

核技术利用建设项目

长沙市公共卫生救治中心

使用医用电子直线加速器、后装治疗机、血管造影机和乙级非密封放射性物质工作场所项目

环境影响报告表

(报审稿)

长沙市第一医院

2023 年 7 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

长沙市公共卫生救治中心

使用医用电子直线加速器、后装治疗机、血管造影机和乙级非密封放射性物质工作场所项目

环境影响报告表

(报审稿)

建设单位名称：长沙市第一医院

建设单位法定代表人（签名或签章）：

通讯地址：长沙市开福区营盘路 311 号

邮政编码：410005

联系人 王中丞

电子邮箱：13787182888@qq.com

联系电话：13787182888

目录

表 1 基本情况	1
表 2 放射源	19
表 3 非密封放射性物质	19
表 4 射线装置	20
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	21
表 6 评价依据	22
表 7 保护目标与评价标准	24
表 8 环境质量和辐射现状	35
表 9 项目工程分析与源项	38
表 10 辐射安全与防护	58
表 11 环境影响分析	72
表 12 辐射安全管理	115
表 13 结论与建议	127
表 14 审批	132

附图 1：建设单位地理位置图

附图 2：长沙市公共卫生急救中心原址新建项目平面示意图

附图 3：本项目综合医疗楼负一层平面示意图

附图 4：本项目综合医疗楼一层介入科平面布局示意图

附图 5：本项目综合医疗楼二层手术中心布局示意图

附图 6：本项目传染楼三层平面布局示意图

附图 7：本项目放疗中心平面布局及路径设计示意图

附图 8：本项目核医学科平面布局及路径设计示意图

附图 9：放疗中心加速器及后装机治疗场所设施布置图

附图 10：放疗中心加速器及后装机穿墙管线设计图

附图 11：放疗中心加速器及后装机治疗室机械通风设计图

附图 11：放疗中心加速器及后装机治疗室机械通风设计图

附图 13：本项目核医学科通风系统设计图

附图 14：本项目介入科通风系统设计图

附图 15：本项目 DSA/CT 复合手术室（1）通风系统设计图

附图 16：本项目 DSA/CT 复合手术室（2）通风系统设计图

附件 1：环评委托书

附件 2：辐射安全许可证

附件 3：长沙市第一医院相关环评批复

附件 4：长沙市第一医院关于成立“辐射安全防护管理领导组”的通知

附件 5：本项目医院拟配设备及放射源信息表

附件 6：本项目拟配人员情况

附件 7：本项目拟配备防护设施、个人防护用品及监测仪器

附件 8：本项目辐射防护屏蔽设计方案

附件 9：本项目医院剂量管理目标值说明

附件 10：本项目现状监测报告

表 1 项目基本情况

建设项目名称		长沙市公共卫生救治中心使用医用电子直线加速器、后装治疗机、血管造影机和乙级非密封放射性物质工作场所项目			
建设单位		长沙市第一医院			
法人代表		■■■■■	联系人	■■■■■	联系电话
注册地址		长沙市开福区营盘路 311 号			
项目建设地点		长沙市开福区捞刀河镇（原长沙市公共卫生救治中心）			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		■■■■■	项目环保投资（万元）	■■■■■	投资比例（环保投资/总投资）
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积（m ² ）
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☒ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☒ III 类 ☐ IV 类 ☒ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☒ III 类		
	其他	/			

1.1 建设单位概述

长沙市第一医院始建于 1920 年，是湖南省第一所由国人自己创办的公立医院，历经百年，现已发展为一所集医疗、教学、科研和公共卫生防治于一体的大型三甲综合医院。医院一院三址，本部位于开福区营盘路，收治各类综合性疾病；南院位于芙蓉区浏城桥，为原长沙市传染病医院，收治艾滋病、结核病及动物致伤患者；北院区位于开福区捞刀河，是 2003 年非典后建设的长沙市公共卫生救治中心，承担传染病防治和突发公共卫生事件应急工作。长沙市第一医院拟投资 131118.55 万元，在开福区捞刀河街道高源村长沙市公共卫生救治中心原址上进行改扩建。规划建设内容分两期进行，一期为传染院区，拟建设 1 栋群塔式 8 层传染楼(包括呼吸道传染楼和非呼吸道传染楼)、1 栋 4 层的应急发热门诊楼及污水处理站、危废暂存间、垃圾站、液氧站等其他配套设施；二期为综合病区，拟建设 1 栋群塔式 7 层综合病区，同时在规划的综合病区北侧预留 30 亩空地，在其地下铺设电力和给排水管道，平时作为地上停车场，疫情大规模爆发时作为方舱医院用地。本项目属于长沙市公共卫生救治中心（长沙市第一医院北院区）原址改扩建项目中核与辐射部分。

1.2 项目由来

为拓展医院业务范围，提高医疗服务水平，更好地满足人民群众的医疗服务需求，长沙市第一医院计划在北院新建核技术利用项目，主要包括：

1、在综合医疗楼 B1 东侧新建放疗中心，拟购置安装 2 台医用直线加速器（Ⅱ类射线装置）、1 台后装治疗机（Ⅲ类放射源）和 1 台模拟定位 CT 机（Ⅲ类射线装置），开展放射治疗工作。

2、在综合医疗楼 B1 北侧新建核医学科，拟购置安装 1 台 PET/CT 和 1 台 SPECT/CT（Ⅲ类射线装置），使用 3 种非密封核素： ^{99m}Tc 、 ^{18}F 和 ^{131}I ，开展核医学诊疗工作。

3、在综合医疗楼一层西侧新建介入科，拟购置安装 2 台血管造影机（Ⅱ类射线装置）（以下简称“DSA”），在综合医疗楼 2 层手术中心北侧设置复合手术室，拟购置安装 1 台 DSA/CT，在传染楼 3 层中部设置复合手术室，拟购置安装 1 台 DSA/CT。

4、根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》以及《建设项目环境保护管理条例》等相关规定，按照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 版）的分类，本项目属于 172 核技术利用建设项目类别中“使用Ⅲ类、V 类放射源、使用Ⅱ类射线装置及乙级非密封放射性物质工作场所”，其环境影响评价文件类别为编制环境影响报告表。

为保护环境，保障公众健康，严格执行《中华人民共和国环境影响评价法》等法律法规，长沙市第一医院委托山西贝可勒环境检测有限公司对“长沙市公共卫生救治中心使用医用电子直线加速器、后装治疗机、血管造影机和乙级非密封放射性物质工作场所项目”进行环境影响评价（委托书见附件 1）。评价单位在进行现场踏勘及收集有关资料的基础之上，并按照《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，编制完成了《长沙市公共卫生救治中心使用医用电子直线加速器、后装治疗机、血管造影机和乙级非密封放射性物质工作场所项目环境影响报告表》，报请审查。

1.3 项目概况

本项目为核技术利用新建项目，长沙公共卫生救治中心原址改扩建项目已进行环境影响评价并取得环评批复，批复文号为：长环评[2022]111号。本项目新建放疗中心各机房的钢筋搭建及混凝土浇灌已完成，其余机房或场所辐射防护工程主体框架已完成，辐射防护设施暂未开始建设；使用的诊疗设备和放射源已列入计划，开始调研工作，未进行购置和安装调试。

1.3.1 本项目工程建设

本项目工程建设内容及规模见表 1-1。

表 1-1 项目建设主体工程一览表

主体机房		屏蔽防护工程内容	拟配备安全措施
放疗中心	加速器 1 室 (南) 机房内尺寸: 南北: 9.8m 东西: 8.2m 层高: 3.4m	南墙: 主屏蔽 2900mm, 次屏蔽 1800mm, 混凝土; 北墙: 主屏蔽 2900mm, 次屏蔽 1800mm, 混凝土; 东墙: 1800mm, 浇筑混凝土; 西侧迷道内墙: 1500mm, 迷道外墙: 1400mm, 混凝土; 顶板: 主屏蔽 2900mm, 次屏蔽 1800mm, 混凝土; 防护门: 18mmPb+120mm 含硼聚乙烯, 电动平移门。	每个机房均配备: 工作状态指示灯 门机联锁 紧急停机按钮 迷道紧急开门按钮 机械排风装置 固定式辐射报警仪 视频监控对讲系统 后装机房配备 紧急储源铅罐、长柄镊子等。
	加速器 1 室 (北) 机房内尺寸: 南北: 9.8m 东西: 7.8m 层高: 3.4m	南墙: 主屏蔽 2900mm, 次屏蔽 1800mm, 混凝土; 北墙: 主屏蔽 2900mm, 次屏蔽 1800mm, 混凝土; 东墙: 1800mm, 浇筑混凝土; 西侧迷道内墙: 1500mm, 迷道外墙: 1400mm, 混凝土; 顶板: 主屏蔽 2900mm, 次屏蔽 1800mm, 混凝土; 防护门: 18mmPb+120mm 含硼聚乙烯, 电动平移门。	
	后装治疗室 机房内尺寸: 南北: 7.1m 东西: 5.2m 层高: 4.6m	东/北墙: 800mm, 浇筑混凝土; 南墙: 西侧 2900mm, 东侧 1800mm, 混凝土; 西侧迷道内墙: 600mm, 迷道外墙: 800mm, 混凝土; 顶板: 1300mm, 混凝土; 防护门: 8mmPb 电动平移门。	
核医学科	SPECT/CT 检查室 南北: 5.17m 东西: 6.88m	四周墙体: 370mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥; 顶板: 180mm 混凝土+30mm 硫酸钡板; 地板: 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥; 防护门: 4mmPb (电动平移/手动平开); 观察窗: 4mmPb 铅玻璃。	每个机房均配备: 工作状态指示灯 门灯联锁 机械排风装置 个人防护用品 放射性污物桶
	PET/CT 检查室 南北: 5.25m 东西: 8.0m	四周墙体: 370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥; 顶板: 180mm 混凝土+80mm 硫酸钡板; 地板: 120mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥; 防护门: 10mmPb (电动平移/手动平开) 观察窗: 10mmPb 铅玻璃。	
	甲癌病房 ¹³¹ I 抢救室	北墙: 400mm 混凝土; 其他墙体: 240mm 实心砖+80mm 硫酸钡水泥; 顶板: 180mm 混凝土+80mm 硫酸钡板; 地板: 120mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥; 防护门: 10mmPb (电动平移/手动平开)	单人病房; 安装门禁装置; 安装视频监控和语音广播系统; 放射性污物桶。
	注射室	四周墙体: 240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥; 顶板: 180mm 混凝土+80mm 硫酸钡板; 地板: 120mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥; 防护门: 6mmPb (手动平开) 观察窗: 6mmPb 铅玻璃。	注射台; 注射器铅套; 个人防护用品; 放射性污物桶。
辐射防护设备设施		^{99m} Tc 分装柜: 6mmPb, 注射台 2mmPb, 注射器铅套 2mmPb。 ¹⁸ F 分装柜: 50mmPb, 注射台 50mmPb, 注射器套 35mmPb。 ¹³¹ I 分装柜: 40mmPb, 分装转运铅室 50mmPb。	各分装柜有独立排风, 安装高效过滤净化装置, 引至楼

		个人防护用品：0.5mmPb，铅眼镜 0.35mmPb。	顶排放。
介入科	DSA 室（1） （东） 南北：8.12m 东西：6.0m	四周墙体：370mm 实心砖+10mm 硫酸钡水泥； 顶板：120mm 混凝土+20mm 硫酸钡板； 地板：160mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥； 防护门：3mmPb； 观察窗：3mmPb 铅玻璃。	每个机房均配备： 工作状态指示灯 门灯联锁 机械排风装置 个人防护用品等
	DSA 室（2） （西） 南北：8.12m 东西：6.6m	四周墙体：370mm 实心砖+10mm 硫酸钡水泥； 顶板：120mm 混凝土+20mm 硫酸钡板； 地板：160mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥； 防护门：3mmPb； 观察窗：3mmPb 铅玻璃。	
手术中心	DSA/CT 复合手术室 南北：7.7m 东西：11.4m	四周墙体：电解钢板隔墙+4mm 厚铅板； 顶板：120mm 混凝土+20mm 硫酸钡板； 地板：120mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥； 防护门：4mmPb； 观察窗：4mmPb 铅玻璃。	每个机房均配备： 工作状态指示灯 门灯联锁 机械排风装置 个人防护用品等
传染科	DSA/CT 复合手术室 南北：9.35m 东西：7.35m	四周墙体：电解钢板隔墙+4mm 厚铅板； 顶板：120mm 混凝土+20mm 硫酸钡板； 地板：120mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥； 防护门：4mmPb； 观察窗：4mmPb 铅玻璃。	
辅助工程	放疗中心	控制室、体模室、库房，服务器机房、水冷机房	新建
	DSA 机房	患者走廊、污物间、控制室、设备间，医生办公室，休息间	新建
	核医学科	办公室、宣教室、检查室	新建
公用工程	生活设施	办公及生活设施均利用医院主体工程设施。	依托
	供配电	由市政电网供电，依托医院供电系统。	依托
环保工程	放射性废水	核医学科产生的放射性废水排入衰变池中，检测达标后排入医院污水处理设施，最后进入市政管网。	新建
	放射性固废	退役的 Ir-192 放射源由厂家回收处理； 核医学科产生的放射性固体废物收集于放射性废物桶或专用容器中后，转移至放射性废物库贮存，达到清洁解控水平后，按普通医疗废物处置，不能解控的放射性固废，收集整备后交由资质单位处置。	新建
	废气	医用直线加速器机房和后装治疗机机房各设置有独立的排风和送风系统，采用上进下排，对角设计。 核医学科各药物分装分装柜设置独立排风装置经高效过滤净化后在综合医疗楼楼顶排放；控制区各功能区设置排风系统，排风支管安装止回阀，总管安装高效过滤净化后在楼顶排放。 DSA 各机房顶部设置机械排风装置，排出室外。	新建
	电离辐射	本项目控制区均进行屏蔽设计工程和安全防护设施，满足相关法规、标准的要求。	新建

1.3.2 本项目计划购置设备及放射源

表 1-2 本项目使用医用射线装置和后装放射源参数表

序号	名称	类别	数量	额定参数	拟使用位置	用途	备注
1	医用电子直线加速器	II	2	X: 10MV/1400cGy/min 6MV/2400cGy/min e: 20MeV	综合医疗楼负一层 加速器 1/2 室	放射治疗	新增
2	后装机 (¹⁹² Ir 源)	III	2	3.7E+11Bq/枚	综合医疗楼负一层 后装治疗室	放射治疗	新增
3	模拟定位 CT 机	III	1	140kV/800mA	综合医疗楼负一层 模拟定位 CT 室	放疗 配套	新增
4	PET/CT	III	1	140kV/833mA	综合医疗楼负一层 PET/CT 机房	¹⁸ F 显像	新增
5	SPECT/CT	III	1	140kV/800mA	综合医疗楼负一层 SPECT/CT 机房	^{99m} Tc 显像	新增
6	DSA	II	2	125kV/1000mA	综合医疗楼一层 介入科 DSA 室 1/2	介入 治疗	新增
7	DSA	II	1	125kV/1000mA	综合医疗楼二层 手术中心 DSA/CT 复合手术间	介入 治疗	新增
	CT	III	1	140kV/800mA			
8	DSA	II	1	125kV/1000mA	传染楼三层 DSA/CT 手术间	介入 治疗	新增
	CT	III	1	140kV/800mA			

注：PET/CT 机使用两枚 V 类校准源 ⁶⁸Ge，活度为：7.4E+7Bq（桶源）和 5.55E+7Bq（棒源）。

1.3.3 新建核医学科使用非密封源

表 1-3 新建核医学科使用非密封核素表

核素名称	半衰期	性状	射线类型	最大药量 Bq/人	接诊人数	实际日操作量 Bq/d	年工作负荷 d/a	年最大用量 Bq/a	用途
⁹⁹ Mo- ^{99m} Tc	2.75d	钼柱	γ、β	2.96E+10	-	2.96E+10	50 柱	1.48E+12	淋洗 ^{99m} Tc
^{99m} Tc	6.02h	液态	γ	7.40E+8	30/d	2.22E+10	150	3.33E+12	核素 显像
¹⁸ F	110min	液态	γ	5.55E+8	20/d	1.11E+10	150	1.67E+12	
¹³¹ I	8.04d	液态	γ、β	5.55E+9	4/d	2.22E+10	150	3.33E+12	甲癌
				3.70E+8	20/d	7.40E+9	150	1.11E+12	甲亢

根据 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》附录 C 中：非密封源工作场所的级别按照放射性核素日等效最大操作量的大小分级。放射性核素日等效最大操作量的计算方法如下：

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

表 1-4 新建核医学科使用放射性核素日等效最大操作量

序号	核素	实际日操作量 (Bq)	毒性组别 修正因子		操作方式 修正因子		日等效最大 操作量 (Bq)	储存使用地 点
1	^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.96E+10	中毒	0.1	贮存	100	2.96E+7	综合医疗楼 负一层核医 学科
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.22E+10	低毒	0.01	很简单	10	2.22E+7	
3	^{18}F	1.11E+10	低毒	0.01	很简单	10	1.11E+7	
4	^{131}I	2.96E+10	中毒	0.1	简单	1	2.96E+9	
合计							3.023E+9	

经计算，新建核医学科使用非密封放射性核素日等效最大操作量为： $3.023 \times 10^9 \text{Bq}$ ；依据 GB18871-2002 附录 C 中规定乙级非密封源工作场所： 2.0×10^7 — $4.0 \times 10^9 \text{Bq}$ ，因此本项目新建核医学科（综合医疗楼负一层）为乙级非密封放射性物质工作场所。

1.3.4 本项目劳动定员和工作制度

本项目使用设备全部新购，其工作场所均为新增辐射工作场所。

本项目建设完成后，新建放疗中心（2 台加速器和 1 台后装机）计划配备辐射工作人员 12 人，其中：医师 6 人，物理师 2 人，技师 4 人，全部为新增人员。核医学科计划配备辐射工作人员 20 人，其中：医师 8 人，技师 4 人，护士 8 人，全部为新增人员。介入科（2 台 DSA）计划配备辐射工作人员 12 人，其中：医师 8 人，技师 2 人，护士 2 人，全部从旧院区调派。手术中心复合手术室（1 台 DSA/CT）计划配备辐射工作人员 6 人，其中：医师 4 人，技师 1 人，护士 1 人，全部从旧院区调派。传染楼复合手术室（1 台 DSA/CT）计划配备辐射工作人员 6 人，其中：医师 4 人，技师 1 人，护士 1 人，全部从旧院区调派。

放射工作人员在项目运行前需进行：

- （1）上岗前、在岗中职业健康检查，同时每 1~2 年进行了职业健康体检；
- （2）进行辐射安全与防护相关培训，考核成绩合格，持证上岗，定期参加复训；
- （3）正确佩戴热释光个人剂量计，每季度送检，监测结果存档备案。

工作制度：

- （1）放疗中心每周工作 5 天，每天 8 小时制；
- （2）核医学科接诊甲癌患者 4 人/d，甲亢患者 20 人/d；核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{18}F 检查隔日

接诊，分别接诊患者为 30 人/d 和 20 人/d；每种核素全年诊疗 150 天。

(3) 介入科等 DSA 手术室全年无休，采取轮休，每天 8 小时工作制。

1.4 本项目地理位置及场所选址、布局合理性分析

1.4.1 建设单位的地理位置

长沙市第一医院北院区位于长沙市开福区，东临中青路，北临兴联路，南临高岭路，西临瑞和路。项目地理位置见附图 1。

1.4.2 本项目工作场所的选址

依据医院整体规划，长沙市第一医院北院区主体建筑共三栋，分别为位于西侧的综合医疗楼，中部位置的传染楼以及东侧的应急发热门诊。本项目拟建放疗中心和核医学科分别位于综合医疗楼负一层的东侧和北侧，介入科 2 台 DSA 手术室位于综合医疗楼一层的西北侧，手术中心 DSA/CT 复合手术室位于综合医疗楼二层北侧，另一个 DSA/CT 复合手术室位于传染楼三层中部。

综合医疗楼为整体建设项目二期的主体建筑，位于院区西侧，为地上 8 层，部分地下 2 层建筑。综合医疗楼北侧为停车场，西侧为医院通道及外墙，南侧为医院通道及绿化带，东侧为传染楼。传染楼为医院整体建设项目一期的主体建筑，位于院区中部位置，整体为地上 8 层，地下 2 层建筑。传染楼北侧为绿化带，西侧为综合医疗楼，南侧医院通道及绿化带，东侧为应急发热门诊。

本项目新建放疗中心、新建核医学科和 DSA 的工作场所均设置在医院独立的建筑内，设置相应物理隔离和单独的人员、物流通道，不毗邻产科、儿科、食堂等人员密集区，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离。因此，本项目工作场选址合理。

表 1-5 本项目工作场所（机房）周边环境一览表

场所		方位	周边环境及建筑
新建放疗中心 B1	加速器 1 室（南）	东侧	回填土层
		南侧	楼梯间、设备间
		西侧	控制室、患者走廊、制模及存放室等
		北侧	加速器 2 室
		顶上	急诊科
		地下	土层
		防护门	患者走廊（西侧）
	加速器 2 室（北）	东侧	回填土层
		南侧	加速器 1 室
		西侧	控制室、患者走廊、模拟定位 CT 室、抢救室等
		北侧	后装治疗机房

		顶上	急诊科
		地下	土层
		防护门	患者走廊（西侧）
新建放疗中心	后装治疗机房	东侧	回填土层
		南侧	加速器 2 室
		西侧	防护门、控制室、走廊、后装准备间
		北侧	核医学科、电梯间
		顶上	放射科
		地下	土层
新建核医学科 B1	诊疗区	东侧	患者离院通道
		南侧	核医学科医护走廊
		西侧	就诊患者走廊、值班室
		北侧	土层
		顶上	放射科
		地下	停车场
	办公区	东侧	送风机房
		南侧	电梯间、放疗中心
		西侧	核医学科诊疗区
		北侧	值班室、卫生间等
		顶上	介入科、放射科
		地下	停车场
新建介入科 1F	DSA 手术室(1) (东)	东侧	控制室
		南侧	患者走廊、辅助用房
		西侧	楼外道路、绿化带、停车场
		北侧	楼梯间
		楼上	手术中心库房
		楼下	核医学科库房
	DSA 手术室(2) (西)	东侧	走廊、放射科
		南侧	辅助用房
		西侧	患者走廊、控制室
		北侧	设备间
		楼上	手术中心走廊、麻醉办、物流接收间
		楼下	核医学科值班室、卫生间
手术中心 2F	DSA/CT 复合手术室	东侧	设备间、污物通道
		南侧	洁净走廊
		西侧	控制室
		北侧	楼外临空
		楼上	设备机房
		楼下	放射科

传 染 科 3F	DSA/CT 复合手 术室	东侧	手术室、设备间
		南侧	走廊
		西侧	缓冲区、控制室、库房
		北侧	缓冲前室、后室
		楼上	设备机房
		楼下	灭菌室、打包间

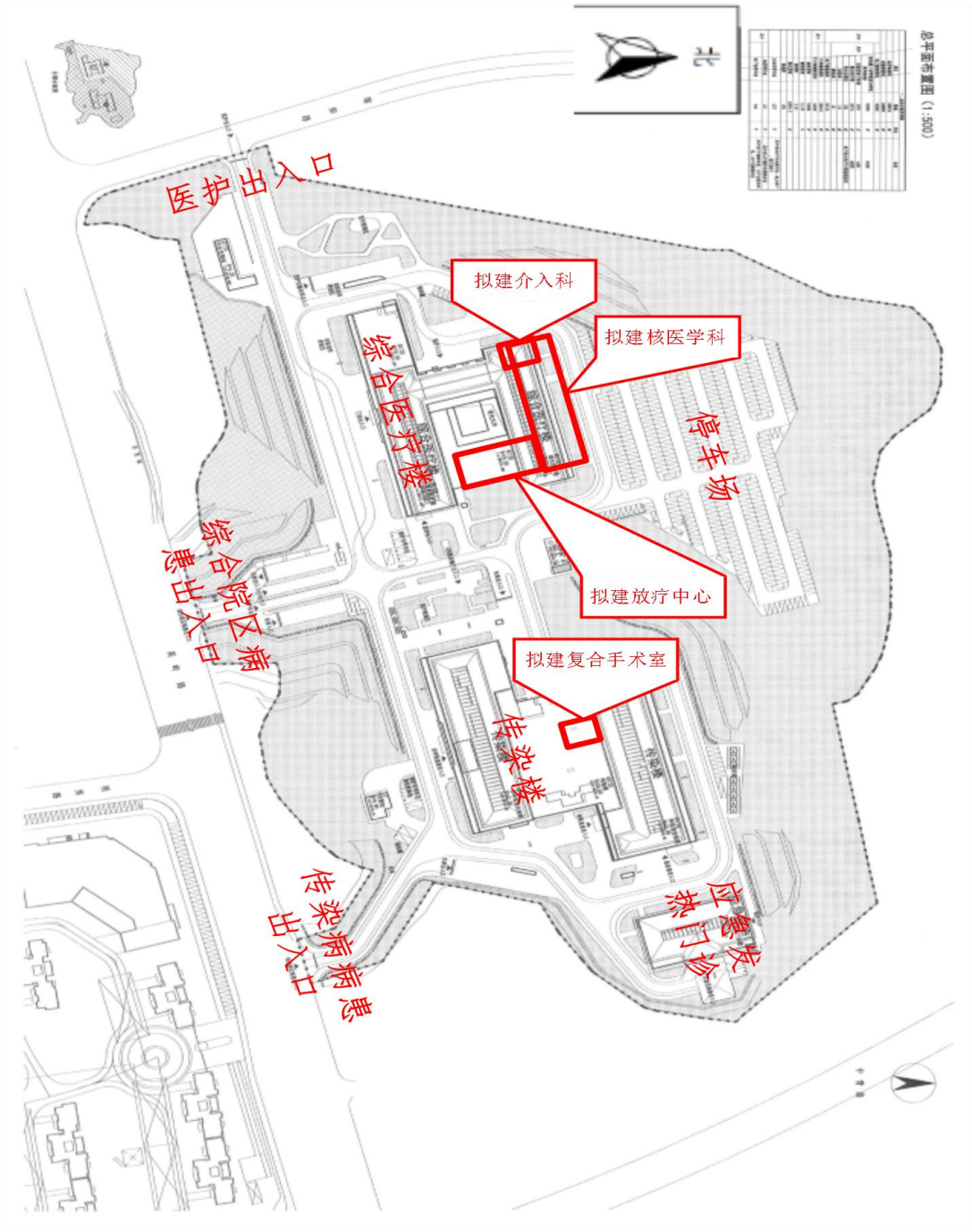


图 1-1 长沙市公共卫生急救中心整体布局示意图

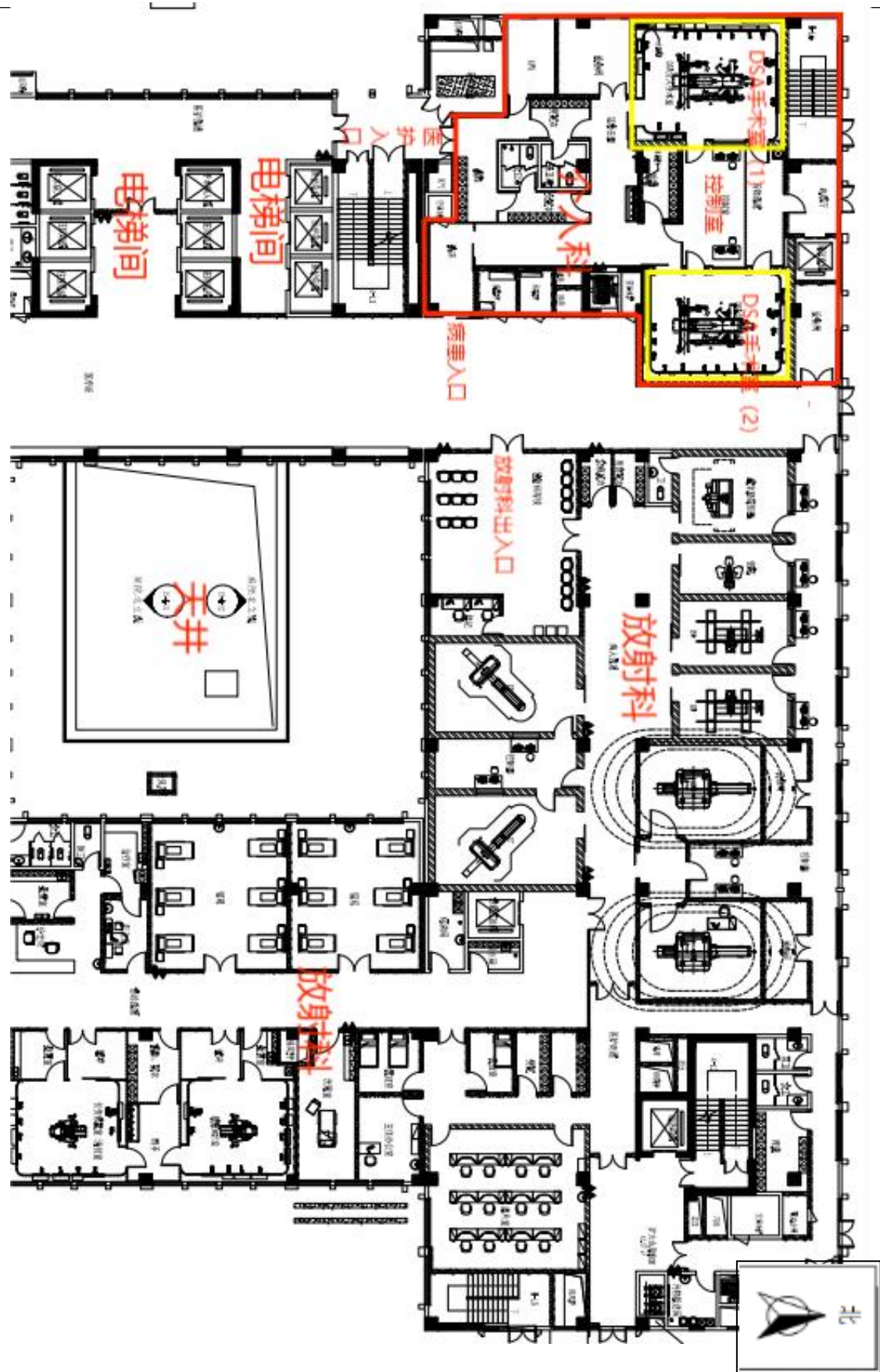


图 1-3 综合医疗楼一层介入科周围环境示意图

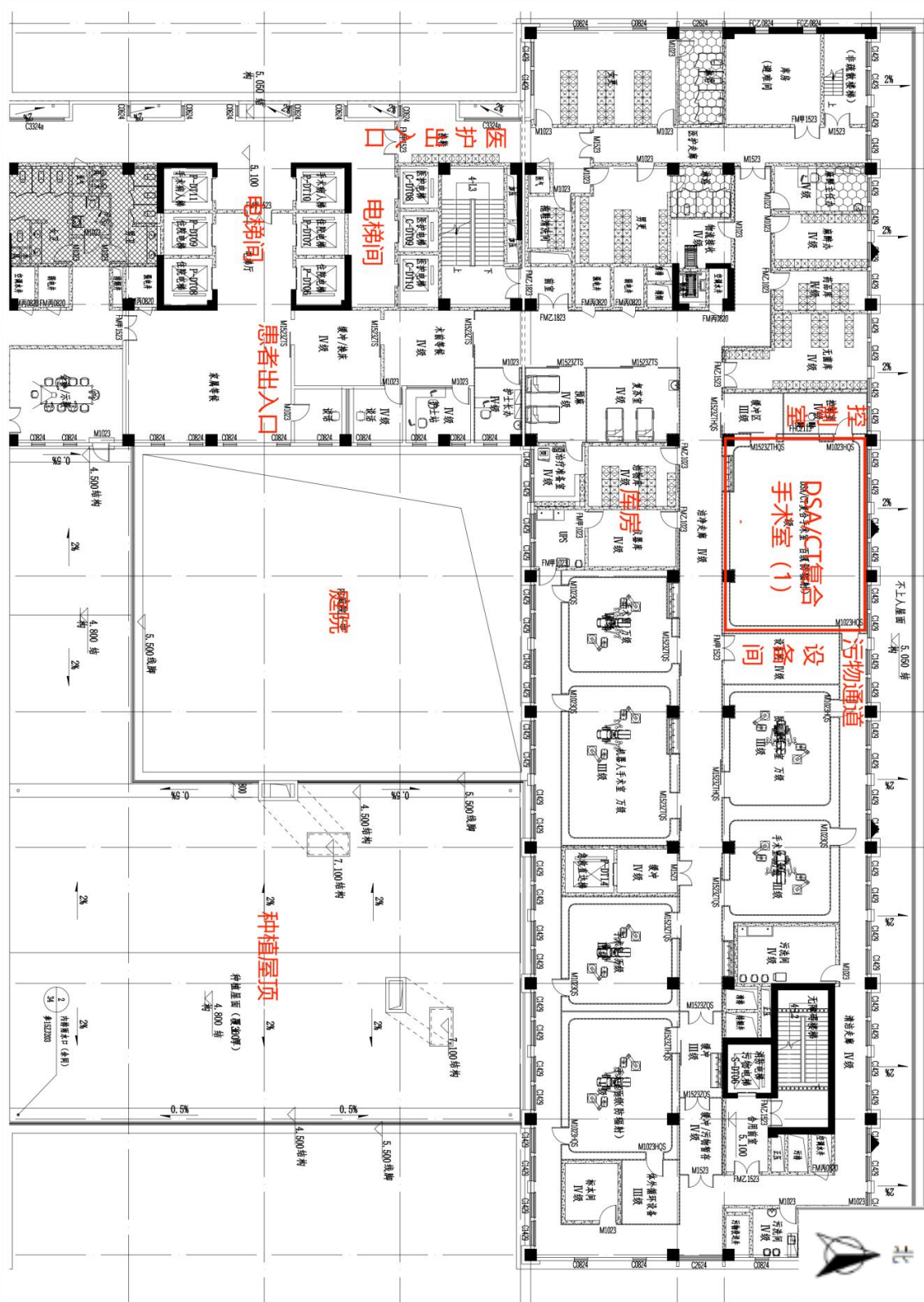


图 1-4 综合医疗楼二层手术室 DSA/CT 复合手术室（1）周围环境示意图

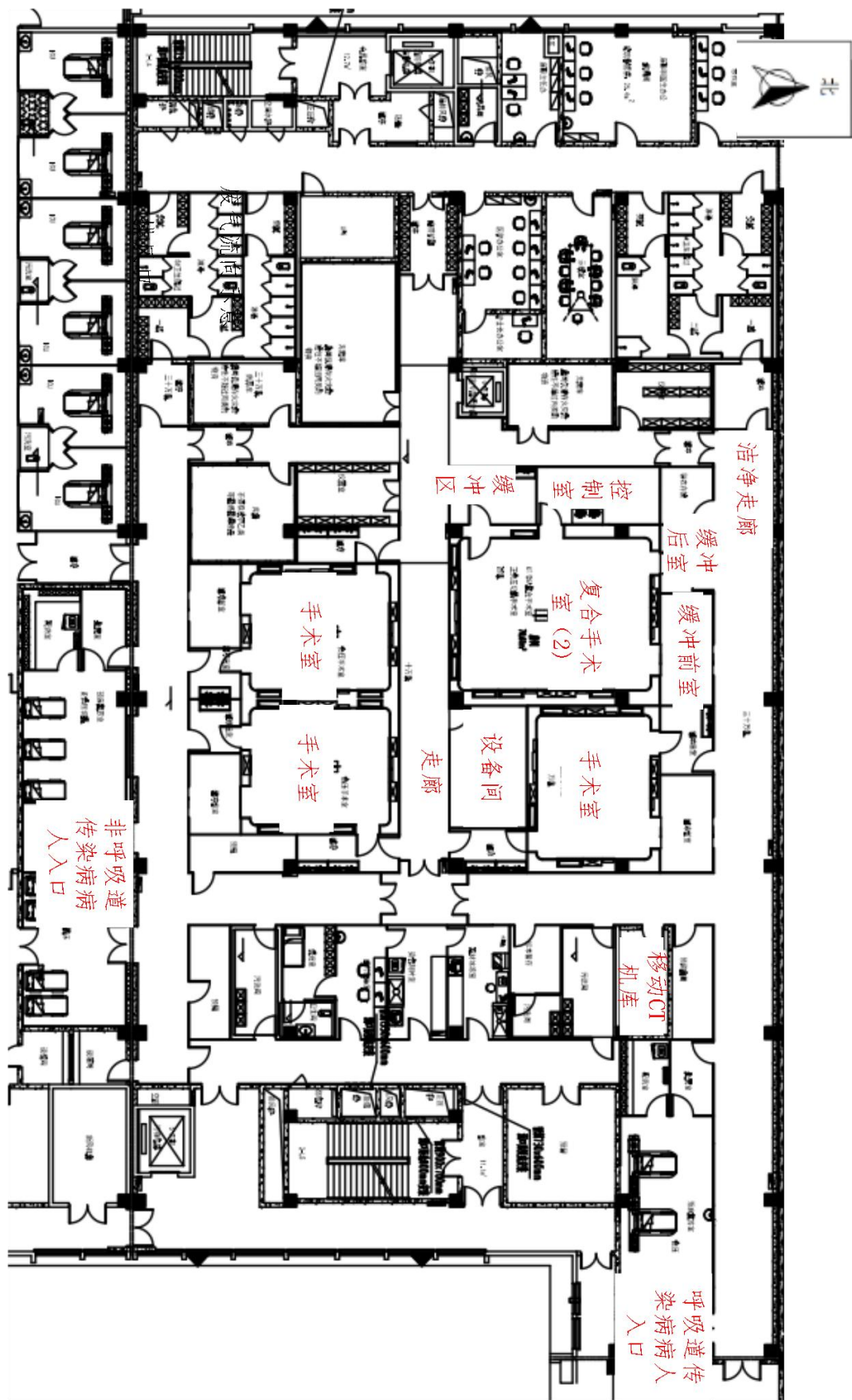


图 1-5 传染楼三层手术室 DSA/CT 复合手术室（2）周围环境示意图

1.4.3 本项目工作场所平面布置及合理性分析

1、新建放疗中心设置 2 个加速器治疗机房和 1 个后装治疗机房，位于综合医疗楼负一层东侧，北侧为核医学，西侧为天井，南侧为电梯间、配电室等。新建放疗中心的整体布局由北至南依次为后装治疗机房、加速器室 2 和加速器室 1，机房的东侧和地下为土层，楼上为急诊科，西侧为患者走廊和控制室，各治疗机房与其控制室采取隔室操作，辅助场所模拟定位 CT 机房位于加速器 2 室的西侧。放射治疗患者从西侧电梯或楼梯经放疗中心出入口进入候诊大厅，根据患者预约和排号，进入对应加速器机房或后装治疗机房开始治疗，治疗完成后从放疗中心出入口离开。

2、新建核医学科位于综合医疗楼负一层的北侧，为独立封闭区域，核医学诊疗区北侧为回填土层，南侧为放疗中心，东侧为核医学科出口电梯或楼梯，西侧为核医学办公区域。就诊患者（未服药）从核医学科南侧入口进入，向北进入接诊区和检查室，预约诊疗患者通过门禁，从西侧入口进入诊疗区走廊，诊疗区内地面有人流导向标识，核医学治疗区内布局：走廊北侧从西至东依次为放射性固废间和储源室、药物分装和注射室、碘治疗区，走廊南侧从西至东依次为 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 门诊患者抢救室、运动负荷室、注射后留观候诊室（有专用卫生间）、SPECT/CT 检查室和 PET/CT 检查室， ^{99m}Tc 和 ^{18}F 门诊患者实行预约后隔日诊断，不交叉重叠，门诊患者诊断结束后，从走廊东侧 2#步梯及 2#电梯离院。北侧碘治疗区为封闭区域，从西至东依次为药物自动分装室和自助服药窗口、 ^{131}I 抢救室和 4 间单人甲癌病房、被服间和污洗间，碘治疗区西侧为患者入口，东侧为患者出口，均安装了门禁装置，出口处还安装了活度检测计，检测达到出院要求后，经医师准许方可离院；甲亢患者和甲癌患者分时段依次服药治疗，不交叉重叠，甲癌病房设有专用卫生间，安装门禁装置，限制服药患者的活动区域。核医学医护人员可通过诊疗区南侧医护通道进入门诊抢救室和检查机房控制室，也可由北侧卫生通道进入高活区进行放射性药物的淋洗、分装和注射工作。核医学科西北侧 1#步梯和 1#电梯为放射性药品入口和固废出口，放射性药物或放射性固废从北侧专用通道进入或运出核医学科高活区或废物间，采用转运时间差进行管理。新建核医学科诊疗区的出入口均安装了门禁装置，无关人员不得随意出入，诊疗区内安装了视频和语音广播系统，患者服药、显像检查、住院留观及出院均通过广播叫号和视频监控，尽量避免服药后患者和医护人员交叉接触。新建核医学科采取相关管理措施后，可有效降低辐射影响风险。

3、本项目计划购置 4 台 DSA，分别安装于综合医疗楼一层介入科（2 台 DSA）、综合医疗楼二层手术中心复合手术室（1 台 DSA/CT）和传染楼三层复合手术室（1 台 DSA/CT）。

综合医疗楼一层介入科位于西北角，西侧和北侧为楼外，东侧为放射科，南侧为电梯间，楼上为 ICU，楼下为核医学科办公区域；新建介入科北侧并排设置 2 个 DSA 机房，东侧 DSA 室（1），西侧 DSA 室（2），中间为 2 台 DSA 共用控制室，机房南侧为患者走廊，周边为新建介入科的辅助用房。

综合医疗楼二层手术中心北侧设置一间复合手术室，东侧为设备间和污物通道，南侧为洁净走廊，西侧控制室和缓冲区，北侧为楼外临空，楼上为设备机房，楼下为 ICU 病房，DSA 和 CT 机安装于同一手术室，DSA 为主体使用设备，需要时，通过室内滑轨将 CT 机移动到手术床，开展相关诊疗工作，临床使用过程中 CT 和 DSA 不同时使用。

传染楼三层复合手术室位于中部，DSA 机房东侧毗邻设备间及 CT 机房，南侧为洁净走廊，西侧控制室和缓冲区，北侧缓冲室，楼上为设备机房，楼下为灭菌室。DSA 设备安装于复合手术室内，移动 CT 机平时存放于机库中，DSA 介入手术过程需要时进行 CT 扫描，人工推入移动 CT 进入 DSA 机房内使用，临床使用过程中 CT 和 DSA 不同时使用。

本项目各 DSA 工作场所医护人员和患者从各自的洁净通道进出机房，设置了专用污物通道，辅助用房配备齐全，各功能场所区分明确，通道设置独立，人员进出操作顺畅，不交叉重叠，满足标准和诊疗工作的要求。

根据“能满足诊疗工作需求，有利于辐射防护和环境保护，各组成部分功能分区明确，既有机联系，又不相互干扰”的原则，由本项目工作场所的布局设计可知，各工作场所为独立封闭区域，功能区分工明确，操作顺畅，布局合理可行，满足标准要求。

1.5 医院核技术利用现状

1.5.1 辐射安全许可证及环保手续履行情况

长沙市第一医院于 2022 年 10 月 21 日取得了辐射安全许可证（证书编号：湘环辐证【2025541】），许可种类和范围：使用 II 类、III 类射线装置，发证机关为湖南省生态环境厅，有效期至 2027 年 7 月 7 日。

1.5.2 现使用的 II 类、III 类射线装置台账

医院现有射线装置共 28 台，其中使用 III 类射线装置 25 台，使用 II 类射线装置 3 台。现有台账见表 1-8。

表 1-8 医院现有射线装置情况一览表

序号	装置名称	规格型号	类别	使用情况	许可情况	使用位置	备注
1	牙科全景机	西诺德 XG5	III 类	在用	已许可	2 号楼八楼口腔全景机房	/

2	DSA	飞利浦 Azurion7M20(C)	II类	在用	已许可	本部1号楼 三楼放射科	已验收
3	CT	通用 LightSpeed- VCT64 排	III类	在用	已许可	本部6号楼 CT室	/
4	CT	通用 Hispeed-Dual	III类	在用	已许可	南院综合医 疗楼一楼放 射科	已验收
5	DR	新东方 1000D	III类	在用	已许可	本部一号楼 三楼放射科	/
6	DR	飞利浦 Digital Diagnost	III类	在用	已许可	本部一号楼 三楼放射科	已验收
7	小C臂机	SIREMOBIL Compact L	III类	在用	已许可	本部3号楼六 楼手术室	已验收
8	DR	DigiEye 680E	III类	在用	已许可	南院综合医 疗楼一楼放 射科	/
9	CT	SOMATOM Emotion 16	III类	在用	已许可	本部1号楼三 楼房放射科	已验收
10	DR	新东方 1000	III类	在用	已许可	本部1号楼三 楼房放射科	已验收
11	乳腺机	HAWK-2MSDR	III类	在用	已许可	本部1号楼三 楼房放射科	已验收
12	DSA	西门子 Artiszee ceiling	II类	在用	已许可	本部1号楼三 楼放射科	已验收
13	CT	SOMATOMgo.T OP	III类	在用	已许可	北院5号楼1 楼放射科	/
14	CT	DL4000	III类	在用	已许可	北院1号楼一 楼放射科	/
15	骨密度仪	DEXXUM T	III类	在用	已许可	本部1号楼二 楼	/
16	CT	Revolution CT	III类	在用	已许可	本部新楼放 射科	/
17	DR	Digital DiagnostC50 65	III类	在用	已许可	本部新楼放 射科：健康管 理中心	/
18	DR	Digital Diagnost C50 65	III类	在用	已许可	本部新楼放 射科	已验收
19	骨密度仪	韩国澳思托 DEXXUM T	III类	在用	已许可	本部1号楼三 楼放射科	/

20	骨密度仪	韩国澳思托 DEXXUM T	Ⅲ类	在用	已许可	南院综合医疗楼一楼放射科	/
21	移动 DR	深圳迈瑞 Mobi Eye 700	Ⅲ类	在用	已许可	北院一号楼 一楼放射科	/
22	移动 DR	深圳迈瑞 Mobi Eye 700	Ⅲ类	在用	已许可	北院一号楼 一楼放射科	/
23	移动式 C 型 臂 X 射线机	未定	Ⅲ类	非在用	已许可	本部 6 号楼五 楼手术室	/
24	牙科 X 射线 机	未定	Ⅲ类	非在用	已许可	2 号楼八楼口 腔科：口内牙 片机房	/
25	牙科 X 射线 机	未定	Ⅲ类	非在用	已许可	2 号楼八楼口 腔科：CT 机 房	/
26	移动 DR	未定	Ⅲ类	非在用	已许可	发热门诊一 楼：DR、B 超室	/
27	数字减影血 管造影系统 (DSA)	Azurion 7 M20	Ⅱ类	在用	已许可	本部 6 号楼五 楼手术室： 13A 手术间	已验收
28	数字胃肠机	东芝 Winscope-PLESS ARTE		在用	已许可	本部 6 号楼一 楼胃肠室	/

1.5.3 医院辐射安全管理现状

长沙市第一医院严格遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关辐射防护法律、法规，配合各级生态环境部门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

①医院已制定了辐射防护的相关制度和规程，并严格按照规章制度执行。

②为加强对辐射安全和防护管理工作，医院成立了辐射安全防护管理小组，明确辐射防护责任，并加强了对射线装置的监督和管理。

③医院从事放射工作人员定期参加了辐射安全培训，接受辐射防护安全知识和法律法规教育，提高守法和自我防护意识。辐射工作期间，放射工作人员佩戴个人剂量计，接受剂量监测，建立剂量健康档案并存档。

④医院放射性场所设置有电离辐射警示牌、报警装置和工作指示灯，各机房通风良好。各机房屏蔽防护措施满足要求；设置铅玻璃观察窗或者监控系统，能清楚观察到机

房内情况；控制室和机房之间设置对讲装置，方便医务人员和受检者沟通；

由现场调查情况可知，医院已采取相应的辐射防护措施，本次环评认为医院辐射防护措施以及管理制度满足目前辐射防护要求。

1.5.4 现有放射工作人员情况

医院现有 120 名放射工作人员，放射工作人员个人剂量检测、职业健康体检、辐射安全与防护培训情况见下表：

表 1-6 医院现有射线装置情况一览表

放射工作人员	120 人
个人剂量检测情况	均按要求配发个人剂量计，并且每季度进行检测
职业健康检查	2021 年 11 月和 2022 年 4 月，医院分两次组织全员放射工作人员在湖南省职业病防治医院进行了职业健康体检，除部分需要复查者，其余均可继续从事原放射工作岗位，院方应督促需复检者及时复检。
辐射安全与防护培训	全院放射工作人员严格按照相关要求，2020-2023 年期间组织相关科室报名参加生态环境部组织的辐射培训考试，取得合格证人数为 32 人，其中介入科室人员均参加并考核合格。其他接触三类射线装置的工作人员由本院于 2021 年 7 月和 2022 年 7 月组织参加培训并考核合格，共计 60 人。

1.6 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，本项目属于“鼓励类”中“六、核能中的 6、同位素、加速器及辐照应用技术开发”、“第十三项、医药中 5、新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”，因此，本项目属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

表 2 放射源

序号	核素名称	单枚活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹ Bq×2 枚	III	使用	放射治疗	综合医疗楼负一层 放疗中心后装治疗室	后装治疗机房铅罐中	本次环评
2	⁶⁸ Ge	7.4×10 ⁷ Bq×1 枚	V	使用	设备校准	综合医疗楼负一层 核医学科 PET/CT 机房	PET/CT 机房保险柜内	备案登记
3	⁶⁸ Ge	5.55×10 ⁷ Bq×1 枚	V	使用	设备校准			

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	备注
1	⁹⁹ Mo- ^{99m} Tc	液态、中毒组	使用	2.96×10 ¹⁰	2.96×10 ⁷	1.48×10 ¹²	淋洗 ^{99m} Tc	贮存	综合医疗楼负一层核医学科	核医学科 储源室	本次 环评
2	^{99m} Tc	液态、低毒组	使用	2.22×10 ¹⁰	2.22×10 ⁷	3.33×10 ¹²	核素显像	很简单	综合医疗楼负一层核医学科		
3	¹⁸ F	液态、低毒组	使用	1.11×10 ¹⁰	1.11×10 ⁷	1.665×10 ¹²	核素显像	很简单	综合医疗楼负一层核医学科	核医学科 储源室	
4	¹³¹ I	液态、中毒组	使用	2.96×10 ¹⁰	2.96×10 ⁹	4.44×10 ¹²	甲亢、甲癌治疗	简单	综合医疗楼负一层核医学科		

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

序号	名称	类别	数量	型号	最大能量	剂量率	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II	1	待定	最大 X 射线能量: 10 MV; 最大电子线能量: 20 Mev;	10MV/1400cGy/min 6MV/2400cGy/min	放射 治疗	综合医疗楼负一层 放疗中心加速器 1 室	本次 环评
2	医用电子直线加速器	II	1	待定	最大 X 射线能量: 10 MV; 最大电子线能量: 20 Mev;	10MV/1400cGy/min 6MV/2400cGy/min		综合医疗楼负一层 放疗中心加速器 2 室	

(二) X 射线机

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II	1	待定	125	1000	介入治疗	综合医疗楼一层介入科 DSA 手术室 (1) (东)	本次 环评
2	DSA	II	1	待定	125	1000		综合医疗楼一层介入科 DSA 手术室 (2) (西)	
3	DSA/CT	II	1	待定	DSA:125 CT:140	DSA:1000 CT:800		综合医疗楼二层手术中心 DSA/CT 复合手术室	
4	DSA/CT	II	1	待定	DSA:125 CT:140	DSA:1000 CT:800		传染楼三层手术部 DSA/CT 复合手术室	
5	PET/CT	III	1	待定	140	833	医学显像	综合医疗楼负一层核医学科 PET/CT 机房	
6	SPECT/CT	III	1	待定	140	800		综合医疗楼负一层核医学科 SPECT/CT 机房	

(三) 中子发生器

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	
	本项目不涉及												

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度 (Bq)	月排放量	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
退役 ^{192}Ir 源	固态	^{192}Ir	-	-	-	-	退役后暂存在储源柜内的铅罐中	厂家回收
退役 ^{68}Ge 校准源	固态	^{68}Ge	-	-	-	-	退役后暂存在铅罐中	厂家回收
放射性固体废物	固体	^{131}I $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ^{18}F	/	/	200kg	$\beta < 0.8\text{Bq/cm}^2$	收集于放射性废物桶中后转移至废物库贮存	达到清洁解控水平后按医疗废物处理，不能解控的交由资质单位或厂家回收。
废弃过滤装置	固体	^{131}I $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ^{18}F	/	/	10kg	$\beta < 0.8\text{Bq/cm}^2$	暂存废物库	
含放射性核素废液	液体	^{131}I	/	/	/	^{131}I 放射性活度浓度 $\leq 10\text{Bq/L}$	排入长半衰期衰变池，暂存超过 180 天	衰变池达标后排入医院污水处理设施，最后进入市政管网。
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$ ^{18}F	/	/	/	/	排入短半衰期衰变池，暂存超过 30 天	
放射性废气	气体	^{131}I	/	/	/	/	/	经碘吸附过滤装置后，综合医疗楼楼顶排放
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$ ^{18}F	/	/	/	/	/	经活性炭过滤装置后，综合医疗楼楼顶排放
加速器废靶	固态	/	/	/	1 个 /5-7 年	/	/	厂家回收
废 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器	固体	^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	50 个/a	/	暂存废物库	厂家回收

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/kg ，气态为 mg/m^3 ；年排放总量用 kg 。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（ Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m^3 ）和活度（ Bq ）。

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日施行修订版； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日施行修订版； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行； (4) 《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 10 月 1 日施行修订版； (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2019 年 3 月 2 日修订实施； (6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，（生态环境部令第 20 号修改），2021 年 1 月 4 日起施行； (7) 《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； (8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起实施； (9) 《射线装置分类》，环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行； (10) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，环发[2006]145 号，2009 年 9 月 26 日施行； (11) 《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2020 年 1 月 1 日起施行）； (12) 《放射工作人员职业健康管理办法》（中华人民共和国卫生部令第 55 号，2007 年 11 月 1 日）； (13) 《放射源分类办法》（国家环境保护总局 2005 年第 62 号令）； (14) 《放射性废物品安全管理条例》国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日施行； (15) 《湖南省突发环境事件应急预案管理办法》（湘政办发{2018}2 号）；
技术标准	(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； (2) 《建设项目环境影响评价技术导则-总纲》（HJ2.1-2016）； (3) 《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）； (4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； (5) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；

	(6) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)； (7) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)； (8) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019)； (9) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)； (10) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)； (11) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)； (12) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)； (13) 《职业外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)。 (14) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)； (15) 《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)； (16) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3—2014)； (17) 《生态环境部辐射源安全监管司关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函〔2023〕20 号)
其他	(1) 建设项目环境影响评价委托书； (2) 本项目辐射现状监测报告； (3) 建设单位提供的相关资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目的特点并结合《辐射环境保护管理导则核技术应用项目环境影响报告书（表）的内容和格式》（HJ10.1-2016）的相关规定，确定本项目的评价范围为：以本项目新建乙级核医学科场所半径 50m 范围、各新建射线装置所在场所实体屏蔽墙体边界外 50m 的范围为评价范围。评价范围示意图见图 7-1。

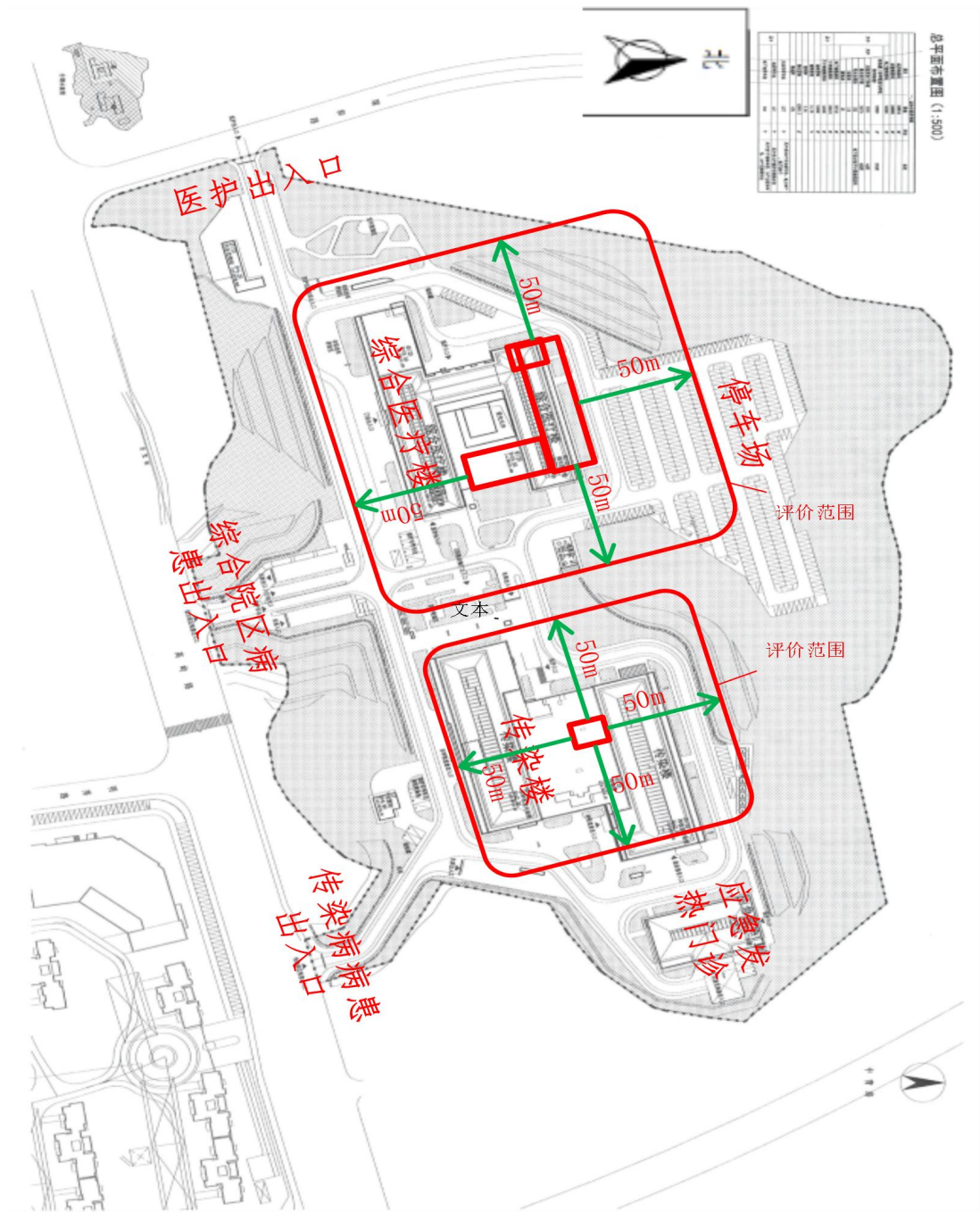


图 7-1 评价范围示意图

7.2 保护目标

环境保护目标为放射工作人员及评价范围内公众成员。包括：医院从事本项目操作的职业人员及邻近场所的公众，公众包括场所附近常驻人员等，不包括就诊病患及其他流动人员。

表 7-1 主要环境保护目标一览表

场所	方位	水平距离	垂直距离	周边情况	对象	人数
加速器 1 室 (南)	西侧	3m	-6.3m	加速器 1 控制室	职业人员	1-2 人
	北侧	15m	-6.3m	加速器 2、后装治疗机控制室		1-2 人
	南侧	0-10m	-6.3m	楼梯间、设备间	公众	1 人
	西侧	3-30m	-6.3m	走廊、制模室、办公区等		20 人
		30-50m	-6.3m	通道、电梯间、停车场		5 人
	北侧	0-10m	-6.3m	加速器 2 室		1 人
		8-15m	-6.3m	后装治疗机房、走廊		1 人
		15-50m	-6.3m	核医学科		15 人
	楼上			急诊科		20 人
加速器 2 室 (北)	西侧	0-3m	-6.3m	加速器 2 室控制室	职业人员	1-2 人
	北侧	0-6m	-6.3m	后装治疗机控制室		1-2 人
	南侧	5-50m	-6.3m	加速器 1 室、楼梯间、停车场	公众	2 人
	西侧	3-50m	-6.3m	走廊、模拟定位 CT 机房等		1-5 人
	北侧	0-6m	-6.3m	后装机房、控制室、走廊		2 人
		6m-50m	-6.3m	核医学科		1-5 人
	楼上			急诊科		20 人
后装 治疗 机房	西侧	0-3m	-6.3m	后装治疗机控制室	职业人员	1-2 人
	南侧	0-50m	-6.3m	加速器 1 室/2 和控制室、楼梯间、 设备间、停车场	公众	2-5 人
	西侧	0-50m	-6.3m	走廊、核医学科办公室等		2-5 人
	北侧	0-50m	-6.3m	核医学科、电梯间		1-5 人
	楼上			放射科		20 人
核医 学科 诊疗 区域	南侧	0-30m	-6.3m	核医学科办公区、放疗中心	职业人员	1-6 人
	东侧	0-50m	-6.3m	出口走廊、电梯间	公众	1-2 人
	南侧	30-50m	-6.3m	核医学科办公区、放疗中心办公区		2-10 人
	西侧	0-50m	-6.3m	核医学科办公区等		2-10 人
	楼上			放射科		20 人
	楼下			停车场		2 人

表 7-1 主要环境保护目标一览表（续）

场所	方位	水平距离	垂直距离	周边情况	对象	人数
介入科 DSA 手术 室（1）	东侧	0-13m	0m	DSA 手术室控制室	职业人员	2-4 人
	西侧	0-50m	0m	DSA 手术室（2）、走廊、放射科	公众	2-20 人
	南侧	0-50m	0m	设备间、辅助用房、电梯间		2-4 人
	东侧	10-50m	0m	走廊、放射科		1-20 人
	北侧	0-3m	0m	设备间		1 人
		3-50m	0m	通道、绿化带、室外停车场		1-2 人
	楼上			手术中心		5-20 人
	楼下			核医学科		1-10 人
介入科 DSA 手术 室（2）	西侧	0-13m	0m	DSA 手术室控制室	职业人员	2-4 人
	东侧	13-50m	0m	走廊、放射科	公众	5-20 人
	南侧	0-50m	0m	设备间、辅助用房、电梯间		2-4 人
	西侧	0-50m	0m	缓冲区、院内通道、绿化		1-2 人
	北侧	0-50m	0m	设备间、绿化带、通道、停车场		1-4 人
	楼上			手术中心		5-20 人
	楼下			核医学科		1-10 人
手术中心 DSA/CT 复合手术 室	西侧	0-3m	4.0m	控制室、缓冲区	职业人员	2-4 人
	东侧	0-50m	4.0m	设备间、手术室、楼梯间	公众	5-10 人
	南侧	0-50m	4.0m	洁净走廊、库房		1-10 人
	西侧	3-50m	4.0m	库房、麻醉办、楼梯间		1-10 人
	北侧	0-50m	0m	停车场		1-2 人
	楼上			设备机房		1 人
	楼下			放射科		1-10 人
传染楼 DSA/CT 复合手术 室	西侧	0-3m	8.0m	控制室、缓冲区	职业人员	2-4 人
	东侧	0-50m	8.0m	设备间，手术室	公众	2-10 人
	南侧	0-50m	8.0m	走廊，非呼吸道传染 ICU 区		2-10 人
	西侧	3-50m	9.9m	库房、走廊、无菌库、办公室		2-10 人
	北侧	0-50m	9.9m	呼吸道传染 ICU 区		20 人
	楼上			设备机房		1 人
	楼下			灭菌室、打包间		3 人

注：综合医疗楼以一层地面为垂直标高 0m。

7.3 评价标准

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

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

（1）附录 B 剂量限值和标明污染控制水平

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

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

根据医院实际情况，本项目建设单位设定放疗中心放射工作人员有效剂量管理目标值为 **5mSv/a**；后装治疗机房放射工作人员有效剂量管理目标值为 **5mSv/a**；核医学科放射工作人员有效剂量管理目标值为 **5mSv/a**；介入中心医师及护士有效剂量管理目标值为 **5mSv/a**，介入技师有效剂量管理目标值为 **2mSv/a**。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

- a) 年有效剂量：1mSv；
- b) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv；
- c) 眼晶体的年当量剂量，15mSv；
- d) 皮肤的年当量剂量，50mSv。

本项目中，结合医院实际情况，建设单位设定放射工作场所周围非放射医务人员及其他人员接受的有效剂量管理目标值为 **0.1mSv/a**。

（2）工作场所分区

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

6.4.1 控制区

- 1) 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为

控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射范围。

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

3) 制定职业防护与安全措施，包括适用于控制区的规则与程序。

4) 运用行政管理程序和实体屏蔽限制进出控制区。

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

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

6.4.2 监督区

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

2) 在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。

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

7.3.2 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

6.1 屏蔽要求

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

6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。

使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 10 MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

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

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6.2 安全防护设施和措施要求

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

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

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

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

6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。

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

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

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

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

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

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

6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

7.3.3 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

4 总则

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1 屏蔽要求

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

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

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

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.3 固体放射性废物处理

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

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

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

c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

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

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

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

- a)所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

7.4 气态放射性废物的管理

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

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

7.3.4 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

6. X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X 射线设备机房布局

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

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

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

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

表 7-2 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

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

6.2 X 射线设备机房屏蔽

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

表 7-3 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

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

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足上表的要求。

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

6.4 X 射线设备工作场所防护

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

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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

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

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

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

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

7.4 控制目标值

本项目评价标准及控制目标值见表 7-2。

表 7-4 本项目评价标准及控制目标值

场所	项目名称				控制目标值
	对象			标准要求	
核医学科	当量剂量	职业人员	四肢或皮肤	500mSv/a	≤50mSv/a
			眼晶体	150mSv/a	≤15mSv/a
	剂量管理目标值	职业人员		5mSv/a	≤5mSv/a
		公众		0.1mSv/a	≤0.1mSv/a
	β表面污染	(工作台、设备、墙壁、地面) 控制区			40Bq/cm ²
		(工作台、设备、墙壁、地面) 监督区			4.0Bq/cm ²
		(工作服、手套、工作鞋) 控制区			4.0Bq/cm ²
		(工作服、手套、工作鞋) 监督区			4.0Bq/cm ²
		手、皮肤、内衣、工作袜			0.4Bq/cm ²
	放射性固废	清洁解控水平			≤0.8Bq/cm ²
	放射性废水	总β			≤10Bq/L
	放射性废气	分装柜排风风速			≥0.5m/s
	扫描机房	屏蔽墙、顶、地面、门、窗外 30cm 处			≤2.5μSv/h
	控制区内	距各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处			<2.5μSv/h
		距各控制区内屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的区域，其外表面 30cm 处			<10μSv/h
	核素分装柜或通风橱	设备外表面 30cm 处（人员操作位）			<2.5μSv/h
设备外表面 30cm 处 （非正对人员操作位方向）			<25μSv/h		
甲癌病人出院要求	注射后患者体内活度			≤400MBq	
介入科/复合手术室	当量剂量	职业人员	近台手术人员		≤5mSv/a
					≤50mSv/a（四肢）
	剂量管理目标值	职业人员	控制室操作人员		≤5mSv/a
		公众		≤0.1mSv/a	
X 射线装置机房	屏蔽墙、顶、地面、门、窗外 30cm 处			≤2.5μSv/h	
放疗中心	当量剂量	职业人员	四肢或皮肤	500mSv/a	≤50mSv/a
			眼晶体	150mSv/a	≤15mSv/a
	剂量管理目标值	职业人员		5mSv/a	≤5mSv/a
		公众		0.1mSv/a	≤0.1mSv/a
	直线加速器机房（1）	屏蔽墙、顶、地面、门、窗外 30cm 处			详见表 11-5
	直线加速器机房（2）	屏蔽墙、顶、地面、门、窗外 30cm 处			详见表 11-6
后装治疗机房	屏蔽墙、顶、地面、门、窗外 30cm 处			详见表 11-27	

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目所在的地理位置

长沙市第一医院北院区位于长沙市开福区，东临科中青路，北临兴联路，南面为高岭路，西临瑞和路（规划）。

8.2 评价区辐射环境质量现状监测

为了解本项目评价区域的辐射环境质量，委托湖南佳蓝检测技术有限公司于 2023 年 3 月 18 日对本项目场所进行环境 γ 辐射监测。现状监测报告见附件 10。

8.2.1 监测内容

评价区域内环境 γ 辐射剂量率。

8.2.2 监测依据

《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）

《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）

8.2.3 监测仪器

表 8-1 监测仪器信息表

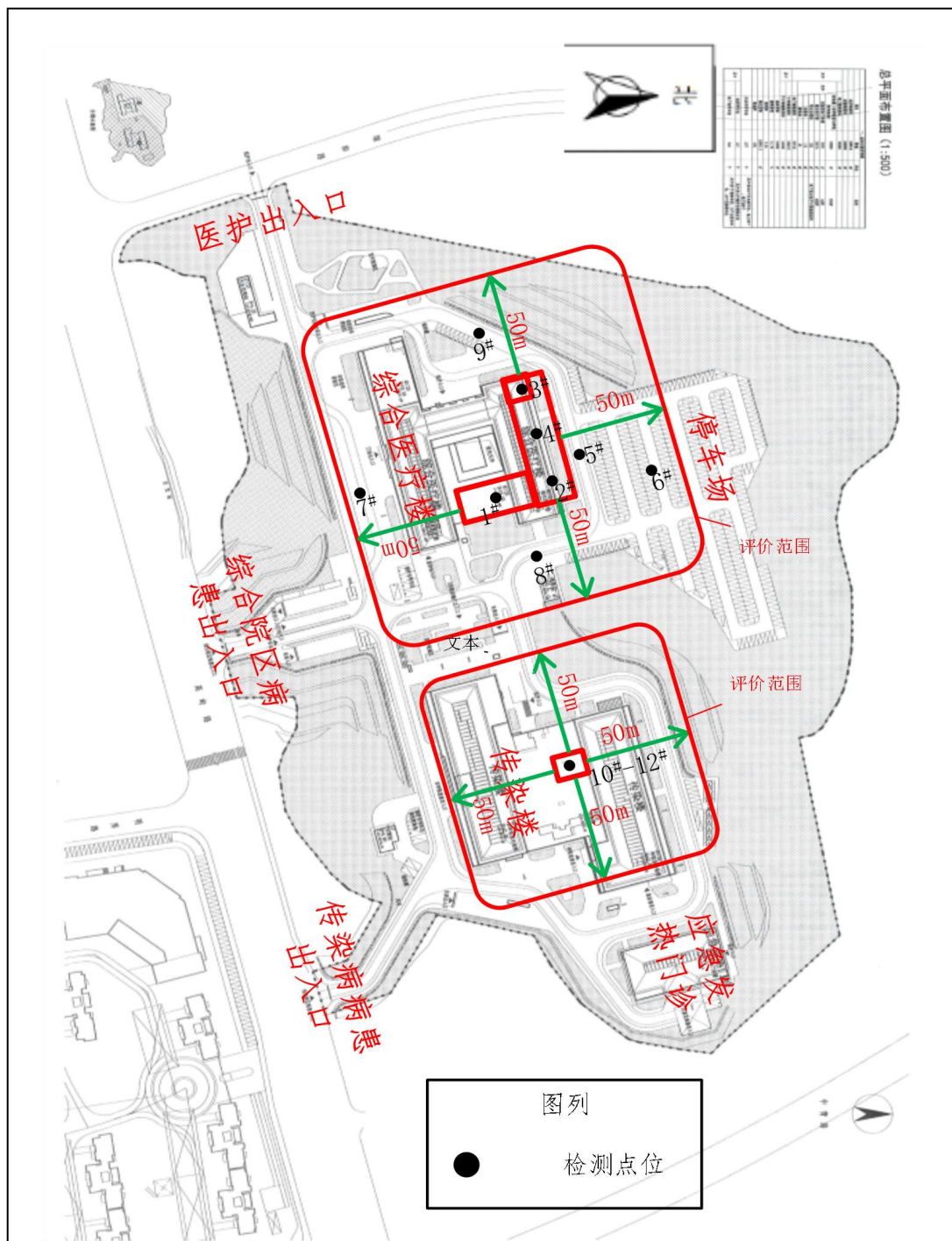
仪器名称	X、 γ 剂量率仪
仪器型号	RJ32-3602
生产厂家	上海仁机仪器仪表有限公司
量程	10nSv/h~600 μ Sv/h
能响	48keV-3MeV
检定单位	湖南省电离辐射计量站
校准证书编号	hnjln2022172-605
检定有效期至	2023 年 9 月 7 日

8.2.4 质量保证措施

- （1）被委托的检测机构具备与所从事检测业务相适应的能力和条件；
- （2）使用的仪器经法定部门检定，并在有效期内使用；
- （3）监测点位在现场标志性特征物拍照备案，保证点位的可重现性；
- （4）每点监测 10 次，均值经仪器校准因子修正后作为该点监测数据；
- （5）现场检测保证至少 2 名检测人员，经培训合格持证上岗。

8.2.5 监测布点

本项目新建综合医疗楼及传染楼周边 50m 内区域布设环境 γ 辐射监测点位。



8.2.6 周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

按照标准规定要求布点监测，每个点读取 10 个数据，计算平均值，作为该监测点的剂量率评价价值。

表 8-2 周围环境 γ 辐射剂量率监测结果

序号	监测点位描述			测量结果 ($\mu\text{Gy/h}$)
1	拟建综合医疗楼(室外)	放疗中心	拟建放疗中心中心位置	0.14
2		核医学科	拟建核医学科东侧	0.13
3			拟建核医学科西侧	0.15
4			拟建核医学科中部	0.11
5			拟建衰变池位置	0.11
6		周围敏感点	拟建停车场	0.13
7			综合医疗楼南侧院内通道	0.11
8			综合医疗楼西侧侧院内通道	0.12
9			综合医疗楼东侧侧院内通道	0.11
10	传染楼(室内)	复合手术室(2)	传染楼二层	0.14
11			传染楼三层拟建复合手术室	0.12
12			传染楼四层	0.11

注：(1) 本底测量时，仪器探头垂直向下，距地面的参考高度为 1m，仪器读数稳定后，以 10s 为间隔读取 10 个数据，计算平均值，经刻度因子修正后为报告值或给定范围值。

(2) 根据 HJ1157-2021：测量值=读数值均值 $\times$ 校准因子 k_1 $\times$ 仪器检验源效率因子 k_2 $\div$ 转换系数。本次环境监测取值：校准因子 k_1 为 1.20，效率因子 k_2 取 1，仪器使用 ^{137}C 进行校准，转换系数为 1.2Sv/Gy。

(3) 以上数据均未扣除宇宙射线响应值。

8.3 辐射环境质量现状

由表 8-2 可知，本项目周围环境 γ 辐射剂量率监测值为 0.11~0.15 $\mu\text{Gy/h}$ 之间，属于长沙市天然贯穿辐射范围内。（室内辐射水平 86.2~174.5nGy/h，室外辐射水平 62.8~146.0nGy/h，数据来源于《湖南省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，1991 年）

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 放疗中心

9.1.1.1 医用直线加速器

1、设备基本情况

表 9-1 本项目医用电子直线加速器基本参数一览表

序号	项目	额定参数
1	X 射线最大能量	10MV、6MV
2	电子线最大能量	20MeV
3	X 射线 1m 处最高剂量率 (额定值)	10MV: FFF 模式 1400cGy/min 6MV: FFF 模式 2400cGy/min
4	X 射线泄漏率	≤0.1%
5	最大照射野面积	40cm×40cm
6	治疗床等中心高度	≤128cm
7	正常治疗距离 (SAD)	100cm
8	射线最大出射角	28°

2、设备组成

医用直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，后到达患者病灶实现治疗目的。见下图 9-1。

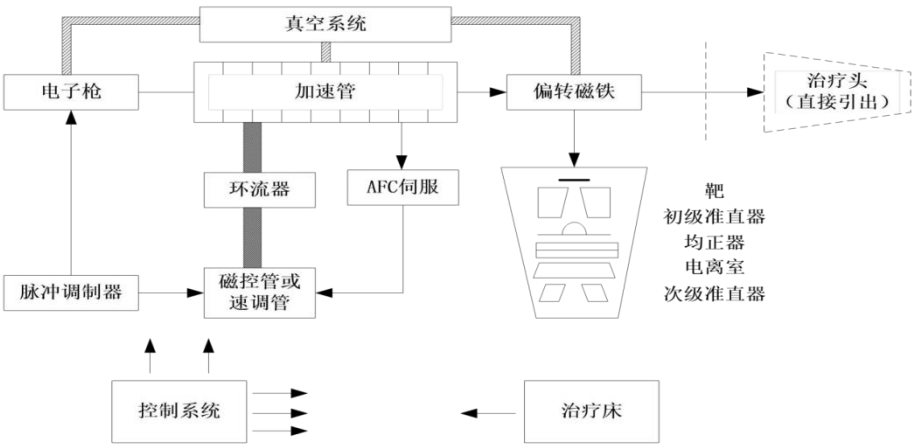


图 9-1 典型直线加速器内部结构框图

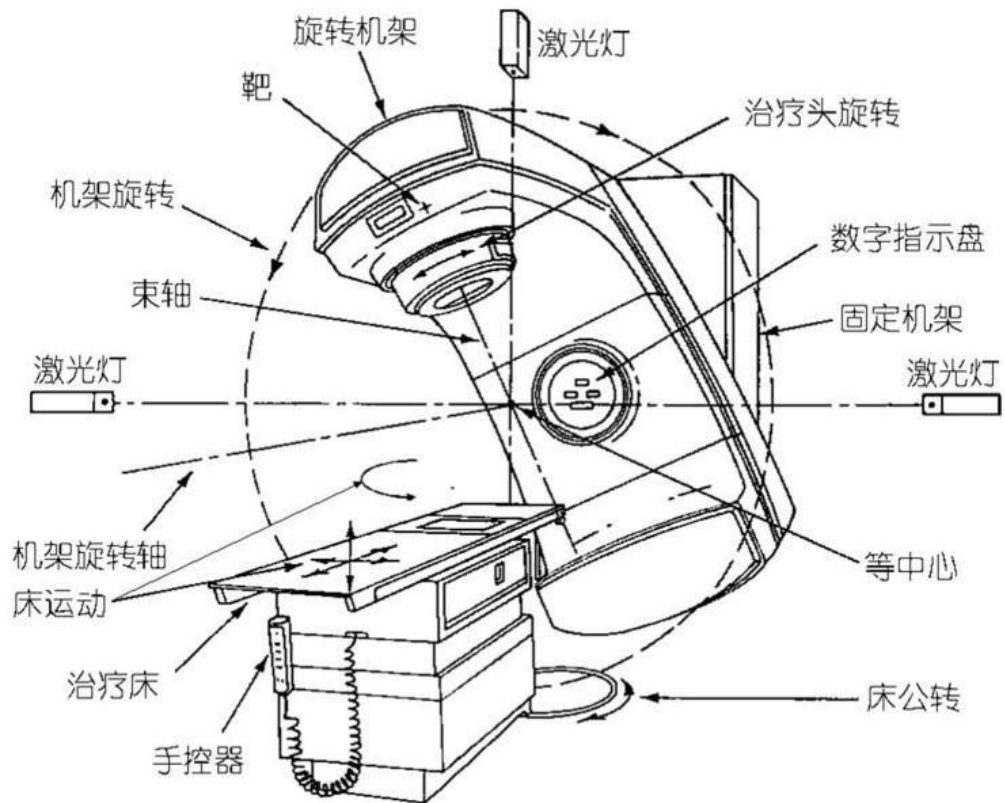


图 9-2 典型直线加速器外形示意图

3、工作原理

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

4、操作流程

(1) 患者定位：首先在体架上进行塑模，然后在模拟定位机或模拟 CT 定位机下进行定位，而后勾画治疗靶区；

(2) 治疗计划：通过模拟定位机对病变部位进行检查，确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位，根据患者疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间；

(3) 患者摆位：依据治疗计划在治疗床上进行摆位，确定病人位置及治疗坐标；

(4) 患者摆好位置后，操作人员最后一个离开治疗室，关好自动门，进入控制室

再次确定治疗计划无误后，进行开机治疗。治疗期间直线加速器机房门不能从外面打开，当出现异常情况时，操作人员应立即就近按下【急停】按钮并迅速撤出相关人员；

（5）治疗完毕后，将机器钥匙拨到 STBY，取下病人身上附件，引导病人离开机房，记录当次治疗情况。

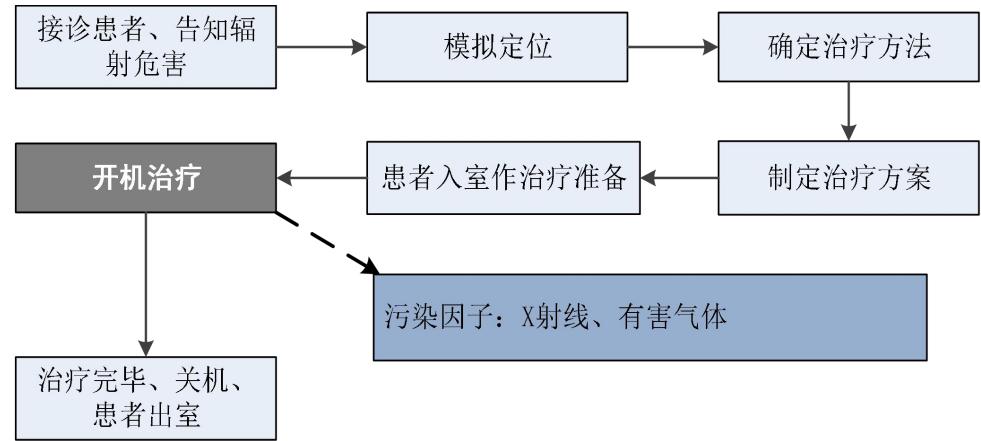


图 9-3 医用直线加速器操作流程

5、工作负荷

每台加速器计划接诊 40 人/天（均按调强治疗考虑），每周工作 5 天，每年按 50 周计算，每人出束照射平均 3min，全年出束 500h/a。

9.1.1.2 后装治疗机

1、后装机放射源基本概况

表 9-2 后装机 ¹⁹²Ir 密封源参数

核素名称	¹⁹² Ir
初装源最大活度	3.7E+11/枚
密封源数量	2 枚（不同时使用）
密封源类别	III
贮存方式与地点	在用源：设备储源罐 退役源：后装治疗机机房源罐
放射源半衰期	74d
治疗等中心高度	80cm

说明：本项目后装机实际仅使用 1 枚 ¹⁹²Ir 密封源，由于在实际工作中，放射源供应厂家不能及时进行新源购置或废旧源的回收处置，为了不影响后装机正常进行放射治疗工作，一般在后装源更换前，采用新源提前购置，旧源未退役的现象，导致新、旧放射源同时在台账上的原因，避免了因放射源的迟滞影响正常的治疗工作。

2、后装机治疗原理

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

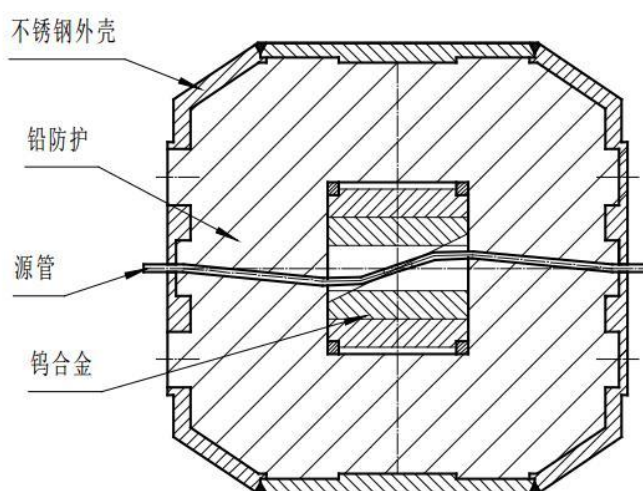


图 9-4 ^{192}Ir 放射源源罐结构示意图

^{192}Ir 放射源装于机头源罐内，源罐由外而内分别为不锈钢外壳、铅防护、钨合金防护，其防护性能良好。 ^{192}Ir 放射源源罐结构示意图见图 9-4：

3、后装机治疗流程

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

(2) 治疗前认真核对患者的科室、姓名及治疗计划。

(3) 工作人员进入后装机机房给患者安装施源器，插入定位缆后转入模拟定位机下照片，调整施源器位置至符合要求。

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

(5) 关闭后装机房门，医护人员在控制室内通过计算机遥控步进马达系统，实行

“模拟源探路，放射源治疗”，先走假源，无障碍后开始走真源放射治疗。

(6) 治疗过程中，通过监视器严密观察患者。

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

(8) 治疗结束后，关闭后装机。

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

4、工作负荷

本项目后装治疗机设计工作量为 20 人/天，每周工作 5 天，每年按 50 周计算，每人出束照射时间 15min，全年照射时间：1250h/a。

9.1.2 DSA 介入手术室

1、设备基本情况

表 9-3 DSA 设备参数

名称	类别	数量	最大管电压	最大管电流	用途
DSA	II	2	125kV	1000mA	介入治疗

2、DSA 设备工作原理

DSA 的基本原理是先后将没有注入造影剂和注入造影剂后通过人体 X 线信号进行成像，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。通过 DSA 处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

3、系统组成

系统主要由 Gantry、专业手术床及 Atlas 机柜组成。

①Gantry，俗称“机架”或“C”型臂”，由“L”臂、PIVOT、“C”臂组成，同时还包括了数字平板探测器、球管、束光器等部件。Gantry 的机械运动由床旁控制器控制，如机架各方向旋转、探测器的上下运动。

②专业手术床，通过床旁控制器控制床的上下升降，以及前后、左右的水平移动。在手术床的下方，安装有 Detector Power Supply，它是为数字平板探测器提供 5 组直流电压，从而使数字平板能够正常工作。

以上两个大部件都是由 Position 机柜总体控制，控制运动的电路板、交/直流电源、继电器等电路元器件都在该机柜中。

③Atlas 机柜，该机柜由 DL(Digital Leader，它从 RTAC 接收“干净”的图像，存储并显示在监视器上，DL 用过算法对图像进行处理并允许用户浏览病人信息，回放图像，通过 DICOM 传输协议传到网络上，如支持 DICOM 的打印机、PACS 系统、图像后处理工作站等设备)、RTAC (Real Time Acquisition Controller，获取并预处理图像，然后发送给 DL；通过控制病人接收剂量优化图像质量)、JEDI (发生器，控制球管的曝光) 构成。

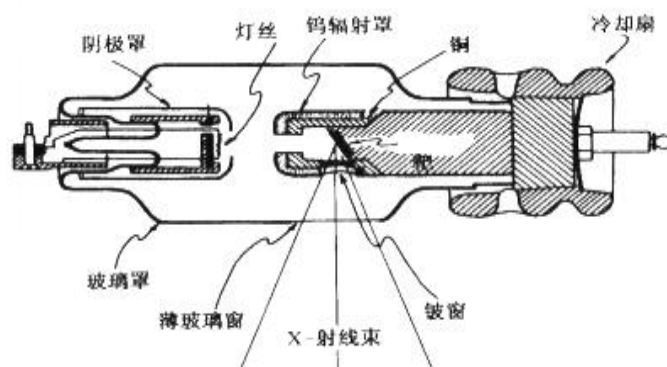


图 9-4 典型 X 射线管结构图

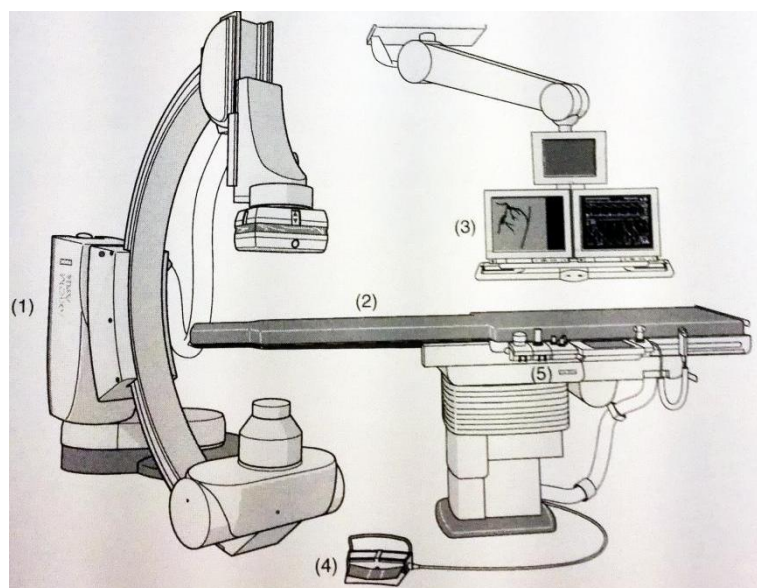


图 9-5 DSA 组成示意图

说明：(1)带有 C 臂、X 线球管装置以及 FD 的支架；(2)检查床；(3)带有 LCD 显示器和数据显示器的显示器天花板悬吊系统；(4)用于射线触发的脚闸；(5)用于控制支架、检查床以及成像系统的控制台。

4、工作流程

诊疗时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺静脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达上腔静脉，顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。

DSA 在进行曝光时分摄影和透视两种情况：

①摄影（拍片）：操作人员采取隔室操作的方式（即操作医师在操作间内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房中病人情况，并通过对讲系统与病人交流，此种情况实际运行中为个别情况，占比较小。

②透视：病人需要进行介入治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时介入手术医生位于铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏等辅助防护设施后身着铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品在介入手术室内对病人进行直接的介入手术操作。同室操作也存在摄影的情况。

隔室操作时间较短，所占比例较小，而同室操作时间占整台手术 DSA 出束时间所占比例较大，并且同室操作对医生等职业人员的影响更大，是本次评价关注的重点。

5、工作负荷

依据医院计划，本项目介入医师、技师及护士由本院区抽调，抽调后不参与原岗位相关放射工作，同时医院拟为综合医疗楼一层介入科配备 12 名放射工作人员，介入科 2 台 DSA 设备年计划共 800 台手术左右，单台手术时间约 50min，单台手术射线装置透视出束时间约为 20min，摄影模式出束时间为 1min，2 台年出束时间约为 280h，平均每台 DSA 出束时间约 140h/a。

9.1.3 DSA/CT 复合手术室

1、设备基本情况

表 9-4 DSA/CT 设备参数

名称	类别	数量	最大管电压	最大管电流	用途
DSA	II	2	125kV	1000mA	介入治疗
CT	III	2	140kV	800mA	诊断扫描

2、复合诊疗情况

放射诊疗领域 DSA+CT 复合手术室中的“复合”，是指 DSA 与 CT 机同室使用情况下的复合，临床使用过程中 CT 和 DSA 不同时使用。本项目 DSA/CT 复合手术室的具体使用工况为：

（1）综合医疗楼二层 DSA/CT 复合手术室：将 DSA 和 CT 机安装于同一手术室，DSA 为主体使用设备，需要通过室内滑轨将 CT 移动到手术床，开展诊疗工作。

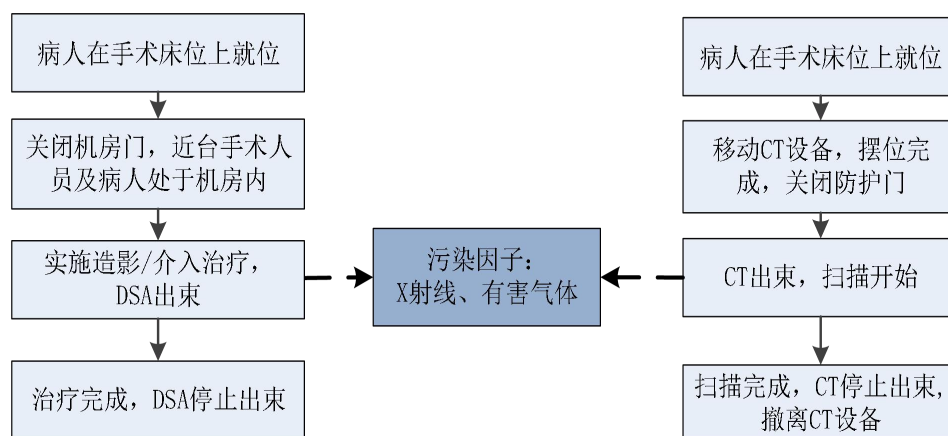
（2）传染楼三层 DSA/CT 复合手术室：将 DSA 设备安装于复合手术室内，移动 CT 平时存放于机库内，使用时人工推入移动 CT 进入手术室内使用，开展诊疗工作。

3、CT 工作原理

CT 扫描主要由 X 线管和不同数目的探测器组成，用来收集信息。X 线束对所选择的层面进行扫描，其强度因和不同密度的组织相互作用而产生相应的吸收和衰减。探测器将收集到 X 线信号转变为电信号，经模/数转换器转换成数字，输入计算机储存和处理，从而得到该层面各单位容积的 CT 值，并排列成数字矩阵。这些数字可储存于硬磁盘、软磁盘和磁带中，也可用打印机印用。数字矩阵经数/模转换器在监视器上转为图像，即为该层的横断图像。

4、CT 扫描工作流程

- ① 根据照射需要对患者进行摆位，为患者作好必要的防护措施；
- ② 医生通过控制台将病人信息输入，根据需求设定曝光参数；
- ③ 医生退出机房，检查防护门等安全防护措施是否到位；
- ④ 曝光，密切注意各仪表的显示；
- ⑤ 记录，关机，
- ⑥ CT 机撤离，CT 扫描结束。



注：DSA 和 CT 不同时出束，图中仅表示射线装置出束。

图 9-6 复合手术室治疗操作流程

5、工作负荷

依据医院计划，拟为综合医疗楼 2 层 DSA/CT 复合手术室和传染楼 2 层 DSA/CT 复合手术室各配备 6 名辐射工作人员，从旧院区抽调，每个 DSA/CT 复合手术室计划年接诊 300 台手术，单台手术时间约 50min，DSA 透视模式出束时间约为 20min，摄影模式出束时间为 1min，每台 DSA 出束时间约为 105h/a；CT 机出束扫描约 3min/人，年出束时间为 15h/a。

9.1.4 核医学科

9.1.4.1 应用 ^{99m}Tc 标记药物在 SPECT/CT 下开展显像诊断

1、工作原理

^{99m}Tc 标记的溶液以化合物形态存在，用生理盐水从 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器中洗脱出来，处于激发状态的 ^{99m}Tc 放出 0.141MeV 的 γ 射线后跃迁为 ^{99}Tc 。 ^{99m}Tc 、 ^{99}Tc 同属低毒组核素。 ^{99m}Tc 可以口服，可以静脉注射。 ^{99m}Tc 标记的某些化合物或络合物，其化学性质各不相同，可以选择性地分布于不同的组织和器官里。正因为这个原因，治疗前才采用 ^{99m}Tc 的标记物来进行肝、肾、肺、心、脾、淋巴、骨髓、脑池、脊髓、骨骼等器官的显影以及炎症、肿瘤等病理定位。

2、 ^{99m}Tc 标记药物的获得及操作流程简述

^{99m}Tc 半衰期很短为 6.02h， ^{99m}Tc 制剂无法直接从厂家购买，通常采用 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器淋洗获得所需要的 ^{99m}Tc 制剂，医院根据患者数量，每周购置 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器 1 柱，根据当日需要量进行淋洗、标记等质控操作， ^{99}Mo 半衰期为 2.75d。

淋洗流程如下：打开 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器顶部的铅屏蔽盖，在发生器的一端插上生理盐水瓶，另一端插上真空瓶，通过负压作用，能淋洗出 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记液，经过标记、分装等质控后，供病人静脉注射，通常 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗分装时间约 30min/次，注射 1min/人。

根据医院提供的计划， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 单人最大用量为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ (20mCi)，一天最大接诊人数 30 人， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 日最大操作量为 $2.22 \times 10^{10} \text{Bq}$ (600mCi)，按 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器的淋洗率 90%计，因此，医院拟每周购置 1 柱 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器，规格为 $2.96 \times 10^{10} \text{Bq/柱}$ (800mCi)，全年共 50 柱。

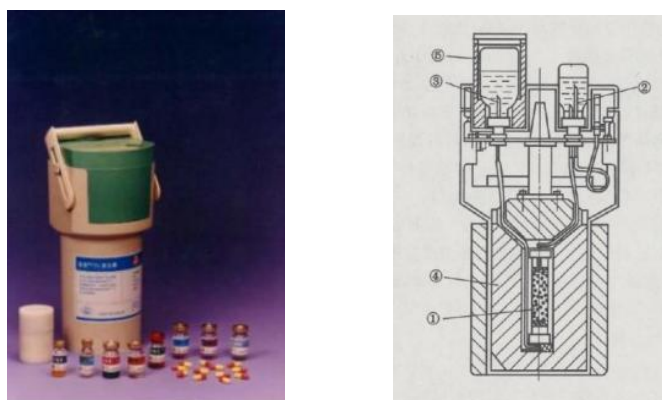


图 9-7 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器

3、SPECT/CT 的工作原理

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

SPECT/CT 是指高端 ECT 和多排螺旋 CT 结合成一体化的设备，即单光子发射计算机断层/X 线计算机断层扫描仪，不仅提供 ECT 功能信息，而且提供诊断 CT 的解剖信息，能够将功能代谢和解剖结构结合显示成像。

ECT 本身不发射任何辐射，常用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为标记药物，利用 ECT 来探测这种放射性

核素发射的 γ 射线在体内的分布状态并还原成图像，其影像不仅可以显示脏器和病变的位置、形态、大小等解剖结构，还可以显示脏器的功能、代谢情况，提供有关脏器的血流、功能、代谢和引流等方面定性的和定量的信息。叠加 CT 扫描的出的解剖结构图像，较早诊断骨骼、心脏和肿瘤等多种临床疾病优势明显。

SPECT/CT 由探测器（探头）、CT 部分、检查床和图像采集处理器四部分组成。

4、SPECT/CT 扫描工作流程

本项目使用的单光子药物均采用静脉注射的方式给药，采用手动分装。分装好的药物由医务人员在注射室注射窗的屏蔽下为病人静脉注射，患者集中注射，病人注射后在 SPECT/CT 注射候诊室休息候诊（约 2~4h），待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 SPECT/CT 机房。医生在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房辅助患者摆位，摆位时间约 1min，摆位完成后医生隔室操作对患者进行 SPECT/CT 扫描诊断，SPECT/CT 机房每次扫描 15min，扫描完成后，患者等候 5~10 分钟，待医生扫描图像无误后即可离开，若扫描图像不清晰，则需重新扫描（不再重新注射药物）。患者由诊断病人专用出口离开。SPECT/CT 诊断项目工作流程与产污环节见图：

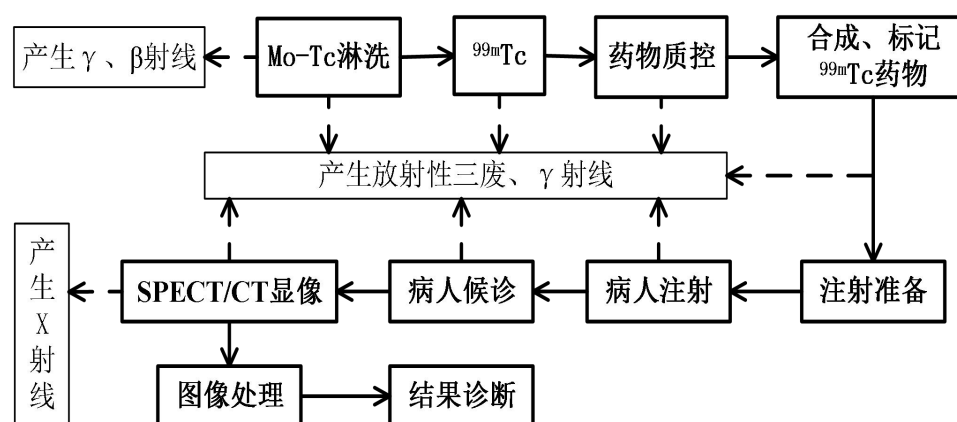


图 9-8 SPECT/CT 显像诊断工作流程

4、工作负荷

依据医院计划，SPECT/CT 和 PET/CT 分开隔天接诊患者，SPECT/CT 计划接诊患者 30 人次/d，年工作 150d/a，年接诊患者 4500 人。通常医师辅助患者摆位 1min/人，SPECT 扫描检查时间约 15min/人，CT 机出束扫描时间约 3min/人。

9.1.4.2 应用 ^{18}F 标记药物在 PET/CT 下开展显像诊断

1、核素性质及工作原理

^{18}F ：半衰期为 109.8min，衰变类型为 β^+ 衰变，电子俘获（EC），主要射线为 511KeV

的 γ 光子,最大正电子能量为 633KeV,平均正电子能量为 203KeV。一般被制为 ^{18}F -FDG (氟代脱氧葡萄糖)。葡萄糖是人体三大能源物质之一,将可以被 PET 探测并形成影像的正电子核素。 ^{18}F 标记在葡萄糖上,即 ^{18}F -FDG,它可准确反映体内器官/组织的葡萄糖代谢水平,是目前 PET/CT 显像的主要显像剂。恶性肿瘤细胞由于代谢旺盛,导致对葡萄糖的需求增加,因此静脉注射 ^{18}F -FDG 后,大多数肿瘤病灶会表现为对 ^{18}F -FDG 的高摄取,通过 PET/CT 显像可早期发现全身肿瘤原发及转移病灶,准确判断其良、恶性,从而正确指导临床治疗决策。此外,通过对心肌、脑组织的 ^{18}F -FDG 糖代谢功能测定,可早期发现和诊断存活心肌和脑功能性病变,干预疾病的发生发展,达到早期防治目的。

2、PET/CT 的工作原理

PET 是正电子发射断层显像 (PositronEmissionTomography) 的英文缩写。它作为一种先进的核医学影像手段,对于功能、代谢和受体分布等的显示具有优势,被称为“生化显像”或“分子成像”,利用核素示踪原理,在分子水平上,通过动态、定量的监测人体内部的生化变化来观察其功能状态,显示人体器官组织正常或病变。其临床显像过程为:将发射正电子的放射性核素标记到能够参与人体组织血流或代谢过程的化合物上,将标有带正电子化合物的放射性核素注射到受检者体内。让受检者在 PET 的有效视野范围内进行 PET 显像。

CT 是计算机断层 X 射线摄影技术 (ComputedTomography) 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断层平面,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。

PET 在成像过程中由于受多种因素的影响,采集的数据与实际情况并不一致,图像质量失真,必须采用有效措施进行校正,才能得到更真实的医学影像。用 CT 图像对 PET 进行衰减校正,使 PET 图像的清晰度大为提高,图像质量明显优于同位素穿透源校正的效果,且易于操作。校正后的 PET 图像与 CT 图像进行融合,经信息互补后得到更多的解剖结构和生理功能关系的信息对于肿瘤病人手术和放射治疗定位具有极其重要的临床意义。PET/CT 同机融合具有相同的定位坐标系统,病人扫描时不必改变位置,即可进行 PET/CT 同机采集,避免了由于病人移位所造成的误差。采集后两种图像不必进行对位、转换及配准,计算机图像融合软件便可方便地进行 2D、3D 的精

确融合，融合后的图像同时显示出人体解剖结构和器官的代谢活动，大大简化了整个图像融合过程中的技术难度、避免了复杂的标记方法和采集后的大量运算，并在一定程度上解决了时间、空间的配准问题，图像可靠性大大提高。

3、PET/CT 诊断工作流程

工作人员根据临床诊断所需用量、病人预约情况确定诊断所需药物的使用量，提前预定药物。药物送达后，连同转运铅罐转移至分装柜内。本项目使用的正电子药物均采用静脉注射的方式给药，采用手动分装。分装好的药物由医务人员在注射室注射窗的屏蔽下为病人静脉注射。病人注射后在注射候诊室休息候诊（约 1h），待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 PET/CT 机房。医生在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房辅助患者摆位，摆位时长约 1min，摆位完成后医生隔室操作对患者进行 PET/CT 扫描诊断，PET/CT 机房每次扫描 15min，扫描完成后，患者等候 5~10 分钟，待医生扫描图像无误后即可离开，若扫描图像不清晰，则需重新扫描（不再重新注射药物）。患者由病人专用出口离开。PET/CT 工作流程与产污环节：

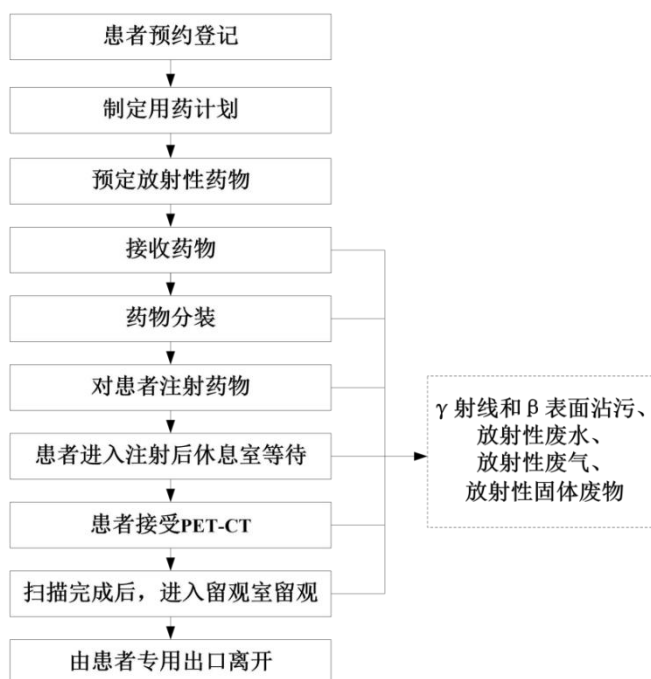


图 9-9 PET/CT 诊断工作流程

4、工作负荷

依据医院计划，SPECT/CT 和 PET/CT 分开隔天接诊患者，PET/CT 计划接诊患者 20 人次/d，年工作 150d/a，年接诊患者 3000 人。通常：医师辅助患者摆位 1min/人，PET/CT 扫描检查时间约 15min/人，CT 机出束扫描时间约 3min/人。

9.1.4.3 应用 ^{131}I 治疗甲亢和甲癌

1、 ^{131}I 的特性

^{131}I 的半衰期为 8.04 天，衰变方式为 β 衰变，能衰变出多条 β 射线，其中分支比最大的为 89.2%，能量为 606.3keV，还能释放出多条 γ 射线，其中分支比最大的为 81.1%，能量为 364.5keV。 ^{131}I 的衰变量纲图见图 9-10。

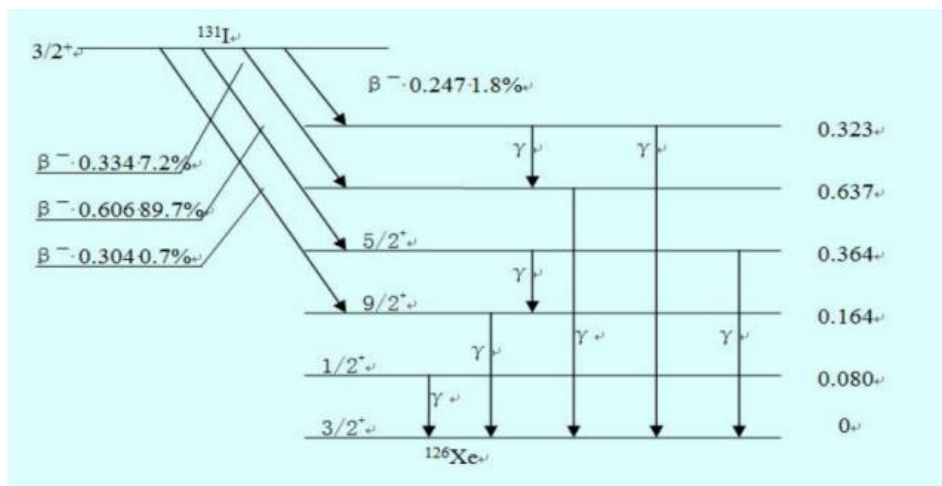


图 9-10 ^{131}I 的衰变量纲图

2、治疗原理

①治疗甲癌原理：放射性核素 ^{131}I 可以高度选择性聚集在分化型甲状腺癌及转移灶， ^{131}I 衰变时发射出的射程很短的 β 射线和能量跃迁时发出的 γ 射线，从而对病变组织进行内照射治疗，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的，取得类似部分切除甲状腺的效果，而邻近的正常组织的吸收剂量很低，从而达到治疗目的。

②治疗甲亢原理：甲状腺具有特异性浓集碘的功能，利用 ^{131}I 发出的 β 射线，使甲状腺组织受到长时间的集中照射，其腺体被破坏后逐渐坏死，代之以无功能的组织，降低甲状腺的分泌功能，从而使甲状腺激素的合成减少，达到控制甲亢的目的。

3、操作流程及污染因子

工作人员根据临床诊疗所需用量、病人预约情况确定所需药物的使用量，提前预定药物。药物送达后，连同转运铅罐转移至分装柜内进行自动分装。本项目使用 ^{131}I 药物为口服汤药，患者听到广播叫名，依次到服药室自助服药，甲癌病人服药之后进入甲癌病房住院留观，病房为单人病房，安装门禁系统，由监控室值班护士控制。当甲癌病人体内的放射性活度降至 400MBq 以下或距离病人 1m 处周围当量剂量不大于 25 $\mu\text{Sv/h}$ 时，经医师准许方可离院；甲亢病人的服药量低于 400MBq，服药后经观察无

不良反应后，经医生许可后自行离院。

通常最大药量：甲癌患者 5550MBq/人（150mCi），甲亢患者 370MBq/人（10mCi）。

^{131}I 在分装、口服等过程中会产生 γ 射线和 β 表面沾污，整个治疗过程会产生放射性三废。在药物分装时会产生放射性气体，经密闭分装箱单独排风系统经碘吸附过滤净化后楼顶排放；甲癌病人服药住院期间会产生排泄物等，形成放射性废液，排入衰变池；药物分装用品、病人服药的一次性纸杯等作为放射性固废就地收集于放射性废物桶，随后转运用放射性废物间贮存衰变，达到清洁解控水平后按普通医疗废物处置。

^{131}I 治疗工作流程及产污节点图见下图。

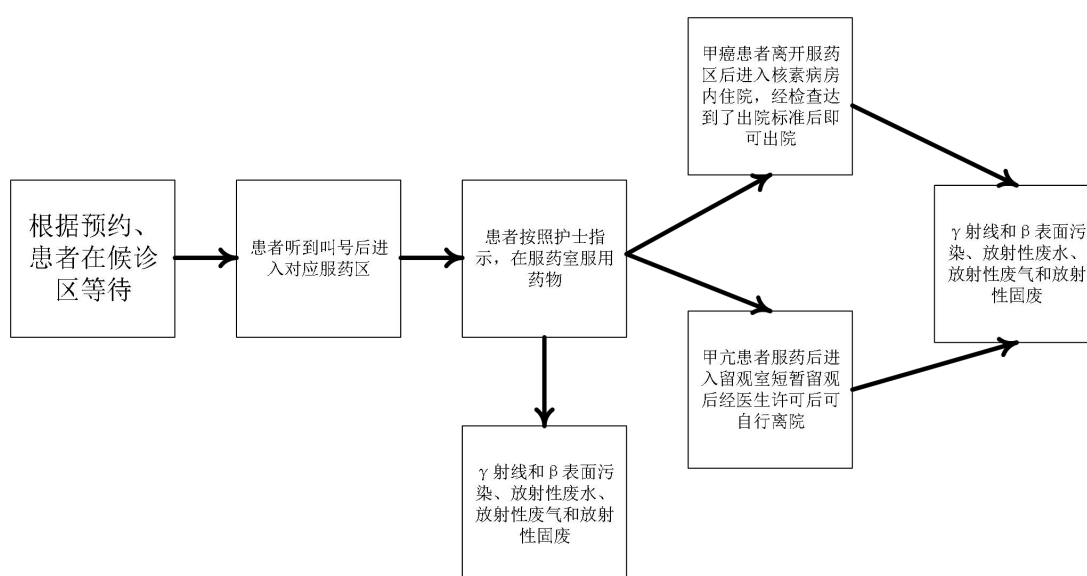


图 9-11 ^{131}I 治疗工作流程及产污节点

4、工作负荷

依据医院计划，每天接诊甲癌患者 4 人，一般住院 2-3 天，共设置 4 间甲癌病房，每年接诊甲癌患者不超过 300 人；每天接诊甲亢患者不超过 20 人，年接诊甲亢患者不超过 3000 人。

9.2 污染源项描述

9.2.1 施工期污染源项分析

长沙市第一医院拟在长沙市公共卫生救治中心原址上进行改扩建，规划建设内容分两期进行，一期为传染院区，二期为综合病区，主体工程已进行环评。本项目为综合医疗楼地下一层新建放疗中心和核医学科，地上一层西北侧新建介入科、地上二层手术中心北侧新建 DSA/CT 复合手术室及传染楼三层中部新建 DSA/CT 复合手术室，本项目施工期主要包括工作场所的防护工程、内部装修及设施安装调试等，施工期主

要污染物有：噪声、少量扬尘、施工废水、建筑垃圾及包装废弃物等。

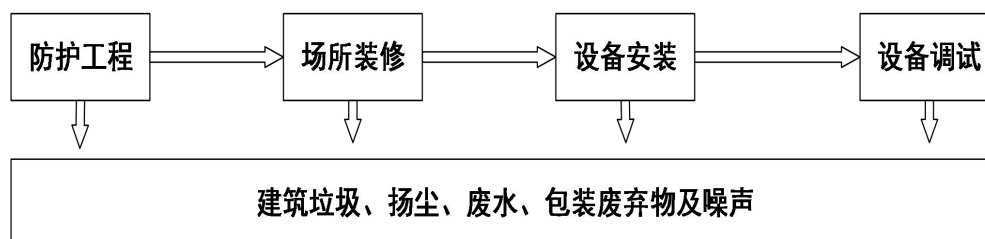


图 9-12 施工期工艺流程及产污环节

9.2.2 本项目运行期间正常工况下污染源分析

1、医用电子直线加速器

医用电子直线加速器属于 II 类射线装置，产生电子或 X 射线用于肿瘤治疗，主要污染因子为 X 射线，当加速器出束时产生电子和 X 射线，停止出束或关机则消失。

本项目医用直线加速器最大 X 线能量为 10MV，不考虑中子或感生放射性的产生。

加速器运行期间会产生废旧加速器废靶，由厂家回收。

加速器出束治疗时 X 射线会电离空气，产生臭氧和氮氧化物等有害气体。

2、后装机

后装治疗机内装有 1 枚 ^{192}Ir 密封源， ^{192}Ir 源产生 γ 和 β 射线，污染因子为 γ 和 β 射线，正常情况下， β 射线被墙体屏蔽后可忽略。

后装机治疗时， γ 射线会电离空气，产生少量臭氧和氮氧化物等有害气体。

后装机使用 ^{192}Ir 密封源一定时间后，因活度降低，不能达到治疗目的时，需要进行放射源更换，报废退役的放射源由厂家统一回收。

3、DSA 和 CT

DSA 属于 II 类射线装置，CT 属于 III 类射线装置，出束工作时均产生 X 射线，主要污染因子为 X 射线，当 DSA 和 CT 出束时产生 X 射线，停止出束或关机则消失。

DSA 和 CT 出束时还会电离空气，产生少量臭氧和氮氧化物等有害气体。

4、核医学科

新建核医学科使用 3 种非密封核素开展核医学诊疗工作， ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器会产生 γ 和 β 射线，核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 产生纯 γ 射线， ^{18}F 是人工核素，在人体中衰变产生正电子，进而产生 γ 射线，核素 ^{131}I 产生 γ 和 β 射线，SPECT/CT 和 PET/CT 显像设备在 CT 工作时会产生 X 射线，因此，本项目新建核医学科主要环境影响因子为：X 射线、 γ 射线、 β 射线和 β 表面污染，会产生放射性固体废物、放射性废水和气态放射性废物。

核医学科使用 PET/CT 显像设备需要 2 枚 ^{68}Ge 密封校准源，产生 γ 射线。

5、小结

本项目正常运行期间主要污染因子见下表

表 9-5 本项目运行期正常工况下产生的主要污染源

序号	项 目		放射性污染源		其他污染源
	场所	名称	辐射类型	三废	
1	放疗中心	医用电子直线加速器	X 射线	加速器废靶	有害气体
2		后装治疗机	γ 射线	废旧放射源	有害气体
3	核医学科	SPECT/CT	X 射线	/	有害气体
4		PET/CT	X 射线	/	有害气体
5		^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$	γ 、 β 射线、表面污染	废铅柱固废	废弃活性炭过滤装置
6		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	γ 射线、表面污染	放射性三废	
7		^{18}F	γ 射线、表面污染	放射性三废	
8		^{131}I	γ 、 β 射线、表面污染	放射性三废	废弃碘吸附过滤装置
9	介入科	DSA	X 射线	/	有害气体 医疗固废
10	复合手术	DSA/CT	X 射线	/	

9.2.3 本项目运行期辐射事故分析

1、医用直线加速器

在意外情况下，医用直线加速器可能出现的事故如下：

- (1) 门机联锁故障，人员误入正在出束的加速器治疗机房，造成人员被误照；
- (2) 医护人员或病人家属滞留加速器机房，启动加速器出束，造成人员被误照；
- (3) 急停按钮失灵或停束装置出现故障，加速器照射不能停束，造成意外照射；
- (4) 检修人员正在加速器机房进行检修维护，启动加速器出束，造成人员被误照。

事故防范处理措施

(1) 加速器机房具有良好的屏蔽设计和多重联锁装置，以保证其安全运行，但需定期进行检查和维护，保障安全设施的有效性。

(2) 制定明确的操作规程，在放射治疗操作时，至少有 2 名操作人员同时在场，操作人员按照操作规程进行操作。为防止其他人员误留在加速机房的误照射，加速器在

每次出束的时候必须对机房进行检查，确认无误后，方可进行加速器出束。

（3）当急停开关失灵后，要立即断开整机动力电源；操作人员不能再开机，直到维修人员确保机器能够正常工作和急停开关正常。

（4）加速器放疗工作人员在每次进入加速器室时须佩戴剂量报警仪和个人剂量计。

（5）加速器出束前应使用对讲广播提示人员撤出治疗机房，并经视频监控确认无人员滞留后方可开机。

2、后装治疗机

在意外情况下，后装治疗可能出现的事故如下：

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

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

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

（4）公众人员未及时撤离后装机机房，后装机出源治疗，受到不必要的辐射照射。

（5）后装机放射源因管理不善发生被盗、丢失、遗弃等事故，造成辐射危害。

事故防范处理措施

（1）工作人员每次上班时首先要检查安全联锁装置是否正常。如有故障，应立即修理，恢复正常后，方可开展治疗工作。

（2）工作人员必须严格按照操作规程开展治疗工作，在放射治疗操作时，至少有 2 名操作人员，佩戴剂量报警仪和个人剂量计，避免人员受到辐射照射。

（3）在机房内应设置紧急停机按钮与醒目的指示和说明，便于在紧急情况下使用。

（4）工作人员准备开始出源前，应对治疗室进行清场，并通过视频监控确认治疗室内无人员逗留，方能开机出源治疗。

（5）发现事故，需紧急停机控制事故，消除事故源，严禁无关人员进入，防止事故继续蔓延和扩大。

（6）停电或意外事故中断治疗时，放射源应有立即回到贮存位置。

（7）设备出现故障，应通知厂家立即派专业技术人员到现场排除故障，医院不能擅自处理，专人负责后装机控制，防止误操作造成人员意外照射事故。

3、核医学科

在意外情况下，核医学诊疗过程中可能出现的事故如下：

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

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

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

（4）放射性废气排放中过滤净化装置失效或功能减弱，造成环境空气污染。

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

事故防范处理措施

（1）核医学科应配备必要的个人防护用品和应急处置用品，当发生药物泼洒时，立即使用吸水垫等一次性用品快速吸收溢出物，防止其蔓延大面积造成污染。

（2）严格执行核医学科非密封药物和设备校准的操作规程，经常盘存放射源库存及药物台账，做到账物一致，发现异常及时检查。

（3）对患者进行注射或服药时，先要仔细核对患者信息，确认无误后方可给药，登记患者的信息尽可能的全面，避免因重名重性造成用药错误。

（4）按照相关标准要求，配备必要的检测仪器设备，定期对核医学科诊疗区场所进行 γ 辐射、表面污染、废气排放及衰变池废水检测，检测结果存档备案。

（5）设计放射性废水衰变池时要有一定的冗余度，严格控制衰变池的废水排入，定期巡查衰变池放射性废水的贮存情况，按照相关规定要求专人管理放射性三废，建立放射性三废的收集、贮存和排放的管理台账，做好记录并存档备案。

4、DSA 或 CT 设备

在意外情况下，DSA 和 CT 机进行诊疗过程中可能出现的事故如下：

（1）工作人员违反放射操作规程或误操作，造成意外照射。

（2）联锁装置发生故障情况下，无关人员误入正在运行的射线装置机房。

（3）无关人员还未全部撤离机房，即进行曝光，受到不必要的照射。

（4）在防护门未关闭的情况下即进行曝光操作，造成周围人员的不必要的照射。

(5) 介入手术曝光时间过长或单名医师手术量过多，导致手术医生超剂量照射。

(6) 医护人员开展介入治疗时，未正确穿戴或者个人防护用品不能有效进行防护，受到射线超剂量照射。

事故防范处理措施

(1) 制定明确的操作规程，在放射诊疗时，至少有 2 名操作人员同时在场，操作人员按照操作规程进行操作。

(2) 控制出束时间，在不影响手术的情况下降低设备管电压和管电流参数。

(3) 在控制室内、DSA 操作控制面板上、设备间电源开关分别设置急停按钮，当发生紧急情况，按下任一个急停开关按钮，立即停止 X 射线出束。

(4) 介入手术时，操作医生需要确认机房内无其它闲杂人等、铅防护门正常关闭之后才能开启曝光。

(5) 放射工作人员在进行放射诊疗工作时必须穿戴好防护用品，并佩戴个人剂量计，严禁在无任何防护措施情况下进行曝光，定期对防护用品有效性进行检测。

(6) 机房防护门外设置醒目的电离辐射标志及工作状态指示灯，门灯联锁。

(7) 患者通道防护门应有内部闭锁装置，防止其它人员误入。

(8) 定期对放射性诊疗手术室的安全和防护设施进行有效性检查，发现设施故障或安全隐患立即进行维护维修，严禁在安全设施不正常下，开展放射诊疗工作。

表 10 辐射安全与防护

10.1 本项目工作场所分区

根据 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的要求，拟将本项目辐射工作场所划分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

监督区：未被确定为控制区，通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

本项目辐射工作场所分区见表 10-1、图 10-1 和图 10-2：

表 10-1 本项目辐射工作场所分区

工作场所	控制区	监督区
直线加速器	加速器治疗机房及迷道	加速器控制室及加速器机房毗邻区域
后装治疗机	后装机治疗机房及迷道	后装机控制室及后装机房毗邻区域
核医学科	核医学科诊疗区域，包括： 储源室、分装室、放射废物 存放间、注射室、给药室、 抢救室、甲癌病房、污染被 服间、污洗间、抢救室、平 板运动室、注射候诊室、检 查后留观室、SPECT/CT 检 查室、PET/CT 检查室	与核医学科诊疗区毗邻区域、 SPECT/CT 和 PET/CT 的控制室、设备 间、清洁间、卫生通过间等
介入科 DSA 手术室(1)	DSA 手术室（1）机房	DSA 控制室及 DSA 机房毗邻区域
介入科 DSA 手术室(2)	DSA 手术室（2）机房	DSA 控制室及 DSA 机房毗邻区域
手术中心（2F） DSA/CT 复合手术室	DSA/CT 复合手术室机房	DSA/CT 控制室及其手术室毗邻区域
传染楼（3F） DSA/CT 复合手术室	DSA/CT 复合手术室机房	DSA/CT 控制室及其手术室毗邻区域



图 10-1 本项目核医学科及放疗中心平面分区图

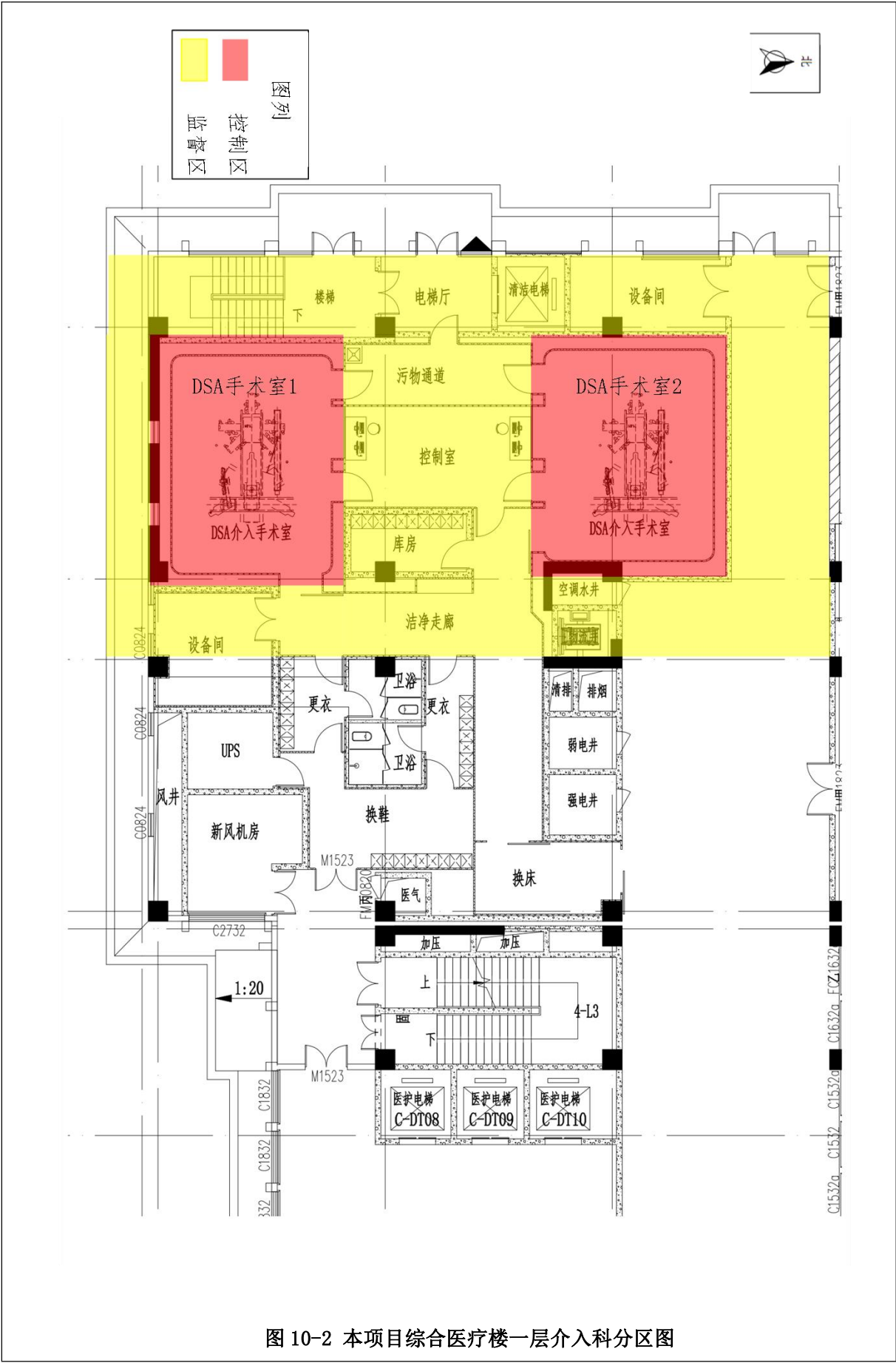
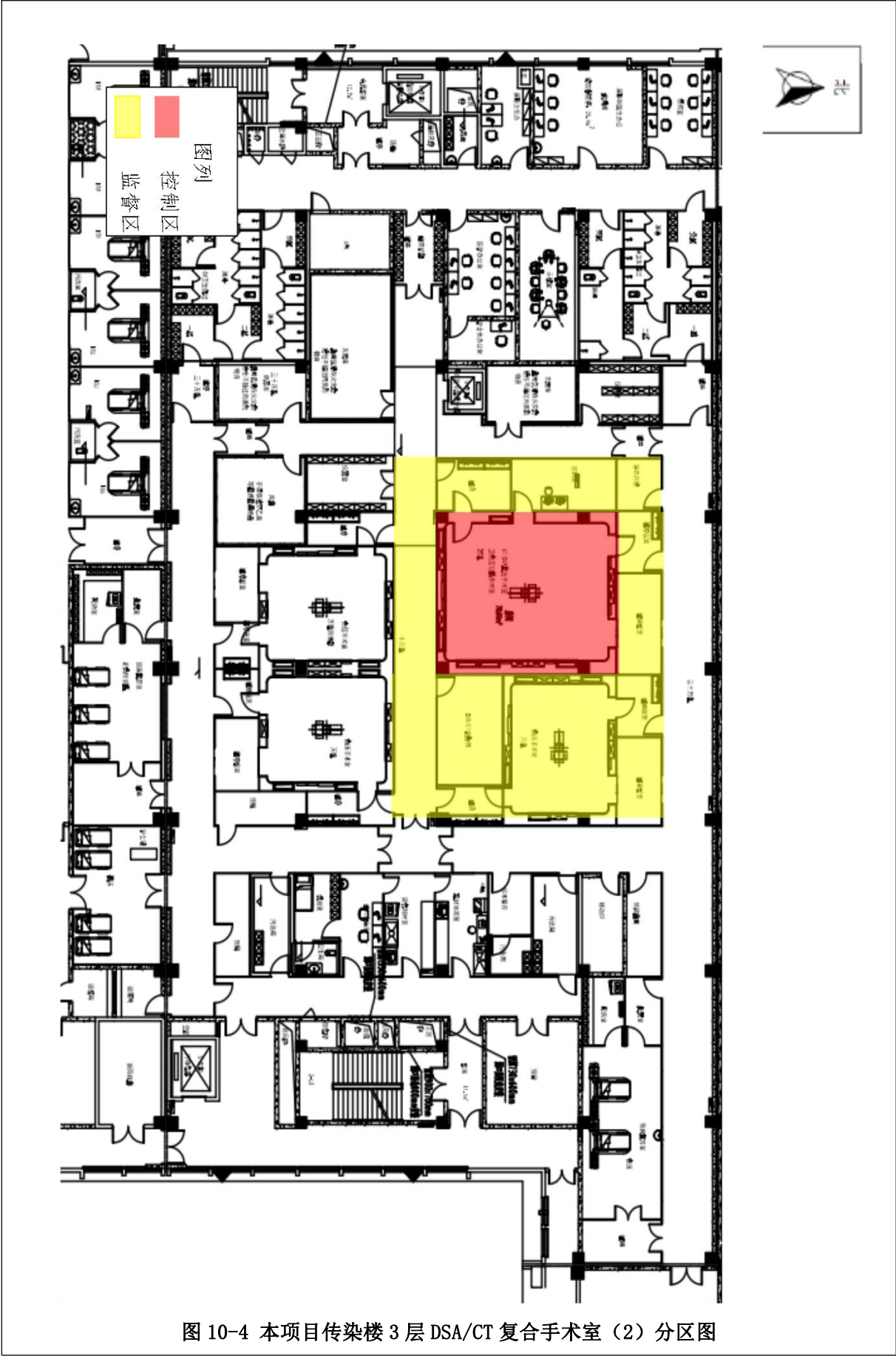


图 10-2 本项目综合医疗楼一层介入科分区图



10.2 本项目新建放疗中心工作场所辐射安全与防护措施

10.2.1 医用电子直线加速器安全与防护措施

1、医用电子直线加速器治疗机房的屏蔽设计

新建放疗中心计划购置安装 2 台医用电子直线加速器，开展放射治疗工作，根据医院提供的资料，加速器治疗机房的屏蔽设计见表 10-2：

表 10-2 直线加速器机房屏蔽设计表

机房名称	项目		屏蔽设计方案
加速器 1 室 (南)	机房尺寸		治疗室：9.8m(东西)×8.2m(南北)×3.4m(高) 迷道：2.4m(宽)×9.85m(长)，开口：2.4m(宽)
	东墙		1800mm 混凝土
	南墙	主屏蔽	2900mm 混凝土，宽度 4800mm
		次屏蔽	1800mm 混凝土
	西墙		迷路内墙：1500mm 混凝土 迷路外墙：1400mm 混凝土
	北墙	主屏蔽	2900mm 混凝土，宽度 4800mm
		次屏蔽	1800mm 混凝土
	顶上	主屏蔽	2900mm 混凝土，宽度 4800mm
		次屏蔽	1800mm 混凝土
	地板		土层（无建筑）
	电动防护门		内衬 18mm 厚铅板+120mm 含硼聚乙烯(5%硼)
加速器 2 室 (北)	机房尺寸		治疗室：9.8m(东西)×7.8m(南北)×3.4m(高) 迷道：2.4m(宽)×9.45m(长)，开口：2.4m(宽)
	东墙		1800mm 混凝土
	南墙	主屏蔽	2900mm 混凝土，宽度 4800mm
		次屏蔽	1800mm 混凝土
	西墙		迷路内墙：1500mm 混凝土 迷路外墙：1400mm 混凝土
	北墙	主屏蔽	2900mm 混凝土，宽度 4800m
		次屏蔽	1800mm 混凝土
	天棚	主屏蔽	2900mm 混凝土，宽度 4800m
		次屏蔽	1800mm 混凝土
	地板		地基（无地下室）
	电动防护门		内衬 18mm 厚铅板+12cm 含硼聚乙烯(5%硼)

注：材料密度：混凝土：2.35g/cm³，铅：11.34g/cm³。

加速器机房顶上为医院空地，另加 400mm 回填陶粒混凝土和 350mm 混凝土。

加速器机房内设置电缆地沟，上盖 2.5cm 厚不锈钢板。

加速器机房电缆管线采用 45° 的“U”结构设计。

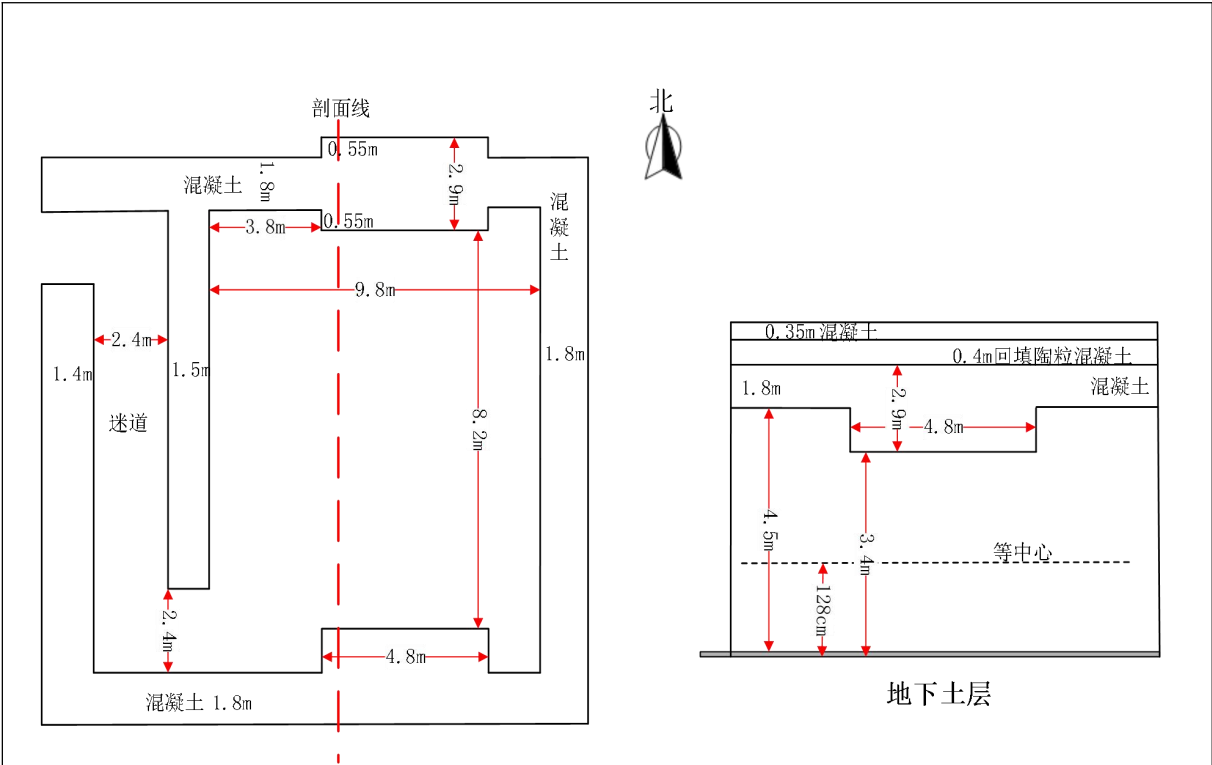


图 10-5 本项目直线加速器机房（1）防护示意图

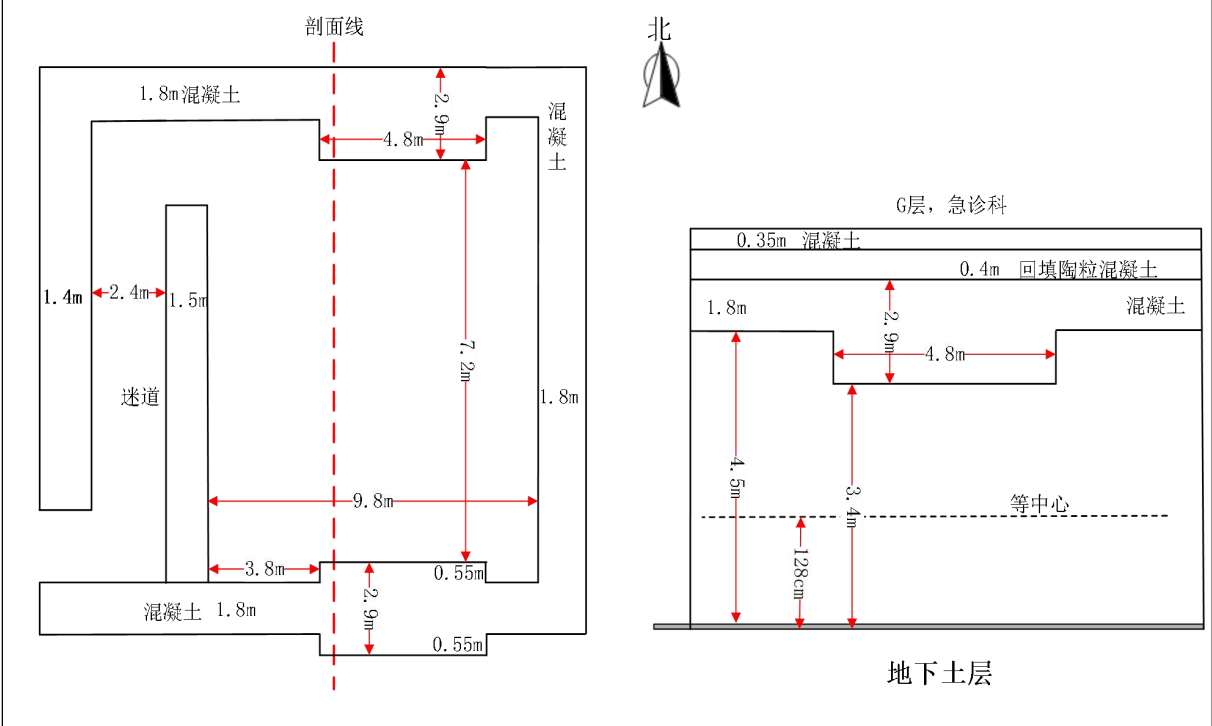


图 10-6 本项目直线加速器机房（2）防护示意图

2、医用电子直线加速器辐射安全防护措施

(1) 警示标志

① 加速器机房防护门外粘贴电离辐射标志和中文警示说明；

② 加速器机房防护门上安装工作状态指示灯箱，当加速器出束治疗时，红灯亮，指示“正在工作中”。

(2) 多重安全联锁装置

① 门-灯联锁：当加速器防护门关闭完好，控制台上关门灯亮，允许加速器出束；

② 门-机联锁：当加速器防护门未关闭完好，不能出束治疗，或当加速器正在出束治疗时，门被打开，立即停止出束；

③ 电源钥匙开关：加速器控制台上装有电源钥匙开关，专用钥匙由专人保管，只有钥匙在“开”的位置，才能接通电源，启动加速器。

(3) 紧急停机：设置多个紧急停机按钮，加速器自有包括：控制台上、治疗床旁和机架上各 1 个，另在治疗机房四周和迷道墙壁上各安装 1 个紧急停机按钮，采用串联方式，当遇到紧急情况时，按下任一紧急停机按钮，都能强制加速器停机。

(4) 紧急开门：除在加速器控制室设置有加速器防护门开/关控制外，在加速器治疗室迷道靠近出口位置安装有紧急开门开关，为误留加速器机房内人员自行逃生用。

(5) 设置加速器电动屏蔽门红外防夹装置，当开关门时，防止人员夹伤。

(6) 视频监控和语音对讲系统：在加速器治疗机房内安装有摄像监视系统，确保机房内无监控死角，能清楚地观察到加速器治疗室及迷道内影像。

(7) 辐射剂量报警装置：在加速器机房迷道内口墙上安装固定式辐射剂量报警装置，实时监测加速器机房的辐射剂量水平，超阈自动报警。

(8) 个人剂量计：为每名辐射工作人员配备个人辐射剂量计，专人专用，定期送检，监测结果存档备案。

(9) 电子式个人剂量报警仪：配备电子式个人剂量报警仪，超阈自动报警，使辐射工作人员能及时发现辐射剂量水平异常，采取正当措施处置。

(10) 配备个人防护用品和辐射监测仪器，用于自主监测，监测结果存档备案。

3、医用电子直线加速器机房通风设施

本项目 2 间直线加速器机房均采用机械送风、机械排风。2 间机房的管道沿机房迷道经“U”型通过防护门顶上方，而后接入负一层排风井至综合医疗楼楼顶排放，通风

示意图见附图 11。

本项目医用加速器机房（1）容积约为 533.0m³，直线加速器机房（1）设计通风量约 6500 m³/h，每小时设计通风次数为 12.2 次。本项目医用加速器机房（1）设置独立的进排风管道，在机房内设置了 2 个下排风口，分别位于机房西南角和东南角，距地面 30cm 处；设置 2 个进风口，位于机房顶部东北角、西北角。进风口设在放射治疗机房上部，排风口设在治疗机房下部，距地面 30cm 处，进风口与排风口位置对角设置，确保室内空气充分交换。

本项目医用加速器机房（2）容积约为 470.0m³，直线加速器机房（2）设计通风量约 5500 m³/h，每小时设计通风次数为 11.7 次。本项目医用加速器机房（2）设置独立的进排风管道，在机房内设置了 2 个下排风口，分别位于机房西北角和东北角，距地面 30cm 处；设置 2 个进风口，位于机房顶部东南角和西南角。进风口设在放射治疗机房上部，排风口设在治疗机房下部，距地面 30cm 处，进风口与排风口位置对角设置，确保室内空气充分交换。

4、每个直线加速器机房拟采取的防护安全措施见下表 10-3：

序号	辐射防护安全措施		位置	数量
1	视频监控系统 和对讲系统	摄像头（全景监控）	机房内	3 个
		对讲系统（双向）	机房与控制室之间	1 个
2	防护门与照射 启动检查	防护门启动开关	控制室内	1 个
			机房内迷道入口	1 个
		门机联锁	设备、防护门	1 个
3	钥匙开关		操作台	1 个
			设备高压钥匙开关	1 个
4	紧急停机开关 （共 8 个，串联连接）		控制室内	1 个
			防护墙	4 个
			机架	2 个
			迷路	1 个
5	警示标志	工作指示灯	防护门上方	1 个
		电离辐射警告标志	防护门上	1 个
6	固定式剂量报警仪		控制室（探头设置在机房内）	1 个
7	个人剂量计		放射工作人员佩戴	1 个/人
8	个人剂量报警设备		放射工作人员佩戴	1 个/人

1、后装治疗机房的屏蔽设计

表 10-4 后装治疗机房屏蔽设计表

机房	项目	屏蔽设计方案
后装治疗室	机房尺寸	治疗室：7.1m（南北）×5.2m（东西）×4.6m（高） 迷 道：7.1m（长）×1.5m（宽）
	东墙	800mm 混凝土
	南墙	南墙西段：1800mm 混凝土 南墙东段：2900mm 混凝土
	西墙	迷路内墙：600mm 混凝土 迷路外墙：800mm 混凝土
	北墙	800mm 混凝土
	顶上	1300mm 混凝土
	地板	土层（无建筑）
	电动防护门	8mmPb

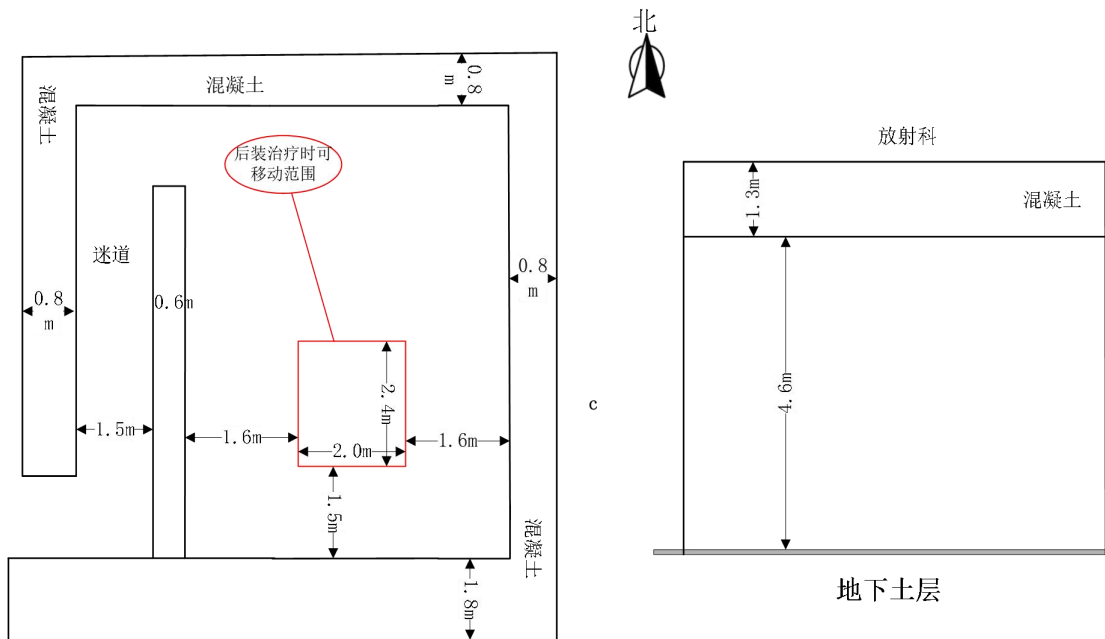


图 10-7 本项目后装治疗机房防护示意图

2、后装治疗机辐射安全防护措施

(1) 警示标志

① 后装机房防护门外和储源容器表面均粘贴电离辐射标志和中文警示说明；

② 后装机房防护门上安装工作状态指示灯箱，当后装机出源治疗时，红灯亮，指示“正在工作中”。

(2) 多重安全联锁装置

① 门-机联锁：当后装机房门关闭完好，控制台上关门灯亮，方可操作后装机；当后装机正在出源治疗时，门被打开，后装源立即返回贮存位置；

② 施源器与源联锁：固定在患者身体的施源器与治疗源运动实行联锁，如果发生施源管道遇堵等异常现象，自动回源。

③ 安装发生停电或意外中断时自动和手动回源装置，当后装源无法自动返回贮存位置，采用手动回源。

(3) 紧急停机：设置多个紧急停机按钮，控制台上和治疗床旁和机架上各 1 个，在治疗机房四周和迷道墙壁上各安装 1 个紧急停机按钮，采用串联方式，当遇到紧急情况时，按下任一紧急停机按钮，都能强制后装机停止工作，放射源自动返回贮存位置。

(4) 紧急开门：除在后装机控制室设置有治疗室防护门开/关控制外，在治疗室迷道靠近出口位置安装有紧急开门开关，为误留加速器机房内人员自行逃生使用。

(5) 设置治疗室电动屏蔽门红外防夹装置，当开关门时，防止人员夹伤。

(6) 视频监控和语音对讲系统：在后装治疗机房内安装有摄像监视系统，确保机房内无监控死角，能清楚地观察到后装机治疗室和迷道的影像。

(7) 个人剂量计：为每名辐射工作人员配备个人辐射剂量计，专人专用，至少每季度送检 1 次，监测结果存档备案。

(8) 固定辐射剂量报警仪：治疗机房需安装固定式辐射剂量报警仪，超阈自动报警，使辐射工作人员能及时发现辐射剂量水平异常，采取正当措施处置。

(9) 配备个人防护用品和辐射监测仪器，自主监测结果存档备案。

(10) 治疗室内配有储源容器、仿真源、长柄镊子等应急设备。

3、后装治疗机房通风设施

本项目后装机机房有效容积（含迷路）约为 233.3m^3 ，后装治疗机房设计通风量约 $3500\text{m}^3/\text{h}$ ，每小时设计通风次数为 15.0 次/h。本项目后装机房拟设置独立的进排风管道，

在机房内设置了 2 个排风口，位于机房东南角和西南角，距地面 30cm 处；设置 2 个进风口，分别位于机房顶部西北角和东北角，进风口设在放射治疗机房上部，排风口设在治疗机房下部，进风口与排风口位置对角设置，确保室内空气充分交换。管道沿机房迷道经“U”型通过防护门顶上方，而后直接向上到达屋顶排放。通风示意图见附图 11。

4、后装治疗机房拟采取的防护安全措施见下表 10-5

表 10-5 后装治疗机房拟采取的防护安全措施表

序号	辐射防护安全措施		位置	数量
1	视频监控系统 和对讲系统	摄像头（全景监控）	机房内	3 个
		对讲系统（双向）	机房与控制室之间	1 个
2	防护门与放射源 启动检查	防护门启动开关	控制室内	1 个
			防护门内	1 个
		门机联锁	设备、防护门	1 个
3	钥匙开关		操作台	1 个
4	紧急停机开关 （共 6 个，串联连接）		控制室内	1 个
			防护墙	4 个
			迷路	1 个
5	警示标志	工作指示灯	防护门上方	1 个
		电离辐射警告标志	防护门上	1 个
6	固定式剂量报警仪		控制室（探头设置在机房内）	1 个
7	储源容器、保险柜及长柄镊子		机房内	1 套
8	个人剂量计		放射工作人员佩戴	1 个/人
9	个人剂量报警设备		放射工作人员佩戴	1 个/人
10	X- γ 辐射监测仪		本项目辐射工作场所共用	1 个

10.2.3 DSA 或 CT 机房辐射安全与防护措施

1、DSA 机房的屏蔽设计

本项目涉及 4 台 DSA 设备，根据医院提供资料，各机房的屏蔽设计见表 10-6。

表 10-6 本项目 DSA 或 CT 机房屏蔽设计表

场所及机房名称	项目	屏蔽设计方案	近似铅当量
综合医疗楼一层 介入科 DSA 手术室（1）（东）	四面墙体	370mm 实心砖+10mm 硫酸钡水泥	3.5mmPb
	顶上	120mm 混凝土+20mm 硫酸钡板	3.5mmPb
	地板	160mm 混凝土+20mm 厚硫酸钡水泥	4.0mmPb

8.12m×6.0m=48.7m ²	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3.0mmPb
	防护门	3mmPb 电动平移门	3.0mmPb
综合医疗楼一层 介入科 DSA 手术室（2）（西） 8.12m×6.6m=53.7m ²	四面墙体	370mm 实心砖+10mm 硫酸钡水泥	3.5mmPb
	室顶	120mm 混凝土+20mm 硫酸钡板	3.5mmPb
	地板	160mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	4.0mmPb
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3.0mmPb
	防护门	3mmPb 电动平移门	3.0mmPb
综合医疗楼二层 手术中心 DSA/CT 复合手术室 11.4m×7.7m=87.8m ²	四面墙体	电解钢板隔墙+4mm 铅板	4.0mmPb
	室顶	120mm 混凝土+20mm 硫酸钡板	3.5mmPb
	地板	120mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	3.5mmPb
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb
	防护门	4mmPb 电动平移门	4.0mmPb
传染楼三层 DSA/CT 复合手术室 9.35m×7.35m=68.7m ²	四面墙体	电解钢板隔墙+4mm 铅板	4.0mmPb
	室顶	120mm 混凝土+20mm 硫酸钡板	3.5mmPb
	地板	120mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	3.5mmPb
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb
	防护门	4mmPb 电动平移门	4.0mmPb

注：材料密度：混凝土：2.35g/cm³，铅：11.34g/cm³，实心砖 1.65g/cm³，硫酸钡 3.2g/cm³；

各 DSA 机房采用顶部机械排风至室外，电缆管线采用“U”或“斜向”结构设计。

2、DSA 机房通风设施

本项目在每个 DSA 机房顶部均设置有动力排风装置，设备运行时机房内产生的少量臭氧和氮氧化物，通过动力排气装置排出，避免在机房内累积。DSA 手术室（1）的动力排风装置设置在机房顶部西南角吊顶处，排风管道经机房大门上方，采用“U”形过墙的方式，穿过东墙墙体，沿洁净走廊至清排井；DSA 手术室（2）的动力排风装置设置在东南角吊顶处，排风管道采用“U”形过墙的方式，穿过东墙墙体，经库房及洁净走廊至清排井；DSA/CT 复合手术室（1）动力排风装置设置于机房南侧吊顶处，排风管道采用直通的形式，穿过南墙墙体，经洁净走廊至清排井；DSA/CT 复合手术室（2）动力排风装置设置于机房南侧吊顶处，排风管道采用直通的形式，穿过南墙墙体，经洁净走廊至清排井。排风示意图见附图 14、附图 15、附图 16。

3、DSA 设备固有的辐射安全防护措施

（1）装有可调限束装置，使装置发射的线束宽度尽量减小，以减小泄漏辐射；

（2）采用栅控技术：在每次脉冲曝光间隔向旋转阳极加一负电压，抵消曝光

脉冲的启辉与余辉，起到消除软 X 射线、提高有用射线品质并减小脉冲宽度作用。

（3）采用光谱过滤技术：在 X 射线管头或影响增强器的窗口处放置合适过滤板，以多消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱。设备提供适应设备不同应用时可以选用的各种形状与规格的准直器隔板和过滤板。影响增强器前面可酌情配置各种规格的滤线栅，以减少散射影响。

（4）采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视，改善图像清晰度；并能明显地减少透视剂量。

（5）采用图像冻结技术：每次透视的最好一帧图像被暂存并保留于监视器上显示，即称之为图像冻结。充分利用此方法可以明显缩短总透视时间，减少不必要的照射。

（6）急停设施：

DSA 设备配置用于射线触发的脚闸；当踩下脚闸时可以控制射线开关。

DSA 设备用于控制支架、检查床以及成像系统的控制台上配备紧急关闭按钮，使用紧急关闭按钮，系统可以在紧急情况下断电。

（7）设备间安装电源总开关，可以切断整个系统的电源。

（8）在控制室设置急停按钮。

4、DSA 或 CT 机房拟配置的辐射安全防护措施

- （1）在机房门上设置工作指示灯，粘贴电离辐射警告标志和中文警示说明。
- （2）设置机房门-灯联锁装置，机房门内设置闭门装置。
- （3）安装视频监控和语音对讲系统。
- （4）在机房内安装机械通风装置，将机房内有害气体排出室外。
- （5）每名辐射工作人员配置热释光个人剂量计，定期送检，监测结果存档备案，介入手术医生配备双个人剂量计，有条件应配置指端剂量计。
- （6）配备便携式辐射巡测仪，定期对工作场所进行自主监测，监测结果存档。
- （7）配备必要的个人防护用品。见下表 10-7：

表 10-7 DSA 或 CT 机房个人防护用品和辅助防护设施配置要求

诊疗类型	工作人员		患者和受检者
	个人防护用品	辅助防护设施	

DSA	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、 铅橡胶手套、铅眼镜。 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/帘、 床侧防护屏/帘。 选配：移动铅屏风	铅橡胶性腺围裙或方巾、 铅橡胶颈套。 选配：铅橡胶帽子
CT	—	—	铅橡胶性腺围裙或方巾、 铅橡胶颈套。 选配：铅橡胶帽子

10.2.4 新建核医学科辐射安全与防护措施

1、新建核医学科诊疗区各场所的屏蔽设计

新建核医学科计划使用 3 种非密封核素 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 和 ^{131}I ，购置安装 2 台显像设备 SPECT/CT 和 PET/CT，开展核医学诊疗工作。核医学科诊疗区的屏蔽设计见表 10-8：

表 10-8 新建核医学科诊疗区场所屏蔽设计

场所名称	方位	相邻场所	屏蔽设计
$^{18}\text{F}/^{99m}\text{Tc}$ 分装室	东墙	给药室	240mm 实心砖+80mm 硫酸钡水泥
	南墙	走廊	
	西墙	通道	
	北墙	夯实土层	400mm 混凝土
	室顶	放射科	180mm 混凝土+80mm 硫酸钡板
	地板	停车场	120mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥
	防护门	卫生通过间	10mmPb 手动平开门
	^{99m}Tc 分装柜	/	6mmPb
	^{18}F 分装柜	/	50mmPb
储源室 废物间	东墙	分装室	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥
	北墙	分装室	
	南墙	分装室	
	西墙	更衣室	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥
	室顶	放射科	180mm 混凝土+40mm 硫酸钡板
	地板	停车场	120mm 混凝土+40mm 硫酸钡水泥
	防护门	分装室	6mmPb 手动平开门
$^{18}\text{F}/^{99m}\text{Tc}$ 注射室	东墙	分装室	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡水泥
	北墙	分装室	
	南墙	患者走廊	
	西墙	废物间	

		室顶	放射科	180mm 混凝土+80mm 硫酸钡板
		地板	停车场	120mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥
		防护门	患者走廊	6mmPb 手动平开门
		注射窗	分装室	40mmPb 铅玻璃
		^{99m} Tc 注射台	医师操作位	2mmPb
		¹⁸ F 注射台	医师操作位	50mmPb
	¹³¹ I 给药室	东墙	抢救/留观室	240mm 实心砖+80mm 硫酸钡水泥
		北墙	给药区	
		南墙	患者走廊	
		西墙	分装室	
		室顶	放射科	180mm 混凝土+80mm 硫酸钡板
		地板	停车场	120mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥
		防护门	患者走廊	10mmPb 手动平开门
		给药窗	患者走廊	40mmPb 铅玻璃
	¹³¹ I 抢救室	东墙	甲癌病房	240mm 实心砖+80mm 硫酸钡水泥
		南墙	患者走廊	
		西墙	给药室	
		北墙	夯实土层	400mm 混凝土
		室顶	放射科	180mm 混凝土+80mm 硫酸钡板
		地板	停车场	120mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥
		防护门	患者走廊	10mmPb 手动平开门
	甲癌病房	东墙	被服间	240mm 实心砖+80mm 硫酸钡水泥
		南墙	患者走廊	
		西墙	抢救室	
		北墙	夯实土层	400mm 混凝土
		室顶	放射科	180mm 混凝土+80mm 硫酸钡板
		地板	停车场	120mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥
		防护门	患者走廊	10mmPb 手动平开门
	¹³¹ I 被服间	东墙	送风机房	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥
		南墙	污洗间	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥
		西墙	甲癌病房	240mm 实心砖+80mm 硫酸钡水泥

		北墙	夯实土层	400mm 混凝土
		室顶	放射科	180mm 混凝土+80mm 硫酸钡板
		地板	停车场	120mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥
		防护门	污洗间	10mmPb 手动平开门
	污洗间	东墙	楼梯间	400mm 实心砖
		南墙	患者走廊	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥
		西墙	甲癌病房	240mm 实心砖+80mm 硫酸钡水泥
		北墙	夯实土层	400mm 混凝土
		室顶	放射科	180mm 混凝土+80mm 硫酸钡板
		地板	停车场	120mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥
		防护门	患者走廊	10mmPb 手动平开门
	$^{18}\text{F}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射后 候诊室	东墙	SPECT 机房	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥
		南墙	医护通道	
		西墙	运动平板室	
		北墙	患者走廊	
		室顶	放射科	180mm 混凝土+80mm 硫酸钡板
		地板	停车场	120mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥
		防护门	患者走廊	10mmPb 手动平开门
	运动 平板室 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	东墙	注射候诊室	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥
		南墙	阅片室	
		西墙	抢救室	
		北墙	患者走廊	
		室顶	放射科	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡板
		地板	停车场	120mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥
		防护门	患者走廊	4mmPb 手动平开门
	$^{18}\text{F}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 抢救室	东墙	运动平板室	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥
		南墙	门诊检查室	
		西墙	接诊区	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥
		北墙	患者走廊	
		室顶	放射科	180mm 混凝土+80mm 硫酸钡板
		地板	停车场	120mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥
		防护门	患者走廊	8mmPb 手动平开门

^(18F) PET/CT 机 房	东墙	设备间	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡水泥
	北墙	患者走廊	
	南墙	控制室	
	西墙	SPECT 机房	
	室顶	放射科	180mm 混凝土+80mm 硫酸钡板
	地板	停车场	120mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥
	防护门	患者走廊	10mmPb 电动平移门
	观察窗	控制室	10mmPb 铅玻璃
^(99mTc) SPECT/ CT 机房	东墙	PET 机房	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥
	北墙	患者走廊	
	南墙	控制室	
	西墙	注射后候诊室	
	室顶	放射科	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡板
	地板	停车场	120mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥
	防护门	患者走廊	4mmPb 电动平移门
	观察窗	控制室	4mmPb 铅玻璃
^{131I} 病人通道	四周墙体		240mm 实心砖+80mm 硫酸钡水泥
	室顶		180mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥
	地板		120mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥
	防护门（门禁）		10mmPb
^{18F/99mTc} 病 人通道	四周墙体		240mm 实心砖+20mm 硫酸钡水泥
	室顶		180mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥
	地板		120mm 混凝土+80mm 硫酸钡水泥
	防护门（门禁）		10mmPb

2、新建核医学科诊疗区人员与物流路径规划设计

新建核医学科涉及人员包括：医护人员、就诊患者、门诊服药病人和住院治疗病人，涉及的放射性物品包括：放射性药物、放射性固废、废水和废气，路径规划如下：

（1）医护人员：综合医疗楼-1F 西南侧 3#步梯和 3#、4#、5#电梯为医护人员出入口，核医学科医护人员从南侧走廊向西进入核医学科办公区，在办公区北侧设有医护专用通道，通过门禁进入核医学科卫生通道，在高活区进行核素的淋洗制备、分装标记和

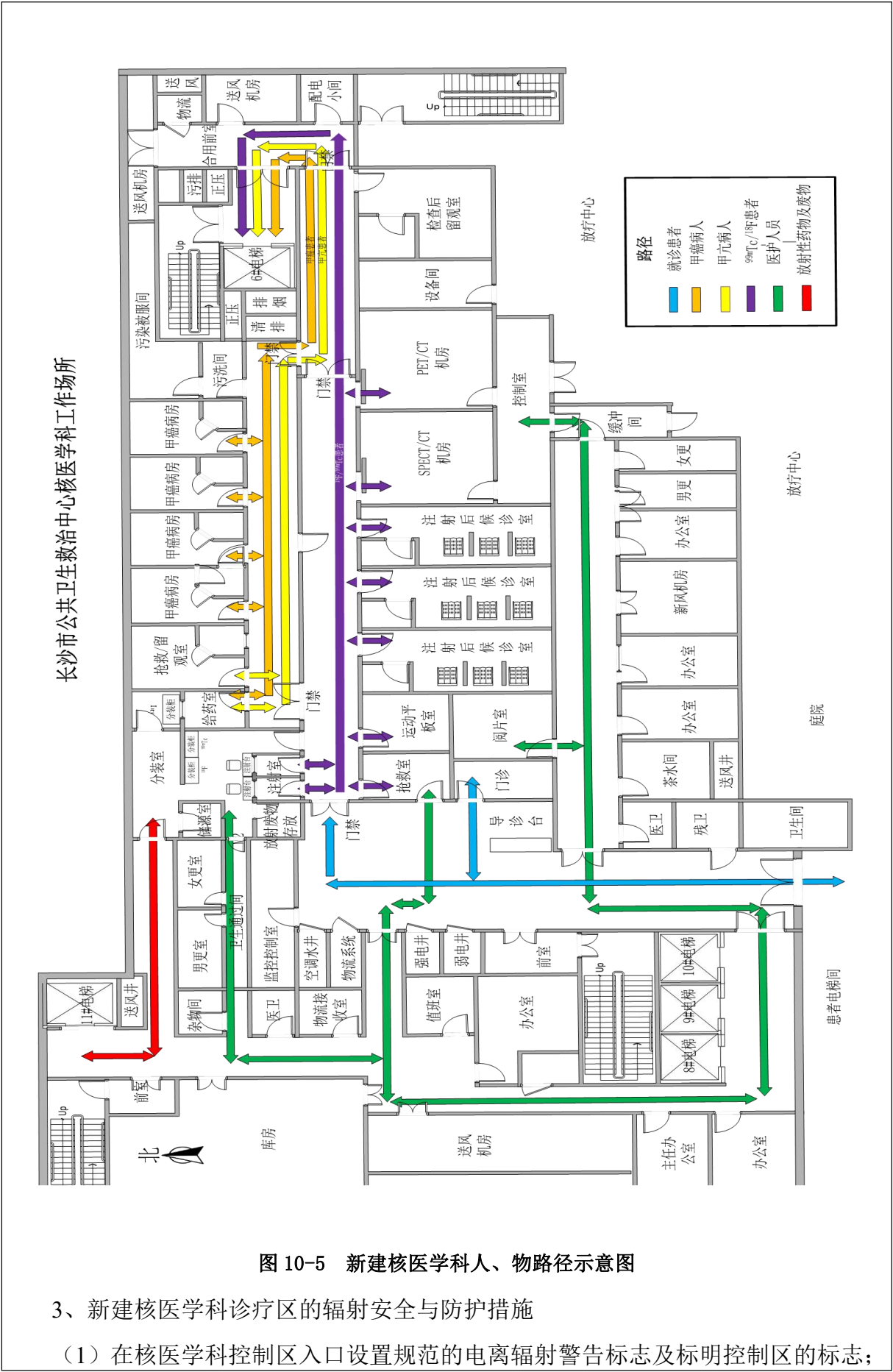
注射工作。通过南侧医护专用通道进入核医学科门诊、显像设备（SPECT/CT、PET/CT）控制室和检查室。

（2）就诊患者：就诊患者从核医学科南侧走廊进入核医学科接诊登记区和门诊室。

（3）门诊服药患者：从接诊区通过门禁进入核医学科诊疗区， ^{99m}Tc 和 ^{18}F 门诊患者采用预约式隔日诊疗，患者可在核医学科诊疗区西北侧进行药物注射，然后进入南侧候诊留观室等候（设有专用卫生间），听广播叫号进入南侧 SPECT/CT 或 PET/CT 检查室进行诊断显像，显像结束后，从走廊东侧 2#步梯及 2#电梯离院。

（4） ^{131}I 治疗患者：患者通过门禁进入核医学科诊疗区，再通过西侧门禁进入北侧 ^{131}I 治疗病区，甲亢患者为门诊病人，在西侧 ^{131}I 自助服药后通过东侧门禁直接出院；甲癌患者需进入治疗病房（设有专用卫生间和门禁），听广播叫号自助服药后，返回甲癌病房留观住院，达到出院标准并经医生批准后，通过两道门禁，从东侧出口离院。 ^{131}I 治疗病区为单独封闭区域，住院和门诊病人分时段服药，不交叉重叠。

（5）放射性药物和放射性固废：核医学科西北侧 1#步梯和 1#电梯为放射性药品入口和固废出口；放射性药物或放射性固废均从北侧专用通道进入或运出核医学科高活区或废物间，虽然共用同一通道，利用转运时间差进行管理，不重叠交叉。



监督区入口处设置标明监督区的标注。

(2) 控制区采用红色警示线划分，地面给出相应的人员流动导向标志。

(3) 控制区出入口设置门禁装置，限制人员活动。尤其服药患者不得随意走动。

(4) 控制区的入口处提供防护衣具和固定式辐射监测仪和个人衣物贮存柜。

(5) 设置医护人员进出高活区的卫生通道，提供必要的更衣设施、个人防护用品及表面污染监测等设备。

(6) 控制区服药患者候诊留观室和治疗病房内设置专用卫生间，服药患者的排泄物进入衰变池贮存衰变，达标排放。

(7) 在控制区设置运动负荷室，配备运动器材；配置抢救室，配备抢救器材和设备；设置污洗间，存放去污和应急物品。

(8) 在控制区设置放射性废物间，用于贮存放射性固废，达到清洁解控水平后，按普通医疗废物处置，不能解控固废，交由资质单位处置。

(9) 在非密封药物操作区配置必要的个人防护用品和安全设施。见下表 10-9：

表 10-9 本项目核医学科个人防护用品及监测仪器一览表

场所	防护用品	数量	备注
核医学科	个人剂量计	1 个/人	定期送检，监测结果存档
	X-γ剂量监测仪	1 个	日常监测
	活度计	3 台	分装标记核素
	固定式辐射剂量报警仪	2 个	场所实时剂量监测报警
	表面沾污仪	1 台	日常监测
	铅橡胶颈套	4 套	0.5mmPb
	铅橡胶围裙	4 套	0.5mmPb
	铅橡胶衣	4 套	0.5mmPb
	铅防护眼镜	4 套	0.35mmPb
	去污应急用品	若干	一次性用品
	放射性污物桶	若干	¹³¹ I 治疗场所：15mmPb 其他场所：10mmPb
核医学科 高活区	移动铅屏风	若干	10mmPb，留观候诊室
	^{99m} Tc 淋洗分装分装柜	1 台	6mmPb，独立排风
	¹⁸ F 分装分装柜	1 台	60mmPb，独立排风
	药物注射台 ¹⁸ F/ ^{99m} Tc	2 台	50mmPb/2mmPb
	注射器铅罩 ¹⁸ F/ ^{99m} Tc	2 个	35mmPb/2mmPb
	¹³¹ I 分装分装柜	1 台	50mmPb，独立排风

(10) 核医学科源库放射源贮存柜不得存放其他物品，实施双人双锁的严格管理，

建立放射性药品登记台账，定期核对。

(11) 甲癌病房设置门窗封闭措施和独立通风装置，制定专门的管理制度。

(12) 设置专门的符合要求的放射性废液衰变池，预留检测口，达标排放。

(13) 设置独立的排风系统，安装高效过滤装置，预留检测口，楼顶排放。

建议：(1) 在碘治疗通道出口处设置出院患者辐射剂量自动监测装置，尤其针对甲癌患者，满足出院标准后，经主管医师准许，方可通过门禁离院。

(2) 住院甲癌患者和门诊甲亢患者，实行错时服药管理措施，避免交叉影响。

(3) 应设置甲癌住院病人的配餐窗口。

4、新建核医学科衰变池

医院计划在综合医疗楼北侧新建核医学科衰变池，总容积 370m³，包括 2 个沉淀池（20.0m³/个）和 5 个贮水箱（66.0m³/箱），衰变池采取槽式贮存衰变方式，通过电动控制阀及水箱水位控制器分别控制进、出水量，交替贮存和排放。衰变池主要用于收集服药患者在住院或留观期间的排泄废水和操作放射性药物的医护人员清洁废水，医护人员的生活废水不排入衰变池。衰变池结构设计见下图：

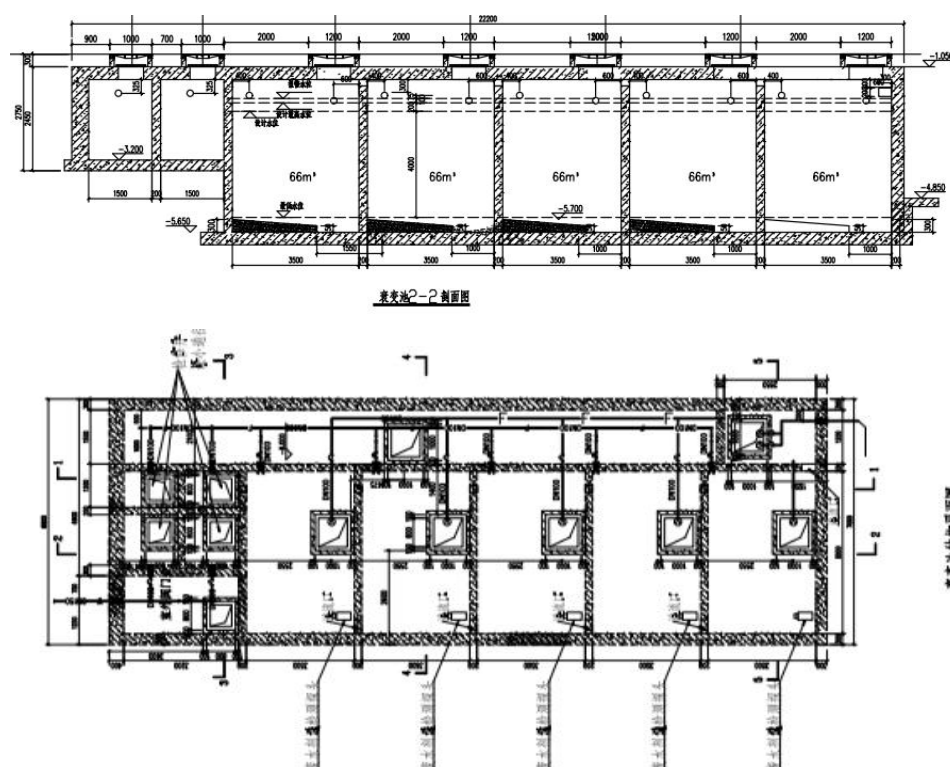


图 10-6 本项目核医学科衰变池示意图

依据 HJ1188-2021《核医学辐射防护与安全要求》和生态环境部《关于核医学标准相关条款咨询的复函》辐射函【2023】20 号的规定，对新建核医学科产生的放射

性废水进行收集、贮存和排放进行管理，预留排放检测口，放射性废水（含 ^{131}I 核素）暂存超过 180 天，总 β 不大于 10Bq/L， ^{131}I 的放射性浓度不大于 10Bq/L。

5、新建核医学科通风系统

新建核医学科共设计 2 组新风系统，即非活区和活性区。

核医学科共设计 2 套独立排风系统：

1、放射性药物分装柜由厂家提供细化设计方案。核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装柜各安装活性炭过滤装置， ^{131}I 分装柜安装碘吸附过滤装置，支管安装止回阀，3 套支管汇总后总管从西侧清排间引至综合医疗楼顶排放。

2、核医学诊疗区设计 1 套排风系统。核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 各功能房间包括：高活区、放射性废物间、储源室、注射室、抢救室、运动平板室、候诊留观室等汇入一个支管，SPECT 机房和 PET 机房汇入一个支管，均安装活性炭过滤装置；碘治疗区各功能房间包括：给药室、抢救室、被服间和 4 间甲癌病房等汇入一个支管，安装碘吸附过滤装置。各支管安装止回阀，最后汇入一个总管从东侧风井引至综合医疗楼顶排放。

核医学科独立排风管道直接引至综合医疗楼顶排放，，远离周围高层建筑或敏感目标，预留排风检测口，定期监测，保障过滤装置的有效性。见下图 10-7：

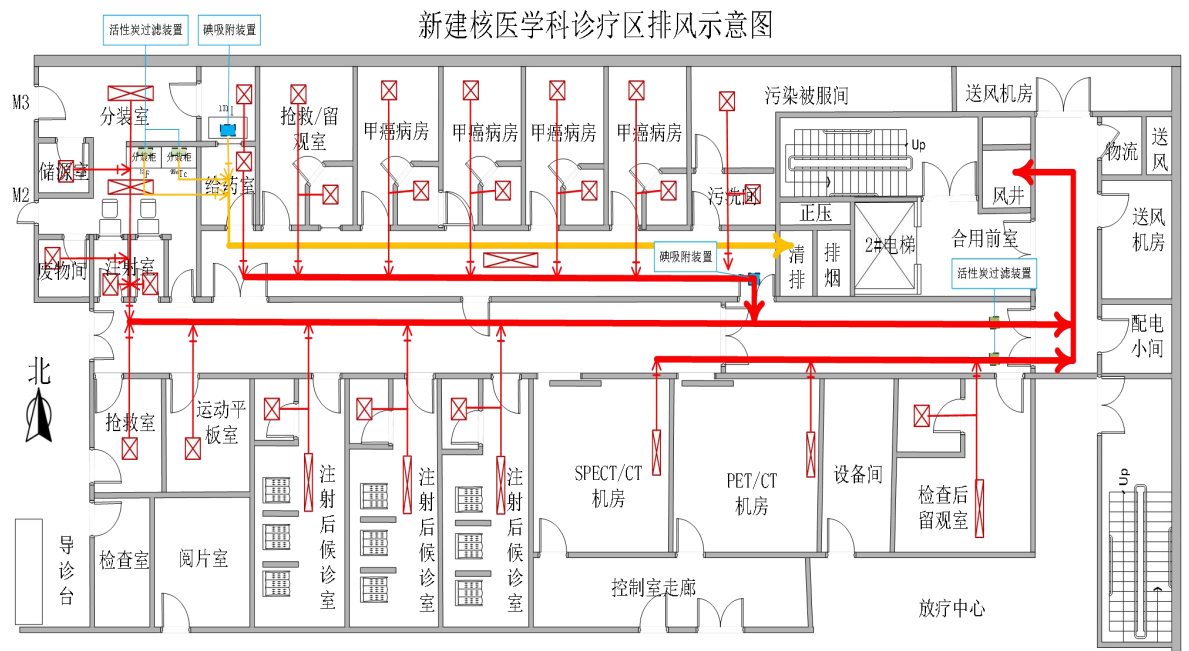


图 10-7 新建核医学科诊疗区排风示意图

10.3 三废的治理

本项目涉及 2 台医用电子直线加速器、1 台后装机（含 1 枚Ⅲ类放射源）、4 台 DSA 及核医学科。产生的三废及治理情况见下表 10-11：

表 10-11 本项目三废产生及治理一览表

序号	场所	产生放射性三废			其他废物	处置措施
		固废	废液	废气		
1	直线加速器	加速器废靶	—	—	—	厂家回收
		—	—	—	有害气体	机械排风
2	后装治疗机	退役源	—	—	—	厂家回收
		—	—	—	有害气体	机械排风
3	核医学科	放射性固废	放射性废液	放射性废气	—	设置放射性废物间贮存，达到清洁解控水平，按医疗废物处置； 放射性废液排入衰变池，设置检测口，达标排放； 设置 2 套独立排风系统，经过滤净化，楼顶排放。
4	DSA/CT	—	—	—	有害气体	机械排风
					医疗固废	医疗废物处置
5	DSA/CT	—	—	—	有害气体	机械排风
					医疗固废	医疗废物处置

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目施工期主要的环境影响因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物及设备安装及调试过程可能产生的放射性污染。

1、扬尘及防治措施

主要为装修过程中产生的有机废气。在装修施工中，通过选用合格的、通过国家质量检验的低污染建材，可有效减少有机废气的产生，所产生的少量有机废气经大气扩散后，对当地大气环境质量无明显影响。

2、废水及防治措施

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

3、噪声及防治措施

施工期噪声主要来自于电钻、电锯等。通过选取噪音低、振动小的设备操作等，并合理安排施工时间等措施能减轻对外界的影响。

4、固体废物及防治措施

施工期固体废物主要为建筑垃圾、装修垃圾。施工期产生的固体废物应妥善处理，无回收价值的建筑废料统一收集后，运输至合法堆场堆放。

5、设备安装及调试过程可能产生的放射性污染

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

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

11.2 运行阶段对环境的影响

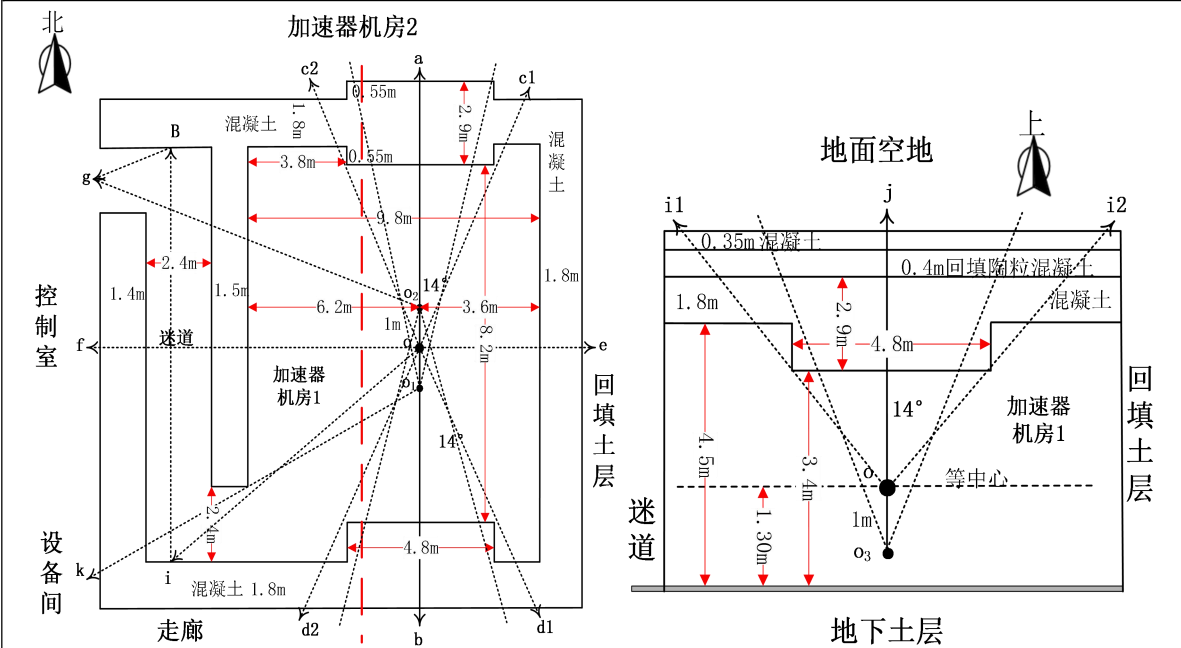
11.2.1 医用电子直线加速器

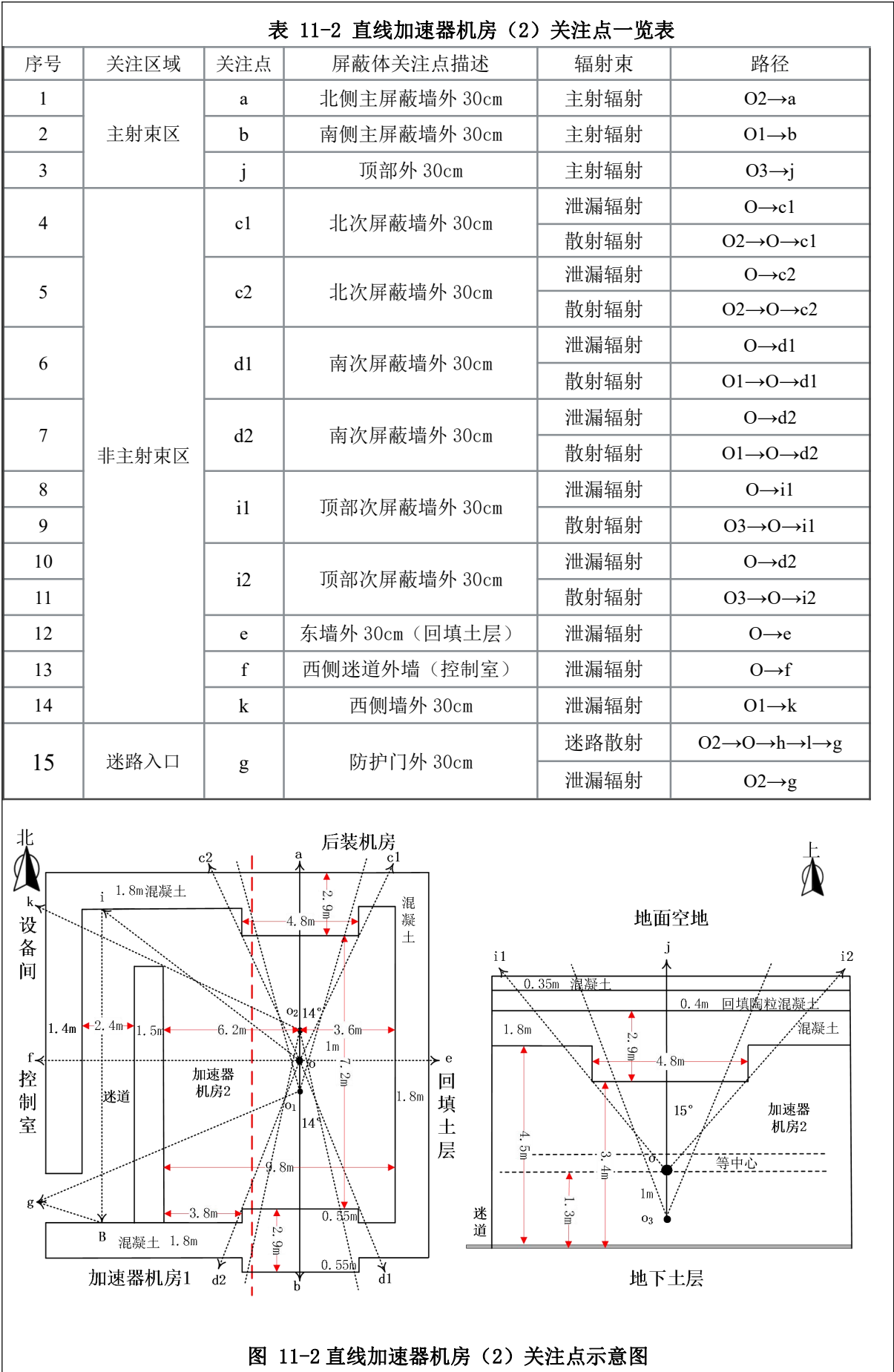
本项目新建放疗中心计划使用 2 台医用电子直线加速器，根据 GBZT201.2-2011《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》和医院提供的资料，对机房周围关注点的辐射剂量水平进行估算。

1、加速器机房关注点

表 11-1 直线加速器机房（1）关注点一览表

序号	关注区域	关注点	屏蔽体关注点描述	辐射束	路径
1	主射束区	a	北侧主屏蔽墙外 30cm	主射辐射	O2→a
2		b	南侧主屏蔽墙外 30cm	主射辐射	O1→b
3		j	顶部外 30cm	主射辐射	O3→j
4	非主射束区	c1	北次屏蔽墙外 30cm	泄漏辐射	O→c1
				散射辐射	O2→O→c1
5		c2	北次屏蔽墙外 30cm	泄漏辐射	O→c2
				散射辐射	O2→O→c2
6		d1	南次屏蔽墙外 30cm	泄漏辐射	O→d1
				散射辐射	O1→O→d1
7		d2	南次屏蔽墙外 30cm	泄漏辐射	O→d2
				散射辐射	O1→O→d2
8		i1	顶部次屏蔽墙外 30cm	泄漏辐射	O→i1
9				散射辐射	O3→O→i1
10		i2	顶部次屏蔽墙外 30cm	泄漏辐射	O→d2
11				散射辐射	O3→O→i2
12		e	东墙外 30cm（回填土层）	泄漏辐射	O→e
13		f	西侧迷道外墙（控制室）	泄漏辐射	O→f
14		k	西侧墙外 30cm	泄漏辐射	O2→k
15	迷路入口	g	防护门外 30cm	迷路散射	O1→O→h→l→g
				泄漏辐射	O1-g





2、加速器主要技术指标见下表 11-1

表 11-1 医用电子直线加速器参数表

序号	项目	额定参数
1	X 射线最大能量	10MV
2	电子线最大能量	20MeV
3	X 射线 1m 处最高剂量率（额定值）	1400cGy/min（ $8.4 \times 10^8 \text{Gy/h}$ ）
4	最大照射野面积	40cm×40cm
5	治疗床等中心高度	130cm
6	正常治疗距离（SAD）	100cm
7	射线最大出射角	28°
8	机架旋转角度	0°~±180°

3、主屏蔽区半宽度计算

主屏蔽区的半宽度 Y 的计算公式如下：

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

式中：Y—机房有用线束主屏蔽区的半宽度，m；

θ —治疗束的最大半张角，14°；

α —等中心线至墙的距离；

治疗距离：SAD=100cm，等中心 o 高度：130cm。

表 11-2 主屏蔽区半宽度（等中心安装）

机房	位置描述	α （m）	Y（m）	实际半宽度（m）	符合性分析
加速器 1 室	北侧主屏蔽墙	4.1+2.9=7	2.29	2.4	符合
	南侧主屏蔽墙	4.1+1.1=5.2	1.85	2.4	符合
	顶板主屏蔽区	3.4-1.3+1.1=3.2	1.35	2.4	符合
加速器 1 室	北侧主屏蔽墙	3.6+1.1=4.7	1.72	2.4	符合
	南侧主屏蔽墙	3.6+2.9=6.5	1.87	2.4	符合
	顶板主屏蔽区	3.4-1.3+1.1=3.2	1.35	2.4	符合

综上表：新建放疗中心 2 台医用电子直线加速器机房的主屏蔽区半宽度设计符合标准 GBZT201.2-2011 的规定要求。

4、关注点剂量率参考控制水平

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

使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 H_c ，见式 (11-1)：

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

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

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

t ——设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周 (h/周)；

U ——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T ——人员在关注点位置的居留因子。

本项目每台加速器设计工作量为 40 人/天（均按调强治疗考虑），5 天/周，每人出束照射时间 3min，则治疗装置周治疗照射时间 $t=40 \times 5 \times 3=600\text{min/周}=10\text{h/周}$ ，依据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）附录 A 中选取各关注点的居留因子。

表 11-3 直线加速器机房（1）关注点的导出剂量率控制水平

关注点		H_e ($\mu\text{Sv/周}$)	T (h/周)	U	T	$H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)
a	直线加速器机房（2）	100	10	1/4	1/8	320
b	走廊	5	10	1/4	1/5	10.0
j	急诊科	5	10	1/4	1	2.0
c1、c2	直线加速器机房（2）	100	10	1	1/8	80.0
d1、d2	走廊	5	10	1	1/5	2.5
i1、i2	急诊科	5	10	1	1	0.5
e	送风机房	5	10	1	1/16	8.0
f	机房控制室	5	10	1	1	0.25
k	设备机房	5	10	1	1/16	8.0
g	机房防护门入口	5	10	1	1/8	4.0

注：依据 GBZ 121-2020 附录 E 中，E.3.1 关注点的选取原则，e 点选取机房东侧送风机房为居留因子取值依据；偶然居留场所居留因子小于典型值的按照典型值取值。

表 11-4 直线加速器机房（2）关注点的导出剂量率控制水平

关注点		He (μSv/周)	T (h/周)	U	T	Hc,d (μSv/h)
a	后装治疗机房	100	10	1/4	1/8	320
b	直线加速器机房(1)	100	10	1/4	1/8	320
j	急诊科	5	10	1/4	1	2.0
c1	后装治疗机房	100	10	1	1/8	80
c2	走廊	5	10	1	1/5	2.5
d1、d2	直线加速器机房(1)	100	10	1	1/8	80
i1、i2	急诊科	5	10	1	1	0.5
e	夯实土层	-	10	-	-	-
f	机房控制室	5	10	1	1	0.5
k	设备机房	5	10	1	1/16	8.0
g	机房防护门入口	5	10	1	1/8	4.0
注：依据 GBZ 121-2020 附录 E 中，E.3.1 关注点的选取原则，偶然居留场所居留因子小于典型值的按照典型值取值。						

②根据 GBZ121-2020 中 6.3.1，按照关注点人员居留因子的下列不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$ (μSv/h)：

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

③关注点的剂量率控制水平确定

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)中的相关要求，选择各参考控制水平中较小值作为关注点的剂量率控制水平，具体取值见下表：

表 11-5 直线加速器机房(1) 关注点剂量率控制值取值表

关注点	控制值取值依据		剂量率控制值 (μSv/h)
	导出剂量率控制水平	GBZ126-2011 中 6.3.1b	
a	320	10	10
b	10.0	10	10
j	2.0	2.5	2.0
c1、c2	80.0	10	10
d1、d2	2.5	10	2.5
i1、i2	0.5	2.5	0.5
e	8.0	10	8.0

f	0.25	2.5	0.25
k	8.0	10	8.0
g	4.0	10	4.0

表 11-6 直线加速器机房（2）关注点剂量率控制值取值表

关注点	控制值取值依据		剂量率控制值（μSv/h）
	导出剂量率控制水平	GBZ126-2011 中 6.3.1b	
a	320	10	10
b	320	10	10
j	2.0	2.5	2.0
c1	80	10	10
c2	2.5	10	2.5
d1、d2	80	10	10
i1、i2	0.5	2.5	0.5
e	-	-	-
f	0.5	2.5	0.5
k	8.0	10	8.0
g	4.0	10	4.0

5、加速器机房关注点周围辐射剂量率计算公式

（1）有用线束和泄漏的剂量率计算公式

$$H_c = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL}$$

式中：H_c— 关注点辐射剂量率，μSv/h；

H₀— 有用线束中心轴距离靶点 1m 处的最高剂量率（8.4×10⁸μSvm²/h）；

R— 辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f— 辐射比率，有用线束为 1，漏散射线为 0.1%；

X_e— 屏蔽体有效厚度（cm）；

TVL— 屏蔽材料的平衡什值层厚度（cm）；

TVL₁— 屏蔽材料的第一什值层厚度（cm）。

（2）患者一次散射的剂量率计算公式

$$H_c = \frac{H_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot F / 400}{R_s^2} \cdot 10^{-X_e / TVL}$$

式中： α_{ph} — 患者 400cm² 面积上的散射因子；

F — 治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积；

R_s — 患者（等中心）至关注点的距离，m；

TVL — 患者散射线屏蔽材料什值层厚度（cm）；

（3）加速器（≤10MeV）机房的迷路散射辐射屏蔽与剂量估算

从本项目加速器的安装看，有用线束不朝向迷道方向照射。

①入口 g 处的散射剂量率计算公式如下：

$$H_g = \frac{H_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot F / 400}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2}$$

式中： H_g — 入口 g 处的散射剂量率，μSv/h；

α_{ph} — 患者 400cm² 面积上的散射因子，入射角 28°

F — 在等中心的最大治疗射野，cm²

R_1 — 患者（等中心）至散射混凝土墙的距离，m

R_2 — 散射砼墙至入口处的距离，m

α_2 — 入射混凝土墙的散射因子，入射角 45° 散射角 0°（0.5Mev）；

A — 混凝土墙的散射面积，m²。

②入口处总剂量计算

$$H_c = H_g \cdot 10^{-X_e / TVL} + H_{og}$$

式中： H_c — 入口处剂量率，μSv/h；

H_{og} — 加速器穿过迷道内墙到 g 处漏射剂量率，μSv/h；

TVL — g 处散射能量为 0.2MeV 的什值层，5mmPb。

（4）有效剂量 E 计算公式

$$E = \mu \cdot H \cdot W \cdot T \cdot U$$

式中：H — 关注点剂量当量率，μSv/h；

T — 居留因子；全居留：1，部分居留：1/4，偶然居留：1/16；

W — 年工作负荷，本项目 500h/a；

U — 使用因子，有用线束和散射线：1/4，漏射线：1；

μ — 转换因子；取值：1。

6、本项目加速器机房关注点周围辐射剂量率计算选取参数

根据 GBZT201.2-2011《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》附录 B，本项目加速器机房关注点剂量计算选取参数见下表 11-3

表 11-7 计算选取参数表

参数	单位	6MV	10MV	取值依据
有用线束 TVL ₁	cm	37	41	GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.1
有用线束 TVL	cm	33	37	GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.1
90°漏射 TVL ₁	cm	34	35	GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.1
90°漏射 TVL	cm	29	31	GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.1
患者散射 TVL	cm	26	28	GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.4
α_{ph}	/	2.77×10^{-3}	3.18×10^{-3}	GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.2
F	cm ²	40×40	40×40	最大对称野面积，厂家提供
α_2	/	6.4×10^{-3}	5.1×10^{-3}	GBZ/T 201.2-2011 附录 B 表 B.6
A	m ²	17.55		迷道散射面积，3.9m 宽×4.5m 高
铅 TVL	mm	5		入口处 g 处散射能量约为 0.2MeV 的什值层 GBZ/T 201.2-2011 中 5.2.6.1

7、加速器机房关注点周围辐射剂量率计算结果

通过上述计算公式和选取的参数，结合医院提供的布局和屏蔽设计图纸，新建放疗中心 2 台加速器机房外关注点周围辐射剂量率计算结果见表 11-4。

表 11-8 直线加速器机房周围各关注点辐射剂量率估算结果（10MV）

机房	关注点		屏蔽 cm	透射 因子	距离 m	线束 类型	剂量率 (μSv/h)		控制 水平	评价
加速器 1 室 (南)	北墙	o ₁ →a	290	1.86E-8	8.3	有用	2.27E-01		10	符合
		o ₁ →c	180	2.10E-6	8.69	漏射	2.34E-02	8.85E-02	10	符合
		o→c		3.73E-7	7.82	散射	6.51E-02			
	南墙	o ₂ →b	290	1.86E-8	8.3	有用	2.27E-01		10	符合
		o ₂ →d	180	2.10E-6	9.33	漏射	2.03E-02	7.59E-02	2.5	符合
		o→d		3.73E-7	8.46	散射	5.56E-02			
	屋顶	o ₃ →J	365	1.75E-10	7.05	有用	2.96E-03		2.0	符合
		o ₃ →i	255	8.00E-9	9.87	漏射	6.90E-05	1.70E-04	0.5	符合
		o→i		7.81E-10	9.09	散射	1.01E-04			

加速器 2 室 (北)	东墙	$o \rightarrow e$	180	2.10E-6	5.7	漏射	5.43E-02		8.0	符合
	西墙	$o \rightarrow f$	290	5.95E-10	9.65	漏射	5.36E-06		0.25	符合
		$o_1 \rightarrow k$	140	4.10E-5	10.4	漏射	3.19E-01		8.0	符合
	防护铅门	$o_2 \rightarrow g$	150	1.95E-5	12.1	漏射	1.12E-01	1.17E-01	4.0	符合
		$o \rightarrow g$	18mmPb	2.51E-4	12.3	散射	4.60E-03			
	北墙	$o_1 \rightarrow a$	290	1.86E-8	7.8	有用	2.57E-01		10	符合
		$o_1 \rightarrow c$	180	2.10E-6	9.02	漏射	2.17E-02	4.70E-02	10	符合
		$o \rightarrow c$		3.73E-7	8.17	散射	2.53E-02			
	南墙	$o_2 \rightarrow b$	290	1.86E-8	7.8	有用	2.57E-01		10	符合
		$o_2 \rightarrow d$	180	2.10E-6	8.36	漏射	2.53E-02	5.52E-02	10	符合
		$o \rightarrow d$		3.73E-7	7.52	散射	2.99E-02			
	屋顶	$o_3 \rightarrow J$	365	1.75E-10	7.05	有用	2.96E-03		2.0	符合
		$o_3 \rightarrow i$	255	8.00E-9	9.87	漏射	6.90E-05	1.70E-04	0.5	符合
		$o \rightarrow i$		7.81E-10	9.09	散射	1.01E-04			
东墙	$o_3 \rightarrow e$	180	2.10E-6	5.7	漏射	5.43E-02		-	符合	
西墙	$o \rightarrow f$	290	5.95E-10	9.65	漏射	5.36E-06		0.5	符合	
	$o \rightarrow k$	140	4.10E-5	10.4	漏射	3.19E-01		8.0	符合	
防护铅门	$o_2 \rightarrow g$	150	1.95E-5	12.1	漏射	1.12E-01	1.17E-01	4.0	符合	
	$o \rightarrow g$	18mmPb	2.51E-4	12.3	散射	4.60E-03				

综上表：新建放疗中心 2 台医用加速器在 10MV,1400cGy/min 工作条件下，机房外 30cm 处辐射剂量率符合本项目加速器机房的控制水平要求。

表 11-9 直线加速器机房周围各关注点辐射剂量率估算结果（6MV）

机房	关注点		屏蔽 cm	透射 因子	距离 m	线束 类型	剂量率 (μSv/h)		控制 水平	评价
加速器 1 室 (南)	北墙	o ₁ →a	290	2.15E-09	8.3	有用	4.50E-02		10	符合
		o ₁ →c	180	9.24E-07	8.69	漏射	1.76E-02	3.28E-02	10	符合
		o→c		1.19E-07	7.82	散射	1.52E-02			
	南墙	o ₂ →b	290	2.15E-09	8.3	有用	4.50E-02		10	符合
		o ₂ →d	180	9.24E-07	9.33	漏射	1.53E-02	2.83E-02	2.5	符合
		o→d		1.19E-07	8.46	散射	1.30E-02			
	屋顶	o ₃ →J	365	1.15E-11	7.05	有用	3.30E-04		2.0	符合
		o ₃ →i	255	2.40E-09	9.87	漏射	3.54E-05	5.01E-05	0.5	符合
		o→i		1.56E-10	9.09	散射	1.47E-05			
	东墙	o→e	180	9.24E-07	5.7	漏射	4.09E-02		8.0	符合
	西墙	o→f	290	1.49E-10	9.65	漏射	2.30E-06		0.25	符合
		o ₁ →k	140	2.21E-05	10.4	漏射	2.95E-01		8.0	符合

	防护铅门	$o_2 \rightarrow g$	150	1.00E-05	12.1	漏射	9.84E-02	1.06E-01	4.0	符合
		$o \rightarrow g$	18mmPb	2.51E-04	12.3	散射	7.89E-03			
加速器 2 室 (北)	北墙	$o_1 \rightarrow a$	290	2.15E-09	7.8	有用	5.10E-02		10	符合
		$o_1 \rightarrow c$	180	9.24E-07	9.02	漏射	1.63E-02	3.02E-02	10	符合
		$o \rightarrow c$		1.19E-07	8.17	散射	1.39E-02			
		$o_2 \rightarrow b$	290	2.15E-09	7.8	有用	5.10E-02		10	符合
	南墙	$o_2 \rightarrow d$	180	9.24E-07	8.36	漏射	1.33E-02	3.68E-02	10	符合
		$o \rightarrow d$		1.19E-07	7.52	散射	2.35E-02			
		$o_3 \rightarrow J$	365	1.15E-11	7.05	有用	3.30E-04		2.0	符合
	屋顶	$o_3 \rightarrow i$	255	2.40E-09	9.87	漏射	3.54E-05	5.01E-05	0.5	符合
		$o \rightarrow i$		1.56E-10	9.09	散射	1.47E-05			
	东墙	$o_3 \rightarrow e$	180	9.24E-07	5.7	漏射	4.09E-02		-	符合
	西墙	$o \rightarrow f$	290	1.49E-10	9.65	漏射	2.30E-06		0.5	符合
		$o \rightarrow k$	140	2.21E-05	10.4	漏射	2.95E-01		8.0	符合
	防护铅门	$o_2 \rightarrow g$	150	1.00E-05	12.1	漏射	9.84E-02	1.06E-01	4.0	符合
		$o \rightarrow g$	18mmPb	2.51E-04	12.3	散射	7.89E-03			

综上表：新建放疗中心 2 台医用加速器在 6MV,2400cGy/min 工作条件下，机房外 30cm 处辐射剂量率符合本项目加速器机房的控制水平要求。

8、加速器工作场所年有效剂量估算

本项目每间加速器机房设计工作量为 40 人/天/机房，每人出束照射时间 3min，每年工作 250 天，则每个机房年出束时间 $t=500h/a$ 。放疗中心将所有放射工作人员分为三组，其中 2 组负责直线加速器机房，1 组负责后装治疗机房，因此本项目剂量估算时，每个加速器机房按照 1 组固定人员进行剂量估算。放射工作人员 H_d 根据估算结果取值，居留因子根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）附录 A 附录 A 取值。

本项目加速器机房放射工作人员及周边公众个人剂量估算见表 11-24：

表 11-10 加速器机房相关人员年附加有效剂量估算结果一览表

机房	保护目标		计算参数			计算结果	管理目标值 (mSv/a)
			$H(\mu Sv/h)$	$t(h/a)$	T	$H_a(mSv/a)$	
直线加速器 机房 (1)	加速器放射工作人员 (控制室)		5.36E-06	500	1	2.68E-06	5
	公众	南侧公众 (走廊)	2.27E-01	500	1/8	2.27E-02	0.1

		防护门外	1.17E-01	500	1/8	7.31E-03	0.1
直线加速器 机房（2）	加速器放射工作人员 （控制室）		5.36E-06	500	1	2.68E-06	2
	公众	防护门外	1.17E-01	500	1/8	7.31E-03	0.1

通过上表计算可知，本项目加速器放射工作人员职业照射的附加剂量最大值为 2.68E-06mSv/a，低于医院设定的职业人员受照剂量管理目标值 5mSv/a。本项目加速器机房周边公众可能受到的最大照射附加剂量值为 0.027mSv/a，低于医院设定的公众受照剂量管理目标值 0.1mSv/a。

9、加速器工作场所的三废影响

医用电子直线加速器在运行期间不产生放射性固废、废液和废气，加速器废靶由厂家回收。加速器在出束治疗时，X 射线会电离空气产生臭氧和氮氧化物等有害气体，在加速器治疗机房安装机械排风装置，室内进、排风口采取上进下排、对角设计、全排全送的方式，通风管道设计为“U”型，室外排风口位于楼顶，远离人员活动密集区。

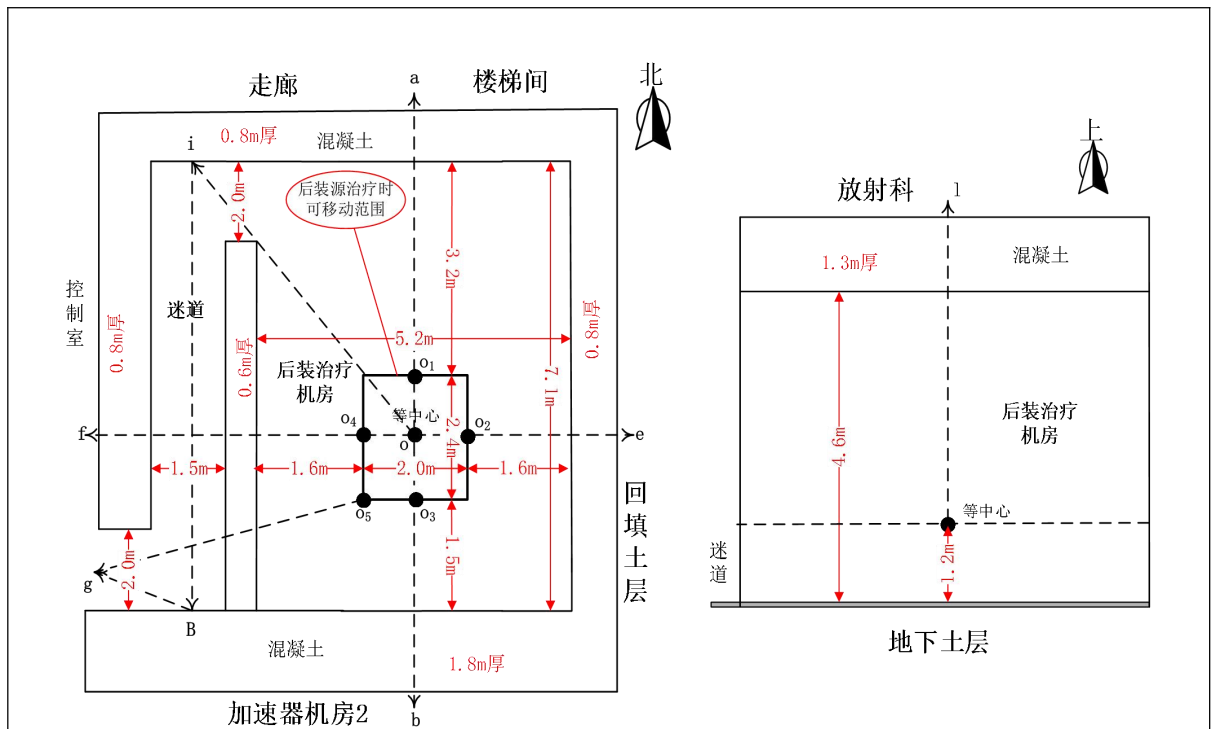
11.2.2 后装治疗机

根据 GBZT201.3-2014《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》和医院提供的资料，对后装机房周围关注点的辐射剂量水平进行估算。

1、后装治疗机房关注点

表 11-11 后装治疗机房关注点一览表

序号	关注点	屏蔽体关注点描述	路径
1	a	东屏蔽墙外 30cm	$o_1 \rightarrow a$
2	b	西屏蔽墙外 30cm	$o_3 \rightarrow b$
3	c	北屏蔽墙外 30cm	$o \rightarrow l$
4	d	南屏蔽墙外 30cm	$o_2 \rightarrow e$
5	i	顶棚上方 30cm	$o_4 \rightarrow f$
6	g	防护门外 30cm	$o_5 \rightarrow g$
			$o \rightarrow i \rightarrow g$



注：后装治疗机房屏蔽核算时，南侧墙体保守统一取值为 1.8m。

图 11-3 后装治疗机房关注点示意图

2、后装治疗机放射源信息

本项目后装机使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源，活度为： $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，主要特性见下表：

表 11-12 ^{192}Ir 放射源主要特性

核素	半衰期	射线平均能量 MeV	照射率常数 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$	TVL (mm)		
				铅	铁	砼
^{192}Ir	74d	0.37	0.111	16	43	152

3、关注点剂量率参考控制水平

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

使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 H_c ，见式 (11-1)：

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

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

H_e ——周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每周 ($\mu\text{Sv/周}$)；

t ——设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周 (h/周)；

U ——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T ——人员在关注点位置的居留因子，取值方法依据《放射治疗辐射安全与防护要

求》（HJ1198-2021）附录 A。

本项目后装治疗机设计工作量为 20 人/天，每人出束照射时间 15min，则治疗装置周治疗照射时间 $t=20 \times 15 \times 5=1500\text{min/周}=25\text{h/周}$ 。

表 11-13 后装治疗机关注点的导出剂量率控制水平

关注点	He ($\mu\text{Sv/周}$)	T (h/周)	U	T	Hc,d ($\mu\text{Sv/h}$)
a 直线加速器机房(2)	100	25	1	1/8	32
b 走廊	5	25	1	1/5	1.0
c 回填土层	-	25	1	-	-
d 控制室	5	25	1	1	0.2
i 放射科	5	25	1	1	0.2
g 机房防护门入口	5	25	1	1/16	3.2

注：依据 GBZ 121-2020 附录 E 中，E.3.1 关注点的选取原则，后装治疗机房北侧为电梯间及走廊，走廊的居留因子大于楼梯间，因此关注点 b 的居留因子以走廊作为取值依据。

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

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

③关注点的剂量率控制水平确定

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中的相关要求，选择各参考控制水平中较小值作为关注点的剂量率控制水平，具体取值见下表：

表 11-14 关注点剂量率控制值取值表

关注点	控制值取值依据		剂量率控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)
	导出剂量率控制水平	GBZ126-2011 中 6.3.1b	
a	32	10	10
b	1.0	10	1.0
c	-	-	-
d	0.2	2.5	0.2
i	0.2	2.5	0.2
g	3.2	10	3.2

4、后装治疗机房关注点辐射剂量计算公式

(1) 放射源活度 A 计算公式:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

式中: A — 当前放射源活度, Bq;

A₀ — 放射源出厂活度, Bq;

λ — 衰变常数, λ=0.693/T_{1/2}, T_{1/2} 半衰期: ¹⁹²Ir: T_{1/2}=74d;

t — 出厂日期至当前的时间, a。

(2) 屏蔽体透射因子计算公式

$$B = 10^{-X_e/TVL}$$

式中: B — 屏蔽体的透射因子;

X_e — 屏蔽体厚度, mm;

TVL — 屏蔽材料什值层, 混凝土: 152mm (初级), 铅: 5mm (散射)。

(3) 初级辐射剂量的计算公式:

$$H_c = \frac{A \cdot K_\gamma}{R^2} \cdot B \cdot f$$

式中: H_c — 剂量率, μSv/h;

A — 当前放射源的活度, MBq;

K_γ — 照射率常数, 0.111μSvh⁻¹MBq⁻¹ (¹⁹²Ir 源);

R — 参考点与放射源之间的距离, m;

B — 屏蔽体的透射因子;

f — 辐射比率, 1。

(4) 入口 g 散射辐射剂量计算

$$Hg = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_w \cdot \alpha}{R_1^2 \cdot R_2^2}$$

式中: A — 当前放射源的活度, 本项目 ¹⁹²Ir 放射源: 3.7×10⁵MBq;

K_γ — 照射率常数, ;

S_w — 迷道内口墙的散射面积, 本项目: 1.5×4.6=6.9m²;

α — 散射因子, 本项目: 3.39×10⁻² (¹⁹²Ir, 45° 入射/0° 反射, 0.25MeV);

R₁ — 放射源至散射体中心的距离, 本项目: 5.9m;

R₂ — 散射体中心至参考点的距离, 本项目: 7.1m;

5、后装治疗机房关注点辐射剂量率计算结果

根据 GBZT201.3-2014《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分： γ 射线源放射治疗机房》附录 C 选取计算参数，后装机房关注点剂量计算结果见下表 11-15

表 11-15 后装治疗机房关注点剂量计算结果

关注点		屏蔽 cm	透射 因子	距离 m	线束 类型	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		控制 水平	评价
北墙	$\text{o}_1 \rightarrow \text{a}$	80	$5.46\text{E-}6$	4.3	初级	0.012		10	符合
南墙	$\text{o}_3 \rightarrow \text{b}$	180	$1.44\text{E-}12$	3.6	初级	<0.001		1.0	符合
屋顶	$\text{o} \rightarrow \text{l}$	130	$2.8\text{E-}9$	5.0	初级	<0.001		-	符合
东墙	$\text{o}_2 \rightarrow \text{c}$	80	$5.46\text{E-}6$	2.7	初级	0.031		0.2	符合
西墙	$\text{o}_4 \rightarrow \text{f}$	140	$6.16\text{E-}10$	4.8	初级	<0.01		0.2	符合
防护 铅门	$\text{o}_5 \rightarrow \text{g}$	60	$1.13\text{E-}4$	4.8	初级	0.20	0.77	3.2	符合
	$\text{o} \rightarrow \text{i} \rightarrow \text{g}$	5mmPb	0.1	5.9	散射	0.55			

综上表：新建放疗中心后装治疗机房外 30cm 处辐射剂量率符合本项目后装机房的控制水平要求。

6、后装机工作场所年有效剂量估算

本项目后装治疗设计工作量为 20 人/天，每人出束照射时间 15min，每年工作 50 周，每周 5 天，则年出束时间 $t=1250\text{h/a}$ 。

摆位时间：本项目后装机用源为 ^{192}Ir 密封放射源，该源在自然状态下会自发衰变放射出 γ 射线，工作人员在治疗室内对患者摆位时，不可避免的受到 ^{192}Ir 密封放射源泄漏辐射影响。每次摆位时间约为 1min/人，则摆位时间 83.3h/a。

摆位处剂量率：参考原《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017，已被 GBZ121-2020 替代，此处仅作参考）中原有相关规定：“工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时，距离贮源器表面 5cm 处的人和位置，因泄露辐射所致周围剂量当量率不大于 $50 \mu\text{Sv/h}$ ；距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点因泄露辐射所致周围剂量当量率不大于 $5 \mu\text{Sv/h}$ 。”从保守角度分析，摆位处剂量率按 $5\mu\text{Sv/h}$ 考虑。本项目后装机放射工作人员及周边公众个人剂量估算见表 11-20：

表 11-16 后装机房相关人员年附加有效剂量估算结果一览表

保护目标		计算参数			计算结果		管理目标 值(mSv/a)
		H(μSv/h)	t(h/a)	T	Ha(mSv/a)		
放射工作人员	控制室	0.01	1250	1	0.012	0.43	5
	摆位	5	83.3	1	0.42		
公众	北侧公众（走廊）	0.012	1250	1/5	0.003		0.1
	楼上公众 (放射科)	0.01	1250	1	0.012		0.1
	防护门外	0.77	1250	1/16	0.06		0.1

通过上表计算可知，本项目加速器放射工作人员职业照射的附加剂量最大值为 0.43mSv/a，低于医院设定的职业人员受照剂量管理目标值 5mSv/a。本项目后装治疗机房周边公众可能受到的最大照射附加剂量值为 0.06mSv/a，低于医院设定的公众受照剂量管理目标值 0.1mSv/a。

7、后装机放射治疗场所的放射性三废影响

后装机出源治疗期间不产生废液和废气，废弃放射源由厂家回收。后装机治疗时， γ 射线会电离空气产生臭氧和氮氧化物等有害气体，在治疗机房安装机械排风装置，室内进、排风口采取上进下排、对角设计、全排全送的方式，通风管道设计为“U”，室外排风口位于，远离人员活动密集区。

11.2.3 数字血管造影机（DSA）

1、DSA 机房屏蔽效能核实

本项目 DSA 和 CT 机房平面布置及屏蔽情况与标准进行比对分析，符合性分析如下：

表 11-17 机房平面布置符合性分析

	最小单边长度	最小有效面积	符合性
标准	3.5m	20m ²	/
DSA 手术室（1）	6.62m	53.7m ²	符合
DSA 手术室（2）	6.0m	48.7m ²	符合
DSA/CT 复合手术室（1）	7.7m	87.8m ²	符合
DSA/CT 复合手术室（2）	7.35m	68.7m ²	符合

《复合手术室建设标准》(T/CAME30-2021)的要求:“复合手术室手术间的建筑面积不应低于 48m², 单一的 DSA 复合手术室(含主机房)最小尺寸为 8m×6m, 复合 CT 手术室中主机房最小尺寸为 6.5m×6m, 组合式 DSA+CT 复合手术室的建筑面积应在相应单一类型复合手术室建筑面积的基础上进行叠加计算并适当调整”。依据建设单位提供资料, 本项目中复合手术室(1)为 DSA+CT 的复合手术室, 复合手术室(2)为单一 DSA 复合手术室。本项目 2 间复合手术室均满足《复合手术室建设标准》(T/CAME30-2021)的要求。

表 11-18 机房屏蔽情况符合性分析

	标准要求	血管造影机房屏蔽设施		近似铅当量 (mmPb)	符合性
DSA 手术室(1)	有用线束: 2mmPb 非有用线束: 2mmPb	四面墙体	370mm 厚页岩实心砖 +10mm 厚硫酸钡涂料	4.5	满足
		顶棚	120mm 厚普通混凝土 +20mm 厚硫酸钡涂料	3.5	满足
		地板	160mm 厚普通混凝土 +20mm 厚硫酸钡涂料	4.0	满足
		防护门	内衬 3mmPb 铅板防护门	3.0	满足
		观察窗	3.0mmPb 铅玻璃	3.0	满足
DSA 手术室(2)	有用线束: 2mmPb 非有用线束: 2mmPb	四面墙体	370mm 厚页岩实心砖 +10mm 厚硫酸钡涂料	4.5	满足
		顶棚	120mm 厚普通混凝土 +20mm 厚硫酸钡涂料	3.5	满足
		地板	160mm 厚普通混凝土 +20mm 厚硫酸钡涂料	4.0	满足
		防护门	内衬 3mmPb 铅板防护门	3.0	满足
		观察窗	3.0mmPb 铅玻璃	3.0	满足
DSA/CT 复合手术室(1)	有用线束: 2.0mmPb 非有用线束: 2.0mmPb	四面墙体	电解钢板隔墙+4mmPb 铅板	4.0	满足
		顶棚	120mm 厚普通混凝土 +20mm 厚硫酸钡涂料	3.5	满足
		地板	120mm 厚普通混凝土 +20mm 厚硫酸钡涂料	3.5	满足
		防护门	内衬 4.0mmPb 铅板防护门	4.0	满足
		观察窗	4.0mmPb 铅玻璃	4.0	满足
DSA/CT 复合手术室(2)	有用线束: 2.5mmPb 非有用线束:	四面墙体	电解钢板隔墙+4mmPb 铅板	4.0	满足
		顶棚	120mm 厚普通混凝土	3.5	满足

	2.5mmPb		+20mm 厚硫酸钡涂料		
		地板	120mm 厚普通混凝土 +20mm 厚硫酸钡涂料	3.5	满足
		防护门	内衬 4.0mmPb 铅板防护门	4.0	满足
		观察窗	4.0mmPb 铅玻璃	4.0	满足

注:1、复合手术室中,实际使用设备为 DSA 和 CT 设备,依据 GBZ130-2020 中 6.2.2 表 3 的要求,CT 设备的有用线束和非有用线束铅当量要求比 DSA 要大,因此复合手术室的屏蔽防护要求以 CT 设备要求为标准;

2、根据 GBZ130-2020 采用 125kV(有用线束)的条件、《辐射防护技术与管理-电离辐射防护技术与管理-第一卷》核算铅当量;

3、砖铅当量核算密度为 1.65g/cm³, 370mm 页岩实心砖约等于 3.5mmPb 当量;

4、混凝土铅当量核算密度为 2.35g/cm³, 120mm 混凝土约等于 1.5mmPb 当量、160mm 混凝土约等于 2.0mmPb 当量;

5、硫酸钡涂料铅当量核算密度为 3.8t/m³核算等效铅当量, 20mm 厚硫酸钡涂料约等于 2mmPb 当量。

综上所述,本项目 2 间 DSA 手术室及 2 间 DSA/CT 复合手术室的屏蔽防护、有效使用面积、最小单边长度等均满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中的规定要求。

2 辐射环境影响分析

(1) 剂量估算公式

a) 机房外工作人员及公众

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

$$H_{er}=D_r \times t \times U \times 10^3(\text{mSv}) \dots \dots \dots (\text{式 11-1})$$

式中:

Her: X-γ 射线外照射人均年有效剂量当量, mSv/a;

Dr: X-γ 周围剂量当量率, μSv/h;

T: X-γ 照射时间, h/a。

U: 居留因子,取值参照《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)的规范性附录 A。

b) 机房内介入工作人员

考虑到铅衣内、铅衣外两部分的剂量贡献,参考 GBZ128-2019 第 6.2.4 式(4)

粗略估算介入手术放射工作人员受到的有效剂量：

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \dots\dots\dots (4)$$

式中：

E：有效剂量中的外照射分量，单位为毫希沃特(mSv)

α ：系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84；

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

β ：系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.100；

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

(2) 参数选取

a)手术类型及工作量

根据医院提供的信息，本项目正式运行后，综合医疗楼一层介入科年总计划 800 台手术左右，单台手术时间约 50min，单台手术射线装置透视出束时间约为 20min，摄影出束时间为 1min，年出束时间约为 280.0h。医院拟为介入科配备 6 名介入医师、2 名技师及 4 名护士，共计 12 名放射工作人员，同时医院拟将 12 名放射工作人员分成 3 组，轮流上岗。本项目在年有效剂量估算时，选取每组人员参与 40%工作量进行计算，则本项目介入科机房内工作人员可能受到的照射时间为 112h；医院拟配置的放射技师受到的照射时间为 280h。参照《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 的规范性附录 A，结合本项目实际情况，工作人员居留因子取 1，公众取 1/8。

根据医院提供的信息，本项目正式运行后，2 间复合手术室年计划各自完成 300 台手术左右，单台手术射线装置透视出束时间约为 20min，摄影出束时间为 1min，CT 设备出束时间约 3 分钟，每间机房年总出束时间为 120h。医院拟为每个复合手术室配备 4 名介入医师、1 名技师及 1 名护士，共计 6 名放射工作人员，同时医院拟将 6 名放射工作人员分成 2 组，轮流上岗。本项目在年有效剂量估算时，选取每组人员参与 50%工作量进行计算，则本项目介入科机房内工作人员可能受到的照射时间为 60h；医院拟配置的放射技师受到的照射时间为 120h。参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的规范性附录 A，结合本项目实际情况，工作人员居留因子

取 1，公众取 1/8。

b)机房外工作人员及公众

参考 GBZ130-2020 中“具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h”的要求，本次评价在估算机房外工作人员及公众的年有效剂量时，以 2.5 μ Sv/h 保守估计。

C)机房内介入工作人员

根据标准要求和医院防护用品配备情况，介入医生甲状腺、性腺防护用品和铅围裙的铅当量为 0.5mmPb，本次评价分别计算有甲状腺屏蔽和无甲状腺屏蔽两种情况。屏蔽透射因子 B 根据 GBZ130-2020 附录 C 中公式 C.1 计算，铅对 125kV 散射 X 射线辐射衰减的有关的三个拟合参数 α 、 β 、 γ 分别为 2.233、7.888、0.7295，代入公式 C.1 可计算出屏蔽透射因子 B 为 7.37×10^{-2} 。

参考 WS76-2020 中“非直接荧光屏透射防护区检测平面上周围剂量当量率小于等于 400 μ Sv/h”的要求，本次评价在估算介入工作人员铅衣外的年有效剂量 H_0 时取 400 μ Sv/h 保守估计；参考《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)附录 C 中屏蔽透射因子 B 计算公式估算出介入工作人员在穿戴 0.5mm 铅衣时铅衣内的辐射剂量率为 29.48 μ Sv/h，故本次评价在估算介入工作人员铅衣内的年有效剂量 H_u 时取 29.48 μ Sv/h 保守估计。

(2) 计算结果

表 11-19 机房屏蔽情况符合性分析

场所	人员类别		计算参数			计算结果	剂量管理 目标值 (mSv/a)
			Dr(μ Sv/h)	t (h/a)	U 居留因子	H _{er} (mSv/a)	
DSA 手术室 (1)	工 作 人 员	机房内工作人员 (有甲状腺屏蔽)	400/29.48 (铅衣外/ 铅衣内)	112	1	4.89	5.0
		机房内工作人员 (无甲状腺屏蔽)		112	1	7.25	5.0
		机房外工作人员 (技师)	2.5	280	1	0.7	5.0
	公众人员		2.5	280	1/8	0.087	0.1
DSA 手术室	工 作 人 员	机房内工作人员 (有甲状腺屏蔽)	400/29.48 (铅衣外/	112	1	4.89	5.0

(2)	人员	机房内工作人员 (无甲状腺屏蔽)	铅衣内)	112	1	7.25	5.0
		机房外工作人员 (技师)	2.5	280	1	0.7	5.0
	公众人员		2.5	280	1/8	0.087	0.1
DSA/CT 复合手术室 (1)	工作人员	机房内工作人员 (有甲状腺屏蔽)	400/29.48	60	1	2.62	5.0
		机房内工作人员 (无甲状腺屏蔽)	(铅衣外/ 铅衣内)	60	1	3.89	5.0
		机房外工作人员 (技师)	2.5	120	1	0.3	5.0
	公众人员		2.5	120	1/8	0.04	0.1
DSA/CT 复合手术室 (2)	工作人员	机房内工作人员 (有甲状腺屏蔽)	400/29.48	60	1	2.62	5.0
		机房内工作人员 (无甲状腺屏蔽)	(铅衣外/ 铅衣内)	60	1	3.89	5.0
		机房外工作人员 (技师)	2.5	120	1	0.3	5.0
	公众人员		2.5	120	1/8	0.04	0.1

根据剂量估算结果可知,介入科 DSA 运行时机房内工作人员(正确佩戴防护用品时)可能受到的年有效剂量为 4.89mSv, 低于医院设定的 5.0mSv/a 的剂量管理目标值; 机房外工作人员(技师)可能受到的年有效剂量为 0.7mSv, 低于医院设定的 5.0mSv/a 的剂量管理目标值; 公众人员可能受到的年有效剂量为 0.087mSv, 低于医院设定的 0.1mSv/a 的剂量管理目标值; DSA/CT 复合手术室运行时机房内工作人员(正确佩戴防护用品时)可能受到的年有效剂量为 2.62mSv, 低于医院设定的 5.0mSv/a 的剂量管理目标值; 机房外工作人员(技师)可能受到的年有效剂量为 0.3mSv, 低于医院设定的 5.0mSv/a 的剂量管理目标值; 公众人员可能受到的年有效剂量为 0.04mSv, 低于医院设定的 0.1mSv/a 的剂量管理目标值。

11.2.4 核医学科

本项目核医学科涉及 3 种非密封核素 (^{99m}Tc 、 ^{18}F 和 ^{131}I) 和 2 台显影设备 (SPECT/CT 和 PET/CT), 运营期的主要污染因子是 X、 γ 和 β 射线、表面污染及放射性三废的收集、贮存和排放, β 射线外照射经适当屏蔽可忽略。

1、放射性核素 γ 射线辐射剂量计算公式

$$H_c = \frac{A \cdot \Gamma}{R^2} \cdot 10^{-X/TVL}$$

式中：Hc — 关注点剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）

A — 放射性核素的活度（MBq）；

Γ — 照射量率常数（ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$ ）；

R — 关注点到源的距离（m）；

X — 屏蔽材料厚度（mm）；

TVL — 屏蔽材料的什值层（mm）。

2、放射性核素的特征参数

本项目核医学科使用非密封核素的特性参数见下表 11-9：

表 11-20 核医学科使用核素的相关参数

序号	核素名称	半衰期	辐射类型	照射量率常数 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$	TVL (mm)			
					铅 11.3g/cm ³	砖 1.65g/cm ³	砼 2.35g/cm ³	钡水泥 2.79g/cm ³
1	^{99m} Tc	6.02h	γ	0.0303	1	160	110	105
2	¹⁸ F	109.8min	γ	0.143	16.6	263	176	173
3	¹³¹ I	8.02d	γ 、 β	0.0595	11	240	170	159

3、核医学科各功能区放射性核素的最大药量

表 11-21 核医学科功能区使用核素的最大药量

序号	场所	核素	最大活度 MBq	说 明
1	分装室	¹⁸ F	11100	20 人/d，单人最大药量 555MBq
		^{99m} Tc	22200	30 人/d，单人最大药量 740MBq
2	注射室	¹⁸ F	555	单人注射
		^{99m} Tc	740	
3	注射后 候诊室	¹⁸ F	1665	半天 10 人共 3 间，每间候诊患者人 3 人。
		^{99m} Tc	3700	半天 15 人共 3 间，每间候诊患者人 5 人。
4	抢救室 运动负荷室	¹⁸ F	555	单人使用
		^{99m} Tc	740	
5	PET 机房	¹⁸ F	555	单人显像检查
6	SPECT 机房	^{99m} Tc	740	单人显像检查
7	¹³¹ I 分装室	甲亢患者	7400	20 人/d，单人最大药量 370MBq
		甲癌患者	22200	4 人/d，单人最大药量 5550MBq
8	¹³¹ I	甲亢患者	370	甲癌和甲亢患者分时段，单人服药

	自助服药室	甲癌患者	5550	
9	甲癌病房	甲癌患者	5550	单人病房
10	离院出口	甲癌患者	400	甲亢患者最大服药量低于出院标准，主要关注甲癌患者的离院。

4、核医学科扫描机房平面布置及屏蔽情况与标准进行比对分析

表 11-22 机房平面布置符合性分析

	最小单边长度	最小有效面积	符合性
标准	4.5m	30m ²	/
SPECT/CT	5.17m	35.5m ²	符合
PET/CT	5.25m	42.0m ²	符合

表 11-23 机房屏蔽情况符合性分析

	标准要求	血管造影机房屏蔽设施		近似铅当量 (mmPb)	符合性
SPECT/CT 机房	有用线束： 2.5mmPb 非有用线束： 2.5mmPb	南、北、西墙体	370mm 厚页岩实心砖 +20mm 厚硫酸钡涂料	4.5	满足
		东墙墙体	370mm 厚页岩实心砖 +40mm 厚硫酸钡涂料	6.0	满足
		顶棚	180mm 厚普通混凝土 +30mm 厚硫酸钡涂料	3.8	满足
		地板	120mm 厚普通混凝土 +30mm 厚硫酸钡涂料	3.1	满足
		防护门	内衬 4mmPb 铅板防护门	4.0	满足
		观察窗	4.0mmPb 铅玻璃	4.0	满足
PET/CT 机房	有用线束： 2.5mmPb 非有用线束： 2.5mmPb	四面墙体	370mm 厚页岩实心砖 +40mm 厚硫酸钡涂料	6.0	满足
		顶棚	180mm 厚普通混凝土 +80mm 厚硫酸钡涂料	8.0	满足
		地板	120mm 厚普通混凝土 +80mm 厚硫酸钡涂料	7.3	满足
		防护门	内衬 10mmPb 铅板防护门	10	满足
		观察窗	10mmPb 铅玻璃	10	满足

注:1、根据 GBZ130-2020 采用 140 (CT) 的条件、《辐射防护技术与管理-电离辐射防护技术与管理-第一卷》核算铅当量；

2、砖铅当量核算密度为 1.65g/cm³，370mm 页岩实心砖约等于 3.0mmPb 当量；

3、混凝土铅当量核算密度为 2.35g/cm³，120mm 混凝土约等于 1.3mmPb 当量、180mm 混凝土约等于 2.0mmPb 当量；

4、硫酸钡涂料铅当量核算密度为 3.8t/m³ 核算等效铅当量，20mm 厚硫酸钡涂料约等于 1.5mmPb 当量、40mm 厚硫酸钡涂料约等于 3.0mmPb 当量。

根据上表可知,本项目 SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房的使用面积及单边长度、机房屏蔽防护厚度均能满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中的相应要求。

5、核医学科使用核素 ^{99m}Tc 场所周围剂量当量率估算

(1) 钼铯发生器进行 ^{99m}Tc 的淋洗环节

根据钼铯发生器出厂要求须有自屏蔽装置,距离钼铯发生器表面 5cm 的最大剂量率为 $150\ \mu\text{Sv/h}$ 。在分装柜(6mmPb)进行淋洗,核素 ^{99}Mo 什值层为 34mmPb,通过距离反平方关系可计算淋洗过程中距离分装柜表面 50cm 的操作位的辐射剂量率为:

$$D_c = 150 \times 5^2 \div 50^2 \times 10^{-6/34} = 1.00\ \mu\text{Sv/h}$$

医护人员操作位的辐射剂量小于 $2.5\ \mu\text{Sv/h}$ 剂量约束值。

(2) ^{99m}Tc 分装标记、注射、候诊及显影等过程中关注点剂量率计算结果

通常患者 ^{99m}Tc 最大药量: $7.4 \times 10^8\text{Bq/人}$, $^{99}\text{Mo}-^{99m}\text{Tc}$ 发生器 ($2.96 \times 10^{10}\text{Bq/柱}$) 按淋洗率 90%计算,每次最大淋洗分装 ^{99m}Tc 总活度为: $2.664 \times 10^{10}\text{Bq}$,注射后候诊室按同时患者 5 人计算,总活度为 3700MBq。

表 11-13 核素 ^{99m}Tc 诊断显影各功能区的周围剂量率计算结果

场所	屏蔽体	毗邻场所	铅当量 mmPb	活度 MBq	距离 m	剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	约束值 $\mu\text{Sv/h}$	结果 评价
分装柜	铅	表面 30cm	6.0	26640	0.3	0.01	2.5	符合
^{99m}Tc 医师 注射位	注射台 2mmPb	医师躯干	2.0	740 (1人)	0.5	0.90	2.5	符合
		医师手部	2.0		0.1	22.4	/	/
		医师眼晶	2.0		0.5	0.90	/	/
^{99m}Tc 患者 注射室	东墙	^{131}I 通道	2.1		1.0	0.18	10	符合
	北墙	分装室	2.1		1.0	0.18	2.5	符合
	南墙	病人通道	2.1		1.0	0.18	10	符合
	西墙	注射窗口	40		1.0	<0.001	2.5	符合
	顶上	放射科	2.4		3.5	0.007	2.5	符合
	地下	停车场	1.9		3.0	0.031	10	符合
^{99m}Tc 运动 平板室	东墙	注射候诊室	1.7		2.0	0.011	2.5	符合
	南墙	阅片室	1.7		2.0	0.011	2.5	符合
	西墙	抢救室	1.7		2.0	0.011	2.5	符合
	北墙	病人通道	1.7		2.0	0.011	10	符合
	顶上	放射科	1.9		3.5	0.023	2.5	符合
	地下	停车场	1.5		3.0	0.079	10	符合
	防护门	病人通道	4.0		2.0	<0.001	10	符合

^{99m}Tc 注射后候诊室	东墙	注射候诊室	2.5	3700 (5 人)	2.0	0.089	2.5	符合
	南墙	医护通道	2.5		2.0	0.089	10	符合
	西墙	注射候诊室	2.5		2.0	0.089	2.5	符合
	北墙	病人通道	2.5		2.0	0.089	10	符合
	顶上	放射科	1.9		3.5	0.12	2.5	符合
	地下	停车场	1.4		3.0	0.50	10	符合
	防护门	病人通道	4		2.0	0.003	10	符合
SPECT/ CT 室	东墙	PET 检查室	2.5	740 (1 人)	3.7	0.052	2.5	符合
	南墙	控制室	2.5		3.3	0.065	2.5	符合
	西墙	候诊室	2.5		5.7	0.022	2.5	符合
	北墙	病人通道	2.5		3.3	0.065	10	符合
	顶上	放射科	1.9		3.5	0.023	2.5	符合
	地下	停车场	1.4		3.0	0.099	10	符合
	患者门	病人通道	4.0		3.3	<0.001	10	符合
	观察窗	控制室	4.0		3.3	<0.001	2.5	符合
	医师辅助摆位		0.5		1.0	7.1	/	/

综上：新建核医学科使用核素 ^{99m}Tc 开展诊疗工作，经估算，各功能场所周围剂量当量率均小于标准限值 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

6、核医学科使用核素 ^{18}F 场所周围剂量当量率估算

通常患者 ^{18}F 最大药量： $5.55 \times 10^8 \text{Bq/人}$ ，计划接诊 20 人/d，每天药物分装 1 次，药物总活度为 11100MBq，注射后候诊室按次 3 人估算，候诊室总活度：1665MBq，与 ^{99m}Tc 患者隔天诊疗的方式，全年 150 天，采用患者预约，定量外购药物。

表 11-14 核素 ^{18}F 诊断显影各功能区的周围剂量率计算结果

场所	屏蔽体	毗邻场所	铅当量 mmPb	活度 MBq	距离 m	剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	剂量限值 $\mu\text{Sv/h}$	结果 评价
分装柜	铅	表面 30cm 处	50	11100	0.8	2.41	2.5	符合
		医师操作位			1.0	1.54	2.5	符合
^{18}F 医师 注射位	铅	医师躯干	50	555 (1 人)	0.5	0.31	2.5	符合
		医师手部	35		0.1	61.8	/	/
		医师眼晶	50		0.5	0.31	/	/
^{18}F 患者 注射室	东墙	^{131}I 通道	21	555 (1 人)	1.0	4.31	10	符合
	北墙	医师注射位	40		1.0	0.31	2.5	符合
	南墙	病人通道	21		1.0	4.31	10	符合
	西墙	^{99m}Tc 注射室	21		1.0	4.31	10	符合

		顶上	放射科	25		3.5	0.20	2.5	符合
		地下	停车场	19		3.0	0.63	10	符合
	¹⁸ F 抢救室	东墙	运动负荷室	25		2.0	0.62	2.5	符合
		南墙	检查室	25		2.0	0.62	2.5	符合
		西墙	接诊区	17		2.0	1.88	2.5	符合
		北墙	病人通道	17		2.0	1.88	10	符合
		顶上	放射科	25		3.5	0.20	2.5	符合
		地下	停车场	19		3.0	0.63	10	符合
		防护门	病人通道	10		2.0	4.96	10	符合
	¹⁸ F 注射后 候诊室	东墙	注射候诊室	27	1665 (3 人)	2.0	1.41	2.5	符合
		南墙	医护通道	27		2.0	1.41	10	符合
		西墙	运动负荷室	27		2.0	1.41	2.5	符合
		北墙	病人通道	27		2.0	1.41	10	符合
		顶上	放射科	25		3.5	0.61	2.5	符合
		地下	停车场	19		3.0	1.90	10	符合
		防护门	病人通道	10		2.5	9.52	10	符合
	PET/CT 检查室	东墙	设备间	27	555 (1 人)	3.7	0.14	10	符合
		南墙	控制室	27		3.3	0.17	2.5	符合
		西墙	SPECT 室	27		5.7	0.06	2.5	符合
		北墙	病人通道	27		3.3	0.17	10	符合
		顶上	放射科	25		3.5	0.20	2.5	符合
		地下	停车场	19		3.0	0.63	10	符合
		患者门	病人通道	10		3.3	1.82	10	符合
		观察窗	控制室	10		3.3	1.82	2.5	符合
		医师辅助摆位		0.5		1.0	74.0	/	/

综上：新建核医学科使用核素 ¹⁸F 开展诊疗工作，以建设单位提供的屏蔽设计，场所屏蔽体外 30cm 周围剂量当量率小于 2.5 μSv/h，人员偶尔居留区域周围剂量当量率小于 10 μSv/h，各功能场所的屏蔽设计基本满足标准要求。

7、核医学科使用核素 ¹³¹I 治疗场所周围剂量当量率估算

核素 ¹³¹I 用于治疗甲癌和甲亢患者，甲癌患者最大药量：5.55×10⁹Bq/人，计划接诊 4 人/d，一次服药住院 2-3 天，达到出院标准后，经医师准许离院，可同时住院治疗 4 人；甲亢患者最大药量 3.70×10⁸Bq/人，计划接诊 20 人/d，自助服药后经医师准许离院；医院采用患者预约，定量外购药物，自助服药，分时段接诊甲癌和甲亢患者，每天分装标记 1 次，每次分装总活度为 29600MBq，周围剂量率按甲癌患者计算。

表 11-15 核素 ^{131}I 治疗场所的周围剂量率计算结果（以甲癌患者为例）

场所	屏蔽体	毗邻场所	铅当量 mmPb	活度 MBq	距离 m	剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	剂量限值 $\mu\text{Sv/h}$	结果评价
分装柜	铅	医师操作位	40	29600	1.0	0.41	2.5	符合
注：每日分装 1 次，分装柜表面外 30cm 处。								
^{131}I 服药室	东墙	抢救室	22.5	5550	1.5	1.32	2.5	符合
	南墙	患者走廊	22.5		1.5	1.32	10	符合
	西墙	分装室	16.5		1.5	4.64	10	符合
	北墙	服药窗	40		1.0	0.076	10	符合
	顶上	放射科	16.5		3.5	0.85	2.5	符合
	地下	停车场	13.5		3.0	2.17	10	符合
	防护门	患者走廊	10.0		2.5	6.51	10	符合
^{131}I 抢救室	东墙	甲癌病房	16.5		2.5	1.67	2.5	符合
	南墙	患者走廊	16.5		2.5	2.61	10	符合
	西墙	分装室	22.5		2.5	0.48	10	符合
	北墙	土层	26.0		2.5	0.23	/	/
	顶上	放射科	16.5		3.5	0.85	2.5	符合
	地下	停车场	13.5		3.0	2.17	10	符合
	防护门	病人通道	10.0		2.5	6.51	10	符合
甲癌 病房	东墙	甲癌病房	16.5		2.5	1.67	2.5	符合
	北墙	夯实土层	26.0		2.5	0.36	/	/
	南墙	患者走廊	16.5		2.5	2.61	10	符合
	西墙	抢救室	16.5		2.5	1.67	2.5	符合
	室顶	放射科	16.5		3.5	0.85	2.5	符合
	地板	停车场	13.5		3.0	2.17	10	符合
	防护门	患者走廊	10.0		2.5	6.51	10	符合

注：甲癌患者按最大药量估算，住院时间至少 31 小时后可满足 ^{131}I 出院标准 400MBq 要求。

综上：新建核医学科使用核素 ^{131}I 开展甲癌和甲亢治疗工作，以建设单位提供的屏蔽设计，各房间屏蔽体外表面 30 cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，屏蔽墙外为人员偶尔居留区域，其周围剂量当量率小于 $10 \mu\text{Sv/h}$ ，满足标准要求。

8、核医学科工作场所职业人员和周围公众年有效剂量估算

（1）职业人员年有效剂量估算。

依据核医学科医护人员的工作流程，职业人员使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行显像工作包括：核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗分装、给患者注射及 SPECT/CT 显影；

表 11-16 核医学工作场所职业人员年有效剂量计算结果（居留因子：1）

核素	工作内容	场所/对象	最大剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	时间 h/a	年有效剂量 mSv/a	约束值 mSv/a	评价
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	淋洗分装	分装柜	1.0	75	0.075	5.0	符合
	药物注射	躯干	0.90	75	0.068	5.0	符合

		眼晶体	0.90		0.068	15	符合
		手部	22.4		1.68	50	符合
	SPECT/CT 诊断显影	控制室	0.28	1125	0.315	5.0	符合
		辅助摆位	7.1	75	0.533	5.0	符合
¹⁸ F	药物分装	分装柜	1.54	75	0.116	5.0	符合
	药物注射	躯干	0.31	50	0.016	5.0	符合
		眼晶体	0.31		0.016	15	符合
		手部	61.8		3.090	50	符合
	PET/CT 诊断显影	控制室	1.89	750	1.42	5.0	符合
		辅助摆位	74.0	50	0.37	5.0	符合
¹³¹ I	药物分装	甲癌治疗	0.42	75	0.0315	5.0	符合
		甲亢治疗	0.15		0.0113	5.0	符合

注：a、^{99m}Tc 或 ¹⁸F 淋洗分装约 30min，每天 1 次，药物注射 1min/人，医师辅助 10%患者摆位 1min/人，诊断显像约 15min/人，SPECT/CT 检查患者 4500 人/年，PET/CT 检查患者 3000 人/年。

b、甲癌和甲亢治疗患者分时段自助服药，药物分装约 30min/次，每天个 1 次，全年 150 天。

综上表：新建核医学工作场所职业人员的年最大有效剂量为 1.42mSv/a，小于年有效剂量约束值 5mSv/a；眼晶体年最大有效剂量为 0.045mSv/a，小于年有效剂量约束值 15mSv/a；手部年最大有效剂量为 3.09mSv/a，小于年有效剂量约束值 50mSv/a。

(2) 周围公众年有效剂量估算。

新建核医学科诊疗区设有门禁装置，无关人员禁止入内，因此，周围公众关注对象为诊疗区域外的常驻人员，不包含偶尔经过的流动人员。

表 11-17 核医学诊疗区周围公众年有效剂量计算结果

场所/对象	方位	最大剂量率 μSv/h	时间 h/a	居留 因子	年有效剂量 mSv/a	约束值 mSv/a	评价
放射科/医护人员	楼上	1.21	150	1/2	0.091	0.1	符合
接诊台/医护人员	西侧	0.62	150	1	0.093	0.1	符合
阅片室/医护人员	西南侧	1.41	150	1/4	0.053	0.1	符合

注：楼上放射科和西南侧阅片室最大剂量为：¹⁸F 候诊室，西侧接诊台最大剂量为：¹⁸F 抢救室。

综上表：新建核医学诊疗区周围公众年最大有效剂量为 0.093mSv/a，小于周围公众年有效剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

9、核医学科三废治理分析

根据核医学实践中产生的放射性废物形态和核素种类，按照相关要求分类收集和分别处理；遵照最小化原则区分放射性废物和解控废物，建立放射性废物收集、贮存和排放（处置）管理台账，专人负责，做好记录并存档备案。

（1）放射性固废

①放射性固废的收集和贮存

a、放射性固体废物包括：剩余药物、去污使用的一次性物品和沾有放射性残液的注射器、分装瓶、棉签、操作使用的手套、口罩、废钼铯发生器，放射性废气过滤装置更换下来的活性炭及滤袋等。

b、放射性固废应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

c、放射性废物应按照半衰期或核素分类、分期收集，每袋重量不超过 20 kg，包装体外的表面剂量率不超过 0.1mSv/h。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

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

②放射性固废的处置

a、废钼铯发生器在废物间暂存，由厂家回收。

b、放射性固废暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

c、含有 ^{99m}Tc 或 ¹⁸F 核素的放射性固废暂存时间超过 30 天，含 ¹³¹I 核素的放射性固废暂存超过 180 天。

d、通风系统中的废弃过滤袋，送交有资质的单位处理，表面污染水平对 β 和 γ 发射体应小于 4.0Bq/cm²，表面剂量率不超过 0.1mSv/h。

（2）气态放射性废物

①使用 ^{99m}Tc 药物为简单湿法操作，⁹⁹Mo-^{99m}Tc 发生器中 ⁹⁹Mo 及衰变产物 ^{99m}Tc、⁹⁹Tc 等均为非挥发性物质，淋洗过程在密闭发生器中负压条件下进行，^{99m}Tc 药物的标记、分装等是在分装柜中进行，因此，操作场所产生放射性气体污染很小。

②使用 ¹⁸F 放射性药物为人工合成药物，不需要再加工，在密闭分装柜中分装标记便可使用，产生放射性气溶胶的可能性很小；患者注射时，可能有滴洒污染，有少量放射性气体污染空气。

③使用核素 ¹³¹I 放射性药物，易挥发，但是 ¹³¹I 药品是离子型水溶液成品，不需

要再加工，稀释即可使用，产生放射性气溶胶的可能性很小；核素 ^{131}I 是在自动分装仪进行分装和给药，外空间不会产生放射性废气，患者服药可能有滴洒污染，有少量放射性气体污染空气。

④新建核医学科共设计 2 套独立排风系统，主要包括：

a、放射性药物分装柜由厂家提供细化设计方案。核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装柜安装活性炭过滤装置， ^{131}I 分装柜安装碘吸附过滤装置，支管安装止回阀，总管从西侧清排间引至综合医疗楼顶排放。

b、核医学诊疗区设计 1 套排风系统。核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 各功能房间安装排风支管和止回阀，汇入一个总管，SPECT 机房和 PET 机房汇入一个总管，均安装活性炭过滤装置，碘治疗区各功能房间安装排风支管和止回阀，汇入一个总管并安装碘吸附过滤装置，最后所有总管汇总从东侧风井引至综合医疗楼顶排放。

c、核医学科独立排风管道直接引至综合医疗楼顶排放，远离周围高层建筑或敏感目标，预留排风检测口，定期监测，保障过滤装置的有效性。

综上，核医学科设计的排风系统符合 HJ1188-2021 标准要求。

（3）放射性废液

①新建核医学科放射性废液收集与贮存

计划在综合医疗楼北侧新建核医学科衰变池，总容积 370m^3 ，包括 2 个沉淀池（ $20.0\text{m}^3/\text{个}$ ）和 5 个贮水箱（ $66.0\text{m}^3/\text{箱}$ ，净容积 $40\text{m}^3/\text{箱}$ ），采取槽式贮存衰变方式，通过电动控制阀及水位传感器自动控制，交替贮存和排放，排水口设置检测口。衰变池主要用于收集服药患者在候诊留观或住院期间的排泄废水、操作放射性药物的医护人员清洁废水，医护人员的生活废水不排入衰变池。

②放射性废液衰变池的设计

新建核医学科放射性废液衰变池建设于地下，池体采用抗渗混凝土浇筑，管道外增加刚性铅屏蔽材料，池顶采用方形含铅铸铁井盖，衰变池设计见下图 11-10：

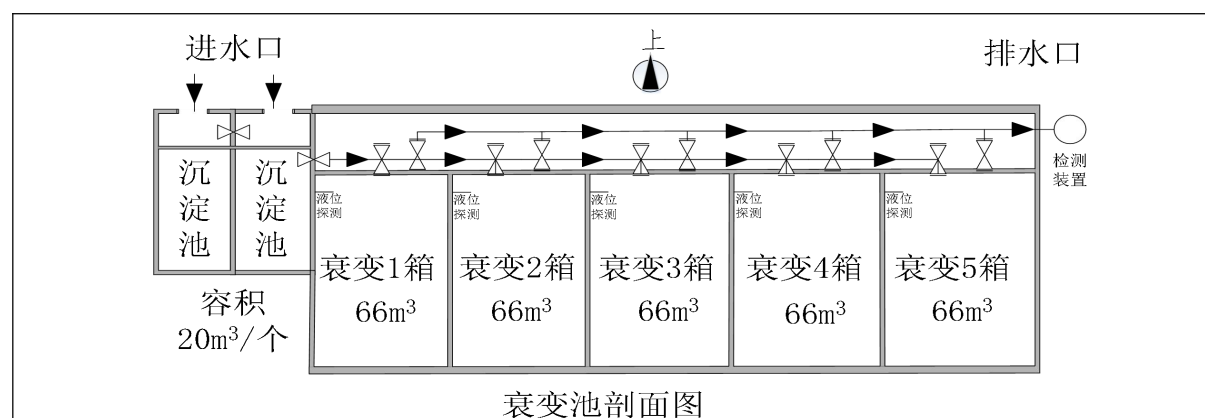


图 11-10 核医学科放射性废液衰变池示意图

③新建核医学放射性废液衰变池分析

新建核医学科衰变池收集的放射性废水估算参数如下：

a、门诊病例：按平均每人排尿 1 次（300mL），抽水马桶 1 次排水 6L/次，共计 6.3L/次；住院病例：甲癌病人按废水量 100L/床日计算。

b、病人出院时的排出量按给药量的比例计算活度： $^{99m}\text{Tc}/^{18}\text{F}$ ：33%； ^{131}I 甲癌：66%（取自辐射防护手册（第三分册）辐射安全 原子能出版社，1990.3）

c、核素操作时药物洒滴现象，使用一次性吸水纸等擦吸，按固废处置，操作核素的医护人员清洁用水，按每人每次 5L 清洁废水收集于放射性废液衰变池。

表 11-18 新建核医学科衰变池收集贮存放射性废水统计表

场所	用水类别	用水定额	日接诊病人人数	排入废液 L/d	单人药量 MBq/人	日总活度 Bq/d	废液浓度 Bq/L
^{99m}Tc 诊疗区	服药病人排泄	6.3L/人/次	30 人 2 次	378	740	7.326×10^9	1.94×10^7
	医护人员清洁	5L/人	2 人 2 次	20	/	/	/
^{18}F 诊疗区	服药病人排泄	6.3L/人/次	20 人 2 次	252	555	3.663×10^9	1.45×10^7
	医护人员清洁	5L/人	2 人 2 次	20	/	/	/
平均		/	/	335	/	/	/
注： ^{99m}Tc 或 ^{18}F 药物分装、注射需 2 名医师，两种核素实行隔天接诊患者， ^{99m}Tc ：30 人/d， ^{18}F ：20 人/d。							
^{131}I 治疗区	甲癌病人排泄	100L/床日	4 人	400	5550	1.465×10^{10}	3.66×10^7
	医护人员清洁	5L/人	1 人 2 次	10	/	/	/
合计		/	/	410	/	/	/
注： ^{131}I 为自动分装给药，医师运输药物需要清洁，分上、下午时段治疗甲亢和甲癌患者，医师清洁为 1 人 2 次；通常，甲亢药量为 370MBq/人，服药后经医师准许离院；甲癌病人服药后住院 2-3 天，最多住院 4 人。							

综上表，新建核医学科计划将 1 个化粪池和 2 个衰变箱设计为短半衰期衰变池（ ^{99m}Tc 和 ^{18}F ），将另 1 个化粪池和 3 个衰变箱为 ^{131}I 衰变池。经估算，短半衰期

衰变池存一排一，放射性废液单池贮存时间为： $40 \div 0.335 = 120$ 天，满足 HJ1188-2021《核医学辐射防护与安全要求》中“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后直接解控排放”要求。 ^{131}I 衰变池采取存二排一，放射性废液两池贮存时间为： $80 \div 0.41 = 195$ 天，满足 HJ1188-2021《核医学辐射防护与安全要求》中“含碘-131 核素的暂存超过 180 天”要求。

根据 GB18871-2002 规定了单次放射性废液的排放总活度应小于核素对应的 $\text{ALI}_{\min}$ ，月排放总量不得超过 $10\text{ALI}_{\min}$ 。本项目使用核素的排放活度计算如下：

表 11-14 核医学科衰变池放射性排放废水活度分析表

核素	半衰期	GB18871-2022 要求		排放废液活度估算结果				评价结果
		$\text{ALI}_{\min}$ (Bq)	$10\text{ALI}_{\min}$ (Bq)	排入活度 (Bq)	暂存 时间	$\text{ALI}_{\min}$ (Bq)	$10\text{ALI}_{\min}$ (Bq)	
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	1.79×10^8	1.79×10^9	7.326×10^9	33h	1.64×10^8	1.64×10^7	满足
^{18}F	109.8min	2.27×10^8	2.27×10^9	3.663×10^9	450min	2.14×10^8	2.14×10^7	满足
^{131}I	8.04d	2.27×10^5	2.27×10^4	1.465×10^{10}	180d	2.68×10^3	2.68×10^2	满足

注： $\text{ALI}_{\min} = \text{DL} / e_j$ ，DL：5mSv/a， e_j (Sv/Bq)： $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ： 2.2×10^{-11} ， ^{18}F ： 2.8×10^{-11} ， ^{131}I ： 2.2×10^{-8} 。

每次排放的活度不超过 $1\text{ALI}_{\min}$ ，并每次排放后用不少于 3 倍排风量的水进行冲洗；每月排放的总活度不超过 $10\text{ALI}_{\min}$ ，做好排放记录。

综上：新建核医学科的三废处理措施符合标准 HJ1188-2021《核医学辐射防护与安全要求》的规定，可以满足核医学实践活动的要求。

10、核医学工作场所表面污染环境影响分析

新建核医学科工作人员在对放射性药物进行操作时，会引起工作台、墙壁、地面、工作服等发生放射性沾污，为控制表面污染，采取的措施如下：

- (1) 对操作人员进行岗前培训，使其具备熟练的操作技能及丰富的防护知识；
- (2) 操作放射性物质在易去污的工作台面上进行，取药、质检等在分装柜内进行；
- (3) 如有药物洒滴现象，工作人员可用棉签将其擦拭处理，擦拭后产生的废棉签、手套按放射性固体废物收集至放射性废物桶内处理，监测达标后按普通废物处理；
- (4) 工作人员进出工作场所需更衣，操作时穿防护服，带防护手套；放射性操作之后对工作台面、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污；
- (5) 每次工作结束后，对涉及核素操作场所进行表面污染监测并记录备案。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置 根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条要求：“使用Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类放射源，使用Ⅰ类、Ⅱ类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有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”。长沙市第一医院目前设立有放（辐）射防护管理委员会，且委员会下设办公室，负责委员会日常管理及事务，可以满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中的要求。本项目开展后，长沙市第一医院的管理人员也能满足配置要求。具体成员如下： 组 长：陈 东 副组长：钟 伟 李 专 袁 鲲 谢 丹 组 员：蔡春琳 梁 露 夏 友 喻奇志 邓文超 祁 珩 杨立坚 马丽霞 吕爱莲 谭 红 熊立新 阳春华 蒋 林 李 可 徐大勇 领导小组办公室设在医务科，由袁玲具体负责医院放射防护管理日常工作。 组长负责放射防护的整体指导工作，制定各项辐射安全与放射防护管理规章制度，并督促检查各相关部门贯彻实施。副组长协助组长负责放射防护工作。组织学习有关放射防护法律法规，切实做好放射防护工作。 根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第3号第十六条要求：“辐射安全管理机构成员和放射工作人员均需参加辐射安全与防护培训并取得培训合格证”。本项目放射工作人员上岗前都必须参加辐射安全与防护培训并通过考试。取得培训合格证的人员，医院应每5年组织一次复训。 12.2 辐射安全管理规章制度 建立、健全和严格执行辐射安全管理的规章制度是防止潜在照射发生的重要措施。为保障射线装置正常运行时周围环境的安全，确保公众、操作人员避免遭受意外照射和潜在照射，长沙市第一医院制定了相关辐射安全管理规章制度，为保证放射工作人员和周围公众人员的健康，长沙市第一医院必须严格按照国家法律法规执行，并加强对核技术利用项目的日常管理： （1）根据长沙市第一医院的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是对核
--

技术利用装置的安全防护和维修要落实到个人；在执行各项制度时，要明确管理人员、操作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

（2）明确操作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤，重点是工作前的安全检查工作，工作人员佩戴个人剂量计，避免事故发生。

（3）加强对辐射工作场所的安全和防护状况的日常检查，发现安全隐患应当立即整改；安全隐患有可能威胁到人员安全或者有可能造成环境污染的，应当立即停止辐射作业，安全隐患消除后，方可恢复正常作业。

（4）为确保放射防护可靠性，维护放射工作人员和周围公众的权益，履行放射防护职责，避免事故的发生，长沙市第一医院应培植和保持良好的安全文化素养，减少人为因素导致人员意外照射事故的发生，长沙市第一医院应对本项目的辐射装置的安全和防护状况进行年度评估，并每年向发证机关提交上一年度的评估报告。

（5）医院应在今后工作中，不断总结经验，根据实际情况，对各项制度加以完善和补充，并确保各项制度的落实。应根据环境保护管理部门对辐射环境管理的要求对相关内容进行补充和修改。如，针对本项目新增核素，应增加专项操作规程等制度。

12.3 辐射监测方案

12.3.1 监测目的

通过对本项目工作场所和周围环境辐射剂量率进行监测，了解该项目对环境的影响程度；通过对个人有效剂量的监测，了解该项目对职业人员受照情况，为项目的安全管理防护措施改进及职业评价提供依据。

12.3.2 监测任务的承担单位

由医院承担日常自主检测，每年委托有相应资质的单位进行年度检测。

12.3.3 监测依据

《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）

12.3.4 监测内容及频次

加速器机房、后装机及 DSA 机房工作场所与周围辐射剂量自主监测 1 次/季度；后装机进行放射源更换倒装时，开展剂量率监测，监测结果存档备案。

核医学科工作场所关注点和存源装置的表面 γ 辐射水平，不少于 1 次/月；表面污染每次工作结束或发生药品洒落后及时监测。监测结果存档备案。

放射工作人员个人剂量监测每季度 1 次送检；监测结果存档备案。

12.3.5 工作场所与周围环境辐射检测

1、加速器机房检测布点

加速器治疗机房的防护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。需要考虑天空反射和侧散射时，对天空反射可能的剂量相对高的区域进行巡测选取关注点，对侧散射可能的至机房近旁建筑物较高层室的剂量相对高的区域进行巡测选取关注点。

2、后装治疗机机房检测布点

放射治疗设备机房的防护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、地板、顶棚、机房门、操作室门、管线洞口、工作人员操作位等，点位选取应具有代表性。需要考虑天空反射和侧散射时，对天空反射可能的剂量相对高的区域进行巡测选取关注点，对侧散射可能的至机房近旁建筑物较高层室的剂量相对高的区域进行巡测选取关注点。

3、DSA 机房检测布点

- (1) 机房外墙外、顶上 30cm，高度 100cm 处，进行 1-3 点检测；
- (2) 机房防护门外 30cm，左、中、右和四周门缝至少 7 点检测；
- (3) 人员操作位头、胸、腹部分别 3 点检测；
- (4) 过线槽、通风口处 30cm 处至少 1 点检测；

4、核医学科检测布点

表 12-1 核医学科放射防护检测情况位置

序号	位置		检测对象	检测类型	检测位置描述
1	扫描 机 房 外	墙外/顶/地下	防护屏蔽	外照射	距离墙体外 0.3m，地下 1.7m 处 顶上高 0.3m 处
2		防护门、窗			防护门中央及门缝 0.3m 处
3		人员操作位			窗、管线及通风口 0.3m 处 操作位距地面高 1m。

表 12-1 核医学科放射防护检测情况位置（续）

序号	位置		检测对象	检测类型	检测位置描述
4	核医学科	诊疗区域	人员	表面污染	手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽
		办公区域			
5	分装、给药		分装/给药/注射	表面污染	地面、座椅、台面、洗手池、床面及可能污染的位置
			分装装置	外照射	观察窗、手孔位、操作位
6	其他		工作场所	外照射 表面污染	操作位、地面、台面等 放射性废物桶表面 5cm 及 100cm
7	放射性固体废物		废物包装外表面	外照射 表面污染	放射性固体废物
8	放射性废水		衰变池排放口	总 β 放射性	衰变池放射性废水排放医院衰变池配备在线监测系统，每次排放前对废水进行监测

5、检测设备要求

- (1) 检测仪表应能适应脉冲辐射剂量场测量。
- (2) 仪表的能量响应应适合放射治疗机房外的辐射场。
- (3) 仪表最低可测读值应不大于 0.1 μ Sv/h。
- (4) 仪表宜能够测量辐射剂量率和累积剂量。
- (5) 仪表需经计量检定并在检定有效期内使用。

本项目建成后，医院应按照规定拟委托有资质的检测机构对辐射工作场所进行验收监测。

12.3.6 个人剂量监测

放射工作人员在工作时必须佩戴个人剂量计，并将个人剂量结果存入档案。个人剂量监测交由具有个人剂量监测资质的单位进行，并存档。

监测频次为 1 次/每季度。并将监测结果及时填报至“全国核技术利用安全申报系统”，并编入《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，接受管理部门的监督（检测）检查。

12.4 放射工作人员管理

(1) 放射工作人员上岗前应当进行上岗前的职业健康检查，符合放射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作；项目运行后医院还应当组织放射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。放

射工作人员脱离放射工作岗位时，医院应当对其进行离岗前的职业健康检查。

（2）放射工作单位对职业健康检查中发现不宜继续从事放射工作的人员，应当及时调离放射工作岗位，并妥善安置；对需要复查和医学随访观察的放射工作人员，应当及时予以安排。

（3）对参加应急处理或者受到事故照射的放射工作人员，医院应当及时组织健康检查或者医疗救治，按照国家有关标准进行医学随访观察。

（4）放射工作人员上岗前，放射工作单位负责向所在地县级以上地方人民政府卫生行政部门为其申请办理《放射工作人员证》。

（5）放射工作人员上岗前应当接受放射防护和有关法律知识培训，考核合格方可参加相应的工作。医院应当定期组织本单位的放射工作人员接受放射防护和有关法律知识的培训。医院应当建立并按照规定期限妥善保存培训档案。培训档案应当包括每次培训的课程名称、培训时间、考试或考核成绩等资料。

（6）院方应定期组织放射工作人员进行辐射安全与防护相关培训，并考核合格持证上岗，定期复训。培训档案应当包括培训时间、考试或考核成绩等资料。

（7）放射工作人员进入放射工作场所，应正确佩戴个人剂量计。

（8）医院不得安排怀孕的妇女参与应急处理。

（9）加强对放射性工作人员个人剂量档案、个人健康档案的保管，要求终身保存，放射性工作人员调动工作单位时，个人剂量、个人健康档案应随其转给调入单位。医院还应关注工作人员每一次的累积剂量监测结果，对监测结果超过剂量管理限值的原因进行调查和分析，优化实践行为，同时应建立并终生保存个人剂量监测档案，以备放射工作人员查看和管理部门检查。放射工作人员有权查阅、复印本人的职业健康监护档案。放射工作单位应当如实、无偿提供。

12.5 辐射事故应急预案

为建立健全辐射事故应急机制，及时处置突发辐射事故，提高应急处置能力，最大程度地减少辐射事故及其可能造成的人员伤害和财产损失，医院已制定了《辐射事故应急预案》：

（1）医院根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》等法规的有关规定，开展辐射事故预防与应急处置。

(2) 医院对其辐射活动中辐射事故的应急准备与响应负首要责任，必须遵照国家和地方政府有关规定，依据所操作的射线装置以及潜在事故的特性和可能后果，考虑制定辐射事故应急计划或应急程序，并按规定报当地政府有关部门审查批准或备案。

(3) 发生辐射事故时，医院将立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

(4) 医院将切实执行并落实辐射安全管理规章制度，加强实体保卫，切实有效地防止辐射事故（件）的发生。主要履行以下职责：

- ① 全面负责本单位辐射环境和人员安全的管理；
- ② 负责编制和修订本单位辐射突发环境事件应急预案；
- ③ 加强辐射应急队伍建设，购置必要的辐射应急装备器材；
- ④ 负责本单位辐射工作场所和环境的应急监测；
- ⑤ 负责本单位辐射突发环境事件的紧急处置和信息报告；
- ⑥ 对可能造成超剂量照射的人员送到指定医院进行救治；
- ⑦ 负责本单位辐射突发环境事件恢复重建工作，并承担相应的处置经费；
- ⑧ 积极配合行政主管部门的调查处理和定性定级工作；
- ⑨ 负责组织本单位辐射突发环境事件相关应急知识和应急预案的培训，在环境保护行政主管部门的指导下或自行组织演练。

(5) 各类事故报警和联系方式

一般报告程序为：发现者报告给医院辐射事故应急工作小组成员，由其向市公安局、市生态环境局，并同时向省生态环境厅报告，设备被损应同时向公安机关报告，造成人员受到超剂量照射应同时向卫生部门报告。各部门联系方式如下：

湖南省生态环境厅： 0731-85698110

长沙市生态环境局： 12369

长沙市公安局： 110

12.6 环境保护投资估算及竣工验收

12.6.1 环保投资估算

本项目环保投资 800 万，占总投资 8000 万的 10%，具体见下表：

表 12-3 辐射防护措施及环保投资一览表

项目	“三同时”措施	内容或要求	投资 (万元)
辐射安全 防护措施	屏蔽设施	墙体、防护门、观察窗、衰变池等主体屏蔽建设装修	632
辐射安全 防护措施	安全措施	机房机械通风、门灯联锁、警示标志、对讲系统、急停装置，单向门系统等	60
人员配备 防护用品	人员培训	放射工作人员应在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全与防护相关内容，考核合格后上岗	0
	防护用品	铅橡胶围裙、颈套、帽子、手套，铅眼镜、铅防护屏、帘、储源容器、保险柜及长柄镊子、铅屏风、带屏蔽效果的通风橱、铅废物桶等	80
	个人剂量监测	对介入手术医师每人配置 2 个个人剂量计，其他放射工作人员每人配置 1 个个人剂量计	2.0
监测仪器	监测仪器	5 台便携式 α 、 γ 剂量仪，4 台固定式 α 、 γ 剂量仪、表面沾污仪 1 台、活度计 1 台等	20
	报警设备	20 台个人剂量报警仪	6.0
合计			800

12.6.2 环保竣工验收建议

根据生态环境部辐射安全与防护监督检查技术程序内容要求，结合本项目实际情况，项目环保竣工验收建议内容见表12-4。

表 12-4 项目环保验收内容表

验收内容	验收要求
相关批复	环评批复文件齐备。
工程内容	辐射工作场所位置、布局与环评一致。
剂量限值	加速器机房周围关注点：详见表 11-5、表 11-6； 后装机房周围关注点：详见表 11-15； DSA 机房周围：2.5 μ Sv/h； 核医学科周围关注点：详见表 7-4； 年有效剂量：职业人员：5mSv/a，公众：0.1mSv/a
防护用品 监测仪器	防护用品：铅橡胶围裙、颈套、帽子、手套，铅眼镜、铅防护屏、帘、储源容器、保险柜及长柄镊子、铅屏风、放射性污染防护服等； 监测仪器：放射工作人员每人配置个人剂量计，治疗机房安装固定式辐射剂量报警装置，配备 5 台便携式 α 、 γ 辐射剂量仪、20 台个人剂量报警仪、1 台表面污染仪和 3 台活度计。
人员培训	本项拟配备放射工作人员按照相关规定进行培训和考核，持证上岗。
辐射安全 防护措施	放射治疗机房门外粘贴电离辐射警告标志和注意事项，机房门上设置工作状态指示灯，设置门机联锁、钥匙开关、紧急停机和紧急开门，安装视频监控和对讲系统，治疗机房设置机械排风装置，上进下出，对角设计。后装治疗机房配备应急储源铅罐和长柄镊子。 介入机房门外粘贴电离辐射警告标志和注意事项，机房门上设置工作状态指示灯，设置门灯联锁和紧急停机，安装视频监控和对讲系统，机房设置机械排风装置。

	核医学科出入口粘贴电离辐射警告标志和注意事项，地面设置有导流标识，各个出入口设置有门禁系统，同时治疗场所出口设置有固定活度检测计，设置有 2 套独立排风系统，独立的排水系统。 每名放射工作人员配备热释光剂量计。
管理及规章制度	补充制定或修订辐射安全与防护管理制度、岗位职责、操作规程，安全防护设施维修维护制度、场所分区制度、场所与环境监测方案、放射工作人员培训制度、个人剂量管理制度、放射源管理制度、放射性三废管理制度，安全保卫制度等。
应急预案	成立医院辐射事故应急领导机构，补充医院辐射事故应急预案，明确应急处理组织机构及职责、应急人员的组织、培训，辐射事故分级及应急措施、辐射事故的调查、报告和处理程序等，该预案须涵盖本项目。

12.7 从事辐射活动能力评价

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及《辐射安全与防护监督检查技术程序》的规定，现对长沙市第一人民医院从事本报告项目辐射活动能力评价列于下表。

表 12-5 执行相关法规或管理办法的要求对照表

序号	要求	环评拟落实情况
1	应当设有专门的辐射安全环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	医院已成立辐射防护领导组，并指定了 1 名具有本科以上学历的专职管理人员，负责医院的辐射安全与防护管理工作。
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	本项目配备辐射工作人员均需参加了国家相关培训与考核，持证上岗。
3	放射性同位素与射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射要求的安全措施。	制定相应的操作规程，各控制区出入口拟设置门禁装置，设备机房门上拟安装工作状态指示灯，设置门机或门灯联锁，张贴电离辐射警告标志等。核医学控制区的入口设置电离警告标志及标明控制区的标志，监督区入口设置标明监督区的标志。
4	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量监测报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染检测仪。	拟配备便携式剂量监测仪、表面污染检测仪、固定式辐射检测仪及个人剂量报警仪。拟配备个人防护用品。
5	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	拟制定和完善健全的规章制度、操作规程、岗位职责及辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。
6	有完善的辐射事故应急措施。	已成立了辐射事故应急领导组，拟编制并完善医院辐射事故应急预案。

7	产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	各功能区拟设置独立排风系统及高效净化过滤装置；拟建设符合要求的放射性废液衰变池；拟配备放射性固体废物铅屏蔽废物桶，配置专门的放射性废物间，三废处理措施合理。
8	第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	拟购置辐射监测报警仪仪器等监测设备，每年 1 次委托有监测资质的单位对辐射工作场所及其周围环境进行监测。
9	第十二条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	每年 1 月 31 日前向管理部门提交年度环境影响评估报告。2022 年度评估报告已提交。
10	第二十三条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。	对所有从事放射性工作的人员落实配备个人剂量计，委托有资质单位进行个人剂量监测，每季度送检一次，建立辐射工作人员个人剂量档案，终生保存。

表 12-6 医用电子直线加速器使用场所监督检查技术程序对照表

(NNSA/HQ-08-JD-IP-033)

辐射安全防护设施与运行			
序号	检查项目	项目拟设置、配备情况	符合性
1	防止非工作人员操作的锁定开关	拟配置防止误操作的锁定开关	符合
2	控制台有紧急停机按钮	拟配置紧急停机按钮	符合
3	视频监控与对讲系统	拟配置视频监控与对讲系统	符合
4	治疗室门与高压联锁	拟配置门机联锁	符合
5	入口电离辐射警告标志	拟粘贴入口电离辐射警告标志	符合
6	入口有加速器工作状态显示	拟安装加速器工作状态指示灯	符合
7	工作场所分区及标识	拟设置工作场所分区标识	符合
8	屏蔽门内开门按钮	拟安装屏蔽门内开门按钮	符合

9	治疗室门防夹人装置	拟安装治疗室门防夹人装置	符合
10	紧急照明或独立通道照明系统	拟安装紧急照明	符合
11	治疗室内有紧急停机按钮	拟安装治疗室内紧急停机按钮	符合
12	治疗床有紧急停机按钮	拟安装治疗床紧急停机按钮	符合
13	治疗室内固定式剂量报警仪	拟安装固定式剂量报警仪	符合
14	便携式辐射监测仪器仪表	拟配置辐射监测仪器仪	符合
15	个人剂量报警仪	拟配置 4 台个人剂量报警仪	符合
16	个人剂量计	每名职业人员配备个人剂量计	符合
17	个人辐射防护用品	拟配备个人辐射防护用品	符合
18	通风系统	拟安装治疗机房通风装置	符合

表 12-7 近距离 γ 射线治疗装置监督检查技术程序对照表

(NNSA/HQ-08-JD-IP-029)

辐射安全防护设施与运行			
序号	检查项目	项目拟设置、配备情况	符合性
1	防止非工作人员操作的锁定开关	拟配置防止误操作的锁定开关	符合
2	施源器与源联锁	拟配置施源器与源联锁	符合
3	管道遇堵自动回源	拟配置管道遇堵自动回源	符合
4	仿真源模拟运行	拟配置仿真源模拟运行	符合
5	主机外表电离辐射标志	拟粘贴入口电离辐射警告标志	符合
6	控制台显示放射源位置	拟安装控制台显示放射源位置	符合
7	控制台紧急停止照射按钮	拟安装控制台紧急停止照射按钮	符合
8	停电或意外中断时自动回源装置	拟安装意外中断时自动回源装置	符合
9	手动回源措施	拟安装手动回源装置	符合
10	治疗室迷道出入口处固定式辐射水平监测仪	拟安装固定式剂量报警仪	符合
11	治疗室有迷道	治疗室有迷道	符合
12	治疗室门与出源联锁	拟安装治疗室门与出源联锁	符合
13	应急开关（放射源返回储源器）	拟安装应急开关	符合
14	治疗室电视监控对讲装置	拟安装治疗室电视监控对讲装置	符合
15	入口处电离辐射警告标志	入口处粘贴电离辐射警告标志	符合

16	入口处源工作状态显示	拟安装工作状态指示灯	符合
17	停电或意外中断时声光报警	拟安装停电或意外中断时声光报警	符合
18	通风设施	拟安装通风设施	符合
19	火灾报警仪	拟安装火灾报警仪	符合
20	个人剂量计	每名辐射工作人员拟配备	符合
21	工作人员进入治疗室携带个人剂量报警仪	拟配备个人剂量报警仪，管理规定工作人员进入治疗室须携带。	符合
22	治疗室内配有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备	拟配备储源容器和应急设备	符合
23	治疗室内张贴应急处置流程	张贴应急处置流程	符合
24	后装源暂存场所	拟在后装治疗机房设置储源罐，储源罐置于保险柜内，实行双人双“锁”	符合
25	后装源暂存场所双人双“锁”		符合
26	后装源暂存场所防盗门窗		符合

表 12-8 非密封放射性物质医学应用场所监督检查技术程序检查对照表

(NNSA/HQ-08-JD-IP-030)

场所安全和防护设施			
序号	检查项目	项目拟设置、配备情况	符合性
1	场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	医院拟按照相关要求在核医学诊疗场所划分控制区和监督区，实行分区管理，在控制区出入口安装门禁装置，管控人员出入，进行屏蔽防护设计，张贴电离警告标志和人员导向标识。	符合
2	电离辐射警告标志	拟在控制区出入口，存储放射性药物防护门、检查机房门等张贴“电离辐射警告标志”	符合
3	独立的通风设施	拟设置 1 台新风风机、2 组排风系统和 3 个分装柜排风管道，经过滤净化装置处理后在楼顶排放。	符合
4	治疗病房病人之间防护	每个病房安排 1 名病人住院治疗	/
5	给药操作人员屏蔽	拟在注射室设置铅屏蔽注射台，配备注射器铅套，注射医护人员你配备个人防护用品。	符合
6	易去污的工作台面	工作台拟设置为不锈钢材质、易清洁	符合
7	病人专用卫生间	在候诊室和病房拟设置专用卫生间	符合
8	放射性核素暂存场所或设施	在高活区拟设置储源库	符合
9	表面污染监测仪	拟配备一台表面污染检测仪	符合

10	便携式辐射水平监测仪	拟配备一台便携式剂量监测仪	符合
11	个人剂量计	每名职业人员均按要求配备个人剂量计	符合
12	个人剂量报警仪	拟配备 4 台个人剂量报警仪，碘治疗区出口安装固定式活度检测仪	符合
13	放射性废液处理排放系统及标识	拟设置放射性废液衰变池，地面设置围栏和辐射警示标识。	符合
14	放射性固体废物暂存场所或设施	各诊疗区配置放射性污物桶，在核医学科设置放射性废物暂存间	符合
15	个人防护用品	拟配备防护铅衣、铅眼镜、铅防护三角巾、铅帽、铅围脖和污染防护服等防护用品。	符合
16	放射性表面去污用品和防污染材料	按要求配备去污用品和应急物资	符合

表 12-9 数字减影血管造影 X 射线装置(DSA)监督检查技术程序对照表

NNSA/HQ-08-JD-IP-035

辐射安全防护措施			
序号	检查项目	本单位拟落实情况	是否符合要求
1	单独机房	设置单独机房	符合
2	操作位局部屏蔽防护设施	机房顶安装可移动的悬吊式铅防护屏，手术床的床沿悬挂铅围帘	符合
3	医护人员的个人防护	拟配备防护铅衣等	符合
4	患者防护	拟配备防护铅衣等	符合
5	机房防护门窗	拟安装铅防护门和观察窗	符合
6	闭门装置	患者防护门设置闭门装置	符合
7	入口处电离辐射警告标志	入口处拟贴电离辐射警告标志	符合
8	入口处机器工作状态显示	患者门上拟安装工作状态显示灯	符合
9	监测仪表	拟购置 1 台便携式剂量仪	符合
10	个人剂量计	医院所有辐射工作人员 购置热释光个人剂量计 (介入医师每人 2 个，其他 1 个)	符合

通过以上分析可知，在采取环评规定措施情况下，长沙市第一医院从事本项目辐射活动的技术能力符合相应法律法规的要求。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

为拓展医院业务范围，提高医院医疗服务水平，更好地满足人民群众的医疗服务需求，长沙市第一医院计划在长沙市公共卫生救治中心原址上进行重新规划，包括：

1、在综合医疗楼 B1 东侧新建放疗中心，拟购置安装 2 台医用直线加速器（Ⅱ类射线装置）、1 台后装治疗机（Ⅲ类放射源）和 1 台模拟定位 CT 机（Ⅲ类射线装置），开展放射治疗工作。

2、在综合医疗楼 B1 北侧新建核医学科，拟购置安装 1 台 PET/CT 和 1 台 SPECT/CT（Ⅲ类射线装置），使用 3 种非密封核素： ^{99m}Tc 、 ^{18}F 和 ^{131}I ，开展核医学诊疗工作。

3、在综合医疗楼一层西侧新建介入科，拟购置安装 2 台血管造影机（Ⅱ类射线装置），在综合医疗楼 2 层手术中心北侧设置复合手术室，拟购置安装 1 台 DSA/CT，在传染楼 3 层中部设置复合手术室，拟购置安装 1 台 DSA/CT。

13.1.2 产业政策符合性及实践正当性分析

根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，本项目属于“鼓励类”中“六、核能中的 6、同位素、加速器及辐照应用技术开发”、“第十三项、医药中 5、新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”，因此，本项目属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

长沙市第一医院开展放射治疗工作目的是为治病救人，保障健康，社会和个人从中取得的利益远大于辐射所产生的危害。因此，本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

13.1.3 选址及平面布局的合理性

新建放疗科位于医院综合医疗楼 B1 东侧，集中建设，相对封闭独立，远离儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域；治疗机房和控制室实行隔室操作，人员进出顺畅，满足 HJ-1198-2021《放射治疗放射安全与防护要求》的选址和布局要求。

新建核医学科工作场所位于医院综合医疗楼 B1 北侧，远离儿科、产科和食堂等部门及人员密集区域，核医学诊疗区域出入口安装门禁装置，与非放区域实行物理隔离，

设置单独的医护人员、患者、放射性药物和放射性废物通道，操作顺畅，既有机联系又不交叉重叠，住院治疗区和门诊区域设置门禁装置进行有效隔离，配备必要的检测仪器和防护用品，设置了 2 套独立排风系统和放射性废液衰变池等设施，满足 HJ1188-2021《核医学辐射防护与安全要求》的选址和布局要求。

本项目新购置 4 台血管造影机分别安装于综合医疗楼一层西侧新建介入科（2 台 DSA）、综合医疗楼二层手术中心北侧复合手术室（1 台 DSA/CT）和传染楼三层中部复合手术室（1 台 DSA/CT）。设置了单独的 DSA 机房，与控制室实行隔室操作，辅助用房设置齐全，操作顺畅，布局合理，方便医护人员及病人治疗，机房面积和屏蔽设计等，均满足 GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》的要求。

根据“诊治工作要求、有利于辐射防护和环境保护以及各组成部分功能分区明确，既能有机联系，又不相互干扰”的原则，本项目工作场所各功能区分工明确，操作顺畅从辐射环境保护角度分析，选址合理，布局合理可行。

13.1.4 辐射安全与防护能力分析

1、辐射屏蔽措施

本项目对工作场所的控制区进行了屏蔽防护设计，经估算，医用加速器机房、后装治疗机房、核医学科和 DSA 机房的屏蔽体和防护门外 30cm 处的辐射剂量率均满足标准要求。

2、安全防护设施

本项目机房门外有电离辐射警告标志和工作状态指示灯，拟设置门机或门灯等多重连锁，拟安装机械排风装置、视频监控和对讲广播系统，配备必要的检测仪器和防护用品。在核医学的控制区出入口拟安装门禁装置，放射性药物的淋洗制备、分装标记均在密闭的分装柜中进行，药物注射区配备了铅屏蔽注射台和注射器铅罩，诊疗区设置了源库、放射性污物暂存间和应急去污用品，注射后候诊留观室和病房配备了污物桶和移动铅屏风，配备了表面污染检测仪，¹³¹I 治疗区出口配置固定式活度检测仪，患者到达出院标准后，经医师准许方可离院。

通过与《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及监督检查程序的规定进行对照检查，本项目工作场所的安全设施能够满足安全防护需求，符合相关法规、标准的规定要求。

3、本项目的职业人员

长沙市第一医院为本项目的正常开展配备满足需要数量的辐射工作人员，所有辐射工作人员均需参加相关培训与考核，持证上岗。

综上：通过与相关法规和监督检查技术程序进行对照检查，本报告项目采取的场所分区管理、辐射屏蔽设计、安全设施及其人员配备等能力均能满足要求。

13.1.5 环境影响分析

1、现状剂量率评价

从本项目的辐射环境现状监测结果可知，周围 50m 范围的环境 γ 辐射剂量率在 0.11~0.15 μ Gy/h 之间，为长沙市天然辐射本底水平。

2、辐射环境影响预测评价

经估算，本项目职业人员和周围公众年最大有效剂量估算结果见下表：

表 13-1 本项目职业人员和周围公众年最大有效剂量估算结果一览表

序号	场所	对象		年最大有效剂量 mSv/a	约束值 mSv/a	评价
1	直线加速器	职业人员		0.005	5.0	符合
		周围公众		0.008	0.1	符合
2	后装治疗机	职业人员		0.013	5.0	符合
		周围公众		0.056	0.1	符合
3	DSA	职业人员	控制室	0.004	2.0	符合
			第 1 术者躯干	0.05	5.0	符合
			第 1 术者眼晶体	0.08	20	符合
			第 1 术者手部	1.65	125	符合
			第 2 术者躯干	0.01	5.0	符合
		周围公众		0.0001	0.1	符合
4	核医学科	职业人员	药物淋洗/分装	0.116	5.0	符合
			注射医师躯干	0.068	5.0	符合
			注射医师眼晶体	0.068	15	符合
			注射医师手部	3.09	50	符合
			诊断显影控制室	1.42	5.0	符合
			辅助患者摆位	0.37	5.0	符合
		周围公众		0.093	0.1	符合

综上表：本项目工作场所职业人员和周围公众的年有效剂量符合标准要求。

3、放射性废物对周围环境的影响

(1) 医用电子直线加速器不产生放射性三废。产生的非放固废为加速器废靶由厂家回收；加速器出束治疗时 X 射线电离空气会产生臭氧和氮氢化物等有害气体，通过治疗机房安装机械排风装置，可直接排出室外，对环境影响较小。

(2) 后装治疗机使用密封放射源，正常运行期间不会产生放射性三废。进行后装

机放射源更换时，废旧放射源由厂家回收；后装机治疗时 γ 射线电离空气会产生臭氧和氮氢化物等有害气体，通过治疗机房安装机械排风装置，可直接排出室外，对环境影响较小。

(3) DSA 运行期间不产生放射性三废。DSA 为数字成像，不产生洗片废水，可能会产生少量的医用器具和药棉、纱布、等医用辅料，按医疗固体废物处置，如果病人需要打印胶片，由病人带走自行处理；DSA 工作时 X 射线电离空气会产生臭氧和氮氢化物等有害气体，机房设置了机械排风装置，直接排出室外，对环境影响较小。

(4) 新建核医学科正常工作时会产生放射性三废。

①放射性固废实行就地分类、分期收集于放射性废物桶，随后转运至放射性废物间贮存衰变，经监测放射性固废达到清洁解控水平后，按医疗废物处理，不能解控的固废，送交有资质的单位处理，废旧铅柱由厂家回收。

②核医学科诊疗区设置了 2 套独立排风系统，直接引至综合医疗楼楼顶排放，排风系统各功能区支管安装止回阀，总管安装过滤净化装置，排风口设置检测口，定期检测，及时更换失效的净化装置，保障其有效性，不会明显影响周围环境。

③在综合医疗楼北侧新建核医学科衰变池，总容积 370m^3 ，包括 2 个沉淀池 ($20.0\text{m}^3/\text{个}$) 和 5 个贮水池 ($66.0\text{m}^3/\text{池}$ ，有效净容积 $40\text{m}^3/\text{池}$)。衰变池采取槽式贮存衰变方式，通过电动控制阀及水箱水位控制器分别控制进、出水量，交替贮存和排放，排水口设置检测口。新建核医学科依据使用核素的半衰期计划将整个衰变池分为短半衰期衰变池组和 ^{131}I 衰变池组，分别贮存，依据接诊患者的数量和衰变池的净容积，经估算：短半衰期衰变池的贮存时间约 120 天， ^{131}I 衰变池的贮存时间约 195 天，满足 HJ1188-2021 规定的放射性废液贮存要求，单次排放废液活度 $1\text{ALI}_{\min}$ 和单月排放废液活度 $10\text{ALI}_{\min}$ 满足 GB18871-2002 的废液排放要求。

④新建核医学科拟建立放射性废物收集贮存、定期排放的管理台账，专人负责，做好记录并存档备案。

13.1.6 辐射安全管理

长沙市第一医院已成立辐射防护领导机构，配备了 1 名具有大学本科以上学历的专职人员，具体负责日常辐射安全与环保工作；制定了多项辐射防护管理制度、培训计划、监测方案和监督检查程序，组织实施辐射安全防护措施和落实各项管理制度；成立了辐射事故领导组，编制了辐射事故应急预案。

长沙市第一医院在本项目运营前对辐射安全管理制度进行补充和修订完善后，可以满足本项目的辐射安全管理要求。

13.1.7 总结论

综上所述，长沙市第一医院计划在长沙市公共卫生救治中心原址上，新建使用医用电子直线加速器、后装治疗机、血管造影机和乙级非密封放射性物质工作场所项目，在充分落实本报告提出的污染防治和管理措施后，具备从事相应工作的技术能力和安全防护措施，运行期间对周围环境的辐射影响符合环境保护的要求，故从辐射环保角度论证，项目建设和运行是可行的。

13.2 建议

- 1、按照要求配备必要的安全防护设施、个人防护用品和应急去污用品。
- 2、核医学衰变池地面应设置围栏，悬挂电离辐射警告标志，严格按照控制区规定要求管理，提水泵要设计 1 用 1 备，避免因设备故障发生辐射事故。
- 3、应设置甲癌住院病人的配餐窗口，计划使用机器人送餐的方式待商榷。
- 4、关注近台操作手术医师的腕部剂量，合理安排手术数量。
- 5、制定各项制度和操作规程并监督执行，加强人员培训与考核，持证上岗。
- 6、本项目取得环评批复后及时重新申领《辐射安全许可证》，项目竣工后，及时进行验收工作，验收合格方可投入正常运营。

表 14 审批

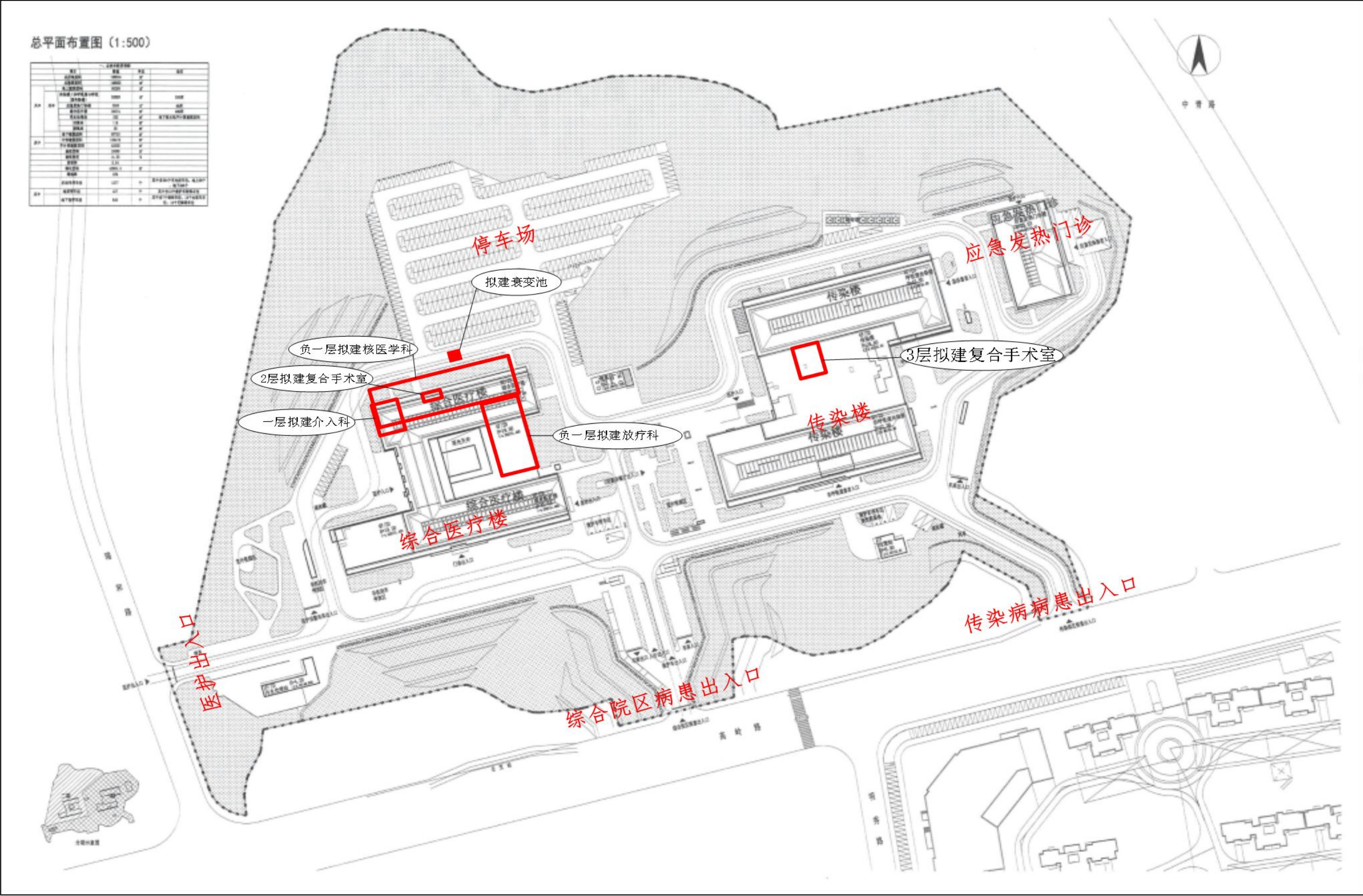
下一级环保部门预审意见：	
经办人	公 章 年 月 日

审批意见：	
经办人	公 章 年 月 日

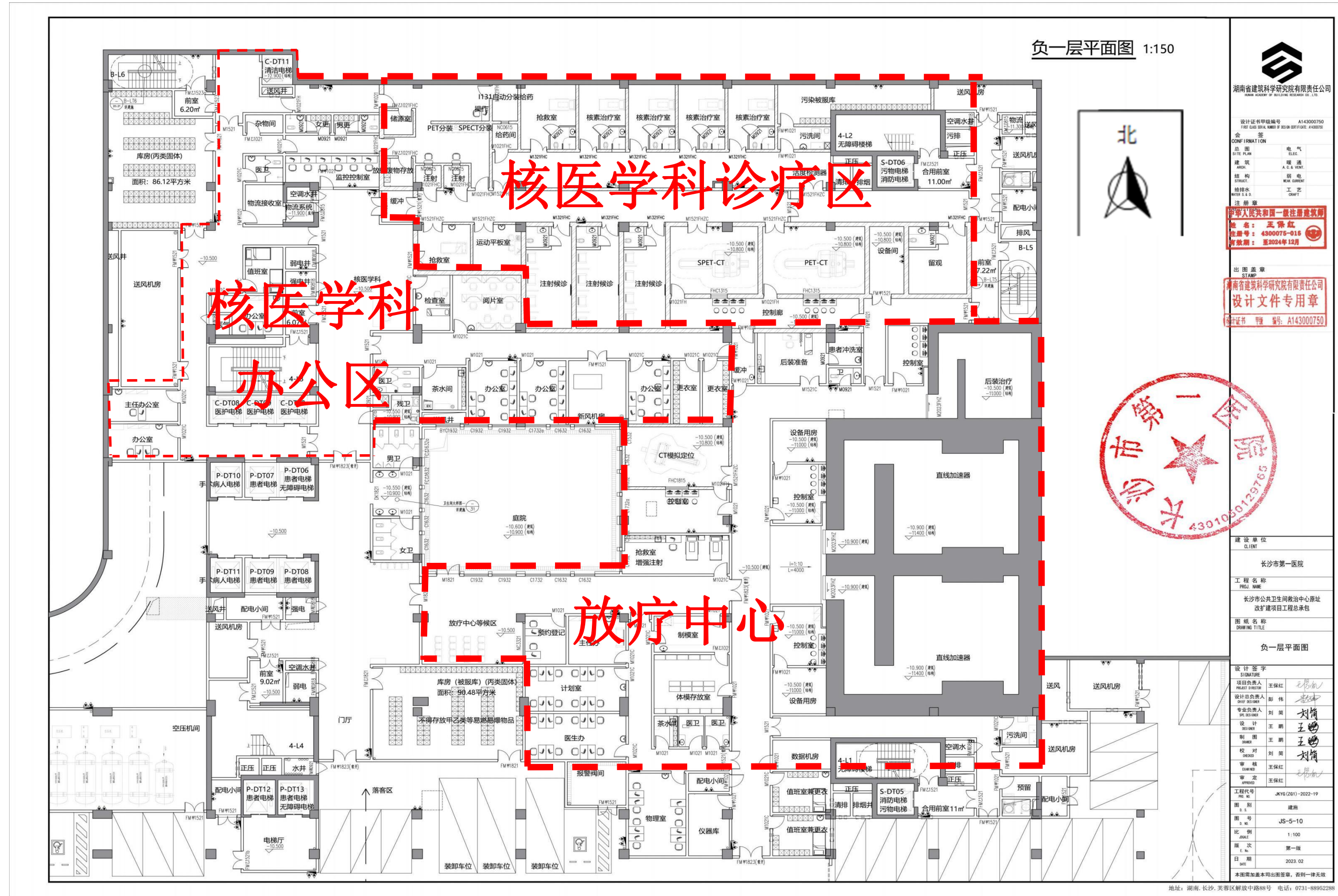
附图 1：建设单位地理位置图



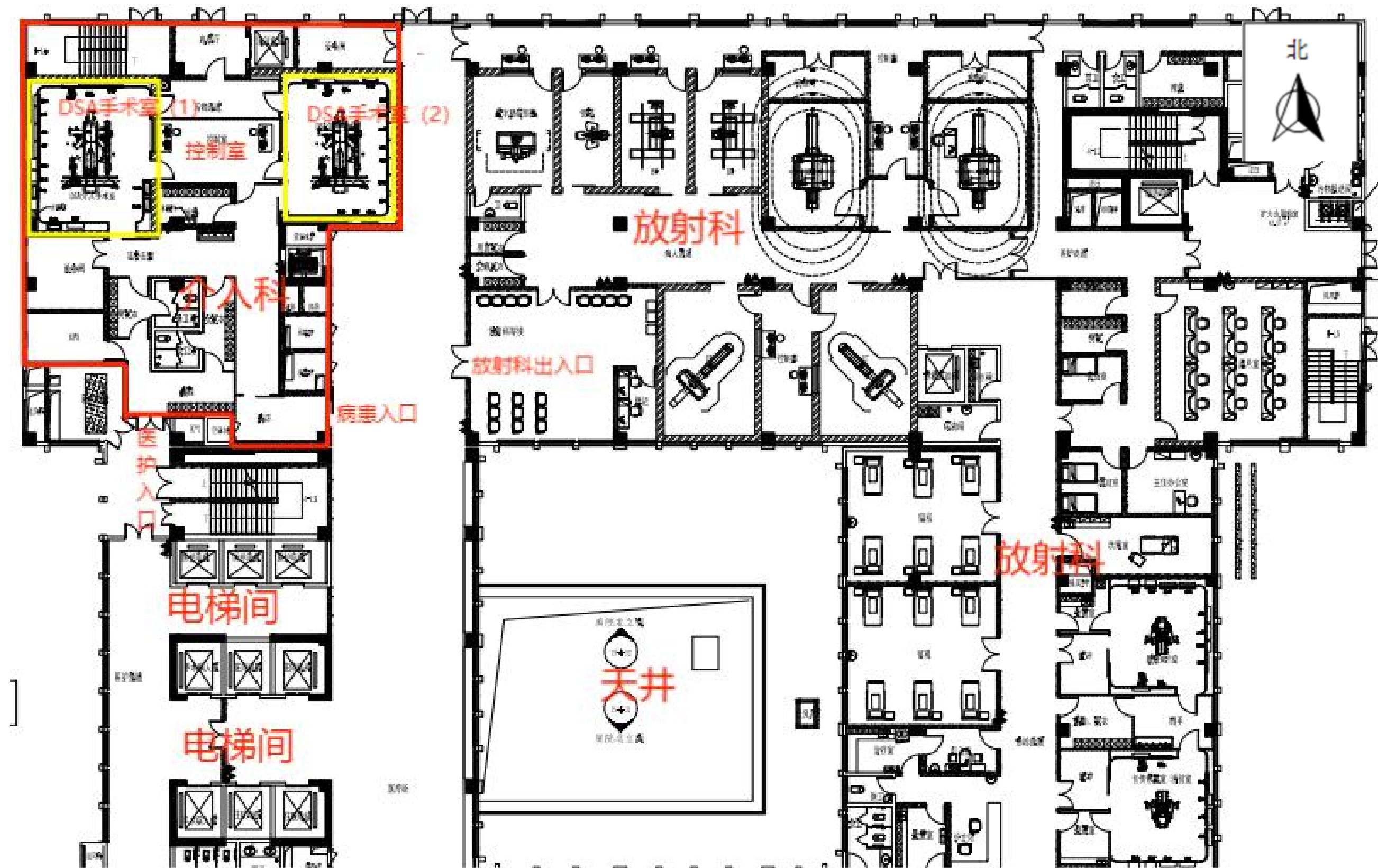
附图 2：长沙市公共卫生急救中心原址新建项目平面示意图



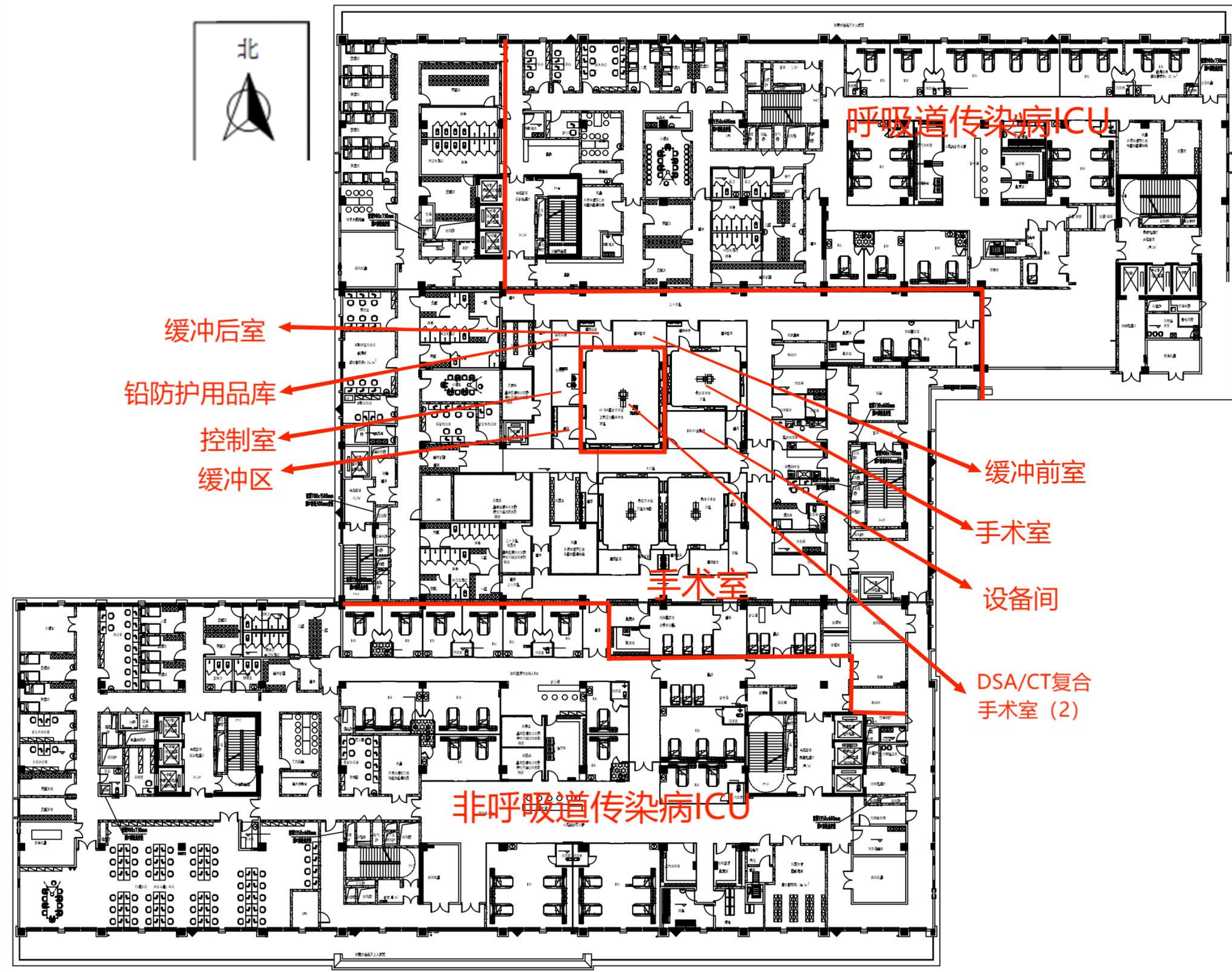
附图 3：本项目综合医疗楼负一层平面示意图



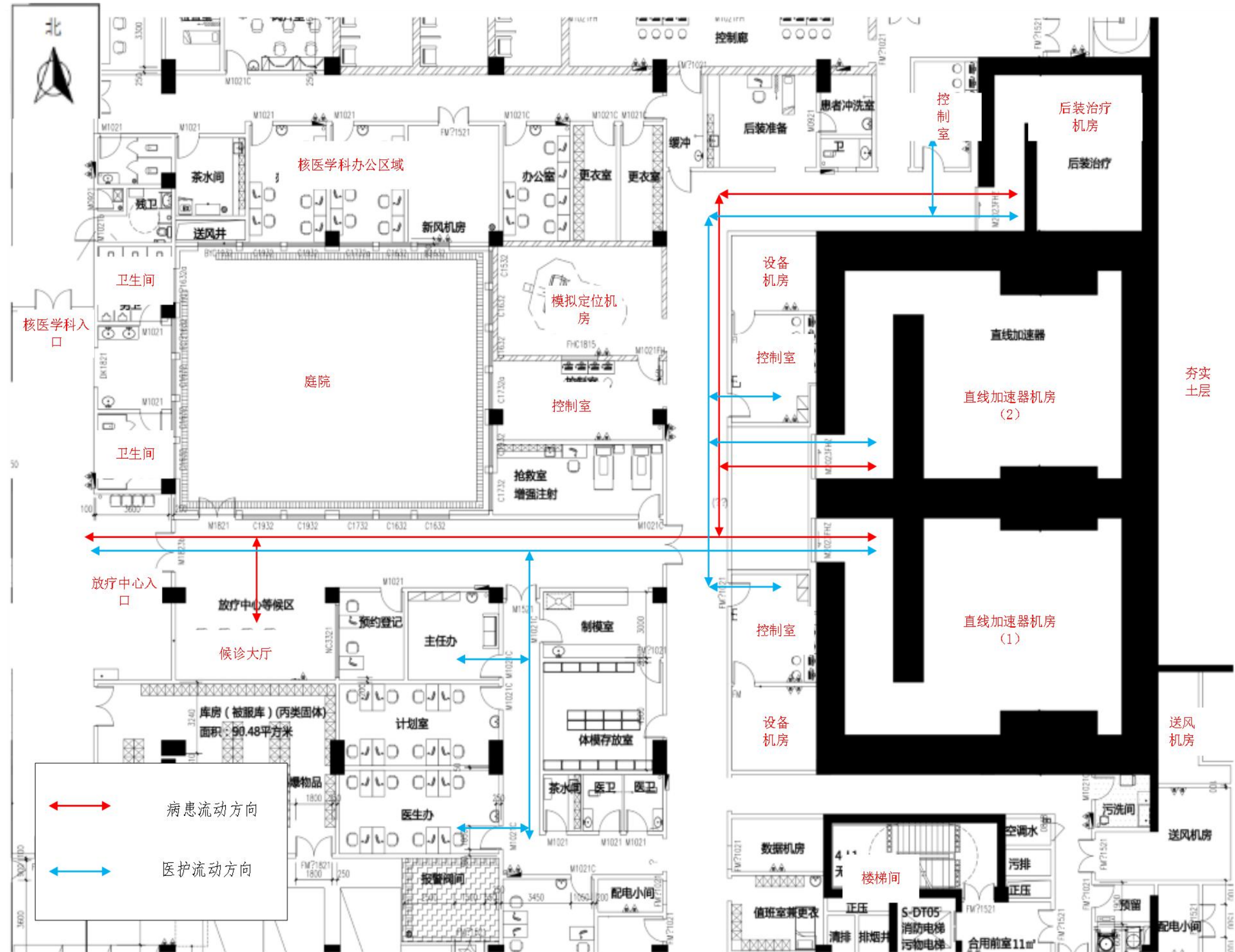
附图 4：本项目综合医疗楼一层介入科平面布局示意图



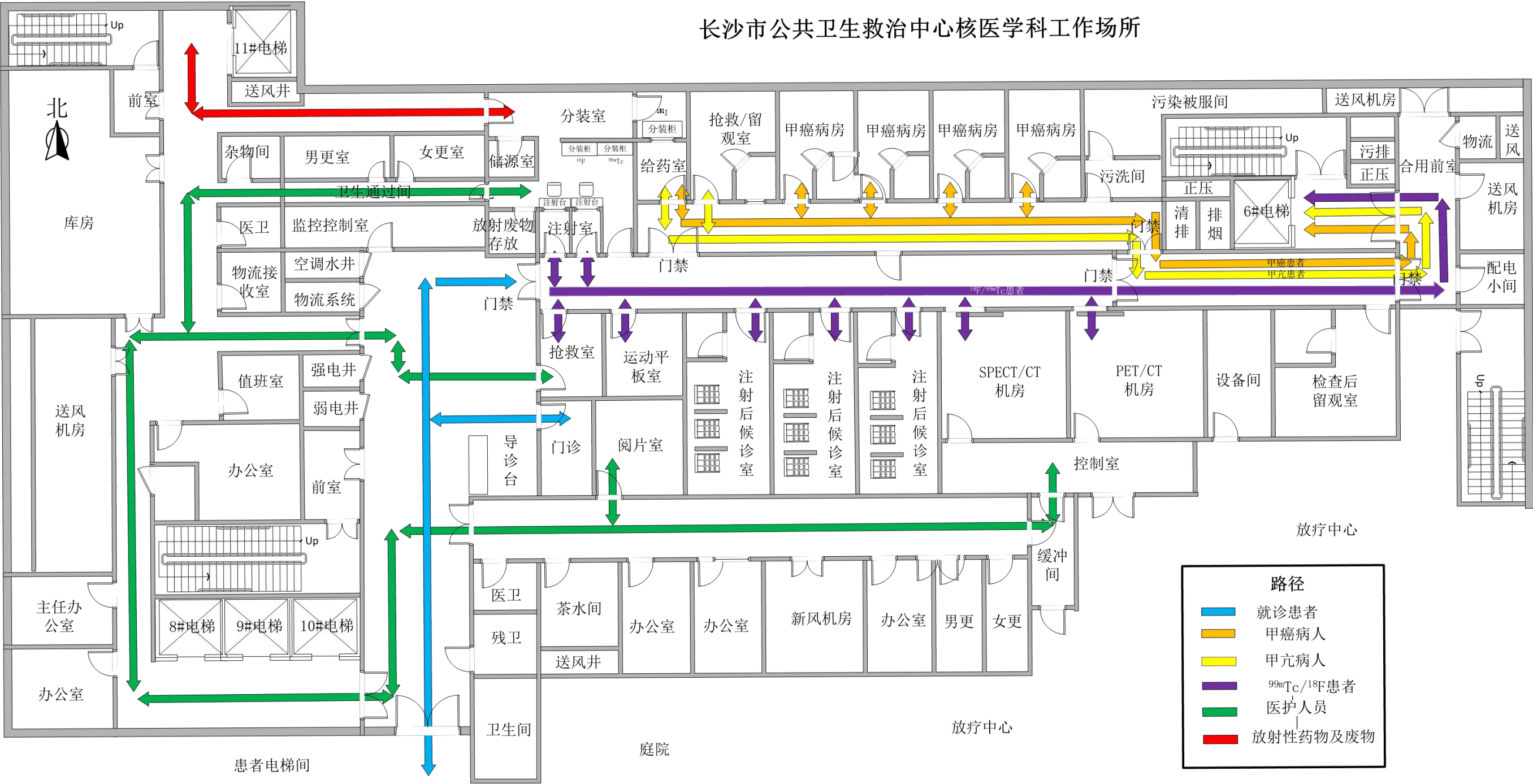
附图 6：本项目传染楼三层平面布局示意图



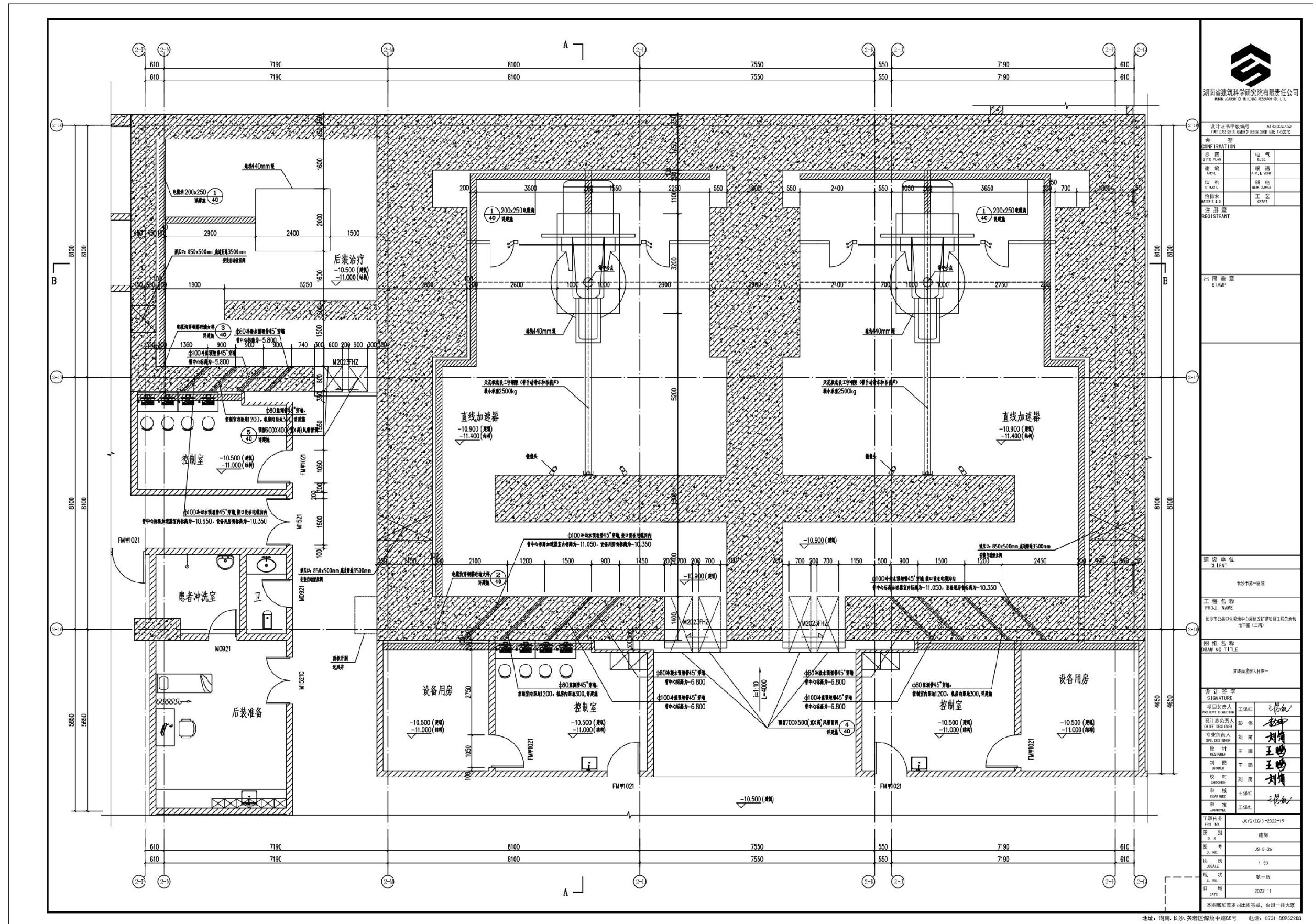
附图 7：本项目放疗中心平面布局及路径设计示意图



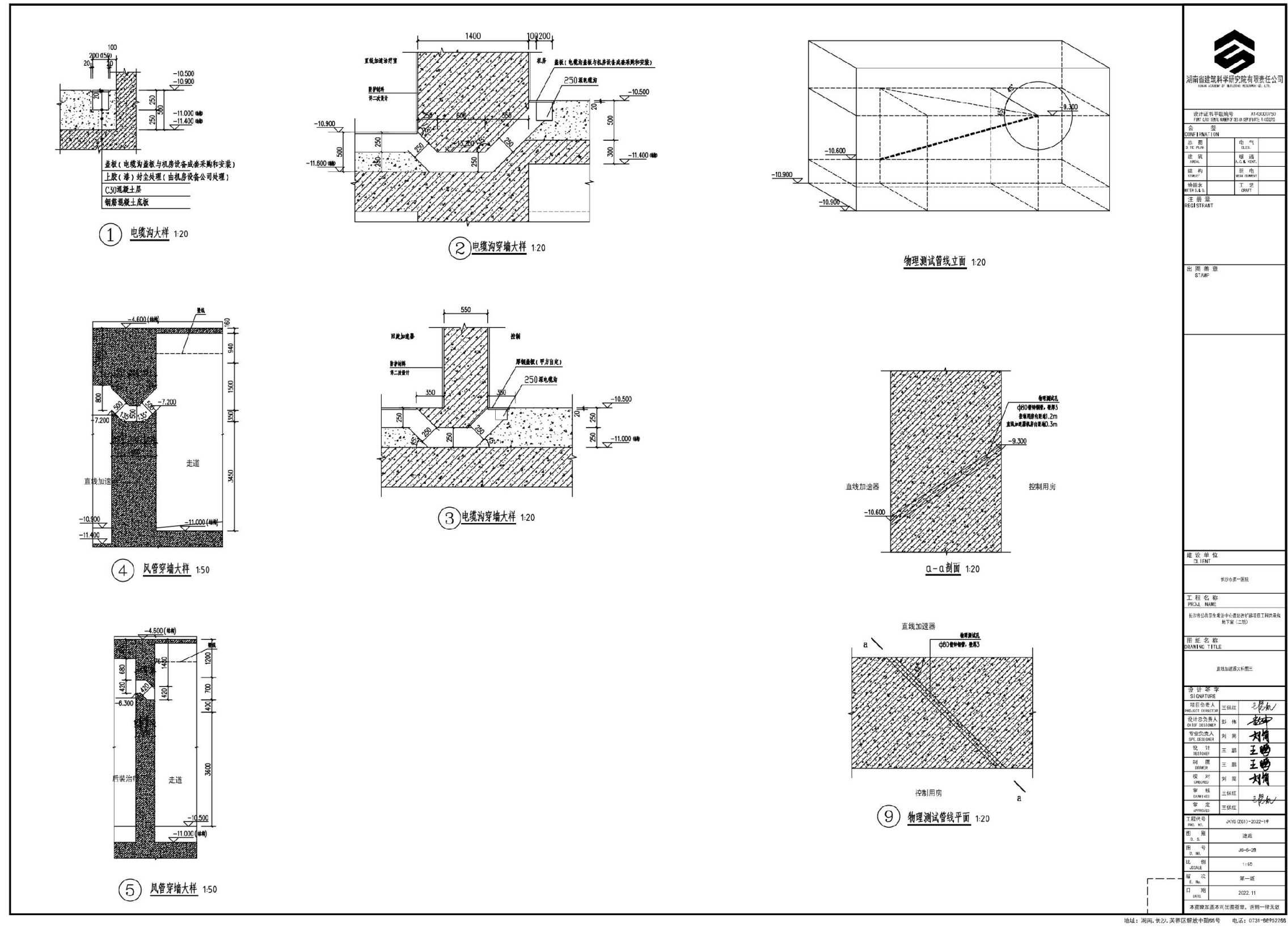
附图 8：本项目核医学科平面布局及路径设计示意图



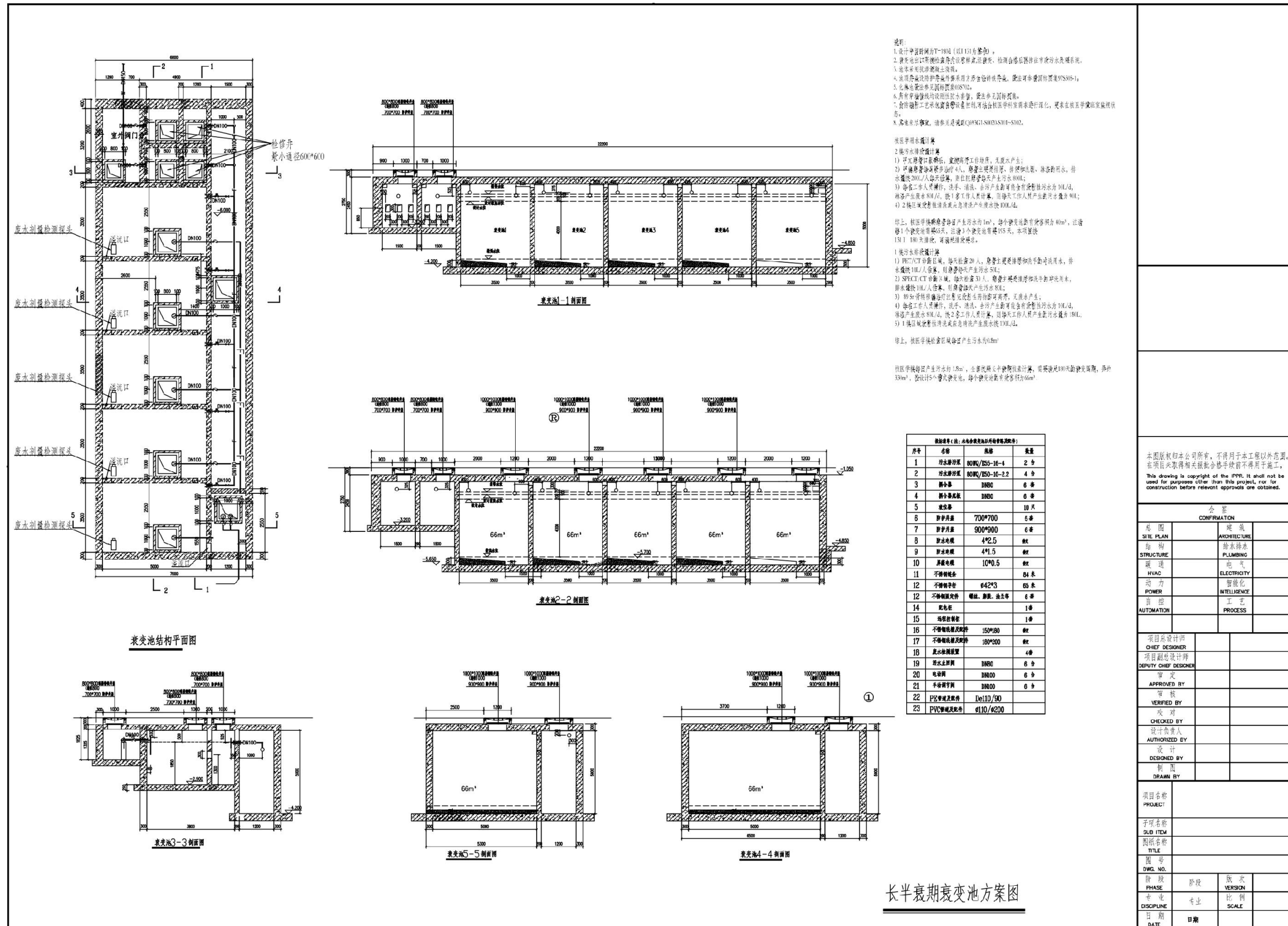
附图 9：放疗中心加速器及后装机治疗场所设施布置图



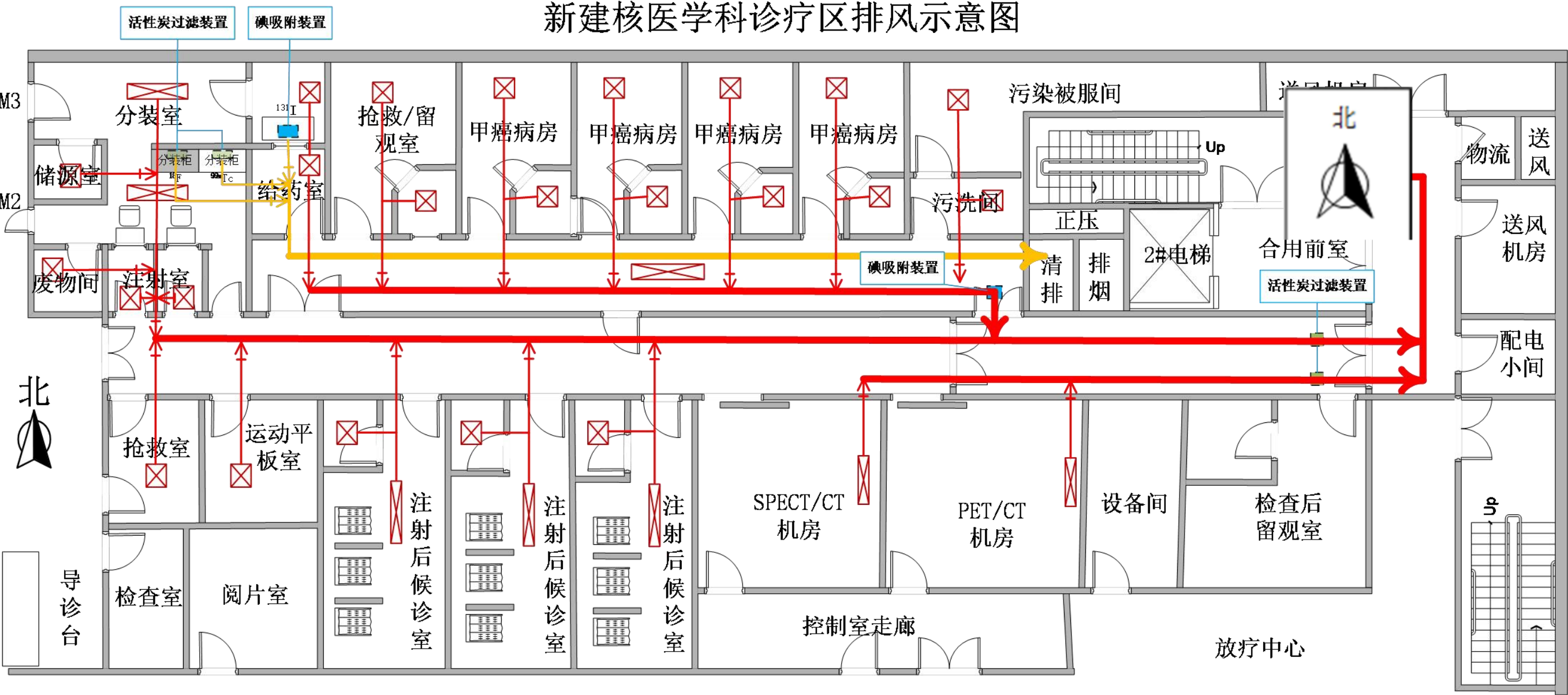
附图 10: 放疗中心加速器及后装机穿墙管线设计图



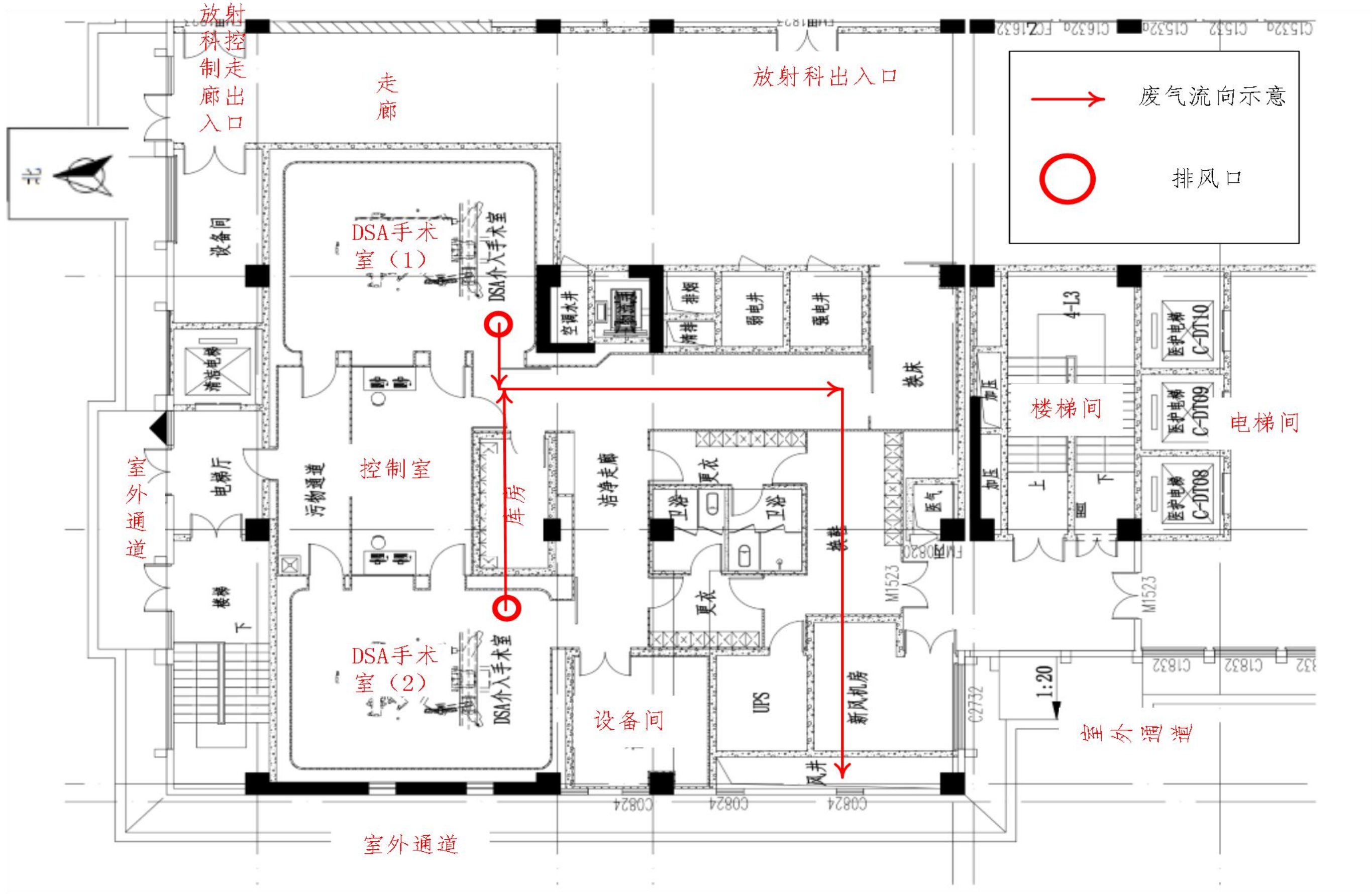
附图 12：本项目核医学科放射性废水衰变池设计图



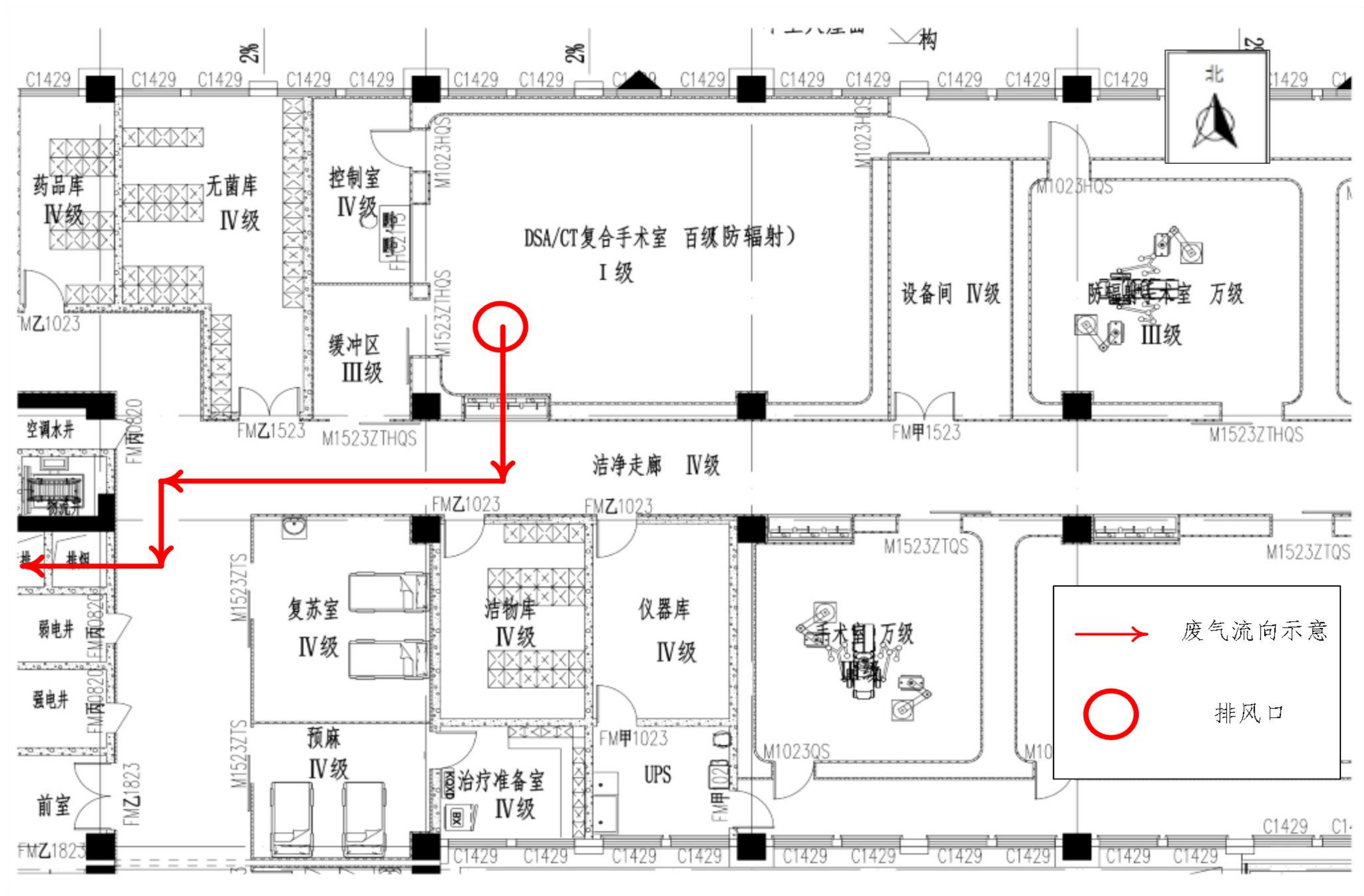
附图 13：本项目核医学科通风系统设计图



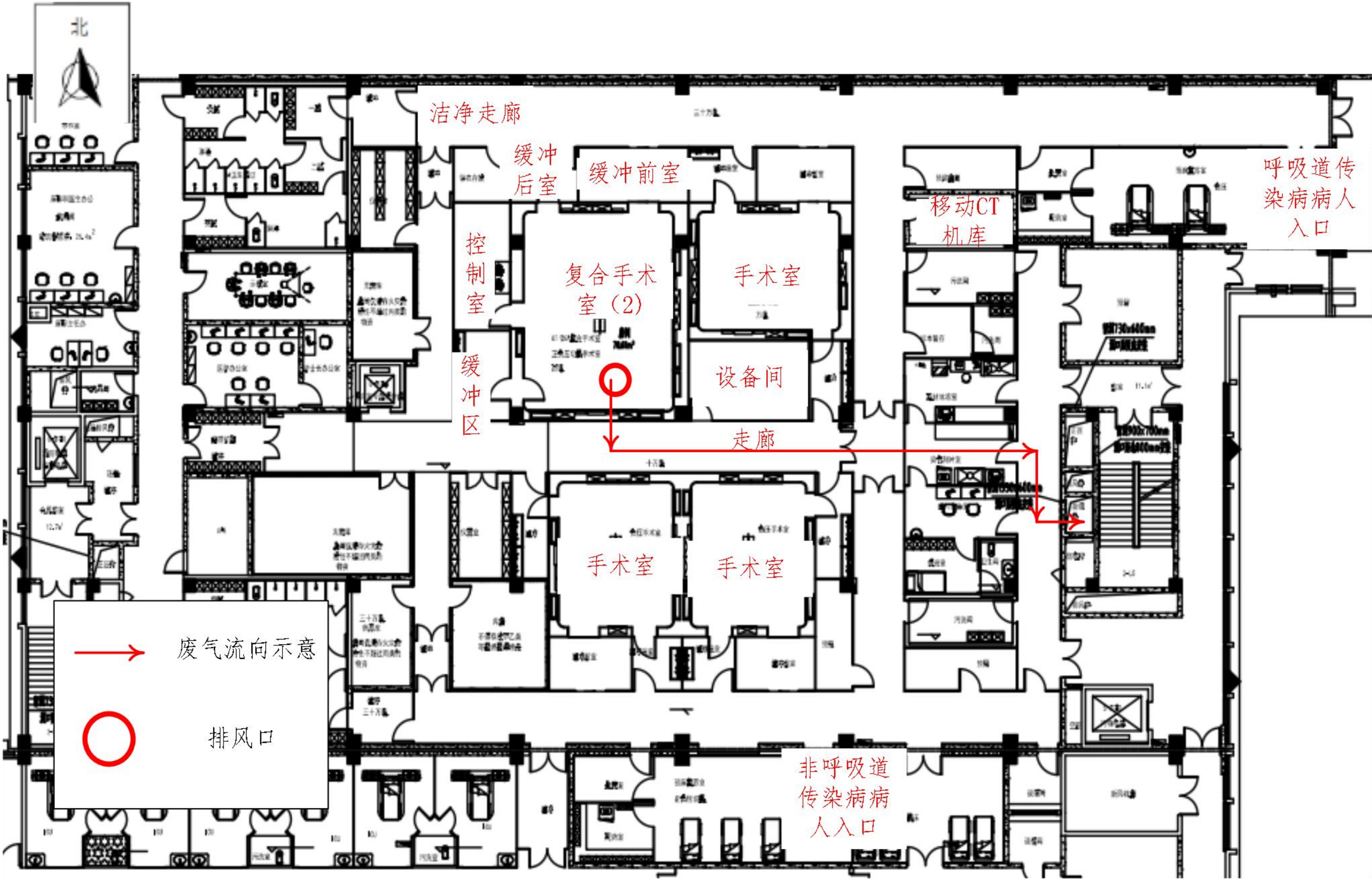
附图 14：本项目介入科通风系统设计图



附图 15：本项目 DSA/CT 复合手术室（1）通风系统设计图



附图 16：本项目 DSA/CT 复合手术室（2）通风系统设计图



附件 1 环评委托书

委 托 书

山西贝可勒环境检测有限公司

根据《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护分类管理名录》等相关法律法规的规定，经长沙市公共卫生救治中心原址改扩建项目管理单位湖南长房建设投资有限公司采购，我单位委托贵单位承担“长沙市公共卫生救治中心使用医用电子直线加速器、后装治疗机、血管造影机和乙级非密封放射性物质工作场所项目”环境影响评价工作。根据该项目环境影响评价的需要，我单位将提供项目的有关文件、技术资料 and 协助现场踏勘。有关该项目环境评价的其他事宜，由双方共同协商解决。

委托方：长沙市第一医院

2023 年 3 月 1 日

