

目录

表 1 项目概况.....	1
一、项目概况.....	1
表 2 放射源.....	30
表 3 非密封放射性物质.....	30
表 4 射线装置.....	30
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	32
表 6 评价依据.....	33
表 7 保护目标与评价标准.....	36
一、评价范围.....	36
二、保护目标.....	36
三、评价标准.....	40
表 8 环境质量和辐射现状.....	62
一、项目地理位置和场所位置.....	62
二、环境质量现状.....	62
三、监测因子.....	63
四、监测点位.....	63
五、监测概况.....	63
六、监测结果.....	63
表 9 项目工程分析及源项.....	66
一、工程设备和工艺分析.....	66
二、污染源项描述.....	76
表 10 辐射安全与防护.....	82
一、项目安全设施.....	82
二、三废的治理.....	113
表 11 环境影响分析.....	121
一、建设阶段对环境的影响.....	121
二、运行阶段对环境的影响.....	122
三、事故影响分析.....	170

表 12 辐射安全管理.....	180
一、辐射安全与环境保护管理机构的设置.....	180
二、辐射安全管理规章制度.....	181
三、辐射监测.....	183
四、环境保护投资与环保验收要求.....	184
五、辐射事故应急.....	187
表 13 结论与建议.....	189
一、结论.....	189
二、建议和要求.....	191
表 14 审批.....	193

表 1 项目概况

建设项目名称		西安凤城医院新建医用电子直线加速器、核医学科及 DSA 核技术利用项目			
建设单位		西安凤城医院			
法人代表	王保山	联系人	杨帆	电话	██████████
注册地址		西安经济技术开发区凤城三路 9 号			
项目建设地点		西安经济技术开发区凤城三路 9 号			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)		30000	环保投资 (万元)	460	投资比例 1.53%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积 (m ²)	约 2000m ²
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input checked="" type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input checked="" type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
其他	/				
<p>一、项目概况</p> <p>1、医院介绍</p> <p>西安凤城医院是一所以创伤外科为主、手足显微外科为特色的按照三级医院管理的综合医院，占地面积 2.8 万 m²，建筑面积 7.6 万 m²，编制床位 900 张，现有职工 1600 余人。开设有急诊科、ICU、手足显微外科、骨科等 45 个临床科室。医技科室设有药剂科、检验科、放射科、功能科、病理科、消毒供应室等。医院以“忠于使命、勇于奉献、敢于超越”的医院精神，始终坚持“患者第一、生命第一、质量第一”的理念，力争在三到五年创建“专科特色突出、综合实力强劲的三级甲等医院”。</p> <p>2、工作过程概述</p> <p>为满足西安市及周边区域广大患者的诊疗需要，提高医疗服务水平，拟在医疗综</p>					

合楼建设核技术利用项目，目前医疗综合楼正在主体结构施工。主体工程环评已于2022年10月10日取得西安经济技术开发区管委会行政审批服务局《关于西安凤城医院西安凤城老年病医院项目环境影响报告表的批复》（经开行审环批复〔2022〕066号，见附件）。本项目具体内容如下：

① 在医疗综合楼地下三层放疗科拟配置2台医用电子直线加速器，属于II类射线装置；使用1台CT模拟定位机确定肿瘤的位置和范围，属于III类射线装置；

② 在医疗综合楼地下三层核医学科拟配置1台PET-CT，属于III类射线装置；使用放射性核素 ^{18}F ，经核算，核医学科为丙级非密封放射性物质工作场所；

③ 在医疗综合楼一层急诊手术部（DSA复合手术室）拟配置1台DSA，属于II类射线装置；

④ 在医疗综合楼四层手术部（DSA复合手术室）配置1台DSA，属于II类射线装置。

依据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《建设项目环境保护管理条例》等有关规定，本项目需要进行环境影响评价，本项目属于《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版）中“五十五、核与辐射”、“172、核技术利用建设项目”中“…生产、使用II类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）…”，需要编制环境影响报告表；“…生产、销售、使用III类射线装置的”，为登记表管理。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版）中“第四条…建设内容涉及本名录中两个及以上项目类别的建设项目，其环境影响评价类别按照其中单项等级最高的确定”，故本次环评编制环境影响报告表。

2024年3月西安凤城医院正式委托西安海蓝环保科技有限公司承担该项目的环评工作。接受委托后，我公司立即组织技术人员进行现场踏勘，收集、整理有关资料，对项目的建设等情况进行初步分析，并根据项目的应用类型及项目所在地周围区域的环境特征，在现场踏勘、资料调研、预测分析的基础上，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的基本要求，编制了《西安凤城医院新建医用电子直线加速器、核医学科及DSA核技术利用项目环境影响报告表》。

3、产业政策符合性分析

项目属于《产业结构调整指导目录（2024年）》鼓励类中“六、核能/4、核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”、“十三、医药/4、高端医疗器械创新发展：…新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备…”，满足国家相关法律法规和政策规定，符合国家产业政策。

4、实践正当性评价

项目建成后将完善医院诊疗科目，提高医疗诊断水平，在采取相应的防护屏蔽措施、管理措施后，对周边环境辐射影响较小，项目建设所带来的个人和社会利益远大于可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

5、项目地理位置

本项目建设地点位于陕西省西安市西安经济技术开发区凤城三路9号，西安凤城医院地理位置见图1-1。

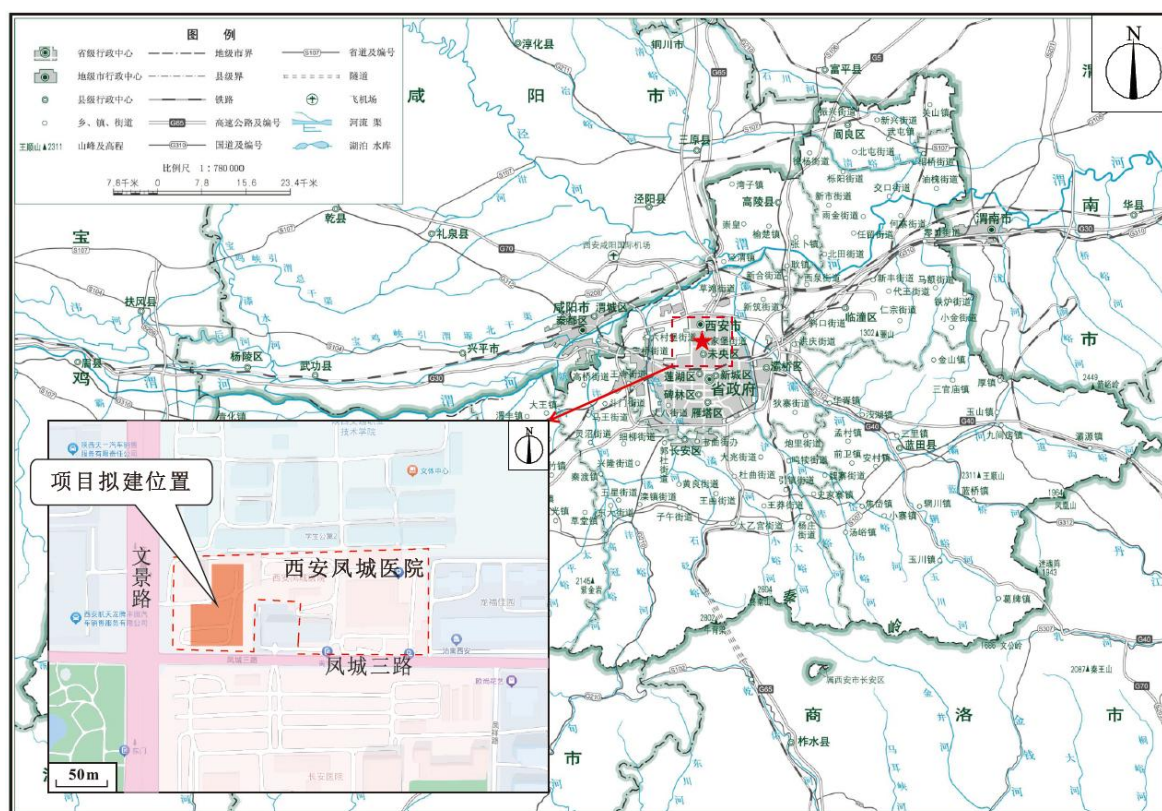


图 1-1 西安凤城医院地理位置示意图

6、项目组成及建设内容

本项目包括医疗综合楼放疗科（医用电子直线加速器）、核医学科（PET-CT）、急诊手术部（DSA）及手术部（DSA），具体内容见下表 1-1。

表 1-1 项目主要建设内容一览表

组成	项目内容	建设内容		
主体工程	放疗科	医用电子直线加速器 1	机房 1 间，有效面积 104m ² ，安装 1 台医用电子直线加速器，位于医疗综合楼地下三层；X 射线最大能量为 10MV，为 II 类医用射线装置 控制室 1 间，有效面积 12.41m ² ，位于医疗综合楼地下三层，用于控制医用电子直线加速器 设备间 1 间，有效面积 9.91m ² ，位于医疗综合楼地下三层，用于冷却加速器加速管及其发热部件	
		医用电子直线加速器 2	机房 1 间，有效面积 104m ² ，安装 1 台医用电子直线加速器，位于医疗综合楼地下三层；X 射线最大能量为 10MV，为 II 类医用射线装置 控制室 1 间，有效面积 13.65m ² ，位于医疗综合楼地下三层，用于控制医用电子直线加速器 设备间 1 间，有效面积 12.17m ² ，位于医疗综合楼地下三层，用于冷却加速器加速管及其发热部件	
		CT 模拟定位机	机房 1 间，有效面积 45.82m ² ，位于医疗综合楼地下三层，用于使用加速器治疗的患者在治疗前确定肿瘤的位置和范围 控制室 1 间，有效面积 11.80m ² ，位于医疗综合楼地下三层，用于控制 CT 模拟定位机	
		核医学科	储源室	1 间，有效面积 3.46m ² ，位于医疗综合楼地下三层，用于储存放射性核素等，本次备用
			分装质控室	1 间，有效面积 27.65m ² ，位于医疗综合楼地下三层，用于 ¹⁸ F 的储存、分装和质控，在手套箱（正面屏蔽厚度为 49mmPb，其他面屏蔽厚度为 26mmPb）内进行分装质控
			注射室	1 间，有效面积 4.10m ² ，位于医疗综合楼地下三层，用于患者接受 ¹⁸ F 药物的注射，通过注射台进行注射
			PET-CT	PET-CT（正电子发射计算机断层成像）机房 1 间，有效面积 46.62m ² ，安装 1 台 PET-CT，使用放射性核素 ¹⁸ F 药物开展显像检查，位于医疗综合楼地下三层
			PET-CT 控制室	1 间，有效面积 18.72m ² ，位于医疗综合楼地下三层，用于操作 PET-CT
			运动候诊兼抢救室	1 间，有效面积 18.77m ² ，位于医疗综合楼地下三层，用于患者注射 ¹⁸ F 药物后需要开展运动后检查的，或患者出现不适症状时，进行抢救的区域，最多仅 1 人使用
	PET-CT 候诊		PET-CT 注射后候诊室 1 间，有效面积 21.96m ² ，配置有专用卫生间，位于医疗综合楼地下三层；用于患者注射 ¹⁸ F 药物后等候显像检查使用，同一时间内最多有 2 人同时使用	
	VIP 候诊		VIP 候诊室 1 间，有效面积 16.21m ² ，配置有专用卫生间，位于医疗综合楼地下三层。用于患者注射 ¹⁸ F 药物后等候显像检查使用，同一时间内仅 1 人使用	
	急诊手术部	留观室	1 间，有效面积 17.64m ² ，配置有专用卫生间，位于医疗综合楼地下三层，用于患者检查完成后如出现不适症状时，进行留观的区域，同时最多有 3 名患者	
		DSA 复合手术室	DSA 复合手术室 1 间，有效面积 69.55m ² ，位于医疗综合楼一层，用于急诊时开展介入治疗	
	手术部	控制室	控制室 1 间，有效面积 13.3m ² ，位于医疗综合楼一层，用于操作 DSA	
		DSA 复合手术室	DSA 复合手术室 1 间，有效面积 35.5m ² ，位于医疗综合楼四层，用于开展介入治疗	

		控制室	控制室 1 间，有效面积 6.4m ² ，位于医疗综合楼四层，用于操作 DSA			
公辅工程	放疗科		设置卫生间、准备大厅、质控室、铅模室、模具室等，用于医用电子直线加速器日常工作所需			
	核医学科		设置诊室、卫生间、办公室等，用于核医学科日常办公使用 设置冲淋、更衣、卫生通过，用于分装质控、注射过程使用；其他设置有污洗间、PET-CT 的设备间等			
	急诊手术部（DSA 复合手术室）		设置有更衣室、废弃物暂存间、缓冲区、机房等作为 DSA 复合手术室配套使用			
	手术部（DSA 复合手术室）		设置有缓冲区、机房等作为 DSA 复合手术室配套使用			
环保工程	通排风		放疗科	医用电子直线加速器机房、CT 模拟定位机房均设置送风、排风系统，经机械通排风系统外排		
			核医学科	分装质控室内的手套箱单独设置排风系统，并安装有活性炭过滤器，管道经核医学科东侧的排风口最终通往综合楼楼顶；其他区域设置送风、排风系统，经机械通排风系统外排		
			急诊手术部（DSA 复合手术室）	设置送风、排风系统		
			手术部（DSA 复合手术室）	设置送风、排风系统		
	废水		非放射性废水		工作人员及患者产生的非放射性废水经管道排放至医院污水处理站，经处理达标后排放	
			放射性废水	核医学科	拟设置 1 座槽式衰变池，位于医疗综合楼地下四层，包括 1 个 8.5m ³ 污泥池、3 个分别为 8.3m ³ 、8.5m ³ 及 8.5m ³ 的衰变池池体和 1 个 8.5m ³ 检测池，用于储存核医学科内产生的放射性废水	
	固废		非放射性固体废物	急诊手术部（DSA 复合手术室）	介入手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医用辅料，经专用医疗废物桶收集后送至医疗废物暂存间暂存，统一委托有资质单位处置	
			手术部（DSA 复合手术室）			
			放射性固体废物		放疗科	废金属靶、废辅助过滤器材等作为放射性固体废物（危险废物）交由有资质的加速器供应商更换并处置
					核医学科	
	核医学科东侧（分装质控室内）建设有固废室 1 间，有效面积 3.46m ² ，用于分装质控室内产生的放射性固体废物（包括废活性炭）分类收集暂存，暂存至其放射性比活度低于相应清洁解控水平后作为医疗废物处理，废活性炭作为一般固体废物由厂家回收处置，医疗废物统一委托有资质单位处置					
					校准源 ⁶⁸ Ge 或 ²² Na 为 V 类放射源，放射源不再使用或活度无法满足校准要求时，产生废旧放射源，由有资质的单位回收处置	
辐射防护		放疗科		医用电子直线加速器四周墙体、地面和顶部均采用一定厚度的混凝土进行防护；CT 模拟定位机房四周墙体采用一定厚		

			度的实心砖或一定厚度的混凝土，地面和顶部均采用一定厚度的混凝土进行防护；机房门均采用一定铅当量的铅防护门，具体屏蔽防护参数见表 10-5
			各机房外设置醒目的电离辐射警告标志，并附文字说明；医用电子直线加速器各机房设置有门机连锁装置、急停按钮、固定式报警装置、工作状态指示灯等辐射安全防护设施；CT 模拟定位机房设置有急停按钮、工作状态指示灯等辐射安全防护设施
		核医学科	核医学科各工作场所四周墙体采用一定厚度的实心砖或实心砖+硫酸钡防护涂料，地面和顶部采用一定厚度的混凝土或混凝土+硫酸钡防护涂料；防护门均采用一定铅当量的铅防护门；PET-CT 机房的观察窗、注射室的注射窗口均采用一定铅当量的铅玻璃，具体屏蔽防护参数见表 10-8
			各工作场所设置分区标识，地面设置行走路径标识。各工作场所出入口设置醒目的电离辐射警告标志，并附文字说明；PET-CT 机房设置有工作状态指示灯、急停装置等辐射安全防护设施
		配置有钨合金注射器屏蔽套、储源铅罐等，分装质控室配置有手套箱	
急诊手术部（DSA 复合手术室）、手术部（DSA 复合手术室）	各介入手术室四周墙体均采用实心砖墙体，防护门均采用一定铅当量的铅防护门，观察窗均采用一定铅当量的铅玻璃，屋顶及地面采用一定厚度混凝土+硫酸钡防护涂料，具体屏蔽防护参数见表 10-10、表 10-12		
		各机房外设置醒目的电离辐射警告标志，并附文字说明	
	其他	为工作人员配备有铅防护服、铅帽、铅围脖等个人防护用品、一次性手套、气溶胶防护口罩、工作服等去污用品；急诊手术部（DSA 复合手术室）、手术部（DSA 复合手术室）还配备有铅防护帘、床侧防护帘、移动铅防护屏等辅助防护设施	

7、项目建设规模

(1) 放疗科

本项目医疗综合楼地下三层放疗科新增 2 台医用电子直线加速器，根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号），属于 II 类射线装置，具体参数见表 1-2。

表 1-2 项目放疗科拟配置设备相关参数一览表

设备名称	类别	具体参数		用途	工作场所
		型号	待定		
医用电子直线加速器 1 及医用电子直线加速器 2	II 类射线装置； （加速器配置有图像引导定位系统（CBCT），属于 III 类射线装置）	电子最大能量 MeV	22MeV	放射治疗	医疗综合楼地下三层
		X 射线最大能量 MV	10MV		
		最大输出剂量率	2400cGy/min		
		源轴距	100±0.2cm		
		正常治疗距离	100cm		
		射线泄漏率（机头）	≤0.1%		

		主射线最大出束角度		28°		
		机架旋转角度		±185°		
		图像引导 定位系统 (CBCT)	最大管电压	140kV		
			最大管电流	800mA		
治疗方式		固定束治疗、 旋转治疗、调 强治疗				
设备名称	类别	数量	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场 所
CT 模拟定 位机	III 类	1 台	140	800	加速器使用前 确定肿瘤的位置 和范围	医疗综 合楼地 下三层

(2) 核医学科

① 射线装置

本项目在医疗综合楼地下三层核医学科拟配置 1 台 PET-CT，根据《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号），属于 III 类射线装置。设备参数见表 1-3。

表 1-3 设备参数

序号	设备名称	设备型号	数量	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	射线装置类 别
1	PET-CT	待定	1 台	140	800	III 类

② 密封放射源

本项目新增的 1 台 PET-CT，拟使用 3 枚 V 类 ^{68}Ge 放射源或 7 枚 ^{22}Na 放射源，用于 PET-CT 图象融合的精度、晶体均一性等指标校正。本项目使用的放射源（ ^{68}Ge 或 ^{22}Na ）应根据 PET-CT 设备型号选择二者其一。根据《关于发布〈放射源分类办法〉的公告》（国家环保总局公告 2005 年第 62 号），均为设备校准源，属于 V 类源。放射源具体参数见表 1-4。

表 1-4 核医学科拟配备的校准源

核素名称	出厂活度 (Bq)	数量 (枚)	半衰期	分类	备注
^{68}Ge	$1.11 \times 10^8 \text{Bq}$	3	270.8d	V 类	PET-CT 校准
^{22}Na	$3.7 \times 10^6 \text{Bq}$	7	2.602a	V 类	PET-CT 校准

备注：本项目使用的放射源（ ^{68}Ge 或 ^{22}Na ）应根据 PET-CT 设备型号选择二者其一

③ 非密封放射性物质

本项目核医学科拟使用放射性核素有 ^{18}F ，采取外购的方式向生产厂家购买。本项目核医学科非密封放射性物质用量情况见表 1-5。

表 1-5 项目核医学科非密封放射性物质一览表

核素	状态	半衰期	患者每人核	每天预计接	接诊天	日最大操	年最大使用	用途
----	----	-----	-------	-------	-----	------	-------	----

名称			素用量 (Bq)	待患者人数 (人)	数	作量 ^① (Bq)	量 (Bq)	
¹⁸ F	液体	109.8 min	3.70×10 ⁸ (10mCi)	20	250 天	1.82×10 ¹⁰ ^②	4.55×10 ¹²	PET-CT 显像

备注: ① 表中日最大操作量在考虑了核素的衰变情况后, 应为医院向厂家订购的最大量;
 ② 根据医院购药计划, 计划分两个时段送药 (上午 7:30 和下午 13:30), 每个时段送 10 人药量。医院计划每个时段分 5 批注射, 每批 2 人, 每人注射间隔时间约 1min, 每批注射间隔时间约 60min。由于 ¹⁸F 半衰期较短, 考虑到放射性核素的衰变, 以及存在的其他不可控因素, 日最大操作量仍需留有部分冗余, 因此项目放射性核素实际订购量需大于实际注射量。估算出医院 ¹⁸F 的实际最大订购量为: $2 \times 10 \text{mCi} \times (1 + 2^{(1/109.8)} + 2^{(60/109.8)} + 2^{(61/109.8)} + 2^{(120/109.8)} + 2^{(121/109.8)} + \dots + 2^{(241/109.8)}) = 491.9 \text{mCi}$

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 附录 C 中“非密封源工作场所的分级要求”, 使用以下公式计算日等效最大操作量, 确定其工作场所等级。

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

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 附录 C, 确定 ¹⁸F 的核素毒性权重因子、工作场所的操作方式因子及工作场所的分级要求, 见表 1-6、表 1-7、表 1-8。

表 1-6 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 1-7 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	操作性质修正因子			
	表面污染水平较 低的固体	液体, 溶液, 悬 浮液	表面有污染的固 体	气体, 蒸汽, 粉 末, 压力很高的 液体, 固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

表 1-8 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量 (Bq)
甲	>4×10 ⁹
乙	2×10 ⁷ ~4×10 ⁹
丙	豁免活度值以上~2×10 ⁷

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函〔2016〕430号), 满足以下特点的放射性药品生产、使用场所, 应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算:

a 有相对独立、明确的监督区和控制区划分；

b 工艺流程连续完整；

c 有相对独立的辐射防护措施。

经对比，本项目各类放射性药品使用场所均位于核医学科同一个区域，因此本次工作场所等级以单个核素等效最大操作量之和进行计算，本项目核医学科工作场所等级为丙级，计算结果见表 1-9。

表 1-9 核医学科工作场所分级计算结果

核素名称	日最大操作量 (Bq)	毒性分组	毒性组别修正因子	性状	操作方式	方式与状态修正因子	场所日等效最大操作量 (Bq)	工作场所级别
^{18}F	1.82×10^{10}	低毒	0.01	液体	很简单的操作 ^①	10	1.82×10^7	丙级

备注：① 根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 附录 A：本项目医疗机构使用 ^{18}F 液态属于很简单操作

(3) 急诊手术部 (DSA 复合手术室)

本项目医疗综合楼一层急诊手术部 (DSA 复合手术室) 拟配置 1 台 DSA，根据《关于发布<射线装置分类>的公告》(环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号)，属于 II 类射线装置。设备参数见表 1-10。

表 1-10 设备参数

设备名称	设备型号	数量	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	射线装置类别
DSA	待定	1 台	125	1250	II 类

(4) 手术部 (DSA 复合手术室)

本项目在医疗综合楼四层手术部 (DSA 复合手术室) 拟配置 1 台 DSA，根据《关于发布<射线装置分类>的公告》(环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号)，属于 II 类射线装置。设备参数见表 1-11。

表 1-11 设备参数

设备名称	设备型号	数量	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	射线装置类别
DSA	待定	1 台	125	1250	II 类

(5) 工作人员配置

根据建设单位提供的资料，本次西安凤城医院拟新增放射工作人员情况如下：

表 1-12 拟配备辐射工作人员情况 单位：人

科室	放疗科	核医学科	急诊手术部 (DSA 复合手术室)	手术部 (DSA 复合手术室)
医师	3	2	2	2
护士	3	2	2	2
技师	3	2	2	2
物理师	1	/	/	/

合计	10	6	6	6
----	----	---	---	---

备注：本次新增的辐射工作人员为各科室的专职工作人员，不参与其他的放射性工作

本项目各工作场所涉及的辐射工作人员共计 28 名，均为新增。西安凤城医院将在上岗前按照《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（公告 2019 年第 57 号）的要求，组织辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，考核合格后才允许上岗，同时将组织辐射工作人员参加岗前体检，建立职业健康档案。

(6) 工作负荷

本项目拟在医疗综合楼建设放疗科、核医学科、急诊手术部（DSA 复合手术室）及手术部（DSA 复合手术室），各工作场所工作负荷如下：

表 1-13 项目医疗综合楼各工作场所的工作负荷情况表

场所	射线装置	能量 (MV)	患者人次 (人/天)	周工作日 (天)	年工作日 (天)	年照射时间 (h)	平均每人每野次治疗剂量 (Gy)	
放疗科	医用电子直线加速器 1	10	60	5	250	235	1.5	
	医用电子直线加速器 2	10	60	5	250	235	1.5	
场所	射线装置	数量 (台)	每次照射时间	患者人次 (人/天)	周工作日 (天)	年工作日 (天)	年开机时间	
放疗科	CT 模拟定位机	1	10s	120	5	250	83.3h	
场所	射线装置	核素	患者人次 (人/天)	周工作日 (天)	年工作日 (天)	操作方式	每人每次操作时间	年操作时间
核医学科	PET-CT	¹⁸ F	20	5	250	手套箱内药物分装	1min	83.3h
						药物自手套箱转移至注射窗口	10s	13.8h
						注射	10s	13.8h
						对患者进行摆位	30s	41.6h
						控制室操作时间	20min	1666.6h
场所	射线装置	数量 (台)	工作模式	每次照射时间	年最大工作量/台	年开机时间		
急诊手术部 (DSA 复合手术室)	DSA	1	透视	10min	200 台手术	33.3h		
			采集	30s	200 台手术	1.67h		
手术部 (DSA 复合手术室)	DSA	1	透视	10min	200 台手术	33.3h		
			采集	30s	200 台手术	1.67h		

8、项目选址及布局情况

(1) 放疗科

医用电子直线加速器位于医疗综合楼地下三层的西侧，布置有医用电子直线加速器机房、控制室、设备室、质控室、物理室、铅模室、模具室、CT模拟定位机、控制室（CT模拟定位）等。放疗科及周边平面布置情况见图 1-4、图 1-5、图 1-7、图 1-8。

(2) 核医学科

本次核医学科仅包含门诊诊断，布置有 PET-CT 显像检查区域，以患者通道为界，核医学科患者通道的南侧由西向东分别布置有留观室（包含病卫）、PET-CT 候诊（包含病卫）、VIP 候诊（包含病卫）、运动候诊兼抢救室、分装质控室、冲淋、更衣、卫生通过、储源室、固废室、污洗间；核医学科患者通道的北侧由西向东分别布置有电子阅片会议室、办公室、控制室、PET-CT 机房、设备间。核医学科及周边平面布置情况见图 1-4、图 1-6~图 1-8。

(3) 急诊手术部（DSA 复合手术室）

拟在医疗综合楼一层急诊手术部东侧的 DSA 复合手术室配置 1 台 DSA，DSA 复合手术室北侧布置有控制室、机房等，西侧布置有刷手区域、更衣室、谈话间、手术室等，南侧布置有缓冲区、废弃物暂存间等。急诊手术部（DSA 复合手术室）及周边平面布置情况见图 1-9、图 1-10。

(4) 手术部（DSA 复合手术室）

拟在医疗综合楼四层手术部东侧的 DSA 复合手术室配置 1 台 DSA，DSA 复合手术室北侧布置有控制室、机房等，西侧布置有洁净走廊、卫生间、洁具间、患者家属等候区等，南侧布置有体外循环、标本室等，东侧布置有清洁走廊。手术部（DSA 复合手术室）及周边平面布置情况见图 1-11、图 1-12。

本项目各工作场所的平面布局均符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相应的标准要求，详见表 1-14~表 1-16。



表 1-14 项目放疗科选址及布局合理性分析

序号	《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）	本项目情况	是否符合
1	5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内	本项目放疗科位于西安凤城医院医疗综合楼地下三层，为凤城医院内新建楼，不在民居、写字楼和商住两用的建筑物内建设 西安凤城医院周围环境关系见图 1-2，平面布局见图 1-3。	是
2	5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域	医用电子直线加速器机房北侧为停车场；西侧为土层；东侧为放疗科其他功能房间，布置有 CT 模拟定位机房、控制室、注射抢救、诊室、放疗科准备大厅、更衣室、治疗计划室、质控室、铅模室、模具室、办公区域等；南侧为核医学科，布置有核医学科办公室、电子阅片会议室、缓冲区、医生通道、控制室、PET-CT 机房等，均避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域	是
3	5.1.3 术中放射治疗手术室应采取适当的辐射防护措施，并尽量设在医院手术区的最内侧，与相关工作用房（如控制室或专用于术中放射治疗设备调试、维修的房间）形成一个相对独立区域；术中控制台应与治疗设备分离，实行隔室操作，控制台可设在控制室或走廊内	<p>医用电子直线加速器及 CT 模拟定位机房均设置醒目的电离辐射警告标志，并附文字说明；医用电子直线加速器各机房设置有门机连锁装置、急停按钮、固定式报警装置、工作状态指示灯等辐射安全防护设施；CT 模拟定位机房设置有急停按钮、工作状态指示灯等辐射安全防护设施</p> <p>医用电子直线加速器及 CT 模拟定位机房位于医疗综合楼地下三层的最西侧；加速器机房上部为封闭的无用空间，位于地下二层，四周为混凝土墙体，人员无法到达，无用空间的上层为消防水池；加速器机房下部为封闭的无用空间，位于地下四层，四周为混凝土墙体，人员无法到达，无用空间的下层为土层。综上，医用电子直线加速器及 CT 模拟定位机房均处于一个相对独立的区域</p> <p>医用电子直线加速器及 CT 模拟定位机的控制室均与机房设备分离，为隔室操作，控制台设置在相应控制室内</p>	是

表 1-15 项目核医学科选址及布局合理性分析

序号	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）		本项目情况	是否符合
1	选址	5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道	本项目核医学科位于西安凤城医院医疗综合楼地下三层的西南角，设置有单独的患者电梯；根据核医学科人流物流设计（见表 10 辐射安全与防护），设置有相应的物理隔离和单独的人员、物流通道	是
2		5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，应与非放射性工作场所有明确的分界隔离	核医学科西侧和南侧为土层；北侧为放疗科及停车场；东侧为停车场；下层为停车场及机房，上层为送风机房、生活水泵房、停车场等，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，核医学科边界均为通顶混凝土墙体	是
3		5.1.3 核医学工作场所排风口的的位置尽可能远离周边高层建筑	核医学科排风系统包括 3 部分（详见表 10 辐射安全与防护），均经排风管道通往医疗综合楼楼顶排出，排风口位置离周边高层建筑较远	是
4	布局	5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间	本次核医学科仅包含门诊诊断，根据诊疗流程设计各功能区域的布局，控制区相对集中，分装质控室集中在核医学科的东侧 药物存放在分装质控室的手套箱内 分装质控室产生的放射性废物存放至东侧固废室内，其余场所产生的放射性废物存放至西侧固废室内	是
5		5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷	各工作场所设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道通过错时管控不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道相对短捷，详见“表 10 辐射安全与防护”。	
6		5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入	核医学科在患者进出口门防护门设计单向门禁系统，只进不出；储源室门、分装质控室门、医护通道出入口门等设门禁，授权工作人员才可进出；各个场所及地面均设置有相应标识等。采取以上措施后，控制了无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免了工作人员和公	

	口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间	众受到不必要的照射	
		在分装质控室出入口设置有更衣和卫生通过，为工作人员提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备	
		给药后患者使用的 PET-CT 候诊、VIP 候诊及留观室均设置有患者专用卫生间	

表 1-16 项目各 DSA 手术室布局合理性分析

序号	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）	本项目情况	是否符合
1	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	<p>急诊手术部东侧的 DSA 复合手术室内的 DSA 设备位于中部，患者防护门位于南侧，工作人员防护门、观察窗均位于北侧，管线口位于机房的东侧，避免了有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位</p> <p>手术部东侧的 DSA 复合手术室内的 DSA 设备位于中部，患者防护门位于西侧，观察窗位于北侧，管线口位于机房的西侧，避免了有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位</p>	是
2	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	急诊手术部（DSA 复合手术室）及手术部（DSA 复合手术室）四周墙体均采用实心砖墙体，防护门均采用一定铅当量的铅防护门，观察窗均采用一定铅当量的铅玻璃，屋顶及地面采用一定厚度混凝土+硫酸钡防护涂料，具体屏蔽防护参数见表 10-10、表 10-12	是
3	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	急诊手术部（DSA 复合手术室）及手术部（DSA 复合手术室）均为单独的手术室放置 DSA 设备	是
4	6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2 的规定	本项目各 DSA 机房尺寸使用面积及单边长度见表 10-9、表 10-11，均符合最小有效使用面积、最小单边长度要求	是

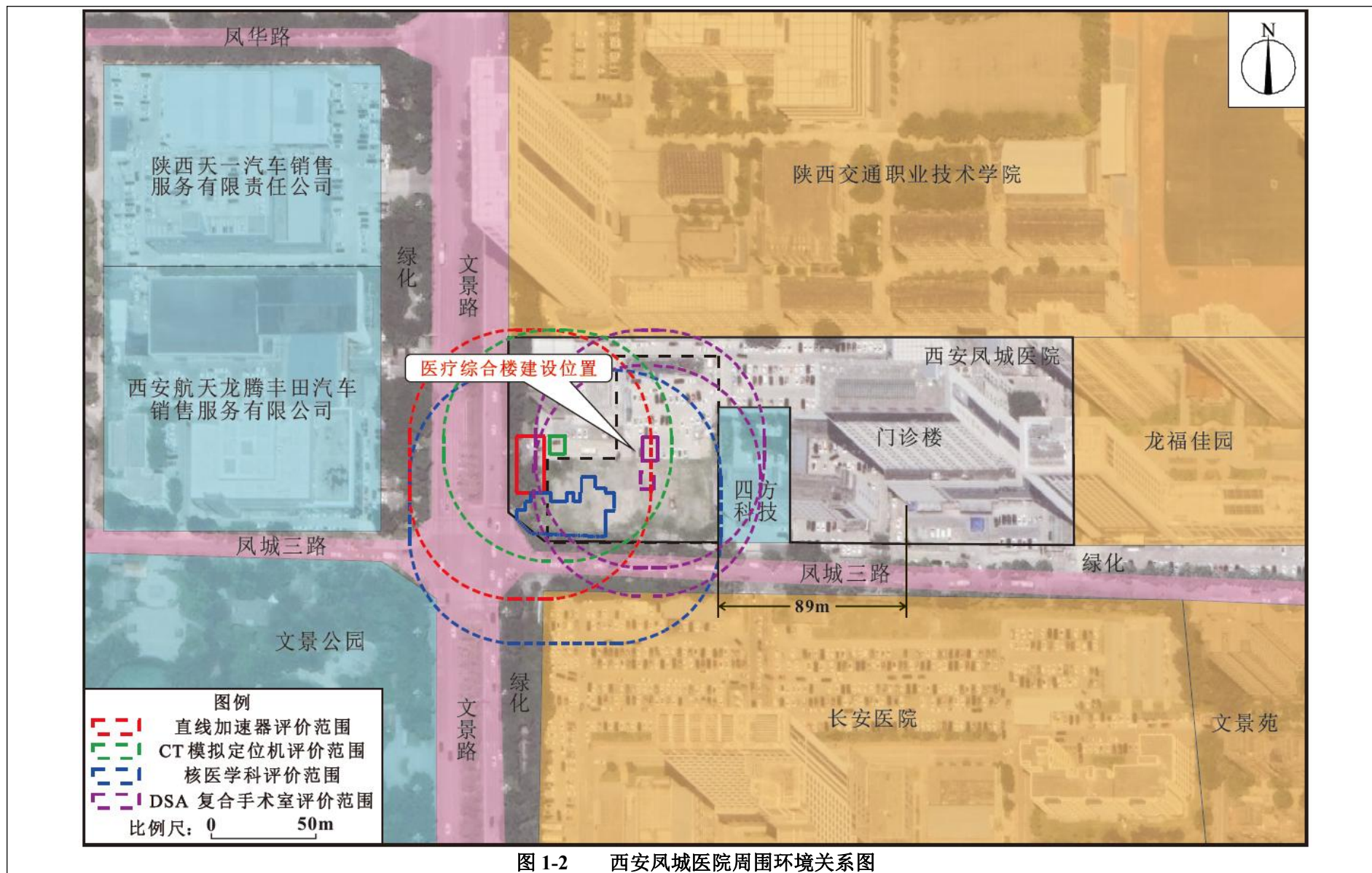




图 1-5 医疗综合楼地下三层放疗科平面布置图

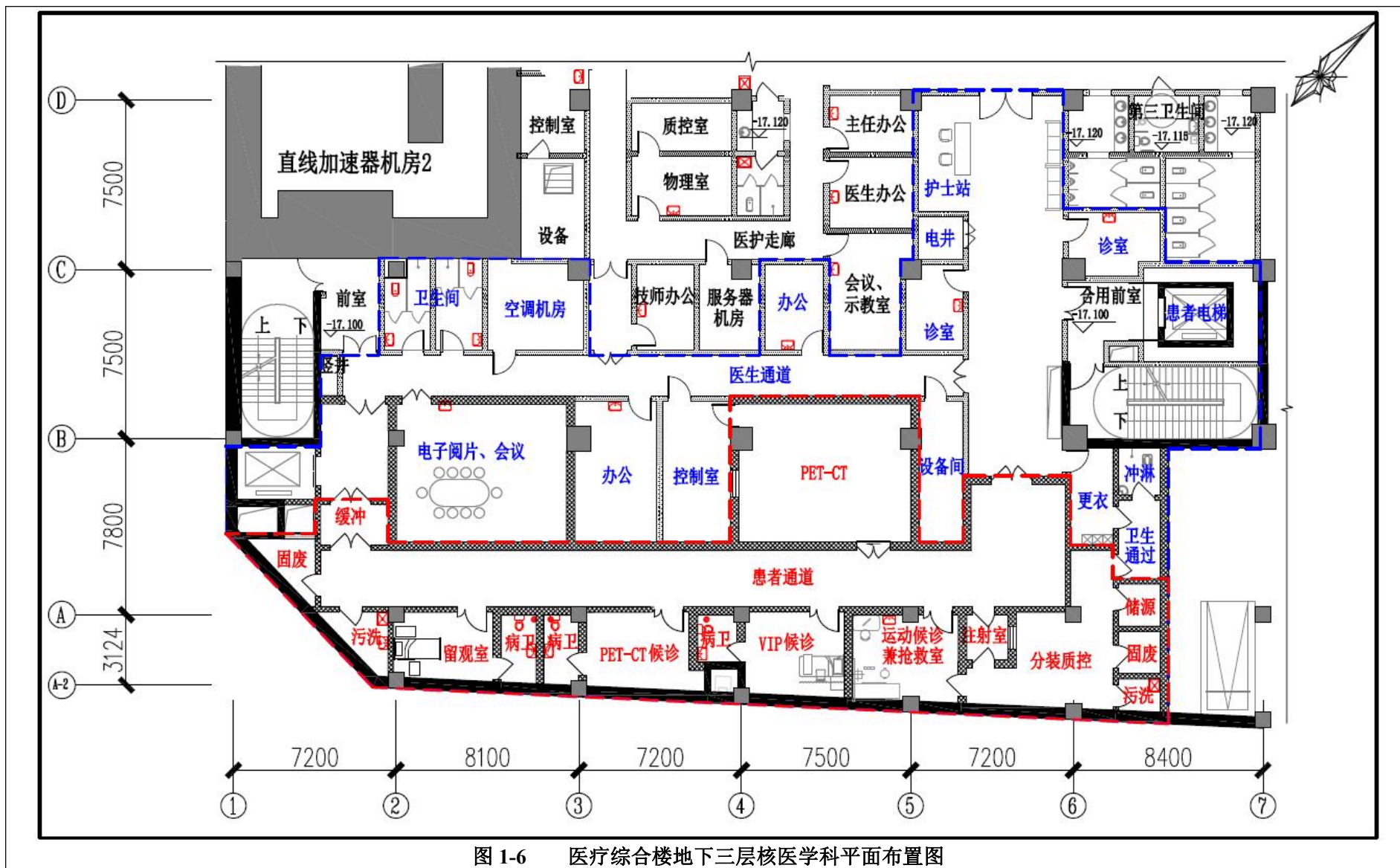


图 1-6 医疗综合楼地下三层核医学科平面布置图

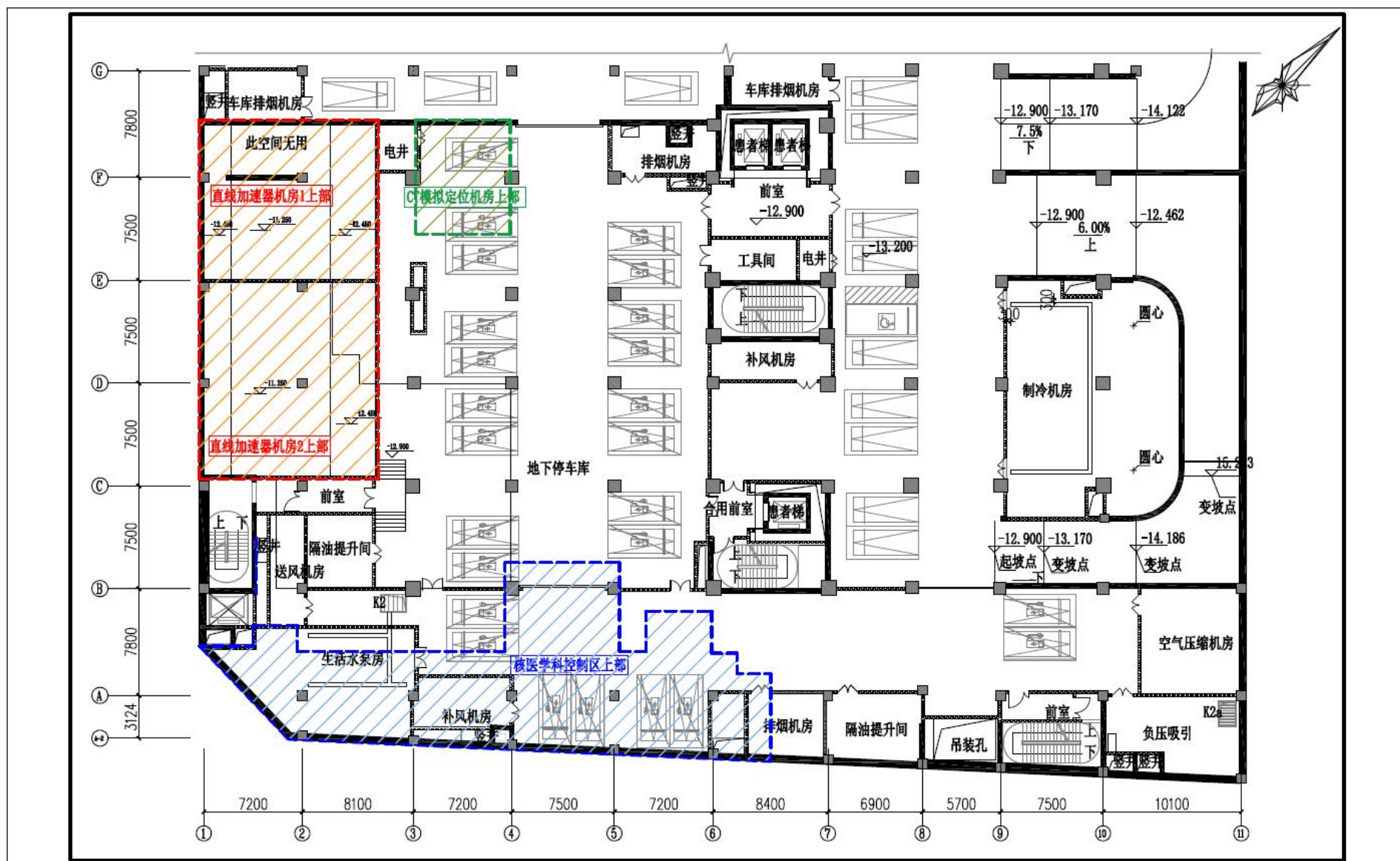


图 1-7 医疗综合楼地下二层平面布置图 (局部, 放疗科及核医学科控制区楼上)

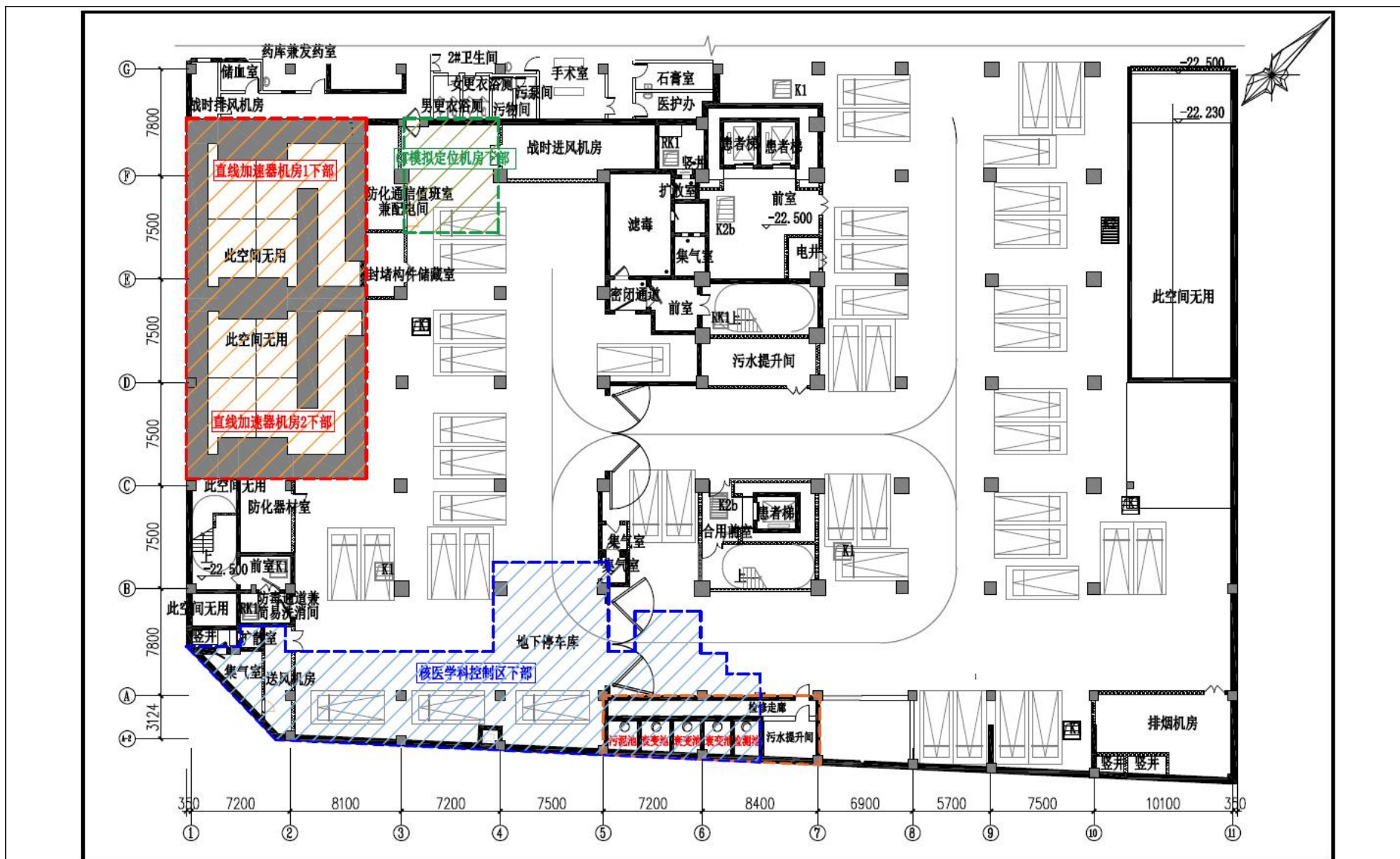


图 1-8 医疗综合楼地下四层平面布置图（局部，放疗科及核医学科控制区楼下、衰变池）

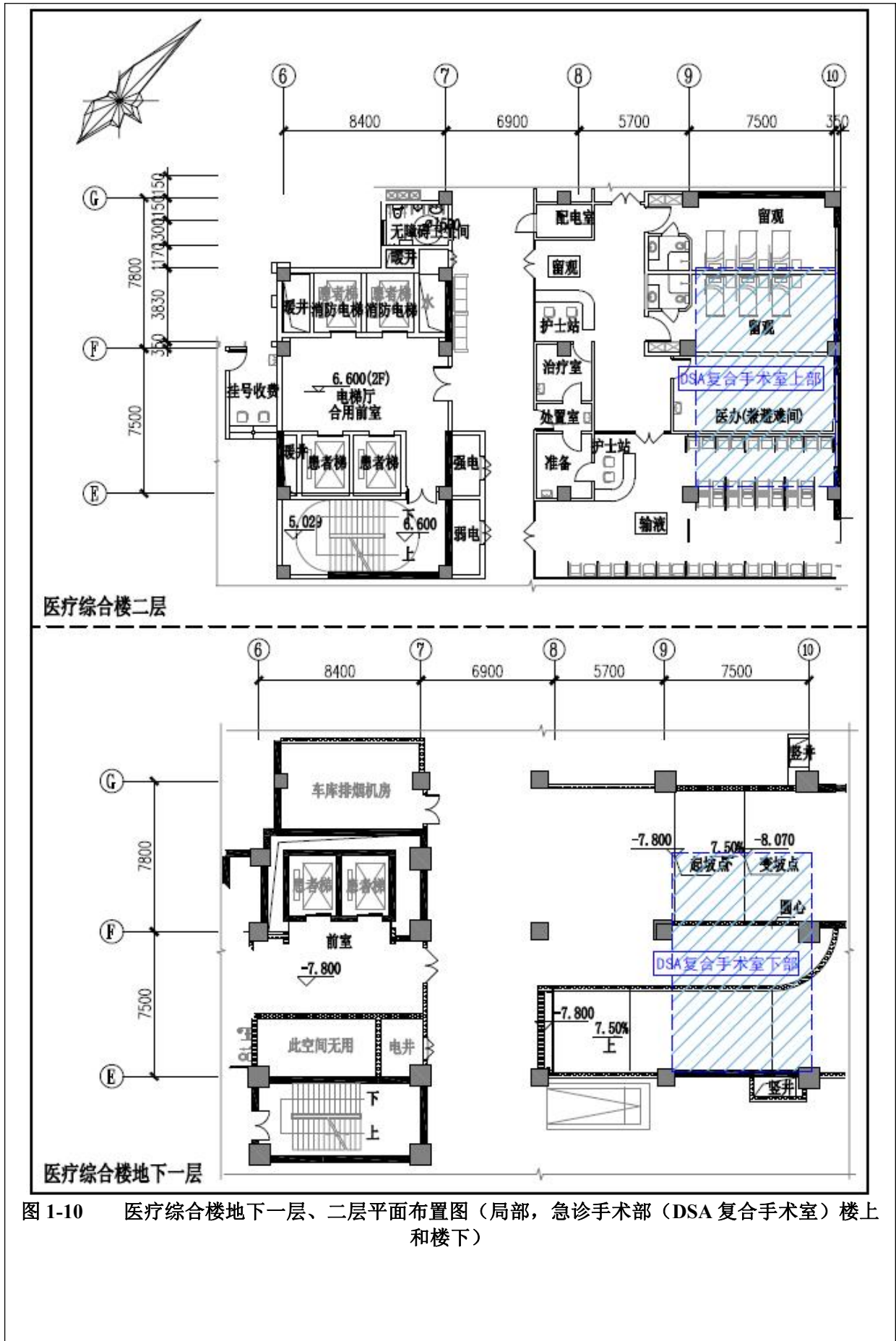


图 1-10 医疗综合楼地下一层、二层平面布置图 (局部, 急诊手术部 (DSA 复合手术室) 楼上和楼下)

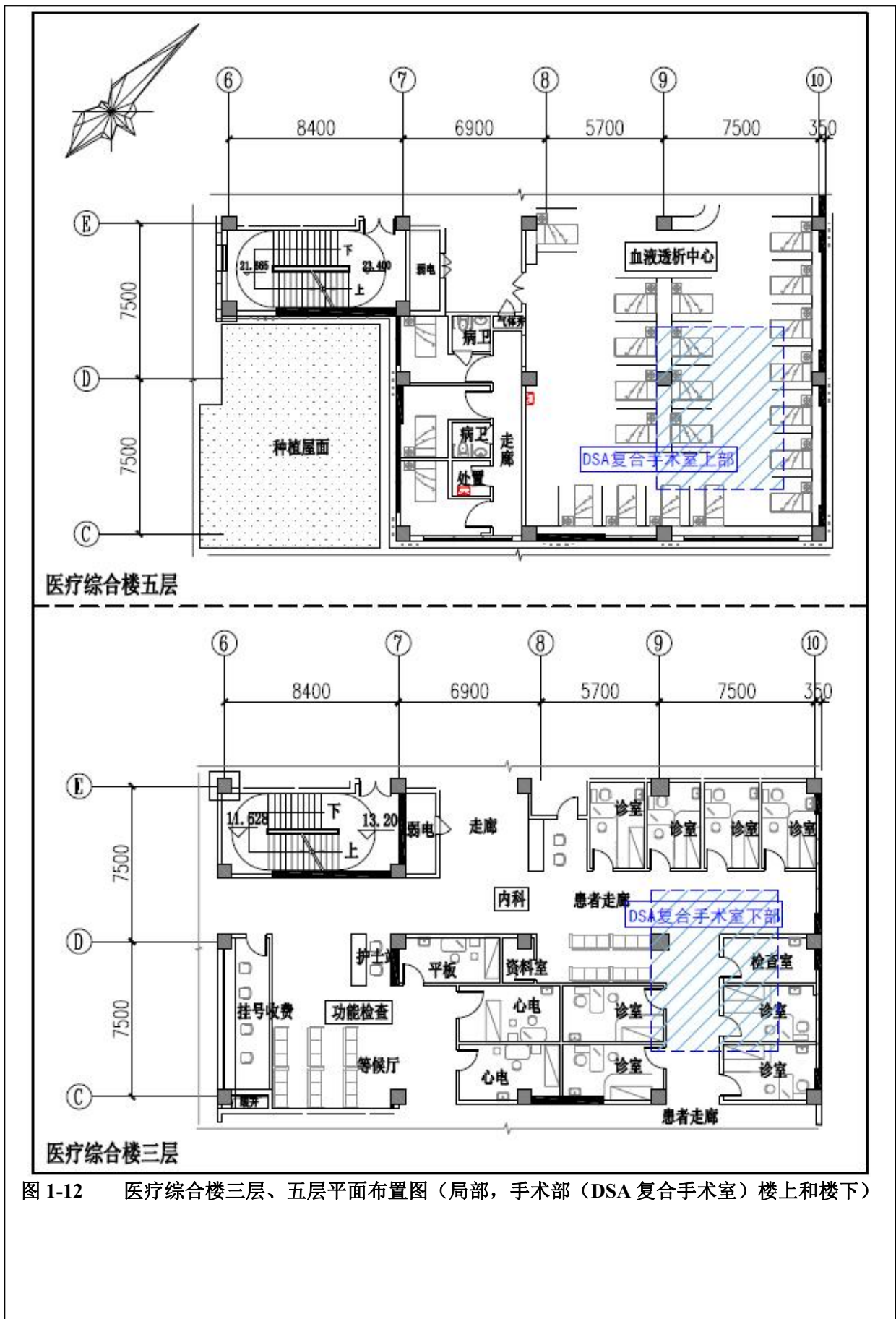


图 1-12 医疗综合楼三层、五层平面布置图（局部，手术部（DSA 复合手术室）楼上和楼下）

9、项目建设进度

本项目位于西安凤城医院医疗综合楼（在建）内，主体大楼结构尚未建成。主体工程环评已于 2022 年 10 月 10 日取得西安经济技术开发区管委会行政审批服务局《关于西安凤城医院西安凤城老年病医院项目环境影响报告表的批复》（经开行审环批复〔2022〕066 号，见附件）。现状照片如下：



10、原有核技术利用项目许可情况

(1) 环保手续履行情况

西安凤城医院现有核技术利用项目环保手续履行情况如下：

表 1-17 西安凤城医院环保手续履行情况

项目名称	评价内容	环评手续		验收手续	
		批复文号	批复时间	批复文号	批复时间
西安凤城医院医用 X 射线装置核技术应用项目	新增 1 台 DSA 医用 X 射线装置，属 II 类射线装置	陕环批复（2016）121 号	2016 年 5 月	陕环批复（2016）623 号	2016 年 11 月
西安凤城医院新增 DSA 射线装置应用项目	拟在门诊楼负一层，安装使用 2 台医用血管造影 X 射线机（DSA、均属 II 类射线装置）	陕环批复（2018）121 号	2018 年 4 月	自主验收时间：2019 年 1 月	
其余 III 类射线装置均已进行登记表备案				/	

(2) 辐射安全许可证办理情况

西安凤城医院于 2024 年 3 月 4 日更换了辐射安全许可证，许可证编号为陕环辐证[00059]（见附件），有效期至 2029 年 3 月 3 日。许可种类和范围为：使用 II 类、III 类射线装置。辐射安全许可证台账明细见表 1-18 所示。

表 1-18 西安凤城医院辐射安全许可证台账明细

序号	活动种类和范围					使用台账		
	辐射活动场所名称	装置分类名称	类别	活动种类	数量/台（套）	装置名称	规格型号	技术参数（最大）
1	第三手术室	血管造影用 X 射线装置	II 类	使用	1	医用血管造影 X 射线机	NeuAngio30C	管电压 125kV，管电

								流 1000mA
2	门诊楼负一层 10 室 (口腔 CBCT 机)	口腔 (牙科) X 射线装置	III 类	使用	1	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	HiRes3D	管电压 100kV, 管电流 10mA
3	门诊楼负一层 11 室 (双能 X 射线骨密度仪)	双能 X 射线骨密度仪	III 类	使用	1	双能 X 射线骨密度仪	PRIMUS	管电压 83kV, 管电流 3.0mA
4	门诊楼负一层 1 室 (320 排 CT 机)	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	III 类	使用	1	X 射线计算机体层摄影设备 (320 排 CT 机)	uCT 960+	管电压 140kV, 管电流 833mA
5	门诊楼负一层 3 室 (DR2)	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	医用 X 线摄影系统	MXHF-1500DR	管电压 150kV, 管电流 630mA
6	门诊楼负一层 4 室 (CT)	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	III 类	使用	1	X 射线计算机体层摄影设备	uCT-760	管电压 140kV, 管电流 667mA
7	门诊楼负一层 5 室 (动态 DR)	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	医用诊断 X 射线透视摄影系统	DX6920	管电压 150kV, 管电流 800mA
8	门诊楼负一层 7 室 (数字胃肠机)	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	OPERA FP X 线	Opera FP	管电压 150kV, 管电流 1000mA
9	门诊楼负一层 7 室 (移动 DR)	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	移动式 X 射线机	KD-M200	管电压 125kV, 管电流 425mA
10	门诊楼负一层 8-1 室	血管造影用 X 射线装置	II 类	使用	1	数字减影血管造影机	Innova3100-IQ	管电压 100kV, 管电流 800mA
11	门诊楼负一层 8-2 室	血管造影用 X 射线装置	II 类	使用	1	数字减影血管造影机	optima IGS 330	管电压 125kV, 管电流 1000mA
12	门诊楼四楼牙片机房	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	高频牙科 X 射线机	移动式 DYS-M	管电压 70kV, 管电流 7mA
13	手术室	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	迷你移动式 C 型臂 X 射线机	OEC Elite MiniView	管电压 110kV, 管电流 20mA
14		医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	骨科移动式 C 型臂 X 射线机	Cios Spin	管电压 125kV, 管电流 250mA
15		医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	2	Maltimobil5C 型臂	Maltimobil5C	管电压 100kV, 管电流 32mA
16						移动式 C 型	JZ06-1	管电压

						臂		100kV, 管电流 32mA
17	体检楼一层	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	箱式 X 射线机	AKHX-50/200D-RAD	管电压 150kV, 管电流 500mA
18		医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	数字化医用 X 线摄影系统	Brivo XR515	管电压 150kV, 管电流 500mA

(3) 辐射安全管理现状

医院严格遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及《陕西省放射性污染防治条例》等相关法律法规要求，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建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

(4) 辐射防护管理机构设置情况

西安凤城医院已成立辐射安全管理领导小组，组长由院长（王保山）担任，副组长由李建荣、闫依群担任。具体职责见表 12 辐射安全管理部分。

(5) 规章制度建设及落实情况

医院根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全防护条例》、《陕西省放射性污染防治条例》，已制定了较为完善的辐射安全管理规章制度，具体如下：

《辐射工作人员个人剂量档案职业健康监护档案管理细则》、《辐射安全管理制度》、《辐射事故应急预案》等，其中《辐射安全管理制度》包含辐射安全管理申报系统运行管理制度、射线装置管理制度、射线装置工作人员岗位职责、射线装置操作规程、放射工作人员培训管理制度、辐射工作人员培训计划、放射工作人员档案管理制度、辐射工作人员个人剂量管理制度、放射工作人员职业健康管理制度、辐射安全防护设施维护与维修制度、辐射防护监测管理制度、辐射环境检测设备使用及检定管理制度。

医院现有辐射安全和防护制度的建立落实、档案管理等方面运行正常。

(6) 工作人员培训情况辐射安全管理现状

医院严格按照国家相关规定，所有从事放射工作的人员需参加相关部门的培训，经考核合格取得放射工作人员岗位培训合格证后才可以从事放射工作。根据医院提供的资料，医院现有的放射工作人员（98 名）均取得了培训合格证书。

(7) 职业健康检查情况

医院对从事放射性工作的职业人员进行了职业性健康体检，建立了职业健康体检档案并存档。医院分 2 批进行体检，根据《西安凤城医院放射工作人员职业健康检查总结报告（2022 年度）》、《西安凤城医院放射工作人员职业健康检查总结报告（2023 年度）》，对放射工作人员的职业健康体检情况总结如下：

① 检查结果与职业禁忌证相关性异常 7 例，医院已按要求进行复查。根据医院提供的资料结合个人剂量检测结果，出现异常的放射工作人员的个人剂量检测结果均满足年剂量约束限值，但由于部分人员接害工龄（5~17 年）较长，工作强度较大，个人身体素质较差等原因，导致出现检查结果与职业禁忌证相关性异常。医院已针对以上人员分别采取了调整工作岗位、复查、专科治疗、定期观察等措施，不适宜进行放射工作的人员已调整做其他非放射性工作；

② 医院约有 7 人未及时参与健康体检，约有 4 名已离岗但暂未进行离岗体检，医院应按要求对未进行健康体检的人员进行补充检查；

③ 其余工作人员均无与职业禁忌证相关性异常，适宜从事辐射工作。

医院应加强辐射工作人员的职业健康管理，严格执行辐射安全管理规章制度。

(8) 个人剂量检测情况

医院为从事放射工作人员均配备了个人剂量计，并委托陕西华大普泰检测技术有限公司进行了个人剂量检测，并建立了个人剂量档案并存档。根据 2023 年 4 月~2024 年 3 月（剂量计佩戴时间）4 个季度的个人剂量检测报告，各职业类别的个人剂量检测结果如下：

表 1-19 西安凤城医院个人剂量检测结果一览表

职业类别	放射工作人员年剂量范围 (mSv)	放射工作人员年剂量最大值 (mSv)	年剂量约束值	是否达标
诊断放射学 (2A)	0.01~2.20	2.20	5	达标
牙科放射学 (2B)	0.02~0.16	0.16	5	达标
介入放射学 (2E)	0.02~1.52 ^①	1.52	5	达标
其他应用 (2F)	0.04~0.08	0.08	5	达标

备注：① 医院提供的 4 个季度检测报告已知铅衣内和铅衣外的个人剂量，根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）中的 6.2.4，计算得出职业类别为介入放射学（2E）的放射工作人员年剂量。

根据上述医院各职业类别个人剂量检测结果，医院放射工作人员年度剂量最大值

为 2.20mSv（诊断放射学），满足不大于 5mSv 的剂量约束。

(9) 工作场所及辐射环境监测情况

医院目前已配备有 X- γ 剂量率测量仪、个人剂量报警仪等，且均在有效期内。医院制定了辐射环境监测方案，委托有资质的单位对现有设备的辐射工作场所每年进行 1 次定期监测。

根据陕西新高科辐射技术有限公司出具的 2023 年度《放射工作场所辐射防护检测》（例行检测、FHJC-SXGK-002023219）、《DSA 机房辐射防护检测》（验收检测、FHJC-SXGK-002023259）及《放射工作场所辐射防护检测》（验收检测、FHJC-SXGK-002023231）。根据报告监测结果可知，各监测点位周围剂量当量率为 0.12 ~ 2.38 μ Sv/h，均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关要求。

医院目前涉及辐射工作的场所均位于西安凤城医院门诊楼，距离拟建设的医疗综合楼约 89m，已超出本项目评价范围，故本次无叠加的辐射影响。

(10) 应急管理情况

医院依据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与装置安全和防护条例》等法律法规的要求，制定了《辐射事故应急预案》，以保证本单位一旦发生核技术利用项目辐射意外事件时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处置放射事故，保护工作人员、公众的健康与环境安全，同时在预案中进一步明确规定本单位有关意外放射事件处理的组织机构及其职责、事故报告、信息发布和应急处理程序等内容。

(11) 存在的环保问题及整改措施

综上，西安凤城医院原有核技术利用项目环保手续及辐射安全许可证手续齐全；辐射安全管理情况运行良好；规章制度及应急管理基本落实；工作人员个人剂量满足剂量约束要求；各工作场所定期开展监测，其监测结果均满足相应标准要求。根据近两年的健康体检报告，约有 7 人未及时参与健康体检，约有 4 名已离岗但暂未进行离岗体检，医院应按要求在最近一批次的体检（体检时间预计 2024 年 7 月至 2024 年 12 月）对未进行健康体检的人员进行补充检查。

11、评价目的

(1) 对医院在使用射线装置和非密封放射性物质时产生的辐射环境影响进行预测分析，确保该射线装置及非密封放射性物质使用过程中对周围环境、人员产生辐射影响

满足国家标准相关要求；

(2) 对射线装置和非密封放射性物质使用过程中对周围环境可能产生的不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”；

(3) 为医院辐射环境保护管理提供科学依据。

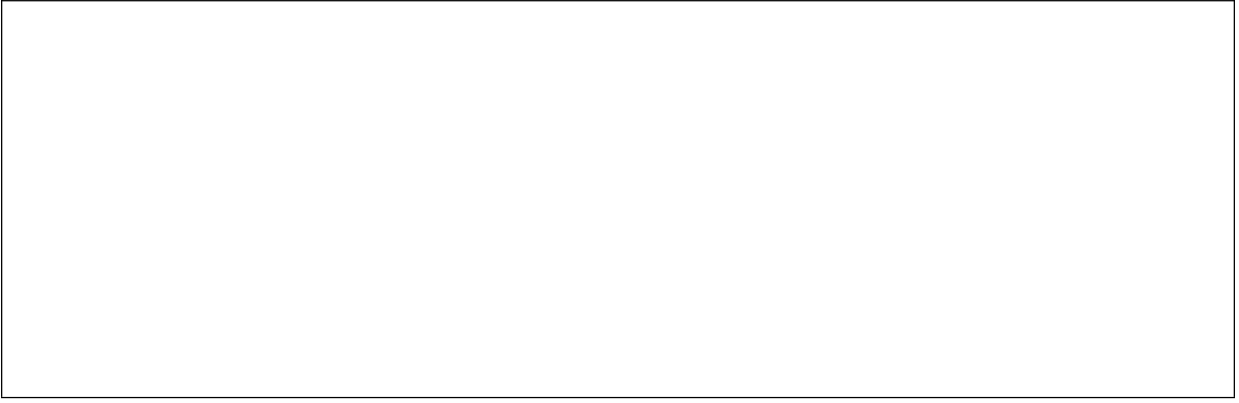


表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式及地点	备注
1	⁶⁸ Ge	1.11×10 ⁸ Bq/ 5.55×10 ⁷ Bq×3 枚	V类	使用	校准	医疗综合楼地下三层核医学科 PET-CT 机房	设备机头屏蔽体内	新增, 使用 ⁶⁸ Ge 或 ²² Na
2	²² Na	3.7×10 ⁶ Bq/ 1.85×10 ⁶ Bq×7 枚	V类	使用	校准	医疗综合楼地下三层核医学科 PET-CT 机房	设备机头屏蔽体内	

注: 密封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	贮存方式及地点
1	¹⁸ F	液态	使用	1.82×10 ¹⁰	1.82×10 ⁷	4.55×10 ¹²	PET-CT 显像检查	很简单的操作	核医学科	分装质控室手套箱

表 4 射线装置

(一) 加速器: 包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II类	1 台	待定	电子	10MV	2400cGy/min	放射治疗	放疗科	新购
2	医用电子直线加速器	II类	1 台	待定	电子	10MV	2400cGy/min	放射治疗	放疗科	新购

(二) X射线机, 包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析仪等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET-CT	III类	1台	待定	140	800	医用诊断和病症评估	核医学科 PET-CT 机房	新购
2	CT 模拟定位机	III类	1台	待定	140	800	医用诊断和病症评估	放疗科	新购
3	DSA	II类	1台	待定	125	1250	医用诊断和病症评估	急诊手术部 (DSA 复合手术室)	新购
4	DSA	II类	1台	待定	125	1250	医用诊断和病症评估	手术部 (DSA 复合手术室)	新购

(三) 中子发生器, 包括中子管, 但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
废金属靶、废辅助过滤器等	固体	/	/	/	通常 1 个靶使用 7~10 年后更换	/	/	放射性固体废物（危险废物）交由有资质的加速器供应商更换并处置
废放射源	固体	⁶⁸ Ge 或 ²² Na	⁶⁸ Ge: 约 1.48×10^7 Bq ²² Na: 约 1.85×10^6 Bq	/	通常为 1.5~2 年更换 1 次	/	/	由有资质的单位回收处置
放射性固体废物（废注射器、废手套、废活性炭等）	固体	¹⁸ F	/	0.02t	0.24t	辐射剂量率满足所处环境本底水平, β表面污染 <0.8Bq/cm ²	分类收集暂存于固废室, 暂存超过 30 天	按照医疗废物处理, 废活性炭作为一般固体废物由厂家回收处置, 医疗废物统一委托有资质单位处置
非放射性固体废物	固体	介入手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医用辅料	/	1.0t	12t	/	专用医疗废物桶收集后送至医疗废物暂存间暂存	统一委托有资质单位处置
非放射性废水	液体	放疗科及各 DSA 复合手术室的工作人员及患者产生的非放射性废水	/	/	/	/	/	排放至医院污水处理站, 经处理达标后排放
放射性废水（清洗废水、患者排泄物等）	液体	¹⁸ F	/	11.04 m ³	132.5m ³	远低于 10Bq/L	排入专用衰变池内暂存超过 30 天	经衰变池处理后排放至医院污水处理站
放射性废气	气体	¹⁸ F	/	微量	微量	/	/	经活性炭吸附后, 通过专用管道排放至楼顶
非放射性废气	气体	臭氧、氮氧化物等	/	少量	少量	/	/	通过排风管道排出

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

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

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（修订），2018 年 12 月 29 日；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日；</p> <p>(4) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，2021 年 1 月 1 日；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令 第 682 号，2017 年 10 月 1 日；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订），国务院令 第 709 号，2019 年 3 月 2 日；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 修改），生态环境部令 第 20 号，2021 年 1 月 4 日；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令 第 18 号，2011 年 5 月 1 日；</p> <p>(9) 《关于发布<放射源分类办法>的公告》，国家环保总局公告 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日；</p> <p>(10) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 6 日；</p> <p>(11) 《放射性废物分类》（环保部公告 2017 年第 65 号），环境保护部、工业和信息化部、国家防科技工业局，2018 年 1 月 1 日；</p> <p>(12) 《放射性物品分类和名录》（试行），国家环境保护总局公告 2010 年第 31 号，2010 年 3 月 4 日；</p> <p>(13) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》国家环保局，环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日起施行；</p> <p>(14) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430 号）；</p> <p>(15) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部，公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 23 日；</p> <p>(16) 《陕西省放射性污染防治条例》（2019 年 7 月 31 日修正）；</p> <p>(17) 《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29 号）；</p>
------	---

	<p>(18) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）。</p>
<p>技 术 标 准</p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>(2) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(3) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>(4) 《环境监测用 X、γ 辐射测量仪 第一部分 剂量率仪型》（EJ/T 984-1995）；</p> <p>(5) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）；</p> <p>(6) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；</p> <p>(7) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）；</p> <p>(8) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(9) 《操作非密封放射源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；</p> <p>(10) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；</p> <p>(11) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范-第一部分：一般原则》（GBZ/T201.2-2007）；</p> <p>(12) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范-第二部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）；</p> <p>(13) 《职业性外照射个人检测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(14) 《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）。</p>

其他	<p>(1) 西安凤城医院新建医用电子直线加速器、核医学科及 DSA 核技术利用项目环境影响评价委托书，2024 年 3 月；</p> <p>(2) 西安经济技术开发区管委会行政审批服务局关于西安凤城医院西安凤城老年病医院项目环境影响报告表的批复，经开行审环批复〔2022〕066 号；</p> <p>(3) 《西安凤城医院新建医用电子直线加速器、核医学科及 DSA 核技术利用项目辐射环境现状监测报告》（报告编号：XAZC-JC-2024-091），西安志诚辐射环境检测有限公司，2024 年 4 月 3 日；</p> <p>(4) 辐射安全许可证（副本），证书编号：陕环辐证[00059]，有效期至 2029 年 3 月 3 日；</p> <p>(5) 西安凤城医院关于调整辐射安全管理领导小组成员的通知，西凤医发〔2023〕94 号；</p> <p>(6) 个人剂量检测报告，报告编号：第 00017-2204-001464 号、第 00017-2301-000384 号、第 00017-2302-000671 号、第 00017-2303-001062 号；</p> <p>(7) 西安凤城医院放射工作人员职业健康检查总结报告（2023 年度），报告编号：417YYZJ-2024-01-05，2024 年 1 月；</p> <p>(8) 建设单位、设计单位提供的相关资料。</p>
----	--

表 7 保护目标与评价标准

一、评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016) 中评价范围要求：“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”。

本项目属于丙级非密封放射性物质工作场所，同时使用 II、III 类射线装置，均位于西安凤城医院医疗综合楼，评价范围为核医学科、加速器机房及 DSA 机房外 50m 区域。该项目评价范围见图 1-2、图 1-3、图 1-4、图 1-9、图 1-11。

二、保护目标

本项目环境保护目标主要为从事放疗科、核医学科、急诊手术部（DSA 复合手术室）及手术部（DSA 复合手术室）相关操作的工作人员、工作场所周围其他工作人员及公众。本项目主要环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目主要环境保护目标一览表

场所	保护对象	位置	距辐射源最近距离 (m)	人数 (人)	年有效剂量控制水平		
放疗科	职业人员 医用电子直线加速器工作人员	控制室 1	8.3	10	≤5mSv		
		控制室 2	8.3				
		控制室 (CT 模拟定位机)	17.3				
		铅模室	13.2				
		质控室	13.2				
		物理室	13.5				
		模具室	14.6				
		主任办公	21.6				
		医生办公	21.8				
		技师办公室	12.9				
	公众	医用电子直线加速器机房 1 及医用电子直线加速器机房 2 屏蔽体外周边其他医务人员 (从事非放射性工作的)、患者、患者家属	东侧	放疗科准备大厅	21.0	流动人员	≤0.1mSv
				诊室 (2 间)	22.8	2	
					25.6	2	
				注射抢救	18.3	流动人员	
				护士站	29.7	1	
				电梯厅	32.7	流动人员	
				更衣室	18.3	流动人员	
				治疗计划室	22.3	流动人员	
				会议示教室	22.8	流动人员	

				核医学科护士站	26.0	1			
				核医学科诊室（2间）	26.7	2			
					33.0	2			
				设备间	29.4	流动人员			
			地下停车库	41.8	流动人员				
			西侧	绿化区域、文景路	50m 范围内	流动人员			
			北侧	地下停车库、健康体检楼	50m 范围内	流动人员			
			南侧	污洗间	23.0	流动人员			
				固废室	20.1	流动人员			
				卫生间	7.9	流动人员			
				空调机房	10.2	流动人员			
				电子阅片会议室	14.4	流动人员			
				凤城三路、绿化区域、长安医院停车场	50m 范围内	流动人员			
			职业人员	PET-CT 操作人员及摆位人员	PET-CT 机房	0.5		6	≤5mSv
					控制室	4.1			
护士	运动候诊兼抢救室	0.3							
工作人员（药物制备、药物分装质控、注射人员）	分装质控室	0.5							
	储源室	0.3							
	固废室（分装质控室）	0.3							
	注射室	0.3							
	医生通道（核医学科）	3.4							
	核医学科办公室（2间）	5.3							
		7.6							
更衣、淋浴、卫生通过	5.8	流动人员							
核医学科卫生间	13.2	流动人员							
核医学科	公众	东侧	地下停车库	6.0	流动人员	≤0.1mSv			
			西侧	绿化区域、文景路	50m 范围内		流动人员		
			南侧	凤城三路、绿化区域、长安医院停车场	50m 范围内		流动人员		
		北侧	地下停车库	35.6	流动人员				
			设备间（加速器1）	33.5	流动人员				
			注射抢救	31.0	2				
			放疗科诊室（2间）	31.5	2				
				31.2	2				
			放疗科护士站	32.2	1				
			放疗科患者电梯	29.3	流动人员				
			放疗科准备大厅	24.4	流动人员				
			更衣室	19.5	1				
			治疗计划室	16.9	流动人员				
			洁具清洗存放	23.1	流动人员				
			走廊	18.0	流动人员				
			放疗科卫生间（医护）	11.5	流动人员				
			卫生间	15.9	流动人员				
			设备间（加速器2）	14.3	流动人员				
			服务器机房	6.2	流动人员				
			会议、示教室	5.1	流动人员				
核医学科护士站	13.1	1							
核医学科诊室（2间）	6.4	2							
	14.3	2							

			设备间	4.0	流动人员	
	核医学科正下方其他医务人员、患者及其患者家属	集气室、送风机房、地下停车库、检修走廊等		3.0	流动人员	
	核医学科正上方其他医务人员、患者及其患者家属	生活水泵房、补风机房、地下停车库、排烟机房等		3.6	流动人员	
职业人员	DSA 复合手术室医护人员	DSA 复合手术室		0.5	6	≤5mSv
	控制室操作人员	控制室		4.2		
		更衣室		7.1		
		刷手		4.5		
	其他辐射工作人员	影像中心（CT 控制室）		27.2	8	
		影像中心（DR 控制室）		16.6	8	
急诊手术部 公众	屏蔽体外周边其他医务人员、患者及其患者家属	西侧	手术室	4.0	流动人员	≤0.1mSv
		南侧	缓冲	6.0	流动人员	
			废弃物暂存间	6.1	流动人员	
		北侧	机房	5.7	流动人员	
	DSA 复合手术室周边其他医务人员、患者及其患者家属	南侧	抢救室（急救）	9.1	流动人员	
			治疗室	21.7	流动人员	
			处置室	21.2	流动人员	
		西侧	门诊大厅	27.5	流动人员	
			医药超市	39.3	流动人员	
			电梯厅	27.6	流动人员	
				16.1	流动人员	
			犬科诊室（2 间）	28.0	2	
				24.7	2	
			诊室	21.6	2	
			急救大厅	17.1	流动人员	
			走廊	10.7	流动人员	
			卫生间	15.4	流动人员	
			北侧	资料室	22.1	
	抢救室（影像中心）	25.5		流动人员		
	登记候诊	19.7		流动人员		
	患者更衣	25.6		流动人员		
	MRI	10.0		流动人员		
	设备间（MRI）	9.6		流动人员		
	消防安防控制室	9.5		流动人员		
	空调机房	24.5		流动人员		
	医护走廊	24.6	流动人员			
	污梯	28.9	流动人员			
		四方科技、西安凤城医院停车场、西安凤城医院皮肤科、凤城三路		50m 范围内	流动人员	
	DSA 复合手术室正下方其他医务人员、患者及其患者家属	地下停车场		1.8	流动人员	

	DSA 复合手术室 正上方其他医务人员、患者及其患者家属	医生办公室		3.6	6	
		输液间、留观室			流动人员	
职业人员	DSA 复合手术室 医护人员	DSA 复合手术室		0.5	6	≤5mSv
	控制室操作人员	控制室		3.8		
手术部 公众	DSA 复合手术室 屏蔽体外周边其他医务人员、患者及其患者家属	东侧	刷手	2.6	流动人员	≤0.1mSv
		西侧	清洁走廊	3.0	流动人员	
		南侧	体外循环	4.1	流动人员	
			标本室	4.0	流动人员	
	北侧	机房	3.8	流动人员		
	DSA 复合手术室 周边其他医务人员、患者及其患者家属	南侧	百级手术室 2	6.1	流动人员	
			缓冲区（百级手术室）	7.0	流动人员	
		西侧	信息机房	39.1	流动人员	
			餐厅	40.7	流动人员	
			走廊	28.0	流动人员	
			配电室	35.7	流动人员	
			男女更衣室	24.6	流动人员	
			换鞋发衣	26.9	流动人员	
			苏醒、麻醉室	23.9	流动人员	
			麻醉准备	30.6	流动人员	
			药品库	33.1	流动人员	
			主任办公室	41.2	1	
			护士长办公室	41.1	1	
			医生办公室	41.4	8	
			值班室（2间）	36.0	2	
			二次换鞋	33.1	流动人员	
			一次性物品库	29.6	流动人员	
			仪器库	27.2	流动人员	
			无菌库	24.7	流动人员	
			医护走廊	33.7	流动人员	
			麻醉办公室	31.1	4	
			麻醉主任办公室	36.4	1	
			会议室	26.4	流动人员	
			消防电梯	18.2	流动人员	
			设备间	16.0	流动人员	
			北侧	百级手术室 1	8.6	
		护士站		19.5	1	
		换床厅		15.7	流动人员	
	谈话间	15.4		流动人员		
患者家属等候区	6.2	流动人员				
洁具间	6.5	流动人员				
北侧	男女卫生间	7.1	流动人员			
	正负压转换手术室	6.3	流动人员			
	缓冲区（正负压转换手术室）	10.3	流动人员			
		隔离污洗	12.8	流动人员		

		污物暂存	16.3	流动人员
		敷料打包间	17.9	流动人员
		敷料库	16.3	流动人员
		供应中心一次性物品库	16.6	流动人员
		蒸汽发生器	20.3	流动人员
		拆包	17.1	流动人员
		发放大厅	18.9	流动人员
		低温灭菌	22.4	流动人员
		检查包装灭菌区	22.3	流动人员
		洁具间	31.2	流动人员
		检测室	34.6	流动人员
		环氧乙烷灭菌	33.8	流动人员
		供应中心男女更衣室	25.2	流动人员
		供应中心办公室（2间）	31.2	2
		供应中心值班室（2间）	35.6	2
		医护走廊	24.2	流动人员
		空调机房	39.0	流动人员
		水处理间	37.8	流动人员
		去污区	35.5	流动人员
		避难间	44.3	流动人员
		供应中心污梯（消防电梯）	43.3	流动人员
		四方科技、西安凤城医院停车场、西安凤城医院皮肤科、凤城三路、长安医院停车场	50m 范围内	流动人员
	DSA 复合手术室正下方其他医务人员、患者及其患者家属	内科诊室（3间）	1.8	6
		患者通道、检查室		流动人员
	DSA 复合手术室正上方其他医务人员、患者及其患者家属	血液透析中心	3.6	流动人员

三、评价标准

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

“标准附录 B 剂量限值和表面污染控制水平

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（但不可作任何追溯性平均），
20mSv；

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；

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算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。

6.2.3 表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限制要求。

第 B2 款表面污染控制水平

第 B2.1 款，工作场所的表面污染控制水平如表 7.3-2 所示。

第 B2.2 款，工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 7-2 所列设备类的控制水平五分之一以下时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当做普通物品使用。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位：Bq/cm²

表面类型		α放射性物质		β放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹

6.4 辐射工作场所的分区

6.4.1 控制区

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

6.4.2 监督区

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

6.4.3 非密封源工作场所分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录）的规定进行。

第 C1 款，应按表 7-3 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。”

表 7-3 非密封源工作场所分级

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

2、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）

“4 总则

4.1 一般要求

4.1.1 医疗机构应对所开展核医学活动的辐射防护与安全工作全面负责，实现保护辐射工作人员、公众和环境的目标。

4.1.2 医疗机构应对拟开展的核医学活动进行正当性判断，确保实施的活动都是正当的。

4.1.3 规划、设计、建设核医学工作场所和开展核医学活动的过程中，遵循辐射防护最优化原则，使得核医学活动涉及的相关个人受照剂量的大小、受到照射的人数和受到照射的可能性保持在可合理达到的尽量低的水平。

4.1.4 开展核医学活动的工作场所应实行分级管理。

4.1.5 开展核医学活动的辐射工作场所应划分出控制区和监督区，合理布局工作场所，规划好人流、物流、气流路径，妥善收集、暂存和处理核医学活动中产生的放射性废物。

4.1.6 医疗机构应对开展核医学活动的工作场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估，证明采取的辐射防护与安全措施的合理性。

4.1.7 开展核医学活动的医疗机构应制定恰当的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备和响应工作安排，有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。

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

4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患

者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

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

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

4.4 剂量限值与剂量约束值

4.4.1 剂量限值

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

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB 18871 执行。

5 选址和布局

5.1 选址

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

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

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

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

5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放

放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。

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

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1 屏蔽要求

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

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

6.1.5 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。

6.2 场所安全措施要求

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

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

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

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

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

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

6.3 密闭和通风要求

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

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

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

7 放射性废物的管理

7.1 一般要求

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

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

7.1.3 核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。

7.1.4 应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.1 固体放射性废物收集

7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

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

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

7.2.2 固体放射性废物贮存

7.2.2.1 产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

7.2.2.2 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

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

7.2.2.4 含放射性的实验动物尸体或器官应装入废物袋做好防腐措施（如存放至专用冰柜内），并做好屏蔽防护。不需要特殊防护措施即可处理的尸体含放射性常用核素的上限值见附录 C。

7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；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/cm²、其他 α 发射体应小于0.4Bq/cm²。

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

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.1 放射性废液收集

7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。

7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

7.3.2 放射性废液贮存

7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要：衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

7.3.2.3 核医学诊断和门诊碘-131治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。槽式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为3-5级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

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

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

7.4 气态放射性废物的管理

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

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

3、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）

“5.1 选址与布局

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

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

5.1.3 术中放射治疗手术室应采取适当的辐射防护措施，并尽量设在医院手术区的最内侧，与相关工作用房（如控制室或专用于术中放射治疗设备调试、维修的房间）

形成一个相对独立区域；术中控制台应与治疗设备分离，实行隔室操作，控制台可设在控制室或走廊内。

5.2 分区原则

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

5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

6.1 屏蔽要求

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

6.1.2 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。

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) 治疗室墙和入口外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建的二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所设张立体角区域时，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 a) 和 b) 所确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

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

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

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

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

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

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

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

c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 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运输通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；

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

7 操作的辐射安全与防护要求

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

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

7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入含放射源或质子/重离子装置的治疗室前须携带个人剂量报警仪。检修人员进入质子/重离子加速器大厅和束流运输通道区域前，应先进行工作场所辐射监测，在单位辐射安全管理机构批准后方可进入。

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

7.5 质子/重离子加速器调试、检修期间，应对进入质子/重离子加速器大厅和束流运输通道、治疗室区域的人员加强管理。在出束的情况下严禁调试、检修人员滞留在控制区；对辐射水平热点区域（如回旋加速器、降能器、束流偏转及引出部位等）应考虑进行屏蔽；接入人身安全联锁系统的受照剂量监测设备宜采用直读式的仪器。

8 放射性废物管理要求

8.1 总体要求

医疗机构应尽量减少放射性废物的产生；对产生的放射性废物按核素的种类、活度、半衰期、理化性质等分类收集处理。

8.2 固体废物管理要求

8.2.1 废旧放射源管理要求

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

8.4 气态废物管理要求

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

8.4.2 质子/重离子加速器停机后，加速器大厅应加强通风排气，采取措施使人员延时进入，以降低活化空气的感生放射性水平，减少人员受照剂量。”

4、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

“本标准适用于X射线影像诊断和介入放射学。

5 X射线设备防护性能的技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 X射线设备出线口上应安装限束系统（如限束器、光阑等）。

5.1.2 X射线管组件上应有清晰的焦点位置标示。

5.1.3 X射线管组件上应标明固有滤过，所有附加滤过片均应标明其材料和厚度。

5.2 透视用X射线设备防护性能的专用要求

5.2.1 C形臂X射线设备的最小焦皮距应不小于20cm，其余透视用X射线设备的最小焦皮距应不小于30cm。

5.2.2 透视曝光开关应为常断式开关，并配有透视计时及限时报警装置。

5.2.3 用于介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）的X射线透视设备防护性能专用要求见5.8。

5.8 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用X射线设备防护性能的专用要求

5.8.1 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用X射线设备应满足其相应设备类型的防护性能专用要求。

5.8.2 在机房内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。

5.8.3 X射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于20cm的装置。

5.8.4 介入操作中，设备控制台和机房内显示器上应能显示当前受检者的辐射剂量

测定指示和多次曝光剂量记录。

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防护要求。

6.1.4 移动式X射线机（不含床旁摄影机和急救车配备设备）在使用时，机房应满足相应布局要求。

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 x 射线设备和车载式诊断射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 7-4 的规定。

表 7-4 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

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

^a 双管头或多管头 X 射线机的所有管球安装在同一间机房内。

^b 单管头、双管头或多管头 X 射线机的每个管球各安装在 1 个房间内。

^d 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。

^e 机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

6.2 X射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型X射线设备（不含床旁摄影设备和便携式x射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表7-5的规定

6.2.2 医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 C 中表 C.4~表 C.7。

表 7-5 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
标称 125kV 以上的摄影机房	3	2

标称 125 kV 及以下的摄影机房	2	1
.....
C 形臂 X 射线设备机房	2	2
.....
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表7-3的要求。

6.2.4 距 X 射线设备表面 100 cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h 时且 X 射线设备表面与机房墙体距离不小于 100 cm 时，机房可不作专门屏蔽防护。

6.3 X射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

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

c) 具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25 μ Sv/h，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25mSv。

6.4 X 射线设备工作场所防护

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

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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

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

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

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

6.4.8 模拟定位设备机房防护设施应满足相应设备类型的防护要求。

6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-6 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25 mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025 mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5 mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。

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

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。”

表 7-6 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

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

注：“—”表示不要求。

5、《放射治疗机房屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)

“本部分适用于外照射源治疗装置的机房。

3 治疗机房辐射屏蔽的剂量参考控制水平

3.1 治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外的周围剂量当量率应同时满足下列 3.1.1 和 3.1.2 的参考控制水平。

3.1.1 距治疗机房墙和入口门外表面 30cm 处和邻近治疗机房的居留因子较大 ($T > 1/4$) 的人员驻留区域见式 (7.3-1)。

$$\dot{H}_c \leq H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (7.3-1)$$

式 (7.3-1) 中:

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

H_c ——周剂量控制水平 ($\mu\text{Sv/周}$), 其值如下:

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: $\leq 5\mu\text{Sv/周}$

U ——治疗装置向关注位置的方向照射的使用因子;

T ——人员在放射治疗机房外控制区和放射治疗机房外非控制区驻留的居留因子, 见表 7.3-4。

t ——治疗装置周最大累积照射的小时数, h/周 。 t 是与治疗装置周工作负荷 W 相关的参数, 应由放射治疗单位给定的放射治疗工作量导出。

不同场所的居留因子见表 7-7。

表 7-7 不同场所的居留因子

场所	居留因子 (T)		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划室、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑物中的驻留区
部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8: 各治疗室房门; 1/20: 公厕、自动售货区、储存室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊区、病人滞留区域、屋顶、门岗室; 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

3.1.2 距治疗机房墙和入口门外表面 30cm 处:

$$\dot{H}_c \leq 2.5\mu\text{Sv/h} \quad (\text{人员全居留场所}, T > 1/2)$$

$$\dot{H}_c \leq 10\mu\text{Sv/h} \quad (\text{人员部门或偶然居留场所}, T \leq 1/2)$$

3.2 治疗机房顶屏蔽的辐射剂量率参考控制水平

3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时, 距治疗机房顶外表面 30cm 处和在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处, 辐射剂量率参考控制水平同 3.1。

3.2.2 除 3.2.1 的条件外，应考虑天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射，以及穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达顶外人员的照射，使用（式 7.3-1），并取 $H_c=5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 、 $T=1/40$ ，将其确定的治疗机房外表面 30cm 处的周围剂量当量率 \dot{H}_c 作为治疗机房顶屏蔽的辐射剂量率参考控制水平。

3.3 确定周围剂量当量率参考控制水平的程序

3.3.1 治疗机房墙和入口门外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平

(1) 选定评估点并判明各评估点所在的分区（放射治疗机房外控制区或放射治疗机房外非控制区）；

(2) 按照放射治疗单位给定的放射治疗工作量，确定使用放射治疗装置的周工作负荷（ W ），并参考附录 B 的方法估算治疗装置的周最大照射时间（ t ）；

(3) 按式（7.3-1）估算 \dot{H}_c ，并与 3.1 的 3.1.2 的剂量率比较，取两者中较小的值作为周围剂量当量率参考控制水平。

3.3.2 邻近治疗机房的居留因子较大（ $T>1/4$ ）处的周围剂量当量率参考控制水平

(1) 按式（7.3-1）估算该关注处的 \dot{H}_c ；

(2) 按 3.3.1 估算相应的治疗机房外表面 30cm 处的剂量率，按距离平方反比规律推算出该关注处的 \dot{H}_c ，并与 3.3.2 的(1)的结果比较，取两者中较小的值作为该关注处的周围剂量当量率参考控制水平。”

6、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）

“4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

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

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

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

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

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

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

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

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

4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b) 两种情况控制:

a) 在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时, 距治疗机房顶外表面 30cm 处和(或)在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处, 可以根据机房外周剂量参考控制水平 $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 和最高剂量率 $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$; 按照 4.2.1 求得关注点的剂量率参考控制水平加以控制 $\dot{H}_c (\mu\text{Sv/h})$ 加以控制。

b) 除 4.2.2 中 a) 的条件外, 应考虑下列情况:

1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量(率)的总和, 应按 (2) 4.2.2 中的 a) 确定关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c (\mu\text{Sv/h})$ 加以控制;

2) 穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射, 以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量 $250 \mu\text{Sv}$ 加以控制;

3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶, 考虑上述 1) 和 2) 之后, 机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv}$ 加以控制(可在相应处设置辐射告示牌。

医用电子直线加速器机房外剂量率限值要求参考“机房外表面 0.3m 处小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的规定执行, 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。”

7、《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)

“该标准适用于医疗机构污水排放的控制, 医疗机构建设项目的环境影响评价环境保护设施设计、竣工验收及验收后的排放管理。

4.1.2 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 7-7 的规定。直接或间接排入地表水体和海域的污水执行排放标准, 排入终端已建有正常运行城镇二级污水处理厂的下水道的污水, 执行预处理标准。

表 7-8 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值 (日均值)

序号	控制项目	排放标准	预处理标准
1	总β (Bq/L)	10	10

5.4 医疗机构的各种特殊排水应单独收集并进行处理后再排入医院污水处理站。

5.4.1 低放射性废水应经衰变池处理。

6.1 污水取样与监测

6.1.1 应按规定设置科室处理设施排出口和单位污水外排口，并设置排放口标志。

6.1.2 总 α 、总 β 在衰变池出口取样监测。

6.1.3 监测频率

6.1.3.4 理化指标监测频率：pH 每日监测不少于 2 次，COD 和 SS 每周监测 1 次，其他污染物每季度监测不少于 1 次。”

8、《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）

“4 总体要求

4.1 产生、收集、贮存、利用、处置危险废物的单位应建造危险废物贮存设施或设置贮存场所，并根据需要选择贮存设施类型。

4.2 贮存危险废物应根据危险废物的类别、数量、形态、物理化学性质和环境风险等因素，确定贮存设施或场所类型和规模。

4.3 贮存危险废物应根据危险废物的类别、形态、物理化学性质和污染防治要求进行分类贮存，且应避免危险废物与不相容的物质或材料接触。

4.4 贮存危险废物应根据危险废物的形态、物理化学性质、包装形式和污染物迁移途径，采取措施减少渗滤液及其衍生废物、渗漏的液态废物（简称渗滤液）、粉尘、VOCs、酸雾、有毒有害大气污染物和刺激性气味气体等污染物的产生，防止其污染环境。

4.5 危险废物贮存过程产生的液态废物和固体废物应分类收集，按其环境管理要求妥善处理。

4.6 贮存设施或场所、容器和包装物应按 HJ1276 要求设置危险废物贮存设施或场所标志、危险废物贮存分区标志和危险废物标签等危险废物识别标志。

4.7 HJ1259 规定的危险废物环境重点监管单位，应采用电子地磅、电子标签、电子管理台账等技术手段对危险废物贮存过程进行信息化管理，确保数据完整、真实、准确；采用视频监控的应确保监控画面清晰，视频记录保存时间至少为 3 个月。

4.10 危险废物贮存除应满足环境保护相关要求外，还应执行国家安全生产、职业健康、交通运输、消防等法律法规和标准的相关要求。

6 贮存设施污染控制要求

6.1 一般规定

6.1.1 贮存设施应根据危险废物的形态、物理化学性质、包装形式和污染物迁移途径，采取必要的防风、防晒、防雨、防漏、防渗、防腐以及其他环境污染防治措施，不应露天堆放危险废物。

6.1.2 贮存设施应根据危险废物的类别、数量、形态、物理化学性质和污染防治等要求设置必要的贮存分区，避免不相容的危险废物接触、混合。

6.1.3 贮存设施或贮存分区内地面、墙面裙脚、堵截泄漏的围堰、接触危险废物的隔板和墙体等应采用坚固的材料建造，表面无裂缝。

6.1.4 贮存设施地面与裙脚应采取表面防渗措施；表面防渗材料应与所接触的物料或污染物相容，可采用抗渗混凝土、高密度聚乙烯膜、钠基膨润土防水毯或其他防渗性能等效的材料。贮存的危险废物直接接触地面的，还应进行基础防渗，防渗层为至少 1m 厚黏土层（渗透系数不大于 10^{-7}cm/s ），或至少 2mm 厚高密度聚乙烯膜等人工防渗材料（渗透系数不大于 10^{-10}cm/s ），或其他防渗性能等效的材料。

6.1.5 同一贮存设施宜采用相同的防渗、防腐工艺（包括防渗、防腐结构或材料），防渗、防腐材料应覆盖所有可能与废物及其渗滤液、泄漏液等接触的构筑物表面；采用不同防渗、防腐工艺应分别建设贮存分区。

6.1.6 贮存设施应采取技术和管理措施防止无关人员进入。”

9、剂量约束值要求

(1) 职业照射和公众照射的年受照剂量约束值

本项目根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020），针对职业照射和公众照射的年受照剂量约束值分别进行了设定，见下表：

表 7-9 本次环评职业照射和公众照射的年受照剂量约束值

工作场所		年受照剂量约束值（mSv/a）		标准依据
		职业照射	公众照射	
放疗科	医用电子直线加速器	5	0.1	《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）
核医学科		5	0.1	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《电离辐射防护与辐

			射源安全基本标准》(GB 18871-2002)
急诊手术部(DSA复合手术室)	5	0.1	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)、《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)
手术部(DSA复合手术室)	5	0.1	

(2) “三废”处理要求

表 7-10 本次“三废”处理要求

内容		要求	标准依据
废气	放射性废气	独立的通风系统,并配备有过滤装置; 合成和操作放射性药物所用的手套箱应有专用的排风装置,风速应不小于 0.5m/s。	《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)
	非放射性废气	机房应设置动力通风装置,并保持良好的通风	《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)
放射性废水		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	《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)
		总β放射性<10Bq/L	《医疗机构水污染排放标准》(GB18466-2005)、《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)
固体废物	放射性固体废物	废金属靶、废辅助过滤器材等作为放射性废物由加速器供应商更换并处置	/
		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	《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)
		β表面污染小于 0.8Bq/cm ²	
	非放射性固体废物	废活性炭暂存至其放射性比活度低于相应清洁解控水平后,作为一般固体废物由厂家回收处置	/
其他废物按照医疗废物处理,统一委托有资质单位处置		/	

表 8 环境质量和辐射现状

一、项目地理位置和场所位置

1、地理位置

西安凤城医院建设地位于陕西省西安市西安经济技术开发区凤城三路 9 号，地理位置见图 1-1。

2、场所位置

本项目在医疗综合楼内建设放疗科、核医学科、急诊手术部（DSA 复合手术室）及手术部（DSA 复合手术室），其中放疗科的医用电子直线加速器位于地下三层的西侧，核医学科位于地下三层的西南侧，急诊手术部（DSA 复合手术室）位于一层东侧，手术部（DSA 复合手术室）位于四层东侧，具体位置见图 1-4、图 1-9、图 1-11。

二、环境质量现状

本项目辐射环境质量现状数据由西安凤城医院委托西安志诚辐射环境检测有限公司对拟建场所辐射环境质量进行现状监测，监测时间为 2024 年 3 月 27 日，监测地点为西安凤城医院，监测单位按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《环境 γ 辐

射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)、《环境监测用 X、 γ 辐射测量仪 第一部分 剂量率仪型》(EJ/T 984-1995)等有关要求进行监测。

三、监测因子

X、 γ 辐射剂量率。

四、监测点位

根据现场踏勘，目前西安凤城医院医疗综合楼处于施工阶段，主体大楼结构尚未建成，故监测点位布置在评价范围内保护目标及拟建医疗综合楼西侧，具体点位如下：西安凤城医院医疗综合楼西侧及西侧道路、健康体检楼、住院三部及皮肤科，陕西交通职业技术学院、四方科技、长安医院。监测点位示意图见图 8-1。

五、监测概况

1、监测日期

2024 年 3 月 27 日。

2、监测仪器

监测仪器为便携式辐射检测仪，参数详见表 8-1。

表 8-1 监测仪器参数

型号规格	NC-HPIC8000
仪器编号	XAZC-YQ-033
测量范围	10nGy/h~100mGy/h
检定单位	中国计量科学研究院
检定证书	DLjl2023-11875
检定有效期	2023.9.13~2024.9.12

3、质量保证

按照《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》(HJ 1157-2021)、《环境监测用 X、 γ 辐射测量仪 第一部分 剂量率仪型》(EJ/T 984-1995)的要求，实施监测全过程质量控制。合理布设监测点位，保证各监测点位布设具有代表性、科学性和可比性。所用监测仪器全部经过计量部门检定，并在有效期内。监测数据严格实行三级审核制度。

六、监测结果

项目辐射环境质量现状监测结果见表 8-2。

表 8-2 项目拟建场所各监测点位 X、 γ 辐射剂量率监测结果

监测点位编号	监测点位描述	X、 γ 辐射剂量率 (μ Gy/h)
1	西安凤城医院医疗综合楼西侧	0.058
2	西安凤城医院健康体检楼	0.068
3	陕西交通职业技术学院	0.060

4	西安凤城医院医疗综合楼西侧道路	0.038
5	四方科技	0.068
6	长安医院	0.058
7	西安凤城医院住院三部	0.068
8	西安凤城医院皮肤科	0.080
备注：监测结果已校准，监测结果已扣除仪器对宇宙射线响应值 0.037 μ Gy/h		

由表 8-2 监测结果表明，室外各监测点位（西安凤城医院医疗综合楼西侧、陕西交通职业技术学院及长安医院）X、 γ 辐射剂量率测量值范围为（58~60）nGy/h；西安凤城医院医疗综合楼西侧道路监测点位 X、 γ 辐射剂量率测量值为 38nGy/h；其余室内各监测点位 X、 γ 辐射剂量率测量值范围为（68~80）nGy/h。

对照《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年版），“西安市原野 γ 辐射剂量率为（50.0~117.0）nGy/h；西安市室内 γ 辐射剂量率为（79.0~130.0）nGy/h；西安市道路 γ 辐射剂量率为（52.0~121.0）nGy/h”，本项目拟建场所辐射环境现状监测结果属于天然辐射环境本底水平。

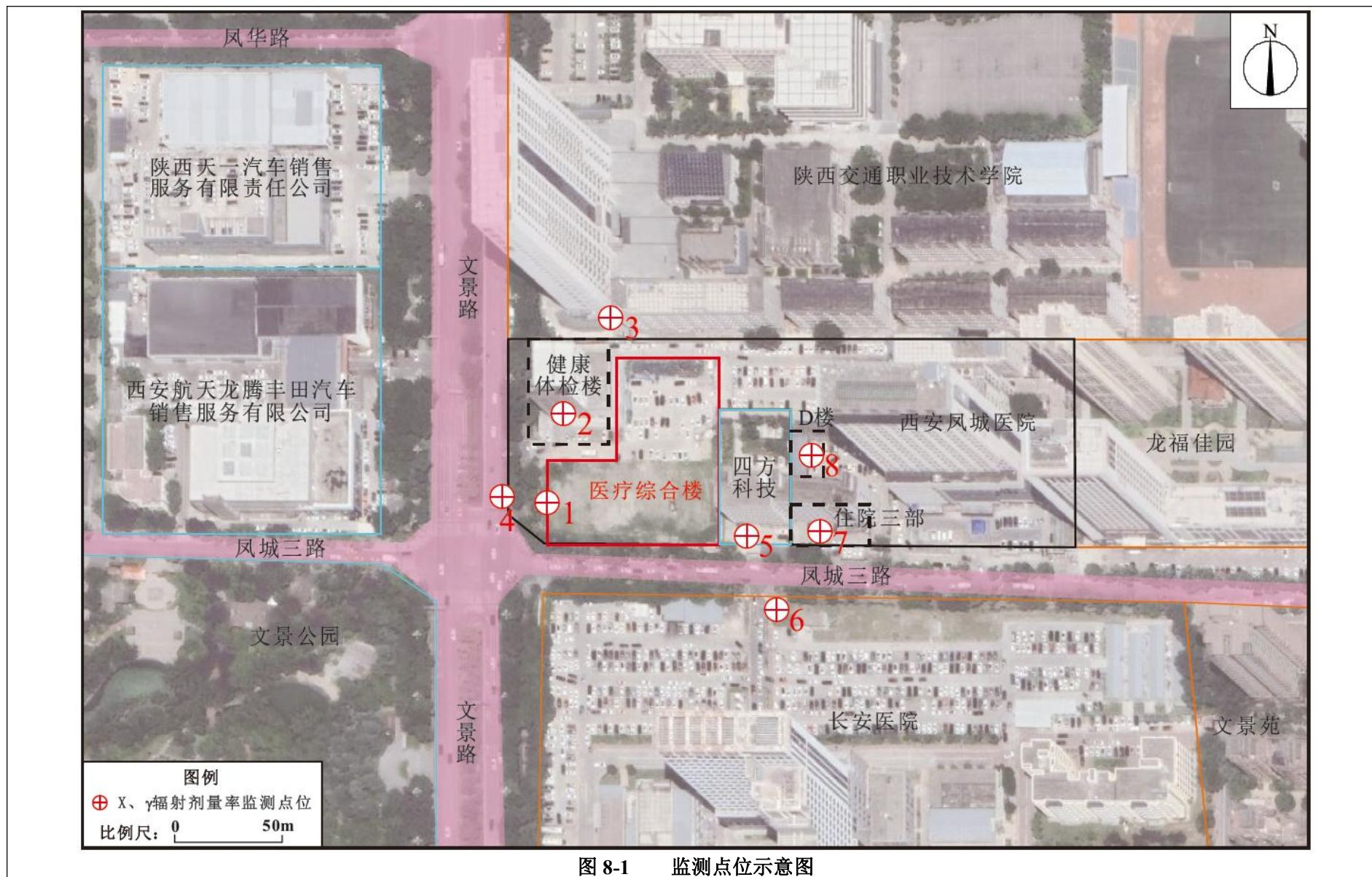


表 9 项目工程分析及源项

一、工程设备和工艺分析

1、放疗科

(1) 工作原理

① 医用电子直线加速器

医用电子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，属于 II 类射线装置，它的结构单元包括：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。电子枪产生的电子经微波加速器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形成电子线，也可通过 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到达患者病灶，实现治疗目的。

项目医用直线加速器靶材料为重金属钨，在开机状态下产生电子线和 X 射线，电子线最大能量可达 22MeV，X 射线的最大能量可达 10MV，这两种射线与生物组织作用的机理是不同的。电子线贯穿能力弱，射程短，因此只适合治疗浅表部位的肿瘤。电子线靠电离效应来破坏生物组织，并在此过程中损失其能量，能量在 35~45MeV 以下的电子线有一个明确的射程，而电子线的大部分能量都损失在射程的末端，射程随能量延长，只要我们调节电子线的能量，使电子线射程恰好超过肿瘤的范围，就能对肿瘤病灶有较大的破坏作用，而病灶后面的组织及表层组织则受到很少损害；X 射线主要依靠康普顿散射效应，破坏生物组织细胞，并在此过程损失能量，X 射线有较强的穿透能力，但没有明显的射程，适合治疗人体深部肿瘤。

当加速器治疗 X 射线大于 10MV 时，会发生光核反应，产生中子，中子与空气、加速器靶物质（件）以及机头等金属部件作用产生感生放射性。本项目拟配备的加速器 X 射线的最大能量均为 10MV，不产生中子，无感生放射性的影响。

本次加速器配备有 CBCT 图像引导系统，使用锥形束射线进行信息采集的计算机体层成像技术。它与传统多排探测器 CT 最显著的区别是使用二维数字平板探测器，在一次旋转中产生三维容积图像。CBCT 由影像板和球管等硬件及控制软件组成，球管产生 kV 级射线，X 射线穿过物体投影到影像板成像。

治疗计划选择 CBCT 图像验证时，病人在加速器治疗室开始治疗前，先完成病人

肿瘤位置的验证，控制系统使 CBCT 高压发生器产生高压，球管产生 X 射线，控制系统将使用 CBCT 功能扫描病人，信号经过处理和图像完成重建后，对治疗计划中肿瘤位置图像进行优化和确认，完成图像引导，随后根据控制系统指令，加速器的电子枪产生电子，经加速管加速电子到相应能量打靶形成治疗所需的加速器 X 射线，根据治疗计划完成肿瘤的照射。通常情况下 CBCT 图像引导和加速器出束治疗交替使用，不会同时进行。

典型医用电子直线加速器内部结构见图 9-1，典型医用电子直线加速器见图 9-2。

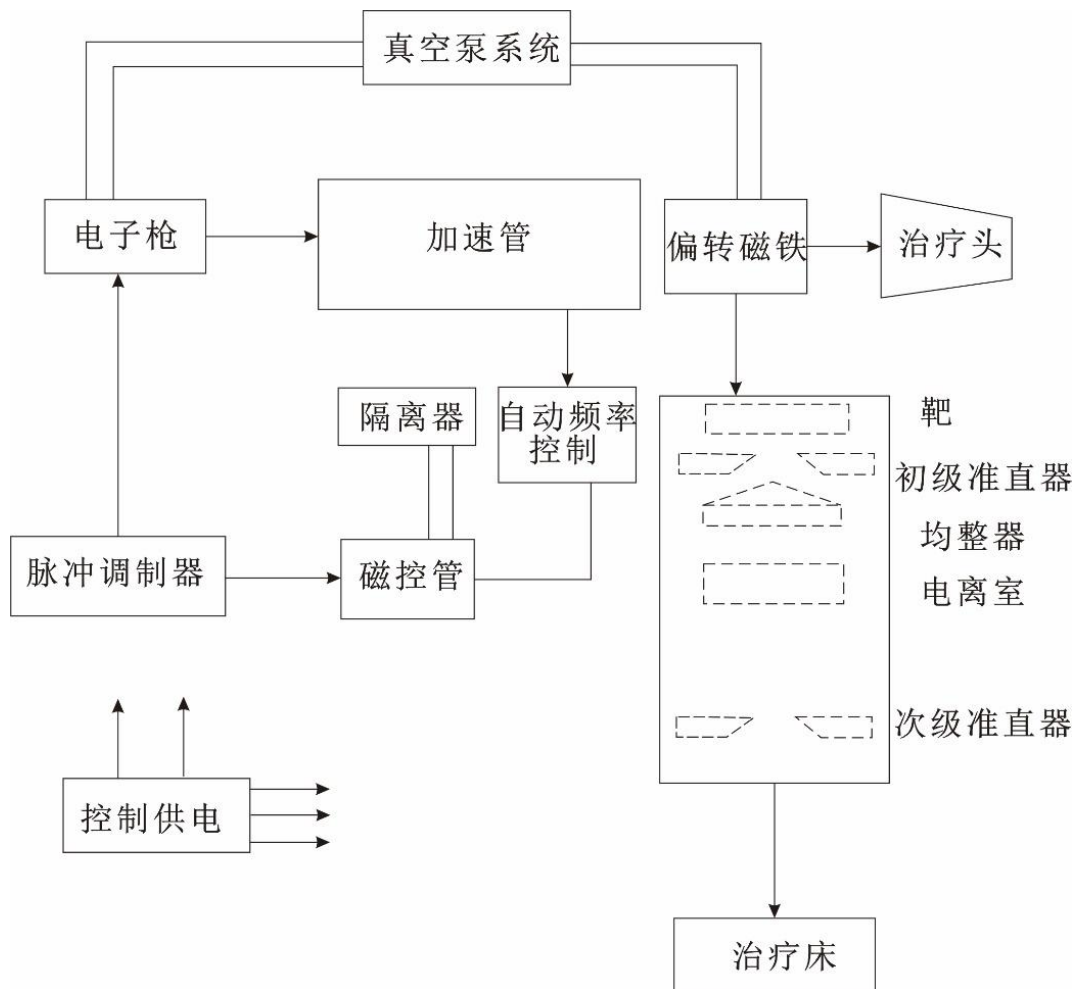


图 9-1 典型医用电子直线加速器内部结构框图

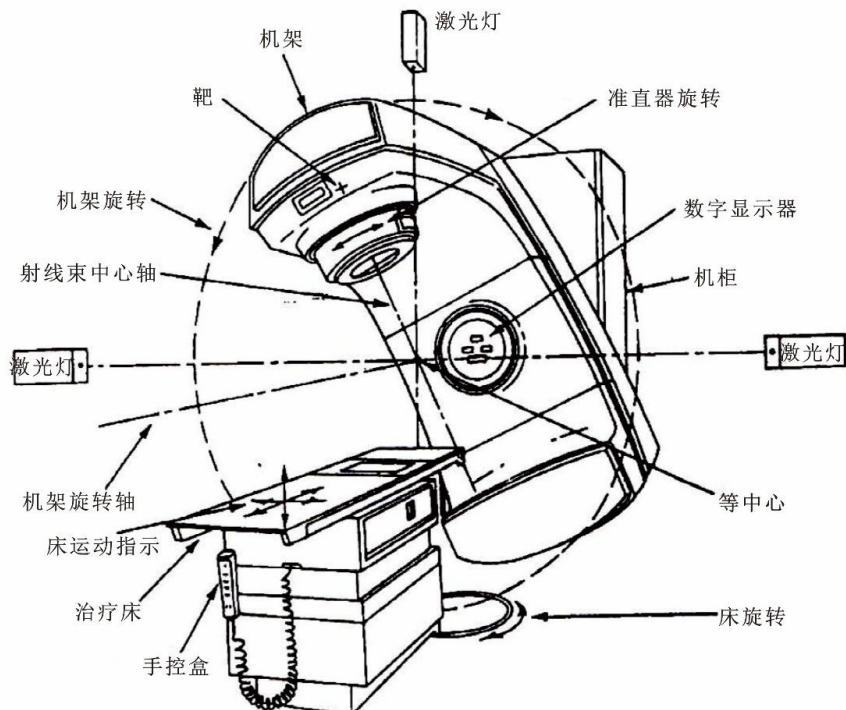


图 9-2 典型医用电子直线加速器示意图

② CT 模拟定位机

CT 模拟定位机是一种用于肿瘤模拟定位的医用 X 射线诊断系统，该系统主要由螺旋 CT、定位激光和虚拟模拟软件三部分构成，用于获取患者治疗体位、肿瘤和正常组织位置关系及电子密度信息等，是三维适形、调强治疗等精确治疗的基本设备之一。和诊断用 CT 相比，CT 模拟定位机有以下不同点：①孔径更大，以适应于定位时要使用的各种固定技术以及患者不同的体位；②诊断床面与加速器治疗床一致，避免患者体位不同的影响；③影像质量更高、电子密度信息更稳定，制定的放疗计划质量更高。

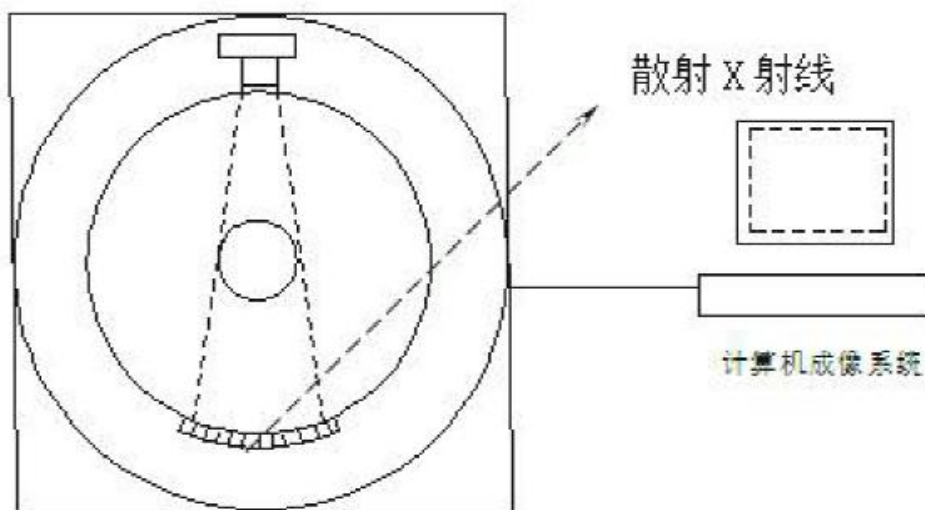


图 9-4 CT 模拟定位机工作原理图



图 9-5 CT 模拟定位机示意图

(2) 操作流程及产污环节

在患者使用医用电子直线加速器进行放射治疗时，患者位于机房内，医务操作人员位于机房外，进行隔室操作。治疗时，加速器机房可为医务人员以及墙外停留或通过的人员提供足够的屏蔽防护，并可防止在开机过程中，无关人员误入机房。

治疗流程如下：

① 模拟定位：患者借助 CT 模拟定位机确定肿瘤的位置和范围，CT 模拟定位机主要操作流程为：依据检查单→核对摄影部位→确定投照条件→曝光。

② 治疗计划设计阶段：借助计算机治疗计划系统（TPS）进行治疗计划设计，选好能量、照射野大小、治疗剂量与剂量比、楔形滤过板等。加速器剂量率可调，根据治疗需要平均每人每野次治疗剂量为 1.5Gy，平均每人治疗照射 3 野次。

③ 治疗计划的确认：根据上述设计好的治疗计划，以跟治疗时同等的摆位条件（如垫肩、加固定器等）放到模拟定位机上进行核对；治疗计划选择 CBCT 图像验证时，病人在加速器治疗室开始治疗前，先完成病人肿瘤位置的验证。经证实为可行后，在病人体表上作出相应的照射野标记，填写治疗单，做好治疗固定器、挡野铅块和组织补偿块等，确定治疗计划。

④ 治疗计划的执行：

a 设置治疗机的物理、几何参数。

- b 护理人员将病人送入治疗室，放射工作人员进行摆位。
- c 固定治疗体位，肿瘤中心位于等中心点。
- d 除了待治疗病人，其余人员撤出治疗室，关闭防护门。
- e 加速器出束，进行治疗。
- f 治疗完毕，加速器停止出束，方可打开迷路防护门，护理人员将病人送出治疗机房。

治疗流程及产污环节见图 9-3。

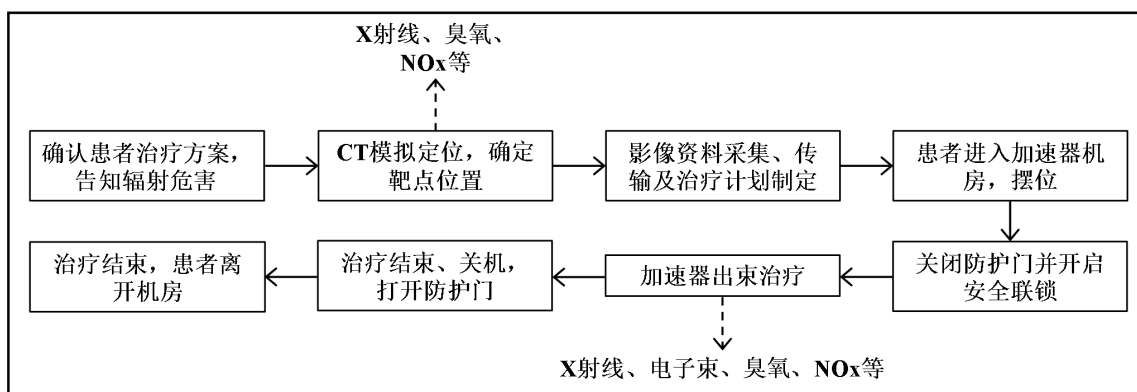


图 9-3 医用电子直线加速器治疗流程及产污环节示意图

项目医用电子直线加速器治疗过程中污染因子主要为：电子束、X 射线、臭氧和氮氧化物等。

(3) 设备参数

项目拟使用的医用电子直线加速器及 CT 模拟定位机主要设备参数见表 9-1。

表 9-1 医用电子直线加速器及 CT 模拟定位机主要设备参数一览表

设备名称	型号	加速粒子	源轴距	最大照射野	具体参数
医用电子直线加速器 1	待定	电子	100±0.2cm	40cm×40cm	最大 X 射线能量 10MV； 等中心最大剂量率 2400cGy/min； 泄漏辐射率≤0.1%
医用电子直线加速器 2	待定	电子	100±0.2cm	40cm×40cm	最大 X 射线能量 10MV； 等中心最大剂量率 2400cGy/min； 泄漏辐射率≤0.1%
设备名称	型号	数量		类别	具体参数
CT 模拟定位机	待定	1 台		III类	最大管电压 140kV、最大管电流 800mA

2、核医学科

(1) 设备组成及工作原理

① PET-CT

PET-CT 是正电子发射断层与计算机断层诊断技术（Positron Emission Tomography

and Computer Tomography) 的缩写, 是在 PET (Positron Emission Tomography) 和 CT(Computer Tomography)的基础上发展起来的新设备, 是将 PET 和 CT 设备有机地结合在一起, 使用同一个检查床和同一个图像处理工作站。PET-CT 同时具有 PET 和 CT 的功能, PET 显示病灶病理生理特征, 灵敏度高, 更容易发现病灶; CT 可以精确定位病灶, 显示病灶结构变化。PET-CT 除了具备 PET 和 CT 各自的功能外, 将 PET 图像与 CT 图像融合, 可以同时反映病灶的病理生理变化及形态结构, 提高诊断的准确性。

PET-CT 主要由扫描仪、显像床、电子柜、操作工作站、分析工作站和影像硬拷贝等组成, 它是决定图像质量的基础。CT 扫描仪位于 PET 扫描仪的前方, 两者组合在一个机架内, 后配 PET、CT 融合对位工作站, 一次成像同时完成 CT 及 PET 扫描。

本项目 PET-CT 见图 9-4。



图 9-4 PET-CT 实物示意图

PET-CT 显像的物理原理是利用正电子放射性核素制备的显像剂 (如 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 等), 注射人体后定位于靶器官, 这些核素在衰变过程中发射正电子, 这种正电子在组织中运行很短距离后, 即与周围物质中的电子相互作用, 发生湮灭反应, 产生出方向相反、能量相等 (511keV) 的两个光子。PET 显像是采用一系列成对的互成 180° 排列并与符合线路相连的探测器测量湮灭反应产生的光子, 从而获得机体正电子核素的断层分布图, 显示病变的位置、形态、大小和代谢功能, 对疾病进行诊断。

PET-CT 显像能够通过一次快速扫描成像，不仅能提供精确的全身解剖图像，而且可依据不同的正电子显像药物勾画出不同组织器官特定的生物代谢分布图。主要用于人体器官的功能代谢显像，对那些有代谢异常的疾病，如：肿瘤、冠心病、神经系统等病种有着独特的优势，能够更早期地发现和诊断疾病，为及早治疗和观察治疗赢得宝贵时间。

正电子发射及其湮灭示意如图 9-5 所示。

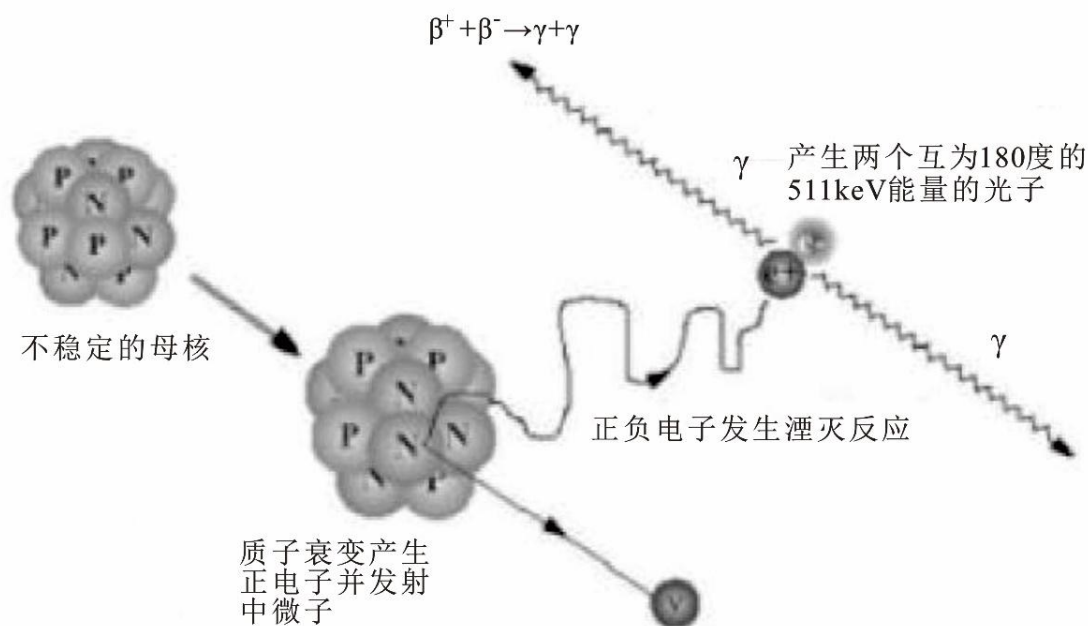


图 9-5 正电子发射及其湮灭示意图

② PET-CT 设备校准

在进行 PET-CT 扫描前，需要在设备上校准定位。本次拟使用 3 枚 V 类 ^{68}Ge 放射源或 7 枚 ^{22}Na 放射源，用于 PET-CT 图象融合的精度、晶体均一性等指标校正。

探测系统数据的采集是 PET 成像的第一步。整个探测环性能的监测和调试依赖于使用 ^{68}Ge 放射源（或 ^{22}Na 放射源）进行日常性能检测和定期进行系统校准。使用 ^{68}Ge 放射源（或 ^{22}Na 放射源）进行系统校准，周质控、季度质控和归一化校正，目的是对探头的性能漂移进行及时校正。

校准源在正常使用过程中，为裸源状态，其活度较低，正常状态下相对于 ^{18}F 等正电子核素而言，其辐射影响基本可以忽略；在贮存情况下位于设备机头自带的屏蔽系统内，经屏蔽后基本不会对环境及人员产生影响。

(2) 工作流程及产污环节

① 根据临床诊断需药量，提前一天向供药单位订购所需放射性药物 (^{18}F)。

② 供药单位按照订购要求在约定时间内将放射性药物运送至项目核医学科指定地点，核医学科安排专人接收，经确认无误完成相关交接手续，并将放射性药物暂存于分装质控室内手套箱。

③ 项目外购的放射性药物是事先未分装的，医院拟设置手套箱于分装质控室内，人工分装过程在手套箱中进行。

④ 护士站的工作人员根据工作安排，呼叫轮到诊断的患者名字。在确认患者身份后，该患者经核医学科门禁系统进入辐射工作场所，放射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导患者到达注射窗前。

放射工作人员隔着注射窗口对患者进行药物注射（静推给药），注射后的注射器以及棉签等固体废物丢入旁边专用放射性废物桶。

⑤ 放射工作人员根据视频监控图像，通过语音提示，指导药物注射后的患者进入注射候诊室候诊。

⑥ 通过语音提示，患者进入 PET-CT 机房接受显像扫描。患者进入机房后，放射工作人员自控制室进入机房对患者辅助摆位，指导患者正确躺在检查床上，随后离开机房进入控制室，隔室操作 PET-CT，对患者实施显像扫描。

⑦ 扫描完成后，患者在留观室留观 1h 无不良反应后，由控制区出口离开。

综上，核医学科工作过程的污染因子主要是： γ 射线、X射线、 β 表面污染、放射性废水及放射性固废。

核医学科工作流程及产污环节见图 9-6。

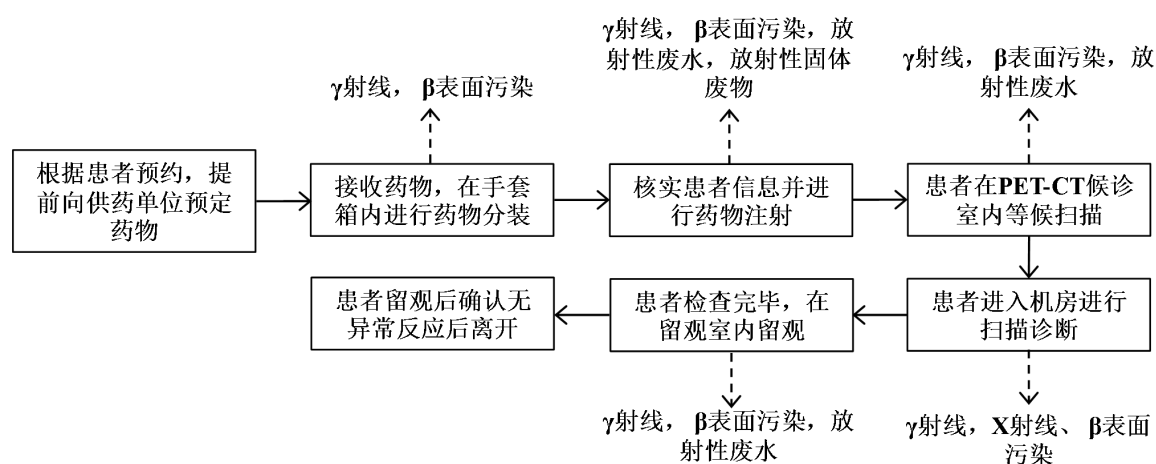


图 9-6 核医学科工作流程及产污环节示意图

(3) ^{18}F 用药情况

项目 PET-CT 使用放射性核素 ^{18}F 进行显像诊断，放射性核素 ^{18}F 外购。医院根据临床诊断所需药物的使用量，向供药单位订购药物，供药单位在约定时间内，根据提前预定告知的放射性药品种类、活度、剂量和数量生产放射性药物。

项目 PET-CT 拟使用放射性核素相关情况见表 9-2。

表 9-2 项目 PET-CT 使用放射性核素相关情况一览表

核素名称	状态	半衰期	衰变方式	患者每人每次核素用量 (Bq)	日最大操作活度 (Bq/d)	用途
^{18}F	液体	109.8min	EC、 β^+	3.7×10^8 (10mCi)	1.82×10^{10}	PET-CT 显像

(4) 设备参数

项目核医学科 PET-CT 设备参数见表 9-3；拟使用 3 枚 V 类 ^{68}Ge 放射源或 7 枚 ^{22}Na 放射源，具体参数见表 9-3。

表 9-3 项目核医学科 PET-CT 主要设备参数及拟配备校准源参数一览表

设备名称	型号	数量	类别	具体参数	
PET-CT	待定	1 台	III类	CT 部分：最大管电压 140kV、最大管电流 800mA	
核素名称	出厂活度 (Bq)	数量 (枚)	半衰期	分类	备注
^{68}Ge	$1.11 \times 10^8 \text{Bq}$	3	270.8d	V类	PET-CT 校准
^{22}Na	$3.7 \times 10^6 \text{Bq}$	7	2.602a	V类	PET-CT 校准

3、急诊手术部 (DSA 复合手术室) 及手术部 (DSA 复合手术室)

(1) 工作原理

DSA (Digital Subtraction Angiography, 数字减影血管造影系统), 又称大 C 臂机。DSA 是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法, 它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前, 首先进行第一次成像, 并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后, 再次成像并转换成数字信号。两次数字相减, 消除相同的信号, 得知一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观, 一些精细的血管结构亦能显示出来。且对比度分辨率高, 减去了血管以外的背景, 尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示; 由于造影剂用量少, 浓度低, 损伤小、较安全; 节省胶片使造影价格低于常规造影。通过医用血管造影 X 射线机处理的图像, 使血管的影像更为清晰, 在进行介入手术时更为安全。

DSA 基本设备包括 X 线发生器、影像增强器、高分辨力摄像管、模 / 数转换器、电子计算机和图像储存器等, 典型设备组成结构见图 9-7。

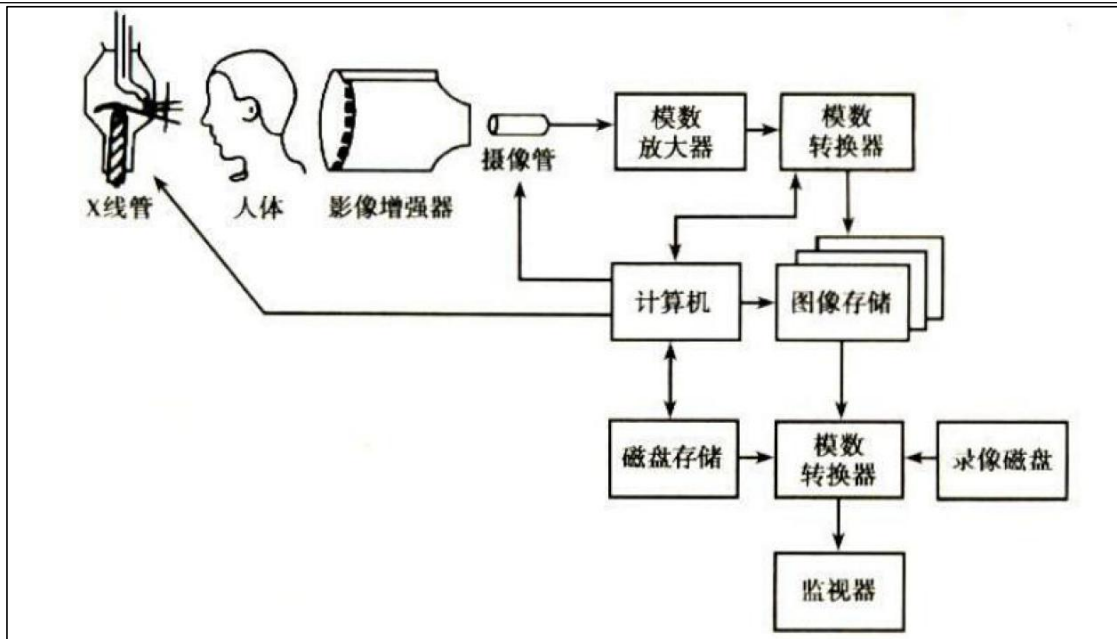


图 9-7 DSA 典型设备组成结构

本项目拟在医疗综合楼一层急诊手术部（DSA 复合手术室）配备 1 台 DSA，四层手术部（DSA 复合手术室）配备 1 台 DSA，共计 2 台。

本项目设备示意图见图 9-8。



图 9-8 医用血管造影 X 射线系统 (DSA)

(2) 工作流程及产污环节

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

① 操作方式

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况，采集。第二种情况，透视。

医生需进行手术治疗时，操作医师位于铅吊屏后，身着铅服、铅颈套、戴铅帽、铅眼镜等在曝光室内对病人进行直接的信息采集及手术操作。

② 工作流程及产污环节

DSA 的 X 射线诊断机曝光时，项目污染因子为 DSA 工作时产生的 X 射线。注入的造影剂不含放射性，同时射线装置均采用先进的数字显影技术，不会产生废显影液、废定影液和废胶片。

a. 本项目 DSA 开机时发出 X 射线，产生的漏射线和散射线可能贯穿机房的屏蔽墙进入外环境，对控制室职业人员及机房周围公众人员产生外照射影响；

b. 在介入手术过程中，对机房内操作的医护人员造成较高剂量的外照射。

DSA 诊治流程及产污环节如图 9-10 所示：

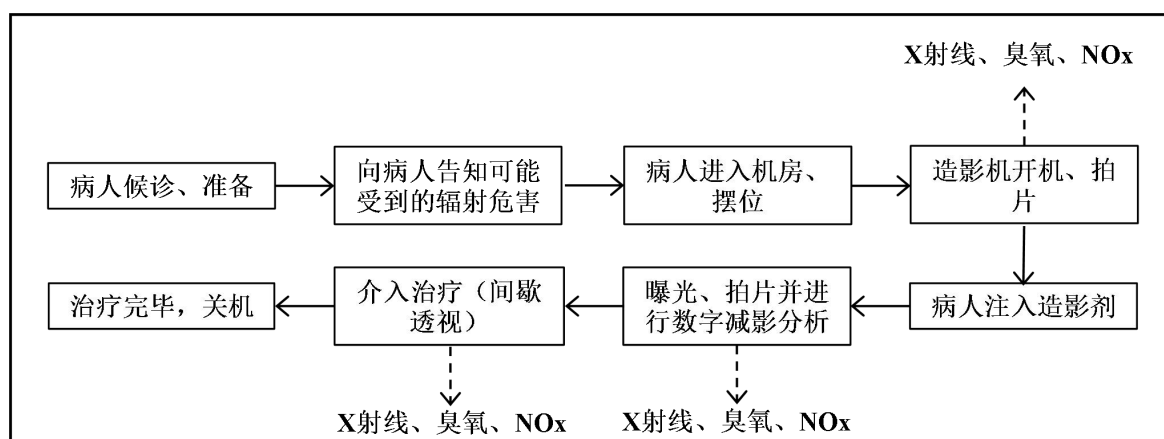


图 9-10 DSA 治疗流程及产污环节示意图

(3) 设备参数

项目 DSA 设备参数见表 9-4。

表 9-4 项目 DSA 设备参数一览表

设备名称	设备型号	数量	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)
DSA	待定	2 台	125	1250

二、污染源项描述

1、放疗科

(1) 医用电子直线加速器

① 正常工况

医用电子直线加速器产生的辐射可分为瞬时辐射和剩余辐射两类。瞬时辐射包括初级辐射（指被加速的带电粒子）及其与金属靶或加速器的结构材料相互作用产生X射线和中子等次级辐射。初级辐射和次级辐射在加速器开机时产生，停机后消失。剩余辐射是指加速器产生的初级粒子束和次级辐射在加速器结构材料及环境介质（包括空气、屏蔽物等）中诱发生成的感生放射性，它们在加速器停止运行后继续存在一段时间。

加速器正常运行状态下可能产生的污染因子如下：

a. 电子束：加速器运行过程中产生的电子束，其贯穿能力相对X射线和中子而言弱得多，即使是高能电子束，空气中的射程也只有几十米。

b. X射线：加速器电子枪产生的电子经过加速后，受到金属靶阻止而产生高能X射线，X射线具有较强的贯穿能力，如果没有采取足够防护措施对其进行屏蔽，X射线进入环境，会对工作人员和公众造成不必要的辐射影响。因此，加速器在开机状态下，X射线成为加速器污染环境的主要污染因子。

c. 废靶：项目产生的固体废物为加速器废金属靶（通常1个金属靶使用7~10年才更换）、废辅助过滤器等。

d. 非放射性气体：当加速器运行产生的X射线与空气相互作用，会产生臭氧和氮氧化物等有害气体。

② 事故工况

a. 安全联锁系统故障或失效，机房的防护门未关好即开机导致射线泄漏，造成机房防护门外活动人员受到意外照射；

b. 安全联锁系统故障或失效，加速器运行中人员闯入受到意外照射；

c. 工作人员或无关人员在治疗过程中滞留机房，受到意外照射；

d. 加速器控制系统故障或操作人员疏忽，造成射线种类、照射剂量或方向设置错误，使患者受到误照射。

(2) CT 模拟定位机

① 正常工况

a. X射线：本项目CT模拟定位机为III类射线装置，在开机状态下主要污染物为

X射线，关机即消失。X射线贯穿机房的屏蔽墙进入外环境，对控制室职业人员及机房周围公众人员产生外照射影响。

b. 废气：CT模拟定位机在曝光过程中会使机房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，经机械通排风系统外排。

② 非正常工况

a. 射线装置发生控制系统或电器系统故障或人员疏忽将照射参数设置错误，使受检者或职业人员受到超剂量照射。

b. 与诊疗无关的人员在未撤离机房，射线装置开始运行，对其造成额外误照射。

c. 医生在机房内为患者摆位或进行其它准备工作时，控制台处操作人员误开机出束，对机房内医生造成误照射。

d. 设备维修期间，维修人员在检修设备时，误开机出束，造成误照射。

e. 安全警示装置发生故障，医护人员误入正在运行的机房造成额外照射。

2、核医学科

(1) 正常工况

① γ 射线： ^{18}F 在衰变过程中释放 γ 射线， γ 射线穿透能力很强，放射性药物在分装质控室手套箱内储存分装、注射室注射过程中，对其周围环境和工作人员会产生一定辐射影响；经注射进入患者体内后，患者本身短时间内成为“辐射体”，在衰变过程产生的 γ 射线造成患者周围辐射水平升高；患者在候诊、显像诊断、留观过程中，短期内对近距离接触的人员造成影响，部分 γ 射线穿透候诊室等实体屏蔽对屏蔽体外活动人员产生一定辐射影响，污染途径为 γ 射线外照射。

② X射线：PET-CT在开机CT扫描过程中会产生X射线，该X射线随着CT设备的开关而产生和消失。

③ β 表面污染：由于放射性药物 ^{18}F 为液体药物，在转移、存放、注射过程中撒漏，造成工作场所的 β 表面污染；患者注射放射性药物 ^{18}F 后，其分泌汗液、排泄物等可能造成候诊、诊断工作场所的 β 表面污染。

④ β 射线和韧致辐射

项目 ^{18}F 核素在衰变过程中释放出 β 射线， β 射线在空气及人体组织中射程均较短，较容易防护，基本不会对环境产生外照射影响。

虽然 β 射线穿透能力弱，在空气及人体组织中射程较短，但核素盛放容器受到 β 射

线照射时会产生韧致辐射，韧致辐射对周围环境产生辐射影响。

⑤ 放射性废气：放射性药物在分装质控室手套箱内储存分装，分装过程中由于药物挥发会产生少量含有 ^{18}F 的放射性废气，手套箱设置有独立的排风系统，经排风管道送至综合楼楼顶；药物注射前，放射性药物 ^{18}F 在针筒内，无开放液面，空气中挥发散逸的放射性同位素几乎可忽略不计，因此放射性气溶胶非常少，注射工作人员和公众呼吸入体内造成的内照射影响可以忽略。

⑥ 非放射性废气：核医学科在运行过程中，各工作场所内 X、 γ 射线会使空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，经机械通排风系统外排。

⑦ 放射性废水：主要来源是诊断过程中患者注射 ^{18}F 后所产生的排泄物冲洗废水、工作人员清洗及场所地面清洗产生的废水等。

a. 项目 PET-CT 显像诊断每天接诊患者约 20 人（注射 ^{18}F ），根据核医学科平面布局，患者仅可使用候诊室或留观室内的卫生间，假定每个患者在核医学科工作场所内的停留时间约 10min，则每个患者平均如厕 3 次（包含患者留观时如厕），按标准冲水马桶每次冲水量 6L 计，则患者用水量为 0.36m^3 ；另外患者如厕后洗手用水按每人每次 1L 计，则患者洗手用水量约为 0.06m^3 。

b. 注射工作人员（1 人/组，分 2 组）注射结束后洗手，核医学科每天预计接待需进行药物注射的患者 20 人，每天按洗手 10 次计算，洗手用水按每次约 1L 计，项目平均每天注射工作人员洗手用水量约为 0.01m^3 。

c. 洗涤医用器皿、清洗工作台面及地面清洁等也会产生一定量的放射性废水，特别是放射性物质发生滴漏、撒泼事故、服药患者呕吐后的去污过程会产生较多的废水。项目每天场所清洁预计用水量为 0.1m^3 。

综上，项目运营期间每天用水量约为 $0.53\text{m}^3/\text{d}$ ，则产生含放射性废水量约为 $0.53\text{m}^3/\text{d}$ 。

⑧ 放射性固体废物：主要为剩余放射性药物、注射器、针头、手套、药棉、纱布、擦拭污染地面的物品等，废气处理产生的废活性炭。

根据医院提供的资料，项目核医学科日接诊人数最多 20 人，医疗废物按人均每天 0.05kg 计，则医疗废物每天产生量约为 1.0kg ，全年产生量约为 250kg 。

⑨ 废放射源：校准源 ^{68}Ge 或 ^{22}Na 为 V 类放射源，放射源不再使用或活度无法满足校准要求时，产生废旧放射源，由有资质的单位回收处置。

(2) 非正常工况

① 由于误操作，导致放射性药物量错误；

② 对放射性药物和校准源管理不善，造成放射性药物和校准源丢失或被盗；

③ 对注射放射性药物的患者管理不善，患者体内放射性药物或排泄物、呕吐物等发出射线产生外照射对周围人员会产生一定的辐射影响；

④ 给患者注射时操作不当，将药物滴洒在台面、地面或其他地方，将造成放射性表面污染；

⑤ 对放射性废物管理不善，对社会和环境会造成一定影响；

⑥ 核医学科防护门控制失灵或安全联锁装置故障，人员误入核医学科辐射工作场所或正在运行的机房内而造成辐射影响；

⑦ 管理不善，无关人员在射线装置开机时进入机房或开机时未离开机房，从而受到不必要的较大剂量辐射照射。

3、DSA

(1) 正常工况

① X 射线：本项目 DSA 为 II 类射线装置，医用血管造影 X 射线系统（DSA），在开机状态下主要污染物为 X 射线，关机即消失。DSA 开机时发出 X 射线，X 射线贯穿机房的屏蔽墙进入外环境，对控制室职业人员及机房周围公众人员产生外照射影响；在介入手术过程中，对机房内操作的医护人员造成外照射。

② 废气：DSA 在使用过程中会使机房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，经机械通排风系统外排。

③ 固体废物：本项目介入手术时会产生医用器具和药棉、纱布、手套等医用辅料，月排放量约为 0.5t，年排放量约为 6t；经专用医疗废物桶收集后送至医院内的医疗废物暂存间暂存，统一委托有资质单位处置。

(2) 非正常工况

① 射线装置发生控制系统或电器系统故障或人员疏忽将照射参数设置错误，使受检者或职业人员受到超剂量照射。

② 与诊疗无关的人员在未撤离手术室，射线装置开始运行，对其造成额外误照射。

③ 医生在手术室内为患者摆位或进行其它术前准备工作时，控制台处操作人员误

开机出束，对手术室内医生造成误照射。

④ 设备维修期间，维修人员在检修设备时，误开机出束，造成误照射。

⑤ 介入治疗时，医生未穿戴防护用品进入手术室，或未配置合格的防护用品，使医生受到较高剂量的附加照射。

⑥ 安全警示装置发生故障，医护人员误入正在运行的手术室造成额外照射。

4、工作人员生活污水及生活垃圾

西安凤城医院建设项目已于 2022 年 10 月 10 日取得西安经济技术开发区管委会行政审批服务局《关于西安凤城医院西安凤城老年病医院项目环境影响报告表的批复》（经开行审环批复〔2022〕066 号，见附件），本项目的辐射工作人员产生的生活污水和生活垃圾的已在《西安凤城医院西安凤城老年病医院项目环境影响报告表》中核算，本次评价不再分析评价。

表 10 辐射安全与防护

一、项目安全设施

1、场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，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。

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

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

(1) 放疗科

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)，“5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所。5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区。”

本项目对放疗科（医用电子直线加速器）工作场所进行分区管理，把工作场所分为控制区、监督区，便于辐射防护管理。分区如下：

表 10-1 工作场所分区表

场所名称	控制区	监督区
医用电子直线加速器	医用电子直线加速器机房 1、医用电子直线加速器机房 2、CT 模拟定位	地下三层：停车场、水冷机房 1、控制室 1、水冷机房 2、控制室 2、注射抢救、控制室（CT 模拟定位）、准备大厅
备注：1、医用电子直线加速器机房正下方和正上方均为封闭的无用空间，人员均无法到达，故本次对其上方、下方空间未划监督区		

放疗科工作场所分区图见图 10-1。

(2) 核医学科

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 的分区原则：“4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域”。

本项目对医疗综合楼核医学科工作场所进行分区管理，把工作场所分为控制区、

监督区，便于辐射防护管理。分区如下：

表 10-2 工作场所分区表

场所名称	控制区	监督区
核医学科	地下三层：储源室、固废室（分装质控室）、污洗间（分装质控室）、分装质控室、注射室、PET-CT、运动候诊兼抢救室、PET-CT 候诊、PET-CT 候诊卫生间、VIP 候诊、VIP 候诊卫生间、留观室、留观室卫生间、固废室、污洗间 地下四层：污泥池、衰变池、检测池	地下四层：集气室、送风机房、地下停车库、检修走廊 地下三层：缓冲、电子阅片/会议、办公、控制室、设备间、医生通道、更衣、冲淋、卫生通过、停车场 地下二层：生活水泵房、补风机房、地下停车库、排烟机房

核医学科工作场所分区图见图 10-1~图 10-3。

(3) 急诊手术部（DSA 复合手术室）

本项目对急诊手术部（DSA 复合手术室）使用场所进行分区管理，把工作场所分为控制区、监督区，便于辐射防护管理。分区如下：

表 10-3 工作场所分区表

场所名称	控制区	监督区
急诊手术部（DSA 复合手术室）	DSA 复合手术室	地下一层：停车场 一层：刷手、控制室、机房、手术室、缓冲、废弃物暂存间 二层：医生办公室、输液间、留观室

急诊手术部（DSA 复合手术室）工作场所分区图见图 10-4~图 10-5。

(4) 手术部（DSA 复合手术室）

本项目对手术部（DSA 复合手术室）使用场所进行分区管理，把工作场所分为控制区、监督区，便于辐射防护管理。分区如下：

表 10-4 工作场所分区表

场所名称	控制区	监督区
手术部（DSA 复合手术室）	DSA 复合手术室	三层：内科诊室（4 间）、患者通道、检查室 四层：洁净走廊、刷手、体外循环、标本室、清洁走廊、机房、控制室 五层：血液透析中心

手术部（DSA 复合手术室）工作场所分区图见图 10-6~图 10-7。



图 10-1 医疗综合楼地下三层（医用电子直线加速器及核医学科）工作场所分区图

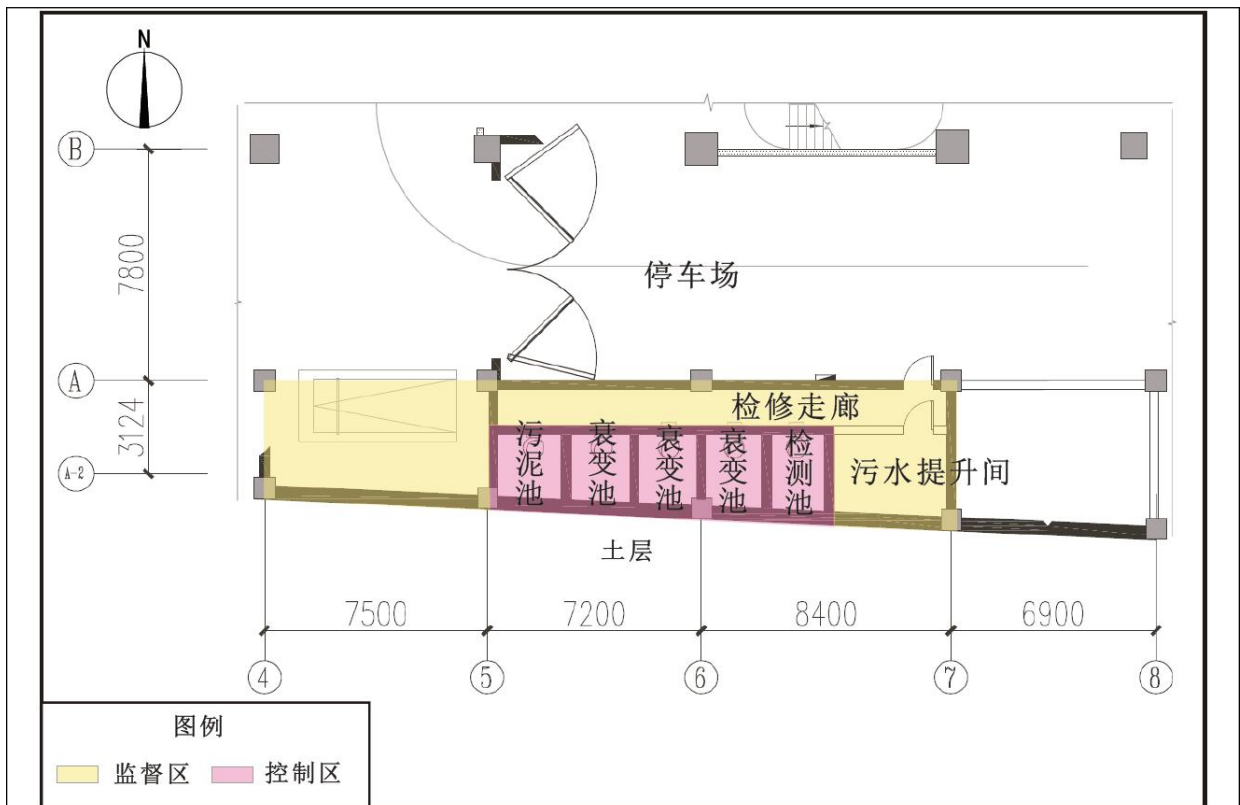


图 10-2 医疗综合楼地下四层（衰变池）工作场所分区图

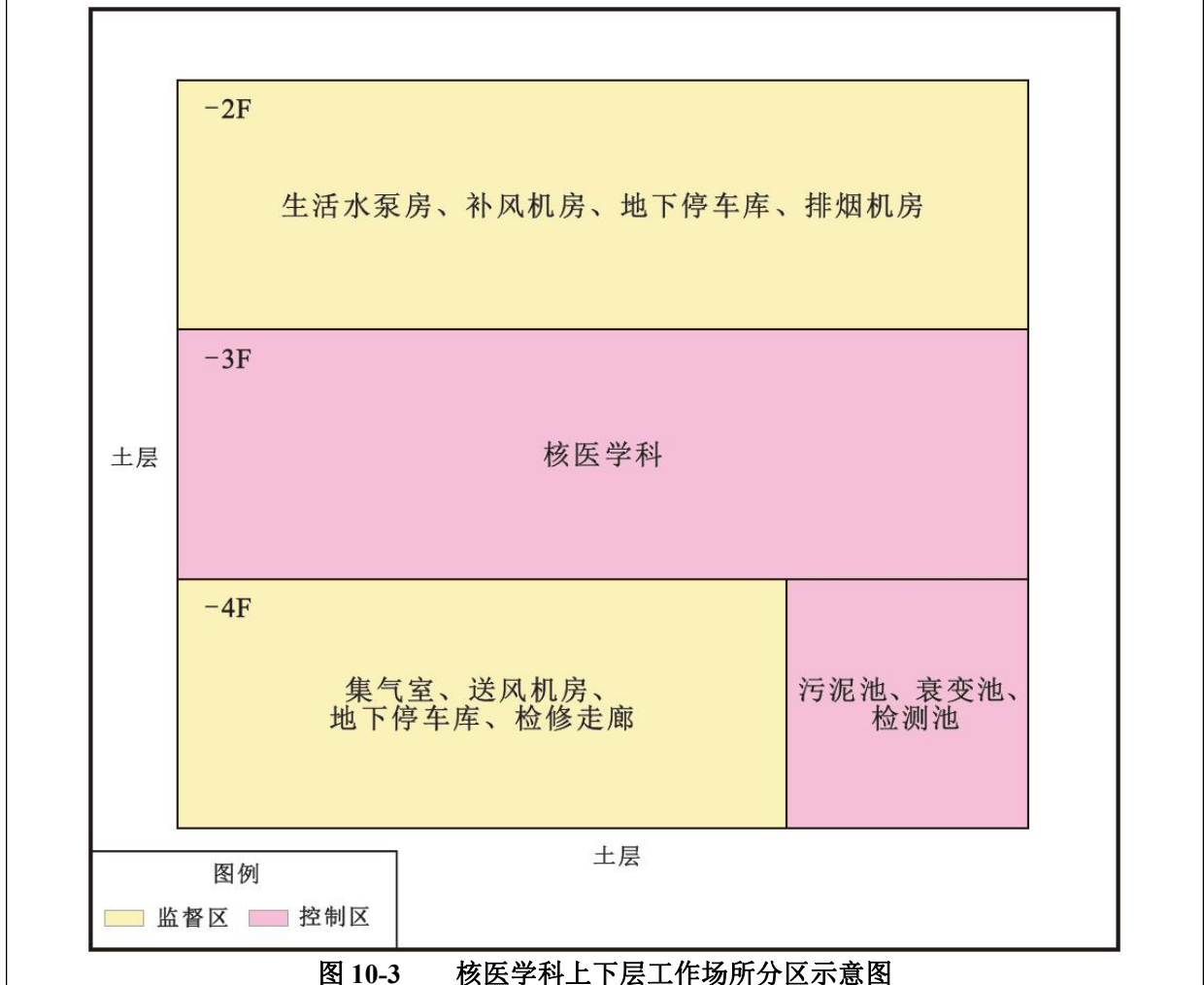


图 10-3 核医学科上下层工作场所分区示意图

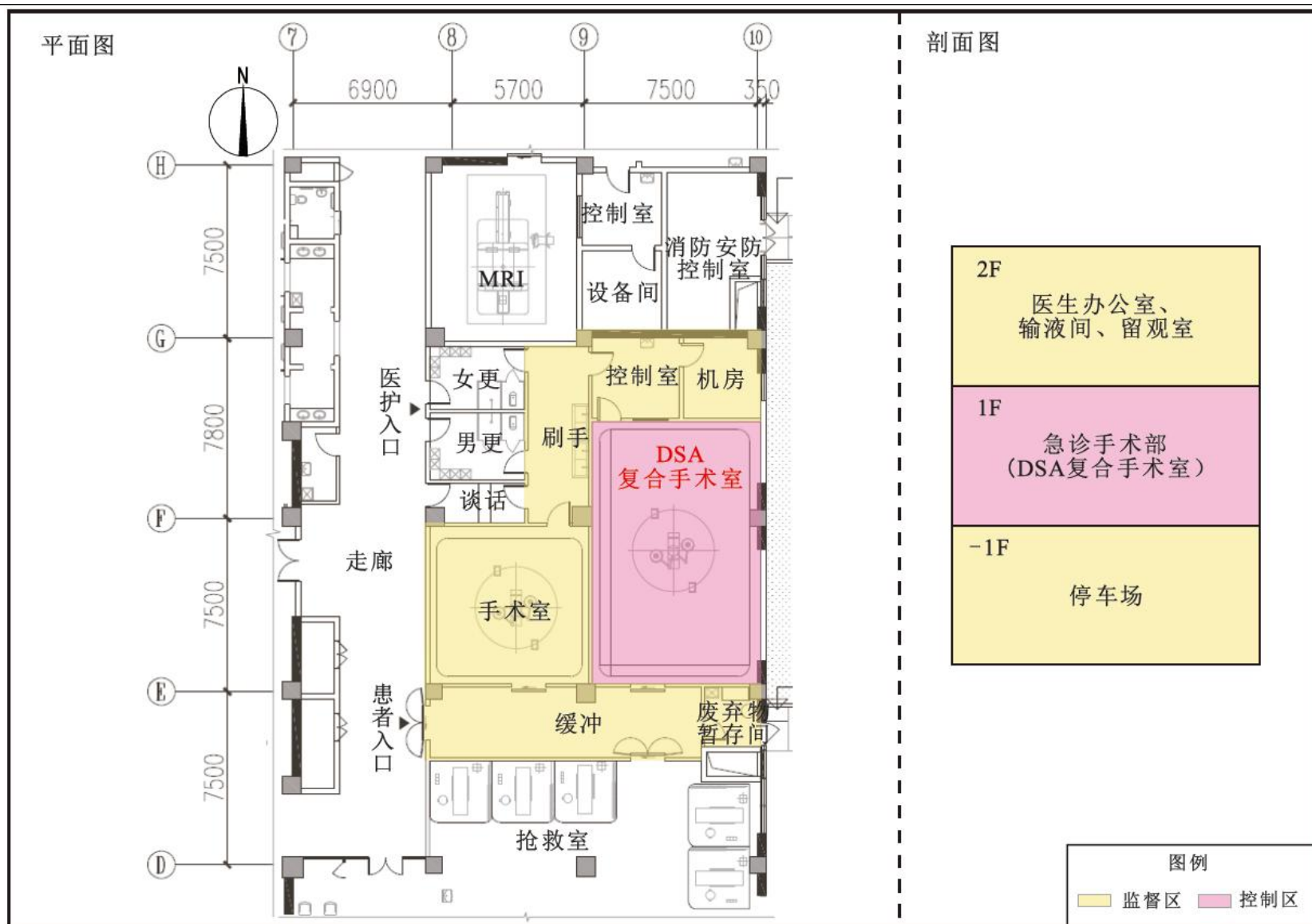


图 10-4 医疗综合楼一层急诊手术部 (DSA 复合手术室) 工作场所分区图

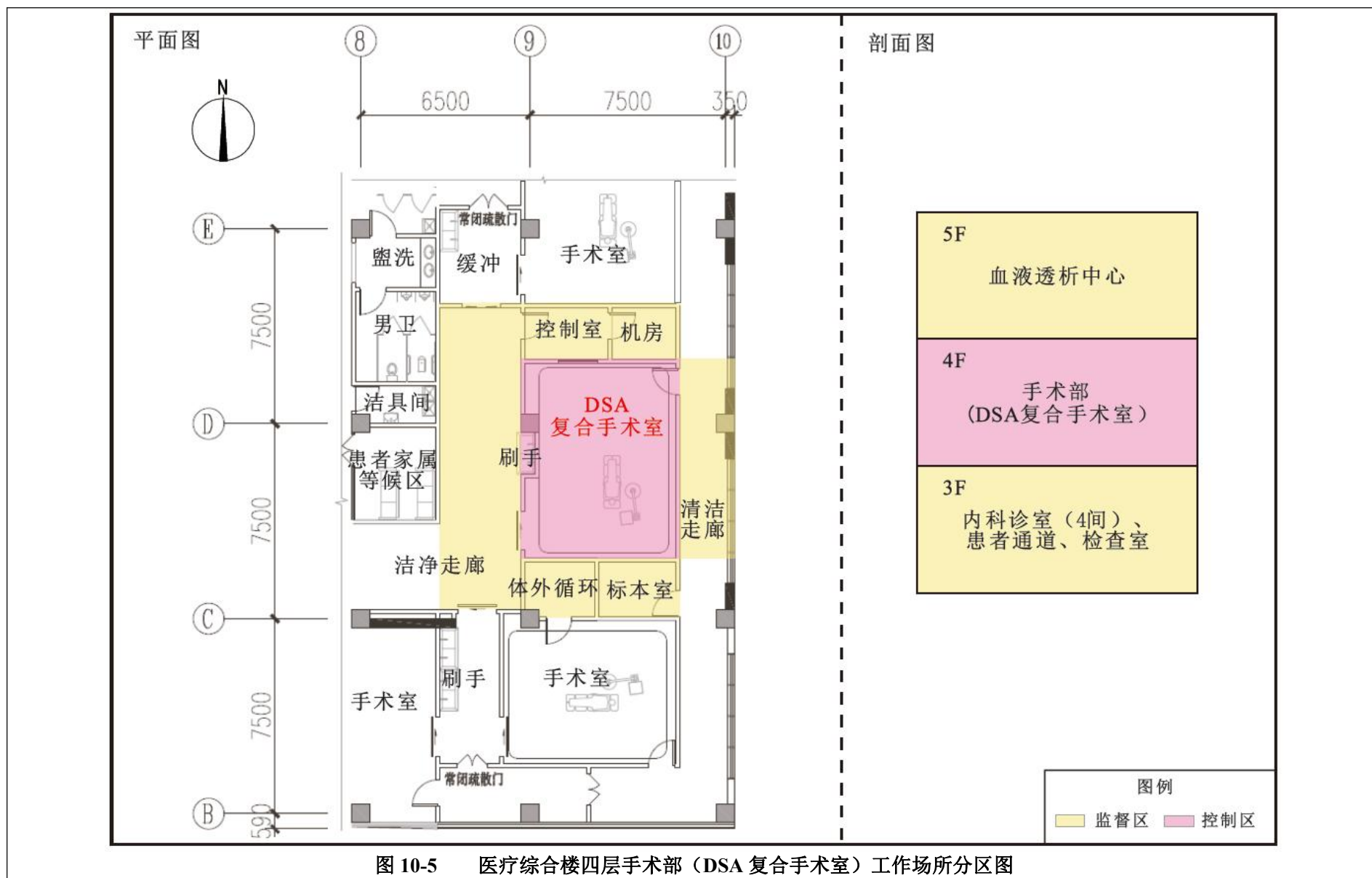


图 10-5 医疗综合楼四层手术部 (DSA 复合手术室) 工作场所分区图

2、辐射屏蔽防护参数

(1) 放疗科

① 医用电子直线加速器

本项目放疗科工作场所辐射屏蔽设计具体参数见表 10-5。

表 10-5 放疗科屏蔽防护参数一览表

工作场所	位置		具体设计参数
医用电子 直线加速 器 1	机房内部尺寸参数		长 10.4m×宽 10.0m×高 3.25m，体积 282.33m ³ （含迷路）
	北侧	屏蔽墙（主屏蔽墙）	厚 3000mm 普通混凝土，宽 5.1m
		屏蔽墙（次屏蔽墙）	厚 1800mm 普通混凝土
	西侧	屏蔽墙	厚 1600mm 普通混凝土
	南侧	屏蔽墙（主屏蔽墙）	厚 3000mm 普通混凝土，宽 5.75m
		屏蔽墙（次屏蔽墙）	厚 1800mm 普通混凝土
	屋顶	屏蔽墙（主屏蔽墙）	厚 3000mm 普通混凝土，宽 7.25m
		屏蔽墙（次屏蔽墙）	厚 1800mm 普通混凝土
	迷路	迷路内墙	厚 1500mm 普通混凝土，长 7.1m
		迷路外墙	厚 1500mm 普通混凝土
防护门		洞口尺寸 1200mm×2100mm，防护门尺寸 1500mm×2250mm，内置 9mm 铅板，电动平移防护门，配置有门机联锁和门灯（指示灯）联锁装置，设置曝光警示灯、防夹装备	
医用电子 直线加速 器 2	机房内部尺寸参数		长 10.4m×宽 10.0m×高 3.25m，体积 282.33m ³ （含迷路）
	北侧	屏蔽墙（主屏蔽墙）	厚 3000mm 普通混凝土，宽 5.1m
		屏蔽墙（次屏蔽墙）	厚 1800mm 普通混凝土
	西侧	屏蔽墙	厚 1600mm 普通混凝土
	南侧	屏蔽墙（主屏蔽墙）	厚 3000mm 普通混凝土，宽 5.75m
		屏蔽墙（次屏蔽墙）	厚 1800mm 普通混凝土
	屋顶	屏蔽墙（主屏蔽墙）	厚 3000mm 普通混凝土，宽 7.25m
		屏蔽墙（次屏蔽墙）	厚 1800mm 普通混凝土
	迷路	迷路内墙	厚 1500mm 普通混凝土，长 7.1m
		迷路外墙	厚 1500mm 普通混凝土
防护门		洞口尺寸 1200mm×2100mm，防护门尺寸 1500mm×2250mm，内置 9mm 铅板，电动平移防护门，配置有门机联锁和门灯（指示灯）联锁装置，设置曝光警示灯、防夹装备	

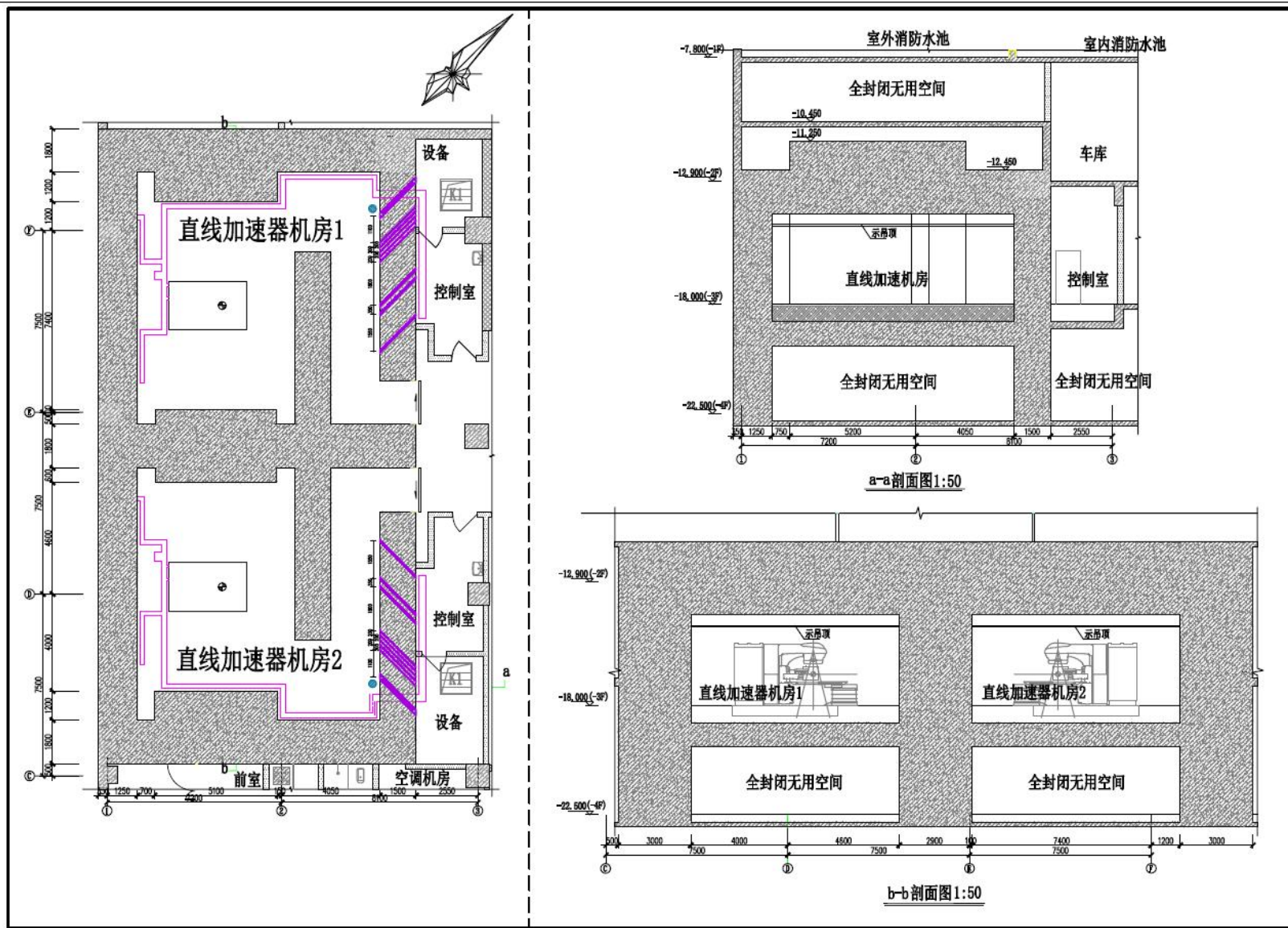


图 10-6 本项目直线加速器机房平面及剖面布置图

② CT 模拟定位机

加速器在患者治疗前需借助 CT 模拟定位机确定肿瘤的位置和范围，射线装置机房基本尺寸及防护情况详见表 10-6。

表 10-6 CT 模拟定位机房使用面积及单边长度

射线机房	项目	实际值	GBZ130-2020 要求值	评价
CT 模拟定位	面积	45.82m ²	30m ²	满足
	最小单边长	7.45m	4.5m	满足

根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)，项目 CT 模拟定位机房 X 射线防护屏蔽措施符合性分析见表 10-7。

表 10-7 CT 模拟定位机房工作场所辐射屏蔽设计具体参数

工作场所		防护材料及厚度	等效铅当量	标准要求	是否符合
CT 模拟定位机房	四周墙体	370mm 实心砖	3.7mmPb	2.5mmPb	符合
	北墙	500mm 混凝土	6.8mmPb	2.5mmPb	符合
	地面	300mm 混凝土	3.7mmPb	2.5mmPb	符合
	屋顶	120mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护材料	3.2mmPb	2.5mmPb	符合
	患者防护门	4mmPb 铅门	4mmPb	2.5mmPb	符合
	工作人员防护门	3mmPb 铅门	3mmPb	2.5mmPb	符合
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4mmPb	2.5mmPb	符合

备注：① 参考《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)附录 C，估算在管电压 140kV 条件下，计算得 300mm 混凝土防护能力相当于 3.7mm 铅当量；120mm 混凝土防护能力相当于 1.2mm 铅当量；500mm 混凝土防护能力相当于 6.8mm 铅当量；370mm 实心砖防护能力相当于 3.7mm 铅当量；铅当量为 2mmPb 的硫酸钡防护材料是根据硫酸钡水泥的密度为 2.7g/cm³，在管电压 150kV 的条件下换算得出

由上表可知，本项目 CT 模拟定位机房 X 射线的防护屏蔽措施均满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中“CT 模拟定位机房有用线束方向铅当量及非有用线束方向铅当量 2.5mm”的要求。

(2) 核医学科

本项目核医学科工作场所辐射屏蔽设计具体参数见表 10-8。PET-CT 机房基本尺寸及防护情况详见表 10-9，PET-CT 机房 X 射线防护屏蔽措施符合性分析见表 10-10。

表 10-8 核医学科工作场所辐射屏蔽设计具体参数

机房	项目	机房尺寸/防护材料及厚度	
储源室	储源室	1.86m×1.86m，面积 3.46m ² ，高 4.4m	
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖
		南墙	240mm 实心砖
		西墙	240mm 实心砖
		北墙	240mm 实心砖
	地面	260mm 混凝土	
	屋顶	120mm 混凝土	
	西侧防护门	6mmPb 铅门	

固废室	固废室		1.86m×1.86m, 面积 3.46m ² , 高 4.4m
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖
		南墙	240mm 实心砖
		西墙	240mm 实心砖
		北墙	240mm 实心砖
	地面		260mm 混凝土
	屋顶		120mm 混凝土
西侧防护门		6mmPb 铅门	
污洗室	污洗室		不规则图形, 有效面积 2.67m ² , 高 4.4m
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖
		南墙	500mm 混凝土
		西墙	240mm 实心砖
		北墙	240mm 实心砖
	地面		260mm 混凝土
	屋顶		120mm 混凝土
西侧防护门		6mmPb 铅门	
注射室	注射室		2.1m×1.95m, 面积 4.10m ² , 高 4.4m
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖
		南墙	370mm 实心砖
		西墙	370mm 实心砖
		北墙	370mm 实心砖
	地面		260mm 混凝土
	屋顶		120mm 混凝土
	南侧防护门		6mmPb
	北侧防护门		6mmPb
	注射窗口		32mmPb 铅玻璃
钨合金注射器防护套		10mmPb	
分装质控室	分装质控室		不规则图形, 有效面积 27.65m ² , 高 4.4m
	四周墙体	东墙 (污洗间、 储源室等)	240mm 实心砖
		南墙	500mm 混凝土
		西墙	240mm 实心砖
		北墙	240mm 实心砖
	地面		260mm 混凝土
	屋顶		120mm 混凝土
	北侧防护门 (卫生通过间)		6mmPb 铅门
	西侧防护门		6mmPb 铅门
	储源铅罐		40mmPb
手套箱 (¹⁸ F)		正面: 49mmPb, 其他面: 26mmPb	
控制室	控制室		6.24m×3.12m, 面积 19.47m ² , 高 4.4m
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖
		南墙	370mm 实心砖
		西墙	240mm 轻质墙体
		北墙	240mm 轻质墙体
	地面		260mm 混凝土
屋顶		120mm 混凝土	
PET-CT 机房	PET-CT 机房		6.11m×7.63m, 面积 46.62m ² , 高 4.4m
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖
		南墙	370mm 实心砖

		西墙	370mm 实心砖
		北墙	370mm 实心砖
	地面		260mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护材料
	屋顶		120mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护材料
	南侧患者防护门		4mmPb 铅门
	西侧观察窗		4mmPb 铅玻璃
	西侧工作人员防护门		4mmPb 铅门
留观室	留观室		不规则图形, 有效面积 17.64m ² , 高 4.4m
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖
		南墙	500mm 混凝土
		西墙	240mm 实心砖
		北墙	240mm 实心砖
	地面		260mm 混凝土
	屋顶		120mm 混凝土+6mmPb 硫酸钡防护材料
	北侧防护门		6mmPb 铅门
铅屏风		10mmPb	
留观室卫生间	留观室卫生间		不规则图形, 有效面积 5.02m ² , 高 4.4m
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖
		南墙	500mm 混凝土
		西墙	370mm 实心砖
		北墙	370mm 实心砖
	东侧防护门		8mmPb 铅门
	地面		260mm 混凝土
屋顶		120mm 混凝土	
VIP 候诊	VIP 候诊		不规则图形, 有效面积 16.21m ² , 高 4.4m
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖
		南墙	500mm 混凝土
		西墙	370mm 实心砖
		北墙	240mm 实心砖
	地面		260mm 混凝土
	屋顶		120mm 混凝土
北侧防护门		6mmPb 铅门	
VIP 候诊卫生间	VIP 候诊卫生间		2.21m×1.89m, 面积 4.18m ² , 高 4.4m
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖
		南墙	370mm 实心砖/300mm 混凝土
		西墙	370mm 实心砖
		北墙	370mm 实心砖
	东侧防护门		6mmPb 铅门
	地面		260mm 混凝土
屋顶		120mm 混凝土	
PET-CT 候诊	PET-CT 候诊		不规则图形, 有效面积 21.96m ² , 高 4.4m
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖
		南墙	500mm 混凝土
		西墙	370mm 实心砖
		北墙	240mm 实心砖
	地面		260mm 混凝土
	屋顶		120mm 混凝土
	北侧防护门		6mmPb 铅门
铅屏风		10mmPb	

PET-CT 候诊卫生间	PET-CT 候诊卫生间		不规则图形, 有效面积 5.22m ² , 高 4.4m
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖
		南墙	500mm 混凝土
		西墙	370mm 实心砖
		北墙	370mm 实心砖
	东侧防护门		8mmPb 铅门
	地面		260mm 混凝土
屋顶		120mm 混凝土	
运动候诊兼抢救室	运动候诊兼抢救室		不规则图形, 有效面积 18.77m ² , 高 4.4m
	四周墙体	东墙	370mm 实心砖
		南墙	500mm 混凝土
		西墙	370mm 实心砖
		北墙	370mm 实心砖
	地面		260mm 混凝土
	屋顶		120mm 混凝土
	东侧防护门		6mmPb 铅门
北侧防护门		6mmPb 铅门	

备注: 根据建设单位提供的资料, 本项目使用的硫酸钡砂浆密度为 2.7g/cm³, 对于γ射线, 由于硫酸钡砂浆的质量衰减系数不小于混凝土, 混凝土密度为 2.35g/cm³, 为保守起见, 将硫酸钡砂浆按混凝土考虑。故铅当量为 2mmPb、4mmPb 和 6mmPb 的硫酸钡防护材料厚度分别约为 20mm、40mm 和 60mm。

表 10-9 PET-CT 机房使用面积及单边长度

射线机房	项目	实际值	GBZ130-2020 要求值	评价
PET-CT	面积	47.40m ²	30m ²	满足
	最小单边长	6.03m	4.5m	满足

表 10-10 PET-CT 机房辐射屏蔽设计符合性分析

工作场所		防护材料及厚度	等效铅当量	标准要求	是否符合
PET-CT 机房	四周墙体	370mm 实心砖	3.7mmPb	2.5mmPb	符合
	地面	260mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护材料	5.2mmPb	2.5mmPb	符合
	屋顶	120mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护材料	3.2mmPb	2.5mmPb	符合
	患者防护门	4mmPb 铅门	4mmPb	2.5mmPb	符合
	工作人员防护门	4mmPb 铅门	4mmPb	2.5mmPb	符合
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4mmPb	2.5mmPb	符合

备注: ① 参考《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 附录 C, 估算在管电压 140kV 条件下, 计算得 260mm 混凝土防护能力相当于 3.2mm 铅当量; 120mm 混凝土防护能力相当于 1.2mm 铅当量; 370mm 实心砖防护能力相当于 3.7mm 铅当量; 铅当量为 2mmPb 的硫酸钡防护材料是根据硫酸钡水泥的密度为 2.7g/cm³, 在管电压 150kV 的条件下换算得出

由上表可知, 本项目 PET-CT 机房 X 射线的防护屏蔽措施均满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中的相关要求。

(3) 急诊手术部 (DSA 复合手术室)

本项目急诊手术部 (DSA 复合手术室) 拟配备 1 台 DSA, 射线装置机房基本尺寸及防护情况详见表 10-11, 工作场所辐射屏蔽设计具体参数见表 10-12。

表 10-11 DSA 机房尺寸使用面积及单边长度

射线机房	项目	实际值	GBZ130-2020 要求值	评价
急诊手术部 (DSA 复合手术室)	面积	69.55m ²	20m ²	满足
	最小单边长	6.5m	3.5m	满足

表 10-12 急诊手术部 (DSA 复合手术室) 工作场所辐射屏蔽设计具体参数

工作场所		防护材料及厚度	等效铅当量	标准要求
急诊手术部 (DSA 复合手术室)	四周墙体	370mm 实心砖	3.9mmPb	2.0mmPb
	南侧患者防护门	3mmPb 铅门	3.0mmPb	2.0mmPb
	北侧工作人员防护门	3mmPb 铅门	3.0mmPb	2.0mmPb
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3.0mmPb	2.0mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥	3.4mmPb	2.0mmPb
	地面	160mm 混凝土+1mmPb 硫酸钡水泥	3.0mmPb	2.0mmPb

备注：根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中 C.4 与 C.5，在管电压 125kV 条件下，160mm 混凝土防护能力相当于 2.0mm 铅当量，120mm 混凝土防护能力相当于 1.4mm 铅当量；370mm 实心砖防护能力相当于 3.9mm 铅当量；铅当量为 1mmPb 和 2mmPb 的硫酸钡水泥是根据硫酸钡水泥的密度为 3.2g/cm³，在管电压 150kV 的条件下换算得出

由上表可知，本项目急诊手术部 (DSA 复合手术室) 辐射屏蔽设计均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“介入 X 射线设备机房有用线束方向铅当量 2mm，非有用线束方向铅当量 2mm”的要求。

(4) 手术部 (DSA 复合手术室)

本项目手术部 (DSA 复合手术室) 拟配备 1 台 DSA，射线装置机房基本尺寸及防护情况详见表 10-13，工作场所辐射屏蔽设计具体参数见表 10-14。

表 10-13 DSA 机房尺寸使用面积及单边长度

射线机房	项目	实际值	GBZ130-2020 要求值	评价
手术部 (DSA 复合手术室)	面积	35.5m ²	20m ²	满足
	最小单边长	5.0m	3.5m	满足

表 10-14 手术部 (DSA 复合手术室) 工作场所辐射屏蔽设计具体参数

工作场所		防护材料及厚度	等效铅当量	标准要求
手术部 (DSA 复合手术室)	四周墙体	370mm 实心砖	3.9mmPb	2.0mmPb
	西侧患者防护门	3mmPb 铅门	3.0mmPb	2.0mmPb
	东侧防护门	3mmPb 铅门	3.0mmPb	2.0mmPb
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3.0mmPb	2.0mmPb
	屋顶	150mm 混凝土+1mmPb 硫酸钡水泥	2.9mmPb	2.0mmPb
	地面	120mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥	3.4mmPb	2.0mmPb

备注：根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中 C.4 与 C.5，在管电压 125kV 条件下，150mm 混凝土防护能力相当于 1.9mm 铅当量，120mm 混凝土防护能力相当于 1.4mm 铅当量；370mm 实心砖防护能力相当于 3.9mm 铅当量；铅当量为 1mmPb 和 2mmPb 的硫酸钡水泥是根据硫酸钡水泥的密度为 3.2g/cm³，在管电压 150kV 的条件下换算得出

由上表可知，本项目手术部 (DSA 复合手术室) 辐射屏蔽设计能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“介入 X 射线设备机房有用线束方向铅当量

2mm，非有用线束方向铅当量 2mm”的要求。

3、核医学科人流、物流设计合理性分析

(1) 医护人员流向

医护人员从西侧的楼梯间进入，经医生通道由更衣室的西侧门进入，经冲淋、和卫生通过进入到分装质控室，在分装质控室进行药物的分装和质控，并在分装质控室西侧的注射窗口为患者进行注射，完成分装或注射等操作后需进行表面污染检测，若有沾污，则进行清洁去污；操作 PET-CT 的医护人员经医生通道进入控制室，待患者进入 PET-CT 机房后，由控制室的东侧防护门进入到机房内为患者进行摆位，摆位完成后，原路返回控制室，进行显像扫描操作。

(2) 患者流向

预约检查的患者从北侧的核医学科入口处进入，在预约登记处办理相关手续后，等待叫号，被叫号后的患者从北侧患者通道入口（拟设置单向限行门禁）进入核医学科，行至注射室进行放射性药物的注射，注射后根据检查需要进入到运动候诊兼抢救室、PET-CT 候诊室或 VIP 候诊室进行候诊，候诊一定时间后，等待叫号，被叫号后的患者进入到 PET-CT 机房进行摆位和扫描，扫描结束后，患者进入到留观室留观一定时间后，根据相关标识沿患者通道经缓冲区至西侧核医学科专用电梯（拟设置单向限行门禁）离开核医学科。

(3) 药物流向

本项目核医学科使用的放射性药物拟向专业制药厂商采购，制药厂商采用专用运输铅罐配送放射性药物。根据医院购药计划，计划分两个时段送药，拟在上午上班前（早上 7:30）和下午上班前（下午 13:30），在医护人员带领下，由西侧核医学科专用电梯进入核医学科，沿患者通道经注射室进入分装质控室，最后将放射性药物转存至分装质控室的手套箱内。工作人员路径与药物路径有一定的交叉，医院通过错时管控来实现分离，只存在空间上的交叉。

(4) 放射性固体废物流向

针对核医学科各场所的放射性固体废物，先放置至各相关工作场所的铅防护废物桶内，在一天工作结束后，将铅防护废物桶内的固体废弃物转送到核医学科西侧固废室的铅防护废物桶内，分装质控室内产生的放射性固体废物收集后转送至东侧固废室的铅防护废物桶内。对注射器等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入利器盒中，然后

再装入专用塑料袋内。核医学科设置有 2 个固废室，分别位于核医学科西侧及东侧，所有放射性固体废物暂存 30 天后，拟由工作人员在一天工作结束后，核医学科西侧固废室和东侧固废室的放射性固体废物（已存放至少 30 天，满足解控要求的）均从西侧核医学科专用电梯运送出核医学科，作为医疗废物进行处置。工作人员及患者路径与放射性固体废物路径有一定的交叉，医院通过错时管控来实现分离，只存在空间上的交叉。

综合分析认为，核医学科工作人员、患者、放射性药物和放射性废物均设有相对独立的路径，医院通过错时管控及加强管理，基本满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“5.2 布局”的相应要求。核医学科工作场所医护人员及患者路径见图 10-7、核医学科物流路径见图 10-8。

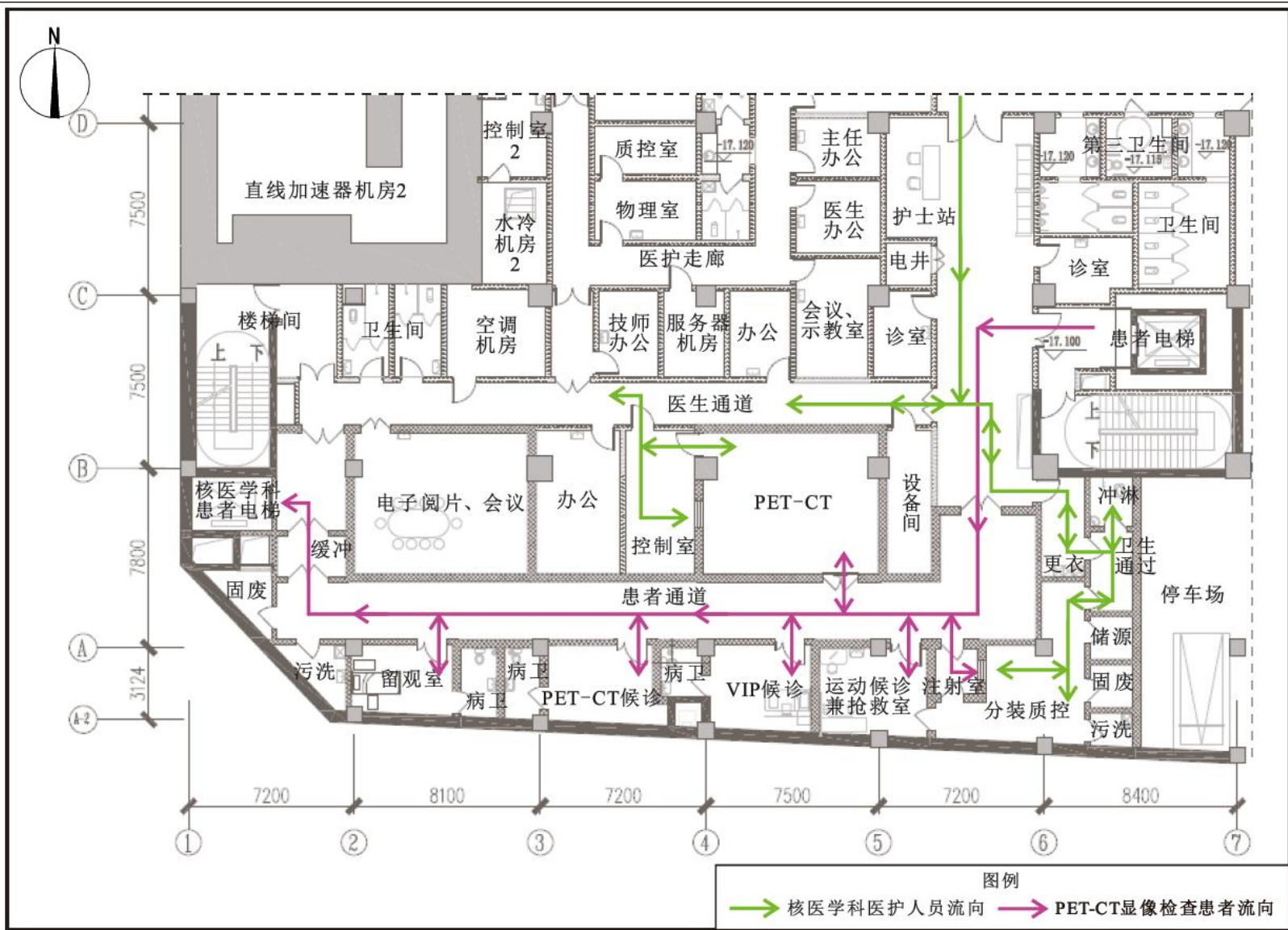


图 10-7 核医学科工作场所医护人员及患者路径示意图

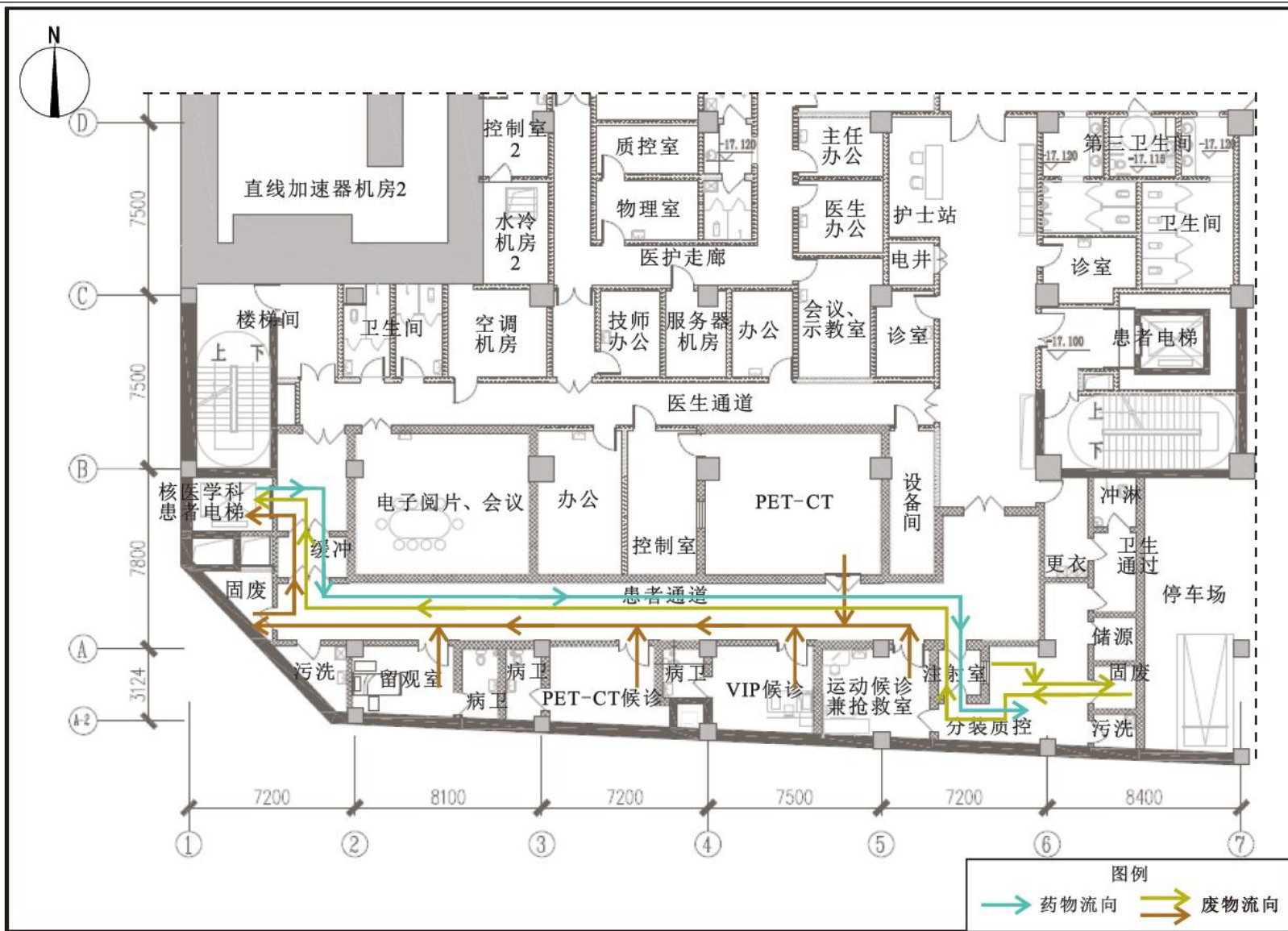


图 10-8 核医学科工作场所物流路径示意图

4、辐射安全与防护措施

(1) 放疗科

① 医用电子直线加速器

本项目医用电子直线加速器机房拟采取的防护安全设施情况如下：

表10-15 医用电子直线加速器机房拟采取的防护安全设施情况

拟采取的安全措施	拟设置情况	《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）	是否满足要求
工作状态指示灯	在机房入口处，门上方拟设置“当心电离辐射”警示牌和工作状态指示灯，以示该机房为控制区，并呈工作状态。工作状态指示灯以绿色信号指示非出束状态，黄色或橙色信号指示预备出束状态，红色信号指示出束治疗状态，具体位置见图10-9	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。	满足
警示标志	在机房门上拟设电离辐射警示标志，具体位置见图10-9		满足
视频监控及双向对讲	拟在加速器机房内设摄像监视系统，使控制室的工作人员可清楚地观察到机房内加速器的工作情况，如发生意外情况可及时处理。拟在治疗床附近、迷路附近、控制台安装对讲系统，方便控制室与机房内人员联系，若发生紧急情况，可通过对讲系统及时告知控制室工作人员，避免接受不必要的辐射，具体位置见图10-9		满足
固定式报警装置	拟在迷路内入口处的北墙（或南墙）上安装1个固定式剂量监测报警仪，仪器探头建议安装在迷路转角处，仪表指示仪装在控制室内。对监测点进行实时剂量率/累计剂量监测和报警。实时剂量率/累计剂量监测值同时显示在主机面板上，实时剂量率/累计剂量的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。具体位置见图10-9	治疗室内（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。	满足
门机连锁、照射限束装置的连锁	拟设置门机连锁装置，机房门在开启状态下不能出束；在出束状态下，开启机房门，加速器立即停止出束；拟设置室内紧急开门装置，机房门设置有防夹伤功能，具体位置见图10-9；当X射线限束装置被用作电子线限束系统的一部分时，设有连锁，当其实际位置和要求的位置相差超过10cm（在正常治疗距离处）时，阻止电子线	6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全连锁措施： a) 放射治疗室应设置门-机/源连锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施	满足

		b) 放射治疗室应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能	
急停按钮	加速器机房入口门内旁侧、机房西墙、南墙和北墙、迷路内墙、中心区域（2处）、控制台上各设1个急停按钮，具体位置见图10-9	c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；	满足
穿墙管线	本项目加速器机房内穿墙管线包括通风管线、空调管线、电缆沟等，穿墙方案说明如下：直线加速器电缆沟穿墙钢管管壁厚度不小于5mm，其余部位电缆沟外套2mm厚钢板；全部电缆沟均采用活动盖板，盖板边沿不大于20mm；线缆暗线槽过墙采取U型槽，以满足射线防护要求；线缆暗线槽内进行防水、防潮、防老鼠处理，以免线缆受到损坏；预留的电缆沟仅供医疗设备电缆铺设使用，其余管线不占用等。具体示意图见图10-10	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。	满足

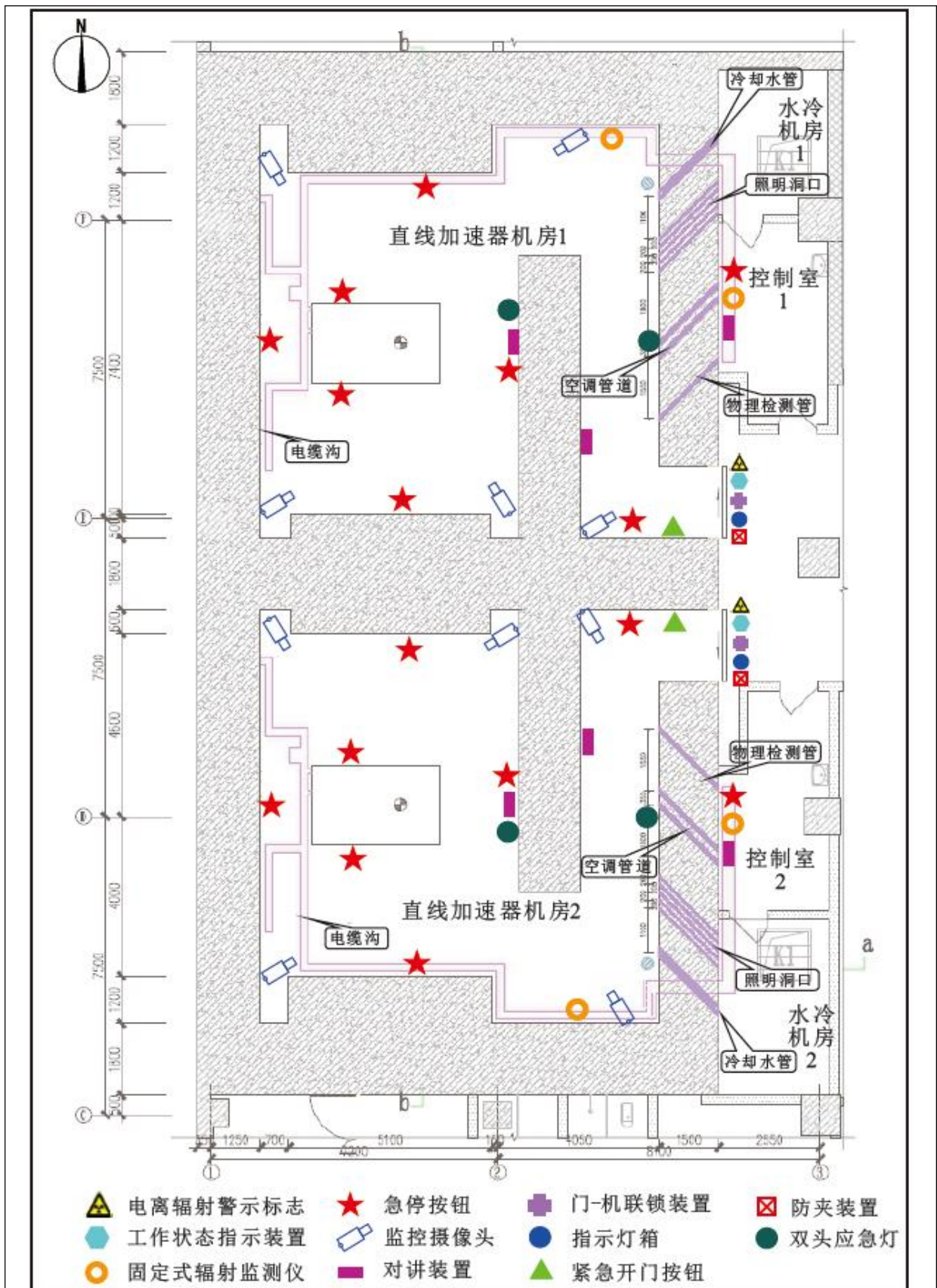


图 10-9 加速器机房防护设施布置图

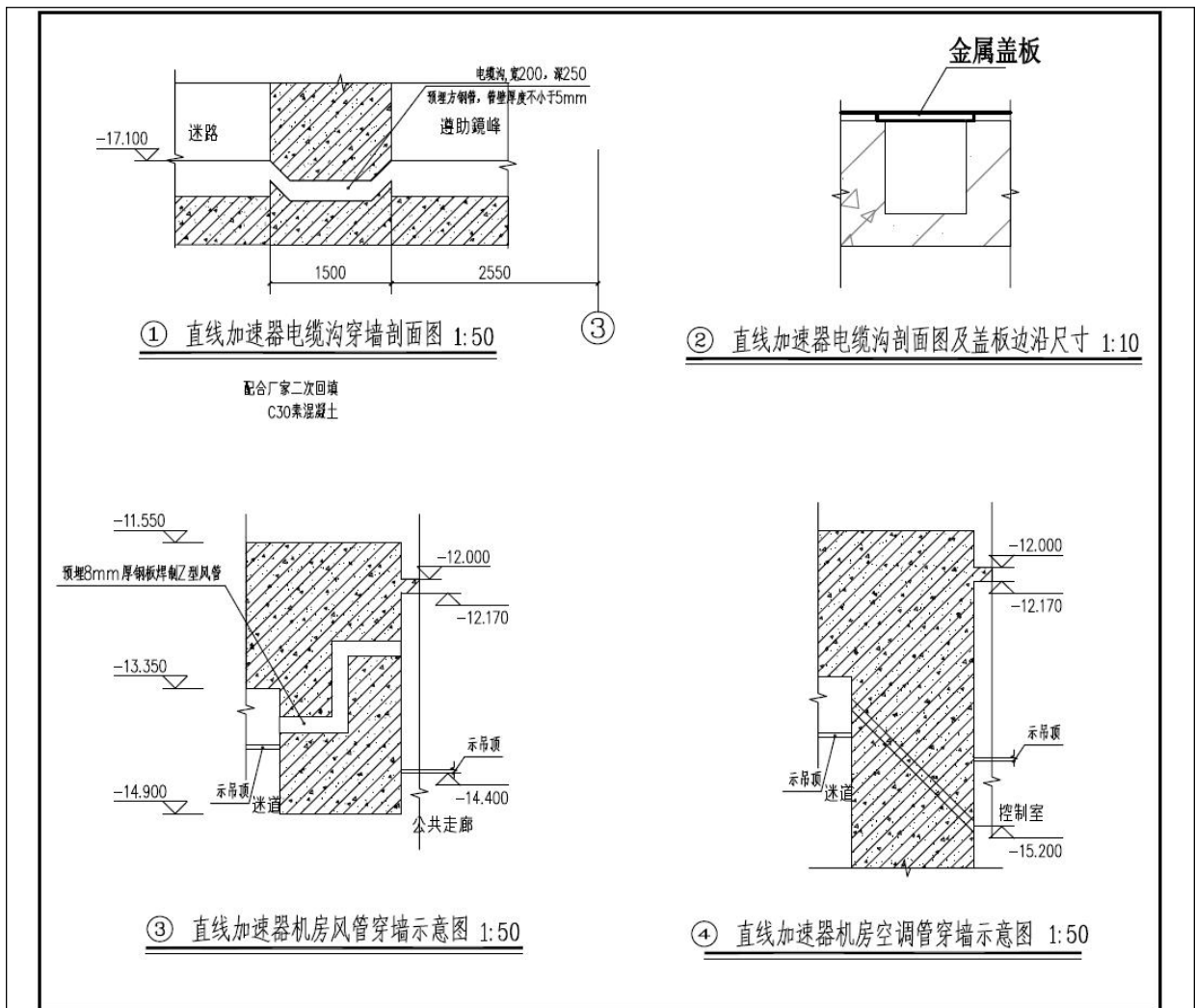


图 10-10 加速器机房穿墙管线示意图

② CT 模拟定位机

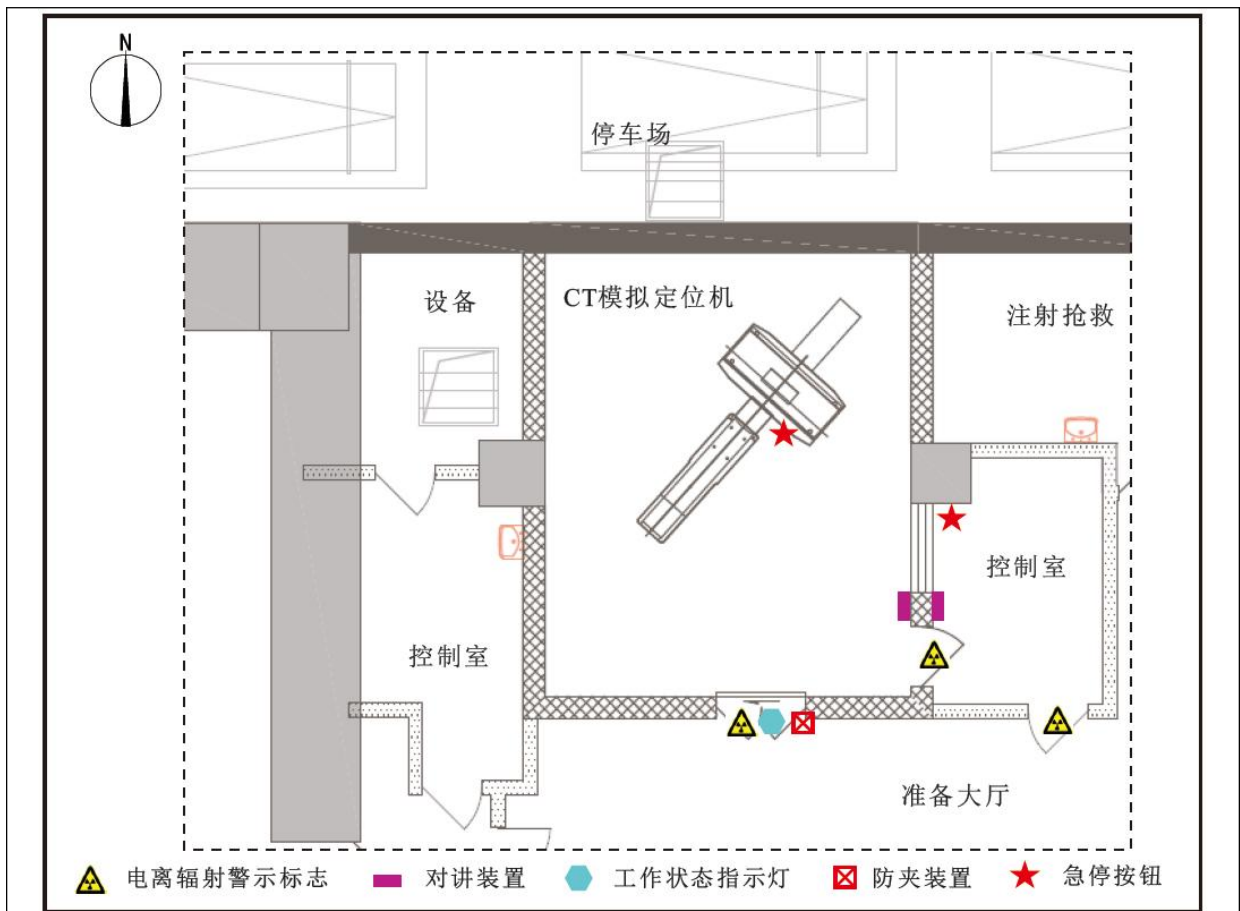
本项目 CT 模拟定位机房拟采取的辐射安全与防护措施见表 10-16。

表 10-16 CT 模拟定位机房辐射安全与防护措施符合性分析表

项目	建设情况		辐射防护要求		是否满足要求
	CT 模拟定位机房	GBZ 130-2020 标准要求	铅当量		
观察窗口	机房东侧建设有观察窗口，铅当量为 4mmPb	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患者和受检者状态及防护门开闭情况。	2.5mmPb		满足
布局及通风	机房内不堆放与该设备诊断工作无关的杂物	机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物；	/		满足
	均拟设置排风管道	机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风	/		满足
防护要求	均配备电离辐射警告标志	机房门外应有电离辐射警告标志；	/		满足
	配备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	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”	/		满足

	示语句	的可视警示语句；			
	候诊区拟设置放射防护注意事项告知栏	候诊区应设置放射防护注意事项告知栏；	/	满足	
	控制室进机房门采用平开式机房门，设置自动闭门装置，防护门铅当量为 3mmPb	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；	2.5mmPb	满足	
	患者防护门拟设计电动推拉，设置防夹装置，防护门铅当量为 4mmPb		2.5mmPb	满足	
	工作状态指示灯能与机房门有效关联	工作状态指示灯能与机房门有效关联	/	满足	
	机房防护设施根据模拟定位设备类型配备相应的防护	模拟定位设备机房防护设施应满足相应设备类型的防护要求。	/	满足	
辅助防护设施（受检者）	可调节防护窗口的立位防护屏，1套，铅当量为 0.5mmPb	可调节防护窗口的立位防护屏： 选配：固定特殊受检者体位的各种设备	防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25mmPb	满足	
				满足	
个人防护用品（受检者）	包裹式铅防护长巾（成人） 2套，铅当量为 0.25mmPb	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25mmPb	满足	
	铅橡胶帽子（成人） 2套，铅当量为 0.25mmPb			满足	
	铅橡胶颈套（成人） 2套，铅当量为 0.25mmPb			满足	
	铅橡胶防护衣 2套，铅当量为 0.25mmPb			满足	
	包裹式铅防护长巾（儿童） 2套，铅当量为 0.5mmPb			应为不同年龄儿童的不同检查，配备由防护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.5mmPb	满足
	铅橡胶帽子（儿童） 2套，铅当量为 0.5mmPb			满足	
	铅橡胶颈套（儿童） 2套，铅当量为 0.5mmPb			满足	

根据上表可知，本项目 CT 模拟定位机房辐射防护设施拟建设情况以及个人防护用品拟配备情况均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。



(2) 核医学科

① 辐射安全措施

本项目核医学科辐射安全措施如下表。

表10-17 核医学科拟采取的防护安全设施情况

拟采取的安全措施	拟设置情况	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）	是否满足要求
场所布局	工作人员通道与患者通道互不交叉，控制区相对集中；分装质控室在核医学科控制区的东侧；放射性废物储存在固废室内	5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置：同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。	满足
专门操作放射性药物的场所	设置有储源室、分装质控室、注射室对放射性药物进行贮存、分装和给药		满足
路径独立	核医学科工作场所设置有相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径（见图10-7、图10-8），从时间和空间上来控制放射性药物、放射性废物与工作人员的活动。	5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。	满足
缓冲区、专用卫生间	核医学科控制区出口设置有缓冲区，进入分装质控室前设置有卫生通过间，并为工作人员和患者提供有可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备；PET-CT候诊、VIP候诊及留观室均设置患者专用卫生间	5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	满足
配备必要的防护设施	本项目核医学科工作场所为丙级，拟配备手套箱；为从事放射性药物操作的工作人员拟配备必要的防护用品；放射性药物拟配备药物转运防护罐及转运防护盒进行屏蔽；注射器配备有钨合金注射器防护套；PET-CT候诊及留观室内拟设置铅屏风等屏蔽体	6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。	满足
	配备有便携式表面污染监测设备，用于工作人员在离开辐射工作场所前，进行皮肤、手部等体表部位污染测定	6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。	满足

	^{18}F 储存在分装质控室的手套箱内。定期进行辐射水平监测，建立台账	6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符	满足
警告标志	核医学科控制区出入口、控制区内各工作场所门、放射性药物和放射性废物储存容器外，均拟张贴电离辐射警告标志，并在相关场所如分装质控室、污洗、固废室等场所张贴相关文字说明	6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。	满足
对放射性药物进行恰当屏蔽	使用专门的放射性药物的贮存容器（40mmPb储源铅罐），对装有放射性药物的注射器采取屏蔽措施并设置电离辐射标志		满足
工作状态指示灯	PET-CT机房防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱设“射线有害、灯亮误入”警示语句；防护门拟设置自动闭门装置	6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	满足
监控装置和语音对讲系统	PET-CT候诊、VIP候诊、留观室、PET-CT机房、控制室拟设置语音对讲装置。在储源室、分装质控室、PET-CT候诊、VIP候诊、留观室、运动候诊兼抢救室、患者通道拟安装监控装置	/	满足
门禁系统	核医学部分场所的门设置门禁系统，便于更好的控制患者行走路线，如患者进出口门防护门设计单向门禁系统；分装质控室门、医护通道出入口门等设门禁，授权工作人员才可进出		

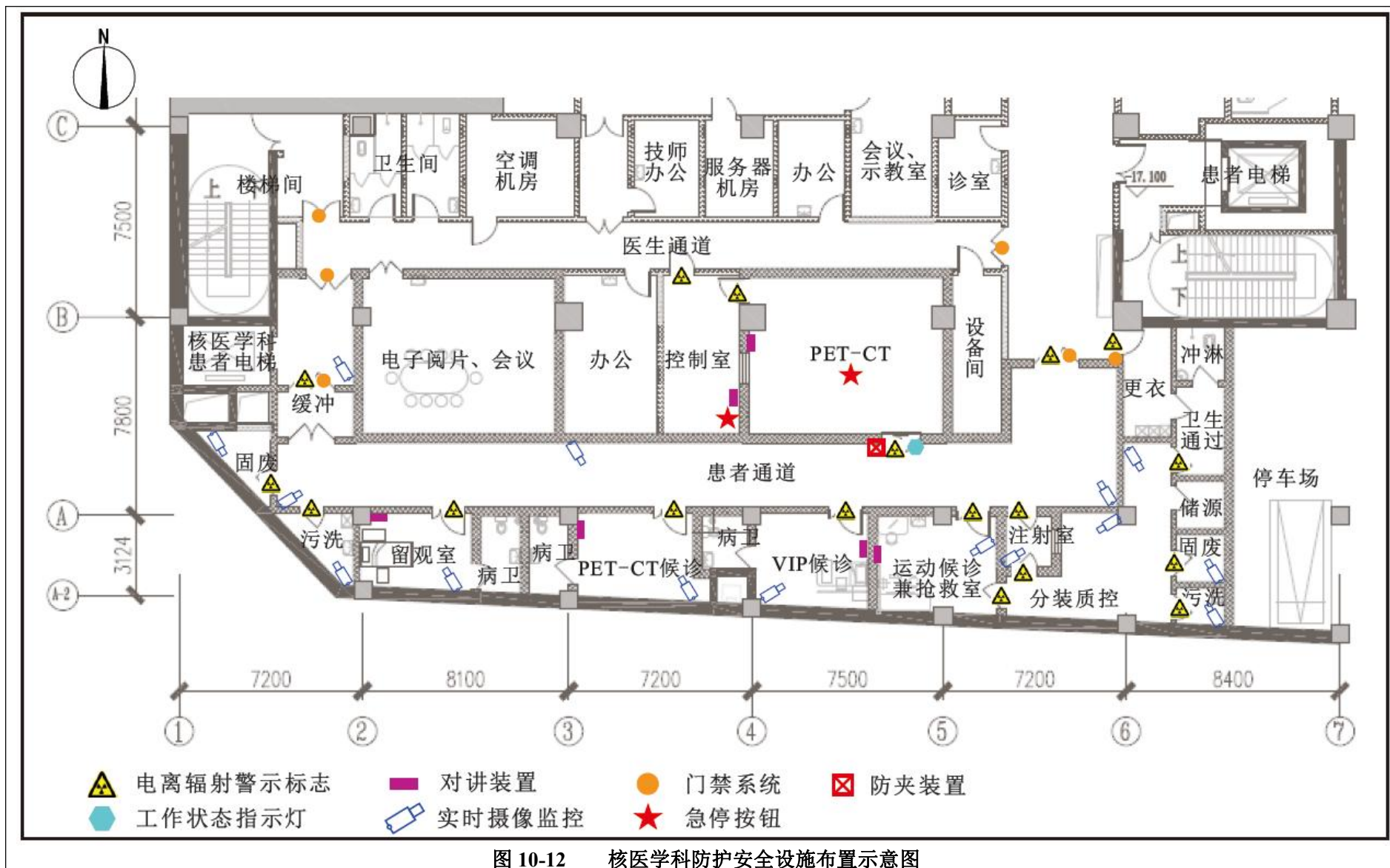


图 10-12 核医学科防护安全设施布置示意图

② 工作人员的防护措施

放射工作人员进入辐射工作场所前应穿戴放射性污染工作服或铅防护衣、帽、鞋、防护口罩、胶质手套及相应个人防护用品。离开辐射工作场所，需进行皮肤、手部等体表部位污染测定，确认未受放射污染，方可离开。如果发现污染，工作服需进行清洗、处理，经清洗消除污染后，需再次监测，直至污染达到标准限值以下后方可使用；皮肤、手部等体表部位污染，工作人员需进行清洗、处理，经清洗消除污染后，需再次监测，直至污染达到标准限值以下后方可离开。

③ 注射后病人防护措施

患者根据预约按时到候诊区，在语音提示下到注射室根据具体情况注射 ^{18}F ，经语音提示到相应的候诊室进行候诊，不应随意走动，并在患者专用卫生间如厕，扫描完毕患者经患者通道出口防护门离开，尽量减少对其他人员的影响。

为防止无关人员进入控制区，拟在患者进出口门防护门设计单向门禁系统，实现“入口处患者只入不出、出口处患者只出不入”，保证控制区内患者的单向流动，避免无关人员进入控制区。

④ 放射性药品以及放射源管理

医院核医学科应设置专职放射性药品管理人员，具体负责放射性药品交接手续的办理。当送药单位将放射性药品运至医院核医学科内，核医学科放射性药品管理人员核对预定的放射性药品数量、活度，进行入库登记。

医院应建立放射性药品台账管理制度，明确购置、到货、暂存、使用等环节放射性药物量。定期进行盘点，做到账物相符；出入口安装摄像头、红外报警装置，并入科室监控系统。

⑤ 防护用品配备

项目拟配置的个人防护用品和工作场所防护用品见表 10-18。

表 10-18 核医学科工作场所防护用品

序号	种类	用途	拟设置场所	性能要求	数量
1	便携式表面污染监测设备	用于表面污染水平的检测	核医学科工作场所	/	2 个
2	便携式 X、 γ 射线辐射监测仪	剂量监测	/	/	1 个
3	手套箱	药物分装	分装质控室	正面屏蔽厚度为 49mmPb，其他面屏蔽厚度为 26mmPb，风速 $\geq 0.5\text{m/s}$	1 套
4	污染防护服	工作人员防护	分装质控室	/	2 套

5	铅眼镜、铅衣、铅帽、铅围脖四件为一套	工作人员防护	分装质控室	0.5mmPb	2套
6	储源铅罐	药物贮存	分装质控室	屏蔽厚度为40mmPb, 可放10ml/20ml/30ml 用药	1个
7	钨合金注射器屏蔽套	注射器防护	分装质控室	屏蔽厚度为10mmPb 铅当量	2个
8	正电子药物使用废物桶	储存放射性固体废物	分装质控室、运动候诊兼抢救室、PET-CT候诊、VIP候诊、留观室	屏蔽厚度为20mmPb	5个
9	放射性废物桶	储存放射性固体废物	固废间(2间)	屏蔽厚度为30mmPb	10个
10	移动铅屏风	用于患者之间的防护	PET-CT候诊室、留观室	屏蔽厚度为10mmPb	2个

由上表可知, 本项目拟配备的工作场所防护用品符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 相关要求。

(3) DSA

本项目 DSA 工作场所主要包括急诊手术部(1台)及手术部(1台), 各工作场所拟采取的辐射安全与防护措施见表 10-19。

表 10-19 DSA 机房辐射安全与防护措施符合性分析表

项目	建设情况		辐射防护要求		是否满足要求
	急诊手术部	手术部	GBZ 130-2020 标准要求	铅当量	
	DSA 复合手术室	DSA 复合手术室			
观察窗口	机房西侧建设有观察窗口, 铅当量为 3mmPb	机房南侧建设有观察窗口, 铅当量为 3mmPb	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患者和受检者状态及防护门开闭情况。	2mmPb	满足
布局及通风	机房内不堆放与该设备诊断工作无关的杂物		机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物;	/	满足
	均拟设置排风管道		机房应设置动力排风装置, 并保持良好的通风	/	满足
防护要求	均配备电离辐射警告标志		机房门外应有电离辐射警告标志;	/	满足
	配备有醒目的工作状态指示灯, 灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句		机房门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;	/	满足
	候诊区拟设置放射防护注意事项告知栏		候诊区应设置放射防护注意事项告知栏;	/	满足
	控制室进机房门采用平开式机房门, 设置自动闭门装置, 防护门铅当量为 3mmPb		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;	2mmPb	满足

	患者防护门拟设计电动推拉，设置防夹装置，防护门铅当量为 3mmPb			2mmPb	满足
	工作状态指示灯能与机房门有效关联		工作状态指示灯能与机房门有效关联	/	满足
辅助防护设施 (工作人员)	铅防护吊帘 1套，铅当量为 0.5mmPb	铅防护吊帘 1套，铅当量为 0.5mmPb	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25mmPb	满足
	床侧防护帘 1套，铅当量为 0.5mmPb	床侧防护帘 1套，铅当量为 0.5mmPb			满足
	移动铅防护屏 1套，铅当量为 2mmPb	移动铅防护屏 1套，铅当量为 2mmPb		2mmPb	满足
个人防护用品 (工作人员)	铅橡胶颈套 2套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶颈套 2套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜 选配：铅橡胶手套	防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25mmPb	满足
	铅橡胶帽子 2套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶帽子 2套，铅当量为 0.5mmPb			满足
	铅橡胶围裙 2套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶围裙 2套，铅当量为 0.5mmPb			满足
	铅防护眼镜 2套，铅当量为 0.5mmPb	铅防护眼镜 2套，铅当量为 0.5mmPb			满足
	铅防护手套 2套，铅当量为 0.025mmPb	铅防护手套 2套，铅当量为 0.025mmPb	介入防护手套铅当量应不小于 0.025 mmPb	0.025mmPb	满足
个人防护用品 (患者及受检者)	铅橡胶颈套 1套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶颈套 1套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25mmPb	满足
	铅橡胶性腺防护围裙 1套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶性腺防护围裙 1套，铅当量为 0.5mmPb			满足
	铅橡胶帽子 1套，铅当量为 0.5mmPb	铅橡胶帽子 1套，铅当量为 0.5mmPb			满足
	儿童铅橡胶颈套 1套，铅当量为 0.5mmPb	儿童铅橡胶颈套 1套，铅当量为 0.5mmPb		应为不同年龄儿童的不同检查，配备由防护相应组织和器官的防护用品，防护用	满足
	儿童铅橡胶性腺防护围裙 1套，铅当量为 0.5mmPb	儿童铅橡胶性腺防护围裙 1套，铅当量为 0.5mmPb			

	儿童铅橡胶帽子 1套，铅当量为 0.5mmPb	儿童铅橡胶帽子 1套，铅当量为 0.5mmPb		品和辅助防 护设施的铅 当量应不低 于 0.5mmPb	
--	-------------------------------	-------------------------------	--	---	--

根据上表可知，本项目 DSA 各工作场所辐射防护设施拟建设情况以及个人防护用品拟配备情况均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。

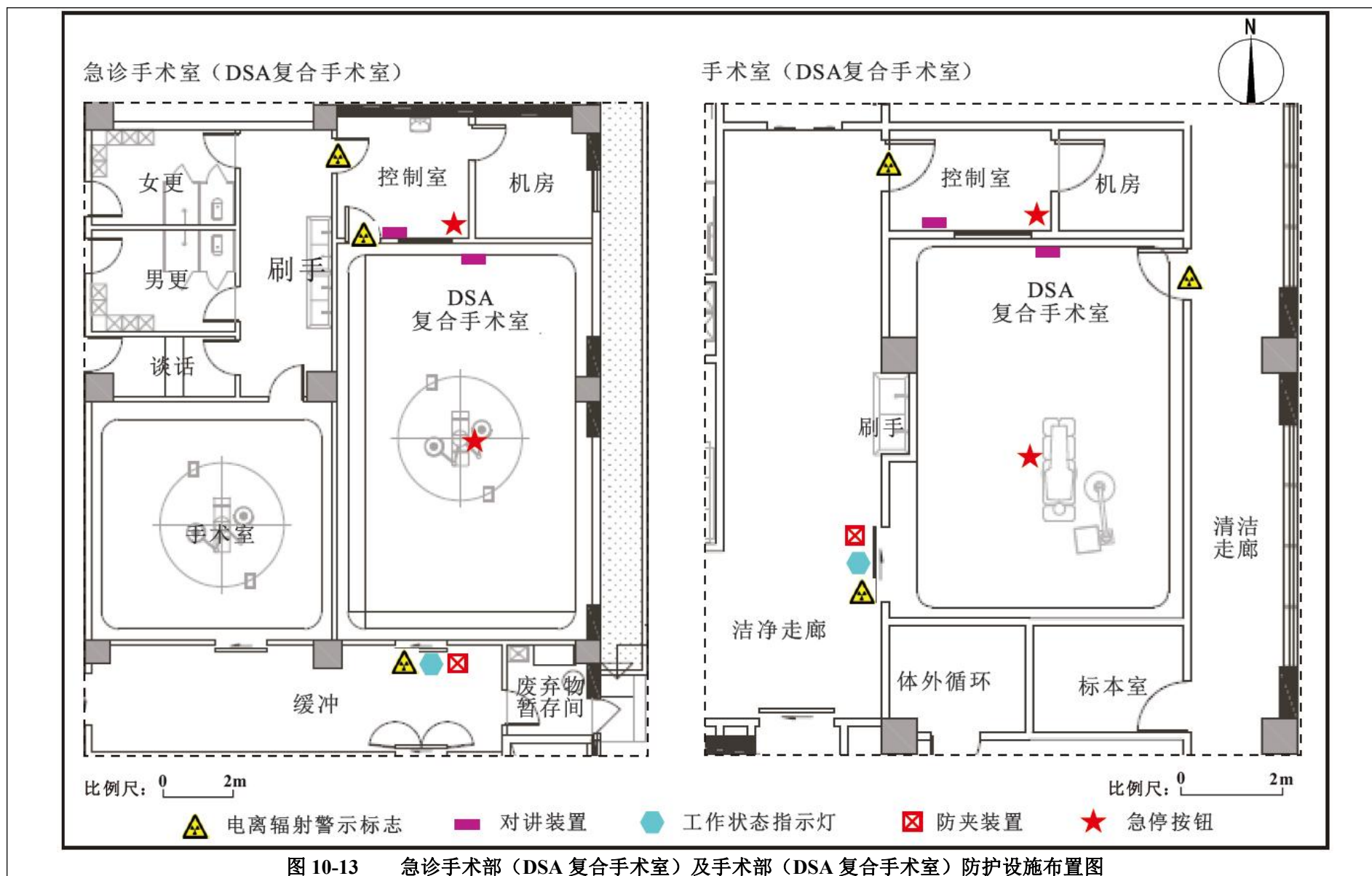


图 10-13 急诊手术部 (DSA 复合手术室) 及手术部 (DSA 复合手术室) 防护设施布置图

二、三废的治理

1、放疗科

(1) 医用电子直线加速器

① 放射性固体废物处置措施

该项目医用电子直线加速器产生的放射性固体废物主要为加速器废金属靶、废辅助过滤器等，只有在需要更换金属靶、辅助过滤器等部件时才产生（通常1个金属靶使用7~10年才更换），这些部件作为放射性固废，由有资质的加速器供应商更换并带走处置，不在医院贮存。

② 废气处置措施

医用电子直线加速器在运行过程中，X射线与空气发生电离作用会产生微量的臭氧和氮氧化物等有害气体，本项目加速器机房拟采用机械通风，通风系统由多台排风机和相应通风管道组成。

本项目拟在加速器机房1北侧位置和加速器机房2南侧位置设置排风装置，排风口风管底部（吸风口）离地约30cm，再沿墙体内壁向上接近顶板处，在顶棚上方经防护迷道，由防护门上方通往室外。送、排风管道在机房防护门洞口上方呈“Z”字型穿过屏蔽墙体。臭氧和氮氧化物等有害气体经排风管道引至加速器机房西侧的排风井，最终通往医疗综合楼西侧楼顶（放射性废气排放口位置详见图1-3）排出，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。”排风管道布局见图10-14。

③ 废水处置措施

加速器运行时，设备中内循环冷却水可能被活化而产生感生放射性，放射性核素主要为¹⁵O、¹⁶N，其半衰期都很短，只需放置较短的时间其活度就可以衰减至可忽略水平，因此正常运行时被活化的水对人体的危害较小。另外，项目加速器冷却水封闭循环，不外排，不会对周围环境产生影响。

(2) CT模拟定位机

本项目CT模拟定位机主要为曝光过程中机房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，经机械通排风系统最终通往医疗综合楼西侧楼顶（放射性废气排放口位置详见图1-3）排出。

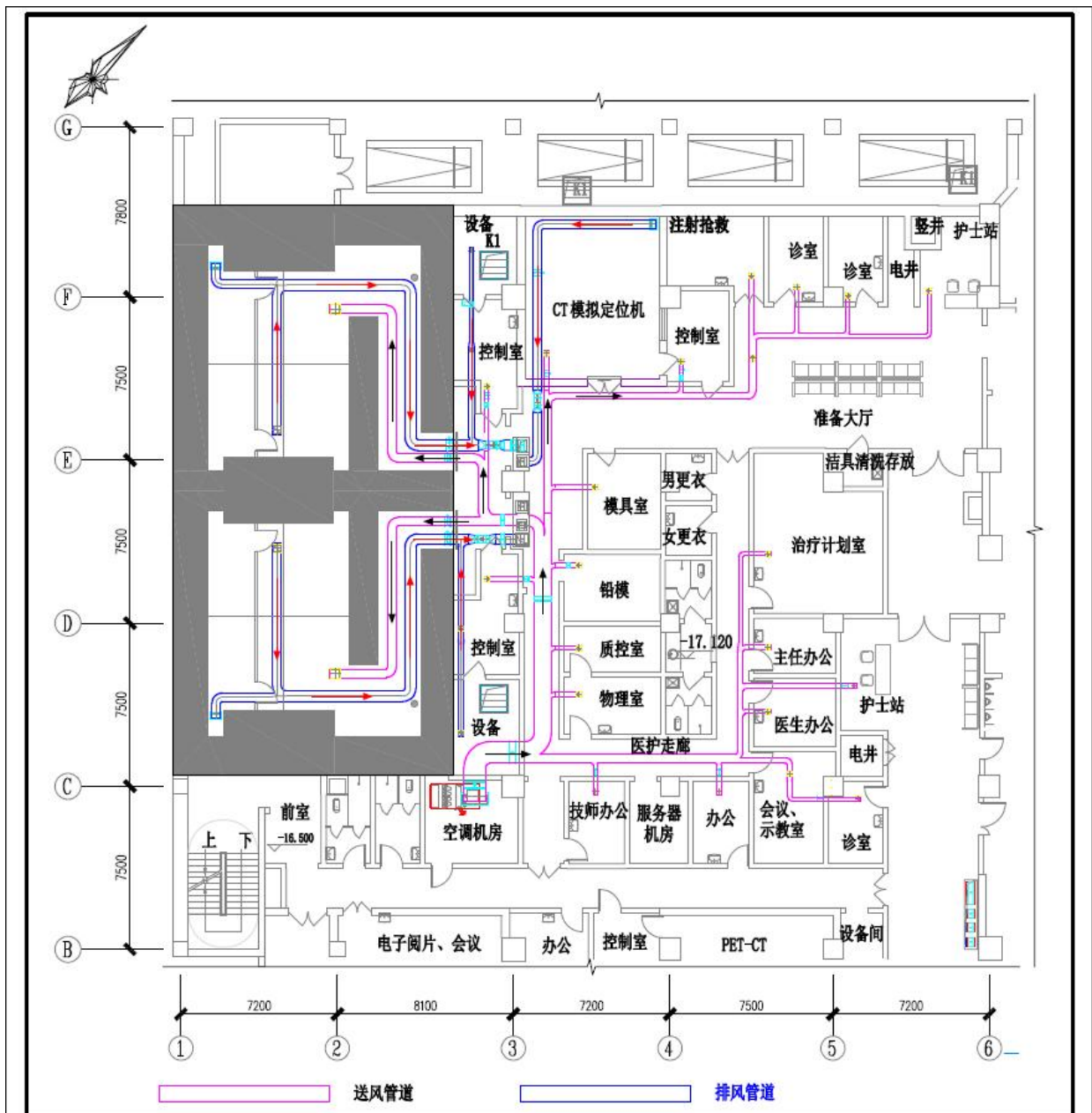


图 10-14 加速器机房排风管道布局图

2、核医学科

(1) 放射性固体废物处置措施

本项目核医学科放射性固体废物主要来源于核医学放射性药物操作过程中污染的注射器、手套、药棉、纱布、吸水纸等；废气处理产生的废活性炭。

① 放射性固体废物

针对核医学科各场所的放射性固体废物，先放置至各相关工作场所的铅防护废物桶内，铅防护废物桶贴上电离辐射警告标志，放置专用塑料袋收纳废物，装满后密封每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天收集时间。在一天工作结束

后，将铅防护废物桶内的固体废弃物转送到核医学科西侧固废室的铅防护废物桶内，分装质控室内产生的放射性固体废物收集后转送至东侧固废室的铅防护废物桶内。对注射器等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)“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”， ^{18}F 的半衰期为 109.8min，故涉及 ^{18}F 的放射性固体废物需暂存超过 30 天，其活度低于《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 中的要求，所有放射性固体废物均经检测合格（即经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）后作为医疗废物统一委托有资质单位处置。

② 废活性炭

本次环评要求活性炭过滤装置应加强维护，建议采用蜂窝状活性炭，活性炭过滤装置的活性炭预计每年更换一次，每次填装量约为 100kg，则废活性炭产生量约为 100kg/a。将更换下来的废活性炭（含放射性核素）采用专用废物袋密封后放至核医学科西侧固废室，并在显著位置标注废物种类、核素种类、活度水平和存放日期等说明。经暂存 30 天后，废物经检测合格（即经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）后作为一般固体废物由厂家回收处置。

本项目拟在核医学工作场所控制区各个房间至少配备 1 个放射性废物桶，各固废室至少配备 5 个放射性废物桶循环使用。按《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 的规定，每袋废物的表面剂量率应不超过 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，质量不超过 20kg。

(2) 废气治理措施

本项目核医学科废气主要为放射性药物 ^{18}F 产生的气溶胶以及机房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物。

本项目地下三层核医学科操作放射性药物场所级别为丙级，分装放射性药物拟采用手套箱，通风系统拟采用机械通风，由多台排风机和相应通风管道组成（排风管道平面图详见图 10-15）。

① 分装质控室、污洗间、固废室、储源室、卫生通过间、冲淋室共用一套排风系统，排风口均设计于各房间顶部，通过集中排风系统从位于核医学科东侧的排风口通往医疗综合楼南侧楼顶（放射性废气排放口位置详见图 1-3）；

② 分装质控室内的手套箱单独设置一套排风系统，在立管上安装电动风阀与手套

箱联动，管道经患者通道，至核医学科东侧的排风口最终通往医疗综合楼南侧楼顶（放射性废气排放口位置详见图 1-3），手套箱及排气口设活性炭过滤器；手套箱排风管道，拟设风机风量为 600m³/h，通风管道尺寸为 400mm×320mm，排风管道的风速估算为： $V = \frac{600}{0.4 \times 0.32} \div 3600 = 1.3 \text{m/s}$ ；

$$V = \frac{600}{0.4 \times 0.32} \div 3600 = 1.3 \text{m/s}$$

③ 污洗间、留观室、病卫、PET/CT 候诊室、VIP 候诊室、运动候诊兼抢救室、PET-CT 机房共设一套排风系统。PET-CT 机房排风口设于机房北墙东侧及西侧距地 0.3m 处，其余房间排风口设于各房间顶部，管道经核医学科东侧的排风口最终通往医疗综合楼南侧楼顶（放射性废气排放口位置详见图 1-3）。

综上，核医学科的通风设置满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。

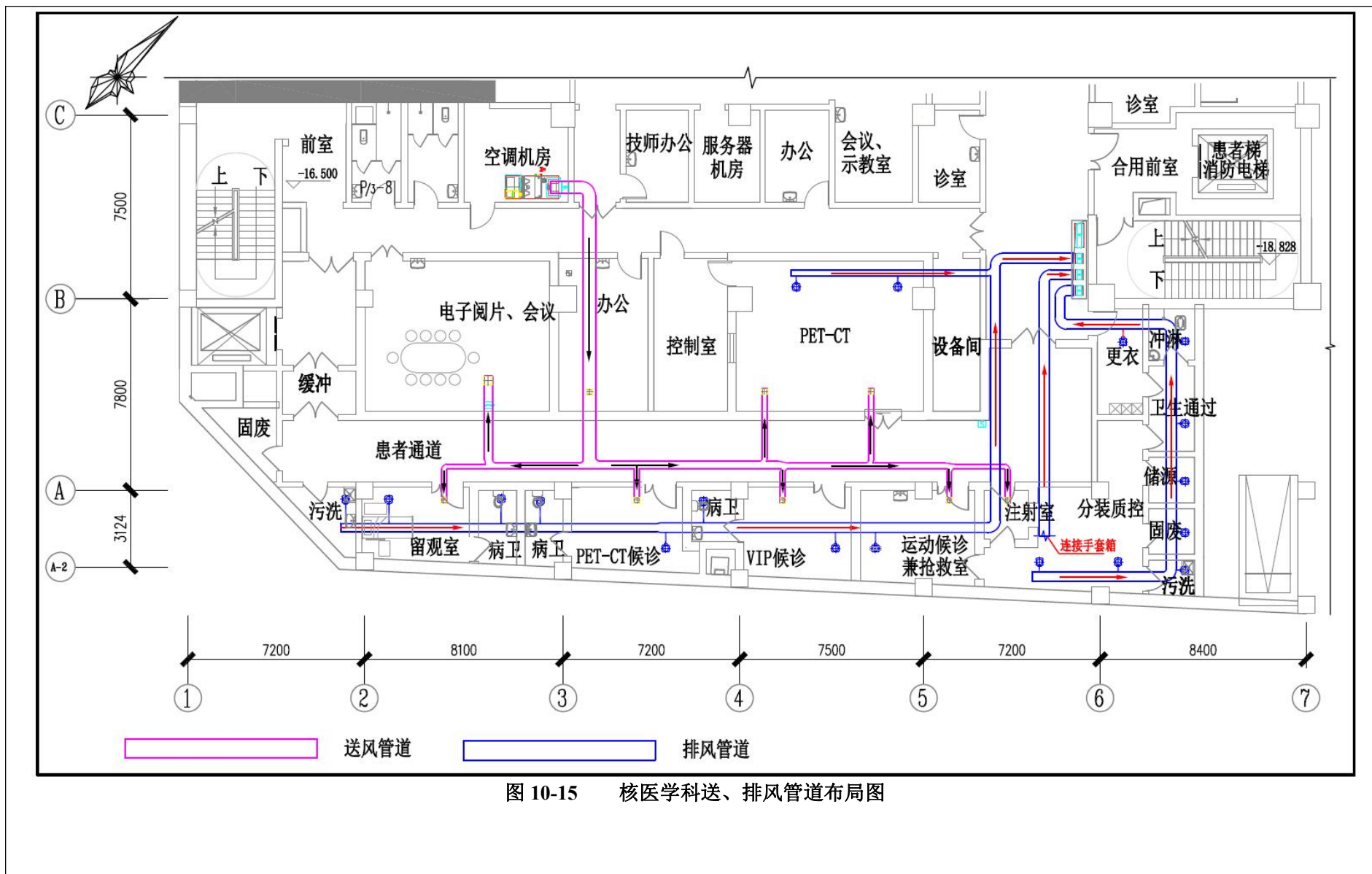


图 10-15 核医学科送、排风管道布局图

(3) 废水治理措施

本项目核医学科拟设置 1 座槽式衰变池，位于地下四层，根据建设单位提供的图纸，衰变池采用 250mm 厚钢筋混凝土浇筑，槽体四面墙体、底板进行防渗漏和耐酸碱处理。衰变池包括 1 个 8.5m³ 污泥池、3 个分别为 8.3m³、8.5m³ 及 8.5m³ 的衰变池和 1 个 8.5m³ 检测池。每个衰变池内均安装液位计，设置溢水口，以防止废液溢出；检测池内安装取水阀；核医学科水龙头拟设置为感应式或脚踏式，对排放含有放射性污水的管道拟采用机制铸铁（含铅）管道，水平横管应敷设在垫层内或专用防辐射吊顶内，立管安装在壁厚不小于 150mm 的混凝土管道井内。放射性废水处理设施平面图及剖面图见图 10-16，排水管道图见图 10-17。

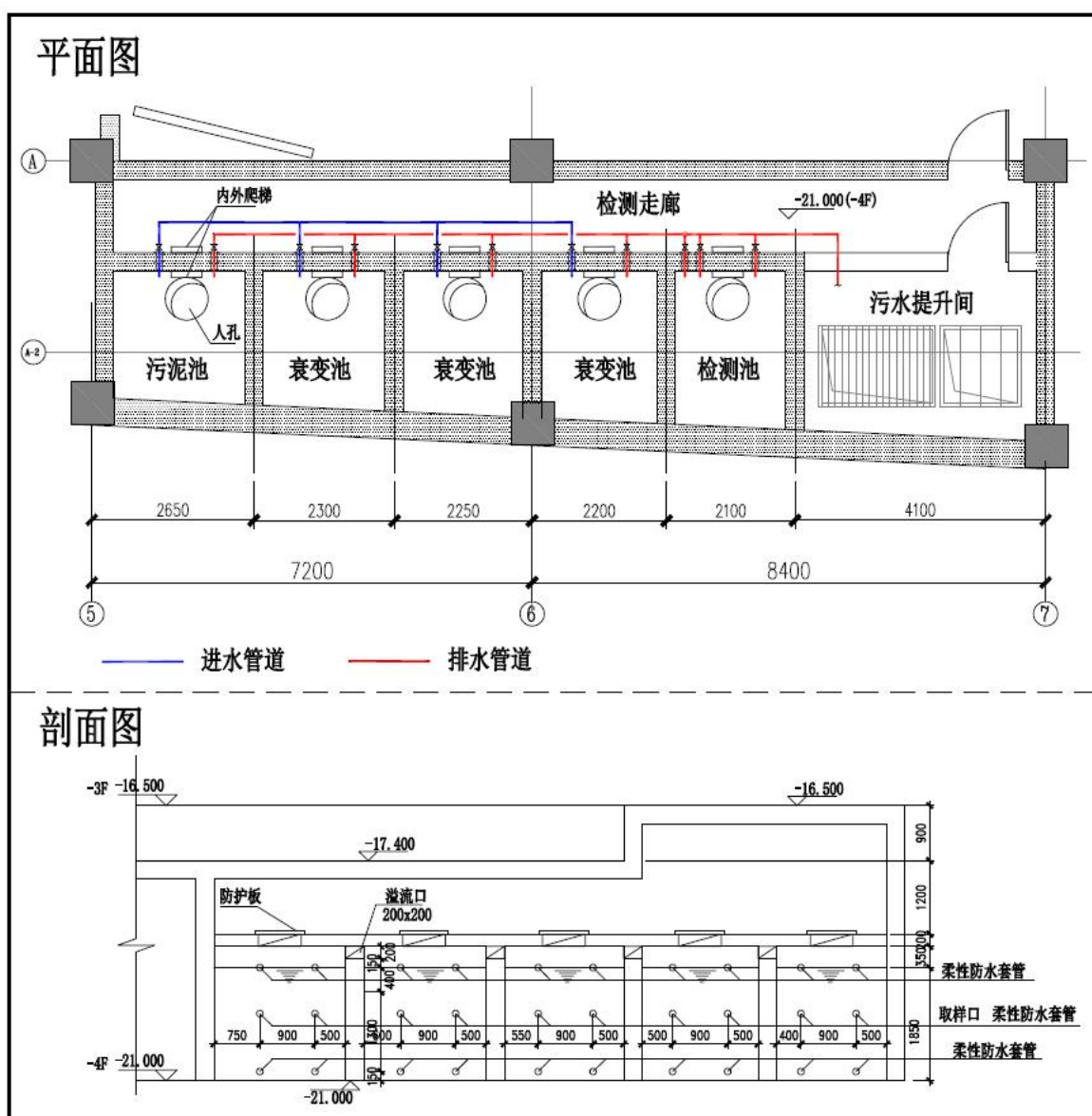
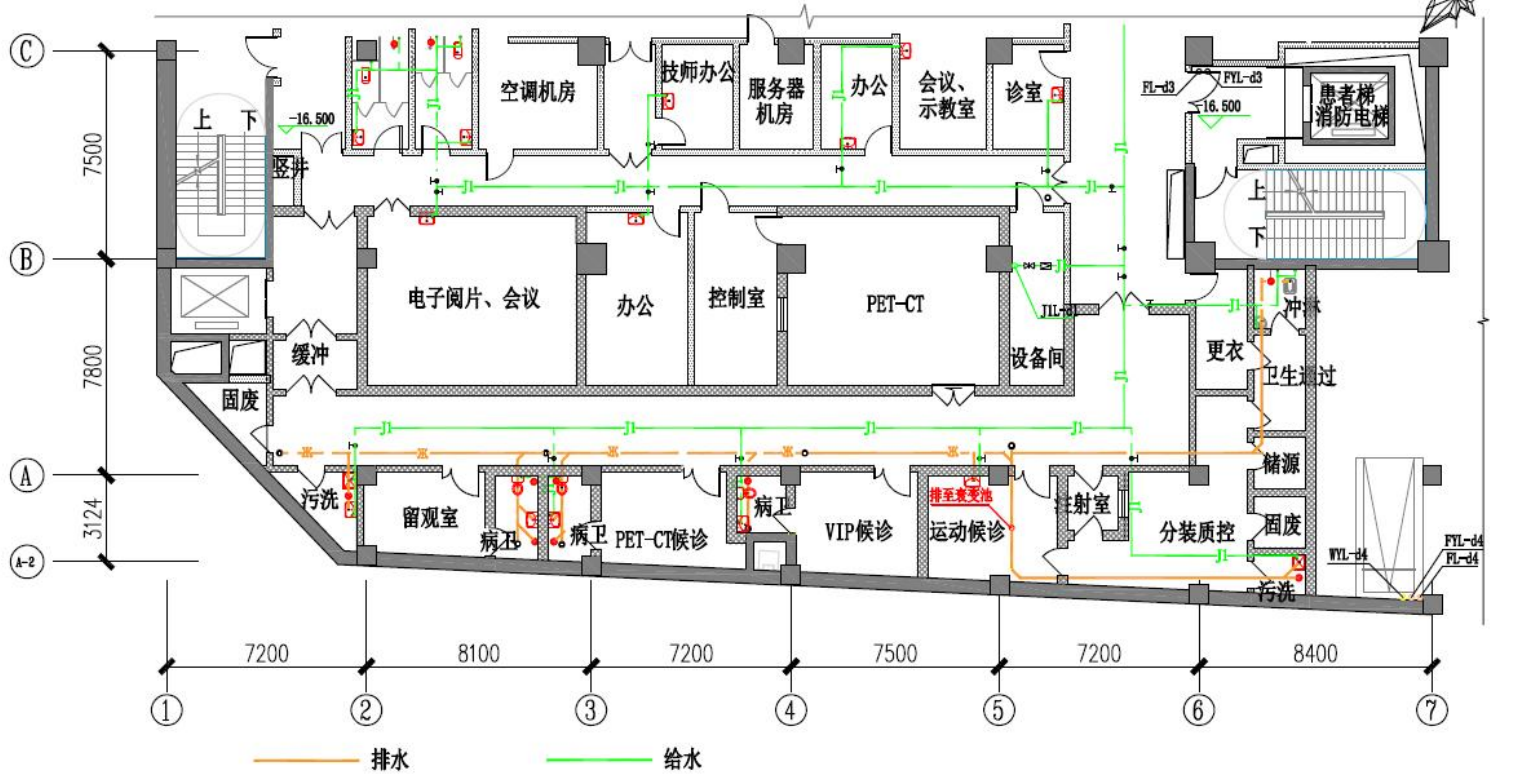


图 10-16 放射性废水处理设施平面图及剖面图

核医学科给排水平面图



放射性废水排水系统



图 10-17 核医学科给排水管道平面及放射性废水排水管道系统图

衰变池运行过程：①放射性废水通过专用管道进入污泥池，待固体污物沉降，到达高液位时，开启 1#衰变池中的电动进水阀，废水通过自流方式进入 1#衰变池，液面降低时自流停止，直至 1#衰变池槽体注满后，1#衰变池中的传感器发出信号，该池中的电动进水阀自动关闭，1#衰变池槽体停止进水。②同时开启 2#衰变池的电动进水阀，当污泥池水位再次到达高水位时，2#衰变池进水，当 2#衰变池注满后，池中的传感器发出信号，电动进水阀自动关闭，2#衰变池槽体停止进水。③同时开启 3#衰变池的电动进水阀，3#衰变池进水，当 3#衰变池注满后，1#衰变池排至检测池取样监测结果满足相应标准要求后，电脑指令自动打开检测池的排水阀并同时打开排污泵启动排水。

3、DSA

(1) 固体废物处置措施

介入手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医疗废物，经专用医疗废物桶收集后送至医疗废物暂存间暂存，统一委托有资质单位处置。

(2) 废气治理措施

本项目 DSA 在曝光过程中会使机房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，经机械通排风系统外排。

表 11 环境影响分析

一、建设阶段对环境的影响

本项目包括放疗科、核医学科、急诊手术部（DSA复合手术室）及手术部（DSA复合手术室），医疗综合楼未完工，目前正在进行土建施工。

1、土建施工阶段

土建施工阶段纳入主体工程环评中，已于2022年10月10日取得西安经济技术开发区管委会行政审批服务局《关于西安凤城医院西安凤城老年病医院项目环境影响报告表的批复》（经开行审环批复〔2022〕066号，见附件），本次评价不再分析项目土建施工阶段的环境影响，仅简要分析项目各科室工作场所后期装修阶段可能引起的环境影响。

项目装修阶段的污染因子主要为装修涂料产生的有机废气、物料扬尘、废水、施工噪声、建筑垃圾等。

(1) 施工期装修使用环保型涂料，料堆采取防尘措施，清扫过程做到先洒水再清扫，固体废物及时清运，运输物料车采取覆盖等防止散落的措施。

(2) 施工现场的固定噪声和移动噪声诸如电钻、切割机等应相对集中，尽量缩小噪声干扰范围，合理安排作业时间，限制夜间进行有强噪声污染的施工作业。

(3) 施工期间的生活污水依托医院的施工营地的生活污水处理设施。

(4) 施工期间的建筑垃圾应在指定的地点堆放，并及时清运；废包装材料和生活垃圾产生量少，分类收集于垃圾桶，由环卫部门统一清运。

(5) 施工期间的生活垃圾依托医院的施工营地的垃圾桶，分类收集，由环卫部门统一清运。

项目施工期短，施工范围小，通过控制作业时间、加强施工现场管理等手段，施工期对周围环境影响较小，且施工期影响是暂时的，随着建设期的结束而消除。

2、设备安装阶段

项目设备安装、调试、检测和维修等均由设备供应商的工作人员负责。在安装前设备供应商对机房进行初步的安装验收，在满足相关条件后再进行设备的安装、调试。在设备安装、调试阶段，医院及设备供应商应加强辐射防护管理，在此过程中应保证机房各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁并派人看守。在设备安装、调试

阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。

二、运行阶段对环境的影响

1、放疗科

本项目拟配置的 2 台医用电子直线加速器均是可以开展 X 射线和电子线两种束流的放射治疗装置。考虑到电子线治疗次数有限，且电子线治疗过程中，电子线与机头、治疗床、人体组织等作用，产生韧致辐射的能量和强度低于电子束撞击钨靶产生的 X 射线强度。如果机房及其防护门能够满足 X 射线治疗时的屏蔽防护，那么定能满足电子线治疗中产生的韧致辐射的防护要求，因此本次评价不再分析电子线的环境影响。

(1) 主屏蔽墙宽度核算

① 核算公式

主屏蔽墙宽度核算公式引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范-第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.2-2007）如下：

$$Y_p=2[(\alpha+SAD)\tan\theta+0.3] \quad (11-1)$$

式中：

Y_p —机房有用射线束主屏蔽墙的宽度，m；

SAD—源轴距，m，项目取 1m；

θ —治疗束的最大张角（相对束中的轴线）。项目拟配置的加速器治疗最大照射野为 40cm×40cm，结合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中 6.3.2 表 2，当治疗野对角线垂直于治疗机架旋转平面（即准直器角为 45°）时，治疗束可达到最大张角（28°）。项目 θ 值取 14°。

α —等中心点至“墙”的距离，m；当主屏蔽墙向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽墙向机房外凸时，“墙”指主屏蔽墙（或顶）的外表面。

② 核算结果

按照公式 11-1，项目加速器机房等中心点至“墙”的距离、相关屏蔽墙的设计宽度情况见图 1-4，主屏蔽墙的宽度核算结果见表 11-1。

表 11-1 加速器机房主屏蔽墙的宽度核算结果一览表 单位: m

主屏蔽墙位置		主屏蔽墙类型	等中心点至“墙”的距离	核算宽度	设计宽度	评价及建议
医用电子直线加速器 1	机房北侧主屏蔽墙	内凸	4.3 ^①	3.2	5.1	符合
	机房南侧主屏蔽墙	外凸	7.3	4.7	5.1	符合
医用电子直线加速器 2	机房南侧主屏蔽墙	内凸	4.3	3.2	5.1	符合
	机房北侧主屏蔽墙	外凸	7.3	4.7	5.1	符合

注: ① 当主屏蔽区向机房内凸时, “墙”指与主屏蔽相连接的次屏蔽墙(或顶)的内表面; 当主屏蔽区向机房外凸时, “墙”指主屏蔽区墙(或顶)的外表面。

根据表 11-1 可知, 本项目医用电子直线加速器机房主屏蔽墙内凸部分的设计宽度均能满足有用射线束屏蔽宽度要求。

(2) X 射线辐射影响分析

① 关注点的选取

关注点的选取主要考虑可能对放射工作人员或公众产生影响的区域, 项目医用电子直线加速器机房设在医疗综合楼地下三层放疗科, 机房正下方为封闭的无用空间、正上方为封闭的无用空间, 人员均无法到达, 故上述位置不设关注点。

② 关注点的导出剂量率参考控制水平

a. 估算公式

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011) 附录 A.2, 单一有用线束在关注点的导出剂量率控制水平按公式 11-2 计算。

$$H_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (11-2)$$

式中:

H_c —周参考剂量控制水平, $\mu\text{Sv}/\text{周}$;

t —治疗装置周治疗照射时间, h ;

U —有用线束向关注位置的方向照射的使用因子;

T —人员在相应关注点驻留的居留因子, 居留因子取值参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范-第 1 部分: 一般原则》(GBZ/T201.2-2007) 附录 A 表 A.1。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011) 附录 A.2, 单一泄漏辐射在关注点的导出剂量率控制水平按公式 11-3 计算。

$$H_{c,d}=H_c/(t \cdot N \cdot T) \quad (11-3)$$

式中：

T 和 H_c同公式 11-2；

N—调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常 N=5；

t—治疗装置周治疗照射时间，h；

本次评价根据医院提供资料，参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 A.1，平均每人每野次治疗剂量 1.5Gy，平均每人治疗照射 3 野次，项目投入使用后预计每天每台加速器最多治疗患者为 60 人，每周工作时间为 5 天，每台加速器周工作负荷 W=60×5×1.5×3=1350Gy/周，项目加速器（10MV）等中心处常用的最高剂量率 D₀为 24Gy/min，依照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 A 中式 A.1，则每台加速器周治疗照射时间 t=W/D₀=1350/24=56.25min=0.94h。本次估算保守按照使用调强治疗时，加速器（10MV）周治疗照射时间均为 0.94×5=4.7h。

b. 估算结果

根据公式 11-2 和公式 11-3，关注点剂量率参考控制水平详见表 11-2。

表 1-2 关注点剂量率参考控制水平一览表

关注点点位	射线类型	使用因子 U	调强因子 N	居留因子	周参考剂量控制水平 H _c (μSv/周)	导出剂量率参考控制水平 (μSv/h) ^①	关注点最高剂量率参考控制水平 H _{c,max} (μSv/h) ^②	剂量率参考控制水平 (μSv/h) ^③
医用电子直线加速器 1								
南侧屏蔽墙外 30cm 处 a	有用线束	1/4	/	1/2	100	170.2	10	10
北侧屏蔽墙外 30cm 处 b	有用线束	1/4	/	1/40	5	170.2	10	10
东侧屏蔽墙外 30cm 处 f	泄漏	/	5	1	100	4.3	2.5	2.5
南侧屏蔽墙外 30cm 处 c ₁ /c ₂	泄漏	/	5	1/2	100	8.5	10	8.5
与机房北侧主屏蔽墙相连的次屏蔽 30cm d ₁ /d ₂	泄漏	/	5	1/40	5/2	4.3	10	4.3
	散射	/	1	1/40	5/2	21.3	10	
迷路外墙 k	泄漏	/	5	1/8	5	1.7	10	1.7
防护门外 30cm 处 g	泄漏	/	5	1/5	5/2	0.5	10	0.5
	散射	/	1	1/5	5/2	2.7	10	

医用电子直线加速器 2								
北侧屏蔽墙外 30cm 处 a'	有用线束	1/4	/	1/2	100	170.2	10	10
南侧屏蔽墙外 30cm 处 b'	有用线束	1/4	/	1/20	5	170.2	10	10
东侧屏蔽墙外 30cm 处 f'	泄漏	/	5	1	100	4.3	2.5	2.5
北侧屏蔽墙外 30cm 处 c ₁ '/c ₂ '	泄漏	/	5	1/2	100	8.5	10	8.5
与机房南侧主屏蔽墙相连的次屏蔽 30cm d ₁ '/d ₂ '	泄漏	/	5	1/20	5/2	2.1	10	2.1
	散射	/	1	1/20	5/2	10.3	10	
迷路外墙 k'	泄漏	/	5	1/8	5	1.7	10	1.7
防护门外 30cm 处 g'	泄漏	/	5	1/5	5/2	0.5	10	0.5
	散射	/	1	1/5	5/2	2.7	10	

注：①导出剂量率参考控制水平按照公式 11-2 和 11-3 计算得出；
 ②关注点最高剂量率参考控制水平取值参照 GBZ/T201.2-2011 中“治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量率”；
 ③项目各关注点的剂量率参考控制水平按 GBZ/T201.2-2011 和 GBZ126-2011 从严取值

c. 机房屏蔽墙体周围剂量当量率估算

项目医用电子直线加速器机房屏蔽墙体关注点见图 11-1、图 11-2。

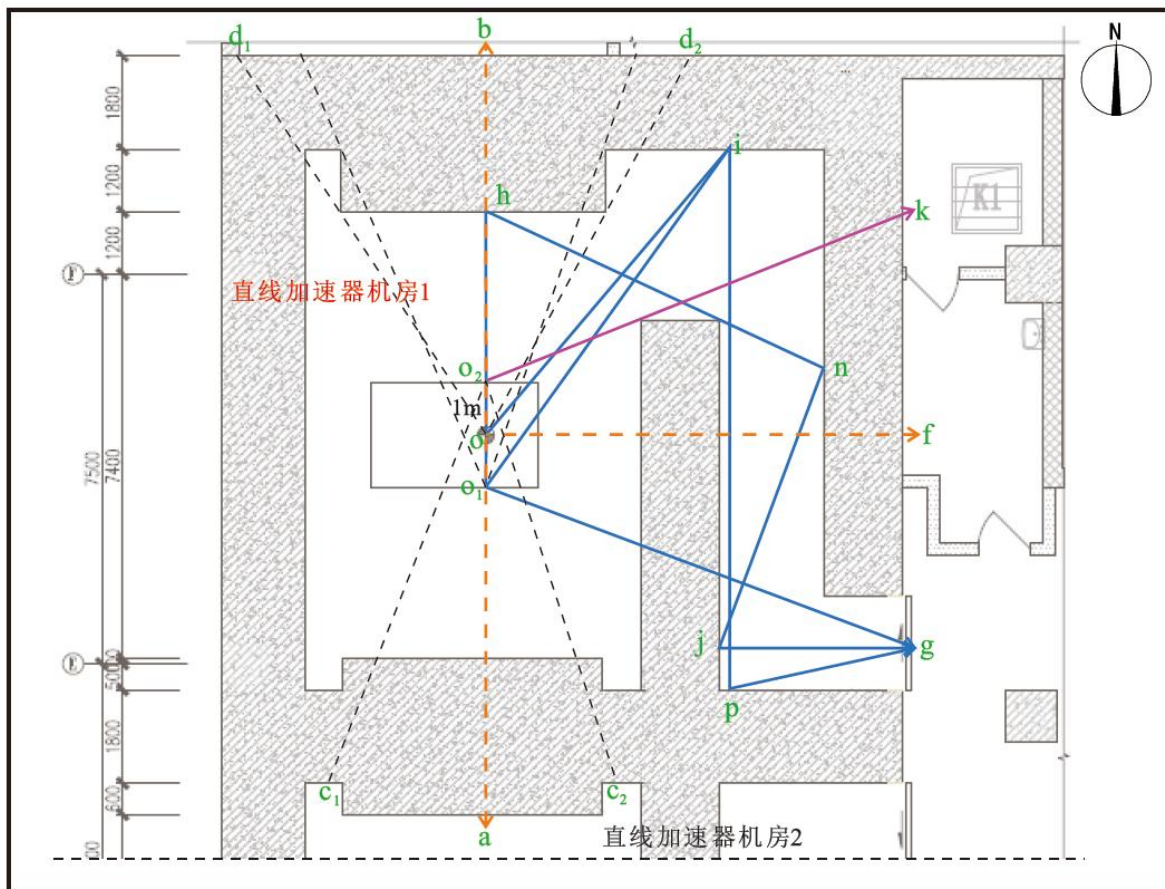


图 11-1 医用电子直线加速器 1 机房关注点设定示意图

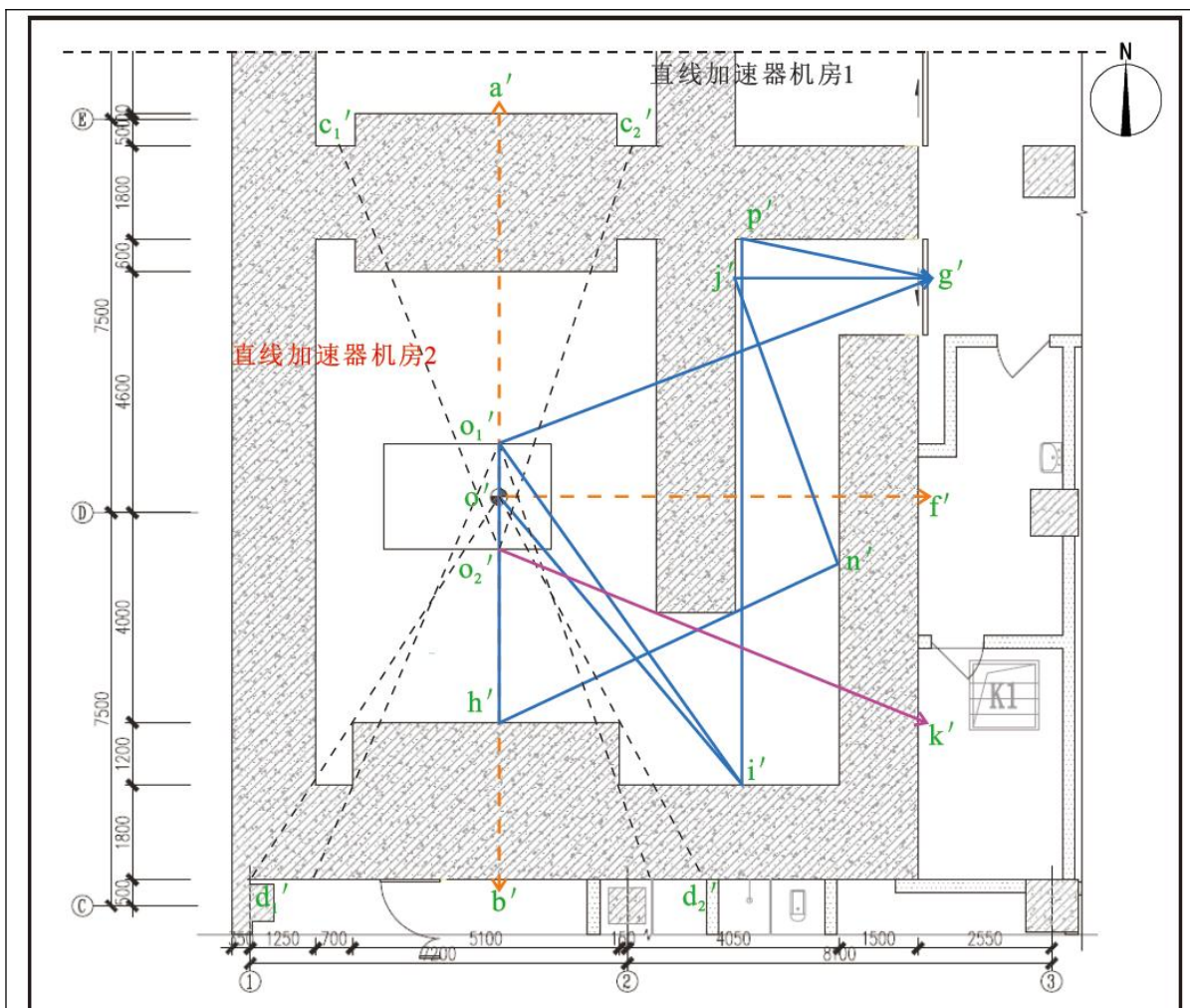


图 11-2 医用电子直线加速器 2 机房关注点设定示意图

I 估算方式

根据医用电子直线加速器设备参数可知，最大 X 射线能量 10MV，等中心最大输出剂量率 2400cGy/min，因此本次分别按照不同工作情况进行分析、核算。

1) 有效屏蔽厚度

当 X 射线束以 θ 角斜射入厚度为 X (cm) 的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 X_e (cm) 见公式 11-4。引自《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)。

$$X_e = X \cdot \sec\theta \quad (11-4)$$

式中：

θ —入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

2) 屏蔽透射因子

对于给定的屏蔽物质的厚度 X (cm)，按式 (11-4) 计算有效屏蔽厚度 X_e ，相应的辐射屏蔽透射因子 B 见公式 (11-5)。引自《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）。

$$B=10^{-(Xe+TVL-TV L_1)/TVL} \quad (11-5)$$

式中：

TVL₁—辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度；

TVL—平衡什值层。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）表 B.1 和 B.4，辐射在混凝土中的什值层见表 11-3。

表 11-3 不同能量的射线在混凝土中的什值层

X 射线能量 /MV	有用束		90°泄漏辐射		30°散射辐射	
	TVL ₁ /cm	TVL/cm	TVL ₁ /cm	TVL/cm	TVL ₁ /cm	TVL/cm
10	41	37	35	31	28	28

3) 有用线束和泄漏辐射的剂量估算

在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按式（11-4）计算有效厚度 Xe（cm），按式（11-5）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按公式（11-6）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} （ $\mu\text{Sv/h}$ ）。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-6)$$

式中：

\dot{H}_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 的最高剂量率，项目 10MV 时取 $24 \times 6 \times 10^7 = 1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

R—辐射源点至关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子；

f—对有用束为 1，对 90°泄漏辐射为 1.0×10^{-3} 。

4) 患者一次散射辐射的剂量估算

在给定屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按式 11-4 计算有效厚度 Xe（cm），再按式 11-5 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按公式 11-7（引自《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）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} （ $\mu\text{Sv/h}$ ）。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad (11-7)$$

式中：

\dot{H}_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的最高剂量率，

项目 10MV 时取 $24 \times 6 \times 10^7 = 1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子；

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例；与 X 射线的 MV 值及散射角有关，10kV 下散射角 30° 时， $\alpha_{\text{ph}} = 3.18 \times 10^{-3}$ 。

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 。项目治疗最大照射野为 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ ，则 F 取值 1600cm^2 。

II 估算结果

项目加速器最大 X 射线能量 10MV，等中心最大输出剂量率 $2400\text{cGy}/\text{min}$ ，机房屏蔽墙体周围剂量当量率估算结果详见表 11-4、表 11-5。

表 11-4 项目加速器机房 1 屏蔽墙体周围剂量当量率估算结果一览表

位置	路径	屏蔽厚度 (mm)	辐射源点/等中心点至关注点的距离 (m)	什值层	θ	f	α_{ph}	有效屏蔽厚度 (mm)	屏蔽透射因子 B	关注点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	关注点参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	达标判定
南侧屏蔽墙外 30cm 处 a	O-a	3000	7.6	$\text{TVL}_1=41\text{cm}$ $\text{TVL}=37\text{cm}$	0°	1	/	3000	1.0×10^{-8}	0.25	10	达标
北侧屏蔽墙外 30cm 处 b	O-b	3000	7.6	$\text{TVL}_1=41\text{cm}$ $\text{TVL}=37\text{cm}$	0°	1	/	3000	1.0×10^{-8}	0.25	10	达标
东侧屏蔽墙外 30cm 处 f	O-f	3000	8.3	$\text{TVL}_1=35\text{cm}$ $\text{TVL}=31\text{cm}$	0°	1.0×10^{-3}	/	3000	2.63×10^{-10}	5.91×10^{-6}	2.5	达标
南侧屏蔽墙外 30cm 处 c_1/c_2	O_2-c_1/c_2	2400	8.4	$\text{TVL}_1=35\text{cm}$ $\text{TVL}=31\text{cm}$	16°	1.0×10^{-3}	/	2497	1.10×10^{-8}	2.43×10^{-4}	8.5	达标
与机房北侧主屏蔽墙相连的次屏蔽 30cm 处 d_1/d_2	泄漏 O- d_1/d_2	1800	8.6	$\text{TVL}_1=35\text{cm}$ $\text{TVL}=31\text{cm}$	28°	1.0×10^{-3}	/	2039	3.32×10^{-7}	6.95×10^{-3}	4.3	达标
	散射 O_1-O-d_1/d_2		9.6	$\text{TVL}_1=28\text{cm}$ $\text{TVL}=28\text{cm}$	28°	/	3.18×10^{-3}	2039	5.24×10^{-8}	1.04×10^{-2}		
迷路外墙 k	O_2-k	1500	8.9	$\text{TVL}_1=35\text{cm}$ $\text{TVL}=31\text{cm}$	22°	1.0×10^{-3}	/	1618	7.55×10^{-6}	0.15	1.7	达标

备注：①医用电子直线加速器机房西侧为土层；正下方为封闭的无用空间，无用空间下方为土层；正上方为封闭的无用空间，无用空间上方为消防水池，人员均无法到达；
②关注点参考控制水平按照 GBZ126-2011、GBZT201.2-2011、GBZT201.1-2007 从严执行；
③根据 GBZT201.2-2011 中 D.1.2.5，估算次屏蔽厚度时，使用 $\theta=30^\circ$ 是核算的实际散射角的保守值。

根据表 11-4 可知，在正常或调强放射治疗情况下，机房 1 各关注点的周围剂量当量率均在参考控制水平以内，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 相关要求。

表 11-5 项目加速器机房 2 屏蔽墙体周围剂量当量率估算结果一览表

位置	路径	屏蔽厚度 (mm)	辐射源点/等中心点至关注点的距离 (m)	什值层	θ	f	α_{ph}	有效屏蔽厚度 (mm)	屏蔽透射因子 B	关注点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	关注点参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	达标判定	
南侧屏蔽墙外 30cm 处 a	O-a'	3000	7.6	$\text{TVL}_1=41\text{cm}$ $\text{TVL}=37\text{cm}$	0°	1	/	3000	1.0×10^{-8}	0.25	10	达标	
北侧屏蔽墙外 30cm 处 b	O-b'	3000	7.6	$\text{TVL}_1=41\text{cm}$ $\text{TVL}=37\text{cm}$	0°	1	/	3000	1.0×10^{-8}	0.25	10	达标	
东侧屏蔽墙外 30cm 处 f	O-f'	3000	8.3	$\text{TVL}_1=35\text{cm}$ $\text{TVL}=31\text{cm}$	0°	1.0×10^{-3}	/	3000	2.63×10^{-10}	5.91×10^{-6}	2.5	达标	
南侧屏蔽墙外 30cm 处 c_1/c_2	$O_2'-c_1'/c_2'$	2400	8.4	$\text{TVL}_1=35\text{cm}$ $\text{TVL}=31\text{cm}$	16°	1.0×10^{-3}	/	2497	1.10×10^{-8}	2.43×10^{-4}	8.5	达标	
与机房北侧主屏蔽墙相连的次屏蔽 30cm 处 d_1/d_2	泄漏 O'- d_1'/d_2'	1800	8.6	$\text{TVL}_1=35\text{cm}$ $\text{TVL}=31\text{cm}$	28°	1.0×10^{-3}	/	2039	3.32×10^{-7}	6.95×10^{-3}	1.74 $\times 10^{-2}$	2.1	达标
	散射 O ₁ '-O'- d_1'/d_2'		9.6	$\text{TVL}_1=28\text{cm}$ $\text{TVL}=28\text{cm}$	28°	/	3.18×10^{-3}	2039	5.24×10^{-8}	1.04×10^{-2}			
迷路外墙 k	$O_2'-k'$	1500	8.9	$\text{TVL}_1=35\text{cm}$ $\text{TVL}=31\text{cm}$	22°	1.0×10^{-3}	/	1618	7.55×10^{-6}	0.15	1.7	达标	

备注：①医用电子直线加速器机房西侧为土层；正下方为封闭的无用空间，无用空间下方为土层；正上方为封闭的无用空间，无用空间上方为消防水池，人员均无法到达；
 ②关注点参考控制水平按照 GBZ126-2011、GBZT201.2-2011、GBZT201.1-2007 从严执行；
 ③根据 GBZT201.2-2011 中 D.1.2.5，估算次屏蔽厚度时，使用 $\theta=30^\circ$ 是核算的实际散射角的保守值。

根据表 11-5 可知，在正常或调强放射治疗情况下，机房 2 各关注点的周围剂量当量率均在参考控制水平以内，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 相关要求。

d. 机房迷路入口估算

本次机房迷路入口剂量估算根据加速器最大 X 射线能量 10MV，等中心最大输出剂量率 2400cGy/min 情况核算，路径见图 11-1 及图 11-2。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）第 4.3.2.5.1，有用线束不向迷路内墙照射时，迷路入口处的辐射剂量考虑如下：

I 人体受有用线束照射时，散射至 i 点的辐射并再次受墙的散射至 g 处的辐射，散射路径为“o₁-o-i-p-g”，按式 11-8 计算；

II 至 i 点的泄漏辐射受墙散射至 g 处的辐射，散射路径为“o₁-i-p-g”，按式 11-9 计算；

III 有用线束穿出人体达到位置 h，受主屏蔽墙的散射至 n 处迷路外墙再次散射，到达 g 处的辐射。散射路径为“o₁-h-n-j-g”。

在估算 g 处的累积剂量时，以加速器向 b 方向水平照射并取使用因子 U=1 时的 I 项为以上三项之和的近似估计。散射路径为“o₁-o-i-p-g”。

在估算 g 处的辐射剂量率时，以加速器向 b 方向水平照射时 I 项人体散射辐射作为以上三项之和的近似估计，通常可忽略 II、III 二项。散射路径为“o₁-o-i-p-g”。

患者散射至 i 点再受墙散射至 g 处（o₁-o-i-p-g）

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{pi} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_3^2} \cdot \dot{H}_0 \quad (11-8)$$

式中：

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

α_{ph} —患者 400cm²面积上的散射因子，本项目取 45°散射角，为 1.35×10⁻³；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²。项目治疗最大照射野为 40cm×40cm，则 F 取值 1600cm²。

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射（能量见附录 B 表 B.3）的散射因子，通常取 i 处的入射角为 45°，散射角为 0°， α_2 值见附录 B 表 B.6.通常使用其 0.5MeV 栏内的值；，本项目取 22.0×10⁻³；

A—散射面积，m²；

R₁—“O-i”之间的距离；

R₂—“i-p”之间的距离；

R_3 —“p-g”之间的距离；

\dot{H}_0 —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率，项目 10MV 时取 $24 \times 6 \times 10^7 = 1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ 。

经计算，患者散射至 g 处的辐射剂量率为 $\dot{H}_g = 9.14 \mu\text{Sv/h}$ 。

IV g 处也需核算泄漏辐射（以位置 o_2 为中心）在 g 处的剂量。路径“ O_2 -g”，按式 11-6 计算。辐射源点至 g 点的距离为 8.7m，经计算，泄漏经迷路内墙屏蔽后对 g 点的贡献值为 $\dot{H}_{og} = 0.17 \mu\text{Sv/h}$ 。

g 点处的散射辐射能量约为 0.2MeV，防护门需要的屏蔽透射因子 B 按式 11-9 计算：

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot \dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \quad (11-9)$$

式中的 \dot{H}_{og} 为 o_2 位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在 g 处的剂量率，使用式 (11-9) 估算的 B 值，按式 11-10 估算防护门的铅屏蔽厚度。

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (11-10)$$

估算中， $TVL_1 = TVL$ ，取值为 0.5cm，防护门需要的屏蔽透射因子 $B = 3.63 \times 10^{-2}$ ，铅的有效屏蔽厚度 $X_e = 0.720 \text{cm} = 7.20 \text{mm}$ ，机房防护铅门实际设计值为 9mm 铅当量，故满足屏蔽要求。

在给定防护门的铅屏蔽厚度 X (cm) 时，防护门外的辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) 按式 11-11 计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-\left(\frac{X}{TVL}\right)} + \dot{H}_{og} \quad (11-11)$$

经计算，防护门外的辐射剂量率为 $0.31 \mu\text{Sv/h}$ 。

根据医院提供的设计资料及图 11-1 及图 11-2，机房 2 与机房 1 平面设计相互对称，且散射路径长度相同，故机房 1 和机房 2 防护门外的辐射剂量率均为 $0.31 \mu\text{Sv/h}$ ，均在参考控制水平以内，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相关要求。

(3) CT 模拟定位机

加速器在患者治疗前需借助 CT 模拟定位机确定肿瘤的位置和范围，该设备属于 III 类射线装置，主要环境影响为 CT 部分运行期间产生的 X 射线。

本次 CT 模拟定位机最大管电压为 140kV，最大管电流为 800mA。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中表 E.2，75%位数下，焦点处的剂量率最大为

60mGy（扫描时间 2s），本次评价保守按照 CT 扫描时，焦点处的最大剂量率为 1800mGy/min 考虑。关注点位置见图 11-3。

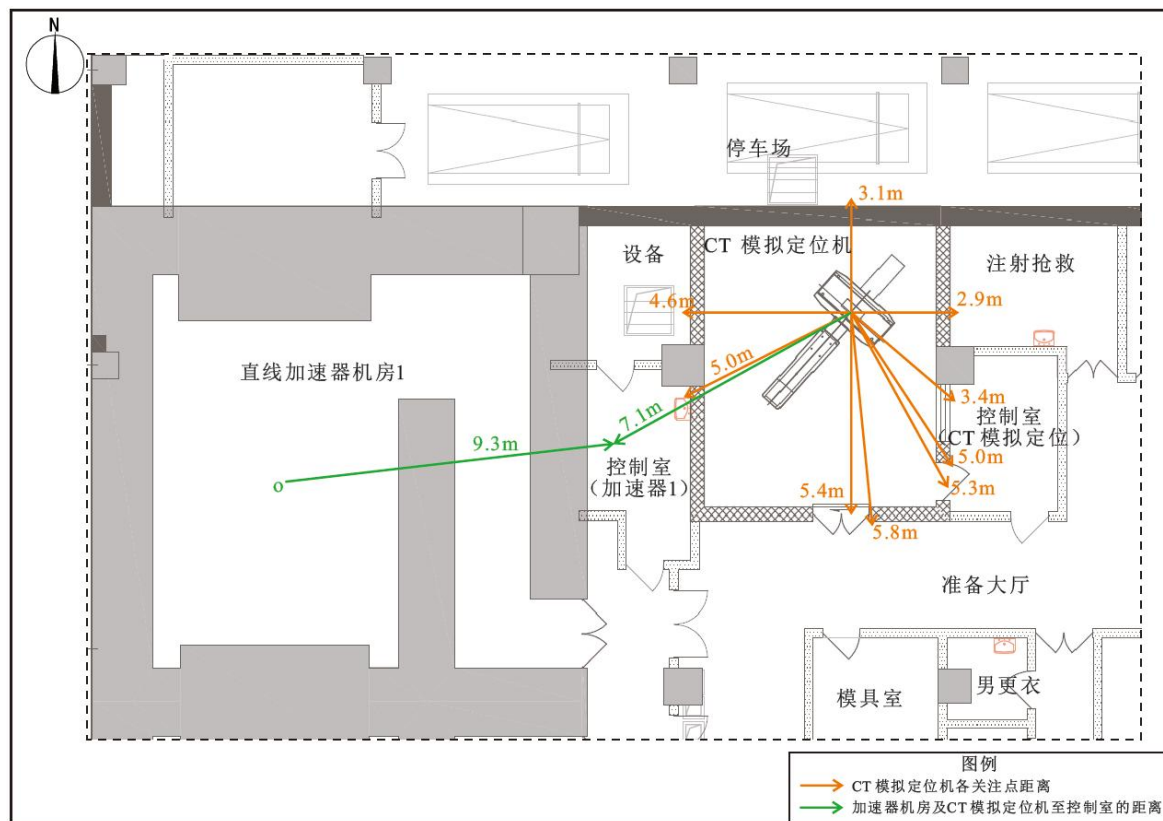


图11-3 放疗科CT模拟定位机房关注点位置

a. 泄漏辐射剂量估算

泄漏辐射剂量率计算公式参考《辐射防护导论》P115 公式 3.61。对于给定的屏蔽物质，屏蔽透射因子依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 计算，具体公式见公式（11-13）、公式（11-14）。

$$H_L = \frac{H_0 \times B}{R^2} \quad (11-12)$$

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (11-13)$$

式中： H_L —关注点漏射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

H_0 —泄漏辐射距焦点 1m 处的平均空气比释动能率；

R —计算点距源点的距离，m；

B —透射因子；

X —铅厚度，mm；

公式中 H_0 按照泄漏率为 0.1% 进行估算，故本次取 $1.08 \times 10^5 \mu\text{Gy/h}$ 。

α 、 β 、 γ 为铅对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见表 11-6。

表 11-6 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	材料	参数		
		α	β	γ
140kV (CT)	铅	2.009	3.990	0.3420

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

CT 模拟定位机房各关注点的泄漏辐射剂量率估算结果如下：

表 11-7 CT 模拟定位机房各关注点泄漏辐射剂量率估算

关注点位置描述		H_0	R	X	α	β	γ	透射因子 B	泄漏辐射剂量率
单位		$\mu\text{Gy/h}$	m	mm	/	/	/	/	$\mu\text{Gy/h}$
东侧	注射抢救	1.08×10^5	2.9	3.7	2.009	3.990	0.3420	2.82×10^{-5}	0.36
	观察窗	1.08×10^5	3.4	4.0	2.009	3.990	0.3420	1.50×10^{-5}	0.14
	控制室	1.08×10^5	5	3.7	2.009	3.990	0.3420	2.82×10^{-5}	0.12
	工作人员防护门	1.08×10^5	5.3	3.0	2.009	3.990	0.3420	1.28×10^{-4}	0.49
南侧	患者防护门	1.08×10^5	5.4	4.0	2.009	3.990	0.3420	1.28×10^{-4}	5.56×10^{-2}
	准备大厅	1.08×10^5	5.8	3.7	2.009	3.990	0.3420	2.82×10^{-5}	9.07×10^{-2}
西侧	控制室 (加速器 1)	1.08×10^5	5	3.7	2.009	3.990	0.3420	2.82×10^{-5}	0.12
	设备间	1.08×10^5	4.6	3.7	2.009	3.990	0.3420	2.82×10^{-5}	0.14
北侧	停车场	1.08×10^5	3.1	6.8	2.009	3.990	0.3420	4.85×10^{-8}	5.45×10^{-4}
楼下	楼下距地面 1.7m 处 (停车场)	1.08×10^5	3	3.7	2.009	3.990	0.3420	2.82×10^{-5}	0.34
楼上	楼上距地面 0.3m 处 (停车场)	1.08×10^5	3.6	3.2	2.009	3.990	0.3420	8.24×10^{-5}	0.69

b. 散射辐射剂量估算

关注点散射剂量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册——辐射源与屏蔽》([M]北京：原子能出版社，1987) P437。

$$H_S = \frac{H_0 \times \alpha \times B \times (S/400)}{(d_0 \times d_s)^2} \quad (11-14)$$

式中： H_S —关注点处的患者散射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

H_0/d_0^2 —焦点处的最大剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

α —患者对 X 射线的散射比，取 0.0015 (90° 散射，相对于 400cm² 散射面积)，取自《辐射防护手册第一分册》P437 表 10.1；

S—散射面积，取典型值 400cm²；

d_s —患者与关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子，按式 11-13 计算。

CT 模拟定位机房各关注点的散射辐射剂量率估算结果如下：

表 11-8 CT 模拟定位机房各关注点散射辐射剂量率估算

关注点位置描述		H ₀	α	透射因子 B	S	d _s	散射辐射剂量率
单位		μGy/h	/	/	cm ²	m	μGy/h
东侧	注射抢救	1.08×10 ⁸	0.0015	2.82×10 ⁻⁵	400	2.9	0.54
	观察窗	1.08×10 ⁸	0.0015	1.50×10 ⁻⁵	400	3.4	0.21
	控制室	1.08×10 ⁸	0.0015	2.82×10 ⁻⁵	400	5	0.18
	工作人员防护门	1.08×10 ⁸	0.0015	1.28×10 ⁻⁴	400	5.3	0.74
南侧	患者防护门	1.08×10 ⁸	0.0015	1.28×10 ⁻⁴	400	5.4	8.33×10 ⁻²
	准备大厅	1.08×10 ⁸	0.0015	2.82×10 ⁻⁵	400	5.8	0.14
西侧	控制室（加速器 1）	1.08×10 ⁸	0.0015	2.82×10 ⁻⁵	400	5	0.18
	设备间	1.08×10 ⁸	0.0015	2.82×10 ⁻⁵	400	4.6	0.22
北侧	停车场	1.08×10 ⁸	0.0015	4.85×10 ⁻⁸	400	3.1	8.18×10 ⁻⁴
楼下	楼下距地面 1.7m 处（停车场）	1.08×10 ⁸	0.0015	2.82×10 ⁻⁵	400	3.0	0.51
楼上	楼上距地面 0.3m 处（停车场）	1.08×10 ⁸	0.0015	8.24×10 ⁻⁵	400	3.6	1.03

III 泄漏+散射剂量率估算

CT 模拟定位机房外各关注点的泄漏辐射与散射辐射剂量率叠加估算结果如下：

表 11-9 CT 模拟定位机房外各关注点辐射剂量率计算结果

关注点位置描述		泄漏辐射剂量率 H _L	散射辐射剂量率 H _S	总有效剂量率 H _R
单位		μGy/h	μGy/h	μGy/h
东侧	注射抢救	0.36	0.54	0.91
	观察窗	0.14	0.21	0.35
	控制室	0.12	0.18	0.31
	工作人员防护门	0.49	0.74	1.23
南侧	患者防护门	5.56×10 ⁻²	8.33×10 ⁻²	0.14
	准备大厅	9.07×10 ⁻²	0.14	0.23
西侧	控制室（加速器 1）	0.12	0.18	0.31
	设备间	0.14	0.22	0.36
北侧	停车场	5.45×10 ⁻⁴	8.18×10 ⁻⁴	1.36×10 ⁻³
楼下	楼下距地面 1.7m 处（停车场）	0.34	0.51	0.85
楼上	楼上距地面 0.3m 处（停车场）	0.69	1.03	1.72

由上表可知，患者在使用 CT 模拟定位机过程中各关注点周围剂量当量率范围为 1.36×10⁻³~1.39μGy/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h”的相关要求。

考虑到直线加速器机房 1 的控制室也会受到 CT 模拟定位机的影响，会对直线加速器机房 1 控制室的工作人员产生辐射的叠加影响。

表 11-10 直线加速器机房 1 控制室辐射剂量率叠加计算结果

关注点位置描述	辐射源点/等中心点至关注点的距离 (m)	关注点辐射剂量率 (μSv/h)	执行标准	标准限值	叠加后关注点辐射剂量率 (μSv/h)	叠加后标准限值 (μSv/h)	是否达标
控制室 (加速器 1, 受加速器影响)	8.3	5.91×10^{-6}	《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)	2.5 ^①	0.31	2.5 ^②	是
控制室 (加速器 1, 受 CT 影响)	5.0	0.31	《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)	2.5			

备注：① 根据表 1-2 可知，东侧屏蔽墙外的剂量率参考控制水平为 2.5μSv/h；

② 本次叠加后的标准限值保守从严取值

由上表可知，直线加速器机房 1 控制室处的叠加后的周围剂量当量率为 0.31μGy/h，满足本次叠加后的标准限值要求。

(4) 年附加有效剂量估算

本次剂量估算主要依据辐射剂量学原理进行理论剂量估算，预测本项目投入运行后对职业人员和公众的辐射影响。γ射线或 X 射线外照射所致人员年有效剂量计算公式如下：

$$H_{\gamma} = D_{\gamma} \times t \times 10^{-3} \times T \times U \quad (11-15)$$

式中： H_{γ} —γ射线或 X 射线外照射所致人员年有效剂量当量，mSv；

D_{γ} —人员停留位置处剂量率，μSv/h；

t—年工作时间，h；

T—居留因子；

U—使用因子。

① 医用电子直线加速器

a. 公众人员剂量估算

本项目单台加速器年治疗照射时间为 235h，本次评价按照最不利情况估算周边环境公众所受的年附加剂量，估算结果见表 11-11。

表 11-11 项目加速器周边环境公众年附加剂量估算结果

关注点点位	最大周围剂量当量率 (μSv/h)	年出束时间 h	居留因子 T	使用因子 U ^①	年受照射剂量 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)
医用电子直线加速器 1						
南侧屏蔽墙外 30cm 处 a	0.25	235	1/2	1	7.32×10^{-3}	0.1
北侧屏蔽墙外 30cm 处 b	0.25	235	1/40	1	3.66×10^{-4}	0.1
迷路外墙 k	0.14	235	1/8	1	4.03×10^{-3}	0.1

防护门外 30cm 处 g	0.31	235	1/5	1	1.47×10^{-2}	0.1
医用电子直线加速器 2						
北侧屏蔽墙外 30cm 处 a'	0.25	235	1/2	1	7.32×10^{-3}	0.1
南侧屏蔽墙外 30cm 处 b'	0.25	235	1/20	1	7.32×10^{-4}	0.1
迷路外墙 k'	0.14	235	1/8	1	4.03×10^{-3}	0.1
防护门外 30cm 处 g'	0.31	235	1/5	1	1.47×10^{-2}	0.1
备注：① 本次使用因子均保守取 1						

根据表 11-13 可知，项目正常运行期间，医用电子直线加速器各机房周围活动的公众受到的年累计附加剂量为 $1.47 \times 10^{-2} \sim 3.66 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）公众照射的剂量约束值（0.1mSv/a）。

b. 职业人员剂量估算

1) 医用电子直线加速器 1

本次评价按照最不利情况估算直线加速器机房 1 控制室内的职业人员的年附加有效剂量，具体估算如下：

表 11-12 项目加速器放射工作人员年附加剂量估算结果

关注点点位	最大周围剂量当量率 ($\mu\text{SV/h}$)	年出束时间 h	居留因子 T	使用因子 $U^{\text{①}}$	年受照射剂量 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)
直线加速器机房 1 控制室	0.31	235	1	1	7.17×10^{-2}	5
备注：① 根据表 11-10 可知，当 CT 模拟定位机房及直线加速器机房 1 同时工作时，直线加速器机房 1 控制室处的叠加后的周围剂量当量率为 $0.15 \mu\text{Gy/h}$						

由上表可知，当 CT 模拟定位机房及直线加速器机房 1 同时工作时，直线加速器机房 1 控制室内涉及的职业人员年附加有效剂量满足本次评价提出的年管理剂量约束值（5mSv/a）。

2) 医用电子直线加速器 2

表 11-13 项目医用电子直线加速器 2 放射工作人员年附加剂量估算结果

关注点点位	最大周围剂量当量率 ($\mu\text{SV/h}$)	年出束时间 h	居留因子 T	使用因子 $U^{\text{①}}$	年受照射剂量 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)
医用电子直线加速器 2						
东侧屏蔽墙外 30cm 处 f	5.91×10^{-6}	235	1	1	1.39×10^{-6}	5
备注：① 本次使用因子均保守取 1						

本次医院每台加速器配备 1 名医师，1 名护士及 1 名技师，根据表 11-12、表 11-13 可知，项目正常期间，电子直线加速器各机房放射工作人员年累计附加剂量最大为

$3.55 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）职业人员照射的剂量约束值（ 5mSv/a ）。

② CT 模拟定位机

本项目借助 CT 模拟定位机为使用电子直线加速器的患者进行模拟定位，项目投入使用后预计每天每台加速器最多治疗患者为 60 人，年工作时间为 250 天，使用 CT 模拟定位机的时间约 10s/人，则年出束时间约 83.3h。另外，医院为 CT 模拟定位机配备有 1 名医师，1 名护士及 1 名技师，不参与加速器的轮班工作。本次评价按照最不利情况估算放射工作人员所受的年附加剂量，估算结果见表 11-14。

表 11-14 项目 CT 模拟定位机放射工作人员年附加剂量估算结果

关注点位置描述		总有效剂量率 H_R	年曝光时间	人员居留因子 T	附加年有效剂量率 H_w	人群
单位		$\mu\text{Gy/h}$	h/a	/	mSv/a	/
东侧	注射抢救	0.91	83.3	0.25	1.89×10^{-2}	公众
	观察窗	0.35	83.3	1	2.92×10^{-2}	职业人员
	控制室	0.31	83.3	1	2.54×10^{-2}	职业人员
	工作人员防护门	1.23	83.3	1	0.10	职业人员
南侧	患者防护门	0.14	83.3	0.25	2.89×10^{-3}	公众
	准备大厅	0.23	83.3	0.25	4.72×10^{-3}	公众
西侧	控制室（加速器 1）	0.31	83.3	1	2.54×10^{-2}	职业人员
	设备间	0.36	83.3	0.25	7.50×10^{-3}	公众
北侧	地下三层停车场	1.36×10^{-3}	83.3	0.25	2.84×10^{-5}	公众
楼上	地下二层停车场	0.85	83.3	0.25	1.76×10^{-2}	公众
楼下	地下四层停车场	1.72	83.3	0.25	3.58×10^{-2}	公众

由上表可知，CT 模拟定位机涉及的职业人员年附加有效剂量均满足本次评价提出的年管理剂量约束值（ 5mSv/a ）；公众年附加有效剂量均满足本次评价提出的年管理剂量约束值（ 0.1mSv/a ）。

(5) 非放射性废气影响分析

① 臭氧

根据《辐射所致臭氧的估算与分析》（中华放射医学与防护杂志 Vol14, 2, P101, 1994）及《辐射防护手册》中的公式，估算辐射所致臭氧的产额和浓度。

a. 有用线束的臭氧产额

有用射线束所致的臭氧产额计算公式如下：

$$P_1 = 2.43 D_0 (1 - \cos\theta) R G \quad (11-16)$$

式中：

P_1 —有用线束的臭氧产额， mg/h ；

D_0 —辐射有用线束在距 1m 处的输出量, Gy/min, 项目取 24Gy/min;

R —射线束中心点到屏蔽物(墙)的距离, m, 项目电子直线加速器机房取值 4.3m;

G —空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数, 根据《辐射所致臭氧的估算与分析》(中华放射医学与防护杂志 VoL14, 2, P101, 1994), 估算时取值为 10;

θ —有用束的半张角, 项目取+14°或-14°。

b. 泄漏辐射的臭氧产额

将泄漏辐射看成为 4π 方向均匀分布的点源(包括有用束区限定的空间区), 并考虑加速器机房墙壁的散射线使室内的 O_3 产额增加 10%, O_3 的产额 P_2 (mg/h)计算公式如下:

$$P_2=3.32\times 10^{-3}D_0GV^{1/3} \quad (11-17)$$

式中:

P_2 —泄漏辐射的臭氧的产额, mg/h;

D_0 —辐射有用线束在距 1m 处的输出量, Gy/min, 项目取 24Gy/min;

G —空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数, 根据《辐射所致臭氧的估算与分析》(中华放射医学与防护杂志 VoL14, 2, P101, 1994), 估算时取值为 10;

V —加速器治疗机房容积(含迷道), 项目取值 282.33m³;

经计算, 医用电子直线加速器机房有用线束的臭氧产额 $P_1=74.49$ mg/h, 泄漏辐射的臭氧产额 $P_2=5.23$ mg/h, 则臭氧产额合计为 79.72mg/h。保守估计加速器年出束时间 235h, 则臭氧的年产生量为 18.7g/a。

c. 臭氧浓度

项目机房内产生的臭氧一部分由动力排风装置排到室外, 另一部分自然分解。如果照射时间很长($t \gg T$), 则机房内臭氧的平均浓度估算公式如下:

$$Q=Q_0T/V \quad (11-18)$$

式中:

Q —加速器治疗室内 O_3 平衡浓度, mg/m³;

Q_0 — O_3 的化学产额, mg/h;

经上文计算, 医用电子直线加速器臭氧产额为 79.72mg/h。

T —有效清除时间, h;

V—治疗室体积，m³；

有效清除时间 T 由下式计算：

$$T=T_v \cdot T_d / (T_v+T_d) \quad (11-19)$$

式中：

T_d—臭氧的有效分解时间，取 0.83h（50min）；

T_v—换气一次所需时间，项目医用电子直线加速器机房容积（含迷道）282.33m³，风机额定通风量为 1500m³/h，则 T_v为 0.19h/次。

经计算，有效清除时间 T 为 0.15h。

当 t>>T 时，臭氧达饱和浓度，医用电子直线加速器机房在正常排风时的臭氧浓度为 0.04mg/m³，低于《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）标准限值（0.3mg/m³）。

② 氮氧化物

在多种氮氧化物（NO_x）中，以 NO₂ 为主，其产额约为 O₃ 的一半，工作场所中 NO₂ 的限值（5mg/m³）大于 O₃ 的限值。因而，工作场所中 O₃ 浓度达到《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）要求时，NO_x 的浓度也会满足要求。

为减小臭氧和氮氧化物的危害，项目在加速器机房 1 北侧位置和加速器机房 2 南侧位置设置排风装置，排风口风管底部（吸风口）离地约 30cm，再沿墙体内壁向上接近顶板处，在顶棚上方经防护迷道，由防护门上方通往室外。臭氧和氮氧化物等有害气体经排风管道引至放疗科西南侧的排风井，最终通往医疗综合楼西侧楼顶（放射性废气排放口位置详见图 1-3）排出。

根据项目设计资料，每个机房拟设计的总排风量约为 1500m³/h，每个加速器机房有效体积为 282.33m³，经计算每小时的换气次数为：N=Q/V=1500/282.33=5.3 次/h，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）“换气次数不少于 4 次/h”的要求。

综上所述，项目产生的臭氧和氮氧化物对周围大气环境的影响小。

(6) 穿墙管线的辐射影响分析

本项目加速器机房穿墙管线包括通风管线、空调管线、电缆沟等，送、排风管道在机房防护门洞口上方呈“Z”字型穿过屏蔽墙体，通过折叠设计，增加管道中射线的

散射次数，且射线至迷道处的辐射剂量较小，再经管道中的多次散射后，防护门外管道洞口处的辐射影响较小；电缆沟过墙采取 U 型槽，且穿墙部分采用钢管，管壁厚度不小于 5mm，其余部位电缆沟外套 2mm 厚钢板，射线经屏蔽及多次散射后，机房外的辐射影响较小。

2、核医学科

根据工程分析可知，项目运行阶段环境影响主要为 PET-CT 中 CT 部分在出束时产生的 X 射线、放射性核素（¹⁸F）在使用过程中产生的γ射线的外照射影响，β表面污染、放射性“三废”等。

(1) 计算参数

为了论证核医学科各场所墙体、防护门屏蔽能力，从保守角度，不考虑核素随时间衰变影响，采用如下公式进行计算：

$$\dot{H} = \frac{A \times \Gamma}{R^2} \times 10^{-\left(\frac{X}{TVL}\right)} \quad (11-20)$$

式中：H—关注点剂量当量率控制水平，μSv/h；

A—非密封放射性物质活度，MBq；

R—非密封放射性物质距关注点距离，m；

Γ—周围剂量当量率常数，μSv·m²/MBq·h。根据《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 H 中：“¹⁸F 的周围剂量当量率常数（裸源）为 0.143μSv·m²/MBq·h”；“¹⁸F 在患者或受检者体内单位活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率为 0.092μSv·m²/MBq·h”；

X—屏蔽体厚度，mm；

TVL—γ射线什值层厚度，mm。

本项目核医学科工作场所拟采用砖墙、混凝土墙、铅玻璃、铅防护门为主要屏蔽材料进行防护。

本项目核医学科使用的核素用量、核素半衰期、核素对应不同屏蔽材料什值层厚度相关计算参数见表 11-15。

表 11-15 放射性核素屏蔽计算参数取值

核素	核素用量 MBq	半衰期	γ射线能量 keV	周围剂量当量率常 数μSv·m ² /(h·MBq)	什值层 TVL		
					混凝土 mm	铅mm	砖mm
¹⁸ F	370	109.8min	511	0.143	176	16.6	263

备注：根据建设单位提供的资料，本项目使用的硫酸钡砂浆密度为 2.7g/cm³，对于γ射线，由于

硫酸钡砂浆的质量衰减系数不小于混凝土，混凝土密度为 2.35g/cm³，为保守起见，将硫酸钡砂浆按混凝土考虑。

(2) 辐射环境影响分析

① 分装质控室

分装质控室主要包括 ¹⁸F 的储存及分装。主要影响为放射性核素 ¹⁸F 衰变产生的γ射线对周围人员产生外照射。

a. 手套箱屏蔽能力估算

本项目拟使用的放射性核素¹⁸F暂存于手套箱中的储源铅罐（40mmPb）中暂存，根据医院购药计划，计划分两个时段送药（上午7:30和下午13:30），每个时段送10人药量，计划每个时段分5批注射，每批2人，故在手套箱内¹⁸F的最大使用量为246.0mCi（9.1×10⁹Bq），手套箱正面屏蔽厚度为49mmPb，其他面屏蔽厚度为26mmPb。可根据公式11-21计算出手套箱表面30cm处、工作人员分装操作位处剂量率，计算结果如下：

表 11-16 ¹⁸F 药物储存及分装操作位以及手套箱表面剂量率估算结果

序号	关注点	A (MBq)	距源 1m 处的周围剂量当量率常数 (μSv·m ² /(h·MBq))	R (m)	X (mmPb)	剂量率 (μSv/h)		剂量率控制水平 (μSv/h)
1	手套箱 (¹⁸ F) 非正对人员操作位外表面 30cm 处 (储存) ①	9100	0.143	0.5	40+26	0.55		25
2	手套箱 (¹⁸ F) 正对人员操作位外表面 30cm 处 (储存) ①	9100	0.143	0.5	40+49	2.26×10 ⁻²		2.5
3	手套箱 (¹⁸ F) 非正对人员操作位外表面 30cm 处 (分装) ①	370	0.143	0.5	26	5.75	6.27	25
		8730	0.143	0.5	40+26	0.53		
4	手套箱 (¹⁸ F) 正对人员操作位外表面 30cm 处 (分装) ①	370	0.143	0.5	49	0.24	0.26	2.5
		8730	0.143	0.5	40+49	2.17×10 ⁻²		

备注：①放射性核素 ¹⁸F 最大储量为医院购药量的一半；②考虑“1 人份药剂（370MBq）分装于注射器内”和“其余药剂（8730MBq）处于屏蔽铅罐内”两方面。

由表 11-16 可知，放射性核素 ¹⁸F 在储存及分装过程中，手套箱外表面 30cm 处周围剂量当量率满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关标准要求。理论估算结果表明，配备的手套箱及储源铅罐均具备较好的辐射屏蔽能力。

b. 各关注点剂量率估算

项目药物分装时的辐射影响包括分装量和剩余量。 ^{18}F 为每半天送一次药，厂家将药物暂存在手套箱内的储源铅罐中， ^{18}F 每人核素用量为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ ，则剩余量为 $8.73 \times 10^9 \text{Bq}$ 。将分装好的药物采用 10mmPb 钨合金注射器防护套运送至注射室，剩余药物则在原先的 40mmPb 储源铅罐内，并暂存在手套箱中。

根据公式 (11-20)，项目在分装质控室内储存及分装时，各关注点位置见图 11-4，各关注点的周围剂量当量率计算结果见表 11-17。

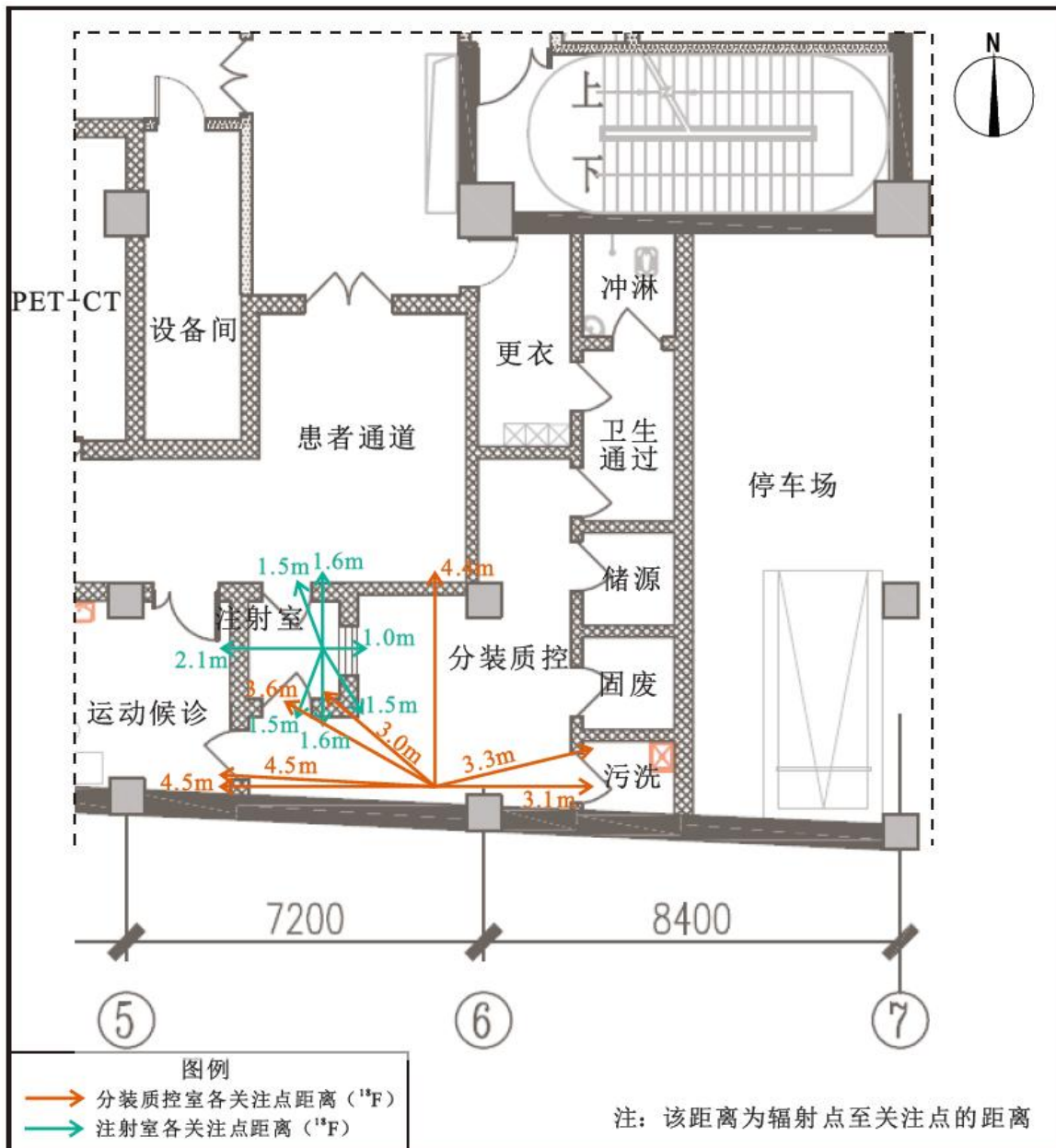


图11-4 核医学科（分装质控室、注射室， ^{18}F ）关注点位置

表 11-17 分装质控室关注点的周围剂量当量率估算结果

工作场所	关注点	A (MBq)	屏蔽措施	R (m)	H ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否符合

分装质控室 (¹⁸ F分装) ^①	四周墙体	东墙外 30cm处	370	240mm 实心砖 +10mmPb 钨合金注射器防护套 +26mmPb 手套箱	3.3	4.03×10 ⁻³	5.51×10 ⁻³	2.5	是
			8730	240mm 实心砖 +26mmPb 手套箱 +40mmPb 储源铅罐		1.48×10 ⁻³			
		西墙外 30cm处	370	240mm 实心砖 +10mmPb 钨合金注射器防护套 +26mmPb 手套箱	4.5	2.17×10 ⁻³	2.96×10 ⁻³	2.5	是
			8730	240mm 实心砖 +26mmPb 手套箱 +40mmPb 储源铅罐		7.97×10 ⁻⁴			
		北墙外 30cm处 (患者通道)	370	240mm 实心砖 +10mmPb 钨合金注射器防护套 +26mmPb 手套箱	4.4	2.27×10 ⁻³	2.30×10 ⁻³	10 ^③	是
			8730	240mm 实心砖 +49mmPb 手套箱 +40mmPb 储源铅罐		3.43×10 ⁻⁵			
		北墙外 30cm处 (注射室)	370	370mm 实心砖 +10mmPb 钨合金注射器防护套 +26mmPb 手套箱	3.0	1.56×10 ⁻³	1.59×10 ⁻³	2.5	是
			8730	370mm 实心砖 +49mmPb 手套箱 +40mmPb 储源铅罐		2.36×10 ⁻⁵			
		北侧防护门外 30cm处	370	6mmPb 铅门 +10mmPb 钨合金注射器防护套 +26mmPb 手套箱	3.6	1.20×10 ⁻²	1.22×10 ⁻²	2.5	是
			8730	6mmPb 铅门 +49mmPb 手套箱 +40mmPb 储源铅罐		1.82×10 ⁻⁴			
		西侧防护门外 30cm处	370	6mmPb 铅门 +10mmPb 钨合金注射器防护套 +26mmPb 手套箱	4.5	7.71×10 ⁻³	1.05×10 ⁻²	10 ^③	是
			8730	6mmPb 铅门 +26mmPb 手套箱 +40mmPb 储源铅罐		2.84×10 ⁻³			
		东侧防护门外 (污洗间) 30cm处	370	6mmPb 铅门 +10mmPb 钨合金注射器防护套 +26mmPb 手套箱	3.1	1.62×10 ⁻²	2.22×10 ⁻²	10 ^③	是
			8730	6mmPb 铅门 +26mmPb 手套箱 +40mmPb 储源铅罐		5.97×10 ⁻³			

楼下距地面 1.7m 处	370	260mm 混凝土 +10mmPb 钨合金注 射器防护套 +26mmPb 手套箱	3.0	1.33×10 ⁻³	1.82×10 ⁻³	2.5	是
	8730	260mm 混凝土 +26mmPb 手套箱 +40mmPb 储源铅罐		4.89×10 ⁻⁴			
楼上距地面 0.3m 处	370	120mm 混凝土 +10mmPb 钨合金注 射器防护套 +26mmPb 手套箱	3.8	5.17×10 ⁻³	7.07×10 ⁻³	2.5	是
	8730	120mm 混凝土 +26mmPb 手套箱 +40mmPb 储源铅罐		1.90×10 ⁻³			

备注：① 考虑“1 人份药剂（370MBq）分装于注射器内”和“其余药剂（8730MBq）处于屏蔽铅罐内”两方面；

② 南侧墙体外为土层，人员无法到达，故未设置关注点；

③ 根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号），分装质控室西侧防护门及东侧防护门（污洗间）外为控制区内工作人员较少停留区域，北墙为核医学科患者通道，周围剂量当量率小于 10μSv/h

由上表可知，放射性药物 ¹⁸F 分装质控时，经屏蔽墙体衰减后，分装质控室各关注点的周围剂量当量率满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）工作场所防护水平要求。

③ 注射室

注射室主要为放射性药物 ¹⁸F 的注射工作，环境影响主要为放射性核素 ¹⁸F 衰变产生的γ射线对周围人员产生外照射。本次计划每批 2 人，每人注射间隔时间约 1min，当第一个患者注射后立即离开注射室，故注射室内最多有 1 名患者。各关注点位置见图 11-4，药物注射过程中关注点周围剂量当量率如表 11-18 所示。

表 11-18 注射室关注点的周围剂量当量率估算结果

注射核素	关注点	A (MBq)	屏蔽措施	R (m)	H (μSv/h)	剂量率控制 值 (μSv/h)	是否 符合	
注射室 (¹⁸ F)	四周 墙体	东墙外 30cm 处	370	370mm 实心砖	1.5	0.59	2.5	是
		南墙外 30cm 处	370	370mm 实心砖	1.6	0.52	10 ^①	是
		西墙外 30cm 处	370	370mm 实心砖	2.1	0.30	10 ^①	是
		北墙外 30cm 处	370	370mm 实心砖	1.6	0.52	10	是
	东侧注射窗口 (注射台) 外 30cm 处	370	32mmPb 注射窗口	0.9	0.50	2.5	是	
	南侧防护门外 30cm 处	370	6mmPb 铅门	1.5	6.58	10 ^①	是	

	北侧防护门外 30cm处	370	6mmPb 铅门	1.5	6.58	10	是
	楼下距地面 1.7m处	370	260mm 混凝土	3.0	0.13	2.5	是
	楼上距地面 0.3m处	370	120mm 混凝土	3.8	0.49	2.5	是

备注：① 根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号），注射室南墙、西墙及南侧防护门外为控制区内工作人员较少停留区域，北墙为核医学科患者通道，周围剂量当量率小于10 μ Sv/h

由上表可知，放射性药物 ¹⁸F 注射过程中，注射室各关注点周围剂量当量率均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）工作场所防护水平要求。

④ 运动候诊兼抢救室

运动候诊兼抢救室主要为患者注射放射性药物 ¹⁸F 后如有不适情况进行抢救的区域，最多仅 1 人使用，主要环境影响为放射性核素 ¹⁸F 衰变产生的 γ 射线对周围人员产生外照射。各关注点位置见图 11-5，项目注射后候诊室的周围剂量当量率估算结果见表 11-19。

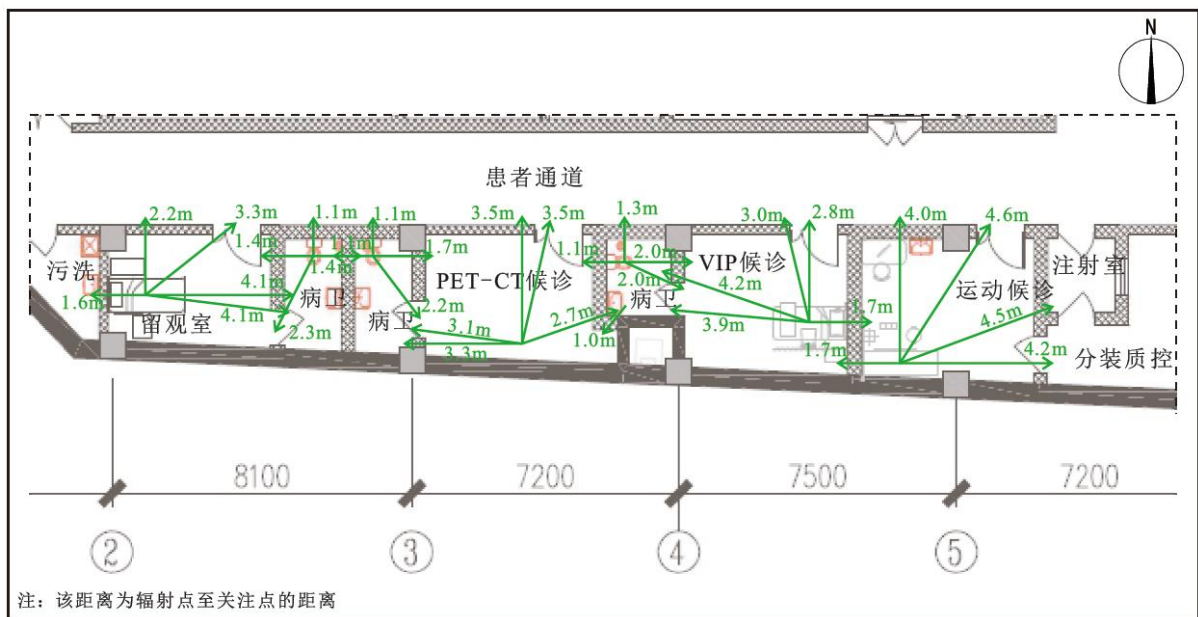


图11-5 核医学科（运动候诊兼抢救室、PET-CT候诊、VIP候诊、留观室）关注点位置

表 11-19 运动候诊兼抢救室关注点的周围剂量当量率估算结果

工作场所	关注点	A (MBq)	屏蔽措施	R (m)	\dot{H} (μ Sv/h)	剂量率控制 值 (μ Sv/h)	是否符合
运动候诊 兼抢救室 (¹⁸ F)	四周 墙体	东墙外 30cm处	370mm 实心砖	4.5	6.59×10^{-2}	2.5	是
	西墙外 30cm处	370	370mm 实心砖	1.7	0.46	2.5	是
	北墙外 30cm处	370	370mm 实心砖	4.0	8.34×10^{-2}	10 ^②	是
	东侧防护门 外 30cm处	370	6mmPb 铅门	4.2	0.84	10 ^②	是

	北侧防护门外 30cm 处	370	6mmPb 铅门	4.6	0.70	10 ^②	是
	楼下距地面 1.7m 处	370	260mm 混凝土	3.0	0.13	2.5	是
	楼上距地面 0.3m 处	370	120mm 混凝土	4.0	0.49	2.5	是

备注：① 南侧墙体外为土层，人员无法到达，故未设置关注点

② 根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号），运动候诊兼抢救室东侧防护门外为控制区内工作人员较少停留区域，北墙及北侧防护门为核医学科患者通道，周围剂量当量率小于 10 μ Sv/h

由上表可知，患者在运动候诊兼抢救室时各关注点周围剂量当量率均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）工作场所防护水平要求。

⑤ PET-CT 候诊及 VIP 候诊

PET-CT 候诊及 VIP 候诊主要为患者注射放射性药物 ¹⁸F 后进行候诊的区域。根据一天的就诊人数分批次进行注射，¹⁸F 为每半天送一次药，则 PET-CT 候诊同一时间内最多有 2 人同时使用，内设有独立专卫；VIP 候诊同一时间内仅 1 人使用，内设有独立专卫，主要环境影响为放射性核素 ¹⁸F 衰变产生的 γ 射线对周围人员产生外照射。各关注点位置见图 11-5，项目注射后候诊室的周围剂量当量率估算结果见表 11-20。

表 11-20 PET-CT 候诊及 VIP 候诊关注点的周围剂量当量率估算结果

工作场所	关注点	A (MBq)	屏蔽措施	R (m)	H (μ Sv/h)	剂量率控制值 (μ Sv/h)	是否符合
PET-CT 候诊	四周墙体	东墙外 30cm 处	370mm 实心砖	2.7	0.37	2.5	是
		西墙外 30cm 处	370mm 实心砖	3.3	0.30	2.5	是
		北墙外 30cm 处	240mm 实心砖	3.5	0.68	10 ^④	是
	北侧防护门外 30cm 处	740	6mmPb 铅门	3.5	2.42	10 ^④	是
	西侧防护门外 30cm 处	370 ^③	8mmPb 铅门	3.1	1.17	2.5	是
	楼下距地面 1.7m 处	740	260mm 混凝土	3.0	0.25	2.5	是
	楼上距地面 0.3m 处	740	120mm 混凝土	3.8	0.98	2.5	是
	PET-CT 候诊卫生间	四周墙体	东墙外 30cm 处	370mm 实心砖	1.7	0.46	2.5
西墙外 30cm 处			370mm 实心砖	1.1	1.10	2.5	是
北墙外 30cm 处			370mm 实心砖	1.1	1.10	10 ^④	是
东侧防护门外 30cm 处		370 ^③	8mmPb 铅门	2.2	2.32	2.5	是
楼下距地面		370	260mm 混凝土	3.0	0.13	2.5	是

		1.7m处					
		楼上距地面 0.3m处	370	120mm 混凝土	3.8	0.49	2.5 是
VIP 候诊	四周 墙体	东墙外 30cm处	370	370mm 实心砖	1.7	0.46	2.5 是
		西墙外 30cm处	370	370mm 实心砖	4.2	7.56×10^{-2}	$10^{\text{④}}$ 是
		北墙外 30cm处	370	240mm 实心砖	3.0	0.46	$10^{\text{④}}$ 是
		北侧防护门外 30cm处	370	6mmPb 铅门	2.8	1.89	2.5 是
		西侧防护门外 30cm处	370 ^②	6mmPb 铅门	3.9	0.97	$10^{\text{④}}$ 是
		楼下距地面 1.7m处	370	260mm 混凝土	3.0	0.13	2.5 是
		楼上距地面 0.3m处	370	120mm 混凝土	3.8	0.49	2.5 是
	VIP 候诊 卫生间	四周 墙体	东墙外 30cm处	370	370mm 实心砖	2.0	0.33
南墙外 30cm处			370	370mm 实心砖	1.1	1.10	2.5 是
西墙外 30cm处			370	370mm 实心砖	1.0	1.33	2.5 是
北墙外 30cm处			370	370mm 实心砖	1.3	0.79	10 是
		东侧防护门外 30cm处	370 ^③	6mmPb 铅门	2.0	3.70	$10^{\text{④}}$ 是
		楼下距地面 1.7m处	370	260mm 混凝土	3.0	0.13	2.5 是
		楼上距地面 0.3m处	370	120mm 混凝土	3.8	0.49	2.5 是

备注：① PET-CT 候诊、PET-CT 候诊卫生间及 VIP 候诊南侧墙体外均为土层，人员无法到达，故未设置关注点；

② 当 PET-CT 候诊卫生间有患者使用时，PET-CT 候诊内仅剩 1 名患者；

③ 当 VIP 候诊卫生间有患者使用时，VIP 候诊内无患者，故仅在 VIP 候诊卫生间东侧门外设关注点；

④ 根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号），VIP 候诊室西墙及西侧防护门、VIP 候诊卫生间东侧防护门外为控制区内工作人员较少停留区域，北墙及北侧防护门为核医学科患者通道，周围剂量当量率小于 $10\mu\text{Sv/h}$

⑤ 本次保守考虑，进入 PET-CT 候诊室的 2 名患者处于同一位置

由上表可知，PET-CT 候诊及 VIP 候诊各关注点周围剂量当量率均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）工作场所防护水平要求。

⑥ PET-CT 机房

PET-CT 机房主要为患者注射放射性药物 ^{18}F 后进行扫描显像检查的区域，主要环境影响为放射性核素 ^{18}F 衰变产生的 γ 射线、CT 部分运行期间产生的 X 射线。

PET-CT 配备校准源（V 类密封放射源），校准源在正常使用过程中，为裸源状

态，其活度较低，正常状态下相对于 ^{18}F 等正电子核素而言，其辐射影响基本可以忽略；在贮存情况下位于设备机头自带的屏蔽系统内，经屏蔽后基本不会对环境及人员产生影响，故本次不再进行估算。

a. PET-CT 机房（CT 部分）辐射剂量率估算

本次 PET 设备中的 CT 部分最大管电压为 140kV，最大管电流为 800mA。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中表 E.2，75%位数下，焦点处的剂量率最大为 60mGy（扫描时间 2s），本次评价保守按照 CT 扫描时，焦点处的最大剂量率为 1800mGy/min 考虑。关注点位置见图 11-6。

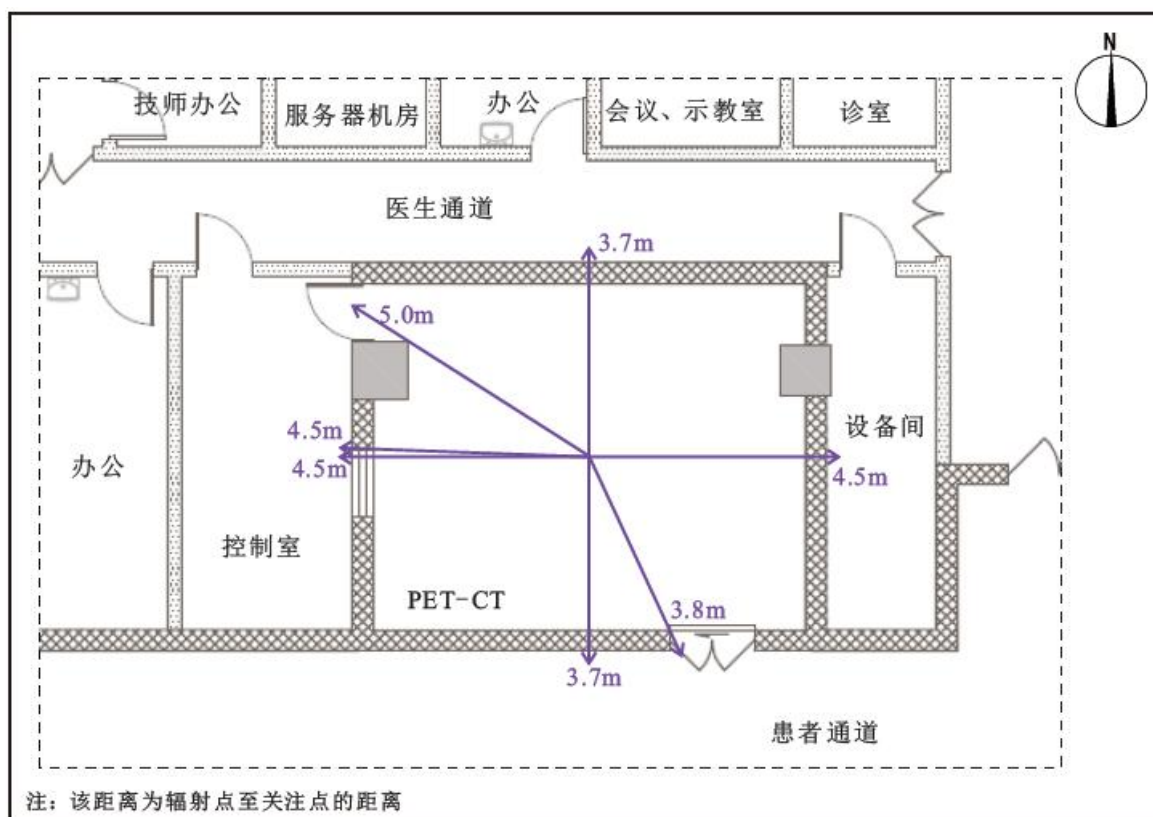


图11-6 核医学科（PET-CT）关注点位置

I 泄漏辐射剂量估算

泄漏辐射剂量率计算公式参考《辐射防护导论》P115 公式 3.61。对于给定的屏蔽物质，屏蔽透射因子依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 计算，具体公式见公式（11-12）、公式（11-13）。公式中 H_0 按照泄漏率为 0.1% 进行估算，故本次取 $1.08 \times 10^5 \mu\text{Gy/h}$ 。

α 、 β 、 γ 为铅对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见表 11-21。

表 11-21 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	材料	参数
-----	----	----

		α	β	γ
140kV (CT)	铅	2.009	3.990	0.3420

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

在仅考虑 CT 部分产生 X 射线影响时, PET-CT 机房各关注点的泄漏辐射剂量率估算结果如下:

表 11-22 PET-CT 机房各关注点泄漏辐射剂量率估算 (CT 部分 X 射线影响)

关注点位置描述		H_0	R	X	α	β	γ	透射因子 B	泄漏辐射剂量率
单位		$\mu\text{Gy/h}$	m	mm	/	/	/	/	$\mu\text{Gy/h}$
东侧	设备间	1.08×10^5	4.5	3.7	2.009	3.990	0.3420	2.82×10^{-5}	0.15
南侧	南墙 (患者通道)	1.08×10^5	3.7	3.7	2.009	3.990	0.3420	2.82×10^{-5}	0.22
	南侧患者防护门	1.08×10^5	3.8	4	2.009	3.990	0.3420	1.50×10^{-5}	0.11
西侧	西墙 (控制室)	1.08×10^5	4.5	3.7	2.009	3.990	0.3420	2.82×10^{-5}	0.15
	观察窗	1.08×10^5	4.5	4	2.009	3.990	0.3420	1.50×10^{-5}	8.0×10^{-2}
	西侧工作人员防护门	1.08×10^5	5	4	2.009	3.990	0.3420	1.50×10^{-5}	6.48×10^{-2}
北侧	医生通道	1.08×10^5	3.7	3.7	2.009	3.990	0.3420	2.82×10^{-5}	0.22
楼下	楼下距地面 1.7m 处 (停车场)	1.08×10^5	3	5.2	2.009	3.990	0.3420	1.25×10^{-6}	1.50×10^{-2}
楼上	楼上距地面 0.3m 处 (停车场)	1.08×10^5	3.8	3.2	2.009	3.990	0.3420	8.24×10^{-5}	0.62

II 散射辐射剂量估算

关注点散射剂量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册——辐射源与屏蔽》([M]北京: 原子能出版社, 1987) P437, 见公式 (11-14)。

在仅考虑 CT 部分产生 X 射线影响时, PET-CT 机房各关注点的散射辐射剂量率估算结果如下:

表 11-23 PET-CT 机房各关注点散射辐射剂量率估算 (CT 部分 X 射线影响)

关注点位置描述		H_0	α	透射因子 B	S	d_s	散射辐射剂量率
单位		$\mu\text{Gy/h}$	/	/	cm^2	m	$\mu\text{Gy/h}$
东侧	设备间	1.08×10^8	0.0015	2.82×10^{-5}	400	4.5	0.23
南侧	南墙 (患者通道)	1.08×10^8	0.0015	2.82×10^{-5}	400	3.7	0.33
	南侧患者防护门	1.08×10^8	0.0015	1.50×10^{-5}	400	3.7	0.17
西侧	西墙 (控制室)	1.08×10^8	0.0015	2.82×10^{-5}	400	4.5	0.23
	观察窗	1.08×10^8	0.0015	1.50×10^{-5}	400	4.5	0.12
	西侧工作人员防护门	1.08×10^8	0.0015	1.50×10^{-5}	400	5	9.72×10^{-2}
北侧	医生通道	1.08×10^8	0.0015	2.82×10^{-5}	400	3.7	0.33
楼下	楼下距地面 1.7m 处 (停车场)	1.08×10^8	0.0015	1.25×10^{-6}	400	3	2.25×10^{-2}
楼上	楼上距地面 0.3m 处 (停车场)	1.08×10^8	0.0015	8.24×10^{-5}	400	3.8	0.92

III 泄漏+散射剂量率估算

在仅考虑 CT 部分产生 X 射线影响时，PET-CT 机房外各关注点的泄漏辐射与散射辐射剂量率叠加估算结果如下：

表 11-24 PET-CT 机房外各关注点辐射剂量率计算结果（CT 部分 X 射线影响）

关注点位置描述		泄漏辐射剂量率 H _L	散射辐射剂量率 H _S	总有效剂量率 H _R
单位		μGy/h	μGy/h	μGy/h
东侧	设备间	0.15	0.23	0.38
南侧	南墙（患者通道）	0.22	0.33	0.56
	南侧患者防护门	0.11	0.17	0.28
西侧	西墙（控制室）	0.15	0.23	0.38
	观察窗	8.0×10 ⁻²	0.12	0.20
	西侧工作人员防护门	6.48×10 ⁻²	9.72×10 ⁻²	0.1666
北侧	医生通道	0.22	0.33	0.56
楼下	楼下距地面 1.7m 处（停车场）	1.50×10 ⁻²	2.25×10 ⁻²	3.76×10 ⁻²
楼上	楼上距地面 0.3m 处（停车场）	0.62	0.92	1.54

b. 仅考虑放射性核素影响时，PET-CT (¹⁸F) 机房外关注点辐射剂量率估算

PET-CT 机房外关注点位置见图 11-6。在仅考虑放射性核素影响时，PET-CT (¹⁸F) 机房外关注点辐射剂量率估算结果见表 11-25。

表 11-25 PET-CT 机房关注点的辐射剂量率估算（放射性核素影响部分）

工作场所	关注点	A (MBq)	屏蔽措施	R (m)	Ĥ (μSv/h)
PET-CT 机房	四周 墙体	东墙外 30cm 处	370mm 实心砖	4.5	6.59×10 ⁻²
		南墙外 30cm 处	370mm 实心砖	3.7	9.74×10 ⁻²
		西墙外 30cm 处	370mm 实心砖	4.5	6.59×10 ⁻²
		北墙外 30cm 处	370mm 实心砖	3.7	9.74×10 ⁻²
	南侧患者防护门外 30cm 处	370	4mmPb 铅门	3.8	1.35
	西侧工作人员防护门 外 30cm 处	370	4mmPb 铅门	5	0.78
	观察窗外 30cm 处	370	4mmPb 铅玻璃	4.5	0.97
	楼下距地面 1.7m 处	370	260mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护材料	3	9.55×10 ⁻²
	楼上距地面 0.3m 处	370	120mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护材料	3.8	0.37

c. PET-CT 机房外关注点辐射剂量率的叠加影响分析

患者在注射了放射性药物后，在 PET-CT 机房扫描时应同时考虑放射性核素以及 CT 部分产生 X 射线共同产生的影响。PET-CT 机房外关注点辐射剂量的叠加影响估算结果见表 11-26。

**表 11-26 PET-CT 机房外关注点辐射剂量估算结果
（CT 部分 X 射线影响+放射性核素影响部分）**

工作场	关注点	Ĥ	X 射线辐射剂量	总的辐射剂量当	剂量率控制	是否
-----	-----	---	----------	---------	-------	----

所		($\mu\text{Gy/h}$)	率 ($\mu\text{Gy/h}$)	量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	值 ($\mu\text{Sv/h}$)	符合	
PET-CT 机房	四周 墙 体	东墙外30cm处	6.59×10^{-2}	0.38	0.44	2.5	是
		南墙外30cm处	9.74×10^{-2}	0.56	0.65	$10^{\text{③}}$	是
		西墙外30cm处	6.59×10^{-2}	0.38	0.44	2.5	是
		北墙外30cm处	9.74×10^{-2}	0.56	0.65	2.5	是
	南侧患者防护门外 30cm处	1.35	0.28	1.63	$10^{\text{③}}$	是	
	西侧工作人员防护 门外30cm处	0.78	0.16	0.94	2.5	是	
	观察窗外30cm处	0.97	0.20	1.17	2.5	是	
	楼下距地面1.7m处	9.55×10^{-2}	3.76×10^{-2}	0.13	2.5	是	
	楼上距地面0.3m处	0.37	1.54	1.91	2.5	是	

备注：① 检查时，PET开机；② X射线辐射剂量率采用表11-28中估算的数值；
③ 根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号），PET-CT机房南墙及南侧防护门为核医学科患者通道，周围剂量当量率小于 $10\mu\text{Sv/h}$

由上表可知，患者在注射放射性后，在显像检查过程中，PET-CT 机房各关注点周围剂量当量率《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）工作场所防护水平要求。

⑦ 留观室

留观室主要用于观察注射了放射性药物 ^{18}F 且扫描完毕后的患者是否有其它异常反应，若每位患者扫描时间最长为 30min，每位患者留观时间最长为 1h，因此留观室内同时最多有 3 名患者，主要环境影响为放射性核素 ^{18}F 衰变产生的 γ 射线对周围人员产生外照射。各关注点位置见图 11-5，留观室各关注点的周围辐射剂量率估算结果见表 11-27。

表 11-27 留观室关注点的周围剂量当量率估算结果

工作场所	关注点	A (MBq)	屏蔽措施	R (m)	H ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制 值 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否符合	
留观室 (^{18}F)	四周 墙 体	东墙外 30cm 处	1110	370mm 实心砖	4.1	0.24	2.5	是
		西墙外 30cm 处	1110	240mm 实心砖	1.6	4.88	$10^{\text{③}}$	是
		北墙外 30cm 处	1110	240mm 实心砖	2.2	2.58	$10^{\text{③}}$	是
	北侧防护门外 30cm 处	1110	6mmPb 铅门	3.3	4.08	$10^{\text{③}}$	是	
	西侧防护门外 30cm 处	$740^{\text{②}}$	8mmPb 铅门	4.1	1.34	2.5	是	
	楼下距地面 1.7m 处	1110	260mm 混凝土	3.0	0.38	2.5	是	
	楼上距地面 0.3m 处	1110	120mm 混凝土 +6mmPb 硫酸钡防 护材料	3.8	0.64	2.5	是	
留观室 卫生间	四周 墙 体	东墙外 30cm 处	370	370mm 实心砖	1.4	0.68	2.5	是
		西墙外 30cm 处	370	370mm 实心砖	1.4	0.68	2.5	是
		北墙外 30cm 处	370	370mm 实心砖	1.1	1.10	$10^{\text{③}}$	是

	东侧防护门外 30cm 处	370	8mmPb 铅门	2.3	2.12	2.5	是
	楼下距地面 1.7m 处	370	260mm 混凝土	3.0	0.13	2.5	是
	楼上距地面 0.3m 处	370	120mm 混凝土	3.8	0.49	2.5	是

备注：① 留观室、留观室卫生间南侧墙体外均为土层，人员无法到达，故未设置关注点；
 ② 当留观室卫生间有患者使用时，留观室内仅剩 2 名患者；
 ③ 根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号），留观室西墙外为控制区内工作人员较少停留区域，北墙及北侧防护门为核医学科患者通道，周围剂量当量率小于 10 μ Sv/h
 ④ 本次保守考虑，进入留观室的 3 名患者处于同一位置

由上表可知，留观室内同时最多有 3 名患者时，注射放射性药物 ¹⁸F 的患者进入留观室时，各关注点周围剂量当量率满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）工作场所防护水平要求。

(3) 年附加有效剂量估算

① 周围剂量当量率估算

本项目职业人员涉及药物分装、药物注射及 PET-CT 操作人员，该周围剂量当量率估算结果如表 11-28。

表 11-28 职业人员周围剂量当量率估算结果

受影响人群分类	关注点	核素活度 (MBq)	屏蔽措施	R (m)	估算结果 (μ Sv/h)	
职业人员	药物 ¹⁸ F 的分装	9100	49mmPb 手套箱 +40mmPb 储源铅罐	0.5	2.26 \times 10 ⁻²	
	药物 ¹⁸ F 注射	药物 ¹⁸ F 由分装质控室内手套箱转移至注射窗口途中（到针筒外表面 0.3m 处）	370	10mmPb 钨合金注射器防护套	0.3	147 ^①
		注射窗口（注射台）外 30cm 处（为患者注射过程）	370	32mmPb 铅玻璃	0.5	2.5
PET-CT 操作人员	操作人员摆位	370	0.5mmPb 铅衣	0.5	127	
	观察窗外 30cm 处	370	4mmPb 铅玻璃	4.5	0.97	

备注：① 药物转移过程中周围剂量当量率常数取“¹⁸F 的周围剂量当量率常数（裸源）为 0.143 μ Sv \cdot m²/MBq \cdot h”；PET 在摆位时取“¹⁸F 在患者或受检者体内单位活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率为 0.092 μ Sv \cdot m²/MBq \cdot h”

本次剂量估算主要依据辐射剂量学原理进行理论剂量估算，预测本项目核医学科投入运行后对职业人员和公众的辐射影响。根据建设单位提供资料，利用公示（11-15），估算各关注点的年附加有效剂量，估算结果见表 11-29。

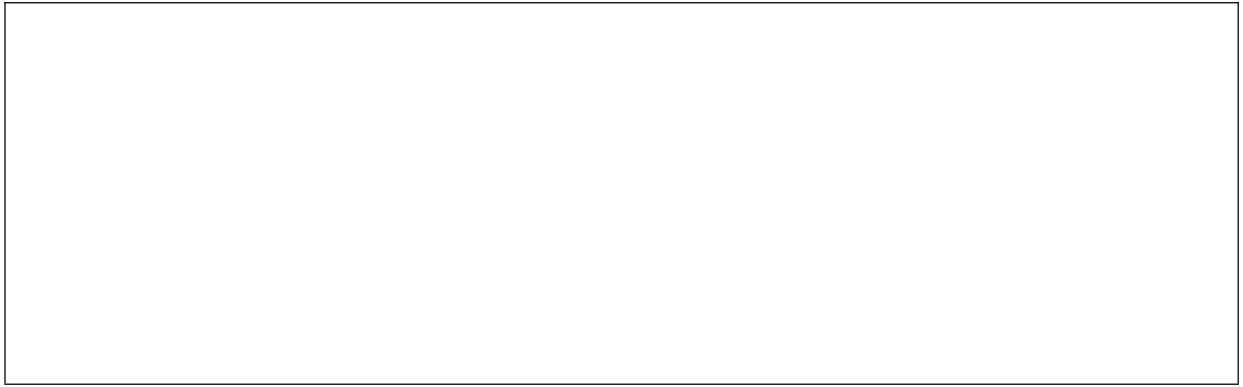


表 11-29 本项目核医学科放射工作人员及公众年有效剂量估算结果

受影响人群分类		关注点	受照射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	居留因子	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv)		
职业人员	药物 ^{18}F 的分装	分装质控室内手套箱 (^{18}F) 正对人员操作位外表面	2.26×10^{-2}	1	每人每次分装、质控用时约 1min, 每天约 20 人, 全年共 83.4h	1.89×10^{-3}		
	药物 ^{18}F 注射	药物 ^{18}F 由分装质控室内手套箱转移至注射窗口途中 (到针筒外表面 0.3m 处)	147	1	每人每次用时约 10s, 每天约 20 人, 全年共 13.8h	2.03	2.06, 分 2 组, 每组 1.03	
		北侧注射窗口 (注射台) 外 30cm 处	2.5	1	每人每次用时约 10s, 每天约 10 人, 全年共 13.8h	3.45×10^{-2}		
	PET-CT 操作人员	操作人员摆位	127	1	每人每次摆位时间约 30s, 每天约 20 人, 全年共 20.8h	5.28	6.89, 分 2 组, 每组 3.45	
		观察窗外 30cm 处	0.97	1	每人每次约 20min, 每天约 20 人, 全年共 1666.6h	1.61		
公众	流动人群	核医学科楼下	分装质控室楼下距地面 1.7m 处 (^{18}F)	1.82×10^{-3}	1/40	每人每次分装、质控用时约 1min, 每天约 20 人, 全年共 83.4h	3.79×10^{-6}	
			注射室楼下距地面 1.7m 处 (^{18}F)	0.13	1/40	每人每次用时约 10s, 每天约 20 人, 全年共 13.8h	4.35×10^{-5}	
			运动候诊兼抢救室楼下距地面 1.7m 处 (^{18}F)	0.13	1/40	进入运动负荷兼抢救室抢救用时最长约 1.5h, 每天最多约 1 人, 全年共 375h	1.18×10^{-3}	
			PET-CT 候诊楼下距地面 1.7m 处	0.25	1/40	进入候诊用时最长约 21min, 每天最多约 20 人, 全年共 1750h	1.10×10^{-2}	
			PET-CT 候诊卫生间楼下距地面 1.7m 处	0.13	1/40	进入卫生间用时最长约 10min, 每天最多约 20 人, 全年共 833.4h	2.63×10^{-3}	
			VIP 候诊楼下距地面 1.7m 处 (^{18}F)	0.13	1/40	进入候诊用时最长约 21min, 每天最多约 20 人, 全年共 1750h	5.51×10^{-3}	
			VIP 候诊楼下卫生间距地面 1.7m 处 (^{18}F)	0.13	1/40	进入卫生间用时最长约 10min, 每天最多约 20 人, 全年共 833.4h	2.63×10^{-3}	
			PET-CT 机房楼下距地面 1.7m 处	0.13	1/40	进入 PET-CT 机房内用时最长约 21min, 每天最多约 20 人, 全年共 1750h	5.82×10^{-3}	

			留观室楼下距地面 1.7m 处 (¹⁸ F)	0.38	1/40	进入留观室内留观用时最长约 1h, 每天最多约 20 人, 全年共 5000h	4.73×10^{-2}
			留观室卫生间楼下距地面 0.3m 处 (¹⁸ F)	0.13	1/40	进入卫生间用时最长约 10min, 每天最多约 20 人, 全年共 833.4h	2.63×10^{-3}
		核医学科楼上	分装质控室楼上距地面 0.3m 处 (¹⁸ F)	7.07×10^{-3}	1/40	每人每次分装、质控用时约 1min, 每天约 20 人, 全年共 83.4h	1.47×10^{-5}
			注射室楼上距地面 0.3m 处 (¹⁸ F)	0.49	1/40	每人每次用时约 10s, 每天约 20 人, 全年共 13.8h	1.69×10^{-4}
			运动候诊兼抢救室楼上距地面 0.3m 处 (¹⁸ F)	0.49	1/40	进入运动负荷兼抢救室抢救用时最长约 1.5h, 每天最多约 1 人, 全年共 375h	4.60×10^{-3}
			PET-CT 候诊楼上距地面 0.3m 处	0.98	1/40	进入候诊用时最长约 21min, 每天最多约 20 人, 全年共 1750h	4.29×10^{-2}
			PET-CT 候诊卫生间楼上距地面 0.3m 处	0.49	1/40	进入卫生间用时最长约 10min, 每天最多约 20 人, 全年共 833.4h	1.02×10^{-2}
			VIP 候诊楼上距地面 0.3m 处 (¹⁸ F)	0.49	1/40	进入候诊用时最长约 21min, 每天最多约 20 人, 全年共 1750h	2.15×10^{-2}
			VIP 候诊楼上卫生间距地面 0.3m 处 (¹⁸ F)	0.49	1/40	进入卫生间用时最长约 10min, 每天最多约 20 人, 全年共 833.4h	1.02×10^{-2}
			PET-CT 机房楼上距地面 0.3m 处	1.91	1/40	进入 PET-CT 机房内用时最长约 21min, 每天最多约 20 人, 全年共 1750h	8.37×10^{-2}
			留观室楼上距地面 0.3m 处 (¹⁸ F)	0.64	1/40	进入留观室内留观用时最长约 1h, 每天最多约 20 人, 全年共 5000h	8.0×10^{-2}
			留观室卫生间楼上距地面 0.3m 处 (¹⁸ F)	0.49	1/40	进入卫生间用时最长约 10min, 每天最多约 20 人, 全年共 833.4h	1.02×10^{-2}

根据表 11-29 可知，本项目正常运行期间，对工作人员所致年有效剂量每组最大为 3.45mSv，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中要求的职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a。由于放射性药物半衰期较短，药物活度不断降低，其产生辐射剂量率也不断降低，工作人员也可轮换作业，实际工作人员年有效剂量低于估算结果。

公众年附加有效剂量最大为 8.37×10^{-2} mSv/a，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中要求的公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

(4) 核医学科 β 表面污染影响分析

核医学科拟配备便携式表面污染监测设备，用于工作人员在离开辐射工作场所前，进行皮肤、手部等体表部位污染测定，确认未受放射污染，方可离开；操作台铺衬吸水纸，避免液态药物造成的污染。另外，加强对注射药物患者的管理，告知其可能产生的危害，从而避免对候诊等场所的污染。在采取以上措施后，工作场所表面污染水平可以控制在《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中表面污染控制水平之内。

(5) 核医学科废气影响分析

本项目核医学科放射性废气主要为放射性药物 ^{18}F 产生的气溶胶以及空气被电离产生少量的臭氧和氮氧化物。

本项目核医学科拟采用机械通风，通风系统由多台排风机和相应通风管道组成（排风管道平面图详见图 10-15）。

① 分装质控区、污洗间、固废室、储源室、卫生通过间、冲淋室共用一套排风系统，排风口均设计于各房间顶部，通过集中排风系统从位于核医学科东侧的排风口通往医疗综合楼南侧楼顶（放射性废气排放口位置详见图 1-3）；

② 分装质控室内的手套箱单独设置一套排风系统，在立管上安装电动风阀与手套箱联动，管道经患者通道，至核医学科东侧的排风口最终通往医疗综合楼南侧楼顶（放射性废气排放口位置详见图 1-3），手套箱及排气口设活性炭过滤器；手套箱排风管道，拟设风机风量为 $600\text{m}^3/\text{h}$ ，通风管道尺寸为 $400\text{mm} \times 320\text{mm}$ ，排风管道的风速估算为： $V = \frac{600}{0.4 \times 0.32} \div 3600 = 1.3\text{m/s}$ ；

③ 污洗间、留观室、病卫、留观室、PET/CT 候诊室、病卫、VIP 候诊室、运动候诊兼抢救室、PET-CT 机房共设一套排风系统。PET-CT 机房排风口设于机房北

墙东侧及西侧距地 0.3m 处，其余房间排风口设于各房间顶部，管道经核医学科东侧的排风口最终通往医疗综合楼南侧楼顶（放射性废气排放口位置详见图 1-3）。

综上，本项目核医学科各工作场所放射性废气处理均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求，对周围人群和环境影响较小。

(6) 核医学科放射性废水影响分析

本项目核医学科放射性废水主要来源于诊断过程中患者注射 ^{18}F 后所产生的排泄物冲洗废水、工作人员清洗、工作场所清洗等产生的废水。

本项目核医学科拟设置有放射性废水衰变池，位于医疗综合楼地下四层，拟设置 1 座槽式衰变池，包括 1 个 8.5m^3 污泥池、3 个分别为 8.3m^3 、 8.5m^3 及 8.5m^3 的衰变池和 1 个 8.5m^3 检测池。

根据前文分析，本项目放射性废水产生量约 $0.53\text{m}^3/\text{d}$ 。本次估算考虑废水在污泥池的停留时间，污泥池有效容积约为 6.0m^3 ，则在 3#衰变池注满时，1#衰变池最后一天排入的污水已暂存至少 42 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放”的要求及处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）的预处理标准（即总 β 放射性 $<10\text{Bq/L}$ ）后再排放至医院污水处理站，不对周边环境造成影响。

根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）相关规定，本评价要求：

a. 检测池排放口应设置排放口标志，并预留采样口，委托有资质的单位每季度对检测池排放口总 β 进行取样检测；

b. 检测池排放口设置自动采样监测设备，在检测池槽体排水前应核实是否满足排放要求；

c. 污泥池内安装铰刀泵，当含有固态物质的放射性废水进入污泥池后，经铰刀泵处理，可有效将固态物质打碎，避免出现沉积物，无需进行人工清掏；

d. 排水管采用大功率无堵塞排污泵，一备一用；

e. 设备、池体检修前需要开启排风设施。

(7) 核医学科放射性固体废物影响分析

本项目核医学科放射性固体废物主要来源于核医学放射性药物操作过程中污染

的注射器、手套、药棉、纱布、吸水纸等；废气处理产生的废活性炭。

① 放射性固体废物

涉及 ^{18}F 的放射性固体废物需分开存放，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）“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”， ^{18}F 的半衰期为 109.8min，故涉及 ^{18}F 的放射性固体废物需暂存超过 30 天，其活度低于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的要求，即经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，所有放射性固体废物均经检测合格后，作为医疗废物统一委托有资质单位处置。

② 废活性炭

本项目活性炭过滤装置更换下来的废活性炭（含放射性核素）采用专用废物袋密封，再转移至固废室，经暂存 30 天后，废物管理人员经监测满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的相关要求，即经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为一般固体废物由厂家回收处置。

本项目设置有 2 间固废室，其中 1 间收集分装质控室产生的放射性废物，1 间收集其余场所产生的放射性废物。通常医院使用的放射性废物桶尺寸为 $27.5\text{cm}\times 27.5\text{cm}\times 27.5\text{cm}$ ，大约可放置垃圾约 3kg，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中涉及 ^{18}F 的放射性固体废物需暂存超过 30 天，本次预计每天产生约 1.0kg 的放射性固体废物，分别暂存于 2 个固废室的废物桶中，每个放射性废物桶可暂存 1 周的固废，则各固废室至少配备 5 个放射性废物桶循环使用，医院可根据实际运行情况进行分配，可满足核医学科放射性固体废物的暂存需求。

综上所述，项目产生的放射性固体废物均能得到妥善处置，不会对环境造成放射性污染。

3、DSA

(1) 工作量

本项目射线装置包括透视和采集两种工作模式，根据医院提供的信息，本项目共拟配备 2 台 DSA，分别在医疗综合楼一层急诊手术部（DSA 复合手术室）及医疗综合楼四层手术部（DSA 复合手术室）各配置 1 台 DSA。

正常运行后，每次手术开机照射时间包括：透视 10min、采集 30s，则本项目射

线装置的预计年开机工作时间如下。

表 11-30 不同工作模式下的预计开机时间

场所	射线装置	数量/台	工作模式	每次照射时间	年最大工作量/台	年开机时间
一层急诊手术部	DSA	1	透视	10min	200 台手术	33.3h
			采集	30s	200 台手术	1.67h
四层手术部	DSA	1	透视	10min	200 台手术	33.3h
			采集	30s	200 台手术	1.67h

(2) 各关注点剂量率估算

本项目 DSA 主束照向患者，各关注点处仅考虑泄漏线和散射线影响。手术时，医生在待诊病人旁进行导管操作，操作过程中受到泄漏辐射及病人体表散射辐射照射。因此，本次评价重点考虑泄漏辐射和散射辐射对周边环境的辐射影响。

本项目 2 台 DSA 最大管电压均为 125kV，最大管电流均为 1250mA。

由于未能获取设备设计资料，根据《医用血管造影 X 射线机专用技术条件》（YYT0740-2022）的规定，透视工况时，管电压和管电流的任意组合下，入射皮肤表面的比释动能率不超过 88mGy/min。根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的规定，介入放射学用 X 射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于 20cm 的装置，由此可知，最小焦皮距 SID 为 20cm。据此估算，DSA 在透视工况下，距离靶点 1m 的最大剂量率为 $2.10 \times 10^5 \mu\text{Gy/h}$ ；根据医院提供的资料，一般情况下，在 125kV 的最大管电压下，透视状态下的电流最大约 25mA，采集状态下的电流最大约 520mA，则采集状态的管电流约为透视工况的 21 倍，则距离靶点 1m 处的最大剂量率为 $4.41 \times 10^6 \mu\text{Gy/h}$ 。

在估算泄漏周围剂量率水平时，泄漏率按 0.1% 进行估算，故本次透视取 $2.10 \times 10^2 \mu\text{Gy/h}$ ，采集时 $4.41 \times 10^3 \mu\text{Gy/h}$ 。

本项目各关注点分布示意简图如下：

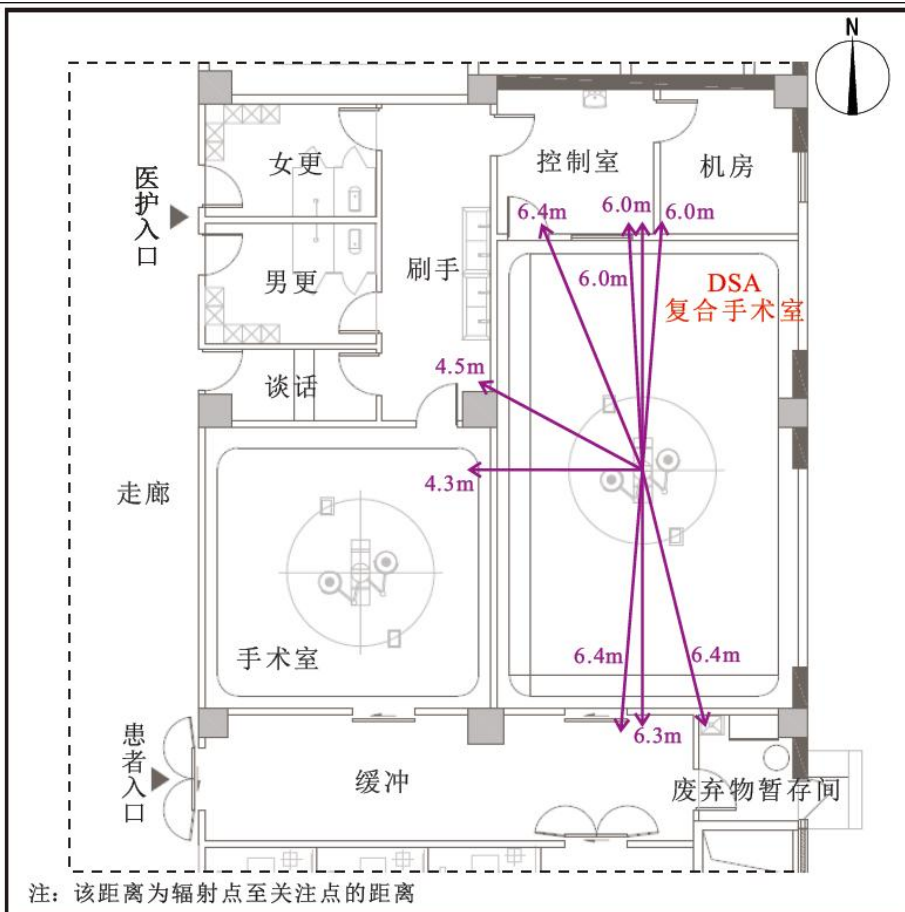


图11-7 医疗综合楼一层急诊手术部（DSA复合手术室）关注点位置

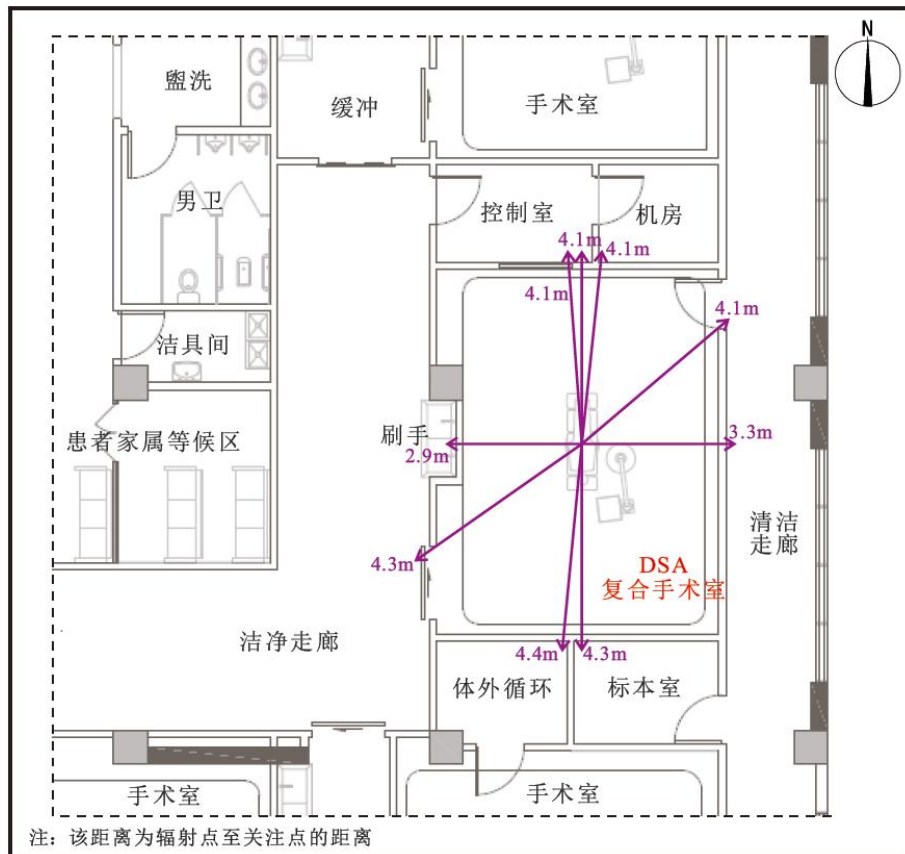


图11-8 医疗综合楼四层手术部（DSA复合手术室）关注点位置

① 泄漏辐射剂量率估算

泄漏辐射剂量率计算公式参考《辐射防护导论》P115 公式 3.61。对于给定的屏蔽物质，屏蔽透射因子依据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 附录 C 计算，具体公式见公式 (11-12)、公式 (11-13)。

α 、 β 、 γ 为铅对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见表 11-31。

表 11-31 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	材料	参数		
		α	β	γ
125kV (主束)	铅	2.219	7.923	0.5386
125kV (散射)		2.233	7.888	0.7295

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

② 散射辐射剂量率估算

关注点散射剂量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册——辐射源与屏蔽》([M]北京：原子能出版社，1987) P437，公式见 (11-14)。

③ 附加年有效剂量估算

人员受到的附加年有效剂量可由式 (11-15) 计算得到。

(3) 各关注点剂量率估算结果

根据医院提供资料，本项目各 DSA 复合手术室的医生为第一术者位，配备有铅吊屏 (0.5mmPb) 及铅橡胶围裙 (0.5mmPb)；助手为第二术者位，配备有铅衣 (0.5mmPb)；护士一般在采集状态下不在机房，透视状态下利用移动铅屏风 (2mmPb) 进行防护。

① 泄漏辐射估算结果

本项目各 DSA 复合手术室防护门、观察窗、四周墙壁、房顶、地板等各关注点的泄漏辐射剂量率估算见表 11-32 和表 11-33。

表 11-32 各关注点泄露辐射剂量率估算结果—采集状态

工作场所	关注点位置描述		H_0	d	X	α	β	γ	透射因子 B	采集状态剂量率
	单位		$\mu\text{Gy/h}$	m	mm	/	/	/	/	$\mu\text{Gy/h}$
一层急诊手术部 (DSA 复合手术室)	南侧	废弃物暂存间	4.41×10^3	6.4	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10^{-5}	1.13×10^{-3}
		缓冲	4.41×10^3	6.3	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10^{-5}	1.17×10^{-3}
		南侧患者防护门	4.41×10^3	6.4	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	8.58×10^{-3}
	西侧	手术室	4.41×10^3	4.3	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10^{-5}	2.51×10^{-3}
		刷手	4.41×10^3	4.5	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10^{-5}	2.29×10^{-3}
	北侧	北墙 (控制室)	4.41×10^3	6	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10^{-5}	1.29×10^{-3}
观察窗		4.41×10^3	6	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10^{-5}	9.76×10^{-3}	

		北侧工作人员防护门	4.41×10 ³	6.4	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10 ⁻⁵	8.58×10 ⁻³	
		机房	4.41×10 ³	6	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10 ⁻⁵	1.29×10 ⁻³	
	楼上	医生办公室、输液间、留观室	4.41×10 ³	3.6	2.9	2.219	7.923	0.5386	9.99×10 ⁻⁵	3.40×10 ⁻²	
	楼下	停车场	4.41×10 ³	1.8	3.4	2.219	7.923	0.5386	3.23×10 ⁻⁵	4.39×10 ⁻²	
		第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb））	4.41×10 ³	0.5	1	2.219	7.923	0.5386	1.07×10 ⁻²	188	
		第二术者位助手（铅衣（0.5mmPb））	4.41×10 ³	1.0	0.5	2.219	7.923	0.5386	5.57×10 ⁻²	246	
	四层手术部（DSA复合手术室）	东侧	东侧防护门	4.41×10 ³	4.1	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10 ⁻⁵	2.09×10 ⁻²
			清洁走廊	4.41×10 ³	3.3	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10 ⁻⁵	4.26×10 ⁻³
		南侧	体外循环	4.41×10 ³	4.4	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10 ⁻⁵	2.40×10 ⁻³
			标本室	4.41×10 ³	4.3	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10 ⁻⁵	2.51×10 ⁻³
西侧		西侧患者防护门	4.41×10 ³	4.3	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10 ⁻⁵	1.90×10 ⁻²	
		刷手	4.41×10 ³	2.9	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10 ⁻⁵	5.52×10 ⁻³	
北侧		观察窗	4.41×10 ³	4.1	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10 ⁻⁵	2.09×10 ⁻²	
		北侧控制室	4.41×10 ³	4.1	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10 ⁻⁵	2.76×10 ⁻³	
		机房	4.41×10 ³	4.1	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10 ⁻⁵	2.76×10 ⁻³	
楼上		血液透析中心	4.41×10 ³	3.6	3.4	2.219	7.923	0.5386	3.22×10 ⁻⁵	1.10×10 ⁻²	
楼下		内科诊室、患者通道	4.41×10 ³	1.8	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10 ⁻⁵	0.11	
		第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb））	4.41×10 ³	0.5	1	2.219	7.923	0.5386	1.07×10 ⁻²	188	
		第二术者位助手（铅衣（0.5mmPb））	4.41×10 ³	1.0	0.5	2.219	7.923	0.5386	5.57×10 ⁻²	246	

表 11-33 各关注点泄露辐射剂量率估算结果—透视状态

工作场所	关注点位置描述		H ₀	d	X	α	β	γ	透射因子 B	透视状态剂量率
	单位		μGy/h	m	mm	/	/	/	/	μGy/h
一层急诊手术部（DSA复合手术室）	南侧	废弃物暂存间	2.10×10 ²	6.4	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10 ⁻⁵	5.40×10 ⁻⁵
		缓冲	2.10×10 ²	6.3	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10 ⁻⁵	5.57×10 ⁻⁵
		南侧患者防护门	2.10×10 ²	6.4	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10 ⁻⁵	4.08×10 ⁻⁴
	西侧	手术室	2.10×10 ²	4.3	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10 ⁻⁵	1.20×10 ⁻⁴
		刷手	2.10×10 ²	4.5	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10 ⁻⁵	1.09×10 ⁻⁴
	北侧	北墙（控制室）	2.10×10 ²	6	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10 ⁻⁵	6.14×10 ⁻⁵
		观察窗	2.10×10 ²	6	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10 ⁻⁵	4.65×10 ⁻⁴
		北侧工作人员防护门	2.10×10 ²	6.4	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10 ⁻⁵	4.08×10 ⁻⁴
		机房	2.10×10 ²	6	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10 ⁻⁵	6.14×10 ⁻⁵
	楼上	医生办公室、输液间、留观室	2.10×10 ²	3.6	2.9	2.219	7.923	0.5386	9.99×10 ⁻⁵	1.62×10 ⁻³
	楼下	停车场	2.10×10 ²	1.8	3.4	2.219	7.923	0.5386	3.23×10 ⁻⁵	2.09×10 ⁻³
		第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb））	2.10×10 ²	0.5	1	2.219	7.923	0.5386	1.07×10 ⁻²	8.97

	第二术者位助手（铅衣（0.5mmPb））		2.10×10 ²	1.0	0.5	2.219	7.923	0.5386	5.57×10 ⁻²	11.7
	护士（移动铅屏风（2mmPb））		2.10×10 ²	1.0	2	2.219	7.923	0.5386	8.07×10 ⁻⁴	0.17
四层手术部（DSA复合手术室）	东侧	东侧防护门	2.10×10 ²	4.1	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10 ⁻⁵	9.95×10 ⁻⁴
		清洁走廊	2.10×10 ²	3.3	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10 ⁻⁵	2.03×10 ⁻⁴
	南侧	体外循环	2.10×10 ²	4.4	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10 ⁻⁵	1.14×10 ⁻⁴
		标本室	2.10×10 ²	4.3	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10 ⁻⁵	1.20×10 ⁻⁴
	西侧	西侧患者防护门	2.10×10 ²	4.3	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10 ⁻⁵	9.05×10 ⁻⁴
		刷手	2.10×10 ²	2.9	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10 ⁻⁵	2.63×10 ⁻⁴
	北侧	观察窗	2.10×10 ²	4.1	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10 ⁻⁵	9.95×10 ⁻⁴
		北侧控制室	2.10×10 ²	4.1	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10 ⁻⁵	1.31×10 ⁻⁴
		机房	2.10×10 ²	4.1	3.9	2.219	7.923	0.5386	1.05×10 ⁻⁵	1.31×10 ⁻⁴
	楼上	血液透析中心	2.10×10 ²	3.6	3.4	2.219	7.923	0.5386	3.22×10 ⁻⁵	5.23×10 ⁻⁴
	楼下	内科诊室、患者通道	2.10×10 ²	1.8	3	2.219	7.923	0.5386	7.97×10 ⁻⁵	5.16×10 ⁻³
	第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙（0.5mmPb））		2.10×10 ²	0.5	1	2.219	7.923	0.5386	1.07×10 ⁻²	8.97
	第二术者位助手（铅衣（0.5mmPb））		2.10×10 ²	1.0	0.5	2.219	7.923	0.5386	5.57×10 ⁻²	11.7
	护士（移动铅屏风（2mmPb））		2.10×10 ²	1.0	2	2.219	7.923	0.5386	8.07×10 ⁻⁴	0.17

② 散射辐射估算结果

本项目各工作场所防护门、观察窗、四周墙壁、房顶、地板等各关注点的泄漏辐射剂量率估算见表 11-34 和表 11-35。

表 11-34 各关注点散射辐射剂量率估算结果—采集状态

工作场所	关注点位置描述	H ₀	α	透射因子 B	S	d ₀	d _s	采集状态剂量率	
	单位	μGy/h	/	/	cm ²	m	m	μGy/h	
一层急诊手术部（DSA复合手术室）	南侧	废弃物暂存间	4.41×10 ⁶	0.0015	2.08×10 ⁻⁵	400	0.5	6.4	1.35×10 ⁻²
		缓冲	4.41×10 ⁶	0.0015	2.08×10 ⁻⁵	400	0.5	6.3	1.39×10 ⁻²
		南侧患者防护门	4.41×10 ⁶	0.0015	1.57×10 ⁻⁴	400	0.5	6.4	0.10
	西侧	手术室	4.41×10 ⁶	0.0015	2.08×10 ⁻⁵	400	0.5	4.3	2.98×10 ⁻²
		刷手	4.41×10 ⁶	0.0015	2.08×10 ⁻⁵	400	0.5	4.5	2.72×10 ⁻²
	北侧	北墙（控制室）	4.41×10 ⁶	0.0015	2.08×10 ⁻⁵	400	0.5	6	1.53×10 ⁻²
		观察窗	4.41×10 ⁶	0.0015	1.57×10 ⁻⁴	400	0.5	6	0.12
		北侧工作人员防护门	4.41×10 ⁶	0.0015	1.57×10 ⁻⁴	400	0.5	6.4	0.10
		机房	4.41×10 ⁶	0.0015	2.08×10 ⁻⁵	400	0.5	6	1.53×10 ⁻²
	楼上	医生办公室、输液间、留观室	4.41×10 ⁶	0.0015	1.96×10 ⁻⁴	400	0.5	3.6	0.40
	楼下	停车场	4.41×10 ⁶	0.0015	6.38×10 ⁻⁵	400	0.5	1.8	0.52
第一术者位医生（铅吊屏（0.5mmPb）、铅橡胶围裙		4.41×10 ⁶	0.0015	1.70×10 ⁻²	400	0.5	0.5	1790	

		(0.5mmPb)								
		第二术者位助手 (铅衣 (0.5mmPb))	4.41×10 ⁶	0.0015	7.37×10 ⁻²	400	0.5	1.0	1950	
四层手术部 (DSA复合手术室)	东侧	东侧防护门	4.41×10 ⁶	0.0015	1.56×10 ⁻⁴	400	0.5	4.1	0.25	
		清洁走廊	4.41×10 ⁶	0.0015	2.08×10 ⁻⁵	400	0.5	3.3	5.06×10 ⁻²	
	南侧	体外循环	4.41×10 ⁶	0.0015	2.08×10 ⁻⁵	400	0.5	4.4	2.85×10 ⁻²	
		标本室	4.41×10 ⁶	0.0015	2.08×10 ⁻⁵	400	0.5	4.3	2.98×10 ⁻²	
	西侧	西侧患者防护门	4.41×10 ⁶	0.0015	1.56×10 ⁻⁴	400	0.5	4.3	0.22	
		刷手	4.41×10 ⁶	0.0015	2.08×10 ⁻⁵	400	0.5	2.9	6.56×10 ⁻²	
	北侧	观察窗	4.41×10 ⁶	0.0015	1.56×10 ⁻⁴	400	0.5	4.1	2.76×10 ⁻²	
		北侧控制室	4.41×10 ⁶	0.0015	2.08×10 ⁻⁵	400	0.5	4.1	0.25	
		机房	4.41×10 ⁶	0.0015	2.08×10 ⁻⁵	400	0.5	4.1	3.28×10 ⁻²	
	楼上	血液透析中心	4.41×10 ⁶	0.0015	6.38×10 ⁻⁵	400	0.5	3.6	0.13	
	楼下	内科诊室、患者通道	4.41×10 ⁶	0.0015	1.56×10 ⁻⁴	400	0.5	1.8	1.28	
			第一术者位医生 (铅吊屏 (0.5mmPb)、铅橡胶围裙 (0.5mmPb))	4.41×10 ⁶	0.0015	1.70×10 ⁻²	400	0.5	0.5	1790
			第二术者位助手 (铅衣 (0.5mmPb))	4.41×10 ⁶	0.0015	7.37×10 ⁻²	400	0.5	1.0	1950

表 11-35 各关注点散射辐射剂量率估算结果—透视状态

工作场所	关注点位置描述	H ₀	α	透射因子 B	S	d ₀	d _s	透视状态剂量率		
	单位	μGy/h	/	/	cm ²	m	m	μGy/h		
一层急诊手术部 (DSA复合手术室)	南侧	废弃物暂存间	2.10×10 ⁵	0.0015	2.08×10 ⁻⁵	400	0.5	6.4	6.41×10 ⁻⁴	
		缓冲	2.10×10 ⁵	0.0015	2.08×10 ⁻⁵	400	0.5	6.3	6.62×10 ⁻⁴	
		南侧患者防护门	2.10×10 ⁵	0.0015	1.57×10 ⁻⁴	400	0.5	6.4	4.81×10 ⁻³	
	西侧	手术室	2.10×10 ⁵	0.0015	2.08×10 ⁻⁵	400	0.5	4.3	1.42×10 ⁻³	
		刷手	2.10×10 ⁵	0.0015	2.08×10 ⁻⁵	400	0.5	4.5	1.30×10 ⁻³	
	北侧	北墙 (控制室)	2.10×10 ⁵	0.0015	2.08×10 ⁻⁵	400	0.5	6	7.30×10 ⁻⁴	
		观察窗	2.10×10 ⁵	0.0015	1.57×10 ⁻⁴	400	0.5	6	5.48×10 ⁻³	
		北侧工作人员防护门	2.10×10 ⁵	0.0015	1.57×10 ⁻⁴	400	0.5	6.4	4.81×10 ⁻³	
		机房	2.10×10 ⁵	0.0015	2.08×10 ⁻⁵	400	0.5	6	7.30×10 ⁻⁴	
	楼上	医生办公室、输液间、留观室	2.10×10 ⁵	0.0015	1.96×10 ⁻⁴	400	0.5	3.6	1.90×10 ⁻²	
	楼下	停车场	2.10×10 ⁵	0.0015	6.38×10 ⁻⁵	400	0.5	1.8	2.48×10 ⁻²	
			第一术者位医生 (铅吊屏 (0.5mmPb)、铅橡胶围裙 (0.5mmPb))	2.10×10 ⁵	0.0015	1.70×10 ⁻²	400	0.5	0.5	85.4
			第二术者位助手 (铅衣 (0.5mmPb))	2.10×10 ⁵	0.0015	7.37×10 ⁻²	400	0.5	1.0	92.9
		护士 (移动铅屏风 (2mmPb))	4.41×10 ⁶	0.0015	1.51×10 ⁻³	400	0.5	1.0	1.90	
四层手术部	东侧	东侧防护门	2.10×10 ⁵	0.0015	1.56×10 ⁻⁴	400	0.5	4.1	1.17×10 ⁻²	
		清洁走廊	2.10×10 ⁵	0.0015	2.08×10 ⁻⁵	400	0.5	3.3	2.41×10 ⁻³	

(DSA 复合手 术室)	南 侧	体外循环	2.10×10^5	0.0015	2.08×10^{-5}	400	0.5	4.4	1.36×10^{-3}
		标本室	2.10×10^5	0.0015	2.08×10^{-5}	400	0.5	4.3	1.42×10^{-3}
	西 侧	西侧患者防护门	2.10×10^5	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.3	1.07×10^{-2}
		刷手	2.10×10^5	0.0015	2.08×10^{-5}	400	0.5	2.9	3.12×10^{-3}
	北 侧	观察窗	2.10×10^5	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	4.1	1.17×10^{-2}
		北侧控制室	2.10×10^5	0.0015	2.08×10^{-5}	400	0.5	4.1	1.56×10^{-3}
		机房	2.10×10^5	0.0015	2.08×10^{-5}	400	0.5	4.1	1.56×10^{-3}
	楼 上	血液透析中心	2.10×10^5	0.0015	6.38×10^{-5}	400	0.5	3.6	6.20×10^{-3}
	楼 下	内科诊室、患者通道	2.10×10^5	0.0015	1.56×10^{-4}	400	0.5	1.8	6.09×10^{-2}
		第一术者位医生（铅吊屏 （0.5mmPb）、铅橡胶围裙 （0.5mmPb））	2.10×10^5	0.0015	1.70×10^{-2}	400	0.5	0.5	85.4
		第二术者位助手（铅衣 （0.5mmPb））	2.10×10^5	0.0015	7.37×10^{-2}	400	0.5	1.0	92.9
		护士（移动铅屏风 （2mmPb））	4.41×10^6	0.0015	1.51×10^{-3}	400	0.5	1.0	1.90

③ 附加年有效剂量估算结果

本项目 2 台 DSA 复合手术室防护门、观察窗、四周墙壁、房顶、地板等关注点人员受到的附加年有效剂量率估算见表 11-36~表 11-37。

a. 一层急诊手术部（DSA 复合手术室）

表 11-36 一层急诊手术部（DSA 复合手术室）各关注点处 X-γ辐射剂量率

关注点位置描述		采集状态				透视状态				换算系数 K	人员居留因子 T	附加年有效剂量率 H _w	人群
		泄漏辐射剂量率 H _L	散射辐射剂量率 H _S	总有效剂量率 H _R	年曝光时间	泄漏辐射剂量率 H _L	散射辐射剂量率 H _S	总有效剂量率 H _R	年曝光时间				
单位		μGy/h	μGy/h	μGy/h	h/a	μGy/h	μGy/h	μGy/h	h/a	Sv/Gy	/	mSv/a	/
南侧	废弃物暂存间	1.13×10 ⁻³	1.35×10 ⁻²	1.46×10 ⁻²	1.67	5.40×10 ⁻⁵	6.41×10 ⁻⁴	6.95×10 ⁻⁴	33.3	1	0.25	1.19×10 ⁻⁵	公众
	缓冲	1.17×10 ⁻³	1.39×10 ⁻²	1.51×10 ⁻²	1.67	5.57×10 ⁻⁵	6.62×10 ⁻⁴	7.17×10 ⁻⁴	33.3	1	0.25	1.23×10 ⁻⁵	公众
	南侧患者防护门	8.58×10 ⁻³	0.10	0.11	1.67	4.08×10 ⁻⁴	4.81×10 ⁻³	5.22×10 ⁻³	33.3	1	0.25	8.92×10 ⁻⁵	公众
西侧	手术室	2.51×10 ⁻³	2.98×10 ⁻²	3.23×10 ⁻²	1.67	1.20×10 ⁻⁴	1.42×10 ⁻³	1.54×10 ⁻³	33.3	1	0.25	2.63×10 ⁻⁵	公众
	刷手	2.29×10 ⁻³	2.72×10 ⁻²	2.95×10 ⁻²	1.67	1.09×10 ⁻⁴	1.30×10 ⁻³	1.41×10 ⁻³	33.3	1	0.25	2.40×10 ⁻⁵	公众
北侧	北墙（控制室）	1.29×10 ⁻³	1.53×10 ⁻²	1.66×10 ⁻²	1.67	6.14×10 ⁻⁵	7.30×10 ⁻⁴	7.91×10 ⁻⁴	33.3	1	1	5.40×10 ⁻⁵	职业人员
	观察窗	9.76×10 ⁻³	0.12	0.13	1.67	4.65×10 ⁻⁴	5.48×10 ⁻³	5.94×10 ⁻³	33.3	1	1	4.06×10 ⁻⁴	职业人员
	北侧工作人员防护门	8.58×10 ⁻³	0.10	0.11	1.67	4.08×10 ⁻⁴	4.81×10 ⁻³	5.22×10 ⁻³	33.3	1	1	3.57×10 ⁻⁴	职业人员
	机房	1.29×10 ⁻³	1.53×10 ⁻²	1.66×10 ⁻²	1.67	6.14×10 ⁻⁵	7.30×10 ⁻⁴	7.91×10 ⁻⁴	33.3	1	0.25	1.35×10 ⁻⁵	公众
楼上	医生办公室、输液间、留观室	3.40×10 ⁻²	0.40	0.43	1.67	1.62×10 ⁻³	1.90×10 ⁻²	2.07×10 ⁻²	33.3	1	0.25	3.53×10 ⁻⁴	公众
楼下	停车场	4.39×10 ⁻²	0.52	0.57	1.67	2.09×10 ⁻³	2.48×10 ⁻²	2.69×10 ⁻²	33.3	1	0.25	4.60×10 ⁻⁴	公众
	第一术者位医生	188	1790	1978	0.83 ^①	8.97	85.4	94.37	16.7 ^①	1	1	3.23	职业人员
	第二术者位助手	246	1950	2196	0.83 ^①	11.7	92.9	104.6	16.7 ^①	1	1	3.57	职业人员
	护士	/	/	/	/	0.17	1.90	2.07	16.7 ^①	1	1	0.03	职业人员

备注：① 本项目针对一层急诊手术部（DSA 复合手术室）配备医生 2 名、护士 2 名，技师 2 名，分 2 组轮流进行

b. 四层手术部（DSA 复合手术室）

表 11-37 四层手术部（DSA 复合手术室）各关注点处 X-γ辐射剂量率

关注点位置描述		采集状态				透视状态				换算系数 K	人员居留因子 T	附加年有效剂量率 H _w	人群
		泄漏辐射剂量率 H _L	散射辐射剂量率 H _S	总有效剂量率 H _R	年曝光时间	泄漏辐射剂量率 H _L	散射辐射剂量率 H _S	总有效剂量率 H _R	年曝光时间				
单位		μGy/h	μGy/h	μGy/h	h/a	μGy/h	μGy/h	μGy/h	h/a	Sv/Gy	/	mSv/a	/
东侧	东侧防护门	2.09×10 ⁻²	0.25	0.27	1.67	9.95×10 ⁻⁴	1.17×10 ⁻²	1.27×10 ⁻²	33.3	1	0.25	2.17×10 ⁻⁴	公众
	清洁走廊	4.26×10 ⁻³	5.06×10 ⁻²	5.49×10 ⁻²	1.67	2.03×10 ⁻⁴	2.41×10 ⁻³	2.61×10 ⁻³	33.3	1	0.25	4.47×10 ⁻⁵	公众
南侧	体外循环	2.40×10 ⁻³	2.85×10 ⁻²	3.09×10 ⁻²	1.67	1.14×10 ⁻⁴	1.36×10 ⁻³	1.47×10 ⁻³	33.3	1	0.25	2.51×10 ⁻⁵	公众
	标本室	2.51×10 ⁻³	2.98×10 ⁻²	3.23×10 ⁻²	1.67	1.20×10 ⁻⁴	1.42×10 ⁻³	1.54×10 ⁻³	33.3	1	0.25	2.63×10 ⁻⁵	公众
西侧	西侧患者防护门	1.90×10 ⁻²	0.22	0.24	1.67	9.05×10 ⁻⁴	1.07×10 ⁻²	1.16×10 ⁻²	33.3	1	0.25	1.98×10 ⁻⁴	公众
	刷手	5.52×10 ⁻³	6.56×10 ⁻²	7.11×10 ⁻²	1.67	2.63×10 ⁻⁴	3.12×10 ⁻³	3.39×10 ⁻³	33.3	1	0.25	5.78×10 ⁻⁵	公众
北侧	观察窗	2.09×10 ⁻²	2.76×10 ⁻²	0.27	1.67	9.95×10 ⁻⁴	1.17×10 ⁻²	1.27×10 ⁻²	33.3	1	1	8.69×10 ⁻⁴	职业人员
	北侧控制室	2.76×10 ⁻³	0.25	3.56×10 ⁻²	1.67	1.31×10 ⁻⁴	1.56×10 ⁻³	1.69×10 ⁻³	33.3	1	1	1.16×10 ⁻⁴	职业人员
	机房	2.76×10 ⁻³	3.28×10 ⁻²	3.56×10 ⁻²	1.67	1.31×10 ⁻⁴	1.56×10 ⁻³	1.69×10 ⁻³	33.3	1	0.25	2.89×10 ⁻⁵	公众
楼上	血液透析中心	1.10×10 ⁻²	0.13	0.14	1.67	5.23×10 ⁻⁴	6.20×10 ⁻³	6.73×10 ⁻³	33.3	1	0.25	1.15×10 ⁻⁴	公众
楼下	内科诊室、患者通道	0.11	1.28	1.39	1.67	5.16×10 ⁻³	6.09×10 ⁻²	6.60×10 ⁻²	33.3	1	0.25	1.13×10 ⁻³	公众
	第一术者位医生	188	1790	1978	0.83 ^①	8.97	85.4	94.37	16.7 ^①	1	1	3.23	职业人员
	第二术者位助手	246	1950	2196	0.83 ^①	11.7	92.9	104.6	16.7 ^①	1	1	3.57	职业人员
	护士	/	/	/	/	0.17	1.90	2.07	16.7 ^①	1	1	0.03	职业人员

备注：① 本项目针对四层手术部（DSA 复合手术室）配备医生 2 名、护士 2 名，技师 2 名，分 2 组轮流进行

④ 剂量率估算结果分析

由表 11-36~表 11-37 可知，本项目 2 台 DSA 在正常运行期间，采集模式下手术室外各关注点处 X- γ 辐射剂量率在 $1.46 \times 10^{-2} \sim 1.39 \mu\text{Gy/h}$ ；透视模式下手术室外各关注点处 X- γ 辐射剂量率在 $6.95 \times 10^{-4} \sim 6.60 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的要求。

采集模式下医生操作位（铅衣）X- γ 辐射剂量率为 $1978 \mu\text{Gy/h}$ ，第二术者位（护士/助手）X- γ 辐射剂量率为 $2196 \mu\text{Gy/h}$ ；透视模式下，机房内医生操作位 X- γ 辐射剂量率为 $94.37 \mu\text{Gy/h}$ ，第二术者位（助手）X- γ 辐射剂量率为 $104.6 \mu\text{Gy/h}$ ，护士 X- γ 辐射剂量率为 $2.07 \mu\text{Gy/h}$ 。此外，上述评价是基于保守假设进行的。实际运行时，DSA 工作场所周围的辐射剂量率水平可以维持在正常本底水平。

⑤ 人员年附加剂量估算结果分析

根据医院提供资料，本项目人员配备及工作轮岗方式如下：

a. 一层急诊手术部：拟配备医生 2 名、护士 2 名，技师 2 名，分 2 组轮流进行；

b. 四层手术部：拟配备医生 2 名、护士 2 名，技师 2 名，分 2 组轮流进行；

DSA 机房工作人员为专职工作人员，不参与其他放射性工作。根据上述计算结果，本项目年附加剂量估算总结如下：

表 11-38 本项目职业人员及公众年附加有效剂量估算一览表

工作场所	本项目年附加有效剂量 (mSv/a)				
	第一术者位 (医生操作位)	第二术者位 (助手)	护士	机房外控制室 职业人员	公众
一层急诊手术部	3.23	3.57	0.03	$5.40 \times 10^{-5} \sim 4.06 \times 10^{-4}$	$1.19 \times 10^{-5} \sim 4.60 \times 10^{-4}$
四层手术部	3.23	3.57	0.03	$1.16 \times 10^{-4} \sim 8.69 \times 10^{-4}$	$2.51 \times 10^{-5} \sim 1.13 \times 10^{-3}$
年剂量约束限值	5	5	5	5	0.1
是否满足	满足	满足	满足	满足	满足

备注：本次估算结果为工作人员轮岗后的年附加有效剂量

由上表可知，各 DSA 复合手术室的职业人员年附加有效剂量均满足本次评价提出的年管理剂量约束值（5mSv/a）；公众年附加有效剂量均满足本次评价提出的年管理剂量约束值（0.1mSv/a）。

事实上，上述计算是偏保守的，忽略了设备材料的衰减作用和人体的吸收作用，此外本项目 DSA 设备配备床边操作系统、床边剂量控制系统等防护设施，可实时显示剂量率、调节运行档位，因此实际本项目血管造影机在正常运行情况下，医

护人员受到的年附加剂量率将远小于理论计算数值。若建设单位需要增加手术台数，应增加人员配备数量，其年附加有效剂量才能满足相应国家标准要求。

(4) 废气影响分析

根据《X射线工作场所臭氧氮氧化物浓度监测》（郝海鹰、刘容、王玉海编著）及《X射线工作场所空气中臭氧氮氧化物浓度调查》（张大薇编著）资料显示，医院射线装置工作场所臭氧浓度范围为 0.010~0.137mg/m³、氮氧化物浓度范围为 0.010~0.103mg/m³。

本项目各介入手术室均设置有排风系统，可保持良好通风。满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）“6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风”的标准要求。

项目运行后，DSA 工作场所室内产生的少量臭氧和氮氧化物通过排风装置和外界空气对流，满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）的二级标准的要求。因此，本项目射线装置产生的臭氧、氮氧化物对人员和周围环境影响较小。

(5) 固体废物影响分析

本项目介入手术时会产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医用辅料，每个介入手术室的月排放量约为 0.5t，则本项目涉及的 2 个 DSA 复合手术室的年产生量共计约为 12t；经专用医疗废物桶收集后送至医疗废物暂存间暂存，统一委托有资质单位处置。DSA 工作场所的固体废物均得到合理处置，对环境影响较小。

三、事故影响分析

1、医用电子直线加速器

(1) 可能发生的辐射事故

① 机房安全联锁装置失效：因设备故障导致门机联锁装置失效，防护门未完全关闭即开机进行治疗，造成防护门外辐射剂量率升高，对防护门外活动人员产生不必要的照射；防护门未关闭人员误入治疗中的机房对其产生的不必要的照射；

② 工作人员误开机：机房内有人员滞留，工作人员误开机对滞留人员产生不必要的照射；

③ 工作人员疏忽大意等，未按诊疗计划剂量对患者进行治疗，对患者造成一定的辐射影响；

④ 设备故障，导致出束剂量与实际不符，对患者造成一定辐射影响；

(2) 辐射事故影响分析

① 防护门未关闭或门机联锁失效状态

表 11-39 防护门未关闭或门机联锁失效状态时机房外人员有效剂量

H_g ($\mu\text{Sv/h}$)	H_{og} ($\mu\text{Sv/h}$)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	停留时间 (min)	公众剂量 (μSv)
9.14	0.17	9.30	10	1.55
			20	3.10
			32.2	5

由上表可知，在加速器机房 1 和加速器机房 2 防护门未关闭或门机联锁失效时，无防护门防护时防护门外的辐射剂量率为 $9.30\mu\text{Sv/h}$ ，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 A.2，机房外人员在此停留 32.2min，即达到公众的周剂量限值 $5\mu\text{Sv}$ 。

② 机房内误照射

一旦人员误入或滞留机房，考虑人员受到泄露辐射的照射，在加速器治疗模式下，10MV 的加速器按照距靶 1m 处最大剂量率 24Sv/min ，泄露比率为 0.1% 进行估算，人员在距靶 1m 处停留 0.25s 秒达到公众年剂量约束值 0.1mSv 。

根据以上估算结果可以看出，事故状态下，短时间内即可对人员产生较大辐射影响，因此医院在日常工作过程中应做好日常检查维护，确保联锁装置、监控设施的有效性。严格按照操作规程执行，避免此类事故的发生。

(3) 风险防范与事故应急处理措施

① 定期认真地对设备的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，制定各项管理制度并严格按照要求执行，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生；

② 医院需制定严格的操作规程，运行期必须按操作规程执行，并做好个人的防护，并应将操作规程和辐射事故应急预案张贴在操作人员可看到的显眼位置；

③ 定期对设备的安全装置进行维护、保养，确保设备处于正常工作状态。

2、CT 模拟定位机

(1) 事故风险分析

① 职业人员违反操作规程或误操作，造成事故照射；

② 辐射安全措施失效，造成事故照射；

③ 检查与维护状态下，设备维修人员违反操作规程或误操作，造成事故照射。

④ 警示标志不合理使无关人员进入机房造成误照射。

(2) 事故情况下剂量分析

本次评价假设 CT 模拟定位机发生事故，公众误入机房，在无任何屏蔽措施的情况下，受到 X 射线照射（漏射线和散射线）。根据估算，公众所接受到有效剂量随时间和距离关系如表 11-40 所示。

表 11-40 CT 模拟定位机设备事故情况一定时间、距离处个人有效剂量

距 CT 模拟定位机设备的距离 (m)	事故持续时间产生的 X 射线所致人员外照射剂量 (mSv)					
	1s	2s	5s	10s	20s	30s
0.5	0.12	0.24	0.60	1.20	2.40	3.60
1	3.0×10^{-2}	6.0×10^{-2}	0.15	0.30	0.60	0.90
2	7.50×10^{-3}	1.50×10^{-2}	3.75×10^{-2}	7.50×10^{-2}	0.15	0.23

根据表 11-40 中可以看出，本项目在使用 CT 模拟定位机时，假如发生公众误入机房事故，人员在其附近逗留时间越长，接受的剂量也就越大，同时距离事故点距离越近，所受到的剂量越大。事故持续时间 1s（出束累计时长）时，距离 CT 模拟定位机设备 0.5m 处辐射剂量为 0.12mSv，达到公众年剂量约束值 0.1mSv。因此，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查机房的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，避免无关人员误入正在使用 X 射线装置的机房。

(3) 事故应急措施

为减少事故发生及发生后立即采取有效防范措施，医院需做好以下防范措施：

① 定期认真地对医院射线装置的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

② 必须有明确的操作规程，并做到“制度上墙”（即将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置）。在放射诊断操作时，操作人员按照操作规程进行操作，并做好个人的防护。

③ 每月对使用射线装置的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件需及时更换。

④ 加强放射工作人员的管理，CT 模拟定位机开机前，必须确保无关人员全部撤离后才可开启；加强放射工作人员的业务培训，防止误操作，以避免工作人员和公众受到意外辐射。

⑤ 加强控制区和监督区管理，在射线装置运行期间，加强对监督区管理，限制

公众在监督区长期滞留。

⑥ 检修人员准备进入机房时，必须携带个人剂量计。

⑦ 检查系统发生故障而紧急停机后，在未查明原因和维修结束前，不得重新启动射线装置。

⑧ 调试和维修必须解除安全联锁时，需经负责人同意并通告有关人员；工作结束后，先恢复安全联锁并经确认系统正常后再行使用。

⑨ 机房门外明显处应设置电离辐射警示标志，并安装醒目的工作状态指示灯。

⑩ 辐射安全工作领导小组应对医院的应急组织人员、救护计划和方法、救护器材和设备以及联络方式进行明确布置和安排，一旦事故发生时可立即执行。

3、核医学科

(1) 放射性药物造成的事故分析

① 可能发生的事故类型

本项目使用的非密封放射性物质为 ^{18}F ，患者在核医学科的驻留时间段，在正常营运情况下对公众和周围环境是安全的。但是如果操作管理不善或发生异常情况时，可能对公众和环境造成辐射危害，可能出现的情况有：

a. 放射性药物的意外泄漏

给患者注射时操作不当，将药物滴洒在台面、地面或其他地方，将造成 β 表面污染。

b. 对放射性药物管理不善，造成放射性药物丢失或被盗；

c. 对注射放射性药物的患者管理不善，患者任意走动、离开注射后候诊区等情况，患者体内放射性药物或排泄物、呕吐物等发出射线产生外照射对周围人员会产生一定的辐射影响；

d. 对放射性废物管理不善，对社会和环境会造成一定影响；

e. 人员误入核医学科工作场所。

② 应急情况类型

a. 放射性同位素或放射性药品丢失；

b. 少量放射性同位素溢出；

c. 溢出大量的放射性同位素。

③ 辐射事故环境影响分析

a. 放射性药品丢失、被盗事故

本次主要分析药品丢失情况下对人员所造成的辐射影响程度。假定丢失 ^{18}F 药物活度为 370MBq（患者每人核素最大用量），依据 γ 放射源点源裸源计算公式，可计算一定持续时间、距离处个人照射剂量，理论估算结果见表 11-41。

表 11-41 ^{18}F 药物丢失情况一定时间、距离处个人有效剂量

距源的距离 (m)	事故持续时间药物产生的 γ 射线所致人员外照射剂量 (mSv)				
	20min	30min	120min	270min	540min
0.3	0.196	0.294	1.180	2.650	5.290
0.5	7.05×10^{-2}	0.106	0.423	0.952	1.90
1	1.76×10^{-2}	2.65×10^{-2}	0.106	0.238	0.476
2	4.41×10^{-3}	6.61×10^{-3}	2.65×10^{-2}	5.95×10^{-2}	0.119

由表 11-41 计算结果可知，事故持续时间 20min 时，距离 ^{18}F 药物 0.3m 处辐射剂量为 0.196mSv，达到公众年剂量约束值 0.1mSv；事故持续时间越长，接受的剂量也就越大，同时距离事故点距离越近，所受到的剂量越大。

本项目拟购 ^{18}F 贮存在核医学科分装质控室的手套箱内。为了防止放射性药品贮存期间发生丢失、被盗事故，医院拟采取如下防范措施：

I 放射性药品贮存场所（分装质控室）位于医疗综合楼地下三层核医学科控制区内，在核医学科患者通道入口、出口处设计单向门禁系统，限制无关人员进入此区域；

II 在分装质控室以及主要通道处设计安装视频监控系统，由医院保卫部门进行全天监控；

III 对放射性药品贮存场所（分装质控室）设置门锁，采用双人双锁进行管理；

IV 建立放射性药品台账制度，实现专人管理，明确放射性药物的签收、储存和发放等环节有详细的程序和记录；

V 建立放射源台账、使用登记制度，对每次使用的放射源进行登记、定期进行盘点。应急措施：当发生放射性药品被盗事故，事故发生者应立即上报医院辐射事故应急领导机构。接到报告后，医院应立即启动辐射事故应急预案。

b. 放射性药品洒漏事故

工作人员在分装、注射过程中，由于工作人员未按操作规程要求或操作失误，可能导致盛装放射性药物的试剂瓶被打翻或者破碎，进而导致放射性药物撒漏在工作台面以及地上。对于本项目发生放射性药品洒漏事故时辐射影响，以放射性核素

^{18}F 为例进行理论估算，注射过程中放射性药物活度最大为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ ，放射性药物全部洒漏在工作台面上，则根据 γ 放射源裸源计算公式，则工作人员所接受到有效剂量随时间和距离关系如表 11-42 所示。

表 11-42 ^{18}F 药物洒漏情况一定时间、距离处个人有效剂量

距源的距离 (m)	事故持续时间药物产生的 γ 射线所致人员外照射剂量 (mSv)				
	1s	2s	3s	5s	10s
0.3	1.63×10^{-4}	3.27×10^{-4}	4.90×10^{-4}	8.17×10^{-4}	1.63×10^{-3}
0.5	5.88×10^{-5}	1.18×10^{-4}	1.76×10^{-4}	2.94×10^{-4}	5.88×10^{-4}
1	1.47×10^{-5}	2.94×10^{-5}	4.41×10^{-5}	7.35×10^{-5}	1.47×10^{-4}
2	3.67×10^{-6}	7.35×10^{-6}	1.10×10^{-5}	1.84×10^{-5}	3.67×10^{-5}
5	5.88×10^{-7}	1.18×10^{-6}	1.76×10^{-6}	2.94×10^{-6}	5.88×10^{-6}

根据表 11-42 中可以看出，假如 ^{18}F 药物发生洒漏事故，人员在其附近逗留时间越长，接受的剂量也就越大，同时距离事故点距离越近，所受到的剂量越大。对事故洒漏场地进行清污的人员，应加强个人防护措施，减少接触时间和尽量增加操作距离，以减少辐射影响。

防范措施：核医学科分装、注射或给药工作人员应严格按照操作规程操作，穿戴个人防护用品，增强操作熟练程度，减少操作时间，以减少辐射影响。

应急措施：若发生非密封放射性物质洒漏事故，应迅速用吸附衬垫或其他物质吸干溅洒的液体，用酒精药棉或纸巾进行擦拭，以防止污染扩散。吸附、擦拭物质作为放射性固体废物，放入带有屏蔽功能的放射性废物桶内。并对污染区域进行表面污染监测， β 表面污染大于 $0.8 \text{Bq}/\text{cm}^2$ ，用酒精药棉或纸巾进行擦拭，直到污染区表面污染小于 $0.8 \text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

(2) 密封校准源造成的事故分析

① 可能发生的事故类型

校准源由于管理不善造成放射源丢失、被盗，散落放射源对周围活动人员产生照射，为一般辐射事故；校准源存放场所发生火灾等，致使放射源防护层损坏，导致所在场所辐射剂量率升高，甚至造成放射性物质泄漏。

② 风险防范措施

a. 医院应制定严格的校准源管理制度，除专人对校准源管理外，还应加强工作人员对校准源的监督管理；

b. 建立校准源使用台账记录，对校准源使用情况进行登记，存档备查；

c. 应制定放射源事故风险的应急预案，一旦发生事故能及时启动应急预案，使

事故能得到及时有效的处理。

d. 校准源使用、存放场所配备防火器材、安装火灾报警器，加强防火安全管理，防止火灾事故的发生，以避免放射性物质发生泄漏。

③ 风险应急措施

a. 当发生校准源丢失、被盗事故时，应在第一时间将事故情况通报有关（生态环境管理部门、公安部门、卫生行政部门等）主管部门；

b. 分析确定校准源发生丢失、被盗事故的具体时间及发生事故的原因，向有关部门提供相关信息；

c. 根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗的校准源，在查找过程中应携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射。

(3) 射线装置造成的事故分析

① 事故风险分析

本项目使用 PET-CT，属于Ⅲ类射线装置，发生辐射事故的概率较小，但仍应进行考虑。主要辐射事故体现在以下方面：

a. 在射线装置工作状态下，安全连锁失效，人员误入机房产生误照射；

b. 在射线装置工作状态下，安全连锁失效，防护门未完全关闭，对经过或停留的人员产生误照射。

② 事故情况下剂量分析

由于使用 PET-CT 时，患者体内已注射 ^{18}F 药物， ^{18}F 的射线能量较大，故本次评价假设 PET-CT 发生安全连锁失效，公众误入机房，在无任何屏蔽措施的情况时，受到的辐射影响。

本次估算主要考虑 PET-CT 中 CT 部分的 X 射线照射及患者注射 ^{18}F 药物后产生的 γ 射线的叠加影响。根据估算，公众所接受到有效剂量随时间和距离关系如表 11-43 所示。

表 11-43 PET-CT 设备事故情况一定时间、距离处个人有效剂量

距 PET-CT 设备的距离 (m)	事故持续时间药物产生的 X 射线所致人员外照射剂量 (mSv)				
	1s	2s	3s	5s	10s
0.5	0.721	1.442	2.163	3.605	7.210
1	0.180	0.361	0.541	0.901	1.803
2	4.51×10^{-2}	0.090	0.135	0.225	0.451

根据表 11-43 中可以看出，本项目 PET-CT 使用时，假如发生公众误入机房的事

故，人员在其附近逗留时间越长，接受的剂量也就越大，同时距离事故点距离越近，所受到的剂量越大。事故持续时间 1s 时，距离 PET-CT 设备 1m 处辐射剂量为 0.180mSv，达到公众年剂量约束值 0.1mSv。因此，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查机房的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，避免无关人员误入正在使用的机房。

③ 风险防范措施与事故应急处理措施

对于射线装置可能发生的意外照射事故，关键在于预防，主要采取以下防范措施：

a. 机房防护门处设置规范的电离辐射警告标志及中文说明，安装工作状态指示灯；

b. 定期巡查机房防护门工作状态指示灯及安全联锁有效性；

c. 规范医院诊断工作秩序，严格执行放射诊断操作规程和辐射安全管理制度；

d. 定期检查安全制度落实情况，发现问题及时处理，消除隐患前不得继续使用；

e. 定期组织开展辐射事故应急演练，当发生辐射事故时及时响应，将辐射事故影响降到最小。为避免辐射事故的发生，要求工作人员每次上班时首先要检查个人防护设施、监控系统和报警系统是否正常。如果发生故障失灵，应立即修理，严格按照各设备操作程序进行操作作业，按照相关规定要求，完善和加强管理，使放射性同位素和射线装置始终处于监控状态。

4、DSA

(1) 事故风险分析

① 职业人员违反操作规程或误操作，造成事故照射；

② 辐射安全措施失效，造成事故照射；

③ 检查与维护状态下，设备维修人员违反操作规程或误操作，造成事故照射。

④ 警示标志不合理使无关人员进入手术室造成误照射。

(2) 事故情况下剂量分析

本次评价假设 DSA 设备发生事故，公众误入机房，在无任何屏蔽措施的情况下，受到透视和采集时的 X 射线照射（漏射线和散射线）。根据估算，公众所接受

到有效剂量随时间和距离关系如表 11-44 所示。

表 11-44 DSA 设备事故情况一定时间、距离处个人有效剂量

距 DSA 设备的距离 (m)	事故持续时间产生的 X 射线所致人员外照射剂量 (mSv) —采集模式					
	1s	2s	5s	10s	20s	30s
0.5	3.43×10^{-2}	6.86×10^{-2}	0.172	0.343	0.686	1.029
1	8.58×10^{-3}	1.72×10^{-2}	4.29×10^{-2}	8.58×10^{-2}	0.172	0.257
2	2.14×10^{-3}	4.29×10^{-3}	1.07×10^{-2}	2.14×10^{-2}	4.29×10^{-2}	6.43×10^{-2}
距 DSA 设备的距离 (m)	事故持续时间产生的 X 射线所致人员外照射剂量 (mSv) —透视模式					
	10s	30s	60s	90s	300s	600s
0.5	1.63×10^{-2}	4.90×10^{-2}	9.80×10^{-2}	0.147	0.490	0.980
1	4.08×10^{-3}	1.23×10^{-2}	2.45×10^{-2}	3.68×10^{-2}	0.123	0.245
2	1.02×10^{-3}	3.06×10^{-3}	6.13×10^{-3}	9.19×10^{-3}	3.06×10^{-2}	6.13×10^{-2}

备注：采集模式下的时间为出束累计时长

根据表 11-44 中可以看出，本项目在 DSA 进行手术时，假如发生公众误入机房事故，人员在其附近逗留时间越长，接受的剂量也就越大，同时距离事故点距离越近，所受到的剂量越大。采集模式下，事故持续时间 5s（出束累计时长）时，距离 DSA 设备 0.5m 处辐射剂量为 0.172mSv，达到公众年剂量约束值 0.1mSv；透视模式下，事故持续时间 90s 时，距离 DSA 设备 0.5m 处辐射剂量为 0.147mSv，达到公众年剂量约束值 0.1mSv。因此，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查机房的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，避免无关人员误入正在使用 X 射线装置的手术室。

(3) 事故应急措施

为减少事故发生及发生后立即采取有效防范措施，医院需做好以下防范措施：

① 定期认真地对医院射线装置的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

② 凡涉及对 DSA 进行操作，必须有明确的操作规程，并做到“制度上墙”（即将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置）。在放射诊断操作时，操作人员按照操作规程进行操作，并做好个人的防护。

③ 每月对使用射线装置的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件需及时更换。

④ 加强放射工作人员的管理，DSA 开机前，必须确保无关人员全部撤离后方可开启；加强放射工作人员的业务培训，防止误操作，以避免工作人员和公众受到意外辐射。

⑤ 加强控制区和监督区管理，在射线装置运行期间，加强对监督区管理，限制公众在监督区长期滞留。

⑥ 检修人员准备进入机房时，必须携带个人剂量计。

⑦ 检查系统发生故障而紧急停机后，在未查明原因和维修结束前，不得重新启动射线装置。

⑧ 调试和维修必须解除安全联锁时，需经负责人同意并通告有关人员；工作结束后，先恢复安全联锁并经确认系统正常后再行使用。

⑨ 机房门外明显处应设置电离辐射警示标志，并安装醒目的工作状态指示灯。

⑩ 辐射安全工作领导小组应对医院的应急组织人员、救护计划和方法、救护器材和设备以及联络方式进行明确布置和安排，一旦事故发生时可立即执行。

表 12 辐射安全管理

一、辐射安全与环境保护管理机构的设置

1、辐射安全与环境保护管理机构

根据《中华人民共和国环境保护法》（2015年1月1日）、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订，国务院令 第709号，2019年3月2日）、《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7号，2019年8月22日）第十六条“使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证，应当具备下列条件：

（一）使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作”等有关法律法规及国家标准的要求，为了加强放射性同位素和射线装置的安全和防护的监督管理，促进放射性同位素和射线装置的安全应用，正确应对突发性辐射事故，确保事故发生后能快速有效地进行现场应急处理、处置，维护和保障工作人员和公众的生命安全和财产，该单位应成立相应的辐射安全与环境保护管理机构。

西安凤城医院已成立辐射安全管理领导小组，组长由王保山（院长）担任，副组长由李建荣、闫依群担任。主要职责如下：

- (1) 制定本院辐射事故应急预案及实施程序，组织应急人员进行必要的演练。
- (2) 负责组织从事射线工作人员参加辐射安全与防护的培训及健康管理。
- (3) 监督检查辐射安全工作，防止辐射事故的发生，对防范环节及措施缺陷提出整改意见。
- (4) 负责本院辐射事故的处置，并负责与省、市、区环保部门、卫生主管部门的联系协调工作，在事故处置过程中接受省、市、区环保部门的指导。
- (5) 每半年召开一次领导小组会议，总结上半年辐射防护工作，针对存在问题提出整改方案和措施，安排下半年辐射安全工作。

本项目依托现有辐射安全与环境保护管理机构。

2、人员配备与职能

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中第十六条第二款的要求，“从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考

核”。依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中第二十八条的要求，“生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当对直接从事生产、销售、使用活动的职业人员进行安全和防护知识教育培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗”。

本项目拟配备的工作人员均为新增。根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告2019年第57号，2019年12月23日），本项目涉及的辐射工作人员应根据公告要求，经培训后取得培训合格证书方可上岗。

二、辐射安全管理规章制度

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全防护条例》、《陕西省放射性污染防治条例》、《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》，西安凤城医院已制定了较为完善的辐射安全管理规章制度，辐射安全管理内容实际建设情况详见表12-1。

表 12-1 辐射安全管理标准化建设项目表（二）—辐射安全管理部分

管理内容		管理要求	有/无
人员管理	决策层	就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作	有
		年初工作安排和年终工作总结时，应包含辐射环境安全管理工作内容	有
		明确辐射安全管理部门和岗位的辐射安全职责	有
		提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障	有
	辐射防护负责人	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求并向员工和公众宣传辐射安全相关知识	有
		负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度评估报告	有
		建立辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责	有
		建立辐射环境安全管理档案	有
		对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有巡查及整改记录	有
	直接从事放射工作的作业人员	岗前进行职业健康体检，结果无异常	有
		参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗	有
		了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺	有
熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况时，能有效处理		有	
机构建设	设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射环境安全管理机构和负责人	有	
制度建立与执行	建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整	有	

	建立放射性同位素与射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立放射性同位素、射线装置台账	有
	建立本单位放射性同位素与射线装置岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案	有
	建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案	有
	建立辐射工作人员剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员及时复查，保证职业人员健康档案的连续有效性	有
	建立辐射工作人员职业健康体检管理制度，定期对辐射工作人员进行职业健康体检，对体检异常人员及时复查，保证职业人员健康监护档案的连续有效性	有
	建立辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等内容），并建立维护、维修工作记录档案（包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间）	有
	建立辐射环境监测制度，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案	有
	建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度，定期对监测仪器设备进行检定，并建立检定档案	有
应急管理	结合本单位实际，制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行辐射事故应急演练	有
	应急预案应当包括下列内容：①可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和处理程序	有

综上，将本项目建设内容纳入现有辐射安全管理规章制度，但建设单位需要结合本项目实际情况对现有辐射安全管理规章制度予以完善，具体如下：

(1) 将本项目涉及的放疗科、核医学科的内容进行补充，主要包括非密封放射性物质安全管理制度等，医院根据实际工作进行补充完善；

(2) 完善《辐射安全管理制度》，主要包含其中的射线装置工作人员岗位职责、放射工作人员培训管理制度、辐射工作人员培训计划、辐射安全防护设施维护与维修制度、辐射防护监测管理制度等，将本项目涉及的工作场所纳入管理，并补充本次新增人员岗位职责；

(3) 完善《辐射事故应急预案》，将本项目涉及的非密封放射性物质及射线装置的辐射安全事故及应急响应措施等进行补充；

(4) 完善《辐射安全管理制度》中的射线装置操作规程，补充加速器操作规程、核医学科操作规程等；

(5) 将本项目新增的辐射工作人员个人剂量管理、职业健康管理、培训管理，新增射线装置的维护、维修管理，新增监测仪器的使用、监测管理等纳入管理制度中。

三、辐射监测

1、监测仪器

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“(五) 配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器, 包括个人剂量测量、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监测仪。(八) 使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位, 还应当配备质量控制检测设备, 制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划。”

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)“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。”

西安凤城医院拟为本项目配备的辐射监测仪器如下:

表 12-2 本项目拟配备的辐射监测仪器

项目	拟配备的监测仪器	数量(台)
凤城医院医疗综合楼	X- γ 剂量率测量仪	1 台
放疗科	个人剂量报警仪	10 台
	固定式辐射剂量监测仪	2 套
核医学科	α 、 β 表面污染检测仪	2 台

2、监测方案

(1) 监测内容: X- γ 辐射剂量率、 β 表面沾污及衰变池废水总 β 放射性;

(2) 监测布点及数据管理: 监测布点应参照《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)布点, 监测数据应记录完善, 并将数据实时汇总, 建立好监测数据台账以便核查。

本项目监测计划见表 12-3。

表 12-3 监测计划

位置		监测内容	监测点位	监测因子	监测频次
放疗科	医用电子直线加速器机房 1 及医用电子直线加速器机房 2	防护性能检测	四周屏蔽墙外 30cm 处、控制室、防护门外 30cm 处、电缆沟	X、 γ 辐射剂量率	每年自测 1~2 次, 委托有资质单位每年一次
		周围环境巡测	机房周围	X、 γ 辐射剂量率	每年自测 1~2 次, 委托有资质单位每年一次
核医学科		防护性能检测	分装质控室、注射室、运动候诊兼抢救室、PET-CT 候诊、VIP 候诊、留观室、固废室	X、 γ 辐射剂量率、表面污染	每年自测 1~2 次, 委托有资质单位每年一次
			控制室操作位置、防护门及	X、 γ 辐射剂	

		观察窗表面、四周屏蔽墙体表面及核医学科控制区楼下距地面 1.7m、楼上距地面 0.3m、控制区墙体外 30cm 处	量率	
		机房躺床表面、注射工作台及地面、手套箱表面、PET-CT 候诊座椅及地面、VIP 候诊座椅及地面、留观室座椅及地面、卫生间等	表面污染	每年自测 1~2 次, 委托有资质单位每年一次
	放射性固体废物	放射性废物表面	表面污染	每次解控前需监测一次
	放射性废水	衰变池	总 α 、总 β	每年自测 1~2 次, 委托有资质单位每年一次
急诊手术部 (DSA 复合手术室)、手术部 (DSA 复合手术室)	防护性能检测	四周墙体及门窗表面 30cm、手术室楼上地面 1.0m、手术室楼下地面 1.7m、操作位、线沟等	X、 γ 辐射剂量率	每年自测 1~2 次, 委托有资质单位每年一次
	周围环境巡测	DSA 复合手术室周围	X、 γ 辐射剂量率	每年自测 1~2 次, 委托有资质单位每年一次
辐射工作人员个人剂量监测		/	个人剂量	1 次/1 季度

四、环境保护投资与环保验收要求

1、环境保护投资

本项目总计投资 30000 万元, 其中环保投资 460 万元, 占总投资的 1.53%, 具体见环保投资一览表 12-4。

表 12-4 环保投资一览表

实施阶段	类别	污染源或污染物	污染防治措施或设施	费用 (万元)	
运营期	废气	核医学科	排风系统, 设活性炭过滤器	100.0	
		放疗科、DSA 复合手术室 (2 间)	排风系统	80.0	
	废水	清洗废水、患者排泄物等	衰变池、放射性废水管道防护	25.0	
	固体废物	放疗科	废金属靶、废辅助过滤器等	作为放射性固体废物交由有资质的加速器供应商更换并处置	/
		核医学科	废注射器、废手套、废活性炭等	建设有固废室, 放射性废物解控后按医疗废物处理, 废活性炭作为一般固体废物由厂家回收处置, 医疗废物统一委托有资质单位处置	30.0
			废放射源	由有资质的单位回收处置	/
	DSA 手术室 (2 间)	介入手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医用辅料	经专用医疗废物桶收集后送至医疗废物暂存间暂存, 统一委托有资质单位处置	20.0	
	放疗科	辐射防护屏蔽措施	医用电子直线加速器四周墙体、地面和顶部均采用一定厚度的混凝土	50.0	

			进行防护；CT 模拟定位机房四周墙体采用一定厚度的实心砖或一定厚度的混凝土，地面和顶部均采用一定厚度的混凝土进行防护；机房门均采用一定铅当量的铅防护门	
		辐射安全防护设施	医用电子直线加速器各机房设置有门机连锁装置、急停按钮、固定式报警装置、工作状态指示灯等辐射安全防护设施；CT 模拟定位机房设置有急停按钮、工作状态指示灯等辐射安全防护设施	
	核医学科	辐射防护屏蔽措施	核医学科各工作场所四周墙体采用一定厚度的实心砖或实心砖+硫酸钡防护涂料，地面和顶部采用一定厚度的混凝土或混凝土+硫酸钡防护涂料；防护门均采用一定铅当量的铅防护门；PET-CT 机房的观察窗、注射室的注射窗口均采用一定铅当量的铅玻璃	80.0
		辐射安全防护设施	各工作场所设置分区标识，地面设置行走路径标识；各工作场所出入口设置醒目的电离辐射警告标志；PET-CT 机房设置有工作状态指示灯、急停装置等辐射安全防护设施；配置有钨合金注射器屏蔽套、储源铅罐等，分装质控室配置有手套箱	
			铅防护服、铅帽、铅围脖等个人防护用品、一次性手套、气溶胶防护口罩、工作服等去污用品	
	DSA 手术室（2 间）	辐射防护屏蔽措施	各介入手术室四周墙体均采用实心砖墙体，防护门均采用一定铅当量的铅防护门，观察窗均采用一定铅当量的铅玻璃，屋顶及地面采用一定厚度混凝土+硫酸钡防护涂料	20.0
		辐射安全防护设施	铅防护服、铅帽、铅围脖等个人防护用品；铅防护帘、床侧防护帘、移动铅防护屏等辅助防护设施	
	人员培训、制度上墙		/	5.0
	环境监测	/		50.0
	总环保投资			460.0

2、竣工环境保护验收内容及要求

根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日起实施），本项目竣工后，建设单位应按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，及时对本项目配套建设的环境保护设施进行自主验收。

本项目竣工环境保护验收清单（建议）见表 12-5。

表 12-5 项目竣工环境保护验收清单（建议）

序号	项目	内容	验收效果和环境预期目标	辐射防护设施数量
1	辐射安全管理机构	设立辐射安全管理机构	西安凤城医院已成立专门的辐射防护管理小组，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确辐射防护管理小组的主要职责。本次依托现有辐射防护管理小组	/
2	辐射安全防护措施	安全措施	核医学科各工作场所设置分区标识，地面设置行走路径标识。各工作场所出入口设置醒目的电离辐射警告标志，并附文字说明；门机连锁装置等，应满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中 6.2 的要求、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中 6.2 的要求及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中 6.0 的要求	分区标识、电离辐射警告标志等若干
3	人员配备	辐射防护与安全培训	本次拟新增的辐射工作人员应参加辐射安全与防护培训，取得培训合格证书	新增 28 名辐射工作人员
		个人剂量检测	辐射工作人员个人剂量计定期委托有资质单位进行监测，并建立个人剂量档案	
		职业健康管理	辐射工作人员定期进行体检，并建立职业健康档案	
4	防护用品、监测仪器	个人剂量计	有与工作人员数量匹配的个人剂量计	28 个
		个人防护用品	为本项目放疗科及核医学科工作人员配备铅防护服、铅帽、铅围脖等；急诊手术部（DSA 复合手术室）、手术部（DSA 复合手术室）工作人员配备铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅橡胶围裙、铅防护眼镜、铅防护手套等，为患者配备铅橡胶颈套、铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶帽子、儿童铅橡胶颈套、儿童铅橡胶性腺防护围裙、儿童铅橡胶帽子等	放疗科：3 套 核医学科：2 套 急诊手术部（DSA 复合手术室）：工作人员 2 套，患者 1 套 手术部（DSA 复合手术室）：工作人员 2 套，患者 1 套
		辅助防护设施	为本项目 DSA 工作人员配备铅防护帘、床侧防护帘、移动铅防护屏；核医学科配备移动铅防护屏	核医学科：2 套 急诊手术部（DSA 复合手术室）：1 套 手术部（DSA 复合手术室）：1 套
		通排风	放射工作场所安装通风装置，核医学科有独立排风系统，排风口设置在所在建筑物顶部；分装质控室内的手套箱有独立排风系统并配置活性炭过滤装置，排风口设置在所在建筑物顶部，具体详见章节表 10 中的“二、三废的治理”	/
		放射性废水	配套建设衰变池，设置有取水口	/
		放射性固体废物	在分装质控室、运动候诊兼抢救室、PET-CT 候诊、VIP 候诊、留观室等内配置带铅防护废物桶，铅防护废物桶外张贴电离辐射标识。在 PET-CT 候诊、VIP 候诊、留观室内设置有专用卫生间。放射性固体废物分类收集存放于固废室，废物包装体外注明核素、收集时间、处理时间等相关信息。解控后的废活性炭及其他固体废物均作为一般固体废物处理，建立放射性废物管理台账	在分装质控室、运动候诊兼抢救室、PET-CT 候诊、VIP 候诊、留观室配置正电子药物使用废物桶，各房间 1 个，共计 5 个； 2 间固废室各配置放射性废物桶 5 个，共计 10 个

		辐射环境监测仪器	配备 X、 γ 辐射监测仪器、便携式表面污染监测仪、个人剂量报警仪、固定式辐射剂量监测仪，并定期检定，建立监测数据档案，具体见表 12-2	新增 X- γ 剂量率测量仪：1 台，个人剂量报警仪 10 台，固定式辐射剂量监测仪：2 套， α 、 β 表面污染检测仪：2 台
5	监测限值要求	个人剂量监测	工作人员年有效剂量本项目低于年剂量约束限值 5mSv，公众年有效剂量低于年剂量约束限值 0.1mSv	监测频次为 1 次/1 季度
		工作场所表面污染控制水平以及剂量率控制水平	工作场所的放射性表面污染控制水平及剂量率控制水平满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的工作场所的防护水平要求	每年自测 1~2 次，委托有资质单位每年一次
6	辐射环境管理	健全辐射环境管理制度，并认真贯彻执行	根据环评报告要求，按照项目的实际情况，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。将本项目建设内容纳入现有管理体系中，补充及完善与核医学科和放疗科有关的管理要求及制度，完善应急预案，其余依托现有。落实必要的应急物资，定期进行辐射事故应急演练。	完善《辐射安全管理制度》、《辐射事故应急预案》，补充补充加速器操作规程、核医学科操作规程、非密封放射性物质安全管理制度等
7	辐射安全管理标准化	辐射工作场所按照《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》完善标准化建设		

五、辐射事故应急

为有效防护、及时控制辐射事故所致的伤害，加强放射性同位素和射线装置安全管理工作，保障辐射相关工作人员和公众人员的健康安全，使环境受到辐射污染程度控制在标准允许范围之内。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 449 号）及其它相关法律、法规的规定和管理部门要求，建设单位应建立《辐射事故应急预案》。

西安凤城医院已制定了《辐射事故应急预案》，建设单位应将本项目建设内容纳入现有管理体系中，及时修订应急预案。现有应急预案主要包括以下内容：(1) 辐射事故应急组织与职责；(2) 辐射事故分级；(3) 辐射事故分析；(4) 应急行动；(5) 应急终止和恢复；(6) 应急保障；(7) 信息报送与处理。

综上，医院现行应急预案符合相关法律、法规的规定和管理部门要求。对突发辐射事故，该单位需坚持以预防为主，常备不懈的方针，建立和加强相应的监测、应急制度，做到及时发现、及时报告、快速反应、及时控制。同时应具备应急反应机制和应急处理能力，实现应急工作的科学化、规范化。应从经费、物资、人员和技术人员方面做好准备工作，定期进行培训以备应急时之需要。在辐射事故应急预案的实施

中，根据新的相关法律法规内容，结合检查工作的实际情况对应急预案进行修订，使之更能符合辐射实际需要。

目前西安凤城医院未曾发生过辐射事故，为预防辐射事故的发生，医院会定期根据应急预案进行演练。

表 13 结论与建议

一、结论

1、项目概况

西安凤城医院拟在医疗综合楼地下三层放疗科拟配置 2 台医用电子直线加速器；在医疗综合楼地下三层核医学科拟配置 1 台 PET-CT，使用放射性核素有 ^{18}F ；在医疗综合楼一层急诊手术部（DSA 复合手术室）拟配置 1 台 DSA；在医疗综合楼四层手术部（DSA 复合手术室）配置 1 台 DSA。

项目建成后将完善医院诊疗科目，提高医疗诊断水平，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践正当性”的原则。

项目建设地点与周边建筑相互独立，医疗综合楼距离临近道路较近，但放疗科及核医学科位于地下三层，降低了公众受到照射的可能性，且周围无明显环境制约因素，选址和平面布置基本合理。

项目所在地空气吸收剂量率处于正常环境本底水平，辐射环境现状无异常，项目所在区域辐射环境现状质量良好。

2、辐射环境影响分析

(1) 放疗科

① 医用电子直线加速器

经估算分析可知：

a. 项目医用电子直线加速器机房主屏蔽墙设计宽度均满足有用射线束屏蔽宽度要求；在正常或调强放射治疗情况下，项目机房辐射防护实体屏蔽墙、防护门外表面 30cm 处各关注点的辐射剂量率均在参考控制水平以内，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）相关要求。

b. 医用电子直线加速器辐射工作人员最大年有效剂量率为 $3.55 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，公众最大为 $1.47 \times 10^{-2} \sim 3.66 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ，均低于本次环评提出的辐射工作人员的剂量约束值不超过 5mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

② CT 模拟定位机

经估算分析可知：

a. 患者在使用 CT 模拟定位机过程中各关注点周围剂量当量率范围为 $1.36 \times 10^{-3} \sim 1.39 \mu\text{Gy/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“周围剂量当量率应

不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的相关要求。

b. CT 模拟定位机涉及的职业人员年附加有效剂量为 $2.54\times 10^{-2}\sim 0.10\text{mSv/a}$ ，公众最大为 $2.84\times 10^{-5}\sim 4.72\times 10^{-2}\text{mSv/a}$ ，均满足本次评价提出的年管理剂量约束值（ 5mSv/a ）；公众年附加有效剂量均满足本次评价提出的年管理剂量约束值（ 0.1mSv/a ）。

(2) 核医学科

经估算分析可知：

① 核医学科正常运行期间，各关注点周围剂量当量率均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）工作场所防护水平要求；

② 在采取了本评价所提屏蔽措施的前提下，采取操作台面铺衬吸水纸、加强人员培训和患者的管理，可以有效避免对工作场所的表面污染。项目开展后，工作场所表面污染水平可以控制在《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中表面污染控制水平之内；

③ 本项目正常运行期间，对工作人员所致年有效剂量每组最大为 3.45mSv ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中要求的职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a 。由于放射性药物半衰期较短，药物活度不断降低，其产生辐射剂量率也不断降低，工作人员也可轮换作业，实际工作人员年有效剂量低于估算结果。

④ 公众年附加有效剂量为最大为 $8.37\times 10^{-2}\text{mSv/a}$ ，均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中要求的公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a 。

(3) DSA

本项目 2 台 DSA 在正常运行期间，采集模式下机房外各关注点处 X- γ 辐射剂量率在 $1.46\times 10^{-2}\sim 1.39\mu\text{Gy/h}$ ；透视模式下机房外各关注点处 X- γ 辐射剂量率在 $6.95\times 10^{-4}\sim 6.60\times 10^{-2}\mu\text{Gy/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的要求。

本项目各 DSA 复合手术室的职业人员年附加有效剂量均满足本次评价提出的年管理剂量约束值（ 5mSv/a ）；公众年附加有效剂量均满足本次评价提出的年管理剂量约束值（ 0.1mSv/a ）。

3、辐射安全管理

本项目依托医院现有的辐射安全防护管理机构，并已明确相关成员职责；将本

项目建设内容纳入现有管理体系中，完善应急预案，用于指导和规范从事放射活动的人员做好辐射安全和放射防护工作，医院应根据实际使用情况不断完善操作规程、岗位职责、辐射安全和防护制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，使其具有更强的针对性和可操作。

4、项目可行性分析结论

项目在落实本报告提出的各项污染防治措施、辐射安全防护措施和辐射安全管理制度后，运行期对周围环境的辐射影响可达到合理且尽可能低的水平，满足辐射防护最优化原则。项目运行所致放射工作人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准限制要求，符合剂量限值约束原则。因此，从辐射安全和环境保护角度分析，项目建设可行。

二、建议和要求

1、项目竣工后建设单位应按照国家生态环境行政主管部门规定的标准和程序，医院应及时申领辐射安全许可证，并及时开展竣工环境保护验收工作。

2、项目建成运行后，应严格执行辐射环境监测制度，每年对放射性同位素和射线装置应用的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向辐射安全许可证颁发部门报送上一年度辐射安全年度评估报告。

3、定期对放射工作人员进行个人剂量检测和健康体检，对个人剂量检测报告、体检报告中出现问题、异常数据及时查明原因，采取有效措施妥善处理，并留档备查。

4、应加强对工作人员和公众成员辐射防护知识的宣传教育，提高其自身安全防护意识，避免辐射事故的发生。

5、定期检查连锁装置、指示灯，确保其处于正常的工作状态，发现问题及时维修。

6、应加强对工作人员的辐射安全培训工作，在进行放射性同位素操作时，医护人员必须穿戴防护用品，以合理有效的降低人员受照射剂量。

7、新增辐射工作人员应安排岗前体检，确认可从事放射工作并取得核技术利用辐射安全与防护考核合格成绩报告单方可上岗。

表 14 审批

预审意见:

经办人: 单位公章

年 月 日

下一级环境保护行政主管部门审查意见:

经办人: 单位公章

年 月 日