

核技术利用建设项目

景德镇市第一人民医院
西院区新增核技术利用项目
环境影响报告表
(报批稿)

景德镇市第一人民医院 (盖章)

2023年5月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

景德镇市第一人民医院

西院区新增核技术利用项目

环境影响报告表

建设单位名称：_____景德镇市第一人民医院_____

建设单位法人代表（签名或签章）：_____

通讯地址：_____景德镇市中华北路 317 号_____

邮政编码：_____333000_____ 联系人：_____董哲禹_____

电子邮箱：_____215161916@qq.com_____ 联系电话：_____15870999204_____

目录

表 1	项目基本情况	- 1 -
表 2	放射源	- 13 -
表 3	非密封放射性物质	- 14 -
表 4	射线装置	- 15 -
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	- 16 -
表 6	评价依据	- 17 -
表 7	保护目标与评价标准	- 20 -
表 8	环境质量和辐射现状	- 42 -
表 9	项目工程分析与源项	- 54 -
表 10	辐射安全与防护	- 75 -
表 11	环境影响分析	- 125 -
表 12	辐射安全管理	- 177 -
表 13	结论与建议	- 187 -
表 14	审批	- 192 -
附图一	景德镇市第一人民医院地理位置图	错误!未定义书签。
附图二	景德镇市第一人民医院平面图	错误!未定义书签。
附图三	景德镇市第一人民医院医技楼-2F 局部平面布置图（放疗科及核医学科区域）	错误!未定义书签。
附图四	景德镇市第一人民医院医技楼-1F 平面布置图（局部）	错误!未定义书签。
附图五	景德镇市第一人民医院医技楼-2F 平面布置图	错误!未定义书签。
附图六	景德镇市第一人民医院医技楼-1F 平面布置图	错误!未定义书签。
附件 1	项目委托书	错误!未定义书签。
附件 2	景德镇市生态环境局（原景德镇市环境保护局）《关于<景德镇第一人民医院新区分院项目环境影响报告书>的批复》	错误!未定义书签。
附件 3	辐射安全许可证	错误!未定义书签。
附件 4	监测报告	错误!未定义书签。
附件 5	关于调整放射防护管理委员会及相关制度	错误!未定义书签。
附件 6	辐射安全与防护培训证书（部分）	错误!未定义书签。

附件 7 健康体检报告（部分）	错误!未定义书签。
附件 8 个人剂量检测报告	错误!未定义书签。
附件 9 年度评估报告.....	错误!未定义书签。
附件 10 类比项目监测报告	错误!未定义书签。
附件 11 本项目监测报告监测资质及监测仪器检定证书	错误!未定义书签。
附件 12 本项目原有核技术利用项目环评及验收批复	错误!未定义书签。
附件 13 景德镇市第一人民医院 2022 年自主监测情况	错误!未定义书签。
附件 14 景德镇市第一人民医院 2022 年执法检查情况	错误!未定义书签。
附件 15 专家意见及修改情况	错误!未定义书签。

表 1 项目基本情况

建设项目名称		景德镇市第一人民医院西院区新增核技术利用项目			
建设单位		景德镇市第一人民医院			
法人代表	余钢成	联系人	董哲禹	联系电话	15870999204
注册地址		江西省景德镇市珠山区中华北路 317 号			
项目建设地点		江西省景德镇市昌南拓展区 2 号景德镇市第一人民医院西院区医技楼负二层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资(万元)		24300	项目环保投资(万元)	1200	投资比例(环保投资/总投资) 4.94%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积(m ²)	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
	射线装置	<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
		<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其他	<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
/					
1.1 项目概况					
1.1.1 建设单位情况					
<p>景德镇市第一人民医院是全市成立最早的公立医院，始建于 1950 年，现已发展成为集医疗、教学、科研、预防、保健和急救服务为一体的大型综合性三级甲等医院，景德镇市第一人民医院共设有三个院区，分别为：老院区（位于景德镇市中华北路 317 号）、西院区（位于景德镇市昌南拓展区 2 号路）、三龙分院（景德镇市浮梁县三龙镇杨家店村）。</p>					
1.1.2 项目建设规模					
<p>景德镇市第一人民医院已委托有资质单位完成了《景德镇第一人民医院新区分院项目环境影响报告书》，并已于 2015 年 9 月 7 日取得景德镇市生态环境局（原景德镇市环境保护局）《关于<景德镇第一人民医院新区分院项目环境影响报告书>的批复》批复文件（景环审字【2015】322 号），该项目正在建设中，待项目整体建设全部完成试运行后拟开展自主验收。</p>					

为进一步满足医院业务发展需要，景德镇市第一人民医院拟在景德镇市第一人民医院西院区医技楼开展建设核技术利用项目，具体如下：

西院区医技楼拟建核技术利用项目如下：

(1) 核医学科项目

西院区医技楼负二层建设核医学科工作场所，核医学科属乙级非密封放射性物质工作场所，场所设置 PET-CT 机房、PET-MR 机房、SPECT-CT 机房、分装室、注射后等候室、留观室、核素治疗病房、储源室、废物暂存室、敷贴室、甲测室和其他辅助用房。

核素显像：建设 1 间 PET-CT 机房、1 间 PET-MR 机房和 1 间 SPECT-CT 机房。医院拟在 PET-CT 机房中安装使用 1 台 PET-CT（属于Ⅲ类射线装置），在 PET-MR 机房安装使用 1 台 PET-MR，使用核素 ^{18}F 开展正电子显像诊断，最多配套使用 4 枚 ^{68}Ge 校准源（属于Ⅴ类放射源），用于图像质控校正；在 SPECT-CT 机房安装使用 1 台 SPECT-CT（属于Ⅲ类射线装置），使用放射性 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 开展单光子显像诊断；

核素治疗：医院拟使用核素 ^{131}I 开展甲癌、甲亢治疗和甲测，使用核素 ^{32}P 开展敷贴治疗，使用 ^{223}Ra 和 ^{89}Sr 开展骨转移癌治疗；场所设置 4 间甲癌住院病房，每间病房中设置 1 张病床用于甲癌患者住院治疗。

(2) 放疗科项目

西院区医技楼负二层设置放疗科，放疗科内拟使用 1 台 X 射线能量最大 10MV 的医用电子直线加速器（将原有老院区放疗科现有一台医用直线加速器搬迁至新机房）、1 台后装治疗机（使用 ^{192}Ir 为Ⅲ类密封放射源）、1 台 CT 定位机；

目前本项目不涉及“未批先建”情况。

本项目新增核技术利用项目详见表 1-1~表 1-4。

表 1-1 建设项目拟配置射线装置情况一览表

序号	射线装置	厂家/型号	最大管电压	最大管电流	类别	数量	工作场所
1	PET/CT	待定	140kV	800mA	Ⅲ类	1 台	医技楼负二层核医学科
2	SPECT/CT	待定	140kV	800mA	Ⅲ类	1 台	
3	CT 定位机	待定	140kV	800mA	Ⅲ类	1 台	医技楼负二层放疗科 CT 定位机房

表 1-2 拟配置加速器参数

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)	位置	备注

医用电子直线加速器	II	1	Synerg y	电子	X射线: 6MV、10MV 电子线: ≤15MeV	10MV: X射线≤6Gy/min 6MV: X射线≤14Gy/min 电子≤10Gy/min	医技楼负二层放疗科直线加速器机房	搬迁
-----------	----	---	----------	----	------------------------------	---	------------------	----

表 1-3 拟配置放射源参数

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	使用场所
1	¹⁹² Ir	3.7E+11Bq×1枚	III	医技楼负二层放疗科后装机机房
2	⁶⁸ Ge	1.11+8Bq×4 枚	V	医技楼负二层核医学科 (PET/CT 校准源、PET/MR 校准源)

表 1-4 拟配置非密封放射性物质工作场所

序号	核素名称	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	活动种类	工作场所等级	工作场所名称	备注	来源
1	¹⁸ F	3.33E+10	3.33E+07	8.33E+12	使用	最大日等效操作活度为 3.60E+09Bq, 乙级	医技楼负二层核医学科	PET诊断	外购
2	^{99m} Tc	2.31E+09	2.31E+06	5.78E+11				SPECT诊断	外购
3	¹³¹ I	9.25E+08	9.25E+07	2.31E+11				外购	
4	¹³¹ I	3.70E+06	3.70E+05	9.25E+08				甲测	外购
5	¹³¹ I	3.70E+09	3.70E+08	9.25E+11				甲亢治疗	外购
6	¹³¹ I	2.96E+10	2.96E+09	1.48E+12				甲癌治疗	外购
7	³² P	8.88E+07	8.88E+06	3.70E+10				敷贴治疗	外购
8	⁸⁹ Sr	1.48E+08	1.48E+07	3.00E+09				骨转移癌治疗	外购
9	²²³ Ra	1.20E+07	1.20E+08	2.22E+10				骨转移癌治疗	外购

注: (1) 本项目放射性核素单次最大给药量, 年使用天数见表 9 相关内容

(2) 上表中的放射性药物 ¹⁸F 由于衰变期较短, 故日最大操作量均考虑了药物衰变量, 具体用药量来源见表 9。考虑核素使用最大量, ¹⁸F 日最大用量根据日最大患者 30 人, 人均注射量均按 10mCi/人计算而来。

本环评要求新增辐射工作人员在项目正式运行前参加辐射安全与防护知识考核、进行上岗前体检、配备个人剂量计, 在辐射安全与防护知识考核合格后方可上岗。

1.1.3 评价目的

(1) 对拟建场址周边的辐射环境现状进行现场调查和监测, 以掌握该场址的辐射水平和辐射环境质量现状;

(2) 通过环境影响评价, 分析建设项目对其周围环境影响的程度和范围, 提出环境污染控制对策, 为建设项目的工程设计和环境管理提供科学依据;

(3) 对不利影响和存在的问题提出防治措施, 把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”;

(4) 给出明确的环评结论, 为有关部门的辐射环境监督管理提供科学依据。

1.1.4 任务的由来

景德镇市第一人民医院西院区新增核技术利用项目包含放疗科和核医学科应用项目。根据《射线装置分类》（环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日公布实施），本项目电子直线加速器属于 II 类射线装置，CT 定位机、PET/CT 及 SPECT/CT 均属于 III 类射线装置。根据《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局公告 2005 第 62 号），本项目后装治疗使用的 ^{192}Ir 放射源属于 III 类放射源，核医学使用的校准源为 V 类放射源，经计算可知本项目核医学科非密封放射性工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。

为保护环境，保障周围公众健康，根据《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护管理条例》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的规定，使用射线装置及放射源的单位应当在建设施工前编制环境影响评价文件。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目属于“五十五、核与辐射 172 核技术利用建设项目”中“使用 III 类、V 类放射源的；使用 II 类射线装置的；使用乙级场所”，因此，本项目环境影响评价报告文件形式为编制环境影响报告表。景德镇市第一人民医院委托江西辐射剂量检测院有限公司对本项目进行环境影响评价。我公司接受委托后组织人员在现场踏勘、收集有关资料的基础上，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》（HJ 10.1-2016）等规范的要求，编制了本项目的的环境影响报告表。

1.2 评价项目地理位置、周边环境概况及选址合理性分析

（1）项目地理位置

景德镇市第一人民医院西院区位于江西省景德镇市昌江区昌南拓展区 2 号路（地理坐标为东经 117°9'9.76"，北纬 29°16'9.62"），项目区域详见附图一，图 1-1。

（2）周围环境概况

景德镇市第一人民医院西院位于江西省景德镇市昌江区昌南拓展区 2 号路，本项目直线加速器机房、后装机机房及核医学科区域均位于新建医技楼负二层，医技楼位于医院中间区域，医技楼东侧为院区过道，南侧为门诊楼，西侧为院区过道，北侧为住院楼。

院区平面图见附图二，图 1-2。

（3）选址合理性分析

本项目所在医技楼已取得《关于<景德镇第一人民医院新区分院项目环境影响报告

书>的批复》批复文件（景环审字【2015】322号），医院整体项目选址合理性已在《景德镇第一人民医院新区分院项目环境影响报告书》中进行了论述，本项目仅为整体项目的配套建设项目，不新增用地，且拟建设的各个辐射工作场所，均拟按照相关规范要求建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。

项目的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，未设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。辐射工作场所分布相对集中，场所进行了单独选址、集中建设，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，建设单位进行辐射安全分区管理，限制无关人员进入控制区及限制在监督区逗留，从辐射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。

1.3 医院原有核技术利用项目情况

1.3.1 原有射线装置使用情况

景德镇市第一人民医院现有许可 27 台射线装置及非密封放射性物质工作场所，非密封放射性物质工作场所均已进行环境影响评价，并于 2023 年 1 月 31 日取得了江西省生态环境厅核发的辐射安全许可证，许可证编号为赣环辐证【H2301】（见附件 3），有效期至 2028 年 2 月 5 日，医院现已开展 II 类射线装置及乙非密封放射性物质工作场所均已进行竣工环保验收工作。截至目前为止，医院上述射线装置及非密封放射性物质工作场所运行情况良好，暂未发生辐射安全事故。医院现有射线装置情况见下表 1-5，医院现有放射性同位素使用情况见下表 1-6。

表 1-5 医院现有射线装置情况表

序号	机型	型号	使用场所	环评情况	类别	验收情况
总院						
1	DSA	GE9800 型	外科大楼 8 楼 ERCP 机房	赣环辐字 (2015) 69 号	II类	2017 年 12 月 22 日自主 验收
2	DR 机	新东方 1000C	内科综合楼负 1 楼体检站机房		III类	
3	床旁机	PX-2000	内科综合楼 7 楼新生儿科		III类	
4	骨密度仪	MEDIX90	放射科 7 室	赣环辐字 (2015) 51 号	III类	
5	移动式 C 形臂	OEC Fluorstar	外科大楼 3 楼手术室 12 室		III类	
6	DSA	Allura Xper FD	内科楼 1 楼介入 1 室	赣环辐字 (2013) 31 号	II类	
7	DR 机	OPERA T2000	放射科 4 室		III类	
8	数字化胃肠机	EssentaRc	放射科 2 室		III类	
9	DR 机	Digital Diagnost	放射科 3 室		III类	
10	乳腺钼靶	uMammo 790i	放射科 8 室		III类	

	机						
11	口腔颌面全景机	Rayscam	放射科 6 室			III类	
12	CT	Brilliance64	CT 室 2 室			III类	
13	床旁机	HM-32A 型	外科大楼 4 楼 ICU			III类	
14	牙片机	MSD-III	门诊楼 6 楼	赣环辐字 (2015) 51 号		III类	
15	CT 机	Optima540	CT 室 1 室	赣环辐字 (2015) 69 号		III类	
16	DR 机	1000SA/C	放射科 1 室			III类	/
17	床旁机	HM-200	门诊楼急诊 ICU	赣环辐字 (2016) 132 号		III类	
18	医用直线加速器	Synergy	放疗室: 直线加速器机房			II类	2018 年 5 月 9 日自主验收
19	DSA	IGS330	介入室 2 室	赣环辐字 (2019) 41 号		II类	2019 年 12 月 27 日自主验收
20	256 排 CT	RevolutionCT	CT 室 3 室	备案号: 20183602030000020		III类	/
21	小 C 形臂机	Ziehm Vision FD	外科大楼 3 楼手术室 13 室	备案号: 20203602030000066		III类	/
22	射线计算机体层摄影设备	AquilionLightningTSX-035A	发热门诊前停车场	备案号: 20203602030000118		III类	/
23	小 C 形臂机	Ortho-A51	10 号手术室			III类	/
24	床旁机	Udr380i	ICU	备案号: 20223602030000027		III类	/
25	小 C 形臂机	D-Vision90000	13 号手术室			III类	/
26	小 C 形臂机	Elfinbot100	泌尿外科手术室			III类	/
三龙分院							
1	DR 机	SONTU-UF-1	三龙分院门诊部 1 楼	赣环辐字 (2016) 132 号		III类	/

表 1-6 医院许可使用的非密封放射性物质一览表

序号	核素名称	使用场所	放射性活度 (Bq/a)	日等效最大操作量 (Bq)	环评情况	类别	验收情况	备注
总院								
1	^{99m} Tc	核医学科	1.54×10 ¹²	2.96×10 ⁸	赣环辐字 (2015) 51 号	使用乙级非密封放射性物质工作场所	2017 年 12 月 22 日自主验收	已开展
2	⁸⁹ Sr		3.55×10 ⁹	5.92×10 ⁷				已开展
3	³² P		2.66×10 ¹⁰	2.22×10 ⁸				未开展
4	¹³¹ I		3.55×10 ¹¹	7.4×10 ⁸				已开展

5	¹⁵³ Sm		2.22×10 ¹⁰	2.22×10 ⁸			未验收	未开展
6	¹²⁵ I(籽源)		3.552×10 ¹¹	7.4×10 ⁶	赣环辐字 (2018) 2号		/	已开展
7	¹²⁵ I(标记物)		2.66×10 ⁷	1.85×10 ⁵	豁免	使用丙级非密封放射性物质 工作场所	/	未开展

1.3.2 现有辐射安全管理情况

1、辐射安全与环境保护管理机构

景德镇市第一人民医院已成立由院党委书记为组长的放射防护管理委员会（见附件5），指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员管理职责，满足环保相关管理要求。

2、辐射安全管理规章制度

景德镇市第一人民医院已针对现有核技术利用项目制定了《辐射监测方案》、《放射工作人员职业健康教育培训制度》、《放射防护安全管理制度》、《影像科放射工作人员职业照射与个人剂量监测制度》、《放射工作人员职业健康管理制度》、《X线摄影操作规程》、《设备维修维护制度》、《放射防护管理人员职责》、《科室岗位职责》、《医学影像质量保证方案》、《影像科患者放射防护与安全管理制度》、《放射危害告知制度》、《放射事件应急处理预案》等规章制度，具体见附件5。

该单位制定规章制度中缺少核医学科、放疗治疗、介入治疗等相关规章制度，辐射事故应急预案缺少相关应急处置程序，建设单位应及时对相关制度进行更新及完善，确保相关制度满足现有辐射工作要求。

3、现有辐射工作人员情况

①个人剂量监测与健康体检

景德镇市第一人民医院现有辐射工作人员142人，医院已为辐射工作人员建立了个人健康档案，其中142人均已进行职业健康体检，根据该单位辐射工作人员的职业健康体检报告（附件7），体检结果均可继续原放射工作。

医院现有辐射工作人员142人均已配备了个人剂量计，定期送有资质部门进行个人剂量监测，建立了个人剂量档案。根据医院提供的辐射工作人员个人剂量检测报告（附件8）可以看出，医院现有辐射工作人员最近一年（2021.10.1~2022.9.29）的受照剂量为0.03mSv/a~1.83 mSv/a（纪刚），均未超过职业人员辐射剂量约束值5mSv/a。

②辐射安全和防护知识培训

根据医院提供资料，医院现有的辐射工作人员142人，所有辐射工作人员均取得了

辐射安全与防护培训证书（附件 6）。现有一名辐射工作人员（卢志军）培训证书已到期，医院应组织培训证书到期辐射工作人员进行辐射安全防护。

医院拟组织新进辐射工作人员通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名，自主学习并报名参加考核，通过考核后，方可上岗。

4、年度评估和辐射监测

（1）年度评估报告

每年对本单位辐射工作场所的安全和防护状况进行了年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交了上一年度的评估报告（详见附件 11），满足环保相关管理要求。

（2）辐射监测

①年度监测

医院 2022 年已委托江西省核工业地质局实验测试大队对本单位的辐射工作场所进行了年度监测工作，根据监测报告，院区现有辐射工作场所满足相关标准要求。

②自行监测

建设单位已配备 2 台 JB4000 型环境监测用 X- γ 辐射空气比释动能率对核技术运用场所进行自行监测，核技术运用场所自行监测记录详见附件 6。

5、辐射环保档案标准化管理

建设单位已根据相关要求对现有辐射工作人员进行档案化标准管理。

6、运行情况

景德镇市第一人民医院开展核技术利用项目至今，未发生过辐射安全事故。

7、应急演练

景德镇市第一人民医院暂未进行辐射安全应急演练，景德镇市第一人民医院应根据相关标准要求开展辐射事故应急演练。

8、执法检查情况

江西省辐射环境监测站于 2021.6.21（附件书写错误为 2021.6.21）对建设单位进行了执法检查（详见附件 12），检查结论主要为：

- （1）培训上岗证书缺 8 个人，三个月内完成。
- （2）根据检查记录，完善相关规章制度。
- （3）辐射安全许可证增项，尽快完善。
- （4）完善相关制度台账。
- （5）未配备便携式辐射检测仪器仪表

建设单位积极听取执法检查部门意见，及时对检查部门提成要求进行整改，整改内容如下。

意见 1 整改措施：院内辐射工作人员均已进行辐射安全防护培训，现有一名辐射工作人员（卢志军）培训证书已到期，医院已组织通知该人员进行辐射安全防护培训工作。

意见 2 整改措施：已根据检查记录，完善相关规章制度。

意见 3 整改措施：已进行辐射安全许可证重新申请及延续工作，新增均已在辐射安全许可证中。

意见 4 整改措施：已完善相关制度台账。

意见 5 整改措施：本项目已配备 2 台 JB4000 型环境监测用 X- γ 辐射空气比释动能率，基本可满足院区自主监测要求。

1.3.3 辐射防护情况

根据景德镇市第一人民医院提供的年度评估资料和现场踏勘情况，得出以下结论：

（1）屏蔽防护：现有核技术利用涉及机房屏蔽防护措施满足要求；射线装置机房设置了铅玻璃观察窗，能清楚观察到机房内情况；操作间和机房间设置对讲装置，方便医务人员和受检者沟通；机房周围辐射环境水平符合相关标准规定的要求。

（2）警示标志：防护门上方有工作状态指示灯，防护门上粘贴有电离辐射警示标志；

（3）机房机械通风装置：有。

医院核技术利用实践活动场所均采取了切实有效的辐射防护措施，机房等辐射防护效能良好，未见异常。

存在的问题：

建设单位应及时对相关制度进行更新及完善，确保相关制度满足现有辐射工作要求。

景德镇市第一人民医院暂未进行辐射安全应急演练。

医院现有一名辐射工作人员培训证书已经过期，医院应组织辐射按防护培训证书过期辐射工作人员进行复训。

整改方案：

建设单位应及时对相关制度进行更新及完善，确保相关制度满足现有辐射工作要求

景德镇市第一人民医院应根据相关标准要求开展辐射事故应急演练，确保本项目辐射工作人员具有较强的辐射应急处理能力。

及时进行生态环境部门组织的辐射安全防护培训，并通过考核。



图 1-1 项目地理位置图

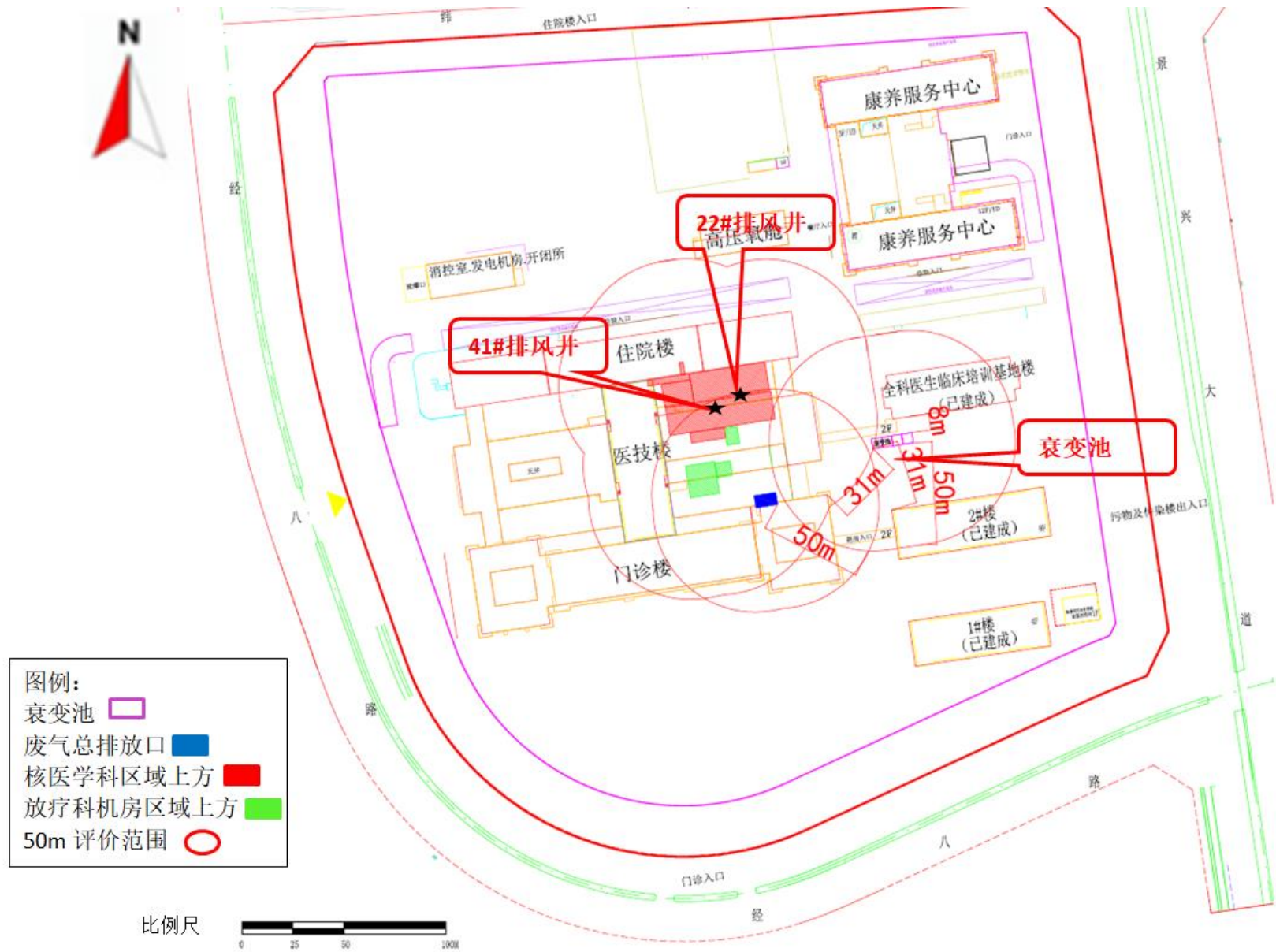


图 1-2 院区平面图及项目周边关系图

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	^{18}F	液态, 低毒 半衰期 109.8min	使用	3.33E+10	3.33E+07	8.33E+12	PET 显像诊断	很简单的操作	医技楼负二层核医学科	暂存在储源室铅罐内
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态, 低毒 半衰期 6.02h	使用	2.31E+09	2.31E+06	5.78E+11	SPECT 显像诊断	很简单的操作		
3	^{131}I	液态, 中毒 半衰期 8.02d	使用	9.25E+08	9.25E+07	2.31E+11	SPECT 显像诊断	简单操作		
4	^{131}I	液态, 中毒 半衰期 8.02d	使用	3.70E+06	3.70E+05	9.25E+08	甲测	简单操作		
5	^{131}I	液态, 中毒 半衰期 8.02d	使用	3.70E+09	3.70E+08	9.25E+11	甲亢治疗	简单操作		
6	^{131}I	液态, 中毒 半衰期 8.02d	使用	2.96E+10	2.96E+09	1.48E+12	甲癌治疗	简单操作		
7	^{32}P	液态, 中毒 半衰 14.3d	使用	8.88E+07	8.88E+06	3.7E+10	敷贴治疗	简单操作		
8	^{89}Sr	液态, 中毒 半衰期 50.53d	使用	1.48E+08	1.48E+07	3.00E+09	骨转移癌治疗	简单操作		
9	^{223}Ra	液态, 极毒 半衰期 11.44d	使用	1.20E+07	1.20E+08	2.22E+10	骨转移癌治疗	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	医用电子直线加速器	II类	1	Synergy	电子	X 射线: 10MV 电子线: 15MeV	X 射线: ≤840Gy/h 电子线: ≤600Gy/h	放射治疗	医技楼负二层放疗科加速器机房	

(二) X 射线机，包括工业检测、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	PET/CT	III类	1 台	待定	140	800	医疗诊断	医技楼负二楼核医学科	
2	SPECT/CT	III类	1 台	待定	140	800	医疗诊断		
3	CT 定位机	III类	1 台	待定	140	800	医疗诊断	医技楼负二楼放疗科	

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
以下无内容													

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废液	液态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{23}Ra 、 ^{89}Sr 等	/		显像区 1 21m ³ 治疗区 2 65m ³	总 α : <1Bq/L 总 β : < 10Bq/L	衰变池	满足 HJ1188 规定的限值后，排入医院污水处理站
放射性固体废物（沾染放射性核素的一次性注射器、安瓿瓶、一次性水杯、棉签、吸水材料、滤纸、废活性炭等）	固态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 等	/		显像区 4 00kg 治疗区 4 81.25 kg	/	暂存在废物间	经检测，满足 HJ1188 规定的清洁解控水平后，按一般医疗废物处理
放射性废气	气态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{223}Ra 、 ^{89}Sr 等	/	微量	微量	0.725 Bq/m ³	不暂存	满足 HJ1188 规定的管理措施，经排气口高效吸附过滤排放
废 ⁶⁸ Ge源	固态	⁶⁸ Ge	/	/	/	/	不暂存	由放射源供应商回收或委托有资质单位回收
废 ¹⁹² Ir源	固态		/	/	/	/	不暂存	由放射源供应商回收或委托有资质单位回收
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	通过机房排风系统排入大气	排入大气，臭氧在 20~30 分钟左右可自动分解
医疗废物	固态	/	/	少量	少量	/	暂存至污物暂存室	由医院委托有资质单位统一处理。

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

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（1989年12月26日通过。2014年4月24日修订，2015年1月1日起施行）；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（中华人民共和国主席令第48号，2018年12月29日修订）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令第6号，2003年6月28日通过，2003年10月1日起施行）；</p> <p>(4) 《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》（国务院第682号令，2017年6月21日通过，2017年10月1日施行）；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2005年9月14日中华人民共和国国务院令449号公布。根据2014年7月29日《国务院关于修改部分行政法规的决定》第一次修订，根据2019年3月2日《国务院关于修改部分行政法规的决定》第二次修订，自2019年3月2日起施行）；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令18号，2011年3月24日公布，2011年4月18日公布，2011年5月1日施行）；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2006年1月18日国家环境保护总局令31号公布；根据2008年11月21日环境保护部2008年第二次部务会议通过的《关于修改〈放射性同位素与射线装置安全许可管理办法〉的决定》修正；根据2017年12月12日环境保护部第五次部务会议通过的《环境保护部关于修改部分规章的决定》第二次修正；根据2019年7月11日由生态环境部部务会议审议通过的《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》第三次修正，根据2020年12月25日由生态环境部部务会议审议通过《关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定》第四次修正，自2021年1月4日起施行。）；</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021版）》（中华人民共和国生态环境部令16号，2021年1月1日起施行）；</p> <p>(9) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号）；</p> <p>(10) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（生态环境部令9号，于2019年9月20日公布，自2019年11月1日起施行）；</p> <p>(11) 《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</p>
------------------	--

	<p>会公告 2017 年第 66 号），自 2017 年 12 月 5 日起施行）；</p> <p>（12）《关于辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（国家生态环境部 2019 年第 57 号公告）；</p> <p>（13）《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部 2021 年 第 9 号公告）；</p> <p>（14）《关于发布<放射源分类办法>的公告》（国家环境保护总局公告 2005 年 第 62 号），自 2005 年 12 月 23 日起施行；</p> <p>（15）《关于发布<建设项目竣工环境保护验收暂行办法>的公告》（环境保护部 国环规环评〔2017〕4 号）；</p> <p>（16）《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第 29 号；《国家发展改革委关于修改<产业结构调整指导目录（2019 年本）>的决定》，中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第 49 号，2021 年 12 月 30 日）；</p>
<p>技术标准</p>	<p>（1）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>（2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>（3）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>（4）《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>（5）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；</p> <p>（6）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；</p> <p>（7）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；</p> <p>（8）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；</p> <p>（9）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）；</p> <p>（10）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）；</p> <p>（11）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）；</p> <p>（12）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；</p> <p>（13）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）；</p> <p>（14）《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）；</p>

其
他

- (1) 景德镇市第一人民医院环境影响评价委托书；
- (2) 景德镇市第一人民医院西院区新增核技术利用项目相关图纸；
- (3) 《中国环境天然放射性水平》，原国家环境保护局，1995年8月；
- (4) 其他相关资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

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）的规定，并结合项目特点，确定辐射环境评价范围为该项目核技术利用场所实体屏蔽物边界外 50m 的区域，辐射环境评价范围示意图见图 7-1、附图五、附图六。

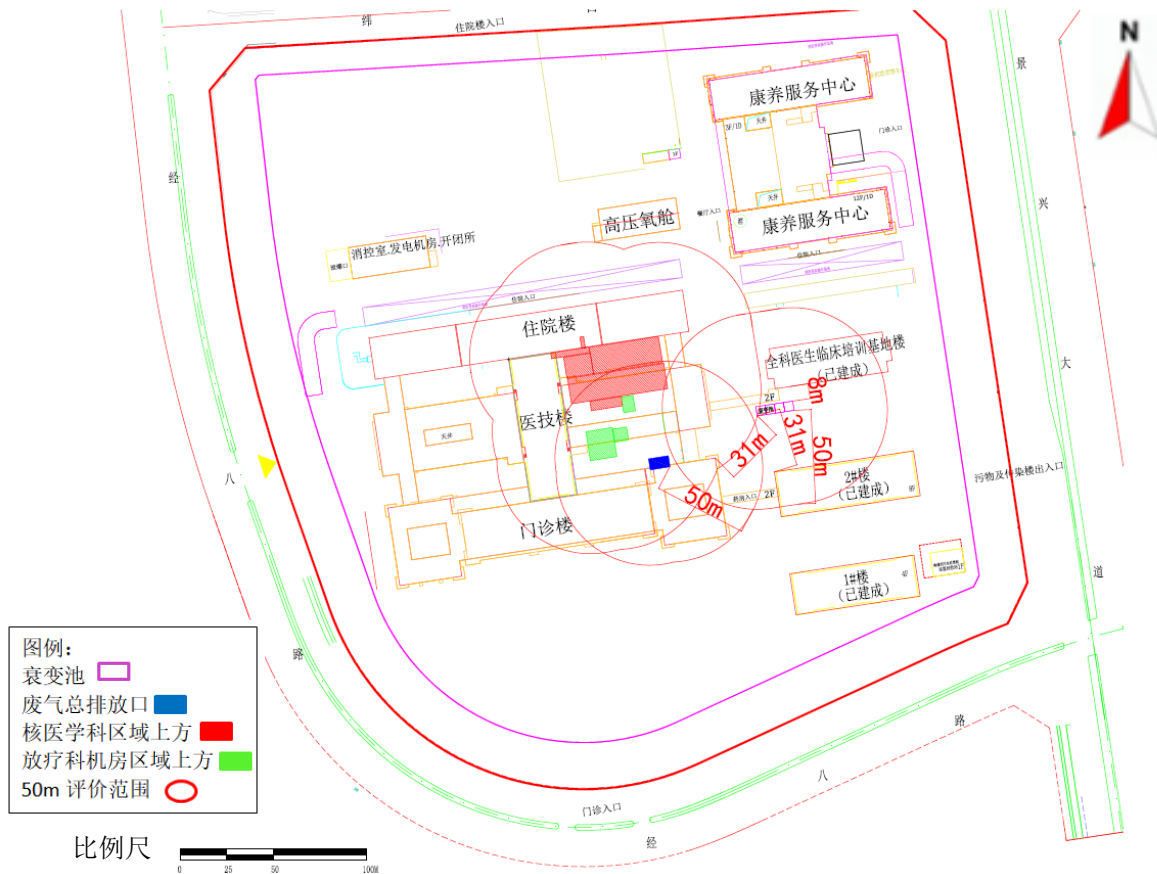


图 7-1 项目评价范围示意图

7.2 保护目标

本项目环境保护目标主要是医院内部医务人员、接诊患者和其他出入医院的公众人员，见表 7-1。

表 7-1 项目环境保护目标

评价项目	方位	距离	场所	环境保护人群	人数
放疗科项目	直加机房东侧	紧邻	后装机房、地下停车场	公众成员	约 5 人
	直加机房南侧	紧邻	地下停车场、中成药仓库、麻醉药回收室	公众成员	约 5 人
	直加机房西侧	紧邻	进风机房、质控间、配电间	公众成员	约 2 人

	直加机房北侧	紧邻	控制室、准备大厅、冷却机房	辐射工作人员	10人
				公众成员	约5人
	直加机房楼上	紧邻	平台	公众成员	约5人
	后装机房东侧	紧邻	停车场	公众成员	约3人
	后装机房南侧	紧邻	停车场	公众成员	约8人
	后装机房西侧	紧邻	直线加速器机房、地下停车场	公众成员	约6人
	后装机房北侧	紧邻	操作间、准备间	辐射工作人员	3人
				公众成员	约2人
	后装机房楼上	紧邻	停车场	公众成员	约4人
	CT模拟定位机房东侧	紧邻	控制室	辐射工作人员	3人
	CT模拟定位机房南侧	紧邻	患者走廊	公众成员	约1人
	CT模拟定位机房西侧	紧邻	核医学科PET-CT注射后候诊2、配件室	公众成员	约5人
	CT模拟定位机房北侧	紧邻	核医学科区域患者走廊	公众成员	约3人
	CT模拟定位机房楼上	紧邻	停车场	公众成员	约12人
	放疗科南侧	约20m	门诊楼	公众成员	约200人
放疗科西侧	紧邻	医技楼	公众成员	约200人	
核医学科项目	核医学科工作场所内	紧邻	分装室、核素治疗病房、PET-CT室、PET-MR室和SPECT-CT室、控制室等	辐射工作人员	26人
				公众成员	约25人
	核医学科工作场所东侧	紧邻	地下停车场、楼梯间等区域	公众成员	约10人
	核医学科工作场所南侧	紧邻	放疗科区域	公众成员	约30人
	核医学科工作场所西侧	紧邻	核医学科办公区域	公众成员	约20人
	核医学科工作场所北侧	紧邻	住院楼地下一层水泵房、设备房等区域	公众成员	约5人
	核医学科工作场所上方	紧邻	地下停车场	公众成员	约3人
	核医学科西侧	紧邻	医技楼	公众成员	约200人
	核医学科北侧	紧邻	住院楼	公众成员	约200人
	衰变池南侧	约31m	2#楼	公众成员	约200人
	衰变池西侧	约31m	医技楼、门诊楼	公众成员	约300人
	衰变池北侧	约8m	全科医生临床培训基地楼	公众成员	约50人
衰变池上方	紧邻	院区绿化	公众成员	约2人	

7.3 评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

重点引用:

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中的安全。

B1.1.1.1 职业照射：

B1.1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

- a) 由审管部门决定的连续 5 年的平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均）20mSv；
- b) 任何一年中的有效剂量，50mSv。
- c) 眼晶体的年当量剂量，150 mSv。
- d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

B1.2 公众照射：

B1.2.1 实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

- a) 年有效剂量，1mSv；
- b) 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。
- c) 眼晶体的年当量剂量，15mSv。
- d) 皮肤的年当量剂量，50mSv。

同时，应对剂量限制进行约束，约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a 范围之内）。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871 -2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中相关要求，本项目公众年有效剂量取 0.1mSv 作为公众照射剂量约束值；工作人员中以年有效剂量不超过 5mSv 作为剂量约束值。

（2）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）；

重点引用：6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

6.1 屏蔽要求

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

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

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

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面 30cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1) 和 2) 所确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

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

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

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

2) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考水平， $\dot{H}_{c, \max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所， $\dot{H}_{c, \max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所， $\dot{H}_{c, \max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量 $250 \mu\text{Sv}$ 加以控制。

c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能到达的机房顶，及房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv/h}$ 加以控制（可在相应位置处设置辐射工作牌）。

6.2 安全防护设施和措施要求

6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等：

a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；

b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；

c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。

6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线

加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。

6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：

a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；

b) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；

c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；

d) 质子/重离子治疗装置安全联锁系统还应包括清场巡检系统、门钥匙开关（身份识别系统）。质子/重离子治疗室、加速器大厅和束流输运通道应建立分区清场巡检和束流控制的逻辑关系，清场巡检系统应考虑清场巡检的最长响应时间和分区调试情况的联锁装置。日常清场巡检时，如超出设定的清场巡检响应时间，需重新进行清场巡检；

e) 质子/重离子治疗装置应考虑建立调试、检修、运行维护人员的人身安全联锁系统，将调试、检修、运行维护人员的人受照剂量与进入控制区的权限实施联锁管控；

f) 安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装、调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

7 操作的辐射安全与防护要求

7.1 医疗机构应对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。

7.2 治疗期间，应有两名及以上人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守。

7.3 任何人未经授权或允许不得进入控制区。工作人员需在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入含放射源或质子/重离子装置的

治疗室前需携带个人剂量报警仪。检修人员进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域前，应先进行工作场所辐射监测，在单位辐射安全管理机构批准后方可进入。进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域的参观人员须在辐射工作人员带领下进入。

7.4 应加强放射源倒装活动的辐射安全管理，倒装工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行；应制定放射源倒装活动方案，对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置、倒源屏蔽体搭建进行确认；倒装放射源时应对倒装热室周围和含源设备表面进行辐射监测，关注倒源屏蔽体的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况，做好安装和更换的放射源清点并记录；倒源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。

7.5 质子/重离子加速器调试、检修期间，应对进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道、治疗室区域的人员加强管理。在出束的情况下严禁调试、检修人员滞留在控制区；对辐射水平热点区域（如回旋加速器、降能器、束流偏转及引出部位等）应考虑进行屏蔽；接入人身安全联锁系统的受照剂量监测设备宜采用直读式的仪器。

8 放射性废物管理要求

8.1 总体要求

医疗机构应尽量减少放射性废物的产生；对产生的放射性废物按核素的种类、活度、半衰期、理化性质等分类收集处理。

8.2 固体废物管理要求

8.2.1 废旧放射源管理要求

废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方。确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮，并承担相关费用。

8.2.2 其他固体废物管理要求

8.2.2.1 质子/重离子加速器、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如活化后

的回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

8.2.2.2 低水平的活化部件如质子/重离子加速器治疗头器件、磁铁等，以及处理质子/重离子加速器冷却水的废树脂，集中放置在固体废物暂存间暂存衰变，经衰变后仍

超出清洁解控水平的（放射性废物豁免的活度、活度浓度见附录 B）送交有资质的单位收贮。

8.2.2.3 建立放射性固体废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率）、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固体废物处置，并做好存档记录。

8.3 液态废物管理要求

事故或检修状况下质子/重离子加速器的活化冷却水按照放射性废液管理要求妥善收集贮存，暂存衰变至低于豁免水平后可作为普通废液处理，并做好存档记录。

8.4 气态废物管理要求

8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

（3）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；

重点引用：6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其它居留因子交到的用室，尽可能避开被有用线束直接照射；

6.1.6 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。

6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。

6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口和排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；

通风换气次数应不小于 4 次/h。

8.1.1.2 治疗机房周围 50 m 范围内有高于机房室顶的建筑时，应检测侧散射。

(4) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)；

重点引用：5 选址

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。

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有明确的分界隔离。

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。

5.2.2 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。

5.2.3 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。

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1 屏蔽要求

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 30 cm 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。

6.2 场所安全措施要求

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。

6.2.7 敷贴器治疗场所应设置专门的治疗室，治疗时严禁将敷贴源带出治疗室外。敷贴治疗中，医务人员应采取有效的个人防护措施，对病人的正常组织应采用合适的屏蔽措施。敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面，不得将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后应存放于干燥的贮源箱内。

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

6.3 密闭和通风要求

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、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱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 通风橱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 治疗病房以及设有通风橱、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。

7 放射性废物的管理

7.1 一般要求

7.1.1 应根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。

7.1.2 应按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，应尽量控制和减少放射性废物产生量。

7.1.3 核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。

7.1.4 应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.1 固体放射性废物收集

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

7.2.1.2 含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20 kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

7.2.2 固体放射性废物贮存

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

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

7.2.2.3 废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

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

7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08 Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

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

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

7.2.3.3 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.1 放射性废液收集

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

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

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

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

7.3.2 放射性废液贮存

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

7.3.2.2 含碘-131 治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。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。

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

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 188

71 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1 Bq/L、总 β 不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/L。

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

7.3.3.2 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。

7.4 气态放射性废物的管理

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。

(5) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)。

重点引用：5 工作场所的放射防护要求

5.1 工作场所平面布局和分区

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。

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

- a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；
- b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；
- c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；

d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。

5.1.3 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下：

a) 对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室（根据放射性核素防护特性分别设置）、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房；

b) 对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药室、病房（使用非密封源治疗患者）或给药后留观区、给药后患者专用卫生间、值班室和放置急救设施的区域等功能用房；

c) 诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房；

d) 对于综合性的核医学工作场所，部分功能用房和辅助用房可以共同利用；

5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据 GB18871 的有关规定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。

5.1.5 核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区（病房）的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。

5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。

5.1.7 应通过工作场所平面布局的设计和屏蔽手段，避免附近的辐射源（核医学周边场所内的辐射装置、给药后患者或受检者）对诊断区设备成像、功能检测的影响。

5.2 放射防护措施要求

5.2.1 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施。

5.2.4 分装药物操作宜采用自动分装方式，¹³¹I 给药操作宜采用隔室或遥控给药方式。

5.2.5 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。

5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。

5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。

5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。

5.2.9 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。

5.2.10 扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μSv/h，宜不大于 2.5 μSv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μSv/h；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。屏蔽计算中所涉及的常用放射性药物理化特性参见附录 H。PET 相关房间的辐射屏蔽计算方法和示例参见附录 I。

5.3.2 应根据使用核素的特点、操作方式以及潜在照射的可能性和严重程度，做好工作场所监测，包括场所周围剂量当量率水平、表面污染水平或空气中放射性核素浓度等内容，工作场所放射防护检测方法见附录 J。开展核医学工作的医疗机构应定期对放射性药物操作后剂量率水平和表面污染水平进行自主监测，每年应委托有相应资质的技术服务机构进行检测。核医学工作场所的放射性表面污染控制水平见表 7-2。

表 7-2 核医学工作场所的放射性表面污染控制水平 单位：Bq/cm²

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 a	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹

^a 该区内的高污染子区除外。

6 操作中的放射防护要求

6.2 放射性药物操作的放射防护要求

6.2.1 操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。

6.2.2 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。

6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。

6.2.4 操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风柜内进行。通风柜保持良好通风，并按操作情况必要时进行气体或气溶胶放射性浓度的监测；操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体的工作人员宜使用过滤式口罩。

6.2.5 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。

6.2.6 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表 2 规定值，应采取相应去污措施。

6.2.7 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 7-12 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

6.2.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。

6.2.10 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

6.2.11 贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。

6.2.12 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。

6.2.13 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。

6.2.14 当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，参照使用 6.1.2 和附录 K 所列用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。

6.2.15 核医学放射工作人员应按 GBZ128 的要求进行外照射个人监测，同时对于近距离操作放射性药物的工作人员，宜进行手部剂量和眼晶状体剂量监测，保证眼晶状体连续 5 年期间，年平均当量剂量不超过 20mSv，任何 1 年中的当量剂量不超过 50

mSv；操作大量气态和挥发性物质的工作人员，例如近距离操作 ^{131}I 的工作人员，宜按照 GBZ129 的要求进行内照射个人监测。

8 医用放射性废物的放射防护管理要求

8.1 放射性废物分类，应根据医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等，将放射性废物进行分类收集和分别处理。核医学常用放射性核素的物理特性参见附录 H。

8.2 设废物储存登记表，记录废物主要特性和处理过程，并存档备案。

8.3 放射性废液衰变池应合理布局，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，并有防泄漏措施。

8.4 开展放射性药物治疗的医疗机构，应为住院治疗患者或受检者提供有防护标志的专用厕所，专用厕所应具备使患者或受检者排泄物迅速全部冲入放射性废液衰变池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

8.5 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。

8.6 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，及时转送存储室，放入专用容器中存储。

8.7 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。

8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h ，质量不超过 20kg 。

8.9 储存场所应具有通风设施，出入口设电离辐射警告标志。

8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4 \text{ Bq/cm}^2$ 。

10 ^{131}I 治疗患者住院期间的放射防护要求

10.1 场所放射防护要求

10.1.1 ^{131}I 治疗病房 治疗病房区应为相对独立的场所，病房区入口处应设缓冲区。患者住院后只能在治疗区活动。

10.1.2 ^{131}I 治疗病房区应有独立的通风系统，通风管道应有过滤装置，并定期更换，更换的过滤装置按放射性固体废物处理。

10.1.3 ^{131}I 治疗住院患者的排泄物不应直接排到医院的公共污水管道，应先经过

衰变池的衰变。下水管道宜短，露出地面的部分应进行防护和标记。

10.1.4 病房内应设置患者专用厕所和淋浴间，厕所内应有患者冲厕所和洗手的提示。

10.1.5 病房可设置采光窗，采光窗应进行必要的防护，使其符合 5.3.1 要求。

10.1.6 分装室与给药室之间药物传递应便捷，分装好的 ^{131}I 宜采用机械或自动、半自动的方式传递到给药室，给药过程应有监控。分装室 应设置工作人员通过间，通过间应配备表面污染 检测及剂量率检测仪表及清洗设施。

10.1.7 施用了 ^{131}I 治疗药物的患者如需住院应使用专用病房。专用病房宜为单人间，如不能实现，每间病房最多不应超过 2 人，并且 2 人之间应设置适当的防护屏蔽。

10.1.8 病房中应配备对讲、监控等设施。

10.1.9 患者使用过的被服应先进行存放衰变，衰变至少一个半衰期再进行清洗。

10.1.10 在 ^{131}I 病房场所应使用专用的保洁用品，不能和其他场所（包括核医学其他放射性场所）混用，病房区域内应有存放及清洗保洁用品的场所。

10.2 治疗期间的放射防护要求

10.2.1 宜订购按照患者人份分装的 ^{131}I 药物，如果需要分装，则应配备分装防护通风厨，宜采用自动分装、机械手分装或半自动分装。

10.2.2 治疗前应和患者签署知情同意书。

10.2.3 除医护人员之外的人员不应进入病房。

10.2.4 向病房内传递生活必需品，应通过病房外的缓冲区传递。

10.2.5 2 名及以上患者不宜近距离接触或者集聚。

10.2.6 给药过程中应提供防污染措施。

10.2.7 医护人员宜通过视频及对讲进行查房等医疗活动。当医护人员必须进入专用病房对患者进行救治时，应穿戴个人防污染用品。

10.2.8 病房区域内应配备测量患者体内活度的设备或可测量周围剂量当量率的仪器，按照 7.2 的要求进行出院管理。

10.2.9 应减少放射性废物的产生量。患者食物宜选用产生废物少的食材

12.4.2 治疗室内高 1.5m 以下的墙面应有易去污的保护涂层。地面，尤其在治疗患者位置，应铺有可更换的质地较软又容易去污染的铺料。

12.4.3 治疗室内患者座位之间应保持 1.2m 的距离或设置适当材料与厚度的防护

屏蔽。

12.4.4 治疗室内应制定敷贴治疗操作规程及卫生管理制度，并配有 β 污染检查仪等检测仪器

12.5 敷贴治疗中的放射防护要求

12.5.1 实施敷贴治疗前，应详细登记治疗日期、使用敷贴源的编号、辐射类型、活度、照射部位与面积，并发给具有患者姓名、性别、年龄、住址、诊断和照射次数等项目的治疗卡。

12.5.2 每次治疗前，先收回患者的治疗卡，再给予实施敷贴治疗。治疗完毕，先如数收回敷贴器再发给治疗卡。由工作人员收回敷贴器放回贮源箱内保存。

12.5.3 实施敷贴治疗时不应将敷贴源带出治疗室外。

12.5.4 实施治疗时，应用不小于 3mm 厚的橡皮泥或橡胶板等屏蔽周围的正常组织。对颜面部部位的病变，屏蔽其周围正常皮肤；对其他部位的病变，则在病变周围露出正常皮肤不大于 0.5cm。并在周围已屏蔽的皮肤上覆盖一张玻璃纸或塑料薄膜后，将敷贴器紧密贴在病变部位。

12.5.5 敷贴治疗时，照射时间长的可用胶布等固定，请患者或陪同人员协助按压敷贴器，照射时间短的可由治疗人员亲自按压固定敷贴器，有条件者可利用特制装置进行远距离操作。

12.5.6 敷贴器应定期进行衰变校正，以调整照射时间。每次治疗时应有专人使用能报警的计时器控制照射时间。治疗过程中应密切观察治疗反应和病变治疗情况，及时调整照射剂量防止产生并发症。

12.5.7 敷贴治疗中，医务人员应采取有效的个人防护措施，如戴有机玻璃眼镜或面罩和尽量使用远距离操作工具。

12.5.8 敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面。不应将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后应存放于干燥处。

12.6 敷贴治疗的放射防护检测

12.6.1 验收检测

新购置或经检修后的敷贴器正式用于临床前，应进行验收检测，验收检测项目如下：

a) 敷贴器源窗表面完整性和放射性物质泄漏的检测：

b) 距离贮源箱表面 5 cm 及表面 100 cm 处周围剂量当量率的检测：

c) 敷贴治疗室内地面、墙面及治疗设备表面放射性污染的检测:

d) 治疗室外周围剂量当量率。

12.6.2 定期检测

在临床应用过程中, 应定期检测的项目及周期如下:

a) 12.6.1 中 a)、b)、c) 每年一次:

b) 当其中任一项疑有损坏或问题时应随时检测

12.6.3 检测方法与评价指标

检测方法及评价指标如下:

a) 敷贴器源窗表面完整性污染与放射性物质泄漏的检测, 按 GB 4075 推荐的擦拭法测其 β 放射性活度, 其值应小于 200 Bq;

b) 室内 B 放射性污染和室外周围剂量当量率按表 2 和 5.3.1 控制。

(6) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020);

重点引用: 5.8 介入放射学、近台同室操作(非普通荧光屏透视)用 X 射线设备防护性能的专用要求

5.8.1 介入放射学、近台同室操作(非普通荧光屏透视)用 X 射线设备应满足其相应设备类型的防护性能专用要求。

5.8.2 在机房内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。

5.8.3 X 射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于 20cm 的装置。

5.8.4 介入操作中, 设备控制台和机房内显示器上应能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光剂量记录。

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X 射线设备机房布局

6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置, 应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

6.1.2 X 射线设备机房(照射室)的设置应充分考虑邻室(含楼上和楼下)及周围场所的人员防护与安全。

6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房, 机房应满足使用设备的布局要求; 每台牙椅独立设置诊室的, 诊室内可设置固定的口内牙片机, 供该设备使用, 诊室的屏蔽和布局应满足口内牙片机房防护要求。

6.1.4 移动式 X 射线机（不含床旁摄影机和急救车配备设备）在使用时，机房应满足相应布局要求。

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、改建和扩建项目核技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 7-3 的规定。

表 7-3 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

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

6.2 X 射线设备机房屏蔽

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

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

表 7-4 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	

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

b) CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。

6.4 X 射线设备工作场所防护

6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

6.4.10 机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-8 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。

6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。

表 7-5 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

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

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

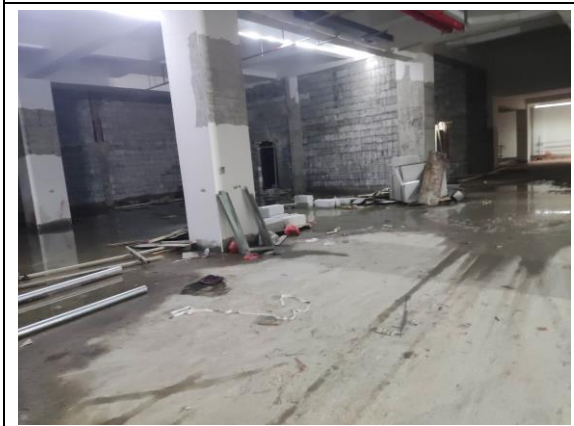
本项目位于江西省景德镇市昌江区昌南拓展区 2 号路，本项目新建放疗科及核医学科位于新院区医技楼负二层，并在放疗科设置 CT 定位机、直线加速器、后装机，核医学设置 PET-CT、PET-MR、SPECT-CT 及相关核素配套房间。地理位置图见附图一，场所现状图见图 8-1。



核医学科拟建位置区域（东侧）



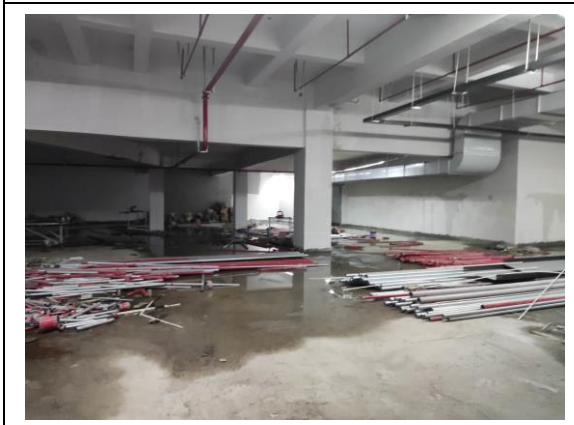
核医学科拟建位置区域（西侧）



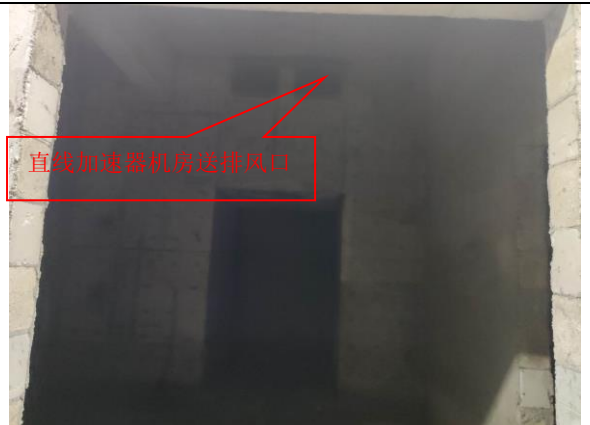
核医学科正上方



直线加速器机房正上方



后装机正上方



直线加速器机房



后装机机房



拟建直线加速器机房南侧停车场



拟建后装机房南侧及东侧停车场



直线加速器西侧配电间



拟建直线加速器西侧进风机房



拟建直线加速器西侧质控间



拟建直线加速器北侧冷却机房



拟建直线加速器北侧控制室



拟建后装机北侧准备大厅



拟建后装机北侧准备间



拟建后装机北侧操作间



项目所在医技楼



项目南侧门诊楼



项目北侧住院楼



项目西侧科医生临床培训基地楼



项目西侧 2#楼



工程师现场照片
图 8-1 项目现场照片

8.2 环境质量和辐射现状

为掌握本项目周围辐射现状环境水平，江西辐射剂量检测院有限公司监测人员于 2022 年 12 月 10 日、2023 年 4 月 25 日、2023 年 4 月 26 日对该项目周围环境进行了监测，监测报告见附件 4。

8.2.1 监测因子

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中“5.3 核技术利用辐射环境监测”，本项目应用非密封放射性物质项目监测应包括以工作场所为中心，半径 50~300m γ 辐射空气吸收剂量率、土壤，废水排放口上、下游 500 m 处地表水、底泥，射线装置及其他含密封源设施的环境监测为 γ 辐射剂量率，本项目评价范围为 50m，以上土壤、地表水、底泥已不再本项目评价范围内，拟新增核医学工作场所拟设置衰变池及相关监测设施，可确保本项目放射性废水排放满足相应标准要求，故本项目无需对土壤、地表水、底泥监测，本项目监测因子为 γ 辐射剂量率。

8.2.2 监测点位

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）及《环境 γ 辐射剂量率测量技术规

范》（HJ1157-2021）中的方法布设监测点，根据本项目周围环境现状，监测点位的选取覆盖项目区域及周围公众人员工作区域。

8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

8.3.1 检测方案及质量保证措施

（1）监测目的

该环境辐射现状监测的目的主要是为了了解项目地点本底辐射水平，为辐射工作场所建成运行后对环境的影响提供依据。

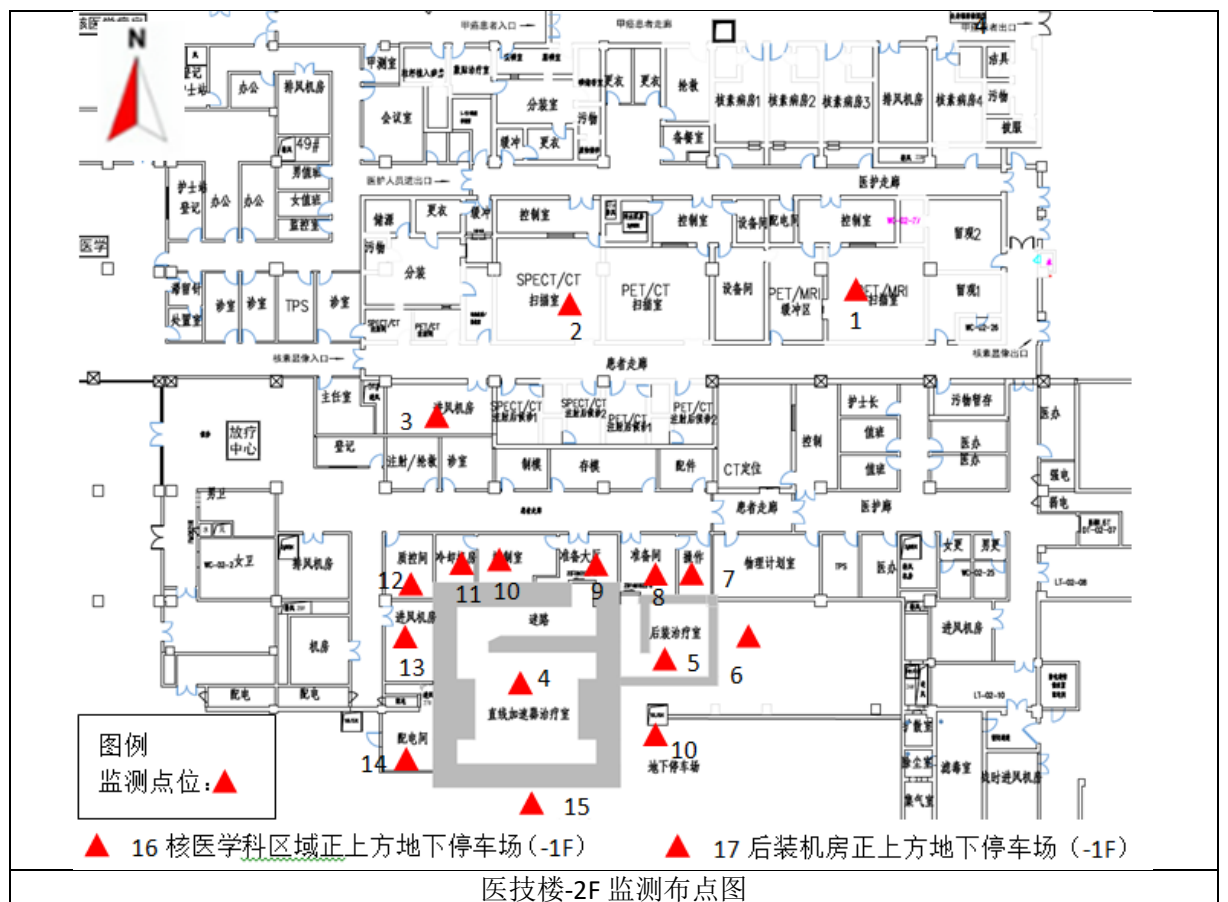
（2）监测依据

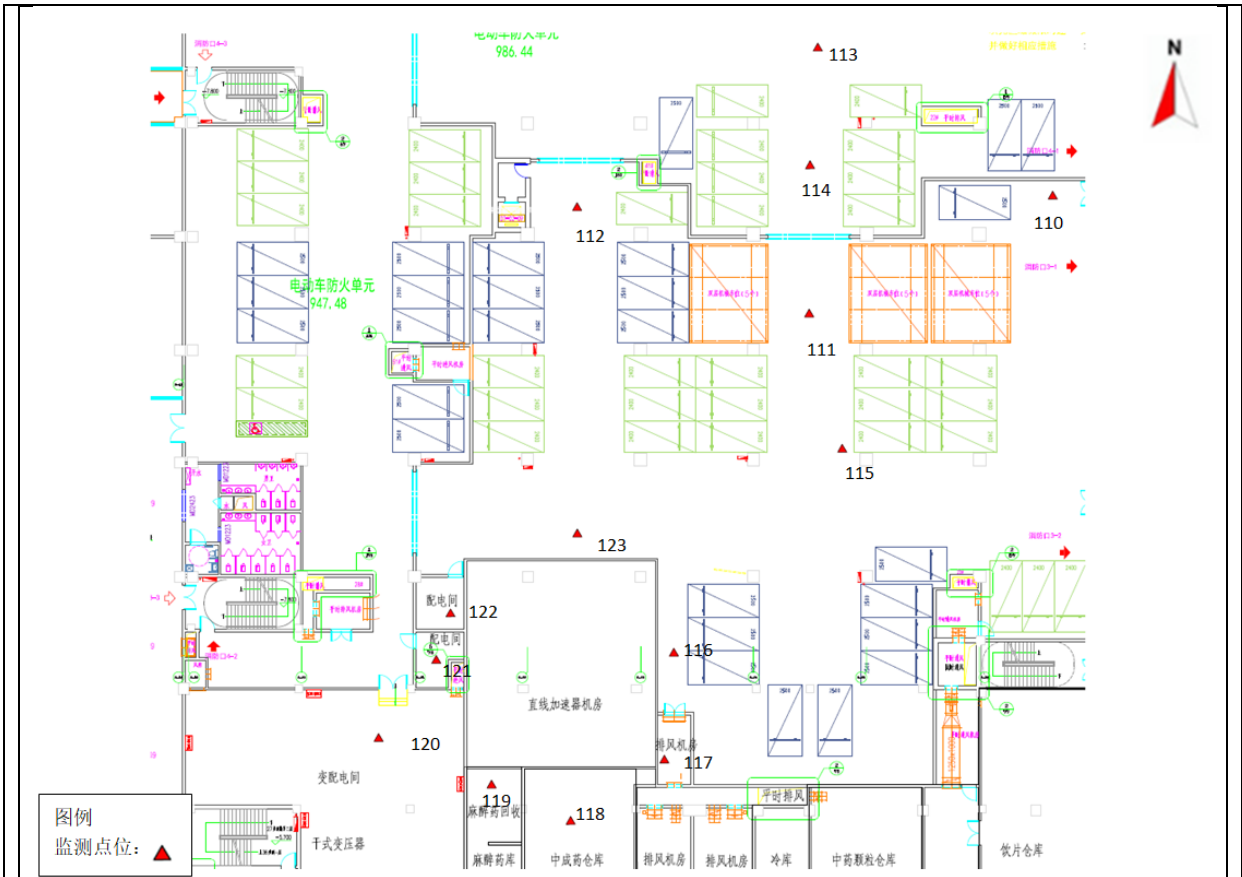
《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；

《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）。

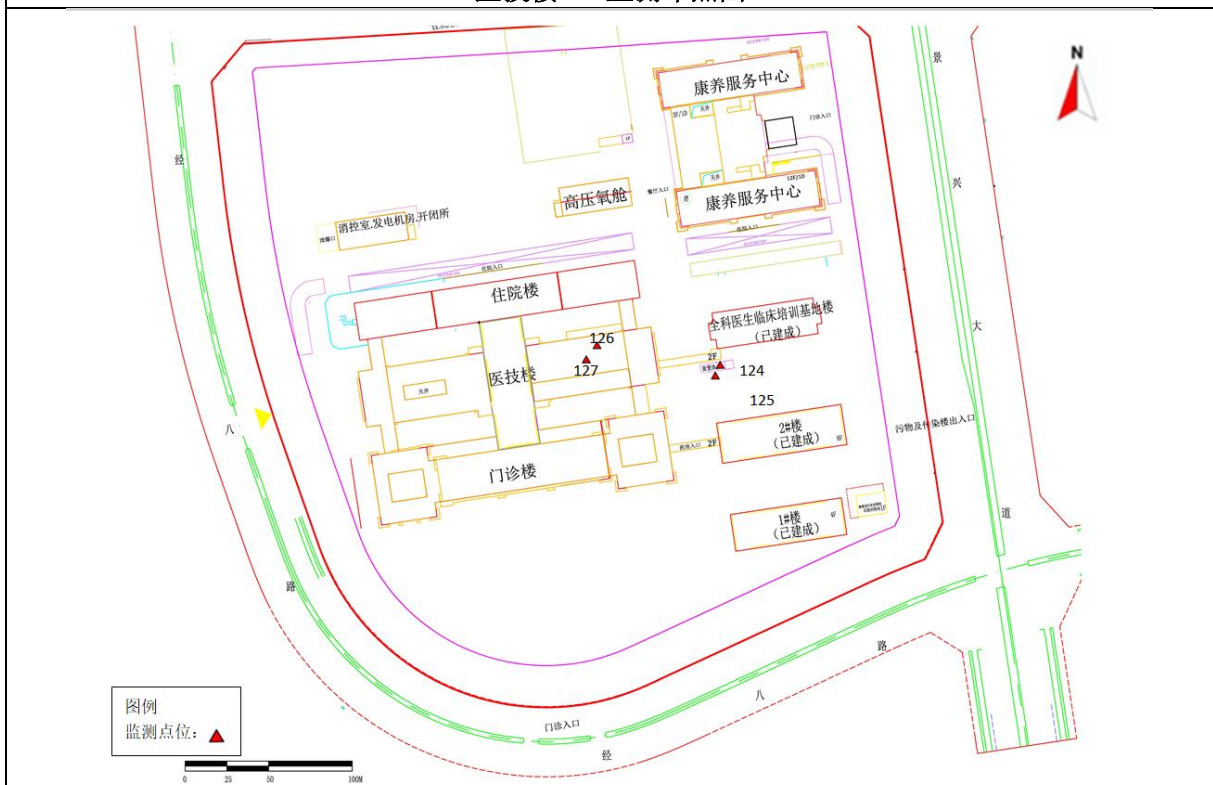
（3）监测布点

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）及《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）中的方法布设监测点，根据本项目周围环境现状，监测点位的选取覆盖项目区域及周围公众人员工作区域。详见下图 8-2、图 8-3。





医技楼-1F 监测布点图



院区监测布点图

图 8-2 2023 年 4 月 25 日、2023 年 4 月 26 日监测布点图

(4) 监测质量保证

本项目测量所用的仪器性能参数符合国家标准方法的要求，有有效的国家计量部门检定的合格证书，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部门培训，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。监测设备由上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心进行了检定，本次监测所使用的仪器情况见表 8-1。

表 8-1 监测仪器及检定情况一览表

仪器名称	环境监测用 X、γ 辐射空气比释动能率仪
仪器型号	SCK-200-EN
仪器编号	21002
生产厂家	上海钴景环境科技有限公司
测量范围	10nGy/h~200μGy/h
能量响应	48keV~3MeV
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心
检定证书编号	2022H21-20-4231986001
检定日期	2022 年 11 月 04 日

8.3.2 监测结果

监测结果根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）进行了宇宙射线响应值的扣除。

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

式中：

D_{γ} ——测点处环境辐射空气吸收剂量率值，Gy/h；

k_1 ——仪器检定/校准因子；本项目取 1.01

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

R_{γ} ——仪器测量读数值均值（空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照 HJ 1157-2021，使用 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数分别取 1.20 Sv/Gy 和 1.16 Sv/Gy），Gy/h；

k_3 ——建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，楼房取 0.8，平房取 0.9，原野、道路取

1;

D_c ——测点处宇宙射线响应值，本项目仪器对宇宙射线响应值为 31Gy/h。

监测数据详见下表：

表 8-2 监测结果一览表

监测点编号	监测点位	测量值 (nGy/h)	标准差 (nGy/h)	备注
监测日期：2022 年 12 月 10 日				
1	核医学科 PET/MRI 扫描室拟建位置	62	4	室内（楼房）
2	核医学科 SPECT/CT 扫描室拟建位置	61	4	室内（楼房）
3	核医学科进风机房拟建位置	88	4	室内（楼房）
4	直线加速器机房拟建位置	82	3	室内（楼房）
5	后装机机房拟建位置	81	4	室内（楼房）
6	后装机机房东侧地下停车场	82	4	室内（楼房）
7	后装机机房北侧操作室	83	3	室内（楼房）
8	后装机机房北侧准备间	80	2	室内（楼房）
9	拟建直线加速器机房北侧准备大厅	83	3	室内（楼房）
10	拟建直线加速器机房北侧控制室	83	4	室内（楼房）
11	拟建直线加速器机房北侧冷却机房	81	3	室内（楼房）
12	拟建直线加速器机房北侧质控间	82	4	室内（楼房）
13	拟建直线加速器西侧进风机房	84	3	室内（楼房）
14	拟建直线加速器机房西侧配电间	83	3	室内（楼房）
15	拟建直线加速器机房南侧地下停车场	83	3	室内（楼房）
16	核医学科区域正上方地下停车场（-1F）	82	3	室内（楼房）
17	后装机房正上方地下停车场（-1F）	106	6	室内（楼房）
18	直线加速器机房正上方平台	95	3	室外
19	医技楼南侧门诊楼 1F	96	6	室内（楼房）
20	医技楼北侧住院楼 1F	100	4	室内（楼房）
21	医技楼东侧全科医生临床培训基地楼 1F	99	2	室内（楼房）
22	医技楼东侧 2#楼 1F	96	3	室内（楼房）
23	医技楼东侧院区过道	89	1	室内（楼房）
24	医技楼北侧院区空地	94	2	室外
25	医技楼西侧院区过道	96	4	室外
26	医技楼南侧院区过道	87	4	室外
监测日期：2023 年 4 月 25 日~4 月 26 日				
1	核医学科拟建位置北侧消防水池	63	4	室内（楼房）
2	核医学科拟建位置北侧水泵房	62	3	室内（楼房）
3	核医学科甲亢卫生间拟建位置北侧设备机房	65	4	室内（楼房）
4	核医学科甲亢缓冲区拟建位置北侧治疗出口	60	3	室内（楼房）
5	核医学科甲亢卫生间拟建位置	65	4	室内（楼房）
6	核医学科甲亢缓冲区拟建位置	62	4	室内（楼房）
7	核医学科甲亢留观室拟建位置	62	3	室内（楼房）
8	核医学科甲亢患者过道拟建位置（北侧）	60	5	室内（楼房）
9	核医学科拟建位置北侧排风机房	64	2	室内（楼房）
10	核医学科拟建位置北侧配电间	61	4	室内（楼房）
11	核医学科拟建位置北侧送风机房	63	3	室内（楼房）

12	核医学科甲亢患者过道拟建位置（西侧）	61	4	室内（楼房）
13	核医学科甲测室拟建位置西侧过道	63	2	室内（楼房）
14	核医学科甲测室拟建位置	60	3	室内（楼房）
15	核医学科甲测室拟建位置南侧会议室	63	3	室内（楼房）
16	核医学科甲测室拟建位置东侧库房	62	5	室内（楼房）
17	核医学科敷贴治疗室拟建位置西侧预留房间	64	3	室内（楼房）
18	核医学科敷贴治疗室拟建位置	63	5	室内（楼房）
19	核医学科吸碘室拟建位置	64	3	室内（楼房）
20	核医学科服碘室拟建位置	62	5	室内（楼房）
21	核医学科治疗区分装室拟建位置	65	4	室内（楼房）
22	核医学科吸碘暂存室拟建位置	63	4	室内（楼房）
23	核医学科治疗区分装室西侧污物间拟建位置	65	3	室内（楼房）
24	核医学科治疗区废物暂存间拟建位置	61	5	室内（楼房）
25	核医学科治疗区缓冲室拟建位置	64	4	室内（楼房）
26	核医学科治疗区更衣室拟建位置	60	4	室内（楼房）
27	核医学科治疗区甲癌更衣室拟建位置（西）	61	2	室内（楼房）
28	核医学科治疗区甲癌更衣室拟建位置（东）	64	4	室内（楼房）
29	核医学科治疗区抢救室拟建位置	60	5	室内（楼房）
30	核医学科治疗区备餐室拟建位置	63	4	室内（楼房）
31	核医学科治疗区甲癌患者走廊拟建位置（西）	61	5	室内（楼房）
32	核医学科治疗区甲癌患者走廊拟建位置（东）	62	4	室内（楼房）
33	核医学科治疗区甲癌患者出院缓冲区拟建位置	61	4	室内（楼房）
34	核医学科治疗区核素病房 1 拟建位置	63	4	室内（楼房）
35	核医学科治疗区核素病房 2 拟建位置	63	3	室内（楼房）
36	核医学科治疗区核素病房 3 拟建位置	63	4	室内（楼房）
37	核医学科治疗区核素病房 4 拟建位置	60	5	室内（楼房）
38	核医学科治疗区核素病房 1 卫生间拟建位置	63	4	室内（楼房）
39	核医学科治疗区核素病房 2 卫生间拟建位置	61	5	室内（楼房）
40	核医学科治疗区核素病房 3 卫生间拟建位置	64	4	室内（楼房）
41	核医学科治疗区核素病房 4 卫生间拟建位置	63	3	室内（楼房）
42	核医学科治疗区核素病房 1 备餐窗口拟建位置	61	6	室内（楼房）
43	核医学科治疗区核素病房 2 备餐窗口拟建位置	64	4	室内（楼房）
44	核医学科治疗区核素病房 3 备餐窗口拟建位置	63	4	室内（楼房）
45	核医学科治疗区核素病房 4 备餐窗口拟建位置	62	3	室内（楼房）
46	核医学科治疗区核素病房区排风机房拟建位置	62	3	室内（楼房）
47	核医学科治疗区洁具室拟建位置	62	4	室内（楼房）
48	核医学科治疗区污物室拟建位置	65	3	室内（楼房）
49	核医学科治疗区出口南侧过道拟建位置	60	4	室内（楼房）
50	核医学科治疗区被服室拟建位置	61	4	室内（楼房）
51	核医学科治疗区拟建位置出口	64	2	室内（楼房）
52	核医学科显像区拟建位置入口	63	4	室内（楼房）
53	核医学科显像区拟建位置西侧诊室	63	4	室内（楼房）
54	核医学科显像区拟建位置西侧过道	65	4	室内（楼房）
55	核医学科显像区拟建位置北侧医护人员入口	62	4	室内（楼房）
56	核医学科显像区医护走廊拟建位置（西）	64	4	室内（楼房）
57	核医学科显像区医护走廊拟建位置（东）	61	5	室内（楼房）
58	核医学科显像区储源室拟建位置	61	4	室内（楼房）
59	核医学科显像区污物间拟建位置	65	4	室内（楼房）
60	核医学科显像区更衣室拟建位置	64	3	室内（楼房）

61	核医学科显像区缓冲室拟建位置	63	5	室内（楼房）
62	核医学科显像区分装室拟建位置	62	3	室内（楼房）
63	核医学科显像区药物运送电梯拟建位置	60	4	室内（楼房）
64	核医学科显像区 SPECT/CT 注射间拟建位置	63	3	室内（楼房）
65	核医学科显像区 PET/CT 注射间拟建位置	61	6	室内（楼房）
66	核医学科显像区运动复合室拟建位置	63	6	室内（楼房）
67	核医学科显像区医护走廊拟建位置（西）	62	3	室内（楼房）
68	核医学科显像区拟建位置西侧进风机房	62	2	室内（楼房）
69	核医学科显像区 SPECT/CT 候诊室 1 拟建位置	61	4	室内（楼房）
70	核医学科显像区 SPECT/CT 候诊室 2 拟建位置	63	3	室内（楼房）
71	核医学科显像区 PET/CT 候诊室 2 拟建位置	60	6	室内（楼房）
72	核医学科显像区 PET/CT 候诊室 2 拟建位置	61	2	室内（楼房）
73	核医学科显像区 SPECT/CT 候诊室 1 卫生间拟建位置	62	4	室内（楼房）
74	核医学科显像区 SPECT/CT 候诊室 2 卫生间拟建位置	60	4	室内（楼房）
75	核医学科显像区 PET/CT 候诊室 1 卫生间拟建位置	64	4	室内（楼房）
76	核医学科显像区 PET/CT 候诊室 2 卫生间拟建位置	64	4	室内（楼房）
77	核医学科显像区拟建位置南侧制模室	60	4	室内（楼房）
78	核医学科显像区拟建位置南侧存模室	64	4	室内（楼房）
79	核医学科显像区拟建位置南侧配件室	60	4	室内（楼房）
80	核医学科显像区 SPECT/CT 扫描室拟建位置	62	3	室内（楼房）
81	核医学科显像区 PET/CT 扫描室拟建位置	62	5	室内（楼房）
82	核医学科显像区 PET/MR 扫描室拟建位置	66	3	室内（楼房）
83	核医学科显像区 SPECT/CTK 控制室拟建位置	62	4	室内（楼房）
84	核医学科显像区 PET/CT 控制室拟建位置	63	3	室内（楼房）
85	核医学科显像区 PET/MR 控制室拟建位置	60	5	室内（楼房）
86	核医学科显像区污水泵房拟建位置	63	4	室内（楼房）
87	核医学科显像区设备间拟建位置（北）	63	4	室内（楼房）
88	核医学科显像区设备间拟建位置（南）	63	3	室内（楼房）
89	核医学科显像区配电间拟建位置	63	5	室内（楼房）
90	核医学科显像区 PET/MR 缓冲室拟建位置	62	3	室内（楼房）
91	核医学科显像区留观室 1 拟建位置	64	4	室内（楼房）
92	核医学科显像区留观室 2 拟建位置	63	2	室内（楼房）
93	核医学科显像区留观室 1 卫生间拟建位置	59	5	室内（楼房）
94	核医学科显像区留观室 2 卫生间拟建位置	64	4	室内（楼房）
95	核医学科显像区医护走廊拟建位置（东）	62	5	室内（楼房）
96	核医学科显像区医护走廊拟建位置（北）	66	2	室内（楼房）
97	核医学科显像区出口缓冲区拟建位置	62	6	室内（楼房）
98	核医学科显像区拟建位置出口	64	2	室内（楼房）
99	核医学科显像区拟建位置东侧停车场	61	4	室内（楼房）
100	核医学科显像区拟建位置南侧护士长办公室	63	3	室内（楼房）
101	核医学科显像区拟建位置南侧放疗科过道（西）	64	4	室内（楼房）
102	核医学科显像区污物暂存间拟建位置	65	4	室内（楼房）
103	核医学科显像区拟建位置南侧放疗科过道（东）	64	4	室内（楼房）
104	CT 定位机房拟建位置	63	3	室内（楼房）
105	CT 定位机房拟建位置东侧控制室	64	3	室内（楼房）

106	CT 定位机房拟建位置南侧患者走廊	63	4	室内（楼房）
107	核医学科 I-131 远程控制室拟建位置	63	4	室内（楼房）
108	核医学科显像区医护人员入口卫生间（东）	64	3	室内（楼房）
109	核医学科显像区医护人员入口卫生间（西）	64	3	室内（楼房）
110	核医学科正上方区域（东部）	93	3	室内（楼房）
111	核医学科正上方区域（南部）	90	3	室内（楼房）
112	核医学科正上方区域（西部）	93	4	室内（楼房）
113	核医学科正上方区域（北部）	94	3	室内（楼房）
114	核医学科正上方区域（中部）	93	3	室内（楼房）
115	CT 定位机房正上方	90	3	室内（楼房）
116	后装机机房正上方	91	3	室内（楼房）
117	拟建直线加速器机房东侧排风机房	92	3	室内（楼房）
118	拟建直线加速器机房南侧中成药仓库	92	3	室内（楼房）
119	拟建直线加速器机房南侧麻醉药回收室	92	3	室内（楼房）
120	拟建直线加速器机房西侧变配电间	92	4	室内（楼房）
121	拟建直线加速器机房西侧配电间（南）	91	3	室内（楼房）
122	拟建直线加速器机房西侧配电间（北）	94	3	室内（楼房）
123	拟建直线加速器机房北侧地下停车场	92	4	室内（楼房）
124	拟建 1#衰变池正上方	87	4	室外
125	拟建 2#衰变池正上方	87	3	室外
126	医技楼 41#排风井拟建位置	86	4	室外
127	医技楼 22#排风井拟建位置	86	4	室外

注：监测结果已扣除宇宙射线响应，SCK-200-EN（编号：JXFS/YQ-050）对宇宙射线响应值为 31nSv/h，监测地点在庐山西海，经度：115°29'40"，纬度：29°13'40"，海拔：64.6m。

8.4 监测结果及评价

根据表8-2，项目拟建场所评价范围内 γ 辐射剂量率室内现状监测值在60~106nGy/h之间，在景德镇地区环境天然放射性本底范围内（景德镇地区室内本底值为49.7~175.6nGy/h，摘自国家环境保护局1995年8月编制的《中国环境天然放射性水平》）。

项目拟建场所评价范围内 γ 辐射剂量率室外现状监测值在86~96nGy/h之间，在景德镇地区环境天然放射性本底范围内（景德镇地区原野及道路本底值为18.0~97.9nGy/h，摘自国家环境保护局1995年8月编制的《中国环境天然放射性水平》）。

因此，可知场地周围辐射环境质量现状较好，未见明显异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 放射治疗项目

9.1.1 工程设备和工艺分析

9.1.1.1 直线加速器

1、直线加速器工作原理

医用直线加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，经调制、准直后射向患者病灶；或者通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，其最大能量为电子束的最大能量，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。因此，医用电子直线加速器既可利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。

本项目电子在真空环境加速，电子漂移作用于加速器的结构材料极少，电子是从加速器直接引出全部作用在患者皮肤，不存在累积效应。

2、直线加速器组成

医用电子直线加速器是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器或以速调管为微波功率源的行波型直线加速器。它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。医用直线加速器内部结构见图 9-1。

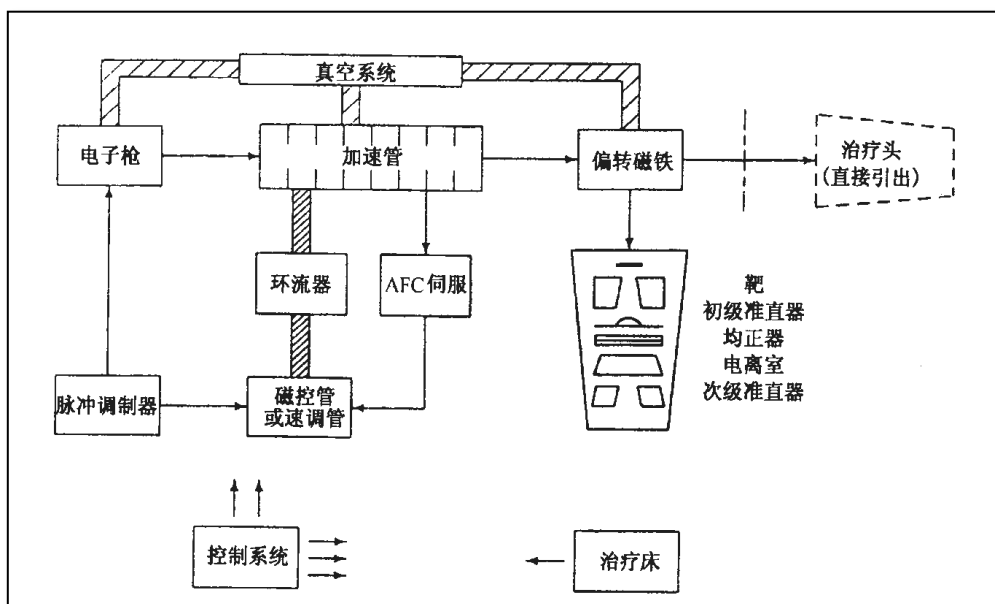


图 9-1 直线加速器组成

3、直线加速器操作流程

① 进行定位。先通过模拟定位机或者 CT 对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。

② 制订治疗计划。根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。

③ 固定患者体位。在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。

④ 开机治疗。除了待治疗病人，其余人员撤出治疗室，关闭大门，加速器出束，进行治疗。

⑤ 治疗完毕，加速器停止出束，方可打开迷路防护门，护理人员将病人送出治疗室。

4、直线加速器产污流程

本项目涉及的直线加速器诊治流程及产物环节如图 9-2 所示：

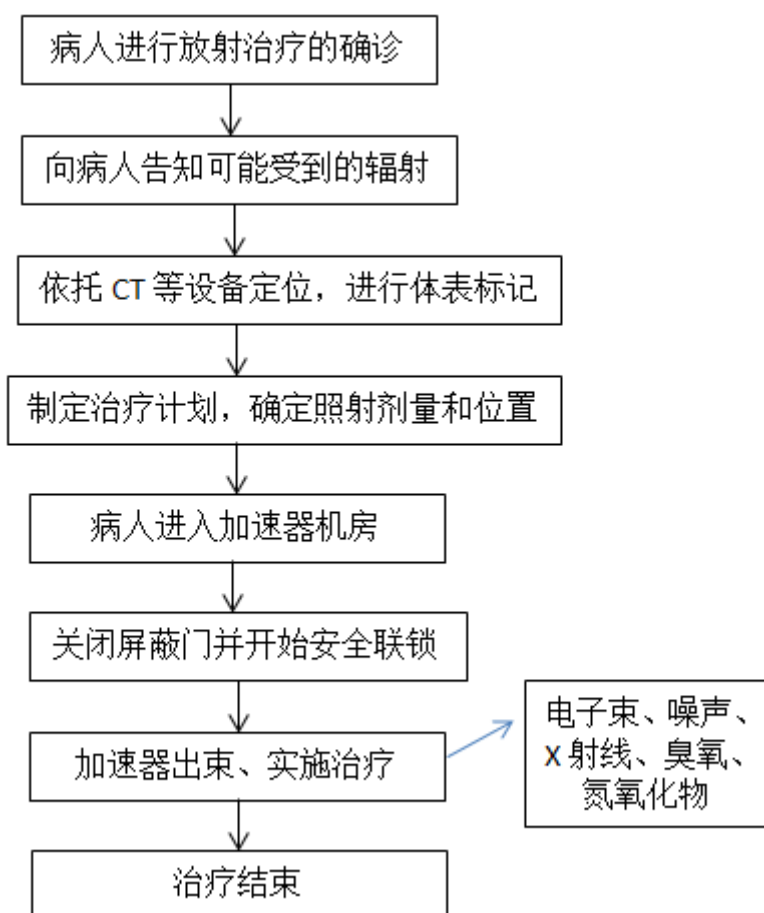


图 9-2 直线加速器营运期工艺流程及产污环节

9.1.1.2 后装机

1、工作原理

后装机属近距离放射治疗，为给肿瘤以足够的辐射剂量，采用不同途径，紧挨肿瘤放置一个小的放射源，即将密封放射源置于病灶附近，提高局部剂量，利用射线的生物效应对肿瘤进行治疗。这种方式可用于治疗人体各种腔道周围的肿瘤，因所选取核素的射线能量较低，并以射线的距离衰减效应减少正常组织的损伤，同时也减少了操作人员接受的辐射剂量。

2、设备组成

后装治疗机由机架，储源器、施源器、通道、控制台组成。储源器是可容纳一个或多个放射源的容器，当放射源不工作时可提供电离辐射的防护。施源器是将放射源送入预定位置的部件，自带屏蔽防护；通道是在后装机中专供密封放射源或其组件在其运动的轨迹，此管道与储源器和施源器相连接。

后装机使用的放射源是 Ir-192。依据患者诊断数据，由计算机制定治疗计划并实施对后装机的操作控制。根据“先插管后装源”的技术原理，由电脑选择 18 个输源管和施源器中最合适的一组，插入需要治疗的腔道并进行靶区定位，通过分度头的引导控制，将放射源送达治疗区域，按计划实施治疗。

本项目拟配置后装治疗机含 ^{192}Ir 放射源，活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}(10\text{Ci})$ ， ^{192}Ir 放射源其在 β 衰变过程中产生的 γ 辐射平均能量 0.37MeV ，半衰期为 74 天。 ^{192}Ir 的空气比释动能率常数为： $0.111 \mu\text{Gy m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1}$ 。正常运行时，在非治疗状态下， ^{192}Ir 封装在后装治疗机的储源器内，工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $50 \mu\text{Sv/h}$ ；距离贮源器表面 100 cm 处的球面上，任何一点因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5 \mu\text{Sv/h}$ 。治疗状态下， ^{192}Ir 驻留施源器中，按裸源考虑，机房内空气比释动能率较高。

放射源 ^{192}Ir 大概每半年更换一次，被更换的放射源 ^{192}Ir 活度不大于 $7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，更换废弃放射源均由生产厂家回收处置。

3、治疗流程

1) 进行定位。先通过 CT、模拟定位机等对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。

2) 制订治疗计划。根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射

时间。

3) 固定患者体位, 近距离后装机治疗时, 要进行病变部位插管, 将输源管和施源器送达腔道的病灶。

4) 开机治疗, 或将放射源送达病灶进行治疗。

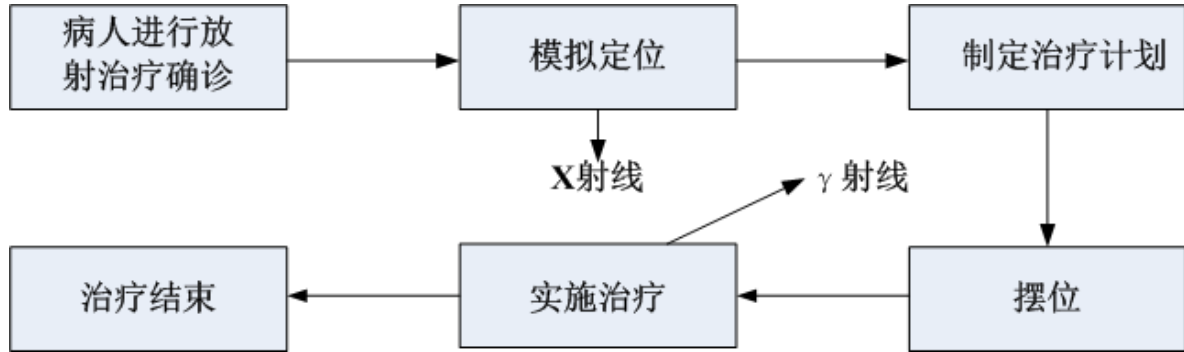


图 9-3 后装机营运期工艺流程及产污环节

9.1.1.3 CT 定位机及 PET/CT 及 SPET-CT 中的 CT

1、CT工作原理

本项目 CT 设备中产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成 (详见图 9-2), 阴极是钨制灯丝, 它装在聚焦杯中, 当灯丝通电加热时, 电子就“蒸发”出来, 而聚焦杯使这些电子聚集成束, 直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间, 使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度, 这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。

2、结构组成

本项目拟使用的 PET/CT 及 SPET-CT 中的 CT 部分是采用 X 射线进行摄影的技术设备。X 射线装置主要由高频 X 光机、X 射线探测器、控制系统和图像工作站组成。

CT 机结构上包括 X 线体层扫描装置和计算机系统。前者主要由产生 X 线束的发生器和球管, 以及接收和检测 X 线的探测器组成; 后者主要包括数据采集系统、中央处理系统、磁带机、操作台等。此外, CT 机还应包括图像显示器、多幅照相机等辅助设备。

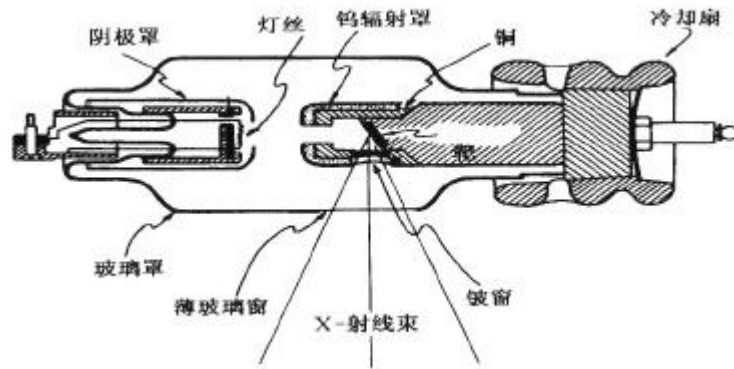


图 9-4 典型 X 射线管结构图

9.1.2 工作负荷及人员配备

据医院设计，本项目拟配置辐射工作人员共 13 人，其中直线加速器拟配备 10 人（均为原有辐射工作人员），其中 CT 定位机拟配备 3 人（均由原有院区辐射工作人员调配），后装机拟配备 3 人（拟新增）。

根据医院预测的诊疗需要，加速器机房投入使用后，预计平均每天接待治疗病人不超过 60 人次，每周工作 5 天，本项目常规治疗人数为 6 人次、调强治疗人数为 54 人次，常规治疗时间每人每次为 0.75min，调强治疗时间每人每次为 3.75min。

按保守计算，常规治疗时间为 18.75h，调强治疗时间为 843.75h。年治疗照射时间为 862.5h。

后装机投入使用后预计平均每天接待治疗病人不超过 15 人次，每周工作 5 天，平均每人次的治照射时间为 6min，周治疗照射时间为 15 人次/天×5 天/周×6min=7.5h/周，年工作 50 周，则年治疗照射时间为 375h。

CT 定位机投入使用后预计平均每天病人量为 100 人，每周工作 5d，每年工作 50 周。每次出束时间为 30s，则 CT 定位机出束时间为 0.83h/天，4.17h/周，208.33h/年。在本项目建成运行后，辐射工作人员仅从事本项目安排的辐射工作，不另外增加受照时间。

9.2 核医学项目

9.2.1 工程设备和工艺分析

9.2.1.1 PET-CT、PET-MR 显像检查

1、PET-CT 及 PET-MR 工作原理

PET 的工作原理是将放射性药物 ^{18}F 作为示踪剂注射到人体后，对受检者进行 PET 扫描成像。其临床显像过程为：将发射正电子的放射性核素 ^{18}F 标记到能够参与人体

组织血流或代谢过程的化合物（如脂肪酸、脱氧葡萄糖、氨基酸、核苷等）上，将带有正电子放射性核素的化合物注射到受检者体内，让受检者在 PET 的有效视野范围内进行 PET 显像。放射核素发射出的正电子在体内与组织中的负电子结合发生湮灭辐射，产生两个能量相等（511keV）、方向相反的 γ 光子。由于两个光子在体内的路径不同，到达两个探测器的时间也有一定差别，如果在规定的时间内（一般为 5~15 μ s），探头系统探测到两个互成 180 度（ ± 0.25 度）的光子时，即为一个符合事件，探测器便分别送出一个时间脉冲，脉冲处理器将脉冲变为方波，符合电路对其进行数据分类后，送入工作站进行图像重建。便得到人体各部位横断面、冠状断面和矢状断面的影像。

CT 依据 X 射线穿过人体不同组织吸收程度的不同，反映人体各部密度分布的信息，因而在荧光屏上显示出不同密度的阴影，再根据阴影浓淡的对比，结合临床表现、化验结果等进行临床诊断。

PET-MR 同时具有 PET 和 MR 的检查功能，MR 显示人体内部器官的精确结构图像，PET 显示人体的代谢活动情况，对疾病进行定性和定位诊断。

PET 显像项目拟使用核素的放射性属性参数见表 9-1

表 9-1 PET 显像项目使用核素放射性属性参数

核素名称	状态	半衰期	毒性组别	衰变方式	主要射线和能量 (MeV)
^{18}F	液态	109.8min	低毒	EC、 β^+	β^+ : 0.63 γ : 0.511

2、PET-CT、PET-MR 设备组成

PET 是正电子发射计算机断层成像的英文 Positron Emission Tomography 的缩写，是反映病变基因、分子、代谢及功能状态的显像设备，利用正电子核素标记葡萄糖等人体代谢物作为显像剂，通过病灶对显像剂的摄取来反映其代谢变化，从而为进行临床提供疾病的生物代谢信息诊断。PET 扫描系统主要由扫描仪(scanner)、显像(imaging table)、电子橱(electronics cabinet)、操作工作站(operator, sworkstation, OWS)、分析工作站(analysis workstation, AWS)和影像硬拷贝等组成。PET 扫描仪的外形为一个柱状的支架(gantry)，扫描视野位于支架的中央，由探测器、射线屏蔽装置等组成。

PET-CT 由正电子发射断层成像(PET)和 X 射线断层成像扫描(CT)组成，使用同一个检查床和 PET 图像与 CT 图像融合对位工作站，同时具有 PET 与 CT 功能，同时利用 PET 和 CT 进行临床疾病的诊断。

PET-MR 为正电子发射计算机断层成像（PET）和核磁共振成像（MR）组合而成的一体化大型功能代谢与分子影像诊断设备，同时具有 PET 和 MR 的临床诊断功能。

一般情况 PET-CT 装置和 PET-MR 装置均会各配套有一套用于检测装置性能稳定性、图像信息的准确性的校准源，由于目前建设单位未选定 PET-CT 和 PET-MR 的品牌，而不同生产厂商生产设备的校准源配置方案不一致，建设单位存在购买意向的四家生产厂家生产的设备的校准源配置情况详见表 9-2。

表 9-2 各品牌的 PET-CT 装置和 PET-MR 装置的校准源配置情况

设备厂家	校准源用途	PET-CT		PET-MR	
		⁶⁸ Ge		⁶⁸ Ge	
		活度 (MBq)	数量 (枚)	活度 (MBq)	数量 (枚)
西门子	校准源	111	1	111	4
	安装泵源	55.5	2	55.5	4
联影	校准	-	-	-	-
飞利浦	日常校准	-	-	-	-
	融合校准	-	-	-	-
GE	校准	55.5	1	55.5	1
		3.5	1	3.5	1
		-	-	0.7	3
最大可能使用量和和活度申请		111	2	111	2

由于未选定生产厂家，校准源的配置方案也不能确定最终配置方案，因此表 9-1 最后一行给出了按照每一套 PET-CT 装置和 PET-MR 装置最大可能使用量和活度的配置方案进行申请，实际购买及使用将不会超出该方案，本次项目 PET-CT 和 PET-MR 装置申请配置的校准源情况和参数见表 9-3。

表 9-3 本次 PET-CT 和 PET-MR 的校准源配置情况

核素名称	活度及数量	半衰期	类别	用途
⁶⁸ Ge	1.11×10 ⁸ Bq×2 枚	288d	V类	PET-CT 校准
	1.11×10 ⁸ Bq×2 枚		V类	PET-MR 校准

注：放射源分类根据《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局公告 2005 第 62 号）

3、工作流程及产污环节

PET-CT 及 PET-MR 核素显像一般安排在工作日进行，¹⁸F 是外购核素。医院根据实验计划情况，提前提前向有资质的放射性药物供货商订购药。核医学科安排专人接收放射性药物，核对放射性药物名称、活度，检查药品包装和外观质量等，办理交接手续并存档，然后将药物暂存在药物储源室中。

医护人员在分装柜中进行药物分装，分装完成后由工作人员手持带钨合金屏蔽套

的注射器，在注射室注射窗口铅注射屏的屏蔽下为患者注射。注射完毕后的一次注射器，放入专用放射性废物铅桶内。患者在注射完放射性药物后前往注射后休息室内等候（一般注射 $^{18}\text{F-FDG}$ 后需等待约 40min），待药物充分代谢后，进入 PET-CT（产生 X 射线）或 PET-MR 扫描室进行扫描，PET-CT 的扫描时间约 15 分钟，PET/MR 的扫描时间约 60 分钟。扫描完成后，病人离开扫描室，在留观室内留观约 30 分钟后离开。 工作流程及产污环节分析见图 9-5。

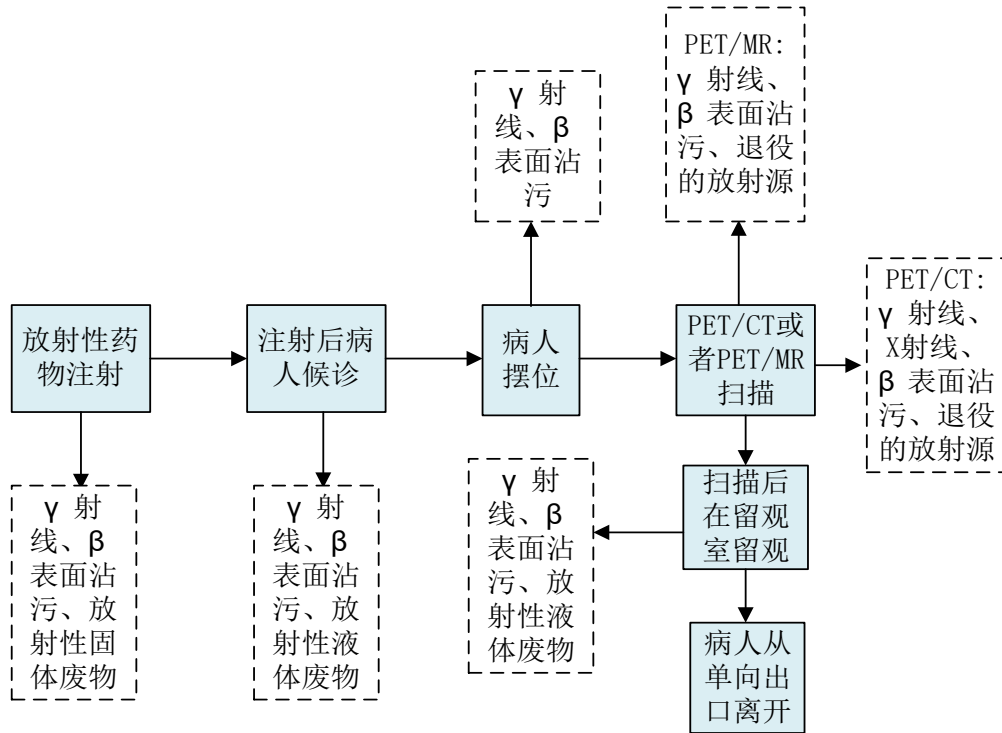


图 9-5 PET-CT 及 PET-MR 工作流程及产污环节分析示意图

(4) 正电子核素使用量

表 9-4 PET 显像项目使用核素情况

序号	核素	单人最大使用量 (Bq)	最大诊疗人次/天	最大年接诊人次	主要用途	来源
1	^{18}F	3.7×10^8	30	7500	PET 显像	外购

根据景德镇市第一人民医院提供资料，拟建PET-CT及PET-MR按最大注射药物量对应的日最大检查人数为30人，受检者接受静脉注射放射性药物 $^{18}\text{F-FDG}$ ，最大注射量约为10mCi/人。根据购药计划，放射性核素供应单位分别于早8:00 和中午13:30 分两次送药至PET-CT及PET-MR。每次送药量约为450mCi。根据PET-CT 中心注射后候诊室设置情况（2间）以及放射性药物 ^{18}F 衰变情况，30个受检者的分装准备药量以及注射时间计划见表9-5。

表9-5 本项目PET-CT及PET-MR每日放射性药物 ^{18}F 分装、注射预计情况一览表

序号	受检者需准备药量(mCi)	注射时的药量(mCi)	注射时间	序号	受检者需准备药量(mCi)	注射时的药量(mCi)	注射时间
上午8:00 第一次送药量约为450mCi				下午13:30 第二次送药量约为450mCi			
1	10	10	8:00	1	10	10	13:30
2	11.3	10	8:20	2	11.3	10	13:50
3	12.9	10	8:40	3	12.9	10	14:10
4	14.6	10	9:00	4	14.6	10	14:30
5	16.6	10	9:20	5	16.6	10	14:50
6	18.8	10	9:40	6	18.8	10	15:10
7	21.3	10	10:00	7	21.3	10	15:30
8	24.2	10	10:20	8	24.2	10	15:50
9	27.5	10	10:40	9	27.5	10	16:10
10	31.2	10	11:00	10	31.2	10	16:30
11	35.3	10	11:20	11	35.3	10	16:50
12	40.1	10	11:40	12	40.1	10	17:10
13	45.5	10	12:00	13	45.5	10	17:30
14	51.6	10	12:20	14	51.6	10	17:50
15	58.6	10	12:40	15	58.6	10	18:10
合计：理论日最大使用药量：840mCi，预计日最大购药量900mCi。							

9.2.1.2 SPECT-CT 显像检查项目

(1) 设备组成及工作原理

SPECT-CT 的全称是单光子发射计算机断层扫描仪（Single-Photo Emission Computed Tomography），其使用 ^{99m}Tc 进行诊断的基本原理是：受检者注射 ^{99m}Tc 标记药物， ^{99m}Tc 在特定的器官或组织发射出能量 140keV 的光子（ γ 射线），穿过组织器官后到达 SPECT 探测器。SPECT 使用低能准直器对 γ 射线进行准直，通过闪烁体将 γ 射线能力转换为光信号，再通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大，得到的测量值代表在该投影线上的放射性大小，再利用计算机从投影求解断层图形。其主要的功能特点是：除了显示脏器形态结构外，更重要的是可观察到脏器血流灌注、功能和代谢的变化。临床主要应用于骨骼显像、心脏灌注断层显像、甲状腺显像、肾动态显像等。

SPECT-CT 主要由三部分组成，即探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备。探头部分主要由准直器、晶体、光导、光电倍增管、模拟定位计算电路组成。SPECT-CT 自身带有一个 CT 球管，同时获得 CT 解剖图像，与 SPECT 核素扫描获得的功能影像，进行图像融合，从而得到功能-解剖图像，有利于对疾病作出全面、准确的判断。

SPECT 显像项目拟使用核素的放射性属性参数见表 9-6

表 9-6 SPECT 显像项目使用核素放射性属性参数

核素名称	状态	半衰期	毒性组别	衰变方式	主要射线和能量
^{99m}Tc	液态	6.02h	低毒	同质异能跃迁	光子 0.140
^{131}I	液态	8.02d	中毒	β^-	β^- : 0.602

(2) 工作流程及产污环节

本次项目使用放射性核素 ^{99m}Tc 和 ¹³¹I 进行 SPECT-CT 显像检查。本项目 ^{99m}Tc 和 ¹³¹I 药物为外购单支成品药物的形式送达，核医学科内无需人工分装；¹³¹I 显像单人最大用量为 1.11E+08Bq (3mCi)，每日最多送药一次，¹³¹I 与核素治疗区用药一起以一个货包形式送达，通过碘自动分装仪自动分装。

工作人员根据预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位将药物按人份分装好送至储源室暂存。工作时：工作人员对放射性药物活度进行抽样检测。工作人员取出分装好的放在钨合金屏蔽套内放射性药物注射器，在注射室注射屏蔽窗口替患者注射。注射完毕后的一次性注射器，放入专用放射性废物铅桶内。每次注射时间保守按 1min 估算，患者在注射完放射性药物后前往注射后休息室内候诊(5-90min 不等)，候诊完成后进入 SPECT-CT 机房接受扫描(产生 X 射线)，扫描时间约 5-25min，扫描结束后进入留观室留观约 10min，最后病人出口处离开核医学科工作场所。SPECT 工作流程图见图 9-6。

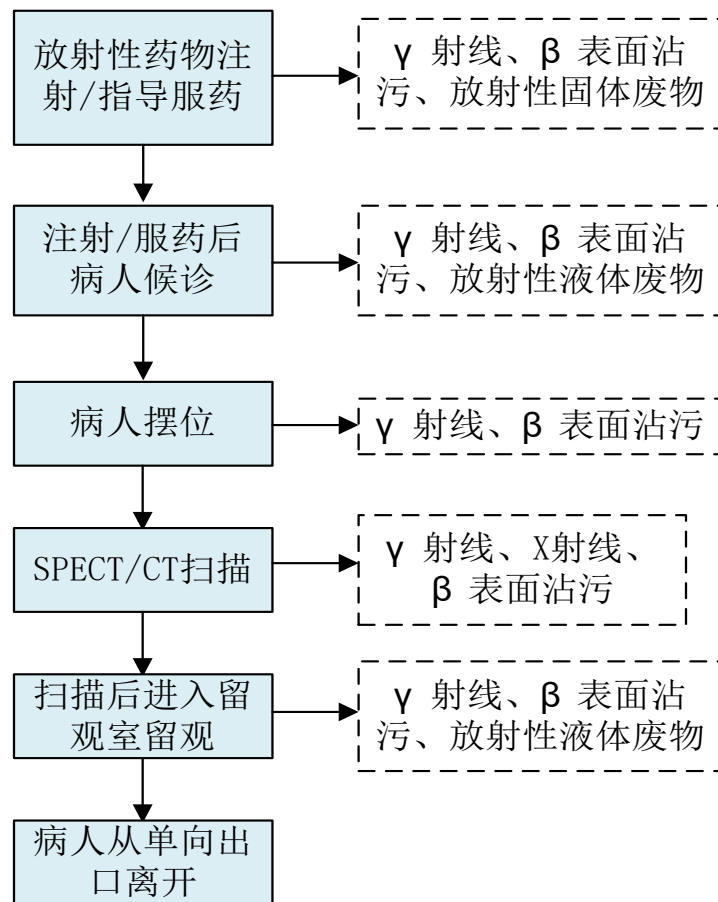


图 9-6 SPECT-CT 工作流程产污环节分析示意图

(3) 核素使用量

表 9-7 SPECT 项目使用核素相关门诊量

序号	核素	单人最大使用量 (Bq)	最大诊疗人次/天	最大年接诊人次	主要用途	来源
1	^{99m}Tc	9.25×10^8	25	6250	SPECT 显像检查	外购
2	^{131}I	1.11×10^8	4	1250	SPECT 显像检查	外购

9.2.1.3 ^{131}I 甲亢、甲癌治疗

(1) 工作原理

甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}I 的功能，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多。 ^{131}I 在甲状腺内停留的时间较长，在甲亢或甲癌患者甲状腺内的有效半衰期约 3~5 天。 ^{131}I 衰变时主要发射 β 粒子，且射程短，仅约 2~3mm，对周围正常组织一般无影响。因此，大剂量 ^{131}I 进入功能亢进的甲状腺组织，这些组织在 β 粒子集中且较长时间的作用下将遭受部分抑制或破坏从而达到类似部分切除甲状腺的效果，达到治疗甲亢或甲癌的目的。

(2) 源项分析

甲癌、甲亢治疗项目拟使用核素 ^{131}I 的放射性属性参数见表 9-8

表 9-8 核素 ^{131}I 的放射性属性参数

核素名称	状态	半衰期	毒性组别	衰变方式	主要射线和能量
^{131}I	液态	8.02d	中毒	β^-	β^- : 0.602 γ : 0.284, 0.365, 0.637

(3) 甲癌治疗工作流程

甲癌治疗服药治疗前准备阶段：

门诊接诊患者，询问患者病史及临床表现，对患者进行相关辅助检查（一般为甲功检测、颈部超声、肾功能等，必要时进行颈胸部 CT 扫描及 SPECT/CT 显像检查），医生根据检查结果做出判断并制定相应的治疗方案，服用放射性药物之前，患者将被安置在过渡病房中住院治疗。

甲癌治疗服药治疗阶段：

医院根据病人预约情况预定采购放射性药物，在约定的时间由放射性药物供应单位负责将放射性药物运送至核医学科储源室中。进行放射治疗用药前，由工作人员提前把储源铅罐中的放射性药物装进自动分装仪内，工作人员在分装室内进行远程操控，自动分装仪进行药物自动分装。

甲癌患者经预约问诊后，进入辐射区通过走廊进入 ^{131}I 进行服药，服用放射性药

物后进入相应的甲癌病房住院，住院时间根据病人服药量不同而异，一般住院时间为3-5天。

病人出院前一天进行 SPECT-CT 扫描，了解全身 ^{131}I 摄取情况，以评估治疗效果。并告知患者出院后的注意事项。出院当天需经过辐射检测仪器检测，满足体内放射性活度低于 400MBq 要求时（通过辐射剂量率监测患者体表 1m 处的辐射剂量率低于 $25\mu\text{Gy/h}$ 时即可满足体内放射性活度低于 400MBq），方可离开甲癌病房出院。甲癌治疗服药治疗阶段的工作流程详见图 9-6。

医院通过安排患者分批服药，避免甲癌、甲亢患者和 ^{131}I 显像患者同时服药造成相互交叉污染和影响。

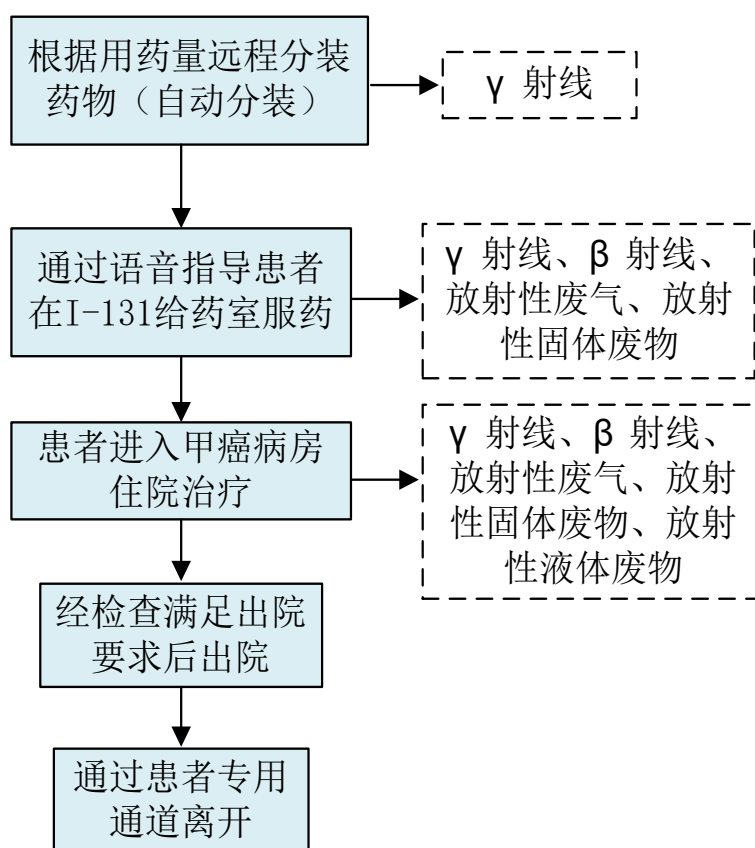


图 9-7 甲癌治疗项目的工作流程图

(4) 甲亢治疗工作流程

甲亢治疗服药治疗前准备阶段：

门诊接诊患者，询问患者病史级临床表现，对患者进行相关辅助检查（一般为甲功五项、甲状腺超声、甲状腺吸碘率、肝肾功能等），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。

甲亢治疗服药治疗阶段：

医院根据病人预约情况预定采购放射性药物，在约定的时间由放射性药物供应单位负责将放射性药物运送至核医学科储源室中。进行放射治疗用药前，放射性药物在分装室中的自动分装装置进行分装，并通过分装室的服药窗口给药。

甲亢患者经预约问诊后，进入核医学科，在服药室窗口服药物，由工作人员通过视频、语音指导患者进入甲亢留观室留观，无碍后离开，甲亢治疗服药阶段的工作流程见图 9-8。

医院通过安排患者分批服药，避免甲癌、甲亢患者同时服药造成相互交叉污染和影响。

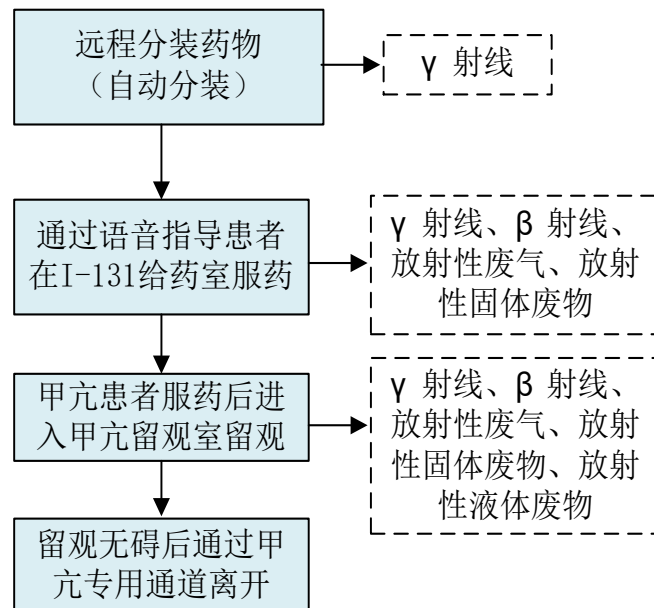


图 9-8 甲亢治疗项目的工作流及产物环节图

(5) 甲状腺功能测定工作流程

甲状腺功能测定是甲亢治疗流程中治疗前阶段的步骤，甲状腺功能测定是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。一般患者需服用 $2\sim 10\mu\text{Ci}^{131}\text{I}$ ，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 $0.02\sim 0.07\mu\text{Sv/h}$ ，与天然环境辐射本底相当，因此甲测室不需要进行专门的辐射防护屏蔽设计，甲测功能检查后的患者也不需要进行辐射安全管控。

(6) 核素使用量

表 9-9 甲癌、甲亢治疗项目使用核素相关门诊量

序号	核素	单人最大使用量 (Bq)	日最大诊疗人数	最大年接诊人次	主要用途
1	^{131}I	3.7×10^5	10 人	2500	甲测
1	^{131}I	3.7×10^8	5 人	1250	甲亢治疗

2	¹³¹ I	7.4×10 ⁹	4人	400	甲癌治疗（甲癌病房）
---	------------------	---------------------	----	-----	------------

9.2.1.4 ⁸⁹Sr 和 ²²³Ra 开展核素治疗

(1) 工作原理

⁸⁹Sr 是纯 β 射线体，不伴 γ 射线，其发射的 β 射线能量较高，其半衰期为 50.53 天，在骨组织内的射程为 3mm。用于治疗 ⁸⁹Sr 是直接进行静脉注射，一般用量 2.5mCi-4.0mCi/人，每份用于治疗放射性液体由供应商事先分装，预约病人后发货，治疗时不需再分装，可门诊治疗骨转移癌。

²²³Ra (α 放射性核素) 在内照射时具有极强的细胞毒性，对肿瘤细胞具有较强的杀灭作用，而其短射程对正常组织影响较小 (α 粒子的射程仅 43 微米)，并能够模拟钙的作用，并与羟基磷灰石形成复合物以加快一些部位骨质更新，例如骨转移灶部位。这种强有力的药物的 α 粒子的穿透范围短，不会伤害附近的健康组织和关键的骨髓。对工作人员和患者周围公众外照射影响轻，一般用于开展骨转移癌治疗。

(2) 辐射源项分析

核素治疗项目拟使用核素的放射性属性参数见表 9-10

表 9-10 核素治疗项目使用核素放射性属性参数

核素名称	状态	半衰期	毒性组别	衰变方式	主要射线和能量 (MeV)
⁸⁹ Sr	液态	50.53d	中毒	β-	β: 0.5846
²²³ Ra	液态	11.44d	极毒	α	α: 5.8713 β: 0.427 γ: 0.0117, 0.0838, 0.2695

(3) 产污流程

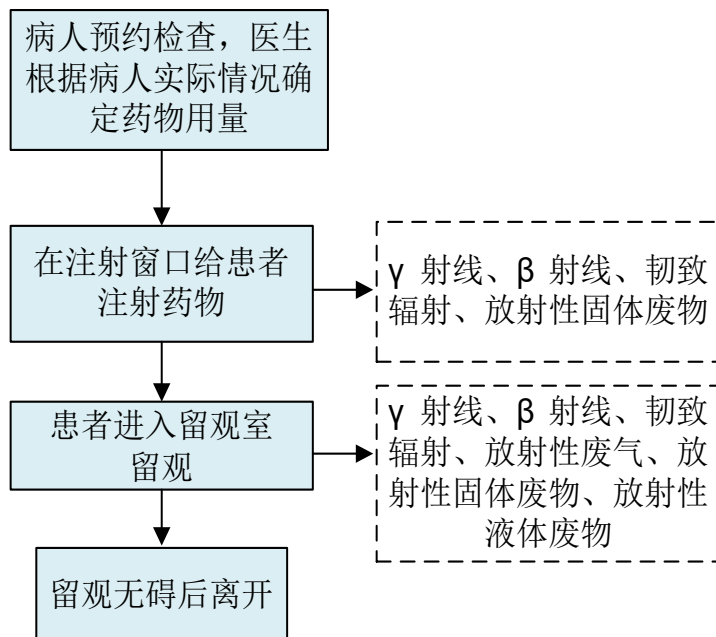


图 9-9 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 治疗流程及产污环节

(4) 核素使用量

本项目治疗使用的核素为 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra ，在核医学科接受放射性药物治疗的病人，在用药留观正常后就离开。 ^{89}Sr 使用量最多为 1 名病人/天，每年工作时间 250 天，一年不超过 250 人。 ^{223}Ra 使用量最多为 3 名病人/天，每年工作时间 250 天，一年不超过 750 人。

表 9-11 核素治疗项目使用核素相关门诊量

序号	核素	单人最大使用量 (Bq)	日最大诊疗人数	年最大诊疗人数	主要用途
1	^{89}Sr	1.48×10^8	1 人	250	骨转移癌
2	^{223}Ra	1.85×10^7	3 人	750	骨转移癌

9.2.1.5 ^{32}P 敷贴

(1) 工作原理

^{32}P 敷贴治疗主要用于皮肤毛细血管瘤、瘢痕疙瘩、慢性湿疹、鲜红斑痣、局限性神经性皮炎和牛皮癣等。敷贴器一般为临时配备，取厚薄与密度均匀的高级滤纸，剪成与病变大小一致的形状，将所需放射性强度的 ^{32}P 溶液用适量蒸馏水或生理盐水稀释混匀，均匀地涂在滤纸上，用红外线灯烤干或晾干，塑料薄膜袋中密封备用。

(2) 辐射源项分析

^{32}P ：半衰期 14.3d，衰变方式为 β 衰变，释放出 1.71MeV 的 β 射线。 ^{32}P β 衰变释放出的 β 粒子在人体组织中的最大直线射程为 9.3mm，在空气中的最大射程约为 0.6m，即人体组织、空气可有效屏蔽 β 粒子。敷贴治疗中，医务人员采取有效的个人防护措施，如戴有机玻璃眼镜或面罩，做好韧致辐射对眼晶体的防护。

表 9-12 ^{32}P 敷贴项目使用核素放射性属性参数

核素名称	状态	半衰期	毒性组别	衰变方式	主要射线和能量 (MeV)
^{32}P	液态	14.3d	中毒	β -	β : 1.71

(3) 产污流程

核医学科设有专门的敷贴室，在敷贴室使用 ^{32}P 进行敷贴治疗，医生根据病患预约情况，直接向生产厂家订购药物。在分装室分装柜内进行敷贴器制作，完成后在敷贴室内给患者进行敷贴。敷贴结束后由工作人员收回敷贴器放回贮源箱内保存。 ^{32}P 敷贴治疗项目的工作流程详见图 9-10。

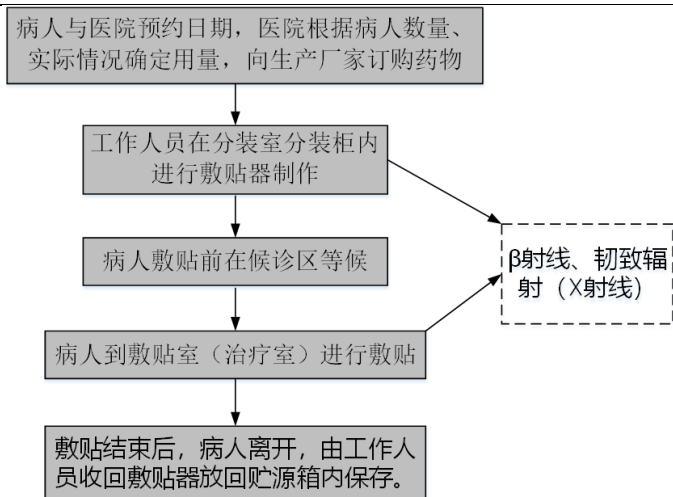


图 9-10 ^{32}P 敷贴治疗工作流程图

(4) 核素使用量

本项目敷贴治疗使用的核素为 ^{32}P , ^{32}P 日最大诊疗人数为 24 人/天, 敷贴治疗项目使用核素的基本情况及使用量见表 9-13。

表 9-13 敷贴治疗项目使用核素的基本情况及使用量

序号	核素	单人最大使用量 (Bq)	日最大诊疗人数	年最大诊疗人数	主要用途
1	^{32}P	3.7×10^6	24 人/天	6000	敷贴治疗

9.2.2 人员配置计划及工作负荷

目前本项目相关工作尚在筹备阶段, 工作人员尚未落实, 医院暂拟为本次评价核医学科项目配备相关工作人员见表 9-14, 后续医院将根据工作需要调整核医学相关专业的辐射工作人员。

表9-14 配备人员一览表

科室	人员岗位	拟配备人数	工作内容
核医学科	核医学医师	6	负责病理分析、诊断、评片等
	技师	6 人轮岗	环境监测、图像采集、摆位
	护士	12 轮岗	核素分装/注射、指导患者服药
	敷贴护士	1	敷贴治疗
	清洁人员	1	核医学科废物处理

9.1.2 污染源项描述

9.1.2.1 正常工况

(1) 医用直线加速器

①、X 射线

由加速器的工作原理可知, 医用直线加速器用于 X 线治疗时, 电子枪产生的电子经过加速后, 高能电子束与靶物质及其他加速器结构材料相互作用时将产生高能 X 射

线,其可能对工作人员和公众造成危害。这种 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。

②、电子线

加速器用电子束治疗时,电子束的屏蔽要求远低于高能 X 线,故在机房屏蔽墙厚度计算时不用考虑,但由于电子束的强度高,若发生人员意外照射,会造成伤害。

③、臭氧及氮氧化物

医用直线加速器机房内的空气受到 X 线及电子线照射会产生一定量的臭氧和氮氧化物,若在机房内聚集,对机房的人员和设施均具有一定的危害。由类似工程可知,只要确保每小时排风不小于 4 次,产生的臭氧和氮氧化物对机房内外环境影响较小。

(2) 后装机

1) γ 射线

后装机使用的是 Ir-192 密封源, Ir-192 的半衰期为 74 天,其衰变类型为 EC 和 β^- 衰变,伴有 γ 射线产生, γ 射线能量为 0.136~1.062MeV。由于 Ir-192 半衰期短,每次治疗的时间将会延长,在治疗时需按天计算放射性的衰变,几个月之后治疗的时间可能太长,一般约半年更换一次,废源由放射源供应厂家负责调换、运输、处置,医院负责日常安全管理。

2) 臭氧及氮氧化物

后装机机房内的空气受到 γ 射线照射会产生一定量的臭氧和氮氧化物,若在机房内聚集,对机房的人员和设施均具有一定的危害。由类似工程可知,只要确保每小时排风不小于 4 次,产生的臭氧和氮氧化物对机房内外环境影响较小。

(3) CT 定位、PET/CT 及 SPECT/CT (CT 部分)

①、X 射线

由 X 射线装置的工作原理可知, X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因此,该院使用的 X 射线装置在非诊断状态下不产生射线,只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。由于射线能量较低,不必考虑感生放射性问题。

②X 射线与空气作用,产生少量的臭氧和氮氧化物。少量的有害气体直接与大气接触、不累积,自然逸散,对环境的影响可忽略不计。

(4) 核医学科非密封放射性物质工作场所

本项目核医学科使用的放射性核素为 ^{18}F ,半衰期为 109.8min,液态,毒性分组为低毒组,衰变时发射出 0.511MeV 光子。本项目 ^{18}F 的日等效最大操作量为 $2.22 \times 10^7\text{Bq}$,属于乙级非密封放射性物质工作场所,属于 II 类核医学工作场所。放射性药物 ^{18}F

使用过程中产生的放射性污染源项如下：

(1) 正常工况

①放射性药物的分装、注射等操作过程中，操作人员将受到放射性药物发出的射线的外照射，吸入、食入放射性核素后还会对病人产生内照射。

②接受核素诊疗的病人注射或服用放射性药物后，本身短时间内便是一个辐射体（源），对周围的环境可能造成外照射影响。

③进行 PET/CT 核素显像时，将有来自受诊病人身体中和 PET/CT 机发射的 X 射线，经过 PET/CT 扫描室的屏蔽，射线可能仍有一定的泄漏，环境影响途径为外照射。

④放射性核素操作过程中将产生放射性废液和受污染的固体废物，核素操作过程中可能会产生放射性气体。

⑤受检患者在注射了放射性药物之后短时间内的排泄物也属于放射性污染物。

⑥受检患者出现紧急情况，医护人员对注射了放射性药物的受检患者进行医学抢救时会受到外照射影响。

9.1.3 事故工况

(1) 医用直线加速器

直线加速器的 X 射线受开机和关机控制，关机时没有 X 射线发出。因此，在意外情况下，可能出现的辐射事故（事件）如下：

①工作人员或病人家属在防护门关闭前尚未撤离辐照室，加速器运行可能产生误照射。

②安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的加速器辐照室受到照射。

③工作人员误操作导致病人受到不必要的照射。

从理论上讲，发生上述这种事故的几率极小，为防止事故的发生，在购置设备时要注意安全联锁设施的可靠性与稳定性的设计水平，使用过程中要经常定期检查和维护联锁系统及安全保障系统，仪器操作人员应严格按照操作规程进行运行操作，每次开机前必须要确认机房内无人员时，才能进行开机运行。

(2) 后装机

1) 因工作人员操作不当或出现设备故障，在设备安装和换装放射源时，发生放射源由设备或容器中跌落出来，造成安装或操作人员受到强辐射照射。

2) 设备检修时，工作人员误将治疗机的屏蔽装置打开或卸下放射源，都会对维

修人员产生很强的辐射照射。

3) 治疗机处于运行状态时, 因故障, 发生门机联锁装置失效, 导致人员误入处于运行状态的治疗室机房, 受到不必要的辐射照射。

4) 后装机换装放射源后产生的报废源, 因管理不善发生被盗、丢失、遗弃等事故, 而引发环境辐射污染。

5) 治疗结束后, 放射源卡源无法自动退回, 造成病人及处理故障的工作人员超量照射。

(3) CT 模拟定位机、PET/CT 及 SPECT/CT (CT 部分)

①X 射线装置发生控制系统或安全保护系统故障或人员疏忽, 使受检者或工作人员受到超剂量照射;

②在射线装置出束时人员误入机房受到的辐射照射;

③检修时, 误开机时, 维修人员受到潜在照射伤害。

(4) 核医学科非密封放射性物质工作场所

该评价项目核医学科使用放射性核素主要发生的放射性污染有:

①放射性液体洒漏, 使工作环境受到污染, 工作人员受到外照射;

②操作人员身体受放射性物质表面沾污, 可能发生的内照射;

③保管不善, 放射性物品被盗, 流失到社会, 对局部环境产生污染, 并可能使部分公众受到照射。

9.1.4 三废的产生情况

(1) 废水

本项目直线加速器、后装机、SPECT-CT、PET-CT 和 CT 定位机在正常运行过程中, 不会产生放射性液体污染物。

根据医院规划, 本项目核医学科显像区年接受 PET 显像检查的病人最大为 7500 人, 年接受 SPECT-CT 显像检查的病人最大为 7500 人, 每天进行骨转移癌治疗共 1000 人 (^{89}Sr 年诊疗 250 人, ^{223}Ra 年诊疗 750 人)。设核素显像病人注射后休息期间病人上厕所一次, 每次上厕所产生废水 6L, 每天清洗、应急和去污每天用水量约为 100L (年工作 250 天), 则核医学科显像区年产生放射性废水量约为 121m^3 。

本项目核医学科治疗区每年接受甲亢治疗的病人最大为 1250 人, 设治疗区病人注射后休息期间病人上厕所一次, 每次上厕所产生废水 6L; 核医学科核素治疗区设置 4 个核素治疗病房, 每个病房设置 1 张核素治疗病床, 每日病人最多住院 3 天。假设

每位住院病人每天产生废水 200L，核素治疗区住院患者每天约产生废水 800L，考虑到工作场所及工作人员清洗、应急和去污每天用水量约为 100L（年工作 250 天），则核医学科治疗区年产生放射性废水量约为 272.5m³。

（2）固废

加速器维修时会产生少量固体废物，加速器更换下来的靶和废树脂需作为固体放射性废物处理，更换下来后需用专门盛装放射性废物的容器装好，由加速器设备供应商回收。

后装治疗机产生的废旧 ¹⁹²Ir 放射源应交由放射源生产单位回收处理。

SPECT-CT、PET-CT和CT定位机在正常运行过程中，不会产生放射性固体污染物。根据医院规划，本项目核医学科显像区显像检查患者预计约 16000 人次/年（7500（¹⁸F）+6250（^{99m}Tc）+1250（¹³¹I）+250（⁸⁹Sr）+750（²²³Ra）=160000）。据医院统计，核医学显像检查患者 4 人次产生约 0.1kg 的固体废物，则本项目显像检查患者预计放射性固体废物年产生量约 400kg。

核医学科核素治疗区门诊预计约 7250 人次/年（6000（³²P）+1250（¹³¹I）=7250），¹³¹I 甲癌住院 400 人次。据医院统计，核医学显像检查患者 4 人次产生约 0.1kg 的固体废物，甲癌患者每人产生约 0.8kg 的固体废物，则本项目核素治疗区门诊放射性固体废物年产生量约 481.25kg。

（3）废气

直线加速器、后装机机房内的空气受到 X 线、γ 射线照射会产生一定量的臭氧和氮氧化物，若在机房内聚集，对机房的人员和设施均具有一定的危害，只要确保每小时排风不小于 4 次，产生的臭氧和氮氧化物对机房内外环境影响较小。

SPECT-CT、PET-CT 和 CT 定位机在 CT 开机并曝光时，X 射线在穿过空气时会与空气中的氧和氮分子发生作用，产生臭氧和氮氧化物。本项目 CT 曝光时间很短，臭氧和氮氧化物的产生量极少，通过 CT 机房排风系统排至室外，不会对公众及环境造成危害。

该项目核医学操作过程中会产生微量的放射性气体。针对上述情况，医院拟采取相应的防护措施，共拟设置 7 套排风管道共同排入核医学科内排风井，其中 1#、2#、3#排风系统排入 22#排风井，4#、5#、6#、7#排风系统排入 41#排风井，本项目具体通风如下：①治疗区内甲亢治疗、敷贴治疗及治疗区相关配套房间管道汇合后一起排入排风井；②治疗区内甲癌治疗病房管道汇合后一起排入排风井；③显像区治疗骨转

移癌区域及显像设备机房、候诊、留观等相关配套区域管道汇合后一起排入排风井；
④^{99m}Tc、¹³¹I通风橱管道汇合后一起排入排风井；⑤³²P通风橱单独一套排风管道；⑥
治疗区废物暂存间单独一套排风管道；⑦显像区治疗区废物暂存间单独一套排风管
道。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 项目工作场所布局

景德镇市第一人民医院西院区新增核技术利用项目位于景德镇市第一人民医院西院区医技楼负二层放疗科、核医学科。

医技楼负二层放疗科设有 1 间直线加速器机房、1 台后装治疗机、1 台定位 CT 机房。

直线加速器机房东侧为后装机房及地下停车场，南侧为地下停车场、中成药仓库、麻醉药回收室，西侧为进风机房、质控间及配电间，北侧为控制室、准备大厅及冷却机房，楼上为院内医技楼平台，楼下为土层。

后装机机房东侧为地下停车场，南侧为地下停车场，西侧为直线加速器机房，北侧为操作间及准备间，楼上为地下停车场，楼下为土层。

CT 定位机房东侧为控制室，南侧为患者走廊，西侧为核医学科 PET-CT 注射后候诊 2 及配件室，北侧为核医学科区域患者走廊，楼上为地下停车场，楼下为土层。

核医学科区域东侧为地下停车场、楼梯间等区域，南侧为放疗科区域，西侧为核医学科办公区域，北侧为住院楼地下一层水泵房、设备房等区域，楼上为地下停车场，楼下为土层。

表 10-1 机房周边情况一览表

项目	直线加速器机房	后装机房	CT 定位机房	核医学科区域	
方位	东	后装机房、地下停车场	地下停车场	控制室	地下停车场、楼梯间等区域
	南	地下停车场、中成药仓库、麻醉药回收室	地下停车场	患者走廊	放疗科区域
	西	进风机房、质控间、配电间	直线加速器机房	核医学科 PET-CT 注射后候诊 2、配件室	核医学科办公区域
	北	控制室、准备大厅、冷却机房	操作间、准备间	核医学科区域患者走廊	住院楼地下一层水泵房、设备房等区域
	楼上	院内医技楼平台	地下停车场	地下停车场	地下停车场
	楼下	土层	土层	土层	土层

10.1.2 工作区域管理

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防护工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基标准》（GB 18871-2002）中的要求在放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，要求专门的防护手段和安全措施的限定区域。在控制区域进出口及其

他可能行人过往位置处设立醒目的警示标志，运用工作人员工作卡进出和采取门锁及联锁装置等限制进出控制区。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下无需采用专门的防护手段或安防措施，但要不断检查其职业照射状况的限定区域。拟在监督区入口及人员路过的合适位置处张贴辐射危险警告标志，定期检查工作状况，自行巡测确定时候需要防护及安防措施，或是否需要更改监督区的边界。

本项目结合设备安装地点场地条件，对直线加速器、后装机辐射工作场所实行分区管理。

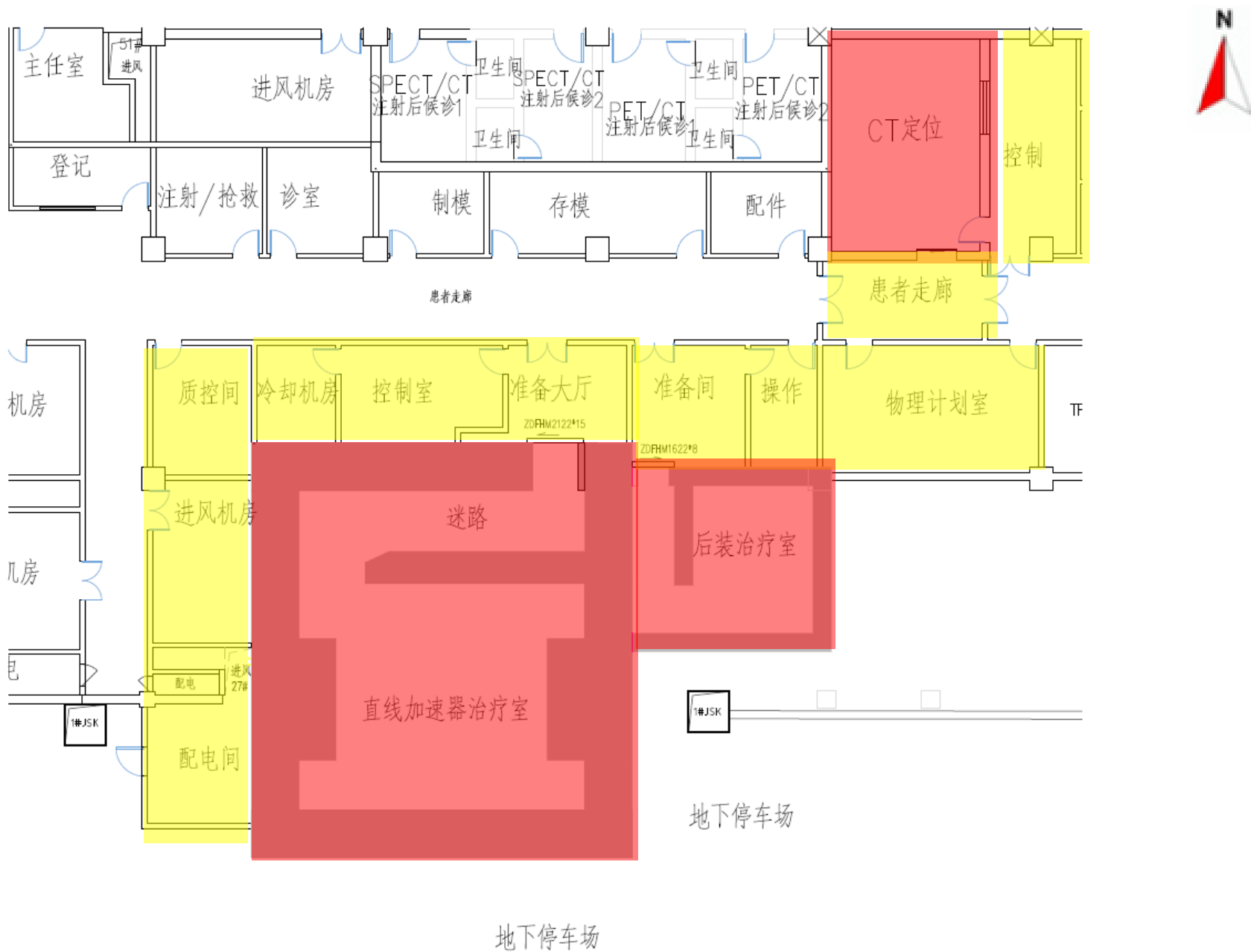
直线加速器：将医用电子直线加速器机房的治疗室及迷道划为控制区，将控制室、水冷机房、准备大厅等与机房相邻区域配套区域划为监督区。

后装机：将后装机机房的治疗室及迷道划为控制区，将操作室、准备间等与机房相邻区域配套区域划为监督区。

CT 定位机：将 CT 定位机机房划为控制区，将操作室患者走廊划为监督区。

核医学科：将分装室、注射室、储源室、废物暂存间、留观室、PET 及 SPECT 机房及相关走廊有用药病人的活动区域及衰变池等划为控制区。核医学科内部控制室、医护走廊、设备间、缓冲区等配套区域划为监督区。

本项目控制区与监督区划分示意图见图 10-1~图 10-3。



图例： 控制区 监督区

图 10-1 放疗科控制区与监督区划分示意图

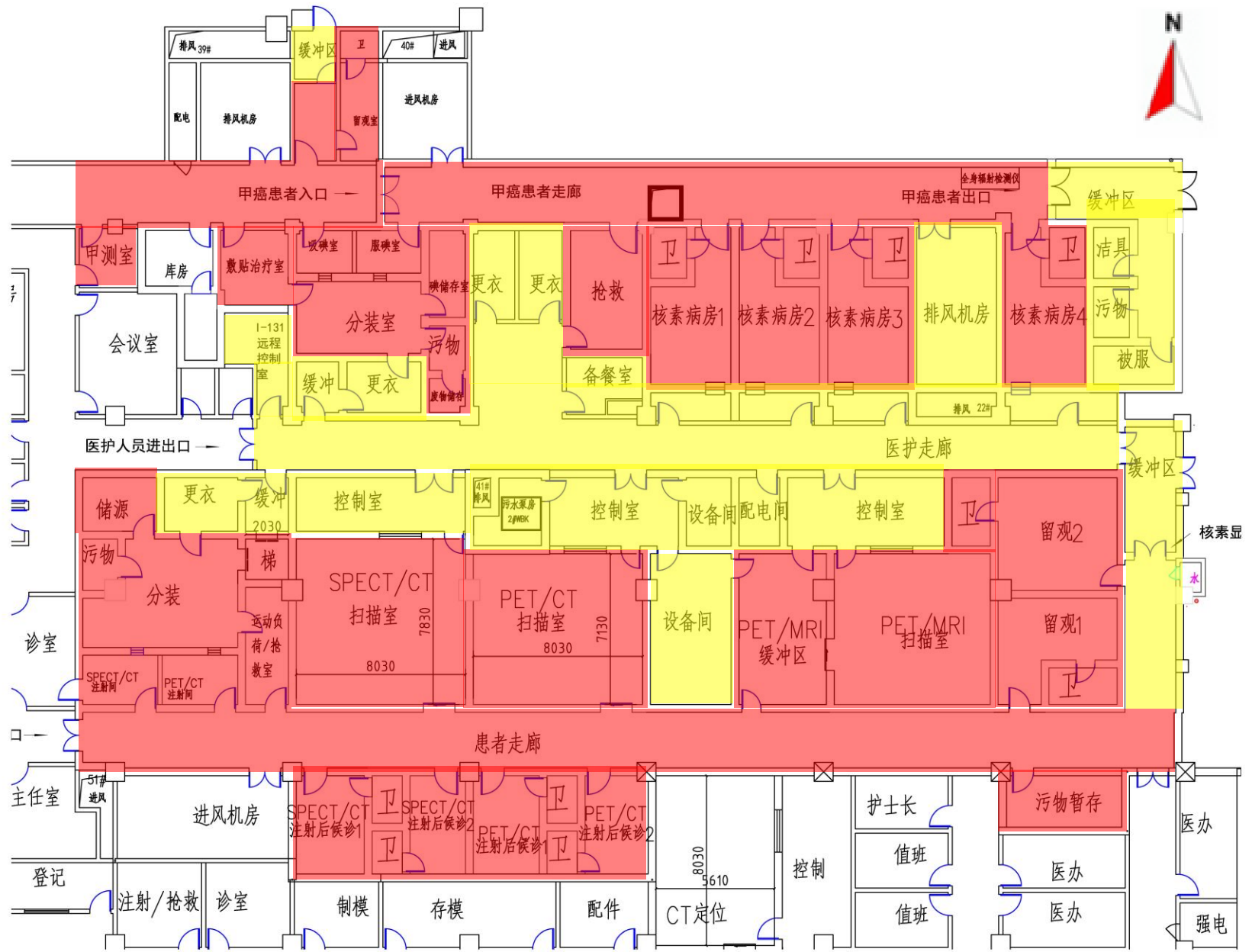
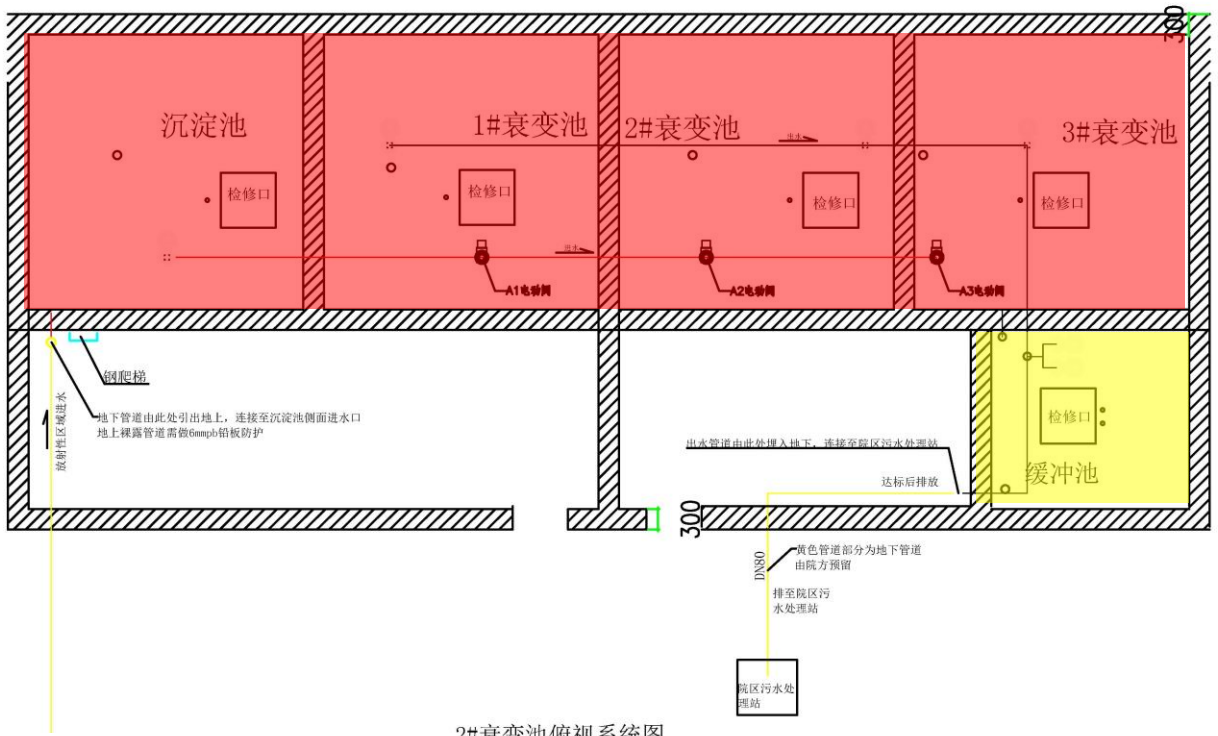
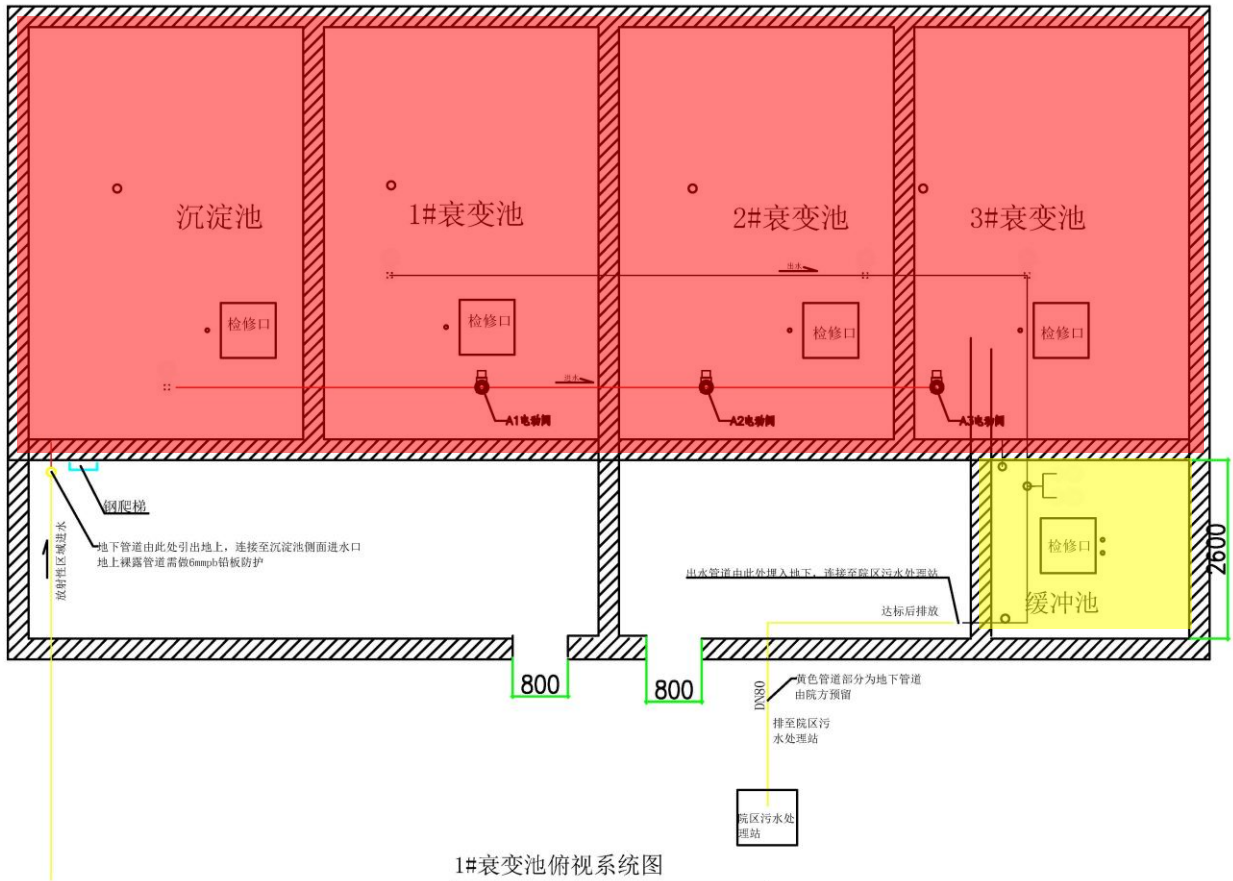


图 10-2 核医学科控制区与监督区划分示意图

图例： 控制区 监督区



图例： 控制区 监督区

10-3 衰变池控制区与监督区划分示意图

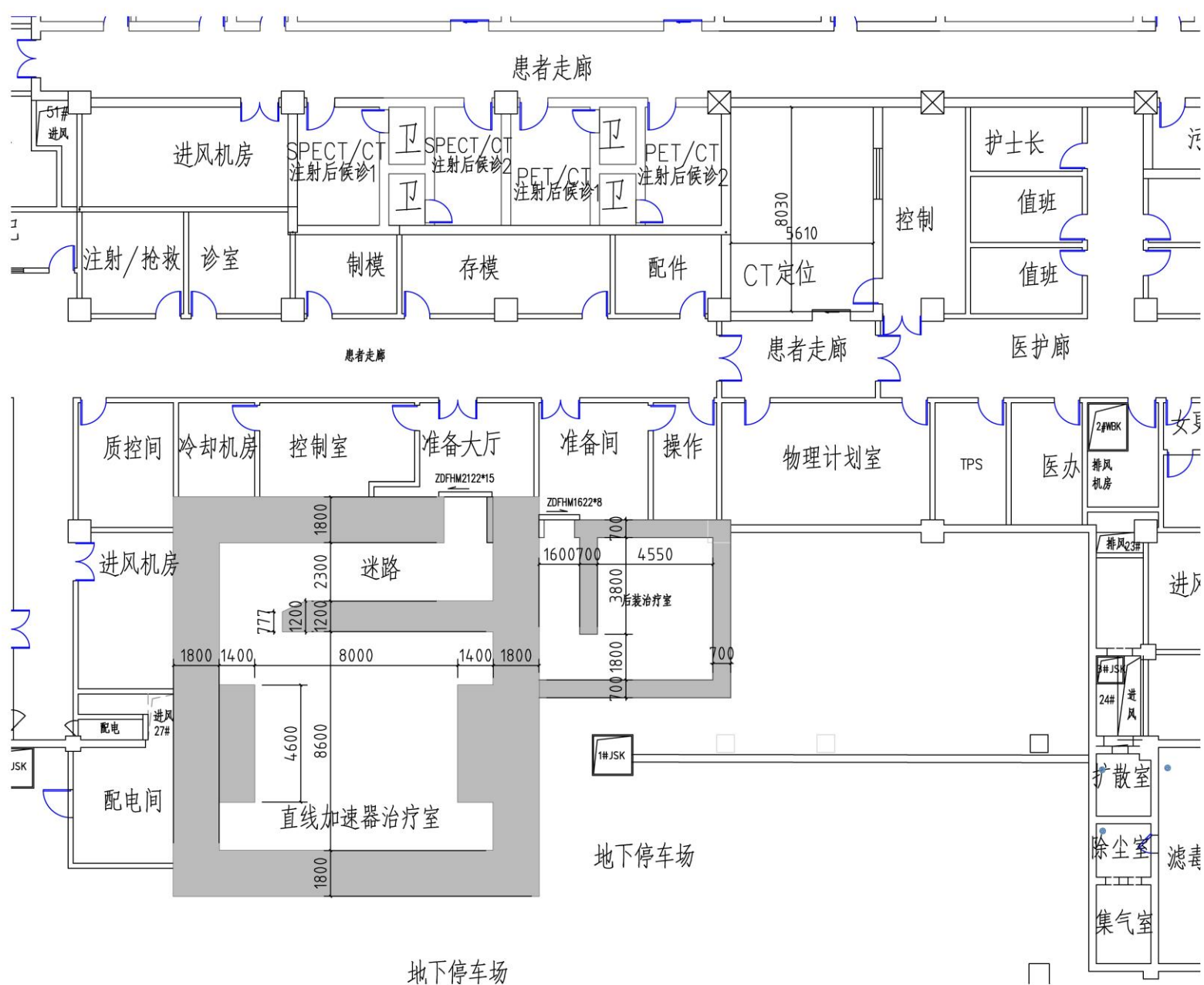


图 10-4 放疗科平面设计图

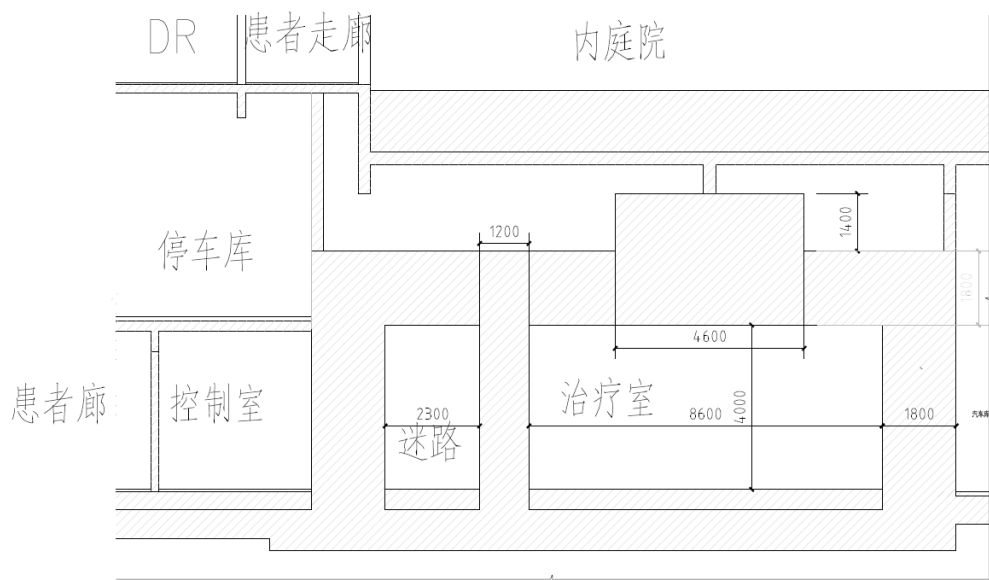


图 10-5 直线加速器机房立面图

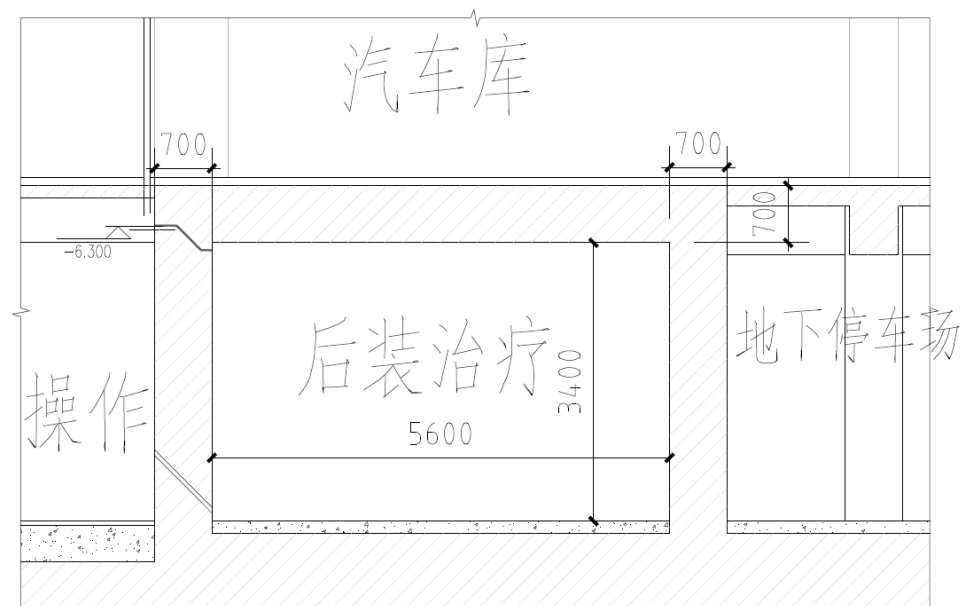


图 10-6 后装机机房立面图

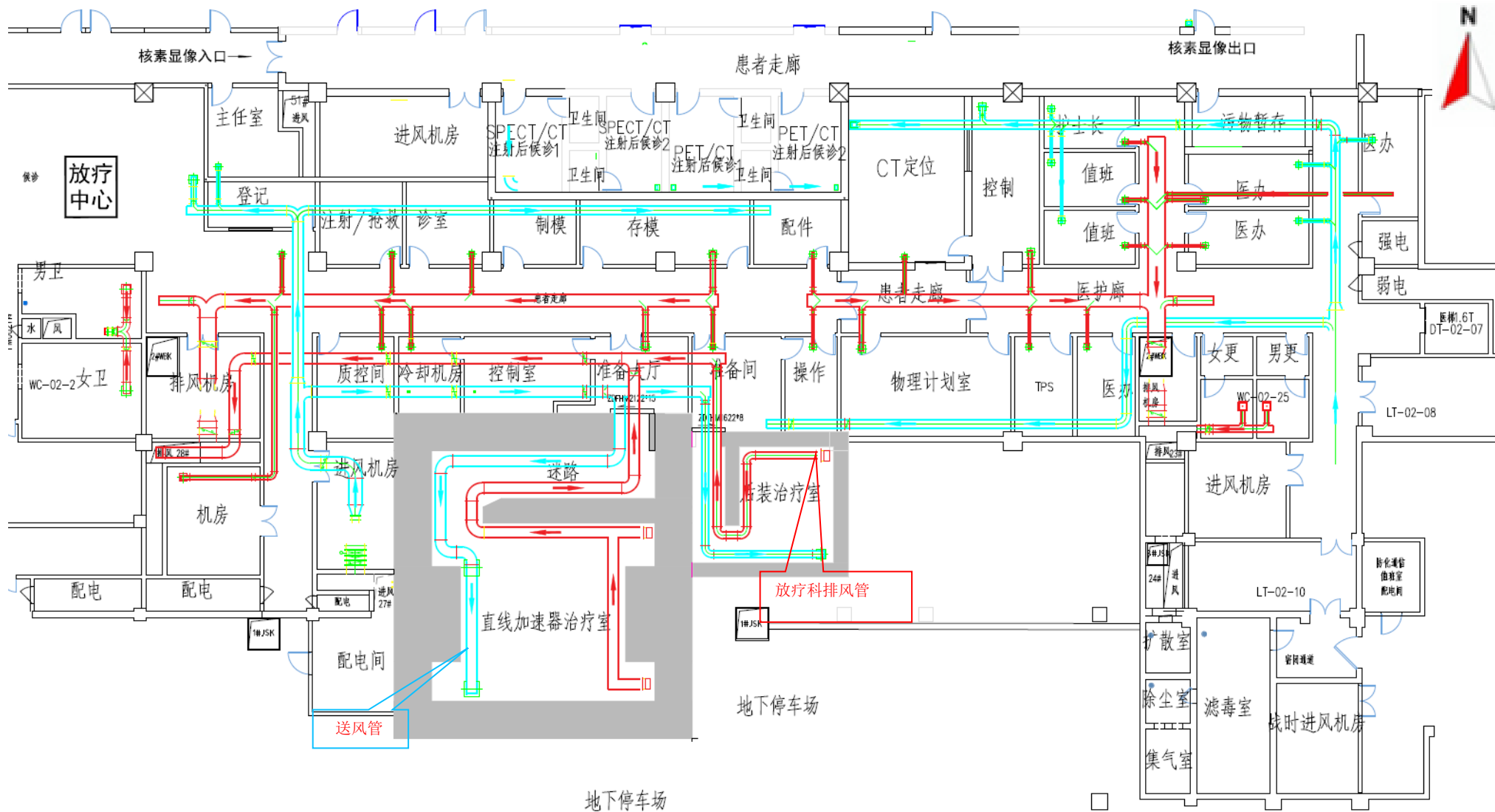


图 10-7 放疗科通风管道设计图

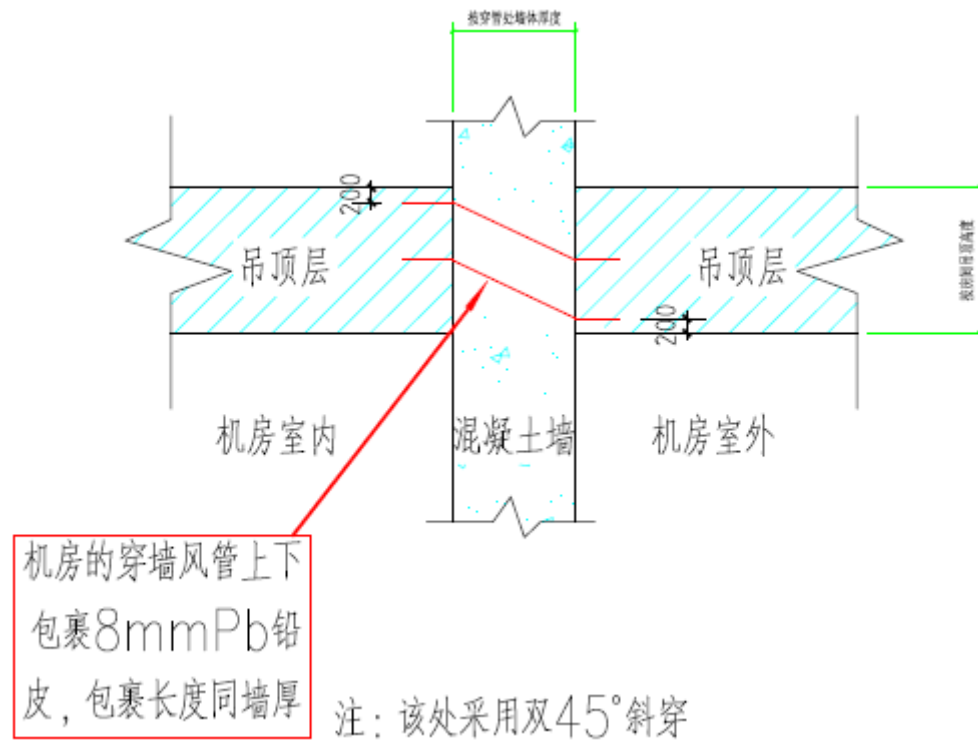


图 10-8 放疗科送/排风穿墙设计图

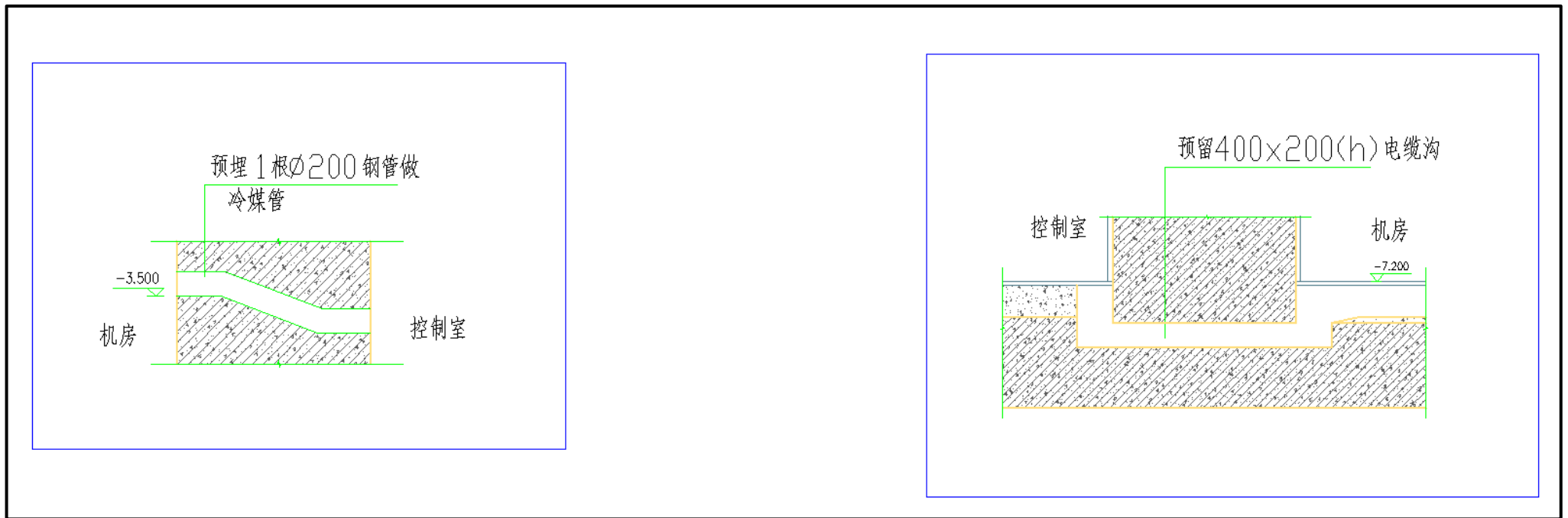
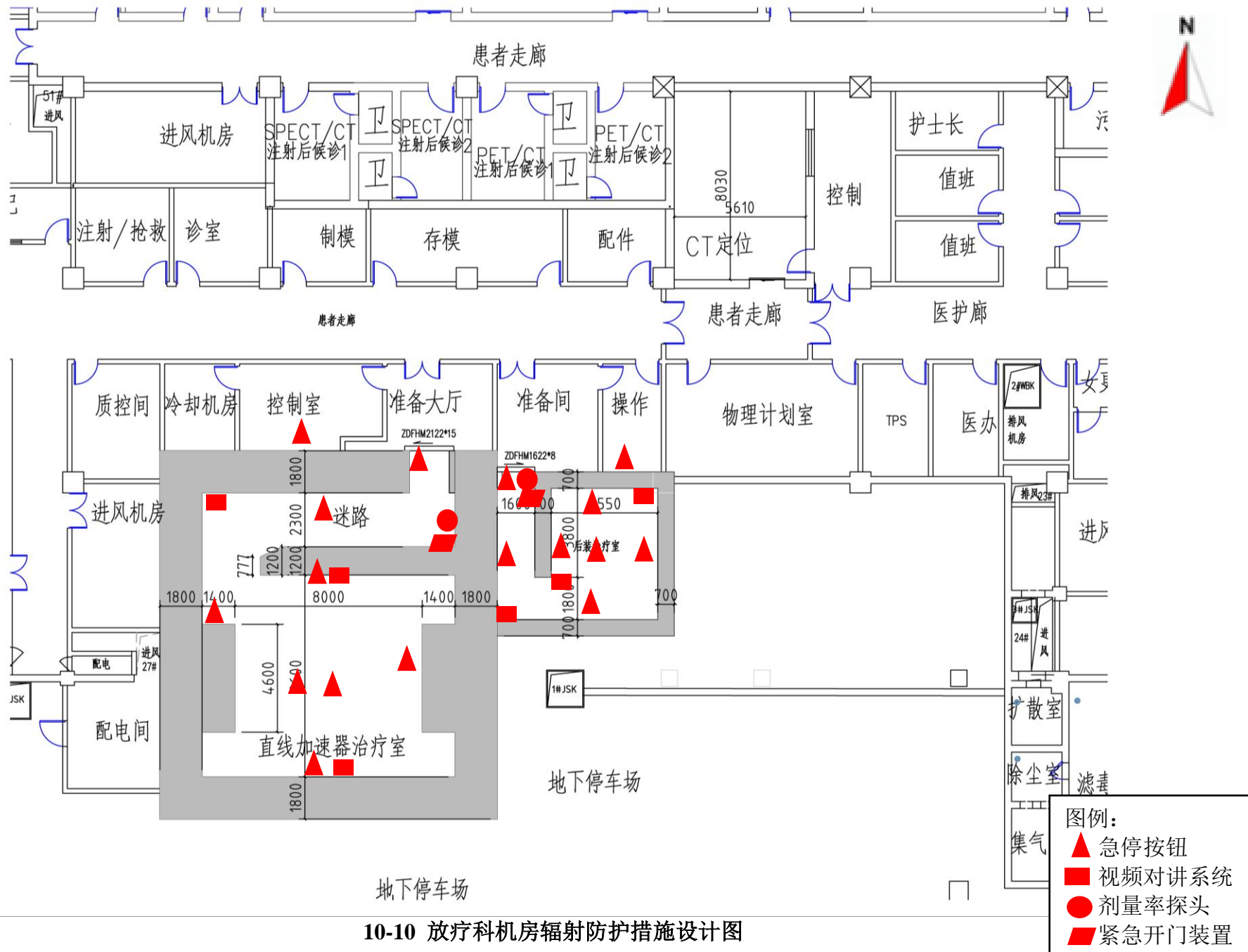


图 10-9 放疗科冷媒管、电缆沟穿墙设计图



10-10 放疗科机房辐射防护措施设计图

10.1.3 辐射防护屏蔽设计与辐射措施

10.1.3.1 直线加速器及后装机辐射防护屏蔽设计

直线加速器及后装机机房主体结构均拟采用钢筋混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ），机房一次性浇筑完成，混凝土的含水量不低于 5%，具体设计方案见表 10-2~表 10-3。

10.1.3.1.1 主体结构屏蔽设计

表 10-2 直线加速器机房的设计情况一览表

项目	直线加速器机房
机房室内尺寸	长 8.00m×宽 8.60m×高 4.00m
主屏蔽墙	西侧主屏蔽墙厚为 3.20m，宽为 4.60m；东侧主屏蔽墙厚为 3.20m，宽为 4.60m；顶棚主屏蔽墙厚 3.20m，宽为 4.60m。
侧屏蔽墙	厚 1.8m
次屏蔽墙	次屏蔽墙为 1.8m，顶棚次屏蔽墙 1.8m。
迷路	迷路内墙为厚 0.777~1.20m，长 8.30m 迷路外墙厚 1.80m，长 8.85m
防护门	15mm 铅

表 10-3 后装机机房的设计情况一览表

项目	后装机机房
机房室内尺寸	长 5.6m×宽 4.55m×高 3.4mm
四周墙体及顶棚	墙厚为 0.7m，顶棚厚 0.7m
迷路	迷路内墙为厚 0.7m，长 3.8m 迷路外墙厚 1.8m，长 5.6m
防护门	8mmPb
贮存状态	50mm 铅罐

10.1.3.1.2 防护门屏蔽设计、铅玻璃安装设计要求

直线加速器机房和后装机机房迷道外口拟设电动推拉防护门，防护门采用安全联锁装置，防护门框上方拟设有电离辐射标志和工作指示灯。为减少接缝处射线的泄漏，要求防护门两侧铅板搭接宽度大于门缝宽度 10 倍以上。

10.1.3.1.3 机房通风系统

机房进风管道从机房东南端屏蔽墙顶部穿过并在迷道入口的顶部呈倒 45° 斜角穿越混凝土墙体。机房通过进风管道送风，2 个进风口分别位于机房顶部西北角和西南角。机房通过排风管道排风，2 个排风口分别位于机房东北角和东南角，距地面 0.3m；机房排风管道从机房东北端屏蔽墙顶部穿过并在迷道入口的顶部采用双 45° 斜穿穿越混凝土墙体，将室内气体抽出排至换气机房，最终排出室外，排风口位于医技楼南侧空地，排风口附近较为空旷，便于空气流通气体扩散。

因为加速器机房的臭氧易沉积在机房地面 30cm 处，施工时加速器机房的排风口拟设置在距机房地面高度 30cm 左右。

医院拟在加速器机房支管上安装通风设施，风机额定通风量 $3000\text{m}^3/\text{h}$ 排风机（通风效率不小于 85%），直线加速器机房面积为 110.98m^2 （含迷道），有效容积约为 443.92m^3 ，每小时换气约为 5.74 次。

医院拟为后装机机房支管上安装通风设施，风机额定通风量 $850\text{m}^3/\text{h}$ 排风机（通风效率不小于 85%），后装机机房面积为 36.49m^2 （含迷道），有效容积约为 124.06m^3 ，每小时换气约为 5.82 次。

因此，直线加速器机房和后装机机房满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）“8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置”。

10.1.3.1.4 管线穿墙设计

放疗科设备电缆穿墙方式拟采用倒梯形设计，电缆沟宽 400mm，深 200mm，以保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果，直线加速器详细大样图见图 10-9。

建设项目机房在楼层原有的基础上进行砂浆水泥找平，机房的地沟线槽为埋地设计，地沟线槽采用不锈钢盖板覆盖，机房之间的管线穿墙设计为圆形管道墙面直穿，在管线穿墙处用 3mmPb 铅板包裹管道（铅板包裹至墙面，并与墙面形成有效搭接），防止射线泄漏。项目 CT 定位机房电缆管线穿墙屏蔽补偿措施设计如图 10-9 所示。

10.1.3.1.5 监控与安全装置

放疗科工作场所拟设置监控及安全装置，具体如下：

①实时监视和通讯系统：直线加速器 and 后装机机房内和迷道内入口安装影像监控装置，控制室与机房内设置语音对讲装置。

②实时辐射水平监测系统和个人剂量报警仪：直线加速器和后装机治疗机房内设有固定式在线辐射剂量率监测探头（含报警功能），实时监测到辐射剂量率水平显示在控制室中，工作人员及时了解设备的工作情况以及机房中的辐射水平。拟配备个人剂量报警仪，在辐射工作人员工作时，辐射工作人员将全程佩戴开启状态下的个人剂量报警仪。

③紧急停机开关及手动开门装置：直线加速器拟设置急停开关 9 个（控制室 1 个、防护门内侧 1 个、迷路入口处 1 个、治疗室内 6 个），后装机拟设置急停开关 8 个（控制室 1 个、防护门内侧 1 个、迷路入口处 1 个、治疗室内 5 个），紧急停机开关有明显

的标志，供应急停止使用，事故处理完毕后，再于本地复位，设备才能重新启动。在迷道侧墙靠近防护门处设置加装手动开门装置可在内部通过手动开启屏蔽门。

④电动防护门机连锁：直线加速器机房和后装机机房的电动防护门与装置连锁，一旦防护门被打开，连锁装置将立即切断治疗机的出束开关，使治疗装置立即停止出束。

⑤辐射安全警示措施：在防护门外拟安装工作状态指示灯和电离辐射警告标志，其中工作状态指示灯具备开机、停机指示，并与放疗设备连锁。

10.1.3.1.6 个人防护措施

医院拟为放疗科配置便携式剂量率报警仪及个人防护用品见下表。

表 10-4 放疗科机房拟配备的辐射防护用品一览表

防护用品	直线加速器机房数量	后装机机房数量	铅当量 (mmpb)
铅防护衣	1	1	0.5
铅防护围裙	1	1	0.5
铅防护围脖	1	1	0.5
铅防护眼镜	1	1	0.5
铅防护帽	1	1	0.5
便携式个人剂量报警仪	2 个	2 个	
X-γ 辐射剂量率监测仪 (能量响应不小于 10MeV)	1 台		

10.1.3.1.7 直线加速器机房及后装治疗机机房辐射防护措施分析

放疗科工作场所后装治疗机房及直线加速器机房拟采取的安全防护措施和设施《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)的符合情况见表10-5。

表 10-5 放疗科辐射防护措施符合性分析表

分类	标准要求	拟采取的安全防护措施和设施	符合情况
选址与布局	5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响,不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	本项目选址位于医院内部,未设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内	符合
	5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设,或设置在多层建筑物的底层的一端,尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域,或人员流动性大的商业活动区域。	放疗场所位于医技楼底层的一端,避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。	符合
分区原则	5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下,控制区包括加速器大厅、治疗室(含迷路)等场所,如直线加速器机	本项目放射治疗场所按标准要求划分控制区和监督区。	符合

	<p>房区域。</p> <p>5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区(如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等)。</p>		
屏蔽要求	<p>6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算,同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。</p>	<p>本项目放射治疗室屏蔽设计按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算,同时充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。</p>	符合
	<p>6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能,符合最优化要求。使用大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备,须考虑中子屏蔽。</p>	<p>屏蔽材料根据其结构性能、防护性能和经济因素,符合最优化要求,新建机房选用普通混凝土。</p>	符合
	<p>6.1.3 管线穿越屏蔽体时应取不影响其屏蔽效果的方式,并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接,确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。</p>	<p>通风管线采取采用双 45° 斜穿穿墙方式,电缆管线采取“U”型穿墙方式,能确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。</p>	符合
	<p>6.14 剂量控制应符合以下要求:</p> <p>a) 治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时,距治疗室顶外表面 30cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1)和 2)所确定的剂量率参考控制水平\dot{H}_c:</p> <p>1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子(可依照附录 A 选取),由以下周剂量参考控制水平(\dot{H}_c)求得关注点的导出剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}(uSv/h)$:</p> <p>机房外辐射工作人员: $\dot{H}_c \leq 100uSv/周$;</p> <p>机房外非辐射工作人员: $\dot{H}_c \leq 5uSv/周$。</p> <p>按照关注点人员居留因子的不同,分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,max}(uSv/h)$:</p> <p>人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 uSv/h$;</p> <p>人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,max} \leq 10uSv/h$。</p> <p>b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射,以年剂量 250uSv 加以控制。</p>	<p>由表 11 可知,本项目剂量控制满足标准要求。</p>	符合

	c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶, 机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 100uSv/h 加以控制(可在相应位置处设置辐射告示牌)。		
6.2 安全防护设施和措施要求	6.2.1 放射治疗工作场所, 应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等: a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志; b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯 c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置, 并设置双向交流对讲系统。	拟在防护门外安装工作状态指示灯和电离辐射警告标志, 防护门张贴放射防护注意事项, 其中工作状态指示灯具备开机、停机指示。 机房内设置监控摄像头, 实时监控机房内部观察患者状态、治疗床和迷路区域情况; 在治疗室内设置对讲装置, 并设置双向交流对讲系统。	符合
	6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室(一般在迷道的内入口处)应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能, 其显示单元设置在控制室内或机房门附近。	拟在加速器机房迷道入口处设置固定式报警系统, 并确保其报警功能正常等。	符合
	6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所, 应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全连锁措施: a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门-机/源连锁装置, 防护门未完全关闭时不能出束/出源照射, 出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施; b) 放射治疗室应设置室内紧急开门装置, 防护门应设置防夹伤功能; c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁设置急停按钮;急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。	1、机房拟设置门机连锁装置, 防护门未完全关闭时不能出束照射, 出束状态下开门停止出束。后装机拟设置断电自动回源措施。 2、放射治疗室拟设置室内紧急开门装置, 防护门拟设置红外线防夹装置。 3、拟在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁设置急停按钮。	符合
	6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。	医院拟配备应急储源器急贮源容器和长柄镊子等应急工具	符合
7 操作的辐射安全与防护要求	7.1 医疗机构应对辐射工作场所的安全连锁系统定期进行试验自查, 保存自查记录, 保证安全连锁的正常有效运行。	拟对辐射工作场所的安全连锁系统定期进行试验自查, 保证安全连锁的正常有效运行。	符合
	7.2 治疗期间, 应有两名及以上人员协调操作, 认真做好当班记录, 严格执行交接班制度。	治疗期间, 有两名技师协调操作, 严格执行交接班制度	符合
	7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室。	医院拟制定制度确保任何人员未经授权或允许不得进入加速器机房, 工作人员在确认放射治疗或者治疗室已经终止的情况下方可进入放射	符合

		治疗室。	
	7.4 应加强放射源倒装活动的辐射安全管理,倒装工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行;应制定放射源倒装活动方案,对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置、倒源屏蔽体搭建进行确认;倒装放射源时应对倒装热室周围和含源设备表面进行辐射监测,关注倒源屏蔽体的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况,做好安装和更换的放射源清点并记录;倒源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。	医院拟通知制定相关制度对放射源倒装活动加强辐射安全管理,倒装工作由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行;拟制定放射源倒装活动方案,对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置、倒源屏蔽体搭建进行确认;倒装放射源时拟对倒装热室周围和含源设备表面进行辐射监测,关注倒源屏蔽体的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况,做好安装和更换的放射源清点并记录;倒源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。	符合
8.2 固体废物管理要求	8.2.2.1 活化后的准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件,在更换或退役时,应作为放射性固体废物处理,拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存,最终送交有资质的单位收贮。	本项目加速器的废靶只在装置需要更换金属钨靶时才产生,更换下来的废靶和废弃离子交换树脂均由加速器设备供应商回收。	符合
	8.2.2.3 建立放射性固体废物台账,存放及处置前进行监测,记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果(剂量当量率)、监测日期、去向等相关信息,低于清洁解控水平的可作为一般固体废物处置,并做好存档记录。	医院拟建立放射性固体废物台账,存放及处置前进行监测,记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果(剂量当量率)、监测日期、去向等相关信息。	符合
8.4 气态废物管理要求	8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统,采取全排全送的通风方式,换气次数不少于4次/h,排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。	加速器及后装机机房拟设置排风系统,每小时换气不小于4次,排气口位置在放疗中心南侧顶部,离门、窗或人流较大的过道等位置较远。	符合
《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)			
分类	标准要求	拟采取的措施和设施	符合情况
6.1 机房布局要求	6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置,治疗设备辅助机械、电器、水冷设备,凡是可以与治疗设备分离的,尽可能设置于治疗机房外。	本项目直加机房及后装机均与控制室分开设置,辅助机械、电器、水冷设备均设置在治疗机房外的辅助机房内,与治疗设备分离。	符合
	6.1.6 治疗机房应设置迷路。	本项目加速器机房及后装机均设计迷路。	符合
6.2 空间通风要求	6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间,以确保放射治疗设备的临床应用需要。	本项目加速器机房的有效使用面积为64m ² ,后装机机房的有效使用面积为39m ² ,符合面积要求,满足放射治疗设备的临床应用需要。	符合
6.4 急停开关	6.4.4 放射源后装近距离治疗工作场所,应在控制台、后装机设备表面人员易触及位置以及治疗机房内墙面各设置一个急停开关。	拟在控制台、后装机设备表面及治疗机房内四周墙面均设置急停开关。	符合
7.2	7.2 后装放射治疗操作中,当自动回源装置功能失效时,应有手动回源的应急处理措施。	后装治疗机配备有手动回源装置,治疗过程中,若自动回源	符合
7.4			

放射 治疗 操作 中的 放射 防护 要求	7.4 工作人员进入涉放射源的放射治疗机房时应佩戴个人剂量报警仪。	装置功能失效时，可紧急进行手动回源，制定有卡源应急处理措施； 拟为工作人员配备个人剂量报警仪，工作人员进入后装机房时佩戴个人剂量报警仪。	

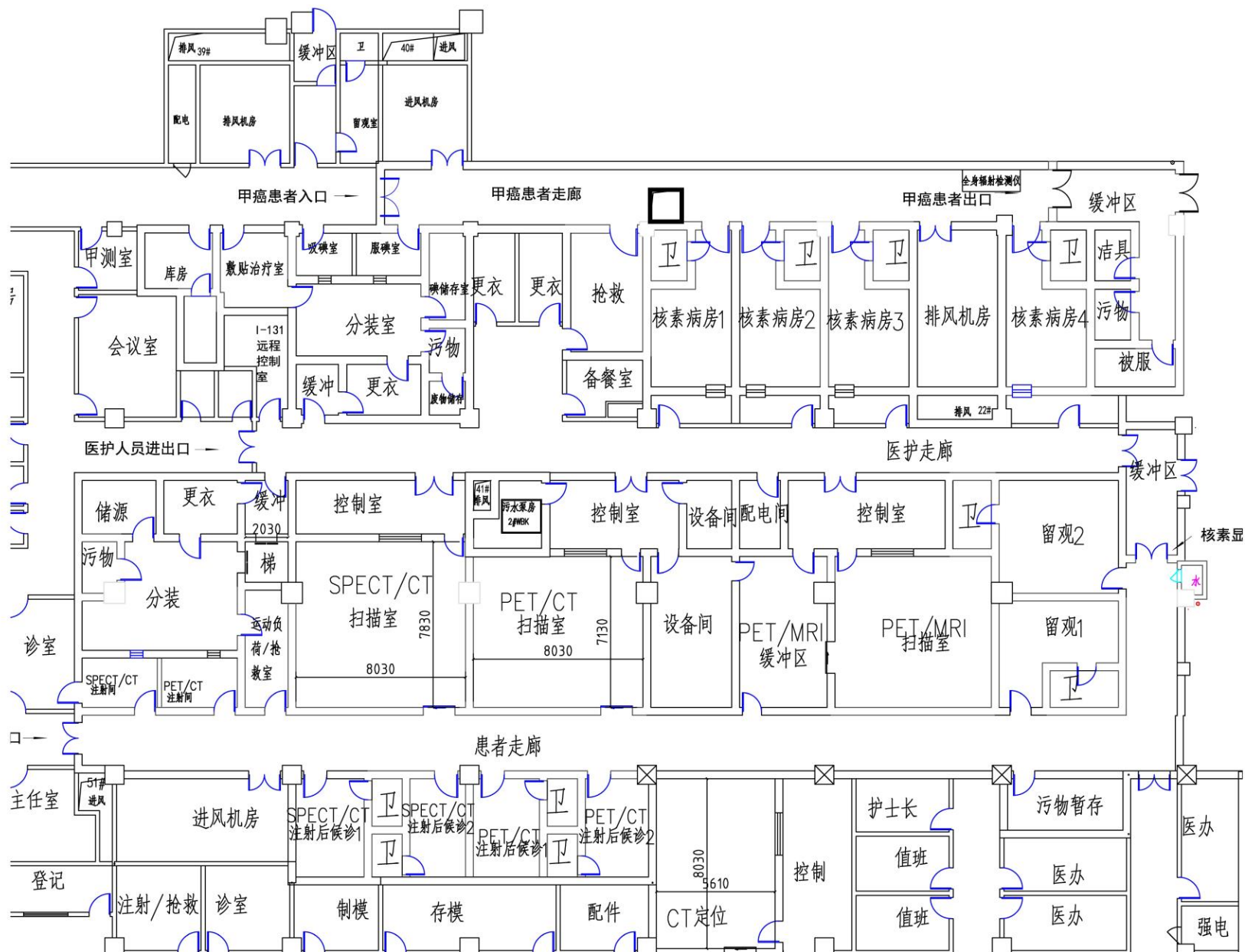


图 10-11 核医学科平面设计图

图例:

- ^{32}P 敷贴患者通道
- PET 显像患者通道
- 甲癌患者通道
- ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 患者通道
- SPET 显像患者通道
- 甲亢患者通道
- ^{32}P 敷贴工作人员通道
- 甲癌、甲亢工作人员通道
- 显像分装注射工作人员通道
- 显像扫描工作人员通道
- 药物通道

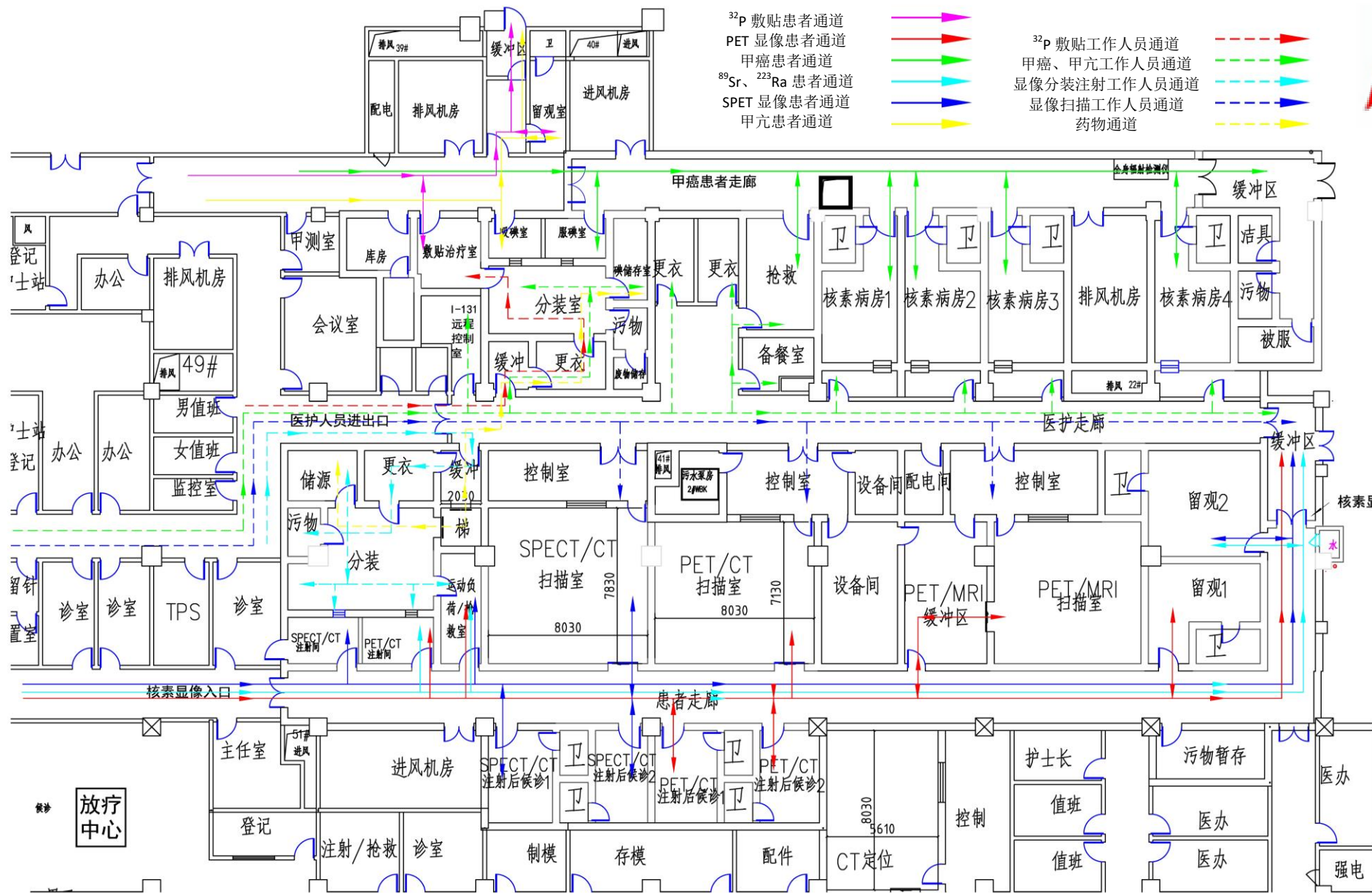


图 10-13 核医学科人流、物流路径规划图

10.1.3.2 核医学工作场所辐射防护屏蔽设计

10.1.3.2.1 核医学工作场所辐射防护屏蔽设计

本项目辐射工作场所的相关墙体、顶板、地板以及防护门的设计均采取了辐射屏蔽措施。根据医院提供的设计方案，本项目核医学辐射工作场所拟采取的防护措施见表10-6。

表 10-6 工作场所防护屏蔽设计一览表

工作场所名称	面积 (m ²)	方位	设计屏蔽材料及厚度
储源室	8.86 (3.50*2.53)	四面墙体	370mm 实心红砖+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		防护门	8mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
分装室	37.71 (7.35*5.13)	四面墙体	370mm 实心红砖+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		东防护门	8mmPb
		北防护门	8mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
污物间	3.98 (2.43*1.64)	四面墙体	370mm 实心红砖+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		东防护门	8mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
SPECT/CT 注射间	5.59 (2.40*2.33)	四面墙体	370mm 实心红砖+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		防护门	6mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
PET/CT 注射间	5.41 (2.32*2.33)	四面墙体	370mm 实心红砖+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		防护门	8mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
运动负荷室/ 抢救室	11.24 (5.54*2.03)	四面墙体	370mm 实心红砖+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		南防护门	8mmPb
		西防护门	8mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
废物储存室	3.98 (2.43*1.64)	四面墙体	370mm 实心红砖+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		防护门	6mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
患者走廊(核 素显像检查 区走廊)	/	南面墙体	370mm 实心红砖+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		北墙体	
		顶棚	150mm 混凝土+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		入口门(西)	8mmPb
		出口门(东)	15mmPb
		防护门(北)	15mmPb
		防护门(南)	15mmPb

污物暂存间	13.19 (5.43*2.43)	四面墙体	370mm 实心红砖+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		防护门	8mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
SPECT/CT 注射后候诊室 1	14.41 (3.23*4.46)	四面墙体	370mm 实心红砖+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		防护门	6mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
SPECT/CT 注射后候诊室 2	11.73 (2.63*4.46)	四面墙体	370mm 实心红砖+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		防护门	6mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
PET/CT 注射后候诊室 1	14.55 (3.13*4.65)	四面墙体	370mm 实心红砖+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		防护门	12mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
PET/CT 注射后候诊室 2	13.95 (3.0*4.65)	四面墙体	370mm 实心红砖+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		防护门	12mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
PET/MRI 缓冲区	29.51 (4.14*7.13)	四面墙体	370mm 实心红砖+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		北防护门	12mmPb
		南防护门	12mmPb
		西防护门	12mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
SPECT/CT 扫描室	57.94 (7.40*7.83)	四面墙体	370mm 实心红砖+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		铅玻璃观察窗	6mmPb
		工作人员防护门	6mmPb
		受检者防护门	6mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
		PET/CT 扫描室	52.61 (7.40*7.11)
铅玻璃观察窗	12mmPb		
工作人员防护门	12mmPb		
受检者防护门	12mmPb		
顶棚	150mm 混凝土+4mmpb 硫酸钡防护涂层		
地板	800mm 混凝土		
PET/MRI 扫描室	52.76 (7.40*7.13)		
		铅玻璃观察窗	12mmPb
		工作人员防护门	12mmPb
		受检者防护门	12mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
留观室 2	16.55 (2.93*5.65)	四面墙体	370mm 实心红砖+4mmpb 硫酸钡防护涂层

		防护门	6mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
留观室 1	30.06 (5.32*5.65)	四面墙体	370mm 实心红砖+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		防护门	12mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+4mmpb 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
碘储存室	6.20 (1.57*3.95)	四面墙体	370mm 实心红砖+6mmpb 硫酸钡防护涂层
		防护门	8mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+80 mm 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
碘分装室	20.06 (5.90*3.40)	四面墙体	370mm 实心红砖+6mmpb 硫酸钡防护涂层
		防护门	16mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+80 mm 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
吸碘室	5.48 (2.74*2.00)	四面墙体	370mm 实心红砖+6mmpb 硫酸钡防护涂层
		北防护门	8mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+8mmpb 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
服碘室	11.8 (5.9*2.00)	四面墙体	370mm 实心红砖+6mmpb 硫酸钡防护涂层
		防护门	16mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+80 mm 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
甲癌走廊	/	东面墙体	370mm 实心红砖+6mmpb 硫酸钡防护涂层
		西面墙体	
		入口门 (南)	22mmPb
		出口门 (北)	10mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+80 mm 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
甲亢走廊	/	南面墙体	370mm 实心红砖+6mmpb 硫酸钡防护涂层
		北面墙体	
		入口门 (西)	22mmPb
		出口门 (东)	10mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+80 mm 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
甲亢留观室	8.37 (1.80*4.65)	四面墙体	370mm 实心红砖+6mmpb 硫酸钡防护涂层
		防护门	8mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+8mmpb 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
核素病房 1	28.20 (3.80*7.42)	四面墙体	370mm 实心红砖+6mmpb 硫酸钡防护涂层
		北防护门	8mmPb
		南防护窗	16mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+80 mm 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
核素病房 2	28.20 (3.80*7.42)	四面墙体	370mm 实心红砖+6mmpb 硫酸钡防护涂层
		北防护门	8mmPb
		南防护窗	16mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+80 mm 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土

核素病房 3	28.27 (3.81*7.42)	四面墙体	370mm 实心红砖+6mmpb 硫酸钡防护涂层
		北防护门	8mmPb
		南防护窗	16mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+80 mm 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
核素病房 4	27.25 (3.80*7.17)	四面墙体	370mm 实心红砖+6mmpb 硫酸钡防护涂层
		北防护门	8mmPb
		南防护窗	16mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+80 mm 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
甲癌抢救室	19.04 (3.40*5.60)	四面墙体	370mm 实心红砖+6mmpb 硫酸钡防护涂层
		北防护门	8mmPb
		西防护门	20mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+80 mm 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
甲癌废物储存间	6.97 (1.70*4.1)	四面墙体	370mm 实心红砖+6mmpb 硫酸钡防护涂层
		防护门	8mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+80 mm 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土
敷贴治疗室	5.52 (3.19*1.73)	四面墙体	370mm 实心红砖
		防护门	3mmPb
		顶棚	150mm 混凝土+80 mm 硫酸钡防护涂层
		地板	800mm 混凝土

注：上表中混凝土密度 2.35g/cm^3 ，实心砖密度 1.65g/cm^3 ，防护涂料均为硫酸钡水泥，硫酸钡水泥密度不低于 3.6g/cm^3 。

10.1.3.2.2 核医学工作场所拟配备辐射防护用品及辐射安全警示设施情况

本项目核医学辐射工作场所拟配备的辐射防护设备及用品详见表 10-7，辐射防护措施和用品布设情况详见图 10-12。

表 10-7 核医学科工作场所防护用品配备计划

序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量 (mmpb)
1	转运铅罐	储源室	6 个	50
2	PET 手套箱	分装室	1 个	50
3	SPECT 手套箱	分装室	1 个	20
4	门诊治疗核素手套箱	分装室	1 个	50
5	碘自动分装仪外置手套箱	分装室	2 个	50
6	注射器防护套	分装室	5 个	20
7	废物衰变桶	分装室分装柜旁、注射窗口、给药窗口、核素病房、固废暂存间	27 个	20
8	立式注射防护车	分装室	1 个	40
9	铅防护服、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	分装室 3 套、PET/CT、PET/MR 机房控制室、SPECT/CT 机房控制室、敷贴室各一套	7 套	0.5

10	去污工具组	洁具间	2套	/
11	铅屏风	PET注射后等候室、PET显像后留观室、运动室兼抢救室、SPECT检查休息室	10个	10
12	长柄操作工具	分装注射室	若干	
13	一次性专用口罩、手套、帽子	分装注射室	若干	-
14	吸水滤纸、纱布	分装注射室	若干	-
15	一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂 and 硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子	卫生通过间	1套	
16	有机玻璃眼镜、面罩	敷贴治疗室	各1件	-
17	长柄镊子、橡皮泥、橡胶板等	敷贴治疗室	各1件	-

注：拟配备的各种防护用品数量以实际工作需要为准。

表 10-8 拟配备的检测仪器一览表

名称	型号	数量
活度计	/	3
X-γ 辐射监测仪	/	2
全身辐射监测剂量仪	/	1
表面沾污监测仪	/	3
个人剂量报警仪	/	根据实际辐射工作人员数量配备
个人剂量计	/	根据实际辐射工作人员数量配备

10.1.3.2.3 其他防护措施

1) 医院应对外购的放射性药物的供应商资质进行审核，确保放射性药物由符合国家相关要求的供应商提供。如辐射安全许可证、放射性物质运输资质等，供应商应取得销售非密封放射性物质的辐射安全许可证，本项目使用的核素在供应商的辐射安全许可范围内。

2) 表面污染监测

在药物注射缓冲区出口设置表面污染及 X-γ 辐射剂量率监测设备，辐射工作人员及物品从控制区出口离开时，使用拟配备的 X-γ 辐射监测设备及表面沾污等辐射监测设备，对人体体表、衣物等进行监测，监测无异常后才能离开核医学辐射工作场所。本项目核医学辐射工作场所工作人员离开控制区出口时均按以下方法进行表面污染监测，并将原始记录存档。

①测量时，先测量仪器本底，证实仪器正常后再开始测量。探测器表面尽量靠近表面，但不要贴到表面，以免仪器被沾污。测量 β 表面污染时应不大于 1cm 为宜。

②测量应先上后下，先前后背，人体直立，四肢和手指分开，在全面巡测的基础上，再重点监测暴露部位（手、脸等）。

③控制好监测仪器探头移动速度，移动速度应与监测仪器读数响应时间相匹配。

④实施测量的地点，应避开 γ 辐射场的干扰。

⑤每次测量完后应对污染仪器做本底测量，证实监测仪器未被污染。监测设备应按相关要求定期送检，确保设备正常可用。

3) 医院给所有辐射工作人员配备个人剂量计，定期送有资质单位监测，建立监测档案。

4) 医院制定规章制度，禁止工作人员在控制区和监督区进食、饮水、吸烟，工作人员操作后在离开辐射工作区域前洗手。

5) PET/CT、PET/MR、SPECT/CT 显像患者出入口设置门禁系统，入口防护门只进不出，出口防护门只出不进，实现病人单向流动。工作人员通道设置门禁系统，防止无关人员入内。

6) 在核医学辐射工作场所地面设置受检者路径导向标识，在各功能房张贴标识房间用途的门牌。在 PET/CT、PET/MR、SPECT/CT 显像患者及工作人员出入口、各功能用房设置电离辐射警告标志。PET/CT、PET/MR、SPECT/CT 机房门口均设置电离辐射警告标志及工作指示灯，机房内设置全方位监控摄像头及对讲装置。

7) 辐射工作场所内以及缓冲洗消区的洗手池拟采用脚踏式或感应式，能有效减少场所内设备的污染。

8) 本项目核医学科辐射工作场所设有清洁室用于储存清洁用品，设置了更衣室、患者卫生间、去污淋浴室、抢救室等辅助用房。

9) 本项目洗消设备旁设置香皂、中性肥皂等一般清洗用品，同时也配备生理盐水、专用去污剂，配备软毛刷、毛巾、浴巾、纸巾、隔离布、隔离衣、隔离帽、手套、污染人员更换衣物、伤口处理工具等去污用品供工作人员去污使用。

发现人员被污染时，应尽可能现场就近处理，如在洗手池去污，再进行淋浴。尽快脱去污染的衣物和鞋，并转入污染物品袋；要尽早开始流动水冲洗去污。去污过程中，污染衣物的脱放、去污剂的选取、污染人员的管理等要避免放射性核素进入体内和避免放射性核素播散到他人处。去污产生的一般放射性废物置于废物桶内，污染的衣物等用品装入污染物品袋内，在固废间 1 内暂存至少 30 天；污染衣物等经 30 天以上时间衰变处理后，经检测无异常后，可清洗后重复使用。

10) PET/CT、PET/MR、SPECT/CT 显像诊断辐射工作场所拟设置视频监控、语音对讲系统以及语音广播系统。

10.1.3.2.4 内照射辐射防护的措施

内照射防护的基本原则是：积极采取各种有效措施，切断放射性物质进入体内的各种途径，尽可能的减少或避免放射性核素进入体内的一切机会，以使进入体内的放射性物质不超过国家规定的放射性核素年摄入量限制，减少或防止体内收到内照射危害。为此医院制定以下防护的基本措施如下：

一、围封隔离：对于工作场所，采取两区划分管理，严密而有效的围封隔离控制区，以限制可能被污染的体积和表面，防止放射性物质向周围环境扩散，防止由于人员或物体的移动而将污染带到相邻房间等措施。内照射以吸入途径可能性最大，所以工作场所拟设置通风系统，以降低空气中的放射性浓度。放射性药物整个分装过程均在屏蔽且密封负压的自动分装装置内进行，基本不会有放射性物质的散布，辐射工作人员均不直接接触核素，放射性药物都处于良好的屏蔽状态。核医学科工作人员操作放射性药物需在通风橱中进行操作。这样让整个房间或设备保持负压，能有效的减低工作人员内照射的风险。

二、保洁去污：操作者必须遵守安全操作规定，防止或减少污染的发生，保持工作场所内的清洁卫生，对受到污染的表面应及时去污。

三、个人卫生防护：医护人员进入病房检查时，应正确穿戴相应的防护衣具如防护服、防护帽、靴鞋、手套和口罩，必要时可穿戴隔绝式或活性炭过滤面具或特殊防护口罩。限制暴露于污染环境中的时间。遵守个人卫生规定，不得在开放型放射工作场所或污染区进食或吸烟等。

10.1.3.2.5 辐射工作等级分级与分类

(1) 辐射工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 的规定，非密封源工作场所分级如表 10-9

表 10-9 非密封源工作场所的分级

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 $\sim 2 \times 10^7$

(2) 放射性核素的日等效操作量的计算

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法，可以计算出核素的日等效最大操作量。日等效操作量的计算公式如下：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作方式的修正因子}}$$

日等效操作量、核素毒性因子、操作方式修正因子、年最大等效操作量及工作场所分级见表 10-10。

表 10-10 工作场所的分级

项目	核素种类	毒性修正因子	操作修正因子	日实际最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	工作场所分级
PET 显像	¹⁸ F	0.01	10	3.33E+10	3.33E+07	乙级
SPECT 显像	^{99m} Tc	0.01	10	2.31E+09	2.31E+06	
	¹³¹ I	0.1	1	9.25E+08	9.25E+07	
甲亢治疗	¹³¹ I	0.1	1	3.70E+09	3.70E+08	
甲癌治疗	¹³¹ I	0.1	1	2.96E+10	2.96E+09	
甲测	¹³¹ I	0.1	1	3.70E+06	3.70E+05	
骨转移癌治疗	⁸⁹ Sr	0.1	1	1.48E+08	1.48E+07	
骨转移癌治疗	²²³ Ra	10	1	1.20E+07	1.20E+08	
敷贴治疗	³² P	0.1	1	8.88E+07	8.88E+06	
合计	3.60E+09 Bq					

由上表可知，本次评价核医学科工作场所的日等效最大操作量为 3.60E+09Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

10.1.3.2.6 工作场所通道划分设计

核医学科拟设专门的人流通道（工作人员和受检者或患者通道）和药物通道，并规定了通行的路线和方向，放射性区域进出口均拟设置单向门禁系统，并拟设置自动闭门装置。

单向门和门禁控制系统：

在核医学工作场所的出入口设置视频监控系统 and 门禁控制系统，杜绝无关人员进入核医学工作场所，核医学患者按照排号顺序，通过接诊叫号，根据科室的语音提示，按秩序进入核医学场所，未叫号的患者不能进入核医学场所控制区。场所设置病人引导间，工作人员在病人引导间通过视频监控系统和语音对讲装置控制患者接诊的秩序，降低给药后患者之间的影响，同时核医学接诊口的工作人员可以控制公众不靠近核医学门诊入

口，降低公众的居留时间。

药物运输路径：

放射性核素（ ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 、 ^{223}Ra 、 ^{32}P ）均由负一层停车场经核素专用电梯下至负二层，核素电梯西侧和北侧开门，放射性核素（ ^{131}I 、 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra ）经核素电梯西侧经分装室后进入储源室，放射性核素（ ^{131}I 、 ^{32}P ）经核素电梯北侧经缓冲区、医生走廊、缓冲区、更衣室经碘分装室进入碘储存室。核素显像药物（ ^{99m}Tc 、 ^{18}F ）送药时间选择为较少人员聚集的早上七点左右。

药物运输采取时间错峰管理，订购的放射性药物一般由供药公司分装好在早上工作人员上班前提前送达核医学科，药物通过核医学出口的电梯（日常不在其他楼层停靠）从门急诊医技楼一层直达核医学科，路径短捷顺畅，方便送药人员从外部进入核医学科、并避开其他人群。具体路径为：由核医学西北侧的电梯下到负二层→进入核医学科→专用通道→进入分装室的储源室→药物交接完成后原路返回离开核医学科。

污物路径

两个区域产生的废物就近暂存在废物暂存间的铅废物桶内，封存达到标准的时间，经监测达标后，作为一般医疗废物进行处置。污物通过核医学科西侧的电梯运出，运输路径均较为短捷，便于废物转移和运输，污物一般在工作人员下班后运输，运输过程中不会与人员路径交叉。

医护路径：

应急洗消和出入检测：医务人员进入控制区前，设置有卫生缓冲、更衣、分装，设置更衣处和存放衣物等功能场所，在分装室出口处设置洗手盆和去污设备，并设置表面污染监测仪。工作人员进入控制区前，穿好防护服，工作完毕返回清洁区时，必须清洁完毕、表面污染检测达标后，再原路返回。

①放射性药物分装、注射人员路径：由核医学科走廊进入→经过更衣室进入分装室、在分装室进行药物分装、取药→在注射窗口给患者注射→工作结束后在分装室出口进行辐射剂量率、表面污染检测无污染后，原路返回。

②SPECT/CT 机房、PET/CT、PET/MR 机房控制室医务人员：由核医学科西侧医护专用通道进入控制廊，工作结束后原路返回。

患者路径

①PET、SPECT 显像患者行走路径（工作日开展）：根据预约时间由核医学科西侧入口进入候诊区→在护士站登记信息→根据工作人员指导、语音呼叫系统提示，由核

医学科路口往东至相应的注射位接受注射→注射完成后，根据工作人员语音指导及路径指示进入相应的注射后休息室候诊→候诊完成，根据语音呼叫系统提示进入相应的机房进行扫描检查→扫描完成后，根据工作人员语音指导及路径指示进入相应留观室留观→留观结束后从东北角专用通道离开核医学科。

②骨转移癌治疗患者行走路径（与显像患者错开进行）：根据治疗计划核对患者信息、用药量等→经由显像区单向门进入核素治疗区→在注射窗口口服药物/注射窗口注射药物→给药完成后到门诊治疗留观室中留观→留观结束后从东北角患者专用出口离开核医学科。

③甲癌治疗患者行走路径：根据治疗计划核对患者信息、用药量等→由患者入口大门进入控制区→在相应的服药窗口服药→服药完成后进入对应的核素治疗病房住院→达到出院条件后从患者出口大门离开核医学科。治疗期间取餐从病房区入口门通过配餐间窗口取餐。治疗期间出院辐射检测室北侧出口门关闭，出院前测量患者体表 1m 处的周围剂量当量率，低于 25 μ Sv/h 时，由医护人员控制出口门开启，患者由专用出口离开核医学科。

⑤甲亢服药患者行走路线：根据治疗计划核对患者信息、用药量等→由患者入口大门进入控制区→在相应的服药窗口服用药物→服用药物后进入甲亢留观室留观→留观结束通过核医学科北侧甲亢及敷贴患者出口离开核医学科区域。

⑥敷贴治疗患者路径：患者根据预约、语音呼叫由核医学科候诊区往东进入敷贴室→治疗完成后通过核医学科北侧甲亢及敷贴患者出口离开核医学科区域。

敷贴源的存储：本项目使用 P-32 敷贴器，每次治疗结束后敷贴源通过敷贴室的传递窗传递到储源室的保险柜中保存，钥匙由专人保管。

核医学科的人流和物流路径规划示意图见图 10-13。

根据上述核医学科人员、物流路径规划分析可知，本次核医学科规划了相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径，且医务人员和给药后患者具有独立的出入口和通道；患者路径能够保证沿核医学工作程序的相关功能房间单向流动，注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉；放射性药物和废物运输设置专用路径，并尽可能短捷便利，通过简单的时间、空间交通管控措施，即可确保放射性药物运输时运输路径无人员通过，可实现放射性药物与人员路径不交叉。

10.1.3.2.7 核医学辐射工作场所辐射防护措施符合性分析

本项目核医学辐射工作场所辐射防护措施合理性分析采用《核医学辐射防护与安全

要求》（HJ 1188-2021）进行分析，辐射防护措施符合性分析见表 10-11。

表 10-11 本项目非密封放射性物质工作场所辐射防护措施符合性分析表

核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）		
标准要求	本项目拟设置情况	符合性
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。	核医学科涉及放射性核素操作设备的表面、工作台台面等拟采用不锈钢、医疗专用防渗塑胶板等饰面，确保表面平整光滑，室内地面铺设防渗塑胶地板、在墙面施工至少离地 50cm，能够保证地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污。	符合
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。	本项目为乙级，核医学科拟分装在手套箱中进行，放射性药物注射器拟配备注射器防护套、注射防护车等；给药后患者候诊室内拟设置有足够屏蔽厚度的铅屏风，以减少多人候诊是对其他患者的照射。	符合
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。	操作放射性药物的控制区出口拟设置卫生通过间，拟设置洗涤去污设施和表面污染检测仪器，药物操作人员和物品离开控制区前进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，将进行清洗去污直至表面污染水平满足控制标准要求。	符合
放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险柜内，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。	本项目核医学科设计了储源室，用于储存放射性物质，储源室拟采取屏蔽措施，放射性物质在各自相应的屏蔽贮存容器中置于储源室内；对于外购药物将存放在储源室内保险柜中。拟安排专人管理，建立放射性物质台账，及时登记，确保账物相符。拟定期对储源室进行辐射水平监测并记录，储源室拟设置门锁及警告标志、警示语句，无关人员不会进入储源室。	符合
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。	本项目核医学科拟采购配备药物转运铅罐、铅屏蔽箱等贮存和转运容器，表面张贴规范的电离辐射标志，在转运时采取药箱盛装等固定措施，防止药物翻倒和跌落。	符合
扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	核医学科扫描机房门框上方拟设置工作状态指示灯，灯箱处设置警示语句，指示灯与防护门联锁。	符合
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。	本项目核医学科通风进行了专门的设计，通过管线设计及压差控制，能够保证工作场所的气流自清洁区向监督区再向控制区的方向流动，并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。	符合
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、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体	本项目核医学科放射性物质分装拟在通风橱密闭设备中进行，通风橱设置了独立的排风系统，保证箱内负压，防止放射性	符合

及气溶胶逸出。手套箱、通风橱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。通风橱应有足够的通风能力。碘-131 治疗病房以及设有通风橱、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。	液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出,并在设备顶壁安装活性炭过滤装置。本项目核医学科手套箱排风系统排气口均高于所在建筑屋顶,排放口邻近无高层建筑。	
《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)		
标准要求	机房辐射安全防护设施设计情况	评价结果
第 5.2.1 款 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级,并采取相应防护措施。	本项目核医学科按照相关标准要求进行场所分级计算,结果显示本项目核医学科工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。并按照乙级场所要求采取相应防护措施。	符合
第 5.2.3 款 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通风橱应有专用的排风装置,风速应不小于 0.5 m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置,排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。	本项目核医学工作场所设置有独立的通风系统,可以保持核医学工作场所良好的通风条件;放射性排放系统设计遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计;核医学科内含放射性核素操作场所能保持负压通风;分装给药室内设置有手套箱,手套箱连接独立排放系统,风速应不小于 0.5 m/s。核医学科放射性废气排放口位于外科大楼建筑屋面并高于本建筑物屋顶 3m。放射性排风系统拟安装专用过滤装置。	符合
第 5.2.4 款 分装药物操作宜采用自动分装方式,131I 给药操作宜采用隔室或遥控给药方式。	本项目拟配备 131I 自动分装仪,采用隔室给药方式。	符合
第 5.2.5 款 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。	本项目放射性废液衰变池的设置符合相关要求,污水管道埋在地下。	符合
第 5.2.6 款 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。	本项目核医学科工作场所控制区的出、入口均拟设置有电离辐射警告标志。	符合
第 5.2.7 款 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示	拟在核医学场所控制区、监督区设置明确的患者或受检者导向标识或导向提示。	符合
第 5.2.8 款 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。	拟在核医科控制区内设置视频监控和语音通话系统。	符合
第 5.2.9 款 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。	本项目核医学拟配备放射性物储存、转运等容器。容器表面应拟设置有电离辐射标志。	符合
第 5.2.10 款 扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。	本项目 SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房外防护门上方拟设置工作状态指示灯	符合

<p>第 5.3.1 款 核医学工作场所控制区的用房,应根据使用的核素种类、能量和最大使用量,给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处,距屏蔽体外表面 0.3 m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$,控制区内屏蔽体外表面 0.3 m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 $\mu\text{Sv/h}$,宜不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$;核医学工作场所的分装柜或生物安全柜,应采取一定的屏蔽防护,以保证柜体外表面 5 cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 $\mu\text{Sv/h}$;同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。</p>	<p>本项目核医学工作场所均进行专业防辐射设计,屏蔽体外表面的周围剂量当量率水平满足标准要求,工作场所屏蔽计算结构详见表 11</p>	<p>符合</p>
<p>6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备</p> <p>6.1.1 个人防护用品及去污用品</p> <p>开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容,为工作人员配备合适的防护用品和去污用品(见附录 K),其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。当使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度大于 800 MBq 时,防护用品的铅当量应不小于 0.5 mmPb,个人防护用品及去污用品具体配置见附录 K;对操作 ^{68}Ga、^{18}F 等正电子放射性药物和 ^{131}I 的场所,此时应考虑其他的防护措施,如:穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。</p>	<p>核医学科拟配备辐射防护设备及用品,拟为医生及护士拟配备个人防护用品,包括铅围裙、铅眼镜、铅围脖等。</p>	<p>符合</p>
<p>6.1.2 辅助用品</p> <p>根据工作内容及实际需要,合理选择使用移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、分装柜或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品。防护通风柜的典型屏蔽厚度参见附录 I。</p>	<p>核医学科拟配备有移动铅屏风、注射器屏蔽套、长柄镊子、手套箱、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品。</p>	
<p>第 10. 1.1 款 ^{131}I 治疗病房 治疗病房区应为相对独立的场所,病房区入口处应设缓冲区。患者住院后只能在治疗区活动。</p>	<p>本项目 治疗病房区为相对独立的场所,住院病房区入口设有缓冲区。患者住院后只能在核素住院治疗区活动。</p>	<p>符合</p>
<p>第 10.1.2 款 ^{131}I 治疗病房区应有独立的</p>	<p>本项目住院病房设置有独立的通风系统,</p>	

通风系统,通风管道应有过滤装置,并定期更换,更换的过滤装置按放射性固体废物处理。	放射性排风管道设置有活性炭过滤装置,拟定期更换,更换的过滤装置按放射性固体废物处理。	
第 10.1.3 款 ^{131}I 治疗住院患者的排泄物不应直接排到医院的公共污水管道,应先经过衰变池的衰变。下水管道宜短,露出地面的部分应进行防护和标记。	本项目核医学科为住院治疗项目设置有独立的衰变池,该项目产生的放射性废液均排进衰变池衰变后满足标准再排放。	
第 10.1.4 款 病房内应设置患者专用厕所和淋浴间,厕所内应有患者冲厕所和洗手的提示。	本项目住院病房均设置有专用厕所和淋浴间,厕所内拟设置患者冲厕所和洗手的提示标语。	
第 10.1.5 款 病房可设置采光窗,采光窗应进行必要的防护,使其符合 5.3.1 要求。	本项目甲癌病房不设置采光窗	
第 10.1.6 款 分装室与给药室之间药物传递应便捷,分装好的 ^{131}I 宜采用机械或自动、半自动的方式传递到给药室,给药过程应有监控。分装室应设置工作人员通过间,通过间应配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。	本项目分装给药室拟设置有给药窗口,方便碘-131 药物给药。 ^{131}I 拟采样自动分装仪分装,分装好的药物直接通过给药窗口传递给患者服用。本项目设置有卫生通过间,缓冲间内拟配备表面污染检测及剂量率检测仪表,冲淋间内设置有冲淋、清洗设施。	
第 10.1.7 款 施用了 ^{131}I 治疗药物的患者如需住院应使用专用病房。专用病房宜为单人间,如不能实现,每间病房最多不应超过 2 人,并且 2 人之间应设置适当的防护屏蔽。	本项目设计有 4 间 ^{131}I 住院治疗专用病房,均为单间。	
第 10.1.8 款 病房中应配备对讲、监控等设施。	本项目住院治疗病房内拟设置有对讲、监控设施,拟设置有壁挂式辐射检测仪。	
第 10.1.9 款 患者使用过的被服应先进行存放衰变,衰变至少一个半衰期再进行清洗。	本项目核素治疗患者使用过的被服拟放置在废物暂存间内进行存放衰变,衰变至少一个半衰期再进行清洗。	
第 10.1.10 款 在 ^{131}I 病房场所应使用专用的保洁用品,不能和其他场所(包括核医学其他放射性场所)混用,病房区域内应有存放及清洗保洁用品的场所。	核素住院治疗区内设置专用洁具间,用于存放及清洗保洁用品。	
第 12.4.1 款 敷贴治疗室必须与诊断室、登记值班室和候诊室分开设置。治疗室内使用面积应满足治疗要求	敷贴治疗项目设置专门的敷贴室与诊断室、候诊室分开设置,敷贴室使用面积满足治疗要求	
第 12.4.2 款 治疗室内高 1.5m 以下的墙面应有易去污的保护涂层。地面,尤其在治疗患者位置,应铺有可更换的质地较软又容易去污染的辅料。	敷贴室内高 1.5m 以下的墙面拟采用易于去污的保护层,地面敷设可更换的质地较软又容易去污染的辅料。	
第 12.4.3 款 治疗室内患者座位之间应保持 1.2m 的距离或设置适当材料与厚度的防护屏蔽。	敷贴室内患者座位之间拟保持 1.2m 的距离	
第 12.4.4 款 治疗室内应制定敷贴治疗操	治疗室内拟张贴放射治疗操作规程及辐	

作规程及卫生管理制度,并配有 β 污染检测仪等检测仪器

射安全管理制度,拟配 β 污染检测仪等检测仪器。

10.1.3.3 CT 机辐射防护屏蔽设计辐射安全与防护措施

10.1.3.3.1 主体结构屏蔽设计

本项目 CT 定位机房屏蔽设计情况见表 10-12。PET-CT 及 SPECT-CT 见表 10-6。

表 10-12 CT 定位机房的设计情况一览表

项目	CT 定位机房
机房室内尺寸	长 8.03m×宽 5.61m
四周墙体及顶棚	370mm 实心砖并涂刷 1mmPb 硫酸钡防护涂层
顶棚	150mm 现浇混凝土并涂刷 2mmPb 硫酸钡防护涂层
防护门	4mmPb
观察窗	4mmPb

10.1.3.3.1 防护门屏蔽设计、铅玻璃安装设计要求

机房防护门为减少接缝处射线的泄漏,要求防护门两侧铅板搭接宽度大于门缝宽度 10 倍以上。铅玻璃是脆性材料,比重较大,移置时务必轻拿轻放,铅玻璃的安装时必须将玻璃四周与墙面防护材料严密切合,安装时要将窗周围利用铅板、铅橡胶进行密封,避免周围散漏射线。

10.1.3.3.3 通风装置

建设项目拟在 CT 定位机房设置动力通风装置,连接排风管与放疗科其他设施一并排入通风井,PET-CT 机及 SPECT-CT 机与核医学科其他相关区域设有独立的通风管道,与其他核医学科产生一并排出。

10.1.3.3.4 其他防护措施

(1) 本项目 CT 射线装置机房均拟设观察窗,其设置的位置便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。

(2) 本项目拟在射线装置机房门外粘贴电离辐射警告标志,机房门上方拟设置有醒目的工作状态指示灯,灯箱上拟设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句,缓冲区分拟设置放射防护注意事项告知栏。

(3) 本项目拟建射线装置机房平开机房门拟设置自动闭门装置,推拉式机房门拟设有曝光时关闭机房门的管理措施;工作状态指示灯能与机房门有效关联。电动推拉门拟设置防夹装置。

10.1.3.3.5 个人防护措施

医院应配备相应的个人防护用品,包括铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅

防护眼镜以及介入防护手套等。在辐射工作中应做好个人的放射防护，以达到辐射防护的目的。

表 10-13 CT 机拟配备的辐射防护用品一览表

防护用品	PET-CT 机	SPECT-CT 机	CT 定位机	铅当量 (mmpb)
铅防护围裙	1	1	1	0.5
铅防护帽	1	1	1	0.5
铅橡胶颈套	1	1	1	0.5

10.1.3.3.6CT 辐射防护措施达标分析

由《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)的附录 C 的式 C.1、C.2 可算得不同屏蔽物质的铅当量，相关计算公式如下：

a) 对给定的铅厚度，依据 NCRP147 号报告中给出的不同管电压 X 射线辐射在铅中衰减的 α 、 β 、 γ 拟合值按式 (C.1) 计算辐射透射因子 B：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (C.1)$$

式中：

B—给定铅厚度的屏蔽透射因子；

β —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

α —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

X—铅厚度。

b) 依据 NCRP 147 号报告中给出的不同管电压 X 射线辐射在其他屏蔽物质中衰减的 α 、 β 、 γ 拟合值和 C.1.2 a) 中的 B 值，使用式(C.2)计算出各屏蔽物质的铅当量厚度 X。

$$X = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln \left(\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right) \quad (C.2)$$

X—不同屏蔽物质的铅当量厚度；

α —为屏蔽材料对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数。

β —为屏蔽材料对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数。

γ —为屏蔽材料对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数。

B—给定铅厚度的屏蔽透射因子。

由《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)附录 C 的表 C.2 可知，混凝土的拟合参数取值分别为：管电压 140kV (有用线束)， $\alpha=0.0336$ 、 $\beta=0.0122$ 、 $\gamma=0.519$ 。代入参数算得：150mm 混凝土相当于 1.39mmPb。370mm 实心砖 (约 259mm 混凝土) 相当于 2.94mmPb。

依据建设单位提供的设计方案，现将 PET-CT 机房、SPECT/CT 机房的主要技术参数列表分析，并根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对 X 射线机房防护设计的技术要求、最小有效使用面积及最小单边长度要求对本次评价项目的实际施工规格对照分析，结果见表 10-14。

表 10-14 CT 定位机机房拟屏蔽厚度及评价表

项目		辐射防护实际情况			GBZ 130-2020 标准要求	符合性
		CT 定位机	PET-CT	SPECT/CT		
CT 定位机、PET-CT 机房及 SPECT/CT 机房	面积 (m ²)	45.05 (5.61*8.03)	52.61 (7.40*7.11)	57.94 (7.40*7.83)	CT 机房：有用线束方向、非有用线束方向铅当量 2.5mmPb。 CT 机：机房内最小有效使用面积不小于 20m ² ，最小单边长度不小于 3.5m。	符合
	四周墙体	370mm 实心红砖+4mmPb 硫酸钡防护涂层				
	顶棚	150mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂层				
	底板	/				
	观察窗	4 mmPb	12mmPb	6 mmPb		
	防护门	4mmPb	12mmPb	6 mmPb		
工作场所防护		机房操作间侧拟设置观察窗			机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。	符合
		机房内拟设动力通风装置，并保持良好的通风			机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风	符合
		本机房门外拟有电离辐射标志、机房门上方拟设置有醒目的工作状态指示灯，灯箱处拟设置警示语句；候诊区拟设置放射防护注意事项告知栏			机房门外应有电离辐射标志、机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏	符合
		本项目平开机房门设有自动闭门装置；射线装置机房及操作间内各设置 1 个紧急停机按钮，防止人员误闯入或误照；工作状态指示灯与机房门有效关联。			平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。	符合
		CT 机头位于机房西侧，机房门窗管线孔位置位于 CT 机散射区较远，避免了有用线束直接照射门、窗和管线口位置；有用线束未直接照射工作人员操作位；不得堆放与该设备诊断工作无关的杂物。			应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。机房内不应堆放与该设备诊断工作	符合

		无关的杂物；机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	
	每个机房 CT 机房拟配备铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子各 1 件，铅当量均为 0.5mmPb。	配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾等防护用品。	符合

由表 10-14 可知，医院 CT 机房按相关标准要求进行了设计，CT 机房内最小有效使用面积、机房内最小单边长度均大于标准要求，机房的四面墙体、顶棚、防护门以及观察窗的建设均采取了辐射屏蔽，充分考虑邻室（含楼上下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本评价项目 CT 机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

10.1.4 辐射安全管理措施

为工作人员、患者和受检者配备必要的辐射防护用品和辅助防护设施。医院所有辐射工作人员均接受个人剂量监测并建立个人剂量档案和职业健康监护档案。在满足医疗诊断的条件下，确保患者和受检者所受到的照射剂量最低。制定辐射事故应急预案等辐射安全管理相关的各项规章制度，发生辐射事故时，立即启动应急预案，采取应急措施，并立即向当地环保部门、公安部门和卫生主管部门报告。对射线装置应用场所安全防护状况进行年度评估，一旦发现安全隐患，应当立即进行整改。

10.2 三废的治理

10.2.1 废水

本项目直线加速器采用水冷却方式，冷却水是在密封的系统中循环利用，不外排，不涉及废水的排放，后装机和 CT 在正常运行过程中，不会产生放射性液体污染物。

核医学科核素显像区放射性废液主要含有 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 和 ^{131}I ，核素治疗区放射性废液主要含有 ^{131}I 和 ^{32}P ，针对所含核素半衰期的不同，核素显像区及核素治疗区各设有 1 套衰变池。

（1）衰变池选址合理性

核医学衰变池位于医院南侧位置，衰变池选址在门诊医技楼东侧（项目建成后为绿化带），与地下二层的核医学科位置较近，尽可能缩减了放射废水管道敷设长度，减少了维修检修的辐射风险。且衰变池埋在地下，四周和地下均为土层，上方为绿化地，该区

域属于人员较少居留或经过位置，衰变池周围环境图见图 10-14。因此从辐射防护考虑，选址合理。环评建议衰变池上方区域可设置物理围栏遮挡并张贴电离辐射警示标志，需检修时方可进入维修，无关人员禁止进入。

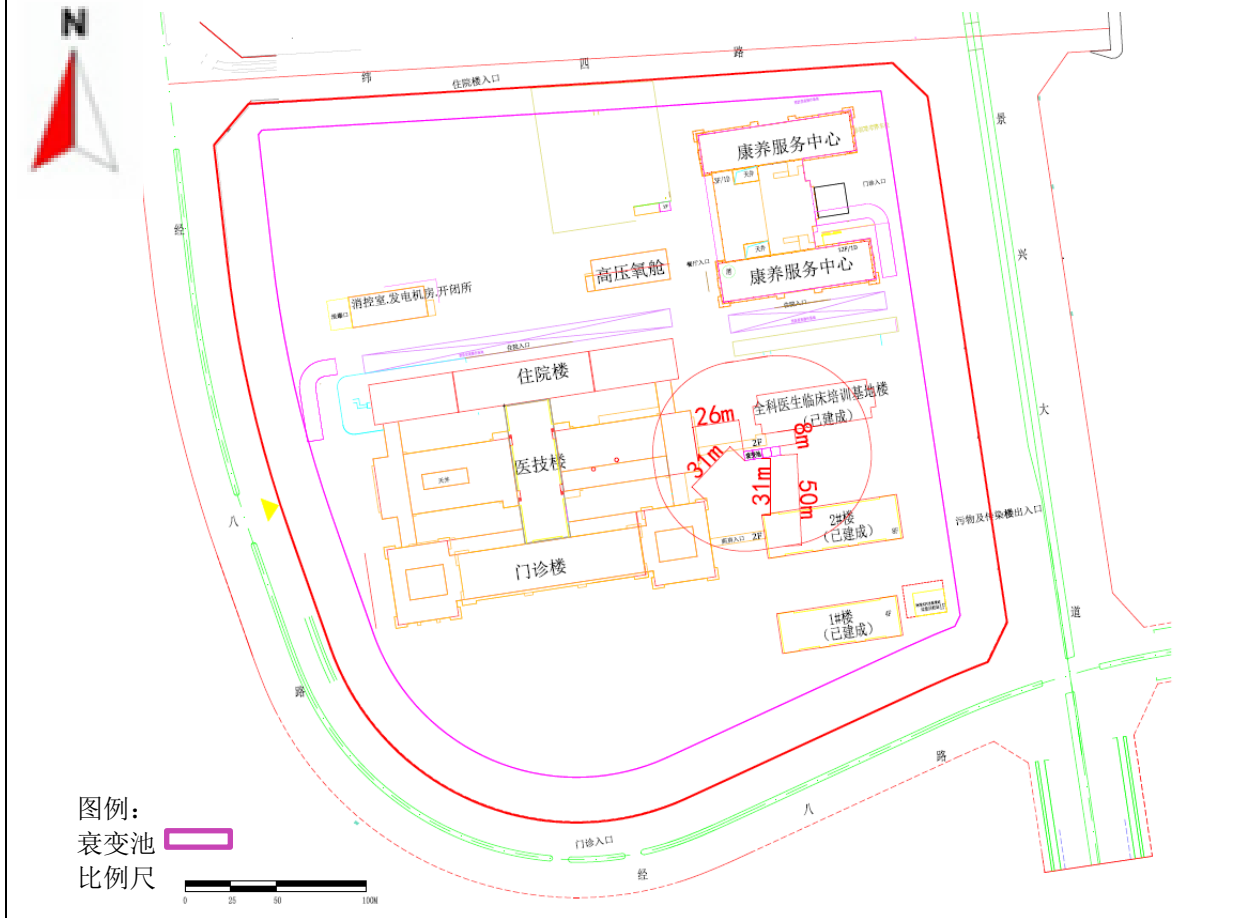


图 10-14 衰变池周围环境图

(2) 衰变池设计

医院拟设置 2 套衰变池，均为槽式衰变池。衰变池整体结构采用钢筋混凝土结构，内表面进行专业的耐酸碱腐蚀和防渗处理，确保池体坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑。衰变池设置了监测取样口和在线监测系统，可进行取样监测，也能自动记录衰变时间并监测活度，确保池内废液达标排放。衰变池设置液位感应器，可防止废液溢出以及防止超压；集水池和衰变池设置带有铰刀的潜水泵，可将固体物质搅碎为可以流通的流体物质，防止堵塞进出水口和污泥硬化淤积的问题。

收集核素治疗区废水的衰变池 1 共有 3 格，每格衰变池长 4m，宽 4m，深 5m，容积约为 80m^3 ，单格有效容积为 80m^3 ，6 格总有效容积为 2400m^3 ；收集显像区废水的衰变池 3 共设计 3 格，每格衰变池长 6m，宽 4m，深 5m，单格衰变池有效容积为 120m^3 ，3 格总有效容积为 360m^3 。衰变池的池壁采取防渗、防漏设计，衰变池四周池壁为 30cm

厚混凝土，底板为 30cm 厚混凝土，井盖采用 30cm 混凝土板覆盖，井盖上方覆 100cm 土层，排水管壁拟采用 240cm 实心粘土砖+8mm 包裹，以防止核素在管道附集而产生对周围环境产生影响。

本项目放射性区域废水经潜水泵打入沉淀池，其内置液位计检测经检测达到预设高液位后经沉淀池内潜水泵开启废水打入衰变区域,此时 A1 电动阀打开，废水流入 1# 衰变池,其内置液位计检测经检测达到预设高液位时经 PLC 处理信号此时关闭 A1 电动阀开始计时，同时开启 A2 电动阀，放射性废水流入 2#衰变池，依次循环自流入 3# 衰变池，当 3#衰变池达到高液位时再次排入 1#衰变池（此时为排空状态，若非排空则强制排空）完成进水一个循环。当 1#衰变池达到高液位后计时时间达到其衰变周期后 1#衰变池潜水泵开启，将衰变完成的废水排入集水井（集水井接入院区污水处理站），同理 2#、3#衰变池排水过程。衰变池平面图、剖面图见图 10-15、图 10-16。

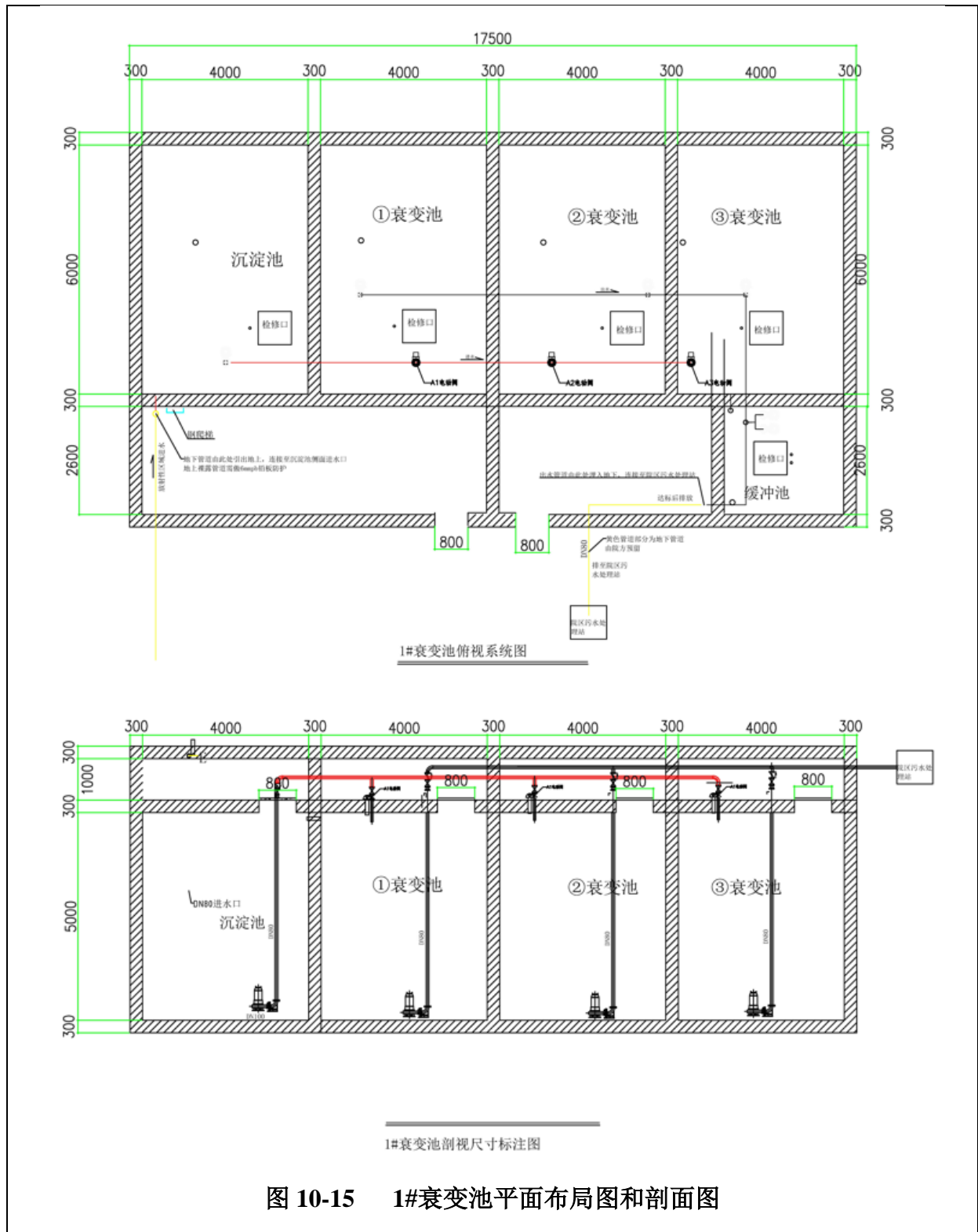


图 10-15 1#衰变池平面布局图和剖面图

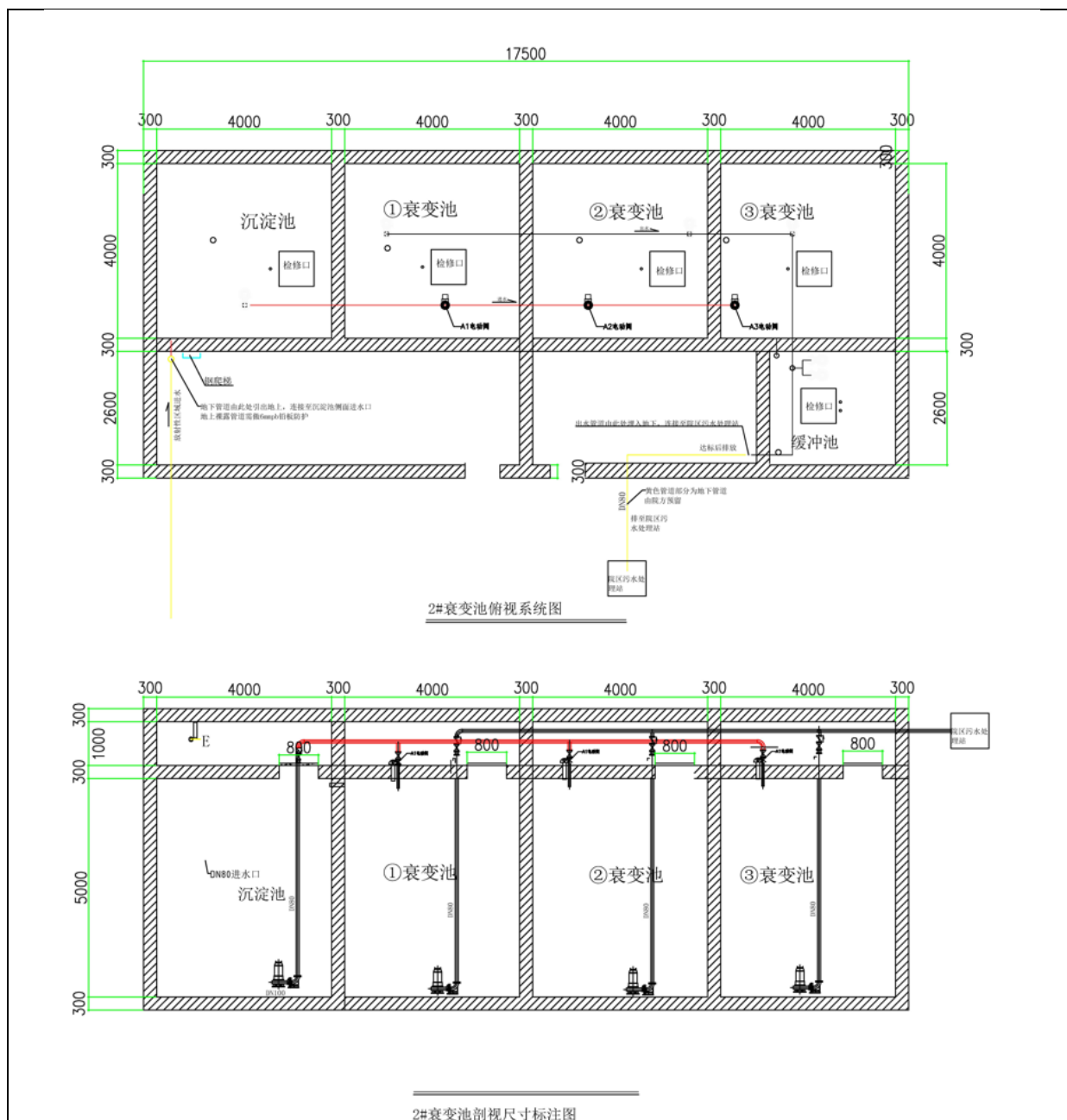


图 10-16 2#衰变池平面布局图和剖面图

(3) 放射性废水管道走向布置

放射性废水管道布置图见图 10-17，显像区及治疗放射性废水管道线路主要敷设在控制区内，分装室、淋浴间、候诊休息室、留观室、污洗间以及核素治疗病房等产生的放射性废水由废水管道收集后排放至衰变池衰变。

由图可知，放射性管道主要铺设控制区内部，避免了从办公区、公共走廊等人员居留较多的场所通过，且尽可能的缩短了管道敷设路径，管道布局设计合理。

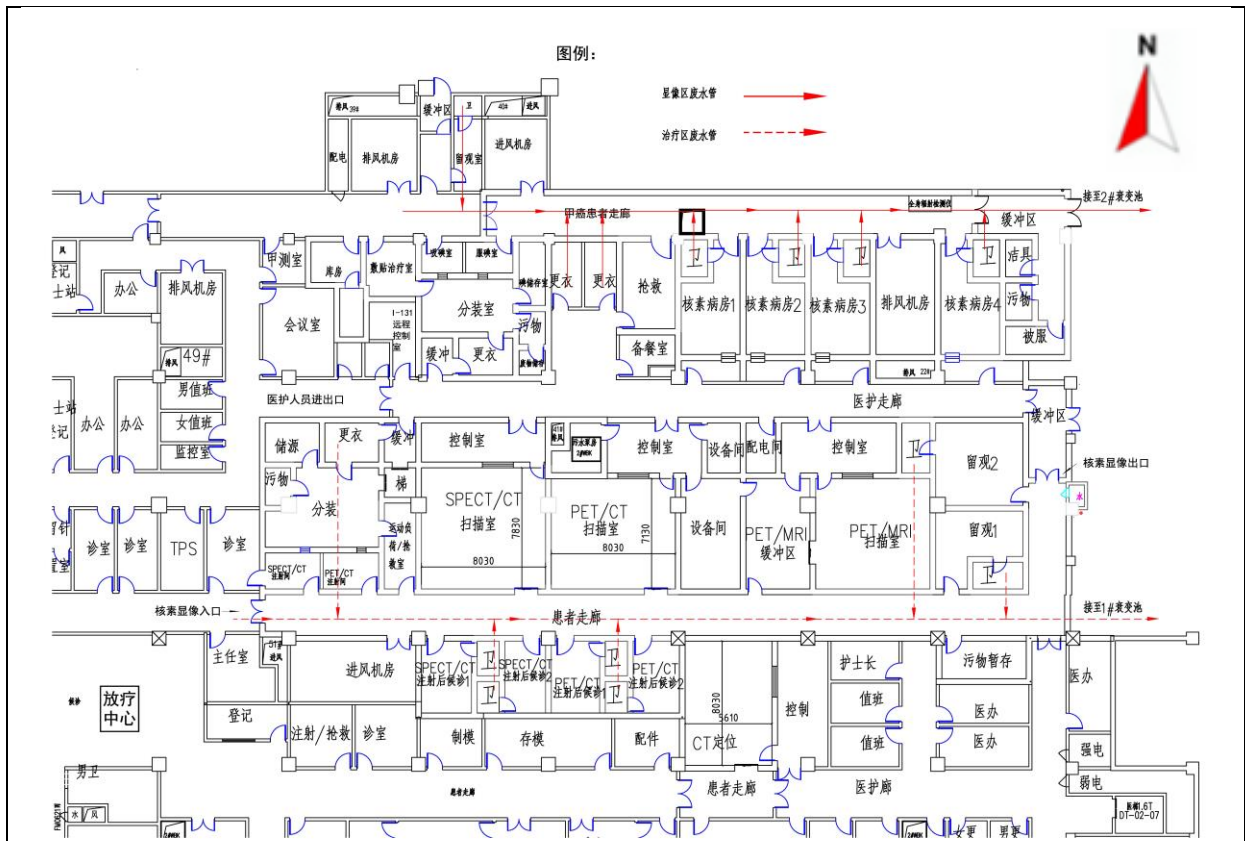


图 10-17 衰变池管道布局示意图

本项目 3 个废液衰变池采用自动化并联式设计，多功能沉淀池和废液衰变池均采用防腐防渗的混凝土结构。本项目产生的放射性废液经专用废水管道收集后先进入沉淀池沉淀后再进入放射性废液衰变池，衰变池依次按照第一格、第二格、第三格的顺序往各衰变池内充满水，当第三格达最高水位时，第一格中废水经检测达标后外排入医院污水处理站，依次顺序循环往复。本项目非密封放射性物质工作场所产生的放射性废水经统一收集排入沉淀池沉淀后进入独立的废液衰变池，经至少十个半衰期以上时间的衰变，并检测达标后经审管部门核准排入医院污水管网。衰变池均设液位自动监控设备、进出水阀门控制装置，衰变池水满、排放废水前，取样进行检测，经检测达标后排入医院污水处理站。废液衰变间上方显著位置（检修井盖）设置电离辐射警示标示，防止人员靠近。

根据医院提供设计资料可知，本项目的废水在放射性废液衰变池中至少贮存 180 天后，经监测结果经审管部门认可后，即“放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L 、总 β 不大于 10Bq/L ”可直接解控排放进入医院污水处理站。医院将安排专人负责放射性废液的暂存和处理，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。

10.2.2 固废

加速器维修时会产生少量固体废物，加速器的更换下来的靶和废树脂需作为固体放射性废物处理，更换下来后需用专门盛装放射性废物的容器装好，由加速器设备供应商回收。

后装治疗机产生的废旧 ^{192}Ir 放射源应交由放射源生产单位回收处理。

^{68}Ge 校准源置于储源间的铅罐内，一般一年左右更换一次， ^{68}Ge 校准源退役后最终交由供应商回收。

CT机无放射性废物产生。

核医学诊治工作中使用的放射性药操作过程会产生使用过的注射器、吸水纸、服药杯、手套、口罩、废活性炭等放射性固体废物。

(1) 放射性固废处置措施

本项目核医学科的工作场所共设置 2 间废物间，用于暂存项目开展过程中产生的放射性废物，核素显像区的废物间与核素治疗区分开设置，废物间的分配使用情况如下：

①核素显像（PET 和 SPECT 诊断）设置 1 间放废暂存间，在分装室及其它必要区域设置脚踏式废物衰变桶，在分装室就近设置放废暂存间，用于核素操作过程中固体废物的暂存。显像区废物间拟设置 4 个不小于 100L 的铅废物桶（不小于 20mmPb），每个月固定时间对废物桶进行标记、封装、记录，按单双月轮换使用，含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物储存时间超过 30 天，含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间应超过核素最长半衰期的 10 倍，含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，经监测满足标准要求可清洁解控按医疗废物处理。

②核素治疗区（含 ^{131}I ）产生的放射性废物设置放废暂存间，该废物间靠近治疗区出口，其它如病房、给药室等可能产生废物的位置设置脚踏式废物衰变桶，定期收集至暂存间衰变。治疗区废物间拟设置 7 个不小于 100L 的铅废物桶（不小于 20mmPb），每个月固定时间对废物桶进行标记、封装、记录，放射性固体废物储存时间超过 180 天，经监测满足标准要求可清洁解控按医疗废物处理。

③住院患者产生的受污染的被服防止在核素治疗区废物暂存间，拟设置 3 个铅箱用于患者用过的床上用品就近集中储存，根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），正常换洗的被服经集中暂存超过最长半衰期核素的 1 个半衰期（按 9 天考虑）后可进行清洗；特殊情况出现严重污染的被服将压缩封存后按固体废物暂存 180 天后进行处理。

废物暂存间设有动力排风系统，采取了适当屏蔽措施，防护门设置门锁，以防止丢

失；防护门上设置电离辐射警告标志，并根据消防要求设置防火措施。废物室内不存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

核素显像区和核素治疗区分别设置专用废物衰变桶，废物桶外设置电离辐射标志，废物桶内放置专用塑料袋直接收纳废物。对于废注射器、碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，预先装入硬纸盒或其他包装材料中进行包装处理，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。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至废物室，不同类别废物应分开存放，废物衰变池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。

核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物要超过 30 天；核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间要超过核素最长半衰期的 10 倍；含有核素 ^{131}I 的放射性固体废物暂存时间要超过 180 天；本项目核素放射性固体废物暂存时间见表 10-11。经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，方可对废物清洁解控作为医疗废物处理。

表 10-11 本项目核素放射性固体废物暂存时间一览表

序号	核素名称	半衰期	暂存时间	序号	核素名称	半衰期	暂存时间
1	^{18}F	109.8min	30 天	4	^{89}Sr	50.53d	506 天
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	30 天	5	^{223}Ra	11.44d	115 天
3	^{131}I	8.02d	180 天	6	^{32}P	14.3d	143 天

核医学工作场所废气排放口及手套箱更换下来的废活性炭过滤器按放射性按固体废物处理。

综上所述，本项目固体放射性固体废物收集和贮存措施满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求，并且具有较强的可操作性。

10.2.2 废气

直线加速器、后装机机房及 CT 机内的空气受到 X 射线、 γ 射线照射会产生一定量的臭氧和氮氧化物，若在机房内聚集，对机房的人员和设施均具有一定的危害，各机房内设置排风系统，经机房通风系统排出室外，对人员影响较小。

本项目涉及放射性核素分装操作，可能产生少量的分装废气。本项目涉及放射性核素分装操作均在密闭通风柜中进行，可有效防止放射性气体逸出。根据建设单位提供的通风设计图纸可知，本项目核医学科辐射工作场所拟设置 7 套独立的废气收集处理系统，核医学科排风系统布置示意图见图 10-18，具体方案如下：

1#通风系统：在治疗区内甲亢治疗、敷贴治疗及治疗区相关配套房间拟设置一套独立通风系统并安装活性炭过滤装置，最终排入 22#排风井。

2#通风系统：在治疗区内甲癌治疗病房拟设置一套独立通风系统并安装活性炭过滤装置，最终排入 22#排风井。

3#通风系统：在操作间、更衣室、固废间、PET/CT 机房、PET/MRI 机房 SPECT/CT 机房、储源间、注射后候诊室、抢救室、留观室、患者专用卫生间、固废间等核素显像区域用房拟设置一套独立通风系统并安装活性炭过滤装置，最终排入 22#排风井。

4#通风系统：在注射分装室 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 通风橱拟设置一套单独的排风系统，通风柜顶部拟设置独立的排风管道并安装活性炭过滤装置，通风柜排风系统排风速度不小于 0.5m/s，最终排入 41#排风井。

5#通风系统：在注射分装室 ^{32}P 通风橱拟设置一套单独的排风系统，通风柜顶部拟设置独立的排风管道，通风柜排风系统排风速度不小于 0.5m/s，最终排入 41#排风井。

6#通风系统：在治疗区废物暂存间拟设置一套独立通风系统并安装活性炭过滤装置，最终排入 41#排风井。

7#通风系统：在显像区废物暂存间拟设置一套独立通风系统并安装活性炭过滤装置，最终排入 41#排风井。

核医学科拟设置 7 套单独排风装置，风向均由低活度区流向高活度区（高活度区负压低于低活度区），排风管排至风井后直达屋顶，高出建筑楼顶，排气管道设置活性炭过滤器及回风阀，核医学科放射性废气经活性炭过滤装置过滤后，通过专用排气管道经专用排风竖井直通屋顶并延伸至门诊楼高出门诊楼屋脊 1m 处的排放口排放，离地高度约 22m，排放口北侧为医技楼，东侧为院区过道，西、南侧均为门诊楼，最近为北侧医技楼 6F 住院楼（离地高度 18m），核医学排放口位于门诊楼北部，核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求，即“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。”相关要求。排风设计示意图见图 10-19、图 10-20。

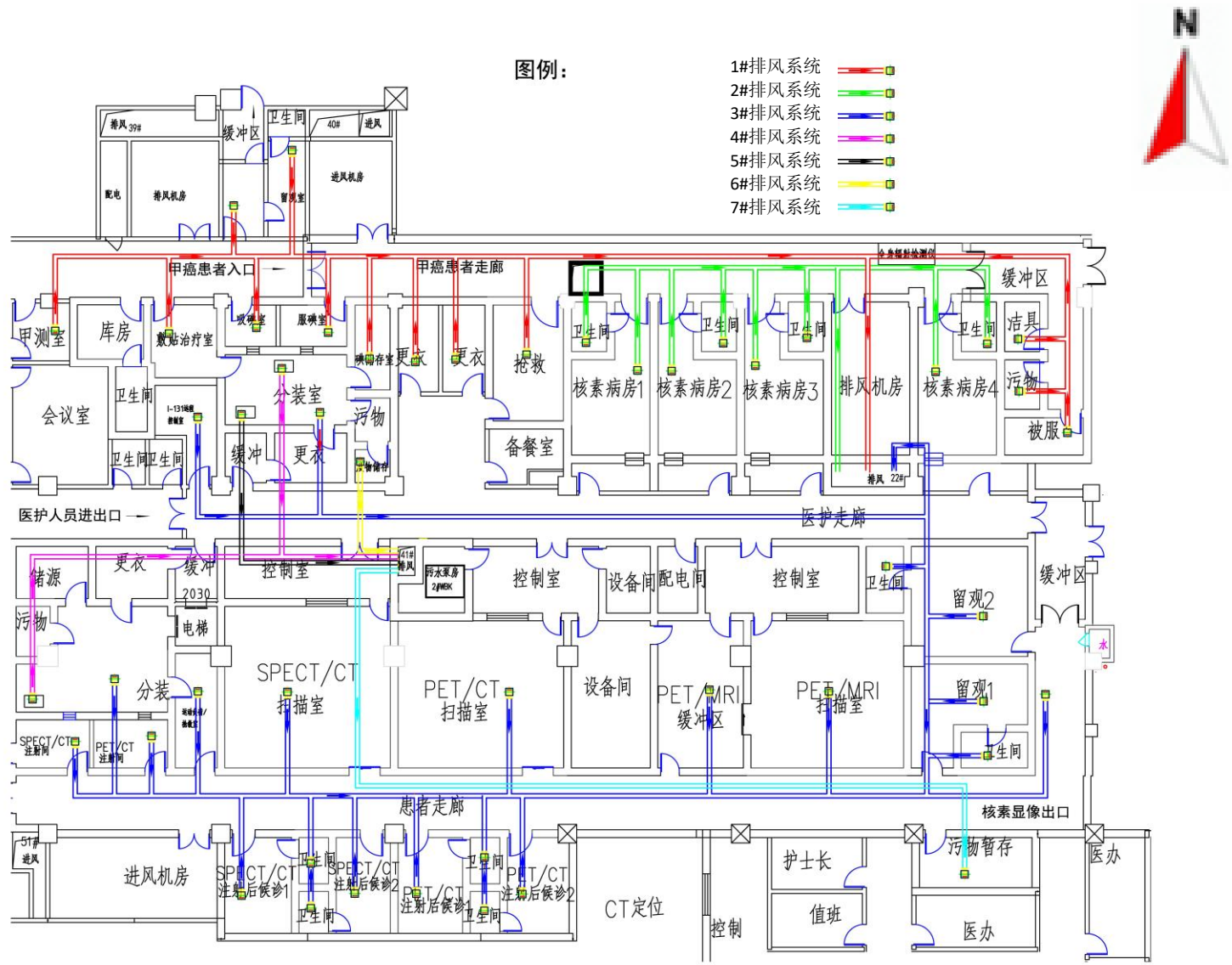


图 10-18 核医学科排风系统布置示意图

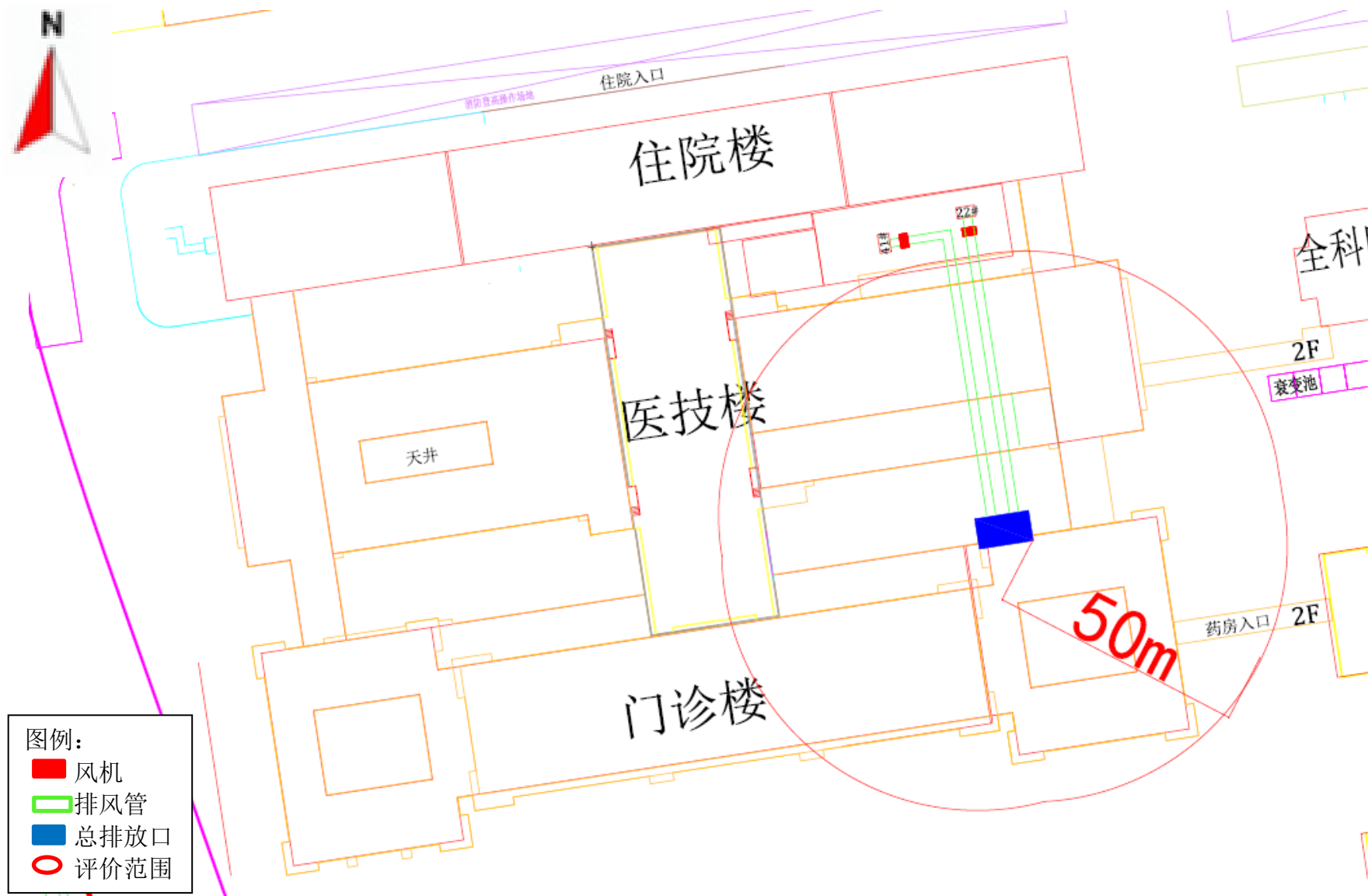


图 10-19 本项目核医学科所在医技楼楼顶排风口设置平面示意图

图例

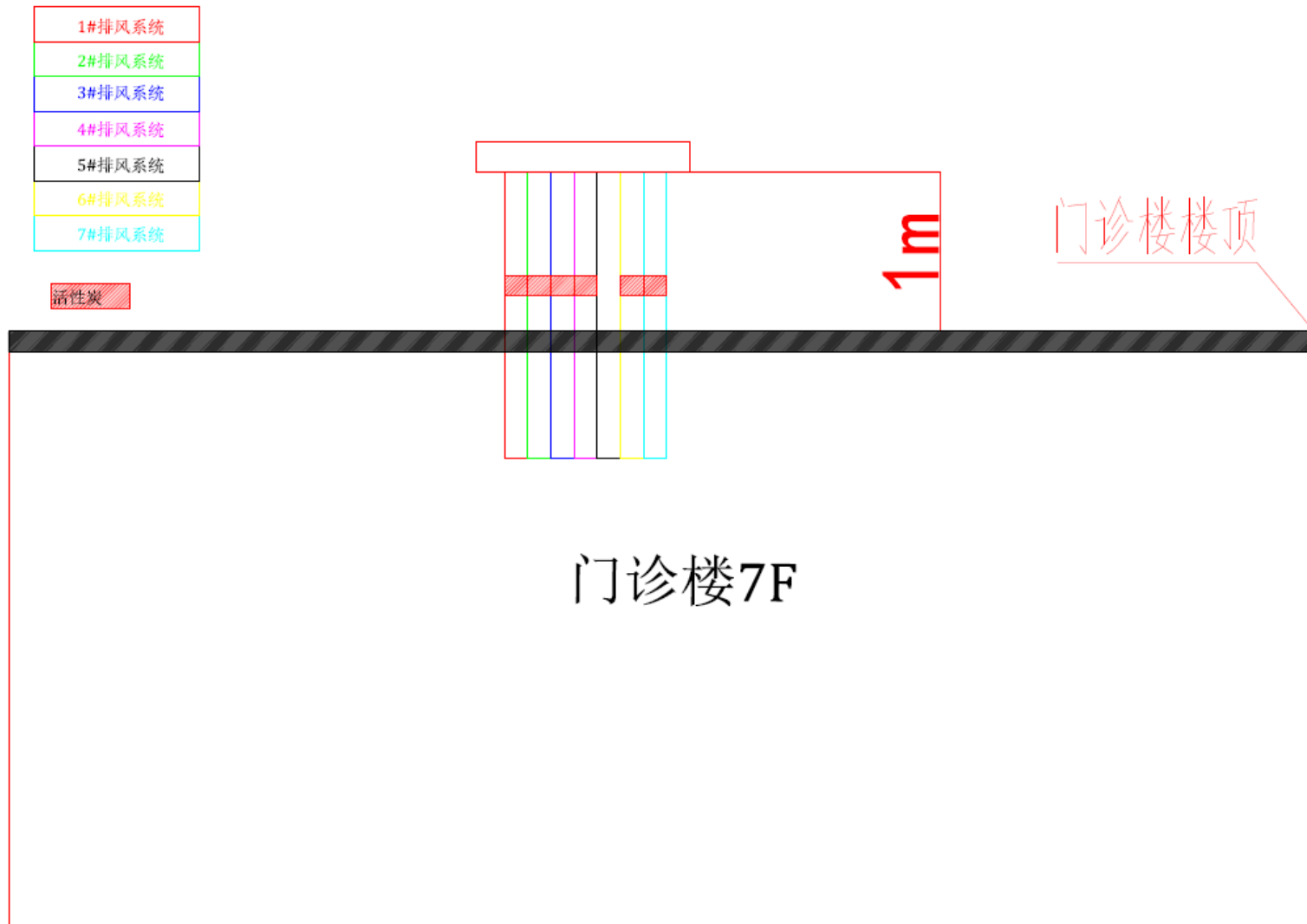


图 10-20 本项目核医学科所在医技楼楼顶排风口设置立面示意图

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 建设施工阶段对环境的影响

本次评价项目涉及到新墙体的彻筑、建筑装饰、设备安装等，在项目的建设过程中，应采取污染防治措施，减轻对医院及周边地区的环境影响。项目建设期主要的污染因子有：噪声、废水、固体废弃物和扬尘。

(1) 声环境影响分析

该评价项目施工期的噪声主要来自场地土建施工、相关设施的安装调试等阶段，但该评价项目的建设工程，影响期短暂，其在现有建筑物内部完成，对周围环境影响小，随施工结束而消除，因此，施工在合理安排施工时间，夜间禁止高噪声机械作业后，对周围的影响不大。

(2) 环境空气影响分析

在整个施工期，扬尘来自于材料搬运、装卸和混凝土浇筑等施工活动，由于扬尘源多且分散，属无组织排放。受施工方式、设备、气候等因素制约，产生的随机性和波动性大。但土建工程结束后即可恢复。

(3) 水环境影响分析

本工程施工污水主要来自少量施工废水。施工废水主要包括砂石料加工水。施工废水含泥沙和悬浮物，直接排出会阻塞排水沟和对附近水体造成污染。对此，施工单位应对施工废水进行妥善处理，对施工废水进行澄清处理，清水外排，淤泥妥善堆放。

(4) 固体废物影响分析

施工期间固体废物主要为建筑垃圾。施工过程中的建筑垃圾和生活垃圾必须集中处理，严禁随意堆放和倾倒。生活垃圾应置于医院内部垃圾收集箱内，定期由环卫工人送至附近的垃圾中转站。施工建筑垃圾委托有资质的渣土运输公司处置，运垃圾的专用车每次装完垃圾后，用苫布盖好，避免途中遗洒和运输过程中造成扬尘。可以使工杨昆设产生的垃圾处于可控制状态。

综上所述，建设工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。施工单位应严格按照有关规定采取上述措施进行污染防治，并加强监管，使本项目施工对周围环境的影响降低到最小。

11.1.2 设备调试安装阶段对环境的影响

本环评要求设备的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，建设单位不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门（检修门），在主屏蔽体门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时各设备必须上锁并派人看守。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入检测区域，防止辐射事故发生。设备安装完成后，建设方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 直线加速器环境影响分析

本评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）及《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）标准中的相关计算公式进行理论估算。

11.2.3.1 医用直线加速器技术参数

表 11-1 医用直线加速器的主要技术参数

名称	辐射强度	最大输出剂量率 (cGy/min)	机架 旋转	最大均 整区(c m ²)	射线最 大出线 角
10MV 医用 直线加速器	X 射线：6MV、10MV 电子线：≤15MeV	10MV：X 射线≤6Gy/min 6MV：X 射线≤14Gy/min 电子≤10Gy/min	±180°	40×40	28°

保守估计，本次采取最大能量最大 10MV 时 1m 处剂量率 600cGy/min 和剂量率最大 6MV 时 1m 处剂量率 1400cGy/min 模式（即 6MV 时 X 射线 FFF 模式）进行分别计算。

11.2.1.1 医用直线加速器机房屏蔽设计分析

直线加速器机房具体防护设计情况见表 11-2。

表 11-2 直线加速器机房的设计情况一览表

项目	直线加速器机房
机房室内尺寸	长 8.60m×宽 8.00m×高 4.00m
主屏蔽墙	东、西侧主屏蔽墙厚为 3.2m，宽为 4.60m；顶棚主屏蔽墙厚 3.20m，宽为 4.60m。
侧屏蔽墙	侧屏蔽墙为 1.8m
次屏蔽墙	次屏蔽墙为 1.8m，顶棚次屏蔽墙 1.8m。
迷路	迷路内墙为厚 0.777~1.20m，长 8.30m 迷路外墙厚 1.80m，长 8.85m
防护门	15mmPb

11.2.1.2 主屏蔽墙宽度符合性分析

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）4.

3.3 款对机房屏蔽墙宽度进行分析。

利用公式 (11-1) 对主屏蔽墙宽度进行计算：

$$Y_p = 2[(a + SAD) \tan \theta + 0.3] \dots \dots \dots \text{公式 (11-1)}$$

式中: Y_p —机房有用束主屏蔽区的宽度, m;

SAD-源轴距, m;

θ —治疗束的最大张角 (相对束中的轴线);

a —等中心点至“墙”的距离, m; 当主屏蔽区向机房内凸时, “墙”指与主屏蔽相连接的次屏蔽墙 (或顶) 的内表面; 当主屏蔽区向机房外凸时, “墙”指主屏蔽区墙 (或顶) 的外表面。

0.3—屏蔽体半边宽余量, m。

直线加速器机房主屏蔽设计宽度计算结果见表 11-3。

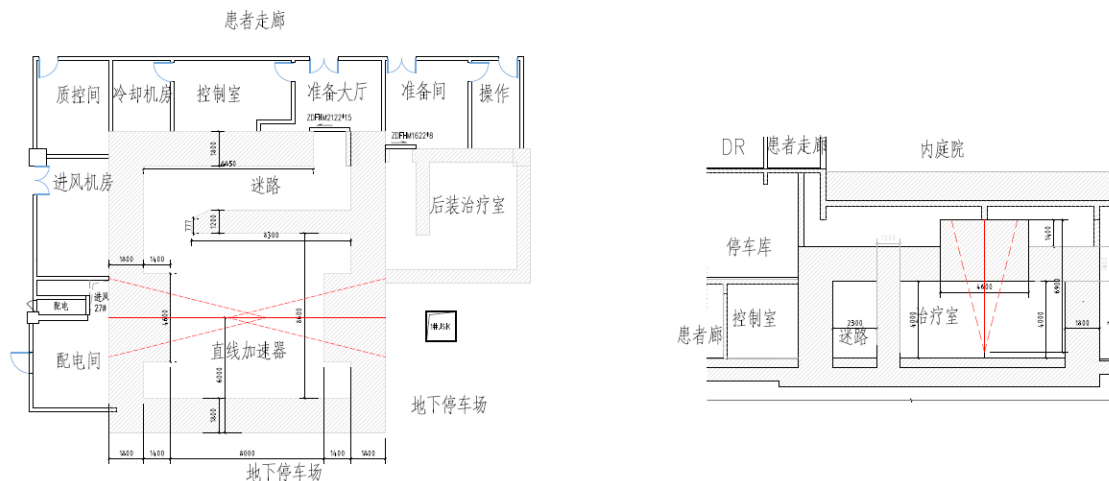


图 11-1 直线加速器机房主屏蔽墙宽度示意图 14°

表 11-3 直线加速器机房主屏蔽墙宽度计算一览表

机房	各屏蔽墙	主屏蔽墙类型	a (mm)	SAD(m)	$\theta(^{\circ})$	Y_p (m)	主屏蔽墙设计长度 (m)	是否符合
加速器机房	东侧主屏蔽墙	内凸	5400	1000	14	3791	4600	符合
	西侧主屏蔽墙	内凸	5400	1000	14	3791	4600	符合
	顶棚主屏蔽墙	外凸	5900	1000	14	4041	4600	符合

根据表 11-3 结果可知, 主屏蔽墙设计长度均大于机房有用束主屏蔽区的宽度要求长度, 所以直线加速器机房主屏蔽设计宽度能满足要求。

11.2.1.3 周工作负荷 (W) 和周治疗时间 (t)

(1) 常规放射治疗

根据医院预测的诊疗需要，加速器机房投入使用后，预计平均每天接待治疗病人不超过 60 人次，每周工作 5 天。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范—第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011），放射治疗平均每人治疗照射 3 野次，平均每人每野次治疗剂量率为 1.5Gy，周工作负荷 $W=60 \times 5 \times 1.5 \times 3=1350\text{Gy}/\text{周}$ 。

根据 GBZ/T201.2-2011 附录 A 公式：

$$t=W/D_0\text{.....公式 (11-2)}$$

本项目加速器常用最高吸收剂量率为 6Gy/min，则周治疗照射时间：

$$t=(1350\text{Gy}/\text{周})/(6\text{Gy}/\text{min})=3.75\text{h}/\text{周}。即周照射时间约为 3.75 小时。$$

(2) 调强放射治疗

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范—第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）规定，实际调强放射治疗中，相应有用线束和有用线束散射辐射每周与常规放射治疗人数相同时，周工作负荷与常规治疗相同；但对泄漏辐射，周工作负荷为常规放射治疗工作负荷的 N 倍（当调强因子为 N 时）。

本项目调强因子保守取 5，常规治疗人数为 6 人次，调强治疗人数为 54 人次。

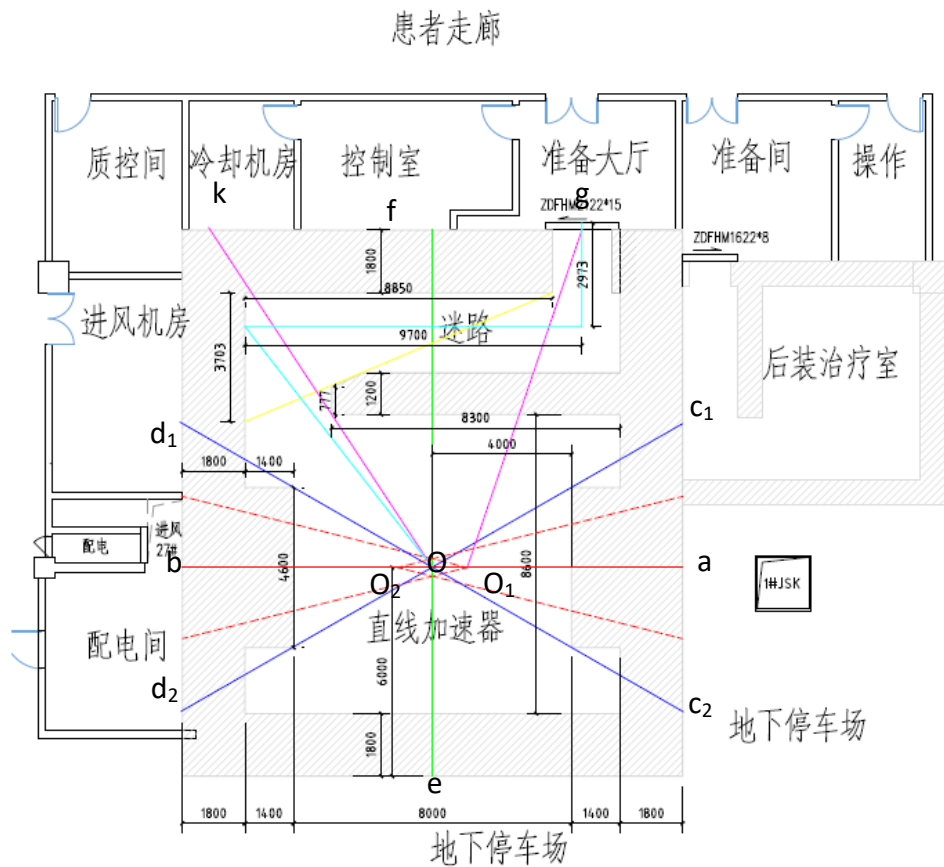


图 11-2 加速器机房平面预测示意图

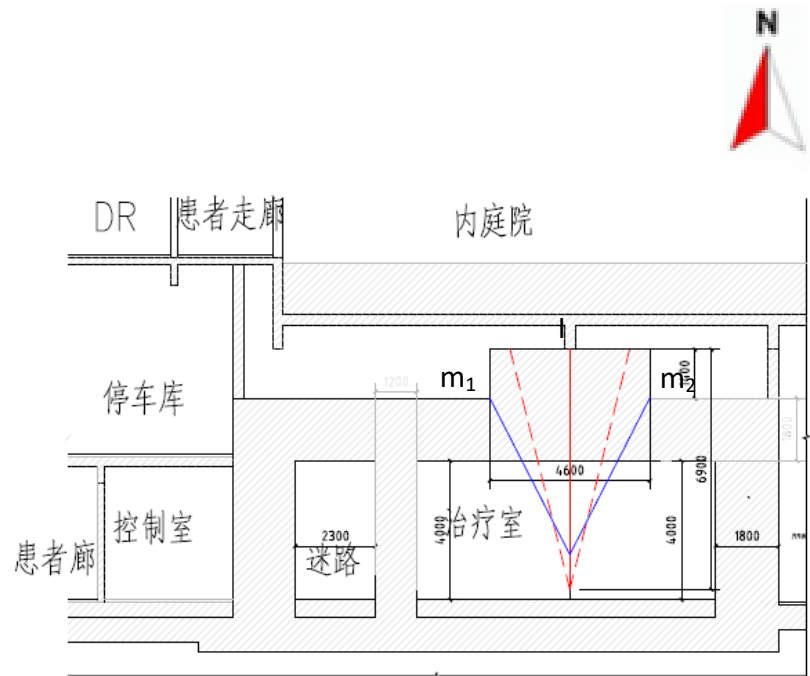


图 11-3 加速器机房剖面预测示意图

11.2.1.4 医用直线加速器机房屏蔽效果分析

本评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2—2011）中的相关计算公式进行理论估算。

本项目电子线的穿透能力弱于 X 射线，满足屏蔽 X 射线防护要求的同时即能满足屏蔽电子线的防护要求。

医用直线加速器机房设计结构及预测点位分布示意图详见图 11-2、图 11-3。

11.2.1.5 直线加速器机房外关注点剂量率控制水平

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中 4.2.1，同时依照附录 A 及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中 6.14 计算直线加速器机房外关注点剂量率控制水平。

① 有用线束在关注点的导出剂量率参考控制水平（ $\mu\text{Sv/h}$ ）计算见公式（11-3）：

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots \text{公式 (11-3)}$$

式中： H_c —周参考剂量控制水平（ $\mu\text{Sv/周}$ ）；

t —治疗装置周治疗照射时间，h；

U —有用线束向关注位置的方向照射的使用因子；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子。

② 漏射辐射在关注点的导出剂量率参考控制水平（ $\mu\text{Sv/h}$ ）计算见公式（11-4）：

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot N \cdot T) \dots\dots\dots \text{公式 (11-4)}$$

式中： H_c —周参考剂量控制水平（ $\mu\text{Sv/周}$ ）；

t —治疗装置周治疗照射时间，h；

N —调强治疗时用于漏射辐射的调强因子，取 $N=5$ ；

T —人员在相应关注点的驻留的居留因子。

表 11-4 预测目标点的导出剂量率参考控制水平及计算参数

点位	与机房关系	类型	$H_c(\mu\text{Sv/周})$	$t(\text{h})$	U	N	T	$\dot{H}_c, d(\mu\text{Sv/h})$	$\dot{H}_c, \text{max}(\mu\text{Sv/h})$	$\dot{H}_c(\mu\text{Sv/h})$
a	东墙外	有用线束	5	3.75	1/4	/	1/40	213.33	10	10
b	西墙外	有用线束	5	3.75	1/4	/	1/20	106.67	10	10
c	东墙外	漏射辐射+散射辐射	5	3.75	/	5	1/2	0.53	2.5	0.53
d	西墙外	漏射辐射+散射辐射	5	3.75	/	5	1/20	5.33	10	5.33
e	南墙外	漏射辐射	5	3.75	/	5	1/20	5.33	10	5.33

f	北墙外	漏射辐射	100	3.75	/	5	1	5.33	2.5	2.5
g	迷道入口	漏射辐射+ 散射辐射	5	3.75		/	1/8	42.67	10	10
I	顶棚外	有用线束	5	3.75	1/4	5	1/40	10.67	10	10
k	北墙外	漏射辐射	5	3.75	/	5	1/2	0.53	2.5	0.53
m	顶棚外	漏射辐射+ 散射辐射	5	3.75	/	5	1/40	10.67	10	10

注：本计算漏射辐射均按调强治疗进行保守预测。

此评价报告对加速器机房屏蔽效果的评述，依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中的计算模式和相关参数。从保守角度出发，在加速器治疗室设计的尺寸厚度基础上，假定加速器最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。

11.2.1.6 主屏蔽区

以下列方法进行有用线束和泄漏辐射的剂量估算：

对于给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时，首先按式 (11-5) 计算有效厚度 X_e ，按式 (11-6) 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按式 (11-7) 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率。

(a) 有效屏蔽厚度

当 X 射线束以 θ 角斜入射厚度为 X(cm) 的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 X_e (cm) 见式 (11-5)：

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

其中， θ 为斜射角，即入射射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

(b) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad \text{式 (11-6)}$$

TVL_1 (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_1 时， $TVL_1 = TVL$ 。

(c) 屏蔽体外关注点的剂量率

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{式 (11-7)}$$

式中： \dot{H}_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R —靶点至参考点的距离，m，本项目参考点取相应屏蔽体外 0.3m；

f —对有用束为 1；对泄漏辐射为泄漏辐射比率。

将各参数代入计算，得到主屏蔽墙外 30cm 处关注点的剂量见表 11-5。

表 11-5 主屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	a 点	b 点	I 点	a 点	b 点	I 点
能量	10MV (6Gy/min)			6MV (14Gy/min) (FFF 模式)		
X (cm)	320cm 混凝土	320cm 混凝土	320cm 混凝土	320cm 混凝土	320cm 混凝土	320cm 混凝土
Θ (°)	0	0	0	0	0	0
Xe (cm)	320	320	320	320	320	320
TVL (cm)	37	37	37	33	33	33
TVL ₁ (cm)	41	41	41	37	37	37
B	2.88E-09	2.88E-09	2.88E-09	2.66E-10	2.66E-10	2.66E-10
R (m)	8.5	8.5	7.2	8.5	8.5	7.2
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08
f	1	1	1	1	1	1
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.44E-02	1.44E-02	2.00E-02	3.09E-03	3.09E-03	4.30E-03

11.2.1.7 侧屏蔽墙

泄漏辐射：估算方法类似主屏蔽墙（式（11-7））。侧屏蔽墙外参考点剂量率计算参数和计算结果见表 11-6。

表 11-6 侧屏蔽墙外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	e 点	f 点	k 点	e 点	f 点	k 点
能量	10MV (6Gy/min)			6MV (14Gy/min) (FFF 模式)		
X (cm)	180cm 混凝土	300cm 混凝土	180 cm 混凝土	180cm 混凝土	300cm 混凝土	180 cm 混凝土
Θ (°)	0	0	33	0	0	33
Xe (cm)	180	300	215	180	300	215
TVL (cm)	31	31	31	29	29	29
TVL ₁ (cm)	35	35	35	34	34	34
B	2.10E-06	2.83E-10	1.56E-07	9.24E-07	6.72E-11	5.74E-08
R (m)	6.3	10	11.9	6.3	10	11.9
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08
f	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.91E-02	1.02E-06	3.99E-04	1.95E-02	5.65E-07	3.42E-04

11.2.1.8 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区

a 泄漏辐射：通过公式（11-7）进行计算。

b 散射辐射：

在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时，首先按照式（11-5）计算有效厚度 Xe (cm)，

再按式（11-6）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按式（11-8）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} （ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad \text{式（11-8）}$$

式中：

\dot{H}_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子。根据散射线能量和参考点斜射角，查 GBZ/T 2 01.2-2011 表 B.2。

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ，本项目为 $40\text{cm}\times 40\text{cm}=1600\text{cm}^2$ 。

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

叠加与主屏蔽区直接相连的次屏蔽墙外泄漏辐射与患者一次散射辐射的辐射剂量率值，计算参数和计算结果见表 11-7。

表 11-7 与主屏蔽相连的次屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点		c 点	d 点	m 点	c 点	d 点	m 点
能量		10MV（6Gy/min）			6MV（14Gy/min）（FFF 模式）		
泄漏辐射	X（cm）	180cm 混凝土	180cm 混凝土	180cm 混凝土	180cm 混凝土	180cm 混凝土	180cm 混凝土
	Θ （°）	30	30	27	30	30	27
	Xe（cm）	208	208	202	208	208	202
	TVL（cm）	31	31	31	29	29	29
	TVL ₁ （cm）	35	35	35	34	34	34
	B	2.66E-07	2.66E-07	4.10E-07	1.01E-07	1.01E-07	1.61E-07
	R（m）	8.61	8.61	5.35	8.61	8.61	5.35
	\dot{H}_0 （ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ）	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08
	f	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
\dot{H} （ $\mu\text{Sv/h}$ ）	1.29E-03	1.29E-03	5.15E-03	1.15E-03	1.15E-03	4.72E-03	
散射辐射	TVL（cm）	28	28	28	26	26	26
	TVL ₁ （cm）	28	28	28	26	26	26
	B	3.78E-08	3.78E-08	6.10E-08	1.01E-08	1.01E-08	1.70E-08
	R_s （m）	8.61	8.61	5.35	8.61	8.61	5.35
	α_{ph}	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03	2.77E-03	2.77E-03	2.77E-03
	F（ cm^2 ）	1600	1600	1600	1600	1600	1600
	\dot{H}_0 （ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ）	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08

\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	2.33E-03	2.33E-03	9.75E-03	1.27E-03	1.27E-03	5.52E-03
泄漏辐射和散射辐射的复合作用 ($\mu\text{Sv/h}$)	3.62E-03	3.62E-03	1.49E-02	2.42E-03	2.42E-03	1.02E-02

11.2.1.9 迷路入口处

对 $\leq 10\text{MV}$ 的加速器，有用线束不向迷路内墙照射，迷路入口应考虑以下辐射：

a 泄漏辐射：通过公式（11-6）进行计算，计算参数及计算结果见表 11-8。

表 11-8 g 点处的泄漏辐射剂量率（未经防护门屏蔽）计算参数和计算结果

关注点	机房入口处 (g 点) (α_1 -g)	机房入口处 (g 点) (α_1 -g)
能量	10MV (6Gy/min)	6MV (14Gy/min) (FFF 模式)
X (cm)	120cm 混凝土	120cm 混凝土
Θ ($^\circ$)	19	19
Xe (cm)	127	127
TVL (cm)	31	29
TVL ₁ (cm)	35	34
B	1.08E-04	6.25E-05
R (m)	10.56	10.56
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.60E+08	8.40E+08
f	0.001	0.001
\dot{H}_{0g} ($\mu\text{Sv/h}$)	3.50E-01	4.71E-01

注：①、迷道入口采取剂量率控制水平的 1/4 进行评价，本项目控制水平为 10/4=2.

5 $\mu\text{Sv/h}$ 。

b 散射辐射：入口 g 处的散射辐射剂量率 \dot{H}_g 按式（11-9）计算：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \quad \dots\dots\text{式 (11-9)}$$

式中：

\dot{H}_g —G 处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_0 、 α_{ph} 、F—定义同式（5）；

α_2 —混凝土墙入射的患者散射辐射的散射因子，其值见标准的附录 B 表 B.6；

R_1 —等中心点至散射墙面的距离，m；

R_2 —迷道散射墙面至入口处的距离，m；

A—自入口和等中心位置共同可视见的区域的面积， $(0.1945+3.703) \cdot 4=15.59\text{m}^2$ 。

表 11-9 g 点处的散射辐射剂量率（未经防护门屏蔽）计算参数和计算结果

关注点	机房入口处 (g 点)	机房入口处 (g 点)
能量	10MV (6Gy/min)	6MV (14Gy/min) (FFF 模式)
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.60E+08	8.40E+08
α_{ph}	1.35E-03	1.39E-03
α_2	2.20E-02	2.20E-02
F (cm^2)	1600	1600
R_1 (m)	8.78	8.78
R_2 (m)	12.97	12.97
A (m^2)	15.59	15.59
\dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	5.14E+01	1.24E+02

在给定防护门的铅屏蔽厚度 X (cm) 时, 防护门外的辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 按式 c 计算:

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/\text{TVL})} + \dot{H}_{og} \quad \dots\dots\text{式 (11-10)}$$

式中 TVL=0.5cm (铅)

表 11-10 防护门外 g 点处的辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	机房入口处 (g 点)	机房入口处 (g 点)
能量	10MV (6Gy/min)	6MV (14Gy/min) (FFF 模式)
X (cm)	1.5	1.5
TVL (cm)	0.5	0.5
\dot{H}_g ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	5.14E+01	2.12E+02
\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	3.50E-01	4.71E-01
\dot{H}_g (过防护门) ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	5.14E-02	1.24E-01
\dot{H} (总剂量) ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	4.01E-01	5.95E-01

表 11-11 直线加速器机房外各关注点的剂量率情况统计表

目标点位	与机房关系	剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	预测剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)		达标性
			10MV (6Gy/min)	6MV (14Gy/min) (FFF 模式)	
a	东墙外	10	1.44E-02	3.09E-03	达标
b	西墙外	10	1.44E-02	3.09E-03	达标
c	东墙外	0.53	3.62E-03	2.42E-03	达标
d	西墙外	5.33	3.62E-03	2.42E-03	达标
e	南墙外	5.33	1.91E-02	1.95E-02	达标
f	北墙外	2.5	1.02E-06	5.65E-07	达标
g	迷道入口	2.5	4.01E-01	5.95E-01	达标
I	顶棚外	10	2.00E-02	4.30E-03	达标
k	北墙外	0.53	3.99E-04	3.42E-04	达标
m	顶棚外	10	1.49E-02	1.02E-02	达标

注: ①、迷道入口采取剂量率控制水平的 1/4 进行评价。

由表 11-11 可知，医用电子直线加速器机房周围各关注点处的最大 X-γ 空气辐射剂量率为 6.15E-01μSv/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的相关要求，对工作场所周边的辐射环境影响较小。

11.2.1.10 附加有效剂量估算

按照《联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)-2000 年报告》附录 A，X-γ 射线产生的外照射人均年有效剂量按下列公式计算：

$$H = D \times t \times T \times 10^{-3} (mSv) \quad \text{式 (11-11)}$$

H: X-γ 射线外照射人均年有效剂量， mSv；

D: X-γ 射线附加剂量率， μSv/h；

t: 射线装置年出束时间， h；

T: 人员居留因子， 无量纲。

本项目直线加速器的职业工作人员及公众成员的附加年有效剂量估算结果见表 11-12。

表 11-12 直线加速器职业工作人员及公众成员的附加年有效剂量估算

关注点	位置	对象	辐射剂量率 (μSv/h)	居留因子	t(h)	附加年有效剂量 H (mSv/a)	目标管理限值 (mSv/a)	是否达标
a	东墙外	公众	1.44E-02	1/40	862.5	3.11E-04	0.1	达标
b	西墙外	公众	1.44E-02	1/20	862.5	6.21E-04	0.1	达标
c	东墙外	公众	3.62E-03	1/2	862.5	1.56E-03	0.1	达标
d	西墙外	公众	3.62E-03	1/20	862.5	1.56E-04	0.1	达标
e	南墙外	公众	1.95E-02	1/20	862.5	8.20E-04	0.1	达标
f	北墙外	职业人员	1.02E-06	1	862.5	8.80E-07	5	达标
g	迷道入口	公众	5.95E-01	1/8	862.5	6.41E-02	0.1	达标
I	顶棚外	公众	2.00E-02	1/40	862.5	4.31E-04	0.1	达标
k	北墙外	公众	3.99E-04	1/2	862.5	1.72E-04	0.1	达标
m	顶棚外	公众	1.49E-02	1/40	862.5	3.21E-04	0.1	达标

由表 11-12 可知，直线加速器职业人员附加年有效剂量最大为 8.80E-07mSv，低于本项目剂量约束值 5mSv，公众成员附加年有效剂量最大为 6.41E-02mSv，低于本项目剂量约束值 0.1mSv，且均能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）的有关要求。

11.2.1.11 大气环境影响分析

直线加速器机房内的空气受到 X 线照射会产生一定量的臭氧和氮氧化物，若在机房

内聚集，对机房的人员和设施均具有一定的危害。医院拟为加速器机房提供风机额定通风量 3000m³/h 排风机（风机通风效率不小于 85%），直线加速器机房面积为 110.98 m²（含迷道），有效容积约为 443.92m³，每小时换气约为 5.74 次，能满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）“放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h。”的要求。

11.2.1.12 医用直线加速器机房安全联锁系统

该项目医用直线加速器机房拟在下述地方设置紧急按钮开关：控制室内的操作盒上、治疗床前侧、固定机座两侧、机房内墙壁上、设备室内的高压脉冲调制器门上、入口门内旁侧。同时，对防护门设置防挤压装置。

当遇到任何紧急情况需要立即停止辐照，只要按动以上开关中的任何一个，除控制库和真空电源外的大部分高、低压供电同时被切断，照射立即结束。所有应急按钮开关均设有自锁机构，按下后不会自动恢复，必须释放应急按钮开关后才能恢复供电进入正常工作状态。

防护门和医用直线加速器实现门机联锁控制。防护门装有常开式开关，用于确保加速器运行时防护门始终处于关闭状态。防护门处于开启状态，加速器无法启动；加速器运行时，防护门意外打开，设备自动停机。

所有紧急按钮开关和防护门均设双路供电系统，在停电状态下由医院应急电源供电，以确保在停电状态下能正常开启防护门。

综上所述，该项目医用直线加速器机房屏蔽墙效果良好，配置了完善的安全联锁装置，对周围环境影响较小。

11.2.2 后装机

此评价报告对后装机机房屏蔽效果的评述，依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中的计算模式和相关参数。

由《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）可知，后装治疗机主要考虑γ放射源产生的γ射线对墙和室顶的直接照射（初级辐射）及散射辐射在机房入口的照射。

11.2.2.1 后装机机房屏蔽设计

后装机机房位于医技楼负二层，采用密度为 2.35g/cm³ 混凝土浇筑。西侧为迷道，迷道内墙厚为 0.7m、外墙临直线加速器厚为 1.8m；四周墙体墙厚均为 0.7m，顶棚墙厚为 0.7m。拟安装铅当量 8mm 防护门。通风管道等穿墙管道均采用迷道式设计。

后装机机房设置在医技楼负二层，大楼无负三层，机房上方为地下停车场，东侧及南侧均为地下停车场，西侧为直线加速器机房，北侧为控制室及准备间。后装机机房设计结构及预测点位分布示意图详见图 11-4（预测点取墙体或者防护门外 0.3m 处）。

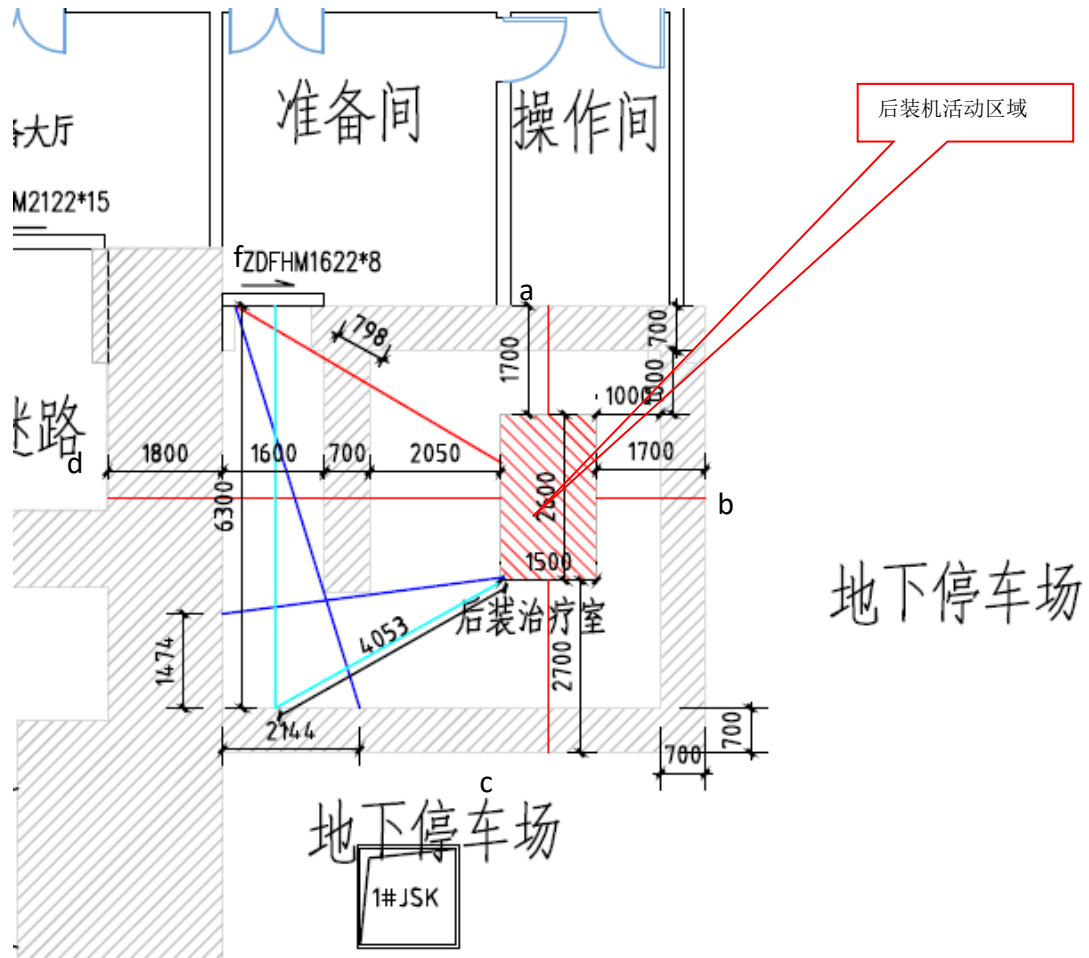


图 11-4 后装机机房屏蔽及预测点位设置平面示意图

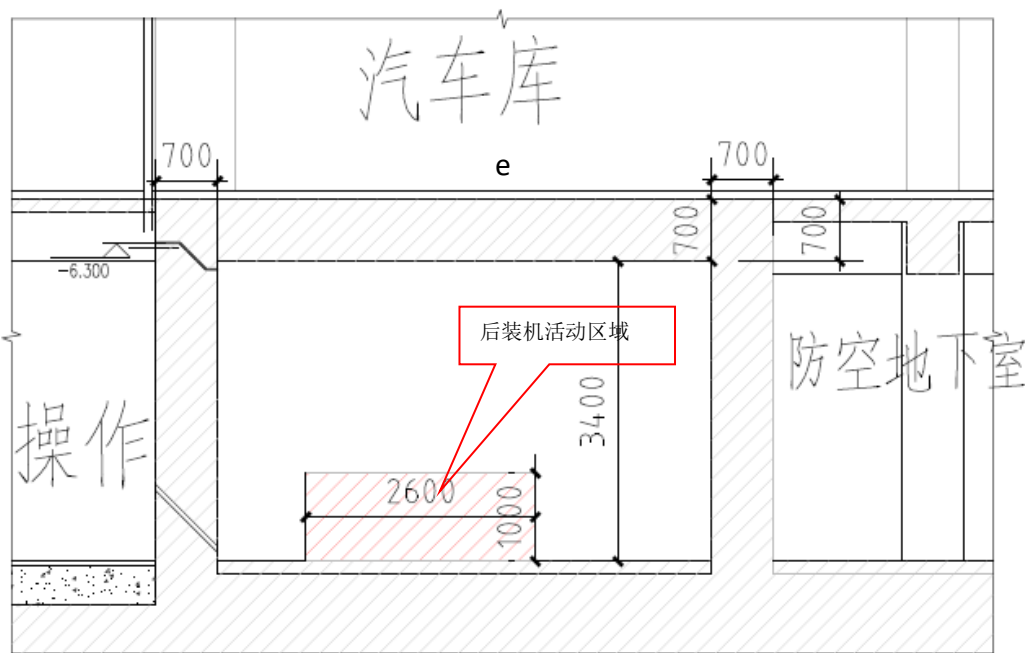


图 11-5 后装机机房屏蔽及预测点位设置立面示意图
摆位时医生与治疗头的距离平均约 1m，设为预测点 G。

11.2.2.2 周工作负荷 (W) 和周治疗时间 (t)

根据医院预测的诊疗需要，后装机投入使用后，预计平均每台每天接待治疗病人不超过 15 人次，每周工作 5 天，平均每人次的治照射时间为 6min，周治疗照射时间为 15 人次/天×5 天/周×6min=7.5h/周，年工作 50 周，则年治疗照射时间为 375h。

11.2.2.3 后装机机房外关注点剂量率控制水平

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T2 01.3-2014) 中 4.1.1、附录 A 及《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 中 6.14，关注点的周剂量参考控制水平为 H_c 时，该关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 如下：

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t U T) \dots \dots \dots \text{公式 (11-12)}$$

式中： H_c —周参考剂量控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)；

U —关注位置方向照射的使用因子；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子；

t —治疗装置周治疗照射时间，h。

表 11-13 预测目标点的导出剂量率参考控制水平及计算参数

目标点 位	与机房关系	Hc (μSv/周)	t (h)	U	T	Hc, d (μSv/h)	Hc, max (μSv/h)	Hc (μSv/h)
a	北墙外	100	7.5	1	1	13.33	2.5	2.5
b	东墙外	5	7.5	1	1/40	26.67	10	10
c	南墙外	5	7.5	1	1/40	26.67	10	10
d	西墙外	5	7.5	1	1/2	1.33	2.5	1.33
e	顶棚外	5	7.5	1	1/40	26.67	10	10
f	迷道入口	100	7.5	1	1/8	5.33	10	5.33

①初始射线辐射影响分析

初始射线所致屏蔽墙外剂量率计算公式：

$$\dot{H}_0 = A K_\gamma \dots \dots \text{式 (11-13)}$$

式中： \dot{H}_0 —活度为 A 的源在距其 1m 处的剂量率，μSv/h；

A—放射源的活度，MBq；

K_γ —放射源的空气比释动能率常数，μSv / (h MBq)。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots \dots \text{式 (11-13)}$$

式中： \dot{H} —预测点剂量率，μSv/h；

\dot{H}_0 —活度为 A 的源在距其 1m 处的剂量率，μSv/h；

f—对有用线束为 1；

R—辐射源至关注点的距离，m；

B—辐射屏蔽透射因子

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots \dots \text{式 (11-14)}$$

TVL_1 (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_1 时， $TVL_1 = TVL$ 。

初始射线辐射对后装机机房外环境的附加剂量率估算结果见表 11-14。

表 11-14 初始射线辐射对后装机机房外环境的附加剂量率估算结果

参考点	A(MBq)	K_γ (μSv / (h·MBq))	f	R (m)	X_e (mm)	TVL(mm)	B	\dot{H} (μSv/h)
a	3.70E+05	0.111	1	2	700	152	2.48E-05	2.55E-01
b	3.70E+05	0.111	1	2	700	152	2.48E-05	2.55E-01
c	3.70E+05	0.111	1	3	700	152	2.48E-05	1.13E-01
d	3.70E+05	0.111	1	6.45	2500	152	3.57E-17	3.52E-14
e	3.70E+05	0.111	1	3.4	700	152	2.48E-05	8.82E-02

f	3.70E+05	0.111	1	5.12	8mm 铅 +798mm 混凝土	铅: 16 混 凝土: 152	1.78E-06	2.79E-03
---	----------	-------	---	------	------------------------	--------------------	----------	----------

② 散射射线辐射影响分析

散射剂量率可按下式进行预测计算:

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_{\gamma} \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad \dots\dots \text{式 (11-15)}$$

式中: \dot{H} —预测点剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

A—放射源的活度, MBq;

K_{γ} —放射源的空气比释动能率常数, $\mu\text{Sv} / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。

S_w —迷路内口墙的散射面积, m^2 ;

α_w —散射体的散射因子;

R_1 —辐射源至散射体中心点的距离, m;

R_2 —散射体中心点至计算点的距离, m;

表 11-15 散射射线辐射对后装机机房外环境的附加剂量率估算结果

参考点	f
与机房关系	迷道口
A(MBq)	3.70E+05
$K_{\gamma} (\mu\text{Sv} / (\text{h} \cdot \text{MBq}))$	0.111
S_w	1.23E+01
α_w	3.39E-02
$R_1(\text{m})$	4.05
$R_2(\text{m})$	6.6
Xe(mm)	8
TVL	5
B	2.51E-02
$\dot{H} (\mu\text{Sv/h})$	6.02E-01

表 11-16 后装机机房外各关注点的剂量率情况统计表

目标点位	与机房关系	剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	预测剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	达标性
a	北墙外	2.50	2.55E-01	达标
b	东墙外	10.00	2.55E-01	达标
c	南墙外	10.00	1.13E-01	达标
d	西墙外	1.33	3.52E-14	达标
e	顶棚外	10.00	8.82E-02	达标
f	迷道入口	5.33	6.05E-01	达标

因此, 后装机机房周围各关注点处的最大 X- γ 空气辐射剂量率为 $6.05 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$,

后装机机房墙体及防护门外的辐射剂量率值满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的相关要求。

② 贮源状态下辐射影响分析

由《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262-2017）可知，离贮源器表面 100cm 处的泄漏辐射所致周围剂量当量率小于 $5 \mu\text{Sv/h}$ ，后装治疗机贮源状态下机房外各目标点的辐射剂量率水平，见表 11-17 和表 11-18。

表 11-17 后装治疗机贮源状态下机房周边辐射剂量率计算结果

参考点	贮源器表面 100cm 周围剂量当量率小于 ($\mu\text{Sv/h}$)	f	R (m)	Xe (mm)	TVL(mm)	B	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
a	5	1	2	700	152	2.48E-05	1.24E-04
b	5	1	2	700	152	2.48E-05	1.24E-04
c	5	1	3	700	152	2.48E-05	3.10E-05
d	5	1	6.45	2500	152	3.57E-17	6.01E-18
e	5	1	3.4	700	152	2.48E-05	2.15E-05
f	5	1	5.12	8mm 铅+798m m 混凝土	铅: 16 混 凝土: 152	1.78E-06	5.24E-07

表 11-18 后装治疗机贮源状态下机房防护门外辐射剂量率计算结果

参考点	f
与机房关系	迷道口
贮源器表面 100cm 周围剂量当量率小于 ($\mu\text{Sv/h}$)	5
S_w	1.23E+01
α_w	3.39E-02
$R_1(m)$	4.05
$R_2(m)$	6.6
Xe(mm)	8
TVL	5
B	2.51E-02
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	1.29E-04

④ 附加有效剂量估算

按照《联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)-2000 年报告》附录 A，X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量按下列公式计算：

$$H = D \times t \times T \times 10^{-3} (mSv) \quad (11-16)$$

H: X- γ 射线外照射人均年有效剂量， mSv;

D: X- γ 射线附加剂量率， $\mu\text{Sv/h}$;

t: 射线装置年出束时间， h;

T: 人员居留因子, 无量纲。

为确定后装治疗机房屏蔽防护的有效性及其项目运行过程中对操作人员和公众产生的附加辐射剂量及其辐射环境影响, 对其进行附加辐射剂量估算评价。

由医院提供资料可知, 本项目后装治疗机的工作负荷: 每台后装治疗机每天治疗 15 人, 每周工作 5d, 每年工作 50 周, 最大装源活度下病人平均治疗时间为 6min, 则出束时间为 1.5h/天、7.5h/周、375h/年。工作人员在机房内摆位时间 2min/人, 则年摆位时间 250h。工作人员贮源状态下工作时间 6.5h/天、32.5h/周、1625h/年, 考虑到后装治疗机每周工作 5d, 不工作 2d, 则工作日公众成员贮源状态下时间为 22.5h/天、112.5h/周、5625h/年, 非工作日公众成员贮源状态下时间为 24h/天、48h/周、2400h/年。

由《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》(WS 262-2017) 可知, 距离贮源器表面 5cm 处的泄漏辐射所致周围剂量当量率小于 $50 \mu\text{Sv/h}$, 离贮源器表面 100cm 处的泄漏辐射所致周围剂量当量率小于 $5 \mu\text{Sv/h}$ 。医生摆位时, 保守考虑, 不考虑放射源活度随时间衰变的作用, 其周围剂量当量率保守取 $5 \mu\text{Sv/h}$ (100cm); 工作人员进出治疗室时, 按规定正确佩戴个人剂量计、个人剂量报警仪, 穿戴铅衣、铅帽等辐射防护用品。

表 11-19 放射工作人员和公众的年剂量估算结果

位置	工作状态	对象	辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	治疗时间 (h)	附加年有效剂量 H (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)	是否达标	
北墙外	运行	职业人员	2.55E-01	1	375	9.56E-02	1.35	5	达标
	未运行		1.24E-04	1	1625	2.02E-04			
	摆位医生		5	1	250	1.25			
东墙外	运行	公众	2.55E-01	1/40	375	2.39E-03	2.41E-03	0.1	达标
	未运行		1.24E-04	1/40	8025	2.49E-05			
南墙外	运行	公众	1.13E-01	1/40	375	1.06E-03	1.07E-03	0.1	达标
	未运行		3.10E-05	1/40	8025	6.22E-06			
西墙外	运行	公众	3.52E-14	1/2	375	6.61E-15	6.41E-15	0.1	达标
	未运行		6.01E-18	1/2	8025	2.41E-17			
顶棚外	运行	公众	8.82E-02	1/40	375	8.27E-04	8.31E-04	0.1	达标
	未运行		2.15E-05	1/40	8025	4.32E-06			
迷道入口	运行	公众	6.05E-01	1/8	375	2.84E-02	2.85E-02	0.1	达标
	未运行		3.75E-05	1/8	8025	1.30E-04			

由预测结果可知, 在正常工作状态下, 后装机机房的辐射工作人员年所受附加剂量最大值 1.35mSv/a , 低于本项目剂量约束值 (职业人员年有效剂量不超过 5mSv); 公众年所受附加剂量最大为 $2.85 \times 10^{-2}\text{mSv/a}$, 低于本项目剂量约束值 (公众年有效剂量不超过 0.1mSv), 均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中关于“剂量限值”的要求。

11.2.2.4 大气环境影响分析

后装机机房内的空气受到 γ 射线照射会产生少量的臭氧和氮氧化物，若在机房内聚集，对机房的人员和设施均具有一定的危害。医院拟为后装机机房提供风机额定通风量 $850\text{m}^3/\text{h}$ 排风机（风机通风效率不小于85%），直线加速器机房面积为 36.49m^2 （含迷道），有效容积约为 124.06m^3 ，每小时换气约为5.82次，能满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）“放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于4次/h。”的要求，对周围环境影响较小。

11.2.2.5 加速器及后装机剂量估算叠加

因两个机房靠近，直线加速器m点与后装机e点需考虑两个设备叠加影响，其他点位考虑到射线斜穿墙体的厚度屏蔽以及距离的衰减，最终计算会有数量级的相差，因此可以不进行考虑。

表 11-20 本项目辐射工作人员和公众的年剂量叠加估算结果

序号	直线加速器预测点位		后装机预测点位		年有效总剂量
	点位	年有效剂量	点位	年有效剂量	
1	C	1.56E-03	e	8.31E-04	2.39E-03

11.2.2.6 放射源安全管理

该项目后装机使用的铯-192为III类密封源，存在密封源失控的潜在危险。医院应建立放射源台帐，强化了安全保卫措施，防止放射源丢失。设备定期更换的铯-192放射源拟由生产厂家委托有放射性物质运输资质的单位负责将铯-192运至医院，并委派安装调试人员前往医院负责安装调试，废源也将由生产厂家负责回收。

11.2.3 核医学项目

11.2.3.1 射线装置机房辐射防护屏蔽分析

由表 10-5 可知，射线装置机房使用面积及单边长度均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

11.2.3.1.1 机房防护能力类比分析

11.2.3.1.2 CT 定位机、PET-CT（CT 部分）、SPECT/CT（CT 部分）机房类比可行性分析

（1）类比可行性分析

根据医院采购计划，CT 定位机房、PET/CT（CT 部分）及 SPECT/CT（CT 部分）最大管电压不超过 140kV，最大管电流不超过 800mA，为了全面了解设备运行后对周围

环境及人员影响的范围和程度，本评价采用南昌大学第一附属医院已环评且履行了竣工验收监测的 Somatom Definition As 型 128 层螺旋 CT 机的例行监测数据进行类比。CT 类比条件见表 11-21。

表 11-21 类比项目一览表

基本情况	PET-CT 机房	SPECT-CT 机房	CT 定位机房	类比对象 CT 机房	类比情况
设备型号	待定	待定	待定	Somatom Definition As	/
最大管电压	140kV	140kV	140kV	140kV	一致
最大管电流	800mA	800mA	800mA	800mA	一致
机房净面积	52.54m ² (7.40m×7.10m)	57.94m ² (7.83m×7.40m)	45.05 m ² (5.61m×8.03m)	40.1m ² (7.36m×5.46m)	优于类比
四面墙体	370mm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡涂料	370mm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡涂料	370mm 实心砖并涂刷 1mmPb 硫酸钡防护涂层	370mm 实心砖 +1mmPb 硫酸钡防护涂层	优于类比
顶棚	150mm 混凝土 +4mmPb 硫酸钡防护涂层	150mm 混凝土 +4mmPb 硫酸钡防护涂层	150mm 现浇混凝土并 涂刷 2mmPb 硫酸钡防护涂层	300mm 混凝土	优于类比
地面	地下无建筑	地下无建筑	地下无建筑	300mm 混凝土	优于类比
观察窗	12mmPb 铅玻璃	6mmPb 铅玻璃	4mmPb	4mmPb	优于类比
防护门	12mmPb 铅防护门	6mmPb 铅防护门	4mmPb	4mmPb	优于类比

注：①根据建设单位提供的信息，使用的实心砖密度 $\geq 1.65\text{g/cm}^3$ 、混凝土密度 $\geq 2.35\text{g/cm}^3$ 。

由类比条件一览表可知，本项目设备最大管电压、最大管电流不小于类比对象，本项目机房防护门及观察窗等屏蔽物质铅当量厚度优于类比对象，机房四周墙体、顶棚厚度、地面厚度、机房面积均优于类比对象。本项目类比南昌大学第一附属医院已环评且履行了竣工验收监测的 Somatom Definition As 型 128 层螺旋 CT 机的例行监测数据是可行的。

(2) 类比监测结果

类比监测结果见表 11-22，类比监测报告见附件 10。

表 11-22 CT 机房类比监测结果表

检测位置		主射线朝向	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	检测位置		主射线朝向	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
观察窗	上	纵向旋转	0.15	机房大门	上	纵向旋转	0.49
	中		0.15		中		0.51
	下		0.16		下		0.63*
	左		0.16		左		0.36

	右		0.15		右		0.38
机房小门	上	纵向旋转	0.32	墙	东	纵向旋转	0.16
	中		0.33		南		0.17
	下		0.34		西		0.18
	左		0.36*		北		0.19
	右		0.32		楼上（胃肠机操作室）		0.16
	-		-		-		楼下（职工停车场）
检测条件：120kV，200mA，出束时间 5.6s。本底值 0.12~0.15μSv/h。							

注：1) 监测结果未扣除本底值。

由表 11-25 类比监测结果可知，类比 CT 在正常使用件下，机房周边各点的周围剂量当量率监测结果在（0.15~0.63）μSv/h 之间，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求，即满足 CT 机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5 μSv/h 的要求。检测结果可见，机房四周剂量率均处于较低水平，说明机房经过相应的屏蔽后辐射泄漏很小，机房屏蔽效果良好。可以认为类比的 CT 项目的监测结果基本反映了本项目运行后的实际辐射环境影响，因此可以推测本项目 CT 定位机、PET-CT 及 SPECT-CT 正常运行后对机房四周的辐射环境影响较小，医院 CT 定位机、PET-CT 机房及 SPECT-CT 机房屏蔽设计能够满足相应辐射防护标准的要求。

因此，通过类比结果可预测本项目使用的 CT，只要按有关辐射防护规定，认真做好机房构筑墙体和防护门的辐射防护设计，落实好有关辐射防护措施，投入使用后对环境产生辐射污染影响很小。

（4）工作人员和公众年有效剂量评价

按照《联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)-2000 年报告》附录 A，X-γ 射线产生的外照射人均年有效剂量按下列公式计算：

$$H = D \times t \times T \times 10^{-3} (mSv) \quad \text{式 (11-17)}$$

H: X-γ 射线外照射人均年有效剂量， mSv；

D: X-γ 射线附加剂量率， μSv/h；

t: 射线装置年出束时间， h；

T: 人员居留因子，无量纲，本项目取 1/2。

根据医院提供的资料，本项目核医学科射线装置投入使用后，预计年进行 CT 扫描状态下 750 台，CT 每人每次平均 0.5min 计，CT 辐射工作人员受照时间为 62.5h。

CT 定位机投入使用后预计平均每天病人量为 100 人，每周工作 5d，每年工作 50

周。每次出束时间为 30s，则 CT 定位机出束时间为 0.83h/天，4.17h/周，208.33h/年

本项目 SPECT/CT 机房及 PET/CT 机房部分区域为 2 个机房公共区域，该公共区域采取 2 倍附加剂量计算，本项目公众人员取保守计算，居留因子取 1。

周围剂量当量率采用类比监测数据（南昌大学第一附属医院现有 Somatom Definition As 型 128 层螺旋 CT，详见上表 11-22）。

表 11-23 本项目Ⅲ类医用 X 射线装置机房周围工作人员和公众人员受照剂量估算

对象			最大辐射剂量率 (μSv/h)	辐射剂量本底值 (μSv/h)	附加辐射剂量率 (μSv/h)	年曝光时间 (h)	居留因子	最大年有效剂量当量值 (mSv)
PET/CT	操作室工作人员	CT	0.36	0.12	0.24*2	62.5	1/2	7.50E-03
	公众成员	CT	0.63	0.12	0.51*2	62.5	1/2	1.59E-02
SPECT/CT	操作室工作人员	CT	0.36	0.12	0.24*2	62.5	1/2	7.50E-03
	公众成员	CT	0.63	0.12	0.51*2	62.5	1/2	1.59E-02
CT 定位	操作室工作人员	CT	0.36	0.12	0.24*2	208.33	1/2	2.50E-02
	公众成员	CT	0.63	0.12	0.51*2	208.33	1/2	5.31E-02

由表 11-23 估算结果可知，本项目核医学科 PET/CT 及 SPECT/CT 在 CT 扫描状态下机房周围工作人员最大附加年受照剂量为 1.59E-02mSv/a，公众人员年最大附加受照剂量为 7.50E-03mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中工作人员和公众的照射剂量限值 20mSv/a 和 1mSv/a 的要求，也低于剂量约束值 5mSv/a 和 0.1mSv/a 的要求；本项目放疗科 CT 定位机在 CT 扫描状态下机房周围工作人员最大附加年受照剂量为 2.50E-02mSv/a，公众人员年最大附加受照剂量为 5.31E-02mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中工作人员和公众的照射剂量限值 20mSv/a 和 1mSv/a 的要求，也低于剂量约束值 5mSv/a 和 0.1mSv/a 的要求。

11.2.3.2 非密封放射性物质工作场所

11.2.3.2.1 核医学辐射工作场所 γ 辐射防护屏蔽分析

本项目拟使用放射性核素相关参数见表 11-24。

表 11-24 拟使用放射性核素的用量及相关参数

项目	核素	周围剂量当量率常数 (μSv·m ² ·h ⁻¹ /MBq)	主要射线能量 (MeV)	最大用量 (Bq/次)
PET-CT 和 PET-MR	¹⁸ F	注射前: 0.143	γ: 0.511	3.7×10 ⁸
		患者体内: 0.092	γ: 0.511	3.7×10 ⁸
SPECT-CT	^{99m} Tc	注射前: 0.030	γ: 0.140	9.25×10 ⁸
		患者体内: 0.0207		
	¹³¹ I	注射前: 0.0595	γ: 0.365	1.11×10 ⁸
患者体内: 0.0583				
核素治疗	¹³¹ I	注射前: 0.0595	γ: 0.365	7.4×10 ⁹

(1) 计算公式

按照《放射防护使用手册》（赵兰才，张丹枫）等资料计算公式：

$$H_R = A \times f \times R^{-2} \times 10^{-x/TVL} \quad \text{式 (11-18)}$$

公式中：

H_R — 经屏蔽材料屏蔽后，关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A — 药物的放射性活度， MBq ；

f — 核素的有效剂量率常数；

R — 关注点距辐射源距离， m ；

x — 拟采用的屏蔽厚度， mm ；

TVL — γ 射线在相应屏蔽材料中的什值层， mm 。

(2) 计算参数

①核医学科核实用量

PET 显像检查使用核素的活度(A_0)： PET 检查室相关计算按单个患者的 ^{18}F 最大用量取 370MBq /人考虑；PET 注射后等候室按同时 2 名患者候诊，PET 显像后留观室按同时 2 名患者留观计算。

SPECT 显像检查使用核素的活度(A_0)： SPECT-CT 检查室相关计算按单个患者的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 最大服药量 925MBq /人考虑； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 检查休息室按 2 个受检者计算。

核素治疗病房甲癌使用核素的活度(A_0)：核素治疗病房相关计算按照单位患者的 ^{131}I 最大服药量 7400MBq ，核素治疗区走廊和配餐窗口按 1 名 ^{131}I 甲癌患者计算。

核素治疗病房甲亢使用核素的活度(A_0)：核素治疗病房相关计算按照单位患者的 ^{131}I 最大服药量 370MBq ，走廊和留观室按 5 名 ^{131}I 甲亢患者计算。

③ 工作人员及公众人员受照时间

注射护士：由注射护士轮流手持内含药物的 8mmPb 针筒为受检者注射，距离药物约 0.3m ，每位受检者完成注射约需 20s ；

受检者：注射后的受检者在注射后候诊区等候约 45min ，再进入扫描间进行显像扫描，经与医院核实 PET 扫描约 20min ，在扫描后留观室约 30min 后离开。

摆位工作人员：由 1 名工作人员进入扫描间指导摆位时，穿戴 0.5mmPb 的铅衣、铅围脖、铅帽等防护用品，距离受检者约 0.5m ，每位受检者摆位时间一般不超过 30s 。

扫描前候诊室受检者药品活度为 $A=10\text{mCi}=370\text{MBq}$

参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）可取得各种材料的什值层厚度，本次预估各屏蔽材料的什值层取值如表 11-25。

表 11-25 屏蔽材料的什值层厚度取值（mm）

核素	TVL（mm）		
	铅（密度 11.4g/cm^3 ）	砖（密度 1.6g/cm^3 ）	混凝土（密度 2.35g/cm^3 ）
^{18}F	16.6	263	176
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	160	110
^{131}I	11	240	170

按公式 11-19 分别核算控制区墙外、门外、窗外及顶上或各典型关注点处 γ 射线的周围剂量当量率，本项目实际是存在 SPECT 显像和 PET 显像药物同时注射情况，核医学部分区域应该考虑叠加影响，故考虑最大化，应叠加计算。辐射水平估算见表 11-26~表 11-28。

表 11-26 关注点处辐射水平估算结果一览表

工作场所名称	位置	设计屏蔽材料厚度	源类型	活度 (MBq)	Γ ($\mu\text{Sv m}^2/\text{MBqh}$)	源到关注点距离 (m)	x (mm)			TVL (mm)			B	Hp ($\mu\text{Sv/h}$)
							铅	混凝土	砖	铅	混凝土	砖		
分装室 (核素显像区)	东墙外 30cm	370 砖+60 铅	^{18}F	370	0.143	1.5	24		370	16.6	176	263	1.40E-03	3.30E-02
	南墙外 30cm	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层+20mmPb 注射器防护套		370	0.143	1.5	24		370	16.6	176	263	1.40E-03	3.30E-02
	西墙外 30cm			370	0.143	1.5	24		370	16.6	176	263	1.40E-03	3.30E-02
	北墙外 30cm			370	0.143	1.5	24		370	16.6	176	263	1.40E-03	3.30E-02
	顶棚			370	0.143	3.25	24	150		16.6	176	263	5.03E-03	2.52E-02
	东防护门外 30cm	8mmPb +20mmPb 注射器防护套		370	0.143	1.5	28			16.6	176	263	2.06E-02	4.84E-01
	北防护门外 30cm	8mmPb +20mmPb 注射器防护套		370	0.143	1.5	28			16.6	176	263	2.06E-02	4.84E-01
	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层+20mmPb 注射器防护套	$^{99}\text{Tc}^m$	925	0.0303	1.5	24		370	1	110	160	4.87E-27	6.07E-26
	南墙外 30cm			925	0.0303	1.5	24		370	1	110	160	4.87E-27	6.07E-26
	西墙外 30cm			925	0.0303	1.5	24		370	1	110	160	4.87E-27	6.07E-26
	北墙外 30cm			925	0.0303	1.5	24		370	1	110	160	4.87E-27	6.07E-26
	顶棚	150mm 砼+ 40mm 硫酸钡防护涂层+20mmPb 注射器防护套		925	0.0303	3.25	24	150		1	110	160	4.33E-26	1.15E-25
	东防护门外 30cm	8mmPb +20mmPb 注射器防护套		925	0.0303	1.5	28			1	110	160	1.00E-28	1.25E-27
	北防护门外 30cm	8mmPb+20mmPb 注射器防护套		925	0.0303	1.5	28			1	110	160	1.00E-28	1.25E-27
SPECT/ CT 注射间	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	$^{99}\text{Tc}^m$	925	0.0303	1.5	4		370	1	110	160	4.87E-07	6.07E-06
	南墙外 30cm			925	0.0303	1.5	4		370	1	110	160	4.87E-07	6.07E-06
	西墙外 30cm			925	0.0303	1.5	4		370	1	110	160	4.87E-07	6.07E-06
	北墙外 30cm			925	0.0303	1.5	4		370	1	110	160	4.87E-07	6.07E-06
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		925	0.0303	3.25	4	150		1	110	160	4.33E-06	1.15E-05
	防护门	6mmPb		925	0.0303	1.5	6			1	110	160	1.00E-06	1.25E-05
	注射台($^{99}\text{Tc}^m$)	20mmPb		925	0.0303	0.3	20			1	110	160	1.00E-20	3.11E-18
PET/CT 注射间	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	^{18}F	370	0.143	1.5	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	5.29E-01
	南墙外 30cm			370	0.143	1.5	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	5.29E-01
	西墙外 30cm			370	0.143	1.5	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	5.29E-01
	北墙外 30cm			370	0.143	1.5	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	5.29E-01
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		370	0.143	3.25	4	150		16.6	176	263	8.07E-02	4.04E-01

	防护门	8mmPb		370	0.143	1.5	8			16.6	176	263	3.30E-01	7.75E+00	
	注射台(¹⁸ F)	50mmPb		370	0.143	0.3	50			16.6	176	263	9.73E-04	5.72E-01	
患者走廊(核素显像检查区走廊)	南墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	¹⁸ F	370	0.092	1.5	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	3.40E-01	
	北墙外 30cm			370	0.092	1.5	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	3.40E-01	
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		370	0.092	3.25	4	150		16.6	176	263	8.07E-02	2.60E-01	
	核素显像入口防护门(西)	8mmPb		370	0.092	7	8			16.6	176	263	3.30E-01	2.29E-01	
	核素显像出口防护门(北)	15mmPb		370	0.092	6.5	15			16.6	176	263	1.25E-01	1.01E-01	
	核素显像防护门(南)	15mmPb		370	0.092	1.5	15			16.6	176	263	1.25E-01	1.89E+00	
	南墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层		^{99m} Tc	925	0.0207	1.5	4		370	1	110	160	4.87E-07	4.14E-06
	北墙外 30cm		925		0.0207	1.5	4		370	1	110	160	4.87E-07	4.14E-06	
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层	925		0.0207	3.25	4	150		1	110	160	4.33E-06	7.85E-06	
	核素显像入口防护门(西)	8mmPb	925		0.0207	3.4	8			1	110	160	1.00E-08	1.66E-08	
	核素显像出口防护门(北)	15mmPb	925		0.0207	1	15			1	110	160	1.00E-15	1.91E-14	
	核素显像防护门(南)	15mmPb	925		0.0207	1.5	15			1	110	160	1.00E-15	8.51E-15	
	南墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I		370	0.0583	1.5	4		370	11	170	240	1.24E-02	1.19E-01
	北墙外 30cm			370	0.0583	1.5	4		37	11	170	240	3.04E-01	2.91E+00	
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		370	0.0583	3.25	4	150		11	170	240	5.68E-02	1.16E-01	
	核素显像入口防护门(西)	8mmPb		370	0.0583	1.5	15			11	170	240	1.87E-01	1.79 E-00	
	核素显像出口防护门(北)	15mmPb		370	0.0583	1	15			11	170	240	4.33E-02	9.34E-01	
	核素显像防护门(南)	15mmPb		370	0.0583	1.5	15			11	170	240	4.33E-02	4.15E-01	
	SPECT/CT注射后候诊室1(2人同时候诊)	东墙外 30cm		370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	^{99m} Tc	1850	0.0207	1.5	4		370	1	110	160	4.87E-07
		南墙外 30cm	1850			0.0207	1.5	4		370	1	110	160	4.87E-07	8.29E-06
		西墙外 30cm	1850			0.0207	1.5	4		370	1	110	160	4.87E-07	8.29E-06
北墙外 30cm		1850	0.0207			1.5	4		370	1	110	160	4.87E-07	8.29E-06	
顶棚		150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层	1850	0.0207		3.25	4	150		1	110	160	4.33E-06	1.57E-05	
防护门		6mmPb	1850	0.0207		1.5	6			1	110	160	1.00E-06	1.70E-05	
SPECT/CT注射	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	^{99m} Tc	1850	0.0207	1.5	40		370	1	110	160	4.87E-43	8.29E-42	
	南墙外 30cm			1850	0.0207	1.5	4		370	1	110	160	4.87E-07	8.29E-06	

后候诊室2(2人同时候诊)	西墙外 30cm	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层	1850	0.0207	1.5	4	150	370	1	110	160	4.87E-07	8.29E-06
	北墙外 30cm												
	顶棚												
	防护门												
PET/CT注射后候诊室1	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	1850	0.0207	1.5	4	150	370	1	110	160	4.87E-07	8.29E-06
	南墙外 30cm												
	西墙外 30cm												
	北墙外 30cm												
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层											
	防护门	12mmPb											
PET/CT注射后候诊室2	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	740	0.092	1.5	4	150	370	16.6	176	263	2.25E-02	6.81E-01
	南墙外 30cm												
	西墙外 30cm												
	北墙外 30cm												
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层											
	防护门	12mmPb											
运动负荷/抢救室	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	370	0.092	1.5	4	150	370	16.6	176	263	2.25E-02	3.40E-01
	南墙外 30cm												
	西墙外 30cm												
	北墙外 30cm												
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层											
	西防护门	8mmPb											
	南防护门	8mmPb											
运动负荷/抢救室	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	925	0.0207	1.5	4	150	370	1	110	160	4.87E-07	4.14E-06
	南墙外 30cm												
	西墙外 30cm												
	北墙外 30cm												
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层											
	西防护门	8mmPb											
	南防护门	8mmPb											

SPECT/ CT 扫描室	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂 层	^{99m} Tc	925	0.0207	4.6	40		370	1	110	160	4.87E-43	4.41E-43	
	南墙外 30cm			925	0.0207	4.5	4		370	1	110	160	4.87E-07	4.60E-07	
	西墙外 30cm			925	0.0207	4.6	4		370	1	110	160	4.87E-07	4.41E-07	
	北墙外 30cm			925	0.0207	4.5	4		370	1	110	160	4.87E-07	4.60E-07	
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		925	0.0207	3.25	4	150		1	110	160	4.33E-06	7.85E-06	
	铅玻璃观察窗	6mmPb		925	0.0207	4.5	6			1	110	160	1.00E-06	9.46E-07	
	工作人员防护门	6mmPb		925	0.0207	4.5	6			1	110	160	1.00E-06	9.46E-07	
	受检者防护门	6mmPb		925	0.0207	4.5	6			1	110	160	1.00E-06	9.46E-07	
	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂 层		¹³¹ I	185	0.0583	4.6	4		370	11	170	240	1.24E-02	6.34E-03
	南墙外 30cm				185	0.0583	4.5	4		370	11	170	240	1.24E-02	6.62E-03
	西墙外 30cm				185	0.0583	4.6	4		370	11	170	240	1.24E-02	6.34E-03
	北墙外 30cm				185	0.0583	4.5	4		370	11	170	240	1.24E-02	6.62E-03
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护			185	0.0583	3.25	4	150		11	170	240	5.68E-02	5.80E-02
	铅玻璃观察窗	6mmPb			185	0.0583	4.5	6			11	170	240	2.85E-01	1.52E-01
	工作人员防护门	6mmPb			185	0.0583	4.5	6			11	170	240	2.85E-01	1.52E-01
	受检者防护门	6mmPb			185	0.0583	4.5	6			11	170	240	2.85E-01	1.52E-01
PET/CT 扫描室	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂 层	¹⁸ F		370	0.03	4.6	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	1.18E-02
	南墙外 30cm				370	0.03	4.2	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	1.42E-02
	西墙外 30cm				370	0.03	4.6	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	1.18E-02
	北墙外 30cm				370	0.03	4.2	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	1.42E-02
	顶棚	150mm 砼+40mmPb 硫酸钡防护涂层			370	0.03	3.25	4	150		16.6	176	263	8.07E-02	8.48E-02
	铅玻璃观察窗	12mmPb			370	0.03	4.2	12			16.6	176	263	1.89E-01	1.19E-01
	工作人员防护门	12mmPb			370	0.03	4.2	12			16.6	176	263	1.89E-01	1.19E-01
	受检者防护门	12mmPb			370	0.03	4.2	12			16.6	176	263	1.89E-01	1.19E-01
PET/MR I 扫描室	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂 层	¹⁸ F	370	0.092	4.3	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	4.14E-02	
	南墙外 30cm			370	0.092	4.2	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	4.34E-02	
	西墙外 30cm			370	0.092	4.3	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	4.14E-02	
	北墙外 30cm			370	0.092	4.2	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	4.34E-02	
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		370	0.092	3.25	4	150		16.6	176	263	8.07E-02	2.60E-01	
	铅玻璃观察窗	12mmPb		370	0.092	4.2	12			16.6	176	263	1.89E-01	3.65E-01	

	工作人员防护门	12mmPb		370	0.092	4.2	12			16.6	176	263	1.89E-01	3.65E-01
	受检者防护门	12mmPb		370	0.092	4.2	12			16.6	176	263	1.89E-01	3.65E-01
PET/MRI 缓冲区	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	¹⁸ F	370	0.092	2.4	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	1.33E-01
	南墙外 30cm			370	0.092	4.2	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	4.34E-02
	西墙外 30cm			370	0.092	2.4	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	1.33E-01
	北墙外 30cm			370	0.092	4.2	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	4.34E-02
	顶棚	150mm 砼+40mmPb 硫酸钡防护涂层		370	0.092	3.25	4	150		16.6	176	263	8.07E-02	2.60E-01
	北防护门	12mmPb		370	0.092	4.2	12			16.6	176	263	1.89E-01	3.65E-01
	西防护门	12mmPb		370	0.092	2.4	12			16.6	176	263	1.89E-01	1.12E+00
	南防护门	12mmPb		370	0.092	4.2	12			16.6	176	263	1.89E-01	3.65E-01
留观室 2	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	^{99m} Tc	1850	0.0207	1.5	4		370	1	110	160	4.87E-07	8.29E-06
	南墙外 30cm			1850	0.0207	1.5	4		370	1	110	160	4.87E-07	8.29E-06
	西墙外 30cm			1850	0.0207	1.5	4		370	1	110	160	4.87E-07	8.29E-06
	北墙外 30cm			1850	0.0207	1.5	4		370	1	110	160	4.87E-07	8.29E-06
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		1850	0.0207	3.25	4	150		1	110	160	4.33E-06	1.57E-05
	防护门	6mmPb		1850	0.0207	1.5	6			1	110	160	1.00E-06	1.70E-05
留观室 1	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	¹⁸ F	740	0.092	1.5	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	6.81E-01
	南墙外 30cm			740	0.092	1.5	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	6.81E-01
	西墙外 30cm			740	0.092	1.5	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	6.81E-01
	北墙外 30cm			740	0.092	1.5	4		370	16.6	176	263	2.25E-02	6.81E-01
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		740	0.092	3.25	4	150		16.6	176	263	8.07E-02	5.20E-01
	防护门	12mmPb		740	0.092	1.5	12			16.6	176	263	1.89E-01	5.73E+00
分装室 (核素 治疗区)	东墙外 30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	7400	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.57E+00
	南墙外 30cm			7400	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.57E+00
	西墙外 30cm			7400	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.57E+00
	北墙外 30cm			7400	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.57E+00
	顶棚	150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层		7400	0.0583	3.25	8	150		11	170	240	2.46E-02	1.00E+00
	防护门	16mmPb		7400	0.0583	1.5	16			11	170	240	3.51E-02	6.73E+00
留观室 (甲亢)	东墙外 30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	1850	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	3.92E-01
	南墙外 30cm			1850	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	3.92E-01

区域)	西墙外 30cm			1850	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	3.92E-01	
	北墙外 30cm			1850	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	3.92E-01	
	顶棚			150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层	1850	0.0583	3.25	8	150		11	170	240	2.46E-02	2.51E-01
	防护门			16mmPb	1850	0.0583	1.5	16			11	170	240	3.51E-02	1.68E+00
吸碘室	东墙外 30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	1850	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	3.92E-01	
	南墙外 30cm			1850	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	3.92E-01	
	西墙外 30cm			1850	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	3.92E-01	
	北墙外 30cm			1850	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	3.92E-01	
	顶棚			150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层	1850	0.0583	3.25	8	150		11	170	240	2.46E-02	2.51E-01
	防护门			16mmPb	1850	0.0583	1.5	16			11	170	240	3.51E-02	1.68E+00
服碘室	东墙外 30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	7400	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.57E+00	
	南墙外 30cm			7400	0.0583	1	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.57E+00	
	西墙外 30cm			7400	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.57E+00	
	北墙外 30cm			7400	0.0583	2	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.57E+00	
	顶棚			150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层	7400	0.0583	3.25	8	150		11	170	240	2.46E-02	1.00E+00
	防护门			16mmPb	7400	0.0583	2	16			11	170	240	3.51E-02	6.73E+00
甲亢走廊	东墙外 30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	1850	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	3.92E-01	
	西墙外 30cm			1850	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	3.92E-01	
	顶棚			150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层	1850	0.0583	3.25	8	150		11	170	240	2.46E-02	2.51E-01
	防护门(进口)			22mmPb	1850	0.0583	1.5	22			11	170	240	1.00E-02	4.79E-01
	防护门(出口)			10mmPb	400	0.0583	1.5	10			11	170	240	1.23E-01	3.19E-01
甲癌走廊	南	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	7400	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.57E+00	
	北			7400	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.57E+00	
	顶棚			150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层	7400	0.0583	3.25	8	150		11	170	240	2.46E-02	1.00E+00
	防护门(进口)	22mmPb	7400	0.0583	1.5	22			11	170	240	1.00E-02	1.92E+00		
	防护门(出口)	10mmPb	¹³¹ I	400	0.0583	1.5	10			11	170	240	1.23E-01	1.28E+00	
核素病房 1	东墙外 30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	7400	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.57E+00	
	南墙外 30cm			7400	0.0583	3.4	6		370	11	170	240	8.18E-03	3.05E-01	
	西墙外 30cm			7400	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.57E+00	
	北墙外 30cm			7400	0.0583	5.4	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.21E-01	

	顶棚	150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层		7400	0.0583	3.25	8	150		11	170	240	2.46E-02	1.00E+00
	北防护门	8mmPb		7400	0.0583	5.4	8			11	170	240	1.87E-01	2.77E+00
	南防护窗	16mmPb		7400	0.0583	3.4	16			11	170	240	3.51E-02	1.31E+00
核素病房 2	东墙外 30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	7400	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.57E+00
	南墙外 30cm			7400	0.0583	3.4	6		370	11	170	240	8.18E-03	3.05E-01
	西墙外 30cm			7400	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.57E+00
	北墙外 30cm			7400	0.0583	5.4	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.21E-01
	顶棚	150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层		7400	0.0583	3.25	8	150		11	170	240	2.46E-02	1.00E+00
	北防护门	8mmPb		7400	0.0583	5.4	8			11	170	240	1.87E-01	2.77E+00
	南防护窗	16mmPb		7400	0.0583	3.4	16			11	170	240	3.51E-02	1.31E+00
核素病房 3	东墙外 30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	7400	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.57E+00
	南墙外 30cm			7400	0.0583	3.4	6		370	11	170	240	8.18E-03	3.05E-01
	西墙外 30cm			7400	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.57E+00
	北墙外 30cm			7400	0.0583	5.4	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.21E-01
	顶棚	150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层		7400	0.0583	3.25	8	150		11	170	240	2.46E-02	1.00E+00
	北防护门	8mmPb		7400	0.0583	5.4	8			11	170	240	1.87E-01	2.77E+00
	南防护窗	16mmPb		7400	0.0583	3.4	16			11	170	240	3.51E-02	1.31E+00
核素病房 4	东墙外 30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	7400	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.57E+00
	南墙外 30cm			7400	0.0583	3.4	6		370	11	170	240	8.18E-03	3.05E-01
	西墙外 30cm			7400	0.0583	1.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.57E+00
	北墙外 30cm			7400	0.0583	5.4	6		370	11	170	240	8.18E-03	1.21E-01
	顶棚	150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层		7400	0.0583	3.25	8	150		11	170	240	2.46E-02	1.00E+00
	北防护门	8mmPb		7400	0.0583	5.4	8			11	170	240	1.87E-01	2.77E+00
	南防护窗	16mmPb		7400	0.0583	3.4	16			11	170	240	3.51E-02	1.31E+00
甲癌抢救室	东墙外 30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	7400	0.0583	2.4	6		370	11	170	240	8.18E-03	6.13E-01
	南墙外 30cm			7400	0.0583	3.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	2.88E-01
	西墙外 30cm			7400	0.0583	2.4	6		370	11	170	240	8.18E-03	6.13E-01
	北墙外 30cm			7400	0.0583	3.5	6		370	11	170	240	8.18E-03	2.88E-01
	顶棚	150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层		7400	0.0583	3.25	8	150		11	170	240	2.46E-02	1.00E+00
	北防护门	8mmPb		7400	0.0583	3.5	8			11	170	240	1.87E-01	6.60E+00

	西防护门	20mmPb		7400	0.0583	2.4	20			11	170	240	1.52E-02	1.14E+00
铅废物桶	^{99m} Tc	20mmpb 废物桶	^{99m} Tc	2.312	0.03	0.3	20		110		1	160	1.00E-20	7.71E-21
铅废物桶	¹³¹ I	20mmpb 废物桶	¹³¹ I	34.225	0.0595	0.3	20		170		11	240	1.52E-02	3.44E-01
铅废物桶	¹⁸ F	20mmpb 废物桶	¹⁸ F	11.1	0.092	0.3	20		176		16.6	263	6.24E-02	7.08E-01

表 11-27 核医学科相关区域剂量率叠加预测结果

辐射工作场所基本情况					剂量叠加情况					限值 (μ Sv/h)	达标情况
工作场所名称	位置	设计屏蔽材料厚度	源类型	剂量 (μ Sv/h)	工作场所名称	位置	源类型	剂量 (μ Sv/h)	叠加剂量 值 (μ Sv/h)		
分装室 (核素 显像区)	东墙外 30cm	370 砖+60 铅	¹⁸ F	3.30E-02	分装室 (核素 显像区)	东墙外 30cm	^{99m} Tc ^m	6.07E-26	3.30E-02	10	达标
	南墙外 30cm			3.30E-02		南墙外 30cm		6.07E-26	3.30E-02	10	达标
	西墙外 30cm			3.30E-02		西墙外 30cm		6.07E-26	3.30E-02	2.5	达标
	北墙外 30cm			3.30E-02		北墙外 30cm		6.07E-26	3.30E-02	2.5	达标
	顶棚			2.52E-02		顶棚		1.15E-25	2.52E-02	2.5	达标
	东防护门外 30cm	8mmPb +20mmPb 注射器防护套		4.84E-01		东防护门外 30cm		1.25E-27	4.84E-01	10	达标
	北防护门外 30cm	8mmPb +20mmPb 注射器防护套		4.84E-01		北防护门外 30cm		1.25E-27	4.84E-01	10	达标
	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层 +20mmPb 注射器防护套	^{99m} Tc	6.07E-26		东墙外 30cm	¹⁸ F	3.30E-02	3.30E-02	10	达标
	南墙外 30cm			6.07E-26		南墙外 30cm		3.30E-02	3.30E-02	10	达标
	西墙外 30cm			6.07E-26		西墙外 30cm		3.30E-02	3.30E-02	2.5	达标
	北墙外 30cm			6.07E-26		北墙外 30cm		3.30E-02	3.30E-02	2.5	达标
	顶棚			1.15E-25		顶棚		2.52E-02	2.52E-02	2.5	达标
	东防护门外 30cm	8mmPb +20mmPb 注射器防护套		1.25E-27		东防护门外 30cm		4.84E-01	4.84E-01	10	达标
	北防护门外 30cm	8mmPb+20mmPb 注射器防护套		1.25E-27		北防护门外 30cm		4.84E-01	4.84E-01	10	达标
SPECT/ CT 注射 间	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	^{99m} Tc	6.07E-06	PET/CT 注射间	东墙外 30cm	¹⁸ F	5.29E-01	5.29E-01	10	达标
	南墙外 30cm			6.07E-06		南墙外 30cm		5.29E-01	5.29E-01	10	达标
	西墙外 30cm			6.07E-06		西墙外 30cm		5.29E-01	5.29E-01	2.5	达标
	北墙外 30cm			6.07E-06		北墙外 30cm		5.29E-01	5.29E-01	10	达标
	顶棚			1.15E-05		顶棚		4.04E-01	4.04E-01	2.5	达标
	防护门	6mmPb	防护门	7.75E+00		7.75E+00	10	达标			
	注射台(^{99m} Tc ^m)	20mmPb	注射台(^{99m} Tc ^m)	5.72E-18		5.72E-01	10	达标			
PET/CT 注射间	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	¹⁸ F	5.29E-01	SPECT/C T 注射间	东墙外 30cm	^{99m} Tc ^m	6.07E-06	5.29E-01	10	达标
	南墙外 30cm			5.29E-01		南墙外 30cm		6.07E-06	5.29E-01	10	达标
	西墙外 30cm			5.29E-01		西墙外 30cm		6.07E-06	5.29E-01	2.5	达标
	北墙外 30cm			5.29E-01		北墙外 30cm		6.07E-06	5.29E-01	10	达标
	顶棚			4.04E-01		顶棚		1.15E-05	4.04E-01	2.5	达标
	防护门	8mmPb	防护门	7.75E+00		7.75E+00	10	达标			
	注射台(¹⁸ F)	50mmPb	注射台(¹⁸ F)	5.72E-01		3.11E-18	5.72E-01	10	达标		

患者走廊(核素显像检查区走廊)	南墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	^{18}F	3.40E-01	患者走廊(核素显像检查区走廊)	南墙外 30cm	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	4.14E-06	3.40E-01	2.5	达标	
	北墙外 30cm			3.40E-01		北墙外 30cm		4.14E-06	3.40E-01	10	达标	
	顶棚			150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		2.60E-01		顶棚	7.85E-06	2.60E-01	2.5	达标
	核素显像入口防护门(西)			8mmPb		2.29E-01		核素显像入口防护门(西)	1.66E-08	2.29E-01	2.5	达标
	核素显像出口防护门(北)			15mmPb		1.01E-01		核素显像出口防护门(北)	1.91E-14	1.01E-01	2.5	达标
	核素显像防护门(南)			15mmPb		1.89E+00		核素显像防护门(南)	8.51E-15	1.89E+00	2.5	达标
	南墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	4.14E-06		南墙外 30cm	^{18}F	3.40E-01	3.40E-01	2.5	达标	
	北墙外 30cm			4.14E-06		北墙外 30cm		3.40E-01	3.40E-01	10	达标	
	顶棚			150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		7.85E-06		顶棚	2.60E-01	2.60E-01	2.5	达标
	核素显像入口防护门(西)			8mmPb		1.66E-08		核素显像入口防护门(西)	2.29E-01	2.29E-01	2.5	达标
	核素显像出口防护门(北)			15mmPb		1.91E-14		核素显像出口防护门(北)	1.01E-01	1.01E-01	2.5	达标
	核素显像防护门(南)			15mmPb		8.51E-15		核素显像防护门(南)	1.89E+00	1.89E+00	2.5	达标
	南墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	^{131}I	1.19E-01		^{131}I 与以上核素错时使用, 无需考虑叠加情况						
	北墙外 30cm			2.91E+00								
	顶棚			150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层								
核素显像入口防护门(西)	8mmPb			1.79E-00								
核素显像出口防护门(北)	15mmPb			9.34E-01								
核素显像防护门(南)	15mmPb			4.15E-01	达标							
SPECT/CT 注射后候诊室 1 (2 人同时候诊)	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	8.29E-06	SPECT/CT 注射后候诊室 2 (2 人同时候诊)	东墙外 30cm	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	8.29E-42	8.29E-06	10	达标	
	南墙外 30cm			8.29E-06		南墙外 30cm		8.29E-06	1.66E-05	2.5	达标	
	西墙外 30cm			8.29E-06		西墙外 30cm		8.29E-06	1.66E-05	2.5		
	北墙外 30cm			8.29E-06		北墙外 30cm		8.29E-06	1.66E-05	10	达标	
	顶棚			150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		1.57E-05		顶棚	1.57E-05	3.14E-05	2.5	
	防护门			6mmPb		1.70E-05		防护门	1.70E-05	3.40E-05	10	达标
SPECT/CT 注射后候诊室 2 (2 人同时候诊)	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	8.29E-42	SPECT/CT 注射后候诊室 1 (2 人同时候诊)	东墙外 30cm	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	8.29E-06	8.29E-06	10		
	南墙外 30cm			8.29E-06		南墙外 30cm		8.29E-06	1.66E-05	10		
	西墙外 30cm			8.29E-06		西墙外 30cm		8.29E-06	1.66E-05	2.5		
	北墙外 30cm			8.29E-06		北墙外 30cm		8.29E-06	1.66E-05	10	达标	
	顶棚			150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		1.57E-05		顶棚	1.57E-05	3.14E-05	2.5	达标
	防护门			6mmPb		1.70E-05		防护门	1.70E-05	3.40E-05	10	达标
PET/CT 注射后候诊室 1	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	^{18}F	2.22E-01	PET/CT 注射后候诊室 2	东墙外 30cm	^{18}F	6.81E-01	9.03E-01	10	达标	
	南墙外 30cm			6.81E-01		南墙外 30cm		6.81E-01	1.36E+00	10	达标	
	西墙外 30cm			6.81E-01		西墙外 30cm		6.81E-01	1.36E+00	2.5	达标	
	北墙外 30cm			6.81E-01		北墙外 30cm		6.81E-01	1.36E+00	10	达标	
	顶棚			150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		5.20E-01		顶棚	5.20E-01	1.04E+00	2.5	达标
	防护门			12mmPb		5.73E+00		防护门		5.73E+00	10	达标
PET/CT 注射后	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	^{18}F	6.81E-01	PET/CT 注射后	东墙外 30cm	^{18}F	2.22E-01	9.03E-01	2.5	达标	
	南墙外 30cm			6.81E-01		南墙外 30cm		6.81E-01	1.36E+00	10	达标	

候诊室 2	西墙外 30cm			6.81E-01	候诊室 1	西墙外 30cm		6.81E-01	1.36E+00	10	达标	
	北墙外 30cm			6.81E-01		北墙外 30cm		6.81E-01	1.36E+00	10	达标	
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		5.20E-01		顶棚		5.20E-01	1.04E+00	2.5	达标	
	防护门	12mmPb		5.73E+00		防护门			5.73E+00	10	达标	
运动负荷/抢救室	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	¹⁸ F	3.40E-01	运动负荷/抢救室	东墙外 30cm	^{99m} Tc ^m	4.14E-06	3.40E-01	10	达标	
	南墙外 30cm			3.40E-01		南墙外 30cm		4.14E-06	3.40E-01	10	达标	
	西墙外 30cm			3.40E-01		西墙外 30cm		4.14E-06	3.40E-01	10	达标	
	北墙外 30cm			3.40E-01		北墙外 30cm		4.14E-06	3.40E-01	10	达标	
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		2.60E-01		顶棚		7.85E-06	2.60E-01	2.5	达标	
	西防护门	8mmPb		4.99E+00		西防护门		8.51E-08	4.99E+00	10	达标	
	南防护门	8mmPb		4.99E+00		南防护门		8.51E-08	4.99E+00	10	达标	
运动负荷/抢救室	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	^{99m} Tc	4.14E-06	运动负荷/抢救室	东墙外 30cm	¹⁸ F	3.40E-01	3.40E-01	10	达标	
	南墙外 30cm			4.14E-06		南墙外 30cm		3.40E-01	3.40E-01	10	达标	
	西墙外 30cm			4.14E-06		西墙外 30cm		3.40E-01	3.40E-01	10	达标	
	北墙外 30cm			4.14E-06		北墙外 30cm		3.40E-01	3.40E-01	10	达标	
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		7.85E-06		顶棚		2.60E-01	2.60E-01	2.5	达标	
	西防护门	8mmPb		8.51E-08		西防护门		4.99E+00	4.99E+00	10	达标	
	南防护门	8mmPb		8.51E-08		南防护门		4.99E+00	4.99E+00	10	达标	
SPECT/CT 扫描室	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	^{99m} Tc	4.41E-43	本项目 CT 扫描时周围剂量当量率为 0.51 (详见表 1111)			0.51	5.10E-01	2.5	达标	
	南墙外 30cm			4.60E-07				0.51	5.10E-01	10	达标	
	西墙外 30cm			4.41E-07				0.51	5.10E-01	10	达标	
	北墙外 30cm			4.60E-07				0.51	5.10E-01	2.5	达标	
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		7.85E-06				0.51	5.10E-01	2.5	达标	
	铅玻璃观察窗	6mmPb		9.46E-07				0.51	5.10E-01	2.5	达标	
	工作人员防护门	6mmPb		9.46E-07				0.51	5.10E-01	2.5	达标	
	受检者防护门	6mmPb		9.46E-07				0.51	5.10E-01	10	达标	
	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层		¹³¹ I		6.34E-03			0.51	5.16E-01	2.5	达标
	南墙外 30cm					6.62E-03			0.51	5.17E-01	10	达标
	西墙外 30cm					6.34E-03			0.51	5.16E-01	10	达标
	北墙外 30cm					6.62E-03			0.51	5.17E-01	2.5	达标
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护				5.80E-02			0.51	5.68E-01	2.5	达标
	铅玻璃观察窗	6mmPb				1.52E-01			0.51	6.62E-01	2.5	达标
工作人员防护门	6mmPb	1.52E-01			0.51	6.62E-01	2.5	达标				
受检者防护门	6mmPb	1.52E-01			0.51	6.62E-01	10	达标				
PET/CT 扫描室	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	¹⁸ F		1.18E-02	本项目 CT 扫描时周围剂量当量率为 0.51 (详见表 11-22)			0.51	5.22E-01	0.51	达标
	南墙外 30cm				1.42E-02				0.51	5.24E-01	10	达标
	西墙外 30cm				1.18E-02				0.51	5.22E-01	2.5	达标
	北墙外 30cm				1.42E-02				0.51	5.24E-01	2.5	达标
	顶棚	150mm 砼+40mmPb 硫酸钡防护涂层			8.48E-02				0.51	5.95E-01	2.5	达标
	铅玻璃观察窗	12mmPb			1.19E-01				0.51	6.29E-01	2.5	达标
	工作人员防护门	12mmPb		1.19E-01			0.51		6.29E-01	2.5	达标	

	受检者防护门	12mmPb		1.19E-01		0.51	6.29E-01	10	达标	
PET/MRI 扫描室	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	¹⁸ F	4.14E-02	本项目 PET/MRI 扫描室周围无明显 X-γ 辐射剂量率, 无需考虑叠加情况。		4.14E-02	10	达标	
	南墙外 30cm			4.34E-02			4.34E-02	10	达标	
	西墙外 30cm			4.14E-02			4.14E-02	10	达标	
	北墙外 30cm			4.34E-02			4.34E-02	2.5	达标	
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		2.60E-01			2.60E-01	2.5	达标	
	铅玻璃观察窗	12mmPb		3.65E-01			3.65E-01	2.5	达标	
	工作人员防护门	12mmPb		3.65E-01			3.65E-01	2.5	达标	
	受检者防护门	12mmPb		3.65E-01			3.65E-01	10	达标	
PET/MRI 缓冲区	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	¹⁸ F	1.33E-01	本项目 PET/MRI 扫描室周围无明显 X-γ 辐射剂量率, 无需考虑叠加情况。		1.33E-01	2.5	达标	
	南墙外 30cm			4.34E-02			4.34E-02	10	达标	
	西墙外 30cm			1.33E-01			1.33E-01	2.5	达标	
	北墙外 30cm			4.34E-02			4.34E-02	2.5	达标	
	顶棚	150mm 砼+40mmPb 硫酸钡防护涂层		2.60E-01			2.60E-01	2.5	达标	
	北防护门	12mmPb		3.65E-01			3.65E-01	2.5	达标	
	西防护门	12mmPb		1.12E+00			1.12E+00	2.5	达标	
	南防护门	12mmPb		3.65E-01			3.65E-01	10	达标	
留观室 2	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	^{99m} Tc	8.29E-06	留观室 1	¹⁸ F	2.22E-01	2.22E-01	2.5	达标
	南墙外 30cm			8.29E-06			6.81E-01	6.81E-01	10	达标
	西墙外 30cm			8.29E-06			6.81E-01	6.81E-01	10	达标
	北墙外 30cm			8.29E-06			6.81E-01	6.81E-01	2.5	达标
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		1.57E-05			5.20E-01	5.20E-01	2.5	达标
	防护门	6mmPb		1.70E-05			5.73E+00	5.73E+00	10	达标
留观室 1	东墙外 30cm	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂层	¹⁸ F	2.22E-01	留观室 2	^{99m} Tc ^m	8.29E-06	2.22E-01	10	达标
	南墙外 30cm			6.81E-01			8.29E-06	6.81E-01	10	达标
	西墙外 30cm			6.81E-01			8.29E-06	6.81E-01	10	达标
	北墙外 30cm			6.81E-01			8.29E-06	6.81E-01	10	达标
	顶棚	150mm 砼+40mm 硫酸钡防护涂层		5.20E-01			1.57E-05	5.20E-01	2.5	达标
	防护门	12mmPb		5.73E+00			1.70E-05	5.73E+00	10	达标
分装室 (核素治疗区)	东墙外 30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	1.57E+00	分装室 (核素治疗区) 分装室只考虑 ¹³¹ I 剂量情况, 无需考虑叠加情况		1.57E+00	1.57E+00	10	达标
	南墙外 30cm			1.57E+00			1.57E+00	2.5	达标	
	西墙外 30cm			1.57E+00			1.57E+00	10	达标	
	北墙外 30cm			1.57E+00			1.57E+00	10	达标	
	顶棚	150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层		1.00E+00			1.00E+00	2.5	达标	
	防护门	16mmPb		6.73E+00			6.73E+00	10	达标	
留观室 (甲亢区域)	东墙外 30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	3.92E-01	本项目与 ³² P 共用留观室, ³² P 剂量较小, 无需考虑叠加情况		3.92E-01	3.92E-01	2.5	达标
	南墙外 30cm			3.92E-01			3.92E-01	2.5	达标	
	西墙外 30cm			3.92E-01			3.92E-01	10	达标	
	北墙外 30cm			3.92E-01			3.92E-01	10	达标	
	顶棚	150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层		2.51E-01			2.51E-01	2.5	达标	
	防护门	16mmPb		1.68E+00			1.68E+00	10	达标	

吸碘室	东墙外 30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	3.92E-01	服碘室	东墙外 30cm	¹³¹ I	达标	1.96E+00	10	达标
	南墙外 30cm			3.92E-01		南墙外 30cm		1.57E+00	1.96E+00	10	达标
	西墙外 30cm			3.92E-01		西墙外 30cm		1.57E+00	1.96E+00	10	达标
	北墙外 30cm			3.92E-01		北墙外 30cm		1.57E+00	1.96E+00	10	达标
	顶棚	150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层	2.51E-01	顶棚		1.00E+00		1.25E+00	2.5	达标	
	防护门	16mmPb	1.68E+00	防护门		6.73E+00		8.41E+00	10	达标	
服碘室	东墙外 30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	1.57E+00	吸碘室	东墙外 30cm	¹³¹ I	3.92E-01	1.96E+00	10	达标
	南墙外 30cm			1.57E+00		南墙外 30cm		3.92E-01	1.96E+00	10	达标
	西墙外 30cm			1.57E+00		西墙外 30cm		3.92E-01	1.96E+00	10	达标
	北墙外 30cm			1.57E+00		北墙外 30cm		3.92E-01	1.96E+00	2.5	达标
	顶棚	150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层	1.00E+00	顶棚		2.51E-01		1.25E+00	2.5	达标	
	防护门	16mmPb	6.73E+00	防护门		1.68E+00		8.41E+00	10	达标	
甲亢走廊	东墙外 30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	3.92E-01	本项目与 ³² P 共用甲亢走廊, ³² P 剂量较小, 无需考虑叠加情况			3.92E-01	2.5	达标	
	西墙外 30cm			3.92E-01				3.92E-01	2.5	达标	
	顶棚	150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层		2.51E-01				2.51E-01	2.5	达标	
	防护门(进口)	22mmPb		4.79E-01				4.79E-01	10	达标	
	防护门(出口)	10mmPb		3.19E-01				3.19E-01	2.5	达标	
甲癌走廊	南	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	1.57E+00	无其他核素产生, 无需考虑叠加情况			1.57E+00	2.5	达标	
	北			1.57E+00				1.57E+00	2.5	达标	
	顶棚	150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层		1.00E+00				1.00E+00	2.5	达标	
	防护门(进口)	22mmPb	1.92E+00				1.92E+00	10	达标		
	防护门(出口)	10mmPb	¹³¹ I	1.28E+00				1.28E+00	2.5	达标	
核素病房 1	东墙外 30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	1.57E+00	无其他核素产生, 无需考虑叠加情况			1.57E+00	10	达标	
	南墙外 30cm			3.05E-01				3.05E-01	2.5	达标	
	西墙外 30cm			1.57E+00				1.57E+00	2.5	达标	
	北墙外 30cm			1.21E-01				1.21E-01	10	达标	
	顶棚	150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层		1.00E+00				1.00E+00	2.5	达标	
	北防护门	8mmPb		2.77E+00				2.77E+00	10	达标	
	南防护窗	16mmPb		1.31E+00				1.31E+00	2.5	达标	
核素病房 2	东墙外 30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	1.57E+00	无其他核素产生, 无需考虑叠加情况			1.57E+00	10	达标	
	南墙外 30cm			3.05E-01				3.05E-01	2.5	达标	
	西墙外 30cm			1.57E+00				1.57E+00	10	达标	
	北墙外 30cm			1.21E-01				1.21E-01	10	达标	
	顶棚	150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层		1.00E+00				1.00E+00	2.5	达标	
	北防护门	8mmPb		2.77E+00				2.77E+00	10	达标	
	南防护窗	16mmPb		1.31E+00				1.31E+00	2.5	达标	
核素病房 3	东墙外 30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	1.57E+00	无其他核素产生, 无需考虑叠加情况			1.57E+00	2.5	达标	
	南墙外 30cm			3.05E-01				3.05E-01	2.5	达标	
	西墙外 30cm			1.57E+00				1.57E+00	10	达标	
	北墙外 30cm			1.21E-01				1.21E-01	10	达标	
	顶棚	150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层		1.00E+00				1.00E+00	2.5	达标	

	北防护门	8mmPb		2.77E+00					2.77E+00	10	达标
	南防护窗	16mmPb		1.31E+00					1.31E+00	2.5	达标
核素病房4	东墙外30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	1.57E+00	无其他核素产生，无需考虑叠加情况				1.57E+00	2.5	达标
	南墙外30cm			3.05E-01					3.05E-01	2.5	达标
	西墙外30cm			1.57E+00					1.57E+00	2.5	达标
	北墙外30cm			1.21E-01					1.21E-01	10	达标
	顶棚			150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层					1.00E+00	1.00E+00	2.5
	北防护门	8mmPb		2.77E+00					2.77E+00	10	达标
	南防护窗	16mmPb		1.31E+00					1.31E+00	2.5	达标
甲癌抢救室	东墙外30cm	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂层	¹³¹ I	6.13E-01	无其他核素产生，无需考虑叠加情况				6.13E-01	10	达标
	南墙外30cm			2.88E-01					2.88E-01	2.5	达标
	西墙外30cm			6.13E-01					6.13E-01	2.5	达标
	北墙外30cm			2.88E-01					2.88E-01	10	达标
	顶棚	150mm 砼+80mm 硫酸钡防护涂层		1.00E+00					1.00E+00	2.5	达标
	北防护门	8mmPb		6.60E+00					6.60E+00	10	达标
	西防护门	20mmPb		1.14E+00					1.14E+00	2.5	达标
铅废物桶	^{99m} Tc	20mmpb 废物桶	^{99m} Tc	7.71E-21					7.71E-21	2.5	达标
铅废物桶	¹³¹ I	20mmpb 废物桶	¹³¹ I	3.44E-01					3.44E-01	2.5	达标
铅废物桶	¹⁸ F	20mmpb 废物桶	¹⁸ F	7.08E-01					7.08E-01	2.5	达标
注：现场设置多个铅废物桶，假设单个废物桶的废药量保守按照每天用药量的0.1%进行分析。											

表 11-28 辐射工作人员分装医生及摆位剂量估算结果一览表

职业人员	屏蔽物质及厚度	源类型	活度 (MBq)	Γ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	r	x (mm)	TVL (mm)	B	Hp ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	限值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	达标情况
核素显像区分装医生	50mmpb 手套箱+50mmpb 铅罐	¹⁸ F	11000	0.092	0.3	100	16.6	9.46E-07	2.33E-03	2.5	达标
	50mmpb 手套箱+50mmpb 铅罐	^{99m} Tc	23100	0.0303	0.3	100	1	1.00E-100	7.78E-97	2.5	达标
	50mmpb 手套箱+50mmpb 铅罐	¹³¹ I	444	0.0595	0.3	100	11	8.11E-10	2.38E-07	2.5	达标
核素显像区注射	50mmpb 手套箱+20mmPb 注射针筒	¹⁸ F	370	0.092	0.3	70	16.6	6.07E-05	3.57E-01	2.5	达标
	50mmpb 手套箱+20mmPb 注射针筒	^{99m} Tc	925	0.0303	0.3	70	1	1.00E-70	3.11E-68	2.5	达标
	50mmpb 手套箱	¹³¹ I	111	0.0595	0.3	50	11	2.85E-05	2.09E-03	2.5	达标
分装室核素治疗区分装医生	50mmpb 手套箱+50mmpb 铅罐	¹³¹ I	33300	0.0595	0.3	100	11	8.11E-10	1.79E-05	2.5	达标
	50mmpb 手套箱		7400	0.0595	0.3	50	11	9.01E-01	1.39E-01	2.5	达标
摆位医生	0.5mmPb 铅防护用品	¹⁸ F	370	0.092	0.5	10.5	16.6	2.33E-01	3.17E+01	/	/

	0.5mmPb 铅防护用品	^{99m} Tc	925	0.0207	0.5	10.5	1	3.16E-11	2.42E-09	/	/
	0.5mmPb 铅防护用品	¹³¹ I	111	0.0583	0.5	10.5	11	1.11E-01	2.87E+00	/	/

经预测可知：在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3 m 处的辐射剂量率最大为 7.75 μSv/h。均符合《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 30 cm 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。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”。

(3) ¹³¹I 内照射分析

本项目拟使用核素 ¹³¹I 采用自动分装，辐射工作人员仅需把药物放进自动分装仪，操作时间过短，¹³¹I 对工作人员内照射较小，对周围环境影响很小。

(4) ⁸⁹Sr、²²³Ra 和 ³²P 治疗项目辐射屏蔽估算

核医学科治疗用核素有 ⁸⁹Sr、²²³Ra 和 ³²P，在核医学科接受放射性药物治疗的病人，在用药正常后就离开。除给药期间病人辐射对周围环境有短暂影响外，通常不会产生排泄物等废水和固体废物，病人呼出气可能含有的少量放射性物质，其中 ⁸⁹Sr 和 ³²P 为 β 核素，²²³Ra 为 α 核素，且每天治疗病人较少，对工作人员和患者周围公众外照射影响轻微。α、β 源衰变后发射 α、β 射线，相对于 X、γ 射线穿透力较弱，核医学科普通应用只要戴上手套和眼罩（或面罩），用镊子或其它夹具操作，手不接触 α、β 源，就能达到防护要求。

β 粒子穿过周围物质时产生韧致辐射（本质为 X 射线），其穿透能力比 β 粒子强得多，因此应用 β 源时不能忽视对韧致辐射的防护。屏蔽 β 粒子应选用低原子序数的材料以减少韧致辐射，外面用高原子序数的材料屏蔽韧致辐射。

根据《辐射防护手册 第一分册》（李德平 潘自强，1987，原子能出版社）和《辐射防护手册 第三分册》（李德平 潘自强，1987，原子能出版社）对于韧致辐射的屏蔽可用公式 11-24 计算。

韧致辐射所致 γ 辐射剂量率估算如下：

$$\dot{D} = 4.58 \times 10^{-14} \times A \times Z \times \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \times \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right) \dots \dots \dots \text{式 (11-19)}$$

D—距离放射源 r 米处的吸收剂量率；

A—放射源的活度，Bq；

Z—屏蔽材料的原子序数，人体软组织取 7.43；

E_b—韧致辐射的平均能量，为入射 β 粒籽最大能量的 1/3，本项目取 0.695MeV；

$\frac{\mu_{en}}{\rho}$ —平均能量为 E_b 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数，本项目

$2.918 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ；

⁸⁹Sr 最大活度 1.48E+08（4mCi），³²P 最大活度 3.7E+06（0.1mCi）。根据估算，得到无屏蔽状态下不同距离放射源韧致辐射产生的 γ 辐射剂量率。

表 11-29 距 ⁸⁹Sr 裸源不同距离处韧致辐射产生的 γ 辐射剂量率

距离 (m)	0.05m	0.5m	1m	2m	3m
放射源					
⁸⁹ Sr 剂量率 μGy/h	2.84E-05	2.84E-07	7.1E-08	1.77E-08	7.89E-09
³² P 剂量率 μGy/h	7.1E-07	7.1E-09	1.77E-09	4.44E-10	1.97E-10

由上表可知，按放射核素最大活度计算，在裸源状态下，距离放射源 1m 处 γ 辐射剂量率为 7.1E-08μGy/h，3m 处 γ 辐射剂量率降至 7.89E-09μGy/h，对周围环境已没有显著影响。

(5) 放射性废水对周围辐射环境影响

本项目废水衰变池位于主体建筑物之外，为地埋式设计，池体四周和下方均为土层，衰变池上方为 0.3m 的混凝土，衰变池上方区域设置物理围栏遮挡并张贴电离辐射警示标志，需检修时方可进入维修，无关人员禁止进入正常情况无人停留，因此预计本项目衰变池对周边环境是可以接受的。

(6) 年有效剂量估算

关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出：

$$D_{\text{Eff}} = \dot{k}_{\alpha} \cdot t \cdot T \cdot U \quad \text{式 (11-20)}$$

式中： D_{Eff} —年有效剂量，Sv；

\dot{k}_{α} —辐射剂量率，Sv/h；

t —年工作时间，h；

T —居留因子；

U —使用因子，放射性核素以点源考虑， U 取 1；

简化估算：1mGy 近似为 1mSv。

据建设单位介绍，本次项目核医学科拟配备采 12 名操作药物医护人员（工作包括

药物分装和注射) 6 名设备操作人员 (工作包括操作设备和摆位), 采取轮班制, 每年工作 250 天。根据表 11-22、11-26~11-28 预测的各关注点处辐射剂量率, 结合工作时间, 辐射工作人员和公众停留概率, 即可得到各关注点处公众及辐射工作人员的年受照剂量, 其中控制室的操作人员和摆位人员岗位交叉, 分装医护人员及注射人员岗位交叉, 因此综合叠加其剂量, 详见表 11-30。

表 11-30 核医学科影像检查项目公众及辐射工作人员年有效剂量估算

关注对象	所受照射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	居留因子	年工作时间 (h)	年有效剂量(mSv)	
治疗区分装人员	0.139 (甲癌分装位)	1	配有自动分装仪, 待分装仪损坏后采用手动分装轮班制, 每位分装人员每年最多分装 20 次, 每次约 30s	2.32 E-05	
显像区分装注射人员	2.33E-03 (PET 分装位)	1	轮班制, 每位分装人员每年最多分装 PET 显像核素 625 次, 每次约 30s	1.21E-03	1.27E-03
	7.78E-97 (SPECT 分装位)	1	轮班制, 每位分装人员每年最多分装 SPECT 显像核素 520 次, 每次约 30s	3.37E-99	
	1.89 (PET 注射位)	1	轮班制, 每位注射护士约年注射 PET 显像核素 625 次, 每次 1min	6.20E-05	
	3.11E-56 (SPECT 注射位)	1	轮班制, 每位注射护士约年注射 SPECT 显像核素 520 次, 每次 1min	4.49E-72	
控制室操作摆位人员	0.119 (PET-MR 操作位)	1	采取轮班制, 每位操作人员约年扫描 420 位 PET-MR 病人, 每位病人扫描 60min	5.00E-02	5.56E-01
	31.7 (PET-MR 摆位点)	1	采取轮班制, 每人最多摆位 420 位 PET-MR 病人/年, 每位病人摆位 1min	4.05E-03	
	0.119 (PET-CT 操作位)	1	采取轮班制, 每位操作人员约年扫描 840 位 PET-CT 病人, 每位病人扫描 10min	1.67E-02	
	0.36 (PET-CT 操作位 CT 扫描)	1	年曝光 62.5h	7.50E-03	
	31.7 (PET-CT 摆位点)	1	采取轮班制, 每人最多摆位 840 位 PET-CT 病人/年, 每位病人摆位 1min	4.44E-01	
	1.52E-01 (SPECT-CT 操作位)	1	采取轮班制, 每位操作人员约年扫描 1042 位 SPECT-CT 病人, 每位病人扫描 10min	2.64E-02	
	0.24 (SPECT-CT 操作位 CT 扫描)	1	年曝光 62.5h	7.50E-03	
2.42E-09 (SPECT-CT 摆位点)	1	采取轮班制, 每人最多摆位 1042 位 SPECT-CT 病人/年, 每位病人	4.20E-10		

			摆位 1min	
公众 人员	1.57E+00 (甲癌走廊北侧)	1/20	年工作 250 天, 每天有患者停留 1h	1.96E-02
	1.92E+00 (甲癌走廊东侧)	1/5	年工作 250 天, 每天有患者停留 1h	9.60E-02
	1.79E-00 (显像区患者走廊西防 护门)	1/5	年工作 250 天, 每天有患者停留 1h	8.95E-02
	3.30E-02 (显像区分装室西侧墙 外诊室)	1/2	年工作 250 天, 每天工作 8 小时	3.30E-02
	1.66E-05 (SPECT-CT 注射候诊 1 西墙外进风机房)	1/2	年工作 250 天, 每天有患者停留 1h	1.66E-05
	1.66E-05 (SPECT-CT 注射候诊 2 南墙外存膜室)	1/20	年工作 250 天, 每天工作 8 小时	1.66E-06
	3.40E-01 (显像区患者走 廊南墙外)	1/2	年工作 250 天, 每天有患者停留 1h	4.25E-02
	5.95E-01 (核医学科区域 楼上地下停车场)	1/40	年工作 250 天, 每天工作 8 小时	2.98E-02

根据上述结果可知：核医学科辐射工作人员的年有效剂量最高为 0.556mSv，工作场所周围公众的年有效剂量最大值为 0.0980mSv。满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员年有效剂量限值和公众人员年有效剂量限值的要求，同时也满足本项目提出的对职业人员年有限剂量约束值 $\leq 5\text{mSv/a}$ 及公众年有效剂量约束值 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ 的要求。

（4）校准源环境影响分析

用于图片质量校准的放射源属于V类源，一般情况下放射源储存在储源室的 5cm 厚的铅罐内，仅校正时，从储源室中取出放置在需要校准的设备上采集信息。校准源一般一年左右更换一次，退役后交由原生产厂家回收，使用场所在 PET-CT 或者 SPECT-CT 机房内。处于贮存状态时，贮存容器和储源室的屏蔽设施能完全屏蔽掉 γ 射线对周围环境的影响。校准状态时，使用场所在做了专门防护的设备机房内，且校准时，源需放置在设备自带屏蔽内部，对周围环境影响可忽略不计。

11.2.3.2.3 放射性废物分析

（1）气态放射性污染物

本项目核医学科拟在核医学楼分装室内各设置 1 个通风橱，分装放射性药物操作拟在通风橱内进行，通风速率均拟不小于 0.5m/s，3 个通风橱拟采用一个独立的排风管道

连接至风井后直达本建筑屋顶。

核医学科拟设置 7 套单独排风装置，风向均由低活度区流向高活度区（高活度区负压低于低活度区），排风管排至风井后直达屋顶，高出建筑楼顶，排气管道设置活性炭过滤器及回风阀，核医学科放射性废气经活性炭过滤装置过滤后，通过专用排气管道经专用排风竖井直通屋顶高出屋脊的排放口排放，放射性气体排风管道设置止回阀和风量调节阀，防止气流的逆向流通，并在建筑物出口末端与室外排风管连接前方安装放射性气体三级过滤吸附装置，包括活性炭吸附过滤，以保证排入大气放环境前对放射性气体的吸附。过滤吸附装置为可更换式，可以定期（3 个月）或根据排风压差计的读数估算过滤器的堵塞情况及时更换过滤器，吸附材料更换下来之后作为放射性固废处理。放射性气体排风管道设有截止阀，当出现意外排放的放射性废气浓度高于排放标准时，可关闭排风管道截止阀，将气体封存在管道内待自然衰变。放射性气体通过室外排风管排入大气环境，人员无法到达，能够有效防止放射性气体对周围环境产生辐射影响，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，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求，即“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。”相关标准要求。

放射性废气排放浓度估算

本项目放射性废气中含有 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、和 ^{32}P ，综合核素的性质、使用量等因素考虑，此处主要估算空气中 ^{131}I 的浓度。参考《 ^{131}I 治疗场所放射性废气排风源项调查与评价》（严源，金潇，邵明刚，中国原子能科学研究院，北京，102413）文献中对北京郊区某医院核医学科 ^{131}I 治疗场所放射性废气排放调查结果，对本项目治疗场所废气排放情况进行类比分析。该医院核医学科为乙级非密封源工作场所，共设 9 张床位。使用 ^{131}I 进行甲癌治疗，每个患者给药量为 $3.7 \times 10^9 \sim 7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ 。其日最大操作量为 $4 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $5 \times 10^{12} \text{Bq}$ 。类比项目与评价项目的类比可行分析见表 11-31。

表 11-31 评价项目与类比项目类比分析一览表

参数	评价项目	类比项目	备注
场所等级	乙级	乙级	一致

病床数	4	9	低于类比项目
每位患者给药量	7.4E+09Bq (200mCi)	3.7E+09-7.4E+09Bq (100-200mCi)	不大于类比项目
核素日最大操作量	2.035E+10Bq	4.0E+10Bq	低于类比项目
排放方式	有组织排放	有组织排放	一致
病房面积	最小病房面积: 27.25m ² 最大病房面积: 28.20m ²	最小病房面积: 19.44m ² 最大病房面积: 20.5m ²	略高于类比项目
病房排风口风速	不小于 0.5m/s	0.5m/s	一致

从表 11-31 可看出, 评价项目的工作场所等级、废气排放方式和每位患者给药量最大值与类比项目相同, 甲癌病房的病床数少于类比项目, 核素日最大操作量低于类比项目, 病房排风口风速大于类比项目, 因此以类比项目 ¹³¹I 治疗场所周围 ¹³¹I 活度浓度检测数据进行类比分析是基本可行的, 具有重要的参考意义。

文献中对北京郊区某医院核医学科 ¹³¹I 治疗场所活度测量结果, 见表 11-32。

表 11-32 甲癌治疗病房及其排风系统排放空气中 ¹³¹I 活度浓度测量结果

取样日期	治疗周期	甲癌治疗病房内浓度 (Bq/m ³)		病房内有组织排放口 (Bq/m ³)	
		给药量/Bq 5.55E+09	给药量/Bq 3.7E+09		
1 期	周二	第一天	8.42E+02	3.97E+02	1.45E+03
	周三	第二天	7.29E+02	3.12E+02	6.70E+02
	周四	第三天	9.01E+02	2.84E+02	6.47E+02
2 期	周五	第一天	5.27E+02	3.99E+02	8.81E+02
	周六	第二天	5.15E+02	5.36E+02	8.52E+02
	周日	第三天	7.78E+02	7.26E+02	5.64E+02
平均值	-	-	7.15E+02	4.42E+02	8.44E+02

注: 单个样品取样时间为 30min。

由表 11-32 类比结果可知, 甲癌病房内 ¹³¹I 活度浓度最高为 9.01E+02Bq/m³, 病房有组织排放口 ¹³¹I 活度浓度最高为 1.45E+03Bq/m³, 本项目通风系统中的吸附过滤器能有效的吸附放射性气溶胶, 吸附效率在 99.95% 以上, 经过活性炭吸附后 ¹³¹I 活度浓度最高为 0.725Bq/m³, 满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中相关标准要求。

(2) 液态放射性污染物

本项目拟设置 2 套衰变池, 其中 1 号衰变池主要收集含有放射性核素 ⁸⁹Sr、²²³Ra、¹³¹I、^{99m}Tc 和 ¹⁸F 的废水, 2 号衰变池主要收集含放射性核 ¹³¹I 的废水 (敷贴治疗病人不产生放射性废水)。核医学排水管道的布设已在第 10 章节核医学辐射防护措施中进行了详细分析。

1) 衰变池废水产生量

①1#衰变池废水产生量估算：

1#衰变池的放射性废水中主要含有放射性核素 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{18}F ，其中 ^{89}Sr 的半衰期最长，为 50.53d。本项目核医学科显像区年接受 PET 显像检查的病人最大为 7500 人，年接受 SPECT-CT 显像检查的病人最大为 7500 人，每天进行骨转移癌治疗共 1000 人（ ^{89}Sr 年诊疗 250 人， ^{223}Ra 年诊疗 750 人）。设核素显像病人注射后休息期间病人上厕所一次，每次上厕所产生废水 6L，每天清洗、应急和去污每天用水量约为 100L（年工作 250 天），则核医学科显像区年产生放射性废水量约为 121 m^3 。

衰变池位于核医学科东南侧，衰变池墙体及顶板均采用 30cm 钢筋混凝土结构，放射性废水排水管壁拟采用 240cm 实心粘土砖+8mm 包裹辐射防护措施。

衰变池设计 1 格容积为 120 m^3 沉淀池，设计 3 格衰变池，容积均为 120 m^3 （ $4\text{m}\times 5\text{m}\times 6\text{m}$ ）。

本项目设置衰变池为槽式储水衰变，单格池子储存水量及衰变周期达到设定值后，切换至另一池子，依次交替，则单个衰变池装满废水需要 362（ $120/121\times 365\approx 362$ ）天。

任一格衰变池最后一天进入的放射性废水的衰变时间为另外两个衰变池的蓄水时间，经核算，最短蓄水时间为 724（ $362\times 2=724$ ）天，能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“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；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）”的要求。

②衰变池废水产生量估算：

2 号衰变池的放射性废水中主要含有放射性核 ^{131}I 和 ^{32}P ，其中 ^{131}I 的半衰期较长，半衰期为 8.02d。本项目核医学科治疗区每年接受甲亢治疗的病人最大为 1250 人，设治疗区病人注射后休息期间病人上厕所一次，每次上厕所产生废水 6L；核医学科核素治疗区设置 4 个核素治疗病房，每个病房设置 1 张核素治疗病床，每个病人最多住院 3 天。假设每位住院病人每天产生废水 200L，核素治疗区住院患者每天约产生废水 800L，敷贴治疗病人不产生放射性废水，考虑到工作场所及工作人员清洗、应急和去污每天用水量约为 100L（年工作 250 天），则核医学科治疗区年产生放射性废水量约为 272.5 m^3 。

衰变池位于核医学科东南侧，衰变池墙体及顶板均采用 30cm 钢筋混凝土结构，放射性废水排水管壁拟采用 240cm 实心粘土砖+8mm 包裹辐射防护措施。

衰变池设计 1 格容积为 80 m^3 沉淀池，设计 3 格衰变池，容积均为 80 m^3 （ $4\text{m}\times 5\text{m}\times 4\text{m}$ ）。

本项目设置衰变池为槽式储水衰变，单格池子储存水量及衰变周期达到设定值后，切换至另一池子，依次交替，则单个衰变池装满废水需要 214（ $80/272.5 \times 365 \approx 107$ ）天。

任一格衰变池最后一天进入的放射性废水的衰变时间为另外两个衰变池的蓄水时间，经核算，最短蓄水时间为 214（ 107×2 ）天，能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“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；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）”的要求。

衰变池拟设置自动取样监测系统，能实时对排放的废水进行取样监测，达到《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“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 10 Bq/L。”排放标准后自动排入医院污水处理设施。

2) 衰变池排放活度分析:

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）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收 ALI 值中较小者，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。每次排放后应做记录并存档。

查 GB18871-2002 的 B1.3.4：表 B3 和表 B6、表 B7 得工作人员吸入或食入相应核素的待积有效剂量。

由相应的单位摄入量的待积有效剂量的值得到放射性核素 j 的年摄入量限值：

$$ALI = DL / e_j \quad \text{式 (11-21)}$$

式中：DL——相应的有效剂量的年剂量限值，此处取 5mSv；

e_j ——放射性核素 j 的年摄入量限值所致的待积有效剂量的相应值。

2 号衰变池中核素的排放限值计算因子及计算结果见下表：

表 11-33 核素的排放限值计算

核素	DL (mSv)	e_j (Sv/Bq)	ALI (Bq)
^{89}Sr	5	7.50E-09	6.67E+05
^{223}Ra	5	8.70E-06	5.75E+02
^{131}I	5	2.20E-08	2.27E+05

^{99m} Tc	5	2.91E-11	1.72E+08
¹⁸ F	5	9.29E-11	5.38E+07

注：本项目³²P敷贴病人，无放射性废水产生，P-32清洗去污产生放射性废水较少，故无需进行计算。

由表 11.3-12 可知，⁸⁹Sr 核素的排放限值为 6.67E+05Bq，²²³Ra 核素的排放限值为 5.75E+02，¹³¹I 核素的排放限值为 2.27E+05，^{99m}Tc 核素的排放限值为 1.72E+08，¹⁸F 核素的排放限值为 5.38E+07。

灌满 2 号衰变池的第 1 格衰变池时，第一格衰变池的放射性废水暂存了约 214 天。在注满第一格衰变池期间（约 107 天），甲癌住院病人最多治疗 70 批甲癌患者（最多每三天治疗一批），每批患者服用¹³¹I 总量最高为 2.96E+10Bq，甲亢约 850 名患者，每个患者服用¹³¹I 总量最高为 3.7 E+8Bq。偏保守角度取患者排泄注射总活度的 100% 计，则单格衰变池灌满时含有¹³¹I 的总活度为 2.45E+12Bq。经过 214 天暂存后，排出的活度为：

$$2.39E+12 \text{ Bq} \times (1/2)^{214/8.02} \approx 5.33E-07 \text{ Bq} < 2.27E+05 \text{ Bq}$$

同理可知 1 号衰变池和 2 号衰变池其他各核素的排放活度及浓度，详见表 11-34：

表 11-34 衰变池中各核素的排放活度及排放浓度

衰变池编号	核素	排放活度 (Bq)	排放限值 (Bq)	排放浓度(Bq/L)	浓度限值 (Bq/L)
1 号衰变池	⁸⁹ Sr	6.00E+09	6.67E+05	5.80E-01	10Bq/L
	²²³ Ra	4.44E+10	5.75E+02	2.58E-34	1Bq/L
	¹³¹ I	4.90E+12	2.27E+05	3.90E-51	10Bq/L
	^{99m} Tc	1.16E+12	1.72E+08	≈0	10Bq/L
	¹⁸ F	1.67E+13	5.38E+07	≈0	10Bq/L
2 号衰变池	¹³¹ I	2.39E+12	2.27E+05	5.33E-07	10Bq/L

综上所述，1 号、2 号衰变池排放口水污染物排放浓度均满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）中要求的综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值：总 α < 1Bq/L，总 β < 10Bq/L。

（3）放射性固体废物

加速器维修时会产生少量固体废物，加速器的更换下来的靶和废树脂需作为固体放射性废物处理，更换下来后需用专门盛装放射性废物的容器装好，由加速器设备供应商回收。

后装治疗机产生的废旧¹⁹²Ir 放射源应交由放射源生产单位回收处理。

⁶⁸Ge 校准源置于储源间的铅罐内，一般一年左右更换一次，⁶⁸Ge 校准源退役后最终交由供应商回收。

CT 机无放射性废物产生。

核医学学科的放射性废物主要是一次性注射器、棉签、滤纸、校准源、一次性水杯、一次性卫生用品、病人使用完的被服等，废旧校正源由厂家回收，按放射性废物管理。核医学工作场所在分装室、卫生通过间、候诊室、病人服药窗口、病房等位置分别设置铅垃圾桶，正常废弃的注射器、注射用纱布、棉棒、胶条、一次性水杯和一次性卫生用品等先收集于铅质废物桶内，每天定时将放射性废物由铅质废物桶内取出，标明废物类型、核素种类、比活度和存放日期等，转移至废物暂存室集中暂存，其中含有 I-131 核素的废物分开转移至核素治疗病房 4 室旁边的废物暂存室暂存。废物暂存足够的时间且满足相应核素解控水平后，作为一般医疗固体废物处理，病人使用完的被服先暂存至废物暂存室中，衰变至少一个半衰期再进行清洗。所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间应超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍，含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

固体放射性废物暂存时间满足要求后，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 0.04 Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.4 Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理；在废物袋转移时，对废物袋的转移路径临时进行管控，在确保转移路径上没有人员后，方可进行废物袋的转移操作。

废物暂存室由核素治疗病房清洁人员管理，该清洁人员纳入辐射工作人员管理，为其配置个人剂量计，并经过辐射防护知识培训后取得证书方能上岗。

11.2.3.2.4 使用放射性核医学同位素病人的管理及其对环境的影响

(1) 对使用放射性药品的患者进行严格管理，患者使用完药物后在注射后候诊室休息。留院期间，病人的排泄物统一收集并通过废液衰变池进行处理，经有资质的单位检测达标后，由生态环境主管部门批准后排放。

(2) 医生叮嘱患者服药后严禁随地吐痰，防止对地面及周边环境产生 β 表面污染。

(3) 核医学服药患者离院时，医务人员书面告知施用放射性药物的患者尽量远离其他公众成员及其他相关要求，以减少对公众成员的辐射影响。

11.3 辐射事故风险分析

由工程分析可知，最大可能发生的事故有：

(1) 加速器

1) 直线加速器安全联锁系统失效，直线加速器仍然处在工作状态时发生，此时如果医务人员或其他病人误入机房，或者当医务人员或病人陪护人员尚未离开机房时，可能会造成这些人员受到不必要的射线照射。

2) 加速器操作人员误操作, 当维修人员、病人或病人陪护人员等其他人员滞留在机房, 操作人员未严格按照操作规程进行操作误开机器, 导致这些人员受到不必要的射线照射。

这些事故工况下主要辐射污染因子为 X 射线。

从理论上讲, 发生上述这种事故的几率极小, 为防止事故的发生, 在购置设备时要注意安全连锁设施的可靠性与稳定性的设计水平, 使用过程中要经常定期检查和维护连锁系统及安全保障系统, 仪器操作人员应严格按照操作规程进行运行操作, 每次开机前必须要确认机房内无人员时, 才能进行开机运行。

医务人员必须严格按照操作程序进行, 防止事故照射的发生, 避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射, 工作人员每次上班时首先要检查防护措施是否正常, 若存在安全隐患, 应立即修理, 恢复正常。

(2) 后装机

后装机如果发生治疗过程中放射源不能回到贮存位的事故, 医生应及时通知治疗室内的病人迅速离开治疗现场, 如果病人无法自行撤离, 医生应迅速打开防护门, 在最短时间内协助病人离开治疗室。在将病人救出治疗室后, 封闭治疗室, 并及时联系生产厂家, 由生产厂家委派技术人员前往处理, 到达现场后应及时制定详细的故障排除方案, 本着剂量分担原则, 专业技术人员在治疗机附近的工作时间不宜过长, 进入现场应佩戴防护用品及个人剂量片, 防护重点在头部及性腺部位。故障排除后, 应对参加现场故障排除的工作人员进行剂量评估。

对于违反操作规程、设备失效、管理不善等原因造成的事故情况, 医院应完善制度、加强管理和教育培训, 使射线装置始终处于监控状态, 防止事故照射的发生, 避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射, 工作人员每次上班时首先要检查防护措施是否正常, 若存在安全隐患, 应立即修理, 恢复正常。

(3) 核医学科

本项目非密封放射性工作场所级别为乙级, 在放射性同位素的使用过程中, 如果不被安全管理或可靠保护, 可能对接触放射性同位素造成永久性损伤。本项目主要事故风险为:

1) 注射器排气时挤出放射性药物、注射器有损漏以及注射针头没有装牢固, 造成 γ 射线泄漏及放射性核素泼洒或散逸挥发, 操作台面或仪器设备受到放射性沾污。

2) 注射了放射性药物的带药病人未在屏蔽的注射后观察室内停留, 或者未充分留

观即离开控制区，或者服药后患者未达到出院要求即离开控制区，将会导致周围不知情的人员遭受较大剂量照射。

3) 放射性药物被盗、丢失等。

4) III类射线装置闭门装置失效，患者在机房内检查时，防护门处于打开状态，射线漏射散射至室外造成室外人员不必要的附加辐射。

5) 因放射性核素泼洒或散逸挥发，工作人员身体、衣物受到表面污染。

针对以上可能发生的事故风险，应分别做出以下应急措施：

①发生少量放射性液体洒落的地面或者操作台时，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。当发生人员身体、衣物受到表面污染时，受沾污人员应及时去污，防止污染扩散。身表沾污应用温水加肥皂或者洗涤剂冲洗，配合软毛刷或棉签刷洗。注意操作要轻柔，防止皮肤损伤。去污后经检测合格方能离开。

②当发生射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射时，首先应立即切掉电源，对可能受放射损伤的人员，应第一时间将伤员撤离到相对安全区域后，采取暂时隔离和应急救援措施。事故中受超剂量照射需转送到指定救治基地进行救治观察者，应及时由救护车转送。

③一旦发生放射源或核素药物丢失或被盗，应立即报告科室领导和应急小组，同时向医院主管领导汇报，并封锁现场。在环保、公安和卫生部门人员到达现场后，要积极协助调查。在确定丢失原因和地点后，派人积极查找，全力追回。

④当发生一般辐射事件或事故时，应第一时间启动应急预案并向辐射事故应急小组及向环保部门报告；当发生放射源或者放射性药物被盗、丢失时，应第一时间向辐射事故应急小组及环保、公安部门报告，当发生人员超剂量照射时应该同时报告环保、卫生行政部门。

(4) 应急方案的启动

1) 一旦发生辐射事故，即时启动辐射事故处理应急方案。发生辐射事故时，当事人应即刻报告辐射事故应急处理小组组长，组长随即通知辐射事故应急处理小组有关成员采取应急相应救助措施。

2) 发生辐射事故时，应急处理小组各成员应认真履行各职责，各相关部门应积极协调配合，以便能妥善处理所发生的辐射事故。

3) 各应急救助物质应准备充分、调配及时。

4) 发生事故后应在 24 小时内报告环保、卫生行政和公安部门。

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条和原国家环境保护总局环发【2006】145 号文件之规定，发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护部门报告，涉及人为故意破坏的还应向公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

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

(1) 辐射安全与环境保护管理机构设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021 修订）》，国家环境保护总局令第 31 号第十六条要求：使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或至少有 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。

医院已经指定了特定人员负责辐射安全工作，成立了放射防护管理委员会(附件 5)，负责整个医院的辐射安全管理工作，并明确了辐射安全与环境保护管理领导小组职责，该领导小组成员应认真个人职责工作，应有高度的责任心，熟悉和掌握有关放射性的基本知识和辐射防护的一系列法规，并严格遵守执行。辐射安全与环境保护管理领导小组基本组成如下：

组长：方平

副组长：应学明

组员：章环宇、谢 鸥、陈兰英、郑小东、吴国华、童 舟、
蔡衍长、江云松、吴庆杰、占亚平、邱奉林、刘 奕、
占少华、林冬根、王亚非、刘志辉、曹铭华、卢志军、
赵建华、赵 俊、纪 刚、瞿岱彪、余万初、袁志峰、
张善忠、叶 旻、盛锦义

医院辐射安全与防护管理组织基本满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条要求的规定。

(2) 辐射工作人员管理

为满足医院辐射工作和安全的需要，医院目前根据要求配置相应的辐射工作人员。医院计划将本项目相关的人员纳入辐射工作人员进行管理，直线加速器拟配备 10 人（均为原有辐射工作人员），后装机拟配备 3 人，CT 定位机拟配备 3 人（均为原有辐射工作人员），核医学科拟配备 26 人。在本项目建成运行后，辐射工作人员仅从事本项目安排的辐射工作，不另外增加受照时间。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条的规定：从事辐射工作的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。根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第

57号)的规定:自2020年1月1日起,新从事辐射活动的人员,以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员,应当通过我部培训平台(<http://fushe.mee.gov.cn>)报名并参加考核;2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。根据《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)的规定:仅从事III类射线装置销售、使用活动的辐射工作人员无需参加集中考核,由核技术利用单位自行组织考核。已参加集中考核并取得成绩报告单的,原成绩报告单继续有效。自行考核结果有效期五年,有效期届满的,应当由核技术利用单位组织再培训和考核。

根据《放射工作人员职业健康管理办法》(中华人民共和国卫生部令第55号)的规定:放射工作单位应当组织放射工作人员上岗前、上岗后、离岗前进行职业健康检查,为放射工作人员建立并终生保存职业健康监护档案。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定:辐射工作单位应为每名辐射工作人员配置个人剂量计,定期组织工作人员进行个人剂量监测;根据《放射工作人员职业健康管理办法》(中华人民共和国卫生部令第55号)规定,建设单位还应安排专人负责个人剂量监测管理,建立了放射工作人员个人剂量档案。包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当永久保存。

本环评要求医院在本项目运营前:新增辐射工作人员需进行辐射安全与防护知识培训及考核、进行职业健康体检、配备个人剂量计、辐射安全与防护知识考核合格、职业健康体检合格后方可上岗。

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 辐射安全管理规章制度

为保障射线装置正常运行时周围环境的安全,确保公众、操作人员避免遭受意外照射和潜在照射,医院在不断总结完善近年来核技术利用方面的经验,针对辐射设备情况已制定以下管理制度(详见附件5):《辐射监测方案》、《放射工作人员职业健康教育培训制度》、《放射防护安全管理制度》、《影像科放射工作人员职业照射与个人剂量监测制度》、《放射工作人员职业健康管理制度》、《X线摄影操作规程》、《设备维修维护制度》、《放射防护管理人员职责》、《科室岗位职责》、《医学影像质量保证方案》、《影像科患者放射防护与安全管理制度》、《放射危害告知制度》、《放射事件应急处理预案》等规章制度。

医院《景德镇市第一人民医院辐射事故应急预案》内容较为详实，具有可行性，基本能满足当前放射事故下的应急处理需要。本环评要求医院应根据本项目运行实际需要，并按照《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》（国务院令 第 449 号（2005））、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护总局令 第 31 号，2021 年 1 月 4 日施行）等现行要求修改，全面完善和健全各项规章制度，定期更新修订《放射事故应急预案》，确保重新制定相关制度具有可操作性及合理性。

12.2.2 辐射环境管理要求

按照《电离辐射防护与辐射安全基本标准》关于“营运管理”的要求，为确保放射防护可靠性，维护辐射工作人员和周围公众的权益，履行辐射防护职责，尽可能的避免事故的发生，医院必须培植和保持良好的安全文化素养，减少因人为因素导致人员意外照射事故的发生。为此，提出如下辐射环境管理要求：

（1）依据《中华人民共和国放射性污染防治法》第二十八条和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》之规定，医院必须向生态环境部门重新申领辐射安全许可证等相关环保手续。

（2）明确辐射防护工作领导小组的职责：设立兼职或专职的安全负责人，负责整个医院的辐射防护与安全工作。建立辐射防护安全防护管理制度，履行放射防护职责，确保放射防护可靠性，维护辐射工作人员和周围公众成员的权益，尽可能避免事故的发生。

（3）医院辐射工作人员必须定期经过辐射工作安全防护培训，取得核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单方可上岗；操作人员必须遵守各项操作规程，检查仪器安全并做好当班记录，严格执行交接班制度，发现异常及时处理。

（4）各项规章制度、操作规程必须齐全，并张贴上墙；所有的放射工作场所均必须有电离辐射警示标志，各机房门屏蔽门上方还必须要有工作指示灯及放射防护注意事项。警告标志的张贴必须规范。

（5）每年应至少进行一次辐射环境监测，建立监测技术档案，医院工作人员应持证上岗，定期进行辐射防护知识和法规知识的培训 and 安全教育，检查和评估工作人员的个人剂量，建立个人剂量档案。对个人剂量超过或接近辐射剂量约束值的辐射工作人员应暂离岗位，展开相关调查并委托有相关资质单位的监测机构对机房的防护性能进行监测，如监测结果仍然超过或接近参考水平，需及时进行防护整改，直到整改符合要求后，

方可重新开展工作，并在今后的工作中增加监测频率。对辐射工作人员每两年进行职业健康体检并形成制度。进入机房的工作人员佩戴个人剂量计，记录个人所受的射线剂量。

(6) 制定事故状态下的应急处理计划，其内容包括事故的报告，事故区域的封闭，事故的调查和处理及工作人员的受照剂量估算和医学处理等。

(7) 应当加强对本单位射线装置安全和防护状况的日常检查。发现安全隐患的，应当立即整改。

(8) 对医院辐射装置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。

(9) 按照《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号）第十二条规定，建设项目的规模发生变化，或者建设项目环境影响报告书自批准之日起满 5 年，建设项目方开工建设的，其环境影响报告文件应重新编制，报批。

(10) 安装、维修或者更换与 X 射线有关部件的设备，应当向有关部门申请，进行辐射防护检测验收，确定合格后方可启用，以杜绝放射事故的发生。

(11) 项目竣工后，医院应依法进行竣工环境保护自主验收。

(12) 医院在依法被撤销、依法解散、依法破产或者因其他原因终止前，应当确保环境辐射安全，妥善实施辐射工作场所或者设备的退役，并承担退役前所有的安全责任。

12.3 辐射监测

根据《放射性同位素与射线装置放射安全和防护条例》（国务院第 449 号令）等相关法规和标准，射线装置使用单位必须对辐射工作场所周围环境进行辐射监测、对辐射工作人员进行个人剂量监测。

现有辐射工作人员已配备个人剂量计，医院已委托有资质的单位定期（不少于 1 次/3 个月）对辐射工作人员个人剂量进行监测；现有辐射工作人员已定期（不少于 1 次/两年）开展职业健康体检；医院已定期（不少于 1 次/年）委托有资质单位对现有核技术利用项目工作场所及周围环境辐射水平进行年度监测，已按要求将辐射监测结果连同单位的年度辐射安全评估报告一起，在次年的 1 月 31 日前上报提交。（年度评估报告见附件 9）。

医院现有核技术利用项目已开展的辐射监测能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关标准和规范中的辐射监测要求。

按照辐射监测要求，医院针对本次核技术利用项目制定了相应的监测计划，包括日常监测、验收监测、辐射工作人员个人剂量监测等内容。

12.3.1 日常监测

医院已配备一台 X- γ 辐射剂量率监测仪用于日常自行监测使用，制定了日常自行监测计划，定期对辐射工作场所进行监测，并将每次监测结果记录存档备查，监测计划内容见表 12-1。

医院每次监测后保持监测记录并存档，设专人管理辐射设备监测档案，发现监测结果超过参考水平时需停止开展射线装置工作，展开相关调查并委托有相关资质单位的监测机构对机房的防护性能进行监测，如监测结果仍然超过参考水平，需及时进行防护整改，直到整改满足要求后，方可重新开展工作。

12.3.2 验收监测

本次评价项目竣工后，建设单位应当按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的规定，组织对配套建设的环境保护设施进行验收。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。

12.3.3 辐射工作人员个人剂量监测

按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）的要求：

1、辐射工作人员配备个人剂量计，常规监测的周期应综合考虑辐射工作人员的工作性质、所受剂量的大小、剂量变化程度及剂量计的性能等诸多因素。常规监测周期一般为 1 个月，最长不应超过 3 个月。

2、对于如介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计。建议采用双剂量计监测方法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计（如头箍剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等）。

3、医院落实个人剂量监测制度，统一管理个人剂量计，避免出现工作人员剂量计丢失等现象，定期将个人剂量计送至委托单位监测。

12.3.4 年度常规监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第 18 号令 2011 年）的相关规定，使用射线装置的单位应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐

射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托有资质的环境监测机构进行监测。建设单位将严格执行表 12-1 中的辐射监测计划，定期委托有相关资质的第三方辐射监测机构进行监测。年度监测数据将作为本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况年度评估报告的一部分，定期上报环保行政主管部门。

建设单位制定了辐射监测计划，包含竣工验收监测、个人剂量监测、日常监测、年度监测，建立辐射监测的台账管理制度，每次监测记录并存档，设专人管理辐射设备监测档案。监测制度比较完善，内容全面，符合国家法律法规文件的要求，满足本次核技术项目开展的需要。项目开展后，需根据项目实践情况不断完善各项监测制度，确保本项目对周围环境造成的辐射影响处于可接受水平。

医院监测计划要求如下表 12-1 所示。

表 12-1 医院监测计划要求一览表

辐射工作场所	监测类别	监测项目	监测频次	监测点位
核医学科	验收监测	X-γ 辐射剂量率	竣工验收	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。四周屏蔽墙外 30cm 处、操作位、防护门门缝处、楼上、楼下等
	年度监测		1 次/年	
	自主监测		1 次/月	
	验收监测	β 表面污染水平	竣工验收	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
	年度监测		1 次/年	
	自主监测		每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	
	废水监测	总 α、总 β、活度浓度	排放前	衰变池采样口
固废监测	X-γ 辐射剂量率，α 表面污染、β 表面污染	处置前	废物暂存间	
放疗科	验收监测	X-γ 辐射剂量率	竣工验收	四周屏蔽墙外 30cm 处、操作位、防护门门缝处、楼上等
	年度监测		1 次/年	
	自主监测		1 次/季度	
个人剂量监测		累积剂量	1 次/3 个月	所有辐射工作人员
外环境		X-γ 辐射剂量率	每年 1 次	实测

12.4 本项目辐射工作人员的健康监护

对已经从事辐射工作的职业人员进行的经常性医学检查，按照《放射工作人员职业健康管理办法》（中华人民共和国卫生部令第 55 号）的规定执行，医院应为辐射工作

人员建立个人健康档案，档案中详细记录历次医学检查的结构及其评价处理意见，并终生保存职业健康监护档案。

12.5 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，医院根据可能发生的放射事故的风险，制定了《景德镇市第一人民医院辐射事故应急预案》（详见附件5）。辐射事故应急处理预案包括了以下内容：

12.5.1 事故应急培训演习计划

1、事故应急演练：完善的预案、周到的准备和准确的事事故处理必须依靠定期的应急演练来加以巩固和提高，从而真正发生时能够做到沉着应对、科学处置。组织应急演练应注意以下几个方面。

（1）制定周密的演练方案，明确演练内容、目的、时间、地点、参演人员等。

（2）进行合理的人员分工。成立演练领导组、工作组、保障组等机构，进行角色分工，明确人员职责。

（3）做好充分的演练准备，维护仪器设备，配齐物资器材，找好演练场地。

（4）开展认真的实战演练，按照事先预定的方案和程序，有条不紊的进行，演练过程中除非发生特殊情况，否则尽量不要随意中断。若出现问题，演练完后再进行总结。

（5）做好完整的总结归纳，演练完毕后要及时进行归纳总结，对于演练过程中出现的问题要认真分析，并加以改正，成功的经验要继续保持。

2、应急响应准备：包括建立辐射事故应急值班制度、开展人员培训、配备必要的应急物资和器材。

（1）辐射事故应急办公室应建立完善的辐射事故应急预警机制，及时收集、分析辐射事故相关信息，协调下设小组人员开展辐射事故应急准备工作，定期开展事故应急演练，提高应急处置能力。

（2）定期就辐射安全理论，景德镇市第一人民医院放射事故应急预案、程序和处置措施，以及应急监测技术等内容组织学习，必要时进行考核，以达到培训效果。

（3）根据医院核技术利用情况，可能发生的事故级别，做好事故应急装备的准备工作。主要包括交通、通讯、污染控制和安全防护等方面的物资和器材。

12.5.2 事故应急处理措施

辐射事故一旦发生，应立即采取以下措施进行处理，并根据事故情况启动应急预案。

①射线无高压输入时即停止发射射线，因此处理此类事故的首要一条就是切断电源，切断电源可以停止照射；②立即撤离有关工作人员，封锁现场，控制事故源，切断一切可能扩大事故范围的环节，防止事故扩大和蔓延；对可能受伤的人员，立即采取暂时隔离和应急救援措施，在采取有效个人防护措施的情况下组织人员控制事故现场，并根据需要实施医学检查和医学处理；③如因射线装置输出量异常发生人员受到异常照射的事故，应及时检修射线装置，并进行输出量计量校准。保存控制器上的照射记录，不得随意更改，以便事后对受照人员进行受照剂量估算；④若事故后经检查为机器出现故障，应通知厂家立即派专业技术人员到现场排除故障。医院不能擅自处理；⑤发生辐射事故后，根据受照情况，应迅速安排事故受照人员的医学检查和医学监护。并在 2 小时内向医院领导及有关行政主管部门上报。并配合有关部门进行调查，查找事故原因，做好相关防范措施；⑥医院应根据人员受照剂量，判定事故类型和级别，提出控制措施及救治方案，迅速安排受照人员接受医学检查、救治和医学监护。

12.5.3 应急报告程序

一般报告程序为：发现者报告给医院辐射安全与环境保护管理领导小组，由领导小组向县、公安部门、市生态环境局部门报告，造成人员受到超剂量照射应同时向卫生部门报告。各部门联系方式如下：

应急处理电话：13879271373

景德镇市生态环境局电话：0798-8528472

景德镇市公安局电话：0798-8567190

景德镇市卫生健康委应急电话：0798-5218555

景德镇市第一人民医院已根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中的规定，对可能发生的辐射事故，制定了《辐射事故应急预案》，做好应急准备。医院运行至今，未发生放射性事故，本项目运行后，还应定期修改完善相关规章制度。同时，建设单位在日常加强事故演习，加强医院人员的安全文化素养培植，树立较强的安全意识，减少人为因素导致的意外事故的发生率，确保放射防护可靠性，维护辐射工作人员和周围公众的权益。

12.6 项目环保投资及辐射环境保护“三同时”验收清单

本项目总投资 5200 万元，其中环保投资 1200 万元，环保投资占总投资比例的 23.08%。此外，该项目投入运行后，还应按有关要求进行竣工环境保护验收。具体环保

投资清单和竣工环境保护验收清单详见表 12-2。

表 12-2 污染防治措施“三同时”验收一览表

序号	法律法规	法规要求	环保措施	竣工验收需落实	投资估算(万元)
1	环保部令 第3号	使用I类、II类射线装置的，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	辐射安全管理制度	成立辐射安全领导小组	6
2	环保部令 第3号	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。		制定《辐射防护和安全保卫制度》等	
3	环保部令 第3号、第18号	有完善的辐射事故应急措施。		制定《辐射事故应急处理预案》	
4	环保部令 第3号、第18号	使用场所设置明显的放射性标志，入口处应设置安全和防护设施以及必要的防护安全报警装置或者工作信号，有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	警示灯、电离辐射警示标志、安全连锁	严格落实本报告表表 10 中各机房防护措施	8
5	环保部令 第3号	从事辐射工作的人员必须通过国家生态环境部的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台辐射安全与防护培训结业考核，并取得结业证书。	组织辐射工作人员进行培训结业考核	医院承诺将派辐射工作人员通过国家生态环境部的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台辐射安全与防护培训结业考核，并取得结业证书	6
6	环保部令 第3号	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器	配备辐射防护用品	医院承诺将为新进辐射工作人员配备个人剂量计、便携式辐射监测仪、铅衣铅帽。	5
7	环保部令 第18号	生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	组织辐射工作人员进行个人剂量检测并建立档案	医院承诺将组织新进辐射工作人员进行个人剂量检测并建立档案	4
8	环保部令 第18号	生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府生态环境主管部门认定的环境监测	年度监测	医院承诺每年委托有资质单位对辐射工作场所至少进行一次监测	3

		机构进行监测。			
9	环保部令 第3号	产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	机房设置 通风系统	机房设置通风系 统	45
10	环保部令 第18号	生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	年度评估	每年1月31日前 将年度评估报告 上传至全国核技 术利用辐射安全 申报系统（网址： http://rr.mee.gov.cn ）	3.0
11	《放射治 疗放射防 护要求》（G BZ121-202 0） 《放射诊 断放射防 护要求》（G BZ 130-20 20） 《核医学 辐射防护 与安全要 求》（HJ11 88-2021）	①治疗机房（不包括移动式电子加速器治疗机房）墙和入口门外30cm处（关注点）的周围剂量当量率应不大于下述a）、b）和c）所确定的周围剂量当量率参考控制水平 ②6.3.1机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求： a)具有透视功能的X射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于2.5 u Sv/h；测量时，X射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间； ③核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面0.3m处的周围剂量当量率控制目标值应不大于2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面0.3m处的周围剂量当量率控制目标值应不大于25μSv/h，宜不大于2.5μSv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面5cm处的周围剂量当量率控制目标值应不大于25μSv/h；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。	根据预测， 机房四周 及上下楼 层、各关 注点周围 剂量当量 率均小于 周围剂量 当量率参 考控制水 平	机房四周及上下 楼层、各关 注点空气 周围剂量 当量率均 小于周围 剂量当量 率参考控 制水平	1120
合计		根据《建设项目环境保护管理条例》，本次项目的建设应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。根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，项目竣工后，建设单位应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收监测（调查）报告。验收监测（调查）报告编制完成后，建设单位应当根据验收监测（调查）报告结论，提出验收意见。存在问题的，建设单位应当进行整改，整改完成后方可继续运行。			1200
建议		(1) 对本评价提出的辐射管理和辐射防护措施，应尽快落实。项目竣工后，应及时组织验收监测，编制验收监测报告，提出验收意见，并根据验收意见整改完成后方可继续运行。 (2) 医院应加强辐射安全和防护专业知识及法律法规的培训，按照监测和培训工作计划及每5年轮训一次的要求，指派辐射工作人员和管理人员参加生态环境部门组织的辐射防护和安全培训。 (3) 机房门口应设置明显的电离辐射标志和警戒线。			

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 可行性分析结论

景德镇市第一人民医院西院位于江西省景德镇市昌江区昌南拓展区 2 号路(地理坐标为东经 116°2'6.62", 北纬 25°54'23.06")。

为进一步满足医院业务发展需要,景德镇市第一人民医院拟在景德镇市第一人民医院西院区医技楼开展建设核技术利用项目,具体如下:

①核医学科项目

西院区医技楼负二层建设核医学科工作场所,核医学科属乙级非密封放射性物质工作场所,场所设置 PET-CT 机房、PET-MR 机房、SPECT-CT 机房、分装室、注射后等候室、显像后留观室、核素治疗病房、给药室、储源室、废物暂存室、敷贴室和其他辅助用房。

核素显像:建设 1 间 PET-CT 机房、1 间 PET-MR 机房和 1 间 SPECT-CT 机房。医院拟在 PET-CT 机房中安装使用 1 台 PET-CT (属于Ⅲ类射线装置),在 PET-MR 机房安装使用 1 台 PET-MR,使用核素 ^{18}F 开展正电子显像诊断,最多配套使用 4 枚 ^{68}Ge 校准源 (属于Ⅴ类放射源),用于图像质控校正;在 SPECT-CT 机房安装使用 1 台 SPECT-CT (属于Ⅲ类射线装置),使用放射性 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 开展单光子显像诊断;

核素治疗:医院拟使用核素 ^{131}I 开展甲癌、甲亢治疗,使用核素 ^{32}P 开展敷贴治疗,使用 ^{223}Ra 和 ^{89}Sr 开展骨转移癌治疗;场所设置 4 间甲癌住院病房,每间病房中设置 1 张病床用于甲癌患者住院治疗。

②放疗科项目

西院区医技楼负二层设置放疗科,放疗科内拟使用 1 台 X 射线能量最大 10MV 的医用电子直线加速器 (并将原有老院区放疗科直线加速器搬迁至新机房)、1 台后装治疗机 (使用 ^{192}Ir 为Ⅲ类密封放射源)、1 台 CT 定位机;

(1) 实践正当性分析

本项目的建设可以更好地满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求,

提高对疾病的诊断和治疗能力。核技术应用项目的开展，可达到一般非放射性诊治方法所不能及的诊断和治疗效果，是其它诊治项目无法替代的，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，由于放射诊断的方法效果显著、病人诊断中所受的痛苦较小，方法的优势明显，因此，该项目的实践是必要的。

建设单位在放射性诊断和治疗过程中，对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，并建立相应的规章制度和辐射事故应急预案。因此，在正确使用和管理的情况下，可以将本项目产生的辐射影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给医务人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术利用的实践具有正当性。

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）产业政策符合性分析

本项目属于《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修改）中国家鼓励类的全科医疗服务、医疗卫生服务设施建设项目。因此，该项目符合国家产业政策。

（3）选址可行性及布局合理性分析

①选址可行性分析

项目拟建场所评价范围内 γ 辐射剂量率室内现状监测值在60~106nGy/h之间，在景德镇地区环境天然放射性本底范围内（景德镇地区室内本底值为49.7~175.6nGy/h）；项目拟建场所评价范围内 γ 辐射剂量率室外现状监测值在86~96nGy/h之间，在景德镇地区环境天然放射性本底范围内（景德镇地区原野及道路本底值为18.0~97.9nGy/h），场地周围辐射环境质量现状较好。

因此，可知场地周围辐射环境质量现状较好，未见明显异常。

工作场所选址均远离医院内及周围环境敏感点，有利于辐射防护。项目营运期产生的电离辐射、废气均得到有效治理，达标排放对环境的影响小。从环境保护角度分析，项目选址可行。

②布局合理性分析

根据现场踏勘，项目屏蔽体外50米外环境周围无自然保护区、保护文物、风景名胜、水源保护区等环境敏感点和生态敏感点等制约因素。

本项目所在主体大楼已取得景德镇市生态环境局（原景德镇市环境保护局）《关于

<景德镇第一人民医院新区分院项目环境影响报告书>的批复》批复文件（景环审字【2015】322号），医院整体项目选址合理性已在《景德镇市第一人民医院医技楼建设项目环境影响报告表》中进行了论述，本项目仅为整体项目的配套建设项目，不新增用地，且拟建设的各个辐射工作场所，均按照相关规范要求建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。

项目的选址已充分考虑其对周边环境的辐射影响，未设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。辐射工作场所分布相对集中，场所进行了单独选址、集中建设，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，建设进行辐射安全分区管理，限制无关人员进入控制区及限制在监督区逗留，从辐射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。

(4) 利益代价分析和实践正当性分析

本项目的建设有利于其周边区域医疗卫生服务水平的提升，改善患者的诊疗环境。本项目在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益和社会效益，所带来的利益大于其危害。本项目通过对机房设置辐射防护措施，对潜在照射所致危险实施控制，使本项目所引起的个人照射可满足剂量限值要求，符合辐射防护“剂量限值”原则。项目在加强管理后均满足国家相关法律、法规和标准的要求，不会给所在区域带来环境压力。

13.1.2 环境影响分析结论

(1) 墙体屏蔽的辐射防护

根据估算，医用电子直线加速器机房周围各关注点处的最大 X- γ 空气辐射剂量率为 $7.03E-01\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的相关要求。

根据估算，后装机机房周围各关注点处的最大 X- γ 空气辐射剂量率为 $2.55E-01\mu\text{Sv/h}$ ，后装机机房墙体及防护门外的辐射剂量率值满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的相关要求。

根据估算，在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3 m 处的辐射剂量率最大为 $7.75\mu\text{Sv/h}$ 。均符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

(2) 剂量估算

通过评价，从事本项目的辐射工作人员和公众成员的年有效剂量均满足辐射剂量约束值的要求（职业人员小于 5mSv/a ，公众成员小于 0.1mSv/a ），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关标准的要求。

13.1.3 辐射防护与安全措施

①射线装置机房各墙体厚度能够满足相关标准要求，防护门和观察窗的生产由厂家承担。

②机房按照要求设置了相应的门灯连锁装置、紧急停机、视频监视系统工作状态指示灯、电离辐射警示标志灯等。

③机房的过墙电缆线、管线孔采用管线采取地理直穿，电缆管线穿墙并提供屏蔽补偿措施，并保证机房良好的通风。

④根据要求为医生、病人配置相应的防护用品。

⑤所有辐射工作人员佩戴个人剂量计，并定期进行测读，建立个人剂量档案。

13.1.4 辐射与环境保护管理

医院成立了辐射安全与防护管理组织，各项规章制度、操作规程、应急处理措施按照要求制定、更新及修改完善后，基本健全、具有可操作性，但仍应加强日常应急响应的准备工作及应急演练。医院应严格按照各项规章制度执行，辐射工作人员在工作时必须佩戴个人剂量计，定期进行检查并安排职业健康体检。医院还应在今后的工作中，按照相关标准要求不断完善相关管理制度，加强管理，杜绝辐射事故的发生。

综上所述，景德镇市第一人民医院严格按照环评要求进行建设后，医院核技术利用项目运行时对周围环境产生的辐射影响符合环境保护的要求；该项目的辐射防护安全措施可行；拟制定的规章制度基本能够满足相应管理要求；该项目对环境的辐射影响是可接受的。医院在落实了本环评提出的各项环境保护及污染防治措施的前提下，从环境保护的角度来看，本环评认为该建设项目是可行的。

13.2 要求

1、根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 B1.1 款的相关规定，医院应定期（最长不超过 90 天）对从事介入放射学的工作人员进行个人剂量监测，加强工作人员的辐射防护，工作人员必须正确配戴个人剂量计。

2、医院按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的要求，做好自主管理，制定工作场所周围辐射环境监测、个人剂量监测等相关监测计划以及职业健康体检工作计划，并自购辐射巡测仪，确保周围环境的辐射安全和职工健康。

3、对于医院使用 II 类射线装置、及核医学科操作的辐射工作人员，应通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（培训考核网址：<http://fushe.mee.gov.cn/>）参加线上

免费培训和生态环境部考务系统线下集中考核，考核合格方可上岗，到期后按要求进行复训。对于使用 III 类射线装置的辐射工作人员，医院应组织自主考核，考核合格方可上岗，到期后按要求进行复训。医院应组织辐射工作人员到有职业健康检查资质的医疗机构进行职业健康检查，周期为 1~2 年。

4、医院应根据要求自主开展环保验收。

5、医院应按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中的相关规定申领辐射安全许可证。

6、对医院辐射装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

7、医院配备充足的辐射工作人员，能满足医院介入中心工作需求。

13.3 建议和承诺

1、医院应加强内部管理，明确管理职责，杜绝各类辐射事故的发生。

2、医院在项目期间，需要根据实际情况修改完善各项制度，并组织实施。各项规章制度、操作规程必须齐全，并张贴上墙；所有的辐射工作场所均必须有电离辐射警示标志，射线装置机房屏蔽门上方还必须要有工作指示灯。警告标志的张贴必须规范。

3、医院辐射防护标识应全面、清晰，不留死角。

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