

厦门市中医院康复楼 2 台医用直线加速
器及 4 台 DSA 机等利用项目
环境影响报告表

(公示稿)

厦门市中医院
二〇二五年十二月

核技术利用建设项目

厦门市中医院康复楼 2 台医用直线加速器及 4 台 DSA 机等利用项目 环境影响报告表

(公示稿)

建设单位名称：厦门市中医院

建设单位法人代表：常静玲

通讯地址：福建省厦门市湖里区仙岳路 1739 号

邮政编码：361015

联系人：邓***

电子邮箱：***26@qq.com 联系电话：0592-***8

目录

表 1 项目基本情况	3
表 2 放射源	9
表 3 非密封放射性物质	17
表 4 射线装置	18
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	19
表 6 评价依据	20
表 7 保护目标与评价标准	22
表 8 环境质量和辐射现状	50
表 9 项目工程分析与源项	55
表 10 辐射安全与防护	72
表 11 环境影响分析	109
表 12 辐射安全管理	146
表 13 结论与建议	151

附件

附件 1 委托书（已删除）

附件 2 检测报告（已删除）

附件 3 资质证书（已删除）

附件 4 辐射安全管理制度（已删除）

附件 5 原有辐射工作人员核技术利用辐射安全考核成绩单统计表（已删除）

附件 6 辐射安全许可证（已删除）

附件 7 原有辐射工作人员剂量统计结果及职业健康体检（已删除）

附件 8 厦门市湖里生态环境局关于厦门市中医院康复楼项目环境影响报告书的批复(已删除)

附件 9 厦门市人民政府关于“厦门市中医院”建设用地的批复及其建设用地核定红线图(已删除)

附件 10 《福建省生态环境分区管控综合查询报告》(已删除)

表 1 项目基本情况

项目名称		厦门市中医院康复楼 2 台医用直线加速器及 4 台 DSA 机等利用项目			
建设单位		厦门市中医院			
法人代表	常静玲	联系人	邓***	联系电话	0592-5***
注册地址		福建省厦门市湖里区仙岳路 1739 号			
项目建设地点		福建省厦门市湖里区仙岳路 1739 号			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	8500	项目环保投资（万元）	约 850	投资比例	10%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积（m ² ）	4400
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 type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input 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	/		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
		<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
其他	/				

1.建设单位情况

厦门市中医院位于厦门市湖里区仙岳路 1739 号，创办于 1956 年，2008 年通过三级中医医院评审，2022 年获批建设国家区域医疗中心，是一家中医特色鲜明、综合实力突出的三级甲等综合性中医院。编制床位 1200 张、开放床位 1250 张，现有建筑面积 9.6 万平方米、二期规划建筑面积 7.55 万平方米，由总院、南区、禾祥东门诊部组成。近年年均门急诊量 220 万人次，出院 4.5 万人次。

2.目的和任务由来

为了更好服务周边百姓，丰富厦门市医疗资源，提供整体医疗水平，厦门市中医院拟在康复楼内开展放射治疗及介入放射学等放射诊治工作；拟在康复楼地下三层放疗科建设医用电子直线加速器机房及其配套用房；拟在康复楼一层急诊科新建 DSA 复合手术室，拟在康复楼三层手术中心新建 DSA 复合手术室及杂交手术室。厦门市中医院康复楼项目已办理环境影响评价手续，已取得批复（厦湖环审〔2022〕13 号），目前康复楼正在建设中。

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》以及《建设项目环境保护管理条例》等法律法规，厦门市中医院康复楼 2 台医用直线

加速器及 4 台 DSA 机等利用项目应进行环境影响评价，因此该院于 2025 年 11 月委托湖北君邦环境技术有限责任公司（以下简称“我公司”）对其核技术利用项目进行环境影响评价工作。

根据环境保护部、国家卫生和计划生育委员会的公告（2017 年第 66 号）《关于发布〈射线装置〉分类的公告》、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及本项目内容，本项目使用的医用直线加速器及 DSA 机属于 II 类射线装置。另根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》（中华人民共和国生态环境部令第 16 号）“生产、使用 II 类射线装置的”应编制环境影响报告表。

我公司接受委托后，组织技术人员于 2025 年 11 月对厦门市中医院康复楼 2 台医用直线加速器及 4 台 DSA 机等利用项目辐射工作场所防护情况和辐射工作人员的防护情况进行了调查，充分收集了有关资料，在完成辐射环境质量现状监测、污染源分析工作的基础上，依照《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）的相关要求编制完成了《厦门市中医院康复楼 2 台医用直线加速器及 4 台 DSA 机等利用项目环境影响报告表》。

3.项目建设规模

本项目主要为拟在康复楼地下三层放疗科建设医用电子直线加速器机房及其配套用房，拟在康复楼一层急诊科新建一间 DSA 复合手术室及其配套用房，拟在康复楼三层手术中心新建 3 间 DSA 复合手术室及其配套用房，拟在康复楼三层手术中心新建 1 间 CT-DSA 杂交手术室及其配套用房，本项目建设规模为：

（1）放疗科：康复楼地下三层建设 2 间医用电子直线加速器机房，使用 2 台最大 X 射线能量为 10MV 的直线加速器，属于 II 类射线装置；建设 1 间 CT 模拟定位机机房，使用 1 台模拟定位 CT 机，属于 III 类射线装置。辅助用房有控制室、设备间、制模间、模具存放间、候诊区等以及办公室、值班室等。直线加速器及 CT 模拟定位机参数见表 1-2。

（2）拟在康复楼一楼急诊科建设 1 间 DSA 复合手术室及其配套用房，使用 1 台 DSA 机。拟在康复楼三楼手术中心建设 3 间 DSA 复合手术室及其配套用房，使用 3 台 DSA 机；建设 1 间杂交手术室及其配套用房，联合使用 1 台 CT 机和 1 台 DSA 机（CT+DSA 一体化系统）；射线装置参数见表 1-2。

本项目辐射工作场所均为医院各大楼设计时预留场所，其承重墙等与大楼同时建

设, 辐射防护措施等为后期单独设计, 后期建设内容主要为防护墙体砌筑、涂抹防护钡砂 (或安装铅板等)、设计安装防护门、安装铅玻璃、警示灯、电离警示标志等辐射防护措施。

本项目辐射工作的种类和范围为使用II、III类射线装置。具体见表 1-1。

表 1-1 本项目使用射线装置一览表

序号	射线装置	型号	类别	数量	主要技术参数	使用场所
1	医用电子直线加速器	待定	II类	2台	电子线最高能量不超过18MeV; X射线能量10MV, 等中心最大剂量率2400cGy/min; 常用剂量率600cGy/min	放疗科直线加速器机房1~2
2	DSA	待定	II类	1台	≤125kV, ≤1000mA	一楼急诊科 DSA 复合手术室
3	DSA	待定	II类	3台	≤125kV, ≤1000mA	三楼手术中心 DSA 复合手术室1~3
4	DSA	待定	II类	1台	≤125kV, ≤800mA	三楼手术中心杂交手术室 (CT+DSA 一体化系统)
5	CT	待定	III类	1台	≤140kV, ≤800mA	
6	模拟定位CT机	待定	III类	1台	≤140kV, ≤800mA	模拟定位CT机房

4.项目选址

本项目位于福建省厦门市湖里区仙岳路1739号。本项目辐射工作场所均在康复楼内, 其中放疗科位于康复楼地下三层, DSA复合手术室和杂交手术室分别位于康复楼一层急诊科、三层手术中心。

在建康复楼位于院区北部, 其东侧为中医院培训楼、院内道路及祥店路等, 南侧为住院部、医技楼、院区道路等, 西侧为****居民区 (***)等, 西北侧为祥店路、***等, 北侧为祥店路、***等, 东北侧为祥店路、***等。

(1) 放疗科

放疗科位于康复楼地下三层, 直线加速器机房其东侧为放疗科候诊区、医生办公室、模拟CT机房、地下停车场等, 南侧为衰变池、排烟机房、地下停车场等, 西侧为地下停车场, 北侧为控制室、更衣室、制模间、通道等, 楼下为泥土层, 楼上为地下一层预留区域 (计划建设核医学科SPECT区域)、地下二层部分为机房顶层隔空间; 模拟CT机房位于直线加速器机房东侧, 其东侧为卫生间及停车场等, 南侧为停车场, 西侧为直线加速器机房、医生办公室等, 北侧为候诊区等, 楼下为泥土层, 楼上为停车场。

(2) 急诊科 DSA 复合手术室

复合手术室位于康复楼一层，其东侧为控制室、急诊手术室、通道、留观病房、护士值班室、主任办公室、医生办公室等，南侧为缓冲区、走道、换床区、更衣室、急救大厅、导诊台等，西侧为通道、卫生间、诊室、放射科、电梯厅等，北侧为护士站、电梯厅等，楼上为发放间、更衣间、无菌物品间等，楼下为地下停车场。

(3) 手术中心 DSA 复合手术室及杂交手术室

手术中心 DSA 复合手术室及杂交手术室位于康复楼三层

① DSA 复合手术室 1~3# 位于手术中心西北部，其中 DSA 复合手术室 1、2 东侧为电梯厅，南侧为走道、设备间及 DSA 复合手术室 3、消防电梯、其他手术室等，西侧为设备间、净化机房等，北侧为污物通道，楼上为手术室，楼下为住院门厅及卫生间等；

② DSA 复合手术室 3 东侧为控制室、患者通道、电梯厅等，南侧为污物通道、其他手术室等，西侧为消防电梯、配电间等，北侧为设备间、走廊、DSA 复合手术室 1 和 2 及其控制室等，楼下为库房等（预留用房），楼上为手术间、苏醒室等；

③ 杂交手术室东侧为其他手术室及消防电梯等，南侧为控制室、走廊及其他手术室区域，西侧为走道、电梯厅、拆包间等，北侧为污物通道，楼下超市小卖部，楼上为医护通道、用餐区等。

本项目拟建辐射工作场所选址毗邻场所中无产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，本项目在辐射工作场所屏蔽防护有效的条件下，不会对医院外环境人员造成辐射影响，且项目用地主要为医院内部用地，符合项目用地的规划要求。本项目拟建辐射工作场所周边评价范围（50m）内无以文化教育、科研、行政办公等为主要功能的环境敏感区，故项目选址可行。医院总平面布局示意图见图 1-1。

表 1-4 辐射场所四周紧邻区域环境情况一览表

场所	东侧	南侧	西侧	北侧	楼上	楼下
直线加速器机房 1#	直线加速器机房 2	地下三层：衰变间 地下二层：地下停车场	停车场	地下三层：控制室、更衣室、候诊区 地下二层：冷水机房、进风机房	预留区域（计划建设核医学科 SPECT/CT 机房、患者通道等）	泥土层
直线加速器机房 2#	地下停车场	地下三层：衰变间、排烟机房 地下二层：地下停车场、排烟机	直线加速器机房 1	地下三层：控制室、更衣室、候诊区 地下二层：冷水机房、	预留区域（计划建设核医学科 SPECT 区域注射分装室、储	泥土层

		房		排烟机房	源室、患者通道等)	
模拟定位 CT 机房	地下停车场	控制室	医生通道、医生办公室、值班室等	放疗科候诊区、卫生间等	停车场	泥土层
一楼急诊科 DSA 复合手术室	控制室、开水间等	走廊	设备间、打包间等	通道	发放间、更衣室、通道等	地下停车场
三楼手术中心 DSA 复合手术室 1	控制室	走廊	设备间、库房	污物通道	手术室	气瓶间、疏散走道等
三楼手术中心 DSA 复合手术室 2	走廊	走廊	控制室	污物通道	手术室	大厅
三楼手术中心 DSA 复合手术室 3	控制室	污物通道	楼梯间	仪器室、设备间	手术室	预留用房
三楼手术中心杂交手术室	设备间	控制室	通道	污物通道	用餐区	超市、小卖部

*	*
在建康复楼处	南侧住院楼
*	*
东侧中医院培训楼	北侧祥店路

*	*
***	东南侧院区道路及停车场

图 1-1 本项目周围环境现状

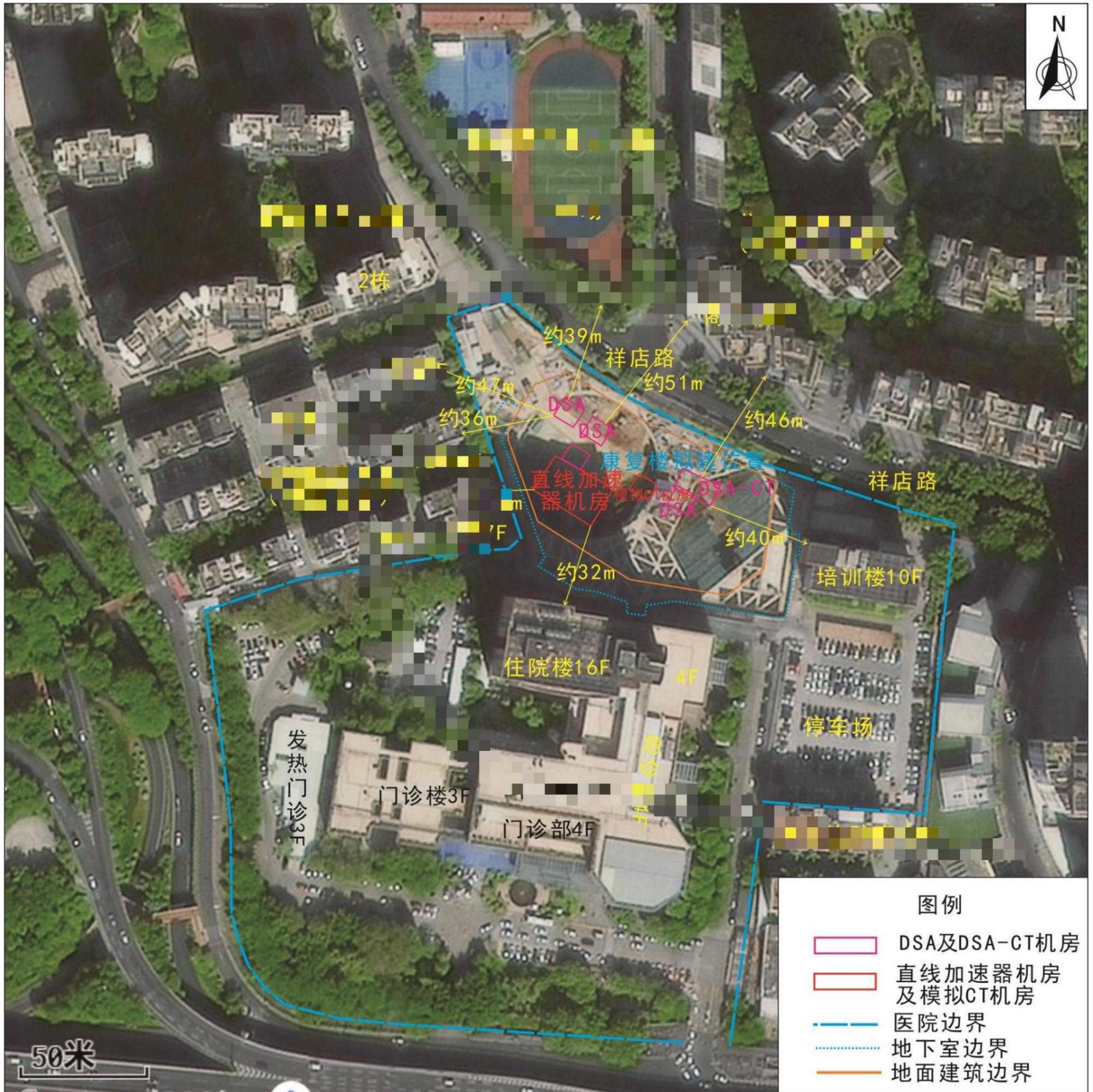


图 1-1 本项目周边环境示意图

图 1-2 康复楼地下三层直线加速器、模拟定位 CT 机房、衰变间位置示意图

图 1-3 康复楼一楼 DSA 复合手术室位置示意图

图 1-4 康复楼三楼 DSA 复合手术室及杂交手术室位置示意图

5.原有核技术利用项目许可情况

(1) 辐射安全许可情况

厦门市中医院现有辐射安全许可证内容为“使用Ⅱ、Ⅲ类射线装置”，证书编号为“闽环辐证[00220]”。医院涉及的Ⅱ类射线装置均已履行环评及竣工环保验收手续，Ⅲ类射线装置已登记备案。医院原有核技术应用项目许可情况见表1-5。

(2) 厦门市中医院原有核技术利用项目环评和验收手续履行情况。

表 1-5 厦门市中医院原有在用射线装置一览表

序号	设备名称	设备型号	分类	数量	工作场所	使用情况	环评	验收	备注
1	数字减影血管造影机 (DSA)	ArtisZee Floor	Ⅱ类	1	介入导管室 1	使用中	闽环辐评 (2015) 13 号	闽环辐验 (2016) 15 号	已获得辐射安全许可
2	医用血管造影机 (DSA)	Artis Q ceiling	Ⅱ类	1	介入导管室 2		闽环辐评 (2023) 12 号	2023 年自主验收	
3	X 射线计算机体层摄影设备	SOMATOM Definition As	Ⅲ类	1	检查室 5		已登记备案	/	
4	医用 X 射线计算机体层摄影设备	SOMATOM Definition As	Ⅲ类	1	检查室 7				
5	牙科全景机	OP 300	Ⅲ类	1	全景片室				
6	牙片机	Focus	Ⅲ类	1	牙片机机房				
7	移动式 X 射线摄影机	Mobilett XP Digital	Ⅲ类	1	放射科 (移动)				
8	骨密度仪	Discovery A	Ⅲ类	1	骨密度检查室				
9	X 射线计算机断层摄影装置	uCT 710	Ⅲ类	1	急诊 CT 室				
10	X 射线计算机断层摄影设备	Revolution CT	Ⅲ类	1	检查室 4				
11	数字化医用 X 射线摄影系统	Ysio	Ⅲ类	1	检查室 2				
12	数字化 X 射线摄影装置	SONIALVISION G4	Ⅲ类	1	检查室 3				
13	数字化 X 射线摄影装置	Multix select	Ⅲ类	1	南区 DR 机房				
14	数字化 X 射线摄影透视系统	Lumions dRF Max	Ⅲ类	1	南区胃肠造影检查室				
15	数字乳腺 X 射线摄影系统	ASY-00676	Ⅲ类	1	乳腺钼靶室				
16	C 型臂 X 射线机	SIREMOBL	Ⅲ类	1	手术室 7				

6		Compact	类						
17	移动式C型臂X射线机	Cios Fusion	III类	1	手术室9				
18	数字化医用X射线摄影系统(DR)	Brivo XR575	III类	1	体检拍片室				
19	移动式数字化医用X射线摄影设备	Optima XR220amx	III类	1	急诊科(移动)				
20	移动式C型臂X射线机	Cios Select S3	III类	1	手术室8				
21	X射线计算机体层摄影设备	Neu Viz ACE SP	III类	1	南区门诊楼一层CT机房				
22	X射线计算机体层摄影设备	Optima GT 540	III类	1	检查室6				
23	数字化摄影X射线机	Discovery XR656 HD	III类	1	检查室8				
24	乳腺X射线系统	MAMMOM AT Revelation	III类	1	数字乳腺三维断层摄影室				
25	体外冲击波碎石机	HK.ESWL-VI	III类	1	总院门诊楼一楼碎石机房				

(3) 辐射防护管理制度

厦门市中医院成立了以院长为组长的放射防护与辐射安全委员会，制定了《辐射事故(事件)应急预案》、《辐射防护安全保卫制度》、《辐射安全操作规程》、《岗位职责》、《设备维护检修制度》、《辐射工作人员培训制度》、《个人剂量和健康管理》、《个人剂量和辐射环境监测方案》、《使用登记、台账管理制度》等辐射安全管理制度，并严格遵守执行。

(4) 辐射工作人员培训、个人剂量监测和体检情况

厦门市中医院现有辐射工作人员共计 129 人，均通过了核技术利用辐射安全与防护考核(其中 80 人为自主考核)，成绩合格且在有效期内。

医院已为辐射工作人员配备了个人剂量计，由专人负责收集个人剂量计，并委托有资质单位承担个人剂量监测工作，监测频度为90天1次。根据医院提供的监测报告，2024年辐射工作人员个人剂量统计结果在0.12~1.93mSv之间，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中规定的辐射工作人员剂量管理值5mSv/a的要求。

医院已为辐射工作人员建立职业健康监护档案，对辐射工作人员进行职业健康体检，并出具相应《职业健康检查总结报告书》，每两年的个人体检报告均存档备案。

(5) 辐射工作场所监测情况

在设备正常运行状态下，院方每年委托有监测资质的单位对工作场所及周围辐射环境剂量率进行监测，监测频次为1次/年，并将监测数据记录存档。根据医院2024年度辐射工作场所检测报告，院内各辐射场所监测均未出现超标情况。

6.产业政策符合性分析

项目投入运行主要为医疗诊治，本项目属于中华人民共和国国家发展和改革委员会令第7号《产业结构调整指导目录（2024年本）》鼓励类中第六类核能中的第4点“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”及鼓励类中第三十七类卫生健康的第1点“医疗服务设施建设”中的“医疗卫生服务设施建设”，符合国家产业政策。

7.代价利益分析

厦门市中医院康复楼2台医用直线加速器及4台DSA机等利用项目建成后，有利于厦门市及其周边地区医疗卫生服务水平，提高人民生活水平。该项目在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益和社会效益。

8.实践正当性分析

项目投入使用为疾病诊断及治疗提供依据和手段，符合辐射防护“实践的正当性”原则。项目在加强管理后均满足国家相关法律、法规和标准的要求，不会给所在区域带来环境压力。

9.生态环境准入清单符合性分析

根据《厦门市生态环境准入清单（2023年）》（厦环评〔2023〕13号）及福建省生态环境分区管控信息平台导出的《福建省生态环境分区管控综合查询报告》（见附件9），本项目所在区域为重点管控单元，环境管控单元编码为ZH35020620010。

厦门市管控要求及符合性分析见表1-6。

表 1-6 项目涉及管控单元管控要求及符合性分析一览表

环境管控单元编码	环境管控单元名称	管控单元类别	纬度	管控要求	符合性分析	是否符合管控要求
ZH350206 20010	湖里区江头街道城市建成区	重点管控单元	空间布局约束	1.禁止在非工业用地区新建、扩建涉及增加大气、水污染物排放的工业生产项目，引导现有大气、水污染排放较重的企业升级改造治理，全面提升污染治理水平。 2.禁止在人口聚集区新建涉及危险化学品或危险废物集中仓储的项目（加油站和燃气充装站等城镇基础能源保供设施配套的仓储按国土空间规划要求执行）。	1.本项目不属于大气、水污染物排放的工业生产项目。 2.本项目不属于涉及危险化学品或危险废物集中仓储的项目	符合
			污染物排放管控	1.对现状企业进行升级改造治理，全面提升污染治理水平。 2.通过实施清洁柴油车（机）、清洁运输和清洁油品行动，发展绿色交通，基本淘汰国三及以下排放标准汽车，按照国家统一部署实施国六排放标准。推动氢燃料电池汽车示范应用，有序推广清洁能源汽车。 3.强化城市扬尘污染管控和对加油站、储油库、油罐车等油气回收设施运行监管等措施减少城市交通源、扬尘源。 4.生产废水、生活污水实现 100%收集与处理，根据污水特性进行适当预处理，达到 DB35/322《厦门市水污染物排放标准》相应标准后排入市政污水管网，依托的市政水质净化厂排水要满足 DB35/322 中表 2C 级排放限值。	本项目放射性废水经放射性废水衰变系统处理后再经医院污水处理厂系统处理达标后排入市政管网，实现 100%收集与处理。	符合
			环境风险防控	单元的环境风险应急管理纳入湖里区环境风险应急管理体系，区域突发事件应急物资储备库服务距离应覆盖本单元。	本项目环境风险应急管理为医院环境风险应急管理的一部分。	符合
			资源开发效率要求	在禁燃区内，禁止销售、燃用高污染燃料，禁止新建、扩建相应的高污染燃料燃用设施	本项目不属于高污染燃料燃用设施	符合
注：本项目为核技术利用项目，主要为使用II、III类射线装置开展医学诊治和诊断工作。						

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II类	2台	待定	电子	X射线最大能量不超过10MV；电子线最高能量不超过18MeV	X射线能量10MV，等中心最大剂量率2400cGy/min；常用剂量率600cGy/min	医疗诊治	放疗科直线加速器机房1、2	拟购
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II类	3台	待定	125	1000	医疗诊治	三楼手术中心 DSA 复合手术室 1~3	拟购
2	DSA	II类	1台	待定	125	1000	医疗诊治	一楼急诊科 DSA 复合手术室	拟购
3	DSA	II类	1套	待定	125	1000	医疗诊治	三楼手术中心杂交手术室	拟购
4	CT	III类	1台	待定	140	800	医疗诊断		拟购
5	模拟定位 CT	III类	1台	待定	140	800	医疗诊断	放疗科模拟定位 CT 机房	拟购
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
加速器废靶	固态	/	/	/	/	/	不长期暂存	由厂家回收处置
臭氧和氮氧化物	气态	—	—	—	—	—	—	场所的通风系统排至室外大气
手术室内产生的少量医疗废物	固态	/	/	少量	少量	/	暂存于医院医疗废物暂存间	由有资质单位回收处置
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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、含有放射性的废弃物要注明，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》（2014 年 4 月修订），中华人民共和国主席令第九号，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》（根据 2018 年 12 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议《关于修改<中华人民共和国劳动法>等七部法律的决定》修正）；</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 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 253 号（根据 2017 年 7 月 16 日《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》修订），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》（2019 年修订），中华人民共和国国务院令 第 449 号，2005 年 12 月 1 日起施行；</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，中华人民共和国生态环境部令 第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修订），原国家环保总局令 第 31 号，2006 年 3 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国环境保护部令 第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(9) 《关于切实加强风险防范严格环境影响评价管理的通知》，环发[2012]98 号文；</p> <p>(10) 《关于发布〈建设项目竣工环境保护验收暂行办法〉的公告》，国环规环评【2017】4 号，2017 年 11 月 20 日施行；</p> <p>(11) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，环境保护部公告 2017 年第 66 号。</p>
------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p style="text-align: center;">技 术 标 准</p>	<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）；</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>(4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>(5) 《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>(6) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；</p> <p>(7) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；</p> <p>(8) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>(9) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）。</p>
<p style="text-align: center;">其 他</p>	<p>(1) 本项目委托书；</p> <p>(2) 《辐射防护导论》（方杰）；</p> <p>(3) 《辐射防护技术与管理》（张丹枫、赵兰才）；</p> <p>(4) 《辐射防护手册》（第三分册）；</p> <p>(5) 医院提供的其他材料；</p> <p>(6) 《福建省生态环境分区管控综合查询报告》；</p> <p>(7) 《厦门市生态环境准入清单（2023 年）》（厦环评〔2023〕13 号）。</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

参考《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）中环境影响报告书相关要求，即“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）。”结合本项目特点，本项目评价范围为拟建放疗科直线加速器机房及模拟定位 CT 机房、DSA 复合手术室及杂交手术室等辐射工作场所屏蔽体边界外 50m 范围，评价范围示意图见图 7-1。

保护目标

根据对本项目周围环境的调查，本项目周边环境保护目标为拟建放疗科、DSA 复合手术室及杂交手术室等辐射工作场所屏蔽体边界外 50m 范围内的辐射工作人员和公众成员，其中辐射工作人员包括放疗科直线加速器及模拟定位 CT 的操作人员、DSA 操作人员，公众成员包括一般医护人员、患者及家属、周边流动人群。经现场勘察，本项目西侧约 19m（水平距离）处***，北侧约 39m（水平距离）为***，东北侧约 46m（水平距离）处为祥***；评价范围内再无科研、行政办公等为主要功能的环境敏感区。本项目评价范围内的辐射环境保护目标具体见表 7-1，评价范围示意图见图 7-1。

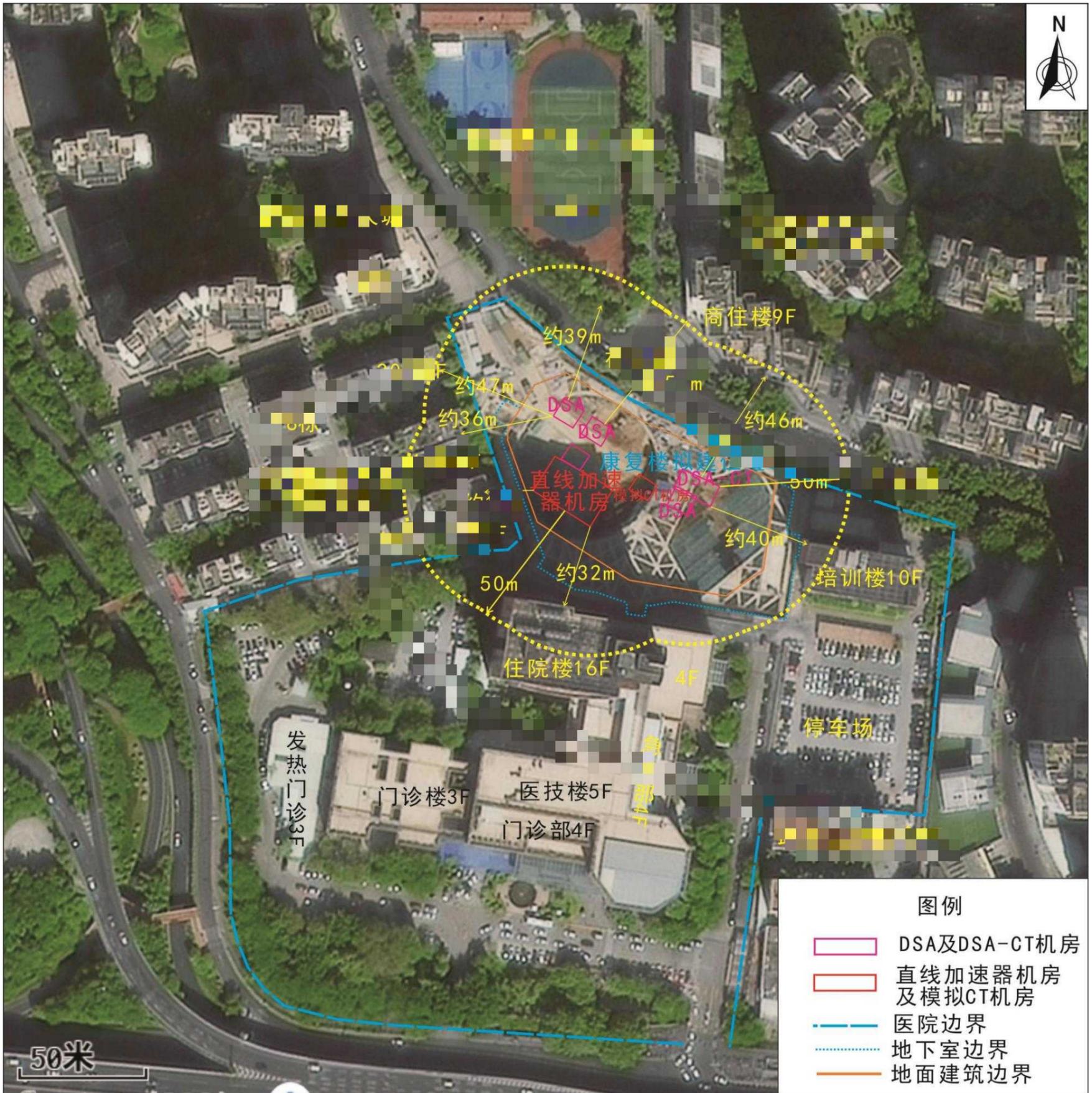


图 7-1 本项目评价范围示意图

表 7-1 主要环境保护目标一览表

评价项目	方位	距离	场所	环境保护目标	人员规模	剂量约束值		
放疗科	直线加速器机房	0~5m	控制室、更衣室	辐射工作人员	8 人	5mSv/a		
		5~30m	模具存放间、候诊区、电梯厅、停车场等	公众成员	约 20 人	0.1mSv/a		
		地下 30~50m	泥土层	/	/	/		
		地面 30~40m	院区道路	公众成员	流动人群	0.1mSv/a		
		地面 40~50m	祥店路	公众成员	流动人群			
		东侧	0~7m	医护区（走道、办公室、值班室等）	辐射工作人员	8 人	5mSv/a	
			7~16m	模拟定位机房	公众成员	流动人群	0.1mSv/a	
			16~46m	卫生间、地下停车场等	公众成员	流动人群		
			46~50m	滤毒室等	公众成员	1~2 人（一般情况下无人）		
		东南侧	0~46m	地下停车场等	公众成员	流动人群	0.1mSv/a	
			地下 46~50m	泥土层	/	/		/
			地面 46~50m	院区道路	公众成员	流动人群		
		南侧	0~5m	排烟机房等	/	/	/	
			5~22m	车道、地下停车场	公众成员	流动人群	0.1mSv/a	
			地下 22~33m	泥土层	/	/	/	
			地面 22~33m	院区道路、绿化等	公众成员	流动人群	0.1mSv/a	
			地下 33~50m	住院楼地下停车场等	公众成员	流动人群		
			地面 33~50m	住院楼	公众成员	约 300 人		
		西侧	0~6m	车道等	公众成员	流动人群	0.1mSv/a	
			地下 6~50m	泥土层	/	/		/
			地面 6~14m	院区道路	公众成员	流动人群		
			地面 14~19m	***道路（通道）	公众成员	流动人群		
			地面	***居民楼 6、7、12 栋等	公众成	>50 人		

模拟定位机房	西北侧	19~50m		员			
		0~22m	地下停车场	公众成员	流动人群		
		地下22~50m	泥土层	/	/	/	
		地面22~50m	院区道路	公众成员	流动人群	0.1mSv/a	
		0~10m	就诊通道、消防电梯、楼梯间、走道、污物暂存间等	公众成员	流动人群		
		10~32m	地下停车场	公众成员	流动人群		
		地下32~50m	泥土层	/	/	/	
		地面32~40m	院区道路	公众成员	流动人群	0.1mSv/a	
		地面40~50m	祥店路	公众成员	流动人群		
		楼上	紧邻	公众成员	>20人		
	楼下	紧邻	泥土层	/	/	/	
	模拟定位机房	西南侧	0~3m	控制室	辐射工作人员	2~4人	5mSv/a
			3~38m	地下停车场	公众成员	流动人群	0.1mSv/a
			地下38~50m	泥土层	/	/	/
			地面38~50m	院区道路	公众成员	流动人群	0.1mSv/a
		西侧	0~7m	卫生间、医生通道	公众成员	流动人群	
			7~36m	直线加速器机房	公众成员	2~4	
			36~43m	地下行车道等	公众成员	流动人群	
			地下43~50m	泥土层	/	/	
地面43~50m			院区道路	公众成员	流动人群		
西北侧		0~8m	医护区（走道、办公室、值班室等）	辐射工作人员	8人	5mSv/a	
		8~40m	就诊通道、污物暂存间、模具存放间等	公众成员	>10人	0.1mSv/a	
		地下40~50m	地下行车道、地下停车场等	公众成员	流动人群		
		北侧	0~18m	放疗科候诊区、电梯、楼梯间等	公众成员		>10人
地下24~50m			泥土层	/	/	/	
地面24~50m			院区道路、祥店路等	公众成	流动人	0.1mSv/a	

		东北侧	0~5m	放疗科候诊区	公众成员	4~10 人			
			5~19m	电梯间、合用前室等	公众成员	流动人群			
			19~25m	地下行车道、地下停车场等	公众成员	流动人群			
			地下25~50m	泥土层	/	/		/	
			地面25~39m	院区道路等	公众成员	流动人群			
			地面39~50m	祥店路等	公众成员	流动人群			
		东侧	0~50m	地下停车场、滤毒室等	公众成员	流动人群	0.1mSv/a		
		东南侧	0~50m	地下停车场	公众成员	流动人群			
		南侧	0~3m	控制室	辐射工作人员	2~4 人	5mSv/a		
			3~37m	地下停车场	公众成员	流动人群	0.1mSv/a		
			地下37~50m	泥土层	/	/	/		
			地面37~50m	院区道路	公众成员	流动人群	0.1mSv/a		
		楼上	紧邻	地下行车道	公众成员	流动人群			
		楼下	紧邻	泥土层	/	/	/		
		一楼急诊科	DSA复合手术室	东侧	0~3m	开水间	公众成员	流动人群	0.1mSv/a
					3~43m	走道、卫生间、留观区、库房等其他区域	公众成员	>10 人	
43~50m	院区道路				公众成员	流动人群			
东南侧	0~3m			控制室	辐射工作人员	6 人	5mSv/a		
	3~33m			急诊手术室、输液室、护士站等	公众成员	>20 人	0.1mSv/a		
	33~50m			楼外院区道路等	公众成员	流动人群			
南侧	0~3m			走道	公众成员	流动人群			
	3~30			更衣、换床区、抢救大厅、急救大厅等	公众成员	>20 人			
	30~42m			楼外院区道路、停车位等	公众成员	流动人群			
	42~50m			住院楼	公众成员	>50 人			

三楼手术中心	DSA复合手术室1	西南侧	0~4m	缓冲区	公众成员	流动人群			
			4~44m	通道、诊室、卫生间、其他候诊区等	公众成员	>20人			
			44~50m	院区道路	公众成员	流动人群			
		西侧	0~4m	设备间、污洗打包间等	公众成员	1~2人 (一般情况下无人)			
			4~50m	通道、放射科(CT机房、诊室)、卫生间、急诊检验实验室、大厅等	公众成员	>50人			
		西北侧	0~5m	通道(大厅)	公众成员	>5人			
			5~33m	电梯间、电梯厅、注射室等	公众成员	>10人			
			33~50m	院区道路、祥店路等	公众成员	流动人群			
		北侧	0~3m	通道	公众成员	流动人群			
			3~20m	护士站、换药区、内科值班室等	公众成员	流动人群			
			20~34m	楼外院区道路	公众成员	流动人群			
			34~50m	祥店路等	公众成员	流动人群			
		楼上	紧邻	走道、发放间、拆包间等	公众成员	>5人			
		楼下	紧邻	地下停车场、行车道等	公众成员	流动人群			
		DSA复合手术室1	东侧	0~4m	污物通道	公众成员		流动人群	0.1mSv/a
				4~50m	楼外悬空	/		/	/
			东南侧	0~4m	控制室	辐射工作人员		6人	5mSv/a
				4~14m	DSA复合手术室2	公众成员		1~2人	0.1mSv/a
				14~50m	通道、电梯厅、患者通道、杂交手术室等	公众成员		>20人	
			南侧	0~3m	通道	公众成员		流动人群	0.1mSv/a
3~43m	污物电梯、楼梯间、仪器库、DSA复合手术室3、其他手术室等			公众成员	>20人				
43~50m	悬空(楼外)			/	/	/			
西南侧	0~16m		缓冲间、污物通道、净化机房等	公众成员	流动人群	0.1mSv/a			
	16~50m		悬空(楼外)	公众成	>20人				

DSA 复合手 术室 2	西侧	0~11m	设备间、污物通道、清洁间、 净化机房等	公众成 员	1~2 人 (一般 情况下 无人)	0.1mSv/a	
		11~40m	悬空 (楼外)	/	/		/
		40~50m	***居民楼	公众成 员	>10 人		
		北侧	0~2.5m	污物通道	公众成 员	流动人 群	0.1mSv/a
			2.5~50m	悬空 (楼外)	/	/	
		楼上	紧邻	手术室等	公众成 员	>5 人	0.1mSv/a
		楼下	紧邻	气瓶间、卫生间等	公众成 员	流动人 群	
	DSA 复合手 术室 2	西北侧	0~3m	控制室	辐射工 作人员	6	5mSv/a
			3~24m	DSA 复合手术室 1、设备间、 污物通道、清洁间、净化机房 等	公众成 员	1~2 人	0.1mSv/a
			24~50m	悬空 (楼外)	/	/	/
		北侧	0~2.5m	污物通道、设备间、无菌间等	公众成 员	>2 人	0.1mSv/a
			2.5~50m	悬空 (楼外)	/	/	/
		东侧	0~33m	通道、电梯厅等	公众成 员	流动人 群	0.1mSv/a
			33~50m	患者通道、杂交手术室等	公众成 员	>10 人	
		南侧	0~3m	通道	公众成 员	流动人 群	0.1mSv/a
3~44m			耗材库、无障碍卫生间、苏醒 室等	公众成 员	>20 人		
44~50m			悬空 (楼外)	/	/	/	
西南侧		0~3m	通道	公众成 员	流动人 群	0.1mSv/a	
		3~13m	仪器间、设备间、DSA 复合手 术室 3	公众成 员	>5 人		
		13~38m	污物通道、其他手术室等	公众成 员	>10 人		
		38~50m	悬空 (楼外)	/	/		/
西侧	0~6m	通道	公众成 员	流动人 群	0.1mSv/a		
	6~27m	污物通道、净化机房等	公众成 员	流动人 群			
	27~50	悬空 (楼外)	/	/		/	
楼上	紧邻	手术室等	公众成 员	>5 人	0.1mSv/a		

		楼下	紧邻	大厅	公众成员	流动人群	
DSA 复合手 术室 3	东南侧	0~3m	控制室	辐射工作人员	6 人	5mSv/a	
		3~37m	走道、护士站、换床区、患者通道、走道、麻醉准备区等	公众成员	>20 人	0.1mSv/a	
		37~50m	杂交手术室等	公众成员	>10 人		
	南侧	0~3m	污物通道	公众成员	流动人群	>20 人	
		3~28m	其他手术室、走道、无菌包间、污物通道等	公众成员			
		28~50m	悬空（楼外）	/	/	/	
	西侧	0~8m	楼梯间、污物电梯、标本间等	公众成员	>4 人	0.1mSv/a	
		8~18m	污物通道等	公众成员	流动人群		
		18~30m	悬空（楼外）	/	/	/	
		30~50m	***居民楼 7、12 栋等	公众成员	>50 人	0.1mSv/a	
	北侧	0~3m	仪器间、走道	公众成员	流动人群		
		3~21m	DSA 复合手术室 1、污物通道等	公众成员	2~4 人		
		21~50m	悬空（楼外）	/	/	/	
	东侧	0~4m	通道	公众成员	流动人群	0.1mSv/a	
		4~38m	无障碍卫生间、患者通道、电梯厅等	公众成员	流动人群		
38~50m		悬空（楼外）	/	/	/		
楼上	紧邻	日间手术室	公众成员	2~4 人	0.1mSv/a		
楼下	紧邻	预留用房	公众成员	2~4 人			
三楼手术中心杂交手术室	西南侧	0~3m	控制室	辐射工作人员	6 人	5mSv/a	
			缓冲间	公众成员	1~2 人	0.1mSv/a	
		3~45m	走道、其他手术室、苏醒室、楼梯间等	公众成员	>10 人		
		45~50m	悬空（楼外）	/	/	/	
	西侧	0~5m	走道	公众成员	流动人群	0.1mSv/a	
		5~50m	家属等候室、谈话间、换床区、其他手术室、苏醒室等	公众成员	>30 人		
	西北侧	0~5m	走道	公众成员	流动人群		
		5~33m	电梯厅等	公众成	流动人		

				员	群	
		33~50m	DSA 复合手术室 1、2 等	公众成员	4~12 人	
北 侧		0~3m	污物通道	公众成员	流动人 群	
		3~50m	悬空（楼外）	/	/	/
东 侧		0~5m	污物通道	公众成员	流动人 群	0.1mSv/a
		5~50m	悬空（楼外）	/	/	/
东 南 侧		0~3m	设备间、缓冲间	公众成员	1~2 人 （一般 情况下 无人）	0.1mSv/a
		3~24m	负压手术室、消防梯、楼梯间、 污洗间等	公众成员	>10 人	
		24~40m	悬空（楼外）	/	/	/
		40~50m	培训楼	公众成员	>50 人	
南 侧		0~3m	UPS 间	公众成员	1~2 人 （一般 情况下 无人）	0.1mSv/a
		3~33m	走道、其他手术室、污物通道、 预处理房间等	公众成员	>30 人	
		33~50m	悬空（楼外）	/	/	/
楼 上	紧邻	医护通道、换鞋区、机器人充 电间等	公众成员	4~10	0.1mSv/a	
楼 下	紧邻	小卖部、超市	公众成员	1~2（店 员）		

图 7-2 地下三层直线加速器机房、模拟定位 CT 机房平面布局图

图 7-3 地下二层直线加速器机房布局及其他辐射工作场所对应位置示意图

图 7-4 直线加速器机房轮廓示意图（地下二层、地下三层剖面图）

图 7-5 地下一层直线加速器机房楼上对应位置示意图

图 7-6 一楼急诊科 DSA 复合手术室平面布局图

图 7-7 急诊科 DSA 复合手术室正下方（地下一层）对应位置示意图

图 7-8 急诊科 DSA 复合手术室正上方（二楼）及杂交手术室正下方（二楼）对应位置示意图

图 7-9 三楼手术中心 DSA 复合手术室平面布局图

图 7-10 手术中心 DSA 复合手术室正下方对应位置示意图

图 7-11 手术中心 DSA 复合手术室正上方对应位置示意图

图 7-12 三楼杂交手术室平面布局图

图 7-13 杂交手术室正上方对应位置示意图

评价标准

(1) 辐射剂量限值

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)及《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-85)中的要求,本项目相关限值采用标准见表 7-2。

表 7-2 本项目相关标准限值

内容	项目	剂量限值	标准名称
连续五年平均有效剂量限值	辐射工作人员	20mSv	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)
年有效剂量限值	公众成员	1mSv	
剂量约束值	辐射工作人员	5mSv/a	《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)、《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-85)
	公众成员	0.1mSv/a	

(2) 剂量当量率控制水平

依据《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》(GBZ/T201.2-2011)、《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)中的要求,本项目相关剂量当量率控制水平见表 7-3。

表 7-3 本项目相关剂量当量率控制水平

场所	内容	项目	标准限值	标准名称
复合手术室及杂交手术室(DSA 机房)、模拟定位 CT 机房	周围剂量当量率	具有透视功能的 X 射线机在透视条件下监测时,周围剂量当量率控制目标值	$\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$	《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)
直线加速器机房	最高剂量率参考控制水平	人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所	$\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$	《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)
		人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所	$\leq 10\mu\text{Sv/h}$	
	关注点剂量率参考控制水平	导出剂量率参考控制水平	Hc,d ^注	《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)

周围剂量当量率参考控制水平	距治疗机房墙和入口门外表面30cm处, 人员居留因子>1/2	≤2.5μSv/h	《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)
	距治疗机房墙和入口门外表面30cm处, 人员居留因子≤1/2	≤10μSv/h	
	距治疗机房墙和入口门外表面30cm处, 人员居留因子≥1/2	≤2.5μSv/h	《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)
	距治疗机房墙和入口门外表面30cm处, 人员居留因子<1/2	≤10μSv/h	
注: Hc,d 根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)附录 A.2 计算, 详见表 11-11。			

(3) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)

依据《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)中针对不同X射线设备机房防护设施的技术要求, 本次环评所采用的评价标准见表 7-4 至表 7-6。

表 7-4 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(m ²)	机房内最小单边长度(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	30	4.5
单管头 X 射线设备 ^b	20	3.5

a 双管头或多管头 X 射线设备的所有管球安装在同一间机房内。
b 单管头、双管头或多管头 X 射线设备的每个管球各安装在 1 个房间内。

5.3 X 射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求:

a) 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护应不小于表 7-7 要求。

表 7-5 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

设备类型	有用线束方向铅当量(mm)	非有用线束方向铅当量(mm)
标称 125kV 以上的摄影机房	3.0	2.0
标称 125kV 及以下的摄影机房	2.0	1.0
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	

每台 X 射线设备根据工作内容, 现场应配备不少于表 7-8 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施, 其数量应满足开展工作需要, 对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣; 除介入防护手套外, 防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb; 介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb; 甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb; 移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb; 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品, 防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb; 个人防护用品不使用时, 应妥善存放, 不应折叠放置, 以防止断裂。

表 7-6 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
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	—
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	—

注：“—”表示不要求

(4) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）

《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）对工作场所放射防护要求、安全装置和警告标志要求做了明确规定：

表 7-7 《放射治疗放射防护要求》的相关内容

相关条款	具体内容
6.1 布局要求	<p>6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。</p> <p>6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。</p> <p>6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。</p> <p>6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。</p> <p>6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室,尽可能避开被有用线束直接照射。</p> <p>6.1.6 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路；γ刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。</p> <p>6.1.7 使用移动式电子加速器的手术室应设在医院手术区的一端，并和相关工作用房(如控制室或专用于加速器调试、维修的储存室)形成一个相对独立区域，移动式电子加速器的控制台应与移动式电子加速器机房分离，实行隔室操作。</p>
6.2 空间、通风要求	<p>6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。</p> <p>6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。</p>
6.3.2 治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平	<p>6.3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30cm 处，或在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，周围剂量当量率参考控制水平同 6.3.1。</p> <p>6.3.2.2 除 6.3.2.1 的条件外，若存在天空反射和侧散射，并对治疗机房墙外关</p>

	注点位置照射时，该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的周围剂量当量率的总和，按 6.3.1 确定关注点的周围剂量当量率作为参考控制水平。
6.4 安全装置和警示标志要求	<p>6.4.1 监测报警装置 含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常。</p> <p>6.4.2 联锁装置 放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。</p> <p>6.4.3 标志 医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志： a)放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志； b)放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。</p> <p>6.4.4 急停开关 6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。 6.4.4.2 放射源后装近距离治疗工作场所，应在控制台、后装机设备表面人员易触及位置以及治疗机房内墙面各设置一个急停开关。</p> <p>6.4.5 应急储存设施。 6.4.5.1 γ源后装治疗设施应配备应急储源器。 6.4.5.2 中子源后装治疗设施应配备符合需要的应急储源水池。</p> <p>6.4.6 视频监控、对讲交流系统。 控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。</p>
8 放射防护检测方法要求	<p>8.1 治疗机房放射防护验收检测 8.1.1 治疗机房屏蔽效果检测 8.1.1.1 治疗机房屏蔽效果检测应在巡测的基础上，对关注点的局部屏蔽和缝隙进行重点检测。关注点应包括：四面墙体、顶棚、机房门、管线洞口、工作人员操作位等，点位选取应具有代表性。 8.1.1.2 治疗机房周围 50m 范围内有高于机房室顶的建筑时，应检测侧散射。 8.1.1.3 治疗机房为单层建筑时，应检测天空反射。 8.1.1.4 检测仪器测量范围、能量响应、抗干扰能力等性能应适用于被测辐射场，应有法定计量检定或校准证书，并在有效期内。 8.1.1.5 检测条件参见附录 B、附录 C、附录 D 和附录 E。</p> <p>8.1.2 其他 8.1.2.1 治疗机房应进行通风效果检测。 8.1.2.2 治疗机房建成并且设备安装调试完成后，应进行防护效果验收检测。 8.1.2.3 加速器治疗工作场所防护检测方法参见附录 B，术中放射治疗工作场所防护检测方法参见附录 C，含放射源放射治疗工作场所防护检测方法参见附录 D，质子重离子放射治疗工作场所防护检测方法参见附录 E。 8.1.2.4 数据处理和检测结果评价参见附录 F。</p> <p>8.2 治疗机房放射防护常规检测。 应定期开展治疗机房放射防护常规检测，定期检测的周期为一年。</p>
(5) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)	

《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）对工作场所放射防护要求、安全装置和警示标志要求做了明确规定：

表 7-8 《放射治疗辐射安全与防护要求》的相关内容

相关条款	具体内容
4 一般要求	<p>4.1 从事放射治疗的医疗机构应对放射治疗活动的辐射安全与防护全面负责，实现保护从事放射治疗相关辐射工作人员、公众健康与环境安全的目标。</p> <p>4.2 从事放射治疗的医疗机构应建立健全辐射安全与防护管理体系，制定辐射安全与防护大纲，落实岗位职责及操作规程等管理制度。</p> <p>4.3 从事放射治疗的医疗机构在规划、设计、建设放射治疗工作场所和开展放射治疗活动的过程中，应遵循实践的正当性、安全与防护的最优化、剂量限制和潜在照射危险限制，确保放射治疗涉及的辐射工作人员和公众受照剂量处于安全合理的水平。</p> <p>4.4 从事放射治疗的医疗机构应根据放射治疗活动的潜在照射危害水平，根据纵深防御原则，设置相适应的多层防护与安全措施，确保当某一层次的防护措施失效时，可由下一层次的防护措施予以弥补或纠正，达到：</p> <p>a) 防止可能引起误照射的事故；</p> <p>b) 减轻事故的放射性后果；</p> <p>c) 将放射治疗设备恢复到安全状态。</p> <p>4.5 构成放射治疗相关辐射工作场所安全联锁系统的物项应满足以下要求：</p> <p>a) 应满足冗余性要求，采用的物项应为完成某一安全功能所必须的最少数目的物项，保证运行过程中某物项失效或不起作用的情况下可使其整体不丧失功能；</p> <p>b) 应满足多元性要求，包括系统多元性和多重剂量监测，采用不同的运行原理、不同的物理变量、不同的运行工况、不同的元器件等；</p> <p>c) 应满足独立性要求，当某一安全部件发生故障时，不会造成其它安全部件的功能出现故障或失去作用；</p> <p>d) 应满足失效安全的要求，当某一安全物项或部件出现故障时，应确保放射治疗装置重新回到安全状态。</p> <p>4.6 从事放射治疗的医疗机构应规范收集、妥善暂存和处理放射治疗活动中产生的放射性废物。</p> <p>4.7 从事放射治疗的医疗机构应对放射治疗场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估，证明采取的辐射安全与防护措施的有效性。</p> <p>4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合GB 18871-2002中剂量限值相关规定。</p> <p>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：</p> <p>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5 mSv/a。</p> <p>b) 公众照射的剂量约束值不超过0.1 mSv/a。</p> <p>4.10 开展放射治疗活动的医疗机构应制定相应的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备、应急演练和应急响应，确保有效防范辐射事故或缓解辐射事故后果。</p>
5 选址、布局与分区要求	<p>5.1 选址与布局</p> <p>5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。</p> <p>5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。</p> <p>5.1.3 术中放射治疗手术室应采取适当的辐射防护措施，并尽量设在医院手术</p>

	<p>区的最内侧，与相关工作用房（如控制室或专用于术中放射治疗设备调试、维修的房间）形成一个相对独立区域；术中控制台应与治疗设备分离，实行隔室操作，控制台可设在控制室或走廊内。</p> <p>5.2 分区原则</p> <p>5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流运输通道和治疗室，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。</p> <p>5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。</p>
6 放射治疗场所辐射安全与防护要求	<p>6.2 安全防护设施和措施要求</p> <p>6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等：</p> <p>a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；</p> <p>b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；</p> <p>c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。</p> <p>6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。</p> <p>6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：</p> <p>a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门—机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；</p> <p>b) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；</p> <p>c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流运输通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；</p> <p>d) 质子/重离子治疗装置安全联锁系统还应包括清场巡检系统、门钥匙开关（身份识别系统）。质子/重离子治疗室、加速器大厅和束流运输通道应建立分区清场巡检和束流控制的逻辑关系，清场巡检系统应考虑清场巡检的最长响应时间和分区调试情况的联锁设置。日常清场巡检时，如超出设定的清场巡检响应时间，需重新进行清场巡检；</p> <p>e) 质子/重离子治疗装置应考虑建立调试、检修、运行维护人员的人身安全联锁系统，将调试、检修、运行维护人员的受照剂量与进入控制区的权限实施联锁管控；</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机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。</p> <p>6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。</p>
7 操作的辐射安全与防护要	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。

求	<p>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。</p> <p>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。检修人员进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域前,应先进行工作场所辐射监测,在单位辐射安全管理机构批准后方可进入。进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域的参观人员须在辐射工作人员带领下进入。</p> <p>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。</p> <p>7.5 质子/重离子加速器调试、检修期间,应对进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道、治疗室区域的人员加强管理。在出束的情况下严禁调试、检修人员滞留在控制区;对辐射水平热点区域(如回旋加速器、降能器、束流偏转及引出部位等)应考虑进行屏蔽;接入人身安全联锁系统的受照剂量监测设备宜采用直读式的仪器。</p>
8 放射性废物管理要求	<p>8.2 固体废物管理要求</p> <p>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。</p> <p>8.2.2 其他固体废物管理要求</p> <p>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。</p> <p>8.2.2.2 低水平的活化部件如质子/重离子加速器治疗头器件、磁铁等,以及处理质子/重离子加速器冷却水的废树脂,集中放置在固体废物暂存间暂存衰变,经衰变后仍超出清洁解控水平的(放射性废物豁免的活度、活度浓度见附录B)送交有资质的单位收贮。</p> <p>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。</p> <p>8.3 液态废物管理要求 事故或检修状况下质子/重离子加速器的活化冷却水按照放射性废液管理要求妥善收集贮存,暂存衰变至低于豁免水平后可作为普通废液处理,并做好存档记录。</p> <p>8.4 气态废物管理要求</p> <p>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。</p> <p>8.4.2 质子/重离子加速器停机后,加速器大厅应加强通风排气,采取措施使人员延时进入,以降低活化空气的感生放射性水平,减少人员受照剂量。</p>

表 8 环境质量和辐射现状

1.项目的地理和场所位置

厦门市中医院位于厦门市湖里区仙岳路 1739 号，本项目主要辐射工作场所为拟在康复楼地下三层放疗科建设医用电子直线加速器机房及其配套用房，拟在康复楼一楼急诊科新建 DSA 复合手术室及三楼手术中心新建 DSA 复合手术室及杂交手术室。项目地理位置示意图见图 8-1。



图 8-1 厦门市中医院地理位置示意图

2.环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

(1) 环境现状评价的对象

本次环境现状评价的对象为本项目辐射工作场所区域及周边环境。

(2) 监测因子

监测因子为： γ 辐射空气吸收剂量率。

(3) 监测点位

按《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）中有关布点原则和方法，并结合本项目的实际情况，进行布点。

图 8-2 检测点位示意图

3.监测方案、质量保证措施和监测结果

(1) 监测方案

①监测单位

湖北君邦检测技术有限公司

②监测时间及环境条件

监测时间：2025年12月11日

天气情况：晴

温度：20.3℃

相对湿度：76.1%

③监测方法

本次环境 γ 辐射剂量率监测方法依据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)中要求的测量步骤，具体测量步骤如下：

a) 开机预热。

b) 手持仪器或将仪器固定在三脚架上。一般保持仪器探头中心距离地面(基础面)为1m。

c) 仪器读数稳定后，通常以约10s的间隔(可参考仪器说明书)读取/选取10个数据，记录在测量原始记录表中。

表 8-1 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》相关内容

项目	相关参数
量程	量程下限应不高于 $1 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ；量程上限按照辐射源的类型和活度进行选择，应急测量情况下，应确保量程上限符合要去，一般不低于 $-1 \times 10^{-2} \text{Gy/h}$
相对固有误差	$< \pm 15\%$
能量响应	50keV~3MeV，相对响应之差 $< \pm 30\%$ (相对 ^{137}Cs 参考 γ 辐射源)
角响应	$0^\circ \sim 180^\circ$ 角响应平均值(R(—))与刻度方向上的响应值(R)的比值大于等于0.8(对 ^{137}Cs γ 辐射源)
使用温度	-10~40℃(即时测量)，-25~50℃(连续测量)
使用相对湿度	$< 95\%$ (35℃)

④监测仪器

本次监测仪器为环境监测用 X、 γ 辐射吸收剂量率仪，该仪器由上海市计量测试技术研究院·华东国家计量测试中心(鉴定证书见附件3)，仪器的参数见表 8-2。

表 8-2 辐射环境现状监测仪器及参数一览表

仪器名称	环境监测用 X、 γ 辐射吸收剂量率仪
仪器型号	JB5000
生产厂家	上海精博工贸有限公司
能量响应	20KeV，不超过-23%~43%

量程	0.01μSv/h-10mSv/h
相对固有误差	-15%~22%
校准证书编号	2024YD045100363
校准有效期限	2025年3月6日-2026年3月5日

(2) 质量保证措施

①本项目监测单位已取得了湖北省市场监督管理局 CMA 认证，具备有完整、有效的质量控制体系；

②根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）制定监测方案及实施细则，布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性；

③监测仪器经计量部门检定合格，并在检定有效期内；

④每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；

⑤监测人员经考核并持有合格证书上岗，由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录；

⑥建立完整的文件资料。仪器校准(测试)证书、监测方案、监测布点图、测量原始数据等全部保留，以备复查；

⑦监测时获取足够的数量，以保证监测结果的统计学精度。监测中异常数据以及监测结果的数据处理按照统计学原则处理；

⑧监测报告严格实行三级审核制度，经过复核，最后由授权签字人签字后，盖章方可发出。

(3) 监测结果

本项目周边辐射环境检测结果见表 8-3，检测报告见附件 2。

表 8-3 本项目辐射环境监测结果

序号	监测地点	γ辐射空气吸收剂量率 测量值±标准差 (μGy/h)	监测工 况
1	拟建地下三层直线加速器机房 1 处（室内）	*** ± ***	背景监 测
2	拟建地下三层直线加速器机房 2 处（室内）	*** ± ***	
3	拟建放疗科候诊区处（室内）	*** ± ***	
4	拟建模拟定位CT机房处（室内）	*** ± ***	
5	康复楼地下二层停车场处（室内）	*** ± ***	
6	康复楼一楼抢救大厅处（室内）	*** ± ***	
7	一楼急诊科 DSA 复合手术室	*** ± ***	
8	拟建三楼杂交手术室处（室内）	*** ± ***	
9	三楼手术中心 DSA 复合手术室 1	*** ± ***	
10	三楼手术中心 DSA 复合手术室 2	*** ± ***	
11	三楼手术中心 DSA 复合手术室 3	*** ± ***	
12	康复楼东北侧院区空地（室外）	*** ± ***	

13	在建康复楼东侧培训楼楼前（室外）	*** ± ***	
14	在建康复楼东南侧住院楼楼前（室外）	*** ± ***	
15	在建康复楼南侧住院楼楼前（室外）	*** ± ***	
16	西侧***7栋居民楼楼前（室外）	*** ± ***	
17	西侧***12栋居民楼楼前（室外）	*** ± ***	
18	西侧***20栋居民楼楼前（室外）	*** ± ***	
19	西北侧建发中央天城2栋楼前（室外）	*** ± ***	
20	北侧祥店路（室外）	*** ± ***	
21	东北侧祥店路（室外）	*** ± ***	
22	***小区商住楼楼前（室外）	*** ± ***	
23	东北侧祥店路旁商住楼楼前（室外）	*** ± ***	
备注：γ辐射空气吸收剂量率监测结果均已扣除宇宙射线响应值。			

4.环境现状调查结果评价

由表 8-3 的检测结果显示可知，拟建辐射工作场所周边γ辐射空气吸收剂量率背景测量值在***μGy/h 之间，监测结果均已扣除宇宙射线响应值。

由《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年 07 月出版）可知福建省厦门市道路 γ 辐射剂量率在 78.2nGy/h ~129.4nGy/h 之间（以上值均已扣除仪器的宇宙射线响应值）。由于不同时期天然放射性水平存在一定差异，本项目监测结果在福建省厦门市道路 γ 辐射剂量率范围内，可以认为本项目辐射场所各监测点位 γ 辐射空气吸收剂量率处于当地天然本底水平涨落范围内。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

1. 直线加速器

(1) 设备参数

本项目所涉及的辐射源为医用电子直线加速器，型号待定，设备的主要参数见表 9-1。

表 9-1 本项目拟购置直线加速器参数一览表

序号	参数名称	参数值
1	电子线	最高能量 18MeV
2	X 射线最大能量	10MV
3	常用最大剂量率	距靶 1m 处 X 射线能量为 10MV 时最大剂量率为 2400cGy/min； 常用剂量率为 600cGy/min
4	最大照射野尺寸	40cm×40cm
5	最大泄漏率	距机壳 5cm 处最大泄漏率≤0.1%
6	机架旋转角度	±180°

(2) 设备组成

直线加速器的主要装置包括沿水平轴旋转光子束框架、沿垂直轴旋转的治疗床、控制光子束准直器、定向架或变形塑料定向架，工作系统主要有 5 个系统构成，包括：控制系统、加速系统、应用系统、剂量监测系统、冷却系统。

(3) 工作原理

直线加速器是采用微波电场将电子加速到高能状态的一种射线装置，它能够根据患者病变部位治疗深度的要求提供不同能量的光子和电子，从而输出不同的辐射剂量达到治疗的目的。工作原理为电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，经调制、准直后射向患者病灶，或者通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶。因此，医用电子直线加速器应用放射治疗的模式有 X 射线和电子束两种模式。

本项目使用的医用电子直线加速器 X 射线最高能量为 10MV，电子线的输出能量为 18MeV。本项目加速器辐射危害的主要因素有 X 射线、电子线，加速器机房 X 射线的屏蔽要求满足电子束的屏蔽要求。同时还应考虑加速器运行过程中产生的臭氧、氮氧化物等废气。

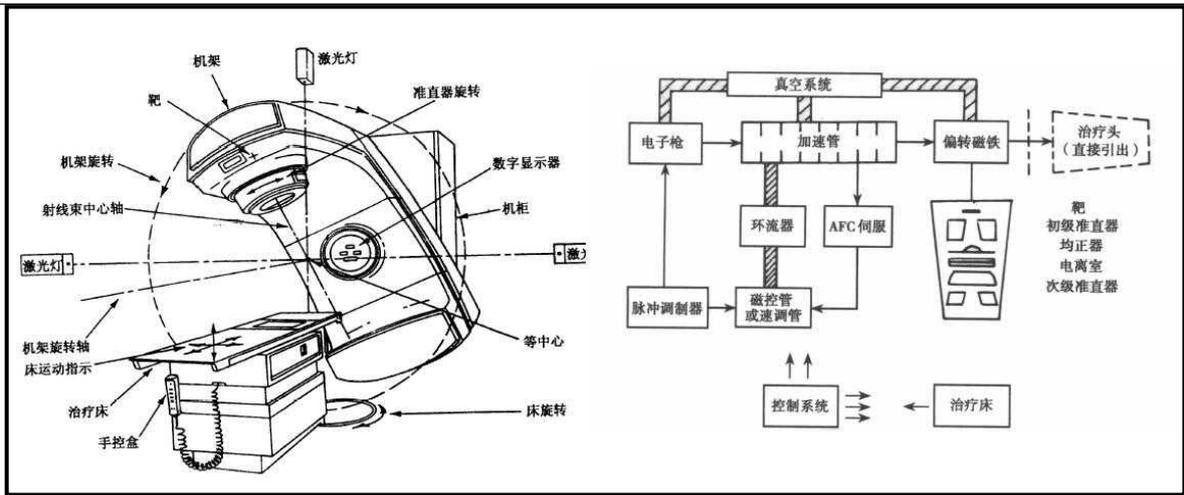


图 9-1 医用电子直线加速器物理结构图（左）及内部结构图（右）

(4) 工艺流程及产污环节

放疗工作流程为：

- ①先对病人模拟定位；通过模拟定位机对患者的病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小及所选用能、拍片存档；主要产生的污染源为 X 射线；
- ②根据患者所患疾病的性质确定照射野的大小、能量、肿瘤深度、计算受照射剂量、照射时间、加速器输出量；
- ③根据模拟定位及处方剂量制定放射治疗计划；
- ④患者进入治疗机房，由工作人员进行摆位，对患者进行体表定位、标记、调整照射角度和视野；
- ⑤工作人员等离开加速器室后，工作人员关闭加速器室门；
- ⑥根据已制定的诊疗计划实施照射，在此过程主要产生的污染源为 X 射线和臭氧；
- ⑦治疗完毕后患者离开治疗机房。

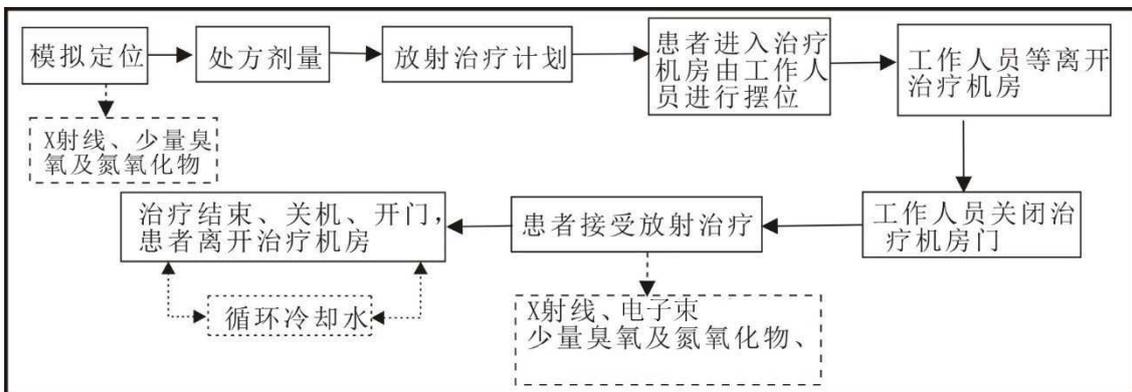


图 9-2 直线加速器工艺流程及产污环节示意图

(5) 医生、患者路线

患者路线：做完肿瘤定位的患者在直线加速器候诊区等候治疗，医生叫号后，患者

由直线加速器机房门进入机房内部，做治疗前准备，同时医生对患者进行摆位，摆位结束后，医生进入控制室，根据治疗计划，设置加速器治疗剂量，治疗结束后，患者离开。

医生路线：上班后医院由办公区进入控制室，准备叫号，带患者按照提示进入机房后，医生使用对讲装置（或进入机房）对患者进行指引摆位，摆位结束后，医生确认防护门完全关闭后（或医生离开机房回到控制室并确认防护门完全关闭后），根据治疗计划，设置加速器治疗剂量，开机治疗，治疗结束后，准备下一次治疗工作。

（6）工作量预计

本项目放疗科拟配置 8 名辐射工作人员，其中包括直线加速器场所的 4~5 名人员和模拟定位 CT 场所的 3~4 名人员。

根据医院提供预期工作负荷，医院直线加速器机房每周工作 5 天，每年工作 50 周，每天治疗人数最多 50 人（每个机房治疗人数最多 25 人），在常规治疗模式下，每天每个机房治疗约 25 个病人，平均每人每野次治疗剂量 1.5Gy，平均每人治疗 5 野次，周工作负荷： $W=25 \times 5 \times 5 \times 1.5=937.5\text{Gy/周}$ ，保守取 1000Gy/周。加速器治疗束等中心处治疗模体保守按常用剂量率 D_0 为 600cGy/min，则周照射时间为： $t=2000\text{Gy/周} \div 6\text{Gy/min} \approx 166.7\text{min/周}=2.78\text{h/周}$ ，故对应的年照射时间约为 138.9h。

（7）原有工艺不足及改进情况

该单位原有核技术利用项目中，无直线加速器项目。

2.模拟定位 CT 机

（1）设备组成

模拟定位机与普通 X 射线机相同，CT 机由产生 X 射线的 X 线管、供给 X 射线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制 X 射线的“量”和“质”及曝光时间的控制装置，以及为满足诊断需要而装配的各种机械装置和辅助装置等外围设备组成。

（2）工作原理

CT 采用 X 射线进行摄影的技术设备。设备中产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成。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，与靶核反应从而产生 X 射线。

（3）工艺流程及产污环节

- ①患者进入检查室，关闭机房铅防护门；
- ②操作人员输入患者信息，对患者进行摆位，为患者做好必要的防护措施；
- ③设置曝光参数后进行拍片，在此过程主要产生的污染源为 X 射线；
- ④最后对拍片结果进行诊断分析，记录结果。

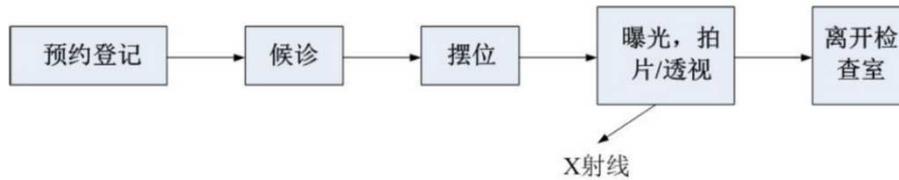


图 9-3 CT 模拟定位机工艺流程及产污环节示意图

(4) 医生、患者路线

患者：患者按照预约时间到达放疗科在候诊区等待，医生叫号后，患者由模拟定位 CT 机房门进入机房内部，做扫描定位前准备，同时医生对患者进行摆位，摆位结束后，医生进入控制室，设置参数，出束进行病灶的扫描定位，扫描结束患者离开。

医生：上班后医院由办公区进入控制室，准备叫号，带患者按照提示进入机房后，医生使用对讲装置（或进入机房）对患者进行指引摆位，摆位结束后，医生确认防护门完全关闭后开机扫描（医生离开机房回到控制室并确认防护门完全关闭后开机扫描）。

(5) 工作量预计

本项目放疗科拟配置 8 名辐射工作人员，其中包括直线加速器场所的 4~5 名人员和模拟定位 CT 场所的 3~4 名人员。

本报告根据建设单位提供的资料，保守按模拟定位 CT 机日最大扫描 50 人，每名患者扫描 CT 定位曝光时间约 15~30 秒，日累积出束时间保守取 25 分钟，年工作时间取 250 天，则年累积出束保守按 105 小时估算。

(6) 原有工艺不足及改进情况

该单位原有核技术利用项目，无模拟定位 CT 项目。

2.手术室

本项目手术室为急诊科 DSA 复合手术室使用 1 台 DSA 机、手术中心 DSA 复合手术室 1~3 分别使用 1 台 DSA 机，杂交手术室使用 1 套 CT+DSA 一体化系统（1 台 CT 机和 1 台 DSA 机）。

（1）DSA 机

①设备参数及工作原理

I 设备组成

DSA 机为采用 X 射线进行摄影的技术设备，DSA 机的主要装置包括带有影像增强器电视系统的 X 射线诊断机、机架系统、高压注射器、治疗床、操作台、磁盘或磁带机、多幅照相机，探测器、电子计算机图象处理系统等。

II 工作原理

DSA 机为数字减影血管造影英文缩写，是通过计算机把血管影像上的骨与软组织影像消除而突出血管的一种成像技术，属介入治疗的一种方式，它成像基本原理是将受检部位没有注入造影剂和注入造影剂后的血管造影 X 线荧光图像分别经影像增强器增益后，再用高分辨率的电视摄像管扫描，将图像分割成许多的小方格，做成矩阵化，形成由小方格中的像素所组成的视频图像，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像并分别存储起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得的不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换成普通的模拟信号，获得了去除骨骼、肌肉和其它软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。

②DSA 机工艺流程及产污环节

DSA 机工艺流程及产污环节

I 患者进入 DSA 机房，关闭机房铅门。

II 患者仰卧，工作人员先对患者进行无菌消毒，局部麻醉。

III 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。

IV 经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达上腔静脉，顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录。在此过程主要产生的污染源为 X 射线；

V 探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。

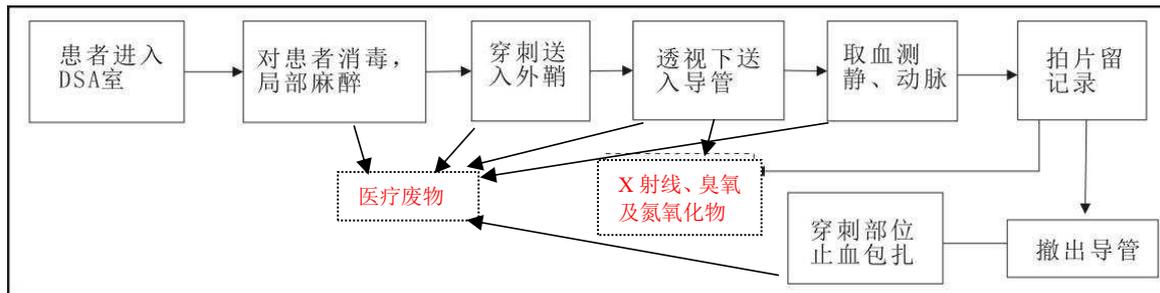


图 9-5 DSA 机诊疗工艺流程及产污环节示意图

从图 9-5 可见，DSA 运行时产生 X 射线辐射、臭氧、医疗废物及氮氧化物等。

(2) CT+DSA 一体化系统

①设备参数及工作原理

本项目使用的 CT+DSA 一体化系统由 CT 和 DSA 构成，二者控制系统相互独立，CT 和 DSA 共用诊断床，均在杂交手术室中使用，但在诊治过程中不会同时开机，手术过程中会先后使用 CT 或 DSA。CT 机通过轨道可滑行至介入手术床旁，患者完成 CT 检查之后立即开展介入手术，或者完成介入手术之后用 CT 检查治疗效果，为重症手术患者的抢救争取到了黄金时间。

CT 设备组成，CT 机由产生 X 线的 X 线管、供给 X 线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制 X 线的“量”和“质”及曝光时间的控制装置，以及为满足诊断需要而装配的各种机械装置和辅助装置等外围设备组成。

DSA 设备组成，与常规 DSA 设备组成一致，上文已描述。

工作原理

CT 工作原理，CT 采用 X 射线进行摄影的技术设备。设备中产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成。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，与靶核反应从而产生 X 射线。

CT 是计算机断层 X 射线摄影术 (Computed Tomography) 的简称，它使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的平面，利用探测器记录透射光束的衰减量，并经过数学运算，电子计算机处理相应数据，从而产生一个以检查层的相对衰减系数为依据的躯体横断面的影像。

②CT+DSA 一体化系统工艺流程及产污环节

本项目 CT+DSA 一体化系统在使用过程中，轮流使用 CT 和 DSA，单台设备的操作流程不变，根据诊治的需求，使用顺序和使用情况不同。

方案一：先使用 CT 机定位再进行介入手术；

方案二：先进行介入手术再使用 CT 定位后进行消融手术或确定治疗效果

方案三：在术中时，轮流使用 CT 和 DSA，CT 辅助进行介入手术。

2 台设备在 1 台复合手术中的使用流程如下：

I CT 具体使用过程

A)患者进入检查室，关闭机房铅防护门；

B)操作人员输入患者信息，对患者进行摆位，为患者做好必要的防护措施；

C)设置曝光参数后进行拍片，在此过程主要产生的污染源为 X 射线；

D)最后对拍片结果进行诊断分析，记录结果。

II DSA 具体使用过程

A)患者进入检查室，关闭机房铅门；

B)患者仰卧，工作人员先对患者进行无菌消毒，局部麻醉；

C)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；

D)经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达上腔静脉，顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录。在此过程主要产生的污染源为 X 射线；

E)探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。

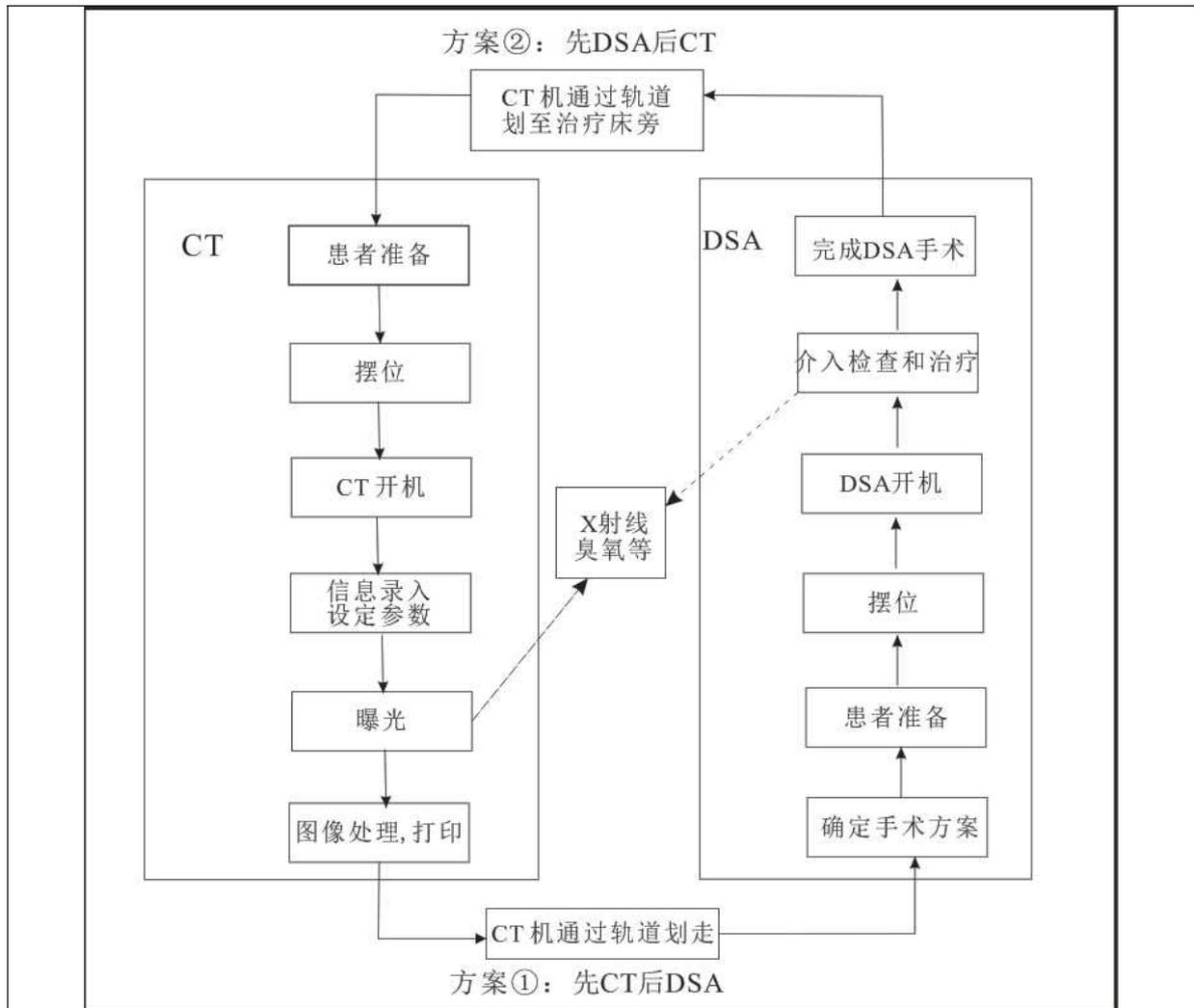


图 9-6 CT+DSA 一体化系统工艺流程及产污环节示意图

因此，本项目 CT+DSA 一体化系统运行时产生 X 射线、少量的臭氧和少量的医疗废物。

(3) 医生、患者及污物路线

①急诊科 DSA 复合手术室

医生路线：医生在换鞋、更衣室做术前准备工作，然后经过走道进入 DSA 控制室区域，见图 9-7。

患者路线：患者由患者走廊经缓冲区和 DSA 机房患者进出铅门，进入 DSA 机房内部进行手术，手术完成后，护士推床离开手术室，见图 9-7。

污物路线：每台手术完成后，医护人员会将手术产生的医疗废物收集在污物打包间暂存，当天手术全部完成后，医护人员会将污物打包间的医疗废物转运至医院专用医疗废物处置点，见图 9-7。

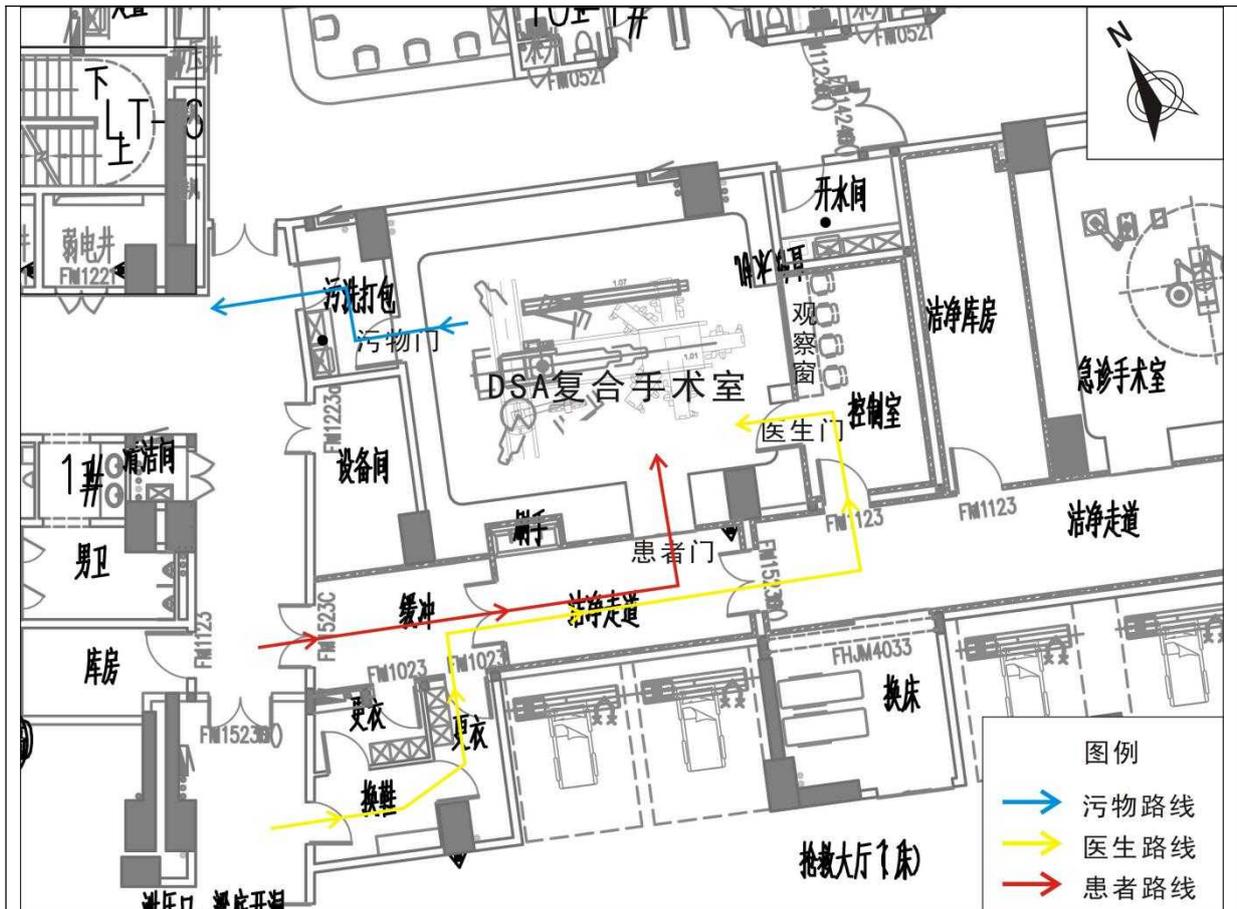


图 9-7 急诊科 DSA 复合手术室医生、患者、污物路线图

②手术中心 DSA 复合手术室 1~3

医生路线：医生经走道进入 DSA 控制室区域，见图 9-81。

患者路线：患者经走道和 DSA 机房患者进出铅门，进入 DSA 机房内部进行手术，手术完成后，护士推床离开手术室，见图 9-8。

污物路线：每台手术完成后，医护人员会将手术产生的医疗废物收集打包经污物门及污物通道转运污物暂存间，当天手术全部完成后，医护人员会将污物暂存间的医疗废物转运至医院专用医疗废物处置点，见图 9-8。

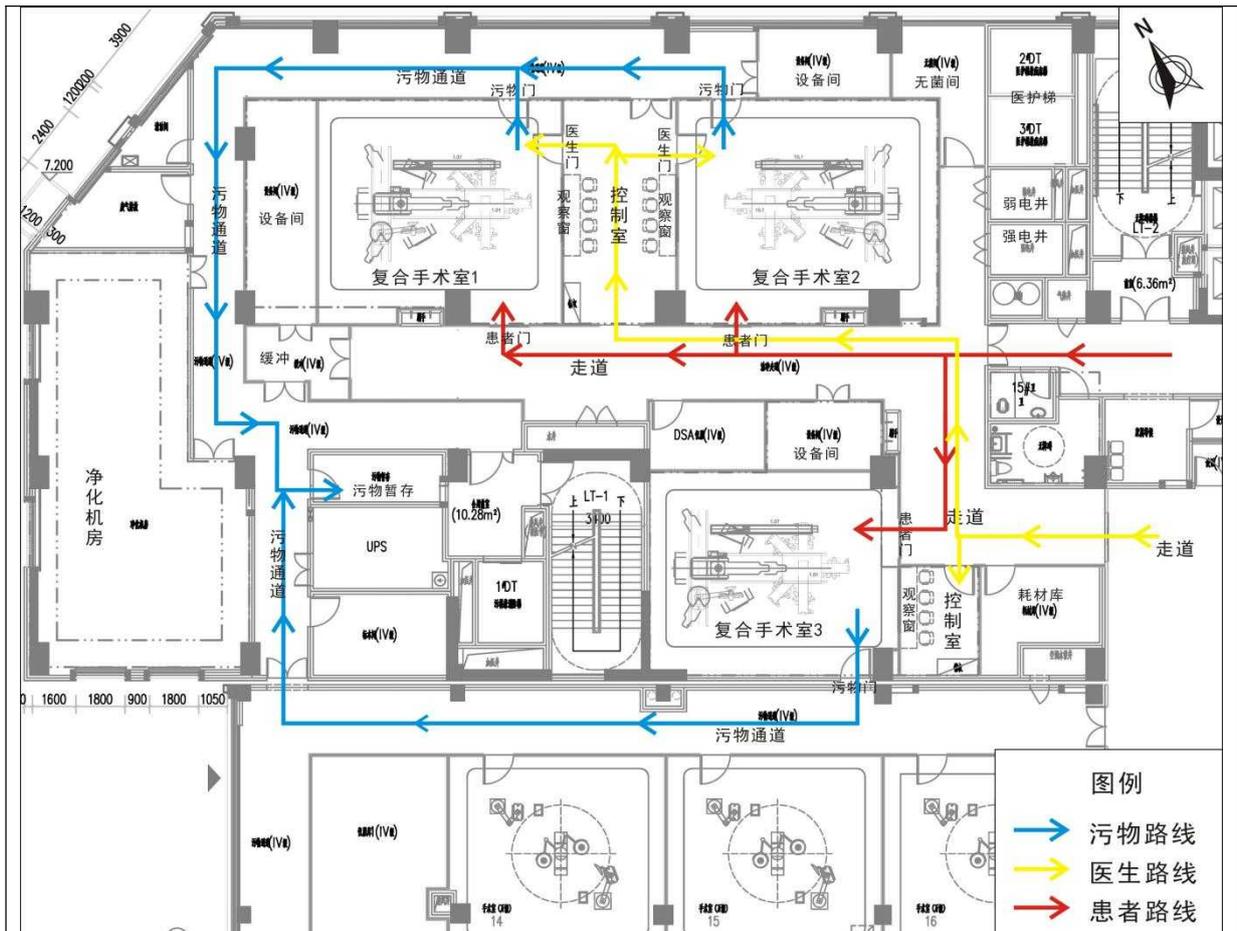


图 9-8 手术中心 DSA 复合手术室医生、患者、污物路线图

③手术中心杂交手术室

医生路线：医生经走道，然后进入 DSA 控制室区域，见图 9-9。

患者路线：患者经走道、缓冲区及 DSA 机房患者进出铅门，进入 DSA 机房内部进行手术，手术完成后，护士推床离开手术室，见图 9-9。

污物路线：每台手术完成后，医护人员会将手术产生的医疗废物收集打包经污物门、污物通道转运至污物暂存间，当天手术全部完成后，医护人员会将污物暂存间的医疗废物转运至医院专用医疗废物处置点，见图 9-9。

本项目各手术室（DSA 机房）的医生路线、患者路线和污物路线都相互独立，通道设置合理。



图9-9 手术中心杂交手术室涉及医生、患者、污物路线示意图

(4) 工作量预计

预计本项目每个手术室全年最多 1000 台手术进行估算，完成 1 台手术的 DSA 机或 CT-DSA 最大出束时间约 20min，其中拍片 2.5min，透视 17.5min，年拍片出束时间为 41.7h，年透视出束时间为 291.7h，年总出束时间为 333.4h；对于机房外的公众人员及控制室工作人员，保守考虑，其年有效剂量按参数较大的拍片工况来计算，时间取年总出束时间 333.4h，手术室内辐射工作人员透视时间为 291.7h（考虑保护术者位医师，一般轮岗，保守考虑 2 个排班，则年受照时间为 145.9h）

不开展复合手术时，CT 不使用，使用时技师仅在控制室操作设备，合手术开展介入术中 CT 扫描时，保守按照每台介入手术均需要术中 CT 扫描，每个患者术中扫描出束时间约 0.5min，每年 1000 个患者，每年出束时间约 8.3h。

本项目每个手术室拟配备 6 名辐射工作人员，均为新招聘工作人员，考虑辐射工作人员手术排班，手术室人员轮岗，保守按照辐射工作人员年手术最大量 1000 台考虑。

污染源项描述

1.建设阶段的污染源项

本项目辐射工作场所在建设阶段不产生放射性废物、放射性废水和放射性气体，产生的环境影响主要是拟建机房施工时产生的噪声、扬尘、废水、固体废物等环境影响。本项目施工人员较少，有抑尘措施，施工期短，合理安排施工秩序，施工时间，

本项目对周围敏感点的影响在可接受的范围内，施工人员生活废水依托医院整体工程施工时的排水系统处置。随着施工期的结束，这些影响也随即结束。

(1) 环境空气

本项目的环境空气影响主要是扬尘，由散装水泥和建筑材料运输等施工活动将产生。本项目的工程量小，产生的扬尘量很小。

(2) 噪声

本项目产生噪声影响的主要是施工机械、运输、及现场处理等。噪声值一般在65~80dB(A)之间，施工场地的噪声对周围环境有一定的影响，但随着施工的结束而结束。

(3) 地表水

施工期污水主要来自两个方面：一是施工废水，二是施工人员的生活污水。

(4) 固体废弃物

本项目量小，产生的生活垃圾、建筑垃圾。

2.运行阶段污染源项

(1) 直线加速器工作场所

①外照射源的强度

本项目直线加速器设备型号未定，根据厂家咨询及医院提供的资料，电子线最高能量不超过18MeV，X射线能量为10MV，等中心最大剂量率2400cGy/min，常用剂量率为600cGy/min。

②正常工况下的污染源项

I X射线

根据直线加速器的工作原理可知，本项目直线加速器产生的X射线能量最高为10MV，直线加速器在开机并出线的状态时，产生X射线。

II 电子束

根据直线加速器的工作原理可知，本项目直线加速器产生的电子束的最高能量为18MeV，由于带电离子在物质中的射程较短，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。由于能量较高的外电子束在空气中的射程较长，如果有人误入加速器开机时误入治疗室，就有可能直接被电子束及散射电子损伤，必须防止这类意外事故的发生。

III 放射性固体废物

本项目运行过程中产生的放射性固体废物为直线加速器在使用一定年限（一般约4~5年）或退役时产生的加速器废靶。

IV 臭氧和氮氧化物

本项目直线加速器在工作时，会产生少量臭氧和氮氧化物。

③非正常工况下的污染源项

I 工作人员或病人家属在防护门关闭前未撤离，加速器运行可能产生误照射。

II 安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的治疗室，造成额外的照射。

III 工作人员在机房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，对工作人员造成辐射伤害。

IV 加速器控制系统出现故障，照射不能停止，病人受到额外照射。

V 加速器维修期间，设备维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

本项目直线加速器辐射工作场所事故工况下，污染源项为 X 射线、电子束及少量臭氧和氮氧化物。

(2) CT 模拟定位机、CT 机工作场所

①外照射源的强度

[REDACTED]

②正常工况下的污染源项

I X 射线

根据 CT 模拟定位机、CT 机的工作原理可知，X 射线是随射线装置的开、关而产生、消失。只有在开机并出线的状态时，才会有 X 射线的产生，不产生放射性气体、废水及废物。因此，在开机曝光期间，X 射线是该设备的主要污染因子。

II 臭氧和氮氧化物

本项目 CT 模拟定位机、CT 机的在工作时，运行过程中会产生的及少量的臭氧和氮氧化物。

③非正常工况下的污染源项

I 在机房有效关联装置失效的情况下公众、辐射工作人员误入正在运行的射线

装置机房，造成额外的照射。

II 陪检人员、放射工作人员未按要求正确地穿戴个人防护用具，可能导致接受额外照射。

III 因违章操作，人员未全部撤离机房，CT 模拟定位机或 CT 机运行给公众、辐射工作人员造成额外的照射。

本项目 CT 模拟定位机或 CT 机辐射工作场所事故状态下污染源项为 X 射线和少量臭氧及氮氧化物。

(3) 手术室 (DSA、CT+DSA 工作场所)

①外照射源的强度

本项目 DSA 设备最大管电压为 125kV、最大管电流为 1000mA。对于设备而言，为防止球管烧毁并延长使用寿命，其管电压和管电流都留有较大裕量，且最大管电压和最大管电流不会同时出现。实际使用时管电压通常在 100kV 以下，本次评价 DSA 机房按照透视工况 100kV、100mA，摄影工况 100kV、500mA 进行计算。

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

图 9-10 距离 X 射线源 1m 处的空气比释动能率随管电压及总滤过厚度的变化
参考西门子厂家 140kV 工况下普通 CT 周围的剂量率分布曲线，

②正常工况下的污染源项

I X 射线

根据 DSA 的工作原理可知，X 射线是随射线装置的开、关而产生、消失。只有在开机并出线的状态时，才会有 X 射线的产生，不产生放射性气体、废水及废物。因此，在开机曝光期间，X 射线是该项目的主要污染因子。

II 其他非放射性污染源

本项目 DSA 在工作时，其他非放射性污染源主要为产生少量的臭氧、氮氧化物和

手术过程中产生的少量医疗废物。

③非正常工况下的污染源项

I 机房墙体、铅玻璃、铅门破损，未及时维修情况下，给周围活动人员及辐射工作人员造成额外的照射。

II 在机房门-灯联锁装置失效的情况下，公众人员误入正在运行的射线装置机房，造成额外的照射。

III 因违章操作，无关人员未全部撤离机房，射线装置运行给公众造成误照射。

本项目 DSA 事故状态下污染源项同正常工况。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1.工作场所布局和分区

(1) 工作场所布局

①放疗科

放疗科位于康复楼地下三层建设 2 间医用电子直线加速器机房，使用 2 台最大能量为 10MV 的直线加速器，属于 II 类射线装置；建设 1 间模拟定位 CT 机机房，使用 1 台模拟定位 CT 机，属于 III 类射线装置。辅助用房有控制室、设备间、制模间、模具存放间、候诊区、模拟 CT 机房等以及办公室、值班室等。

放疗科各机房设置在建筑物的底层一端，且集中建设，已避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，为医院内部医疗用地，未设置在民居、写字楼和商住两用建筑物内，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“5.1 关于选址与布局”的要求。

③手术室（DSA 机房）

急诊科 DSA 复合手术室位于康复楼一层，其东侧为控制室、急诊手术室、通道、留观病房、护士值班室、主任办公室、医生办公室等，南侧为缓冲区、走道、换床区、更衣室、急救大厅、导诊台等，西侧为通道、卫生间、诊室、放射科、电梯厅等，北侧为护士站、电梯厅等，楼上为发放间、更衣间、无菌物品间等，楼下为地下停车场。

手术中心 DSA 复合手术室位于康复楼三层，DSA 复合手术室 1~3#位于手术中心西北部，其中 DSA 复合手术室 1、2 东侧为电梯厅，南侧为走道、设备间及 DSA 复合手术室 3、消防电梯、其他手术室等，西侧为设备间、净化机房等，北侧为污物通道，楼上为手术室，楼下为住院门厅及卫生间等；DSA 复合手术室 3 东侧为控制室、患者通道、电梯厅等，南侧为污物通道、其他手术室等，西侧为消防电梯、配电间等，北侧为设备间、走廊、DSA 复合手术室 1 和 2 及其控制室等，楼下为库房等（预留用房），楼上为手术间、苏醒室等。

杂交手术室位于康复楼三层，杂交手术室东侧为其他手术室及消防电梯等，南侧为控制室、走廊及其他手术室区域，西侧为走道、电梯厅、拆包间等，北侧为污物通道，楼下超市小卖部，楼上为医护通道、用餐区等。

各手术室（DSA 机工作场所）布局满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的“6.1X 射线设备机房布局”的相关要求。

本项目 DSA 射线方向是朝上照射，不会直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位，故各手术室布局满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的“6.1X 射线设备机房布局”的相关要求。因此从安全诊断和辐射安全与防护的角度来看，本项目的工作场所布局是合理的。

（2）工作场所分区

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防护工作，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）及《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等中的要求，对放射性工作场所进行分区管理。结合本项目辐射防护以及环境情况的特点，将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；将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分为监督区。具体的辐射防护分区划分见表 10-1 和图 10-1 至图 10-5。

表 10-1 本项目拟建放疗科辐射工作场所分区一览表

序号	辐射工作场所	控制区	监督区
1	放疗科直线加速器机房	直线加速器机房 1~2 治疗室及迷道	控制区外，控制室、更衣室、排烟机房、医生办公室、卫生间、等邻近区域以及机房屏蔽体外 30cm 处（防护门外、地下停车场等处，地下二层进风机房、水冷机房、排烟机房及地下停车场等处）
2	模拟定位 CT 机房	模拟定位 CT 机房	控制区外，控制室、茶水区、医护通道等邻近区域及机房屏蔽体外 30cm 处（防护门外、地下停车场等处）
3	急诊科 DSA 复合手术室	复合手术室	控制区外，控制室、开水间、走道、缓冲区、设备间、污洗大包间以及北侧屏蔽体外 30cm 范围等手术室四周紧邻区域
4	手术中心 DSA 复合手术室 1	复合手术室 1	控制区外，控制室、走道、缓冲区、设备间、库房、污物通道等手术室四周紧邻区域
5	手术中心 DSA 复合手术室 2	复合手术室 2	控制区外，控制室、走道、无菌间、设备间、污物通道等手术室四周紧邻区域
6	手术中心 DSA 复合手术室 3	复合手术室 3	控制区外，控制室、污物通道、楼梯间（屏蔽体外 30cm 范围）、DSA 仪器间、设备间、走道等手术室四周紧邻区域
7	手术中心杂交手术室	杂交手术室	控制区外，控制室、缓冲间、西侧走道（屏蔽体外 30cm 范围）、缓冲间、设备间、UPS 间等手术室四周紧邻区域

本项目辐射工作场所与医院其他各单元间分隔明确，不相互穿插、干扰。辐射场所通过辐射工作场所屏蔽实体的有效屏蔽，不会对外环境人员造成影响；基本符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中有关辐射工作场所的分区规定。

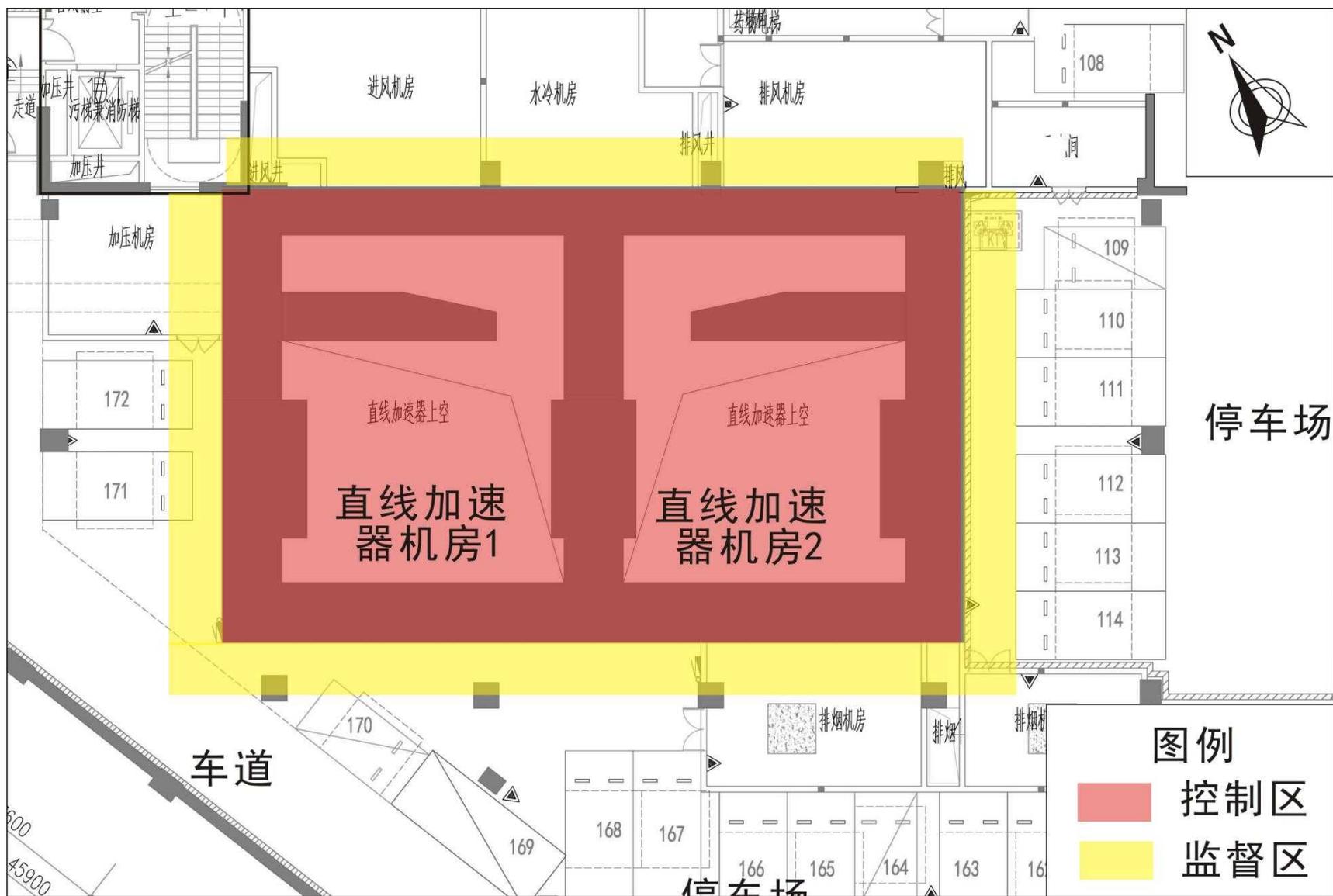


图 10-2 地下二层辐射工作场所（直线加速器机房）分区图

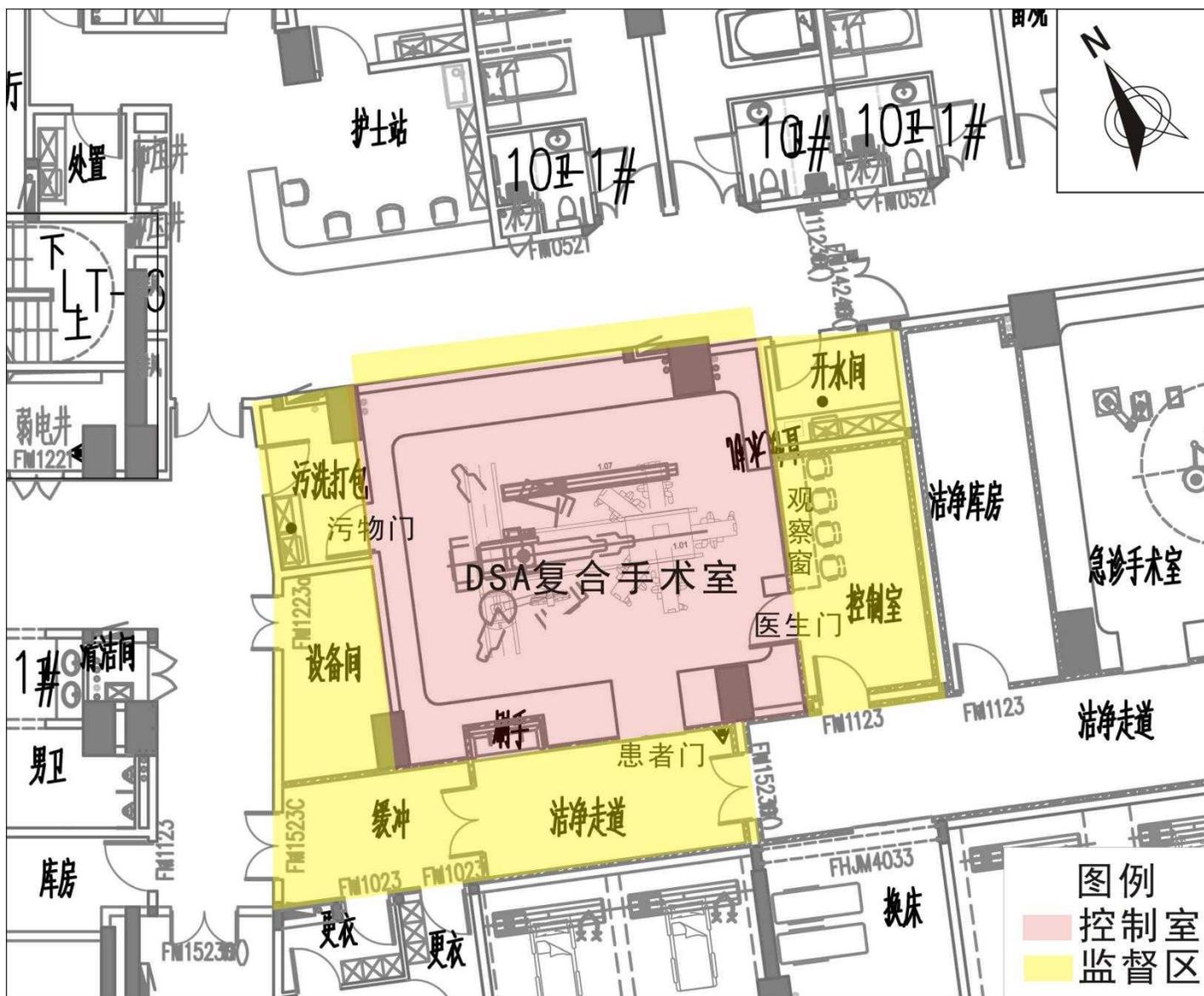
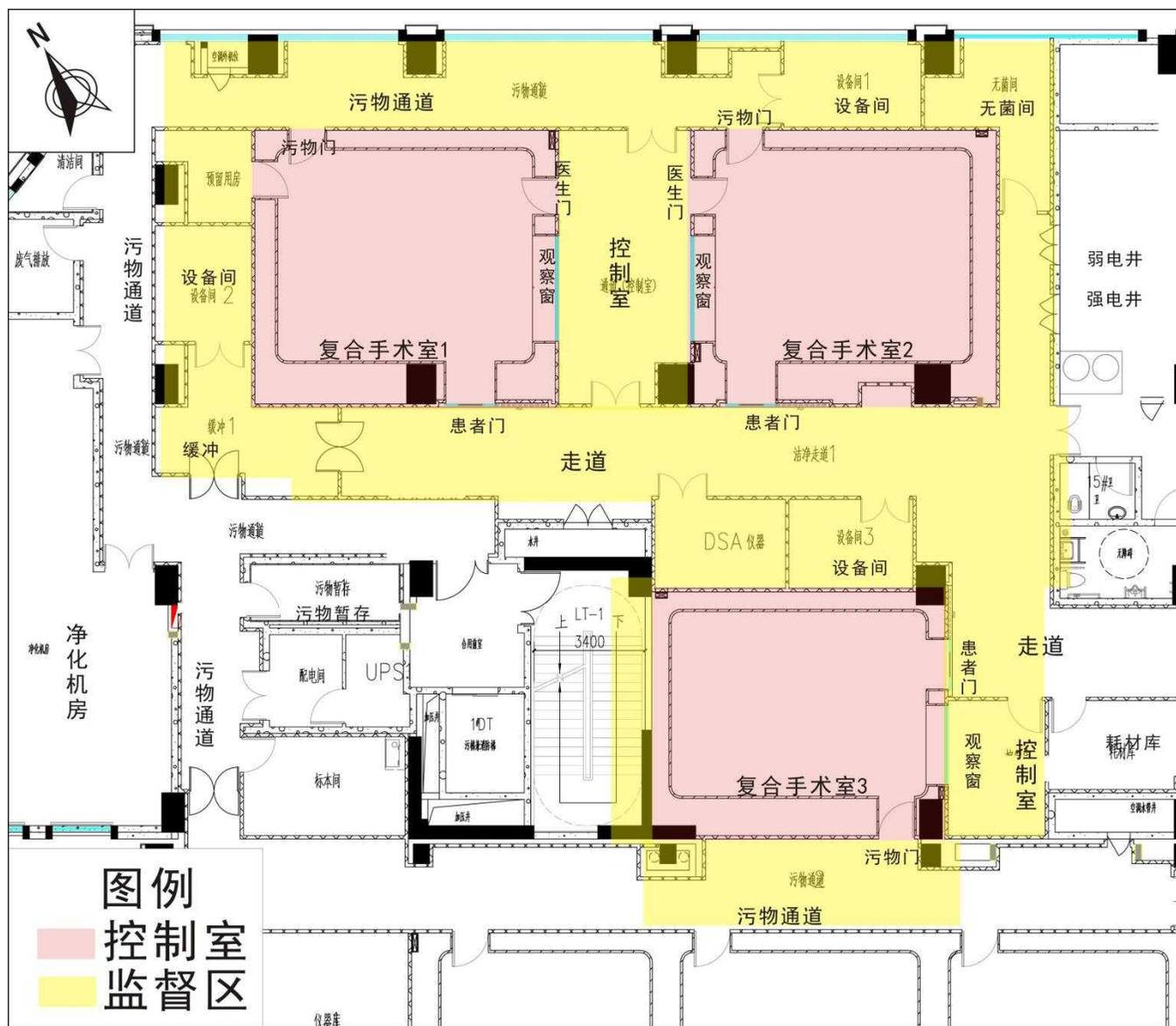


图 10-3 一楼急诊科 DSA 复合手术室分区图



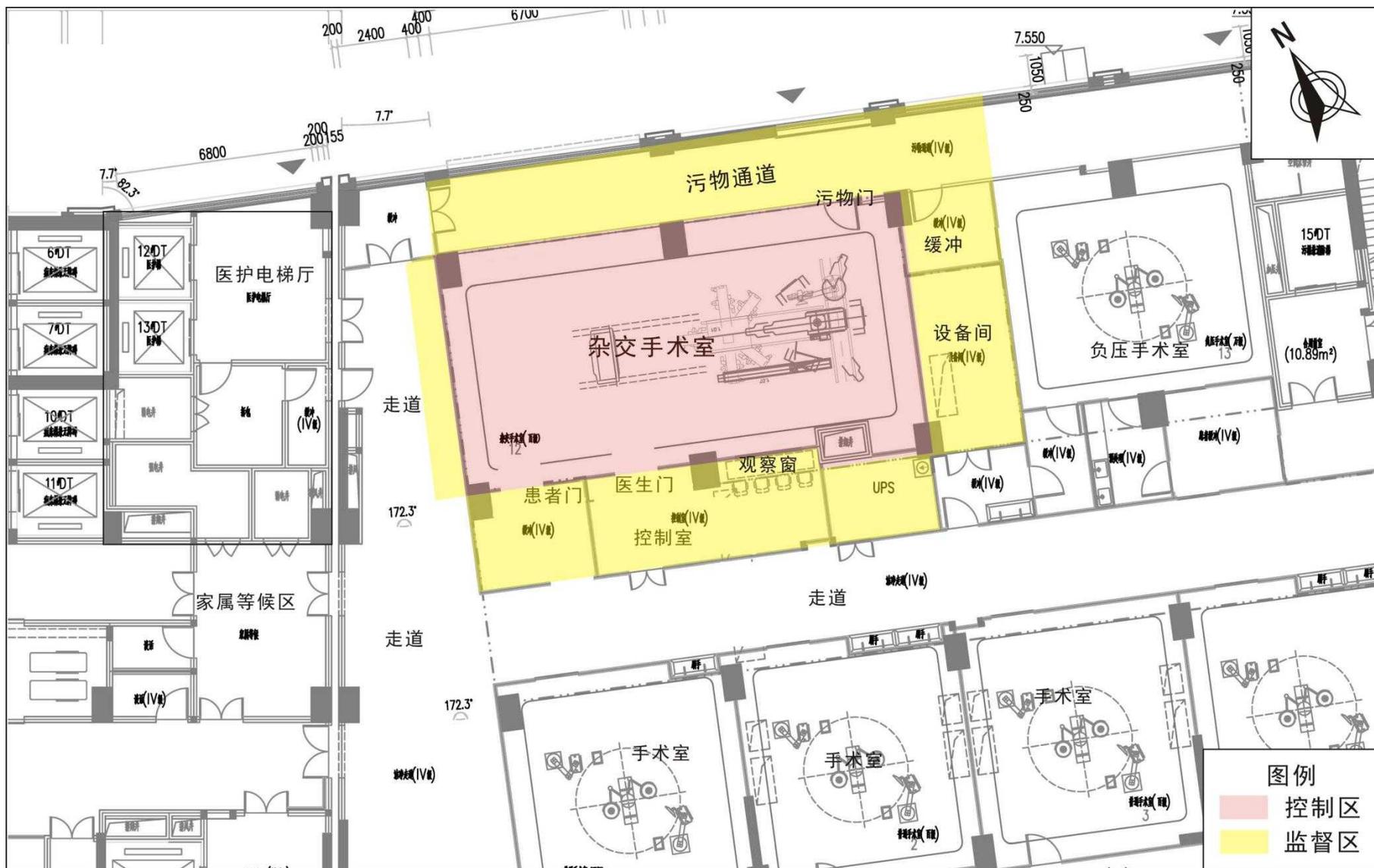


图 10-5 三楼手术中心杂交手术室分区图

2.工作场所辐射安全和防护

(1) 放疗科工作场所辐射安全和防护

①辐射防护屏蔽设计

表 10-2 直线加速器机房及模拟定位 CT 机机房辐射屏蔽防护设计一览表

位置			屏蔽防护设计	
			屏蔽材料及厚度	规格
直线加速器 机房 1	东墙	迷道外墙	1700mm 混凝土	机房治疗室内 8.65m(长)× 8.5m(宽)×4.0m(高), 有效容积约 244m ³ ; 主防护宽度均为 4.85m
		迷道内墙	迷路内墙: 1000cm~ 1700mm 混凝土	
	西侧墙体		2100mm 混凝土	
	北侧 墙体	主屏蔽墙	3000mm 混凝土	
		次屏蔽部分	2100mm 混凝土	
	南侧 墙体	主屏蔽墙	3000mm 混凝土	
		次屏蔽部分	2100mm 混凝土	
	顶棚	主屏蔽部分	3000mm 混凝土	
		次屏蔽部分	2100mm 混凝土	
防护门		不锈钢板+15mmPb 铅 板+100mm 含硼聚乙 烯(5%硼)		
直线加速器 机房 2	北东 墙	迷道外墙	1700mm 混凝土	机房治疗室内 8.65m(长)× 8.5m(宽)×4.0m(高), 有效容积约 244m ³ ; 主防护宽度均为 4.85m
		迷道内墙	迷路内墙: 1000cm~ 1700mm 混凝土	
	西侧墙体		2100mm 混凝土	
	北侧 墙体	主屏蔽部分	3000mm 混凝土	
		次屏蔽部分	2100mm 混凝土	
	南侧 墙体	主屏蔽部分	3000mm 混凝土	
		次屏蔽部分	2100mm 混凝土	
	顶棚	主屏蔽部分	3000mm 混凝土	
		次屏蔽部分	2100mm 混凝土	
防护门		不锈钢板+15mmPb 铅 板+100mm 含硼聚乙 烯(5%硼)		
模拟定位 CT 机房	东侧墙体	24cm 混凝土实心砖 +1mmPb 铅板	7.56m(长)×6.65m(宽)×4.2m(高)	
	西侧墙体			
	南侧墙体			
	北侧墙体			
	顶部墙体	12cm 混凝土实心砖 +3mmPb 铅板		
	防护门	不锈钢板+4mmPb 铅 板		
	观察窗	4mmPb 铅玻璃		

本项目采用屏蔽设计中, 混凝土密度 2.35g/cm³, 铅的密度 11.3g/cm³。

②辐射安全措施

为确保辐射工作场所内的辐射工作人员工作环境和外部环境安全，以及避免辐射事故的发生，医院对放疗科辐射工作场所设置多重安全防护措施，具体如下：

I 直线加速器机房

A) 警告标志

直线加速器机房防护门外顶部拟设置工作状态指示灯，直线加速器开机使用时，指示灯为红色，以警示人员注意安全；在防护门外均拟张贴电离辐射警告标志并附中文字说明。设备出束时，控制器上的指示灯变色。

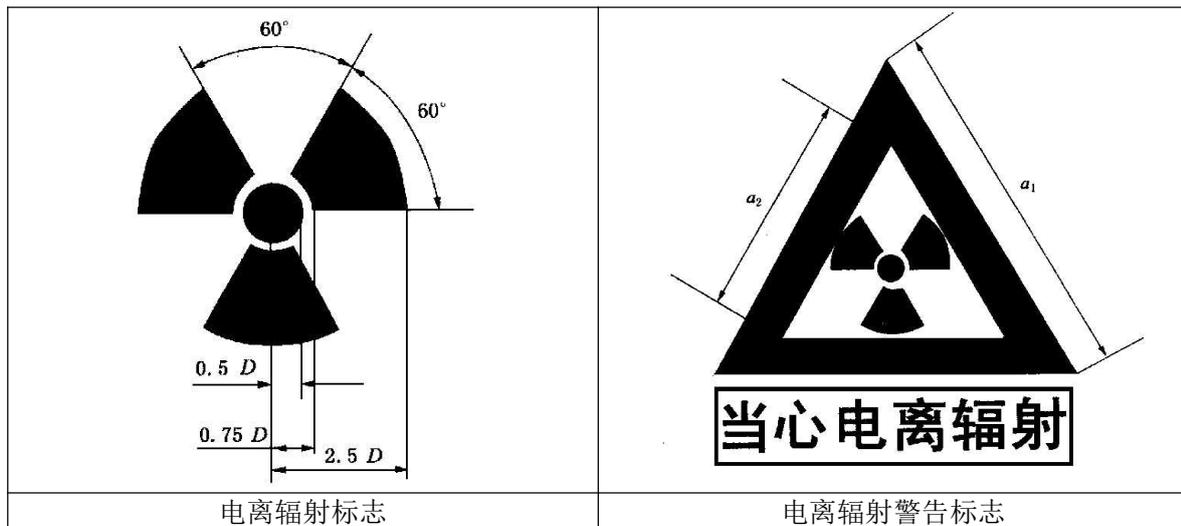


图 10-6 电离辐射标志和电离辐射警告标志

B) 联锁装置

直线加速器机房拟设置门-机联锁装置，只有在防护门关闭状态下才可进行照射，设备在出束过程中若防护门打开，设备自动停止出束；同时机房内入口处拟安装从室内开启机房门的门控按钮，安装高度约为 1.2m，防护门处拟安装防挤压功能的装置，停电时可以采用手动方式迅速打开防护门，确保人员安全转移。

C) 急停开关

直线加速器机房内拟安装紧急停机开关，分别设置于治疗室四周墙面、迷道入口及防护门内侧和控制台，在人员误入机房或遇紧急情况时，按动紧急停机开关设备立即停止出束，安装高度约为 1.2m，紧急停止开关必须采取手动方式进行复位，拟设置醒目的紧急停机开关标识及文字说明，同时直线加速器设备上自带急停开关。

D) 视频监控系统

直线加速器机房内拟安装视频监控系统，便于控制台前工作人员观察治疗室、迷路

内病人及医护人员的情况。

E) 对讲交流系统

直线加速器控制室与治疗室（机房）之间拟安装双向交流对讲装置，便于与机房内人员沟通。

F) 监测及报警装置

每间直线加速器机房均拟安装 1 台固定式剂量报警仪（辐射剂量监测仪），同时拟配备 2 台个人剂量报警仪。固定式剂量报警装置探头设在迷道的内入口处，显示器设在控制室，有异常情况时会报警警示。

放疗科拟配备 1 台 X-γ辐射监测仪，用于医院放疗工作场所（包含放疗科直线加速器机房、模拟定位 CT 机房共用 1 台）日常监测，本项目拟为辐射工作人员配备个人剂量计，并建立个人剂量监测档案，监测数据异常时，应及时查明原因并报告生态环境主管部门。拟为加速器机房配备工作剂量仪、水箱等剂量测量设备。

G) 通风系统

每间直线加速器机房均拟安装一套通风系统，通风方式为上送下排，包含送风系统及排风系统。

H) 机房管道要求

机房内的排风管道、送风管道均拟采用 45° 斜穿墙体方式；电缆沟采用“U”型穿墙方式，并在施工时进行预留。

I) 其他防护设施

直线加速器均拟设控制台授权控制；拟设置的电动防护门与墙之间的间隙小于 1cm，防护门四周与墙体及地槽的重叠宽度大于门缝的 10 倍，以有效的避免门缝处的辐射泄漏。

J) 维护保养

安装调试和维修情况下，任何联锁旁路应通过医院放疗科的批准和见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试，加速器试用、调试、检维修期间，控制室必须有工作人员值守。医院拟定期对安全联锁系统进行试验自查，保存自查记录，制定了设备检修维护记录，保证安全联锁的正常有效运行。

K) 操作中的人员管理要求

a) 直线加速器的钥匙开关应由专人负责，放疗科已制定了直线加速器操作规程，治疗区认真检查安全联锁，保障安全联锁正常运行，建立日常巡检台账。

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

c) 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。

L) 放射防护检测

a) 医院拟定期开展治疗机房的屏蔽效果检测，定期检测的周期为一年。

b) 治疗机房应进行通风效果检测，治疗机房建成并且设备安装调试完成后，应进行防护效果验收检测。

M) 应急处理

应制定放射治疗事件或事故应急预案，按照制定的制度处理异常照射事件。

II 模拟定位 CT 机房

A) 警告标志

在机房病人进出门外拟设置明显的电离辐射警告标志并附中文说明；拟在机房病人进出门与门外顶部设置工作状态指示灯，灯箱上拟设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句。

B) 联锁与闭门装置

机房病人进出门与工作状态指示灯联锁，防护门关闭时，工作状态指示灯为红色，以警示人员注意安全；平开防护门均拟设置自动闭门装置；推拉式防护门拟建立曝光时关闭机房防护门的管理措施；电动推拉防护门拟设置防夹装置。

C) 急停开关

设备及操作位处拟设置急停按钮（射线装置上已自带急停按钮）。

D) 对讲装置

控制室与机房之间拟安装语音对讲装置，工作人员通过对讲机与机房患者联系。

E) 通风设施

机房拟安装排风系统和新风系统，保持良好通风。

F) 监测设备仪器

拟为每位辐射工作人员配备了个人剂量计，并建立个人剂量监测档案，监测数据异常时，应及时查明原因并报告生态环境主管部门。同时机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

G) 防护用品

为患者拟配备铅橡胶性腺防护方巾、铅帽、大铅颈套各 1 套；其中防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb，甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb。应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。

图 10-7 放疗科机房辐射安全设施设计布局示意图

图 10-8 放疗科机房设计图（平面）

图 10-9 放疗科机房设计图（剖面）

(3) 手术室 (DSA、CT+DSA) 辐射工作场所辐射安全和防护

①辐射工作场所防护屏蔽设计

本项目辐射工作场所的屏蔽防护设计详见表 10-3。

表 10-3 本项目手术室的辐射防护屏蔽设计一览表

机房	位置	屏蔽防护设计材料及厚度	尺寸
急诊科 DSA 复合 手术室	四周墙体	4mmPb 铅板	机房内径长约 7.8m、宽约 5.8m, 高 3.2m, 有效面积约 45.24m ²
	顶棚	12cm 混凝土 +3mmPb 铅板	
	底板	12cm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	
	观察窗	4mmPb (材料: 铅玻璃)	
	医生进出防护门	4mmPb (材料: 铅板)	
	患者进出防护门	4mmPb (材料: 铅板)	
手术中心 DSA 复合 手术室 1	四周墙体	4mmPb 铅板	机房内径长约 7.8m、宽约 6.4m, 高 3.2m, 有效面积约 49.92m ²
	顶棚	12cm 混凝土 +3mmPb 铅板	
	底板	12cm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	
	观察窗	4mmPb (材料: 铅玻璃)	
	医生进出防护门	4mmPb (材料: 铅板)	
	患者进出防护门	4mmPb (材料: 铅板)	
手术中心 DSA 复合 手术室 2	四周墙体	4mmPb 铅板	机房内径长约 7.8m、宽约 6.4m, 高 3.2m, 有效面积约 49.92m ²
	顶棚	12cm 混凝土 +3mmPb 铅板	
	底板	12cm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	
	观察窗	4mmPb (材料: 铅玻璃)	
	医生进出防护门	4mmPb (材料: 铅板)	
	患者进出防护门	4mmPb (材料: 铅板)	
手术中心 DSA 复合 手术室 3	四周墙体	4mmPb 铅板	机房内径长约 7.8m、宽约 5.6m, 高 3.2m, 有效面积约 43.68m ²
	顶棚	12cm 混凝土 +3mmPb 铅板	
	底板	12cm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	
	观察窗	4mmPb (材料: 铅玻璃)	
	医生进出防护门	4mmPb (材料: 铅板)	
	患者进出防护门	4mmPb (材料: 铅板)	
手术中心 杂交手术 室	四周墙体	4mmPb 铅板	机房内径长约 15.0m、宽约 6.2m, 高 3.2m, 有效面积约 93.0m ²
	顶棚	12cm 混凝土 +3mmPb 铅板	
	底板	12cm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥	
	观察窗	4mmPb (材料: 铅玻璃)	
	医生进出防护门	4mmPb (材料: 铅板)	
	患者进出防护门	4mmPb (材料: 铅板)	
所有机房 穿墙防护 建议	消防管道、通风系统 (新、排风系统)、开 关插座凹槽等	采用 4.0mmPb 的铅板进行补偿	/

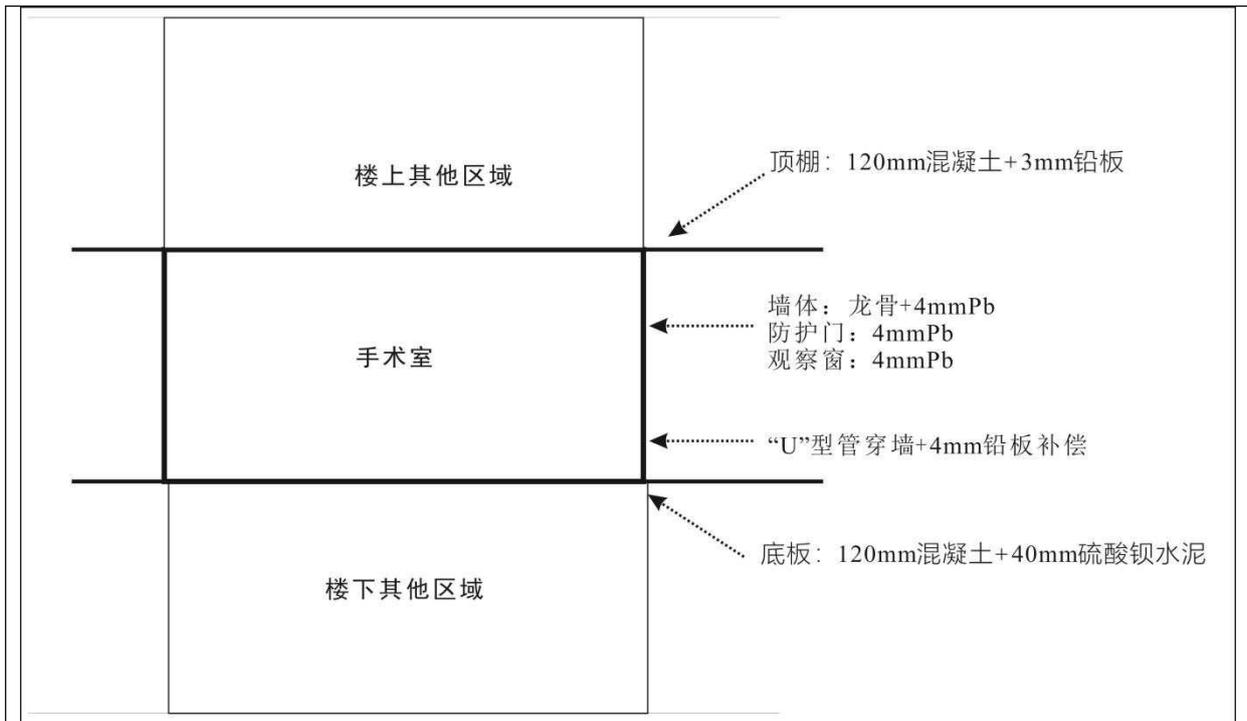


图 10-10 手术室平面图

②辐射工作场所采取的辐射安全措施

为确保辐射工作场所内的辐射工作人员工作环境和机房外部环境安全，以及避免辐射事故的发生，医院对手术室（DSA 机房）设置了辐射防护措施，并按照本项目情况进行配置，具体如下：

A) 观察窗

手术室（DSA 机房）拟设置观察窗，便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。

B) 门-灯有效关联

在手术室患者进出防护门与门外顶部设置工作状态指示灯，灯箱显示“射线有害，灯亮勿入”的提示字样，病人进出门设置为平开门，设置自动闭门装置、防夹装置，与工作状态指示灯有效关联，射线装置处于出束状态时，指示灯为红色，以警示人员注意安全，候诊区拟设置放射防护注意事项告知栏，同时手术室内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

C) 紧急停机装置

DSA 机操作位处以及控制室内拟设置紧急停机按钮。

D) 语音系统

手术室（DSA 机房）与控制室之间拟安装对讲装置，工作人员通过对讲机与患者联系。

E) 警告标志

手术室 (DSA 机房) 防护门外拟设置明显的电离辐射警告标识并附中文说明。

G) 通风设施

手术室 (DSA 机房) 均拟安装机械排风系统, 并采用铅板 (3.0mmPb) 进行补偿屏蔽。

H) 视频监控系统

手术室 (DSA 机房) 均拟安装视频监控系统, 摄像头位于手术室内顶部, 显示器位于控制室内操作位。

I) 放射防护检测

手术室 (DSA 机房) 放射防护安全设施应进行竣工验收, 在使用过程中, 应定期检查和检测, 定期检测的周期为一年。

J) 日常巡检

医院计划每日对门外工作状态指示灯、机房门的闭门装置进行检查, 对其余防护设施进行定期检查, 并做好记录。

K) 辐射防护用品

每台 DSA 设备上自带配套设施: 铅悬挂屏风(0.5mmPb)1 件、铅防护吊帘(0.5mmPb) 1 件、床侧防护帘 (0.5mmPb) 1 件、移动铅屏风 (2mmPb) 1 个。

医院为本项目辐射工作人员配备个人剂量计, 为每位辐射工作人员配备了个人剂量计, 拟配备 1 台个人剂量报警仪, 且每个手术室为辐射工作人员拟配备铅橡胶颈套、铅橡胶围裙、铅防护眼镜、介入防护手套各 6 套, 同时拟为患者配备铅围裙、铅帽、大铅颈套各 1 套, 其中防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb, 介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb, 甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb, 移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品, 防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。

图 10-11 手术室辐射安全设施设计布局示意图

3.工作场所辐射防护设计及符合性分析

(1) 放疗科直线加速器机房及模拟定位 CT 机房

①直线加速器机房

本项目直线加速器机房拟采取的辐射安全措施与标准对比符合性分析见表 10-4。

表 10-4 本项目直线加速器机房辐射安全与防护措施设置的符合性分析

评价标准	标准要求	本项目拟采取的辐射安全与防护措施	符合性	
《放射治疗辐射安全与防护要求》 (HJ1198-2021)	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	拟在直线加速器机房的入口处张贴电离辐射警告标志并附中文说明；本项目不涉及放射源	符合
		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	拟在机房防护门外顶部设置工作状态指示灯（灯箱显示“射线有害、灯亮勿入”），设备开机出束时，工作状态指示灯变亮；拟在直线加速器机房防护门外拟张贴电离辐射警告标志并附中文说明	符合
		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	机房内拟安装视频监控系统，监控系统视频显示装置设置在控制室内；控制室与机房之间拟安装双向交流对讲系统	符合
	6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或治疗室门附近	每间直线加速器机房拟安装 1 台固定式剂量报警装置（辐射剂量监测仪），探头拟设置于迷道的内入口处，显示单元拟设在控制室，有异常情况时会报警警示，同时拟配备 1 台个人剂量报警仪；本项目不涉及质子/重离子加速器	符合	
	6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的	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	直线加速器机房均拟设置门-机联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下开门停止出束；本项目不涉及质子/重离子加速器	符合

安全联锁措施	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	机房内入口处均拟安装从室内紧急开启机房门的开关（门控按钮），安装高度约为 1.2m，防护门处拟安装防挤压（防夹伤）功能的装置	符合
	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运输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	机房内拟安装急停按钮，按钮上拟设置醒目标识和文字，以便人员从各个方向均能观察到且便于触发，分别设置于治疗室四周墙壁、迷道出入口及防护门内侧和控制台，在人员误入治疗室或遇紧急情况时，按动紧急停机开关设备立即停止出束，安装高度约为 1.2m	符合
	d) 质子/重离子治疗装置安全联锁系统还应包括清场巡检系统、门钥匙开关（身份识别系统）。质子/重离子治疗室、加速器大厅和束流运输通道应建立分区清场巡检和束流控制的逻辑关系，清场巡检系统应考虑清场巡检的最长响应时间和分区调试情况的联锁设置。日常清场巡检时，如超出设定的清场巡检响应时间，需重新进行清场巡检	本项目不涉及	—
	e) 质子/重离子治疗装置应考虑建立调试、检修、运行维护人员的人身安全联锁系统，将调试、检修、运行维护人员的受照剂量与进入控制区的权限实施联锁管控	本项目不涉及	—
	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	本项目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。安装调试和维修情况下，任何联锁旁路应通过医院放疗科的批准和见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试	符合

	6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具	本项目不涉及	—	
放射治疗放射防护要求 (GBZ121-2020)	6.4 安全装置和警示标志要求	6.4.1 含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置, 应确保其报警功能正常	每间机房拟安装 1 台固定式剂量报警装置 (辐射剂量监测仪), 探头拟设置于迷道的内入口处, 显示单元拟设在控制室, 有异常情况时会报警警示, 同时拟配备 1 台个人剂量报警仪	符合
		6.4.2 放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施, 治疗机房应有从室内开启治疗机房的装置, 防护门应有防挤压功能	机房均拟设置门-机联锁装置, 防护门未完全关闭时不能出束照射, 出束状态下开门停止出束	符合
		6.4.3 标志 ①放射治疗工作场所的入口处, 设有电离辐射警告标志; ②放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置, 设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯	拟在直线加速器机房入口处张贴电离辐射警告标志并附中文说明; 拟在直线加速器机房防护门门外顶部设置工作状态指示灯 (灯箱显示“射线有害、灯亮勿入”), 设备开机出束时, 工作状态指示灯变亮; 拟在机房防护门门外拟张贴电离辐射警告标志并附中文说明	符合
		6.4.4 急停开关 ①放射治疗设备控制台上应设置急停开关, 除移动加速器机房外, 放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。 ②放射源后装近距离治疗工作场所, 应在控制台、后装机设备表面人员易触及位置以及治疗机房内墙面各设置一个急停开关	每间机房内拟安装急停按钮, 按钮上拟设置醒目标识和文字, 以便人员从各个方向均能观察到且便于触发, 分别设置于治疗室四周墙壁、迷道出入口及防护门内侧和控制台, 在人员误入治疗室或遇紧急情况时, 按动紧急停机开关设备立即停止出束, 安装高度约为 1.2m	符合
		6.4.5 应急储存设施: ①γ源后装治疗设施应配备应急贮源器。 ② 中子源后装治疗设施应配备符合需要的应急贮源水池	本项目不涉及	—
		6.4.6 控制室应设有在	本项目加速器机房均拟安装视	符

		实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流	频监控系统，便于控制台前工作人员观察治疗室、迷路内病人及医护人员的情况；拟安装双向交流对讲系统，便于与机房内人员沟通	合
	7 放射治疗操作中的放射防护要求	后装放射治疗操作中，当自动回源装置功能失效时，应有手动回源的应急处理措施	本项目不涉及	—
		工作人员进入涉放射源的放射治疗机房时应佩戴个人剂量报警仪	本项目不涉及	—

②模拟定位 CT 机房

本项目模拟定位 CT 机房拟采取的辐射安全措施与标准对比符合性分析见表 10-5。

I 辐射安全防护措施

表 10-5 模拟定位 CT 机房辐射安全与防护措施设置的符合性分析

评价标准	标准要求	本项目拟采取的辐射安全与防护措施	符合性
《放射诊断放射防护要求》 (GBZ 130-2020)	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的情况	本项目模拟定位CT机机房拟设有观察窗便于观察到受检者状态及防护门开闭情况	符合
	6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物	本项目模拟定位CT机拟设立相应制度，保证机房内不存放与该设备诊断无关的杂物	符合
	6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风	本项目模拟定位CT机机房内拟设置动力通风装置，保持室内良好通风	符合
	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	本项目模拟定位CT机机房门外拟设置电离辐射警告标志，机房门上方有醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置有“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，候诊区处设置有放射防护注意事项告知栏	符合
	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	本项目模拟定位CT机房病人进出门拟设置为电动推拉门，拟设置防夹装置，医护进出门拟设置为手动平开门，拟设置自动闭门装置。机房门外顶部拟设置工作状态指示灯与对应的机房门有效关联	符合
	6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置		符合

II 机房防护屏蔽设计符合性分析

本项目射线装置辐射工作场所屏蔽防护铅当量厚度同《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 中的要求对比，均符合该标准要求，符合性分析情况如下。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“C.1.2”的要求“依据 NCRP 147 号报告中给出的不同管电压 X 射线辐射在其他屏蔽物质中衰减的 α 、 β 、 γ 拟合值和 C.1.2 a) 中的 B 值，使用式 (C.2) 计算出各屏蔽物质的铅当量厚度 X，结果列于表 C.4~表 C.7”。本项目使用以下公式计算屏蔽物质的铅当量厚度。

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (\text{公式 10-1})$$

式中：

B —屏蔽透射因子；

X —屏蔽材料厚度，mm；

α 、 β 、 γ —屏蔽材料对应管电压 X 射线衰减的有关的三个拟合参数（混凝土），根据 GBZ 130-2020《放射诊断放射防护要求》附录 C 中表 C.2，针对 140kV（CT）管电压在混凝土中 X 射线衰减的 α 、 β 、 γ 分别取 0.03360、0.01220、0.5190。

本项目模拟定位 CT 机房的顶棚的混凝土厚度，根据（公式 10-1）计算的屏蔽透射因子结果如下。

表 10-6 本项目模拟 CT 定位机房屏蔽物质的屏蔽透射因子

辐射工作场所	最大管电压 (kV)	混凝土厚度 (mm)	α	β	γ	B
模拟定位 CT	150	240	0.03360	0.01220	0.5190	1.746E-04
		120	0.03360	0.01220	0.5190	1.042E-02

$$X = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln \left(\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right) \quad (\text{公式 10-2})$$

式中：

B —屏蔽透射因子；

X —铅厚度，mm；

α 、 β 、 γ —屏蔽材料对应管电压 X 射线衰减的有关的三个拟合参数（铅屏蔽），根据 GBZ 130-2020《放射诊断放射防护要求》附录 C 中表 C.2，针对 140kV（CT）管电压在铅中 X 射线衰减的 α 、 β 、 γ 分别取 2.009、3.990、0.3420。

表 10-7 本项目模拟定位 CT 机房屏蔽的混凝土物质等效铅厚度

辐射工作场所	最大管电压 (kV)	混凝土厚度 (mm)	B	α	β	γ	等效铅厚度 (mm)
--------	------------	------------	---	----------	---------	----------	------------

模拟定位 CT	140	240	1.746E-04	2.009	3.990	0.3420	2.86
		120	1.042E-02	2.009	3.990	0.3420	1.19

表 10-8 本项目射线装置辐射工作场所的屏蔽防护铅当量厚度的符合性分析

机房名称	四周墙体	顶棚及底板	标准要求铅当量 (mm)		比较
			有用线束方向	非有用线束方向	
模拟定位 CT 机房	240mm 混凝土+1mm 铅板 (约 3.86mmPb); 防护门 4mmPb, 观察窗 4mmPb	顶棚: 120mm 混凝土+3mm 铅板 (约 4.19mmPb) 底板下为泥土层	2.5	2.5	符合

③机房使用面积及单边长度

本项目模拟定位 CT 辐射工作场所的使用面积及单边长度同《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 中的要求对比, 均符合该标准要求, 符合性分析情况如下。

表 10-9 本项目射线装置辐射工作场所的使用面积及单边长度的符合性分析

射线装置	使用场所	设计有效面积(m ²)	标准要求(m ²)	符合性	最小设计单边长度(m)	标准要求(m)	符合性
模拟定位 CT 机	模拟定位 CT 机房	50.87	30	符合	6.65	4.5	符合

④辐射安全防护用品

本项目射线装置辐射工作场所配置的辐射防护用品同《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 中的要求对比, 均符合该标准要求, 符合性分析情况如下。

表 10-10 本项目射线装置辐射工作场所辐射防护用品配置的符合性分析

使用场所	项目	评价依据	标准要求	本项目拟配置防护用品	符合性
模拟定位 CT 机	受检者个人防护用品	《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)	铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾(≥0.5mmPb)、铅橡胶颈套(≥0.25mmPb) 选配: 铅橡胶帽子(≥0.25mmPb)	铅橡胶围裙(0.5mmPb) 1 条、铅橡胶帽子(0.5mmPb) 1 条、铅橡胶颈套(0.5mmPb) 1 条	符合

(3) 手术室工作场所

①本项目手术室配置的辐射安全措施同《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 中的要求对比, 均符合该标准要求, 符合性分析情况见表 10-11。

表 10-11 本项目 DSA 机房的辐射安全防护措施的符合性分析

评价依据	标准要求	拟采取措施	符合性
《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)	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的情况	本项目手术室拟设置观察窗, 便于观察到受检者状态及防护门开闭情况	符合
	6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工	本项目手术室拟建立相应的管理制	符

	作无关的杂物	度，保证机房内不存放与该设备诊断无关的杂物	合
	6.4.3机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风	本项目手术室拟设置动力通风装置，保持室内良好通风	符合
	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	本项目手术室门外拟设置电离辐射警告标志，机房门上方有醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置有“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，候诊区处设置有放射防护注意事项告知栏。患者进出门设计为电动推拉门，并拟设置防夹装置和制定患者管理措施，医生进出机房进出门拟设置为平开机房门，并拟设置自动闭门装置。在机房门外顶部拟设置工作状态指示灯，机房门与工作状态指示灯有效关联，射线装置处于出束时，机房门处于关闭状态，指示灯为红色，灯箱上显示“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，以警示人员注意安全	符合
	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		符合
	6.4.6电动推拉门宜设置防夹装置		符合

②本项目辐射工作场所使用面积及单边长度同《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的要求对比，本项目预计配置的 DSA 按照双管头设备进行分析，符合性分析情况见表 10-12。

表 10-12 本项目 DSA 机房的使用面积及单边长度的符合性分析

辐射工作场所	设计面积 (m ²)	标准要求 (m ²)	符合性	最小设计单边长度 (m)	标准要求 (m)	符合性
急诊科 DSA 复合手术室	45.24	30	符合	5.8	4.5	符合
手术中心 DSA 复合手术室 1	49.9	30	符合	6.4	45	符合
手术中心 DSA 复合手术室 2	49.9	30	符合	6.4	4.5	符合
手术中心 DSA 复合手术室 3	43.68	30	符合	5.6	4.5	符合
手术中心杂交手术室	93.0	30	符合	6.2	4.5	符合

③本项目辐射工作场所屏蔽防护铅当量厚度同《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的要求对比，均符合该标准要求。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“C.1.2”的要求“依据 NCRP 147 号报告中给出的不同管电压 X 射线辐射在其他屏蔽物质中衰减的 α 、 β 、 γ 拟合值和 C.1.2 a) 中的 B 值，使用式(C.2)计算出各屏蔽物质的铅当量厚度 X，结果列于表 C.4~表 C.7”。根据 GBZ 130-2020《放射诊断放射防护要求》附录 C 中表 C.2，针对 125kV

铅中 X 射线衰减的 α 、 β 、 γ 分别取 2.219、7.923、0.5386。

本项目顶棚和地板采用 12cm 混凝土时根据（公式 10-1）和（公式 10-2）计算的屏蔽透射因子结果详见 10-13。

表 10-13 本项目手术室屏蔽物质的屏蔽透射因子

辐射工作场所	厚度（mm）	α	β	γ	B
手术室	混凝土：120	0.03502	0.07113	0.6974	3.214E-03

表 10-14 本项目手术室屏蔽物质的铅当量厚度

辐射工作场所	防护材料	B	α	β	γ	铅厚度（mm）
手术室	混凝土：120mm	3.214E-03	2.219	7.923	0.5386	1.44

由以上计算可知在 125kV 管电压 X 射线主束状态下，120mm 混凝土相当于约 1.44mm 铅板厚度。

本项目参考《放射防护实用手册》表 6.14 中可知，在 150kV 管电压时 38mm 硫酸钡水泥等效铅当量约为 2mmPb（本项目 40mm 钡水泥保守取为 2mmPb）。

表 10-15 本项目手术室的屏蔽防护铅当量厚度的符合性分析

辐射工作场所	四周墙体及防护门、观察窗	顶棚及底板	标准要求铅当量（mm）		比较
			有用线束方向	非有用线束方向	
急诊科 DSA 复合手术室	门窗：4mmPb 墙体：4mmPb	顶棚:约 4.44mmPb 底板:约 3.44mmPb	2.0	2.0	符合
手术中心 DSA 复合手术室 1	门窗：4mmPb 墙体：4mmPb	顶棚:约 4.44mmPb 底板:约 3.44mmPb	2.0	2.0	符合
手术中心 DSA 复合手术室 2	门窗：4mmPb 墙体：4mmPb	顶棚:约 4.44mmPb 底板:约 3.44mmPb	2.0	2.0	符合
手术中心 DSA 复合手术室 3	门窗：4mmPb 墙体：4mmPb	顶棚:约 4.44mmPb 底板:约 3.44mmPb	2.0	2.0	符合
手术中心杂交手术室	门窗：4mmPb 墙体：4mmPb	顶棚:约 4.44mmPb 底板:约 3.44mmPb	2.5	2.5	符合

本项目辐射工作场所配置的辐射防护用品同《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的要求对比，均符合该标准要求，符合性分析情况见表 10-16。

表 10-16 本项目 DSA 机房辐射防护用品配置的符合性分析

使用场所	项目	评价依据	标准要求	本项目拟配置防护用品	符合性
------	----	------	------	------------	-----

手术室	工作人员个人防护用品	《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)	铅橡胶围裙 ($\geq 0.25\text{mmPb}$)、铅橡胶颈套 ($\geq 0.25\text{mmPb}$)、铅防护眼镜 ($\geq 0.25\text{mmPb}$)、介入防护手套 ($\geq 0.025\text{mmPb}$) 选配: 铅橡胶帽子 ($\geq 0.25\text{mmPb}$)	每个手术室拟配置铅橡胶帽子、铅橡胶颈套、铅橡胶围裙、铅橡胶性腺防护围裙各 6 套 (0.5mmPb)、介入防护手套 6 套 (0.025mmPb)、铅防护眼镜 6 套 (0.25mmPb)	符合
	工作人员辅助防护设施		铅悬挂防护屏 ($\geq 0.25\text{mmPb}$) / 铅防护吊帘 ($\geq 0.25\text{mmPb}$)、床侧防护帘/床侧防护屏 ($\geq 0.25\text{mmPb}$) 选配: 移动铅防护屏风 ($\geq 2\text{mmPb}$)	每个手术室, 铅悬挂防护屏 1 套 (0.5mmPb)、床侧防护帘 1 套 (0.5mmPb)	符合
	受检者个人防护用品		铅橡胶性腺防护围裙 (方形) 或方巾 ($\geq 0.5\text{mmPb}$)、铅橡胶颈套 ($\geq 0.25\text{mmPb}$) 选配: 铅橡胶帽子 ($\geq 0.25\text{mmPb}$)	每个手术室, 铅橡胶围裙 (0.5mmPb) 1 条、铅橡胶帽子 (0.5mmPb) 1 条、铅橡胶颈套 (0.5mmPb) 1 条	符合

4. 本项目环保投资预算

表 10-17 环保投资一览表

序号	类别	环保措施	投资金额 (万元)
1	墙体屏蔽措施	放疗科机房各场所墙体防护及铅门、铅玻璃	约 800
2	防止人员误照	机房设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯、联锁装置、闭门装置、紧急停机按钮	约 10
3	废气处理	设置机械通风装置	约 10
4	视频对讲系统	机房与控制室之间配备语音对讲系统和视频监控系统	约 5
5	人员安全与防护	配备个人剂量计; 并配备相应的铅衣、铅围裙、铅围脖、铅帽、铅眼镜等辐射防护用品	约 4
6	监测设备	配备个人剂量报警仪、固定式剂量报警仪、辐射剂量巡测仪和表面污染测量仪等监测设备	约 20
7	人员培训	安排辐射工作人员参加辐射安全防护专业知识及法律法规的培训并通过考核	/
8	辐射防护安全制度	制定了一套完善的辐射管理规章制度文件, 并严格实施, 并将部分文件张贴上墙	约 1
合计			约 850

三废的治理

1.放疗科辐射工作场所

(1) 放射性固体废物

直线加速器运行过程中产生的放射性固体废物为直线加速器在使用一定年限(一般约 4~5 年)后产生的废靶,医院拟与加速器厂家签订加速器废靶回收处置协议,退役时产生的加速器废靶由生产厂家回收处置,在拆除前与厂家联系,确定厂家回收日期,在厂家到达后再进行拆除,医院不进行暂存。

(2) 臭氧及氮氧化物

本项目放疗科拟配置的直线加速器以及 CT 模拟定位机在使用过程中,均会产生极少量臭氧及氮氧化物等有害气体,放疗科射线装置机房拟设置独立的机械排风装置,并保持良好通风。

本项目直线加速器机房内拟设置一个新风口和两个排风口,新风口位于机房上方吊顶处,排风口设置于底部,新风口和排风口成对角设置,确保室内空气充分交换。新风口及排风口管道均拟从机房防护门顶部引出机房,排风管道经排风井引至屋顶排放。排气口位置未设置在有门、窗或人流较大的过道等位置,每个机房的新风送风量为 $1680\text{m}^3/\text{h}$,每个机房的排风系统排风量为 $2000\text{m}^3/\text{h}$,排气口设置于所在楼(康复楼)楼顶且高出屋脊;本项目直线加速器机房有效容积约 267.5m^3 ,则机房内每小时换气约为 7.5 次。

各机房进出风管道穿墙孔处均用一定量的铅板进行补偿屏蔽,射线经几次散射后,进出风管道进出口处辐射剂量将在控制范围内。

图 10-15 直线加速器机房新风管道设计图

图 10-16 直线加速器机房排风管道设计图

图 10-17 放疗科直线加速器机房排气口位置示意图

3.手术室

手术室在运行过程中不产生放射性废气、放射性废水和放射性固体废物。DSA 机手术过程中产生少量的一般医疗废弃物，先暂存在污物暂存间，密封包装后运往医院危废暂存间，由医院委托有资质单位处理医疗废弃物。医院现有医疗废物处置设施正常运行，满足当地生态环境主管部门的日常监管要求。

本项目 DSA 射线装置在开机过程中，会产生极少量臭氧及氮氧化物等有害气体，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风”的要求，手术室（急诊科 DSA 复合手术室、手术中心 DSA 复合手术室 1~3、手术中心杂交手术室）均拟安装机械通风系统。

（1）急诊科 DSA 复合手术室

风机代码 PFJ-S101，排风量为 300m³/h，负责急诊科 DSA 复合手术室的排风，排风管道穿过南侧墙经走道、缓冲去、输液室等至大楼东南侧墙外排出，排气口安装铝合金防雨百叶，手术室废气通过排风风机排至大气环境中。

（2）三楼手术中心 DSA 复合手术室

手术中心 DSA 复合手术室 1：风机代码 PFJ-S318，排风量为 300m³/h，负责手术中心 DSA 复合手术室 1 的排风，排风管道穿过西侧墙经设备间、污物通道等至大楼西侧墙外排出，排气口安装铝合金防雨百叶，手术室废气通过排风风机排至大气环境中。

手术中心 DSA 复合手术室 2：风机代码 PFJ-S319，排风量为 300m³/h，负责手术中心 DSA 复合手术室 2 的排风，排风管道穿过西侧墙经控制室、DSA 复合手术室 1、设备间、污物通道等至大楼西侧墙外排出，排气口安装铝合金防雨百叶，手术室废气通过排风风机排至大气环境中。

手术中心 DSA 复合手术室 3：风机代码 PFJ-S320，排风量为 300m³/h，负责手术中心 DSA 复合手术室 3 的排风，排风管道穿过南侧墙经污物通道等至东南侧排风井，经排风井排出，手术室废气通过排风风机排至大气环境中。

（3）三楼手术中心杂交手术室

风机代码 PFJ-S312，排风量为 600m³/h，负责手术中心杂交手术室的排风，排风管道穿过东南侧墙至设备间处排风井，经排风井排出，手术室废气通过排风风机排至大气环境中。

排风管道穿墙处拟采用 4mmPb 铅屏蔽补偿。本项目手术室在机械通风系统正常运

行的情况下，臭氧及氮氧化物气体通过通风设施排至室外，很快被空气对流、扩散作用稀释，机房内能够保持良好的通风。手术室通风系统设计示意图见图 10-20 和图 10-22。

图 10-17 急诊科 DSA 复合手术室排风管道设计图

图 10-18 三楼手术中心 DSA 复合手术室排风管道设计图

图 10-19 三楼手术中心杂交手术室排风管道设计图

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目辐射工作场所在建设阶段不产生放射性废物、放射性废水和放射性气体，产生的环境影响主要是拟建机房施工时产生的噪声、扬尘、废水、固体废物等环境影响。医院应合理安排施工时间及施工场地的秩序，对施工场地进行适当的封闭，由于本项目工程量小，对外界的影响是暂时的，随着施工期的结束，影响也将消失。通过采取相应的污染防治措施后，本项目施工期对外界的影响较小。本项目对建设阶段的影响采取的措施均依托医院整体工程建设设施处理。

(1) 噪声影响分析及污染防治措施

本项目施工期间，各种机械产生较大的噪声，而是施工场地紧邻周围建筑物，会造成周围一定范围内的噪声影响。本项目工程量小，且施工期间产生的噪声具有阶段性、临时性和声源不固定性，因此，只要施工单位采取有效的噪声污染防治措施，本项目施工期间对周围声环境产生的影响可减小到最低程度。

为减小施工期间对周围环境的噪声影响，施工单位应做到以下几点：场外运输作业尽量安排在白天进行；尽可能选取噪声低、振动小、能耗小的先进设备；保持设备处于正常工况，减小噪声的排放；加强施工区内动力设备管理，将可固定地点的机械设置在临时建筑房内作业，使较强声源尽可能远离周围建筑物。

(2) 废气影响分析及污染防治措施

本项目施工期间因建筑材料运输等施工活动会产生二次扬尘。但本项目工程量小，施工期短，对周围敏感点的影响有限，在可接受范围内。本项目建设阶段不会产生化学有毒物如油漆中有毒物（苯及苯系物）电焊产生的有毒物（氮氧化物、烟尘）。

为减小施工期间扬尘对周围环境的影响，施工单位应加强施工现场运输车辆管理，经常进行冲洗。

(3) 废水影响分析及污染防治措施

本项目施工期间产生的废水主要为施工人员产生的少量生活污水及混凝土养护废水。少量养护废水经沉降后回用于抑尘，施工人员生活污水依托医院整体工程施工建设的排水系统和污水处理设施，经处理后进入市政污水管网。采取以上措施后，在施工中可大量减少地表水污染，对环境的影响是可以接受的。

(4) 固体废弃物影响分析及污染防治措施

施工期产生的固体废弃物主要为建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃

圾。施工期产生的建筑垃圾、装修垃圾等固体废弃物应妥善处理，同无回收价值的废料统一堆放收集后，运输至合法堆场堆放。

运行阶段对环境的影响

一、放疗科辐射工作场所环境的影响分析

1. 直线加速器机房辐射屏蔽预测分析

本项目医用直线加速器属于低能加速器，加速器应用放射治疗的模式有 X 射线和电子束两种模式，其中电子束在物质中的射程较短，很容易被加速器的靶件或其他构件所阻止，但作为外部用束的加速器，当能量较高时，其外电子束在空气中的射程较长，其在物质中的射程是有限的，因此对它们的屏蔽比较容易，只要所选择的物质的厚度大于电子束在该物质中的射程，就可以将其完全吸收。被加速的带电粒子束与结构材料或靶物质相互作用，会产生强度很高的贯穿辐射（X 射线）。必须用足够厚的屏蔽材料才能将其减弱到较低的水平，它们是加速器防护的主要对象。故本项目辐射屏蔽预测应估算的辐射束为治疗装置在 X 射线治疗时可达到的最高 MV 条件下的有用线束、泄漏辐射和其产生的散射辐射，本项目直线加速器 X 射线最大能量不大于 10MV，不产生中子，因此，分析时可不考虑中子的影响。由于直线加速器机房地面下方无地建筑物为泥土层，因此不对直线加速器机房的进行屏蔽计算。本报告根据《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) 中提出的计算方法对加速器机房屏蔽墙外关注点剂量进行估算。两间直线加速器机房中，加速器机房 1 与 2 为互相对称，两者的墙体材料及厚度、治疗室及迷道的规格尺寸、主屏蔽墙体宽度等均完全一致的机房，同时直线加速器室内拟购置的直线加速器参数完全一致，因此，本项目选择直线加速器机房 1 进行分析。

(1) 关注点选取

通常在治疗机房外距机房外表面 30cm 处，选择人员受照的周围剂量当量可能最大的位置作为关注点。在距治疗机房一定距离处，公众成员居留因子大并可能受照剂量大的位置也是需要考虑的关注点。

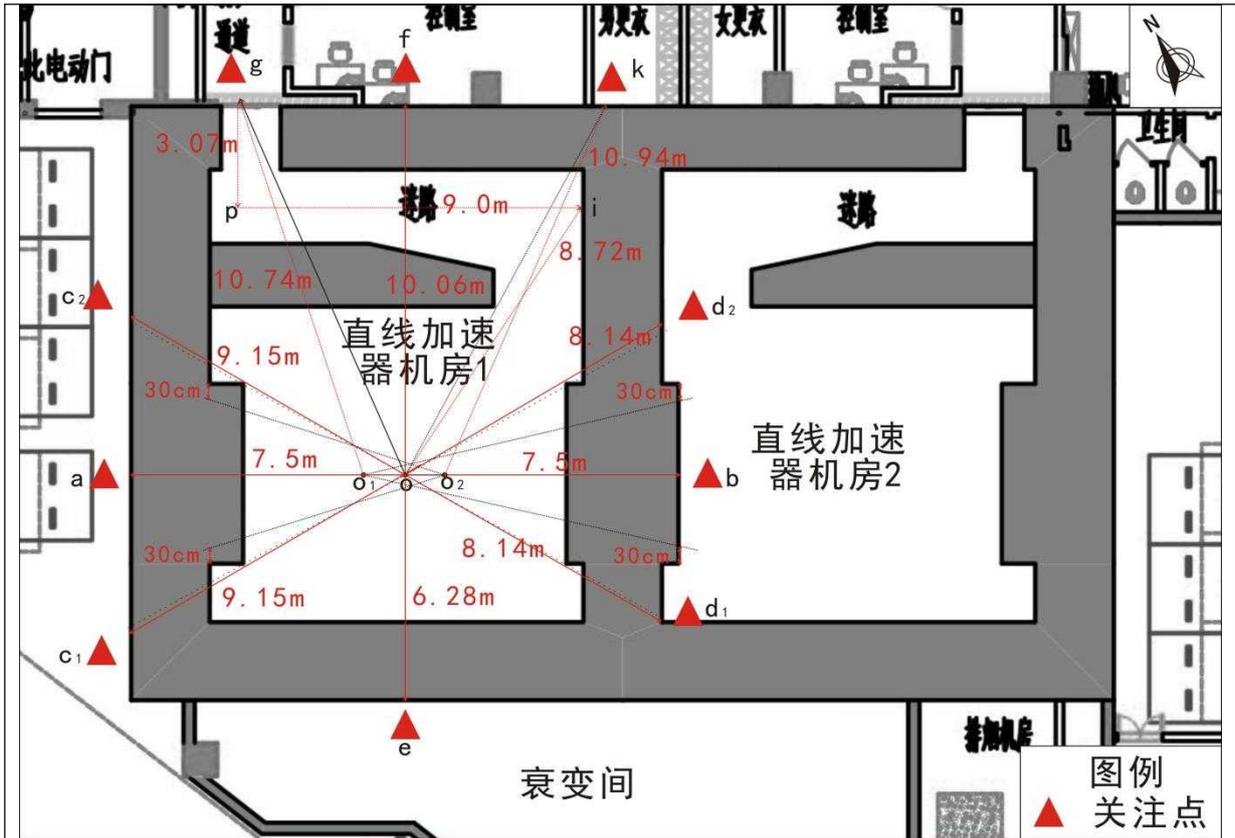


图 11-1 直线加速器机房关注点示意图（平面）

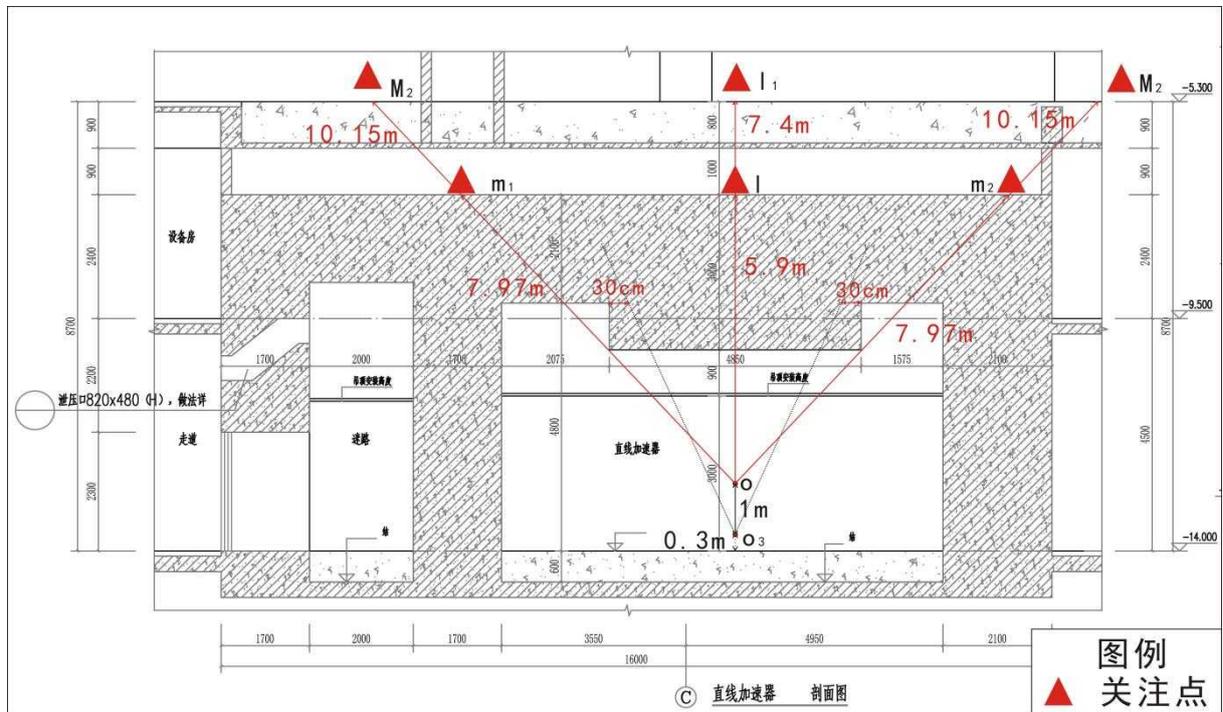


图 11-2 直线加速器机房关注点示意图（剖面）

(2) 加速器机房主屏蔽墙宽度核算

本项目加速器机房需考虑南墙、北墙和顶棚的主屏蔽区的宽度。根据《放射治疗

机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.2-2007）中的公式（2）和《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 D.1.2.5 对加速器机房有用线束主屏蔽区半宽度 Y 计算。

$$Y = (a + SAD) \tan\theta + 0.3 \quad (\text{公式 11-1})$$

Y——机房有用线束主屏蔽区半宽度，m；

SAD——源轴距，m，SAD=1m；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），本项目直线加速器 X 射线在距靶中心 1m 处有用线束最大照射野为 40cm×40cm， $\theta=14^\circ$ ；

a——等中心点至“墙”的距离，m；“墙”，当主屏蔽墙区向机房内凸时指与主屏蔽墙连接的次屏蔽墙的内表面，当主屏蔽墙区向机房外凸时指与主屏蔽墙连接的次屏蔽墙的外表面。

本项目各直线加速器主屏蔽墙宽度核算结果见表 11-1。

表 11-1 直线加速器主屏蔽墙宽度核算结果一览表

机房	墙体	凸起类型	等中心点至墙的距离 a (m)	计算半宽度 (m)	计算宽度 (m)	设计宽度 (m)	是否满足要求
加速器机房 1	南侧主屏蔽墙	外凸	6.875	2.26	4.52	4.85	满足
	北侧主屏蔽墙	内凸	5.225	1.85	3.70	4.85	满足
	顶棚主屏蔽墙	内凸	5.225	1.85	3.70	4.85	满足
加速器机房 2	南侧主屏蔽墙	内凸	5.225	1.85	3.70	4.85	满足
	北侧主屏蔽墙	外凸	6.875	2.26	4.52	4.85	满足
	顶棚主屏蔽墙	内凸	3.5	1.42	2.84	4.85	满足

根据计算，本项目两间直线加速器机房主屏蔽墙体防护宽度设计均满足要求。

（3）剂量率参考控制水平

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中“4.2 剂量控制要求”，两间直线加速器机房中，加速器机房 1 与 2 为互相对称的墙体材料及厚度、治疗室及迷道的规格尺寸、主屏蔽墙体宽度等均完全一致的机房，同时直线加速器室内拟购置的直线加速器参数完全一致。根据 GBZ/T201.2-2011 中附录 A 和医院提供预期工作负荷，医院直线加速器机房每周工作 5 天，每年工作 50 周，每天治疗人数最多 50 人。

在常规治疗模式下，每天治疗约 50 个病人，在常规治疗模式下，每天每个机房治疗约 25 个病人，平均每人每野次治疗剂量 1.5Gy，平均每人治疗 5 野次，周工作负荷： $W=25 \times 5 \times 5 \times 1.5=937.5\text{Gy/周}$ ，保守取 1000Gy/周。加速器治疗束等中心处治疗模体保

守按常用剂量率 D_0 为 $600\text{cGy}/\text{min}$ ，则周照射时间为： $t=1000\text{Gy}/\text{周} \div 6\text{Gy}/\text{min} \approx 166.67\text{min}/\text{周}=2.78\text{h}/\text{周}$ ，对应的年照射时间约为 138.9h 。

在调强放射治疗中，相应有用线束和有用线束散射辐射，每周与常规放射治疗人数相同时，周工作负荷与常规放射治疗相同；但对于泄露辐射，周工作负荷为常规放射治疗工作负荷的 N 倍，本项目 N 取 5。各关注点剂量率参考控制水平见表 11-2。

①有用线束

有用线束在关注点的周剂量参考控制水平为 H_c 时，该关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}(\mu\text{Sv}/\text{h})$ 见（公式 11-2）：

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (\text{公式 11-2})$$

式中：

H_c ——周参考剂量控制水平($\mu\text{Sv}/\text{周}$)，非控制区的剂量均保守取 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

t ——治疗装置周治疗照射时间， $2.78\text{h}/\text{周}$ 。

U ——有用线束向关注位置的方向照射的使用因子，旋转式加速器有用辐射朝向的墙和室顶 $U=1/4$ ，散射辐射和泄漏辐射 $U=1$ 。

T ——人员在相应关注点驻留的居留因子。

②单一泄漏辐射

泄漏辐射在关注点的周剂量参考控制水平为 H_c 时，该关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}(\mu\text{Sv}/\text{h})$ 见（公式 11-3）：

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

式中：

H_c ——周参考剂量控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)，非控制区的剂量均保守取 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

N ——调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常取 $N=5$ ；

t ——治疗装置周治疗照射时间， $2.78\text{h}/\text{周}$ ；

T ——人员在相应关注点驻留的居留因子。

③复合辐射

与主屏蔽直接相连的次屏蔽区，需要考虑加速器的泄漏辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射：

a) 以 4.2.1b)、4.2.2a) 或 4.2.2b) 中的 $H_{c,max}$ 的一半，作为关注点的导出剂量率参考控制水平，依据 5.2.2 估算屏蔽患者散射辐射所需要的屏蔽厚度；

b) 将 A.2.1b) 的 (A.3) 式中的 Hc 以 0.5Hc 代替, 作为关注点的导出剂量率参考控制水平, 依 5.2.1 估算屏蔽泄漏辐射所需要的屏蔽厚度;

c) 取上述 a) 和 b) 中屏蔽厚度较厚者为该关注点的屏蔽设计。相应屏蔽下, 泄漏辐射和有用线束患者散射辐射在关注点的剂量率之和为该处的剂量率控制值。

表 11-2 直线加速器机房各关注点剂量率参考控制水平

屏蔽体	关注点	线束类型	对应场所	Hc ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	t (h)	U	T	N	Hc ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	Hc,max ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	最终剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	
北侧	主屏蔽	a	有用	停车场	5	2.78	1/4	1/40	/	287.77	≤ 10	≤ 10
	次屏蔽	c ₁ 、 c ₂	散射、 泄漏		5	2.78	1	1/40	5	14.39	≤ 10	≤ 7.18
	0.5Hc,max=5 $\mu\text{Sv}/\text{h}$											
南侧	主屏蔽	b	有用	直线加速器机房 2	5	2.78	1/4	1/2	/	14.39	≤ 2.5	≤ 2.5
	次屏蔽	d ₁ 、 d ₂	泄漏、 散射		5	2.78	1	1/2	5	0.72	≤ 2.5	≤ 0.72
	0.5Hc,max=1.25 $\mu\text{Sv}/\text{h}$											
西侧	侧屏蔽	e	泄漏	衰变间	5	2.78	1	1/40	5	14.39	≤ 10	≤ 10
东侧	侧屏蔽	f	泄漏	控制室	100	2.78	1	1	5	7.19	≤ 2.5	≤ 2.5
		k	泄漏	更衣室	5	2.78	1	1	5	0.36	≤ 2.5	≤ 0.36
顶棚	主屏蔽区	l	有用线束	夹层、核医学科 SPECT 区域	5	2.78	1/4	1	/	7.19	≤ 2.5	≤ 2.5
	次屏蔽区	m ₁ 、 m ₂	泄漏、 散射		5	2.78	1	1	5	0.36	≤ 2.5	≤ 0.36
	0.5Hc,max=1.25 $\mu\text{Sv}/\text{h}$											
迷路入口门外	g	泄露、 散射	候诊区(患者通道)	5	2.78	1	1/8	5	2.88	≤ 10	≤ 2.88	
				0.5Hc,max=5 $\mu\text{Sv}/\text{h}$								

因此, 本项目直线加速器机房控制室剂量率参考控制水平取 2.5 $\mu\text{Sv}/\text{h}$, 防护门外剂量率参考控制水平取 2.88 $\mu\text{Sv}/\text{h}$, 南侧次屏蔽墙外剂量率参考控制水平取 0.72 $\mu\text{Sv}/\text{h}$; 顶部次屏蔽墙外和东侧屏蔽墙外(更衣室)剂量率参考控制水平取 0.36 $\mu\text{Sv}/\text{h}$; 其他位置关注点剂量率参考控制水平取 2.5 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

(4) 治疗期间关注点剂量估算

①有用线束、泄漏辐射和散射辐射的屏蔽与剂量估算

根据拟建加速器的技术参数和机房的设计方案，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201 2-2011)中的计算方法，本报告拟增直线加速器 X 射线能量为 10MV 时等中心最大剂量率 2400cGy/min。

A、有效屏蔽厚度

$$X_e = X \cdot \sec \theta \quad (\text{公式 11-4})$$

式中 θ —为 X 射线斜射角。即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

对于给定的屏蔽物质的厚度 X(cm)，可按式(公式 11-4)计算有效屏蔽厚度 Xe(cm)。

B、有效屏蔽厚度的辐射屏蔽透射因子

$$B=10^{-(X+TVL-TVL_1) / TVL} \quad (\text{公式 11-5})$$

式中：B—屏蔽透射因子；

[REDACTED]

[Redacted text block]

表 11-3 各关注点屏蔽体有用线束、泄露辐射和散射辐射对应屏蔽透射因子

关注点	场所位置		墙体材料及厚度	有用线束对应屏蔽透射因子 B	泄漏辐射对应屏蔽透射因子 B	散射辐射对应屏蔽透射因子 B
a	北侧	主屏蔽墙	3000mm 混凝土	5.703E-08	/	/
c ₁ 、c ₂		次屏蔽墙	2100mm 混凝土	/	2.033E-08	2.193E-09
b	南侧	主屏蔽墙	3000mm 混凝土	5.703E-08	/	/
d ₁ 、d ₂		次屏蔽墙	2100mm 混凝土	/	2.033E-08	2.193E-09
e	西侧	侧屏蔽墙	2100mm 混凝土	/	2.264E-07	/
f	东侧	迷路外墙、迷路内墙	1700mm 混凝土 +1000~1700mm 混凝土	/	2.626E-09	/
k	东侧	迷路外墙	1700mm 混凝土	/	6.277E-07	/
l	顶棚	主屏蔽墙	3000mm 混凝土	5.703E-08	/	/
l ₁			3000mm 混凝土 +200mm 混凝土	1.855E-08	/	/
m ₁ 、m ₂		次屏蔽墙	3000mm 混凝土	/	2.033E-08	2.193E-09
M ₁ 、M ₂			2100mm 混凝土 +2000mm 混凝土	/	3.658E-09	3.284E-10
g	防护门入口处	防护门内 (泄漏辐射)	迷路内墙: 1700mm 混凝土 (不含门)	/	4.417E-06	/

表 11-4 各关注点有用线束、泄露辐射和散射辐射剂量率预测结果

关注点	场所位置		墙体材料及厚度	距离 (m)	有用线束辐射剂量率 (μSv/h)	泄漏辐射剂量率 (μSv/h)	散射辐射剂量率 (μSv/h)	总剂量率 (μSv/h)
a	北侧	主屏蔽墙	3000mm 混凝土	■	■			■
c ₁ 、c ₂		次屏蔽墙	2100mm 混凝土	■		■	■	■

b	南侧	主屏蔽墙	3000mm 混凝土	■	■			■
d ₁ 、d ₂		次屏蔽墙	2100mm 混凝土	■		■	■	■
e	西侧	侧屏蔽墙	2100mm 混凝土	■		■		■
f	东侧	迷路外墙+迷路内墙	1700mm 混凝土+1000~1700mm 混凝土	■		■		■
k	东侧	迷路外墙	1700mm 混凝土	■		■		■
l	顶棚	主屏蔽墙	3000mm 混凝土+200mm 混凝土	■	■			■
l ₁				■	■			■
m ₁ 、m ₂		次屏蔽墙	2100mm 混凝土	■		■	■	■
M ₁ 、M ₂				2100mm 混凝土+200mm 混凝土	■		■	■
g	防护门入口处	防护门内（泄漏辐射）	迷路内墙：1700mm 混凝土（不含铅门）	■		■		■

②加速器机房防护门剂量率

本项目直线加速器 X 射线最大能量为 10MV 时，不考虑中子俘获γ射线，需考虑泄漏辐射和患者散射辐射，本报告对加速器机房防护门的辐射屏蔽影响，按照 X 射线能量 10MV 下分别进行计算。

I 患者散射经迷路内口散射后再散射至迷路入口

入口处的患者散射剂量率 H_g 按照下式计算：

$$\begin{aligned}
 & \text{[Redacted Equation Line 1]} \\
 & \text{[Redacted Equation Line 2]} \\
 & \text{[Redacted Equation Line 3]} \\
 & \text{[Redacted Equation Line 4]} \\
 & \text{[Redacted Equation Line 5]} \\
 & \text{[Redacted Equation Line 6]} \\
 & \text{[Redacted Equation Line 7]}
 \end{aligned}$$

所主要为东侧控制室、更衣室，西侧衰变间、排烟机房，正上方核医学科区域，这几处的剂量率可采用估算结果直接相加得到相应的叠加剂量率，见表 11-7。

表 11-7 辐射影响叠加后机房四周剂量率估算结果

关注点	场所位置		场所	距离 (m)	机房 1 贡献剂量率 (μSv/h)	机房 2 贡献剂量率 (μSv/h) ^②	总剂量率 (μSv/h)
e	西侧	侧屏蔽墙	衰变间、排烟机房	■	■	■	■
f	东侧	迷路外墙+迷路内墙	控制室	■	■	■	■
k	东侧	迷路外墙	更衣室	■	■	■	■
l ₁	顶棚	主屏蔽墙	核医学科区域	■	■	■	■
M ₁ 、M ₂		次屏蔽墙		■	■	■	■

特别说明：①实际情况因距离、屏蔽物材料及厚度的影响，机房的北侧、南侧等其他方向的叠加影响不明显，因此可以忽略；②加速器机房 1 与 2 为互相对称，两者的墙体材料及厚度、治疗室及迷道的规格尺寸、主屏蔽墙体宽度等均完全一致的机房，同时直线加速器室内拟购置的直线加速器参数完全一致，因此机房 2 的剂量率可取机房 1 的。

根据计算结果可知，本项目直线加速器机房周边关注点处剂量率满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）中“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在人员居留因子 T>1/2 的场所不大于 2.5μSv/h，人员居留因子 T≤1/2 的场所不大于 10μSv/h”及《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中的相关要求。

2.模拟定位 CT 机房辐射屏蔽预测分析

根据模拟定位 CT 机的工作原理可知，对于模拟定位 CT 机机房的屏蔽设计只需考虑次级辐射，其中病人产生的散射辐射贡献占绝大部分，而泄漏辐射较少。初级辐射通过病人身体再由探测器和机架等硬件的衰减绝大部分被吸收，远远低于次级辐射。

参考《辐射防护技术与管理》（第一卷）（张丹枫 赵兰才编著）中公式（5-16）演化的公式进行计算。

$$D=D_0 \times B/R^2 \quad \text{(公式 11-10)}$$

D—关注点空气比释动能率，μGy/h；

D₀—据辐射源 1m 处的空气比释动能率，μGy/h；

B—衰减因子；依据 GBZ130-2020 附录 C 计算，取管电压在 140kV 下的参数；

R—X 射线靶到计算点的距离。



参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“附录 B”的要求，本项目模拟定位 CT 机机房的关注点图见图 11-3 和图 11-4，辐射屏蔽防护预测结果如下。

表 11-8 本项目模拟定位 CT 机机房周边关注点的剂量率估算结果

场所	关注点	计算点位置	屏蔽材料及厚度	距离 (m)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
模拟定位 CT 机机房	D	东侧墙体	24cm 厚普通混凝土+1mmPb 铅板 (约 3.86mmPb)	4.42	0.018
	G	西侧墙体		4.68	0.010
	E	南侧墙体		4.35	0.021
	B	北侧墙体		4.35	0.021
	F	医生进出门	4mmPb 防护门	5.18	0.004
	C	病人进出门	4mmPb 防护门	4.85	0.007
	A	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.42	0.018
	H	顶棚	120mm 混凝土+3mmPb 铅板 (约 4.19mmPb)	3.8	0.073
	/	底板	机房正下方无建筑物，为泥土层		

根据计算结果可知，模拟定位 CT 机机房周边关注点的剂量率满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中规定的“CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

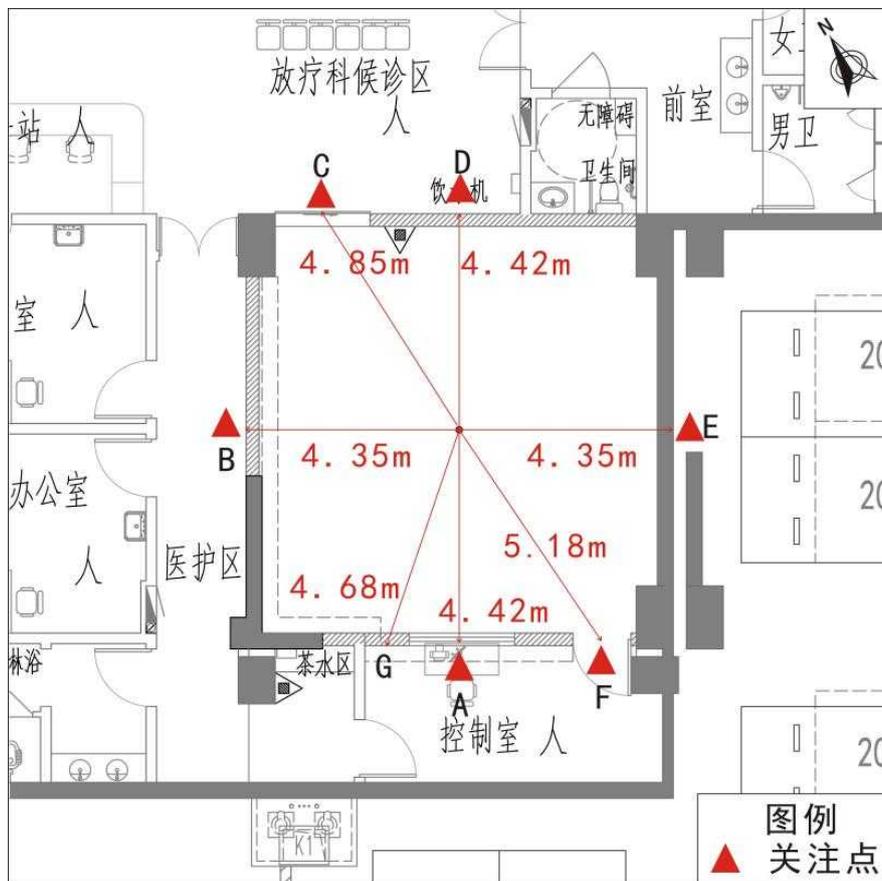


图 11-3 模拟定位 CT 机机房关注点示意图 (平面)

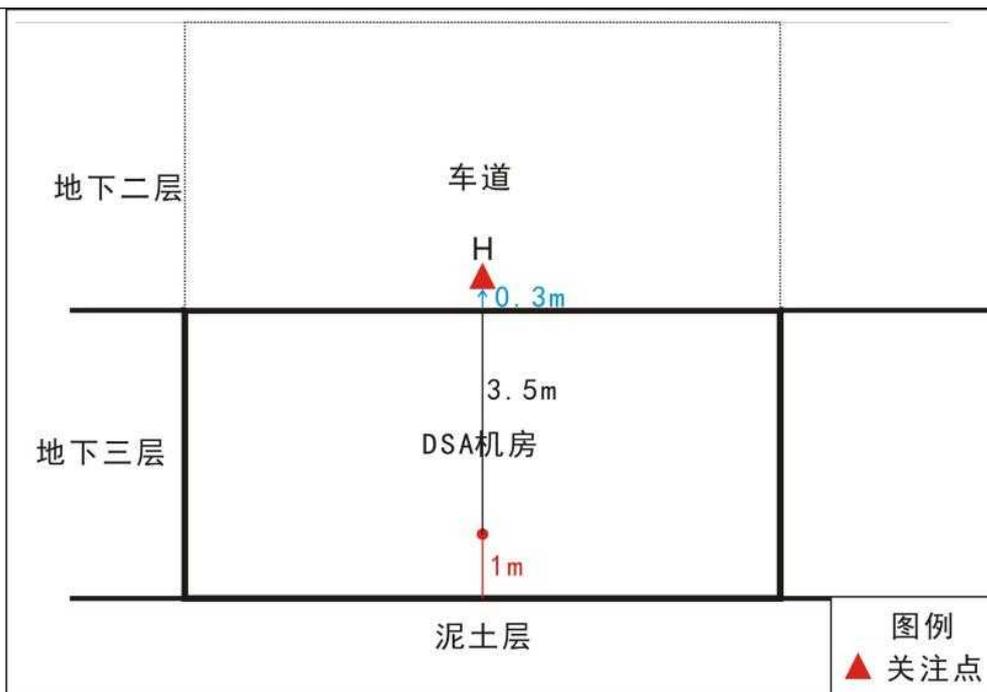


图 11-4 模拟定位 CT 机机房关注点示意图（剖面）

3.年有效剂量估算

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

$$HE-r=Dr\times 10^{-3}\times T \text{ (mSv/a)} \quad \text{(公式 11-11)}$$

其中：HE-r：X—外照射人均年有效剂量当量，mSv/a；

Dr：X—X- γ 辐射空气吸收剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

T：居留因子，参考《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中附录 A 中的居留因子选取；

t：X—受照射时间，小时， $t=\text{年照射时间}\times\text{使用因子 } U$ 。

（1）工作时间

根据建设单位提供的资料可知医院直线加速器机房每周工作 5 天，每年工作 50 周，工作天数按 250 天，每天每个机房治疗人数最多 25 人，根据前文表述，本项目直线加速器的年照射时间约为 138.9h，本项目模拟定位 CT 机的年照射时间约为 105h。

（2）照射剂量率

辐射工作人员和周边人员的照射剂量率均取各辐射工作场所周边人员能够到达位置的计算最大值（表 11-4、表 11-6 和表 11-7）。

表 11-8 直线加速器机房人员年有效剂量估算结果

关注点	场所位置		场所名称	保护目标	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	使用 因子 U	居留 因子	年照 射时 间	年有效 剂量	总剂量
a	北侧	主屏蔽墙	停车场	公众成员	1.460	1/4	1/40	138.9	1.267E-03	/
c ₁ 、c ₂		次屏蔽墙			8.294E-04	1	1/40	138.9	2.880E-06	/
b	南侧	主屏蔽墙	直线加速器机房 2	辐射工作人员 ^注 、公众成员	1.460	1/4	1/2	138.9	0.013	0.028 ^注
d ₁ 、d ₂		次屏蔽墙			1.048E-03	1	1/2	138.9	3.639E-05	
f	东侧	迷路外墙+迷路内墙	控制室	辐射工作人员	7.474E-05	1	1	138.9	5.191E-06	
k	东侧	迷路外墙	更衣室		0.015	1	1	138.9	1.05E-03	
e	西侧	侧屏蔽墙	衰变间、排烟机房	公众成员	0.017	1	1/40	138.9	2.870E-05	/
l	顶棚	主屏蔽墙	夹层	/	2.359	1/4	1/40	138.9	2.05E-03	/
l ₁			核医学科	公众成员	0.976	1/4	1	138.9	0.017	/
m ₁ 、m ₂		次屏蔽墙	夹层	/	1.093E-03	1	1/40	138.9	1.518E-04	/
M ₁ 、M ₂			核医学科	公众成员	2.19E-04	1	1	138.9	1.521E-05	/
g	防护门	防护门外	候诊区(患者通道)	公众成员	0.122	1	1/8	138.9	9.575E-04	/

备注：机房内的辐射工作人员考虑另一台直线加速器运行时的叠加影响。

表 11-9 模拟定位 CT 机机房人员年有效剂量估算结果

场所	关注点	计算点位置	场所名称	保护目标	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	使用 因子 U	居留 因子	年照 射时 间	年有效 剂量
模拟定位 CT 机房	D	东侧墙体	候诊区	公众成员	0.018	1	1/4	105	4.73E-05
	G	西侧墙体	控制室	辐射工作人员	0.010	1	1	105	1.05E-03
	E	南侧墙体	停车场	公众成员	0.021	1	1/40	105	5.51E-05
	B	北侧墙体	医护通道	公众成员	0.021	1	1/4	105	5.51E-05
	F	医生进出门	控制室	辐射工作人员	0.004	1	1	105	4.20E-04
	C	病人进出门	患者通道(候诊)	公众成员	0.007	1	1/8	105	9.19E-05

			区)						
A	观察窗	控制室	辐射工作人员	0.018	1	1	105	1.89E-03	
H	顶棚	行车道	公众成员	0.073	1	1/40	105	1.92E-04	

根据对直线加速器辐射工作场所的屏蔽计算结果及剂量估算可知，本项目直线加速器机房辐射工作人员年有效剂量最大值为 0.028mSv，周边公众成员年有效剂量最大值为 0.017mSv，本项目直线加速器机房辐射工作人员年有效剂量值和周边公众成员年有效剂量值均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的辐射工作人员的连续五年有效剂量平均限值 20mSv 和公众人员的年有效剂量限值 1mSv 的要求；同时满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中规定的辐射工作人员剂量约束值 5mSv/a 和公众人员剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

根据对模拟定位 CT 机辐射工作场所的屏蔽计算结果及剂量估算可知，本项目模拟定位 CT 机辐射工作人员年有效剂量最大值为 1.89E-03mSv，周边公众成员年有效剂量最大值为 1.92E-04mSv，本项目模拟定位 CT 机辐射工作场所辐射工作人员年有效剂量值和周边公众成员年有效剂量值均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的辐射工作人员的连续五年有效剂量平均限值 20mSv 和公众人员的年有效剂量限值 1mSv 的要求；同时满足本项目辐射工作人员剂量约束值 5mSv/a 和公众人员剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

3. 三废治理措施

（1）放射性废物影响分析

本项目直线加速器运行过程中产生的放射性固体废物为直线加速器在使用一定年限（一般约 4~5 年）或退役时产生的加速器废靶。医院在采取“医院产生的废靶拆除后由生产厂家回收处置，在拆除前与厂家联系，确定厂家回收日期，在厂家到达后再进行拆除，医院不进行暂存”对环境影响较小；本项目模拟定位 CT 机运行过程中不产生放射性废气、放射性废水和放射性固体废物。

（2）臭氧及氮氧化物影响分析

每间直线加速器机房内拟设置一个新风口和两个排风口，新风口位于机房上方吊顶处，排风口设置于底部，新风口和排风口成对角设置，确保室内空气充分交换。新风口及排风口管道均拟从机房防护门顶部引出机房，排风管道经排风井引至屋顶排放。排气口位置未设置在有门、窗或人流较大的过道等位置，每个机房的新风送风量为

1680m³/h，每个机房的排风系统排风量为 2000m³/h，排气口设置于商所在楼（康复楼）楼顶且高出屋脊；本项目直线加速器机房有效容积约 267.5m³，则机房内每小时换气次数大于 7 次（约为 7.5 次），满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“通风换气次数应不少于 4 次/h”的要求。在各机房内排气装置正常运行的情况下，臭氧及氮氧化物气体通过通风设施排至室外，很快被空气对流、扩散作用稀释，对大气环境影响较小。

模拟定位 CT 机机房拟安装机械通风系统，在机械通风系统正常运行的情况下，臭氧及氮氧化物气体通过通风设施排至室外，很快被空气对流、扩散作用稀释，机房内能够保持良好的通风，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风”的要求，对大气环境影响较小。

二、手术室辐射工作场所环境的影响分析

1. 辐射环境影响分析

本项目手术室辐射工作场所为一楼急诊科 DSA 复合手术室、三楼手术中心 DSA 复合手术室 1~3 和三楼手术中心杂交手术室，由于实际运行过程中存在多场所同时运行的情况，需考虑叠加影响，存在叠加影响的情形为三楼手术中心 DSA 复合手术室 1 和复合手术室 2 同时运行时楼上楼、下及其控制室存在叠加影响。

（1）DSA 机辐射工作场所辐射屏蔽预测分析

本项目 DSA 在手术中分透视和摄影两种模式。摄影拍片模式是指 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，辐射工作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。

根据美国 NCRP147 号报告（Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities），Facilities）指出“在透视、心脏及血管造影中的影像增强器以及乳房 X 光检查中的乳房支撑托盘，可作为主射线止点（FDA），这些房间通常不需主射线防护墙”。考虑 DSA 影像增强器对 X 射线主射线（有用线束）的阻挡作用，同时考虑在介入手术程中，机头有用线束直接照向患者。因此 DSA 机房屏蔽估算时，可不考虑初级辐射，评价重点考虑泄露辐射和散射辐射对周围环境的辐射影响。

对于 DSA 而言，为防止球管烧毁并延长使用寿命，其管电压和管电流都留有较大裕量，且最大管电压和最大管电流不会同时出现。实际使用时管电压通常在 100kV 工

况以下，本次评价按照 100kV 的工况进行的源项参数进行选取（见“表 9 项目工程分析和源项”），机房墙体和防护门等铅当量保守考虑选取“表 10 辐射安全和防护”中的参数。

本项目关注点均为手术室四周墙体、铅防护门、观察窗外 30cm 处，机房顶棚外 30cm，机房楼下地面高 1.7m 处，机房关注点示意图如下：

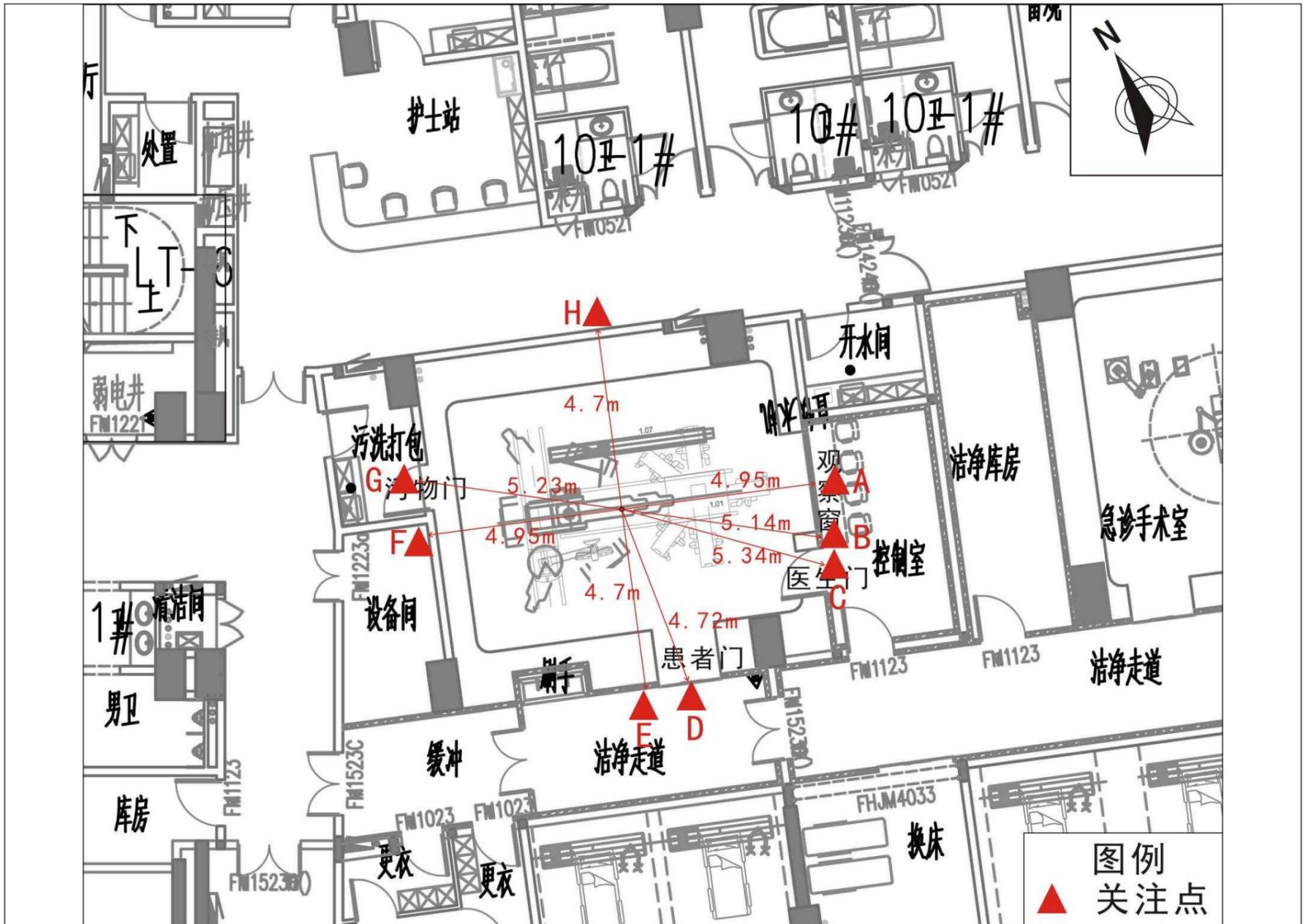


图 11-5 急诊科DSA复合手术室关注点分布图（平面图）

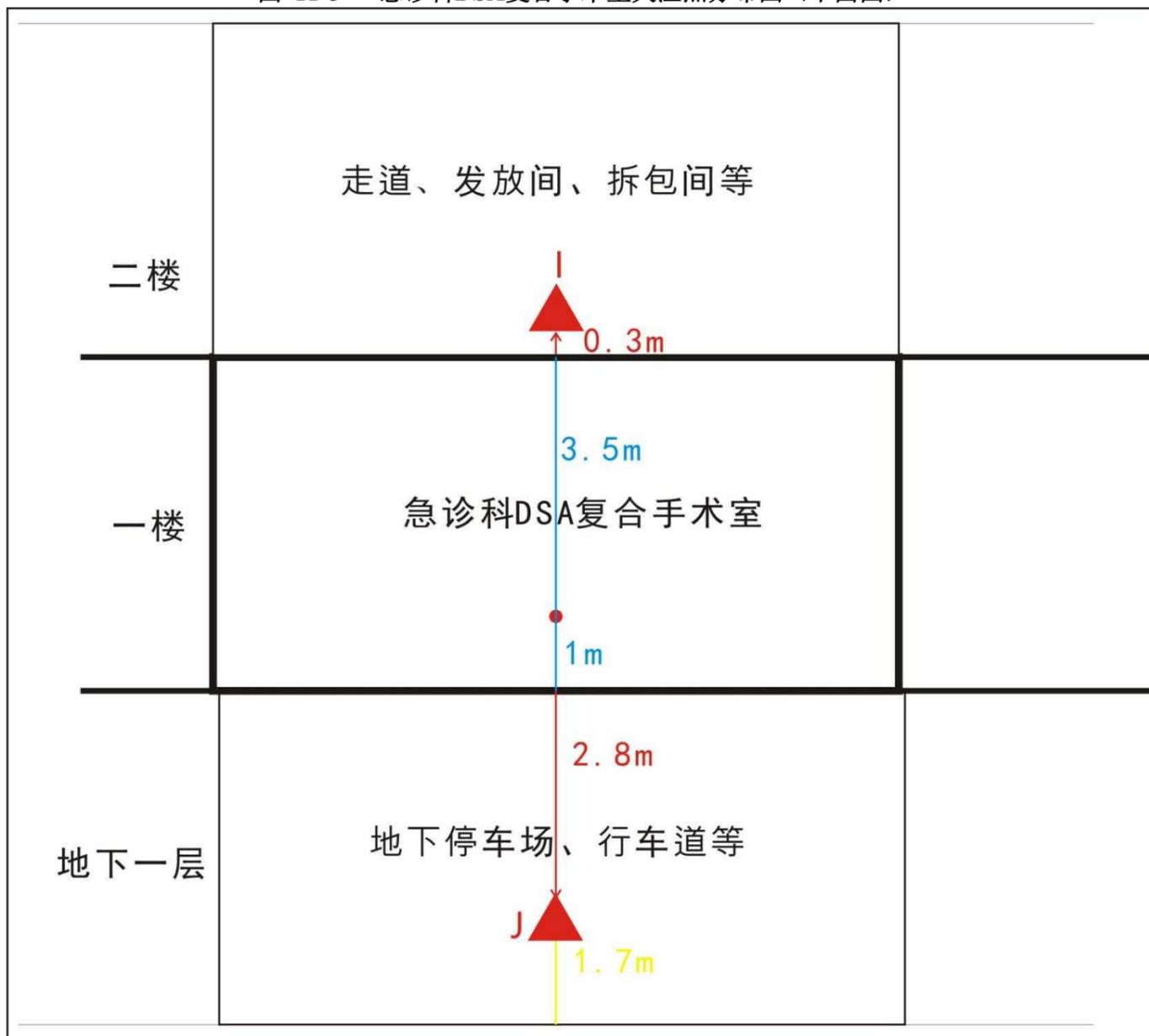


图11-6 急诊科DSA复合手术室关注点分布图（剖面图）

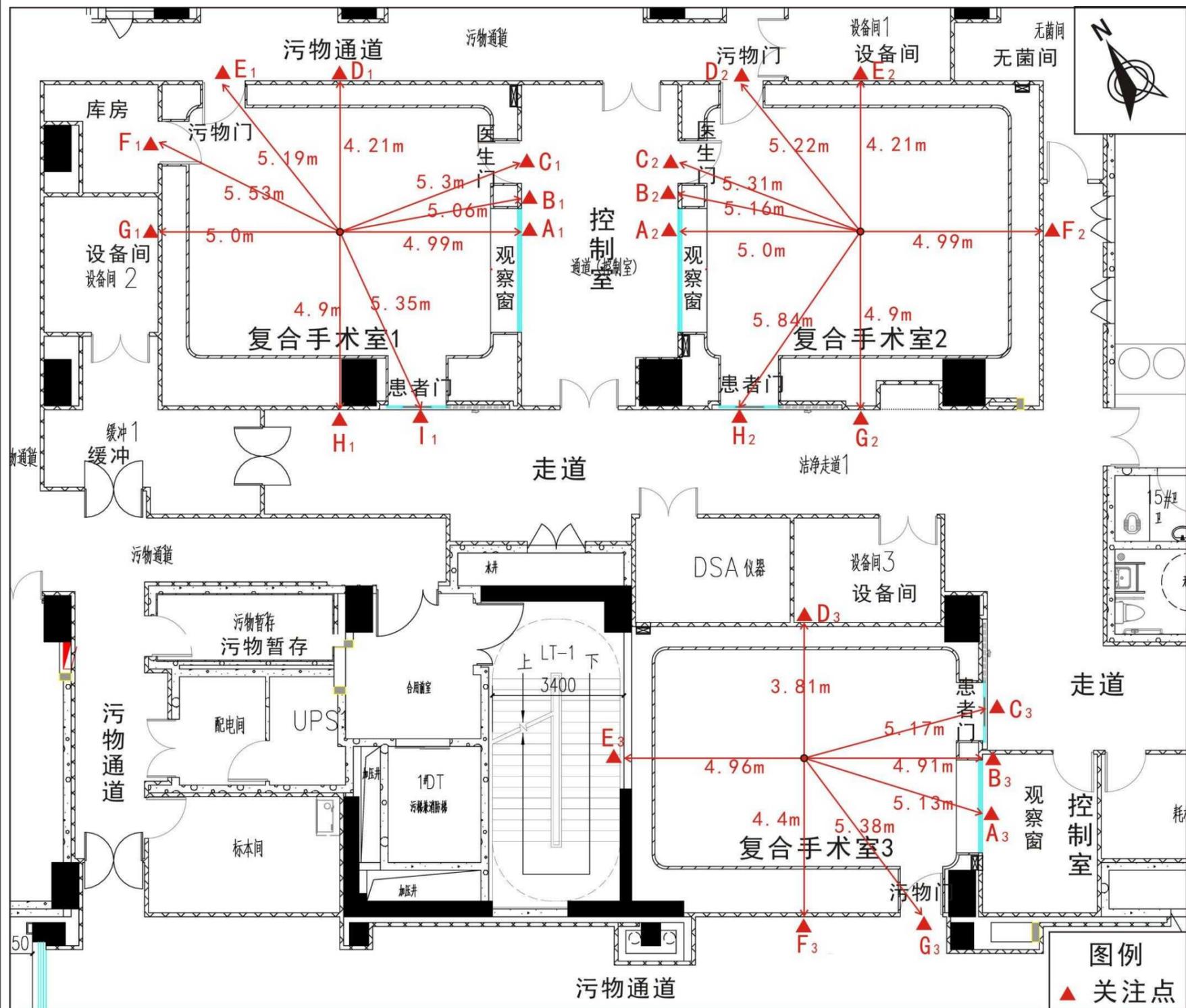


图 11-7 三楼手术中心DSA复合手术室关注点分布图（平面图）



图11-8 三楼手术中心DSA复合手术室关注点分布图（剖面图）

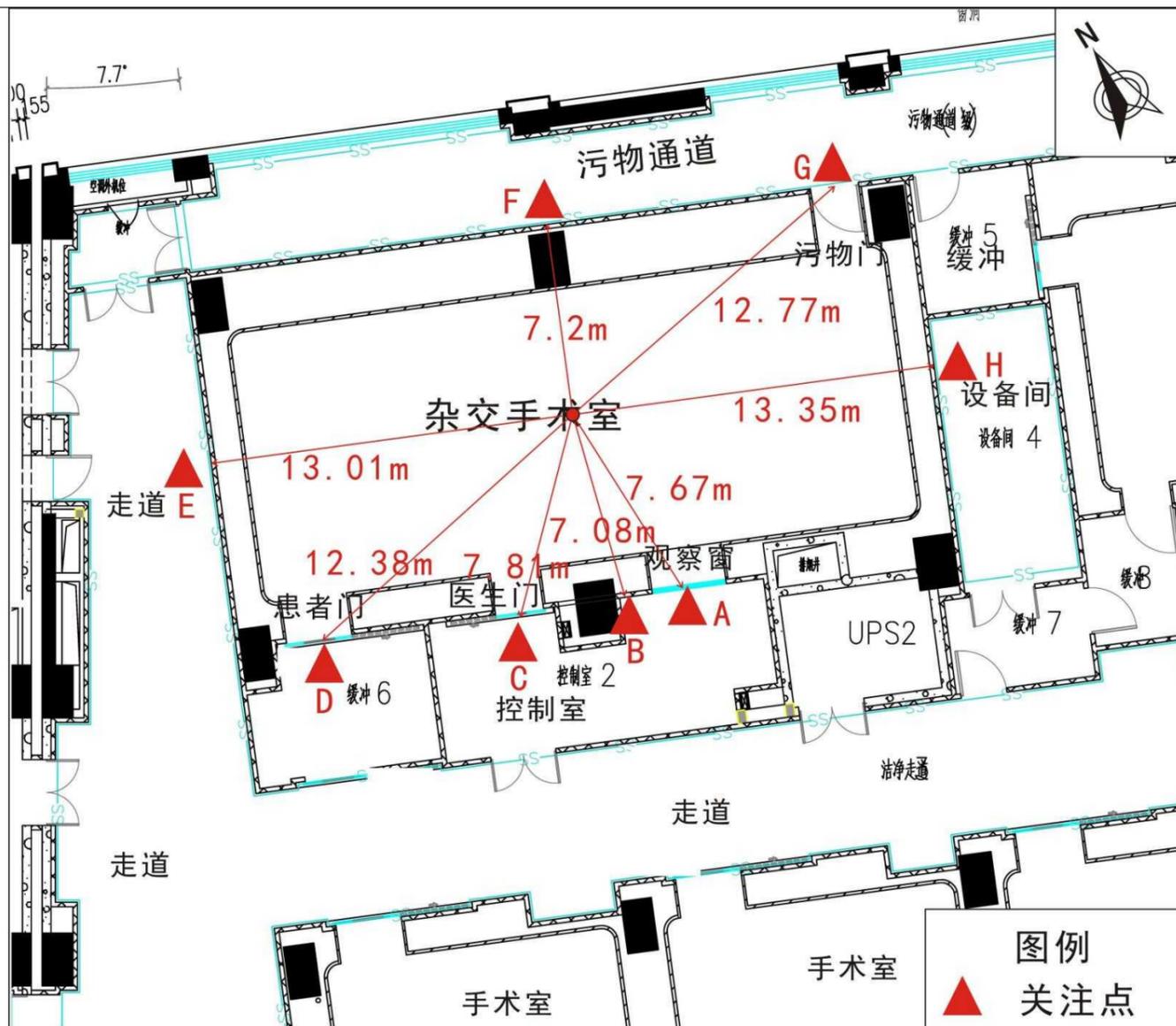


图11-9 三楼手术中心杂交手术室关注点分布图（平面图）

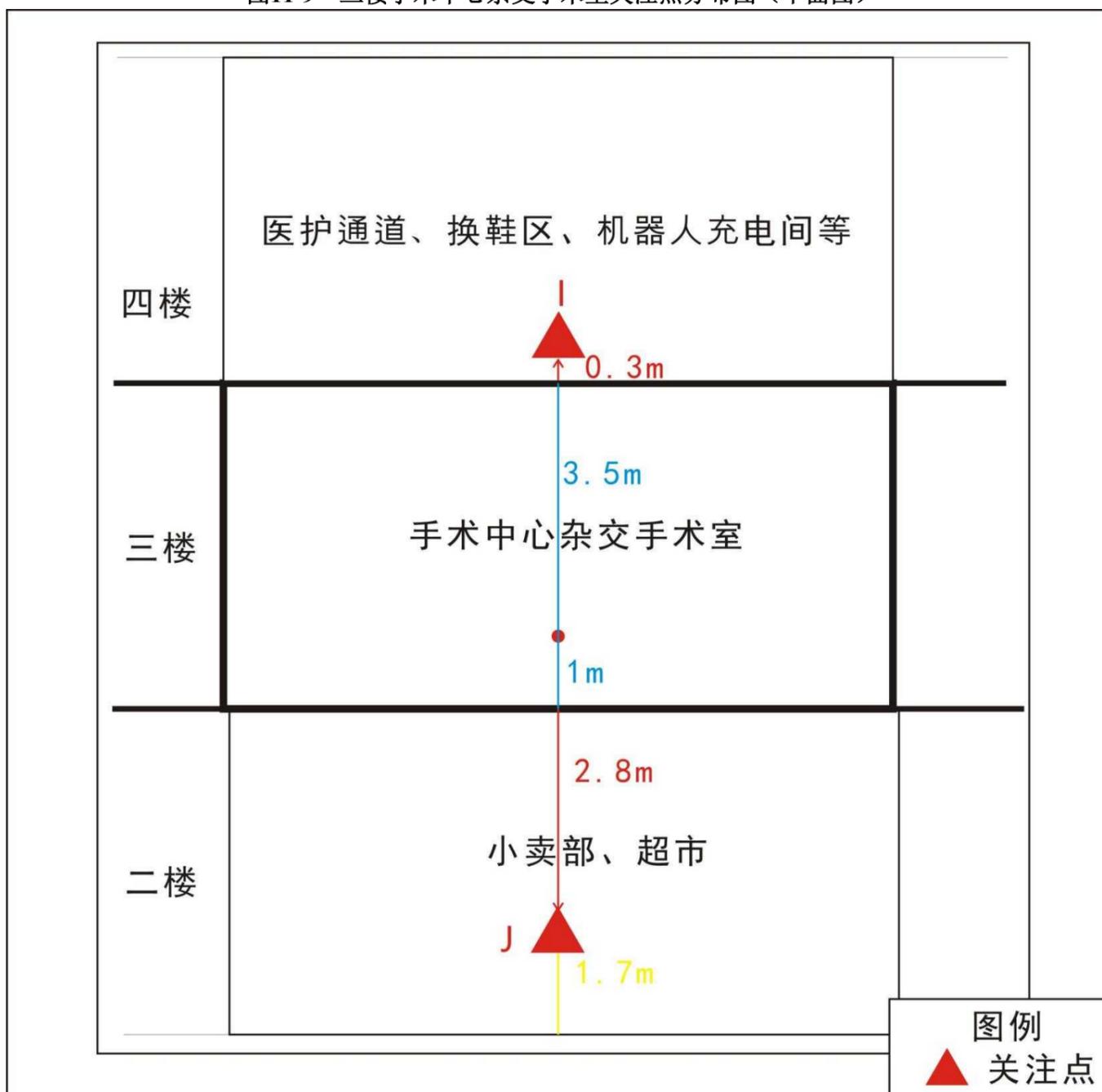


图11-10 三楼手术中心杂交手术室关注点分布图（剖面图）

①泄漏辐射

本项目泄漏辐射剂量率计算公式参考李德平、潘自强主编《辐射防护手册第一分册 辐射与屏蔽》（[M]北京：原子能出版社，1987）中X射线机周围照射量计算公式（10.8）进行推导（推导过程中居留因子 η 、利用因子 u 均取为1），则可推导出泄漏辐射剂量率计算公式如下：

$$H_z = (H_x \cdot B) / d^2 \quad (\text{公式11-12})$$

式中：

H_z ——关注点漏射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_x ——距出束点 1m 处的泄漏剂量率，参考《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB 9706.103-2020）中的 12.4 “X 射线管组件和 X 射线源组件在加载状态下的泄漏辐射，当其在相当于基准加载条件下以标称 X 射线管电压运行时，距焦点 1m 处，1h 内在任一 100 cm^2 区域（主要射线尺寸不大于 20cm）的空气比释动能不应超过 1.0mGy”，则泄漏剂量率不应大于 1.0mGy/h（即 1.0mSv/h，根据《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 3.10 得 1 $\mu\text{Gy/h} \approx 1\mu\text{Sv/h}$ ）；

d ——机头至各关注点的距离，m；

B ——透射因子，按照GBZ130-2020附录C计算，取100kV主束的拟合参数；

表 11-10 手术室泄漏辐射屏蔽透射因子 B 的估算结果

场所	关注点位置	铅的拟合参数			铅当量厚度	屏蔽透射因子 B
		α	β	γ		
急诊科 DSA 复 合手术室	四周墙体	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	患者防护门	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	医生防护门	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	污物防护门	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	观察窗	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	顶棚	2.500	15.28	0.7557	约 4.44mmPb	1.127E-06
	底板	2.500	15.28	0.7557	约 3.44mmPb	1.375E-05
手术中心 DSA 复 合手术室 1	四周墙体	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	患者防护门	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	医生防护门	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	污物防护门	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	库房门	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	观察窗	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	顶棚	2.500	15.28	0.7557	约 4.44mmPb	1.127E-06
底板	2.500	15.28	0.7557	约 3.44mmPb	1.375E-05	
手术中心 DSA 复 合手术室	四周墙体	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	患者防护门	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	医生防护门	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06

2	污物防护门	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	观察窗	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	顶棚	2.500	15.28	0.7557	约 4.44mmPb	1.127E-06
	底板	2.500	15.28	0.7557	约 3.44mmPb	1.375E-05
手术中心 DSA 复合 手术室 3	四周墙体	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	患者防护门	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	污物防护门	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	观察窗	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	顶棚	2.500	15.28	0.7557	约 4.44mmPb	1.127E-06
	底板	2.500	15.28	0.7557	约 3.44mmPb	1.375E-05
手术中心 杂交手术 室	四周墙体	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	患者防护门	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	医生防护门	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	污物防护门	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	观察窗	2.500	15.28	0.7557	4mmPb	3.388E-06
	顶棚	2.500	15.28	0.7557	约 4.44mmPb	1.127E-06
	底板	2.500	15.28	0.7557	约 3.44mmPb	1.375E-05

表 11-11 手术室周围关注点的泄漏辐射剂量率估算结果

机房	关注点	计算点位置	H _x (μSv/h)	距离 (m)	泄漏辐射剂量率 (μSv/h)
急诊科 DSA 复合 手术室	H	东侧墙体	■	■	■
	F	西侧墙体	■	■	■
	B	南侧墙体	■	■	■
	F	北侧墙体	■	■	■
	D	患者防护 门	■	■	■
	C	医生防护 门	■	■	■
	G	污物防护 门	■	■	■
	A	观察窗	■	■	■
	I	顶棚	■	■	■
	J	底板	■	■	■
手术中心 DSA 复 合手术室 1	D ₁	东侧墙体	■	■	■
	H ₁	西侧墙体	■	■	■
	B ₁	南侧墙体	■	■	■
	G ₁	北侧墙体	■	■	■
	I ₁	患者防护 门	■	■	■
	C ₁	医生防护 门	■	■	■
	E ₁	污物防护 门	■	■	■
	F ₁	库房门	■	■	■
	A ₁	观察窗	■	■	■
	K	顶棚	■	■	■
J	底板	■	■	■	

手术中心 DSA 复合手术室 2	E ₂	东侧墙体	■	■	■
	G ₂	西侧墙体	■	■	■
	F ₂	南侧墙体	■	■	■
	B ₂	北侧墙体	■	■	■
	H ₂	患者防护门	■	■	■
	C ₂	医生防护门	■	■	■
	D ₂	污物防护门	■	■	■
	A ₂	观察窗	■	■	■
	I	顶棚	■	■	■
	J	底板	■	■	■
手术中心 DSA 复合手术室 3	D ₃	东侧墙体	■	■	■
	F ₃	西侧墙体	■	■	■
	B ₃	南侧墙体	■	■	■
	E ₃	北侧墙体	■	■	■
	C ₃	患者防护门	■	■	■
	G ₃	污物防护门	■	■	■
	A ₃	观察窗	■	■	■
	I	顶棚	■	■	■
手术中心杂交手术室	H	底板	■	■	■
	F	东侧墙体	■	■	■
	B	西侧墙体	■	■	■
	H	南侧墙体	■	■	■
	E	北侧墙体	■	■	■
	D	患者防护门	■	■	■
	C	医生防护门	■	■	■
	G	污物防护门	■	■	■
	A	观察窗	■	■	■
	J	底板	■	■	■

② 散射辐射

对于患者体表的散射X射线可以用反照率法估计。散射剂量率采用（采用李德平、潘自强主编《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》（[M]北京：原子能出版社，1987）中给出的公式计算：

$$H_s = B \cdot (H_0 \cdot \alpha \cdot S) / (d_0^2 \cdot d_s^2) \quad (\text{公式11-13})$$

式中：

H_s —— 散射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

α ——受

S —— 散射面积， cm^2 ；此处取 400cm^2 ；

d_0 —— X 射线机与受照体的距离， m ；最常见/典型的操作距离取 0.7m ；

d_s —— 受照体与关注点的距离， m ；

H_0 ——

B —— 透射因子，按照GBZ130-2020附录C计算，取 100kV 散射的拟合参数，见（公式10-1）。

表 11-12 手术室散射辐射屏蔽透射因子 B 的估算结果

场所	关注点位置	铅的拟合参数			铅当量厚度	屏蔽透射因子 B
		α	β	γ		
急诊科 DSA 复 合手术室	四周墙体	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	患者防护门	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	医生防护门	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	污物防护门	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	观察窗	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	顶棚	2.507	15.33	0.9124	约 4.44mmPb	
	底板	2.507	15.33	0.9124	约 3.44mmPb	
手术中心 DSA 复 合手术室 1	四周墙体	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	患者防护门	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	医生防护门	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	污物防护门	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	库房门	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	观察窗	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	顶棚	2.507	15.33	0.9124	约 4.44mmPb	
底板	2.507	15.33	0.9124	约 3.44mmPb		
手术中心 DSA 复 合手术室 2	四周墙体	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	患者防护门	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	医生防护门	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	污物防护门	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	观察窗	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	顶棚	2.507	15.33	0.9124	约 4.44mmPb	
	底板	2.507	15.33	0.9124	约 3.44mmPb	
手术中心 DSA 复 合手术室 3	四周墙体	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	患者防护门	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	污物防护门	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	观察窗	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	顶棚	2.507	15.33	0.9124	约 4.44mmPb	

	底板	2.507	15.33	0.9124	约 3.44mmPb	
手术中心 杂交手术室	四周墙体	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	患者防护门	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	医生防护门	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	污物防护门	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	观察窗	2.507	15.33	0.9124	4mmPb	
	顶棚	2.507	15.33	0.9124	约 4.44mmPb	
	底板	2.507	15.33	0.9124	约 3.44mmPb	2.093E-05

(I) 透视工况下的散射剂量分析

本项目 DSA 最大管电压 125kV。对于 DSA 而言,为防止球管烧毁并延长使用寿命,其管电压和管电流都留有较大裕量,且最大管电压和最大管电流不会同时出现。实际使用时管电压通常在 100kV 以下,本次评价按照 100kV 进行计算。

表 11-13 手术室周围关注点透视工况下的散射剂量估算结果

机房	关注点	计算点位置	H ₀ (μSv/h)	距离 (m)	散射辐射剂量率 (μSv/h)
急诊科 DSA 复合手术室	H	东侧墙体	3.24E+07		
	F	西侧墙体	3.24E+07		
	B	南侧墙体	3.24E+07		
	F	北侧墙体	3.24E+07		
	D	患者防护门	3.24E+07		
	C	医生防护门	3.24E+07		
	G	污物防护门	3.24E+07		
	A	观察窗	3.24E+07		
	I	顶棚	3.24E+07		
	J	底板	3.24E+07		
手术中心 DSA 复合手术室 1	D ₁	东侧墙体	3.24E+07		
	H ₁	西侧墙体	3.24E+07		
	B ₁	南侧墙体	3.24E+07		
	G ₁	北侧墙体	3.24E+07		
	I ₁	患者防护门	3.24E+07		
	C ₁	医生防护门	3.24E+07		
	E ₁	污物防护门	3.24E+07		
	F ₁	库房门	3.24E+07		
	A ₁	观察窗	3.24E+07		
	K	顶棚	3.24E+07		
	J	底板	3.24E+07		
手术中心 DSA 复合手术室 2	E ₂	东侧墙体	3.24E+07		
	G ₂	西侧墙体	3.24E+07		
	F ₂	南侧墙体	3.24E+07		
	B ₂	北侧墙体	3.24E+07		
	H ₂	患者防护门	3.24E+07		
	C ₂	医生防护门	3.24E+07		
	D ₂	污物防护门	3.24E+07		
	A ₂	观察窗	3.24E+07		
	I	顶棚	3.24E+07		

	J	底板	3.24E+07	■	■
手术中心 DSA 复合手术室 3	D ₃	东侧墙体	3.24E+07	■	■
	F ₃	西侧墙体	3.24E+07	■	■
	B ₃	南侧墙体	3.24E+07	■	■
	E ₃	北侧墙体	3.24E+07	■	■
	C ₃	患者防护门	3.24E+07	■	■
	G ₃	污物防护门	3.24E+07	■	■
	A ₃	观察窗	3.24E+07	■	■
	I	顶棚	3.24E+07	■	■
	H	底板	3.24E+07	■	■
手术中心杂交手 术室	F	东侧墙体	3.24E+07	■	■
	B	西侧墙体	3.24E+07	■	■
	H	南侧墙体	3.24E+07	■	■
	E	北侧墙体	3.24E+07	■	■
	D	患者防护门	3.24E+07	■	■
	C	医生防护门	3.24E+07	■	■
	G	污物防护门	3.24E+07	■	■
	A	观察窗	3.24E+07	■	■
	I	顶棚	3.24E+07	■	■
	J	底板	3.24E+07	3.8	0.12

(II) 摄影工况下的散射剂量分析

表 11-14 手术室周围关注点摄影工况下的散射剂量估算结果

机房	关注点	计算点位置	H ₀ (μSv/h)	距离 (m)	散射辐射剂量率 (μSv/h)
急诊科 DSA 复 合手术室	H	东侧墙体	1.62E+08	■	■
	F	西侧墙体	1.62E+08	■	■
	B	南侧墙体	1.62E+08	■	■
	F	北侧墙体	1.62E+08	■	■
	D	患者防护门	1.62E+08	■	■
	C	医生防护门	1.62E+08	■	■
	G	污物防护门	1.62E+08	■	■
	A	观察窗	1.62E+08	■	■
	I	顶棚	1.62E+08	■	■
	J	底板	1.62E+08	■	■
手术中心 DSA 复合手术室 1	D ₁	东侧墙体	1.62E+08	■	■
	H ₁	西侧墙体	1.62E+08	■	■
	B ₁	南侧墙体	1.62E+08	■	■
	G ₁	北侧墙体	1.62E+08	■	■
	I ₁	患者防护门	1.62E+08	■	■
	C ₁	医生防护门	1.62E+08	■	■
	E ₁	污物防护门	1.62E+08	■	■
	F ₁	库房门	1.62E+08	■	■
	A ₁	观察窗	1.62E+08	■	■
	K	顶棚	1.62E+08	■	■
	J	底板	1.62E+08	■	■
手术中心 DSA 复合手术室 2	E ₂	东侧墙体	1.62E+08	■	■
	G ₂	西侧墙体	1.62E+08	■	■

	F ₂	南侧墙体	1.62E+08	■	■
	B ₂	北侧墙体	1.62E+08	■	■
	H ₂	患者防护门	1.62E+08	■	■
	C ₂	医生防护门	1.62E+08	■	■
	D ₂	污物防护门	1.62E+08	■	■
	A ₂	观察窗	1.62E+08	■	■
	I	顶棚	1.62E+08	■	■
	J	底板	1.62E+08	■	■
手术中心 DSA 复合手术室 3	D ₃	东侧墙体	1.62E+08	■	■
	F ₃	西侧墙体	1.62E+08	■	■
	B ₃	南侧墙体	1.62E+08	■	■
	E ₃	北侧墙体	1.62E+08	■	■
	C ₃	患者防护门	1.62E+08	■	■
	G ₃	污物防护门	1.62E+08	■	■
	A ₃	观察窗	1.62E+08	■	■
	I	顶棚	1.62E+08	■	■
手术中心杂交手 术室	H	底板	1.62E+08	■	■
	F	东侧墙体	1.62E+08	■	■
	B	西侧墙体	1.62E+08	■	■
	H	南侧墙体	1.62E+08	■	■
	E	北侧墙体	1.62E+08	■	■
	D	患者防护门	1.62E+08	■	■
	C	医生防护门	1.62E+08	■	■
	G	污物防护门	1.62E+08	■	■
	A	观察窗	1.62E+08	■	■
	I	顶棚	1.62E+08	■	■
J	底板	1.62E+08	■	■	

本项目透视和摄影两种模式下的辐射空气吸收剂量率为泄露辐射和散射辐射之和，机房周围关注点辐射空气吸收剂量率估算结果详见表 11-15。

表 11-15 本项目手术室周围关注点辐射空气吸收剂量率估算结果

机房	关注点	计算点位置	透视工况			摄影工况		
			泄漏辐射 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射辐射 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	总剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)	泄漏辐射 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射辐射 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	总剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)
急诊 科 DSA 复合 手术 室	H	东侧墙体	1.53E-04	0.02	0.02	1.53E-04	0.10	0.10
	F	西侧墙体	1.53E-04	0.02	0.02	1.53E-04	0.10	0.10
	B	南侧墙体	1.28E-04	0.02	0.02	1.28E-04	0.08	0.08
	F	北侧墙体	1.38E-04	0.02	0.02	1.38E-04	0.09	0.09
	D	患者防护门	1.52E-04	0.02	0.02	1.52E-04	0.10	0.10
	C	医生防护门	1.19E-04	0.02	0.02	1.19E-04	0.08	0.08
	G	污物防护门	1.24E-04	0.02	0.02	1.24E-04	0.08	0.08
	A	观察窗	1.38E-04	0.02	0.02	1.38E-04	0.09	0.09
	I	顶棚	7.81E-05	1.02E-02	0.01	7.81E-05	0.05	0.05
	J	底板	9.52E-04	0.12	0.12	9.52E-04	0.62	0.62
手术 中心 DSA	D ₁	东侧墙体	1.91E-04	0.02	0.02	1.91E-04	0.12	0.12
	H ₁	西侧墙体	1.41E-04	0.02	0.02	1.41E-04	0.09	0.09
	B ₁	南侧墙体	1.32E-04	0.02	0.02	1.32E-04	0.09	0.09

复合手术室 1	G ₁	北侧墙体	1.36E-04	0.02	0.02	1.36E-04	0.09	0.09
	I ₁	患者防护门	1.18E-04	0.02	0.02	1.18E-04	0.08	0.08
	C ₁	医生防护门	1.21E-04	0.02	0.02	1.21E-04	0.08	0.08
	E ₁	污物防护门	1.26E-04	0.02	0.02	1.26E-04	0.08	0.08
	F ₁	库房门	1.11E-04	1.44E-02	0.01	1.11E-04	0.07	0.07
	A ₁	观察窗	1.36E-04	0.02	0.02	1.36E-04	0.09	0.09
	K	顶棚	7.81E-05	0.01	0.01	7.81E-05	0.05	0.05
	J	底板	9.52E-04	0.12	0.12	9.52E-04	0.62	0.62
手术中心 DSA 复合手术室 2	E ₂	东侧墙体	1.91E-04	0.02	0.02	1.91E-04	0.12	0.12
	G ₂	西侧墙体	1.41E-04	0.02	0.02	1.41E-04	0.09	0.09
	F ₂	南侧墙体	1.36E-04	0.02	0.02	1.36E-04	0.09	0.09
	B ₂	北侧墙体	1.27E-04	0.02	0.02	1.27E-04	0.08	0.08
	H ₂	患者防护门	9.93E-05	1.30E-02	0.01	9.93E-05	0.06	0.06
	C ₂	医生防护门	1.20E-04	0.02	0.02	1.20E-04	0.08	0.08
	D ₂	污物防护门	1.24E-04	0.02	0.02	1.24E-04	0.08	0.08
	A ₂	观察窗	1.36E-04	0.02	0.02	1.36E-04	0.09	0.09
手术中心 DSA 复合手术室 3	I	顶棚	6.36E-05	0.01	0.01	6.36E-05	0.04	0.04
	J	底板	9.52E-04	0.12	0.12	9.52E-04	0.62	0.62
	D ₃	东侧墙体	2.33E-04	0.03	0.03	2.33E-04	0.15	0.15
	F ₃	西侧墙体	1.75E-04	0.02	0.02	1.75E-04	0.11	0.11
	B ₃	南侧墙体	1.41E-04	0.02	0.02	1.41E-04	0.09	0.09
	E ₃	北侧墙体	1.38E-04	0.02	0.02	1.38E-04	0.09	0.09
	C ₃	患者防护门	1.27E-04	0.02	0.02	1.27E-04	0.08	0.08
	G ₃	污物防护门	1.17E-04	0.02	0.02	1.17E-04	0.08	0.08
手术中心 杂交手术室	A ₃	观察窗	1.29E-04	0.02	0.02	1.29E-04	0.08	0.08
	I	顶棚	7.81E-05	1.02E-02	0.01	7.81E-05	0.05	0.05
	H	底板	9.52E-04	1.25E-01	0.13	9.52E-04	0.62	0.62
	F	东侧墙体	6.53E-05	8.52E-03	0.01	6.53E-05	0.04	0.04
	B	西侧墙体	6.76E-05	8.81E-03	0.01	6.76E-05	0.04	0.04
	H	南侧墙体	1.90E-05	2.48E-03	2.50E-03	1.90E-05	0.01	0.01
	E	北侧墙体	2.00E-05	2.61E-03	2.63E-03	2.00E-05	0.01	0.01
	D	患者防护门	2.21E-05	2.88E-03	2.90E-03	2.21E-05	0.01	0.01
	C	医生防护门	5.55E-05	0.01	0.01	5.55E-05	0.04	0.04
	G	污物防护门	2.08E-05	2.71E-03	2.73E-03	2.08E-05	0.01	0.01
A	观察窗	5.76E-05	7.51E-03	0.01	5.76E-05	0.04	0.04	
I	顶棚	7.81E-05	1.02E-02	0.01	7.81E-05	0.05	0.05	
J	底板	9.52E-04	0.12	0.12	9.52E-04	0.62	0.62	

由表 11-15 的计算结果可知，本项目在 DSA 正常工况下，本项目手术室周围关注点的辐射空气吸收剂量率估算值在 2.50E-03~0.62μSv/h 之间。

③ DSA 同室操作的术者位剂量分析

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

关注点	关注点位置描述		透视剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		摄影剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		总剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	
	叠加区域	参考最大预测 值位置描述	手术 室 1	手术 室 2	手术 室 1	手术 室 2	透视	摄影
A ₁ 、A ₂	控制室	观察窗	0.02	0.02	0.09	0.09	0.04	0.18
K、I	四楼日间手术室	手术室顶棚	0.01	0.01	0.05	0.04	0.02	0.09
J	二楼卫生间	手术室底板	0.12	0.12	0.62	0.62	0.24	1.24
D ₁ 、D ₂	污物通道	手术室东墙	0.02	0.02	0.12	0.12	0.04	0.24
H ₁ 、G ₂	西侧走道	手术室西墙	0.02	0.02	0.09	0.09	0.04	0.18

由表 11-18 的计算结果可知，本项目在 DSA 正常工况下，本项目手术室周围关注点的叠加的辐射空气吸收剂量率估算值在 0.02~1.24 $\mu\text{Sv/h}$ 之间。

因此，综上述，手术室周围辐射空气吸收剂量率满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 中规定的“具有透视功能的 X 射线机在透视条件下监测时，周围剂量当量率的控制目标值不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ”以及“具有短时、高剂量率曝光的摄影程序(如 DR、CR、屏片摄影) 机房外的周围剂量当量率应不大于 25 $\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

2.年有效剂量估算

本报告对辐射工作人员及周边公众成员的年有效剂量按(公式 11-11) 估算。

(1) 人员年照射时间

① DSA 机

医院根据现有门诊情况及今后发展规划，预计本项目手术室投入使用后每间手术室每年约开展 1000 台手术，辐射工作人员按照 1000 台手术考虑受照情况，平均每台手术曝光时间 20min，其中拍片(摄影) 2.5min，透视 17.5min，年拍片(摄影) 出束时间为 41.7h，年透视出束时间为 291.7h，年总出束时间为 333.4h。

对于机房外的公众人员及控制室工作人员，保守考虑，其年有效剂量按参数较大的拍片工况来计算，时间取年总出束时间 333.4h，手术室内辐射工作人员透视时间为 291.7h(考虑保护术者位医师，一般轮岗，保守考虑 2 个排班，则年受照时间为 145.9h)。

② CT 机

不开展复合手术时，CT 不使用，使用时技师仅在控制室操作设备，合手术开展介入术中 CT 扫描时，保守按照每台介入手术均需要术中 CT 扫描，每个患者术中扫描出束时间约 0.5min，每年 1000 个患者，每年出束时间约 8.3h。

② 照射剂量率

根据最不利因素考虑，对控制室内辐射工作人员和周边人员的剂量估算时的照射剂

量率取手术间周边墙外或者防护门外等对应位置的计算最大值，对手术室内辐射工作人员照射剂量率取铅衣屏蔽后的计算值，存在叠加影响的使用叠加总剂量率。

(2) 人员居留因子

本项目机房控制室和手术内部为辐射工作人员操作位，其居留因子取 1，机房周边人员居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），取值如下。

表 11-19 手术室的辐射剂量估算结果

评价项目		居留因子	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		工作时间 (h/a)	年有效剂量 (mSv)	
位置	保护目标		工况	取值			
急诊科 DSA 复合手术室	南侧控制室	辐射工作人员	1	透视	0.02	291.7	0.010
				摄影	0.09	41.7	
	术者位	辐射工作人员	1	透视	11.78	145.9	1.719
	东侧候诊区	公众成员	1/4	透视	0.02	291.7	0.003
				摄影	0.10	41.7	
	北侧污洗打包间	公众成员	1/4	透视	0.02	291.7	0.002
				摄影	0.09	41.7	
	设备间	公众成员	1/4	透视	0.02	291.7	0.002
				摄影	0.09	41.7	
	西侧走道	公众成员	1/4	透视	0.02	291.7	0.003
摄影				0.10	41.7		
楼上走道、发 包间等	公众成员	1/2	透视	0.01	291.7	0.002	
			摄影	0.05	41.7		
楼下停车场 等	公众成员	1/40	透视	0.12	291.7	0.002	
			摄影	0.62	41.7		
手术中心 DSA 复合手术室 1	南侧控制室	辐射工作人员	1	透视	0.02	291.7	0.010
				摄影	0.09	41.7	
	术者位	辐射工作人员	1	透视	11.78	145.9	1.719
	西侧走道	公众成员	1/4	透视	0.02	291.7	0.002
				摄影	0.09	41.7	
	北侧设备间	公众成员	1/40	透视	0.02	291.7	2.40E-04
				摄影	0.09	41.7	
	北侧库房	公众成员	1/40	透视	0.01	291.7	1.46E-04
				摄影	0.07	41.7	
	东侧污物通道	公众成员	1/4	透视	0.02	291.7	0.003
摄影				0.12	41.7		
楼上日间手 术室	公众成员	1	透视	0.01	291.7	0.005	
			摄影	0.05	41.7		
楼下卫生间、 气瓶间等	公众成员	1/20	透视	0.12	291.7	0.003	
			摄影	0.62	41.7		
手术中心 DSA 复合手术室 2	北侧控制室	辐射工作人员	1	透视	0.02	291.7	0.010
				摄影	0.09	41.7	
	术者位	辐射工作人员	1	透视	11.78	145.9	1.719
	东侧污物通道	公众成员	1/4	透视	0.02	291.7	0.003
				摄影	0.12	41.7	
设备间	公众成员	1/4	透视	0.02	291.7	0.003	
			摄影	0.12	41.7		

	南侧走道	公众成员	1/4	透视	0.02	291.7	0.002
				摄影	0.09	41.7	
	西侧走道	公众成员	1/4	透视	0.02	291.7	0.002
				摄影	0.09	41.7	
	楼上日间手术室	公众成员	1	透视	0.01	291.7	0.005
				摄影	0.04	41.7	
	楼下卫生间、大厅	公众成员	1/4	透视	0.12	291.7	0.015
				摄影	0.62	41.7	
手术中心 DSA 复合手术室 3	南侧控制室	辐射工作人员	1	透视	0.02	291.7	0.010
			1	摄影	0.09	41.7	
	术者位		1	透视	11.78	145.9	1.719
	西侧走道	公众成员	1/4	透视	0.02	291.7	0.003
				摄影	0.11	41.7	
	北侧楼梯间	公众成员	1/40	透视	0.02	291.7	2.40E-04
				摄影	0.09	41.7	
	东侧设备间	公众成员	1/40	透视	0.03	291.7	3.75E-04
				摄影	0.15	41.7	
	南侧走道	公众成员	1/4	透视	0.02	291.7	0.002
摄影				0.09	41.7		
楼上日间手术室	公众成员	1	透视	0.01	291.7	0.005	
			摄影	0.05	41.7		
楼下预留机房	公众成员	1/2	透视	0.13	291.7	0.032	
			摄影	0.62	41.7		
手术中心 杂交手术室	西侧控制室	辐射工作人员	1	透视	0.01	291.7	0.005
			1	摄影	0.04	41.7	
	术者位		1	透视	11.78	145.9	1.719
	北侧走道	公众成员	1/4	透视	2.63E-03	291.7	3.38E-04
				摄影	0.01	41.7	
				CT 扫描	0.02	8.3	
	东侧污物通道	公众成员	1/4	透视	0.01	291.7	0.001
				摄影	0.04	41.7	
				CT 扫描		8.3	
	南侧设备间	公众成员	1/40	透视	2.50E-03	291.7	2.96E-05
				摄影	0.01	41.7	
				CT 扫描	4.73E-03	8.3	
	楼上用餐区、医护通道等	公众成员	1	透视	0.01	291.7	0.005
摄影				0.05	41.7		
CT 扫描				0.02	8.3		
楼下小卖部、超市	公众成员	1	透视	0.12	291.7	0.062	
			摄影	0.62	41.7		
			CT 扫描	0.19	8.3		

表 11-20 手术室的叠加辐射剂量估算结果

关注点	关注点位置描述		保护目标	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		居留因子	照射时间 (h)		总剂量 (mSv)
	叠加区域	位置描述		透视	摄影		透视	摄影	
A ₁ 、A ₂	控制室	观察窗	辐射工作	0.04	0.18	1	291.7	41.7	0.019

			人员						
K、I	四楼日间手术室	手术室顶棚	公众成员	0.02	0.09	1	291.7	41.7	0.010
J	二楼卫生间	手术室底板	公众成员	0.24	1.24	1/20	291.7	41.7	0.006
D ₁ 、D ₂	污物通道	手术室东墙	公众成员	0.04	0.24	1/4	291.7	41.7	0.005
H ₁ 、G ₂	西侧走道	手术室西墙	公众成员	0.04	0.18	1/4	291.7	41.7	0.005

综上所述，本项目手术室辐射工作场所的工作人员及周围公众人员的年有效剂量分别低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的辐射工作人员的连续五年有效剂量平均限值 20mSv 和公众人员年有效剂量限值 1mSv 的要求，同时满足本项目辐射工作人员的剂量约束值 5mSv/a 和公众人员剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

2.三废治理措施

本项目运行过程中不产生放射性废气、放射性废水和放射性固体废物。

本项目各个机房在机械通风系统正常运行的情况下，臭氧及氮氧化物气体通过通风设施排至室外，很快被空气对流、扩散作用稀释，机房内能够保持良好的通风。满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风”的要求，对大气环境影响较小。同时会产生少量的一般医疗废弃物，医院委托有资质单位处理。

事故影响分析

事故等级

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故从重到轻分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

根据原国家环保总局 2006 年 145 号《辐射事故分级》规定，“一般辐射事故:是指 IIV 类、V 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。”“较大辐射事故是指 III 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。”

表 11-21 辐射事故等级

事故等级	危害结果
特别重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡
重大辐射事故	是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾
较大辐射事故	是指 III 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	是指 IV 类、V 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

（1）直线加速器工作场所

可能发生的辐射事故：

- ①工作人员或病人家属在防护门关闭前未撤离，加速器运行可能产生误照射。
- ②安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的加速器治疗室，造成额外的照射。
- ③工作人员在机房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，对工作人员造成辐射伤害。
- ④加速器控制系统出现故障，照射不能停止，病人受到额外照射。
- ⑤加速器维修期间，设备维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

（4）模拟定位机房

可能发生的辐射事故：

- ①在防护屏蔽达到要求、联锁装置失效的情况下，公众、辐射工作人员误入正在运行的射线装置机房，造成额外的照射。

②陪检人员、放射工作人员未按要求正确地穿戴个人防护用具，可能导致接受额外照射。

③因违章操作，人员未全部撤离机房，CT 模拟定位机运行给公众、辐射工作人员造成额外的照射。

(5) 手术室

可能发生的辐射事故：

①射线装置在不停机、铅玻璃老化和铅门破损未及时维修情况下，给周围活动人员及辐射工作人员造成额外的照射。

②在防护屏蔽达到要求、联锁装置失效的情况下，公众误入正在运行的射线装置机房，造成额外的照射。

③因违章操作，无关人员未全部撤离机房，射线装置运行给公众人员造成额外的照射。

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条及《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》（原国家环境保护总局 环发<2006>145 号文件）等相关规定，发生辐射事故时，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位应当立即启动本单位的应急方案，采取应急措施，并立即向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告。本项目采取的预防措施如表 11-22。

表 11-22 本项目采取预防措施

辐射工作场所	可能产生的辐射事故	拟采取的预防措施
直线加速器机房	工作人员或病人家属在防护门关闭前未撤离，加速器运行可能产生误照射	直线加速器机房内拟安装视频监控系统，便于控制台前工作人员观察治疗室、迷路内病人及医护人员的情况；若发现又人员未撤离治疗室，通过对讲交流系统告知其离开
	工作人员在机房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，对工作人员造成辐射伤害	
	安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的加速器治疗室，造成额外的照射	在每天治疗室开机运行前，工作人员会对安全联锁装置、报警系统进行检查，并做好相关检查台账工作
	加速器控制系统出现故障，照射不能停止，病人受到额外照射	治疗前工作人员需经视频监控系统清空除患者以外其他人员，确保无关人员全部离开；同时治疗室人员可以通过各墙面及防护门处急停按钮，立即停机。 治疗室人员可以通过各墙面及防护门处急停按钮，立即停机，减少辐射伤害
	加速器维修期间，设备维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害	
模拟单位	在防护屏蔽达到要求、联锁装置失效的情况下，公众、辐射工作人员误入正在	医院定期对辐射工作场所联锁装置进行检查，同时对场所防护屏蔽四周辐射环境进行

机房	运行的射线装置机房，造成额外的照射	检测，及时发现问题；机房内射线装置上安装了急停按钮，可以及时停机，减少额外照射
	陪检人员、放射工作人员未按要求正确地穿戴个人防护用具，可能导致接受额外照射	辐射工作人员进入机房开展治疗应按要求佩戴个人防护用品，同时为患者和陪检人员配备了相应防护用品
	因违章操作，人员未全部撤离机房，CT模拟定位机运行给公众、辐射工作人员造成额外的照射	制定了《操作规程》等辐射安全管理相关制度，辐射工作人员经培训后上岗，严格按照操作规程操作
手术室	机房墙体、铅玻璃、铅门破损，未及时维修情况下，给周围活动人员及辐射工作人员造成额外的照射	制定《辐射安全和防护管理制度》和《设备检修维修制度》确保射线装置和防护措施完好，定期对监测仪器进行检查维护保证正常运行
	在机房门-灯联锁装置失效的情况下，公众、辐射工作人员误入正在运行的射线装置机房，造成额外的照射	为辐射工作人员配置个人剂量计、铅防护服等辐射防护用品，在射线装置机房防护门上张贴电离辐射警示标识，并安装安全连锁装置
	因违章操作，无关人员未全部撤离机房，射线装置运行给公众、辐射工作人员，造成误照射	制定《操作规程》等辐射安全管理相关制度，辐射工作人员经培训后上岗，严格按照操作规程操作

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

1.辐射安全与环境保护管理机构

厦门市中医院成立了放射防护与辐射安全领导小组，领导小组专职负责辐射安全与环境保护管理工作，满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原国家环保总局令第 31 号，2021 年修正本）中规定的：“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。”主要职责有：

辐射安全领导小组：

- ①负责全院放射防护工作的领导。
- ②定期对全院防护工作进行督导检查，发现问题及时解决。
- ③每两年组织一次全院放射工作人员放射防护知识和相关法律法规培训及健康体检，并对体检结果提出处理意见。
- ④负责辐射事故的应急处理工作。
- ⑤配合上级有关部门对医院放射防护工作进行督导检查，对检查中发现的问题及时进行整改。
- ⑥负责办理放射工作许可证件。
- ⑦负责全院放射防护的安全保卫工作。

2.辐射工作人员配置

本项目配备的辐射工作人员均为拟招聘人员，其中放疗科 8 人、一楼急诊科 DSA 复合手术室 6 人、三楼手术中心 DSA 复合手术室 18 人，三楼手术中心杂交手术室 6 人。在人员确定后安排辐射安全与防护培训，并参加辐射安全与防护考核，考核通过后可上岗，在此基础上，本项目辐射工作人员的配置是满足要求的。

辐射安全管理规章制度

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原国家环保总局令第 31 号，2021 年修正本）、《突发环境事件信息报告办法》（环保部令第 17 号）及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部令第 18 号）相关规定，厦门市中医院制定了《厦门市中医院辐射安全管理制度（汇编）》，包括：《辐射安全防护管理及应急管理》、《辐射工作人员管理》、《辐射工作人员培训制度》、《辐射

工作人员职业健康监护制度》、《射工作人员个人剂量监测管理制度》、《辐射工作场所检测制度》、《医用射线装置检修维护制度》相关管理制度。相关制度见表 12-1。

表 12-1 厦门市中医院已建立的管理制度

序号	医院成立的管理制度	内容
1	辐射安全防护管理制度	医院制定了《辐射安全防护管理及应急管理》对医院辐射工作人员职责、工作程序和个人防护做出要求
2	辐射性突发事件应急预案	医院制定了《辐射性突发事件应急预案》，规定了发生辐射事故时医院相关人员职责和处理程序，将辐射事故的影响减少到最小
3	辐射工作人员管理规定	医院制定的各科室《辐射工作人员管理规定》明确了辐射工作人员和管理人员在辐射工作中各自的责任
4	辐射工作场所检测制度	医院制定的《辐射工作场所检测制度》中规定了委托监测和日常监测的频率和内容，并要求对监测结果存档保留
5	培训计划	医院制定的《辐射工作人员培训制度》中规定了辐射工作人员必须参加辐射安全与防护培训，考核合格后上岗，并对内部培训做了要求
6	射线装置使用质量控制检测制度、操作规程	医院制定的各科室《射线装置使用质量控制检测制度》、《操作规程》等中规定了辐射工作人员操作射线装置和核素的详细流程，能减少辐射事故的发生
7	医用射线装置检修维护制度	医院制定的《医用射线装置检修维护制度》中提出了对机房安全防护设备和射线装置的定期检修和维护要求，能防止因设备损坏造成辐射事故
8	职业健康监护制度	医院制定的《辐射工作人员个人剂量监测管理制度》、《辐射工作人员职业健康监护制度》中提出对辐射工作人员个人剂量监测和体检的要求，并要求辐射工作人员档案终身保存
9	辐射工作人员个人剂量档案制度	

医院应严格执行辐射安全管理规章制度，并根据医院的发展，及时对辐射安全管理规章制度进行补充完善，在此基础上医院的辐射安全管理规章制度符合中华人民共和国环境保护部令第 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等管理规定。

辐射监测

(1) 环境监测

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中的相关规定，项目正常运行后，建设单位应该对辐射工作场所周围的环境进行背景监测，不具备自行监测能力的，可以委托具有检测机构资质认证的环境监测机构进行监测。

具体监测方案如下：

①监测内容：对该建设单位辐射工作场所四周环境进行辐射水平背景监测。

②监测频度：项目正常运行后进行监测，以后每年委托有资质单位进行一次年度监测。

③监测范围：主要对辐射工作场所周围的环境进行监测，重点对辐射工作场所周围的人员流动较多的地方进行监测。

④监测项目：X- γ 辐射空气吸收剂量率。

(2) 场所辐射防护监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本，生态环境部部令第20号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（中华人民共和国环境保护部令第18号）中的相关要求，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，可以委托具有检测机构资质认证的环境监测机构进行监测。并将监测记录资料统计结果及时上报主管部门，以便了解和监护防护设施的运行情况，为主管部门下一步辐射防护决策提供科学技术依据。

具体监测方案如下：

①检测内容：对该建设单位辐射工作场所四周环境进行常规监测。监测数据每年年底向审批部门上报备案。

②监测频度：在项目建成运行后应进行项目的验收监测，以后每年委托有资质单位进行一次年度监测。

③监测范围：主要对辐射工作场所及周围进行监测，重点对机房周围、防护门及缝隙处、控制室、操作台等处进行监测。

④监测项目：X- γ 辐射空气吸收剂量率。

(3) 个人剂量监测

建设单位应严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定，为辐射工作人员配备个人剂量计，并进行个人剂量监测（三个月/次）和职业健康体检（2年/次），建立个人剂量档案和职业健康监护档案，并为辐射工作人员长期保存职业照射记录。建设单位应根据每年的工作人员的变化增加个人剂量计。

表 12-2 本项目辐射监测计划

监测对象	监测点位	监测方案	监测项目	日常监测频率	年度监测频率
------	------	------	------	--------	--------

直线加速器机房	机房四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、操作位、观察窗、防护门，以及其他关注点	实测	X-γ辐射周围剂量当量率	不超过 90 天 1 次	每年 1 次
CT 模拟定位机等、手术室（DSA 机房）	机房四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、操作位、观察窗、防护门，以及其他关注点	实测	X-γ辐射周围剂量当量率	每季度 1 次	每年 1 次
外环境	辐射工作场所周围的环境，人员流动较多的地方	实测	X-γ辐射周围剂量当量率	每半年 1 次	每年 1 次
辐射工作人员	个人剂量计	实测	累积剂量	常规监测周期一般为一个月至三个月，也可视具体情况延长或缩短，但最长不应超过六个月	

(5) 验收监测

待本项目投入运行后，医院应及时组织验收，并编制验收报告表，向全社会公示。

辐射事故应急

辐射事件应急处理机构与职责

(一) 该院成立了放射事故救援应急领导小组，组织、开展辐射事件的应急处理救援工作

(二) 应急处理领导小组职责：

1. 医院放射事故救援领导小组组长负责放射性事故应急处理的组织及指挥工作。
2. 应急救援小组组长负责放射性事故应急处理中人员、物资的调动调配工作，向院应急救援领导小组及生态环境保护部门、卫生行政部门、公安部门快速上报，最迟不得超过两小时。《放射事故报告卡》在二十四小时内报告。造成环境放射性污染的，同时报告当地生态环境主管部门。

3. 应急救援副组长应全力协助安全第一责任人，在抓好放射性事故应急处理工作的同时，协助做好受伤害人员的家属安抚工作。

4. 放射工作部门要认真做好事故现场的保护工作，协助上级主管部门调查事故、搜集证据，整理资料并做好记录。

5. 参加事故应急救援人员要自觉遵守纪律，服从命令，听从指挥，为完成救援任务尽职尽责，通过积极工作最大限度地控制事故危害，为尽快恢复工作创造条件。

6. 加强对发生事故现场的治安保卫工作，放射工作部门安全责任人要密切配合、协助党政领导及上级主管部门做好事故现场的保卫工作，防止现场物资及财产被盗或丢失。

辐射事故应急预案和应急人员的培训演习计划

(一) 该院制定的辐射事故应急预案如下:

1.发生人员受超剂量照射事故,应启动本预案;应当立即撤离有关工作人员,封锁现场,切断一切可能扩大污染范围的环节。并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》,向当地生态环境部门报告,涉及人为故意破坏的还应向公安部门报告,造成或可能造成人员超剂量照射的,还应同时向当地卫生行政部门报告。

2.依据应急预案,根据具体情况迅速制定事故处理方案;

3.事故处理必须在单位负责人的领导下,在有经验的工作人员和卫生防护人员的参与下进行。未取得防护监测人员的允许不得进入事故区;

4.各种事故处理以后,必须组织有关人员进行讨论,分析事故发生原因,从中吸取经验教训,采取措施防止类似事故重复发生。并编写事故发生的基本情况,原因分析及处理结果的书面报告报生态环境部门,凡严重或重大的事故,应向上级主管部门报告。

(二) 应急人员的培训演习计划

1.应急培训

①单位辐射工作人员上岗前应取得辐射安全与防护知识考核合格证;

②单位将积极开展辐射安全防护知识的内部学习,提高辐射工作人员的防护意识,避免辐射事故的发生。同时将定期邀请环境主管部门的专家讲课,主要包括辐射安全的基础知识、核技术应用项目的防护安全、辐射事故与事故应急等内容。

2.应急演练

①辐射安全防护领导小组根据需要,每年应至少组织一次辐射事故应急演练,辐射事故演练分为专业性演练和综合性演练,专业性演练由辐射事故应急小组的成员参加,综合性演练除了辐射事故应急小组外,单位其他部门的相关成员也应参加;

②演练过程中应注重人员救助、物资援助的演练。同时应急演练前建设单位应制定相应的方案和程序,演练完成后对演练情况作出总结,发现问题及时整改。

表 13 结论与建议

结论

1.项目工程概况

为了更好服务周边百姓，丰富厦门市医疗资源，提供整体医疗水平，厦门市中医院拟建设康复楼，拟在康复楼内开展放射治疗及介入放射学等放射诊治工作；拟在康复楼地下三层放疗科建设医用电子直线加速器机房及其配套用房；拟在康复楼一层急诊科及三层手术中心新建 DSA 机房。

2.选址合理性分析结论

本项目辐射工作场所选址毗邻场所中无产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，本项目在辐射工作场所屏蔽防护有效的条件下，不会对医院外环境人员造成辐射影响，且项目用地主要为医院内部用地，符合项目用地的规划要求。本项目周边环境保护目标为拟建放疗科及 DSA 机房辐射工作场所屏蔽体边界外 50m 范围内的辐射工作人员和公众成员，其中辐射工作人员包括放疗科直线加速器及模拟定位 CT 的操作人员、DSA 操作人员，公众成员包括一般医护人员、患者及家属、周边流动人群。经现场勘察，本项目西侧约 19m（水平距离）处为***居民区（***等），北侧约 39m（水平距离）为***操场（跑道及足球场），东北侧约 46m（水平距离）处为祥店里居民区（***）；评价范围内再无科研、行政办公等为主要功能的环境敏感区，故项目选址可行。

3.辐射安全与防护分析结论

（1）项目安全设施

本项目辐射工作场所设有相应的辐射安全和防护措施，辐射工作场所设置的各项辐射安全和防护措施符合中华人民共和国环境保护部令第 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）等相关文件的要求。

综上所述，按设计方案及本报告提出的措施和建议建设的辐射工作场所，其拟用的屏蔽材料和防护厚度能够有效屏蔽其辐射源产生的 X 射线，对辐射工作场所拟采取的相应辐射安全与防护措施符合相关要求。故本项目安全设施是合理可行的。

（2）三废的治理

①直线加速器工作场所

（a）放射性废物

本项目直线加速器运行过程中产生的放射性固体废物为直线加速器在使用一定年限（一般约 4~5 年）或退役时产生的加速器废靶。医院在采取“医院产生的废靶拆除后由生产厂家回收处置，在拆除前与厂家联系，确定厂家回收日期，在厂家到达后再进行拆除，医院不进行暂存”对环境的影响较小。

（b）臭氧及氮氧化物

本项目直线加速器机房内拟设置一个新风口和两个排风口，新风口位于机房上方吊顶处，排风口设置于底部，新风口和排风口成对角设置，确保室内空气充分交换。新风口及排风口管道均拟从机房防护门顶部引出机房，排风管道经排风井引至屋顶排放。排气口位置未设置在有门、窗或人流较大的过道等位置，每个机房的新风送风量为 1680m³/h，每个机房的排风系统排风量为 2000m³/h，排气口设置于商所在楼（康复楼）楼顶且高出屋脊；本项目直线加速器机房有效容积约 267.5m³，则机房内每小时换气大于 7 次（约为 7.5 次），满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“通风换气次数应不少于 4 次/h”的要求。在各机房内排气装置正常运行的情况下，臭氧及氮氧化物气体通过通风设施排至室外，很快被空气对流、扩散作用稀释，对大气环境影响较小。

本项目模拟定位 CT 机运行过程中不产生放射性废气、放射性废水和放射性固体废物。模拟定位 CT 机机房拟安装机械通风系统，在机械通风系统正常运行的情况下，臭氧及氮氧化物气体通过通风设施排至室外，很快被空气对流、扩散作用稀释，机房内能够保持良好的通风，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风”的要求，对大气环境影响较小。

②手术室工作场所

手术室（急诊科 DSA 复合手术室、手术中心 DSA 复合手术室 1~3、手术中心杂交手术室）均拟安装机械通风系统。本项目各个机房在机械通风系统正常运行的情况下，臭氧及氮氧化物气体通过通风设施排至室外，很快被空气对流、扩散作用稀释，机房内能够保持良好的通风。满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风”的要求，对大气环境影响较小。同时会产生少量的一般医疗废弃物，医院委托有资质单位处理。

4.环境影响分析结论

（1）建设阶段对环境的影响

本项目应合理安排施工时间及施工场地的秩序，对施工场地进行适当的封闭，避免因本项目建设影响其他人员工作等。由于本项目工程量小，对外界的影响是暂时的，随着施工期的结束，影响也将消失。通过采取相应的污染防治措施后，本项目施工期对外界的影响较小。

(2) 运行阶段对环境的影响

根据对各辐射工作场所的屏蔽计算结果及剂量估算可知，在严格执行和落实本报告所提方案后，本项目辐射工作人员年附加有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的辐射工作人员的连续五年有效剂量平均限值 20mSv 和公众成员的年有效剂量限值 1mSv 的要求。同时满足辐射工作人员剂量约束值 5mSv/a 和公众成员剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

5. 可行性分析结论

(1) 实践正当性分析

项目投入使用为疾病诊断及治疗提供依据和手段，符合辐射防护“实践的正当性”原则。项目在加强管理后均满足国家相关法律、法规和标准的要求，不会给所在区域带来环境压力。同时，本项目属于中华人民共和国国家发展和改革委员会令第7号《产业结构调整指导目录（2024年本）》鼓励类中第十三类医药中的鼓励类中第六类核能中的第4点“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”及“十三、医药”中第4点“高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”之规定。

(2) 代价利益分析

项目建成后，有利于厦门市及其周边地区医疗卫生服务水平，提高人民生活水平。该项目在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益和社会效益。

综上所述，建设单位具备从事辐射活动的技术能力，在严格落实各项防护措施及落实本报告建议和内容后，该项目运行时对周围环境产生的影响符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，厦门市中医院康复楼2台医用直线加速器及4台DSA机等利用项目是可行的。

建议

建设单位在建设项目配套建设的环境保护设施竣工后，公开竣工日期；对建设项目配套建设的环境保护设施进行调试前，公开调试的起止日期，并在调试期间应开展验收监测；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。建设单位公开上述信息的同时，应当向所在地县级以上环境保护主管部门报送相关信息，并接受监督检查。

表 13-1 “三同时”验收一览表

类别	验收内容		验收要求
放疗科直线加速器机房	机房防护	按照表 10-5 进行施工建设	四周屏蔽墙体及顶棚均采用密度不低于 2.35g/cm ³ 的混凝土一次浇筑, 满足表 7-3 的要求
	门机联锁装置	设置门-机联锁装置, 防护门具有手动装置	按要求配备辐射防护设施并正常运行
	室内开启治疗机房门的开关	治疗机房内入口处安装从室内开启治疗机房门的开关	
	防挤压功能	防护门外安装防挤压功能的装置	
	急停按钮	在放疗设备控制台、治疗室入口处、设备外壳上及治疗室四周墙壁上分别安装急停按钮	
	监视装置	放疗科出入口设置摄像头监控、设置监视和对讲设备	
	报警装置	各个放疗机房均在迷道出、入口配备固定式剂量监测报警装置 1 套, 放疗科共配置个人剂量报警仪 2 个	
	电离辐射警告标志	门外设置工作指示灯及电离辐射警告标志	
	通排风	机房内设置通风装置, 排风换气次数不低于 4 次/h	
模拟定位 CT 机机房及手术室	射线机房防护	按照表 10-5、表 10-9 进行施工建设	按要求配备辐射防护设施并正常运行
	紧急停机按钮	设备床边和控制室安装紧急停机按钮	
	对讲系统	控制室与治疗室之间安装语音对讲装置	
	联锁装置	机房设置门-灯关联装置, 在防护门关闭状态下, 设备出束, 警示灯亮时, 灯箱上显示“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句	
	入口电离辐射警告标志	患者进出防护门门外顶部均设置工作状态指示灯, 防护门门外均张贴电离辐射警示标识并附中文说明, 警示人员注意安全	

类别	验收内容		验收要求
	工作场所分区	辐射工作场所已分区，机房内为控制区，紧邻四周区域为监督区	
	防夹装置和闭门装置	电动推拉门安装防夹装置，平开机房门安装自动闭门装置	
	通风系统	场所安装动力通风系统	
	防护用品	配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等	
监测	个人剂量计、个人剂量报警仪、辐射环境监测仪、放射性活度计、表面沾污仪	为所有辐射工作人员配备个人剂量计并正常开展监测；配备 X-γ辐射环境监测仪、个人剂量报警仪、放射性活度计、表面沾污仪等并按计划开展场所和人员剂量监测	个人剂量监测每年不少于 4 次，场所日常监测每周 1 次，场所年度监测 1 年 1 次；有检测记录和检测报告原件存档；剂量约束值（辐射工作人员：5mSv/a，公众年有效剂量：0.1mSv/a）
管理制度	辐射安全管理机构	成立辐射安全领导小组并明确职责	根据建设单位实际情况制定并完善规章制度；按制度执行到位
	辐射事故应急预案	制定辐射事故应急预案	
	辐射安全与防护培训	全部辐射工作人员均需通过辐射安全和防护专业知识考核	
	职业健康体检管理	全部辐射工作人员均需进行职业健康体检，每 2 年 1 次	
	监测制度	制定《辐射环境监测计划》并严格执行	
	年度评估报告制度	每年 1 月 31 日前提提交辐射安全年度评估报告	
	操作规程、岗位职责、检修维护制度	制定完善的操作规程、岗位职责、检修维护制度等	