

检索号

2023-HP-0154

核技术利用建设项目

泉州宝璋肿瘤医院有限公司

核技术利用项目

环境影响报告表

(公开本)

泉州宝璋肿瘤医院有限公司 (盖章)

2023 年 11 月

打印编号：1695116307000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	6z9049		
建设项目名称	泉州宝璋肿瘤医院有限公司核技术利用项目		
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	泉州宝璋肿瘤医院有限公司		
统一社会信用代码	91350504MA3327YH0B		
法定代表人（签章）	易良喆		
主要负责人（签字）	贾林旺		
直接负责的主管人员（签字）	贾林旺		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	江苏辐环环境科技有限公司		
统一社会信用代码	913201003393926218		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
符晶晶	2015035320350000003510320304	BH005877	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
符晶晶	表11、表12、表13	BH005877	
谭清梅	表1、表2、表3、表4、表5、表6、表7、表8、表9、表10	BH032246	

目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	9
表 3 非密封放射性物质.....	10
表 4 射线装置.....	11
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	13
表 6 评价依据.....	16
表 7 保护目标与评价标准.....	19
表 8 环境质量和辐射现状.....	41
表 9 项目工程分析与源项.....	53
表 10 辐射安全与防护.....	89
表 11 环境影响分析.....	130
表 12 辐射安全管理.....	203
表 13 结论与建议.....	216
表 14 审批.....	224

附图：

附图 1 泉州宝璋肿瘤医院有限公司核技术利用项目拟建址地理位置示意图

附图 2 医院平面布置及周围环境示意图

附图 3 医疗综合楼地下一层局部平面布置示意图（放疗科和核医学科）

附图 4 医疗综合楼一层局部平面布置示意图（放疗科和核医学科上方）

附图 5 医疗综合楼二层局部平面布置示意图（介入中心下方）

附图 6 医疗综合楼三层局部平面布置示意图（介入中心）

附图 7 医疗综合楼四层局部平面布置示意图（介入中心上方）

附图 8 放疗科直线加速器机房、后装治疗机房分区示意图

附图 9-1 直线加速器机房平面及剖面布置示意图

附图 9-2 直线加速器机房拟设置的辐射安全装置平面布置示意图

附图 9-3 后装治疗机房平面及剖面布置示意图

附图 9-4 后装治疗机房拟设置的辐射安全装置平面布置示意图

附图 10-1 核医学科平面布置及分区示意图

附图 10-2 核医学科回旋加速器机房平面及剖面布置示意图

附图 10-3 核医学科回旋加速器机房拟设置的辐射安全装置平面布置示意图

附图 10-4 核医学工作场所人流、物流路径示意图

附图 10-5 核医学工作场所放射性废水收集管道平面布置示意图

附图 10-6 核医学科放射性废水衰变室的结构示意图

附图 10-7 核医学科通风管道平面布置示意图

附图 11 介入中心 DSA 机房平面布置及分区示意图

附件：

附件 1 项目委托书

附件 2 射线装置使用承诺书

附件 3 放射源使用承诺书

附件 4 废源退役方案及废弃的钨铍发生器处理方案承诺书

附件 5 本项目辐射环境现状检测报告及检测单位资质认证证书、检测仪器检定证书和现场检测照片

附件 6 公司已制定的辐射安全管理规章制度及辐射事故应急预案

附件 7 泉州市生态环境局关于泉州宝璋肿瘤医院项目环境影响报告书的批复

附件 8 泉州宝璋肿瘤医院有限公司不动产权证书

表 1 项目基本情况

建设项目名称		泉州宝璋肿瘤医院有限公司核技术利用项目			
建设单位		泉州宝璋肿瘤医院有限公司			
法人代表	易良喆	联系人	贾林旺	联系电话	
注册地址		泉州市洛江区河市镇福滨街与金狮路交汇东北处			
项目建设地点		泉州市洛江区河市镇福滨街与金狮路交汇东北处			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	20000	项目环保投资 (万元)	3000	投资比例(环 保投资/总投 资)	15%
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 type="checkbox"/> V 类		
	非密封放 射性物质	<input checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<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		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			
	1.1 项目概述				
1.1.1 建设单位基本情况					
<p>泉州宝璋肿瘤医院有限公司成立于 2019 年 07 月 19 日，为广州七喜集团有限公司旗下健康集团广州圣德医疗管理有限责任公司全资子公司，经营范围包括肿瘤医院服务；医院管理服务；综合医院服务；医学研究和试验发展活动。</p> <p>泉州宝璋肿瘤医院有限公司拟投资 15 亿元在泉州市洛江区河市镇福滨街与金狮路交汇东北处建设泉州宝璋肿瘤医院建设项目，项目占地约 85.78 亩（57190 平方米），院区建设医技综合楼、科研楼、后勤楼、行政楼、会议中心。总建筑面积 164698 平方米建成后床位数将达到 1000 张，预计 2023 年底可投入运营。该项目已委托有资质单位编制了环境影响报告书，并已于 2020 年 11 月 13 日通过了泉州市生</p>					

态环境局审批（批复文件见附件7），批复文号：泉洛环评【2020】书5号。

1.1.2 项目建设规模

1.1.2.1 项目概况

为满足患者的就医需求，提升当地和周边区域群众的医疗服务水平，泉州宝璋肿瘤医院有限公司拟开展核技术利用项目，本次环评项目具体包括：

1、医院拟在医疗综合楼地下一层新建放疗科，配备5台医用直线加速器、1台后装治疗机（使用1枚¹⁹²Ir放射源），开展放射治疗项目。

2、医院拟在医疗综合楼地下一层新建核医学科，配备1台回旋加速器及合成分装室等附属用房，用于制备PET用放射性药物¹⁸F；配备2台PET/CT，使用放射性药物¹⁸F开展显像检查，使用3枚⁶⁸Ge密封源用于PET/CT的校准；配备1台SPECT（无CT功能），使用钼铯发生器自行淋洗制备放射性药物^{99m}Tc开展显像检查；外购放射性药物⁸⁹Sr开展门诊治疗；同时医院拟在医疗综合楼东侧（靠近核医学科处）新建一个地下式放射性废水衰变室，用于核医学科放射性废水的暂存衰变。

3、医院拟在医院医疗综合楼三层新建介入中心，配备2台DSA机，开展放射诊断和介入治疗。

此外，医院拟在放疗科配备1台CT模拟定位机，用于放射治疗前的模拟定位；拟在医疗综合楼一层新建影像科，配备3台CT、3台DR、1台乳腺钼靶机，用于放射诊断，以上辐射设备型号均未定，均属于III类射线装置，医院将根据要求另行办理建设项目环境影响登记表备案手续，不属于本次环评内容。

本项目核技术利用情况见表1-1。

表 1-1 本项目核技术利用情况表

放射源							
序号	放射源名称	数量（枚）	单枚活度（Bq）	放射源类别	工作场所名称	活动种类	环评情况
1	¹⁹² Ir	1	3.7×10 ¹¹	III	医疗综合楼地下一层放疗科后装治疗机房	使用	新建项目，本次环评
2	⁶⁸ Ge	2	4.63×10 ⁷	V	医疗综合楼地下一层核医学科PET/CT机房	使用	
3	⁶⁸ Ge	1	9.25×10 ⁷	V		使用	
非密封放射性物质							
序号	工作场所等级	核素名称	拟申请的日等效最大操作量（Bq）	工作场所名称	活动种类	环评情况	
1	乙级	¹⁸ F	5.92×10 ⁸	医疗综合楼地下一层核医学科	生产、使用	新建项目，本次环评	

2		^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	1.85×10^7			使用		
3		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.85×10^8			使用		
4		^{89}Sr	9.25×10^7			使用		
射线装置								
序号	射线装置名称	数量(台)	管电压(kV)	管电流(mA)	类别	工作场所名称	活动种类	环评情况
1	回旋加速器(MINItrace Qilin)	1	质子能量: $\leq 10\text{MeV}$ 束流强度: $\leq 70\mu\text{A}$		II	医疗综合楼地下一层核医学科回旋加速器机房	使用	新建项目, 本次环评
2	医用直线加速器(型号未定)	1	X射线: $\leq 10\text{MV}$ 电子线: $\leq 22\text{MeV}$		II	医疗综合楼地下一层放疗科直线加速器机房1	使用	
3	医用直线加速器(型号未定)	1			II	医疗综合楼地下一层放疗科直线加速器机房2	使用	
4	医用直线加速器(型号未定)	1			II	医疗综合楼地下一层放疗科直线加速器机房3	使用	
5	医用直线加速器(型号未定)	1			II	医疗综合楼地下一层放疗科直线加速器机房4	使用	
6	医用直线加速器(型号未定)	1			II	医疗综合楼地下一层放疗科直线加速器机房5	使用	
7	DSA(型号未定)	1			≤ 125	≤ 1000	II	
8	DSA(型号未定)	1	II	医疗综合楼三层介入中心 DSA 机房2			使用	
9	PET/CT(型号未定)	1	≤ 140	≤ 800	III	医疗综合楼地下一层核医学科 PET/CT 机房1	使用	
10	PET/CT(型号未定)	1			III	医疗综合楼地下一层核医学科 PET/CT 机房2	使用	

注: 核医学科日等效最大操作量为 $8.88 \times 10^8\text{Bq}$, 为乙级非密封放射性物质工作场所。

1.1.2.2 项目由来

泉州宝璋肿瘤医院有限公司无其他核技术利用设备应用, 本次属首次开展核技术利用建设项目。为保护环境和公众利益, 防止辐射污染, 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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求, 泉州宝璋肿瘤医院有限公司本次拟开展的核技术利用项目应办理核技术利用项目环境影响评价手续。

根据《关于发布放射源分类办法的公告》，本项目后装机内 ^{192}Ir 放射源属于Ⅲ类放射源，核医学科内 PET/CT 校验源 ^{68}Ge 属于V类放射源；根据《电离辐射防护与辐射源安全标准》（GB 18871-2002），本项目核医学科为乙级非密封放射性物质工作场所；根据《射线装置分类》（2017年修订版），本项目回旋加速器、医用直线加速器、DSA 属于 II 类射线装置，核医学科内 PET/CT 属于 III 类射线装置。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），本项目应编制环境影响报告表。受泉州宝璋肿瘤医院有限公司的委托，江苏辐环环境科技有限公司承担该项目的环评工作。我公司通过资料调研、项目工程分析，并在结合现场勘察、现场检测（委托江苏核众环境监测技术有限公司检测）等工作的基础上，编制了该核技术利用项目环境影响报告表。

1.2 项目周边保护目标及项目选址情况

泉州宝璋肿瘤医院有限公司核技术利用项目选址位于泉州市洛江区河山镇福滨街与金狮路交汇东北处，医院东侧为纵一路，南侧为福滨街，西侧为金狮路，北侧为规划路。本次核技术利用项目均位于医院医疗综合楼内，医疗综合楼东侧依次为院内绿化和道路、停车场、远期规划的科研楼、会议中心、行政楼和后勤楼，南侧和西侧均为院内绿化和道路、停车场，北侧为停车场、中心花园、液氧站、垃圾收集房、院内道路。项目拟建址地理位置示意图附图 1，医院平面布置及周围环境示意图附图 2。

（1）放疗科直线加速器机房、后装治疗机房

本项目放疗科位于医院医疗综合楼地下一层的东北角，直线加速器机房（5间）拟设置于放疗科北部，加速器机房东西向相邻设置，加速器机房东侧依次为土层、远期地下室，北侧为土层，西侧为土层和楼梯间、设备房，南侧依次为加速器控制室、水冷机房等辅房、模拟 CT 定位室、后装治疗机房及放疗科辅房、核医学工作场所等，底下为地基层、无建筑，机房屋顶凸出地面（0.95~2.15）m，上方无建筑，屋顶周围为中心花园。

后装治疗机房（1间）拟设置于医院医疗综合楼地下一层放疗科东部，机房东侧依次为过道、土层、远期地下室，南侧依次为过道、进风机房等辅房、核医学工作场所、地下车库等，西侧依次为过道、更衣室等后装治疗机房辅房、模拟 CT 定位室及放疗科辅房，北侧依次为后装治疗操作室和准备间、走道、加速器机房及其辅房，底下为地基层、无建筑，顶上为消防车登高操作场地。

（2）核医学科

本项目核医学科拟设置于医院医疗综合楼地下一层的东部，位于放疗科南侧，核医学工作场所东侧依次为过道、送风机房、楼梯间等辅房、土层、远期地下室，南侧为地下车库，西侧依次为电梯和楼梯间等辅房、设备房，北侧依次为核医学科医护及工作过道、办公室等、放疗科，底下为地基层、无建筑，顶上为影像科、报告厅和庭院等。

(3) 介入中心 DSA 机房

本项目介入中心 DSA 机房（2 间）拟设置于医疗综合楼三层的南部，DSA 机房东西向并排设置、中间间隔控制室，机房东侧依次为输血科和手术中心，南侧依次为设备间和污物暂存间等 DSA 辅房、污物通道和办公通道、医疗废物暂存间和洁具间、强电等辅房，西侧依次为介入中心更衣室和值班室等、日间化疗科等，北侧依次为介入中心库房和病人通道等，底下为内镜中心值班室、主任办、护长办、备选纤支镜检查室、病人通道等，顶上为不上人屋面和设备平台。

本项目各辐射工作场所所在楼层及相邻楼层局部平面布置示意图见图 3 至附图 7。

根据单位提供资料、现场调查和附图 2 可知，本项目各辐射工作场所周围 50m 评价范围内无学校、居民区等环境敏感点；各场所所处位置相对独立，各设备均设有单独固定的机房，与周围非辐射工作场所隔开，直线加速器机房、后装治疗机房避开儿科病房、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，核医学工作场所不与产科、儿科、食堂等部门及人员密集区毗邻。根据理论估算，项目运行时对周围环境辐射影响较小，因此，项目选址基本合理。

本项目环境保护目标主要是各辐射工作场所辐射工作人员，评价范围内医院内的其他医护人员等工作人员、病患及陪同家属、规划路上行人等流动人员。

本项目直线加速器机房、后装治疗机房、回旋加速器机房均为混凝土结构，机房的建设依托医疗综合楼的主体工程，机房混凝土结构已建成，核医学科、DSA 机房结构未建，所有场所的辐射防护施工均未开展。项目拟建址及周围环境现状见图 1-1。



直线加速器机房



直线加速器机房南侧



后装治疗机房



回旋加速器机房



核医学科拟建址



DSA 机房拟建址



DSA 机房拟建址上方



直线加速器机房屋顶

直线加速器机房上方



图 1-1 本项目拟建址及周边环境现状图

1.3 产业政策符合性分析

经对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 修改版），本项目直线加速器、后装机、核医学科属于国家鼓励类的第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，DSA 属于国家鼓励类的第十三项“医药”中第 5 款中“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备”，符合国家产业发展政策。

1.4 代价利益分析

本项目的运行，可为患者提供放射诊疗服务，方便群众就医，具有良好的社会效益和经济效益。本项目总投资 20000 万元，其中环保投资 3000 万元，占总投资的 15%，本项目环保投资比例合理、适当，可保证环保措施的落实。根据本文分析，本项目经辐射防护屏蔽和安全管理后，可保证项目辐射环境剂量率和人员辐射剂量满足项目管理目标要求。

因此，从代价利益方面分析，本项目获得的利益远大于对环境的影响，具有明显的经济效率、社会效益，该项目的建设符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

1.5 项目环保投资

本项目环保投资明细见表 1-2。

表 1-2 本项目环保投资明细一览表

序号	项目	投资金额 (万元)
1	机房的土建和防护施工（辐射防护涂料、铅门、铅玻璃观察窗等）	2540
2	辐射安全装置和保护措施（电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门机联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲装置等）	10
3	辐射防护用品（热室、手套箱、铅废物桶、铅衣、铅帽、铅围脖等）	250

4	通风系统	80
5	放射性废水衰变系统	80
6	个人剂量监测、职业健康体检、辐射安全与防护考核	6
7	辐射监测仪器	6
8	辐射安全规章制度上墙、环境影响评价、竣工环保验收	28
合计		3000

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动 种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹ Bq×1枚	III	使用	放射治疗	医疗综合楼地下一层 放疗科后装治疗机房	后装机房内随设备存放	/
2	⁶⁸ Ge	4.63×10 ⁷ Bq×2 枚	V	使用	PET/CT校准	医疗综合楼地下一层 核医学科PET/CT机房	源自带铅屏蔽储源罐，暂存于 储源室内；使用时连同储源罐 一起送至PET/CT机房，使用 长柄镊子取出放射源放在检查 床的支架上进行相关质控操作	/
3	⁶⁸ Ge	9.25×10 ⁷ Bq×1 枚	V	使用				/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{18}F	液态、低毒 $T_{1/2}=109.8\text{min}$	生产、使用	5.92×10^{10}	5.92×10^8	1.48×10^{13}	生产放射性药物 ^{18}F ，用于 PET 显像检查	简单操作	医疗综合楼地下一层核医学科	按需生产，分装后装入铅罐送至核医学科储源室暂存，当天用完
2	^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	液体/中毒 $T_{1/2}=66\text{h}$	使用	1.85×10^{10}	1.85×10^7	9.25×10^{11}	淋洗制备放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	源的贮存		到货后先暂存于核医学科储源室内，开始工作后暂存于分装注射室手套箱 1 内
3	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态、低毒 $T_{1/2}=6.02\text{h}$	使用	1.85×10^{10}	1.85×10^8	4.625×10^{12}	SPECT 显像检查	简单操作		按需淋洗制备，暂存于核医学科分装注射室手套箱 1 内，当天用完
4	^{89}Sr	液体/中毒 $T_{1/2}=50.53\text{d}$	使用	9.25×10^8	9.25×10^7	2.31×10^{11}	治疗	简单操作		按需购买，当天送达后暂存于核医学科储源室内，当天用完
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	回旋加速器	II	1	MINItrace Qilin	质子	10MeV	束流强度： ≤70μA	生产PET用放 射性核素 ¹⁸ F	医疗综合楼地下一层核医学科 回旋加速器机房	带自屏蔽
2	医用直线 加速器	II	1	拟购待定	电子	X射线：10MV 电子线：22MeV	距靶 1m 处最高 X 线剂量率： 1440Gy/h (10MV)、 960Gy/h (6MV)	放射治疗	医疗综合楼地下一层放疗科直 线加速器机房 1	/
3	医用直线 加速器	II	1	拟购待定	电子				医疗综合楼地下一层放疗科直 线加速器机房 2	/
4	医用直线 加速器	II	1	拟购待定	电子				医疗综合楼地下一层放疗科 直线加速器机房 3	/
5	医用直线 加速器	II	1	拟购待定	电子				医疗综合楼地下一层放疗科 直线加速器机房 4	/
6	医用直线 加速器	II	1	拟购待定	电子				医疗综合楼地下一层放疗科 直线加速器机房 5	/
/	/	/	/	/	/				/	/

(二) X射线机, 包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II	1	拟购待定	125	1000	放射诊断/介入治疗	医疗综合楼三层介入中心 DSA 机房 1	/
2	DSA	II	1	拟购待定	125	1000	放射诊断/介入治疗	医疗综合楼三层介入中心 DSA 机房 2	/
3	PET/CT	III	1	拟购待定	140	800	放射诊断	医疗综合楼地下一层 核医学科 PET/CT 机房 1	/
4	PET/CT	III	1	拟购待定	140	800	放射诊断	医疗综合楼地下一层 核医学科 PET/CT 机房 2	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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 (μ A)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
退役放射源	固态	¹⁹² Ir	使用约 180 天后退役，退役时活度约为 6.9×10^{10} Bq	/	约 2 枚	/	随设备存放	原生产厂家回收处理
	固态	⁶⁸ Ge	使用约 550 天后退役，退役时活度约为 1.13×10^7 Bq	/	不大于 2 枚	/	暂存于核医学科放射性废物库内	原生产厂家回收处理
	固态	⁶⁸ Ge	使用约 550 天后退役，退役时活度约为 2.26×10^7 Bq	/	不大于 1 枚	/	暂存于核医学科放射性废物库内	原生产厂家回收处理
废弃的钼铯发生器	固体	⁹⁹ Mo、 ^{99m} Tc	/	约 4~5 柱	约 50 柱	/	暂存于核医学科放射性废物库内	原生产厂家回收处理
回旋加速器废旧靶膜、C膜、离子源等高活性固废	固态	⁶⁴ Cu、 ²⁷ Mg、 ²⁴ Na 等	/	/	约 0.1kg	/	暂存于回旋加速器机房内高活性放射性废物桶内	委托有放射性固废处理资质的单位处理
回旋加速器机房内洗靶、装卸靶过程中产生的一次性沾污废物等非高活性固废	固态	感生放射性核素	/	/	约 0.5kg	/	暂存于回旋加速器机房内非高活性放射性废物桶内	委托有放射性固废处理资质的单位处理

核医学科放射性药物合成、分装、质检、患者放射诊断等过程中产生的放射性固废	固体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	约 104kg	约 1250kg	$^{18}\text{F} \leq 1 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ $^{99\text{m}}\text{Tc} \leq 1 \times 10^5 \text{Bq/kg}$	根据核素种类分类收集，先暂存于各场所内的铅废物桶中，门诊下班后集中收集暂存在核医学科放射性废物库内	暂存时间超过 30 天后，经监测，辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面沾污小于 0.8Bq/cm^2 后，作为医疗废物处理
核医学科放射性药物 ^{89}Sr 治疗过程中产生的放射性固废	固体	^{89}Sr	/	约 1kg	约 12.5kg	$\leq 1 \times 10^6 \text{Bq/kg}$	先暂存于分装注射室铅废物桶中，门诊下班后集中收集暂存在核医学科放射性废物库内	暂存时间超过 505.3 天 (^{89}Sr 核素半衰期的 10 倍)，经监测，辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面沾污小于 0.8Bq/cm^2 后，作为医疗废物处理
核医学科非密封放射性物质工作场所通风系统更换下来的废活性炭过滤吸附材料等	固体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、感生放射性核素	/	/	约 16kg	/	集中收集放置在核医学科放射性废物库内中	委托有放射性固废处理资质的单位处理
核医学科放射性药物合成、分装、质检、患者放射诊断等过程中产生的放射性废水	液体	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	约 13.4m^3	约 160.73m^3	总 β 不大于 10Bq/L	经专用管道排至放射性废水衰变系统	在衰变系统中暂存时间超过 30 天后排放至院内污水处理站，处理达标后通过市政污水管网进入城东污水处理厂处理

回旋加速器运行过程中产生的活化气体	气态	感生放射性核素	/	微量	微量	/	不暂存	经专用通风系统于所在建筑物的屋顶排放
核医学科运行过程中产生的含微量放射性核素的挥发气体	气态	¹⁸ F、 ^{99m} Tc	/	微量	微量	/	不暂存	经专用通风系统于所在建筑物的屋顶排放
直线加速器机房、后装治疗机房、回旋加速器机房、PET/CT 机房、DSA 机房运行过程中产生的臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	经排风系统排出室外，弥散在大气环境中，臭氧常温下可自行分解为氧气

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

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(修订版), 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》(2018 年修正版), 2018 年 12 月 29 日起施行</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》, 2003 年 10 月 1 日起实施</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(修订版), 国务院令 第 709 号, 2019 年 3 月 18 日起施行</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》(2017 年修订), 2017 年 10 月 1 日起实施</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021 年修正版), 生态环境部令 第 20 号, 自 2021 年 1 月 4 日起施行</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》, 生态环境部令 第 16 号, 2021 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》, 环保部令 第 18 号, 2011 年 5 月 1 日起施行</p> <p>(9) 《产业结构调整指导目录(2019 年本)》(2021 修改版), 中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第 49 号 修改, 2021 年 12 月 30 日起施行</p> <p>(10) 《关于发布放射源分类办法的公告》, 原环境保护总局公告 2005 年第 62 号, 2005 年 12 月 23 日发布</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会公告 2017 年第 66 号, 2017 年 12 月 5 日起施行</p> <p>(12) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》, 环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017 年公告第 65 号公布, 2018 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(13) 《放射性废物安全管理条例》, 国务院令 第 612 号, 2012 年 3 月 1 日起施行</p> <p>(14) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》, 生态环境部令 第 9 号, 2019 年 11 月 1 日起施行</p> <p>(15) 《关于发布<建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法>配套文件的公告》, 生态环境部公告 2019 年第 38 号, 2019 年 11 月 1 日起施行</p> <p>(16) 《生态环境部关于启用环境影响评价信用平台的公告》, 生态环境部公告</p>
------	--

	<p>2019年第39号，2019年10月25日生成</p> <p>(17)《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告2019年第57号，2020年1月1日起施行</p> <p>(18)《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环办辐射函[2016]430号，2016年3月7日起施行</p> <p>(19)《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，国家核安全局辐射函〔2023〕20号，2023年9月13日生成</p> <p>(20)《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》国家环保总局，环发[2006]145号</p> <p>(21)《福建省环保厅关于印发<核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲>(试行)的通知》，闽环保辐射〔2013〕10号，2013年3月15日印发</p> <p>(22)《福建省生态环境厅关于印发福建省辐射事故应急预案的函》，闽环函[2020]22号，2020年9月23日印发</p> <p>(23)《泉州市生态环境局关于印发<泉州市辐射事故应急预案>的函》，泉环保函〔2021〕6号，2021年4月28日印发</p>
<p style="text-align: center;">技 术 标 准</p>	<p>(1)《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)</p> <p>(2)《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)</p> <p>(3)《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)</p> <p>(4)《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)</p> <p>(5)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)</p> <p>(6)《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)</p> <p>(7)《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)</p> <p>(8)《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)</p> <p>(9)《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>(10)《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>(11)《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)</p>

	<p>(12)《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)</p> <p>(13)《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)</p> <p>(14)《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)</p> <p>(15)《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)</p> <p>(16)《粒子加速器辐射防护规定》(GB 5172-85)</p>
其他	<p>与本项目相关附件:</p> <p>(1) 项目委托书 (见附件 1)</p> <p>(2) 射线装置使用承诺书 (见附件 2)</p> <p>(3) 放射源使用承诺书 (见附件 3)</p> <p>(4) 废源退役方案及废弃的钨铀发生器处理方案承诺书 (见附件 4)</p> <p>(5) 本项目辐射环境现状检测报告及检测单位资质认证证书、检测仪器检定证书和现场检测照片 (见附件 5)</p> <p>(6) 公司已制定的辐射安全管理规章制度及辐射事故应急预案 (见附件 6)</p> <p>(7) 泉州市生态环境局关于泉州宝璋肿瘤医院项目环境影响报告书的批复 (见附件 7)</p> <p>(8) 泉州宝璋肿瘤医院有限公司不动产权证书 (见附件 8)</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目为使用 III 类、V 类放射源，使用非密封放射性物质（乙级非密封放射性物质工作场所），使用 II 类、III 类射线装置，运行期主要环境影响为电离辐射影响，根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中的要求，放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙级、丙级取半径 50m 的范围；放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围。因此本项目辐射评价范围确定为：放疗科直线加速器机房、后装治疗机房、核医学科（包括回旋加速器和非密封放射性物质工作场所）、介入中心 DSA 机房实体边界外 50m 范围内区域。本项目评价范围示意图附图 2。

7.2 保护目标

根据单位提供资料、现场调查和附图 2 可知，本项目各辐射工作场所周围 50m 评价范围内无学校、居民区等环境敏感点。本项目环境保护目标主要是各辐射工作场所辐射工作人员，评价范围内医院内的其他医护人员等工作人员、病患及陪同家属、规划路上行人等流动人员。本项目环境保护目标情况见表 7-1。

表 7-1-1 放疗科直线加速器项目环境保护目标一览表

环境保护目标名称	保护目标位置描述	方位	距机房最近距离	人口规模	保护要求	
辐射工作人员	控制室内	南侧	0.3m	至少 15 人（与后装机共用）	年剂量不超过 5mSv/a	
公众	医院内的其他医护人员等工作人员	远期地下室	东侧	约 4m	医院目前处于筹备建设阶段，人口规模不确定	年剂量不超过 0.1mSv/a
	放疗科模拟 CT 定位室、后装治疗机房及放疗科辅房、核医学科工作场所等	南侧	约 7m			
	楼梯间	西侧	0.3m			
	设备房	西侧	约 21m			
	中心花园、院内道路和绿化	上方周围	0.3m			
	医疗综合楼	上方南侧	约 21m			
	后勤楼（远期设计）	上方东北侧	约 23m			

		科研楼 (远期设计)	上方东南侧	约 34m	
	病患、陪同家属等流动人员	医院内	机房东侧、南侧、西侧、斜上方	0m	流动人群
	行人等流动人员	规划路	上方北侧	约 38m	流动人群

表 7-1-2 放疗科后装治疗项目环境保护目标一览表

环境保护目标名称		保护目标位置描述	方位	距机房最近距离	人口规模	保护要求
辐射工作人员		开机治疗时： 控制室、准备室内	北侧	0.3m	至少 15 人 (与直线加速器共用)	年剂量不超过 5mSv/a
		治疗前摆位时： 机房内	机房内	距后装机机头至少 1m		
公众	医院内的其他医护人员等工作人员	过道	东侧	0.3m	医院目前处于筹备建设阶段，人口规模不确定	年剂量不超过 0.1mSv/a
		远期地下室		约 4m		
		过道、进风机房等辅房、核医学工作场所、地下车库等	南侧	0.3m		
		过道、更衣室等后装治疗机房辅房、模拟 CT 定位室及放疗科辅房	西侧	0.3m		
		走道、加速器机房及其辅房	北侧	约 5m		
		消防车登高操作场地、中心花园、院内道路和绿化	上方	0.87m		
		医疗综合楼	上方南侧、西侧	约 7m		
		后勤楼 (远期设计)	上方东北侧	约 40m		
	科研楼 (远期设计)	上方东南侧	约 26m			
	病患、陪同家属等流动人员	医院内	机房四周、楼上、斜下方	0m	流动人群	

表 7-1-3 核医学项目环境保护目标一览表

环境保护目标名称		保护目标位置描述	方位	距核医学工作场所最近距离	人口规模	保护要求
辐射工作人员		回旋加速器控制室内	南侧	0.3m	至少 12 人	年剂量不超过 5mSv/a
		PET/CT 控制室内	北侧	0.3m		
		SPECT 控制室内	北侧	0.3m		
		核医学工作场所内		距辐射源点 $\geq 0.3m$		
公	医院内的其他	过道、送风机房、楼梯	东侧	0.3m	医院目前处	年剂量

众	医护人员等工作人员	间等辅房、远期地下室			于筹备建设阶段, 人口规模不确定	不超过0.1mSv/a
		地下车库	南侧	0.3m		
		核医学科诊室和注射前患者候诊区等辅房、电梯和楼梯间等辅房、设备房	西侧	0.3m		
		核医学科过道、办公室等、放疗科	北侧	0.3m		
		影像科、报告厅和庭院等	上方	0.57m		
		消防车登高操作场地、中心花园、院内道路和绿化	上方东侧、北侧	0.57m		
		科研楼(远期设计)	上方东侧	约 31m		
	行政楼(远期设计)	上方东南侧	约 42m			
患者、陪同家属等流动人员	医院内	场所四周、上方	0m	流动人群		

表 7-1-4 介入中心 DSA 项目环境保护目标一览表

环境保护目标名称	保护目标位置描述	方位	距机房最近距离	人口规模	保护要求	
辐射工作人员	控制室内	DSA 机房 1 东侧、DSA 机房 2 西侧	0.3m	至少 4 人	年剂量不超过 5mSv/a	
	机房内	DSA 机房 1、DSA 机房 2 内	距离 X 光机球管不低于 0.5m	至少 8 人		
公众	医院内的其他医护人员等工作人员	输血科和手术中心	东侧	0.3m	医院目前处于筹备建设阶段, 人口规模不确定	年剂量不超过 0.1mSv/a
		污物通道和办公通道、医疗废物暂存间和洁具间、强电等辅房	南侧	约 4m		
		介入中心更衣室和值班室等、日间化疗科等	西侧	0.3m		
		介入中心库房和病人通道等	北侧	0.3m		
		设备平台	上方	0m		
	内镜中心备选纤支镜检查室、通道等	下方	0m			
患者、陪同家属等流动人员	医院内	机房四周、楼下	0m	流动人群		

7.3 评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)

① 剂量限值

本项目辐射工作人员及公众的年照射剂量限值，见表 7-2：

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	剂量限值
职业照射 剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv ②任何一年中的有效剂量，50mSv ③四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv
公众照射 剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一年份的有效剂量可提高到 5mSv；

11.4.3.2 剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内。

② 辐射管理分区

6.4.1 控制区

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

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

③ 工作场所分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录 C）的规定进行。

C1 非密封源工作场所的分级

应按表 7-3 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-3 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 $\sim 2 \times 10^7$

C2 放射性核素的日等效操作量的计算

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量(Bq)与该核素毒性因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。

$$\text{放射性核素的日等效操作量} = \frac{\text{放射性核素的实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{与操作方式有关的修正因子}} \quad (\text{式 7-1})$$

放射性核素的毒性组别修正因子见表 7-4，与操作方式有关的修正因子见表 7-5。

表 7-4 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 7-5 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	毒性组别修正因子			
	表面污染水平 较低的固体	液体, 溶 液, 悬 浮液	表面有污染 的固体	气体, 蒸汽, 粉末, 压力很高的液体, 固 体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

④表面污染控制水平

表 7-6 工作场所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	4	40	40
	监督区	0.4	4	4

工作服、手套、 工作鞋	控制区	0.4	0.4	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		0.04	0.04	0.4
1) 该区内的高污染子区除外				

(2) 清洁解控水平推荐值

根据 GB 18871-2002 中 4.2.5.2 的原则，将其附录 A 所给出的豁免水平作为清洁解控水平的取值依据，由此得出本项目放射性核素的清洁解控水平推荐值，列于表 7-7 中。

表 7-7 以核素活度浓度表示的清洁解控水平推荐值

解控水平 (Bq/g)	核素
1×10^1	^{18}F
1×10^2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
1×10^3	^{89}Sr

注 1: 上述解控水平推荐值原则上只适用于在组织良好、人员训练有素的工作场所对产生少量放射性固体废物的医学应用或实验室。
注 2: 严禁为申报清洁解控而采用人工稀释等方法来降低核素活度浓度。

(3) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)

6.3 屏蔽要求

6.3.1 治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平

6.3.1.1 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 30 cm 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 \dot{H}_c ：

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c ，见式 (1)：

$$\dot{H}_c \leq H_e / (t \times U \times T) \quad \dots\dots (1)$$

式中： \dot{H}_c —周围剂量当量率参考控制水平，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

H_e —周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每周（ $\mu\text{Sv/周}$ ），其值按如下方式取值：放射治疗机房外控制区的工作人员： $\leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；放射治疗机房外非控制区的人员： $\leq 5 \mu\text{Sv/周}$ ；

t —治疗周最大累积照射的小时数，单位为小时每周（h/周）；

U —治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T —人员在关注点位置的居留因子，取值方法参见附录 A。

b) 按照关注点人员居留因子的不同, 分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$:

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

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

c) 由上述a) 中的导出周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 和b) 中的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$, 选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 。

6.3.2 治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平

6.3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时, 距治疗机房顶外表面30cm处, 或在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处, 周围剂量当量率参考控制水平同6.3.1。

6.3.2.2 除6.3.2.1的条件外, 若存在天空反射和侧散射, 并对治疗机房墙外关注点位置照射时, 该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的周围剂量当量率的总和, 按6.3.1确定关注点的周围剂量当量率作为参考控制水平。

6.4 安全装置和警示标志要求

6.4.1 监测报警装置

含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置, 应确保其报警功能正常。

6.4.2 联锁装置

放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施, 治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置, 防护门应有防挤压功能。

6.4.3 标志

医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志:

a) 放射治疗工作场所的入口处, 设有电离辐射警告标志;

b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置, 设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。

6.4.4 急停开关

6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关, 除移动加速器机房外, 放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。

通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。

6.4.4.2 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。

6.4.5 应急储存设施

6.4.5.1 γ 源后装治疗设施应配备应急储源器。

6.4.6 视频监控、对讲交流系统

控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。

7 放射治疗操作中的放射防护要求

7.3 操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，应保障安全联锁正常运转。

7.5 实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。

(4) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)

4 一般要求

4.9 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：

- a) 一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为5mSv/a。
- b) 公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a。

5 选址、布局与分区要求

5.1 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。

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。

5.2 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，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗

室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。

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）。

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，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。

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、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面30cm处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列1)和2)所确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

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

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控制水平 $\dot{H}_{c,max}(\mu\text{Sv/h})$ ：

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： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

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。

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；

f) 安全连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，任何连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连锁恢复及功能测试。

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。

(5) 《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)

(6) 《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)

(7) 《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)

(8) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)

4.3 辐射工作场所分区

4.3.1 应按照GB 18871的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行

相应的管理。

4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

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

4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。

4.4 剂量限值与剂量约束值

4.4.1 剂量限值

核医学工作人员职业照射剂量限值应符合GB 18871附录B中B1.1的相关规定，核医学实践使公众成员所受到的剂量照射限值应符合GB 18871附录B中B1.2的相关规定。

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照GB 18871执行。

4.5 服药患者出院要求

4.5.1 为确保放射性核素治疗患者出院后，不至于使接触患者的家庭成员及公众超过相关的剂量约束或剂量限值，出院患者体内放射性核素活度应符合附录B的相关规定。

根据附录B，本项目核医学科⁸⁹Sr治疗患者出院时体内放射性活度要求为≤200MBq。

5 选址和布局

5.1 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。

6.1.3 回旋加速器机房的建造应避免采用富含铁矿物质的混凝土，避免混凝土中采用重晶石或铁作为骨料。

6.1.4 回旋加速器机房的电缆管沟、通风管道等穿过屏蔽体时，应采用地沟或S型、V型、Z型穿过墙壁，并进行屏蔽补偿，确保满足屏蔽体墙外的防护要求。防护门与墙体连接处应进行有效搭接，避免出现防护薄弱环节。

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

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

成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.7 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面30 cm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。

6.2.8 回旋加速器机房应设置门机联锁装置和延时开门措施，机房内应设置紧急停机开关、紧急开门按钮及清场措施，并安装固定式剂量率报警仪。机房门口应有声光报警装置和工作状态指示灯，并与加速器联锁。

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。

6.3.2 使用回旋加速器制备放射性药物的工作场所应设有单独的通风系统，加速器自屏蔽区内应有单独排气管道，并相对加速器室呈负压状态。

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。

7.2 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20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

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。

7.2.2.5 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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

- 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；

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4Bq/cm²、其他 α 发射体应小于0.4Bq/cm²。

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。

7.3.3 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 18871中8.6.2规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于1Bq/L、总 β 不大于10Bq/L、碘-131的放射性活度浓度不大于10Bq/L。

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

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。

(9) 《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)

(10) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)

(11) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)

本项目不使用 α 核素，污水排放放射性，在衰变池排放口执行“总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ”的要求。

(12) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)

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。

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

表 7-8 (表 2) 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 ^d (m ²)	机房内最小单边长度 ^e (m)
CT 机 (不含头颅移动 CT)	30	4.5
双管头或多管头 X 射线设备 ^a (含 C 形臂)	30	4.5
单管头 X 射线设备 ^b (含 C 形臂)	20	3.5

^a双管头或多管头 X 射线设备的所有管球安装在同一间机房内。
^b单管头、双管头或多管头 X 射线设备的每个管球各安装在 1 个房间内。
^d机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。
^e机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

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 3 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 7-9 (表 3) 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

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

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 3 的要求。

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 2.5 μSv/h；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

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。

6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。

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 4 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。

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 7-10（表 4）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		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	—
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	—
注 1：“—”表示不要求。 注 2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防护手套。				

(13) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB 5172-85)

(14) 本项目管理目标

综合考虑 GB 18871-2002、GBZ 121-2020、HJ 1198-2021、GBZ 130-2020、GBZ 120-2020、HJ 1188-2021 等要求，本项目管理目标确定为：

①辐射环境剂量率控制水平：

a) 直线加速器机房、后装治疗机房：

本项目 5 间加速器机房北侧和下方、1 间后装治疗机房下方为土层、无人员居留，加速器机房 1 西墙、机房 5 东墙外为土层、无人员居留，加速器机房顶部高于室外地面（0.95~2.15）m，上方无建筑，后装治疗机房顶板上方隔 0.87m 厚的土层和室外地面层为消防车登高操作场地。根据项目特点，机房屏蔽体外 30cm 处人员无法居留的场所不设定关注点，根据 GBZ 121-2020、HJ 1198-2021 中剂量率参考控制水平估算方法，可估算得出本项目加速器机房、后装治疗机房四周墙体、防护门、顶棚外关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c ，具体见表 7-11，其中机房顶外关注点处辐射剂量率 $\dot{H}_{c,max}$ 保守取 10 μ Sv/h，关注点位置见图 11-1。

表 7-11-1 直线加速器机房 1 外关注点周围剂量当量率参考控制水平

关注点	居留场所	H_c (μ Sv/周)	t (h)	U	T	$\dot{H}_{c,d}$ (μ Sv/h)	$\dot{H}_{c,max}$ (μ Sv/h)	\dot{H}_c (μ Sv/h)
东墙主屏蔽区外 30cm (A 点)	加速器机房 2	100	20	1/4	1/2	40	10	10
顶部主屏蔽区外 30cm (L 点)	屋顶上空 (无建筑)	5	20	1/4	1/20	20	10	10
南墙侧屏蔽外 30cm 处 (E 点)	控制室	100	20	1	1	5	2.5	2.5
南侧迷路外墙外 30cm (K 点)	辅助机房、水冷机房	100	20	1	1/20	100	10	10
东墙次屏蔽区外 30cm (C ₁ /C ₂ 点)	加速器机房 2	100	20	1	1/2	10	10	10
顶部次屏蔽区外 30cm (M ₁ /M ₂ 点)	屋顶上空 (无建筑)	5	20	1	1/20	5	10	5
迷路入口防护门外 30cm (G 点)	通道	5	20	1	1/8	2	10	2

表 7-11-2 直线加速器机房 2、3、4 外关注点周围剂量当量率参考控制水平

关注点	居留场所	H_c (μ Sv/周)	t (h)	U	T	$\dot{H}_{c,d}$ (μ Sv/h)	$\dot{H}_{c,max}$ (μ Sv/h)	\dot{H}_c (μ Sv/h)
东墙主屏蔽区外 30cm (a 点)	相邻加速器机房	100	20	1/4	1/2	40	10	10
西墙主屏蔽区外 30cm (b 点)	相邻加速器机房	100	20	1/4	1/2	40	10	10
顶部主屏蔽区外	屋顶上空	5	20	1/4	1/20	20	10	10

30cm (L点)	(无建筑)							
南墙侧屏蔽外30cm处 (e点)	控制室	100	20	1	1	5	2.5	2.5
南侧迷路外墙外30cm (k点)	辅助机房、水冷机房	100	20	1	1/20	10	10	10
东墙次屏蔽区外30cm (c ₁ /c ₂ 点)	相邻加速器机房	100	20	1	1/2	10	10	10
西墙次屏蔽区外30cm (d ₁ /d ₂ 点)	相邻加速器机房	100	20	1	1/2	10	10	10
顶部次屏蔽区外30cm (M ₁ /M ₂ 点)	屋顶上空(无建筑)	5	20	1	1/20	5	10	5
迷路入口防护门外30cm (g点)	通道	5	20	1	1/8	2	10	2

注：加速器机房 2 和 4 屏蔽设计一致，与机房 3 为对称设计，图 11-1 中关注点位置以机房 3 为例。

表 7-11-3 直线加速器机房 5 外关注点周围剂量当量率参考控制水平

关注点	居留场所	H _c (μSv/周)	t (h)	U	T	$\dot{H}_{c,d}$ (μSv/h)	$\dot{H}_{c,max}$ (μSv/h)	\dot{H}_c (μSv/h)
西墙主屏蔽区外30cm (A'点)	加速器机房 4	100	20	1/4	1/2	40	10	10
顶部主屏蔽区外30cm (L点)	屋顶上空(无建筑)	5	20	1/4	1/20	20	10	10
南墙侧屏蔽外30cm处 (E'点)	控制室	100	20	1	1	5	2.5	2.5
南侧迷路外墙外30cm (K'点)	辅助机房、水冷机房	100	20	1	1/20	100	10	10
西墙次屏蔽区外30cm (C' ₁ /C' ₂ 点)	加速器机房 4	100	20	1	1/2	10	10	10
顶部次屏蔽区外30cm (M ₁ /M ₂ 点)	屋顶上空(无建筑)	5	20	1	1/20	5	10	5
迷路入口防护门外30cm (G'点)	通道	5	20	1	1/8	2	10	2

表 7-11-4 后装治疗机房外关注点周围剂量当量率参考控制水平

关注点	居留场所	H _c (μSv/周)	t (h)	U	T	$\dot{H}_{c,d}$ (μSv/h)	$\dot{H}_{c,max}$ (μSv/h)	\dot{H}_c (μSv/h)
东墙外 30cm (A点)	走道	5	16.7	1	1/5	1.5	10	1.5
南墙外 30cm (B点)	走道	5	16.7	1	1/5	1.5	10	1.5
西墙外 30cm (C点)	走道	5	16.7	1	1/5	1.5	10	1.5

北墙外 30cm (D点)	准备室	5	16.7	1	1/8	2.4	10	2.4
北侧迷道外墙外 30cm处 (E点)	控制室	100	16.7	1	1	6	2.5	2.5
顶部上方室外地面外 30cm (F点)	消防车登高操作场地	5	16.7	1	1/20	6	10	6
迷路入口防护门外 30cm (G点)	通道	5	16.7	1	1/8	2.4	10	2.4

b) 核医学科:

回旋加速器机房四周墙体、防护门外 30cm、顶板上方及周围人员可居留处的剂量率应小于 2.5 μ Sv/h;

距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm、顶板上方及周围人员可居留处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h, 其中控制区内工作人员经常性停留的场所 (人员居留因子 $\geq 1/2$), 周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h, 控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所 (人员居留因子 $< 1/2$), 周围剂量当量率应小于 10 μ Sv/h。

合成分装室内放射性药物合成热室和分装热室、全检质控室内质检手套箱、分装注射室内手套箱及注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h, 合成热室和分装热室、手套箱非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 25 μ Sv/h;

固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施, 以保证其外表面 30 cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h。

c) DSA 机房:

机房四周墙体、顶板、防护门、观察窗外表面 30cm、底板上方 (楼下) 距楼下一地面 170cm 及周围人员可居留处周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h。

② β 表面污染控制水平: 核医学科 β 表面污染控制水平具体见表 7-6。

③年有效剂量约束值: 职业人员年有效剂量不超过 5mSv, 公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

(15) 参考资料

- ① 《辐射防护导论》, 方杰主编
- ② 《辐射防护手册》(第一分册), 李德平 潘自强 主编

③ 《中国环境天然放射性水平》，国家环境保护局，1995年

福建省泉州市原野、道路、建筑物室内 γ 辐射空气吸收剂量率 (单位: nGy/h)

	原野 γ 辐射剂量率	道路 γ 辐射剂量率	室内 γ 辐射剂量率
范围	25.9~107.0	40.2~102.3	96.6~193.4
均值 \pm 标准差	63.2 \pm 19.4 (按点平均)	74.7 \pm 17.4	136.6 \pm 31.2 (按点平均)

注: 测量值已扣除宇宙射线响应值。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

泉州宝璋肿瘤医院有限公司核技术利用项目选址位于泉州市洛江区河市镇福滨街与金狮路交汇东北处，项目拟建址地理位置示意图附图 1，医院平面布置及周围环境示意图附图 2。

本项目 5 间直线加速器机房、1 间后装治疗机房拟设置于医院医疗综合楼地下一层放疗科，1 个核医学工作场所（包括 1 间回旋加速器机房）拟设置于医院医疗综合楼地下一层核医学科，2 间 DSA 机房拟设置于医疗综合楼三层介入中心。各辐射工作场所所在楼层及相邻楼层局部平面布置示意图附图 3 至附图 7。

8.2 环境现状检测

本项目运行期间主要的环境污染物为电离辐射污染，项目在进行现状调查时，主要调查项目拟建址及周围环境的 γ 辐射剂量率、核医学科拟建址及周围环境的 β 表面污染。

8.2.1 环境现状评价对象、检测因子、检测点位等

环境现状评价对象：项目拟建址及周围辐射环境现状

检测因子： γ 辐射剂量率、 β 表面污染

检测方法： γ 辐射剂量率按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中的要求进行检测， β 表面污染按照《表面污染测定 第 1 部分： β 发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008）中的要求进行检测，仪器读数稳定后，以约 10s 间隔每组读 10 个数据，取算术平均值计算结果。

检测点位：在项目拟建址及周围布设 40 个 γ 辐射剂量率检测点位、11 个 β 表面污染检测点位，调查环境辐射水平，具体点位布设情况见图 8-1~图 8-7。

8.2.2 检测方案

检测单位：江苏核众环境监测技术有限公司

检测时间：2023 年 6 月 7 日

检测天气：晴

检测仪器及性能：

（1） γ 辐射剂量率

监测仪器：FH40G+FHZ672E-10 型辐射巡测仪

仪器编号：030360+11395

能量响应范围：40keV~4.4MeV

量程范围：1nSv/h~100μSv/h

检定单位：江苏省计量科学研究院

检测证书编号：Y2023-0044112

检定有效期：2023.3.27~2024.3.26

(2) β 表面污染

监测仪器：RADIAGEM2000+SABG-100 型 α、β 表面污染测量仪

仪器编号：5073+0792

α、β 辐射测量范围：0-10000cps

能量响应范围：主机探测器：40keV-1.5MeV；探头：α>3MeV，β>150KeV

检定单位：江苏省计量科学研究院

检测证书编号：Y2022-0085723

检定有效期：2022.9.7~2023.9.6

8.2.3 质量保证措施

①委托的检测机构已通过计量认证（证书编号：171012050259），具备有相应的检测资质和检测能力，其计量认证证书及检测能力证书见附件 5；

②委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；

③委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定合格，并在检定有效期内，仪器检定证书见附件 5；

④所有检测人员均通过专业的技术培训和考核；

⑤检测报告实行三级审核。

8.2.4 检测结果及评价

本项目拟建址及周围环境 γ 辐射剂量率检测结果见表 8-1，核医学工作场所拟建址 β 表面污染检测结果见表 8-2，详细检测结果见附件 5。

表 8-1 本项目拟建址及周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

序号	检测点位描述	建筑物	检测结果 (nGy/h)	备注
1	直线加速器机房 1 拟建址内	平房	184	本底 检测
2	直线加速器机房 1 拟建址南侧 (控制室拟建址)	平房	183	
3	直线加速器机房 2 拟建址内	平房	182	
4	直线加速器机房 2 拟建址南侧 (控制室拟建址)	平房	200	
5	直线加速器机房 3 拟建址内	平房	172	
6	直线加速器机房 3 拟建址南侧 (控制室拟建址)	平房	195	
7	直线加速器机房 4 拟建址内	平房	174	
8	直线加速器机房 4 拟建址南侧 (控制室拟建址)	平房	188	
9	直线加速器机房 5 拟建址内	平房	161	
10	直线加速器机房 5 拟建址南侧 (控制室拟建址)	平房	176	
11	后装治疗机房拟建址内	平房	156	
12	后装治疗机房拟建址东侧	平房	212	
13	后装治疗机房拟建址南侧	平房	216	
14	后装治疗机房拟建址西侧	平房	220	
15	后装治疗机房拟建址北侧 (控制室拟建址)	平房	208	
16	回旋加速器机房拟建址内	楼房	153	
17	回旋加速器机房拟建址东侧 (SPECT 留观室拟建址)	楼房	163	
18	回旋加速器机房拟建址南侧 (控制室拟建址)	楼房	175	
19	回旋加速器机房拟建址西侧 (合成分装室拟建址)	楼房	181	
20	回旋加速器机房拟建址北侧 (核医学科患者通道拟建址)	楼房	201	
21	核医学科拟建址内 (分装注射室)	楼房	186	
22	分装注射室拟建址西侧 (诊室)	楼房	196	
23	核医学科拟建址南侧 (地下车库)	楼房	195	
24	回旋加速器机房拟建址上方 (一层 DR 机房)	楼房	178	
25	核医学科合成分装室拟建址上方 (一层储物间)	楼房	177	
26	核医学科 PET/CT 注射后候诊室 1 拟建址上方 (一 层 MR 设备间)	楼房	176	
27	放射性废水衰变室拟建址	道路	125	

28	后装治疗机房上方 (室外消防车登高操作场地)	道路	109
29	直线加速器机房上方北侧 (室外中心花园)	道路	119
30	DSA 机房 1 拟建址内	楼房	183
31	DSA 机房 2 拟建址内	楼房	186
32	DSA 控制室拟建址内	楼房	179
33	DSA 机房 1 拟建址南侧 (铅衣清洗间)	楼房	177
34	DSA 机房 1 拟建址西侧 (男更衣)	楼房	184
35	DSA 机房 1 拟建址北侧 (病人通道)	楼房	177
36	DSA 机房 2 拟建址北侧 (库房)	楼房	183
37	DSA 机房 2 拟建址东侧 (工作通道)	楼房	185
38	DSA 机房 2 拟建址南侧 (设备间)	楼房	182
39	DSA 机房 1 拟建址下方 (值班室)	楼房	163
40	DSA 机房 2 拟建址下方 (备选纤支镜检查室)	楼房	168

注：①上表数据已扣除监测仪器宇宙射线响应值（17.1nSv/h）；

②建筑物与测量校正值的字响因子相对应，分为楼房、平房、原野、道路。

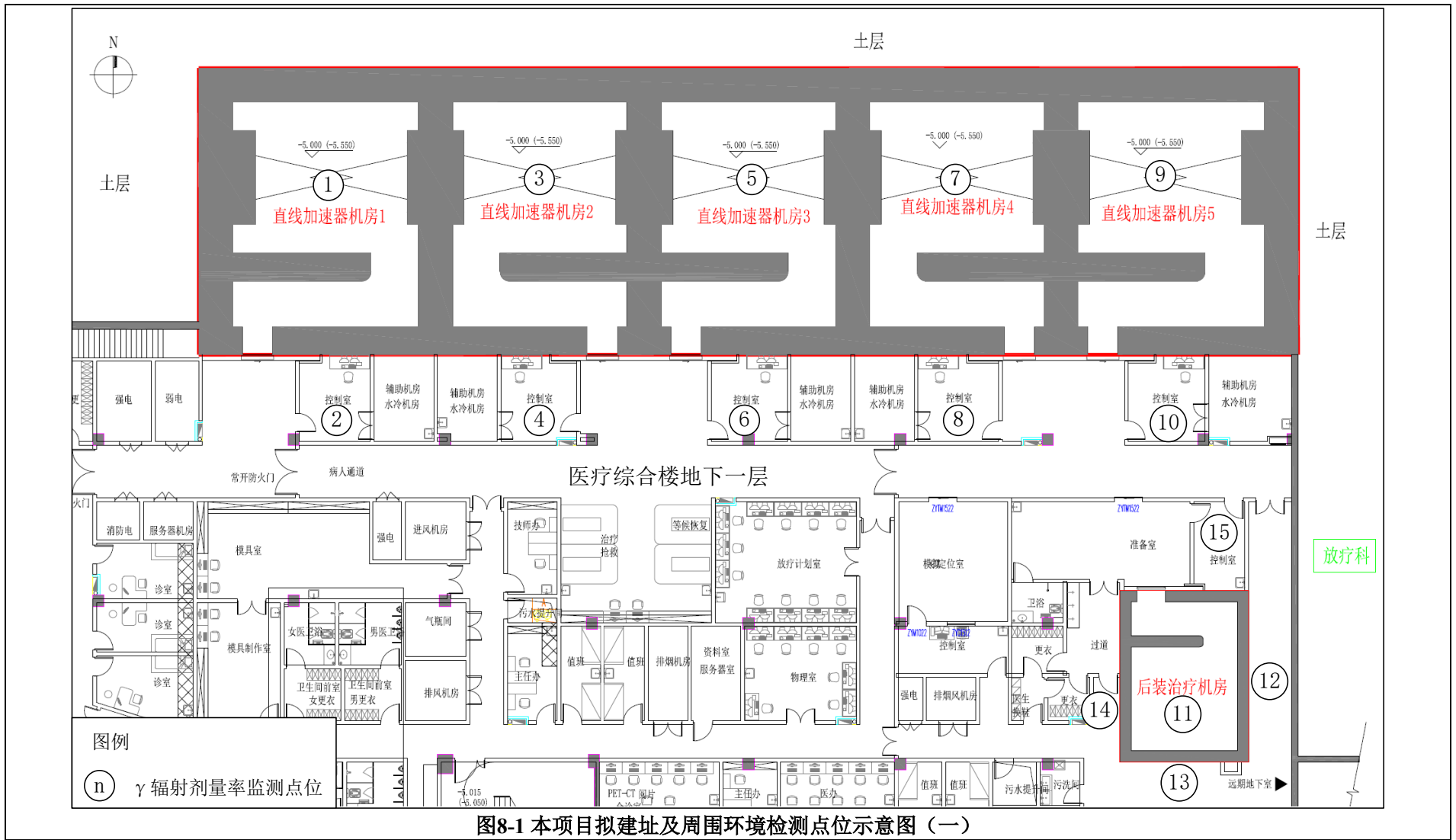
表 8-2 本项目核医学工作场所拟建址 β 表面污染检测结果

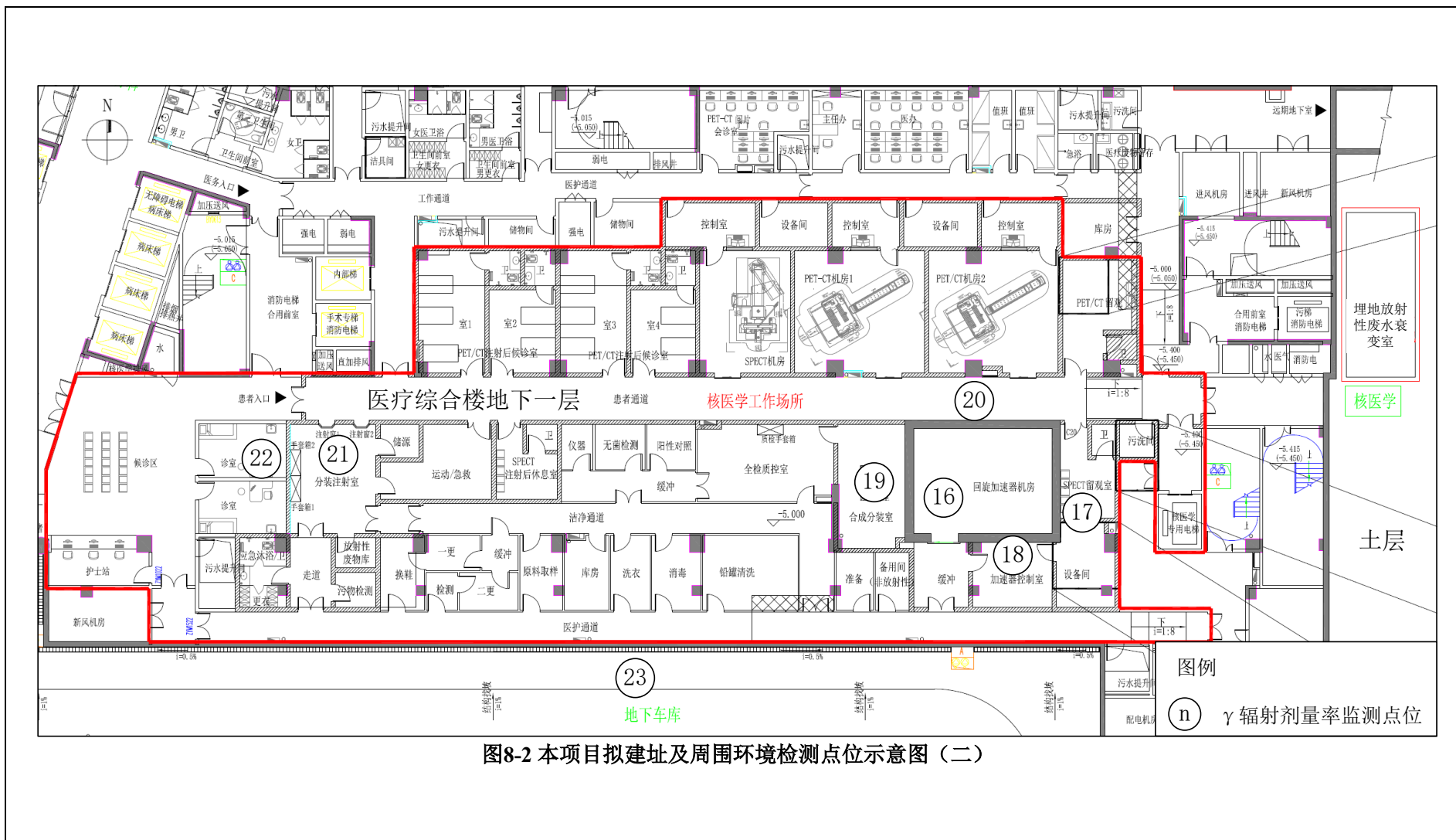
序号	检测点位	检测结果 (Bq/cm ²)	备注
1	回旋加速器机房拟建址内	<MDL	本底检测
2	回旋加速器机房拟建址东侧 (SPECT 留观室)	<MDL	
3	回旋加速器机房拟建址南侧 (控制室)	<MDL	
4	合成分装室拟建址内	<MDL	
5	全检质控室拟建址内	<MDL	
6	全检质控室拟建址南侧 (洁净走道)	<MDL	
7	分装注射室拟建址内	<MDL	
8	分装注射室拟建址西侧 (诊室)	<MDL	
9	分装注射室拟建址南侧 (卫生通过区)	<MDL	
10	PET/CT 注射后候诊室 1 拟建址内	<MDL	
11	SPECT 机房拟建址内	<MDL	

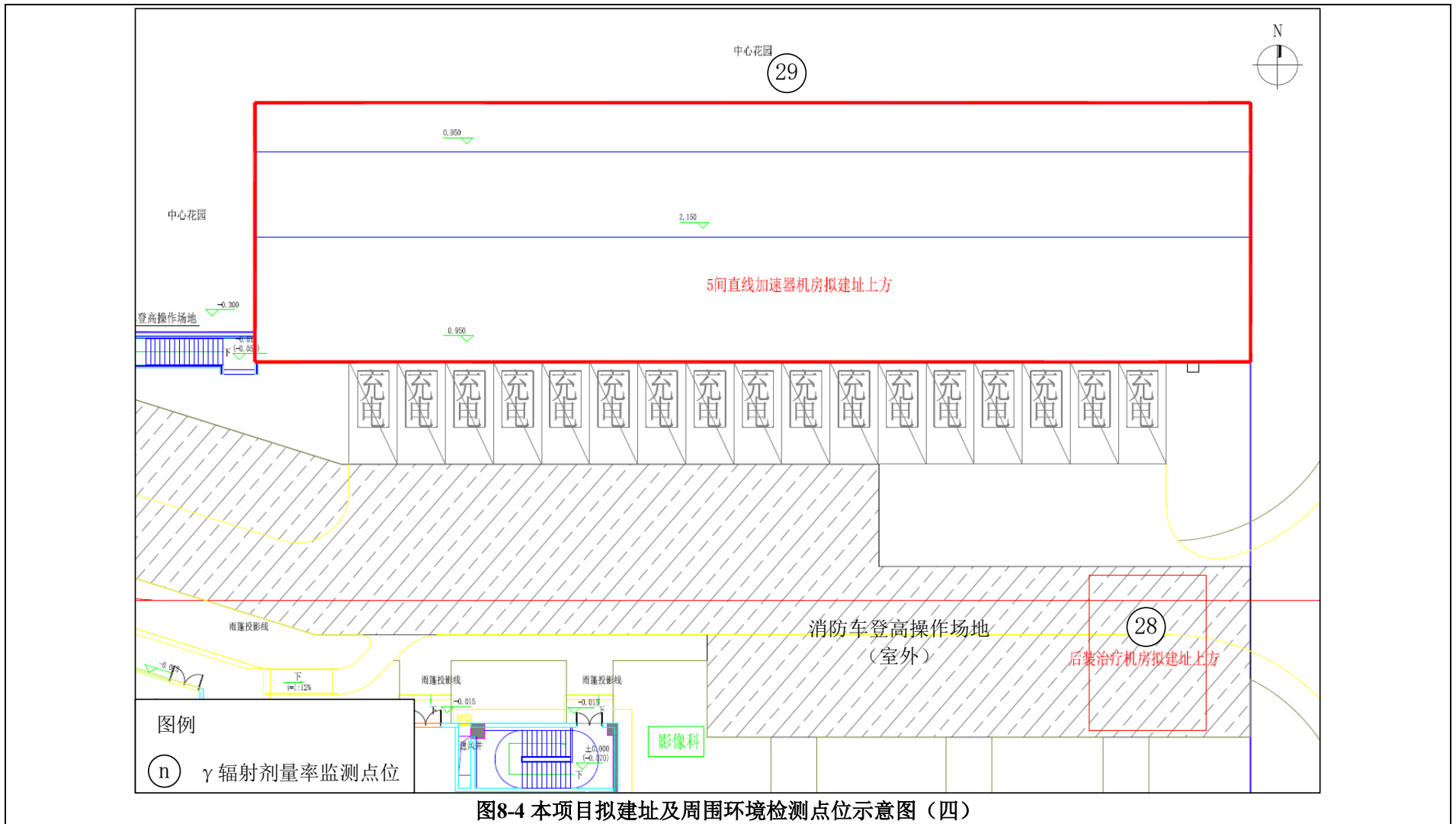
注：检测仪器 β 表面污染探测下限为 0.08Bq/cm²。

根据检测结果可知，本项目拟建址及周围，室内 γ 辐射剂量率为（153~220）nGy/h，室外（道路）γ 辐射剂量率为（109~125）nGy/h，测量结果与建材、地面（包括周围建筑）、地下水位、土壤成分及含水量、放射性物质地面沉降、射气的

析出和扩散条件等环境因素有关，本项目可能受以上部分环境因素影响，测量结果略高于泉州市环境天然 γ 辐射剂量率正常范围（室内：（96.6~193.4）nGy/h、室外道路（40.2~102.3）nGy/h）。本项目核医学工作场所拟建址未检出 β 表面污染。









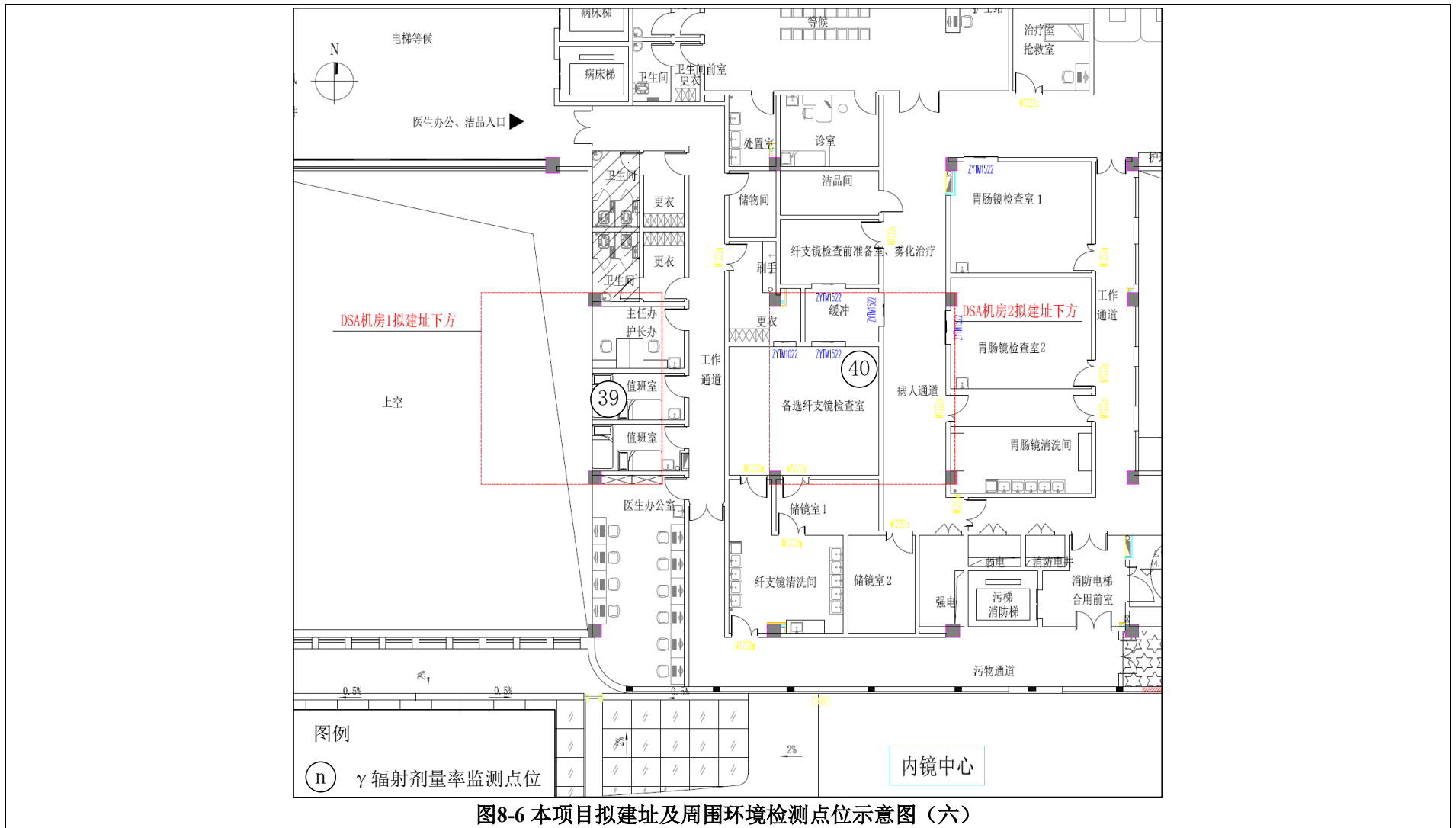


图8-6 本项目拟建址及周围环境检测点位示意图（六）

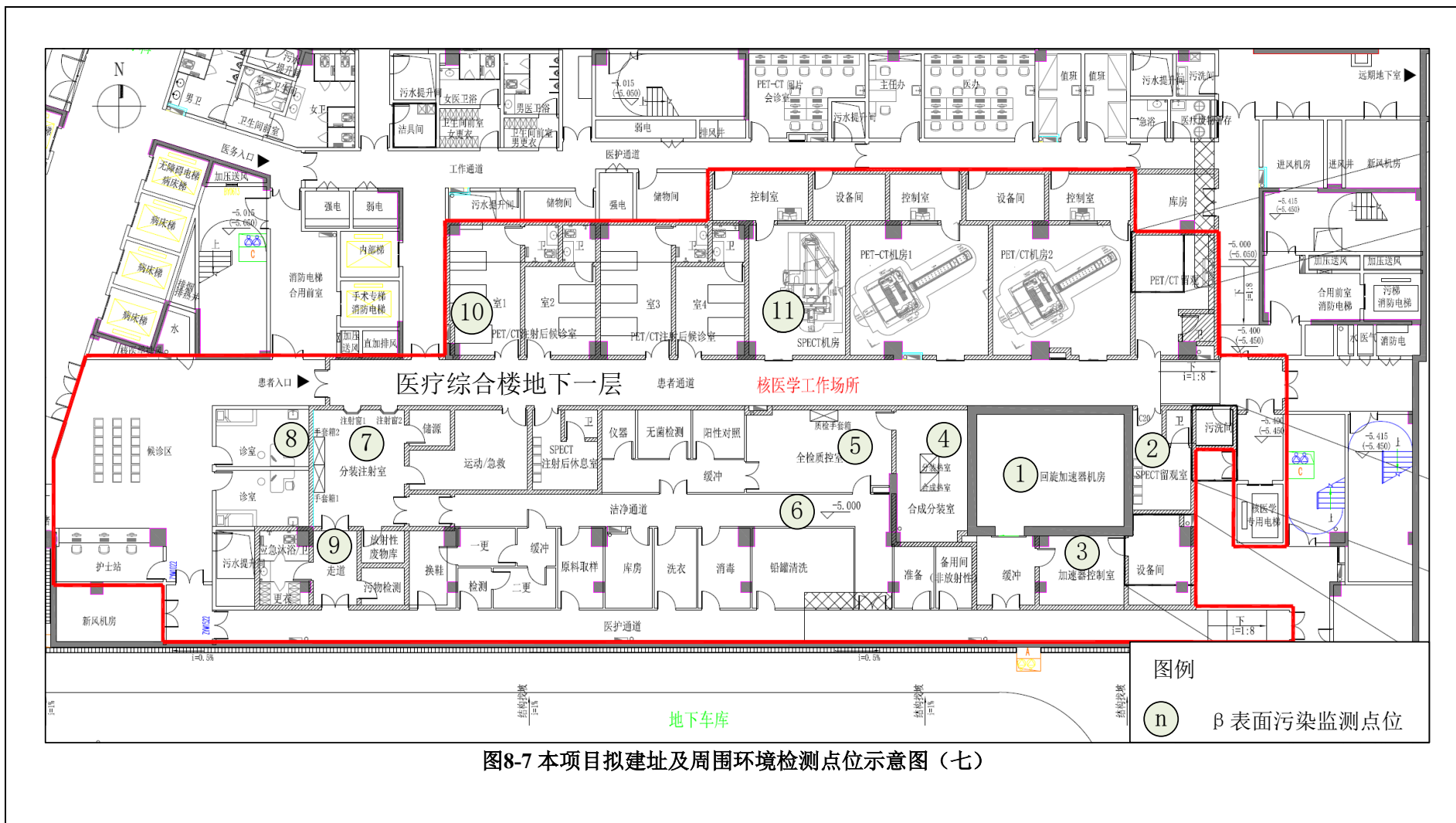


表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 工程设备

9.1.1.1 放疗科

一、医用直线加速器

1、项目所含设备组成

医用直线加速器是产生高能 X 射线和电子束的装置，为远距离治疗机。主要由机架组件、辐射头、水冷系统、速调管、真空系统、充气系统、高压脉冲调制器、栅控电子枪电源、控制柜及操作盒、运控机箱、整机动力配电及低压电源、整机联锁保护电路等组成。典型医用直线加速器示意图见图 9-1。

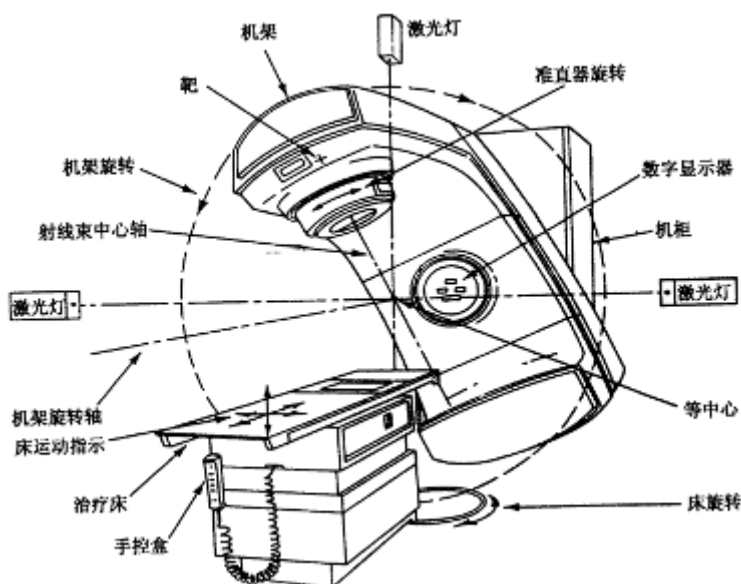


图 9-1 典型医用直线加速器示意图

2、设备技术参数

本项目 5 台直线加速器型号未定，根据单位提供资料，本项目医用直线加速器主要技术参数详见表 9-1。

表 9-1 本项目直线加速器主要技术参数

项目	参数
	直线加速器（5 台）
设备型号	未定
类别	II 类射线装置
加速器粒子	电子

能量	X射线: 6/10MV 电子线: 4~22MeV
距靶 1m 处 X 射线最大剂量率	1440Gy/h (10MV)、 960Gy/h (6MV)
泄漏 X 射线	在所有的方向上, 距离电子加速路径 1 m 处的 X 线吸收剂量, 均不超过等中心处吸收剂量的 0.1%
最大照射野	40cm×40cm
最大源轴距	SAD = 100cm
射线最大出射角	28°
机架旋转	360°
靶材料	钨合金
等中心点离地高度	≤120cm

3、工作方式

本项目 5 台直线加速器均拟配套相应的治疗机房和控制室, 控制室与机房均分开设置, 辐射工作人员在控制室内通过控制系统操作直线加速器开展放射治疗, 其采取的是隔室操作的工作方式。

二、后装治疗机

1、项目所含设备组成

后装治疗是放射治疗的一种方法, 所谓后装就是预先在患者需要治疗的部位正确地放置施源器, 然后采用自动或手动控制, 将贮源器内放射源输入施源器内实施治疗的技术。

本项目后装机型号未定, 常见后装机外形见图 9-2。

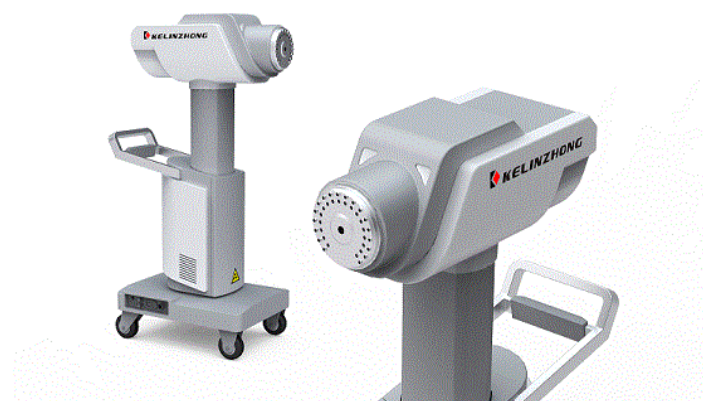


图 9-2 常见后装机外形图

2、设备技术参数

根据单位提供资料, 本项目后装机拟使用 1 枚 ^{192}Ir 密封放射源, 最大装源活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ (10Ci), 属于 III 类放射源。

3、工作方式

本项目后装机拟配套相应的治疗机房和控制室，控制室与机房分开设置，辐射工作人员在控制室内通过控制系统操作后装机开展放射治疗，其采取的是隔室操作的工作方式。

9.1.1.2 核医学科

1、回旋加速器

根据单位提供资料，本项目拟配备 1 台 GE 生产的 MINITrace Qilin 型带自屏蔽的回旋加速器，辐射工作人员在控制室内通过控制系统操作加速器开机，用于生产放射性核素 ^{18}F ，其采取的是隔室操作的工作方式。 ^{18}F 核素生产使用液体靶 (H_2^{18}O 重氧水)，核反应为 $^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$ ，加速器最大质子束流能量不高于 10MeV，引出质子束流强度不高于 $70\mu\text{A}$ ，属于 II 类射线装置。MINITrace Qilin 型回旋加速器外观见图 9-3。



图 9-3 MINITrace Qilin 型回旋加速器外观图

本项目回旋加速器由磁场系统、射频系统、离子源系统、引出系统等主系统组成，其主要组成及主要功能见表 9-2。

表 9-2 回旋加速器基本组成及主要功能

基本组成	主要功能
磁场系统	为加速粒籽提供向心力-洛伦兹力
射频系统	为加速粒籽提供能量-加速电场
离子源系统	提供要加速的带电粒籽
引出系统	使加速粒籽脱离回旋加速器轨道射向靶

靶系统	为生产核素进行特定核反应的场所
真空系统	降低束流丢失；高压电场绝缘
冷却系统	为各个高产热部件降温
控制系统	监控各个系统，并发出各种指令使加速器协调正常运行，以完成用户的相应任务

2、热室

本项目合成分装室内拟配备 1 套合成热室和 1 套分装热室，合成热室与分装热室均采用计算机全自动控制，无需人工干预；合成热室内拟配备合成模块，用于放射性药物 ^{18}F 的合成；分装热室内拟配备自动分装仪，用于放射性药物 ^{18}F 的分装。本项目合成热室和分装热室型号未定，常见合成热室、分装热室外观示意图见图 9-4。



图 9-4 常见合成热室、分装热室外观示意图

3、PET/CT

PET/CT 全称为正电子发射断层与计算机断层诊断技术，是将 PET 与 CT 融为一体，由 PET 提供病灶详尽的功能与代谢等分子信息，而 CT 提供病灶的精确解剖定位，一次显像可获得全身各方位的断层图像，具有灵敏、准确、特异及定位精确等特点，可一目了然的了解全身整体状况，达到早期发现病灶和诊断疾病的目的。

PET 系统的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。探测系统是整个正电子发射显像系统中的主要部分，它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。许多块结构组成一个环，再由数十个环构成整个探测器。

CT 主要由扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统组成，其中扫描部分由

X 线管、探测器和扫描架组成。

本项目拟配备 2 台 PET/CT（型号未定），使用放射性药物 ^{18}F 开展显像检查，辐射工作人员在控制室内通过控制系统操作设备开展放射诊断，其采取的是隔室操作的工作方式。根据单位提供资料，拟购 PET/CT 最大管电压为 140kV，最大管电流为 800mA，属于 III 类射线装置。常见 PET/CT 外观示意图见图 9-5。



图 9-5 常见 PET/CT 外观示意图



图 9-6 常见 SPECT 外观示意图

4、SPECT

SPECT 即单光子发射型计算机断层显像（Single photon emission computed tomography，简称 SPECT）。SPECT 是在 γ 照相机的基础上发展起来的核医学影像设备，它实际上是在一台高性能 γ 照相机的基础上增加了探头旋转装置和图像重建的计算机软件系统，因此其基本机构主要由探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备 etc 三大部分构成，其中 SPECT 的探头结构也由准直器、晶体、光导、光电倍增管组成，其外形可以是圆形、方形或矩形，有单探头、双探头或多探头等不同类型。

本项目拟配备 1 台 SPECT，使用放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展显像检查，该 SPECT 不配备 CT 设备，无管电压和管电流，不属于射线装置。工作时，辐射工作人员在控制室内通过控制系统操作设备开展放射诊断，其采取的是隔室操作的工作方式。常见 SPECT 外观示意图见图 9-6。

5、钼铯发生器

医院拟购买钼铯发生器自行淋洗制备 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素，钼铯发生器是一种定期从较长半衰期的母体核素（ ^{99}Mo ）中分离出具有较短半衰期的子体核素（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）的装置。这种装置结构简单，运输方便，它以长寿命的放射性核素作为运输和储存形式，以可以定期分离得到的短寿命放射性核素作为使用方式。医院预计采购钼铯发生器的规格为 500mCi/柱，发生器外表面上任一点的最高辐射水平不超过 0.5mSv/h，单柱发

生器一般使用约 1 周后退役。常见钼铯发生器外形及结构示意图见图 9-7。

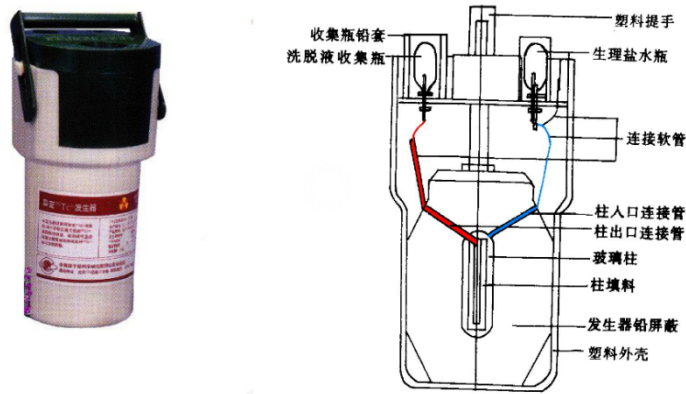


图 9-7 钼铯发生器外观及结构示意图

9.1.1.3 介入中心 DSA

1、项目所含设备组成

DSA 是数字减影血管造影的简称，是利用计算机处理数字化的影像信息，以消除骨骼和软组织影的减影技术，是新一代血管造影的成像技术，是影像医学、临床医学、计算机技术结合而发展起来的边缘科学技术。DSA 机因其整体结构像大写的“C”，因此也称作 C 型臂 X 光机，DSA 成像系统按功能和结构划分，主要由五部分构成：X 线发生装置、影像检测和显示系统、影像处理和系统控制部分、机架系统和检查床、影像存储和传输系统。常见 DSA 机外观见图 9-8。



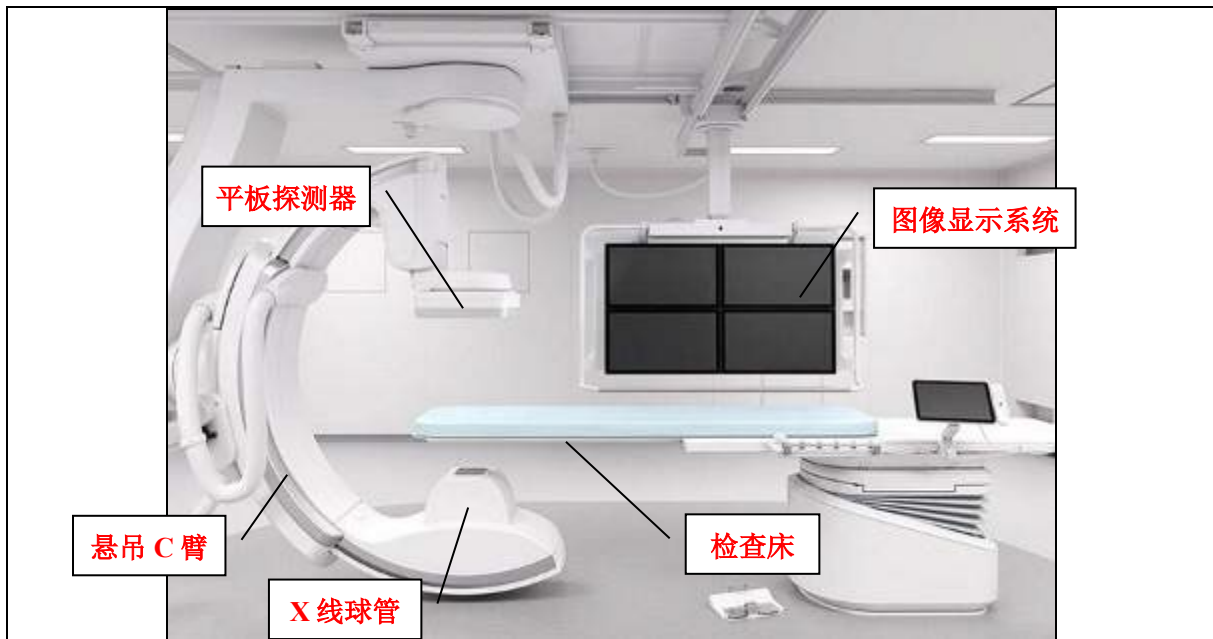


图 9-8 常见 DSA 机外观示意图

2、设备技术参数

本项目 DSA 机型号未定，根据单位提供资料，拟采购的 DSA 机最大管电压为 125kV、最大管电流为 1000mA，焦平距（SID）不低于 84cm，焦皮距不低于 38cm，属于 II 类射线装置。

3、工作方式

本项目 2 台 DSA 机均拟配套相应的机房和控制室，控制室与机房分开设置。

DSA 机在进行曝光时可分为减影和透视两种情况：

（1）减影检查：减影是操作人员采取隔室操作的方式（即操作医师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流，曝光并通过电子计算机处理后得到最终的减影图像，医生根据减影图像对病人的病情进行诊断；

（2）介入治疗：透视是病人需进行介入手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用脉冲透视，此时介入医生位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在机房内对病人进行直接的介入手术操作。

9.1.2 工作原理、工作流程及产污环节

9.1.2.1 放疗科

一、直线加速器

1、工作原理

放疗是癌症三大治疗手段之一。是用各种不同能量的射线照射肿瘤，以抑制和杀灭癌细胞的一种治疗方法。放疗可单独使用，也可与手术、化疗等配合，作为综合治疗的一部分，以提高癌症的治愈率。在手术前先作一段放疗使肿瘤体积缩小些，便可使原来不能手术的患者争取到手术的机会。对晚期癌症则可通过姑息性放疗达到缓解压迫、止痛等效果。放疗可分为根治性放疗和姑息性放疗二种。前者剂量较大，照射较彻底，适用于较早期及部分晚期患者，以消灭原发灶、手术后可能的残余灶以及某些转移灶。后者适用于晚期患者，多属权宜之计。根据耐受情况给予剂量，以达改善症状，减轻痛苦、延长生命之效。个别也可达到根治的效果。

医用直线加速器是实现放疗的最常见设备之一，它是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器。本项目拟配置的直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，其有两种治疗模式：①电子束治疗模式，当直线加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗患者，电子线到达预定部位后能量迅速下降，因而能大大减少射线对病变后面正常组织的危害，特别适于体表或靠近体表的各种肿瘤，例如，采用电子线治疗乳腺癌，肺部及心脏；②X 线治疗模式，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，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。

2、工作流程及产污环节分析

医用电子直线加速器进行肿瘤放射治疗的基本流程为：

①模拟定位：先通过模拟定位 CT 对患者的病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和射野大小，拍片定位。

②候诊登记：对已做模拟检查的患者进行登记候诊。

③计算射线强度：根据患者所患疾病性质、部位和大小确定照射剂量和照射的时间；

④摆位准备：在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位、标记，调整照射角度及视野。

⑤实施照射：根据已制定的诊疗计划，实施照射。

⑥治疗结束。

加速器工作人员进行肿瘤放射治疗时正常的开机治疗程序为：

①核对病人的姓名和治疗数据，仔细按治疗单要求摆位，除病人外全部离开治疗室，关闭机房门。

②选择运行模式。

③输入治疗参数。

④确认后开始治疗。加速器在出束治疗时会产生 X 射线、电子线污染，此外 X 射线将电离机房内空气产生少量臭氧和氮氧化物。

⑤治疗中通过监控系统监视病人情况和机器运行情况，一旦发现异常，立即采取停机、停束等措施，并及时报告维修、物理人员，做好记录。

本项目医用直线加速器放疗工作流程及产污环节见图 9-9。

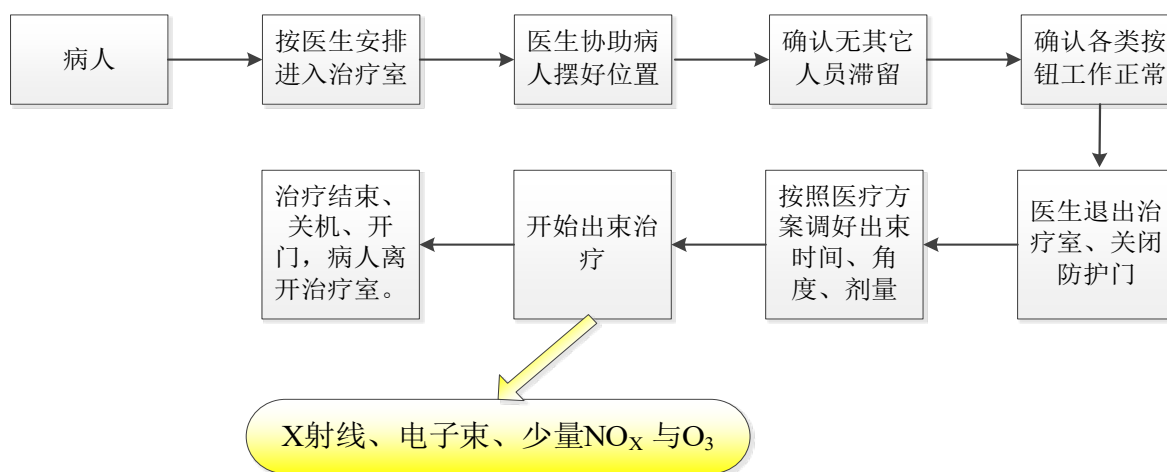


图 9-9 本项目医用直线加速器放疗工作流程及产污环节

二、后装治疗机

1、工作原理

后装治疗属近距离放疗，治疗时依照临床要求，使 γ 放射源在人体自然腔、管道或组织间驻留而达到预定的剂量及其分布的治疗手段，后装治疗具有放射源强度小、治疗距离短、局部剂量高、周边剂量迅速跌落的特点，主要治疗不同部位的肿瘤以及手术难以切净而周围又有重要脏器限制外照射剂量的患者，如胰腺、胆管、膀胱癌、直肠癌及头颈部恶性肿瘤等。

2、工作流程及产污环节分析

后装治疗工作流程为：

(1) 制定治疗方案

医生根据影像信息和 TPS（放射治疗计划系统）制定治疗计划，并反复优化出

最佳治疗方案。

(2) 治疗准备

治疗前认真核对患者的科室、姓名、住院号及治疗计划，开机检查后装机、TPS 计划系统的各项参数，确保治疗设备处于正常工作状态。

(3) 治疗实施

将施源器与后装机相连接，放射治疗技术人员对患者进行正确摆位后退出机房；放射治疗医师和医学物理师分别核对治疗计划，确认无误后出源治疗；治疗过程中技术人员密切注视控制系统的各项显示与患者情况，以便及时发现和排除异常情况。出源治疗期间会产生 γ 射线以及少量的臭氧和氮氧化物。

(4) 放疗结束

放疗结束后，技术人员携带辐射测量设备进入治疗室，检测患者和后装机，验证放射源回到贮源器内后，将患者移出机房，按无菌要求取出施源器，并观察患者有无不适。

治疗完毕后，关闭后装机、TPS 计划系统，治疗结束。

后装机治疗实施一般工作流程及产污环节示意图 9-10。

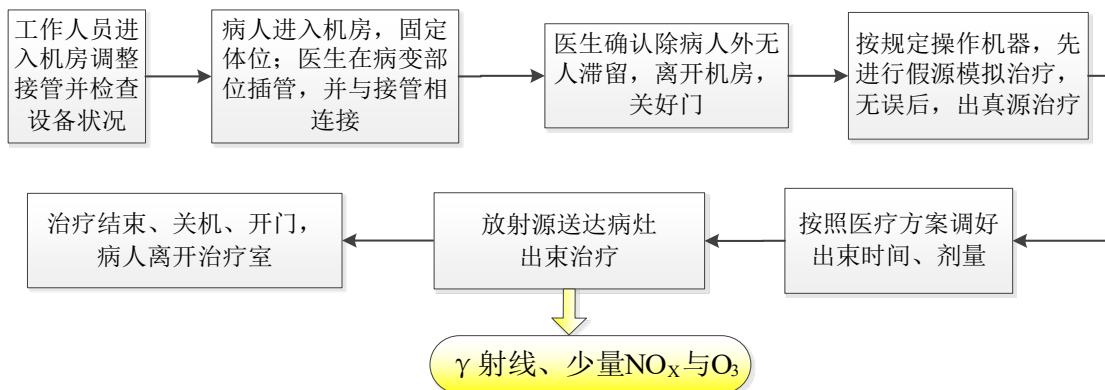


图 9-10 后装机治疗实施一般工作流程及产污环节示意图

9.1.2.2 核医学科

一、PET 用放射性药物 ^{18}F 的生产

1、回旋加速器生产放射性核素 ^{18}F

(1) 工作原理

在回旋加速器中心部位的离子源经高压电弧放电而使气体电离发射出粒子束流，该粒子束流在称为 Dee 的半圆形电极盒（简称 D 型盒）中运动。D 型盒与高频振荡电源相联为加速粒子提供交变的电场。在磁场和电场的作用下被加速的粒子在

⑤关闭机房防护门，按工作方案确定的打靶时间在操作台设置开机参数，后开启主机打靶；

⑥打靶结束后，轰击过的靶物质通过气路转移至热室，进行下一道化学分离与合成工序。

⑦生产结束，关机。

回旋加速器生产放射性核素具体工艺流程及产污环节见图 9-12。

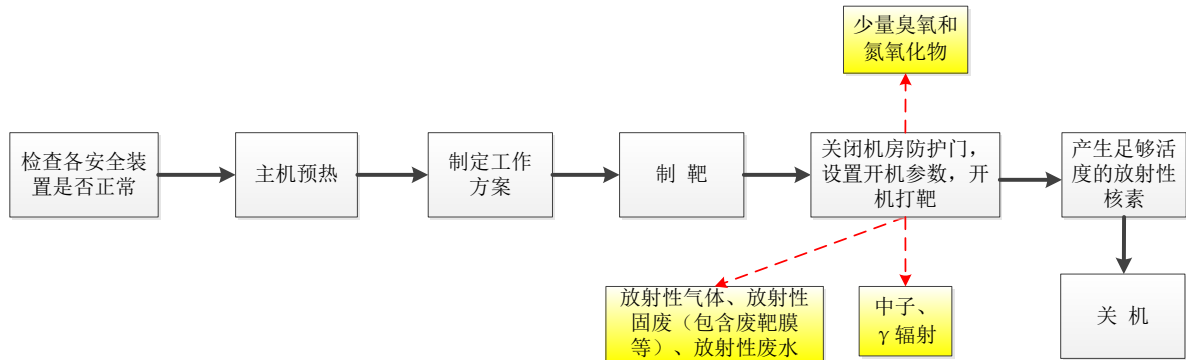


图 9-12 回旋加速器生产放射性核素具体工艺流程及产污环节

2、放射性药物的合成、分装及质控

(1) 工作原理

^{18}F -FDG（氟脱氧葡萄糖）是临床应用最为广泛的正电子放射性药物，是一种葡萄糖代谢示踪剂，进入细胞的机制与葡萄糖相同，而葡萄糖代谢增加是恶性细胞的一个特征。其主要用于 PET 上的肿瘤显像，已广泛应用在神经、心血管、肿瘤及内分泌等系统疾病的诊断，并仍然会保持其在 PET 检查显像剂首席的位置。 ^{18}F -FDG 以液态重氧水为原料，通过核反应生产氟离子，将其用氮气吹扫传输到合成热室，用阴离子捕获柱捕获，与含 ^{18}O 的水分离，用 K_2CO_3 溶液将 ^{18}F 溶于冠醚或铵盐等有机溶剂并与乙晴共沸去除体系中的水。最后与前体（三氟甘露糖）发生氟化反应生产四乙酰基- α -氟葡萄糖，再经除杂、纯化、水解而得到 ^{18}F -FDG。

(2) 工作流程及产污环节

回旋加速器打靶生成 ^{18}F 核素后，核素液体经地下传输管道传送至指定的合成热室中，通过电脑程序自动控制合成放射性药物，后自动传输进入分装热室，通过自动分装模块将药物根据预设量分装至西林瓶中（单瓶活度不大于 200mCi ），并通过机械手将西林瓶进行密封，控制程序驱动密封后的西林瓶下降至 60mmPb 原液罐内，并盖上铅罐盖子，控制程序驱动原液罐下降至抽屉，工作人员拉出装原液罐的抽屉，取出装有放射性药物的原液罐。

以合成 ^{18}F -FDG 药物为例，合成时采用计算机程序自动设置的步骤主要包括：

a、捕获淋洗：从加速器传过来的核素离子经过 QMA 柱，其中核素离子被附着在柱子上，废水及其中的杂质离子流到废水瓶中收集，单次产生量约 2.5ml/次。用溶液淋洗 QMA 柱，将上面的核素离子带入反应管。

b、除水：淋洗结束后加热反应管使乙腈与水共沸进行除水。

c、亲核反应：待冷却完毕后向反应管中加入三氟甘露糖溶液进行亲核反应， ^{18}F 取代三氟甘露糖上的一个羟基。

d、水解：向反应管中加氢氧化钠溶液进行水解后，加入酸中和。

e、精制：粗产品经过树脂柱中和过量的盐酸，分离提纯，经过无菌滤膜过滤获得最终产品 (^{18}F -FDG)。

回旋加速器生产的每批药物在使用前均在分装热室内自动分装出活度不大于 6mCi 的药物至试剂瓶内，放至不低于 40mmPb 的铅罐中，由合成分装室工作人员将铅罐送至全检质控室，由质控室工作人员接收后，放置在室内质检手套箱中，在手套箱中开展即时质检，主要包括性状、放射性活度、PH 值、放射化学纯度等方面的质量检验，经质检合格后，方能为病人注射，单次仅需从铅罐中抽取几 μCi （一般不大于 $10\mu\text{Ci}$ ）的样品进行即时放化检验；待样品放置衰变至无放射性后，送至阳性对照室、无菌检测室，进行后续质检，主要包括无菌、热原（细菌内毒素）、生物分布、生物活性等生物学方面的质量检验。

本项目放射性药物合成、分装工艺流程及产污环节见图 9-13。

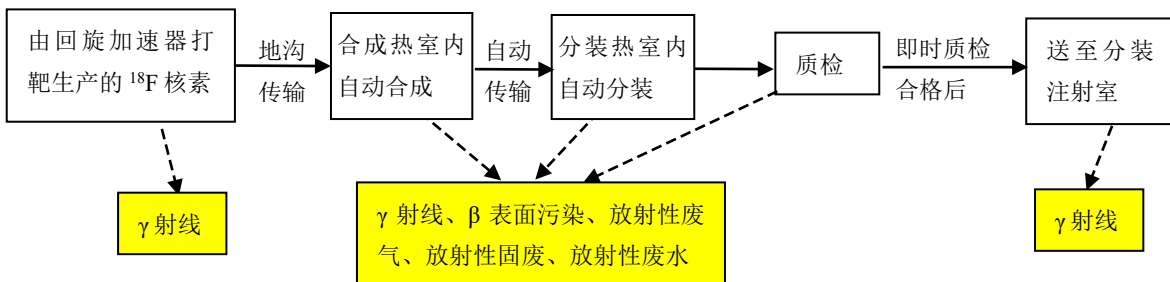


图 9-13 放射性药物合成、分装工艺流程及产污环节

二、PET/CT 诊断

1、工作原理

PET/CT 是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或

功能分子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术。同时 PET/CT 结合应用高档多排 CT 技术进行精确定位，可精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息，并能够独立完成多排螺旋 CT 的临床显像，大大提高临床使用价值。

正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发的从不稳定状态向基态衰变过程中，从核内释放出与普通电子一样但电荷相反的粒籽，即正电子。正电子是一种反物质，从核内放出后很快与环境中的自由电子碰撞湮灭，转化为一对方向相反、能量为 0.511MeV 的 γ 光子。如果在这对光子飞行方向上对置一对探测器，便可以几乎同时接受到这两个光子，并可推定光子发源（即正电子发射）点在两探头间连线上。通过环绕 360°排列的多组配对探头，经探头对之间符合线路检验判定每只探头信号时间耦合性，排除其他来源射线的干扰，得到探头对连线上的一维信息，再用滤波反投射方式，将信号按探头对的空间位置向中心点反投射，便可形成与探头组连线轴平行的断层面正电子发射示踪剂分布图像。这种探测方式一次只反映一个层面的信息。实用中常用多层排列的探头对，配合层间符合线路，以利探测并重建更多层面的图像。

2、工作流程及产污环节

本项目 PET 显像检查用 ^{18}F 药物由医院回旋加速器自行生产，然后在热室内经合成、分装至西林瓶后，由合成分装室传递窗传递至核医学科患者通道，医护人员接收后，使用手推车运至储源室外，经传递窗送至储源室内暂存。PET/CT 放射诊断工作开始后，医护人员将装有 ^{18}F 药物的原液罐拿至分装注射室手套箱 2 内（单次仅取 1 罐），按患者所需活度进行分装（在手套箱内进行手动分装）。PET/CT 放射诊断工作流程及产污环节见图 9-14。

（1）医护人员告知预约检查的患者注意事项，并为患者提前预埋留置针，患者根据叫号从核医学科患者入口进入控制区；

（2）医护人员经更衣后进入分装注射室，使用长柄镊子将装有药物的西林瓶放入手套箱 2 内的活度井内，测定活度，并使用生理盐水进行稀释，后根据病人用药情况将相应药物分装至一次性注射器，药物单次分装过程约 1min，经校对无误后在注射器外设置 5mmPb 防护套，准备注射；

（3）患者到分装注射室注射窗 2 前，医护人员将 ^{18}F 药物送入患者体内，单次注射过程约 30s；

（4）注射 ^{18}F 药物后患者进入 PET/CT 注射后候诊室（共 4 间）候诊，待药物

代谢至靶器官，患者平均候诊时间约 40min；

(5) 患者根据叫号情况进入相应的 PET/CT 扫描机房（共 2 间），躺在扫描床上，经医护人员语音指导摆位后（特殊情况下医护人员需进入机房进行摆位，摆位时间约 1min），接受 PET/CT 扫描检查，患者从进入机房到离开时间约 20min；

(6) 扫描完成后，患者离开机房，进入 PET/CT 留观室内留观约 30min，无碍后由患者专用出口离开。

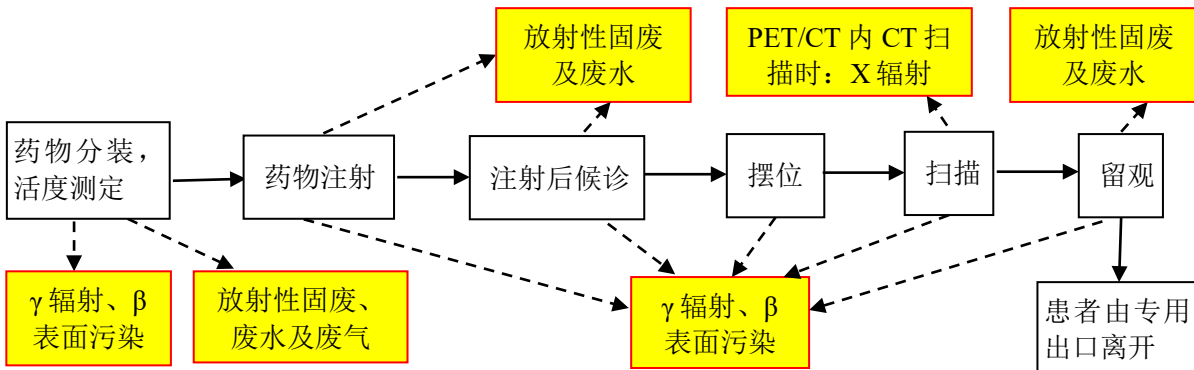


图 9-14 PET/CT 放射诊断工作流程及产污环节示意图

三、SPECT 诊断

1、工作原理

本项目 SPECT 显像检查用 ^{99m}Tc 核素由医院购买钼铯发生器自行生产，发生器是从长半衰期的母体核素中分离短半衰期子体的装置，又称“母牛”，发生器中，母体核素 ^{99}Mo 以 $^{99}\text{MoO}_4^-$ 的形式吸附在 Al_2O_3 柱上，利用母子体化学性质不同可用 0.9% NaCl 洗脱液将子体核素 ^{99m}Tc 以 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 的形式洗脱下来，而母体仍留在发生器内。一般根据需要，可以每日淋洗一到两次。

SPECT 显像原理是利用引入人体内的放射性核素发出的 γ 射线经碘化钠晶体产生闪光，闪烁光子再与光电倍增管的光阴极发生相互作用，产生光电效应。光电效应产生的光电子经光电倍增管的打拿极倍增放大后在光阳极形成电脉冲，其经过放大器放大成形，再经过位置计算电路形成 X、Y 位置信号。各个光电倍增管输出信号之和为能量信号 Z。X、Y 信号经处理后加入显示器偏转极，Z 信号加入启挥极，从而在荧光屏上形成闪烁影像。利用滤波反投影方法，借助计算机处理系统可以从一系列投影影像重建横向断层影像，由横向断层影像的三维信息再经影像重建组合获得矢状、冠状断层或任意斜位方向的断层影像。

2、工作流程及产污环节

医院每周向专业供货商预定钼铯发生器，供货商负责运输新钼铯发生器至核医

学科，由患者通道与储源室之间的专用传递窗送入储源室，医护人员接收后，先暂存于储源室内，开始工作后则运至分装注射室，暂存于手套箱 1 内。

(1) 淋洗、标记、分装 ^{99m}Tc 药物：

①医护人员经更衣后进入分装注射室，双手伸入手套箱 1 内开展淋洗操作；

②取生理盐水瓶按无菌操作原则安置于钼铯发生器上；

③取负压瓶，罩上铅套，按无菌操作原则安置于钼铯发生器上，淋洗制备 ^{99m}Tc 溶液；

④带铅套的淋洗后的 ^{99m}Tc 溶液瓶，测试其放射性活度，并作记录；

⑤根据预约病人的临床诊断和检查要求，选择相应的标记用化合物；根据预约人数抽取适量 ^{99m}Tc 溶液，注入标记物瓶中，充分振摇，静置 5 分钟，即得最终 ^{99m}Tc 标记的放射性药物；

⑥医护人员将 ^{99m}Tc 标记的放射性药物放置于活度井内，测定活度，并使用生理盐水进行稀释，后根据病人用药情况将相应药物分装至一次性注射器，经校对无误后在注射器外设置 2mmPb 防护套，准备注射；

淋洗、标记及分装过程中，放射性核素持续衰变产生的 γ 射线将对辐射工作人员造成外照射。单次淋洗过程约 2min，单次标记过程约 2min，药物单次分装过程约 1min。

(2) 医护人员告知预约检查的患者注意事项，并为患者提前预埋留置针，患者根据叫号到分装注射室注射窗 1 前，医护人员将 ^{99m}Tc 药物送入患者体内，单次注射过程约 30s；

开展心肌灌注显像等的病人，需要在运动室内加强运动使心率达到一定水平、促使药物代谢至靶器官，方能接受 ^{99m}Tc 药物注射，甚至药物注射后仍要继续运动一至两分钟。此时护士在运动室内的移动注射防护车铅玻璃的屏蔽下为病人注射 ^{99m}Tc 药物。

(3) 注射 ^{99m}Tc 药物后患者进入 SPECT 注射后候诊室候诊，待药物代谢至靶器官，患者平均候诊时间约 40min；

(4) 患者根据叫号情况进入 SPECT 扫描机房，躺在扫描床上，经医护人员语音指导摆位后（特殊情况下医护人员需进入机房进行摆位），接受 SPECT 扫描检查，患者从进入机房到离开时间约 20min；

(5) 扫描完成后，患者离开机房，进入 SPECT 留观室内留观约 30min，无碍后

由患者专用出口离开。

本项目 SPECT 放射诊断工作流程及产污环节见图 9-15。

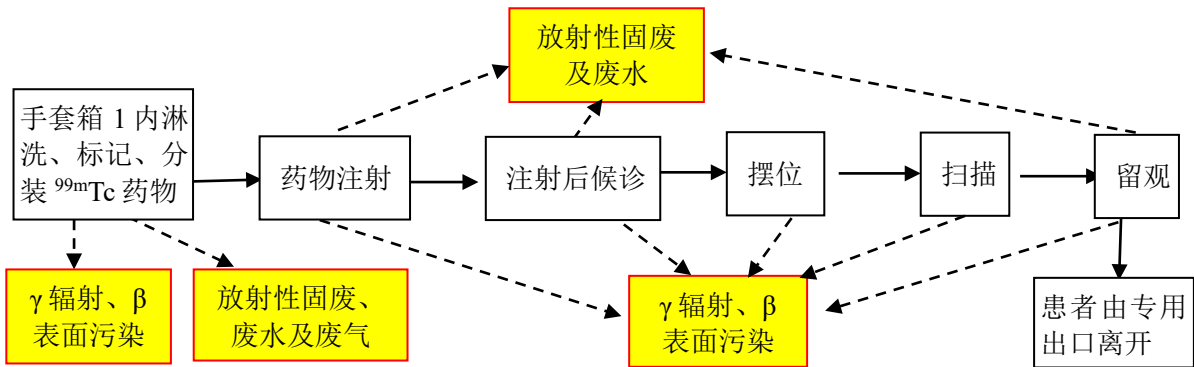


图 9-15 SPECT 放射诊断工作流程及产污环节示意图

四、⁸⁹Sr 核素门诊治疗

1、工作原理

每年的癌症新发患者中，骨骼是除肺和肝意外，恶性肿瘤最常见的转移部位，约有一半以上的癌症患者最终会发生癌症的骨转移。80%以上的骨转移发生在肺癌、乳腺癌、前列腺癌患者中，70%以上的骨转移患者有骨痛症状。发生广泛的骨转移后，由于骨内膜和骨外膜受到肿瘤生长产生的张力或压力以及肿瘤直接累及骨膜，临床上常常会出现明显的难以控制的顽固性骨痛，严重影响患者的生活质量和预后。近年来由于放射性核素治疗骨转移癌和缓解转移性骨痛的飞速发展，已经逐渐替代了传统的麻醉药品对骨痛的治疗。

本项目使用放射性药物 ⁸⁹Sr 治疗骨转移癌，该药物具有趋骨性、在骨组织代谢活跃的部分浓聚更多。静脉注射后骨转移肿瘤病灶呈明显的浓聚，利用放射性药物发射的 β 射线对肿瘤进行内照射，达到止痛、抑制或破坏骨转移肿瘤病灶。经国内外大量的文献资料显示其有效率达 80%~90%，能明显的缓解转移性骨痛，显著地提高患者的生活质量，且相对于止痛药、化疗、放疗和激素治疗产生的毒副作用要小。因此转移性骨痛的放射性核素靶向治疗已经成为临床治疗骨转移癌和缓解骨转移疼痛中最具应用前景的治疗手段之一。

2、工作流程及产污环节

本项目 ⁸⁹Sr 药物为外购针剂成品、无需分装，医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物种类及剂量，向专业医药公司订药，医药公司根据医院预约的时间和用量定时送药，医院指定专人负责药物的接收和登记，并在分装注射室手套箱 2 内测定活度，经校对无误后暂存于储源室内，当天用完。本项目 ⁸⁹Sr 核素门诊治疗

工作流程及产污环节见图 9-16。

(1) 医护人员告知预约检查的患者注意事项后，患者根据叫号从核医学科患者入口进入控制区；

(2) 医护人员经更衣后进入分装注射室，提前将 ^{89}Sr 药物从储源室拿至注射窗口 1 的工作台上，准备注射；

(3) 患者到分装注射室注射窗 1 前，医护人员将 ^{89}Sr 药物送入患者体内，单次注射过程约 30s；

(4) 注射完成后，患者直接由患者专用出口离开。

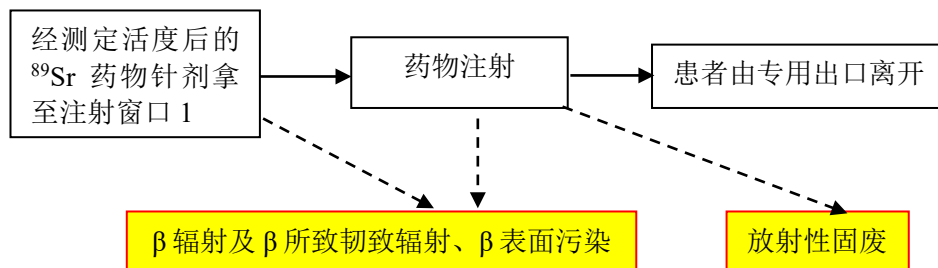


图 9-16 ^{89}Sr 核素门诊治疗工作流程及产污环节

9.1.2.3 DSA

1、工作原理

DSA 设备的核心部件为 X 射线发生器，成像基本原理是：将受检部位没有注入造影剂和注入造影剂后的血管造影 X 射线荧光图像，经电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，最终获得去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯血管等影像的减影图像，通过显示器显示出来。通过 DSA 机处理的图像，使血管等的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

介入治疗是在医学影像设备的引导下，通过置入体内的各种导管的体外操作和独特的处理方法，对体内病变进行治疗。介入治疗具有不开刀、创伤小、恢复快、效果好的特点。

本项目拟配备的 DSA 机属于平板探测器型，其成像原理为：①曝光前对非晶硒两面的偏置电极板预先施加 1~5000V 正向电压形成偏执电场，像素矩阵处于预置初始状态；②X 线曝光时在偏执电场作用下形成电流→垂直运动→电荷采集电极→给储存电容充电；③读取 TFT 储存电容内的电荷→放大→A/D 转换成数字信号→计算机运算→形成数字图像；④消除残存电荷，其系统结构示意图见图 9-17。

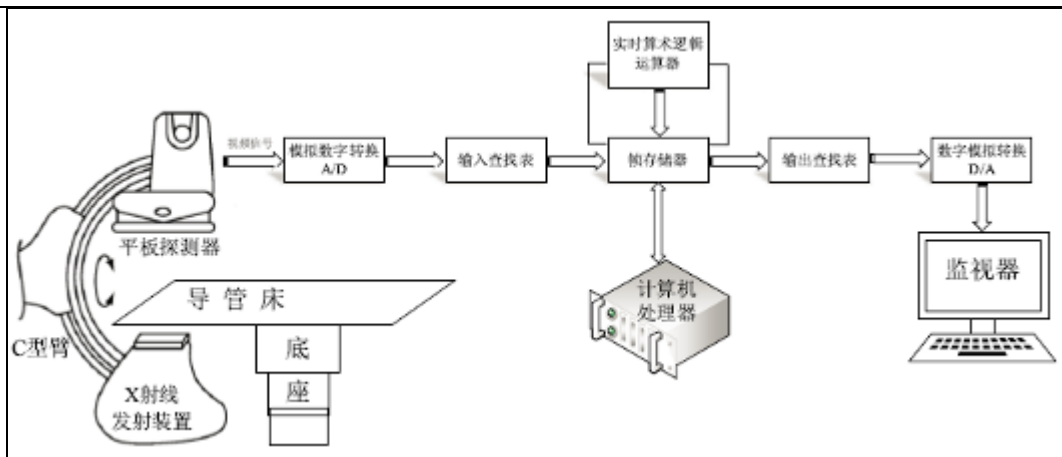


图 9-17 平板探测器型 DSA 机系统结构图

2、工作流程及产污环节

本项目工作流程及产污环节见图 9-18。

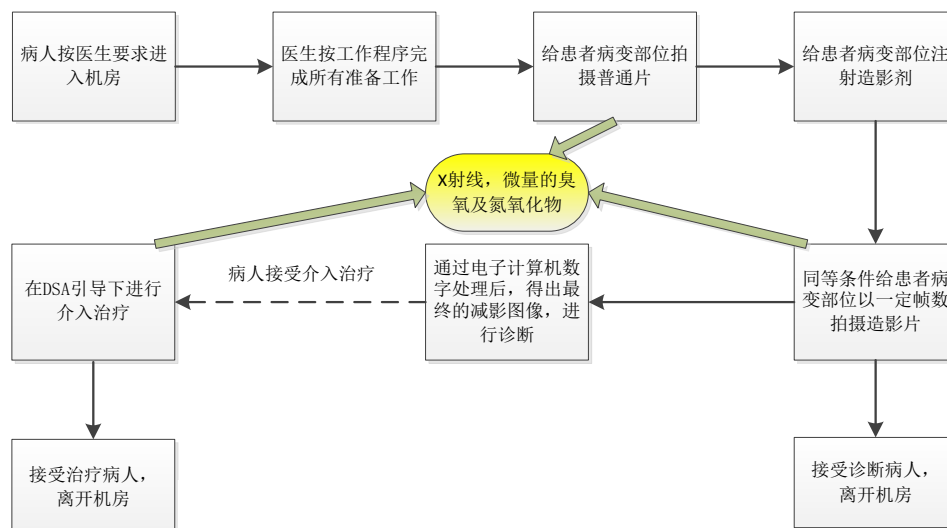


图 9-18 DSA 机工作流程及产污环节示意图

9.1.3 项目定员及年工作时间

本项目放疗科直线加速器和后装机拟配备至少 15 名辐射工作人员，包括 7 名技师、3 名医师、2 名物理师、3 名护士；核医学科拟配备至少 12 名辐射工作人员，包括 4 名技师、4 名医师、4 名护士；介入中心 DSA 拟配备至少 13 名辐射工作人员，包括 2 名技师、8 名介入医师、2 名护士，单台手术由 2 名介入医师共同负责。人员均实行白班制，每周工作 5 天，每年工作 50 周。

根据单位提供资料，各项目工作时间见表 9-3~表 9-6。

表 9-3 直线加速器工作时间一览表

设备名称	数量	单台每天最多治疗人数	平均每次治疗照射时间	单台周最大出束时间	单台年最大出束时间	备注
直线加速器	5 台	80 人	3min	20h	1000h	每位患者每次照射平均 2 个野，每个野时间约为 1.5min

注：每周工作 5d，每年工作 250d。

表 9-4 后装机工作时间一览表

设备名称	数量	每天最多治疗人数	平均每位患者的治疗照射时间	周治疗最大照射时间	年治疗最大照射时间
后装机	1 台	20 人	10min	16.7h	833h

表 9-5 DSA 工作时间一览表

设备名称	数量	单台年最大手术台数	单台手术平均透视曝光时间	单台手术平均拍片曝光时间	单台年总透视曝光时间	单台年总拍片曝光时间
DSA 机	2 台	600 台	20min	2min	200h	20h

注：单名介入医师年最大手术台数为 300 台。

表 9-6 核医学科工作时间一览表

设备名称/岗位		日最大工作时间	年工作天数	年最大工作时间	备注
18F 药物生产	回旋加速器	2h	250 天	500h	每天最多打靶生产 1 次
	18F 药物自动合成	40min	250 天	166.7h	每天最多合成 1 次
	18F 药物自动分装至西林瓶	15min	250 天	62.5h	每天最多分装 1 次
	18F 药物即时质检	5min	250 天	20.8h	每天最多即时质检 1 次
18F 质检药物传递		30s	250 天	2.1h	每天最多从合成分装室传递至全检质控室 1 次
18F 成品药物传递		3min	250 天	12.5h	每天最多从合成分装室传递至分装注射室 1 次
PET/CT 放射诊断	18F 药物手动分装至注射器	40min	250 天	166.7h	单次分装过程约 1min，每天最多 40 名患者
	18F 药物注射	20min	250 天	83.3h	单次注射过程约 30s，每天最多 40 名患者
	患者注射后候诊	单等候诊室：2.67h (候诊室 1、3 同时 3 人候诊，候诊室 2、4 同时 2 人候诊)	250 天	666.7h	每天最多 40 名患者，单名患者平均候诊时间约 40min，共 4 间候诊室，其中候诊室 1、3 为 3 人间，候诊室 2、4 为 2 人间

	患者摆位	/	/	单间机房：8.3h	特殊情况下医护人员需进入机房进行摆位，单名患者单次摆位过程约 1min，保守假设每间机房每年约 500 名患者（总人数的 10%）需进入机房摆位
	患者扫描	单间机房：6.67h	250 天	单间机房：1666.7h	每天最多 40 名患者，单名患者平均扫描时间约 20min，共 2 间 PET/CT 扫描机房
	患者留观	5h (每次 4 人同时留观)	250 天	1250h	每天最多 40 名患者，单名患者平均留观时间约 30min，共 1 间留观室，为 4 人间
SPECT 放射诊断	钼铯发生器淋洗 ^{99m} Tc 核素	4min	250 天	16.7h	单日最多淋洗 2 次，单次淋洗时间约 2min
	^{99m} Tc 药物标记	4min	250 天	16.7h	单日最多标记 2 次，单次标记时间 2min
	^{99m} Tc 药物手动分装至注射器	20min	250 天	83.3h	单次分装过程约 1min，每天最多 20 名患者
	^{99m} Tc 药物注射	10min	250 天	41.7h	单次注射过程约 30s，每天最多 20 名患者
	患者运动	25min	250 天	104.2h	保守假设每天有 5 名患者需运动，单人运动时间约 5min
	患者注射后候诊	2.67h (每次 5 人同时候诊)	250 天	666.7h	每天最多 20 名患者，单名患者平均候诊时间约 40min，共 1 间候诊室，为 5 人间
	患者摆位	/	/	8.3h	特殊情况下医护人员需进入机房进行摆位，单名患者单次摆位过程约 1min，保守假设每间机房每年约 500 名患者（总人数的 10%）需进入机房摆位
	患者扫描	6.67h	250 天	1666.7h	每天最多 20 名患者，单名患者平均扫描时间约 20min，共 1 间 SPECT 扫描机房
	患者留观	3.33h (每次 3 人同时留观)	250 天	833.3h	每天最多 20 名患者，单名患者平均留观时间约 30min，共 1 间留观室，为 3 人间
⁸⁹ Sr 门诊治疗	⁸⁹ Sr 药物注射	2.5min	250 天	10.4h	单次注射过程约 30s，每天最多 5 名患者
患者抢救		/	/	5h	每年最多 10 名患者需抢救，单次抢救时间约 30min

9.1.4 人流、物流路径规划

9.1.4.1 放疗科直线加速器、后装机

本项目 5 间直线加速器机房、1 间后装治疗机房均设有迷道，迷道口均设有防护门，人流、物流路径均为从迷道门进出机房。

9.1.4.2 核医学科

本项目核医学工作场所控制区内医务人员及患者均具有独立的出入口和流动路线，放射性药物/钼铯发生器在上班前送到，放射性固废在下班后统一收集，与患者就诊时间错开；通过错时叫号方式和监控确保给药后患者与给药前患者不交叉，确保不同项目给药后患者在通道内不交叉，能够有效防止交叉污染，避免公众、工作人员受到不必要的外照射，核医学工作场所人流、物流路径合理。核医学工作场所人流、物流路径见附图 10-4。

1、医护人员路径规划

①回旋加速器生产人员

核医学科注射前候诊区内护士站旁的医护入口进入医护通道→机房外缓冲间→回旋加速器控制室负责回旋加速器的操作。工作结束后经原路返回离开核医学科。

②¹⁸F 药物合成、分装、质控人员

核医学科注射前候诊区内护士站旁的医护入口进入医护通道→¹⁸F 药物生产区换鞋间进行换鞋和换工作服→一更室穿一次性鞋套、手套和一次性洁净服→缓冲间→洁净通道，其中质控人员进入全检质控室负责 ¹⁸F 药物的即时质检，或者经缓冲进入阳性对照间等负责 ¹⁸F 药物的后续质检；合成、分装人员经全检质控室进入合成分装室，通过电脑控制 ¹⁸F 药物的合成和分装工作。

工作结束后，合成、分装、质控人员先原路返回，经洁净通道、更衣处缓冲间进入二更，脱去一次性鞋套、手套和一次性洁净服后进入检测间进行表面沾污检测，若检测不合格则在检测间内更换污衣物，直至检测合格后进入换鞋间，换鞋和更衣后原路返回离开核医学科。

③分装注射室工作人员

核医学科注射前候诊区内护士站旁的医护入口进入医护通道→门诊工作场所卫生通过区走道→更衣间进行换鞋和换工作服（包括穿一次性鞋套、手套和一次性洁净服）→走道→分装注射室→储源室领取钼铯发生器/¹⁸F 药物/⁸⁹Sr 药物→分装注射室进行 ^{99m}Tc 核素的淋洗、标记和分装、注射/¹⁸F 药物的分装、注射/⁸⁹Sr 药物的注射，或

者运动/急救室进行 ^{99m}Tc 药物的注射。

工作结束后，工作人员先在分装注射室出口处脱去一次性鞋套、手套和一次性洁净服，后经走道进入污物检测室进行表面沾污检测，若检测不合格则在检测间内更换污衣物，事故工况下将进入淋浴间进行淋浴去污，直至检测合格后经走道进入更衣间，换鞋和更衣后原路返回离开核医学科。

④PET/CT、SPECT 设备操作人员

核医学科北侧医护入口门进入工作通道→相应控制室负责设备的操作和患者的摆位工作（特殊情况下需进入机房进行摆位）。工作结束后原路返回。

2、患者路径规划

患者均从核医学科入口进入，在注射前候诊区候诊，根据叫号，从患者入口进入控制区接受显像检查或核素治疗。

①接受PET/CT显像检查的患者进入控制区后，先在注射窗口2进行注射→PET/CT注射后候诊室候诊→PET/CT机房扫描→PET/CT留观室留观→患者专用出口离开核医学科。

②接受SPECT显像检查的患者进入控制区后，先在注射窗口1进行注射（开展心肌灌注显像等的患者在运动/急救室内运动注射）→SPECT注射后候诊室候诊→SPECT机房扫描→SPECT留观室留观→患者专用出口离开核医学科。

③接受 ^{89}Sr 核素门诊治疗的患者进入控制区后，先在注射窗口1进行注射→患者专用出口离开核医学科。

3、放射性药物路径规划

①PET用 ^{18}F 药物：回旋加速器机房内打靶生产 ^{18}F 核素→经地沟自动传输至合成分装室内合成并分装至西林瓶（合成后需分装少量药物进行质检）→经成分装室传递窗传递至患者通道→经储源室传递窗传递至储源室内暂存→正式开展工作后拿至分装注射室手套箱2内，分装至注射器→注射窗口2注射。

②SPECT用 ^{99m}Tc 药物：供货商将钼铯发生器送至核医学科，由患者通道与储源室之间的传递窗送入储源室→正式开展工作后拿至分装注射室手套箱1内，进行淋洗、标记，并分装至注射器→注射窗口1或运动/急救室内注射。

③门诊治疗用 ^{89}Sr 药物：供货商将药物送至核医学科，由患者通道与储源室之间的传递窗送入储源室→医护人员将药物拿至分装注射室手套箱2内测定活度→将药物暂存在储源室内→正式开展工作后拿至分装注射室注射窗口1进行注射。

4、放射性固废路径规划

①回旋加速器废旧靶膜、C膜、离子源等高活性固废，先暂存于回旋加速器机房内高活性放射性废物桶内，回旋加速器机房内洗靶、装卸靶过程中产生的一次性沾污废物等非高活性固废，先暂存于回旋加速器机房内非高活性放射性废物桶内，定期委托有放射性固废处理资质的单位处理。放射性固废依次经回旋加速器机房外缓冲、医护通道、通道东门、通道、患者通道、污物通道、前室、污梯（消防电梯）运出核医学科。

②合成分装室、全检质控室、分装注射室、运动/急救室、注射后候诊室、留观室内均拟设置放射性废物桶，放射性核素操作过程中产生的放射性固废先分类暂存于各场所放射性废物桶内，于当天门诊下班后分类收集至核医学科放射性废物库内贮存衰变；通风系统内更换下来的废活性炭过滤吸附材料等放射性固废，于更换后直接收集至废物袋内，并送至放射性废物库内暂存，定期委托有放射性固废处理资质的单位处理。放射性固废在废物库内按要求贮存衰变，经监测满足清洁解控要求后，由医护人员于门诊下班后将解控后的固废从放射性废物库依次经分装注射室、运动/急救室、患者通道、污物通道、前室、污梯（消防电梯）运出核医学科。

③废弃的钼铯发生器和 ^{68}Ge 退役源将送至放射性废物库内暂存，交由原生产厂家回收处理。路线为从放射性废物库依次经分装注射室、运动/急救室、患者通道、污物通道、前室、污梯运出核医学科。

9.1.4.3 DSA

本项目介入中心 2 间 DSA 机房均设有独立的医护人员通道、患者通道和污物通道，DSA 医护人员从走廊进入控制室，从医护人员防护门进出机房，患者经走廊从患者通道防护门进出机房，各机房内产生的污物从污物通道防护门运出机房。

9.2 核医学科日等效最大操作量核算

根据单位提供资料，本项目 PET/CT 诊断每天预计最多接诊 40 名患者，单名患者 ^{18}F 用药量约为 $(1.48 \times 10^8 \sim 3.7 \times 10^8)$ Bq，患者均实行预约制，本项目回旋加速器根据门诊量每天最多打靶生产放射性核素 ^{18}F 一次，每周工作 5 天；因 ^{18}F 半衰期较短，考虑到使用时放射性药物的衰变，医院在进行 ^{18}F 药物的生产时，一般按照门诊最大用药量的 4 倍进行生产备药。SPECT 诊断每天预计最多接诊 20 名患者，单名患者 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 最大用药量为 9.25×10^8 Bq，患者均实行预约制，医护人员根据门诊量，每日淋洗一到两次钼铯发生器，制备 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物。 ^{89}Sr 为外购成品药物针剂，单名患者最

大用量为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ，患者均实行预约制，医护人员根据预约情况，提前订药。

本项目各核素日最大用量及年最大用量见表 9-7。

表 9-7 核医学工作场所拟使用的放射性核素日最大用量及年最大用量表

核素	单人最大用药量 (Bq)	日最大门诊量 (人)	日最大用量 (Bq)	年最大门诊量 (人)	年最大用量 (Bq)
^{18}F	3.7×10^8	40	5.92×10^{10} (考虑 4 倍生产备药量)	10000	1.48×10^{13} (考虑 4 倍生产备药量)
^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	/	/	1.85×10^{10} (单柱 500mCi, 每日淋洗 1 柱)	/	9.25×10^{11} (单柱 500mCi, 每年使用 50 柱)
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	9.25×10^8	20	1.85×10^{10}	5000	4.625×10^{12}
^{89}Sr	1.85×10^8	5	9.25×10^8	1250	2.31×10^{11}

参考《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)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)表 A.2 对于核医学科常见放射性核素状态与操作方式修正因子的要求，本项目 ^{18}F 生产相关活动视为“简单操作”；利用钼铈发生器淋洗制备 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物时， ^{99}Mo 的操作视为“源的贮存”， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的操作视为“简单操作”； ^{89}Sr 的操作保守视为“简单操作”。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中相应核素的毒性组别及使用因子，经过毒性组别及使用因子的双重修正，本项目核医学工作场所日等效最大操作量计算见表 9-8。

表 9-8 核医学工作场所日等效最大操作量一览表

核素	日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式与放射源状态修正因子	日等效最大操作量 (Bq)
^{18}F	5.92×10^{10}	低毒, 0.01	简单操作 (液体), 1	5.92×10^8
^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	1.85×10^{10}	中毒, 0.1	源的贮存 (液体), 100	1.85×10^7
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.85×10^{10}	低毒, 0.01	简单操作 (液体), 1	1.85×10^8
^{89}Sr	9.25×10^8	中毒, 0.1	简单操作 (液体), 1	9.25×10^7

根据表 9-8 计算结果可知，本项目核医学工作场所日等效最大操作量为 $8.88 \times 10^8 \text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)的规定，该核医学工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所 ($2 \times 10^7 \text{Bq} \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$)。

9.3 污染源项描述

9.3.1 建设阶段的污染源项

本项目直线加速器机房、后装治疗机房、回旋加速器机房均为混凝土结构，机房的建设依托医疗综合楼的主体工程，机房混凝土结构已建成，核医学科、DSA 机

房结构未建，所有场所的辐射防护施工均未开展。

本项目在建设阶段不产生辐射影响，施工期主要包括：辐射工作场所的土建及防护装修，产生的环境影响主要是施工时产生的废气、噪声、固体废物以及废水等环境影响。施工期对环境产生的影响均为暂时的、可逆的，且随着施工期结束，固废及废水在施工期间内妥善处置，施工期产生的扬尘、噪声等方面的影响将随着施工结束会自行消除。

9.3.2 运行阶段的污染源项

9.3.2.1 正常工况

一、放射性污染源分析

1、医用直线加速器

本项目拟配备 5 台直线加速器，X 射线最大能量均为 10MV，距靶 1m 处 X 射线最大剂量率均为 1440Gy/h（10MV 下），根据《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》（GBZ 121-2020），其中子及感生放射性的辐射影响可忽略，放射性污染源主要包括：电子束、X 射线。

（1）电子束

当加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗患者。产生的电子属初级辐射，贯穿物质时受物质库仑场的影响，贯穿深度有限。

加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器电子束治疗时间时，电子束对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗。

（2）X 射线

加速器以 X 射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生 X 射线。发射出来的 X 射线主要用于治疗，治疗剂量与剂量率的大小、加速器电子能量、受照射的靶体材料、电子束流强度、电子入射方向、考察点到源的距离等因素有关。由于 X 射线的贯穿能力极强，将对工作人员、公众及周围环境辐射造成辐射污染。

2、后装机

（1） γ 射线

本项目后装机内 ^{192}Ir 放射源最大装源活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，后装机未使用时，放

射源处于贮源器内，少量 γ 射线会穿透屏蔽体，对进入治疗机房的人员及室外公众等产生外照射。

后装机在治疗过程中， ^{192}Ir 放射源位于施源器内，放射源发射出的 γ 射线可能穿透屏蔽墙及防护门，对治疗机房外的工作人员和公众产生外照射影响。

^{192}Ir 放射性核素特性见表 9-9，衰变纲图见图 9-19。

表 9-9 ^{192}Ir 放射性核素特性表

核素	半衰期	衰变类型及分支比 (%)	主要 α 、 β 辐射能量 (keV) 与绝对强度 (%)	主要 γ 、X 射线能量 (keV) 与绝对强度 (%)	γ 射线能量均值 (MeV)	空气比释动能率常数 ($\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$)
^{192}Ir	74.0d	β^- (95.13) ϵ (4.87)	538.3 (41.43) 675.1 (48.0) 258.7 (5.6)	316.5 (82.75) 468.1 (47.81) 308.5 (29.68) 296.0 (28.72) 604.4 (8.2)	0.37	0.111

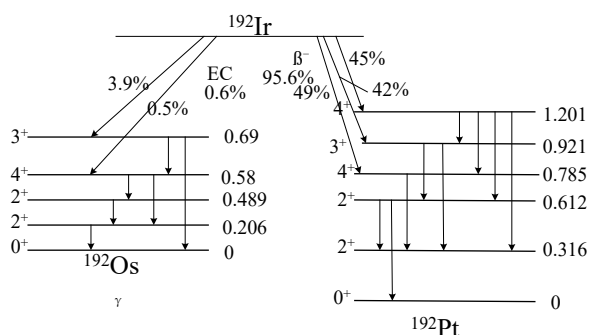


图 9-19 ^{192}Ir 衰变纲图

(2) 放射性废物

^{192}Ir 放射源使用到一定时间 (约 180 天) 后当强度低于使用要求时，必须重新购买新源，从而产生退役的放射源 (即放射性废物)，可能会对周围环境产生一定的危害。

3、核医学科

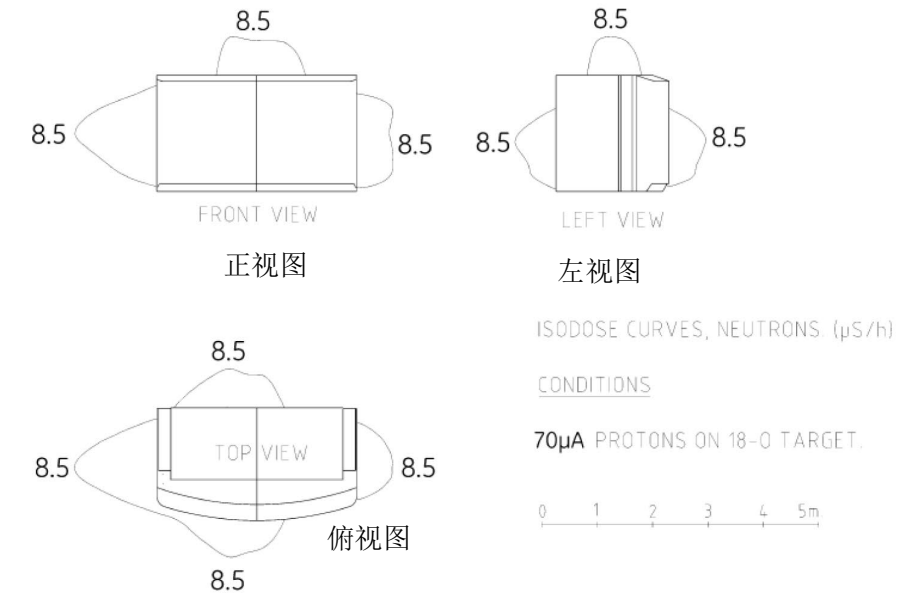
(1) 辐射

① 回旋加速器

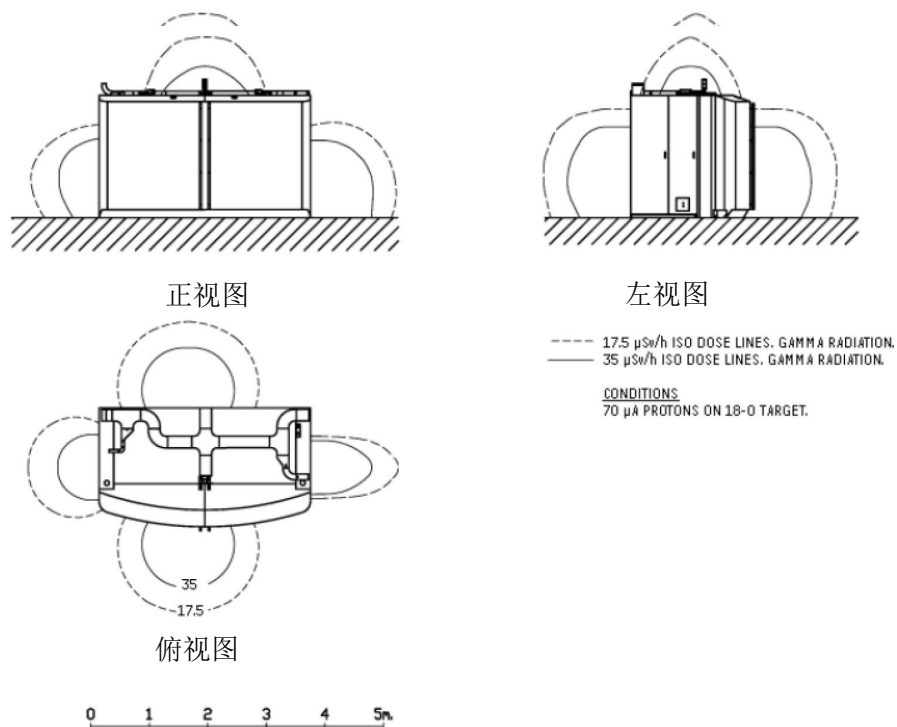
本项目回旋加速器生产放射性核素 ^{18}F 过程中将产生 γ 射线，回旋加速器用高能质子轰击靶发生核反应，在产生放射性核素的同时，也产生中子，因此， γ 射线、中子辐射是回旋加速器运行过程中的主要污染因子。

本项目拟购的 MINItrace Qilin 型回旋加速器为自屏蔽型，最大质子能量为 10MeV、最大束流强度为 70 μA ，自屏蔽组成主要包括：①围绕靶区 20-25cm 的聚乙

烯（不含硼），②聚乙烯外部 10cm 的铅，③围绕机器（根据方向不同，厚度为 45-75cm）的铁矿石混凝土（含少量硼）。根据厂家提供资料，回旋加速器在束流强度 $70\mu\text{A}$ 、 ^{18}O 靶、产品为 ^{18}F 的运行条件下，自屏蔽体外的中子、 γ 射线剂量等高线分布如图 9-20，具体数值见表 9-10。



中子剂量等高线分布图



Gamma 剂量等高线分布图

图 9-20 回旋加速器自屏蔽体外的中子、 γ 射线剂量等高线分布图

表 9-10 回旋加速器自屏蔽体外中子、 γ 射线最大剂量率一览表

序号	点位	距靶心距离 (m)	最大剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	
			γ 射线	中子
1	加速器自屏蔽体正面外 1m	2.1	35	8.5
2	加速器自屏蔽体背面外 1m	2.0	35	8.5
3	加速器自屏蔽体左面外 1.5m	3.3	17.5	8.5
4	加速器自屏蔽体右面外 1m	2.8	35	8.5
5	加速器自屏蔽体顶面外 1m	2.15	35	8.5

② 放射性药物生产、分装、质检、门诊诊断及治疗等

^{18}F 放射性药物在生产（合成）、分装、质检、PET/CT 门诊诊断等过程中，由于 ^{18}F 核素的持续衰变产生的 γ 射线，将会造成医务人员及公众的外照射；此外，PET/CT 在诊断过程中 CT 运行会产生 X 射线外照射。 ^{18}F 核素自然衰变产生的 β^+ 粒子发生湮灭反应后产生的 γ 光子能量为 0.511MeV，2 台 PET/CT 最大管电压均为 140kV、最大管电流为 800mA。 ^{68}Ge 校验源在暂存、使用过程中，可能会造成医务人员及公众的外照射。

在使用钼铯发生器淋洗 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素过程中，由于 ^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的持续衰变产生的 γ 射线，将会造成医务人员及公众的外照射； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物标记、分装、SPECT 门诊诊断等过程中，由于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的持续衰变产生的 γ 射线，将会造成医务人员及公众的外照射。 ^{99}Mo 核素自然衰变产生的 β 最大能量为 1.215MeV，产生的 γ 射线平均能量为约 0.234MeV， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素自然衰变产生的 γ 射线平均能量为约 0.14MeV。

^{89}Sr 核素门诊治疗过程中，由于 ^{89}Sr 核素的持续衰变产生的 β 射线， β 粒子被自身源物质及周围的其他物质阻止时将产生韧致辐射外照射。

核医学科拟使用放射性核素特性见表 9-11。

表 9-11 核医学科拟使用放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	α/β 最大能量 MeV	光子能量 MeV	周围剂量当量率常数(裸源) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$)
^{18}F	109.8min	β^+ , EC	0.63 (+)	0.511	0.143
^{99}Mo	66h	β^-	1.215	0.234	0.0251
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	同质异能跃迁	—	0.140	0.0303
^{89}Sr	50.53d	β^-	1.495	—	—
^{68}Ge	270.8d	EC	—	0.009	0.134

注：数值来源为 GBZ 120-2020、《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》（放射性核素和辐射防护数据手册 2002 版）。

(2) β 表面污染

工作人员在放射性核素操作过程中，可能会发生核素撒落事故，对工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，本项目无 α 衰变核素，无需考虑 α 表面污染，仅需考虑 β 表面污染。

(3) 放射性固体废物

使用回旋加速器生产 ^{18}F 放射性药物过程中，产生的放射性固体废物主要有以下几种：①回旋加速器维修更换产生的高活性固废，如碳膜、靶膜、真空膜等。②回旋加速器机房内洗靶、装卸靶过程中产生的一次性沾污废物等非高活性固废。③ ^{18}F 药物合成、分装、质检过程中，产生的沾染放射性核素的废试剂瓶、棉球、吸水纸、手套、注射器等。④事故状况下发生放射性核素泼洒等意外事故时，对于污染场所将采用干法去污，去污过程中产生的擦拭用吸水纸、酒精棉球等。

使用钼锝发生器淋洗制备 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物过程中，产生的放射性固体废物主要有以下几种：① $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗制备过程中，产生的沾染放射性核素的废试剂瓶、棉球、吸水纸、手套、注射器等。②钼锝发生器使用期限到后退役将产生退役的钼锝发生器。③事故状况下发生放射性核素泼洒等意外事故时，对于污染场所将采用干法去污，去污过程中产生的擦拭用吸水纸、酒精棉球等。

PET/CT 门诊诊断、SPECT 门诊诊断、 ^{89}Sr 核素门诊治疗过程中，产生的放射性固体废物主要包括：①放射性药物使用过程中，产生的沾染放射性核素的一次性注射器、西林瓶、手套、擦拭废纸等。②PET/CT 校准用 ^{68}Ge 使用期限到后退役将产生退役的放射源。③事故工况下发生放射性药物泼洒等意外事故时，对于污染场所将采用干法去污，去污过程中产生的擦拭用吸水纸、酒精棉球等。

此外，核医学科产生的放射性固体废物还包括：核医学工作场所、合成热室、分装热室、手套箱通风系统内定期更换下来的废活性炭过滤吸附材料等。

本项目放射性固废预计产生量见表 9-12。

表9-12 放射性固废预计产生量

放射性固废	核素名称	日产生量 (kg/天)	年工作天数 (天)	年产生量 (kg/年)
回旋加速器机房内产生的放射性固废	^{64}Cu 、 ^{27}Mg 、 ^{24}Na 等感生放射性核素	维修更换产生的高活性固废：0.1kg/a 非高活性固废，年产生量约0.5kg/a		
^{18}F 药物合成、分装、质检、门诊诊断过程中产生的放射性固废	^{18}F	3	250	750
使用钼锝发生器淋洗制	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2	250	500

备 ^{99m} Tc放射性药物、SPECT门诊诊断过程中产生的放射性固废				
退役的钼铯发生器	⁹⁹ Mo、 ^{99m} Tc	约50柱/年		
⁸⁹ Sr核素门诊治疗过程中产生的放射性固废	⁸⁹ Sr	0.05	250	12.5
废活性炭过滤吸附材料等	¹⁸ F、 ^{99m} Tc、感生放射性核素	/	/	16

(4) 放射性废水

使用回旋加速器生产¹⁸F放射性药物过程中，产生的放射性废水主要包括：①药物生产过程及清洗模块产生的工艺废水。②在生产过程中发生泼洒等意外，人员淋浴或洗手产生的含有放射性核素的废水。

使用钼铯发生器淋洗制备^{99m}Tc放射性药物、PET/CT门诊诊断、SPECT门诊诊断过程中，产生的放射性废水主要包括：①擦拭冲洗受放射性核素污染物品用水，控制区清洁用水。②用药患者的排泄物和冲洗水等。③在核素操作过程中发生泼洒等意外，人员淋浴或洗手产生的含有放射性核素的废水。

⁸⁹Sr核素门诊治疗使用外购⁸⁹Sr成品针剂，不需要分装，患者注射后即离开核医学科，不留观，治疗过程中不产生放射性废水。

本项目放射性废水预计产生量见表 9-13。

表 9-13 放射性废水预计产生量

放射性废水	核素名称	日最大门诊量 (人)	年最大门诊量 (人)	单人单日产生量 (L)	单日产生量 (m ³)	年产生量 (m ³)	
使用回旋加速器生产 ¹⁸ F放射性药物过程中产生的放射性废水	¹⁸ F	/			0.001	0.25	160.73
PET/CT 诊断过程中产生的放射性废水	¹⁸ F	40	10000	10	0.4	100	
使用钼铯发生器淋洗制备 ^{99m} Tc放射性药物、SPECT放射诊断过程中产生的放射性废水	^{99m} Tc	20	5000	10	0.2	50	
核医学工作场所每日产生的清洁废水	¹⁸ F、 ^{99m} Tc	保守按每天 40L 计，每年工作 250 天			0.04	10	
生产、核素操作过程中发生泼洒等意外，人员淋浴产生的放射性废水		保守按每次 40L 计，保守假设每月发生 1 次意外，每年工作 12 个月			0.04	0.48	

注：①核医学科使用节水型马桶（3.5/5L），单名 PET、SPECT 患者注射药物后在候诊、扫描、留观过程中使用 1~2 次卫生间，估算时单名患者单日放射性废水产生量取 10L；

②医护人员进入核医学工作场所前均更换工作服、工作鞋，核素操作人员穿戴一次性鞋套、手套和一次性洁净服。

(5) 放射性废气

回旋加速器运行时，加速器机房室内空气受中子照射后将生成放射性活化气体，主要核素有 ^{11}C （半衰期 20.4min）、 ^{13}N （半衰期 10min）、 ^{15}O （半衰期 2.1min）和 ^{41}Ar （半衰期 110min）等，其中关键核素为 ^{41}Ar 。由于空气中可以生成 ^{41}Ar 的 ^{40}Ar 只占 1.3%，加上产生 ^{41}Ar 的活化反应截面很小，所以 ^{41}Ar 的生成率极低。本项目 ^{18}F 放射性核素生产为自动化工艺，停机后，工作人员无需进入回旋加速器机房内进行操作；放射性药物 ^{18}F 合成、分装、质检、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗、标记、分装过程中，由于空气的流动可能“挥发”出微量放射性废气，本项目放射性药物的操作均在带有通风装置的热室或手套箱内进行，核医学工作场所内均设置机械通风系统，空气中挥发散逸的放射性核素几乎没有，放射性气溶胶非常少，其对医务人员和公众呼吸入体内造成的内照射影响可以忽略。

4、DSA

由 DSA 机的工作原理可知，X 射线是随机器的开关而产生和消失。因此，在非诊疗状态下不产生 X 射线，只有在开机处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，X 射线为污染环境的主要因子。

DSA 机的 C 型臂上，X 射线球管及平板探测器分别在 C 型臂的两端，球管出束口恒定朝向平板探测器照射，出束主射线在平板探测器成像范围（照射野范围）内。在对 X 射线探测时，均要求平板探测器具有对电离辐射的高阻断能力，要求所有入射到发光材料上的 X 射线尽可能多地被吸收，当 X 射线穿过平板探测器而没被吸收，就不会产生激发，从而影响成像效果。平板探测器对 DSA 球管主射线的吸收，使得 DSA 机房的屏蔽估算无需再考虑主射线，因此本项目 DSA 机房各侧屏蔽体主要考虑泄漏辐射和散射辐射的影响。

① 泄漏射线

根据国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》“（77）用于诊断目的每一个 X 射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1m 处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h”（在距离源 1m 处不超过 100cm² 的面积上或者在离管或源壳 5cm 处的 10cm² 面积上进行平均测量），以及《医用电气设备 第 1 部分：安全通用要求 三.并列标准 诊断 X 射线设备辐射防护通用要求》（GB9706.12-1997）中 29.204.3 的相应要

求，取本项目 DSA 离焦点 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率为 1.0mGy/h。

②散射线

本项目 DSA 的散射线主要考虑有用线束照射到人体上产生的侧向散射线，其强度与有用线束的 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射面积和距离等有关。

本项目 DSA 机具有自动照射量控制调节功能（AEC），摄影时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低，照射量率减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量率增大。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有一定的裕量。

本项目保守按 DSA 机以最大管电压运行进行理论估算。

《数字减影血管造影机专用技术条件》（YYT 0740-2022）中规定：

5.6.4 透视入射空气比释动能率

在管电压与管电流的任意组合下，透视入射空气比释动能率应满足：

- a) 空气比释动能率应不大于 88 mGy/min；

6.6.4 透视入射空气比释动能率

设置 SID 至最小，将剂量仪的探测器放置在沿 X 射线中心线在距影像接收器表面的 30 cm 处，用足够厚的铅板遮住影像接收器，自动透视至剂量最大稳定值或手动调整管电压和管电流至最大值进行透视，记录测量值。

根据单位提供资料，本项目拟购 DSA 机焦平距（SID）不低于 84cm，即靶点与透视入射空气比释动能率检测点之间的距离为 54cm，根据 YYT 0740-2022 中规定，同时根据辐射剂量率与距离平方成反比可估算得出，本项目 DSA 机在透视工况下，离靶 1 米处的空气比释动能率为 $25.66\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{min}^{-1}$ 。拍片工况下，管电流约为透视工况的 50 倍，离靶 1 米处的空气比释动能率为 $1283\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{min}^{-1}$ 。

二、非放射性污染源分析

1、医用直线加速器

①废气

医用直线加速器项目运行期产生的废气主要为加速器运行时产生的 X 射线和电子线与空气发生相互作用产生的少量臭氧和氮氧化物。

②固体废物

项目运行期产生的固体废物主要为加速器运行过程中产生的定位体模、一次性床单等医疗废物和生活垃圾。

③废水

项目运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为生活污水。

④噪声

项目运行期产生的噪声污染源主要为通风系统风机运行时产生的噪声。

2、后装机

①废气

项目运行期产生的废气主要为 ^{192}Ir 后装机运行时放射源发射出的 γ 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物。

②固体废物

项目运行期产生的固体废物主要为后装治疗过程中产生的纱布、棉签、一次性床单等医疗废物和生活垃圾。

③废水

项目运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为生活污水。

④噪声

项目运行期产生的噪声污染源主要为通风系统风机运行时产生的噪声。

3、核医学科

①废气

项目运行期产生的废气主要为回旋加速器运行时产生的高能射线、PET/CT 内 CT 装置运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物。

②固体废物

项目运行期产生的固体废物主要为生活垃圾。

③废水

项目运行期产生的废水主要为生活污水。

④噪声

项目运行期产生的噪声污染源主要为通风系统风机运行时产生的噪声。

4、DSA

①废气

项目运行期产生的废气主要为 DSA 机运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物。

②固体废物

项目运行期产生的固体废物主要为手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具

等医疗废物和生活垃圾。

③废水

项目运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为生活污水。

④噪声

项目运行期产生的噪声污染源主要为通风系统风机运行时产生的噪声。

9.3.2.2 事故工况

本项目可能发生的辐射事故如下：

1、直线加速器

①辐射工作人员违反操作规程和误操作，造成意外照射；

②直线加速器治疗期间工作人员或其他人员误留在机房内，致使其受到大剂量照射；

③由于加速器安全联锁装置、工作状态指示灯或其他安全装置失灵，治疗期间人员误入机房内受到误照射；

④加速器维修调试过程中，因维修人员误操作导致加速器出束，可能发生误照射；或维修人员维修结束时，未将加速器调回初始状态，使之仍处强制出束的维修状态，若工作人员贸然使用，可能致患者过量照射。

2、后装机

①辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射；

②联锁装置失效或设备运行时人员误留机房，装置的运行可能对人员产生超剂量照射；

③后装机进行维修时，若发生联锁失效或强行出源等情况时，导致维修人员可能受到不必要的照射；

④后装机因工作人员操作不当或者出现设备故障，在设备安装、更换放射源或维修设备时，发生放射源跌落造成操作人员受到意外照射；

⑤后装机施源器发生故障，可能导致放射源被卡住，发生驻源事件，或者放射源从施源器脱漏，往往会对患者和工作人员造成过量照射；

⑥由于管理工作不到位导致后装机放射源发生被盗、丢失等事故，可能造成对公众的意外照射和环境放射性污染。

3、核医学科

①在回旋加速器机房防护门关闭后，人员仍滞留在加速器机房内；安全联锁系

统失效，人员误入加速器机房，加速器运行产生误照射；

②回旋加速器装置失灵、损坏、调试和操作失误等，导致放射性核素因意外停留在传输管道中，合成系统管道堵塞或泄漏等情况下，可能导致工作人员误照射或放射性核素污染相关工作场所；

③在放射性核素液体传输过程中，传输装置失灵、损坏，调试和操作失误等，放射性核素停留在传输管道中，传输管道堵塞或泄漏等情况下，可能导致工作人员误照射和放射性核素污染相关工作场所；

④辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射和辐射污染；

⑤由于保管或管理工作不到位导致放射性药物丢失、被盗等情况导致公众受到误照射；

⑥门诊用药患者未按要求在相应房间等候、留观，在规定房间以外的区域随意走动，导致公众受到照射；

⑦PET/CT 正常工作时，非相关人员误留、误入机房，导致发生误照射。

4、DSA

①DSA 机正常工作时，人员误留、误入机房，导致发生误照射；

②操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射；

③工作状态指示灯等辐射安全设施发生故障的状况下，人员误入 DSA 机正在运行的机房，导致发生误照射。

事故工况下的辐射污染因子与正常工况下的污染因子一致。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 放疗科医用直线加速器

10.1.1.1 工作场所布局和分区

(1) 工作场所布局

本项目直线加速器机房 1、机房 5 室内（不含迷路）净面积均为 69.4m²，直线加速器机房 2、机房 3、机房 4 室内（不含迷路）净面积均为 67.6m²，5 间机房与控制室等辅房均分开设置，控制室均位于机房南侧；机房均设有 L 型迷路，迷路口设有防护门，有用线束不向迷路和控制室照射，仅向东墙、西墙、屋顶及地面照射；机房东墙、西墙、屋顶的防护屏蔽均能够满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽能够满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

机房布局符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“治疗设备控制室应与治疗机房分开设置”、“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”、“其他治疗机房均应设置迷路”等规定以及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中要求，布局合理。

(2) 工作场所分区

医院拟进行分区管理，拟将加速器机房 1、机房 2、机房 3、机房 4、机房 5 划为控制区，在机房入口处设置电离辐射警告标志，治疗期间严禁任何人进入；将控制室、辅助机房/水冷机房、准备区（在准备区入口地面画线并标识监督区）划为监督区，在监督区入口处设置表明监督区的标牌，治疗期间严格限制无关人员进入。

各机房内加速器开机治疗时，机房为“需要专门防护手段或安全措施的区域”，属 GB 18871-2002 定义的控制区，控制室、辅助机房/水冷机房、准备区与机房相邻，为“在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价”的区域，属 GB 18871 定义和监督区。

该加速器工作场所控制区和监督区划分明显，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《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》（GBZ 121-2020）中有关辐射工作场所的分区规定，分区合理。本项目直线加速器工作场所分区示意图附图 8。

10.1.1.2 辐射防护屏蔽设计

根据单位提供的辐射防护图纸，5 间加速器机房均采用密度为 2.35g/cm^3 的混凝土浇筑，机房电缆线均采用地下“ \setminus / \wedge ”型管道从迷道外墙下方穿墙，消防泄压口、送风管道、排风管道均先从迷道处的降板内横穿至迷道外口处，后从防护门上方的横梁和迷道外墙斜 45° 型穿墙，穿墙管道均避开主射线方向，射线经几次散射后，管道出口处辐射剂量将在控制范围内，能够满足辐射防护要求。

5 间加速器机房各屏蔽墙、顶棚及防护门屏蔽防护参数见表 10-1，机房平面及剖面布置示意图见图 9-1。

表 10-1 5 间加速器机房屏蔽防护参数

位置			屏蔽参数	
			屏蔽厚度	主屏蔽宽度
直线加速器机房 1~机房 5	东墙	主屏蔽	300cm 砼	500cm
		次屏蔽	180cm 砼	/
	南墙	迷道内墙	(100~150) cm 砼	/
		迷道外墙	150cm 砼	/
	西墙	主屏蔽	300cm 砼	500cm
		次屏蔽	180cm 砼	/
	北墙		180cm 砼	/
	顶棚	主屏蔽墙	300cm 砼	500cm
		次屏蔽墙	180cm 砼	/
	防护门		12mm 铅当量+100mm 厚含硼聚乙烯	/

注：防护门与墙体各侧搭接设计均为至少 10cm，防护门与墙壁之间的缝隙设计小于 1cm，防止射线泄漏。

10.1.1.3 辐射安全措施设计

为保障本项目医用直线加速器安全运行，避免在开机期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，该院根据国家相关标准要求拟设计相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

(1) 钥匙控制

决定加速器产生辐射的主要控制系统用开关钥匙进行控制。

(2) 电离辐射警告标志和工作状态指示灯

直线加速器机房 1~机房 5 入口处均拟设置符合 GB 18871-2002 规范的电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯与机房内加速器联锁，防止无关人员

逗留和误入。

(3) 门机联锁装置

直线加速器机房 1~机房 5 防护门均拟设置门机联锁装置，只有当防护门完全关闭后才能开启机房内的加速器，在机房内加速器出束状态下意外打开防护门，立即停止出束，关上门不能自动开始出束，同时防护门拟设置红外线光幕防夹装置，具有防挤压功能。

(4) 紧急停机按钮

直线加速器机房 1~机房 5 内治疗床、机房内不同方向的墙面合适位置及机房迷道内、控制室的操作台上均拟设置紧急停机按钮，并在醒目处设置标签，标明使用方法，在人员误入机房或遭遇紧急情况时，按下紧急停机按钮能立即切断系统电源，防止误照射，紧急停机按钮按下后需要手动复位。

(5) 监控及对讲系统

直线加速器机房 1~机房 5 内均拟安装视频监控系统，在治疗过程中医务人员可以实时观察患者状态、治疗床和迷路区域情况；控制室与治疗机房之间拟安装语音对讲装置，以便医务人员和患者之间进行双向交流，防止意外情况的发生。

(6) 紧急开门按钮

直线加速器机房 1~机房 5 迷道内人员易接触的位置均拟设置紧急开门按钮，在事故状态下人员逃逸至迷道内可通过该按钮开启防护门，实现紧急逃逸。

(7) 固定式辐射剂量监测系统

直线加速器机房 1~机房 5 迷路内口处的次屏蔽墙上均拟安装固定式辐射剂量监测仪并有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内，可实时监测机房内辐射水平。在日常运行过程中，医院应确保固定式辐射剂量监测系统报警功能正常，防止意外情况的发生。

(8) 通风系统

直线加速器机房 1~机房 5 内均拟设置机械通风系统，包括新风系统和排风系统，采取全排全送的通风方式，室内排风口距地板高度设计为 300mm，送风口位于天花板上，送风口和排风口呈对角线布置。加速器机房 1~机房 5 设计排风量均为 3000m³/h，加速器机房 1、机房 5 内有效容积（包含迷道容积）均为约 391m³，加速器机房 2、机房 3、机房 4 内有效容积（包含迷道容积）均为约 377m³，可保证每间机房每小时通风次数不小于 4 次。

(9) 安全联锁要求

紧急停机按钮等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医院放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。

本项目 5 间直线加速器机房拟设置的辐射安全装置平面布置示意图见图 9-2。加速器机房拟设置的辐射安全措施能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中辐射安全相关要求和开展本项目的辐射安全需要。

本项目 5 间直线加速器机房拟采取的辐射安全和防护措施与《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《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）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中要求对照，能够满足要求，具体对照符合性分析情况见表 10-2。

表 10-2 加速器机房拟采取的辐射安全和防护措施与相关标准要求对照情况一览表

标准	序号	标准要求	本项目设计方案	对照结论
GBZ/T 201.1-2007	1	4.2.1 治疗装置控制室应与治疗机房分离。治疗装置辅助机械、电器、水冷设备，凡是可与治疗装置分离的，应尽可能设置于治疗机房外。	5台加速器均设有单独的治疗机房、控制室、水冷机房/辅助机房，控制室、水冷机房/辅助机房均与治疗机房分开设置。	符合要求
	2	4.2.2 直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留因子较大的用室，应尽可能避开有用束可直接照射到的区域。	加速器有用线束只向东墙、西墙、顶棚和底部照射，控制室位于治疗机房南侧，避开了有用线束照射，直接与机房相连的无其他居留因子较大的用室。	符合要求
	3	4.2.3 X 射线管治疗装置的治疗机房可不设迷路。γ 刀治疗装置的治疗机房，根据场所空间的环境条件，确定是否选用迷路。除此而外，其他治疗机房应设置迷路。	加速器机房均设有迷路。	符合要求
	4	4.2.4 应根据治疗要求给定治疗装置源点的位置（它可能偏离机房的对称中心）或后装治疗源可能应用的源点的位置与范围。	已根据治疗要求给定加速器源点的位置，具体位置见图 11-1。	符合要求
GBZ 121-2020	1	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。	加速器机房位于医疗综合楼地下一层（底部）的北端，治疗机房与其他辅助设施同时设计和建造，根据安全、卫生和方便的原则，布局合理。	符合要求

2	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。	加速器治疗工作场所分为控制区和监督区进行管理，将治疗机房（包括机房内迷路）划为控制区，治疗期间严禁任何人进入；将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（包括控制室、辅助机房/水冷机房、准备区）划为监督区，严格限制无关人员进入。	符合要求
3	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。	根据理论预测可知，加速器机房有用线束照射方向的防护屏蔽能够满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽能够满足漏射线及散射线的屏蔽要求。	符合要求
4	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。	加速器机房均设有治疗机房、控制室、水冷机房/辅助机房，控制室、水冷机房/辅助机房均与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备均设置于治疗机房外。	符合要求
5	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他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。	加速器有用线束只向东墙、西墙、顶棚和底部照射，控制室位于治疗机房南侧，避开了有用线束照射，直接与机房相连的无其他居留因子较大的用室。	符合要求
6	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。	加速器机房设有迷路。	符合要求
7	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。	加速器机房 1、机房 5 室内（不含迷路）净面积均为 69.4m ² ，加速器机房 2、机房 3、机房 4 室内（不含迷路）净面积均为 67.6m ² ，能够满足放射治疗设备的临床应用需要。	符合要求
8	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，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。	加速器机房内均拟设置机械通风系统，包括新风系统和排风系统，采取全排全送的通风方式，进风口设置于机房天花板上，室内排风口设置于机房下部、距地板上方 300mm，进风口和排风口呈	符合要求

			<p>对角线布置，可确保室内空气充分交换。加速器机房设计排风量均为 3000m³/h，加速器机房 1、机房 5 内有效容积（包含迷道容积）均为约 391m³，加速器机房 2、机房 3、机房 4 内有效容积（包含迷道容积）均为约 377m³，可保证每间机房通风换气次数不小于 4 次/h。</p>	
9	<p>6.4 安全装置和警示标志要求</p> <p>6.4.2 联锁装置</p> <p>放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。</p> <p>6.4.3 标志</p> <p>医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：</p> <p>a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；</p> <p>b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。</p> <p>6.4.4 急停开关</p> <p>6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。</p> <p>6.4.6 视频监控、对讲交流系统：控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。</p>	<p>加速器机房均设计有满足要求的电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门机联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲系统、紧急开门按钮、固定式辐射剂量监测系统 etc 辐射安全措施，具体见 10.1.1.3 章节中的辐射安全措施设计。</p>	符合要求	
10	<p>7.5 实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。</p>	<p>5 台加速器和 1 台后装机拟配备至少 15 名辐射工作人员，实施治疗期间，每间机房均拟配备至少 2 名辐射工作人员同时在场、协同操作。同时医院拟在管理制度中明确：操作人员应认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。</p>	符合要求	

HJ 1198-2021	1	<p>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。</p> <p>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。</p>	<p>加速器机房位于医院医疗综合楼地下一层的北端，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。机房所处位置相对独立，与周围非辐射工作场所隔开，未设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。</p>	符合要求
	2	<p>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，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。</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>	<p>加速器治疗工作场所分为控制区和监督区进行管理，将治疗机房（包括机房内迷路）划为控制区，治疗期间严禁任何人进入；将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（包括控制室、辅助机房/水冷机房、准备区）划为监督区，严格限制无关人员进入。</p>	符合要求
	3	<p>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。</p>	<p>加速器机房电缆线均采用地下“∩”型管道从迷道外墙下方穿墙，消防泄压口、送风管道、排风管道均先从迷道处的降板内横穿至迷道外口处，后从防护门上方的横梁和迷道外墙斜45°型穿墙，穿墙管道均避开主射线方向，不破坏墙体的屏蔽效果。</p> <p>防护门与墙体各侧搭接设计均为至少10cm，防护门与墙壁之间的缝隙设计小于1cm，防止射线泄漏。</p>	符合要求
	4	<p>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：</p> <p>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；</p> <p>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；</p> <p>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。</p> <p>6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治</p>	<p>加速器治疗机房设计有满足要求的电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门机联锁装置、紧急停机按钮、监控及对讲系统、紧急开门按钮、固定式辐射剂量监测系统辐射安全措施，具体见10.1.1.3 章节中的辐射安全措施设计。</p>	符合要求

	<p>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。</p> <p>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：</p> <p>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。</p> <p>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；</p> <p>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；</p> <p>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。</p>		
--	---	--	--

10.1.2 放疗科后装机

10.1.2.1 工作场所布局和分区

(1) 工作场所布局

本项目后装治疗机房室内（不包括迷道）净面积为 30.8m²，机房与控制室等辅助用房分开设置，控制室位于机房北侧，机房设有 L 型迷道，迷道口设有防护门，符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“治疗设备控制室应与治疗机房分开设置”、“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”、“其他治疗机房均应设置迷路”等规定以及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中要求，布局合理。

(2) 工作场所分区

医院拟进行分区管理，拟将后装治疗机房划为控制区，在机房入口处设置电离辐射警告标志，治疗期间严禁任何人进入；将控制室、准备室、机房东墙、南墙和西墙外 30cm 区域（在地面画线并标识监督区）划为监督区，在监督区入口处设置表明监督区的标牌，治疗期间严格限制无关人员进入。治疗机房内放射治疗设备开机治疗时，机房为“需要专门防护手段或安全措施的区域”，属 GB 18871-2002 定义的控制区，控制室、准备室、机房东墙、南墙和西墙外 30cm 区域与机房相邻，为“在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价”的区域，属 GB 18871 定义和监督区。该后装治疗工作场所控制区和监督区划分明显，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《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》（GBZ 121-2020）中有关辐射工作场所的分区规定，分区合理。本项目后装机工作场所分区示意图附图 8。

10.1.2.2 工作场所辐射防护屏蔽设计

根据单位提供的屏蔽防护图纸，后装治疗机房采用密度为 2.35g/cm^3 的混凝土浇筑，机房电缆线采用地下“ \setminus / \swarrow ”型管道从迷道外墙下方穿墙，消防泄压口、送风管道、排风管道均先从迷道处的降板内横穿至迷道外口处，后 90° 折向北侧从防护门上方的横梁和迷道外墙穿墙，穿墙管道均避开主射线方向，射线经几次散射后，管道出口处辐射剂量将在控制范围内，能够满足辐射防护要求。

后装治疗机房各屏蔽墙、顶棚及防护门屏蔽参数见表 10-3，机房平面及剖面布置示意图附图 9-3。

表 10-3 后装治疗机房屏蔽参数

位置		屏蔽参数
东墙、西墙、北墙、顶棚		60cm 砼
南墙	迷道内墙	60cm 砼
	迷道外墙	60cm 砼
防护门		8mm 铅当量

注：防护门与墙体各侧搭接设计均为至少 10cm，防护门与墙壁之间的缝隙设计小于 1cm，防止射线泄漏。

10.1.2.3 辐射安全措施设计

为保障 ^{192}Ir 后装机安全运行，避免在开机治疗期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，该项目拟设计相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

(1) 电离辐射警告标志和工作状态指示灯

后装机房入口处拟设置符合 GB 18871-2002 规范的电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯与后装机联锁，防止无关人员逗留和误入。

(2) 门机联锁装置

后装机房防护门设计安装门机联锁装置，开门状态不能出源照射，出源照射状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置；同时机房防护门拟设置红外线光幕防夹装置，具有防挤压功能。

(3) 紧急停机按钮（急停开关）

后装机控制室的操作台、后装机设备表面人员易触及位置以及后装机房内不同方向的墙面合适位置均拟设置紧急停机按钮，在发生紧急情况时，按下急停按钮放射源将自动回到后装机的安全位置，急停按钮按下后需要手动复位。

(4) 监控与对讲装置

后装机房内拟安装视频监控探头，显示器设置于控制室内，在治疗过程中医务人员可以在控制室内实时观察患者状态、治疗床和迷路区域情况；控制室与治疗室之间拟安装语音对讲装置，以便医务人员和患者之间进行双向交流，防止意外情况的发生。

(5) 紧急开门按钮

后装机房迷道内人员易接触的位置拟设置紧急开门按钮，在事故状态下人员逃逸至迷道内可通过该按钮开启防护门，实现紧急逃逸。

(6) 固定式辐射剂量监测系统

后装机房迷道内拟安装 1 台固定式辐射剂量监测仪并有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内，可实时监测机房内辐射水平，用来监测放射源状态。在日常运行过程中，医院应确保固定式辐射剂量监测系统报警功能正常，防止意外情况的发生。

(7) 应急工具

后装机房内拟配备合适的应急储源器和长柄镊子等应急工具。

(8) 应急处理措施

在后装治疗操作中，当自动回源装置功能失效时，拟采取手动回源的应急处理措施。

(9) 通风系统

后装机房内均拟设置机械通风系统，包括新风系统和排风系统，采取全排全送的通风方式，室内排风口距地板高度为 300mm，送风口位于天花板上，送风口和排风口呈对角线布置。后装治疗机房设计排风量为 1000m³/h，后装治疗机房内有效容积（包含迷道容积）为约 145m³，可保证机房每小时通风次数不小于 4 次。

（10）安全联锁要求

紧急停机按钮等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医院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。

本项目后装治疗机房拟设置的辐射安全装置平面布置示意图见附件 9-4。后装治疗机房拟设置的辐射安全措施能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中辐射安全相关要求和开展本项目的辐射安全需要。

本项目后装治疗机房拟采取的辐射安全和防护措施与《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《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）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中要求对照，能够满足要求，具体对照符合性分析情况见表 10-4。

表 10-4 后装治疗机房拟采取的辐射安全和防护措施与相关标准要求对照情况一览表

标准	序号	标准要求	本项目设计方案	对照结论
GBZ/T 201.1—2007	1	4.2.1 治疗装置控制室应与治疗机房分离。治疗装置辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗装置分离的，应尽可能设置于治疗机房外。	后装机设有单独的治疗机房，机房与控制室等辅助用房分开设置，治疗装置辅助机械、电器等凡是可以与治疗装置分离的均设置于治疗机房外。	符合要求
	2	4.2.3 X 射线管治疗装置的治疗机房可不设迷路。γ 刀治疗装置的治疗机房，根据场所空间的环境条件，确定是否选用迷路。除此而外，其他治疗机房应设置迷路。	后装治疗机房设有迷路。	符合要求
	3	4.2.4 应根据治疗要求给定治疗装置源点的位置（它可能偏离机房的对称中心）或后装治疗源可能应用的源点的位置与范围。	已根据治疗要求给定后装治疗源可能应用的源点的位置与范围，具体位置见图 11-2。	符合要求
GBZ121-2020	1	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	后装治疗机房位于医疗综合楼地下一层（底部）的东端，治疗机房与其他辅助设施同时设计和建造，根据安	符合要求

	则合理布置。	全、卫生和方便的原则，布局合理。	
2	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。	后装治疗工作场所分为控制区和监督区进行管理，将后装治疗机房（包括机房内迷路）划为控制区，治疗期间严禁任何人进入；将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（包括控制室、准备室、机房东墙、南墙和西墙外 30cm 区域）划为监督区，严格限制无关人员进入。	符合要求
3	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。	根据理论预测可知，后装治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽能够满足主射线束的屏蔽要求，防护门的防护屏蔽能够满足有用线束及散射线的屏蔽要求。	符合要求
4	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。	后装机设有单独的治疗机房，机房与控制室等辅助用房分开设置，治疗装置辅助机械、电器等凡是可以与治疗装置分离的均设置于治疗机房外。	符合要求
5	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。	后装治疗机房设有迷路。	符合要求
6	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。	后装治疗机房室内（不包括迷道）净面积为 30.8m ² ，能够满足放射治疗设备的临床应用需要。	符合要求
7	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，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。	后装机房内拟设置机械通风系统，包括新风系统和排风系统，采取全排全送的通风方式，进风口拟设置于机房天花板上，室内排风口拟设置于机房下部、距地板上方 300mm，送风口和排风口呈对角线布置，可确保室内空气充分交换。后装机房设计排风量为 1000m ³ /h，机房内有效容积（包含迷道容积）为约 145m ³ ，可保证通风换气次数不小于 4 次/h。	符合要求

	<p>6.4 安全装置和警示标志要求</p> <p>6.4.1 监测报警装置 含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常。</p> <p>6.4.2 联锁装置 放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。</p> <p>6.4.3 标志 医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志： a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志； b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。</p> <p>6.4.4 急停开关</p> <p>6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。</p> <p>6.4.4.2 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。</p> <p>6.4.5 应急储存设施</p> <p>6.4.5.1 γ源后装治疗设施应配备应急储源器。</p> <p>6.4.6 视频监控、对讲交流系统：控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。</p>	<p>后装治疗机房设计有满足要求的电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门机联锁装置、紧急停机按钮（急停开关）、监控及对讲系统、紧急开门按钮、固定式辐射剂量监测系统、机房内拟配备应急工具，同时拟制定应急处理措施，具体见 10.1.2.3 章节中的辐射安全措施设计。</p>	<p>符合要求</p>
<p>9</p>	<p>7.5 实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。</p>	<p>5 台直线加速器和 1 台后装机拟配备至少 15 名辐射工作人员，后装机实施治疗期间，均拟配备至少 2 名辐射工作人员同时在场、协同操作。同时医院拟在管理制度中明确：操作人员应认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。</p>	<p>符合要求</p>

HJ 1198-2021	1	<p>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。</p> <p>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。</p>	<p>后装机房位于医院医疗综合楼地下一层的东端，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。机房所处位置相对独立，与周围非辐射工作场所隔开，未设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。</p>	符合要求
	2	<p>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，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。</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>	<p>后装治疗工作场所分为控制区和监督区进行管理，将后装治疗机房（包括机房内迷路）划为控制区，治疗期间严禁任何人进入；将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（包括控制室、准备室、机房东墙、南墙和西墙外 30cm 区域）划为监督区，严格限制无关人员进入。</p>	符合要求
	3	<p>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。</p>	<p>机房电缆线拟采用地下“∩”型管道从迷道外墙下方穿墙，消防泄压口、送风管道、排风管道均先从迷道处的降板内横穿至迷道外口处，后 90° 折向北侧从防护门上方的横梁和迷道外墙穿墙，穿墙管道均避开主射线方向，不破坏墙体的屏蔽效果。</p> <p>防护门与墙体各侧搭接设计均为至少 10cm，防护门与墙壁之间的缝隙设计小于 1cm，防止射线泄漏。</p>	符合要求
	4	<p>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：</p> <p>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；</p> <p>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；</p> <p>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。</p> <p>6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治</p>	<p>后装治疗机房设计有满足要求的电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门机连锁装置、紧急停机按钮（急停开关）、监控及对讲系统、紧急开门按钮、固定式辐射剂量监测系统、机房内拟配备应急工具，同时拟制定应急处理措施，具体见 10.1.2.3 章节中的辐射安全措施设计。</p>	符合要求

	<p>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。</p> <p>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：</p> <p>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。</p> <p>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；</p> <p>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；</p> <p>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。</p> <p>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。</p>		
--	--	--	--

10.1.3 核医学科

10.1.3.1 工作场所布局和分区

(1) 工作场所布局

本项目核医学科拟开展 PET 用 ^{18}F 药物生产、PET/CT 放射诊断、SPECT 放射诊断、 ^{89}Sr 门诊治疗项目，根据拟开展的项目，核医学工作场所从功能设置上分为 ^{18}F 药物生产区、门诊工作场所， ^{18}F 药物生产区位于南部偏东，门诊场所位于北部和南部偏西。 ^{18}F 药物生产区设有单独的卫生通过区（换鞋区、一更、二更、缓冲、污物检测间）、回旋加速器机房、加速器控制室、合成分装室、全检质控室等功能用房，门诊场

所设有单独的卫生通过区（更衣室、应急淋浴/卫生间、走道、污物检测间）、分装注射室、注射后患者候诊室（包括卫生间）、扫描机房、控制室、患者留观室（包括卫生间）等功能用房，核医学工作场所拟设置污洗间、抢救室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间等辅助用房。核医学工作场所平面布置示意图附图 10-1。

根据附图 10-1 可知，本项目 ^{18}F 药物生产区与门诊工作场所分开布置，控制区相对集中，回旋加速器机房与控制室分开设置，合成分装室与回旋加速器机房相邻设置，各区域高活室均集中在一端，防止交叉污染；PET/CT 放射诊断、SPECT 放射诊断、 ^{89}Sr 门诊治疗能够保证工作程序沿着相关房间单向开展，最大限度的减少人员的流动性，有助于实施工作程序；控制区内医务人员及患者均具有独立的出入口和流动路线，放射性药物注射后患者与注射前患者不交叉；放射性药物均于科室开诊前送至储源室内，放射性废物均于每天门诊结束后收集，通过时间控制避免对人员产生交叉照射；药物分装、药物注射与扫描检查等分开，注射后候诊室、留观室内均设计有给药后患者专用卫生间； ^{18}F 药物生产区、分装注射室出口处拟设置污物检测间进行污染检测，同时拟在分装注射室出口处设置应急淋浴，在卫生通过区设置必要的可更换衣服、铅衣等防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备；核医学工作场所内设置有污洗间、抢救室等满足项目开展需要的配套辅助用房，污洗间内设置清洁用品，用于核医学工作场所的洗消；2 间 PET/CT 机房与控制室分开，并设置有铅观察窗，有用线束不直接照射门窗和管线口位置，满足拟用辐射设备的布局要求；根据理论估算结果，核医学工作场所的辐射防护措施能够满足要求。本项目核医学工作场所布局满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对于布局的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）中关于安全操作的要求，布局合理。

（2）工作场所分区

本项目核医学工作场所按其功能拟划分为控制区和监督区，在控制区入口处设置电离辐射警告标志，在监督区入口处设置表明监督区的标牌，并实施分区管理。

控制区包括：回旋加速器机房、合成分装室、全检质控室、分装注射室、PET/CT 注射后候诊室、SPECT 注射后候诊室、PET/CT 机房、SPECT 机房、PET/CT 留观室、SPECT 留观室、储源室、运动/急救室、放射性固废暂存间、SPECT 留观室东侧污洗间、患者通道、地下式放射性废水衰变室。

监督区包括：回旋加速器控制室及设备间、加速器机房入口缓冲间、卫生通过区

等 ^{18}F 药物生产区的其余区域，PET/CT 及 SPECT 放射诊断设备控制室及设备间、卫生通过区、注射前候诊区等门诊工作场所的其余区域。

核医学工作场所开展 ^{18}F 药物生产、放射诊疗时，本项目拟划为控制区的场所均为“需要专门防护手段或安全措施的区域”，属 GB 18871-2002 定义的控制区，拟划为监督区的场所为“在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价”的区域，属 GB 18871 定义和监督区。本项目拟采取的分区分区措施能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区分区规定。核医学工作场所辐射防护分区分区示意图见图 10-1。

本项目核医学工作场所的布局与 HJ 1188-2021、GBZ 120-2020 的布局要求对比分析见表 10-5。

表 10-5 核医学工作场所布局与相关标准要求对照情况一览表

标准	序号	标准要求	本项目布局设置	对照结论
HJ 1188-2021	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。	核医学工作场所设有放射性药物生产、门诊诊断及治疗场所，门诊治疗患者不留观，药物生产与门诊场所相对分开布置。	符合要求
	2	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。	核医学工作场所根据放射性药物生产、门诊诊断和门诊治疗流程合理设计各功能区域的布局，各区域放射性活度由高到低梯次设置，控制区均各自相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。	符合要求
	3	尽量减少放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。	放射性药物仅在核医学科储源室或分装注射室手套箱内暂存，当天用完；放射性废水均在地下式放射性废水衰变室中存放，回旋加速器机房内产生的感生放射性固废均在机房内的放射性废物桶中存放，其余场所内产生的放射性固废均在核医学科放射性废物库内存放。放射性药物、放射性废物的存放均严格限制在最小范围。 门诊诊断和治疗患者均设有专门的诊疗路线，SPECT 及 PET 给药后患者均要求在特定的房间内候诊、扫描、留观， ^{89}Sr 门诊治疗患者服药后无需候诊、留观。上述给药后患者活动空间均严格限制在指定空间，不与未服药患者、陪护人员、医护人员接触。	符合要求
	4	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。	核医学工作场所控制区设置了独立的工作人员、患者路径，同时通过时间控制做到放射性药物和放射线	符合要求

			废物路径的相对独立性。	
	5	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。	核医学工作场所控制区设置了独立的工作人员、患者通道。患者给药后在控制区内就诊过程全程不接触公众，非必要情况下不直接接触工作人员，工作人员均隔窗、隔墙操作，必要时需接触时均采取距离或防护用品屏蔽措施，减少了给药后患者对工作人员的照射。	符合要求
	6	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。	患者进入控制区后是单向流动的，注射放射性药物后患者与注射前患者不交叉。 此外，医院承诺将采取错时叫号方式，SPECT、PET/CT、 ⁸⁹ Sr 门诊患者不在同一时间内同时服药，避免各患者之间不必要的交叉照射。 放射性药物在当日开诊之前送至储源室或分装注射室，通过错时送药实现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均较为短捷。	符合要求
	7	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。	核医学工作场所控制区患者入口及出口均设置单向门，实现患者入口处只进不出、出口处只出不进，并在地面标识患者路线，确保给药后患者全程仅在控制区内，避免脱离控制区导致工作人员和公众受到不必要的照射。 工作人员出入口均设置门禁系统，控制无关人员进入控制区，避免工作人员受到不必要的照射。	符合要求
	8	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。	放射性药物生产区、门诊诊断和治疗区分装注射室出口处均拟设置污物检测间进行污染检测，设置有必要的可更换衣服、铅衣等防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备，同时拟在分装注射室出口处设置应急淋浴。	符合要求
	9	控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	核医学门诊注射后候诊室、留观室内均设有给药后患者专用卫生间。	符合要求
GBZ 120-2020	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。	本项目核医学工作场所与医院产科、儿科、食堂等部门均不毗邻，与周边非放射性工作场所有明确的分界隔离。核医学工作场所有单独的出、入口，设置有专门的患者出口，患者结束诊疗后乘坐核医学患者专用电梯至一层，经一小段走廊向东直接离开医疗综合楼，走廊西侧设有带门禁的常闭门（即放射科东门），门西侧为放射科工作场	符合要求

			所，正常情况下人员均从放射科西门进出，不从东门进出；走廊南北两侧为楼梯间、污物消防电梯及前室等，楼外为医院公共通道，患者出口均无聚集人群。	
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。		a) 本项目核医学工作场所位于地下一层，对周围公众的影响已降低到尽可能小。核医学科药物生产和门诊区域均合理布设，辐射工作人员不受患者影响，各自有独立通道实现单向流动，工作场所的外照射水平和污染发生的概率已达到尽可能小。 b) 1 间 SPECT 机房、2 间 PET/CT 机房内无药物操作，同时均已采取实体屏蔽措施，能够屏蔽机房外辐射影响，避免机房外控制区内带药患者走动带来的对影像质量的干扰。 c) 核医学工作场所控制区患者入口和出口均设置了门锁权限控制和单向门，实现患者入口处只进不出、出口处只出不进，确保给药后患者全程仅在控制区内，避免脱离控制区导致工作人员和公众受到不必要的照射。 d) 分装注射室出口处设计有卫生通过区，包括缓冲走廊、更衣室、淋浴间、污物检测间，污物检测间内设置表面沾污仪供辐射工作人员离开时进行表面污染检测，若有污染即刻去污，避免受污染的手足或物品被带出控制区。	符合要求
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		本项目核医学科设置有放射性药物生产、门诊诊断及治疗场所，门诊诊断及治疗场所各功能用房和辅助用房设置齐全，满足开展门诊诊断和治疗工作的需要。 放射性药物生产场所用于正电子药物 ^{18}F 的制备，工作场所设置有 1 间回旋加速器机房及控制室（回旋加速器机房工作区）、合成分装室（药物制备、分装区）、全检质控室及无菌检测室等质控区、相关辅房等，满足正电子药物 ^{18}F 的生产需要。	符合要求

	<p>用卫生间、值班室和放置急救设施的区域等功能用房；</p> <p>c) 诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品贮存场所、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。</p> <p>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。</p> <p>e) 正电子药物制备工作场所至少应包括回旋加速器机房工作区、药物制备区、药物分装区及质控区等。</p>		
4	<p>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。</p>	<p>本项目核医学工作场所布局合理，控制区内有独立的患者单向流动通道和医护人员通道，同时通过设置单向门禁和权限锁避免无关人员通过。</p> <p>本项目仅设置 ^{89}Sr 门诊治疗，不设置治疗病房，患者服药后即离开核医学科，不留观，门诊治疗和诊断不同时开展，从时间上分开。</p>	符合要求
5	<p>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。</p>	<p>本项目放射性药物在当日开诊之前送至储源室；放射性废物在门诊下班后收集处理，患者在门诊开诊后接受诊断或治疗，通过时间的错开，避免放射性药物、放射性废物与人员的交叉。</p> <p>患者进入控制区后是单向流动的，给药后患者或受检者与给药前患者或受检者不交叉。同时，医院承诺将采取错时叫号方式，SPECT、PET/CT、^{89}Sr 门诊患者不在同一时间内同时服药，避免各患者之间不必要的交叉照射。</p> <p>控制区内患者通道与工作人员通道各自独立，给药后患者或受检者与工作人员不交叉。</p> <p>外购的放射性药物均由患者入口送入，自行生产制备的正电子药物由患者通道运送，放射性废物的收集和暂存均在控制区内开展，清洁解控后的废物和委托有资质单位处理的废物均由污梯送出，运送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。</p>	符合要求
6	应通过工作场所平面布局的设	1间 SPECT 机房、2间 PET/CT 机房	符合

	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。	均已采取实体屏蔽措施，同时已合理设计工作场所平面布局，能够有效避免附近的辐射源（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。	要求
7	正电子药物制备场所，应按相关的药物生产管理规定，合理规划工作流程，使放射性物质的传输运送最佳化，减少对工作人员的照射。回旋加速器室、药物制备室及分装区域的设置应便于放射性核素及药物的传输，并便于放射性药物从分装热室至注射室间的运送。	正电子药物制备场所，已按相关的药物生产管理规定，合理规划工作流程，合成分装室与回旋加速器机房相邻设置，加速器生产的 ¹⁸ F核素经地沟传输至合成分装室合成热室内，减少对工作人员的照射。合成分装室设置传递窗，合成分装后的药物从传递窗经患者走廊送至储源室，储源室与分装注射室相连，回旋加速器室、药物制备室及分装区域的设置便于放射性核素及药物的传输，并便于放射性药物从分装热室至注射室间的运送。	

10.1.3.2 辐射防护屏蔽设计

本项目核医学工作场所控制区的屏蔽防护设计参数见表 10-6。

表 10-6 核医学工作场所控制区的屏蔽防护设计参数一览表

场所	屏蔽参数			
	四周墙体	顶棚	防护门	防辐射窗
回旋加速器机房	500mm 混凝土	600mm 混凝土	10mmPb+200mm 厚含硼聚乙烯	/
合成分装室	东墙：500mm 混凝土（与回旋加速器机房共用墙体部分）、370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥（其余部分） 南墙、西墙、北墙：370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	180mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	8mmPb	北墙上设置传递窗：8mmPb
	室内设置 1 个合成热室和 1 个分装热室，热室正面为 65mmPb，其余面为 55mmPb，合成热室用于回旋加速器生产的 ¹⁸ F 核素的药物合成，分装热室用于 ¹⁸ F 药物的分装，药物分装至西林瓶，用于质检的药物外设置 40mmPb 的铅罐，用于分装注射的药物外设置 60mmPb 的铅罐			
全检质控室	东墙、北墙：370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥 南墙、西墙：240mm 实心砖	250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	与合成分装室共用门：8mmPb 其余门：普通门	/
	室内设置 1 个质检手套箱，用于医院自行生产的 ¹⁸ F 药物的即时质检			
储源室	东墙、南墙：370mm 实心砖+30mm 硫酸钡水泥 西墙：240mm 实心砖 北墙：370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	2mmPb	北墙上设置传递窗：8mmPb
运动/急救室	南墙：370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥 东墙、西墙、北墙：370mm 实心砖+30mm 硫酸钡水泥	250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	北门：6mmPb 西门：2mmPb	/
	室内设置 1 辆移动注射防护车，用于运动过程中 ^{99m} Tc 药物的注射，注射车注射窗为 10mmPb 铅玻璃。			

放射性废物库	东墙、南墙、西墙：370mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥； 北墙：370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	8mmPb	/
分装注射室	东墙：240mm 实心砖（与储源室共用区域）、370mm 实心砖+30mm 硫酸钡水泥（与运动/急救室共用区域）、370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥（其余区域）； 南墙、西墙、北墙：370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	东侧设有 3 扇门，其中通往储源室或运动 / 急救室门为 2mmPb，通往洁净通道门为 8mmPb；南侧设有 2 扇门，均为 8mmPb	北墙上设置 2 个注射窗，西窗为注射窗 1，为 10mmPb，用于 ^{99m}Tc 药物的注射和 ^{89}Sr 药物的注射，东窗为注射窗 2，为 40mmPb，用于 ^{18}F 药物的注射
	室内靠西墙设置 2 个手套箱（南侧为手套箱 1，北侧为手套箱 2），手套箱 1 六面为 20mmPb，用于钼铯发生器的淋洗、 ^{99m}Tc 的药物标记和分装（分装成针剂），手套箱 2 六面为 55mmPb，用于 ^{18}F 药物的分装（分装成针剂）、 ^{89}Sr 药物针剂的活度测量。分装至针剂的药物外设置注射器防护套， ^{99m}Tc 药物注射器外设置 2mmPb 防护套， ^{18}F 药物注射器外设置 5mmPb 防护套			
PET/CT 注射后候诊室 1	东墙、南墙：370mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥； 西墙、北墙：370mm 实心砖+30mm 硫酸钡水泥 室内卫生间隔墙：240mm 实心砖	250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	进出口门：6mmPb（卫生间门不带屏蔽）	/
	室内设置 3 个床位，最多有 3 名患者同时候诊，床位之间设置 5mmPb 铅屏风			
PET/CT 注射后候诊室 2、注射后候诊室 3	东墙、南墙、西墙：370mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥； 北墙：370mm 实心砖+30mm 硫酸钡水泥 室内卫生间隔墙：240mm 实心砖	250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	进出口门：6mmPb（卫生间门不带屏蔽）	/
	候诊室 2 内设置 2 个床位，最多有 2 名患者同时候诊，候诊室 3 内设置 3 个床位，最多有 3 名患者同时候诊，床位之间设置 5mmPb 铅屏风			
PET/CT 注射后候诊室 4	南墙、西墙：370mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥；	250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	进出口门：6mmPb（卫生间门不带屏蔽）	/

	东墙、北墙：370mm 实心砖+30mm 硫酸钡水泥 室内卫生间隔墙：240mm 实心砖			
	室内设置 2 个床位，最多有 2 名患者同时候诊，床位之间设置 5mmPb 铅屏风			
PET/CT 机房 1、PET/CT 机房 2	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	180mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥	南门（患者进出）：8mmPb 北门（医护进出）：10mmPb	北墙上设置铅玻璃观察窗，为 10mmPb
	机房内设置 10mmPb 铅屏风			
PET/CT 留观室	东墙、南墙、北墙：370mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥； 西墙：370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥 室内卫生间隔墙：240mm 实心砖	180mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥（留观区域上方设置夹层（风机房），夹层底板为 120cm 厚混凝土）	进出口门：4mmPb（卫生间门不带屏蔽）	/
	最多有 4 名患者同时留观，座椅之间设置 5mmPb 铅屏风			
SPECT 注射后候诊室	东墙、南墙：370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥； 西墙：370mm 实心砖+30mm 硫酸钡水泥； 北墙：370mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥； 室内卫生间隔墙：240mm 实心砖	250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	进出口门：8mmPb（卫生间门不带屏蔽）	/
	最多有 5 名患者同时候诊，座椅之间设置 1mmPb 铅屏风			
SPECT 机房	东墙：370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥； 南墙、西墙、北墙：370mm 实心砖+30mm 硫酸钡水泥	250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	2 扇防护门：6mmPb	北墙上设置铅玻璃观察窗，为 6mmPb
	机房内设置 4mmPb 铅屏风			

SPECT 留观室	东墙、南墙、北墙、卫生间隔墙： 240mm 实心砖； 西墙：500mm 混凝土（与回旋加速器 机房共用）	180mm 混凝土+20mm 硫酸 钡水泥	4mmPb	/
	最多有 3 名患者同时留观，座椅之间设置 1mmPb 铅屏风			
污洗间	240mm 实心砖	180mm 混凝土+20mm 硫酸 钡水泥	无屏蔽	/
患者通道 （与控制区内 各房间共用部 分除外）	南墙、西墙：370mm 实心砖+40mm 硫 酸钡水泥； 东墙：370mm 实心砖+20mm 硫酸钡水 泥； 北墙（与加压送风、直加排风通道共用 区域）：300mm 混凝土； 北墙（与消防电梯合用前室共用区 域）：370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水 泥； 北墙（与直加排风通道东侧通道共用区 域）：370mm 实心砖+30mm 硫酸钡水 泥；	180mm 混凝土+20mm 硫酸 钡水泥	设置 1 扇患者入口门和 1 扇患 者出口门，均为 8mmPb；其余 3 扇非出入口门均为 8mmPb （与控制区内房间共用门除 外）	/
放射性废水衰 变室	设置一个地下式放射性废水衰变室，西侧为机房区，东侧为衰变区，衰变区设置 1 个降解池和 3 个衰变池，衰变室四周墙体、顶板、 底板均为混凝土结构，并做防水设计，池底板为 300mm 混凝土，外侧墙体为 250mm 混凝土，池体之间、池体与机房区之前的隔墙为 200mm 混凝土，顶板为 200mm 混凝土，机房区顶部设置两个检修口，盖板为 120mm 混凝土，衰变区每个池体均设置一个检修口，盖 板为 200mm 混凝土			
注：根据建设单位提供资料，混凝土密度为不低于 2.35g/cm ³ ，实心砖密度为不低于 1.65g/cm ³ ，硫酸钡水泥密度为不低于 3.0g/cm ³ ，铅密度为不低于 11.3g/cm ³ 。				

为了防止射线泄漏，核医学工作场所控制区内各屏蔽防护门与墙壁之间的缝隙均设计为尽量小，与墙体的搭接宽度设计为门与墙壁之间缝隙的至少十倍；回旋加速器机房消防泄压口、送风管道、排风管道均先从防护门上方的横梁折型穿墙，横梁外同时拟设置降板进行屏蔽补偿，电缆管道设计采用地下“ \setminus / \swarrow ”型管道穿墙，核素传输地沟设计采用折型穿墙，机房外的地沟上方同时拟设置 65mmPb 的铅砖盖板；其余场所通风管道和电缆管道等穿墙管道均设计采用 S 形、V 型、Z 型或折型等穿过墙壁，同时拟设置屏蔽补偿措施。穿墙管道的开口均避开辐射直射区和工作人员经常停留的地点，射线经几次散射后，管道出口处辐射剂量将在控制范围内，能够满足辐射防护要求。

10.1.3.4 辐射安全措施设计

一、放射性药物生产场所

放射性药物生产场所拟设置以下辐射安全和防护措施：

(1) 门禁系统

放射性药物生产和分装场所入口门（即医护通道西门）拟设置门禁，仅授权的医护人员方能进入，禁止无关人员进入。

(2) 加速器操作许可

回旋加速器控制台用户操作控制界面，设置有用户密码，只有被专门授权许可的操作人员才能进行回旋加速器的开机操作。

(3) 联锁装置

本项目拟购回旋加速器自带射频系统联锁、离子源系统联锁、真空系统联锁、感应热室联锁，其中任何一个联锁出现问题，加速器均不能开机运行，同时机体自带紧急制动开关，当联锁条件没有满足时阻止高压电源产生离子源，且保证无束流产生。

回旋加速器机房防护门与加速器的高压拟设置联锁（即门机联锁），当防护门未关闭到位时，加速器无法开启高压出束，当加速器工作过程中误操作打开防护门时，加速器立即停止出束。同时，防护门拟设置红外线光幕防夹装置，具有防挤压功能。

此外，本项目拟设置热室准备联锁系统，放射性核素在加速器机房内生产完成传输之前，合成热室将根据程序设定，自动检测热室的门是否已经关闭，内部压力是否满足负压要求；只有这两项条件满足的情况下，放射性核素才能通过管道进行传送，同时在加速器控制室内操作台上拟设有相应的核素传输工作状态指示灯，用于提示核素传输状态。

(4) 工作状态指示灯和声光报警装置

回旋加速器机房防护门外拟设置工作状态指示灯和声光报警装置，并与加速器联锁，用于提示机房内设备的运行状态。

(5) 电离辐射警告标志

回旋加速器机房入口、合成分装室入口、全检质控室入口醒目位置，回旋加速器、合成热室、分装热室、质检手套箱表面，放射性废物桶、铅罐等放射性物质储存、转运等容器表面均拟设置符合 GB 18871-2002 规范的电离辐射警告标志，用于提醒无关人员不要靠近和逗留。

(6) 紧急开门按钮

回旋加速器机房内侧靠近防护门处拟设置紧急开门按钮，并设置标签，当人员被误关在机房内时，紧急情况下按下开关，可实现防护门从内部打开，同时加速器停止运行。

(7) 急停按钮

回旋加速器机房内和操作台上拟设置急停按钮，并设置标签，紧急状态下，按下急停按钮，即可终止加速器的运行，防止误照射，急停按钮按下后需要手动复位。

(8) 清场广播

回旋加速器机房内拟设置清场广播，开机前，操作人员将通过清场广播进行清场，确保机房内无人员后，加速器方开启高压。

(9) 固定式辐射剂量监测系统和延时开门措施

回旋加速器机房拟设置固定式辐射剂量监测系统，并与加速器机房防护门联锁，监测探头位于机房内，显示器位于加速器控制室内，实时监测室内辐射水平。当探测到机房内辐射剂量率超过设置阈值（阈值拟设置为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ）时，加速器机房防护门无法打开。在加速器停机后，必须等待一定的时间，待室内感生放射性水平低于阈值后才能进入机房，以实现延时开门的要求。

合成分装室内拟设置固定式辐射剂量监测探头，显示器位于加速器控制室和合成分装室内，实时监测室内辐射水平。

(10) 视频监控系统

回旋加速器机房内、合成分装室、全检质控室内拟安装视频监控，监视器设置于加速器操作室内，工作人员可及时掌握室内情况。

本项目回旋加速器机房拟设置的辐射安全装置平面布置示意图见附件 10-3。

二、核医学门诊诊断和治疗场所

核医学门诊诊断和治疗场所拟设置以下辐射安全和防护措施：

(1) 警告标志

核医学门诊诊断和治疗场所控制区入口和出口处、控制区内各场所入口、放射性废物桶表面、分装注射室内手套箱表面、放射性废水衰变室周围醒目处拟设置符合 GB 18871-2002 规范的电离辐射警告标志；监督区的总出入口处，拟张贴监督区标志，用于提醒无关人员不要靠近和逗留。

(2) 工作状态指示灯及闭门装置

①2 间 PET/CT 机房、1 间 SPECT 机房患者进出门外均拟设置工作状态指示灯，灯箱上拟设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，且工作状态指示灯与机房相通的门设置联锁装置，用于提示机房内设备的运行状态；

②PET/CT 机房、SPECT 机房医护人员进出门拟设置为平开门，拟设置闭门装置；PET/CT 机房、SPECT 机房患者进出门拟设置为电动推拉门，拟设置防夹装置，并采取管理措施，要求门关闭后方开机曝光，避免设备开机时防护门未关闭造成门外人员受照；

③控制区内患者进出口门、放射性固体废物库、注射后患者候诊室、留观室、PET/CT 机房、SPECT 机房等防护门均拟设置闭门装置，确保防护门处于常闭状态，避免室外人员受到不必要的照射。

(3) 对控制区内带药患者的监督管理

①控制区内患者出入口拟设置带有门禁系统的单向门，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线，患者走廊、患者出口通道与非核医学诊疗相关场所之间的门拟设置门禁系统，加强对带药患者的管理，并防止无关人员入内，告知患者检查/治疗路线及注意事项，场所中相应位置拟设置明确的患者导向标识或导向提示；

②分装注射室与运动/急救室之间防护门拟设置门禁系统，防止患者进入对医护人员造成不必要的照射；

③设置核医学专用电梯（地下一层和一层之间），电梯一层门外拟设置醒目的电离辐射警告标志和警示标语，除核医学工作场所诊疗结束后患者、核医学医护人员等相关人员外，其余无关人员不得乘坐该电梯；

④患者服药处拟安装监控探头，并设置对讲系统，用于监控和指导患者服药；核医学控制区患者通道、PET/CT 机房、SPECT 机房、注射后患者候诊室、留观室等处

均拟设置监控探头和对讲装置，实行电脑叫号，监视器拟设置于核医学工作场所护士站和控制室内，医护人员实时监视整个控制区内的情况，医院通过统一监控管理和叫号方式，确保给药后患者与给药前患者不交叉，确保同一时间同一患者通道内仅有一名患者走动，避免与其他患者的相互影响。通过对讲装置和监控装置，实现患者互相之间不交叉照射；

⑤注射后患者候诊室、留观室均拟设置为多人间（至少 2 人），PET/CT 患者座椅/病床之间拟设置 5mmPb 的铅屏风屏蔽，SPECT 患者座椅之间拟设置 1mmPb 的铅屏风屏蔽，同时告知患者在候诊、留观期间的辐射防护注意事项，尽量减少患者互相之间的交叉照射。

（4）放射性物质的安全管理措施

本项目 ^{68}Ge 校验源暂存于储源室内，放射性药物为按需生产或订购，医院指定专人负责药物的接收和登记，钼铯发生器到院后先暂存于储源室内， ^{18}F 、 ^{89}Sr 药物暂存于储源室内， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物暂存于分装注射室手套箱 1 内，放射性药物均于当天用完；对于因患者临时取消预约而导致的放射性药物未能当天用完的情况，剩余药物将放置于铅罐，暂存在相应手套箱内，根据放射性药物的衰变情况，第二天开诊后再次使用或暂存十个半衰期后作为放射性废物处理。

医院建立放射性同位素使用登记制度，对 ^{68}Ge 校验源和放射性药物的使用情况进行登记和跟踪记录，确保正确无误，帐物相符；分装注射室、储源室入口均拟设置门禁，非相关人员不得入内；分装注射室、储源室内拟设置监控探头，医护人员对放射性药物实行实时监控。

（5）个人防护用品、辅助用品及去污用品

医院拟按《临床核医学卫生防护标准》（GBZ 120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）要求配备个人防护用品、辅助用品及去污用品。个人防护用品具体见表 10-7。

表 10-7 个人防护用品配置要求

场所类型	配备情况	工作人员		患者或受检者
		必备	选备	
普通核医学和 SPECT 场所	GBZ130-2020 要求	铅橡胶衣、 铅橡胶围裙、 放射性污染防护服、 铅橡胶围脖	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	—
正电子放射性药物场所	GBZ130-2020 要求	放射性污染防护服	—	—

本项目配备情况 (本项目包含 PET 用 ^{18}F 药物生产、PET/CT 放射诊断、SPECT 放射诊断、 ^{89}Sr 门诊治疗)	配备至少 8 套 0.5mmPb 的铅橡胶衣、铅橡胶围裙、铅橡胶围脖, 至少 8 套放射性污染防护服, 配备一次性鞋套、手套和一次性洁净服	配备至少 8 套 0.5mmPb 的铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	—
对比结论	满足配置要求		—
注: “—”表示不要求, 宜使用非铅防护用品。			

核医学工作场所拟配备辐射事故应急包, 包括一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污清洗剂(至少为加入洗涤剂和硫代硫酸钠的水)及喷雾器; 小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔(水溶性油墨)、大小不同的不透水塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子及长柄夹钳等物品。

核医学科拟配备有足够屏蔽的储存、转运容器, 包括 ^{18}F 针剂外 5mmPb 注射器防护套、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 针剂外 2mmPb 注射器防护套、 ^{18}F 药物用 40mmPb 的铅罐、60mmPb 的铅罐、不低于 20mmPb 的屏蔽防护盒、放射性废物铅桶(高活性放射性废物桶为不低于 50mmPb、非高活性放射性废物桶为不低于 30mmPb、 ^{18}F 废物铅桶为不低于 20mmPb、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{89}Sr 废物铅桶为不低于 10mmPb) 等, 容器表面均拟设置电离辐射标志。

(6) 其他

①严禁辐射工作人员在控制区内进食、饮水、吸烟、化妆, 严禁进行无关工作及存放无关物件, 防止含有微量放射性核素的空气被医务人员吸入体内造成内照射;

②本项目 ^{18}F 药物的合成和分装至西林瓶均在热室内进行, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的淋洗、 ^{18}F 药物和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物分装至针剂及活度测定、 ^{89}Sr 药物的活度测定均在手套箱内进行, 工作过程中, 回旋加速器工作场所、核医学门诊和治疗工作场所、热室、手套箱均保持良好通风。所有辐射工作人员均穿戴个人防护用品, 并采取相关的防护措施, 包括: 尽可能熟练操作技能、缩短操作时间、使用注射器防护套等辅助防护用品、预先留置注射器留置针等措施。

③医护人员离开控制区前均洗手和进行表面污染监测, 如其污染水平超过规定限值, 将采取去污措施。从控制区取出任何物件都进行表面污染水平监测, 以保证超过规定限值的物件不携出控制区;

④非密封放射性物质工作场所门窗及内部结构简单, 墙面、地面采用易于去污的材料或涂料, 并平整光滑; 地面与墙面交接做成圆角, 且有一定的坡度朝向地漏; 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无接缝，易于清洗、去污。

三、监测仪器

本项目核医学科拟配备至少 12 名辐射工作人员，均拟按要求配备个人剂量计，医院拟配备 1 台环境辐射巡测仪，拟为本项目核医学科配备 2 台表面沾污仪、5 台个人剂量报警仪，拟为回旋加速器机房配备 1 台中子剂量率仪，能够满足监测仪器配备要求。

综上，本项目核医学工作场所拟设置的辐射安全和防护措施在认真落实后，能够满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等标准中的相关辐射安全要求和开展本项目的辐射安全需要。

本项目核医学工作场所的辐射安全与防护措施与 HJ 1188-2021 中要求的符合性分析情况见表 10-8。

表 10-8 本项目核医学工作场所的辐射防护措施与 HJ 1188-2021 的符合性分析一览表

HJ 1188-2021 中要求	本项目设计方案	对照结论
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。	本项目核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等均拟采取平整光滑的材料，室内地面与墙壁衔接处设计无接缝，易于清洗、去污。	符合要求
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。	本项目为乙级非密封放射性物质工作场所，场所内设置有热室和手套箱，放射性核素的操作均在热室或手套箱内进行；从事放射性药物操作的工作人员拟配备不低于 0.5mmPb 的防护铅衣、防护铅围脖、铅眼镜、铅帽等个人防护用品； ¹⁸ F 针剂外拟设置 5mmPb 注射器防护套， ^{99m} Tc 针剂外拟设置 2mmPb 注射器防护套；多人给药后患者候诊室内拟设置铅屏风，PET 患者座椅/病床之间拟设置 5mm 铅当量的铅屏风屏蔽，SPECT 患者座椅之间拟设置 1mm 铅当量的铅屏风屏蔽； ⁸⁹ Sr 为门诊治疗，患者服药后即离开、不留观。	符合要求
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。	放射性药物生产区、门诊诊断和治疗区分装注射室出口处均拟设置污物检测间，并拟配备表面污染监测设备，从控制区离开的人员和物品均要求进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，则采取相应的去污措施。	符合要求

<p>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。</p>	<p>钼铯发生器暂存于储源室内，¹⁸F、⁸⁹Sr 药物暂存于储源室内，^{99m}Tc 药物暂存于分装注射室手套箱 1 内，放射性药物均于当天用完，医院定期进行贮存场所的辐射水平监测；储源室、分装注射室均划为控制区并设置门禁，禁止无关人员进入。医院建立放射性物质台账，及时登记，确保账物相符。</p>	<p>符合要求</p>
<p>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。</p>	<p>核医学科拟配备有足够屏蔽的储存、转运容器，包括 ¹⁸F 针剂外 5mmPb 注射器防护套、^{99m}Tc 针剂外 2mmPb 注射器防护套、¹⁸F 药物用 40mmPb 和 60mmPb 的铅罐、不低于 20mmPb 屏蔽防护盒、放射性废物铅桶（¹⁸F 废物桶为不低于 20mmPb、^{99m}Tc 和 ⁸⁹Sr 废物桶为不低于 10mmPb）等，容器表面均拟设置电离辐射标志，容器在运送时均拟设置适当的固定措施。</p>	<p>符合要求</p>
<p>6.2.8 回旋加速器机房应设置门机联锁装置和延时开门措施，机房内应设置紧急停机开关、紧急开门按钮和清场措施，并安装固定式剂量率报警仪。机房门口应有声光报警装置和工作状态指示灯，并与加速器联锁。</p>	<p>回旋加速器机房拟设置以下辐射安全与防护措施，包括：门禁系统、加速器操作许可、门机联锁等联锁装置、机房入口与加速器联锁的工作状态指示灯和声光报警装置、电离辐射警告标志、机房内紧急开门按钮、急停按钮、清场广播、固定式辐射剂量监测系统和延时开门措施、视频监控系统。</p>	<p>符合要求</p>
<p>6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。</p>	<p>2 间 PET/CT 机房、1 间 SPECT 机房患者进出门外均拟设置工作状态指示灯，灯箱上拟设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，且工作状态指示灯与机房相通的门设置联锁装置，用于提示机房内设备的运行状态。</p>	<p>符合要求</p>

10.1.4 介入中心 DSA

10.1.4.1 工作场所布局和分区

(1) 工作场所布局

本项目介入中心 2 台 DSA 机均设有单独的机房，控制室位于机房外，有用线束不直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位，根据理论估算结果，机房的辐射防护措施能够满足要求，机房满足拟用辐射设备的布局要求；各机房内最小使用面积、最小单边长度见表 10-9，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“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”等相关要求，布局合理。

表 10-9 DSA 机房使用面积、单边长度一览表

机房名称	拟用设备	机房内最小有效使用面积 m ²		机房内最小单边长度 m		评价
		本项目	标准要求	本项目	标准要求	
DSA 机房 1	DSA 机	56.24	30	7.4	4.5	符合要求
DSA 机房 2	DSA 机	60.19	30	7.4	4.5	符合要求

(2) 工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 要求：应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制；把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，对控制区运用行政管理程序（如工作许可证制度）和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进入；监督区通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

医院拟将本项目 2 间 DSA 机房划为控制区，在控制区入口处设置电离辐射警告标志，工作期间禁止除介入手术人员和患者外的其他人员进入控制区；将本项目 DSA 控制室、设备间、污洗打包间、污物通道及铅衣清洗间、女更、男更、缓冲、2 间机房北墙外 30cm 和机房 2 东墙外 30cm 范围内的区域（在地面画线并标识监督区）划为监督区，工作期间禁止任何无关人员进入监督区。本项目工作场所分区示意图附图 11，其控制区和监督区划分明显，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区规定。

10.1.4.2 辐射防护屏蔽设计

本项目 2 间 DSA 机房拟采取的屏蔽设计参数见表 10-10，平面布置见附图 11。

表 10-10 DSA 机房屏蔽防护设计参数一览表

机房名称	四周墙壁	顶棚、底板	防护门	观察窗
DSA 机房 1 DSA 机房 2	24cm 实心砖 +2mmPb 硫酸钡防 护涂料	12cm 混凝土 +2mmPb 硫酸 钡防护涂料	3mm 铅当量	3mm 铅当量

注：根据建设单位提供资料，混凝土密度为不低于 2.35g/cm³，实心砖密度为不低于 1.65g/cm³，硫酸钡防护涂料密度为不低于 3.0g/cm³；防护门与墙壁之间的缝隙设计小于 1cm，防护门与墙体各侧搭接设计为缝隙的至少 10 倍，防止射线泄漏。

10.1.4.3 辐射安全措施设计

为保障 DSA 机安全运行，避免在开机期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，本项目 2 台 DSA 机工作场所拟设计相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

(1) 工作状态指示灯

DSA 机房患者通道防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，工作状态指示灯与机房门之间拟设置门灯联锁装置，用于显示机房内设备运行状态。

(2) 防夹和闭门装置

DSA 机房平开防护门拟设置自动闭门装置，电动推拉防护门拟设置防夹装置并拟设置曝光时关闭的管理措施。

(3) 电离辐射警告标志

DSA 机房各防护门外表面均拟设置电离辐射警告标志，提醒无关人员勿靠近机房或在附近逗留。

(4) 观察窗与对讲装置

DSA 机房设置有观察窗，同时拟设置对讲装置，工作人员在控制室内可及时观察患者情况及防护门开闭情况，防止意外情况的发生。

(5) 个人防护用品

本项目每间 DSA 机房介入工作人员均拟配备以下个人防护用品：至少 2 套不低于 0.5mmPb 的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜和 2 套不低于 0.025mmPb 的介入防护手套，每间 DSA 机房均拟配备以下辅助防护设施：1 套 0.5mmPb 的铅悬挂防护屏、床侧防护帘，每间 DSA 机房受检者均拟配备以下个人防护用品：1 套 0.5mmPb 的铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套。

(6) 监测仪器

本项目 DSA 拟配备至少 12 名辐射工作人员，均拟按要求配备个人剂量计，医院拟配备 1 台环境辐射巡测仪，拟为本项目每间 DSA 机房配备 2 台个人剂量报警仪，能够满足监测仪器配备要求。

由于 DSA 介入治疗需要长时间的透视和大量的摄片，X 射线球管工作时产生的散射线对机房内介入手术工作人员有较大影响，根据辐射防护“三原则”，医院还应在以下方面加强对介入治疗的防护工作：

◆引入的辐射设备及配套设备必须符合国际的或者国家的标准，满足各种特殊操作的要求，其性能必须与操作性质相符合；设备应该常规调节到满足低剂量的有效范围内，并尽可能提高图像质量；

◆临床介入手术时，采用床侧立地防护屏、防护手术手套、床侧竖屏及床上防护

屏、床下帘、床侧帘等屏蔽防护措施，能够有效降低介入手术工作人员的吸收剂量；

◆一般说来，降低患者的剂量的措施可以同时降低工作人员的辐射剂量，应加强对介入手术工作人员的培训，包括辐射防护的培训，参与介入手术的工作人员应该技术熟练、动作迅速，以减少患者和介入手术工作人员的剂量；

◆操作中减少透视时间和减少照相的次数可以显著降低工作人员的辐射剂量，介入手术工作人员在操作时应尽量远离检查床。

本项目 DSA 机工作场所拟采取的管理措施和辐射安全措施与《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中要求对照，能够满足要求，具体对照符合性分析情况见表 10-11。

表 10-11 本项目拟采取的管理措施和辐射安全措施与 GBZ 130-2020 中要求对照情况一览表

序号	GBZ130-2020 要求	本项目设计方案	对照结论
1	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。	DSA 机房设置有观察窗，同时拟设置对讲装置，工作人员在控制室内可及时观察患者情况及防护门开闭情况，防止意外情况的发生。	符合要求
2	6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	DSA 机房内不堆放与放射诊断/介入治疗工作无关的杂物。	符合要求
3	6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	DSA 机房内拟设置动力通风系统，并保持良好的通风。	符合要求
4	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。	DSA 机房各防护门外表面均拟设置电离辐射警告标志；DSA 机房患者通道防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；患者通道防护门旁醒目处拟设置放射防护注意事项告知栏。	符合要求
5	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。	DSA 机房平开防护门拟设置自动闭门装置，电动推拉防护门拟设置曝光时关闭的管理措施；工作状态指示灯与机房门设置门灯连锁装置，用于显示机房内设备运行状态。	符合要求
6	6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。	DSA 机房电动推拉防护门拟设置防夹装置。	符合要求
7	6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。	受检者在机房外候诊，不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中，陪检者不允许滞留在机房内。	符合要求

综上所述，本项目 2 台 DSA 机工作场所拟采取的管理措施和辐射安全和防护措

施在认真落实后，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关辐射安全要求和开展本项目的辐射安全需要。

本项目 DSA 机工作场所拟配备的个人防护用品和辅助防护设施与《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中要求对照，均能够满足要求，具体对照符合性分析情况见表 10-12。

表 10-12 本项目个人防护用品和辅助防护设施与 GBZ 130-2020 中要求对照情况一览表

/	介入手术工作人员		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
GBZ130-2020 要求	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	—
	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 4 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0.025 mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于0.5 mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于2 mmPb。 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 0.5 mmPb。			
本项目 DSA 机工作场所配备情况	每间机房配备至少 2 套不低于 0.5mmPb 的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜和 2 套不低于 0.025mmPb 介入防护手套	每间机房配备 1 套 0.5mmPb 的铅悬挂防护屏、床侧防护帘	每间机房配备 1 套 0.5mmPb 的铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套	—
对比结论	满足基本种类配备要求			—

10.2 三废的治理

10.2.1 放射性三废的治理

本项目后装机、核医学运行过程中会产生放射性三废，其余设备运行过程中不产生放射性三废。

1、后装机

¹⁹²Ir 放射源使用到一定时间（约 180 天）后当强度低于使用要求时，必须重新购买新源，从而产生退役的放射源，废源将由原生产厂家回收处理。

2、核医学

（1）放射性废水处理措施

核医学科使用回旋加速器生产 ¹⁸F 放射性药物过程中，产生的放射性废水主要包

括：①药物生产过程及清洗模块产生的工艺废水。②在生产过程中发生泼洒等意外，人员淋浴或洗手产生的含有放射性核素的废水。

核医学科使用钼锝发生器淋洗制备 ^{99m}Tc 放射性药物、PET/CT 门诊诊断、SPECT 门诊诊断过程中，产生的放射性废水主要包括：①擦拭冲洗受放射性核素污染物品用水，控制区清洁用水。②用药患者的排泄物和冲洗水等。③在核素操作过程中发生泼洒等意外，人员淋浴或洗手产生的含有放射性核素的废水。

^{89}Sr 核素门诊治疗使用外购 ^{89}Sr 成品针剂，不需要分装，患者注射后即离开核医学科，不留观，治疗过程中不产生放射性废水。

上述区域的上水均配备了洗消喷头及洗消毒液，采用脚踏或者感应的开关避免场所内放射性污染。洗手池处的水龙头采用向上冲淋的流动水来洗头、眼和面部。满足 HJ 1188-2021 对核医学工作场所上水的要求。

医院拟在医疗综合楼东侧（靠近核医学科处）新建一个地下式放射性废水衰变室（具体位置见附图 2），衰变室西侧为机房区，东侧为衰变区，衰变区拟设置 1 个降解池和 3 个衰变池，降解池的有效容积为 9m^3 ，单个衰变池的有效容积均为 15m^3 ；衰变室四周墙体、顶板、底板均为混凝土结构，并采取防水措施，机房区顶部拟设置两个检修口，检修口盖板为 120mm 混凝土，每个衰变池顶部均拟设置一个检修口，检修口盖板为 200mm 混凝土。

核医学科产生的放射性废水，均由专用管道排至放射性废水衰变系统，暂存时间超过 30 天后排放至院内污水处理站，处理达标后通过市政污水管网进入城东污水处理厂处理。核医学工作场所放射性废水收集管道平面布置示意图见附图 10-5，放射性废水衰变室的结构示意图见附图 10-6。

（2）放射性废气处理措施

本项目回旋加速器运行时，加速器机房室内空气受中子照射后将生成放射性活化气体，放射性药物 ^{18}F 合成、分装、质检、 ^{99m}Tc 淋洗、标记、分装过程中，由于空气的流动可能“挥发”出微量放射性废气。

本项目回旋加速器工作场所、核医学门诊和治疗工作场所、热室、手套箱均拟设置独立通风系统，热室、手套箱内设计风速不小于 0.5m/s ，并保持良好的通风条件，控制工作场所气流流向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；放

放射性废气由单独的管道延伸至核医学科所在建筑物的屋面排出，并高于本建筑物屋顶，热室和手套箱的顶壁、通风管道排风口处均拟设置活性炭过滤装置，对放射性气溶胶进行吸附。核医学科通风管道的平面布置示意图见附图 10-7。

(3) 放射性固体废物处理措施

本项目使用回旋加速器生产 ^{18}F 放射性药物过程中，产生的放射性固体废物主要有以下几种：①回旋加速器维修更换产生的高活性固废，如碳膜、靶膜、真空膜等。②回旋加速器机房内洗靶、装卸靶过程中产生的一次性沾污废物等非高活性固废。③ ^{18}F 药物合成、分装、质检过程中，产生的沾染放射性核素的废试剂瓶、棉球、吸水纸、手套、注射器等。④事故状况下发生核素泼洒等意外事故时，对于污染场所将采用干法去污，去污过程中产生的擦拭用吸水纸、酒精棉球等。

使用钼铯发生器淋洗制备 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物过程中，产生的放射性固体废物主要有以下几种：① $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物淋洗制备过程中，产生的沾染放射性核素的废试剂瓶、棉球、吸水纸、手套、注射器等。②钼铯发生器使用期限到后退役将产生退役的钼铯发生器。③事故状况下发生核素泼洒等意外事故时，对于污染场所将采用干法去污，去污过程中产生的擦拭用吸水纸、酒精棉球等。

PET/CT 门诊诊断、SPECT 门诊诊断、 ^{89}Sr 核素门诊治疗过程中，产生的放射性固体废物主要包括：①放射性药物使用过程中，产生的沾染放射性核素的一次性注射器、西林瓶、手套、擦拭废纸等。②PET/CT 校准用 ^{68}Ge 使用期限到后退役将产生退役的放射源。③事故工况下发生放射性药物泼洒等意外事故时，对于污染场所将采用干法去污，去污过程中产生的擦拭用吸水纸、酒精棉球等。

此外，核医学科产生的放射性固体废物还包括：核医学工作场所、合成热室、分装热室、手套箱通风系统内定期更换下来的废活性炭过滤吸附材料。

本项目放射性固废处理方式如下：

①回旋加速器机房内产生的放射性固废处理措施

回旋加速器运行过程中产生的废旧靶膜、C 膜、离子源等高活性固废，拟暂存于回旋加速器机房内高活性放射性废物桶内，回旋加速器机房内洗靶、装卸靶过程中产生的一次性沾污废物等非高活性固废拟暂存于回旋加速器机房内非高活性放射性废物桶内，定期委托有放射性固废处理资质的单位处理。

② ^{18}F 药物合成、分装、质检、核医学科门诊过程中产生的放射性固废处理措施

^{18}F 药物合成、分装、质检、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗、制备、分装、患者 PET/CT 和 SPECT 放射诊断等过程中产生的放射性固废（含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素），拟先暂存在各房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物拟先装入利器盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，防止刺破废物袋。每日工作结束后拟分别收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）送放射性废物库内暂存，暂存时间超过 30 天后，经监测，辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，对废物清洁解控并作为普通医疗废物处理。

^{89}Sr 门诊治疗过程中产生的放射性固废，拟先分类暂存在分装注射室的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物拟先装入利器盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，防止刺破废物袋。每日工作结束后拟分别收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）送放射性废物库内暂存，暂存时间超过 505.3 天（ ^{89}Sr 核素半衰期的 10 倍），经监测，辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，对废物清洁解控并作为普通医疗废物处理。

③通风系统更换下来的废活性炭过滤吸附材料等

核医学工作场所内更换下来的废活性炭拟集中收集放置在放射性废物库内暂存，定期委托有放射性固废处理资质的单位处理。

④废弃的钨铊发生器处理措施

废弃的钨铊发生器拟暂存于核医学科放射性废物库内，由原生产厂家回收处理。

⑤退役的放射源处理措施

退役的 ^{68}Ge 放射源拟暂存于核医学科放射性废物库内，由原生产厂家回收处理。

10.2.2 非放射性三废

1、废气

项目运行期产生的废气主要为臭氧和氮氧化物，具体包括：①医用直线加速器运行时产生的 X 射线和电子线与空气发生相互作用产生的少量臭氧和氮氧化物，② ^{192}Ir 后装机运行时放射源发射出的 γ 射线与空气发生相互作用产生的少量臭氧和氮氧化物，③核医学回旋加速器运行时产生的 γ 射线、PET/CT 中 CT 装置运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物，④介入中心 DSA 运行时产生的 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物。

（1）直线加速器

本项目医用直线加速器运行过程中会使机房内空气电离产生少量臭氧和氮氧化

物，加速器束流越大，其产生量越高。其中臭氧毒性最大，产生量也最高，此外氮氧化物还会与室内水汽作用形成酸雾腐蚀机房内设备。故治疗室内需设置通风系统将工作中产生的废气及时排出室外。

直线加速器机房 1~机房 5 内均拟设置机械通风系统，包括新风系统和排风系统，采取全排全送的通风方式，室内排风口距地板高度设计为 300mm，送风口位于天花板上，送风口和排风口呈对角线布置，室外排风口拟设置于机房所在楼的楼顶并高出屋脊。加速器机房 1~机房 5 设计排风量均为 3000m³/h，加速器机房 1、机房 5 内有效容积（包含迷道容积）均为约 391m³，加速器机房 2、机房 3、机房 4 内有效容积（包含迷道容积）均为约 377m³，可保证每间机房每小时通风次数不小于 4 次，能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求，少量臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出机房，弥散在大气环境中。加速器机房通风系统布置示意图见图 9-2。

（2）后装机

后装治疗机房内的空气受到 γ 射线照射会产生少量的臭氧和氮氧化物，后装机治疗室内需设置通风系统将工作中产生的废气及时排出室外。本项目后装治疗机房内拟设置机械通风系统，包括新风系统和排风系统，采取全排全送的通风方式，送风口位于天花板上，室内排风口距地板高度为 300mm，送风口和排风口呈对角线布置，室外排风口拟设置于机房所在楼的楼顶并高出屋脊。排风系统设计排风量为 1000m³/h，后装治疗机房内有效容积（包含迷道容积）为 145m³，可保证机房每小时通风次数不小于 4 次，能满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求，臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出机房，弥散在大气环境中。后装机房通风系统布置示意图见图 9-4。

（3）核医学

核医学科回旋加速器机房、2 间 PET/CT 机房内均拟设置机械通风系统，产生的微量臭氧和氮氧化物可由通风系统排出，弥散在大气环境中。

（4）介入中心 DSA

介入中心 2 间 DSA 机房内均拟设计动力排风系统，产生的微量臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出 DSA 机房，弥散在大气环境中。

2、固体废物

项目运行期产生的固体废物主要为医疗废物和生活垃圾，根据《泉州宝璋肿瘤

医院项目环境影响报告书》及其批复文件，院内医疗废物将委托有资质单位进行清运处理，生活垃圾由当地环卫部门统一清运。

3、废水

项目运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为生活污水。根据《泉州宝璋肿瘤医院项目环境影响报告书》及其批复文件，院内生活污水将先经化粪池处理，后排入院内污水处理站处理，处理达标后通过市政污水管网进入城东污水处理厂处理。

4、噪声

项目运行期产生的噪声污染源主要为通风系统风机运行时产生的噪声，项目拟优先选用噪声低、振动小的风机设备，安装风机时拟设置减振基础，通风管采用软性接头，排风口处安装消声器。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目辐射工作场所均在医疗综合楼内，直线加速器机房、后装机房、回旋加速器机房均为混凝土结构，机房的基础土建依托医疗综合楼的主体工程，已建设完成，其余辐射工作场所的土建、所有工作场所的防护装修均未开展，项目建设施工时会产生噪声、固废、废水、废气等环境污染，具体土建和装修施工中的噪声、固废、废水、废气等防护措施按《泉州宝璋肿瘤医院项目环境影响报告书》及批复文件执行。现就施工期间的环境影响和相应的污染预防治理措施进行分析：

(1) 废水：

施工期的废水主要为生产废水和施工人员的生活污水。生产废水主要包括：土建施工、施工机械设备洗涤等产生的废水，这部分废水含有一定量的油污和泥砂。生活污水包括洗涤废水和冲厕水，生活污水含有大量细菌和病原体。

上述废水水量不大，但如果不经处理或处理不当，同样会危害环境。所以，施工期废水不能随意直排。其防治措施主要有：

① 施工过程中尽量减少废水产生量，废水应进行必要的分类处理后集中处理。

② 水泥、黄砂、石灰类的建筑材料需集中堆放，并采取一定的防雨措施，及时清扫施工运输过程中抛洒的上述建筑材料，以免这些物质被雨水冲刷带入污水处理装置内。

③ 生活污水必须进入医院污水管网集中处理。

(2) 废气：

施工期废气主要为施工产生的粉尘以及施工场地扬尘等。主要防治措施有：

① 防物料抛洒泄漏。

② 建筑垃圾和生活垃圾及时清运，对干燥作业面适当洒水，以防二次扬尘。

(3) 噪声：

噪声是施工期主要的污染因子，施工过程中使用的运输车辆及各种施工机械，都是噪声的产生源。为了减轻施工噪声对周围环境的影响，在施工过程中应严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业，如因工艺特殊情况要求，需在夜间施工而产生环境噪声污染时，按《中华人民共和国环境噪声污染防治法》的规定，需取得当地人民政府或有关主管部门的证明，并公告附近居民。

(4) 固体废物：

施工垃圾主要来自施工所产生的建筑垃圾和施工队伍的生活垃圾。对施工现场要及时进行清理，建筑垃圾要及时清运、加以利用，防止其因长期堆放而产生扬尘，生活垃圾要进行专门收集，交由环卫部门收集处置，严禁乱堆乱扔，防止产生二次污染。

医院在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在医院院区内。本项目施工期较短，施工量远小于医院建设项目，根据《泉州宝璋肿瘤医院项目环境影响报告书》及其批复文件，本项目施工阶段在按要求采取相应的污染防治措施后，施工期对医院周围环境影响较小。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 放疗科

11.2.1.1 辐射环境影响预测与分析

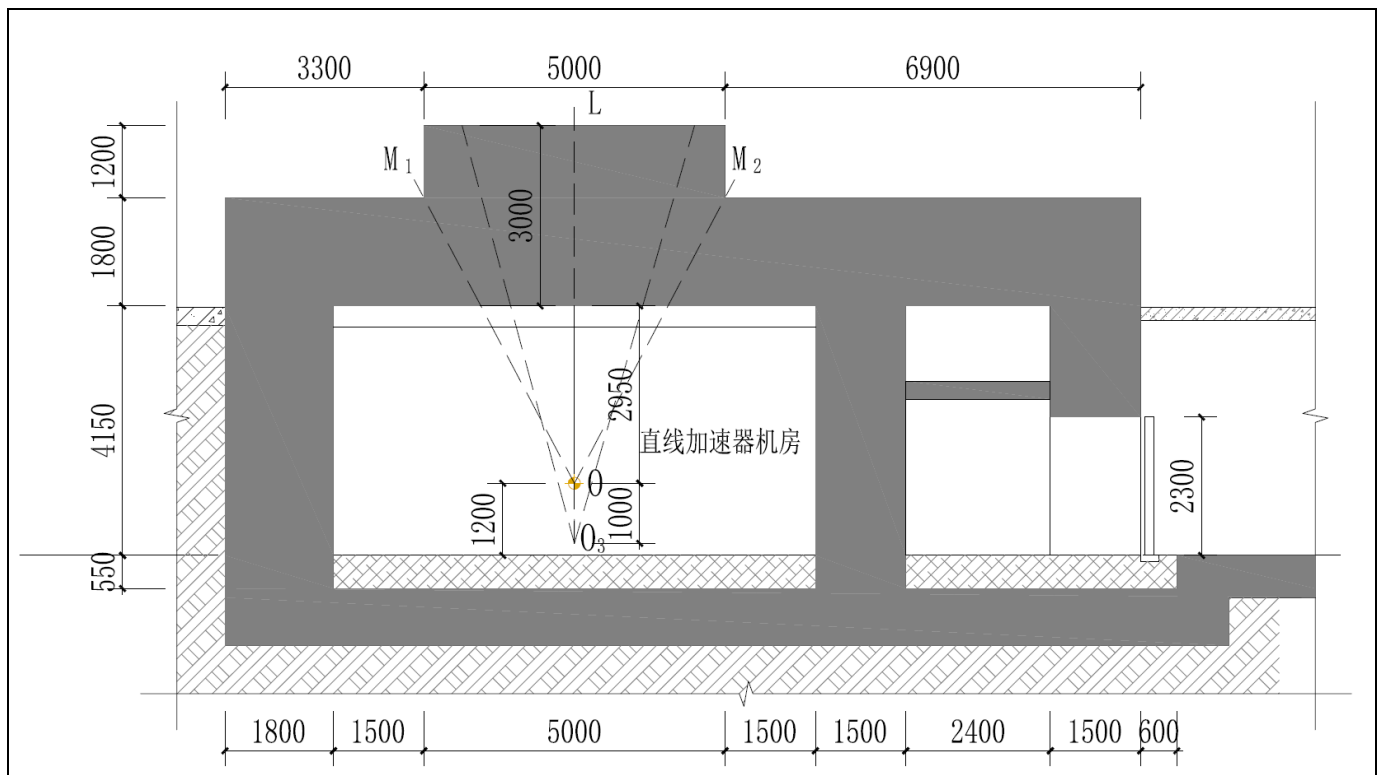
11.2.1.1.1 直线加速器

一、关注点选取

本项目 5 间加速器机房内均拟配备 1 台 X 射线最大能量为 10MV 的直线加速器，X 线能量 10MV 下距靶 1m 处 X 射线最大剂量率为 1440Gy/h，X 线能量 6MV 下距靶 1m 处 X 射线最大剂量率为 960Gy/h，考虑到射线能量和各能量下的最大剂量率，本报告对 10MV 运行工况下（最大工况）的辐射影响进行估算。

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）的要求，在本项目 5 间加速器机房外设定关注点，从保守角度出发，在加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器以最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。本项目加速器机房外关注点设定见图 11-1，其中加速器机房 2 和机房 4 的屏蔽设计一致，与机房 3 为对称设计，以机房 3 为例标注关注点，机房 2 和 4 与机房 3 关注点设定一致。

本项目 5 间加速器机房北侧和下方为土层、无人员居留，加速器机房 1 西墙、机房 5 东墙外为土层、无人员居留，根据项目特点，机房屏蔽体外人员无法居留的场所不设定关注点。



剖面图

图 11-1 本项目加速器机房外关注点设定示意图

二、有用线束主屏蔽区宽度符合性分析

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）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度，计算公式如下：

$$Y_p=2[(a+SAD) \cdot \tan\theta+0.3] \quad \dots\dots (1)$$

式中： Y_p —机房有用线束主屏蔽区的宽度，m；

SAD—源轴距，m；

θ —治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

a—等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙（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。

将各参数带入公式（1）得出本项目加速器机房的主屏蔽宽度核算结果见表 11-1。

表 11-1 直线加速器机房主屏蔽墙宽度计算参数及计算结果一览表

主屏蔽区	加速器机房 1			加速器机房 2、加速器机房 3、加速器机房 4		
	东侧	西侧	屋顶	东侧	西侧	屋顶
	加速器机房 5			/		
	西侧	东侧	屋顶			
SAD (m)	1	1	1	1	1	1
θ (°)	14	14	14	14	14	14
a (m)	7	5.2	5.95	7	7	5.95
Y_p 计算值 (m)	4.6 (2.3×2)	3.7 (1.85×2)	4.1 (2.05×2)	4.6 (2.3×2)	4.6 (2.3×2)	4.1 (2.05×2)
Y_p 设计值 (m)	2.5×2	2.5×2	2.5×2	2.5×2	2.5×2	2.5×2
评价结果	满足	满足	满足	满足	满足	满足

注：a_{1号东侧}=a_{2、3、4号西侧}=a_{2、3、4号东侧}=4+3=7m，a_{1号西侧}=a_{2号东侧}=4+1.2=5.2m，a_{屋顶}=2.95+3=5.95m

从表11-1可知，本项目5间加速器机房主屏蔽区的实际设计宽度均大于理论计算值，有用线束主屏蔽区的宽度设计满足《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）的相关要求。

三、屏蔽效果预测

1、主屏蔽区

射线路径（射线类型）：

机房 1：东墙：O₂→A（主射线）

机房 3（机房 2、机房 4）：东墙：o₂→a（主射线），西墙：o₁→b（主射线）

机房 5：西墙：O₂'→A'（主射线）

5 间机房顶棚：O₃→L（主射线）

根据 GBZ/T 201.2 的相关公式进行有用线束主屏蔽核算，在给定屏蔽物厚度 X（cm）时，首先按照公式（2）计算有效厚度 X_e（cm），按照公式（3）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按照公式（4）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）。

$$X_e = X / \cos\theta = X \cdot \sec\theta \quad \dots\dots (2)$$

式中，X-设计屏蔽厚度，cm；

θ-斜射角。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1) / TVL} \quad \dots\dots (3)$$

式中，TVL₁（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，查 GBZ/T 201.2 -2011 附录 B 表 B.1。

本项目中，相应厚度主屏蔽的 B 值核算见表 11-2。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \dots\dots (4)$$

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，μSv·m²/h，X 线最大能量为 10MV 时最大为 1.44×10⁹μSv·m²/h；

R— 靶点至参考点的距离，m，本项目参考点取屏蔽体外 30cm；

f— 对有用线束为 1，对泄漏辐射为 0.001。

将各参数代入模式计算，得到屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h），辐射剂量率计算参数和计算结果表 11-2。

表 11-2 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	机房 1 东墙主屏蔽 (A 点)	机房 3 (机房 2、机房 4)		机房 1-机房 5
	机房 5 西墙主屏蔽 (A' 点)	东墙主屏蔽 (a 点)	西墙主屏蔽 (b 点)	顶棚主屏蔽 (L 点)
X (cm)	300 砵	300 砵	300 砵	300 砵
X _e (cm)	300	300	300	300
TVL (cm)	37	37	37	37
TVL ₁ (cm)	41	41	41	41
B	1.00×10 ⁻⁸	1.00×10 ⁻⁸	1.00×10 ⁻⁸	1.00×10 ⁻⁸

R (m)	8.3	8.3	8.3	7.25
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9
f	1	1	1	1
关注点处辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.21	0.21	0.21	4.24×10^{-2}
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	10	10	10	10
评价结果	满足	满足	满足	满足

注: $R_{1\text{东墙}}=R_{5\text{西墙}}=R_{3\text{东墙}}=R_{3\text{西墙}}=1+4+3+0.3=8.3\text{m}$; $R_{\text{顶棚}}=1+2.95+3+0.3=7.25\text{m}$ 。

2、侧屏蔽墙

加速器南墙主要考虑加速器泄漏辐射的辐射影响。

射线路径 (射线类型):

机房 1: 南墙: O→E (漏射线)

机房 3 (机房 2、机房 4): 南墙: o→e (漏射线)

机房 5: 南墙: O'→E' (漏射线)

辐射防护预测模式与主射线估算相同 (同公式 (4))。侧屏蔽墙外参考点剂量率计算参数和计算结果见表 11-3。

表 11-3 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	机房 1 南墙侧屏蔽 (E 点)
	机房 3 (机房 2、机房 4) 南墙侧屏蔽 (e 点)
	机房 5 南墙侧屏蔽 (E' 点)
X (cm)	150+150 砩
Xe (cm)	300
TVL (cm)	31
TVL ₁ (cm)	35
B	2.83×10^{-10}
R (m)	9.7
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9
f	0.001
关注点处辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	4.33×10^{-6}
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5
评价结果	满足

注: $R_{\text{南墙}}=2.5+5.4+1.5+0.3=9.7\text{m}$ 。

3、与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区

(1) 射线路径（射线类型）

与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的辐射影响主要考虑有用线束水平或向顶照射时人体的散射辐射和加速器泄漏辐射，射线照射路径如下：

散射射线路径：

机房 1：东墙： $O_2 \rightarrow O \rightarrow C_1$ (C_2)

机房 3（机房 2、机房 4）：东墙： $o_2 \rightarrow o \rightarrow c_1$ (c_2)，西墙： $o_1 \rightarrow o \rightarrow d_1$ (d_2)

机房 5：西墙： $O_2' \rightarrow O' \rightarrow C_1'$ (C_2')

5 间机房顶棚： $O_3 \rightarrow O \rightarrow M_1$ (M_2)

泄漏射线路径：

机房 1：东墙： $O \rightarrow C_1$ (C_2)

机房 3（机房 2、机房 4）：东墙： $o \rightarrow c_1$ (c_2)，西墙： $o \rightarrow d_1$ (d_2)

5 间机房顶棚： $O \rightarrow M_1$ (M_2)

(2) 泄漏辐射屏蔽计算

在进行泄漏辐射防护计算时，为简化漏射线辐射计算，通常假定漏射线与有用线束射线具有相同的能量，且与靶心距离相同的漏射线辐射的最大强度不会超过有用射线强度的 0.1%（即 $f=0.001$ ），辐射防护预测模式与主射线估算相同（同公式（4））。

(3) 散射辐射屏蔽计算

散射辐射预测模式可采用 GBZ/T 201.2 -2011 第 5.2 章中推荐的估算公式：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中： \dot{H}_0 、 \dot{H}_0 及 B 意义同前；

R_s^2 ：患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

F ：治疗装置有用束在等中心处的最大治疗面积（ cm^2 ），取（ 40×40 ） cm^2 ；

α_{ph} ：400 cm^2 面积上的散射因子，即患者 400 cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距离其 1m 处（关注点方向）处的剂量比例。

各关注点处的泄漏辐射及散射辐射剂量率值计算参数和计算结果见表 11-4。

表 11-4 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	机房 1 东墙次屏蔽 (C ₁ /C ₂ 点)	机房 1-机房 5 顶棚次屏蔽 (M ₁ /M ₂ 点)	
	机房 3 (机房 2、机房 4) 东墙次屏蔽 (c ₁ /c ₂ 点)、西墙次屏蔽 (d ₁ /d ₂ 点)		
	机房 5 西墙次屏蔽 (C ₁ ' /C ₂ ' 点)		
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9	1.44×10^9	
X (cm)	180 砧	180 砧	
θ ($^\circ$)	保守取 30	保守取 30	
X _e (cm)	207.8	207.8	
R/R _s (m)	7.74	5.83	
泄漏辐射	TVL (cm)	31	31
	TVL ₁ (cm)	35	35
	B	2.67×10^{-7}	2.67×10^{-7}
	f	0.001	0.001
	\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	6.41×10^{-3}	1.13×10^{-2}
散射辐射	TVL (cm)	28	28
	B	3.79×10^{-8}	3.79×10^{-8}
	α_{ph}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
	F (cm ²)	1600	1600
	\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.16×10^{-2}	2.04×10^{-2}
泄漏辐射和散射辐射的复合作用 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.80×10^{-2}	3.17×10^{-2}	
剂量率参考控制水平 \dot{H}_e ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	10	5	
评价结果	满足	满足	

注: $R_{\text{东墙}} = R_{\text{S东墙}} = R_{\text{西墙}} = R_{\text{S西墙}} = (4+0.6+1.8+0.3) / \cos 30^\circ = 7.74\text{m}$,

$R_{\text{顶棚}} = (2.95+1.8+0.3) / \cos 30^\circ = 5.83\text{m}$ 。

4、迷路外墙

加速器主射线不向迷道照射, 加速器机房 1 内加速器机头位于 O₁ 点时, 南侧迷路外墙 K 点处辐射剂量率最大, 泄漏辐射起决定性作用, 射线路径 (射线类型): O₁→K (漏射线);

加速器机房 3 内加速器机头位于 o₁ 点时, 南侧迷路外墙 k 点处辐射剂量率最大, 泄漏辐射起决定性作用, 射线路径 (射线类型): o₁→k (漏射线);

加速器主射线不向迷道照射, 加速器机房 5 内加速器机头位于 O₂' 点时, 南侧迷路外墙

K'点处辐射剂量率最大，泄漏辐射起决定性作用，射线路径（射线类型）： $O_2' \rightarrow K'$ （漏射线）。

估算时均保守取泄漏辐射斜射角为 0° 。迷路外墙辐射防护预测模式与主射线估算相同（同公式（4）），辐射水平预测结果见表 11-5。

表 11-5 迷路外墙辐射剂量率计算参数及计算结果

关注点	机房 1 迷路外墙 (K 点)
	机房 3 (机房 2、机房 4) 迷路外墙 (k 点)
	机房 5 迷路外墙 (K' 点)
X (cm)	150 砵
θ ($^\circ$)	保守取 0
Xe (cm)	150
TVL (cm)	31
TVL ₁ (cm)	35
B	1.95×10^{-5}
R (m)	9.7
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9
f	0.001
关注点处辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.30
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	10
评价结果	满足

注：R = 2.5+5.4+1.5+0.3=9.7m。

5、机房入口防护门屏蔽效果预测

到达迷道入口的 X 射线成份比较复杂，但影响较大的射线主要由两部分组成，一部分是加速器的泄漏辐射穿透迷路内墙到达迷路入口处的 X 射线，另一部分是人体受有用线束照射时，散射至 I (i、I') 点的辐射并经西墙（东墙）二次散射至 J (j、J') 点，后经迷道墙三次散射至 G (g、G') 点的散射辐射。

①泄漏辐射

射线路径：机房 1： $O_2 \rightarrow G$

机房 3（机房 2、机房 4）： $o_2 \rightarrow g$

机房 5： $O_1' \rightarrow G'$

泄漏辐射防护预测模式与主射线估算相同（同公式（4）），计算参数及计算结果见表

11-6。

表 11-6 迷道入口处的泄漏辐射剂量率计算参数和计算结果

关注点	机房 1 入口处 (G 点)	机房 3 (机房 2、机房 4) 入口处 (g 点)	机房 5 入口处 (G' 点)
X (cm)	150 砵	150 砵	150 砵
Xe (cm)	155.2	152.7	152.7
TVL (cm)	31	31	31
TVL ₁ (cm)	35	35	35
B	1.33×10 ⁻⁵	1.60×10 ⁻⁵	1.60×10 ⁻⁵
R (m)	10.037	9.873	9.868
\dot{H}_0 (μSv·m ² /h)	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹	1.44×10 ⁹
f	0.001	0.001	0.001
关注点处辐射剂量率 \dot{H}_{og} (μSv/h)	0.19	0.24	0.24
剂量率参考控制水平 \dot{H}_e (μSv/h)	0.5 (2/4)	0.5 (2/4)	0.5 (2/4)
评价结果	满足	满足	满足

注：Xe、R 值直接从图 11-1 中读出。

② 散射辐射

射线路径：机房 1：O₂→O→I→J→G

机房 3 (机房 2、机房 4)：o₂→o→i→j→g

机房 5：O₁' →O' →I' →J' →G'

迷路入口处的散射辐射剂量率按照公式 (6) 计算，具体计算参数和计算结果见表 11-7。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A_1}{R_2^2} \dot{H}_0 \cdot \frac{\alpha_3 \cdot A_2}{R_3^2} \dots\dots\dots (6)$$

式中， \dot{H}_0 、F 意义同前文；

α_{ph} — 患者 400cm² 面积上的散射因子，计算时取 45°入射散射角的值；

α_2 、 α_3 — 砵墙入射的患者散射辐射的散射因子，取 I (i、I') 处的入射角为 45°、散射角为 0°，取 J (j、J') 处的入射角为 0°、散射角为 45°，取值见 GBZ/T 201.2-2011 附录，通常使用其 0.5MeV 栏内的值；

A₁、A₂ — 散射点处的散射面积，m²；

R₁ — 等中心点到 i (I) 之间的距离，m；

R₂ — i (I) 到 j (J) 之间的距离，m；

R₃-j (J) 到 g (G) 之间的距离, m

表 11-7 迷路入口处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果

参数	机房 1 (G 点)	机房 3 (机房 2、机房 4) (g 点)	机房 5 (G' 点)
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9
α_{ph}	1.35×10^{-3}	1.35×10^{-3}	1.35×10^{-3}
α_2	22.0×10^{-3}	22.0×10^{-3}	22.0×10^{-3}
α_3	15.0×10^{-3}	15.0×10^{-3}	15.0×10^{-3}
F (cm^2)	1600	1600	1600
R ₁ (m)	8.127	8.127	8.481
R ₂ (m)	9.8	9.2	9.8
R ₃ (m)	3.41	3.477	3.477
A ₁ (m^2)	14.11	14.11	14.11
A ₂ (m^2)	29.3	29.3	29.3
辐射剂量率估算值 \dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	14.38	15.70	12.70

注: R 值直接从图 11-1 中读出; A₁取 14.11m² (3.4×4.15), A₂取 29.3m² ((4.66+2.4)×4.15)。

③加速器机房入口门外总辐射剂量率

加速器机房入口门外的总辐射剂量率按公式 (7) 计算, 迷路入口处的散射辐射能量约为 0.2MeV, 铅中的 TVL 值约为 0.5cm, 入口门外辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-8。

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/\text{TVL})} + \dot{H}_{\text{og}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中, \dot{H}_g 、 \dot{H}_{og} 意义同前文;

X—防护门铅屏蔽厚度, cm;

TVL—辐射在铅中的什值层, cm, 取 0.5cm。

表 11-8 机房入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果

参数	机房 1 (G 点)	机房 3 (机房 2、机房 4) (g 点)	机房 5 (G' 点)
\dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	14.38	15.70	12.70
X (cm)	1.2 铅	1.2 铅	1.2 铅
TVL (cm)	0.5	0.5	0.5
\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.19	0.24	0.24
防护门外总辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.25	0.30	0.29
剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2	2	2
评价结果	满足	满足	满足

四、加速器电子线治疗时防护评价

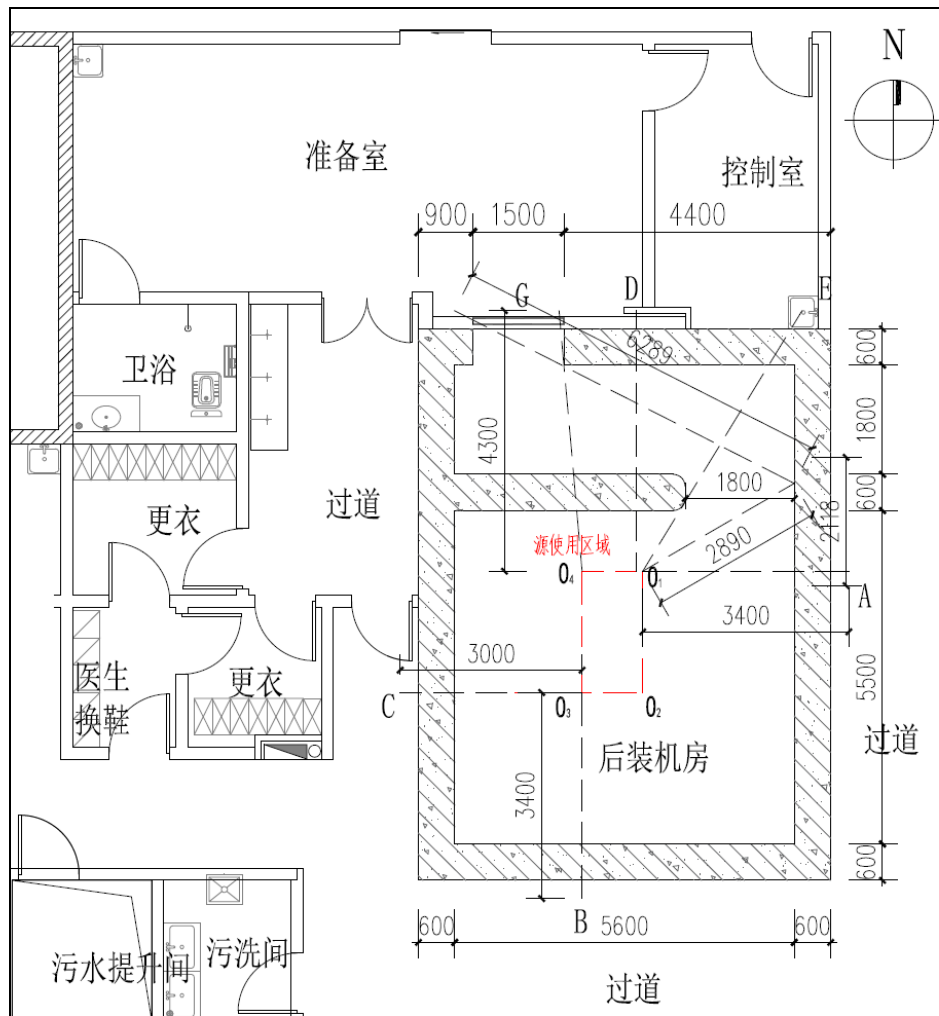
本项目直线加速器电子束治疗时，最大电子束能量不会超过 22MeV。由于电子束的穿透能力远小于 X 射线，对治疗 X 射线的屏蔽机房，完全能够满足屏蔽电子束的要求。此外，电子束治疗时，平均束流为 nA 量级，X 射线治疗时，平均束流为 μA 量级，治疗电子束所产生的韧致辐射远小于 X 射线治疗时的辐射，即使电子束能量大于治疗 X 射线的最大能量，对屏蔽电子束的韧致辐射所要求的厚度也远低于对 MV X 射线的屏蔽要求。

11.2.1.1.2 后装机

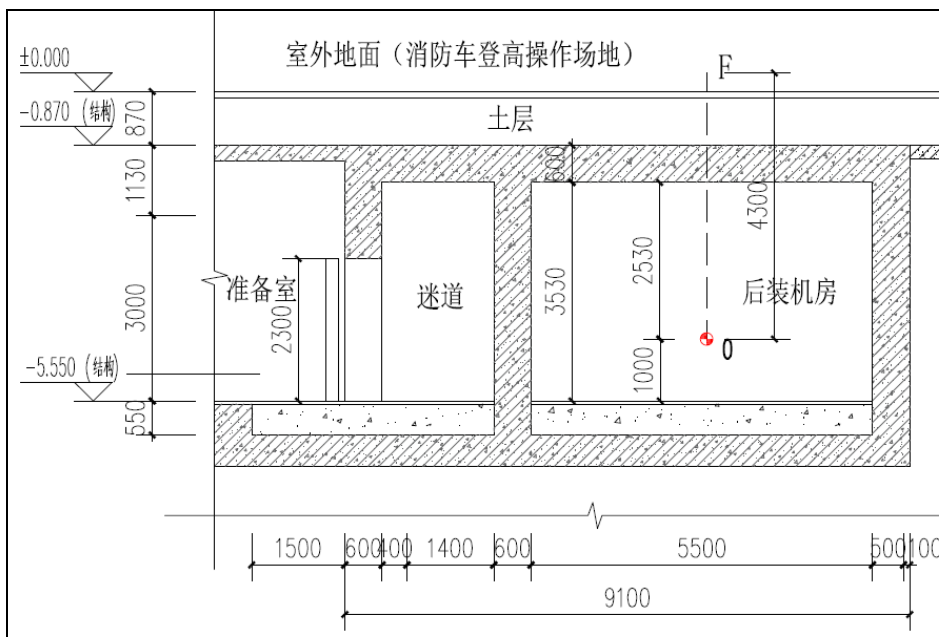
本项目后装机最大装源活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，治疗时 ^{192}Ir 放射源将被传至事先置入人体腔道内的施源器中进行放射治疗。本项目主要考虑 ^{192}Ir 放射源发射的 γ 射线（即初级辐射）对墙和室顶的直接照射及其散射辐射对机房入口处的照射。预测时采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中推荐的后装机房的屏蔽计算方法。

一、关注点选取

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/T 201.3-2014）的要求，在本项目后装机房墙体、顶棚、防护门外设定关注点，其中墙体、防护门外关注点取相应屏蔽体外表面 30cm，考虑到顶板上方隔 0.87m 厚的土层和室外地面层为消防车登高操作场地，机房顶棚外关注点取顶部上方室外地面外 30cm。从保守角度出发，在后装机房设计的尺寸厚度基础上，以最大装源活度时，并针对关注点最不利的情况进行预测计算，机房周围关注点设定见图 11-2（红线内为治疗源可能活动的范围，对于不同关注点分别以最近距离进行保守预测），机房底板下为土层，不设定关注点。



平面图



剖面图

图 11-2 本项目后装机房周围关注点设定示意图

二、屏蔽效果预测

1、初级辐射屏蔽剂量估算

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/T201.3-2014）中使用的什值层（TVL）计算方法，预测后装机最大装载放射源活度时，放疗机房外各预测点的初始辐射剂量率水平。

根据公式（8），当 γ 射线以 θ 角斜射入厚度为 X（mm）的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 X_e （mm）：

$$X_e = X / \cos\theta = X \cdot \sec\theta \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：θ 为斜射角，即入射与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

再根据公式（9）计算对于给定的屏蔽物质的有效屏蔽厚度 X_e （mm）相应的屏蔽透射因子 B：

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中 TVL₁(mm)和 TVL(mm)分别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 TVL₁时，TVL₁=TVL。对于 ¹⁹²Ir 放射源，查 GBZ/T 201.3-2014 的附录 C 表 C.1 可知，混凝土 TVL₁=TVL=152mm；铅 TVL₁=TVL=16mm。

最后根据公式（10）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} （μSv/h）：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中： \dot{H}_0 —活度为 A 的放射源在其 1m 处的剂量率，μSv/h；

R—辐射源到参考计算点的距离，m；

f—对有用束为 1。

放射源的体积相对于放疗室的体积非常小，因此可将放射源作为点源进行考虑，利用公式（11）计算活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率（μSv/h）。

$$\dot{H}_0 = A \cdot K_\gamma \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：A—为放射源的活度（MBq）；

K_γ —放射源的空气比释动能率常数，单位 μSv/（h·MBq）；

根据公式（8）~（11）计算出后装治疗机房外各参考点的初始辐射剂量率水平。计算参数和计算结果见表 11-9。

表 11-9 后装治疗机房外初级辐射屏蔽剂量的计算参数及结果一览表

关注点	X _e (mm)	A (MBq)	K _γ (μSv/(h·MBq))	R (m)	\dot{H} 估算值 (μSv/h)	\dot{H}_e 参考控制水平 (μSv/h)	评价结果
东墙 A	600 砣	3.7×10 ⁵	0.111	3.4	0.40	1.5	满足
南墙 B	600 砣			3.4	0.40	1.5	满足
西墙 C	600 砣			3	0.52	1.5	满足
北墙 D	1200 砣 (600+600)			4.3	2.83×10⁻⁵	2.4	满足
迷路外墙 E	600 砣			4.3	0.25	2.5	满足
顶棚外 F	600 砣			4.3	0.25	6	满足
防护门外 G	600 砣+8 铅			4.3	7.93×10⁻²	2.4	满足

注：放射源对迷路外墙和防护门保守取垂直照射。

2、迷道入口处辐射水平预测

迷道入口处散射剂量率可按下式进行预测计算：

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_{\gamma} \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \dots\dots\dots (12)$$

式中：*H*、A、K_γ意义同前；

R₁—辐射源至一次散射体中心点的距离，取 2.89m；

R₂—一次散射体中心点至计算点的距离，取 6.289m；

α_w—散射体的散射因子，查 GBZ/T 201.3-2014 附录 C 表 C.4，α_w 保守取 3.05×10⁻³ (0.25MeV 在 45°入射辐射、45°反散射的散射因子)；

S_w—散射面积，取 7.48m² (2.118m×3.53m)。

经计算得：初始射线经散射到达迷道入口处剂量率为 2.84μSv/h。本项目迷道入口处拟设置 8mmPb 的防护门，散射至迷道入口处的次级射线能量为约 0.2MeV，其在铅中的 TVL 值为 5mm，根据公式 (9) 可估算出屏蔽透视因子 B 为 0.025 (保守不考虑防护门的等效屏蔽)，散射射线经铅防护门屏蔽后防护门外辐射水平为 7.1×10⁻²μSv/h。

防护门外预测点 G' 的辐射剂量率为散射辐射和初级射线辐射之和，即为：**0.15μSv/h** (7.93×10⁻²+7.1×10⁻²)，能够满足辐射环境剂量率控制水平 (\dot{H}_e) 要求。

11.2.1.1.3 小结

本项目加速器机房、后装治疗机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-10。

表 11-10 放疗科加速器机房、后装治疗机房墙、顶、门外理论估算结果汇总一览表

位置		关注点	剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制 水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价结果
加速器 机房 1	东墙主屏蔽	A	0.21	10	满足
	东墙次屏蔽	C ₁ (C ₂)	1.80×10^{-2}	10	满足
	南墙侧屏蔽	E	4.33×10^{-6}	2.5	满足
	迷道外墙	K	0.30	10	满足
	顶棚主屏蔽	L	4.24×10^{-2}	10	满足
	顶棚次屏蔽	M ₁ (M ₂)	3.17×10^{-2}	5	满足
	入口防护门	G	0.25	2	满足
加速器 机房 3 (机房 2、机房 4)	东墙主屏蔽	a	0.21	10	满足
	东墙次屏蔽	c ₁ (c ₂)	1.80×10^{-2}	10	满足
	西墙主屏蔽	b	0.21	10	满足
	西墙次屏蔽	d ₁ (d ₂)	1.80×10^{-2}	10	满足
	南墙侧屏蔽	e	4.33×10^{-6}	2.5	满足
	迷道外墙	k	0.30	10	满足
	顶棚主屏蔽	L	4.24×10^{-2}	10	满足
	顶棚次屏蔽	M ₁ (M ₂)	3.17×10^{-2}	5	满足
	入口防护门	g	0.30	2	满足
加速器 机房 5	西墙主屏蔽	A'	0.21	10	满足
	西墙次屏蔽	C ₁ ' (C ₂ ')	1.80×10^{-2}	10	满足
	南墙侧屏蔽	E'	4.33×10^{-6}	2.5	满足
	迷道外墙	K'	0.30	10	满足
	顶棚主屏蔽	L	4.24×10^{-2}	10	满足
	顶棚次屏蔽	M ₁ (M ₂)	3.17×10^{-2}	5	满足
	入口防护门	G'	0.29	2	满足
后装治 疗机房	东墙	A	0.40	1.5	满足
	南墙	B	0.40	1.5	满足
	西墙	C	0.52	1.5	满足
	北墙	D	2.83×10^{-5}	2.4	满足

迷路外墙	E	0.25	2.5	满足
顶棚外	F	0.25	6	满足
防护门外	G	0.15	2.4	满足

根据表 11-10 可知：

(1) 加速器机房 1、机房 3（机房 2、机房 4）、机房 5 以最大功率（加速器 X 线能量为 10MV）运行时，机房墙、顶、门外各关注点处剂量率估算值为（ $4.33 \times 10^{-6} \sim 0.30$ ） $\mu\text{Sv/h}$ ；

(2) 后装治疗机房以最大功率（治疗用 ^{192}Ir 放射源活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ）运行时，机房墙、顶、门外各关注点处剂量率估算值为（ $2.83 \times 10^{-5} \sim 0.52$ ） $\mu\text{Sv/h}$ 。

以上估算结果均能够满足本项目辐射环境剂量率控制水平（ \dot{H}_e ）要求。

11.2.1.1.4 放疗科加速器机房、后装治疗机房叠加影响分析

本项目 5 间加速器机房东西向并排设置，从西向东依次为机房 1、机房 2、机房 3、机房 4、机房 5，后装治疗机房位于加速器机房 5 南墙外 12.5m 处，考虑到机房布局情况和屏蔽情况，需考虑相邻两台直线加速器同时开机治疗时对南侧和顶外的叠加影响。

本项目保守取相邻 2 间机房南侧和顶外相应关注点处的最大剂量率进行叠加，根据表 11-10 可进一步估算得出叠加剂量率，具体见表 11-11。

表 11-11 放疗科直线加速器机房之间的叠加剂量率估算结果一览表

位置	相应关注点处辐射剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）		叠加剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
机房 1 和机房 2 迷路外墙外（辅助机房、水冷机房）	机房 1: 0.30	机房 2: 0.30	0.60
机房 2 和机房 3 防护门外（通道）	机房 2: 0.30	机房 3: 0.30	0.60
机房 3 和机房 4 迷路外墙外（辅助机房、水冷机房）	机房 3: 0.30	机房 4: 0.30	0.60
机房 4 和机房 5 防护门外（通道）	机房 4: 0.30	机房 5: 0.29	0.59
相邻机房顶外（屋顶上空）	4.24×10^{-2}	4.24×10^{-2}	8.48×10^{-2}

根据表 11-11 可知，相邻 2 间机房之间的叠加剂量率最大为 $0.60\mu\text{Sv/h}$ ，仍能满足本项目辐射环境剂量率控制水平要求（不大于 $2\mu\text{Sv/h}$ ）。

11.2.1.2 辐射工作人员和公众年有效剂量预测与分析

工作人员及公众年有效剂量可通过下式进行估算：

$$E = \dot{H} \cdot U \cdot T \cdot t \quad \dots\dots\dots (13)$$

上式中：E—人员年有效剂量， $\mu\text{Sv/a}$ ；

\dot{H} —参考点处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

U—使用因子；

T—人员在相应关注点驻留的居留因子；

t—照射时间，单位为 h/a。

根据单位提供资料，本项目单台直线加速器、后装治疗机年治疗照射时间预计分别为 1000h、833h。本项目直线加速器、后装治疗机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、11-13。

表 11-12 直线加速器辐射工作人员及公众成员的年有效剂量估算一览表

关注点	场所类型	剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	使用因子	年剂量估算值 (mSv/a)	保护目标	
加速器机房 1	东墙主屏蔽	0.21	1/2	1/4	2.63E-02	辐射工作人员	
	东墙次屏蔽	1.80×10^{-2}		1	9.00E-03		
	南墙侧屏蔽	4.33×10^{-6}	1	1	4.33E-06		
	迷道外墙	辅助机房、水冷机房	0.30	1/20	1		1.50E-02
	顶棚主屏蔽	屋顶上空（无建筑）	4.24×10^{-2}	1/20	1/4	5.30E-04	公众
	顶棚次屏蔽		3.17×10^{-2}	1/20	1	1.59E-03	
入口防护门	通道	0.25	1/8	1	4.13E-02		
加速器机房 2、3、4	东墙主屏蔽	0.21	1/2	1/4	2.63E-02	辐射工作人员	
	东墙次屏蔽	1.80×10^{-2}		1	9.00E-03		
	西墙主屏蔽	相邻加速器机房	0.21	1/2	1/4		2.63E-02
	西墙次屏蔽		1.80×10^{-2}		1		9.00E-03
	南墙侧屏蔽	控制室	4.33×10^{-6}	1	1	4.33E-06	
	迷道外墙	辅助机房、水冷机房	0.30	1/20	1	1.50E-02	
	顶棚主屏蔽	屋顶上空（无建筑）	4.24×10^{-2}	1/20	1/4	5.30E-04	公众
	顶棚次屏蔽		3.17×10^{-2}	1/20	1	1.59E-03	
	入口防护门	通道	0.30	1/8	1	5.00E-02	
加速器	西墙主屏蔽	0.21	1/2	1/4	2.63E-02	辐射工作人员	
	西墙次屏蔽	1.80×10^{-2}		1	9.00E-03		

机房5	南墙侧屏蔽	控制室	4.33×10^{-6}	1	1	4.33E-06	公众
	迷道外墙	辅助机房、水冷机房	0.30	1/20	1	1.50E-02	
	顶棚主屏蔽	屋顶上空（无建筑）	4.24×10^{-2}	1/20	1/4	5.30E-04	
	顶棚次屏蔽		3.17×10^{-2}	1/20	1	1.59E-03	
	入口防护门	通道	0.29	1/8	1	4.63E-02	
叠加影响	机房1和机房2迷路外墙外	辅助机房、水冷机房	0.60	1/20	1	3.00E-02	辐射工作人员
	机房2和机房3防护门外	通道	0.60	1/8	1	7.50E-02	公众
	机房3和机房4迷路外墙外	辅助机房、水冷机房	0.60	1/20	1	3.00E-02	辐射工作人员
	机房4和机房5防护门外	通道	0.59	1/8	1	7.38E-02	公众
	相邻机房顶外	屋顶上空（无建筑）	8.48×10^{-2}	1/20	1	4.24E-03	

表 11-13 后装机辐射工作人员及公众成员的年有效剂量估算一览表

关注点	场所类型	剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	使用因子	年剂量估算值 (mSv/a)	保护目标	
后装治疗机房	东墙	走道	0.40	1/5	1	6.66E-02	公众
	南墙	走道	0.40	1/5	1	6.66E-02	
	西墙	走道	0.52	1/5	1	8.66E-02	
	北墙	准备室	2.83×10^{-5}	1/8	1	2.95E-06	
	北侧迷道外墙	控制室	0.25	1	1	0.21	辐射工作人员
	顶棚	消防车登高操作场地	0.25	1/20	1	1.04E-02	公众
	防护门	通道	0.15	1/8	1	1.56E-02	

1、辐射工作人员

(1) 加速器辐射工作人员

由表 11-12 可知，本项目加速器运行后，加速器辐射工作人员在控制室内或辅助机房、水冷机房内受到的年有效剂量最大为 $3.00\text{E-}02\text{mSv}$ （相邻 2 台加速器的叠加影响），在治疗机房内从事摆位等工作时受到相邻加速器机房的年有效剂量最大为 $5.26\text{E-}02\text{mSv}$ （所在机房相邻 2 台加速器的叠加影响， $2.63\text{E-}02\text{mSv} + 2.63\text{E-}02\text{mSv}$ ）。

保守假设各加速器机房的辐射工作由 1 名辐射工作人员负责，在保守考虑了辐射工作人

员在控制室或辅助机房、水冷机房内工作、在机房内从事摆位等工作时受到的叠加辐射影响后，本项目**加速器机房辐射工作人员年有效剂量为 8.26E-02mSv**，能够满足 GB 18871-2002 剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

(2) 后装治疗机房辐射工作人员

本项目后装机内拟使用 1 枚活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ 的 ^{192}Ir 放射源，辐射工作人员受照主要包括摆位状态和出源治疗状态。

①摆位状态

根据单位提供资料，后装机运行后预计每天接待治疗患者 20 人，每周工作 5 天，每年工作 50 周，治疗前工作人员进入机房摆位约 2min/人次，摆位人员年最大受照射时间为约 166.7h；工作人员摆位时一般距后装机机头至少 1m，参考《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262-2017）中的要求，贮源器表面 100cm 泄漏辐射所致周围剂量当量率应不大于 $5\mu\text{Sv/h}$ ，本报告保守选取 $5\mu\text{Sv/h}$ 近似估算泄漏辐射对摆位人员造成的年有效剂量。经估算可得出，后装治疗机房内摆位人员因摆位工作受到的年受照剂量为 0.83mSv。

②出源治疗状态

由表 11-13 可知，本项目后装机运行后，后装治疗机房辐射工作人员在控制室内受到的年有效剂量最大为 0.21mSv。

保守假设后装治疗机房的辐射工作由 1 名辐射工作人员负责，在考虑了辐射工作人员在控制室内工作、在机房内从事摆位等工作受到的叠加辐射影响后，本项目**后装治疗机房辐射工作人员年有效剂量为 1.04mSv**。能够满足 GB 18871-2002 剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

2、直线加速器、后装治疗机房周围公众

由表 11-12、11-13 可知，本项目直线加速器运行后，机房周围公众年有效剂量最大为 **7.50E-02mSv**，后装机运行后，机房周围公众年有效剂量最大为 **8.66E-02mSv**，能够满足 GB 18871-2002 剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

11.2.2 核医学科

11.2.2.1 放射性药物生产场所

11.2.2.1.1 回旋加速器

一、辐射环境影响预测与分析

本项目拟配备 1 台 GE 生产的 MINITrace Qilin 型带自屏蔽的回旋加速器，最大质子束流能量不高于 10MeV，引出质子束流强度不高于 70μA，用于生产 ¹⁸F 核素。

1、估算模式选取

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）附录I，自屏蔽回旋加速器机房外的剂量率估算公式如下：

$$\dot{H}_R = \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \cdot (\dot{H}_n \times 10^{-X/TVL_n} + \dot{H}_\gamma \times 10^{-X/TVL_\gamma}) \dots\dots\dots (14)$$

式中： \dot{H}_R —回旋加速器室外关注点剂量率，单位为微希沃特每小时（μSv/h）；

r_0 —参考点距靶心的距离，单位为米（m）；

R —屏蔽墙外关注点距靶心的距离，单位为米（m）；

\dot{H}_n —参考点 r_0 处的中子剂量率，单位为微希沃特每小时（μSv/h）；

x —屏蔽体厚度，单位为厘米（cm）；

TVL_n —中子射线的十分之一减弱层厚度，单位为厘米（cm）；

\dot{H}_γ —参考点 r_0 处的γ射线剂量率，单位为微希沃特每小时（μSv/h）；

TVL_γ —γ射线的十分之一减弱层厚度，单位为厘米（cm）。

根据GBZ 121-2020附录I，对11MeV回旋加速器泄漏辐射 γ 射线的能量约为8MeV，中子的能量约为5MeV。本项目回旋加速器最大质子束流能量不高于10MeV，理论估算时保守取泄漏辐射 γ 射线的能量为8MeV，中子的能量为5MeV，相应不同屏蔽材料的TVL值查GBZ 121-2020附录I表I.3。

2、理论估算

回旋加速器机房周围关注点设定见图11-3，机房四周墙体、防护门及屋顶屏蔽防护计算参数及计算结果见表11-14。

表 11-14 回旋加速器机房四周墙体、屋顶及操作位屏蔽防护计算参数及计算结果

		东墙 (a点)	南墙 (b点)	西墙 (c点)	北墙 (d点)	防护门 (e点)	屋顶 (f点)
x (cm)		50 砵	50 砵	50 砵	50 砵	10mmPb+200mm 厚含硼聚乙烯	60 砵
r ₀ (m)		2.8	2.1	3.3	2.0	2.1	2.15
R (m)		4.8	5.1	4.8	2.6	5.44	4.3
H _n (μSv/h)		8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
TVL _n (cm)		43	43	43	43	铅: 47.8 聚乙烯: 24	43
H _γ (μSv/h)		35	35	17.5	35	35	35
TVL _γ (cm)		38	38	38	38	铅: 5 聚乙烯: 80	38
关注点 剂量率 H _R (μSv/h)	估算值	0.77	0.39	0.68	1.35	2.03	0.32
	控制值	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	评价结果	满足	满足	满足	满足	满足	满足

注：①回旋加速器机房四周墙体和防护门外关注点取相应屏蔽体外30cm；机房屋顶上面覆盖有50cm厚土层和70mm的轻质回填料（即一层底板），关注点取一层底板上方30cm；

②保守不考虑屋顶上方土层的屏蔽，保守不考虑防护门的等效屏蔽；

③r₀、H_n、H_γ取值见表9-10，R取值见图11-3。

根据表 11-14 估算结果可知，本项目在使用 1 台 MINItrace Qilin 型回旋加速器情况下，回旋加速器机房四周墙体、防护门和屋顶外关注点处辐射剂量率在（**0.32~2.03**）μSv/h 之间，**满足辐射环境剂量率控制水平要求**：回旋加速器机房四周墙体、防护门外 30cm、顶板上方及周围人员可居留处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。

二、辐射工作人员和公众年有效剂量预测与分析

根据表 11-14 估算结果和公式（13），可进一步估算得出回旋加速器机房辐射工作人员及周围公众年有效剂量，具体估算参数和估算结果见表 11-15。

表 11-15 回旋加速器机房辐射工作人员及周围公众的年有效剂量估算结果

位置	东墙 (a点)	南墙 (b点)	西墙 (c点)	北墙 (d点)	防护门 (e点)	屋顶 (f点)
关注点所在场所	SPECT 留观室、设备间	控制室	合成分装室	核医学科门诊患者走道	缓冲间	影像科 DR 机房、更衣等
保护目标	留观室：公众 设备间：辐射工作人员	辐射工作人员	辐射工作人员	公众	辐射工作人员	公众
剂量率值 (μSv/h)	0.77	0.39	0.68	1.35	2.03	0.32
T	1/20	1	1/20	1/20	1/8	1/20

t (h/a)	500					
E 估算值 (mSv/a)	1.93E-02	1.95E-01	1.70E-02	3.38E-02	1.27E-01	8.00E-03
E 管理值 (mSv/a)	留观室: 0.1 设备间: 5	5	5	0.1	5	0.1
结论	满足	满足	满足	满足	满足	满足

注：回旋加速器生产时间早于医院开诊时间，加速器生产时合成分装室一般无人居留，合成分装室和影像科居留因子均取 1/20。

根据表 11-15 估算结果可知，本项目回旋加速器辐射工作人员年有效剂量最大为 **1.95E-01mSv**，公众年有效剂量最大为 **3.38E-02mSv**，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 中对职业人员受照剂量限值要求以及本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv、公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

11.2.2.1.2 放射性药物的合成、分装及质控

一、辐射环境影响预测与分析

回旋加速器打靶生成 ¹⁸F 核素后（单次最多生产 5.92×10^{10} Bq），核素液体将经地下传输管道自动传送至合成分装室内的合成热室，通过电脑程序自动控制合成放射性药物，后通过管道自动传输进入分装热室，通过自动分装模块将药物根据预设量分装至西林瓶中（单瓶活度不大于 200mCi），并通过机械手将西林瓶进行密封，控制程序驱动密封后的西林瓶下降至 60mmPb 原液罐内，并盖上铅罐盖子，控制程序驱动原液罐下降至抽屉，工作人员拉出装原液罐的抽屉，取出装有放射性药物的原液罐。核素液体地下传输管道上方拟设置 65mmPb 的铅砖盖板，合成热室、分装热室正面为 65mmPb、其余面为 55mmPb，分装好的药物外原液罐为 60mmPb。

此外，回旋加速器生产的每批药物在使用前均需在分装热室内自动分装出活度不大于 6mCi 的药物至西林瓶内，放至在 40mmPb 的铅罐中，由合成分装室工作人员将铅罐送至全检质控室，由质控室工作人员接收后，放置在室内质检手套箱中，单次质检仅需从铅罐中抽取几 μ Ci（一般不大于 10 μ Ci）的样品进行即时放化检验。

1、估算模式选取

根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 附录 I，所有核素工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法，根据式 (I.1) 可得出计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} \cdot 10^{-x/TVL} \dots\dots\dots (15)$$

上式中： \dot{H} —参考点剂量率 (μ Sv/h)；

A—单个患者或受检者所用放射源的最大活度 (MBq);

Γ —距源 1m 处的周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$), ^{18}F 为
 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$;

r—参考点与放射源间的距离 (m);

x—屏蔽厚度 (mm);

TVL— γ 射线的十分之一值层厚度 (mm)。

根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 附录 I 表 I.1, ^{18}F 对应铅、砖、混凝土的十分之一值层厚度见表 11-16。

表 11-16 ^{18}F 核素屏蔽材料十分之一值层厚度 (单位: mm)

核素	铅 ($11.3\text{g}/\text{cm}^3$)	砖 ($1.65\text{g}/\text{cm}^3$)	混凝土 ($2.35\text{g}/\text{cm}^3$)
^{18}F	16.6	263	176

2、理论估算

根据公式 (15), 可估算得出 ^{18}F 放射性药物合成、分装、质控过程中的辐射影响, 关注点位置见图 11-3, 具体估算参数和估算结果见表 11-17。

表 11-17 ¹⁸F 药物合成、分装、质检过程中的辐射影响估算结果

参考点位		活度 A (MBq)	衰减距离 r (m)	防护措施	透射比 η	参考点辐射水平 (μ Sv/h)		备注	
合成热室、分装热室非正对人员操作位外表面		5.92×10 ⁴ (单次最大合成、分装量)	0.5	55mmPb	4.86E-04	16.46		放射性药物距离热室外表面最近 0.5m	
¹⁸ F 药物合成、分装	合成热室、分装热室正面外表面 30cm 处人员操作位		0.8	65mmPb	1.21E-04	1.61			
¹⁸ F 质检药物铅罐外 30cm		2.22×10 ² (单瓶最大质检活度)	0.4	40mmPb	3.89E-03	0.77		放射性药物距离铅罐外表面 0.1m	
质检手套箱非正对人员操作位外表面		0.37 (单次最大质检量)	0.2	无屏蔽	1	1.323	4.41	1、放射性药物距离手套箱外表面最近 0.2m; 2、单次质检仅需从铅罐中抽取不大于 10 μ Ci 的样品, 其余样品 (不大于 6mCi) 仍暂存在 40mmPb 的铅罐中, 暂存于手套箱内, 考虑样品暂存时的叠加影响	
		2.22×10 ² (单次最大暂存量)		40mmPb	3.89E-03	3.090			
¹⁸ F 药物质检	质检手套箱正面外表面 30cm 处人员操作位	0.37 (单次最大质检量)	0.5	无屏蔽	1	0.212	0.71		
		2.22×10 ² (单次最大暂存量)		40mmPb	3.89E-03	0.494			
合成分装室	A	5.92×10 ⁴ (单次最大合成、分装量)	3.84	55mmPb+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	1.01E-05	5.79E-03		热室正面 (即西侧) 为 65mmPb, 其余侧为 55mmPb	
	B		4.5	55mmPb+180mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	3.30E-05	1.38E-02			
	控制区内		东墙外 30cm	2.86	55mmPb+500mm 混凝土	7.01E-07	7.26E-04		
			西墙外 30cm	2.36	65mmPb +370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	2.52E-06	3.83E-03		

		防护门外 30cm		3.34	65mmPb +8mmPb	4.00E-05	3.04E-02		
		北墙外 30cm		3.46	55mmPb +370mm 实心 砖+40mm 硫酸钡水泥	1.01E-05	7.13E-03		
		北墙传递窗外 30cm		3.46	65mmPb +8mmPb	4.0E-05	2.83E-02		
		核素液体地下传输 管道上方 30cm		0.6	65mmPb	2.03E-04	4.77		/
全检质 控室	C	南墙外 30cm	0.37	4.6	370mm 实心砖	3.92E-02	9.80E-05	3.27E-04	源点距离西门外 30cm 距离 较远, 选取南门为代表进行 理论估算
			2.22×10^2		40mmPb+370mm 实心 砖	1.53E-04	2.29E-04		
	D	西墙外 30cm	0.37	4.62	370mm 实心砖	3.92E-02	9.71E-05	3.24E-04	
			2.22×10^2		40mmPb+370mm 实心 砖	1.53E-04	2.27E-04		
	E	南门外 30cm	0.37	4.91	无屏蔽	1	2.19E-03	7.32E-03	
			2.22×10^2		40mmPb	3.89E-03	5.13E-03		
	F	顶棚上方	0.37	4.5	250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	2.72E-02	7.11E-05	2.37E-04	
			2.22×10^2		40mmPb+250mm 混凝 土+20mm 硫酸钡水泥	1.06E-04	1.66E-04		
	控制区内	东墙外 30cm	0.37	4.24	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	2.07E-02	6.10E-05	2.04E-04	
			2.22×10^2		40mmPb+370mm 实心 砖+40mm 硫酸钡水泥	8.07E-05	1.43E-04		
与合成分装室共用 门外 30cm		0.37	4.24	8mmPb	3.30E-01	9.70E-04	3.24E-03		
		2.22×10^2		40mmPb+8mmPb	1.28E-03	2.27E-03			

		北墙外 30cm	0.37	0.86	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	2.07E-02	1.48E-03	4.95E-03	
			2.22×10^2		40mmPb+370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	8.07E-05	3.46E-03		

注：①除备注内说明的参考点，辐射源点对于其余关注点均保守假设为垂直照射、不考虑屏蔽体的等效屏蔽；

②源点与四周关注点的距离见图 11-3，源点距离地面均取 0.8m，一层层高为 5m，则源点距顶外 30cm 处距离为 4.5m；

③硫酸钡水泥密度为 3.0g/cm^3 ，混凝土密度为 2.35g/cm^3 ，实心砖密度为 1.65g/cm^3 ，根据密度换算，将硫酸钡水泥换算为等效屏蔽的实心砖或混凝土后估算透射比。

根据表 11-17 估算结果可知：

(1) 合成热室、分装热室正面外表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 **1.61 $\mu\text{Sv/h}$** ，非正对人员操作位外表面的辐射剂量率最大为 **16.46 $\mu\text{Sv/h}$** ；质检手套箱正面外表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 **0.71 $\mu\text{Sv/h}$** ，非正对人员操作位外表面的辐射剂量率最大为 **4.41 $\mu\text{Sv/h}$** ，**满足辐射环境剂量率控制水平要求**：合成分装室内放射性药物合成热室和分装热室、全检质控室内质检手套箱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) ^{18}F 成品药物铅罐外 30cm 辐射剂量率最大为 **1.61 $\mu\text{Sv/h}$** ， ^{18}F 质检药物铅罐外 30cm 辐射剂量率最大为 **0.77 $\mu\text{Sv/h}$** ，对工作人员有一定的外照射影响。

(3) 合成分装室、全检质控室四周墙体、防护门、屋顶、传递窗外 30cm 处的辐射剂量率最大为 **3.04E-02 $\mu\text{Sv/h}$** ，核素液体地下传输管道上方 30cm 处的辐射剂量率最大为 **4.77 $\mu\text{Sv/h}$** （传输时室内无人居留），**满足辐射环境剂量率控制水平要求**：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、顶板上方及周围人员可居留处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，其中控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ），周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ），周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

二、辐射工作人员和公众年有效剂量预测与分析

根据表 11-17 估算结果、表 9-6 工作时间和公式 (13)，可进一步估算得出 ^{18}F 药物合成、分装、质控场所辐射工作人员及周围公众的年有效剂量，具体估算参数和估算结果见表 11-18。

表 11-18 ^{18}F 药物合成、分装、质控场所辐射工作人员和周围公众年有效剂量估算一览表

参考点位		参考点辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	受照时间 (h)	场所及居留因子	人员年有效剂量 (mSv)	保护目标	
^{18}F 药物合成	合成热室正面外表面 30cm 处人员操作位	1.61	166.7	合成分装室内, 1	0.27	辐射工作人员	
^{18}F 药物分装	分装热室正面外表面 30cm 处人员操作位	1.61	62.5		0.10		
^{18}F 药物质检	质检手套箱正面外表面 30cm 处人员操作位	0.71	20.8	全检质控室内, 1	1.48E-02		
^{18}F 质检药物传递	^{18}F 质检药物铅罐外 30cm	0.77	2.1	合成分装室和全检质控室内, 1	1.62E-03		
合成分装室	A	南墙外 30cm	5.79E-03	62.5 (分装)	准备间和备用间, 1/20	1.81E-05	辐射工作人员
	B	顶棚上方	1.38E-02	229.2 (合成 166.7+ 分装 62.5)	储物间、气瓶间, 1/20	1.58E-04	公众
	控制区内	东墙外 30cm	7.26E-04	229.2	回旋加速器机房, 1/20	8.32E-06	辐射工作人员
		西墙外 30cm	3.83E-03	229.2	全检质控室, 保守取 1/4	2.19E-04	
		防护门外 30cm	3.04E-02	229.2		1.74E-03	
		北墙外 30cm	7.13E-03	166.7 (合成)	核医学科门诊患者走道, 1/20	5.94E-05	公众
北墙传递窗外 30cm	2.83E-02	229.2	3.24E-04				
全检质控室	C	南墙外 30cm	3.27E-04	20.8	洁净通道, 1/20	3.40E-07	辐射工作人员

	D	西墙外 30cm	3.24E-04		阳性对照室, 保守取 1	6.74E-06		
	E	南门外 30cm	7.32E-03		缓冲区、洁净通道, 1/20	7.61E-06		
	F	顶棚上方	2.37E-04		CT 机房、乳腺钼靶机房及准备室, 1/2	2.46E-06		公众
	控制区内		东墙外 30cm		2.04E-04	合成分装室, 保守取 1	4.24E-06	辐射工作人员
			与合成分装室共用门外 30cm		3.24E-03		6.74E-05	
			北墙外 30cm		4.95E-03	核医学科门诊患者走道, 1/20	5.15E-06	公众

根据表 11-18 估算结果可知, 本项目 ^{18}F 药物合成、分装、质控辐射工作人员年有效剂量最大为 **0.39mSv**, 周围公众年有效剂量最大为 **1.74E-03mSv**, 均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 中对职业人员受照剂量限值要求以及本项目管理目标剂量约束值要求: 职业人员年有效剂量不超过 5mSv、公众年有效剂量不超过 0.1mSv。即使考虑辐射工作人员从事多项工作以及在部分点位的叠加累积剂量, 也能满足年有效剂量不超过 5mSv 的剂量约束值要求。

11.2.2.2 门诊诊断和治疗场所

本项目核医学科门诊诊断包括 PET/CT 放射诊断、SPECT 放射诊断, 门诊治疗包括 ^{89}Sr 核素治疗。

回旋加速器单次(单日)最多生产 $5.92 \times 10^{10}\text{Bq}$ 的 ^{18}F 药物, 最多分装至 8 个西林瓶, 单瓶活度最大为 $7.4 \times 10^9\text{Bq}$, 分装好的药物外原液罐为 60mmPb, 药物分装好后, 医护人员使用手推车将药物由合成分装室传递窗运输至储源室暂存, 开诊后, 医护人员将药物从储源室取至手套箱 2 内进行药物的手动分装(每次仅取 1 瓶药物), 手套箱 2 为 55mmPb, 分装后的单支针剂最大活度为 $3.7 \times 10^8\text{Bq}$, 针剂外设置 5mmPb 防护套, 单日最多 40 名患者。PET/CT 注射后候诊室 1 和 3 为 3 人间, 候诊室 2 和 4 为双人间, 床位之间均拟设置 5mmPb 铅屏风; PET/CT 留观室内每次最多 4 名患者同时留观, 座椅之间拟设置 5mmPb 铅屏风。

SPECT 用 ^{99m}Tc 药物由医院使用钼铯发生器自行淋洗制备，钼铯发生器的规格为 500mCi/柱，发生器外表面上任一点的最高辐射水平不超过 0.5mSv/h，到货后先暂存于储源室内，开始工作后暂存于分装注射室手套箱 1 内，核素的淋洗、标记、分装均在手套箱 1 内由医护人员手动进行，手套箱 1 为 20mmPb，分装后的单支针剂最大活度为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ ，针剂外设置 2mmPb 防护套，单日最多 20 名患者。SPECT 注射后候诊室内每次最多 5 名患者同时候诊，留观室内每次最多 3 名患者同时留观，座椅之间拟设置 1mmPb 铅屏风。

^{89}Sr 药物到货时为分装好的针剂、无需分装，单支针剂最大活度为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ，每次最多到货 5 支，患者服药后即离开，不留观，患者单次注射活度小于 HJ 1188-2021 附录 B 表 B.1 中给出的患者出院时体内放射性活度要求 ($\leq 200 \text{MBq}$)。

11.2.2.2.1 辐射环境影响预测与分析

一、放射性核素的辐射影响估算

➤ 纯 β 衰变核素

本项目核医学科纯 β 衰变的核素为 ^{89}Sr (最大能量 1.495MeV)，根据《辐射防护手册（第一分册）》的表 9.1 几种材料的 β 粒子射程 (cm) 可知，在玻璃/有机玻璃包装状态下， ^{89}Sr 核素发射的 β 粒子射程基本被限制在容器壁厚范围内，不会造成外环境的 β 射线辐射。当药物注射入人体内，在人体组织中射程也不超过 1cm，也基本不会造成外环境的 β 射线辐射。纯 β 衰变的核素主要考虑其韧致辐射造成的外照射影响。这里采用《辐射防护导论》P110 给出的韧致辐射在 r (m) 处空气中的吸收剂量率计算公式，计算 ^{89}Sr 门诊治疗过程中产生的韧致辐射影响，计算结果见表 11-19，计算公式如下：

$$\dot{H}_r = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot (\mu_{en} / \rho) \cdot q \cdot \eta \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中： \dot{H}_r — β 射线在屏蔽材料中产生的韧致辐射在 r (m) 处剂量当量率，Sv/h；

A—放射源活度，Bq；

Z_e —屏蔽材料有效原子序数；

μ_{en}/ρ —韧致辐射的平均能量在空气中的质量能量吸收系数， $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ ，可查《辐射防护导论》附表 1 所得，本项目 ^{89}Sr 取 $2.966 \text{E}-3 \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ ；

q—居留因子，保守取 1；

r —参考点到放射源的距离, m;

η —透射比, 查取《放射防护实用手册》附录 2 的衰减倍数 K 值,
 $\eta=1/K$;

E_b —韧致辐射的平均能量, MeV, 根据《辐射防护导论》P132,
 $E_b \approx E_{\max}/3$, 本项目 ^{89}Sr 取 0.5MeV。

表 11-19 ^{89}Sr 门诊治疗过程中 β 射线所致韧致辐射对周围环境的辐射水平估算表

关注点	A (Bq)	Z	r (m)	屏蔽材质及厚度	η	\dot{H}_r ($\mu\text{Sv/h}$)
注射器外 30cm	1.85E+8 (单支最大活度)	10.6	0.3	无屏蔽	1	0.74
储源室/分装注射室 墙体外 30cm	9.25E+8 (单次最大暂存量)		1	240mm 实心 砖	0.29	9.51E-02
储源室/分装注射室 防护门/传递窗外 30cm			1.5	2mmPb	0.67	9.87E-02
储源室/分装注射室 顶棚外 30cm			4.5	250mm 混凝 土+20mm 硫 酸钡水泥	7.14E-02	1.17E-03
注射窗外 30cm	1.85E+8 (单 次最大注射 量)	6.66	0.5	10mmPb	0.22	3.72E-02
患者注射位西侧患 者入口门外 30cm			1.75	8mmPb	0.29	3.90E-03

注: ①吸收 β 粒子的屏蔽材料 Z, 对于注射器而言保守取普通玻璃, 对于注射入人体的 ^{89}Sr 而言是人体组织, 取值时参考水;

②对于储源室/分装注射室, 选取四周墙体中屏蔽最薄的墙体、防护门/传递窗和顶棚进行理论估算, 药物距离墙体、防护门/传递窗、顶棚外关注点不小于 1m、1.5m、4.5m, 均保守假设为垂直入射, 不考虑屏蔽体的等效屏蔽效果;

③对于实心砖和硫酸钡水泥, 根据密度换算成等效混凝土查取 η 参数。

➤ 发射 γ 射线的核素

本项目核医学门诊诊断使用 ^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 核素, 主要考虑其发射的 γ 射线的辐射影响。 ^{18}F 对应铅、砖、混凝土的十分之一值层厚度见表 11-16, ^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 对应铅、砖、混凝土的十分之一值层厚度见表 11-20。

表 11-20 ^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素屏蔽材料十分之一值层厚度 (单位: mm)

核素	铅 (11.3g/cm ³)	砖 (1.65g/cm ³)	混凝土 (2.35g/cm ³)
^{99}Mo	19	/	200
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	160	110

注: 以上数据来自 GBZ 120-2020 和《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》等参考材料。

根据公式 (15), 可估算出各参考点处的辐射水平, 预测结果见表 11-21, 关注点位置见图 11-3。

表 11-21 本项目核医学发射 γ 射线核素对各参考点位的辐射水平估算结果

参考点位		活度 A (MBq)	衰减距离 r (m)	防护措施	透射比 η	参考点辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注	
手套箱 1 非正对人员操作位外表面		0.5mSv/h (^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$), 单柱发生器表面最大剂量率)	0.4	20mmPb	8.86E-02	6.92E-01	1、钼铯发生器/放射性核素距离手套箱非正对人员操作位外表面最近 0.4m; 2、发生器对参考点的辐射水平采取辐射剂量率与距离平方成反比进行估算, 即 $\dot{H} = (\dot{r}_0^2 \times D_0 \times \eta) / r^2$, 其中 r_0 取值为 0.05m, D_0 取值为 0.5mSv/h	
		1.85×10^4 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ 单瓶最大活度)	0.4	20mmPb	1.00E-20	3.50E-17		
手套箱 2 非正对人员操作位外表面		7.4×10^3 (^{18}F 单次最大分装量)	0.4	55mmPb	4.86E-04	3.22		
^{18}F 药物传输	^{18}F 成品药物铅罐外 30cm	7.4×10^3 (^{18}F 单瓶最大活度)	0.4	60mmPb	8.86E-02	1.61	放射性药物距离铅罐外表面 0.1m	
核素操作		手套箱 1 正面外表面 30cm 处人员操作位	0.5mSv/h (^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$), 单柱发生器表面最大剂量率)	0.5	20mmPb	8.86E-02	4.43E-01	1、钼铯发生器/放射性核素距离手套箱正对人员操作位外表面最近 0.2m; 2、发生器对参考点的辐射水平估算同上
			1.85×10^4 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ 单瓶最大活度)	0.5	20mmPb	1.00E-20	2.24E-17	
		手套箱 2 正面外表面 30cm 处人员操作位	7.4×10^3 (^{18}F 单次最大分装量)	0.5	55mmPb	4.86E-04	2.06	
		注射窗 1 外表面 30cm 处人员操作位	925 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, 单名患者最大注射量)	0.5	10mmPb	1.00E-10	1.12E-08	注射时保守不考虑注射器外防护套的屏蔽
		注射窗 2 外表面 30cm 处人员操作位	370 (^{18}F , 单名患者最大注射量)	0.5	40mmPb	3.89E-03	8.24E-01	

		运动/急救室内移动注射防护车注射窗外表面 30cm 处人员操作位	925 (^{99m} Tc, 单名患者最大注射量)	0.5	10mmPb	1.00E-10	1.12E-08		
PET/CT 设备操作		PET/CT 机房 1/机房 2 观察窗外 30cm	287 (¹⁸ F, 单名患者扫描时最大活度)	4.2	10mmPb	2.50E-01	5.81E-01	1、 ¹⁸ F 患者注射后平均候诊时间约 40min, 考虑半衰期较短的 ¹⁸ F 的衰减; 2、正常情况下工作人员在控制台处语音指导摆位, 不进入机房; 3、PET/CT 机房内设置 10mmPb 铅屏风, SPECT 机房内设置 4mmPb 铅屏风, 用于特殊情况下人员进入机房指导摆位	
SPECT 设备操作		SPECT 机房观察窗外 30cm	925 (^{99m} Tc, 单名患者扫描时最大活度)	4.07	6mmPb	1.00E-06	1.69E-06		
特殊情况下摆位		PET/CT 机房 1/机房 2 内工作人员指导摆位处	287 (¹⁸ F, 单名患者扫描时最大活度)	1	10mmPb	2.50E-01	1.03E+01		
		SPECT 机房内工作人员指导摆位处	925 (^{99m} Tc, 单名患者扫描时最大活度)	1	4mmPb	1.00E-04	2.80E-03		
分装注射室	1	西墙外 30cm	7.4×10 ³ (¹⁸ F)	0.95	55mmPb 手套箱 2 +370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	1.01E-05	1.18E-02	1.18E-02	1、分装注射室南墙、西墙、北墙屏蔽一致, 选取离源点最近的西墙外关注点进行估算; 2、南门 (与卫生通过区共用门)、南门 (与废物库共用门)、东门 (与洁净走廊共用门)、东门 (与储源室共用门) 屏蔽一致, 选取离源点最近的南门外关注点进行估算; 3、对南门外关注点进行估算时, 保守不考虑手套箱 1 对手套箱 2 的进一步屏蔽作
			0.5mSv/h (⁹⁹ Mo (^{99m} Tc))		20mmPb 手套箱 1 +370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	2.47E-03	3.42E-06		
	2	南门 (与卫生通过区共用门) 外 30cm	7.4×10 ³ (¹⁸ F)	4.66	55mmPb 手套箱 2 +8mmPb	1.60E-04	7.81E-03	7.81E-03	
			0.5mSv/h (⁹⁹ Mo (^{99m} Tc))		20mmPb 手套箱 1 +8mmPb	3.36E-02	4.21E-06		
	3	顶棚外 30cm	7.4×10 ³ (¹⁸ F)	4.5	55mmPb 手套箱 2 +250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	1.32E-05	6.91E-04	6.91E-04	
			0.5mSv/h (⁹⁹ Mo		20mmPb 手套箱 1	3.71E-03	2.29E-07		

控制区内	东墙外 30cm	(^{99m} Tc))		+250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥				用; 4、发生器对参考点的辐射水平估算同上	
		7.4×10 ³ (¹⁸ F)	5.14	55mmPb 手套箱 2 +240mm 实心砖	5.95E-05	2.38E-03	2.38E-03		
	0.5mSv/h (⁹⁹ Mo (^{99m} Tc))		20mmPb 手套箱 1 +240mm 实心砖	1.27E-02	6.02E-07				
	东门 (与运动/急救室共用门、与储源室共用门) 外 30cm	7.4×10 ³ (¹⁸ F)	5.14	55mmPb 手套箱 2 +2mmPb	3.68E-04	1.48E-02	1.48E-02		
0.5mSv/h (⁹⁹ Mo (^{99m} Tc))		20mmPb 手套箱 1 +2mmPb	6.95E-02	3.29E-06					
患者通道	4	入口门外 30cm	370 (¹⁸ F, 单名患者最大注射量)	3.75	8mmPb	3.30E-01	1.24	¹⁸ F 的辐射影响远大于 ^{99m} Tc, 以 ¹⁸ F 为代表进行理论估算	
	5	西墙外 30cm		3.75	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	2.07E-02	7.80E-02		
	6	北墙外 30cm (与直加排风通道东侧通道共用区域)		1.55	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡水泥	2.43E-02	1.53E-01		
	7	北门外 30cm (工作通道)		1.55	8mmPb	3.30E-01	1.77		
	8	顶棚外 30cm		4.5	180mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	6.80E-02	1.78E-01		
储源室	9	顶棚外 30cm	0.5mSv/h (⁹⁹ Mo (^{99m} Tc))	4.5	250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	4.19E-02	2.59E-06	3.93E-03	1、室内最多同时暂存有 1 柱钼铈发生器、8 瓶 ¹⁸ F、5 支 ⁸⁹ Sr 注射器; 2、 ⁸⁹ Sr 暂存时对室外的辐射剂量率估算结果见表 11-19; 3、对于储源室, 选取四周墙体中屏蔽最薄的墙体、防护门/传递窗和顶棚进行理论
			7.4×10 ³ ×8 (¹⁸ F)		60mmPb 防护罐+250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	6.61E-06	2.76E-03		
			9.25×10 ² (⁸⁹ Sr)		250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	/	1.17E-03		
	控制区内	墙体外 30cm	0.5mSv/h (⁹⁹ Mo (^{99m} Tc))	1	240mm 实心砖	1.44E-01	1.80E-04	3.47E-01	

		防护门/传递窗外 30cm	7.4×10 ³ ×8 (¹⁸ F)	1.5	60mmPb 防护罐+240mm 实心砖	2.97E-05	2.52E-01	7.92E-01	估算, 药物/发生器距离墙体、防护门/传递窗、顶棚外关注点不小于 1m、1.5m、4.5m, 均保守假设为垂直入射, 不考虑屏蔽体的等效屏蔽效果
			9.25×10 ² (⁸⁹ Sr)		240mm 实心砖	/	9.51E-02		
			0.5mSv/h (⁹⁹ Mo (^{99m} Tc))		2mmPb 防护门	7.85E-01	4.36E-04		
			7.4×10 ³ ×8 (¹⁸ F)		60mmPb 防护罐+2mmPb 防护门	1.84E-04	6.93E-01		
			9.25×10 ² (⁸⁹ Sr)		2mmPb 防护门	/	9.87E-02		
运动/急救 室	10	南墙外 30cm	370 (¹⁸ F, 单名患者在 室内抢救)	1	370mm 实心砖+40mm 硫 酸钡水泥	2.07E-02	1.10		1、 ¹⁸ F 的辐射影响大于 ^{99m} Tc, 考虑 ¹⁸ F 患者抢救时的 辐射影响; 2、患者距离墙体、西门、 北门、顶棚外关注点不小于 1m、5m、4m、4.5m, 均保 守假设为垂直入射, 不考虑 屏蔽体的等效屏蔽效果
	11	顶棚外 30cm		4.5	250mm 混凝土+20mm 硫 酸钡水泥	2.72E-02	7.11E-02		
	控制 区内	东墙/西墙/北墙外 30cm		1	370mm 实心砖+30mm 硫 酸钡水泥	2.43E-02	1.29		
		西门外 30cm		5	2mmPb	7.58E-01	1.60		
		北门外 30cm		4	8mmPb	3.30E-01	1.09		
SPECT 注 射后候诊 室	12	东墙外 30cm	925×5 (^{99m} Tc, 5 名患者 同时候诊)	3.84	370mm 实心砖+40mm 硫 酸钡水泥	1.71E-03	1.62E-02		1、保守不考虑患者座椅之 间铅屏风的屏蔽防护; 2、保守假设 5 名患者为 一个点源, 源点位于座椅正中
	13	南墙外 30cm		2.19		1.71E-03	5.00E-02		
	14	顶棚外 30cm		4.5	250mm 混凝土+20mm 硫 酸钡水泥	3.13E-03	2.16E-02		
	控制 区内	西墙外 30cm		0.81	370mm 实心砖+30mm 硫 酸钡水泥	2.22E-03	4.74E-01		
		北墙外 30cm		3.26	370mm 实心砖+20mm 硫 酸钡水泥	2.89E-03	3.80E-02		
		防护门外 30cm		3.26	4mmPb 防护门	1.00E-04	1.32E-03		
4 间	15	室 1 西墙外 30cm	370×3	1.05	370mm 实心砖+30mm 硫	2.43E-02	1.17	1.18	1、保守不考虑病床之间铅

PET/CT 注射后候 诊室		(¹⁸ F, 3张床位)	2.08	酸钡水泥 (考虑等效屏蔽)	6.34E-04	7.76E-03		屏风的屏蔽; 2、控制区内的辐射影响估算, 根据机房内布局和机房屏蔽情况, 选取辐射影响最大的关注点进行估算	
			2.44		1.77E-04	1.58E-03			
	16	室1/室3北墙外 30cm	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡水泥	2.5	2.43E-02	2.06E-01	3.06E-01		
				4.3	2.43E-02	6.96E-02			
				6.5	2.43E-02	3.04E-02			
	17	室2/室4北墙外 30cm	370×2 (¹⁸ F, 2张床位)	4.3	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡水泥	2.43E-02	6.96E-02		1.04E-01
				6.1		2.43E-02	3.46E-02		
	18	室1/室3顶棚外 30cm	370×3 (¹⁸ F, 3张床位)	4.5	250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥 (考虑等效屏蔽)	2.72E-02	7.11E-02		1.59E-01
				4.8		2.14E-02	4.91E-02		
				5.0		1.82E-02	3.86E-02		
	19	室2/室4顶棚外 30cm	370×2 (¹⁸ F, 2张床位)	4.5	250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥 (考虑等效屏蔽)	2.72E-02	7.11E-02		1.20E-01
				4.8		2.14E-02	4.91E-02		
	20	室2和室3北墙外 30cm处的叠加影响	保守叠加最大值 1.04E-01+3.06E-01				4.10E-01		
	21	室2和室3顶棚外 30cm处的叠加影响	保守叠加最大值 1.20E-01+1.59E-01				2.79E-01		
	控制 区内	室1南墙外30cm	370×3 (¹⁸ F, 3张床位)	1.7	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥	2.85E-02	5.22E-01		6.67E-01
				3.9		2.85E-02	9.92E-02		
				5.7		2.85E-02	4.64E-02		
		室3西墙外30cm		1.05	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥 (考虑等效屏蔽)	2.85E-02	1.37E+00		1.38
	2.08	6.34E-04	7.76E-03						

				2.08	蔽)	6.34E-04	7.76E-03		
		室 1 防护门外 30cm		3.35	6mmPb (考虑等效屏蔽)	2.74E-01	1.29E+00	1.74	
			4.85	1.51E-01		3.41E-01			
			6.39	8.68E-02		1.12E-01			
2 间 PET/CT 机 房	22	北墙外 30cm	287 (¹⁸ F, 单名患者扫描时最大活度)	4.2	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	2.07E-02	4.82E-02		¹⁸ F 患者注射后平均候诊时间约 40min, 考虑半衰期较短的 ¹⁸ F 的衰减
	23	医护防护门外 30cm		4.79	10mmPb	2.50E-01	4.47E-01		
	24	顶棚外 30cm		4.5	180mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥	2.49E-02	5.06E-02		
	控制 区内	东墙/南墙/西墙外 30cm		最近 3.49	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	2.07E-02	6.99E-02		
		患者防护门外 30cm			4.5	8mmPb	3.30E-01	6.68E-01	
SPECT 机 房	25	北墙外 30cm	925 (^{99m} Tc, 单名患者扫描时最大活度)	4.05	370mm 实心砖+30mm 硫酸钡水泥	2.22E-03	3.80E-03		保守不考虑防护门的等效屏蔽
	26	医护防护门外 30cm		4.68	6mmPb	1.00E-06	1.28E-06		
	27	顶棚外 30cm		4.5	250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	3.13E-03	4.33E-03		
	控制 区内	东墙外 30cm		最近 3.92	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	1.71E-03	8.18E-03		
		南墙/西墙外 30cm			370mm 实心砖+30mm 硫酸钡水泥	2.22E-03	4.05E-03		
		患者防护门外 30cm			4.31	6mmPb	1.00E-06	1.51E-06	
PET/CT 留观室	28	北墙外 30cm	253×4 (¹⁸ F, 4 名患者同时留观)	1.05	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥	2.85E-02	9.35E-01	1.55	1、患者注射药物后在休息室和机房内共计停留时间约
				1.75		2.85E-02	3.37E-01		

	29	顶棚外 30cm		2.45	120mm 混凝土+180mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	2.89E-02	1.74E-01	1h 后进入留观室留观，考虑 18F 的衰减； 2、保守不考虑患者之间铅屏风的屏蔽防护； 3、患者对于南墙、东墙外关注点的辐射影响小于北墙，以北墙为代表进行估算； 4、留观区域上方设置夹层（风机房），夹层底板为 120cm 厚混凝土，风机房平时不上人，仅维修维护时上人，维修维护均在核医学科非工作时间开展，不考虑患者留观过程中对风机房的辐射影响，留观室顶棚外剂量估算时考虑夹层底板的屏蔽	
				3.15		2.85E-02	1.04E-01		
				4.5		1.01E-02	1.81E-02		
				4.55		9.58E-03	1.67E-02		
				4.55		9.58E-03	1.67E-02		
				4.71		8.15E-03	1.33E-02		
	控制区内	西墙外 30cm		0.75	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥（考虑等效屏蔽）	2.07E-02	1.33E+00		1.69
				1.02		5.14E-03	1.79E-01		
				1.02		5.14E-03	1.79E-01		
				1.59		2.70E-04	3.86E-03		
	控制区内	防护门外 30cm		4.5	4mmPb	3.30E-01	5.89E-01		1.65
				5.2		3.30E-01	4.41E-01		
				5.9		3.30E-01	3.43E-01		
				6.6		3.30E-01	2.74E-01		
SPECT 留观室	30	东墙外 30cm	925×3 (^{99m} Tc, 3 名患者同时留观)	3.45	240mm 实心砖	3.16E-02	2.23E-01	1、保守不考虑患者座椅之间铅屏风的屏蔽防护； 2、保守假设 3 名患者为一个点源，源点位于座椅正中	
	31	南墙外 30cm		2.1	240mm 实心砖	3.16E-02	6.03E-01		
	32	顶棚外 30cm		4.5	180mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	1.35E-02	5.62E-02		
	控制区内	西墙外 30cm		1.075	500mm 混凝土	2.85E-05	2.07E-03		
		北墙外 30cm		4.45	240mm 实心砖	3.16E-02	1.34E-01		

	防护门外 30cm	4.45	4mmPb	1.00E-04	4.25E-04	
--	-----------	------	-------	----------	----------	--

注：①除表内说明的参考点，辐射源点对于其余关注点均保守假设为垂直照射、不考虑屏蔽体的等效屏蔽；

②源点与四周关注点的距离见表中备注和图 11-2，药物/患者注射/患者注射后候诊、扫描、留观时源点距离地面均取 0.8m，核医学科层高为 5m，则源点距顶外 30cm 处垂直距离为 4.5m；

③硫酸钡水泥密度为 $3\text{g}/\text{cm}^3$ ，混凝土密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，实心砖密度为 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ ，根据密度换算，将硫酸钡水泥换算为等效实心砖或混凝土后估算透射比。

根据表 11-19、11-21 估算结果可知，本项目核医学科在门诊诊断和治疗过程中：

(1) 手套箱内使用最大活度的放射性药物时，手套箱 1 正面外表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 $4.43\text{E}-01\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，非正对人员操作位外表面辐射剂量率最大为 $6.92\text{E}-01\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；手套箱 2 正面外表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 $2.06\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，非正对人员操作位外表面辐射剂量率最大为 $3.22\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；单人注射最大活度的放射性药物时，注射窗 1 外表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 $3.72\text{E}-02\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，注射窗 2 外表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 $8.24\text{E}-01\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，运动/急救室内移动注射防护车注射窗外表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 $1.12\text{E}-08\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。**满足辐射环境剂量率控制水平要求：**手套箱及注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

(2) ^{18}F 成品药物铅罐外 30cm 处辐射剂量率为 $1.61\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，对药物传输人员有一定的外照射影响； ^{89}Sr 注射器外 30cm 处辐射剂量率最大为 $0.74\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，对近距离接触人员有一定的辐射影响；特殊情况下医护人员进入机房指导摆位时， ^{18}F 患者摆位处辐射剂量率为 $1.03\text{E}+01\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，对医护人员有一定的外照射影响； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者扫描前医护人员摆位处辐射剂量率为 $2.80\text{E}-03\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，对医护人员的辐射影响较小；

(3) 门诊区使用最大活度的钼铯发生器、 ^{18}F 药物、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物、 ^{89}Sr 药物时，控制区内四周墙体、防护门、观察窗、传递窗外表面 30cm、顶板上方及周围人员辐射剂量率最大为 $1.77\mu\text{Sv}/\text{h}$ （患者通道北门外 30cm（工作通道））。**满足辐射环境剂量率控制水平**

要求：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、顶板上方及周围人员可居留处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h，其中控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ），周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h，控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ），周围剂量当量率应小于 10 μ Sv/h。

本项目核医学工作场所的屏蔽防护设计能够满足辐射防护要求。

此外，医院应加强用药患者的管理，用药患者应在对应的注射后候诊室内候诊、在对应的留观室内留观，禁止用药患者在注射后候诊室、留观室外随意走动。控制区内患者进、出口防护门均设置为单向门并安装门禁系统，患者走廊与监督区相连的非出入口防护门均设置门禁系统，使防护门始终处于常闭状态，保证患者单向流动，并防止其他人员误入。

二、PET/CT 中 CT 设备的辐射影响分析

本项目 PET/CT 在诊断过程中 CT 运行将产生 X 射线，CT 装置 X 射线球管的管电压最大为 140kV，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 可知，本项目 2 间 PET/CT 机房的屏蔽材料可折算成等效屏蔽铅当量，见表 11-22。

表 11-22 PET/CT 机房屏蔽防护及等效屏蔽一览表

机房名称	屏蔽体	屏蔽参数	等效屏蔽效果
PET/CT 机房 (2 间)	四周墙体	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥	约 4mm 铅当量
	顶棚	180mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥	约 3.5mm 铅当量
	患者防护门	8mmPb	8mm 铅当量
	医护防护门	10mmPb	10mm 铅当量
	观察窗	10mmPb	10mm 铅当量

注：对于四周墙体和顶棚屏蔽，采用密度换算，将实心砖、硫酸钡水泥换算为等效混凝土，根据 GBZ130-2020 中附录 C 表 C.4—C.7 并采用外推法得到等效屏蔽铅当量。

根据表 11-22 可知，本项目 2 间 PET/CT 机房各侧墙体、顶棚、防护门及观察窗的铅当量均不小于 3.5mm，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 CT 机房有用线束及非有用线束方向铅当量不小于 2.5mm 的要求。

三、PET/CT 机房的叠加辐射影响估算

本项目 PET/CT 机房在显像检查时，辐射源项既有 CT 产生的 X 射线，也有放射性核素 ^{18}F 衰变产生的 γ 射线。本项目 CT 设备属于 III 类射线装置，最大管电压为 140kV，远低于 ^{18}F 光子能量（0.511MeV），在同等屏蔽下，CT 的辐射影响远低于 ^{18}F 的影响，因此，PET/CT 机房在显像检查时的主要辐射源项来自于放射性核素 ^{18}F 衰变产生的 γ 射线。根据表 11-21 估算结果， ^{18}F 对 PET/CT 机房屏蔽体外 30cm 处造成的辐射剂量率最大为 $6.68\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，可推测放射性核素和 CT 对机房外的叠加影响能满足本项目控制水平要求（剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ）。

四、 ^{68}Ge 校验源的辐射影响分析

PET/CT 拟使用的 ^{68}Ge 校验源为 V 类源，暂存于储源室内，单枚源活度最大为 $9.25\times 10^7\text{Bq}$ ，小于单名 ^{18}F 患者最大使用活度（ $3.7\times 10^8\text{Bq}$ ），源自带铅屏蔽储源罐确保表面辐射剂量率不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，一般每周仅使用一次，安装在 PET/CT 上用于校正显像设备，仅使用时由专人拿出，用完立即放回， ^{68}Ge 校验源在使用过程中的辐射影响小于 ^{18}F 患者的辐射影响，经储源罐、储源室和 PET/CT 机房屏蔽后， ^{68}Ge 校验源对周围环境的辐射影响较小，室外剂量率能够满足不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

11.2.2.2.2 辐射工作人员和公众年有效剂量预测与分析

根据表 11-19、11-21 估算结果、表 9-6 工作时间和公式（13），可进一步估算得出核医学门诊诊断和治疗工作场所辐射工作人员及周围公众的年有效剂量，具体估算参数和估算结果见表 11-23。

表 11-23 核医学门诊诊断和治疗工作场所辐射工作人员和周围公众年有效剂量估算一览表

参考点位		参考点辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	受照时间 (h)	场所及居留因子	人员年有效剂量 (mSv)	保护 目标	
^{18}F 成品药物传递	^{18}F 成品药物铅罐外 30cm	1.61	12.5	核医学工作场所内, 1	2.01E-02	辐射工作人员	
钼铯发生器淋洗 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素	手套箱 1 正面外表面 30cm 处人员操作位	4.43E-01	16.7		7.40E-03		5.17E-02
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物标记			16.7		7.40E-03		
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物手动分装至注射器			83.3		3.69E-02		
^{18}F 药物手动分装至注射器	手套箱 2 正面外表面 30cm 处人员操作位	2.06	166.7		3.43E-01		
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物注射	注射窗 1 外表面 30cm 处人员操作位、运动/急救室内移动注射防护车注射窗外表面 30cm 处人员操作位	1.12E-08	41.7		4.67E-10		
^{89}Sr 药物注射	注射窗 1 外表面 30cm 处人员操作位	3.72E-02	10.4		3.87E-04		
^{18}F 药物注射	注射窗 2 外表面 30cm 处人员操作位	8.24E-01	83.3		6.86E-02		
PET/CT 设备操作	PET/CT 机房 1/机房 2 观察窗外 30cm	5.81E-01	1666.7		9.68E-01		
SPECT 设备操作	SPECT 机房观察窗外 30cm	1.69E-06	1666.7		2.82E-06		
特殊情况下摆位	PET/CT 机房 1/机房 2 内工作人员指导摆位处	1.03E+01	8.3		8.55E-02		
	SPECT 机房内工作人员指导摆位处	2.80E-03	8.3		2.32E-05		
分装注射室	1 西墙外 30cm	1.18E-02	166.7 (取最大)	诊室, 1	1.97E-03	公众	

	2	南门（与卫生通过区共用门）外 30cm	7.81E-03	分装时间	走道, 1/20	6.51E-05	辐射工作人员
	3	顶棚外 30cm	6.91E-04		MR 机房, 1/2	5.76E-05	公众
患者通道	4	入口门外 30cm	1.24	83.3（取最大注射时间）	患者入口走道, 1/20	5.16E-03	
	5	西墙外 30cm	7.80E-02		患者入口走道, 1/20	3.25E-04	
	6	北墙外 30cm（与直加排风通道东侧通道共用区域）	1.53E-01		通道（一般无人进入）, 1/20	6.37E-04	
	7	北门外 30cm（工作通道）	1.77		通道（一般无人进入）, 1/20	7.37E-03	
	8	顶棚外 30cm	1.78E-01		病人通道, 1/20	7.41E-04	
储源室	9	顶棚外 30cm	3.93E-03	125 （保守假设每天暂存 30min, 每年工作 250 天）	MR 机房, 1/2	2.46E-04	
运动/急救室	10	南墙外 30cm	1.10	5（ ¹⁸ F 的辐射影响远大于 ^{99m} Tc, 主要考虑 ¹⁸ F 患者急救时辐射影响, 保守假设急救的均为 ¹⁸ F 患者）	洁净通道, 1/20	2.75E-04	辐射工作人员
	11	顶棚外 30cm	7.11E-02		MR 机房及控制室, 1	3.56E-04	公众
	控制区内	西墙外 30cm	1.29		分装注射室, 1	6.45E-03	辐射工作人员
		西门外 30cm	1.60		分装注射室, 1	8.00E-03	
SPECT 注射后候诊室	12	东墙外 30cm	1.62E-02	666.7	仪器间、缓冲区, 1/20	5.40E-04	
	13	南墙外 30cm	5.00E-02		洁净通道, 1/20	1.67E-03	

	14	顶棚外 30cm	2.16E-02		MR 机房, 1/2	7.20E-03	公众
4 间 PET/CT 注射后候诊室	15	室 1 西墙外 30cm	1.18	666.7	通道 (一般无人进入), 1/20	3.93E-02	
	16	室 1/室 3 北墙外 30cm	3.06E-01		污水提升间、强电、储物间, 1/20	1.02E-02	
	17	室 2/室 4 北墙外 30cm	1.04E-01		储物间、SPECT 控制室, 1	6.93E-02	辐射工作人员、公众
	18	室 1/室 3 顶棚外 30cm	1.59E-01		治疗室、MR 机房等, 1/2	5.30E-02	公众
	19	室 2/室 4 顶棚外 30cm	1.20E-01		MR 机房、CT 机房等, 1/2	4.00E-02	
	20	室 2 和室 3 北墙外 30cm 处的叠加影响	4.10E-01		强电、储物间, 1/20	1.37E-02	公众
	21	室 2 和室 3 顶棚外 30cm 处的叠加影响	2.79E-01		MR 机房, 1/2	9.30E-02	
2 间 PET/CT 机房	22	北墙外 30cm	4.82E-02	1666.7	设备间、控制室, 1	8.03E-02	辐射工作人员
	23	医护防护门外 30cm	4.47E-01		控制室, 1/8	9.31E-02	
	24	顶棚外 30cm	5.06E-02		CT 机房、医办、阅片室等, 1	8.43E-02	公众
	控制区内	机房 1 东墙/西墙外 30cm	6.99E-02		PET/CT 机房 2、SPECT 机房, 保守取 1/8 (正常工作过程中, 医护人员不进入机房)	1.46E-02	辐射工作人员
		机房 2 西墙外 30cm	6.99E-02		PET/CT 机房 1, 1/8	1.46E-02	
SPECT 机房	25	北墙外 30cm	3.80E-03	1666.7	设备间、控制室, 1	6.33E-03	
	26	医护防护门外 30cm	1.28E-06		控制室, 1/8	2.67E-07	

	27	顶棚外 30cm	4.33E-03		CT 机房、控制廊等, 1	7.22E-03	公众
	控制区内	东墙外 30cm	8.18E-03		PET/CT 机房 1, 1/8	1.70E-03	辐射工作人员
PET/CT 留观室	28	北墙外 30cm	1.55	1250	库房, 1/20	9.69E-02	公众
	29	顶棚外 30cm	6.48E-02		办公室, 1	8.10E-02	
	控制区内	西墙外 30cm	1.69		PET/CT 机房 2, 1/8	2.64E-01	辐射工作人员
SPECT 留观室	30	东墙外 30cm	2.23E-01	833.3	污洗间、走道 (一般无人进入), 1/20	9.29E-03	
	31	南墙外 30cm	6.03E-01		设备间, 1/20	2.51E-02	
	32	顶棚外 30cm	5.62E-02		办公室、男更、女更等, 1	4.68E-02	公众
	控制区内	西墙外 30cm	2.07E-03		回旋加速器机房 (核医学科开展门诊时回旋加速器不生产), 1/20	8.62E-05	辐射工作人员

根据表 11-23 估算结果可知, 本项目核医学门诊诊断和治疗场所周围公众年有效剂量最大为 **9.69E-02mSv** (PET/CT 留观室北墙外库房), 辐射工作人员年有效剂量最大为 **9.68E-01mSv** (PET/CT 设备操作人员), 均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 中对职业人员受照剂量限值要求以及本项目管理目标剂量约束值要求: 职业人员年有效剂量不超过 5mSv、公众年有效剂量不超过 0.1mSv。即使考虑辐射工作人员从事多项工作以及在部分点位的叠加累积剂量, 也能满足年有效剂量不超过 5mSv 的剂量约束值要求。

11.2.2.3 β 表面沾污辐射影响分析

β 表面沾污的影响主要来源于液体放射性核素操作时打翻、漏洒造成地面、台面、设备仪器表面污染，对周围环境产生辐射影响。因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的 β 表面污染水平达到 GB 18871-2002 规定的要求，医院拟采取以下防护措施：

- ①使用、操作放射性物质的工作人员接受相关培训，具备相应的技能与防护知识；
- ②开瓶、分装等易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作在热室或手套箱内进行；
- ③操作液体放射性物质在易去除污染的工作台上进行，并铺以吸水性好的材料；
- ④不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；
- ⑤划定控制区和监督区，禁止无关人员进入；
- ⑥放射性操作之后对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检测，如 β 表面污染水平超过 GB 18871-2002 规定值，暂停开展相关业务，去污经监测符合标准后方可重新开展工作。

11.2.3 介入中心 DSA

11.2.3.1 机房屏蔽符合性分析

(1) 评价标准

根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)表 3 规定，C 型臂 X 射线设备机房有用线束方向、非有用线束方向屏蔽体的铅当量均不小于 2.0mmPb。

(2) 机房各屏蔽部位的铅当量厚度核算

本项目拟配备的 2 台 DSA 机型号未定，最大管电压均为 125kV，保守按最大管电压 125kV 的极端条件核算相应机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度，机房各侧屏蔽体均保守按有用线束投射方向核算铅当量。

本项目 2 间机房屏蔽设计一致，四周墙体、顶棚和底板均为复合屏蔽，内层均为 2mmPb 硫酸钡防护涂料，四周墙体外层为 24cm 实心砖，顶棚和底板外层均为 12cm 混凝土。根据 GBZ 130-2020 中 C.2.1，对于给定两种屏蔽物质的厚度，计算铅当量：查表得到内层屏蔽物质的相当于外部屏蔽物质的当量厚度，加上外部屏蔽物质厚度，得到总的外部屏蔽物质的总当量厚度，查表 C.2~表 C.7 得到铅当量。

根据 GBZ 130-2020 附录 C 表 C.5，在管电压 125kV 下，2mmPb 相当于 217mm 实心砖或 158mm 混凝土，加上外层屏蔽物质后，四周墙体总的实心砖的总当量厚度为 457mm，顶棚和底板总的混凝土的总当量厚度为 278mm。457mm 实心砖和 278mm 混凝土

的铅当量在表 C.2~表 C.7 中无法查取，因此采取理论估算的方法。

按照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 b)给出的计算公式进行计算：

$$X = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln \left(\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right) \dots\dots\dots (17)$$

式中：

X——不同屏蔽物质的铅当量厚度；

α 、 β 、 γ ——相应屏蔽物质对相应管电压 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；给定铅厚度的屏蔽透射因子 B 值对照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 a) 相应要求采用给出的计算公式进行计算：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \dots\dots\dots (18)$$

式中：

B——给定铅厚度的屏蔽透射因子；

α 、 β 、 γ ——铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

X——铅厚度。

由 GBZ 130-2020 中表 C.2 查取 125kV（主束）管电压工况下 X 射线（主束）辐射衰减的有关的拟合参数，列于表 11-24：

表 11-24 125kV（主束）管电压工况下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	屏蔽材料	α	β	γ
125kV（主束）	铅	2.219	7.923	0.5386
	混凝土	0.03502	0.07113	0.6974

根据公式（17）、公式（18）可计算得出，2 间 DSA 机房四周墙体、顶棚和底板的等效铅当量厚度、屏蔽透射因子 B，计算结果列于表 11-25。

表 11-25 本项目 2 间 DSA 机房四周墙体、顶棚和底板总屏蔽铅当量厚度计算结果

屏蔽体		等效屏蔽	屏蔽透射因子 B	铅当量厚度 (mm)
四周墙体	24cm 实心砖+2mmPb 硫酸钡 防护涂料	457mm 实心砖	8.23E-07	5.0
顶棚和底板	12cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡 防护涂料	278mm 混凝土	1.21E-05	3.8

（3）DSA 机房的屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性

根据前述等效铅当量厚度核算情况，可对本项目 2 间 DSA 机房屏蔽体等效铅当量进

行汇总，结果见表 11-26。

表 11-26 本项目 2 间 DSA 机房屏蔽符合性分析

屏蔽体		防护参数	等效屏蔽 (mmPb)	标准要求 (mmPb)	符合性
DSA 机房 1、 DSA 机房 2	四周墙体	24cm 实心砖+2mmPb 硫酸钡 防护涂料	5.0	2.0	符合
	顶棚和底板	12cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡 防护涂料	3.8		符合
	防护门	3mm 铅当量	3		符合
	观察窗	3mm 铅当量	3		符合

根据表 11-26 可知，本项目 2 间 DSA 机房的屏蔽防护措施能够满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中 C 型臂 X 射线设备机房有用线束方向、非有用线束方向屏蔽防护铅当量厚度不小于 2.0mm 铅当量的要求。

11.2.3.2 运行阶段辐射影响分析

根据污染源项描述章节，本项目 2 间 DSA 机房各侧屏蔽体主要考虑泄漏辐射和散射辐射的影响。本项目保守按 DSA 机以最大管电压运行进行理论估算。

根据医院规划，DSA 机正常使用时靶点至机房外关注点的最近距离见表 11-27。

表 11-27 DSA 机靶点至机房外关注点的距离

屏蔽体	靶点至机房外关注点的最近距离 (m)	
	DSA 机房 1	DSA 机房 2
东墙	4.3	4.4
南墙	3.5	3.5
西墙	4.3	4.4
北墙	5.6	5.6
观察窗	4.4	4.5
医护通道防护门	4.4	4.5
污物通道防护门	4.1	4.0
设备间防护门	3.9	4.0
患者通道防护门	5.6	5.7
底板	3.1	3.1
顶棚	4.8	4.8

注：①关注点取四周墙体、防护门、观察窗、顶板外 30cm，底板下方（楼下）距楼下地面 170cm；

②DSA 机房所在区域层高为 4.8m，DSA 机房下方区域层高为 4.5m，靶点离 DSA 机房室内地面上方 0.3m。

(1) 泄漏辐射预测

① 泄漏辐射空气比释动能率计算公式

泄漏辐射剂量率 \dot{H}_L 采用下式计算：

$$\dot{H}_L = \frac{H_1 \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots (19)$$

式中： H_1 ——距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，mGy/h，根据表 9 污染源项章节，本项目取 1.0mGy/h；

R—靶点至关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子，无量纲，计算公式见式（18）。

根据 GBZ 130-2020 表 C.2，铅对 125kV 管电压（主束）辐射衰减的 α 、 β 、 γ 取值分别为 2.219、7.923、0.5386。

② 泄漏辐射空气比释动能率计算结果

将有关参数代入公式（18）、（19），计算 2 间 DSA 机房四周屏蔽体、顶棚、底板外关注点的泄漏辐射空气比释动能率，计算结果见表 11-28。

表 11-28-1 DSA 机房 1 外关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算结果

关注点位置	H_1 (mGy/h)	等效铅当量 (mmPb)	R (m)	α	β	γ	B 估算 结果	\dot{H} 估算结果 (μ Gy/h)
东墙外 30cm	1	5	4.3	2.219	7.923	0.5386	9.07E-07	4.91E-05
南墙外 30cm	1	5	3.5				9.07E-07	7.41E-05
西墙外 30cm	1	5	4.3				9.07E-07	4.91E-05
北墙外 30cm	1	5	5.6				9.07E-07	2.89E-05
观察窗外 30cm	1	3	4.4				7.97E-05	4.11E-03
医护通道防 护门	1	3	4.4				7.97E-05	4.11E-03
污物通道防 护门	1	3	4.1				7.97E-05	4.74E-03
设备间防护 门	1	3	3.9				7.97E-05	5.24E-03
患者通道防 护门	1	3	5.6				7.97E-05	2.54E-03
底板下方	1	3.8	3.1				1.32E-05	1.37E-03
顶棚外 30cm	1	3.8	4.8				1.32E-05	5.71E-04

表 11-28-2 DSA 机房 2 外关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算结果

关注点位置	H_i (mGy/h)	等效铅当量 (mmPb)	R (m)	α	β	γ	B 估算 结果	\dot{H} 估算结果 (μ Gy/h)
东墙外 30cm	1	5	4.4	2.219	7.923	0.5386	9.07E-07	4.69E-05
南墙外 30cm	1	5	3.5				9.07E-07	7.41E-05
西墙外 30cm	1	5	4.4				9.07E-07	4.69E-05
北墙外 30cm	1	5	5.6				9.07E-07	2.89E-05
观察窗外 30cm	1	3	4.5				7.97E-05	3.93E-03
医护通道防 护门	1	3	4.5				7.97E-05	3.93E-03
污物通道防 护门	1	3	4.0				7.97E-05	4.98E-03
设备间防护 门	1	3	4.0				7.97E-05	4.98E-03
患者通道防 护门	1	3	5.7				7.97E-05	2.45E-03
底板下方	1	3.8	3.1				1.32E-05	1.37E-03
顶棚外 30cm	1	3.8	4.8				1.32E-05	5.71E-04

(2) 散射辐射预测

① 散射辐射空气比释动能率计算公式

由《辐射防护手册》(第一分册)给出的 X 射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式(公式 10.10)进行推导,得到散射线在关注点处的比释动能率 H_s 的计算公式(推导中,将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1):

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s / 400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot d_s^2} \dots\dots\dots (20)$$

式中: H_0 —距靶点 1m 处的最大剂量率, $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$;

I —管电流, mA; 根据表 9 污染源项章节, 本项目透视工况下, $H_0 \cdot I$ 取 $25.66 \text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$, 拍片工况下, $H_0 \cdot I$ 取 $1283 \text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$;

a —人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值, 查《辐射防护手册》(第一分册)表 10.1, 125kV 对应散射角为 90° 的 a 查取值为 0.0015;

S ——主束在患者体上的散射面积, 考虑手术需要的最大照射面积, 本项目取 100cm^2 ;

d_0 ——源至受照点的距离, 本项目取 0.38m;

d_s ——受照体至关注点的距离, m;

B_s ——屏蔽材料对散射线的透射因子, 无量纲, 计算公式见式(18)。

根据 GBZ 130-2020 表 C.2, 铅对 125kV 管电压 (散射) 辐射衰减的 α 、 β 、 γ 取值分别为 2.233、7.888、0.7295。

②关注点处散射辐射空气比释动能率计算结果

将有关参数代入公式 (18)、(20), 计算 2 间 DSA 机房四周屏蔽体、顶棚、底板外关注点处的散射辐射空气比释动能率, 计算结果见表 11-29。

表 11-29-1 DSA 机房 1 外关注点处散射辐射空气比释动能率计算结果

关注点位置	操作模式	$H_0 \cdot I$ ($mGy \cdot m^2 \cdot min^{-1}$)	a	S (cm^2)	Bs	d_0 (m)	d_s (m)	Hs ($\mu Gy/h$)
东墙外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	1.78E-06	0.38	4.3	3.86E-04
	拍片	1283						1.93E-02
南墙外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	1.78E-06	0.38	3.5	5.82E-04
	拍片	1283						2.91E-02
西墙外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	1.78E-06	0.38	4.3	3.86E-04
	拍片	1283						1.93E-02
北墙外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	1.78E-06	0.38	5.6	2.28E-04
	拍片	1283						1.14E-02
观察窗外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	1.56E-04	0.38	4.4	3.23E-02
	拍片	1283						1.62
医护通道防护门外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	1.56E-04	0.38	4.4	3.23E-02
	拍片	1283						1.62
污物通道防护门外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	1.56E-04	0.38	4.1	3.72E-02
	拍片	1283						1.86
设备间防护门外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	1.56E-04	0.38	3.9	4.11E-02
	拍片	1283						2.06
患者通道防护门外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	1.56E-04	0.38	5.6	2.00E-02
	拍片	1283						9.98E-01
底板下方	透视	25.66	0.0015	100	2.61E-05	0.38	3.48	8.61E-03
	拍片	1283						4.30E-01
顶棚外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	2.61E-05	0.38	4.42	5.33E-03
	拍片	1283						2.67E-01

表 11-29-2 DSA 机房 2 外关注点处散射辐射空气比释动能率计算结果

关注点位置	操作模式	$H_0 \cdot I$ ($mGy \cdot m^2 \cdot min^{-1}$)	a	S (cm^2)	B_s	d_0 (m)	d_s (m)	H_s ($\mu Gy/h$)
东墙外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	1.78E-06	0.38	4.4	3.69E-04
	拍片	1283						1.84E-02
南墙外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	1.78E-06	0.38	3.5	5.82E-04
	拍片	1283						2.91E-02
西墙外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	1.78E-06	0.38	4.4	3.69E-04
	拍片	1283						1.84E-02
北墙外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	1.78E-06	0.38	5.6	2.28E-04
	拍片	1283						1.14E-02
观察窗外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	1.56E-04	0.38	4.5	3.09E-02
	拍片	1283						1.54
医护通道防 护门外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	1.56E-04	0.38	4.5	3.09E-02
	拍片	1283						1.54
污物通道防 护门外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	1.56E-04	0.38	4	3.91E-02
	拍片	1283						1.96
设备间防护 门外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	1.56E-04	0.38	4	3.91E-02
	拍片	1283						1.96
患者通道防 护门外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	1.56E-04	0.38	5.7	1.93E-02
	拍片	1283						9.63E-01
底板下方	透视	25.66	0.0015	100	2.61E-05	0.38	3.48	8.61E-03
	拍片	1283						4.30E-01
顶棚外 30cm	透视	25.66	0.0015	100	2.61E-05	0.38	4.42	5.33E-03
	拍片	1283						2.67E-01

(3) 泄漏辐射和散射辐射的叠加剂量

根据表 11-28 和 11-29 估算结果可得出，2 间 DSA 机房四周屏蔽体、顶棚、底板外关注点处的泄漏辐射和散射辐射的叠加空气比释动能率，计算结果见表 11-30。

表 11-30-1 DSA 机房 1 外关注点处泄漏辐射和散射辐射的叠加空气比释动能率计算结果

关注点位置	操作模式	泄漏辐射 估算结果 ($\mu Gy/h$)	散射辐射 估算结果 ($\mu Gy/h$)	叠加辐射估算结果 ($\mu Sv/h$)
东墙外 30cm	透视	4.91E-05	3.86E-04	4.35E-04
	拍片		1.93E-02	1.93E-02
南墙外 30cm	透视	7.41E-05	5.82E-04	6.56E-04

	拍片		2.91E-02	2.92E-02
西墙外 30cm	透视	4.91E-05	3.86E-04	4.35E-04
	拍片		1.93E-02	1.93E-02
北墙外 30cm	透视	2.89E-05	2.28E-04	2.57E-04
	拍片		1.14E-02	1.14E-02
观察窗外 30cm	透视	4.11E-03	3.23E-02	3.64E-02
	拍片		1.62	1.62
医护通道防护门外 30cm	透视	4.11E-03	3.23E-02	3.64E-02
	拍片		1.62	1.62
污物通道防护门外 30cm	透视	4.74E-03	3.72E-02	4.19E-02
	拍片		1.86	1.86
设备间防护门外 30cm	透视	5.24E-03	4.11E-02	4.63E-02
	拍片		2.06	2.07
患者通道防护门外 30cm	透视	2.54E-03	2.00E-02	2.25E-02
	拍片		9.98E-01	1.00
底板下方	透视	1.37E-03	8.61E-03	9.98E-03
	拍片		4.30E-01	4.31E-01
顶棚外 30cm	透视	5.71E-04	5.33E-03	5.90E-03
	拍片		2.67E-01	2.68E-01

注：简化估算 1Gy 近似为 1Sv。

表 11-30-2 DSA 机房 2 外关注点处泄漏辐射和散射辐射的叠加空气比释动能率计算结果

关注点位置	操作模式	泄漏辐射估算结果 ($\mu\text{Gy/h}$)	散射辐射估算结果 ($\mu\text{Gy/h}$)	叠加辐射估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
东墙外 30cm	透视	4.69E-05	3.69E-04	4.16E-04
	拍片		1.84E-02	1.84E-02
南墙外 30cm	透视	7.41E-05	5.82E-04	6.56E-04
	拍片		2.91E-02	2.92E-02
西墙外 30cm	透视	4.69E-05	3.69E-04	4.16E-04
	拍片		1.84E-02	1.84E-02
北墙外 30cm	透视	2.89E-05	2.28E-04	2.57E-04
	拍片		1.14E-02	1.14E-02
观察窗外 30cm	透视	3.93E-03	3.09E-02	3.48E-02
	拍片		1.54	1.54
医护通道防护门	透视	3.93E-03	3.09E-02	3.48E-02

外 30cm	拍片		1.54	1.54
污物通道防护门外 外 30cm	透视	4.98E-03	3.91E-02	4.41E-02
	拍片		1.96	1.96
设备间防护门外 30cm	透视	4.98E-03	3.91E-02	4.41E-02
	拍片		1.96	1.96
患者通道防护门外 外 30cm	透视	2.45E-03	1.93E-02	2.18E-02
	拍片		9.63E-01	9.65E-01
底板下方	透视	1.37E-03	8.61E-03	9.98E-03
	拍片		4.30E-01	4.31E-01
顶棚外 30cm	透视	5.71E-04	5.33E-03	5.90E-03
	拍片		2.67E-01	2.68E-01

注：简化估算 1Gy 近似为 1Sv。

(4) 小结

根据表 11-30 估算结果可知，本项目 2 台 DSA 机在透视模式下，DSA 机房 1 外辐射剂量率最大为 **4.63E-02 μ Sv/h**，DSA 机房 2 外辐射剂量率最大为 **4.41E-02 μ Sv/h**，在拍片模式下，DSA 机房 1 外辐射剂量率最大为 **2.07 μ Sv/h**，DSA 机房 2 外辐射剂量率最大为 **1.96 μ Sv/h**，能够满足本项目辐射剂量率管理限值要求，即机房屏蔽体外表面 30cm 处及周围人员可居留处的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h。

(5) 2 间 DSA 机房叠加影响分析

本项目介入中心 2 间 DSA 机房东西向并排布置，中间间隔控制室，2 台 DSA 机同时运行时，可能会对 2 间机房之间的控制室造成叠加影响。

根据表 11-30 可知，DSA 机房 1 东侧屏蔽体外 30cm 处辐射剂量率最大为 3.64E-02 μ Sv/h（透视模式）、1.62 μ Sv/h（拍片模式），此时靶点距离关注点 4.4m，DSA 机房 2 西侧屏蔽体外 30cm 处辐射剂量率最大为 3.48E-02 μ Sv/h（透视模式）、1.54 μ Sv/h（拍片模式），此时靶点距离关注点 4.5m。

DSA 机房 1 内设备靶点距离 DSA 机房 2 西侧屏蔽体外 30cm 处关注点最近距离为约 8.5m，DSA 机房 2 内设备靶点距离 DSA 机房 1 东侧屏蔽体外 30cm 处关注点最近距离为约 8.6m，根据辐射剂量率与距离平方成反比可估算得出，DSA 机房 1 对机房 2 西侧屏蔽体外 30cm 处关注点造成的辐射剂量率最大为 9.75E-03 μ Sv/h（透视模式）、0.43 μ Sv/h（拍片模式），DSA 机房 2 对机房 1 东侧屏蔽体外 30cm 处关注点造成的辐射剂量率最大为 9.53E-03 μ Sv/h（透视模式）、0.42 μ Sv/h（拍片模式）。叠加 2 台 DSA 机同时运行时的辐射

影响后可估算得出，DSA 机房 1 东侧屏蔽体外 30cm 处辐射剂量率最大为 $4.59E-02\mu\text{Sv/h}$ （透视模式）、 $2.04\mu\text{Sv/h}$ （拍片模式），DSA 机房 2 西侧屏蔽体外 30cm 处辐射剂量率最大为 $4.46E-02\mu\text{Sv/h}$ （透视模式）、 $1.97\mu\text{Sv/h}$ （拍片模式），能够满足本项目辐射剂量率管理限值要求，即机房屏蔽体外表面 30cm 处及周围人员可居留处的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

11.2.3.3 保护目标剂量评价

(1) 辐射工作人员年有效剂量评价

①介入工作人员年有效剂量评价

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）的要求，每名介入工作人员需佩戴 2 枚个人剂量计，1 枚佩戴在铅围裙外锁骨对应的领口处，1 枚佩戴在铅围裙内躯干上。医院应为介入手术人员配备 2 枚个人剂量计，1 枚佩戴在铅围裙外领口处，1 枚佩戴在铅围裙内躯干上。

本项目 DSA 机介入手术人员主要考虑在机房内进行介入手术时的受照剂量，其年有效剂量可根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）中公式进行估算，估算方法如下：

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \quad \dots\dots\dots (21)$$

式中：E—有效剂量中的外照射分量，单位为 mSv；

α —系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79；

H_u —铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为 mSv；

β —系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051；

H_o —铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为 mSv。

$$H_u = \dot{H}_u \cdot T \cdot \eta \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中： \dot{H}_u —铅围裙外腰部附近的辐射水平，本项目 \dot{H}_u 保守取 $400\mu\text{Sv/h}$ （参考《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）附录 B）；

T—每名介入手术医生年透视受照时间，根据单位提供资料，项目运行后，预计每名介入手术医生年最大手术台数为 300 台，平均每台手术透视时间约为 20min，则每名介入手术医生年透视受照时间为约 100h；

η —透射比，即屏蔽透射因子 B，根据公式（18）计算得出，根据 GBZ130-2020，对于铅围裙的铅当量取 0.5mmPb ，铅对 125kV 管电压（主束）辐射衰减的 α 、 β 、 γ

取值分别为 2.219、7.923、0.5386，可估算得出 η 为 5.57×10^{-2} 。

$$H_o = \dot{H}_o \cdot T \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中：T 意义同前；

\dot{H}_o —铅围裙外锁骨对应的衣领附近的辐射水平，取值同 \dot{H}_u 。

将相关参数分别代入公式 (22)、(23) 可得， $H_u=2.23\text{mSv}$ 、 $H_o=40\text{mSv}$ ，再代入公式 (21) 可得，本项目 DSA 机介入手术工作人员年有效剂量 $E=3.8\text{mSv}$ 。

②控制室内辐射工作人员年有效剂量评价

根据控制室内叠加剂量率估算结果和公式 (13)，可估算得出 DSA 控制室内辐射工作人员的年有效剂量，见表 11-31。

表 11-31 DSA 控制室内辐射工作人员的年有效剂量估算一览表

机房	居留场所	操作模式	T (h)	居留因子	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量 E (mSv/a)	
DSA 机房 1	DSA 控制室内	透视	200	1	4.59E-02	9.18E-03	5.00E-02
		拍片	20	1	2.04	4.08E-02	
DSA 机房 2	DSA 控制室内	透视	200	1	4.46E-02	8.92E-03	4.83E-02
		拍片	20	1	1.97	3.94E-02	

根据理论估算结果可知，本项目介入工作人员年有效剂量最大为 **3.8mSv**，控制室内工作人员年有效剂量最大为 **5.00E-02mSv**，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 中对职业人员受照剂量限值要求以及本项目的剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

但在实际手术时，因不同的手术，其曝光或透视的管电压管电流不同，投照方位根据需要而变化，且投照出束时间不同，难以准确估算介入手术工作人员受到的准确照射剂量，主要依靠其佩戴的个人剂量计进行跟踪性监测。因此，医院应加强对介入手术工作人员的个人剂量监测管理，当个人累积剂量将超过年有效剂量 5mSv 时，应及时告知本人，并减少其辐射工作量或为其调整工作岗位，确保其年累积剂量不超过剂量约束值。

(2) 周围公众年有效剂量评价

将相关参数带入公式 (13)，可估算出本项目 2 间 DSA 机房周围公众的年有效剂量，计算结果见表 11-32。

表 11-32 DSA 机房周围公众的年有效剂量估算一览表

关注点位置	居留场所	操作模式	T (h)	居留因子	辐射剂量率 (μSv/h)	年有效剂量 E (mSv/a)	
机房 2 北墙外 30cm	病人通道、库房	透视	200	1/16	2.57E-04	3.21E-06	1.75E-05
		拍片	20		1.14E-02	1.43E-05	
机房 2 患者通道防护门外 30cm	病人通道	透视	200	1/16	2.18E-02	2.73E-04	1.48E-03
		拍片	20		9.65E-01	1.21E-03	
机房 2 东墙外 30cm	工作通道	透视	200	1/16	2.18E-02	2.73E-04	1.48E-03
		拍片	20		9.65E-01	1.21E-03	
机房 2 南墙外 30cm	污洗打包间、设备间	透视	200	1/16	6.56E-04	8.20E-06	4.47E-05
		拍片	20		2.92E-02	3.65E-05	
机房 2 污物通道防护门外 30cm	污洗打包间	透视	200	1/16	4.41E-02	5.51E-04	3.00E-03
		拍片	20		1.96	2.45E-03	
机房 2 设备间防护门外 30cm	设备间	透视	200	1/16	4.41E-02	5.51E-04	3.00E-03
		拍片	20		1.96	2.45E-03	
机房 2 顶棚外 30cm	设备平台	透视	200	1/16	5.90E-03	7.38E-05	4.09E-04
		拍片	20		2.68E-01	3.35E-04	
机房 2 底板下方	内镜中心备选纤支镜检查室、病人通道等	透视	200	1/2	9.98E-03	3.99E-04	2.12E-03
		拍片	20		4.31E-01	1.72E-03	
机房 1 南墙外 30cm	污物通道、设备间、铅衣清洗间	透视	200	1/16	6.56E-04	8.20E-06	4.47E-05
		拍片	20		2.92E-02	3.65E-05	
机房 1 污物通道防护门外 30cm	污物通道	透视	200	1/16	4.19E-02	5.24E-04	2.85E-03
		拍片	20		1.86	2.33E-03	
机房 1 设备间防护门外 30cm	设备间	透视	200	1/16	4.63E-02	5.79E-04	3.17E-03
		拍片	20		2.07	2.59E-03	
机房 1 西墙外 30cm	缓冲、男更衣、女更衣	透视	200	1/16	4.35E-04	5.44E-06	2.96E-05
		拍片	20		1.93E-02	2.41E-05	
机房 1 北墙外	病人通道	透视	200	1/16	2.57E-04	3.21E-06	1.75E-05

30cm		拍片	20		1.14E-02	1.43E-05	
机房 1 患者通道防护门外 30cm	病人通道	透视	200	1/16	2.25E-02	2.81E-04	1.53E-03
		拍片	20		1.00	1.25E-03	
机房 1 顶棚外 30cm	不上人屋面、设备平台	透视	200	1/16	5.90E-03	7.38E-05	4.09E-04
		拍片	20		2.68E-01	3.35E-04	
机房 1 底板下方	内镜中心值班室、主任办、护长办等	透视	200	1	9.98E-03	2.00E-03	1.06E-02
		拍片	20		4.31E-01	8.62E-03	

根据表 11-23 可知，本项目 DSA 机房周围公众年有效剂量最大为 **1.06E-02mSv**，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）对公众受照剂量限值要求以及本项目的剂量约束值要求：公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

11.2.4 三废治理措施评价

11.2.4.1 放射性三废治理措施评价

本项目后装机、核医学运行过程中会产生放射性三废，其余设备运行过程中不产生放射性三废。

一、后装机

¹⁹²Ir 后装机使用 1 枚 ¹⁹²Ir 放射源，放射源随设备存放。当使用到一定期限后，放射源活度不能满足治疗要求时必须更换放射源，从而产生退役废源。

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》等法律法规的规定，业主不得私自保管、转让退役后的放射源，而应及时返回原供源单位，泉州宝璋肿瘤医院有限公司已承诺后装机内 ¹⁹²Ir 放射源达到使用年限退役后，废源将由原生产厂家回收处置，按此落实将符合相关法律法规的要求。

更换放射源时，泉州宝璋肿瘤医院有限公司应按有关要求在环境保护主管部门的监督下进行，并请有资质的单位和专业人员操作，不得擅自进行换源。

二、核医学

1、放射性废水收集、贮存及处理措施评价

本项目核医学工作场所控制区和卫生通过区内产生的放射性废水均通过专用管道收集至放射性废水衰变系统。

医院拟在医疗综合楼东侧（靠近核医学科处）新建一个地下式放射性废水衰变室（具体位置见附图 2），衰变室上方为院内绿化，平时无人员在此逗留，衰变室西侧为机房

区，东侧为衰变区，衰变区拟设置 1 个降解池和 3 个衰变池，降解池的有效容积为 9m^3 ，单个衰变池的有效容积均为 15m^3 ；衰变室四周墙体、顶板、底板均为混凝土结构，并采取防水措施，机房区顶部拟设置两个检修口，单个降解池和衰变池顶部均拟设置一个检修口，检修口高出地面 30cm ，且设有盖板，正常情况下雨水不会流至衰变室内。放射性废水衰变室的结构示意图见图 10-6，衰变室设计满足坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施的要求。

本项目核医学科运行过程中产生的放射性废水内含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，核素半衰期小于 24 小时，废水将由专用管道（埋地暗管）排至附近的污水提升间，经潜污泵加压由专用管道（敷设在地下一层梁底天花内）排至放射性废水衰变系统，暂存时间超过 30 天后直接解控排放至院内污水处理站，处理达标后通过市政污水管网进入城东污水处理厂处理。核医学工作场所放射性废水收集管道平面布置示意图见图 10-5。由图可知，放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接，均为现有条件下的最优最短设计，通过高度差、动力泵输送减少放射性废水死区，避免放射性废液的集聚。放射性废水衰变系统厂家将在所有放射性废水管道上做标记，便于后续的维修检修工作。上述设计满足 HJ 1188-2021 对于放射性废水收集管道的要求。

衰变系统采用间歇式进出水方式，具体工作流程为：放射性废水首先由专用管道排至降解池，当池内高位液位计报警时，再经搅碎式污水提升泵排至衰变池。3 个衰变池轮流使用，首先电子控制系统自动打开 1#衰变池的进水阀，废水排至 1#衰变池，当 1#衰变池高位液位计报警时，电子控制系统将自动关闭 1#衰变池的进水阀，同时打开 2#衰变池的进水阀，废水排至 2#衰变池，当 2#衰变池高位液位计报警时，电子控制系统将自动关闭 2#衰变池的进水阀，同时打开 3#衰变池的进水阀，废水排至 3#衰变池，当 3#衰变池高位液位计报警时，电子控制系统将自动关闭 3#衰变池的进水阀，同时打开 1#衰变池的排水阀，1#衰变池内废水通过搅碎式污水提升泵排放至院内污水井，废水排放后将自动打开 1#衰变池的进水阀，废水排至 1#衰变池，3 个衰变池如此轮流使用。

本项目采取搅碎式污水提升泵，同时降解池具有生物降解功能，降解带处理液体内不溶于水的物质，使之在生物降解的作用下降解为可以流通的流体物质，同时可自动搅碎杂质，杜绝管路堵塞，解决降解槽清淤问题，避免固形物沉积。

本项目放射性废水收集、贮存设施及排放方式能够满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求。

（1）衰变系统容积符合性分析评价

本项目放射性废水衰变系统包括 1 个降解池和 3 个衰变池，放射性废水首先由专用管道排至降解池，后由降解池排入衰变池，3 个衰变池间歇式轮流使用，降解池的有效容积为 9m^3 ，单个衰变池的有效容积均为 15m^3 。根据表 9-13，核医学科运行过程中放射性废水最大日产生量为 0.681m^3 ，每周工作 5 天，则单个衰变池至少可接纳 22 个工作日产生的放射性废水，放射性废水可在衰变系统中暂存衰变至少 44 个工作日，衰变系统容积满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中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 天的要求。

（2）放射性废水管道屏蔽分析评价

本项目放射性废水管道均采用不锈钢管，核医学工作场所与污水提升间之间的管道采取埋地暗管， ^{18}F 注射后候诊室废水管道上方覆盖 10mmPb 的防护层，其余场所废水管道上方覆盖 6mmPb 的防护层，并使用 100mm 厚混凝土浇筑回填；污水提升间与衰变系统之间的管道敷设在地下一层梁底天花内，距地下一层地面高度约 4m ，管道外包 4mmPb 防护层。

本项目主要考虑注射后候诊室和留观室内产生的放射性废水排放对管道外的辐射影响，其余场所废水产生量和源强均较注射后候诊室和留观室小。根据相关文献药代动力学和实测结果，保守假设单名患者服药量 10% 的药物单次一次性排出体外，则对于放射性核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，单间注射后候诊室和留观室单次排放的放射性废水活度分别为 37MBq 、 925MBq 。注射后候诊室和留观室内使用节水型马桶（ $3.5/5\text{L}$ ），保守按每次冲厕所放射性废水 3.5L ， ^{18}F 注射后候诊室废水埋地管道直径为 100mm ， ^{18}F 留观室、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射后候诊室和留观室废水埋地管道直径为 75mm ，设计充满度为 0.6，对于 ^{18}F 注射后候诊室（4 间），一般最多 2 名患者产生的放射性废水同时排入管道，即废水排放量为 7L ，则汇集在管道内的放射性废水长度可达 1.48m ；对于 ^{18}F 留观室、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射后候诊室和留观室（各 1 间），分别考虑 1 名患者产生的放射性废水排入管道，即废水排放量为 3.5L ，则汇集在管道内的放射性废水长度可达 0.93m ；提升间与衰变系统之间的管道直径为不大于 80mm ，设计充满度为 1，考虑 2 名患者产生的放射性废水同时排入管道，则汇集在管道内的放射性废水长度可达 1.39m 。

本项目放射性废水管道与周边关注点间距较近，不满足《辐射防护导论》中“当考察点与源的距离与辐射源本身的最大尺寸大 5 倍以上时，可将该辐射源视为点源”的条件，因此本项目放射性废水在管道内的分布以线源考虑对周边关注人员的辐射影响。这里采用《辐射防护导论》P79 的线源公式计算放射性废水管道的屏蔽是否满足防护要求，同时考

考虑屏蔽材料对射线的衰减，估算公式如下：

$$K_{\alpha} = \frac{2A\Gamma}{Lr} \text{tg}^{-1} \frac{L}{2r} \cdot \eta \quad \dots\dots\dots (24)$$

上式中： K_{α} —周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A—放射性废水内核素总活度，MBq，对于 ^{18}F 注射后候诊室（4 间），一般最多 2 名患者产生的放射性废水同时排入管道，A 取 74MBq；对于 ^{18}F 留观室（1 间），A 取 37MBq；对于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射后候诊室和留观室（各 1 间），A 取 925MBq；对于提升间与衰变系统之间的废水管道，A 取 74MBq（保守选取辐射影响较大的 ^{18}F 进行估算）；

Γ —周围剂量当量率常数， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ ，对于 ^{18}F 为 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ ，对于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为 $0.0303\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ ；

L—源长，对于 ^{18}F 注射后候诊室废水埋地管道，L 取 1.48m，对于 ^{18}F 留观室、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射后候诊室和留观室废水埋地管道，L 取 0.93m，对于提升间与衰变系统之间的管道，L 取 1.39m；

r—与线源的垂直距离，m；

η —放射性废水管道外的屏蔽材料对相应核素的透射比， $\eta=10^{-X/\text{TVL}}$ ，X 和 TVL 意义同式（15）。

将相关参数代入公式（24），可计算出放射性废水管道外关注点处的辐射水平，计算结果见表 11-33。

表 11-33 放射性废水管道外关注点处辐射水平计算结果一览表

关注点	A (MBq)	L (m)	r (m)	屏蔽材料	η	K_{α} ($\mu\text{Sv/h}$)
^{18}F 注射后候诊室 废水埋地管道	^{18}F : 74	1.48	0.45	10mmPb+100mm 混凝土	6.75E-02	2.2
^{18}F 留观室废水埋 地管道	^{18}F : 37	0.93	0.45	6mmPb+100mm 混凝土	1.18E-01	2.4
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射后候诊 室和留观室废水 埋地管道	$^{99\text{m}}\text{Tc}$: 925	0.93	0.45	6mmPb+100mm 混凝土	1.23E-07	1.32E-04
提升间与衰变系统 之间的管道	^{18}F : 74	1.39	2.3	4mmPb	5.74E-01	1.1
	^{18}F : 74	1.39	1.3	4mmPb+不低于 180mm 混凝土	5.45E-02	0.3

注：①对于埋地管道，关注点取地下一层地面外 30cm；对于提升间与衰变系统之间的管道，关注点分别取地下一层地面外 1.7m、一层地面外 30cm，核医学科层高为 5m；

②提升间与衰变系统之间的放射性废水管道上方楼板为不低于 180mm 混凝土。

根据表 11-33 可知，本项目核医学科放射性废水排水管道外关注点处的辐射剂量率最大约

为 $2.4\mu\text{Sv/h}$ ，满足剂量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。本项目废水管道均位于人员偶然居留的场所，废水排放时间较短，废水排放对周围人员的影响较小。

(3) 衰变室屏蔽分析评价

本项目放射性废水衰变室为地下式结构，主要考虑放射性废水暂存衰变时对衰变室顶外的辐射影响。

本项目核医学科产生的放射性废水内含放射性核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，衰变池一边接收废水，一边衰变，根据核素半衰期，保守不考虑核素的衰变，动态平衡时存有的废水中放射性核素活度=在该核素平均寿命时间内排入衰变池废水活度之和， ^{18}F 平均寿命=半衰期/ $\ln 2=109.8\text{min}/\ln 2=158.4\text{min}=2.64\text{h}$ ，约为日工作时间的 $1/3$ ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 平均寿命=半衰期/ $\ln 2=6.02\text{h}/\ln 2=158.4\text{min}=8.7\text{h}$ ，约为日工作时间。排泄活度取给药活度的 20% ，则衰变池内 ^{18}F 的最大活度为 $10\text{mCi}/\text{人} \times 40 \text{人}/3 \times 20\%=26.7\text{mCi}=988\text{MBq}$ ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的最大活度为 $25\text{mCi}/\text{人} \times 20 \text{人} \times 20\%=100\text{mCi}=3700\text{MBq}$ 。这里不考虑大体积水的辐射自吸收，仅保守按点源近似估算，点源位于满池后的水体中心，即点源离衰变室顶外 30cm 处距离为 2.05m ($2.3/2+0.6+0.3$)，离检修口盖板外 30cm 处距离为 2.5m ($2.3/2+0.9+0.3$)，根据公式 (1) 可估算得出，经 20cm 混凝土顶和 20cm 土壤层屏蔽后 (土壤密度为不低于 $1\text{g}/\text{cm}^3$ ，根据密度换算，等效为约 8.5cm 厚混凝土)，顶外 30cm 处参考点处辐射剂量率为 $0.88\mu\text{Sv/h}$ ，经 20cm 混凝土检修口盖板屏蔽后，检修口盖板外 30cm 处参考点处辐射剂量率为 $1.92\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足 HJ 1188-2021 中“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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

为保障放射性废水衰变系统的长期可靠运行，医院还应采取以下辐射安全和管理措施：

- ①在衰变室入口及周围醒目处设置电离辐射警告标志及警示说明，将衰变室划为辐射防护控制区，禁止无关人员进入；
- ②定期对衰变室周围环境辐射水平进行监测，监测数据存档备查；
- ③安排专人负责放射性废水的暂存和处理，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废水所含的核素名称、体积、废水产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

2、放射性废气处理措施评价

本项目回旋加速器工作场所、核医学门诊和治疗工作场所、热室、手套箱均拟设置独立通风系统，热室、手套箱内设计风速不小于 0.5m/s ，并保持良好的通风条件，控制工作

场所气流流向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；放射性废气由单独的管道延伸至核医学科所在建筑物的屋面排出，并高于本建筑物屋顶，热室和手套箱的顶壁、通风管道排风口处均拟设置活性炭过滤装置，对放射性气溶胶进行吸附。

本项目核医学工作场所通风系统排风口处安装的活性炭过滤装置应不影响通风效率，医院应定期检查通风系统过滤装置的有效性，及时更换失效的过滤装置，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间，更换下来的废活性炭应作为放射性固体废物进行收集、处理。

本项目核医学工作场所产生的放射性废气排放满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中放射性废气排放的要求。本项目无易挥发性核素，核医学正常运行过程中挥发的含有微量放射性核素的气体经排风系统外排并经活性炭过滤吸附后，对周围环境影响很小。

3、放射性固体废物处理措施评价

（1）放射性固体废物处理措施评价

①回旋加速器机房内产生的放射性固废

回旋加速器运行过程中产生的废旧靶膜、C膜、离子源等高活性固废，拟暂存于回旋加速器机房内高活性放射性废物桶内，回旋加速器机房内洗靶、装卸靶过程中产生的一次性沾污废物等非高活性固废拟暂存于回旋加速器机房内非高活性放射性废物桶内，定期委托有放射性固废处理资质的单位处理。医院应确保放射性废物包装体外的表面剂量率不超过 0.1mSv/h，表面污水水平小于 4Bq/cm²。

②¹⁸F 药物合成、分装、质检、核医学科门诊过程中产生的放射性固废

¹⁸F 药物合成、分装、质检、患者 PET/CT 和 SPECT 放射诊断等过程中产生的放射性固废（含 ¹⁸F、^{99m}Tc 核素），拟先暂存在各房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物拟先装入利器盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，防止刺破废物袋。每日工作结束后拟分别收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）送放射性废物库内暂存，暂存时间超过 30 天后，经监测，辐射剂量率处于环境本底水平，β 表面沾污小于 0.8Bq/cm² 后，对废物清洁解控并作为普通医疗废物处理。

放射性药物 ⁸⁹Sr 门诊治疗过程中产生的放射性固废，拟先分类暂存在分装注射室的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物拟先装入利器盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，防止刺破废物袋。每日工作结束后拟分别收

集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）送放射性废物库内暂存，暂存时间超过 505.3 天（ ^{89}Sr 核素半衰期的 10 倍），经监测，辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，对废物清洁解控并作为普通医疗废物处理。

③通风系统更换下来的废活性炭过滤吸附材料等

核医学工作场所内更换下来的废活性炭拟集中收集放置在放射性废物库内的废活性炭专用废物桶中暂存，定期委托有放射性固废处理资质的单位处理。医院应确保放射性废物包装体外的表面剂量率不超过 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，表面污水水平小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

④废弃的钼铯发生器处理措施

废弃的钼铯发生器拟暂存于核医学科放射性废物库内，由原生产厂家回收处理。

⑤退役的放射源处理措施

退役的 ^{68}Ge 放射源拟暂存于核医学科放射性废物库内，由原生产厂家回收处理。

本项目放射性固废收集、贮存及处理方式能够满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求。

（2）废物库容积符合性分析评价

本项目放射性废物库容积为约 12.3m^3 （长约 2.35m、宽约 1.75m、吊顶高约 3m），废物库内拟设置一个不锈钢置物架，置物架为 4 层，每层放置 3 个废物箱，共 12 个废物箱，其中 4 个用于暂存 ^{18}F 固废、3 个用于暂存 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 固废、3 个用于暂存 ^{89}Sr 固废、2 个用于暂存通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭，单个废物箱容积为约 0.12m^3 。

^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素半衰期小于 24 小时， ^{18}F 放射性固废预计每天产生量不大于 12L，单个废物箱能暂存约 10 个工作日（约 14 天）产生的 ^{18}F 固废，4 个废物箱轮流使用，则 ^{18}F 固废可在废物库内暂存约 42 天； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性固废预计每天产生量不大于 6L，单个废物箱能暂存约 20 个工作日（约 28 天）产生的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 固废，3 个废物箱轮流使用，则 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 固废可在废物库内暂存约 56 天，能够满足 HJ 1188-2021 中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 天的要求。

^{89}Sr 半衰期为 50.53d，大于 24 小时，放射性固废预计每天产生量为不大于 0.4L，单个废物桶能暂存约 300 个工作日（约 420 天）产生的 ^{89}Sr 固废，3 个废物箱轮流使用，则 ^{89}Sr 固废可在废物库内暂存约 840 天，能够满足 HJ 1188-2021 中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 倍的要求。

通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭暂存于放射性废物库内的废物箱中，定期委托有放射性固废处理资质的单位处理。

综上，本项目放射性废物库容积能够满足放射性固废的暂存需要。

(3) 放射性废物桶及废物库屏蔽分析评价

回旋加速器机房内高活性放射性废物桶为不低于 50mmPb、非高活性放射性废物桶为不低于 30mmPb，废物桶均放置于机房内角落，正常情况下无人员在附近逗留，放射性固废经废物桶和机房屏蔽后，对周围环境影响较小。

考虑放射性核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr 均为注射器注射，按注射器残留 1% 药物估算，每日 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 废物桶（10mmPb）中收集的放射性固废中活度为 185MBq（日最大操作量的 1%），每日 ^{89}Sr 废物桶（10mmPb）中收集的放射性固废中活度为 9.25MBq，因 ^{18}F 半衰期较短，考虑 ^{18}F 的衰变，动态平衡时每日 ^{18}F 废物桶（20mmPb）中收集的放射性固废中活度为 $10\text{mCi}/\text{人} \times 40 \text{ 人}/3 \times 1\% = 1.3\text{mCi} = 48\text{MBq}$ 。根据公式（15）可估算得出，经过 10mmPb 屏蔽后， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 废物桶表面 30cm（关注点与源距离按 0.5m 估算）关注点处辐射剂量率最大为 $2.24\text{E}-09\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；经过 20mmPb 屏蔽后， ^{18}F 废物桶表面 30cm（关注点与源距离按 0.5m 估算）关注点处辐射剂量率最大为 $1.71\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；根据公式（16）可估算得出，经过 10mmPb 屏蔽后， ^{89}Sr 废物桶表面 30cm（关注点与源距离按 0.5m 估算）关注点处辐射剂量率最大为 $2.96\text{E}-03\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足 HJ 1188-2021“固体放射性废物收集桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ”的要求。

放射性废物库东墙、南墙、西墙：370mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥，北墙：370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥，顶棚为 250mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥，防护门为 8mmPb，其屏蔽能满足核医学科放射性固废的存放要求，满足 HJ 1188-2021“放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽”的要求。

放射性固废在收集、临时贮存、处理过程中以及在管理过程中，医院应注意严格按照《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求落实，放射性固废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，确保放射性固废收集、临时贮存、处理及管理措施安全有效可行，避免放射性固废对工作人员和公众造成不必要的照射。

以上措施认真落实后，本项目核医学放射性固废处置措施能够符合相关环保要求。

11.2.4.2 非放射性三废

一、废气

1、直线加速器

直线加速器机房 1~机房 5 内均拟设置机械通风系统，包括新风系统和排风系统，采取全排全送的通风方式，室内排风口距地板高度设计为 300mm，送风口位于天花板上，送风口和排风口呈对角线布置，室外排风口拟设置于机房所在楼的楼顶并高出屋脊。加速器机房 1~机房 5 设计排风量均为 3000m³/h，加速器机房 1、机房 5 内有效容积（包含迷道容积）均为约 391m³，加速器机房 2、机房 3、机房 4 内有效容积（包含迷道容积）均为约 377m³，可保证每间机房每小时通风次数不小于 4 次，能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求，少量臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出机房，弥散在大气环境中，对环境影响较小。

2、后装机

后装治疗机房内拟设置机械通风系统，包括新风系统和排风系统，采取全排全送的通风方式，送风口位于天花板上，室内排风口距地板高度为 300mm，送风口和排风口呈对角线布置，室外排风口拟设置于机房所在楼的楼顶并高出屋脊。排风系统设计排风量为 1000m³/h，后装治疗机房内有效容积（包含迷道容积）为 145m³，可保证机房每小时通风次数不小于 4 次，能满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求，臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出机房，弥散在大气环境中，对环境影响较小。

3、核医学

核医学科回旋加速器机房、2 间 PET/CT 机房内均拟设置机械通风系统，产生的微量臭氧和氮氧化物可由通风系统排出，弥散在大气环境中，对环境影响较小。

4、介入中心 DSA

介入中心 2 间 DSA 机房内均拟设计动力排风系统，产生的微量臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出 DSA 机房，弥散在大气环境中，对环境影响较小。

二、固体废物

项目运行期产生的固体废物主要为医疗废物和生活垃圾，根据《泉州宝璋肿瘤医院项目环境影响报告书》及其批复文件，院内医疗废物将委托有资质单位进行清运处理，生活垃圾由当地环卫部门统一清运，对环境影响较小。

三、废水

项目运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为生活污水。根据《泉州宝璋肿瘤医院项目环境影响报告书》及其批复文件，院内生活污水将先经化粪池处理，后排入院内污水

处理站处理，处理达标后通过市政污水管网进入城东污水处理厂处理，对环境影响较小。

四、噪声

项目运行期产生的噪声污染源主要为通风系统风机运行时产生的噪声，项目拟优先选用噪声低、振动小的风机设备，安装风机时拟设置减振基础，通风管采用软性接头，排风口处安装消声器，项目经采取一系列减震隔声措施及距离衰减后，对周围声环境的影响较小。

11.3 事故影响分析

11.3.1 事故风险危害识别分析

一、直线加速器可能发生的辐射事故

本项目直线加速器属于射线装置，只有当设备开机并处于出束状态时才会产生 X 射线，设备关机时不会产生 X 射线；因此，辐射事故多为人员误留或误入机房产生的误照射事故，主要有：

①辐射工作人员违反操作规程和误操作，造成意外照射；

②直线加速器治疗期间工作人员或其他人员误留在机房内，致使其受到大剂量照射；

③由于加速器安全联锁装置、工作状态指示灯或其他安全装置失灵，治疗期间人员误入机房内受到误照射；

④加速器维修调试过程中，因维修人员误操作导致加速器出束，可能发生误照射；或维修人员维修结束时，未将加速器调回初始状态，使之仍处强制出束的维修状态，若工作人员贸然使用，可能致患者过量照射。

二、后装机可能发生的辐射事故

①辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射；

②联锁装置失效或设备运行时人员误留机房，装置的运行可能对人员产生超剂量照射；

③后装机进行维修时，若发生联锁失效或强行出源等情况时，导致维修人员可能受到不必要的照射；

④后装机因工作人员操作不当或者出现设备故障，在设备安装、更换放射源或维修设备时，发生放射源跌落造成操作人员受到意外照射；

⑤后装机施源器发生故障，可能导致放射源被卡住，发生驻源事件，或者放射源从施源器脱漏，往往会对患者和工作人员造成过量照射；

⑥由于管理工作不到位导致后装机放射源发生被盗、丢失等事故，可能造成对公众的意外照射和环境放射性污染。

三、核医学可能发生的辐射事故

①在回旋加速器机房防护门关闭后，人员仍滞留在加速器机房内；安全联锁系统失效，人员误入加速器机房，加速器运行产生误照射；

②回旋加速器装置失灵、损坏、调试和操作失误等，导致放射性核素因意外停留在传输管道中，合成系统管道堵塞或泄漏等情况下，可能导致工作人员误照射或放射性核素污染相关工作场所；

③在放射性核素液体传输过程中，传输装置失灵、损坏，调试和操作失误等，放射性核素停留在传输管道中，传输管道堵塞或泄漏等情况下，可能导致工作人员误照射和放射性核素污染相关工作场所；

④辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射和辐射污染；

⑤由于保管或管理工作不到位导致放射性药物丢失、被盗等情况导致公众受到误照射；

⑥门诊用药患者未按要求在相应房间等候、留观，在规定房间以外的区域随意走动，导致公众受到照射；

⑦PET/CT 正常工作时，非相关人员误留、误入机房，导致发生误照射。

四、介入中心 DSA 可能发生的辐射事故

①DSA 机正常工作时，人员误留、误入机房，导致发生误照射；

②操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射；

③工作状态指示灯等辐射安全设施发生故障的状况下，人员误入 DSA 机正在运行的机房，导致发生误照射。

11.3.2 辐射事故应急措施

(1) 事故报告程序

一旦发生辐射事故，辐射工作人员立即封闭现场，通讯员负责联络事故应急处理领导小组和应急处理专业队伍。根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，在事故发生后 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。

(2) 辐射事故应急措施

辐射事故类别及处理措施详见表 11-33：

表 11-33 事故类别及处理措施

辐射设备	风险识别	应急措施
直线加速器、DSA (II类射线装置)	误照事故， 超剂量照射	①一旦发现有人误入或误留机房，工作人员应立刻切断电源，确保射线装置停止工作； ②误入或误留人员应在最短的时间内撤离机房。机房外划出警戒范围，设置明显的电离辐射警告标志，禁止公众人员入内； ③对可能受到超剂量照射的人员，应及时安排其接受检查或在指定的医疗机构救治； ④发现上述事故者应立即报告医院辐射事故应急小组，由医院辐射事故应急小组上报当地生态环境部门和公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的同时上报当地卫生健康部门； ⑤事故处理完毕后，成立事故调查小组，分析事故原因，总结教训。
核医学 (乙级非密封放射性物质工作场所、II类、III类射线装置)	误照事故， 超剂量照射	①一旦发现用药后患者在核医学工作场所内随意走动，不在规定的区域内停留，工作人员应立刻通过语音系统告知，使患者回到规定的区域内。 ②如发生回旋加速器、PET/CT 误照射，应立即切断电源，确保射线装置停止工作。 ③误入或误留人员应在最短的时间内撤离机房。机房外划出警戒范围，设置明显的电离辐射警告标志，禁止公众人员入内。 ④对可能受到超剂量照射的人员，应及时安排其接受检查或在指定的医疗机构救治； ⑤发现上述事故者应立即报告医院辐射事故应急小组，由医院辐射事故应急小组上报当地生态环境部门和公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的同时上报当地卫生健康部门； ⑥事故处理完毕后，成立事故调查小组，分析事故原因，总结教训。
	辐射污染	①若发生合成系统管道堵塞或泄漏等情况，加速器应立即停机，24 小时后重新启动，若有必要，可继续停机一段时间，再进行换靶和去污。 ②当放射性核素管理不当造成污染时，应立即划定警戒区，设置放射性污染标识，限制人员随意走动或靠近，防止污染扩散。 ③当发生液态放射性核素泼洒、泄漏导致的表面沾污事故时，应及时去污，尽量转移至放射性固废。如：迅速用吸附衬垫或滤纸吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。去污结束后，需用 α - β 表面沾污仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到去污控制标准，这时应用

		<p>酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。</p> <p>④事故处理完毕后，成立事故调查小组，分析事故原因，总结教训。对可能受到超剂量照射的人员，应及时安排其接受检查或在指定的医疗机构救治。</p>
	放射性药物被盗、丢失	<p>①马上启动应急措施，封锁现场，工作场所外划出警戒范围，设置明显的电离辐射警告标志，禁止相关人员入内；</p> <p>②及时将事故情况上报当地生态环境部门和公安部门，积极配合调查。</p>
后装机 (Ⅲ类放射源)	误照事故，超剂量照射	<p>①一旦发现有人员误入或误留机房，工作人员应立即利用最近的应急开关，使放射源迅速返回贮源器；</p> <p>②误入人员应在最短的时间内撤离机房，尽量缩短人员的受照时间。机房外划出警戒范围，设置明显的电离辐射警告标志，禁止公众人员入内；</p> <p>③对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查或在指定的医疗机构救治；</p> <p>④发现上述事故者应立即报告医院辐射事故应急小组，由医院辐射事故应急小组上报当地生态环境部门和公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的同时上报当地卫生健康部门；</p> <p>⑤事故处理完毕后，成立事故调查小组，分析事故原因，总结教训。</p>
	卡源、脱源事故，超剂量照射	<p>①一旦发现卡源事故，工作人员应立即按下应急按钮，使放射源迅速自动返回贮源器；</p> <p>① 若自动回源装置功能失效或发生放射源脱源事故时，工作人员应疏导正在治疗的患者在最短的时间内撤离机房，尽量缩短人员的受照时间。机房外划出警戒范围，设置明显的电离辐射警告标志，禁止公众人员入内，待故障排除后才能重新投入使用。通知辐射事故应急小组进行处理；</p> <p>③辐射事故应急小组接到通知后，应安排辐射工作人员采取手动回源的应急处理措施，人员应穿戴铅衣、铅帽、铅眼镜，佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪迅速进入治疗室，采用手摇柄手动将放射源旋回工作贮源器；若为脱源事故，则携带应急储源器进入治疗室，用长柄镊子将源放入储源器并锁紧，请有资质的单位和专业人员进行装源操作；</p> <p>④对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查或在指定的医疗机构救治；</p> <p>⑤发现上述事故者应由医院辐射事故应急小组上报当地生态环境部门和公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的同时上报当地卫生健康部门；</p> <p>⑥事故处理完毕后，成立事故调查小组，分析事故原因，总结教训。</p>

	放射源被 盗、丢失	①马上启动应急措施，封锁现场，机房外划出警戒范围，设置明显的电离辐射警告标志，禁止相关人员入内； ②及时将事故情况上报当地生态环境部门和公安部门，积极配合调查。
--	--------------	---

事故发生后，除了上述工作外，还应进行以下几项工作：

- ① 确定现场的辐射强度及影响范围，划出禁入控制范围，防止外照射的危害。
- ② 根据现场辐射强度，确定工作人员在现场处置的工作时间。
- ③ 现场处置任务的工作人员应佩带防护用具及个人剂量计和剂量报警仪。
- ④ 应尽可能记录下现场有关情况，对工作人员可能受到的事故照射剂量，可针对事故实际情况进行评估，并对工作人员进行健康检查和跟踪，按照国家有关放射卫生防护标准和规范以及相关程序，评估事故对工作人员健康的影响。

⑤ 事故处理后，必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生的原因，从中吸取经验和教训，必须采取措施防止类似事故再次发生。

- ⑥ 医院应定期、具有针对性的对可能发生的放射事故进行演练。

（3）事故预防措施

- ① 建立辐射安全管理机构，制定完善的规章制度，并在实际工作过程中严格执行；
- ② 加强辐射安全管理，加强辐射工作人员技能培训和辐射安全与防护知识的培训，提高个人的技能和辐射安全防范意识；

③ 辐射工作场所按要求设置相应的辐射安全与防护设施，定期检查各辐射工作场所和设备的辐射安全措施运行情况，确保各项安全措施始终保持良好的工作状态。

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

本项目为使用 III 类、V 类放射源，使用非密封放射性物质（乙级非密封放射性物质工作场所），使用 II 类、III 类射线装置，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

本项目为新建项目，医院正在建设阶段，人员均未确定，项目建成后，医院拟成立由院长为组长的辐射安全与环境保护管理机构，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，专职管理机构的主要职责包括：

- (1) 贯彻执行国家辐射安全与环境保护各项法规相关文件精神；
- (2) 负责本项目辐射安全与环境保护管理；
- (3) 组织制定本项目辐射安全与环境保护管理办法，做好管理工作；
- (4) 组织人员参加辐射事故应急演练；
- (5) 安排从事辐射工作的辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的学习和考核；
- (6) 定期检查辐射安全设施，开展辐射安全环保监测，对本项目的辐射安全与防护情况进行年度评估；
- (7) 监督辐射工作人员的职业健康检查，个人剂量监测；并做好相应资料的档案管理工作；
- (8) 定期向生态环境和主管部门报告安全工作，接受生态环境监督、监测部门的检查指导。

12.2 辐射安全与防护培训

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《关于做好 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训考核工作有关事项的通知》等法律法规要求，辐射工作人员和辐射防护负责人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；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，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核，2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证

书在有效期内继续有效。

本项目为新建项目，医院正在建设阶段，辐射工作人员配备到位后，医院应尽快安排辐射工作人员和辐射防护负责人在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台上学习所从事的辐射工作岗位相关的知识，并在辐射安全与防护培训平台上网络报名参加相关考核，考核合格后持证上岗；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。在今后的工作中医院还应不断加强对职业人员的有关技能和辐射安全防护知识的再教育或培训，进一步提高对专业技能和放射防护工作重要性的认识。环评建议医院配备部分有相关工作经验的辐射工作人员以老带新，防止出现辐射事故。

12.3 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，使用放射性同位素和射线装置的单位要健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施。

本项目为新建项目，医院正在建设阶段，公司已初步制定了辐射安全管理规章制度，项目建成后，其还应根据具体情况对规章制度进行补充和完善，同时在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。本报告对已制定的辐射安全管理规章制度的重点总结如下：

操作规程：针对拟开展的核技术利用项目，已制定操作规程，明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施。后续各科室成立后，还应制定详细的操作规程，明确各项目的操作步骤，防止事故的发生。

岗位职责：已明确主要岗位辐射工作人员的岗位责任，后续人员到位后，还应进一步细化，将岗位责任落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

辐射防护和安全保卫制度：已制定辐射防护和安全保卫制度，重点是：①定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪和表面沾污仪保持良好工作状态；②辐射工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护，并建立个人剂量档案；③指定专人负责

放射性药物的交接工作，防止放射性药物被盗、丢失；④做好辐射工作场所的安全保卫工作，并定期检查。

设备检修维护制度：已制定设备检修维护制度，明确辐射安全与防护设施以及辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全与防护设施以及剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

放射性同位素、射线装置使用登记制度：已针对本项目放射性同位素、射线装置，制定使用登记制度，规范放射性同位素、射线装置购买台帐和使用登记记录，对放射性同位素、射线装置的使用情况进行登记和跟踪记录，确保正确无误，帐物相符。

人员培训计划：已制定人员培训计划，明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并调强对培训档案的管理，做到有据可查。

个人剂量监测和职业健康管理制：已制定个人剂量监测方案，明确辐射工作人员开展辐射工作时均应佩戴个人剂量计，个人剂量计的佩戴和监测周期，定期送有资质部门进行监测，监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，医院建立个人累积剂量和职业健康体检档案。

辐射环境监测方案：已制定辐射环境监测方案，针对本项目辐射监测需要，购置辐射巡测仪、表面沾污仪等监测设备，明确日常工作的监测项目和监测频次，监测结果应妥善保存并记录档案，同时应定期上报生态环境主管部门。此外，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中相关要求，使用射线装置和放射源的单位，应当对本单位的射线装置和放射源的安全和防护状态进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前按要求提交上一年度的评估报告。

放射性三废管理制度：已针对本项目可能产生的放射性三废，制定放射性三废管理制度，重点是：①针对放射性固废，制定废物档案与出入登记管理制度；②明确核医学科放射性三废的收集、暂存、处理等应严格按照《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）等相关要求进行。

辐射事故应急预案：已针对本项目可能产生的辐射污染情况，制定辐射事故应急预案，明确应急管理机构的组成，明确事故情况下应采取的防护措施和执行程序，有效控制事故，及时制止事故的恶化，保证及时上报、渠道畅通，同时明确根据本单位实

际情况，每年至少开展一次综合或单项的应急演练，应急演练前编制演习计划，包括演练模拟的事故/事件情景，演练参与人员等。后续各科室和人员到位后，还应进一步明确应急管理机构的组成，并附上各联系部门及联系人的联系方式。

12.4 辐射监测

12.4.1 监测设备

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用 III 类、V 类放射源，使用非密封放射性物质（乙级非密封放射性物质工作场所），使用 II 类、III 类射线装置的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。

泉州宝璋肿瘤医院有限公司拟配备 1 台环境辐射巡测仪，用于辐射工作场所及周围公众活动区域的定期自行检测；拟配备 1 台中子剂量率仪，用于回旋加速器机房周围环境中子剂量率的定期自主监测；核医学工作场所拟配备 2 台表面沾污仪（ ^{18}F 药物生产区出口、门诊分装注射室出口各拟放置 1 台），用于检测辐射工作场所表面污染水平；5 间加速器机房、1 间后装治疗机房、2 间 DSA 机房均拟配备 2 台个人剂量报警仪，核医学科拟配备 5 台个人剂量报警仪（共 21 台个人剂量报警仪），用于辐射工作过程中瞬时辐射剂量的报警；本项目辐射工作人员均拟配备个人剂量计，用于辐射工作过程中累积剂量的监测。

以上监测仪器按要求配备后，能够满足本项目的仪器配备要求。

12.4.2 监测方案

按照《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》等相关标准和规范的要求，医院应制定相应的辐射监测计划，包括：

①项目竣工后 3 个月内委托有资质的单位对项目周围环境辐射水平进行验收监测；

②委托有资质的单位定期对项目周围环境辐射水平进行监测，周期为 1~2 次/年，并于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上一年度的评估报告。

③医院定期自行对院内辐射工作场所周围环境辐射水平、对回旋加速器机房周围环境中子剂量率进行监测，并作好监测记录；

④所有辐射工作人员均应按的要求佩戴个人剂量计，并定期（每 3 个月 1 次）送有资质部门进行监测，建立个人累积剂量档案；

⑤所有辐射工作人员上岗前均应进行职业性健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐射工作后，应定期开展职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立个人职业健康档案；

⑥核医学科产生的 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性固体废物在废物库内暂存时间超过 30 天后， ^{89}Sr 放射性固体废物在废物库内暂存时间超过十个半衰期后，医院应对废物进行监测，监测因子为 X- γ 辐射剂量率、 β 表面污染，监测结果应记录档案。

本项目辐射监测计划表见表 12-1。

表 12-1 本项目辐射监测计划

监测对象	监测因子	监测项目	监测频次	监测点位	监测依据	控制要求
直线加速器	X-γ 辐射剂量率	竣工环保验收监测	项目竣工后 3 个月内	①机房防护门外 30cm，测门表面和门缝四周； ②机房四周墙体外 30cm（人员可达处），包括主屏蔽体、次屏蔽体、迷道外墙等； ③机房顶棚外 30cm 及周围（人员可达处）进行巡测； ④控制室内人员操作位、项目评价范围内辐射工作人员和公众经常活动位置。	《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）	剂量率应满足本项目剂量率参考控制水平 \dot{H}_c （ \dot{H}_c 取 $\dot{H}_{c,d}$ 和 $\dot{H}_{c,max}$ 中的较小者）
		年度监测	1~2 次/年			
		自主监测	1~2 次/季度			
后装机	X-γ 辐射剂量率	竣工环保验收监测	项目竣工后 3 个月内	（1）机房内非工作状态：后装机贮源器表面 5cm、100cm。 （2）机房外： ①机房防护门外 30cm，测门表面和门缝四周； ②机房四周墙体外 30cm； ③机房顶棚外 30cm 进行巡测； ④控制室内人员操作位、项目评价范围内辐射工作人员和公众经常活动位置。	《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）	（1）机房内非工作状态：满足 WS262-2017 表 1 中相应要求。 （2）机房外：剂量率应满足本项目剂量率参考控制水平 \dot{H}_c （ \dot{H}_c 取 $\dot{H}_{c,d}$ 和 $\dot{H}_{c,max}$ 中的较小者）
		年度监测	1~2 次/年			
		自主监测	1~2 次/季度			
核医学	X-γ 辐射剂量率	竣工环保验收监测	项目竣工后 3 个月内	①回旋加速器机房防护门外 30cm，测门表面和门缝四周；机房四周墙体、顶棚外 30cm（人员可达处）； ②合成分装室内放射性药物合成热室和分装热室、全检质控室内质检手套箱、分装注射室内手套箱外表	《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）	（1）回旋加速器机房四周墙体、防护门外 30cm、顶板上方及周围人员可居留处的剂量率应小于 2.5μSv/h； （2）距核医学工作场所
		年度监测	1~2 次/年			
		自主监测	不少于 1 次/月			

				<p>面 30cm 处人员操作位，非正对人员操作位表面；注射窗外表面 30cm；</p> <p>③核医学控制区内房间防护门、观察窗、墙壁、顶棚外表面 30cm 人员可达处；</p> <p>④项目评价范围内辐射工作人员和公众经常活动位置；</p> <p>⑤存有放射性物质的装置/设备的表面。</p>		
	中子剂量率	竣工环保验收监测	项目竣工后 3 个月内	<p>①回旋加速器机房防护门外 30cm，测门表面和门缝四周；机房四周墙体、顶棚外 30cm（人员可达处）；</p> <p>②项目评价范围内辐射工作人员和公众经常活动位置。</p>		<p>各控制区内房间四周墙体、防护门、观察窗、观察窗外表面 30cm、顶板上方及周围人员可居留处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h；</p> <p>（3）合成分装室内放射性药物合成热室和分装热室、全检质控室内质检手套箱、分装注射室内手套箱及注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，合成热室和分装热室、手套箱非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 25μSv/h；</p> <p>（4）固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道外表面 30 cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。</p>
		年度监测	1~2 次/年			
	自主监测	不少于 1 次/月				
	表面沾污	竣工环保验收监测	项目竣工后 3 个月内	<p>①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</p>		<p>满足 GB 18871-2002 中工作场所放射性表面污染控制水平要求。</p>
		年度监测	1~2 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）	地面等，放射性废物桶和包装袋表面； ②核素操作人员离开非密封放射性物质工作场所控制区前进行的监测点位主要包括：工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。		
核医学放射性固废	X-γ 辐射剂量率、β 表面污染	自主监测	放射性固废暂存时间满足要求后准备排放前	放射性固废表面	《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）	辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染小于 0.8Bq/cm ²
介入中心 DSA	X-γ 辐射剂量率	竣工环保验收监测	项目竣工后 3 个月内	① 机房内第一术者位、第二术者位；	《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）	剂量率不大于 2.5μSv/h
		年度监测	1~2 次/年	② 机房四周墙体、顶外 30cm，机房地板下房间内；		
		自主监测	1~2 次/季度	③ 各防护门外 30cm，测门表面和门缝四周； ④ 控制室内人员操作位、机房周围人员经常活动的位置。		

此外，根据《建设项目环境保护管理条例》，本项目竣工后，建设单位应当按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行自主验收，编制验收报告，“三同时”验收清单见表 12-2。

表 12-2 “三同时”验收一览表

项目	“三同时”验收内容		验收要求
防护措施	各设备机房、核医学工作场所控制区均采取实体屏蔽方式，具体屏蔽参数见报告内表 10-1、10-3、10-6。		满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及本项目管理目标要求。
安全措施	直线加速器	① 钥匙控制	满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-

		<ul style="list-style-type: none"> ②电离辐射警告标志和工作状态指示灯 ③门机联锁装置 ④紧急停机按钮 ⑤监控及对讲系统 ⑥紧急开门按钮 ⑦固定式辐射剂量监测系统 ⑧通风系统 ⑨安全联锁要求 	2020)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)中辐射安全相关要求和开展本项目的辐射安全需要。
	后装机	<ul style="list-style-type: none"> ①电离辐射警告标志和工作状态指示灯 ②门机联锁装置 ③紧急停机按钮(急停开关) ④监控与对讲装置 ⑤紧急开门按钮 ⑥固定式辐射剂量监测系统 ⑦应急工具 ⑧应急处理措施 ⑨通风系统 ⑩安全联锁要求 	满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)中相关辐射安全要求和开展本项目的辐射安全需要。
	核医学科	<p>(1)放射性药物生产场所</p> <ul style="list-style-type: none"> ①门禁系统 ②加速器操作许可 ② 联锁装置 ④工作状态指示灯和声光报警装置 ⑤电离辐射警告标志 ⑥紧急开门按钮 ⑦急停按钮 ⑧清场广播 ⑨固定式辐射剂量监测系统和延时开门措施 ⑩视频监控系统 	<p>满足《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)、《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)、《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)等标准中的相关辐射安全要求和开展本项目的辐射安全需要。</p> <p>工作场所控制区及监督区内工作台、设备、墙壁和地面等表面沾污满足 GB 18871-2002 中工作场所放射性表面污染控制水平要求。</p>

		(2)核医学工作场所(门诊诊断和治疗场所) ①警告标志 ②工作状态指示灯及闭门装置 ③对控制区内带药患者的监督管理 ④放射性物质的安全管理措施 ⑤个人防护用品、辅助用品及去污用品 ⑥其他辐射安全要求	
	介入中心 DSA	①工作状态指示灯 ②防夹和闭门装置 ③电离辐射警告标志 ④观察窗与对讲装置 ⑤个人防护用品	满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)中相关辐射安全要求和开展本项目的辐射安全需要。
通风措施	直线加速器、后装机	机房内设置机械通风系统,采取全排全送的通风方式,室内排风口距地板高度为300mm,送风口位于天花板上,送风口和排风口呈对角线布置,通风换气次数均不低于4次/h。	满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)中相关通风要求。
	核医学科	回旋加速器工作场所、核医学门诊和治疗工作场所、热室、手套箱均拟设置独立通风系统,热室、手套箱内设计风速不小于0.5m/s,并保持良好的通风条件,控制工作场所气流流向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;放射性废气由单独的管道延伸至核医学科所在建筑物的屋面排出,并高于本建筑物屋顶,热室和手套箱的顶壁、通风管道排风口处均设置活性炭过滤装置,对放射性气溶胶进行吸附。	满足《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中相关通风要求。
	介入中心 DSA	机房内设置动力排风系统。	满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)中相关通风要求。
放射性固废处理	后装机	后装机内 ¹⁹² Ir放射源达到使用年限退役后,废源由原生产厂家回收处置。	满足《中华人民共和国放射性污染防治法》等法律法规的规定。
	核医学科	①回旋加速器运行过程中产生的高活性固废,暂存于回旋加速器机房内高活性放射性废物桶内,产生的非高活性固废,暂存于回	满足《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)

		<p>旋加速器机房内非高活性放射性废物桶内，定期委托有放射性固废处理资质的单位处理。</p> <p>②¹⁸F 药物合成、分装、质检、患者 PET/CT 和 SPECT 放射诊断等过程中产生的放射性固废（含 ¹⁸F、^{99m}Tc 核素），先暂存在各房间的废物铅桶内，每日工作结束后分别收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）送放射性废物库内暂存，暂存时间超过 30 天后，经监测，辐射剂量率处于环境本底水平，β 表面沾污小于 0.8Bq/cm² 后，对废物清洁解控并作为普通医疗废物处理。</p> <p>放射性药物 ⁸⁹Sr 门诊治疗过程中产生的放射性固废，先分类暂存在分装注射室的废物铅桶内，每日工作结束后分别收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）送放射性废物库内暂存，暂存时间超过 505.3 天（⁸⁹Sr 核素半衰期的 10 倍），经监测，辐射剂量率处于环境本底水平，β 表面沾污小于 0.8Bq/cm² 后，对废物清洁解控并作为普通医疗废物处理。</p> <p>③核医学工作场所内更换下来的废活性炭集中收集放置在放射性废物库内暂存，定期委托有放射性固废处理资质的单位处理。</p> <p>④废弃的钨铈发生器拟暂存于核医学科放射性固废库内，由原生产厂家回收处理。</p> <p>⑤退役的 ⁶⁸Ge 放射源拟暂存于核医学科放射性废物库内，由原生产厂家回收处理。</p>	中关于放射性固体废物处理的要求。
放射性废水处理	核医学科	在医疗综合楼东侧（靠近核医学科处）新建一个地下式放射性废水衰变室，室内配备 1 套间歇式放射性废水衰变系统。核医学科产生的放射性废水，均由专用管道排至放射性废水衰变系统，暂存时间超过 30 天后排放至院内污水处理站，处理达标后通过市政污水管网进入城东污水处理厂处理。	满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中关于放射性废水处理的要求。
放射性废气处理	核医学科	专用通风管道延伸至核医学科所在建筑物的屋面排出，排风口处设置活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。	满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中关于放射性废气处理的要求。

人员配备		所有辐射工作人员和辐射防护负责人均参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，考核合格后上岗。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中人员培训要求。
		所有辐射工作人员均配备个人剂量计，并定期（不超过 3 个月）送有资质部门进行监测，医院建立个人累积剂量档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《职业性外照射个人监测规范》中个人剂量监测的要求。
		所有辐射工作人员均定期（不超过 1 次/2 年）进行职业健康体检，医院建立职业健康监护档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中职业健康体检的要求。
监测仪器和防护用品		医院配备 1 台环境辐射巡测仪。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等相关标准中监测仪器和防护用品配备的要求。
		核医学工作场所配备 2 台表面沾污仪，回旋加速器机房配备 1 台中子剂量率仪。	
		5 间加速器机房、1 间后装治疗机房、2 间 DSA 机房均配备 2 台个人剂量报警仪，核医学科配备 5 台个人剂量报警仪（共 21 台个人剂量报警仪）。	
		各场所按要求配备足够的个人防护用品。	
管理措施	管理机构	成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，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《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射安全管理的要求。
	管理制度	针对本项目具体情况制定辐射安全管理制度，制度主要应包括：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、放射性同位素、射线装置使用登记制度、人员培训计划、个人剂量监测方案、辐射环境监测方案、放射性三废管理制度、事故应急预案。 其还应在之后的实际工作中不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善。	

12.5 辐射事故应急

项目建成后，医院应针对本项目可能发生的辐射事故风险，根据发生辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围，根据《福建省环保厅关于印发<核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲>（试行）的通知》等要求，制定辐射事故应急处理预案，根据要求，预案中应明确应急管理机构的成员姓名、联系方式及相关职责，明确应急报告程序和详细的联络报告电话，明确应急处置程序和措施，明确应急物资、设备的型号（名称）、存放地点，明确预案内部培训的频次、修订间隔、应急演练的频次要求等。

医院应明确每年至少开展 1 次辐射事故应急演练，辐射安全专职管理人员、辐射设备及核素操作人员等关键岗位人员须根据各自职责参与演练，并使用文字、图片、视频记录演练过程，总结演练情况，提升应急能力。

根据原国家环保总局《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，以及《福建省环保厅关于印发<核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲>（试行）的通知》的要求，在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，并按规程处理和控制在最小范围，最大限度减少对人员安全和周围环境的影响，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康行政部门报告。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 可行性分析结论

一、项目概况介绍

为满足患者的就医需求，泉州宝璋肿瘤医院有限公司拟在医疗综合楼地下一层新建放疗科，配备 5 台医用直线加速器、1 台后装治疗机（使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源），开展放射治疗项目。拟在医疗综合楼地下一层新建核医学科，配备 1 台回旋加速器及合成分装室等附属用房，用于制备 PET 用放射性药物 ^{18}F ；配备 2 台 PET/CT，使用放射性药物 ^{18}F 开展显像检查，使用 3 枚 ^{68}Ge 密封源用于 PET/CT 的校准；配备 1 台 SPECT，使用钼铈发生器自行淋洗制备放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展显像检查；外购放射性药物 ^{89}Sr 开展门诊治疗；同时医院拟在医疗综合楼东侧（靠近核医学科处）新建一个地下式放射性废水衰变室，用于核医学科放射性废水的暂存衰变。拟在医疗综合楼三层新建介入中心，配备 2 台 DSA 机，开展放射诊断和介入治疗。

本项目放疗科拟使用的 5 台直线加速器 X 射线最大能量为 10MV、电子线最大能量为 22MeV，属于 II 类射线装置； ^{192}Ir 放射源最大活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ，属于 III 类放射源。核医学科拟使用的回旋加速器最大质子能量为 10MeV、最大束流强度为 $70\mu\text{A}$ ，属于 II 类射线装置；2 台 PET/CT 最大管电压为 140kV、最大管电流为 800mA，属于 III 类射线装置；核医学工作场所日等效最大操作量为 $8.88\times 10^8\text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。介入中心 2 台 DSA 机最大管电压为 125kV、最大管电流为 1000mA，属于 II 类射线装置。

二、产业政策符合性分析

经对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 修改版），本项目直线加速器、后装机、核医学科属于国家鼓励类的第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，DSA 属于国家鼓励类的第十三项“医药”中第 5 款中“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备”，符合国家产业发展政策。

三、代价利益分析

本项目的运行，可为患者提供放射诊疗服务，方便群众就医，具有良好的社会效益和经济效益。本项目总投资 20000 万元，其中环保投资 3000 万元，占总投资的 15%，本项目环保投资比例合理、适当，可保证环保措施的落实。根据本文分析，本项目经辐射防护屏蔽和安全管理后，可保证项目辐射环境剂量率和人员辐射剂量满

足项目管理目标要求。

因此，从代价利益方面分析，本项目获得的利益远大于对环境的影响，具有明显的经济效率、社会效益，该项目的建设符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

四、选址、布局合理性评价

本项目各辐射工作场所周围 50m 评价范围内无学校、居民区等环境敏感点；各场所所处位置相对独立，各设备均设有单独固定的机房，与周围非辐射工作场所隔开，直线加速器机房、后装治疗机房避开儿科病房、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，核医学工作场所不与产科、儿科、食堂等部门及人员密集区毗邻。根据理论估算，项目运行时对周围环境辐射影响较小，因此，项目选址基本合理。

放疗科 5 间直线加速器机房与控制室等辅房均分开设置，控制室均位于机房南侧，机房均设有 L 型迷路，迷路口设有防护门，有用线束不向迷路照射，仅向东墙、西墙、屋顶及地面照射，机房东墙、西墙、屋顶的防护屏蔽均能够满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽能够满足漏射线及散射线的屏蔽要求；后装治疗机房与控制室等辅房分开设置，控制室位于机房北侧，机房设有 L 型迷道，迷道口设有防护门。加速器机房和后装治疗机房布局符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中相关规定，布局合理。

核医学工作场所从功能设置上分为 ^{18}F 药物生产区、门诊工作场所，药物生产区与门诊工作场所分开布置；控制区相对集中，回旋加速器机房与控制室分开设置，成分装室与回旋加速器机房相邻设置，各区域高活室均集中在一端，防止交叉污染；PET/CT 放射诊断、SPECT 放射诊断、 ^{89}Sr 门诊治疗能够保证工作程序沿着相关房间单向开展，最大限度的减少人员的流动性，有助于实施工作程序；控制区内医务人员及患者均具有独立的出入口和流动路线，放射性药物注射后患者与放射性药物注射前患者不交叉；放射性药物均于科室开诊前送至储源室或分装注射室内，放射性废物均于每天门诊结束后收集，通过时间控制避免对人员产生交叉照射；药物分装、药物注射与扫描检查等分开，注射后候诊室、留观室内均设计有给药后患者专用卫生间； ^{18}F 药物生产区、分装注射室出口处拟设置污物检测间进行污染检测，同时拟设置应急淋浴，设置有必要的可更换衣服、铅衣等防护用品、冲洗设施和表面

污染监测设备；核医学工作场所内设置有污洗间、抢救室等满足项目开展需要的配套辅助用房，污洗间内设置清洁用品，用于核医学工作场所的洗消；2间 PET/CT 机房与控制室分开，并设置有铅观察窗，有用线束不直接照射门窗和管线口位置，满足拟用辐射设备的布局要求；根据理论估算结果，核医学工作场所的辐射防护措施能够满足要求。本项目核医学工作场所布局满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对于布局的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）中关于安全操作的要求，布局合理。

介入中心 2 台 DSA 均设有单独的机房，控制室位于机房外，机房满足拟用辐射设备的布局要求，布局合理。

13.1.2 辐射安全与防护结论

一、辐射防护措施评价

本项目放疗科 5 间加速器机房、1 间后装治疗机房均拟采用密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ 混凝土浇筑，加速器机房拟采用含铅+含硼聚乙烯防护门，后装治疗机房拟采用含铅防护门。根据理论预测可知，本项目 5 间加速器机房、1 间后装治疗机房的辐射防护设计能满足辐射防护要求。

核医学工作场所控制区拟采取实体屏蔽方式，回旋加速器机房拟采用密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ 混凝土浇筑，拟采用含铅+含硼聚乙烯防护门；控制区内其余房间墙体拟采取实心砖加硫酸钡水泥（极少部分墙体不加硫酸钡水泥），顶棚采取混凝土加硫酸钡水泥，防护门采取含铅门，观察窗、注射窗口、药物传递窗口采取铅玻璃窗，合成分装室内拟配备合成热室和分装热室，全检质检室内拟配备质检手套箱，分装注射室内拟配备手套箱。根据理论估算分析结果，核医学工作场所控制区拟采取的辐射防护措施能够满足辐射防护要求。

介入中心 2 间 DSA 机房四周墙体均拟采取实心砖加硫酸钡防护涂料，顶棚和底板均拟采用混凝土加硫酸钡防护涂料，防护门采取含铅门，观察窗采取铅玻璃窗。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、理论估算可知，本项目 2 间 DSA 机房的辐射防护设计能够满足辐射防护要求。

二、辐射安全措施评价

为确保辐射安全，保障各项目安全运行，直线加速器项目拟设计以下辐射安全措施：钥匙控制、电离辐射警告标志和工作状态指示灯、门机联锁装置、紧急停机

按钮、监控及对讲系统、紧急开门按钮、固定式辐射剂量监测系统、通风系统、安全联锁要求；后装机项目拟设计以下辐射安全措施：电离辐射警告标志和工作状态指示灯、门机联锁装置、紧急停机按钮（急停开关）、监控与对讲装置、紧急开门按钮、固定式辐射剂量监测系统、手动开门装置、应急工具、通风系统、安全联锁要求；核医学放射性药物生产场所拟设计以下辐射安全措施：门禁系统、加速器操作许可、联锁装置、工作状态指示灯和声光报警装置、电离辐射警告标志、紧急开门按钮、急停按钮、清场广播、固定式辐射剂量监测系统和延时开门措施、视频监控系統，核医学门诊诊断和治疗场所拟设计以下辐射安全措施：警告标志、工作状态指示灯及闭门装置、对控制区内带药患者的监督管理、放射性物质的安全管理措施、个人防护用品、辅助用品及去污用品、其他辐射安全要求；DSA 项目拟设计以下辐射安全措施：工作状态指示灯、防夹和闭门装置、电离辐射警告标志、观察窗与对讲装置、个人防护用品。

项目设计的辐射安全措施能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等相关标准的辐射安全要求和开展本项目的辐射安全需要。

三、辐射安全管理评价

医院拟成立由院长为组长的辐射安全与环境保护管理机构，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；医院应针对项目具体情况制定相关的辐射安全管理规章制度，同时在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性；本项目辐射防护负责人和所有辐射工作人员上岗前均应参加辐射安全和防护专业知识的培训，考核合格后上岗；同时，辐射工作人员应进行个人剂量监测和职业健康体检，医院建立辐射工作人员个人剂量档案和职业健康监护档案。

泉州宝璋肿瘤医院有限公司在切实做好以上措施后，本项目能够符合相关辐射防护及辐射安全管理措施的要求。

四、辐射防护监测仪器

医院拟配备 1 台环境辐射巡测仪和 1 台中子剂量率仪，核医学工作场所拟配备 2

台表面沾污仪，5间加速器机房、1间后装治疗机房、2间 DSA 机房均拟配备 2 台个人剂量报警仪，核医学科拟配备 5 台个人剂量报警仪（共 21 台个人剂量报警仪），本项目辐射工作人员均拟按要求配备个人剂量计。以上监测仪器按要求配备后，能够满足本项目的仪器配备要求。

13.1.3 环境影响分析结论

一、辐射环境影响预测

理论预测结果表明，本项目直线加速器机房、后装治疗机房、回旋加速器机房、核医学工作场所控制区的屏蔽防护均能够满足拟开展的核技术利用项目的防护要求；根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、理论估算，本项目 DSA 机房的屏蔽防护能够满足拟配置的辐射设备的防护要求；各场所/设备外关注点的辐射剂量率估算结果均能够满足辐射环境剂量率控制水平要求。项目运行后辐射工作人员及项目周围公众的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和项目管理目标剂量约束值要求，项目投入运行后对周围环境辐射影响较小。

二、三废处理措施评价

1、放射性废物处理措施评价

（1）后装机

^{192}Ir 后装机使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源，放射源随设备存放。当使用到一定期限后，放射源活度不能满足治疗要求时必须更换放射源，从而产生退役废源，医院已承诺 ^{192}Ir 放射源达到使用年限退役后，废源将由原生产厂家回收处置，落实后将符合相关法律法规的要求。

（2）核医学科

①放射性固废

回旋加速器运行过程中产生的高活性固废，暂存于回旋加速器机房内高活性放射性废物桶内，产生的非高活性固废，暂存于回旋加速器机房内非高活性放射性废物桶内，定期委托有放射性固废处理资质的单位处理。

^{18}F 药物合成、分装、质检、患者 PET/CT 和 SPECT 放射诊断等过程中产生的放射性固废（含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素），先暂存在各房间的废物铅桶内，每日工作结束后分别收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）送放射性废物库内暂存，暂存时间超过 30 天后，经监测，辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面沾污小

于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，对废物清洁解控并作为普通医疗废物处理。

放射性药物 ^{89}Sr 门诊治疗过程中产生的放射性固废，先分类暂存在分装注射室的废物铅桶内，每日工作结束后分别收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）送放射性废物库内暂存，暂存时间超过 505.3 天（ ^{89}Sr 核素半衰期的 10 倍），经监测，辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，对废物清洁解控并作为普通医疗废物处理。

核医学工作场所内更换下来的废活性炭集中收集放置在放射性废物库内暂存，定期委托有放射性固废处理资质的单位处理。

废弃的钨铍发生器拟暂存于核医学科放射性固废库内，由原生产厂家回收处理。

退役的 ^{68}Ge 放射源拟暂存于核医学科放射性废物库内，由原生产厂家回收处理。

②放射性废水

医院拟在医疗综合楼东侧（靠近核医学科处）新建一个地下式放射性废水衰变室，室内配备 1 套间歇式放射性废水衰变系统。核医学科产生的放射性废水，均由专用管道排至放射性废水衰变系统，暂存时间超过 30 天后排放至院内污水处理站，处理达标后通过市政污水管网进入城东污水处理厂处理。

③放射性废气

回旋加速器工作场所、核医学门诊和治疗工作场所、热室、手套箱均拟设置独立通风系统，热室、手套箱内设计风速不小于 $0.5\text{m}/\text{s}$ ，并保持良好的通风条件，控制工作场所气流流向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；放射性废气由单独的管道延伸至核医学科所在建筑物的屋面排出，并高于本建筑物屋顶，热室和手套箱的顶壁、通风管道排风口处均设置活性炭过滤装置，对放射性气溶胶进行吸附。

本项目放射性废物收集和处理方法基本合理，放射性废物处置得当，满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求。

2、非放射性三废处理措施评价

①废气

本项目加速器机房、后装机房内均设计机械通风系统，采取全排全送的通风方式，通风换气次数均不低于 4 次/h，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中通风次数要求；核医学科回旋加速器机房、PET/CT 机房内拟设置通风系统，DSA 机房内拟设计动力排风系统。本项目运行过程中产生的少量臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出机房，弥散在大气环境中，对环境影响较小。

②固体废物

项目运行期产生的固体废物主要为医疗废物和生活垃圾，院内医疗废物将委托有资质单位进行清运处理，生活垃圾由当地环卫部门统一清运，对环境影响较小。

③废水

项目运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为生活污水。根据《泉州宝璋肿瘤医院项目环境影响报告书》及其批复文件，院内生活污水将先经化粪池处理，后排入院内污水处理站处理，处理达标后通过市政污水管网进入城东污水处理厂处理，对环境影响较小。

④噪声

项目运行期产生的噪声污染源主要为通风系统风机运行时产生的噪声，项目拟优先选用噪声低、振动小的风机设备，安装风机时拟设置减振基础，通风管采用软性接头，排风口处安装消声器，项目经采取一系列减震隔声措施及距离衰减后，对周围声环境的影响较小。

综上所述，泉州宝璋肿瘤医院有限公司核技术利用项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和安全管理措施后，将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

13.2 建议与承诺

（1）项目在建造和运行过程中必须严格落实项目设计及本报告表中提出的安全防护措施和相关管理要求。

（2）所有设备资料、放射性同位素和射线装置台帐、监测资料等均应妥善保管，存档备案。

（3）项目运行过程中，应严格遵循操作规程，加强对医务人员的培训，杜绝麻

痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降到最低。

(4) 环境影响评价文件审批完成后，应根据有关规定及时申领辐射安全许可证。

(5) 针对放射性同位素的转让活动，应根据有关规定办理放射性同位素转让审批手续。

(6) 建设项目竣工后，医院应按照国务院生态环境行政主管部门规定的程序 and 标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外，其他环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。

验收期限是指自建设项目环境保护设施竣工之日起至建设单位向社会公开验收报告之日止的时间。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见:

公章

经办人

年 月 日

审批意见:

公章

经办人

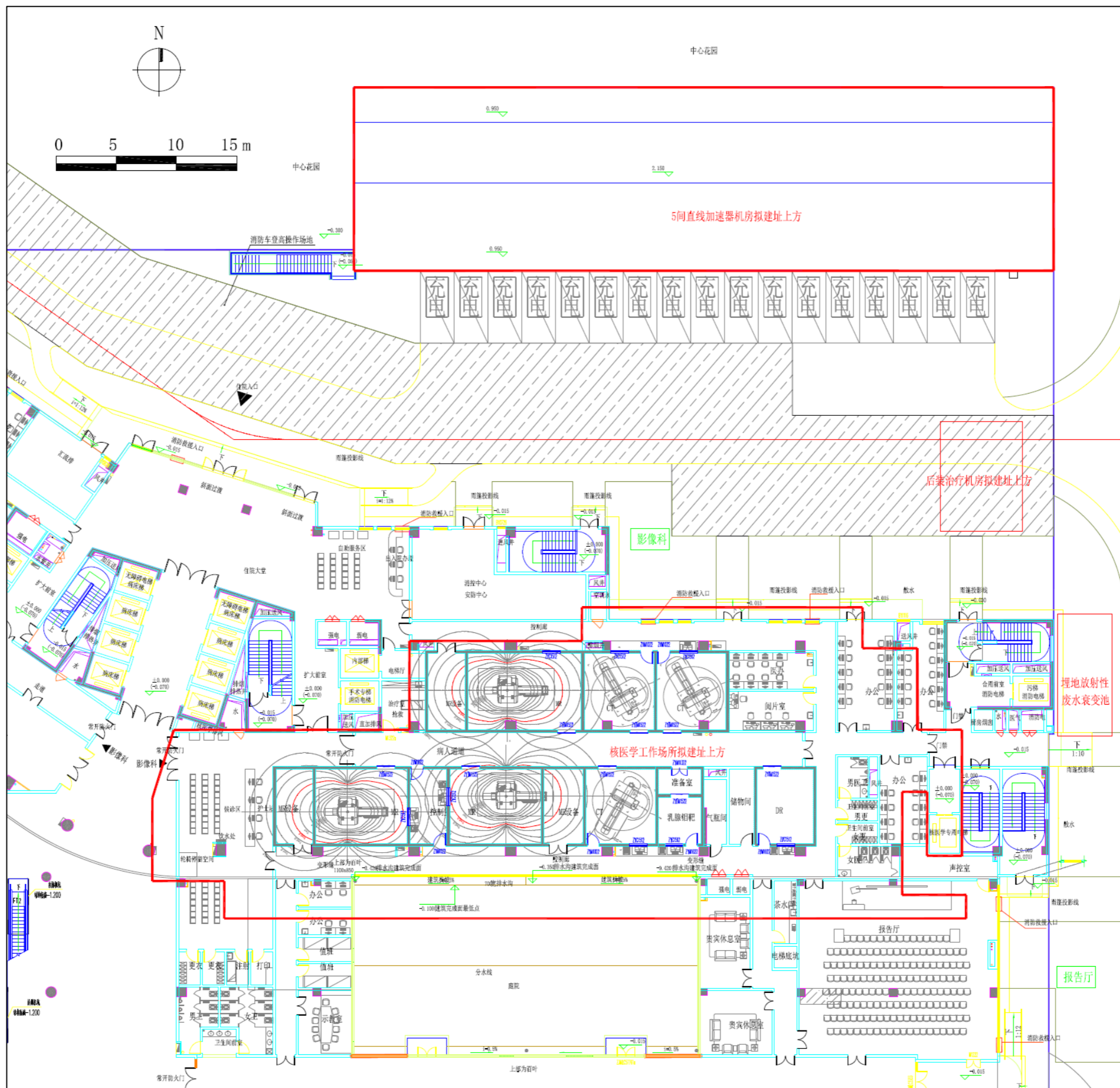
年 月 日



附图 1 泉州宝璋肿瘤医院有限公司地理位置示意图



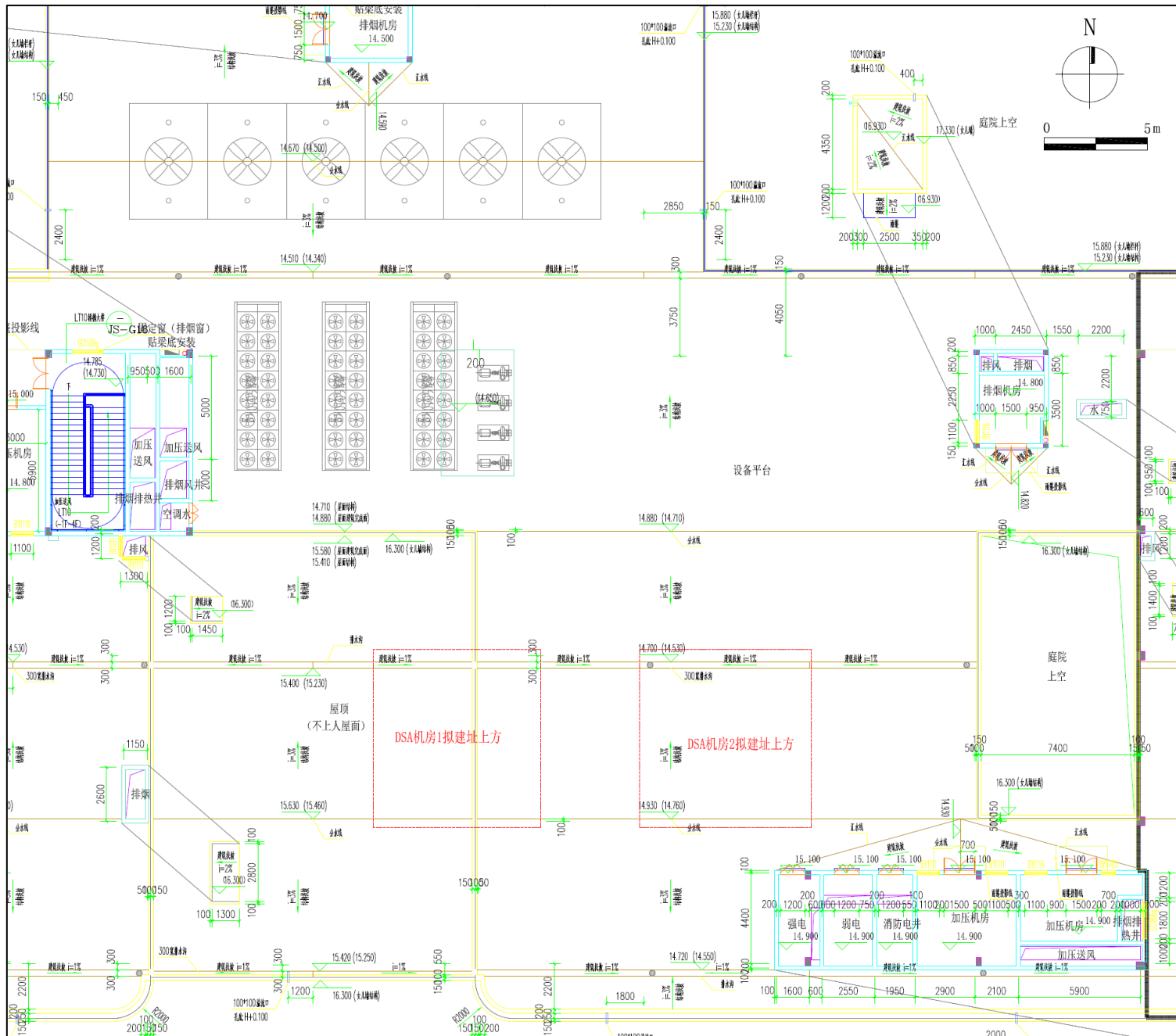
附图3 医疗综合楼地下一层局部平面布置示意图（放疗科和核医学科）



附图4 医疗综合楼一层局部平面布置示意图（放疗科和核医学科上方）



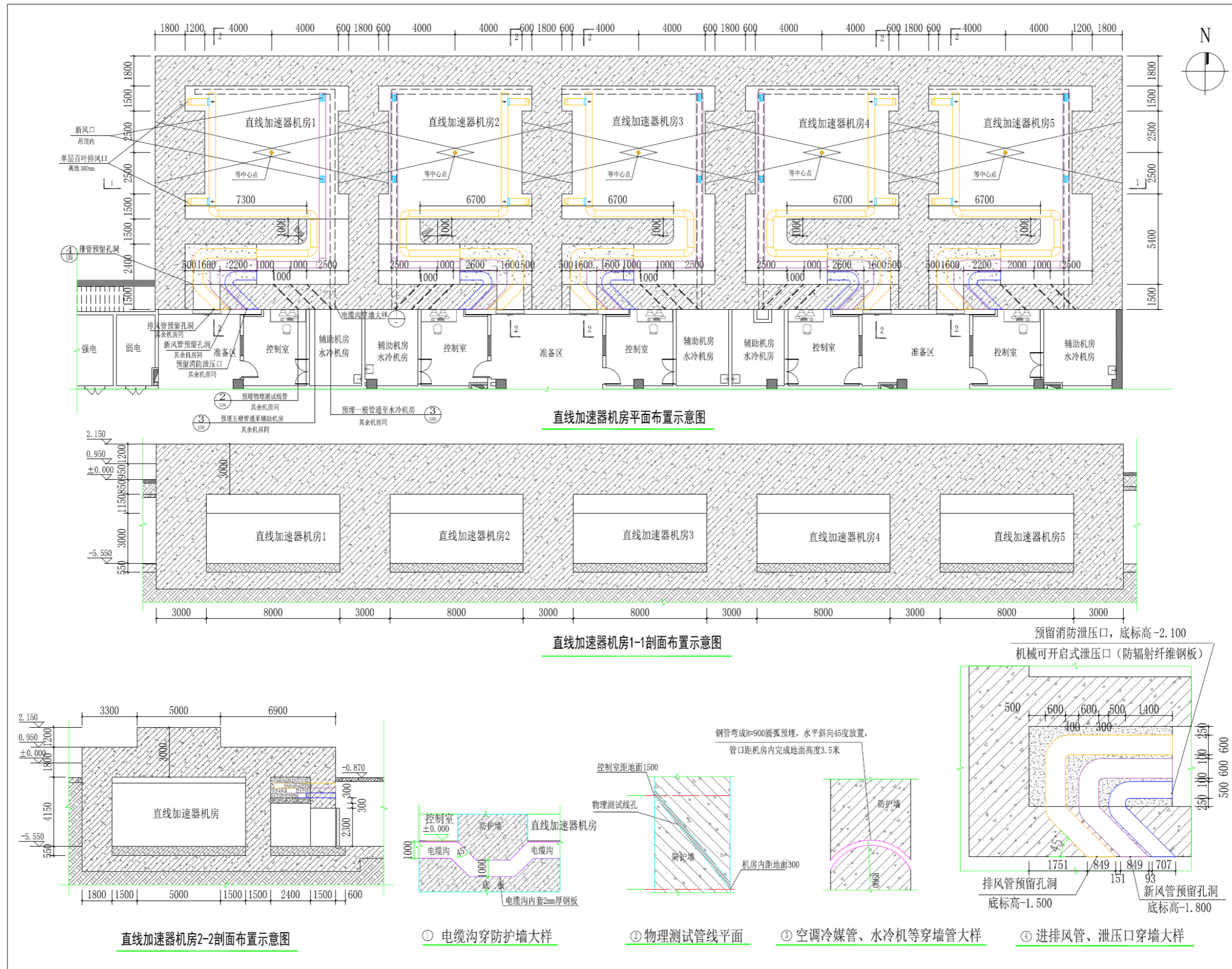
附图 6 医疗综合楼三层局部平面布置示意图 (介入中心)



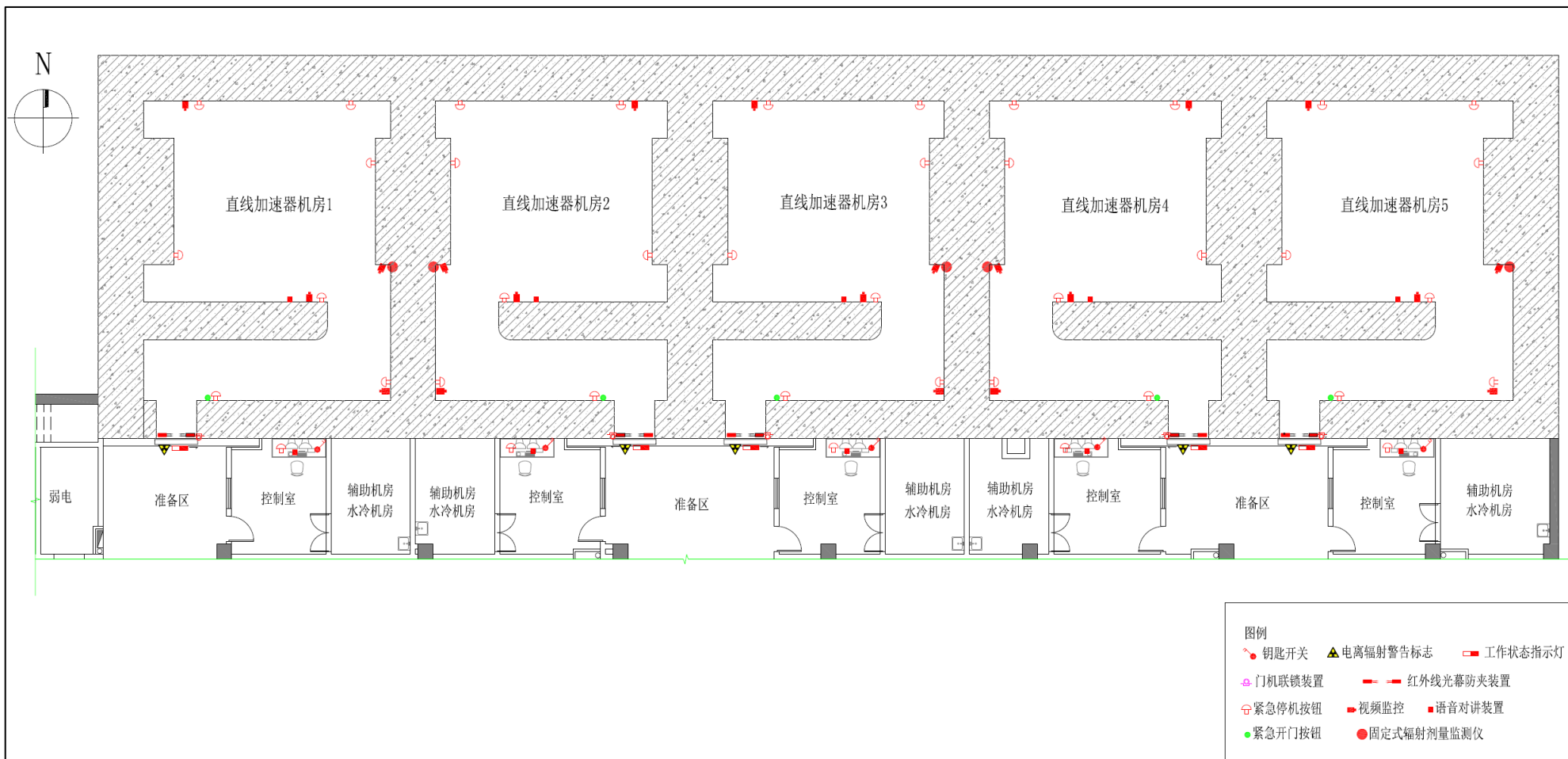
附图7 医疗综合楼四层局部平面布置示意图(介入中心上方)



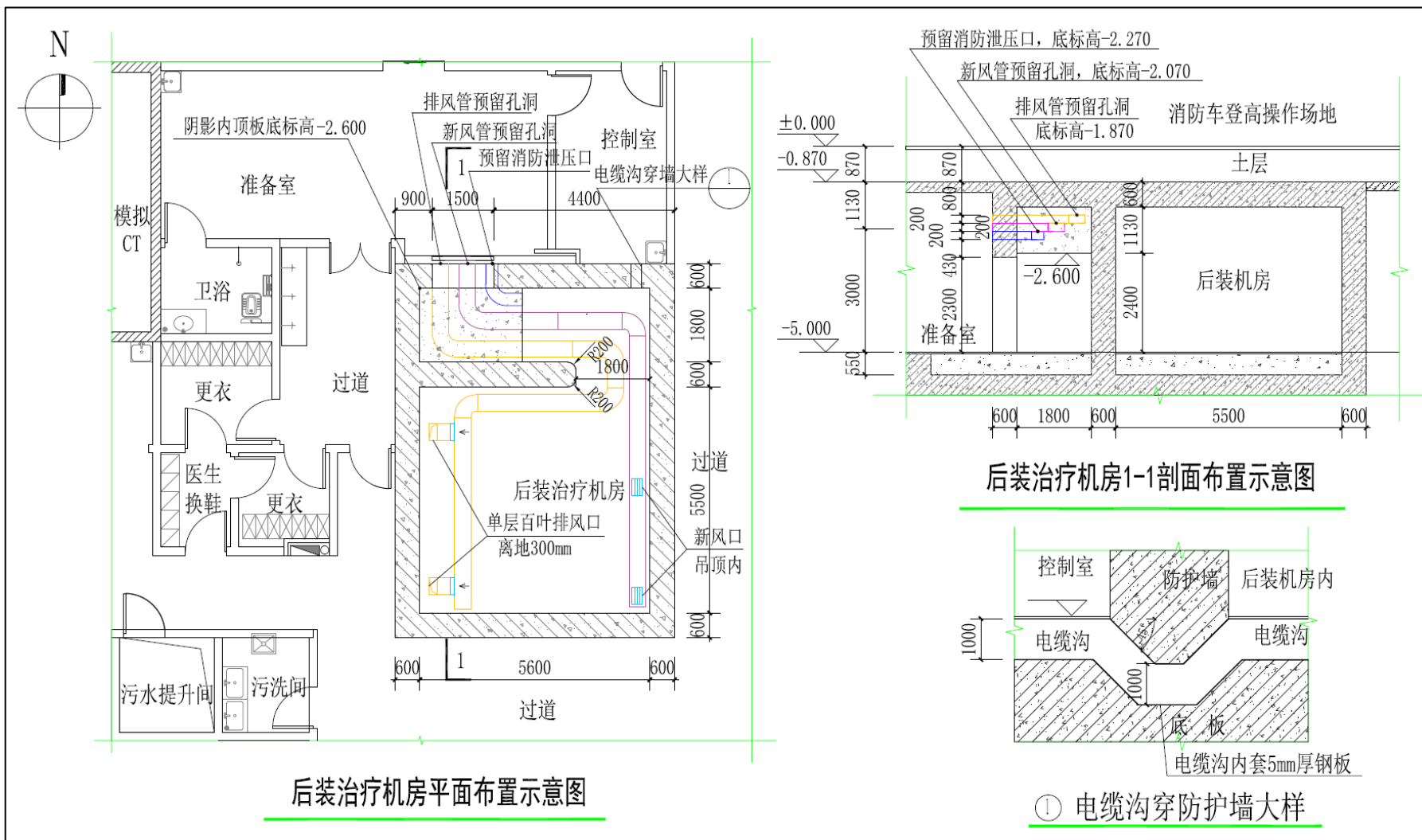
附图 8 放疗科直线加速器机房、后装治疗机房分区示意图



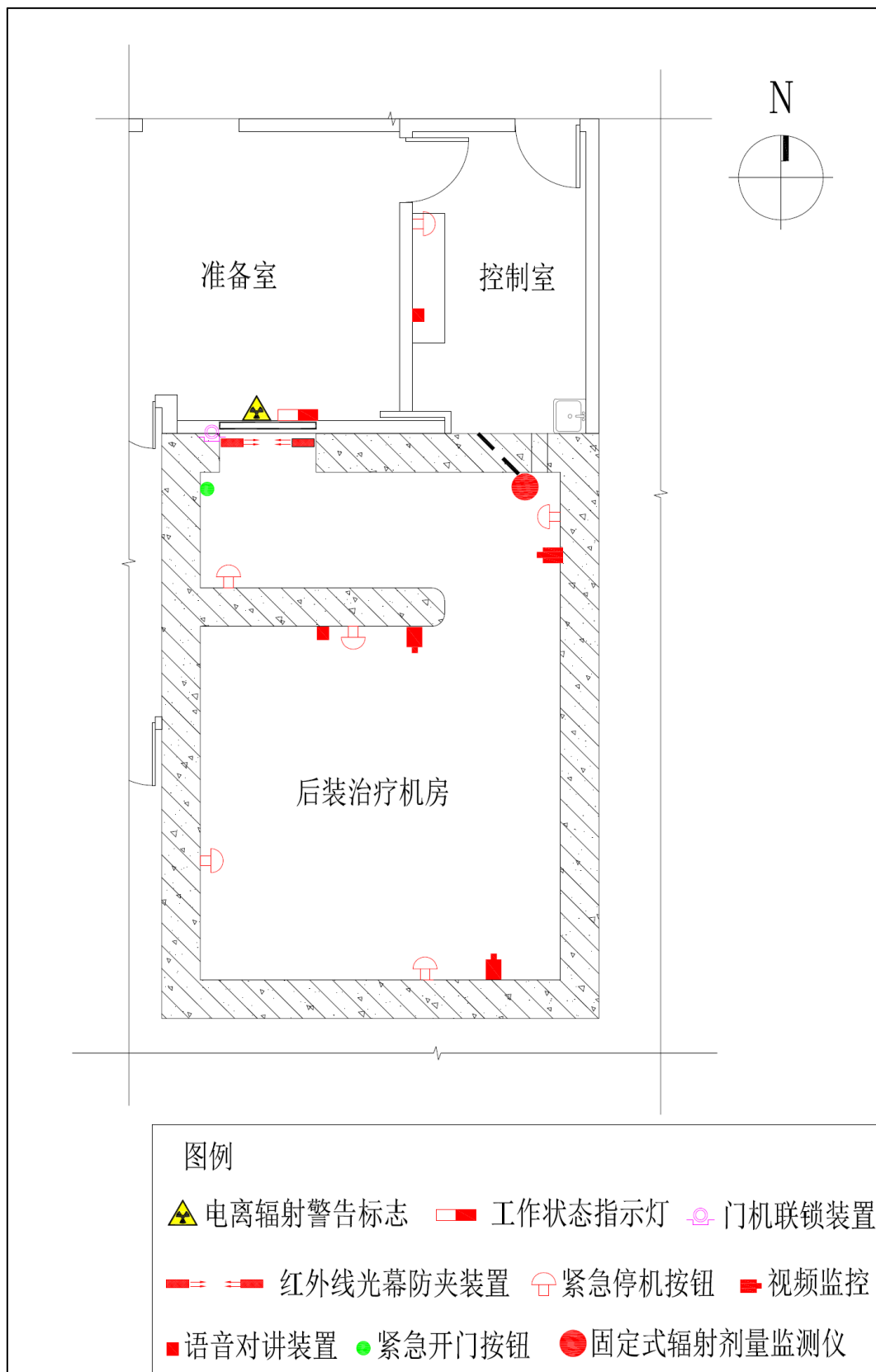
附图 9-1 直线加速器机房平面及剖面布置示意图



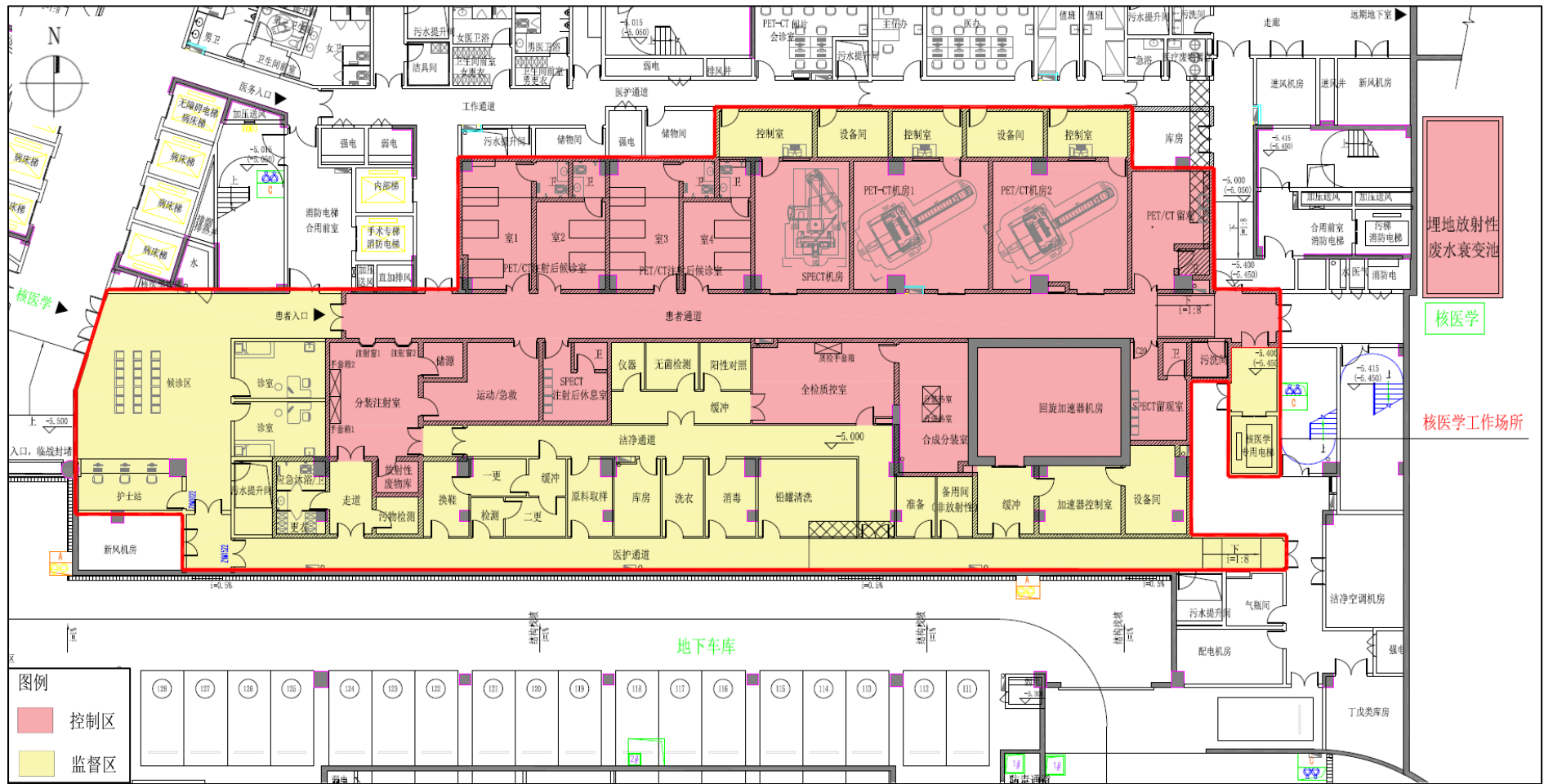
附图 9-2 直线加速器机房拟设置的辐射安全装置平面布置示意图



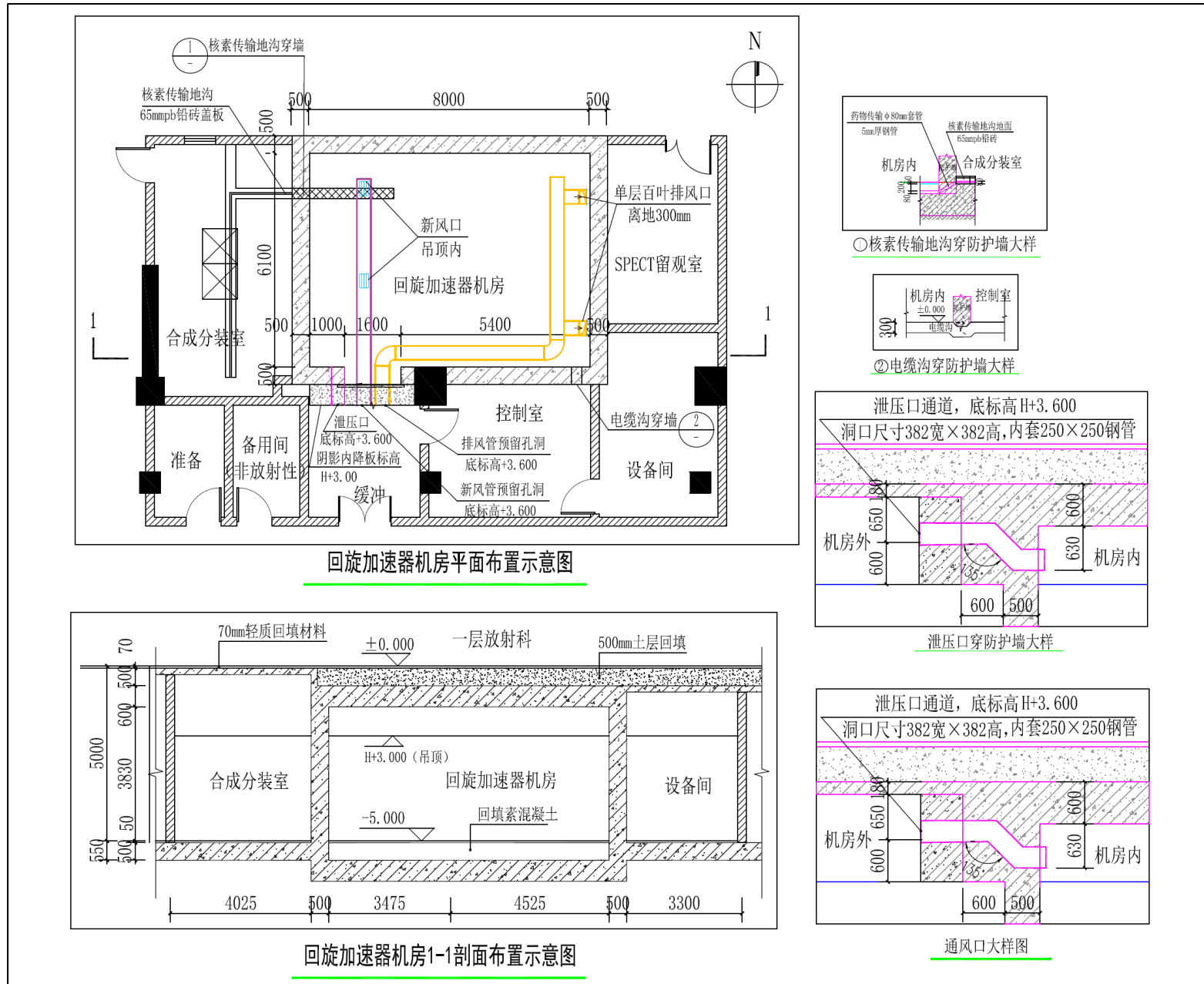
附图 9-3 后装治疗机房平面及剖面布置示意图



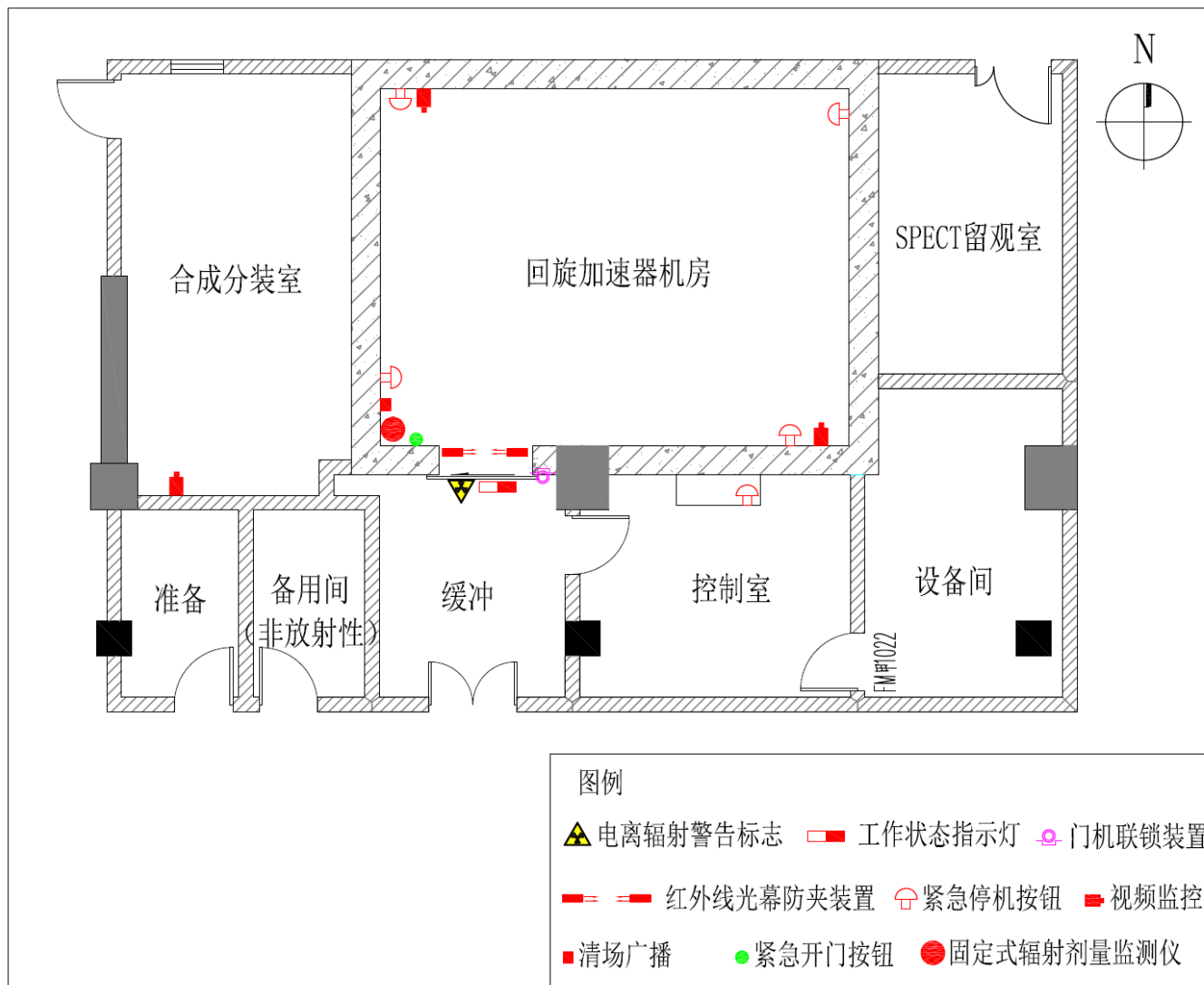
附图 9-4 后装治疗机房拟设置的辐射安全装置平面布置示意图



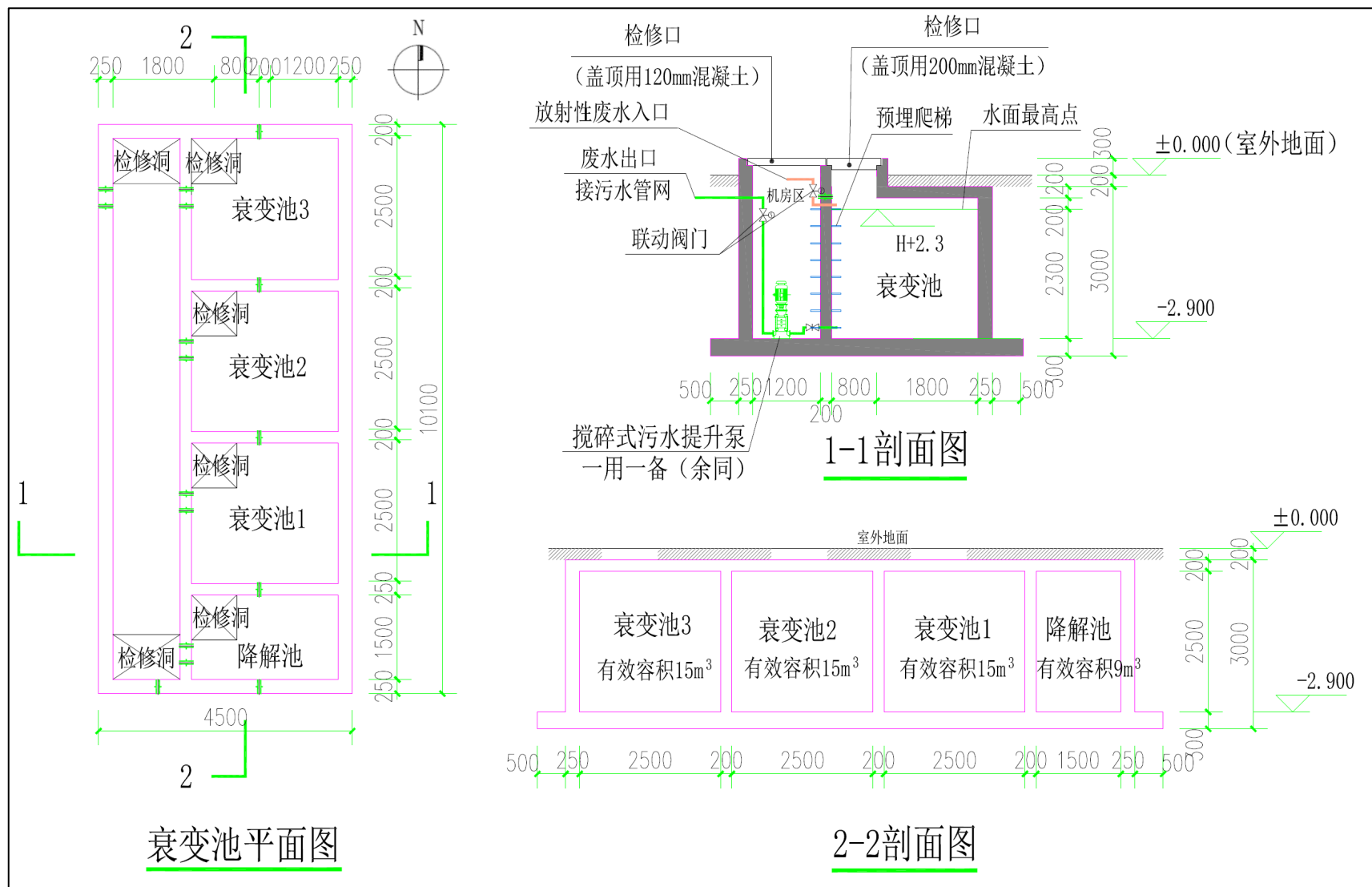
附图 10-1 核医学科平面布置及分区示意图



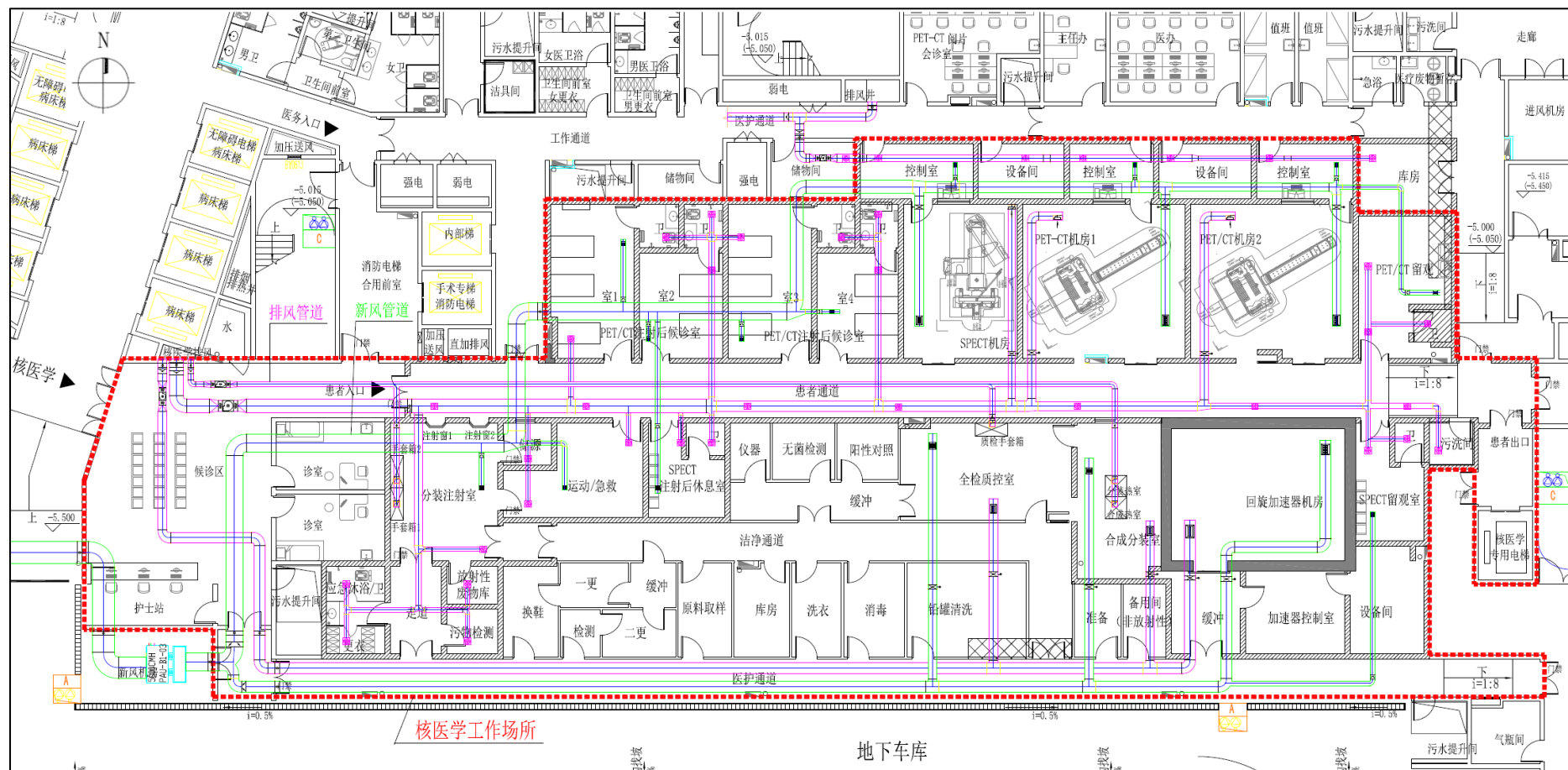
附图 10-2 核医学科回旋加速器机房平面及剖面布置示意图



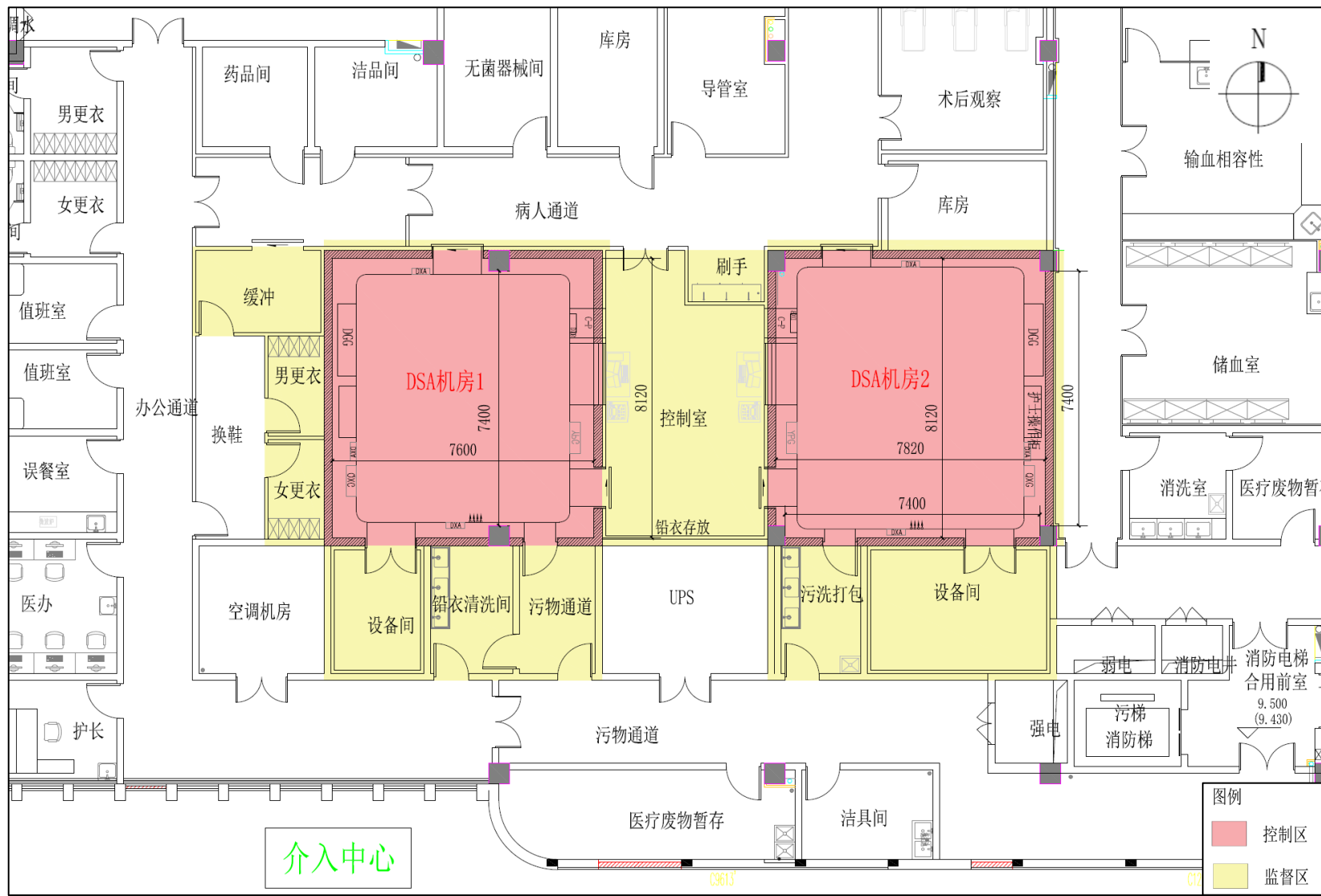
附图 10-3 核医学科回旋加速器机房拟设置的辐射安全装置平面布置示意图



附图 10-6 核医学科放射性废水衰变室的结构示意图



附图 10-7 核医学科通风管道平面布置示意图



附图 11 介入中心 DSA 机房平面布置及分区示意图