构，进行防腐防水处理，顶板壁厚250mm，四周池壁厚300mm，底板厚500mm，池与池之间隔板厚300mm，采用C30防水混凝土浇灌。检修口井盖为300mm厚混凝土板。

四、项目组成及主要环境影响

项目组成及主要环境影响见表1-7。

表1-7 项目组成及主要的环境影响一览表

名称	建设内容及规模		可能产生的环境影响	
			施工期	运营期
主体工程	核医学科回旋加速器中心辐射工作场所	核医学科回旋加速器中心辐射工作场所位于第二住院楼1F的东北部，设计有回旋加速器机房、回旋加速器配套设备间、回旋加速器机房控制室、更衣区（一更室、二更室、退更检测室、紧急冲淋间1），缓冲间1、净化通道、洁具间1、灭菌间、原料库、缓冲间2（兼更衣）、质控室、放射废物暂存间1、气瓶间、电井通道、电井、药物合成室（前区及后区）。 核医学科回旋加速器中心辐射工作场所配套建设1间回旋加速器机房，占地面积为71.28m^2（长8.8m×宽8.1m），净空使用面积为52.44m^2。同时拟在回旋加速器机房内安装使用1台回旋加速器，质子能量最大为11Mev，最大束流为$100\mu\text{A}$，型号为***，生产厂家为***，属于II类射线装置，用于生产正电子放射性药物，年最大出束时间约585h。 核医学科回旋加速器中心辐射工作场所生产^{18}F、^{11}C、^{13}N3种放射性核素，日等效最大操作量合计为$2.22\text{E}+09\text{Bq}$，属于乙级非密封放射性物质工作场所。	施工噪声、施工废水、建筑粉尘、建筑废渣以及施工人员产生的生活垃圾	β 射线、 γ 射线、气态放射性废物、固体放射性废物、液态放射性废物、韧致辐射、 β 表面沾污、感生放射性废物、臭氧及氮氧化物、噪声
	核医学科门诊区辐射工作场所	核医学科门诊区辐射工作场所位于第二住院楼1F的南部（含第二住院楼1F的庭院，庭院入口均设置门禁，后期进行管控，只允许医护人员及药物进入），设计有护士站、诊室、敷贴室、源库、紧急冲淋间2、更衣室、药物分装室、SPECT-CT注射室、PET-CT注射室、控制廊（含铅衣/检测区）、SPECT-CT机房、门诊设备间、PET-CT机房1、PET-CT机房2、缓冲间3、缓冲间4、病患走廊、抢救室/运动负荷间、SPECT-CT注射后等候室及卫生间、PET-CT注射后等候室及卫生间，PET-CT VIP等候室及卫生间，留观室及卫生间、放射性废物暂存间2、洁具间2。 核医学科门诊区辐射工作场所显像检查拟配套使用1台SPECT-CT（III类射线装置，型号未定，最大	施工噪声、施工废水、建筑粉尘、建筑废渣以及施工人员产生的生活垃圾	X射线、 β 射线、 γ 射线、气态放射性废物、固体放射性废物、液态放射性废物、韧致辐射、 β 表面沾污、臭氧及氮氧化物、噪声

		管电压为 150kV，最大管电流为 1000mA）及 2 台 PET-CT（Ⅲ类射线装置，其中一台型号厂家为 GE 联影 uMI 780，最大管电压为 140kV，最大管电流为 833mA，位于 PET-CT 机房 2；另外一台型号未定，最大管电压为 150kV，最大管电流为 1000mA）。 核医学科门诊区辐射工作场所拟使用 ¹⁸F、¹¹C、¹³N、⁶⁸Ga、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr 核素用于 PET-CT 显像，拟使用 ⁶⁷Ga、¹¹¹In、^{99m}Tc、¹³¹I 用于 SPECT-CT 显像，拟使用 ³²P 用于敷贴治疗，日等效最大操作量合计为 1.91E+08Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。	射线装置安装调试过程将产生 X 射线、臭氧及氮氧化物、噪声、固体废物	
	衰变池	本项目设计的衰变池位于第二住院楼 1F 庭院下方，仅供核医学科回旋加速器中心辐射工作场所及核医学科门诊区辐射工作场所使用，为 3 级并联衰变池。设计有 2 个污泥池（一用一备）和 3 级衰变池，用于存放含有核素的液态放射性废物（含有 ¹³¹I 核素的液态放射性废物不进入），每级衰变池独立设计并使用混凝土分隔。衰变池每级池子可使用容积为 15m³，总容积 45m³。	施工噪声、施工废水、建筑粉尘、建筑废渣以及施工人员产生的生活废水与生活垃圾	液态放射性废物
辅助工程	本项目配套工作用房集中在第二住院楼 1 楼的东部，设计有护士长办公室、主任办公室、医护走廊、办公/阅片室、示教室、库房 1、库房 2、男女更衣室及卫生间、2 间值班室、休息就餐、弱电间。		施工噪声、施工废水、建筑粉尘、建筑废渣以及施工人员产生的生活废水与生活垃圾	生活废水、生活垃圾
公用工程	医院已建的给排水、配电、供电和通讯系统等。			
办公及生活设施	本项目辅助用房设计有办公室、值班室、卫生间、休息室等各类办公及生活设施；			
环保工程	气态放射性废物	核医学科回旋加速器中心及核医学科门诊区均设置有各自独立的通排风系统，通过场所内独立的排风系统最终引至屋顶，经过初效及中效过滤器后排放，排口高于屋面 3m。		气态放射性废物、固体放射性废物、液态放射性废物
	液态放射性废物	本项目拟在第二住院楼 1F 庭院下方建设 1 座 2 个污泥池（一用一备）和 3 级衰变池，衰变池每级池子可使用容积为 15m ³ ，总容积 45m ³ 。液态放射性废物通过专用管道排至衰变池内进行暂存，经衰变池收集贮存到		

		40d 排水计划周期后排入医院污水处理站。		
	固体放射性废物	本项目回旋加速器中心产生的固体放射性废物分类收集后暂存于机房废靶储存箱和放射性废物暂存间 1；门诊区产生的固体放射性废物分类收集后暂存于放射性废物暂存间 2，均设置有铅废物暂存桶，暂存 40d 且经监测达标后作为一般医疗废物处置。 放射性污泥暂存在液态放射性废物衰变池各组池子的底部，暂存 40d 且经监测达标后作为一般医疗废物处置。		
	生活垃圾	依托院区内建设完成的生活垃圾暂存间，由医院进行统一集中收集后，由当地环卫部门统一清运。		
	生活废水	依托院区内建设完成的污水处理站，经院区污水处理站处理达到预处理标准后经市政管网排入小庙乡污水处理厂处理达标后排入海河。		生活废水、生活垃圾

五、主要原辅材料

本项目主要原辅材料及能耗情况见表 1-8。

表 1-8 本项目主要原辅材料及能耗情况

类别	名称	数量	来源	用途
能源	电	8000kW·h/a	城市电网	用电
水	生活用水	3000m ³ /a	城市生活用水管网	生活用水
核医学科回旋加速器中心	***	根据核医学科门诊区需求预定	外购	放射性同位素注射液或溶液生产
	***		外购	
	***		外购	
	***		外购	
	***		外购	
	***		外购	
	***	500kg/a	外购	药物合成、药物物质控
核医学科门诊区	***	1000kg/a	外购	分装、注射
	***	根据每日患者数量预定	外购	显像或治疗
	***	根据每日患者数量预定	回旋加速器生产	显像

六、工作人员及工作制度

工作制度：本项目辐射工作人员每年工作 250 天，每周工作 5 天，采取 8h 工作制，所有人员均为 1 班。

人员配置：医院拟为本项目配置19名辐射工作人员，其中医师7名，医技人员5名，操作技师4名，护师3名。部分辐射工作人员为新增，部分辐射工作人员调用医院原辐射工作人员，调岗后的辐射工作人员不再兼岗原放射工作。具体配置及工作情况见表1-9。

表 1-9 本项目辐射工作人员配置情况及工作内容一览表

工作内容	医师	医技人员	操作技师	护师
生产、质控	/	2（分装及质控）	1（控制加速器）	/
PET-CT 诊疗	4（出具诊疗方案）	1（分装、注射）	2（摆位显像）	2（盘点出入库、取药）
SPECT-CT 诊疗	2（出具诊疗方案）	1（分装、注射）	1（摆位显像）	1（盘点出入库、取药）
敷贴治疗	1（出具诊疗方案）	1（制药、治疗）	/	/

医师日常在核医学科诊室工作接诊，不负责非密封放射性物质或射线装置相关工作。本项目拟配备的上述辐射工作人员除在本项目各自的工作场所内操作外，不兼岗其他核技术利用项目相关岗位。

七、产业政策符合性

根据《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第 7 号令）相关规定，本项目属于鼓励类第三十七项“卫生健康”中第 1 条“医疗服务设施建设”，其建设符合国家现行产业政策。

八、项目外环境关系、选址合理性及实践正当性分析

（一）项目外环境关系

长安院区位于西昌市长安街道长安西路 120 号，院区东侧为商住居民楼（内含阳光假日酒店、春林宾馆、兴平宾馆、悦来宾馆、福新苑西区等居住和商业混杂区）；南侧为长安西路；西侧为商住居民楼（够优惠超市、泰昌宾馆、高原红宾馆、福鑫宾馆等居住和商业混杂区）；北侧为商住居民楼（内含商业区和福星家园小区）。

本项目辐射工作场所位于长安院区第二住院大楼 1F，第二住院大楼四周紧邻院区道路及绿化，东侧隔路为放疗中心、医技大楼、第一住院部综合体，南侧隔路为门诊楼，西侧隔路为商住居民楼，北侧隔路为锅炉房、浆洗房、消毒供应室及食堂。

核医学科回旋加速器中心辐射工作场所：

核医学科回旋加速器中心位于第二住院楼 1F 的东北部，其东侧为院区道路及绿化；南侧为库房 1 及医护走廊；西侧为核医学科预留区域；北侧为院区道路及绿化。回旋加速器机房楼上 2F 为封闭空间，回旋加速器中心其余区域楼上 2F 为空调机房、过道及 1 间病房，中心下方为土层。

核医学科回旋加速器中心辐射工作场所 50m 范围除西侧外其余均在院区内，周围紧邻所在第二住院大楼，东侧 0m-16m 范围为院区道路及绿化，16m-44m 范围为放疗中心、医技大楼、第一住院部综合体，44m-50m 范围为院区道路及绿化，距东

侧商住居民楼最近距离 51m；南侧 0m-38m 范围为第二住院楼，38m-50m 院区道路及绿化；西侧 0m-28m 范围为第二住院楼，28m-36m 范围为院区道路及绿化，36m-50m 范围为商住居民楼（内含够优惠超市、泰昌宾馆、高原红宾馆、福鑫宾馆等居住和商业混杂区，最近距离 36m，50m 范围内进入 3 栋，地上最高 7 层）；北侧 0m-19m 范围为院区道路及绿化，19m-50m 范围内有锅炉房（最近 29m）、浆洗房（最近 19m）、消毒供应室（最近 33m）、食堂（最近 29m）。

核医学科门诊区辐射工作场所：

核医学科门诊区位于第二住院楼 1F 的南部（含中部庭院），其东侧、南侧均为院区道路及绿化；西侧为通道 1、门厅、楼梯间、护士站、排烟机房及卫生间；北侧为核医学科预留用房及库房 1、医护走廊。门诊区楼上 2F 为核医学科门诊区上方为数间病房、过道、护士站、工作用房，楼下为土层。

核医学科门诊区辐射工作场所 50m 范围除西侧外其余均在院区内，**周围紧邻所在第二住院大楼**，东侧 0m-16m 范围为院区道路及绿化，**16m-50m 范围为放疗中心、医技大楼、第一住院部综合体**；南侧 0m-26m 范围为院区道路及绿化，**26m-50m 范围为门诊楼**；西侧 0m-17m 范围为院区道路及绿化，17m-50m 范围为商住居民楼（够优惠超市、泰昌宾馆、高原红宾馆、福鑫宾馆等居住和商业混杂区，最近距离 17m，50m 范围内进入 5 栋，地上最高 7 层）；北侧 0m-18m 范围为第二住院楼，18m-37m 范围为院区道路及绿化，37m-50m 范围内有锅炉房（最近 40m）、浆洗房（最近 37m）、消毒供应室（最近 48m）。

本项目核医学科回旋加速器中心辐射工作场所及核医学科门诊区辐射工作场所 50m 评价范围内均涉及西侧商住居民楼（《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》第三条中环境敏感区，即以文化教育、行政办公和居住为主要功能的区域）。该处商住居民楼为够优惠超市、泰昌宾馆、高原红宾馆、福鑫宾馆等的居住和商业混杂区，50m 范围内最多进入 5 栋商住楼，最近距离为 17m，预计进入评价范围内的常住居民约 80 户。

院区原有的甲癌治疗区西侧紧邻门诊楼，西北侧距离第二住院楼最近 49m，距离北侧第一住院楼、医技大楼及放疗中心综合体最近 12m，东侧、南侧、西侧紧邻院区道路及绿化。

*黑体为三处辐射工作场所评价范围重合区域

(二) 项目选址合理性分析

医院、设计院和施工单位综合考虑以下因素后进行了相应选址和设计：

(1) 长安院区于2009年建成，目前除第二住院楼外其余功能性建筑均已在使用的。
院区整体停车场设置于院区北部地面。目前门诊楼和第一住院部工作负荷较大，停诊将对院区诊疗工作造成极大影响。且甲癌治疗区所在的门诊楼附楼单层面积较小，不能满足本项目核医学科制药及门诊的使用面积需求。

(2) 根据设计院核算房屋结构及地基情况，在院区现有建筑下方开挖地下结构会对现房屋结构安全造成影响。

(3) 第二住院楼南侧绿化下方为院区已建的污水处理站，因此第二住院楼周围管网密布，周围绿化区域不具备建设地下室的条件。此外，由于院区整体无地下区域，开挖地下室工程量极大，院区东、西、北侧均被商住居民楼包围，施工过程中会对周围居民造成较大影响。

(4) 第二住院楼中部现有一处庭院，具备建设衰变池的条件。

因此综合考虑院区内外保护目标规模、改造工程可行性和施工对周围公众的影响，本项目选址于第二住院楼，衰变池设计于该楼中央庭院下方，并将辐射影响较大的区域设计于该楼东北部，尽可能远离院区外西侧的保护目标。

目前第二住院楼正在整体改造中，整栋楼（3F）处于空置状态。医院已将 1F 整体预留给了核医学科门诊及制药使用，2F 及 3F 目前处于空置状态，该楼虽名为住院楼，实则楼内医护及公众人数较少，且居留时间较少。医院已为 2F、3F 的医护及公众在 1F 预留单独的电梯及楼梯间，避免其与 1F 核医学科患者、药物运输、废物运输出现路线交叉的情况，同时医院将利用导诊地线分流第二住院楼内核医学科患者及其余公众。

长安院区位于西昌市长安街道长安西路 120 号，根据西昌市自然资源局出具的*****可知，凉山彝族自治州第一人民医院（西昌医学高等专科学校附属医院）长安院区用地性质属于医卫用地，符合当地总体规划要求。本项目所在的长安院区已取得*****。项目选址位置基础配套设施完善，给排水等市政管网完善，电力电缆等埋设齐全，为项目建设提供良好条件。本项目拟建地址位于院区红线内，不涉及新增占地，拟建项目与院区规划相容，且建设的 2 个场所为专门的辐射工作场所，有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对周围环境影响较小，从辐射安全

防护的角度分析，本项目选址是合理的。

（三）实践正当性分析

本项目的建设可以更好地满足凉山彝族自治州患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。

医院在核素治疗/诊断过程中，对非密封放射性物质、射线装置的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对非密封放射性物质、射线装置的安全管理在建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理非密封放射性物质、射线装置的情况下，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。符合辐射防护“实践的正当性”原则。

九、与周边环境的兼容性分析

本项目运营期产生的废水、固体废物依托长安院区已建成的污水处理站和生活垃圾、医疗废物收集设施处理。

废水：本项目运营期废水主要为患者的排泄废水、清洗废水和辐射工作人员产生的清洁淋浴废水、应急冲洗废水、场所清洁用水，属液态放射性废物，液态放射性废物由专用管道排入3级衰变池内进行衰变暂存，经监测达标、满足排放要求后作为普通医疗废水进入院区污水处理站，采用“预处理+一级强化处理+二氧化氯消毒工艺”处理，处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）中表2排放要求后排入市政污水管网，最终经小庙乡污水处理厂处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中一级A标后排入海河。

根据*****可知，院区已建设的污水处理站一日可处理200吨医疗废水，医院目前废水排放量为157m³/d，本项目液态放射性废物暂存期满后一次排入污水处理站的废水量为15m³，可见院区的污水处理站处理能力能够满足本项目污水排放处理需求。

固体废物：本项目运营期固体废物为一次性注射器、口罩、口杯、擦拭纸和空药瓶、手套、塑料袋、废初效及中效过滤器等，属固体放射性废物。本项目2个场所内均设置有独立的放射性废物暂存间，放射性废物在各自的暂存间内暂存至计划周期后将进行监测，监测达标后可作为医疗废物处置，转移至院区医疗废物暂存间分类暂存，定期按照医疗废物执行转移联单制度，委托当地有资质单位*****定期处置。

本项目场所辅助用房内均设置有垃圾桶用于收集辐射工作人员日常产生的办公垃圾,定期转移至院区内的生活垃圾暂存房内,定期交由当地环卫部门统一清运处理。

噪声:本项目产噪设备不多(主要为通排风系统),声级较小,噪声影响不大,通过使用合理布局、使用低噪声设备、安装减震垫、建筑物隔声等措施降噪,对周围环境影响较小。

综上所述,本项目的建设不会对周边产生新的环境污染,项目与周边环境相容,符合环境保护要求。

十、建设单位原有核技术利用情况

1. 辐射安全许可证审批情况

目前,医院已取得四川省生态环境厅核发的辐射安全许可证,编号为“***”,种类和范围为“使用II类、III类射线装置;使用非密封放射性物质,乙级、丙级非密封放射性物质工作场所”,有效期至:2029年8月1日。辐射安全许可证正副本见附件4。

本项目所在的主体建筑所在大楼已获得凉山州环境保护局*****,在已审批的该项目环评中,有严格的污染控制措施要求以及完善的处理设施。本项目将依托院区已建和拟建的污染控制处理措施。

2. 原有核技术利用项目

医院现已开展核技术利用项目,现使用一个乙级、一个丙级非密封放射性物质工作场所,使用4台II类射线装置,25台III类射线装置。原有核技术利用项目均已履行环评/备案、许可手续,II类射线装置及非密封放射性物质场所均已通过验收。

经核查建设单位《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》,未发现有辐射环境遗留问题,不存在辐射安全及辐射环境保护问题。同时,经建设单位证实,医院开展核技术利用工作截至目前未发生过辐射安全事故。

3. 原有辐射场所环境监测

根据医院2024年度例行委托有资质单位进行的场所防护检测报告可知,目前各辐射场所辐射控制水平符合国家标准的剂量率要求,机器符合仪器相关质控评价标准。建设单位已配备有便携式辐射监测仪、表面污染监测仪及足够数量的个人剂量报警仪。

4. 原有辐射工作人员情况

医院现有239名辐射工作人员（根据个人剂量检测报告统计），从事2A工种的辐射工作人员均已通过医院的自主考核（考核结果已存档）或取得辐射安全与防护考核证明。从事2D、2E、2C共计65名辐射工作人员，其中有3名新增辐射工作人员，另有4名人员证书到期，医院已组织其自主学习，计划统一参加考核。

医院对于所有入职、在职和离职人员均组织了岗前、在岗和离岗职业健康体检并建档管理，目前在岗的辐射工作人员的职业健康体检结果均合格；医院已对所有辐射工作人员进行了个人剂量监测，除2D辐射工作人员许悦外（根据医院提供的职业外照射个人监测剂量核查登记表，该辐射工作人员的个人剂量计曾被水浸泡，导致读数有误），其余辐射工作人员最新四个季度个人剂量监测结果未有超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值情况。部分人员非全年在岗或已离岗，故无部分季度剂量监测。辐射工作人员个人剂量监测及考核合格证明一览表见附件7。

十一、环境影响评价信息公开

为进一步保障公众对环境保护的参与权、知情权和监督权，加强环境影响评价工作的公开、透明，方便公民、法人和其他组织获取生态环境主管部门环境影响评价信息，加大环境影响评价公开力度。依据原国家环境保护部颁布的《建设项目环境影响评价政府信息公开指南》(试行)的规定：医院在向环境主管部门提交建设项目环境影响评价报告书、表以前，应依法、主动公开建设项目环境影响评价报告书、表的全本信息；各级环保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，2025年6月17日，在医院官网上公示了《凉山彝族自治州第一人民医院（西昌医学高等专科学校附属医院）扩建回旋加速器及核医学科项目》全本信息，以征求公众意见，公示页面如下图。同时医院也在院区西侧商住居民楼门口及医院内主入口处对本项目建设进行实地公示，公示证明见如下。



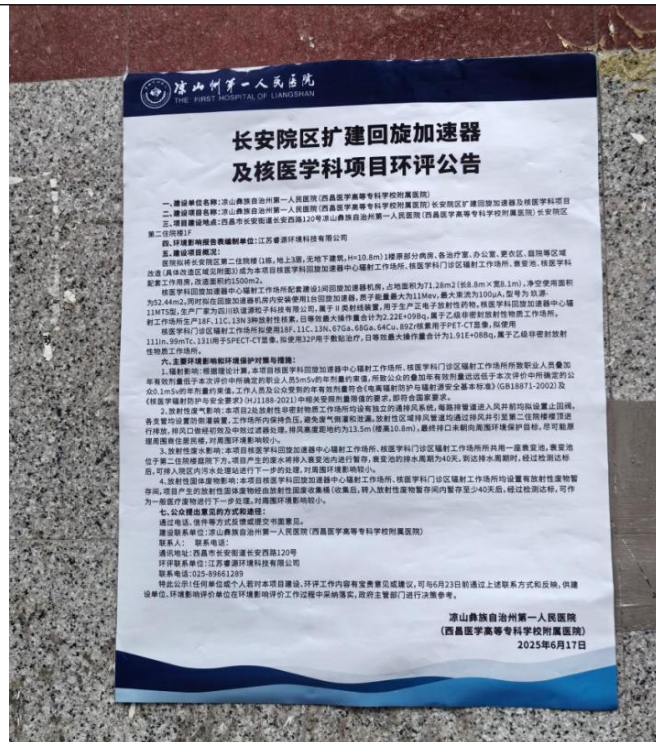
图 1-1 官网公示截图



院区西侧商住居民楼入口处



医院内主入口处



公告内容

图 2-2 实地公示证明

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

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{18}F	液态、低毒	生产、使用	4.44E+10	4.44E+08	1.11E+13	PET-CT 显像检查	简单操作	核医学科回旋加速器中心	当日按需生产，当日交付使用，不贮存
2	^{11}C	液态、低毒	生产、使用	8.88E+10	8.88E+08	5.92E+12	PET-CT 显像检查	简单操作		
3	^{13}N	液态、低毒	生产、使用	8.88E+10	8.88E+08	5.92E+12	PET-CT 显像检查	简单操作		
4	^{18}F	液态、低毒	使用	8.88E+09	8.88E+06	2.22E+12	PET-CT 显像检查	很简单操作	核医学科门诊区	当日由厂家/回旋加速器中心送货，当日使用，不贮存
5	^{11}C	液态、低毒	使用	8.88E+09	8.88E+06	5.92E+11	PET-CT 显像检查	很简单操作		
6	^{13}N	液态、低毒	使用	8.88E+09	8.88E+06	5.92E+11	PET-CT 显像检查	很简单操作		
7	^{67}Ga	液态、中毒	使用	5.55E+08	5.55E+06	3.70E+10	SPECT-CT 显像检查	很简单操作		
8	^{68}Ga	液态、低毒	使用	5.55E+08	5.55E+05	5.55E+10	PET-CT 显像检查	很简单操作		
9	^{64}Cu	液态、低毒	使用	8.88E+08	8.88E+05	5.92E+10	PET-CT 显像检查	很简单操作		
10	^{89}Zr	液态、中毒	使用	5.55E+08	5.55E+06	3.70E+10	PET-CT 显像检查	很简单操作		
11	^{111}In	液态、中毒	使用	6.66E+08	6.66E+06	4.44E+10	SPECT-CT 显像检查	很简单操作		
12	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态、低毒	使用	1.48E+10	1.48E+07	3.70E+12	SPECT-CT 显像检查	很简单操作		
13	^{131}I	液态、中毒	使用	9.25E+08	9.25E+07	2.31E+11	SPECT-CT 显像检查	简单操作		
14	^{32}P	液态、中毒	使用	3.70E+08	3.70E+07	9.25E+10	敷贴治疗	简单操作		

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	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	回旋加速器	II	1 台	*** ***	质子	质子能量最 大为 11MeV	最大束流为 100μA； 屏蔽体外 1m 处最大中子 辐射剂量率为***，屏蔽体 外 1m 处最大γ射线辐射剂 量率为***	PET-CT 显像 药物制备	核医学科 回旋加速器机房	拟购

(二) X 射线机：包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序 号	名称	类 别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	SPECT-CT	III	1 台	型号待定	150	1000	显像检查	核医学科门诊区辐射工作场所 SPECT-CT 机房	拟购
2	PET-CT	III	1 台	型号待定	150	1000	显像检查	核医学科门诊区辐射工作场所 PET-CT 机房 1	拟购
3	PET-CT	III	1 台	联影 uMI 780	140	830	显像检查	核医学科门诊区辐射工作场所 PET-CT 机房 2	拟购

(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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
回旋加速器中心：活化的支架和靶膜;硅胶、树脂、氧化铝、碳柱、滤膜等；注射器、试管、抹布、手套等。	固态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N ； ^{27}Mg 、 ^{28}Al 、 ^{62}Cu 、 ^{64}Cu 、 ^{66}Cu 、 ^{56}Mn 等（感生放射性）	/	/	300kg	β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平	放射性废物暂存间内设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物分开存放，暂存至贮存计划周期	暂存衰变至满足 HJ1188 要求的计划周期（详见表 10-3.2 固体放射性废物处理措施），经过监测达标后，按医疗废物处理。
核医学科门诊区：固体放射性废物：一次性注射器、口罩、口杯、擦拭纸和空药瓶、手套、塑料袋等	固态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{111}In 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{32}P	/	/	600kg			
回旋加速器中心：初效及中效过滤器	固态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N ； ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{11}C 、 ^{41}Ar 等（感生放射性）	/	/	100kg			
核医学科门诊区：初效及中效过滤器		^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{111}In 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I	/	/	200kg			
核医学科回旋加速器中心放射性废液：洗手废水、应急淋浴、清洁用水	液态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N	/	$\approx 0.12\text{m}^3$	1.43m^3	衰变池存满 40 天直接排放	液态放射性废物通过专用管道排至衰变池暂存	经衰变池收集贮存到 40 天排水计划周期后（不含 ^{131}I ）排入医院污水处理站
门诊区放射性废液：排泄废水、清洗废水、清洁淋浴、场所应急冲洗	液态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{111}In 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	$\approx 7.11\text{m}^3$	85.35m^3			
核医学科回旋加速器中心气态放射性废物	气态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N ； ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{11}C 、 ^{41}Ar 等（感生放射性）	/	少量	少量	少量	不暂存	通过核医学科独立的排风系统引至屋顶高于屋面 3m 排放，接至屋

门诊区气态放射性废物	气态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{111}In 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I	/	少量	少量	少量	不暂存	顶后经过初效及中效过滤器后排放
臭氧及氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	少量	不暂存	通过排风管道引至屋顶排放,直接进入大气,常温常态常压的空气中臭氧 50 分钟可自动分解为氧气
生活垃圾	液态	/	/	少量	少量	/	暂存至院区生活垃圾暂存间	由医院进行统一集中收集后,由当地环卫部门统一清运
医疗废水、生活污水	液态	/	/	少量	少量	/	不暂存	经院区污水处理站处理达到预处理标准后经市政管网排入小庙乡污水处理厂处理达标后排入海河

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

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

表 6 评价依据

法 规 文 件	1) 《中华人民共和国环境保护法》，（2014年修订本），中华人民共和国2014年主席令第9号，自2015年1月1日起施行； 2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正本），中华人民共和国2018年主席令第24号，自2018年12月29日起施行； 3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国2003年主席令第6号，自2003年10月1日起施行； 4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020年修订本），中华人民共和国2020年主席令第43号，自2020年9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》（2019年修正本），中华人民共和国2019年国务院令第709号，自2019年3月2日起施行； 6) 《建设项目环境保护管理条例》（2017年修正本），中华人民共和国2017年国务院令第682号，自2017年10月1日起施行； 7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），中华人民共和国生态环境部2021年部令第20号修正，自2021年1月4日起施行； 8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，中华人民共和国生态环境部2020年部令第16号，自2021年1月1日起施行； 9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第18号公布，自2011年5月1日起施行； 10) 《射线装置分类》，原中华人民共和国环境保护部和国家卫生和计划生育委员会2017年公告第66号，2017年12月5日起实施； 11) 《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； 12) 《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》，中华人民共和国原国家环保总局环发〔2006〕145号，自2006年9月26日起施行； 13) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》生态环境部公告2019年第57号，2020年1月1日起施行； 14) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，中华人民共和国生
------------------	--

	态环境部部令第9号，自2019年11月1日起施行；关于发布《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》配套文件的公告，中华人民共和国生态环境部2019年公告第38号，自2019年11月1日起施行； 15) 《国家危险废物名录》（2025年版），中华人民共和国生态环境部2024年令 第36号，自2025年1月1日起施行； 16) 《建设项目环境影响评价政府信息公开指南（试行）》，中华人民共和国原环境保护部环办〔2013〕103号，2014年1月1日试行； 17) 《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》，原环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局2017年公告第65号，自2018年1月1日起施行。
技 术 标 准	1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）； 2) 《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）； 3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 4) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）； 5) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； 6) 《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）； 7) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）； 8) 《核技术利用放射性废物库运行管理技术规范》（HJ 1417-2025）（参考，2025年6月27日发布，2025年9月1日实施）； 9) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； 10) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； 11) 《表面污染测定 第1部分：β发射体（$E_{\beta \max} > 0.15\text{MeV}$）和$\alpha$发射体》（GB/T 14056.1-2008）； 12) 《辐射防护仪器中子周围剂量当量(率)仪》（GB/T14318-2019）； 13) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）； 14) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，中华人民共和国生态环境部辐射函〔2023〕20号，2023年9月13日发布并实施； 15) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； 16) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；

	17) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； 18) 《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ 104-2017）； 19) 《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）； 20) 《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲》川环函〔2016〕1400 号。
其他	参考资料： 1) 《2023 年全国辐射环境质量报告》，中华人民共和国生态环境部； 2) 《辐射安全手册》（潘自强主编，科学出版社）； 3) NIST estar 数据库； 4) 《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WS/T613-2018）； 5) 《辐射防护导论》（方杰主编，原子能出版社）； 6) 《Protection Against Ionizing Radiaiton from External Sources Used in Medicine》（ICRP REPORT NO.33）； 7) 《STRUCTURAL SHIELDING DESIGN FOR MEDICAL X-RAY IMAGING FACILITIES》NCRP REPORT NO.147； 8) 《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》（Published by Nuclear Technology Publishing）； 9) 《正电子发射扫描仪和回旋加速器建设中的防护评价》，《中国辐射卫生》1999 年第8 卷第1 期）。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围				
本项目为建设1台II类射线装置、3台III类射线装置以及2个乙级非密封放射性物质工作场所项目，根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中“非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙级取半径50m范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外50m的范围”相关规定，确定本项目评价范围为辐射工作场所外50m的范围。				
保护目标				
本项目核医学科回旋加速器中心辐射工作场所、核医学科门诊区辐射工作场所拟建址周围50m范围内环境保护目标为：				
1. 本项目核医学科回旋加速器中心辐射工作场所、核医学科门诊区辐射工作场所操作及相关的辐射工作人员；				
2. 本项目所在院区第二住院大楼、放疗中心/医技大楼/第一住院部综合体、门诊楼、锅炉房、消毒供应室、浆洗房、食堂内、院区道路及绿化的公众，院区外商住居民楼内的公众。				
本项目核医学科回旋加速器中心辐射工作场所及核医学科门诊区辐射工作场所50m评价范围内均涉西侧商住居民楼（《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》第三条中环境敏感区，即以文化教育、行政办公和居住为主要功能的区域）。该处商住居民楼为够优惠超市、泰昌宾馆、高原红宾馆、福鑫宾馆等的居住和商业混杂区，50m范围内最多进入5栋，最近距离为17m，预计进入2处场所评价范围内共计约80户（评价范围存在重合部分）。				
本项目50m内环境保护目标见表7-1所示。				
表7-1 本项目环境保护目标情况一览表				
名称	保护对象	方位与最近距离	规模	剂量约束值 (mSv/a)
核医学科回旋加速器中心				
辐射工作场所内	辐射工作人员	/	3名	5.0
第二住院大楼内	周围公众	南、西侧及楼上，南、西侧及楼上紧邻	1栋，地上3F 预计150人	0.1
院区道路及绿化	周围公众	东、南、西、北侧，北侧紧邻	流动人员	0.1

放疗中心、医技大楼、第一住院部综合体	周围公众	东侧，最近16m	1栋，地上最高4F 预计200人	0.1
锅炉房	周围公众	北侧 最近29m	预计3人	0.1
消毒供应室	周围公众	北侧 最近 33m	预计5人	0.1
浆洗房	周围公众	北侧 最近 19m	预计5人	0.1
食堂	周围公众	北侧 最近29m	流动人员	0.1
商住居民楼	周围公众	西侧 最近36m	50m范围内进入3栋，地上最高7F，预计30户	0.1
核医学科门诊区				
辐射工作场所内	辐射工作人员	/	9名	5.0
第二住院大楼内	周围公众	东、西、北侧及楼上，紧邻	1栋，地上3F 预计150人	0.1
院区道路及绿化	周围公众	东、南、西、北侧，最近紧邻	流动人员	0.1
放疗中心、医技大楼、第一住院部综合体	周围公众	东侧，最近16m	1栋，地上最高4F 预计200人	0.1
门诊楼	周围公众	南侧 最近26m	1栋，地上最高7F 预计500人	0.1
锅炉房	周围公众	北侧 最近40m	预计3人	0.1
浆洗房	周围公众	北侧 最近 37m	预计5人	0.1
食堂	周围公众	北侧 最近48m	流动人员	0.1
商住居民楼	周围公众	西侧 最近17m	50m范围内进入5栋，地上最高7层，预计80户	0.1

评价标准

1. 电离辐射标准

1.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

类别	要求
职业照射 剂量限值	应对任何工作人员的照射水平进行控制，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 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

4.3.2 剂量限制和潜在照射危险限制

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证除本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用

于获准实践中的医疗照射。

4.3.2.2 应对个人所受到的潜在照射危险加以限制,使来自各项获准实践的所有潜在照射所致的个人危险与正常照射剂量限值所相应的健康危险处于同一数量级水平。

表 7-3 表面污染控制水平 单位: Bq/cm²

表 面 类 型		β放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹

表 7-4 非密封源工作场所的分级

级 别	日等效最大操作量/Bq
甲	>4×10 ⁹
乙	2×10 ⁷ ~4×10 ⁹
丙	豁免活度值以上~2×10 ⁷

8.6 放射性物质向环境排放的控制

8.6.1 注册者和许可证持有者应保证,由其获准的实践和源向环境排放放射性物质时符合下列所有条件,并已获得审管部门的批准:

- 排放不超过审管部门认可的排放限值,包括排放总量限值和浓度限值;
- 有适当的流量和浓度监控设备,排放是受控的;
- 含放射性物质的废液是采用槽式排放的;
- 排放所致的公众照射符合本标准附录 B (标准的附录)所规定的剂量限制要求;
- 已按本标准的有关要求使排放的控制最优化。

8.6.2 不得将放射性废液排入普通下水道,除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液,方可直接排入流量大于 10 倍排放注量的普通下水道,并应对每次排放作好记录:

a) 每月排放的总活度不超过 10ALI_{min} (ALI_{min} 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者,其具体数值可按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得);

b) 每一次排放的活度不超过 1ALI_{min}, 并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

1.2 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）**6.1 屏蔽要求**

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

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

6.1.7 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应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面30cm处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

1.3 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）**5.1 一般要求**

5.1.5 在随机文件中关于滤过的内容，应符合：

c)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 ；

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效面积、最小单边长度要求见表 7-5。

表 7-5 不同类型 X 射线设备机房的使用面积及单边长度要求

机房类型	机房内最小有效使用面积 m^2	机房内最小单边长度 m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5

6.2.2 X 射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求：

a) 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求见表 7-6。

表 7-6 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
CT 机房（不含头颅移动 CT）	2.5	

1.4 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）

关于控制区剂量率

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021，以下称核医学标准）第6.1.5节规定，距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。本条规定的具体含义为：

1.控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ），周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

2.控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目管理目标

医院综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），结合开展诊疗项目后预计收治病人量，凉山彝族自治州第一人民医院从事核技术利用工作的职业人员年有效剂量按上述标准规定的约束限值的1/4执行：综合医院各项核技术利用项目辐射影响，辐射工作人员年有效剂量约束值不超过 5mSv ；本项目评价范围内，综合医院各项核技术利用项目辐射影响，公众年有效剂量约束限值按照上述标准的1/10执行，即不超过 0.1mSv 。

辐射场所剂量率控制水平：

控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ），周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

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

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应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面30cm处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

放射性废物管理

固体放射性废物

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）“7.2.3 固体放射性废物处理”以及《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“4.2.5 解控”规定，结合本项目核素特征确定管理目标：

A) 固体放射性废物暂存时间满足 B)，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 0.8 Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物/危险废物处理：

B) 针对半衰期大于 24 小时的相关固体放射性废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；

C) 不能解控的固体放射性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 0.1 mSv/h ，表面污染水平对 β 和 γ 发射体应小于 4 Bq/cm^2 。

D) 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。

E) 已通知或已获准实践中的源（包括物质、材料和物品），如果符合审管部门规定的清洁解控水平，则经确认，可以不再遵循本标准的要求，即可以将其解控。除非审管部门另有规定，否则清洁解控水平的确定应考虑 GB 18871-2002 附录 A（标准的附录）所规定的豁免准则，并且所定出的清洁解控水平不应高于本标准附录 A(标准的附录)中规定的或审管部门根据该附录规定的准则所建立的豁免水平。

液态放射性废物

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）“7.3.3 放射性废液排放”，《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“4.2.5 解控”规定以及生态环境部辐射源安全监管司 2023 年 9 月 11 日《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）结合本项目核素特征确定管理目标：

本项目进入衰变池内的核素均为短半衰期核素，设置 40 天排水周期，暂存满 40 天后，可直接排放；

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。

气态放射性废物

①根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）5.2.3规定确定管理目标：

核医学工作场所的通风按表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手套箱应有专用的排风装置，风速应不小于0.5m/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。

②根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）“6.2.2”“6.3 密闭和通风要求”和“7.4 气态放射性废物的管理”规定确定管理目标：

A) 核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

B) 放射性物质的分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止液态放射性废物泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行。手套箱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

C) 手套箱应有足够的通风能力。设有手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

D) 产生气态放射性废物的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。单独的排风系统意为手套箱等设备的排风管道在汇入“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。经过滤后的气体可汇入到一个主管道中排放。

E) 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固体放射性废物进行收集、处理。

2. 环境保护标准

根据已获得凉山州环境保护局*****z 及其竣工环境保护验收意见, 结合现行最新国家标准, 本项目应执行的环境保护标准如下:

3. 环境质量标准

- 1、大气环境执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中二级标准;
- 2、水环境执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中III类水域标准;
- 3、声环境质量标准执行《声环境质量标准》(GB3096-2008)中的 2 类标准。

污染物排放标准

1、废气: 污水处理站周边执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)表 3 标准限值要求;

2、废水: 医疗废水执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)中表 2 预处理标准;

3、噪声: 施工期噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)中各施工阶段标准; 运营期噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中 2 类、4a 类标准;

4、固体废物: 固体废物排放执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB18599-2020)标准, 危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023), 污泥清淘前应进行监测, 达到《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)中表 4 的相关要求。医疗废物还应执行《医疗卫生机构医疗废物管理办法》(卫生部令第 36 号)《医疗废物集中处置技术规范(试行)》(环发[2003]206 号)《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》(HJ421-2008)等相关规范要求。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状**一、项目地理和场所位置**

长安院区位于西昌市长安街道长安西路 120 号，院区东侧为商住居民楼（内含阳光假日酒店、春林宾馆、兴平宾馆、悦来宾馆、福新苑西区等居住和商业混杂区）；南侧为长安西路；西侧为商住居民楼（够优惠超市、泰昌宾馆、高原红宾馆、福鑫宾馆等居住和商业混杂区）；北侧为商住居民楼（内含商业区和福星家园小区）。

本项目核医学科回旋加速器中心辐射工作场所及核医学科门诊区辐射工作场所位于长安院区第二住院大楼 1F，第二住院大楼四周紧邻院区道路及绿化，东侧隔院区道路及绿化为放疗中心、医技大楼、第一住院部综合体，南侧隔院区道路及绿化为门诊楼，西侧隔院区道路及绿化为商住居民楼，北侧隔院区道路及绿化为锅炉房、浆洗房、消毒供应室及食堂。

核医学科回旋加速器中心位于第二住院楼 1F 的东北部，其东侧为院区道路及绿化；南侧为库房 1 及医护走廊；西侧为核医学科预留区域；北侧为院区道路及绿化。回旋加速器机房楼上 2F 为封闭空间，回旋加速器中心其余区域楼上 2F 为空调机房、过道及 1 间病房，中心下方为土层。

核医学科门诊区辐射工作场所位于第二住院楼 1F 的南部（含中部庭院），其东侧、南侧均为院区道路及绿化；西侧为通道 1、门厅、楼梯间、护士站、排烟机房及卫生间；北侧为核医学科预留用房及库房 1、医护走廊。门诊区楼上 2F 为核医学科门诊区上方为数间病房、过道、护士站、工作用房，楼下为土层。

图8-1 本项目拟建址现状图

二、环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

- 评价对象：本项目拟建址周围辐射环境。
- 监测因子：本项目拟建址周围 X- γ 辐射剂量率、 β 表面污染及回旋加速器机房拟建址中子剂量当量率。
- 监测点位：
X- γ 辐射剂量率、 β 表面污染：在第二住院大楼 1F 本项目拟改造区域内部及四周均匀布置 21 个点位；拟建址楼上（第二住院大楼 2F）均匀布置 6 个点位；

回旋加速器机房拟建址楼上（第二住院大楼 3F）布置 1 个点位；50m 范围内涉及的其他建筑最近位置布置监测点位——10 个；衰变池拟建址上方布置 1 个点位。

中子剂量当量率：在回旋加速器机房拟建址内部及四周、楼上（第二住院大楼 3F）布置 6 个监测点位。

表 8-1 项目监测内容及监测规范

监测类别	监测项目	监测规范	标准编号
电离辐射	X- γ 辐射剂量率	环境 γ 辐射剂量率测量技术规范	HJ1157-2021
		辐射环境监测技术规范	HJ61-2021
	中子剂量当量率	《辐射防护仪器中子周围剂量当量（率）仪》	GB/T14318-2019
		《辐射环境监测技术规范》	HJ61-2021
	β 表面污染	表面污染测定 第 1 部分： β 发射体（ $E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体	GB/T 14056.1-2008
		辐射环境监测技术规范	HJ61-2021

三、质量保证措施

四川致胜创科环境监测有限公司通过了计量认证，具备完整、有效的质量控制体系。本次监测所用的仪器性能参数均符合国家标准方法的要求，均有有效的国家计量部门的检定合格证书，并有良好的日常质量控制程序。监测人员均经具有相应资质的单位培训，考核合格持证上岗。数据分析及处理采用国家标准中相关的数据处理方法，按国家标准和监测技术规范有关要求进行处理和填报，并按有关规定和要求进行三级审核。

四川致胜创科环境监测有限公司质量管理体系：

（一）资质认证

从事监测的单位，四川致胜创科环境监测有限公司于 2021 年 8 月取得了四川省市场监督管理局颁发的计量认证证书，证书编号为：***，有效期至 2027 年 8 月 15 日。

（二）仪器设备管理

①管理与标准化；②计量器具的标准化；③计量器具、仪器设备的检定。

（三）记录与报告

①数据记录制度；②报告质量控制。监测人员均经具有相应资质的部门培训，

考核合格持证上岗。

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。

四、监测结果与环境现状调查结果评价

四川省生态环境监测业务系统项目编号：***

表8-2 监测仪器及监测环境

监测项目	监测设备			使用环境
	名称及编号	测量范围	检定/校准情况	
X-γ辐射剂量率	X/γ剂量率仪 型号：XH-3512E 编号：H01	能量响应范围： 30keV~7MeV 测量范围： 10nSv/h~100μSv/h	校准因子：1.07 校检有效期：2025.12.30 证书编号：校字第 2024-D1212 号	温度：25.9℃； 相对湿度：34.7%； 气压：83.9kPa； 天气：晴； 风速：0m/s 监测时间：2025 年 5 月 9 日
β表面污染	名称：表面沾污仪 型号：COMO170 编号：H04	表面发射率响应： α:37.9746s ⁻¹ *Bq ⁻¹ β:46.6922s ⁻¹ *Bq ⁻¹	校检有效期：2026.05.06 证书编号：GFJGJL2040240000531	
中子剂量当量率	名称：中子周围剂量当量（率）仪 型号：MR-3028 编号：H05	能量响应范围： 0.025eV~15MeV 测量范围： 0.01μSv/h~99.99mSv/h	校准因子： ²⁴¹ Am-Be: 1.08 校检有效期：2026.03.16 证书编号：校字第 2025-N011	

监测结果：本项目各监测因子结果见下表，监测点位见下图（报告见附件 9）。

表 8-3 本项目拟建址周围及 50m 范围 X-γ辐射剂量率监测结果

点 位 号	监测位置	X-γ辐射剂量率 (nSv/h)		γ空气吸收 剂量率换 算值 (nGy/h)	备注
		平均值	标准差		
拟建址周围					
1	回旋加速器制药区域拟建址北部（西）	165.6	0.5	138.0	室内
2	回旋加速器制药区域拟建址北部（东）	166.4	0.7	138.7	
3	回旋加速器制药区域拟建址南部（西）	163.1	1.5	135.9	
4	回旋加速器制药区域拟建址南部（东）	166.0	0.4	138.4	
5	核医学科门诊区域拟建址北部（西）	165.6	0.9	138.0	
6	核医学科门诊区域拟建址北部（东）	166.0	1.1	138.3	
7	配套工作用房区域拟建址	164.8	1.2	137.4	
8	核医学科门诊区域拟建址中部（西）	162.9	1.0	135.8	
9	核医学科门诊区域拟建址中部（中）	166.7	0.9	138.9	
10	核医学科门诊区域拟建址中部（东）	167.9	1.2	139.9	
11	核医学科门诊区域拟建址南部（西）	156.1	0.6	130.1	
12	核医学科门诊区域拟建址南部（中）	160.6	1.5	133.8	
13	核医学科门诊区域拟建址南部（东）	164.1	1.7	136.8	
14	回旋加速器制药区域拟建址西侧	156.4	1.4	130.3	

15	核医学科门诊区域拟建址西侧（北）	163.0	1.1	135.8	室外
16	核医学科门诊区域拟建址西侧（南）	156.8	1.1	130.7	
17	核医学科门诊区域拟建址南侧（西）	162.0	0.8	135.0	
18	核医学科门诊区域拟建址南侧（东）	144.1	1.5	120.1	
19	核医学科门诊区域拟建址东侧	156.8	1.0	130.7	
20	配套工作用房区域拟建址东侧	152.6	0.8	127.2	
21	回旋加速器制药区域拟建址东侧	155.6	1.0	129.7	室内
22	回旋加速器制药区域拟建址楼上（西）	172.3	1.0	143.6	
23	回旋加速器制药区域拟建址楼上（东）	171.9	1.6	143.3	
24	配套工作用房区域拟建址楼上北部（西）	174.5	1.3	145.4	
25	配套工作用房区域拟建址楼上北部（东）	172.4	1.3	143.7	
26	核医学科门诊区域拟建址楼上南部（西）	167.1	1.6	139.3	
27	核医学科门诊区域拟建址楼上南部（东）	174.5	0.7	145.4	
28	回旋加速器机房拟建址楼上（3F）	159.7	1.0	133.1	
50m 范围					
1	第二住院楼北侧	152.2	0.8	126.9	室外
2	锅炉房南侧	154.4	0.9	128.7	
3	浆洗房南侧	154.9	1.1	129.1	
4	消毒供应室南侧	154.1	1.7	128.4	
5	食堂西南侧	155.5	1.0	129.6	
6	放疗中心、医技大楼、第一住院部联综合体西侧	155.6	0.7	129.7	
7	庭院中部（衰变池拟建址上方）	154.7	0.9	129.0	
8	门诊楼北侧	154.0	0.8	128.3	
9	福新苑西区西侧	155.5	1.5	129.6	
10	商住居民楼东侧	150.5	1.1	125.4	
注：1、《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）中 5.5，使用 ¹³⁷ Cs 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取 1.20Sv/Gy。2、以上数据均未扣除宇宙射线响应值。					
表 8-4 本项目拟建址周围及 50m 范围环境β表面污染水平结果					
点位号	监测位置	β表面污染 （Bq/cm ² ）		备注	
拟建址周围					
1	回旋加速器制药区域拟建址北部（西）	0.02		室内	
2	回旋加速器制药区域拟建址北部（东）	<LLD			
3	回旋加速器制药区域拟建址南部（西）	0.02			
4	回旋加速器制药区域拟建址南部（东）	<LLD			
5	核医学科门诊区域拟建址北部（西）	<LLD			
6	核医学科门诊区域拟建址北部（东）	<LLD			
7	配套工作用房区域拟建址	<LLD			
8	核医学科门诊区域拟建址中部（西）	0.02			
9	核医学科门诊区域拟建址中部（中）	<LLD			
10	核医学科门诊区域拟建址中部（东）	<LLD			

11	核医学科门诊区域拟建址南部（西）	<LLD	
12	核医学科门诊区域拟建址南部（中）	<LLD	
13	核医学科门诊区域拟建址南部（东）	<LLD	
14	回旋加速器制药区域拟建址西侧	<LLD	
15	核医学科门诊区域拟建址西侧（北）	<LLD	
16	核医学科门诊区域拟建址西侧（南）	<LLD	
17	核医学科门诊区域拟建址南侧（西）	<LLD	室外
18	核医学科门诊区域拟建址南侧（东）	<LLD	
19	核医学科门诊区域拟建址东侧	<LLD	
20	配套工作用房区域拟建址东侧	<LLD	
21	回旋加速器制药区域拟建址东侧	<LLD	
22	回旋加速器制药区域拟建址楼上（西）	<LLD	室内
23	回旋加速器制药区域拟建址楼上（东）	<LLD	
24	配套工作用房区域拟建址楼上北部（西）	<LLD	
25	配套工作用房区域拟建址楼上北部（东）	<LLD	
26	核医学科门诊区域拟建址楼上南部（西）	<LLD	
27	核医学科门诊区域拟建址楼上南部（东）	<LLD	
28	回旋加速器机房拟建址楼上（3F）	<LLD	
29	环境背景值	11.34cps	于入口取点
50m 范围			
1	第二住院楼北侧	<LLD	室外
2	锅炉房南侧	<LLD	
3	浆洗房南侧	<LLD	
4	消毒供应室南侧	<LLD	
5	食堂西南侧	<LLD	
6	放疗中心、医技大楼、第一住院部综合体西侧	<LLD	
7	庭院中部（衰变池拟建址上方）	<LLD	
8	门诊楼北侧	<LLD	
9	福新苑西区西侧	<LLD	
10	商住居民楼东侧	<LLD	
11	环境背景值	6.80cps	于院区道路取点

注：LLD：LLD_p代表仪器探测下限，为 0.02Bq/cm²。

表8-4 本项目回旋加速器机房拟建址周围中子剂量当量率监测结果

点位号	监测位置	中子剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		备注
		平均值	标准差	
1	回旋加速器机房拟建址中央	<LLD	/	室内
2	回旋加速器机房拟建址东侧	<LLD	/	
3	回旋加速器机房拟建址南侧	<LLD	/	
4	回旋加速器机房拟建址西侧	<LLD	/	
5	回旋加速器机房拟建址北侧	<LLD	/	室外

6	回旋加速器机房拟建址楼上(3F)	<LLD	/	室内
---	------------------	------	---	----

注：1、以上数据均未扣除环境背景值。2、LLD=0.01μSv/h。

图8-2 监测点位示意图

根据《2023年四川省生态环境状况公报》中凉山彝族自治州空气吸收剂量率监测结果为100nGy/h~130nGy/h。根据监测结果可知：凉山彝族自治州第一人民医院（西昌医学高等专科学校附属医院）长安院区扩建回旋加速器及核医学科项目拟建址及周围X-γ辐射剂量率为120.4nGy/h~145.4nGy/h，各监测点位的X-γ辐射剂量率与当地天然本底水平基本一致。本项目所在区域β表面污染水平范围为检测下限（0.02Bq/cm²）或低于检测下限，属正常环境本底水平。本项目回旋加速器机房拟建址内部及周围中子剂量当量率水平范围均低于检测下限（0.01μSv/h）。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、施工期工艺分析

通过现场勘查核实可知,本项目改造工程尚未开始动工。本项目施工期主要进行墙体拆除、防护工程、通风系统安装、给排水工程建设、表面装修、设备安装、电路铺设,因此本次评价对于施工期仅进行简要分析。

图9-1 本项目核医学科施工期环境影响示意图

施工过程以施工机械噪声、装修和设备安装噪声为主。施工期间的主要污染因素有废气、建筑垃圾、噪声、施工废水及施工人员的生活污水,会对周围声环境质量产生一定影响。以上污染因素将随建设期的结束而消除。

根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)中5.2.2要求,不同类别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不同,根据设计单位提供资料,本项目场所内所有工作用房均拟设置结构屏蔽,地面与墙壁接缝均无缝隙,表面易清洗,药物分装室内拟设置有手套箱,场所内各房间通风均拟设置特殊的强制通风,拟设置感应式或脚踏式等手部非接触开关控制的洗手盆以及配备去污设备。

本项目核医学科回旋加速器中心辐射工作场所建筑墙体外墙为200mm实心砖墙(密度 $1.9\text{g}/\text{cm}^3$),除回旋加速器机房外其余用房内部隔墙采用50mm岩棉彩钢板。回旋加速器机房四周墙体均为600mm厚混凝土,顶部为90mm混凝土,使用的混凝土密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$,一次性浇筑成型。无地下建筑。

核医学科门诊区辐射工作场所外墙及各房间基础隔墙均为370mm实心砖墙(密度 $1.9\text{g}/\text{cm}^3$),墙体建成后,部分房间将在原有墙体基础上搭建龙骨,铺设2mm、14mm规格的铅板,最后进行表面装饰;顶部为90mm混凝土,部分房间拟在原有楼板基础上搭建龙骨,铺设5mm、10mm、14mm、25mm、30mm规格的铅板,最后使用铝扣板进行吊顶装饰。无地下建筑。

回旋加速器安装调试期间产生质子束、 γ 射线、中子、X射线、活化产物、短半衰期正电子核素以及包装材料等固废;PET-CT和SPECT-CT射线装置安装调试期对于环境主要影响为X射线辐射、微量的臭氧及氮氧化物以及包装材料

等固废。射线装置运输、安装、调试过程中，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证屏蔽体屏蔽到位，在运输设备和主机室门外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近；在设备的调试和维修过程中，射线源开关钥匙应安排专人看管，或由维修操作人员随身携带，并在主机室入口等关键处设置醒目的警示牌，工作结束后，启动安全联锁并经确认系统正常后才能启用射线装置；人员离开时运输设备的车辆和主机室上锁并派人看守。由于本项目 11MV 医用回旋加速器的安装和调试均在控制室、设备间内开展工作，经过机房墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。

二、运营期工作流程及产物环节分析

1. 工程设备

1.1 非密封放射性物质

核医学科回旋加速器中心辐射工作场所生产 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 3 种放射性核素供应核医学科门诊区辐射工作场所使用。

核医学科门诊区辐射工作场所拟使用 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 核素用于 PET-CT 显像，拟使用 ^{67}Ga 、 ^{111}In 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 用于 SPECT-CT 显像，拟使用 ^{32}P 用于敷贴治疗。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），核医学科本项目使用核素的参数见下表。

表 9-1 本项目核素主要技术参数表

1.2 回旋加速器

1.2.1 设备参数

医院为满足核医学科门诊区正电子放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 使用，拟在回旋加速器机房内安装使用 1 台***品牌的***回旋加速器，并按照核医学科门诊区辐射工作场所需求进行放射性核素分装和质控工作。新建回旋加速器按照《关于发布<射线装置分类>的公告》为公告中所列出的制备正电子发射计算机层显像装置（PET）放射性药物的加速器，属于Ⅱ类射线装置。

该设备自带屏蔽外壳，本项目引用信息来源于厂家说明书。设备产生的质子能量最大为 11MeV，最大束流为 100 μA 。当束流和靶相互作用时，将产生中子和瞬时 γ 射线，自屏蔽系统将设备周围的辐射量控制为“受限区域”，*****。

表 9-2 本项目回旋加速器主要性能参数

设备名称	型号	生产厂家	射线装置类别	主要性能参数	
回旋加速器	***-11MT S	***	II	最大质子束流能量	11MeV
				质子束流最大强度	100μA
				屏蔽情况	设备带自屏蔽系统

图 9-2 回旋加速器外壳、核心部件及自屏蔽材料参数一览表

图 9-3 回旋加速器整体样式及核心参数一览表

1.2.2 工作原理

回旋加速器是通过电场和磁场使带电粒子得到加速、偏转并轰击靶核后所引起核反应生产放射性核素的射线装置。在加速器中心部位的离子源经高压电弧放电而使气体电离，从离子源中出来的阴离子在离子源偏压或高频电压作用下推至离子源通道并进入加速区域。在加速区域，负离子束流在磁场（D 型盒）的作用下做回旋运动，在高频电场多次作用下不断获得能量。在能量增加后，其运动半径也随之增大，故而束流的运动轨迹就变成了一种类螺旋形。获得加速的负离子束流通过碳膜（提取膜）时，其与氢结合松散的两个电子被剥离，导致束流从负电性变成正电性，它所受磁场的作用力的方向也发生改变，带正电荷的束流转向出口通过准直器后飞行并轰击靶，产生放射性核素。

引出到加速器外部的入射加速带电粒子束与其路径上的靶核碰撞，入射粒子被靶核吸收，激活的靶核发生核反应发射出中子、α粒子，同时可产生具有一定阈能的正电子放射性核素，放射性核素的产率取决于束流强度、被轰击靶物质的量、核反应截面及轰击时间。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放射性同位素。

加速器制备放射性同位素是利用加速器将带电离离子加速到一定的能量，轰击特定的靶材料，引起核反应而实现的。生产出来的放射性核素一般为缺中子核素，以发射β+或电子俘获 EC 形式进行衰变，能量适度，半衰期短，辐射危害小，适合 PET 显像。

图 9-4 回旋加速器工作原理图

以生产 ^{18}F 为例，生产 ^{18}F 的液体靶辐照系统构如上图。系统由靶头、氦气循环系统和 H_2^{18}O 补充系统组成。储瓶中的 H_2^{18}O 经双相三通阀 1, 2 位进入靶室，多余的 H_2^{18}O 经 5, 4 位流回储瓶，在束流轰击下由 $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$ 核反应产生 ^{18}F 。氦气循环系统保证束流窗的冷却。靶室的冷却由水冷循环系统保证。辐照后改变双三通阀相位，以氦气为动力将靶材由靶室经 6, 5 位排除，再经 2, 3 位送至 ^{18}F 药物制备系统。

1.2.3 本项目设备制药过程

^{18}F 制药过程

(1) 辐照与核反应

核反应：

反应抑制：***

(2) 化学处理流程（自动化模块集成，热室 B 内）

步骤 1：靶水转移

步骤 2： $^{18}\text{F}^-$ 捕获与纯化

步骤 3：洗脱与干燥

(3) 分装：热室 A 内进行活度测量和分装（自动化）。

^{11}C 制药过程

(1) 核反应原理

(2) 靶系统设计

(3) 辐照与化学处理

(4) 分装：热室 A 内进行活度测量和分装（自动化）。

¹³N 制药过程

(1) 核反应原理

(2) 靶系统设计

(3) 辐照与化学处理

1.2.4 医用回旋加速器组成部分

本项目医用回旋加速器主体系统分为磁铁系统、射频系统、离子源系统、束流引出系统、束流诊断系统和真空系统六大模块。回旋加速器系统基本组成见下图。

图 9-5 回旋加速器系统基本组成图

***-11MTS 医用回旋加速器主要用于生产医学 PET 成像（Positron Emission Tomography,正电子发射断层显像）所需的放射性同位素（核素）。它将离子源电离产生的负氢离子束通过磁场和电场的作用加速至 11MeV，经碳膜剥离引出，轰击靶材从而得到所需的放射性同位素（核素）。

(1) 磁场系统

磁铁的设计实际目的在于约束粒子运动的轨迹，使粒子在较小的空间内能够多次经过加速间隙，削减粒子加速的成本，并为粒子的聚焦与离子源的等离子体提供磁场。***-11MTS 医用回旋加速器采用深谷型扇形磁铁设计，上下对称的磁极沿粒子的运动轨迹展开后形成交变的磁场为粒子提供聚焦；在磁极中心平面，磁场力提供粒子回旋的向心力，在磁场约束和电场加速的双重作用下，粒子沿螺旋线运动，运动半径越大，能量越高。***-11MTS 医用回旋加速器采用紧凑型磁铁设计。

(2) 射频 (RF) 系统

回旋加速器的本质是“粒子增能器”，带电粒子经过电场时会受到电场力的影响而产生加速或减速，当粒子的运动方向始终与电场力方向一致时，粒子便会被持续加速。***-11MTS 医用回旋加速器采用半波长谐振腔构建射频电场，功率源通过电感耦合将功率输入谐振腔，Dee 盒与假 Dee 板形成 4 个加速间隙，电场交变频率与粒子回旋时穿越加速间隙的频率保持一致，使得粒子总能获得加速效果。当粒子被加速至指定能量时便会被引出，射频系统就是用来构建粒子的加速电场。射频系统由射频功率源、馈线组件、耦合器和谐振腔组成。射频功率源产生的大功率射频信号，经过馈线组件和耦合器，馈入到谐振腔中，用以构建粒子的加速电场。

(3) 离子源系统

离子源位于回旋加速器的中心位置，其工作时在放电腔体内部形成电离气体所需的电场、磁场。离子源内部的电场、磁场将中性气体电离后形成含有负氢离子的等离子体。加速器通过引出极板将离子源内的负氢离子引出并将其加速。目前，***-11MTS 所使用的离子源为径向插入式冷阴极潘宁离子源，可以做到在加速器外迅速完成维护、更换。该潘宁源能够为***-11MTS 提供 100 μ A 的 H⁻离子束流，气体消耗量为 3-6sccm，寿命超过 18000 μ Ah。

(4) 束流引出系统

束流引出系统用于将已加速到一定能量的负氢离子束引出至加速器外，从而实现束流打靶或束流传输。***-11MTS 医用回旋加速器引出方式采用碳膜剥离，其主要原理是将 H⁻离子的外层电子剥离，从而变为 H⁺离子，在加速器内部磁场的影响下，其轨道曲率发生反转，进而实现束流的引出。***-11MTS 医用回旋加速器束流引出系统由三个部分组成：碳膜、碳膜夹持器和转动测量器。碳膜是用于剥离 H⁻离子的外层电子的部件。

(5) 靶系统

(6) 控制系统

***-11MTS 医用回旋加速器控制系统是由监督控制和数据采集 Wincc v7.5 系统、可编程逻辑控制器（西门子 1500PLC）及外围供电回路、保护回路、继电器回

路构成。控制系统包含了上位机的 Wincc v7.5 系统及机柜。Wincc v7.5 系统是以计算机为基础的生产过程控制与调度自动化系统。它可以对现场的运行设备进行监视和控制，及故障信息、历史数据的查询。

(7) 真空系统

真空系统用于产生并维持回旋加速器工作所需的真空条件，保证回旋加速器内部耐压和束流传输效率。负氢离子束流只有在真空环境中运行，才能保持足够的寿命，并且不断地被积累和加速，达到设计的能量和流强。

(8) 冷却系统

水冷系统用于保障***-11MTS 医用回旋加速器中磁铁、谐振腔、射频功率源、离子源、靶系统、真空系统等设备、系统维持正常工作的温度，防止因为温度超出合适的范围而出现故障。水冷系统的整体结构为二级水冷结构，内水冷系统将加速器部件产生的热量从部件系统带走，经过内外水冷系统的热交换装置形成循环冷却水。整个水冷系统由内水冷机、外水冷机和水路组件组成。外水冷机提供足够的冷却能力，内水冷机将加速器部件产生的热量从部件系统带至外水冷机。外水冷机提供足够的冷却能力，以使***-11MTS 医用回旋加速器闭环水回路保持在恰当的水温，最大制冷量 40kW。内水冷机设计用于满足***-11MTS 医用回旋加速器及其配套设备的冷却要求。

(9) 自屏蔽系统

(10) 安全联锁保护

图 9-6 本项目设备厂家配套安全联锁系统示意图

1.2.5 合成分装区域核心设施

热室区域共计 2 个合成热室 BC、1 个分装热室 A 及 1 个合成分装一体化的热室 D。B 热室用于合成 ^{18}F ，C 热室用于合成 ^{11}C ，A 热室用于分装 ^{18}F 以及 ^{11}C ，D 热室用于合成及分装 ^{13}N 。由 1 条地沟通往药物合成室后区，地沟内有多条细管（合成模块：1.5mm 内径 PFA 管（ ^{18}F ），3.2mm 内径 PFA 管（ ^{13}N ），避免吸附；2~3mm 内径不锈钢管传输 $^{11}\text{CO}_2$ ，以耐受高压）分流后进入 B、C、D 热

室。每次仅打靶生产 1 种核素，因此辐射人员通常每次仅操作 1 种核素。

图 9-7 本项目各热室分工示意图

1.2.6 核素生产工况及产能

(3) 核医学科门诊区辐射工作场所诊断工作

PET-CT 是将 PET 与 CT 融为一体，由 PET 提供病灶详尽的功能与代谢等分子信息，而 CT 提供病灶的精确解剖定位。PET 系统的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。CT 主要由扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统组成，其中扫描部分由 X 线管、探测器和扫描架组成。SPECT-CT 设备结合了核医学的放射性核素显像和传统的 CT 扫描技术，通过注射放射性核素到患者体内，利用 SPECT（单光子发射计算机断层扫描）技术检测患者身体内的代谢活动和疾病情况，同时利用 CT 扫描提供患者解剖结构信息。

图 9-8 SPECT-CT 和原有 PET-CT 机器外形图

SPECT-CT 和 PET-CT 工作时，其 CT 的 X 射线管会产生 X 射线，属于Ⅲ类射线装置，主要技术参数见下表。单独进行 SPECT 或 PET 扫描时设备不产生射线，仅用探测器接收病人体内核素产生的射线。

表 9-4 本项目核医学科Ⅲ类射线装置主要技术参数表

射线装置：X 射线机							
设备位置	型号	有用线束方向	X 射线管/准直器的最低总过滤当量	额定工况		常用最大工况	
				管电压	管电流	管电压	管电流
SPECT-CT 机房	型号未定	东侧，西侧，楼上，楼下	***	***	***	***	***
PET-CT 机房 2	GE 联影 uMI 780	东侧，西侧，楼上，楼下	***	***	***	***	***
PET-CT 机房 1	型号未定	东侧，西侧，楼上，楼下	***	***	***	***	***

PET-CT 诊断工作原理

(1) 药物原理：正电子药物，又称为正电子显像剂，是指用发射正电子的放射性核素标记的药物。由于是供临床 PET 显像使用的放射性药物因此又称为 PET 药物或 PET 显像剂。以最常用的¹⁸F 为例，¹⁸F-氟代脱氧葡萄糖(世纪分子)、¹⁸F-

硝基咪唑丙醇---乏氧组织显像剂、 ^{18}F -胸腺嘧啶核苷---肿瘤核酸代谢类显像剂(^{18}F -FDG)、 ^{18}F -乙基胆碱---磷脂代谢显像剂,参与细胞膜的合成、 ^{18}F -[-多巴---帕金森等神经精神疾病。当大脑和心脏代谢脂肪酸与糖类的时候,耗氧量会较大,如果在缺氧的情况下消耗的方式就会从脂肪酸变成厌氧糖代谢。以常见的 ^{18}F -FDG为例,当 ^{18}F -FDG注射到人体内,因为它是一种类似葡萄糖的物质,大脑、心脏会把它当成糖类利用起来, ^{18}F -FDG会被磷酸化为氟[^{18}F]脱氧葡萄糖-6-磷酸盐,因此会聚集在大脑和心脏。但当体内有肿瘤的时候,这种物质还会聚集在肿瘤所在之地。因为恶性肿瘤细胞生长得快速且无序,导致周围的血管生长变得迟缓,局部组织相对缺氧。而在缺氧的情况下,消耗方式从脂肪酸变成厌氧糖代谢,肿瘤细胞就需要更多的葡萄糖,厌氧糖解速率也更高。所以 ^{18}F -FDG作为葡萄糖类似物,发挥着“诱捕器”的作用,也会大量集聚到恶性肿瘤所在的地方供其代谢。 ^{18}F 衰变后放出的正电子很快就与周围的电子结合释出 γ 射线,能够被PET设备探测到结合CT图像即可找出肿瘤部位。

代表性核素

^{18}F -FDG 是目前最常用的 PET-CT 正电子显像剂,其在鉴别病灶的良恶性、恶性肿瘤治疗的疗效评估以及疾病的术前评估中具有重要作用。但颅脑和胃肠道等部位也会生理性摄取 ^{18}F -FDG,这会在一定程度上降低 PET-CT 的诊断准确率。

^{68}Ga -FAPI 是一种新型肿瘤 PET-CT 显像剂,它能靶向肿瘤相关成纤维细胞激活蛋白,从而能特异性识别肿瘤细胞。 ^{68}Ga -FAPI 摄取的高低与肿瘤的侵袭、转移密切相关。在一些葡萄糖代谢不高的肿瘤中, ^{68}Ga -FAPI 显像可以说是一个非常有益的补充,能够显著提高肿瘤的诊断效能。 ^{68}Ga -FAPI 的 PET-CT 在肝内肿瘤的诊断中具有优势,尤其是对于 ^{18}F -FDG 不敏感的肿瘤。 ^{68}Ga -FAPI 的 PET-CT 可以提供更准确的分期信息,从而指导临床治疗方案的选择。常见正电子核素只在用药当日扫描 1 次。

特殊核素: *****

(2) **PET-CT 显像工作原理:** PET即正电子扫描仪(Positron Emission Tomography)为分子影像设备。 β 衰变核素能产生正电子并发生湮灭效应,产生两个能量彼此运动相反的 γ 光子,根据人体不同部位吸收标记化合物能力的不同,同位素在人体内各部位的浓聚程度不同,湮灭反应产生光子的强度也不同,然后

通过PET 的 γ 射线检测器环列（例如闪烁计数器）监测 γ 光子辐射的轨迹线，经代谢后在脏器内外或病变部位和正常组织之间形成放射性浓度差异，通过计算机处理再成像。

SPECT-CT诊断工作原理

（1）**药物原理：**以最常见的 ^{99m}Tc 为例，其具有良好的显像剂特性，包括：①理想的半衰期；②单一的 γ 射线；③所需剂量小，低毒；④化学性质、生物特性适宜标记大多数核医学显像药物。医用 ^{99m}Tc 可直接用于甲状腺显像，或与多种螯合物反应制成各种不同的 SPECT 显像剂，用于不同的核医学检查项目，如常见的骨显像用的是 MDP（亚甲基二磷酸盐）、肾动态显像用的是 DTPA（二乙酰三胺五乙酸）和 EC（双半胱氨酸）、肺灌注显像用的是 MAA（聚合白蛋白）、心肌灌注显像用的是 MIBI（甲氧基异丁基异腈）、脑血流灌注显像用的是 ECD（双半胱乙酯）等。 ^{99m}Tc 作为显像剂或示踪剂进入人体后，能以特异性或非特异性方式浓聚于特定的正常脏器组织或病变组织。 ^{99m}Tc 药物在人体内发射出具有一定穿透力的 γ 射线，通过 SPECT 对这些光子进行探测和记录，通过计算机处理从而获得脏器、组织或者病变部位的形态、位置、大小以及脏器功能图像数据。使用 ^{99m}Tc 的患者只在用药当日扫描 1 次。

特殊核素：*****

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

敷贴治疗工作原理

放射性核素敷贴治疗：某些病变对 β 射线较敏感，利用 ^{32}P 对表浅病变进行外照射治疗。 ^{32}P 核素在衰变过程中发出低能量的放射性 β 射线，穿透皮肤对组织细胞进行照射，致使局部细胞发生形态改变和功能改变，例如微血管的萎缩、闭

塞等退行性变,细胞分裂速度变慢,血管渗透性改变、白细胞增加和吞噬能力增强等。因其能量较低,在组织中的最大穿透距离仅为 11mm,对正常组织细胞不会有影响,所以特别适合数毫米的浅表性皮肤疾病治疗,例如瘢痕疙瘩、小儿毛细血管瘤、慢性湿疹、神经性皮炎、银屑病、口腔黏膜白斑、浅表鸡眼等。核素敷贴治疗在核医学领域已经开展了四十余年,其安全性和疗效已有很大保障。

^{32}P 通常制成敷料,适用于不同患处。通常医护人员根据病变的各种形状制成相应大小的敷贴(纸片),按照患者年龄、瘢痕的面积、部位和质地计算一次的敷贴剂量及敷贴的时间,将 ^{32}P 配制成一定放射性活性的液体,用加样器将稀释好的 ^{32}P 溶液滴加在制作好的滤纸上,用 100W 红外线灯烤干滤纸待用,病变用橡皮胶布防护屏蔽后,贴敷贴病变部位,最后用 3mm 厚的橡皮胶布覆盖后遵医嘱时间并回收科室。

2. 工作流程及产污环节

(1) 核医学科回旋加速器中心辐射工作场所

^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 放射性核素在制备过程中工艺流程相似,只是使用靶材不同,以最常用的 ^{18}F 放射性药物简述生产流程。

①准备环节: *****

②调试与清洁: *****

③核素制备: *****

产污环节: *****

④药物合成、分装

产污环节: *****

⑤药物质控

产污环节: *****

⑥药物运送

图 9-9 回旋加速器制药产污环节图

(2) 核医学科门诊区辐射工作场所

PET-CT显像诊断

本项目自产的核素来自第二住院楼1F东北侧回旋加速器中心,其余核素来自外购,其注射和显像流程如下:

①自产用药:根据预约的患者数量向中心预约用量,在早晨核医学科开诊前将订购量的核素送往核医学科,运输过程中药物放在铅罐内,送入源库交给门诊区医护人员。自产核素的半衰期较短,每次订购的放射性药物当天全部用完。

外购用药:根据预约的患者数量向供药公司订购非密封放射性物质,供药公司在早晨核医学科开诊前将订购的药物送往医院,运输过程由供药公司负责,运输过程中药物放在铅罐内。供药公司送来的药物在药物分装室转交核医学科医护人员。每次订购的放射性药物当天全部用完。该过程可能产生 γ 射线、 β 射线、臭氧及氮氧化物、韧致辐射;

②药物分装室内医护人员做好防护措施(穿戴防护用品)将装有放射性核素的铅罐放在手套箱内进行分装。该过程可能产生 γ 、 β 射线、 β 表面沾污、臭氧及氮氧化物、放射性三废、韧致辐射;

③医护人员分装完成后通过对讲机呼叫患者前往注射窗口进行药物注射,注射时,工作人员和患者采用隔室操作。该过程可能产生 γ 、 β 射线、 β 表面沾污、臭氧及氮氧化物、放射性三废、韧致辐射;

④每位患者注射完药物后进入注射后等候室进行静息观察,观察等待期间禁止人员陪护。该过程可能产生 γ 、 β 射线、 β 表面沾污、臭氧及氮氧化物、放射性三废、韧致辐射;

⑤观察时间结束后,注射了核素的患者进入PET-CT机房进行扫描。过程可能产生X、 γ 、 β 射线、臭氧、氮氧化物、韧致辐射;

⑥扫描完成后,患者进入留观室静息,期间多喝水排泄,无异常后患者离开。该过程可能产生 γ 、 β 射线、放射性三废、臭氧、氮氧化物、韧致辐射;

⑦无不良反应的患者,护士台通过对讲告知离开核医学科。

图 9-10 PET-CT 诊断工作流程及产污环节图

PET-CT 校准过程影响极小且频次极低。

SPECT-CT 显像诊断

本项目SPECT核素直接向有资质单位进行购买，不涉及药物制备，其注射和显像流程如下：

①根据预约的患者数量向供药公司订购非密封放射性物质，供药公司在早晨核医学科开诊前将订购的核素送往医院，运输过程由供药公司负责，运输过程中药物放在铅罐内。供药公司送来的药物在源库转交核医学科医护人员，每次订购的放射性药物当天全部用完。该过程可能产生 γ 射线、 β 射线、韧致辐射、臭氧及氮氧化物；

②医护人员做好防护措施（穿戴防护用品）将装有放射性核素的铅罐放手套箱内进行分装。该过程可能产生 γ 射线、 β 射线、韧致辐射、 β 表面沾污、放射性三废、臭氧及氮氧化物；

③医护人员分装完成后通过对讲机呼叫患者前往注射窗口进行药物注射，注射时，工作人员和患者采用隔室操作。该过程可能产生 γ 射线、 β 射线、韧致辐射、 β 表面沾污、放射性三废、臭氧及氮氧化物；

④每位患者注射完药物后进入注射后等候室进行静息观察（ ^{99m}Tc 患者需进入运动负荷间内进行运动负荷，到达时间后进入注射后等候室静息观察），观察等待期间禁止人员陪护。该过程可能产生 γ 射线、 β 射线、韧致辐射、 β 表面沾污、放射性三废、臭氧及氮氧化物；

⑤观察时间结束后，注射了核素的患者进入SPECT-CT机房进行SPECT-CT扫描。该过程可能产生X射线、 γ 射线、 β 射线、韧致辐射、臭氧、氮氧化物；

⑥扫描完成后，患者进入留观室静息，期间多喝水排泄，无异常后患者离开。该过程可能产生 γ 射线、 β 射线、韧致辐射、放射性三废、臭氧、氮氧化物；

⑦无不良反应的患者，护士台通过对讲告知患者离开核医学科。

SPECT-CT校准过程影响极小且频次极低，日常工作流程及产污环节如下：

图9-11 SPECT-CT工作流程及产污环节图

^{32}P 敷贴治疗

操作流程

^{32}P 放射性溶液保存在门诊治疗及检查区域源库的铅罐中。患者由接诊台的护士带入敷贴治疗室后，医师根据患者病变的大小、厚薄及部位的不同，选择不

同的剂量和疗程，确定每次照射时间，护师在手套箱内制作不同的 ^{32}P 敷贴器。

①根据患者病史、病情及相关辅助检查结果进行药物剂量的确定，然后根据预约的患者数量向供药公司订购非密封放射性物质 ^{32}P ，并由供药公司运输到医院。供药公司在营业前将订购的 ^{32}P 送往医院，运输过程由供药公司负责，运输过程中 ^{32}P 药物放在铅罐内。供药公司送来的药物放入门诊区源库。辐射工作人员穿戴乳胶手套，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烤干滤纸，色剂均匀分布。用三层优质塑料薄膜与胶布套封，经检测表面无放射性污染后即可使用。

⑤待病人进入敷贴室后，首先对病人进行宣贯，随后对病变区域进行处理，随后对病变用橡皮胶布防护屏蔽后，贴敷贴病变部位，后用 3mm 厚的橡皮胶布覆盖后遵医嘱时间并回收科室。

⑥病人离开核医学科。

产污环节

^{32}P 敷贴器制作、治疗过程中会产生 β 射线、 β 表面污染、气态放射性废物和固体放射性废物。具体为制备、分装、给药过程对辐射工作人员产生外照射；制备、分装、给药过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程中产生的固体放射性废物，如使用治疗后的废弃自制敷贴器、可能沾染放射性药物的棉签、手套、口罩、污染擦拭等固体放射性废物；同时 β 射线电离空气产生微量臭氧、氮氧化物。

图 9-12 ^{32}P 敷贴治疗流程图

三、人流物流路径

①患者路径

所有病人由第二住院楼 1 楼西侧、南侧入口进入，通过护士站针对病人叫号形式完成所有诊疗过程，所有病人根据语音及电子屏显示指导前往各个诊疗室，

最终由缓冲区 4 离开场所。本项目核素众多，因此不同核素诊疗安排及诊疗路线如下。所有的留观室内仅放置 2 个座椅，一次仅允许进入 2 人。

表 9-5 医院扩建完成后核素诊疗安排及病人路线汇总一览表

②辐射工作人员

核医学科回旋加速器中心辐射工作场所：

医技人员及技师由医护次出入口经医护走廊进入更衣区，更衣之后，技师经医护走廊前往控制室完成前期工作或进入机房完成相应工作，医技人员在原料库将原料备齐放入传递窗口后，通过更衣区、净化通道进入药物合成室完成准备工作。制药分装完成后，医技人员将药物及质控药物铅罐放入传递窗，随后医技人员经医护走廊、缓冲区2（兼更衣）进入质控室完成质控工作。最后与门诊区护师沟通后，在缓冲区门口将药物转交给护师，在缓冲区2（兼更衣）完成表污检测、更衣后，最后经医护次出口离开。

核医学科门诊区辐射工作场所：

技师每日经医护次入口进入辅房区域的男女更衣室及卫生间更衣，随后进入控制廊穿戴铅衣等防护用品，每日工作结束后，在铅衣/检测区脱下防护用品并完成表污检测后，前往男女更衣室及卫生间更衣，随后经医护次入口离开。

医技人员或护师每日经医护主入口通过楼梯间进入庭院，随后进入门诊区更衣室，更衣后进入药物分装室或敷贴室完成每日工作，每日工作结束后原路返回。

回旋加速器中心制药完成后通知门诊区护师取药，护师在缓冲间2（兼更衣区）门口接过药物，经楼梯间穿过庭院，将药物从传递窗传入源库内。

③药物及废物通道

药物运入：

医院根据患者预约情况提前向厂家或核医学科回旋加速器中心辐射工作场所预约。

外购药物：厂家在用药当天医护人员上班前将运输车辆停至医护次入口，护师在医护次入口接应，待厂家的辐射工作人员经医护走廊、楼梯间、庭院、通过传递窗送入源库。

自产药物：护师接到回旋加速器中心医技人员通知后，经更衣室、庭院、楼梯间、医护走廊前往回旋加速器中心的缓冲间2（兼更衣）门口取药，随后原路

返回至庭院，将药物经传递窗送入源库。药物运送时医院尚未开诊，能够避开人流集中时间段，不与院区其他科室医护人员、患者出入时间交叉，符合要求。

废物运出：放射性同位素操作过程中产生的如一次性注射器、手套、棉签、药瓶、吸水纸等带微量放射性同位素的固体废弃物，在各个诊疗室内的放射性废物由铅废物暂存桶收集，所有废物集中分类收集工作在患者和医护人员均下班离开后开展。核医学科门诊区辐射工作场所放射性废物收集后暂存于放射性废物暂存间 2 内，核医学科回旋加速器中心辐射工作场所放射性废物收集后暂存于机房内废靶储存箱或放射性废物暂存间 1 内。固体放射性废物均在铅废物桶内进行贮存衰变，满足存放周期要求经检测达标后运至院区存放普通医疗废物的医疗废物暂存间。本项目对应楼顶排风口更换下来的初效、中效过滤器作为固体放射性废物处理。因此，在时间上药物早上开诊时间前运入，废物晚上门诊时间结束后运出。

四、工作人员及工作制度

工作制度：本项目辐射工作人员每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天 8h 制，所有人员均为 1 班制。

人员配置：医院拟为本项目配置19名辐射工作人员，其中医师7名，医技人员5名，操作技师4名，护师3名。部分辐射工作人员为新增，部分辐射工作人员调用医院原辐射工作人员，调岗后的辐射工作人员不再兼岗原放射工作。具体配置及工作情况如下。

表 9-6 本项目辐射工作人员配置情况及工作内容一览表

工作内容	核医学医师	核医学医技人员	操作技师	护师
生产、质控	/	2（分装及质控）	1（控制加速器）	/
PET-CT 诊疗	4（出具诊疗方案）	1（分装、注射）	2（摆位显像）	2（盘点出入库、取药）
SPECT-CT 诊疗	2（出具诊疗方案）	1（分装、注射）	1（摆位显像）	1（盘点出入库、取药）
敷贴治疗	1（出具诊疗方案）	1（制药、治疗）	/	/

受辐射影响时间统计：*****

五、原有工艺不足和改进情况

医院的原有核技术项目均已履行环保手续，已建设项目已申领辐射安全许可证并完成行政验收或自主验收。

根据原有辐射工作场所年检报告可知，原有核技术项目周围剂量当量率满足

标准要求,同时根据各设备性能检测报告可知其符合仪器相关质控评价标准。经过确认,原有辐射工作人员最新连续四个季度个人剂量结果除 2D 辐射工作人员许悦外(根据医院提供职业外照射个人监测剂量核查登记表,该辐射工作人员的个人剂量计曾被水浸泡,导致读数有误),其余辐射工作人员最新四个季度个人剂量监测结果未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中剂量限值情况。且各运营场所辐射防护措施及相关制度齐全。原有辐射工作人员已参加辐射防护与安全知识考核及自主考核(目前 4 人证书过期、3 人为新增辐射工作人员,正在积极备考,参加下次考核)、已定期进行职业健康体检、个人剂量计送检,并有完善的辐射工作人员个人剂量及职业健康档案。院区已配备与原有核技术利用项目相匹配的监测仪器及报警设备。

综上所述,医院原有工艺无不足和改进情况,医院因发展需求,进一步提高医院的医疗水平,更好地满足全州广大人民群众医疗需求,因此拟建设本项目。

污染源项描述

一、施工期污染源项分析

本项目辐射工作场所基建内容已在项目所在的环境影响评价中进行了评价,本次建设涉及防护工程、表面装修、射线装置安装和电路铺设等施工期工作。在施工过程中,主要环境问题表现为扬尘、废水、噪声、废渣和装修废气等。通过作业时间控制,合理安排好各种噪声施工机具的使用时间,加强施工现场的管理等手段,对周围声环境影响较小,且该影响是暂时性的,对周围声环境的影响随建设期的结束而消除。施工所产生的少量生活废水经原有废水收集系统排入专用排污管道,在建设施工中采取湿法作业,尽量降低扬尘对周围环境的影响。建设施工所产生的施工废渣送指定的建筑垃圾处置场。

在安装调试阶段,回旋加速器主要环境影响为中子、 γ 射线、臭氧和氮氧化物、 β 射线、韧致辐射;III类射线装置主要环境影响为 X 射线、臭氧及氮氧化物、噪声、固体废物。

二、运营期污染源项分析

1. 核医学科回旋加速器中心辐射工作场所

本项目中的回旋加速器在使用过程中产生的电离辐射主要有初级辐射(被加速的带电粒子)、被加速后的带电粒子与物质相互作用产生的次级辐射(中子、 γ

射线、 β 等)以及初级、次级辐射与周围物质相互作用产生的缓发辐射(γ 射线、 β 等,即感生放射性物质)和放射性废物等。

从核反应的阈能来看,能够直接产生感生放射性核素的被加速带电粒子能量多数需在5–10MeV以上。本加速器的加速质子最大能量为11MeV,因此质子与加速器部件如准直器等相互作用可使部件活化。加速器打靶过程产生的次生中子与周围物质相互作用产生感生放射性。感生放射性主要产生在加速器的结构材料、冷却水、加速器机房空气中。

本项目涉及核素自然衰变过程为 β 辐射,射线能量0.511MeV, β 粒子在组织中的最大射程为2.4mm,辐照影响较小。但 β^+ 粒子在自然界中不能长时间独立存在,很快发生湮灭反应,同时释放出2个能量相同(0.511MeV)、方向相反的 γ 光子,即 γ 射线, γ 射线贯穿能力较强,会对周围环境产生外照射辐射影响。

制备/合成、分装核素和质控过程中产生的主要污染物有质子、中子、 γ 射线、 β 射线、韧致辐射、 β 表面污染及气态放射性废物、液态放射性废物、固体放射性废物等。

1.1 电离辐射

①质子

②中子

③ γ 射线

γ 射线主要有几种来源:

④ β 表面污染

医技人员在质控放射性核素过程中,不可避免地会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污,造成 β 放射性表面污染。

⑤ β 射线和韧致辐射

医技人员在质控放射性核素过程中,核素会产生 β 射线, β 粒子被自身源物质及周围其他物质阻止时分别产生内、外韧致辐射。

1.2 放射性三废

①气态放射性废物

②液态放射性废物

本项目核医学科回旋加速器中心辐射工作场所液态放射性废物产量为 $1.42+1.25/1000+2.5/1000\approx 1.43\text{m}^3/\text{a}$ 。

③固体放射性废物

因此，本项目加速器中心产生的固体放射性废物约 400kg/a 。

2. 核医学科门诊区辐射工作场所

2.1 电离辐射

①外照射

根据涉及使用的放射性核素的物理特性，运行过程可产生的电离辐射包括： β 、 γ 射线、韧致辐射（本项目核素能量见表 9-1），同时 SPECT-CT 和 PET-CT 扫描时 CT 会产生 X 射线，SPECT-CT 最大管电压为 150kV （型号未定），PET-CT 1 最大管电压为 150kV （型号未定），PET-CT 2 最大管电压为 140kV （型号已定）。

②表面污染

核医学工作人员操作放射性药物时，有可能出现溢出、滴洒等，均会造成工作台面、地面、设备表面和操作器械的放射性污染；这些表面污染如果不及时发现、处理，会对人员产生外照射。

2.2 放射性三废

①气态放射性废物：

②液态放射性废物：

本项目核医学科投运后，每日产生废水总计 0.4854m^3 。每年患者产生废水 81.6m^3 ，医护人员每年产生的清洁淋浴废水和场所应急冲洗废水 3.75m^3 ，共计 85.35m^3 。

③固体放射性废物：

综上所述，本项目核医学科运行后每年将产生 800kg 的固体放射性废物。

三、非辐射污染源项分析

噪声影响：本项目产噪设备不多（主要为通风系统），声级较小。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局及分区

1.工作场所布局

核医学科回旋加速器中心辐射工作场所位于第二住院楼 1F 的东北部，设计有回旋加速器机房、回旋加速器配套设备间、回旋加速器机房控制室、更衣区（一更室、二更室、退更检测室、紧急冲淋间 1），缓冲间 1、净化通道、洁具间 1、灭菌间、原料库、缓冲间 2（兼更衣区）、质控室、放射废物暂存间 1、气瓶间、电井通道、电井、药物合成室（前区及后区）。

核医学科门诊区辐射工作场所位于第二住院楼 1F 的南部（含第二住院楼 1F 的庭院，庭院入口均设置门禁，后期进行管控，只允许医护人员及药物进入），拟使用 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 核素用于 PET-CT 显像，拟使用 ^{67}Ga 、 ^{111}In 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 用于 SPECT-CT 显像，拟使用 ^{32}P 用于敷贴治疗。设计有护士站、诊室、敷贴室、源库、紧急冲淋间 2、更衣室、药物分装室、SPECT-CT 注射室、PET-CT 注射室、控制廊（含铅衣/检测区）、SPECT-CT 机房、门诊设备间、PET-CT 机房 1、PET-CT 机房 2、缓冲间 3、缓冲间 4、病患走廊、抢救室/运动负荷间、SPECT-CT 注射后等候室及卫生间、PET-CT 注射后等候室及卫生间，PET-CT VIP 等候室及卫生间，留观室及卫生间、放射性废物暂存间 2、洁具间 2。

本项目配套工作用房集中在第二住院楼 1F 的东部，设计有护士长办公室、主任办公室、医护走廊、办公/阅片室、示教室、库房 1、库房 2、男女更衣室及卫生间、2 间值班室、休息就餐、弱电间。

2. 布局合理性分析

表 10-1 本项目选址布局合理性对照分析一览表

《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ 1188-2021)		本项目设计情况	是否满足要求
选址	核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员物流通道。	本项目核医学科门诊区、回旋加速器中心位于第二住院楼 1F 的南部和东北部，与非放射性区域相通的地方均设置有防护门、实体墙体屏蔽等物理隔离措施，其防护门拟设置门禁，设置有单独的人员物流通道。	满足
	核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食	本项目所在第二住院楼处于整个院区	满足

	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。	的西部，不毗邻产科、儿科、食堂等部门，与其余门诊治疗大楼等人员密集区相隔一定距离。场所设有独立的患者出口，与非放射性工作场所有明确的分界隔离。	
	核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑	本项目核医学科门诊区、回旋加速器中心场所涉及气态放射性废物的排风管道引至第二住院楼楼顶排放，排口高度为13.8m。建设单位综合考虑场所布局及排风系统布置，本项目排口已尽可能远离西侧高层建筑，排布于东部及北部。	满足
	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。	本项目核医学科门诊区、回旋加速器中心的辐射工作场所已分开布置，本项目2处场所控制区相对集中，高活室集中在各区域的一侧；本项目源库及废物间在满足需求的同时，存放范围较小；本项目核医学科门诊区设置留观室、注射后等候室，限制给药后患者只能在房间内休息。	满足
布局	核医学工作场所应设计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。	本项目送药在营业之前，废物运出在患者、医护人员离开之后，药物运进与废物运出路径在时间上能够和人流实现分流，且运送通道较短捷。服药后的患者与医护进出路径不交叉重叠，通过患者时间安排，注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉。 正电子药物制备场所已按相关的药物生产管理规定，合理规划工作流程，使放射性物质的传输运送最佳化，减少对工作人员的照射。回旋加速器机房、药物合成室（前区及后区）、质控室的设置能够便于放射性核素及药物的传输，出口位于场所南侧，便于放射性药物的运送至南侧核医学科门诊区。	满足
	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，给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患者的专用卫生间。	本项目核医学科门诊区、回旋加速器中心的控制区所有进出口均拟设置门禁系统，核医学科门诊区设置留观室、注射后等候室，禁止无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动；放射性药物给药器有适当的屏蔽，留观室内拟设置铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。本项目配套设施齐全，拟为本项目辐射工作人员及患者配备必要的防护用品和监测设备，在核医学科门诊区药物分装室的进出口设计有卫生通过间，回旋加速器中心设置更衣区、缓冲间	满足

		可进行污染检测。核医学科门诊区的控制区内注射后等候室、留观室设有给药患者的专用卫生间。	
--	--	---	--

综上所述，以上设计能够符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）设计要求，布局合理。

3. 控制区监督区分区原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范和管理工作的，本项目应当按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）6.4 以及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）4.3 要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区。

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，要求有专门防护手段和安全措施的限定区域。控制区入口应有 GB18871 规定的电离辐射警告标志；除医务人员外，其他无关人员不得入内，患者也不应随便离开。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的区域。

4. 控制区、监督区两区划分

综上，本项目两区划分一览表如下：

表10-2 本项目“两区”划分一览表

工作场所	控制区	监督区	备注
核医学科回旋加速器中心	回旋加速器机房、药物合成室(前区及后区)、质控室、放射性废物暂存间 1、洁具间 1	控制室、设备间、更衣区（一更室、二更室、退更检测室、紧急冲淋间 1），缓冲间 1、净化通道、洁具间 1、灭菌间、原料库、缓冲间 2（兼更衣）、气瓶间、电井通道、电井	控制区内禁止外来人员进入，职业工作人员在进行日常工作时候尽量减小在控制区内居留时间，以减少不必要的照射。监督区范围内应尽量限制无关人员进入。
核医学科门诊区	源库、药物分装室、敷贴室、SPECT-CT 注射室、PET-CT 注射室、抢救室/运动负荷间、SPECT-CT 注射后等候室及其卫生间、PET-CT 注射后等候室及其卫生间、SPECT-CT 机房、PET-CT VIP 等候室及其卫生间、PET-CT 机房 1、PET-CT 机房 2、留观室及其卫生间、放射性废物暂存间 2、洁具间 2、病患走廊。	护士站、紧急冲淋室2、更衣、控制廊、设备间、缓冲3、缓冲4、诊室	
其他	衰变池	庭院	

控制区防护手段与安全措施：

①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的指示。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限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开；

②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；

③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；

④制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

⑤运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；

⑥在更衣室备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

⑦定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界；

⑧门诊控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。

监督区防护手段与安全措施：

①采用适当的手段划出监督区的边界，在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

②定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

新建衰变池所在位置上方应进行栅栏隔离，防止无关人员进入，并竖立电离辐射警告标志牌。

二、工作场所污染防治措施

1. 防护要求

参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），核医学的非密封放射性物质工作场所根据操作放射性核素的权重活度分为三级。

表 10-3 临床核医学工作场所权重活度分级

分级	权重活度, MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

注: 权重活度= (计划的日最大操作活度×核素毒性权重系数)/操作性质修正系数。

表 10-4 核医学常用放射性核素的毒性权重因子

类别	放射性核素	毒性权重因子
A	^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{131}I 、 ^{32}P	100
B	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 、 ^{111}In 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、	1

表10-5 不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	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、分装以及给药; 简单放射性药物制备; 治疗病床区	1
复杂放射性药物配置	0.1

表 10-6 核医学科回旋加速器中心权重活度计算结果

场所	核素	日最大操作量 (Bq)	操作性质修正因子	毒性权重因子	权重活度 (MBq)	防护分级
回旋加速器机房	^{18}F	***	***	***	***	I
	^{11}C	***	***	***	***	
	^{13}N	***	***	***	***	
药物合成室 (前区及后区)	^{18}F	***	***	***	***	I
	^{11}C	***	***	***	***	
	^{13}N	***	***	***	***	
质控室	^{18}F	***	***	***	***	III
	^{11}C	***	***	***	***	
	^{13}N	***	***	***	***	
放射性废物暂存间 1	^{18}F	***	***	***	***	II
	^{11}C	***	***	***	***	
	^{13}N	***	***	***	***	

表10-7 核医学科门诊区权重活度计算结果

场所	核素	日最大操作量 (Bq)	操作性质修正因子	毒性权重因子	权重活度 (MBq)	防护分级
源库	^{18}F	***	***	***	***	II
	^{11}C	***	***	***	***	
	^{13}N	***	***	***	***	
	^{67}Ga	***	***	***	***	
	^{68}Ga	***	***	***	***	
	^{64}Cu	***	***	***	***	
	^{89}Zr	***	***	***	***	
	^{111}In	***	***	***	***	
					合计 3170.16	

	^{99m}Tc	***	***	***	***		
	^{131}I	***	***	***	***		
	^{32}P	***	***	***	***		
药物分装室	^{18}F	***	***	***	***	最大 88800+9 2500=18 1300	I
	^{11}C	***	***	***	***		
	^{13}N	***	***	***	***		
	^{67}Ga	***	***	***	***		
	^{68}Ga	***	***	***	***		
	^{64}Cu	***	***	***	***		
	^{89}Zr	***	***	***	***		
	^{111}In	***	***	***	***		
	^{99m}Tc	***	***	***	***		
	^{131}I	***	***	***	***		
	^{32}P	***	***	***	***		
敷贴室	^{32}P	***	***	***	***		II
SPECT-CT 注射室	^{67}Ga	***	***	***	***	最大 18500	II
	^{111}In	***	***	***	***		
	^{99m}Tc	***	***	***	***		
	^{131}I	***	***	***	***		
PET-CT 注射室	^{18}F	***	***	***	***	最大 29600	II
	^{11}C	***	***	***	***		
	^{13}N	***	***	***	***		
	^{68}Ga	***	***	***	***		
	^{64}Cu	***	***	***	***		
	^{89}Zr	***	***	***	***		
SPECT-CT 注射后等候 室	^{67}Ga	***	***	***	***	最大 148*2= 296	II
	^{111}In	***	***	***	***		
	^{99m}Tc	***	***	***	***		
PET-CT 注 射后等候室	^{18}F	***	***	***	***	最大 5920*2 =11840	II
	^{11}C	***	***	***	***		
	^{13}N	***	***	***	***		
	^{68}Ga	***	***	***	***		
	^{64}Cu	***	***	***	***		
	^{89}Zr	***	***	***	***		
PET-CTVIP 等候室	^{18}F	***	***	***	***	最大 5920*2 =11840	II
	^{11}C	***	***	***	***		
	^{13}N	***	***	***	***		
	^{68}Ga	***	***	***	***		
	^{64}Cu	***	***	***	***		
	^{89}Zr	***	***	***	***		
留观室	^{18}F	***	***	***	***	最大 5920*2	II
	^{11}C	***	***	***	***		

	^{13}N	***	***	***	***	=11840	
	^{67}Ga	***	***	***	***		
	^{68}Ga	***	***	***	***		
	^{64}Cu	***	***	***	***		
	^{89}Zr	***	***	***	***		
	^{111}In	***	***	***	***		
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	***	***	***	***		
	^{131}I	***	***	***	***		
SPECT-CT 机房	^{67}Ga	***	***	***	***	最大 1850	II
	^{111}In	***	***	***	***		
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	***	***	***	***		
	^{131}I	***	***	***	***		
2 间 PET-CT 机房	^{18}F	***	***	***	***	最大 2960	II
	^{11}C	***	***	***	***		
	^{13}N	***	***	***	***		
	^{68}Ga	***	***	***	***		
	^{64}Cu	***	***	***	***		
	^{89}Zr	***	***	***	***		
抢救室/运动 负荷间	^{18}F	***	***	***	***	最大 2960	II
	^{11}C	***	***	***	***		
	^{13}N	***	***	***	***		
	^{67}Ga	***	***	***	***		
	^{68}Ga	***	***	***	***		
	^{64}Cu	***	***	***	***		
	^{89}Zr	***	***	***	***		
	^{111}In	***	***	***	***		
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	***	***	***	***		
放射性废物 暂存间 2	^{131}I	***	***	***	***	合计 2306.59 85	II
	^{18}F	***	***	***	***		
	^{11}C	***	***	***	***		
	^{13}N	***	***	***	***		
	^{67}Ga	***	***	***	***		
	^{68}Ga	***	***	***	***		
	^{64}Cu	***	***	***	***		
	^{89}Zr	***	***	***	***		
	^{111}In	***	***	***	***		
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	***	***	***	***		
	^{32}P	***	***	***	***		
洁具间 2	^{18}F	***	***	***	***	合计 280.016	II
	^{11}C	***	***	***	***		
	^{13}N	***	***	***	***		

	^{67}Ga	***	***	***	***		
	^{68}Ga	***	***	***	***		
	^{64}Cu	***	***	***	***		
	^{89}Zr	***	***	***	***		
	^{111}In	***	***	***	***		
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	***	***	***	***		
	^{131}I	***	***	***	***		
	^{32}P	***	***	***	***		

表 10-8 按不同级别工作场所室内表面和装备的要求

场所分级	I	II	III
核医学科回旋加速器中心	回旋加速器机房、药物合成室（前区及后区）	放射性废物暂存间 1	质控室
核医学科门诊区	药物分装室	源库、敷贴室、SPECT-CT 注射室、PET-CT 注射室、SPECT-CT 注射后等候室、PET-CT 注射后等候室、PET-CT VIP 等候室、留观室、SPECT-CT 机房、2 间 PET-CT 机房、抢救室/运动负荷间、放射性废物暂存间 2、洁具间 2	/
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	墙壁接缝无缝隙	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	不必需
通风	特殊的强制通风（风速不小于 1m/s）	良好通风（风速不小于 0.5m/s）	一般自然通风
管道	特殊的管道*	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆*和去污设备	洗手盆*和去污设备	洗手盆*
*下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测			
*洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制			

2. 防护措施

2.1 工作场所辐射屏蔽防护设计

本项目辐射工作场所的设计和修建均由专业设计院与建筑公司进行设计和装饰，房间的四周及屋顶均修建相应的屏蔽体对射线进行有效的屏蔽。

核医学科回旋加速器中心辐射工作场所

核医学科门诊区辐射工作场所

2.2 操作过程的防护措施

①放射性药物的操作防护

核医学科门诊区辐射工作人员在进行核素药品的分药操作时首先做好个人

防护,包括穿铅衣,戴铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等,佩戴好个人剂量计,将源库药物储存罐(内有放射性药品)移至手套箱内,进行分药操作。分药操作台面均为瓷砖贴面,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,分装完成后使用注射器对患者进行放射性药物注射。另外,操作台、注射室内各设置一个放射性废物收集桶,收集桶为铅材质,上面加盖铅盖。当天收集的固体放射性废物暂存于收集桶内,一天的工作结束后需及时分类集中放置于放射性废物暂存间 2 内。

②敷贴相关操作防护

外购药物的接收与存放:外购药物均封于有机玻璃的医用器皿中,并放入铅罐内,医护人员接收过程中穿戴好防护用品,佩戴好个人剂量计,而后放进源库内。

^{32}P 敷贴器制作: ^{32}P 敷贴器由辐射工作人员在手套箱内制作完成,辐射工作人员在制作 ^{32}P 敷贴器时应该做好个人防护,戴橡胶手套、有机玻璃眼镜、口罩、工作帽等,佩戴好个人剂量计,制作完成后辐射工作人员对患者进行治疗。

敷贴治疗:在治疗过程中,使用 ^{32}P 自制敷贴器辐射工作人员均应做好相应的个人防护。

清洁及废物收集:敷贴相关辐射工作场所内均设置有铅垃圾桶(带铅盖),桶内套有垃圾袋,当天工作完成后,专职清洁人员穿戴好铅防护用品,将固体放射性废物转运至固废间内。

③放射性药物的存放

本项目核医学科门诊区使用放射性药物由供应单位派专人直接送至源库内,核医学科回旋加速器中心制药完成后通知门诊区护师前去取药,使用 75mmPb 铅转运罐。源库有监控摄像头,对其进行 24 小时监控,并且实施双人双锁专管制度。保管当日使用的放射性药物有良好的外包装和专门的材料,其屏蔽体外的辐射水平可符合国家相关标准,再经距离衰减和墙体屏蔽后,其所致室外环境和公众剂量,可低于国家标准规定的限值。

源库的墙体可满足防护要求,积极采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的“六防”安全措施。

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

②源库拟设置专人进行管理，并定期进行辐射剂量的监测，无关人员不准许进入；

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

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

④对服药和注射后患者防护措施

本项目患者服药后实行患者与陪护人员及其他公众的隔离管理，隔离期间禁止患者随意流动，并使用患者专用卫生间进行大小便（ ^{131}I 患者进入场所前进行宣教，不在场所内如厕），在观察结束后按指定线路离开核医学科门诊区域。

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，须在有负压的手套箱内进行，防止放射性物质飞散；

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。

2.3 辐射安全与防护措施

本项目控制区洁具间内设拖把池，配置 1 套专用拖把和抹布，按照控制区和监督区分别使用不同的专用拖把和抹布，不可混用。清洁根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）

《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。

2.3.1 回旋加速器中心辐射工作场所

（1）加速器机房安全措施：

①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-机联锁及延时开门，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。按下开门按钮后，防护门将延时打开；

③急停按钮、清场按钮、紧急开门按钮。在机房内墙壁以及控制台上分别设置1个急停按钮，紧急情况下急停按钮一经按下，系统会无条件关闭加速器束流停止出束。机房内四周墙上拟设置清场按钮，控制室操作人员逐一按下以后方能开启设备。机房内门口设有开门按钮，室内人员停留时可按下开门按钮离开；

④钥匙控制。回旋加速器控制台的开关机用钥匙控制，钥匙由机房控制室辐射工作人员独立保管，其他非加速器控制人员不能接触；

⑤机房门口拟设置声光报警装置和工作状态指示灯，并与加速器联锁。不同工作状态显示不同报警信号，用以警示周围工作人员；

⑥回旋加速器室防护门设置红外线防夹伤功能和延时开门功能。

⑦回旋加速器室内拟设置紧急开门装置，当发生事故或停电时，可以打开防护门。

⑧回旋加速器室内安装摄像头，可以监控机房内的情况，也可以用作清场时确保机房内没有人员停留。

⑨固定式剂量率报警仪：回旋加速器室防护门内、外均安装固定式剂量监测探头，当探测到机房内剂量率超过设置阈值时，机房门口声光报警装置报警，机房控制室内操作台有剂量率实时显示和报警。

⑩回旋加速器自屏蔽外壳：根据设备厂商提供的资料，回旋加速器采用完全自屏蔽技术，对 γ 射线和中子能够起到有效的阻挡作用，***回旋加速器系统在工作流程上采用自动化操作，避免了工作人员接受不必要的放射性辐射。由

于机内设计有自屏蔽，即使是制药过程中，射线穿透机器的散射能量已降至很弱，对机房的屏蔽要求已降至很低。加速器自屏蔽区内设计有单独排气管道，并相对加速器机房呈负压状态。

(2) 药物合成室安全措施:

(3) 回旋加速器中心场所内

回旋加速器机房屏蔽: 本项目回旋加速器机房四周墙为 600mm 混凝土，顶部为 90mm 混凝土，回旋加速器机房区域上方 2F 的地面到吊顶范围内砌有一圈 250mm 厚混凝土围墙，防护门采用 20mmPb+250mm 5%含硼聚乙烯。

药物合成室（前区及后区）: 药物合成室（前区及后区）提供 PET 正电子放射性药物合成的过程保护。A\B\C\D 四个热室箱体正面屏蔽（含观察窗）均 $\geq 70\text{mmPb}$ ，活度计预留孔铅屏蔽均 $\geq 70\text{mmPb}$ ，其余面铅屏蔽均 $\geq 60\text{mmPb}$ 。

核素传输管道: 传输管道内管为 $\Phi 0.8\text{mm}$ 的聚四氟乙烯管，管道设在地沟槽内，地沟槽设计尺寸为深 100mm $\times$ 宽 100mm。传输管道埋深约 20cm，管道上方设置 50mmPb 铅砖防护，管沟地表上方设置钢盖板。

电离辐射警告标志: 控制区的入口将设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处将设置标明监督区的标志；

手套箱: 质控区手套箱设计有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域及手套箱等场所的通风系统排气口均高于本建筑物屋顶，已尽可能远离邻近的高层建筑。

防护用品: 为减少对于辐射工作人员的影响，加速器中心将配套铅盒、铅罐、铅废物桶，应急医护防护用品等。

监测设备: 核医学科回旋加速器中心将单独配备 1 台便携式 X- γ 巡测仪及 3 台表面沾污仪、为 3 名辐射工作人员配备 3 台个人剂量报警仪。

管理措施:

①操作时从低活度区域到高活度区域进行；控制区清洁用水接入衰变池内。

②生产、运出放射性药物及时登记建档，做到交接账目清楚、账物相符。

③放射性废物暂存间设置防盗设施，钥匙专人保管，放射性废物每日由专人分类、打包、记录后转移至放射性废物暂存间，建立放射性废物暂存间接收、

转移台账。

④拟配置带有屏蔽的容器、屏蔽运输容器、放射性废物桶等辅助用品。

⑤拟配备个人剂量计、表面污染监测仪、应急医护防护用品等个人防护用品和监测设备。

⑥药物合成室、质控室均拟设置门禁，禁止无关人员入内。

2.3.2 核医学科门诊区辐射工作场所

警告标志及设施：控制区的入口、铅废物桶表面、各防护门表面、储源保险箱表面、手套箱、衰变池检修口表面拟设置电离辐射警告标志，监督区入口处拟设置标明监督区的标牌；拟为核医学门诊区内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射警告标志。

受检者导向标识/清洁区域导向提示：本项目核医学科门诊区中相应位置将有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。此外周围的清洁区域出口将同样设置导向提示。

监视设施或观察窗和对讲装置：本项目核医学科门诊区药物分装室、放射性废物暂存间、源库、候诊区域、给药后患者留观区域、扫描机房将配备监视设施或观察窗和对讲装置，监控显示器位于药物分装室或值班室，可实时监控放射性药物、放射性废物和校准源的情况。

工作状态指示灯：本项目扫描机房外防护门上方将设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与防护门设置门灯联动装置；

单向门及门禁：患者进、出口设计为单向门并设有门禁，入口只进不出，出口只出不进，控制区内部的机房以外的防护门、庭院进出口设有门禁，禁止无关人员进入。

储存、转运等容器：本项目核医学科门诊区内部运输将配备有足够屏蔽的储存、转运等容器；

手套箱：本项目核医学科门诊区药物分装室拟配备 2 个手套箱（东侧专供 PET-CT 诊断区给药，西侧专供 SPECT-CT 诊断区给药）；

防护用品：拟为从事放射性药物操作的工作人员和患者配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，SPECT-CT 注射后等候室、PET-CT 注

射后等候室、PET-CT VIP 等候室、留观室拟设置铅屏风，以减少患者与患者之间的叠加剂量。

储源柜：校准源、豁免源及未使用的多余的非密封放射性物质将贮存在源库的储源柜内，定期进行辐射水平监测，不允许无关人员入内。

台账：非密封放射性物质的使用及放射性废物暂存情况将建立台账，及时登记，确保账物相符。

污水管道：本项目位于第二住院楼的污水管道位于地面以下深土层中，无裸露管道。

监测仪器：本项目操作放射性药物的控制区出口将配有表面污染监测仪器，从控制区离开的医护人员和物品均拟进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，拟采取相应的去污措施。医院拟为核医学科门诊区配备 1 台辐射巡测仪、2 台表面沾污仪、4 台个人剂量报警仪。

闭门装置及防夹装置：扫描机房平开门拟设置自动闭门装置，确保防护门处于常闭状态，电动推拉门计划设置红外识别的防夹装置。

双人双锁：本项目储源柜拟设置双人双锁，分别由专人保管。贮存、领取、使用、归还校准源及存入未使用的多余的非密封放射性物质时，应当进行登记、检查，做到账物相符。并对校准源定期进行盘存，确保其处于指定位置，具有可靠的安全保障，多余药物及时返还厂家。

应急物资：放射性表面去污用品（如抹布、滤纸）、去污试剂、警戒线等应急物资。

洗消处理设备：核医学科门诊区上水拟配备洗消处理设备，控制区内的淋浴、洗手池、拖把池将选用自动感应式的开关，马桶将采用节水模式；洗手池计划安装伸缩式水龙头，方便头、眼和面部受污染时，采用向上流动的水进行冲淋；

铅废物桶：将设置废物铅桶，其内将放置专用塑料袋直接收纳废物，将确保每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h， β 表面污染水平 $<0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，质量不超过 20kg。应确保固体放射性废物收集桶证其外表面 30 cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

缓冲区：控制室出入口均已设置缓冲区。

2.4 辐射安全管理措施

(1)管理机构:建设单位已建立以院领导为代表的第一责任人的安全管理机构,需根据本项目进行完善。

(2)管理制度:本项目建设单位涉及使用乙级非密封放射性物质工作场所、II类射线装置、III类射线装置,根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(环保部令第3号)“第十六条”和《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲》(川环函[2016]1400号),建设单位须具备的辐射安全管理要求见表12-3,建设单位已按照要求制定所有制度并下发至全院,需在运行前根据本项目完善相关辐射安全管理制度。

(3)制度悬挂:拟在核医学科工作场所合适的墙上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责、放射防护注意事项告知栏等。

三废的治理

一、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,主要通过施工管理和采取洒水等措施来进行控制。

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。且禁止夜间施工,也尽可能选用噪音较小的施工设备。

3. 废水

施工期产生的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,生活污水产量较小,将依托医院临时污水处理设施处理。

4. 固体废物

施工中固体废物主要为建筑废料、装修过程中产生的装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾,施工垃圾和生活垃圾均已由医院统一收集并移交环卫部门清运。

二、运营期三废治理

1. 气态放射性废物

本项目核医学科放射性物质工作场所设有独立的通排风系统，每路排管道进入风井前均拟设置止回阀，各支管均设置防倒灌装置，工作场所内保持负压，避免废气倒灌和泄漏。在设计有辐射防护屏蔽的房间，对于穿墙后的风管采取不小于墙壁铅当量的屏蔽措施。

1.1 相关要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）针对气态放射性废物提出如下管理措施要求：

（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。

（2）应定期检查通排风系统过滤净化的有效性，及时更换失效的初效及中效过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。

初效及中效过滤器使用寿命一般为6~12个月，为保证过滤效率的有效性，建设单位需根据设备特性定期进行维护，每半年对其的过滤效率进行校核，如果有必要需每半年进行一次更换，以防止过滤器失效，造成放射性污染事故，且更换下的初效及中效过滤器需作为固体放射性废物进行管理和处理。

1.2 核医学科回旋加速器中心辐射工作场所

本项目回旋加速器中心设立有独立的通排风系统，回旋加速器机房（排风量为900m³/h）、质控室手套箱（排风量为500m³/h）、热室（排风量为600m³/h）单独1套通风管道，药物合成室（前区及后区）、放射性废物暂存间1、净化通道、洁具间、灭菌间、更衣区（一更室、二更室、退更检测室、紧急冲淋间1）采用1套通风管道（排风量为3550m³/h），质控室及放射性废物暂存间1单独1套通风管道（排风量为500m³/h），以上管道将废气引至第二住院楼屋顶（3层，楼高10.8m），在最终排口处经初效及中效过滤器处理后排放（排口高度13.8m）。回旋加速器配套设备间、回旋加速器机房控制室、原料库共用一套通风管道，气瓶间单独1套通风管道，接至第二住院楼东侧排口排放（排口高度3.5m）。

1.3 核医学科门诊区辐射工作场所

本项目核医学科设立有独立的通排风系统，敷贴室单独一根排风管道接至住院部西侧排口排放（排口高度3.5m），SPECT-CT、PET-CT机房控制室及其

设备间共用一根排风管道，接至第二住院楼北侧排口排放（排口高度3.5m）。为除去含核素气态放射性废物，本项目门诊场所源库、紧急冲淋室、药物分装室、2间注射室、抢救室、SPECT-CT注射后等候及其卫生间、PET-CT注射后等候及其卫生间、SPECT-CT机房、PET-CTVIP等候及其卫生间、2间PET-CT机房、留观室及其卫生间、放射性废物暂存间、洁具间拟使用一根独立排风管，接至屋顶后经过初效及中效过滤器后排口排放，2个手套箱独立使用一根排风管，接至屋顶后经过初效及中效过滤器后排口排放，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）6.3及《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）5.2.3的要求。

每支排风管道进入风井前均拟设置止回阀，避免废气倒灌和泄漏。气态放射性废物排风管道通过排风井引至第二住院楼楼顶（3层，楼高10.8m），楼顶排风口安装大功率排风机（排风量为7300m³/h），排风高度距地约为13.8m，废气在最终排口处经初效及中效过滤器处理后排放，排口不朝向周围高层建筑及周围环境保护目标。经楼顶风机排风和两级过滤后，气态放射性废物影响甚微。

1.4 初效及中效过滤器

本项目拟采用的初效及中效过滤器主要是用于去除放射性气溶胶颗粒，初效过滤器主要针对5μm以上的大颗粒，中效过滤器可拦截1~5μm的颗粒，单个排口一次装量约20kg。本项目采用初效及中效过滤器进行二级过滤，能够提高整体过滤效率，对于1~5μm颗粒的吸附效率可达到90%。

2. 液态放射性废物

本项目辐射工作场所设置有独立的排水系统。核医学科回旋加速器中心辐射工作场所液态放射性废物主要为操作放射性药物的放射工作人员洗手废水、应急淋浴、场所清洁用水。核医学科门诊区辐射工作场所液态放射性废物主要来自患者的排泄废水、清洗废水（设置有独立的患者专用卫生间），辐射工作人员产生的清洁淋浴废水、应急冲洗废水。液态放射性废物沿各个房间废水分支管道汇总到主废水管道排至衰变池暂存衰变。

正电子药物制备过程中的药物传输管道冲洗废水，热室内部管道会自动收集于合成热室中的烧瓶中。放射性药物质控过程中产生的液态放射性废物，由医技人员收集于质控区的烧瓶中。上述废物将在中心的放废间暂存 31 天后，经检

测后作为医疗废物处置。

2.1 衰变池设计

衰变池为3级并联衰变池，设计有2个污泥池和3级衰变池，用于存放含有核素的液态放射性废物（ ^{131}I 核素除外），每级衰变池独立设计并使用混凝土分隔。衰变池每级池子可使用容积为 15m^3 ，总容积 45m^3 。根据设计，本项目核医学科液态放射性废物通过下水管道进入衰变池进行衰变，排水示意图见附图15。本项目衰变池采用地埋式现浇混凝土结构，进行防腐防水处理，顶板壁厚250mm，四周池壁厚300mm，底板厚500mm，池与池之间隔板厚300mm，采用C30防水混凝土浇灌。污水管采用耐酸防腐材料，衰变池池壁内表面及池底均抹防水砂浆及耐酸碱腐蚀涂料。检修口井盖为300mm厚混凝土板。

2.2 衰变池容纳液态放射性废物的合理性分析

本项目核医学科及回旋场所废水均排放至衰变池暂存，根据表9可知，核医学科门诊区每天产生的液态放射性废物485.4L，核医学科回旋加速器中心每天产生的液态放射性废物5.68L，根据相关要求，计划设置的排水周期为40天（以衰变池中半衰期最长的核素 ^{89}Zr 考虑（半衰期为 $78.41\text{h}=3.27\text{d}$ ）。本项目设置三级衰变池，两级衰变池使用体积为 $15\text{m}^3\times 2=30\text{m}^3$ ，因此在一级衰变池存满之后，剩余两级衰变池考虑每天2处场所产生的液态放射性废物464.08L，能正常运行64天，完全能够满足40天排水周期需求。

2.3 衰变池运行方式

3级衰变池交替使用，液态放射性废物首先进入污泥池，通过水泵运转放射性废液进入1级衰变池，此时，另两级衰变池的进水口和出水口全部处于关闭状态，当1级衰变池废液注满后，系统自动关闭1级衰变池进水阀，2级衰变池的进水阀门开启，水泵运转放射性废液进入2级衰变池。当2级衰变池废液注满后，系统自动关闭2级衰变池进水阀，3级衰变池的进水阀门开启，水泵运转放射性废液进入3级衰变池。当3级衰变池废液注满后，系统自动关闭3级衰变池进水阀。当1级衰变池废液达到排水周期时将1级衰变池废水排至医院污水处理系统，作为普通医疗废水处理。所有废水通过提升泵将废水经医院污水管网导入污水处理站，经院区污水处理站处理达到预处理标准后经市政管网排入小庙乡污水处理厂处理达标后排入海河。

2.4 衰变池管理及相关要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），本项目含 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{111}In 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 废水设置的排水周期为40天，能满足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倍最长半衰期要求。

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、衰变池维护和检修操作规程，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，并定期对衰变池进行维护和检修，保证衰变池安全有效运行。衰变池需设立明显的电离辐射警告标志，同时衰变池上方四周应设立栏挡。

3. 固体放射性废物

3.1 相关要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）针对固体放射性废物的收集、贮存和处理提出如下管理措施要求：

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。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废物间贮存。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，经监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。

②放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，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。废物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。废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

③对于固体放射性废物暂存时间，所含核素半衰期小于 24 小时固体放射性废物暂存时间超过 30 天；所含核素半衰期大于 24 小时的固体放射性废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；含 ^{131}I 核素固体放射性废物暂存超过 180 天。

④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 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

⑤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。

3.2 固体放射性废物处理计划

回旋加速器中心：回旋加速器维护时更换活化的支架和靶膜等，约 0.1t/a。控制区放射性药物操作和清洁时产生注射器、试管、抹布、手套等，产生量约 0.4kg/d，则放射性固体废弃物产生量约 100kg/a。本项目气态放射性废物处理系统采用初效及中效过滤器吸附，初效及中效过滤器每半年更换一次，每次装填的过滤器重约 100kg，则废活性炭产生约 200kg/a。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）7.2.3，本项目活化性固体放射性废物和 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 相关的放射性废物均暂存31天。医疗废物经过压缩和打包后的密度国家统计局结果平均值是500-800kg/m³，保守按照平均密度500kg/m³，占地面积约0.24m²。

本项目回旋加速器区域排口的初效及中效过滤器也暂存于放射性废物暂存间1，使用半年后进行更换，因此初效及中效过滤器最大暂存量为100kg，初效及中效过滤器密度（150-600）kg/m³，平均按照375kg/m³进行计算，占地面积约1.4m²。

本项目放射性废物暂存间1的面积为3.29m²，高度约3m，上述固体放射性废物占地面积共1.64m²，因此当放射性废物暂存间1处于历史最大负荷时能够满足暂存需求。

核医学科门诊区：根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）7.2.3，本项目含有 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{111}In 的放射性废物暂存31天，含有 ^{67}Ga 、 ^{89}Zr 的放射性废物暂存40天，含有 ^{131}I 的放射性废物暂存181天。医疗废物经过压缩和打包后的密度国家统计局结果平均值是500-800kg/m³，保守按照平均密度500kg/m³进行计算。

本项目核医学科门诊区排口的初效及中效过滤器也暂存于放射性废物暂存间，初效及中效过滤器中所含核素为 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{111}In 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{32}P 。本项目共2个排口涉及初效及中效过滤器，使用半年后进行更换，因此初效及中效过滤器最大暂存量为100kg，初效及中效过滤器密度（150-600）kg/m³，平均按照375kg/m³进行计算。

本项目放射性废物暂存间2的面积为6.23m²，高度约3m，本项目单个废物桶面积约为0.12m²，根据密度折算体积需求一共设置13个废物桶，占地面积共1.56m²，初效及中效过滤器占地面积约1.4m²，因此废物桶及初效及中效过滤器占地面积约2.96m²，因此当放射性废物暂存间2处于历史最大负荷的时候能够满足暂存需求。

管理计划：本项目各放射性废物产生点均会设置专用防护废物桶，废物桶表面设置电离辐射标志，内放置专用塑料袋收纳废物，含尖刺及棱角的放射性废物，拟预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋；放射性废物每袋重量不超过20kg。每天下班后由专人分类、打包、记录后转移至2处放射性废物暂存间，放射性废物暂存间配置足够数量的废物桶，不同类别废物拟分开存放，废物桶表面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。拟计划本项目固体放射性废物暂存周期为40天，暂存期满后并经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平后进行清洁解控作为医疗废物处理，废物包装体外表面的污染控制水平需满足 $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。达到清洁解控水平后作为一般医疗废物运输至医院医疗废物暂存间暂存，统一交有医疗废物处置资质的单位处置。

三、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。本项目使用射线装置在进行报废处理时，将该射线装置的高压射线管进行拆解和去功能化，同时将射线装置的主机电源线绞断，使射线装置不能正常通电，防止二次通电使用，造成误照射。

本项目2处放射性废物暂存间参考《核技术利用放射性废物库运行管理技术规范》（HJ 1417-2025）进行设计和管理，内部设置了通风系统，地面将采用防渗材质并在容纳废水的区域设置托盘，并将在室内设置监控和灭火器。门口及容器上拟张贴电离辐射警告标志，计划安排2人管理放射性废物暂存间，并由其专门保管入库钥匙（双人双锁）。此外还将制定放射性废物入库记录表、放射性废物交接清单，并在日常自主监测计划中将废物库纳入重点监测范围。

环保设施及投资

本项目总投资***，其中环保投资***，占总投资约***。

表 10-14 本项目环保投资一览表

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

医院长安院区位于西昌市长安街道长安西路 120 号。本项目所在的长安院区已获得***。本项目主体建筑的施工期阶段环境影响已在院区环评中详细描述，故本项目仅进行简要分析。

本项目施工期主要为改造工程、防护工程、表面装修和电路铺设，可能的污染因素主要为常规环境要素（施工废水、施工废气、施工噪声及施工固体废弃物影响）。

一、施工期对环境产生如下影响：**（1）施工期大气环境影响分析**

建设阶段的大气污染源主要为装修阶段产生的扬尘，但影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染已（拟）采取以下措施：

- a) 及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；
- b) 车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；
- c) 施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

（2）施工期废水环境影响分析

施工期间，有一定量含有泥浆的建筑装修废水产生，项目施工期施工人员污水产生量很少。施工人员产生的少量生活废水进入污水处理系统处理后进入城市污水管网，项目施工期废水对外环境影响较小。

（3）施工期噪声环境影响分析

施工期的噪声污染源主要为电锤、电钻等设备产生，声源强度在 65～95dB(A)，会造成局部时段边界噪声超标，因此，项目拟加强管理，在施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的标准规定，将噪声降低到最低水平；禁止夜间施工。影响将随着施工期结束消除。

（4）施工期固体废物影响分析

施工期的固体废物主要是装修垃圾和生活垃圾。建设单位已在施工场地出入口设置临时垃圾桶，生活垃圾经统一收集后由环卫部门统一清运处理，并做好清运工作中的装载工作，防止垃圾在运输途中散落。建筑材料可回收利用部分重新利用后剩余的建筑垃圾集中收集，由建设单位外运至市政部门指定的垃圾堆放场。故项目施工期间产生的固废对周边环境产生影响较小。

二、射线装置安装调试期对环境会产生如下影响：

回旋加速器安装调试期间产生质子束、 γ 射线、中子、X射线、活化产物、短半衰期正电子核素以及包装材料等固废；PET-CT 和 SPECT-CT 射线装置安装调试期对于环境主要影响为 X 射线辐射、微量的臭氧及氮氧化物以及包装材料等固废。

在射线装置运输、安装、调试过程中，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证屏蔽体屏蔽到位，在运输设备和主机室门外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近；在设备的调试和维修过程中，射线源开关钥匙应安排专人看管，或由维修操作人员随身携带，并在主机室入口等关键处设置醒目的警示牌，工作结束后，启动安全联锁并经确认系统正常后才能启用射线装置；人员离开时运输设备的车辆和主机室上锁并派人看守。由于本项目 11MV 医用回旋加速器的安装和调试均在机房和操作室设备间内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。

总之，建设项目施工期和安装调试期对环境产生的上述影响均为短期的，建设项目建成后，影响即自行消除。建设单位和施工单位在施工过程中应切实落实对施工产生的三废及噪声的管理和控制措施，施工期的环境影响将得到有效控制，建设项目施工期对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

1. 回旋加速器中心辐射工作场所

综上所述,本项目核医学科加速器中心开展核技术利用项目过程中,各环节过程中关注点处周围剂量当量率均满足国标“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域, 其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。”“放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构, 以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。韧致辐射影响极小, 统一在下文核医学科门诊区环节介绍。

2. 核医学科门诊区辐射工作场所

由上表可知, 考虑 γ 射线和 X 射线贡献情况下本项目核医学科门诊区辐射工作人员所受的年有效剂量最大为 3.85mSv , 公众所受的年有效剂量最大为 $7.81\text{E-}02\text{mSv}$ (第二住院楼楼内核医学科门诊区临近区域周围的公众年有效剂量最大为 $6.90\text{E-}02\text{mSv}$)。

3. 回旋加速器中心+核医学科门诊区+原有甲癌治疗区综合辐射影响分析

①回旋加速器中心辐射工作人员所受的年有效剂量最大为 1.19mSv , 场所周围临近区域周围公众所受的年有效剂量最大为 $1.98\text{E-}02\text{mSv}$ 。

②核医学科门诊区辐射工作人员所受的年有效剂量最大为 3.85mSv , 场所周围邻近区域公众所受的年有效剂量最大为 $6.90\text{E-}02\text{mSv}$ 。

③甲癌治疗区结合《凉山彝族自治州第一人民医院(凉山州传染病医院)长安院区新增核医学科项目环境影响报告表》的计算部分可知, 辐射工作人员的年有效剂量最大为 1.60mSv , 门诊楼内周围公众的年有效剂量最大为 $7.92\text{E-}02\text{mSv}$, 楼外道路的年有效剂量为 $1.44\text{E-}02\text{mSv}$ 。

叠加分析:

根据医院提供的原有核技术利用项目场所的年度检测报告，**原有射线装置的辐射工作场所周围关注点的监测值均处于环境本底水平**，因此不考虑原有其他辐射工作场所与本项目叠加影响，综合考虑影响较大的核医学科几处辐射工作场所的剂量贡献。

甲癌治疗区屏蔽体距离第二住院楼 **49m**，三个场所职业人员不兼岗，鉴于距离极远，因此不考虑甲癌治疗区与本项目之间对于职业人员的叠加影响。仅考虑本项目两个场所之间叠加影响，以及本项目与原项目对评价范围重叠部分的公众的叠加影响。计算结果如下：

表 11-30 长安院区核技术利用项目场所叠加影响分析一览表

保护目标		对其产生辐射影响的 辐射工作场所	合计年有效剂量(mSv/a)	
职业	回旋加速器中心	所在区域	1.19	1.19
		核医学科门诊区（距离 19m）	6.90E-02/ (19m*19m)	
	核医学科门诊区	所在区域	3.85	3.85
		回旋加速器中心（距离 19m）	1.98E-02/ (19m*19m)	
公众	消毒供应室	回旋加速器中心（距离 33m）	1.98E-02/ (33m*33m)	1.82E-05
	院区外西侧商住居民楼+院内锅炉房、浆洗房及食堂	回旋加速器中心（最近 36m）	1.98E-02/ (36m*36m)	2.54E-04
		核医学科门诊区（最近 17m）	6.90E-02/ (17m*17m)	
	门诊楼	核医学科门诊区（距离 26m）	6.90E-02/ (26m*26m)	7.93E-02
		甲癌治疗区（紧邻）	7.92E-02	
	第二住院楼	回旋加速器中心	1.98E-02	8.88E-02
		核医学科门诊区	6.90E-02	
		甲癌治疗区（距离 49m）	7.92E-02/ (49m*49m)	
	放疗中心/医技大楼/第一住院部综合体	回旋加速器中心（距离 16m）	1.98E-02/ (16m*16m)	8.97E-04
		核医学科门诊区（距离 16m）	6.90E-02/ (16m*16m)	
		甲癌治疗区（距离 12m）	7.92E-02/ (12m*12m)	
	院区道路和绿化内周围公众（居留因子参考 GBZ121-2020 附录 A 一致取 1/40）	回旋加速器中心（紧邻）	1.63E-02	6.92E-02
		核医学科门诊区（紧邻）	3.85E-02	
		甲癌治疗区（紧邻）	1.44E-02	

因此综合来看，本项目运行后，本项目辐射工作人员以及周围公众受到的年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、

《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中对周围剂量当量率、职业人员和公众年有效剂量限值的要求,并满足本项目管理目标值。

二、放射性三废影响分析

1.气态放射性废物

核医学科回旋加速器中心辐射工作场所

本项目回旋加速器中心设立有独立的通排风系统,机房接往屋顶PF-3,药物合成室、放射性废物暂存间1及质控室接往屋顶PF-4,更衣区域、缓冲区域及监督区通道接往屋顶PF-6,热室接往屋顶PF-9,质控室手套箱接往屋顶PF-6,楼高10.8m,排口高度13.8m。监督区洁净的控制室、原料库和设备间接往同层室外的PF-7,排口高度离地3.5m。

核医学科门诊区辐射工作场所

本项目核医学科设立有独立的通排风系统,SPECT-CT、PET-CT机房控制室及其设备间共用一根排风管道,接至第二住院楼北侧排口排放(排口高度3.5m)。为除去含核素气态放射性废物,本项目控制区拟使用一根独立排风管,接至屋顶PF-1后经过初效及中效过滤器后排口排放,2个手套箱独立使用一根排风管,接至屋顶PF-2后经过初效及中效过滤器后排口排放,楼高10.8m,排口高度13.8m,满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)6.3及《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)5.2.3的要求。

每支排风管道进入风井前均拟设置止回阀,避免废气倒灌和泄漏。气态放射性废物排风管道通过排风井引至第二住院楼楼顶(3层,楼高10.8m),楼顶排风口安装大功率排风机(排风量为7300m³/h),排风高度距地约为13.8m,废气在最终排口处经初效及中效过滤器处理后排放,排口不朝向周围高层建筑及周围环境保护目标。经楼顶风机排风和两级过滤后,气态放射性废物影响甚微。

臭氧及氮氧化物

SPECT-CT检查室采用机械通排风,通风条件良好,产生的臭氧通过排风管道抽排至大气环境中,经自然分解和稀释对周围大气环境中臭氧浓度影响甚微。

2. 液态放射性废物

本项目辐射工作场所设置有独立的排水系统。核医学科回旋加速器中心辐射工作场所液态放射性废物主要为操作放射性药物的放射工作人员洗手废水、应急

淋浴、场所清洁用水。核医学科门诊区辐射工作场所液态放射性废物主要来自患者的排泄废水、清洗废水（设置有独立的患者专用卫生间），辐射工作人员产生的清洁淋浴废水、应急冲洗废水。液态放射性废物沿各个房间废水分支管道汇总到主废水管道排至衰变池暂存衰变。衰变周期设置40天，当暂存期满且监测达标后液态放射性废物通过提升泵将废水经医院污水管网导入污水处理站，经院区污水处理站处理达到预处理标准后经市政管网排入小庙乡污水处理厂处理达标后排入海河。正电子药物制备过程中的药物传输管道冲洗废水，热室内部管道会自动收集于合成热室烧瓶中；质控过程中产生的液态放射性废物，由医技人员收集于质控区的烧瓶中，上述废物将在中心的放废间暂存31天后，经检测后作为医疗废物处置。

4. 固体废物环境影响分析

核医学科门诊区辐射工作场所固体放射性废物为一次性注射器、口罩、口杯、擦拭纸和空药瓶、手套、塑料袋、废初效及中效过滤器等；核医学科回旋加速器中心辐射工作场所放射性固体废弃物回旋加速器维护时更换活化的支架和靶膜等，放射性药物制取时，更换下来的放射性残留物如硅胶、树脂、氧化铝、碳柱、滤膜等，操作和清洁时产生注射器、试管、抹布、手套及废初效及中效过滤器等。

回旋加速器维护时更换活化的支架和靶膜，解控后按一般废物处理，不能解控的委托有资质单位收贮。放射性沾污的树脂、滤膜、过滤柱等，树脂解控后按危废处理，其他类型废物解控后按一般废物处理。

每天下班后由专人分类、打包、记录后转移至2处放射性废物暂存间，放射性废物暂存间配置足够数量的废物桶，不同类别废物拟分开存放，废物桶表面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。拟计划本项目固体放射性废物暂存周期为40天，暂存期满后并经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平后进行清洁解控作为医疗废物处理。

由上述可知，本项目固体放射性废物的处理措施有效可行，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关固体放射性废物处理的要求。本项目固体放射性废物本身沾染的放射性核素活度浓度较低，各房间每天产生的固体放射性废物较少，经过各房间废物铅桶的屏蔽后，废物铅桶外的辐射剂量率满足小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求，对周围环境辐射

影响很小。

三、声环境影响分析

本项目产生噪声设备主要为通排风系统，空调机组及风机进出口设软接头、水泵进出口设橡胶减振接头；通风设备及部分风管、水管吊架采用隔振吊架；通风空调系统设备选用低噪声设备，设备安装采用减振支吊架等措施，经距离衰减后声级较小，噪声影响不大。

环境影响风险分析

一、环境风险评价的目的

环境风险评价的目的是分析和预测建设项目存在的潜在危害和有害因素，以及项目在建设、运营期间可能发生的事故（一般不包括自然灾害与人为破坏），引起有毒、有害（本项目为电离辐射）物质泄漏，所造成的环境影响程度和人身安全损害程度，并提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以使项目事故发生率、损失和环境影响达到可以接受的水平。

二、风险识别

1. 非密封放射性物质

本项目非密封放射性物质如果不被安全管理或可靠保护，可能对接触的人员造成放射性损伤和环境污染。

主要事故风险：

（1）放射性药物撒漏：由于辐射工作人员操作不熟练或违反操作规程操作等其他原因造成放射性药物撒漏，造成意外外照射和辐射污染。

（2）放射性药物丢失：由于未锁好核医学科进出口大门或取药后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作导致放射性药物丢失，可能会对公众和环境造成意外外照射和环境辐射污染。

（3）患者呕吐造成控制区内的污染：患者服药后将放射性药物呕吐到核医学科场所内，可能会在一定范围内造成暂时性的辐射污染。

（4）其他管理不善：患者用药后未经允许离开核医学科，尤其是在用药初期离开候诊区，可能对接近患者的人员造成附加的照射剂量。

液态放射性废物未经足够的时间衰变即进行排放，使排放超出规定的限值，可能对环境或人体造成一定的危害。

固体放射性废物未经足够的时间衰变,存放时间过短,即进行擅自处理,可能对环境造成污染和对公众造成危害。

2. 射线装置

回旋加速器:①由于安全联锁系统失效,在防护门未关闭的情况下进行照射操作,对误入机房内的人员或在防护门附近活动人员造成不必要的照射。

②工作人员还未全部撤离机房,控制室内人员误操作启动设备,造成机房内滞留人员的误照射。

PET-CT、SPECT-CT 正常工作时,人员误入机房,导致发生误照射。

三、源项分析及事故等级分析

本项目主要的环境风险因子为 X、 β 、 γ 射线。按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条对于事故的分级原则,现将本项目的风险因子、潜在危害及可能发生的事故等级列于下表。

表 11-31 辐射事故等级划分表

事故等级	危害结果
特别重大辐射事故	放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上(含 3 人)急性死亡。
重大辐射事故	放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下(含 2 人)急性死亡或者 10 人以上(含 10 人)急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下(含 9 人)急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射

同时根据《职业性外照射急性放射病诊断》(GBZ104-2017),急性放射病发生参考剂量见如下。

表 11-32 急性放射病初期临床反应及受照剂量范围参考值

急性放射病	分度	受照剂量范围参考值
骨髓型急性放射病	轻度	1.0Gy~2.0Gy
	中度	2.0Gy~4.0Gy
	重度	4.0Gy~6.0Gy
	极重度	6.0Gy~10.0Gy
肠型急性放射病	轻度	10.0Gy~20.0Gy
	中度	/
	重度	20.0Gy~50.0Gy
	极重度	/
脑型急性放射病	轻度	50.0Gy~100Gy
	中度	
	重度	
	极重度	
	死亡	100Gy

四、最大可能性事故分析

1. 回旋加速器制药过程中人员误入事故

*****8 综合有效剂量约为 0.23mSv/次，未超过（GB18871-2002）中特殊情况下职业人员 5 个连续年的年平均剂量限值（20mSv），公众 5 个连续年的年平均剂量限值（1mSv），不构成辐射事故。

2. 放射性药物意外丢失事故**事故情景假设**

①本项目核医学科门诊区拟使用的放射性核素为 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{111}In 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 及 ^{32}P ，药物丢失时保守按照活度最大为 3 个病人用量计算；

②假设丢失后整个事故持续时间瓶内未发生洒漏，事故持续过程中按点源考虑；

③保守假设事故持续时间内，丢失的药物被同一人随身携带，最近距离按 10cm 考虑，且周围公众无任何屏蔽措施；

④事故持续时间为 8h，即药品丢失后在 8h 内找回。

剂量估算

分别计算距源强 0.1m、0.2m、0.5m、1.0m、2.0m、5.0m、10m 处的个人有效剂量。在假设事故情景下，计算人员在事故持续时间内的受照剂量，计算结果见如下。

表 11-33 事故状态源强计算

核素	A（3 倍患者量） (MBq)	辐射源裸源周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	裸源 $A\times\Gamma$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}$)
^{18}F	1110	1.43E-01	158.73
^{11}C	2220	1.48E-01	328.56
^{13}N	2220	1.48E-01	328.56
^{67}Ga	555	1.8972E-02	10.52946
^{68}Ga	555	1.34E-01	74.37
^{64}Cu	888	2.90E-02	25.752
^{89}Zr	555	1.944E-01	107.892
^{111}In	666	7.70E-02	51.282
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2220	3.03E-02	67.266
^{131}I	555	5.95E-02	33.0225

保守选取上述源强最大的 ^{11}C 、 ^{13}N （328.56($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}$ ）进行计算，不考虑衰变时间，结果如下：

表 11-34 事故状态下不同时间不同距离计算结果一览表

距源距离 (m)	各事故持续时段的射线所致辐射剂量 (Gy)				
	1h	2h	4h	6h	8h
0.1	3.29E-02	6.57E-02	1.31E-01	1.97E-01	2.63E-01

0.5	1.31E-03	2.63E-03	5.26E-03	7.89E-03	1.05E-02
1.0	3.29E-04	6.57E-04	1.31E-03	1.97E-03	2.63E-03
2.0	8.21E-05	1.64E-04	3.29E-04	4.93E-04	6.57E-04
5.0	1.31E-05	2.63E-05	5.26E-05	7.89E-05	1.05E-04
10.0	3.29E-06	6.57E-06	1.31E-05	1.97E-05	2.63E-05

事故后果

在上述事故情景假设条件下,靠近药物的人员在事故持续时间内已受到超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中公众剂量限值1mSv/a。但不会引起急性放射病,属于一般辐射事故。

3.放射性药品撒漏

①事故情景假设

A、假设发生事故时溅洒活度为单个病人操作活度,以剂量率影响最大的核素 ^{11}C 、 ^{13}N (单个病人给药量20mCi)为计算参考。

B、假设溅洒溶液在手部均匀分布,沾染面积保守取成人手部表面积400cm²,皮肤沾染量为总操作量的1/10

C、假设事故处理时间持续1min。

②事故后果影响分析

根据*****，不同放射性核素溅洒到手部时,每1kBq·cm⁻²对皮肤造成剂量率及事故状态下受照剂量如下。

表 11-35 放射性溶液溅洒对手部造成的剂量计算表

核素	手部沾染核素(kBq)	单位面积沾染活度(kBq/cm ²)	沾染面积(cm ²)	每1kBq/cm ² 对皮肤造成的辐射剂量率(mSv/h)	事故中皮肤受照剂量(mSv)
^{11}C	7.40E+04	1.85E+02	400	1.95	360.75
^{13}N	7.40E+04	1.85E+02	400	1.90	351.5

经计算,单次事故状态下职业人员手部最大受照剂量为360.75mSv,未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中对四肢(手和足)或皮肤的年当量剂量500mSv的限值,因此不构成辐射事故。

在上述事故条件下,由于计算过程未考虑核素衰变,计算结果偏保守。综上,本项目非密封放射性物质使用过程中发生辐射事故时,可能发生的辐射事故等级为一般辐射事故。

5. SPECT-CT、PET-CT

事故情景假设：

SPECT-CT、PET-CT 机正常工作时，人员误留机房，导致发生误照射；控制系统失灵，发生误照射；发生以上情况时，有未穿戴铅衣、配套铅手套和铅防护眼镜等个人防护用品的辐射工作人员或公众误留手术室。

本项目 SPECT-CT、PET-CT 属于Ⅲ类射线装置，为低危险射线装置。根据其工作原理，当设备关机时不产生 X 射线，不存在辐射事故，只有当设备通电开机时才会产生 X 射线等危害因素。但其产生 X 射线能量不大，曝光时间较短。可能发生的最大事故是由于设备控制失灵或操作失误或质保不佳，检修时候误照了维修人员或辐射工作人员，事故等级属一般辐射事故。本项目 SPECT-CT、PET-CT 控制台安装有急停开关，此外，在进行诊断时，技师严格按照操作规范进行操作，可避免辐射事故发生。综上，医院在诊断过程中应注意对被检者的防护，在管理中必须认真执行安全操作规程和各项规章制度，定期检查 CT 机房门机联锁等辐射安全设施，以避免辐射事故发生。

事故后果：

对于本项目 SPECT-CT、PET-CT，最大可信事故为一般辐射事故。针对一般辐射事故建设单位需进行超标原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后上报发证机关。

五、事故预防措施：

1. 回旋加速器中心

(1) 回旋加速器运行前均需进行巡查避免人员滞留；

(2) 在紧急情况下，按动设置在四周墙体或控制台上的紧急停机按钮，切断电源，迫使加速器关机停止出束。

(3) 回旋加速器主机室设计有门机安全联锁，机房门关闭后机器才能启动，出束打靶期间机房门不能从外部开启，有效防止人员误入。

(4) 制定和完善现有射线装置安全管理制度，强化安全管理，避免出现人员滞留事故，同时定期检查加速器机房的门机联锁等辐射安全环保设施是否有效。发生或发现辐射事故后，当事人应立即向单位辐射安全负责人和法定代表人报告。医院应立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要防范措施，并按规

定在 2h 内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向公安部门和当地卫生行政部门报告。

2. 核医学科门诊区

①使用操作非密封放射性物质的人员应经过培训具备相应技能与防护知识；

②做好放射性药品操作过程中的风险防范措施：开瓶、转移、标记、分药等易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作须在手套箱内进行；操作液体放射性物质应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料；吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取；不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污。

③放射性药品用后应及时存放在专用柜内，需防盗、防水、防火，柜外应有电离辐射标志；

④做好就诊病人的管理，特别是已服药和注射放射性药品的病人管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动。

⑤如 β 表面污染水平超过 GB18871-2002 规定值，医院应立即暂停开展相关业务，划定警戒区，并设置放射性污染标识，限制无关人员靠近，由专业人员处理，经监测满足解控要求后再解除警戒。

若发生放射性药品撒漏事故，按以下措施进行处理：

(1) 由于操作不慎，有少量的液态药物溅洒。发生这种事故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的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抹，直到擦干污染区。最后用表面沾污仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到解控标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。

(2) 因不慎造成放射性核素污染了地面或台面时，应先用吸收滤纸将其吸干，以防扩散，并立即标记污染范围，注明放射性核素名称、日期。根据污染程度及时报告上级领导和有关部门。人体溅污放射性核素时，应先用吸水纸吸干体表，避免污染面积扩大，之后根据不同核素分别去污。

若发生放射性药品丢失或被盗事故，按以下措施进行处理：

第一时间将事故情况通报有关（环保、公安、卫生等）主管部门；分析确定丢失、被盗事故的具体时间及原因，向相关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗放射性同位素，在查找过程中携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射；对放射性同位素丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，根据辐射剂量率大小划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场。

对于上述可能发生的各种事故，核医学科门诊区除在硬件上配齐、完善各种防范措施外，在软件设施上也注意建设、补充和完善，使之在安全工作中发挥约束和规范作用，其主要内容有：

- ①建立安全管理领导小组，组织管理安全工作；
- ②加强人员的培训，考试（核）合格、持证上岗。
- ③建立岗位的安全操作规程和安全规章制度，注意检查考核，认真贯彻实施。
- ④完善事故处理预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免放射性事故的发生率，从而保证项目正常运营，也保障工作人员、公众的健康与安全。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置 根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用II类射线装置的单位应设有专门的辐射安全与生态环境管理机构，或者至少有 1 名具有本科学历的技术人员专职负责辐射安全与生态环境管理工作；辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。 建设单位已根据核技术应用现状，按《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求成立了辐射安全管理领导小组负责相关辐射安全监督管理工作，领导小组职责明确，能有效确保辐射工作人员、社会公众的健康与安全。该领导小组的组成涵盖了现有核技术应用所涉及的相关部门和科室，在框架上基本符合要求。管理领导小组名单如下： *****
辐射安全管理规章制度 一、档案管理分类 根据《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》的要求，辐射工作单位的相关资料应按照档案管理的基本规律和要求进行分类归档放置。本项目档案资料可包括以下九大类：“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”“废物处置记录”“辐射应急资料”。 二、辐射安全管理规章制度 根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，建设单位已制定辐射安全管理制度，制度清单及《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》要求见表 12-1，环评要求运行本项目的建设单位在日后工作实践中，应根据具体情况和实际问题，按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求及时更新、完善制度的可操作性。 根据四川省生态环境厅关于印发《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》的要求，《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》应悬挂于辐射工作场所。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，尺寸大小应

不小于 400mm×600mm。

本项目建设单位涉及使用Ⅱ类射线装置、Ⅲ类射线装置和乙级非密封放射性物质工作场所，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》“第十六条”和《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲》（川环函[2016]1400 号），须具备的辐射安全管理要求见如下。

表 12-1 建设单位辐射安全管理基本要求汇总对照分析表

序号	辐射管理要求	落实情况	应增加的措施
1	从事生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应持有有效的辐射安全许可证	已落实， 许可证在有效期内	待本项目环评工作完成，项目建设完成后向发证机关提交重新申领辐射安全许可证的申请材料
2	辐射工作人员应参加专业培训机构辐射安全知识和法规的培训并持证上岗	本项目原有辐射工作人员操作Ⅱ类射线装置及核医学科的均持证且证书均在有效期内，Ⅲ类辐射工作人员均已组织自主考核，考核结果均已存档	本项目新增辐射工作人员应尽快自主学习并报名国家考试，新增辐射工作人员需持证才允许上岗
3	辐射工作单位应建立辐射安全管理机构或配备专（兼）职管理人员	已落实，建设单位已成立以院领导为组长的辐射安全领导小组	需将本项目纳入管辖范围
4	需配置必要的辐射防护用品和监测仪器并定期或不定期地开展工作场所及外环境辐射剂量监测，监测记录应存档备查	原有项目已落实	本项目拟配置各类辐射防护用品和监测仪器，并定期或不定期地开展工作场所及外环境辐射剂量监测，监测记录存档备查
5	辐射工作单位应针对可能发生的辐射事故风险，制定相应辐射事故应急预案制度	原有核技术利用项目已落实	需将本项目装置纳入管辖范围，并完善相应辐射事故应急预案制度
6	辐射工作单位应建立健全辐射防护、安全管理规章制度及辐射工作单位基础档案	已建立	需将本项目纳入管辖范围
7	辐射工作单位应做好辐射工作人员个人剂量监测和职业健康检查，建立健全个人剂量档案和职业健康监护档案	原有辐射工作人员已落实	新增辐射工作人员应在上岗前一并落实
8	辐射工作单位应在辐射工作场所入口设置醒目的电离辐射警示标志	原有辐射工作场所均已落实	新增辐射工作场所投运前应落实
9	辐射工作单位应提交有效的年度辐射环境监测报告	每年均委托有资质单位完成场所环境检测	需根据本项目增加的核技术利用项目（新建、改建、扩建和退役）情况和存在的安全隐患及其整改情况，按照规范格式编制评估报告，并每年按时提交至发证机关

10	辐射信息网络	原有项目已落实	核技术利用单位必须在“全国核技术利用辐射安全申报系统”(网址 http://rr.mep.gov.cn/) 中实施申报登记。申领、延续、变更许可证, 新增或注销放射源和射线装置以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报
11	应建立动态的台账, 放射性同位素与射线装置应做到账物相符, 并及时更新。	原有项目已落实	根据本项目射线装置情况、项目运行后增加液态放射性废物和放射性废物的暂存和排放台账, 对台账进行及时更新, 做到账物相符。

表12-2 管理制度汇总对照表

序号	规定的制度	落实情况	应增加的措施
1	辐射安全与环境保护管理机构文件	《凉山彝族自治州第一人民医院关于调整放射防护委员会的通知》	将本项目纳入
2	辐射安全管理规定 (综合性文件)	《辐射安全管理规定》	将本项目纳入
3	辐射工作设备操作规程	《辐射工作设备操作规程》	为本项目新增的设备制定操作规程
4	辐射安全和防护设施维护维修制度	《辐射防护设施设备维护维修制度》	增加衰变池、回旋加速器相应维护和检修制度
5	辐射工作人员岗位职责	《辐射工作人员岗位职责》	将本项目纳入
6	放射源与射线装置台账管理制度	《放射源与射线装置台账管理制度》	根据本项目射线装置情况, 对台账进行及时更新, 增加放射性废物、液态放射性废物的暂存和排放台账, 做到账物相符
7	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	《辐射工作场所环境监测方案》	对本项目辐射工作场所制定与场所相对应的监测方案
8	监测仪表使用与校验管理制度	《监测仪表使用与校验管理制度》	/
9	辐射工作人员培训制度 (或培训计划)	《辐射工作人员辐射安全与防护培训制度》	将本项目纳入
10	辐射工作人员个人剂量管理制度	《辐射工作人员个人剂量管理制度》	将本项目纳入

11	辐射事故应急预案	《辐射事故应急处理预案》	将本项目纳入
12	质量保证大纲和质量控制检测计划 (使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位)	《质量保证大纲和质量控制检测计划》	将本项目纳入
13	其他	《放射防护注意事项告知栏》	制定本项目《放射防护注意事项告知栏》

辐射监测

1. 监测方案

1. 请有资质的单位对辐射工作场所和周围环境的辐射水平进行监测，每年 1~2 次，请由资质单位对产生辐射的仪器设备进行防护监测，包括仪器设备防护性能的检测，每年 1~2 次。

2. 辐射工作人员佩戴个人剂量计，并定期（根据《职业性外照射个人监测规范》GBZ128-2019 规定，每次送检时间相隔最长不超过 3 个月）送有资质部门进行监测，建立个人剂量档案；

3. 定期自行开展辐射监测，制定定期监测制度，监测数据存档，建议监测周期为 1 次/月。

2. 监测仪器

本项目应为核医学科回旋加速器中心及门诊区场所的辐射工作人员每人配备 1 个个人剂量计，用于监控其接受的有效剂量。建设单位拟为回旋加速器中心配备 1 台便携式 X-γ 剂量监测仪、3 台表面沾污仪、1 台中子剂量率仪；拟为门诊区配备 1 台便携式 X-γ 剂量监测仪、2 台表面沾污仪，项目运行后医院应定期对机房周围环境辐射水平监测，并做好监测记录。

本项目拟配备 19 名辐射工作人员。新增工作人员拟委托有资质的单位对辐射工作人员开展个人剂量监测，定期组织职业健康体检，建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）中 8.2.2 要求，职业照射个人监测档案应终身保存。保证每名辐射工作人员的个人剂量计专人专用，每个季度及时送检。

根据《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）要求，应加强医护人员个人剂量的监督检查，对每季度检测数据超过 1.25mSv

的医院要求进一步调查明确原因,并由当事人在情况调查报告上签字确认。当全年个人剂量超过5mSv时,建设单位需进行超标原因调查,并最终形成正式调查报告,经本人签字确认后上报发证机关;当连续5年的平均个人剂量超过20mSv或单年个人剂量超过50mSv时,建设单位应展开调查查明原因,确定为辐射安全事故时,应启动辐射事故应急预案。

3.监测内容和要求

(1) 监测内容:

- ①非密封放射性物质工作场所: γ 辐射剂量率、 β 表面污染。
- ②回旋加速器机房: γ 辐射剂量率、 β 表面污染、中子剂量当量率。
- ③其他: 液态放射性废物衰变池排口、废气排放口、固体放射性废物表面。

(1) 监测范围: 控制区、监督区、场所楼上区域及周围关注点、衰变池。

(2) 监测点位和数据管理: 应根据使用放射性核素种类、数量和操作方式,对核医学工作场所的外照射剂量率水平和表面放射性污染水平进行监测。控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面的 γ 辐射剂量率。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、帽等的表面 β 放射性污染。

表 12-3 定期监测点位

项目	工作场所	监测项目	监测范围	监测频次	监测设备
自主监测	非密封放射性物质工作场所	β 表面污染	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面的 γ 辐射剂量率。放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面,给药后患者候诊室的设施、墙壁和地面等,放射性废物桶和包装袋表面,工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等	每次工作结束(出现放射性药物洒落应及时进行监测)	β 表面沾污仪
		γ 辐射剂量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	不少于 1 次/月	X- γ 辐射剂量率监测仪

		中子剂量当量率	回旋加速器机房四周及楼上	不少于 1 次/月	中子剂量率仪
委托监测	非密封放射性物质工作场所	β 表面沾污	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面的 γ 辐射剂量率。放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面, 给药后患者候诊室的设施、墙壁和地面等, 放射性废物桶和包装袋表面, 工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等	不少于 1 次/年	β 表面沾污仪
		γ 辐射剂量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面		X- γ 辐射剂量率监测仪
		中子剂量当量率	回旋加速器机房四周及楼上		中子剂量率仪
	其他	个人剂量	所有辐射工作人员	一季度一次 (需建立个人剂量档案)	个人剂量计
		废水	衰变池排放口	每次排放前	委托监测
		废气	排放口	1 次/年	委托监测
		固体放射性废物	贮存室或贮存容器外表面	每次转运前	委托监测

4.监测质保

确保执行制定的《监测仪表使用与校验管理制度》，并利用委托监测获得的监测数据进行比对并建立比对档案。监测须采用国家颁布的标准方法或推荐方法并制定辐射环境监测管理制度。

落实以上措施后, 本项目所配备的防护用品和监测仪器以及实施的监测方案能够满足相关管理要求。项目投运前, 建设单位应当按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序, 对配套建设的环境保护措施进行验收。验收报告编制完成后应依法向社会公示验收报告。

在开始运营本项目后, 应密切注意辐射工作人员个人剂量数值, 根据累积剂量及时调整工作量, 防止个人剂量超标。

辐射事故应急

建设单位针对可能产生的辐射事故情况已制定事故应急预案,应急预案内容包括:

- (1) 应急机构和职责分工;
- (2) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备;
- (3) 应急演习计划;
- (4) 辐射事故分级与应急响应措施;
- (5) 辐射事故调查、报告和处理程序。

本项目建设单位应依据《中华人民共和国放射性污染防治法》《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》(环发〔2006〕145号文)要求,发生辐射事故时,医院应立即启动医院内部的事故应急方案,采取必要防范措施,并在2小时内向凉山彝族自治州生态环境局(0834-2162972)和西昌市公安局(0834-2178110)报告,造成或者可能造成人员超剂量照射的,同时向西昌市卫生健康局(0834-3231149)报告。事故发生后医院应积极配合生态环境部门、公安部门及卫生健康部门调查事故原因,并做好后续工作。从而保证一旦发生辐射意外事件时,即能迅速采取必要和有效的应急响应行动,妥善处理辐射事故,保护工作人员和公众的健康与安全。医院应加强管理,严格执行安全操作规程,并确认经常确认辐射工作场所周围的环境辐射剂量率等,确保辐射工作安全有效运转。

表 13 结论与建议

结论 1. 实践正当性 核技术在医学上的应用在我国是一门成熟的技术，在医学诊断、治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起到了十分重要的作用。凉山彝族自治州第一人民医院（西昌医学高等专科学校附属医院）长安院区扩建回旋加速器及核医学科项目符合凉山彝族自治州医疗服务需要。因此该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。 2. 产业政策相符性 根据《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第 7 号令）相关规定，本项目属于鼓励类第三十七项“卫生健康”中第 1 条“医疗服务设施建设”，其建设符合国家现行产业政策。 3. 选址、布局 长安院区位于西昌市长安街道长安西路 120 号，院区东侧为商住居民楼（内含阳光假日酒店、春林宾馆、兴平宾馆、悦来宾馆、福新苑西区等居住和商业混杂区）；南侧为长安西路；西侧为商住居民楼（够优惠超市、泰昌宾馆、高原红宾馆、福鑫宾馆等居住和商业混杂区）；北侧为商住居民楼（内含商业区和福星家园小区）。 本项目核医学科回旋加速器中心辐射工作场所及核医学科门诊区辐射工作场所位于长安院区第二住院大楼 1F，第二住院大楼四周紧邻院区道路及绿化，东侧隔院区道路及绿化为放疗中心、医技大楼、第一住院部综合体，南侧隔院区道路及绿化为门诊楼，西侧隔院区道路及绿化为商住居民楼，北侧隔院区道路及绿化为锅炉房、浆洗房、消毒供应室及食堂。 核医学科回旋加速器中心位于第二住院楼 1F 的东北部，其东侧为院区道路及绿化；南侧为库房 1 及医护走廊；西侧为核医学科预留区域；北侧为院区道路及绿化。回旋加速器机房楼上 2F 为封闭空间，回旋加速器中心其余区域楼上 2F 为空调机房、过道及 1 间病房，中心下方为土层。 核医学科门诊区辐射工作场所位于第二住院楼 1F 的南部（含中部庭院），

其东侧、南侧均为院区道路及绿化；西侧为通道 1、门厅、楼梯间、护士站、排烟机房及卫生间；北侧为核医学科预留用房及库房 1、医护走廊。门诊区楼上 2F 为核医学科门诊区上方为数间病房、过道、护士站、工作用房，楼下为土层。

本项目选址已考虑建筑安全性，保护目标距离及施工可行性。长安院区位于西昌市长安街道长安西路 120 号，根据西昌市自然资源局出具的《建设用地规划许可证》（地字第 513401202000055 号）可知，凉山彝族自治州第一人民医院（西昌医学高等专科学校附属医院）长安院区用地性质属于医卫用地，符合当地总体规划要求。本项目所在的长安院区已取得《关于对凉山州传染病医院环境影响报告表的批复》（凉环函〔2004〕81 号）。项目选址位置基础配套设施完善，给排水等市政管网完善，电力电缆等埋设齐全，为项目建设提供良好条件。本项目拟建地址位于院区红线内，不涉及新增占地，拟建项目与院区规划相容，且建设的 2 个场所为专门的辐射工作场所，有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对周围环境影响较小，从辐射安全防护的角度分析，**本项目选址是合理的。**

核医学科回旋加速器中心辐射工作场所位于第二住院楼 1F 的东北部，设计有回旋加速器机房、回旋加速器配套设备间、回旋加速器机房控制室、更衣区（一更室、二更室、退更检测室、紧急冲淋间 1），缓冲间 1、净化通道、洁具间 1、灭菌间、原料库、缓冲间 2（兼更衣区）、质控室、放射废物暂存间 1、气瓶间、电井通道、电井、药物合成室（前区及后区）。

核医学科门诊区辐射工作场所位于第二住院楼 1F 的南部（含第二住院楼 1F 的庭院，庭院入口均设置门禁，后期进行管控，只允许医护人员及药物进入），拟使用 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 核素用于 PET-CT 显像，拟使用 ^{67}Ga 、 ^{111}In 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 用于 SPECT-CT 显像，拟使用 ^{32}P 用于敷贴治疗。设计有护士站、诊室、敷贴室、源库、紧急冲淋间 2、更衣室、药物分装室、SPECT-CT 注射室、PET-CT 注射室、控制廊（含铅衣/检测区）、SPECT-CT 机房、门诊设备间、PET-CT 机房 1、PET-CT 机房 2、缓冲间 3、缓冲间 4、病患走廊、抢救室/运动负荷间、SPECT-CT 注射后等候室及卫生间、PET-CT 注射后等候室及卫生间，PET-CT VIP 等候室及卫生间，留观室及卫生间、放射性废物暂存间 2、洁具间 2。

本项目配套工作用房集中在第二住院楼 1F 的东部, 设计有护士长办公室、主任办公室、医护走廊、办公/阅片室、示教室、库房 1、库房 2、男女更衣室及卫生间、2 间值班室、休息就餐、弱电间。

表 13-1 本项目辐射工作场所两区划分一览表

工作场所	控制区	监督区	备注
核医学科回旋加速器中心	回旋加速器机房、药物合成室(前区及后区)、质控室、放射性废物暂存间 1、洁具间 1	控制室、设备间、更衣区(一更室、二更室、退更检测室、紧急冲淋间 1), 缓冲间 1、净化通道、洁具间 1、灭菌间、原料库、缓冲间 2(兼更衣)、气瓶间、电井通道、电井	控制区内禁止外来人员进入, 职业工作人员在进行日常工作时尽量减少在控制区内居留时间, 以减少不必要的照射。监督区范围内应尽量限制无关人员进入。
核医学科门诊区	源库、药物分装室、敷贴室、SPECT-CT 注射室、PET-CT 注射室、抢救室/运动负荷间、SPECT-CT 注射后等候室及其卫生间、PET-CT 注射后等候室及其卫生间、SPECT-CT 机房、PET-CT VIP 等候室及其卫生间、PET-CT 机房 1、PET-CT 机房 2、留观室及其卫生间、放射性废物暂存间 2、洁具间 2、病患走廊。	护士站、紧急冲淋室 2、更衣、控制廊、设备间、缓冲 3、缓冲 4、诊室	
其他	衰变池	庭院	

4. 辐射屏蔽能力分析

核医学科回旋加速器中心辐射工作场所

表 13-2 核医学科回旋加速器中心防护方案一览表

核医学科门诊区辐射工作场所

5. 保护目标剂量

根据理论计算, 综合本项目与原有核技术利用项目的辐射影响, 职业及公众年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 剂量限值和本项目管理目标值的要求(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)。

6. 辐射安全措施

本项目辐射工作场所建筑均设计了满足防护要求的屏蔽体厚度, 对 X 射线、 β 射线、 γ 射线、中子起到了有效地屏蔽。本项目运行后, 辐射工作人员应按国家

有关要求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。建设单位拟为本项目辐射工作人员配备各项防护设施、防护用品和监测设施,且拟制定辐射安全与防护制度,要求规格符合有关法律法规的规定。

7. 辐射环境管理

1)医院拟委托有资质的单位每年对辐射工作场所辐射环境进行检测;

2)医院拟为回旋加速器中心配备 1 台便携式 X- γ 剂量监测仪、5 台表面沾污仪、1 台中子剂量率仪;拟为门诊区配备 1 台便携式 X- γ 剂量监测仪、2 台表面沾污仪,定期对工作场所辐射水平进行检测;

3)医院拟委托有资质的公司开展个人剂量监测,所有在职辐射工作人员要求佩戴个人剂量计,为医护人员增加相应个人剂量计数量。医院应及时跟监测单位核实数据原因,及时发现、解决问题。医院拟根据现有核技术应用情况完善辐射环境监测方案。

建设单位拟为本项目配备辐射工作人员共计 19 名,根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射工作人员职业健康管理辦法》的要求,为保护辐射工作人员身体健康,建设单位拟将定期委托单位对 19 名新增辐射工作人员进行职业健康体检。建设单位将在本项目开展前再对相关辐射工作人员进行岗前体检,再次确认是否适合从事放射性工作。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》以及《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲》的要求,建设单位应不断完善相关管理制度。

8. 项目环保竣工验收检查内容

根据《国务院关于修改<建设项目环境保护管理条例>的决定》,工程建设执行污染治理设施应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。根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》,项目投入运行后,建设单位应当按照国务院生态环境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。根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》第十二条 除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外,其他环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月;需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的,验收期限可以适当延期,但最长不超过 12 个月。建议建设单位在本项目环境保护设施竣工后 3 个月内进行竣工环保验收。

表 13-4 项目环保竣工验收检查一览表

综上所述，凉山彝族自治州第一人民医院（西昌医学高等专科学校附属医院）长安院区扩建回旋加速器及核医学科项目符合实践正当化原则，拟采取的辐射安全和防护措施适当，工作人员及公众受到的年有效剂量符合《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。在落实本报告提出的各项污染防治和管理措施后，医院将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，其设施运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，项目可行。

建议和承诺

1) 该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对操作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。

2) 各项环保设施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

3) 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值，应及时查找原因、排除事故隐患，把辐射影响减少到“可以合理达到的尽可能低的水平”。

4) 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；个人防护用品使用达到五年期限时，应及时更新。

5) 医院应当对本单位的放射源和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。

6) 本项目环评审批、建设完成后，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”中实施重新申领辐射安全许可证。根据《建设项目环境保护管理条例》，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，建设单位应按规定进行项目竣工环保验收。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：	
经办人	公 章 年 月 日
审批意见：	
经办人	公 章 年 月 日