

核技术利用建设项目

延安大学附属医院核医学科
核技术应用项目（重大变动）
环境影响报告表
（送审稿）

延安大学附属医院
二〇二五年七月

生态环境部监制

表 1 项目基本情况

建设项目名称		延安大学附属医院核医学科核技术应用项目（重大变动）			
建设单位		延安大学附属医院			
法人代表	马 鹏	联系人	刘晓婷	联系电话	13891153888
注册地址		陕西省延安市宝塔区北大街 43 号			
项目建设地点		延安大学附属医院教学综合楼一层、二层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	4484	项目环保投资（万元）	527	投资比例（环保投资/总投资）	11.75%
项目性质		☐ 新建 ☒ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他		占地面积（m ² ）	1200
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	/			
	1.1 项目概述 1.1.1 项目背景 1.1.1.1 医院简介 延安大学附属医院（以下简称医院）始建于 1950 年，占地面积 6.8 万平方米，建筑面积 42.53 万平方米，是一所集医疗、教学、科研、急救、康复和预防保健为一体的三级甲等综合性医院，医院分为本部院区和东关分院，本部院区位于陕西省延安市宝塔区北大街 43 号，东关分院位于延安市宝塔区检察院西侧。2013 年省政府决定组建延安医疗集团，延大附院为医疗集团总医院。医院设有				

肿瘤科、CT 诊断科、放射科、核医学科等 19 个临床和医技科室。现有职工 3707 名，其中高级职称人员 2529 名，有市级、部级突出贡献专家 13 名，有教师 802 名，其中教授 11 名，副教授 65 名，硕士研究生导师 94 名。医院开放床位 1800 张，拥有多种医学影像设备及医疗设备。医院地理位置见图 1-1。



图 1-1 医院地理位置图

1.1.1.2 目的和任务由来

2016 年医院计划在教学综合楼负一层建设 1 间回旋加速器室及配套区域，使用 1 台回旋加速器生产 PET 药物自用；计划在教学综合楼一层建设 1 间 PET-CT 室及配套区域，使用 1 台 PET-CT 开展 PET 显像诊断。医院委托核工业二四〇研究所编制了《延安大学附属医院 PET-CT 及回旋加速器核技术应用项目环境影响报告表》并取得了批复（陕环批复〔2016〕431 号）。

2019 年医院计划在教学综合楼负一层建设 1 间钨制备间，使用钨钨发生器制备 SPECT 药物；计划在教学综合楼一层建设 1 间 SPECT-CT 室及配套区域，使用 1 台 SPECT-CT 开展 SPECT 诊断；计划在教学综合楼二层建设 3 间甲癌病房、1 间 ^{89}Sr 治疗室、1 间甲功室、1 间敷贴室，开展甲癌治疗、甲亢治疗、甲功测定、 ^{89}Sr 核素治疗、 ^{32}P 敷贴治疗。医院委托核工业二四〇研究所编制了《延安大学附属医院核医学科核技术应用项目环境影响报告表》并取得批复（陕环批复〔2019〕401 号）。

建设过程中，核医学科相关标准发生更新，因此按照现行标准《核医学辐射

防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求对核医学科工作场所进行调整。主要包括：

（1）医院按设计图纸进行施工时，发现核医学科部分场所路径存在优化空间，因此对候诊区域等核医学科工作场所平面布局进行调整，增加了固废间、清洗间等功能用房。

（2）根据现行标准《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中对不同核素在衰变池中暂存时间的相关要求，原环评阶段设计的衰变池有效容积已不能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，需要增加衰变池容积。由于原设计的衰变池场地开挖空间不足，临建拆除量较大，管网改动大，无法增加衰变池容积，因此，根据现场实地勘测，需要将衰变池位置由原教学楼西侧位置变动到第一住院部花园地下。

目前负一层药物制备区域、一层核素诊断区域、二层核素治疗区域已完成施工建设及设备安装，敷贴室调整为监控室。

本次计划在核医学建设现状的基础上对平面布局进一步优化。拟调整甲功室的位置，将 ^{89}Sr 注射室改为科室预留库房，拆改部分墙体，优化人员通道。

核医学科变动内容汇总见表 1-1。

表 1-1 项目变动内容

前期环评文件	建设位置	环评建设内容	实际建设情况	本次方案变动情况
《延安大学附属医院 PET-CT 及回旋加速器核技术应用项目环境影响报告表》（陕环批复〔2016〕431 号，2016.8.24）	教学综合楼负一层	1 间回旋加速器机房（II 类射线装置，Qilin 型，最大能量 16.5MeV，最大束流强度 $\leq 70\mu\text{A}$ ）及配套场所	已按环评施工建设并安装设备	放射性废水排放去向由原西侧衰变池变为南侧短半衰期衰变池，场所内部管道布置不变，其他建设内容未发生变动
	教学综合楼一层	PET-CT 机房（III 类射线装置，最大管电压 140kV，最大管电流 667mA）及配套场所	已按环评施工建设并安装设备，调整部分房间功能，增加了固废间及洁具间	平面布局及部分墙体屏蔽方案变动，放射性废水排放去向由原西侧衰变池变为南侧短半衰期衰变池，场所内部管道布置不变
《延安大学附属医院核医学科核技术应用项目环境影响报告表》（陕环批复〔2019〕401 号，2019.10.23）	教学综合楼负一层	锡制备间	已按环评施工建设并安装设备	放射性废水排放去向由原西侧衰变池变为南侧短半衰期衰变池，场所内部管道布置不变，锡制备间建设内容未发生变动
	教学综合楼一层	SPECT-CT 机房及配套场所（III 类射线装置，最大管电压 150kV，最大管电流 900mA）	已按环评施工建设并安装设备	平面布局及部分墙体屏蔽方案变动，放射性废水排放去向由原西侧衰变池变为南侧短半衰期衰变池，场所内部管道布置不变
	教学综合楼二层	3 间甲癌病房，1 间 ^{89}Sr 接注室，1 间甲功室，1 间敷贴室及配套场所等	甲癌病房及 ^{89}Sr 注射室已按环评要求施工建设，敷贴室调整为监控室	医院暂不开展 ^{32}P 敷贴治疗、 ^{89}Sr 治疗等核技术利用内容，调整送药通道，甲功室等布局，优化患者路径；放射性废水排放去向由原西侧衰变池变为南侧长半衰期衰变池，场所内部管道布置不变
	衰变池	在教学综合楼西侧地下建设三级槽式衰变池，放射性废水混合排放至衰变池	在第一住院部后花园地下建设三级槽式衰变池，放射性废水分类收集后在衰变池暂存	衰变池位置调整至第一住院部后花园地下，暂存方式由混合暂存变为分类暂存

根据《中华人民共和国环境影响评价法》《建设项目环境保护管理条例》及《关于加强建设项目重大变动环境影响评价管理工作的通知》（陕环环评函〔2021〕11号）等中相关要求及项目变动情况：教学综合楼一层核医学科诊断区域、二层核医学科治疗区域平面布局及环境保护措施发生了重大变化，且可能导致环境影响显著变化，据此界定为重大变动；衰变池位置由原教学楼西侧变动到第一住院部后花园，建设地点发生重大变化，据此界定为重大变动。综上所述，本次评价仅对发生重大变动的核医学科一层诊断区域、二层治疗区域、衰变池等内容重新进行环境影响评价。教学综合楼负一层核医学科制药区域未发生变动且属于完整的工艺单元，因此本报告表评价内容不包括负一层核医学科制药区域。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》中“五十五、核与辐射 172、核技术利用建设项目”中“……使用Ⅱ类、Ⅲ类放射源；生产、使用Ⅱ类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所……”应编制环境影响报告表；“……生产、销售、使用Ⅲ类射线装置的”，应填报环境影响登记表。建设项目符合两个以上级别的划分原则时，按较高级别的评价等级评价，因此，本项目应编制环境影响报告表。

医院委托西安旭奥环境科技有限公司（环评单位）承担本项目的环评评价工作。接受委托后，环评单位组织技术人员进行现场勘察，收集、整理有关资料，对项目情况进行了初步分析，并根据建设项目的应用类型及所在地周围区域的环境特征，在现场踏勘、资料收集、预测分析的基础上，按照《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的基本要求，根据《中华人民共和国环境影响评价法》《建设项目环境保护管理条例》等相关规定，编制了本项目环境影响报告表。

1.1.2 实践正当性分析

本项目核医学科能够使用 PET-CT、SPECT-CT 及放射性药物 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展核素显像诊断，使用 ^{131}I 开展甲癌治疗、甲亢治疗、甲功测定。能够提升区域医疗水平，缓解患者痛苦，项目建设所带来的个人和社会利益远大于可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”要求。

1.1.3 相关政策符合性

该项目属于中华人民共和国国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录

（2024 年本）》（2023 年第 7 号令修改）鼓励类中“十三、医药，4. 高端医疗器械创新发展：新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备……”，故本项目符合国家产业政策。

1.1.4 本次评价内容

本次评价包括教学综合楼一层核医学科诊断区域及教学综合楼二层核医学科治疗区域。本次评价区域涉及放射性同位素及射线装置见表 1-2。

表 1-2 本次评价区域涉及放射性同位素及射线装置汇总

非密封放射性物质								
核素名称	最大诊疗人数	毒性	半衰期	单人核素最大用量 (Bq)	日最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	用途	来源
^{18}F	10 人/天	低毒	109.8min	3.70×10^8	3.70×10^9	9.25×10^{11}	PET 显像诊断	自产
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	15 人/天	低毒	6.02h	9.25×10^8	1.39×10^{10}	3.48×10^{12}	SPECT 显像诊断	外购钼铈发生器淋洗
^{131}I	30 人/天	中毒	8.02d	3.70×10^5	1.11×10^7	2.78×10^9	甲功测定	外购
	10 人/天	中毒	8.02d	3.70×10^8	3.70×10^9	9.25×10^{11}	甲亢治疗	外购
	3 人/天	中毒	8.02d	7.40×10^9	2.22×10^{10}	1.11×10^{12}	甲癌治疗	外购
射线装置								
名称	型号	数量	类别	CT 部分主要技术参数		工作场所		
PET-CT	uMi 780	1	III 类	最大管电压 140kV 最大管电流 833mA		教学综合楼一层核医学科 PET-CT 室		
SPECT-CT	NM/CT 870 DR	1	III 类	最大管电压 140kV 最大管电流 440mA		教学综合楼一层核医学科 SPECT-CT 室		

注：设备包含的校准源另行办理环保手续，不在本次评价范围。

1.1.5 项目选址及周边环境概况

1.1.5.1 医院地理位置及周边环境关系

延安大学附属医院位于陕西省延安市宝塔区北大街 43 号（109.484513°E，36.599577°N），医院北侧隔北门口街为宝塔区第五中学；南侧隔附院巷为新世纪广场；西侧隔北大街为延安酒店管理集团和凤凰山革命旧址；东侧隔二道街为延安大学附属医院家属楼、柏澜酒店和空地。医院地理位置见图 1-1，医院周边环境见图 1-2。

1.1.5.2 医院总平面布置

医院有教学综合楼、综合门诊大楼、行政楼、发热门诊、医保办、国医馆、第一住院部、第二住院部、综合一号楼、综合二号楼、综合三号楼、康复楼、体检楼、综合医技楼、肿瘤放疗中心、高压氧舱、生殖医学中心、锅炉房、消毒供应室、太平间等主要建筑，本项目所在的教学综合楼位于医院中部，总平面布置

见图 1-3。

1.1.5.3 项目选址

本项目位于医院本部北部教学综合楼，北侧为肿瘤放疗中心、西侧为锅炉房、南侧与东侧为院内道路。本次评价的核医学科位于医院教学综合楼一层及二层。一层为核医学科诊断区域，二层为核医学科治疗区域，一层和二层均为核医学科专用区域，无其他工作场所。

项目平面布局见图 1-4 及图 1-5。



图 1-2 医院周边环境关系图



图 1-3 医院总平面布置图

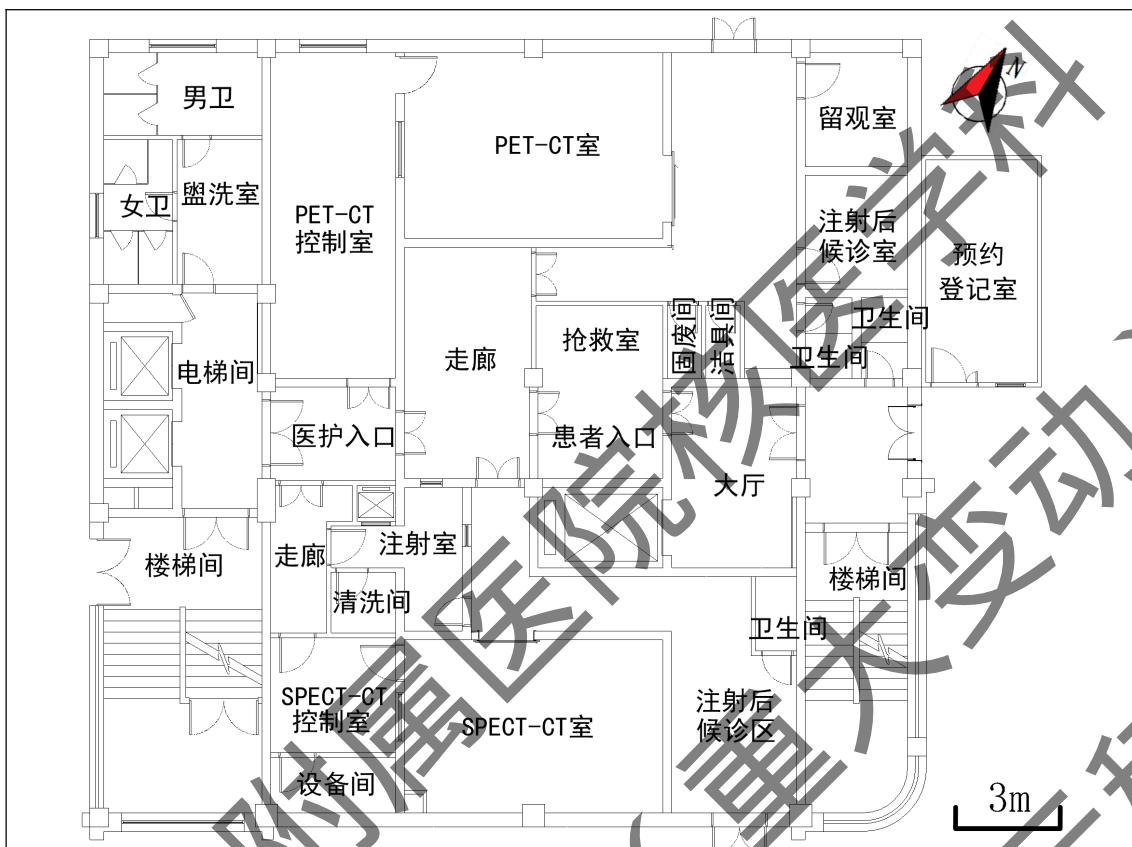


图 1-4 核医学科诊断区域平面布置图（教学综合楼一层）



图 1-5 核医学科治疗区域平面布置图（教学综合楼二层）

1.1.5.4 项目选址合理性

(1) 核医学科选址合理性

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关选址要求，核医学科选址具体情况分析见表 1-3。

表 1-3 核医学科选址合理性分析

法规标准	相关要求	设计情况	评价
《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）	5.1.1 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。	医院核医学科工作场所集中布设于教学综合楼底端负一层至二层。通过门禁设计及合适的时间、交通模式来控制辐射源的活动，可实现工作人员、患者、放射性药物、放射性废物路径相对独立。	符合要求
	5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所明确的分界隔离。	二层核医学科正上方为血液净化中心，负一层核医学科正下方为土层，工作场所不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所明确的分界隔离。	符合要求
	5.1.3 核医学工作场所排风口的的位置尽可能远离周边高层建筑。	核医学科放射性废气通过独立的排风管道经排风立管引至教学综合楼楼顶北部排放，废气排放前经活性炭吸附处理；排风口位置距周边高层建筑较远，排风口方向向上。	符合要求
《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）	5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。	核医学工作场所功能用房相对集中，不邻接产科、儿科、食堂等部门；核医学科设计有单独的出入口，出口未设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。	符合要求

因此，核医学科选址满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中选址相关要求。

(2) 衰变池选址合理性

本次评价的衰变池选址位于第一住院部后花园地下，衰变池四周及底部均为土层，正上方为草坪绿化。衰变池选址情况分析如下：

教学综合楼地上部分共 6 层、地下部分共 1 层，本项目核医学科位于一层至二层。教学综合楼周边为医院道路及其他建筑物，临近区域内仅有北侧院内广场

和南侧第一住院部后花园满足开挖所需空间。

因第一住院部后花园被楼体包围，仅有两个出入口，经观察该处人流量很小，通常没有人员在此处经停，且距离核医学科较近，下水管道总长度相对其他选址更短，转弯处较少，有利于避免管道积水或堵塞，因此衰变池选在第一住院部后花园建设。

综上所述，目前衰变池的选址在人流量较少的区域，废水管道长度尽可能短，选址合理。

1.2 现有核技术利用项目情况

1.2.1 环保手续履行情况

医院现有核技术利用项目均履行了环保审批手续，见表 1-4。

表 1-4 医院现有核技术利用项目环保手续履行情况

院区	项目内容	环评手续	竣工验收内容	验收手续
本部院区	1 台 ^{60}Co 放射治疗机、1 台后装机、丙级场所（含 1 台 SPECT、放免实验室）	陕环批复（2006）147 号	1 台 ^{60}Co 放射治疗机、1 台后装机、丙级场所（含 1 台 SPECT、放免实验室）、1 台 6MV 医用电子直线加速器、1 台 CT 机、1 台 X 射线机	陕环批复（2008）537 号
本部院区	1 台 6MV 医用电子直线加速器、1 台 CT 机、1 台 X 射线机	陕环批复（2007）56 号		
本部院区	2 台 CT 机、2 台胃肠机、4 台 DR、2 台移动 X 线机、2 台 C 型臂、1 台 CT 定位机、1 台乳腺机、1 台骨密度仪、1 台碎石机、3 台数字减影 X 线机	陕环批复（2012）34 号	2 台 CT 机、2 台胃肠机、4 台 DR、2 台移动 X 线机、2 台 C 型臂、1 台 CT 定位机、1 台乳腺机、1 台骨密度仪、1 台碎石机、3 台数字减影 X 线机、1 台 15MV 医用电子直线加速器、1 台 X 射线牙片机、丙级场所（含 ^{125}I 粒子源植入）	陕环批复（2014）446 号
本部院区	1 台 15MV 医用电子直线加速器、1 台 X 射线牙片机、丙级场所（含 ^{125}I 粒子源植入）	陕环批复（2012）779 号		
本部院区	1 台 256 排 CT 机	环境影响登记表 （2013 年 6 月 3 日）	/	
东关分院	1 台 128 排 CT 机			
本部院区	1 台小 C 臂	环境影响登记表 （2014 年 11 月 17 日）	/	
本部院区	1 台 128 层 CT、1 台 DR、1 台移动 DR、1 台车载 DR 及 1 台牙片 X 射线机	环境影响登记表 （2016 年 2 月 29 日）	/	
本部院区	2 个乙级场所（包含 1 台 PET-CT 和 1 台回旋加速器）	陕环批复（2016）431 号	建设中	
本部院区	1 台 CT、1 台 DR、2 台移动 C 型臂、1 台移动 G 型臂	备案号： 201961060200000386	/	

本部院区	1 台 SPECT-CT、3 间甲癌病房、 ⁸⁹ Sr 治疗, ³² P 治疗	陕环批复〔2019〕401 号	建设中 (⁸⁹ Sr 治疗, ³² P 治疗不再建设)
本部院区	¹²⁵ I 粒籽植入场所	备案号: 202061060200000313	/
东关分院	1 台小 C 臂、1 台移动 DR	备案号: 202261060200000273	/
本部院区	10MV 加速器、后装治疗机、CT 模拟定位机	陕环批复〔2022〕82 号	自主验收
东关分院	1 台 DSA	延行审城环发〔2022〕113 号	自主验收
东关分院	1 台 CT	备案号: 202361060200000171	/
本部院区	3 台 CT、1 台骨密度仪、1 台口腔 CT、1 台乳腺机	备案号: 202361060200000124	/
东关分院	1 台乳腺机	备案号: 202561060200000093	/

1.2.2 核技术利用现状及现有辐射安全许可证

医院现持有陕西省生态环境厅 2023 年 1 月 6 日核发的辐射安全许可证（陕环辐证〔50001〕），有效期至 2028 年 1 月 12 日，许可种类和范围为：使用Ⅲ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，丙级非密封放射性物质工作场所。陕环辐证〔50001〕许可内容详见表 1-5。

表 1-5 陕环辐证〔50001〕号核准的种类和范围

(一) 放射源							
序号	核素	类别	总活度(贝克)/活度(贝克)×枚数		活动种类	工作场所	
1	Ir-192	III 类	3.7×10 ¹¹ ×1		使用	后装治疗机房	
(二) 非密封放射性物质							
序号	工作场所	场所等级	核素	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	活动种类	
1	本部核医学科	丙级	Tc-99m	2.0×10 ⁷	7.4×10 ¹¹	使用	
2	本部核医学科分装室	丙级	I-125 (粒子源)	1.98×10 ⁷	3.6×10 ¹¹		
(三) 射线装置							
序号	装置名称		型号规格	类别	装置数量	场所	活动种类
本部院区							
1	移动式 G 型臂		Digarc100A/A-C	III类	1	本部十一手术室	使用
2	移动 DR		Sirius 130HP	III类	1	本部放疗科	
3	移动 DR		uDR370i	III类	1	本部放疗科	
4	医用电子直线加速器_6 兆加速器		Primus	II类	1	本部放射治疗中心三室	
5	医用电子直线加速器_15 兆加速器		ONCOREXP Ression	II类	1	本部放射治疗中心一室	
6	医用 X 射线牙片机		Vario DG	III类	1	本部口腔科 一楼二室	
7	数字胃肠机		PopulusTi	III类	1	本部放射科 门诊二楼胃肠室	
8	肠胃 X 线机		Axiom Iconos MD	III类	1	本部放射科 门诊二楼胃肠室	
9	体外冲击波碎石机		HK.ESWL-VI	III类	1	本部碎石中心	
10	全身 X 射线计算机体层螺旋扫描装置_定位机		SOMATOM SPIRT	III类	1	本部放射治疗中心一室	
11	数字乳腺 X 光机		Hoiogic-incsel enia	III类	1	本部放射科综合医技楼 一楼数字乳腺室	

12	40 排 CT	uCT530	III类	1	本部二楼 CT 诊断科
13	全景 X 射线系统	ProMax 3D	III类	1	本部口腔医院一楼一室
14	128 层 CT	UTT760	III类	1	本部一楼 CT 诊断室
15	CT (128 双排)	SOMATOMP Erapecti	III类	1	本部一楼 CT 诊断室
16	7500C 型臂 X 射线成像系统_移动式 C 型臂	uMC560i	III类	1	本部十手术室
17	7500C 型臂 X 射线成像系统_移动式 C 型臂	uMC560i	III类	1	本部十手术室
东关分院					
18	数字减影机	Innova 3100	II类	1	东关分院介入导管二室
19	数字减影机	Artis zee Floor	II类	1	东关分院介入导管二室
20	数字减影机	Artis zee Ceiling	II类	1	东关分院介入导管二室
21	小 C 型臂	JZ06-1	III类	1	东关分院手术室
22	双源 CT	SOMATOM DefinitionFlash	III类	1	东关分院门诊负一楼双源 CT 室
23	DR	DR780i	III类	1	东关分院门诊一楼 DR 室
24	DR	AXION ARISTOSFX PLUS	III类	1	东关分院门诊一楼 DR 室
25	DR	SEDECAL	III类	1	东关分院门诊一楼 DR 室
26	DR	UR588i	III类	1	东关分院门诊一楼 DR 室
27	DR	AXION Aristos VX PLUS	III类	1	东关分院门诊一楼 DR 室

表中本部院区 1 台 6MV 医用电子直线加速器及后装治疗使用的 ^{192}Ir 放射源已停用，目前已提交重新办理辐射安全许可证的申请。

1.2.3 辐射安全管理现状

(1) 辐射防护管理机构设置情况

为加强辐射安全和防护管理工作，医院成立有放射卫生与辐射防护管理委员会，明确了委员会管理人员及相关职责。

（2）规章制度建设及落实情况

医院辐射工作管理基本规范，有较为完善的辐射安全管理规章制度，包括：《辐射事故应急预案》《医用直线加速器操作规程》《后装治疗操作规程与程序》《放射源管理制度》《CT 定位机操作规范与程序》《设备维修保养制度》《放疗科工作人员和患者辐射安全防护制度》《放射防护注意事项》《放射防护用品管理制度》《物理师工作职责》《全国核技术利用辐射安全申报运行管理制度》《辐射人员职业健康体检制度》《辐射人员岗位职责》《辐射检测仪器设备的定期检定与管理制度》《辐射工作人员培训制度》《辐射监测计划》《辐射工作场所监测制度》《放射诊疗设备质量控制及防护检测制度》《受检者放射危害告知与防护制度》《放射工作人员个人剂量计管理制度》《放射源和放射性同位素安全管理制度》《放射治疗科直线加速器检测计划》《DSA 操作规程》《放射治疗科后装治疗机检测计划》等，医院依据上述制度开展辐射安全与防护管理工作，并在工作中予以贯彻落实。

医院制定的辐射事故应急预案明确了辐射事故应急响应组织体系与职责、医院现有的放射源和射线装置、可能发生的辐射事故以及危害程度分析、辐射事故概念与分类、辐射事故报告制度、辐射事故应急响应和应急处理程序、应急终止和恢复以及培训演习应急物质装备等内容，相较于《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表>的通知》对于辐射事故应急预案的内容要求，医院制定的辐射事故应急预案已经具备一定的辐射事故应急处置能力，能够基本满足辐射安全管理要求。医院应针对性对可能发生的事故提出有效应急措施，对医院辐射事故应急预案不断进行完善修订。并根据今后工作实际情况不断完善，并加强应急演练，做到有备无患。

（3）工作人员培训情况

医院共有 210 名辐射工作人员，其中 77 人参加了国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的考核，并取得了成绩合格证，其余 133 人参加了医院组织的自主培训并取得合格证书。

（4）职业健康检查情况

医院现有辐射工作人员（包括岗前 4 人/在岗 208 人/离岗 6 人）于 2024 年 7 月 29 日-2025 年 1 月 23 日期间在延安大学附属医院进行了职业健康体检，建立

了职业健康体检报告档案并存档。根据医院体检报告单（001_20250123），本次体检发现需要复查 2 人次，已暂时脱离放射性工作岗位；其余 216 人体检结果为“可以从事放射工作”、“可继续从事原放射工作”或“可以离岗”。

（5）个人剂量检测情况

医院辐射工作人员均配备了个人剂量计，并委托有资质单位进行个人剂量监测，建立了个人剂量档案并存档。根据 2024 年 4 月-2025 年 3 月的个人剂量检测报告，医院辐射工作人员连续四个季度的累积剂量最大值为 0.16mSv/a，满足不大于 5mSv/a 的剂量管理目标值。

（6）辐射工作场所环境监测情况

医院委托有资质单位对医院现有放射工作场所进行了环境辐射水平年度检测，并出具了检测报告（报告编号：FHJC-SXGK-052024088、FHJC-SXGK-052024068）。本部院区辐射水平年度检测检测结果见表 1-6 及表 1-7。

表 1-6 辐射工作场所年度检测结果

序号	装置名称	型号	检测条件	最大周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	SPECT-CT	Infinia VG3	$^{99\text{m}}\text{Tc}$, 活度 555MBq	0.029	2.5
2	直线加速器	ONCOR	电压 15MV, 照射野 40cm×40cm, 剂量率 300cGy/min	0.615	2.5
3	DSA	Innova IGS 5	电压 75kV, 电流 14.5mA, 出束时间 10s	0.01	2.5
4	CT①	uCT 760	电压 120kV, 管电流时间积 200mAs	0.027	2.5
5	CT②	uCT 530	电压 120kV, 管电流时间积 200mAs	1.51	2.5
6	CT③	IQon Spectral	电压 120kV, 管电流时间积 200mAs	0.025	2.5
7	CT④	uCT 760	电压 120kV, 管电流时间积 200mAs	0.011	2.5
8	DR①	uDR 588i	电压 120kV, 电流 100mAs, AEC 管电流时间积 13.6mAs	0.336	25
9	DR②	uDR 780i	电压 120kV, 电流 100mAs, AEC 管电流时间积 14.8mAs	0.037	25
10	DR③	AXIOM Aristos FX Plus	电压 131kV, AEC 管电流时间积 8.6mAs	2.34	25
11	胃肠机	AXIOM Iconos MD	AEC 电压 86kV, 电流 4.8mA	0.53	2.5
12	碎石机	HK.ESWL-VI	电压 70kV, 电流 1mA	0.113	2.5
13	全身骨密度仪	Prodigy Pro Compact	电压 76kV, 电流 3.0mA	0.111	2.5
14	乳腺机房检测结果	Selenia Dimensions	电压 28kV, 管电流时间积 50mAs	0.126	2.5
15	口腔 CT 机房	Orthophos SL 3D	电压 85kV, 电流 13mA	0.138	2.5
16	牙片机	Vario DG	电压 70kV, 电流 3.5mA	0.137	2.5

表 1-7 核医学科相关工作场所表面活度检测结果

序号	工作场所	表面活度 (Bq/m ²)	标准限值 (Bq/m ²)
1	SPECT-CT 区域	0.48	40

监测结论:

医院 1 台 SPECT-CT 机在规定条件下, 机房和工作场所的辐射工作人员操作位、观察窗、人员门、四周墙体外及机房楼上、楼下的环境辐射水平符合《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中 6.3.1b) 条“机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h”、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中“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 2.5μSv/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 10μSv/h”; 核医学科各场所的表面污染检测结果均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中“控制区工作场所的放射性表面污染控制水平应不大于 40Bq/cm²; 监督区工作场所的放射性表面污染控制水平应不大于 4Bq/cm²”的要求。

1 台医用直线加速器在规定条件下, 辐射工作人员操作位、人员门及四周墙体外的环境辐射水平均符合《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 及《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) 中相关要求。

1 台 DSA 机、1 台碎石机在规定条件下, 各机房和工作场所的辐射工作人员操作处、观察窗、门上观察窗、人员门、污物门、设备间门、四周墙体外及机房楼上、楼下关注点剂量当量率符合《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中 6.3.1a) 条“具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时, 周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h”的要求。

4 台 CT 机、1 台乳腺机、1 台全身骨密度仪、1 台口腔 CT 机和 1 台牙片机在规定条件下, 各机房的辐射工作人员操作处、观察窗、人员门、四周墙体外及机房楼上、楼下关注点剂量当量率均符合《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中 6.3.1b) 条“机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h”的要求。

3 台 DR 机在规定条件下, 机房的辐射工作人员操作位、观察窗、人员门、四周墙体外及机房楼上、楼下的环境辐射水平均符合《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中 6.3.1c) 条“具有短时、高剂量率曝光的摄影程序 (如 DR、

CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

1 台胃肠机在规定条件下，机房的辐射工作人员操作位、观察窗、人员门、四周墙体外及机房楼上、楼下环境辐射水平均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 6.3.1a）条“具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”及 6.3.1c)条“具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

2 台移动 DR 无固定使用场所，无需进行年度防护检测。

（7）辐射环境监测设备校准情况

医院现有 2 台 X- γ 剂量率仪和 1 台 α 、 β 表面污染仪，并制定了工作场所监测计划，定期进行自主监测并建立了辐射环境监测档案。医院每年委托有资质单位对放射性场所及周围环境进行一次辐射监测，建立监测技术档案，并向相关部门提交了年度评估报告。

综上所述，医院现有核技术利用项目运行正常，对周围环境影响在相关标准要求的范围内。

表 2 放射源

序号	核素名称	放射性活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动类别	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动 种类	实际日最大 操作量 (Bq)	日等效最大 操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{99m} Tc	液态, 低毒	使用	1.39×10^{10}	1.39×10^7	3.48×10^{12}	核素诊断	很简单 操作	教学综合楼 一层 SPECT 诊断区域	暂存于核医学 科负一层合成 热室
2	¹⁸ F	液态, 低毒	使用	3.70×10^9	3.70×10^6	9.25×10^{11}	核素诊断	很简单 操作	教学综合楼 一层 PET 诊断区域	
3	¹³¹ I	固态, 中毒	使用	1.11×10^7	1.11×10^5	2.78×10^9	甲功测定	简单操作	教学综合楼 二层核素治 疗场所	暂存于甲功室 铅罐中
4	¹³¹ I	液态, 中毒	使用	3.70×10^9	3.70×10^8	9.25×10^{11}	甲亢治疗	简单操作		暂存于给药室 自动分装仪中
5	¹³¹ I	液态, 中毒	使用	2.22×10^{10}	2.22×10^9	1.11×10^{12}	甲癌治疗	简单操作		

表 4 射线装置

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 类	1 台	NM/CT 870 DR	140	440	核素诊断	教学综合楼一层 SPECT-CT 室	新增
2	PET-CT	III 类	1 台	uMi 780	140	833	核素诊断	教学综合楼一层 PET-CT 室	新增

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
废注射器、消毒棉签、废吸水纸、废口罩、废手套、放射性污染防护服、废抹布及拖布、废活性炭等	固态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	34.4kg/月 (平均)	412.5kg/a	/	分类收集于放射性废物桶中，暂存于核医学科一层固废间	暂存 30 天后，按医疗废物处理
一次性口杯、废吸水纸、废口罩、废手套、放射性污染防护服，及患者呕吐物及擦拭物、废抹布及拖布、废活性炭等		^{131}I	/	95.6kg/月 (平均)	1147.5kg/a	/	分类收集于放射性废物桶中，暂存于核医学科二层固废间	含 ^{131}I 固废暂存 180 天，按照医疗废物处理
放射性废气	气态	^{131}I	/	/	/	/	/	活性炭吸附后，经专用管道引至楼顶北侧排放，排放口向上
		^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	/	/	/	
甲癌住院患者住院期间生活污水、工作人员洗手废水、工作场所清洁废水等	液态	^{131}I	/	14.3m ³ /月 (平均)	171.6m ³ /a	/	在长半衰期衰变池衰变贮存 180 天后，送医院污水处理站	经医院污水处理站，处理达标后排入市政污水管网
注射药物后诊断患者排泄物及冲洗废水、工作人员洗手废水、工作场所清洁废水等		^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	13.0m ³ /月 (平均)	156.3m ³ /a	/	在短半衰期衰变池暂存 30 天后，排至医院污水处理站	

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》2015 年 1 月 1 日施行； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》2018 年 12 月 29 日修正； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》2003 年 10 月 1 日起施行； (4) 《建设项目环境保护管理条例》国务院令第 682 号修改，2017 年 7 月 16 日修订； (5) 《放射性废物安全管理条例》（中华人民共和国国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行； (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》国务院令第 499 号，2019 年 3 月 2 日修订； (7) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》国环规环评〔2017〕4 号，2017 年 11 月； (8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行； (9) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》生态环境部令第 7 号第三次修改，2019 年 8 月 22 日； (10) 《关于发布<射线装置分类>的公告》环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 6 日起施行； (11) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号； (12) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日； (13) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》国家环保总局，环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日起施行； (14) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（国家发展和改革委员会令第 7 号，2023 年 12 月 27 日）； (15) 《陕西省放射性污染防治条例（2019 年修正）》陕西省人大，2019 年 7 月 31 日起施行；
------	--

	(16) 陕西省环境保护厅关于印发新修订《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知（陕环办发〔2018〕29号），2018年6月6日起施行； (17) 《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； (18) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》生态环境部公告2021年第9号，2021年3月15日起施行； (19) 《辐射工作人员职业健康管理暂行办法》，中华人民共和国卫生部令第55号，2007年11月1日施行； (20) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》辐射函〔2023〕20号。
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》（HJ10.1-2016）； (3) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）； (4) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； (5) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； (6) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； (7) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）； (8) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； (9) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； (10) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）。
其他	(1) 环境影响评价委托书； (2) 《延安大学附属医院 PET-CT 及回旋加速器核技术应用项目环境影响报告表》核工业二四〇研究所，2016年7月； (3) 《陕西省环境保护厅关于延安大学附属医院 PET-CT 和回旋加速器核技术应用项目环境影响报告表的批复》（陕环批复〔2016〕431号）原陕西省环境保护厅，2016年8月24日； (4) 《延安大学附属医院核医学科核技术应用项目环境影响报告表》核

工业二四〇研究所，2019 年 10 月；

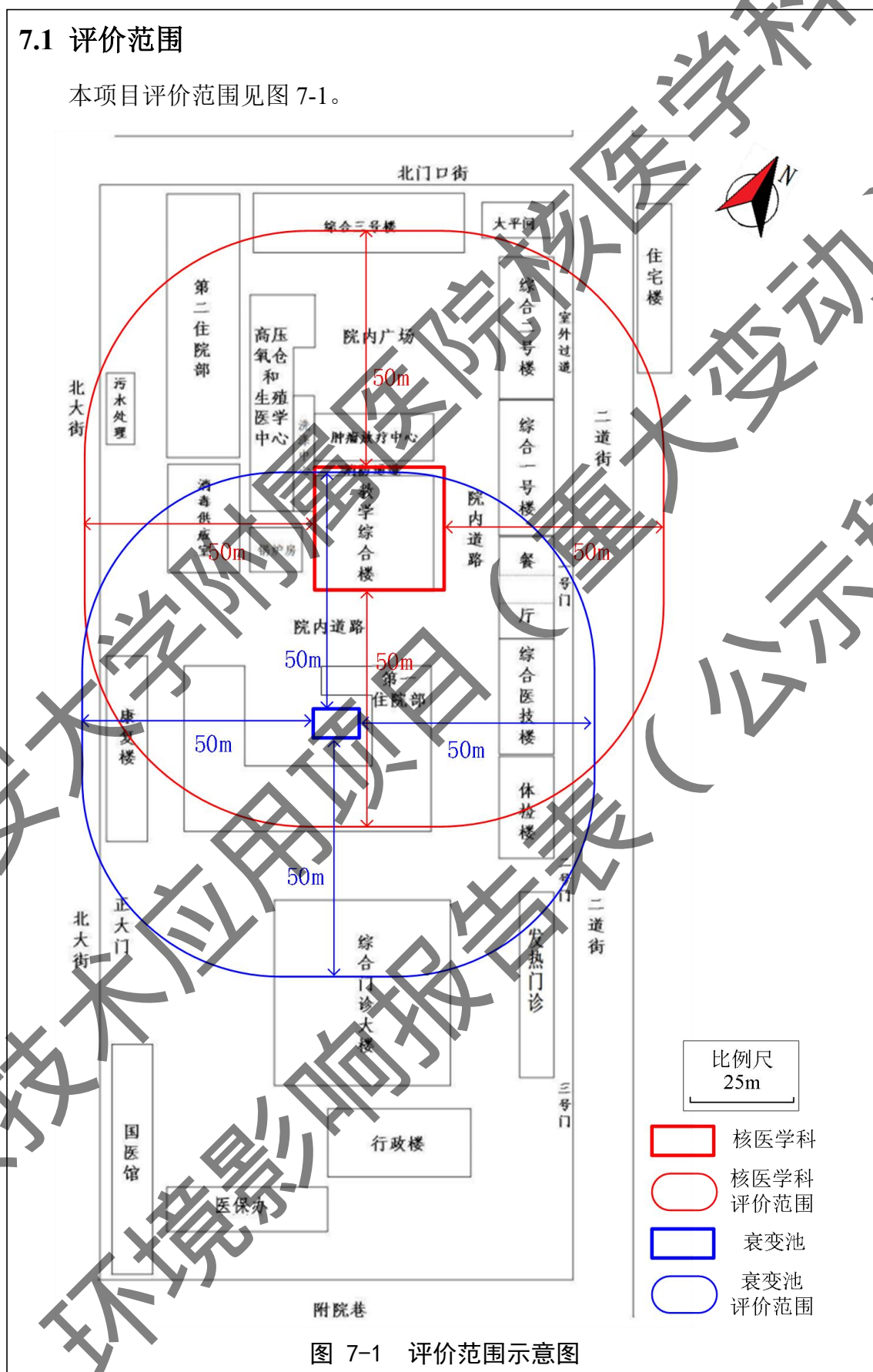
（5）《陕西省生态环境厅关于延安大学附属医院核医学科核技术应用项目环境影响报告表的批复》（陕环批复〔2019〕401 号）原陕西省环境保护厅，2019 年 10 月 23 日；

（6）建设单位提供的其他相关资料。

表 7 保护目标和评价标准

7.1 评价范围

本项目评价范围见图 7-1。



7.2 环境保护目标

本次评价辐射工作场所周围 50m 范围环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

序号	保护目标位置	方位	距屏蔽体外表面距离 (m)	人口数量	剂量约束值
1	注射室	/	0.3	注射人员 2 人	5mSv/a (辐射工作人员)
2	PET-CT 控制室	/	0.3	影像人员 2 人	
3	SPECT-CT 控制室	/	0.3	影像人员 2 人	
4	甲功室	/	0.3	检查人员 1 人	
5	教学综合楼三层 血液净化中心	上	0.3	约 20 名医护人员及流动人员	0.1mSv/a (公众)
6	放疗科区域	下	0.3	6 名其他辐射工作人员及流动人员	
7	肿瘤放疗中心	北	1-14	约 10 名其他辐射工作人员及流动人员	
8	综合二号楼、综合三号楼、第二住院部、高压氧舱、生殖医学中心、院内广场、医院家属楼	北	3-50	约 110 名医护人员、住院患者、陪同家属及流动人员	
9	锅炉房、消毒供应室、洗涤中心、污水处理站、北大街	西	3-50	约 10 名医护人员及流动人员	
10	康复楼、第一住院部、综合医技楼、体检楼	南	15-50	约 90 名医护人员、住院患者、陪同家属及流动人员	
11	综合一号楼、餐厅、二道街	东	12-50	约 20 工作人员及流动人员	
12	第一住院部	四周	3.7-30	约 70 名医护人员、住院患者、陪同家属及流动人员	
13	教学综合楼	北	26-50	约 90 人及流动人员	
14	锅炉房、消毒供应室、洗涤中心、高压氧舱及生殖医学中心	北	29-50	约 30 名工作人员流动人员	

15		康复楼	西	38-50	约 30 名医护人员及流动人员
16		北大街	西	47-50	流动人员
17		综合门诊大楼	南	35-50	约 30 名医护人员及流动人员
18		发热门诊	东南	45-50	约 5 名医护人员及流动人员
19		综合一号楼、餐厅、综合医技楼、体检楼	东	32-50	约 30 名工作人员及流动人员
注：评价范围内其他辐射工作人员剂量约束值为 5mSv/a，本项目对其附加剂量保守按 0.1mSv/a 控制。					

7.3 评价标准

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）等标准，本项目的剂量要求、屏蔽体表面剂量率控制值、场所分区、通风要求、放射性废物管理要求、辐射安全防护措施和设施等要求见表 7-2 所示。

表 7-2 项目评价标准一览表

剂量要求			执行标准
执行对象	辐射工作人员	公众	
要求			
剂量限值 (mSv/a)	20	1	GB18871-2002
剂量约束值 (mSv/a)	≤5	≤0.1	HJ1188-2021
表面污染控制水平			执行标准
表面类型		β放射性物质 (Bq/cm ²)	GB18871-2002 GBZ120-2020
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		
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹	

屏蔽体表面剂量率控制值		执行标准
核医学科 工作场所	本项目核医学科工作场所剂量控制应符合以下要求： 1.工作场所控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子$\geq 1/2$）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 $2.5\mu\text{Sv/h}$； 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、给药后患者候诊室门外、核素治疗住院病房门外以及核医学科患者走廊等位置，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$； 3.放射性药物分装箱体、注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$； 4.放射性药物分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 $25\mu\text{Sv/h}$。	HJ1188-2021《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号） GBZ120-2020
非密封放射性物质工作场所分级		执行标准
级别	日等效最大操作量/Bq	GB18871-2002
甲	$>4\times 10^9$	
乙	$2\times 10^7\sim 4\times 10^9$	
丙	豁免活度值以上 $\sim 2\times 10^7$	
场所分区管理		执行标准
控制区	把需要或可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。	GB18871-2002 HJ1188-2021
监督区	未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但要经常对职业照射条件进行监督和评价。	
选址和布局		执行标准
核医学科	选址	HJ1188-2021 GBZ120-2020
	布局	

	2.核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。 3.核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	
核医学场所屏蔽要求		执行标准
6.1.1 核医学场所屏蔽层设计应适当保守，按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。 6.1.2 设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时，除应考虑室内的辐射源外，还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。 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2.5μSv/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10μSv/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2.5μSv/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25μSv/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2.5μSv/h。 6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。		HJ1188-2021

核医学科场所安全措施要求		执行标准
6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。 6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。 6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。 6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。 6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。		HJ1188-2021
核医学科工作场所通风要求		执行标准
6.3.1 核医学工作场所应保持有良好的通风，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。 6.3.3 碘-131 治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。 6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、手套箱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、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。 6.3.5 手套箱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有手套箱、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。		HJ1188-2021
核医学工作场所通风系统独立设置，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。		GBZ120-2020
核医学工作场所放射性废物管理		执行标准
固体放射性废物	固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理： 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；	HJ1188-2021

	能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，表面污染水平对β和γ发射体以及低毒性α发射体应小于4Bq/cm²、其他α发射体应小于0.4Bq/cm²。 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。	
液态放射性废物	所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放。	
气态放射性废物	7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。 7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。	
衰变池要求		执行标准
放射性废液收集	7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。 7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。 7.3.1.3 核医学工作场所的污水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。 7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。	HJ1188-2021

放射性废液贮存	7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。 7.3.2.2 槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为2组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。 7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。			
放射性废液排放	7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式： a) 所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放； b) 所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期(含碘-131核素的暂存超过180天)，监测结果经审管部门认可后，按照GB18871中8.6.2规定方式进行排放。放射性废液总排放口总α不大于1Bq/L、总β不大于10Bq/L、碘-131的放射性活度浓度不大于10Bq/L。 7.3.3.3 放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。			
辐射监测				
工作场所	监测内容	监测点位	监测频次	执行标准
核医学科工作场所	辐射水平（X-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	HJ1188-2021

	表面放射性污染	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。	每次工作结束（出现放射性药物洒漏应及时进行监测）	
防护用品				执行标准
场所	辐射工作人员		患者或受检者	
	必配	选配	必配	选配
普通核医学和 SPECT 场所	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	铅橡胶帽子、铅玻璃眼镜	—	—
正电子放射性药物和 ¹³¹ I 的场所	放射性污染防护服	—	—	—
屏蔽体表面剂量率控制值				执行标准
核医学科工作场所	剂量控制应符合以下要求： 1.工作场所控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2）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 2.5μSv/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、给药后患者候诊室门外、核素治疗住院病房门外以及核医学科患者走廊等位置，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h； 3.放射性药物分装箱体、注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h； 4.放射性药物分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 25μSv/h。			HJ1188-2021 GBZ120-2020 辐射函 （2023）20 号
有效剂量				执行标准
辐射工作人员	20mSv/a（限值）； 5mSv/a（剂量约束值）			GB18871-2002 HJ1188-2021
公众	1mSv/a（限值）； 0.1mSv/a（剂量约束值）			

放射性废物管理			执行标准
固体放射性废物	放射性固体废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于0.8Bq/cm²的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理： a) 所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天；		HJ1188-2021
放射性废气	7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。 7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。		
放射性废水	所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放；含 ¹³¹ I的废水暂存时间超过180天后可直接排放。		
辐射监测			执行标准
监测内容	监测点位	监测频次	HJ1188-2021
辐射水平	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	
表面放射性污染	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。	每次工作结束（出现放射性药物撒漏应及时进行监测）	
总β， ¹³¹ I放射性活度	衰变池排放口	1次/年	

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置及场所位置

8.1.1 医院地理位置

医院地理位置见图 1-1，医院总平面布置见图 1-3。

8.1.2 项目场所位置

本次评价的核医学科位于教学综合楼一层至二层，详见图 1-3 至图 1-6。

8.2 辐射环境质量现状评价

本次评价区域辐射环境质量现状监测结果引用陕西新高科辐射技术有限公司 2025 年 6 月 23 日出具的《延安大学附属医院核医学科、衰变池及周围区域环境 γ 辐射剂量率监测报告》（报告编号：FHJC-SXGK-052025030）中与本次评价相关部分的数据。

8.2.1 监测方法

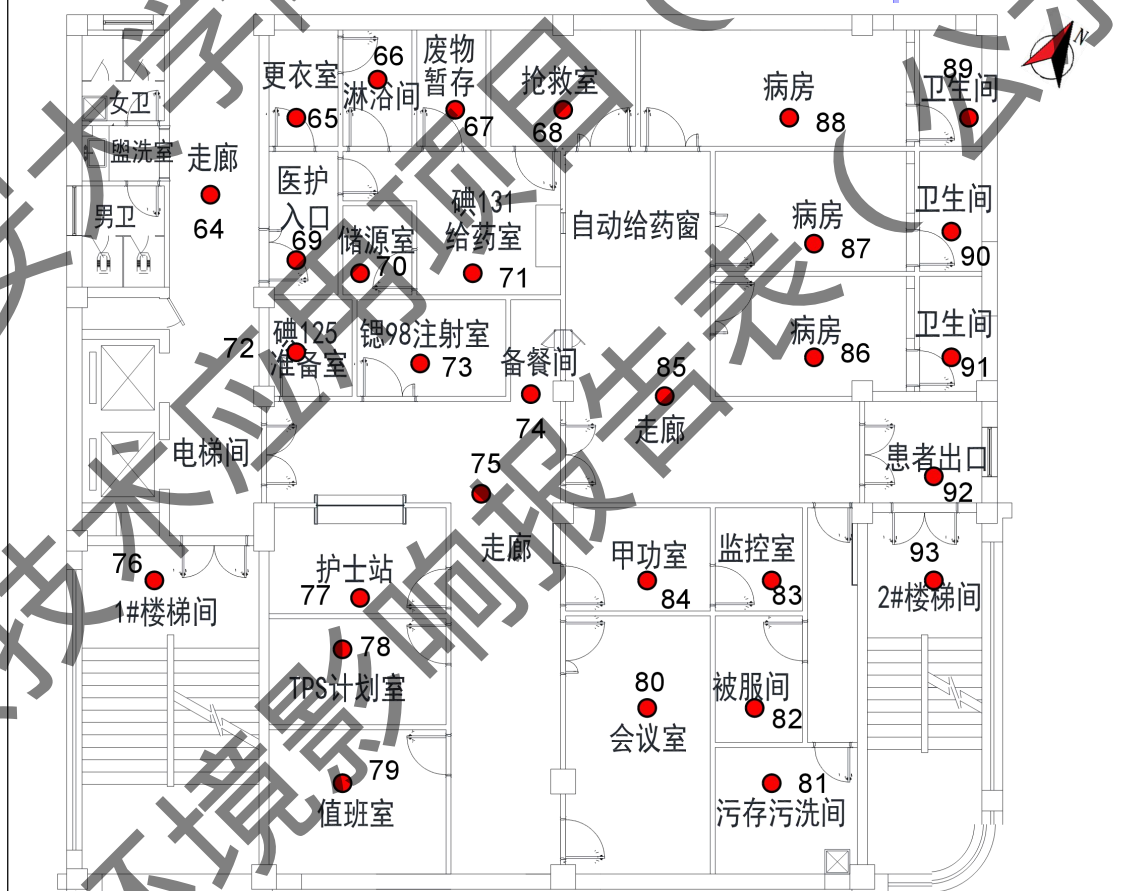
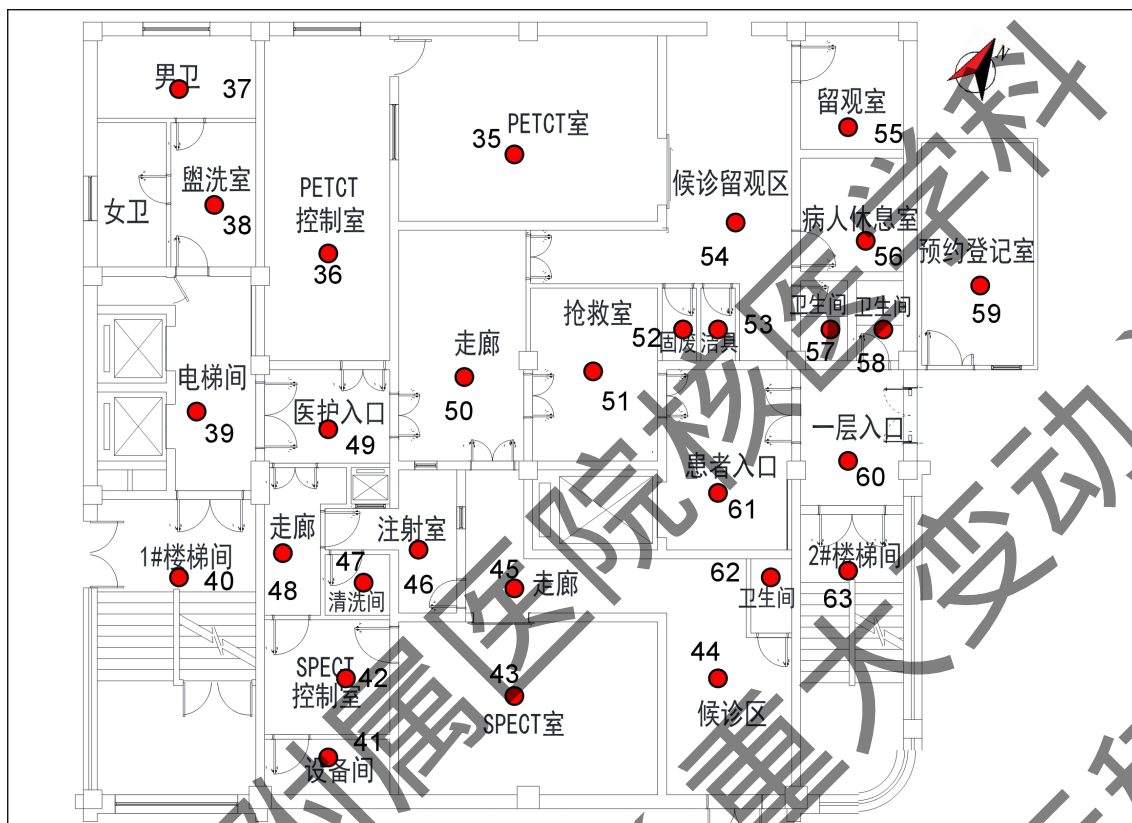
监测方法见表 8-1。

表 8-1 辐射环境质量现状监测方法

监测因子	监测点位	监测频次
X- γ 剂量率	监测点位 1#-17#及 35#-93#	每个点位连续监测 10 次
监测方法：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。		

8.2.2 监测点位

环境 γ 辐射剂量率监测点位布设情况详见图 8-1 至图 8-4。



8.2.3 监测使用仪器

监测仪器相关情况见表 8-2。

表 8-2 监测仪器相关参数一览表

检测仪器名称、型号、编号	测量范围	检定单位	证书编号	证书有效期
环境监测用 X、 γ 辐射空气比释动能率仪 FD-3013H-6882	0.01~200 $\mu\text{Gy/h}$	中国辐射防护研究院放射性计量站	检字第 [2024]-L0593	2024.8.9~ 2025.8.8

8.2.4 质量保证措施

①结合现场实际情况及检测点位的可达性，在项目拟建场地周边环境布设检测点位，充分考虑检测点位的代表性和可重复性，以保证检测结果的客观性和公正性；

②严格按照《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）进行检测；

③检测仪器定期经有资质的计量部门检定/校准，合格后方可使用；

④每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；

⑤检测人员持证上岗；

⑥检测结果经三级审核，保证检测数据的准确。

8.2.5 监测结果及评价

项目拟建场地周边环境 γ 辐射剂量率监测结果见表 8-3。

表 8-3 环境 γ 辐射剂量率监测结果

点位 编号	点位描述	检测结果 (μGy/h)		
		平均值	标准差	
1	衰变池	检测点位 1	0.07	0.01
2		检测点位 2	0.07	0.006
3	第一住院部 一层	检测点位 3	0.07	0.009
4		检测点位 4	0.07	0.007
5		检测点位 5	0.07	0.010
6		检测点位 6	0.07	0.009
7	康复楼外院内道路		0.06	0.010
8	综合门诊大楼外院内道路		0.08	0.007
9	综合医技楼外院内道路		0.07	0.008

10	教学综合楼外院内道路		0.06	0.007
11	综合一号楼外院内道路		0.07	0.007
12	肿瘤放疗中心一层		0.06	0.007
13	锅炉房外院内道路		0.07	0.006
14	污水处理间外院内道路		0.06	0.008
15	第二住院部一层		0.07	0.007
16	综合三号楼外院内道路		0.06	0.007
17	综合二号楼外院内道路		0.07	0.004
35	教学综合楼 一层	PETCT 室	0.08	0.007
36		PETCT 控制室	0.07	0.005
37		男卫	0.07	0.008
38		盥洗室	0.07	0.010
39		电梯间	0.07	0.008
40		1#楼梯间	0.07	0.005
41		设备间	0.07	0.008
42		SPECT 控制室	0.07	0.008
43		SPECT 室	0.07	0.004
44		候诊区	0.08	0.007
45		走廊	0.07	0.005
46		注射室	0.08	0.008
47		清洗间	0.06	0.008
48		走廊	0.07	0.005
49		医护入口	0.06	0.007
50		走廊	0.07	0.008
51		抢救室	0.06	0.007
52		固废间	0.06	0.007
53		洁具间	0.07	0.008
54		候诊留观区	0.07	0.008
55		留观室	0.06	0.005
56		病人休息室	0.08	0.005

57		卫生间	0.07	0.005
58		卫生间	0.07	0.008
59		预约登记室	0.07	0.005
60		一层入口	0.06	0.005
61		患者入口	0.06	0.007
62		卫生间	0.07	0.007
63		2#楼梯间	0.07	0.005
64	教学综合楼 二层	走廊	0.08	0.004
65		更衣室	0.07	0.008
66		淋浴间	0.07	0.004
67		废物暂存间	0.07	0.004
68		抢救室	0.07	0.009
69		医护入口	0.07	0.005
70		储源室	0.08	0.005
71		¹³¹ I 给药室	0.07	0.007
72		¹²⁵ I 准备室	0.07	0.007
73		⁸⁹ Sr 注射室	0.07	0.005
74		备餐间	0.07	0.005
75		走廊	0.07	0.008
76		1#楼梯间	0.07	0.005
77		护士站	0.07	0.007
78		TPS 计划室	0.06	0.007
79		值班室	0.06	0.004
80		会议室	0.07	0.006
81		污存污洗间	0.07	0.004
82		被服间	0.07	0.004
83		监控室	0.07	0.006
84		甲功室	0.07	0.005
85		走廊	0.06	0.004
86		病房	0.07	0.008

87		病房	0.07	0.006
88		病房	0.07	0.007
89		卫生间	0.07	0.007
90		卫生间	0.07	0.008
91		卫生间	0.07	0.005
92		患者出口	0.07	0.005
93		2#楼梯间	0.07	0.007

由表 8-3 可知，项目拟建辐射工作场所的环境 γ 辐射剂量率为 60~80nGy/h（已扣除宇宙射线响应值），与《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年）中“延安市 γ 辐射剂量率调查结果（室内：64~157nGy/h，室外：34~114nGy/h）”相当，因此项目所在区域辐射剂量率处于天然辐射本底水平。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 PET 诊断

9.1.1.1 设备组成及工作原理

正电子发射断层显像（PET 显像）的基本原理是利用体内正电子放射核素发射出的正电子与负电子结合发生湮灭辐射，发射出一对能量相等、方向相反的 γ 光子。

PET 探头系统由环形的数百个探测器构成，晶体材料常采用锗酸铋或 12.7mm 厚的碘化钠。呈相反方向（180°）排列的两个探头探测 γ 光子， γ 光子与晶体作用下，形成 1 个电脉冲，脉冲高度分析器选择能量符合 511keV 的电脉冲送入电子学线路，电子学线路把呈相反方向并在 5~15ns 内发生的两个电脉冲信号送入显像系统，生成 PET 影像。

PET-CT 是把核医学显像和现代医学影像学成像结合在一起，达到取长补短的目的。PET 显像是反映组织或脏器代谢或功能变化的功能显像，可以通过图像观察分子水平的代谢和功能变化，这些变化早于形态和结构的变化，可用于肿瘤的早期诊断、寻找原发灶及转移灶、判断心肌存活等，但图像的空间分辨和质量较差。CT 等现代医学影像学成像具有空间分辨率高、解剖结构和脏器轮廓清楚、图像质量好，但反映功能和代谢变化差，确定占位性病变的性质比较困难。利用图像融合技术，把核医学显像和现代医学影像学成像相重叠，所显示的图像为两者图像的融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置图像，一次检查可快速了解全身的整体状况，便于病灶的准确定位和精确定位。

9.1.1.2 用药量情况

根据医院提供的资料本项目 PET 诊断使用的 ^{18}F 核素为自产，单人最大用药量为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，日最大诊疗人数为 10 人，日最大用药量为 $3.70 \times 10^9 \text{Bq}$ (100mCi)。

9.1.1.3 工作流程及产污环节

项目 PET-CT 放射诊断工作流程及产污环节见图 9-1。

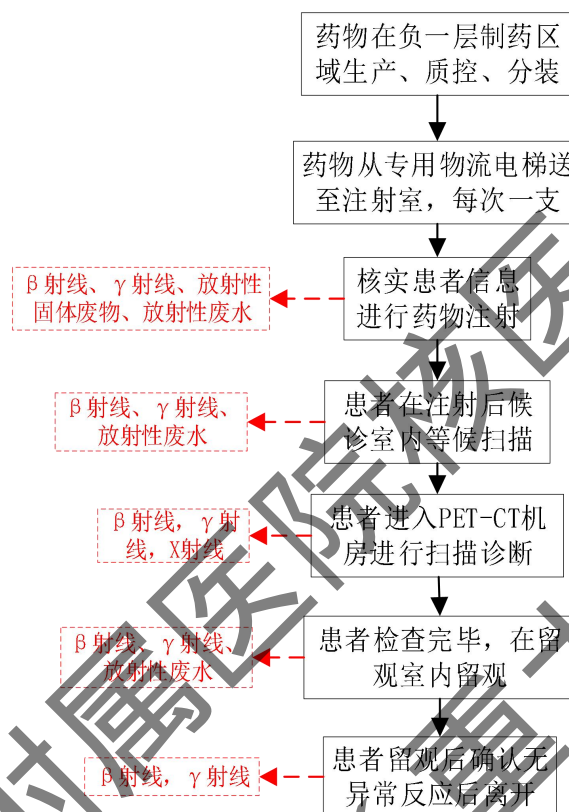


图 9-1 PET-CT 诊断工作流程及产污环节示意图

- a、根据临床诊断需药量，提前一天提出制药计划。
- b、回旋加速器根据制药计划生产放射性药物，在合成热室完成分装，样品在质控室完成质控；
- c、分装好的单支放射性药物注射前装在注射器屏蔽套中，每次注射时通过送药电梯运输一支药物（10mCi）到一层注射室；
- d、护士站的工作人员根据工作安排每次呼叫一名患者，确认患者身份后，让该患者经核医学科门禁进入，辐射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导患者到达注射窗前。注射人员通过注射窗口对患者进行药物注射，注射后的注射器以及棉签等固体废物丢入旁边专用废物桶，该过程约 1min；
- e、辐射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导注射后的患者进入注射后候诊室候诊，候诊时间平均约 45min-60min，最多一人候诊；
- f、通过语音提示，患者进入 PET-CT 室接受显像扫描。患者进入机房后，控制室的辐射工作人员通过观察窗和语音系统，指导患者正确躺在检查床上，然后隔室操作 PET-CT 对患者实施显像扫描。如遇到个别特殊的患者需要协助摆位时，辐射工作人员从控制室进入机房对患者辅助摆位，随后离开机房回到控制室，

隔室操作 PET-CT 对患者实施显像扫描，扫描过程约 15min，其中 CT 出束时间约 1min。

g、扫描完成后，患者在留观室留观约 15min，留观结束后离开核医学科。

PET-CT 诊断过程的污染因子主要是： γ 射线、 β 射线、X射线、放射性废水、放射性固体废物、臭氧及氮氧化物。

9.1.2 SPECT 诊断

9.1.2.1 设备组成及工作原理

SPECT 即单光子发射计算机断层扫描（Single-Photon Emission Computed Tomography），通过 γ 探测器来探测病人体内组织发出的 γ 射线强度，并对探测到的 γ 光子进行计算处理，从而形成人体内部器官组织图像。人体自然发出的 γ 射线不能用来做诊断，要想获得人体内部病区情况，需要医疗人员向受检者体内注射一定活度的放射性核素，探测核素发出的 γ 射线，可知人体内器官、组织和影像的变化，从而获得病灶信息。

SPECT 基本结构包括：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 探头绕人体一周，在旋转时每隔一定角度（ 3° 或 6° ）采集一帧图片，然后经滤波反向投影法或迭代重叠法或傅里叶变化法等方法，用电子计算机自动处理，将图像叠加，重建为该脏器的横断面、冠状面、矢状面或任何需要的不同方位的断层、切面图像，最后极大提高了诊断的灵敏度和正确性。

SPECT-CT 由 SPECT 和诊断 CT 融合而成，通过对受检者的一次扫描，可以达到单独的 CT 无法达到的诊断效果，完成 SPECT 和 CT 的一站式检查。在 SPECT-CT 诊疗中，CT 机主要起定位和辅助分析作用，用于提高核素诊断效果。SPECT 机主要用于探测人体内放射性核素发射出的 γ 射线并成像，用于详细分析病灶区的厚度和形态等病征信息。SPECT-CT 即可得出功能代谢显像，又可得出解剖学显像，对于病灶定位、病症诊断极具特殊优势，帮助医生提高检测准确度，使医疗机构整体诊疗水平获得提高。

9.1.2.2 用药量情况

根据医院提供的资料本项目 SPECT 诊断使用的 ^{99m}Tc 核素由钼锝发生器淋洗，单人最大用药量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （25mCi），日最大诊疗人数为 15 人，日最大用药量为 $1.39 \times 10^{10} \text{Bq}$ （375mCi）。

9.1.2.3 工作流程及产污环节

SPECT-CT 诊断工艺流程及产污环节见图 9-2。

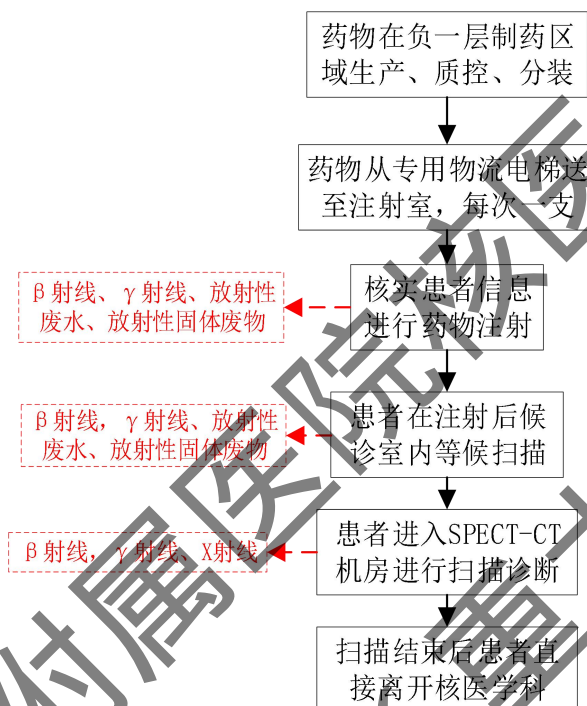


图 9-2 SPECT-CT 诊断流程及产污环节图

a、根据临床诊断需药量，提前一天制定制药计划，并提前告知患者诊疗过程的辐射危害。

b、药物在负一层钨制备室生产、标记、分装、质控，每次注射前通过送药电梯运输一支药物（25mCi）到一层注射室。

c、护士站的工作人员根据工作安排每次呼叫一名患者，核实患者身份后，远程引导该患者经核医学科门禁系统进入，辐射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导患者到达注射窗前。

d、辐射工作人员将钨合金注射器防护套套在注射器上，通过注射窗口对患者进行药物注射，注射后的注射器以及棉签等固体废物丢入专用废物桶。

e、辐射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导药物注射后的患者进入注射后候诊室候诊，最多三人候诊。

f、通过语音提示，患者进入 SPECT-CT 室接受显像扫描。患者进入机房后，控制室的辐射工作人员通过观察窗和语音系统，指导患者正确躺在检查床上，然后隔室操作 SPECT-CT 对患者实施显像扫描。如遇到个别特殊的患者需要协助摆位时，辐射工作人员从控制室进入机房对患者辅助摆位，随后离开机房回到控制

室，隔室操作 SPECT-CT 对患者实施显像扫描，扫描过程约 15min，其中 CT 出束时间约 1min。

g、扫描完成后，患者离开核医学科。

SPECT-CT 诊断过程的污染因子主要是： γ 射线、 β 射线、X射线、放射性废水、放射性固体废物、臭氧及氮氧化物。

9.1.3 ^{131}I 核素治疗

9.1.3.1 设备组成及工作原理

①甲功测定：甲状腺吸碘功能测定主要利用甲状腺具有选择性摄取和浓聚碘的特点，其摄取碘的速度和数量以及碘在甲状腺的停留时间，取决于甲状腺的功能状态。由于 ^{131}I 与稳定性的碘具有相同的生化性质和生物学特性，因此，给检查者口服 ^{131}I 后可在甲状腺内聚集。利用等量的 ^{131}I 药物作为标准源，分别利用甲状腺功能仪 γ 探测器测量甲状腺部位、标准源 ^{131}I 发射的 γ 射线计数率以及本底计数率，获得不同时间（给药后 2h、4h、24h）甲状腺部位放射性计数率，根据甲状腺摄取 ^{131}I 的数量和速度、释放的速率来判定甲状腺功能状态。利用不同时间段患者摄碘率的变化曲线来判断患者甲状腺功能是否正常，为甲状腺疾病的诊断和放射性碘治疗提供可靠的数据。

甲状腺功能测定是甲亢治疗、甲癌治疗流程中治疗前阶段的步骤，甲状腺功能测定是在甲功测定室内利用甲状腺功能测定仪来测定患者甲状腺吸碘率。甲状腺功能测定一般患者需要服用 $5\mu\text{Ci}$ 的 ^{131}I ，服用药量非常小，服药后患者体外 0.5m 处辐射剂量率水平约为 $0.05\mu\text{Sv/h}$ ，与表 8 中项目区域本底水平相当，因此甲功测定室无需进行专门的辐射防护屏蔽设计，进行甲状腺功能检查的患者也无需进行辐射安全管控，服药完成后直接离开核医学科，于 2h、4h、24h 后返回测量甲状腺放射性计数。

②甲亢治疗：甲状腺细胞对碘化物具有特殊的亲和力，服用药物后 ^{131}I 能够被甲状腺高度选择性吸收，甲亢患者的甲状腺中功能亢进的病变组织比一般的甲状腺组织的摄碘率更高， ^{131}I 在衰变过程中放射出 β 射线射程平均约 1mm，几乎全部为甲状腺组织吸收；使用适当剂量的 ^{131}I ，其电离辐射生物效应使功能亢进的甲状腺细胞受破坏，甲状腺缩小、甲状腺激素的合成减少，从而达到治疗目的。

③甲癌治疗：放射性核素 ^{131}I 可以高度选择性聚集在分化型甲状腺癌及转移

灶，利用 ^{131}I 衰变时放射出 β 射线射线的电离辐射生物效应，抑制或破坏病变组织，杀死甲癌细胞，而邻近的正常组织的吸收剂量很低，从而达到治疗目的。

9.1.3.2 用药量情况

本项目使用 ^{131}I 开展甲癌治疗、甲亢治疗及甲功测定。甲癌治疗单人最大用药量为 $7.40 \times 10^9 \text{Bq}$ (200mCi)，日最大诊疗人数为 3 人，日最大用药量为 $2.22 \times 10^{10} \text{Bq}$ (600mCi)；甲亢治疗单人最大用药量为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，日最大诊疗人数为 10 人，日最大用药量为 $3.70 \times 10^9 \text{Bq}$ (100mCi)；甲功测定患者单人用药量为 $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ (0.005mCi)。

甲癌治疗与甲亢治疗的药物为液体药物，在自动分装仪处分装；甲功测定使用外购成品药物胶囊，无需分装。

9.1.3.3 工作流程及产污环节

(1) 甲功测定流程

甲功测定是甲亢治疗、甲癌治疗的前置检查，在甲功室内利用甲状腺功能测定仪来测定患者甲状腺吸碘率，具体流程如下：

①需要接受甲状腺功能测定的患者提前登记预约，进行治疗前准备，需停止食用含碘丰富的食物 2-4 周，停止服用含碘药物 2 周以上。检查当日患者应空腹；

②用药当天由供药单位将成品药物胶囊送至核医学科储源室，由储源室经传递窗分发至甲功室，并与核医学科工作人员交接后保存在专用铅容器中；

③患者在甲功室内空腹口服 $5\mu\text{Ci}$ 的 ^{131}I 药物后离开，2h、24h 后返回甲功室进行检查；

④开机预热，使甲状腺功能仪处于正常工作状态，测量甲功测定室本底计数及标准源计数，并计算甲状腺吸碘率。

甲状腺吸碘功能测定的操作流程及产污环节见图 9-3。

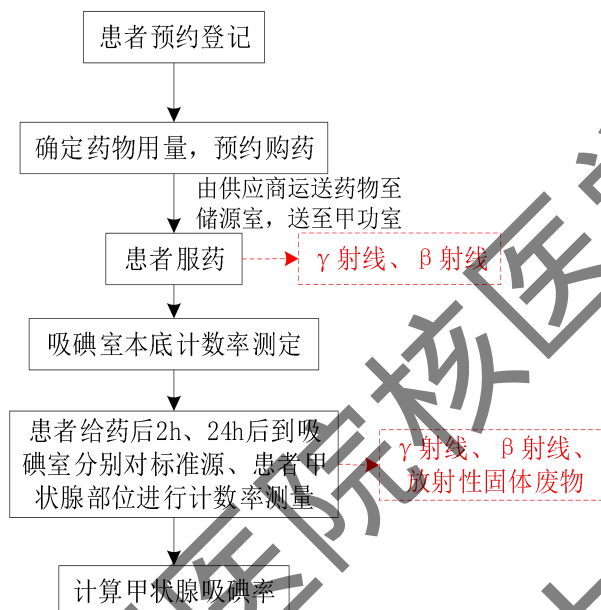


图 9-3 甲功测定操作流程及产污环节示意图

甲功测定过程的污染因子主要是： γ 射线、 β 射线、放射性固体废物等。

(2) 甲亢治疗流程

医院根据治疗计划提前向供药单位预定 ^{131}I 药物。用药当天由供药单位运至核医学科，并由供药单位工作人员将药物置入自动分装仪中。

给药时工作人员按照工作计划叫号，被叫到的患者验证身份后进入核医学科。工作人员远程输入患者服药活度、药物体积等信息，自动分装仪自动完成放射性药物原液的稀释处理、定量分配、在线活度测量和样品体积配比的全部工作后，将药物转移至服药窗口患者侧的药杯中，供患者服用，患者服药后可直接由患者出口离开核医学科。

甲亢治疗流程图及产物环节见图9-4。

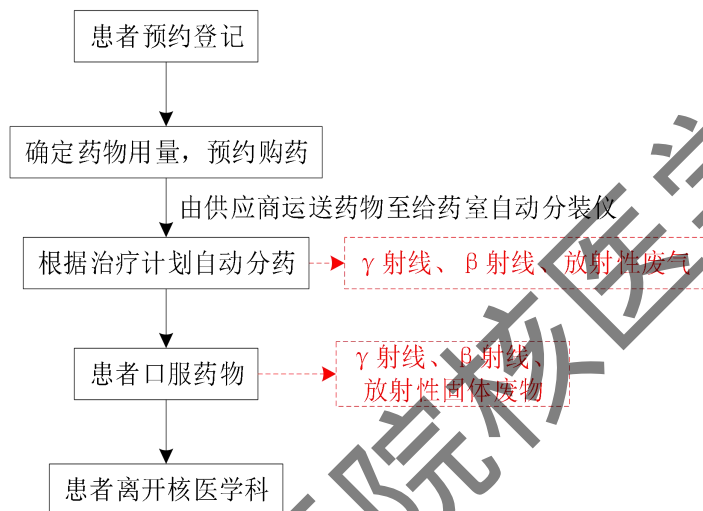


图 9-4 甲亢治疗流程及产污环节示意图

(3) 甲亢治疗服药治疗流程

a) 接诊患者，询问患者病史和临床表现，对患者进行相关辅助检查（一般为甲功五项、甲状腺超声、肝肾功能、甲状腺吸碘率等），医生根据检查结果做出判断并制定相应的治疗方案，告知患者治疗前注意事项。

b) 医院根据治疗计划提前向供药单位预定 ^{131}I 药物。用药当天由供药单位运至核医学科，并由供药单位工作人员将药物置入自动分装仪中。

给药时工作人员按照工作计划叫号，被叫到的患者验证身份后进入核医学科。工作人员远程输入患者服药活度、药物体积等信息，自动分装仪自动完成放射性药物原液的稀释处理、定量分配、在线活度测量和样品体积配比的全部工作后，将药物转移至服药窗口患者侧的药杯中，供患者服用。

c) 患者经预约问诊后，前往 ^{131}I 自动分装仪口服药物，服药后对号进入甲亢治疗病房住院观察。服药后患者进入甲亢病房住院观察，一般住院3~7天，甲亢患者进入病房后无特殊情况不可离开，配餐时间和诊疗时间不重叠，配餐期间治疗区域无患者活动。患者依次前往配餐窗口自取。查房、出院检测等工作由工作人员通过视频监控和对讲系统远程完成。经检测患者体内放射性活度降低至400MBq或者距离患者体表1m处的周围剂量当量率不大于25μSv/h方可出院。

甲亢治疗的工作流程及产污环节见图9-5。



图 9-5 甲状腺癌治疗工作流程及产污环节示意图

甲亢治疗和甲癌治疗过程的污染因子主要是： γ 射线、 β 射线、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物等。

9.2 污染源项描述

9.2.1 正常工况

(1) 放射性药物的注射过程中，操作人员将受到放射性药物的外照射。 ^{99m}Tc 核素衰变过程中主要释放出 γ 射线； ^{18}F 核素衰变过程中主要释放出 β^+ 射线及正电子与负电子湮灭时产生的 γ 射线； ^{131}I 核素在衰变过程中主要释放 β 射线和 γ 射线。

(2) 接受核素诊疗的病人注射或服用放射性药物后，短时间内人体便是一个辐射体（源），对周围的环境释放 γ 射线。

(3) 进行 PET-CT、SPECT-CT 出束扫描时，会产生 X 射线、臭氧及氮氧化物。

(4) 表面污染：工作人员在操作非密封放射性药物时，不可避免的会引起工作台、地面等放射性沾污，造成 β 放射性表面污染。

(5) 放射性固体废物：根据建设单位提供的资料， ^{18}F 、 ^{99m}Tc 药物注射过程中产生的废注射器、消毒棉签、废吸水纸、废口罩、废手套、放射性污染防护

服等； ^{131}I 用于甲功测量、甲亢治疗及甲癌治疗，均采取口服的方式进行给药，患者使用过的一次性口杯、废吸水纸、废口罩、废手套、放射性污染防护服，及患者呕吐物及擦拭物等；工作场所清洁时用过的抹布及拖布；吸附放射性废气产生的废活性炭等滤材。

核素诊断区域和核素治疗区域日最大门诊接诊人数分别为 25 人和 40 人，放射性固体废物按人均每天 0.05kg 计，则放射性固体废物每天产生量分别为 1.25kg/d (312.5kg/a) 和 2.0kg/d (500kg/a)。 ^{131}I 甲癌住院病人每天会产生带 ^{131}I 核素的生活垃圾，产生量约 0.5kg/d·人次，核医学科共 3 个床位，即住院病人产生带 ^{131}I 核素的生活垃圾约 547.5kg/a。核医学科废气排放口均设置有活性炭过滤器，每层核医学科废活性炭产生量约为 100kg/a。

综上所述，核医学科半衰期小于 24h 的放射性固体废物产生量约 412.5kg/a，核医学科半衰期大于 24h 的放射性固体废物产生量约 1147.5kg/a，共计 1560kg/a。

(6) 放射性废水：患者注射或服用放射性药物后，所产生的的排泄物、呕吐物及冲洗水等含有放射性核素废水，另外，药物操作人员清洁去污及工作场所清洁时产生的废水，主要含有 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 。

核医学科一层诊断区域有 2 名辐射工作人员，负责药物注射；核医学科二层治疗区域有 2 名辐射工作人员，负责药物注射、分装和甲功测定。

1) 一层诊断区域每天接门诊患者最多 25 人，二层治疗区域每天接诊门诊患者最多 32 人，门诊患者废水产生量参考《行业用水定额》(DB61/T943-2020) 表 B.12，取 11L/人·次，保守考虑全部排放；

2) 二层治疗区域操作甲癌药物的人员 1 人，参考《建筑给水排水设计标准》(GB50015-2019) 表 3.2.2，该核素操作人员用水量按 60L/人·d 计；

3) 二层治疗区域设置 3 个床位，住院患者废水产生量参考《综合医院建筑设计规范》(GB51039-2014)，取 120L/床·d；

4) 每层核医学科场所清洁预计每天产生废水量 50L/d。

核医学科一层和二层产生的放射性废水见表9-5。

表 9-5 核医学科一层和二层放射性废水产生量

用水类别	废水产生量	用水规模	年工作 天数	废水产生量		去向
				m ³ /d	m ³ /a	
一层 注射人员	60L/人·d	2 人	250 天	0.12	30.0	短半衰期
诊断 诊断患者	11L/人·d	25 人	250 天	0.275	68.8	衰变池

区域	场所清洁用水	50L/d	/	250 天	0.05	12.5	长半衰期 衰变池
合计					0.625	156.3	
二层 治疗 区域	药物操作人员	60L/人·d	1 人	365 天	0.06	21.9	
	住院患者	120L/床·d	3 床	365 天	0.36	131.4	
	场所清洁用水	50L/d	/	365 天	0.05	18.3	
合计					0.47	171.6	

本项目半衰期小于 24h 的放射性废水产生量为 $0.625\text{m}^3/\text{d}$ ($156.3\text{m}^3/\text{a}$)，半衰期大于 24h 的放射性废水产生量为 $0.47\text{m}^3/\text{d}$ ($171.6\text{m}^3/\text{a}$)。

(7) 放射性废气：本项目核医学操作过程中会产生一定量的放射性气体，如 ^{131}I 药物自动分装产生的放射性废气以及 ^{131}I 治疗中患者呼出的放射性废气，主要含 ^{131}I 。

(8) 非放射性污染源：本项目 PET-CT 室及 SPECT-CT 室内的空气受到 X 线照射时会产生一定量的臭氧和氮氧化物。

9.2.2 事故工况

(1) 操作人员违反操作规程或操作不慎打翻药物，产生了较多的放射性废物；

(2) 操作台面或仪器设备受到放射性沾污；

(3) 给药室内自动分装仪负压系统失效，导致放射性废气逸散至药室，工作人员吸入后，造成内照射；

(4) 放射性核素及废物被盗、丢失等，并可能通过食物链转移或伤口造成人体内照射危害。

事故工况下的污染因子与正常工况下基本相同，主要为： β 射线、 γ 射线、X 射线、放射性废水、放射性废气、放射性固体废物。

表 10 辐射安全与防护

10.1 辐射安全防护措施和设施

10.1.1 工作场所布局

本项目核医学科位于医院教学综合楼一层及二层，平面布局见图 1-4 至图 1-6。

10.1.2 工作场所分级和分区管理

10.1.2.1 工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对非密封放射性物质工作场所的分级要求，确定本项目辐射工作场所等级。

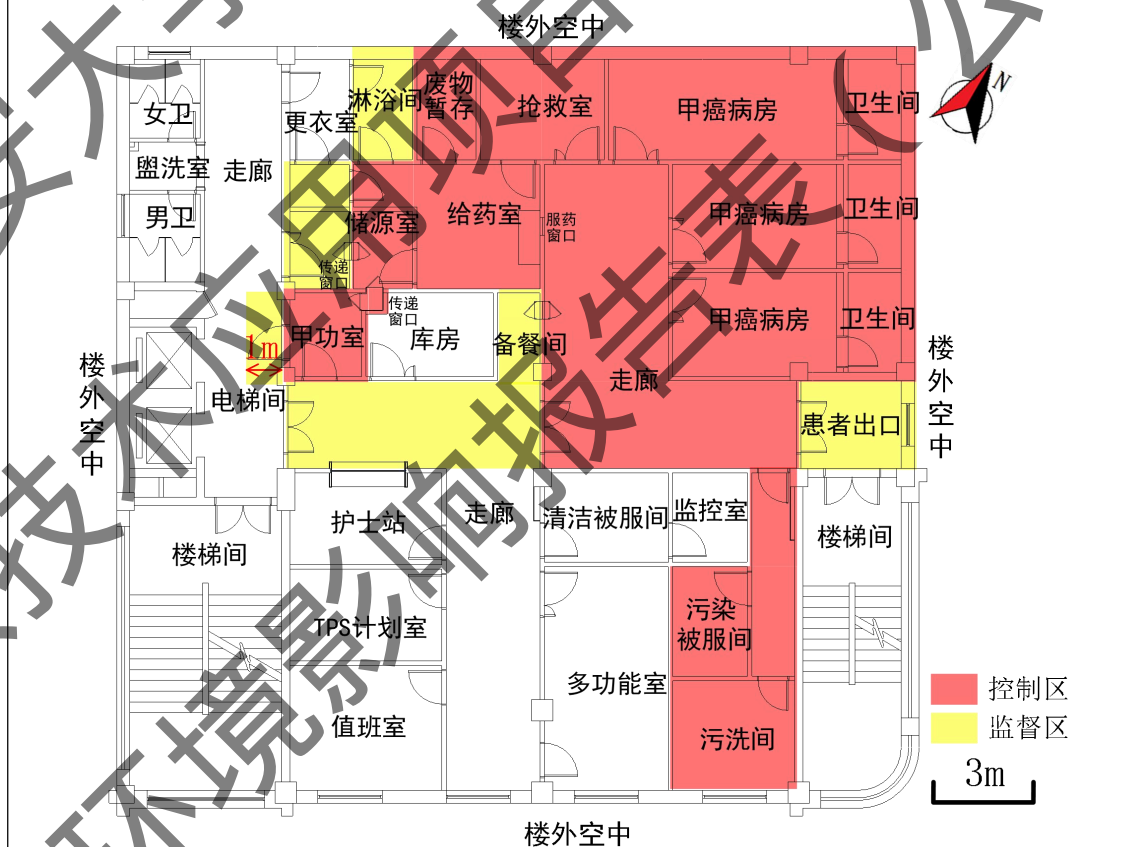
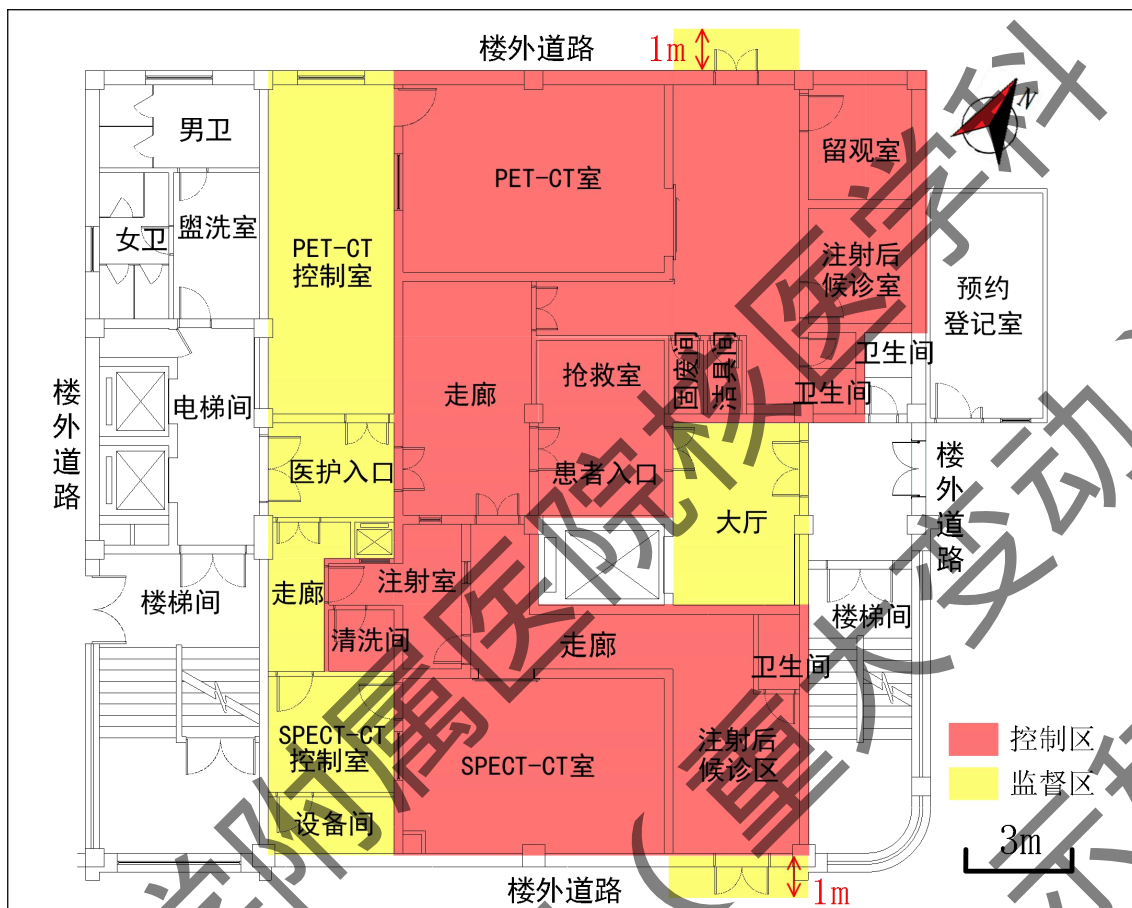
表 10-1 核医学科各场所核素使用情况

项目	核素	日最大用量 (Bq)	操作方式	理化 性质	毒性因子	年最大用量 (Bq)	日等效最大 操作量
一层诊 断场所	^{18}F	3.70×10^9	很简单: 10	液态	低毒: 0.01	9.25×10^{11}	3.70×10^6
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.39×10^{10}	很简单: 10	液态	低毒: 0.01	3.48×10^{12}	1.39×10^7
合计							1.76×10^7
二层治 疗场所	^{131}I	1.11×10^7	简单: 10	固态	中毒: 0.1	2.78×10^9	1.11×10^5
	^{131}I	3.70×10^9	简单: 1	液态	中毒: 0.1	9.25×10^{14}	3.70×10^8
	^{131}I	2.22×10^{10}	简单: 1	液态	中毒: 0.1	1.11×10^{12}	2.22×10^9
合计							2.59×10^9

根据上表计算结果，本项目一层诊断场所日等效最大操作量为 $1.76 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于丙级非密封放射性物质工作场所；二层治疗场所日等效最大操作量为 $2.59 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

10.1.2.2 工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关要求，将本项目划为控制区及监督区管理。本次将 PET-CT 室、SPECT-CT 室、抢救室、注射室、注射后候诊室、留观室、给药后患者卫生间、甲癌病房、给药室、储源室、甲功室、污洗间、污染被附件、废物暂存间等区域划为控制区，将与控制区相连的走廊、淋浴间、PET-CT 控制室、SPECT-CT 控制室等区域划为监督区。本项目分区管理情况见图 10-1 至图 10-3。



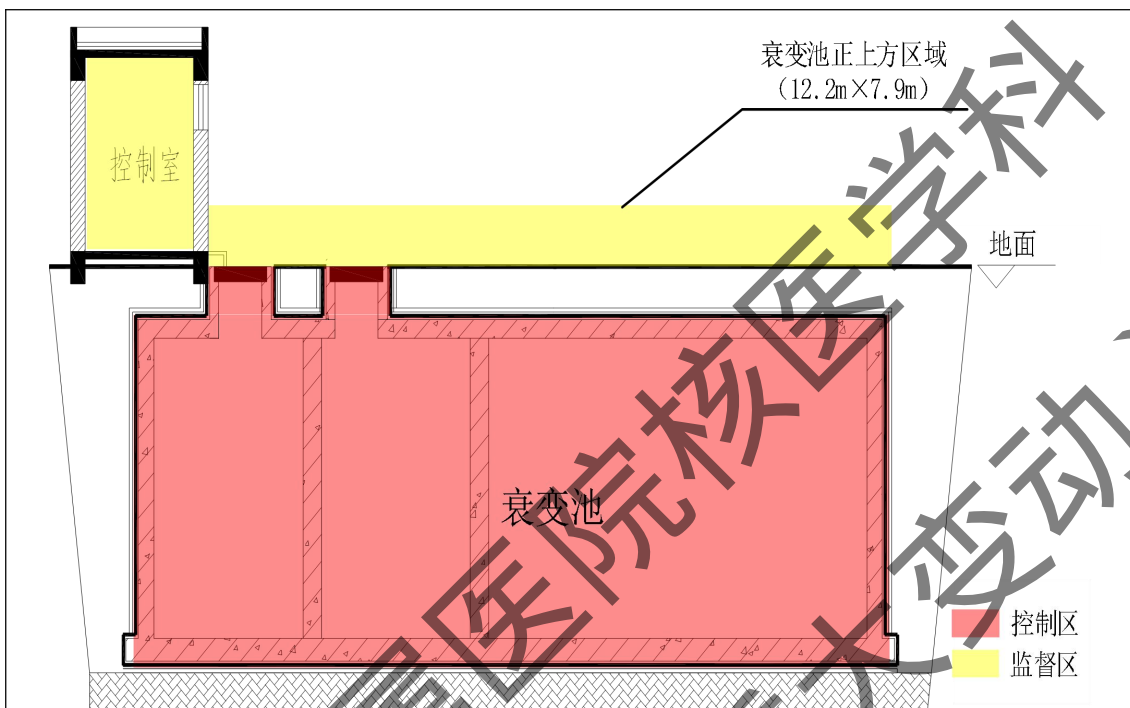


图 10-3 分区管理示意图（衰变池）

10.1.3 人员及物资路径规划

10.1.3.1 一层核医学科诊断区域

（1）工作人员路线

工作人员由西侧楼梯进入，经医护入口，PET-CT 操作人员向北进入控制室，SPECT-CT 操作人员及注射人员向南进入各自岗位，工作结束后工作人员原路返回。工作人员工作时间为 8:00-12:00，14:00-18:00。

（2）患者路线

SPECT 诊断患者由东侧入口进入，前往注射室东侧窗口注射，注射后在候诊区候诊，达到检查条件后前往 SPECT-CT 室进行检查，检查后由南侧出口离开核医学科。诊断患者就诊时间为 8:00-12:00，14:00-18:00。

PET 诊断患者由东侧入口进入，前往注射室北侧窗口注射，注射后前往病人休息室候诊，达到检查条件后进入 PET-CT 室检查，检查结束后在留观室进行短暂留观后从北侧出口离开核医学科。诊断患者就诊时间为 8:00-12:00，14:00-18:00。

（3）放射性药物路线

一层使用的放射性药物在负一层制药区域生产分装后，每个患者注射开始前直接由供药电梯送单支药物至注射室。

(4) 放射性固体废物路线

一层核医学科诊断区域产生的放射性固体废物在下班后的无人时段（19:00-19:30）收集打包后，送至一层固废间暂存 30 天。放射性固体废物满足清洁解控要求后选择下班后的无人时段（19:00-19:30）由北侧出口运出核医学科区域。

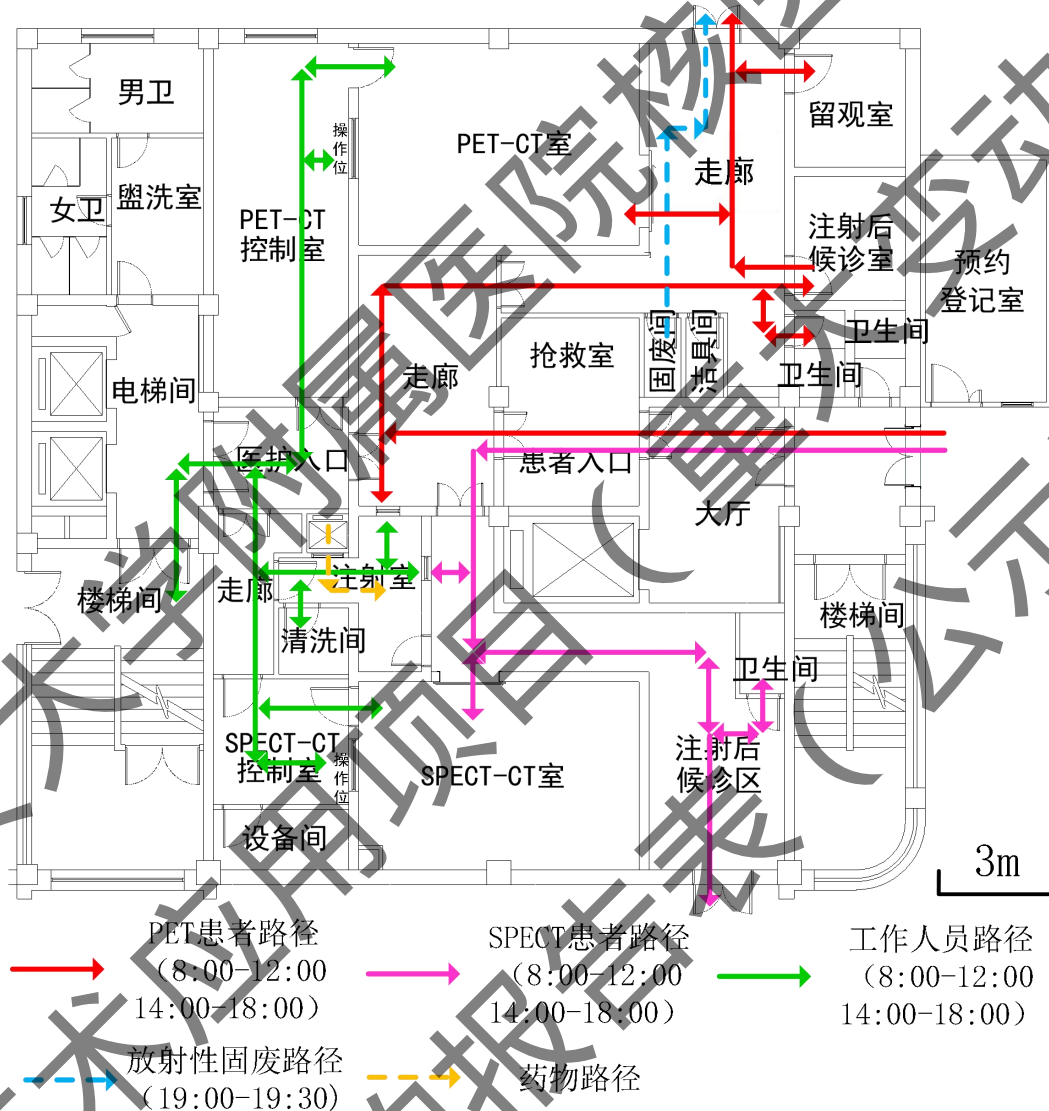


图 10-4 人流物流路径图（教学综合楼一层）

10.1.3.2 二层核医学科治疗区域

(1) 工作人员路线

工作人员由西北角医护入口进入，经更衣室更衣后进入给药室；工作结束后经淋浴间冲淋后并在更衣室更衣后，离开工作区域。工作人员工作时间为 8:00-12:00，14:00-18:00。

(2) 患者路线

甲癌治疗患者由西侧患者入口进入核医学科，在服药窗口处服药后进入病房住院治疗。满足出院要求后由东侧患者出口离开。患者就诊时间为 8:00-12:00。

甲亢患者由西侧患者入口进入核医学科，在服药窗口处服药后由东侧患者出口离开。患者就诊时间为 8:00-12:00。

甲功测定患者在预约登记处领取电梯卡由西侧专用电梯到达二层，之后直接进入甲功室检查，完成检查后原路返回，离开时将电梯卡交回。患者就诊时间为 8:00-12:00，14:00-18:00。

(3) 放射性药物路线

二层治疗区域使用的放射性药物选择每日上班前时 7:00-7:30 期间经西侧核医学科专用电梯送至二层后经送药通道送至储源室。

(4) 放射性固体废物路线

二层治疗区域产生的放射性固体废物满足清洁解控要求后，暂存结束后选择下班后的无人时段（19:00-19:30）期间由东侧患者出口运离核医学科区域。

综上所述，本项目设置了相对独立的人员、药物、废弃物路径，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中对路径设置的要求。

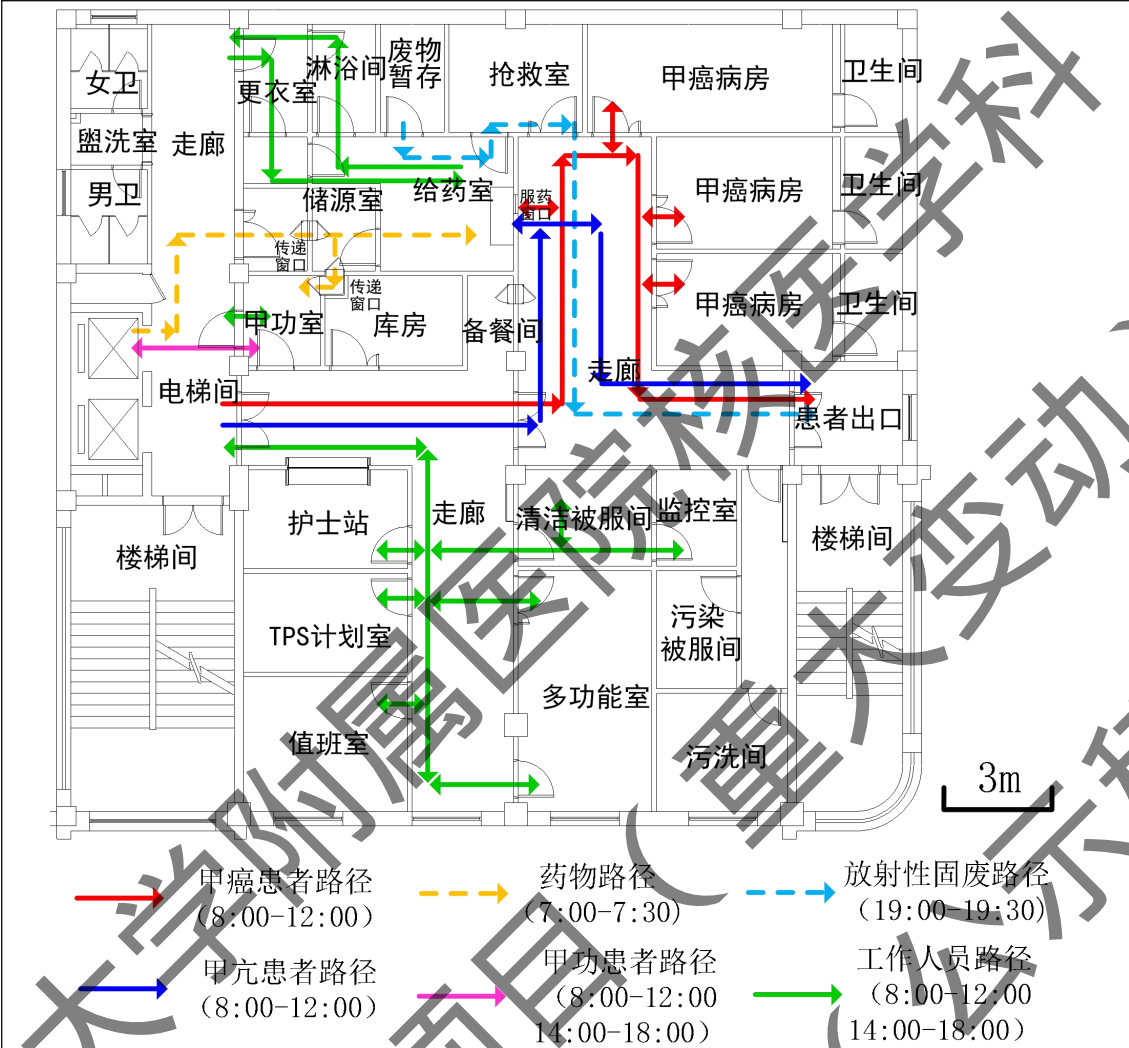


图 10-5 人流物流路径图（教学综合楼二层）

10.1.4 屏蔽设计情况

本次评价核医学科屏蔽设计情况见表 10-2。

表 10-2 屏蔽设计方案

本项目场所	防护部位	屏蔽设计
一层核医学诊断场所		
注射室	四周墙体	370mm 实心砖
	屋顶	120mm 混凝土+20m 铅板
	地面	120mm 混凝土
	西侧防护门、东侧防护门	7mmPb 铅防护门
	PET 注射窗	50mmPb 注射窗
	SPECT 注射窗	2mmPb 注射窗
注射后候诊室	北墙、西墙	240mm 实心砖+8mm 铅板
	南墙	240mm 实心砖+12mm 铅板
	东墙	240mm 实心砖+12mm 铅板+ 240mm 实心砖（预约登记室西墙）
	屋顶	120mm 混凝土+15mm 铅板

	地面	120mm 混凝土
	防护门	21mmPb
PET-CT 室	四周墙体	240mm 实心砖+8mm 铅板
	屋顶	120mm 混凝土+15mm 铅板
	地面	120mm 混凝土+2mm 铅板
	患者门	6mmPb
	工作人员门	6mmPb
	观察窗	6mmPb 防护玻璃板
候诊卫生间	四周墙体	240mm 实心砖+8mm 铅板
	屋顶	120mm 混凝土
	地面	120mm 混凝土
	防护门	15mmPb
留观室	东墙	370mm 实心砖
	其余墙体	240mm 实心砖
	屋顶	120mm 混凝土
	地面	120mm 混凝土
	防护门	21mmPb
抢救室	南墙	120mm 实心砖+80mm 重晶石涂料
	其余墙体	120mm 实心砖+100mm 重晶石涂料
	屋顶	120mm 混凝土
	地面	120mm 混凝土
	防护门	12mmPb
SPECT-CT 室	四周墙体	370mm 实心砖+80mm 重晶石涂料
	屋顶	120mm 混凝土+2.5mm 铅板
	地面	600mm 混凝土
	防护门	4mmPb
	观察窗	4mmPb 防护玻璃板
候诊区	南墙	120mm 实心砖+40mmPb 重晶石涂料
	其余墙体	120mm 实心砖+80mmPb 重晶石涂料
	屋顶	120mm 混凝土+1mm 铅板
	地面	600mm 混凝土
	防护门	2mmPb
卫生间	北墙、东墙	370mm 实心砖
	西墙、南墙	120mm 实心砖+130mm 重晶石涂料
	屋顶	120mm 混凝土
	地面	600mm 混凝土
	防护门	2mmPb
二层核医学治疗场所		
甲功室	四周墙体	120mm 实心砖+50mm 重晶石涂料
	屋顶	120mm 混凝土+70mm 重晶石涂料

	地面	120mm 混凝土+10mm 重晶石涂料+6mm 铅板
	防护门	2mmPb
	传递窗	30mmPb
给药室	北、东墙体	12cm 实心砖+14cm 重晶石防护涂料
	西、南墙体	12cm 实心砖+12cm 重晶石防护涂料
	屋顶	340mm 混凝土+6mm 铅板+12mm 重晶石防护涂料
	地面	180mm 混凝土+6cm 重晶石防护涂料
	服碘窗口	30mmPb 防护玻璃板
储源室	北、西、东墙体	24cm 实心砖
	南墙体	37cm 实心砖
	屋顶	120mm 混凝土+2mm 铅板
	地面	120mm 混凝土+2mm 铅板
	防护门	9mmPb
	传递窗	30mmPb
抢救室	四周墙体	370mm 实心砖
	屋顶	120mm 混凝土+14mm 铅板
	地面	120mm 混凝土+14mm 铅板
	防护门	20mmPb
甲癌病房	四周墙体	120 实心砖+60mm 重晶石涂料
	屋顶	340mm 混凝土+6mm 铅板+120mm 重晶石涂料
	地面	120mm 混凝土+60mm 重晶石
	防护门	17mmPb
衰变池		
衰变池	四周池体	300mm 混凝土
	上方	300mm 混凝土+700mm 土层
	上方检修口	200mm 重晶石盖板
	底面	300mm 混凝土
注：本项目三间甲癌病房屏蔽措施相同。		

10.1.5 辐射安全防护设施

本项目辐射安全防护措施见表10-3。

表 10-3 核医学科辐射安全防护措施清单

场所	安全措施	位置	功能
核医学科整体	单向门禁	核医学出入口处	防止无关人员进入
	电离辐射警告标志		提示此处可能有辐射危害
	分区标识		提示控制区范围
PET-CT 室及 SPECT-CT 室	观察窗及视频监控	机房内	便于工作人员掌握机房内情况及防护门状态

	电离辐射警告标志	防护门上	提示此处可能有辐射危害
	急停按钮	设备机身上、控制台	遇紧急情况及时停止出束
	红外防夹装置	患者门	防止人员被夹伤
	自动闭门装置	工作人员门	保持防护门关闭，避免出束时门未关闭
	通风装置	机房内	将射线装置产生的有害气体排出机房
甲癌病区	视频监控	病房内	确保工作人员远程掌握病房内情况
	病房门禁		限制患者活动范围
	出院检测装置	出院通道	确保患者出院时满足体内活度限值要求

本项目PET-CT室及SPECT-CT室辐射安全防护措施见图10-6及图10-7。

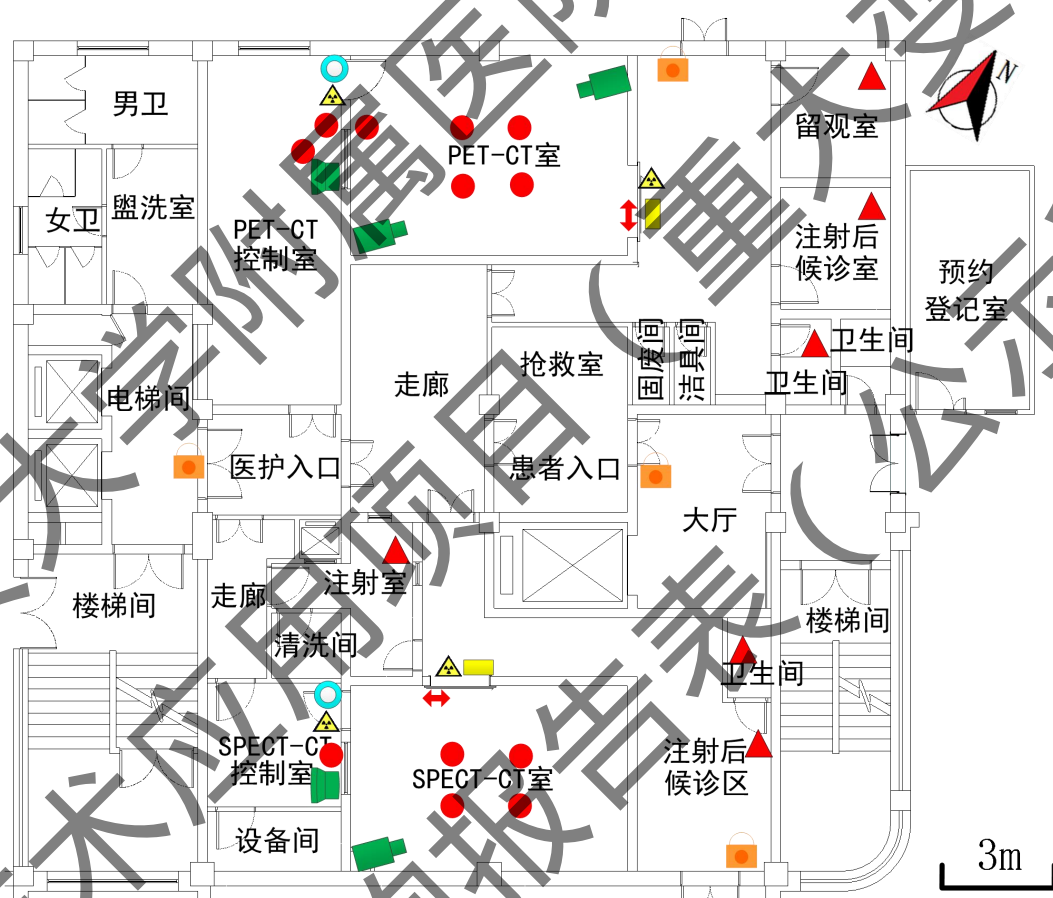


图 10-6 辐射安全防护措施布置图（教学综合楼一层）

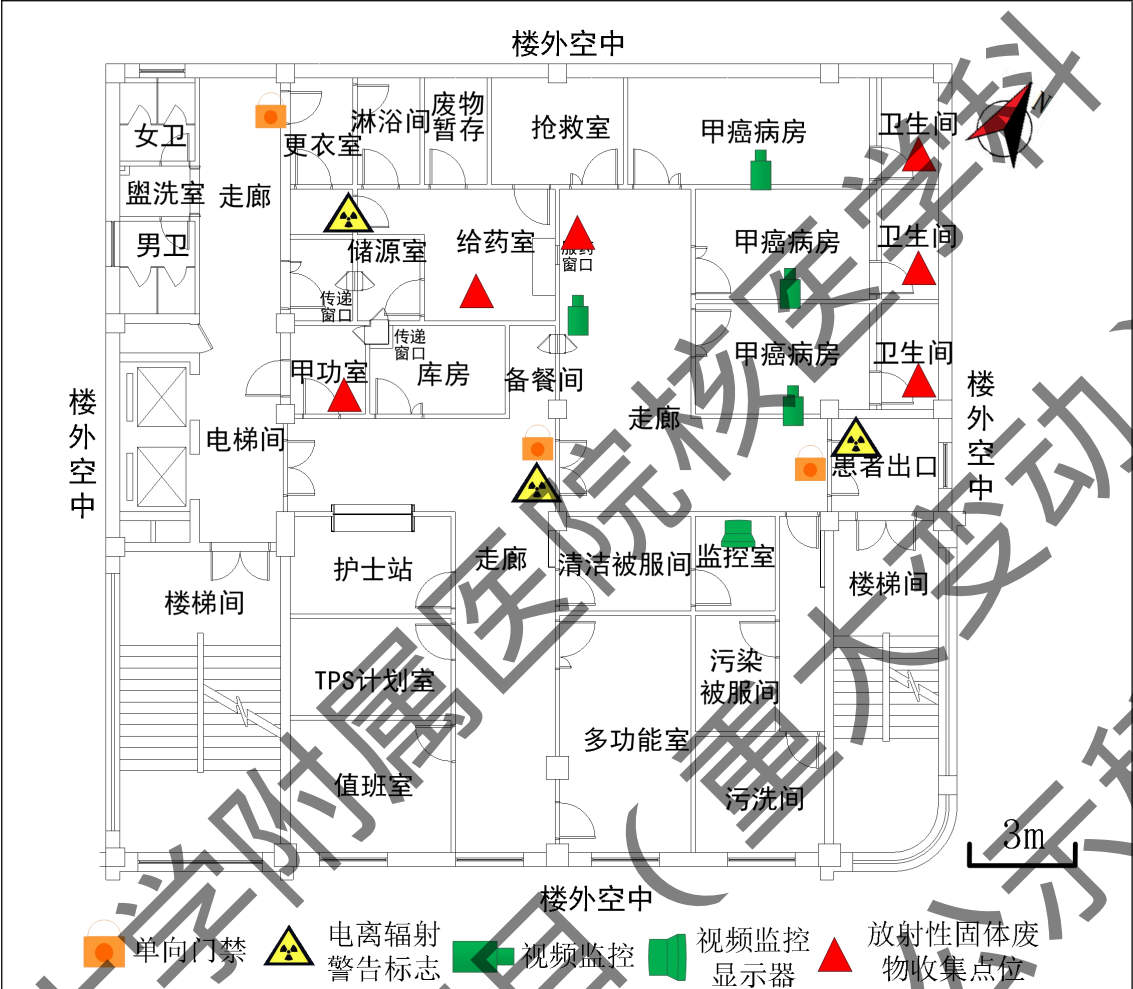


图 10-7 辐射安全防护措施布置图（教学综合楼二层）

10.1.6 防护用品配备

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关要求，本项目辐射防护用品见表10-4。

表 10-4 个人防护用品配备

区域	防护用品	数量
一层 SPECT 诊断区域	放射性污染防护服	按需配备
	铅衣、铅围裙、铅围脖	3 套
一层 PET 诊断区域、 二层核医学科治疗区域	放射性污染防护服	按需配备

10.2 “三废”治理

10.2.1 放射性废气

本项目设置了相对独立的排风管道，收集核医学科工作场所产生的放射性废气。

二层核医学科治疗区域设置 5 条排风管线，一层核医学科诊断区域设置 3

条排风管线，管线及其连通的场所见表 10-5。

表 10-5 排风管线设计及连通场所

排风 管线	场所位置	连通场所
1	教学综合楼 二层	自动分装仪
2		甲癌病房及卫生间
3		储源室、废物暂存间
4		患者出口、污洗间、清洁被服间、监控室、走廊、抢救室、甲功室、给药室
5		监控室、多功能室、清洁被服间、TPS 计划室、值班室、护士站、走廊、淋浴间
6	教学综合楼 一层	留观室、病人休息室、卫生间、抢救室
7		SPECT-CT 室、卫生间、注射室、走廊、PET-CT 室
8		SPECT-CT 控制室、医护入口、PET-CT 控制室

本项目核医学科控制区放射性废气管道与其他区域排风管道独立设置。碘自动分装仪、贮存含 ^{131}I 废物的固废间、 ^{131}I 储源室、甲癌病房等位置产生的放射性废气单独收集。

排放口位置高出教学综合楼楼顶（6 层）屋面，距地面约 25m，排放口朝上设置，周围无高层建筑，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关要求。排风管道布局图见图 10-8 及图 10-9。



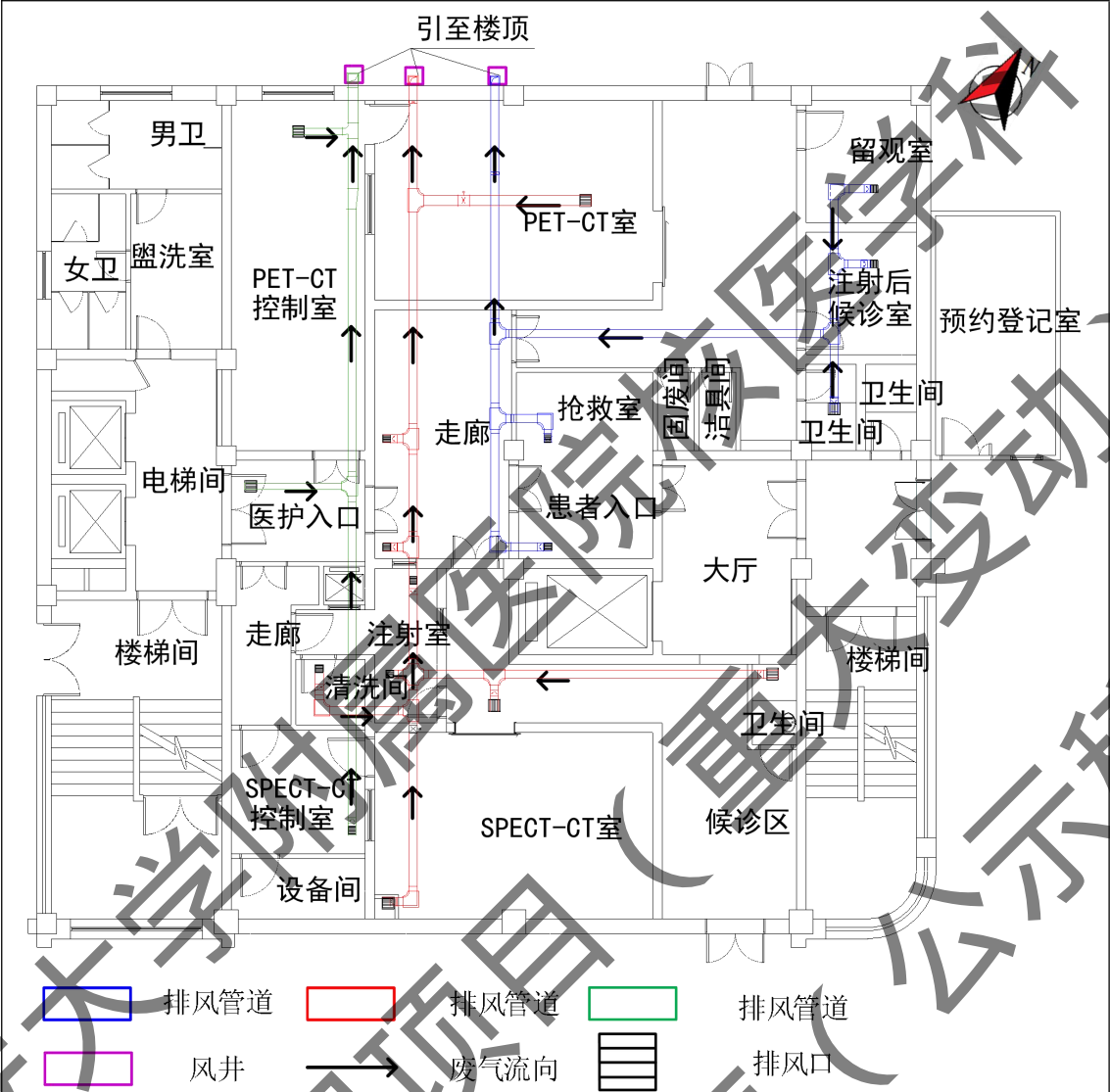


图 10-9 排风管道布局图（教学综合楼一层）

核医学科工作场所通风系统设计参数见表 10-6。

表 10-6 核医学科通风系统设计参数

房间	新风量 (m³/h)	排风量 (m³/h)	压差 (Pa)
一层核医学科诊断区域			
SPECT-CT 室	600	840	-10
SPECT-CT 控制室	120	144	-5
候诊区	200	250	-5
卫生间（SPECT 区域）	-	100	-15
注射室	50	60	-5
洁具间	-	100	-5
抢救室	250	350	-10
患者走廊	250	300	-5
PET-CT 室	550	770	-10

PET-CT 控制室	350	420	-5
PET-CT 候诊留观区	200	200	0
留观室	50	60	-5
注射后候诊室	50	60	-5
卫生间（PET 区域）	-	100	-15
二层核医学科治疗区域			
甲癌病房	210	294	-10
甲癌病房卫生间	-	150	-15
患者走廊	400	480	-5
抢救室	150	210	-10
废物暂存	-	150	-15
给药室	150	210	-10
储源室	150	225	-15
甲功室	50	60	-5
清洁被服间	50	60	-5
污染被服间	50	70	-10
污存污洗间	-	300	-10
淋浴间	-	100	-5
药物通道	100	120	-5

根据表 10-6 可知，本项目核医学科通过通风风量设计，在不同区域间形成了气压梯度，从而防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关要求。

10.2.2 放射性废水

10.2.2.1 放射性废水收集

项目核医学科二层治疗区域产生的放射性废水通过长半衰期放射性废水管道收集，引至西北角经污水立管排至一层下方夹层，最终排至长半衰期衰变池。二层放射性废水管道设计见图 10-10。

项目核医学科一层诊断区域产生的放射性废水通过短半衰期放射性废水管道收集，经一层下方夹层引至南侧，最终排至短半衰期衰变池。一层放射性废水管道设计见图 10-11。

负一层放射性废水管道未发生变化，建设情况见图 10-12。

核医学科各层放射性废水经管道引至一层下方夹层后，并行进入室外管沟，最终排至衰变池。

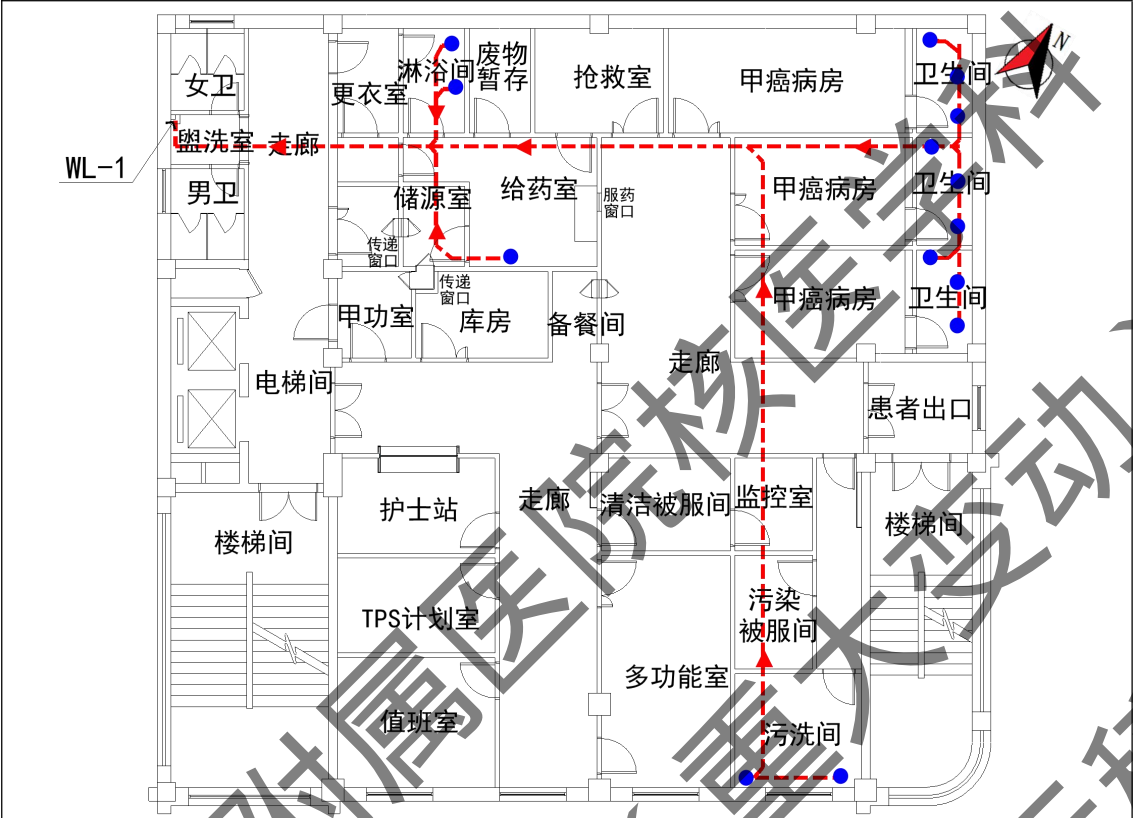


图 10-10 放射性废水管道布局图（教学综合楼二层）

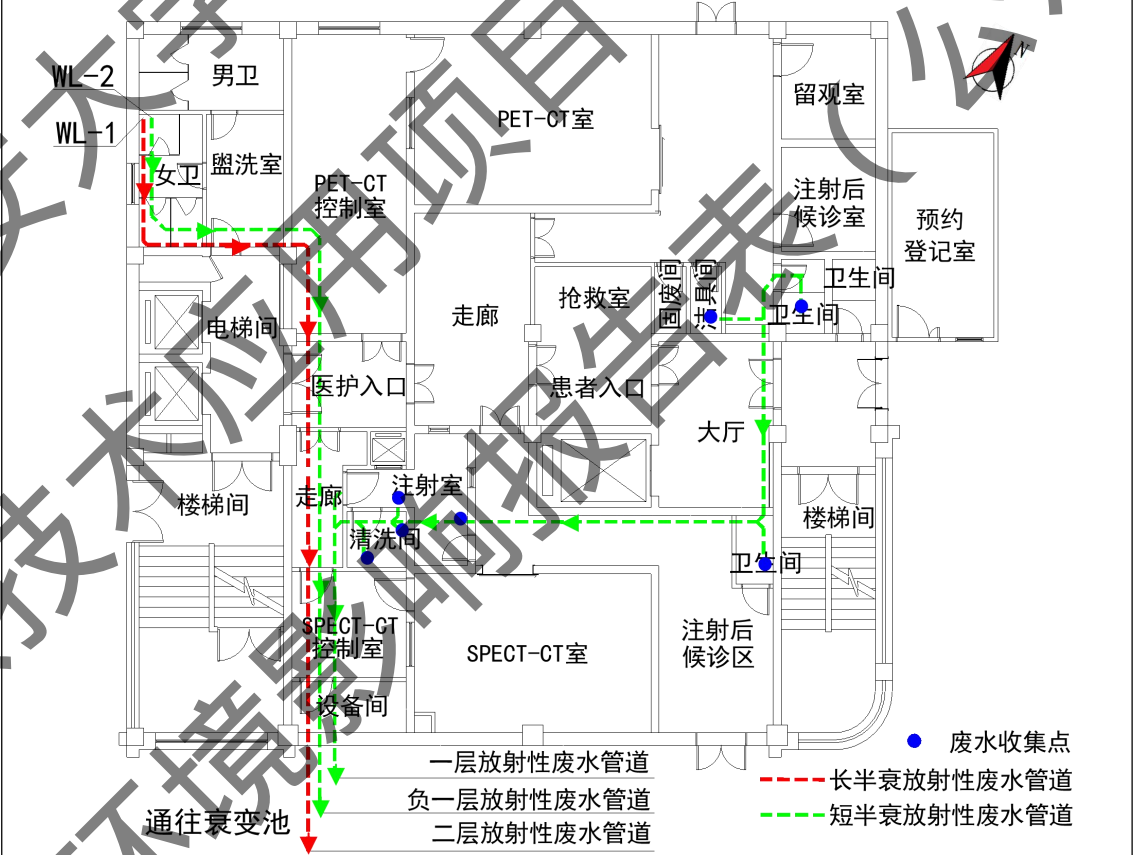


图 10-11 放射性废水管道布局图（教学综合楼一层）



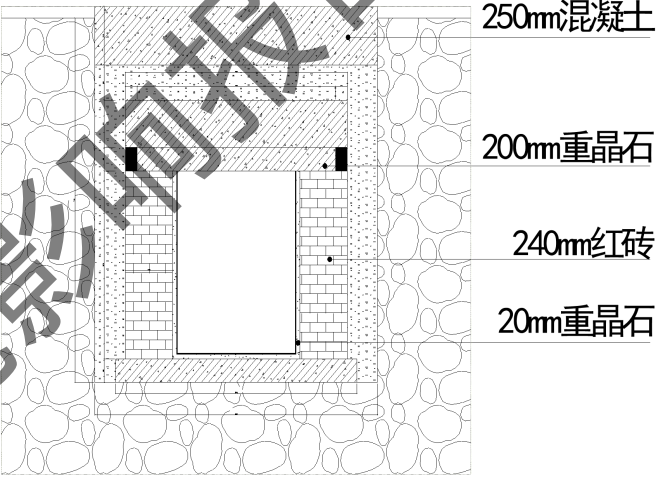
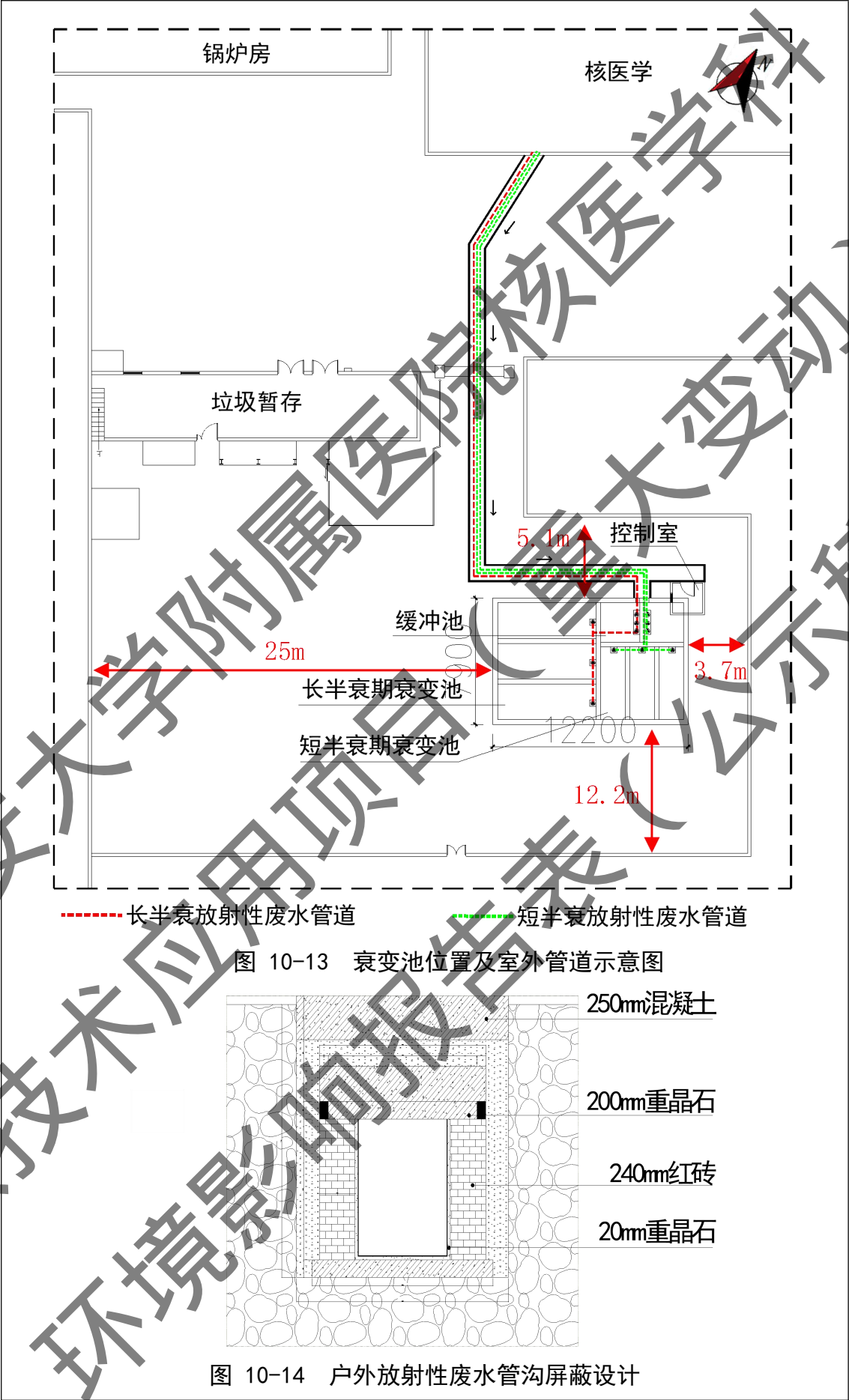
图 10-12 放射性废水管道建设情况（教学综合楼负一层）

核医学科室内管道采用重力自流的形式汇集到西北角，途径的甲癌病房、给药室、储源室、淋浴间患者走廊等位置多为核医学科辐射工作场所下方，一层大厅、二层走廊、盥洗室等位置人员较少停留。放射性废水通过排水立管汇集到负一层下方集水坑，由提升泵提升至一层下方后自流至南侧衰变池。

核医学科设置三根放射性废水室外主管道，分别为负一层短半衰放射性废水管道，一层短半衰放射性废水管道及二层长半衰放射性废水管道；室外管道长度均为 42 米，平行敷设在管道沟内，管道最高点位于地下 0.7 米，最低点位于地下 1.5 米，设计坡度 2%。

放射性废水管道室外部分经过教学综合楼南侧道路，经第一住院部后花园北侧入口进入，连通衰变池。衰变池距离第一住院部最小为 3.7m。

室外放射性废水管道设计见图 10-13，室外管沟屏蔽设计见图 10-14。



10.2.2.2 放射性废水处理

本项目建设 1 套放射性废水衰变池系统用于放射性废水暂存,包括 1 组长半衰期衰变池用于暂存核素半衰期大于 24h 的放射性废水及 1 组短半衰期衰变池用于暂存核素半衰期小于 24h 的放射性废水。

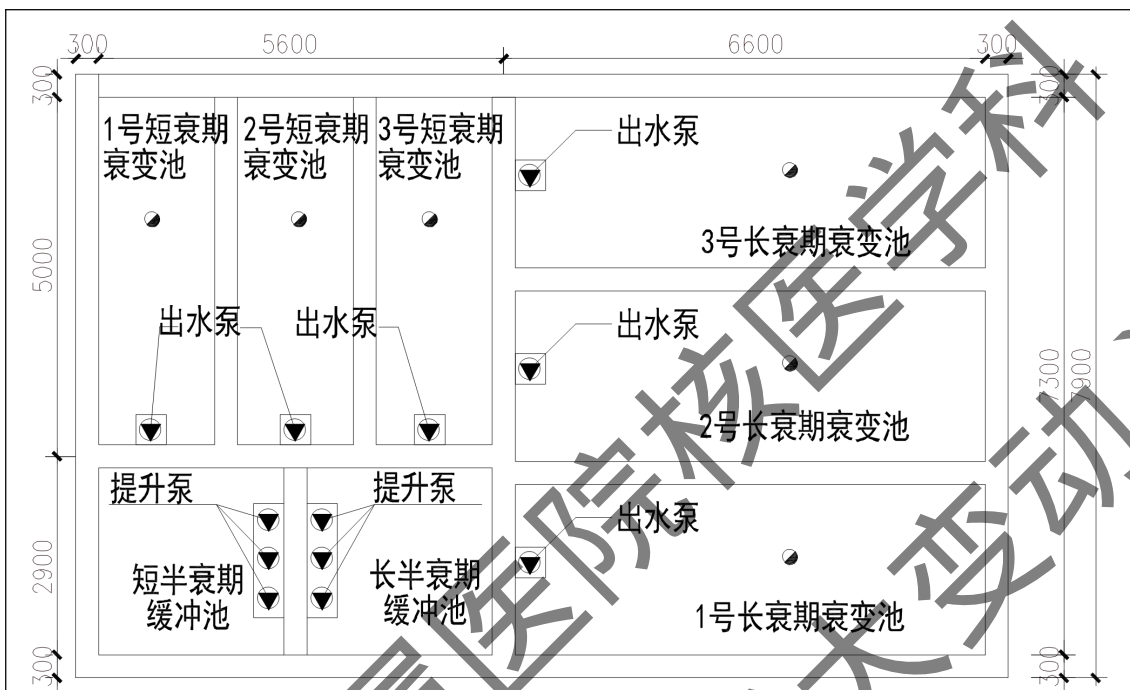
每组衰变池前各设置 1 个缓冲池,用于放射性废水预处理。缓冲池尺寸为 $4.5\text{m}\times 1.95\text{m}\times 3.95\text{m}$,有效容积为 26m^3 。

短半衰期衰变池由 3 个池体组成,用于贮存半衰期小于 24h 的放射性废水(主要含 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$)。单个短半衰期衰变池尺寸为 $4.85\text{m}\times 1.80\text{m}\times 4.20\text{m}$,有效容积为 28m^3 ,3 级衰变池总有效容积为 84m^3 。

长半衰期衰变池由 3 个池体组成,用于贮存半衰期大于 24h 的放射性废水(主要含 ^{131}I)。单个长半衰期衰变池尺寸为 $6.45\text{m}\times 2.48\text{m}\times 4.20\text{m}$,有效容积为 56m^3 ,3 级衰变池总有效容积为 168m^3 。

放射性废水由专用管道引至衰变池时,电控阀门控制放射性废水流入一号池,一号池注满(到达设定水位)后,池中的传感器发出信号,一号池进水口阀门自动关闭,二号池进水口阀门自动开启,后续放射性废水进入二号池;同理,二号池注满后,电控阀门自动控制废水进入三号衰变池;三号池即将注满时,一号池中废水已满足暂存时间要求,出水阀自动开启,排出污水后执行清洗程序,并在三号池注满前清空,随后废水进入一号池。两组衰变池处理流程相同。

本项目衰变池设计见图 10-15 及图 10-16。



10.2.3 放射性固体废物

本项目产生的放射性固体废物根据核素半衰期分类收集。一层诊断区域产生的放射性固体废物半衰期小于 24h，收集后在一层固废间暂存 30 天，经检测满足清洁解控标准后按医疗废物处理；二层核素治疗区域产生的放射性固体废物半衰期大于 24h，收集后暂存于二层固废暂存间，含 ^{131}I 的放射性废物暂存 180 天，经检测满足清洁解控标准后按医疗废物处理。共设置 12 个铅污物桶（8mmPb）用于放射性固体废物收集，收集点位置见图 10-16 及图 10-7。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本次评价的核医学科已分别于 2016 年与 2019 年取得环评批复,取得批复后对应区域开工建设。项目已完成整体工程建设,故本次评价不考虑建设阶段对环境的影响。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 γ 射线影响

11.2.1.1 计算公式

①对于点源的屏蔽,符合瞬时剂量率控制水平的屏蔽厚度 x 可由以下公式计算得出:

$$x = TVL \times \lg\left(\frac{A \times \Gamma}{H_p \times r^2}\right) \quad (11-1)$$

式中:

- x —— 符合剂量率控制水平的墙体屏蔽厚度, 单位 mm;
 TVL —— γ 射线在防护材料的十分之一值层厚度, 单位 mm;
 A —— 放射源活度, 单位 MBq;
 Γ —— 距源 1m 处的周围剂量当量率常数, 单位 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$;
 r —— 为参考点与放射源间距离, 单位 m;
 H_p —— 对参考点处要求的瞬时剂量率控制水平, 单位 $\mu\text{Sv/h}$;

②经屏蔽后关注点处的剂量率:

$$H_R = A \times \Gamma \times r^{-2} \times 10^{-\frac{x}{TVL}} \quad (11-2)$$

式中:

- H_R —— 经屏蔽后关注点的剂量率, 单位 $\mu\text{Sv/h}$;
 r —— 为参考点与放射源间距离, 单位 m;
 A —— 放射源活度, 单位 MBq;
 Γ —— 距源 1m 处的周围剂量当量率常数, 单位 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$;
 TVL —— γ 射线在防护材料的十分之一值层厚度, 单位 mm;
 x —— 屏蔽体的屏蔽厚度, mm。

11.2.1.2 剂量率控制目标值

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)及生态环境部关于《核

医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)相关条款咨询的复函(辐射函(2023)20号)中工作场所屏蔽要求,本评价报告中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 $10\mu\text{Sv/h}$;手套箱、注射窗外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$;手套箱非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

11.2.1.3 计算参数选取

本次评价核医学科屏蔽计算相关参数见表11-1。

表 11-1 核素屏蔽计算相关参数

核素	裸源源强 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	人体源源强 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	TVL (mm)			
			混凝土 2.35g/cm^3	砖 1.65g/cm^3	铅 11.3g/cm^3	重晶石 3.2g/cm^3
^{18}F	0.143	0.092	176	263	16.6	/
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.0303	0.0207	110	160	1	32
^{131}I	0.0595	0.0583	170	240	11	77.5

注1:混凝土、砖、铅数据引自《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录H、I、L;

注2:重晶石涂料数据引自《放射防护实用手册》图6.5。

对于一层核医学科诊断区域,注射后候诊室、留观室的距离,按中心点距四周屏蔽体距离取值;对SPECT-CT及PET-CT检查室,以设备摆放位置中心点距四周屏蔽体距离取值,根据诊断流程,PET候诊室与留观室按照最多1人,SPECT候诊区域按照最多3人分别进行源强估算;对卫生间,以厕位距四周屏蔽体距离取值;对于屏蔽体外凌空的位置,关注点取在下方地面。

对于二层核医学科治疗区域,配药室和药物运动路径距四周墙体和防护门的距离近似取值,抢救室和甲癌病房以病床摆放位置距离四周墙体和防护门距离近似取值。

11.2.1.4 屏蔽能力核算

核医学科场所屏蔽核算结果见表11-2。

表 11-2 核医学科屏蔽核算结果

场所名称	A (MBq)	Γ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	核算位置	R (m)	H_p ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽设计/等效铅当量	是否 符合	屏蔽体外剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
一层核医学诊断场所								
注射室	370 (^{18}F , 考虑单 人用量)	0.143 (裸源)	北墙	1.0	10	370mm 实心砖	符合	2.07
			西墙	2.1	2.5	370mm 实心砖	符合	0.470
			南墙	3.6	10	370mm 实心砖	符合	0.160
			东墙	1.3	10	370mm 实心砖	符合	1.23
			屋顶	2.8	2.5	120mm 混凝土+20mm 铅板	符合	8.78×10^{-2}
			地面	3.8	2.5	120mm 混凝土	符合	0.762
			西侧防护门	3.1	2.5	7mmPb	符合	1.82
			东侧防护门	2.8	10	7mmPb	符合	2.23
	925 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 考虑 单人用量)	0.0303 (裸源)	PET 注射窗	1.0	10	50mmPb 注射窗	符合	5.15×10^{-2}
			SPECT 注射窗	1.0	10	2mmPb 注射窗	符合	0.280
注射后候诊室	370 (^{18}F , 考虑单 人用量)	0.092 (人体源)	北墙	1.53	10	240mm 实心砖+8mm 铅板	符合	0.143
			西墙	1.38	10	240mm 实心砖+8mm 铅板	符合	0.176
			南墙	1.53	2.5	240mm 实心砖+12mm 铅板	符合	8.23×10^{-2}
			东墙	1.38	2.5	240mm 实心砖+12mm 铅板+ 240mm 实心砖	符合	5.06×10^{-2}
			屋顶	2.8	10	120mm 混凝土+15mm 铅板	符合	5.65×10^{-2}
			地面	3.8	2.5	120mm 混凝土	符合	0.490
			防护门	1.0	10	21mmPb	符合	1.85

场所名称	A (MBq)	Γ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	核算位置	R (m)	H_p ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽设计/等效铅当量	是否符合	屏蔽体外剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
PET-CT 室	370 (^{18}F , 考虑单人用量)	0.092 (人体源)	北墙	2.5	2.5	240mm 实心砖+8mm 铅板	符合	0.221
			西墙	3.6	2.5	240mm 实心砖+8mm 铅板	符合	0.107
			南墙	2.5	10	240mm 实心砖+8mm 铅板	符合	0.221
			东墙	3.6	10	240mm 实心砖+8mm 铅板	符合	0.107
			屋顶	2.8	2.5	120mm 混凝土+15mm 铅板	符合	0.113
			地面	3.8	2.5	120mm 混凝土+2mm 铅板	符合	0.373
			患者门	4.5	10	6mmPb	符合	0.731
			工作人员门	4.5	2.5	6mmPb	符合	0.731
			观察窗	3.6	2.5	6mmPb 防护玻璃板	符合	1.14
卫生间 (PET)	370 (^{18}F , 考虑单人用量)	0.092 (人体源)	北墙	1.5	10	240mm 实心砖+8mm 铅板	符合	0.614
			西墙	1.2	10	240mm 实心砖+8mm 铅板	符合	0.817
			南墙	1.5	2.5	240mm 实心砖+8mm 铅板	符合	0.614
			东墙	1.2	2.5	240mm 实心砖+8mm 铅板	符合	0.817
			屋顶	2.8	10	120mm 混凝土	符合	0.903
			地面	3.8	2.5	120mm 混凝土	符合	0.490
			防护门	1.5	10	15mmPb	符合	1.89
留观室	370 (^{18}F , 考虑单人用量)	0.092 (人体源)	北墙	1.53	2.5	370mm 实心砖	符合	0.570
			西墙	1.38	10	240mm 实心砖	符合	2.19
			南墙	1.53	10	240mm 实心砖	符合	1.78
			东墙	1.38	2.5	370mm 实心砖	符合	2.19
			屋顶	2.8	10	120mm 混凝土	符合	0.903
			地面	3.8	2.5	120mm 混凝土	符合	0.490

场所名称	A (MBq)	Γ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	核算位置	R (m)	H_p ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽设计/等效铅当量	是否符合	屏蔽体外剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
			防护门	1.0	10	21mmPb	符合	1.85
抢救室/ 患者入口	370 (^{18}F , 考虑 单人用量)	0.092 (人体源)	北墙	2.5	10	120mm 实心砖+100mm 重晶石涂料	符合	1.42×10^{-4}
			西墙	2.0	10	120mm 实心砖+100mm 重晶石涂料	符合	2.22×10^{-4}
			南墙	2.5	2.5	120mm 实心砖+80mm 重晶石涂料	符合	5.98×10^{-4}
			东墙	2.0	2.5	120mm 实心砖+100mm 重晶石涂料	符合	2.22×10^{-4}
			屋顶	2.8	2.5	120mm 混凝土	符合	0.508
			地面	3.8	2.5	120mm 混凝土	符合	0.276
			东侧防护门	2.0	2.5	12mmPb	符合	0.906
			西侧防护门	2.0	10	12mmPb	符合	0.906
SPECT-CT 室	925 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 考 虑单人用 量)	0.0207 (人体源)	北墙	2.3	10	370mm 实心砖+80mm 重晶石涂料	符合	5.74×10^{-5}
			西墙	3.6	2.5	370mm 实心砖+80mm 重晶石涂料	符合	2.34×10^{-5}
			南墙	2.3	2.5	370mm 实心砖+80mm 重晶石涂料	符合	5.74×10^{-5}
			东墙	3.6	10	370mm 实心砖+80mm 重晶石涂料	符合	2.34×10^{-5}
			屋顶	2.8	2.5	120mm 混凝土+2.5mm 铅板	符合	6.13×10^{-4}
			地面	3.8	10	600mm 混凝土	符合	5.28×10^{-6}
			患者门	2.3	10	4mmPb	符合	3.62×10^{-4}
			工作人员门	3.6	2.5	4mmPb	符合	1.48×10^{-4}
			观察窗	3.6	2.5	4mmPb 防护玻璃板	符合	1.48×10^{-4}
注射后 候诊区	2775 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 考 虑 3 人用 量)	0.0207 (人体源)	北墙	1.0	2.5	120mm 实心砖+80mmPb 重晶石涂料	符合	3.23×10^{-2}
			西墙	1.0	10	120mm 实心砖+80mmPb 重晶石涂料	符合	3.23×10^{-2}
			南墙	1.0	2.5	120mm 实心砖+40mmPb 重晶石涂料	符合	0.574
			东墙	1.0	2.5	120mm 实心砖+80mmPb 重晶石涂料	符合	3.23×10^{-2}

场所名称	A (MBq)	Γ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	核算位置	R (m)	H_p ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽设计/等效铅当量	是否 符合	屏蔽体外剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
			屋顶	2.8	2.5	120mm 混凝土+1mm 铅板	符合	5.94×10^{-2}
			地面	3.8	10	600mm 混凝土	符合	1.40×10^{-5}
			防护门	1.0	2.5	2mmPb	符合	0.574
候诊卫生间 (SPECT)	925 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 考虑单人用量)	0.0207 (人体源)	北墙	1.0	2.5	370mm 实心砖	符合	9.32×10^{-2}
			西墙	1.0	10	120mm 实心砖+80mmPb 重晶石涂料	符合	1.08×10^{-2}
			南墙	1.9	10	120mm 实心砖+80mmPb 重晶石涂料	符合	2.98×10^{-3}
			东墙	1.0	2.5	370mm 实心砖	符合	9.32×10^{-2}
			屋顶	2.8	10	120mm 混凝土	符合	0.198
			地面	3.8	10	600mm 混凝土	符合	4.66×10^{-6}
			防护门	1.9	10	2mmPb	符合	5.30×10^{-2}
二层核医学治疗场所								
自动分装仪	25900 (^{131}I , 考虑全部用量)	0.0595 (裸源)	正面	0.5	2.5	38mmPb 屏蔽外壳	符合	2.17
			其余面	0.5	25	38mmPb 屏蔽外壳	符合	2.17
抢救室	7400 (^{131}I , 考虑1名甲癌患者用量)	0.0583 (人体源)	北墙	4.7	2.5	120 实心砖+100mm 重晶石涂料	符合	0.316
			西墙	2.0	10	120 实心砖+100mm 重晶石涂料	符合	1.75
			南墙	1.7	2.5	120 实心砖+140mm 重晶石涂料	符合	0.733
			东墙	2.0	10	120 实心砖+100mm 重晶石涂料	符合	1.75
			屋顶	2.8	2.5	340mm 混凝土+6mm 铅板+ 120mm 重晶石涂料	符合	2.94×10^{-3}
			地面	3.8	10	120mm 混凝土+60mm 重晶石	符合	0.435
			西侧防护门	1.9	2.5	20mmPb	符合	1.82
			东侧防护门	1.9	10	20mmPb	符合	1.82

场所名称	A (MBq)	Γ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	核算位置	R (m)	H_p ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽设计/等效铅当量	是否符合	屏蔽体外剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
甲癌病房 1	7400 (^{131}I , 考虑 1 名甲癌患 者用量)	0.0583 (人体源)	北墙	5.0	2.5	120 实心砖+60mm 重晶石涂料	符合	0.279
			西墙	3.3	10	120 实心砖+60mm 重晶石涂料	符合	0.641
			南墙	2.0	2.5	120 实心砖+60mm 重晶石涂料	符合	1.75
			东墙	7.9	2.5	120 实心砖+60mm 重晶石涂料	符合	0.112
			屋顶	2.8	2.5	340mm 混凝土+6mm 铅板+ 120mm 重晶石涂料	符合	4.46×10^{-3}
			地面	3.8	10	120mm 混凝土+60mm 重晶石	符合	0.435
			防护门	2.9	10	17mmPb	符合	1.46
甲癌病房 2	7400 (^{131}I , 考虑 1 名甲癌患 者用量)	0.0583 (人体源)	北墙	2.0	10	120 实心砖+60mm 重晶石涂料	符合	1.75
			西墙	2.9	10	120 实心砖+60mm 重晶石涂料	符合	0.830
			南墙	2.0	10	120 实心砖+60mm 重晶石涂料	符合	1.75
			东墙	7.9	2.5	120 实心砖+60mm 重晶石涂料	符合	0.112
			屋顶	2.8	2.5	340mm 混凝土+6mm 铅板+ 120mm 重晶石涂料	符合	4.46×10^{-3}
			地面	3.8	10	120mm 混凝土+60mm 重晶石	符合	0.435
			防护门	2.9	10	17mmPb	符合	1.46
甲癌病房 3	7400 (^{131}I , 考虑 1 名甲癌患 者用量)	0.0583 (人体源)	北墙	2.0	10	120 实心砖+60mm 重晶石涂料	符合	1.75
			西墙	2.9	10	120 实心砖+60mm 重晶石涂料	符合	0.830
			南墙	2.0	2.5	120 实心砖+60mm 重晶石涂料	符合	1.75
			东墙	7.9	2.5	120 实心砖+60mm 重晶石涂料	符合	0.112
			屋顶	2.8	2.5	340mm 混凝土+6mm 铅板+ 120mm 重晶石涂料	符合	4.46×10^{-3}

场所名称	A (MBq)	Γ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	核算位置	$R(\text{m})$	H_p ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽设计/等效铅当量	是否符合	屏蔽体外剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
			地面	3.8	10	120mm 混凝土+60mm 重晶石	符合	0.435
			防护门	2.9	10	17mmPb	符合	1.46
注 1: PET-CT 室及 SPECT-CT 室的估算结果仅包含给药后患者影响, CT 部分影响及叠加影响见表 11-8。								

根据上述计算,本项目核医学科屏蔽防护能力满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)及辐射函(2023)20 号中的相关要求。

本项目 ^{131}I 甲功测定在甲功室进行，拟采用分装好的 ^{131}I 药物胶囊，每名病人的用药量约为 $5\mu\text{Ci}$ 左右，药物及服药后患者 1m 处剂量率为 $1.28\times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}$ ，已低于表 8 中本底水平，对辐射工作人员及周围工作的辐射影响很小。

11.2.2 X 射线影响

11.2.2.1 屏蔽设计

本项目拟配置 PET-CT、SPECT-CT 最大管电压为 140kV。

①参考《辐射防护手册 第三分册》表 3.3 中 150kV 数据，本项目 140kV 下，370mm 实心砖墙保守等效 3mmPb，240mm 实心砖墙保守等效 1.6mmPb。

②参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 公式 C.1 和 C.2，混凝土的 α 、 β 、 γ 取值自附录 C 表 C.2，计算得出在管电压 140kV（CT）下，120mm 混凝土等效 1.2mmPb，600mm 混凝土等效 8.7mmPb。

③参考《辐射防护手册 第三分册》表 3.4 中数据，140kV 下 80mm 重晶石涂料保守按 4mmPb 估算。

PET-CT、SPECT-CT 室的 X 射线防护屏蔽厚度核算见表 11-3。

表 11-3 PET-CT 和 SPECT-CT 室 X 射线防护屏蔽厚度核算一览表

机房名称	屏蔽位置	屏蔽材料及规格	等效屏蔽
PET-CT 室	四周墙体	240mm 实心砖+8mm 铅板	9.6mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+15mm 铅板	16.2mmPb
	地板	120mm 混凝土+2mm 铅板	3.2mmPb
	患者门	6mmPb	6mmPb
	工作人员门	6mmPb	6mmPb
	观察窗	6mmPb 防护玻璃板	6mmPb
SPECT-CT 室	四周墙体	370mm 实心砖+80mm 重晶石涂料	7mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+2.5mm 铅板	3.7mmPb
	地板	600mm 混凝土	8.7mmPb
	患者门	4mmPb	4mmPb
	工作人员门	4mmPb	4mmPb
	观察窗	4mmPb 防护玻璃板	4mmPb

11.2.2.2 屏蔽能力核算

本项目拟安装的 PET-CT 设备中 CT 部分最大管电压 140kV、最大管电流 833mA；SPECT-CT 设备中 CT 部分最大管电压 140kV、最大管电流 440mA。

参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 E.2 中数据，CT 在 75% 位数下，焦点处的剂量率最大为 60mGy （扫描时间 2s），因此 CT 扫描时焦点

处的最大剂量率保守取 $1.08 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ ，考虑机房外关注点处剂量率同时存在漏射线和散射线影响。

泄漏周围剂量当量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》（李德平、潘自强主编，原子能出版社，1987）。对于给定的屏蔽物质，屏蔽透射因子依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 计算。

$$H = \frac{f \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \tag{11-3}$$

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \tag{11-4}$$

式中：H—关注点处的泄漏周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；周围剂量当量率与空气吸收剂量率换算系数在辐射屏蔽计算时通常取 1Sv/Gy ；

f—泄漏射线比率，取 0.1%；

H_0 —距靶点 1m 处的最大剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

R—靶点至关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子；

X—铅厚度，mm。

α 、 β 、 γ 为铅对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见表 11-4。

表 11-4 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

电压	材料	α	β	γ
140kV（CT）	铅	2.009	3.99	0.3420

注： α 、 β 、 γ 取值参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C。

散射周围剂量当量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册》（李德平、潘自强主编，原子能出版社，1987）中给出的公式计算。

$$H = \frac{H_0 \cdot B \cdot S \cdot (\alpha/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \tag{11-5}$$

式中：

H —关注点处的患者散射周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；周围剂量当量率与空气吸收剂量率换算系数在辐射屏蔽计算时通常取 1Sv/Gy ；

H_0 —距靶点 1m 处的最大剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

α —患者对 X 射线的散射比，参考《辐射防护手册 第一分册》P437 表 10.1 取 0.0016（150kV， 45° 散射）；

S 一散射面积, 取 20cm^2 (CT 照射野按宽 1cm , 长 20cm 考虑);

d_0 一源与患者的距离, 一般取 0.5m ;

d_s 一患者与关注点的距离, m ;

B 一屏蔽透射因子。

计算结果见表 11-5 至表 11-7。

表 11-5 CT 部分泄露辐射剂量率估算结果

机房名称	屏蔽位置	距离 (m)	等效铅当量 (mmPb)	H_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	透射因子 B	H ($\mu\text{Sv/h}$)
PET-CT 机房	北墙	2.5	3.6	1.08×10^8	3.49×10^{-5}	2.98×10^{-6}
	西墙	3.6	3.6	1.08×10^8	3.49×10^{-5}	1.43×10^{-6}
	南墙	2.5	3.6	1.08×10^8	3.49×10^{-5}	2.98×10^{-6}
	东墙	3.6	3.6	1.08×10^8	3.49×10^{-5}	1.43×10^{-6}
	屋顶	2.8	3.2	1.08×10^8	8.24×10^{-5}	4.13×10^{-12}
	地面	3.8	3.2	1.08×10^8	8.24×10^{-5}	0.617
	患者门	4.5	6	1.08×10^8	2.45×10^{-7}	1.31×10^{-3}
	工作人员门	4.5	6	1.08×10^8	2.45×10^{-7}	1.31×10^{-3}
	观察窗	3.6	6	1.08×10^8	2.45×10^{-7}	2.04×10^{-3}
SPECT-CT 机房	北墙	2.3	3	1.08×10^8	1.28×10^{-4}	6.61×10^{-4}
	西墙	3.6	3	1.08×10^8	1.28×10^{-4}	2.70×10^{-4}
	南墙	2.3	3	1.08×10^8	1.28×10^{-4}	6.61×10^{-4}
	东墙	3.6	3	1.08×10^8	1.28×10^{-4}	2.70×10^{-4}
	屋顶	2.8	3.2	1.08×10^8	8.24×10^{-5}	0.389
	地面	3.8	8.7	1.08×10^8	1.05×10^{-9}	7.87×10^{-6}
	患者门	2.3	4	1.08×10^8	1.50×10^{-5}	0.306
	工作人员门	3.6	4	1.08×10^8	1.50×10^{-5}	0.125
	观察窗	3.6	4	1.08×10^8	1.50×10^{-5}	0.125

表 11-6 CT 部分散射辐射剂量率估算结果

机房名称	屏蔽防护体名称	距离 (m)	等效铅当量 (mmPb)	H_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	透射因子 B	H ($\mu\text{Sv/h}$)
PET-CT 机房	北墙	2.5	3.6	1.08×10^8	3.49×10^{-5}	9.52×10^{-7}
	西墙	3.6	3.6	1.08×10^8	3.49×10^{-5}	4.59×10^{-7}
	南墙	2.5	3.6	1.08×10^8	3.49×10^{-5}	9.52×10^{-7}
	东墙	3.6	3.6	1.08×10^8	3.49×10^{-5}	4.59×10^{-7}
	屋顶	2.8	3.2	1.08×10^8	8.24×10^{-5}	1.32×10^{-12}
	地面	3.8	3.2	1.08×10^8	8.24×10^{-5}	0.197

	患者门	4.5	6	1.08×10^8	2.45×10^{-7}	4.19×10^{-4}
	工作人员门	4.5	6	1.08×10^8	2.45×10^{-7}	4.19×10^{-4}
	观察窗	3.6	6	1.08×10^8	2.45×10^{-7}	6.54×10^{-4}
SPECT-CT 机房	北墙	2.3	3	1.08×10^8	1.28×10^{-4}	2.12×10^{-4}
	西墙	3.6	3	1.08×10^8	1.28×10^{-4}	8.63×10^{-5}
	南墙	2.3	3	1.08×10^8	1.28×10^{-4}	2.12×10^{-4}
	东墙	3.6	3	1.08×10^8	1.28×10^{-4}	8.63×10^{-5}
	屋顶	2.8	3.2	1.08×10^8	8.24×10^{-5}	0.124
	地面	3.8	8.7	1.08×10^8	1.05×10^{-9}	2.52×10^{-6}
	患者门	2.3	4	1.08×10^8	1.50×10^{-5}	9.80×10^{-2}
	工作人员门	3.6	4	1.08×10^8	1.50×10^{-5}	4.00×10^{-2}
	观察窗	3.6	4	1.08×10^8	1.50×10^{-5}	4.00×10^{-2}

表 11-7 总辐射剂量率估算结果

机房名称	屏蔽防 护体名称	CT 泄漏 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	CT 散射 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	CT 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	患者辐射剂 量率($\mu\text{Sv/h}$)	总辐射剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)
PET-CT 室	东墙	2.98×10^{-6}	9.52×10^{-7}	3.93×10^{-6}	0.221	0.221
	南墙	1.43×10^{-6}	4.59×10^{-7}	1.89×10^{-6}	0.107	0.107
	西墙	2.98×10^{-6}	9.52×10^{-7}	3.93×10^{-6}	0.221	0.221
	北墙	1.43×10^{-6}	4.59×10^{-7}	1.89×10^{-6}	0.107	0.107
	屋顶	4.13×10^{-12}	1.32×10^{-12}	5.45×10^{-12}	0.113	0.113
	地面	0.617	0.197	0.814	0.373	1.19
	患者门	1.31×10^{-3}	4.19×10^{-4}	1.73×10^{-3}	0.731	0.733
	工作人员门	1.31×10^{-3}	4.19×10^{-4}	1.73×10^{-3}	0.731	0.733
	观察窗	2.04×10^{-3}	6.54×10^{-4}	2.70×10^{-3}	1.14	1.15
SPECT-CT 室	东墙	6.61×10^{-4}	2.12×10^{-4}	8.73×10^{-4}	5.74×10^{-5}	9.30×10^{-4}
	南墙	2.70×10^{-4}	8.63×10^{-5}	3.56×10^{-4}	2.34×10^{-5}	3.80×10^{-4}
	西墙	6.61×10^{-4}	2.12×10^{-4}	8.73×10^{-4}	5.74×10^{-5}	9.30×10^{-4}
	北墙	2.70×10^{-4}	8.63×10^{-5}	3.56×10^{-4}	2.34×10^{-5}	3.80×10^{-4}
	屋顶	0.389	0.124	0.513	6.13×10^{-4}	0.513
	地面	7.87×10^{-6}	2.52×10^{-6}	1.04×10^{-5}	5.28×10^{-6}	1.57×10^{-5}
	患者门	0.306	9.80×10^{-2}	0.404	3.62×10^{-4}	0.405
	工作人员门	0.125	4.00×10^{-2}	0.165	1.48×10^{-4}	0.165
	观察窗	0.125	4.00×10^{-2}	0.165	1.48×10^{-4}	0.165

综上所述，考虑患者辐射影响与射线装置 X 射线影响叠加效果后，本项目

屏蔽体外剂量率满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关要求。

11.2.3 人员附加剂量估算

11.2.3.1 计算公式

人员受到的附加剂量可由下式计算得到：

$$H_E = H_R \times T \times t \times 10^{-3} \quad (11-6)$$

式中：

H_E — 外照射附加剂量，mSv/a；

H_R — 辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t — 一年工作时间，h；

T — 居留因子。

11.2.3.2 辐射工作人员剂量估算

本项目 ^{131}I 甲功测定拟采用分装好的 ^{131}I 药物胶囊，每名病人的用药量最大为 $5\mu\text{Ci}$ ，药物及服药后患者 1m 处剂量率为 $1.28 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，已低于延安地区室内本底辐射水平（ $64 \sim 157 \text{nGy/h}$ ），对辐射工作人员及周围工作的辐射影响很小。二层核医学科治疗区域甲癌患者及甲亢患者使用自动分装仪给药，工作人员在远程控制，对辐射工作人员造成辐射影响较小。因此不考虑二层核医学科治疗区域对辐射工作人员的影响。

一层核医学科诊断区域考虑药物注射环节，摆位及显像环节对辐射工作人员的影响。

注射时考虑每人每次注射用时 1min，PET 年接诊 2500 人次，SPECT 年接诊 3750 人次。

摆位时考虑 PET 患者注射 ^{18}F 药物 370MBq，其 1m 处剂量率为 $34.0 \mu\text{Sv/h}$ ，每次摆位用时 0.5min，年接诊患者 2500 人次；考虑 SPECT 患者注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物 925MBq，其 1m 处剂量率为 $19.1 \mu\text{Sv/h}$ ，每次摆位用时 0.5min，年接诊患者 3750 人次。

考虑单次 PET-CT 检查中 PET 扫描 15min/人次，年接诊患者 2500 人次；CT 出束时间 1min/人次 SPECT-CT 检查中 SPECT 扫描 15min/人次，CT 出束时间 1min/人次，年接诊患者 3750 人次。

本项目辐射工作人员年附加有效剂量见表 11-8。

表 11-8 本项目辐射工作人员年附加有效剂量

影响环节	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	工作时间 (h/a)	年附加有效剂量 (mSv/a)
甲功测定	0.928	375	0.348
PET 注射	5.15×10^{-2}	41.7	2.15×10^{-3}
SPECT 注射	0.280	62.5	1.75×10^{-2}
PET 显像 (患者影响)	1.14	625	0.712
PET 显像 (CT 影响)	2.70×10^{-3}	2.5	6.75×10^{-6}
PET 摆位	34.0	20.8	0.707
SPECT 显像 (患者影响)	1.48×10^{-4}	937.5	1.39×10^{-4}
SPECT 显像 (CT 影响)	0.165	62.5	1.03×10^{-2}
SPECT 摆位	19.1	31.25	0.597

由上表计算结果可知,本项目辐射工作人员职业照射的最大年有效剂量值为 1.42mSv/a ,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定的工作人员的职业照射水平控制限值 (20mSv/a)及本项目剂量约束值 (5mSv/a)。

11.2.3.3 公众剂量估算

公众剂量估算结果见表 11-9。

表 11-9 项目周边公众成员附加剂量估算结果

工作场所	关注点		患者辐射影响		居留因子	附加剂量 (mSv/a)
			周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	照射时间 (h/a)		
注射室	西	走廊	0.470	104.2	1/5	9.79×10^{-3}
	上	护士站、走廊、TPS 室等	8.78×10^{-2}	104.2	1	9.15×10^{-3}
注射后候诊室	东	预约登记室	5.06×10^{-2}	2000	1/2	5.06×10^{-2}
	南	卫生间	8.23×10^{-2}	2000	1/20	8.23×10^{-3}
PET-CT 室	北	楼外道路	0.107 (患者)	625	1/40	1.67×10^{-3}
			1.89×10^{-6} (CT)	41.7		
候诊卫生间	南	入口	0.614	125	1/5	1.54×10^{-2}
	东	卫生间	0.817	125	1/20	5.11×10^{-3}
留观室	北	楼外道路	0.570	625	1/40	2.85×10^{-2}
	东	楼外道路	1.49	625	1/40	7.45×10^{-2}
一层抢救室	南	电梯	5.98×10^{-4}	937.5	1/40	1.40×10^{-5}
	东	走廊	2.22×10^{-4}	937.5	1/5	4.16×10^{-5}

SPECT-CT 室	西	设备间	5.74×10^{-5} (患者)	937.5	1/20	5.42×10^{-6}
			8.73×10^{-4} (CT)	62.5		
	南	楼外道路	2.34×10^{-5} (患者)	937.5	1/40	1.10×10^{-6}
			3.56×10^{-4} (CT)	62.5		
	上	值班室、走廊	6.13×10^{-4} (患者)	937.5	1	3.26×10^{-2}
			0.513 (CT)	62.5		
候诊区	北	走廊	3.23×10^{-2}	937.5	1/5	6.06×10^{-3}
	南	楼外道路	0.574	937.5	1/40	1.35×10^{-2}
	东	楼梯间	3.23×10^{-2}	937.5	1/20	1.51×10^{-3}
	上	多功能室	5.94×10^{-2}	937.5	1	5.57×10^{-2}
卫生间	北	走廊	9.32×10^{-2}	125	1/5	2.33×10^{-3}
	东	楼梯间	9.32×10^{-2}	125	1/20	5.83×10^{-4}
二层抢救室	北	楼外道路	0.316	4	1/40	3.16×10^{-5}
	上	血液净化中心	2.94×10^{-3}	4	1/2	5.88×10^{-6}
甲癌病房 1	北	楼外道路	0.279	2000	1/40	1.40×10^{-2}
	东	楼外道路	0.112	2000	1/40	5.60×10^{-3}
	上	血液净化科	4.66×10^{-3}	2000	1/2	4.66×10^{-3}
甲癌病房 2	东	楼外道路	0.112	2000	1/40	5.60×10^{-3}
	上	血液净化科	4.66×10^{-3}	2000	1/2	4.66×10^{-3}
甲癌病房 3	东	楼外道路	0.112	2000	1/40	5.60×10^{-3}
	南	患者出口	1.75	2000	1/40	8.75×10^{-2}
	上	血液净化科	4.66×10^{-3}	2000	1/2	4.66×10^{-3}

根据上表，本项目核医学科周围公众的年附加有效剂量最大为 $8.75 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）标准限值（ 1mSv/a ）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中剂量约束值（ 0.1mSv/a ）。

11.2.4 “三废”影响分析

11.2.4.1 放射性废气

本项目核医学科产生的放射性废气经放射性废气管道收集后，引至楼北侧经活性炭过滤后向上引至屋顶排放。其中甲癌病房，碘固废间等场所设置单独的放

射性废气管道。满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

因此，本项目产生的放射性废气按相关法规标准的要求处置，其对周围环境造成的影响可以接受。

11.2.4.2 放射性废水

短半衰期和长半衰期衰变池处理流程相同。放射性废水由专用管道引至衰变池时，电控阀门控制放射性废水流入一号池，一号池注满（到达设定水位）后，池中的传感器发出信号，一号池进水口阀门自动关闭，二号池进水口阀门自动开启，后续放射性废水进入二号池；同理，二号池注满后，电控阀门自动控制废水进入三号衰变池；三号池即将注满时，一号池中废水已满足暂存时间要求，出水阀自动开启，排出污水后执行清洗程序，并在三号池注满前清空，随后废水进入一号池。短半衰期衰变池有效容积为 $28\text{m}^3/\text{个} \times 3$ 个，长半衰期衰变池有效容积为 $56\text{m}^3/\text{个} \times 3$ 个。

根据前文估算结果，本项目半衰期大于 24h 的放射性废水产生量为 $0.47\text{m}^3/\text{d}$ ；半衰期小于 24h 的放射性废水产生量为 $0.625\text{m}^3/\text{d}$ 。

根据原环评，负一层钨制备区域放射性废水产生量为 $0.05\text{m}^3/\text{d}$ ；原环评未对回旋加速器区域放射性废水产生量进行单独估算，参考同类项目回旋加速器区域的检修废水等放射性废水产生量按 $0.01\text{m}^3/\text{天}$ 考虑。均排入短半衰期衰变池。

经核算，本项目半衰期大于 24h 放射性废水暂存时间为 238 天，半衰期小于 24h 的放射性废水暂存时间为 80 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中含 ^{131}I 的放射性废水暂存超过 180 天，半衰期小于 24h 的放射性废水暂存超过 30 天的要求。

（1）废水排放口浓度估算

项目长半衰期放射性废水含 ^{131}I ，因此按 ^{131}I 相关参数估算；短半衰放射性废水含 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，其中 ^{18}F 半衰期（1.83h）相比 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 半衰期（6.02h）较短，且用量较小，因此短半衰期废水按 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 相关参数估算。

根据医院提供的资料，通常 ^{131}I 治疗患者施予活度总量的 85% 在最初 5 天内排放到下水道系统，门诊患者服药 2 小时内服药量的 15%-20% 进入放射性废水。因此考虑每日甲亢患者最大用药量的 17% 进入放射性废水，每日甲亢治疗及核素

诊断患者最大用药量的 20%进入衰变池。

项目甲癌治疗 ^{131}I 日最大用药量为 $2.22 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；甲亢治疗 ^{131}I 日最大用药量为 $3.70 \times 10^9 \text{Bq}$ ；SPECT 诊断 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 日最大用药量为 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。

考虑废水衰变，第 n 天的废水进入衰变池后，衰变池中单一核素的放射性活度用以下公式计算：

$$N = \sum_1^t N_0 \times e^{-0.693(t-n)/T_{1/2}} \quad (11-7)$$

式中：

N -第 n 天的放射性废水进入衰变池中后，衰变池中某核素的总活度， Bq ；

N_0 -每日进入衰变池的废水活度， Bq ；

t -衰变池注满所用时间，天；

$T_{1/2}$ -对应核素的半衰期，天。

放射性废水排放口活度浓度估算结果见表 11-10。

表 11-10 单个池体注满时池中放射性活度估算结果

衰变池	估算核素	半衰期	注满所用时间 (天)	日最大用量 (Bq)	注满时池中活度 (Bq)	
短半衰期衰变池	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	40	1.39×10^{10}	2.97×10^9	
长半衰期衰变池	^{131}I (甲癌)	8.02d	119	2.22×10^{10}	4.56×10^{10}	5.45×10^{10}
	^{131}I (甲亢)			3.70×10^9	8.94×10^9	

放射性废水排放口活度浓度估算结果见表 11-11。

表 11-11 衰变池排放口活度浓度估算结果

衰变池	估算核素	半衰期	暂存时间 (天)	排放总活度 (Bq)	排水量 (m^3)	排放口活度浓度 (Bq/L)
短半衰期衰变池	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	80	2.82×10^{-87}	28	1.01×10^{-91}
长半衰期衰变池	^{131}I	8.02d	238	656	56	1.17×10^{-2}

根据上表计算结果，短半衰期衰变池排放口活度浓度为 $1.01 \times 10^{-91} \text{Bq/L}$ ，长半衰期衰变池排放口活度浓度为 $1.17 \times 10^{-2} \text{Bq/L}$ ，均低于《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中总 β 放射性不大于 10Bq/L 的要求。

(2) 衰变池屏蔽能力估算

项目衰变池池体为 300mm 混凝土结构，混凝土上方为 700mm 土层，土层屏蔽能力按水考虑，检修口用 200mm 重晶石盖板防护。衰变池上方为地面绿化。

根据美国核管理委员会（NRC）发布的数据，500keV 的 γ 射线在水中的半值层取 71.5mm。因此本项目 ^{131}I 发射的 379keV 及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发射的 140keV 的 γ 射线水半值层均保守取 71.5mm。

根据前文计算结果，衰变池上方剂量率估算结果见表 11-12，衰变池所致上方人员年有效剂量见表 11-13。

表 11-12 衰变池上方剂量率估算结果

衰变池	估算核素	最大活度 (Bq)	屏蔽设计	距离 (m)	关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
短半衰期衰变池	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.97×10^9	300mm 混凝土 +700mm 土层	3.9	1.26×10^{-5}
			200mm 重晶石盖板	3.9	3.36×10^{-6}
长半衰期衰变池	^{131}I	5.45×10^{10}	300mm 混凝土 +700mm 土层	3.9	4.14×10^{-3}
			200mm 重晶石盖板	3.9	0.560

表 11-13 衰变池上方人员剂量估算结果

工作场所	关注点	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年受照射时间 (h)	居留因子	附加剂量 (mSv/a)
衰变池	上方地面绿化	0.560	2000	1/40	0.028

注：绿化区域仅每日工作时间（8h）有工作人员专门进入修剪维护，年工作 250 天。绿化区域通常无人进入。

根据计算结果，衰变池上方辐射剂量率最大为 $0.560 \mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求；衰变池上方人员年有效剂量最大为 0.028mSv/a ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）标准限值（ 1mSv/a ）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中剂量约束值（ 0.1mSv/a ）要求。衰变池周围其他环境保护目标距离更远，间隔的屏蔽体更多，所受辐射影响更小，因此其剂量率及年有效剂量也满足标准要求。

（3）废水处理措施环境风险

本次衰变池池体采用 300mm 防渗混凝土，池体内表面使用防水、防渗、防腐蚀的材料；池内安装水位计可实时监测水位，监控池体渗漏风险，如遇池体泄漏等情况可通过观察液位及时发现。衰变池设计留有充足的安全余量，发生辐射事故时能容纳事故废水。

放射性管道采用机制含铅管道，表面使用防水、防渗、防腐蚀材料；管道设计尽可能短捷，坡度利于排水，避免形成积水。管道室内段均配套铅防护，主要经过核医学科辐射工作场所，避开了公众聚集的房间。管道室外段敷设在管沟内，

管沟下方为 100mm 防渗混凝土垫层，两侧为 240mm 实心砖，管道上方为 100mm 现浇重晶石混凝土+150mm 土层+250mm 混凝土板防护，主要经过院内道路及绿化区域，道路区域通常为流动人员，通常无人员长期停留；衰变池上方区域施工完成后恢复为花园，种植绿化植物后，通常情况人员无法进入，也无法长期停留。

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。

综上所述，本项目已采取屏蔽防护措施及辐射安全防护措施，以确保本项目放射性废水安全贮存，并能够及时发现并处理可能出现的辐射风险。

11.2.4.3 放射性固体废物

本项目产生的放射性固体废物产生后使用专用铅容器收集。一层核医学科诊断场所使用的放射性核素半衰期小于 24h，其产生的放射性固体废物在一层固废间暂存，暂存超过 30 天经检测满足清洁解控要求后按医疗废物处置；二层核医学科治疗场所使用的 ^{131}I 半衰期大于 24h，其产生的放射性固体废物在二层废物暂存间暂存，含 ^{131}I 废物暂存超过 180 天，经检测满足清洁解控要求后按医疗废物处置。

因此，本项目放射性固体废物能够按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关要求暂存处置。

11.3 事故影响分析

11.3.1 可能发生的辐射事故

（1）放射性“三废”管理不善、核素操作防护设施不能正常使用或管理不善、用药后受检者失禁、呕吐等造成污染、用药后患者管理不善等原因，造成工作人员超出年有效剂量约束值。

（2）放射性药物若保管不善，可能发生丢失或被盗，从而导致辐射事故的发生，对社会和公众造成危害。

（3）操作放射性药物时发生容器破碎、药物泼洒等意外事件，可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。泼洒的药物挥发将产生少量放射性废气，擦除污染物将产生少量的放射性固体废物。

11.3.2 事故预防措施

(1) 放射性药品丢失、被盗事故

放射性药品贮存场所均位于核医学科控制区内，在核医学科患者通道入口、出口处设计单向门禁系统，限制无关人员进入此区域；

在注射室、储源室以及主要通道处设计安装视频监控系统，由医院保卫部门进行监控；

对放射性药品贮存场所设置门锁，采用双人双锁进行管理；

建立放射性药品台账制度，实现专人管理，明确放射性药物的签收、储存和发放等环节有详细的程序和记录；

建立放射性药品台账、使用登记制度，对每次使用的放射性药品进行登记、定期进行盘点。

(2) 放射性药品洒漏事故

发生少量放射性液体洒落的，可立即用吸水纸、纱布等自外而内螺旋形吸水，换用吸水纸或纱布自外而内擦干，再次基础上用温水仔细清洗污染处，检测安全后方可结束。使用过的吸水纸或纱布视为放射性废物。发生少量放射性粉末洒落的，可立即用潮湿的纱布自外而内螺旋形擦拭，至少重复两遍，在此基础上温水清洗污染处。经检测安全后方可结束。

用过的纱布视为放射性废物。发生手部皮肤沾染放射性核素的，可立即用温水、软毛刷、普通肥皂反复清洗，清洗不宜超过三次。

严重污染事故时，应立即通知在场的其他人员，同时迅速控制污染区域，防止其他人员进入污染区。污染区的人员经采取减少危害和防止污染扩散的必要措施后，要脱去污染的衣服并将其留在污染区，立即离开此区。事故发生后，应尽快通知防护负责人和主管人员，并立即向有关监督管理部门报告。防护人员应迅速提出全面处理事故的方案，并协助主管人员组织实施。污染区经去污、监测后，经防护人员批准方可重新工作。

(3) 射线装置误照射事故

1) 定期对防护门进行检查、维护，确保其处于正常的工作状态；

2) 控制室工作人员每次开机扫描前，通过观察窗查看检查室内人员停留情况，确认仅有患者且防护门关闭后，方可出束。

11.4 辐射环境影响评价结论

本项目辐射工作场所采取辐射屏蔽措施后，项目对周边的辐射环境影响满足相关标准限值要求；项目正常运行所致工作人员、公众附加有效剂量分别满足本次评价 5mSv/a、0.1mSv/a 剂量约束值要求；项目产生的放射性废气、废水、固体废物均能按要求得到妥善处置，满足相关标准要求。

综上所述，本项目严格落实本环评提出的设施和措施后，对周围环境的辐射影响在可接受范围之内。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的工作单位，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当具有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。

医院应按照相关要求在核技术利用项目运行时应成立辐射安全和环境保护领导机构，明确辐射安全和环境保护管理机构成员，明确各机构成员的职责，做到职责分明。医院应根据陕西省环境保护厅《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》（陕环办发〔2018〕29 号）相关规定，加强决策层、辐射防护负责人、辐射工作人员管理，使之具备一定辐射安全能力。

表 12-1 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化机构建设、人员管理内容

管理内容	管理要求	有/无
机构建设	设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射安全与环境保护管理机构和负责人。	有
决策层	就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作。	有
	年初工作安排的和年终工作总结时，应包含辐射环境安全管理工作内容。	有
	明确辐射安全管理部门和岗位的辐射安全职责。	有
	提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障。	有
	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求并向员工和公众宣传辐射安全相关知识。	有
人员管理 辐射防护负责人	负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告。	有
	建立健全辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责。	有
	建立辐射环境安全管理档案。	有
	对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有完善的巡查及整改记录。	有
直接从事放射工作的	岗前进行职业健康体检，结果无异常。	有
	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗。	有

	人员	了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全作出承诺。	有
		熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况时，能够有效处理。	有

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 辐射安全管理制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中第十六条第六款的要求，生产、销售和使用射线装置的单位应有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。第七款的要求，使用射线装置的单位有完善的辐射事故应急措施。

根据医院提供的资料，医院已制定《辐射安全管理制度》《辐射事故应急预案》《辐射工作人员培训制度》《辐射工作场所监测制度》《辐射工作人员个人剂量管理制度》《放射性同位素操作规程》《核医学科 PET/CT 及 SPECT/CT 操作规程》《核医学科显像工作制度》《DSA 操作规程》《辐射事故应急预案》

《CT 定位机操作规范与程序》《设备维修保养制度》《放射防护注意事项》《放射防护用品管理制度》《物理师工作职责》《全国核技术利用辐射安全申报运行管理制度》《辐射人员职业健康体检制度》《辐射人员岗位职责》《辐射检测仪器设备的定期检定与管理制度》《辐射工作人员培训制度》《辐射监测计划》《辐射工作场所监测制度》《放射诊疗设备质量控制及防护检测制度》《受检者放射危害告知与防护制度》《放射工作人员个人剂量计管理制度》《放射源和放射性同位素安全管理制度》等辐射安全管理制度。辐射安全管理制度基本完善，能够满足本项目开展的需求。

根据陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知（陕环办发〔2018〕29 号）的相关规定要求项目运行时应制定的管理规章制度的执行情况及应急管理按表 12-2 的要求，逐项落实完善。

表 12-2 辐射安全管理标准化建设项目表（辐射安全管理部分）

管理内容	管理要求	有/无
*制度执行	建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整。	有
	建立射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立射线装置台账。	有

	建立射线装置的岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案。	有
	建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核,建立相关检查考核资料档案。	有
	建立辐射工作人员个人剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员分析原因并及时报告相关部门，保证个人剂量检测档案的连续有效性。	有
	建立辐射工作人员职业健康体检管理制度，定期进行辐射工作人员的职业健康体检，对体检异常人员及时复查，保证职业人员健康监护档案的连续有效性。	有
	建立辐射安全防护设施的维护与维修制度，包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等内容，并建立维护、维修记录档案。	有
	建立辐射环境监测制度，定期对场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案。	有
	建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度，定期对监测仪器设备进行检定，并建立检定档案。	有
*应急管理	结合本单位实际，制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行应急演练。	有
	辐射事故应急预案应报所在地县级环境保护行政主管部门备案。应急预案应当包括下列内容：①可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和处理程序。	有
注：表中标注有“*”内容为关键项，为强制性规范要求。		

辐射安全管理规章制度和操作规程应落实到有关的工作岗位，并进行宣贯、培训、考核；应每年至少 1 次对辐射安全管理规章制度和操作规程的执行情况进行检查评估；应及时修订完善辐射安全管理规章制度和操作规程，确保其有效和适用，保证每个岗位所使用的为最新有效版本。

12.2.2 人员管理

本项目辐射工作人员上岗前应满足以下要求：

- (1) 本项目拟配备的辐射工作人员已在上岗前参加辐射安全培训，取得合格证书并持证上岗。
- (2) 本项目拟配备的辐射工作人员已进行职业健康体检，体检结果均显示可从事辐射工作。
- (3) 医院已为现有辐射工作人员进行了个人剂量监测并建立了个人剂量档案。项目运行期间，辐射工作人员应继续按要求佩戴个人剂量计。

12.3 辐射监测

本项目已按要求配备 1 台 X- γ 剂量率仪及 1 台表面污染监测仪用于日常自主

监测。本项目运行后，医院还应将本项目内容纳入辐射环境监测方案，每年委托有资质单位对辐射工作场所进行定期监测，并按时向生态环境主管部门提交放射同位素与射线装置的安全和防护状况评估报告。按要求为辐射工作人员配备个人剂量计，委托有资质单位定期对辐射工作人员进行个人剂量检测并存档。

项目建成投运后，应定期对核医学科进行监测，监测要求如下：

(1) 辐射工作场所环境监测：

a、项目建成后，委托有资质的单位对其进行竣工环境保护验收监测，并及时组织竣工环境保护验收工作；委托有资质单位对进行监测，监测频次不小于1次/年，监测结果应详细记录并存档；

b、利用 X- γ 辐射剂量率仪定期对核医学科周边环境进行巡检，若发现异常情况，应立即采取应急措施，停止辐射工作，并查找原因；

c、将核医学科的检测 results 纳入辐射安全和防护状况评估报告中，并在每年1月31日之前上报发证机关。

(2) 个人剂量监测：

a、项目涉及的辐射工作人员应配备个人剂量计，定期委托具有资质的个人剂量监测技术服务机构进行监测，建立个人剂量检测档案；

b、在每年的辐射安全和防护状况评估报告中，应包含辐射工作人员个人剂量检测数据及安全评估的内容。

项目辐射监测计划见表 12-3。

表 12-3 项目辐射监测计划

位置	监测内容	监测点位	监测项目	监测频次
核医学科	核医学科工作场所防护检测	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	X- γ 辐射剂量率	每月自测一次，每年委托有资质单位监测一次
	表面污染检测	非密封放射性物质工作场所	β 表面污染	每次工作结束后自测，每年委托有资质单位监测一次
	个人剂量监测	辐射工作人员个人剂量计	个人累积剂量	至少每季度委托有资质单位监测一次
放射性废水	总 β 放射性总 ^{131}I 活度	衰变池排放口	总 β 放射性总 ^{131}I 活度	至少每年一次

(3) 年度评估

每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的年度管理监测，并于每年1月31日前向辐射安全许可证发证机关提交上一年度的评估报告。

12.4 辐射事故应急

为有效防护、及时控制辐射事故所致的伤害，加强射线装置安全监测和控制等管理工作，保障放射相关工作人员以及射线装置周围人员的健康安全，避免环境辐射污染，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 449 号）及其它有关法律、法规和职能部门要求，建设单位应建立辐射事故应急预案。应急预案应包括以下内容：

- （1）可能发生的辐射事故及危害程度分析；
- （2）应急组织指挥体系和职责分工；
- （3）应急人员培训和应急物资准备；
- （4）辐射事故应急响应措施；
- （5）辐射事故报告和处理程序。

依照《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）有关要求，针对可能发生风险事故，根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围，执行辐射事故应急预案。

本评价针对项目的辐射事故应急提出以下要求：

- （1）严格落实放射工作各项规章制度和放射性同位素安全防护管理制度。
- （2）当发生辐射事故时，应立即启动辐射事故应急预案，采取必要防护措施，并于 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》上报环保主管部门、公安部门及卫生部门。建设单位辐射安全管理机构要初步判断事件等级，发生较大辐射以上事故，在上级环保部门未到场时，要设立临时现场指挥，迅速控制事态和现场，配合环保部门进行事故应急监测核实事故情况，监测并估算受照剂量。

（3）辐射事故应急预案的执行

①当射线装置发生超剂量辐射事故时，应立即切断电源，封锁事故现场，禁止任何人进入检查室，启动应急预案并通知设备生产厂家，立即报告环保部门、卫生行政部门，并密切配合这些部门进行应急处理。

②由于误操作，导致较大放射性药物注射时，应立即启动应急预案，上报主管领导，专业医师估算患者注射剂量可能导致的医疗后果，如有需要送专业医疗机构救治。

③如果发生放射性药物被盗，立即启动应急预案，通知本单位主管领导、地方卫生、公安部门，协助查找放射性药物下落。应加强放射性药物安全管理，落

实放射性药物安保措施。

④辐射事故中对受辐射人员，要通过个人剂量计等途径迅速估算人员的受照剂量，及时就地治疗或立即转移到有关医院救治。

⑤当发生地震、洪水等不可预知的灾害时，应封锁事故区域并设立警示标志，并通知环保部门等落实放射源泄漏程度，避免放射性事故发生。

⑥当发生辐射事故的射线装置或场所修复后，必须监测安全合格后方可解除封锁，未监测前仍要封锁事故场所。

(4) 事故报告和管理

①严格执行事故报告和管理制度。做好各类事故的预防、调查、分析及处理工作，并负责事故的上报。

②发生辐射事故及时按要求填报事故报告表，要对事故报告的及时性、全面性和真实性负责，对于隐瞒不报、虚报、漏报和无故拖延报告的，要追究责任。

③建立全面系统和完整的事故档案，认真总结教训，防止事故发生。
医院现已制定辐射事故应急预案并备案。医院未发生过辐射安全事故。医院已按预案要求每年组织有关人员开展应急演练。

12.5 环境保护投资与“三同时”环保验收一览表

12.5.1 环保投资

本项目总投资 4484 万元，其中环保投资 527 万元，占 11.75%。环保投资主要用于屏蔽防护施工、辐射安全防护措施、放射性三废处理设施、人员培训体检个人剂量监测、场所监测等。项目环保投资明细一览表见表 12-4。

表 12-4 项目环保投资明细一览表

序号	项目	投资金额（万元）
1	辐射安全防护设施	检查室门灯联锁装置、红外防夹装置、自动闭门装置、电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门禁系统、视频监控系统、紧急停机按钮等
		屏蔽体，屏蔽门，注射窗购置建设
		独立通风系统
2	“三废”处置措施	衰变池及配套废水管道
		放射性废气管道及活性炭装置
		铅污物桶及放射性固废暂存容器
3	个人防护用品	铅围裙、铅颈套、铅眼镜、等个人防护用品；储源容器、注射屏蔽套、铅污物桶等防护用品
4	辐射监测仪器	2 台 X-γ剂量监测仪、1 台β表面污

序号	项目		投资金额（万元）
		染监测仪	
5	职业健康体检	职业健康体检	2
6	工作人员培训	辐射安全和防护知识培训	2
7	个人剂量监测	个人剂量监测	1
8	环境监测	工作场所监测	1
9	环保咨询	环保咨询费用	25
合计			527

12.5.2 竣工环境保护验收

为规范项目竣工环境保护验收的程序和标准，强化环境保护主体责任，根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日起实施）以及《建设项目竣工环境保护验收管理办法》的规定，项目竣工后应及时进行自主验收，编制验收监测报告。验收合格后，并取得新的辐射安全许可证后，方可投入生产或使用。项目竣工环境保护验收清单见表 12-5。

表 12-5 项目竣工环境保护验收清单

序号	验收内容		验收方式
1	辐射安全管理机构		修订辐射安全防护管理领导小组并明确成员职责。
2	辐射安全管理制度		按照项目的实际情况，补充完善全面的、具有可操作性的辐射安全规章制度。针对本项目可能存在的风险，修订辐射事故应急预案，落实必要的应急物质。定期进行辐射事故应急演练。辐射事故应急预案应包含本项目射线装置、放射性同位素的辐射事故应急情况。
3	辐射安全防护措施	核医学科	①项目核医学科工作场所划分控制区和监督区，控制区出入口安装门禁； ②设置更衣缓冲间，工作人员离开时进行表面污染监测； ③机房墙体、防护门、观察窗防护当量满足标准限值要求，设置有门灯联锁装置、急停按钮、电离辐射警告标志、工作状态指示灯、对讲装置、摄像监控装置等； ④机房内通风良好； ⑤自动分装仪。
4	防护用品	核医学科	个人剂量计、放射性污染防护服、铅橡胶衣、铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅帽（选配）、铅眼镜（选配）、铅污物桶（12 个，8mmPb）。
5	放射性废水	核医学科	根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）中相关规定，含 ^{131}I 废水暂存 180 天后排放，半衰期小于 24h 的放射性废水暂存 30 天后排放。
6	放射性	核医学科	本项目核医学科产生的放射性废气通过独立的负

	废气			压排风系统收集排放，排风管道拟布设在吊顶上方，并通过支管连接至各个用房，管道节点处拟设置调节阀门，防止放射性废气倒灌，经活性炭过滤器吸附后排至楼顶。
7	放射性固废	核医学科		本项目核医学科产生的放射性固体废物统一收集暂存在核医学制药区域南侧放废间内，所含核素半衰期小于 24 小时（主要为含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素）的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。经检测符合解控要求（辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ），按照一般医疗废物委托有资质的单位进行清运处理。放射性固废处理满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准要求。
8	环境监测仪器			配备 2 台 X- γ 辐射防护监测仪，1 台表面污染监测仪，每年检定 1 次；应定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，详细记录监测数据并归档。
9	职业教育培训			辐射工作人员应定期参加相应类别的辐射安全和防护知识培训考核，取得成绩合格单后方能上岗。
10	个人剂量档案			为每名辐射工作人员配备个人剂量计，辐射工作时要求佩戴，定期送检并保存放射工作人员个人剂量监测档案。
11	健康档案			定期对辐射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康检查档案。
12	剂量管理限值	核医学科	剂量限值	项目公众剂量约束值不超过 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ ，职业工作人员剂量约束值不超过 $5\text{mSv}/\text{a}$ 。
			屏蔽体外剂量率控制	屏蔽墙体外表面 30cm 处、防护门表面及缝隙 30cm、管线穿墙孔洞处空气吸收剂量率应小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。核医学科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 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，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 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。
			表面污染	①工作台、设备、墙壁、地面：控制区： $\beta < 4 \times 10\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；监督区： $\beta < 4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；②工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区： $\beta < 4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；③手、皮肤、内衣、工作袜： $\beta < 4 \times 10^{-1}\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

本项目在医院教学综合楼一层建设核医学科诊断场所，安装使用 1 台 PET-CT，使用 ^{18}F 开展 PET 核素诊断；安装使用 1 台 SPECT-CT，使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展 SPECT 核素诊断。在二层建设核医学科治疗场所，使用 ^{131}I 开展甲癌治疗、甲亢治疗、甲功测定。目前项目基本完成施工建设。

13.1.2 辐射环境质量现状

本次拟建区域 X- γ 剂量率处于正常环境本底水平。

13.1.3 辐射安全与防护分析结论

(1) 本项目按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中有关规定将项目区域划为控制区和监督区管理。

(2) 本项目辐射工作人员已参加辐射安全防护培训并通过考核；均参加了职业健康体检，结果均为可开展辐射工作；均开展了个人剂量监测，并建立个人剂量档案。

(3) 医院制订有《辐射安全管理制度》《辐射事故应急预案》《辐射工作人员培训制度》《辐射工作场所监测制度》《辐射工作人员个人剂量管理制度》《放射性同位素操作规程》《核医学科 PET/CT 及 SPECT/CT 操作规程》《核医学科显像工作制度》《辐射事故应急预案》《设备维修保养制度》《放射防护注意事项》《放射防护用品管理制度》《物理师工作职责》《全国核技术利用辐射安全申报运行管理制度》《辐射人员职业健康体检制度》《辐射人员岗位职责》《辐射检测仪器设的定期检定与管理制度》《辐射工作人员培训制度》《辐射监测计划》《辐射工作场所监测制度》《放射诊疗设备质量控制及防护检测制度》《受检者放射危害告知与防护制度》《放射工作人员个人剂量计管理制度》《放射源和放射性同位素安全管理制度》等辐射安全管理制度。

在落实以上辐射安全措施后，本项目辐射安全与防护措施满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 及《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 对辐射防护和安全操作的要求。

13.1.4 环境影响分析

本项目核医学科正常运行时，屏蔽体外的辐射剂量率满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）中相关要求。

本项目核医学科正常运行时，辐射工作人员及周围公众年有效剂量分别低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中年剂量限值（职业人员 20mSv，公众 1mSv），亦低于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中剂量约束值（职业人员 5mSv/a，公众 0.1mSv/a）。

本项目半衰期大于 24h 的放射性废水暂存时间为 238 天，半衰期小于 24h 的放射性废水暂存时间为 70 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关要求。

本项目含 ^{131}I 的放射性固体废物暂存 180 天，半衰期小于 24h 的放射性固体废物暂存 30 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关要求。

本项目放射性废气按要求设置排风管线，收集后经活性炭吸附处理后引至楼顶排放，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关要求。

综上所述，项目采取的报告提出的辐射防护措施后，对辐射工作人员和公众产生辐射剂量满足国家相关法规标准规定限值要求；项目产生的放射性废气、放射性废水、放射性固体废弃物能够按照相关法规标准要求妥善处置。

13.1.6 结论

延安大学附属医院核医学科核技术应用项目（重大变动）严格按照国家有关辐射安全防护规定执行，切实落实辐射安全防护措施，能够使其对周边环境的辐射影响降到尽可能合理且低的水平，满足辐射防护最优化原则；项目运行所致职业人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准规定限值要求，符合剂量限值约束原则；从辐射安全与环境保护角度，在严格落实各项辐射防护措施情况下，项目对环境的影响是可以接受的。

13.2 建议

（1）项目建设期间，严格按照《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》（陕环办

发〔2018〕29号）相关要求，建立健全各项辐射防护管理制度，规范管理与操作，认真开展自查自评工作，发现问题及时整改，竣工验收前须达到辐射安全管理标准化要求。

（2）项目竣工后，按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，对项目配套建设的环境保护设施进行验收，经竣工环境保护验收合格并取得辐射安全许可证后方可投入运行。

（3）项目建成运行后，应不断完善并严格执行辐射环境监测制度，每年应对射线装置应用的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向辐射安全许可证发证机关报送上一年度辐射安全年度评估报告。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见	
经办人	公 章 年 月 日
审批意见	
经办人	公 章 年 月 日