

核技术利用建设项目

中南大学湘雅二医院桂林医院临桂院区

核技术利用新建应用项目

环境影响报告表

（公示本）

建设单位：中南大学湘雅二医院桂林医院

二〇二四年一月

核技术利用建设项目

中南大学湘雅二医院桂林医院临桂院区

核技术利用新建应用项目

环境影响报告表

建设单位名称（盖章）：中南大学湘雅二医院桂林医院

建设单位法人代表（签名或签章）：刘先领

通讯地址：桂林市叠彩路2号

邮政编码：541001

联系人：龚明鹏

电子邮箱：

联系电话：

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	26
表 3 拟使用非密封放射性物质	26
表 4 使用射线装置	27
表 5 废弃物	29
表 6 评价依据	30
表 7 保护目标与评价标准	33
表 8 环境质量和辐射现状	54
表 9 项目工程分析与源项	58
表 10 辐射安全与防护	88
表 11 环境影响分析	154
表 12 辐射安全管理	222
表 13 结论与建议	230
表 14 审批	236
附件	237
附件 1 委托书	237
附件 2 项目备案证明	238
附件 3 总院医疗机构执业许可证	239
附件 4 临桂院区医疗机构设置文件	240
附件 5 总院辐射安全许可证	241
附件 6 原桂林旅游综合医院建设项目环境影响报告书的批复文件	255
附件 7 现状监测报告	260
附件 8 关于成立放射防护管理小组成员的通知	267
附件 9 放射防护事故应急处理预案	270
附件 10 医院相关放射防护管理制度	281
附件 11 核医学科屏蔽防护设计示意图	321

表 1 项目基本情况

建设项目名称		中南大学湘雅二医院桂林医院临桂院区核技术利用新建应用项目				
建设单位		中南大学湘雅二医院桂林医院				
法人代表		刘先领	联系人	龚明鹏	联系电话	***
注册地址		桂林市叠彩路 2 号				
项目建设地点		桂林市临桂新区沙塘路 8 号中南大学湘雅二医院桂林医院临桂院区				
立项审批部门		桂林市工业和信息化局		批准文号	2312-450300-07-01-945377	
建设项目总投资(万元)		121391.55	项目环保投资(万元)	2450	投资比例(环保投资/总投资)	2.02%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积 (m ²)	12629
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类			
	非密封放射性物质	<input 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	/				

1.1 建设单位概况

中南大学湘雅二医院桂林医院（桂林市第二人民医院）位于桂林市叠彩区叠彩路 2 号，坐落在风景秀丽的叠彩山脚下，紧邻漓江河畔，是一所有着百年历史集医疗、预防、科研、教学、康复、急救为一体的国家三级甲等综合医院。

医院始建于 1916 年 10 月，初为美国基督教教会医院（浸信会医院）；1949 年易名为桂林浸信会锡安医院；1951 年由桂林市政府接管，更名为桂林市工人医院；1985 年更名为桂林市第二人民医院；2001 年 4 月顺利通过国家三级甲等综合医院评审；2015 年 2 月，顺利通过国家级三级甲等综合医院复审；2021 年 9 月，广西壮族自治区人民政府、桂林市人民政府与中南大学湘雅二医院签订《共建国家区域医疗中心框架协议》，

明确以中南大学湘雅二医院作为输出医院，以桂林市第二人民医院作为本地依托医院，在原桂林旅游综合医院项目地块上，挂牌“中南大学湘雅二医院桂林医院”，并成功入选第三批国家区域医疗中心建设项目。2022年9月，桂林市第二人民医院正式更名为中南大学湘雅二医院桂林医院。

中南大学湘雅二医院桂林医院现有在职职工 1312 人，其中高级职称 242，中级职称 400，初级职称 591。编制床位 503 张，实际开放床位 751 张。设有内、外、妇、儿、口腔、眼、耳鼻咽喉科等 34 个临床科室、12 个医技科室、28 个专科门诊、31 个职能科室。医院直接管辖秀峰、叠彩两个国家级社区卫生服务中心、桂林市象山区南门社区卫生服务中心（桂林市第二人民医院南院）。

近年来，医院注重加强国内外医疗合作。对内，医院不断加强与中南大学湘雅二医院等国内知名医院深度合作；对外，医院持续保持与德国西海岸医院、日本加古川市民病院，及其他国际知名医院的友好交流与合作。临床各种疑难杂症、重症救治水平不断提升，医疗服务能力显著提高。重症医学科获广西医疗卫生重点学科。眼科获桂林市唯一眼科重点专科建设项目，桂林市眼科质控中心设立在我院眼科，2019 年被自治区卫健委指派为“一带一路”柬埔寨消除白内障致盲行动项目医疗组，赴柬埔寨为白内障患者实施手术，圆满完成医疗任务，受到当地领导、医务人员和广大群众的好评和赞誉。2020 年健康管理中心获得市级重点专科。同年完成桂林市首家“职业健康检查机构”备案；获得中国健康促进基金会、中华医学会健康管理分会颁发的“全国健康管理学科建设与科技创新中心”荣誉称号。

1.2 建设项目概况

为改善桂林市、临桂区优质医疗资源的分布情况，缓解老百姓看病难的困境，提高临桂区公共卫生服务和应急保障能力，构建区域优质高效医疗服务体系，推动桂林医疗卫生事业高质量发展，中南大学湘雅二医院桂林医院在原“桂林旅游综合医院”项目地块位置上，拟建设“中南大学湘雅二医院桂林医院临桂院区”，临桂院区正式投入使用后，将成为集医疗、科研、预防、保健、康复、培训于一体的综合性现代化三级医院，并成为立足桂林、辐射周边半径 200 公里的区域性医疗中心、国际化的旅游医疗服务保障中心和养生康复保健中心。

原“桂林旅游综合医院”拟建项目位于临桂新区桂三高速立交桥以南、凤凰西路延长线以西、真龙汽车城以北地块。项目分两期建设，一期主要建设内容为：门诊医技楼、

综合医院住院部、妇产住院部、儿童住院部、全科医生培训基地、公共卫生应急救治中心等，二期建设内容为：医院办公楼、国际旅游中医特色诊疗中心。项目总占地面积 150413m²，总建筑面积 240344m²，病床数约 790 张；配套建设污水处理站、道路及地面硬化工程、生态停车场、绿化工程、给排水、供电、消防等工程。项目总投资为 9.8 亿元，其中环保投资 1440.866 万元。

桂林市环境保护局于 2013 年 12 月 30 日批复了关于对《桂林旅游综合医院建设项目环境影响报告书》的批复文件（市环管〔2013〕59 号）（详见附件 6），对“桂林旅游综合医院”建设项目立项及其投资规模建设进行了批复。

原桂林旅游综合医院于 2015 年开始建设，2020 年基本落成，医院主体建筑及院区基础设施施工已经完成，桂林旅游综合医院原计划在 2020 年 5 月投入试运行，由于种种原因搁置至今。

1.3 建设项目内容及规模

中南大学湘雅二医院桂林医院临桂院区核技术利用新建应用项目拟开展：放射治疗、核医学、介入放射诊疗和 X 射线影像诊断项目。

建设单位拟在 4#地下室负一层设置放疗科，包括：使用 2 台医用电子直线加速器、1 台后装治疗机（拟使用密封性放射源 ¹⁹²Ir）；拟在 1#门诊医技楼一层设置核医学科，包括：拟使用 1 台 PET/CT 设备，使用非密封性放射性 ¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹⁵O、⁶⁸Ga 的药物开展 PET/CT 显像诊断项目；拟使用 1 台 SPECT/CT 装置，拟使用非密封性放射性 ^{99m}Tc、¹³¹I 的药物开展 SPECT/CT 显像诊断项目；拟使用放射性药物：¹³¹I、¹⁷⁷Lu，开展放射药物治疗；拟在 1#门诊医技楼一层设置放射科，拟使用 1 台 DSA 装置；在 1#门诊医技楼一层设置急诊中心，使用 1 台 DSA+CT 复合装置；拟在 1#门诊医技楼二层设置内镜中心，使用 1 台 ERCP 装置；拟在 1#门诊医技楼四层设置手术区，使用 4 台 DSA 设备。

1.3.1 核医学科项目

（1）本项目拟在 1#门诊医技楼一层建设核医学科，涉及 1 个非密封放射性物质工作场所，使用含非密封性放射性药物 ¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹⁵O、⁶⁸Ga 的药物开展 PET/CT 显像诊断项目；使用含非密封性放射性 ^{99m}Tc、¹³¹I 的药物开展 SPECT/CT 显像诊断项目；拟使用非密封性放射性 ¹³¹I 核素开展的开展甲功测定、甲亢治疗、甲癌治疗，使用 ¹⁷⁷Lu 核素开展前列腺癌等癌症治疗。

PET 显像诊断项目：安装使用 1 台 PET/CT（属Ⅲ射线装置），使用含非密封放射性 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 的药物开展 PET 显像诊断项目；

SPECT 显像诊断项目：安装使用 1 台 SPECT/CT（属Ⅲ类射线装置），使用含非密封放射性物质 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 的药物开展 SPECT 诊断。

表 1-1 核医学科拟使用非密封源应用情况一览表

序号	核素	用途	工作时间	日最大诊疗人数（人）	单人最大操作量（Bq）	日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）
1	^{18}F	PET/CT 显像	1周5次	30	5.55×10^8 (15mCi)	3.7×10^{10} (1000mCi)	3.7×10^7
2	^{11}C			5	3.7×10^8 (10mCi)	1.85×10^9 (50mCi)	1.85×10^6
3	^{13}N			5	3.7×10^8 (10mCi)	1.85×10^9 (50mCi)	1.85×10^6
4	^{15}O			5	3.7×10^8 (10mCi)	1.85×10^9 (50mCi)	1.85×10^6
5	^{68}Ga			5	3.7×10^8 (10mCi)	1.85×10^9 (50mCi)	1.85×10^6
6	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	SPECT/CT 显像	1周5次	30	9.25×10^8 (25mCi)	2.96×10^{10} (800mCi)	2.96×10^7
7	$^{131}\text{I}^*$	甲功测定	1周5次	25	3.7×10^5 (10 μ Ci)	9.25×10^6 (0.25mCi)	2.96×10^9
		甲亢治疗	1周5次	20	3.7×10^8 (10mCi)	7.4×10^9 (200mCi)	
		甲癌治疗	1周2次	3（每周5人）	7.4×10^9 (200mCi)	2.22×10^{10} (600mCi)	
8	^{177}Lu	前列腺癌等治疗	1周1次	1	7.4×10^9 (200mCi)	7.4×10^9 (200mCi)	7.4×10^8
9	^{68}Ge - ^{68}Ga	淋洗	1周5次	/	/	1.85×10^9 (50mCi)	1.85×10^6
合计：总日等效最大操作量（Bq）							3.79×10^9

*备注：甲癌治疗设 3 间甲癌病房（其中 1 间为单人甲癌病房、2 间为双人甲癌病房），单个甲癌病人最大用量为 $7.4 \times 10^9\text{Bq}$ （200mCi）；其中 ^{177}Lu 治疗患者与甲癌患者轮流使用单人甲癌病房 1， ^{177}Lu 治疗患者在甲癌住院病房隔离治疗期间，所住病房不安排甲癌患者住院。

表 1-2 核医学科拟使用射线装置主要技术参数一览表

名称	型号	生产厂家	类别	主要参数	使用位置
PET/CT	待定	待定	Ⅲ射线装置	最大管电压：140kV 最大管电流：1000mA	1#门诊医技楼一层核医学科 PET/CT 机房
SPECT/CT	待定	待定	Ⅲ射线装置	最大管电压：140kV 最大管电流：1000mA	1#门诊医技楼一层核医学科 SPECT/CT 机房

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 C，非密封放射性物质工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级（乙级范围为： $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ ）；因此，本项目核医学科非密封放射性物质工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。

（2）本项目辐射工作人员情况：

因本项目为医院新建项目，医院尚未配有核医学科辐射工作人员，医院为核医学科拟配备医技工作人员 12 人（医师 3 人、核医学技师 5 人、护士 4 人）；本项目核医学辐射工作人员均为新增人员，不从事其他辐射工作，不存在兼岗情况。

1.3.2 放疗科项目

（1）建设单位拟在 4#地下室负一层建设放疗科，建设 2 间直线加速器机房（加速器型号规格未定，本项目两台加速器参数：最大 X 射线能量均为 10MV，属Ⅱ类射线装置），1 间后装治疗机机房（使用 1 枚Ⅲ类密封放射源 ^{192}Ir ）。

本项目放疗科建设内容及规模见下表。

表 1-3 放疗科建设内容及规模一览表

序号	设备名称	类别	型号	主要参数	使用位置
1	医用电子直线加速器	Ⅱ射线装置	待定	X 射线最大能量：6MV、10 MV 电子线最大能量：22 MeV 等中心 X 射线最大剂量率： 常规模式下：6 MV：600cGy/min 10 MV：600cGy/min	4#地下室负一层 放疗科 1 号直线 加速器机房
2	医用电子直线加速器	Ⅱ射线装置	待定	FFF 模式下：6 MV：1400cGy/min 10 MV：2400cGy/min 电子线最大输出剂量率：1000cGy/min	4#地下室负一层 放疗科 2 号直线 加速器机房
3	后装治疗机	Ⅲ类放射源	待定	后装治疗机内含 1 枚放射源 ^{192}Ir ，最大初始装源活度为 $3.70 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。	4#地下室负一层 放疗科后装治疗 机机房

(2) 本项目辐射工作人员情况：

因本项目为医院新建项目，医院尚未配有放疗科辐射工作人员，医院为放疗科拟配备医技工作人员 11 人（医师 3 人、物理师 2 人、放疗技师 4 人、护士 2 人）；本项目核医学辐射工作人员均为新增人员，不从事其他辐射工作，不存在兼岗情况。

1.3.3 介入手术项目

(1) 介入手术项目：本项目拟在 1#门诊医技楼一层放射科建设 1 间 DSA 机房，1#门诊医技楼一层急诊中心建设 1 间 DSA+CT 复合手术室，拟在 1#门诊医技楼四层手术区建设 4 间 DSA 机房，1#门诊医技楼二层内镜中心建设 1 间 ERCP 机房；拟在上述 5 间 DSA 机房内各安装使用 1 台 DSA 和 1 间 DSA+CT 复合手术室安装使用 1 台 DSA+CT 复合装置，拟在上述 1 间 ERCP 机房内安装使用 1 台 ERCP；上述 7 台射线装置均属 II 类射线装置，用于放射诊疗。

本项目介入手术使用的射线装置建设内容及规模见下表。

表 1-4 介入手术项目建设内容及规模一览表

序号	设备名称		射线装置类别	型号	主要参数	使用位置
1	DSA		II	待定	最大管电压：125kV 最大管电流：1250mA	1#门诊医技楼一层放射科 DSA 机房
2	DSA+CT 复合装置	DSA	II	待定	最大管电压：125kV 最大管电流：1250mA	1#门诊医技楼一层急诊中心 DSA+CT 复合手术室
		滑轨 CT	III	待定	最大管电压：140kV 最大管电流：1000mA	1#门诊医技楼一层急诊中心 CT 扫描室、DSA+CT 复合手术室
3	DSA		II	待定	最大管电压：125kV 最大管电流：1250mA	1#门诊医技楼四层手术区 DSA1 机房
4	DSA		II	待定	最大管电压：125kV 最大管电流：1250mA	1#门诊医技楼四层手术区 DSA2 机房
5	DSA		II	待定	最大管电压：125kV 最大管电流：1250mA	1#门诊医技楼四层手术区 DSA3 机房
6	DSA		II	待定	最大管电压：125kV 最大管电流：1250mA	1#门诊医技楼四层手术区 DSA4 机房
7	ERCP		II	待定	最大管电压：150kV 最大管电流：1000mA	1#门诊医技楼二层内镜中心 ERCP 机房

(2) 本项目辐射工作人员情况：

因本项目为医院新建项目，医院尚未配有介入手术项目辐射工作人员，医院为介入手术项目拟配备医技工作人员 45 人（医师 15 人、技师 10 人、护士 20 人）；本项目核医学辐射工作人员均为新增人员，不从事其他辐射工作，不存在兼岗情况。

综上，本次中南大学湘雅二医院桂林医院临桂院区新建项目共包含：

(1) 核医学科项目

使用 1 个乙级非密封放射性物质工作场所，使用核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{68}Ge - ^{68}Ga ；使用 2 台Ⅲ类射线装置（1 台 SPECT/CT、1 台 PET/CT）；

(2) 放疗科项目

使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源（Ⅲ类放射源，后装治疗机），使用 2 台Ⅱ类射线装置（医用电子直线加速器）。

(3) 介入手术项目

使用 7 台Ⅱ类射线装置（6 台 DSA、1 台 ERCP），1 台Ⅲ类射线装置（1 台滑轨 CT）。

1.4 目的和任务由来

1.4.1 评价目的

(1) 对辐射活动场所周边进行辐射环境现状水平监测，掌握辐射活动场所的辐射环境现状水平；

(2) 分析项目运行过程中产生的辐射影响，预测辐射工作人员和公众所受的年有效剂量；

(3) 分析本项目是否满足国家和地方生态环境主管部门对核技术利用建设项目环境管理规定的要求，为本项目的辐射环境管理提供科学依据。

1.4.2 任务由来

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，项目建设前，应组织编制或者填报环境影响评价文件，并依照国家规定程序报生态环境主管部门审批。

由“1.3 建设内容及规模”可知，本次环评内容包括使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置、使用Ⅲ类放射源、使用乙级非密封放射性物质工作场所。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（2021 年版）》（生态环境部令第 16 号），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—使用Ⅱ类射线装置、使用Ⅲ类放射源、乙级非密封放射性物质工

作场所”，应编制辐射环境影响报告表，办理辐射环境影响评价审批手续。

为保护环境，保障公众健康，中南大学湘雅二医院桂林医院委托广西辐卫安环保科技有限公司对中南大学湘雅二医院桂林医院临桂院区核技术利用应用项目进行辐射环境影响评价。

受建设单位委托，广西辐卫安环保科技有限公司环评技术人员在现场勘察、收集有关资料的基础上，结合项目特点，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中环境影响报告表的内容和格式，编制了本项目的环境影响报告表。

1.5 项目选址及周围环境

1.5.1 选址及合理性分析

本项目选址于桂林市临桂新区沙塘路 8 号（地块中心坐标：北纬 25.2740978、东经 110.1648278），中南大学湘雅二医院桂林医院临桂院区位置东侧为凤凰路，南侧为沙塘路，西侧为规划路，北侧为相思江。该片区内，交通便捷，未来发展趋势较好，地理位置较为优越，适合本项目的建设。地理位置图见图 1-1。

根据《桂林旅游综合医院建设项目环境影响报告书》中对项目选址分析“选址范围规划用地性质为医疗卫生用地，不属于一般农地区、水利用地区、生态环境安全控制区、风景旅游用地区等区域，因此建设项目的选址具有合理性”。

1.5.2 核技术利用项目整体选址布局合理性分析

1、核技术利用项目所在建筑与院内环境情况

①1#门诊医技楼四周相邻情况：东侧 30 米外为桂林医学院考试基地，南侧 50 米内为医院广场、院内道路及停车区域，西侧 15 米外为 7#住院楼，北侧 18-20 米外为围 5#综合楼和 6#住院楼。

②4#地下室负一层地面相邻情况：东侧 25 米外为 1#门诊医技楼，南侧 40 米内为院内道路及停车区域，西侧 50 米范围内为院内道路，北侧 25 米外为 1#门诊医技楼。

2、核技术利用项目与院外环境四至情况

①本项目核医学科（包括二层内镜中心 ERCP 项目）项目边界：东侧最近为桂林医学院考试基地约 182 米，距南侧最近为平达顺通驾校约 163 米，距西侧最近为公共卫生应急救治中心约 135 米；距北侧最近为相思江约 104 米。

②本项目项目放疗科边界：东侧最近凤凰路约 216 米，距南侧最近平达顺通驾校约

110 米，距西侧最近公共卫生应急救治中心约 141 米；距北侧最近相思江约 192 米。

③本项目放射科介入手术项目边界：东侧最近为桂林医学院考试基地约 131 米，距南侧最近为沙塘路约 175 米，距西侧最近为规划路约 282 米；距北侧最近为相思江 91 米。

④本项目手术室介入手术（包含急诊中心 DSA+CT 复合手术项目）项目边界：东侧最近为桂林医学院考试基地约 80 米，距南侧最近为沙塘路约 178 米，距西侧最近为规划路约 332 米；距北侧最近为相思江约 82 米。

3、选址布局：

中南大学湘雅二医院桂林医院临桂院区为新建医院，主要建设内容包括：1#门诊医技楼、5#综合楼、6#住院楼、7#住院楼、12#值班综合楼及 4#地下室区域等。

（1）核医学科选址与布局：

本项目核医学科工作场所位于 1#门诊医技楼一层西侧区域，该楼为地上四层，地下一层建筑。东面相邻为 1#门诊医技楼放射科业务用房，南面、西面、北面相邻均为院内通道，楼上相邻为内镜中心业务用房，楼下相邻为地下车库及回旋加速器部分业务用房。本项目核医学科选址在建筑的一层的一侧，该区域活动人群小，便于实施辐射安全管理。

核医学科周围 50 米评价范围内无居民区、学校等敏感目标。辐射工作场所设置在医院建筑一层的一侧。该工作场所未毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离，核医学科选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）选址要求，选址合理。

（2）放疗科选址与布局：

本项目放疗科工作场所位于 4#地下室负一层南侧区域，该区域为地上无建筑，地下无负二层建筑。放疗科区域东面相邻为地下车库，南面相邻为地下泥土层，西面相邻为地下车库通道，北面相邻为地下车库通道，楼上相邻为院内通道及空地。

放疗科辐射工作场所周围 50 米评价范围内无居民区、学校等敏感目标，放疗工作场所集中设置在建筑一端，设计在建筑物的最低端，该工作场所评价范围内无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域，放疗科选址符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）选址要求，选址合理。

（3）介入手术项目选址与布局：

本项目介入手术项目集中布局在 1#门诊医技楼一层放射科 DSA 机房、一层急诊中

心 DSA+CT 复合手术室、二层内镜中心 ERCP 机房、四层手术区 DSA 机房（四间）。

本项目介入手术项目射线机房周围 50 米范围均无居民楼、学校等环境敏感目标，射线装置机房四周、地面下方及顶棚上方避开妇产科、儿科等敏感科室。项目选址基本符合辐射工作场所的选址原则，选址合理。

因此，本项目核技术利用项目整体的选址和布局便于医疗流程的开展和辐射安全管理，较为合理。

本项目现状及周边照片见图 1-2，本项目总平面图见图 1-3，项目评价范围示意图见图 1-4，4#地下室负一层放疗科平面图见图 1-5，1#门诊医技楼一层核医学科平面图见图 1-6，1#门诊医技楼一层放射科平面图见图 1-7，1#门诊医技楼一层急诊科平面图见图 1-8，1#门诊医技楼二层内镜中心平面图见图 1-9，1#门诊医技楼四层手术区平面图见图 1-10。

1.6 原有核技术利用项目情况

中南大学湘雅二医院桂林医院临桂院区位于桂林市临桂新区沙塘路 8 号，临桂院区为新建院区，现为筹建阶段，未开展过核技术利用项目，尚未施工建设。

中南大学湘雅二医院桂林医院（南院、叠彩社区服务中心、秀峰社区服务中心）原有项目环境保护审批手续完备，并取得了由广西壮族自治区生态环境厅颁发的辐射安全许可证，证号为桂环辐证[C0353]，许可种类和范围为：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，有效期 2023 年 11 月 16 日至 2028 年 11 月 15 日（详见附件 5）。辐射安全许可证批准使用 18 台（套）射线装置，其中Ⅱ类射线装置共 1 台、Ⅲ类射线装置共 17 台。现在在用射线装置见表 1-5。

表 1-5 医院现有射线装置一览表

序号	装置名称	数量 (台)	类别	规格型号	安放/使用工作场所	状态
1	口腔数字 X 射线成像系统	1	Ⅲ	PaX-Uni 3D	7 号楼住院部 2 楼口腔科 口腔 CT 室	在用
2	微焦点牙科 X 射线机	1	Ⅲ	MSD-II	7 号楼住院部 2 楼口腔科 牙片机室	在用
3	数字化 X 射线摄影系统（DR）	1	Ⅲ	6600	叠彩社区服务中心门诊 楼 2 楼放射科 DR 室	在用
4	厢式 X 射线机	1	Ⅲ	AKHX-50/200D -RAD	流动体检车 X 光检查区	在用
5	医用 X 射线摄影系统	1	Ⅲ	新东方 1000EB	南院住院 综合楼 1 楼 放射科 DR 室	在用
6	数字化移动式摄影 X 射线机	1	Ⅲ	DP326A-1	南院住院 综合楼 1 楼放 射科 DR 室(无固定机房)	在用
7	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	1	Ⅲ	mDX-13SDKL1A	南院住院 综合楼 1 楼放 射科口腔 CT 室	在用

8	牙科 X 射线机	1	III	RAY68 (M)	南院住院 综合楼 1 楼放射科牙片室	在用
9	数字化医用 X 射线摄影系统 (DR)	1	III	DX-D 600	体检中心 1 楼放射科 DR 摄片室	在用
10	双能 X 射线骨密度仪	1	III	Dexa2019139-2	体检中心 1 楼放射科骨密度仪检查室	在用
11	数字化 X 射线摄影系统 (DR)	1	III	6600	秀峰社区服务中心 2 楼放射科室	在用
12	X 射线计算机体层摄影设备 (CT)	1	III	SOMATOM Drive	医院 1 楼放射科 CT 扫描室	在用
13	医用诊断 X 射线系统 (DR)	1	III	Definium 6000	医院 1 楼放射科 DR 检查室	在用
14	数字化摄影 X 射线机 (DR)	1	III	Definium320	医院 1 楼放射科 DR 室	在用
15	移动式数字化 X 射线摄影系统 (移动 DR)	1	III	7200C	医院 1 楼放射科 DR 室 (无固定机房)	在用
16	医用血管造影 X 射线机 (DSA)	1	II	Optima IGS Venus	医院 1 楼放射科介入手术室	在用
17	计算机断层扫描系统 (CT)	1	III	Brilliance CT (16 Slice)	住院部前楼 1 楼第二 CT 室	在用
18	移动式 C 形臂 X 射线机	1	III	Brivo OEC 785	住院部中楼 3 楼手术室④手术间	在用

在历年运行过程中，医院严格遵守了《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》等相关放射性法律、法规，配合各级生态环境部门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好，历年运行中，未发生辐射事件。

1.7 本项目与原有核技术利用项目依托关系

(1) 主体工程（建筑）依托关系说明

中南大学湘雅二医院桂林医院临桂院区本项目临桂院区选址于桂林市临桂新区沙塘路 8 号，为新建院区，不存在依托原有环保工程的情况。

(2) 辐射设备（设施）依托关系说明

本次新院区所有核技术利用应用项目使用的放射性同位素和射线装置计划为新购。

(3) 辐射监测设备

新院区拟开展核医学科项目、放疗科项目及介入手术项目，需要配备的固定式剂量报警仪、个人剂量报警仪、X、 γ 射线巡测仪、表面污染监测仪等监测设备，均为新购。

(4) 辐射安全管理机构组织依托关系

由于新院区目前确定使用单位为中南大学湘雅二医院桂林医院临桂院区，但具体管

理、运营团队的人员暂时无法确定，新院区辐射安全管理机构组织将根据届时的组织架构及人员配备情况进行调配组建。

（5）辐射安全管理制度依托关系说明

由于新院区拟开展的项目与总院现有的项目相差较大，新增了放疗及核医学相关科目，因此新院区建成投入使用后，相关的辐射安全管理制度需在原有制度基础上，需根据最新的法律法规及标准，进一步完善辐射安全管理制度。

（6）辐射工作人员依托关系说明

新院区建成投入使用后，本项目拟配备的辐射工作人员均属于新增工作人员，从事本项目的辐射工作人员不再从事其余辐射类工作，不存在兼岗情况。

（7）总院每年均委托有资质的单位对总院现有射线装置与放射性同位素项目工作场所进行辐射环境监测，监测结果均满足相应的要求。每年按时向发证机构报送上一年度安全与防护状况年度报告。

（8）总院委托有资质的单位对总院现有辐射工作人员开展个人剂量监测工作，并建立了个人剂量档案和职业健康档案。经医院核实，近几年未出现个人剂量监测结果超过 GB18871-2002 限值要求。

（9）总院从事II类射线装置操作的现有辐射工作人员都取得了生态环境部核与辐射安全中心的辐射安全和防护培训合格证，医院安排医务部密切关注培训考试动态，如有新增辐射工作人员的，会及时报名考试，做到全员持合格证上岗。此外，医院对从事III类射线装置的工作人员开展院内培训，并组织自行考核。

（10）医院已定期安排辐射工作人员进行职业健康体检，并建立健康档案。

1.8 辐射实践的正当性分析

项目运行过程中，工作人员应按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中第 7.2 要求，并参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中第 4.2 要求，考虑可供采用的不涉及医疗照射的替代方法的利益和危险之后，仅当通过权衡利弊，证明医疗照射给受照个人或社会所带来的利益大于可能引起的辐射危害时，医疗照射才是正当的。对于复杂的诊断与治疗，医师应逐例进行正当性判断，并根据医疗技术与水平的发展，对过去认为是正当的医疗照射重新进行正当性判断。核医学医师应掌握相关医学影像诊疗技术的特点及其适应证，使用时应严格控制其适应证范

围。项目的建设可以满足患者的就诊需求，提高对疾病的诊断治疗能力。项目的开展，可获得较好的诊断治疗效果，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，具有明显的经济效益和社会效益，符合《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“实践正当性”要求。

1.9 产业政策符合性

本项目使用的射线装置、放射性核素属于国家发展和改革委员会 2021 年第 49 号令《国家发展改革委关于修改<产业结构调整指导目录(2019 年本)>的决定》“鼓励类”中第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”以及第十三项“医药”中第 5 款“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。



图1-1 中南大学湘雅二医院桂林医院临桂院区地理位置图

图1-2 项目现状照片



1#门诊医技楼南侧入口、工程师现场踏勘



1#门诊医技楼东侧考试基地



1#门诊医技楼北侧5#综合楼



1#门诊医技楼北侧6#住院楼、西侧7#住院楼



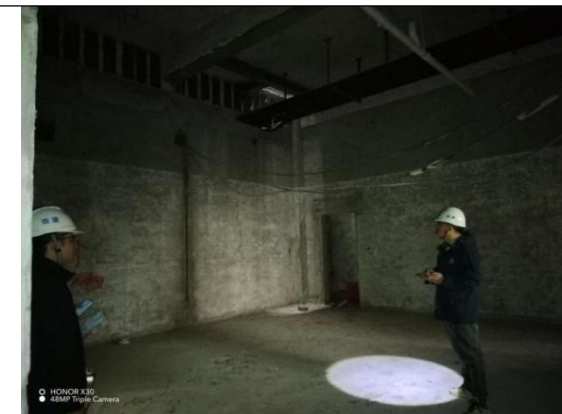
4#地下室负一层放疗科机房



1#门诊医技楼一层核医学科场所（1）



1#门诊医技楼一层核医学科场所（2）



1#门诊医技楼一层放射科DSA机房



1#门诊医技楼一层急诊中心DSA+CT手术室



1#门诊医技楼二层内镜中心ERCP机房



1#门诊医技楼四层手术区 DSA 机房（1）



1#门诊医技楼四层手术区DSA机房（1）



图1-3 中南大学湘雅二医院桂林医院临桂院区总效果平面图

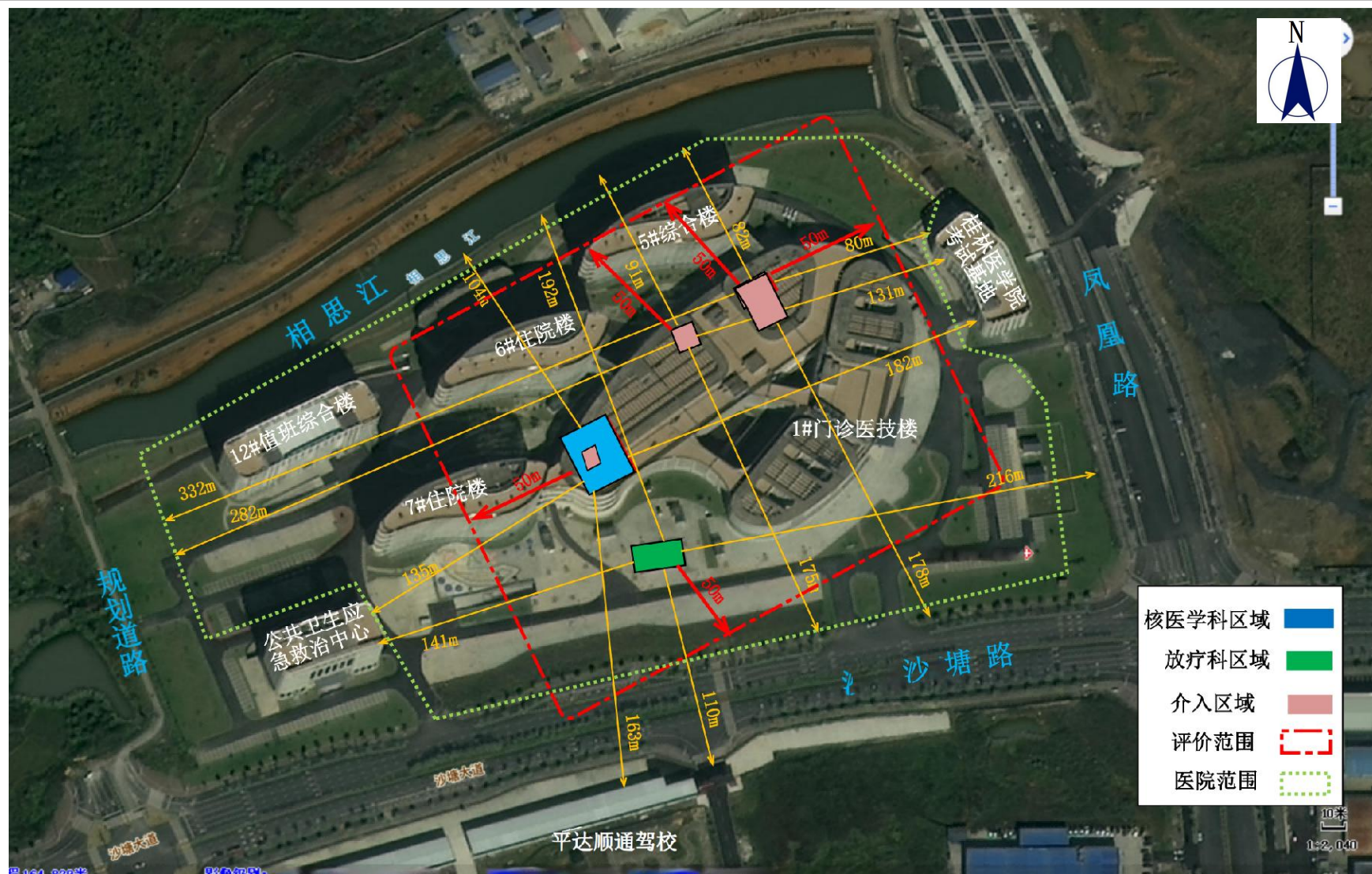
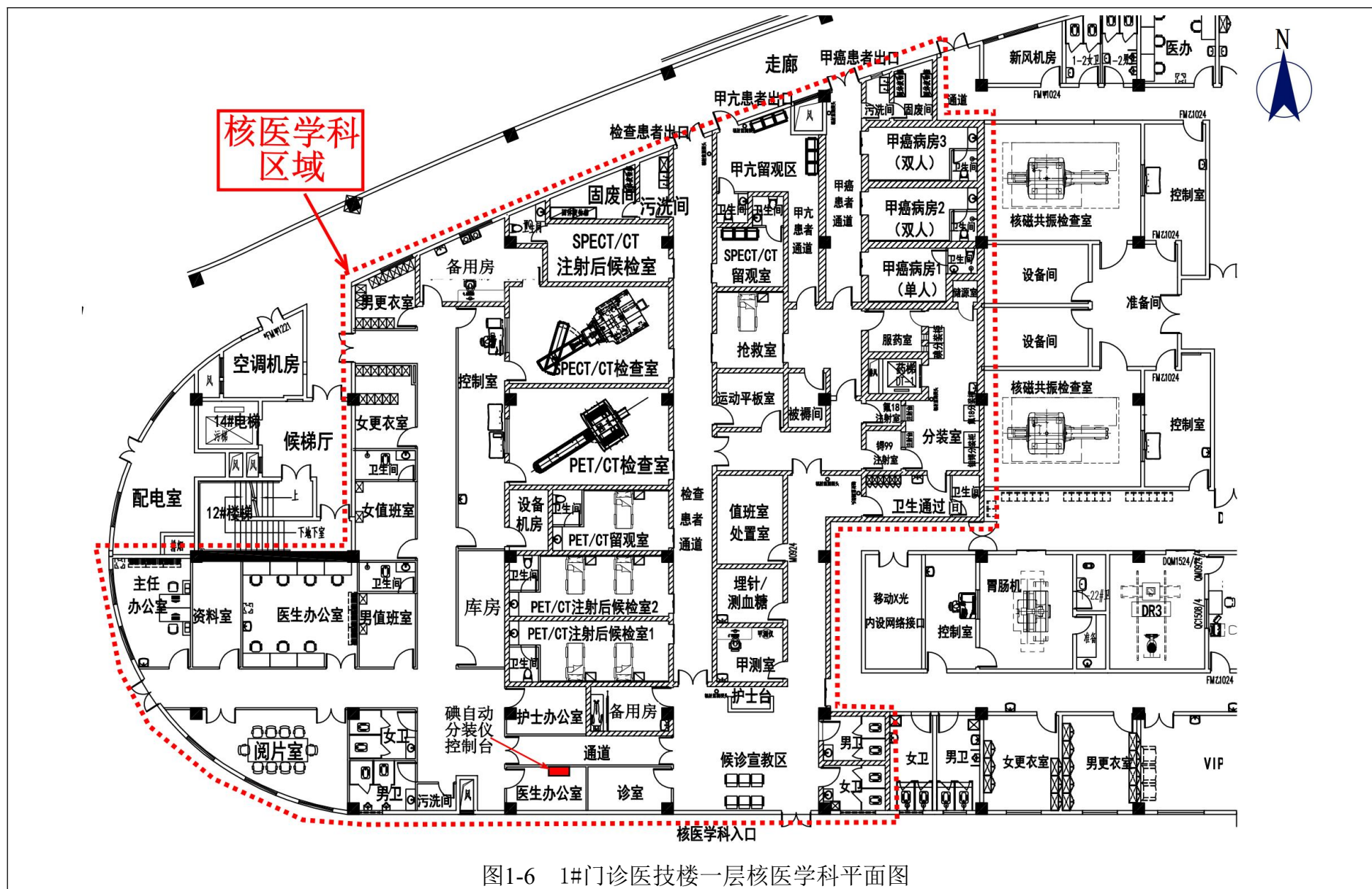


图1-4 项目评价范围示意图





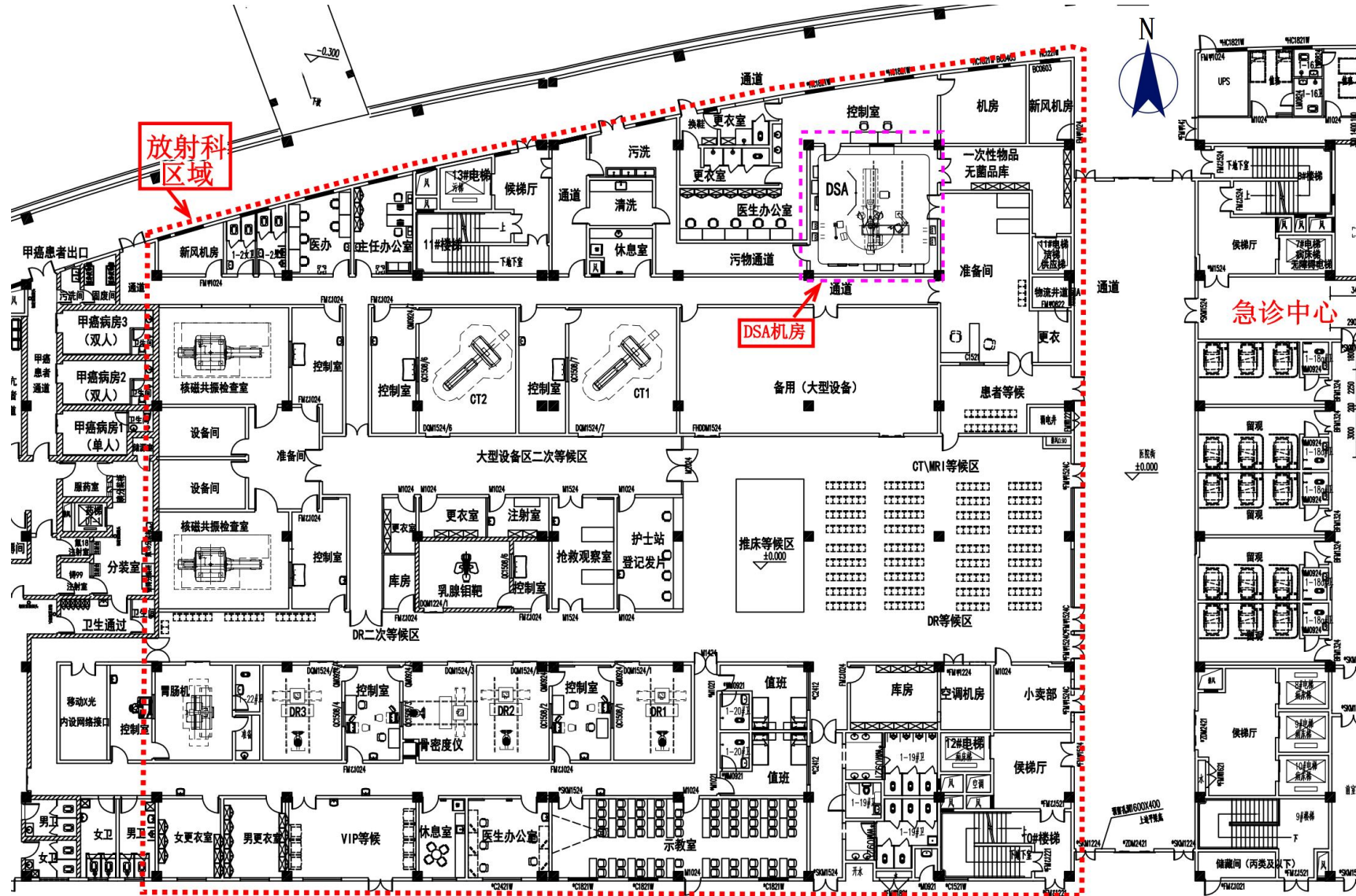


图1-7 1#门诊医技楼一层放射科平面图



图1-8 1#门诊医技楼一层急诊科平面图



图1-9 1#门诊医技楼二层内镜中心平面图

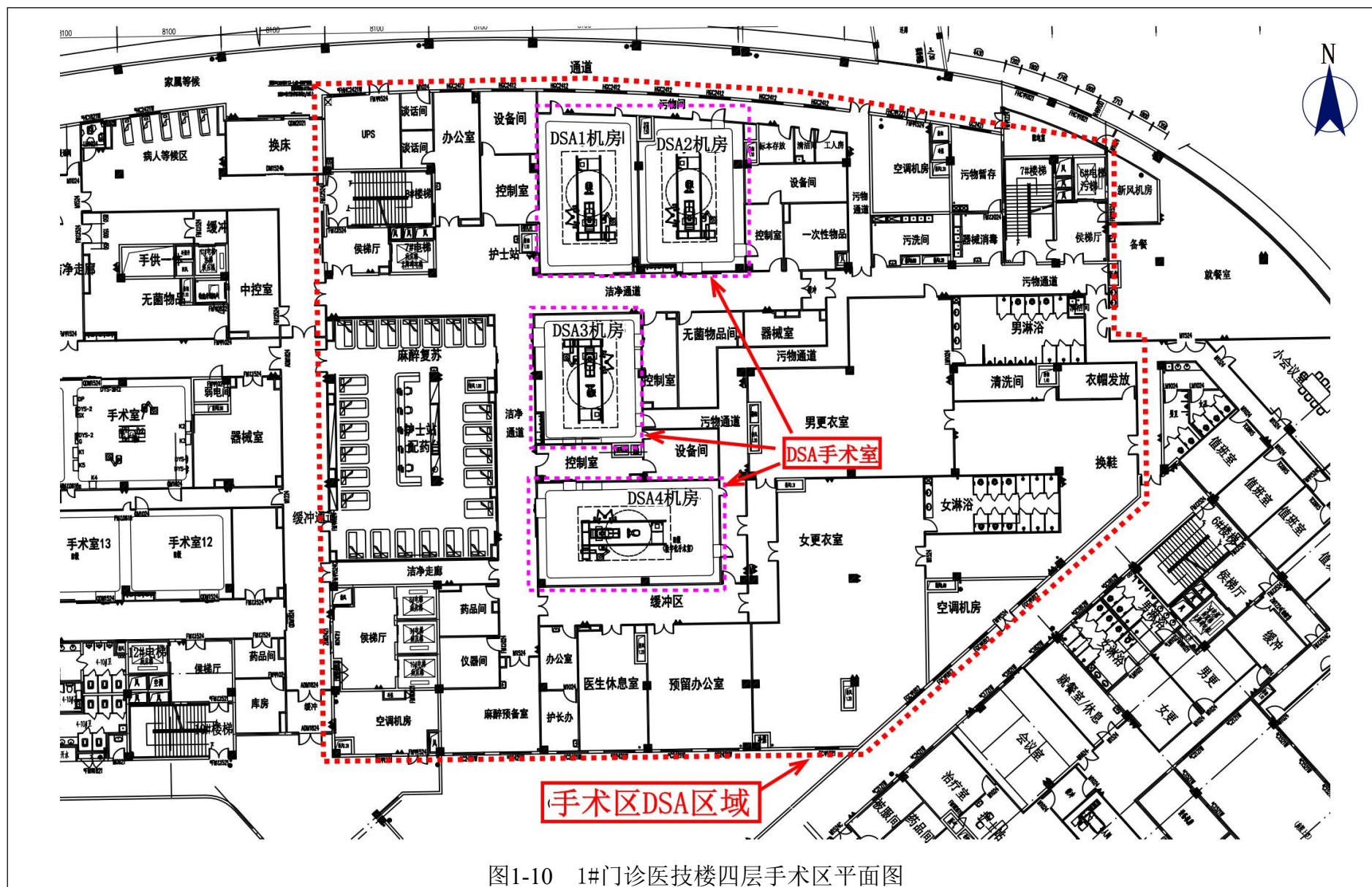


图1-10 1#门诊医技楼四层手术区平面图

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动 种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	^{192}Ir	$3.70 \times 10^{11} \text{Bq}$ / $3.70 \times 10^{11} \text{Bq} \times 1 \text{枚}$	III	使用	放射治疗	4#地下室负一层放 疗科后装机机房	装载在后装机内	拟购置

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 拟使用非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{18}F	液态、低毒	使用	3.7×10^{10} (1000mCi)	3.7×10^7	9.25×10^{12}	显像诊断	很简单操作	1#门诊医技楼 一层核医学科	1#门诊医技楼一层 核医学科储源室中
2	^{11}C	液态、低毒	使用	1.85×10^9 (50mCi)	1.85×10^6	4.63×10^{11}	显像诊断	很简单操作	1#门诊医技楼 一层核医学科	1#门诊医技楼一层 核医学科储源室中
3	^{13}N	液态、低毒	使用	1.85×10^9 (50mCi)	1.85×10^6	4.63×10^{11}	显像诊断	很简单操作	1#门诊医技楼 一层核医学科	1#门诊医技楼一层 核医学科储源室中
4	^{15}O	液态、低毒	使用	1.85×10^9 (50mCi)	1.85×10^6	4.63×10^{11}	显像诊断	很简单操作	1#门诊医技楼 一层核医学科	1#门诊医技楼一层 核医学科储源室中
5	^{68}Ga	液态、低毒	使用	1.85×10^9 (50mCi)	1.85×10^6	4.63×10^{11}	显像诊断	很简单操作	1#门诊医技楼 一层核医学科	1#门诊医技楼一层 核医学科储源室中
6	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态、低毒	使用	2.96×10^{10} (800mCi)	2.96×10^7	7.40×10^{12}	显像诊断	很简单操作	1#门诊医技楼 一层核医学科	1#门诊医技楼一层 核医学科储源室中

7	^{131}I	液态、 中毒	使用	9.25×10^6 (0.25mCi)	9.25×10^5	2.96×10^9	2.31×10^9	甲功测定	简单操作	1#门诊医技楼 一层核医学科	1#门诊医技楼一层 核医学科储源室中
		液态、 中毒	使用	7.4×10^9 (200mCi)	7.4×10^8		1.85×10^{12}	甲亢治疗	简单操作		
		液态、 中毒	使用	2.22×10^{10} (600mCi)	2.22×10^9		2.22×10^{12}	甲癌治疗	简单操作		
8	^{177}Lu	液态、 中毒	使用	7.4×10^9 (200mCi)	7.4×10^8		1.85×10^{12}	放射治疗	简单操作	1#门诊医技楼 一层核医学科	1#门诊医技楼一层 核医学科储源室中
9	^{68}Ge - ^{68}Ga	固态、 中毒	使用	1.85×10^9 (50mCi)	1.85×10^6		4.63×10^{11}	淋洗得 ^{68}Ga	贮存	1#门诊医技楼 一层核医学科	1#门诊医技楼一层 核医学科储源室中

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）、《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）。

表 4 使用射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型 号	加速 粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II	2	待定	电子	X 射线能量档： 6MV、10 MV 电子线最大能量： 22 MeV	X 射线最大能量：6MV、10 MV 电子线最大能量：22 MeV 等中心 X 射线最大剂量率： 常规模式下：6 MV：600cGy/min 10 MV：600cGy/min FFF 模式下：6 MV：1400cGy/min 10 MV：2400cGy/min 电子线最大输出剂量率：1000cGy/min	放射 治疗	4#地下室负一 层放疗科 1 号、 2 号加速器机 房	拟购置

（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	厂 家	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用 途	工作场所	备注
1	PET/CT		III	1	待定	待定	140 kV	1000mA	显像诊断	1#门诊医技楼一层核医学科 PET/CT 检查室	拟购置
2	SPECT/CT		III	1	待定	待定	140 kV	1000mA	显像诊断	门诊医技楼一层核医学科 SPECT/CT 检查室	拟购置
3	DSA		II	1	待定	待定	125kV	1250mA	介入手术中的放射诊断	1#门诊医技楼一层放射科 DSA 机房	拟购置
4	DSA+CT 复合装置	DSA	II	1	待定	待定	125kV	1250mA	介入手术中的放射诊断	1#门诊医技楼一层急诊中心 DSA+CT 复合手术室	拟购置
		滑轨CT	III	1	待定	待定	140kV	1000mA	放射诊断	1#门诊医技楼一层急诊中心 CT 扫描室、DSA+CT 复合手术室	拟购置
5	DSA		II	1	待定	待定	125kV	1250mA	介入手术中的放射诊断	1#门诊医技楼四层手术区 DSA1 机房	拟购置
6	DSA		II	1	待定	待定	125kV	1250mA	介入手术中的放射诊断	1#门诊医技楼四层手术区 DSA2 机房	拟购置
7	DSA		II	1	待定	待定	125kV	1250mA	介入手术中的放射诊断	1#门诊医技楼四层手术区 DSA3 机房	拟购置
8	DSA		II	1	待定	待定	125kV	1250mA	介入手术中的放射诊断	1#门诊医技楼四层手术区 DSA4 机房	拟购置
9	ERCP		II	1	待定	待定	150kV	1000mA	介入手术中的放射诊断	1#门诊医技楼二层内镜中心 ERCP 机房	拟购置

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型 号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μ A)	中子强度 (n/s)	用 途	工作场 所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物

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
核医学科放射性废气	气态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N ^{15}O 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ^{131}I 、 ^{177}Lu ^{68}Ge - ^{68}Ga	/	/	/	/	/	专用排风管道送至屋顶，经活性炭过滤后，高于本建筑屋顶的排放口排放。
放疗科废气：臭氧（ O_3 ）及氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排出，弥散在大气环境中
放射性废水	液态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N ^{15}O 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	/	总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	存储在1#门诊医技楼负一层氟钨衰变池中	设置为槽式衰变池，放射性废液暂存超过30天，出水排入医院污水处理站处理，最后排入城市污水管网。
	液态	^{131}I 、 ^{177}Lu	/	/	/		存储在1#门诊医技楼负一层碘衰变池中	设置为槽式衰变池，放射性废液暂存超过180天，出水排入医院污水处理站处理，最后排入城市污水管网。
放射性固体废物 (操作手套、口罩、一次性水杯、注射器、针头、棉签、试管、活性炭等)	固态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N ^{15}O 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ^{131}I 、 ^{177}Lu	/	/	1360 kg	/	分类、分期收集于放射性废物桶中，转移至废物暂存间衰变贮存。	放射性固废贮存时间和辐射剂量监测结果满足HJ1188-2021中相关规定后作为普通医疗废物由有资质单位收集处理，不外排。
^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器	固态	^{68}Ge - ^{68}Ga	/	/	/	/	存贮于铅罐中，后转到放射性固废间中。	由供源厂家回收处理
加速器废靶	固态	/	/	/	/	/	/	由设备供应商更换并回收处置
后装机废放射源	固态	^{192}Ir	/	/	/	/	暂存于专用贮源容器内	由供源厂家回收处理

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

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

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(中华人民共和国主席令第九号, 2014 年修订, 2015 年 1 月 1 日起施行);</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(中华人民共和国主席令第四十八号, 2018 年修改, 2018 年 12 月 29 日起施行);</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(中华人民共和国主席令第六号, 2003 年, 2003 年 10 月 1 日起施行);</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》(中华人民共和国国务院令 第 682 号, 2017 年 6 月 21 日发布, 2017 年 10 月 1 日起施行);</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院第 449 号令, 2019 年 3 月 2 日 修订版);</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021 年修正版), 生态环境部令 第 20 号, 自 2021 年 1 月 4 日起施行;</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(原环境保护部令 部令 第 18 号, 2011 年, 2011 年 5 月 1 日起施行);</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》(生态环境部 部令 第 16 号, 2021 年 1 月 1 日起施行);</p> <p>(9) 《关于发布<射线装置分类>的公告》(原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告, 公告 2017 年第 66 号, 2017 年 12 月 6 日起实施);</p> <p>(10) 《关于发布放射源分类办法的公告》, (国家环境保护总局公告 2005 第 62 号), 于 2005 年 12 月 23 日公布并施行;</p> <p>(11) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》(原环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告, 公告 2017 年第 65 号, 2018 年 1 月 1 日起实施);</p> <p>(12) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部 2019 年第 57 号公告, 2019 年 12 月 23 日发布);</p> <p>(13) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》(生态环境部 2021 年 第 9 号公告, 2021 年 3 月 15 日起施行);</p> <p>(14) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》(国环规环评〔2017〕4 号, 2017</p>
------	--

	<p>年 11 月 20 日起施行)；</p> <p>(15) 《广西壮族自治区环境保护条例》(2019 年修订版)，2019 年 7 月 25 日起施行；</p> <p>(16) 《广西壮族自治区生态环境厅关于印发《广西壮族自治区建设项目环境影响评价文件分级审批管理办法(2022 年修订版)》的通知》(广西壮族自治区生态环境厅，桂环规范〔2022〕9 号，2022 年 08 月 04 日发布)；</p> <p>(17) 《产业结构调整指导目录(2019 年本)》(2021 年修改)，中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 49 号，2022 年 1 月 1 日发布施行。</p> <p>(18) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(生态环境部辐射源安全监管司，2023 年 9 月 11 日)。</p>
技 术 标 准	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)，环境保护部；</p> <p>(3) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；</p> <p>(5) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB8999-2021)；</p> <p>(6) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>(7) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)；</p> <p>(8) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)；</p> <p>(9) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)；</p> <p>(10) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)；</p> <p>(11) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)；</p> <p>(12) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)；</p> <p>(13) 《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》(HJ421-2008)；</p> <p>(14) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)；</p> <p>(15) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)；</p> <p>(16) 《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)；</p>

	<p>(17) 《建设项目职业病危害放射防护评价规范第 2 部分：放射治疗装置》(GBZ/T220.2-2009)；</p> <p>(18) 《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)；</p>
其他	<p>(1) 《辐射安全手册》(潘自强)；</p> <p>(2) 《放射防护实用手册》(赵兰才、张丹枫)；</p> <p>(3) NCRP Report No. 51 Radiation Protection Design Guidelines for 0.1-100-MeV Particle Accelerator Facilities;</p> <p>(4) 《中国环境天然放射性水平》(中国原子能出版社, 2015 年 7 月第 1 版)；</p> <p>(5) 辐射环境影响评价委托书；</p> <p>(6) 建设单位提供的其它相关技术资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目为使用Ⅱ类射线装置、使用Ⅲ放射源、使用乙级非密封放射性物质工作场所，参照《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中对核技术利用建设项目环境影响报告书的评价范围的相关规定“乙级非密封放射性物质工作场所项目的评价范围取半径 50m 的范围，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”，确定本项目评价范围为核技术利用工作场所周围 50m 的区域（不同工作场所重合区域时取最大范围）。本项目评价范围详见图 1-4。

7.2 保护目标

由医院总平面布置及现场调查可得，本项目主要环境保护目标为本项目辐射工作人员、各场所其他非辐射工作人员以及评价范围内偶尔路过或停留的公众。本项目的环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标

项目	环境保护对象	人员类别	位置描述	规模	年有效剂量要求
4#地下室负一层放疗科 1/2 号加速器机房、后装机机房	加速器、后装机项目辐射工作人员	职业	场所内	11 人	5mSv
	地下车库通道	公众	东侧约 37 米	流动人口	0.1mSv
	泥土层	/	南侧相邻	/	/
	地下车库通道	公众	西侧相邻	流动人口	0.1mSv
	地下车库通道	公众	北侧约 17 米	流动人口	0.1mSv
	1#门诊医技楼一层核医学科	公众	顶上地面相邻 北侧 25-50 米	40 人	0.1mSv
	1#门诊医技楼一层病友服务中心	公众	顶上地面相邻 东侧 25-50 米	60 人	0.1mSv
	院内通道及空地	公众	正上方相邻	流动人口	0.1mSv
	医院其他工作人员及公众	公众	机房边界外 50m 评价范围内	流动人口	0.1mSv
1#门诊医技楼一层核医学科	核医学科项目辐射工作人员	职业	场所内	12 人	5mSv
	放射科	公众	东侧相邻 0-50 米	300 人	0.1mSv
	院内通道及空地	公众	南侧相邻 0-50 米	流动人口	0.1mSv

	1#楼与 7#楼连接通道	公众	西侧相邻 0-30 米	流动人口	0.1mSv
	7#住院楼一层体检中心	公众	西侧相邻 30-50 米	60 人	0.1mSv
	1#楼与 6#楼院内通道及空地	公众	北侧相邻 0-21 米	流动人口	0.1mSv
	6#住院楼一层药房	公众	北侧相邻 22-50 米	20 人	0.1mSv
	二层内镜中心	公众	正上方相邻	150	0.1mSv
	负一层回旋加速器场所、地下车库	公众	正下方相邻	6 人	0.1mSv
1#门诊医技楼一层放射科 DSA 机房	介入手术项目辐射工作人员	职业	场所内	6 人	5mSv
	放射科通道、急诊科 DSA+CT 复合手术室	公众	东侧相邻 0-50 米	8 人	0.1mSv
	放射科等候区和通道、及院内通道	公众	南侧相邻 0-50 米	150 人	0.1mSv
	放射科办公区、通道	公众	西侧相邻 0-50 米	20 人	0.1mSv
	院内通道、空地	公众	北侧相邻 0-50 米	流动人口	0.1mSv
	二层心电图诊室	公众	正上方相邻	4 人	0.1mSv
	负一层地下车库	公众	正下方相邻	流动人口	0.1mSv
1#门诊医技楼一层急诊科 DSA+CT 复合手术室	介入手术项目辐射工作人员	职业	场所内	6 人	5mSv
	急诊科 MR 控制室、急诊通道、及院内通道	公众	东侧相邻 0-50 米	4 人	0.1mSv
	急诊科、及院内通道	公众	南侧相邻 0-50 米	120 人	0.1mSv
	急诊科 CT 控制室、通道、放射科 DSA 机房	公众	西侧相邻 0-50 米	8 人	0.1mSv
	院内通道、空地	公众	北侧相邻 0-21 米	流动人口	0.1mSv
	5#综合楼一层病房	公众	北侧相邻 22-50 米	30 人	0.1mSv
	二层检验科	公众	正上方相邻	30 人	0.1mSv
	负一层地下车库	公众	正下方相邻	流动人口	0.1mSv
1#门诊医技楼二层内镜中心 ERCP 机房	ERCP 项目辐射工作人员	职业	场所内	6 人	5mSv
	内镜中心治疗区	公众	东侧相邻 0-50 米	约 70 人	0.1mSv
	内镜中心库房、医护男更衣室	公众	南侧相邻 0-7 米, 8-50 米楼外悬空	10 人	0.1mSv
	内镜中心示教室	公众	西侧相邻 0-13 米	约 30 人	0.1mSv
	1#楼与 7#楼连接通道、7#住院楼二层体检中心	公众	西侧相邻 14-50 米	流动人口	0.1mSv

1#门诊医技楼四层手术区 DSA1 机房	内镜中心治疗区	公众	北侧相邻 0-15 米	20 人	0.1mSv
	楼外悬空	公众	北侧相邻 16-50 米	流动人口	0.1mSv
	三层病理科诊断室	公众	正上方相邻	8 人	0.1mSv
	一层核医学科库房、医生通道	公众	正下方相邻	流动人口	0.1mSv
	介入手术项目 辐射工作人员	职业	场所内	6 人	5mSv
	DSA2 机房、操作室、辅助用房	公众	东侧相邻 0-50 米	6 人	0.1mSv
	DSA3/4 机房、操作室、 医护办公区	公众	南侧相邻 0-50 米	15 人	0.1mSv
	手术室、辅助用房、病人 等候区	公众	西侧相邻 0-50 米	20 人	0.1mSv
	楼外悬空	/	北侧相邻 0-21 米	/	/
	5#综合楼四层病房	公众	北侧相邻 22-50 米	30 人	0.1mSv
	四层屋顶通道	公众	正上方相邻	流动人口	0.1mSv
	三层血透中心水处理、 通道	公众	正下方相邻	流动人口	0.1mSv
1#门诊医技楼四层手术区 DSA 2 机房	介入手术项目 辐射工作人员	职业	场所内	6 人	5mSv
	DSA2 机房操作室、辅助 用房	公众	东侧相邻 0-50 米	6 人	0.1mSv
	DSA3 机房操作室、 DSA4 机房、医护办公区	公众	南侧相邻 0-50 米	15 人	0.1mSv
	DSA1 机房/操作室、辅助 用房、病人等候区、	公众	西侧相邻 0-50 米	20 人	0.1mSv
	楼外悬空	/	北侧相邻 0-21 米	/	/
	5#综合楼四层病房	公众	北侧相邻 22-50 米	30 人	0.1mSv
	四层屋顶排烟机房	公众	正上方相邻	流动人口	0.1mSv
	三层血透中心库房、 配液间	公众	正下方相邻	3 人	0.1mSv
1#门诊医技楼四层手术区 DSA 3 机房	介入手术项目 辐射工作人员	职业	场所内	6 人	5mSv
	操作室、男更衣室、淋浴 间、清洗间	公众	东侧相邻 0-50 米	12 人	0.1mSv
	DSA4 机房/操作室、医护 办公区	公众	南侧相邻 0-50 米	15 人	0.1mSv
	手术室、器械室、护士站	公众	西侧相邻 0-50 米	15 人	0.1mSv
	DSA1 机房、洁净通道	公众	北侧相邻 0-35 米	5 人	0.1mSv
	5#综合楼四层病房	公众	北侧相邻 36-50 米	30 人	0.1mSv

	四层屋顶空调机房	公众	正上方相邻	流动人口	0.1mSv
	三层血透中心病房、治疗室	公众	正下方相邻	8 人	0.1mSv
1#门诊医技楼四层手术区 DSA4 机房	介入手术项目辐射工作人员	职业	场所内	6 人	5mSv
	女更衣室、淋浴间、清洗间、ICU 值班室	公众	东侧相邻 0-50 米	18 人	0.1mSv
	医护办公区、楼外悬空	公众	南侧相邻 0-27 米	15 人	0.1mSv
	ICU 办公室	公众	南侧相邻 28-50 米	15 人	0.1mSv
	手术室、护士站、通道	公众	西侧相邻 0-50 米	15 人	0.1mSv
	DSA1/2/3 机房、操作室、楼外悬空	公众	北侧相邻 0-50 米	12 人	0.1mSv
	四层屋顶通道	公众	正上方相邻	流动人口	0.1mSv
	三层血透中心办公备用间、设备机房	公众	正下方相邻	3 人	0.1mSv

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

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

表 7-2 剂量限值的相关内容

相关条款	具体内容
B1.1 职业照射	B1.1.1.应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：a) 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； d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv。
B1.2 公众照射	B1.2.1 公众照射实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：a) 年有效剂量，1mSv；

(2) 根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)：

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5 mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

(3) 根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)：

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

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

b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

综上所述，本项目取不超过 5mSv/a 作为职业照射的剂量约束值；取不超过 0.1mSv/a 作为公众剂量约束值。

7.3.2 核医学表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中表 B11 的规定，对于工作场所的放射性表面污染，应满足表 7-3 的控制水平。

表 7-3 工作场所放射性表面污控制水平（单位：Bq/cm²）

表面类型		β放射性物质（Bq/cm ² ）
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 1)	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、 内衣、工作袜		4×10 ⁻¹
1) 该区内的污染子区除外。		

7.3.3 工作场所辐射剂量率控制水平

（1）核医学科项目

①根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μSv/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 μSv /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 μSv/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 μSv/h。

②根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（生态环境部辐射源安全监管司，2023 年 9 月 11 日）：

关于控制区剂量率：

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

1、控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2），周围剂量当量率应

小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

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

③《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

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：

b) CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

（2）放疗科项目

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）：

6.1 屏蔽要求

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

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

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

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

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

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

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

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 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100\mu\text{Sv/h}$ 加以控制 (可在相应位置处设置辐射告示牌)。

不同场所的居留因子参考下表:

表 7-4 不同场所的居留因子

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、咨询台、有人护理的候检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: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然居留	1/16	1/8~ 1/40	1/8: 各治疗室门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候检室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有行人车辆来往的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

加速器机房外各关注点的剂量率控制水平:

由于本项目 2 间加速器机房呈东西镜面对称设计, 屏蔽设计参数、机房面积一致, 故屏蔽防护设计满足 1 号加速器机房屏蔽防护要求, 也能满足 2 号加速器机房屏蔽防护要求, 反之亦然; 结合机房周围环境及屏蔽厚度, 本次评价选择 1 号加速器机房设置相关关注点 (机房屏蔽体外 30cm) 进行屏蔽计算与评价。

根据《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121—2020), 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子, 由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c :

$$\dot{H}_c \leq H_e / (t \times U \times T) \quad (\text{式 11.2-1})$$

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

H_e —周剂量参考控制水平 ($\mu\text{Sv/周}$), 放射治疗机房外控制区的工作人员: $\leq 100 \mu\text{Sv/周}$; 放射治疗机房外非控制区的人员: $\leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

t—设备周最大累积照射的小时数 (h/周)。

U—治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子, 保守取值 1。

T—人员在关注点位置的居留因子, 参照《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198—2021) 附录 A 取值。

本项目加速器的工作负荷：投入使用后，预计每台加速器每天放射治疗患者最多为 70 人次，其中，常规治疗约 10 人/天，平均每人照射时间 3min；调强治疗约 60 人/天，平均每人照射时间 5min。每周工作 5 天，一年工作 50 周，则直线加速器周照射时间为 27.5h。

表 7-5 1 号加速器机房外各关注点的剂量率控制水平

关注点	对应区域 居留因子 取值	束 向 因 子	周剂量参 考控制水 平 \dot{H}_e	周工作负 荷得出参 考控制水 平 \dot{H}_c	不同居留因子 的最高周围剂 量当量率参考 控制水平 $\dot{H}_{c, \max}$	医院建设 的目标值	经比较后 最终剂量 率参考控 制水平 \dot{H}_c
A1 北侧 迷路外墙	控制室 1	1	100 μ Sv/周	≤ 3.6 μ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h
B1 北侧迷 路外墙	辅助机房 1	1	100 μ Sv/周	≤ 3.6 μ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h
C1 西侧次 屏蔽墙	地下车库 通道 1/16	1	5 μ Sv/周	≤ 2.9 μ Sv/h	$\leq 10\mu$ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h
D1 西侧 主屏蔽墙	地下车库 通道 1/16	1/4	5 μ Sv/周	≤ 11.6 μ Sv/h	$\leq 10\mu$ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h
E1 南侧屏 蔽墙	泥土层 1/40	1	5 μ Sv/周	≤ 7.3 μ Sv/h	$\leq 10\mu$ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h
F1 东侧主 屏蔽墙	2 号加速器 机房 1/8	1/4	5 μ Sv/周	≤ 5.8 μ Sv/h	$\leq 10\mu$ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h
H1 东侧 次屏蔽墙	2 号加速器 机房 1/8	1	5 μ Sv/周	≤ 1.5 μ Sv/h	$\leq 10\mu$ Sv/h	$\leq 1.5\mu$ Sv/h	$\leq 1.5\mu$ Sv/h
I1 顶上主 屏蔽墙	院内通道、 空地 1/16	1/4	5 μ Sv/周	≤ 11.6 μ Sv/h	$\leq 10\mu$ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h
J1 顶上次 屏蔽墙	院内通道、 空地 1/16	1	5 μ Sv/周	≤ 2.9 μ Sv/h	$\leq 10\mu$ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h
G1 防护 门	防护门外 1/8	1	5 μ Sv/周	≤ 1.5 μ Sv/h	$\leq 10\mu$ Sv/h	$\leq 1.5\mu$ Sv/h	$\leq 1.5\mu$ Sv/h

后装机机房外各关注点的剂量率控制水平

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中确定后装机机房墙和入口门外关注点的剂量率控制水平 $\dot{H}_{c, d}$ （ μ Sv/h）：

$$\dot{H}_{c, d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (\text{式 11.2-9})$$

H_c —周参考剂量控制水平，单位为微希每周（ μ Sv/周）。

U —关注位置方向照射的使用因子，保守取值 1。

T —人员在相应关注点驻留的居留因子，参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）附录 A 取值。

t —治疗装置周治疗照射时间，单位为时（h）。其值为平均每周治疗照射人数和每人治疗照射时间乘积。

本项目后装机治疗的工作负荷：本项目后装机每天最多可治疗病人 15 人，平均每位患者的治疗照射时间为 6min，每周工作 5 天，一年工作 50 周，则周治疗时间为 7.5h；医生摆位时间平均每位患者约 4min。

表 7-6 后装机机房外各关注点的剂量率控制水平

关注点	对应区域居留因子取值	束向因子	周剂量参考控制水平 \dot{H}_e	周工作负荷得出参考控制水平 \dot{H}_c	不同居留因子的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c, \max}$	医院建设的目标值	经比较后最终剂量率参考控制水平 \dot{H}_c
A3 北侧屏蔽墙	控制室 1	1	100 μ Sv/周	$\leq 13.3 \mu$ Sv/h	$\leq 2.5 \mu$ Sv/h	$\leq 2.5 \mu$ Sv/h	$\leq 2.5 \mu$ Sv/h
B3 西侧屏蔽墙	2 号加速器机房 1/8	1	5 μ Sv/周	$\leq 5.3 \mu$ Sv/h	$\leq 10 \mu$ Sv/h	$\leq 2.5 \mu$ Sv/h	$\leq 2.5 \mu$ Sv/h
C3 南侧屏蔽墙	制作室 1/16	1	5 μ Sv/周	$\leq 10.7 \mu$ Sv/h	$\leq 10 \mu$ Sv/h	$\leq 2.5 \mu$ Sv/h	$\leq 2.5 \mu$ Sv/h
D3 东侧屏蔽墙	通道 1/5	1	5 μ Sv/周	$\leq 3.3 \mu$ Sv/h	$\leq 10 \mu$ Sv/h	$\leq 2.5 \mu$ Sv/h	$\leq 2.5 \mu$ Sv/h
I3 顶上屏蔽墙	院内通道、空地 1/16	1	5 μ Sv/周	$\leq 10.7 \mu$ Sv/h	$\leq 10 \mu$ Sv/h	$\leq 2.5 \mu$ Sv/h	$\leq 2.5 \mu$ Sv/h
G3 防护门	防护门外 1	1	100 μ Sv/周	$\leq 13.3 \mu$ Sv/h	$\leq 2.5 \mu$ Sv/h	$\leq 2.5 \mu$ Sv/h	$\leq 2.5 \mu$ Sv/h

（3）介入手术项目

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

b) CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h；

7.3.4 核医学工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 规定的非密封源工作场所的分级，应按表 7-7 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量

的大小分级。

表 7-7 非密封源工作场所的分级

级别	具体内容
甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

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

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 A，核医学放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 7-8 和表 7-9。

表 7-8 核医学常用放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	常用核素名称	毒性组别修正因子
高毒	^{90}Sr	1
中毒	^{22}Na 、 ^{32}P 、 ^{63}Ni 、 ^{67}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{90}Y 、 ^{99}Mo 、 ^{111}In 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{153}Sm	0.1
低毒	^3H 、 ^{14}C 、 ^{11}CO 、 $^{11}\text{CO}_2$ 、 ^{14}CO 、 $^{14}\text{CO}_2$ 、 ^{18}F 、 ^{51}Cr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{111\text{m}}\text{In}$ 、 ^{123}I 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe 、 ^{201}Tl	0.01

表 7-9 核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子

活动类型	核素及状态	操作方式界定	操作方式修正因子
发生器淋洗	母体（液态）	贮存	100
	子体（液态）	简单操作	1
医疗机构使用	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （液态）	很简单操作	10
	^{125}I 籽源（固态）	很简单操作	100
放射性药品生产	分装、标记（液体）	简单操作	1
	分装、标记（固体）	简单操作	10
核素治疗	^{131}I （液态）	简单操作	1

7.3.5 工作场所辐射管理分区

(1) 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求,应把辐射工作场所分为控制区和监督区,以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

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

6.4.2 监督区

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

(2) 根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021):

4.3 辐射工作场所分区

4.3.1 应按照 GB18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区,并进行相应的管理。

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

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

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

(3) 根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021):

5.2 分区原则

5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下,控制区包括加速器大厅、治疗室(含迷路)等场所,如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室,直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时,术中放射治疗室应确定为临时控制区。

5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施,但需要经常对职

业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区(如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等)。

7.3.6 工作场所选址和平面布局

(1) 核医学科项目

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)：

5.1 选址

5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。

5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

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

5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。

5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。

(2) 放疗科项目

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)：

5.1 选址与布局

5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。

5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。

(3) 介入手术项目

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）：

6.1 X 射线设备机房布局

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

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

6.1.3 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下表的规定。

表 7-10 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 ^d m ²	机房内最小单边长度 ^e m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
双管头或多管头 X 射线设备 ^a (含 C 形臂)	30	4.5
单管头 X 射线设备 ^b (含 C 形臂，乳腺 CBCT)	20	3.5
透视专用机 ^c 、碎石定位机、口腔 CBCT 卧位扫描	15	3.0
乳腺机、全身骨密度仪	10	2.5
牙科全景机、局部骨密度仪、口腔 CBCT 坐位扫描/站位扫描	5	2.0
口内牙片机	3	1.5
<p>a 双管头或多管头 X 射线设备的所有管球安装在同一间机房内。</p> <p>b 单管头、双管头或多管头 X 射线设备的每个管球各安装在 1 个房间内。</p> <p>c 透视专用机指无诊断床、标称管电流小于 5 mA 的 X 射线设备。</p> <p>d 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。</p> <p>e 机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。</p>		

7.3.7 工作场所放射防护要求

(1) 核医学科项目

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

6.1 屏蔽要求

6.1.1 核医学场所屏蔽层设计应适当保守，按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。

6.1.2 设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时，除应考虑室内的辐射源外，还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。

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

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

6.2 场所安全措施要求

6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。

6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候检室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。

6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。

6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

6.3 密闭和通风要求

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

6.3.3 碘-131 治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。

6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

(2) 放疗科项目

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）：

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。

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

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

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

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

f) 安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治

疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

7 操作的辐射安全与防护要求

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

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

7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入含放射源或质子/重离子装置的治疗室前须携带个人剂量报警仪。

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

（3）介入手术项目

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）：

6.2 X 射线设备机房屏蔽

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

表 7-11 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

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

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。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-12 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 2 mmPb。

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

表 7-12 个人防护用品及辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT 体层扫描 (隔室)	——	——	铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、 铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	——
介入放射学 操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、 铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	——

注 1、“—”表示不做要求。

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。

7.3.8 放射性废物处理规定

(1) 放射性废液

核医学科项目

①根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

b)所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 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 1 Bq/L、总 β 不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/L。

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

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

②根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（生态环境部辐射源安全监管司，2023 年 9 月 11 日）：

一、关于槽式衰变池中含碘-131 放射性废水排放

含碘-131 放射性废水可按照下列任意一种方式进行排放：

（一）根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第 8.6.2 条规定，经监管部门确认单次排入普通下水道的废水中碘-131 活度不超过 1ALlmin（9E+5 贝可），每月排放的废水中碘-131 总活度不超过 10ALlmin（9E+6 贝可）。

（二）暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。

（三）暂存不满 180 天但监测结果表明碘-131 活度浓度已降至不高于 10 贝可/升水平，也可直接排放。医院应做好相关排放记录。

(2) 放射性固体废物

①核医学科项目

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

7.2.3 固体放射性废物处理

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

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

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

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

②放疗科项目

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）：

8.2 固体废物管理要求

8.2.1 废旧放射源管理要求

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

8.2.2 其他固体废物管理要求

8.2.2.1 质子/重离子加速器、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

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

（3）放射性废气

①核医学科项目

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

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

6.3.3 ^{131}I 治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。

6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（生态环境部辐射源安全监管司，2023年9月11日）：

关于独立通风要求：

核医学标准第 6.3.4 节规定，手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管道在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。

②放疗科项目

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）：

8.4 气态废物管理要求

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

③介入手术项目

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）：

6.4 X 射线设备工作场所防护

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

本项目位于桂林市临桂新区沙塘路 8 号，建设地点为中南大学湘雅二医院桂林医院临桂院区内，项目地理位置图见图 1-1。

根据前文“1.3 建设内容及规模”可知，本次核技术利用项目辐射工作场所包含核医学科、放疗科、介入科等，各辐射工作场所具体位置详见图 1-5~图 1-10。

8.2 环境现状评价的对象

环境现状评价的对象为项目场址周围辐射环境现状。

8.3 辐射环境现状监测

1、辐射环境现状监测目的

对项目场所进行辐射剂量率本底监测，以掌握场址的辐射环境质量现状水平，为现状评价提供基础数据。

2、监测对象：本项目现状评价对象为项目场址的辐射环境现状水平。

3、监测布点原则及监测点布置

依据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）第 5.3 条，本项目涉及应用非密封放射性物质、射线装置，则环境现状监测因子应选取 γ 辐射剂量率、总 α 、总 β 。由于本项目拟建位置未开展过核技术利用项目，故本项目辐射环境本底监测对象仅选取了 γ 辐射监测。根据现场条件，合理布设监测点，监测布点图见图 8-1 所示。监测报告见附件 7。

4、监测仪器与监测规范

本项目电离辐射监测仪器的参数与规范见表 8-1。

表 8-1 X- γ 辐射剂量率仪监测仪器参数与规范

监测项目	γ 辐射空气吸收剂量率
仪器名称	SCK-200 型多功能辐射监测仪
仪器型号	21001
生产厂家	上海钴景环境科技有限公司
能量响应范围	20keV~7MeV
量程	1nGy/h~100μGy/h
检定单位	中国测试技术研究院
证书编号	校准字第 202309000151 号
校准有效期	2024 年 08 月 31 日止

监测规范	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021） 《辐射环境监测技术规范》HJ 61-2021
------	---

5、质量保证措施

（1）结合现场实际情况及监测点的可到达性，在项目拟建场址内和评价范围内工作人员活动区域、人流量相对较大的区域布设监测点位，充分考虑监测点位的代表性和可重复性，以保证监测结果的科学性和可比性。

（2）参考《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）采用即时测量方法进行测量。

（3）监测仪器每年经有资质的计量部门检定、校准，检定合格后方可使用。

（4）每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

（5）本次监测委托监测机构开展，监测实行全过程的质量控制，严格按照监测机构《质量手册》、《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行，监测人员经考核合格并持有合格证书上岗。

（6）监测报告严格实行三级审核制度，经校核、审核，最后由授权签字人批准。

6、监测结果

监测单位于 2023 年 10 月 11 日对该项目开展现状监测，监测结果见表 8-2。

表 8-2 环境现状监测结果

监测点	测量位置	γ 辐射空气吸收剂量率（nGy/h）		备注
		平均值	标准差	
1#	拟建 1#门诊医技楼北侧 5#综合楼	50	3.0	室内
2#	拟建 1#门诊医技楼北侧 6#住院楼	54	3.1	室内
3#	拟建 1#门诊医技楼北侧通道	49	3.6	室外
4#	拟建 1#门诊医技楼西侧 7#住院楼	44	3.0	室内
5#	拟建 1#门诊医技楼南侧通道	42	2.1	室外
6#	拟建 1#门诊医技楼南侧入口广场	51	3.2	室外
7#	拟建 1#门诊医技楼东侧通道	44	3.0	室外
8#	拟建 4#地下室负一层放疗科加速器机房	30	1.4	室内
9#	拟建 4#地下室负一层放疗科后装机机房	29	1.1	室内

10#	拟建 4#地下室负一层放疗科机房上层空地	46	1.8	室内
11#	拟建 1#门诊医技楼一层核医学科 1	47	2.2	室内
12#	拟建 1#门诊医技楼一层核医学科 2	45	1.9	室内
13#	拟建 1#门诊医技楼一层核医学科上层内镜中心	42	2.7	室内
14#	拟建 1#门诊医技楼一层核医学科下层地下车库	29	1.8	室内
15#	拟建 1#门诊医技楼一层放射科 DSA 机房	48	3.5	室内
16#	拟建 1#门诊医技楼一层放射科 DSA 机房上层心电图室	38	2.3	室内
17#	拟建 1#门诊医技楼二层内镜中心 ERCP 机房	39	2.2	室内
18#	拟建 1#门诊医技楼二层内镜中心 ERCP 机房上层病理科	34	2.8	室内
19#	拟建 1#门诊医技楼二层内镜中心 ERCP 机房下层核医学科	44	1.3	室内
20#	拟建 1#门诊医技楼一层急诊中心 DSA+CT 复合机房	38	2.4	室内
21#	拟建 1#门诊医技楼一层急诊中心 DSA+CT 复合机房上层检验科	34	2.8	室内
22#	拟建 1#门诊医技楼一层急诊中心 DSA+CT 复合机房下层地下车库	35	2.6	室内
23#	拟建 1#门诊医技楼四层手术区 DSA 机房	33	3.2	室内
24#	拟建 1#门诊医技楼四层手术区 DSA 机房上层楼顶设备机房	33	3.1	室外
25#	拟建 1#门诊医技楼四层手术区 DSA 机房下层血透中心治疗室	33	2.1	室内
室内测量范围		29-54	/	/
室外测量范围		33-51	/	/
备注：1、宇宙射线 $D = 15.5nGy/h$ ； 2、*结果=平均值×仪器校准因子k1-宇宙射线D×建筑物对宇宙射线屏蔽修正因子k2； k1=0.8；k2 的取值：楼房取 0.8，平房取 0.9，原野、道路取 1。				



图 8.1 监测点位图

7、结果评价

由表 8-2 的监测结果可知，项目拟扩建场所周围室内环境 γ 辐射空气吸收剂量率（29~54）nGy/h 范围内，室外环境 γ 辐射空气吸收剂量率在（33~51）nGy/h 范围内。根据《广西壮族自治区环境天然贯穿辐射水平调查报告》，广西壮族自治区建筑物室内 γ 辐射空气吸收剂量率在（11.0~304.3）nGy/h 范围内，广西原野 γ 辐射空气吸收剂量率在（10.7~238.7）nGy/h 范围内；根据广西壮族自治区生态环境厅网站的数据中心查询，环境质量监测点桂林市市民广场 2023 年 1-10 月空气吸收剂量率范围为（76~94）nGy/h（未扣除宇宙射线影响）；本项目拟建场所周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率的范围在广西本底的范围内，表明拟建项目环境辐射环境质量状况未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

本次核技术利用项目包括：核医学、放射治疗、介入放射诊疗；

(1) 核医学科项目

使用 1 个乙级非密封放射性物质工作场所，使用核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{68}Ge - ^{68}Ga ；使用 2 台Ⅲ类射线装置（1 台 SPECT/CT、1 台 PET/CT）。

(2) 放疗科项目

使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源（Ⅲ类放射源，后装治疗机）；

使用 2 台Ⅱ类射线装置（医用电子直线加速器）。

(3) 介入手术项目

使用 7 台Ⅱ类射线装置（6 台 DSA、1 台 ERCP），1 台Ⅲ类射线装置（1 台滑轨 CT）。

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 核医学科项目工程设备和工艺分析

9.1.1.1 SPECT/CT 设备和工艺分析

1、SPECT/CT 设备组成及工作原理

SPECT/CT 的全称是单光子发射计算机断层扫描仪，其使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 进行诊断的基本原理是：受检者注射含放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 的药物， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 在特定的器官或组织发射出特征能量的光子（ γ 射线），穿过组织器官后到达 SPECT 探测器。SPECT 使用低能准直器对 γ 射线进行准直，通过闪烁体将 γ 射线能力转换为光信号，再通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大，得到的测量值代表在该投影线上的放射性大小，再利用计算机从投影求解断层图形。其主要的功能特点是：除了显示脏器形态结构外，更重要的是可观察到脏器血流灌注、功能和代谢的变化。临床主要应用于骨骼显像、心脏灌注断层显像、甲状腺显像、肾动态显像等。

SPECT 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 由单光子发射型计算机断层显像（SPECT）和 X 射线断层成像扫描（CT）组成，使用同一个检查床和 SPECT 图像与 CT 图像融合对位工作站，同时具有 SPECT 与 CT 功能，同时利用 SPECT 和 CT 进行临床疾病的诊断。

CT，它是利用精确准直的 X 线束与灵敏度极高的探测器一同围绕人体的某一部位作一个接一个的断面扫描，具有扫描时间快，图像清晰等特点，可用于多种疾病的诊断

检查。主要由扫描系统、计算机系统、图像显示和存储系统三个部分组成，其中扫描系统由 X 射线管、探测器和扫描架组成。CT 诊断的工作原理是根据人体不同组织对 X 线的吸收与透过率的不同，应用灵敏度极高的仪器对人体进行测量，然后将测量所获取的数据输入电子计算机，电子计算机对数据进行处理后，就可摄下人体被检查部位的断面或立体的图像，发现体内任何部位的细小病变。

2、工作流程及产污环节

(1) 诊断规划

SPECT 诊断项目共使用 1 台 SPECT/CT 设备，使用含放射性核素 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 的药物进行显像诊断。正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天， ^{99m}Tc 显像日最大接诊量为 30 人，每名 ^{99m}Tc 显像患者最大用药量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)，日检查人数最大为 30 人次，年检查人数为 7500 人次。

(2) 工作流程

①**订药**：本项目计划使用含放射性核素 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 的药物进行 SPECT 显像诊断，工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购含放射性核素的药物，供药单位在约定的时间送药品，经确认无误完成相关交接、登记手续后，将药物于储源室暂存。本项目含放射性核素 ^{99m}Tc 的药物为外购单支成品药物的形式送达，单支药物内含单人的药量（已考虑衰变量）； ^{131}I 以药罐装载单独货包形式送达，使用时在自动分碘仪里分装稀释为单人药量，患者在核素治疗区给药。

②**受检者**按约定时间在注射前等候区准备和等候。

③**分装注射/给药**：在医护人员语音提示后， ^{99m}Tc 受检者经过专用通道在病人注射室注射窗口等待，注射医务人员穿戴好个人防护用品从贮药铅罐内用一次性注射器汲取计划的药量，在注射室注射窗前为受检者注射药物。 ^{131}I 显像诊断患给药时，工作人员在分装室远程操作，通过视频、语音指导患者在 ^{131}I 服药室服药。

④**诊断**： ^{99m}Tc 显像：静态显像患者注射放射性药物后根据工作人员指导，在 SPECT/CT 注射后候检室内休息一段时间后扫描，动态显像患者注射放射性药物后直接在机房进行扫描。

⑤ **^{131}I 治疗患者显像**：患者服药后由治疗区专用出口直接离开医院，24 小时或者 48 小时后回到核医学科进行扫描。患者进入 SPECT/CT 机房，经医生进行语音提示摆位，必要时进入机房指导患者摆位后，离开 SPECT/CT 机房进入控制室，隔室操作 SPECT/CT

对患者实施扫描诊断。

⑥诊断结束后，根据医生指导，受检者按需在扫描检查完成后在指定留观室留观无异常后，通过专用通道离开核医学区域。

SPECT/CT 项目工作流程及产污环节示意图见图 9.1-1。

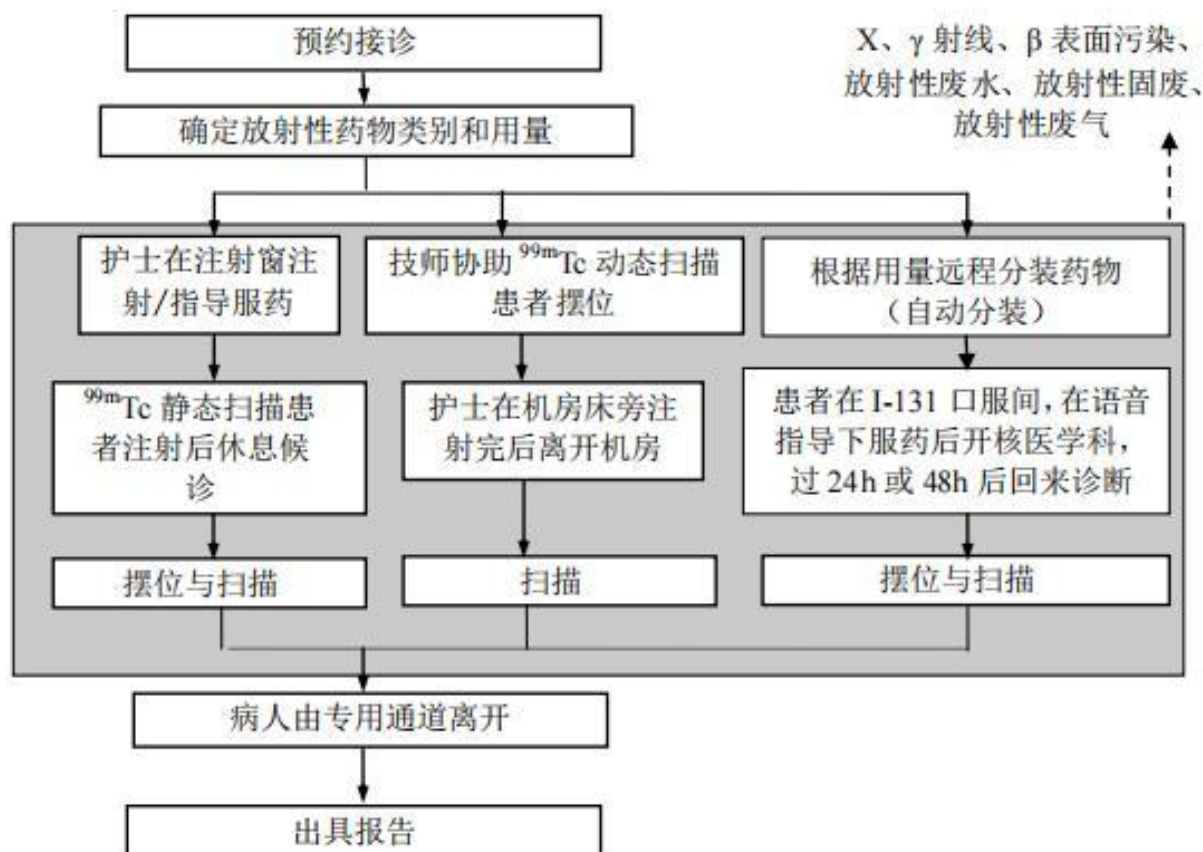


图 9.1-1 SPECT/CT 检查工作流程及产污环节示意图

9.1.1.2 PET/CT 设备和工艺分析

1、设备组成及工作原理

PET（Positron Emission Tomography，正电子发射断层扫描）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 扫描系统主要由扫描仪、显像、电子橱、操作工作站、分析工作站和影像硬拷贝等组成。PET 扫描仪的外形为一个柱状的支架，扫描视野位于支架的中央，由探测器、射

线屏蔽装置等组成。

近年来，为减少诊断时间、获得更清晰的图像和更多有价值的影像信息，发展了融合应用高档多排 CT 技术进行精确定位的 PET/CT，使两种成像技术优势互补，使用同一个检查床和同一个图像处理工作站，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，明显提高诊断的准确性。

2、工作流程及产污环节

（1）诊断规划

PET 诊断项目共使用 1 台 SPECT/CT 设备，使用含放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 的药物进行显像诊断。正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像日最大接诊量为 30 人，每名 ^{18}F 显像患者最大用药量为 $5.55 \times 10^8 \text{Bq}$ (15mCi)，日检查人数最大为 30 人次，年检查人数为 7500 人次。

（2）工作流程

①**订药**：工作人员根据病人预约情况、临床诊断所需使用量，提前一天向放射性药物供应单位订购，在约定时间由药物供应单位负责按照核素种类，分别以 1 个货包的形式运送至核医学科，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接、登记手续后，暂存在诊断区储源室。

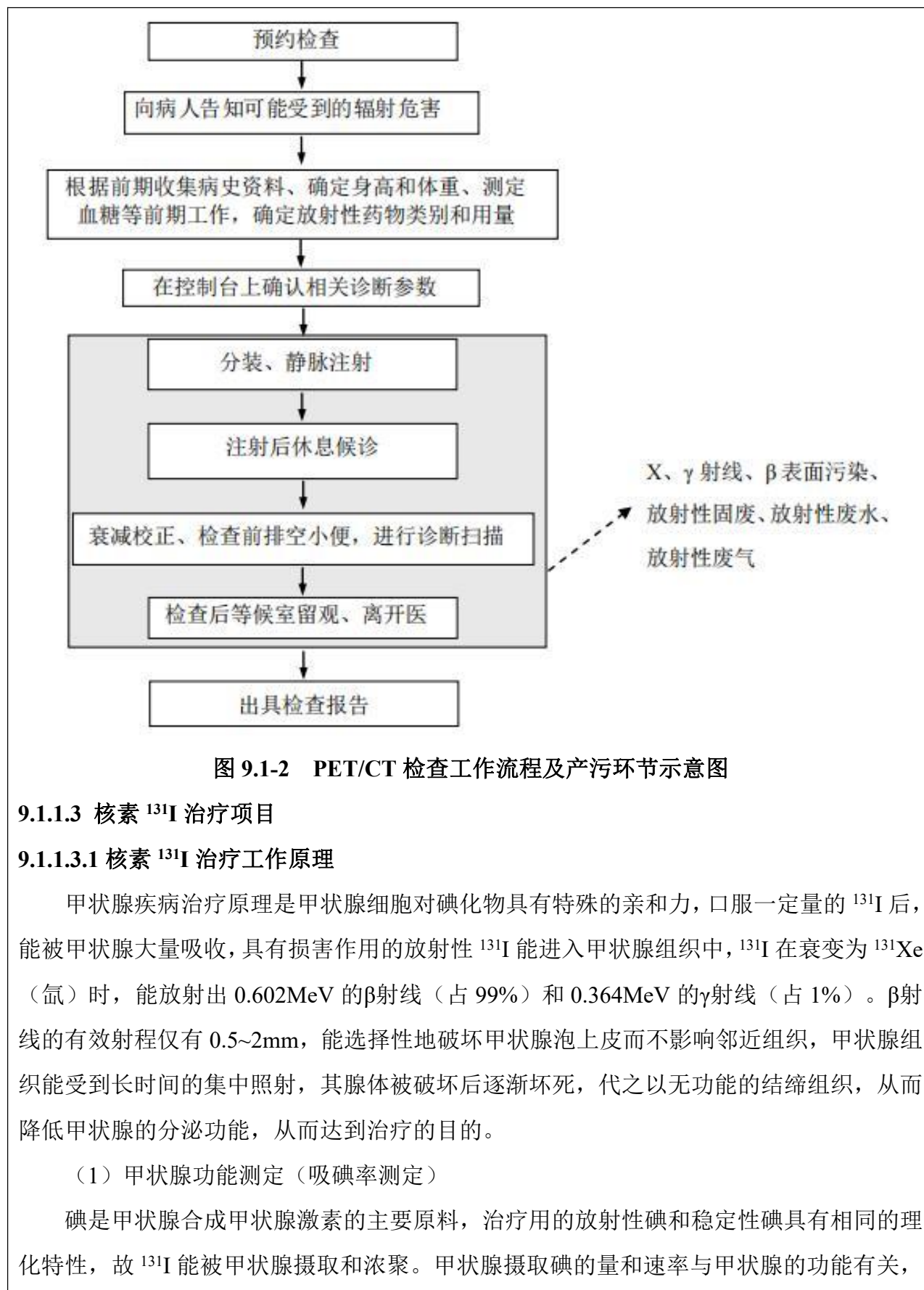
②**受检者**按约定时间在注射前等候区准备和等候；

③**分装注射**：在医护人员语音提示后，受检者经过专用通道在病人注射室注射窗口等待，注射医务人员穿戴好个人防护用品从贮药铅罐内用一次性注射器汲取计划的药量，在注射室注射窗前为受检者注射药物。

④**诊断**：注射后的病人进入相应 PET 注射药后候检室静躺休息，待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入相应机房，经医生进行语音提示摆位，必要时进入机房指导，随后离开机房进入控制廊，隔室操作对患者进行 PET/CT 扫描诊断。

⑤**诊断结束后**，根据医生指导，受检者按需在扫描检查完成后在指定留观室留观无异常后，通过专用通道离开核医学区域。

PET/CT 项目工作流程及产污环节示意图见图 9.1-2。



功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多，可高达血浆的几百倍。 ^{131}I 能发出 γ 射线，用甲状腺功能测定仪可于甲状腺部位测量服 I-131 后不同时间甲状腺的摄 I-131 率，即可得知甲状腺的功能状态。甲功测定患者服药后观察 10min 无异常即可离院，分别于 2h、4h、24h 后在吸碘检查室进行功能检测。

(2) 甲亢患者治疗

^{131}I 衰变为 ^{131}Xe 时放射出 β 射线，该射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有 0.5~2mm，一般不会造成甲状腺周围组织例如甲状旁腺、喉返神经等的辐射损伤。 ^{131}I 治疗可使部分甲状腺组织受到 β 射线的集中照射，使部分甲状腺细胞引发炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的异常功能恢复正常，达到甲亢治疗的目的。甲亢患者服药后一般无异常立即离院。

(3) 甲癌患者治疗

由于 ^{131}I 可以高度选择性聚集在分化型甲状腺癌及转移灶，且 ^{131}I 衰变时发射出射程很短的 β 射线和能量跃迁时发出 γ 射线，通过高剂量 ^{131}I 对病变组织进行内照射治疗，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或者破坏病变组织的目的，取得类似部分切除甲状腺的效果，从而达到甲癌治疗的目的。

9.1.1.3.2 核素 ^{131}I 治疗工作流程及产污环节

(1) 诊疗规划

使用核素 ^{131}I 进行治疗，甲癌治疗患者单人最大给药量 $7.40 \times 10^9 \text{Bq}$ (200mCi)，甲亢治疗单人最大给药量 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)；甲功测定单人最大给药量为 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ (10 μCi)。

其中，甲癌治疗病人办理住院手续在核素病房区隔离治疗；甲亢治疗病人为门诊治疗，服药后直接离开医院，少量患者留观无异常后离开医院。

本项目核素治疗区共设置有 3 间核素病房（2 间双人间、1 间单人间），因此甲癌治疗每周最多接诊治疗人数为 5 人，每周最多治疗 2 批次患者，年治疗人数为 200-250 人次（ ^{177}Lu 治疗患者与甲癌患者轮流使用单人间甲癌病房 1）。甲亢治疗每天最多接诊治疗人数为 20 人，每周 5 个工作日均开展甲亢治疗，年治疗人数为 5000 人次。甲功测定每天最多接诊治疗人数为 25 人，年治疗人数为 5250 人次。

医院根据患者预约情况订购药物，药物盛放在厂家提供的随药铅罐中，核素由供药单位送至医院。由核医学科专人在放疗中心一层的储源室接收、登记、检测、签字，放置于储源室铅罐内储存。患者服药前由工作人员进入储源室内将 ^{131}I 送至分装室自动分装仪内。

医院根据患者患病状况确定用药剂量，放射性核素使用完毕后，盛药铅罐由核素供应单位回收。

甲癌、甲亢治疗用 ^{131}I 分装采用自动分装仪分装后直接给药， ^{131}I 分装采用自动分装仪采取隔室远程操作，医护人员在医生办公室内的碘-131 自动分装操作台进行远程操控。放射性核素到货后，患者按照事先预约进行集中治疗，以减少浪费。一般情况下，医院按照诊疗计划使用放射性核素，不存在剩余放射性核素。

(2) 甲状腺功能测定工作流程及产污环节

甲状腺功能测定是甲亢、甲癌治疗流程中治疗前阶段的步骤，甲状腺功能测定是在甲测室内利用甲状腺功能测定仪来测定患者甲状腺吸碘率，甲功测定所用的 ^{131}I 药物由医护人员在通风橱进行手动分装及测定活度，服药前对病人做好充分教育，语音监督指导患者在服药室自主服药，甲功测定患者在服药后 2、4、24h 测定甲状腺部位及速率，计算甲状腺摄取 ^{131}I 率，绘制 ^{131}I 率曲线，并注明各时间点的摄碘率。一般患者需服用 $2\sim 10\mu\text{Ci } ^{131}\text{I}$ ，其辐射影响可忽略不计。甲功治疗项目工作流程与产污环节见图 9.1-4。

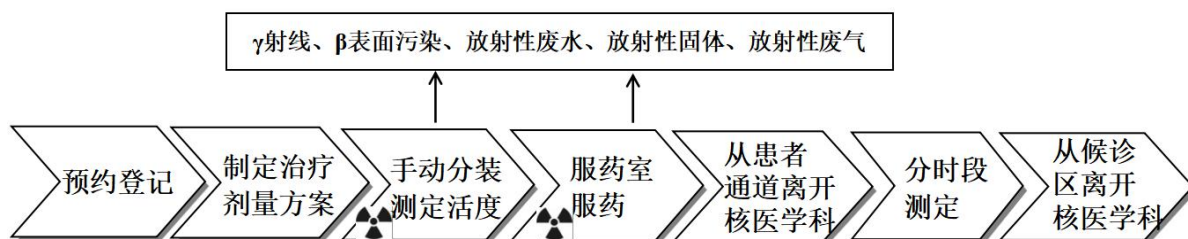


图 9.1-3 甲功能测定的工作流程及产污环节示意图

(3) 甲亢治疗工作流程及产污环节

①门诊接诊患者，询问患者病史级临床表现，对患者进行相关辅助检查（一般为甲功五项、甲状腺超声、甲状腺吸碘率、肝肾功能等），医生根据检查结果做出判断并制定相应的治疗方案，告知患者治疗前注意事项。

②订药：工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间送药品，经确认无误完成相关交接、登记手续后，将 ^{131}I 药物放于储源室，本项目 ^{131}I 药品为药罐装载货包形式的外购药物。

③患者按约定时间在服药前等候区准备和等候；

分装、给药：开展甲亢治疗时，工作人员在上班前将药罐放在分装柜自动分碘仪内。接受 ^{131}I 诊疗的患者进入 ^{131}I 服药室，医护人员在通过电脑控制系统遥控操作自动分碘仪

自动分装药物，并通过视频、语音系统指导患者在 ^{131}I 服药室服药。

④服药后：根据医生指导，甲亢患者服药短暂留观无异常后即可离开核医学科。

甲亢治疗项目工作流程与产污环节见图 9.1-4。

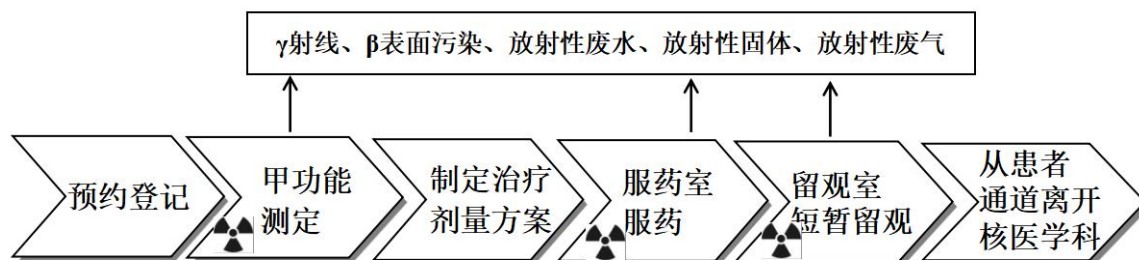


图 9.1-4 甲亢治疗工作流程及产污环节示意图

（4）甲癌治疗工作流程及产污环节

①门诊接诊患者，询问患者病史级临床表现，对患者进行相关辅助检查（一般为甲功五项、甲状腺超声、甲状腺吸碘率、肝肾功能等），医生根据检查结果做出判断并制定相应的治疗方案，告知患者治疗前注意事项。

②订药：工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间送药品，经确认无误完成相关交接、登记手续后，将 ^{131}I 药物放于储源室，本项目 ^{131}I 药品为药罐装载货包形式的外购药物。

③患者按约定时间在服药前等候区准备和等候；

④分装、给药：开展甲癌治疗时，工作人员在上班前将药罐放在分装柜自动分碘仪内。接受 ^{131}I 诊疗的患者进入 ^{131}I 服药室，医护人员在通过电脑控制系统遥控操作自动分碘仪自动分装药物，并通过视频、语音系统指导患者在 ^{131}I 服药室服药。

⑤服药后：甲癌患者服药后，根据医护人员语音指导和治疗区路径指示标志进入核素病房住院治疗，甲癌患者一般住院 3~5 天。

⑥出院：在核素治疗区出口门禁内一侧设有出院前辐射探测位，该位置拟安装固定式辐射剂量率监测仪，病人住院时间到期，医生语音指导患者进入监测位站在指定地标进行体表 1m 处的周围剂量当量率测量，患者体内放射性活度满足低于 400MBq 要求（辐射剂量率监测仪监测患者体表 1m 处的周围剂量当量率低于 25 $\mu\text{Sv/h}$ ）后，患者由专用出口离开核素治疗区出院。

甲癌治疗项目工作流程与产污环节见图 9.1-5。

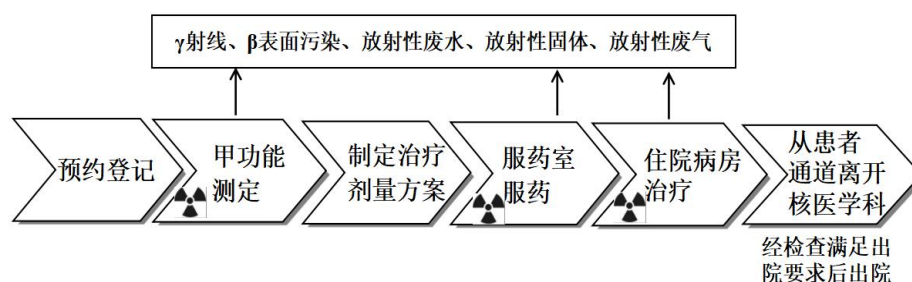


图 9.1-5 甲癌治疗工作流程及产污环节示意图

9.1.1.4 ^{177}Lu 治疗项目

1、 ^{177}Lu 治疗工作原理

^{177}Lu 属于一组药物，专门用于所谓的肽受体放射性核素治疗。此外，药物分子还包含一个转运部分-一种蛋白质分子，可以识别位于癌细胞表面并与之结合的靶向受体。放射性成分附着在这种蛋白质载体上，从而可以将放射性核素靶向递送至恶性细胞。目前 ^{177}Lu 较多用于治疗晚期前列腺癌、神经内分泌肿瘤等。

用于治疗晚期前列腺癌的药物包含同位素 ^{177}Lu 和与前列腺癌细胞表面上的前列腺特异性膜抗原（PSMA）结合的蛋白质。该疗法可有效摧毁肿瘤本身和转移灶，可帮助缓解转移性前列腺癌的疼痛和其他临床表现。在治疗后的短时间内，患者通常会感到自己的健康状况和总体健康状况得到明显改善。

^{177}Lu 适用为生长激素抑制素受体阳性胃肠胰腺神经内分泌肿瘤（GEP-NETs）的治疗，包括成年中前肠，中肠，和后肠神经内分泌肿瘤。

（1）诊疗规划

使用核素 ^{177}Lu 进行治疗， ^{177}Lu 治疗患者单人最大给药量 $7.40 \times 10^9 \text{Bq}$ （200mCi），本项目核医学科 ^{177}Lu 治疗患者每日接诊最多 1 人， ^{177}Lu 治疗病人办理住院手续在核素病房区隔离治疗， ^{177}Lu 治疗患者在甲癌住院病房隔离治疗期间，所住病房不安排甲癌患者住院。由于受条件所限， ^{177}Lu 治疗患者与甲癌患者轮流使用单人间甲癌病房 1。 ^{177}Lu 治疗患者年治疗总数为 50 人次。

2、工作流程及产污环节

①门诊接诊患者，询问患者病史级临床表现，医生根据检查结果做出判断并制定相应的治疗方案，告知患者治疗前注意事项。

②订药：工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间送药品，经确认无误完成相关交接、登记手续

后，将 ^{177}Lu 药物放于储源室。

③患者按约定时间在服药前等候区准备和等候；

④分装、给药：开展 ^{177}Lu 核素治疗时，工作人员在上班前将药罐放在分装柜内进行分装标记药物。医护人员通过视频、语音系统指导 ^{177}Lu 治疗患者进入服药室接受的药物输液的治疗。

⑤输液后： ^{177}Lu 治疗患者输液后，根据医护人员语音指导和治疗区路径指示标识进入核素病房住院治疗，患者一般住院 3~5 天。

⑥出院：在核素治疗区出口门禁内一侧设有出院前辐射探测位，该位置拟安装固定式辐射剂量率监测仪，病人住院时间到期，医生语音指导患者进入监测位站在指定地标进行体表 1m 处的周围剂量当量率测量；由于 HJ 1188-2021 表 B.1 中放射治疗患者出院时体内放射性核素活度的要求中没有 ^{177}Lu 对应的参数，考虑到 ^{177}Lu 与 ^{131}I 的半衰期、产生的 γ 射线能量等相近，本报告建议参照执行 ^{131}I 对应的“患者体内放射性活度降低至 400MBq（距患者 1m 处的辐射剂量率低于 25 $\mu\text{Sv/h}$ ）”方可出院，患者由专用出口离开核素治疗区。

^{177}Lu 核素治疗项目工作流程与产污环节见图 9.1-6。

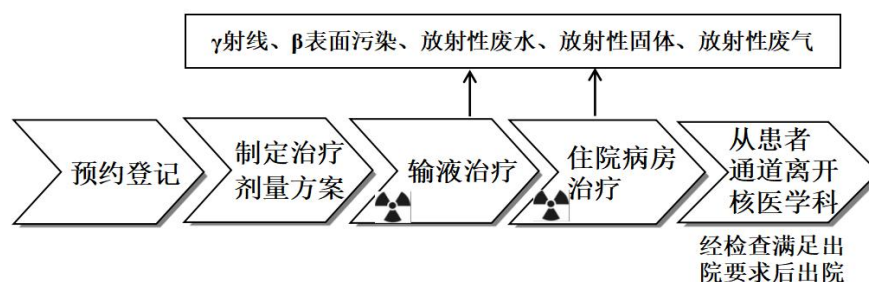


图 9.1-6 ^{177}Lu 核素治疗工作流程及产污环节示意图

9.1.1.5 工作人员配备和工作负荷

根据医院提供的资料，核医学科项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天。本项目核医学科拟配备 12 名工作人员（包括 3 名核医学医师、5 名核医学技师、4 名护士等），核医学运行过程中各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见下表。

表 9-1 本项目核医学科配备人员一览表

科室	人员岗位	拟配备人数	工作内容
核医学科	核医学医师	3 人轮岗	负责病理分析、诊断等
	核医学技师	5 人轮岗	负责 PET/CT、SPECT/CT 诊断检查等
	护士	4 人轮岗	药物接收、远程药物分装、语音指导患者服药

9.1.2 放疗科项目工程设备和工艺分析

9.1.2.1 加速器设备和工艺分析

(1) 加速器设备组成

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。典型直线加速器内部结构框图见图 9.2-1，典型直线加速器外形示意图图 9.2-2。

(2) 加速器工作原理

加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场把电子加速到近似光速后，直接引出用于治疗病人。电子束具有一定的射程特性，穿透能力较低，用来治疗浅表肿瘤。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，医用电子直线加速器既可利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。医用电子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。

①电子束模式

电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场把电子加速到近似光速后，直接引出用于治疗病人。电子束具有一定的射程特性，穿透能力较低，用来治疗浅表肿瘤。

②X 射线模式

电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场把电子加速到近似光速后，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。高能 X 射线具有高穿透性、较低的皮肤剂量、较高的射线均匀度等特点，适用于治疗深部肿瘤。

医院拟采购设备拥有 FFF 技术的医用直线加速器。FFF 模式和常规模式的主要区别在均整器，常规模式下，X 射线束经均整器的平坦性准直调整后，将初级准直器形成的锥形束中间部分高剂量的区域削减，得到剂量均匀稳定的 X 线束，而 FFF 模式就是去掉均整器，未经平坦性准直调整的 X 射线穿过薄膜电离室直接透射到人体。FFF 的高剂量率输出能力是其显著特点，能有效缩短治疗时间。X 射线和电子束治疗模型见图 9-9。

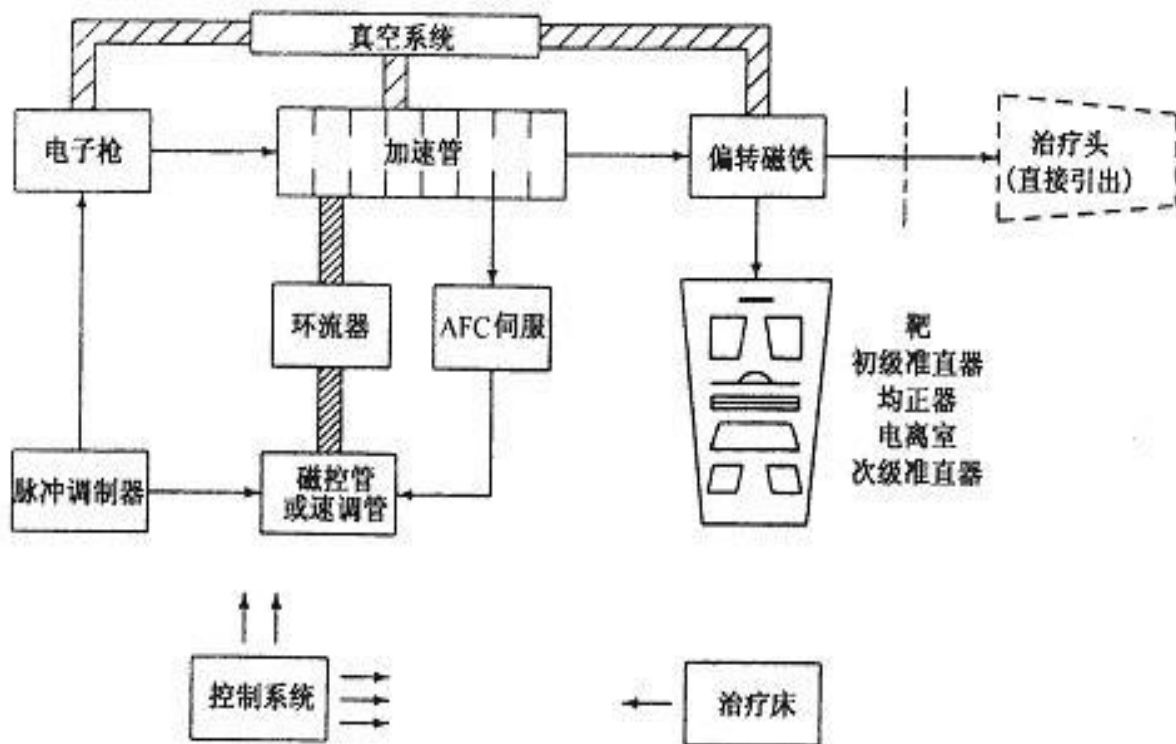


图 9.2-1 典型应用直线加速器内部结构框图

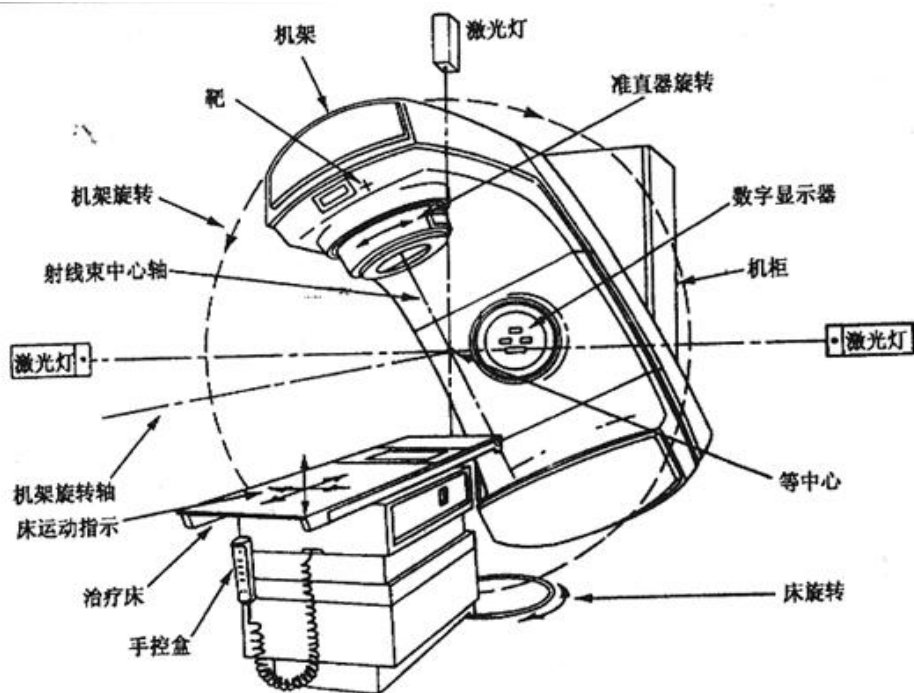


图 9.2-2 典型医用直线加速器外形示意图

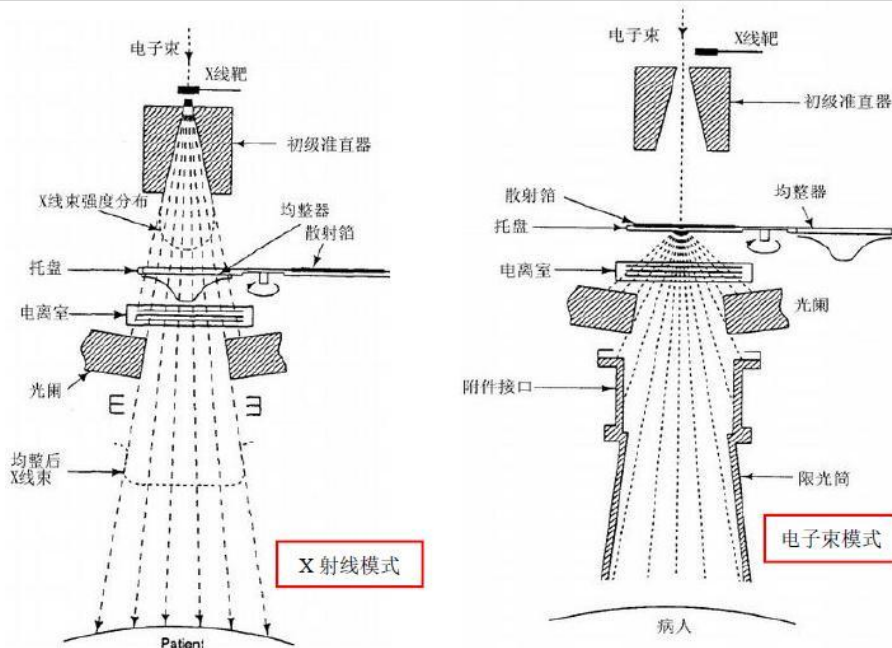


图 9.2.3 X 射线和电子束治疗模型图

(3) 工作流程及及产污环节

- ①患者经医生诊断，根据适应症，确定需要治疗的患者进行预约登记；
- ②然后使用模拟定位机对患者的肿瘤进行定位检查；
- ③根据患者肿瘤类型、部位和大小等初步确定照射剂量和照射时间，并进一步制定相应的常规放疗、适形放疗及调强放疗的治疗计划；
- ④医务人员带领患者进入射线装置机房，摆位前认真查对病人信息、照射条件及摆位要求，调整治疗床高度等，摆位结束，摆位工作人员等非患者均离开机房，关闭防护门；
- ⑤根据治疗计划系统（TPS）的计划进行出束治疗实施照射；
- ⑥照射结束后，关机，打开治疗室防护门，技师进入治疗室转移患者。

加速器治疗工作流程及产污环节如图 9.2-4 所示：

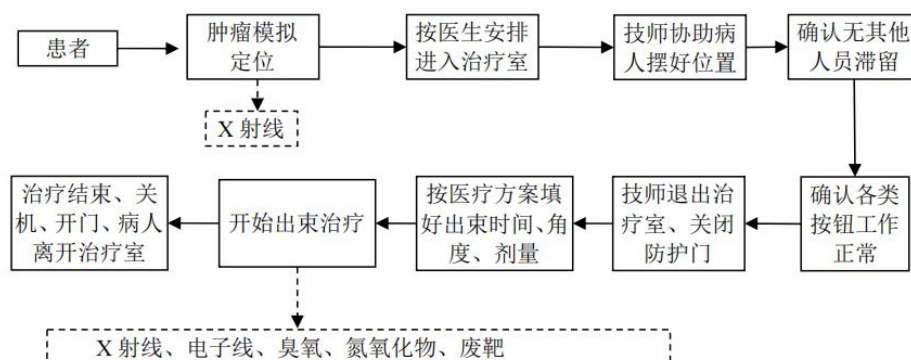


图 9.2-4 加速器治疗工作流程及产污环节示意图

(4) 工作负荷

本项目拟新建 2 间加速器机房，分别安装 1 台医用电子直线加速器，投入使用后，预计本项目每台加速器设计治疗工作量为 70 人次/天，其中，常规治疗约 10 人/天，平均每人照射时间 3min；调强治疗约 60 人/天，平均每人照射时间 5min。每周工作 5 天，一年工作 50 周，则直线加速器周照射时间为 27.5h。

本项目放疗科拟配置 3 名放射治疗医师，2 名物理师，4 名放射治疗技师及 2 名护士。

9.1.2.2 后装机设备和工艺分析

(1) 后装机设备组成

^{192}Ir 后装机主要由施源主机、放射源、控制系统、监视系统、附属安全设备、施源器和治疗床组成。 ^{192}Ir 近距离遥控后装机具有良好的自屏蔽措施， ^{192}Ir 放射源装于机头贮源器内，贮源器由外而内分别为不锈钢外壳、铅防护、钨合金防护，防护性能良好。常见后装机结构示意图见图 9.2-5。

(2) 后装机工作原理

后装机采用近距离后装治疗方式，先将施源器置于治疗部位，然后通过源导管将放射源送到已安装在患者体腔内的施源器内，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。由医生对病变部位和体内器官的剂量要求，通过人机对话的方式输入各通道的驻留点位置及各点的驻留时间，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，在得到最佳治疗效果的同时，减少并发症。

后装机换源操作：本项目后装机初装源/换源均由持有辐射安全许可证并具有相应资质的单位负责，医院仅负责日常安全使用及管理。根据放射源出厂活度，本项目后装机每半年需要更换一次放射源。废旧放射源由供源单位回收处理，不在医院暂存。后装机换源时医院需制定周密的计划，并报相关部门备案。换源流程具体如下：先由有资质的单位的通过辐射安全考核的专业技术人员将专用的贮源器（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，废源由供源单位回收处理，不在医院内暂存。

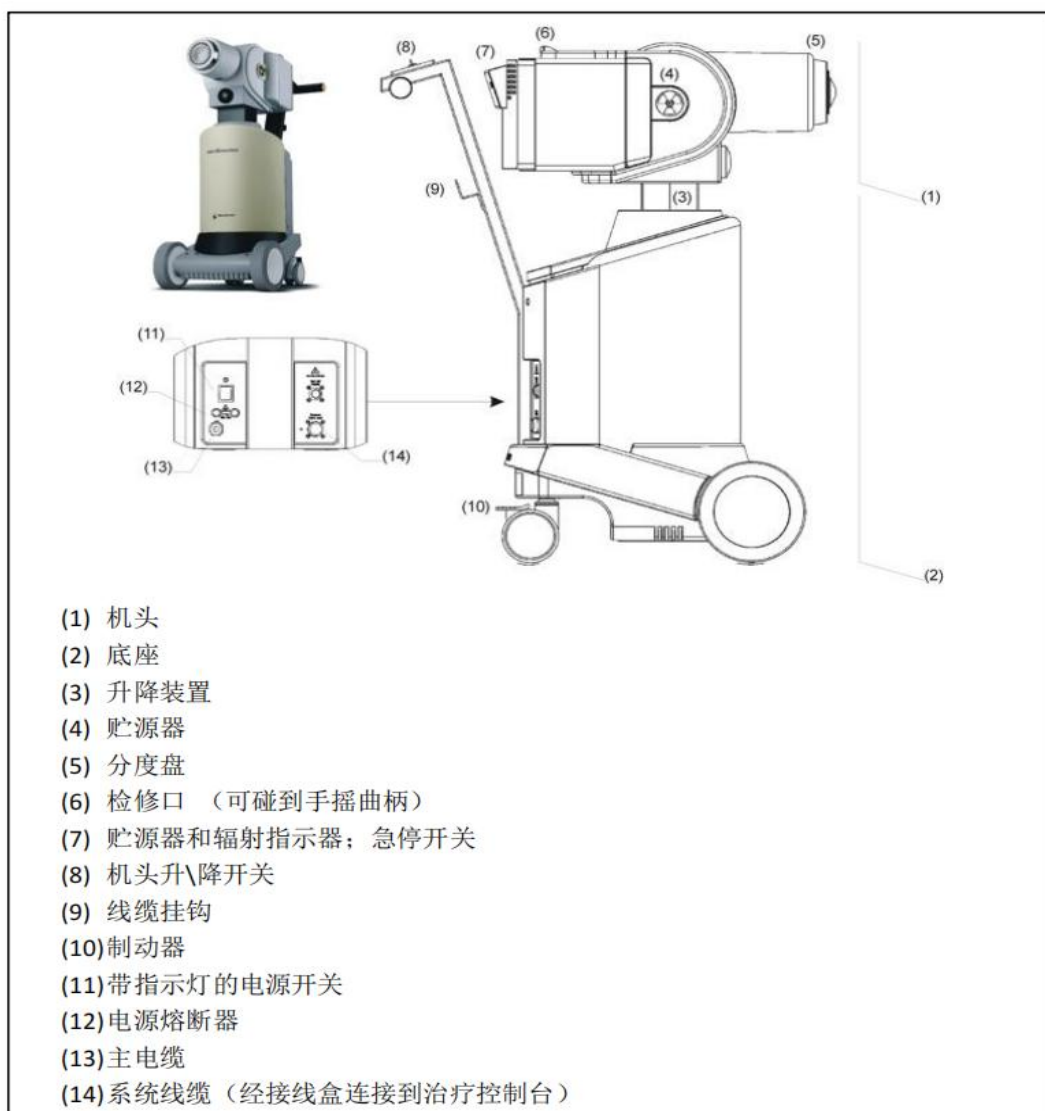


图 9.2-5 常见后装机结构示意图

(3) 工作流程及产污环节

①病人经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者在放疗科导医台预约登记，以确定模拟定位和治疗时间。

②医生检查机房和设备正常后，根据患者的诊断选择合适的施源器，确认施源器有效消毒，核对患者姓名、案号无误后，进行相应的无菌消毒放置施源器。

③患者施源器放置结束后由后装转运床转运至模拟定位室，进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状，定位操作过程类似于 X 射线影像诊断，工作人员隔室操作。

④医生根据模拟定位影像指导，勾画靶区及正常器官。物理师根据医生勾画的靶区及医嘱按照放射治疗的原则进行后装治疗计划设计，该过程通常在电脑上完成。

⑤治疗计划制定后，肿瘤病人被推入机房，技师实施摆位，依据治疗计划在治疗床上将施源器、施源导管和后装治疗机准确连接，连接好后再次核对是否正确，将后装治疗床固定，防止移动，此过程中须两人同时进入机房，每人佩戴一个个人剂量报警仪，一人操作，另一人进行监督检查。

⑥确认无关人员均离开治疗机房后，关闭铅门，导入相应的病人计划，核对患者信息是否一致，确认无误后开始实施治疗，治疗过程中在出真源前先进行假源模拟治疗，观察假源情况，有异常即停止治疗，治疗过程中注意观察患者情况，若有异常即停止治疗。

⑦治疗完毕后，放射源经导管由后装机收回贮源器，关闭后装机，医生进入后装机机房，帮助病患离开治疗室。

后装机治疗工作流程及产污环节如见图 9.2-6 所示：

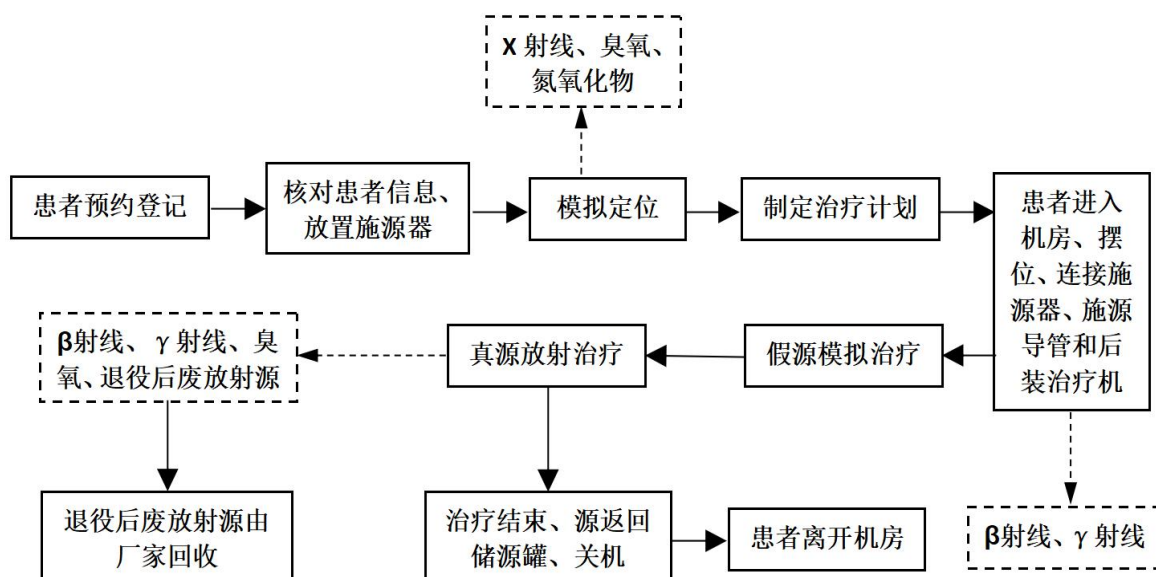


图 92.-6 后装机治疗工作流程及产污环节示意图

(4) 工作负荷

本项目拟安装 1 台后装治疗机，使用一枚 ^{192}Ir 放射源，投入使用后，预计本项目后装机设计治疗工作量为 15 人次/天，每周工作 5 天，平均每位患者的治疗照射时间为 6min，则周治疗时间为 7.5h；医生摆位时间平均每位患者约 4min。

本项目放疗科拟配置 3 名放射治疗医师，2 名物理师，4 名放射治疗技师及 2 名护士。

9.1.3 介入手术项目工程设备和工艺分析

(1) 设备组成

① DSA

医用血管造影 X 射线机（DSA）是计算机与常规血管造影相结合的一种检查方法，是集电视技术、影像增强、数字电子学、计算机技术、图像处理技术多种科技手段于一体的系统。DSA 射线装置主要由 X 射线发生系统、C 型支架、接收器、图像显示器、导管床、操作台等系统组成。X 射线发生系统位于接收器正对方向；操作台集合控制系统和设备状态显示等功能，位于控制室内；介入室内控制装置一般为脚闸控制，通过设备电缆引出、位于地面。DSA 基本结构图见图 9.3-1，典型 DSA 装置整体外观示意图如图 9.3-2。

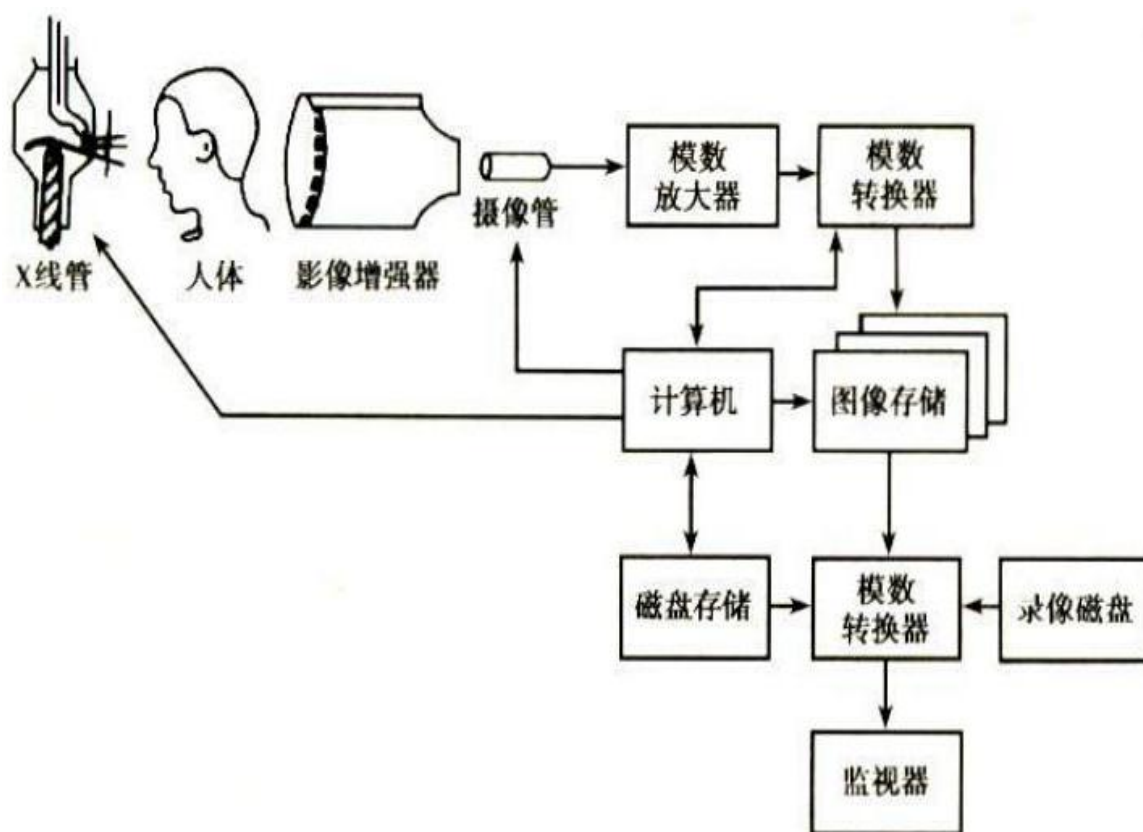


图 9.3-1 DSA 基本结构图

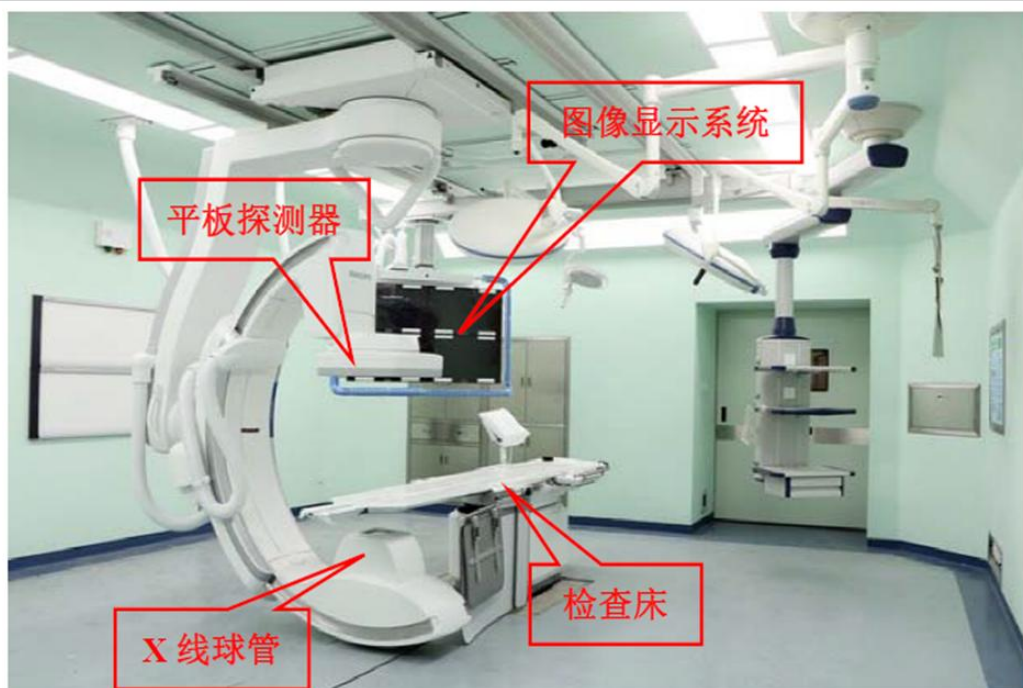


图 9.3-2 典型 DSA 装置整体外观示意图

②ERCP

经内镜逆行性胰胆管造影术（ERCP）是指将十二指肠镜插至十二指肠降部，找到十二指肠乳头，由活检管道内插入造影导管至乳头开口部，注入造影剂后 X 线摄片，以显示胰胆管的技术。由于 ERCP 不用开刀，创伤小，手术时间短，住院时间也大大缩短。在 ERCP 的基础上，可以进行十二指肠乳头括约肌切开手术（EST）、内镜下放置鼻胆引流管（ENBD）治疗急性化脓性梗阻性胆管炎、行胆管支架引流术、胆总管结石取石术等介入治疗。

介入手术分为血管性介入手术与非血管性介入手术。血管性介入手术操作于血管内进行，例如冠状动脉造影；非血管性介入手术在影像引导下采取治疗，所有操作都于身体内部进行，体表仅有穿刺针眼，故创伤较小，恢复较快，例如 ERCP。

③ DSA+CT

DSA+CT 复合手术室主要由 1 台 DSA、1 台 CT 组成及其他手术设施组成。DSA+CT 复合手术室通过智能化数字精控 CT 轨道，将 CT、DSA 两台射线装置结合在一起使用，将多种影像融合，提供术前快速诊断，术中实时成像、影像引导、精准定位、复合手术治疗、术后一站式实时复查的全面支持。本项目的 DSA/CT 复合手术室设有两个独立且连通的机房，分布用于开展复合手术和放置 CT 装置，手术过程中需要用到 CT 时，将通过轨道推送至手术台对患者进行 CT 扫描。设备组成图如图 9.3-3 所示。



图 9.3-3 DSA+CT 复合手术室设备组成图

两台射线装置互相配合使用，但不同时使用。

①临床使用 DSA 主要有两种工作方式：

脉冲透视：采取隔室操作的方式，所有工作人员（包括医师、护士）均撤离手术室，技师在控制室内对病人进行脉冲透视。使用 DSA 血管造影需进行两次摄影（脉冲透视）：在注入造影剂之前，首先进行第一次 X 射线摄影，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次进行 X 射线摄影，并转换成数字信号，两次摄影信号相减，消除相同的信号，得到一个只有血管的图像。

连续透视：手术医师进行介入手术时，为实时看到血管影像和操作过程、更清楚的了解病人情况，会连续透视，此时手术医师同室近台，身穿铅衣、位于铅屏风后对病人进行直接的手术操作，护士在铅屏风后面协助医师。

②CT 的工作方式：

X 射线管和探测器阵列通过旋转对检查部分进行断面扫描，并根据 X 射线数字成像原理，得到检查部分的截面诊断影像。CT 采用隔室操作的工作方式，属Ⅲ类射线装置，对环境的辐射影响较小。

(2) 工作原理

① DSA 工作原理

产生 X 射线的装置（DSA、ERCPC、DSA+CT）主要由 X 射线管和高压电源组成，X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。典型 X 射线管结构详见图 9.3-4。

DSA 是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，它是应用计算机程序进两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得到一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来，且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示。由于造影剂用量少，浓度低，损伤小、较安全，节省胶片使造影价格低于常规造影。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。

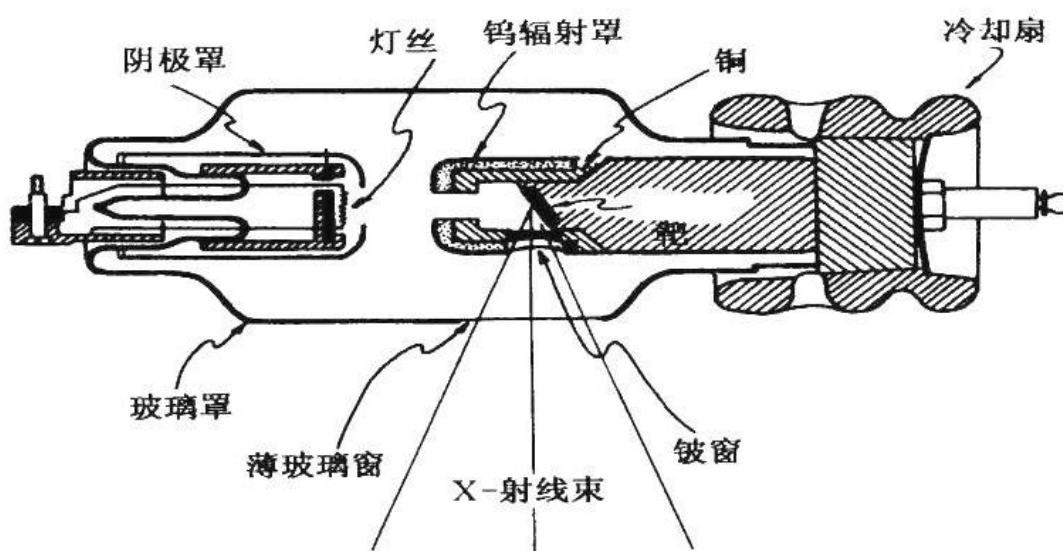


图 9.3-4 典型 X 射线管结构图

②CT 工作原理（DSA+CT 复合手术室中 CT 部分）

X 射线计算机断层扫描装置（CT）是近十年来发展迅速的电子计算机和 X 射线相结合的一项新颖的诊断新技术，是基于从多个投影数据应用计算机重建图像的一种方法，现代断层成像过程中仅仅采集通过特定剖面(被检测对象的薄层，或称为切片)的投影数据，用来重建该剖面的图像，因此也就从根本上消除了传统断层成像的“焦平面”以外其他结构对感兴趣剖面的干扰，“焦平面”内结构的对比度得到了明显的增强；同时断层图像中图像强度(灰度)数值能真正与被检对象材料的辐射密度产生对应的关系，发现被检对象内部辐射密度的微小变化。

（3）工作流程及产污环节

①DSA

诊疗时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺静脉，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静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达静脉，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 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况，操作人员采取隔室操作的方式（即操作医师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。

第二种情况，医生需进行手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，此时操作医师在手术室内身着铅服位于铅悬挂防护屏/铅防护帘后，对病人进行直接的手术操作。

产污环节分析：DSA 的 X 射线诊断机曝光时，主要污染因子为 X 射线。由于射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。注入的造影剂不含放射性，同时射线装置均采用先进的数字成像技术，不会产生废显影液、废定影液和废胶片。X 射线与空气发生作用可能会产生少量臭氧、氮氧化物，但由于本项目使用的 X 射线能量较低，且曝光时长很短，一般保证室内良好通风即可。DSA 介入手术工作流程及产污环节见图 9.3-5。

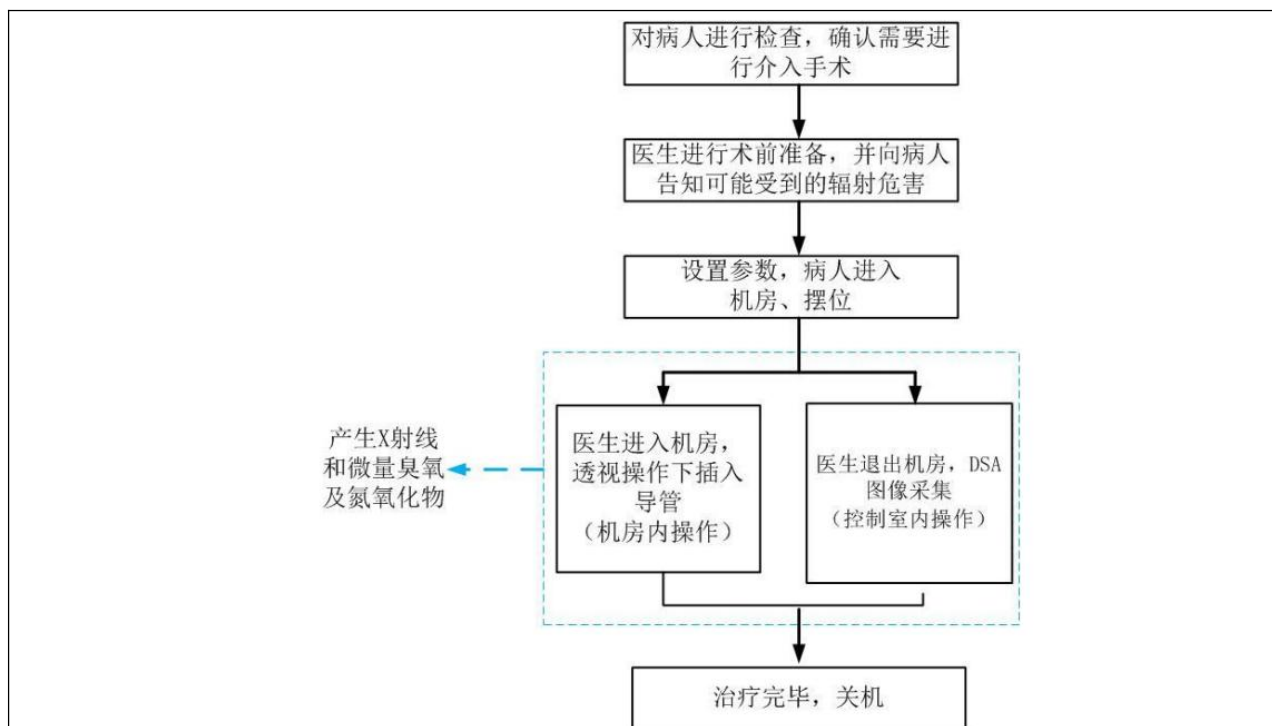


图 9.3-5 DSA 介入手术工作流程及产污环节示意图

②ERCP

经内镜逆行性胰胆管造影术（ERCP）的手术流程为：用内镜插入患者口中，通过食管、胃进入十二指肠；注气扩张十二指肠；找到十二指肠乳头，由活检管道内插入造影导管至乳头开口部；注入造影剂后，利用 X 射线拍片，显示胰胆管，进行胆管支架引流术、胆总管结石取石术等介入治疗。具体的工作流程如下：

- a) 患者进入射线装置机房，在医务人员的安排协助下进行摆位，等待诊断治疗；
- b) 医务人员对患者进行消毒处理，插入内镜；
- c) 设备曝光分为两种情况：

第一种情况，操作人员采取隔室操作的方式操作设备获取影像，通过观察窗观察；

第二种情况，医生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，此时操作医师在手术室内身着铅服位于铅悬挂防护屏/铅防护吊帘后，注射造影剂对病人进行进行胰胆管造影成像。

- d) 医生利用胰胆管造影图像进行胆管支架引流术、胆总管结石取石术等介入治疗；
- e) 治疗结束后，患者离开射线装置机房。

产污环节分析：ERCP 曝光时，主要污染因子为 X 射线。X 射线与空气发生作用可能会产生少量臭氧、氮氧化物，但由于本项目使用的 X 射线能量较低，且曝光时长很短，一

般保证室内良好通风即可。ERCP 介入手术操作流程及产污环节如图 9.3-6 所示。

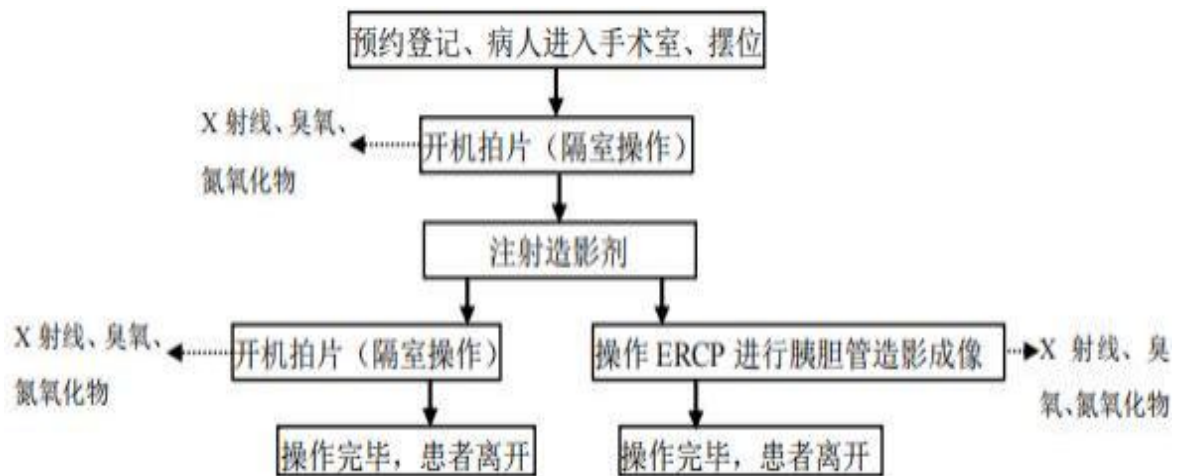


图 9.3-6 ERCP 介入手术工作流程及产污环节示意图

③ DSA+CT 复合手术

本项目在 DSA-CT 复合手术室固定安装使用 1 台 DSA，在 CT 扫描室安装了 1 台 CT，DSA+CT 复合手术室和 CT 扫描室之间新建防护墙和电动防护门，防护门关闭时，2 间机房互相独立运行；当防护门打开时，CT 通过滑轨移动到 DSA+CT 复合手术室隔室使用，可以通过 CT 控制室的操作台对 CT 设备进行操作控制。

CT 和 DSA 独立使用，将根据需求来使用 DSA 或 CT，两者不分先后顺序。CT 隔室影像检查可能在麻醉、外科手术、介入手术等操作之前或者之后进行，在任何时候不会同时开启 DSA 和 CT 两台射线装置，CT 使用完将推送至专用机房放置。

本项目复合手术的开展流程如下

- 1) 医护人员完成术前准备，将患者推入 DSA+CT 复合手术室，打 1 次造影剂，利用 DSA 设备进行摄影，在显示器中观察正位、侧位图像。
- 2) 医护人员身着铅服在 DSA+CT 复合手术室内位于铅悬挂防护屏/铅防护帘后进行介入手术。
- 3) 需要 CT 曝光时，由技师打开 CT 扫描室与 DSA-CT 复合手术室之间的电动防护门，患者像 CT 扫描室移动。
- 4) CT 移动到 DSA-CT 复合手术室内后，通过系统控制关闭电动防护门，按照 CT 的专用和操作方式进行隔室曝光。此时医护人员均退出手术室。在 CT 和 DSA 手术联合使用期间，CT 和 DSA 不会同时出束使用。
- 5) CT 诊断完成后，CT 通过滑轨退回至 CT 扫描室，并关闭两室中间的防护门，介入

手术人员才会进入手术室继续开展介入治疗。

6) 当不需要进行复合手术时, DSA+CT 复合手术室与 CT 扫描室之间的电动防护门关闭, DSA+CT 复合手术室可利用 DSA 设备单独进行介入手术。

在实际手术中, 患者通过洁净走廊推入手术室, 医护人员根据患者的病情进行介入手术, 介入手术进行时, 医护人员在主室内同室操作。需要 CT 曝光时, 打开 DSA+CT 复合手术室和 CT 扫描室间的自动铅防护门, CT 主机沿着直滑轨向 DSA+CT 复合手术室移动, 移动到 DSA+CT 复合手术室内后, 自动铅防护门关闭, 医护人员退出 DSA+CT 复合手术室, 技师在控制室隔室操作系统进行扫描。CT 诊断完成后, 通过滑轨退回至 CT 扫描室, 并关闭两室中间的防护门, 医护人员再次进入手术室进行手术。

综上可知, 开展复合手术的污染源主要是 X 射线, 由射线装置 DSA 和 CT 产生。DSA 在脉冲透视和连续透视时将产生 X 射线, CT 在进行 CT 扫描时将产生 X 射线。

(4) 工作负荷

本项目建成后拟配 45 名辐射工作人员, 其中 15 名介入医生、10 名放射影像技师、20 名护士, 具体岗位工作人员数量根据今后项目运行后的, 在之后的工作中医院会根据需要逐步新增辐射工作人员, 以上拟配人员不再从事其他辐射工作。

本项目建成后, 每间 DSA 手术机房每年最大诊疗量约为 1000 台, 预计参与 DSA 介入手术的医生每年最大手术量约为 300 台、参与介入手术的护士年最大手术量约为 300 台、参与介入手术的技师年最大手术量约为 1000 台。

ERCP 手术机房每年最大诊疗量约为 1000 台, 预计参与 ERCP 介入手术的医生每年最大手术量约为 300 台、参与介入手术的护士年最大手术量约为 300 台、参与介入手术的技师年最大手术量约为 1000 台。

本项目 DSA、ERCP 最大工作负荷统计见表 9-2。

表 9-2 本项目 DSA、ERCP 最大工作负荷统计一览表

射线装置	工作状态	平均每台手术最长出束时间	全年开展手术量(台)	设备年总出束时间(h)	单个医生年最大手术量(台)	单个护士年最大手术量(台)	技师年最大手术量(台)
DSA	摄影	2min	1000	33.3	300	300	1000
	透视	20min		333.3			
ERCP	摄影	2min	1000	33.3	300	300	1000
	透视	8min		133.3			

9.2 污染源项描述

9.2.1 核医学科污染源项分析

(1) 非密封放射性核素:

本项目拟使用非密封放射性核素的有关参数见下表。

表 9-3 非密封放射性核素的相关放射性属性

序号	核素名称	状态	半衰期	毒性级别	衰变方式	主要射线能量
1	^{18}F	液态	109.8min	低毒	β^+ , EC	γ : 0.511
2	^{11}C	液态	20.39min	低毒	β^+ , EC	γ : 0.511
3	^{13}N	液态	10.0min	低毒	β^+ , EC	γ : 0.511
4	^{15}O	液态	2.0min	低毒	β^+ , EC	γ : 0.511
5	^{68}Ga	液态	68.3min	低毒	β^+ , EC	γ : 0.511
6	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态	6.02h	低毒	同质异能跃迁	γ : 0.140
7	^{131}I	液态	8.02d	中毒	β^-	γ : 0.365; β : 0.602
8	^{177}Lu	液态	6.73d	中毒	β^-	γ : 0.2084; β : 0.2058

(2) 射线装置:

SPECT/CT 和 PET/CT 集成带有 X 射线 CT 机, 根据《关于发布<射线装置分类>的公告》(环境保护部 国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号), 医院 X 射线 CT 机属于Ⅲ类医用射线装置。因此, 本项目核素显像诊断项目拟使用的 1 台 SPECT/CT、1 台 PET/CT 均属于Ⅲ类医用射线装置。

表 9-4 射线装置的配置情况

序号	名称	类别	数量	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途
1	PET/CT	Ⅲ	1	140 kV	1000mA	显像诊断
2	SPECT/CT	Ⅲ	1	140 kV	1000mA	显像诊断

(3) 正常工况

由上文核医学工作流程分析可知, 射线外照射将伴随核素在核医学诊疗项目整个开

展过程中，包括供药、质控、注射（服药）等过程。受诊患者注射（服用）放射性药物后，本身短时间内也成为“辐射体”，随着患者的移动，将对周围环境造成辐射影响，排泄物也成为放射性污染物。在诊疗过程产生的固体废物也可能受放射性污染而成为放射性固体废物。核医学项目主要污染因子包括：

1) γ 射线贯穿辐射

①本项目使用的核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu ；在发生衰变时会伴随产生 γ 射线，在进行药物交接、分装、注射（服药）等操作时，在周围停留的操作人员和患者可能受到核素释放出的 γ 射线外照射影响。

②患者注射（服药）放射性药物后，本身短时间内是一个辐射体（源），对周围的环境可能造成外照射影响。

③进行 SPECT/CT、PET/CT 扫描时，受诊病人身体中的放射性核素产生的 γ 射线将对操作人员造成外照射影响。经过机房的屏蔽，射线可能仍有一定的泄漏，环境影响途径为外照射。

2) 放射性表面污染

放射性药物在质控、注射等活动过程中，不可避免地会引起工作台、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成 β 表面污染。

3) 放射性固体废物

主要是放射性药物操作使用过程中沾染放射性药物的固体废物，包括一次性注射器、安瓿瓶、棉签、滤纸、手套、一次性水杯等，核医学科废气处理系统定期更换的废活性炭也应作为放射性固体废物管理。

4) 放射性废液

患者注射/服用放射性药物后产生的排泄物及冲洗水等含有放射性核素的废水，核医学科工作人员完成放射性药物操作后清洗去污的废水，核医学科工作场所清洗及应急洗消产生的可能含放射性物质的废水。

5) 放射性废气

主要是放射性药物分装操作过程的挥发和甲癌患者住院期间呼出产生的含放射性核素废气。放射性废气将设置专用排风管道汇集后经活性炭过滤处理，高于屋顶排放。

（5）非正常工况

①由于管理不善，放射性药物被盗、丢失。

②在转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄漏，造成台面、地面辐射污染。

③患者注射/口服放射性药物时意外泄漏，造成台面、地面辐射污染。

④工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量。

⑤放射性固废未达到解控水平或排放标准即进行处理。

9.2.2 放疗科污染源项分析

9.2.2.1 加速器应用项目

(1) 加速器技术参数

根据建设单位配置计划，拟购 2 台加速器的主要技术参数如表 9-5 所示。

表 9-5 医用电子直线加速器的技术参数

序号	设备名称	类别	型号	主要参数	使用位置
1	医用电子直线加速器	Ⅱ射线装置	待定	X 射线最大能量：6MV、10 MV 电子线最大能量：22 MeV 等中心 X 射线最大剂量率： 常规模式下：6 MV：600cGy/min 10 MV：600cGy/min	4#地下室负一层放疗科 1 号直线加速器机房
2	医用电子直线加速器	Ⅱ射线装置	待定	FFF 模式下：6 MV：1400cGy/min 10 MV：2400cGy/min 电子线最大输出剂量率：1000cGy/min	4#地下室负一层放疗科 2 号直线加速器机房

(2) 正常工况

①X 射线

直线加速器运行时，从电子枪发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生 X 射线用于治疗。由于本项目加速器 X 射线最大能量为 10MV，X 射线贯穿能力强，将对工作人员、公众及周围环境造成一定的辐射污染，包含以下几种 X 射线辐射：

有用线束：当直线加速器光阑完全打开时，从辐射头靶射出的 X 射线为一个半角 14° 的锥形线束，其能量为 10MV。有用线束是唯一用于治疗目的的射线。

泄漏辐射：由靶向外从各个方向穿过辐射头泄漏出来的射线称为漏射线。漏射线遍布机架各处，因此泄漏线辐射源到任一点的距离会因机架角度不同而变化。

散射辐射：当有用线束射入治疗床上的人体时，会产生散布于各个方面上的次级散射辐射，这种射线的能量和剂量率比有用线束低得多，剂量率大小决定于被照区域，初级射线能量和散射角度。

直线加速器停止运行后，无 X 射线产生。

②电子线

电子束治疗过程中，电子束与机床和人体组织等发生作用产生的韧致辐射的能量和强度均远低于电子束撞击钨靶产生的治疗 X 射线的能量和强度，且电子加速器加速的电子本身在物质中的射程很短，很容易被加速器的靶件或其它构件所阻止，不会直接造成危害，然而被加速器加速的电子束穿过薄膜窗从加速器中引出后，成为能量较高的外电子束，它在空气中的射程较长，这时要绝对禁止非治疗人员在加速器开机时误入治疗室，以防被电子束或散射电子照射造成事故。

直线加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在直线加速器电子束治疗时间时，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗。因此，本项目医用直线加速器开机期间，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。

③感生放射性、中子

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），对于最大 X 射线能量 $\leq 10\text{MV}$ 的加速器可以不用考虑中子和感生放射性的辐射影响。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），使用中子源放射治疗设备质子/重离子加速器或大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽，本项目直线加速器 X 射线最大能量为 10MV ，因此本项目可不用考虑感生放射性、中子。

本项目直线加速器在开机期间，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。

④臭氧和氮氧化物

医用电子直线加速器在运行过程中，X 射线作用于空气以及次级辐射等因素，可产生少量臭氧及微量氮氧化物，通过排风系统排入大气。

⑤废靶件

医用电子直线加速器的金属靶件更换时会有废靶件产生，废靶件属于放射性固体废物，废靶件由设备厂家回收，不会在医院存储。

综上，开机期间，医用电子直线加速器主要污染因子为 X 射线、电子线，另有废靶件、少量臭氧、微量氮氧化物。

（3）非正常工况

对于医用直线加速器等射线装置的使用，当关机时不会产生 X 射线，不存在影响辐射

环境质量事故，只有当设备开机时才会产生 X 射线等危害因素，最大可能发生的事故：

①安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行加速器，则可能对工作人员或者无关人员造成误照射事故。

②除受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行加速器，则会造成机房中的工作人员或者无关人员误照射。

③设备检修维护时，操作不当或出现安全联锁失效，给设备检修维护人员或其他无关人员造成误照射。

④加速器控制系统出现故障，照射治疗不能停止，病人受到计划外照射。

9.2.2.2 后装机应用项目

(1) 后装机技术参数

本项目拟安装使用 ^{192}Ir 后装机 1 台，主要技术参数如下表所示。

表 9-6 后装机放射源核素的主要属性

序号	核素名称	状态	活度 (Bq) × 枚数	类别	半衰期	用途
1	^{192}Ir	固态	$3.70 \times 10^{11} \text{Bq} \times 1 \text{枚}$	III	74.0d	放射治疗

(2) 正常工况

使用放射源后装治疗机时主要的环境影响来自放射源，由于放射源是密封源，正常情况下源活性物质也不会泄露，因此在正常情况下，主要的影响因子是放射源发射的 γ 射线，对周围环境影响途径为外照射，无放射性“三废”排放。

由于放射性衰变，随着放射性活度的降低，密封源在一定时间以后将无法继续满足放射治疗要求，需要更换新的放射源。而旧的放射源依然具有一定的放射性强度，依然存在对环境保护和人类健康的不利影响的可能性，因此对于废旧放射源需要妥善处理。

(3) 事故工况

①机房安全联锁装置发生故障情况下，人员误入正在运行的后装机房而造成误照射。

②使用过程中发生卡源事故处理过程中对人员造成意外照射。

③外力撞击导致放射源跌落裸露时，使工作人员或公众受到外照射。

④放射源丢失或被盗，屏蔽罐被打开，对局部环境产生污染，并可能使部分公众受到照射。

9.2.3 介入手术项目污染源项分析

(1) 正常工况

正常运行时产生的主要污染源项为 X 射线，X 射线随着射线装置的开关而产生和消失。X 射线在辐射场中可分为三种射线：由 X 射线管窗口出射的用于诊断检查的有用射线；有 X 射线管防护套泄漏出来的漏射射线；从 X 射线管窗口射出的有用射线经过散射体（探测器、受检者体表、机房墙体、摆放的器具等）后产生的散射线。

本项目 DSA、ERCP 运行时诊断结果在显示屏上观察或采用数字技术打印，不使用胶片摄影，不会产生废显（定）影液、废胶片 and 报废感光材料。X 射线装置运行时，机房内会有微量臭氧、氮氧化物等有害气体产生，机房设置排风装置，可以最大限度降低有害气体的浓度。

(2) 事故工况

①在给病人做检查治疗时，设备控制键失效，无法停止出束，导致工作人员、患者以及无关人员受到意外照射。

②X 射线装置联锁装置出现故障，在屏蔽门没有关紧的情况下出束，对门外的人员造成的误照射。

③X 射线装置安全联锁装置发生故障状况的情况下，人员误入正在运行的 X 射线装置机房受到外照射。

④工作人员在手术室内为患者摆位或其他准备工作，控制台处操作人员误开机出束，发生事故性出束，对工作人员造成辐射伤害。

表 10 辐射安全与防护

10.1 核医学科辐射安全与防护

10.1.1 评价规模

本项目评价规模：临桂院区 1#门诊医技楼一层核医学科乙级非密封源工作场所 1 处，具体使用 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 核素药物开展 PET/CT 显像诊断项目；拟使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 核素药物开展 SPECT/CT 显像诊断项目；拟使用 ^{131}I 核素开展甲亢治疗、甲癌治疗，使用 ^{177}Lu 核素开展前列腺癌、乳腺癌等癌症治疗。配备 1 台 SPECT/CT 设备（III类射线装置）和 1 台 PET/CT 设备（III类射线装置）。

10.1.2 工作场所布局分析

本项目核医学科工作场所位于临桂院区 1#门诊医技楼一层西侧区域，该楼为地上四层，地下一层建筑。核医学科区域：东面相邻为 1#门诊医技楼放射科业务用房，南面、西面、北面相邻均为院内通道，楼上相邻为内镜中心业务用房（见图 10.1-4），楼下相邻为地下车库及回旋加速器部分业务用房（见图 10.1-5）。

核医学科区域主要用房：分装室、储源室、卫生通过间（含淋洗、卫生间）、服药室、 ^{18}F 注射室、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射室、甲癌病房 3 间（2 间双人房、1 间单人房与 ^{177}Lu 治疗患者轮流使用）、甲亢留观区、被服间、污洗间（2 间）、固废间（2 间）、抢救室、运动平板室、SPECT/CT 检查室、SPECT/CT 注射后候检室、SPECT/CT 留观室、PET/CT 检查室、PET/CT 注射后候检室（2 间）、PET/CT 留观室、备用室、甲测室、患者卫生间、患者走廊、医生/护士办公室、主任办公室、阅片室、值班室、诊室等配套区域。核医学科平面布置示意图见图 10.1-1。

核医学科主要开展 PET、SPECT 诊断项目和甲癌、甲亢治疗、甲功测定和 ^{177}Lu 核素治疗项目，整体来看，核医学科场所是一个相对独立的场所，与周围相邻工作场所均有实体墙隔离，避免了与相邻区域人员的交叉污染；核医学科总入口设置于南侧，总出口设置于北侧。

核医学科内部活性区和非活性区严格分开布置，设置有候诊区，核素诊断区集中在核医学科中部区域，核素治疗区集中在核医学科东面区域；核素诊断区和治疗区患者均由核医学科南侧入口进入核医学科，核素诊断区和甲亢治疗、甲功测定结束后患者均由核医学科北侧诊断区出口、甲亢治疗区出口离开，甲癌患者和 ^{177}Lu 核素治疗患者进入核素病房住院治疗后由北侧甲癌病房区出口离开。

核医学控制区入口和出口均设置门锁权限及单向门禁系统，诊断区和核素治疗出口北侧防护门常闭，可以杜绝无关人员进入核医学工作场所。

综上，本项目核医学科医护人员的进出路线和患者的进出路线满足相互独立的要求，工作场所布局设计合理。

10.1.3 人流、物流路线

1、医护人员的进出路线

(1) 如图 10.1-1 中绿色线路所示，医护工作人员经核医学科南侧入口 M1、核医学科西侧入口 M2、核医学科南侧入口 M3 进入核医学科场所，经医护通道进入男/女更衣室更换好工作服。

(2) 如图 10.1-1 中绿色线路所示，SPECT/CT、PET/CT 医技人员经医护通道进入控制室，需要给待检人员摆位时进出检查室，工作结束后按原路离开核医学科。

(3) 如图 10.1-1 中绿色线路所示，药品稀释、分装、注射的医护人员经医护通道 M1/M2/M3→M4 进入卫生通过间，在卫生通过间穿戴防护用品后到分装室、储源室等场所开展淋洗、标记、分装、注射等工作；工作结束后经卫生通过间通过表面污染监测仪检测，确认未受到放射性表面污染后，并去污更衣后按原路离开核医学科。

2、PET/CT 检查患者的进出路线

如图 10.1-1 中红色线路所示，PET/CT 检查患者经核医学科南侧入口 M1 进入核医学科进行预约登记、问诊与注射前准备，根据工作人员叫号提示，经 M5 入口处，根据路线指示进入 ^{18}F 注射室接受注射，注射完成后达到 PET/CT 注射后候检室候检，候检完成后，根据语音提示进入 PET/CT 检查室进行显像诊断扫描，扫描结束，通过患者通道后进入 PET/CT 留观室留观，检查完毕后再到无身体不适，经医生同意后经 M12 离开核医学科。

3、SPECT/CT 检查患者的进出路线

如图 10.1-1 中紫色线路所示，SPECT/CT 检查患者经核医学科南侧入口 M1 进入核医学科进行预约登记、问诊与注射前准备，根据工作人员叫号提示，经 M5 入口处，根据路线指示进入 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射室接受注射，注射完成后达到 SPECT/CT 注射后候检室候检，候检完成后，根据语音提示进入 SPECT/CT 检查室进行显像诊断扫描，扫描结束，通过患者通道后进入 SPECT/CT 留观室留观，检查完毕后再到无身体不适，经医生同意后经 M12 离开核医学科。

4、甲测患者的进出路线

如图 10.1-1 中蓝色线路所示，甲测患者经核医学科南侧入口 M1 进入核医学科进行预约登记、问诊与服药前准备，根据工作人员叫号提示，经 M5→M6 入口，根据路线指示进入 ^{131}I 服药室接受服药，甲测患者服药后经 M9 入口进入甲亢留观区，后经 M11 离开核医学科→间隔 2h、4h 和 24h 后，经核医学科南侧入口 M1 返回甲测室进行诊断→诊断结束后原路离开。

5、甲亢患者的进出路线

如图 10.1-1 中蓝色线路所示，甲亢患者经核医学科南侧入口 M1 进入核医学科进行预约登记、问诊与服药前准备，根据工作人员叫号提示，经 M5→M6 入口，根据路线指示进入 ^{131}I 服药室接受服药，甲亢患者服药后经 M9 入口进入甲亢留观区，服药后无身体不适经，医生同意后经 M11 离开核医学科。

6、甲癌患者的进出路线

如图 10.1-1 中橙色线路所示，甲癌患者经核医学科南侧入口 M1 进入核医学科进行预约登记、问诊与服药前准备，根据工作人员叫号提示，经 M5→M6 入口，根据路线指示进入 ^{131}I 服药室接受服药，甲癌服药后经 M8 入口进入核素甲癌病房住院治疗；住院后，经辐射探测达到出院条件后，通过甲癌患者走道 M10 离开核医学科。

7、药物运输路线

如图 10.1-2 中浅绿色线路所示，根据预约情况，药物运输采取时间错峰管理，订购的放射性药物一般由供药公司分装好在早上或中午工作人员上班前提前送达核医学科，供药单位将药物运送至核医学科北侧甲亢患者出口 M11→甲亢患者通道 M9→服药室→分装室及储源室；质检人员核对放射性药物名称、活度，检查药品包装和外观质量，与供药单位办理交接手续并存档。

8、污物运输路线

如图 10.1-2 中深红色路线所示，①放射性药物显像诊断区域中产生的放射性固废，在诊疗结束后病人离开此区域后收集至显像诊断区固废间分类贮存，贮存期满并经检测合格后，经 M12 运出核医学科。②放射性药物核素治疗区域中产生的放射性固废，在治疗结束后病人离开此区域后收集至核素治疗区域固废间分类贮存，贮存期满并经检测合格后，经 M10 运出核医学科。

综上所述，本项目核医学科医护人员的进出路线和患者的进出路线满足相互独立的

要求，工作场所布局设计合理，流程清晰。

10.1.4 工作场所分区管理

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求，辐射工作场所可分为控制区、监督区。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立“控制区”中文标识和醒目的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证）和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区的，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的区域。在监督区入口处的合适位置张贴“监督区”中文标识和电离辐射警告标志；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

核医学科工作场所分区示意图见图 10.1-3

（1）控制区

控制区包括（见图 10.1-3 红色区域）：分装室、储源室、服药室、 ^{18}F 注射室、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射室、甲癌病房 3 间、甲亢留观区、被服间、污洗间（2 间）、固废间（2 间）、抢救室、运动平板室、SPECT/CT 检查室、SPECT/CT 注射后候检室、SPECT/CT 留观室、PET/CT 检查室、PET/CT 注射后候检室（2 间）、PET/CT 留观室、患者卫生间、患者走廊、卫生通过间等区域划分为控制区。该区域还包括医院拟对该区采取一系列的放射卫生防护与安全措施，禁止无关人员进入，进入药物分装区域需更换工作服及鞋套，在控制区场所设置门禁装置，悬挂电离辐射警示标识，加装视频监控与对讲系统。对候诊人员严格管理，不允许注射/服药放射性药物后的候诊人员随便出入，除特别需要外不允许其他人员陪护候诊，也不允许放射工作人员滞留候诊区内。注射后或服药后患者使用的棉球、杯子等物品以及呕吐物收集后作为固体放射性废物处理，排泄物由专用卫生间排入下水管道进入衰变池。

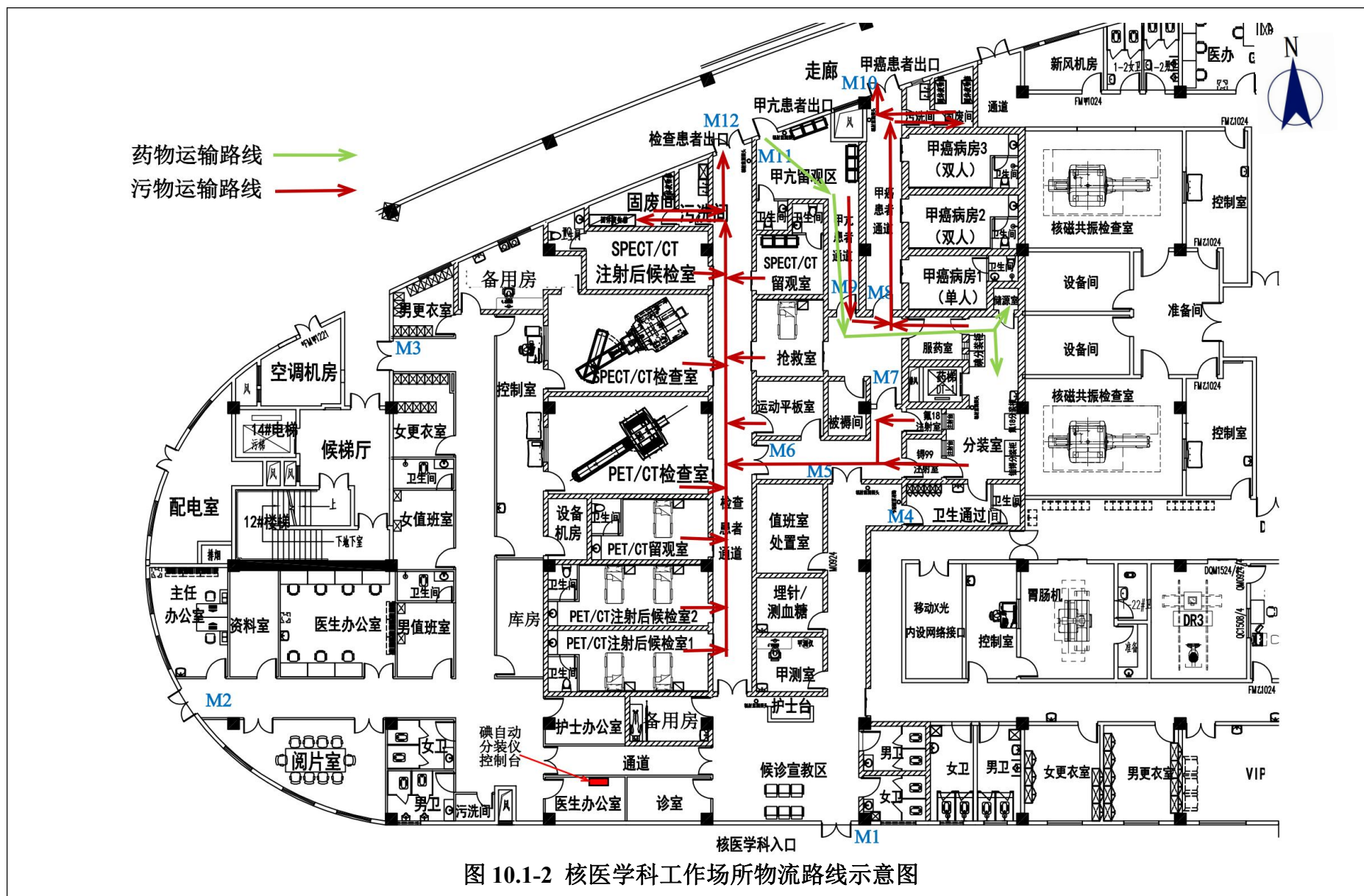
此外，放射性废水衰变池区域划为控制区，并悬挂警示标语及标识。

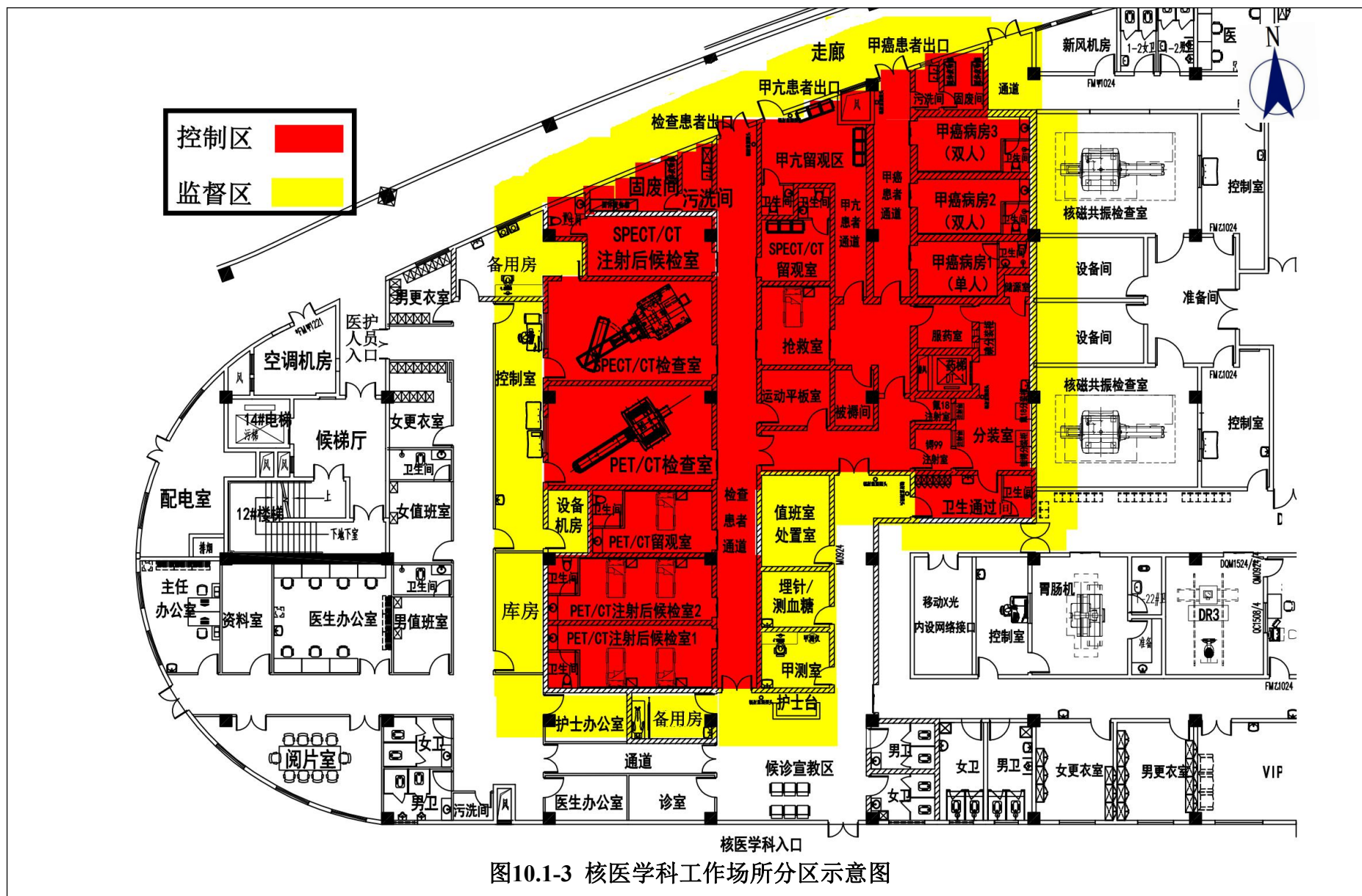
(2) 监督区

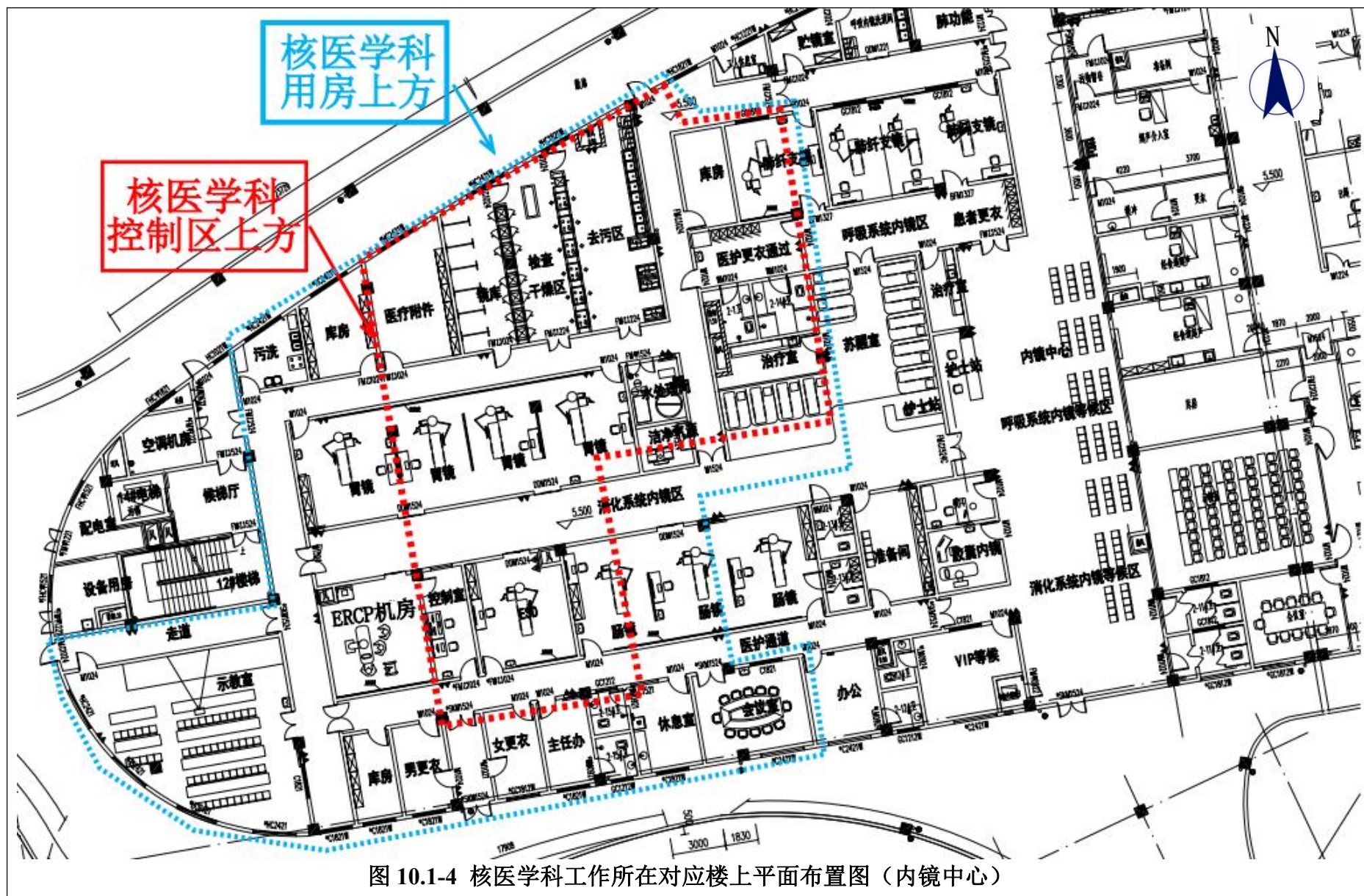
监督区包括（见图 10.1-3 黄色区域）：

将控制区外 SPECT/CT 控制室、PET/CT 控制室、库房、医护通道、卫生通过间、候诊宣教区、护士办公室、甲测室、埋针/测血糖室、值班室处置室、备用房、核医学患者出口外走廊、放射科核磁共振检查室等区域划为监督区。医院在所划定监督区内可不采取专门的防护安全措施，但需要定期或不定期地监测其监督区内的辐射剂量水平，为评价周围辐射环境是否安全提供依据。

因此，本项目控制区和监督区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）以及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）要求。







10.1.5 工作场所分级

本项目涉及的非密封放射性物质工作场所分级：依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的放射性同位素工作场所放射性核素日等效最大操作计算方法和建设单位提供的放射性同位素最大日操作量，可以计算出核素的日等效最大操作量。非密封源工作场所的分级判据如表 10.1-1。根据日等效最大操作量得出工作场所属于乙级非密封源工作场所。详见表 10.1-2。

表 10.1-1 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$
日等效最大操作量计算方法如下： 日等效最大操作量 = （计划的日操作最大活度 × 核素毒性组别修正因子） / 操作方式修正因子	

表 10.1-2 核医学科工作场所分级

核素名称	日实际最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作因子	日等效最大操作量 (Bq)	总日等效最大操作量 (Bq)	工作场所分级
^{18}F	3.7×10^{10} (1000mCi)	0.01	10	3.7×10^7	3.79×10^9	乙级
^{11}C	1.85×10^9 (50mCi)	0.01	10	1.85×10^6		
^{13}N	1.85×10^9 (50mCi)	0.01	10	1.85×10^6		
^{15}O	1.85×10^9 (50mCi)	0.01	10	1.85×10^6		
^{68}Ga	1.85×10^9 (50mCi)	0.01	10	1.85×10^6		
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.96×10^{10} (800mCi)	0.01	10	2.96×10^7		
^{131}I	2.96×10^{10} (800mCi)	0.1	1	2.96×10^9		
^{177}Lu	7.4×10^9 (200mCi)	0.1	1	7.4×10^8		
$^{68}\text{Ge}-^{68}\text{Ga}$	1.85×10^9 (50mCi)	0.1	100	1.85×10^6		

根据表 10-3 可知，该项目核医学科工作场所按乙级非密封源工作场所进行管理。

10.1.6 工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）第 5.2 规定，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。此次对核医学科每个具体工作场所进行了分类，分类依据见表 10.1-3。核医学具体工作场所进行了分类，分类结果见下表 10.1-4。

表 10.1-3 核医学工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素的加权活度（MBq）
I	>50000
II	50~50000
III	<50
加权活度=（计划的日操作最大活度×核素的毒性权重因子）/操作性质修正因子	

表 10.1-4 本项目核医学科工作场所分类情况

场所名称	使用核素	日操作最大活度（MBq）	毒性权重因子	操作性质修正因子	放射性核素的加权活度（MBq）	场所分类
储源室	¹⁸ F	37000	1	100	370	37758.5 II类
	¹¹ C	1850	1	100	18.5	
	¹³ N	1850	1	100	18.5	
	¹⁵ O	1850	1	100	18.5	
	⁶⁸ Ga	1850	1	100	18.5	
	^{99m} Tc	29600	1	100	296	
	¹³¹ I	29600	100	100	29600	
	¹⁷⁷ Lu	7400	100	100	7400	
	⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga	1850	1	100	18.5	
分装室	¹⁸ F	37000	1	1	37000	3775850 I类
	¹¹ C	1850	1	1	1850	
	¹³ N	1850	1	1	1850	
	¹⁵ O	1850	1	1	1850	
	⁶⁸ Ga	1850	1	1	1850	
	^{99m} Tc	29600	1	1	29600	
	¹³¹ I	29600	100	1	2960000	
	¹⁷⁷ Lu	7400	100	1	740000	
	⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga	1850	1	1	1850	
抢救室	¹⁸ F	37000	1	10	3700	155400 I类
	¹¹ C	1850	1	10	185	
	¹³ N	1850	1	10	185	

	¹⁵ O	1850	1	10	185		
	⁶⁸ Ga	1850	1	10	185		
	^{99m} Tc	29600	1	10	2960		
	¹³¹ I	7400	100	10	74000		
	¹⁷⁷ Lu	7400	100	10	74000		
服药室	¹³¹ I	29600	100	1	2960000		I 类
甲癌病房（2 人间）	¹³¹ I	14800	100	1	1480000		I 类
甲癌病房（1 人间）	¹³¹ I、 ¹⁷⁷ Lu	7400	100	1	740000		I 类
甲亢留观区	¹³¹ I	1850	100	10	18500		II 类
¹⁸ F 注射室	¹⁸ F	37000	1	1	37000		II 类
PET/CT 检查室	¹⁸ F	37000	1	10	3700		II 类
PET/CT 注射后 候检室（2 间）	¹⁸ F	18500	1	10	1850		II 类
PET/CT 留观室	¹⁸ F	37000	1	10	3700		II 类
^{99m} Tc 注射室	^{99m} Tc	29600	1	1	29600		II 类
SPECT/CT 检查室	^{99m} Tc	29600	1	10	2960		II 类
SPECT/CT 注射后 候检室	^{99m} Tc	29600	1	10	2960		II 类
SPECT/CT 留观室	^{99m} Tc	29600	1	10	2960		II 类
运动平板室	^{99m} Tc	29600	1	10	2960		II 类

根据估算，本项目需按照《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于不同类别工作场所室内表面和装备的要求装修，见下表 10.1-5。

表 10.1-5 不同类别核医学工作场所的室内表面及装备结构要求

场所分类	地面	表面	分装柜	通风	管道	盥洗与去污
I	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	特殊的强制通风	特殊要求 ^a	洗手盆 ^b 和去污设备
II	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	良好通风	普通管道	洗手盆 ^b 和去污设备
III	易清洗	易清洗	不必须	一般自然通风	普通管道	洗手盆 ^b
注：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。						

综上所述，通过上文分析，本项目各工作场需按上述防护要求对室内表面和装备的要求装修。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）对临床核医学工作场所具体分类办法，拟采取的辐射防护措施与标准要求对照情况见下表 10.1-6。

表10.1-6 工作场所室内表面及装备要求拟采取的防护措施符合性分析

标准要求		拟采取措施	是否满足要求
结构屏蔽	需要	核医学科内的 SPECT/CT 检查室、PET/CT 检查室、注射侯检室、分装室、注射室、患者通道、服药室、储源室、抢救室/留观室、核素病房等功能用房均设置了实体屏蔽结构，经核算，屏蔽满足 HJ1188-2021 周围剂量当量率限值要求。	满足
地面	与墙壁接缝无缝隙	核医学科内的 SPECT/CT 检查室、PET/CT 检查室、注射侯检室、分装室、注射室、患者通道、服药室、储源室、抢救室/留观室、核素病房等功能用房地面与墙壁的连接处均采用圆弧设计，保证连接处无缝隙。	满足
表面	易清洗	分装室、注射室、服药室等工作台面拟采用不锈钢等易清洗材料，设备的表面、工作台台面等满足平整光滑、易于清洗、去污。控制区功能用房地面均拟采用易清洗、不易渗透的塑胶材料地板。	满足
分装柜	需要	医院拟设置有 3 个分装柜通风橱（手套箱）	满足
通风	I：特殊的强制通风 II：良好通风	核医学科通风整体按照 I 类场所要求进行通风设计布局，根据控制区设置有 6 路排风管道：其中分装柜通风橱设立单独排风管道，保证通风效果，风速应不小于 0.5m/s。排风口高度应高于本建筑物的屋脊，并设置有过滤装置。	满足
管道	下水道宜短，大水流管道宜有标记，以便维修检测。	衰变池位于核医学科下方负一层地下室，下水管道与核医学距离较近，管道较短。大水流管道处将按要求设有标记，以便维修检测。	满足
盥洗与去污	洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制和去污设备	洗手盆拟采用感应式或脚踏式等手部非接触开关控制；并拟设置有污洗间，污洗间内设置污洗池，并配备拖把、去污剂、小刷子、吸水纸、不透水塑料布、一次性镊子等清洗和去污设备。	满足

10.1.7 辐射防护屏蔽设计

根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，该项目 X 射线装置机房有效使用面积、最小单边长度与标准的符合情况见下表 10.1-7。

表 10.1-7 机房有效使用面积、最小单边长度与标准的符合情况表

机房名称	设计有效使用面积	设计最小单边长度	标准要求最小边长度	标准要求有效使用面积	评价
PET/CT 检查室	37.5m ² (5.0m×7.5m)	5.0m	≥4.5m	≥30m ²	符合标准 GBZ130-2020
SPECT/CT 检查室	41.1m ² (5.0m×8.22m)	5.0m	≥4.5m	≥30m ²	

本项目辐射工作场所的相关墙体、顶板、地板以及防护门的设计均采取了辐射屏蔽措

施。根据医院提供的设计方案，本项目核医学辐射工作场所拟采取的防护措施见表 10.1-8。

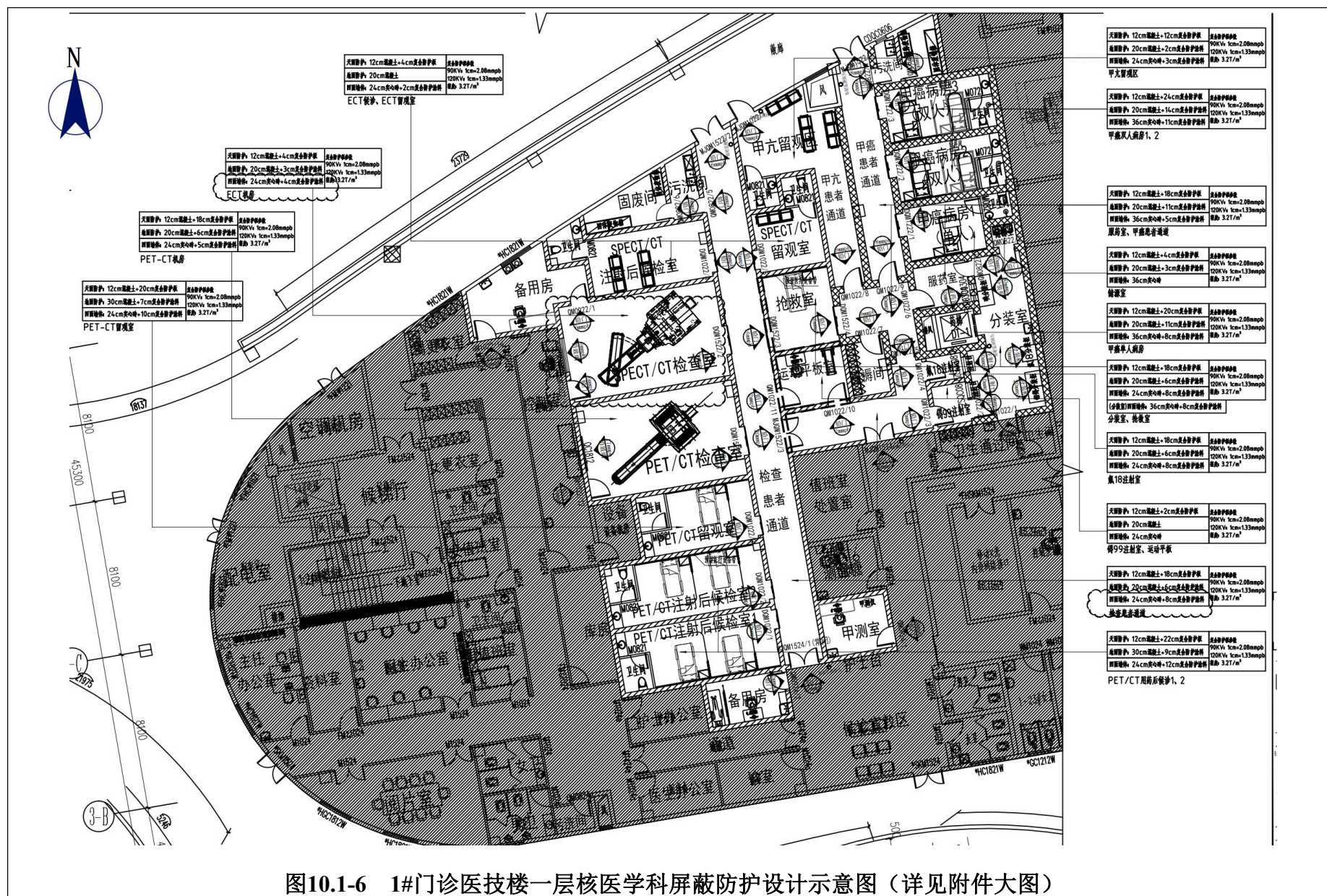
表 10.1-8 核医学科各功能用房拟采取的辐射防护屏蔽设计方案

工作场所	屏蔽体	辐射防护情况及设计参数
¹⁸ F 注射室	顶棚	12cm 混凝土+18cm 硫酸钡复合防护板
	地板	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡涂料
	四面墙体	24cm 实心砖+8cm 硫酸钡涂料
	防护门	16mmPb 铅板
PET/CT 检查室	顶棚	12cm 混凝土+18cm 硫酸钡复合防护板
	地板	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡涂料
	四面墙体	24cm 实心砖+5cm 硫酸钡涂料
	观察窗	17mmPb 铅玻璃
	防护门（2 扇）	17mmPb 铅板
PET/CT 注射后候检室 1 、PET/CT 注射后候检室 2	顶棚	12cm 混凝土+22cm 硫酸钡复合防护板
	地板	30cm 混凝土+9cm 硫酸钡涂料
	四面墙体	24cm 实心砖+12cm 硫酸钡涂料
	防护门	22mmPb 铅板
PET/CT 留观室	顶棚	12cm 混凝土+20cm 硫酸钡复合防护板
	地板	30cm 混凝土+7cm 硫酸钡涂料
	四面墙体	24cm 实心砖+10cm 硫酸钡涂料
	防护门	19mmPb 铅板
抢救室	顶棚	12cm 混凝土+18cm 硫酸钡复合防护板
	地板	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡涂料
	四面墙体	24cm 实心砖+8cm 硫酸钡涂料

	防护门（2 扇）	16mmPb 铅板
^{99m} Tc 注射室	顶棚	12cm 混凝土+2cm 硫酸钡复合防护板
	地板	20cm 混凝土
	四面墙体	24cm 实心砖
	防护门	2mmPb 铅板
运动平板室	顶棚	12cm 混凝土+2cm 硫酸钡复合防护板
	地板	20cm 混凝土
	四面墙体	24cm 实心砖
	防护门（2 扇）	2mmPb 铅板
SPECT/CT 检查室	顶棚	12cm 混凝土+4cm 硫酸钡复合防护板
	地板	20cm 混凝土+3cm 硫酸钡涂料
	四面墙体	24cm 实心砖+4cm 硫酸钡涂料
	观察窗	6mmPb 铅玻璃
	防护门（3 扇）	6mmPb 铅板
SPECT/CT 注射后候检室	顶棚	12cm 混凝土+4cm 硫酸钡复合防护板
	地板	20cm 混凝土
	四面墙体	24cm 实心砖+2cm 硫酸钡涂料
	防护门	3mmPb 铅板
SPECT/CT 留观室	顶棚	12cm 混凝土+4cm 硫酸钡复合防护板
	地板	20cm 混凝土
	四面墙体	24cm 实心砖+2cm 硫酸钡涂料
	防护门	3mmPb 铅板
固废间、污洗间 （核素显像诊断区）	顶棚	12cm 混凝土

		地板	20cm 混凝土
		四面墙体	24cm 实心砖
		防护门	6mmPb 铅板
	检查患者通道 (核素显像诊断区)	顶棚	12cm 混凝土+18cm 硫酸钡复合防护板
		地板	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡涂料
		四面墙体	24cm 实心砖+8cm 硫酸钡涂料
		防护门(患者出口)	16mmPb 铅板
		防护门(患者入口)	20mmPb 铅板
		防护门(候诊区)	20mmPb 铅板
	¹³¹ I 服药室	顶棚	12cm 混凝土+18cm 硫酸钡复合防护板
		地板	20cm 混凝土+11cm 硫酸钡涂料
		四面墙体	36cm 实心砖+5cm 硫酸钡涂料
		防护门	20mmPb 铅板
	甲亢留观区	顶棚	12cm 混凝土+12cm 硫酸钡复合防护板
		地板	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡涂料
		四面墙体	36cm 实心砖+3cm 硫酸钡涂料
		防护门(2 扇)	9mmPb 铅板
	甲癌病房 1 (1 人间)	顶棚	12cm 混凝土+20m 硫酸钡复合防护板
		地板	20cm 混凝土+11cm 硫酸钡涂料
		四面墙体	36cm 实心砖+8cm 硫酸钡涂料
		防护门	18mmPb 铅板
	甲癌病房 2 (2 人间)、 甲癌病房 3 (2 人间)	顶棚	12cm 混凝土+24m 硫酸钡复合防护板
		地板	20cm 混凝土+14cm 硫酸钡涂料

	四面墙体	36cm 实心砖+11cm 硫酸钡涂料
	防护门	20mmPb 铅板
甲癌患者通道	顶棚	12cm 混凝土+18m 硫酸钡复合防护板
	地板	20cm 混凝土+11cm 硫酸钡涂料
	四面墙体	36cm 实心砖+8cm 硫酸钡涂料
	防护门（2 扇）	18mmPb 铅板
固废间、污洗间 （核素治疗区）	顶棚	12cm 混凝土
	地板	20cm 混凝土
	四面墙体	24cm 实心砖
	防护门	6mmPb 铅板
分装室	顶棚	12cm 混凝土+18m 硫酸钡复合防护板
	地板	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡涂料
	四面墙体	36cm 实心砖+8cm 硫酸钡涂料
	西防护门 （服药室）	20mmPb 铅板
	西防护门 （ ^{99m} Tc 注射室）	16mmPb 铅板
	防护门（南门）	16mmPb 铅板
储源室	顶棚	12cm 混凝土+4m 硫酸钡复合防护板
	地板	20cm 混凝土+3cm 硫酸钡涂料
	四面墙体	36cm 实心砖
	防护门	7mmPb 铅板
注：上述表中材料密度：实心砖墙密度≥1.65g/cm ³ ，混凝土密度≥2.35g/cm ³ ，铅板密度 11.3g/cm ³ ，硫酸钡复合防护板及硫酸钡防护涂料密度≥3.2g/cm ³ 。		



10.1.8 核医学工作场所拟配备辐射防护用品及辐射安全警示设施情况

本项目核医学辐射工作场所拟配备的辐射防护设备及用品详见表 10.1-9。

表 10.1-9 核医学科辐射工作场所辐射防护用品一览表

设置场所	种类/名称	数量	参数/铅当量
分装室	^{18}F 分装柜	1 套	70mmPb
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装柜	1 个	20mmPb
	^{18}F 注射窗/台	1 个	50mmPb
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射窗/台	1 个	10mmPb
	^{131}I 分装柜（含自动分装仪）	1 个	50mmPb
	注射器钨合金防护套	4 个	20mmPb
	注射器钨合金防护套	2 个	10mmPb
	移动式注射防护车	1 个	20mmPb
	转运铅罐	2 个	50mmPb
	转运铅罐	2 个	10mmPb
PET/CT、SPECT/CT 控制室	语音视频通话装置	2 套	/
	铅橡胶防护衣、铅橡胶颈套、 铅橡胶帽子、 铅防护眼镜	2 套	0.5mmPb
PET/CT 检查室	铅橡胶防护衣、铅橡胶颈套、 铅橡胶帽子	1 套	0.5mmPb
	移动铅屏风	1 个	10mmPb
	紧急停机按钮	1 套	/
SPECT/CT 检查室	铅橡胶防护衣、铅橡胶颈套、 铅橡胶帽子	1 套	0.5mmPb
	移动铅屏风	1 个	5mmPb
	紧急停机按钮	1 套	/
PET/CT 注射后候检室	移动铅屏风	4 个	10mmPb
分装室、注射后候检室、扫 描检查室、留观室等场所	铅废物桶（核素显像诊断区）	8 个	20mmPb

固废间（核素显像诊断区）	固体衰变箱（容积 70L）	5 个	20mmPb
甲癌病房内	移动铅屏风	4 个	15mmPb
	铅废物桶	3 个	30mmPb
分装室、服药室、 甲亢留观区等	铅废物桶	4 个	30mmPb
固废间（核素治疗区）	固体衰变箱（容积 150L）	4 个	30mmPb
卫生通过间	铅橡胶防护衣、铅橡胶颈套、 铅橡胶帽子、铅防护眼镜	4 套	0.5mmPb
	放射性污染防护服	5 套	/
	去污用品 1 套	1 套	一次性手套、口罩、胶鞋、去污剂等去污用品。
核医学科	便携式表面污染监测仪	1 台	出入卫生通过间使用
	便携式 X-γ辐射监测仪	1 台	/
	固定式区域辐射监测仪	1 套（多探头）	核医学科区域
	个人剂量报警仪	6 台	工作人员佩戴使用
分装室	活度计	3 台	分装柜

本项目个人防护用品数量和防护铅当量均满足《核医学辐射防护与安全要求》

（HJ1188-2021）的相关要求，可以满足医院拟开展核技术利用项目运行的要求。除此以外，通过制度规范辐射工作人员的操作，包括放射性核素的管理、使用，放射性污染物的处理和患者的活动限制等。

10.1.9 辐射安全与防护合理性分析

核医学科工作场所拟采取的安全防护措施和设施与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的符合情况见表 10.1-10。

表 10.1-10 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）符合性分析

序号	《核医学辐射防护与安全要求》 （HJ 1188-2021）	本项目情况	符合性
5.2 布局	核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。	本项目核医学工作场所高活区集中在一端；患者进入控制区后有单独单向路线，并通过设置门禁限制给药后患者的活动空间。	符合

	核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物 通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。	本项目核医学工作场所设立了相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路线，通过时间、空间设计使各个通道不交叉。	符合
	核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	本项目核医学在出入口设置了单向门禁限制给药后患者的活动空间；工作人员出入口设置了卫生通过间、淋浴间、防护用品和表污监测；控制区内设置了患者专用卫生间。	符合
6.1 屏蔽 要求	核医学场所屏蔽层设计应适当保守，按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。	详见 11.1.2 章节分析。	符合
	设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时，除应考虑室内的辐射源外，还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。	本项目核医学科工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层设计时，已考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。	符合
	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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。	详见 11.1.2 章节分析。	符合
	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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。	详见 11.1.2 章节分析。	符合
	放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽	核医学区设有储源室，并带有屏蔽防护。	符合
	核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。	本项目核医学放射性核素操作设备的表面、工作台台面拟设置平整光滑及无接缝，易于清洗、去污的材料。	符合
6.2 场所 安全 措施 要求	操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候检室内、核素治疗 病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。	本项目拟设置有专门的分装柜通风橱用于放射性药物的操作，且拟在活性区域内设置一定数量的移动铅屏风，以减少给药后患者之间及医护人员的相互照射。	符合
	操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。	本项目拟在卫生通过间配备表面污染检测仪，便于对进出控制区的人员及物品进行表面污染监测。	符合
	放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。	本项目拟在控制区内设置储源室、放射性废物固废间、污洗间、放射性被服暂存间等，内均设废物存储柜，并配有一定数量的贮存容器、保险箱，用来专门存放放射性物质（放射性药物、放射	符合

		性废物等)。	
	扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯	PET/CT 机房、SPECT/CT 机房外防护门上拟设置工作状态指示灯。	符合
6.3 密闭和通风要求	核医学工作场所应保持良好的通风, 工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的设计, 保持工作场所的负压和各区之间的压差, 以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。	本项目核医学科通风进行了专门的设计通过管线设计及压差控制, 能够保证工作场所的气流自清洁区向监督区再向控制区方向流动, 并保持工作场所的负压和各区之间的压差, 以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。	符合
	碘-131 治疗病房应设有单独的通风系统, 病房的门窗应有封闭措施, 保持治疗区域内的负压, 治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。	治疗区碘-131 治疗病房设有单独的通风系统, 住院期间病房内均为封闭状态, 控制新风和排风风量保持治疗区域内的负压, 最终废气经单独排风管排至屋顶经过滤处理设施处理后有组织排放。	符合
	放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行, 防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。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。	本项目核医学科放射性物质分装、取药操作均在分装柜等密闭设备中进行, 分装柜均设置了独立的排风系统, 保证柜内负压, 防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出, 并在设备顶壁安装活性炭过滤装置。	符合
	手套箱应有足够的通风能力。碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶, 尽可能远离邻近的高层建筑。	本项目核医学科分装柜排风系统排气口均高于所在建筑屋顶, 排放口远离邻近的高层建筑。	符合
7.2 固体放射性废物管理	固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。	本项目核医学科拟设置铅废物桶收集固体放射性废物, 且铅废物桶内设置有专用塑料袋, 另在其外表面张贴电离辐射标志。	符合
	含尖刺及棱角的放射性废物, 应预先进行包装处理, 再装入废物桶, 防止刺破废物袋。	本项目核医学科拟对含尖刺及棱角的放射性废物预先进行包装处理, 再装入废物桶。	符合
	放射性废物每袋重量不超过 20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。	本项目核医学科放射性废物拟按照每袋重量不超过 20kg 分开存储及处理。装满废物的塑料袋将密封后及时转送至放射性废物柜贮存。	符合
	放射性废物贮存场所应安装通风换气装置, 放射性废物中含有易挥发放射性核素的, 通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志, 采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。	本项目核医学废物储存场所设置了排风口并连接管道, 出入门拟张贴电离辐射警告标志, 设置防盗门锁, 进行了屏蔽防护设计。	符合
7.3 液态放射性废物管理	核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器, 收集放射性药物操作间、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。	本项目核医学科设置 2 套放射性废液衰变池收集放射性药物操作间、给药后及显像检查后患者卫生间、卫生通过间、核素治疗病房卫生间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。	符合

	核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。	本项目核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液拟收集在专用容器中并在其外表面张贴电离辐射标志。	符合
	核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。	本项目核医学工作场所拟配备洗消处理设备（包括洗消液）。卫生通过间内的淋浴间、洗手盆、清洗池等拟选用脚踏式或自动感应式的开关，并拟设置向上冲淋的流动水装置。	符合
	放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。	本项目核医学放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接拟设计成死区尽可能少的、下水道尽可能短的样式，且大水流管道拟做相应标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。	符合
	经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。	本项目设置了放射性废液衰变池，由混凝土浇筑完成，具有坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透特性。	符合
	含碘-131治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为2组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。	本项目核医学科碘-131治疗病区设置1套槽式废液衰变池，设计为1个污泥池和4个槽式池体组成，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。	符合
7.4 气态放射性废物的管理	产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。	本项目核医学场所设有独立的排风系统，并根据放射活度高低设置了不同的管道，排放口设置了过滤装置。	符合
	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。	本项目核医学工作场所拟定期对通风系统过滤净化器的有效性进行检查，并及时更换过滤器，更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。	符合

小结：本项目核医学科辐射工作场所布局基本遵循高低活性区不交叉的原则，相关配套功能房间齐全，基本能够保证工作程序沿相关功能房间单向展开，能够满足医务人员及病人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。辐射防护屏蔽设计满足屏蔽防护性能的需求和空间利用需求。防护用品配备满足标准相关要求，也可以满足医院拟开展核技术利用项目运行的要求。

因此，本项目辐射安全与防护设计合理。

10.1.10 核医学科三废的治理

10.1.10.1 放射性废液

(1) 衰变池选址

衰变池：拟设于 1#门诊医技综合楼负一层中部位置，衰变池前端收集过滤污泥池位于回旋加速器区域；衰变池主体贮存位于放射科下方，东侧为地下汽车通道，南侧为地下停车场，西侧为回旋加速器热合成室和库房，北侧为地下汽车通道，采用混凝土浇筑。该选址属于人员较少居留或经过位置，选址基本合理。衰变池位置图见图 10.1-8；

(2) 衰变池设计

本项目核医学科核素显像诊断区放射性废液主要含有 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，核素治疗区放射性废液主要含有 ^{131}I 、 ^{177}Lu ，故针对所含核素半衰期的不同，本项目设计有 2 套衰变池，均为槽式衰变池。

核素显像诊断区用衰变池由 3 格并联池体，总有效容积为（单个有限容积为 16m^3 ） $=48\text{m}^3$ 以及 1 个收集过滤污泥池（ 1.7m^3 ）组成；核素治疗区衰变池由 4 格并联池体总有效容积为（单个有限容积为 41m^3 ） $=164\text{m}^3$ 以及 1 个收集过滤污泥池（ 1.7m^3 ）组成。分别设置了 3 组、4 组衰变实体交替贮存、衰变和排放废液，可满足废液的衰变需求。

衰变池体为混凝土池体，内表面进行专业的耐酸碱腐蚀和防渗处理，确保池体坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑。池体外壁厚为 300mm 的混凝土，池体顶棚为 500mm 混凝土和 30mm 铅盖板屏蔽体，地板为 500mm 混凝土；衰变池前端收集过滤污泥池到贮存衰变池池体位置，通过回旋加速器业务用房天花板吊顶管道方式到达，对裸露排水管做 20mmPb 铅皮防护。同时通过可视化控制系统、摄像头、液位计（具有液位报警功能）监视衰变池水位情况，确保衰变池系统安全运行。

氟锝衰变池：PET/CT 注射后候检室、PET/CT 留观室、SPECT/CT 注射后候检室/SPECT/CT 留观室、诊断区污洗间等产生的放射性废水由废水管道收集后排放至氟锝衰变池衰变。

碘衰变池：卫生通过间、分装室、甲亢留观区、甲癌病房、治疗区污洗间等产生的放射性废水由废水管道收集后排放至碘衰变池衰变。

(3) 废水处理工作流程为：废水处理流程为废水重力自流至地下一层收集过滤污泥池，当过滤后的放射性污水达到一定的水位时液位传感器将信息反馈到控制器上，控制器再控制进水泵启动衰变池 1 进水管上的电磁阀打开将收集过滤池的放射性污水通过衰变池

1 的进水管排入衰变池 1 中，当放射性污水的达到衰变池 1 的容量时衰变池 1 中的液位传感器将信息反馈至控制器中，控制器控制衰变池进水管上的电磁阀关闭停止进水开始衰变，当新进的放射性污水再次达到水位时衰变池 2 电磁阀启动，放射性污水将通过衰变池 2 的进水管进入衰变池 2 中。当放射性污水的达到衰变池 2 的容量时衰变池 2 中的液位传感器将信息反馈至控制器中，控制器控制衰变池进水管上的电磁阀关闭停止进水开始衰变，当新进的放射性污水再次达到水位时衰变池 3 电磁阀启动，放射性污水将通过衰变池 3 的进水管进入衰变池 3 中，如此循环。通过水泵抽取第一格衰变池的放射性废水至取样池进行检测，达到排放标准后，排至医院污水处理站进一步处理后排至市政管网。

项目场所放射性废水收集路线图见图 10.1-7、图 10.1-8，衰变池平面和剖面设计示意图见图 10.1-9。

(4) 放射性废水产生量：

①**核素显像诊断区废水：**本项目 PET/CT 检查项目使用的放射性核素为 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O ，其中 ^{18}F 的半衰期最长为 109.8min，根据建设单位提供资料，核素的使用人次并非叠加，当使用一种核素进行显像检查时相应减少另一种核素的使用人次，满足 ^{18}F 放射性废水存储时间即可满足其他核素的存储需求；SPECT/CT 检查项目使用的放射性核素为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，半衰期最长为 6.02h。

PET/CT 检查项目放射性废水排放量：每天检查患者 30 人次，每人产生废水量 6L，则每天 PET/CT 检查项目病人放射性废水排放量为 $6\text{L}/\text{人次} \times 30 \text{ 人} = 0.18\text{m}^3$ 。

SPECT/CT 检查项目放射性废水排放量：每天检查患者 30 人次，每人产生废水量 6L，则每天 PET/CT 检查项目病人放射性废水排放量为 $6\text{L}/\text{人次} \times 30 \text{ 人} = 0.18\text{m}^3$ 。

PET/CT 和 SPECT/CT 检查项目污洗与应急冲淋废水排放量为 $0.3\text{m}^3/\text{天}$ 。

该 PET/CT 和 SPECT/CT 检查项目的总放射性废水排放量为 $0.18\text{m}^3 + 0.18\text{m}^3 + 0.3\text{m}^3 = 0.66\text{m}^3/\text{天}$ ，单个衰变池容积为 16m^3 ，注满单个衰变池约需要 24.2 天；氟钆衰变池为 3 格级槽式衰变池，以此类推，则第 2 格、第 3 格衰变池注满时，已收集满第 1 格衰变池废水暂存的时间为 48.4 天，大于 30 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）第 7.3.3.1 款 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要求。

②核素治疗区废水：

本项目 3 间甲癌住院病房（2 间双人房、1 间单人房），兼顾 ^{177}Lu 治疗住院。 ^{177}Lu

使用量少且半衰期较 ^{131}I 短。综上，对于碘衰变池设计处理能力的评价，按 3 间住院病房全部为甲癌治疗住院来核算，即当该衰变池设计处理能力能满足全部甲癌住院治疗的话，它也能满足兼顾 ^{177}Lu 治疗住院的要求。

甲癌治疗项目放射性废水排放量：

甲癌患者按每人产生废水量约为 140L/天，每名患者住院 5 天，每周 5 名患者，则存储每天的废水排放量为 0.7m^3 。

甲亢患者按每人产生废水量为 6L，甲亢患者每天 20 人；每周 100 名患者；则存储每天的废水排放量为 0.12m^3 。

核素治疗区污洗与应急冲淋废水排放量为：100L/天，即 $0.1\text{m}^3/\text{天}$ 。

则该项目核素治疗区每天的废水排放总量为： $0.7\text{m}^3+0.12\text{m}^3+0.1\text{m}^3=0.92\text{m}^3$ 。

综上所述，按每周 7 天中有 5 天患者排放放射性废水，碘衰变池 5 天收集废水 4.6m^3 。

碘衰变池由 4 格 41m^3 的子衰变池并联组成，衰变池负责接收核素治疗区产生的废水，注满单个子衰变池约需要 $41\text{m}^3 \div 4.6\text{m}^3/\text{周} \times 7 \text{天}/\text{周} \approx 62.4 \text{天}$ （8.9 周），以此类推，则第 2 格、第 3 格、第 4 格衰变池注满时，已收集满第 1 格衰变池废水暂存的时间为 187 天，大于 180 天，满足“《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（生态环境部辐射源安全监管司，2023 年 9 月 11 日）”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”的要求。

根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005），医疗机构的各种特殊排水应单独收集并进行处理后，再排入医院污水处理站，医院污水处理站进一步处理后纳入市政污水管网排放。放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、等信息。

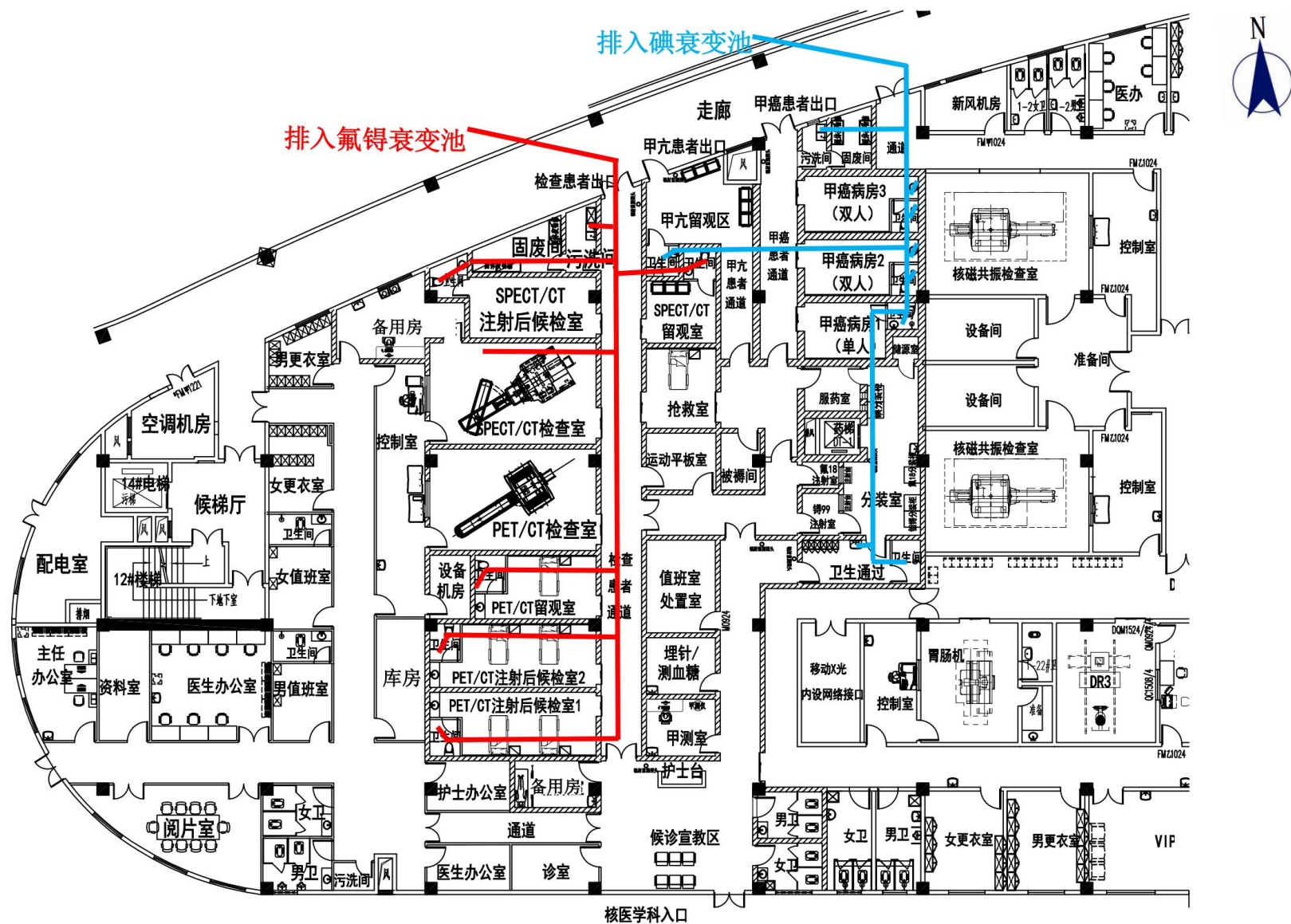


图10.1-7 1#门诊医技楼一层核医学科废水管道布局示意图

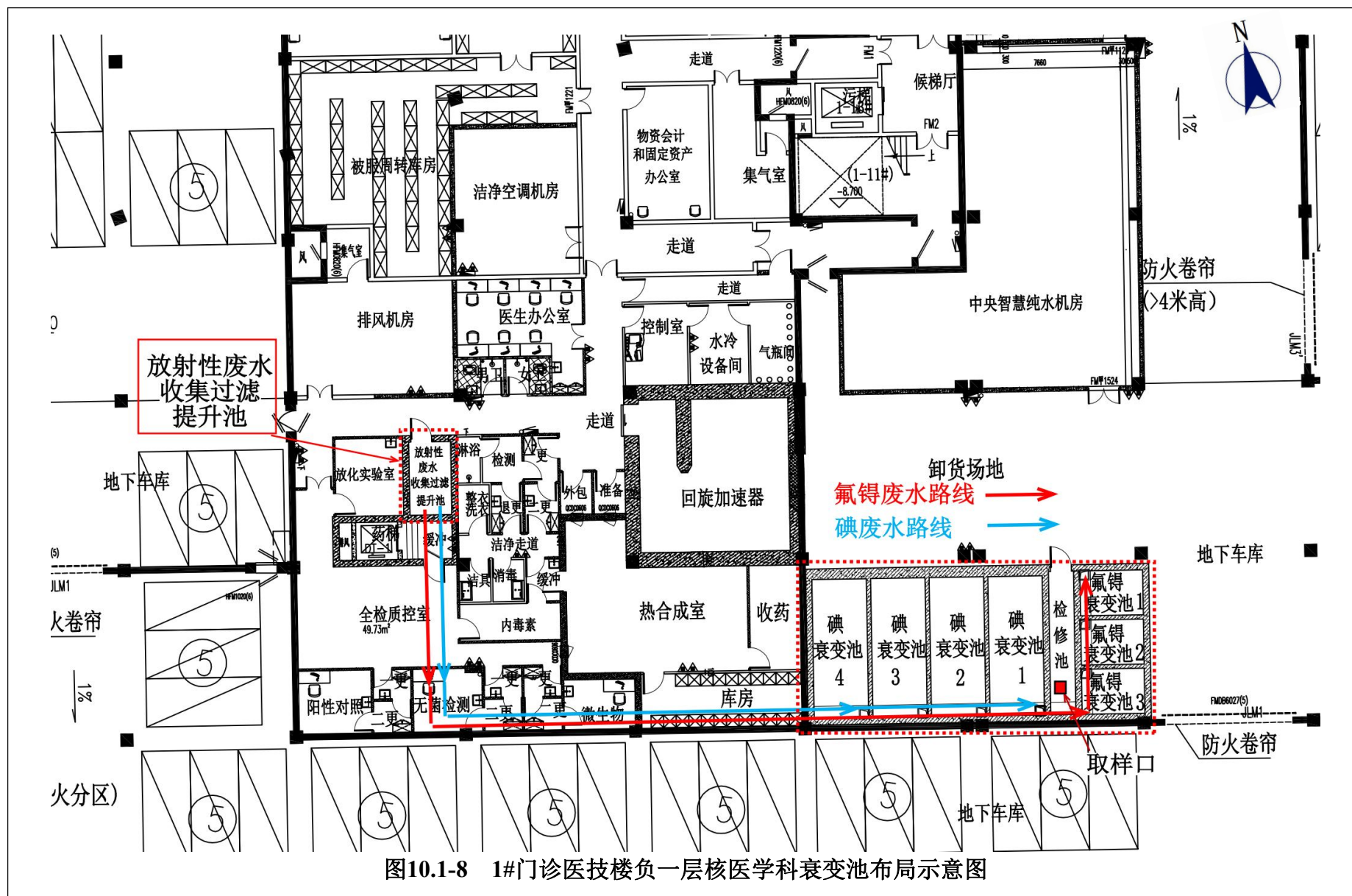


图10.1-8 1#门诊医技楼负一层核医学科衰变池布局示意图

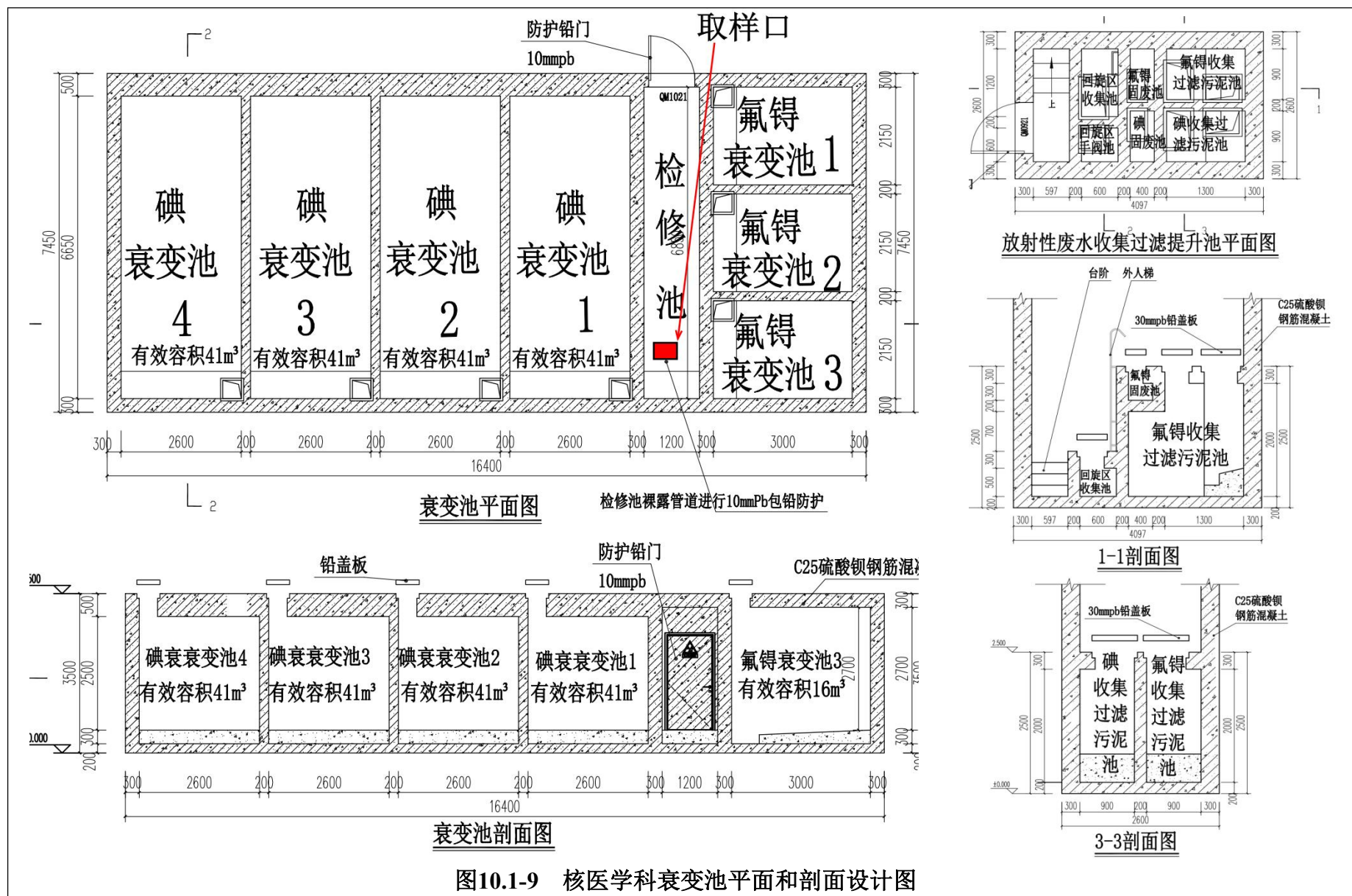


图10.1-9 核医学科衰变池平面和剖面设计图

10.1.10.2 放射性固体废物

本项目核医学科的工作场所共设置 2 间固废间（1 间位于核素显像诊断区、1 间位于核素治疗区）和 1 间放射性被褥间，用于暂存项目开展过程中产生的放射性废物，核素显像诊断区的废物间与核素治疗区分开设置，固废间的分配使用情况如下：

（1）核素显像诊断区（PET/CT 和 SPECT/CT 显像诊断）设置 1 间放射性固废间，在分装室、注射室、注射后候检室、留观室及其它必要区域设置铅废物桶（20mmPb），用于核素操作过程中固体废物的暂存，整个核素显像诊断区的放射性废物集中暂存至放射性固废间封存衰变。放射性废物暂存间内拟设置 5 个的固体衰变箱（20mmPb，70L），每个月固定时间对废物桶进行标记、封装、记录，按单双月轮换使用，放射性固体废物储存时间超过 30 天，经监测满足标准要求可清洁解控按医疗废物处理。

（2）核素治疗区（ ^{131}I 、 ^{177}Lu ）设置 1 间放射性固废间，在服药室、核素甲癌病房、甲亢留观区等可能产生废物的位置设置铅废物桶（30mmPb），用于核素操作过程中固体废物的暂存，整个核素治疗区的放射性废物集中暂存至放射性固废间封存衰变。放射性废物暂存间内拟设置 4 个的固体衰变箱（30mmPb，150L），每个月固定时间对废物桶进行标记、封装、记录，按单双月轮换使用，放射性固体废物储存时间超过 180 天，经监测满足标准要求可清洁解控按医疗废物处理。

（3）核素治疗区（ ^{131}I 、 ^{177}Lu ）设置 1 间放射性被褥间，被褥间用于放置住院患者使用过的衣物及床上用品等；根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），正常换洗的被服经集中暂存超过 1 个半衰期（按 9 天考虑）后可进行清洗。如果出现被污染（如呕吐物）的衣物及床上用品，立即当做放射性固体废物处理存放，存放置铅废物桶其进行封存。对废物桶进行标记、封装、记录，放射性固体废物储存时间超过 180 天，经监测满足标准要求可清洁解控按医疗废物处理。

（4）核医学科废气排放口更换下的废活性炭也属于放射性固体废物，更换下的活性炭将存放于铅废物桶中，标注活性炭存放日期、存放量等，满足清洁解控水平后作为医疗废物处理。

本项目放射性废物按核素种类、污染水平及产生时间进行分类收集，收集一定量后包装并编好日期后置于相应铅固废衰变桶内。放射性废物每袋重量不超过 20kg，且固体放射性废物收集桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，待塑料袋装满放射性废物后应密封并及时转送至固废间贮存。收集的固体废物在专用贮存铅废物桶内存放衰变，待

其所含放射性核素活度衰变至低于相应核素 GB 18871-2002 清洁解控水平推荐限值及 HJ 1188-2021 第 7.2.3.1 款要求时，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），针对放射性固废的收集、贮存和处理提出如下管理措施要求：

（1）放射性固体废物收集

①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；

②建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案；

③放射性固废收集桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，放置刺破废物袋；

④放射性废物每袋重量不超过 20kg，装满废物的塑料袋应密封密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

（2）放射性固废临时贮存和最终处理

①放射性废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录；

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

a)所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

b)所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；

c)含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

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。

非放射性固废处理措施：

本项目产生非放射性医疗废物包括一些药棉、纱布、手套等医用辅料，进入医疗废物暂存、管理系统。根据国家医疗垃圾管理制度，应严格执行医疗垃圾转移联单制度，由具备医疗垃圾回收处理资质的专业单位回收集中处理。同时工作人员也会产生少量的生活垃圾，经医院垃圾桶收集后定期由环卫部门清运。

10.1.10.3 放射性废气

由污染源分析可知，核医学科放射性同位素使用过程介质为水，操作比较简单，不经加热、振荡等步骤。核医学进行分装操作时，为安全起见，均在分装柜中进行操作，不存在食入、吸入等内照射影响。

根据设计院提供的暖通设计图纸，核医学设计有排风系统和送风系统，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染。核医学科废气在排放前经过活性炭吸附过滤装置处理后排放，同时手套箱、分装柜等设备也设置活性炭吸附过滤净化装置。

本项目核医学科控制区工作场所设置 6 路独立的排风系统，每路排风管道均拟设置止回阀，各支管道均设置防倒灌装置，避免废气倒灌和泄漏。排风管道布置图详见图 10.1-10。

1 路排风管道：PET/CT 检查室、SPECT/CT 检查室、运动平板室、抢救室、SPECT/CT 注射后候检室及卫生间、SPECT/CT 留观室及卫生间、核素显像诊断区固废间及污洗间排风汇聚成一条管道，引至核医学科甲亢留观区排风井内，设计排放量为 9000m³/h，排风管道引至该栋楼楼顶，经过活性炭吸附装置过滤后高空排放。

2 路排风管道：PET/CT 注射后候检室 1/2 及卫生间、PET/CT 留观室及卫生间、核素显像诊断区患者通道、备用房排风汇聚成一条管道，单独引至核医学科 PET/CT 注射后候检室 1 天花板排风井内，设计排放量为 5500m³/h，排风管道引至该栋楼楼顶，经过活性炭吸附装置过滤后高空排放。

3 路排风管道：分装室、储源室、¹⁸F 注射室、^{99m}Tc 注射室、核素显像诊断区患者通道排风汇聚成一条管道，单独引至核医学科 PET/CT 注射后候检室 1 天花板排风井内，设计排放量为 3500m³/h，排风管道引至该栋楼楼顶，经过活性炭吸附装置过滤后高空排放。

4 路排风管道：甲亢留观区及卫生间、服药室、被服间、甲癌患者通道、核素治疗区固废间及污洗间排风汇聚成一条管道，引至核医学科甲亢留观区排风井内，设计排放量为 3500m³/h，排风管道引至该栋楼楼顶，经过活性炭吸附装置过滤后高空排放。

5 路排风管道：核素治疗区 3 间甲癌病房及病房卫生间排风汇聚成一条管道，引至核医学科甲亢留观区排风井内，设计排放量为 2000m³/h，排风管道引至该栋楼楼顶，经过活性炭吸附装置过滤后高空排放。

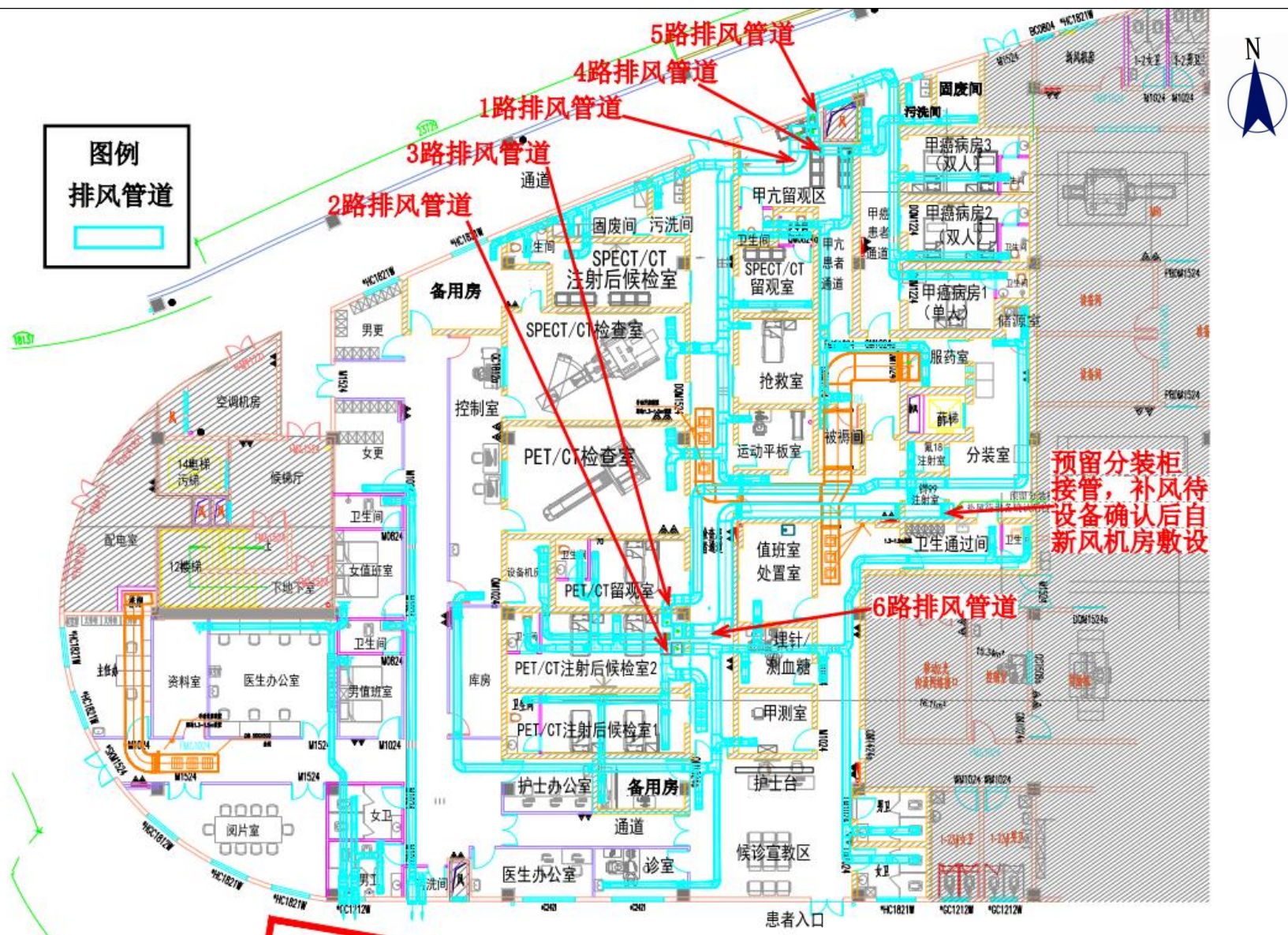
6 路排风管道：分装室内的 ¹⁸F 分装柜通风橱、^{99m}Tc 分装柜通风橱及 ¹³¹I 分装柜通风橱设置有独立的预留排风管道，并在通风橱顶壁安装活性炭或其他过滤装置，风速不小于

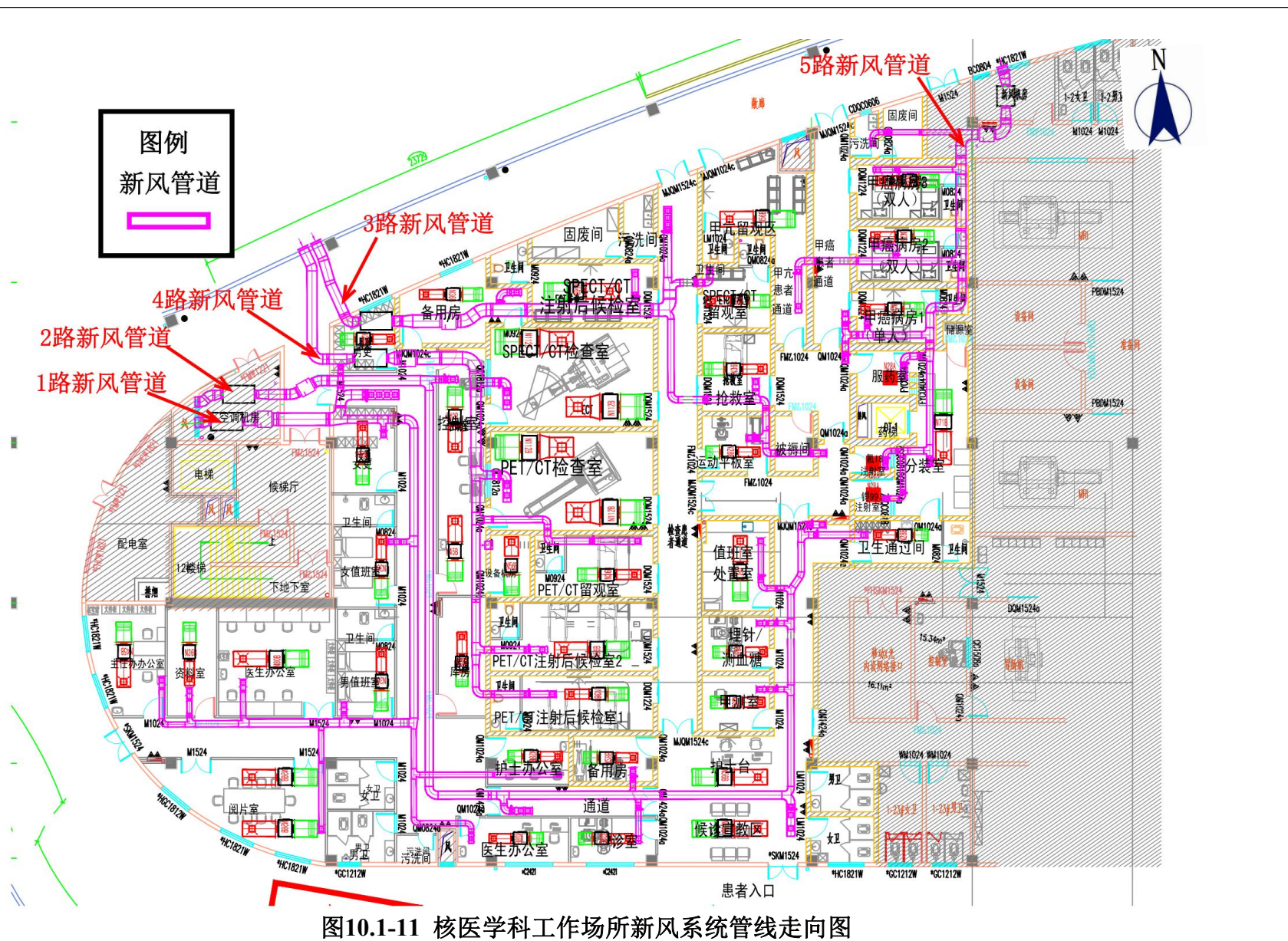
0.5m/s；单独引至核医学科 PET/CT 注射后候检室 1 天花板排风井内，排风管道引至该栋楼楼顶，经过活性炭吸附装置过滤后高空排放。

本项目核医学科工作场所设置 5 路新风送风系统，新风管道布置图详见图 10.1-11。

其中 1 路新风送风量约 6000m³/h，2-5 路每路新风送风量约 4000m³/h，总新风送风量约 22000m³/h；根据前文，核医学科控制区总排风量为 23500m³/h，通风系统设计排风量大于新风量，保证各功能房为负压状态，并在各功能用房排气口前端设在止回阀，防止放射性废气倒流；排气口位于 1#门诊医技楼屋顶，距屋顶高度 2m，核医学科废气在屋顶排放前经过活性炭吸附过滤装置处理后排放。活性炭装置填装量 25kg，平均每半年更换一次，医院根据核医学科工作量、季节及气候不同适时增加活性炭更换频次，以维持活性炭的干燥性，保证其吸附能力，更换下来的过滤吸附装置按照放射性固废进行处理。对于过滤吸附装置需定期更换，以保证良好的过滤效果，更换下来的过滤吸附装置暂存至少 30 天后经检测合格可重复利用或者按照一般固废进行处理。

综上所述，本项目核医学科工作场所排风设计符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中的相关要求。





10.2 放疗科辐射安全与防护

10.2.1 评价规模

本项目评价规模：临桂院区 4#地下室负一层设置放疗科，配备 2 台医用电子直线加速器（II类射线装置），配备 1 台后装治疗机 1 台（拟使用密封性放射源 ^{192}Ir 、III 类放射源）；

10.2.2 工作场所布局

本项目放疗科工作场所位于临桂院区 4#地下室负一层南侧区域，该区域为地上无建筑，地下无负二层建筑。放疗科区域东面相邻为地下车库，南面相邻为地下泥土层，西面相邻为地下车库通道，北面相邻为地下车库通道，楼上相邻为院内通道及空地。

放疗科区域主要用房：2 间加速器机房及配套控制室、1 间后装机机房及配套控制室、1 间插值室、1 间 CT 模拟定位机机房及配套控制室、1 间 MRI 模拟机房及配套控制室、1 间体模库房、1 间工程维修间、1 间登记室、1 间注射室、1 间诊室、1 间物料计划室、1 间模具室、1 间射频室、1 间会议室、1 间主任办公室、2 间值班室、护士站、患者候诊大厅等配套区域。放疗科平面布置示意图见图 1-5。本项目机房相邻环境状况见表 10.2-1。

表 10.2-1 本项目机房相邻环境状况

机房名字	周边布局情况					
	东面	南面	西面	北面	楼上	楼下
1 号加速器机房	2 号加速器机房	泥土层	地下车库通道	控制室、准备区、辅助机房	院内通道、空地	地面
2 号加速器机房	后装机机房、控制室、制作室	泥土层	1 号加速器机房	控制室、准备区、水冷机房	院内通道、空地	地面
后装机机房	通道	泥土层	2 号加速器机房	控制室、插值室	院内通道、空地	地面

10.2.3 工作场所分区管理

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求，辐射工作场所可分为控制区、监督区。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口

及其他适当位置处设立“控制区”中文标识和醒目的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证）和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区的，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的区域。在监督区入口处的合适位置张贴“监督区”中文标识和电离辐射警告标志；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

放疗科工作场所分区示意图见图 10.2-1

（1）控制区

控制区包括（见图 10.2-1 红色区域）：以加速器机房、后装治疗机房屏蔽墙和防护门等屏蔽体为界，加速器机房（包含迷路）和后装治疗机房（包含迷路）划定为控制区，医院拟采取一系列的放射卫生防护与安全措施，设置防护门的门机安全联锁装置，严格限制人员进入控制区，保障在正常治疗的工作过程中，除患者外，无关人员不得在该区内滞留，同时拟在控制区的入口处设立醒目的电离辐射警告标志、工作状态指示灯以保障该区的辐射安全。

（2）监督区

监督区包括（见图 10.2-1 黄色区域）：以加速器机房、后装治疗机房屏蔽墙和防护门外区域，如准备区、控制室、水冷机房、辅助用房、插值室及通道等相邻区域设置为监督区。在所划定监督区内可不采取专门的防护安全措施，但需要定期或不定期地监测其监督区内的辐射剂量水平，为评价放射工作人员及周围人员是否安全提供依据。

因此，本项目控制区和监督区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）以及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）要求。

10.2.4 辐射防护屏蔽设计

1、**机房屏蔽设计：**根据建设方提供的资料，本项目加速器机房及后装治疗机房辐射防护屏蔽设计参数表见表 10.2-2，本项目加速器机房和后装机机房屏蔽设计平面图详见图 10.2-2~图 10.2-3。

表 10.2-2 放疗科机房辐射屏蔽设计技术参数

机房名称	屏蔽体		设计参数、材料及厚度
1 号加速器机房 几何尺寸	净面积		8.16m×7.4m=60.3 m ² （不含迷道）
	净空高		4.0m
	净体积		241.2m ³
1 号加速器机房 迷路几何尺寸	净面积		9.35m×2.2m=20.5m ²
	净空高		4.0m
	净体积		82.0m ³
1 号加速器机房	东	主屏蔽墙	300cm 混凝土（宽度 480cm）
		次屏蔽墙	170cm 混凝土
	南	侧墙	170cm 混凝土
	西	主屏蔽墙	300cm 混凝土（宽度 480cm）
		次屏蔽墙	170cm 混凝土
	北	迷路外墙	150cm 混凝土
		迷路内墙	150cm 混凝土
	顶棚	主屏蔽墙	300cm 混凝土（宽度 480cm）
		主屏蔽墙	170cm 混凝土
防护门		20mmPb 铅板+100mm 含硼聚乙烯	
2 号加速器机房 几何尺寸	净面积		8.16m×7.4m=60.3 m ² （不含迷道）
	净空高		4.0m
	净体积		241.2m ³
2 号加速器机房 迷路几何尺寸	净面积		9.35m×2.2m=20.5m ²
	净空高		4.0m
	净体积		82.0m ³
2 号加速器机房	东	主屏蔽墙	300cm 混凝土（宽度 480cm）
		次屏蔽墙	170cm 混凝土
	南	侧墙	170cm 混凝土
	西	主屏蔽墙	300cm 混凝土（宽度 480cm）
		次屏蔽墙	170cm 混凝土

	北	迷路外墙	150cm 混凝土
		迷路内墙	150cm 混凝土
	顶棚	主屏蔽墙	300cm 混凝土（宽度 480cm）
		主屏蔽墙	170cm 混凝土
	防护门		20mmPb 铅板+100mm 含硼聚乙烯
后装机机房 几何尺寸	净面积		6.55m×5.07m=33.2 m ² （不含迷道）
	净空高		5.05m
	净体积		167.7m ³
后装机机房 迷路几何尺寸	净面积		6.55m×2.0m=13.1m ²
	净空高		5.05m
	净体积		66.2m ³
后装机机房	东屏蔽墙		80cm 混凝土
	南屏蔽墙		80cm 混凝土
	西屏蔽墙（与 1 号加速器机房公用）		170mm~300cm 混凝土
	北屏蔽墙		80cm 混凝土
	顶棚		80cm 混凝土
	防护门		10mmPb 铅板
注：上述表中材料密度：混凝土密度≥2.35g/cm ³ ，铅板密度 11.3g/cm ³ 。			

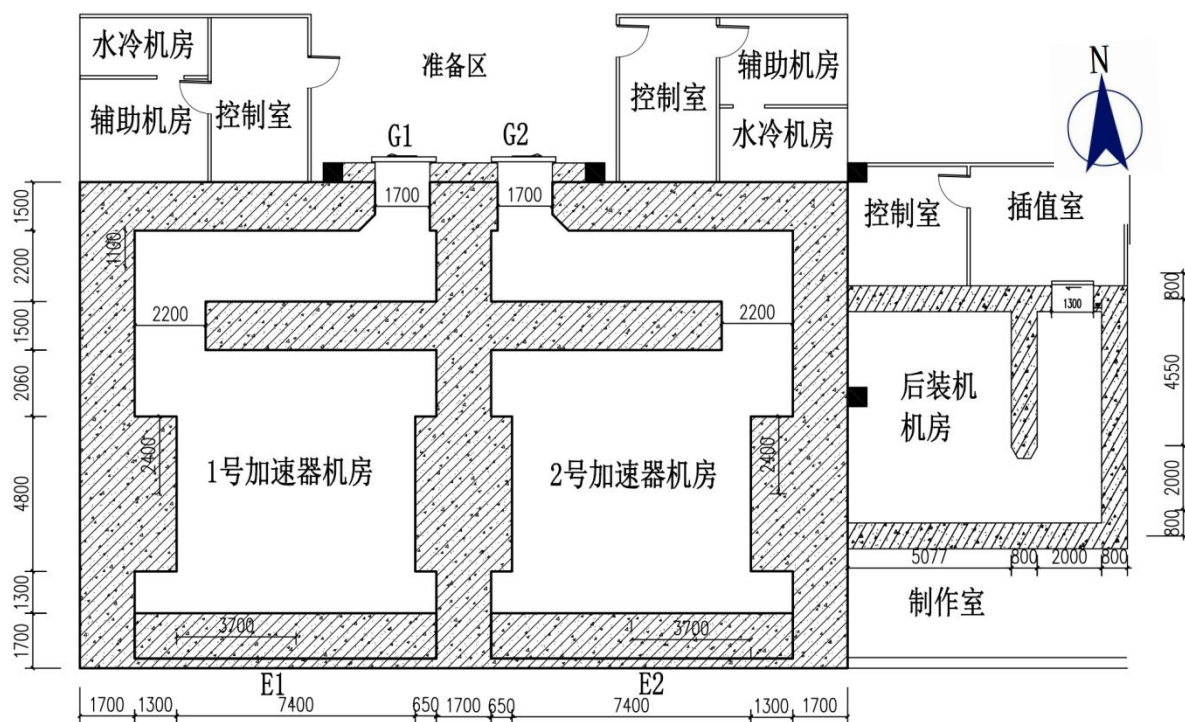


图 10.2-2 加速器机房和后装机机房屏蔽设计平面图

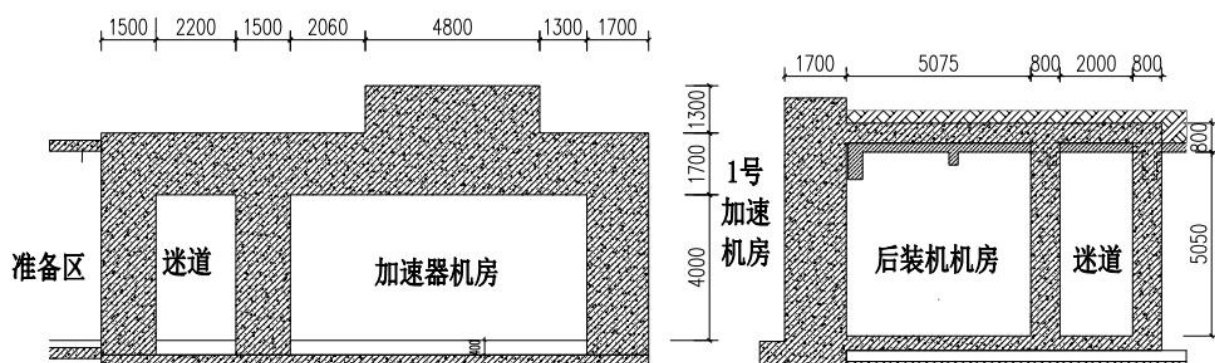


图 10.2-3 加速器机房和后装机机房屏蔽设计剖面图

2、管线穿墙情况

(1) 加速器机房电缆通过地下电缆沟走线，从安装加速器的地坑出线后沿着屏蔽墙内侧走线， 45° 斜穿迷路外墙至辅助用房、水冷机房。电缆沟为下沉式，距地面 30.6cm。后装机机房电缆通过地下电缆沟走线，从安装后装机的地坑出线后沿着屏蔽墙内侧走线， 45° 斜穿迷路外墙至控制室。电缆沟为下沉式，距地面 10cm。通过多次折返的电缆沟设计和下沉地面穿越屏蔽墙的设计，增加泄漏射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。放疗机房电缆沟设计平面图详见图 10.2-4，放疗机房电缆沟穿墙设计方案详见图 10.2-5。

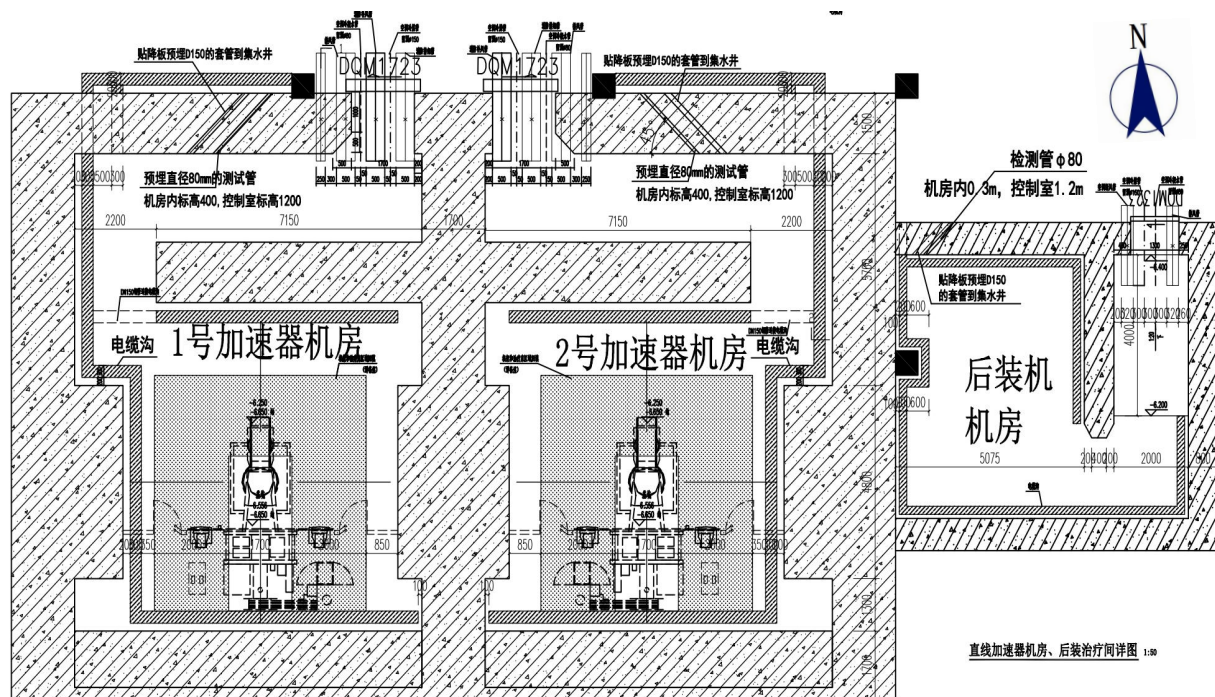


图 10.2-4 放疗机房电缆沟设计平面图

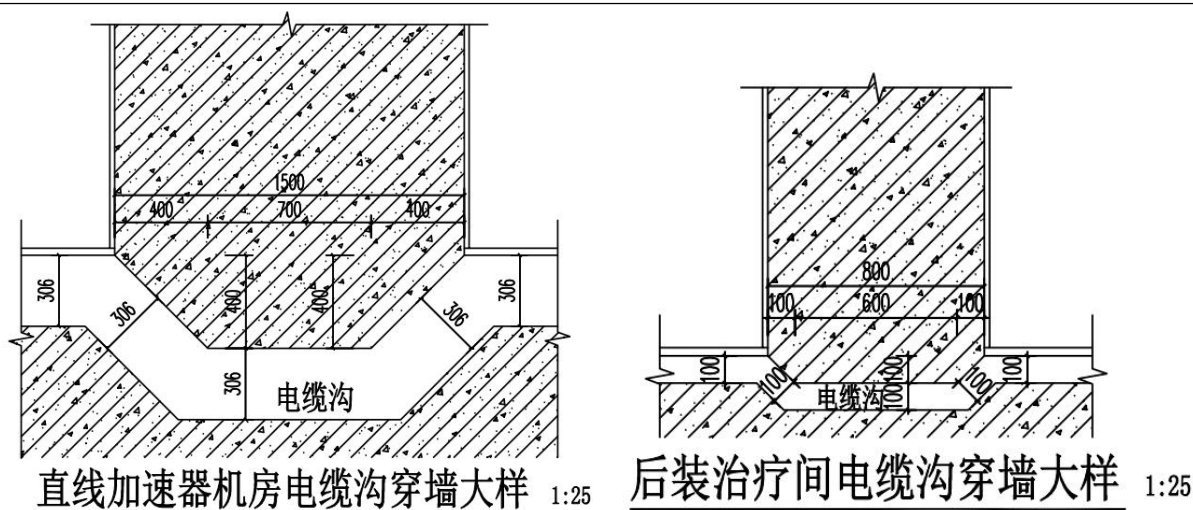


图 10.2-5 放疗机房电缆沟穿墙设计示意图

(2) 本项目加速器和后装机物理测试孔采用 45° 斜穿的设计, 控制室内孔距地 1.2m, 加速器机房迷道内孔距地 0.4m, 后装机机房内孔距地 0.3m, 均预埋直径 80mm 的检测管线, 设计方案详见图 10.2-6。

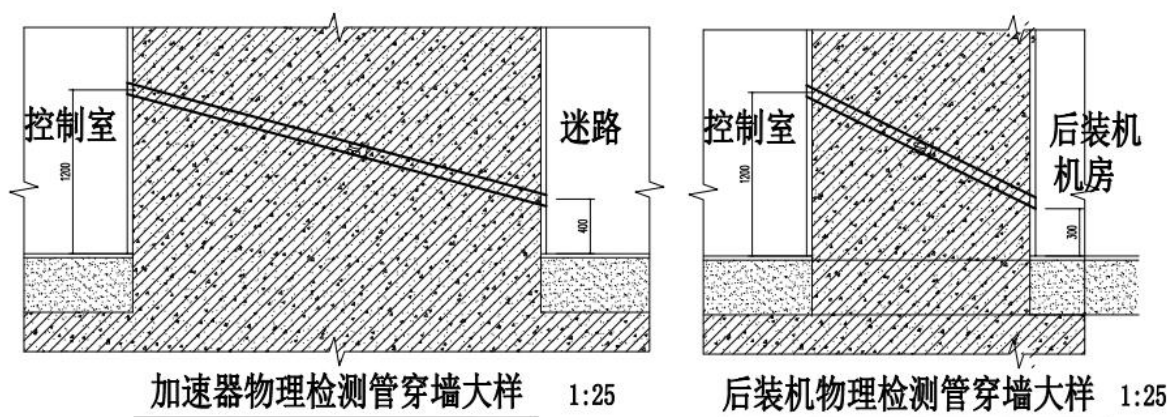


图 10.2-6 放疗机房物理检测管电缆沟穿墙设计示意图

10.2.5 辐射安全防护措施

①放疗装置钥匙开关

加速器和后装机放疗装置本身均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。

②电动防护门门机联锁和手动开门装置

加速器机房的电动防护门均与加速器放疗装置连锁, 门未关紧的情况下, 加速器不能出束, 一旦防护门被打开, 联锁装置即切断该加速器机房内加速器治疗机的出束电源, 使

加速器立即停止出束。每间加速器机房均设置手摇式手动开门装置，在紧急情况下使用。

后装机机房的电动防护门均与后装机放疗装置连锁，门未关紧的情况下，后装机不能出源，出源状态下防护门被打开，放射源回到治疗设备的安全位置。后装机机房设置手摇式手动开门装置，在紧急情况下使用。

③急停按钮

各加速器机房和后装机机房内关键部位墙面、迷路内墙面和控制室内均设置了急停按钮并有明显标志，供紧急停止使用。事故处理完毕后，再于本地复位，放疗装置才能重新启动。

④实时辐射水平监测系统

在加速器机房和后装机机房内均设有固定式在线辐射剂量率监测探头，实时监测到辐射剂量率水平显示在控制室中，并具有报警功能，工作人员可以及时了解放疗装置的工作情况以及机房中的辐射水平。

⑤实时摄像监视和对讲系统

在加速器机房和后装机机房内均设有摄像监视系统，使控制室的工作人员可清楚地观察到治疗室内放疗装置的工作情况，如发生意外情况可及时处理；机房和控制室之间设置对讲系统，方便操作人员与患者的交流。

⑥辐射安全警示设施

加速器机房和后装机机房大门均设置醒目的电离辐射警示牌、工作状态指示灯，在灯箱设置“灯亮勿进 当心辐射”等警示语，当加速器后装机放疗系统运行工作时，门头的指示灯和文字亮。

⑦开关门控制系统

加速器机房和后装机机房门内迷道入口处设置门开关（用以紧急情况下开启防护门），确保一旦有患者家属或维修人员误关在机房内时能及时开门离开，电动推拉门拟设置防夹装置。机房门外设置手摇开门装置（内设手拉葫芦），防护门断电情况下，可手摇开启防护门。

本项目放射治疗机房内安全防护措施布置示意图见图 10.2-7。

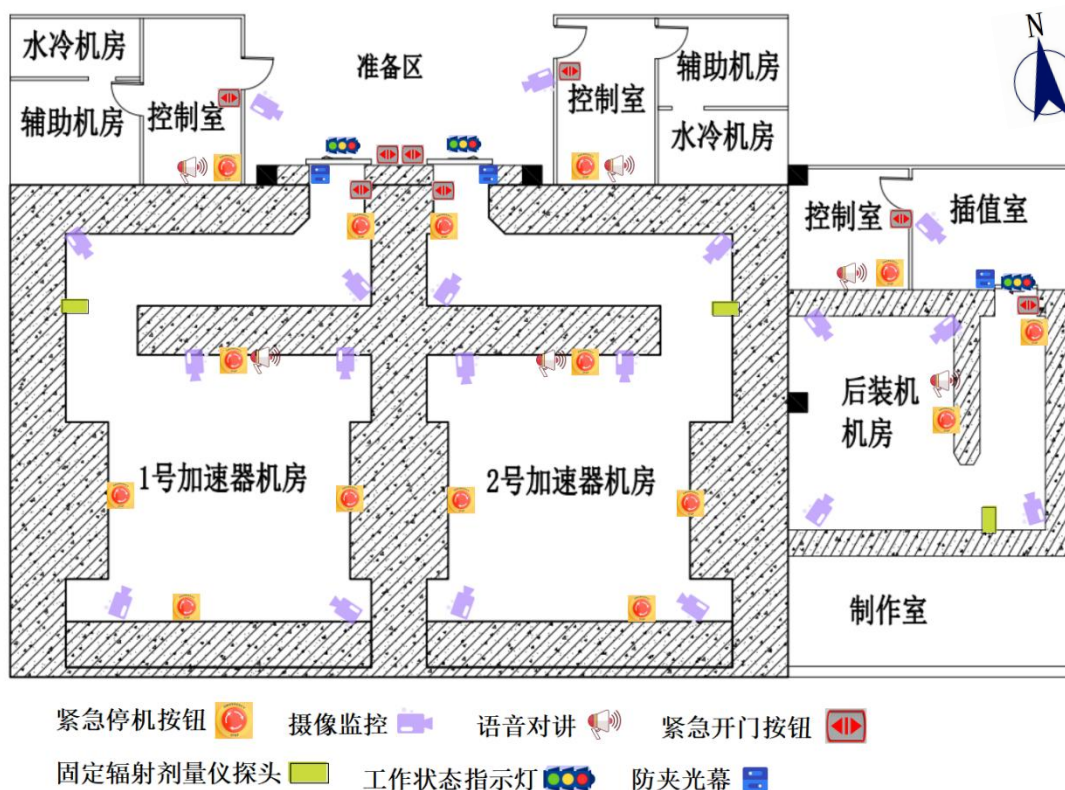


图 10.2-7 放射治疗机房内安全防护措施布置示意图

10.2.6 辐射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）要求，本项目放射治疗机房安全辐射防护措施符合性分析表见表 10.2-3。

表 10.2-3 项目放射治疗机房辐射防护措施与 HJ1198-2021 符合性分析

标准防护要求	建设项目安全设施设计情况	评价
<p>6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等：</p> <p>a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；</p> <p>b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；</p> <p>c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。</p>	<p>a) 加速器机房、后装机机房均设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯；</p> <p>b) 后装治疗机机体表面（贮源容器）设置有电离辐射标志和中文警示说明；</p> <p>c) 放疗机房内均拟安装监控摄像头和对讲系统，在控制室内能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况，并能双向交流对讲。</p>	符合
<p>6.2.2 含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。</p>	<p>本项目加速器机房、后装机机房均拟在迷道的内入口设置固定式辐射剂量监测仪，具备异常情况下报警功能，在控制室内设置屏幕显示。</p>	符合

<p>6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：</p> <p>a) 放射治疗室应设置门—机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；</p> <p>b) 放射治疗室应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；</p> <p>c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。</p> <p>f) 安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。</p>	<p>a) 加速器机房、后装机机房拟设门—机联锁装置，实现防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门放射源回到治疗设备的安全位置；后装治疗机设有断电自动回源装置；</p> <p>b) 加速器机房、后装机机房拟设置室内紧急开门装置，防护门设置带状红外探测防夹伤功能；</p> <p>c) 本项目控制室、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、设置急停按钮；急停按钮安装位置有醒目标识及文字。</p> <p>f) 项目建成后，医院加强管理，明确要求工作人员做到：安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装、调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过医院辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试，正常后由相关管理人员进行确认。</p>	符合
<p>6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。</p>	<p>后装机机房内拟配备合适的应急贮源容器和长柄镊子。</p>	

由表 10-11 可知，本项目加速器机房、后装治疗室按相关标准要求进行了设计，机房的辐射防护措施均符合相关规定要求，医院应严格按照设计方案进行建设。本项目机房布局合理防护设施健全，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求。

10.2.7 防护用品及其它相关质控配套设备

根据本次环评项目实际情况，需配备辐射防护用品及其它相关质控配套设备详见下表 10.2-4。

表 10.2.4 本项目需配备的防护用品及其它相关质控配套设备一览表

场所	防护用品及其它相关质控配套设备
加速器机房	便携式辐射剂量率测量仪（共用）1 台、固定式剂量报警装置 1 套、个人剂量报警仪 4 台、视频监控系统 1 套、个人剂量计每人一枚。 放疗剂量仪 1 套。
后装机机房	便携式辐射剂量率测量仪（共用）1 台、固定式剂量报警装置 1 套、个人剂量报警仪 2 台、视频监控系统 1 套、个人剂量计每人一枚。 井型电离室 1 套。

10.2.8 放疗科项目三废的治理

1、放射性废水

本项目加速器装置均采用水冷却方式，冷却水是在封闭的系统中循环利用，不外排，因此加速器机房内不涉及废水排放。后装机机房不产生放射性废水。

2、放射性固废

(1) 加速器运营过程中更换金属靶件时，会产生废靶件，废靶件属于放射性固体废物。废靶件由加速器供应商回收，不会在医院存储。

(2) 后装机使用的 ^{192}Ir 属于Ⅲ类放射源，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十八条，转让Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类放射源的，转让双方应当签订废旧放射源返回协议。因此在确定采购放射源的单位后，医院将与供源单位签订废旧放射源返回协议，废旧放射源由供源单位换源时直接回收，不在院内储存，并承诺在废旧放射源交回生产单位或者送交废旧放射源收贮单位贮存活动完成之日起二十日内，报其所在地的省级人民政府生态环境主管部门备案。

3、放射性废气

放射治疗机房内射线与空气作用，可能会产生 O_3 和氮氧化物等有害气体，如果治疗室的通风量不够，则有害气体的积累会危害人体的健康。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）要求，放射治疗机房室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不小于4次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

(1) 加速器机房通风设施

进风管由机房大门经迷路上方进入机房，采用上进风下排风设计，进风管道吊装在机房顶面，均在2间加速器治疗室内顶面设置2个进风口，其中1号加速器机房进风口位于治疗室东侧；2号加速器机房进风口位于治疗室西侧。

排风管由机房大门经迷路上方进入机房，排风管道吊装在机房顶面，均在2个加速器治疗室内离地30cm处设置1个排风口，其中1号加速器机房排风口位于治疗室内东北侧；2号加速器机房排风口位于治疗室西北侧。通风管线均沿机房顶棚走线，走至通过直线加速器防护门上方呈“Z”字型穿过迷路外墙。废气管道连接直通放疗科区域的风机房排风井中，排风井引至地面一层进行排放，排风井位于医院空地，排风口高于地面约1.8米处，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021），“排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置”的要求。

本项目每个加速器机房容积（含迷路）约为323.2m³，拟设计通风率为每小时通风换气5次，则选取的通风机通风量（未考虑风损）应大于1616m³/h。医院拟设置1台排风量6500m³/h的高效混流轴通风机，对加速器机房进行排风，满足通风量应大于1606m³/h的要求。

（2）后装机房通风设施

进风管由机房大门经迷路上方进入机房，采用上进风下排风设计，进风管道吊装在机房顶面，在后装机治疗室内顶面设置2个进风口，进风口位于治疗室南侧。

排风管由机房大门经迷路上方进入机房，排风管道吊装在机房顶面，均后装机治疗室内离地30cm处设置1个排风口，排风口位于治疗室西南侧。通风管线均沿机房顶棚走线，走至通过直线加速器防护门上方呈“Z”字型穿过迷路外墙。废气管道连接直通放疗科区域的风机房排风井中，排风井引至地面一层进行排放，排风井位于医院空地区域，排风口高于地面约1.8米处，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021），“排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置”的要求。

本项目后装机机房容积（含迷路）约为233.2m³，拟设计通风率为每小时通风换气5次，则选取的通风机通风量（未考虑风损）应大于1166m³/h。医院拟设置1台排风量6500m³/h的高效混流轴通风机，对后装机机房进行排风，满足通风量应大于1166m³/h的要求。

综上所述，本项目加速器和后装机机房通风设施设计满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）要求。

本项目放疗机房进排风系统管道穿墙部分示意图见图10.2-8，放疗科工作场所新风系统平面布置示意图见图10.2-9，放疗科工作场所排风系统平面布置示意图见图10.2-10。

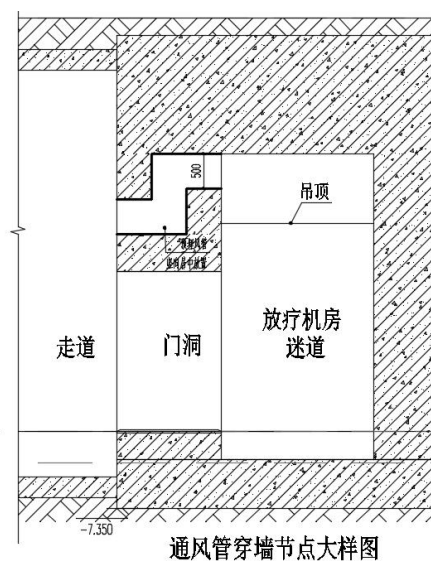


图10.2-8 放疗机房进排风系统管道穿墙部分示意图

10.3 介入手术项目辐射安全与防护

10.3.1 评价规模

本项目评价规模：临桂院区 1#门诊医技楼一层设置放射科，配备 1 台 DSA 设备 1 台；1#门诊医技楼一层设置急诊中心，配备 1 台 DSA+CT 复合装置；拟在 1#门诊医技楼二层设置内镜中心，配备 1 台 ERCP 设备；拟在 1#门诊医技楼四层设置手术室，配备 4 台 DSA 设备。上述配备 6 台 DSA 和 1 台 ERCP 射线装置均属于Ⅱ类射线装置、1 台滑轨 CT 射线装置属于Ⅲ类射线装置。

10.3.2 工作场所布局

本项目介入手术项目主要用房相邻区域布局情况见表 10.3-1，工作场所布局见图 10.3-1~图 10.3-7。

表 10.3-1 本项目介入手术项目机房周边场所布局一览表

机房名字	周边布局情况					
	东面	南面	西面	北面	楼上	楼下
1#门诊医技楼一层放射科 DSA 机房	准备区、无菌品库	放射科通道	医护通道、污物通道	控制室	心电图室、医护通道	地下车库
1#门诊医技楼一层急诊中心 DSA+C 复合手术室	准备间	通道	CT 控制室、患者更衣室	DSA 控制室、医护通道	检验科样本制备区、打断区、微生物室、鉴定药敏室、细胞室	地下车库、通道
1#门诊医技楼四层手术区 DSA1 机房	手术区 DSA2 机房	洁净通道	控制室、设备间、护士站	污物间	楼顶通道	水处理室
1#门诊医技楼四层手术区 DSA2 机房	控制室、设备间、标本存放室	洁净通道	手术区 DSA1 机房	污物间	楼顶通道、排烟机房	干库房、湿库房、配夜间
1#门诊医技楼四层手术区 DSA3 机房	控制室、污物通道	控制室	洁净通道	洁净通道	洁净空调机房	治疗室、病房
1#门诊医技楼四层手术区 DSA4 机房	污物通道	缓冲区	洁净通道	控制室、设备间	洁净空调机房	办公室、设备机房
1#门诊医技楼二层内镜中心 ERCP 机房	控制室	医护通道	通道	通道	病理科诊断室	值班室、医护通道、库房

介入手术项目机房布局与《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）对照分析见表 10.3-2。

表 10.3-2 机房布局与标准对照分析

项目	《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)	本项目设置情况	是否满足要求
机房布局	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。	介入手术项目设备均设有单独的机房，机房满足设备的布局要求	满足
	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。	射线装置机房分别拟设置在门诊医技一层放射科及急诊中心、门诊医技综合楼二层内镜中心、门诊医技楼四层手术室，均采取了相应的屏蔽防护措施，考虑了邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。	
	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。	本项目介入手术项目设备有用线束垂直向上/向下，有用线束没有直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	满足
机房尺寸	最小有效使用面积不小于 20m ² ，最小单边长不小于 3.5m	1#门诊医技楼一层放射科 DSA 机房为：6.80m×6.90m=46.92m ² 1#门诊医技楼一层急诊中心 DSA+CT 复合手术室为： DSA 部分：7.02m×10.8m=75.81m ² CT 部分：5.96m×7.5m=44.70m ² 1#门诊医技楼二层内镜中心 ERCP 机房为：5.20m×5.50m=28.60m ² 1#门诊医技楼四层手术区 DSA1 机房为：6.60m×11.0m=72.60m ² 1#门诊医技楼四层手术区 DSA2 机房为：6.80m×9.20m=62.56m ² 1#门诊医技楼四层手术区 DSA3 机房为：7.00m×9.10m=63.70m ² 1#门诊医技楼四层手术区 DSA4 机房为：6.80m×13.0m=88.40m ²	满足

经对照分析可知，本项目 6 间 DSA 手术机房及 1 间 ERCP 机房的设置满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）平面布局的要求，采取了防辐射的屏蔽措施，能够满足放射诊疗需求，并且保证相邻场所的防护安全，因此，本项目工作场所布局合理。

10.3.3 工作场所分区管理

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，辐射工作场所可分为控制区、监督区。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督

和评价的区域。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立“控制区”中文标识和醒目的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证）和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区的，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的区域。在监督区入口处的合适位置张贴“监督区”中文标识和电离辐射警告标志；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

介入手术项目辐射工作场所分区情况见图 10.3-1~10.3-4。

（1）控制区

控制区包括（见图 10.3-1~10.3-4 红色区域）：结合项目辐射防护情况，将上述 6 间 DSA 手术机房及 ERCP 机房内部区域划为控制区；控制区通过实体屏蔽措施、警示标志等进行控制管理，在射线装置使用时，除介入治疗的医护人员和患者外，禁止其他人员进入；

（2）监督区

监督区包括（见图 10.3-1~10.3-4 黄色区域）：将上述上述 6 间 DSA 手术机房及 ERCP 机房外 30cm 非控制区的区域内划为监督区；监督区通过辐射危险警示标志提醒人员尽量避开该区域，并委托有资质的单位定期对监督区进行监测、检查，如果发现异常应立即查找原因、进行整改，整改完成后方可继续使用射线装置。

因此，本项目控制区和监督区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

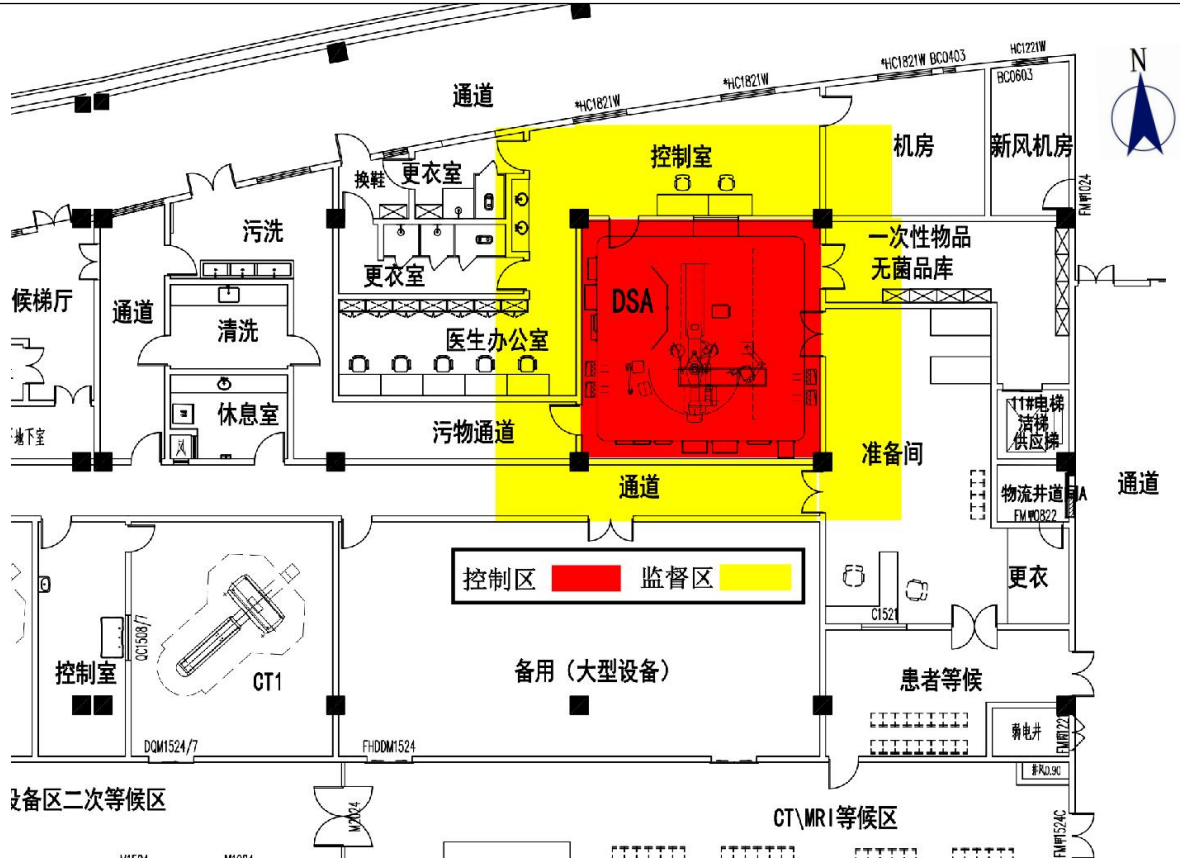


图 10.3-1 1#门诊医技楼一层放射科 DSA 机房工作场所分区示意图

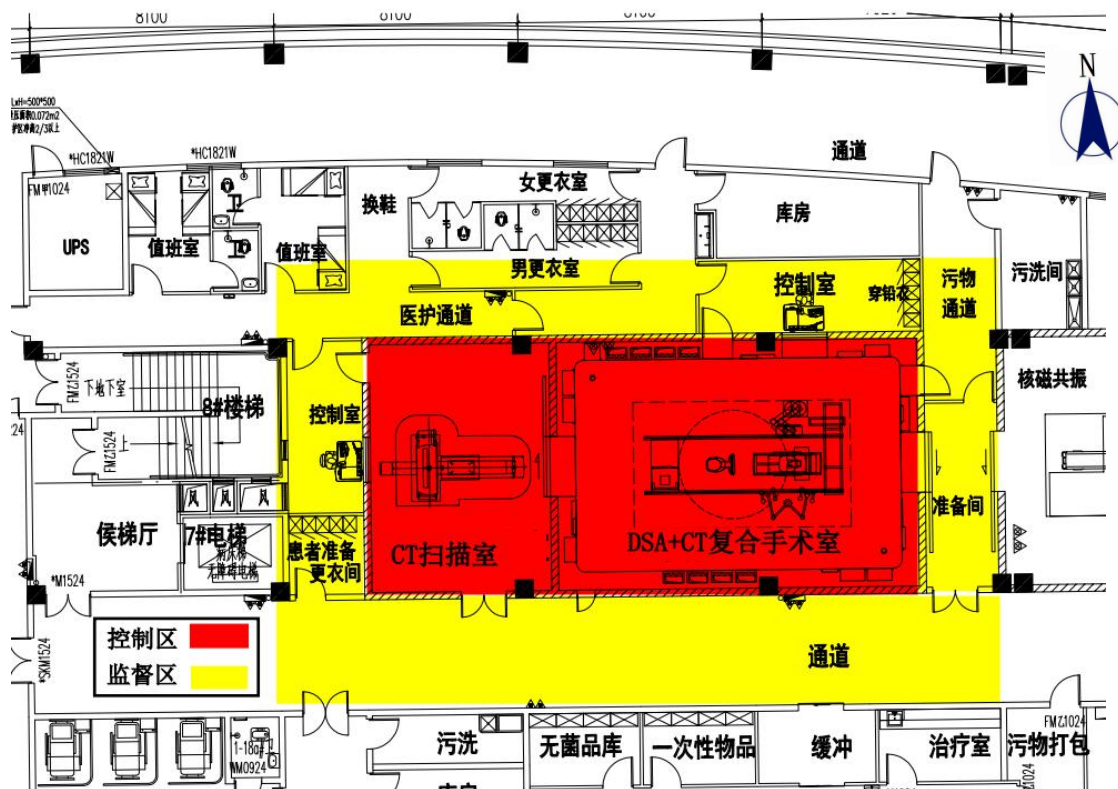


图 10.3-2 1#门诊医技楼一层急诊中心 DSA+CT 复合手术室工作场所分区示意图

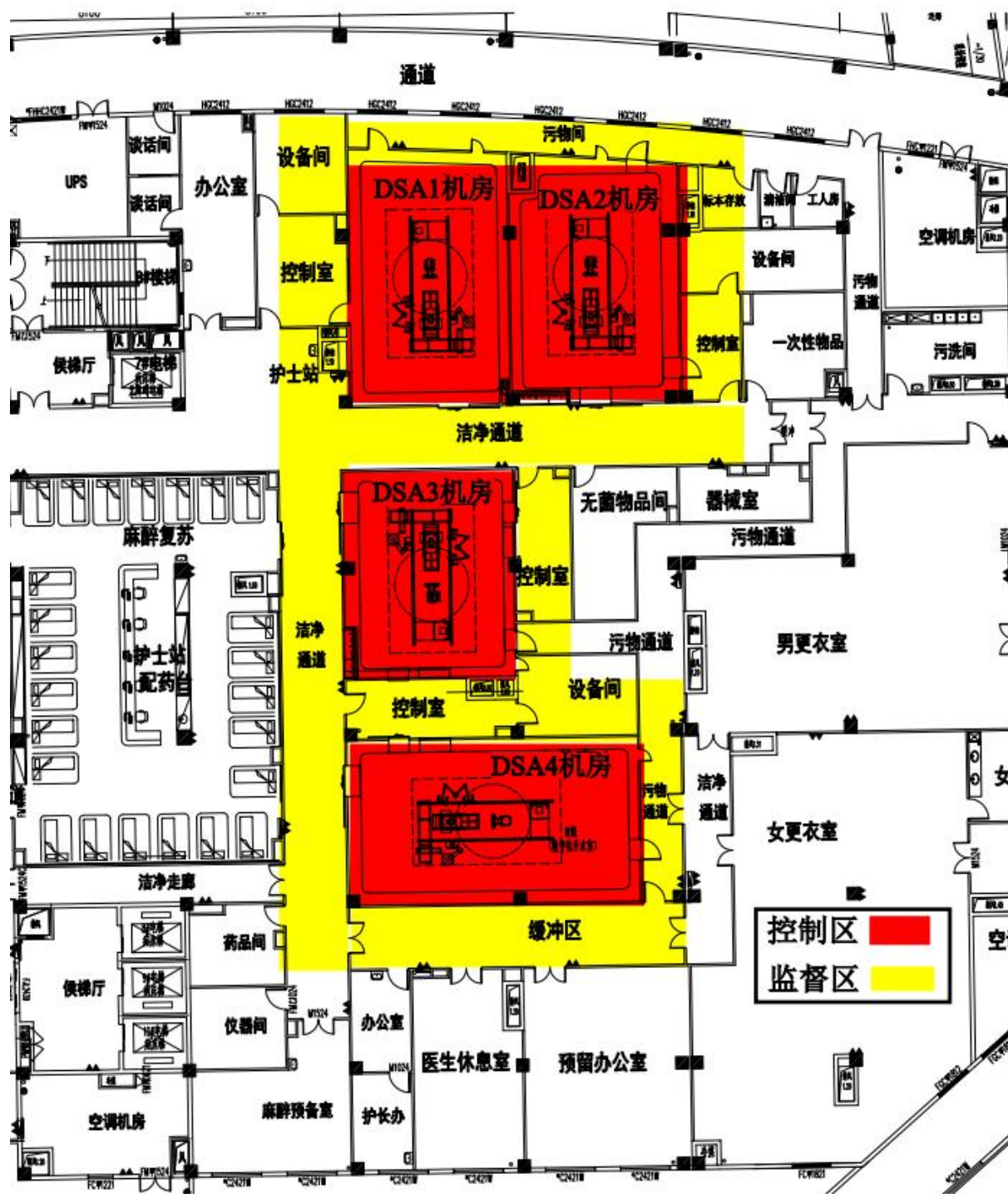


图 10.3-3 1#门诊医技楼四层手术区 DSA 机房工作场所分区示意图

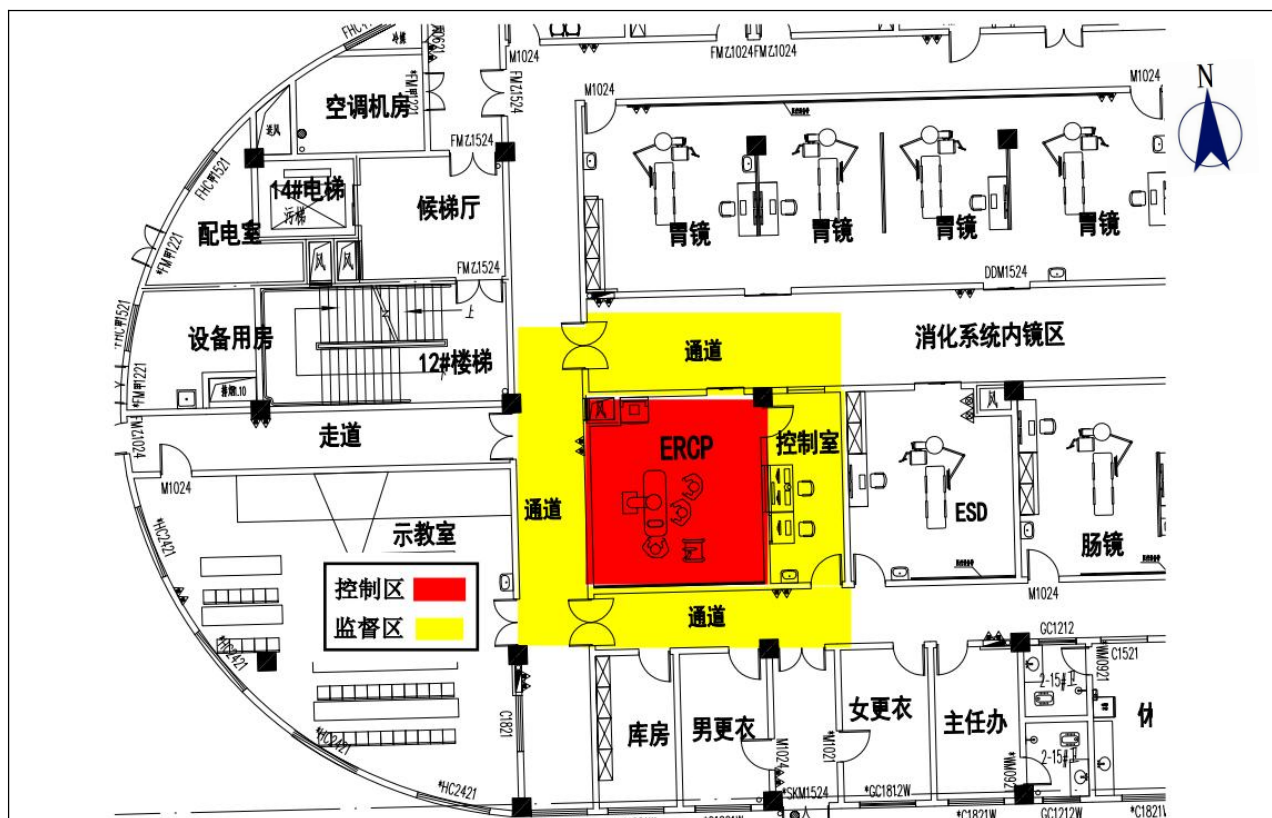


图10.3-4 1#门诊医技楼二层内镜中心ERCP机房工作场所分区示意图

10.3.4 辐射防护屏蔽设计

根据建设方提供的资料，介入手术项目机房防护设计方案，将机房各屏蔽体的主要技术参数列表分析，并根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对 X 射线机房屏蔽措施、防护措施，对本评价项目设置情况进行对照分析，结果见表 10.3-3。

表 10.3-3 本项目介入手术项目机房拟采取屏蔽措施分析

机房名称	屏蔽体		屏蔽防护设计厚度	等效铅当量 mmPb	标准要求铅当量 mmPb	是否符合要求
1#门诊医技楼一层放射科 DSA 机房	四面墙体		20cm 多孔砖+4mmPb 硫酸钡复合防护板	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
	地板		20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料	6.0mmPb	2.0mmPb	符合
	天棚		12cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡复合防护板	5.0mmPb	2.0mmPb	符合
	防护门（4 扇）		4.0mmPb 铅板	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
	观察窗		4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
1#门诊医技楼一层急诊中心 DSA+CT 复合手术室	DSA 机房	四面墙体	20cm 多孔砖+4.0mmPb 铅板	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
		地板	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料	6.0mmPb	2.0mmPb	符合
		天棚	12cm 混凝土+4mmPb 铅板	5.0mmPb	2.0mmPb	符合

		防护门 (5 扇)	4.0mmPb 铅板	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
		观察窗	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
	CT 机房	四面墙体	4.0mmPb 铅板	4.0mmPb	2.5mmPb	符合
		地板	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料	6.0mmPb	2.5mmPb	符合
		天棚	12cm 混凝土+4mmPb 铅板	5.0mmPb	2.5mmPb	符合
		防护门 (3 扇)	4.0mmPb 铅板	4.0mmPb	2.5mmPb	符合
		观察窗	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.5mmPb	符合
	1#门诊医技楼 二层内镜中心 ERCP 机房	四面墙体	20cm 多孔砖+4.0mmPb 铅板	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
		地板	12cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料	5.0mmPb	2.0mmPb	符合
		天棚	12cm 混凝土+4mmPb 铅板	5.0mmPb	2.0mmPb	符合
		防护门 (2 扇)	4.0mmPb 铅板	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
		观察窗	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
	1#门诊医技楼 四层手术区 DSA1 机房	四面墙体	4.0mmPb 铅板	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
		地板	12cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料	5.0mmPb	2.0mmPb	符合
		天棚	12cm 混凝土+4mmPb 铅板	5.0mmPb	2.0mmPb	符合
		防护门 (4 扇)	4.0mmPb 铅板	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
		观察窗	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
	1#门诊医技楼 四层手术区 DSA2 机房	四面墙体	4.0mmPb 铅板	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
		地板	12cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料	5.0mmPb	2.0mmPb	符合
		天棚	12cm 混凝土+4mmPb 铅板	5.0mmPb	2.0mmPb	符合
		防护门 (4 扇)	4.0mmPb 铅板	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
		观察窗	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
	1#门诊医技楼 四层手术区 DSA3 机房	四面墙体	4.0mmPb 铅板	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
		地板	12cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料	5.0mmPb	2.0mmPb	符合
		天棚	12cm 混凝土+4mmPb 铅板	5.0mmPb	2.0mmPb	符合
		防护门 (3 扇)	4.0mmPb 铅板	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
		观察窗	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.0mmPb	符合

1#门诊医技楼 四层手术区 DSA4 机房	四面墙体	4.0mmPb 铅板	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
	地板	12cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料	5.0mmPb	2.0mmPb	符合
	天棚	12cm 混凝土+4mmPb 铅板	5.0mmPb	2.0mmPb	符合
	防护门（4 扇）	4.0mmPb 铅板	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
	观察窗	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	2.0mmPb	符合
注：1、实心砂砖密度不小于 1.65g/cm ³ 、混凝土密度不小于 2.35g/cm ³ ，硫酸钡防护涂料机硫酸钡复合防护板密度不小于 3.2.g/cm ³ ，铅板密度不小于 11.34g/cm ³ 。2、不同屏蔽物质等效铅当量厚度参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 中 C.4 和 C.5 取值。					

通过表 10.3-3 可知，本项目相关介入手术机房的四面墙体、顶棚、地板、防护门以及观察窗采取了辐射屏蔽措施，充分考虑了邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度符合标准要求，从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本项目拟建 DSA 机房的屏蔽措施设计满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关屏蔽措施的技术要求。

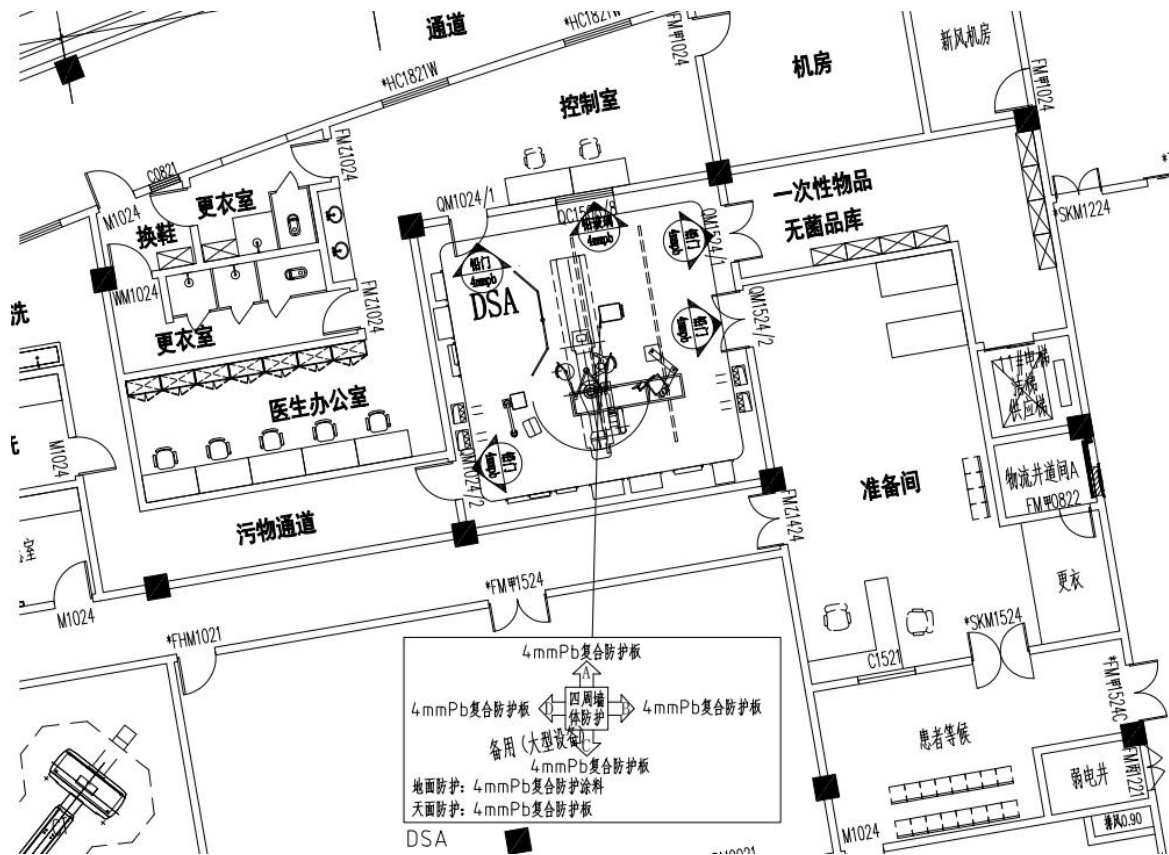


图10.3-5 1#门诊医技楼一层放射科DSA机房屏蔽防护设计示意图

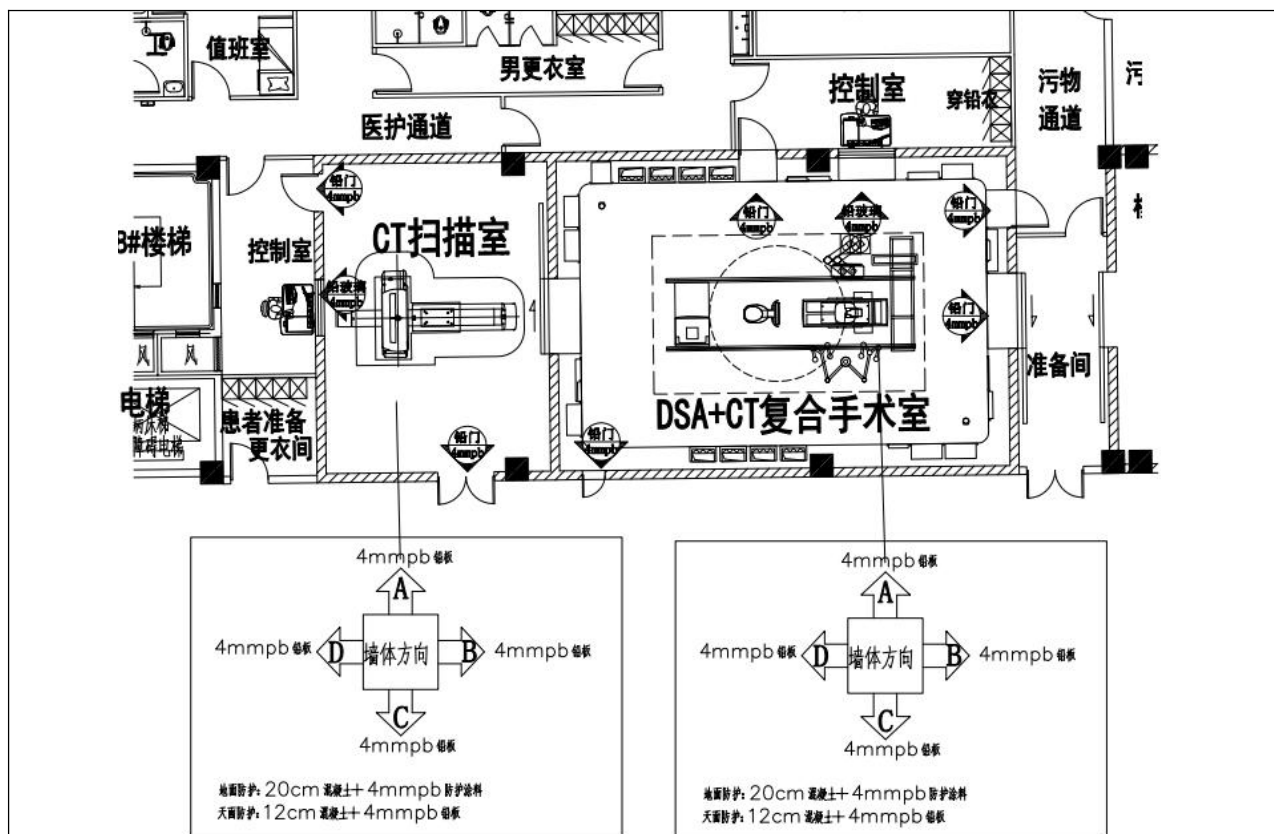


图10.3-6 1#门诊医技楼一层急诊中心DSA+CT复合手术室屏蔽防护设计示意图

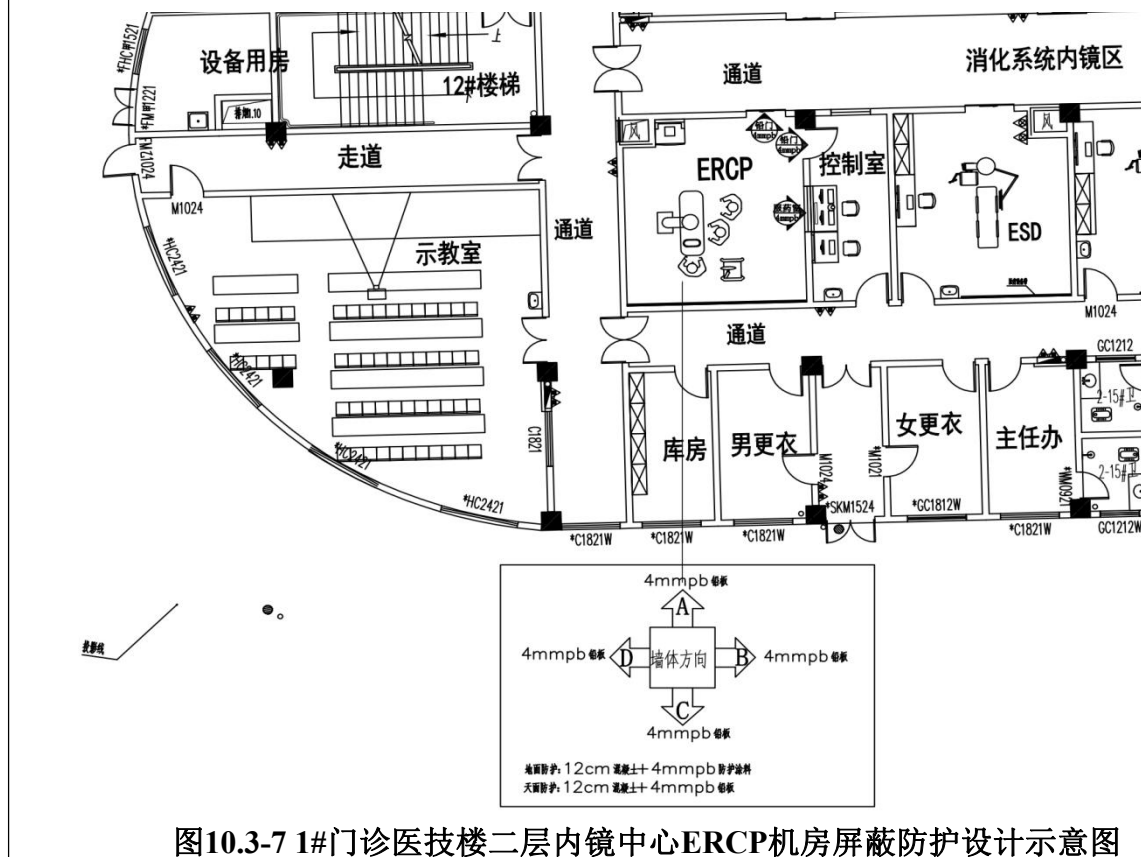


图10.3-7 1#门诊医技楼二层内镜中心ERCP机房屏蔽防护设计示意图

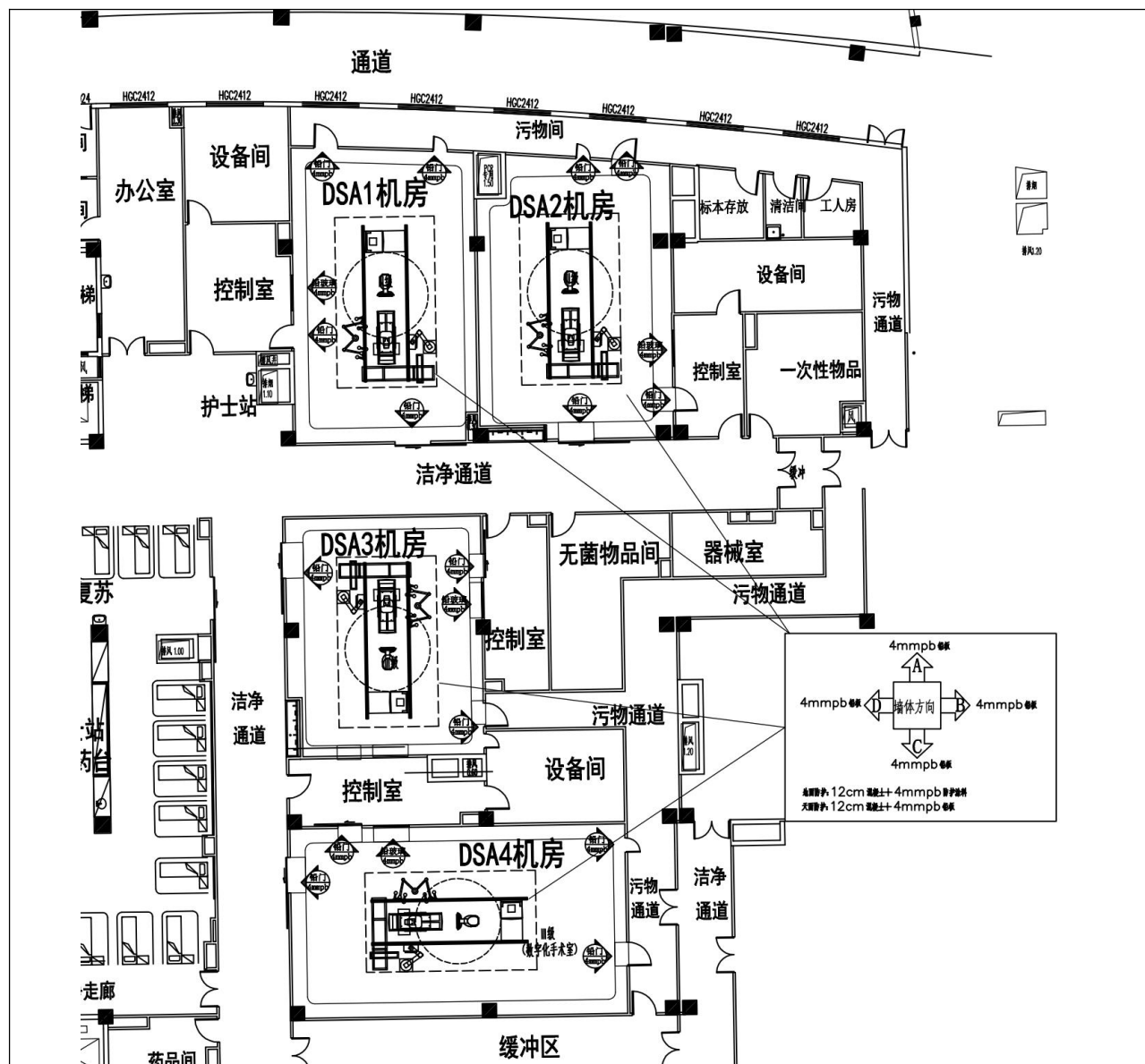


图10.3-8 1#门诊医技楼四层手术区DSA机房屏蔽防护设计示意图

10.3.5 防护用品

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），医院拟为辐射工作人员和受检者分别配备相应的个人防护用品，供工作人员、受检者使用，具体个人防护用品拟配备情况如表 10.3-5 所示。

表 10.3-5 本项目介入手术项目防护用品拟配备情况

机房	标准要求			拟配备情况		评价
	防护用品/辅助设施	适合人群	铅当量 mmPb	铅当量 mmPb	数量 件/套	
每间 DSA 机 房、ERCP 机	成人铅橡胶帽子（选配）	患者	≥0.25	≥0.35	1	符合
	成人铅橡胶方巾		≥0.5	≥0.5	1	

房	成人铅橡胶颈套			≥ 0.5	1	
	儿童铅橡胶帽子（选配）			≥ 0.5	1	
	儿童铅橡胶方巾			≥ 0.5	1	
	儿童铅橡胶颈套			≥ 0.5	1	
	成人铅橡胶帽子（选配）	工作人员	≥ 0.25	≥ 0.5	4	符合
	成人铅橡胶颈套		≥ 0.5	≥ 0.5	4	
	成人铅橡胶围裙		≥ 0.25	≥ 0.5	4	
	铅防护眼镜			≥ 0.5	1	
	铅悬挂防护屏			≥ 0.5	1	
	铅防护吊帘			≥ 0.5	1	
	床侧防护帘			≥ 0.5	1	
	床侧防护屏			≥ 0.5	1	
	移动铅屏风（选配）		≥ 2.0	≥ 2.0	1	
	介入防护手套		≥ 0.025	≥ 0.025	4	

本项目拟配的个人防护用品与防护设施配置类型、数量以及防护用品铅当量均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求。

10.3.6 辐射安全防护措施

本项目防护措施设计方案与标准《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）对照分析见表 10.3-4 所示。

表 10.3-4 本项目介入手术项目机房防护措施与标准对照表

项目	《放射诊断放射防护要求》 （GBZ130-2020）	本项目设置情况	是否满足要求
防护措施	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	介入手术项目机房拟设有观察窗，观察窗设置于机房和控制室之间，观察窗的位置能够方便地观察到患者和受检者状态	满足
	机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物	机房内拟设置储物柜，放置手术所需的用品。不堆放诊断无关的杂物。	满足
机房通风	机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风	拟设有机械通风系统，使机房保持良好的通风	满足
标志、指示灯	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	机房门外拟有电离辐射警告标志；机房门上方拟设有醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句	满足
	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	本项目机房洁净通道防护门均为电动推拉门，且均拟设置自动闭门装置与红外防夹装置；其余防护门为手动平开门，均拟设置自动闭门装置；	满足

	工作状态指示灯能与机房门有效关联	本项目机房拟设置门灯联锁，机房工作状态指示灯拟与机房门有效关联	满足
	候诊区应设置放射防护注意事项告知栏	候诊区拟放射防护注意事项告知栏	满足
受检者候诊区	受检者不应在机房内候诊	本项目相关介入治疗机房的候诊区均拟设置于机房外侧，受检者均不在机房内候诊。	

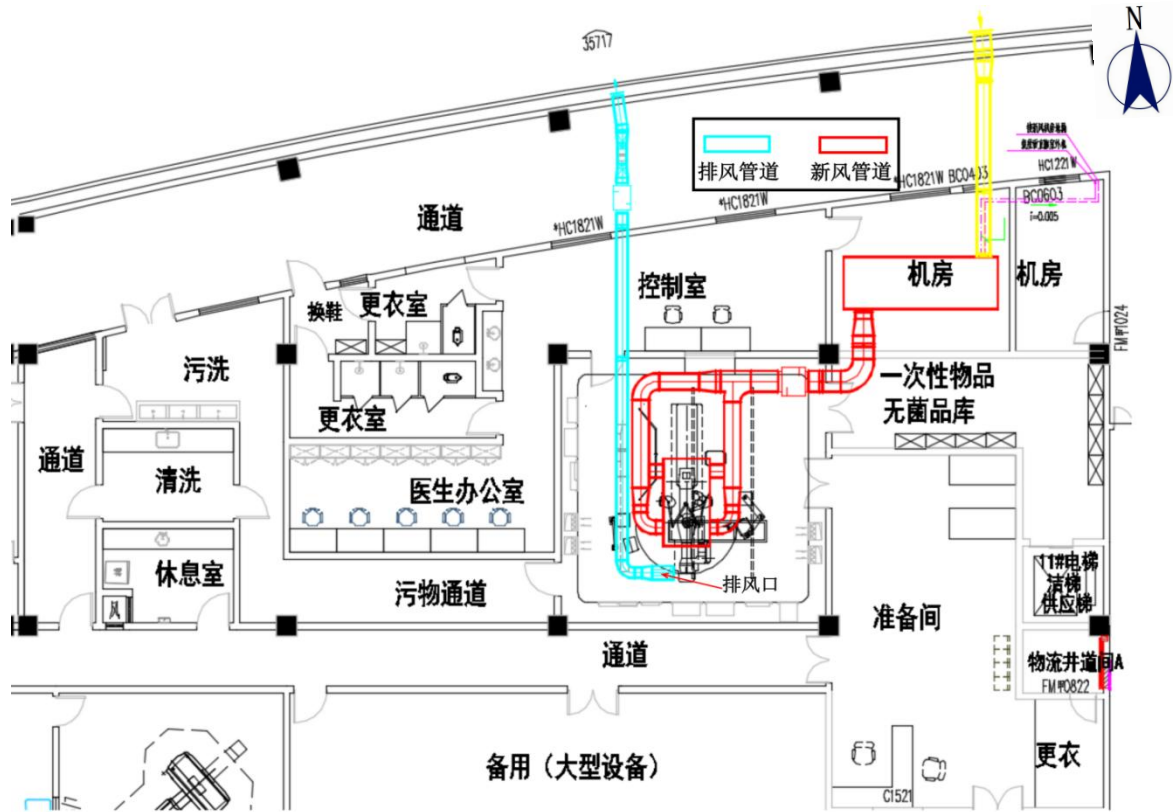
由表 10.3-4 可知，本项目相关介入放射机房的辐射防护措施均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

10.3.2 介入手术项目放射性三废的治理

本项目相关介入放射机房在使用射线装置过程中无放射性废水、放射性废气及放射性固体废物产生。

X 射线与空气作用会产生臭氧及氮氧化物，但产生的 X 射线能量较低（几十 keV），且每天曝光时间较短，因此本项目射线设备产生臭氧及氮氧化物是极少量的。

本项目相关介入放射机房均拟在所有机房内设置动力排风装置，送风口与排风口形成对角，使机房内气流形成较好的对流，可保证机房内良好的通风效果，可改善室内空气中臭氧及氮氧化物问题，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中满足关于“机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风”的要求。



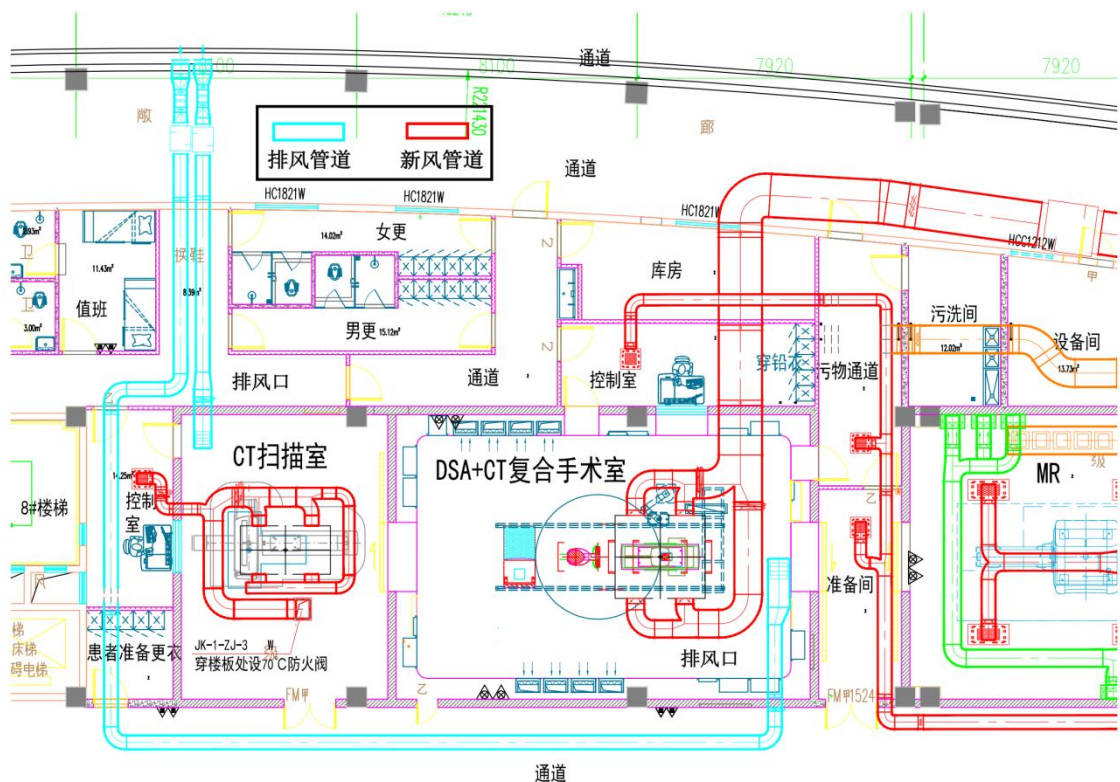


图 10.3-10 1#门诊医技楼一层急诊中心 DSA+CT 复合手术室通风管道布置示意图

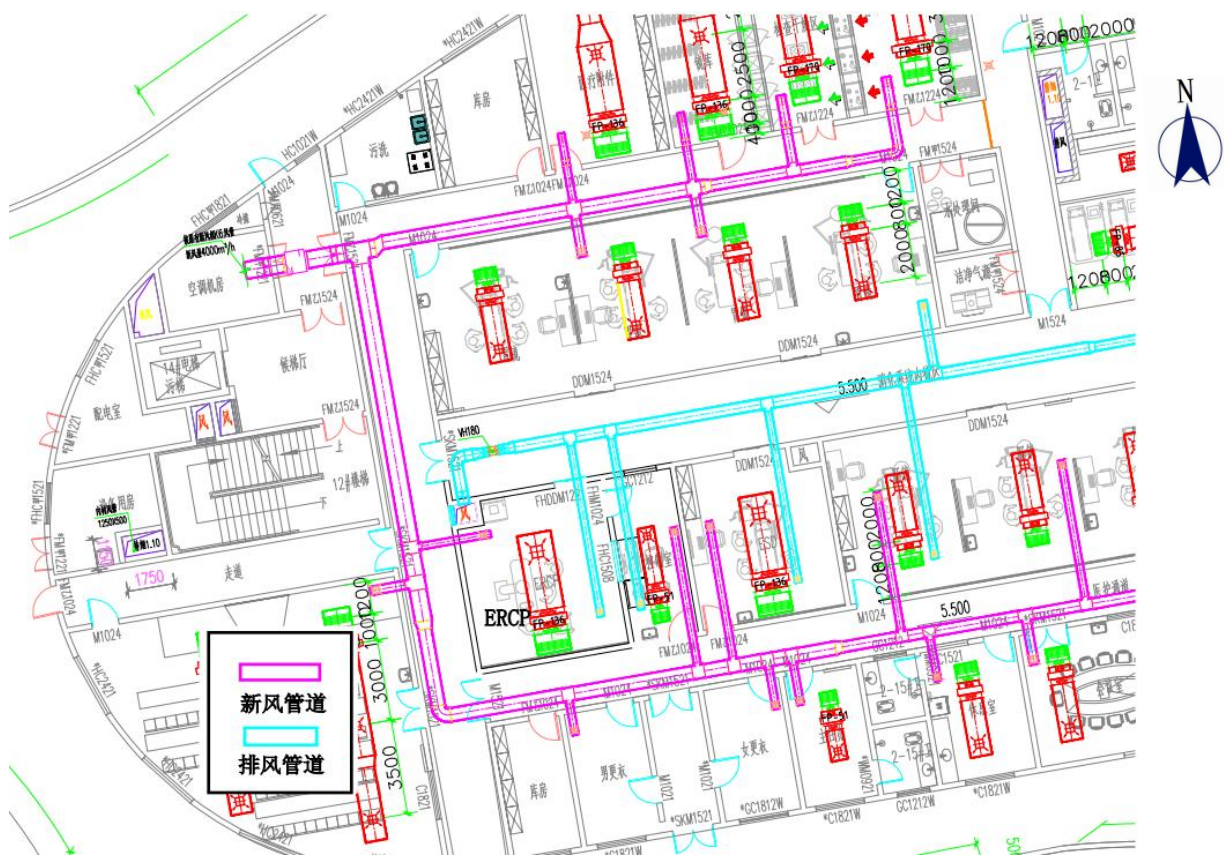


图 10.3-11 1#门诊医技楼二层内镜中心 ERCP 机房通风管道布置示意图

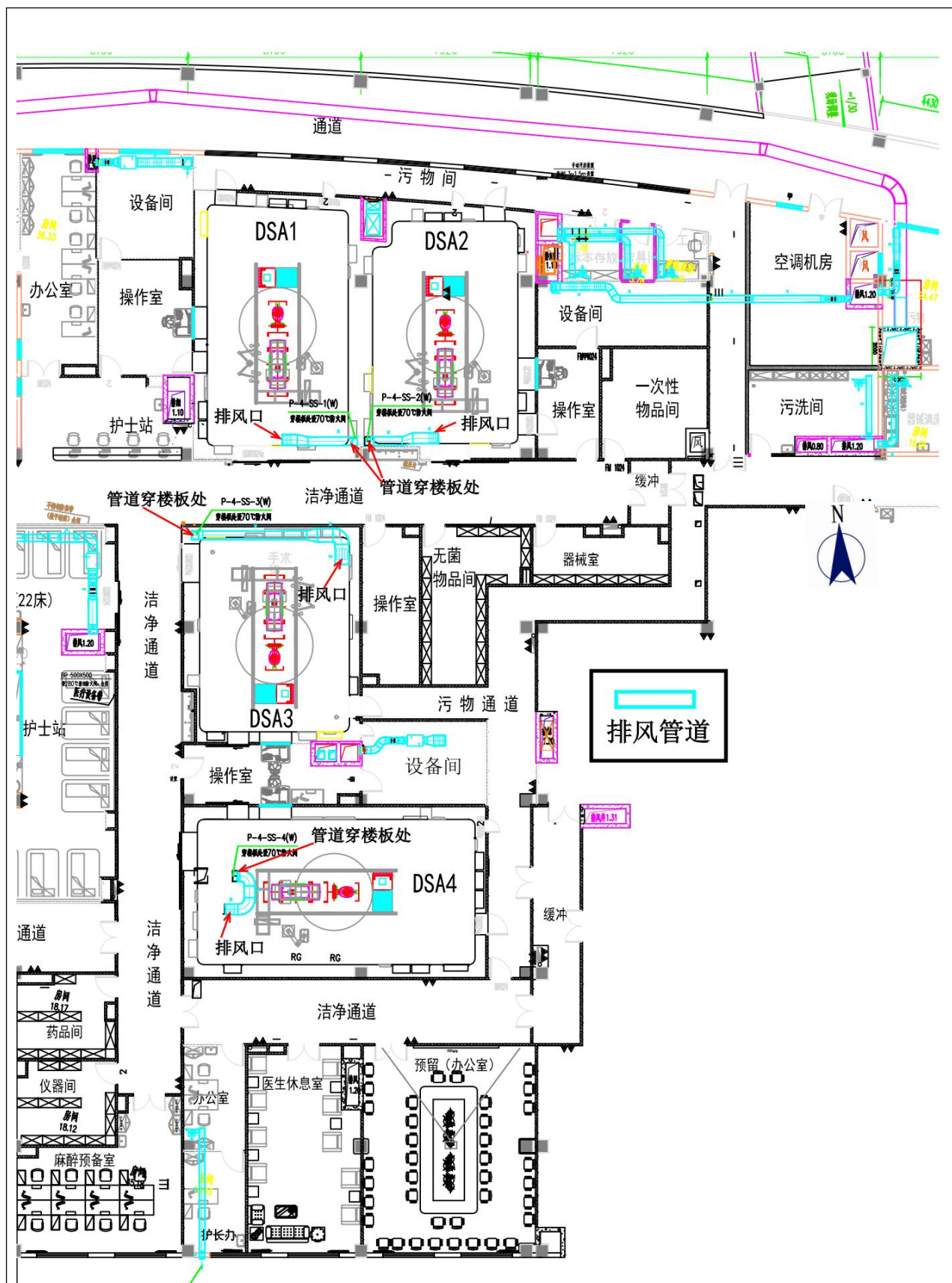


图 10.3-12 1#门诊医技楼四层手术区 DSA 机房 排风管道布置示意图

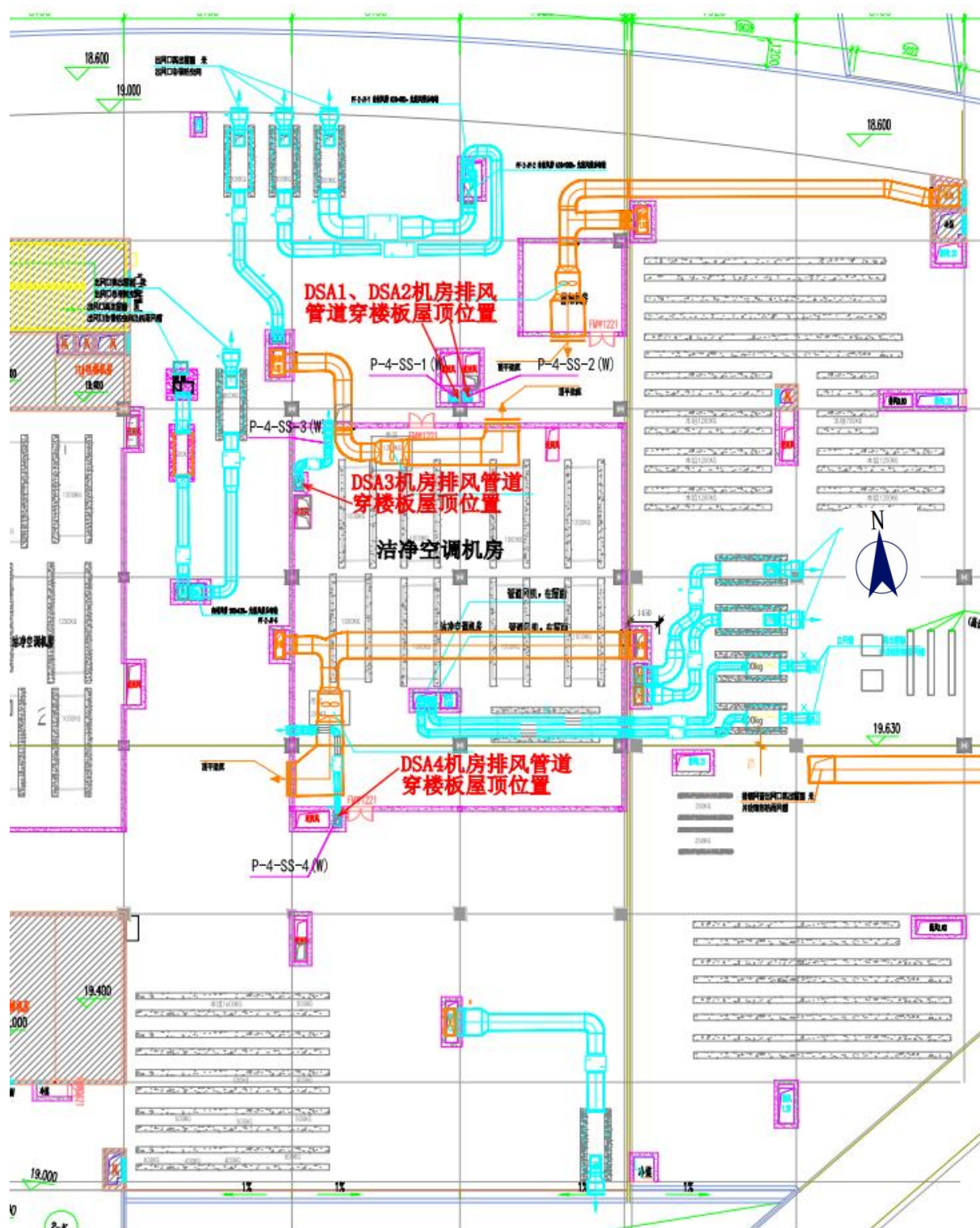


图 10.3-14 1#门诊医技楼四层手术区 DSA 机房屋顶排风管道出口示意图

表 11 环境影响分析

11.1 核医学科环境影响分析

11.1.1 建设阶段对环境的影响分析

本次评价内容为医院拟开展的核技术利用项目运行期对环境的辐射影响，本项目涉及的放射源、非密封性放射性物质及射线装置使用的辐射工作场所主体工程建设过程的影响主要为非辐射类影响，具体防护屏蔽方面的工程量较少，项目建设阶段主要的污染因子有：噪声、废水、固体废弃物和扬尘，无辐射影响，亦无放射性废气、废水及固体废弃物产生。

因此，本次医院核技术利用项目在建设期间对周围环境无辐射影响，建设阶段按照已审批的医院非辐射工程环评报告中施工管理要求进行建设施工，对环境的影响能够满足标准要求，并且施工期的影响是短期和暂时的，随着施工的结束而消失。

11.1.2 核医学科运行阶段对环境的影响。

11.1.2.1 核医学科Ⅲ类医用射线装置

1、辐射防护措施分析

从对 X 射线屏蔽的角度考虑，本次评价的 SPECT/CT（CT 部分）和 PET/CT（CT 部分）机房内最小有效使用面积、最小单边长度均大于标准要求，机房的四面墙体、顶棚、底板、防护门的建设均采取了辐射屏蔽，充分考虑邻室（含楼上）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本评价核医学科项目的 SPECT/CT 和 PET/CT 机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

2、射线装置运行时环境影响分析

参照 NCRP Report No.147 可知，CT 正常运行时其主射线绝大部分均被待检人体及探测器吸收，主要源项为散射线及漏射线，且远小于注射后病人身体输出的辐射剂量率。因此，SPECT/CT 检查室和 PET/CT 检查室对周围环境影响主要按内有注射核素的病人进行计算。

11.1.2.2 核医学科工作场所的射线屏蔽

1、理论屏蔽计算方法

本项目核医学科包括核素诊断区（包括显像诊断）、核素治疗区（甲癌、甲亢、¹⁷⁷Lu 治疗），诊断区和治疗区主要考虑使用相关核素产生的 γ 射线外照射。患者注射/服药放射

性药物后，该患者又成为一个活动的辐射体，其所在的场所要考虑来自注药后的患者身体的辐射影响。本次评价时将操作的药物均视为 γ 点源。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录I，评价关注点处的 γ 辐射剂量率计算公式如下：

$$\dot{H}_p = A \times \Gamma \times r^{-2} \times 10^{-(x/TVL)} \quad (\text{式 11.1-1})$$

式中： \dot{H}_p —屏蔽体外关注点的剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A —单个患者或受检者所用放射源的最大活度，MBq；

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

x —屏蔽厚度，m；

TVL — γ 射线十分之一值层厚度，mm；

2、理论屏蔽计算参数

（1）计算中将患者视为“点源”，本报告给出的计算结果均使用点源公式。

（2）参照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中表 L.1、表 H.1 及《辐射安全手册》（潘自强等著），项目主要核素参数见表 11.1-1。

表 11.1-1 本项目使用放射性核素工作场所辐射屏蔽计算参数

核素	Γ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{MBq}$)	TVL (mm)			
		铅 (11.34g/cm ³)	实心砖 (1.6g/cm ³)	混凝土 (2.35g/cm ³)	硫酸钡 防护材料 (3.2g/cm ³)
¹⁸ F	0.143	16.6	263	176	129
^{99m} Tc	0.0303	1	160	110	40
¹³¹ I	0.0595	11	240	170	95

备注：对混凝土、铅、实心砖的 TVL 值参照 GBZ120-2020 表 I.1；对于硫酸钡材料的 TVL 值参考《辐射安全手册》图 6.4。

（3）本项目 PET/CT 显像诊断使用的放射性核素为 ¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹⁵O、⁶⁸Ga，¹⁸F 患者最大给药量为 15mCi，¹¹C、¹³N、¹⁵O、⁶⁸Ga 患者最大给药量为 10mCi。综合考虑射线能量相同，计算时，以 ¹⁸F 为代表，屏蔽措施满足 ¹⁸F 使用防护要求时，¹¹C、¹³N、¹⁵O、⁶⁸Ga 也同样可以满足要求。因此，本项目 PET/CT 工作场所使用最多的 ¹⁸F 核素进行辐射影响评价。

（4）考虑到 ¹⁷⁷Lu 衰变产生的 γ 射线强度及能量均低于 ¹³¹I，¹⁷⁷Lu 的半衰期也小于 ¹³¹I 的，因此本项目从偏保守考虑，¹⁷⁷Lu 治疗患者住院病房（与 ¹³¹I 甲癌患者轮流使用单人间甲癌病房 1，对外环境影响按 ¹³¹I 甲癌患者住院考虑辐射影响评价。

(5) 本项目 PET/CT 显像诊断区： ^{18}F 患者每人每次最大给药活度 555MBq (15mCi)， ^{18}F 单次最大操作量为 37GBq (1000mCi)；其中 PET/CT 检查室、 ^{18}F 注射室、抢救室、分装室、患者通道按 1 名患者进行计算，PET/CT 留观室按 2 名患者进行计算，PET/CT 注射后候检室 1/2 按 2 名患者进行计算。

考虑 ^{18}F 衰变时间短：20min 药物衰变，衰变因子为 $0.5^{20/109.8}=0.881$ ；30min 药物衰变，衰变因子为 $0.5^{30/109.8}=0.827$ ；50min 的药物衰变，衰变因子为 $0.5^{50/109.8}=0.729$ ；60min 的药物衰变，衰变因子为 $0.5^{60/109.8}=0.685$ ；

注射后候检室 1 和注射后候检室 2（每间同时最多容纳 2 人，在第一位候检者注射 20 分钟后第二位刚刚注射后的待检者进入，即计算活度按 $555+489=1044\text{MBq}$ ）；PET/CT 检查室患者是注射后 30min 后进入机房检查，即计算活度按 459MBq 进行屏蔽计算；一般 PET/CT 检查时间为 30min，PET/CT 留观室是注射后 60min 后进入留观室留观，即计算活度按最多容纳 2 人，按 760MBq 进行屏蔽计算。

(6) 本项目 SPECT/CT 显像诊断区： $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者每人每次最大给药活度 925MBq (25mCi)， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 单次最大操作量为 29.6GBq (800mCi)；其中 SPECT/CT 检查室、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射室、运动平板室按 1 名患者进行计算，SPECT/CT 注射后候检室和 SPECT/CT 留观室按 3 名患者进行计算。

甲癌病人出院前需进行 SPECT-CT 扫描检查，按照病人离开时体内放射性活度最大不超过 400MBq。

(7) 本项目核素治疗区： ^{131}I 甲亢患者每人每次最大给药活度 370MBq (10mCi)， ^{131}I 甲癌患者每人每次最大给药活度 740MBq (200mCi)， ^{131}I 单次最大操作量为 29.6GBq (800mCi)；其中甲亢留观区按 2 名甲亢患者进行计算， ^{131}I 服药室、抢救室、甲癌病房 1（单人）、甲癌患者通道按 1 名甲癌患者进行计算。甲癌病房 2（双人）、甲癌病房 3（双人）按 2 名甲癌患者进行计算。 ^{177}Lu 治疗患者最大用药量为 740MBq (200mCi)， ^{131}I 甲癌患者与 ^{177}Lu 治疗患者轮流使用单人间甲癌病房 1。

3、屏蔽计算结果

计算时四周屏蔽墙、防护门窗参考点位置在墙（门窗）外 0.3m 处，源高度为离地面 1.0m，屋顶参考点位置在楼板地面上方 0.3m 处，核医学科一层房间净空高 5.38m，楼下参考点位置在楼下人员可达处 1.7m 处，楼下负一层房间净空高 6.2m。因建设项目大多数辐射源为活动的，考虑到辐射防护最优化，屏蔽计算关注点位置距离信息表见表 11.1-2。

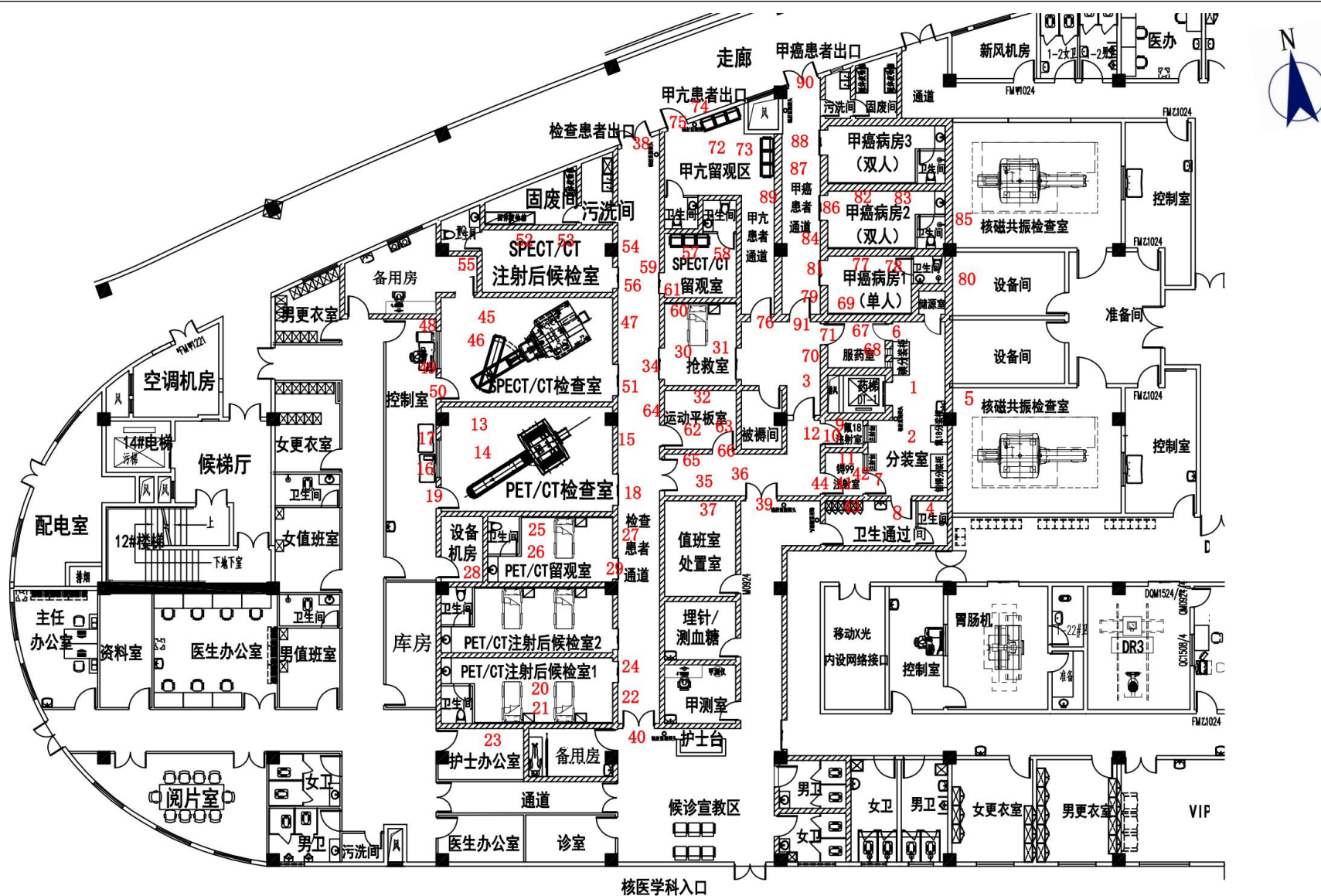


图 11.1-1 核医学科工作场所关注点示意图

表 11.1-2 核医学科工作场所四周屏蔽计算关注点位置距离信息表

房间	规格 (长×宽×高) m	放射源与屏蔽关注点的距离 m	关注点位置距离参数
分装室	8.21×2.51×5.38	防护门: 2.0 四面墙体: 1.66	计算四周屏蔽墙外关注点取屏蔽墙内 1.0m 处作为源点计算; 计算防护门外关注点与源点距离按照 2.0m 计算。
¹⁸ F 注射室	1.8×1.3×5.38	防护门: 2.0 四面墙体: 1.19	计算四周屏蔽墙体外关注点, 取房间中点作为源点。计算防护门外关注点与源点距离按照 2.0m 计算。
PET/CT 检查室	8.22×5.0×5.38	防护门: 2.5 四面墙体: 2.04	计算四周屏蔽墙外关注点取屏蔽墙内 1.5m 处作为源点计算; 计算防护门/观察窗外关注点与源点距离按照 2.5m 计算。
PET/CT 注射后候检室 1、2	8.22×3.14×5.38	防护门: 2.0 四面墙体: 1.54	计算四周屏蔽墙外关注点取屏蔽墙内 1.0m 处作为源点计算; 计算防护门外关注点与源点距离按照 2.0m 计算。
PET/CT 留观室	5.98×3.14×5.38	防护门: 2.0 四面墙体: 1.54	计算四周屏蔽墙外关注点取屏蔽墙内 1.0m 处作为源点计算; 计算防护门外关注点与源点距离按照 2.0m 计算。
抢救室	3.7×3.44×5.38	防护门: 2.5 四面墙体: 2.04	计算四周屏蔽墙外关注点取屏蔽墙内 1.5m 处作为源点计算; 计算防护门外关注点与源点距离按照 2.5m 计算。
显像诊断区患者通道	宽 2.0 高: 5.38	防护门: 2.0 四面墙体: 1.54	计算四周屏蔽墙外关注点取屏蔽墙内 1.0m 处作为源点计算; 计算防护门外关注点与源点距离按照 2.0m 计算。
^{99m} Tc 注射室	2.07×1.8×5.38	防护门: 2.0 四面墙体: 1.27	计算四周屏蔽墙体外关注点, 取房间中点作为源点。计算防护门外关注点与源点距离按照 2.0m 计算。
SPECT/CT 检查室	8.22×5.0×5.38	防护门: 2.5 四面墙体: 2.04	计算四周屏蔽墙外关注点取屏蔽墙内 1.5m 处作为源点计算; 计算防护门/观察窗外关注点与源点距离按照 2.5m 计算。
SPECT/CT 注射后候检室	6.25×3.0×5.38	防护门: 2.0 四面墙体: 1.54	计算四周屏蔽墙外关注点取屏蔽墙内 1.0m 处作为源点计算; 计算防护门外关注点与源点距离按照 2.0m 计算。
SPECT/CT 留观室	3.44×3.06×5.38	防护门: 2.0 四面墙体: 1.54	计算四周屏蔽墙外关注点取屏蔽墙内 1.0m 处作为源点计算; 计算防护门外关注点与源点距离按照 2.0m 计算。
运动平板室	3.44×2.8×5.38	防护门: 1.5 四面墙体: 1.54	计算四周屏蔽墙外关注点取屏蔽墙内 1.0m 处作为源点计算; 计算防护门外关注点与源点距离按照 1.5m 计算。
¹³¹ I 服药室	2.74×2.2×5.38	防护门: 2.0 四面墙体: 1.76	计算四周屏蔽墙体外关注点, 取房间中点作为源点。计算防护门外关注点与源点距离按照 2.0m 计算。
甲亢留观区	5.26×3.02×5.38	防护门: 2.0 四面墙体: 1.54	计算四周屏蔽墙外关注点取屏蔽墙内 1.0m 处作为源点计算; 计算防护门外关注点与源点距离按照 2.0m 计算;
甲癌病房 1 (1 人间)	4.0×2.78×5.38	防护门: 2.5 四面墙体: 1.66	计算四周屏蔽墙外关注点取屏蔽墙内 1.0m 处作为源点计算; 计算防护门外关注点与源点距离按照 2.5m 计算。
甲癌病房 2 甲癌病房 3 (2 人间)	5.61×2.75×5.38	防护门: 2.5 四面墙体: 1.66	计算四周屏蔽墙外关注点取屏蔽墙内 1.0m 处作为源点计算; 计算防护门外关注点与源点距离按照 2.5m 计算。

甲癌 患者通道			宽 1.84 高: 5.38	防护门: 2.5 四面墙体: 1.66	计算四周屏蔽墙外关注点取屏蔽墙内 1.0m 处作为源点计算; 计算防护门外关注点与源点距离按照 2.0m 计算。		
根据以上屏蔽计算参数, 本项目核医学科工作场所关注点辐射剂量率估算结果见表 11.1-3。							
表 11.1-3 核医学科工作场所关注点辐射剂量率估算结果							
理论计算点位			辐射源 项活度 (MBq)	距离 (m)	辐射屏蔽情况	剂量率 估算结果 (μSv/h)	剂量率 控制水平 (μSv/h)
分装室	1	顶棚 30cm	¹⁸ F: 555MBq (1 人)	4.8	12cm 混凝土+18m 硫酸钡复合防护板	0.03	2.5
	2	地板 1.7m		5.7	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡涂料	0.06	2.5
	3	西、北面墙体 30cm		1.66	36cm 实心砖+8cm 硫酸钡涂料	0.30	10
	4	南面墙体 30cm		1.66	36cm 实心砖+8cm 硫酸钡涂料	0.30	2.5
	5	东面墙体 30cm		1.74	36cm 实心砖+8cm 硫酸钡涂料	0.27	2.5
	6	西面防护门 30cm		2.0	20mmPb 铅板	1.24	10
	7	西面防护门 30cm		2.0	16mmPb 铅板	2.16	10
	8	南面防护门 30cm		2.0	16mmPb 铅板	2.16	2.5
¹⁸ F 注射室	9	顶棚 30cm	¹⁸ F: 555MBq (1 人)	4.8	12cm 混凝土+18cm 硫酸钡复合防护板	0.03	2.5
	10	地板 1.7m		5.7	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡涂料	0.07	2.5
	11	四面墙体 30cm		1.19	24cm 实心砖+8cm 硫酸钡涂料	1.64	10
	12	防护门 30cm		2.0	16mmPb 铅板	2.16	10
PET/CT 检查室	13	顶棚 30cm	¹⁸ F: 459MBq (1 人)	4.8	12cm 混凝土+18cm 硫酸钡复合防护板	0.03	2.5
	14	地板 1.7m		5.7	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡涂料	0.06	2.5
	15	东面墙体 30cm		2.04	24cm 实心砖+5cm 硫酸钡涂料	0.79	10
	16	其它三面墙体 30cm		2.04	24cm 实心砖+5cm 硫酸钡涂料	0.79	2.5
	17	观察窗 30cm		2.5	17mmPb 铅玻璃	0.99	2.5
	18	东面防护门 30cm		2.5	17mmPb 铅板	0.99	10
	19	西面防护门 30cm		2.5	17mmPb 铅板	0.99	2.5

PET/CT 注射后候 检室 1、2	20	顶棚 30cm	^{18}F : 1044MBq (2 人)	4.8	12cm 混凝土+22cm 硫酸钡复合防护板	0.03	2.5
	21	地板 1.7m		5.7	30cm 混凝土+9cm 硫酸钡涂料	0.02	2.5
	22	东面墙体 30cm		1.54	24cm 实心砖+12cm 硫酸钡涂料	0.90	10
	23	其它三面墙体 30cm		1.54	24cm 实心砖+12cm 硫酸钡涂料	0.90	2.5
	24	防护门 30cm		2.0	22mmPb 铅板	1.76	10
PET/CT 留观室	25	顶棚 30cm	^{18}F : 760MBq (2 人)	4.8	12cm 混凝土+20cm 硫酸钡复合防护板	0.03	2.5
	26	地板 1.7m		5.7	30cm 混凝土+7cm 硫酸钡涂料	0.02	2.5
	27	东面墙体 30cm		1.54	24cm 实心砖+10cm 硫酸钡涂料	0.94	10
	28	其它三面墙体 30cm		1.54	24cm 实心砖+10cm 硫酸钡涂料	0.94	2.5
	29	防护门 30cm		2.0	19mmPb 铅板	1.95	10
抢救室	/	顶棚 30cm	^{18}F : 555MBq (1 人)	4.8	12cm 混凝土+18cm 硫酸钡复合防护板	0.03	2.5
	/	地板 1.7m		5.7	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡涂料	0.06	2.5
	/	南、北面墙体 30cm		2.04	24cm 实心砖+8cm 硫酸钡涂料	0.89	2.5
	/	东、西面墙体 30cm		2.04	24cm 实心砖+8cm 硫酸钡涂料	0.89	10
	/	防护门(2 扇) 30cm		2.0	16mmPb 铅板	2.16	10
	30	顶棚 30cm	^{131}I : 7400MBq (1 人)	4.8	12cm 混凝土+18cm 硫酸钡复合防护板	0.05	2.5
	31	地板 1.7m		5.7	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡涂料	0.31	2.5
	32	南、北面墙体 30cm		2.04	24cm 实心砖+8cm 硫酸钡涂料	1.52	2.5
	33	东、西面墙体 30cm		2.04	24cm 实心砖+8cm 硫酸钡涂料	1.52	10
	34	防护门(2 扇) 30cm		2.5	16mmPb 铅板	2.47	10
显像诊断 区患者通 道	35	顶棚 30cm	^{18}F : 555MBq (1 人)	4.8	12cm 混凝土+18cm 硫酸钡复合防护板	0.03	2.5
	36	地板 1.7m		5.7	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡涂料	0.06	2.5
	37	四面墙体 30cm		1.54	24cm 实心砖+8cm 硫酸钡涂料	0.98	2.5
	38	防护门(患者出口) 30cm		2.0	16mmPb 铅板	2.16	2.5

		39	防护门（患者入口）30cm		2.0	20mmPb 铅板	1.24	2.5
		40	防护门（候诊区）30cm		2.0	20mmPb 铅板	1.24	2.5
	^{99m} Tc 注射室	41	顶棚 30cm	^{99m} Tc 925MBq (1 人)	4.8	12cm 混凝土+2cm 硫酸钡复合防护板	0.03	2.5
		42	地板 1.7m		5.7	20cm 混凝土	0.01	2.5
		43	四面墙体 30cm		1.27	24cm 实心砖	0.55	10
		44	防护门 30cm		2.0	2mmPb 铅板	0.07	10
	SPECT /CT 检查室	/	顶棚 30cm	^{99m} Tc 925MBq (1 人)	4.8	12cm 混凝土+4cm 硫酸钡复合防护板	0.01	2.5
		/	地板 1.7m		5.7	20cm 混凝土+3cm 硫酸钡涂料	<0.01	2.5
		/	东面墙体 30cm		2.04	24cm 实心砖+4cm 硫酸钡涂料	0.02	10
		/	其它三面墙体 30cm		2.04	24cm 实心砖+4cm 硫酸钡涂料	0.02	2.5
		/	观察窗 30cm		2.5	6mmPb 铅玻璃	<0.01	2.5
		/	西、北防护门 30cm		2.5	6mmPb 铅板	<0.01	2.5
		/	东防护门 30cm		2.5	6mmPb 铅板	<0.01	10
		45	顶棚 30cm	¹³¹ I 400MBq (1 人)	4.8	12cm 混凝土+4cm 硫酸钡复合防护板	0.04	2.5
		46	地板 1.7m		5.7	20cm 混凝土+3cm 硫酸钡涂料	0.01	2.5
		47	东面墙体 30cm		2.04	24cm 实心砖+4cm 硫酸钡涂料	0.22	10
		48	其它三面墙体 30cm		2.04	24cm 实心砖+4cm 硫酸钡涂料	0.22	2.5
		49	观察窗 30cm		2.5	6mmPb 铅玻璃	1.08	2.5
		50	西、北防护门 30cm		2.5	6mmPb 铅板	1.08	2.5
		51	东防护门 30cm		2.5	6mmPb 铅板	1.08	10
	SPECT/CT 注射后候检室	52	顶棚 30cm	^{99m} Tc 2775MBq (3 人)	4.8	12cm 混凝土+4cm 硫酸钡复合防护板	0.03	2.5
		53	地板 1.7m		5.7	20cm 混凝土	0.04	2.5
		54	东面墙体 30cm		1.54	24cm 实心砖+2cm 硫酸钡涂料	0.36	10
		55	其它三面墙体 30cm		1.54	24cm 实心砖+2cm 硫酸钡涂料	0.36	2.5
		56	防护门 30cm		2.0	3mmPb 铅板	0.02	10

SPECT /CT 留观室	57	顶棚 30cm	^{99m}Tc 2775MBq (3 人)	4.8	12cm 混凝土+4cm 硫酸钡复合防护板	0.03	2.5
	58	地板 1.7m		5.7	20cm 混凝土	0.04	2.5
	59	西面墙体 30cm		1.54	24cm 实心砖+2cm 硫酸钡涂料	0.36	10
	60	其它三面墙体 30cm		1.54	24cm 实心砖+2cm 硫酸钡涂料	0.36	2.5
	61	防护门 30cm		2.0	3mmPb 铅板	0.02	10
运动 平板室	62	顶棚 30cm	^{99m}Tc 925MBq (1 人)	4.8	12cm 混凝土+2cm 硫酸钡复合防护板	0.03	2.5
	63	地板 1.7m		5.7	20cm 混凝土	0.01	2.5
	64	西面墙体 30cm		1.54	24cm 实心砖	0.38	10
	65	其它三面墙体 30cm		1.54	24cm 实心砖	0.38	2.5
	66	防护门(2 扇) 30cm		1.5	2mmPb 铅板	0.12	10
^{131}I 服药室	67	顶棚 30cm	^{131}I 7400MBq (1 人)	4.8	12cm 混凝土+18cm 硫酸钡复合防护板	0.05	2.5
	68	地板 1.7m		5.7	20cm 混凝土+11cm 硫酸钡涂料	0.06	2.5
	69	北面墙体 30cm		1.76	36cm 实心砖+5cm 硫酸钡涂料	1.34	2.5
	70	其它三面墙体 30cm		1.76	36cm 实心砖+5cm 硫酸钡涂料	1.34	10
	71	防护门 30cm		2.0	20mmPb 铅板	1.62	10
甲亢 留观区	72	顶棚 30cm	^{131}I 740MBq (2 人)	4.8	12cm 混凝土+12cm 硫酸钡复合防护板	0.02	2.5
	73	地板 1.7m		5.7	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡涂料	0.03	2.5
	74	四面墙体 30cm		1.54	24cm 实心砖+3cm 硫酸钡涂料	0.90	2.5
	75	北防护门 30cm		2.0	9mmPb 铅板	<0.01	2.5
	76	南防护门 30cm		2.0	9mmPb 铅板	<0.01	10
甲癌病房 1 (1 人间)	77	顶棚 30cm	^{131}I 7400MBq (1 人)	4.8	12cm 混凝土+20cm 硫酸钡复合防护板	0.03	2.5
	78	地板 1.7m		5.7	20cm 混凝土+11cm 硫酸钡涂料	0.06	2.5
	79	西面墙体 30cm		1.66	36cm 实心砖+8cm 硫酸钡涂料	0.73	10
	80	其它三面墙体 30cm		1.66	36cm 实心砖+8cm 硫酸钡涂料	0.73	2.5
	81	防护门 30cm		2.5	18mmPb 铅板	1.63	10

甲癌病房 2 甲癌病房 3 (2 人 间)	82	顶棚 30cm	¹³¹ I 14800 MBq (2 人)	4.8	12cm 混凝土+24m 硫酸钡复合防护板	0.02	2.5
	83	地板 1.7m		5.7	20cm 混凝土+14cm 硫酸钡涂料	0.06	2.5
	84	西面墙体 30cm		1.66	36cm 实心砖+11cm 硫酸钡涂料	0.71	10
	85	其它三面墙体 30cm		1.66	36cm 实心砖+11cm 硫酸钡涂料	0.71	2.5
	86	防护门 30cm		2.5	20mmPb 铅板	2.14	10
甲癌 患者通道	87	顶棚 30cm	¹³¹ I 7400MBq (1 人)	4.8	12cm 混凝土+18m 硫酸钡复合防护板	0.05	2.5
	88	地板 1.7m		5.7	20cm 混凝土+11cm 硫酸钡涂料	0.06	2.5
	89	四面墙体 30cm		1.66	36cm 实心砖+8cm 硫酸钡涂料	0.73	2.5
	90	北防护门 30cm		2.5	18mmPb 铅板	1.63	2.5
	91	南防护门 30cm		2.5	18mmPb 铅板	1.63	10
¹⁸ F 分装柜	正表面 5cm		¹⁸ F 37000 MBq	0.25	70mmPb 铅板 70mmPb铅玻璃	5.14	25
	正表面 30cm			0.5	70mmPb 铅板 70mmPb 铅玻璃	1.28	2.5
	其它侧面 30cm			0.5	70mmPb 铅板	1.28	25
¹⁸ F 注射台	正表面 30cm		¹⁸ F 555MBq	0.5	50mmPb 铅板 50mmPb 铅玻璃	0.31	2.5
	其它侧面 30cm			0.5	50mmPb 铅板 50mmPb 铅玻璃	0.31	25
^{99m} Tc 分装柜	正表面 5cm		^{99m} Tc 29600 MBq	0.25	20mmPb 铅板 20mmPb 铅玻璃	<0.01	25
	正表面 30cm			0.5	20mmPb 铅板 20mmPb 铅玻璃	<0.01	2.5
	其它侧面 30cm			0.5	20mmPb 铅板	<0.01	25
^{99m} Tc 注射台	正表面 30cm		^{99m} Tc 925MBq	0.5	10mmPb 铅板 10mmPb 铅玻璃	<0.01	2.5
	其它侧面 30cm			0.5	10mmPb 铅板 10mmPb 铅玻璃	<0.01	25
¹³¹ I 分装柜	正表面 5cm		¹³¹ I 29600 MBq	0.25	50mmPb 铅板 50mmPb 铅玻璃	0.80	25
	正表面 30cm			0.5	50mmPb 铅板 70mmPb 铅玻璃	0.20	2.5
	其它侧面 30cm			0.5	50mmPb 铅板	0.20	25
PET/CT 技师摆位			¹⁸ F: 459MBq	1.0	0.5mmPb 铅衣 +10mmPb 铅屏风	16.5	——
¹⁸ F 注射器屏蔽表面 30cm			¹⁸ F: 555MBq	0.3	0.5mmPb 铅衣	51.3	——

			+20mmPb 注射防护套		
¹⁸ F 铅转运罐表面 30cm	¹⁸ F: 37000 MBq	0.3	50mmPb	57.2	——
SPECT/CT 技师摆位	^{99m} Tc: 925MBq	1.0	0.5mmPb 铅衣 +5mmPb 铅屏风	<0.01	——
SPECT/CT 技师摆位	¹³¹ I: 400MBq	1.0	0.5mmPb 铅衣 +5mmPb 铅屏风	7.53	——
^{99m} Tc 注射器屏蔽表面 30cm	^{99m} Tc: 925MBq	0.3	0.5mmPb 铅衣 +10mmPb 注射防护套	<0.01	——
^{99m} Tc 铅转运罐表面 30cm	^{99m} Tc: 29600 MBq	0.3	10mmPb	<0.01	——
¹³¹ I 铅转运罐表面 30cm	¹³¹ I: 29600 MBq	0.3	50mmPb	0.56	——
核素治疗甲癌医师查房（含 ¹⁷⁷ Lu 治疗患者）	¹³¹ I 7400MBq	1.5	0.5mmPb 铅衣 +15mmPb 移动铅屏风	8.47	——
注：1、实心砂砖密度不小于 1.65g/cm ³ ，混凝土密度不小于 2.35g/cm ³ ，硫酸钡防护涂料机硫酸钡复合防护板密度不小于 3.2.g/cm ³ ，铅板密度不小于 11.34g/cm ³ 。					
<p>由表11.1-3估算结果可知，核医学科工作场所控制区边界外30cm处计算点的周围剂量当量率均小于2.5μSv/h；核医学科控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2）的剂量率最大值为2.16μSv/h（分装室南面防护门外30cm处）；核医学工作场所控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子<1/2）的实体屏蔽体外关注点剂量率最大值2.47μSv/h（位于抢救室防护门外30cm处），均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准的“控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于10μSv/h”的要求。同时符合《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20号，2023年9月13日）的要求。</p> <p>本项目对分装柜正面、注射窗分别进行预测，设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率最大值为1.28μSv/h（¹⁸F分装柜），非正对人员操作位表面的周围剂量当量率最大值为1.28μSv/h（¹⁸F分装柜），满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“放射性药物分装柜、通风柜、注射窗等设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于25μSv/h”的要求。</p>					

11.1.2.3 工作人员和公众人员有效剂量估算

1、职业工作人员

(1) PET/CT诊断检查：

根据药物的使用方式和医务人员行走路径，医务人员一般不会长时间接触正电子药物诊断病人，但在分装药物、注射药物、扫描时必要的近距离协助摆位、在控制室操作设备扫描等过程，辐射工作人员会受到放射性药物的外照射影响，因此职业外照射估算分析按照上述四个方面估算 ^{18}F 对工作人员的辐射影响。

工作时间及计算参数：PET/CT诊断项目分装给药采用人工分装注射，手动分装按照单份1min计。每次注射用时约0.5min；患者休息30min后进入PET/CT机房扫描，一般情况工作人员可进行视频和语音隔室指导摆位，按1/10患者需要近距离协助摆位（受检者在距摆位技师的直线距离约1m）、每次摆位时间 0.5min考虑，摆位人员接触受检者的整个过程中均穿戴0.5mmPb个人防护用具，技师摆位完成后到控制室操作设备并且观察机房内患者情况，每名患者扫描时间30min。

(2) SPECT/CT诊断检查：

SPECT/CT诊断项目分装给药采用人工分装注射，手动分装按照单份1min计。每次注射用时约0.5min；患者休息30min后进入SPECT/CT机房扫描，一般情况工作人员可进行视频和语音隔室指导摆位，按1/10患者需要近距离协助摆位（受检者在距摆位技师的直线距离约1m）、每次摆位时间0.5min考虑，摆位人员接触受检者的整个过程中均穿戴0.5mmPb个人防护用具，技师摆位完成后到控制室操作设备并且观察机房内患者情况，每名患者扫描时间30min。

(3) 核素治疗：

甲功测定所用的 ^{131}I 药物，由医护人员在分装柜通风橱内手动操作分装及测定活度，由于甲测药物辐射影响很小，主要考虑自动分碘仪外照射的影响，手动分装按照单份1min计。

甲亢治疗、甲癌治疗所用的 ^{131}I 药物采用碘自动分装仪进行分装，分装时医务人员在医生办公室进行远程遥控操作，通过视频、语音监控指导服药，不受额外的辐射影响。甲癌患者一个星期一般住院3~5天，按每周查房2次，每次查房并了解全部住院病人状况约10min。查房时，医护人员穿0.5mmPb铅衣，距离患者1.5m，位于15mmPb屏风后。

根据对各辐射工作场所关注点的剂量估算结果，结合本项目工作人员配备及工作负荷介绍，按照下式对本项目辐射工作人员及公众的年受照剂量进行估算。

$$H = \dot{H}_p \times t \quad (\text{公式 11.1-2})$$

式中： H —年有效剂量（Sv）；

\dot{H}_p —辐射场所 X- γ 周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

t — 辐射场所居留时间（h）。

本项目运行对工作人员所致有效剂量情况如表11-4。

表 11.1-4 辐射工作人员年有效剂量估算

项目	操作工艺	工作时间			关注点 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量(mSv/a)		
		min/次	次/年	h/年		各岗位 年剂量	合计	单人年有 效剂量
甲测药物	分装	1	5250	87.5	0.80	0.070	0.420 (4人轮岗)	0.105
PET/CT 诊断检查	分装	1	7500	125	1.28	0.160		
	注射	0.5	7500	62.5	0.31	0.188		
SPECT/CT 诊断检查	分装	1	7500	125	<0.01	0.001		
	注射	0.5	7500	62.5	<0.01	0.001		
PET/CT 诊断检查	摆位	0.5	7500	125	16.5	2.063	5.963 (5人轮岗)	1.193
	扫描	30	7500	3750	0.99	3.713		
SPECT/CT 诊断检查	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 摆位	0.5	7500	125	<0.01	0.001		
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 扫描	30	7500	3750	0.01	0.075		
	^{131}I 摆位	0.5	250	2.08	7.53	0.016		
	^{131}I 扫描	30	250	125	1.08	0.135		
核素治疗区医师 查房（含 ^{177}Lu 治疗患者）		10	100	16.7	8.47	0.142	0.142 (3人轮岗)	0.047

由表11.1-4估算结果表明，本项目运行后，辐射工作人员职业照射的最大附加年有效剂量值符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业照射剂量限值20mSv/a，也低于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的职业人员剂量约束值5mSv/a的要求。

2、公众人员

核医学科所有辐射用房布置是相对独立、相对封闭的区域，科室有严格的“三区”管理制度，出入口均设有门禁，无关公众成员不会进入治疗区域。公众可达区域为工作场所边界外及楼上楼下区域。正常情况下，受检人员做完扫描后即离开核素诊断区中心，特殊

情况下需要进入抢救室抢救，由医院提供的信息显示，不会超过10%的受检人员需要抢救，每人次抢救30min，则全年抢救总时长为： $7500 \times 10\% \times 30 \div 60 = 375\text{h}$ ；保守估计在上班期间（每班8小时），取PET/CT检查机房均在检查病人，全年按250工作日算，则总时长为 $250 \times 8 = 2000\text{h}$ （上下层按最大剂量率估算）。

根据医院提供的资料，医院 ^{131}I 甲癌治疗患者最大人数约250人/年，甲癌患者每人次服药时间均约为30秒，则年服药时间为1.25小时；医院拟设置3间核素甲癌病房（5个床位）供癌症患者居住，本次以医院工作人员工作时间来作为核素病房内患者住院期间对环境影响的时间，医院工作人员工作时间为每天8h，年工作时间250天，则核素治疗患者住院期间对周围工作人员环境的年照射时间为2000h，抢救的患者概率为1%，单次抢救时间约2h，则年抢救时间为5h。

医院 ^{131}I 甲亢治疗患者约5000人/年，每人次患者服药时间约为30秒，则年服药时间为41.7小时。甲亢留观时间平均为10分钟/人次，留观室内最多容纳2位患者，则年留观时间为 $5000 \times 10 \div 60 \div 2 = 416.7\text{h}$ 。

根据表11.1-3预测结果，各区域公众成员受照剂量估算结果见表11.1-5。

表 11.1-5 公众人员年有效剂量估算

关注点位置		关注点剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	年受照时间 (h)	居留因子	年有效剂量(mSv/a)
分装室	顶棚 30cm(内镜中心治疗室)	0.03	345.6	1	0.010
	地板 1.7m (负一层回旋加速器全检质控室)	0.06	345.6	1	0.020
	东墙外 30cm (核磁共振检查室)	0.27	345.6	1/8	0.090
^{18}F 注射室	顶棚 30cm(内镜中心治疗室)	0.03	62.5	1	0.002
	地板 1.7m (负一层回旋加速器全检质控室)	0.07	62.5	1	0.002
PET/CT 检查室	顶棚 30cm(内镜中心治疗室)	0.03	2000	1	0.060
	地板 1.7m (负一层通道)	0.06	2000	1/20	0.006
PET/CT注射后候检室1、2	顶棚 30cm(内镜中心治疗室)	0.03	2000	1	0.060
	地板 1.7m (负一层通道)	0.02	2000	1/20	0.002
PET/CT 留观室	顶棚 30cm (内镜中心通道)	0.03	1250	1/5	0.008
	地板 1.7m (负一层通道)	0.02	1250	1/20	0.001
抢救室	顶棚 30cm (内镜中心通道)	0.05	5	1/5	<0.001

	地板 1.7m（负一层停车库）	0.31	5	1/20	<0.001
显像诊断区 患者通道	顶棚 30cm（内镜中心治疗室）	0.03	100	1	0.003
	地板 1.7m（负一层通道）	0.06	100	1/20	<0.001
	南墙体 30cm（患者入口通道）	0.98	100	1/4	0.025
	防护门（患者出口）30cm	2.16	100	1/8	0.027
	防护门（患者入口）30cm	1.24	100	1/8	0.016
	防护门（候诊区）30cm	1.24	100	1/8	0.016
¹³¹ I 服药室	顶棚 30cm（内镜中心更衣室）	0.05	1.25	1/4	<0.001
	地板 1.7m（负一层回旋加速器放化实验室）	0.06	1.25	1	<0.001
甲亢 留观室	顶棚 30cm（内镜中心检查干燥区、去污区）	0.02	416.7	1	0.008
	地板 1.7m（负一层通道）	0.03	416.7	1/20	<0.001
	防护门（患者出口）30cm	<0.01	416.7	1/8	<0.001
甲癌病房 1 （1 人间）	顶棚 30cm（内镜中心更衣室）	0.03	2000	1	0.060
	地板 1.7m（回旋加速器放化实验室）	0.06	2000	1/4	0.030
	东墙外 30cm （核磁共振设备间）	0.73	2000	1/16	0.091
甲癌病房 2 甲癌病房 3 （2 人间）	顶棚 30cm（内镜中心治疗室、库房）	0.02	2000	1	0.040
	地板 1.7m（负一层排风机房）	0.06	2000	1/20	0.006
	东墙外 30cm （核磁共振检查室）	0.71	2000	1/16	0.089
甲癌 患者通道	顶棚 30cm（内镜中心通道）	0.05	100	1/5	0.001
	地板 1.7m（回旋加速器场所通道）	0.06	100	1/5	0.001
	防护门（患者出口）30cm	1.63	100	1/8	0.020
备注：①居留因子选取参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求。 ②患者走道外，患者居留时间保守按照年工作时间 2000h 的 1/20 考虑。					

从表 11.1-5 估算结果可知，本项目核医学科场所周边（含上下层）逗留或活动的公众成员因为该项目运行受到的年有效剂量均低于公众成员年剂量管理约束值（0.1mSv）。以上是以辐射工作场所边界外相邻处关注点的辐射剂量率贡献值来估算公众的受照剂量，由于辐射剂量率与距离的平方成反比，对于评价范围内距离更远的公众（表 7-1 中所述），

可推断其受到的年有效剂量均低于以上估算值。符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

11.1.3 核医学科放射性废物对环境的影响。

本项目对放射性废水、放射性固体废物、放射性废气采取了一系列的治理措施。

1、放射性废水：

本项目设计有 2 套衰变池，均为槽式衰变池。本项目根据放射性废水所含核素的种类、半衰期、活度水平，建设了碘衰变池及氟锆衰变池，分别收集项目产生的含碘放射性（ ^{131}I 、 ^{177}Lu ）废水及含核素显像诊断区（ ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）废水。

氟锆衰变池：该 PET/CT 和 SPECT/CT 检查项目的每天总放射性废水排放量为 $0.66\text{m}^3/\text{天}$ 。注满单个衰变池约需要 24.2 天；氟锆衰变池为 3 格级槽式衰变池，以此类推，则第 2 格、第 3 格衰变池注满时，第 1 格衰变池废水暂存的时间为 48.4 天，大于 30 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）第 7.3.3.1 款 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要求。

碘衰变池：按每周 7 天中有 5 天患者排放放射性废水，碘衰变池 5 天收集废水 4.6m^3 ，碘衰变池由 4 格 41m^3 的子衰变池并联组成，衰变池负责接收核素治疗区产生的废水，注满单个子衰变池约需要 $41\text{m}^3 \div 4.6\text{m}^3/\text{周} \times 7 \text{天/周} \approx 62.4 \text{天}$ （8.9 周），以此类推，则第 2 格、第 3 格、第 4 格衰变池注满时，已收集满第 1 格衰变池废水暂存的时间为 187 天，大于 180 天，满足“《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（生态环境部辐射源安全监管司，2023 年 9 月 11 日）”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”的要求。

放射性固体废物：

主要是放射性药物操作使用过程中沾染放射性药物的固体废物，包括一次性注射器、棉签、滤纸、手套、一次性水杯、更换下来的废活性炭。患者用过的床上用品集中储存于被褥间，固体衰变箱用于储存患者产生其他放射性固体废物。

（1）PET/CT 检查项目，每天 30 人次（满负荷时），每人预计产生一次性注射器、口罩、手套以及擦拭废物等 0.05kg 计，年工作时间按 250 个工作日计算，则 PET/CT 检查项目放射性固体废物年产生量为 375kg/a 。

（2）SPECT/CT 检查项目，每天 30 人次（满负荷时），每人预计产生一次性注射器、口罩、手套以及擦拭废物等 0.05kg 计，年工作时间按 250 个工作日计算，则 SPECT/CT

检查项目放射性固体废物年产生量为 375kg/a。

(3) 甲功能测定项目，全年就诊人次为 5250 人次/年，患者门诊诊疗过程放射性固废产生量约 0.02kg/人次，则甲功能测定项目放射性固体废物年产生量为 105kg/a。

(4) 甲亢治疗项目，全年治疗 5000 人次，每人次预计产生一次性水杯以及纸巾等 0.02kg 计，则甲亢治疗项目放射性固体废物年产生量为 100kg/a。

(5) 甲癌治疗和 ^{177}Lu 治疗项目，全年治疗人数 250 例，住院前服药产生的一次性水杯以及纸巾等 0.02kg/人次计，甲癌患者住院期间放射性固废产生量取 0.2kg/床·天，年工作时间按 250 个工作日计算，则甲癌治疗项目放射性固体废物年产生量为 255kg/a。

(6) 废活性炭，本项目核医学科采用独立的通排风设施，放射性废气排放口设置有 6 套活性炭过滤装置，活性炭填装量为 25kg，平均每半年更换一次，则废活性炭每年产生量为 150kg。

综上，项目每年预计产生上述含放射性固体废物 1360kg。

核医学科拟在核素显像诊断区固废间配备 5 个的固体衰变箱（20mmPb，70L）和在核素治疗区固废间配备 4 个的固体衰变箱（30mmPb，150L），对核医学科产生的放射性固废存放。

含有核素 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性固体废物暂存时间要超过 30 天；含有核素 ^{131}I 、 ^{177}Lu 的放射性固体废物暂存时间要超过 180 天；经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，方可对废物清洁解控作为医疗废物处理。放射性固体废物的存储和处理安排专人负责，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。

本项目核素治疗区（ ^{131}I 、 ^{177}Lu ）共设置 1 间单人核素病房，2 间双人核素病房，按每周 1 批患者计算，每周产生旧被服 5 套，每月 20 套，对患者用过的床上用品就近集中储存，正常换洗的被服经集中暂存超过最长半衰期核素的 1 个半衰期（按 9 天考虑）后可进行清洗；特殊情况出现严重污染的被服将压缩封存后按固体废物暂存 180 天后处理。

综上所述，本项目产生的放射性固体废物均能得到妥善处置，满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的相关要求，对周边环境辐射影响较小。

3、放射性废气：

本项目核医学科控制区工作场所设置 6 路独立的排风系统，每路排风管道均拟设置止

回阀，各支管道均设置防倒灌装置，避免废气倒灌和泄漏。分装室内分装柜均设置有通风橱，拟配风机风速不小于 0.5m/s，通风橱设置有单独的排风管道，排风口拟设置于核医学建筑楼屋顶；在高活性区设置通风设施，排风量大于进风量，保持这些控制区的负压，空气流向为低活区向高活区流动，排风口高于建筑楼屋顶，并拟设置活性炭为过滤装置，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相应要求，项目放射性废气对周围环境影响较小。

因此，采取三废治理措施后，放射性固体废物和流出物预期对环境产生的影响很小。

11.1.4 核医学科事故影响分析。

11.1.4.1 核医学科可能的辐射事故

- （1）由于管理不善，放射性药物被盗、丢失。
- （2）在转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的放射性药物意外泄漏，造成台面、地面辐射污染。
- （3）患者注射药物时意外泄漏，造成台面、地面辐射污染。
- （4）工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量。
- （5）放射性废水或放射性固废未达到解控水平或排放标准即进行处理。
- （6）扫描机房防护门门灯联锁失效，机房防护门未正常关闭便开始扫描，造成额外附加照射剂量。

11.1.4.2 核医学科辐射事故应急措施

11.1.4.2.1 III类射线装置

本次新增项目III类射线装置为 PET/CT 和 SPECT/CT 的 CT 部分，III类射线装置运行过程中可能发生的辐射事故及风险的发生主要是在管理上出问题，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查机房的性能及有关的安全警示标志是否正常工作，避免无关人员误入正在使用的射线装置机房内。

一旦发生辐射事故，处理的原则是：

- （1）立即消除事故源，防止事故继续蔓延和扩大，即第一时间断开电源，停止 X 射线的产生。
- （2）及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查。

(3) 及时处理，出现事故后，应尽快集中人力、物力，有组织、有计划的进行处理。这样，可缩小事故影响，减少事故损失。

(4) 在事故处理过程中，要在可合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。

(5) 事故处理后应整理资料，及时总结报告。医院对于辐射事故进行记录：包括事故发生的时间和地点，所有涉及的事故责任人和受害者名单；对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果；所做的任何医学检查及结果；采取的任何纠正措施；事故的可能原因；为防止类似事故再次发生所采取的措施。

对可能发生的放射事故，应及时采取措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，并接受监督部门的处理。同时上报生态环境部门和卫健委部门。

11.1.4.2.2 放射性物质

(1) 放射性污染控制

当核医学项目发生放射性污染时，应当及时采取得当的应急措施，使放射性污染得到及时有效地控制。具体的处理方法如下。

①确认引起放射性污染事故的发生及当事人。

②确定发生污染的核素名称、数量、剂量和放射性污染的具体位置、范围、放射性强度等和发生的时间。

③做好警示标识，及时隔离及限制污染现场，穿戴好铅衣等防护用品对污染部位采用肥皂等清洗剂反复清洗，至污染控制水平以下为止。

④评价去污处理效果：污染部位或污染物进行去污处理后应进行处理效果的评价，如用辐射监测仪进行表面污染放射性检测，同时用于去污处理的材料去污处理后应按放射性废物处置，以防放射性污染的扩大和二次污染的发生。被污染过的仪器和器械应暂停使用。

(2) 放射性核素偷盗、丢失事故的处理

①确认放射性核素、放射源被偷盗、丢失事故的发生。

②查证放射性核素、放射源的核素名称、数量、活度，被偷盗、丢失的可能时间、地点和嫌疑人等。

③及时向生态环境、卫健委部门报告，积极配合公安部门的调查。

④写出事故处理结果报告，查找事故发生的原因及可能的环节，评估事故影响。

11.1.4.3 核医学科辐射事故防范措施

(1) 定期开展安全装置与设施检查，保证检查室机房电动推拉防护门门灯联锁装置

有效。制定并落实操作规范，工作人员定期培训。

(2) 做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

(3) 制定并落实核医学科辐射防护制度，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。

(4) 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，配备必要的防护用品，减少药物操作和运输过程中洒漏事故发生。

(5) 加强工作人员自身防护安全意识，定期组织培训，使工作人员明确配备的防护用品（铅衣、铅手套、铅围裙、铅颈套、铅眼镜等）及存放位置。

(6) 做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

(7) 加强对有药患者的管理，在不影响诊断的情况下，合理安排其服药量，并对出院的有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公共场所去活动，并避免与家人近距离密切接触。

(8) 放射性性固体废物衰变箱外应标注内含核素种类、封存时间。医院应加强放射性废水和固废排放处理管理，按照本环评要求的衰变时间停留衰变，处理前进行监测，达到解控水平后方可进行进一步处理。

11.1.4.4 应急预案的启动

(1) 一旦发生辐射事故，即时启动《放射防护事故应急处理预案》。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) 发生事故后应在及时上报生态环境、卫健委行政和公安部门。

11.2 放疗科环境影响分析

11.2.1 建设阶段对环境的影响分析

同 11.1.1 核医学科项目建设阶段对环境的影响。

11.2.2 加速器运行阶段对环境的影响

11.2.2.1 加速器机房环境影响分析

本项目 2 间直线加速器机房均按照最大 X 射线能量为 10MV 进行机房设计。本次评价

按照建设单位确定的设备能量、剂量率参数对机房进行评价分析，评价结论仅对本报告中所述的参数有效。

本项目直线加速器有常规模式和非均整（FFF）模式两种工作模式，X 射线能量档位共 2 挡：6MV、10MV 常规模式工作时，各档位 X 射线能量等中心最大剂量率均为 600cGy/min（ $3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ ）。非均整（FFF）模式工作时，6MV 条件下，等中心最大剂量率为 1400cGy/min（ $8.4 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ ）；10MV 条件下，等中心最大剂量率为 2400cGy/min（ $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$ ）。

①X 射线：6MV 时，X 射线能量和等中心剂量率均低于 10MV，因此，如果对 10MV X 射线的屏蔽防护是适当的，那么对 6MV X 射线的屏蔽防护也是适当的，因此，本项目对于 X 射线按照考虑 10MV（2400cGy/min）的屏蔽防护要求进行理论计算并分析。

②电子线：20MeV 电子在普通混凝土中的最大射程仅为 5.2cm，因此，如果对 X 射线的屏蔽防护是适当的，那么对电子线的屏蔽防护也是适当的。

综上所述，计算直线加速器机房的屏蔽防护时，对于墙体和顶棚的屏蔽防护应考虑 10MV（2400cGy/min）X 射线的屏蔽防护要求；对于防护门，需考虑 10MV（2400cGy/min）X 射线的屏蔽防护要求。

11.2.2.2 加速器机房周围辐射影响估算方法

1、加速器机房有用线束主屏蔽区宽度核算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）4.3.3 中有关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度，机房主屏蔽墙体宽度核算结果见表 11.2-2。

宽束辐射的有用束对应的机房屏蔽为主屏蔽区，其范围应略大于有用束在机房屏蔽墙（或顶）的投影区，其计算公式见式（11.2-2），示意图见图 11.2-3。

$$Y = 2[(a + SAD + X) \cdot \tan \theta + 0.3] \quad (\text{式 11.2-2})$$

式中：

Y—主屏蔽墙宽度，cm；

SAD—源轴距取 100，cm；

a—等中心点至墙的距离，cm；

X—主屏蔽墙内凸 $X=X_2$ ，外凸 $X=X_1+X_2$ ，cm；

θ —治疗束的最大张角（相对轴线）。

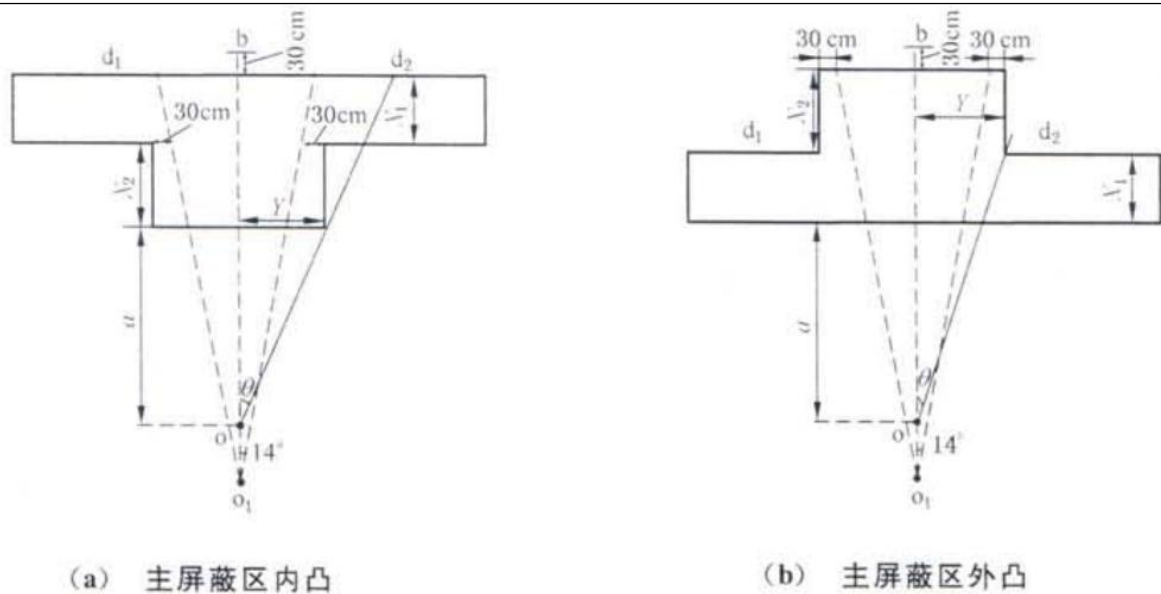


图 11.2-3 加速器机房主屏蔽区宽度计算示意图

2、加速器机房各屏蔽墙体所需屏蔽厚度计算方法

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）中的计算方法，估算不同关注点达到剂量率参考控制水平时所需的屏蔽厚度，相关的计算公式如下：

（1）使用什值层屏蔽计算方法

①有效屏蔽厚度

当 X 射线束以 θ 角斜射入厚度为 X（cm）的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 X_e （cm）见式（11.2-3）：

$$X = X_e \cdot \cos\theta \quad (\text{式 11.2-3})$$

②屏蔽厚度 X（cm）与屏蔽透射因子 B 的相应关系

对于估算出的屏蔽透射因子 B，按式（11.2-4）估算所需的有效屏蔽厚度 X_e （cm），再按式（11.2-3）估算所需屏蔽厚度 X（cm）。

$$X_e = TVL_e \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL_e) \quad (\text{式 11.2-4})$$

TVL_1 和 TVL_e 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。

（2）不同辐射的屏蔽估算方法

（a）有用线束和泄漏辐射的屏蔽估算

关注点达到剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 时，设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按式（11.2-5）计算：

$$\dot{H}_c = \frac{\dot{H}_o \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11.2-5)$$

式中：

\dot{H}_c —剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_o —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；本项目 X 射线输出率：10MV 加速器时 $1.44\times 10^9\mu\text{Sv/h}$ （最大输出剂量率 24Gy/min）；

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，取 0.1%。

(b) 患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算

关注点达到剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 时，设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按式 (11.2-6) 计算：

$$\dot{H}_c = \frac{\dot{H}_o \cdot a_{\text{ph}} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad (11.2-6)$$

式中：

\dot{H}_c —剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

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

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

a_{ph} —患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m(关注点方向)处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子；根据 GBZ/T201.2-2011 附录表 B.2 可查。

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 。

(d) 加速器（≤10MV）机房的迷路散射辐射屏蔽与剂量估算（主射束不向迷路）

①入口处的散射辐射剂量率按式（11.2-7）计算

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{\text{ph}} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_o \quad (\text{式 } 11.2-7)$$

式中：

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

a_{ph} —患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m(关注点方向)处的剂量比例，

又称 400cm² 面积上的散射因子；通常取 45° 散射角的值，根据 GBZ/T201.2-2011 附录表 B.2 可查。

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

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

R_1 —散射体中心点（有用线束在屏蔽墙上的投影点）与墙上散射点的距离， m ；

R_2 —墙上散射点与关注点的距离， m ；

α_2 —混凝土墙入射的患者散射辐射的散射因子，通常取入射角 45°，散射角 0°。

A —墙上的散射面积， m^2 。

②入口门屏蔽

当给定防护门屏蔽厚度 X （ cm ）时，防护门外的辐射剂量率 \dot{H} 见式（11.2-8）：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \quad (\text{式 11.2-8})$$

式中给定的铅的 TVL 值为 0.5cm（铅）， \dot{H}_{og} 为穿过迷路内墙的泄漏辐射在防护门处的剂量率，其值按式（11.2-5）计算。

（3）预测参数选取

①源项的技术参数：X 射线最大额定能量 10MV；10MV 模式下 X 射线等中心最大剂量率为 2400cGy/min（ $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy}/\text{h}$ ），在核算中设 1 Gy=1 Sv；

②源皮距 SSD=100cm，等中心处最大照射野为 40cm×40cm；

③核算屏蔽关注点距墙体外侧表面距离为 30cm；

④等中心距地面高度为 125cm；

⑤有用线束、泄漏辐射、患者 30°散射辐射在屏蔽材料中的什值层：

表 11.2-2 各类辐射在混凝土屏蔽材料中的什值层

什值层 (TVL)	主射束		漏射线（90°）		30°散射线
	TVL ₁ （cm）	TVL _e （cm）	TVL ₁ （cm）	TVL _e （cm）	TVL（cm）
10MV	41	37	35	31	28

查《辐射防护手册》（第三分册）图 4.10 得，10MV 的 X 射线对铅的什值层近似为 5.7cm。根据 GBZ/T201.2-2011 得，入口处散射辐射能量约为 0.2MeV，铅的 TVL 为 5mm。

⑥X 射线患者受照面积 400cm² 的散射因子:

表 11.2-3 患者受照面积 400cm² 的散射因子

散射角	20°	30°	45°	60°	90°
散射因子 (10MV)	5.79×10^{-3}	3.18×10^{-3}	1.35×10^{-3}	7.46×10^{-4}	3.81×10^{-4}

11.2.2.3 加速器项目辐射影响估算结果及评价

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的要求，在加速器机房外设定关注点。由于本项目 2 间加速器机房呈东西镜面对称设计，屏蔽设计参数、机房面积一致，故屏蔽防护设计满足 1 号加速器机房屏蔽防护要求，也能满足 2 号加速器机房屏蔽防护要求，反之亦然；结合机房周围环境及屏蔽厚度，本次评价选择 1 号加速器机房设置相关关注点（机房屏蔽体外 30cm）进行屏蔽计算与评价。本项目 1 号加速器机房外的关注点如图 11.2-1、图 11.2-2 所示。

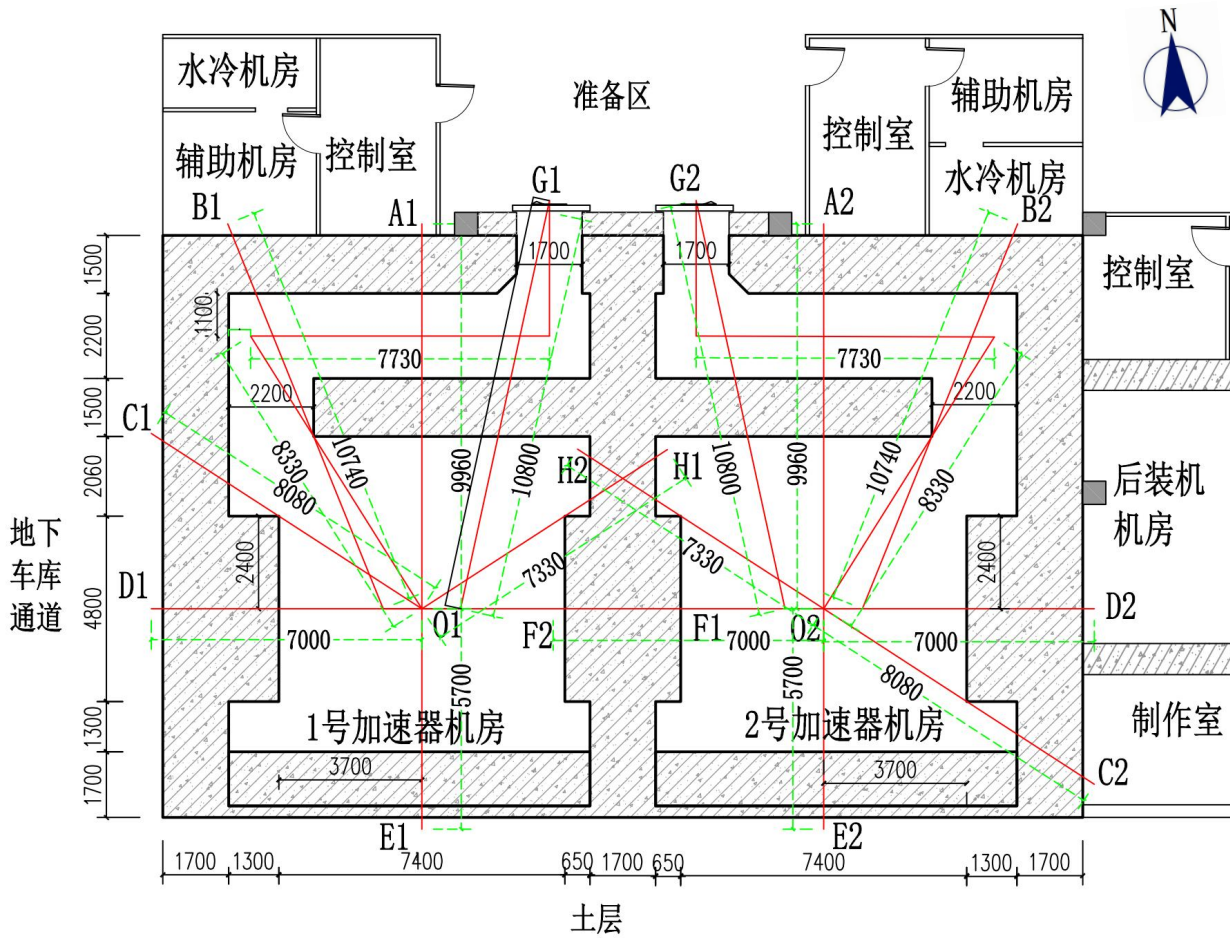


图 11.2-1 加速器机房周围关注点平面示意图

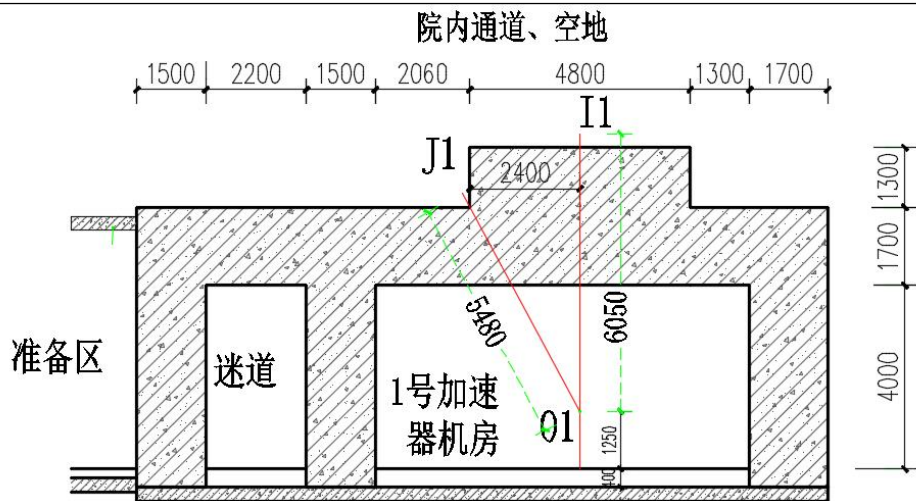


图11.2-2 加速器机房周围关注点剖面示意图

1、主屏蔽区宽度计算结果

根据上述计算方法，结合医院加速器机房图纸及相关参数，得出加速器机房主屏蔽区宽度计算结果见表11.2-4。

表 11.2-4 加速器机房主屏蔽墙投影区宽度计算结果

机房	屏蔽防护墙	参 数	计算宽度 W (m)	设计最小宽 度 W (m)	评价
1 号加速 器机房	西主墙内凸	$a=3.7\text{m}$, $X=1.3\text{m}$, $\theta=14^\circ$	3.60	4.8	可行
	东主墙内凸	$a=3.7\text{m}$, $X=0.65\text{m}$, $\theta=14^\circ$	3.27	4.8	可行
	东主墙外凸	$a=3.7\text{m}$, $X=3.0\text{m}$, $\theta=14^\circ$	4.45	4.8	可行
	顶上主墙内凸	$a=2.75\text{m}$, $X=3.0\text{m}$, $\theta=14^\circ$	3.97	4.8	可行
2 号加速 器机房	东主墙内凸	$a=3.7\text{m}$, $X=1.3\text{m}$, $\theta=14^\circ$	3.60	4.8	可行
	西主墙内凸	$a=3.7\text{m}$, $X=0.65\text{m}$, $\theta=14^\circ$	3.27	4.8	可行
	西主墙外凸	$a=3.7\text{m}$, $X=3.0\text{m}$, $\theta=14^\circ$	4.45	4.8	可行
	顶上主墙内凸	$a=2.75\text{m}$, $X=3.0\text{m}$, $\theta=14^\circ$	3.97	4.8	可行

由核算结果可知，本项目 2 间加速器机房各主屏蔽墙宽度均满足有用射线束的屏蔽区宽度要求。

2、加速器机房周围辐射影响估算结果及评价

根据上述计算方法，结合医院加速器机房图纸及上述参数，计算得出 1 号加速器机房周围各关注点剂量率值结果见表 11.2-5。

表 11.2-5 10MVX 射线 FFF 模式下 1 号加速器机房周围关注点辐射剂量率估算结果

关注点	点位描述	射线类型	核算参数	屏蔽材料及厚度	理论估算值 (μSv/h)		评价
A1	控制室（北侧迷路外屏蔽墙 30cm）	漏射	R=9.96m	300cm 混凝土	<0.01		符合
B1	辅助机房（北侧迷路外屏蔽墙 30cm）	漏射	R=10.74m cosθ=0.927	150cm 混凝土	0.10		符合
C1	地下车库通道（西侧次屏蔽墙 30cm）	散射	R=8.08m cosθ=0.866	170cm 混凝土	0.027	总： 0.04	符合
		漏射			0.014		符合
D1	地下车库通道（西侧主屏蔽墙 30cm）	主射	R=8.0m	300cm 混凝土	0.22		符合
E1	泥土层（南侧屏蔽墙 30cm）	漏射	R=5.7m	170cm 混凝土	0.20		符合
F1	2 号加速器机房（东侧主屏蔽墙 30cm）	主射	R=8.0m	300cm 混凝土	0.22		符合
H1	2 号加速器机房（1 号加速器机房东侧次屏蔽墙 30cm）	散射	R=7.33m cosθ=0.866	170cm 混凝土	0.033	总： 0.05	符合
		漏射			0.017		符合
I1	院内通道、空地（顶上主屏蔽墙 30cm）	透射	R=7.05m	300cm 混凝土	0.29		符合
J1	院内通道、空地（顶上次屏蔽墙 30cm）	散射	R=5.48m cosθ=0.866	170cm 混凝土	0.059	总： 0.09	符合
		漏射			0.030		符合
G1	防护门外（30cm）	漏射	R=10.08m cosθ=0.978	150cm 混凝土 +20mmPb	0.084	总： 0.11	符合
		散射	R ₁ =8.33m; R ₂ =11.23m	20mmPb	0.029		

注：1、混凝土密度不小于 2.35g/cm^3 ，铅板密度不小于 11.34g/cm^3 。

由表 11.2-5 可知，加速器在 10MVX 射线 FFF 工作模式下，加速器机房各核算点的剂量率均小于本评价确定的参考控制水平，表明加速器机房设计的屏蔽厚度在确保施工质量的情况下，预期其屏蔽效果良好。

11.2.3 后装机运行阶段对环境的影响

11.2.3.1 后装机机房环境影响分析

本项目治疗时假设放射源全部被传送至施源器，则辐射环境影响预测时保守将其视为点源来预测计算，本评价主要考虑放射源产生的 γ 射线（即初级辐射）对墙和治疗室顶的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射，评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第

3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中推荐的公式进行辐射屏蔽估算。

本项目拟安装使用 ^{192}Ir 后装机 1 台，根据医院提供的资料，该后装机的技术参数如表 11.2-6 所示。

表 11.2-6 后装机主要技术参数

核素名称	拟装源活度 (Bq)	半衰期	类别	比释动能率常数Kr为	γ射线能量均值
^{192}Ir	$3.70 \times 10^{11}\text{Bq}$	74.0d	III	$0.111\text{mGy} \cdot \text{m}^2/(\text{h} \cdot \text{GBq})$	0.37MeV

11.2.3.2 后装机机房周围辐射影响估算方法

1、后装机机房各屏蔽墙体所需屏蔽厚度计算方法

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中的计算方法，估算不同关注点达到剂量率参考控制水平时所需的屏蔽厚度，相关的计算公式如下：

（1）使用什值层屏蔽计算方法

①有效屏蔽厚度

当 γ 射线束以θ角斜射入厚度为 X（cm）的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 X_e （cm）见式（11.2-10）：

$$X = X_e \cdot \cos\theta \quad (\text{式 11.2-10})$$

②屏蔽厚度 X（cm）与屏蔽透射因子 B 的相应关系

对于给定的屏蔽物质的厚度 X（cm），按式 11.2-11 计算有效屏蔽厚度 X_e （cm），相应的辐射屏蔽透射因子 B 按下式求取（引自 GBZ/T 201.3-2014 第 5.2.1.2 款）。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式 11.2-11})$$

对于估算出的屏蔽透射因子 B，按式（11.2-12）估算所需的有效屏蔽厚度 X_e （cm），再按式（11.2-10）估算所需屏蔽厚度 X（cm）。

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (\text{式 11.2-12})$$

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

（2）初级辐射的屏蔽计算

在给定的屏蔽物质厚度 X（mm）时，首先按式 11.2-10 计算有效厚度 X_e （mm），按

式 11.2-10 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按式 11.2-13 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率。（引自 GBZ/T 201.3-2014 第 5.2.2.1 款）。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_o \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 11.2-13})$$

式中：

\dot{H}_o —活度为 A 的放射源在其 1m 处的剂量率，单位为微希每时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

f —对有用线束为 1；

R —辐射源至关注点的距离，m；

$$\dot{H}_o = A \cdot K_r \quad (\text{式 11.2-14})$$

式中： A —放射源的活度，GBq；

K_r —放射源的空气比释动能率常数， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{GBq})$ ；

（3）散射辐射的屏蔽计算

放射源散射至机房入口处的散射辐射剂量率采用式（11.2-14）计算（引自 GBZ/T 201.3-2014 第 6.3 款）。

$$\dot{H}_g = \frac{A \cdot K_r \cdot S_w \cdot a_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (\text{式 11.2-14})$$

式中：

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

A —放射源的预期最大放射性活度，GBq；

K_r —放射源的空气比释动能率常数， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{GBq})$ ；

S_w —迷路内口墙的散射面积（ $2.8\text{m} \times 5.05\text{m} = 14.1\text{m}^2$ ）， m^2 ；

a_w —散射体的散射因子，本报告中取 3.39×10^{-2} （ 45° 入射辐射， 0° 反散射角射的散射因子，取 0.25MeV 的散射因子，查 GBZ/T 201.3-2014 表 C.4）；

R_1 —辐射源至散射体中心点的距离，m；

R_2 —散射体中心点至计算点的距离，m。

（c）防护门的屏蔽计算

（4）防护门的屏蔽计算

给定防护门的铅屏蔽厚度 X （cm）时，防护门外的辐射剂量率按式 11.2-15 计算（引

自 GBZ/T 201.3-2014 第 5.2.2.5.1 款)。

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \quad (\text{式 11.2-15})$$

式中:

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

\dot{H}_{og} —穿过迷路内墙的泄漏辐射在防护门外的剂量率。

TVL —辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度 (式中 $TVL=5.0\text{mm}$ 铅), mm ;

11.2.3.3 后装机项目辐射影响估算结果及评价

根据上述计算方法, 结合医院后装机机房图纸及上述参数, 考虑到后装机是一个可在治疗室内移动的治疗装置, 按照放射源可能到达四周墙体的内侧面最近距离为 1.0m , 距屏蔽体外 30cm 进行保守计算, 根据院方提供的后装机房混凝土屏蔽厚度及射线在物质中的减弱规律, 对 ^{192}Ir 放射源 γ 射线透射过后装机房的屏蔽体后各关注点处的剂量率值进行核算, 据此判断院方提供的后装机房屏蔽设计是否符合国家相关标准的要求。各关注点理论核算的剂量率值见表 11.2-8。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分: γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014) 的要求, 在后装机机房外设定关注点。本项目后装机机房外的关注点如图 11.2-3、图 11.2-4 所示。

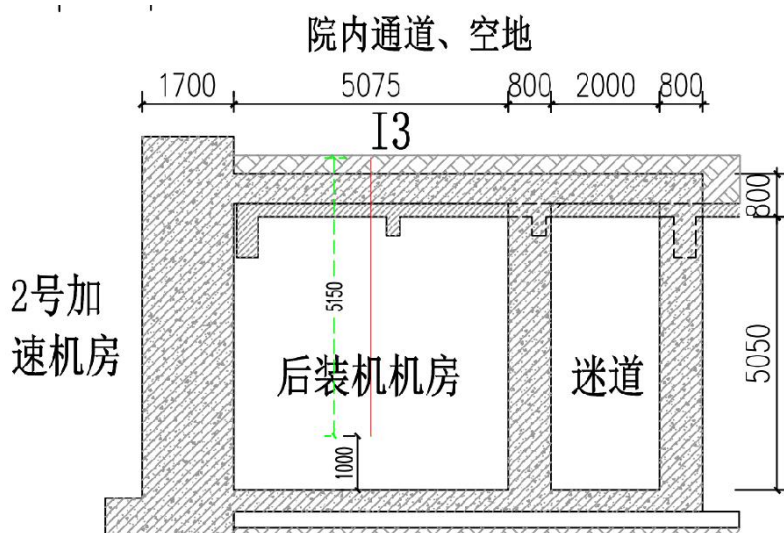


图11.2-3 后装机机房周围关注点剖面示意图

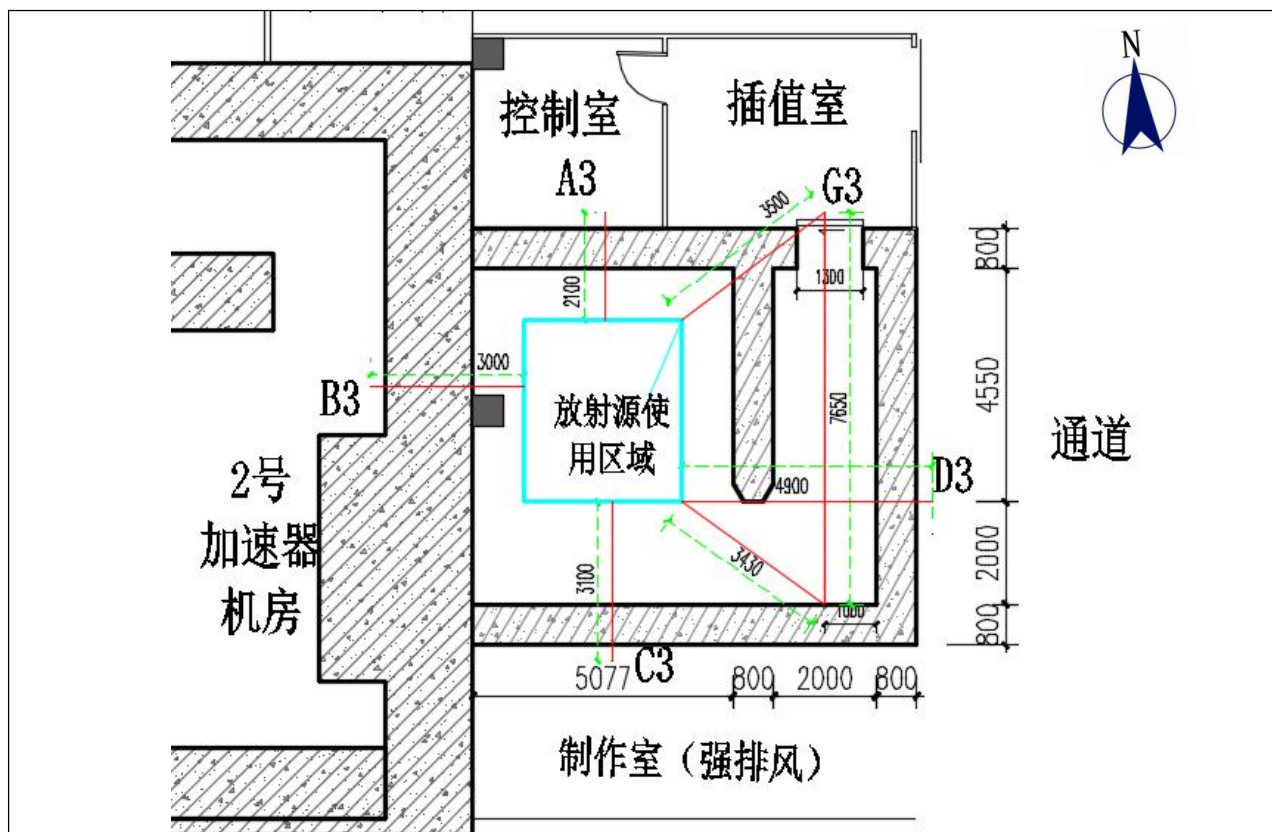


图11.2-4 后装机机房周围关注点平面示意图

表 11.2-7 后装机机房周围关注点辐射剂量率估算结果

关注点	点位描述	核算参数	屏蔽材料及厚度	理论估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)		评价
A3	控制室 (北侧屏蔽墙 30cm)	$R=2.1\text{m}$	80cm 混凝土	0.05		符合
B3	2号加速器机房 (西侧屏蔽墙 30cm)	$R=3.0\text{m}$	170cm 混凝土	<0.01		符合
C3	制作室 (南侧蔽墙 30cm)	$R=3.1\text{m}$	80cm 混凝土	0.02		符合
D3	通道 (东侧屏蔽墙 30cm)	$R=4.9\text{m}$	80cm 混凝土	0.01		符合
I3	院内通道、空地 (顶上屏蔽墙 30cm)	$R=5.15\text{m}$	80cm 混凝土	0.01		符合
G3	防护门外 (30cm)	透射 $R=3.5\text{m}$	80cm 混凝土 +10mmPb	<0.001	总: 0.29	符合
		散射 $S_w=14.1\text{m}^2$, $R_1=3.43\text{m}$; $R_2=7.65\text{m}$	10mmPb	0.286		

注：1、混凝土密度不小于 2.35g/cm^3 ，铅板密度不小于 11.34g/cm^3 。

由表 11.2-7 可知，后装机工作模式下，后装机机房各核算点的剂量率均小于本评价确定的参考控制水平，表明加速器机房设计的屏蔽厚度在确保施工质量的情况下，预期其屏

蔽效果良好。

11.2.4 工作人员和公众人员有效剂量估算

1、剂量估算模式

X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量按下列公式估算：

$$E = \dot{H}_T \times t \times T \times U \times 10^{-3} \quad (11.2-16)$$

式中：

E —关注点的附加有效剂量，mSv/a；

\dot{H}_T —关注点的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t —辐射照射时间，h；

U —有用线束关注位置的方向照射的使用因子，保守均取1；

T —居留因子，参照HJ1198-2021表A.1取值。

2、项目运行对职业人员及公众成员所致有效剂量分析

(1) 加速器放射工作人员

由表 11.2-5 理论估算结果可知，加速器运行时，机房周围工作人员可达区域辐射剂量率最大值为 $0.10\mu\text{Sv/h}$ （辅助机房）。根据院方预计的最大工作量，加速器年出束时间 1357h。从偏安全角度考虑，直线加速器照射的使用因子取 $U=1$ ，工作人员居留因子为 1，代入上式，得加速器工作人员的年有效剂量为 0.14mSv 。

(2) 后装机放射工作人员

1) 开机照射

由表 11.2-7 理论估算结果可知，后装机运行时，机房周围工作人员可达区域辐射剂量率最大值为 $0.38\mu\text{Sv/h}$ （防护门）。根据院方预计项目后装机年出束时间 375h。从偏安全角度考虑，后装机照射的使用因子取 $U=1$ ，工作人员居留因子为 1，代入公式，得本项目工作人员的年有效剂量为 0.11mSv 。

2) 摆位导源照射

按照《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262—2017）标准中“表 1 后装治疗设备质量控制检测项目与技术要求”，后装机工作贮源器内装载量大容许活度的放射源时，距离贮源器表面 5cm 处因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $50\mu\text{Sv/h}$ ；距离贮源器表面 100cm 处因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5\mu\text{Sv/h}$ 。预计后装机每天治疗 15

个患者，每位患者摆位导源 4min，年摆位时间 250h；摆位时距贮源器表面 1m 以上，空气比释动能率按 5 μ Sv/h 计算，不考虑放射源的衰减，则职业人员一年摆位导源受到职业性外照射预期最大剂量当量为 1.25mSv/a。

综上所述，后装机职业人员的职业照射预期年最大剂量为=0.11+1.25=1.36mSv/a，低于本报告提出的 5mSv/a 的管理剂量约束值。

（3）公众人员

邻近本项目加速器机房和后装机房的非放射工作人员，可能受到透射过墙体、防护门的辐射照射。

依据表 11.2-5，10MV 模式下加速机房相应关注点辐射剂量率较大值估算，加速器机房周围公众受照剂量估算结果见表 11.2-8。

表 11.2-8 加速器机房周围公众受照剂量估算结果

关注点	点位描述	居留因子	辐射剂量率 μ Sv/h	年出束时间 h	年有效剂量 mSv
C1	地下车库通道 (西侧次屏蔽墙 30cm)	1/16	0.04	1357	<0.01
D1	地下车库通道 (西侧主屏蔽墙 30cm)	1/16	0.22	1357	0.02
I1	院内通道、空地 (顶上主屏蔽墙 30cm)	1/16	0.29	1357	0.03
J1	院内通道、空地 (顶上次屏蔽墙 30cm)	1/16	0.09	1357	0.01
G1	防护门外 (30cm)	1/8	0.11	1357	0.02

由表 11.2-8 可知，加速器机房周围公众受照剂量估算结果最大为 0.03mSv，小于剂量管理控制值 0.1mSv/a，同时满足《电离辐射防护与辐射源安全基本》(GB18871-2002)及《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198—2021)关于剂量限值的要求。

依据表 11.2-7，后装机机房周围公众受照剂量估算结果见表 11.2-9。

表 11.2-9 后装机机房周围公众受照剂量估算结果

关注点	点位描述	居留因子	辐射剂量率 μ Sv/h	年出束时间 h	年有效剂量 mSv
B3	2 号加速器机房 (西侧屏蔽墙 30cm)	1/8	<0.01	375	<0.01
C3	制作室 (南侧蔽墙 30cm)	1/16	0.05	375	<0.01

D3	通道 (东侧屏蔽墙 30cm)	1/5	0.01	375	<0.01
I3	院内通道、空地 (顶上屏蔽墙 30cm)	1/16	0.008	375	<0.01

由表 11.2-9 可知，后装机机房周围公众受照剂量估算结果最大为<0.01mSv，小于剂量管理控制值 0.1mSv/a，同时满足 《电离辐射防护与辐射源安全基本》（GB18871-2002）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）关于剂量限值的要求。

11.2.5 放射性废物环境影响分析

本项目更换的废 ^{192}Ir 放射源由供应单位回收，不在本项目工作场所内存放，不存在废放射源对周边环境的影响。

11.2.6 放疗科事故影响分析。

11.2.6.1 放疗科可能的辐射事故

1、加速器项目

医院新建的加速器装置为将电能转换成 X 射线能的设备，射线受开机和关机控制，关机时没有射线发出。因此，检修方便，断电状态下也较为安全，在意外情况下，可能产生的辐射事故为：

（1）安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行加速器，则可能造成误照射事故；

（2）除受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行加速器，则会造成机房中人员误照射；

（3）加速器控制系统出现故障，照射治疗不能停止，病人受到计划外照射。

2、后装机项目

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

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

（3）放射源保管不善，可能发生丢失事故，产生严重的环境污染事故。

（4）摆位工作人员尚未撤离机房，控制台处操作人员误操作，后装机出源，对工作人员造成照射。

11.2.6.2 事故应急措施

1、加速器辐射事故应急措施

(1) 事故发生后，应立即切断电源并通知同工作场所的工作人员离开，通知医院辐射事故应急处理领导小组；

(2) 应急处理领导小组启动应急处理预案，小组讨论及确定隔离区，疏散人群，保护好现场。同时，检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查；

(3) 及时报告卫生、生态环境主管部门；

(4) 配合上级有关部门对现场进行勘查以及环保安全技术处理，检测等工作，查找事故发生原因，进行调查处理和责任追究；

(5) 当发生故障的射线装置修复后，必须经有资质的放射卫生技术服务机构进行检测合格并报生态环境主管部门、卫生等行政主管部门批准后方可解除应急状态；

(6) 恢复正常的工作秩序，召集相关人员总结事故的经验教训，及时修订相关的管理体系和文件，杜绝同类事故的再次发生。

2、后装机治疗期间的卡源事故处理方案

(1) 定期验证安全装置与设施的有效性，保证门机联锁装置有效。

(2) 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，进行源照射前控制台工作人员应观察监控确保机房内摆位工作人员已撤出。

(3) 当发生停电、卡源或意外中断照射时，后装机本身设计具有应急自动返回工作贮源器的功能，放射源能自动返回工作贮源器。当自动回源装置功能失效时，辐射工作人员通过操作台按下“手动回源”按钮。发生时机房无病人的状态，立即报告放疗机房技术组长和设备科，进行设备故障排除或联系厂家维修，并做好记录。若以上措施均失效，或同时发生机房内有病人的治疗中机外卡源事件时，应立即采取以下措施：

a) 第一时间由在场工作人员佩戴好个人剂量计和铅衣、铅裙、铅目镜等个人防护措施，以最短时间抢救出病人并以最快的速度关闭后装治疗室防护门。

b) 记录卡源时间和病人暴露时间

11.2.6.3 事故防范措施

1、加速器辐射事故防范措施

(1) 制定有自检制度，且严格进行经常性自查，如发现门机联锁、监视器、工作状态指示灯、电离辐射警告标志不够完善或失灵，以及防护门出现故障，应立即补充和修复。定期进行门机联锁装置、工作指示灯检查，防止人员误入。

(2) 加强人员培训，制定规范的操作规程并落实。

(3) 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，实施照射前控制台工作人员应先观察监控确保机房内摆位工作人员已撤出。

(4) 做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

(5) 医院应联系有维修资质的人员前来对设备进行维护，不得私自拆卸维修 X 射线装置。

2、后装机辐射事故防范措施

(1) 换源事宜由供源厂家专业人员负责，严禁私自拆卸。做好设备日常维护，经常对设备的性能进行检查，防止卡源事故发生。

(2) 定期验证安全装置与设施的有效性，保证门机联锁装置有效。

(3) 放射源贮存在专用贮源室，并限制人员进入，做好防盗措施，设置防盗门、防盗窗及报警装置等。制定并落实放射源安全管理与台账制度，设专人负责。

(4) 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，实施照射前控制台工作人员应现观察监控确保机房内摆位工作人员已撤出。

11.2.6.4 应急预案的启动

(1) 一旦发生辐射事故，即时启动《放射防护事故应急处理预案》。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) 发生事故后应在及时上报生态环境、卫健委行政和公安部门。

11.3 介入手术项目环境影响分析

11.3.1 介入手术项目建设阶段对环境的影响

同 11.1.1 核医学科项目建设阶段对环境的影响。

11.3.2 介入手术项目运行阶段对环境的影响

本项目 DSA+CT 复合手术室配套使用 CT 属于 III 类射线装置，属于对环境影响较小的建设项目，CT 机房的尺寸、布置、屏蔽厚度等按照（GBZ130-2020）的要求进行设计。综上所述，CT 产生的 X 射线不会对周围环境产生明显的辐射影响，对周围环境的辐射工作人员及公众的辐射影响可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

因此，本项目 DSA+CT 复合手术室主要考虑 DSA 的辐射影响。

11.3.2.1 介入手术项目辐射环境影响分析

1、场所辐射水平分析

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，工作人员位于控制室，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、透视两种工况下机房周围的辐射水平进行了预测。

在介入手术过程中，机头有用线束直接照向患者，根据《Structural Shielding Design For Medical 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患者、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辐射影响。

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 1000mA，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 60~90kV/300~500mA；透视模式下管电压和管电流为 60~90kV/5~60mA，本环评拟进行保守估算，采用摄影工况下的设备参数：管电压 100kV，管电流 500mA；透视工况下的设备参数：管电压 70kV，管电流 60mA。

2、辐射源强

根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020),介入设备等效总滤过不小于 2.5mmAl,本项目购置正规生产厂家生产的设备,滤过参数满足标准要求,本次计算总滤过取 2.5mmAl 保守读数。根据《辐射防护手册》(第三分册)图 3.1 可查知离靶 1m 处空气中的空气比释动能值 (mGy/mA·s),按《辐射防护手册》(第一分册)式 4.4 计算可得 X 射线机离靶 1m 处的照射量率。

参照 GBZ/T 201.1-2007 的第 4.8.3 款,为了 DSA 机房屏蔽剂量估算和评价的方便及统一,在辐射屏蔽及其设计范畴内,不进行诸物理量(周围剂量当量 Sv、空气比释动能 Gy、有效剂量 Sv)之间的转换系数修正。

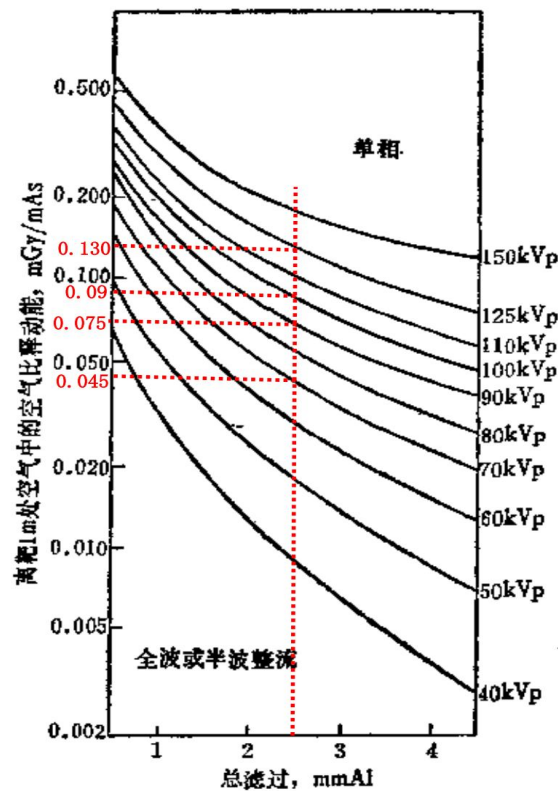


图 13.3-1 距 X 射线 1m 处的照射量率随管电压及总过滤厚度变化的情况

表 13.3-1 DSA、ERCP 运行工况、计算参数一览表

设备	运行模式	运行管电压 (kV)	运行管电流 (mA)	离靶 1m 处空气中的空气比释动能 (mGy/mA·s)	距靶 1m 处的最大剂量率 (μGy/h)
DSA	摄影	100	500	0.090	1.62×10 ⁸
	透视	70	60	0.045	9.72×10 ⁶
ERCP	摄影	100	500	0.090	1.62×10 ⁸
	透视	70	20	0.045	3.24×10 ⁶

3、关注点情况

由于本项目 DSA 和 ERCP 未确定设备厂家以及型号，以规格为 2.5m×0.8m 的病床位于机房正中心，各防护门屏蔽厚度相同，取距离源点最近的防护门为关注点代表，机房四周预测点位与射线装置出束点距离=出束点到屏蔽体的距离+屏蔽体厚度（观察窗、防护门厚度忽略）+30cm（根据 GBZ130-2020，机房四周预测点为距屏蔽体外 30cm 处）。保守考虑，X 射线球管位于距地面 0.4m 处。根据 GBZ130-2020，楼上关注点取距楼上地面 1 米处，楼下关注点取距机房地面下方距楼下地面 1.7 米处，手术床离地距离按 1m、球管（射线源点）与病人（散射体）距离按 0.4m；曝光时护士站位距离源点约 2m。

表 13.3-2 DSA、ERCP 机房平面设计参数一览表

机房名称	规格（长×宽×高）	面积
1#门诊医技楼一层放射科 DSA 机房	6.80m×6.90m×5.38m	46.92m ²
1#门诊医技楼一层急诊中心 DSA+CT 复合手术室	DSA 部分：7.02m×10.8m×4.38m	75.81m ²
	CT 部分：5.96m×7.5m×4.38m	44.70m ²
1#门诊医技楼二层内镜中心 ERCP 机房	5.20m×5.50m×4.38m	28.60m ²
1#门诊医技楼四层手术区 DSA1 机房	6.60m×11.0m×4.38m	72.60m ²
1#门诊医技楼四层手术区 DSA2 机房	6.80m×9.20m×4.38m	62.56m ²
1#门诊医技楼四层手术区 DSA3 机房	7.00m×9.10m×4.38m	63.70m ²
1#门诊医技楼四层手术区 DSA4 机房	6.80m×13.0m×4.38m	88.40m ²

根据表 13.3-2 和章节“10.3.4 辐射防护屏蔽设计，表 10.3-3”可知，本项目 5 间 DSA、1 间 DSA+CT 手术室和 1 间 ERCP 机房各屏蔽体屏蔽防护措施等效防护效果一致，因此选择 1#门诊医技楼一层放射科 DSA 机房、1#门诊医技楼一层急诊中心 DSA+CT 复合手术机房、1#门诊医技楼二层内镜中心 ERCP 机房及 1#门诊医技楼四层手术区 DSA2 机房为代表对相关介入机房四周各关注点的泄漏辐射剂量率计算，若关注点的剂量率能够满足标准，则说明屏蔽设计方案满足要求，其它手术室屏蔽措施也能满足要求。床位规格为 0.8m×2.5m。

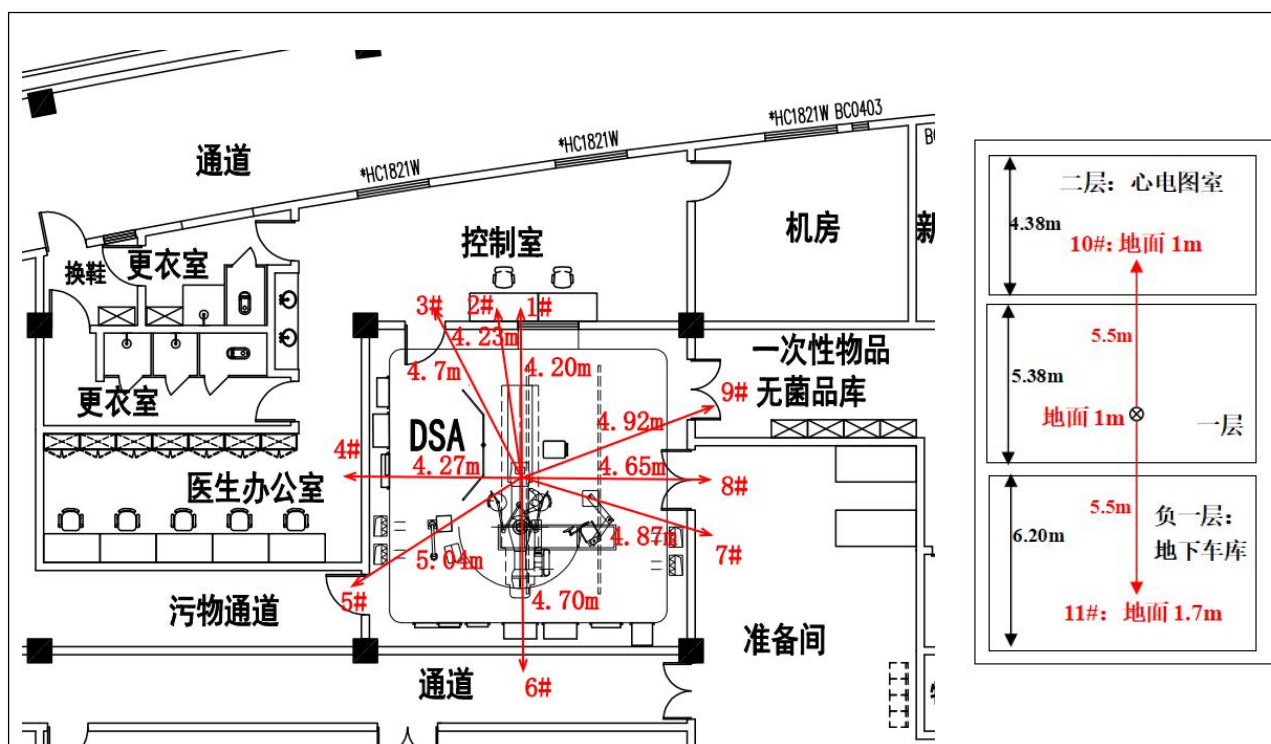


图 13.3-2 1#门诊医技楼一层放射科 DSA 机房关注点示意图

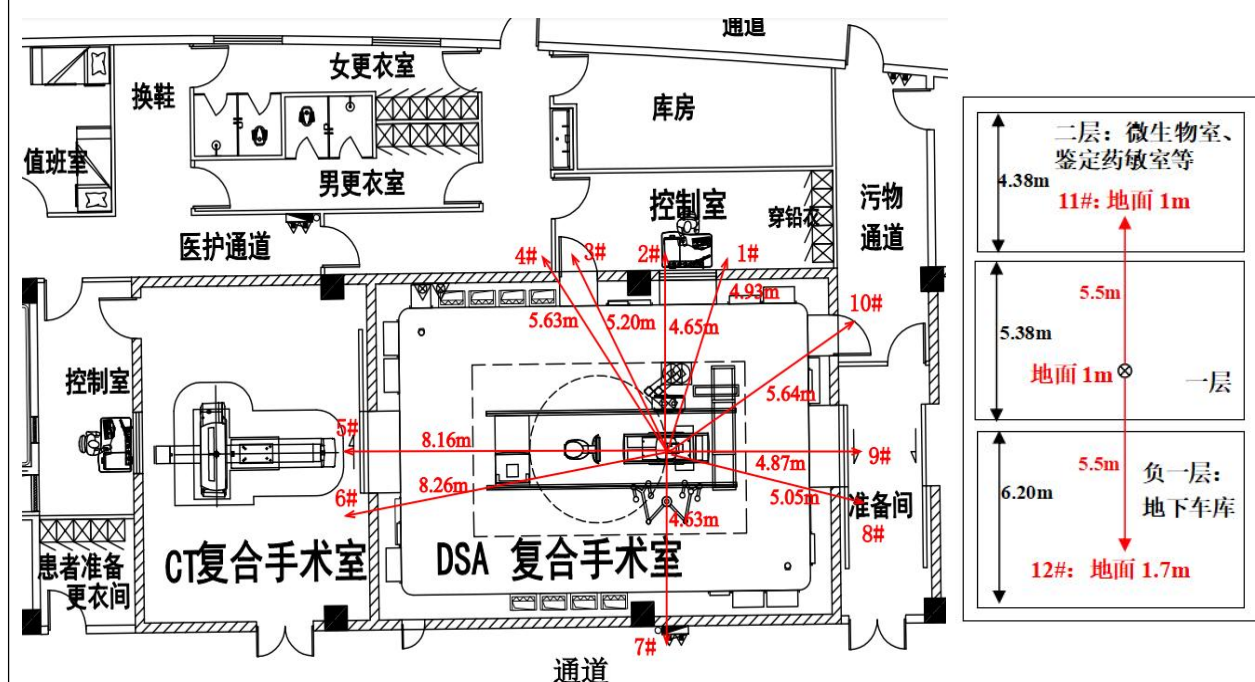


图13.3-3 1#门诊医技楼一层急诊中心DSA+CT复合手术室关注点示意图

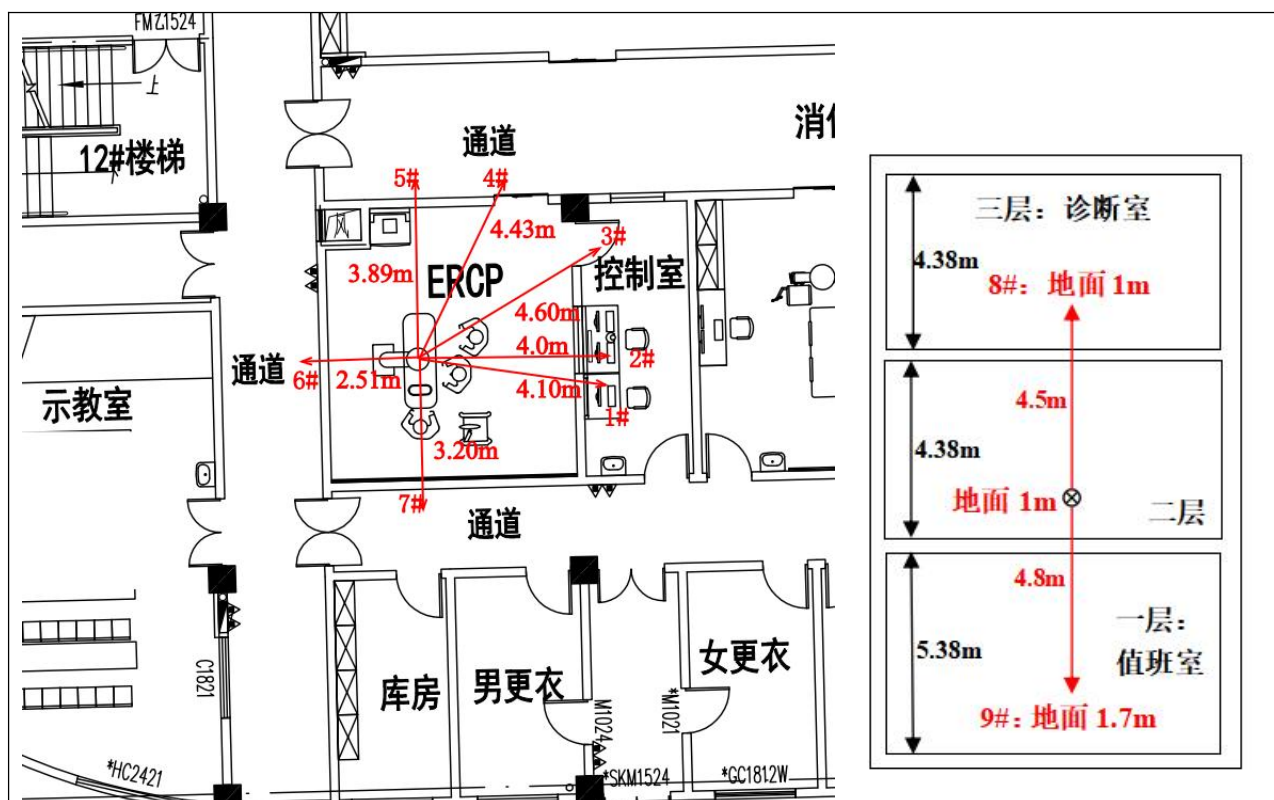


图13.3-4 1#门诊医技楼二层内镜中心ERCP机房关注点示意图

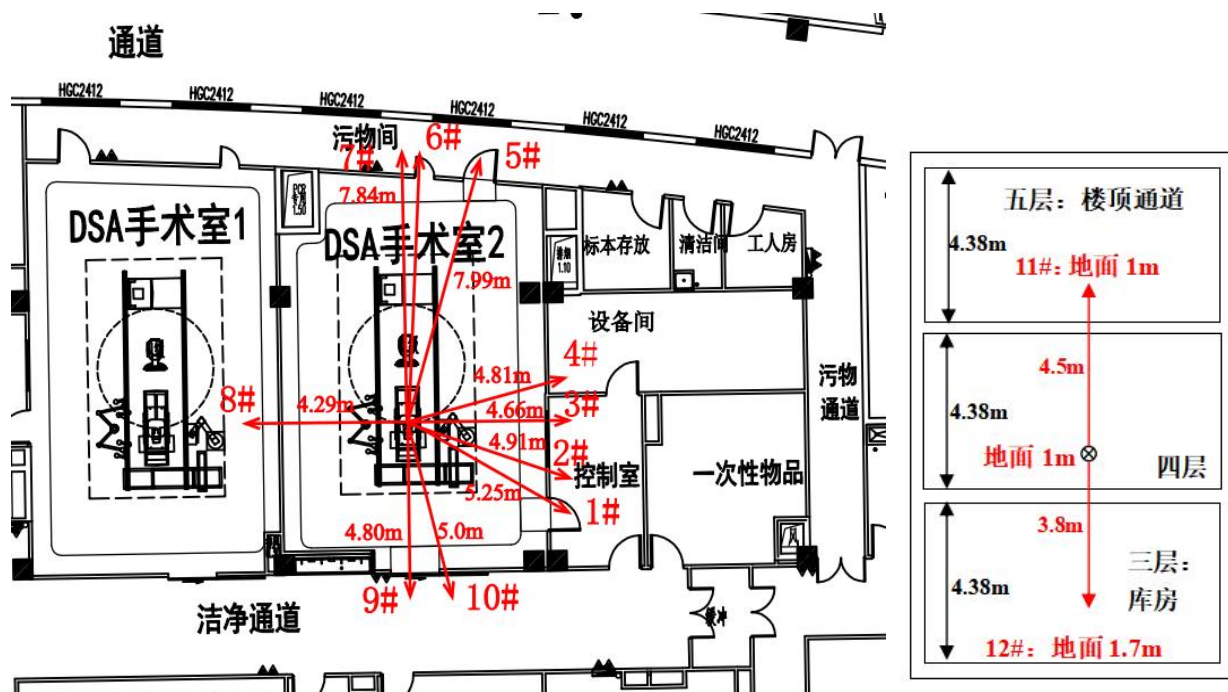


图13.3-5 1#门诊医技楼四层手术区DSA2机房关注点示意图

4、计算公式

(1) 泄漏辐射

泄漏辐射剂量率计算，参考《辐射防护手册》第一分册（李德平、潘自强主编）中给出的公式计算。

$$H_L = \frac{H_0 \cdot B \cdot f}{d^2} \quad (\text{式11.3-1})$$

式中：

H_L ——关注点处的泄露漏射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

f ——设备射线泄漏率，0.1%；

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

d ——关注点至靶点的距离，m；

B ——屏蔽透射因子。

透射因子 B 按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中给出的公式计算：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (\text{式11.3-2})$$

式中：

B ——给定铅厚度的屏蔽透射因子；

X ——屏蔽材料铅当量厚度，mm；

α 、 β 、 γ ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数（取自 GB130-2020 附录 C），本项目取值见表 11.3-3。

表 11.3-3 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

管电压 (kV)	屏蔽材料	α	β	γ
70	铅	5.369	23.49	0.5881
	混凝土	0.05087	0.1696	0.3847
	砖	0.05060	0.1370	0.7150
90	铅	3.067	18.83	0.7726
	混凝土	0.04228	0.1137	0.469
	砖	0.0375	0.082	0.892
100（主束）	铅	2.500	15.28	0.7557

100（散射）	混凝土	0.03925	0.08567	0.4273
	砖	0.0352	0.088	1.149
	铅	2.507	15.33	0.9124
	混凝土	0.0395	0.0844	0.5191
	砖	——	——	——
注：拟合参数均取自于《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）				

表 11.3-4 介入手术机房四周关注点泄漏辐射计算参数

设备	工作模式	关注点	屏蔽材料及厚度	折合有效等效铅当量 mmPb	α	β	γ	B
DSA	透视	四面墙体（放射科 DSA 机房）	20cm 多孔砖+4mmPb 硫酸钡复合防护板	4	5.369	23.49	0.5881	2.70E-11
		四面墙体（手术区 DSA 机房）	4mmPb 铅板	4	5.369	23.49	0.5881	2.70E-11
		地板（放射科 DSA 机房）	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料	6	5.369	23.49	0.5881	5.86E-16
		地板（急诊中心复合手术室 DSA 机房）	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料	6	5.369	23.49	0.5881	5.86E-16
		地板	12cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料	5	5.369	23.49	0.5881	1.26E-13
		天棚（放射科 DSA 机房）	12cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡复合防护板	5	5.369	23.49	0.5881	1.26E-13
		天棚	12cm 混凝土+4mmPb 铅板	5	5.369	23.49	0.5881	1.26E-13
		防护门	4mmPb 铅板	4	5.369	23.49	0.5881	2.70E-11
		观察窗	4mmPb 铅玻璃	4	5.369	23.49	0.5881	2.70E-11
	摄影	四面墙体（放射科 DSA 机房）	20cm 多孔砖+4mmPb 硫酸钡复合防护板	4	2.500	15.28	0.7557	3.39E-06
		四面墙体（手术区 DSA 机房）	4mmPb 铅板	4	2.500	15.28	0.7557	3.39E-06

ERCp		地板（放射科 DSA 机房）	20cm 混凝土 +4mmPb 硫酸钡防护涂料	6	2.500	15.28	0.7557	2.28E-08
		地板（急诊中心复合手术室 DSA 机房）	20cm 混凝土 +4mmPb 硫酸钡防护涂料	6	2.500	15.28	0.7557	2.28E-08
		地板	12cm 混凝土 +4mmPb 硫酸钡防护涂料	5	2.500	15.28	0.7557	2.78E-07
		天棚（放射科 DSA 机房）	12cm 混凝土 +4mmPb 硫酸钡复合防护板	5	2.500	15.28	0.7557	2.78E-07
		天棚	12cm 混凝土 +4mmPb 铅板	5	2.500	15.28	0.7557	2.78E-07
		防护门	4mmPb 铅板	4	2.500	15.28	0.7557	3.39E-06
		观察窗	4mmPb 铅玻璃	4	2.500	15.28	0.7557	3.39E-06
	透視	四面墙体	20cm 多孔砖+ 4mmPb 铅板	4	2.500	15.28	0.7557	2.70E-11
		地板	12cm 混凝土 +4mmPb 硫酸钡防护涂料	5	2.500	15.28	0.7557	1.26E-13
		天棚	12cm 混凝土 +4mmPb 铅板	5	2.500	15.28	0.7557	1.26E-13
		防护门	4mmPb 铅板	4	2.500	15.28	0.7557	2.70E-11
		观察窗	4mmPb 铅玻璃	4	2.500	15.28	0.7557	2.70E-11
		摄影	四面墙体	20cm 多孔砖+ 4mmPb 铅板	4	2.500	15.28	0.7557
地板			12cm 混凝土 +4mmPb 硫酸钡防护涂料	5	2.500	15.28	0.7557	2.78E-07
天棚			12cm 混凝土 +4mmPb 铅板	5	2.500	15.28	0.7557	2.78E-07
防护门			4mmPb 铅板	4	2.500	15.28	0.7557	3.39E-06
观察窗			4mmPb 铅玻璃	4	2.500	15.28	0.7557	3.39E-06

注：1、实心砂砖密度不小于 1.65g/cm³、混凝土密度不小于 2.35g/cm³，防护涂料密度不小于 3.2g/cm³，铅板密度不小于 11.34g/cm³。2、不同屏蔽物质等效铅当量厚度参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 中 C.4 和 C.5 取值，150kV 有用线束条件下，106mm 标准混凝土相当于 1mmPb；125kV 有用线束条件下，87mm 标准混凝土相当于 1mmPb，191mm 标准混凝土相当于 2mmPb；保守起见，对于上述手术机房，200mm 混凝土按照 2mmPb 折算，120mm 混凝土按照 1mmPb 折算，保守起见 200mm 多孔砖不做有效铅当量折算。

根据公式计算各介入机房关注点处泄漏辐射剂量率见下表 11.3-5~表 11.3-8 所示。

表 11.3-5 1#门诊医技楼一层放射科 DSA 机房关注点处泄漏辐射剂量率估算结果

工作模式	关注点	H ₀ (μSv/h)	距离 d (m)	X (mmPb)	B	H _L (μSv/h)
透视模式	1#	9.72E+06	4.2	4	2.70E-11	1.49E-08
	2#		4.22	4	2.70E-11	1.47E-08
	3#		4.7	4	2.70E-11	1.19E-08
	4#		4.27	4	2.70E-11	1.44E-08
	5#		5.04	4	2.70E-11	1.03E-08
	6#		4.7	4	2.70E-11	1.19E-08
	7#		4.87	4	2.70E-11	1.11E-08
	8#		4.65	4	2.70E-11	1.21E-08
	9#		4.92	4	2.70E-11	1.08E-08
	10#		5.5	5	1.26E-13	4.05E-11
	11#		5.5	6	5.86E-16	1.88E-13
摄影模式	1#	1.62E+08	4.2	4	3.39E-06	3.11E-02
	2#		4.22	4	3.39E-06	3.08E-02
	3#		4.7	4	3.39E-06	2.49E-02
	4#		4.27	4	3.39E-06	3.01E-02
	5#		5.04	4	3.39E-06	2.16E-02
	6#		4.7	4	3.39E-06	2.49E-02
	7#		4.87	4	3.39E-06	2.32E-02
	8#		4.65	4	3.39E-06	2.54E-02
	9#		4.92	4	3.39E-06	2.27E-02
	10#		5.5	5	2.78E-07	1.49E-03
	11#		5.5	6	2.28E-08	1.22E-04

**表 11.3-6 1#门诊医技楼一层急诊中心 DSA+CT 复合手术室 DSA 运行时
关注点处泄漏辐射剂量率估算结果**

工作模式	关注点	H ₀ (μSv/h)	距离 d (m)	X (mmPb)	B	H _L (μSv/h)
透视模式	1#	9.72E+06	4.93	4	2.70E-11	1.08E-08
	2#		4.65	4	2.70E-11	1.21E-08
	3#		5.2	4	2.70E-11	9.71E-09
	4#		5.63	4	2.70E-11	8.28E-09
	5#		8.16	4	2.70E-11	3.94E-09
	6#		8.26	4	2.70E-11	3.85E-09
	7#		4.63	4	2.70E-11	1.22E-08
	8#		5.05	4	2.70E-11	1.03E-08
	9#		4.87	4	2.70E-11	1.11E-08
	10#		5.64	4	2.70E-11	8.25E-09
	11#		5.5	5	1.26E-13	4.05E-11
	12#		5.5	6	5.86E-16	1.88E-13
摄影模式	1#	1.62E+08	4.93	4	3.39E-06	2.26E-02
	2#		4.65	4	3.39E-06	2.54E-02
	3#		5.2	4	3.39E-06	2.03E-02
	4#		5.63	4	3.39E-06	1.73E-02
	5#		8.16	4	3.39E-06	8.25E-03
	6#		8.26	4	3.39E-06	8.05E-03
	7#		4.63	4	3.39E-06	2.56E-02
	8#		5.05	4	3.39E-06	2.15E-02
	9#		4.87	4	3.39E-06	2.32E-02
	10#		5.64	4	3.39E-06	1.73E-02
	11#		5.5	5	2.78E-07	1.49E-03
	12#		5.5	6	2.28E-08	1.22E-04

表 11.3-7 1#门诊医技楼四层手术区 DSA2 机房关注点处泄漏辐射剂量率估算结果

工作模式	关注点	H ₀ (μSv/h)	距离 d (m)	X (mmPb)	B	H _L (μSv/h)
透视模式	1#	9.72E+06	5.25	4	2.70E-11	9.52E-09
	2#		4.91	4	2.70E-11	1.09E-08
	3#		4.66	4	2.70E-11	1.21E-08
	4#		4.81	4	2.70E-11	1.13E-08
	5#		7.99	4	2.70E-11	4.11E-09
	6#		7.83	4	2.70E-11	4.28E-09
	7#		7.84	4	2.70E-11	4.27E-09
	8#		4.29	4	2.70E-11	1.43E-08
	9#		4.8	4	2.70E-11	1.14E-08
	10#		5	4	2.70E-11	1.05E-08
	11#		4.5	5	1.26E-13	6.05E-11
	12#		3.8	5	5.86E-16	3.94E-13
摄影模式	1#	1.62E+08	5.25	4	3.39E-06	1.99E-02
	2#		4.91	4	3.39E-06	2.28E-02
	3#		4.66	4	3.39E-06	2.53E-02
	4#		4.81	4	3.39E-06	2.37E-02
	5#		7.99	4	3.39E-06	8.60E-03
	6#		7.83	4	3.39E-06	8.96E-03
	7#		7.84	4	3.39E-06	8.93E-03
	8#		4.29	4	3.39E-06	2.98E-02
	9#		4.8	4	3.39E-06	2.38E-02
	10#		5	4	3.39E-06	2.20E-02
	11#		4.5	5	2.78E-07	2.22E-03
	12#		3.8	5	2.78E-07	3.12E-03

表 11.3-8 1#门诊医技楼二层内镜中心 ERCP 机房关注点处泄漏辐射剂量率估算结果

工作模式	关注点	H ₀ (μSv/h)	距离 d (m)	X (mmPb)	B	H _L (μSv/h)
透视模式	1#	3.24E+06	4.1	4	2.70E-11	5.20E-09
	2#		4	4	2.70E-11	5.47E-09
	3#		4.6	4	2.70E-11	4.13E-09
	4#		4.43	4	2.70E-11	4.46E-09
	5#		3.89	4	2.70E-11	5.78E-09
	6#		2.51	4	2.70E-11	1.39E-08
	7#		3.2	4	2.70E-11	8.54E-09
	8#		4.5	5	1.26E-13	2.02E-11
	9#		4.8	5	1.26E-13	1.77E-11
摄影模式	1#	1.62E+08	4.1	4	3.39E-06	3.27E-02
	2#		4	4	3.39E-06	3.43E-02
	3#		4.6	4	3.39E-06	2.60E-02
	4#		4.43	4	3.39E-06	2.80E-02
	5#		3.89	4	3.39E-06	3.63E-02
	6#		2.51	4	3.39E-06	8.72E-02
	7#		3.2	4	3.39E-06	5.36E-02
	8#		4.5	5	2.78E-07	2.22E-03
	9#		4.8	5	2.78E-07	1.95E-03

(2) 散射辐射

散射辐射剂量率计算，参考《辐射防护手册第一分册》（李德平、潘自强主编）中给出的公式计算。

$$H_s = \frac{H_o \cdot \delta \cdot S \cdot B}{(d_o \cdot d_s)^2} \quad (\text{式 11.3-3})$$

式中：

H_s ——关注点处的患者散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

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

δ ——患者对 X 射线的散射比， $\delta=a/400$ 查《辐射防护手册第一分册》P437 表 10.1，对于 70kV、100kV 工况保守全取 $a=0.0005$ ，故 $\delta=1.25 \times 10^{-6}$ （90°散射）；对于 100kV 工况下保守取 $a=0.0013$ ，故 $\delta=3.25 \times 10^{-6}$ （90°散射）；

S ——散射面积，取典型值 100cm^2 ；

d_o ——源与患者的距离，取 0.5m ；

d_s ——患者与关注点的距离， m ；

B ——屏蔽透射因子，按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中给出的公式（C.1）计算；

X ——铅屏蔽厚度， mm ；

α 、 β 、 γ ——针对不同管电压 X 射线辐射衰减拟合参数（取自 GB130-2020 附录 C），具体参照表 11.3-3。

表 11.3-9 介入手术机房四周关注点散射辐射计算参数

设备	工作模式	关注点	屏蔽材料及厚度	折合有效等效铅当量 mmPb	α	β	γ	B
DSA	透视	四面墙体（放射科 DSA 机房）	20cm 多孔砖+4mmPb 硫酸钡复合防护板	4	5.369	23.49	0.5881	2.70E-11
		四面墙体（手术区 DSA 机房）	4mmPb 铅板	4	5.369	23.49	0.5881	2.70E-11
		地板（放射科 DSA 机房）	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料	6	5.369	23.49	0.5881	5.86E-16
		地板（急诊中心复合手术室 DSA 机房）	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料	6	5.369	23.49	0.5881	5.86E-16
		地板	12cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料	5	5.369	23.49	0.5881	1.26E-13
		天棚（放射科 DSA 机房）	12cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡复合防护板	5	5.369	23.49	0.5881	1.26E-13
		天棚	12cm 混凝土+4mmPb 铅板	5	5.369	23.49	0.5881	1.26E-13
		防护门	4mmPb 铅板	4	5.369	23.49	0.5881	2.70E-11
		观察窗	4mmPb 铅玻璃	4	5.369	23.49	0.5881	2.70E-11
	摄影	四面墙体（放射科 DSA 机房）	20cm 多孔砖+4mmPb 硫酸钡复合防护板	4	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
		四面墙体（手术区 DSA 机房）	4mmPb 铅板	4	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06
		地板（放射科 DSA 机房）	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料	6	2.507	15.33	0.9124	3.42E-08
		地板（急诊中心复合手术室 DSA 机房）	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料	6	2.507	15.33	0.9124	3.42E-08

		地板	12cm 混凝土 +4mmPb 硫酸钡防护涂料	5	2.507	15.33	0.9124	4.19E-07	
		天棚(放射科 DSA 机房)	12cm 混凝土 +4mmPb 硫酸钡复合防护 板	5	2.507	15.33	0.9124	4.19E-07	
		天棚	12cm 混凝土 +4mmPb 铅板	5	2.507	15.33	0.9124	4.19E-07	
		防护门	4mmPb 铅板	4	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06	
		观察窗	4mmPb 铅玻璃	4	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06	
	ERCP	透视	四面墙体	20cm 多孔砖+ 4mmPb 铅板	4	5.369	23.49	0.5881	2.70E-11
			地板	12cm 混凝土 +4mmPb 硫酸钡防护涂料	5	5.369	23.49	0.5881	1.26E-13
			天棚	12cm 混凝土 +4mmPb 铅板	5	5.369	23.49	0.5881	1.26E-13
			防护门	4mmPb 铅板	4	5.369	23.49	0.5881	2.70E-11
			观察窗	4mmPb 铅玻璃	4	5.369	23.49	0.5881	2.70E-11
摄影		四面墙体	20cm 多孔砖+ 4mmPb 铅板	4	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06	
		地板	12cm 混凝土 +4mmPb 硫酸钡防护涂料	5	2.507	15.33	0.9124	4.19E-07	
		天棚	12cm 混凝土 +4mmPb 铅板	5	2.507	15.33	0.9124	4.19E-07	
		防护门	4mmPb 铅板	4	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06	
		观察窗	4mmPb 铅玻璃	4	2.507	15.33	0.9124	5.14E-06	

注：1、实心砂砖密度不小于 1.65g/cm³、混凝土密度不小于 2.35g/cm³，防护涂料密度不小于 3.2g/cm³，铅板密度不小于 11.34g/cm³。2、不同屏蔽物质等效铅当量厚度参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 中 C.4 和 C.5 取值，150kV 有用线束条件下，106mm 标准混凝土相当于 1mmPb；125kV 有用线束条件下，87mm 标准混凝土相当于 1mmPb，191mm 标准混凝土相当于 2mmPb；保守起见，对于上述手术机房，200mm 混凝土按照 2mmPb 折算，120mm 混凝土按照 1mmPb 折算，保守起见 200mm 多孔砖不做有效铅当量折算。

根据公式计算各介入机房关注点处散射辐射剂量率见下表 11.3-10~表 11.3-13 所示。

表 11.3-10 1#门诊医技楼一层放射科 DSA 机房关注点处散射辐射剂量率估算结果

工作模式	关注点	H ₀ (μSv/h)	ds (m)	do (m)	X (mmPb)	B	H _s (μSv/h)
透视模式	1#	9.72E+06	4.2	0.5	4	2.70E-11	7.44E-09
	2#		4.22	0.5	4	2.70E-11	7.37E-09
	3#		4.7	0.5	4	2.70E-11	5.94E-09
	4#		4.27	0.5	4	2.70E-11	7.20E-09
	5#		5.04	0.5	4	2.70E-11	5.17E-09
	6#		4.7	0.5	4	2.70E-11	5.94E-09
	7#		4.87	0.5	4	2.70E-11	5.53E-09
	8#		4.65	0.5	4	2.70E-11	6.07E-09
	9#		4.92	0.5	4	2.70E-11	5.42E-09
	10#		5.5	0.5	5	1.26E-13	2.02E-11
	11#		5.5	0.5	6	5.86E-16	9.41E-14
摄影模式	1#	1.62E+08	4.2	0.5	4	5.14E-06	6.14E-02
	2#		4.22	0.5	4	5.14E-06	6.08E-02
	3#		4.7	0.5	4	5.14E-06	4.90E-02
	4#		4.27	0.5	4	5.14E-06	5.94E-02
	5#		5.04	0.5	4	5.14E-06	4.26E-02
	6#		4.7	0.5	4	5.14E-06	4.90E-02
	7#		4.87	0.5	4	5.14E-06	4.56E-02
	8#		4.65	0.5	4	5.14E-06	5.01E-02
	9#		4.92	0.5	4	5.14E-06	4.47E-02
	10#		5.5	0.5	5	4.19E-07	2.92E-03
	11#		5.5	0.5	6	3.42E-08	2.38E-04

**表 11.3-11 1#门诊医技楼一层急诊中心 DSA+CT 复合手术室 DSA 运行时
关注点处散射辐射剂量率估算结果**

工作模式	关注点	H ₀ (μSv/h)	ds (m)	do (m)	X (mmPb)	B	H _s (μSv/h)
透视模式	1#	9.72E+06	4.93	0.5	4	2.70E-11	5.40E-09
	2#		4.65	0.5	4	2.70E-11	6.07E-09
	3#		5.2	0.5	4	2.70E-11	4.85E-09
	4#		5.63	0.5	4	2.70E-11	4.14E-09
	5#		8.16	0.5	4	2.70E-11	1.97E-09
	6#		8.26	0.5	4	2.70E-11	1.92E-09
	7#		4.63	0.5	4	2.70E-11	6.12E-09
	8#		5.05	0.5	4	2.70E-11	5.15E-09
	9#		4.87	0.5	4	2.70E-11	5.53E-09
	10#		5.64	0.5	4	2.70E-11	4.13E-09
	11#		5.5	0.5	5	1.26E-13	2.02E-11
	12#		5.5	0.5	6	5.86E-16	9.41E-14
摄影模式	1#	1.62E+08	4.93	0.5	4	5.14E-06	4.45E-02
	2#		4.65	0.5	4	5.14E-06	5.01E-02
	3#		5.2	0.5	4	5.14E-06	4.00E-02
	4#		5.63	0.5	4	5.14E-06	3.42E-02
	5#		8.16	0.5	4	5.14E-06	1.63E-02
	6#		8.26	0.5	4	5.14E-06	1.59E-02
	7#		4.63	0.5	4	5.14E-06	5.05E-02
	8#		5.05	0.5	4	5.14E-06	4.24E-02
	9#		4.87	0.5	4	5.14E-06	4.56E-02
	10#		5.64	0.5	4	5.14E-06	3.40E-02
	11#		4.5	0.5	5	4.19E-07	2.92E-03
	12#		5.5	0.5	6	3.42E-08	2.38E-04

表 11.3-12 1#门诊医技楼一层手术区 DSA2 机房关注点处散射辐射剂量率估算结果

工作模式	关注点	H ₀ (μSv/h)	ds (m)	do (m)	X (mmPb)	B	H _s (μSv/h)
透视模式	1#	1.62E+07	5.25	0.5	4	2.70E-11	4.76E-09
	2#		4.91	0.5	4	2.70E-11	5.44E-09
	3#		4.66	0.5	4	2.70E-11	6.04E-09
	4#		4.81	0.5	4	2.70E-11	5.67E-09
	5#		7.99	0.5	4	2.70E-11	2.06E-09
	6#		7.83	0.5	4	2.70E-11	2.14E-09
	7#		7.84	0.5	4	2.70E-11	2.13E-09
	8#		4.29	0.5	4	2.70E-11	7.13E-09
	9#		4.8	0.5	4	2.70E-11	5.70E-09
	10#		5	0.5	4	2.70E-11	5.25E-09
	11#		4.5	0.5	5	1.26E-13	3.02E-11
	12#		3.8	0.5	5	1.26E-13	4.24E-11
摄影模式	1#	1.62E+08	5.25	0.5	4	5.14E-06	3.93E-02
	2#		4.91	0.5	4	5.14E-06	4.49E-02
	3#		4.66	0.5	4	5.14E-06	4.98E-02
	4#		4.81	0.5	4	5.14E-06	4.68E-02
	5#		7.99	0.5	4	5.14E-06	1.70E-02
	6#		7.83	0.5	4	5.14E-06	1.77E-02
	7#		7.84	0.5	4	5.14E-06	1.76E-02
	8#		4.29	0.5	4	5.14E-06	5.88E-02
	9#		4.8	0.5	4	5.14E-06	4.70E-02
	10#		5	0.5	4	5.14E-06	4.33E-02
	11#		4.5	0.5	5	4.19E-07	4.36E-03
	12#		3.8	0.5	5	4.19E-07	6.11E-03

表 11.3-13 1#门诊医技楼二层内镜中心 ERCP 机房关注点处散射辐射剂量率估算结果

工作模式	关注点	H_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	d_s (m)	d_o (m)	X (mmPb)	B	H_s ($\mu\text{Sv/h}$)
透视模式	1#	3.24E+06	4.1	0.5	4	2.70E-11	2.60E-09
	2#		4	0.5	4	2.70E-11	2.73E-09
	3#		4.6	0.5	4	2.70E-11	2.07E-09
	4#		4.43	0.5	4	2.70E-11	2.23E-09
	5#		3.89	0.5	4	2.70E-11	2.89E-09
	6#		2.51	0.5	4	2.70E-11	6.94E-09
	7#		3.2	0.5	4	2.70E-11	4.27E-09
	8#		4.5	0.5	5	1.26E-13	1.01E-11
	9#		4.8	0.5	5	1.26E-13	8.86E-12
摄影模式	1#	1.62E+08	4.1	0.5	4	5.14E-06	6.44E-02
	2#		4	0.5	4	5.14E-06	4.46E-02
	3#		4.6	0.5	4	5.14E-06	3.37E-02
	4#		4.43	0.5	4	5.14E-06	3.64E-02
	5#		3.89	0.5	4	5.14E-06	4.72E-02
	6#		2.51	0.5	4	5.14E-06	1.13E-01
	7#		3.2	0.5	4	5.14E-06	6.97E-02
	8#		4.5	0.5	5	4.19E-07	2.89E-03
	9#		4.8	0.5	5	4.19E-07	2.54E-03

(3) 介入机房各相关关注点位受到的辐射剂量率之和见下表 11.3-14~表 11.3-17 所示
表 11.3-14 1#门诊医技楼一层放射科 DSA 机房关注点总的附加辐射剂量率结果一览表

工作模式	关注点	关注点描述	泄漏辐射剂量率 $H_L(\mu\text{Sv/h})$	散射辐射剂量率 $H_s(\mu\text{Sv/h})$	总附加剂量率 $(\mu\text{Sv/h})$
透视模式	1#	北侧观察窗 30cm 外 (控制室)	1.49E-08	7.44E-09	2.23E-08
	2#	北侧墙 30cm 外 (控制室)	1.47E-08	7.37E-09	2.21E-08
	3#	北侧控制室门 30cm 外 (控制室)	1.19E-08	5.94E-09	1.78E-08
	4#	西侧墙 30cm 外 (医生办公室)	1.44E-08	7.20E-09	2.16E-08
	5#	西侧防护门 30cm 外 (污物通道防护门)	1.03E-08	5.17E-09	1.55E-08
	6#	南侧墙 30cm 外 (通道)	1.19E-08	5.94E-09	1.78E-08
	7#	东侧墙 30cm 外 (准备间)	1.11E-08	5.53E-09	1.66E-08
	8#	东侧防护门 30cm 外 (准备间防护门)	1.21E-08	6.07E-09	1.82E-08
	9#	东侧防护门 30cm 外 (一次性物品库房)	1.08E-08	5.42E-09	1.63E-08
	10#	机房上方楼层地面 1m 处 (心电图室)	4.05E-11	2.02E-11	6.07E-11
	11#	机房下方楼层地面 1.7m 处 (负一层地下车库)	1.88E-13	9.41E-14	2.82E-13
摄影模式	1#	北墙观察窗 30cm 外 (控制室)	3.11E-02	6.14E-02	9.25E-02
	2#	北侧墙 30cm 外 (控制室)	3.08E-02	6.08E-02	9.16E-02
	3#	北墙控制室门 30cm 外 (控制室)	2.49E-02	4.90E-02	7.39E-02
	4#	西侧墙 30cm 外 (医生办公室)	3.01E-02	5.94E-02	8.95E-02
	5#	西侧防护门 30cm 外 (污物通道防护门)	2.16E-02	4.26E-02	6.42E-02
	6#	南侧墙 30cm 外 (通道)	2.49E-02	4.90E-02	7.39E-02
	7#	东侧墙 30cm 外 (准备间)	2.32E-02	4.56E-02	6.88E-02
	8#	东侧防护门 30cm 外 (准备间防护门)	2.54E-02	5.01E-02	7.55E-02
	9#	东侧防护门 30cm 外 (一次性物品库房)	2.27E-02	4.47E-02	6.74E-02
	10#	机房上方楼层地面 1m 处 (心电图室)	1.49E-03	2.92E-03	4.14E-03
	11#	机房下方楼层地面 1.7m 处 (负一层地下车库)	1.22E-04	2.38E-04	3.60E-04

**表 11.3-15 1#门诊医技楼一层急诊中心 DSA+CT 复合手术室 DSA 运行时
关注点总的附加辐射剂量率结果一览表**

工作模式	关注点	关注点描述	泄漏辐射剂量率 $H_L(\mu\text{Sv/h})$	散射辐射剂量率 $H_s(\mu\text{Sv/h})$	总附加剂量率 $(\mu\text{Sv/h})$
透视模式	1#	北侧墙 30cm 外（控制室）	1.08E-08	5.40E-09	1.62E-08
	2#	北侧观察窗 30cm 外（控制室）	1.21E-08	6.07E-09	1.82E-08
	3#	北侧控制室门 30cm 外（控制室）	9.71E-09	4.85E-09	1.46E-08
	4#	北侧墙 30cm 外（医护通道）	8.28E-09	4.14E-09	1.24E-08
	5#	西侧防护门 30cm 外（CT 检查室）	3.94E-09	1.97E-09	5.91E-09
	6#	西侧墙 30cm 外（CT 检查室）	3.85E-09	1.92E-09	5.77E-09
	7#	南侧墙 30cm 外（通道）	1.22E-08	6.12E-09	1.84E-08
	8#	东侧墙 30cm 外（准备间）	1.03E-08	5.15E-09	1.54E-08
	9#	东侧防护门 30cm 外（准备间）	1.11E-08	5.53E-09	1.66E-08
	10#	东侧防护门 30cm 外（污物通道）	8.25E-09	4.13E-09	1.24E-08
	11#	机房上方楼层地面 1m 处（微生物室、鉴定药敏室）	4.05E-11	2.02E-11	6.07E-11
	12#	机房下方楼层地面 1.7m 处（负一层地下车库）	1.88E-13	9.41E-14	2.82E-13
摄影模式	1#	北侧墙 30cm 外（控制室）	2.26E-02	4.45E-02	6.71E-02
	2#	北侧观察窗 30cm 外（控制室）	2.54E-02	5.01E-02	7.55E-02
	3#	北侧控制室门 30cm 外（控制室）	2.03E-02	4.00E-02	6.03E-02
	4#	北侧墙 30cm 外（医护通道）	1.73E-02	3.42E-02	5.15E-02
	5#	西侧防护门 30cm 外（CT 检查室）	8.25E-03	1.63E-02	2.45E-02
	6#	西侧墙 30cm 外（CT 检查室）	8.05E-03	1.59E-02	2.39E-02
	7#	南侧墙 30cm 外（通道）	2.56E-02	5.05E-02	7.61E-02
	8#	东侧墙 30cm 外（准备间）	2.15E-02	4.24E-02	6.40E-02
	9#	东侧防护门 30cm 外（准备间）	2.32E-02	4.56E-02	6.88E-02
	10#	东侧防护门 30cm 外（污物通道）	1.73E-02	3.40E-02	5.13E-02
	11#	机房上方楼层地面 1m 处（微生物室、鉴定药敏室）	1.49E-03	2.92E-03	4.41E-03
	12#	机房下方楼层地面 1.7m 处（负一层地下车库）	1.22E-04	2.38E-04	3.60E-04

表 11.3-16 1#门诊医技楼四层手术区 DSA2 机房关注点总的附加辐射剂量率结果一览表

工作模式	关注点	关注点描述	泄漏辐射剂量率 $H_L(\mu\text{Sv/h})$	散射辐射剂量率 $H_s(\mu\text{Sv/h})$	总附加剂量率 $(\mu\text{Sv/h})$
透视模式	1#	东侧控制室门 30cm 外 (控制室)	9.52E-09	4.76E-09	1.43E-08
	2#	东侧墙 30cm 外 (控制室)	1.09E-08	5.44E-09	1.63E-08
	3#	东侧观察窗 30cm 外 (控制室)	1.21E-08	6.04E-09	1.81E-08
	4#	东侧墙 30cm 外 (设备间)	1.13E-08	5.67E-09	1.70E-08
	5#	北侧防护门 30cm 外 (污物间)	4.11E-09	2.06E-09	6.17E-09
	6#	北侧防护门 30cm 外 (污物间)	4.28E-09	2.14E-09	6.42E-09
	7#	北侧墙 30cm 外 (污物间)	4.27E-09	2.13E-09	6.40E-09
	8#	西侧墙 30cm 外(DSA1 机房)	1.43E-08	7.13E-09	2.14E-08
	9#	南侧防护门 30cm 外 (洁净通道)	1.14E-08	5.70E-09	1.71E-08
	10#	南侧墙 30cm 外 (洁净通道)	1.05E-08	5.25E-09	1.57E-08
	11#	机房上方楼层地面 1m 处 (楼梯通道)	6.05E-11	3.02E-11	9.07E-11
	12#	机房下方楼层地面 1.7m 处 (三层库房)	3.94E-13	4.24E-11	4.28E-11
摄影模式	1#	东侧控制室门 30cm 外 (控制室)	1.99E-02	3.93E-02	5.92E-02
	2#	东侧墙 30cm 外 (控制室)	2.28E-02	4.49E-02	6.77E-02
	3#	东侧观察窗 30cm 外 (控制室)	2.53E-02	4.98E-02	7.51E-02
	4#	东侧墙 30cm 外 (设备间)	2.37E-02	4.68E-02	7.05E-02
	5#	北侧防护门 30cm 外 (污物间)	8.60E-03	1.70E-02	2.56E-02
	6#	北侧防护门 30cm 外 (污物间)	8.96E-03	1.77E-02	2.66E-02
	7#	北侧墙 30cm 外 (污物间)	8.93E-03	1.76E-02	2.65E-02
	8#	西侧墙 30cm 外(DSA1 机房)	2.98E-02	5.88E-02	8.87E-02
	9#	南侧防护门 30cm 外 (洁净通道)	2.38E-02	4.70E-02	7.08E-02
	10#	南侧墙 30cm 外 (洁净通道)	2.20E-02	4.33E-02	6.53E-02
	11#	机房上方楼层地面 1m 处 (楼梯通道)	2.22E-03	4.36E-03	6.58E-03
	12#	机房下方楼层地面 1.7m 处 (三层库房、配夜间)	3.12E-03	6.11E-03	9.23E-03

表 11.3-17 1#门诊医技楼二层内镜中心 ERCP 机房关注点总的附加辐射剂量率结果一览表

工作模式	关注点	关注点描述	泄漏辐射剂量率 $H_L(\mu\text{Sv/h})$	散射辐射剂量率 $H_s(\mu\text{Sv/h})$	总附加剂量率 $(\mu\text{Sv/h})$
透视模式	1#	东侧墙 30cm 外 (控制室)	5.20E-09	2.60E-09	7.81E-09
	2#	东侧观察窗 30cm 外 (控制室)	5.47E-09	2.73E-09	8.20E-09
	3#	东侧控制室门 30cm 外 (控制室)	4.13E-09	2.07E-09	6.20E-09
	4#	北侧防护门 30cm 外 (污物间)	4.46E-09	2.23E-09	6.69E-09
	5#	东侧墙 30cm 外 (设备间)	5.78E-09	2.89E-09	8.67E-09
	6#	西侧墙 30cm 外 (通道)	1.39E-08	6.94E-09	2.08E-08
	7#	南侧墙 30cm 外 (通道)	8.54E-09	4.27E-09	1.28E-08
	8#	机房上方楼层地面 1m 处 (三层诊断室)	2.02E-11	1.01E-11	3.02E-11
	9#	机房下方楼层地面 1.7m 处 (一层值班室)	1.77E-11	8.86E-12	2.66E-11
摄影模式	1#	东侧墙 30cm 外 (控制室)	3.27E-02	6.44E-02	9.71E-02
	2#	东侧观察窗 30cm 外 (控制室)	3.43E-02	4.46E-02	7.89E-02
	3#	东侧控制室门 30cm 外 (控制室)	2.60E-02	3.37E-02	5.97E-02
	4#	北侧防护门 30cm 外 (污物间)	2.80E-02	3.64E-02	6.44E-02
	5#	东侧墙 30cm 外 (设备间)	3.63E-02	4.72E-02	8.35E-02
	6#	西侧墙 30cm 外 (通道)	8.72E-02	1.13E-01	2.00E-01
	7#	南侧墙 30cm 外 (通道)	5.36E-02	6.97E-02	1.23E-01
	8#	机房上方楼层地面 1m 处 (三层诊断室)	2.22E-03	2.89E-03	5.12E-03
	9#	机房下方楼层地面 1.7m 处 (一层值班室)	1.95E-03	2.54E-03	4.50E-03

由表 11.3-14~表 11.3-17 可知,本项目 DSA、ERCP 项目在正常运行期间,透视模式下机房外各关注点处 X-γ辐射剂量率最大值为 (2.23E-08) μSv/h,满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中规定的透视功能条件下屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h 的限值要求。

由表 11.3-14~表 11.3-17 可知,本项目 DSA、ERCP 项目在正常运行期间,摄影模式下机房外各关注点处 X-γ辐射剂量率在最大值为 (2.00E-01) μSv/h,满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中规定的摄影程序条件下屏蔽体外表面 30cm 外周围剂量当量率应不大于在 25μSv/h 的限值要求。

11.3.2 工作人员和公众人员有效剂量估算

1、剂量估算计算公式

(1) 隔室操作的工作人员以及公众的年有效剂量

X-γ射线产生的外照射人均年有效剂量按下列公式估算:

$$E = \dot{H}_T \times t \times T \times 10^{-3} \quad (11.3-4)$$

式中:

E —关注点的附加有效剂量, mSv/a;

\dot{H}_T —关注点的辐射剂量率, μSv/h;

t —辐射照射时间, h;

T —居留因子。

(2) 机房内工作人员的年有效剂量

根据《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)对于工作人员穿戴铅围裙的情况,按照以下公式估算有效剂量:

$$E = \alpha H_u + \beta H_0 \quad (11.3-5)$$

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,取 0.79;

H_u —铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$,单位为毫希沃特 (mSv),本次估算通过计算职业人员铅衣内的受照剂量获得;

β —系数,取 0.051;

H_o —铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为毫希沃特（mSv），本次估算通过计算职业人员铅衣外的受照剂量获得。

2、机房周围工作人员、周围公众年有效剂量

本项目每台 DSA 手术室每年总手术台数预计约为 1000 台，其中每名医生年最大手术台数预计为 300 台，每名护士年最大手术台数预计为 300 台（护士在手术过程中护士承担记录手术情况、传递医疗器械及辅助医生手术的工作，既有同室操作又有隔室操作，非必要情况下在设备曝光时可以在手术室外控制室等候，保守均按照同室考虑），每名技师年最大手术台数预计为 1000 台。

本项目 ERCP 机房每年总手术台数预计约为 1000 台，其中每名医生年最大手术台数预计为 300 台，每名护士年最大手术台数预计为 300 台（护士在手术过程中护士承担记录手术情况、传递医疗器械及辅助医生手术的工作，既有同室操作又有隔室操作，保守均按照同室考虑），每名技师年最大手术台数预计为 1000 台。

表 13.3-18 本项目 DSA、ERCP 最大工作负荷统计一览表

射线装置	工作状态	平均每台手术最长出束时间	全年开展手术量（台）	设备年总出束时间（h）	单个医生年最大受照时间（h）	单个护士年最大受照时间（h）	技师年最大受照时间（h）
DSA	摄影	2min	1000	33.3	110	110	366.6
	透视	20min		333.3			
ERCP	摄影	2min	1000	33.3	50	50	166.6
	透视	8min		133.3			

每台 DSA 配备 2 名介入手术医师（1 组）、2 名介入护士（1 组）、1 名技师（1 组）

受照剂量率均保守取值。职业工作人员的时间居留因子取 1，机房外公众人员的时间居留因子根据四周工作场所的性质进行取值，根据表 11.3-13~表 11.3-17 估算结果及公式 13.3-4 来估算项目运行对机房周围环境人员受照射剂量，估算结果见表 13.3-19~表 11.3-22。

表 13.3-19 1#门诊医技楼一层放射科 DSA 机房周围关注点个人剂量估算结果

关注点	透视模式		摄影模式		居留因子	年有效剂量（mSv/a）	照射类型
	总附加剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	时间（h）	总附加剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	时间（h）			
1#	7.80E-04	333.3	1.02E-01	33.3	1	0.003	职业照射
2#	7.72E-04	333.3	1.01E-01	33.3	1	0.003	

3#	6.23E-04	333.3	8.14E-02	33.3	1	0.002	
4#	7.54E-04	333.3	9.86E-02	33.3	1	0.003	
5#	5.41E-04	333.3	7.08E-02	33.3	1/8	< 0.001	公众照射
6#	6.23E-04	333.3	8.14E-02	33.3	1/8	< 0.001	
7#	5.80E-04	333.3	7.59E-02	33.3	1/8	< 0.001	
8#	6.35E-04	333.3	8.32E-02	33.3	1/8	< 0.001	
9#	5.68E-04	333.3	7.43E-02	33.3	1/8	< 0.001	
10#	3.17E-05	333.3	7.25E-03	33.3	1	< 0.001	
11#	9.87E-07	333.3	3.97E-04	33.3	1/16	< 0.001	

表 13.3-20 1#门诊医技楼一层急诊中心 DSA+CT 复合手术室周围关注点
个人剂量估算结果

关注点	透视模式		摄影模式		居留因子	年有效剂量 (mSv/a)	照射类型
	总附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	时间(h)	总附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	时间(h)			
1#	5.66E-04	333.3	7.40E-02	33.3	1	0.002	职业照射
2#	6.35E-04	333.3	8.32E-02	33.3	1	0.003	
3#	5.08E-04	333.3	6.65E-02	33.3	1	0.002	
4#	4.34E-04	333.3	5.67E-02	33.3	1	0.002	
5#	2.05E-04	333.3	2.70E-02	33.3	1/8	< 0.001	公众照射
6#	2.02E-04	333.3	2.64E-02	33.3	1/8	< 0.001	
7#	6.42E-04	333.3	8.39E-02	33.3	1/8	< 0.001	
8#	5.39E-04	333.3	7.05E-02	33.3	1/8	< 0.001	
9#	5.80E-04	333.3	7.59E-02	33.3	1/8	< 0.001	
10#	4.32E-04	333.3	5.66E-02	33.3	1/8	< 0.001	
11#	3.17E-05	333.3	7.25E-03	33.3	1	< 0.001	
12#	9.87E-07	333.3	3.97E-04	33.3	1/16	< 0.001	

表 13.3-21 1#门诊医技楼一层四层手术区 DSA2 机房周围关注点个人剂量估算结果

关注点	透视模式		摄影模式		居留因子	年有效剂量 (mSv/a)	照射类型
	总附加剂量率 (μSv/h)	时间(h)	总附加剂量率 (μSv/h)	时间 (h)			
1#	4.99E-04	333.3	6.52E-02	33.3	1	0.002	职业照射
2#	5.70E-04	333.3	7.46E-02	33.3	1	0.002	
3#	6.33E-04	333.3	8.28E-02	33.3	1	0.003	
4#	5.94E-04	333.3	7.77E-02	33.3	1/8	< 0.001	
5#	2.15E-04	333.3	2.82E-02	33.3	1/8	< 0.001	公众照射
6#	2.24E-04	333.3	2.93E-02	33.3	1/8	< 0.001	
7#	2.24E-04	333.3	2.93E-02	33.3	1/8	< 0.001	
8#	7.47E-04	333.3	9.77E-02	33.3	1/8	< 0.001	
9#	5.96E-04	333.3	7.80E-02	33.3	1/8	< 0.001	
10#	5.50E-04	333.3	7.20E-02	33.3	1/8	< 0.001	
11#	3.17E-05	333.3	7.25E-03	33.3	1/8	< 0.001	
12#	4.44E-05	333.3	1.02E-02	33.3	1	< 0.001	

表 13.3-22 1#门诊医技楼二层内镜中心 ERCP 机房周围关注点个人剂量估算结果

关注点	透视模式		摄影模式		居留因子	年有效剂量 (mSv/a)	照射类型
	总附加剂量率 (μSv/h)	时间(h)	总附加剂量率 (μSv/h)	时间 (h)			
1#	9.71E-03	133.3	1.68E-01	33.3	1	0.003	职业照射
2#	1.02E-02	133.3	7.52E-02	33.3	1	0.003	
3#	7.71E-03	133.3	5.68E-02	33.3	1	0.002	
4#	8.31E-03	133.3	6.13E-02	33.3	1/8	< 0.001	公众照射
5#	1.08E-02	133.3	7.95E-02	33.3	1/8	< 0.001	
6#	2.59E-02	133.3	1.91E-01	33.3	1/8	0.001	
7#	1.59E-02	133.3	1.17E-01	33.3	1/8	0.001	
8#	6.58E-04	133.3	4.85E-03	33.3	1	< 0.001	
9#	5.78E-04	133.3	4.25E-03	33.3	1	< 0.001	

由表 13.3-19~表 11.3-22 可知,项目运行后 DSA、ERCP 机房控制室职业人员最大年剂量为 0.003mSv/a,远低于职业人员年剂量管理约束值(5mSv)和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)对职业人员剂量限值(20mSv)的要求;公众受照年剂量最大为 0.001mSv/a,远低于公众成员年剂量管理约束值(0.1mSv)和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)对公众成员剂量限值(1mSv)的要求。

因此,本项目 DSA、ERCP 工作场所的防护设计满足要求,正常运行后产生的辐射影响满足标准要求,对人员产生的辐射影响较小。

3、机房内工作人员年有效剂量估算

经医院核实,手术中,医生如需透视则在室内直接操作曝光,如需摄片(减影)则移步到控制室内,由控制室技术人员隔室操作曝光。机房内操作曝光透视,以第一术者为代表估算室内操作人员受照射剂量。设备系统自带床旁射线防护帘和悬吊式射线防护屏不少于 0.5mm 铅当量,医生所穿铅服为 0.5mmPb,第一术者胸部位置距离球管为 1m、距离病人距离为 0.5m。主刀医生及其助手仅在透视模式下在手术室内,采集模式为隔室操作。

根据上述参数及公式计算室内第一术者位置处泄漏辐射 X- γ 辐射剂量率见表 11.3-24。

表 11.3-23 透视模式下第一术者位置泄漏辐射计算参数

设备	工作模式	关注点	屏蔽材料及厚度	折合有效等效铅当量 mmPb	α	β	γ	B
DSA	透视模式	第一术者位(铅衣内)	0.5mmPb 铅衣+0.5mmPb 铅悬挂帘	1	5.369	23.49	0.5881	2.83E-04
		第一术者位(铅衣外)	0.5mmPb 铅悬挂帘	0.5	5.369	23.49	0.5881	5.34E-03
ERCP	透视模式	第一术者位(铅衣内)	0.5mmPb 铅衣+0.5mmPb 铅悬挂帘	1	5.369	23.49	0.5881	2.83E-04
		第一术者位(铅衣外)	0.5mmPb 铅悬挂帘	0.5	5.369	23.49	0.5881	5.34E-03

表 11.3-24 透视模式下第一术者位置处泄漏辐射 X- γ 辐射剂量率估算结果

设备	工作模式	关注点	H_0 (μ Sv/h)	距离 d (m)	X (mmPb)	B	H_L (μ Sv/h)
DSA	透视模式	第一术者位(铅衣内)	9.72E+06	1	1	2.83E-04	2.75E+00
		第一术者位(铅衣外)		1	0.5	5.34E-03	5.19E+01
ERCP	透视模式	第一术者位(铅衣内)	3.42E+06	1	1	2.83E-04	9.17E-01
		第一术者位(铅衣外)		1	0.5	5.34E-03	1.73E+01

根据上述参数及公式计算室内第一术者位置处散射辐射 X- γ 辐射剂量率见表 11.3-25。

表 11.3-25 透视模式下第一术者位置散射辐射计算参数

设备	工作模式	关注点	屏蔽材料及厚度	折合有效等效铅当量 mmPb	α	β	γ	B
DSA	透视模式	第一术者位 (铅衣内)	0.5mmPb 铅衣+ 0.5mmPb 铅悬挂帘	1	2.507	15.33	0.9124	2.83E-04
		第一术者位 (铅衣外)	0.5mmPb 铅悬挂帘	0.5	2.507	15.33	0.9124	5.34E-03
ERCP	透视模式	第一术者位 (铅衣内)	0.5mmPb 铅衣+ 0.5mmPb 铅悬挂帘	1	2.507	15.33	0.9124	2.83E-04
		第一术者位 (铅衣外)	0.5mmPb 铅悬挂帘	0.5	2.507	15.33	0.9124	5.34E-03

表 11.3-26 透视模式下第一术者位置处散射辐射 X- γ 辐射剂量率估算结果

设备	工作模式	关注点	H_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	ds (m)	do (m)	X (mmPb)	B	H_s ($\mu\text{Sv/h}$)
DSA	透视模式	第一术者位 (铅衣内)	9.72E+06	0.5	0.5	1	2.83E-04	5.50E+00
		第一术者位 (铅衣外)		0.5	0.5	0.5	5.34E-03	1.04E+02
ERCP	透视模式	第一术者位 (铅衣内)	3.42E+06	0.5	0.5	1	2.83E-04	1.83E+00
		第一术者位 (铅衣外)		0.5	0.5	0.5	5.34E-03	3.46E+01

综上所述，室内第一术者位置处总辐射剂量率见表 11.3-27 所示。

表 11.3-27 机房内第一术者位置处总的附加辐射剂量率结果一览表

设备	工作模式	关注点	泄漏辐射剂量率 $H_L(\mu\text{Sv/h})$	散射辐射剂量率 $H_s(\mu\text{Sv/h})$	总附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
DSA	透视模式	第一术者位 (铅衣内)	2.75	5.50	8.25
		第一术者位 (铅衣外)	51.9	104	155.9
ERCP	透视模式	第一术者位 (铅衣内)	0.917	1.83	2.747
		第一术者位 (铅衣外)	17.3	34.6	51.9

根据相关参数、表 11.3-27 剂量率结果及公式 11.3-5，估算出以第一术者为代表的一名手术医生因本项目运行受照年剂量：

表 13.3-28 机房内第一术者位置处个人剂量估算结果

设备	工作模式	第一术者位 (铅衣内) 总附加剂量 率 Hu ($\mu\text{Sv/h}$)	第一术者位 (铅衣外) 总附加剂量 率 Ho ($\mu\text{Sv/h}$)	α	β	E ($\mu\text{Sv/h}$)	时间 (h)	第一术者位 年有效剂量 (mSv/a)
DSA	透视模式	8.25	155.9	0.79	0.051	449.0	110	1.59
ERCP	透视模式	2.747	51.9	0.79	0.051	410.5	50	0.24

根据表 13.3-28 估算结果，可估算出 DSA、ERCP 以第一术者位代表的一名手术医生因本项目运行受照剂量为分别为 1.59mSv、0.24mSv，保守按 1Sv=1Gy 换算，即 DSA、ERCP 年受照剂量为 1.59mSv、0.24mSv，低于职业人员年有效剂量管理约束值（5mSv）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）对职业人员剂量限值（20mSv）的要求。

本项目设备运行时的 X 射线辐射剂量率保守按最小固有滤过 2.5mmAl 进行计算，未考虑附加滤过材料的影响，因此估算结果是偏保守的。DSA 射线装置在固有滤过材料的基础上，均配备有 Al、Cu 等附加滤过材料，实际运行过程中，辐射工作人员只要严格按照操作规程规范使用设备、正确使用防护用品和设施，正常情况下辐射工作人员实际年有效剂量值将小于上述保守预测结果。

11.3.3 废气环境影响分析

本项目运行时，DSA、ERCP 在开机出束过程中发射的 X 射线接触空气，会产生微量臭氧及氮氧化物等有害气体（主要为臭氧），本项目拟分别在 DSA 机房、ERCP 机房扫动力排风系统，可保证机房内良好的通风效果，满足《放射诊断放射防护要求》

（GBZ130-2020）关于通风的要求。

11.3.4 介入手术项目事故影响分析。

11.3.4.1 介入手术项目可能的辐射事故

介入手术项目射线装置可能发生的辐射事故情况如下：

（1）在给病人做检查治疗时，设备控制键失效，无法停止出束，导致病人受到意外照射。

（2）X 射线装置联锁装置出现故障，在屏蔽门没有关紧的情况下出束，对门外人员造

成的误照射。

(3) X 射线装置安全联锁装置发生故障状况的情况下，人员误入正在运行的 X 射线装置机房受到外照射。

11.3.4.2 辐射事故应急处理

X 射线诊疗项目可能发生的辐射事故主要是在管理上出问题，辐射工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查机房的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，避免无关人员误入正在使用 X 射线装置的手术室。

发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，并向当地生态环境主管部门报告，若造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

一旦发生辐射事故，应按以下基本原则进行处理：

(1) 立即消除事故源，防止事故继续蔓延和扩大，即第一时间断开电源，停止 X 射线的产生。

(2) 及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查。

(3) 及时处理，出现事故后，应尽快集中人力、物力，有组织、有计划的进行处理，可缩小事故影响，减少事故损失。

(4) 事故处理后应整理资料，及时总结报告。医院对于辐射事故进行记录：包括事故发生的时间和地点，所有涉及的事故责任人和受害者名单；对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果；所做的任何医学检查及结果；采取的任何纠正措施；事故的可能原因；为防止类似事件再次发生所采取的措施。

11.3.4.3 辐射事故预防措施

(1) 认真组织辐射工作人员参加辐射防护培训及专业技术的知识学习，使用射线装置的工作人员必须在生态环境部辐射安全与防护培训平台参加培训并考核合格后方可上岗；

(2) 配备符合标准要求的个人防护用品，并正确指导受检者穿戴；

(3) 定期组织对放射诊疗工作场所及设备的辐射防护检测和检查，如有异常，及时整改；

(4) 在辐射工作场所醒目位置设置电离辐射警示标志，防护门设置门灯联锁；

(5) 定期组织辐射工作人员进行职业健康检查，工作人员职业照射个人剂量监测档案应终生保存；

(6) 辐射防护安全管理机构应对辐射工作人员的辐射安全管理制度执行情况进行监督、检查。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

为做好工作过程中的辐射安全与防护管理工作，防止辐射污染环境，保障公众的健康，减少人为因素导致人员意外照射事故的发生，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相应的规定，遵照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中关于“营运管理”的要求，建设单位需制定相应的辐射安全管理制度。

12.1.1 辐射安全与环境保护管理机构

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条：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；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作；依据辐射安全关键岗位名录，应当设立辐射安全关键岗位的，该岗位应当由注册核安全工程师担任。

本项目使用有Ⅲ类放射源、Ⅱ类射线装置、Ⅲ类射线装置等，根据要求应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构。医院设置有放射防护管理领导小组机构(见附件 8)。机构下设具体的放射防护管理小组及办公室，负责机构的日常工作，安排具体人员履行管理机构的各项职责，具体落实相关工作。

一、放射防护管理委员会组成：

组 长：刘先领

副组长：范峻峰 曹丽君

成 员：李 明 范伟娟 温利辉 黄贤圣 邓迎翔 谢 谦 潘 智 樊青松

领导小组下设工作组，成员如下：

组 长：范峻峰 曹丽君

副组长：陈丽婉 王 磊

成 员：欧尽南 张大岭 李 莉 周元杰 陆明辉 庾敬雯 高杨博 龚明鹏 李 弘

喻晓东 黄群英 申向民 唐振媚 刘祁汨 梁恒星 杨 鸿 刘滨洋 易 平

尹 宏 王郭虹 朱 晖 罗谓成

二、放射防护管理领导小组的主要职责

（一）建立健全各项规章制度和质量保证制度，定期组织召开例会，对辐射安全工作的立项、设备的引进以及防护的配置等进行论证，提出实施方案与计划，为医院决策提供科学依据。

（二）督促从事辐射工作人员进行辐射安全与防护专业知识、法律法规的培训和考核。

（三）督促从事辐射工作人员做好个人辐射剂量检测，建立放射工作人员个人档案，及时做好从事辐射工作人员的个人职业健康体检。

（四）督促从事辐射工作人员严格执行安全操作规程。

（五）督查放射设备的库存、安装及处置工作。

（六）督查放射工作场所的意外照射安全防范措施实施工作。

（七）定期对辐射安全与防护工作进行督查，检查本院辐射工作人员的技术操作情况，管理制度落实情况，指导做好辐射工作场所管理和人员防护，杜绝辐射安全事故的发生。

（八）定期（至少每半年一次）督查各使用放射性物质及可发生游离放射设备场所的放射防护措施，如有违反规定者，应即停止其作业，并限期整改。

12.1.2 辐射工作人员配备情况

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中第十六条第二款的要求，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。依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中第二十八条的要求，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当对直接从事生产、销售、使用活动的工作人员进行安全和防护知识教育培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部 2019 年第 57 号）及《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部 2021 年第 9 号公告）的相关要求，自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部培训平台报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。建设单位应及时安排本项目未参加培训并考核合格的辐射工作人员在生态环境部辐射安全与防护培训平台参加培训，考核合格后方可上岗（考核成绩合格有效期五年）。

医院为核医学科拟配备医技工作人员 12 人，为放疗科拟配备医技工作人员 11 人，

为介入手术项目拟配备医技工作人员 45 人。在本项目建成投入使用前，医院将安排未参加培训并考核合格的辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加相应类别培训，考核合格后方可上岗（考核成绩合格有效期五年）。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正版）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第 18 号令）的相关管理要求，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、放射防护和安全保卫制度、设备维修制度、人员培训计划、监测方案等。

本评价项目为医院核技术利用新建项目，针对本次项目的核技术应用项目，建设单位已制定了相应的管理制度有：《放射工作人员健康管理制度》、《放射工作人员培训管理办法》、《放射工作人员个人剂量监测管理制度》、《放射诊疗质量保证方案》、《放射诊疗设备性能及工作场所防护效果检测及评价制度》、《放射工作安全操作规程》、《DSA 介入放射防护管理制度》、《放疗科放射事故应急处理预案》、《放疗科医师、技师、物理师岗位职责》、《加速器机房安全管理制度》、《放射治疗科工作制度》、《后装治疗机管理制度》、《后装治疗机事故应急防范措施管理》、《核医学科放射事故应急处理预案》、《核医学科工作制度》、《放射性药物订制、接受、登记、贮存规定》、《放射性废物处理制度及场所设施退役（报废）处置方案》、《核医学科医疗照射的防护原则》、《核医学科放射性核素操作制度》、《核医学科工作人员岗位职责（主任、医师、技师、护士）》等一系列基本规章制度。

医院建立的辐射安全管理制度较为全面，且规章制度内容符合建设单位实际情况，并从辐射人员岗位责任，辐射防护安全管理等方面分别做了明确要求和规定。同时制定了较为符合实际情况的、切实可行的辐射事故应急预案，保障了从事辐射工作的人员和公众的健康与安全。

本项目运行后，建设单位应严格落实各项规章制度，定期修改和完善各项规章制度，确保辐射工作场所的安全运行。

12.3 辐射监测

医院使用的放射性同位素与射线装置，对周围环境及人员产生电离辐射影响。根据《放射性污染防治法》及《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求，医院须对放射性同位素使用场所、射线装置辐射工作场所及辐射从业人员开展辐射监测工作，以

确保辐射从业人员的职业健康，控制放射性物质的照射，保障环境安全，规范辐射工作防护管理。为保护环境和辐射工作人员及公众健康，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）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）等的要求，医院针对本项目制定了相应的辐射监测计划，包括：

12.3.1 环境及工作场所监测

（1）委托监测

委托有资质单位定期对辐射工作场所及周围环境进行辐射环境监测，并建立监测技术档案，以确保辐射工作人员和公众的辐射安全。

- ①监测频度：每年常规监测一次。
- ②监测范围：射线装置、核医学科周围环境及核医学科工作区域。
- ③监测项目：周围剂量当量率、 β 表面污染水平等。
- ④监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

（2）医院自行监测

设施正常运行后，医院定期或有必要时对工作场所周围进行自测，并建立监测技术档案。医院应自行配备便携式表面污染监测仪、便携式 X- γ 辐射监测仪，对射线装置机房内及机房四周环境、核医学辐射工作场所控制区及监督区进行监测。发现问题及时整改。

所有监测记录，存档备查，并编制年度辐射安全防护评估报告上报当地环保部门。医院制定的辐射监测计划符合医院实际情况，包含了竣工环境保护验收监测与定期监测、辐射工作人员个人剂量监测以及日常自行监测，内容全面，符合《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）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）等的要求。

12.3.2 个人剂量监测

- （1）医院辐射环境监测工作由辐射安全防护管理机构组织，各科室辐射工作人员

配合实施，医院负责联系有剂量监测资质的机构对全院参与辐射工作的人员进行个人剂量监测。

(2) 个人剂量监测期内，个人剂量计常规监测周期一般为 1 个月，最长不超过 3 个月送检一次。各有关部门放射防护管理人员收齐本部门辐射工作人员的个人剂量计后交至医院更换佩戴个人剂量计，医院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，发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告发放辐射安全许可证的机关。

(3) 剂量监测结果一般每季度由医院向各有关部门通报一次；当剂量监测结果有异常，医院通知具体辐射工作人员及部门分管领导。

(4) 医务科负责建立医院辐射工作人员的个人剂量档案，个人剂量监测档案包括辐射工作人员个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等内容。个人剂量监测档案终生保存。

12.3.3 年度常规监测及年度评估报告

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定，使用放射性同位素和射线装置的单位应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境主管部门认定的环境监测机构进行监测。

医院应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关要求，结合本院具体许可使用的项目类别和范围，对本单位使用的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

医院将严格执行辐射监测计划，定期委托有相关资质的监测机构对医院的辐射工作场所进行监测。年度监测数据经作为本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况年度评估报告的一部分，每年 1 月 31 日前上报环保行政主管部门。

表 12-1 监测计划及方案要求一览表

监测对象	具体内容	监测频率		监测项目
对放射工作人员	佩戴个人剂量计， 个人剂量监测	3 个月为一周期， 一年监测四次		X-γ累积剂量
工作场所和周围环	后装机、加速器及射线装置 机房四周屏蔽体外、防护门、	自主监测	不定期	X-γ辐射剂量率

境	观察窗等辐射工作场所	委托监测	每年一次	X-γ辐射剂量率
	核医学科控制区内机房四周屏蔽体外、防护门、观察窗等辐射工作场所	自主监测	每次工作结束后	X-γ辐射剂量率、β表面污染
		委托监测	每年一次	X-γ辐射剂量率、β表面污染
	工作结束后辐射工作人员的衣物表面、鞋子表面及底部、手等部位	自主监测	每次工作结束后	β表面污染
放射性废物	核医学科放射性废水	委托监测	排放前	总β放射性活度
	核医学科放射性固体废物	委托监测	处理前	X-γ辐射剂量率、β表面污染
	核医学科放射性废气	委托监测	活性炭更换前后	总β浓度分析
防护性能	放射性设备性能的自主稳定性和质量控制检测	每年一次；设备初次投入使用、大修及更换关键组件时		质量控制性能及防护检测

12.3.4 环保措施竣工环境保护验收

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号），建设单位是建设项目环境保护验收的责任主体，本项目竣工后，建设单位应按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，验收报告分为验收监测（调查）报告、验收意见和其他需要说明的事项等三项内容。建设单位应如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收监测（调查）报告。

建设单位不具备编制验收监测（调查）报告能力的，可以委托有能力的技术机构编制。验收监测（调查）报告编制完成后，建设单位应当根据验收监测（调查）报告结论，逐一检查是否存在验收不合格的情形，提出验收意见。存在问题的，建设单位应当进行整改，整改完成后方可提出验收意见。为提高验收的有效性，在提出验收意见的过程中，建设单位可以组织成立验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式，协助开展验收工作。验收工作组可以由设计单位、施工单位、环境影响报告书（表）编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等组成，代表范围和人数自定。环保设施的验收期限一般不超过3个月；需要对环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限最长不超过12个月。验收报告编制完成后5个工作日内，公开

验收报告，公示的期限不得少于 20 个工作日。验收报告公示期满后 5 个工作日内，建设单位应当登录全国建设项目竣工环境保护验收信息平台，填报建设项目基本信息、环境保护设施验收情况等相关信息，生态环境主管部门对上述信息予以公开。

12.4 辐射事故应急

12.4.1 事故应急响应机构

为了避免避免辐射事故，在发生辐射事故后能作出快速反应、减少危害程度、保护辐射工作人员和公众人员的身心健康，医院拟制定有《放射防护事故应急处理预案》。

医院拟制定《放射防护事故应急处理预案》中确定辐射事故应急处理领导小组，组织、开展辐射事故的应急处理救援工作，明确应急处理领导小组的组成和应急处理领导小组及各职能科室的职责。（见附件 9）

（一）辐射事故应急处理领导小组

组 长：范峻峰 曹丽君

副组长：陈丽婉 王 磊

成 员：欧尽南 张大岭 李 莉 周元杰 陆明辉 庾敬雯 高杨博 龚明鹏 李 弘

喻晓东 黄群英 申向民 唐振媚 刘祁汨 梁恒星 杨 鸿 刘滨洋 易 平

尹 宏 王郭虹 朱 晖 罗谓成

应急值班电话：***。

（二）辐射事故应急处理领导小组职责

- 1.组织制定医院辐射事故应急处理预案。
- 2.组织协调辐射事故应急处理工作。
- 3.组织辐射事故应急人员的培训。
- 4.负责与上级主管部门和本地生态环境部门的联络、报告应急处理工作，配合做好事故调查和审定。
- 5.辐射事故应急处理期间的后勤保障工作。
- 6.采取各种快速有效措施，做好善后处理，最大限度地消除对医院的负面影响。

（三）辐射事故应急处理领导小组成员职责分工

组长：全面负责小组工作，以及现场指挥工作。

副组长：具体负责小组工作，收集有关工作信息，各科室之间的协调工作，管理全院辐射工作人员的健康工作，辐射事故应急处理期间的后勤保障工作。

成员：负责事发现场安全保卫工作，负责辐射操作人员和维修人员的日常管理，人员培训工作。

12.4.2 事故应急预案

为有效处理辐射事故，强化辐射事故应急处理责任，最大限度地控制事故危害，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条、《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（国家环境保护总局文件环发<2006>145号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的规定，结合单位的实际情况，制定了《放射防护事故应急处理预案》（见附件9），已建立的辐射事故应急方案包括以下内容：

（1）辐射事故应急处理领导小组与职责；（2）应急和救助装备、物资准备；（3）辐射事故分级；（4）辐射性事故预防措施和应急处理程序；（5）辐射事故的报告、调查和善后处理；（6）应急培训和演练；（7）应急预案管理。

在应急预案中，建设单位根据本单位可能发生的辐射事故类型分别给出了具体的应急处理程序以及事故上报的报告表模板，具有较好的针对性和可操作性。建设单位在确定人员后应立即落实应急处理机构组成人员名单及联系方式，将各项职责切实明确到人，做好辐射事故的预防和应急处理工作。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

(1) 核医学科项目

本项目拟在 1#门诊医技楼一层建设核医学科，涉及 1 个非密封放射性物质工作场所，拟使用含非密封性放射性 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 的药物开展 PET/CT 显像诊断项目；拟使用含非密封性放射性 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 的药物开展 SPECT/CT 显像诊断项目；拟使用含非密封性放射性 ^{131}I 的药物开展甲亢治疗、甲癌治疗；拟使用含非密封性放射性使用 ^{177}Lu 核素开展前列腺癌、乳腺癌等癌症治疗。

PET 显像诊断项目：安装使用 1 台 PET/CT（属Ⅲ射线装置），拟使用含非密封性放射性 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 的药物开展 PET 显像诊断项目；

SPECT 显像诊断项目：安装使用 1 台 SPECT/CT（属Ⅲ类射线装置），使用含非密封放射性物质 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 的药物开展 SPECT 诊断。

(2) 放疗科项目

本项目拟在 4#地下室负一层位置开展放疗科项目，建设 2 间加速器机房（1 号、2 号）、1 间后装机机房，每间加速器机房内安装使用 1 台医用电子直线加速器（型号规格未定，建设单位均按最大 X 射线能量 10MV 考虑设计，均属Ⅱ类射线装置）、后装机机房内安装使用 1 台后装治疗机（使用密封型放射源 ^{192}Ir ，Ⅲ类密封放射源）用于放射治疗；

(3) 介入手术项目

本项目拟在 1#门诊医技楼一层建设放射科，建设 1 间 DSA 机房，拟在 1#门诊医技楼一层建设急诊中心，建设 1 间 DSA+CT 复合手术室，拟在 1#门诊医技楼四层建设手术区，建设 4 间 DSA 机房，拟在上述 6 间 DSA 手术机房内各安装使用 1 台 DSA；拟在 1#门诊医技楼二层建设内镜中心，建设 1 间 ERCP 机房，拟安装使用 1 台 ERCP；上述配备 6 台 DSA 和 1 台 ERCP 射线装置均属于Ⅱ类射线装置、1 台滑轨 CT 射线装置属于Ⅲ类射线装置，用于放射诊疗。

综上，本次中南大学湘雅二医院桂林医院临桂院区新建项目共包含：

(1) 核医学科项目

使用 1 个乙级非密封放射性物质工作场所，使用核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、

^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{68}Ge - ^{68}Ga ；使用 2 台Ⅲ类射线装置（1 台 PET/CT、1 台 SPECT/CT）。

（2）放疗科项目

使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源（Ⅲ类密封放射源，后装机）；

使用 2 台Ⅱ类射线装置（医用电子直线加速器）。

（3）介入手术项目

使用 7 台Ⅱ类射线装置（6 台 DSA、1 台 ERCP），1 台Ⅲ类射线装置（滑轨 CT）。

13.1.2 实践的正当性分析

本项目的建设对保障群众健康、拯救生命有着十分重要的作用。项目营运以后，能够使新的放射诊疗技术得以更广泛的应用，提高医院放射诊疗及服务水平，使患者得到更好的治疗效果和诊疗环境，具有明显的社会效益，同时将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。

在实践过程中医院采取了相应的辐射防护措施，在患者得到诊疗预期效果的同时，对周围环境、工作人员、公众的辐射影响满足国家辐射防护安全标准的要求，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，符合《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“实践正当性”的原则与要求。

13.1.3 产业政策符合性

本项目使用的射线装置、放射性核素属于国家发展和改革委员会 2021 年第 49 号令《国家发展改革委关于修改<产业结构调整指导目录(2019 年本)>的决定》“鼓励类”中第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”以及第十三项“医药”中第 5 款“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

13.1.4 选址合理性分析

根据《桂林旅游综合医院建设项目环境影响报告书》中对项目选址分析“选址范围规划用地性质为医疗卫生用地，不属于一般农地区、水利用地区、生态环境安全控制区、风景旅游用地区等区域，因此建设项目的选址具有合理性”。

建设单位总院拟将核医学科和放疗科这两块主要的辐射工作场所选址在 1#门诊医

技楼一层和 4#地下室负一层，上述区域的人流量相对较少区域；介入手术项目辐射工作场所为 1#门诊医技楼一层、二层、四层，比较集中地选址于主体建筑内，便于服务门急诊和住院患者。比较全面地考虑建设场地空间适用性和医院的整体医疗流程便利性。

本项目各辐射工作场所所在区域位置相对独立，工作区域专人管理，除需诊断和医院医生、护士外，医院无关人员不得入内，并且在进入辐射区域的时候需经过严格身份确认，这样不但减少了无关公众受照射的概率，同时，也降低了其他工作人员受照射的概率。同时，各辐射工作场所均采取了有效的屏蔽措施，防护设计参数均达到了相关技术规范对辐射工作场所的辐射防护要求，并且各辐射工作场所均按规范要求设置电离辐射警告标志，合理划分控制区，监督区，且无关人员不得进入。但由于各辐射工作场所周围有常驻人员，考虑到可能会造成的影响，本报告通过对各辐射工作场所防护进行理论计算，结果显示在进行治疗或诊断过程中产生的电离辐射，经过屏蔽防护和距离衰减后，对周围工作人员和公众所致的辐射剂量符合剂量约束限值的要求。通过以上场所独立、划分区域等措施，本项目不会产生交叉污染，对外环境造成辐射影响很小。

综合分析，本项目选址相对合理。

13.1.5 辐射安全与防护分析结论

13.1.5.1 辐射防护结论

本项目核医学科各屏蔽防护墙及防护门的屏蔽防护设计，室内表面及装备结构设计均满足《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）的相关要求。介入手术室 X 射线影像诊断机房的屏蔽防护设计方案均能达到、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等标准的要求。放疗科的放射治疗设备机房的屏蔽防护设计方案满足达到《放射治疗辐射安全与防护要求》

（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》等标准的要求。

13.1.5.2 放射性三废的治理和结论

（1）放射性固体废物

本项目核医学科废气排放口产生的废活性炭以及核医学科产生的其他受放射性污染的物品作为放射性固体废物，在固废间分类集中储存衰变，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的衰变时间要求后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，对废物清洁解控 并作为医疗废物处理，不会

对周围环境产生污染。废弃的放射源由放射源供应单位回收或送交广东省放射性废物库统一处理，不会对周围环境产生污染。

（2）放射性废水

本项目核医学科设置了两套放射性废液衰变池，分别收集核素诊断区含较短半衰期核素的放射性废液和核素治疗区含较长半衰期核素的放射性废液，分别通过各自区域专用排放管道排入并联槽式衰变池，暂存衰变。核素诊断区含短半衰期核素的废液在衰变池暂存时间超过 30 天，经估算衰变池的设计方案及容积能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）对放射性废液收集、贮存、处理和排放的要求；核素治疗区含长半衰期核素的废液在衰变池暂存时间超过 180 天，及满足“《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（生态环境部辐射源安全监管司，2023 年 9 月 11 日）”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”的要求。因此，放射性废液经衰变符合标准要求后排放，不会对周围环境造成影响。

（3）放射性废气

本项目核医学科产生的放射性废气采取独立的排放管道引至楼顶，保持含放射性核素工作场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量；操作放射性药物所用的手套箱设有专用的排风装置，并且分装柜通风橱的顶壁安装活性炭过滤装置，排气管出口高度高于所在建筑物屋顶，在排放前设有活性炭过滤净化处理装置，排风口的位置远离周边高层建筑。放疗科机房均采取全排全送的机械通风，设计风量满足治疗室内通风换气次数不小于 4 次/h，风口位置设计合理，产生的臭氧和氮氧化物等有害气体排放浓度满足相关标准要求。其他普通放射诊断用射线装置机房均设置机械通风，保证机房良好的通风效果。

13.1.6 辐射环境影响分析结论

根据本报告表 9、表 10、表 11 对本次核技术利用项目运行过程中，对周边环境及人员的辐射影响分析可知，在正常情况下，辐射工作场所周围辐射剂量率水平满足相关标准的要求，在运行工程中对周围环境中的工作人员和公众的辐射影响均能满足本报告提出的剂量约束值的要求，即工作人员有效剂量控制值不超过 5mSv/a，放射治疗与核医学区域的公众有效剂量控制值不超过 0.1mSv/a，介入 X 射线机房区域的公众有效剂量控制值不超过 0.1mSv/a，同时满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

13.1.7 辐射环境管理制度

建设单位成立了放射防护管理领导小组，落实了机构的成员及其职责，并对本次核技术应用项目已制定了相关的辐射安全管理相关制度，结合了本次项目情况制定了较为符合建设单位实际情况的、切实可行的放射防护事故应急处理预案。制定了相关射线装置的操作规程，明确了相关科室及工作人员的岗位职责。

本项目为新建医院，建成投运前将根据具体管理架构及管理模式，进一步细化和完善各项辐射安全管理规章制度及辐射事故应急预案，确保辐射安全管理、事故应急处理工作符合核技术项目开展需求和相关标准要求。

综上所述，建设单位具有一定的辐射安全管理能力，基本符合《放射性同位素与射线装置安全管理办法》的相关要求。

13.1.8 安全培训及健康管理

(1) 医院应对所有从事辐射工作的人员进行辐射安全与防护知识教育培训，培训考核合格方能上岗，使工作人员熟练掌握操作技能，减少操作时间，从而达到减少受照剂量。

(2) 医院按照要求委托有资质机构对本单位辐射工作人员定期进行职业健康检查，建立个人职业健康档案，并妥善保管。

13.2 结论

综上所述，中南大学湘雅二医院桂林医院临桂院区核技术利用新建项目在落实本报告提出的各项污染防治、辐射安全防护措施和辐射安全管理制度后，运营期对周围环境产生的辐射影响符合环境保护的要求，对辐射工作人员及周围公众造成的影响满足国家辐射防护标准的要求。因此，从辐射安全和环境保护角度分析，落实本项目 13.3 中建议后，本项目的建设是可行的。

13.3 建议与承诺

13.3.1 建议

(1) 认真学习贯彻国家相关的环保法律、法规，加强核与辐射安全知识宣传，不断提高遵守法律的自觉性和安全文化素养，切实做好各项环保工作。

(2) 根据医院管理架构和管理模式及人员配备情况，在初步拟定的辐射安全管理制度的基础上，进一步细化和完善各项辐射安全管理规章制度及辐射事故应急预案。

(3) 医院对从事放射性医疗及放射治疗的工作人员要经常进行辐射防护知识的教

育，并形成长效机制，提高辐射防护意识，提高自我防护意识，定期检查和评估工作人员的个人剂量，建立个人剂量档案。

（5）医院在取得本次环评报告批复文件后，按要求做好工作场所的防护，工作场所达到使用标准后，医院应当按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定的许可证申请程序，申请领取《辐射安全许可证》。

13.3.1 承诺

（1）建设单位承诺委托专业单位进行本项目的辐射防护设计及施工，保证使用合格的防护材料，防护厚度及施工质量达到屏蔽设计的要求。

（2）尽快明确辐射安全与环境保护管理机构人员，安排专职人员进行辐射安全管理制度的管理，细化各项管理制度、安排辐射工作人员在生态环境部辐射安全与防护培训平台参加培训并考核合格后上岗；安排辐射工作人员进行职业健康检查、个人剂量监测委托，建立个人剂量档案。

（3）定期组织辐射事故应急处理相关培训及演练。

（4）根据项目建设情况，在运行前向生态环境行政主管部门申请领取辐射安全许可证，按照辐射安全许可证登记许可内容开展相应的核技术利用项目；项目建成后，按要求及时组织竣工环境保护验收工作。

（5）积极落实各项辐射管理制度，定期检查辐射安全联锁装置和报警系统等，定期进行日常自行监测和年度监测，发现问题及时解决，杜绝在没有启动安全防护装置的情况下强制运行辐射诊疗设备，以防止辐射照射事故发生。

（6）按要求开展个人剂量监测、工作场所监测以及对本单位射线装置的安全和防护状态进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

（7）本次核技术利用建设项目在建设过程中，若发生重大变动应按法律法规要求向有关生态环境主管部门进行申报，办理相关手续，并采取相应的污染治理措施，主动接受生态环境主管部门的监督管理。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见:

经办人

公 章

年 月 日

审批意见:

经办人

公 章

年 月 日