

核技术利用建设项目

攸县人民医院（攸州中心医院）新院区

核技术利用建设项目环境影响报告表

（送审稿）

攸县人民医院

二〇二五年十二月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

攸县人民医院（攸州中心医院）新院区

核技术利用建设项目环境影响报告表

（送审稿）

建设单位名称：攸县人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：攸县城关镇交通路 29 号、攸县联星街道攸衡南路
160 号

打印编号：1752801803000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	76sefj	
建设项目名称	攸县人民医院（攸州中心医院）新院区核技术利用建设项目	
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目	
环境影响评价文件类型	报告表	
一、建设单位情况		
单位名称（盖章）		
统一社会信用代码		
法定代表人（签章）		
主要负责人（签字）		
直接负责的主管人员（签字）		
二、编制单位情况		
单位名称（盖章）	长沙宏伟环保科技有限公司	
统一社会信用代码	91430111MA4T62MN7D	
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
伍志强	20230503536000000006	BH066280
2 主要编制人员		
姓名	主要编写内容	信用编号
伍志强	项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论与建议	BH066280
赵思泽	项目基本概况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状	BH060027

目 录

表 1 项目基本概况	1
表 2 放射源	22
表 3 非密封放射性物质	23
表 4 射线装置	24
表 5 废弃物（重点是放射性废物）	26
表 6 评价依据	28
表 7 保护目标与评价标准	31
表 8 环境质量和辐射现状	52
表 9 项目工程分析与源项	56
表 10 辐射安全与防护	88
表 11 环境影响分析	149
表 12 辐射安全管理	232
表 13 结论与建议	242
表 14 审批	245
附件 1 环评委托书	246
附件 2 医院辐射安全许可证	247
附件 3 医院辐射安全防护领导机构	254
附件 4 医院辐射事故应急预案	257
附件 5 医院相关管理制度	263
附件 6 老院现有辐射工作人员个人剂量监测报告	316
附件 7 老院核医学及介入科室辐射工作人员辐射安全与防护考核证书	329

附件 8 老院核医学及介入科室辐射工作人员职业健康体检报告	334
附件 9 项目辐射环境本底检测报告	363
附件 10 新院区环评批复	370
附件 11 新院区辐射工作人员年有效剂量管理目标值	375
附件 12 本项目人员配置及相关工作负荷确定	376
附件 13 本项目辐射防护屏蔽参数确认	379
附件 14 本项目免于处罚文件	380
附图一 新院区地理位置图	
附图二 新院区平面布置及本项目所在位置	
附图三 本项目放疗中心平面布置图	
附图四 直线加速器机房剖面图	
附图五 放射治疗场所通风图	
附图六 放射治疗机房管道及电缆沟穿墙示意图等	
附图七 放射治疗场所所在门诊医技楼负一楼平面布置图	
附图八 门诊医技楼二楼三个 DSA 机房平面布置及防护参数设计图	
附图九 门诊医技楼二楼三个 DSA 机房通风图	
附图十 综合住院楼五楼一个 DSA 机房平面布置及防护参数设计图	
附图十一 综合住院楼五楼一个 DSA 机房通风图	
附图十二 门诊医技楼二楼 DSA 机房所在楼层平面布置图	
附图十三 综合住院楼五楼 DSA 机房所在楼层平面布置图	
附图十四 DSA 机房管道穿墙及电缆沟设计	
附图十五 综合住院楼一楼核医学场所平面设计图	

附图十六 综合住院楼一楼核医学场所通风设计图（红色管道为新风，橙色管道为排风）

附图十七 核医学场所室内放射性废水管道布置图

附图十八 核医学场所室外下水管道设计及衰变池位置示意图

附图十九 衰变池设计图

表 1 项目基本情况

建设项目名称	攸县人民医院（攸州中心医院）新院区核技术利用建设项目				
建设单位	攸县人民医院				
法人代表	徐俊余	联系人	颜琼	联系电话	
注册地址	攸县城关镇交通路 29 号、攸县联星街道攸衡南路 160 号				
项目建设地点	攸县人民医院（攸州中心医院）新院区门诊医技楼负一楼、二楼；综合住院楼一楼、五楼				
立项审批部门	-		批准文号	-	
建设项目总投资（万元）	10000	项目环保投资（万元）	1530	环保投资比例	15.3%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建（新院区） <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积（m ² ）	-
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input checked="" type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<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	-			
项目概述					
1.1 建设单位概况					
<p>攸县人民医院始建于 1938 年，是一所集医疗服务、预防保健、康复治疗、临床教学于一体的三级乙等综合医院，系南华大学临床教学医院、南华大学附属第一医院医疗集团单位、株洲市中心医院紧密型医联体合作单位、湖南省助理全科医师培训基地。首批入选国家县级医院综合能力提升“千县工程”，心内科获评国家卫健委“改善医疗服务”先进科室，2023 年绩效考核部分主要检测指标处于全省县级医院前列，“双联双创”战略获选全国“医院战略管理典型案例”，我院作为全省唯一一家县域医疗机构接受《健康报》“健康中国强县行”活动现场访谈，医院发展得到多方肯定。医院先后荣获省抗击新冠肺炎疫情先进集体、市心血管介入质控优秀单位、县文明建设先进单位、卫生健康工作红</p>					

旗单位等多项荣誉。

医院由城中老院区、东城新院区组成，老院区占地面积 76 亩，总建筑面积 6.5 万平方米，开放床位 818 张，设有临床及医技医辅科室 45 个；新院区占地面积 154 亩，总建筑面积 19.2 万平方米，编制床位 1200 张，年门诊量可达 100 万人次，2025 年 11 月 18 日已顺利完成院领导及行政职能科室搬迁工作。目前医院在职职工 1070 人，其中高级职称 176 人（正高级职称 33 人，副高级职称 143 人）、中级职称 496 人，市级核心专家及中青年名医 3 人，博士 1 人，硕士研究生 30 人。

近年来，医院以学科建设和技术提升为导向，以医疗安全与质量管理为基础，以运营管理和卓越服务为抓手，推进医院高质量发展步入“快车道”。心血管内科、骨科、儿科等 9 个专科列入县级省临床重点专科，神经内科、肿瘤内科、普外科、泌尿外科、重症医学科等 12 个专科列入县临床重点专科。成立介入医学中心，呼吸与危重症医学科顺利通过国家 PCCM 规范化建设验收，建成国家标准化代谢性疾病管理中心（MMC），泌尿外科开展的“腹腔镜肾上腺肿瘤切除术”、重症医学科开展的杂合式血液净化技术连续两年获评株洲市十大医疗新技术。胸痛、卒中、创伤、危重孕产妇、危重新生儿救治“五大中心”建设成效显著，其中，胸痛中心通过国家级认证、纳入中国胸痛中心急救地图，卒中中心通过省级认证、纳入湖南省卒中急救地图，为湖南省县域内心脑血管疾病分级管理试点县牵头单位。

新院区概况：随着攸县社会经济快速发展，全县医疗卫生事业的发展已满足不了广大人民群众就医需求和医院自身发展的需要，现有攸县人民医院服务能力受到场地限制，面积狭小，交通拥挤，业务用房严重不足，医疗新技术、新项目无法正常开展，无法满足日益增加的综合医院医疗需求，因此医院拟投资 258000 万元，从现址即攸县城关镇交通路 29 号，整体搬迁至攸县东城新区。新院区建设项目于 2016 年 10 月获得原攸县环境保护局批复（攸环评【2016】6 号）（附件 10），北临迎宾大道，南临金水路，东临紫云路，西临慈峰路，总用地面积 102815.3 平方米，总建筑面积 249178.3 平方米，设计住院床位 1500 张（一期 1200 张，二期 300 张），主要建构物包括：门诊医技楼、综合住院楼、专科住院楼、综合服务楼及其他配套设施等，新院区于 2019 年 4 月开始进行场地建设。新院区住院大楼二期建设项目于 2020 年 4 月获得株洲市生态环境局批复。

1.2 本项目由来

为了更好地满足攸县及周边县市在健康、养老、医疗等方面的需求，医院拟在新院区门诊医技楼负一楼新建两个直线加速器机房（机房屏蔽设计均按照 10MV 直线加速器设备要求进行设计和施工）和一个后装治疗机房（使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源治疗，初装活度 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ）；在门诊医技楼二楼新建一个介入手术科室（建设三个 DSA 机房及相关配套用房）；在综合住院楼一楼新建一个核医学科场所（由敷贴及核素显像区和 ^{131}I 核素治疗区构成），敷贴及核素显像区建设一个 PET-CT 机房、一个 SPECT-CT 机房及相关用房、一个 ^{90}Sr 敷贴治疗室，使用非密封放射性物质 ^{18}F 用于 PET-CT 扫描，使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用于 SPECT-CT 扫描， ^{131}I 核素治疗区用于甲测、甲亢治疗，核医学场所为乙级非密封放射性物质工作场所；在综合住院楼五楼新建一个 DSA 机房及相关配套用房。

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号令）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关法律法规的规定，本项目需要进行环境影响评价。按照《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目——医疗使用 III 类放射源的；使用 II 类射线装置；乙级非密封放射性物质工作场所”，应编制环境影响报告表。为此，攸县人民医院（攸州中心医院）于 2025 年 4 月 12 日委托长沙宏伟环保科技有限公司对该项目进行环境影响评价（见附件 1）。接到委托后，我单位组织专业技术人员对现场进行了调查、资料收集和辐射环境现状监测等工作，在此基础上编制完成了《攸县人民医院（攸州中心医院）新院区核技术利用建设项目环境影响报告表》。

根据现场踏勘情况，本项目直线加速器机房与后装治疗机房已于 2020 年在门诊医技楼主体建筑进行建设时同时完成了整体浇筑，其他装修装饰工程暂未开展，核医学科场所也已开工建设。对于本项目涉及的未批先建问题，株洲市生态环境局于 2025 年 12 月 23 日对该项目出具了不予行政处罚决定书（附件 14）。

1.3 项目概况

1.3.1 项目名称、性质、建设地点

1.项目名称：攸县人民医院（攸州中心医院）新院区核技术利用建设项目；

2.建设单位：攸县人民医院（攸州中心医院）；

3.建设地点：攸县人民医院（攸州中心医院）新院区门诊医技楼负一楼、二楼；综合住院楼一楼、五楼；

4.建设性质：新建（新院区）。

1.3.2 建设内容与规模

建设内容：

①门诊医技楼负一楼新建两个直线加速器机房（机房屏蔽设计均按照 10MV 直线加速器机房要求进行设计和施工）和一个后装治疗机房（使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源治疗，初装活度 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ）。

②门诊医技楼二楼新建一个介入手术科室（建设三个 DSA 机房及相关配套用房）。

③综合住院楼一楼新建一个核医学科场所（由敷贴及核素显像区和 ^{131}I 核素治疗区构成），敷贴及核素显像区建设一个 PET-CT 机房、一个 SPECT-CT 机房及相关用房、一个 ^{90}Sr 敷贴治疗室，使用非密封放射性物质 ^{18}F 用于 PET-CT 扫描，使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用于 SPECT-CT 扫描， ^{131}I 核素治疗区用于甲测、甲亢治疗，核医学场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

④综合住院楼五楼新建一个 DSA 机房及相关配套用房。

⑤建设两套地埋槽式衰变池系统。

规模：

①两个直线加速器机房南北相连，共用一个主屏蔽墙体；后装治疗机房控制室位于 2 号直线加速器机房南面，机房内新购一台后装治疗机，使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源治疗，初装活度 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ，后装治疗场所内存在 1 枚 ^{192}Ir 退役源暂存情况，不存在两枚放射源同时使用的情况。

②门诊医技楼二楼建设 3 个 DSA 机房南北走向布置，相连，综合住院楼五楼建设 1 个 DSA 机房，每个机房配备一台 DSA 设备（最大管电压 125kV，最大管电流 1250mA，属 II 类射线装置）。根据医院提供资料，老院区一台 DSA 设备（型号 Alluar xper KD 20）拟搬迁至新院区综合住院楼五楼 DSA 机房内，另新购三台 DSA。

③核素显像区 PET-CT 设备自带 1 枚 ^{68}Ge 密封校准放射源，活度 $1.85 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于 V 类放射源。敷贴及核素显像区域分为四部分：分别为 ^{18}F 显像区、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像区、 ^{90}Sr 敷贴治疗室和医护人员区域。 ^{18}F 显像区与 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像区共用 1 间储源室、废源间、分装给药室、患者通道、留观室/抢救室、清洁间。另外 ^{18}F 显像区单独设有注射后候诊室、PET-CT 机房及控制室， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像区单独设有运动平板实验室、注射后候诊室、SPECT-CT 机房及控制室。医护人员区域包括护士站、医生办公室、卫生通过间等。

^{131}I 核素治疗区包括分装室、控制室、甲测及甲亢患者服药窗口、甲亢病房、污洗间、污染被服间、洁净被服间、储源室、固废间、甲测室、患者通道、医护人员工作区域等。

④两套地埋槽式衰变池系统位于医院综合住院楼南面约 2m（附图十八），本项目衰变池设计图纸见附图十九，衰变池拟采用混凝土结构进行浇筑，衰变池池体之间为 25cm 混凝土，四周为 40cm 混凝土，底部为 30cm 混凝土，顶部为 50cm 混凝土，每个池子出气口设置 20mmPb 铅盖板。

核素显像区衰变池共 3 个池子，每个池子的净容积为 25m^3 ，衰变池前端设置了一个 2m^3 的破碎收集池。核素治疗区衰变池共 3 个池子，每个池子的净容积为 120m^3 ，衰变池前端设置了一个 5m^3 的破碎收集池。

根据《射线装置分类》（原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，2017 年第 66 号）可知，本项目拟配备的 PET-CT、SPECT-CT 为 III 类射线装置，血管造影 DSA 设备和直线加速器均属于 II 类射线装置。

本项目具体建设内容见下表 1-1。

表 1-1 本项目具体建设内容一览表

类别	建设内容	备注
主体工程	放射治疗场所 ①建设 2 个直线加速器机房、1 个后装治疗机房； ②配备 2 台 10MV 直线加速器设备； ③后装治疗机使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源治疗，场所内存在 1 枚 ^{192}Ir 退役源暂存情况，不存在两枚放射源同时使用的情况。	机房已完成浇筑
	核医学科场所 ①建设 1 个 PET-CT 机房、1 个 SPECT-CT 机房、1 个 ^{90}Sr 敷贴治疗室，分装给药室、储源室、固废间、运动平板实验室、患者注射后候诊室、留观室/抢救室、患者通道、清洁间等； ②使用非密封放射性物质 ^{18}F 用于 PET-CT 扫描；	核医学场所已开工建设，暂未进行通风、装修装饰

		<p>③使用 ^{99m}Tc 用于 SPECT-CT 扫描；</p> <p>④使用放射性核素 ^{90}Sr 进行敷贴治疗；</p> <p>⑤建设一个 ^{131}I 核素治疗场所，使用 ^{131}I 开展甲状腺功能测定、甲亢治疗。核素治疗区包括分装室、控制室、甲测及甲亢患者服药窗口、甲亢病房、污洗间、污染被服间、洁净被服间、储源室、固废间、甲测室、患者通道、医护人员工作区域等；</p> <p>⑥建设两套槽式衰变池系统，核素显像区衰变池共 3 个池子，每个池子的净容积为 25m^3，衰变池前端设置了一个 2m^3 的破碎收集池。核素治疗区衰变池共 3 个池子，每个池子的净容积为 120m^3，衰变池前端设置了一个 5m^3 的破碎收集池。</p>	等工程的建设
	介入中心	<p>①建设 4 个 DSA 机房；</p> <p>②门诊医技楼二楼三间 DSA 机房新购 3 台 DSA 设备，型号待定；老院区一台 DSA（型号 Alluar xper KD 20）搬迁至综合住院楼五楼 DSA 机房。</p>	新建
辅助工程	放射治疗场所	建设 3 个控制室、2 个辅助机房及配套用房	新建
	核医学科场所	建设 2 个控制室、设备间等	新建
	介入中心	建设 4 个控制室、设备间、污物通道等	新建
公用工程	给水	由城市供水管网提供，依托新院区供水管网。	依托
	排水	产生的生活污水依托新院区的污水管网收集至污水处理系统处理后接入市政污水管网，本项目核医学科产生的放射性废水经衰变池处理达标后进医院污水处理系统处理。	依托医院污水处理系统，新建衰变池
	供配电	由市政电网供电，依托新院区供配电系统。	依托
环保工程	废气	<p>①放射治疗场所、核医学科场所均设置有独立的排风和送风系统，能满足标准要求；</p> <p>②4 间 DSA 机房设置有动力通风装置，能保证机房内通风良好。</p>	新建
	废水	本项目产生的生活污水化粪池预处理后、核医学科产生的放射性废水经衰变池处理达标后均依托新院区的污水管网收集至医院污水处理系统处理后接入市政污水管网。	依托医院污水处理系统
	固废	<p>①核医学场所设置 2 个固废间，^{18}F、^{99m}Tc 显像产生的放射性固体废物暂存时间超过 30 天后经检测达到清洁解控水平作为医疗废物处理；^{131}I 核素治疗产生的放射性固体废物暂存时间超过 180 天后经检测达到清洁解控水平作为医疗废物处理；</p> <p>②退役的 ^{68}Ge 校准放射源、^{192}Ir 放射源由供源单位回收处理；</p> <p>③直线加速器在大修或者退役后产生的废靶件由设备供应商回收处置；</p> <p>④介入手术过程中产生的医疗废物在每场手术结束后，经打包后运至医院医疗废物间暂存，而后交有资质单位处置；</p>	依托

		⑤项目产生的生活垃圾依托医院的生活垃圾收集系统收集，统一交环卫部门处理。	
	电离辐射	医用直线加速器机房、后装治疗、核医学场所和 DSA 机房均采用实体屏蔽、安全防护设施、铅门等作为防护体，确保本项目运行满足相关法规、标准的要求。	新建

1.3.3 本项目放射源、非密封放射性物质及射线装置情况

(1) 放射源

根据医院提供资料，本项目 PET-CT 使用 1 枚 ^{68}Ge 校准源对设备校准，后装治疗机使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源进行治疗，敷贴治疗室使用 1 枚 ^{90}Sr 敷贴器（购买商品敷贴器）进行敷贴治疗。由于在实际工作中存在供源单位无法及时回收废弃的 ^{192}Ir 放射源，后装治疗机房存在新购的放射源已经投入使用，但废源仍在医院内暂存的情况，暂存时间不超过 3 个月，因此本次评价 ^{192}Ir 放射源按 2 枚考虑。医院按计划在 ^{192}Ir 旧源拟退役时购进新源，旧源在后装机房西南角保险柜内铅罐暂存，保险柜采取双人双锁，不存在两枚新源同时使用的情况。

^{68}Ge 校准源与 ^{192}Ir 放射源均由供源单位负责运输、安装，放射源更换由供源单位派专人更换，同时废源由供源单位统一回收。根据《放射源分类办法》，本项目涉及放射源 ^{68}Ge 为 V 类放射源，放射源 ^{192}Ir 为 III 类放射源。

本项目 ^{90}Sr 敷贴器活度为 20mCi ($7.4 \times 10^8 \text{Bq}$)，对照《放射源分类办法》，属于 V 类源， ^{90}Sr 为 β 放射源，半衰期 28.1 年，可长时间使用不用更换，敷贴治疗每天最多治疗 2 个病人，每周工作 5 天，每年工作 50 周（治疗 500 人/年）。

本项目放射源使用情况详见表 1-2。

表 1-2 本项目放射源情况一览表

核素名称	初装活度 (Bq) / 枚数	类别	来源	用途	暂存场所	备注
^{68}Ge	0.5mCi ($1.85 \times 10^7 \text{Bq}$) / 1 枚	V 类	设备自带	PET-CT 设备校准	PET-CT 机房（保险柜内）	桶源/厂家回收
^{192}Ir	$3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ / 2 枚	III 类	购置	后装机放射治疗	一枚使用源于机头源罐内贮存，一枚退役源铅罐封存后放机房西南角保险柜内，双人双锁	更换废源由供源单位回收
^{90}Sr 敷贴器	$7.4 \times 10^8 \text{Bq}$	V 类	购买商品敷贴器	敷贴治疗	敷贴器贮源箱内保存，贮源箱暂存于敷贴室保险柜内，双人双锁	废敷贴器按放射性固体废物处置

(2) 非密封放射性物质

根据医院提供资料，本项目拟使用非密封放射性物质包括 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 。

①PET-CT 每天最多检查 40 人，每周工作 5 天，每年工作 50 周，平均每个病人检查期间放射性药物 ^{18}F 注射量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，实际日最大用药量为 $1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$ 暂定一天送 2 次药（上、下午各一次）；

②SPECT-CT 每天最多检查 20 个病人，每周工作 5 天，每年工作 50 周，平均每个病人检查期间放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射量为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ (20mCi)，实际日最大用药量为 $1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，暂定一天送 2 次药（上、下午各一次）。

③本项目 ^{131}I 甲亢每天最多治疗 6 个病人，每周工作 3 天（星期一、星期三、星期五），每年工作 50 周（治疗 900 人/年），平均每个病人治疗期间 ^{131}I 服药量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)；甲状腺功能测定每天最多检查 5 个病人，每周工作 3 天（星期一、星期三、星期五），每年工作 50 周（检查 750 人/年），平均每个病人检查期间 ^{131}I 服药量为 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ (10 μCi)。放射性药物 ^{131}I 为医院根据病人预约情况每周购药三次（星期一、星期三、星期五），一次最大送药量为 $2.22185 \times 10^9 \text{Bq}$ (60.05mCi)。

^{18}F 、 ^{131}I 两种核素均需分装， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为成品注射器药物，不需要分装。

本项目核医学科工作场所放射性核素参数见表 1-3。核医学科病人就诊量及非密封放射性物质使用情况统计见表 1-4。

表 1-3 本项目核医学科工作场所放射性核素参数

核素	半衰期	挥发性	衰变类型	毒性	β 最大能量 /MeV	γ 光子能量 (MeV)	用途
^{18}F	109.8min	不挥发	β^+ 、EC	低毒	0.63(+)	0.511	PET-CT 显像诊断
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	不挥发	同质异能跃迁	低毒	/	0.140	SPECT-CT 显像诊断
^{131}I	8.02d	挥发	β^-	中毒	0.602	0.284，0.365，0.637	甲亢、甲测治疗

注：数据来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表 H.1。

表 1-4 核医学科就诊病人量及非密封放射性物质使用情况

核素名称	用途	平均每人用药量/Bq	日最大接诊人数	年最大诊疗人次	日最大用药量 /Bq	年最大用药量 /Bq
^{18}F	PET-CT 显像	3.70×10^8	40 人	10000 人次	1.48×10^{10}	3.7×10^{12}

^{99m} Tc	SPECT-CT 显像	7.4×10 ⁸	20 人	5000 人次	1.48×10 ¹⁰	3.7×10 ¹²
¹³¹ I	甲亢	3.7×10 ⁸	6 人	900 人次	2.22×10 ⁹	3.33×10 ¹¹
¹³¹ I	甲测	3.7×10 ⁵	5 人	750 人次	1.85×10 ⁶	2.775×10 ⁸

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函[2016]430号)，满足以下 3 个特点的放射性药物使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：A、有相对独立、明确的监督区和控制区划分；B、工艺流程连续完整；C、有相对独立的辐射防护措施。根据该条件要求，本项目核医学科整体划为 1 个非密封放射性物质工作场所，具体场所分级计算如下：

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 C 提供的非密封放射性物质工作场所的日等效最大操作量的计算方法如下：

$$\text{日等效最大操作量} = \frac{\text{实际日最大操作量} \times \text{毒性组别修正因子}}{\text{操作方式修正因子}}$$

本项目 ¹³¹I 药物一次最大送药量为 2.22185×10⁹Bq (60.05mCi)，¹⁸F 药物每天送药两次(上、下午各一次)，每天送药量 1.48×10¹⁰Bq (400mCi)，^{99m}Tc 药物每天送药两次(上、下午各一次)，每天送药量 1.48×10¹⁰Bq (400mCi)。本次计算非密封放射性核素的日等效最大操作量时，均按照非密封放射性核素的每天最大送药量计算，本项目核医学场所等级划分计算详见下表 1-5。

表 1-5 本项目核医学场所等级划分一览表

核素名称	¹⁸ F	^{99m} Tc	¹³¹ I
实际日操作量	1.48×10 ¹⁰ Bq	1.48×10 ¹⁰ Bq	2.22185×10 ⁹ Bq
毒性组别修正因子	0.01(低毒)	0.01(低毒)	0.1(中毒)
与操作方式有关的修正因子	10(很简单的操作)	10(很简单的操作)	1(简单操作)
日等效最大操作量	1.48×10 ⁷ Bq	1.48×10 ⁷ Bq	2.22185×10 ⁸ Bq
合计	2.52×10 ⁸ Bq		
工作场所等级	乙级，<4×10 ⁹ Bq		

*注：《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)：医疗机构使用 ¹⁸F、^{99m}Tc、¹²⁵I 粒子源相关活动视为“很简单的操作”，使用 ¹³¹I 核素相关活动视为“简单操作”。

根据上表可知，各核素日等效操作量叠加后确定该核医学科的场所等级，经计算得出整个核医学科日等效最大操作量为 2.52×10⁸Bq，根据《电离辐射防护与辐射源安全标准》(GB18871-2002)规定，本项目核医学科属于乙级非密封放射性物质工作场所。

(3) 射线装置

根据医院提供资料，本项目拟使用射线装置情况详见表 1-6。

表 1-6 本项目射线装置情况一览表

序号	装置名称	台数	位置	型号	设备参数	类型	备注
1	医用直线加速器	1	门诊医技楼负一楼直线加速器机房 01	待定	X 射线档位：10MV、6MV； 10MV：600cGy/min；	II 类	新购
2	医用直线加速器	1	门诊医技楼负一楼直线加速器机房 02	待定	6MV：具有 FFF 模式，最高剂量率 1400cGy/min； 最大电子线能量：18MeV	II 类	新购
3	DSA	1	门诊医技楼二楼 DSA 机房 01	待定	最大管电压为 125kV，最大管电流 为 1250mA	II 类	新购
4	DSA	1	门诊医技楼二楼 DSA 机房 02	待定	最大管电压为 125kV，最大管电流 为 1250mA	II 类	新购
5	DSA	1	门诊医技楼二楼 DSA 机房 03	待定	最大管电压为 125kV，最大管电流 为 1250mA	II 类	新购
6	DSA	1	综合住院楼五楼 DSA 机房	Alluar xper KD 20	最大管电压为 125kV，最大管电流 为 1250mA	II 类	老院 搬迁
7	PET-CT	1	综合住院楼一楼核医学科 PET-CT 机房	待定	最大管电压：140kV；最大管电流： 800mA	III 类	新购
8	SPECT-CT	1	综合住院楼一楼核医学科 SPECT-CT 机房	待定	最大管电压：140kV；最大管电流： 800mA	III 类	新购

1.3.4 本项目辐射工作人员配置

①直线加速器：每台直线加速器配置 1 名物理师、2 名放射治疗技师。

②后装治疗机：配置 1 名物理师，2 名放射治疗技师。

③核医学：¹⁸F 分装注射人员 2 人，PET-CT 控制室操作人员 2 人(负责摆位、扫描)；^{99m}Tc 测活及注射人员 1 人，SPECT-CT 控制室操作人员 2 人(负责摆位、扫描)；¹³¹I 分装给药人员 1 人；敷贴医生 1 人，甲测医生 1 人。

④介入中心：老院区现有介入辐射工作人员 14 人，本项目建成后，老院区现有介入辐射工作人员调配至本项目，另外根据新院区以后介入手术开展情况陆续招聘或者医院内部培训相关介入辐射工作人员。

另外新院区核医学科场所拟招聘 4 名医生开展工作，且应纳入医院辐射工作人员管理。核医学科场所所需辐射工作人员总共 14 人，老院区甲亢核医学科现有分装工作人

员 1 人（胡蓉），甲亢治疗医生 1 人（吴刚）拟调配至新院区核医学科。

另外放射治疗场所拟配备 3 名放疗医生、1 名护士，且应纳入医院辐射工作人员管理。

本项目辐射工作人员配备情况详见下表 1-7。

表 1-7 本项目辐射工作人员拟配置一览表

岗位		拟配备人员数量	人员来源
核医学科场所	¹⁸ F 分装注射人员	2 名	新增，医院内部培训或外聘
	PET-CT 操作人员	2 名	新增，医院内部培训或外聘
	^{99m} Tc 测活及注射人员	1 名	新增，医院内部培训或外聘
	SPECT-CT 操作人员	2 名	新增，医院内部培训或外聘
	¹³¹ I 分装给药人员	1 名	老院调配 1 人
	敷贴医生	1 名	新增，医院内部培训或外聘
	甲测医生	1 名	老院调配 1 人
	核医学医生	4 名	外聘
放射治疗场所 (直线加速器)	物理师	2 名	医院外聘
	放疗技师	4 名	
	放疗医生	3 名	
	护士	1 名	
放射治疗场所 (后装治疗机)	物理师	1 名	
	放疗技师	2 名	
DSA 介入中心	介入医生、技师、护士	56	老院区现有介入辐射工作人员 14 人调入本项目，另外根据新院区以后介入手术开展情况陆续招聘或者医院内部培训相关介入辐射工作人员。

本项目辐射工作人员总人数为 83 人，另外根据新院区以后介入手术开展情况陆续招聘或者医院内部培训相关介入辐射工作人员，介入科室具体人员配置方案待医院后续运行时完善。本评价要求本项目所需辐射工作人员上岗前均应通过辐射安全与防护培训与考核，且考核证书均应在有效期内，岗前均应通过职业健康体检。

1.4 项目选址及周边环境

(1) 新院区地理位置

新院区位于攸县东城新区，北临迎宾大道，南临金水路，东临紫云路，西临慈峰路，主要建构物包括：： 门诊医技楼、综合住院楼、专科住院楼、综合服务楼及其他配套

设施等。门诊医技楼共 5F 结构（地上 5F，地下 1F），位于新院区中部。综合住院楼共 15F 结构（地上 15F，地下 1F），位于新院区南部。本项目位于门诊医技楼负一楼、二楼以及综合住院楼一楼、五楼，新院区平面布置及本项目所在位置详见附图二。

（2）本项目工作场所

①本项目放射治疗场所位于门诊医技楼楼负一楼，含两个相连的直线加速器机房、一个后装治疗机房。直线加速器机房东面为机房控制室及配套用房、防护门外，南面为后装治疗控制室、病人缓冲区域，西面为土层，北面为楼梯间，机房顶部外为医院地面绿化区域，楼下无建筑结构。后装治疗机房东面为楼梯间，南面为通道，西面为土层，北面为后装治疗控制室、病人缓冲区域，机房顶部外为医院地面绿化区域，楼下无建筑结构。放射治疗场所周边情况详见附图七。

②本项目核医学科场所位于综合住院楼一楼。场所东面为院内绿化区域、楼梯间、甲测、甲亢及甲癌患者出口，场所南面为院内绿化区域、 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像患者出口、敷贴治疗患者出口、甲测、甲亢患者入口，场所西面为护士站、问诊室、 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像患者、敷贴治疗患者等候大厅，场所北面为医护办公室、阅片室、休息值班室等，核医学科场所周边情况详见附图十五。场所楼上规划为输液室（见图 1-5），场所楼下为配电房、地下停车场。

③门诊医技楼二楼介入中心设置三个相连 DSA 机房，三个相连 DSA 机房东面为控制室，南面为通道，西面为 DSA 设备间、导管库、污物通道、患者准备间，北面为通道，门诊医技楼二楼介入中心周边情况详见附图十二。介入中心楼上为彩超、B 超室（见图 1-1），楼下为放射科室（DR、X 光、CT）（见图 1-2）。综合住院楼五楼设置一个 DSA 机房，机房东面为 DSA 设备间、导管室、洗消间、污物通道，西面为控制室、患者缓冲区域，北面为通道，综合住院楼五楼 DSA 机房周边情况详见附图十三。楼上为架空层（见图 1-3），楼下为血液透析科室患者更衣室（见图 1-4）。

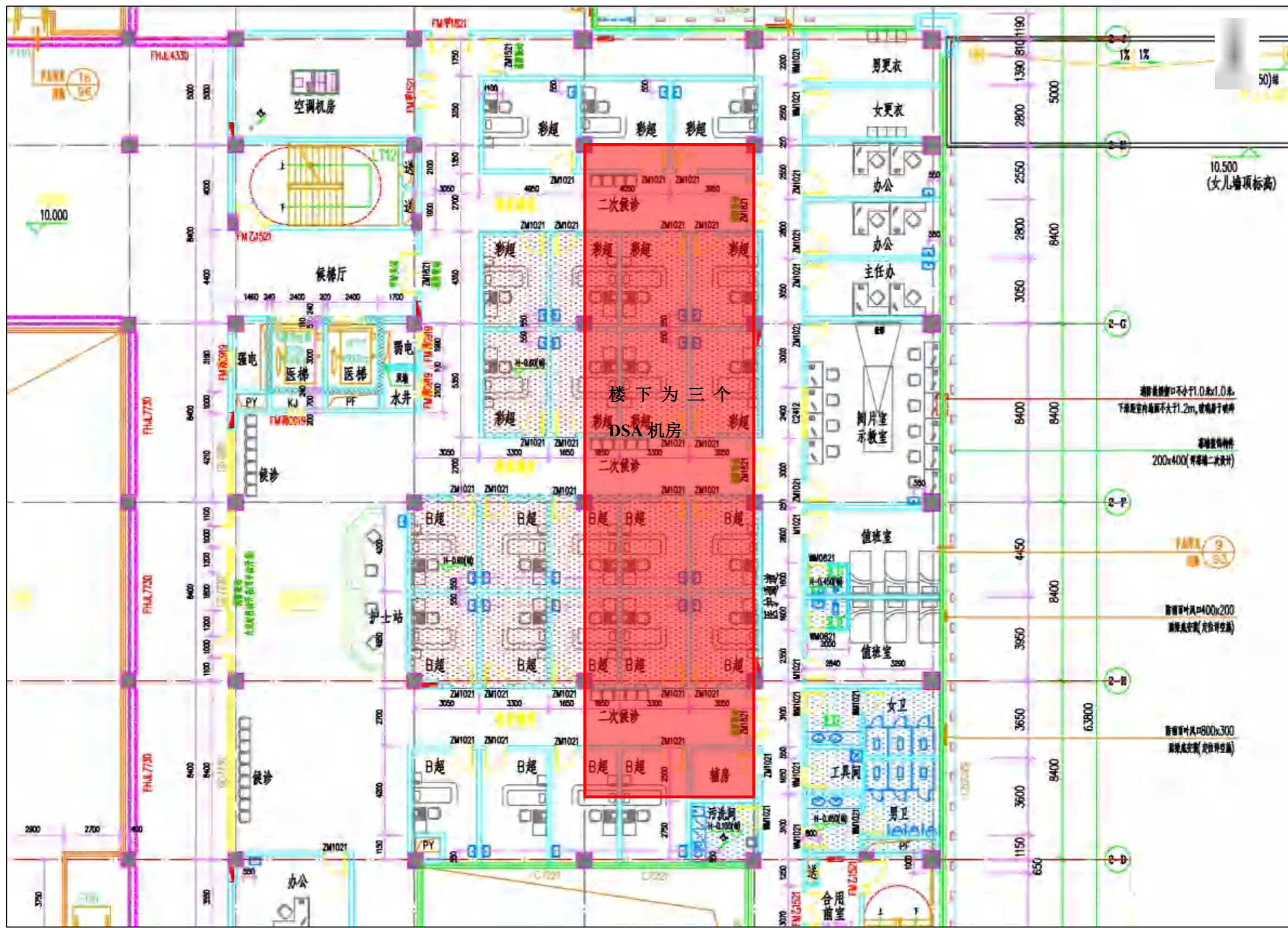


图 1-1 门诊医技楼三楼平面布置图

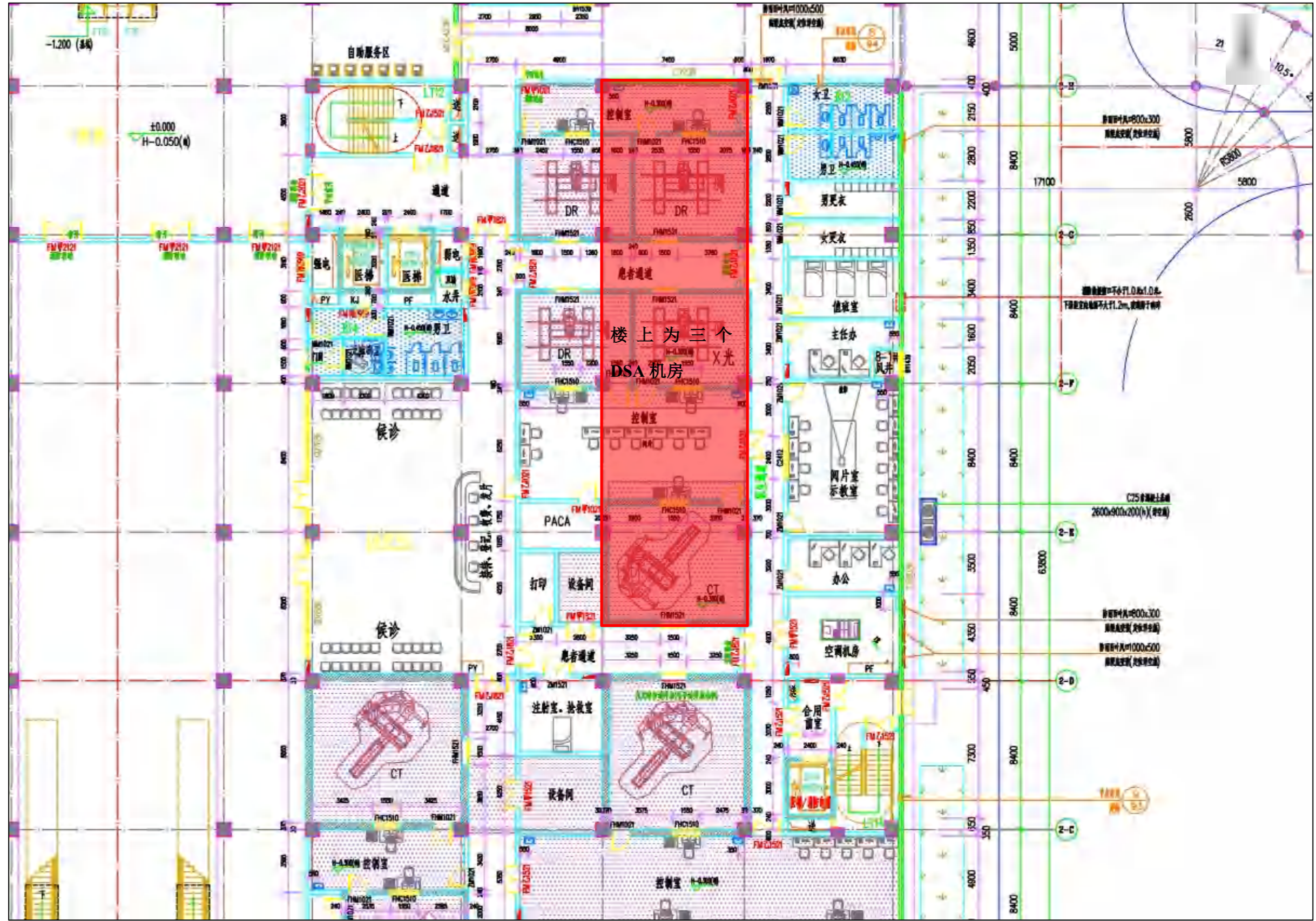


图 1-2 门诊医技楼一楼平面布置图

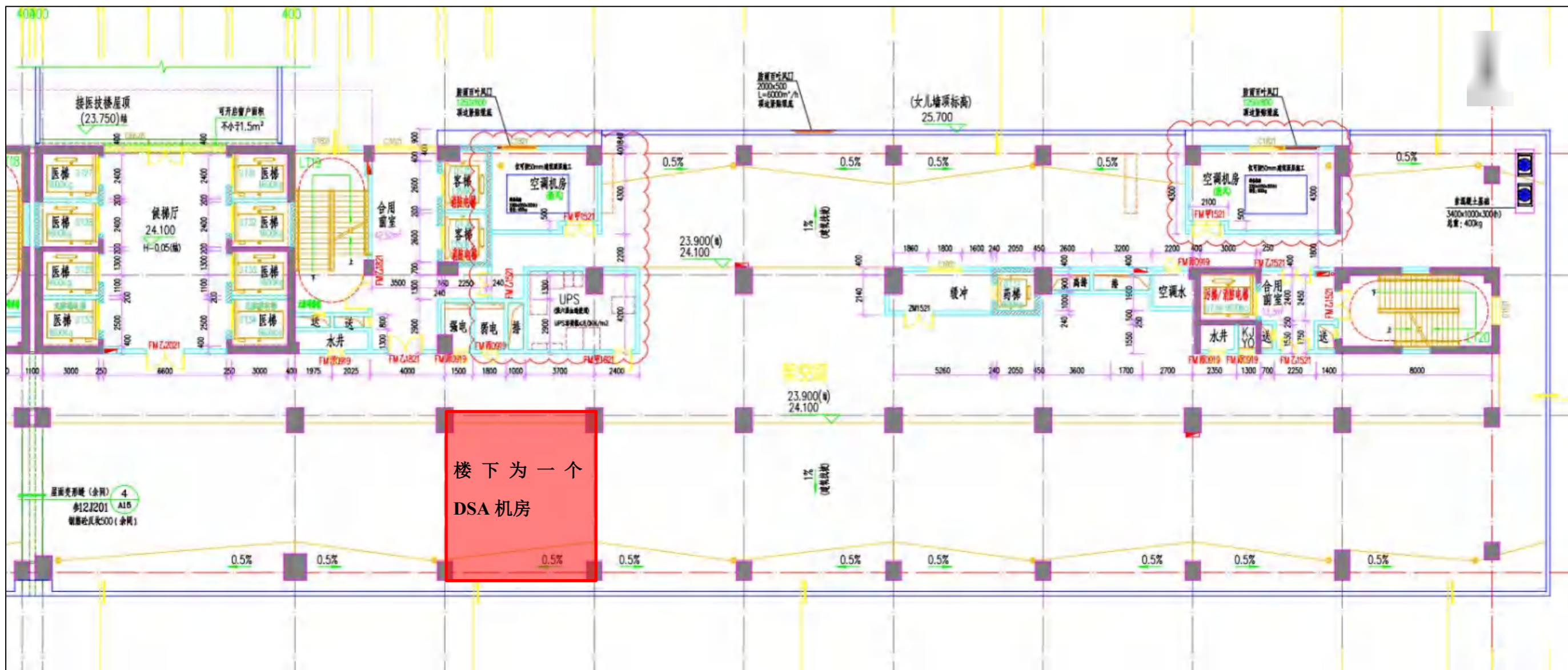


图 1-3 综合住院楼五 a 楼架空层布置图

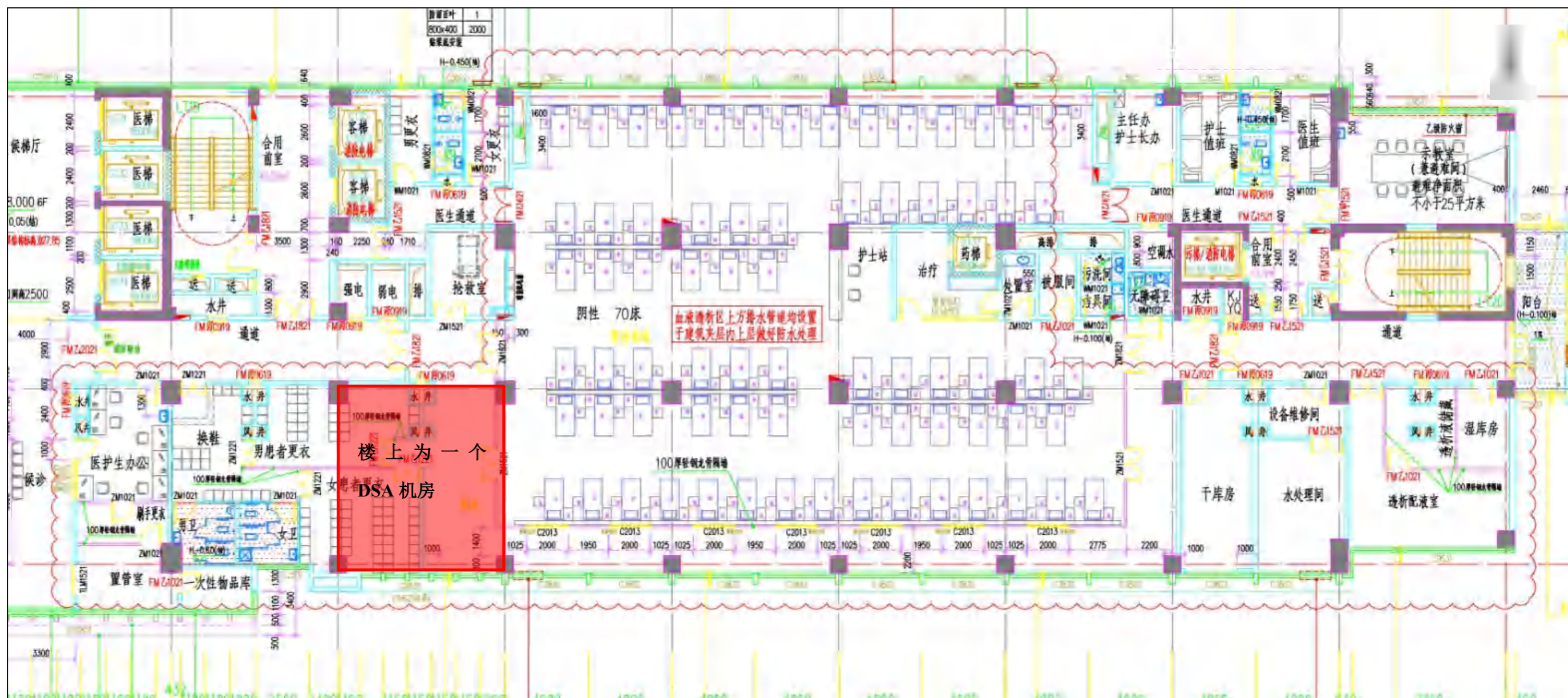


图 1-4 综合住院楼 4 楼血液透析科室

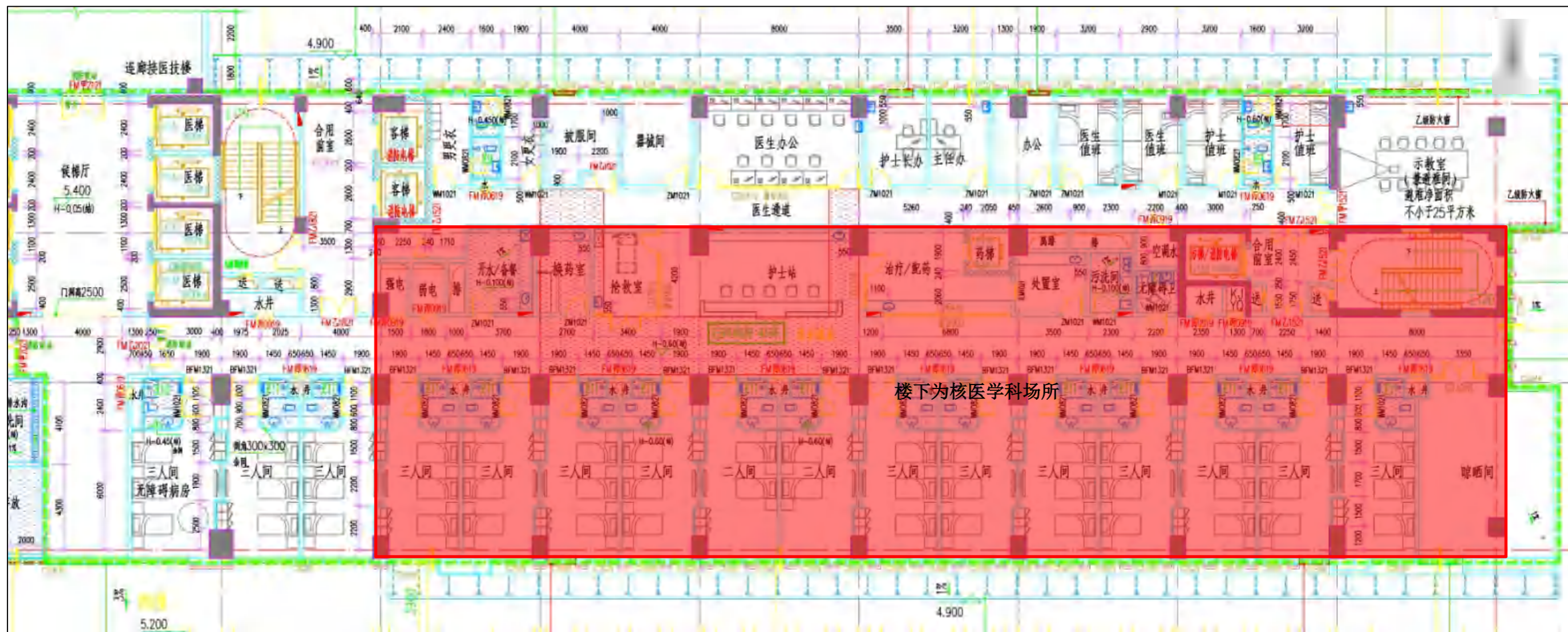


图 1-5 综合住院楼 2 楼普通输液病房

1.5 老院区核技术利用项目基本情况

1.5.1 老院区核技术利用项目许可种类和范围

医院按照相关规定进行了环境影响评价工作，湖南省生态环境厅于 2022 年 6 月 29 日重新核发放了辐射安全许可证：湘环辐证[00201]（有效期至 2027 年 6 月 30 日），允许种类和范围为：使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。截至目前为止，医院各射线装置、核医学场所运行情况良好，无辐射安全事故发生。现有台账详见表 1-8、表 1-9。

表 1-8 现有非密封放射性物质情况一览表

工作场所	场所等级	核素	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	活动种类
核医学科	乙级	¹³¹ I	1.11×10 ⁸	1.79×10 ¹⁰	使用

表 1-9 现有射性装置情况一览表

序号	射线装置	规格型号	类别	位置	环评及验收情况	是否办证	备注
1	乳腺机	Senographe-Crystal	III 类	放射科：体检中心钼靶机房	已备案（备案号：201943022300000004）	已办证	在用
2	DSA	Alluar xper KD20	II 类	介入室：内科楼 1 楼	已环评已验收	已办证	在用
3	CT	Optima CT680 Expert	III 类	放射科：医技科负一楼 CT 二室	已环评已验收	已办证	在用
4	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	Promax 3D	III 类	口腔科：口腔门诊部 1 楼口腔 CT 机房	已备案（备案号：201943022300000004）	已办证	在用
5	CR	UD150L-40E	III 类	体检中心：体检中心 1 楼	已环评已验收	已办证	在用
6	CT	Bri liance	III 类	放射科：放射科 1 楼	已环评已验收	已办证	在用
7	DR	Digtal Diagnost	III 类	放射科：放射科 1 楼	已环评已验收	已办证	在用
8	胃肠机	Uni-vision	III 类	放射科：一楼放射科机房	已备案（备案号：2022430223000000085）	已办证	在用
9	小 C 臂	GE	III 类	手术室	已备案（备案号：201943022300000004）	已办证	在用
10	移动 DR	RDX	III 类	放射科	已备案（备案号：2022430223000000085）	已办证	在用
11	牙片机	Prox	III 类	口腔科	已备案（备案号：2022430223000000083）	已办证	在用

)		
12	骨密度仪	DEXXUM-T	III类	放射科：放射科 1楼	已备案（备案号： 202243022300000085 ）	已办证	在用

1.5.2 老院区配备的辐射工作人员基本情况

医院老院区有辐射工作人员总人数 55 人，均参与了个人剂量监测及职业健康体检，个人剂量监测结果符合医院管理目标值要求，职业健康体检结果显示辐射工作人员基本可继续从事对应岗位工作。

医院现有辐射工作人员个人剂量监测报告见附件 6、II 类射线装置及核医学工作人员辐射安全与防护考核证书见附件 7、职业健康体检结果见附件 8。

1.5.3 现有院区核技术利用项目防护措施落实情况

医院成立了辐射安全防护管理小组（附件 3），制定了辐射事故应急处置预案，制定了相关管理制度，医院各射线装置机房均采取了必要的防护措施，医院现有辐射防护措施主要有以下几点：

①警示标识：有效；防护门上方设有工作状态指示灯；防护门上粘贴有电离辐射警示标识。

②机房内通风：有效；各机房设置了动力排风装置，正常运行下，能够保持良好通风，室内空气状况良好。

③防护用品：齐全；医院按照相关要求配备了防护用品。现有防护用品可满足目前放射工作需要。

④辐射工作人员个人档案由专人管理；所有的辐射工作人员都进行了职业健康体检；佩戴了个人剂量计，并定期送检。

⑤医院自从事辐射工作以来，严格按照国家法律法规进行管理，未发生过辐射安全事故。

⑥医院已制定各操作规程制度，辐射防护和安全保卫制度、培训计划以及辐射事故应急预案等，并将部分制度上墙。

⑦医院已成立辐射安全与环境保护管理机构，明确辐射防护责任，并加强了对射线装置的监督和管理。

⑧年度评估：根据“全国核技术利用辐射安全申报系统”资料，医院每年均在 1 月

31日之前提交了上一年度的年度评估报告。

1.6 产业政策符合性与实践正当性分析

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

本项目按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中“实践正当性的要求”。

表 1-10 老院区 II 类射线装置及核医学场所辐射工作人员个人剂量计送检、辐射安全防护与考核及职业健康体检结果 (单位: mSv)

序号	姓名	性别	2024.10.4~2025.1 .2	2024.7.5~2024.10 .3	2024.4.6~2024.7.4	2024.1.6.2024. 4.5	年剂量	辐射安全与防护 考核证书编号	体检日期	是否可以继续 从事放射 工作
1	吴刚	男	0.16	0.12	0.05	0.18	0.51		2024.6	是
2	胡蓉	女	0.16	0.05	0.05	/	0.26	FS25HN0300005	2025.3	是
3	王明星	男	0.19	0.12	0.05	0.17	0.53	FS24HN0101217	2025.3	是
4	刘冬青	男	0.05	0.10	0.05	0.15	0.35		2025.3	是
5	熊升林	男	0.16	0.11	0.05	0.15	0.47	FS24HN0101181	2025.3	是
6	周炜强	男	0.14	0.10	0.05	0.16	0.45	FS24H0101182	2025.3	是
7	武福南	男	0.15	0.05	0.05	0.05	0.30	FS25H0101122	2025.3	是
8	陈志斌	男	0.18	0.05	0.05	0.20	0.48		2025.3	是
9	旷立	男	0.12	0.11	0.05	0.16	0.44	FS24HN0101190	2025.3	是
10	刘永强	男	0.12	0.05	0.05	0.12	0.34	FS25HN0101123	2025.3	是
11	刘进	男	0.16	0.18	0.12	0.25	0.71	FS25HN0101124	2025.3	是
12	余晴	男	0.10	0.05	0.05	0.14	0.34		2025.3	是
13	张惠东	男	0.12	0.05	0.05	0.13	0.35	FS24HN0101221	2025.3	是
14	刘定帮	男	0.13	0.05	0.05	0.14	0.37		2025.3	是
15	刘人可	男	0.15	0.05	0.10	0.15	0.45		2024.6	是
16	陈宗华	男	0.13	0.05	0.05	0.18	0.41		2025.3	是

注: 吴刚、胡蓉为核医学工作人员, 其余 14 人为医院介入中心工作人员。

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	⁶⁸ Ge	1.85×10 ⁷ /1 枚	V类	使用	PET-CT 设备校准	综合住院楼一楼核医学科 PET-CT 机房	铅罐存储，置于 PET-CT 机房保险柜内，双人双锁	桶源/厂家回收废源
2	¹⁹² Ir	7.4×10 ¹¹ Bq/ 3.7×10 ¹¹ Bq×2 枚	III类	使用	放射治疗	门诊医技楼负一楼后装治疗机房	一枚使用源于机头源罐内贮存，一枚退役源铅罐封存后放机房西南角保险柜内，双人双锁	由供源单位回收废源
3	⁹⁰ Sr 敷贴器	7.4×10 ⁶ Bq/1 个	V类	使用	敷贴治疗	敷贴室	敷贴器贮源箱内保存，贮源箱暂存于敷贴室保险柜内，双人双锁	废敷贴器按放射性固体废物处置

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式和地点
1	^{18}F	液体, 低毒组, 半衰期 109.8min	使用	1.48×10^{10}	1.48×10^7	3.7×10^{12}	显像	很简单的操作	综合住院楼 一楼核医学科 显像区	综合住院楼 一楼核医学科 显像区分装柜或 储源室
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液体, 低毒组, 半衰期 6.02h	使用	1.48×10^{10}	1.48×10^7	3.7×10^{12}	显像	很简单的操作	综合住院楼 一楼核医学科 显像区	综合住院楼 一楼核医学科 显像区分装柜或 储源室
3	^{131}I	液体, 中毒组, 半衰期 8.02d	使用	2.22185×10^9	$2.22185 \times 10^8 \text{Bq}$	3.33×10^{11}	甲亢、甲测 治疗	简单操作	综合住院楼 一楼核医学科 核素治疗区	综合住院楼 一楼核医学科 核素治疗区分装柜或 储源室

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II类	1台	待定	电子	最大 X 射线能量： 10MV； 最大电子线档位： 18MeV	10MV : 600cGy/min； 6MV：具有 FFF 模式，最高剂量率 1400cGy/min	放射治疗	门诊医技楼负一楼直线 加速器机房 01	新购
2	医用直线加速器	II类	1台	待定	电子			放射治疗	门诊医技楼负一楼直线 加速器机房 02	新购

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET-CT	III类	1台	待定	140	800	扫描显像	综合住院楼一楼核 医学科 PET-CT 机 房	新购
2	SPECT-CT	III类	1台	待定	140	800	扫描显像	综合住院楼一楼核 医学科 SPECT-CT 机房	新购
3	DSA	II类	1台	待定	125	1250	综合介入	门诊医技楼二楼 DSA 机房 01	新购
4	DSA	II类	1台	待定	125	1250	综合介入	门诊医技楼二楼 DSA 机房 02	新购
5	DSA	II类	1台	待定	125	1250	综合介入	门诊医技楼二楼 DSA 机房 03	新购
6	DSA	II类	1台	Alluar xper KD20	125	1250	综合介入	综合住院楼五楼 DSA 机房	老院搬迁

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废物）

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
退役的放射源	固态	⁶⁸ Ge	1.85×10 ⁷ Bq	/	/	/	退役后暂存于铅罐内，放在 PET-CT 机房保险柜内	厂家回收
	固态	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹ Bq	/	2 枚	/	铅罐封存后放机房西南角保险柜内	由供源单位回收
	固态	⁹⁰ Sr 敷贴器					无暂存	按放射性固体废物处置
放射性废水	液态	¹⁸ F、 ^{99m} Tc					贮存于核素显像区衰变池	在衰变池停留时间超过 30 天达到排放标准后排入医院污水处理系统做进一步处理，再排入城市污水管网
	液态	¹³¹ I					贮存于 ¹³¹ I 核素治疗区衰变池	在衰变池停留时间超过 180 天达到排放标准后排入医院污水处理系统做进一步处理，再排入城市污水管网
放射性固体废物	固态	¹⁸ F、 ^{99m} Tc					按核素分类收集，存放于核素显像区固废间专用衰变箱内（含废活性炭、衰变池废渣）	达到清洁解控水平后，作为医疗废物处理
	固态	¹³¹ I					存放于核素治疗区固废间专用衰变箱内（含废活性炭、衰变池废渣）	达到清洁解控水平后，作为医疗废物处理
	固态	加速器废靶件			设备大修或者报废时产生		不暂存	供应商回收处置

放射性废气	气态	^{131}I						^{131}I 为挥发性核素，分装柜内产生的挥发性 ^{131}I 气溶胶通过活性炭吸附后经专用排风管道引至本建筑物屋顶排放
污染空气	气态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$						^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为非挥发性核素，分装操作、测活整个过程在分装柜内进行，分装柜内由于气流扰动产生的被 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气溶胶污染的空气通过活性炭吸附后经专用排风管道引至本建筑物屋顶排放

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

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

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》2014 年 4 月 24 日修订，2015 年 1 月 1 日执行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日施行修订版；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令），2017 年 7 月 16 日修订，2017 年 10 月 1 日执行；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 449 号，2005 年 12 月 21 日施行，国务院令第 653 号修改，2019 年 3 月 2 日修订实施；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021 年修订）》（生态环境部令第 20 号），2021 年 1 月 4 日施行；</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 日施行；</p> <p>(8) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2024 年 2 月 1 日起施行）；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部令第 18 号），2011 年 5 月 1 日施行；</p> <p>(10) 《射线装置分类》，原环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行；</p> <p>(11) 《放射工作人员职业健康管理辦法》（中华人民共和国卫生部令第 55 号，2007 年 11 月 1 日）；</p> <p>(12) 《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》环发 145 号，2006 年；</p> <p>(13) 《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）；</p> <p>(14) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》(环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号)；</p> <p>(15) 《放射性废物安全管理条例》(国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起实施)。</p>
-------------	--

技术标准	<ol style="list-style-type: none"> 1、《建设项目环境影响评价技术导则-总纲》(HJ2.1-2016); 2、《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1—2016); 3、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002); 4、《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021); 5、《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019); 6、《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020); 7、《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021); 8、《工作场所职业病危害警示标识》(GBZ158-2003); 9、《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019); 10、《放射工作人员健康要求及监护规范》(GBZ98-2020); 11、《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); 12、《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)； 13、《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)； 14、《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)； 15、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021); 16、《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010); 17、《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020); 18、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021); 19、《放射性废物管理规定》(GB14500-2002); 20、《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005); 21、《粒子加速器辐射安全与防护规定》(GB5172-2025)。
------	---

其他	<ol style="list-style-type: none"> 1. 李德平 潘自强主编《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》、《辐射防护手册第三分册 辐射安全》，原子能出版社，1987年； 2. 《辐射防护》（第11卷，第二期，湖南省环境天然贯穿辐射水平调查研究,湖南省环境监测中心站，1991年3年）； 3. 环境影响评价委托书（见附件1）； 4. 建设单位提供的其他资料。
----	--

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

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)中的相关规定“第 1.5 评价范围和保护目标：以项目实体边界为中心，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，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围 (无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围)，对于 I 类放射源或 I 类射线装置的项目可根据环境影响的范围适当扩大”。

本项目非密封放射性物质工作场所为乙级，各射线装置机房有实体屏蔽，因此本项目非密封放射性物质工作场所评价范围为 50m，各射线装置机房以实体屏蔽边界外 50m 为评价范围。本项目评价范围示意图见图 7-1。

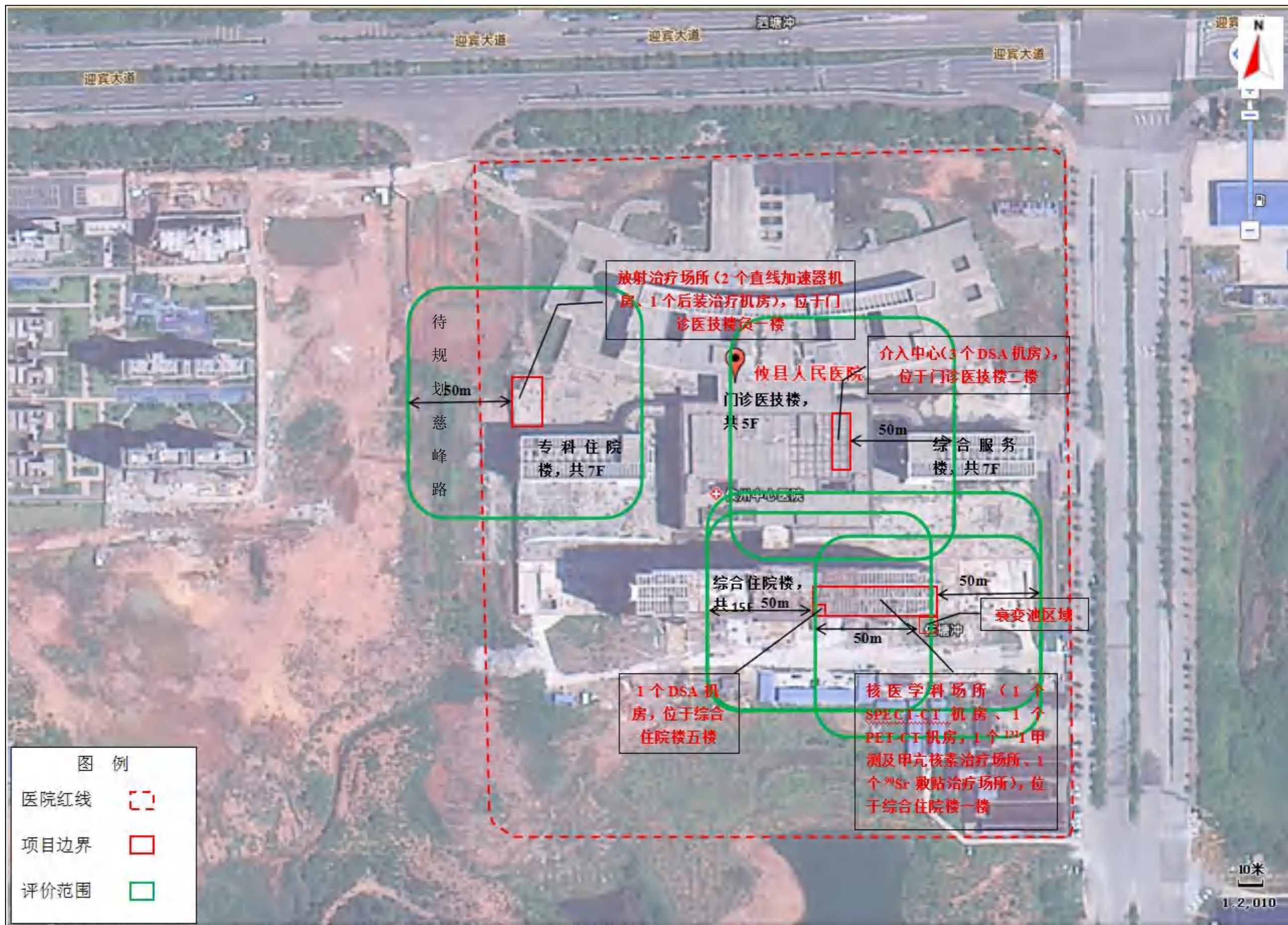


图 7-1 本项目评价范围及保护目标图

保护目标

环境保护目标为放射工作人员及评价范围内公众成员，包括：医院从事本项目操作的职业人员及邻近场所的公众，公众包括场所附近常驻人员及就诊病人家属等。本项目环境保护目标详见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

污染源		方位及距离		周边情况	环境保护人群	影响人数
放射治疗场所 (门诊医技楼楼负一楼)	两个直线加速器机房、一个后装治疗机房	东侧	0m~3.5m	2 个直线加速器机房控制室	职业人员	10 人
				直线加速器配电室、冷却机房、防护门外、后装治疗机房东面楼梯间	公众人员	5 人
			3.5m~25m	直线加速器患者通道、后装治疗患者通道、风机房	公众人员	4 人
				制模室、CT 模拟定位机房、放疗计划室、更衣室、医用卫生间等	职业人员	13 人
			25m~50m	门诊医技楼负一楼地下车库、楼梯间、风机房、客梯间	公众人员	若干
				放疗中心示教室、医生办公室、护士站、医梯间	职业人员	13 人
		南侧	0m~50m	通道、风机房、专科住院楼负一楼地下车库	公众人员	若干
		西侧	0m~50m	土层	/	/
			高差 +0.8m, 0~15m	院内道路, 院内绿化区域	公众人员	2 人
			高差 +0.8m, 15~50m	院外待规划慈峰路	公众人员	若干
		北侧	0m~3.5m	01 号直线加速器机房北面楼梯间	公众人员	1 人
			3.5m~50m	土层	/	/
		场所内		后装治疗机房控制室	职业人员	3 人
				后装治疗机房防护门外病人缓冲区域	公众人员	1 人
楼上		医院地面绿化区域	公众人员	1 人		
楼下		无建筑结构	/	/		

核医学场所 (综合住院楼一楼)	使用非密封放射性物质 ^{18}F 用于 PET-CT 扫描; $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用于 SPECT-CT 扫描; 使用 ^{90}Sr 用于敷贴治疗; 使用 ^{131}I 用于甲测、甲亢治疗	东侧	0m~50m	医院地面绿化区域、地面通道、 职工之家	公众人员	约 10 人
		南侧	0m~50m	医院地面通道、地面绿化区域、二期行政后勤楼、二期教学科研楼、医院入口广场	公众人员	若干
		西侧	0m~50m	综合住院楼一楼大厅、患者等候区域、综合住院楼出入院结算大厅、办公室、会议室、财务室、电梯间	公众人员	若干
		北侧	0m~6m	核医学场所医生办公室、更衣室、阅片室、休息室、值班室、示教室	职业人员	15 人
			0m~4m	楼梯间、消防电梯/污梯	公众人员	2 人
			6m~50m	医院地面通道、门诊医技楼	公众人员	若干
		场所内		机房控制室、分装室、卫生通过间、更衣室、淋浴间、护士站、敷贴治疗室、甲测室	职业人员	11 人
		楼上		输液室	公众人员	若干
		楼下		风机房、停车场	公众人员	若干
		衰变池区域	东侧	高差 +2.2m, 0m~50m	医院地面绿化区域、地面通道、 职工之家	公众人员
	南侧		高差 +2.2m, 0m~50m	医院地面通道、地面绿化区域、二期行政后勤楼、二期教学科研楼、医院入口广场	公众人员	若干
	西侧		高差 +2.2m, 0m~50m	综合住院楼一楼大厅、患者等候区域、综合住院楼出入院结算大厅、办公室、会议室、财务室、电梯间	公众人员	若干
	北侧		高差 +2.2m, 0m~50m	综合住院楼、医院地面通道	公众人员	若干
介入中心 (门诊医技楼二楼)	三个相连 DSA 机房	东侧	0m~9m	3 个机房控制室、医护通道、医生办公室、更衣室、卫生间、医生休息室	职业人员	42 人
		9m~50m	高差-5m 医院地面通道、综合服务楼	公众人员	若干	
	南侧	0m~29m	室内通道、医生办公室、楼梯间、电梯间、卫生间	公众人员	若干	
		29m~50m	高差-5m 医院地面通道	公众人员	若干	

		西侧	0m~8m	患者通道、患者准备间、DSA 设备间、污物走廊、导管库、洗消间等	公众人员	约 6 人		
			8m~17m	楼梯间、电梯间、无菌库房、术后恢复室、护士站、DSA 介入中心候诊室	公众人员	若干		
			17m~50m	走廊、检验中心科室用房	公众人员	若干		
		北侧	0m~5m	走廊	公众人员	约 3 人		
			5m~22m	高差-5m 医院地面通道	公众人员	若干		
			22m~50m	门诊楼二楼儿科门诊	公众人员	若干		
		楼上	彩超、B 超室	公众人员	若干			
		楼下	放射科室 (DR、X 光、CT)	公众人员	若干			
		介入中心 (综合楼五楼)	一个 DSA 机房	东侧	0m~2.6m	导管室	职业人员	1 人
					0m~2.6m	DSA 设备间、洗消间、污物走廊	公众人员	1 人
5m~50m	CCU (冠心病重症监护病房) 配套用房				公众人员	若干		
南侧	0m~50m			医院地面通道、地面绿化区域、二期行政后勤楼、二期教学科研楼、医院入口广场	公众人员	若干		
西侧	0m~8m			DSA 控制室、更衣室	职业人员	14 人		
	0m~8m			病人缓冲区域, 谈话间	公众人员	1 人		
	8m~50m			家属等候大厅、电梯间、ICU 配套用房	公众人员	若干		
北侧	0m~14m			通道、换鞋更衣室、电梯间	公众人员	约 6 人		
	36m~50m			门诊医技楼	公众人员	若干		
楼上	架空层			/	/			
楼下	其他科室病房 (非儿科、妇产科用房)			公众人员	若干			

评价标准

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

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中的安全。剂量限值：第 4.3.2.1 款：应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B(标准的附录 B)中规定的相应剂量限值。

1) 放射工作人员

第 B.1.1.1.1 款：应对任何工作人员的**职业照射水平**进行控制，使之不超过下述限值：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；任何一年中的有效剂量，50mSv。

2) 公众照射

第 B1.2.1 款：实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：年有效剂量，1mSv。

根据医院提供的资料，结合医院实际情况，医院取 GB18871-2002 中工作人员职业照射剂量限值的四分之一即 5mSv/a 作为新院区核医学场所、放射治疗场所、DSA 介入手术医生及护士的年有效剂量管理目标值；取 2mSv/a 作为新院区其他辐射工作人员年有效剂量管理目标值；取其公众照射平均剂量估计值的十分之一即 0.1mSv/a 作为公众成员的年有效剂量管理目标值。

3) 工作场所分区

根据 GB18871-2002 中 6.4 规定应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

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防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射范围。

2 在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合规定的电离辐射警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。

3 制定职业防护与安全措施，包括适用于控制区的规则与程序。

4 运用行政管理程序和实体屏蔽限制进出控制区。

5 按需要在控制区的出口处提供皮肤和工作服的污染监测仪、被携出物品的污染监测设备、冲洗或淋浴设施以及被污染防护衣具的储存柜。

6 定期审查控制区的实际状况，以确定是否有必要改变该区的防护手段或安全措施或该区的边界。

6.4.2 监督区

1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定位控制区，在

其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对照职业照射条件进行监督和评价。

2 在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。

3 定期审查该区的条件，以确定是否有需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界

4) 非密封源工作场所的分级

根据 GB18871-2002 附录 C 给出了非密封源工作场所的分级标准，详见下表：

表 7-2 非密封源工作场所分级

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

2、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）（节选）：

本项目拟使用的 PET-CT、SPECT-CT 带 CT 功能，按相应 CT 要求执行。

本标准规定了放射诊断的防护要求，包括 X 射线影像诊断和介入放射学用设备防护性能、机房防护设施、防护安全操作要求及其相关防护检测要求。本标准适用于 X 射线影像诊断和介入放射学。

6.1 X 射线设备机房布局

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

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

6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求。

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（即下表 7-3）的规定。

表 7-3 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度要求

设备类型	机房内最小有效使用面积 m ²	机房内最小单边长度 m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
单管头 X 射线设备 ^b （含 C 形臂， 乳腺 CBCT）	20	3.5

机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。

备注：本项目 DSA 属于单管头 C 形臂， 按单管头 X 射线设备执行。

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护应不小于表 7-4 要求。

表 7-4 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求（摘录）

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

备注：DSA 为 C 形臂 X 射线设备。

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 3（即表 7-3）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 2.5μSv/h； 测量时， X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

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

6.4 X 射线设备工作场所防护

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

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置， 并保持良好的通风。

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

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

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

6.4.7 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。

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4（即下表 7-5）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 7-5 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护水平	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	—
介入放射性操作	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：“—”表示不做要求。

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。

3、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）（节选）：

6 工作场所放射防护要求

6.1 布局要求

6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅

助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

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

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

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

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室,尽可能避开被有用线束直接照射。

6.2 空间、通风要求

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

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。

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 30cm 处（关注点）的周围剂量当量率应不大于下述 a）、b）和 c）所确定的周围剂量当量率参考控制水平 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 H_c ，见式（1）：

$$H_c \leq H_e / (t \times U \times T) \quad (1)$$

式中：

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： $\leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$

t ——设备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 $H_{c,\text{max}}$ ：

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

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

c)由上述 a) 中的导出周围剂量当量率参考控制水平 H_c 和 b) 中的最高周围剂量当量率参考控制水平 $H_{c,\text{max}}$ ，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 H_c 。

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

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平：治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率应不大于下述 a)、b) 和 c) 所确定的剂量率参考水平 H_c ：

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

1) 放射治疗机房外控制区的工作人员： $H_c \leq 100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

2) 放射治疗机房外非控制区的工作人员： $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

b) 按照关注点人员居留因子的下列不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,\text{max}}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)：

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

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

c) 由上述 a) 中的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ 和 b) 中的最高剂量率参考控制水平，选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)。

4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源

点到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 处和（或）该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，可以根据机房外周剂量率参考控制水平 $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 和最高剂量率 $H_{c,\text{max}} \leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，加以控制。对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 加以控制（可在相应处设置辐射告示牌）。

5、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）（节选）：

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。

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

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

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面 30 cm 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 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（ H_c ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)：

机房外放射工作人员： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

机房外非放射工作人员： $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

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 $H_{c,\text{max}}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)：

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

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

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

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

6.2 安全防护设施和措施要求

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

a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，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。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；

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

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

d) 质子/重离子治疗装置安全连锁系统还应包括清场巡检系统、门钥匙开关（身份

识别系统)。质子/重离子治疗室、加速器大厅和束流输运通道应建立分区清场巡检和束流控制的逻辑关系,清场巡检系统应考虑清场巡检的最长响应时间和分区调试情况的连锁设置。日常清场巡检时,如超出设定的清场巡检响应时间,需重新进行清场巡检;

e) 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。

6、《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)(节选):

5 工作场所的放射防护要求

5.2 放射防护措施要求

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

5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理,把工作场所分为 I、II、III 三类。不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 7-6,核医学工作场所分类的加权活度计算方法见表 7-7。

表 7-6 核医学工作场所分类一览表

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

表 7-7 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b

^a 下水道宜短,大水流管道应有标记以便维修检测。

^b洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μ Sv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μ Sv/h，宜不大于 2.5 μ Sv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μ Sv/h；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。

5.3.2 应根据使用核素的特点、操作方式以及潜在照射的可能性和严重程度，做好工作场所监测，包括场所周围剂量当量率水平、表面污染水平或空气中放射性核素浓度等内容，工作场所放射防护检测方法见附录 J。开展核医学工作的医疗机构应定期对放射性药物操作后剂量率水平和表面污染水平进行自主监测，每年应委托有相应资质的技术服务机构进行检测。核医学工作场所的放射性表面污染控制水平见表 7-8。

表 7-8 核医学科工作场所的放射性表面污染控制水平 单位：Bq/cm²

表面类型		β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区（高污染子区除外）	40
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		0.4

7.2 患者出院的管理要求

7.2.1 接受 ¹³¹I 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400MBq 或距离患者体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 25 μ Sv/h 方可出院，以控制该患者家庭与公众成员可能受到的照射。对接受其他放射性药物治疗的患者仅当患者体内放射性活度低于附录 L 中 L.2 要求时才能出院。患者体内活度检测控制应按附录 L 中 L.3 推荐的方法进行。

7.2.2 对甲亢和甲状腺癌患者，出院时应按附录 L 中 L.4 给出接触同事和亲属及到公众场所的合理限制和有关防护措施（限制接触时间及距离等）的书面建议。

10 ¹³¹I 治疗患者住院期间的放射防护要求

10.1 场所放射防护要求

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

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

10.1.3 ^{131}I 治疗住院患者的排泄物不应直接排到医院的公共污水管道，应先经过衰变池的衰变。下水管道宜短，露出地面的部分应进行防护和标记。

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

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

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

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

10.1.8 病房中应配备对讲、监控等设施。

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

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

10.2 治疗期间的放射防护要求

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

10.2.2 治疗前应和患者签署知情同意书。

10.2.3 除医护人员之外的人员不应进入病房。

10.2.4 向病房内传递生活必需品，应通过病房外的缓冲区传递。

10.2.5 2 名及以上患者不宜近距离接触或者集聚。

10.2.6 给药过程中应提供防污染措施。

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

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

10.2.9 应减少放射性废物的产生量。患者食物宜选用产生废物少的食材。

12 放射性核素敷贴治疗放射防护要求

12.1 放射性核素敷贴治疗器的放射防护要求

12.1.1 放射性核素应选用半衰期较长、 β 射线能量较高，不伴生 γ 辐射或仅伴生低能 γ 辐射的放射性核素，例如 ^{90}Sr - ^{90}Y 和 ^{32}P 敷贴器。

12.1.2 外购放射性核素敷贴器应具有生产厂家或制作者的说明书及检验合格证书，并应有生产批号和检验证书号。说明书应载明敷贴器编号、核素名称及化学符号、辐射类型及能量、放射性活度、源面空气吸收剂量率、表面放射性污染与泄漏检测、检测日期、使用须知和生产单位名称。

12.1.3 商品敷贴器除具有源箔、源壳、源面保护膜、铝合金保护环框和源盖外，尚应有防护屏和手柄或其它固定装置，敷贴器的安全分级应符合 GB 4075 的要求。

12.1.4 商品敷贴源应封装严密，并规定推荐使用期限。超过使用期限或表面污染超过标准或疑有泄漏者应送回制作单位经检修后，再确定能否继续使用。

12.1.5 敷贴源投入临床使用前，除自制敷贴器（如 ^{32}P 敷贴器）外应有法定计量机构认可的源面照射均匀度和源面空气吸收剂量率或参考点空气吸收剂量率的测量数据，其不确定度不大于 $\pm 5\%$ ，并附带有剂量检定证书。

12.1.8 废弃商品敷贴器应按放射性废源管理，自制敷贴器可根据核素的性质按放射性废物管理。

12.3 敷贴器贮源箱的放射防护要求

12.3.1 贮源箱的外表面应标有放射性核素名称、最大容许装载放射性活度和牢固、醒目的电离辐射标志（见 GB 2894）。

12.3.2 贮源箱的屏蔽层结构应分内外两层。内层为铝或有机玻璃等低原子序数材料，其厚度应大于 β 辐射在相应材料中的最大射程。外层为适当厚度的铅、铸铁等重金属材料，并具有防火、防盗的性能。

12.3.3 距离贮源箱表面 5 cm 和 100 cm 处因泄漏辐射所致的周围剂量当量率分别不应超过 $10 \mu\text{Sv/h}$ 和 $1 \mu\text{Sv/h}$ 。

12.4 敷贴治疗设施的放射防护要求

12.4.1 敷贴治疗应设置专用治疗室，该治疗室应与诊断室、登记值班室和候诊室分开设置。治疗室内使用面积应满足治疗要求。

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

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

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

12.5 敷贴治疗中的放射防护要求

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

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

12.5.3 实施敷贴治疗时不应将敷贴源带出治疗室外。

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

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

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

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

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

附录 K，个人防护用品和应急去污用品

K.1 个人防护用品

个人防护用品见表 K.1 (本次评价报告表的表 7-9)。

表 7-9 个人防护用品

场所类型	工作人员		患者或受检者
	必备	选配	
普通核医学和 SPECT-CT 场所	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	—
正电子放射性药物和 ^{131}I 的场所	放射性污染防护服	—	—
敷贴治疗	宜使用远距离操作工具	有机玻璃眼镜或面罩	不小于 3 mm 厚的橡皮泥或橡胶板

K.2 应急及去污用品：主要包括下列物品：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂和硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔(水溶性油墨)、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。

7、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）（节选）：

4 总则

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。

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1 屏蔽要求

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

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

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

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

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

7.2 固体放射性废物的管理

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

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/cm^2 、其他 α 发射体应小于 0.4Bq/cm^2 。

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

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L 、总 β 不大于 10Bq/L 、碘-131

的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

7.4 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。

8、《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）（节选）：

工作场所空气中臭氧最高容许浓度：0.3mg/m³。NO_x 时间加权平均容许浓度为 5mg/m³。

表 8 环境质量和辐射现状

(一) 新院区地理位置和本项目场所位置

新院区位于攸县东城新区，北临迎宾大道，南临金水路，东临紫云路，西临慈峰路。本项目位于新院区门诊医技楼负一楼、二楼以及综合住院楼一楼、五楼。

(二) 辐射环境现状监测

为了解本项目及其周围的辐射环境背景水平，根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)、《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)中有关布点原则，本评价委托长沙市鹏悦环保工程有限公司于 2025 年 12 月 19 日对项目场址进行了环境 γ 辐射剂量率现状本底监测。监测期间，场地主体大楼已基本建设完成。

监测因子：环境 γ 辐射剂量率；

监测点位：共设置 27 个监测点位，监测点位布置见图 8-1。

监测日期：2025 年 12 月 19 日。

监测仪器：X- γ 剂量率仪。

监测方法：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)、《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)。

质量保证：该项目测量所用的仪器性能参数均符合国家标准方法的要求，均有有效的相关计量部门检定的合格证书，并有良好的日常质量控制程序。监测人员均经具有相应资质的部门培训，考试合格持证上岗，数据分析及处理采用国家标准中相关的数据处理方法，按国家标准和监测技术规范有关要求进行处理和填报，并按有关规定和要求进行三级审核。

表 8-1 监测所使用的仪器基本信息

仪器名称	X- γ 剂量率仪
仪器型号/规格	RM-2030
出厂编号	2886
制造单位	上海超奇电子有限公司
湖南省电离辐射计量站校准证书编号	hnjlxz2024393-1325
有效日期	2025.12.23
测量范围	剂量率： 0.01uSv/h~200uSv/h
能量响应	48Kev~3Mev

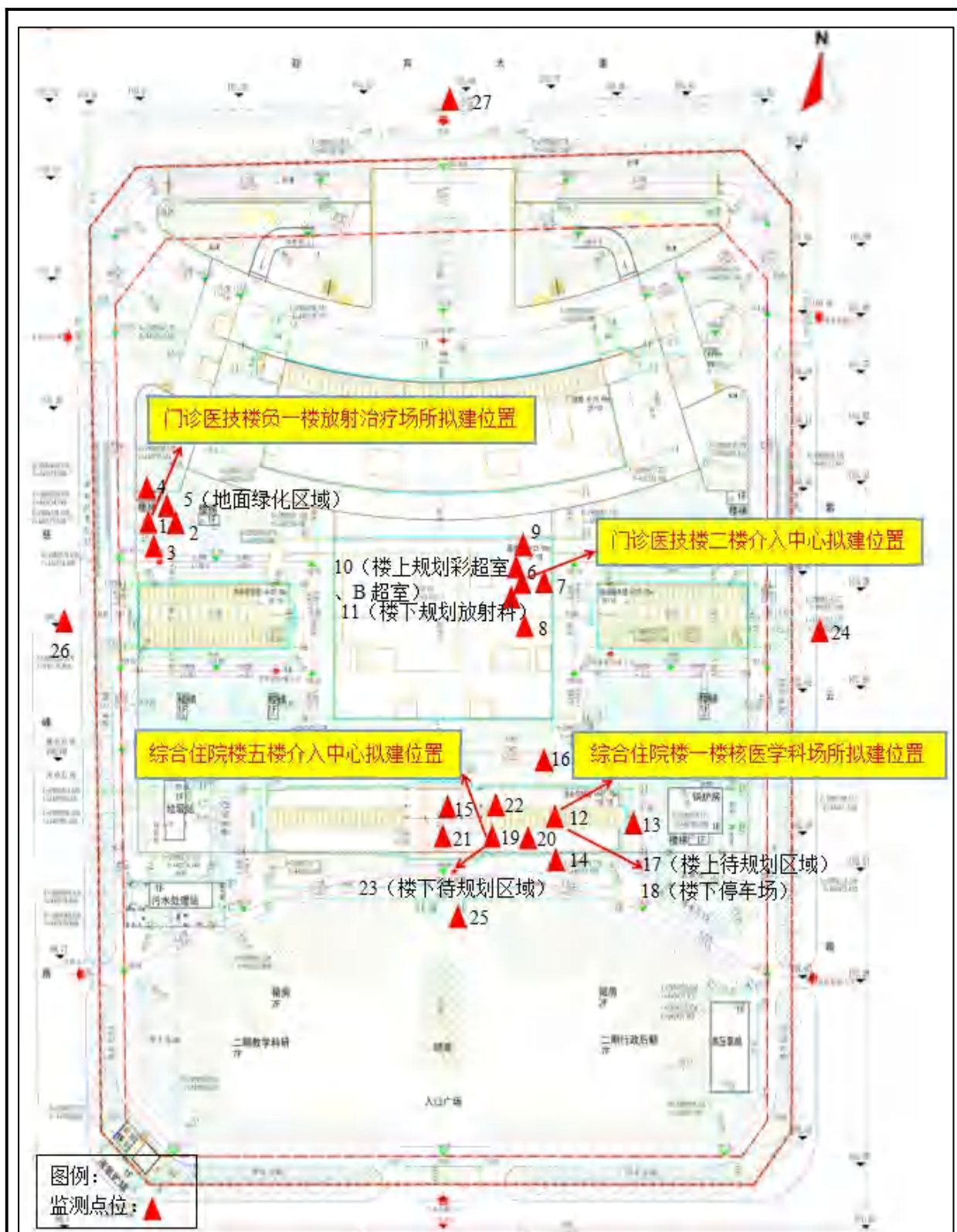


图 8-1 项目辐射环境现状本底监测布点图

表 8-2 项目所在场址环境γ辐射剂量率本底监测结果一览表

检测点位	检测点位描述	环境γ辐射剂量率 (μSv/h)	备注
△1	门诊医技楼负一楼放射治疗场所中心位置	0.13	室内
△2	门诊医技楼负一楼放射治疗场所东侧人员通道	0.10	室内
△3	门诊医技楼负一楼放射治疗场所南侧人员通道	0.09	室内
△4	门诊医技楼负一楼放射治疗场所北侧楼梯间	0.11	室内
△5	放射治疗场所楼上地面绿化区域	0.09	原野
△6	门诊医技楼二楼介入中心位置	0.10	室内
△7	二楼介入中心位置东侧医护通道	0.13	室内
△8	二楼介入中心位置南侧医护通道	0.12	室内
△9	二楼介入中心位置北侧人员通道	0.14	室内
△10	二楼介入中心位置楼上规划彩超室、B超室	0.12	室内
△11	二楼介入中心位置楼下规划放射科室	0.11	室内
△12	综合住院楼一楼核医学科场所位置	0.09	室内
△13	核医学科场所位置东侧综合住院楼外	0.10	道路
△14	核医学科场所位置南侧综合住院楼外	0.12	道路
△15	核医学科场所位置西侧综合住院楼一楼大厅	0.09	室内
△16	核医学科场所位置北侧综合住院楼外	0.08	道路
△17	核医学科场所位置楼上闲置用房	0.12	室内
△18	核医学科场所位置楼下停车场	0.10	室内
△19	综合住院楼五楼介入中心拟建位置	0.13	室内
△20	五楼介入中心拟建位置东侧	0.10	室内
△21	五楼介入中心拟建位置西侧	0.09	室内
△22	五楼介入中心拟建位置北侧	0.13	室内
△23	五楼介入中心拟建位置楼下闲置用房	0.12	室内
△24	医院东面紫云路	0.08	道路

△25	综合住院楼南侧入口处	0.09	道路
△26	医院西面待规划慈峰路	0.07	原野
△27	医院北面迎宾大道	0.09	道路
备注	未扣除宇宙射线响应值。		

注：本次评价检测单位 X-γ辐射剂量率仪测量范围为：0.01uSv/h~200uSv/h，根据公式当量剂量（Sv）=剂量（Gy）×辐射权重因数（无量纲）以及国际放射防护委员会（ICRP）2007 年新建议书，辐射种类为“光子”时，辐射权重因子为 1，为了便于与《辐射防护》（第 11 卷，第二期，湖南省环境天然贯穿辐射水平调查研究，湖南省环境监测中心站，1991 年 3 月）中湖南省株洲市环境天然贯穿辐射水平中的单位相比较，本评价采用换算后的μGy/h 单位对检测结果进行评价。

项目场址的环境γ辐射剂量率室内在 0.09~0.14μSv/h（90~140nGy/h）之间，道路在 0.08~0.12μSv/h（80~120nGy/h）之间，原野在 0.07~0.09μSv/h（70~90nGy/h）之间，与《辐射防护》第二期中湖南省环境天然放射性水平调查研究—株洲市天然γ辐射范围内（室内 64.1~167.6nGy/h，道路 33.6~122.4，原野 38.8~140.9nGy/h）相比，项目所在地辐射环境质量现状在正常浮动范围内，未见异常。因此可知：本次监测区域内环境辐射水平处于株洲市天然γ辐射水平范围内。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期污染工序及污染物产排情况

本项目选址在新院区门诊医技楼负一楼、二楼以及综合住院楼一楼、五楼。新院区主要构筑物包括：门诊医技楼、综合住院楼、专科住院楼、综合服务楼及其他配套设施等在内的主体工程已经委托资质单位进行了环境影响评价，并于 2016 年 10 月取得了攸县分局的批复：攸环评【2016】6 号，新院区住院大楼二期建设项目于 2020 年 4 月取得了株洲市生态环境局的批复：株攸环评表【2020】6 号。本次医院新院区核技术利用建设项目涉及的门诊医技楼、综合住院楼包含在整体项目内，环评文件对门诊医技楼、综合住院楼施工期间产生的环境影响进行了详细评价。

根据现场踏勘情况，本项目直线加速器机房与后装治疗机房已于 2020 年在门诊医技楼主体建筑进行建设时同时完成了整体浇筑，其他装修装饰工程暂未开展，核医学科场所也已开工建设。本次核技术利用项目施工期主要评价机房装修装饰工程及设备安装调试过程中的环境影响，机房装修装饰过程产生的污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物，PET-CT、SPECT-CT、DSA 设备安装调试过程产生 X 射线、有害气体等，直线加速器设备安装调试过程产生 X 射线、电子线、有害气体等，后装治疗机安装调试过程产生 γ 射线、有害气体等。

噪声：主要来自于装修装饰工程及现场处理等。

废气：主要为机械敲打、钻洞墙体等产生的扬尘。

废水：主要为施工人员产生的少量生活污水。

固体废物：主要为建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。

施工过程中产生辐射污染环节为设备安装及调试过程，因此，射线装置及放射源的安装、拆除过程应请专业人员进行，院方不得自行安装调试设备。在安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在射线装置机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时涉源场所必须上锁。

本项目施工期环境影响随着施工期的结束而结束，施工期工程量小，施工期短，且均在院区内施工，对外界环境影响很小，不存在环保遗留问题。

9.2 营运期污染工序及污染物产排情况

9.2.1 放疗科

本项目放疗科位于门诊医技楼负一楼西侧，地下无建筑结构，顶部为医院地面绿化区域，放疗科西侧为土层，包括建设 2 间共用主屏蔽墙体的直线加速器机房、1 间后装机房，后装机房使用后装机开展放射治疗，首次装源活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ 的 ^{192}Ir 放射源。

9.2.1.1 设备组成及工作原理

(一) 医用电子直线加速器

1、设备主要技术指标参数

根据医院提供资料，本项目医用直线加速器为 2 台 X 射线能量档位最大为 10MV 直线加速器（型号未定）。根据医院的招标意向，本项目医用直线加速器设备主要技术指标参数见下表 9-1。（注：医院在购买设备时，拟购的设备参数均不能超过表 9-1 中的技术参数）。

表 9-1 本项目医用直线加速器主要技术指标参数一览表

序号	项目	额定参数
1	X 射线能量档位	10MV、6MV
2	电子线能量档位	18MeV、15MeV、12MeV、10MeV、8MeV
3	1m 处 X 射线剂量率	10MV：600cGy/min； 6MV：具有 FFF 模式，最高剂量率 1400cGy/min
4	最大照射野面积	40cm×40cm
5	治疗床等中心高度	≤134cm
6	正常治疗距离（SAD）	100cm
7	X 射线泄露率	≤0.1%
8	射线最大出射角	28°
9	靶材料	钨合金
10	设备厂家/型号	待定

2、设备组成

医用直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子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。典型直线加速器内部结构框图及外形见下图 9-1、图 9-2。

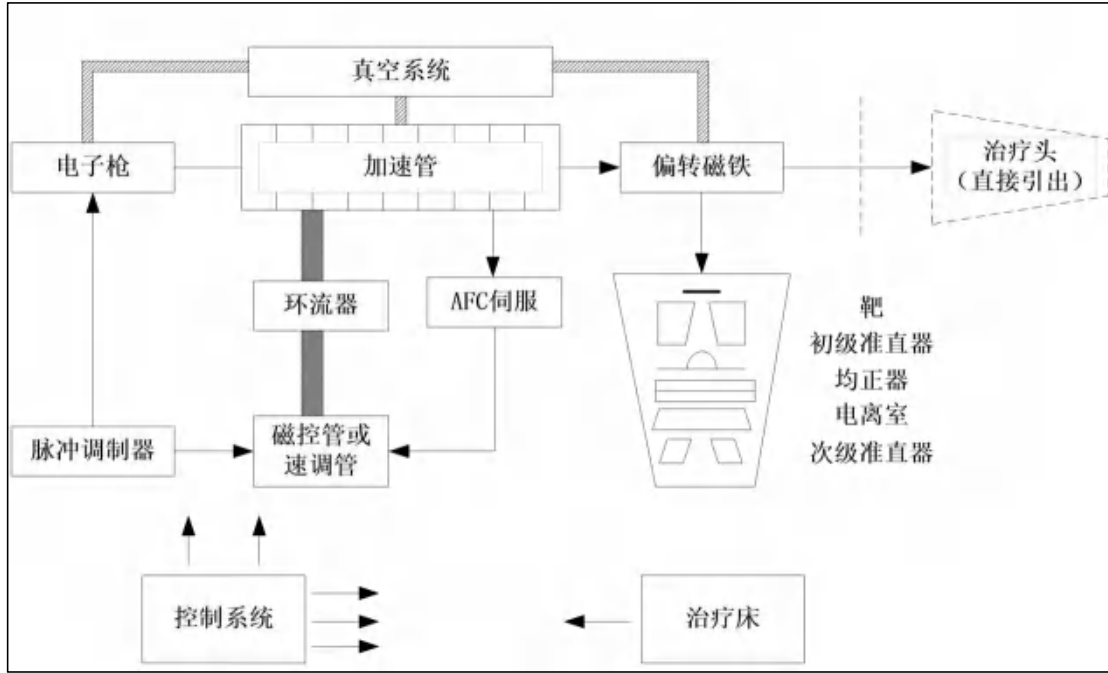


图 9-1 典型直线加速器内部结构框图

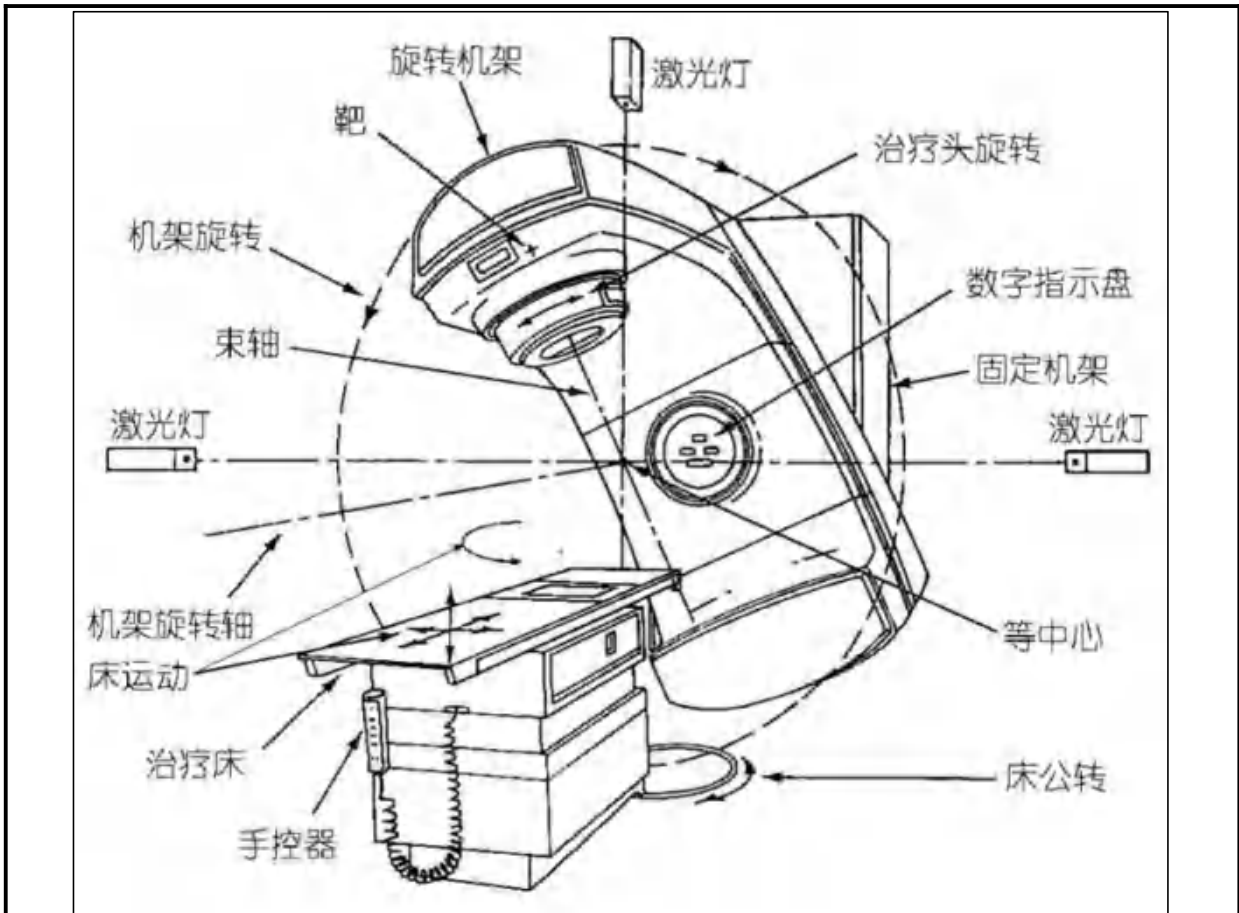


图 9-2 典型直线加速器外形示意图

3、工作原理

医用直线加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。当高能电子束与靶物质相互作用时产生韧致辐射，即 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量。因此，医用直线加速器既可利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。医用直线加速器可根据所诊疗癌症类型及其在体中的位置、患者的身体状况和各次给予剂量之间的时间间隔，以最佳输出能量对人体肿瘤进行照射诊疗。

(二) 后装机

1、后装机设备组成

后装治疗是指治疗时先将不带放射源的治疗容器（施源器）置于治疗部位，然后在安全防护条件下用遥控装置将放射源通过导管送到已安装在患者体腔内的施源器内进行放射治疗，由于放射源是后来装上去的，故称之为“后装”。后装机主要由后装主机、近距离治疗计划系统，安全系统组成。

(1) 后装主机主要包括放射源、储源罐、施源器、驱动器等。

^{192}Ir 放射源装于机头源罐内，源罐由外而内分别为不锈钢外壳、铅防护、钨防护（本项目为钨镍合金），其防护性能良好。典型的 ^{192}Ir 后装机示意图见下图 9-4。

主机内设置分度头，分度头可以连接多个输源管或施源器，虽然机内只安装了 1 枚放射源，但可通过分度头的引导控制，放射源可依次通过相应管道达到治疗区，按照计划实施治疗。

(2) 计划系统主要由硬件（计算机、数字化仪、打印机、绘图仪、摄影机）和软件（操作系统、治疗计划系统软件）组成。

(3) 安全系统主要有各种联锁系统、安全报警系统等。



图 9-3 后装机外形（示意图）

2、后装机 ^{192}Ir 放射源基本参数

本项目后装治疗系统所使用的放射源是 ^{192}Ir ，其活性区为 $0.7\text{mm}\times 3.5\text{mm}$ ，不锈钢外壳为 $1.1\text{mm}\times 6.5\text{mm}$ ，活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ 。 ^{192}Ir 为 β 衰变（95.2%）和 γ 衰变核素，半衰期为 74 天， β 射线能量为 $0.256\sim 0.672\text{MeV}$ ，伴随产生的 γ 射线能量为 $0.206\sim 0.612\text{MeV}$ 。核素 ^{192}Ir 密封于不锈钢管内， β 射线被壳体屏蔽，只发射出 γ 射线。

^{192}Ir 放射源结构见图 9-4。

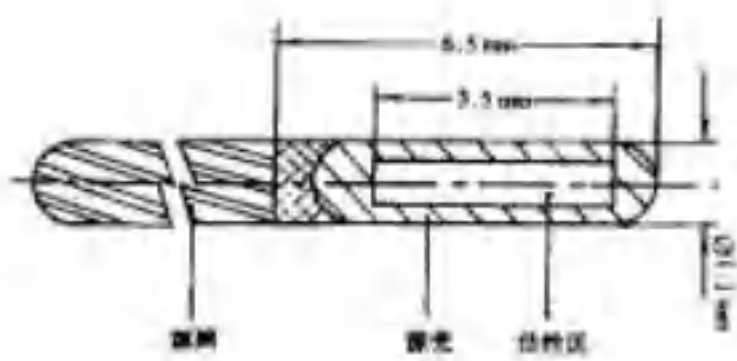


图 9-4 ^{192}Ir 放射源结构示意图

本项目后装治疗机使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源进行治疗, 由于在实际工作中存在供源方无法及时回收废弃的放射源, 存在新购的放射源已经投入使用, 但废源仍在场所内暂存的情况, 因此 ^{192}Ir 放射源数量按 2 枚考虑。医院按计划在旧源退役时购进新源, 旧源铅罐封存后在后装机房保险柜内暂存, 不存在两枚新源同时使用的情况。本项目后装机放射源概况见下表 9-2。

表 9-2 ^{192}Ir 放射源参数

核素名称	^{192}Ir
初装源最大活度	3.7E+11/枚
放射源数量	2 枚 (一枚使用、一枚退役源暂存, 不同时使用)
放射源类别	III
贮存方式与地点	在用源: 后装机设备储源罐 退役源: 铅罐封存暂存于后装治疗机房保险柜内, 双人双锁
放射源半衰期	74d
放射源发射的主要射线	γ 射线, 能量 0.37MeV, 分支比 82.7%

3、后装机治疗原理

后装机采用近距离后装治疗方式, 利用 ^{192}Ir 放射源发出的 γ 射线束形成一高剂量率的靶区, 对人体有恶性肿瘤的部位进行照射, 使肿瘤组织受到不可逆损毁。可通过腔内、管内、鼻咽、支气管、前列腺、胸部等体内肿瘤和皮肤浅表肿瘤进行近距离放射治疗。整机由后装机及控制操作软件、放疗计划系统软件构成, 可由治疗计划系统给出治疗方案, 也可由医生对病变部位和体内器官的剂量要求, 通过对话的方式输入各通道的驻留点位及各点的驻留时间, 从而精确的控制照射剂量, 把对相邻正常组织的影响限制到最低水平, 得到最佳的治疗效果。

^{192}Ir 放射源源罐结构示意图见下图 9-5。

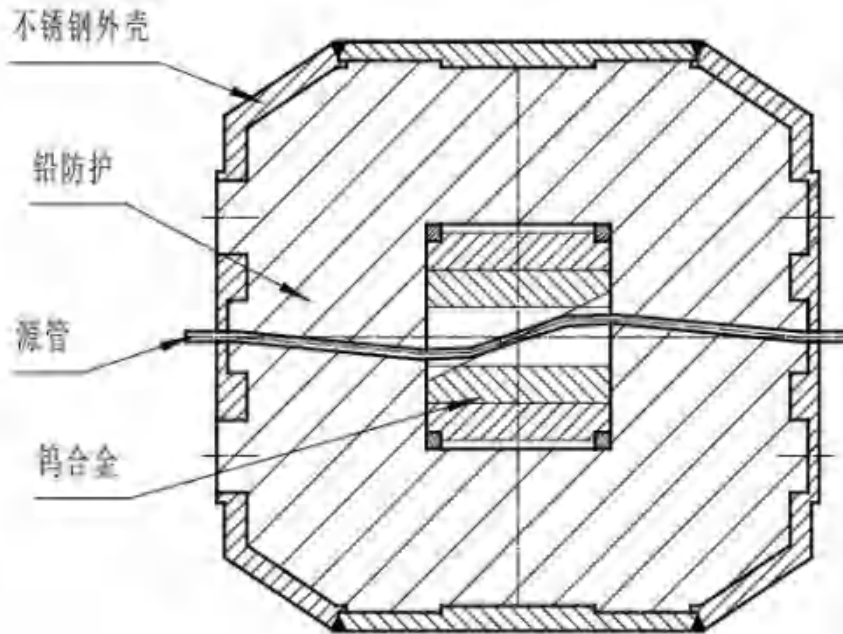


图 9-5 ^{192}Ir 放射源源罐结构示意图

9.2.1.2 操作流程及产污环节

(一) 直线加速器工作流程

(1) 制定治疗方案：放疗医生根据患者的情况经讨论制定最合适的个体治疗方案，确定初步的放疗原则，告知辐射危害。

(2) 制作模具及体位固定：确定放疗原则后，由放疗医生、物理师和技师根据患者具体情况选择和制作固定模具，进行体位固定。

(3) CT 模拟定位：患者体位固定完成后，借助 CT 模拟定位机确定肿瘤的位置和范围，获取详细影像数据（模拟定位 CT 另行登记备案，不属于本次评价范围），CT 模拟定位机主要操作流程为：依据检查单→核对摄影部位→确定投照条件→曝光。

(4) 影像学资料的初步处理及放疗靶区的确定：由物理师将 CT 模拟定位图像引入计算机治疗计划系统（TPS），进行初步影像数据处理，放疗医生准确勾画放疗病灶靶区和需要保护的重要器官组织轮廓图。

(5) 治疗计划设计阶段：借助计算机治疗计划系统（TPS）进行治疗计划设计，选择好能量、照射野大小、治疗剂量与剂量比、楔形滤过板等。

(6) 治疗计划的确认：根据设计好的治疗计划，同治疗时的摆位条件（如垫肩、

加固定器等)放到模拟机上进行核对,经证实为可行后,在病人体表上作出相应的照射野标记,填写治疗单,做好治疗固定器、挡野铅块和组织补偿块等。

(7) 治疗计划的执行:

- a、设置加速器治疗机的物理、几何参数。
- b、护理人员将病人送入治疗室,放射工作人员进行摆位。
- c、固定治疗体位,肿瘤中心位于等中心点。
- d、除了待治疗病人,其余人员撤出治疗室,关闭防护门。
- e、加速器出束,进行治疗。

f、治疗完毕,加速器停止出束,方可打开迷路防护门,工作人员将病人送出治疗室。

注意事项:治疗期间直线加速器机房门不能从外面打开,当出现异常情况时,操作人员应立即就近按下【急停】按钮并迅速撤出相关人员;治疗完毕后,将机器钥匙拨到STBY,取下病人身上附件,引导病人离开机房,记录当次治疗情况。

医用直线加速器工艺流程及产污环节如图 9-6 所示。

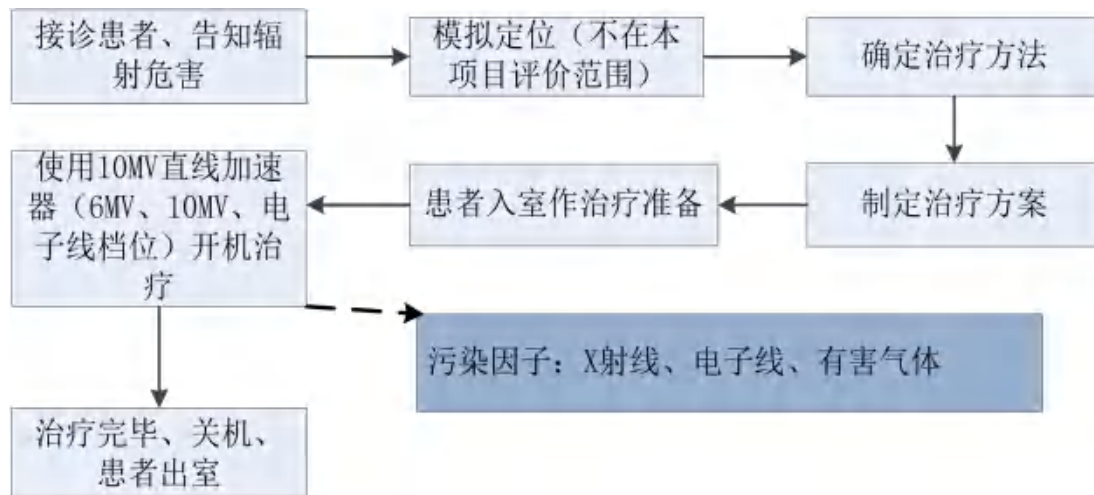


图 9-6 医用直线加速器操作流程及产污图

(二) 后装机工作流程

(1) 患者定位:首先在体架上进行塑模,然后在模拟定位 CT 机下进行定位,而后勾画治疗靶区,治疗计划系统(TPS)制定治疗计划并传输给治疗控制系统。

(2) 治疗前认真核对患者的科室、姓名及治疗计划。

(3) 工作人员进入后装机机房给患者安装施源器,插入定位缆后转入模拟定位机

下照片，调整施源器位置至符合要求。

(4) 用数字化仪或图像传输，输入各驻留点，用 TPS 重建各点的三维坐标，根据临床要求，设计和优化治疗计划。

(5) 工作人员退出后装机机房，关闭屏蔽门，在控制室内通过计算机遥控步进马达系统，实行“模拟源探路，放射源治疗”，先走假源，无障碍后开始走真源放射治疗。

(6) 治疗过程中，通过监视器严密观察患者。

(7) 放射治疗结束后，真源自动复位，确认放射源回到罐中以后，将患者移出机房，取出施源器，并观察患者有无不适。

(8) 治疗结束后，关闭后装机。

(9) 在放射治疗过程中，如出现意外情况，按“紧急按钮”中止治疗，源自动复位，撤离患者，向有关领导报告，请专业维修人员处理。

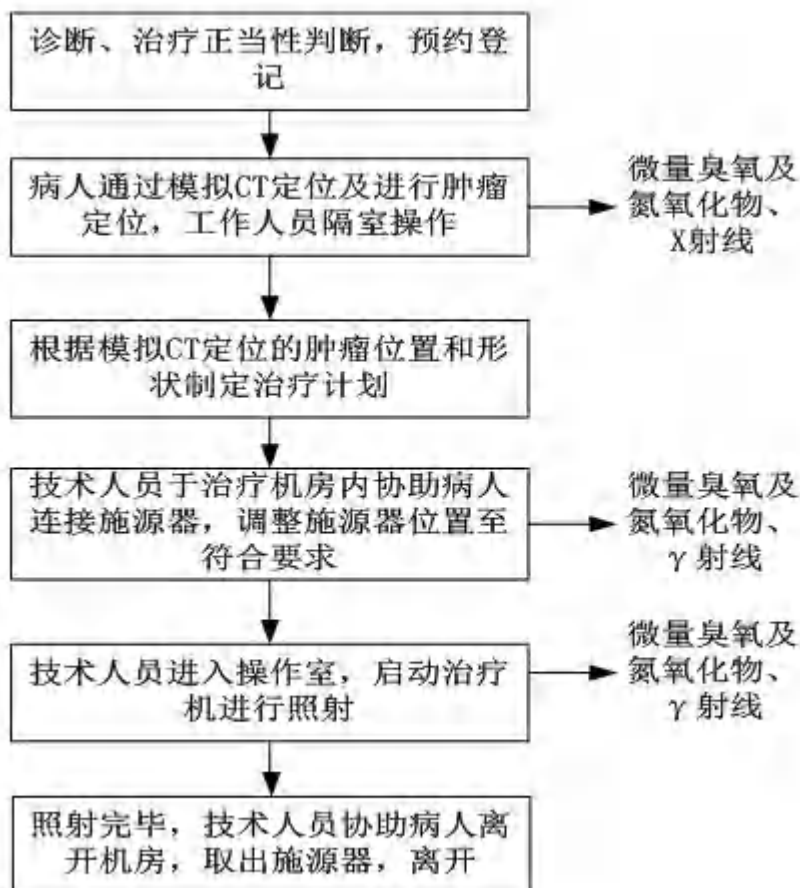


图 9-7 后装机工作流程及产污环节示意图

9.2.1.3 放疗科辐射工作人员配置与工作负荷

（一）医用电子直线加速器

每台加速器配置 1 名物理师，2 名技师。根据医院提供的本项目工作计划，逐步发展后，预计加速器最大工作量为每天治疗 60 人次（平均每台 30 人次），每周工作 5 天，每年工作 50 周。参考《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）附录 A，加速器治疗分为常规放射治疗和调强放射治疗（静态调强放射治疗或拉弧调强放射治疗），附录 A 示例给出常规放射治疗平均每名患者治疗照射时间为 1.5min，静态调强因子 $N=2$ ，拉弧调强在屏蔽设计中，通常取调强因子 $N=5$ ，即 7.5min，本次评价按最不利情况，考虑所有患者均按拉弧调强治疗进行屏蔽计算，每人最大出束照射时间 7.5min，则每台直线加速器治疗装置周治疗照射时间 $t=30 \times 5 \times 7.5\text{min}=18.75\text{h}/\text{周}$ 。

实际工作中，治疗间歇工作人员需进入机房协助患者进行摆位，摆位时间根据患者及技师熟练情况而定，本次环评保守采用摆位时间 3min/人次计，摆位完成后，技师离开机房，关闭防护门，进入控制室，进行摆位验证、射野验证、剂量验证，验证结束后，开机治疗。

（二）后装机

后装机配置 1 名物理师，2 名技师。根据医院提供资料，本项目后装治疗机最大设计工作量为 10 人次/天，每周工作 3 天（星期一、星期三、星期五），每年按 50 周计算，参考《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》（GBZ/T201.3-2014）中附录 F.1 的“示例条件与基本参数”，放射源活度处于 370GBq 时，平均每位患者的治疗照射时间为 6min，考虑 ^{192}Ir 放射源半衰期为 74d，医院每半年更换一次 ^{192}Ir 旧放射源，为了保证患者单次照射 5Gy 所需照射时间，本次环评按每人可能出现的最大出束照射时间 10min 保守计算。则本项目后装机周治疗照射时间为 5h。

9.2.1.4 后装机放射源运输、装源、换源流程

根据放射源出厂活度，后装机约半年需要更新 ^{192}Ir 放射源一次。废源由供源单位按照合同协定负责调换、运输、处置，医院负责日常安全使用及管理。 ^{192}Ir 后装机换源时需制定周密的计划，并且向湖南省生态环境厅备案。换源运输工作由有相应资质单位进行，资质单位将放射源运输至医院，运输时应避开医院上下班高峰时间。

换源流程具体如下：供源单位派遣换源工作人员先行将专用的贮源器(专用贮源器的屏蔽能力与后装机未出源时的屏蔽能力基本一致)与后装机用输源管连接，然后退出机房，关闭防护门，通过电脑控制其出源，源进入专用的贮源器后待回收，然后换源工作人员将含有新源的专用贮源器上一根长约 1m 的钢丝连接到后装机(钢丝的另一端即为新源)，然后退出机房，关闭防护门，通过电脑控制将钢丝连同新源一起进入后装机，完成一次换源工作。换下的废源根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第三十八条规定执行，医院与供源单位签订废旧放射源返回合同，废源由供源单位负责回收，回收前废源铅罐封存，暂存于后装机房内西南角的 25mmPb 的保险柜内。本次评价要求在放射源闲置或者废弃后 3 个月内由供源单位负责回收废旧放射源，不得在医院后装机房内长时间暂存。

9.2.2 介入科

本项目 DSA 机房有四个，门诊医技楼二楼建设三间 DSA 机房，综合住院楼五楼建设一间 DSA 机房。医院老院区现有一台 DSA 设备（型号 ALLuar xper KD20）拟搬迁至综合住院楼五楼 DSA 机房，门诊医技楼二楼三间 DSA 机房另外新购三台 DSA 设备，型号未定。

9.2.2.1 DSA 设备组成及工作原理

1、设备基本概况

DSA 属 II 类射线装置。本项目 DSA 设备参考照片见图 9-8:



图 9-8 本项目 DSA 参考照片

2、设备工作原理

DSA 因其整体结构像大写的“C”，因此也称作 C 型臂 X 光机，DSA 由 X 线发生装置，包括 X 线球管及其附件、高压发生器、X 线控制器等，和图像检测系统，包括光栅、数字平板接收器 CCD、光学系统、线束支架、检查床、输出系统等部件组成。数字减影血管造影技术是常规血管造影术和电子计算机图像处理技术相结合的产物。是将获取人体某一部位注入造影剂前后的两副 X 线图像，经模数转换输入计算机后进行实时减影以消除骨骼、肌肉及内脏影像，留下单一清晰的血管影像，再经数-模转换在显示器上显示出来的一种血管造影检查方法，同时能实时地显现随时间变化的血管影像。与常规血管造影像相比具有对比度、分辨率高，检查时间短、造影剂用量少、漏诊率低、医生和患者接受的 X 线辐射量减少，实现了无胶片化数字化、自动化、程序化、能进行网络传输，便于远程会诊和资料的保存等优点。因此在血管病变的诊断及治疗中有着越来越重要的价值。

DSA 能清晰显示血管的形态结构，能反映多种疾病的基本信息，为诊断治疗及疗效评价提供可靠的依据，因此 DSA 在临床上得到广泛的应用，并为其发展提供了技术

支持。通过 DSA 处理的图像，使血管的影像更为清晰，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（约 1.5-2 毫米粗）的体外操作和独特的处理方法，对体内病变进行治疗。介入治疗具有不开刀、创伤小、恢复快、效果好的特点，目前，基于数字血管造影系统指导的介入治疗医生已能把导管或其他器械，介入到人体几乎所有的血管分支和其他管腔结构（消化道、胆道、气管、鼻管、心脏等），以及某些特定部位，对许多疾病实施局限性治疗。

9.2.2.2 DSA 设备工作流程及产污环节

DSA 设备具体工作流程及产污环节见图 9-9。

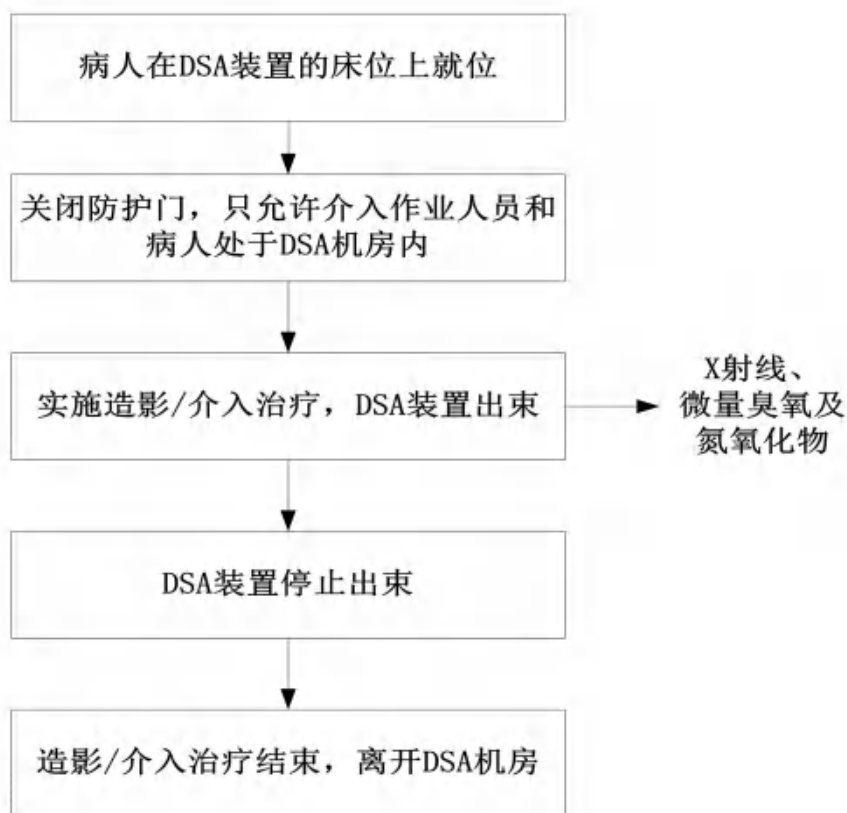


图 9-9 本项目 DSA 设备工作流程及产污环节示意图

介入手术时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺血管（手部为静脉，脚部为动脉），送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于血管内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达目标部位，顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。DSA 装置在进行介入作业时，处于 DSA 手术室内的辐射工作人员需穿戴防护服、防护帽，佩戴个人剂量计进行操作。

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况，摄影。操作人员采取隔室操作的方式（即操作技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视频监视系统观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。

第二种情况，透视。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，并采用连续脉冲透视，此时操作医生位于铅帘后身着铅服、铅眼镜等在曝光条件下对病人进行直接的介入手术操作。

9.2.2.3 介入科辐射工作人员配置与工作负荷

根据医院远期规划，每台 DSA 配备 14 名介入工作人员（12 名介入医生、1 名技师、1 名护士），即 4 台 DSA 设备均运行后，医院介入科辐射工作人员总人数为 56 人。根据医院提供的资料，本项目单台 DSA 设备的工作负荷见表 9-3。

表 9-3 单台 DSA 设备工作负荷情况（四台设备工作负荷一致）

透视+摄影			
手术类别	年开展工作量	平均每台手术出束时间	年出束时间
综合介入（心内、外周、神内、神外等）	1000 台	透视约 20min，摄影约 1min	约 350h（透视 333.33h，摄影 16.67h）

9.2.3 核医学科

本项目在综合住院楼一楼建设一个核医学科场所（由敷贴及核素显像区和 ^{131}I 核素治疗区构成），敷贴及核素显像区建设一个 PET-CT 机房、一个 SPECT-CT 机房及相关用房、一个 ^{90}Sr 敷贴治疗室，使用非密封放射性物质 ^{18}F 用于 PET-CT 扫描，使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用于 SPECT-CT 扫描， ^{131}I 核素治疗区用于甲测、甲亢治疗，核医学场所为乙级非密封放射性物质工作场所，工程分析如下：

9.2.3.1 核医学科设备组成及工作原理

（一）敷贴及核素显像区

1、 ^{18}F 显像

①设备组成及工作原理

本项目 ^{18}F 显像设备为 PET-CT。

PET 正电子发射断层扫描(Positron Emission Tomography, PET)的工作原理是通过正

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

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

典型 PET-CT 示意图见图9-10。



图 9-10 PET-CT 外观示意图

2、^{99m}Tc 显像

①设备组成及工作原理

本项目 ^{99m}Tc 显像设备为 SPECT-CT，SPECT-CT 主要由三部分组成，即探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备。探头部分主要由准直器、晶体、光导、光电倍增管、模拟定位计算电路组成。SPECT-CT 自身带有一个 CT 球管，在 SPECT-CT 核素扫描的基础上，可以同时获得 CT 解剖图像，从而更有利于对疾病作出全面、准确的判断。

SPECT-CT(Single Photon Emission Computed Tomography，单光子发射型计算机体

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

典型 SPECT-CT 示意图见图9-11。



图 9-11 SPECT-CT 显像诊断工作流程及产污示意图

3、敷贴治疗

①治疗原理

将放射性核素吸附在滤纸上,或用特殊技术压制在金属片上经过必要的防护处理,做成皮肤病治疗用的专用器具,习惯称为敷贴器。根据医院提供资料,本项目为外购 ^{90}Sr 成品敷贴器,使用寿命长,剂量准确、均匀,使用过程中需用橡胶材料保护患者病灶周围正常皮肤。 ^{90}Sr 放射性核素在衰变过程中产生纯的 β 射线,由于 β 粒子射程短,电离密度大,适宜于将其紧贴在任何形状身体表面的病变进行照射,而不引起深部和邻近组织的损伤。

(二) ^{131}I 核素治疗区

本项目使用放射性核素 ^{131}I 开展甲亢治疗和甲测,医院每周购药 ^{131}I 三次(星期一、星期三、星期五)。 ^{131}I 核素治疗原理如下:

(1) 治疗原理

①甲亢治疗

甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}I 的功能,功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多。 ^{131}I 在甲状腺内停留的时间较长,在甲亢患者甲状腺内的有效半衰期约 3~5 天。在患者服用 ^{131}I 后,90%以上的 ^{131}I 都会聚集到患者的甲状腺,其余的 ^{131}I 随代谢排出体外。 ^{131}I 衰变时主要发射 β^- 粒子,且射程短,仅约 2~3mm,对周围正常组织一般无影响。因此, ^{131}I 治疗可使部分甲状腺组织受到 β 射线的集中照射,使部分甲状腺细胞发炎症、萎缩、直至功能丧失,从而减少甲状腺激素的分泌,使亢进的功能恢复正常,达到治疗的目的。

②甲测

甲状腺吸碘功能测定简称为甲测。碘是甲状腺合成甲状腺激素的原料之一,放射性的 ^{131}I 也能被摄取并参与甲状腺激素的合成,其被摄取量和速度与甲状腺功能密切相关。将 ^{131}I 引入受检者体内,利用体外探测仪器测定甲状腺部位放射性计数的变化,可以了解 ^{131}I 被甲状腺摄取的情况,从而判断甲状腺的功能。本次评价甲测单人次 ^{131}I 给药量很小,仅 $3.7\times 10^5\text{Bq}$ (0.01mCi),低于 GB18871 规定的豁免水平 ($1.0\text{E}+06\text{Bq}$),可不考虑甲测服药患者的辐射影响。

9.2.3.2 核医学科工作流程及产污环节

(一) 敷贴及核素显像区

1、 ^{18}F 显像工作流程及产污环节

工作流程:

A 订药:工作人员根据临床诊断所需用药量(平均每个病人放射性药物 ^{18}F 注射量为 10mCi)、病人预约情况确定诊断所需药物的使用量,提前一天向供药单位预定药物,核医学科安排分装室工作人员接收放射性核素,经确认无误完成相关交接手续后,供药单位工作人员将药物连同转运铅罐转移至 ^{18}F 分装柜内(核素显像区设置一个 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 双联分装柜),备药送至储源室内。

B 分装:本项目辐射工作人员(作好防护措施,穿戴防污染防护服)进入分装室进行分装,并测量其分装活度,单次分装、活度测量时间约 1min。空的铅罐放置在储

源室暂存或由供药公司送药人员下次送药时带走。

C 注射：分装后将放射性药物转移到注射窗对病人进行药物注射，单次转移时间约 1min；注射时工作人员和病人采用铅屏蔽窗隔离屏蔽操作，并在注射前告知病人辐射危害，单个病人单次注射时间约 1min，每位病人注射完药物后进入 ^{18}F 注射候诊室进行静息观察 1h，期间禁止人员陪护，病人不得离开 ^{18}F 注射候诊室。

D 显像诊断：观察时间结束后，通过语音呼叫，病人进入 PET-CT 机房进行显像诊断，医生在控制室内进行语音提示摆位，摆位时间约 1min，必要时进入机房指导(1/10 病人需医生进入机房进行现场摆位)，摆位完成后医生离开机房进入控制室。医生隔室操作对病人进行扫描诊断，平均每个病人扫描 10min。

E：诊断结束病人进入留观抢救室内留观 15min，留观结束后由患者出口离开核医学科。

产污环节： ^{18}F 放射性药物不挥发，分装过程中的抽吸、排气操作会导致少量的 ^{18}F 气溶胶扩散到空气中，污染空气，属于放射性气态污染物范畴；工作人员操作药物时产生 γ 射线、 β 射线、表面污染，注射完毕后产生一次性注射器、棉签等，PET-CT 扫描时产生 X 射线，注射药物后患者产生 γ 射线，患者候诊及留观时产生的尿液、粪便、呕吐物等，场所内清洁产生放射性废水。

PET-CT 显像诊断工作流程及产污详见图 9-12。

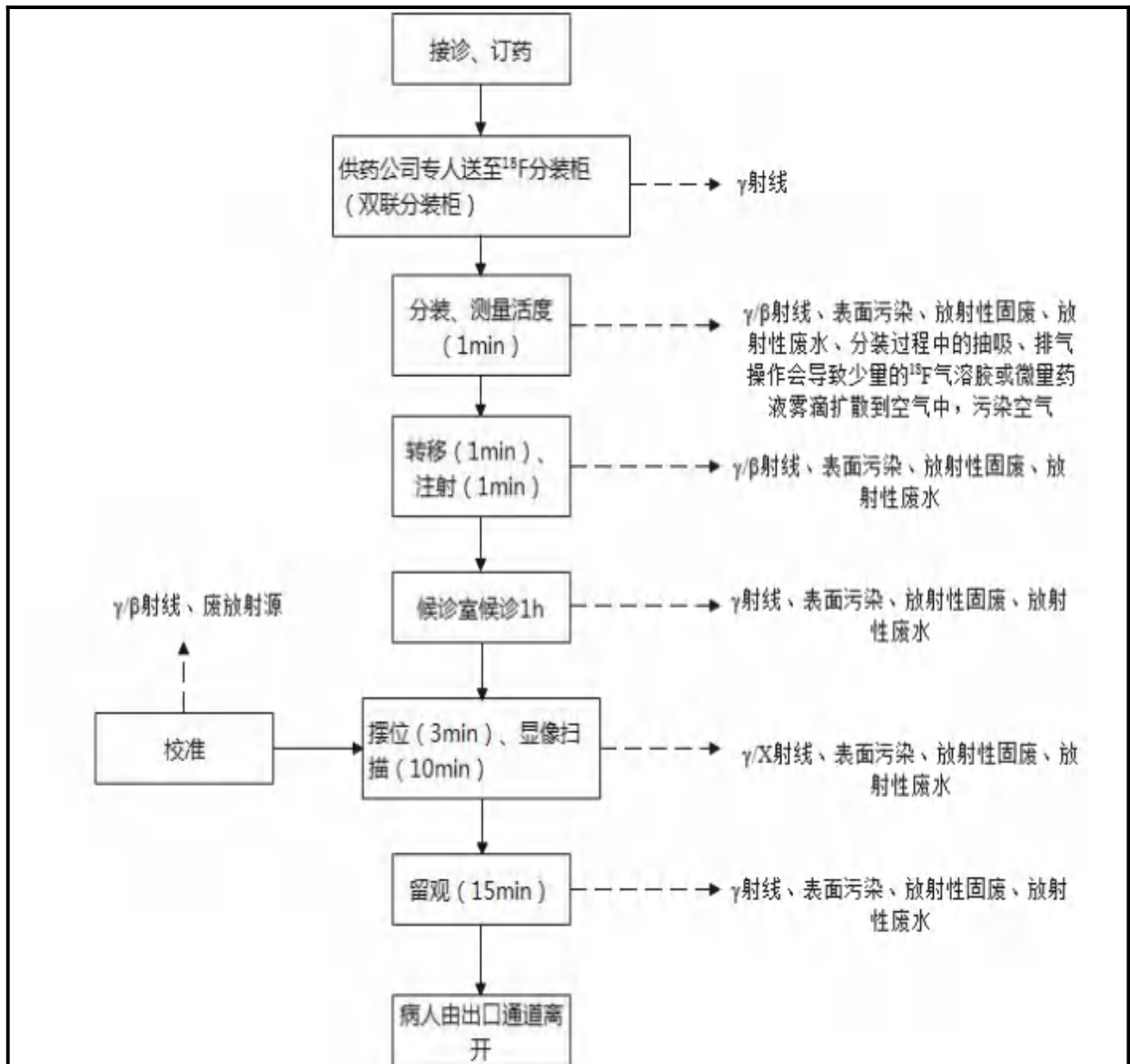


图 9-12 PET-CT 显像诊断工作流程及产污示意图

2、^{99m}Tc 显像工作流程及产污环节

工作流程:

A 订药:工作人员根据临床诊断所需药物的使用量(平均每个病人放射性药物 ^{99m}Tc 注射量为 20mci)、预约检查的人数,提前一天向供药单位订购放射性药物,核医学科安排分装室工作人员接收放射性核素,经确认无误完成相关交接手续后,供药单位工作人员将药物连同转运铅罐转移至 ^{99m}Tc 通风橱内(核素显像区设置一个 ¹⁸F、^{99m}Tc 双联分装柜)。

B 测活:^{99m}Tc 药物不需要分装,本项目辐射工作人员(作好防护措施,穿戴防污染防护服)进入分装室在 ^{99m}Tc 通风橱内进行测活,单次活度测量时间约 1min。

C 注射：测活后将放射性药物转移到注射窗对病人进行药物注射，单次转移时间约 1min；注射时工作人员和病人采用隔离屏蔽操作，并在注射前告知病人辐射危害，单个病人单次注射时间约 1min，每位病人注射完药物后进入 ^{99m}Tc 候诊室进行静息观察 120min；或进入运动负荷室运动，期间禁止人员陪护，病人不得离开候诊室；

D 显像诊断：观察时间结束后，通过语音呼叫，病人进入 SPECT-CT 机房进行显像诊断，医生在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房指导（1/10 病人需医生进入机房进行现场摆位），摆位时间约 1min，整个扫描过程持续约 20min。

E：诊断结束病人进入留观抢救室内留观 15min，留观结束后由患者出口离开核医学科。

产污环节： ^{99m}Tc 放射性药物不挥发，测活时若注射器内的 ^{99m}Tc 药液有轻微溅落或分装柜内的抽吸、排气操作可能形成含 ^{99m}Tc 放射性气溶胶污染空气，属于放射性气态污染物范畴； ^{99m}Tc 放射性药物测活注射时产生的 γ 射线、表面污染、放射性废气，注射完毕后产生一次性注射器、棉签等，患者候诊及留观时产生的排泄物、呕吐物，在扫描时产生的 X 射线及注射药物后患者产生的 γ 射线等，场所内清洁产生放射性废水。

SPECT-CT 显像诊断工作流程及产污详见图 9-13。

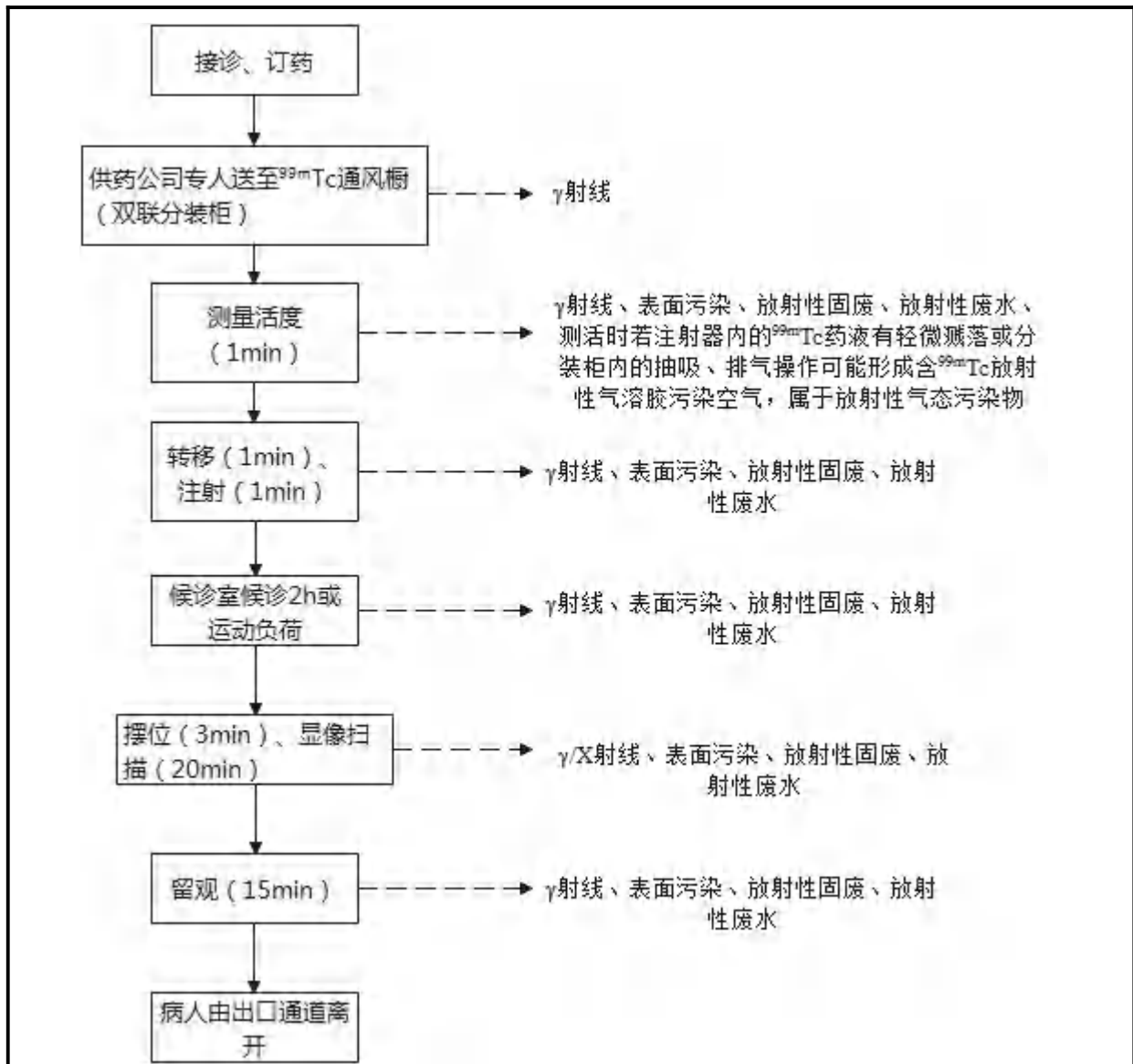


图 9-13 SPECT-CT 显像诊断工作流程及产污示意图

3、敷贴治疗工作流程及产污环节

工作流程：患者提前预约，使用敷贴器前向病人告知可能受到的辐射危害。制备防护屏：准备一个不小于 3 mm 厚的橡皮泥或橡胶板，根据疤痕大小范围和形状在橡皮泥或橡胶板上剪出一个与疤痕组织形状相同的洞，将橡皮泥或橡胶板贴在疤痕周围，遮挡住正常皮肤；照射治疗：将 ^{90}Sr 敷贴器放在疤痕上，对疤痕组织进行照射治疗，敷贴器紧贴在病变皮肤表面对病变部位进行照射，不会引起深部和邻近组织损伤。患者一般一次敷贴约 2h 时后留观 30min 离开。

产污环节： ^{90}Sr 放射性核素在治疗衰变过程中产生纯的 β -射线，能量主要为 0.65 MeV。敷贴治疗流程及产污详见图 9-14。

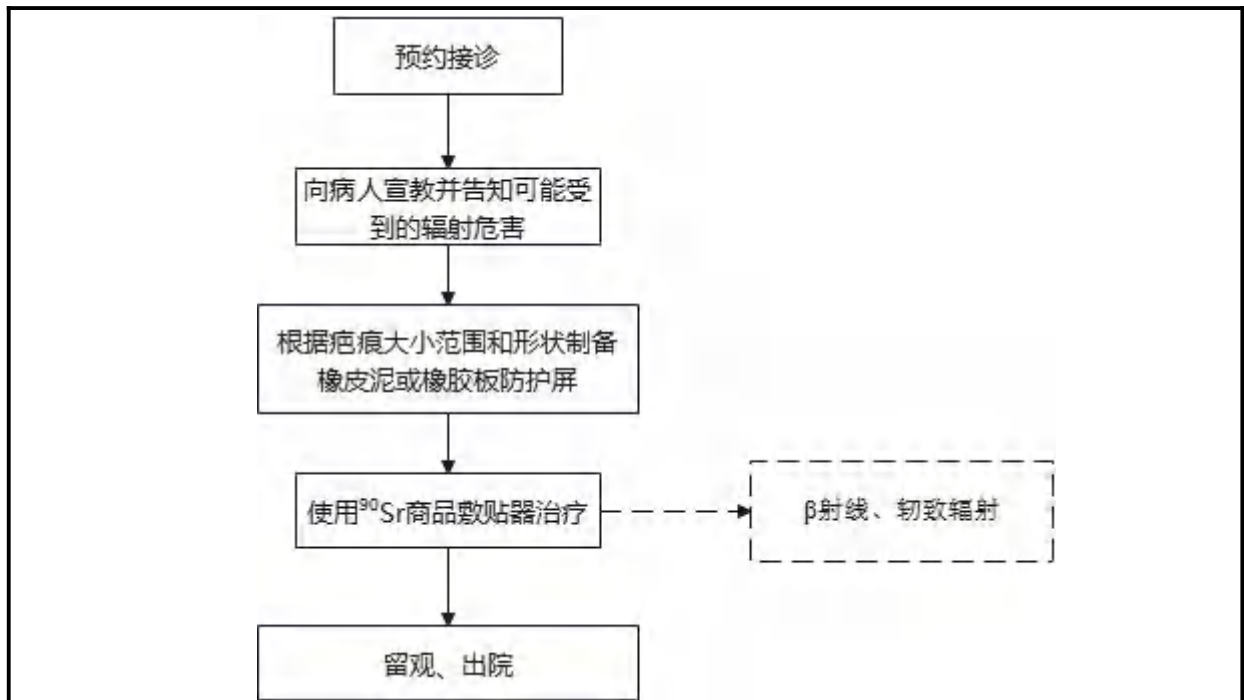


图 9-14 敷贴治疗工作流程及产污示意图

(二) ^{131}I 核素治疗区

(1) 工作流程及产污环节

① 甲亢治疗

工作流程：患者接受辅助检查，医生根据评估结果进行服药剂量的确定，并制定治疗方案。在确定方案后， ^{131}I 治疗前，向患者及家属详细说明治疗过程、治疗禁忌症以及可能出现的不良反应和副作用，详细宣教 ^{131}I 治疗后对周围人群的辐射影响及防护措施。用药当日，由药品厂家根据医院提供的每周最大所需药量装入防护罐内，并负责运送至医院核素治疗 ^{131}I 分装室自动分装柜内（ 20mmPb 当量）。医护人员进入控制室通过电脑控制自动分碘仪进行自动分装，药物分装好后，医护人员将药物置于垫有吸水纸的托盘内，送入服药窗口。

根据语音播报患者到服药窗口自行取药后服用，然后进入甲亢病房住院观察。自动分碘仪每次只分装一个患者的药物，分装时间约 $10\text{min}/\text{人}$ 。患者住院观察期间禁止外出和随意走动，住院观察 1 天左右，如无明显不良反应则准予出院。

产污环节：药物自动分装以及服药过程中产生的 γ 射线、 β 射线、表面污染、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物等；患者在住院期间产生的 γ 射线、表面污染、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物等。

甲亢治疗及产污详见图 9-15。

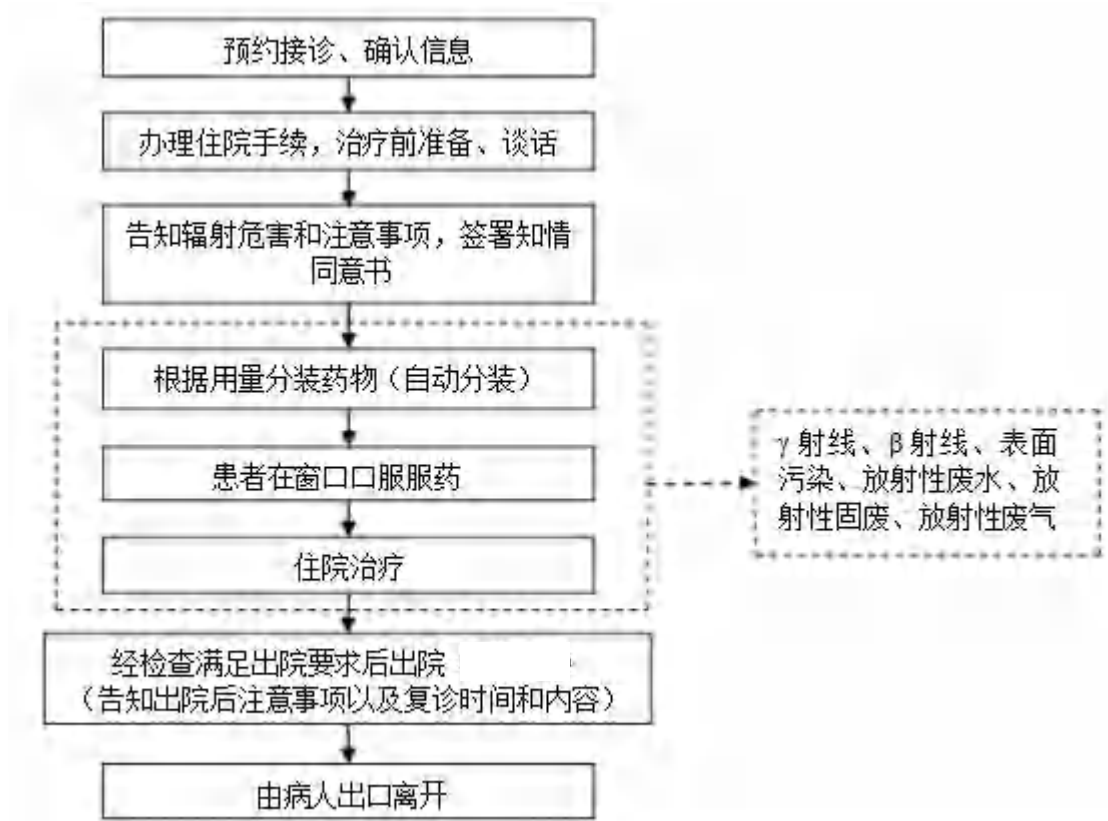


图 9-15 甲亢治疗工作流程及产污示意图

②甲测

工作流程：患者提前预约，用药前向病人告知可能受到的辐射危害。给药前，工作人员进入控制室通过电脑控制自动分碘仪分装出约 1mCi 的 I-131 药物至药物容器里（分装时长约 10min），然后工作人员进入分装室拟对 1mCi 的药液手动分装（每次分装时长不超过 3.0min）成单个甲测受检者所需剂量（最大不超过 10uCi，低于 GB18871 规定的豁免水平），使用活度计对分装药物进行活度测量，确保其药物活度符合目标活度正常误差范围，稀释的药物拟置于服药杯内，并置于垫有吸水纸的托盘内，放入服药窗口。

药物分装好后，根据语音播报患者到服药窗口自行取药后服用，患者服药后马上离开，分别于 3 小时、6 小时、24 小时后返回甲功室测摄碘率，每次检查 60S。本次评价甲测单人次 ^{131}I 给药量很小，仅 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ (0.01mCi)，低于 GB18871 规定的豁免水平 ($1.0\text{E}+06\text{Bq}$)，可不考虑甲测服药患者的辐射影响。

产污环节：药物分装及病人服药过程中产生 γ 射线、 β 射线、表面污染、放射性废气、

放射性废水、放射性固废。

甲测工作流程及产污详见图 9-16。

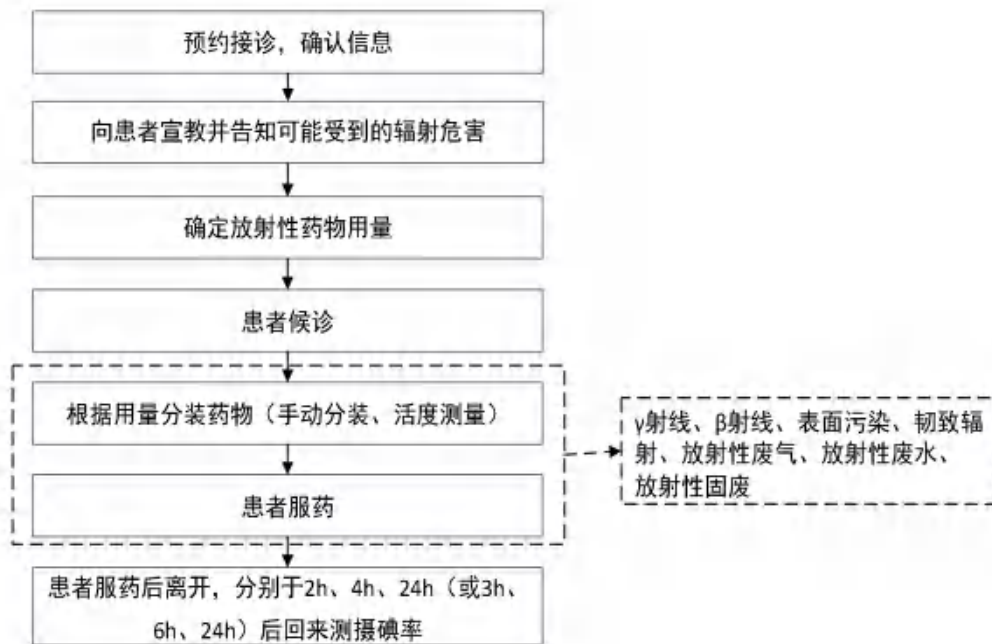


图 9-16 甲测工作流程及产污示意图

9.2.3.3 核医学科辐射工作人员配置与工作负荷

(一) 敷贴及核素显像区

①人员配置：根据医院提供资料及工作计划， ^{18}F 分装注射人员配置 2 人，PET-CT 控制室操作人员 2 人(负责摆位、扫描)； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 测活及注射人员 1 人，SPECT-CT 控制室操作人员 2 人(负责摆位、扫描)，敷贴医生 1 人。

②工作负荷：根据医院提供资料及工作计划，PET-CT 日诊断 ^{18}F 患者 40 人，平均每人用药量 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ (10mCi)，每年工作 50 周，250 天。SPECT-CT 日诊断 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者 20 人，平均每个病人检查期间放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射量为 $7.4\times 10^8\text{Bq}$ (20mCi)，每年工作 50 周，250 天。

^{90}Sr 敷贴治疗每天最多治疗 2 个人次，每周工作 5 天，每年工作 50 周（治疗 500 人次/年）。

^{18}F 显像区工作负荷详见表 9-4。

表 9-4 ¹⁸F 显像区工作负荷一览表

核素名称	平均用药量	最大接诊人数	实际日最大操作量	年工作天数	实际年最大操作量
F-18	3.7×10 ⁸ Bq/人 (10mCi/人)	40人/天	1.48×10 ¹⁰ Bq/天 (400mCi)	250 天	3.7×10 ¹² Bq (100Ci)

^{99m}Tc 显像区工作负荷详见表 9-5。

表 9-5 ^{99m}Tc 显像区工作负荷一览表

核素名称	平均用药量	最大接诊人数	实际日最大操作量	年工作天数	实际年最大操作量
^{99m} Tc	7.4×10 ⁸ Bq/人 (20mCi/人)	20人/天	1.48×10 ¹⁰ Bq/天 (0.4Ci)	250 天	3.7×10 ¹² Bq (100Ci)

(二) ¹³¹I 核素治疗区

1、人员配置

¹³¹I 分装给药人员 2 人，甲测医生 1 人。另外新院区核医学科场所拟招聘 4 名医生开展工作，且应纳入医院辐射工作人员管理。老院区甲亢核医学科现有分装工作人员 1 人（胡蓉），拟调配至新院区核医学科。

2、工作负荷

①甲亢治疗：每天最多治疗 6 个病人，每周工作 3 天（星期一、星期三、星期五），每年工作 50 周（治疗 900 人/年），平均每个病人治疗期间 ¹³¹I 服药量为 10mCi（3.7×10⁸Bq）。

②甲测：每天最多检查 5 个病人，每周工作 3 天（星期一、星期三、星期五），每年工作 50 周（检查 750 人/年），平均每个人检查期间 ¹³¹I 服药量为 10μCi（3.7×10⁵Bq）。

本项目放射性药物 ¹³¹I 为医院每周购药三次（星期一、星期三、星期五），一次最大送药量为 2.22185×10⁹Bq（60.05mCi）。

表 9-6 ¹³¹I 核素治疗区工作负荷一览表

核素名称	供药频次	最大接诊人数	实际日最大操作量	年工作天数	实际年最大操作量
¹³¹ I	一周三次（ <u>星期一、星期三、星期五</u> ）	甲亢：6人/天（ <u>星期一、星期三、星期五</u> ） 甲测：5人/天（ <u>星期一、星期三、星期五</u> ）	2.22185×10 ⁹ Bq	50周	3.332775×10 ¹¹ Bq

9.3 污染源项描述

9.3.1 运行期间正常工况下污染源分析

本项目放射治疗场所设置 2 台直线加速器、1 台后装治疗机，位于门诊医技楼负一楼；介入手术室设置 4 台 DSA 设备，门诊医技楼二楼设置 3 台，综合住院楼五楼设置 1 台；核医学科场所使用非密封放射性物质 ^{18}F 用于 PET-CT 扫描、使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用于 SPECT-CT 扫描，使用 ^{90}Sr 成品敷贴器用于敷贴治疗，使用 ^{131}I 用于甲测、甲亢治疗，为乙级非密封放射性物质工作场所，位于综合住院楼一楼。正常工况下污染源项分析如下：

(一) 放射治疗场所污染源项分析

1、直线加速器

本项目使用的 10MV 医用直线加速器可以提供 X 线和电子线 2 种射线能量用于肿瘤治疗，其中最大 X 线能量为 10MV，最大电子线能量为 18MeV。在用 X 线治疗时主要污染因子为 X 射线，用电子线治疗时主要污染因子为电子，伴随产生少量 X 射线、中子、 γ 射线等的感生辐射。这种 X 射线和电子是随机器的开关而产生和消失的。

根据《放射治疗机房辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007），当加速器治疗 X 射线 $>10\text{MV}$ 时，需考虑机房的中子屏蔽，本项目 10MV 直线加速器最大 X 线能量为 10MV，不考虑中子屏蔽。

当加速器产生的高能射线照射在设备的结构材料、治疗室内的各种设备、器械、空气和墙壁等物质上时，可以产生感生放射性。一般情况下，当韧致辐射光子能量高于光核反应的阈能时，感生放射性才会出现。本项目 10MV 直线加速器感生放射性基本可以忽略。

此外，直线加速器工作时还会产生少量臭氧（ O_3 ）和氮氧化物（ NO_x ）。

另外，医用直线加速器在大修更换金属靶件或者设备退役时会有废靶件产生，废靶件由加速器供应商回收，不在医院存储。

2、后装治疗机

后装治疗机产生的污染物主要包括 γ 射线、 β 射线、放射性固废及非放射性有害气体。

① γ 射线、 β 射线

后装治疗机的 ^{192}Ir 发射 β 射线穿透能力较弱，设备的外包装可完全屏蔽， β 射线的影响可以忽略。而 γ 射线穿透能力较强，对机房周围环境造成一定辐射污染。污染途径为：

后装治疗机在贮源状态下 ^{192}Ir 放射源发射出的 γ 射线穿过源罐逃逸产生的泄漏辐射；在治疗状态下,将 ^{192}Ir 放射源导入施源管中相应的驻留位置上进行放疗,将产生有用线束、散射辐射等。放射性核素 ^{192}Ir 的源强见表9-7。

表 9-7 ^{192}Ir 放射源源强

名称	核素	初装活度 A (MBq)	空气比释动能率常数 Kr ($\mu\text{Sv}/(\text{MBq}\cdot\text{h})$)	距离	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
^{192}Ir 放射源	^{192}Ir	3.7×10^5	0.111	1m	4.11×10^4

②放射性固废

后装机使用 ^{192}Ir 放射源,使用一定时间后,由于放射源活度降低,不能达到原使用目的时,报废、退役成为放射性废物。 ^{192}Ir 源半衰期约 74 天,后装机每年更换 2 次放射源,退役 ^{192}Ir 放射源通过铅罐封存后短时间在机房保险柜内暂存。换源事宜由供源厂家专业技术人员负责运输、安装,退役放射源随即由供源厂家进行回收。

③非放射性气体

后装机房治疗室内放射源产生的 γ 射线与空气作用可产生少量的氮氧化物(NO_x)和臭氧(O_3)等,它们是具有刺激性作用的非放射性有害气体。

由上述分析可知,后装治疗机运行过程中不会产生放射性废气、废水,主要影响因子为 γ 射线、 β 射线(可忽略不计)、放射性固体废物、非放射性有害气体。

(二) DSA 介入室污染源项分析

①放射性污染

DSA 在工作状态下会发出 X 射线。其主要用作血管造影检查及配合介入治疗,由于在荧光影像与视频影像之间有影像增强器,从而降低了造影所需的 X 射线能量,再加上一次血管造影检查需要时间很短,因此血管造影检查的辐射影响较小。而介入放射需要长时间的透视和大量的摄片,对病人和医务人员有一定的附加辐射剂量。

本项目使用的 DSA 只有在开机并处于出束状态时才会发出 X 射线。因此,在开机出束期间,X 射线是主要污染因子。

②其他污染

DSA 在工作状态时,会使机房内空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。少量臭氧和氮氧化物可通过通风排出机房外。正常工况下,DSA 机房通过机械通风,室内有害气体的量可以被降低到最低,几乎对人体不会造成危害。

(三) 核医学场所污染源项分析

(1) 放射性污染物

1、X射线和γ射线β射线

^{18}F 放射性药物在操作过程中产生γ射线及β射线； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物在操作过程中产生γ射线； ^{131}I 药物在操作过程及病人服药过程产生γ射线及β射线，病人住院过程产生γ射线；PET-CT、SPECT-CT 扫描时设备产生 X 射线。

①β射线与韧致辐射

本项目涉及使用的放射性核素 ^{18}F 与 ^{131}I 在衰变过程中会有β粒子，其在各介质中的防护厚度如表 9-8 所示。

表 9-8 核素衰变产生的β射线在各介质中的最大射程对应的防护厚度

屏蔽材料 d	ρ 材料密度 (g/cm^3)	核素 ^{18}F	核素 ^{131}I
		$E_{\beta\text{max}}$ (MeV) 0.63 (+)	$E_{\beta\text{max}}$ (MeV) 0.602
		防护厚度 (cm)	
空气	0.001293	243.62	232.79
皮肤	0.85~1.0	0.37~0.315	0.354~0.301
有机玻璃	1.18	0.267	0.255
实心砖	1.65	0.19	0.18
混凝土	2.35	0.134	0.128
硫酸钡水泥	3.2	0.098	0.094
铅板	11.3	0.028	0.027
铅玻璃	4.2	0.075	0.072

注： $E_{\beta\text{max}}$ 来源于《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）附录 H 表 H.1。

②γ 射线源强

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I，保守起见，所有核素工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。以服药病人视为点源，在距源 1m 处周围剂量当量率详见表 9-9。

表 9-9 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 与 ^{131}I 源强一览表

源项	核素	病人单次最大使用量 (MBq)	距离	裸源剂量率常数* $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
PET/CT 显像	^{18}F	370	1m	0.143	52.91
SPECT/CT 显像	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	740	1m	0.0303	22.4
甲亢治疗	^{131}I	370	1m	0.0595	22.02
甲测治疗	^{131}I	5550	1m	0.0595	330.2

注：裸源剂量率常数来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表H.1。

③X 射线源强

本项目核医学科所使用的 PET-CT、SPECT-CT 额定管电压为 140kV，由于 CT 自身带有屏蔽系统，机房周围主要受泄漏辐射影响，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》P23 页：“（77）用于诊断目的的每一个 X 线管必须封闭在管套内，以使得位于该套内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1 米处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h”，故本项目 PET-CT、SPECT-CT 泄漏辐射比释动能率保守取值为 1000 μ Gy/h。

2、表面污染

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

3、放射性废气

^{18}F 与 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为非挥发性核素，不产生放射性废气，分装柜内的抽吸、排气操作可能形成含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性气溶胶污染空气，属于放射性气态污染物范畴，分装柜顶端设置活性炭吸附装置吸附后经建筑物屋顶排放，产生的放射性气态污染物浓度很低； ^{131}I 为挥发性核素，在放射性药物分装操作过程， ^{131}I 药物挥发产生含放射性核素的废气，分装操作整个过程在自动分装柜内进行，且通过活性炭吸附后经建筑物屋顶排放（综合住院楼为医院最高建筑物），因此本项目产生的放射性气体污染浓度很低，对周围环境影响小。

④放射性废水

核医学科放射性废水主要来自给药后患者在控制区内候诊、留观或患者住院期间的排泄和冲洗废水，以及控制区内工作场所清洁、工作人员冲淋废水。

核素显像区：PET-CT、SPECT-CT 患者产生废水按 50 人次/d 计，12500 人次/年，参考《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019）：门诊病人最高日每次用水定额为 10~15L/d、医务人员最高日用水定额为 80~100L/人·班，本次环评取用水定额最大值，废水排污系数保守取 1，则本项目 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 检查患者废水产生量为 0.75 m^3 /d, 187.5 m^3 /a, 分装室 3 名医务人员废水产生量为 0.3 m^3 /d, 75 m^3 /a。核素显像区清洁废水产生量约为 0.5 m^3 /d, 125 m^3 /a。则核素显像区废水产生总量为 1.55 m^3 /d, 387.5 m^3 /a。

核素治疗区：根据《医院污水处理技术指南》（环发[2003]197 号）第 7 章“放射

性废水处理技术 7.2.2 废水量为 100~200L/床·d”，本项目 ¹³¹I 核素甲亢治疗患者住院期间废水产生量保守取 200L/人·d 计（含场所清洁废水）。甲亢患者每次最多住院 6 人，住院 1 天，按每人每天产生废水 200L 考虑（含患者生活用水、污洗水、场地清洗等），每天废水产生量为 1.2m³，每周 3.6m³，每年 50 周病人废水量为 180m³。分装室按 1 名工作人员承担全部分装给药工作，每周工作 3 天，每年工作 50 周，医务人员废水产生量为 0.1m³/d，0.3m³/周，15m³/a。则核素治疗区废水产生总量为 1.3m³/d，195m³/a。

综上所述，核医学场所每天产生放射性废水量为 2.85m³，年废水量为 582.5m³。

表 9-10 核医学科放射性废水产生情况

序号	放射性废水来源	每天废水产生量	每年废水产生量
核素显像区			
1	患者产生	0.75	187.5
2	医护人员产生	0.3	75
3	工作场所清洁	0.5	125
核素治疗区			
1	甲亢患者产生（含场所清洁）	1.2	180
2	医护人员产生	0.1	15
小计		2.85	582.5

⑤放射性固废

本项目放射性固废主要为工作人员操作过程产生的污染物的注射器、针头、手套、棉签、纱布、破碎杯皿、擦拭污染物台面及地面的物品，病人服药后产生的一次性废纸杯和更换的废活性炭等放射性废弃物。另外，PET-CT 产生退役 ⁶⁸Ge 校准源，敷贴治疗产生 ⁹⁰Sr 废敷贴器。

核医学科核素显像区放射性固废产生按 12500 人次/年，产生量约 0.05kg/人次计，则每年产生放射性固废 625kg。另外核素显像区共设 4 套活性炭净化装置（¹⁸F、^{99m}Tc 双联分装柜壁顶 2 套、2 根主排风管道末端分别设 1 套），活性炭 1 次装量约 10kg，约半年更换 1 次，核素显像区场所每年产生废活性炭约 80kg，废活性炭按放射性固废处理暂存在固废间内，达到解控标准后按危险废物处理。退役 ⁶⁸Ge 校准源、废 ⁹⁰Sr 敷贴器由厂家负责回收处置。

核医学科核素治疗区甲测服药人数为 750 人/年，按放射性固废产生量约 0.025kg/人次计，则每年产生放射性固废 18.75kg。甲亢病人住院人数共为 900 人次/年，每人住院 1 天，参考《第一次全国污染源普查—城镇生活源产排污系数手册》中第

四分册进行核算，医疗废物核算系数取 0.42kg/床·天，甲亢病人每年共产生固废 378kg。另外核素治疗区共设 4 套活性炭净化装置（分别为 ¹³¹I 半自动分装柜 1 套、¹³¹I 手动分装柜 1 套、2 根主排风管道末端分别设 1 套），活性炭 1 次装量约 10kg，约半年更换 1 次，核素治疗区每年产生废活性炭约 80kg，废活性炭按放射性固废处理暂存在固废间内，达到解控标准后按危险废物处理。

表 9-11 核医学科放射性固废产生情况

序号	固废类型	每年固废产生量	去向
敷贴核素显像区			
1	注射器等固废	625kg	暂存于固废间，达到解控标准后按医疗废物处置
2	废活性炭	80kg	暂存于固废间，达到解控标准后按危险废物委托有资质单位处置
3	退役 ⁶⁸ Ge 校准源	/	厂家负责回收处置
4	废 ⁹⁰ Sr 敷贴器	/	厂家负责回收处置
核素治疗区			
1	废纸杯等固废	396.75kg	暂存于固废间，达到解控标准后按医疗废物处置
2	废活性炭	80kg	暂存于固废间，达到解控标准后按危险废物委托有资质单位处置
小计		1131.25kg	/

(2) 非放射性污染物

本项目电离辐射产生的 O₃、NO_x 等废气，工作人员产生少量的生活污水，工作人员产生的办公生活垃圾，设备运行过程中产生的噪声以及排风系统风机产生的噪声为非放射性污染物。

9.3.2 运行期非正常工况下污染源分析

1、直线加速器

①在工作状态下，门机连锁发生故障，误入射线装置工作场所，由 X 射线直接或散射照射对人体造成潜在的照射伤害。工作人员或病人家属还未全部撤离辐照室，外面人员启动设备，造成有关人员被误照；

②检修时，误开机时，维修人员受到潜在的照射伤害；

③加速器控制室操控设备故障，病人受到照射伤害。

④射线装置报废：根据《中华人民共和国放射性污染防治法》以及《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年 3 月 2 日修订实施），本环评要求：本项目使用的直线加速器射线装置在进行报废处理时，应将该射线装置内的高压射线管进行拆卸

和去功能化，同时将射线装置的主机电源线绞断，使射线装置不能正常通电，防止二次通电使用，造成误照射。

2、后装治疗机

①因工作人员操作不当或设备出现故障，在设备安装和更换放射源时，发生放射源由设备或容器中跌落出来，造成安装人员或操作人员受到强辐射照射。

②设备检修时，工作人员误将后装机的屏蔽装置打开或卸下放射源，对维修人员产生强辐射照射。

③后装机在使用过程中发生故障，出现卡源情况，门机联锁、急停装置失效，公众人员误入处于出源的后装机机房，受到不必要的辐射照射。

④后装机在使用过程中，公众人员未及时撤离后装机机房，受到不必要的辐射照射。

⑤后装机放射源因管理不善发生被盗、丢失、遗弃等事故，造成辐射危害。

3、DSA

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

②在射线装置出束时人员误入机房受到辐射照射。

③使用 DSA 的医生或护士在手术室内曝光时未穿戴铅围裙、防护手套、防护帽和防护眼镜等防护用具，而受到超剂量外照射。

④检修时，误开机时，维修人员受到潜在的照射伤害。

4、核医学场所

①在操作非密封放射性物质的过程中，因容器破碎、药物泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。

②放射性药物、设备校准源丢失或被盗，造成放射性事故；放射性药物在转移过程中由于操作人员违反操作规定或误操作引起意外泄漏而造成放射性表面污染。

③放射性同位素使用中，出现患者识别错误，或者剂量使用错误，会给患者造成不该施加的照射。

④放射性废气排放中过滤净化装置失效或功能减弱，造成环境空气污染。

⑤放射性废液贮存衰变池外溢、或未达标排入医院污水处理设施，造成场所和设施的污染。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 辐射工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，将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。标准要求如下：

（1）控制区：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，并预防或限制潜在照射的范围。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平的指示，运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证制度）和实体屏障（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区。

（2）监督区：未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌，定期审查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

按照上述要求，本项目辐射工作场所分区详见下表 10-1。

表 10-1 本项目辐射工作场所分区一览表

工作场所	控制区	监督区
放射治疗场所	2 个直线加速器机房、1 个后装治疗机机房	2 个直线加速器控制室及机房周围邻近区域、后装治疗机控制室及机房周围邻近区域
DSA 介入场所	4 个 DSA 机房	4 个 DSA 控制室及机房周围邻近区域
核医学场所	敷贴及核素显像区：敷贴室、 ¹⁸ F、 ^{99m} Tc 卫生通过间、分装给药室、储源室、固废间、运动平板实验室、注射后候诊室、留观抢救室、患者通道、PET-CT 机房、SPECT-CT 机房、清洁间； ¹³¹ I 核素治疗区：卫生通过间、分装给药室、控制室、储源室、固废间、核素病房、患者通道、被服间、污物间、抢救室、患者通道、污洗间；衰变池区域。	敷贴及核素显像区：护士站、患者等候区、PET-CT 机房控制室及设备间、SPECT-CT 机房控制室及设备间、医生通道等； ¹³¹ I 核素治疗区：甲测室、患者进入通道、护士站、电梯间、楼梯间、风井房、水井房、送餐间等。

本项目辐射场所分区图（其中红色区域为控制区，黄色区域为监督区）如下：



图 10-1 门诊医技楼负一楼放射治疗场所分区图(红色控制区,黄色监督区)

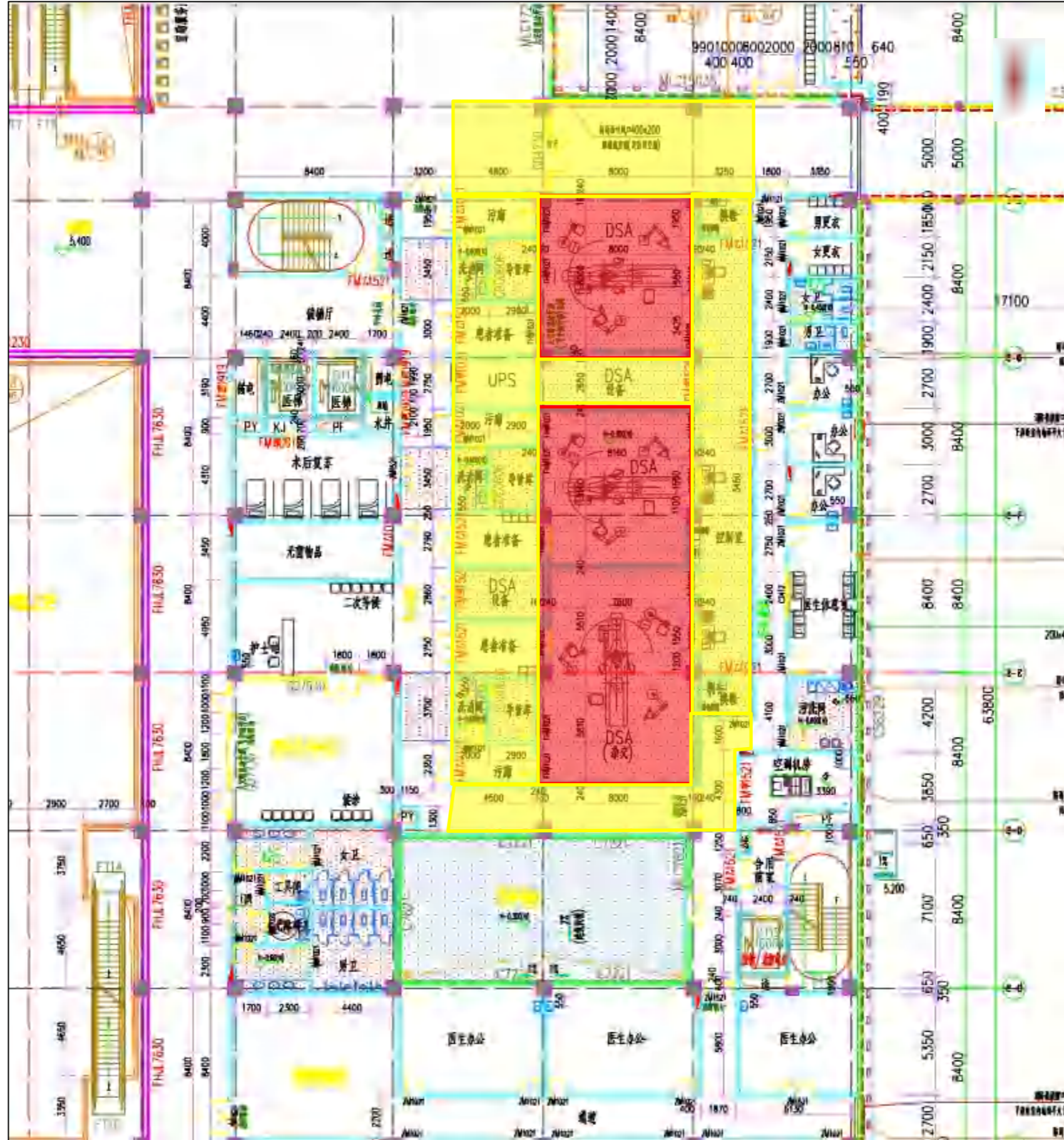


图 10-3 门诊医技楼二楼介入场所分区图（红色控制区，黄色监督区）

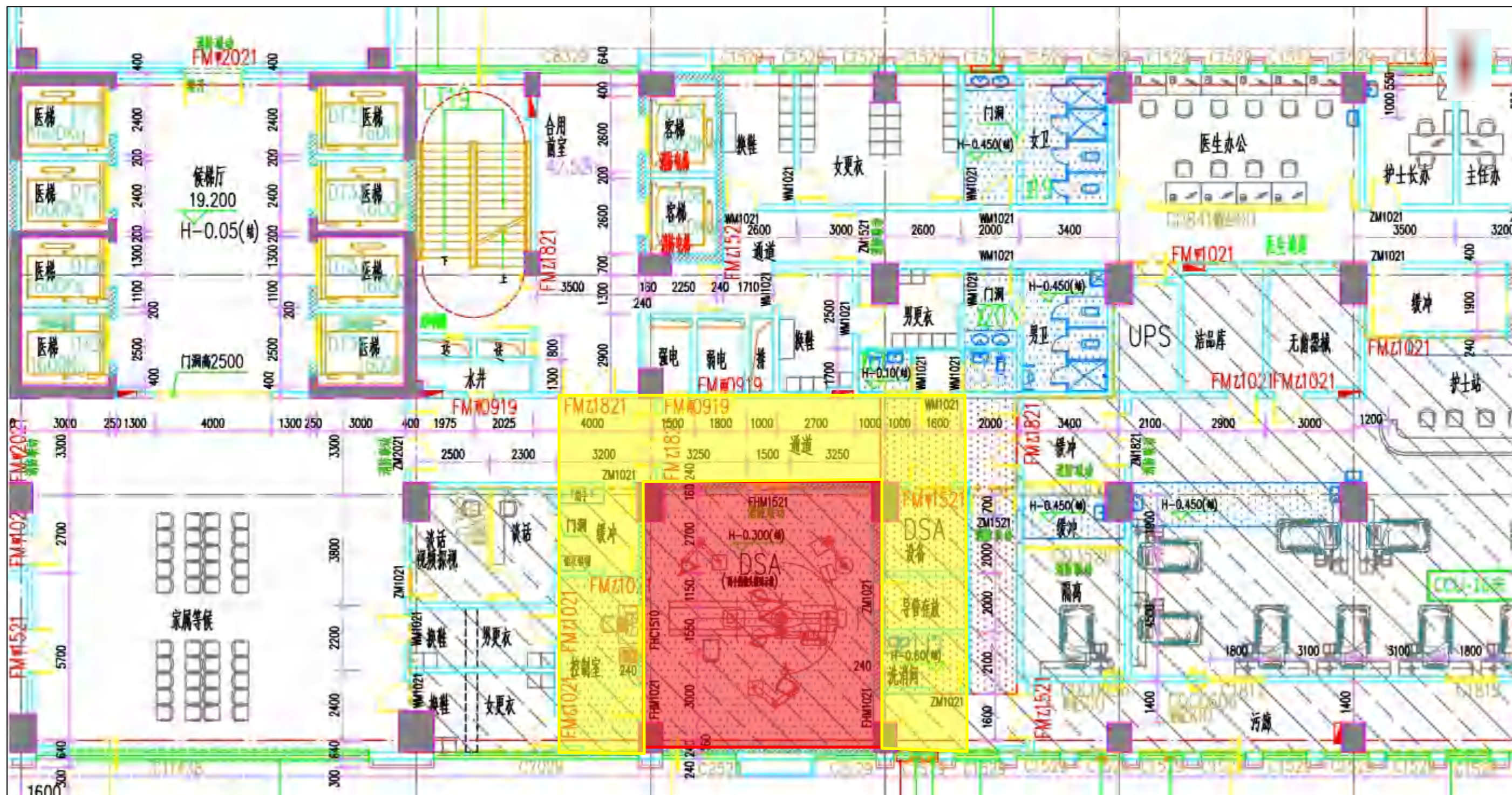


图 10-4 综合住院楼五楼介入场所分区图（红色控制区，黄色监督区）

10.1.2 核医学工作场所分类

(1) 核医学工作场所分类标准见表 7 保护目标与评价标准章节中表 7-6、表 7-7。

(2) 加权活度的计算

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录（G.1）式提供的加权活度计算方法，可以计算出核素的加权活度。加权活度的计算公式如下：

$$\text{加权活度} = \frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作性质修正因子}}$$

加权活度、计划的日操作最大活度、核素毒性权重因子、操作性质修正因子及工作场所分类见表 10-2。

表 10-2 核医学工作场所的分类

使用场所		涉及核素	计划的日操作最大活度 (MBq)	核素毒性权重因子	操作性质修正因子	加权活度 (MBq)	工作场所分类
敷贴及核素显像区	敷贴治疗室	⁹⁰ Sr	740	100	100	740	II
	卫生通过间	¹⁸ F、 ^{99m} Tc	少量	1	10	<50	III
	储源间	¹⁸ F	14800	1	100	148	II
	固废间	¹⁸ F、 ^{99m} Tc	少量	1	100	少量	按 II 类建设
	分装给药室	¹⁸ F、 ^{99m} Tc	29600	1	1	29600	II
	运动平板实验室	^{99m} Tc	14800	1	1	14800	II
	患者通道	¹⁸ F、 ^{99m} Tc	1110	1	10	111	II
	¹⁸ F 注射后候诊室 (3 个人)	¹⁸ F	1110	1	10	111	II
	^{99m} Tc 注射后候诊室 (3 个人)	^{99m} Tc	2220	1	10	222	II
	PET-CT 机房	¹⁸ F	370	1	10	37	III
	SPECT-CT 机房	^{99m} Tc	740	1	10	74	II
	留观抢救室	¹⁸ F、	1027	1	10	102.7	II

		^{99m} Tc					
¹³¹ I 核素治疗区	卫生通过间	¹³¹ I	少量	100	10	<50	III
	分装给药室	¹³¹ I	2221.85	100	1	>50000	I
	储源间、固废间	¹³¹ I	少量	100	100	少量	按 II 类建设
	甲亢病房 3 个（每个病房 2 人）	¹³¹ I	740	100	1	>50000	I
	患者通道	¹³¹ I	370	100	10	3700	II
	被服间	¹³¹ I	少量	100	100	<50	III
	污物间	¹³¹ I	少量	100	100	少量	按 II 类建设
	污洗间	¹³¹ I	少量	100	10	少量	按 II 类建设
	甲测室	¹³¹ I	0.37	100	10	3.7	III

根据表 10-2 可知，本项目核医学工作场所内各功能用房包括 I、II、III 类工作场所，根据表 7-7 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求，本项目核医学工作场所内各功能用房拟采取的辐射防护措施与标准要求对照情况见下表 10-3：

表 10-3 本项目核医学场所室内表面及装备结构防护措施符合性分析

类型及要求（I 类/II 类/III 类）	本环评要求采取的措施	是否符合
结构屏蔽：需要/不需要	本项目核医学科场所各功能用房均采用实体进行屏蔽	符合
地面：与墙壁接缝无缝隙/易清洗	本项目核医学科场所控制区各功能用房地面与墙壁的连接处应采用圆弧设计，保证连接处无缝隙。控制区内各功能用房地面应采用瓷砖、PVC 等易清洗材料	符合
表面：易清洗	控制区内各功能用房墙面、工作台面等采用瓷砖、PVC 等易清洗材料	符合
分装柜：需要/不必须	分装室设置分装柜 4 个（ ¹⁸ F、 ^{99m} Tc 共用一个双联分装柜， ¹³¹ I 使用一个半自动分装柜、一个手动分装柜）	符合
通风：良好通风/一般自然通风	本项目核医学科工作场所监督区、控制区采用独立排风系统，气流流向合理；分装柜设立单独排风管道后引入主管道。	符合
管道：普通管道	本项目 ¹³¹ I 分装给药室、甲亢病房采用特殊的管道，下水道宜短，大水流管道有标记以便维修检测。其余功能用房采用普通管道。管道裸露部分拟采用 6mmPb 铅皮包裹进行屏蔽防护并做上标记。	符合
盥洗与去污：洗手盆和去污设备/洗手盆	本项目核医学场所内洗手盆、卫生间设置感应式或脚踏式等手部非接触开关控制，并配备专用的去污洁具	符合

(洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制)		
放射性废物管理：根据废物的形态及性质进行分类收集和分别处理	1、设置专用卫生间，废水通过专用下水道排放至衰变池收集； 2、在分装室、服药窗口、注射后候诊室、留观室等位置放置污物桶，污物桶具有外防护层且粘贴电离辐射警示标志； 3、设固废间用于放射性废物的存放。	符合

10.1.3 项目人流、污物、药物路径规划合理性分析

(1) 放射治疗场所

本项目放射治疗场所医护、患者路径详见下图 10-5。放射治疗场所位于门诊医技楼负一楼一端，且根据表 11 环境影响分析可知，放射治疗场所各墙体及防护门屏蔽材料及参数均满足屏蔽要求，治疗室辅助器械、电器、水冷设备均位于治疗机房外，且场所周围无儿科、妇产科相邻，因此，本项目放射治疗场所规划布局合理。患者及医护人员分别经专用电梯、独立通道到达场所内部，治疗结束后患者及医护人员原路返回，与其他场所人员无交叉，因此，放射治疗场所医护、患者路径规划合理。

(2) 介入场所

本项目设置两处介入场所，一处位于门诊医技楼二楼（设三间 DSA 机房），一处位于综合住院楼五楼（设一间 DSA 机房）。介入场所医护、患者路线及污物通道见图 10-6、图 10-7，根据表 11 环境影响分析可知，DSA 介入场所各机房墙体及防护门屏蔽材料及参数均满足屏蔽要求，各机房四周无儿科、妇产科相邻，介入手术过程中产生的医疗废物，在每场手术结束后打包经污物走廊运至医院医疗废物间暂存，与人流路径不交叉，因此，本项目 DSA 介入场所规划布局合理。

(3) 核医学科

结合本项目核医学科的工作流程及工作场所布局设计，医院核医学科拟规划出工作场所患者、药物、放射性废物及相关工作人员的流动路线、路径图详见图 10-8：

1、送药路线

^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素根据医院提前一天预订好药物用量后由供药公司人员送至院内。送药路线：供药公司人员→进入综合住院楼一楼核医学科（门 FM 甲 2021）→护士站登记核对、确认→供药公司人员经卫生通过间（2 道门 HFM1021）进入分装给药室→本项目工作人员确认、签字接收药物→供药公司人员将 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物送至 ^{18}F 、

^{99m}Tc 双联分装柜内。送药时段通常为上班前(确保无诊疗患者)。

^{131}I 放射性核素由供药公司人员一周一次运送至院内。送药路线：供药公司人员→进入综合住院楼一楼 ^{131}I 核素治疗患者进入通道（门 FHM1521）→护士站登记核对、确认→供药公司人员经卫生通过间进入分装给药室（3 道门 HFM1021）→本项目工作人员确认、签字接收药物→供药公司人员将 ^{131}I 放射性药物送至 ^{131}I 半自动分装柜或储源室。送药时段通常为上班前(确保无治疗患者)。

2、患者路线

^{18}F 、 ^{99m}Tc 诊断患者行走路线：由综合住院楼一楼南面大厅→核医学科场所等候区（门 FM 甲 2021）→护士站语音广播呼叫→通过 1 道单向门（门 FHM1822）经患者通道进入注射窗口接受注射→注射完成后沿患者通道到达注射后候诊室候诊（门 HFM1021）→ ^{18}F 患者候诊 1h 后进入 PET-CT 机房扫描（门 FHM1521）/ ^{99m}Tc 患者候诊 2h 后进入 SPECT-CT 机房扫描（门 FHM1521）→扫描完成后沿患者通道进入留观抢救室（门 FHM1521）→留观 15min 后最终从综合住院楼一楼南面患者出口处离开综合住院楼。

敷贴患者路径规划：由综合住院楼一楼南面大厅→核医学科场所等候区（门 FM 甲 2021）→护士站语音广播呼叫→进入敷贴治疗室（门 FHM1521）→完成治疗后原路返回离开综合住院楼。

甲亢患者路径规划：由综合住院楼一楼南面 ^{131}I 核素治疗患者进入通道进入→1 道门（门 FHM1521）+1 道单向屏蔽门（门 FHM1621）→进入核素治疗区→沿患者通道向东行走进入服药窗口→服药完成后进入甲亢病房住院留观（门 HFM1321）→完成留观后离开，出口安排在由综合住院楼一楼东面（门 FHM1621、门 FHM1821），方便患者直接离开。

甲测测定服药患者路径规划：由综合住院楼一楼南面 ^{131}I 核素治疗患者进入通道进入→1 道门（门 FHM1521）+进入甲功室测量吸碘率（门 HFM1021）+1 道单向屏蔽门（门 FHM1621）→进入核素治疗区→沿患者通道向东行走进入服药窗口→沿患者通道病人出口处离开核医学科（门 FHM1621、门 FHM1821），出口安排在由综合住院楼一楼东面，方便患者直接离开。

3、工作人员路线

^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素操作工作人员行走路线：由综合住院楼一楼核医学科(门 FM 甲 2021) →经卫生通过间 (门 HFM1021) →淋浴更衣后到达分装室 (门 HFM1021)、注射窗或者运动平板实验室 (门 HFM1021) →工作完成后原路返回离开。

PET-CT、SPECT-CT 控制室工作人员行走路线：由综合住院楼一楼核医学科 (门 FM 甲 2021) →北面经医生通道(门 FM 乙 1821、门 FM 乙 1521) →到达 PET-CT、SPECT-CT 机房控制室 (门 FM 乙 1021) →工作完成后原路返回离开。

敷贴治疗工作人员路径规划：由综合住院楼一楼核医学科 (门 FM 甲 2021) →经候诊大厅 →敷贴治疗室 (门 FHM1521) →工作完成后原路返回。

甲测测定工作人员路径规划：由综合住院楼一楼核医学科 (门 FM 甲 2021) →北面经医生通道 (门 FM 乙 1821、门 FM 乙 1521、门 FHM1521) 到达 ^{131}I 核素治疗场所 →甲功室 (门 HFM1021) →工作完成后原路返回离开。

^{131}I 核素操作工作人员行走路线：由综合住院楼一楼核医学科 (门 FM 甲 2021) →北面经医生通道 (门 FM 乙 1821、门 FM 乙 1521、门 FHM1521) 到达 ^{131}I 核素治疗场所 →经卫生通过间 (门 HFM1021) →淋浴更衣后到达 ^{131}I 核素控制室或分装室 (门 HFM1021) →工作完成后原路返回离开。

4、放射性废物流动路线

^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性固体废物在固废间暂存时间超过 30 天经检测达到清洁解控水平并记录登记后作为医疗废物处理。流动路线：固废间 (废源间) (门 HFM1021) →分装室 →运动平板实验室 (2 道门 HFM1021) →患者通道 →离开场所作医疗废物处置。

^{131}I 放射性固体废物在固废间 (废源间)、污物间暂存时间超过 180 天经检测达到清洁解控水平并记录登记后作为医疗废物处理。流动路线：固废间 (废源间) (门 HFM0821) →控制室 (门 HFM1021)、卫生通过间 (门 HFM1021) →患者进入通道 (门 FHM1521) →离开场所作医疗废物处置；污染被服间 (门 ZM1021) →污洗间 (门 ZM1021) 患者通道 (门 FHM1621、门 FHM1821) →离开场所作医疗废物处置。

由上述核医学工作人员、患者及药物、污物运输路线可知，本次核医学科项目患者人员路线基本能够保证沿工作程序的相关功能房间单向流动，且能够满足医务人员及患者均具有独立的出入口和流动路线，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，人员路线规划基本合理。同时医院严格规定药物运输时间，确保放射

性药物运输时运输路线无人员通过，避免无关人员受到不必要的外照射。核医学场所放射性废物运输通道比较短捷。通过时间控制，本次核医学科项目能满足人员路线与放射性药物运输路线不交叉。

核医学场所平面布局合理性分析：根据核医学场所分区图 10-2 可知，本项目核医学场所控制区相对集中，并设立了相对独立的工作人员、患者、放射性药物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少了给药后患者对其他人员的照射。注射（服用）放射性药物后患者与注射（服用）放射性药物前患者不交叉，放射性药物送药时段为上班前(确保无诊疗患者)，避免了人员与放射性药物通道不交叉。核医学进入患者高活走廊的防护门及离开核医学场所的防护门均为单向门，控制区和监督区均设置了警示标志，且患者注射后候诊室及留观室均设置了屏蔽门和防护墙体，能控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免了工作人员和公众受到不必要的照射。分装室设置了卫生通过间及淋浴间，为工作人员提供了防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备等，患者注射后候诊室及留观抢救室均设置了患者的专用卫生间。因此，本项目核医学场所的平面布局合理。

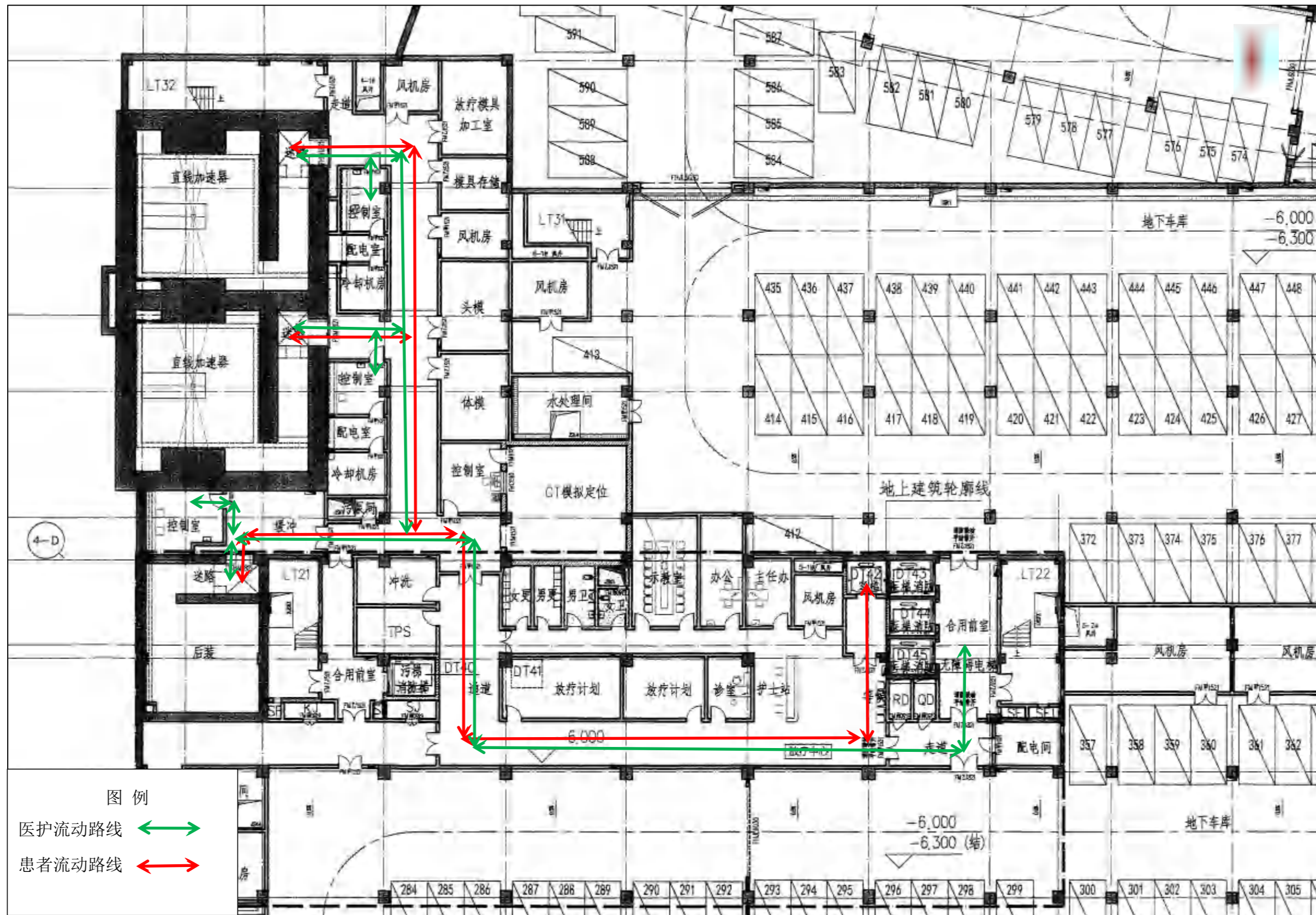


图 10-5 门诊医技楼负一楼放射治疗场所医护、患者路径图

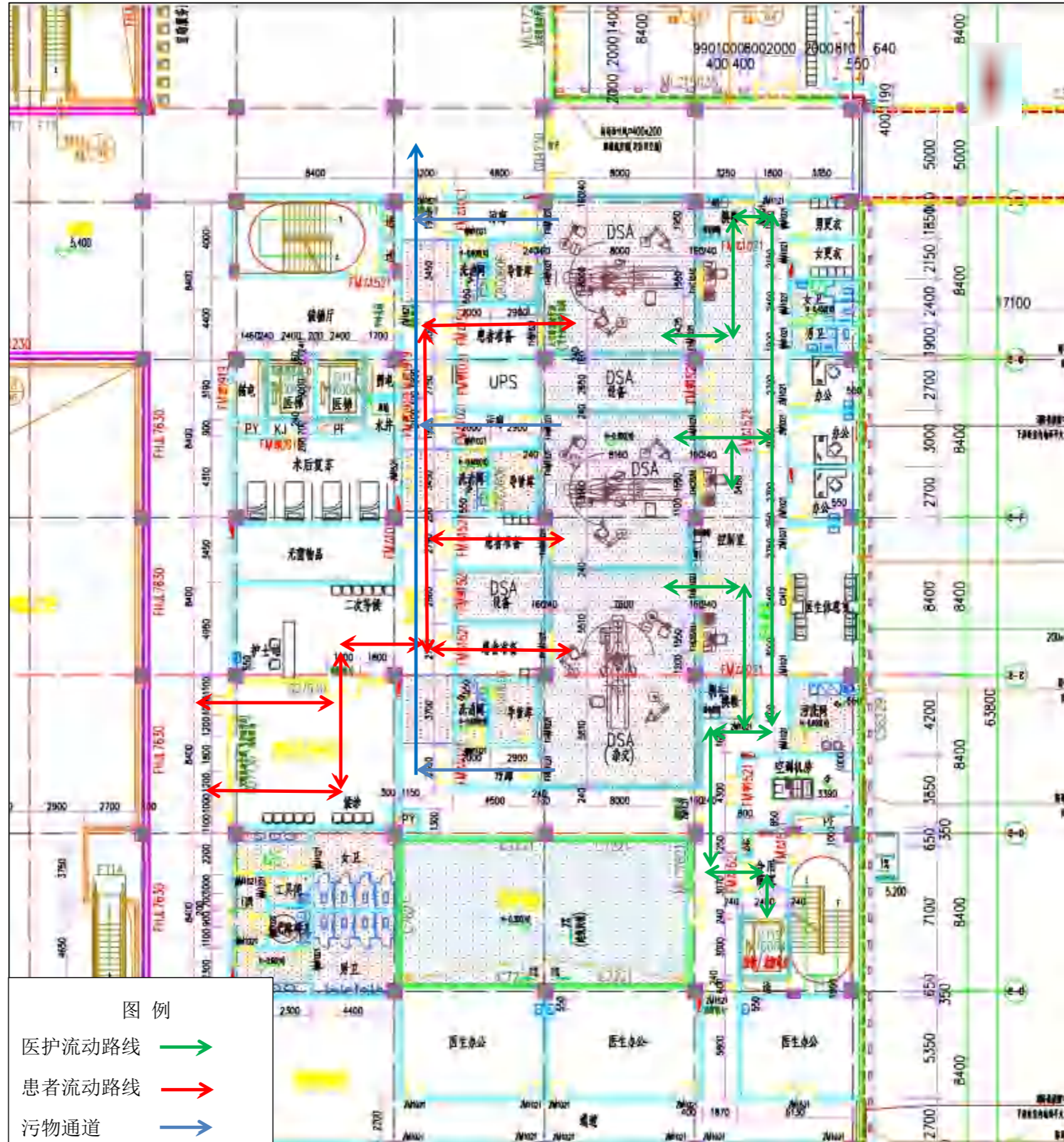


图 10-6 门诊医技楼二楼介入场所医护、患者路线及污物通道

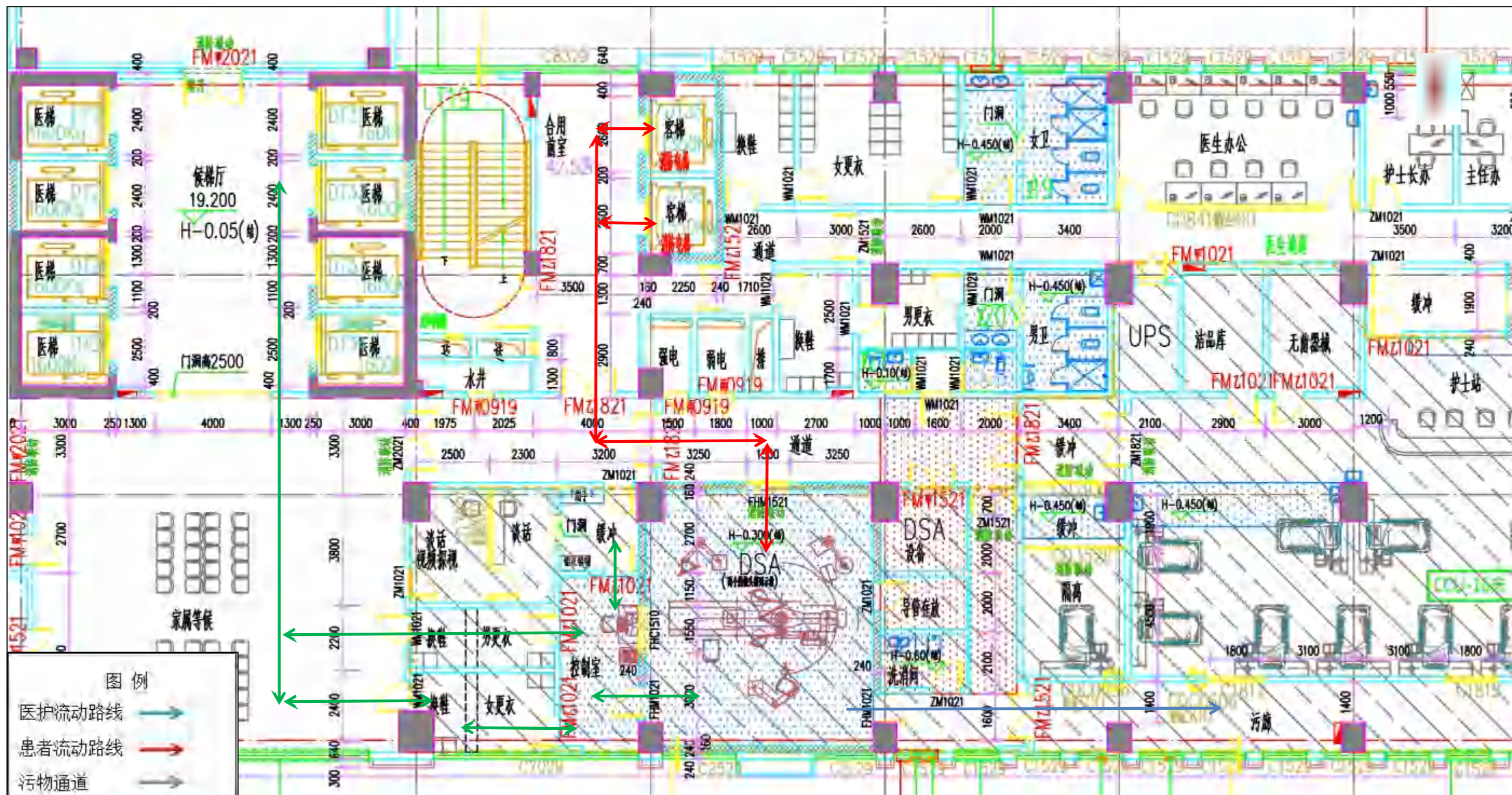


图 10-7 综合住院楼五楼介入场所医护、患者路线及污物通道

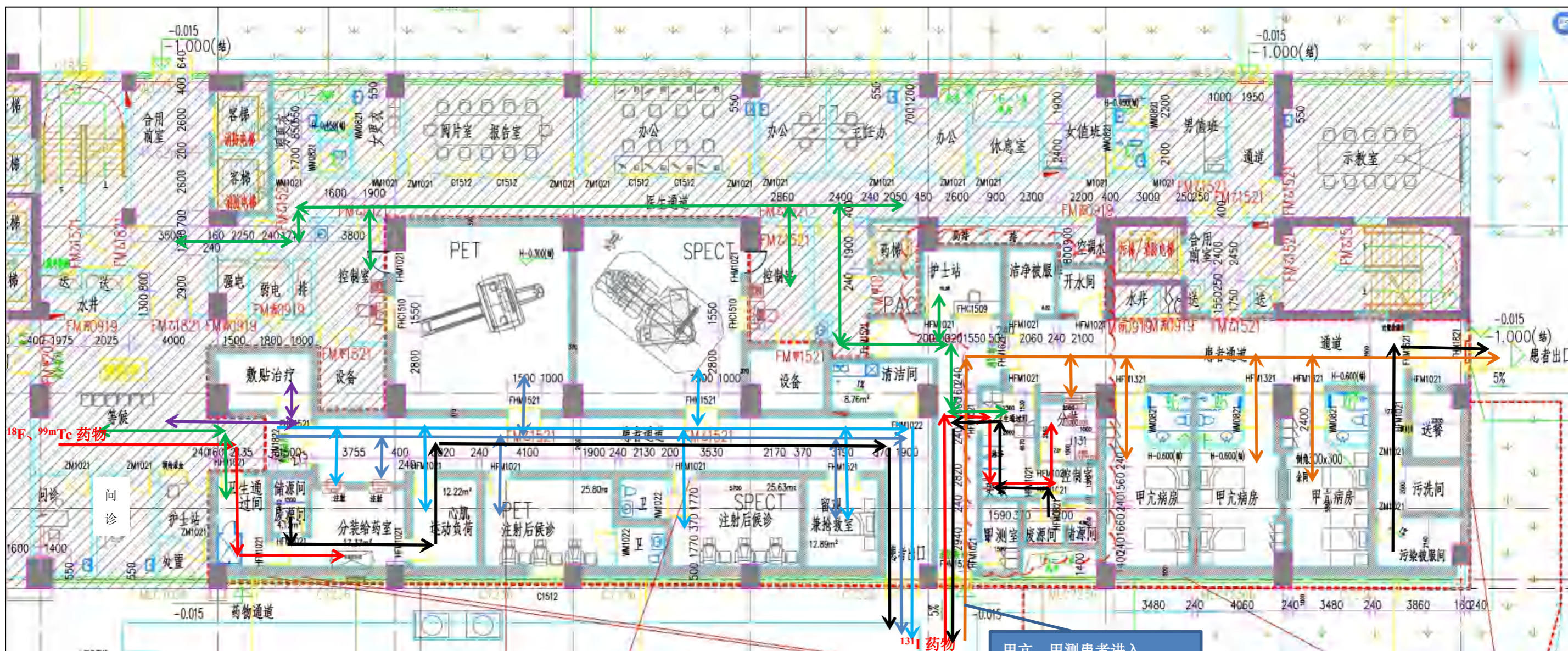
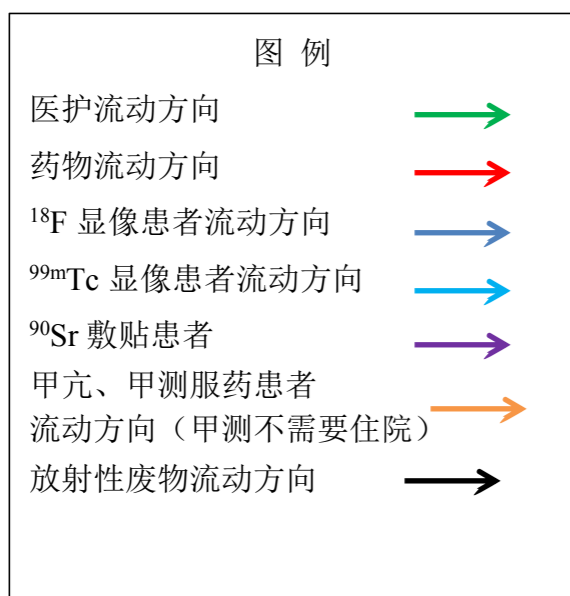


图 10-8 综合住院楼一楼核医学场所人流、药物、放射性废物路径图



10.1.4 本项目辐射防护屏蔽设计

(一) 直线加速器

1、直线加速器机房屏蔽设计

本项目在门诊医技楼负一楼新建两个个相连的直线加速器机房（机房屏蔽设计均按照 10MV 直线加速器设备要求进行设计和施工）。根据现场踏勘情况，本项目直线加速器机房已于 2020 年在门诊医技楼主体建筑进行建设时同时完成了整体浇筑，其他装饰装修工程暂未开展，机房防护门主体均拟采用密度不小于 11.34g/cm³ 的铅板制作。本项目直线加速器机房防护设计参数见表 10-4。

表 10-4 直线加速器机房防护设计参数一览表

直线加速器机房01			
指标		参数	
几何尺寸	机房有效长×宽×高		8350mm(长)×8200mm(宽)×3800mm(高)
	机房有效使用面积		68.47m ²
	机房有效容积		260.186m ³ （不含迷道）
屏蔽体厚度	东墙	迷道外墙	1300mm厚普通混凝土
		迷道内墙	1200mm厚普通混凝土
	北墙		主屏蔽2800mm厚普通混凝土（内凸） 主屏蔽墙宽度4200mm 次屏蔽1300mm厚普通混凝土
	南墙		主屏蔽2800mm厚普通混凝土（外凸） 主屏蔽墙宽度4200mm 次屏蔽1300mm厚普通混凝土
	西墙		1300mm厚普通混凝土
	顶面		主屏蔽2500mm厚普通混凝土+800mm覆土层 主屏蔽墙宽度4200mm 次屏蔽1500mm普通混凝土
	地面		1400mm厚普通混凝土
	防护门		内衬15mmPb铅板
直线加速器机房02			
指标		参数	
几何尺寸	机房有效长×宽×高		8350mm(长)×8200mm(宽)×3800mm(高)
	机房有效使用面积		68.47m ²
	机房有效容积		260.186m ³ （不含迷道）
屏蔽体厚度	东墙	迷道外墙	1300mm厚普通混凝土
		迷道内墙	1200mm厚普通混凝土
	北墙		主屏蔽2800mm厚普通混凝土（外凸） 主屏蔽墙宽度4200mm 次屏蔽1300mm厚普通混凝土

	南墙	主屏蔽2800mm厚普通混凝土（内凸） 主屏蔽墙宽度4200mm 次屏蔽1300mm厚普通混凝土
	西墙	1300mm厚普通混凝土
	顶面	主屏蔽2500mm厚普通混凝土+800mm覆土层 主屏蔽墙宽度4200mm 次屏蔽1500mm普通混凝土
	地面	1400mm厚普通混凝土
	防护门	内衬15mmPb铅板
<p>注：混凝土密度：2.35g/cm³，铅密度：11.3g/cm³。</p>		

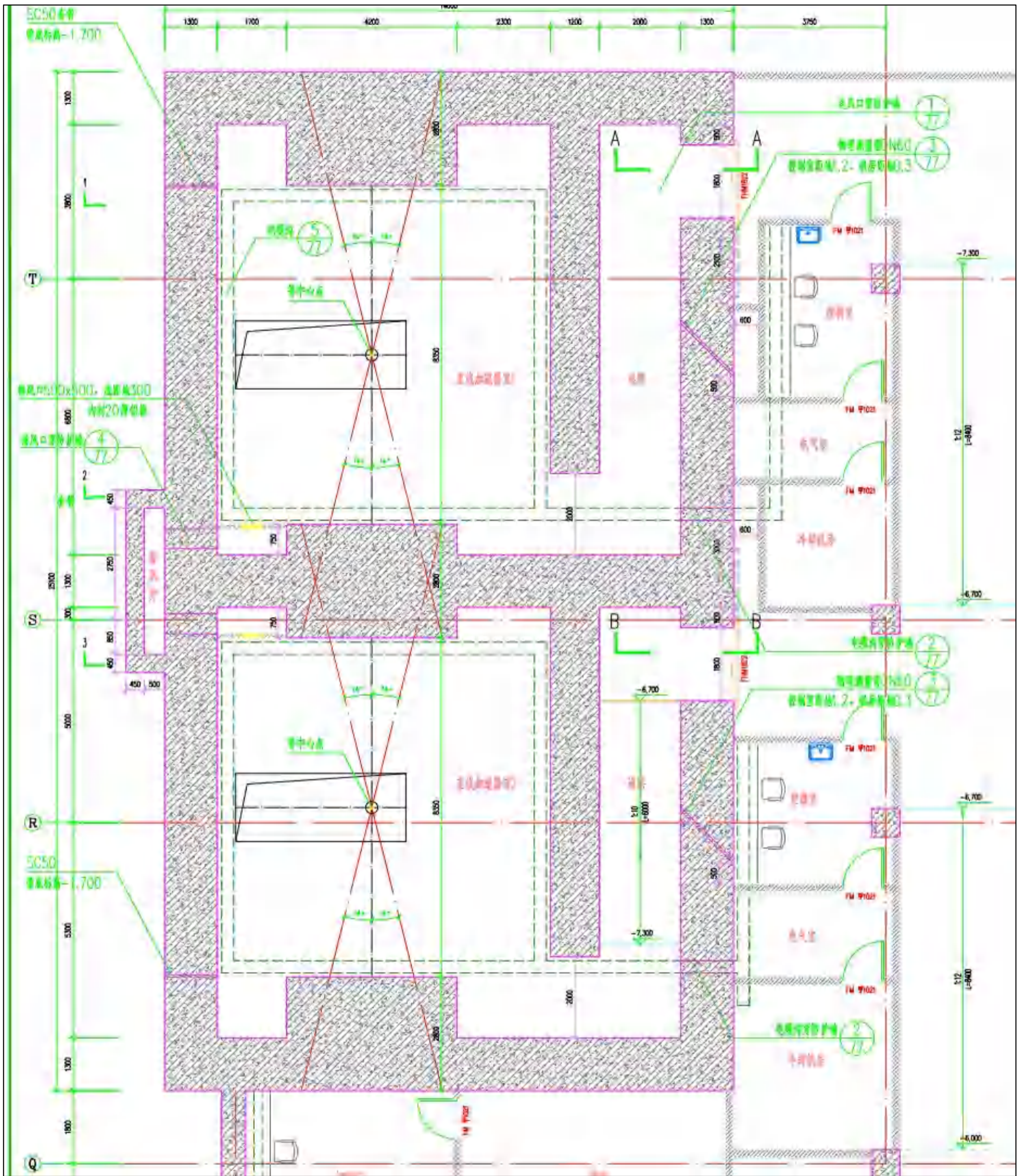


图 10-9 直线加速器机房防护示意图（平面）

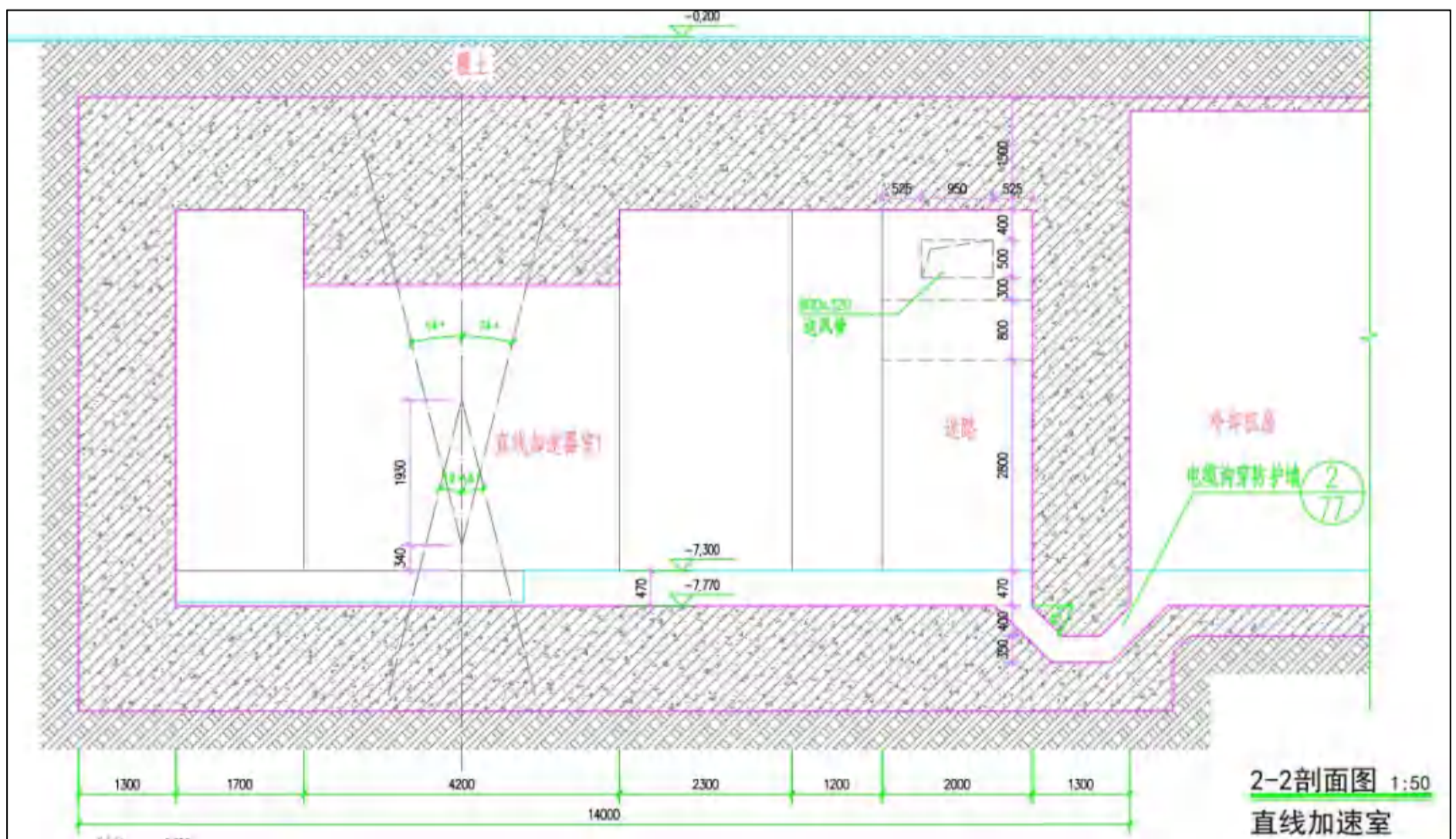
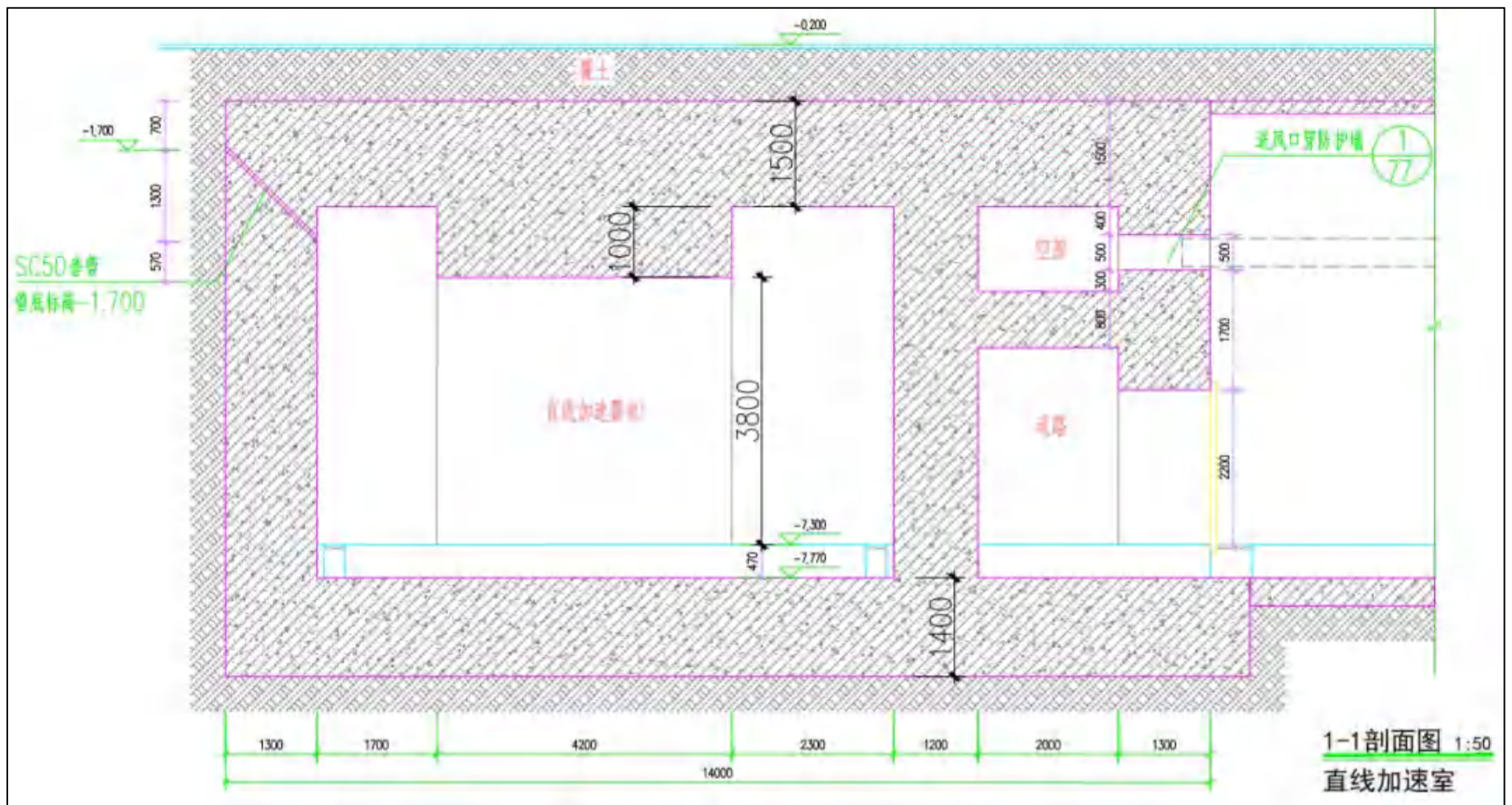


图 10-10 直线加速器机房防护示意图（剖面 1）

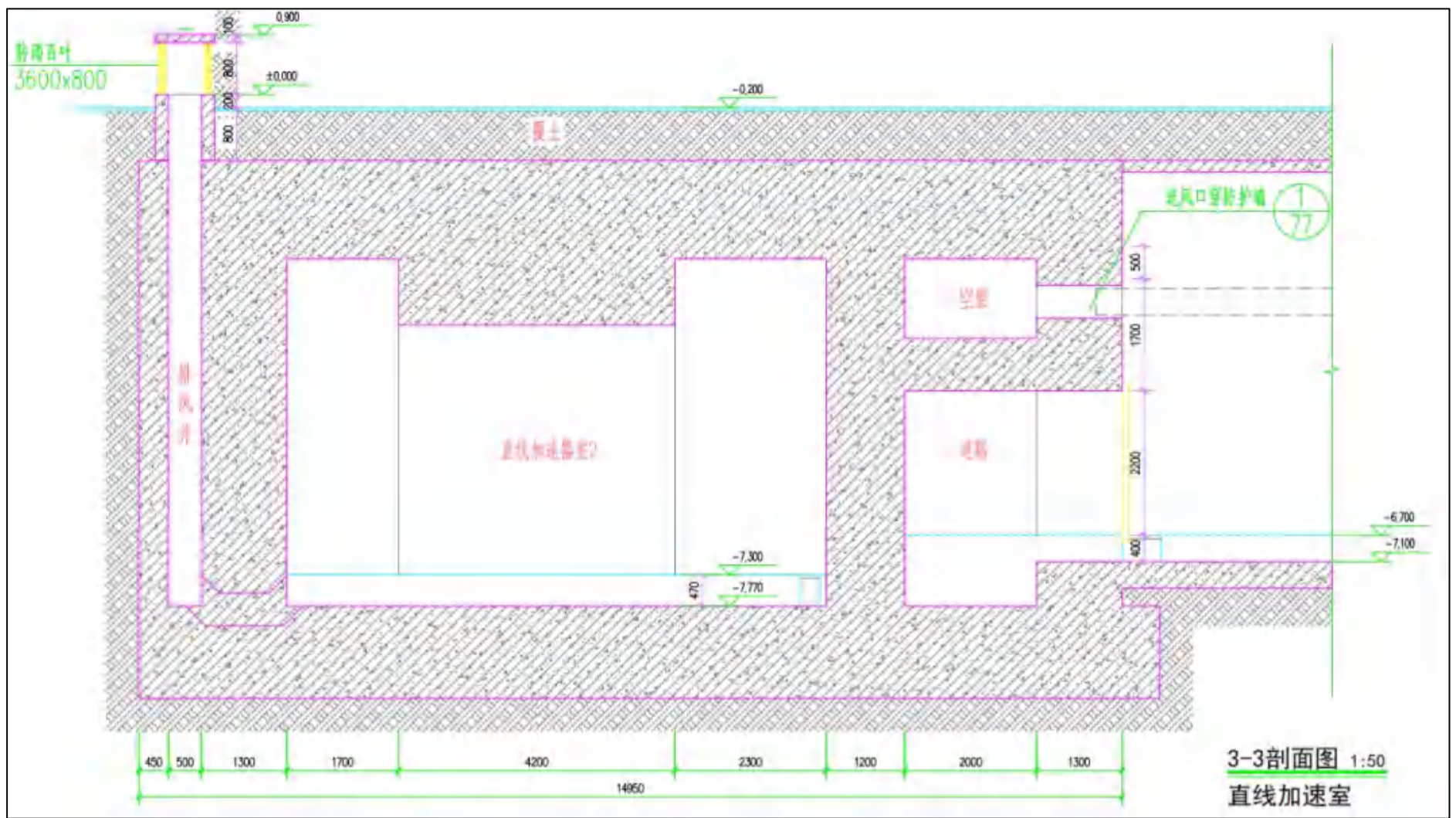


图 10-11 直线加速器机房防护示意图（剖面 2）

2、直线加速器机房通风设计

加速器机房采用机械送风、机械排风。本项目两个加速器机房有效容积均为 260.186m^3 ，为满足机房每小时通风换气不小于 4 次的要求，则每个机房的排风量应大于： $260.186\text{m}^3 \times 4\text{h} = 1040.744\text{m}^3/\text{h}$ 。本项目每个直线加速器机房内东面顶部吊顶处设置 2 个送风口，每个直线加速器机房内西南角和西北角均设置 1 个排风口，排风口离地高度约 0.3m。机房通风管道均设置了电动防火阀和风量调节阀，送风管道从防护门上方以空腔的形式进入机房迷道内，排风管道以 U 形管形式穿越机房西侧屏蔽墙进入排风井，排风井顶部地面设置一个排风机房，其机械通风设施符合“上进下出、对角设置”的原则。根据医院提供资料，每个直线加速器机房排风机风量均为 $2200\text{m}^3/\text{h}$ ，不考虑损耗的情况下，机房内通风换气次数约为 8 次/h，能满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) 中的要求。进风口与排风口位置对角设置，能确保室内空气充分交换。本项目直线加速器机房通风示意图见 10-12。

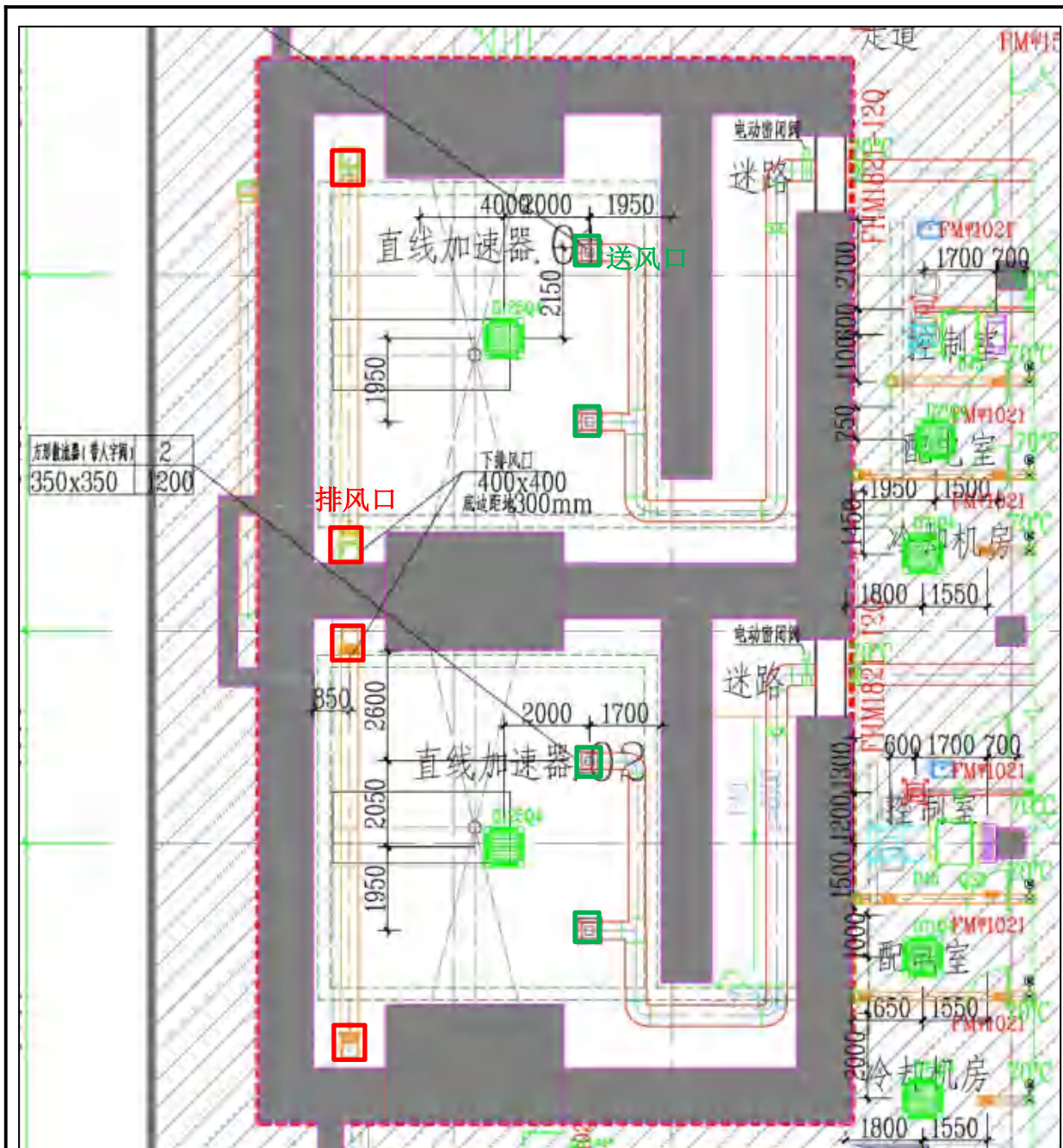
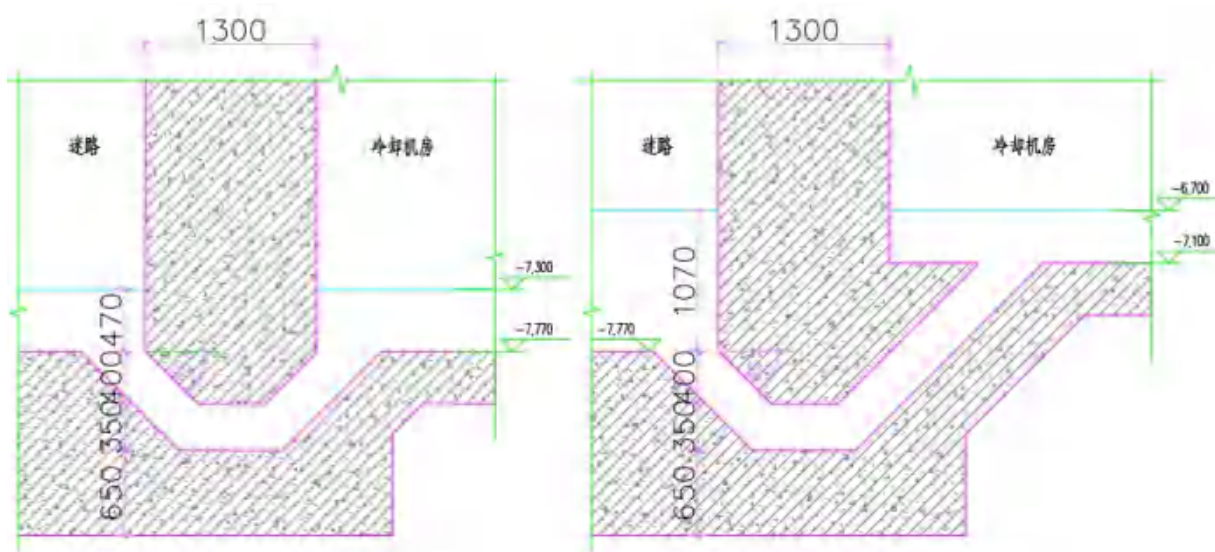


图 10-12 直线加速器机房通风示意图

3、直线加速器机房管线及通风管网布局设置

- ①穿墙电缆沟：电缆以“U”型地沟方式穿过机房，电缆沟的沟盖板均为 2.0cm 厚不锈钢板；
- ②物理测试管：物理测试管以 45°斜穿控制室与机房迷道之间的屏蔽墙体；
- ③新风管网、排风管网：新风管道从防护门上方以空腔的形式进入机房迷道内，排风管道以 U 形管形式穿越机房西侧屏蔽墙进入排风井。

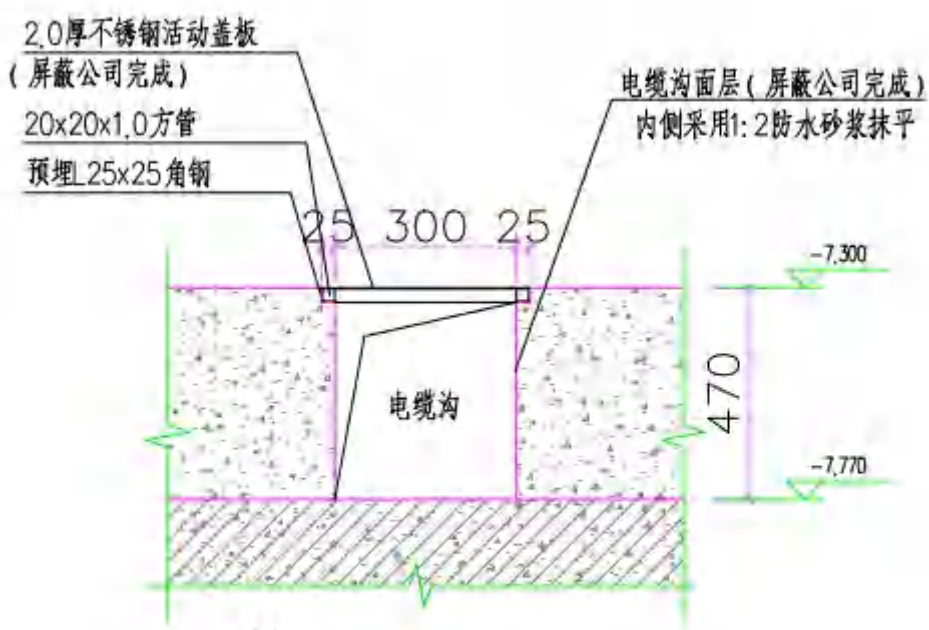


② 电缆沟穿防护墙剖面图 1:30

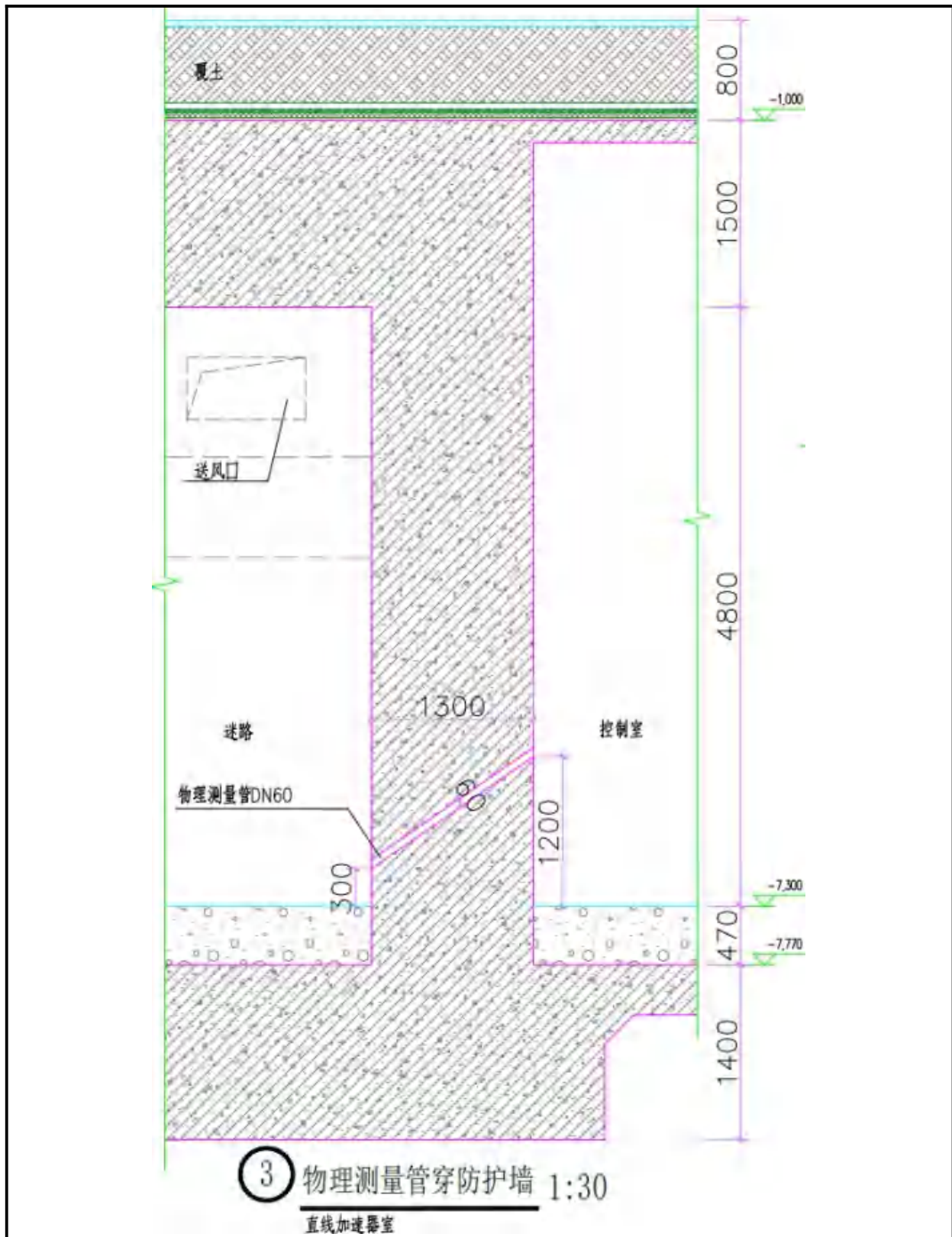
直线加速器室1

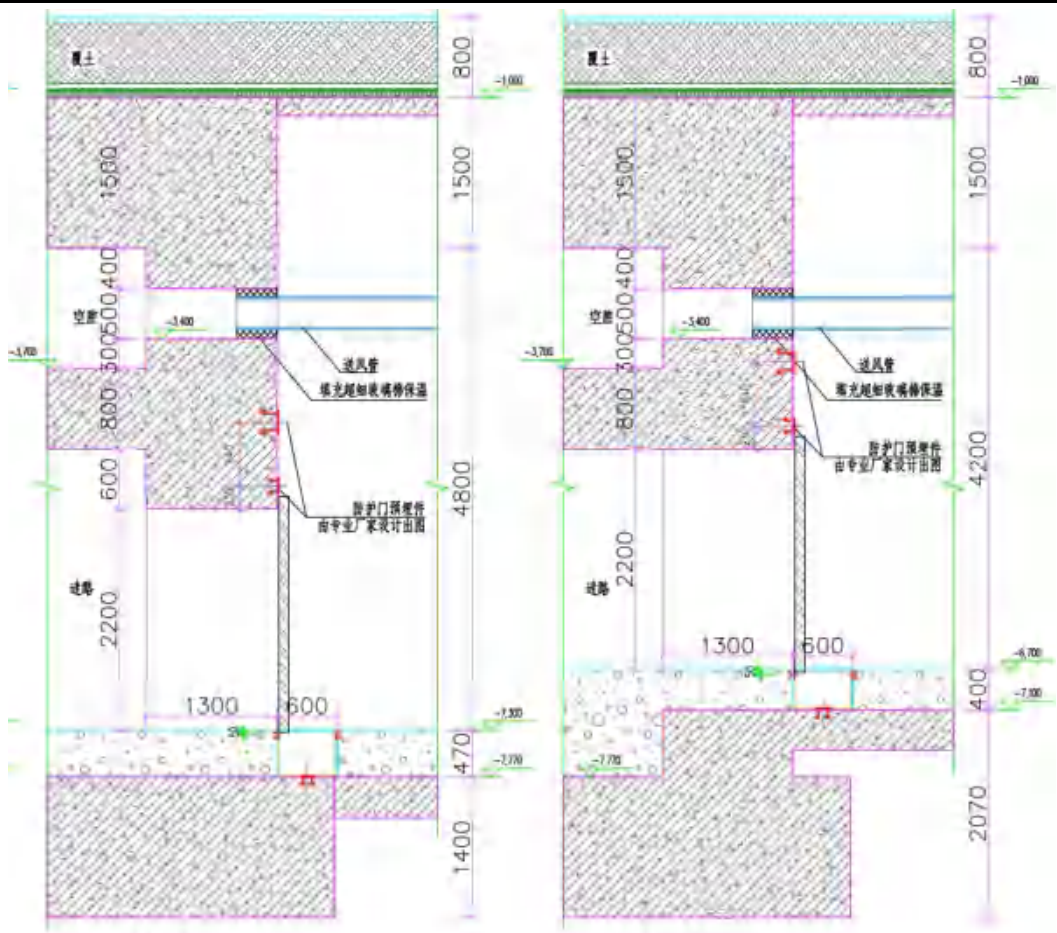
② 电缆沟穿防护墙剖面图 1:30

直线加速器室2



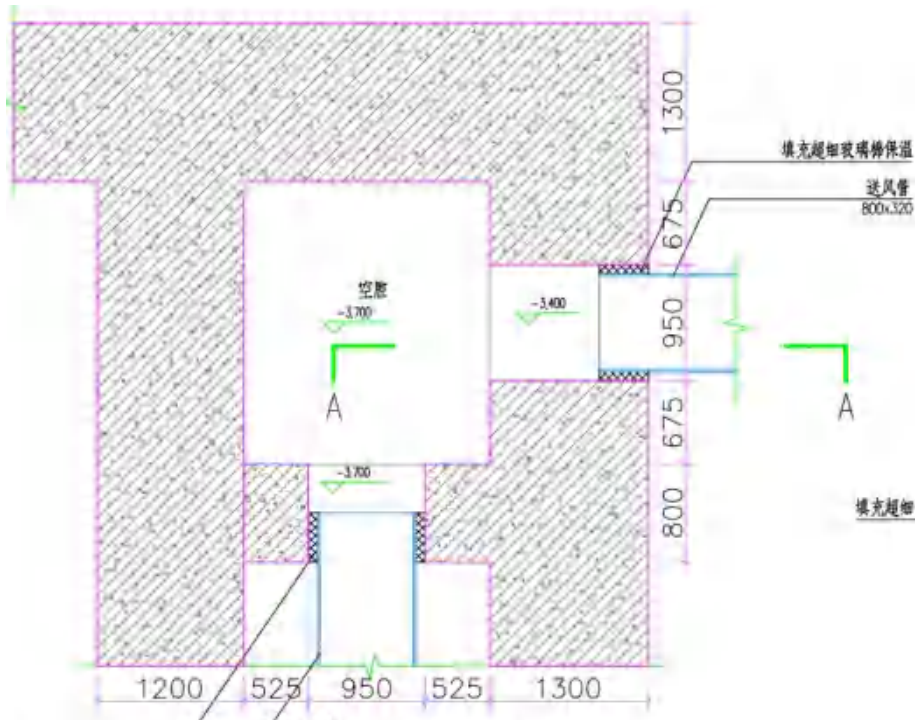
⑤ 电缆沟详图 1:10



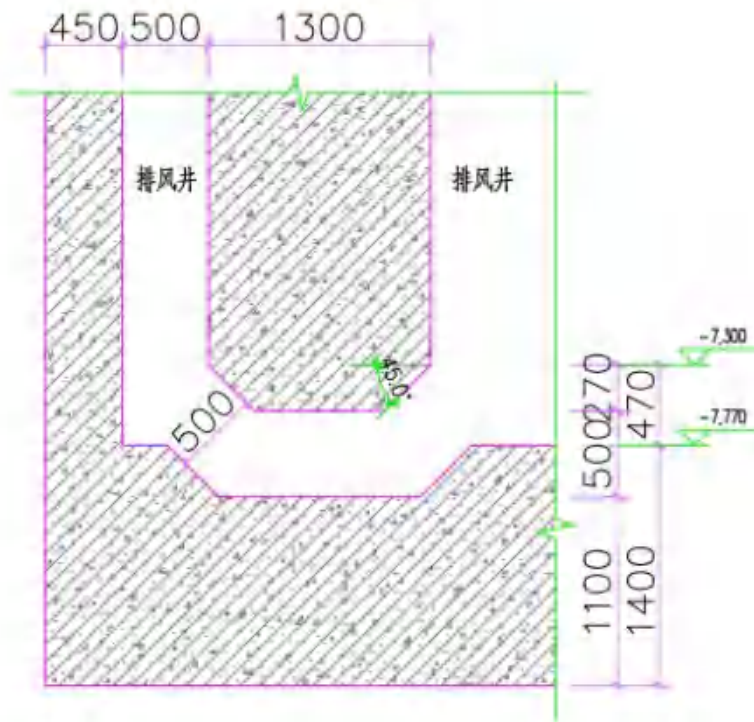


A-A剖面图 1:30
直线加速器室1

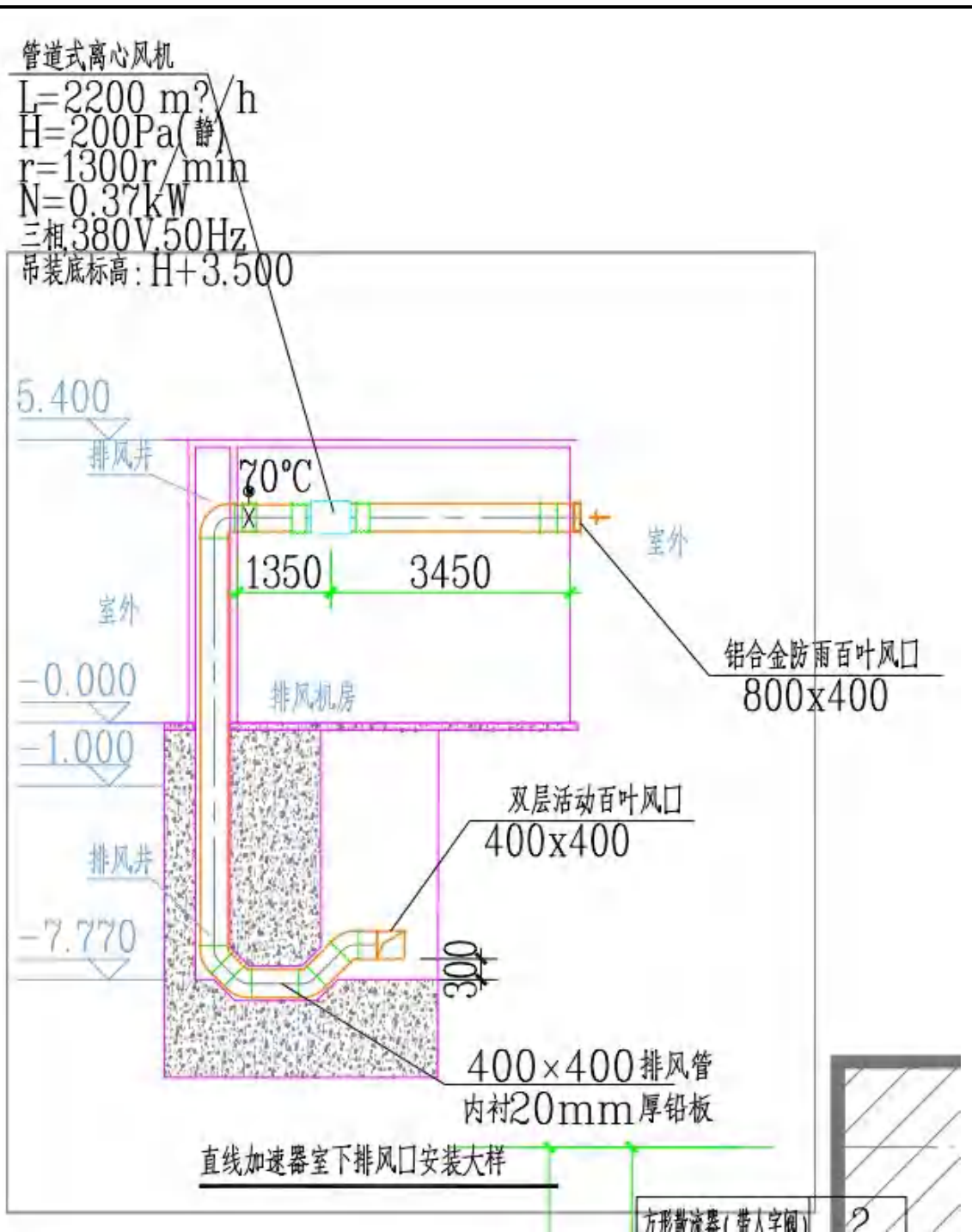
B-B剖面图 1:30
直线加速器室2



① 进风口穿防护墙平面图 1:30
直线加速器室



④ 排风穿防护墙剖面图 1:30
直线加速器室



(二) 后装治疗机

1、后装治疗机房屏蔽设计

据现场踏勘情况，本项目后装治疗机房已于 2020 年在门诊医技楼主体建筑进行建设时同时完成了整体浇筑，其他装修装饰工程暂未开展，机房防护门主体拟采用密度不小于 $11.34\text{g}/\text{cm}^3$ 的铅板制作。本项目后装机房防护设计参数见表 10-5：

表 10-5 后装治疗机房参数一览表

指标		参数	
几何尺寸 (不含迷道)	机房有效长×宽×高	7500mm(长)x7250mm(宽)x4400mm(高)	
	机房有效使用面积	54.375m ²	
	机房有效容积	239.25m ³ (不含迷道)	
屏蔽体厚度	北墙	迷道外墙	600mm厚普通混凝土
		迷道内墙	600mm厚普通混凝土
	东墙		600mm厚普通混凝土
	南墙		600mm厚普通混凝土
	西墙		600mm厚普通混凝土
	顶面		600mm厚普通混凝土
	地面		1400mm厚普通混凝土
	防护门		5mmPb铅门

注：混凝土密度：2.35g/cm³，铅密度：11.3g/cm³。

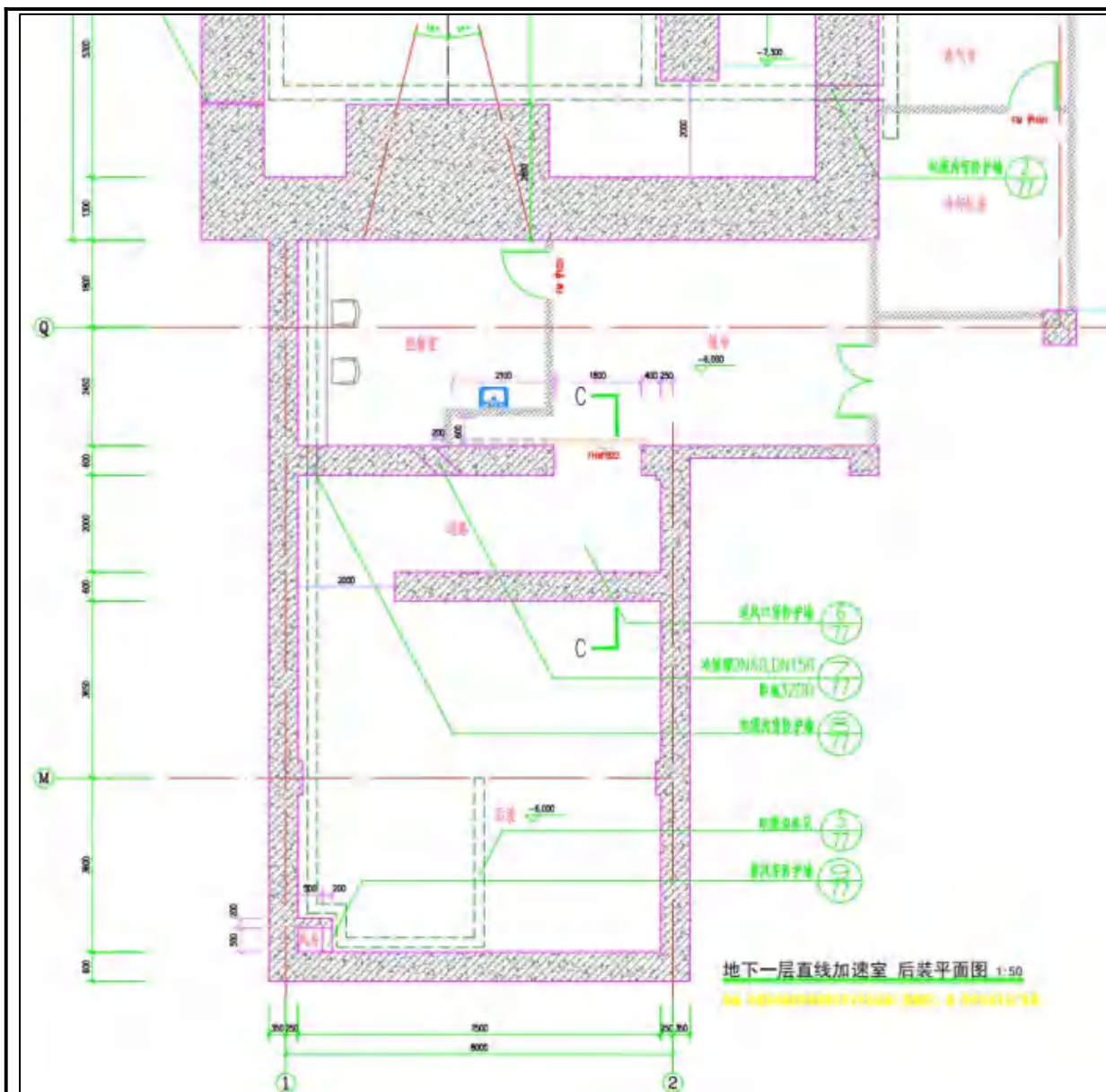


图 10-13 后装治疗机房防护示意图（平面）

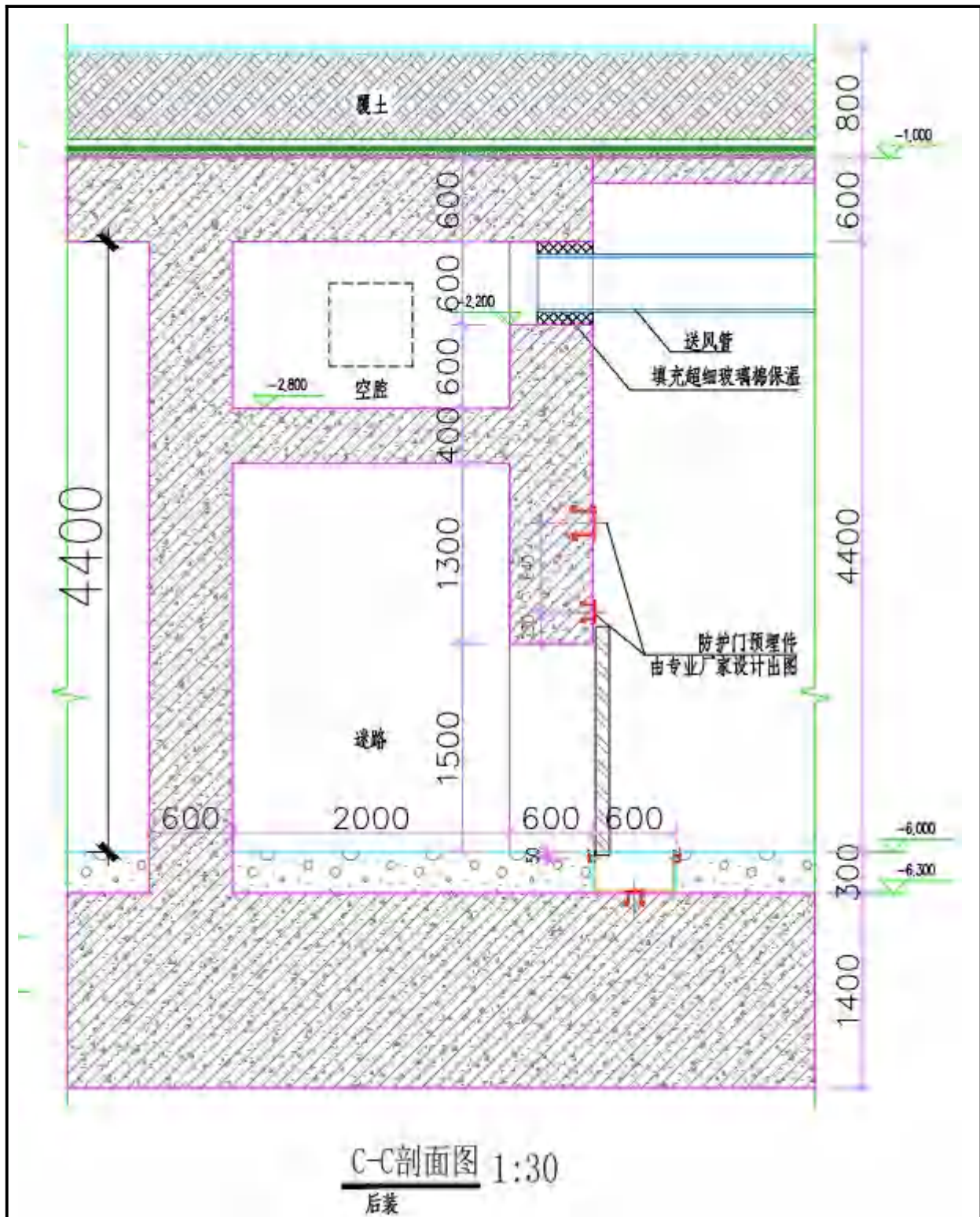


图 10-14 后装治疗机房防护示意图（剖面）

2、后装治疗机房通风设计

后装治疗机房采用机械送风、机械排风。本项目后装治疗机房有效容积约为 239.25m³，为满足机房每小时通风换气不小于 4 次的要求，则机房的排风量应大于：

239.25m³×4h=957m³/h。本项目后装机房拟设置独立的进排风管道，在机房内设置了1个排风口，位于机房西南角，距地面10cm处；设置2个送风口，位于机房吊顶处东面。机房通风管道均设置了电动防火阀和风量调节阀，送风管道及排风管道均从防护门上方以空腔的形式进入机房迷道内，其机械通风设施符合“上进下出、对角设置”的原则。根据医院提供资料，后装治疗机房排风机风量为2000m³/h，在不考虑损耗的情况下，机房内通风换气次数约为8次/h，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中的要求。进风口与排风口位置对角设置，能确保室内空气充分交换。本项目后装治疗机房通风示意图见10-15。

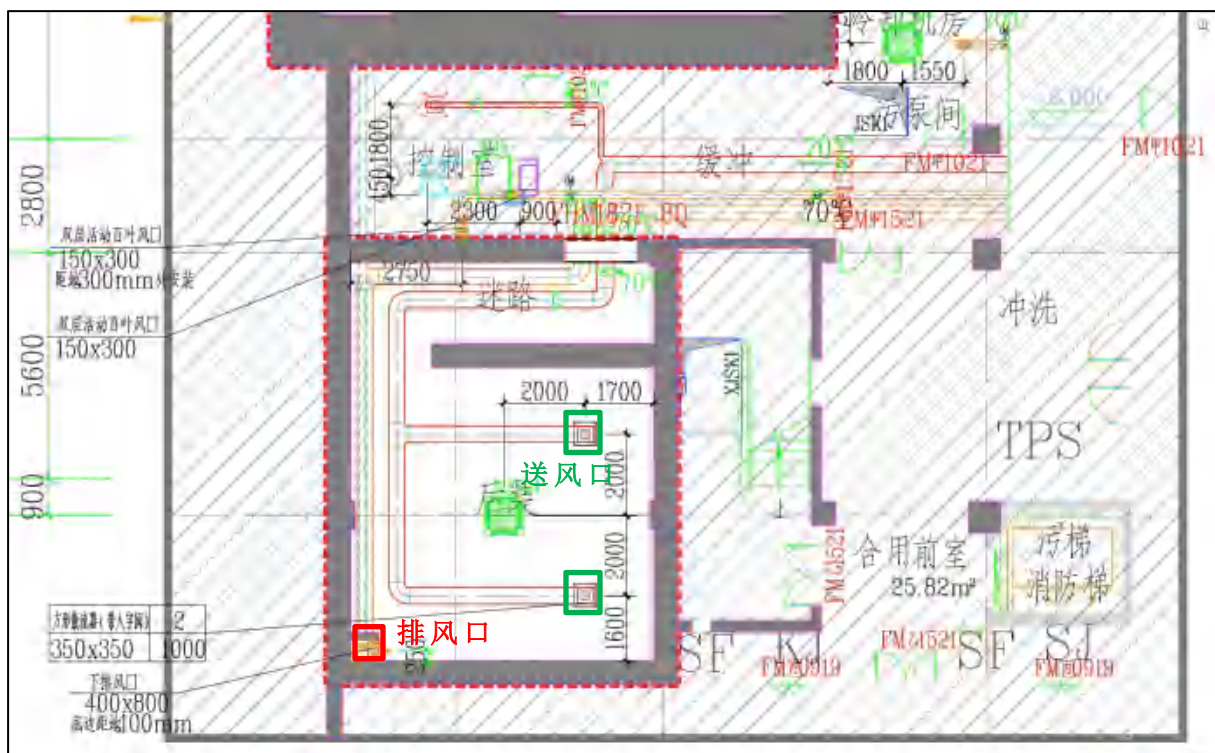
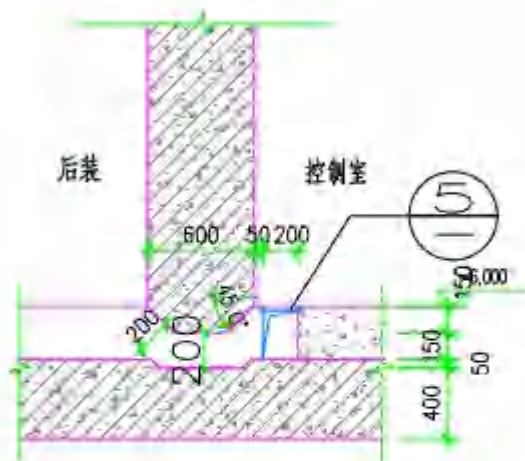


图 10-15 后装治疗机房通风示意图

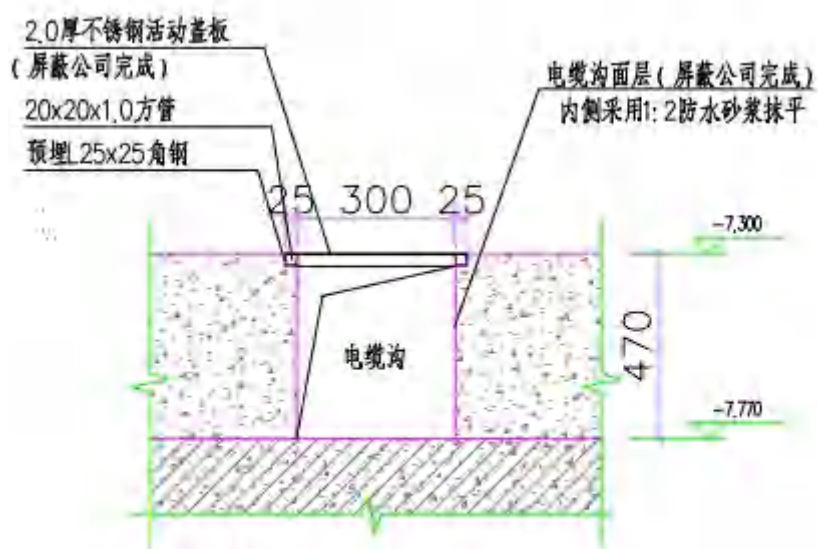
3、后装治疗机房管线及通风管网布局设置

①穿墙电缆沟：电缆以“U”型地沟方式穿过机房，电缆沟的沟盖板均为2.5cm厚不锈钢板；

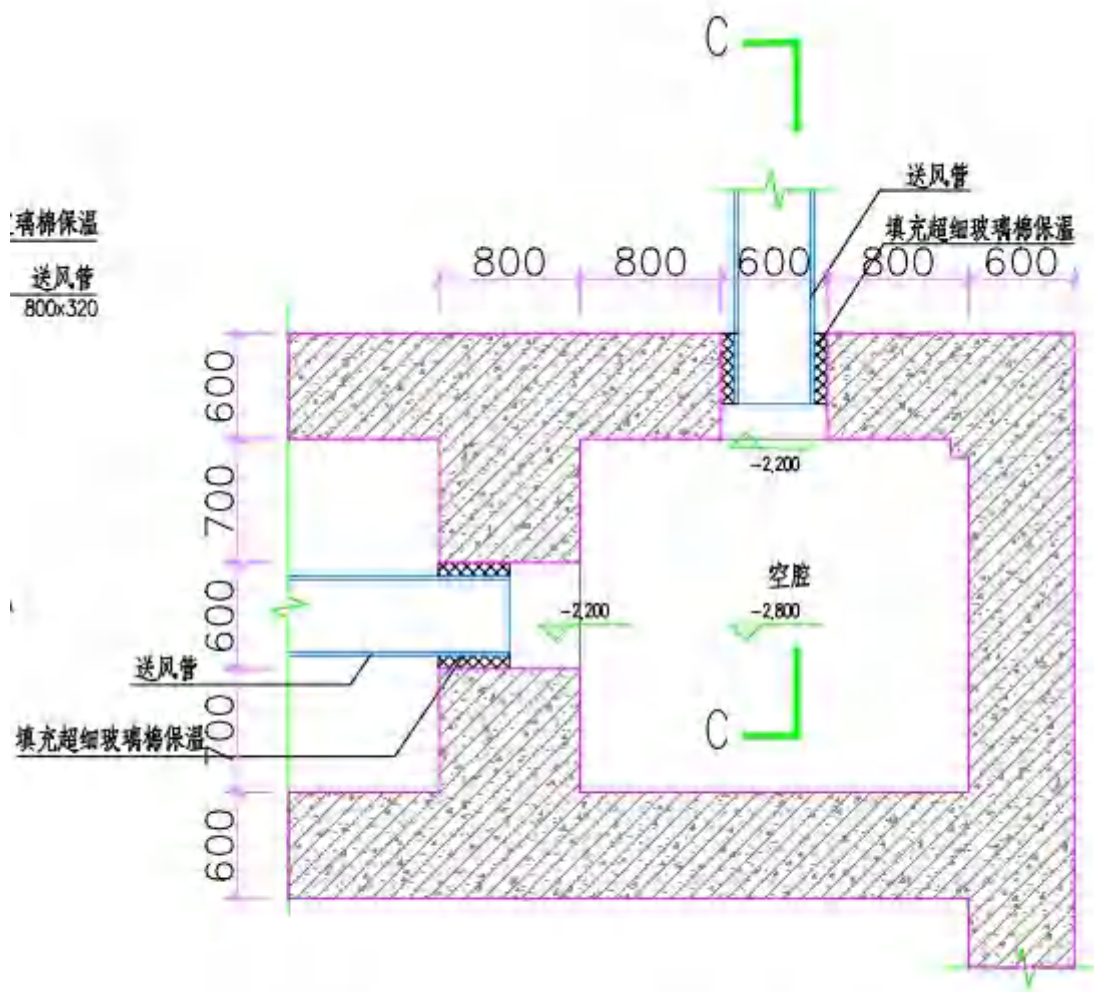
②新风管网、排风管网：送风、排风管道从防护门上方以空腔的形式进入机房迷道内。



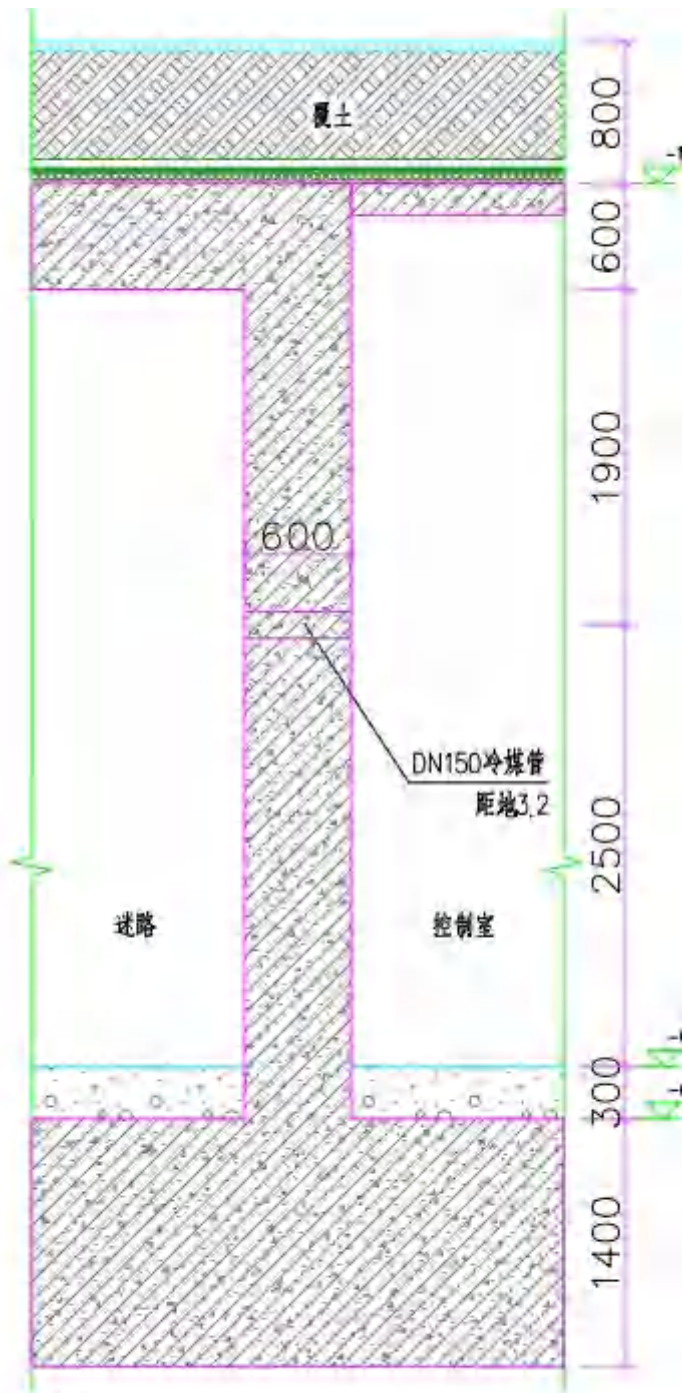
⑧ 电缆沟穿防护墙剖面图 1:30
后装



⑤ 电缆沟详图 1:10



⑥ 进风口穿防护墙平面图 1:30
后装



⑦ 冷媒管穿防护墙剖面图 1:30
后装

(三) DSA 机房

1、DSA 机房辐射屏蔽设计

本项目共建设四个 DSA 机房（门诊医技楼二楼建设三个机房，综合住院楼五楼建设一个机房），根据医院提供的本项目机房辐射防护工程设计方案（附件 13），门诊医

技楼二楼 3 个 DSA 机房四周墙体均采用 240mm 实心红砖+2mmPb 硫酸钡，机房顶棚均采用 150mm 混凝土楼板+2mmPb 硫酸钡(硫酸钡刷在楼板地面)，机房地面均采用 150mm 混凝土楼板+2mmPb 硫酸钡，每个机房防护门均为 3mm 铅门，共 4 樘，其中病人通道的为电动推拉门，设有防夹装置，其余三樘为手动平开门，设有闭门装置，机房观察窗均为 3mm 铅玻璃窗。综合住院楼五楼 DSA 机房四周墙体均采用 240mm 实心红砖+2mmPb 硫酸钡，机房顶棚采用 110mm 混凝土楼板+2mmPb 硫酸钡（硫酸钡刷在楼板地面），机房地面均采用 120mm 混凝土楼板+2mmPb 硫酸钡，每个机房防护门均为 3mm 铅门，共 4 樘，其中病人通道的为电动推拉门，设有防夹装置，其余三樘为手动平开门，设有闭门装置，机房观察窗均为 3mm 铅玻璃窗。机房内建设的穿越防护墙的导线、导管等均采用与墙体同等防护厚度的铅皮包裹作为补散防护的防护处理，确保不影响墙体的屏蔽防护效果（见附图十四）。本项目 DSA 机房屏蔽设计参数情况见表 10-6。

表 10-6 DSA 机房屏蔽参数一览表

机房位置	机房尺寸 (m)	有效使用面积 (m ²)	屏蔽体及防护参数
门诊医技楼二楼 DSA01	长8.32×宽8.16	67.89	四面墙体：240mm实心砖墙+2mmPb硫酸钡； 顶面：150mm楼板+上层地面敷2mmPb硫酸钡； 地面：150mm楼板+2mmPb硫酸钡； 防护门：3mmPb防护门； 观察窗：3mmPb玻璃观察窗
门诊医技楼二楼 DSA02	长8.32×宽8.16	67.89	
门诊医技楼二楼 DSA03	长11.32×宽8.32	94.18	
综合住院楼5楼 DSA04	长8.72×宽7.76	67.67	

备注：实心砖密度约 1.65g/cm³，混凝土密度约 2.35g/cm³，硫酸钡密度约 3.2g/cm³，铅板密度约 11.3g/cm³，铅玻璃密度约 4.2g/cm³。

根据表 10-6 可知，本项目四个 DSA 机房的有效使用面积和最小单边长度均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“机房内最小有效使用面积20m²，机房内最小单边长度3.5m”的要求。

根据 GBZ130-2020 附录 C 公式 C.1 和 C.2 以及不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数 α 、 β 、 γ （取值自 GBZ130-2020 附录 C 表 C.2、表 C.3），本项目不同屏蔽物质在不同电压下转换成铅当量的计算公式及参数如下：

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

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

式中:

X——不同屏蔽物质的铅当量厚度;

B——给定铅或不同屏蔽物质厚度的屏蔽透射因子;

β ——铅或不同屏蔽物质对不同管电压X 射线辐射衰减的有关的拟合参数;

α ——铅或不同屏蔽物质对不同管电压X 射线辐射衰减的有关的拟合参数;

γ ——铅或不同屏蔽物质对不同管电压X 射线辐射衰减的有关的拟合参数;

表 10-7 不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的三个拟合参数

电压	材料	α	β	γ
90kV	铅	3.067	18.83	0.7726
	混凝土	0.04228	0.1137	0.4690
	实心红砖	0.03750	0.08200	0.8920
100kV (主束)	铅	2.500	15.28	0.7557
	混凝土	0.03925	0.08567	0.4273
	实心红砖	0.03520	0.0880	1.149
100kV (散射)	铅	2.507	15.33	0.9124
	混凝土	0.03950	0.08440	0.5191
	实心红砖	/	/	/

注: α 、 β 、 γ 取值自GBZ130-2020 附录C 表C.2、表C.3。

本项目不同屏蔽物质转换成铅当量的计算结果详见表 10-8。

表 10-8 项目 DSA 手术室的辐射屏蔽防护参数一览表

机房位置	机房屏蔽措施及等效铅当量	标准要求
门诊医技楼二楼DSA01	四面墙体: 240mm实心砖墙+2mmPb硫酸钡 (4.53mmPb);	2.0mmPb
门诊医技楼二楼DSA02	顶面: 150mm 楼板 + 上层地面敷设 2mmPb 硫酸钡 (4.12mmPb);	
门诊医技楼二楼DSA03	地面: 150mm楼板+2mmPb硫酸钡 (4.12mmPb); 防护门: 3mmPb防护门 (3.0mmPb); 观察窗: 3mmPb玻璃观察窗 (3.0mmPb)	
综合住院楼五楼DSA04	四面墙体: 240mm实心砖墙+2mmPb硫酸钡 (4.53mmPb); 顶面: 110mm 楼板 + 上层地面敷设 2mmPb 硫酸钡 (3.544mmPb); 地面: 120mm楼板+2mmPb硫酸钡 (3.69mmPb);	2.0mmPb

防护门：3mmPb防护门（3.0mmPb）； 观察窗：3mmPb玻璃观察窗（3.0mmPb）

注：①根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 公式 C.1 和 C.2，砖的 α 、 β 、 γ 取值自附录C表C.3，计算得出在管电压90kV下，240mm实心红砖等效铅当量约为2.53mmPb；管电压100kV（主束）下，240mm实心红砖等效铅当量约为2.78mmPb；本项目240mm实心红砖保守以2.53mmPb当量计。

②根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 公式 C.1和 C.2，混凝土的 α 、 β 、 γ 取值自附录C表C.2，计算得出在管电压90kV下，110mm混凝土等效铅当量约为1.544mmPb，120mm混凝土等效铅当量约为1.69mmPb，150mm混凝土等效铅当量约为2.12mmPb；管电压100kV（主束）下，110mm混凝土等效铅当量约为1.68mmPb，120mm混凝土等效铅当量约为1.853mmPb，150mm混凝土等效铅当量约为2.35mmPb；管电压100kV（散射）下，110mm混凝土等效铅当量约为1.7mmPb，120mm混凝土等效铅当量约为1.87mmPb，150mm混凝土等效铅当量约为2.36mmPb；本项目110mm混凝土、120mm混凝土、150mm混凝土分别保守以1.544mmPb、1.69mmPb、2.12mmPb当量计。

由表 10-10 可知，本项目 DSA 机房的辐射屏蔽参数满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“C 形臂 X 射线设备机房有用线束方向铅当量2mm，非有用线束方向铅当量2mm”的要求。

2、DSA 机房通风设计

根据 DSA 机房通风设计图纸（附图九、附图十一），DSA 机房送风均采用新风系统，均在机房内吊顶处设置四个送风口，一个排风口，机房内排风经排风管道收集引致本建筑物风井房内排放，能使机房保持良好的室内空气流通，经排风口排出的有害气体直接逸散在空气中，对周围空气环境影响很小。

（四）核医学科场所

1、核医学科场所屏蔽设计

根据医院提供的设计资料（附件 13），本项目核医学科工作场所辐射防护屏蔽设计参数表见表 10-9。

表 10-9 核医学科场所辐射屏蔽设计参数一览表

区域	机房名称	四周墙体(mm)	顶板(mm)	地板(mm)	防护门 (mmPb)	观察窗 (mm)
	敷贴治疗室	240实心红砖	180mm混凝土楼板	110mm混凝土楼板	1mmpb	/
	储源间	370实心红砖	180mm混凝土楼板	110mm混凝土楼板	1mmpb	/
	固废间	370实心红砖	180mm混凝土楼板	110mm混凝土楼板	15mmpb	/
	分装柜	采用 ¹⁸ F、 ^{99m} Tc双联分装柜， ¹⁸ F分装柜一端为50mmPb， ^{99m} Tc通风橱一端为20mmPb				
	¹⁸ F注射位	240实心红砖	180mm混凝土楼板	110mm混凝土楼板	/	注射窗40mmPb
	^{99m} Tc注射位	240实心红砖	180mm混凝土楼板	110mm混凝土楼板	/	注射窗6mmPb

敷贴及核素显像区	分装给药室	370实心红砖；南墙500实心红砖	180mm混凝土楼板	110mm混凝土楼板	1mmpb	/
	运动平板实验室	370实心红砖；南墙500实心红砖	180mm混凝土楼板	110mm混凝土楼板	3mmpb	/
	PET-CT机房	370实心红砖+30硫酸钡	250混凝土	250混凝土	8mmPb	8mmPb
	¹⁸ F注射后候诊室	370实心红砖+30mm硫酸钡；南墙500实心红砖	180mm混凝土楼板	110mm混凝土楼板	8mmPb	/
	SPECT-CT机房	370实心红砖+30硫酸钡	250混凝土	250混凝土	3mmPb	3mmPb
	^{99m} Tc注射后候诊室	370实心红砖+30mm硫酸钡；南墙500实心红砖	180mm混凝土楼板	110mm混凝土楼板	3mmPb	/
	留观抢救室	370实心红砖+30mm硫酸钡；南墙500实心红砖	180混凝土	110混凝土	8mmPb	/
	患者通道出入口	370实心红砖+30mm硫酸钡	180mm混凝土楼板	110mm混凝土楼板	出口、入口均为20mmPb	/
¹³¹ I核素治疗区	储源间	370实心红砖	180mm混凝土楼板	110mm混凝土楼板	1mmPb	/
	固废间	370实心红砖	180mm混凝土楼板	110mm混凝土楼板	10mmPb	/
	分装柜	设计参数为：自动分装柜、手动分装柜均为20mmPb				
	分装给药室	370实心红砖	180mm混凝土楼板	110mm混凝土楼板	1mmPb	/
	甲亢病房3个（每个病房2人）	370实心红砖；南墙500实心红砖	180混凝土	110混凝土	10mmPb	/
	患者通道	370实心红砖	180混凝土	110混凝土	10mmPb	/
	污染被服间	370实心红砖；南墙500实心红砖	180混凝土	110混凝土	10mmPb	/
	污洗间	370实心红砖	180混凝土	110混凝土	/	/
甲功室	370实心红砖	180混凝土	110混凝土	1mmPb	/	

注：混凝土密度：2.35g/cm³，铅密度：11.3g/cm³，实心红砖密度：1.65g/cm³，硫酸钡密度：3.2g/cm³。

注本项目双联分装柜¹⁸F分装柜一端为不锈钢外壳内部铺设50mm铅进行屏蔽，分装柜观察窗的防护为40mmPb，分装好的针剂采用钨合金注射套进行屏蔽（约为20mmPb），并在防护厚度为40mmPb注射窗台内进行药物注射，本项目从老院区搬迁一台¹³¹I半自动分装柜（20mmPb），另外购置1台¹³¹I手动分装柜（20mmPb）。

2、核医学科场所通风设计

敷贴及核素显像区：见附图十六，共设置两套排风系统。1#排风系统支管道连接PET-CT设备间、机房、SPECT-CT设备间、机房，主管道经核医学场所洁净被服间北

面排风井到建筑物屋顶排放，风机风量为 1400m³/h。2#排风系统支管道连接清洁间、留观抢救室、^{99m}Tc 注射后候诊室、¹⁸F 注射后候诊室、患者通道、运动平板实验室、分装给药室、敷贴治疗室，主管道经 PET-CT 控制室西面排风井到建筑物屋顶排放，风机风量为 2200m³/h，¹⁸F、^{99m}Tc 双联分装柜的壁顶分别安装高效活性炭吸附装置，风速不小于 0.5m/s，经活性炭装置吸附后进入 2#排风系统支管道内。1#、2#排风系统建筑物屋顶排风口末端均设置活性炭吸附装置。

核素治疗区：见附图十六，共设置两套排风系统。3#排风系统支管道连接三个甲亢病房，主管道经核医学场所洁净被服间北面排风井到建筑物屋顶排放，排风口末端安装高效活性炭吸附装置，风机风量为 1700m³/h。4#排风系统支管道连接污染被服物间、污洗间、患者通道、固废间、储源间、甲测室、分装给药室、控制室、卫生通过间，主管道经核医学场所洁净被服间北面排风井到建筑物屋顶排放，¹³¹I 自动分装柜及手动分装柜的壁顶分别安装高效活性炭吸附装置，风速不小于 0.5m/s，经活性炭装置吸附后进入 4#排风系统支管道内，4#排风系统排风口末端安装高效活性炭吸附装置，风机风量为 3000m³/h。

本项目核医学场所共设置 4 套独立的排风系统，各排风管内均保持负压，且在控制区各功能用房内均安装有防回流装置，能保证工作场所的气流流向遵循从低活度区向高活度区流动，防止了放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）关于气态放射性废物管理的要求。

10.1.5 其他辐射安全和防护措施

(一) 直线加速器机房

(1) 工作场所分区：辐射工作场所实行分区管理，加速器机房内为控制区，控制室和加速器机房周边其他区域为监督区。

(2) 安全联锁：加速器机房安装安全联锁装置主要有：①门-灯联锁：直线加速器在工作时，安装在机房外的指示灯亮红，并指示“正在工作中”。②门-机联锁：加速器机房设置门机联锁装置，并装备有自动显示关闭状态的联锁开关。防护门未完全关闭到位时，直线加速器无法启动。同时，防护门具有防挤压功能，如在防护门关闭过程中人员意外通过时，将自动终止关门运行；只有防护门关闭到位，加速器才能出束。如在出束状态下意外开启防护门，加速器自动停束，并储存已完成的治疗剂量。

(3) 警示标志、工作状态指示灯：加速器机房的防护门上醒目位置拟贴“当心电离辐射”标志，用来提示人员不要进入处于工作状态的机房。机房防护门上方拟设计工作指示灯以及电离辐射警告标志及其中文警示说明。用来警示人员不要进入处于工作状态的机房。

(4) 紧急停机开关：每个机房共 8 个，加速器控制台 1 个、设备机架上 2 个，机房内四面墙体中间位置各设置 1 个紧急停机开关、迷道内墙面设置 1 处紧急停机开关。当遇到意外情况，可随时按动急停开关，切断设备电源，停止出束；事故处理完毕后，再复位，加速器才能重新启动。

(5) 摄像监视和通讯系统：在加速器治疗机房内安装有摄像监视系统，确保机房内无监控死角，可使控制室的工作人员清楚地观察到治疗室内加速器的工作情况。如发生意外情况可及时处理。

(6) 钥匙开关：加速器治疗机本身具有电源的钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动治疗装置。

(7) 防护门开关：防护门开关在加速器控制台面上设置 1 个、机房内迷道内入口设置 1 个紧急开门装置。

(8) 工作人员进行辐射工作时需佩戴个人剂量报警仪，实时显示剂量率，一旦超

标，可进行声音报警（报警阈值为 $2.5\mu\text{Gy/h}$ ）；

(9) 加速器机房内设置固定式剂量监测报警装置，以判断加速器是否处于工作状态；

(10) 配备必要的辐射防护用品、辐射监测仪器。

(11) 安全连锁系统需定期进行检查，由医院一个月自行检查一次，使其能保持正常工作。保持长期运行的可靠性和稳定性，方可保护操作人员的辐射安全，消除辐射事故和病人过剂量照射的隐患。直线加速器机房拟采取的防护安全措施见下表 10-10：

表 10-10 每个直线加速器机房拟采取的防护安全措施表

序号	辐射防护安全措施		位置	数量
1	视频监控系统 和对讲系统	摄像头（全景监控）	机房内四面墙体	2 个，对 角设置
		摄像头（普通式）	迷道两端	2 个
		对讲系统（双向）	机房与控制室之间	1 个
2	防护门与照射 启动检查	防护门启动开关	控制室内控制台上	1 个
			机房内迷道入口处	1 个
		门机连锁	设备、防护门	1 个
3	钥匙开关		操作台	1 个
			设备高压钥匙开关	1 个
4	紧急停机开关 (共 8 个，串联连接)		控制室内控制台上	1 个
			机房内四面防护墙	4 个
			设备机架	2 个
			迷路内墙面	1 个
5	警示标志	工作指示灯	防护门上方	1 个
		电离辐射警告标志	防护门上	1 个
6	固定式剂量报警仪		控制室（探头设置在机房内）	1 个
7	个人剂量计		辐射工作人员佩戴	1 个/人
8	个人剂量报警设备		辐射工作人员（物理师、放疗 技师）佩戴	3 个
9	便携式 α 、 γ 剂量仪		工作场所及周围环境辐射水 平检测	1 台（放 射治疗 场所共 用）
10	应急照明灯		机房内、迷道口内	2 个
11	惰性气体消防器材		机房内（详细位置待定）	1 个

注：两个直线加速器机房拟采取的防护安全措施基本一致，便携式 α 、 γ 剂量仪可共享使用。

（二）后装治疗机房

（1）放射源运输贮源器表面标有放射性核素名称，最大容许装载活度和牢固、醒目的、符合 GB18871 要求的电离辐射警告标志。装载退役放射源的铅罐放置于保险柜内，保险柜存放在机房迷道西南角。

（2）工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，因泄漏辐射所致周围剂量当率不大于 $50\mu\text{Sv/h}$ ；距离贮源器 100cm 处的球面上，任何一点因泄漏辐射所知周围剂量当量率不大于 $5\mu\text{Sv/h}$ 。

（3）后装治疗设备的控制系统，能准确地控制照射条件，有放射源启动、传输、驻留及返回工作贮源器的源位显示与治疗日期、通道、照射总时间及倒计时时间的显示。

（4）后装治疗设备控制系统有安全锁等多重保护和联锁装置。能防止由于计时器控制、放射源传输系统失败，源通道或控制程序错误以及放射源连接脱落等电气、机械发生故障或发生误操作的条件下造成对患者的误照射。

（5）当自动回源装置功能失效时，有手动回源措施进行应急处理。

（6）在控制台上，能通过伽马射线监测显示放射源由工作贮源器内输出和返回贮存位置的状态，控制台上应设置有 1 个紧急停机开关，后装机设备 1 个紧急停机开关，机房四周墙体各设置 1 个紧急停机开关、迷道内靠屏蔽门入口处设置 1 处紧急停机开关，按下急停开关能使放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。

（7）连接施源器各通道与施源器的放射源传输管道及施源器应平滑、具有可允许的最小曲率半径，以保证放射源传输畅通无阻。连接施源器与放射源传输管道时，应使接头衔接严密、牢固，防止放射源冲出或脱落。

（8）治疗室应与准备室、控制室分开设置。治疗室设置为控制区，在控制区进出口设立醒目的符合 GB18871 规定的辐射警告标志，严格控制非相关人员进入控制区；将控制区周围的区域和场所设置为监督区。机房的防护门上醒目位置拟贴“当心电离辐射”警示标志，防护门上方拟设置工作状态指示灯，用来提示人员不要进入处于工作状态的机房。

（9）治疗室入口采用迷路形式，安装防护门并设置门机联锁，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自动回到后装治疗设备的安全位置。治疗室外防护门上方有工作状态显示。

(10) 在控制室与治疗室之间设监视与对讲设施。设备控制台的设备能使操作者在任何时候都能全面观察到通往治疗室的通道情况。

(11) 在治疗室迷道出入口处设置固定式辐射监测仪，且有报警功能。其显示单元应设置在控制内或机房门附近。设置事故报警阈值，在出现卡源、源脱落等情况能够及时让工作人员及时进行事故处置。

(12) 治疗室内应配有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备。

(13) 后装治疗配备相应的治疗计划系统，制定并实施质量保证计划，确保剂量准确。既能使治疗获得合理的剂量及其分布，又能控制正常组织的受照范围，最大限度缩小正常组织的受照剂量与范围。在治疗开始前对设备及相关防护措施进行检查，确保治疗设备和防护设备处于正常工作状态。

(14) 防护门开关：防护门开关在加速器控制台面上设置 1 个、机房内迷道入口设置 1 个紧急开门装置。

(15) 实施治疗时，除病人外，治疗室内不得停留任何人员。

后装治疗机房拟采取的防护安全措施见下表 10-11：

表 10-11 后装治疗机房拟采取的防护安全措施表

序号	辐射防护安全措施		位置	数量
1	视频监控系统 和对讲系统	摄像头（全景监控）	机房内四面墙体	2 个（对角设置）
		摄像头（普通式）	迷路	
		对讲系统（双向）	机房与控制室之间	
2	防护门与放射源 启动检查	防护门启动开关	控制室内控制台上	1 个
			防护门内	1 个
		门机联锁	设备、防护门	1 个
3	钥匙开关		操作台	1 个
4	紧急停机开关 （共 7 个，串联连接）		后装机设备上	1 个
			控制室内	1 个
			机房内四面防护墙	4 个
			迷路	1 个
5	警示标志	工作指示灯	防护门上方	1 个

		电离辐射警告标志	防护门上	1个
6		固定式剂量报警仪	控制室（探头设置在机房内）	1个
7		储源容器、保险柜及长柄镊子	机房内	1套
8		个人剂量计	放射工作人员佩戴	1个/人
9		个人剂量报警设备	放射工作人员（物理师、放疗技师）佩戴	3个
10		X- γ 剂量率仪	与直线加速器机房共用	1个

放疗科辐射安全与防护措施符合性分析

对照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），本项目机房符合性分析如表 10-12 所示。

表 10-12 放疗科机房辐射安全与防护措施符合性分析一览表

机房名称	防护要求	本项目分析	符合性
选址与布局	放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	本项目加速器机房、后装机房建于门诊医技楼负一楼西侧，机房位于医院主体建筑内，为医疗用房。	符合
	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，尽量避开儿科治疗室、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。	本项目加速器机房、后装机房西侧为土层，楼上为医院地面绿化区域，无地下层，周边不邻近儿科、产科、商业等人群密集及特殊人群区域。	符合
分区原则	放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所；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控和评价的区域划定为监督区	项目实行两区划分，将加速器机房（包括迷路）、后装机房（包括迷路）划分为控制区；将控制室、水冷机房等划分为监督区。	符合
屏蔽要求	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、最大照射野能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	项目加速器及后装机机房屏蔽设计均按最大工况进行防护屏蔽。	符合
	放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。	项目直线加速器和后装机机房均采用普通钢筋混凝土进行一次性浇筑屏蔽。防护门采取铅门，各屏蔽体厚度满足要求。	符合

	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。	项目放疗机房送风管道通过防护门顶端设置空腔的形式穿越墙体，排风管道、电缆沟均以“U”型穿越墙体，不影响机房整体屏蔽效果；防护门与墙的搭接处尽可能减小缝隙漏泄辐射，防护门宽与门洞的部分大于“门-墙”间隙的十倍。	符合
	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应满足 6.1.4 相关要求	加速器机房和后装机房均采用普通混凝土建设，各侧墙体及防护门外剂量率水平满足参考控制水平。	符合
安全防护设施和措施	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；控制室设置有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和密道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统	拟在机房防护门上方等位置安装醒目指示灯，防护门及墙体设置辐射标志；加速器和后装机机房内及迷道均设置有视频监控，可以实现机房内全监控，并设置双向对讲装置。	符合
	含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近	拟按要求设置，直线加速器机房和后装机机房迷路入口处均设置固定式剂量监测报警装置。	符合
	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设施。	加速器机房控制台、设备机架上、治疗床、机房墙体内均设置有急停开关；后装机设置紧急回源装置和断电自动回源措施。防护门均设置红外防夹装置和应急开门装置。	符合
	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	后装机房内拟按要求配置。	符合

（三）DSA 机房

为保障 DSA 安全运行，该院 DSA 拟根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求，采取相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

a: 在 DSA 机房控制台处设置铅玻璃观察窗，工作人员通过观察窗观察机房内患者状态。

b: 在 DSA 机房内合适位置设置视频监控装置，控制室内工作人员通过视频监控系统观察机房患者屏蔽门、污物通道门及医护人员进出防护门的开闭情况。

c: 电离辐射警示标志：机房防护门、控制室机房防护门上及机房内醒目位置粘贴电离辐射警示标志；候诊区拟设置放射防护注意事项告知栏。

d: 工作状态指示灯及灯箱处可视警示：机房门上方拟设置醒目的工作状态指示灯，

灯箱上拟设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，工作状态指示灯应能与机房门有效关联，防护门拟设有防夹人装置。

e: 对讲装置：机房拟设置对讲装置，以便医生和床旁工作人员、病人之间更好的沟通。紧急停止装置：拟在手术床上安装紧急停止开关，出现紧急情况的时候能够及时地切断电源，保护病人和操作人员的安

f: 医院拟在控制室内张贴相应的操作规程、岗位职责、应急预案等规章制度。

g: 医院拟为本项目配备必要的防护用品，主要包括铅衣、铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等。配备辅助防护设施，如移动铅防护屏风。

h: 医院拟为本项目配备 2 台辐射剂量巡测仪，用于对辐射工作场所及周边环境辐射水平进行自主监测。医院为本项目辐射工作人员均计划配备个人剂量计，开展个人剂量监测和职业健康体检监护，并建立完整的个人剂量监测和职业健康体检防护档案。

i: 其他辐射安全管理措施：

①加强对介入人员的培训。

②开展个人剂量监测，并实行轮岗操作，医院应结合工作人员个人剂量监测的数据及职业健康体检结果采取措施，控制和减少工作人员的受照剂量。

③加强 DSA 设备的质量保证工作，设备的球管与发生器、透视和数字成像的性能以及其它相关设备应该定期进行检测。

临床介入手术时，介入医生需站在 DSA 床边操作，床下球管机对医务人员的辐射剂量，主要集中在头、颈、胸及腹部，故操作人员除个人防护用品（铅衣、铅围脖、铅帽及铅眼镜等）外，应着重考虑 X 射线机操作侧的屏蔽，该屏蔽要做到既不影响操作者的操作，又能达到防护目的，医院可据此配备辅助防护设施，如移动铅防护屏风。

④消防措施：DSA 机房内吊顶处拟设置烟感报警器，拟配备惰性气体灭火器。

⑤DSA 机房内不堆放与诊疗无关的杂物。

DSA 机房辐射防护措施符合性分析

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），医院 DSA 机房辐射防护措施符合性分析结果见表 10-13。

表 10-13 DSA 射线装置的辐射防护措施符合性分析表

射线装置类型	标准防护要求	本项目方案	符合性
--------	--------	-------	-----

	X 射线机应设有单独的机房，机房应满足使用设备的空间要求。单管头 X 射线设备（含 C 形臂）机房最小有效使用面积为 20m ² ，最小单边长度为 3.5m。	本项目设置四个 DSA 机房，机房最小有效使用面积均大于 20m ² ，最小单边长度均大于 3.5m。	符合
	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。	机房与控制室之间设置铅玻璃观察窗，机房内设置了摄像头，在控制室能观察到受检者状态及各防护门开闭情况。	符合
	介入 X 射线设备机房：有用线束方向铅当量 2mmPb，非有用线束方向铅当量 2mmPb。	机房四侧墙体、顶板、地面、各防护门、窗的铅当量 > 2mmPb。	符合
DSA	（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。 （2）机房应设置动力排风装置，保持良好的通风。	（1）DSA 有用线束未直接照射门、窗和管线口位置。 （2）机房内设置动力排风装置，能保持良好通风。	符合
	（1）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。 （2）平开机房门应有自动闭门装置；电动推拉门宜设置防夹装置；工作状态指示灯能与机房门有效关联。	（1）DSA 机房门外设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区设置放射防护注意事项告知栏。 （2）平开机房门拟设自动闭门装置，电动推拉门拟设置防夹装置，工作状态指示灯和与机房相连的门能有效关联。	符合
其他	配备适量的符合防护要求的各种辅助防护用品，如铅衣、铅手套、铅围裙等。	医院为 DSA 机房配置数量足够，规格符合标准要求的铅衣、铅眼镜、铅围脖等辐射防护用品。拟配个人剂量报警仪、X、γ辐射剂量检测仪。	符合

由表 10-13 可知，医院 DSA 机房按相关标准要求进行设计，机房的辐射防护措施可以满足相关规定要求。

（四）核医学科场所

（1）辐射安全措施

核医学场所用房均拟按《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中乙级工作场所和 I 类、II 类、III 类工作场所的要求进行设计施工，具体如下：

①核医学科将加强对病人的管理，拟设置病人专用的进口与出口、进出防护门均设单向门禁（只进不出或只出不进）、专用厕所，明确工作场所“两区”的划分。

②分装给药室与候诊区之间设置叫号系统；在核素诊断区域内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、工作场所进出/口情况；PET、SPECT 机房和控制室之间拟安装双向对讲装置和视频监控，便于工作人员通过视频监控观察患者，通过双向对讲装置于受检者联系。

③在核素治疗区范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、工作场所进出口情况；**控制室**和服药窗口之间拟安装双向对讲装置和视频监控，便于工作人员通过视频监控观察患者，通过双向对讲装置与受检者联系。医护人员操作机器人送餐系统在患者传递窗口给患者送餐。

④核医学用房装修时，放射性核素操作设备的表面、工作台台面应平整光滑，室内地面铺设塑料地坪，地面与墙壁衔接处无缝隙，易于清洗、去污。

⑤核医学工作场所核素诊断场所与核素治疗区拟均设置卫生通过间，卫生通过间设有应急去污用品、表面污染监测仪、去污设施和个人防护用品等，有利于工作人员污染的防治。

⑥分装给药室设置有两个分装柜（一个双联），放射性核素 ^{18}F 分装、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 测活等操作在双联分装柜内进行，放射性核素 ^{131}I 自动分碘仪由辐射工作人员在控制室操作电脑自动分碘，分装柜有专用的排风装置，风速不小于 0.5m/s。

⑦核医学工作场所拟设置放射性药物注射后受检者等候、检查及检查结束后的走向标识，有效引导受检者走向。

⑧注射候诊室的卫生间洗手台均设置为感应式水龙头，便池拟设为感应式节水座便马桶。

⑨核素诊断场所给药后受检者在各自注射候诊室内进行候诊，严禁串门，注射候诊室设置移动铅屏风， ^{131}I 核素病房两床之间设置 10mmPb 当量的铅屏风，防止患者之间相互照射影响；核素治疗区患者服药后根据需要在治疗室内住院，严禁串门。

⑩核医学工作场所的上水拟配备**洗消液**。控制区和卫生通过间内的盥洗水盆、清洗池等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、眼和面部采用向上冲淋的流动水。

⑪放射性废水收集的管道走向、阀门和管道的连接拟设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道拟设标记，避免放射性废水集聚，便于检测和维修。排水管道室内裸露部分均拟采用 6 个铅当量的铅皮包裹，室外排水管均为埋地方式，无裸露部分，土层厚度 80cm 以上。

⑫按相关标准要求设置两套地埋槽式废水衰变池。两套地埋槽式衰变池系统位于医院综合住院楼南面约 5m（附图十八），本项目衰变池设计图纸见附图十八，衰变池拟采用混凝土结构进行浇筑，池体之间为 25cm 混凝土，四周为 40cm 混凝土，底部为 30cm 混凝土，顶部为 50cm 混凝土，每个池子出气口设置 20mmPb 铅盖板，具有可靠的防泄漏措施。核素显像区衰变池共 3 个池子，每个池子的净容积为 25m³，衰变池前端设置了一个 2m³ 的破碎收集池。核素治疗区衰变池共 3 个池子，每个池子的净容积为 120m³，衰变池前端设置了一个 5m³ 的破碎收集池。在废水池上预设取样口，并设计有防止废水溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废水衰变池超压的措施。衰变池的容积充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊治中预期产生贮存的废水量以及事故应急时的清洗需要。

(2) 储源室设置要求

①核医学科拟设 2 间储源室，储源室防护门均拟设计为铅防盗门，钥匙由专人负责保管；日常由值班人员 24 小时监控。

②核医学科使用的放射性药物向厂商按需订购，生产厂商根据医院订购合同，按时定量将放射性药物连同铅罐包装直接送达核医学科分装柜内。

③储源室拟双人双锁，确保其具备“防盗、防丢失、防破坏”的功能，同时还需设置红外监控录像设备，且录像保存时间在 30 天以上，主要包括：保险柜、防盗门、双人双锁、房间内设置视频监控、门口设置红外报警系统和电离辐射标志。

④应建立放射性药物与放射源的出入库登记制度，贮存、领取、使用放射性药物与放射源时，应当进行登记、检查，做到账物相符。

⑤应定期检查放射性药物与放射源的实际库存数量及贮存场所，储源库应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

⑥消防安全：储源室内严禁烟火，配置干粉灭火器，建筑物耐火等级按 2 级设计。

(3) 人员防护措施

人员主要指本项目辐射工作人员、受检者/患者及本次评价范围内其他人员。在实际工作中，为了减少辐射工作人员、受检者/患者及其他人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

①辐射工作人员的防护

A、屏蔽防护：将辐射源安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的有害辐射；为核素操作人员配备铅防护手套、铅橡胶围裙等个人防护用品，注射器配备注射防护套。

B、时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少与患者接触的时间。

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

D、本项目核医学所有辐射工作人员均应配备个人剂量计并定期送检，开展职业健康监护并建立个人职业健康监护档案。

②受检者的防护

A、屏蔽防护：PET-CT、SPECT-CT机房内拟为受检者配备个人防护用品，如铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子等；候诊室与留观室设置铅屏风以防止病人间相互照射。

B、时间防护：在满足检查要求的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

C、距离防护：尽可能增加受检者与射线源的距离，减少受检者的受照剂量。

③其他人员防护

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

B、时间防护：设置明显的警示措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间。

C、距离防护：设置必要的防护、隔离、警示措施，尽可能增大人员与辐射场所之间的防护距离。

（4）操作过程中的防护措施

医护人员在进行放射性药品分装、测活、注射操作时首先做好个人防护，**包括穿戴防污染防护服**。注射时，将定量的药物移至带防护套的注射器内，将其置于注射器防护

提盒内后，经测量核定药物活度后转移给病人注射。分药时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。手套箱底部设有废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。注射时注射器外还配有注射器铅防护套，注射操作台拟采用铅玻璃防护，并在注射位设置铅挡板。注射操作时，医生（采取相应防护措施）与病人及药物分别位于铅玻璃的两侧，病人注射后进入注射候诊室候诊。

医护人员在控制室根据每个**甲亢患者**的用药计划，进行自动分碘仪的电脑操作。

(5) 患者注射后或服药后防护措施

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

所有患者住院均不允许有陪护人员；陪护人员不允许进入核医学科；服药后禁止随意走动，住院期间的呕吐物和排泄物要排入专用厕所，最终排入本项目拟建衰变池。

(6) 安全防护设施

A、警告设施

a、在核医学科控制区各房间防护门外、核医学科出入口及衰变池处设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。

b、在卫生通过间门口设置明显禁止进入标志，防止给药前病人、病人家属及其他无关人员等进入放射性药物分装注射室、给药处等医务人员工作场所。

c、在 PET-CT 机房、SPECT-CT 机房防护门上方设置工作状态指示灯，并与防护门连锁，防护门关闭时指示灯为红色，防护门打开时，指示灯灭。

d、患者防护门设防夹装置及闭门管理措施。

B、紧急止动装置

在控制台上、机房内、治疗床上安装供紧急情况使用的强制终止照射的紧急止动按钮。一旦在检查过程中出现紧急情况，工作人员按动紧急止动按钮即可令 PET-CT、SPECT-CT 停止运行。

C、操作警示装置

PET-CT、SPECT-CT 扫描时，操纵台上的指示灯变亮，警示装置发出警示声音。

D、视频监控和双向对讲装置

在核素诊断场所范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、核医学科工作场所进出口情况；PET-CT、SPECT-CT 机房和控制室之间拟安装双向对讲装置，便于工作人员通过双向对讲装置与机房内受检者联系。在核素治疗区范围内设置视频监控系统，便于观察住院病人的情况、核医学科工作场所进出口情况；**服药窗口和控制室之间安装双向对讲装置，便于工作人员通过双向对讲装置与受检者联系。**

E、门禁系统

核医学科进出防护门均设单向门禁（只进不出或只出不进），严禁带药受检者随意进出，严禁无关人员滞留或误入，在卫生通过间、核医学科控制区出入口均设置固定式剂量率监测仪，受检者通道内的相应位置均设置视频监控系统，以对辐射工作场所的情况进行实时监控，及时发现突发情况并及时进行处理。

a、在核医学科病人入口处和通道中设置专用门禁系统，只允许单向通行，防止给药后病人进入监督区和给药前病人、病人家属及其他无关人员等进入控制区。

b、在核医学科病人出口处设置专用门禁系统，防止给药后病人不遵循医生要求，未达到规定的留观时间擅自出控制区。

F、表面污染控制措施

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

a、放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏。

b、操作放射性药物时，须在有负压的手套箱内进行，防止放射性物质飞散。

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

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

G、外照射防护措施

a、本项目核医学科核素操作人员进入控制区均穿戴好铅衣等个人防护用品，核素

操作时有相应的防护措施。如 ^{18}F 药物转运时有 50mmPb 转运铅盒与 10mmPb 铅防护套的防护，注射时有 50mmPb 铅玻璃与 10mm 铅防护套的防护等防护措施。

b、操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如工作服、手套与工作鞋表面 β 放射性物质大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 或手部、皮肤、内衣与工作袜表面 β 放射性物质大于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，应采取相应去污措施。

c、从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝表面 β 放射性物质大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的物品被带出控制区。

d、贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，容器外有电离辐射警示标志，容器在运输时应有适当的固定措施。

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

f、当发生放射性物质溢出、洒漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，合理选择使用移动铅屏风、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、屏蔽运输容器、放射性废物桶等辅助用品与一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、去污剂、小刷子、一次性毛巾或吸水纸、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带等应急去污用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。

g、辐射工作人员应进行外照射个人监测。

H、内照射防护措施

操作非密封放射性药物时，液体洒落、挥发泄漏造成地面、工作台面、操作人员衣服、手套和空气等污染，污染的表面一方面成为外照射的辐射源，一方面通过皮肤渗透、呼吸、进食使放射性物质进入体内形成内照射。为降低内照射对工作场所内辐射工作人员的影响，本次评价要求：

a、放射性药物使用均在手套箱中进行，风速不低于 $0.5\text{m}/\text{s}$ ，且设置了高效活性炭吸附装置，可以有效降低工作场所空气中的放射性物质浓度。

b、严格规范辐射工作人员工作和生活习惯，禁止在控制区内饮食、饮水、化妆等。

c、辐射工作人员定期进行培训，严格按照操作规程操作，尽量避免放射性药物撒漏，并经常用湿法清洁台面、地面及设备表面。

d、严格遵守个人卫生制度和安全操作规程，穿戴个人防护用品，如工作服、手套、

口罩、帽子、防护眼镜等，防止放射性核素沾染手和体表。

e、辐射工作人员离开核医学科工作场所时应进行必要的表面污染监测和污染洗消后才能离开。

I、安保措施

核医学科区域拟安装防闯入报警系统与火灾报警系统，并配置灭火器材。

10.2 辐射防护用品

医院老院区 DSA 介入室已配备防护用品如下表 10-12 所示。老院区 DSA 设备搬迁后，辐射防护用品转移至新院综合住院楼五楼 DSA 介入室使用。

表 10-14 医院老院区现有一台 DSA 介入室辐射防护用品一览表

序号	防护用品	铅当量 (mm)	数量
1	铅橡胶围裙	0.5	12 件
2	铅橡胶颈套	0.5	12 个
3	铅橡胶帽子	0.5	12 顶
4	个性化铅防护眼镜	0.5	12 副
5	移动铅屏风	2	1 个
5	床侧铅防护屏	0.5	1 个，设备自带
6	铅悬挂防护帘	0.5	1 个，设备自带
7	介入防护手套	0.025	12 副
8	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、 铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	0.5	1 套（受检者用）
9	个人剂量计	/	按进入机房的工作人员每人配备 2 个（铅衣内 1 个、铅衣外 1 个）， 不进入机房的工作人员每人配备 1 个
10	辐射剂量巡测仪	/	1 台
11	个人剂量报警仪	/	2 台（介入医生配备）

医院现有院区介入科室防护用品基本能满足新院区综合住院楼五楼 DSA 介入手术室需求，门诊医技楼二楼三台 DSA 投入使用后，医院应按照 4 台 DSA 设备使用规模完善介入工作人员及辐射防护用品的配备。新院区放疗中心直线加速器机房、后装治疗机房所需防护用品主要为个人剂量计、个人剂量报警仪、固定式剂量报警装置、X- γ 剂量率仪等，详见表 10-10、表 10-11。根据现场调查，老院区核医学科无可搬迁防护用品，本项目核医学科拟配备的防护用品见下表 10-15。

表 10-15 本项目核医学科场所拟配备的辐射防护用品一览表

序号	种类名称		设置场所	数量	铅当量
1	分装柜	双联分装柜	核素显像区分装给药室	1个	¹⁸ F分装柜一端为50mmPb, ^{99m} Tc通风橱一端为20mmPb
		¹³¹ I半自动分装柜(老院搬迁)	核素治疗区分装给药室	1个	20mmPb
		¹³¹ I手动分装柜	核素治疗区分装给药室	1个	20mmPb
2	注射/服药窗口	¹⁸ F注射窗	核素显像区注射窗口	1个	40mmPb
		^{99m} Tc注射窗	核素显像区注射窗口	1个	6mmPb
		服碘窗口	核素治疗区服药窗口	1个	20mmPb
3	储源铅罐		核素显像区双联分装柜内	2个	¹⁸ F储源铅罐50mmPb, ^{99m} Tc储源铅罐20mmPb, 均为供药单位提供
			核素治疗区分装柜内	1个	50mmPb, 为供药单位提供
4	^{99m} Tc注射器铅套		核素显像区分装给药室	20个	6mmPb/个, 由供药单位提供
5	¹⁸ F注射器铅套		核素显像区分装给药室	3个	20mmPb/个, 每批次3人
6	¹⁸ F转运铅盒		核素显像区分装给药室	1个	30mmPb
7	^{99m} Tc转运铅盒		核素显像区分装给药室	1个	10mmPb
8	活度计		核素显像区、治疗区分装给药室	2台	/
9	脚踏式铅桶		核素显像区分装给药室、 ¹⁸ F注射候诊室、 ^{99m} Tc注射候诊室、留观室, 核素治疗区3个核素病房、剂量测定兼抢救室、分装给药室	9个	10mmPb/个
10	废物衰变桶		清洁间、固废间(核素显像区)	4个	20mmPb/个
			固废间、污物间、污洗间(治疗场所)	3个	20mmPb/个
11	人员立式注射防护车		运动负荷室	1个	20mmPb
12	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜		核素显像区、治疗区卫生通过间	4套	0.5mmPb, 共4名分装给药人员
13	去污工具组		核素显像区、治疗区卫生通过间	2套	/
14	放射性污染防护服		核素显像区、治疗区卫生通过间	2套	/
15	铅防护屏风		PET-CT机房、 ¹⁸ F注射候诊室	2个	10mmPb/个
16	铅防护屏风		SPECT-CT机房、 ^{99m} Tc注射候诊室	2个	6mmPb/个
17	铅防护屏风		核素治疗病房	3个	10mmPb/个
18	表面污染监测仪		核素显像区、治疗区卫生通过间	2台	/
19	环境辐射巡测仪		核素显像区、治疗区卫生通过间	2台	/
20	个人剂量报警仪		人员随身携带	4台	共4名分装给药人员
21	个人剂量计		人员随身携带	1个/人	共4名分装给药人员

医院应严格规定相关辐射工作人员在辐射工作中做好个人的放射防护，并配备铅围脖、防护帽和防护服等防护用品、用具以达到辐射防护的目的，医院按照上述要求配置相应的个人防护用品和监测仪器后，基本能满足本次核技术利用项目的运行需求。

10.3 三废的治理

10.3.1 直线加速器

本项目医用直线加速器射线装置运行过程中没有放射性废水、废气及放射性固体废物产生，工作过程中空气电离产生的少量臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）通过通风系统排出机房外，少量的臭氧和氮氧化物的排放对环境影响较小。本项目射线机房墙体对外无采光通风窗，射线装置机房安装了通风装置和空气净化装置，通风效率保证室内每小时换气次数不低于4次，能有效的排除机房内的有害气体，保证室内空气质量满足标准要求。

医用直线加速器如需排放循环冷却水，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），应对循环冷却水进行总α、总β监测符合要求后排放。

加速器靶在更换或退役时，按放射性固体废物处理，废靶件由加速器供应商回收，不在医院存储。

10.3.2 后装治疗机

后装治疗机运行过程中没有放射性废水、废气产生，工作过程中空气电离产生的少量臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）通过通风系统排出机房外，少量的臭氧和氮氧化物的排放对环境影响较小。本项目后装机房安装有固定式剂量报警仪，能实时对辐射剂量进行监测报警，墙体对外无采光通风窗，机房安装了通风装置和空气净化装置，通风效率保证室内每小时换气次数不低于4次，能有效的排除机房内的有害气体，保证室内空气质量满足标准要求。

后装机每半年产生的退役或废旧的¹⁹²Ir放射源是放射性固体废物，由供源厂家回收（购源时医院应与厂家签署放射源的返还协议），废旧或退役的¹⁹²Ir放射源送贮前封存铅罐内，铅罐暂存于机房保险柜内，保险柜置于机房西南角处。退役应报湖南省生态环境厅备案。依上述方案，废旧或退役的¹⁹²Ir放射源可以得到妥善处理，不会对周围环境

造成不利影响。

10.3.3 DSA

DSA 运行过程中没有放射性废水、废气及放射性固体废物产生，工作过程中空气电离产生的少量臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）通过通风系统排出机房外，少量的臭氧和氮氧化物的排放对环境影响较小。

本项目 DSA 机房墙体对外无采光通风窗，DSA 机房将安装通风装置和空气净化装置，能有效的排除机房内的有害气体，保证室内空气质量满足标准要求。

10.3.4 核医学科

10.3.4.1 放射性废气

①废气处理措施

本项目核医学场所共设置 4 套排风系统，排风系统的末端均设置了活性炭吸附装置，核医学科产生的放射性废气均经排风井到本建筑物综合住院楼楼顶排放，综合住院楼为医院内最高建筑物，同时在 ¹⁸F、^{99m}Tc 双联分装柜、¹³¹I 自动分装柜、手动分装柜的壁顶、¹³¹I 核素治疗病房排风口末端均安装有高效活性炭吸附装置，并定期更换活性炭，更换下来的废活性炭按放射性固体废物进行处理。

②废气处理措施符合性分析

本项目核医学科使用的 ¹⁸F 与 ^{99m}Tc 为非挥发性核素，不产生放射性废气，分装柜内的抽吸、排气操作可能形成含 ¹⁸F、^{99m}Tc 放射性气溶胶污染空气，属于放射性气态污染物范畴，分装柜顶端设置活性炭吸附装置吸附后经建筑物屋顶排放，产生的放射性气态污染物浓度很低；¹³¹I 为挥发性核素，在放射性药物分装操作过程，¹³¹I 药物挥发产生含放射性核素的废气，分装操作整个过程在自动分装柜内进行，且通过活性炭吸附后经建筑物屋顶排放（综合住院楼为医院最高建筑物），因此本项目产生的放射性气体污染浓度很低，对周围环境影响小。

对照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）6.3 密闭和通风要求，本项目核医学科废气处理措施符合性分析如表 10-16 所示。

表 10-16 核医学科符合性分析表

序号	标准要求	本项目分析	符合性
1	核医学工作场所应保持有良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。	核医学科设有4条通风管道，核医学科产生的废气经排风井到综合住院楼楼顶的排风口排放，废气排风口高于屋面 3m，综合住院楼为医院及周边50m范围最高建筑物。	符合
2	碘-131治疗室应设有单独的通风系统，治疗室的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。	碘-131治疗室设有单独的排风系统，治疗室的门窗有封闭措施，排风管道内保持负压，设置止回阀，防止气流倒灌，排风口设有活性炭吸附装置。	符合
4	放射性物质的分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止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。	本项目分装柜顶部和碘-131核素治疗病房排风口均设有活性炭吸附装置。	符合
5	通风橱应有足够的通风能力。碘-131治疗室以及设有通风橱、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。	核医学科产生的废气经由排风井内单独密闭管道排至综合住院楼楼顶，并高出屋顶排放。	符合

10.3.4.2 放射性废水

(1) 衰变池组平面设计

本项目核素显像区设置一套衰变池，核素治疗区设置一套衰变池，共两套地埋槽式衰变池系统。核素显像区衰变池 3 个池子尺寸均为 2.2m×2.3m×5.3m，单个衰变池有效容积均不小于 25m³，核素治疗区衰变池 3 个池子尺寸均为 6m×4m×5m，单个衰变池有效容积均不小于 120m³，

衰变池组前端均设置**破碎收集池**，通过阀门切换并联运行，进水管上设电磁阀，出水采用潜水泵压力排出。运行时先关闭第二、第三池进水管上电磁阀，打开第一池进水管上的电磁阀，使废水进入第一池；待第一池达到设计液位后，打开第二池进水管上的电磁阀，关闭第一池进水管上的电磁阀，使废水进入第二池；按照同样的操作方法，使废水依次进入第三池，待第三池达到设计液位后，关闭第三池进水管上的电磁阀，打开第一池潜水泵，将经过衰变后的废水排入医院污水处理站进一步处理，医院污水处理站处理能力能够满足本项目废水排放需求，医院污水处理站经处理达标后排放纳入市政污

水管网。核医学科衰变池间按照上述程序，轮流反复交替使用。

(2) 衰变时间可行性分析

A、废水量

核素显像区放射性废水产生总量为 $1.55\text{m}^3/\text{d}$ ， $387.5\text{m}^3/\text{a}$ ； ^{131}I 核素治疗场所每周放射性废水产生量为 3.9m^3 ，年废水量为 195m^3 。

B、衰变时间可行性分析

核素显像区使用核素最长半衰期为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 6.02h。保守不考虑收集池的容量，衰变池为 3 池并联，衰变时间为注满 2 格衰变池所需时间，衰变池 2 格池子有效总容积为 50m^3 ，放射性废水产生总量为 $1.55\text{m}^3/\text{d}$ ，注满 2 个池子需要 $50 \div 1.55 \approx 32$ 天。放射性废液衰变时间满足标准 HJ1188-2021 的要求“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”。

^{131}I 核素治疗场所衰变池 2 格池子有效容积为 240m^3 ，周废液产生量为 3.9m^3 ，注满 2 个池子需要 61 周，为 427 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函 2023[20]号)中：“槽式衰变池中含碘-131 放射性废水暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放”的放射性废液排放要求。

10.3.4.3 放射性固废

运行期间，本项目核医学科产生的放射性固体废物主要有服药杯子、污染物的注射器、针头、手套、棉签、纱布、滤纸、破碎杯皿、擦拭污染物地面的物品以及其他可能受放射性污染的物品等。敷贴治疗产生废 ^{90}Sr 敷贴器。在核素显像区分装给药室、 ^{18}F 注射候诊室、 $^{99\text{m}}\text{TcT}$ 注射候诊室、留观室，核素治疗区 3 个核素病房、分装给药室等场所设置专用脚踏式废物桶(10mmPb 当量)，容器内放置塑料袋；对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入塑料袋内。每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h ，重量不超过 20kg。存放废物的容器必须安全可靠，并在显著位置标明废物类型、核素种类、比活度和存放日期等。

本项目核医学科的工作场所拟设置 3 间放射性固体废物间，用于暂存项目开展过程中产生的放射性废物。各废物间的分配使用情况如下：①PET-CT、SPECT-CT 诊断产生的放射性废物存于 1 个废物间内，该废物间与核素显像区储源室相邻。②甲测、甲亢治疗产生的放射性废物存于 1 个废物间内，该废物间与核素治疗区储源室相邻。③住院患

者产生的受污染的被服存于污物暂存间内，该污物暂存间与污洗间相邻。

在每个固体废物间拟设 2 个容积为 100L 的衰变箱，将放射性废物分类暂存。经检测达到清洁解控水平后做为医疗废物处理。

另外，PET-CT 机房产生退役的 ^{68}Ge 校准源，用铅罐暂存在校准源库内，按时交生产厂家回收处置。

放射性固废管理措施

对于放射性废物的管理，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）提出如下管理措施：

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

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

C、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。废物桶内拟放置专用塑料袋直接收纳废物。

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

E、放射性废物每袋重量不超过 20kg，放射性固体废物包装外表面剂量率不超过 0.1mSv/h，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。

F、放射性废物贮存场所拟安装通风换气装置，入口处拟设置电离辐射警告标志，拟采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

G、废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

H、本项目放射性固体废物含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，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。

I、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。

J、放射性废物封存时需在贮存容器外表面醒目处需张贴电离辐射警告标志，并注明固废的废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等信息。

表 11 环境影响分析

11.1 施工期环境影响分析

根据前节工程分析介绍,本项目施工期主要是各射线机房及场所的建设及装修装饰工程,污染因子有:噪声、扬尘、废水、固体废物。PET-CT、SPECT-CT、DSA 设备安装调试过程产生 X 射线、有害气体等,直线加速器设备安装调试过程产生 X 射线、电子线、有害气体等,后装治疗机安装调试过程产生 γ 射线、有害气体等。施工产生的污染特别是扬尘和噪声可对医院自身环境以及周围的环境带来较大影响。

1、扬尘及防治措施

主要为房间的建设时机械敲打、钻洞墙体等产生的粉尘。为减小施工期间扬尘对外界环境的影响,施工单位应做到以下几点:加强施工现场管理,应进行适当的加湿处理。

2、噪声及防治措施

主要来自于机房建设、装修及现场处理等。通过选取噪音低、振动小的设备操作等,并合理安排施工时间等措施能减轻对外界的影响。

3、固体废物及防治措施

主要为建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。施工期产生的固体废物应妥善处理,无回收价值的建筑废料统一收集后,运输至合法堆场堆放。生活垃圾以及装修垃圾经统一收集后交由市政环卫部门处理。

4、废水及防治措施

施工期间产生的废水主要表现为施工人员的生活污水。生活污水依托医院的排水系统,进入市政污水网管。

5、放射性污染及防治措施

本项目在设备安装及调试过程会产生放射性污染,因此各放射设备及放射源的安装应请专业人员进行,建设单位不得自行安装设备。在安装调试阶段,应加强辐射防护管理,保证各屏蔽体屏蔽到位,关闭防护门,在治疗室门外设立电离辐射警告标志,禁止无关人员靠近。

本项目工程量小,施工期短,对外界的影响是暂时的,随着施工期的结束,影响也将消失。通过采取相应的污染防治措施后,本项目对外界的影响小。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 辐射环境影响

(一) 直线加速器机房

1、直线加速器机房关注点

本项目在门诊医技楼负一楼建设两个相连的直线加速器机房，机房顶棚屏蔽体外为医院地面绿化带，机房西面屏蔽体外为夯实土层（公众无法到达），机房楼下无建筑结构（公众无法到达），直线加速器机房关注点如下：

表 11-1 直线加速器机房 1 关注点一览表

序号	关注区域	关注点	屏蔽体关注点描述	辐射束	路径
1	主射束区	a	机房北主屏蔽墙外 30cm（楼梯间）	主射辐射	O ₂ -a
2		b	机房南主屏蔽墙外 30cm（直线加速器机房 2）		O ₁ -b
3		j	机房顶棚主屏蔽墙外 30cm（医院地面绿化带）		O ₃ -j
4	非主射束区	c ₁	机房北次屏蔽墙外 30cm（楼梯间）	泄露辐射	O-C ₁
				散射辐射	O ₂ -O-C ₁
5		c ₂	机房北次屏蔽墙外 30cm（楼梯间）	泄露辐射	O-C ₂
				散射辐射	O ₂ -O-C ₂
6		d ₁	机房南次屏蔽墙外 30cm（直线加速器机房 2）	泄露辐射	O-d ₁
				散射辐射	O ₁ -O-d ₁
7		d ₂	机房南次屏蔽墙外 30cm（直线加速器机房 2）	泄露辐射	O-d ₂
				散射辐射	O ₁ -O-d ₂
8		f	机房东迷道外墙外 30cm（控制室）	泄漏辐射	O-f
9		e	机房西墙外 30cm（土层，公众无法到达）	泄漏辐射	O-e
10		k	机房东迷道外墙外 30cm（冷却机房）	泄漏辐射	O ₂ -k
11		m ₁	机房顶棚次屏蔽墙外 30cm（医院地面绿化带）	泄漏辐射	O-m ₁
	散射辐射			O ₃ -O-m ₁	
12	m ₂	机房顶棚次屏蔽墙外 30cm（医院地面绿化带）	泄漏辐射	O-m ₂	
			散射辐射	O ₃ -O-m ₂	
13	迷路入口	g	机房防护门外 30cm	迷路散射	O ₁ -O-B-P-g
				泄漏辐射	O ₂ -g

表 11-2 直线加速器机房 2 关注点一览表

序号	关注区域	关注点	屏蔽体关注点描述	辐射束	路径
1	主射束区	a	机房北主屏蔽墙外 30cm（直线加速器机房 1）	主射辐射	O ₂ -a
2		b	机房南主屏蔽墙外 30cm（后装机房控制室）		O ₁ -b
3		j	机房顶棚主屏蔽墙外 30cm（医院地面绿化带）		O ₃ -j
4	非主射束区	c ₁	机房北次屏蔽墙外 30cm（直线加速器机房 1）	泄露辐射	O-C ₁
				散射辐射	O ₂ -O-C ₁

5		c ₂	机房北次屏蔽墙外 30cm (直线加速器机房 1)	泄露辐射	O-C ₂
				散射辐射	O ₂ -O-C ₂
6		d ₁	机房南次屏蔽墙外 30cm (土层, 公众无法到达)	泄露辐射	O-d ₁
				散射辐射	O ₁ -O-d ₁
7		d ₂	机房南次屏蔽墙外 30cm (后装治疗缓冲区域)	泄露辐射	O-d ₂
				散射辐射	O ₁ -O-d ₂
8		f	机房东迷道外墙外 30cm (控制室)	泄漏辐射	O-f
9		e	机房西墙外 30cm (土层, 公众无法到达)	泄漏辐射	O-e
10		k	机房东迷道外墙外 30cm (冷却机房)	泄漏辐射	O ₂ -k
11		m ₁	机房顶棚次屏蔽墙外 30cm(医院地面绿化带)	泄漏辐射	O-m ₁
				散射辐射	O ₃ -O-m ₁
12		m ₂	机房顶棚次屏蔽墙外 30cm(医院地面绿化带)	泄漏辐射	O-m ₂
				散射辐射	O ₃ -O-m ₂
13	迷路入口	g	机房防护门外 30cm	迷路散射	O ₁ -O-B-P-g
				泄漏辐射	O ₂ -g

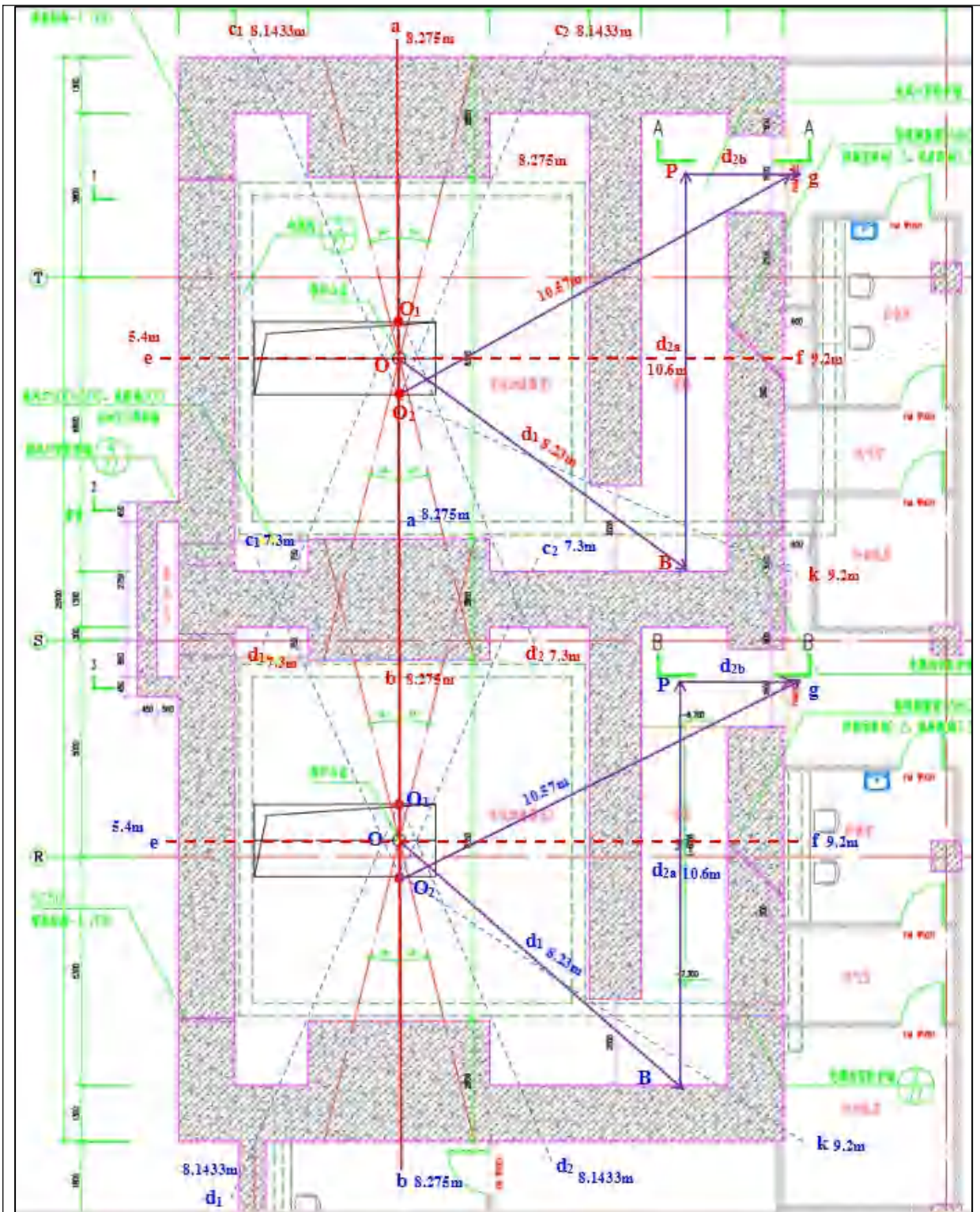


图 11-1 直线加速器机房关注点示意图（平面）

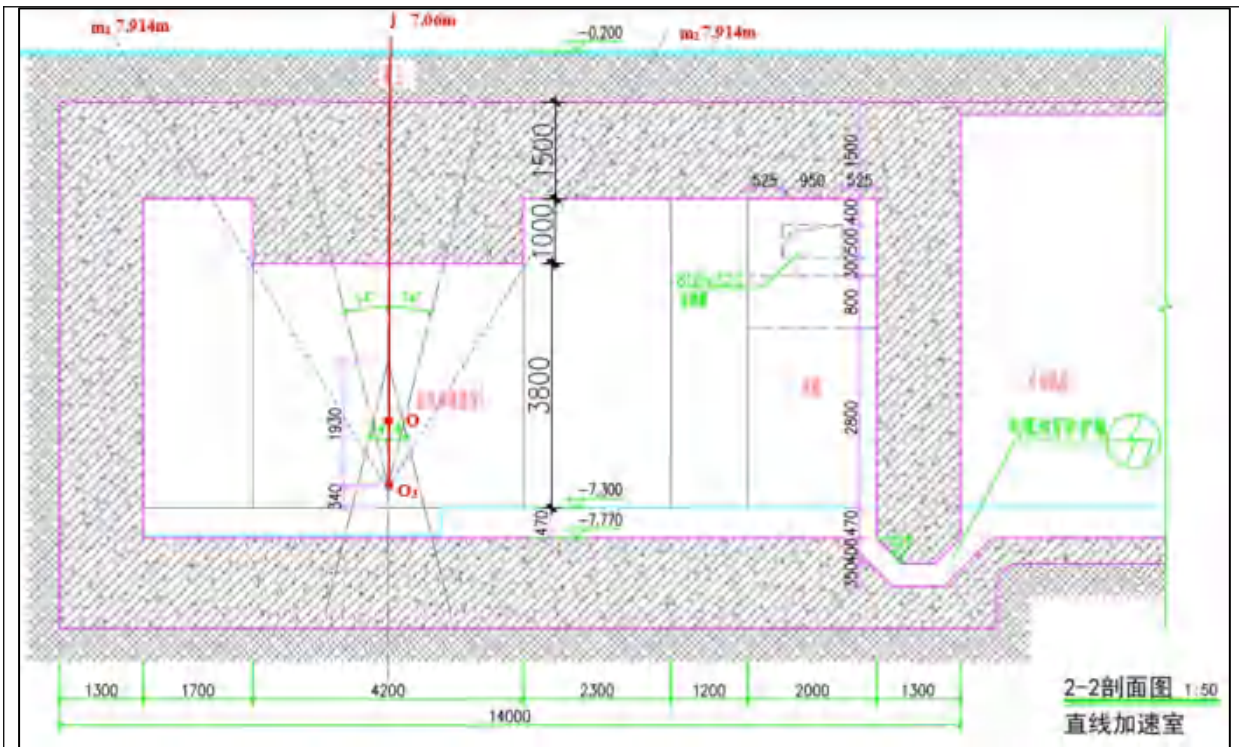


图 11-2 直线加速器机房关注点示意图（剖面）

2、关注点剂量率参考控制水平

①导出周围剂量当量率控制水平 $H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)

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 H_c ，见式（11-1）：

$$H_c \leq H_e / (t \times U \times T) \quad (\text{式 11-1})$$

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 ($\mu\text{Sv/周}$)；

t ——设备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 HJ1198-2021 附录 A。

根据 GBZ/T201.2-2011 附录 A，直线加速器放射治疗分为常规放射治疗和调强放射治疗（静态调强、拉弧调强），典型的常规放射治疗平均每名患者治疗照射时间为 1.5min，静态（或动态）调强放射治疗，平均每人照射野次约为常规放射治疗的 2 倍，调强因子 $N=2$ ，即治疗照射时间为 3min。拉弧调强放射治疗调强因子 N 约为 4，在屏蔽设计中，通常取 N 为 5，即治疗照射时间为 7.5min。

根据医院提供资料,本项目平均每台加速器设计治疗患者最大工作量为 30 人次/天, 5 天/周, 患者接受常规放射治疗以及调强放射治疗的人次未定, 本次评价按最不利情况, 考虑所有患者均按拉弧调强治疗进行计算, 每人每次最大出束照射时间约 7.5min, 则每台直线加速器治疗装置周治疗照射时间 $t=30 \times 5 \times 7.5\text{min}=18.75\text{h}/\text{周}$, 依据《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) 附录 A 中选取各关注点的居留因子。

表 11-3 居留因子的选取

场所	居留因子 (T)		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、移动式电子加速器的相邻手术室与诊室、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑物中的驻留区域
部分居留	1/4	1/2-1/5	1/2: 与屏蔽室相邻的患者检查室 1/5: 走廊、工作人员休息室
偶然居留	1/16	1/8-1/40	1/8: 各治疗机房房门外 30cm 处、相邻的(共用屏蔽墙)放射治疗机房 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场, 车辆自动卸货区域、楼梯、无人看管的电梯

表 11-4 直线加速器机房 1 关注点的导出剂量率控制水平

关注点		He($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	t(h/周)	U	T	Hc,d($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
a	机房北主屏蔽墙外 30cm(楼梯间)	5	18.75	1/4	1/40	42.67
b	机房南主屏蔽墙外 30cm(直线加速器机房 2)	5	18.75	1/4	1/8	8.53
j	机房顶棚主屏蔽墙外 30cm(医院地面绿化带)	5	18.75	1/4	1/20	21.33
f	控制室	100	18.75	1	1	5.33
k	冷却机房	5	18.75	1	1/16	4.27
e	机房西墙外 30cm(土层, 公众无法到达)	5	18.75	1	/	/
c ₁ 、c ₂	机房北次屏蔽墙外 30cm(楼梯间)	5	18.75	1	1/40	10.67
d ₁ 、d ₂	机房南次屏蔽墙外 30cm(直线加速器机房 2)	5	18.75	1	1/8	2.13
m ₁ 、m ₂	机房顶棚次屏蔽墙外 30cm(医院地面绿化带)	5	18.75	1	1/20	5.33

g	机房防护门入口	5	18.75	1	1/8	2.13
---	---------	---	-------	---	-----	------

注：依据 HJ1198-2021 附录 A，本项目关注点居留因子参考见表 11-3。

表 11-5 直线加速器机房 2 关注点的导出剂量率控制水平

关注点		He(μSv/周)	t(h/周)	U	T	Hc,d(μSv/h)
a	机房北主屏蔽墙外 30cm(直线加速器机房 1)	5	18.75	1/4	1/8	8.53
b	机房南主屏蔽墙外 30cm(后装机房控制室)	5	18.75	1/4	1	1.07
j	机房顶棚主屏蔽墙外 30cm(医院地面绿化带)	5	18.75	1/4	1/20	21.33
f	控制室	100	18.75	1	1	5.33
k	冷却机房	5	18.75	1	1/16	4.27
e	机房西墙外 30cm(土层, 公众无法到达)	5	18.75	1	/	/
c ₁ 、c ₂	机房北次屏蔽墙外 30cm(直线加速器机房 1)	5	18.75	1	1/8	2.13
d ₁	机房南次屏蔽墙外 30cm(土层, 公众无法到达)	5	18.75	1	/	/
d ₂	机房南次屏蔽墙外 30cm(后装治疗缓冲区域)	5	18.75	1	1/5	1.33
m ₁ 、m ₂	机房顶棚次屏蔽墙外 30cm(医院地面绿化带)	5	18.75	1	1/20	5.33
g	机房防护门入口	5	18.75	1	1/8	2.13

②根据 GBZ121-2020 中 6.3.1，按照关注点人员居留因子的下列不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量参考控制水平 Hc,max(μSv/h)：

- 1) 人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所：Hc,max ≤ 2.5μSv/h；
- 2) 人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所：Hc,max ≤ 10μSv/h。

③关注点的周围剂量当量率参考控制水平确定

根据《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)中的相关要求，选择各参考控制水平中较小值作为关注点的周围剂量当量率控制水平，具体取值见下表：

表 11-6 直线加速器机房 1 关注点周围剂量当量率控制值取值表

关注点	周围剂量当量率控制值取值依据		周围剂量当量率控制值取值 Hc(μSv/h)
	导出周围剂量当量率控制水平(μSv/h)	GBZ 121-2020 中 6.3.1.1b 要求(μSv/h)	
a	42.67	10	10

b	8.53	10	8.53
j	21.33	10	10
f	5.33	2.5	2.5
k	4.27	10	4.27
e	/	10	10
c ₁ 、c ₂	10.67	10	10
d ₁ 、d ₂	2.13	10	2.13
m ₁ 、m ₂	5.33	10	5.33
g	2.13	10	2.13

表 11-7 直线加速器机房 2 关注点周围剂量当量率控制值取值表

关注点	周围剂量当量率控制值取值依据		周围剂量当量率控制值取值 Hc (μSv/h)
	导出周围剂量当量率控制水平 (μSv/h)	GBZ 121-2020 中 6.3.1.1b 要求 (μSv/h)	
a	8.53	10	8.53
b	1.07	2.5	1.07
j	21.33	10	10
f	5.33	2.5	2.5
k	4.27	10	4.27
e	/	10	10
c ₁ 、c ₂	2.13	10	2.13
d ₁	/	10	10
d ₂	1.33	10	1.33
m ₁ 、m ₂	5.33	10	5.33
g	2.13	10	2.13

3、屏蔽防护计算公式

本次评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）和《放射治疗机房辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）中的公式进行计算，具体如下：

(1) 有效屏蔽厚度

$$X=X_e \cdot \cos\theta \quad (\text{式 11-2})$$

式中：

X——屏蔽物质厚度，cm；

X_e——有效屏蔽物质厚度，cm；

θ——斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

(2) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (\text{式 11-3})$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1) / TVL}$$

式中:

B——辐射屏蔽透射因子;

TVL₁——辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度, cm;

TVL——辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度, cm。

(3) 有用线束和泄漏辐射的屏蔽透射因子估算:

$$B = \frac{H_c}{H_o} \cdot \frac{R^2}{f} \quad (\text{式 11-4})$$

式中:

H_c——屏蔽体外关注点剂量率, μSv/h;

H_o——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率, μSv·m²/h (以 Sv·m²/min 为单位的值乘以 6×10⁷, 列如 1400cGy/min 单位换算后为 8.40E+08μSv·m²/h);

R——辐射源点(靶点)至关注点的距离, m;

f——对有用束为 1; 对泄漏辐射为泄漏辐射比率。

(4) 患者一次散射辐射的屏蔽透射因子估算:

$$B = \frac{H_c \times R_s^2}{H_o \times \alpha_{ph} \times (F / 400)} \quad (\text{式 11-5})$$

式中:

H_c——剂量率参考控制水平, μSv/h;

H_o——加速器有用线束中心轴 1m 处的常用最高剂量率, μSv·m²/h;

R_s——等中心点至关注点的距离, m;

α_{ph}——患者 400cm² 面积上的散射因子;

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积。

(5) 加速器 (≤10MeV) 机房的迷路散射辐射屏蔽与剂量估算:

①入口 g 处的散射剂量率计算公式如下:

$$H_g = \frac{\alpha_{ph} \times (F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \times H_0 \quad (\text{式 11-6})$$

式中:

H_g — 入口 g 处的散射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上的散射因子, 见附录 B 表 B.2; 30° 散射角的 10MV 的散射因子, 即 α_{ph} 为 3.18×10^{-3} , 30° 散射角的 6MV 的散射因子, 即 α_{ph} 为 2.77×10^{-3} ;

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 ;

α_2 —墙入射的患者散射辐射因子, 患者一次散射角为 45° , 墙入射角为 45° 墙散射角近似按 0° 计算, 根据 (GBZ/T201.2-2011) 中 5.2.6.1 b) 可知, 通常使用其 0.5MeV 栏内的值, 查 (GBZ/T201.2-2011) 中附录 B 表 B.6 得混凝土墙 45° 入射、 0° 散射、 1m^2 的散射因子 $\alpha_2 = 22 \times 10^{-3}$;

A—B 处散射面积 m^2 (图 11-1B 处迷道截面积); 机房 1 为 5.6m^2 , 机房 2 为 4.4m^2 。

R_1 —第一次散射路径 d_1 ; $R_1 = 8.23\text{m}$;

R_2 —第二次散射路径 d_2 ; $R_2 = 10.6\text{m}$, 第二次散射路径为屏蔽墙的一次散射, 保守考虑, 不再估算屏蔽墙的二次散射。

H_0 —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

② 入口处屏蔽计算

透射因子:
$$B = \frac{H_c - H_{og}}{H_g} \quad (\text{式 11-7})$$

式中:

H_c —剂量率参考控制水平;

H_{og} —加速器 o_2 处迷道内墙到 g 处漏射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$ 。

屏蔽厚度:
$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} \quad (\text{式 11-8})$$

式中: TVL—g 处散射能量约为 0.2MeV 的什值层, 5mmPb 。

4、屏蔽核算

本项目直线加速器 X 射线配置两个档位 10MV 和 6MV, 10MV 档位最高剂量率为 600cGy/min , 6MV 档位 FFF 模式下最高剂量率为 1400cGy/min 。为同时了解 X 射线档位 10MV 和 6MV 对屏蔽体外的不同辐射环境影响, 本项目屏蔽核算以 X 射线能量档

位 10MV/6MV，最高剂量率 600cGy/min/1400cGy/min 为参数进行计算。

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）附录 B，各类辐射在屏蔽材料中的什值层详见下表：

表 11-8 各类辐射在屏蔽材料中的什值层

X 射线能量	混凝土 cm				
	有用束		泄漏辐射		30°散射
	TVL1	TVL	TVL1	TVL	TVL
10MV	41	37	35	31	28
6MV	37	33	34	29	26

①主屏区

直线加速器机房主屏蔽区屏蔽厚度按有用线束估算，关注点为图 11-1 中的 a、b 点，图 11-2 中的 j 点，采用公式 11-4 进行估算，估算参数和估算结果见下表。

表 11-9 直线加速器 1 主屏蔽区计算参数及结果一览表

关注点		a 机房北主屏蔽墙 外 30cm（楼梯间）	b 机房南主屏蔽墙 外 30cm（直线加 速器机房 2）	j 机房顶棚主屏蔽 墙外 30cm（医院 地面绿化带）
计算参数	屏蔽厚度 X（cm）	280	280	250
	斜射角 θ （°）	0	0	0
	TVL ₁ （cm）	10MV: 41 6MV: 37	10MV: 41 6MV: 37	10MV: 41 6MV: 37
	TVL（cm）	10MV: 37 6MV: 33	10MV: 37 6MV: 33	10MV: 37 6MV: 33
	H ₀ （ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ）	10MV: 3.6E+08 6MV: 8.4E+08	10MV: 3.6E+08 6MV: 8.4E+08	10MV: 3.6E+08 6MV: 8.4E+08
	f	1	1	1
	R（m）	8.275	8.275	7.06
计算结果	H _c （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	10MV: 0.18252 6MV: 0.0531	10MV: 0.18252 6MV: 0.0531	10MV: 1.622 6MV: 0.592
周围剂量当量率控制水平 H _c （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）		10	8.53	10
已建设屏蔽厚度是否满足防护要求		满足	满足	满足
是否达标		达标	达标	达标

表 11-9（续表） 直线加速器 2 主屏蔽区计算参数及结果一览表

关注点		a 机房北主屏蔽墙 外 30cm（直线加 速器机房 1）	b 机房南主屏蔽墙 外 30cm（后装机 房控制室）	j 机房顶棚主屏蔽 墙外 30cm（医院 地面绿化带）

计算参数	屏蔽厚度 X (cm)	280	280	250
	斜射角 θ ($^{\circ}$)	0	0	0
	TVL ₁ (cm)	10MV: 41 6MV: 37	10MV: 41 6MV: 37	10MV: 41 6MV: 37
	TVL (cm)	10MV: 37 6MV: 33	10MV: 37 6MV: 33	10MV: 37 6MV: 33
	H ₀ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	10MV: 3.6E+08 6MV: 8.4E+08	10MV: 3.6E+08 6MV: 8.4E+08	110MV: 3.6E+08 6MV: 8.4E+08
	f	1	1	1
	R (m)	8.275	8.275	7.06
计算结果	H _c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	10MV: 0.18252 6MV: 0.0531	10MV: 0.18252 6MV: 0.0531	10MV: 1.622 6MV: 0.592
周围剂量当量率控制水平 H _c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)		8.53	1.07	10
已建设屏蔽厚度是否满足防护要求		满足	满足	满足
是否达标		达标	达标	达标

根据上表 11-9 可知，本项目已建加速器机房 1、2 主屏蔽墙体厚度可满足计算预测的防护要求。

②与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区

根据 GBZ/T201.2-2011，与主屏蔽区直接连接的次屏蔽区需要考虑有用线束水平照射或向顶照射时人体的散射辐射以及加速器的泄漏辐射。次屏蔽区计算参数和计算结果见下表：

表 11-10 直线加速器 1 次屏蔽区计算参数及结果一览表

关注点		c ₁ 、c ₂ 机房北次屏蔽墙外 30cm (楼梯间)	d ₁ 、d ₂ 机房南次屏蔽墙外 30cm (直线加速器机房 2)	m ₁ 、m ₂ 机房顶棚次屏蔽墙外 30cm (医院地面绿化带)
屏蔽厚度 X (cm)		130	130	150
泄露辐射计算参数及结果	漏射线斜射角 θ ($^{\circ}$)	26.7	26.7	40.03
	有效屏蔽物质厚度 X _e	145.52	145.52	195.90
	泄漏 TVL ₁ (cm)	10MV: 35 6MV: 34	10MV: 35 6MV: 34	10MV: 35 6MV: 34
	泄漏 TVL (cm)	10MV: 31 6MV: 29	10MV: 31 6MV: 29	10MV: 31 6MV: 29
	屏蔽透射因子 B	10MV: 2.72E-05 6MV: 1.4276E-05	10MV: 2.72E-05 6MV: 1.4276E-05	10MV: 6.453E-07 6MV: 2.6142E-07
	R (m)	8.1433	7.3	7.914

	H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	110MV: 3.6E+08 6MV: 8.4E+08	10MV: 3.6E+08 6MV: 8.4E+08	10MV: 3.6E+08 6MV: 8.4E+08
	f	0.001	0.001	0.001
	关注点泄漏辐射 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	10MV: 0.148 6MV: 0.181	10MV: 0.184 6MV: 0.225	10MV: 0.004 6MV: 0.004
散射辐射计算参数及结果	散射 TVL (cm)	10MV: 28 6MV: 26	10MV: 28 6MV: 26	10MV: 28 6MV: 26
	散射 TVL1 (cm)	10MV: 28 6MV: 26	10MV: 28 6MV: 26	10MV: 28 6MV: 26
	屏蔽透射因子 B	10MV: 6.0E-07 6MV: 6.5E-07	10MV: 6.0E-07 6MV: 6.5E-07	10MV: 3.8E-08 6MV: 9.8E-08
	a_{ph}	10MV: 3.18E-03 6MV: 2.77E-03	10MV: 3.18E-03 6MV: 2.77E-03	10MV: 3.18E-03 6MV: 2.77E-03
	F (cm^2)	1600	1600	1600
	R_s (m)	8.1433	7.3	7.914
	关注点散射辐射 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	10MV: 0.165 6MV: 0.092	10MV: 0.205 6MV: 0.114	10MV: 0.011 6MV: 0.014
关注点叠加值 H_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	10MV: 0.313 6MV: 0.273	10MV: 0.389 6MV: 0.339	10MV: 0.015 6MV: 0.018	
周围剂量当量率控制水平 H_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	10	2.13	5.33	
已建屏蔽厚度是否满足要求	满足	满足	满足	
是否达标	达标	达标	达标	

表 11-10 (续表) 直线加速器 2 次屏蔽区计算参数及结果一览表

关注点	c_1 、 c_2 机房北次屏蔽墙外 30cm (直线加速器机房 1)	d_1 机房南次屏蔽墙外 30cm(土层, 公众无法到达) d_2 机房南次屏蔽墙外 30cm (后装治疗缓冲区域)	m_1 、 m_2 机房顶棚次屏蔽墙外 30cm (医院地面绿化带)	
屏蔽厚度 X (cm)	130	130	150	
泄露辐射计算参数及结果	漏射线斜射角 θ ($^\circ$)	26.7	26.7	40.03
	有效屏蔽物质厚度 X_e	145.52	145.52	195.90
	泄漏 TVL1 (cm)	10MV: 35 6MV: 34	10MV: 35 6MV: 34	10MV: 35 6MV: 34
	泄漏 TVL (cm)	10MV: 31 6MV: 29	10MV: 31 6MV: 29	10MV: 31 6MV: 29
	屏蔽透射因子 B	10MV: 2.72E-05 6MV: 1.4276E-05	10MV: 2.72E-05 6MV: 1.4276E-05	10MV: 6.453E-07 6MV: 2.6142E-07
	R (m)	7.3	8.1433	7.914
	H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	110MV: 3.6E+08	110MV: 3.6E+08	110MV: 3.6E+08

		6MV: 8.4E+08	6MV: 8.4E+08	6MV: 8.4E+08
	f	0.001	0.001	0.001
	关注点泄漏辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	10MV: 0.184 6MV: 0.225	10MV: 0.148 6MV: 0.181	10MV: 0.004 6MV: 0.004
散射辐射计算参数及结果	散射 TVL (cm)	10MV: 28 6MV: 26	10MV: 28 6MV: 26	10MV: 28 6MV: 26
	散射 TVL1 (cm)	10MV: 28 6MV: 26	10MV: 28 6MV: 26	10MV: 28 6MV: 26
	屏蔽透射因子 B	10MV: 6.0E-07 6MV: 6.5E-07	10MV: 6.0E-07 6MV: 6.5E-07	10MV: 3.8E-08 6MV: 9.8E-08
	a_{ph}	10MV: 3.18E-03 6MV: 2.77E-03	10MV: 3.18E-03 6MV: 2.77E-03	10MV: 3.18E-03 6MV: 2.77E-03
	F (cm ²)	1600	1600	1600
	R _s (m)	7.3	8.1433	7.914
	关注点散射辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	10MV: 0.205 6MV: 0.114	10MV: 0.165 6MV: 0.092	10MV: 0.011 6MV: 0.014
关注点叠加值 Hc ($\mu\text{Sv/h}$)	10MV: 0.389 6MV: 0.339	10MV: 0.313 6MV: 0.273	10MV: 0.015 6MV: 0.018	
周围剂量当量率控制水平 Hc ($\mu\text{Sv/h}$)	2.13	d ₁₀ 、d ₂ 1.33	5.33	
已建屏蔽厚度是否满足要求	满足	满足	满足	
是否达标	达标	达标	达标	

注：次屏蔽区关注点泄露辐射屏蔽墙的斜射角 θ 根据图 11-1、图 11-2 计算得出。根据 GBZ/T201.2-2011 第 4.3.2.4 条：人体的散射辐射屏蔽墙的斜射角与散射角相同，本次评价偏保守计算，散射辐射屏蔽墙的斜射角与泄露辐射屏蔽墙的斜射角取值相同。根据 GBZ/T201.2-2011 第 5.1.2 条：当未指明 TVL₁ 时，TVL₁=TVL。

根据上表可知，本项目加速器机房次屏蔽墙体设计厚度可满足计算预测的防护要求。

③侧屏蔽墙

根据 GBZ/T201.2-2011，侧屏蔽墙主要考虑泄漏辐射，关注点为图 11-1 中的 e 点（机房西墙外 30cm、土层）、f 点（侧屏蔽墙，迷路外墙+迷路内墙）、k 点（侧屏蔽墙，迷路外墙），估算参数和估算结果见下表：

表 11-11 直线加速器 1、2 侧屏蔽墙计算参数及结果一览表

关注点		e 机房西墙外 30cm (土层，公众无法到达)	f 控制室	k 冷却机房
计算参数	X (cm)	130	250	130
	斜射角 θ (°)	0	0	0
	TVL1 (cm)	10MV: 35	10MV: 35	10MV: 35

		6MV: 34	6MV: 34	6MV: 34
	TVL (cm)	10MV: 31 6MV: 29	10MV: 31 6MV: 29	10MV: 31 6MV: 29
	H0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	10MV: 3.6E+08 6MV: 8.4E+08		
	f	0.001	0.001	0.001
	R (m)	5.4	9.2	9.2
计算结果	H ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	10MV: 1.064 6MV: 1.41	10MV: 0 6MV: 0	10MV: 0.367 6MV: 0.486
周围剂量当量率控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)		10	2.5	4.27
已建屏蔽厚度是否满足要求		满足	满足	满足
是否达标		达标	达标	达标

注: 根据 GBZ/T201.2-2011 第 4.3.2.4 条: 迷道外墙 k 点泄露辐射的斜射角较小, 通常以 0° 垂直入射保守估算。

根据上表可知, 本项目加速器机房侧屏蔽墙设计厚度可满足计算预测的防护要求。

④ 机房入口处

机房入口处 (关注点为图 11-1 中的 g 点) 需考虑散射辐射、泄漏辐射, 根据 GBZ/T201.2-2011, 当迷路入口以 $2.13\mu\text{Sv}/\text{h}$ 剂量率控制时, 在 g 处的泄漏辐射剂量率应小于其 1/4, 保守取 $0.5325\mu\text{Sv}/\text{h}$, 估算参数和估算结果见表 11-12、表 11-13:

表 11-12 直线加速器 1、2 机房入口处泄露射线计算参数及结果一览表

关注点		g
计算参数	迷道内墙设计屏蔽厚度 X (cm)	120
	斜射角 θ ($^\circ$)	29.5
	有效屏蔽物质厚度 X_e	137.9
	泄漏 TVL1 (cm)	10MV: 35 6MV: 34
	泄漏 TVL (cm)	10MV: 31 6MV: 29
	H0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	10MV: 3.6E+08 6MV: 8.4E+08
	f	0.001
	R (m)	10.57
计算结果	关注点泄漏辐射 Hog ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	10MV: 0.155 6MV: 0.197
周围剂量当量率控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)		0.5325
设计屏蔽厚度是否满足要求		满足

是否达标	达标
------	----

根据上表可知，本项目加速器机房迷道内墙设计厚度可满足机房入口泄露辐射剂量预测值小于 1/4 的控制值要求，且预测泄露辐射剂量值较小，因此，已建的迷道内墙厚度可满足预测的防护要求。

表 11-13 直线加速器 1 机房入口处散射辐射计算参数及结果一览表

关注点		g
计算参数	F (cm ²)	1600
	aph	10MV: 3.18×10 ⁻³ 6MV: 2.77×10 ⁻³
	H0 (μSv·m ² /h)	10MV: 3.6E+08 6MV: 8.4E+08
	α2	22×10 ⁻³
	A (m ²)	5.6
	R ₁ (m)	8.23
	R ₂ (m)	10.6
计算结果	关注点散射辐射 Hg (μSv/h)	10MV: 74.13 6MV: 150.6671

表 11-13 (续表) 直线加速器 2 机房入口处散射辐射计算参数及结果一览表

关注点		g
计算参数	F (cm ²)	1600
	aph	10MV: 3.18×10 ⁻³ 6MV: 2.77×10 ⁻³
	H0 (μSv·m ² /h)	10MV: 3.6E+08 6MV: 8.4E+08
	α2	22×10 ⁻³
	A (m ²)	4.4
	R ₁ (m)	8.23
	R ₂ (m)	10.6
计算结果	关注点散射辐射 Hg (μSv/h)	10MV: 61.48 6MV: 118.3813

本项目加速器机房防护门为内衬 15mmPb 铅板，则防护门外剂量率计算参数及结果见表 11-14:

表 11-14 直线加速器机房 1 入口处剂量率辐射计算参数及结果一览表

关注点		g
计算参数	X (cm)	1.5

	TVL (cm)	0.5
	Hg	10MV: 74.13 6MV: 150.6671
	Hog	10MV: 0.155 6MV: 0.197
计算结果	Hc (μSv/h)	10MV: 0.229 6MV: 0.348
周围剂量当量率控制水平 (μSv/h)		2.13
设计屏蔽厚度是否满足要求		满足
是否达标		达标

表 11-14 (续表) 直线加速器机房 2 入口处剂量率辐射计算参数及结果一览表

关注点		g
计算参数	X (cm)	1.5
	TVL (cm)	0.5
	Hg	10MV: 61.48 6MV: 118.3813
	Hog	10MV: 0.155 6MV: 0.197
计算结果	Hc (μSv/h)	10MV: 0.216 6MV: 0.315
周围剂量当量率控制水平 (μSv/h)		2.13
设计屏蔽厚度是否满足要求		满足
是否达标		达标

注: 入口处 g 处散射能量约为 0.2MeV 的什值层, TVL 取 5mmPb。

表 11-15 直线加速器机房 1 各关注点剂量率估算统计结果一览表

关注点	估算值(μSv/h)	周围剂量当量率控制水平 (μSv/h)	达标情况
a 机房北主屏蔽墙外 30cm (楼梯间)	10MV: 0.18252 6MV: 0.0531	10	达标
b 机房南主屏蔽墙外 30cm (直线加速器 机房 2)	10MV: 0.18252 6MV: 0.0531	8.53	达标
j 机房顶棚主屏蔽墙外 30cm(医院地面绿 化带)	10MV: 1.622 6MV: 0.592	10	达标
f 控制室	10MV: 0 6MV: 0	2.5	达标
k 冷却机房	10MV: 0.367	4.27	达标

	6MV: 0.486		
e 机房西墙外 30cm (土层, 公众无法到达)	10MV: 1.064 6MV: 1.41	10	达标
c1、c2 机房北次屏蔽墙外 30cm (楼梯间)	10MV: 0.313 6MV: 0.273	10	达标
d1、d2 机房南次屏蔽墙外 30cm (直线加速器机房 2)	10MV: 0.389 6MV: 0.339	2.13	达标
m1、m2 机房顶棚次屏蔽墙外 30cm (医院地面绿化带)	10MV: 0.015 6MV: 0.018	5.33	达标
g 机房防护门入口	10MV: 0.229 6MV: 0.348	2.13	达标

表 11-15 (续表) 直线加速器机房 2 各关注点剂量率估算统计结果一览表

关注点	估算值($\mu\text{Sv/h}$)	周围剂量当量率控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	达标情况
a 机房北主屏蔽墙外 30cm (直线加速器机房 1)	10MV: 0.18252 6MV: 0.0531	8.53	达标
b 机房南主屏蔽墙外 30cm (后装机房控制室)	10MV: 0.18252 6MV: 0.0531	1.07	达标
j 机房顶棚主屏蔽墙外 30cm (医院地面绿化带)	10MV: 1.622 6MV: 0.592	10	达标
f 控制室	10MV: 0 6MV: 0	2.5	达标
k 冷却机房	10MV: 0.367 6MV: 0.486	4.27	达标
e 机房西墙外 30cm (土层, 公众无法到达)	10MV: 1.064 6MV: 1.41	10	达标
c1、c2 机房北次屏蔽墙外 30cm (直线加速器机房 1)	10MV: 0.389 6MV: 0.339	2.13	达标
d1 机房南次屏蔽墙外 30cm (土层, 公众无法到达)、 d2 机房南次屏蔽墙外 30cm (后装治疗缓冲区域)	10MV: 0.313 6MV: 0.273	d ₁ 10、d ₂ 1.33	达标
m1、m2 机房顶棚次屏蔽墙外 30cm (医院地面绿化带)	10MV: 0.015 6MV: 0.018	5.33	达标
g 机房防护门入口	10MV: 0.216 6MV: 0.315	2.13	达标

由上表可知, 直线加速器机房采取拟设计的屏蔽防护措施后, 加速器机房外各关注点周围剂量当量率均能满足标准及剂量率控制水平的要求。

根据上表 11-9~表 11-14 可知, 直线加速器机房屏蔽墙体、防护门外周围剂量当量率均低于各关注点周围剂量当量率控制值取值要求, 因此, 在现有设计墙体及防护门厚

度条件下，本项目两个直线加速器机房墙体厚度及防护门厚度均能满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）及《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2—2011）中的标准要求。

本评价要求建设单位在施工过程中必须采取有效措施，确保施工质量，防护门应由厂家进行安装，要求防护门门体与墙体重叠长度不小于门与墙体间隙的 10 倍。

5、主屏蔽区半宽度计算

根据《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），主屏蔽区的半宽度 Y 的计算公式如下：

$$Y = (\alpha + SAD) \tan\theta + 0.3$$

式中：

Y—机房有用线束主屏蔽区的半宽度，m；

θ —治疗束的最大半张角，14°；

α —等中心线至墙的距离；当主屏蔽区向机房内凸时，墙指与主屏蔽相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽区向机房外凸时，墙指与主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

治疗距离：SAD=100cm，等中心 o 高度：134cm。

表 11-16 01 直线加速器机房主屏蔽区半宽度（等中心安装）

点位	位置描述	等中心至墙的距离（m）	计算半宽度（m）	实际采取的半宽度（m）	符合性分析
1	北侧主屏蔽墙	5.675	1.964	2.1	符合
2	南侧主屏蔽墙	6.975	2.29	2.1	不符合
3	顶棚主屏蔽墙	3.46	1.412	2.1	符合

表 11-16（续） 02 直线加速器机房主屏蔽区半宽度（等中心安装）

点位	位置描述	等中心至墙的距离（m）	计算半宽度（m）	实际采取的半宽度（m）	符合性分析
1	北侧主屏蔽墙	6.975	2.29	2.1	不符合
2	南侧主屏蔽墙	5.675	1.964	2.1	符合
3	顶棚主屏蔽墙	3.46	1.412	2.1	符合

直线加速器机房主屏蔽区半宽度计算选取参数见图 11-1、图 11-2，计算结果见表 11-16，本项目直线加速器机房已浇筑，两个机房相连主屏蔽区为双向外凸，根据主屏

蔽区半宽度向机房外凸计算，已建设相连主屏蔽区半宽度不符合要求，缺少 0.19cm，其他主屏蔽墙体半宽度满足标准要求。由于机房内有效长宽尺寸较大，平移直线加速器主体也无法使机房南北方向主屏蔽墙体半宽度同时满足要求，因此本次评价要求两个直线加速器机房采取相关针对性可行解决措施如下：

在相连主屏蔽墙外凸两端采取适当措施，横向延伸宽度按半宽度缺口补足，保障无漏射。

6 有害气体分析

①感生放射性分析

光-核反应产生的中子与加速器结构材料和空气发生的 (n, γ) 反应产生的感生放射性，空气中会产生少量感生放射性气体；在加速器运行期间，由于加速器机房有足够的结构屏蔽，其部件产生的感生放射性不会危害在屏蔽体外的工作人员，但停机后工作人员进入治疗室内可能会受到感生放射性辐射。它的强度与入射粒子的能量和注量有关，但停机后感生放射性衰变很快。它的半衰期一般仅为几分钟，所以感生放射性的有效防护措施一般是关机后等待一段时间之后再进入机房。通过机械通风生放射性气体排至室外后很快便可衰变到可忽略的水平。少量的有害气体直接与大气接触、不累积，很快被空气的对流、扩散作用所稀释，不会影响机房外环境空气质量。

为避免加速器室内感生放射性对辐射工作人员造成的危害，建议：

a. 医务人员和患者都尽可能减少加速器室内滞留时间，或等待停机 5~10min 后再进入机房。

b. 加强加速器室内通风，保持加速器治疗室内的空气流动。

②臭氧和氮氧化物

本项目医用直线加速器射线装置运行过程中空气电离产生的少量臭氧 (O_3) 和氮氧化物 (NO_x) 通过通风系统排出机房外，少量的臭氧和氮氧化物的排放对环境影响较小。本项目射线机房墙体对外无采光通风窗，安装了通风装置和空气净化装置，根据医院提供资料，加速器机房拟安装设计风量为 $2000 \text{ m}^3/\text{h}$ 排风机，在不考虑损耗的情况下，机房内通风换气次数满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) 标准中“通风换气次数不小于 4 次/h”的要求，能有效的排除机房内的有害气体，保证室内空气质量满足标准要求。

③高能电子束

本项目医用电子加速器产生的电子最高标称能量为 18MeV，经加速后的电子受到金属靶件的阻止产生轫致辐射-X 射线，由于 X 射线的贯穿能力极强，可对周围环境造成一定的辐射污染，但运行时产生的 X 射线随加速器的开、关而产生和消失；高能电子束贯穿能力远弱于 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。

7 放射性固体废物环境影响分析

本项目医用直线加速器在大修更换金属靶件或者设备退役时会有废靶件产生，废靶件由加速器供应商回收，不在医院存储，不会对周围环境产生明显影响。

8 射线装置报废

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》以及《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年 3 月 2 日修订实施），本环评要求：本项目使用的射线装置在进行报废处理时，应将该射线装置内的高压射线管进行拆卸和去功能化，同时将射线装置的主机电源线绞断，使射线装置不能正常通电，防止二次通电使用，造成误照射。

（二）后装治疗机

1、关注点

表 11-17 后装治疗机房关注点一览表

序号	关注点	屏蔽体关注点描述
1	a(楼梯间)	东屏蔽墙外 30cm
2	b(通道)	南屏蔽墙外 30cm
3	d(控制室)	北迷路外墙外 30cm
4	j(医院地面绿化区域)	顶棚上方 30cm
5	g	防护门外 30cm

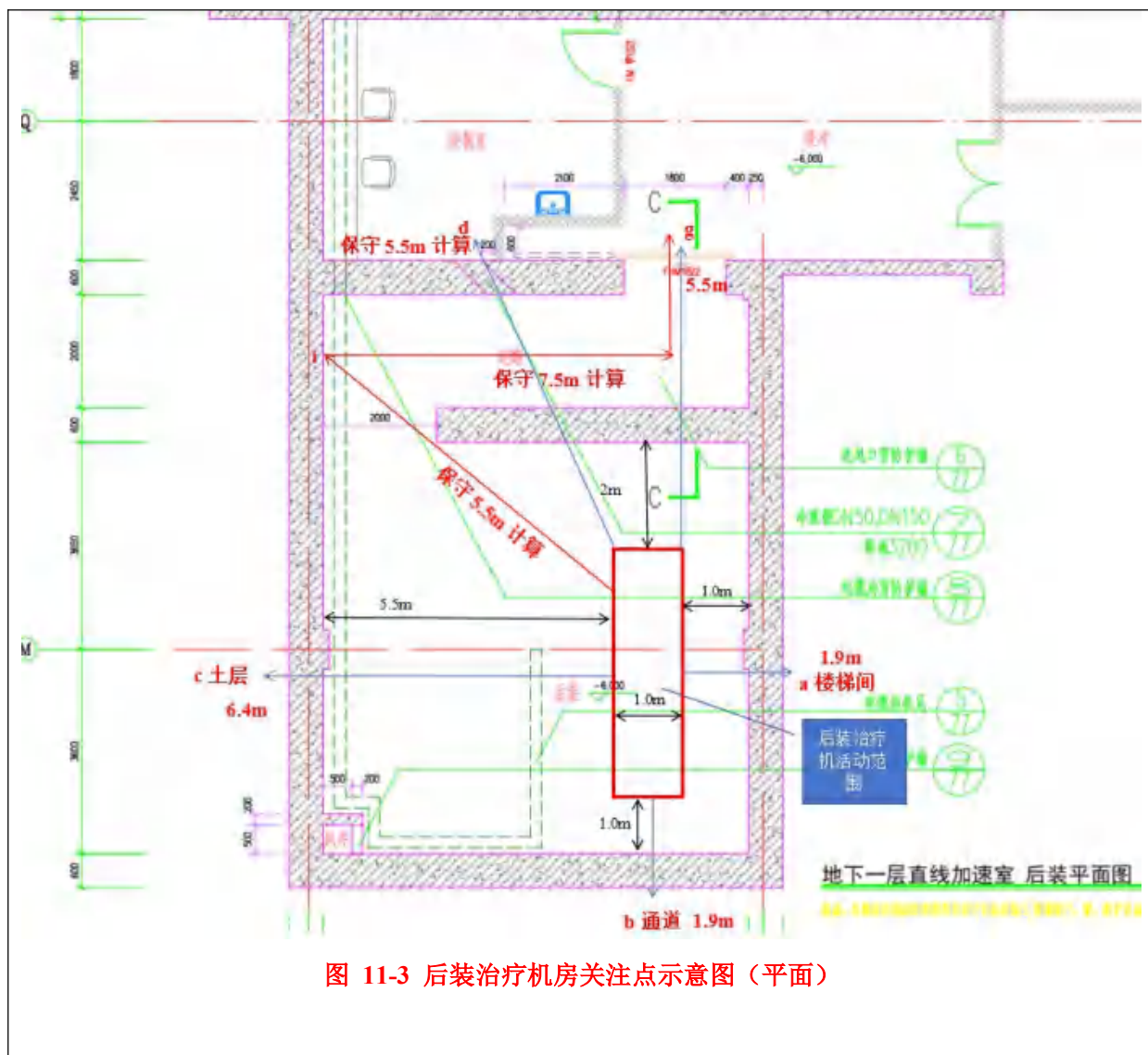


图 11-3 后装治疗机房关注点示意图（平面）



图 11-4 后装治疗机房关注点示意图（剖面）

2、关注点剂量率参考控制水平

①导出剂量率控制水平 $H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)

计算公式见式 11-1，根据医院工作计划，本项目后装治疗机设计工作量为 10 人次/天，3 天/周（星期一、星期三、星期五），考虑 ^{192}Ir 放射源半衰期为 74d，医院每半年更换一次 ^{192}Ir 旧放射源，为了保证患者单次照射 5Gy 所需照射时间，本次环评按每人

次可能出现的最大出束照射时间 10min 保守计算，则治疗装置周治疗照射时间 $t=10 \times 3 \times 10=300\text{min}/\text{周}=5\text{h}/\text{周}$ ，依据表 11-3 确定本项目关注点的居留因子取值。本项目后装治疗关注点导出剂量控制水平如下：

表 11-15 后装治疗机关注点的导出剂量率控制水平

关注点	He ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	t (h)	U	T	Hc,d ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
a(楼梯间)	2	5	1	1/40	16
b(通道)	2	5	1	1/5	2
d(控制室)	100	5	1	1	20
j(医院地面绿化区域)	2	5	1	1/20	8
g(防护门外)	2	5	1	1/5	2

②根据 GBZ/T201.3-2014 中 4.1.1，按照关注点人员居留因子的下列不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,\max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)：

- 1) 人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所： $H_{c,\max} \leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；
- 2) 人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所： $H_{c,\max} \leq 10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

③关注点的剂量率控制水平确定

根据《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)中的相关要求，选择各参考控制水平中较小值作为关注点的剂量率控制水平，具体取值见下表：

表 11-18 关注点剂量率控制值取值表

关注点	控制值取值依据		剂量率控制值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
	导出剂量率控制水平	GBZ/T201.3-2014 中 4.1.1	
a(楼梯间)	16	10	10
b(通道)	2	10	2
d(控制室)	20	2.5	2.5
j(医院地面绿化区域)	8	10	8
g(防护门外)	2	10	2

3、屏蔽防护计算公式

本评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分：γ射线放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中的公式进行计算，具体如下：

(1) 有效屏蔽厚度

见式 11-2。

(2) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

见式 11-3。

(3) 初级辐射的屏蔽

$$B = \frac{H_c}{H_0} \cdot \frac{R^2}{f} \quad (\text{式 11-9})$$

式中：

B——屏蔽透射因子

H_c——屏蔽体外关注点剂量率，μSv/h；

H₀——活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，μSv·h；

R——辐射源点至关注点的距离，m；

f——后装机取 1；

式中：

$$H_0 = A \cdot K_\gamma \quad (\text{式 11-10})$$

A——可同时用于治疗放射源的活度的总和，单位为 MBq；

K_γ——放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，此时，K_γ的单位记为μSv/（h·MBq）。

(4) 防护门入口处的散射辐射

$$H_g = A \cdot K_\gamma \cdot S_w \cdot \alpha_w / (R_1^2 \cdot R_2^2) \quad (\text{式 11-11})$$

H_g——入口 g 处的散射辐射剂量，μSv/h；

A——放射源的活度，单位为 MBq；

K_γ——放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，此时，K_γ的单位记为μSv/（h·MBq）；

S_w——迷路内口墙的散射面积，5.6m²；

α_w——散射体的散射因子，3.39×10⁻²；

R₁——辐射源至散射体中心点的距离，5.5m；

R₂——散射体中心点至计算点的距离，7.5m；

根据下述计算结果，在没有防护门时，治疗机房迷路入口处的散射辐射剂量率可达4.582μSv/h。经迷路壁两次散射后迷路口的散射辐射能量约0.25MeV，铅中的TVL为5mm，而该后装机房的防护门设计为5mm铅当量，经防护门屏蔽后迷路口的辐射剂量率利用公式 11-14 计算。

$$H = H_g \cdot 10^{- (X/TVL)} + H_{og} \quad (\text{式 11-12})$$

4、屏蔽核算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分：γ射线放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014），本项目关注点 a、b、d、j 主要考虑初级辐射影响，计算结果见表 11-19；g 点考虑泄露辐射（初级辐射）和散射辐射的叠加影响，计算参数及结果见表 11-20：

表 11-19 后装机机房初级辐射影响计算参数及结果一览表

关注点	a	b	d	j	g	
计算参数	屏蔽厚度 X (cm)	60	60	120	60	60
	θ (°)	0	0	0	0	0
	TVL (cm)	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2
	A (MBq)	3.70E+5				
	f	1	1	1	1	1
	K _γ	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
	R (m)	1.9	1.9	5.5	5.1	5.5
计算结果	H (μSv/h)	1.284	1.284	1.73E-05	0.178	0.153
剂量率控制水平 (μSv/h)		10	2	2.5	8	2
是否达标		达标	达标	达标	达标	初级辐射叠加散射辐射后分析

表 11-20 后装机房入口处辐射剂量计算参数及结果一览表

关注点	g
-----	---

计算参数	屏蔽厚度 x (铅、mm)	5
	S_w (m ²)	5.6
	α_w	3.39×10^{-2}
	TVL (铅、cm)	0.5
	A (MBq)	3.70E+5
	f	1
	K_γ	0.111
	R_1 (m)	5.5
	R_2 (m)	7.5
	初级辐射 H_{0g}	0.153
计算结果	散射辐射 H_g (μSv/h)	4.582
	H (μSv/h)	0.6112
剂量率控制水平 (μSv/h)		2
是否达标		达标

表 11-21 各关注点剂量率估算统计结果一览表

关注点	估算值 (μSv/h)	剂量率控制水平 (μSv/h)	达标情况
a	1.284	16	达标
b	1.284	2	达标
d	1.73E-05	20	达标
j	0.178	8	达标
g	0.6112	2	达标

根据计算可知，本项目后装机房屏蔽体（防护墙、防护门）防护合理，可以满足辐射防护要求。

本项目后装治疗机使用 ¹⁹²Ir 放射源，由于在实际工作中存在供源方无法及时回收废弃的放射源的情况，存在新购的放射源已经投入使用，但废源仍在后装机机房内暂存的情况。根据《后装γ源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017，已 GBZ121-2020 替代，此处仅作参考）第 4.2.2 款规定：工作贮源器（包括供运输（或暂存）放射治疗源用的运输贮源器和供后装机配套用的工作贮源器）内装载最大容许活度的放射源时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，因泄露辐射所致的周围剂量当量率不大于 50μSv/h；

距离贮源器表面 100cm 处的球面上,任何一点的泄露辐射所致的周围剂量当量率不大于 5 μ Sv/h。暂存 ^{192}Ir 放射源在经过贮源器和机房墙体的双重屏蔽后,其对机房屏蔽体外贡献值可以忽略不计。

5、有害气体的环境影响分析

后装机机房需要良好的通风,以降低臭氧及氮氧化物等有害气体浓度。根据设计资料,本项目后装机房拟设置独立的进排风管道,在机房内设置了 1 个排风口,位于机房西南角,距地面 30cm 处;设置 4 个送风口,位于机房吊顶处。机房通风管道均设置了电动防火阀和风量调节阀,送风管道从防护门上方以空腔的形式进入机房迷道内,排风管道以 60°形式进入排风井,其机械通风设施符合“上进下出、对角设置”的原则。根据医院提供资料,后装治疗机房排风机风量为 2000 m³/h,满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)标准中“不小于 4 次/h”的要求,有害气体用管道连接排至室外。另外机房通风排风管外口不朝向环境敏感点并远离空调进风口。在此基础上,因排放室外有限的有害气体经空气稀释,将很快恢复到原来的空气浓度水平,加上 O₃ 的分解时间不到 10 分钟,能满足环境空气质量标准。

6、放射源运输和放射性固体废物环境影响分析

^{192}Ir 放射源的运输由生产厂家负责运输,其运输应严格按照《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019)的要求操作。

后装机运行时无放射性废气、废水产生,放射性废弃物为更新后换下的 ^{192}Ir 密封源。 ^{192}Ir 放射源由放射源生产单位负责运输,放射设备损坏或者放射源退役后,须有资质的检测公司进行辐射检测后,设备按照有关规定进行退役,放射源由厂家统一回收(在购置放射源时,与厂家同时签订退役放射源回收协议)。同时,医院应做好放射源的日常管理台账工作,认真填好放射源的基本参数及状态等基本信息,建立一一对应的放射源明细台账,同时制定《放射源台账管理制度》,并张贴上墙。

(三) 放射治疗场所年有效剂量估算结果

1、剂量估算公式

按照联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)-2000 年报告附录 A, X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量计算公式如下:

$$H_e = D_r \times t \times T \times 10^{-3} \quad (\text{公式 11-13})$$

式中：

H_e ——X、 γ 射线外照射人均年有效剂量当量，mSv/a；

D_r ——X、 γ 射线空气吸收剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t ——X、 γ 射线照射时间，h/a；

T ——居留因子。

2、剂量估算取值及计算结果

直线加速器：根据医院提供资料，本项目平均每台加速器设计治疗患者最大工作量为 30 人次/天，5 天/周，患者接受常规放射治疗以及调强放射治疗的人次未定，本次评价按最不利情况，考虑所有患者均按拉弧调强治疗进行计算，每人最大出束照射时间约 7.5min，则每台直线加速器治疗装置周治疗照射时间 $t=30 \times 5 \times 7.5\text{min}=18.75\text{h/周}$ ，每年工作 50 周，年总出束时间为 937.5h。本次环评保守采用摆位时间 3min/人次计，则每台直线加速器摆位时间为 375h。

辐射工作人员及公众 X、 γ 射线空气吸收剂量率根据表 11-15 估算结果取值，居留因子根据 HJ1198-2021 附录 A 取值。

本项目加速器机房辐射工作人员及周边公众个人剂量估算见表 11-22：

表 11-22 直线加速器机房 1 相关人员年附加有效剂量估算结果一览表

保护目标	计算参数			计算结果	管理目标值 (mSv/a)	
	$D_r(\mu\text{Sv/h})$	$t(\text{h/a})$	T	$H_e(\text{mSv/a})$		
加速器辐射工作人员 (控制室)	忽略不计	937.5	1	忽略不计	5	
公众	机房北主屏蔽墙外 30cm (楼梯间)	0.18252	937.5	1/40	0.004	0.1
	机房南主屏蔽墙外 30cm (直线加速器机 房 2)	0.389	937.5	1/8	0.0456	0.1
	机房顶棚主屏蔽墙外 30cm (医院地面绿化 带)	1.622	937.5	1/20	0.076	0.1
	冷却机房	0.486	937.5	1/16	0.03	0.1

	防护门外	0.348	937.5	1/8	0.04	0.1
--	------	-------	-------	-----	------	-----

表 11-22 (续) 直线加速器机房 2 相关人员年附加有效剂量估算结果一览表

保护目标		计算参数			计算结果	管理目标值 (mSv/a)
		$D_r(\mu\text{Sv/h})$	$t(\text{h/a})$	T	$H_e(\text{mSv/a})$	
加速器辐射工作人员 (控制室)		忽略不计	937.5	1	忽略不计	5
公众	机房北主屏蔽墙外 30cm (直线加速器机 房 1)	0.389	937.5	1/8	0.0456	0.1
	机房南主屏蔽墙外 30cm (后装机房控制 室)	0.18252	937.5	1	0.17	5
	机房顶棚主屏蔽墙外 30cm (医院地面绿化 带)	1.622	937.5	1/20	0.076	0.1
	冷却机房	0.486	937.5	1/16	0.03	0.1
	后装治疗病人缓冲区 域	0.313	937.5	1/5	0.06	0.1
	防护门外	0.315	937.5	1/8	0.037	0.1

通过上表计算可知,本项目加速器放射工作人员职业照射的年附加剂量叠加最大值可忽略不计,低于医院设定的职业人员受照剂量管理目标值 5mSv/a。本项目加速器机房周边公众可能受到的最大照射附加剂量为 0.076mSv/a,满足医院设定 0.1mSv/a 的公众管理目标值要求。

后装治疗: 本项目后装治疗机设计工作量为 10 人/天, 3 天/周 (星期一、星期三、星期五), 考虑 ^{192}Ir 放射源半衰期为 74d, 医院每半年更换一次 ^{192}Ir 旧放射源, 为了保证患者单次照射 5Gy 所需照射时间, 本次环评按每人每次可能出现的最大出束照射时间 10min 保守计算, 则治疗装置周治疗照射时间 $t=10 \times 3 \times 10=300\text{min}/\text{周}=5\text{h}/\text{周}$, 每年工作 50 周, 则年出束时间 $t=250\text{h/a}$ 。

摆位时间: 本项目后装机用源为 ^{192}Ir 放射源, 该源在自然状态下会自发衰变放射出 γ 射线, 工作人员在治疗室内对患者摆位时, 不可避免的受到 ^{192}Ir 放射源泄漏辐射影响。每次摆位时间约为 3min/人, 则年摆位时间=75h/a。

摆位处剂量率：参考原《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017，已被 GBZ121-2020 替代，此处仅作参考）中原有相关规定：“工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时，距离贮源器表面 5cm 处的人和位置，因泄露辐射所致周围剂量当量率不大于 $50\mu\text{Sv/h}$ ；距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点因泄露辐射所致周围剂量当量率不大于 $5\mu\text{Sv/h}$ ”。从保守角度分析，摆位处剂量率按 $5\mu\text{Sv/h}$ 考虑。

本项目后装机辐射工作人员及周边公众个人剂量估算见表 11-23：

表 11-23 后装机房相关人员年附加有效剂量估算结果一览表

保护目标		计算参数			计算结果		管理目标值 (mSv/a)
		H($\mu\text{Sv/h}$)	t(h/a)	T	He(mSv/a)		
辐射工作人员	控制室	1.73E-05	250	1	0.004325	0.55	5
	摆位	5	75	1	0.375		
	叠加直线加速器 2 的影响	0.18252	937.5	1	0.17		
公众	东侧楼梯间公众	1.284	250	1/40	0.008		0.1
	南侧公众(通道)	1.284	250	1/5	0.0642		0.1
	机房顶部(医院地面绿化区域)	0.178	250	1/20	0.002		0.1
	防护门外	0.6112	250	1/5	0.03		0.1

通过上表计算可知，本项目后装治疗机房辐射工作人员职业照射的附加剂量最大值为 0.55mSv/a ，低于医院设定的职业人员受照剂量管理目标值 5mSv/a 。本项目后装治疗机房周边公众可能受到的最大照射附加剂量值为 0.03mSv/a ，低于医院设定的公众受照剂量管理目标值 0.1mSv/a 。

(四) DSA

1、关注点选取

DSA 设备在手术中分透视和摄影两种模式。DSA 摄影（拍片）模式是指 DSA 的 X

射线系统曝光时，工作人员位于操作室，即为隔室操作方式。DSA 透视模式是指在透视条件下，医护人员近台同室进行介入操作。本次评价分别对摄影、透视两种工况下 DSA 机房周围的辐射水平进行预测。在介入手术过程中，机头有用线束直接照向患者，根据《StructuralShielding DesignForMedical X-Ray Imaging Facilities》（NCRP147 号出版物）第 4.1.6 节指出，在血管造影术中将使用图像增强器，可阻挡主射线，初级辐射的强度会大幅度地被病人、影像接收器和支撑影像接收器的结构减弱，因此 DSA 屏蔽估算时可不考虑主束照射。因此，本次评价重点考虑泄漏辐射和散射辐射对周围环境的影响。

关注点的选取以 DSA 设备机头活动范围为辐射源点；有用线束向上照射，参照典型的 DSA 设备机头距地面 0.5m+病人躺下 0.2m 考虑，治疗床高 1m；防护门窗考虑安装位置角度；关注点位距墙体、门、窗表面 0.3m，机房上方（楼上）距地面 1.0m，机房楼下距离地面 1.7m。本项目共设置四个 DSA 机房，其中三个位于门诊医技楼二楼，一楼为放射科室（DR、X 光、CT），三楼为 B 超、彩超室，一楼层高为 5.4m，二、三楼层高均为 4.6m，综合住院楼五楼设置一个 DSA 机房，楼上为 5a 楼架空层，楼下为其他科室病房（非儿科、妇产科用房），5a 楼层高 3.9m，五楼层高 4.9m，四楼层高 4.6m。

门诊医技楼二楼 DSA01、DSA02 机房内径均为 8.32m×8.16m，DSA03 机房内径为 11.32m×8.32m，三个机房四面墙体均为：240mm 实心砖墙+2mmPb 硫酸钡；顶面均为：150mm 楼板+上层地面敷设 2mmPb 硫酸钡；地面均为：150mm 楼板+2mmPb 硫酸钡；防护门均为：3mmPb 防护门；观察窗均为：3mmPb 玻璃观察窗。综合住院楼五楼 DSA04 机房内径为 8.72m×7.76m，机房四面墙体均为：240mm 实心砖墙+2mmPb 硫酸钡；顶面为：110mm 楼板+上层地面敷设 2mmPb 硫酸钡；地面为：120mm 楼板+2mmPb 硫酸钡；防护门为：3mmPb 防护门；观察窗为：3mmPb 玻璃观察窗。

根据医院提供 DSA 设备平面布置图，治疗床台面长约 2.006m×宽 0.518m，本项目机头活动范围保守取长 2.006m×宽 0.518m。泄漏辐射源点按机头球管距地面 0.5m 考虑，门诊医技楼二楼 DSA 机房泄漏辐射距楼上取 5.25m，楼下 4.35m，综合住院楼五楼 DSA 机房泄漏辐射距楼上取 5.51m，楼下 3.52m，；散射辐射源点按治疗床高 1.0m+病人躺下 0.2m 考虑，门诊医技楼二楼 DSA 机房散射辐射距楼上取 4.55m，楼下 5.05m，综合住院楼五楼 DSA 机房散射辐射距楼上取 4.81m，楼下 4.22m。关注点分布距离示意图见图 11-5 和图 11-6。

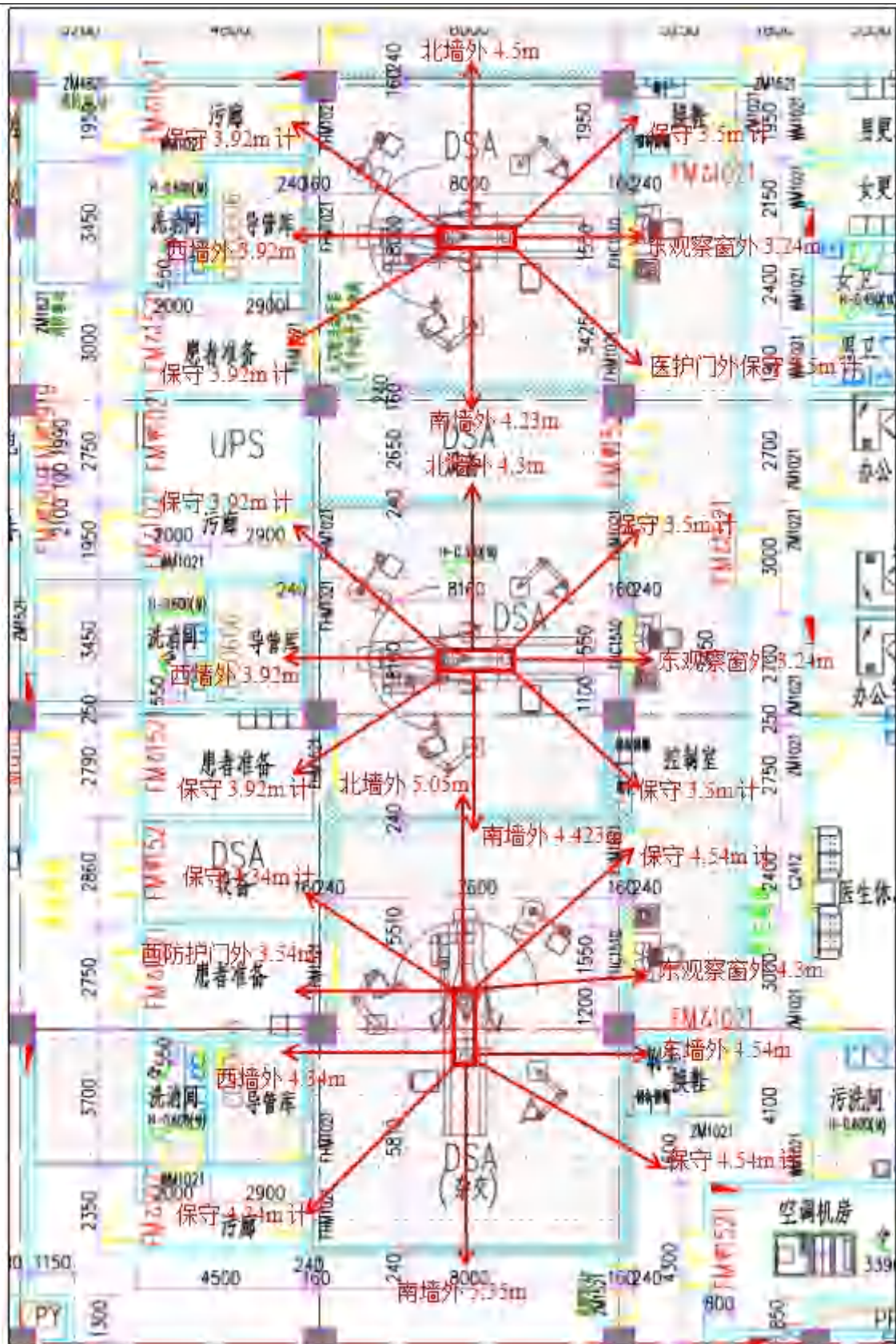


图 11-5 本项目关注点及距离示意图（门诊医技楼二楼 DSA 平面）

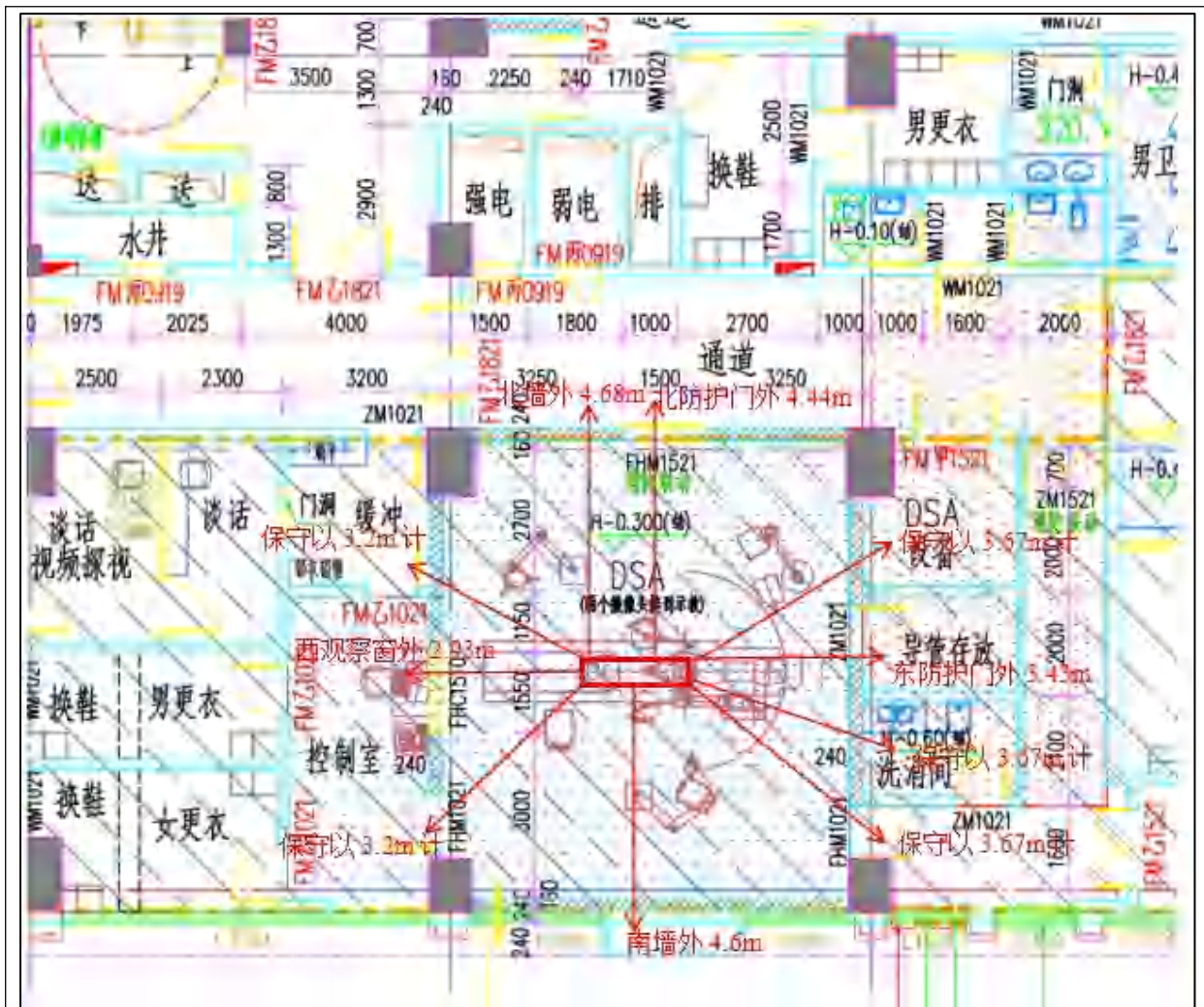


图 11-5 (续) 本项目关注点及距离示意图 (综合住院楼五楼 DSA 平面)

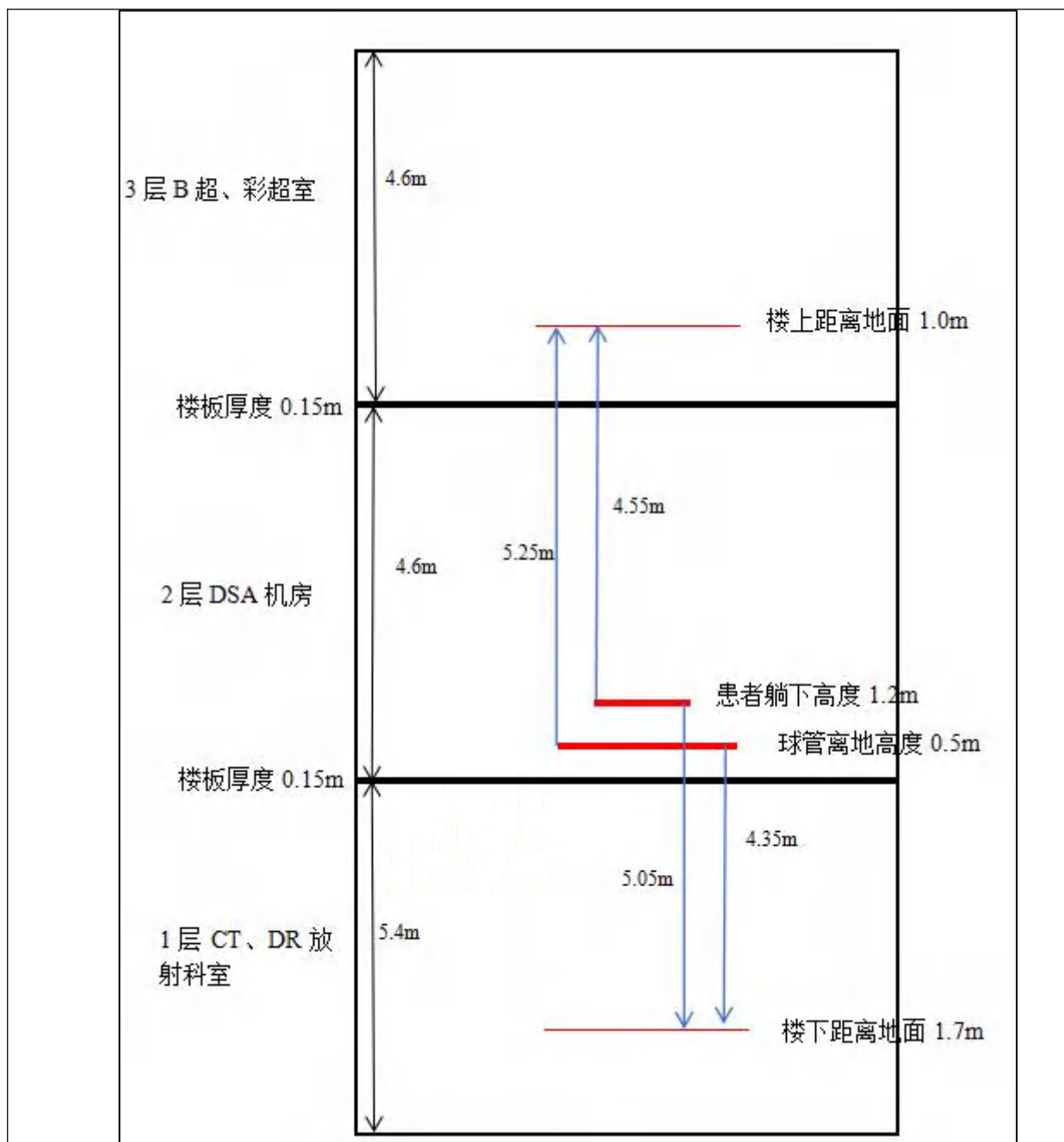


图 11-6 本项目 DSA 机房楼上楼下关注点位距离示意图（门诊医技楼）

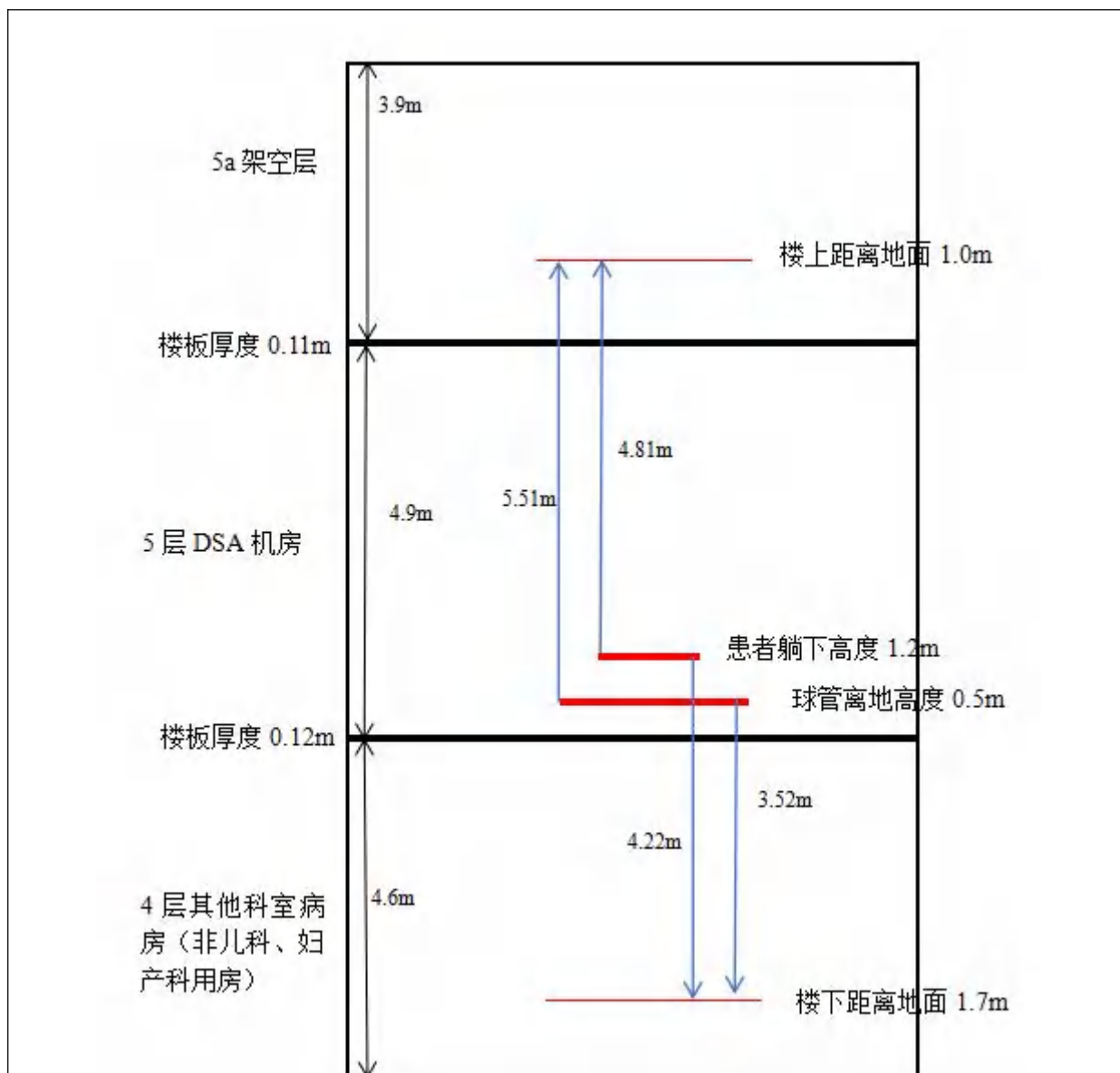


图 11-6(续) 本项目 DSA 机房楼上楼下关注点位距离示意图 (综合住院楼)

2、估算参数

本项目拟搬迁一台 DSA 及购置的三台 DSA 均为床下球管，单管头 X 射线设备，最大管电压 125kV，最大管电流 1250mA。根据 DSA 设备的工作原理，设备在正常工况时，本项目 DSA 设备参数无法同时达到最大管电压 125kV，最大管电流 1250mA，正常工况时，不同手术类型和不同患者身体状况都会影响管电压和管电流的参数，实际使用时管电压通常在 90kV 以下，透视管电流通常为十几毫安，摄影时功率较大，管电流通常为几百毫安。根据目前一些医院的实际值统计，摄影模式下，普遍情况下 DSA 设备的管电压和管电流为 60~100kV/100~500mA；透视模式下管电压和管电流为

60~90kV/5~15mA，本环评采用临床使用较大摄影工况下的设备参数为：管电压 100kV，管电流 500mA；透视工况下的设备参数为：管电压 90kV，管电流 15mA 进行预测。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），“除牙科摄影和乳腺摄影用 X 射线设备外，X 射线有用线束中的所有物质形成的等效总滤过，应不小于 2.5mmAl”，本项目拟购置正规生产厂家生产的设备，滤过参数满足标准要求，本次计算总滤过保守取 2.5mmAl。根据《辐射防护手册》（第三分册）P58 图 3.1（见图 11-7）可得到不同总滤过情况下不同电压下距靶 1m 处的空气比释动能，根据公式 11-14 计算可得到射线装置距靶 1m 处的最大剂量率。

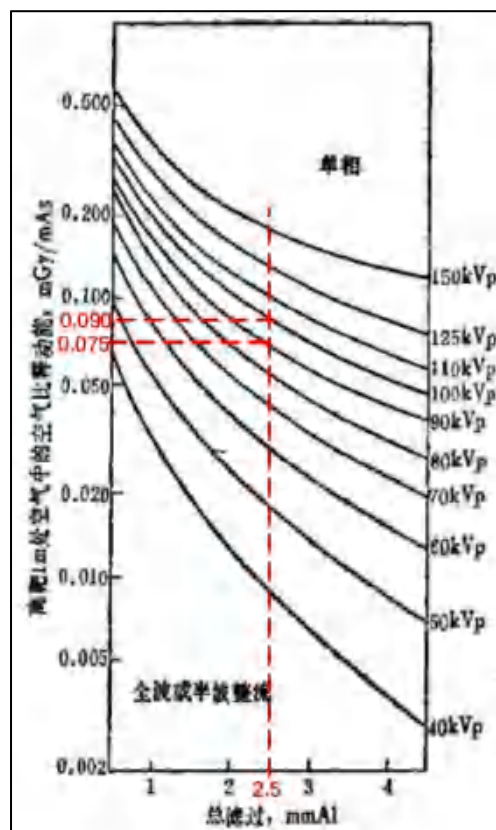


图 11-7 距 x 射线源 1m 处的照射量率随管电压及总滤过厚度变化的情况

离靶 1m 处的空气比释动能读值（mGy/mAs）见表 11-24。

表 11-24 不同电压下离靶 1m 处的剂量率

设备	运行模式	滤过材料及厚度 (mm)	运行管电压 (kV)	运行管电流 (mA)	距靶 1m 处的空气比释动能 mGy/ (mA·min)
DSA	透视	Al, 2.5	90	15	0.075×60=4.5
	摄影	Al, 2.5	100	500	0.090×60=5.4

根据《辐射防护导论》，射线装置距靶 1m 处的空气比释动能率按公式 11-14 计算：

$$\dot{K} = I \times \delta_x \frac{r_0^2}{r^2} \quad (\text{公式 11-14})$$

式中：

\dot{K} —离靶 r (m) 处由 X 射线机产生的初级 X 射线束造成的空气比释动能率，mGy/min；

I —管电流，mA；

δ_x —管电流为 1mA，距靶 1m 处的发射率常数，mGy/(mA·min)；

r_0 —1m；

r —源至关注点的距离，m。

距靶点 1m 处的剂量率 H_0 ($\mu\text{Gy/h}$) 为以 mGy/mA·min 为单位的空气比释动能率值乘以 6×10^4 ，再乘以工作电压下对应电流 (mA) 得出。则透视状态下 $H_0 = 4.5 \times 6 \times 10^4 \times 15 = 4.05 \times 10^6 \mu\text{Gy/h}$ ，采集状态下 $H_0 = 5.4 \times 6 \times 10^4 \times 500 = 1.62 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ 。

表 11-25 DSA 不同运行条件下的参数取值

设备	运行条件		距靶 1m 处的剂量率 H_0 ($\mu\text{Gy/h}$)
DSA	透视	90KV, 15mA	4.05×10^6
	采集	100 kV, 500mA	1.62×10^8

项目射线装置主束照向患者，各关注点处仅考虑泄漏线和散射线影响，参考 GBZ/T201.2-2011 加速器的泄露辐射比率一般射线泄漏率按 0.1% 估算。

3、DSA 关注点剂量率估算方法及估算结果

(1) 泄漏辐射剂量率估算

参考 GBZ/T201.2-2011 加速器的泄露辐射比率，本项目泄漏辐射剂量率按初级辐射束的 0.1% 计算，根据《辐射防护手册》第一分册（李德平、潘自强主编，原子能出版社，1987 年），计算公式如公式 11-15 所示：

$$H = \frac{H_0 \cdot f \cdot B}{R^2} \quad (\text{公式 11-15})$$

式中：

H ——预测点处的泄漏辐射剂量率，uSv/h；

(周围剂量当量率与空气吸收剂量率换算系数在辐射屏蔽计算时通常取 1Sv/Gy。)

f ——泄漏射线比率, 0.1%;

H_0 ——距靶点 1m 处 X 射线的漏射剂量率, uSv/h;

R ——靶点距关注点的距离, 考虑 DSA 机架旋转, 取图中标注距离-源与患者距离, m;

B ——屏蔽透射因子, 按照《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 附录 C 中公式和参数计算, 公式计算如下式:

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (\text{公式 11-16})$$

式中:

B ——给定铅厚度的屏蔽透射因子;

β ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数;

α ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数;

γ ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数;

X ——铅厚度。

根据 GBZ 130-2020 附录 C 表 C.2 中给出的不同管电压 X 射线辐射在铅中衰减的 α 、 β 、 γ 拟合值, 摄影工况 α 、 β 、 γ 值保守取 100kV 对应值, 透视工况 α 、 β 、 γ 值保守取 90kV 对应值, 不同能量 α 、 β 、 γ 值见表 11-26。

表 11-26 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压 (kV)	材料	α	β	γ
90	铅	3.067	18.83	0.7726
100 (主束)	铅	2.500	15.28	0.7557
100 (散射)	铅	2.507	15.33	0.9124

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

(2) 散射辐射剂量率估算

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

$$H_s = \frac{H_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot (s/400)}{(d_0 - d_s)^2} \quad (\text{公式 11-17})$$

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

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

α —患者对 X 射线的散射比，取自《辐射防护手册 第一分册》P437 表 10.1，查表取 0.0013 (90° 散射)；

S —散射面积，取 100cm^2 ；

d_0 —源与患者的距离，取 0.7m ；

d_s —患者与关注点的距离， m ；

B —屏蔽透射因子。

(3) 估算结果

不同模式下，机房各关注点的泄漏和散射辐射剂量率计算结果见表 11-27 和 11-28。

表 11-27 各关注点泄漏辐射剂量率计算结果一览表

机房名称	工作模式	关注点位置	R	铅当量 X	B	H
			m	mm	/	$\mu\text{Sv/h}$
DSA01	透视	北墙外室内通道	4.5	4.53	7.26446E-08	1.45E-05
		南墙外 DSA 设备间	4.23	4.53	7.26446E-08	1.64E-05
		东观察窗外控制室	3.24	3	7.9345E-06	3.06E-03
		东医护门外	3.5	3	7.9345E-06	2.62E-03
		东医护换鞋区域	3.5	4.53	7.26446E-08	2.4E-05
		西墙外导管库	3.92	4.53	7.26446E-08	1.91E-05
		西污物走廊	3.92	3.0	7.9345E-06	2.09E-03
		西患者防护门外	3.92	3.0	7.9345E-06	2.09E-03
		第一术者位 (铅衣内)	1	1	0.004	1.62E+01
		第一术者位 (铅衣外)	1	0.5	0.025	1.01E+02
		第二术者位 (铅衣内)	1.3	1	0.004	9.59
		第二术者位 (铅衣外)	1.3	0.5	0.025	5.99E+01
		楼上 B 超、彩超室	5.25	4.12	2.55466E-09	3.75E-07

DSA 02	摄影	楼下放射科室	4.35	4.12	2.55466E-09	5.47E-07
		北墙外室内通道	4.5	4.53	9.00097E-07	7.2E-03
		南墙外 DSA 设备间	4.23	4.53	9.00097E-07	8.15E-03
		东观察窗外控制室	3.24	3	4.14076E-05	6.39E-01
		东医护门外	3.5	3	4.14076E-05	5.48E-01
		东医护换鞋区域	3.5	4.53	9.00097E-07	1.19E-02
		西墙外导管库	3.92	4.53	9.00097E-07	9.49E-03
		西污物走廊	3.92	3.0	4.14076E-05	4.37E-01
		西患者防护门外	3.92	3.0	4.14076E-05	4.37E-01
		楼上 B 超、彩超室	5.25	4.12	2.5093E-06	1.47E-02
		楼下放射科室	4.35	4.12	2.5093E-06	2.15E-02
	透视	北墙外 DSA 设备间	4.3	4.53	7.26446E-08	1.59E-05
		南墙外 DSA03	4.423	4.53	7.26446E-08	1.50E-05
		东观察窗外控制室	3.24	3	7.9345E-06	3.06E-03
		东医护门外	3.5	3	7.9345E-06	2.62E-03
		东医护换鞋区域	3.5	4.53	7.26446E-08	2.4E-05
		西墙外导管库	3.92	4.53	7.26446E-08	1.91E-05
		西污物走廊	3.92	3.0	7.9345E-06	2.09E-03
		西患者防护门外	3.92	3.0	7.9345E-06	2.09E-03
		第一术者位（铅衣内）	1	1	0.004	1.62E+01
		第一术者位（铅衣外）	1	0.5	0.025	1.01E+02
第二术者位（铅衣内）		1.3	1	0.004	9.59	
第二术者位（铅衣外）		1.3	0.5	0.025	5.99E+01	
楼上 B 超、彩超室		5.25	4.12	2.55466E-09	3.75E-07	
楼下放射科室		4.35	4.12	2.55466E-09	5.47E-07	
摄影	北墙外 DSA 设备间	4.3	4.53	9.00097E-07	7.89E-03	
	南墙外 DSA03	4.423	4.53	9.00097E-07	7.45E-03	
	东观察窗外控制室	3.24	3	4.14076E-05	6.39E-01	

		东医护门外	3.5	3	4.14076E-05	5.48E-01
		东医护换鞋区域	3.5	4.53	9.00097E-07	1.19E-02
		西墙外导管库	3.92	4.53	9.00097E-07	9.49E-03
		西污物走廊	3.92	3.0	4.14076E-05	4.37E-01
		西患者防护门外	3.92	3.0	4.14076E-05	4.37E-01
		楼上 B 超、彩超室	5.25	4.12	2.5093E-06	1.47E-02
		楼下放射科室	4.35	4.12	2.5093E-06	2.15E-02
DSA03	透 视	北墙外 DSA02	5.05	4.53	7.26446E-08	1.15E-05
		南墙外室内通道	5.35	4.53	7.26446E-08	1.03E-05
		东观察窗外控制室	4.3	3	7.9345E-06	1.74E-03
		东医护门外	4.54	3	7.9345E-06	1.56E-03
		东医护换鞋区域	4.54	4.53	7.26446E-08	1.43E-05
		东墙外室内通道	4.54	4.53	7.26446E-08	1.43E-05
		西墙外导管库	4.34	4.53	7.26446E-08	1.56E-05
		西污物走廊	4.34	3.0	7.9345E-06	1.71E-03
		西患者防护门外	3.54	3.0	7.9345E-06	2.56E-03
		西 DSA 设备间	4.34	4.53	7.26446E-08	1.56E-05
		第一术者位（铅衣内）	1	1	0.004	1.62E+01
		第一术者位（铅衣外）	1	0.5	0.025	1.01E+02
		第二术者位（铅衣内）	1.3	1	0.004	9.59
		第二术者位（铅衣外）	1.3	0.5	0.025	5.99E+01
	楼上 B 超、彩超室	5.25	4.12	2.55466E-09	3.75E-07	
	楼下放射科室	4.35	4.12	2.55466E-09	5.47E-07	
	摄 影	北墙外 DSA02	5.05	4.53	9.00097E-07	5.72E-03
南墙外室内通道		5.35	4.53	9.00097E-07	5.09E-03	
东观察窗外控制室		4.3	3	4.14076E-05	3.63E-01	
东医护门外		4.54	3	4.14076E-05	3.25E-01	
东医护换鞋区域		4.54	4.53	9.00097E-07	7.07E-03	

		东墙外室内通道	4.54	4.53	9.00097E-07	7.07E-03
		西墙外导管库	4.34	4.53	9.00097E-07	7.74E-03
		西污物走廊	4.34	3.0	4.14076E-05	3.56E-01
		西患者防护门外	3.54	3.0	4.14076E-05	5.35E-01
		西 DSA 设备间	4.34	4.53	9.00097E-07	7.74E-03
		楼上 B 超、彩超室	5.25	4.12	2.5093E-06	1.47E-02
		楼下放射科室	4.35	4.12	2.5093E-06	2.15E-02
DSA04	透 视	北墙外室内通道	4.68	4.53	7.26446E-08	1.34E-05
		北患者防护门外	4.44	3.0	7.9345E-06	1.63E-03
		南墙外	4.6	4.53	7.26446E-08	1.39E-05
		东墙外 DSA 设备间	3.67	4.53	7.26446E-08	2.18E-05
		东墙外导管库	3.43	3.0	7.9345E-06	2.73E-03
		东墙外洗消间	3.67	4.53	7.26446E-08	2.18E-05
		东污物走廊	3.67	3.0	7.9345E-06	2.39E-03
		西观察窗外控制室	2.93	3.0	7.9345E-06	3.74E-03
		西医护门外	3.2	3.0	7.9345E-06	3.14E-03
		西医护防护用品区域	3.2	4.53	7.26446E-08	2.87E-05
		第一术者位（铅衣内）	1	1	0.004	1.62E+01
		第一术者位（铅衣外）	1	0.5	0.025	1.01E+02
		第二术者位（铅衣内）	1.3	1	0.004	9.59
		第二术者位（铅衣外）	1.3	0.5	0.025	5.99E+01
		楼上 5a 架空层	5.51	3.544	1.49498E-06	1.99E-04
		楼下普通病房（非儿 科、妇产科）	3.52	3.69	9.55287E-07	3.12E-04
	摄 影	北墙外室内通道	4.68	4.53	9.00097E-07	6.66E-03
		北患者防护门外	4.44	3.0	4.14076E-05	3.4E-01
		南墙外	4.6	4.53	9.00097E-07	6.89E-03
		东墙外 DSA 设备间	3.67	4.53	9.00097E-07	1.08E-02

		东墙外导管库	3.43	3.0	4.14076E-05	5.7E-01
		东墙外洗消间	3.67	4.53	9.00097E-07	1.08E-02
		东污物走廊	3.67	3.0	4.14076E-05	4.98E-01
		西观察窗外控制室	2.93	3.0	4.14076E-05	7.81E-01
		西医护门外	3.2	3.0	4.14076E-05	6.55E-01
		西医护防护用品区域	3.2	4.53	9.00097E-07	1.42E-02
		楼上 5a 架空层	5.51	3.544	1.06009E-05	5.66E-02
		楼下普通病房（非儿科、妇产科）	3.52	3.69	7.35659E-06	9.62E-02

（注：术者位身穿 0.5mmPb 防护用品，在 0.5mmPb 铅防护帘或防护屏后操作。）

α —患者对 X 射线的散射比，取自《辐射防护手册 第一分册》P437 表 10.1，查表取 0.0013（90°散射）；S—散射面积，取 100cm²；d₀—源与患者的距离，取 0.7m，计算结果见下表 11-28；

表 11-28 各关注点散射辐射剂量率计算结果一览表

机房名称	工作模式	关注点位置	ds	铅当量 X	B	H
			m	mm	/	μSv/h
DSA01	透视	北墙外室内通道	4.5	4.53	7.26446E-08	9.64E-06
		南墙外 DSA 设备间	4.23	4.53	7.26446E-08	1.09E-05
		东观察窗外控制室	3.24	3	7.9345E-06	2.03E-03
		东医护门外	3.5	3	7.9345E-06	1.74E-03
		东医护换鞋区域	3.5	4.53	7.26446E-08	1.59E-05
		西墙外导管库	3.92	4.53	7.26446E-08	1.27E-05
		西污物走廊	3.92	3.0	7.9345E-06	1.39E-03
		西患者防护门外	3.92	3.0	7.9345E-06	1.39E-03
		第一术者位（铅衣内）	0.6	1	0.004	2.98E+01
		第一术者位（铅衣外）	0.6	0.5	0.025	1.87E+02

DSA02		第二术者位（铅衣内）	1.0	1	0.004	1.07E+01
		第二术者位（铅衣外）	1.0	0.5	0.025	6.72E+01
		楼上 B 超、彩超室	4.55	4.12	2.55466E-09	3.31E-05
		楼下放射科室	5.05	4.12	2.55466E-09	2.69E-05
	摄影	北墙外室内通道	4.5	4.53	1.36104E-06	7.22E-03
		南墙外 DSA 设备间	4.23	4.53	1.36104E-06	8.17E-03
		东观察窗外控制室	3.24	3	6.31125E-05	6.46E-01
		东医护门外	3.5	3	6.31125E-05	5.54E-01
		东医护换鞋区域	3.5	4.53	1.36104E-06	1.19E-02
		西墙外导管库	3.92	4.53	1.36104E-06	9.52E-03
		西污物走廊	3.92	3.0	6.31125E-05	4.41E-01
		西患者防护门外	3.92	3.0	6.31125E-05	4.41E-01
		楼上 B 超、彩超室	4.55	4.12	3.80444E-06	1.97E-02
		楼下放射科室	5.05	4.12	3.80444E-06	1.60E-02
	透视	北墙外 DSA 设备间	4.3	4.53	7.26446E-08	1.06E-05
		南墙外 DSA03	4.423	4.53	7.26446E-08	9.97E-06
		东观察窗外控制室	3.24	3	7.9345E-06	2.03E-03
		东医护门外	3.5	3	7.9345E-06	1.74E-03
		东医护换鞋区域	3.5	4.53	7.26446E-08	1.59E-05
西墙外导管库		3.92	4.53	7.26446E-08	1.27E-05	
西污物走廊		3.92	3.0	7.9345E-06	1.39E-03	
西患者防护门外		3.92	3.0	7.9345E-06	1.39E-03	
第一术者位（铅衣内）		0.6	1	0.004	2.98E+01	
第一术者位（铅衣外）		0.6	0.5	0.025	1.87E+02	

DSA03		第二术者位（铅衣内）	1.0	1	0.004	1.07E+01
		第二术者位（铅衣外）	1.0	0.5	0.025	6.72E+01
		楼上 B 超、彩超室	4.55	4.12	2.55466E-09	3.31E-05
		楼下放射科室	5.05	4.12	2.55466E-09	2.69E-05
	摄影	北墙外 DSA 设备间	4.3	4.53	1.36104E-06	7.91E-03
		南墙外 DSA03	4.423	4.53	1.36104E-06	7.48E-03
		东观察窗外控制室	3.24	3	6.31125E-05	6.46E-01
		东医护门外	3.5	3	6.31125E-05	5.54E-01
		东医护换鞋区域	3.5	4.53	1.36104E-06	1.19E-02
		西墙外导管库	3.92	4.53	1.36104E-06	9.52E-03
		西污物走廊	3.92	3.0	6.31125E-05	4.41E-01
		西患者防护门外	3.92	3.0	6.31125E-05	4.41E-01
		楼上 B 超、彩超室	4.55	4.12	3.80444E-06	1.97E-02
		楼下放射科室	5.05	4.12	3.80444E-06	1.60E-02
	透视	北墙外 DSA02	5.05	4.53	7.26446E-08	7.65E-06
		南墙外室内通道	5.35	4.53	7.26446E-08	6.82E-06
		东观察窗外控制室	4.3	3	7.9345E-06	1.15E-03
		东医护门外	4.54	3	7.9345E-06	1.03E-03
		东医护换鞋区域	4.54	4.53	7.26446E-08	9.47E-06
东墙外室内通道		4.54	4.53	7.26446E-08	9.47E-06	
西墙外导管库		4.34	4.53	7.26446E-08	1.04E-05	
西污物走廊		4.34	3.0	7.9345E-06	1.13E-03	
西患者防护门外		3.54	3.0	7.9345E-06	1.70E-03	
西 DSA 设备间		4.34	4.53	7.26446E-08	1.04E-05	
第一术者位（铅衣内）		0.6	1	0.004	2.98E+01	

DSA04		第一术者位（铅衣外）	0.6	0.5	0.025	1.87E+02
		第二术者位（铅衣内）	1.0	1	0.004	1.07E+01
		第二术者位（铅衣外）	1.0	0.5	0.025	6.72E+01
		楼上 B 超、彩超室	4.55	4.12	2.55466E-09	3.31E-05
		楼下放射科室	5.05	4.12	2.55466E-09	2.69E-05
	摄影	北墙外 DSA02	5.05	4.53	1.36104E-06	5.73E-03
		南墙外室内通道	5.35	4.53	1.36104E-06	5.11E-03
		东观察窗外控制室	4.3	3	6.31125E-05	3.67E-01
		东医护门外	4.54	3	6.31125E-05	3.29E-01
		东医护换鞋区域	4.54	4.53	1.36104E-06	7.10E-03
		东墙外室内通道	4.54	4.53	1.36104E-06	7.10E-03
		西墙外导管库	4.34	4.53	1.36104E-06	7.76E-03
		西污物走廊	4.34	3.0	6.31125E-05	3.60E-01
		西患者防护门外	3.54	3.0	6.31125E-05	5.41E-01
		西 DSA 设备间	4.34	4.53	1.36104E-06	7.76E-03
		楼上 B 超、彩超室	4.55	4.12	3.80444E-06	1.97E-02
		楼下放射科室	5.05	4.12	3.80444E-06	1.60E-02
	透视	北墙外室内通道	4.68	4.53	7.26446E-08	8.91E-06
		北患者防护门外	4.44	3.0	7.9345E-06	1.08E-03
		南墙外	4.6	4.53	7.26446E-08	9.22E-06
		东墙外 DSA 设备间	3.67	4.53	7.26446E-08	1.45E-05
		东墙外导管库	3.43	3.0	7.9345E-06	1.81E-03
		东墙外洗消间	3.67	4.53	7.26446E-08	1.45E-05
东污物走廊		3.67	3.0	7.9345E-06	1.58E-03	
西观察窗外控制室		2.93	3.0	7.9345E-06	2.48E-03	

		西医护门外	3.2	3.0	7.9345E-06	2.08E-03
		西医护防护用品区域	3.2	4.53	7.26446E-08	1.91E-05
		第一术者位（铅衣内）	0.6	1	0.004	2.98E+01
		第一术者位（铅衣外）	0.6	0.5	0.025	1.87E+02
		第二术者位（铅衣内）	1.0	1	0.004	1.07E+01
		第二术者位（铅衣外）	1.0	0.5	0.025	6.72E+01
		楼上 5a 架空层	4.81	3.544	1.61E-05	7.49E-02
		楼下普通病房（非儿科、妇产科）	4.22	3.69	1.12E-05	6.75E-02
	摄影	北墙外室内通道	4.68	4.53	1.36104E-06	6.68E-03
		北患者防护门外	4.44	3.0	6.31125E-05	3.44E-01
		南墙外	4.6	4.53	1.36104E-06	6.91E-03
		东墙外 DSA 设备间	3.67	4.53	1.36104E-06	1.09E-02
		东墙外导管库	3.43	3.0	6.31125E-05	5.76E-01
		东墙外洗消间	3.67	4.53	1.36104E-06	1.09E-02
		东污物走廊	3.67	3.0	6.31125E-05	5.03E-01
		西观察窗外控制室	2.93	3.0	6.31125E-05	7.90E-01
		西医护门外	3.2	3.0	6.31125E-05	6.62E-01
		西医护防护用品区域	3.2	4.53	1.36104E-06	1.43E-02
		楼上 5a 架空层	4.81	3.544	1.61E-05	7.49E-02
		楼下普通病房（非儿科、妇产科）	4.22	3.69	1.12E-05	6.75E-02

（注：术者位身穿 0.5mmPb 防护用品，在 0.5mmPb 铅防护帘或防护屏后操作。）

(4) 屏蔽体外剂量率

根据表 11-27 和表 11-28 的计算结果, 不同模式下各关注点处总的辐射剂量率见表 11-29。

表 11-29 不同状态下各关注点剂量率汇总结果一览表

机房名称	工作模式	关注点位置	泄漏辐射剂量率	散射辐射剂量率	总辐射剂量率
			$\mu\text{Sv/h}$	$\mu\text{Sv/h}$	$\mu\text{Sv/h}$
DSA01	透视	北墙外室内通道	1.45E-05	9.64E-06	2.414E-05
		南墙外 DSA 设备间	1.64E-05	1.09E-05	2.73E-05
		东观察窗外控制室	3.06E-03	2.03E-03	5.09E-05
		东医护门外	2.62E-03	1.74E-03	4.36E-03
		东医护换鞋区域	2.4E-05	1.59E-05	3.99E-05
		西墙外导管库	1.91E-05	1.27E-05	3.18E-05
		西污物走廊	2.09E-03	1.39E-03	3.48E-03
		西患者防护门外	2.09E-03	1.39E-03	3.48E-03
		第一术者位 (铅衣内)	1.62E+01	2.98E+01	4.6E+01
		第一术者位 (铅衣外)	1.01E+02	1.87E+02	2.88E+02
		第二术者位 (铅衣内)	9.59	1.07E+01	20.29
		第二术者位 (铅衣外)	5.99E+01	6.72E+01	127.1
		楼上 B 超、彩超室	3.75E-07	3.31E-05	3.35E-05
		楼下放射科室	5.47E-07	2.69E-05	2.745E-05
	摄影	北墙外室内通道	7.2E-03	7.22E-03	1.442E-02
		南墙外 DSA 设备间	8.15E-03	8.17E-03	1.632E-02
		东观察窗外控制室	6.39E-01	6.46E-01	1.285
		东医护门外	5.48E-01	5.54E-01	1.102
		东医护换鞋区域	1.19E-02	1.19E-02	2.38E-02
		西墙外导管库	9.49E-03	9.52E-03	1.901E-02
西污物走廊		4.37E-01	4.41E-01	8.78E-01	
西患者防护门外		4.37E-01	4.41E-01	8.78E-01	

		楼上 B 超、彩超室	1.47E-02	1.97E-02	3.44E-02
		楼下放射科室	2.15E-02	1.60E-02	3.75E-02
DSA02	透视	北墙外 DSA 设备间	1.59E-05	1.06E-05	2.65E-05
		南墙外 DSA03	1.50E-05	9.97E-06	2.497E-05
		东观察窗外控制室	3.06E-03	2.03E-03	5.09E-03
		东医护门外	2.62E-03	1.74E-03	4.36E-03
		东医护换鞋区域	2.4E-05	1.59E-05	3.99E-05
		西墙外导管库	1.91E-05	1.27E-05	3.18E-05
		西污物走廊	2.09E-03	1.39E-03	3.48E-03
		西患者防护门外	2.09E-03	1.39E-03	3.48E-03
		第一术者位（铅衣内）	1.62E+01	2.98E+01	4.6E+01
		第一术者位（铅衣外）	1.01E+02	1.87E+02	2.88E+02
		第二术者位（铅衣内）	9.59	1.07E+01	20.29
		第二术者位（铅衣外）	5.99E+01	6.72E+01	127.1
		楼上 B 超、彩超室	3.75E-07	3.31E-05	3.35E-05
		楼下放射科室	5.47E-07	2.69E-05	2.745E-05
	摄影	北墙外 DSA 设备间	7.89E-03	7.91E-03	1.58E-02
		南墙外 DSA03	7.45E-03	7.48E-03	1.493E-02
		东观察窗外控制室	6.39E-01	6.46E-01	1.285
		东医护门外	5.48E-01	5.54E-01	1.102
		东医护换鞋区域	1.19E-02	1.19E-02	2.38E-05
		西墙外导管库	9.49E-03	9.52E-03	1.901E-02
		西污物走廊	4.37E-01	4.41E-01	8.78E-01
		西患者防护门外	4.37E-01	4.41E-01	8.78E-01
楼上 B 超、彩超室		1.47E-02	1.97E-02	3.44E-02	
楼下放射科室		2.15E-02	1.60E-02	3.75E-02	
DSA03	透视	北墙外 DSA02	1.15E-05	7.65E-06	1.915E-05
		南墙外室内通道	1.03E-05	6.82E-06	1.712E-05

		东观察窗外控制室	1.74E-03	1.15E-03	2.89E-03
		东医护门外	1.56E-03	1.03E-03	2.59E-03
		东医护换鞋区域	1.43E-05	9.47E-06	2.377E-05
		东墙外室内通道	1.43E-05	9.47E-06	2.377E-05
		西墙外导管库	1.56E-05	1.04E-05	2.6E-05
		西污物走廊	1.71E-03	1.13E-03	2.84E-03
		西患者防护门外	2.56E-03	1.70E-03	4.26E-03
		西 DSA 设备间	1.56E-05	1.04E-05	2.6E-05
		第一术者位（铅衣内）	1.62E+01	2.98E+01	4.6E+01
		第一术者位（铅衣外）	1.01E+02	1.87E+02	2.88E+02
		第二术者位（铅衣内）	9.59	1.07E+01	20.29
		第二术者位（铅衣外）	5.99E+01	6.72E+01	127.1
		楼上 B 超、彩超室	3.75E-07	3.31E-05	3.35E-05
		楼下放射科室	5.47E-07	2.69E-05	2.745E-05
	摄影	北墙外 DSA02	5.72E-03	5.73E-03	1.145E-02
		南墙外室内通道	5.09E-03	5.11E-03	1.02E-02
		东观察窗外控制室	3.63E-01	3.67E-01	7.3E-01
		东医护门外	3.25E-01	3.29E-01	6.54E-01
		东医护换鞋区域	7.07E-03	7.10E-03	1.417E-02
		东墙外室内通道	7.07E-03	7.10E-03	1.417E-02
		西墙外导管库	7.74E-03	7.76E-03	1.55E-02
		西污物走廊	3.56E-01	3.60E-01	7.16E-01
		西患者防护门外	5.35E-01	5.41E-01	1.076
		西 DSA 设备间	7.74E-03	7.76E-03	1.55E-02
		楼上 B 超、彩超室	1.47E-02	1.97E-02	3.44E-02
		楼下放射科室	2.15E-02	1.60E-02	3.75E-02
DSA04		透视	北墙外室内通道	1.34E-05	8.91E-06

		北患者防护门外	1.63E-03	1.08E-03	2.71E-03
		南墙外	1.39E-05	9.22E-06	2.312E-05
		东墙外 DSA 设备间	2.18E-05	1.45E-05	3.63E-05
		东墙外导管库	2.73E-03	1.81E-03	4.54E-03
		东墙外洗消间	2.18E-05	1.45E-05	3.63E-05
		东污物走廊	2.39E-03	1.58E-03	3.97E-03
		西观察窗外控制室	3.74E-03	2.48E-03	6.22E-03
		西医护门外	3.14E-03	2.08E-03	5.22E-03
		西医护防护用品区域	2.87E-05	1.91E-05	4.78E-03
		第一术者位（铅衣内）	1.62E+01	2.98E+01	4.6E+01
		第一术者位（铅衣外）	1.01E+02	1.87E+02	2.88E+02
		第二术者位（铅衣内）	9.59	1.07E+01	20.29
		第二术者位（铅衣外）	5.99E+01	6.72E+01	127.1
		楼上 5a 架空层	1.99E-04	7.49E-02	7.5E-02
		楼下普通病房（非儿科、 妇产科）	3.12E-04	6.75E-02	6.78E-02
	摄影	北墙外室内通道	6.66E-03	6.68E-03	1.334E-02
		北患者防护门外	3.4E-01	3.44E-01	6.84E-01
		南墙外	6.89E-03	6.91E-03	1.38E-02
		东墙外 DSA 设备间	1.08E-02	1.09E-02	2.17E-02
		东墙外导管库	5.7E-01	5.76E-01	1.146
		东墙外洗消间	1.08E-02	1.09E-02	2.17E-02
		东污物走廊	4.98E-01	5.03E-01	1
		西观察窗外控制室	7.81E-01	7.90E-01	1.571
		西医护门外	6.55E-01	6.62E-01	1.317
		西医护防护用品区域	1.42E-02	1.43E-02	2.85E-02
		楼上 5a 架空层	5.66E-02	7.49E-02	1.315E-01
		楼下普通病房（非儿科、 妇产科）	9.62E-02	6.75E-02	1.637E-01

由表 11-29 可知，该项目四个 DSA 设备在正常运行情况下，机房外控制室、四周墙体及防护门外的辐射剂量率均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“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 μ Sv/h；具有短时、高剂量率曝光的摄影程序，机房外的周围剂量当量率应不大于 25 μ Sv/h。”的要求。

3、介入场所工作人员及公众个人剂量估算

本项目老院区调配 14 名介入工作人员到综合住院楼五楼 DSA 介入手术室，门诊医技楼二楼三台 DSA 设备所需工作人员待医院后续工作开展后完善。根据表 9-3，本项目单台 DSA 手术台数预计为 1000 台/年，平均每台手术透视时间约为 20min，摄影时间约为 1min，技师隔室操作。DSA 透视年工作时间为 333.33h，摄影年工作时间为 16.67h；

(1) DSA 机房外公众、操作室辐射工作人员年有效剂量估算

DSA 手术室外公众、操作室辐射工作人员年有效剂量计算根据联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）--2000 年报告附录 A 公式计算，见公式 11-13。

T ——介入场所居留因子，参考《辐射防护手册》第三分册 P80，居留因子按三种情况取值：①全居留 $T=1$ （包括控制室、实验室、诊室、办公室、候诊室等经常有人的地方），②部分居留 $T=1/4$ （包括公共走廊、休息室、电梯等有时有人的地方），③偶然居留 $T=1/16$ （包括厕所、浴室、行人车辆通过的外部区域）。

计算结果详见表 11-30。

表 11-30 DSA 机房外公众年剂量最大处及控制室辐射工作人员年有效剂量估算结果

机房名称	关注点位置	透视状态总剂量率 (μ Sv/h)	摄影状态总剂量率 (μ Sv/h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)			人员类型
					透视	摄影	总剂量	
DSA01	西患者防护门外	3.48E-03	8.78E-01	1	0.001	0.015	0.016	公众人员
	控制室	4.36E-03	1.102	1	0.00145	0.01837	0.02	职业人员
DSA02	西患者防护门外	3.48E-03	8.78E-01	1	0.001	0.015	0.016	公众人员
	控制室	5.09E-03	1.285	1	0.0017	0.02142	0.023	职业人员

DSA03	西患者防护门外	4.26E-03	1.076	1	0.00142	0.018	0.02	公众人员
	控制室	2.89E-03	7.3E-01	1	0.00096	0.012	0.013	职业人员
DSA04	东污物走廊	3.97E-03	1	1	0.0013	0.01667	0.018	公众人员
	控制室	6.22E-03	1.571	1	0.002	0.026	0.028	职业人员

由表 11-30 可知，DSA 机房外控制室辐射工作人员年有效剂量为 0.028mSv，公众的年有效剂量最大为 0.018mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标》(GB18871-2002) 中本次评价所取的管理目标值（其他职业人员 2mSv/a，公众人员 0.1mSv/a）。根据剂量率与距离成反比的关系，距离机房越远，辐射剂量率越低，本项目 50m 评价范围内公众受到本项目的辐射影响更低。由此说明，本项目 DSA 机房的防护设计满足要求，其正常运行时产生的辐射影响在国家相关标准允许的范围以内。由于剂量估算存在不确定性，应以实际个人剂量监测结果为准。

(2) DSA 机房内介入操作人员的外照射辐射年有效剂量估算

根据 DSA 手术的操作流程和特点，摄影时所有工作人员（包括医生、护士）均撤离手术室，手术期间需边进行手术操作、边透视，透视时间长、且同室近台操作，透视模式下的工作人员受照剂量率和受照时长远大于摄影模式，因此手术室内辐射工作人员受照剂量估算主要考虑透视的工作状态。

参加 DSA 手术的工作人员应按要求佩戴个人防护用品，正确使用移动铅帘。根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）的规定，严格按照要求在铅围裙外领口锁骨对应领口位置和围裙内左胸口位置各佩戴一个剂量计，个人有效剂量按照以下公式进行估算：

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \quad (\text{公式 11-18})$$

式中：

E ——有效剂量中的外照射分量，单位为毫希沃特（mSv）

α ——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84；

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

β ——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.100；

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

毫希沃特 (mSv)。

本项目运行后预计单台 DSA 年开展介入手术 1000 台，每台 DSA 配备 14 名介入工作人员 (12 名介入医生、1 名技师、1 名护士)，分 6 组进行手术， 每组工作人员包括 2 名介入医生、1 名护士、1 名技师。

介入医师和护士在透视模式下进入 DSA 手术室进行操作，摄影在机房外进行操作，将有关参数代入公式 11-18，计算第一术者、第二术者人员年有效剂量，结果列于表 11-31。

表 11-31 DSA 术者位介入人员透视条件下年有效剂量估算结果一览表

机房名称	保护目标	工作时间	α	β	部位	透视剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	人员分组	每组年有效剂量 mSv/a
DSA 机房	第一术者	333.33h	0.79	0.051	铅衣内	4.6E+01	6 组	2.8
					铅衣外	2.88E+02		
	第二术者				铅衣内	20.29		1.25
					铅衣外	127.1		

本项目医生及护士仅在透视状态下位于机房内工作，摄影时，医生和护士退至控制室内，医生及护士叠加摄影条件下的剂量结果见表 11-32。

表 11-32 DSA 术者位职业人员附加年有效总剂量估算结果一览表

机房名称	人员	透视条件下年有效剂量 (mSv/a)	摄影条件下年有效剂量	单组叠加剂量 (mSv/a)
DSA 机房	第一术者	2.8	$1.571 \times 16.67 / 1000 = 0.026$	2.826
	第二术者	1.25		1.276

通过表 11-32 可知，介入工作人员第一术者位年有效剂量为 **2.826mSv/a**、第二术者位为 **1.276mSv/a**，事实上，上述估算偏保守，项目 DSA 设备床边操作系统、床边剂量控制系统等防护设施可实时显示剂量率、调节运行档位。因此，项目 DSA 在正常运行情况下，医护人员实际受到的年附加剂量率小于理论计算值。介入手术医生和护士受到的附加年有效剂量低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中年剂量限值(职业人员 20mSv)及本次评价所取的年剂量管理目标值(机房内职业人员 5.0mSv/a)。

因此本评价认为项目建成后，本项目相关辐射工作人员的剂量计检测结果小于本次

评价的理论计算结果。

(五) 核医学科

β射线辐射环境影响分析

本项目涉及使用的放射性核素 ^{18}F 、 ^{131}I 在衰变过程中会有β粒子，其中放射性核素 ^{18}F 衰变产生的β粒子与衰变产生的正电子迅速发生湮灭反应而转化成一光子，所以本次评价可不考虑 ^{18}F 的β射线所致轫致辐射的影响。放射性核素 ^{131}I 也主要考虑γ射线的影响。

(1) 公式的选取

根据《辐射防护手册 第三分册》（原子能出版社）P23，β射线最大射程对应的防护厚度 d 按公式（11-1）计算，计算结果见表 11-33。

$$d = \frac{1}{2\rho} \cdot E_{\beta_{\max}} \quad (\text{式 11-1})$$

式中： d ：β粒子最大射程对应的防护厚度，cm；

ρ ：材料的密度， g/cm^3 ；

$E_{\beta_{\max}}$ ——β射线的最大能量，MeV。

(2) 参数的选取

由公式 11-1 可知，β射线在介质中的防护厚度与介质的密度、β射线的最大能量有关。空气、皮肤、有机玻璃的密度取自《辐射防护手册 第三分册》（原子能出版社）P23 表 2.8。根据建设单位提供的防护材料设计参数，实心砖密度约 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ ，混凝土密度约 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，硫酸钡密度约 $3.2\text{g}/\text{cm}^3$ ，铅板密度约 $11.3\text{g}/\text{cm}^3$ ，铅玻璃密度约 $4.2\text{g}/\text{cm}^3$ 。计算结果详见下表。

表 11-33 核素衰变产生的β射线最大射程对应的防护厚度

屏蔽材料 d	ρ 材料密度 (g/cm^3)	核素 ^{18}F	核素 ^{131}I
		$E_{\beta_{\max}}$ (MeV) 0.63 (+)	$E_{\beta_{\max}}$ (MeV) 0.602
防护厚度 (cm)			
空气	0.001293	243.62	232.79
皮肤	0.85~1.0	0.37~0.315	0.354~0.301
有机玻璃	1.18	0.267	0.255
实心砖	1.65	0.19	0.18
混凝土	2.35	0.134	0.128
硫酸钡水泥	3.2	0.098	0.094

铅板	11.3	0.028	0.027
铅玻璃	4.2	0.075	0.072
注： $E_{\beta\max}$ 来源于《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）附录 H 表 H.1。			

由上表可知，放射性核素 ^{18}F 、 ^{131}I 产生的 β 射线在空气中和砖墙中的射程很短，最大分别为 243.62cm 和 0.19cm，而本项目核医学科非密封放射性物质工作场所设置了足够的空间，且 ^{18}F 分装柜的铅当量为 50mm， ^{131}I 自动分装柜、手动分装柜的铅当量为 20mm，有墙体和铅门进行屏蔽，同时 β 射线在铅板中的射程最大为 0.028cm，故放射性核素 ^{18}F 、 ^{131}I 产生的 β 射线对周围环境影响很小。

表面污染环境的影响分析

表面沾污的影响主要来源于辐射工作人员操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响，因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求，环评要求建设方要做到以下防护措施：

- (1) 使用、操作放射性同位素的人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；
- (2) 开瓶、转移、标记、分离纯化等易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作须在手套箱内进行；
- (3) 操作液体放射性物质应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料；
- (4) 吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取；
- (5) 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；
- (6) 放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污。工作人员应进行淋浴；
- (7) 放射性药品用后应及时存放在专用柜内，需防盗、防水、防火、柜外应有电离辐射标志；
- (8) 做好就诊病人的管理，特别是注射放射性药品的病人管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动。
- (9) 如表面污染水平超过 GB18871-2002 规定值，医院应暂停开展核医学活性区的相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务，同时辐射工作人员出现手、皮肤、内衣、工作袜等出现污染情况（超过 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）需及时进行去污操作并暂停放射性物质操作评估其受照射剂量，并根据评估结果采取下一步措施（调整工作或接受治疗

等)。

X 射线辐射环境影响分析

本项目 PET-CT 和 SPECT-CT 的 CT 自身带有屏蔽系统，且机房周围主要受泄漏辐射影响，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》P23 页：“(77) 用于诊断目的的每一个 X 线管必须封闭在管套内，以使得位于该套内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1 米处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h”，故本项目保守取值为 1000 μ Gy/h，换算系数，近似 1Sv=1Gy。各屏蔽体外的辐射剂量率计算公式见公式 11-15，计算参数见表 11-34，辐射计算结果见表 11-35。

表 11-34 CT 机房屏蔽体外辐射剂量率计算参数表

计算参数	H_0	f	B	R
3mmPb	1000 μ Sv/h	0.1%	0.000127547	以机房中心点为源点计算
5mmPb			1.88728E-06	
8mmPb			4.30833E-09	

表 11-35 CT 机房屏蔽体外辐射剂量率计算结果表

机房	屏蔽体	屏蔽材料	铅当量厚度 (mm)	辐射源点至屏蔽体外 30cm 处距离 (m)	辐射剂量率 (μ Sv/h)
SPECT-CT 机房	观察窗外 30cm	3mmPb 铅玻璃	3	4.28	2.82E-02
	防护门外 30cm	内衬 3mm 铅板	3	4.42	2.64E-02
	东西墙外 30cm	370 实心红砖+30 硫酸钡	5	4.65	3.53E-04
	南北墙外 30cm	370 实心红砖+30 硫酸钡	5	4.82	3.29E-04
	顶棚 30cm	250 混凝土	3	4.95	2.11E-02
	楼下距地面 170cm	250 混凝土	3	4.85	2.20E-02
PET-CT 机房	观察窗外 30cm	8mmPb 铅玻璃	8	4.28	9.53E-07
	防护门外 30cm	内衬 8mm 铅板	8	4.42	8.93E-07
	东西墙外 30cm	370 实心红砖+30 硫酸钡	5	4.65	3.53E-04
	南北墙外 30cm	370 实心红砖+30 硫酸钡	5	4.82	3.29E-04
	顶棚 30cm	250 混凝土	3	4.95	2.11E-02
	楼下距地面 170cm	250 混凝土	3	4.85	2.20E-02

注：混凝土密度取 2.35g/cm³核算等效屏蔽厚度，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 附录 C，得 140kV 工况下 249mm 混凝土折算为 3mmPb 当量，本次 250mm 混凝土折算按 3mmPb 当量计。由于《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 附录 C 中未提供实心砖、硫酸钡在 140kV 的拟合参数，无法进行等效铅当量厚度的计算，故参考《放射防护实用手册》(主编赵兰才、张丹枫) 表 6.14，实心砖密度取 1.65g/cm³核算等效屏蔽厚度，370mm 实心砖 140kV 管电压下

保守折算为3mmPb当量；140kV管电压下，30mm硫酸钡等效为2mmPb。

由上表可知，本项目 PET-CT、SPECT-CT 射线装置产生的 X 射线对机房四周剂量当量率辐射影响满足 GBZ130-2020 标准要求。

敷贴室辐射环境影响分析

⁹⁰Sr 核素为纯β衰变，屏蔽强β粒子的高原子序数材料会产生韧致辐射。根据《辐射安全手册》（潘自强主编），对β辐射源，韧致辐射采用下式进行计算。韧致辐射的平均能量是入射β粒子最大能量的 1/3。

$$H_L = \frac{6 \times A \times E^2}{r^2} (Z + 1) \mu_{en}$$

式中：

H_L —韧致辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

r —参考点至韧致辐射源的距离， cm ；

A —为β放射源的放射性活度， MBq ；

Z —为吸收β粒子屏蔽材料的原子序数。有机玻璃 Z 取 5.9；

E —为β粒子的最大能量， MeV ；

I —内韧致辐射贡献的修正因子，有机玻璃取 5.4；

μ_{en} —为韧致辐射的质能吸收系数。查《辐射安全手册》表 3.3，保守取 $12.547\text{E-}02\text{cm}^2/\text{g}$ 。

本项目 ⁹⁰Sr 敷贴器由医院外购成品敷贴器，⁹⁰Sr 敷贴器最大活度 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ 。⁹⁰Sr 敷贴器按韧致辐射能量为 0.65MeV 进行计算，查 NCRP Report No.151 中 P158 Fig.A.1a，砖的什值层约为 40cm ，铅的什值层约为 2cm 。

表 11-35 ⁹⁰Sr 敷贴治疗关注点辐射剂量率估算

关注点	照射类型	源强 (MBq)	距离 (m)	屏蔽材料及厚度	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
敷贴治疗室西墙外30cm处	公众照射	740	2.6	240mm实心红砖	2.78×10^{-8}
敷贴室防护门外30cm处	公众照射	740	1.3	内衬1mm铅板	0.009
医生操作位	职业照射	740	0.5	0.5mmPb当量铅衣	0.424

注：⁹⁰Sr敷贴器在储源室和敷贴室的转移过程中由于有有机玻璃容器的屏蔽，其辐射剂量率可以忽略。

γ射线环境影响分析

①计算参数

本项目核素显像区各参数如下：

A、¹⁸F 预期最大放射性活度：

1)¹⁸F 分装柜药物活度：每日送药两次（上午、下午各一次），每天最大送药量不超过 14800MBq (400mCi)，分装柜每天最大药物分装活度按 7400MBq (200mCi) 进行计算；

2)¹⁸F 患者注射放射性药物活度：本项目单个受检者注射药物按照 370MBq (10mCi) 进行计算；

3) ¹⁸F 注射位按 1 名患者注射考虑，每名患者按 370MBq(10mCi)进行计算，注射后患者高活走廊按 1 名患者考虑，源活度按照 370MBq(10mCi)进行计算；

4) 根据医院提供资料，¹⁸F 注射后候诊室按 1 批次最多 3 名患者同时候诊考虑，源活度按照 1110MBq(30mCi)进行计算；

5) PET-CT 机房一次扫描 1 名患者，PET-CT 扫描患者 40 人/天，患者注射药物 370MBq(10mCi)休息 1h 后再接受扫描，放射性核素衰变 t 时间后的活度计算公式如下：

$$A_t = A_0 \times e^{-\lambda t} = A_0 \times e^{\frac{-\ln 2}{T^{1/2}} \times t}$$

A_t ——放射性核素衰变 t 时间的剩余活度，MBq；

A_0 ——放射性核素初始活度，MBq；

$T^{1/2}$ ——放射性核素半衰期时间，h；

λ ——放射性核素衰变常数；

根据上述公式计算可知，¹⁸F 在 60min 的衰变系数为 0.6852，则机房内源活度按照 253MBq 进行计算；

6)留观抢救室最多按 2 名 ¹⁸F 患者考虑，受检者注射药物后休息 1h 再接受扫描，PET-CT 一人平均扫描时间 10min，2 名患者衰变时间分别为 70min、80min，则留观抢救室的 ¹⁸F 总活度按照 461MBq(分别为 238MBq、223MBq)进行计算。

B、^{99m}Tc 预期最大放射性活度：

1)^{99m}Tc 通风橱药物活度：药物由供药方一天送药两次，每天送药最多 20 支（分 2 个转运盒，单个转运盒最多 10 支药物，药物已装进注射手柄，单支注射器外包装铅套屏蔽厚度 6mmPb，本次通风橱总活度按 14800MBq(400mCi) 进行计算。

2)^{99m}Tc 药物抽测活度：根据标准要求取总药量的 10%进行抽测，则每天抽测药物活度为 1480MBq。

3)^{99m}Tc 患者注射放射性药物活度:本项目单个受检者注射药物按照 740MBq(20mCi) 进行计算;

4) 根据建设单位提供的工作计划, ^{99m}Tc 每日就诊患者 20 人, 药物最大操作量为 14800MBq(400mCi) , ^{99m}Tc 通风橱按照源活度 14800MBq(400mCi) 进行计算;

5) ^{99m}Tc 注射位按 1 名患者注射考虑, 每名患者按 740MBq(20mCi)进行计算, 注射后患者高活走廊按 1 名患者考虑, 源活度按照 740MBq(20mCi)进行计算;

6)^{99m}Tc 注射后候诊室按 3 名患者同时候诊考虑, 源活度按照 2220MBq(60mCi)进行计算;

7) SPECT-CT 机房一次扫描 1 名患者, 患者注射药物 740MBq(20mCi)休息 2h 再接受扫描, 则根据衰减公式计算, 机房内源活度按照 588MBq 进行计算;

8) 留观抢救室按 1 名患者考虑, 受检者注射药物后休息 2h 再接受扫描, 一人平均扫描时间 20min, ^{99m}Tc 衰变时间为 140min, 则留观室的 ^{99m}Tc 源活度按照 566MBq 进行计算。

核素显像区各场所计算参数详见表 11- 36。

表 11-36 核素显像区各场所计算参数取值一览表

场所	核素	说明	最大放射性活度 A(MBq)
双联分装柜	¹⁸ F	每次最大送药量7400MBq送至 50mmPb分装柜, 一天两次	7400
	^{99m} Tc	每天最大送药量14800MBq, 送至 20mmPb通风橱	14800
转运	¹⁸ F	每批次分装好3个患者的药物装进 30mm铅盒转运至注射窗口, 注射窗 40mmPb	每批次最大活度1110
	^{99m} Tc	每批次3个患者的药物装进10mm铅 盒转运至注射窗口6mmPb	每批次最大活度2220
抽测	^{99m} Tc	取总药量的10%抽测	1480
注射位	¹⁸ F	1人注射, 注射窗50mmPb	370
	^{99m} Tc	1人注射, 注射窗6mmPb	740
¹⁸ F注射后候诊室	¹⁸ F	3人候诊	1110
¹⁸ F注射后患者高活走廊	¹⁸ F	1次1人	370
PET-CT机房	¹⁸ F	1人扫描, 受检者注射药物后休息1h 再接受扫描	253
留观/抢救室	¹⁸ F	保守2人, 受检者注射药物后休息1h 再接受扫描, 一人平均扫描时间10min , 2人 ¹⁸ F衰变时间分别为70min、80min	461(分别为238、223)
^{99m} Tc注射后候诊室	^{99m} Tc	3人候诊	2220
^{99m} Tc注射后患者高活走廊	^{99m} Tc	1次1人	740
SPECT-CT机房	^{99m} Tc	1人扫描, 受检者注射药物后休息2h	588

		再接受扫描	
留观室/抢救室	^{99m} Tc	保守1人，受检者注射药物后休息2h再接受扫描，平均扫描时间20min， ^{99m} Tc衰变时间为140min	566

本项目 ¹³¹I 核素治疗区各参数如下：

1) ¹³¹I 患者放射性药物活度：本项目 ¹³¹I 甲亢治疗每周工作 3 天（星期一、星期三、星期五），设 3 个核素病房，每天最多住院 6 个病人，每间病房最多 2 人，一年最多治疗 900 人，平均每个病人治疗期间 ¹³¹I 服药量为 10mCi (3.7×10⁸Bq)；甲测每天最多检查 5 个病人，每周工作 3 天，每年工作 50 周（检查 750 人/年），平均每个人检查期间 ¹³¹I 服药量为 10μCi (3.7×10⁵Bq)。放射性药物 ¹³¹I 为医院每周购药三次（星期一、星期三、星期五），一次最大送药量为 2.22185×10⁹Bq (60.05mCi)。

2) ¹³¹I 放射性药物转运：每天最大来药量 2.22185×10⁹Bq (60.05mCi)，由供药方将药物装入 ¹³¹I 半自动分装柜内或送入储源室内，工作人员进入控制室，每天控制电脑自动分碘仪分出 1mCi 的药物转移至 ¹³¹I 手动分装柜进行甲测患者的用药分装。

3) 甲亢病房按照 2 人 1 间考虑，病床之间设置 10mm 铅防护屏隔开，源活度按照 740MBq (20mCi) 进行计算；

4) 患者通道按照 1 名甲亢病人考虑，源活度按照 370MBq (10mCi) 进行计算。

¹³¹I 核素治疗区各场所计算参数详见表 11-37。

表 11-37 核素治疗区各场所计算参数取值一览表

场所	说明	最大放射性活度 A (MBq)
¹³¹ I 半自动分装柜	每天一次性最大进药 2.22185×10 ⁹ Bq，半自动分装柜铅当量 20mm	5560
¹³¹ I 手动分装柜	每次 1mCi (3.7×10 ⁷ Bq)，手动分装柜铅当量 10mm	37
患者通道	1 名甲亢病人考虑	370
服药窗口	1 名甲亢病人考虑	370
甲亢病房	2 人 1 间	740

②计算公式

本项目γ射线剂量率评价公式采用《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录 I 中屏蔽厚度 X 计算公式演变而来，具体如下：

$$H_p = A \times f \times R^{-2} \times 10^{-x/TVL}$$

式中：

H_p ——经屏蔽后，关注点处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A ——放射源的预期最大放射性活度， MBq ；

f ——距离 1m 处剂量率常数， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$ ， ^{18}F ：裸源 0.143，患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率 0.092；

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ ：裸源 0.0303，患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率 0.0207；

^{131}I ：裸源 0.0595，患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率 0.0583；

R ——关注点距辐射源的距离， m ；

x ——屏蔽层厚度， mm ；

TVL —— γ 射线在相应屏蔽材料中的什值层厚度， mm 。详见表 11- 38。

表 11-38 TVL 取值表

核素	TVL (mm)			
	铅 ($11.3\text{g}/\text{cm}^3$)	混凝土 ($2.35\text{g}/\text{cm}^3$)	砖 ($1.65\text{g}/\text{cm}^3$)	硫酸钡 ($3.2\text{g}/\text{cm}^3$)
^{18}F	16.6	176	263	130
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	110	160	81
^{131}I	11	170	240	125
注释：	根据《放射卫生学》P141，硫酸钡涂料属于低原子序数 (<56) 物质组成材料，可以采用密度比 ($d_{\text{混凝土}}=d_{\text{材料}}\cdot(\rho_{\text{材料}}/\rho_{\text{混凝土}})$) 换算成混凝土的厚度，20mm硫酸钡涂料换算成27.23mm混凝土。			

③关注点位的选取

本项目核医学科工作场所选取 16 个功能用房进行计算，点位如图 11-8 所示。根据医院提供的综合住院楼结构剖面图，综合住院楼一楼层高为 5.4m、二楼层高为 4.6m、负一楼层高为 5.3m。

关注点与辐射源的距离取值原则：

本报告核医学科辐射源的高度为离地面 1m；关注点距离选取参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 J 表 J.1 均取四周及顶棚屏蔽体外 0.3m 处。防护门外关注点距离为 $1.3\text{m}=1\text{m}+0.3\text{m}$ ，药物在通风橱内距离柜体外表面 0.3m 的关注点保守以 0.3m 计，工作人员转移药物时身穿 0.5mmPb 的铅防护用品，手持托盘，增加药物与工作人员的防护距离，药物转移时，取辐射源点与人员的距离为 0.5m，服药时患者距离窗口保守以 0.3m 计。

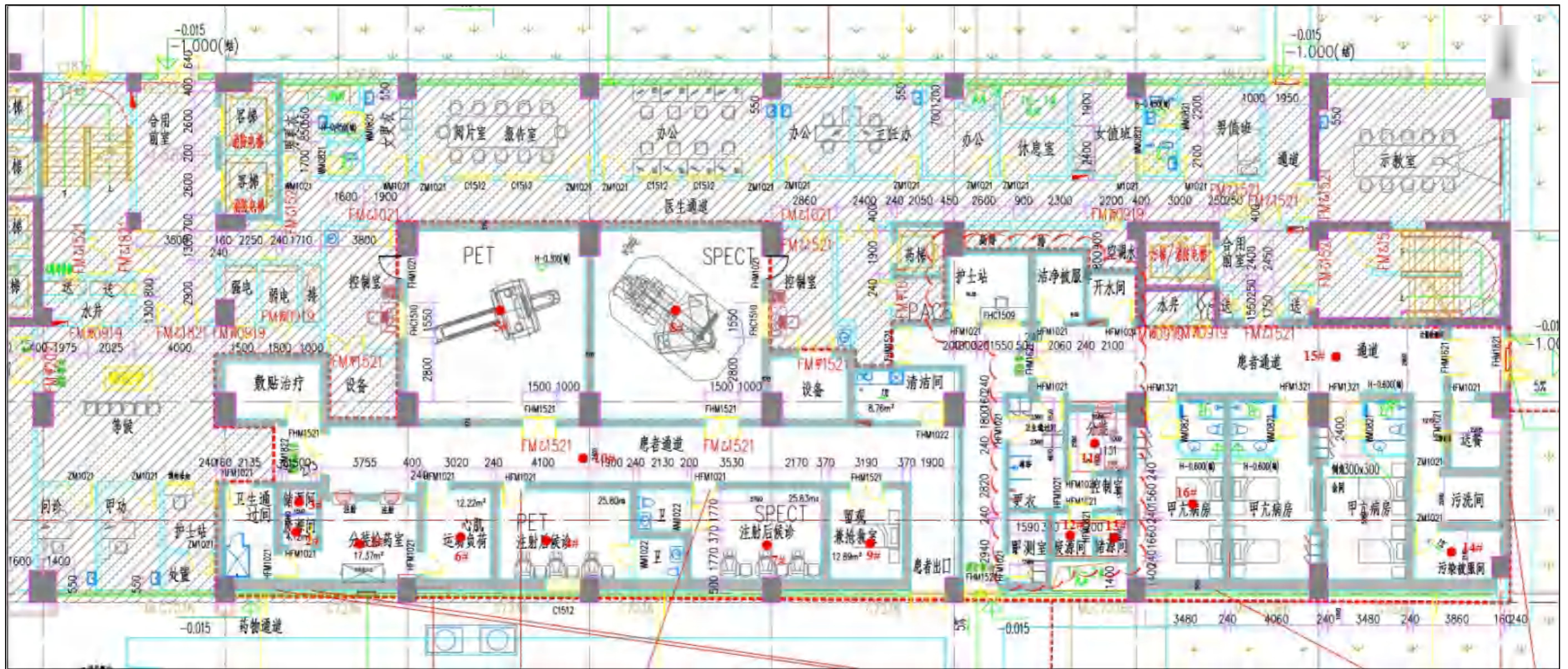


图 11-8 核医学科工作场所计算功能用房点位

④计算结果

根据以上计算公式，本项目核医学科核素显像区各场所计算结果详见表 11- 39，从事注射工作人员的手部、身体剂量率以及摆位人员剂量率估算详见表 11-40。

表 11-39 核医学科核素显像区各场所辐射剂量率计算参数及结果一览表

关注点	计算参数					计算结果	屏蔽体外周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	
	A (MBq)	f $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/$ (h \cdot MBq)	R (m)	x (mm)	TVL (mm)	Hp ($\mu\text{Sv/h}$)		
分装给药室 1#	^{18}F 分装柜体外表面30cm	7400	0.143	0.3	分装柜铅 50+50mm铅罐	铅16.6	0.011	2.5
	^{18}F 分装柜体外表面30cm	370	0.143	0.3	分装柜铅50	铅16.6	0.572	2.5
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 通风橱柜体外表面30cm	14800	0.0303	0.3	分装柜铅 20+20mm铅罐	铅1	0	2.5
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 通风橱柜体外表面30cm	740	0.0303	0.3	分装柜铅20	铅1	0	2.5
	^{18}F 注射窗外表面30cm	370	0.143	0.3	铅40+20mm注射器铅套	铅16.6	0.143	2.5
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射窗外表面30cm	740	0.0303	0.3	铅6+6mm注射器铅套	铅1	0	2.5
储源室2# (距离墙体、门0.5m计)	墙外30cm	7400	0.143	1.17	实心红砖370mm 铅当量 23.35+50mm铅罐	铅16.6	0.029	2.5
		14800	0.0303	1.17	实心红砖370mm 铅当量 2.31+20mm铅罐	铅1	0	
	顶部顶板外 30cm	7400	0.143	4.88	混凝土180(铅合计16.98)+50mm 铅罐	铅16.6	0.004	2.5
		14800	0.0303	4.88	混凝土180(铅合计1.636)+20mm 铅罐	铅1	0	
	楼下距地面 170cm	7400	0.143	4.71	混凝土110(铅合计10.375) +50mm铅罐	铅16.6	0.011	2.5
		14800	0.0303	4.71	混凝土110(铅合计1)+20mm铅罐	铅1	0	

	防护门外 30cm	7400	0.143	0.8	内衬1mm铅板 +50mm铅罐	铅16.6	1.4	2.5
		14800	0.0303	0.8	内衬1mm铅板 +20mm铅罐	铅1	0	
固废间3#(全部以 ¹⁸ F放射性固废距离墙体、门0.5m计)	墙外30cm	0.5mSv/h (固废间约5袋废物,每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h)		1.17	实心红砖370mm 铅当量 23.35+20mmPb 衰变箱	铅16.6	0.894	2.5
	顶部顶板外 30cm			4.88	混凝土180(铅当量16.98) +20mmPb衰变箱	铅16.6	0.124	
	楼下距地面 170cm			4.71	混凝土110(铅当量10.375) +20mmPb衰变箱	铅16.6	0.334	
	防护门外 30cm			0.8	内衬15mm铅板 +20mmPb衰变箱	铅16.6	6.086	
¹⁸ F注射后候诊室 4#(患者南墙距离墙体0.5m、其他墙体距离1m,门距离1m计)	东墙外30cm	1110	0.092	1.67	实心红砖 370+30mm硫酸	铅16.6	0.844	2.5
	南墙外30cm	1110	0.092	1.3	钡(铅合计27.18) 、南墙实心红		0.759	2.5
	西墙外30cm	1110	0.092	1.67	砖500(铅31.56		0.844	2.5
	北墙外30cm	1110	0.092	1.67)		0.844	10
	顶部顶板外 30cm	1110	0.092	4.88	混凝土180(铅合计16.98)		0.41	2.5
	楼下距地面 170cm	1110	0.092	4.71	混凝土110(铅合计10.375)		1.09	2.5
	防护门外 30cm (1名患者距离防护门1m计算)	370	0.092	1.3	铅当量8mm防护门		6.64	10
PET-CT机房 5#	东墙外30cm	253	0.092	1.7	实心红砖370、硫酸钡30(铅合计	铅16.6	0.186	2.5
	南墙外30cm (患者距离墙体1m计算)	253	0.092	1.7	27.18)		0.186	10
	西墙外30cm (患者距离墙体1m计算)	253	0.092	1.7			0.186	2.5

	北墙外30cm (患者距离 墙体1m计算)	253	0.092	1.7			0.186	2.5
	顶部顶板外 30cm	253	0.092	4.95	混凝土250(铅合 计23.58)		0.036	2.5
	楼下距地面 170cm	253	0.092	4.85	混凝土250(铅合 计23.58)		0.038	2.5
	观察窗外 30cm(患者位 于机房中心 计算)	253	0.092	4.2	铅当量8mm		0.435	2.5
	防护门外 30cm(患者位 于机房中心 计算)	253	0.092	4.2	铅当量8mm		0.435	10
运动平板实 验室 6#(患者南墙 距离墙体 0.5m、其他 墙体距离1m ，门距离1m 计)	东墙外30cm	740	0.0207	1.67	实心红砖 370+30mm硫酸 钡(铅合计2.68) ; 南墙实心红砖 500(铅3.125)	铅1	0.011	2.5
	南墙外30cm	740	0.0207	1.3			0.007	2.5
	西墙外30cm	740	0.0207	1.67			0.011	2.5
	北墙外30cm	740	0.0207	1.67			0.011	10
	顶部顶板外 30cm	740	0.0207	4.88	混凝土180(铅合 计1.636)		0.015	2.5
	楼下距地面 170cm	740	0.0207	4.71	混凝土110(铅合 计1)		0.069	2.5
	防护门外 30cm	740	0.0207	1.3	铅当量3mm		0.009	2.5
^{99m} Tc注射后 候诊室 7#(患者南墙 距离墙体 0.5m、其他 墙体距离1m ，门距离1m 计)	东墙外30cm	2220	0.0207	1.67	实心红砖 370+30mm硫酸 钡(铅合计2.68) ; 南墙实心红砖 500(铅3.125)	铅1	0.034	2.5
	南墙外30cm	2220	0.0207	1.3			0.020	2.5
	西墙外30cm	2220	0.0207	1.67			0.034	2.5
	北墙外30cm	2220	0.0207	1.67			0.034	10
	顶部顶板外 离地30cm	2220	0.0207	4.88	混凝土180(铅合 计1.636)		0.04	2.5
	楼下距地面 170cm	2220	0.0207	4.71	混凝土110(铅合 计1)		0.21	2.5
	防护门外 30cm (1名患者距离 防护门1m计)	740	0.0207	1.3	铅当量3mm		0.009	10
	东墙外30cm (患者距离	588	0.0207	1.7	实心红砖370、硫 酸钡30(铅合计	铅1	0.009	2.5

SPECT-CT机 房 8#	墙体1m计算)				2.68)				
	南墙外30cm (患者距离 墙体1m计算)	588	0.0207	1.7			0.009	10	
	西墙外30cm (患者距离 墙体1m计算)	588	0.0207	1.7			0.009	2.5	
	北墙外30cm (患者距离 墙体1m计算)	588	0.0207	1.7			0.009	2.5	
	顶部顶板外 30cm	588	0.0207	4.95	混凝土250(铅合 计2.27)		0.003	2.5	
	楼下距地面 170cm	588	0.0207	4.85	混凝土250(铅合 计2.27)		0.003	2.5	
	观察窗外 30cm(患者位 于机房中心 计算)	588	0.0207	4.2	铅当量3mm		0.001	2.5	
	防护门外 30cm(患者位 于机房中心 计算)	588	0.0207	4.2	铅当量3mm		0.001	2.5	
留观室/抢救 室9#(以2名 ¹⁸ F患者、1名 ^{99m} Tc患者最 大留观剂量 预测)	东墙外30cm (患者距离 墙体1m计算)	461 566	0.092 0.0207	1.67	¹⁸ F: 实心红砖 370+30mm硫酸 钡(铅合计27.18)、南墙实心红 砖500(铅31.56) ^{99m} Tc: 实心红砖 370+30mm硫酸 钡(铅合计2.68) ; 南墙实心红砖 500(铅3.125)	¹⁸ F: 铅16.6 ^{99m} Tc: 铅1	0.351+0.09	2.5	
	南墙外30cm (患者距离 墙体0.5m计 算)	461 566	0.092 0.0207	1.3			0.315+0.005	2.5	
	西墙外30cm (患者距离 墙体1m计算)	461 566	0.092 0.0207	1.67			0.351+0.09	2.5	
	北墙外30cm (患者距离 墙体1m计算)	461 566	0.092 0.0207	1.67			0.351+0.09	10	
	顶部顶板外 30cm	461 566	0.092 0.0207	4.88			¹⁸ F: 混凝土180 (铅合计16.98) ^{99m} Tc: 混凝土180 (铅合计1.636)	0.169+0.011	2.5
	楼下距地面 170cm	461 566	0.092 0.0207	4.71			¹⁸ F: 混凝土110 (铅合计10.375) ^{99m} Tc: 混凝土	0.453+0.053	2.5

					110 (铅合计1)			
	防护门外 30cm (1名 ¹⁸ F 患者距离防 护门1m计)	238	0.092	1.3	铅当量8mm防护 门		4.271	10
患者通道 10# (以1名 ¹⁸ F 患者距离防 护门1m计)	西入口防护 门外30cm	370	0.092	1.3	铅当量20mm防护 门	16.6	1.257	2.5
	东出口防护 门外30cm	238	0.092	1.3	铅当量20mm防护 门	16.6	0.808	2.5

表 11-40 从事注射、转运、抽测、摆位工作人员剂量率估算表

关注点	计算参数					计算结果
	A (MBq)	f $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	R (m)	x (mm)	TVL (mm)	Hp ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
¹⁸ F 转运	1110	0.143	0.5	铅盒 30、注 射器铅套 20	16.6	0.618
¹⁸ F 注射位	370	0.143	0.3	注射窗 40、 注射器铅套 20	16.6	0.143
PET-CT 摆位	253	0.092	1.0	0.5	16.6	21.72
^{99m} Tc 抽测	740	0.0303	0.5	10	1	忽略不计
^{99m} Tc 转运	2220	0.0303	0.5	铅盒 10、铅 套 6	1	忽略不计
^{99m} Tc 注射位	740	0.0303	0.5	6	1	忽略不计
SPECT-CT 摆位	588	0.0207	1.0	0.5	1	3.849

表 11-41 核素治疗区辐射剂量率计算参数及结果一览表

关注点	计算参数					计算结果	
	A (MBq)	f $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	R (m)	x (mm)	TVL (mm)	Hp ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	
¹³¹ I 自动分装柜外 5cm	2221.85	0.0595	0.05	分装柜铅 20+50mm 铅 罐	11	0.023	
¹³¹ I 手动分装柜外 5cm	37	0.0595	0.05	分装柜铅 20	11	13.384	
¹³¹ I 自动分装柜外 30cm	2221.85	0.0595	0.3	分装柜铅 20+50mm 铅 罐	11	0.0008	
¹³¹ I 手动分装柜外 30cm	37	0.0595	0.3	分装柜铅 20	11	0.372	
	东墙外 30cm	37	0.0595	0.67	手动分装柜	11	0.002

分装给药室 11#	南墙外 30cm	37	0.0595	0.67	铅 20+370 砖 墙铅 16.96	11	0.002
	西墙外 30cm	37	0.0595	2.23			0
	北墙外 30cm	37	0.0595	2.26			0
	顶部顶板外离地 30cm	37	0.0595	4.88	铅 20+混凝土 180 铅 11.647	0	
	楼下距地面 170cm 处	37	0.0595	4.71	铅 20+混凝土 110 铅 7.12	0	
	防护门外 30cm	37	0.0595	1.3	铅 20+1mmPb 防护门	0.016	
储源室 12# (距墙体、门 0.5m 计算)	墙外 30cm	2221.85	0.0595	1.17	50mm 铅罐; 370 砖墙铅 16.96; 混凝土 180 铅 11.647; 混凝土 110 铅 7.12; 1mmPb 防护门	11	0
	顶部顶板外 30cm	2221.85	0.0595	4.88			0
	楼下距地面 170cm	2221.85	0.0595	4.71			0
	防护门外 30cm	2221.85	0.0595	0.8			0.0048
固废间 13# (距墙体 0.5m、门 1m 计算)	墙外 30cm	0.5Sv/h		1.17	20mmPb 衰变箱; 370 砖墙铅 16.96; 混凝土 180 铅 11.647; 混凝土 110 铅 7.12; 10mmPb 防护门	11	2.168
	顶部顶板外 30cm	(固废间约 5 袋废物, 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h)		4.88			0.26
	楼下距地面 170cm			4.71			0.524
	防护门外 30cm			1.3			4.612
污染被服间 14# (距墙体 0.5m、门 1m 计算)	东、西、北墙外 30cm	0.5Sv/h		1.17	20mmPb 衰变箱; 370 砖墙铅 16.96; 南墙 500 砖墙铅 22.9; 混凝土 180 铅 11.647; 混凝土 110 铅 7.12; 10mmPb 防护门	11	2.168
	南墙外 30cm	(污染被服间约 5 袋废物, 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h)		1.3			0.770
	顶部顶板外 30cm			4.88			0.26
	楼下距地面 170cm			4.71			0.524
	防护门外 30cm			1.3			4.612
患者通道 (宽 2.9m)	西墙外 30cm	370	0.0583	1.7	370 砖墙铅 16.96	11	0.214
	南墙外 30cm	370	0.0583	2.12			0.138
	东墙外 30cm	370	0.0583	1.7			0.214
	北墙外 30cm	370	0.0583	2.12			0.138

15#(以1名甲亢患者位于走廊中间计算、东西防护门处墙体距离1m计)	顶部顶板外离地0.3cm	370	0.0583	4.88	混凝土 180 铅 11.647	11	0.079
	楼下距地面170cm处	370	0.0583	4.71	混凝土 110 铅 7.12		0.219
	东出口防护门外30cm	370	0.0583	1.3	铅当量 10		1.574
	西入口防护门外30cm	370	0.0583	1.3	铅当量 10		1.574
	取餐防护窗口外30cm	370	0.0583	1.3	铅当量 10		1.574
甲亢病房16#(以2个甲亢病人距离墙体1m计算)	东墙外30cm	740	0.0583	1.7	370 砖墙铅	11	0.429
	南墙外30cm	740	0.0583	1.3	16.96; 南墙		0.211
	西墙外30cm	740	0.0583	1.7	500 砖墙铅		0.429
	北墙外30cm	740	0.0583	1.7	22.9		0.429
	顶部顶板外离地0.3cm	740	0.0583	4.88	混凝土 180 铅 11.647		0.158
	楼下距地面170cm处	740	0.0583	4.71	混凝土 110 铅 7.12		0.438
	防护门外30cm(1个病人)	370	0.0583	1.3	铅当量 10		1.574

从上表可以看出，本项目核医学科工作场所周围辐射剂量率预测值能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“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 μ Sv/h”与“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 μ Sv/h，其中控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所应小于 10 μ Sv/h”的要求。

核素显像区射线机房辐射防护设计合理性分析

本项目核医学科涉及 2 台射线装置，分别是 1 台 PET-CT 和 1 台 SPECT-CT，核医学科射线装置机房屏蔽设计与标准对比情况详见表 11-42。注：PET-CT 和 SPECT-CT 带 CT 功能，按相应 CT 机的要求执行。

表 11-42 核素显像区射线装置机房辐射防护设计与 GBZ130-2020 的对照表

场所名称	项目类别	本项目	标准要求	是否符合要求
	机房内有效使用面积	65m ²	30m ²	符合
	机房内最小单边长度	7.9m	4.5m	符合

PET-CT 机房	屏蔽防护	东墙	370 实心红砖+30硫酸钡, 约5mmPb	2.5 mmPb	符合
		南墙	370 实心红砖+30硫酸钡, 约5mmPb		
		西墙	370 实心红砖+30硫酸钡, 约5mmPb		
		北墙	370 实心红砖+30硫酸钡, 约5mmPb		
		顶板	250混泥土, 约3mmPb		
		底板	250混泥土, 约3mmPb		
		防护门	8mmPb		
		观察窗	8mmPb 铅玻璃		
SPECT-CT 机房	机房内有效使用面积		65m ²	30m ²	符合
	机房内最小单边长度		7.9m	4.5m	符合
	屏蔽防护	东墙	370 实心红砖+30硫酸钡, 约5mmPb	2.5 mmPb	符合
		南墙	370 实心红砖+30硫酸钡, 约5mmPb		
		西墙	200 实心红砖+30硫酸钡, 约5mmPb		
		北墙	370 实心红砖+30硫酸钡, 约5mmPb		
		顶板	250混泥土, 约3mmPb		
		底板	250混泥土, 约3mmPb		
		防护门	3 mmPb		
观察窗		3mmPb 铅玻璃			

根据上表可知,本项目 1 间 PET-CT 机房、1 间 SPECT-CT 机房的最小有效使用面积及最小单边长度、机房屏蔽防护厚度均能满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中的相应要求。

综上所述,本项目核医学科核素显像区场所屏蔽设计不仅能满足放射性药物的辐射影响,也可以满足射线装置的屏蔽要求,核医学科产生的辐射影响较小。

核医学场所年有效剂量估算

①估算公式见公式 11-13。

②参数选取

核素显像区:

本项目受影响人员主要包括辐射工作人员以及周边公众,根据本项目特点,辐射工作人员主要考虑分装操作、测活、转运药物以及注射药物时可能受影响。关注点处剂量率根据表 11-39 和表 11-40 估算结果进行取值,详见表 11-43。

¹⁸F 药物分装按每人每次 1min 计,注射按 1min 计,药物转运从分装柜到注射窗口,转运时间按 1min 计,摆位人数按总人数的 10%考虑,摆位时间 3min/人次。PET-CT

扫描时间按 10min 计。本项目按最不利情况考虑，分装、注射、药物转运由 1 名放射工作人员负责，摆位、扫描由 1 名工作人员负责。

^{99m}Tc 根据预约病人情况外购好药品，药品到达院内通风橱后，取总药量的 10% 进行抽测，抽测按 1min/支计，则抽测总时间为 8.33h/a，注射按 1min 计，药物转运从通风橱到注射窗口，转运时间按 1min 计，摆位人数按总人数的 10% 考虑，摆位时间 3min/人次。SPECT-CT 扫描时间按 20min 计。本项目按最不利情况考虑，抽测、注射、药物转运由 1 名放射工作人员负责，摆位、扫描由 1 名工作人员负责。本项目核医学科场所辐射工作人员及公众可达处受照时间详见表 11-44。

表 11-43 核素显像区辐射工作人员及公众关注点剂量率取值一览表

点位描述		屏蔽体外 30cm 处剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
辐射工作人员	^{18}F 药物分装	0.572
	^{18}F 药物转运	0.618
	^{18}F 药物注射	0.143
	PET-CT 扫描	0.435
	PET-CT 摆位	21.72
	^{99m}Tc 抽测	忽略不计
	^{99m}Tc 转运	忽略不计
	^{99m}Tc 药物注射	忽略不计
	SPECT-CT 扫描	0.001
	SPECT-CT 摆位	3.849
公众 (考虑人员 可达以及屏蔽体 外剂量最大处)	^{18}F 注射后候诊室楼上距离顶板外 30cm (楼上)	0.41
	^{18}F 注射后候诊室楼下距离地面 170cm (楼下)	1.09
	核医学科南面综合住院楼外	0.759

表 11-44 核素显像区辐射工作人员及公众关注点受照时间一览表

点位描述		每次操作时长	全年工作量	年受照时间
辐射工 作人员	^{18}F 药物分装	1min/370MBq	$370 \times 10000\text{MBq/a}$	166.67h
	^{18}F 药物转运	1min/370MBq	$370 \times 10000\text{MBq/a}$	166.67h
	^{18}F 药物注射	1min/370MBq	$370 \times 10000\text{MBq/a}$	166.67h
	PET-CT 扫描	10min/人次	10000 人次/a	1666.7h
	PET-CT 摆位	3min/人次	1000 人次/a	50h
	^{99m}Tc 抽测	1min/支	500 支/a	8.33h
	^{99m}Tc 转运	1min/2220MBq	3700000MBq/a	27.78h
	^{99m}Tc 药物注射	1min/740MBq	3700000MBq/a	83.33h
	SPECT-CT 扫描	20min/人次	5000 人次/a	1666.7h
	SPECT-CT 摆位	3min/人次	500 人次/a	25h

公众 (考虑 人员 可达 处)	¹⁸ F 注射后候诊室楼上距 离顶板外 30cm (规划为输 液室)	按每年每个病人输液 72h 计	
	¹⁸ F 注射后候诊室楼下距 离地面 170cm (风机房、 地下停车场)	日工作约 8h, 年工作日 250 天, 居留因子 取 1/40	50h
	核医学科南面综合住院楼 外	日工作约 8h, 年工作日 250 天, 居留因子 取 1/20	100h

注：居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的规范性附录 A 的要求取值。

核素治疗区：

核素治疗区受影响人员主要包括辐射工作人员以及周边公众，根据项目特点，辐射工作人员主要考虑核素治疗病房病人对其照射影响。辐射工作人员及人员可达处关注点剂量率根据表 11-41 估算结果进行取值，详见表 11-45。

表 11-45 核素治疗区辐射工作人员及公众可达处剂量率取值一览表

保护目标		屏蔽体外 30cm 处剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)
辐射工作 人员	¹³¹ I 手动分装	0.372
	最西边甲亢病房病人照射	0.429
公众	甲亢病房上方	0.158
	甲亢病房下方	0.438
	甲亢病房南侧	0.211
	患者通道北面楼梯间、电梯间	0.138
	患者通道西入口防护门外 30cm 处	1.574
	患者通道东出口防护门外 30cm 处	1.574

操作室辐射工作人员星期二~星期四受最西侧甲亢病房患者照射影响，甲测药物手动分装按 3min/人次计，则手动分装一年时间为 37.5h。甲亢患者窗口服药时间及在患者通道内停留时间均按 1min/人次计，则每年为 15h。每天取 8h 作为甲亢病房住院期间对公众的受照时间。

公众受照时间根据公众可达处的场所功能取相应的居留因子。辐射工作人员及公众受照时间详见表 11-46。

表 11-46 核素治疗区辐射工作人员及公众可达处受照时间取值一览表

保护目标		年受照时间	备注
辐射工作人员	¹³¹ I 手动分装	37.5h	/
	最西边甲亢病房病人照射	1200h	每天取 8h 照射时间，一年共 1200h
公众	甲亢病房上方（规划为输液室）	按每年每个病人输液 72h 计	
	甲亢病房下方（地下停车场）	30h	每天取 8h 照射时间，一年共 1200h，居留因子取 1/40
	甲亢病房南侧（综合住院楼楼外）	30h	每天取 8h 照射时间，一年共 1200h，居留因子取 1/40
	患者通道北面楼梯间、电梯间	0.9375h	年治疗甲亢患者 750 人次，每人每次停留时间按 1min 计，居留因子取 1/16
	患者通道西入口防护门外 30cm 处	1.875h	年治疗甲亢患者 750 人次，每人每次停留时间按 1min 计，居留因子取 1/8
	患者通道东出口防护门外 30cm 处	1.875h	年治疗甲亢患者 750 人次，每人每次停留时间按 1min 计，居留因子取 1/8

③估算结果

本项目核医学科核素显像区辐射工作人员及公众可达处个人剂量估算详见表 11-47。

表 11-47 显像区辐射工作人员及公众关注点剂量估算一览表

点位描述		屏蔽体外 30cm 处 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年受照时间 h/a	估算结果 mSv/a
辐 工 作 人 员	¹⁸ F 药物分装	0.572	166.67h	0.095
	¹⁸ F 药物转运	0.618	166.67h	0.1
	¹⁸ F 药物注射	0.143	166.67h	0.024
	PET-CT 扫描	0.435	1666.67h	0.725
	PET-CT 摆位	21.72	50h	1.086
	^{99m} Tc 抽测	忽略不计	8.33	忽略不计
	^{99m} Tc 转运	忽略不计	27.78	忽略不计
	药物注射 ^{99m} Tc	忽略不计	83.33	忽略不计
	SPECT-CT 扫描	0.001	1666.7	0.0017
	SPECT-CT 摆位	3.849	25	0.096
公 众 可 达 处	¹⁸ F 注射后候诊室楼上距离顶板外 30cm（规划为输液室）	0.41	72	0.03
	¹⁸ F 注射后候诊室楼下距离地面 170cm（风机房、地下停车场）	1.09	50	0.05
	核医学科南面综合住院楼外	0.759	100	0.0759

对于 PET-CT 和 SPECT-CT 的辐射工作人员还应考虑射线装置产生的辐射影响，通过表 11-35 可知，SPECT-CT 机房观察窗屏蔽体外的辐射剂量率为 0.0282 μ Sv/h，PET-CT 机房西墙屏蔽体外的辐射剂量率为 0.000353 μ Sv/h，PET-CT 和 SPECT-CT 操作人员的剂量估算详见表 11-48。

表 11-48 PET-CT 和 SPECT-CT 操作人员剂量估算一览表

点位描述	屏蔽体外 30cm 处剂量率(μ Sv/h)	年受照时间 h/a	估算结果 mSv/a
PET-CT 操作人员	0.000353	1666.7	0.0006
SPECT-CT 操作人员	0.0282	1666.7	0.047

本次评价按最不利情况考虑，药物的分装（抽测）、药物转运、注射由 1 名放射工作人员负责，摆位、扫描、操作射线装置由 1 名放射工作人员负责，则本项目放射工作人员受到总剂量详见表 11-49。

表 11-49 最不利情况核医学场所工作人员剂量估算一览表

工作描述	¹⁸ F、 ^{99m} Tc 操作人员	PET-CT 操作人员	SPECT-CT 操作人员
药物分装/抽测	0.095mSv/a	/	/
药物转运	0.1mSv/a	/	/
药物注射	0.024 mSv/a	/	/
摆位	/	1.086	0.096
扫描	/	0.725	0.0017
操作射线装置	/	0.0006	0.047
总剂量	0.219mSv/a	1.8116mSv/a	0.1447mSv/a

综上所述，本项目核医学科显像区辐射工作人员年有效剂量小于医院提出的 5mSv/a 的管理目标值，公众年有效剂量最大为 0.0759mSv，低于医院提出的 0.1mSv/a 的管理目标值。

11-50 核素治疗区辐射工作人员及公众剂量估算一览表

保护目标		屏蔽体外 30cm 处剂量率 (μ Sv/h)	年受照时间	个人剂量估算结果 (mSv/a)
辐射工作人员	¹³¹ I 手动分装	0.372	37.5h	0.53
	最西边甲亢病房病人照射	0.429	1200h	
公众	甲亢病房上方（规划为输液室）	0.158	72h	0.01
	甲亢病房下方（地下停车场）	0.438	30h	0.013

甲亢病房南侧（综合住院楼楼外）	0.211	30h	0.00633
患者通道北面楼梯间、电梯间	0.138	0.9375h	0.0001
患者通道西入口防护门外 30cm 处	1.574	1.875h	0.003
患者通道东出口防护门外 30cm 处	1.574	1.875h	0.003

由上表可知，本项目核素治疗区辐射工作人员年有效剂量小于医院提出的 5mSv/a 的管理目标值，公众年有效剂量低于医院提出的 0.1mSv/a 的管理目标值。

11.2.2 放射性废物影响分析

一、放射性废气

核医学核素显像区分装室设置 1 台 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 双联分装柜，核素治疗区设置 1 台 ^{131}I 自动分装柜。本项目两台分装柜壁顶均安装有轴流风机（风速不小于 0.5m/s），顶端为排气口，能保持柜内负压。在分装柜的壁顶设置活性炭吸附装置，经过滤后汇入分装给药室主排风管经排风井引至楼顶排放。

核素治疗区甲亢病房设一套单独排风管，经排风井引至楼顶排放，排风口末端设置活性炭吸附装置。

本项目核素治疗区分装室、核素病房均有独立的排风管道，符合相关标准要求。

正常情况下，核医学科的废气经活性炭过滤后排放对环境影响不大。

二、放射性废水

正常工况下，本项目仅有核医学科会产生放射性废水，放疗科、介入科无放射性废水产生。核医学科放射性废水主要来自给药后患者在控制区内候诊、留观或患者住院期间的排泄和冲洗废水，以及控制区内工作场所清洁、工作人员冲淋废水。

核素显像区衰变池废水暂存衰变时间约为 32 天，放射性废液衰变时间满足标准 HJ1188-2021 的要求“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”。

^{131}I 核素治疗区衰变池废水暂存衰变时间约为 427 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函 2023[20]号)中：“槽式衰变池中含碘-131 放射性废水暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放”的放射性废液排放要求。

三、放射性固废

正常工作下，本项目仅核医学科会产生放射性固废，放疗科、介入科无放射性固废产生。

本项目核医学科核素显像诊断场所产生的放射性固废暂存于固废间内，暂存 30 天达到解控标准后按医疗废物处理，核医学科核素治疗区产生的放射性固废暂存于固废间、污物暂存间内，暂存 180 天达到解控标准后按医疗废物处理。 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活性炭吸附装置产生的废活性炭暂存满 30 天达到解控标准后按危险废物处置， ^{131}I 活性炭吸附装置产生的废活性炭暂存满 180 天达到解控标准后按危险废物处置。

另外，PET-CT 机房产生退役的 ^{68}Ge 校准源，用铅罐暂存在校准源库内，按时交生产厂家回收处置，不会对周边环境产生影响。敷贴治疗产生的废 ^{90}Sr 敷贴器由厂家负责回收处置。后装机每年更换 2 次放射源，退役 ^{192}Ir 放射源通过铅罐封存后短时间在机房保险柜内暂存，换源事宜由供源厂家专业技术人员负责运输、安装，退役放射源随即由供源厂家进行回收。

本项目放射性固废应严格采取以下治理措施：

①严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理。应力求控制和减少放射性废物产生量。

②放射性固废应按照医疗废物（危险废物）的管理要求，实行联单管理制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。

③供收集的专用污物桶应具有外防护层和电离辐射警告标志，污物桶放置点应避开工作人员作业和经常走动的地方。

④内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套。

另外，对购置未用完的放射性药物废原液，应严格控制其产生，根据病人的实际或预计使用量，根据最优化原则预定放射性药物，对于残余的微量余液应存放在原容器内衰减至达到清洁解控水平（ 10Bq/g ）作为医疗废物处置。

综上所述，正常情况下，本项目核医学科产生的放射性废气、废水和固体废物对环境影响不大。

11.3 产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2024 年 2 月 1 日起施行），本项

目属于“鼓励类”第六项“核能”中第4款“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，符合国家鼓励类产业政策。

11.4 实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

本项目的建设（放射治疗场所、介入场所、核医学场所）对保障健康、拯救生命有着十分重要的作用。项目运营以后，将为病人提供一个优越的诊疗环境，具有明显的社会效益，同时将提高医院档次及服务水平，吸引更多的就诊人员，医院在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。此外，通过核算及预测，该项目屏蔽和防护措施符合要求，对环境的影响也在可接受范围内。

因此，本项目的实施对受照个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

11.5 事故影响分析

本项目涉及II类、III类射线装置、III类放射源、V类放射源、非密封放射性物质的使用。在项目运行过程中存在着风险和潜在的危害。

11.5.1 事故风险类型及应急处理措施

医院使用放射治疗场所、介入场所、核医学场所开展辐射诊疗工作，不同情况将会产生不同的事故。医院应按照各种规章制度的要求，严防各种事故的发生。当发生事故后，应按照应急预案的要求进行补救，加强应急响应准备和事故应急演练，根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第449号)，辐射事故从重到轻分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，见表11-51。

表 11-51 国务院令第 449 号辐射事故等级分级一览表

事故等级	危害结果
特别重大辐射事故	是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上(含 3 人)急性死亡
重大辐射事故	是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下(含 2 人)急性死亡或者 10 人以上(含 10 人)急性重度放射病、局部器官残疾。

较大辐射事故	是指III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下(含 9 人)急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	是指IV类、V 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

本项目可能发生的辐射事故均为一般辐射事故。可能发生辐射事故的意外条件及事故防范应急处理措施如下：

一、直线加速器

1、在意外情况下，本项目医用直线加速器可能出现的事故如下：

- (1)人员误入正在出束的射线装置治疗机房；
- (2)职业人员或病人家属未全部撤离机房，突然启动设备，造成人员被误照；
- (3)急停开关失灵或停束装置出现故障，照射不能停束，造成意外照射；
- (4)设备维修后未校准合格，造成人员超剂量照射。

2、事故防范处理措施

(1)加速器机房具有良好的屏蔽设计和多重联锁装置，以保证其安全运行，但需定期进行检查和维护，保障安全设施的有效性。

(2)制定明确的操作规程，在放射治疗操作时，至少有 2 名操作人员同时在场，操作人员按照操作规程进行操作。为防止其他人员误留在加速机房的误照射，加速器在每次出束的时候必须对机房进行检查，确认无误后，方可进行加速器出束。

(3)当急停开关失灵后，要立即断开整机动力电源；操作人员不能再开机，直到维修人员确保机器能够正常工作和急停开关正常。

(4)加速器放疗工作人员在每次进入加速器室时须佩戴剂量报警仪和个人剂量计。

(5)加速器出束前应使用对讲广播提示人员撤出治疗机房，并经视频监控确认无人员滞留后方可开机。

(6)设备维修后，应进行校准合格后才能使用。

二、后装治疗机

1、在意外情况下，本项目后装机可能出现的事故如下：

(1)后装机在安装和换放射源时，放射源意外掉落，会对周围造成很强的辐射照射。

(2)检修时，误将后装机的屏蔽装置打开或卸下放射源，都会对维修工人产生极大的辐射照射。

- (3)进行治疗时，门机连锁装置失效，以致其他人员误入治疗室内，造成误照射。
- (4)密封放射源或包容放射性物质的设备或容器泄漏，致使周围人员受到照射。
- (5)后装机机可能出现卡源事件，造成放射源无法归位。
- (6)未对治疗室进行清场，有他人滞留，开机工作，造成误照射。
- (7)由于工作人员的操作失误，造成意外辐射事故。
- (8)放射源被盗、丢失，造成意外辐射事故。

2、事故防范处理措施

(1)工作人员每次上班时首先要检查安全联锁装置是否正常。如有故障，应立即修理，恢复正常后，方可开展治疗工作。

(2)医务人员必须严格按照装置操作程序进行治疗，防止事故照射的发生，避免人员受到辐射照射。

(3)在机房内应设置紧急停机按钮与醒目的指示和说明，便于在紧急情况下使用。

(4)工作人员准备开始开机之前，应对治疗室进行清场，并通过视频监控确认治疗室内无人员逗留，方能开机工作。

(5)发现事故，需紧急停机控制事故，消除事故源，严禁无关人员进入，防止事故继续蔓延和扩大。

(6)停电或意外事故中断治疗时，放射源应有立即自动回到贮存位置的装置。

(7)设备出现故障，应通知厂家立即派专业技术人员到现场排除故障，医院不能擅自处理。

(8)制定并落实放射源管理制度，设专人负责，做好放射源使用登记工作，确保放射源的安全。应设置防盗门及报警装置等设施，做好防盗工作。禁止无关人员进入工作场所区域。

三、DSA

1、在意外情况下，本项目 DSA 可能出现的事故如下：

(1)放射工作人员违反放射操作规程或误操作，造成意外照射。

(2)联锁装置发生故障情况下，人员误入正在运行的射线装置机房。

(3)其它医护人员还未全部撤离机房，即进行曝光，人员受到不必要的照射。所受到的照射剂量与其所在位置有关，距离射线装置越近，受照剂量越大。

(4)在防护门未关闭的情况下即进行曝光操作，可能给工作人员和周围活动的人员造成不必要的照射。

(5)介入手术时间过长，导致手术医生超剂量照射。

(6)医护人员开展治疗时，未正确穿戴或者个人防护用品不能有效进行防护，受到射线照射。

2、事故防范处理措施

(1)对医用射线装置制定明确的操作规程，在放射诊断操作时，至少有 2 名操作人员同时在场，操作人员按照操作规程进行操作。

(2)控制出束时间，在不影响手术的情况下降低设备管电压和管电流参数。

(3)设备具有安全指示设备，当设备出现错误或故障时，能中断照射，并有相应故障显示。

(4)急停措施：在控制室内、DSA 操作控制面板上、设备间电源开关分别设置急停按钮，当发生紧急情况，按下任一个急停开关按钮，立即停止 X 射线出束。

(5)介入手术时，操作医生需要确认机房内无其它闲杂人等、铅防护门正常关闭之后才能开启曝光。

(6)放射工作人员在进行放射诊疗工作时必须穿戴好防护用品，并佩戴个人剂量计，严禁在无任何防护措施情况下进行曝光，并定期对防护用品有效性进行检测。

(7)警示标志：机房防护门外设置醒目的电离辐射危险标志及工作状态指示灯。

(8)患者通道防护门应有闭门装置，防止其它人员误入。

(9)定期对医院射线装置的安全和防护设施进行有效性检查，落实监督各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故发生。

四、核医学科

核素显像区在运行中可能发生的辐射事故有：

①由于工作人员操作不慎，溢漏、撒泼放射性物质，污染工作台面和地面。

②放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

③排风系统故障。

④由于管理不善，放射性药物、放射源被盗、丢失。

预防措施：

①制定相关的操作规程，并对操作放射性药物的人员进行严格培训，通过内部考核后，上岗工作。上述措施可以有效避免因操作失误，导致工作场所发生局部放射性污染的事件发生。

②放射性药物按核素分类收集、暂存，做好台账登记，检测合格后方可拿出固废间。

③定期检查排风系统。

④制定并落实放射性核素管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。应设置防盗门、防盗窗及报警装置等设施，做好防盗工作。

11.5.2 应急方案的启动

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

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

(3) 各应急救助物质应准备充分、调配及时。

(4) 发生事故后应在 2 小时内报告生态环境部门、卫生行政部门。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

1、辐射安全管理领导机构

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日实施）第十六条第一款“使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证时，使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 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”。

攸县人民医院（攸州中心医院）目前设立有放（辐）射防护管理委员会，且委员会下设办公室在公卫科，负责委员会日常管理及事务（附件 3），放（辐）射防护管理委员会具体成员如下：

表 12-1 医院放（辐）射防护管理委员会现有具体成员

机构名称	放（辐）射防护管理委员会	
管理人员	职务或职称	姓名
组长/主任	党委书记、法人	徐俊余
副组长/副主任	副院长	刘永、文红梅
成员	副院长	蔡建平、易继红、符志刚
成员	纪委书记	唐华容
成员	正科级干部	谭卫波
成员	党政办主任	李玉龙
成员	医务部主任、临床药学科主任	朱玲
成员	护理部主任	龙湘秦
成员	药剂科主任、药政办主任	唐建树
成员	财务科主任	贺忆
成员	设备科主任	文熙
成员	人力资源部主任	朱珍娇
成员	评价办（双联双创办）主任	邓华
成员	保卫科主任	戴天卫
成员	公共卫生科主任	颜琼
成员	口腔科主任	胡雪平
成员	心血管内科主任、心血管内科一区主任	刘冬青
成员	医务部副主任、介入医学中心主任、心血管内科二区主任	熊升林
成员	放射科主任	易永忠
成员	甲亢科主任	吴刚

成员	体检中心主任	蔡道伟
成员	放射科副主任	陈志刚
成员	体检中心副主任	陈志军
成员	医疗安全办主任	王水华

放（辐）射防护管理委员会的主要职责如下：

①制订本院放射安全与防护工作的计划和总结；对放射安全控制效果进行评议；定期对突发辐射事故应急预案、各放射安全与防护制度进行修订。

②负责对全院放射安全与防护工作进行监督，检查各种制度以及防护措施的贯彻落实情况，对检查过程中存在的问题提出整改意见并及时督促整改。

③负责本院放射工作人员的个人剂量监测、职业健康档案管理。

④组织实施放射人员关于放射安全与防护相关的法律法规及防护知识的培训工作。

⑤会同上级有关部门按有关规定调查和处理辐射事故，并对有关责任人员提出处理意见。

从上表可知，攸县人民医院（攸州中心医院）目前配置的放（辐）射防护管理委员会有一定的管理能力，可以满足医院现有辐射安全管理的要求。本项目为医院整体搬迁新院的核技术利用建设项目，新院将继续开展 DSA 介入手术及甲测测定、甲亢治疗，新增了直线加速器、后装治疗机放射治疗场所、PET-CT、SPECT-CT、甲亢治疗、敷贴治疗核医学场所，因此，为满足新院区辐射安全管理需求，医院在现有放（辐）射防护管理委员会基础上还应该增加放射治疗、核医学科的相关辐射防护管理成员及制定相关职责。

2、辐射工作人员及培训

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日实施）第十六条第二款“从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核”。根据生态环境部《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（2019 年，第 57 号）的相关要求，建设单位应在项目运行前组织本项目从事辐射工作的人员到生态环境部辐射安全与防护培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）报名参加并通过考核。

根据医院提供的计划方案，本项目近期开展所需辐射工作人员总人数为 42 人，其中医院原有介入中心以及核医学科场所停止使用后，原辐射工作人员调配至本项目对应

工作场所和岗位，其他新增人员由医院负责内部培训或外聘，具体人员配置方案待医院完善。

本评价要求，医院额外招聘医务人员或内部培训医务人员从事本项目辐射工作，医院均应组织新增医务人员参加生态环境部门认可的辐射安全与防护知识培训，并取得合格证，取得培训合格证的人员，医院应每五年组织一次复训。此外，医院应对新增医务人员进行职业健康体检及配发个人剂量计，经职业健康体检合格并取得辐射安全与防护知识培训合格证后才能上岗，并严格执行相关管理制度，以保证新院区项目的正常进行。

3、辐射安全管理相关制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日实施）第十六条第六款要求“使用放射性同位素、射线装置的单位应有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等”，及第七款要求“有完善的辐射事故应急措施”。

医院针对现有院区目前已开展的 DSA 介入手术、甲亢治疗等制定了相关辐射安全管理制度、辐射事故应急预案，本项目制定的相关规章制度见附件 5。

本项目涉及的放射治疗场所、核医学科场所在运行前医院应制定相关规章制度及应急预案。

医院应对核技术利用装置的安全防护和维修要落实到个人；在执行各项制度时，要明确管理人员、操作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己在岗位具体责任，层层落实。

在本项目运行前，各项规章制度、操作规程必须齐全，并张贴上墙；辐射工作场所均必须有电离辐射警告标志，屏蔽门上方还必须要在工作状态指示灯机警示语句，同时各项规章制度、操作规程、标志的张贴必须规范。

医院在今后工作中，应不断总结经验，根据实际情况，对各项制度加以完善和补充，并确保各项制度的落实。在运行过程中，还应根据生态环境部门对辐射环境管理的要求及时修订。

辐射监测

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）、《辐射环境监

测技术规范》（HJ 61-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《职业性外照个人监测规范》（GBZ128-2019）等的要求，应建立必要的监测计划。辐射监测内容包括运行期放射治疗场所、介入手术场所及核医学科工作场所及周围环境监测、个人剂量监测及放射工作人员职业健康检查等，要建立监测资料档案管理制度。

（1）放射治疗场所及周围环境监测

监测项目：X- γ 空气吸收剂量率

监测频次：每年委托有资质的单位监测一次，平时每个月自主监测一次，应急状况随时监测。

监测点位：两个直线加速器机房、后装治疗机房四周及顶棚墙体人员可达处；防护门外 30cm 处。

监测标准：《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）

（2）介入手术场所及周围环境监测

监测项目：X- γ 空气吸收剂量率；

监测频次：自主监测每季度一次；设备初次投入使用、大修及更换关键组件时；

监测点位：距 DSA 机房四周墙体、防护门、窗表面外 30cm；顶棚上方（楼上）距顶棚地面 30cm、机房地面下方（楼下）距楼下地面 170cm；

监测标准：《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）。

（3）核医学科工作场所及周围环境监测

详见表 12-2。

（4）个人剂量监测及职业健康管理

攸县人民医院（攸州中心医院）需对放射工作人员开展个人剂量监测，监测工作要委托具有相应资质的放射防护技术服务机构承担，个人剂量监测周期最长不应超过 90 天，医院需配合委托单位及时收发个人剂量卡。个人剂量监测档案包括放射工作人员姓名、性别、起始工作时间、监测年份、职业类别、每周期受照剂量、年有效剂量、多年

累积有效剂量等内容。加强对放射性工作人员个人剂量档案、个人职业健康档案的保管，要求终身保存，放射性工作人员调动工作单位时，个人剂量、个人职业健康档案应随其转给调入单位。攸县人民医院（攸州中心医院）还应关注辐射工作人员每一次的累积剂量监测结果，对监测结果超过剂量管理限值的原因进行调查和分析，优化实践行为，同时应建立并终生保存个人剂量监测档案，以备辐射工作人员查看和管理部门检查。

辐射工作人员上岗前应当进行上岗前的职业健康检查，符合放射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作；项目运行后，攸县人民医院（攸州中心医院）还应当组织放射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过2年，必要时可增加临时性检查。

表 12-2 监测计划要求一览表

监测对象	监测内容	监测点位	监测频次
辐射工作人员	配放个人剂量计，个人剂量监测	/	90天为一周期，一年监测四次
放射治疗场所	X- γ 空气吸收剂量率	两个直线加速器机房、后装治疗机房四周及顶棚墙体人员可达处；防护门外30cm处。	每年委托有资质的单位监测一次，平时每个月自主监测一次，应急状况随时监测。
DSA介入场所	X- γ 空气吸收剂量率	距DSA机房四周墙体、防护门、窗表面外30cm；顶棚上方（楼上）距顶棚地面30cm；机房地面下方（楼下）距楼下地面170cm。	每年委托有资质的单位监测一次，平时每个季度自主监测一次。
核医学科场所	核医学科工作场所及周围环境辐射水平（X- γ 辐射剂量率）	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	每年委托监测1次，自主监测不少于1次/月
	放射性固体废物	废物包装外表面30cm处X- γ 辐射剂量率、表面污染	处理前
	衰变池放射性废水排放口	总 β 放射性	排放前
	核医学科工作场所表面放射性污染（表面污染）	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测），每年委托监测1次

等。

辐射事故应急

1、辐射事故应急响应机构的设置

医院成立了辐射安全与环境保护管理领导小组（附件3），该领导小组负责对医院辐射事故应急处理的统一领导、统一指挥，组织、开展辐射事故的应急处理救援工作。

2、辐射事故应急预案

为建立健全辐射事故应急机制，及时处置突发辐射事故，提高应急处置能力，最大程度地减少辐射事故及其可能造成的人员伤害和财产损失，医院需制定的辐射事故应急预案主要内容应包括：应急组织结构应急职责分工，辐射事故应急处置(最大可信事故场景，应急报告，应急措施和步骤，应急联络电话)，应急保障措施，应急演练计划。辐射事故应急应纳入建设单位安全生产事故应急管理体系，定期组织演练。应做好与从事活动相匹配的辐射事故应急物资(装备)的准备，如使用放射源应急处理工具(如长柄夹具等)、放射源应急屏蔽材料或容器、灭火器材等。

(1) 医院根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《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》等法规的有关规定，开展辐射事故预防与应急处置。

(2) 医院对其辐射活动中辐射事故的应急准备与响应负首要责任，遵照国家和地方政府有关规定，制定了辐射事故应急响应与处置程序，并已按规定报当地政府有关部门审查批准或备案。

(3) 发生辐射事故时，医院将立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地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行政主管部门报告。

(4) 医院将切实执行并落实辐射安全管理规章制度，加强实体保卫，切实有效地防止辐射事故（件）的发生。主要履行以下职责：

- ①全面负责本单位辐射环境和人员安全的管理；
- ②负责编制和修订本单位辐射突发环境事件应急预案；

- ③加强辐射应急队伍建设，购置必要的辐射应急装备器材；
- ④负责本单位辐射工作场所和环境的应急监测；
- ⑤负责本单位辐射突发环境事件的紧急处置和信息报告；
- ⑥对可能造成超剂量照射的人员进行初期医学处理，必要时及早使用抗放射药物；
- ⑦负责本单位辐射突发环境事件恢复重建工作，并承担相应的处置经费；
- ⑧积极配合行政主管部门的调查处理和定性定级工作；
- ⑨负责组织本单位辐射突发环境事件相关应急知识和应急预案的培训，在生态环境行政主管部门的指导下或自行组织演练。

3、事故应急培训演习计划

(1) 事故应急演练：完善的预案、周到的准备和准确的事事故处理必须依靠定期的应急演练来加以巩固和提高，从而真正发生时能够做到沉着应对、科学处置。医院的辐射事故应急预案及时修订，并定期组织应急演练，应急演练时注意以下几个方面：

①制定周密的演练方案：明确演练内容、目的、时间、地点、参演人员等。

②进行合理的人员分工：成立演练领导组、工作组、保障组等机构，进行角色分工，明确人员职责。

③做好充分的演练准备：维护仪器设备，配齐物资器材，找好演练场地。

④开展实战演练：按照事先预定的方案和程序，有条不紊的进行，演练过程中除非发生特殊情况，否则尽量不要随意中断。若出现问题，演练完毕后再进行总结。

⑤做好总结归纳：演练完毕要及时进行归纳总结，对于演练过程中出现的问题要认真分析，并加以改正，成功的经验要继续保持。

(2) 应急响应准备：包括建立辐射事故应急值班制度、开展人员培训、配备必要的应急物资和器材。

①辐射事故应急办公室应建立完善的辐射事故应急预警机制，及时收集、分析辐射事故相关信息，协调下设小组人员开展辐射事故应急准备工作，定期开展事故应急演练，提高应急处置能力。

②定期就辐射安全理论，辐射事故应急预案、程序和处置措施，以及应急监测技术等内容组织学习，必要时进行考核，以达到培训效果。

③根据医院核技术利用情况，可能发生的事故级别，做好事故应急装备的准备工作。

主要包括交通、通讯、污染控制和安全防护等方面的物资和器材。

4、事故应急处理措施

辐射事故一旦发生，应立即启动应急预案。应急响应程序如下：

一般报告程序为：发现者报告给医院辐射事故应急工作小组成员，由其向市生态环境局，并同时向省生态环境厅报告，设备被损应同时向公安机关报告，造成人员受到超剂量照射应同时向当地卫生行政主管部门报告。各部门联系方式如下：

市公安局电话：110；

市生态环境局电话：12345（24小时）；

市生态环境局攸县分局：12345；

省生态环境厅热线：0731-85698110；

株洲市卫健委24小时热线：12320；

医院辐射安全管理负责人：颜琼 1477333888。

建设项目环保投资

攸县人民医院（攸州中心医院）新院区核技术利用建设项目环保投资一览表见表12-3。

表 12-3 本项目环保投资一览表

序号	项目	费用 (万元)
1	机房屏蔽及通风系统建设	1400
2	辐射防护用品	50
3	固定式剂量报警仪	30
4	便携式表面污染仪	5
5	便携式 X/γ剂量率检测仪	5
6	个人剂量报警仪	5
7	X/γ个人剂量计	5
8	衰变池建设	30
合计		1530

环境保护竣工验收

攸县人民医院（攸州中心医院）新院区核技术利用建设项目环保竣工验收要求见表12-4。

表 12-4 环境保护竣工验收一览表

序号	验收项目	验收内容	验收要求
1	环保文件	项目建设的环评影响评价文件、环评批复、有资质单位出具验收监测报告	各项资料齐全
2	环境管理制度、应急措施	成立管理机构，制定的辐射防护相关制度内容切实可行，具有可操作性，设备有操作规程，应急预案	有专门的辐射领导机构，制定并落实各项制度，有关制度上墙，有完整可操作性的应急预案
3	辐射工作人员管理	①本项目拟配辐射工作人员84名；②医院应每90天对工作人员进行个人剂量检测，放射人员职业健康体检周期不超过2年，并将资料存档；③辐射工作人员需参加辐射安全知识培训，并且每5年进行一次复训。	①人员按要求配备到位，并具有相关的技术能力；②个人剂量、职业健康体检档案保存完整齐全；③辐射工作人员取得辐射安全知识培训证书后持证上岗，并每5年进行一次复训，档案保存完整齐全。
4	防护用品	防护监测设备和防护用品按报告表中要求落实	防护用品按要求落实到位（规格、数量满足日常工作需要）。
5	辐射屏蔽设计及安全防护措施	①机房屏蔽防护按环评报告表的要求落实到位； ②机房内不得堆放无关杂物，保持良好的通风； ③机房防护门上方设置工作状态指示灯，并且指示灯工作正常，射线装置机房设置门灯有效关联； ④各场所通风正常； ⑤防护门上均张贴醒目电离辐射警示标志、中文标明放射防护注意事项，安装工作状态指示灯，灯箱处设置警示语句，辐射防护管理制度在控制室内上墙； ⑥在控制室与各机房之间应设观察窗与对讲机，且观察窗的设置位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况； ⑦各机房安全连锁、急停按钮、应急开关等有效； ⑧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； ⑨机房防护墙体厚度满足标准要求。	①按要求落实机房屏蔽防护措施，屏蔽体外辐射剂量率满足标准要求。 ②机房内通风良好，无杂物。 ③按环评要求落实设备、机房各项安全措施，工作状态指示灯与机房门的关联有效。 ④各机房通风换气设施运转正常，机房内通风良好。 ⑤防护门上均张贴醒目电离辐射警示标志、中文标明放射防护注意事项，安装工作状态指示灯，灯箱处设置警示语句，辐射防护管理制度应在控制室内上墙； ⑥在控制室与各机房之间应设观察窗与对讲机，且观察窗的设置位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。 ⑦各机房安全连锁、急停按钮、应急开关等有效； ⑧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； ⑨满足GBZ130-2020、GBZ120-2020、GBZ121-2020中机房防护墙体厚度满足标准要求。
6	辐射监测	①每年委托有资质的单位对工作场所周围环境进行常规监测，并出具监测报告； ②配备相应的自检设备，定时自检。	①场所检测档案完整。 ②配备相应的自检设备（良好，有校准证书），防护用品数量、规格满足要求，定时自检。

7	电离辐射	剂量限值	放射治疗场所、核医学场所辐射工作人员、介入医生和护士年有效剂量 $<5\text{mSv}$ ； 其他辐射工作人员年有效剂量 $<2\text{mSv}$ ； 公众成员年有效剂量 $<0.1\text{mSv}$ ；	辐射工作人员个人剂量检测报告满足要求，如果超出年有效剂量数值，应调离工作岗位
		墙体外剂量率控制	距离各机房屏蔽体外30cm处的周围剂量当量率。	满足GBZ130-2020、GBZ120-2020、GBZ121-2020要求。
		表面污染	控制区的表面污染控制水平 $<40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，监督区的表面污染控制水平 $<4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，其他的表面污染控制水平 $<0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$	核医学科场所检测控制区的表面污染控制水平 $<40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，监督区的表面污染控制水平 $<4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，其他的表面污染控制水平 $<0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$
8	有害气体	核医学科、直线加速器机房、DSA机房、后装治疗机机房分别设置独立通风系统，核医学科分装柜废气经活性炭吸附后排放。	各机房通风设施运行良好，核医学科分装柜废气经活性炭过滤后排放，活性炭安防位置满足要求。	
9	放射性废水	核医学科设置单独排水系统和专用衰变池，衰变池有效容积满足要求，衰变池要防渗、防漏、防腐；核素显像区放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放； ^{131}I 放射性废液暂存时间超过180天后可直接解控排放。	核医学科设置单独排水系统和专用衰变池，衰变池有效容积满足环评要求，衰变池要防渗、防漏、防腐；钨、氟放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放； ^{131}I 放射性废液暂存时间超过180天后可直接解控排放。	
10	放射性固废	①配备放射性固体废物箱和固体废物衰变箱； ②废弃物放入专用固体废物箱暂存并定期运至放射性固体废物间贮存，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； ③直线加速器维修后更换的废靶按放射性固体废物进行处理。。	①按要求配备放射性固体废物箱和固体废物衰变箱； ②废弃物放入专用固体废物箱暂存并定期运至放射性固体废物间贮存，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； ③更换的废 ^{192}Ir 放射源、废 ^{68}Ge 密封校准放射源、废靶件按放射性固体废物进行处理。	
141	机房面积	机房最小有效使用面积，机房最小单边长度	DSA 机房：最小有效使用面积 $\geq 20\text{m}^2$ ，最小单边长度 $\geq 3.5\text{m}$ ； CT机房：最小有效使用面积 $\geq 30\text{m}^2$ ，最小单边长度 $\geq 4.5\text{m}$ ；	

表 13 结论与建议

一、结论

(一) 项目概况

医院整体搬迁新院区位于攸县东城新区，北临迎宾大道，南临金水路，东临紫云路，西临慈峰路，于 2016 年 10 月获得原攸县环境保护局批复（攸环评【2016】6 号），于 2019 年 4 月开工建设。医院拟在新院区门诊医技楼负一楼新建两个直线加速器机房（机房屏蔽设计均按照 10MV 直线加速器设备要求进行设计和施工）和一个后装治疗机房（使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源治疗，初装活度 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ）；在门诊医技楼二楼新建一个介入手术科室（建设三个 DSA 机房及相关配套用房）；在综合住院楼一楼新建一个核医学科场所（由敷贴及核素显像区和 ^{131}I 核素治疗区构成），敷贴及核素显像区建设一个 PET-CT 机房、一个 SPECT-CT 机房及相关用房、一个 ^{90}Sr 敷贴治疗室，使用非密封放射性物质 ^{18}F 用于 PET-CT 扫描，使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用于 SPECT-CT 扫描， ^{131}I 核素治疗区用于甲测、甲亢治疗，核医学场所为乙级非密封放射性物质工作场所；在综合住院楼五楼新建一个 DSA 机房及相关配套用房。

本项目各射线机房、放射源、非密封放射性物质工作场所均有各自满足相对独立、具有明确的监督区和控制区划分，工艺流程连续完整，有相对独立的辐射防护措施。

(二) 实践正当性分析

本项目的建设对保障健康、拯救生命起着十分重要的作用。项目营运以后提高了医院救治病人的效率，医院在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。因此，本项目的实施对受照个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

(三) 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2024 年 2 月 1 日起施行），本项目属于“鼓励类”第六项“核能”中第 4 款“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，符合国家鼓励类产业政策。

(四) 选址可行性分析

本项目位于医院新院区的门诊医技楼负一楼、二楼，综合住院楼一楼、五楼，根据

现场监测结果，本项目场址辐射环境质量现状良好，各场所周围无产科、儿科、新生儿科等特殊人群及人员密集区域，项目运营期产生的电离辐射、有害气体、放射性废水、放射性废气、放射性固废均得到有效治理，达标排放对环境的影响小。从环境保护角度分析，项目选址可行。

（五）环境影响分析结论

(1) 本项目涉源场所四周墙壁、地板、顶棚、防护门、窗均采取了相应的辐射屏蔽措施，能满足国家相关标准要求。

(2) 根据估算可知：

① 本项目加速器辐射工作人员职业照射的附加剂量低于医院设定的职业人员受照剂量管理目标值 5mSv/a 。本项目加速器机房周边公众可能受到的最大照射附加剂量满足医院设定的公众管理目标值 0.1mSv/a 要求。

② 本项目后装治疗机房辐射工作人员职业照射的附加剂量低于医院设定的职业人员受照剂量管理目标值 5mSv/a 。本项目后装治疗机房周边公众可能受到的最大照射附加剂量值低于医院设定的公众管理目标值 0.1mSv/a 要求。

③ 本项目 DSA 控制室内辐射工作人员有效剂量低于医院提出的 2mSv/a 的管理目标值；公众年有效剂量为低于医院提出的 0.1mSv/a 的管理目标值。本评价计算介入医生、护士年有效剂量均低于医院提出的 5mSv/a 的管理目标值。

④ 本项目核医学科辐射工作人员年有效剂量小于医院提出的 5mSv/a 的管理目标值，公众年有效剂量低于医院提出的 0.1mSv/a 的管理目标值。

(3) 医院拟按要求配备防护用品及检测仪器，防护用品的规格及数量可以满足医院辐射工作的开展。

(4) 医院成立了辐射防护管理委员会，制定了相关的管理制度及辐射事故应急预案。在项目运行前，医院应制定核医学场所的相关制度并修订完善辐射事故应急预案。

(5) 医院组织现有放射工作人员进行了个人剂量监测、职业健康监护检查并建立了相应的档案，新增放射工作人员按规定进行相应的检查与培训。

综上所述，攸县人民医院（攸州中心医院）新院区核技术利用建设项目实施符合相关法律法规和标准要求，医院认真贯彻落实本报告表中提到的环保措施后，从环境保护和辐射防护角度考虑，该项目的开展是可行的。

二、建议和要求

(1) 医院按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的要求，做好自主管理，制定工作场所和周围环境监测、委托监测等相关监测计划以及职业健康体检工作计划。加强对辐射装置的安全和防护状况的日常检查；

(2) 攸县人民医院（攸州中心医院）在今后工作中，不断总结经验，根据实际情况，对各项制度以及辐射事故应急预案加以完善和补充，并确保各项制度的落实；

(3) 加强对辐射工作人员职业健康体检档案的管理，制定相应的设备台账管理制度；

(4) 医院应按要求为辐射工作人员配备个人剂量片；

(5) 环评取得批复后，及时向相关部门申请变更《辐射安全许可证》，并按《建设项目竣工验收暂行办法》完成环保竣工验收工作；

(6) 对医院射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

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

附件 1 环评委托书

攸县人民医院（攸州中心医院） 委 托 书

长沙宏伟环保科技有限公司：

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》、《建设项目环境影响评价分类管理名录》等相关法律法规的规定，我单位研究决定委托贵单位承担“攸县人民医院（攸州中心医院）新院区核技术利用建设项目”环境影响评价报告表工作。

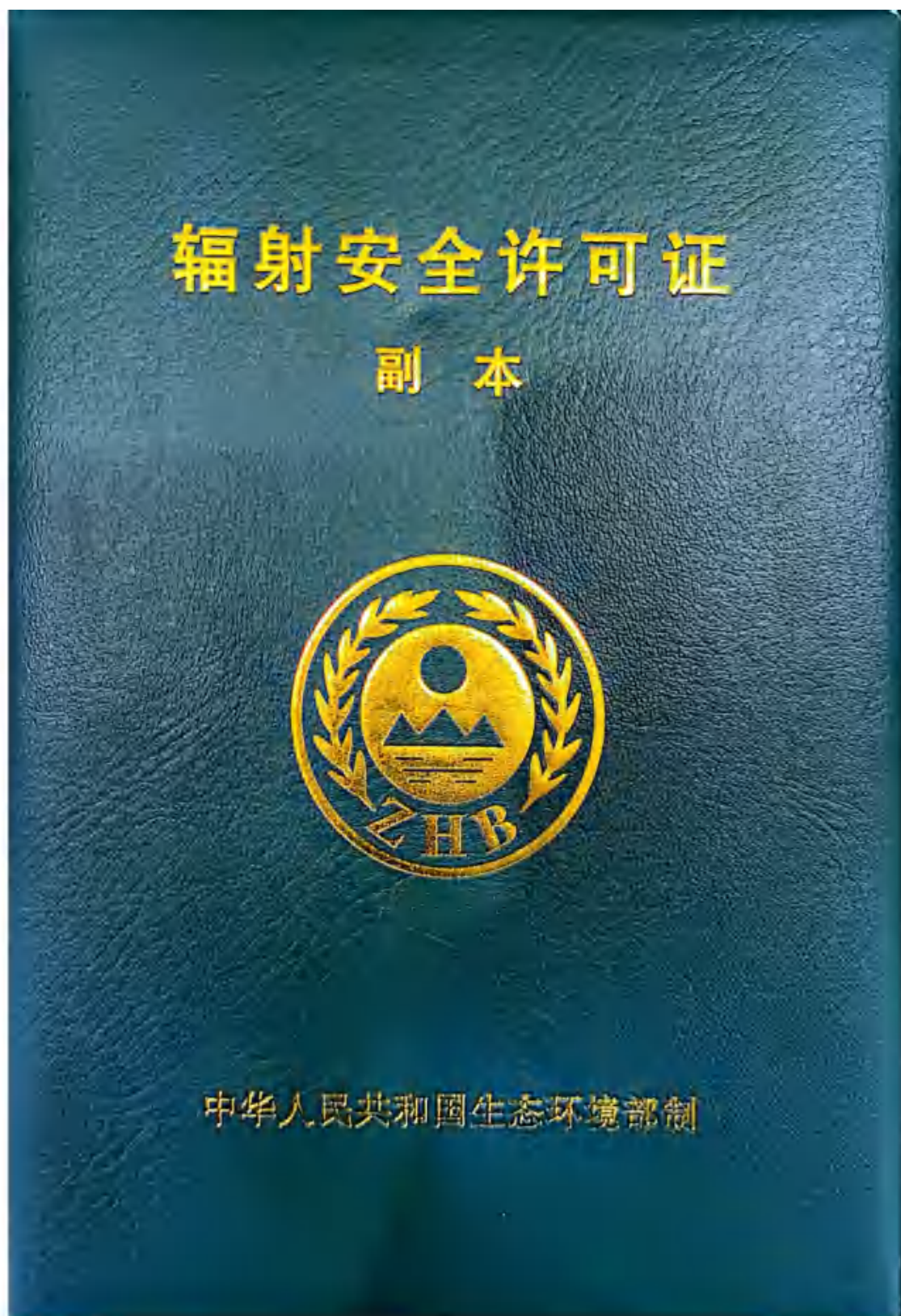
根据该项目环境影响评价的需要，我单位将提供项目的有关文件、技术资料和协助现场踏勘。

有关该项目环境评价的其他事宜，由双方共同协商解决。

委托单位：攸县人民医院（攸州中心医院）
(盖章)

2025 年 4 月 12 日

附件 2 医院辐射安全许可证



根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定,经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称	攸县人民医院		
地 址	株洲市攸县城关交通路 29 号		
法定代表人	徐俊余	电话	13397536222
证件类型	身份证	号码	360103197305082472
涉源 部 门	名 称	地 址	负责人
	介入室	城关镇交通路 29 号	刘冬青
	口腔科	城关交通路木马楼 29 号	胡雪平
	体检中心	城关镇	贺一玲
	手术室	城关镇交通路 29 号	赵秋吾
	放射科	城关交通路木马楼 29 号	易永忠
	核医学科	城关镇交通路 29 号	吴 刚
种类和范围	使用 II 类、III 类射线装置; 使用非密封放射性物质, 乙级非密封放射性物质工作场所。		
许可证条件			
证书编号			
有效期至			
发证日期			

活动种类和范围

(三) 射线装置

证书编号： 湘环辐证[00201]

序号	装置名称	类别	装置数量	活动种类
1	移动式C形臂X射线机	Ⅲ类	1	使用
2	胃肠机	Ⅲ类	1	使用
3	双线X线骨密度检查仪	Ⅲ类	1	使用
4	数字化移动式摄像X射线机	Ⅲ类	1	使用
5	数字化X射线机	Ⅲ类	1	使用
6	乳腺机	Ⅲ类	1	使用
7	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	Ⅲ类	1	使用
8	DSA	Ⅱ类	1	使用
9	DR	Ⅲ类	1	使用
10	DR	Ⅲ类	1	使用
11	CT	Ⅲ类	2	使用
	以下空白			

台帐明细登记

(三) 射线装置

证书编号：

湘环辐证[002017]

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源/去向		审核人	审核日期
						来源	去向		
1	乳腺机	Senographic-Crystal	III类	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	放射科：体检中心钼靶机房	来源	去向		
2	DSA	Alluar xper ED 20	II类	血管造影用X射线装置	介入室，内科楼1楼	来源	去向		
3	CT	Optima CT680 Expert	III类	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	放射科：医技科负一楼CT二室	来源	去向		
4	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	Promax 3D	III类	医用诊断X射线装置	口腔科；口腔门诊部1楼口腔CT机房	来源	去向		
5	CR	UDI50I-40E	III类	医用诊断X射线装置	体检中心：体检中心1楼	来源	去向		
6	CT	Bri liance	III类	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	放射科：放射科1楼	来源	去向		
7	DR	Digital Diagnost	III类	医用诊断X射线装置	放射科：放射科1楼	来源	去向		
8	胃肠机	Uni-vision	III类	医用诊断X射线装置	放射科：一楼放射科机房	来源	去向		

台帐明细登记

(三) 射线装置

证书编号:

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源/去向		湘环辐证(00201)	
						来源	去向	审核人	审核日期
9	小C臂	GE	III类	医用诊断X射线装置	手术室	去向			
10	移动DR	RDX	III类	医用诊断X射线装置	放射科	去向			
11	牙片机	prox	III类	口腔(牙科)X射线装置	口腔科	去向			
12	骨密度仪	DEXXIM-T	III类	医用诊断X射线装置	放射科	去向			
	以下空白					来源			
						去向			
						来源			
						去向			
						来源			
						去向			

填写说明

一、本证由发证机关填写（正本尺寸为：25.7×36.4厘米，副本采用大32开本，14×20.3厘米）。

二、证书编号

证书编号形式为：A环辐证[序列号]。A为各省的简称，环境保护部简称国；序列号为5位。

三、种类和范围

（一）种类分为生产、销售、使用。

（二）正本内，范围分为Ⅰ类放射源、Ⅱ类放射源、Ⅲ类放射源、Ⅳ类放射源、Ⅴ类放射源、Ⅰ类射线装置、Ⅱ类射线装置、Ⅲ类射线装置。

副本内，范围写明放射源的核素名称、类别、总活度，非密封放射性物质工作场所级别、日等效最大操作量，射线装置的名称、类别、数量。

（三）正本内，种类和范围填写种类和范围的组合，如生产Ⅰ类放射源和Ⅱ类放射源，销售和使用Ⅱ类射线装置。

特别的，生产、销售、使用非密封放射性物质的，种类和范围填写甲级非密封放射性物质工作场所、乙级非密封放射性物质工作场所或丙级非密封放射性物质工作场所。

建造Ⅰ类射线装置的填写销售（含建造）Ⅰ类射线装置。

四、“日等效最大操作量”、“工作场所等级”按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）确定。

五、许可内容明细表为活页。

攸县人民医院办公室文件

攸人医办发〔2025〕8号

攸县人民医院 关于调整放射防护管理委员会的通知

为深入贯彻落实《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（中华人民共和国国务院令 第 449 号）文件精神，加强放射诊疗工作管理，确保医疗质量和安全，保障放射工作人员、患者及公众的健康权益，根据《中华人民共和国职业病防治法》《医疗机构管理条例》等法律、行政法规的规定，切实做好放射安全防护管理工作，经医院研究决定，特调整放射防护管理委员会，人员名单如下：

主 任：徐俊余

副 主 任：刘 永 文红梅

成 员：蔡建平 易继红 符志刚 唐华容 谭卫波

李玉龙 朱 玲 龙湘秦 唐建树 贺 忆

文 熙 朱珍娇 邓 华 戴天卫 颜 琼
胡雪平 刘冬青 熊升林 易永忠 吴 刚
蔡道伟 陈志刚 陈志军 王水华

管理委员会下设办公室在公卫科，由颜琼兼任办公室主任，负责具体日常工作。

一、主要职责

(一)组织制定并落实放射诊疗和放射防护管理制度；定期组织对放射诊疗工作场所、设备和人员进行放射防护检测、监测和检查；

(二)组织本机构放射工作人员进行个人剂量监测、放射防护知识及有关规定的培训和职业健康检查，新进放射工作人员及从事介入放射学、核医学、放射诊疗工作的人员在上岗前应到公卫科申请备案，由公卫科组织到市职防所做职业健康体检，体检合格后方可上岗；

(三)制定放射事件应急预案并组织演练；

(四)记录本机构发生的放射事件并及时报告卫生行政部门；

(五)组织学习有关放射防护法律法规，严格执行国家规定，切实做好放射防护工作，杜绝放射事故的发生；

(六)放射诊疗建设项目审批、备案及流程管理。

二、申报流程

严格执行《放射诊疗管理规定》第十二条、第十三条，《职

职业病防治法》第十七条、第十八条文件规定，新建、扩建、改建放射诊疗项目，建设项目有可能产生放射性职业病危害，建设项目的职业病防护设施设计应当符合国家职业标准和卫生要求。在采购与建设过程中，设备科、后勤保障部首先要通知公卫科备案，由公卫科上报卫生行政部门并提交放射性职业危害预评价报告及场地建设项目验收申请书。未经卫生行政部门审核同意，不得开工建设。

攸县人民医院党政办公室

2025年10月22日印发

- 3 -

攸县人民医院（攸州中心医院） 辐射事故应急处理预案

一、总则

（一）为使本单位一旦发生放射诊疗突发事件时，能迅速采取必要和有效的应急行动，保护工作人员、公众及环境安全，根据国家《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及《放射诊疗管理规定》等制度要求，结合本院实际，制定本应急预案。

（二）本预案适用于医院范围内发生的一切与放射诊疗活动有关的事件，其中影像科、放疗科与核医学科是重点监管对象。

（三）本预案所提及的放射性突发事件是指放射诊疗设备突发故障或突遭自然灾害、放射性同位素丢失、被盗或者射线装置、放射性同位素失控而导致工作人员或者公众受到意外的、非自愿的异常照射。

（四）放射性突发事件应急处理工作，坚持迅速报告；主动抢救；生命第一；科学施救；控制危险源，防止事故扩大；保护现场，收集证据的工作原则。

（五）医院成立放射性突发事件应急处置领导小组及放射性突发事件应急处理抢救小组，对医院依法处理放射性突发事件应急工作实施统一指挥、监督和管理。

二、辐射事故分级

根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故（I级）、重大辐射事故（II级）、较大辐射事故（III级）和一般辐射事故（IV级）四个等级。

特别重大辐射事故，是指I类、II类放射源丢失、被盗、失控

造成大范围严重辐射污染后果,或者放射性同位素和射线装置失控导致3人以上(含3人)急性死亡。

重大辐射事故,是指I类、II类放射源丢失、被盗、失控或者放射性同位素和射线装置失控导致2人以下(含2人)急性死亡或者10人以上(含10人)急性重度放射病、局部器官残疾。

较大辐射事故,是指III类放射源丢失、被盗、失控或者放射性同位素和射线装置失控导致9人以下(含9人)急性重度放射病、局部器官残疾。

一般辐射事故,是指IV类、V类放射源丢失、被盗、失控或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

三、应急处理机构与职责

(一)本单位成立放射事件应急处理领导小组和由医务部、护理部、公卫科、后勤保障部、药剂科、物资采购部、保卫科及临床相关科室负责人组成的抢救小组。负责对事件应急处理的统一领导、统一指挥;组织、开展放射事件的应急处理救援工作,领导小组组成如下:

组 长: 刘 永 文红梅

副组长: 朱 玲 龙湘秦 颜 琼

成 员: 唐建树 罗晨曦 陈海霞 戴天卫 熊升林

胡雪平 易永忠 蔡道伟

及临床、医技相关科室负责人

应急处理电话: 0731-24211920(医务部)、24236167(公卫科)、24233979(核医学科)、24211328(保卫科)。

(二)应急处理领导小组职责:

1.定期组织对放射诊疗场所、设备和人员进行放射防护情况

进行自查和监测,发现事故隐患及时上报至院办并落实整改措施;

2.发生人员受超剂量照射事故,应启动本预案;

3.事故发生后立即组织有关部门和人员进行放射性事故应急处理;

4.负责向环保、卫生行政部门及时报告事故情况;

5.负责放射性事故应急处理具体方案的研究确定和组织实施工作;

6.放射事故中人员受照时,要通过个人剂量计或其他工具、方法迅速估算受照人员的受照剂量;

7.负责迅速安置受照人员就医,组织控制区内人员的撤离工作,并及时控制事故影响,防止事故的扩大蔓延。

(三)应急处理抢救小组职责:

公卫科:负责事件的报告,配合有关部门核实事件情况,判断事件级别。

医务部、护理部:组织医务人员对事件致病的人员提供医疗救护。

后勤保障部:负责事件所需新建、改建的设施的施工和提供后勤物资供给。

药剂科、物资采购部:负责采购、安装所需救治器材和救治药品。

保卫科:负责封锁现场,维护医院治安,维护医疗秩序,协助有关部门调查。

四、应急处理程序

(一)放射性同位素泄漏引发的事故处理:

1.放射性突发事件发生后,当事人应立即通知现场所有的工作人员转移至安全区域,保卫科配合负责封锁现场;科室成员与

总务后勤人员协调配合切断一切可能扩大污染范围的环节,迅速开展检测,严防对医院人员、食物、水源和医院周围环境的污染;

2.发现人立即上报医院应急领导小组,并由医院领导小组立即上报卫生行政主管部门,对可能造成环境污染事故的,必须配合环境保护部门进行处理;

3.对可能受放射性核素污染或者放射损伤的人员,立即采取暂时隔离和应急医疗救援措施,尽最大能力减轻放射性意外对人体的危害,保障病人及医护人员生命。

4.在采取有效个人安全防护措施的情况下组织专门人员进入事故现场,迅速确定放射性同位素种类、活度、污染范围和污染程度,采取措施彻底清除放射源污染。污染现场尚未达到安全水平以前,不得解除封锁。

(二) 人体受超剂量射线照射引发的事故处理:

1.放射科、介入科、放疗科及核医学科一旦出现超剂量照射的情况,医院有关部门马上协同解决病人医学检查及治疗等问题,同时立即上报医院应急领导小组。

2.放射事故发生后应立即停止使用有关仪器,并进行检修。待问题查明后,经检修及鉴定后方可重新投入使用。

(三) 放射源丢失、被盗事故处理:

1.一旦发生放射源丢失、被盗的情况,科室马上组织人员做好事故现场的保护工作,同时向医院应急领导小组和保卫科报告,迅速报告公安部门,积极配合,协助做好案件的调查、侦破工作,早日找回丢失、被盗的放射源,将事故危害缩小到最小范围。

2.事故后处理,医院应急领导小组及相关科室要认真分析思考,找出日常管理工作中问题所在,落实好整改意见,避免类似事件再次发生。

(四)放射诊疗设备突发故障或突遭自然灾害引发事故的处理:

1.放射诊疗设备突发故障或突遭自然灾害时,立即按下红色紧急按钮,关闭总电源,迅速将病患转移至安全地带。立即采取暂时隔离和应急医疗救援措施,尽最大能力减轻放射性意外对人体的危害,保障病人的生命。

2.医务人员迅速封锁现场,防止辐射范围扩大。同时立即报告应急领导小组。

3.组织专门人员进入事故现场,迅速确定放射性污染范围和污染程度,采取措施彻底消除放射源污染。污染现场尚未达到安全水平以前,不得解除封锁。

4.封锁解除后,组织专人检修设备,保证设备的安全性后再投入使用。

五、事故报告及善后

1.发生放射事故的科室必须于1小时内报告医院应急领导小组。

2.放射性同位素丢失、被盗的放射事故由保卫科向公安机关报告,造成环境放射性污染的,还应当同时报告当地环境保护部门;人体受到超剂量照射的放射事故由预防保健科向卫生行政主管部门报告。

3.不按规定程序和时限报告或者阻挠、干扰有关科室执行职责的,对有关责任科室和责任人员追究行政责任;造成重大损失或重特大事故的,将报请公安机关追究责任科室和责任人员的治安或刑事责任。

4.事故处理以后,必须组织有关人员进行讨论,分析事故发生原因,从中吸取经验教训,采取措施防止类似事故重复发生。

六、应急准备

1. 应急物资和装备

有关部门及科室应做好辐射事故应急物资和装备准备,包括:个人剂量计、个人防护设备(铅防护服、铅眼镜、铅围脖、防护靴等)、辐射应急监测仪器(表面污染监测仪)、清洗去污设备等,并及时更新和维护。

2. 培训与演练

针对医院开展核技术应用的实际情况和需要,定期组织开展辐射应急培训与应急演练,对辐射事故应急技术人员和管理人员进行国家有关法规和应急专业知识培训和继续教育,使应急救援人员熟练掌握放射损伤医疗救治、应急处置、放射防护等知识,不断提高应急反应及救援能力,确保在突发辐射事故时能够及时、安全、有效开展卫生应急工作。

3. 资金保障

有关部门应做好辐射事故应急保障经费预算,用于人才培养、应急物资配备与更新、培训与演习,以确保辐射事故卫生应急所需资金到位。

附件 5 医院相关管理制度

核医学

放射性污染的控制和清除制度

1.放射性操作时，要遵循对病人负责、对检查结果负责和对环境负责的原则，尽量减少不必要的照射。

2.熟悉操作程序和各个细节，应达到熟练的程度。新工作人员考核合格后方可上岗。在准备室把所需物品排列在托盘内，并完成有关的非放射性操作。计算并核对放射源，穿戴防护用具。

3.放射性操作皆在指定通风柜中屏蔽后进行。操作前 15 分钟开动排风扇，进行 5 分钟的换气。用长柄镊和钳来夹取放射源容器，避免用手直接接触。严防溅洒，避免延长操作时间。放射源容器移动时，应放在托盘内，严防滑落。放射性污染和未污染物应严格分放在指定容器内。操作中遇有污染立即处理，并在处理后进行探测。

4.操作后及时将放射源放回原处，将污染物放入指定容器，按规定存放或处理。关闭通风柜或排风扇。关闭通风柜门。对探测手套、手和可能沾染的物品，进行必要处理。

5.放射性操作实验室的清洁：每日由专人进行湿式清扫 1 次，每两周大清扫 1 次，进行全面的放射性污染探测，发现问题，及时处理。

6.放射性废物的处理：放置于衰变箱 10 个半衰期后，按正常医疗废物处理。¹³¹I 放射性废物暂存时间超过 180 天后按照正常医疗废物处理。

核医学科放射性污染的控制和清除规定

1.放射性操作时，要遵循对病人负责、对检查结果负责和对环境负责的原则，尽量减少不必要的照射。

2.熟悉操作程序和各个细节，应达到熟练的程度。新工作人员考核合格后方可上岗。在准备室把所需物品排列在托盘内，并完成有关的非放射性操作。计算并核对放射源，穿戴防护用具。

3.放射性操作皆在指定通风柜中屏蔽后进行。操作前15分钟开动排风扇，进行5分钟的换气。用长柄镊和钳来夹取放射源容器，避免用手直接接触。严防溅洒，避免延长操作时间。放射源容器移动时，应放在托盘内，严防滑落。放射性污染和未污染物应严格分放在指定容器内。操作中遇有污染立即处理，并在处理后进行探测。

4.操作后及时将放射源放回原处，将污染物放入指定容器，按规定存放或处理。关闭通风柜或排风扇。关闭通风柜门。对探测手套、手和可能沾染的物品，进行必要处理。

5.放射性操作实验室的清洁：每日由专人进行湿式清扫1次，每两周大清扫1次，进行全面的放射性污染探测，发现问题，及时处理。

6.放射性废物的处理：放置于衰变箱10个半衰期后，按正常医疗垃圾处理。 ^{131}I 放射性废物暂存时间超过180天后按照正常医疗废物处理。

核医学科设备检修维护制度

1. 科室仪器设备应建立账册，专人负责，做到账物相符。
2. 每台仪器均应有操作规程，使用时严格按照规定步骤操作。新来或进修人员在未掌握使用方法前，不得独立操作仪器，贵重仪器应专人使用，指定专人负责仪器的保养工作。
3. 建立仪器技术档案（使用说明书、线路图、故障及维修记录）。
4. 仪器发生故障，应及时报告维修人员，尽快修理。
5. 做好“五防”（防寒、防热、防潮、防尘和防火）工作。
6. 每日清洁仪器外壳，工作结束后，及时盖上机罩；机壳不得有浮尘。
7. 每3个月清洁机内积尘一次，做到定期保养。
8. 在非空调室内，高温季节开机时间不得过长，如工作需要，应采取散热措施，必要时可停机散热后再继续使用。
9. SPECT室应保持恒温（温度范围可定在18-25°C）；温度梯度不超过30°C/h；相对湿度范围为20%-80%。
10. 检查结束后，必须认真搞好室内整洁工作。
11. 未经科室批准，仪器设备不得外借。
12. 有计划地做好仪器设备更新工作。

核医学科安全保卫制度

1.工作人员应妥善保管科室大门及房门钥匙，防止丢失，一旦不慎遗失，应及时报告，并做紧急处理。

2.患者住院治疗期间，每日应有专人值班，病房内不得接待非住院患者，不得会客。

3.工作人员下班前必须检查仪器、水、电、煤气及关窗锁门。全科（室）人员应熟知总电源开关位置。灭火器置于醒目地点，工作人员应熟练掌握灭火器的使用方法。

4.非工作需要，在科室不得使用电炉。

5.室内无人时，工作人员应随手关门。高活性区（室）闲人不得入内。

6.放射性同位素及放射性免疫试剂盒应有专人负责妥善保管，不得遗失。

7.未经科室同意，发现非本科室就诊人员应及时查问。发生重大事故应及时向领导汇报。

8.专人负责安全管理，定期检查，发现问题及时改进。

放射性核素安全操作及防护制度

- 一、操作放射性物质的人员应持有《放射工作人员证》。
- 二、妊娠及哺乳期应避免接触放射性物质。
- 三、凡开瓶分装或从事可能产生气溶胶的操作，必须在通风橱内进行。
- 四、进行放射性核素开放性操作，必须穿戴工作服、工作帽、工作鞋、口罩、手套、铅橡皮围裙及佩戴个人剂量仪。
- 五、操作应在屏蔽后托盘中进行。
- 六、放射性核素容器必须有标签，标明核素名称、比活度、总活度（或容积）及测定日期。
- 七、放射性废物应专用容器存放。
- 八、工作完毕，离开高活性区前，必须用放射性污染检测仪对工作台表面及工作人员进行污染监测，以便及时发现放射性沾污，做好清除沾污的工作及记录。
- 九、严禁在活性区进食、吸烟及存放食品。

核医学患者放射卫生防护制度

1.在确定核医学诊断或治疗程序前首先确保根据临床需要拟使用的核医学诊治技术的预期利益将超过该医疗照射可能带来的潜在危险。

2.应当避免一切不必要的辐射照射（包括失误和重复性检查）。

3.不能超过为提供必要的诊断信息或达到治疗目的所需要的医疗照射剂量。

4.对儿童、哺乳妇女、孕妇等应该尽量避免核医学检查，必要时患者尤应注意加强防护。

5.配备与服务项目相适应并且结构合理的各种专业人员，同时对有关工作人员加强包括防护知识在内的业务培训与考核。

6.具备与服务项目相适应并且符合防护要求的各种实验室和候诊区、检查室、注射室或治疗病房等。

7.技术人员对所用放射性药物必须进行活度测定。

8.施行每次临床核医学实践时必须严格按相应操作规程进行。

9.技术人员向患者施予放射性药物前必须仔细核对：

a.患者是否与申请单上的姓名相符；

b.准备施予的放射性药物名称、化学形式和活度是否与要求相符；

c.患者是否已做好准备工作，如已禁食或使用阻断剂；

d.安排多项检查时的先后顺序。

10.注射放射性药物时要小心谨慎，注射后检查注射部位有

无渗漏。

11.口服放射性药物前应检查其是否能正常吞咽，服药时应观察这些药物是否已被吞下，并注视患者是否有出现呕吐的任何指征。

12.建立避免给错放射性药物或把放射性药物给错患者的防范措施。如果发生治疗给药失误，核医学医师应立即对患者进行妥善处理，并向有关部门报告。

13.核医学诊断中特殊患者的防护原则

a.为育龄妇女申请核医学检查时应考虑其是否怀孕，并严格掌握适应症。在提前检查时注意月经情况，如果已经过期或停止，一般应作为怀孕看待。

b.对孕妇施行核医学检查必须有正当必要的理由。特别要控制能通过胎盘传输而进入胎儿组织的放射性药物的检查。

c.哺乳妇女的核医学检查

c.1 除非十分必要，一般情况下应当推迟对哺乳妇女施行放射性药物用于体内的核医学检查。

c.2 哺乳妇女如接受核医学检查，根据所用放射性药物在乳汁的分泌情况确定暂停哺乳时间。

14.儿童的核医学检查

a.核医学医师必须根据临床实际需要和患儿的体重与体表面积确定最佳放射性药物用量。

b.对儿童施行核医学检查应由儿科医师协同进行，检查时可根据情况谨慎地采用有效的镇静方法和各种固定措施。

15.核医学治疗中患者的防护原则

a.对患者是否采用放射性核素治疗，应根据所患疾病引起的

危险与辐射损伤的危险相比较而加以全面权衡,对儿童患者应特别注意评估其潜在的利益和危险。

b.对育龄妇女申请放射性核素治疗时应注意考虑其是否怀孕。

c.孕妇一般不宜施用放射性核素治疗。在特殊情况下必须使用时,应当考虑终止妊娠。

d.确定使用放射性核素治疗,必须根据治疗特点和临床需要进行治疗剂量计算。

e.接受治疗的育龄妇女,以其体内残留的放射性药物不致使胚胎受到约 1mGy 吸收剂量照射作为可否怀孕的控制上限。例如用 ^{131}I 治疗甲状腺功能亢进的育龄妇女,一般需经过 6 个月后方可怀孕。哺乳妇女接受放射性核素治疗后应在一定时期内停止哺乳。

仪器设备保养维修制度

一、设备科医修组在院长、分管院长、科长的领导下开展工作，负责全院医疗设备的安装、调试、维护、维修、报废鉴定等工作。

二、医修组按维修人员的专业特点和工作实际情况实行分工负责，相互协作的维修方式。

三、发现故障应及时维护，不得无故拖延，原则上小修三天完成，大修七天完成，遇到特殊情况需延长维修时间的，应与使用科室商议后报主管领导批准，万元以上大设备维修更换零部件需填报设备维修审批表。

四、维修人员应加强业务学习，熟悉设备的操作检修规程，不断提高业务能力。

五、维修人员要服从科长领导，保质保量完成领导和科长交办的临时性工作，不得推诿并无故拒绝。

放射性药品采购、登记、使用、保管及注销制度

1.放射性药品采购，应按照国家《放射性药品管理办法》的要求，制定相关的采购制度。无论使用哪一种放射性药品，均要审查生产厂家的《放射性药品生产许可证》等相关证件。同时向上级和院里主管部门申报，得到批准后方可订购。

2.根据国家规定，核医学科在采购与使用同位素时实行许可证制度，应根据本医院的实际工作需要，在规定许可的范围内，制定年度采购计划。

3.放射性药品（各种核素及放射免疫试剂盒）应指定专人负责领取保管，到货后迅速取回，及时登记，妥善保存，防止丢失或变性。登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、放射性活度等。出厂说明书应加以保存，以备查对。

4.核医学科必须配备与其医疗任务相适应，并经过核医学技术培训的专业人员从事操作，非专业技术人员未经培训不得从事放射性药品的使用工作。

5.放射性药品的贮存器应有适当的屏蔽。放射性药品的放置应合理有序，易于取放，每次取放的放射性药物应限于需用的那部分。取放时不应污染容器。

6.标记及注射放射性药物时应严格核对（检查药物种类是否与检查目的相符、注射药物剂量是否符合检查要求，在同一时间给几个病人用药时应核对病人姓名及给药剂量），防止发生差错。核素到货后应及时通知患者检查或治疗，以减少浪费。

7.放射性同位素使用和贮存场所必须设置防护设施和放射性标志。放射性同位素不得与易燃、易爆、腐蚀性物品放在一起，

其贮存场所必须有防火、防盗措施。

8.放射性原液罐应放置在贮源室内，常用的放射源应按不同品种分类置于通风橱内，标志要鲜明，以防发生差错。发现放射源丢失，应立刻追查并及时报告上级部门。

核医学科规章制度

一、凡需放射性同位素检查、治疗的病员，由临床科医师填写申请单，严格掌握适应症和禁忌症，详细介绍病情，并经核医学科同意，方可办理预约手续。

二、同位素仪器的使用、药品的分装、投药，均应严格执行操作规程，防止扩大污染和差错事故。

三、病员服用同位素前，应严格核对品种、剂量、用法，准确无误后在实验室内服用。对应用不同同位素的病员。应分开病室。

四、检查报告要随检随报。做好登记、建卡工作，统一保管资料，定期追踪观察。

五、经常对机器进行清洁、保养，每月进行一次检修。

六、严格执行放射性同位素制剂的有关管理规定，放射性同位素应有专人保管。建立并执行来药登记、核实制度，存放于专用储藏室内。设立专用登记本，定期清点，严格交接手续，如有疑问，应马上报告科主任和院领导进行清查。

七、核医学科必须有急救药品、设备。医师要掌握抢救技能。

八、对防护用具、放射性废物及被污染的一切物品，必须按有关规定进行妥善管理和处置。

核医学科工作制度

- 一、各级医务人员必须坚守工作岗位，不得脱岗。
- 二、配药及注射过程中严格执行无菌操作及三查七对制度。
- 三、服务行为符合文明规范的要求，与人沟通时使用礼貌用语，热情及时准确解决患者的问题及需要。
- 四、各项操作需要履行告知制度，对新技术、新业务、自费项目、创伤操作等履行知情告知义务。
- 五、做到自问负责制，对不明白、不了解的问题不能推诿，要询问专业人士搞清楚后再告知患者。
- 六、抢救车要定期检查，保证处于完好备用状态，熟练掌握各种抢救仪器使用方法。
- 七、保持科室内部整洁卫生，物品放置合理有序。
- 八、做好放射防护工作，避免公众受到不必要的照射。
- 九、如出现差错或事故按照规定及时上报相关科室，并做出相应处理。

放射性同位素安全操作常规

一、从事临床核医学的工作人员，应有高度的工作责任心，严格遵守放射性物质的登记、保管及使用制度。

二、在操作高活度放射性同位素前，须做好个人防护措施，佩戴铅眼镜、工作服、工作帽、工作鞋、口罩、铅橡皮裙及佩戴个人剂量仪，橡胶手套，着装整齐。在铅防护屏下远距离操作，防止身、手污染。

三、操作人员必须了解和掌握所使用的仪器性能、使用方法、注意事项，按操作规程进行工作，避免发生事故和损坏仪器。

四、操作人员应严格遵守无菌操作技术制备放射性药物，污染过的注射器、器皿等不得任意放置。

五、与工作无关的物品，严禁在实验室内吸烟、饮水和进食。

六、实验室保持清洁卫生，经常用防护探测器测量室内本底，清洁工具如抹布、拖把等各房间分别固定使用，定期监测，防止污染。

七、实验室禁止闲杂人员随便进入。

放射性废物管理制度

一、放射性废物管理由核医学科科主任负责管理，由科内技术员负责具体实施。

二、技术员将具体实施情况向科主任汇报，并登记在册。

三、技术员负责将一次性使用后的废品随时、定点、放置在固废间内。

四、放射性废品按规定放置达到清洁解控水平后，作为医疗废物处理。

放射性同位素暨放射性药品管理制度

一、所使用的放射性同位素必须符合国家放射性同位素卫生防护管理的有关规定。使用前领取《放射性同位素使用许可证》，并对人员进行放射防护和管理的专门培训，合格后才能上岗。

二、放射性同位素及放射免疫分析药盒有专人领取和保管；到货后迅速取回，及时登记，妥善保管，防止丢失或变性。

三、使用时，将放射性同位素移入本科专用铅罐内，盖上铅盖，贴妥标签，注明放射性核素种类、浓度及日期，出厂说明书妥善保管，以备查对。

四、对放射性药品使用情况进行登记。

五、每月对放射性同位素进行交接班，并进行登记。

六、放射性药品使用后的废物，必须按照国家有关规定妥善处理。

七、建立科主任负责、专职放射性同位素管理人员制度，如发生放射源丢失或泄漏事故，立即向有关部门报告。

核医学场所辐射防护管理制度

1.放射工作人员在上岗前必须经过放射防护知识培训和机器安全操作的培训，并经过考核合格后，方能上岗。

2.放射工作人员上岗前应进行职业健康检查，从事放射工作后，应定期体检，如有不适应者应采取必要的防治措施。

3.从事操作工作人员应佩戴好个人剂量检测仪，对其个人剂量定期进行监测，并建立个人剂量和健康档案。

4.工作人员必须严格遵守各项操作规程，经常检查各种机器及防护设施的性能，及时发现和处理事故隐患，严禁在设备异常情况下治疗病人。

5.对患者施行照射前，应仔细校对治疗方案，准确对位，并保护非照射部位，在开机前，必须先证实治疗室内除病人外，无其他人后方可开机，并严密监视控制台和病人，及时排除异常情况。

6.定期对工作场所和环境进行监测，对机器的使用、检修情况及时登记归档。

7.切实加强放射源的管理，实行专人负责，专人保管，避免放射源被盗及丢失。

8.严格事故报告制度，一旦发生重大事故，立即向环保、卫生和公安部门报告，协助调查处理。以上防护管理制度，希望全体工作人员遵守，严防事故的发生，以保证放射防护安全。

核医学科影像检查室工作流程

一、接待病人

(1) 仔细核对申请单，做到四查（查病人姓名、性别、年龄与申请单是否相符、查申请单填写是否符合规范、查临床诊断及检查目的是否清楚、查是否已交费）。

(2) 将病人安排至候诊室

(3) 向病人做好解释安慰工作

二、配药

(1) 备好淋洗液及标记药物并检查药物的质量。

(2) 标记放射性药物时，要查药物种类是否与检查目的相符。

(3) 用活度计测定药物放射性活度是否符合检查要求。

(4) 查注射方法是否符合检查目的。

三、注射

(1) 再次查对病人姓名、性别、年龄，严格遵守三查七对原则。

(2) 静态显像静脉注射药物后，向病人介绍各项注意事项、检查前准备及检查时间。

(3) 动态显像需“弹丸式”注射，向病人做好解释工作，消除病人紧张心理。

(4) 注射药物时，选择合适的血管，避免药物注入血管外。

四、显像

(1) 嘱病人根据检查需要去除身上多余衣物，去除身上的金属物品，排空小便。

(2) 根据检查部位摆好合适的体位。

(3) 操作机器时注意保护好机器，防止机器运转过程中遭到破坏。

五、报告

(1) 正确书写病人姓名、性别、年龄、科别、检查编号、住院号、检查项目、药物剂量、检查日期等。

(2) 显像时间及显像情况详细描述。

(3) 检查核医学片的图像质量。

(4) 请上级医师核对、签字。

放射性核素监测规定

为保障工作人员和公众的健康与安全，需要对工作场所、个人剂量和环境进行监测。并将监测结果做好记录（包括时间、地点、使用仪器和监测人员姓名等）。

1.工作场所监测

核医学工作是在非密封型放射性环境中进行的，为此应对工作场所进行辐射水平、空气中放射性核素浓度和表面污染水平等常规监测，一般周期为2周，表面污染可随时进行监测，及时发现问题及时整改。

2.个人剂量监测

工作人员在操作过程中，必须佩戴外照射个人剂量计，进行个人照射剂量监测。对于参加大检查或特殊操作而有可能造成体内污染的工作人员，操作前后均接受监测，必要时应根据分析结果进行体内待积有效剂量的估算。

3.环境监测

为保障附近居民的健康与安全，每年定期对该环境辐射空气吸收剂量率、废水、表面沾污监测一次，以评价对环境及公众的影响。

废旧放射源处理规定

1.放射性废物处理按 GBZ133-2002 进行。

2.有专（兼）职废物管理人员负责废物的收集、分类、存放与处理。废物管理人员应熟悉废物管理原则和掌握剂量监测技术。

3.控制区和监督区都应备有收集放射性废物的容器，容器上应有放射性标志。放射性废物应按长半衰期和短半衰期分别收集，

给予适当屏蔽。

4.液体或固体放射性废物应及时从工作场所移去。固体废物如污染的针头、注射器和破碎的玻璃等应贮于不泄露，较牢固并有合适屏蔽的容器内。

5.工作场所和有放射药物治疗任务的单位应设有污水池，存放放射性污水直至符合排放要求时方可排放，废原液和高污染的放射性废液应专门收集存放。

6.操作带有挥发性气体和产生溶胶的开放型放射工作场所，应设相当的排风系统，排放口应达到国家大气排放标准。

7.密封放射源的废弃和处理，必须履行登记手续，并存档备查。

8.必须有预防发生废物丢失、被盗、容器破损和灾害事故的安全措施，储存室的显著位置应设安全警戒信号。

9.废物管理人员作业时必须使用个人防护用具和防护设施，防止超剂量照射。

辐射工作人员的岗位职责

- 1.严格遵守有关辐射防护与安全规定、规则和程序。
- 2.上岗前自觉接受相关部门的辐射防护与安全教育和培训。
- 3.正确使用监测仪表和防护设备与衣具。
- 4.严格按照所操作设备的操作规程进行操作，防止误操作。
- 5.负责对设备的日常检查，辐射监测记录，并保持工作场地的清洁、无杂物。当发现异常时要及时向主管工程师汇报情况，并按规定进行及时处理，以保证设备及人员的安全。
- 6.严格按照设备检修维护制度进行设备维护与检修工作，并做好设备维护与检修记录工作。
- 7.交接班时认真做好射线装置的使用登记工作。
- 8.认真学习有关防护与安全知识，接受必要的防护与安全培训和指导，使自己能按本标准的要求进行工作。

辐射工作人员个人剂量管理制度

1.辐射工作单位应当按照本方法和国家有关标准、规范的要求,安排本单位的辐射工作人员接受个人剂量监测,并遵守下列规定:

- (1) 外照射个人剂量监测周期一般为 90 天;
- (2) 建立并终身保存个人剂量监测档案;
- (3) 允许辐射工作人员查阅、复印本人的个人剂量监测档案。

2.个人剂量监测档案应当包括:

- (1) 常规监测的方法和结果等相关资料;
- (2) 应急或者事故中受到照射的剂量和调查报告等相关资料,辐射工作单位应当将个人剂量监测结果及时记录在个人剂量监测档案中。

3.辐射工作人员进入辐射工作场所,应当遵守下列规定:

- (1) 正确佩戴个人剂量计,按要求穿戴铅衣等防护用品;
- (2) 进入 DSA 辐射工作场所时,除佩戴常规个人剂量计外,介入医生还应当携带个人剂量报警仪。

DSA 设备检修维护制度

- 1.设备定期维护（每三个月进行一次）。
- 2.设备机械性能维护：安全装置检查，各机械限位装置有效性检查，各种运动运转检查，操作完整性检查。
- 3.每日开机后先检查机器是否正常，有无提示错误等，如有反常疑点必须预先排除。
- 4.每日工作完成后，需清洗机器上的脏物和血迹等。
- 5.机器设备发生故障时应及时向科主任汇报并记录故障现象。
- 6.科主任接到设备故障报告后安排具有维修技术的技术人员进行检查。常见和简单故障及有能力维修的故障原则上鼓励技术人员自行维修，以节约成本。
- 7.对本科室无法维修的故障及时向设备科报告，并填写维修申请单，由设备科安排维修。
- 8.设备维修应及时做维修记录，内容包括：故障经过、现象、检查情况、维修经过和维修后情况。
- 9.设备故障修复后应进行严格的验收检测，经试运行正常后方可正式使用。
- 10.未经科主任许可，严禁私自拆解、改造、维修设备。

辐射工作人员防护培训计划

一、II类射线装置辐射工作人员培训计划

II类射线装置辐射工作人员均需通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（培训考核网址：<http://fushemeegovcn>）参加线上培训并考核，每五年积极参加复训。

二、III类射线装置辐射工作人员培训计划

（一）从事III类射线装置的辐射工作人员由医院自行组织考核。

（二）医院应将考核人员姓名、工作部门、联系方式、作答试卷原件、考核成绩、考核时间、监考人、监考人联系方式记录留档备查。

三、培训期间放射工作人员要求

（一）在培训中不得无故不参加，不得找人替代和旷课，若连续两次无故不参加或他人替代和旷课者，由医院或科室劝其调离放射工作岗位。

（二）对初次参加放射诊疗工作的人员、放射实习生实习前必须进行相应的培训，培训方式和内容由医院或科室统一安排，并将培训内容、培训方式和考核成绩报医院放射防护管理部门备案后方可从事放射类工作。

（三）对所有接受培训放射诊疗人员要求：

- 1.了解本岗位工作中的辐射安全问题和潜在危险，并对其保持正确的态度；
- 2.了解有关安全法规及与本岗位有关的辐射安全规程；
- 3.了解和掌握减少受照剂量的原理和方法，以及有关防护器

具、衣具的正确使用方法；

4.提高工作人员操作技术熟练程度，避免一切不必要的照射；

5.了解与掌握操作中避免或减少事故后果的原理和方法，懂得有关事故应急的必须对策。

(四)对每个工作人员的安全培训情况要建立档案，该档案至少保存到该培训人员脱离辐射工作岗位。

介入室安全防护管理使用制度

1.放射介入室须设专（兼）职防护人员，采取有效措施，使本室放射防护工作符合国家有关规定和要求。

2.放射介入室的使用场所必须有防火防盗措施以及放射性标志。

3.放射性介入室不得与易燃，易爆，腐蚀性物质放在一起，并有专人保管。

4.介入设备必须经常检查，做到账物相符。

5.放射性介入设备的订购须经省卫健部门同意。

6.必须佩戴个人剂量计才能从事放射工作。

7.放射介入室须定期对放射工作人员进行安全防护教育和健康工作教育，定期对剂量仪表，安全防护设施进行检查，做好事故的预防工作。定期参加国家规定的体检复查，保证身体健康。

8.一旦发生放射事故，应立即报告医院主管领导和环保、卫生、公安部门，并接受其监督和指导。

辐射防护和安全保卫制度

1.建立辐射防护和安全保卫制度，保障放射工作人员和公众及其后代的健康与安全，并提高放射防护措施的效益。

2.始终优先考虑辐射实践的正当性，辐射防护的最优化，将辐射工作人员与公众所受的辐射剂量控制在合理的、可接受的最低水平。

3.对所有的辐射工作人员必须进行有效的辐射防护与安全教育与培训。

4.辐射工作人员必须严格遵守安全操作规程，防止误操作，杜绝事故的发生。

5.辐射工作场所和贮存场所必须设置防护设施，在醒目位置设置辐射防护警示牌，以及安全联锁、报警装置等。

6.一经发现辐射事故时，当事人应立即报告单位领导，单位领导应及时报告生态环境部门与公安等部门。同时启动本单位的辐射事故应急措施，将辐射危害降到最低限度。

7.科室应规划安全区域，确保候检者不受射线辐射。

射线装置放射防护管理制度

1.放射工作人员在上岗前必须经过放射防护知识培训和机器安全操作的培训，并经过考核合格后，方能上岗。

2.工作人员在上岗前应进行职业健康检查，从事放射工作后，应定期体检，如有不适应者应采取必要的防护措施。

3.从事操作工作人员应佩戴好个人剂量监测元件，对其个人剂量定期进行监测，并建立个人剂量和健康档案。

4.工作人员必须严格遵守各项操作规程，经常检查诊断及防护设施的性能，及时发现和处理事故隐患，严禁在设备异常情况下诊断病人。

5.对患者施行拍片前，应仔细校对诊断方案，准确对位，并保护非照射部位，在开机前，必须先证实机房内除病人外，无其他人后方可开机，并严格监视控制台和病人，及时排除异常情况。

6.定期对工作场所和环境进行监测，对机器的使用、检修情况及时记录。

7.严格事故报告制度，一旦发生事故，立即向环保、卫生和公安部门报告，协助调查处理。

受检者防护制度

1. 医师应对 X 线检查的适应症与合理性进行评价, 确定适当的检查方法在获得相同诊断效果的前提下, 尽量避免采用放射性检查诊断技术, 合理使用 X 线检查, 减少不必要的照射。

2. 技术人员应熟练掌握检查操作技术, 并根据被检查者具体情况制定照射条件, 尽可能采用高电压、低电流, 提高射线质量, 减少被检查者接受剂量。

3. 必须建立和健全 X 射线资料的登记、保存、提取和借阅制度; 不得因资料管理及病人转诊等原因使受检者接受不必要的照射。

4. 控制各种健康体检中的常规胸部 X 线检查; 控制 X 线的间隔时间, 接尘工人的 X 线胸部检查间隔时间按有关规定执行。

5. 临床医师和放射医师尽量以 X 射线摄影代替透视进行诊断, 特别是婴幼儿、少年儿童; 不得使用有防护缺陷的 X 射线机进行 X 射线检查。

6. 对育龄妇女的腹部及婴幼儿的 X 线检查, 应严格掌握适应症; 对孕妇, 特别是受孕后 8-10 周的, 非特殊需要, 不得进行下腹部 X 射线检查。确有必要者应做好周密的防护措施并进行告知。

7. 放射医技师必须注意采取适当的措施, 减少受检者受照剂量; 对邻近照射野的敏感器官和组织进行屏蔽防护。

8. 候诊者和陪护人(病人必须被搀扶才能进行检查的除外), 不得在无屏蔽防护的情况下在机房内停留。

辐射监测方案

根据国家关于辐射安全管理规定，为了保障社会公众利益，保护工作人员健康，促进 X 线诊断技术的健康发展，结合医院实际，特对我院辐射工作场所制定如下监测方案：

一、监测目的

1. 执行和落实国务院 449 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和国家环保总局第 31 号令《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及《放射诊疗管理规定》等规定。

2. 切实保证射线装置及安全防护设施的正常运行，保障社会公众利益，保护工作人员身体健康。

二、监测方法

1. 自主监测：医院配备便携式辐射检测仪，用于辐射工作场所的日常监测和事故状态下的应急监测。

2. 委托监测：每年定期请有资质的单位对我院辐射工作场所及周围环境进行辐射监测。

三、个人剂量监测

1. 从事放射工作的人员应接受个人剂量监测，外照射个人剂量监测周期一般为 90 天。放射工作人员在工作期间佩戴个人剂量计，并常年接受个人剂量监测。个人剂量计应做到正确佩戴、妥善保管，并定期更换新一期的个人剂量计；

2. 为放射工作人员建立个人剂量监测结果档案，并终身保存。

四、档案管理

1. 档案主要包括：放射诊疗许可档案、放射防护管理制度文件管理档案、放射诊疗建设项目卫生审查档案、放射诊疗场所设

备检测档案、放射工作人员培训及健康监护管理档案、放射防护用品配备、发放、维护与更换记录档案等。

2.管理人员：由放射防护兼职管理人员统一管理，设立档案柜，定期检查制度落实情况。

放射工作人员职业健康管理制度

为贯彻落实《中华人民共和国职业病防治法》《放射诊疗管理规定》《放射工作人员职业健康管理办法》等法律法规、规章的要求，保障放射工作人员的健康，制定本制度。

- 1.放射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合放射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作；
- 2.定期组织上岗后的放射工作人员进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过2年，必要时可增加临时性检查；
- 3.发现不宜继续从事放射工作的人员，按照法规要求及时调离放射工作岗位，并妥善安置；对需要复查和医学随访观察的放射工作人员，应当及时予以安排；
- 4.放射工作人员脱离放射工作岗位时，放射工作单位应当对其进行离岗前的职业健康检查；
- 5.为放射工作人员建立职业健康监护档案，并终身保存；
- 6.允许放射工作人员查阅复印本人的职业健康监护档案。

DSA 设备操作规程

1. 开机前的日常准备工作，包括清洁，擦拭设备，查看设备运行环境是否安全。

2. 手术前 30 分钟开机，打开机房，按下开机按钮，打开空调，调至合适温度，按下主控制台上的 POWER ON 按钮，系统打开。

3. 系统打开后会自检，操作人员应认真查看，如发现问题，应及时查找原因。

4. 核对病人并将有关信息录入系统，术中根据医生指导完成相应技术参数的操作，包括造影程序，对比剂总量，每秒流量以及相应的体位转换。

5. 手术完成后及时处理图像，刻录光盘，打印胶片，待病人离开手术室后，将设备及时复位，关闭系统，关闭总电源，关闭空调，擦拭设备上的污物，整理好物品，关好门窗，填写大型医疗设备使用日志。

6. DSA 需由经过培训的专业人员持证上岗操作，必须按操作程序进行操作。未经操作人员许可，其他人员不得随意操作。

7. 设备必须在正常状态下运转，严禁设备隐患开机，每周保养，操作人员及受检人员必须佩戴好防护装备，警示灯及警示标志要性能良好标志醒目。

8. 工作人员佩戴铅衣内、外个人剂量计，做好辐射防护工作。

9. 在介入室工作的人员，均需严格遵守无菌操作规程，保持室内肃静和整洁。

放射治疗质量保证方案和质量控制计划

目的：规范放射治疗计划的制定和流程，确保放疗质量和病人安全。

适用范围：放射治疗各医技人员。

规定：对患者实施放射治疗前，严格掌握放射治疗适应症，应当经病理学、细胞学明确诊断并经医生诊断确属放射治疗适应症的疾患。

一、放射治疗计划制定前：

1.放射治疗医师提出治疗方案，经物理人员核定照射剂量，或由放射治疗医师会同物理剂量人员、临床医师共同制订有效的放射治疗计划；必须有1名主治医师以上职称的人员参与，三年内的住院医师开放射治疗单必须经中级职称以上医师签字。

2.放射治疗计划应当以高效治疗、减少正常组织损伤为目的，并应准确确定靶区位置与范围、照射剂量和时间。

3.放射治疗应当对准靶区部位，确保靶区剂量达到预定治疗剂量，使患者治疗部位的正常组织、器官的照射剂量尽可能低，并对患者的非治疗部位采取有效的屏蔽防护措施。

二、合理制定放射治疗计划：

1.对接受放射治疗的病人，应明确治疗目的（根治性或姑息性），合理制订放射治疗计划，严格按计划执行。

2.应由模拟机定位设计照射野。

3.定位后摄CT断层片，根据照射台范围最好做治疗计划，使照射等剂量曲线尽量合理。靶区应在85%-90%的等剂量曲线内。

4.计算照射剂量应由放射物理师进行校对核实。

5.放疗计划完成后，技师根据照射野形状，通过光栅的运动达到照射野的形状要求，尤其是适形调强放疗。

6.放疗计划的验证包括中心位置验证，射野验证和剂量验证。

三、放射治疗的实施，正确摆位，严密操作：

1.照射前技术员应认真阅读治疗单，核对病人姓名、诊断、照射剂量，并按医嘱正确摆位，做到一人开机，两人摆位，不得擅自修改治疗医嘱。

2.对新设照野或非常规照野的首次摆位，或技术员在摆位过程中出现疑问，主管医师应亲自下机房指导。对患者实施首次放射治疗前，必须由放射治疗医师临床指导摆位和实施其他有关检查、处理。

3.照射过程中，技术员应密切监视病人和设备运行情况，照射结束要检查病人体位移动情况，及时记录和提醒病人注意。

4.发现摆位或剂量差错，应及时报告主管医生及技术组长，不得自行涂改或隐瞒不报。

四、应当对患者进行定期随访，及时发现、处理放射治疗所致的放射损伤。

五、定期维护保养机器和相关质量控制仪器设备，保证机器正常运转，相关计量检测仪每年送有关资质部门进行检定、校准。

六、放射治疗档案及治疗记录、维护及保养记录，应当长期保存，以便查阅。

放射防护安全操作规程

一、放射治疗工作人员必须经过培训并取得相应资质，熟悉放疗设备的主要结构和安全性能。

二、组织安排工作人员就业前健康检查和就业后的定期健康体检，经放射防护知识培训和法规教育，考试合格后领取《放射人员工作证》方可上岗。

三、放射性同位素和射线装置工作场所应当采取防火、防水、防盗、防射线泄露的安全措施，并取得相关部门防护检测合格后方可使用。

四、放射治疗工作人员须佩戴个人剂量计，单位对其建立个人剂量档案；

五、定期进行工作场所周围环境辐射剂量水平监测；

六、发生放射事故后，必须立即采取防护措施，保护事故现场，控制事故影响，并及时向上级主管部门及放射防护部门报告；

七、放射工作场所入口处须设置电离辐射标志和工作信号指示灯或联锁报警装置。

辐射防护和安全管理制度

为加强对放射性同位素、射线装置安全和防护的管理，促进放射性同位素、射线装置安全应用，保障人体健康，保护环境，根据《中华人民共和国职业病防治法》《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《放射诊疗管理规定》等法律、行政法规的规定，制定本制度。

一、医院成立放（辐）射安全与防护管理领导委员会，负责全院放射性同位素、射线装置的安全和防护管理工作。

二、放射性同位素和射线装置在使用前，必须向卫生行政部门申请办理《放射诊疗许可证》，向环保部门申请办理《辐射安全许可证》，取得许可后方可从事许可范围内的放（辐）射工作。

三、医院变更单位名称、地址、法定代表人时，应当自变更登记之日起 20 日内向原发证机关申请办理许可证变更手续；如改变所从事活动的种类或范围或新建、改建、扩建射线装置工作场所的，应重新申办许可证。

四、《放射诊疗许可证》与《医疗机构执业许可证》同时校验；《辐射安全许可证》有效期为 5 年，有效期届满，需向原发证机关申请延续；医院如部分终止或全部终止使用放射源的，需向原发证机关提出部分变更或注销许可申请。

五、辐射工作场所必须设置电离辐射警告标志，并有“当心电离辐射”的中文标识；射线装置机房门上方须配置警示灯装置。

六、从事辐射工作的人员必须参加辐射安全和防护知识教育培训，并经考核合格方可上岗。

七、从事辐射工作的人员必须严格遵守射线操作规程，遵守医疗照射正当化和放射防护最优化原则，注意保护非照射部位和非照射人员，正确、合理地使用射线装置。

八、医院配备必要的射线防护设备、设施，辐射工作人员在从事射线操作时必须使用射线防护用具和个人剂量表。

九、对放射诊疗工作人员进行上岗前、在岗期间和离岗时健康检查，定期监测工作人员个人剂量情况，建立个人剂量、职业健康档案。

放射工作人员岗位责任制

一、遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》《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》《放射诊疗管理规定》《中华人民共和国职业病防治法》等有关法律法规，掌握放射性同位素与射线装置的基本知识和防护办法。

二、遵守医院有关规章制度，严格按照辐射工作安全操作规程进行操作。

三、采取放射技术与方法对患者和受检者进行诊断、治疗时，应按照医疗照射正当化和辐射防护最优化的原则，严格控制受照剂量，对临近照射野的敏感器官和组织应当进行屏蔽防护，避免一切不必要的照射，并事先告知患者和受检者辐射对健康的潜在影响。

四、严格执行放射性同位素的有关管理规定，科室指定专人负责，定期清点、核查。

五、放射性同位素与射线装置操作结束后，工作人员应仔细检查工作台面、衣服、人体有无污染，射线装置是否安全关闭，在确定安全后，方可离开工作场所。

六、放射性废物必须按照有关规定存放于专用容器中，送交环保部门认可的有资质的单位进行处置，严禁将放射性废物随意排放，污染环境。

七、遇到辐射事故，操作人员应立即报告辐射安全负责人，启动辐射事故应急处理预案。

放射治疗医师职责

- 1.在医院主管部门的领导下，独立分管病床并参加值班。
- 2.熟悉临床肿瘤学、放射生物学、放射物理学、放疗技术学的有关内容。熟练掌握肿瘤专业的基础理论及常见肿瘤的诊疗常规。
- 3.熟练采集专科病史，掌握专科体格检查，正规准确清晰地书写具有专科特征的病历及各种病历文件。
- 4.全面承担具体的诊疗与技术工作，按质量控制标准的要求，自觉遵守规章制度和技术操作规程，积极配合上级医生开展模拟定位及制定治疗计划，并亲自协助放疗技术人员正确摆位，落实照射计划。严防发生差错事故。担任实习教学，协助搞好进修，实习人员的培训工作。
- 5.了解国内外肿瘤专业的新技术，新成果，新进展。参加新技术和科学研究工作，掌握科研设计和实验方法，努力提高诊疗水平。
- 6.承担科室分配的其他工作。

放疗技师工作职责

1.了解所使用的机器设备的性能和基本结构，熟悉所使用的射线的性质、特点以及工作条件和范围，掌握正确操作机器的方法；

2.工作中要严格按机器的操作规程进行，要爱护设备，注意射线的安全防护，保证病人和工作人员的安全，严禁非使用人员开机操作；

3.承担每日放疗病人的治疗工作，在工作中认真负责，仔细核对治疗单和治疗计划，操作摆位要正确；

4.树立良好的医德医风，工作时必须穿工作服，对病人态度要热情和蔼，遵守劳动纪律，不迟到，不早退，不擅自脱离岗位；

5.治疗结束后，检查机器及辅助设备，门窗水电关闭情况及安全卫生情况。

放射物理师的基本职责

一、放疗设备基本性能的保证

1.放疗设备。(1)放射治疗机:直线加速器、后装治疗机;
(2)定位机:模拟定位CT机;(3)TPS系统;(4)测量设备:
剂量仪;(5)附属设备:激光定位灯,固定定位装置。

2.定期校对各种放疗设备的基本指标,保证各种放疗设备的
临床使用精度。

二、临床治疗计划的制定及优化

1.物理师应充分了解掌握并能熟练操作TPS治疗计划系统,
充分发挥其全部功能。

2.在充分了解掌握治疗计划设计原则的基础上和主管医生
共同制定临床治疗计划,并能懂得如何优化临床治疗方案。

三、剂量防护和剂量安全

1.掌握了解并宣传国家有关剂量防护法规和剂量防护知识;

2.进行工作人员的剂量防护监测并登记备案。

四、质量保证和质量控制

1.熟悉了解国家的各种剂量法规并严格执行国家的各种剂
量法;

2.努力学习放射治疗新技术,加强放射治疗质量保证和质量
控制;

3.配合主任制定各种质量保证和质量控制的规章制度并监
督执行。

五、放射治疗机一般故障的排除和故障维修联系。

放射工作人员职业健康管理制度

为了保障放射工作人员的健康利益，依据《中华人民共和国职业病防治法》《放射诊疗管理规定》《放射工作人员职业健康管理暂行办法》等法律法规的规定，制定放射工作人员职业健康管理制度：

1.放射工作人员上岗前，安排其接受放射防护法规和防护知识培训并取得合格证明，向辖区卫生行政部门办理《放射工作人员证》。以后每2年必须接受放射防护有关法律知识的培训，并将培训情况及时记录在《放射工作人员证》中。

2.医院安排放射工作人员定期到有资质的医疗单位进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过2年，必要时可增加临时性检查。

3.放射工作人员在工作期间必须按照规定佩戴个人剂量计，每3个月至少检测一次，对于个人剂量高于剂量限值1/4时，必须查明原因，告知本人并采取相应措施。

4.医院负责放射诊疗工作人员的职业健康管理工作，建立职业健康监护档案、个人剂量监测档案和放射防护培训档案，并妥善保存。

5.放射工作人员在职业健康监护、个人剂量监测、防护培训中形成的档案以及《放射工作人员证》由医院统一保管，终身保存。放射工作人员有权查阅、复印本人的档案，医院应当如实、无偿提供，并在复印件上签章。

攸县人民医院
2025年9月1日

放射治疗病人告知制度

1.为保证医疗质量和医疗安全，体现重大医疗决策有患者及家属的参与，制订放射治疗病人告知制度；

2.与患者及家属谈话告知内容条理清楚、重点突出，语言通俗易懂；

3.一般与患者本人或其监护人、其授权委托人谈话告知，患者本人或其监护人、其授权委托人行使患者知情权。

4.谈话内容至少包括但不限于：

(1) 疾病的诊断；

(2) 疾病的分期；

(3) 疾病的治疗原则；

(4) 疾病的预后；

(5) 疾病的治疗时间和治疗费用；

(6) 放疗的目的；放射治疗的适应证，是根治性放疗还是姑息性放疗。

(7) 重点谈话告知内容：放射治疗相关副反应，这些副反应要取得患者本人或其监护人、其授权委托人的充分认同和理解；患者本人或其监护人、其授权委托人充分了解后亲自签署放疗知情同意书。

5.患者本人或其监护人、其授权委托人意见在病程记录中有记录。

医用直线加速器操作规程

一、直线加速器治疗室技术人员必须了解机器的性能，操作常规和安全保护措施。非本治疗室工作人员不得擅自开机。

二、操作人员须熟练掌握控制台上治疗模式开关、剂量预设、时间预设、安全联锁控制等装置的功能、作用、操作方法后，方可上机。

三、开机前，应对机器的治疗参数、影像、监护系统进行检查确保无误后方可开机。

四、操作人员离开控制台时，应随身携带模式开关钥匙。停机时，模式开关钥匙应放在指定存放处。只有操作、设备维修人员有权取用钥匙。

五、每次治疗前，应对病人的治疗摆位、治疗参数的设置、处方剂量等治疗计划一一掌握，使肿瘤照射部位得到准确的照射。

六、机器旋转前，应检查病人和治疗床的位置，排除旋转中产生碰撞的可能性。

七、使用限光筒、楔形板等附件时，应将其牢牢地装在机头上并锁定。

八、在治疗过程中，应随时观察病人及机器运转情况，如因故障使照射终止时，应记下剂量、时间并及时通知设备维修人员排除故障，如其他原因需中断治疗时，应立即切断机器电源，并记下剂量、时间，向科主任汇报后，按规定进行处理。

医用直线加速器维护保养制度

为保证加速器设备的稳定性、操作的安全性、摆位的准确性，每天治疗前对加速器的各项性能指标进行检查是至关重要的。每天治疗前由维修工程师按照质量保证规程对直线加速器进行日检。

日检主要分为以下五部分：设备状态检查、机械检查、激光灯检查、安全检查和剂量检查。

一、设备状态检查。该检查主要是对一些主要机器参数的检查和确认，这些参数很少发生较大范围的变化，所以一旦检查出某项参数有较大的变化时，工程师、物理师进行调整确认以保证机器的工作和治疗安全性、准确性。设备状态检查主要有：加速器晨检程序、水冷系统、SF₆（气压）空气压缩机的状态检查。早晨开机后确保以上各项都处于工作状态后方可进行检查。加速器晨检程序包括常规检查和 MLC 检查两部分。这两项可在模拟治疗状态下检查。水冷系统的检查包括内、外水循环两部的的水温、水位、水压和两者压差的检查。加速器的内循环水温 40 度。水位在 40 度时为最佳状态，水温超过 42 或低于 36 时要调节水冷系统使水温趋于 40，水位过低时要及时补充蒸馏水。长期的 13 检证明开机 15 分钟后水温都在 40-41 度范围内，水位要每 3-4 月补充一次蒸馏水。SF₆ 气压在 28-32P 时均可对病人进行正常治疗。当检查气压过低时要及时补充 SF₆ 气体以保证正常的治疗剂量。加速器 AIR 气压表读数为 50-42P 时说明空气压缩机正常工作，若超出这个范围要对压缩机进行检修和更换。设备状态所涉及的每个项目都要仔细认真地检查，发现问题工程师及时加以

解决。

二、机械检查。机械检查主要由机架旋转角度检查、准直器旋转角度检查、标尺灯检查、射野尺寸检查和准直器旋转中心轴的检查五部分组成。主要检查工具有指针、水平尺等中心旋转测试板(IRP)、坐标纸等。利用水平尺可检查机架角度的显示误差,将机架置于0度的位置,IRP水平放置其中心与光野中心重合。准直器开成100CM×10CM大小。D=SAD处可顺序检查其他几项机械精度的指标。长期的13检工作证明我科的加速器的各项机械指标为:gantry角度偏差<0.5度,准直器角度偏差<0.5度,标尺灯SAD处误差<1mm、光野尺寸偏差。

三、激光灯检查。机房有五处用于治疗摆位的激光灯分别置于左墙、右墙、前墙的墙体内,由于机械振动等原因,很容易引起激光灯的漂移、旋转等变化。所以每天治疗前对激光灯进行检查也很重要。此项检查可与机械检查同时进行,在机械检查确定IRP置于等中心处后,打开激光灯可检查后墙是否垂直通过等中心。然后将机架旋转出一定角度可检查屋顶激光灯和等中心的重合情况,将IRP旋转至垂直的位置可检查左右墙激光灯是否发生漂移、旋转,我科坚持每日检查和每周调试,长期的日检表明激光灯很少发生大的偏移,其误差均为<1mm,达到放疗所需要的治疗要求。若发现激光灯偏差稍大工程师及时进行调整。

四、安全检查。该检查的目的是加速器正常工作的安全性和治疗时病人、工作人员的安全,所以也是日检的一个重要环节。这项检查包括加速器的防碰撞功能的检查,手控盒和控制台的各个功能按钮的检查,防护门的连锁,指示灯的防挤压功能的检查以及监视、对讲和广播系统的检查。防碰撞功能的检查包括电子

线的防碰功能,用手轻轻触碰防碰感应器即可检查是否正常工作,各功能按钮和指示灯均在出束的状态下检查,在治疗前要保证以上各项检查项目正常工作。

五、剂量检查。每天治疗前都要用已经做过标定的剂量仪对各档射线的剂量进行检测,在保证其误差在 $\pm 2\%$ 的范围内才可治疗病人。当检测剂量超过 $\pm 2\%$ 时说明加速器有可能出现了大的剂量变化,工程师、物理师进行分析确认,决定是否可以对病人正常治疗,在常年的日检工作中,出束剂量率均为 $300\text{MU}/\text{Min}$,剂量仪标定为 SAD 处射野大小为 $10\times 10\text{cm}$ 时 $100\text{MU}=100\text{CGY}$,各个能量的射线束流都非常稳定,误差均在 $\pm 1\%$ 以内,达到国际规定的治疗标准。

装置维修保养、检测和质量保证制度

一、目的

规范放射治疗装置的质量管理，保证放射治疗装置正常进行，确保放疗质量和操作人员的安全。

二、适用范围：放射治疗设备。

三、规定要求

1.与放射治疗装置的治疗质量有关的技术指标，必须符合国家卫生标准。

2.放射治疗装置经调试安装完成后，使用单位必须委托有资质的放射卫生技术服务机构进行控制效果评价和验收检测，经省级人民政府卫生行政部门核准后，方可投入使用。

3.进行定期放射防护检测，确保放射防护设施完好与放射治疗装置性能的稳定，并依照国家有关规定，委托有资质的放射卫生技术服务机构进行场所放射防护检测。

4.对经重大维修或更换重要部件的放射治疗装置，必须按照国家法律法规的规定委托有资质的放射卫生技术服务机构进行验收检测，并经卫生行政部门确认符合规定指标后，方可继续使用。

5.放射治疗装置的订购合同、产品说明书、安装调试报告和维修、检测记录，应当至少保存至该装置报废后五年。

6.安装、维修或者更换与辐射源关键部件后的设备，应当经检测机构对其进行验收检测，确认合格后方可启用；

7.定期进行稳定性检测和校正，每年进行一次全面的维护保养。

8.放射治疗装置的防护性能和与照射质量有关的技术指标，应当符合标准要求。

9.对射线装置、放射工作场所及其周围环境、放射防护设施性能等每年委托放射卫生技术服务机构进行一次状态检测。

10.须配置技术性能合格的剂量检测仪器和其他必要的质量保证设备，按照国家职业卫生标准 WS674-2020《医用直线加速器质量控制检测规范》中“表 C.1 质量控制检测项目与技术要求”的要求进行以及相关标准规定的检测项目、方法和频度对放射治疗装置和其他有关设备进行稳定性检测。

以上所有自主稳定性检测应由专人负责，对检测结果记录存档，并将检测结果及时上报科室主任，确保放射治疗装置性能和辐射屏蔽设施屏蔽效果良好，保证工作人员和公众的健康安全。

辐射监测计划

为加强对放射源管理与放射工作人员健康管理，控制放射性物质的照射，规范放射工作防护管理，保障相关员工健康和环境安全，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求，结合我院实际，特制定本方案。

一、个人剂量监测

1.医院医务部负责联系有剂量监测资质的机构对我科参与射线装置管理及使用人员进行个人剂量监测。

2.个人剂量监测期内，个人剂量计每三个月检测一次。佩戴周期第三个月份的月底各有关部门放射防护管理人员收齐本部门放射工作人员的个人剂量监测仪后交至医务部更换佩戴个人剂量计，医务部统一将个人剂量计送至有资质机构检测并领取新的个人剂量计。

3.剂量监测结果一般每季度由医务部向各有关部门通报一次；当次剂量监测结果如有异常，由医务部通知具体放射工作人员及部门分管领导。

4.医务部和放射防护管理委员会负责建立我院放射工作人员的个人剂量档案。

二、放射工作人员职业健康检查

我院医务部联系有放射人员体检资质的医院，组织相关环境监测辐射防护与监测工作人员每年进行一次健康检查，并建立健康档案。未经体检和体检不合格者，不得从事放射性工作。

三、设备性能/工作场所监测

设备科负责联系有放射设备性能、工作场所防护监测资质的

机构对我院放射源/射线装置进行每年一次的设备性能与防护监测。

四、连锁安全检查

检查包括加速器的防碰撞功能的检查、手控盒和控制台的各个功能按钮的检查、防护门的连锁、指示灯的防挤压功能的检查以及监视、对讲和广播系统的检查，由放疗科物理师负责，检测频率每周至少进行一次检查。

1.外部监测：根据需要联系有监测资质的机构对我院放射工作设备性能与场所辐射防护进行监测或环境评价。

2.内部监测：由放疗科每季度初指定专人对我院存放放射物质场所进行监测，并记录档案。

3.应急监测：应急情况下，为查明放射性污染情况和辐射水平进行必要的内部或外部监测。

湖南省职业病防治院
Hunan prevention and treatment institute for occupational disease

检测报告

TEST REPORT

项目受理编号: FJG-2025-017

(NO. received item)

项目名称: 职业性外照射个人监测

(Name of item)

委托单位: 攸县人民医院

(Deliver uni

2025 年 1 月 15 日