

核技术利用建设项目

上饶市立医院三江总院核技术利用项目
环境影响报告表

上饶市立医院

2025年2月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

上饶市立医院三江总院核技术利用项目
环境影响报告表

建设单位名称：上饶市立医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：江西省上饶市信州区上饶大道 96 号

邮政编码：334099

联系人：

电子邮箱：

联系电话：

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	25
表 3 非密封放射性物质	25
表 4 射线装置	26
表 5 废弃物	27
表 6 评价依据	28
表 7 保护目标与评价标准	30
表 8 环境质量和辐射现状	42
表 9 项目工程分析与源项	50
表 10 辐射安全与防护	61
表 11 环境影响分析	94
表 12 辐射安全管理	125
表 13 结论与建议	137
附件 1 委托书	141
附件 2 辐射安全许可证	142
附件 3 三江总院项目环评批复	142
附件 4 现有 DSA 环评批复及验收意见	156
附件 5 辐射安全管理制度	167
附件 6 放射工作人员培训/考试合格证	194
附件 7 职业健康体检报告（摘录）	202
附件 8 个人剂量检测报告（摘录）	205
附件 9 辐射环境本底监测报告	215
附件 10 类比监测报告	228

表 1 项目基本情况

建设项目名称		上饶市立医院三江总院核技术利用项目				
建设单位		上饶市立医院				
法人代表			联系人		联系电话	
注册地址		江西省上饶市五三大道 182 号				
项目建设地点		江西省上饶市信州区上饶大道 96 号上饶市立医院三江总院医技楼负一层放疗科，医技楼一层介入科				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）		12000	项目环保投资（万元）	1000	投资比例（环保投资/总投资） 8.33%	
项目性质		■新建 □改建 □扩建 □其它			占地面积（m ² ）	/
应用类型	放射源	□销售	□I类 □II类 □III类 □IV类 □V类			
		□使用	□I类（医疗使用） □II类 □III类 □IV类 □V类			
	非密封放射性物质	□生产	□制备 PET 用放射性药物			
		□销售	/			
		□使用	□乙 □丙			
	射线装置	□生产	□II类 □III类			
		□销售	□II类 □III类			
		■使用	■II类 □III类			
	其他	/				

1.1 建设单位概况

上饶市立医院（以下简称“建设单位”）创办于 1951 年，是一所集医疗、保健、教学、科研为一体的三级甲等综合医院。共设有两个院区，其中老院区位于江西省上饶市五三大道 182 号，三江总院位于上饶市信州区上饶大道 96 号。

上饶市立医院三江总院（以下简称“三江总院”）位于上饶市信州区三江片区，院区东面为上饶大道，南面为志敏西大道，均为城市主干道。医院在上饶大道设置主出入口，志敏西大道设置次出入口；西面为宽16米规划道路，北面为城市绿地及景观水系。院区中心地理坐标为：东经117°57'05.196"，北纬28°25'16.066"，总

建筑面积148782.57m²，包含住院楼、行政楼、感染楼、规培楼、医技楼，共设床位1000张（其中感染性疾病床位100张，综合医院床位900张），规划机动车停车位1128个，非机动车停车位1870个。

2022年5月，建设单位委托浙江环耀环境建设有限公司编制完成了《上饶市立医院三江总院建设项目环境影响报告书》，并取得了上饶市信州生态环境局批复意见（饶信环评字[2022]12号，详见附件3），建设内容包括门诊、住院部综合大楼及配套食堂、污水处理站等，不包含医院放射及电磁辐射内容。

根据《上饶市立医院三江总院建设项目环境影响报告书》，本项目涉及的加速器机房、CT模拟定位室属于三江总院辅助工程地下室建设内容，DSA机房属于主体工程门诊综合大楼一层介入室建设内容，均已进行环境影响评价。

根据现场调查，加速器机房已与主体工程一并浇筑完成，未进行机房装修和设备安装；CT模拟定位室和DSA机房现为闲置状态，目前未进行机房装修和设备安装。不存在“未批先建”的情况。

目前三江总院已完成主体工程建设和内部装修，部分科室已入住并投入运行。

1.2 项目由来

三江总院拟在负一层放疗科建设2间加速器机房，并新增2台X射线最大能量为10MV的医用电子直线加速器（以下简称“加速器”），配套1台CT模拟定位机，安置于CT模拟定位室；拟在医技楼一层介入科建设3间介入手术室，并新增3台数字减影血管造影机（以下简称“DSA”）。

根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告2017年第66号），加速器及DSA均属于II类射线装置，CT模拟定位机属于III类射线装置。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境保护管理条例》等法律法规规定，本项目应进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，本项目属于“五十五、核与辐射，172核技术利用项目”中“使用II类射线装置的”，应该编制环境影响报告表。

因此，建设单位委托核工业二三〇研究所承担本项目环境影响评价工作（委托书见附件1）。接到委托后，环评单位组织相关人员进行了现场调查和资料收集工作，并开展辐射环境质量现状监测。

在此基础上，环评单位按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，编制完成该项目环境影响报告表。

1.3 项目概况

1.3.1 建设内容

(1) 项目名称：上饶市立医院三江总院核技术利用项目

(2) 建设地点：江西省上饶市信州区上饶大道 96 号上饶市立医院三江总院医技楼负一层放疗科加速器机房、CT 模拟定位室，医技楼一层介入科 DSA 机房

(3) 建设性质：新建

(4) 建设单位：上饶市立医院

(5) 投资：本项目总投资 12000 万元，其中环保投资 1000 万元，占比 8.33%。

(6) 建设内容：本项目拟新增 2 台加速器、1 台 CT 模拟定位机、3 台 DSA。

设备基本参数详见下表：

表 1-1 本项目射线装置参数一览表

序号	装置名称	厂家/型号	主要技术参数	类别	数量	安装位置
1	加速器 1	医科达 Elekta Synergy	X 射线：6MV、10MV 6MV 最大输出剂量率 普通模式：600cGy/min FFF 模式：1400cGy/min 10MV 最大输出剂量率：600cGy/min 电子线：6、8、10、12、15 MeV 最大输出剂量率：600cGy/min 最大照射野：40cm*40cm 射线泄漏率：0.1% SAD=1000mm 等中心高度：1250 mm 射线束总角度：半对角 14° 锥形线束 配套锥形束计算断层扫描系统（简称 CBCT，最大管电压 150kV，最大管电流 500mA）	II 类	1	医技楼 负一层 放疗科 加速器 机房 1
2	加速器 2	待定	X 射线：不高于 10MV 6MV 最大输出剂量率 普通模式：600cGy/min FFF 模式：1400cGy/min 10MV 最大输出剂量率：600cGy/min 电子线：不高于 15 MeV 最大输出剂量率：600cGy/min 最大照射野：40cm*40cm 射线泄漏率：0.1% SAD=1000mm	II 类	1	医技楼 负一层 放疗科 加速器 机房 2

			等中心高度：1250 mm 射线束总角度：半对角 14° 锥形线束 配套锥形束计算断层扫描系统（简称 CBCT，最大管电压 150kV，最大管电流 500mA）			
2	CT 模拟定位机	待定	最大管电压：140kV 最大管电流：800mA	III 类	1	医技楼 负一层 CT 模拟定位室
3	DSA	待定	125kV，1000mA， 床下单球管，带类 CT 功能。	II 类	3	医技楼 一层 介入科 DSA 机房

(7) 建设规模

本项目由主体工程、辅助工程、公用工程和环保工程四部分组成。

根据现场调查，医技楼主体工程已建成，加速器机房已浇筑完成，目前未进行机房装修和设备安装；CT 模拟定位室、DSA 机房现为闲置状态，目前未进行机房装修和设备安装。具体情况详见下表：

表 1-2 本项目工程建设内容及规模一览表

分类	项目	建设内容及规模
主体工程	加速器机房	<p>2 间机房共用一面主屏蔽墙，采用同等防护、对称设计。</p> <p>平面布置设计： 机房建筑面积均为 177.5m²，长 14.2m，宽 12.5m，高 4m。内部有效使用面积均为 93.75m²，体积为 375m³（治疗室与迷道总体积），迷道长 9.9m，迷路内入口宽 3.0m，迷路外入口（门洞）宽 2.0m，迷路宽度 2.2m。 主射束照射方向为南墙、北墙、顶棚和地面；迷路为 L 型迷路。</p> <p>加速器机房 1 屏蔽设计如下： 水平面：机房北侧主屏蔽墙体厚 2.9m（宽度为 4.0m），与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙体厚 1.7m；南侧与加速器机房 2 共用主屏蔽墙，墙体厚 3.2m（宽度为 4.0m），与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙体厚 1.8m；西侧墙体厚 1.7m；东侧迷路内墙厚 1.3m，迷道长 9.9m，迷道外墙厚 1.7m。 垂直面：机房屋顶主屏蔽体厚 2.9m，主屏蔽区宽度为 4.0m，与主屏蔽体相连的次屏蔽体厚 1.7m。</p> <p>加速器机房 2 屏蔽设计如下： 水平面：机房北侧与加速器机房 1 共用主屏蔽墙，墙体厚 3.2m（宽度为 4.0m），与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙体厚 1.8m；南侧主屏蔽墙体厚 2.9m（宽度为 4.0m），与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙体厚 1.7m；西侧墙体厚 1.7m；东侧迷路内墙厚 1.3m，迷道长 9.9m，迷道外墙厚 1.7m。 垂直面：机房屋顶主屏蔽体厚 2.9m，主屏蔽区宽度为 4.0m，与主屏蔽体相连的次屏蔽体厚 1.7m。</p> <p>两间加速器机房防护门拟采用 10mmPb+50cm 含硼聚乙烯复合材料制成。</p>

	DSA 机房	<p>3 间 DSA 机房南北向布置，机房布局基本相同。</p> <p>平面布置设计：</p> <p>3 间机房设计净空尺寸均为：长 8.0m、宽 7.6m、高 3m，机房内部有效使用面积为 60.8m²，体积为 182.4m³。</p> <p>屏蔽设计方案一致，详细如下：</p> <p>四周墙体为：37cm 实心粘土砖墙，拟在此基础上附加 1mmPb 硫酸钡水泥砂浆防护；</p> <p>顶棚和底板：顶棚为 12cm 厚混凝土，拟在此基础上附加 2mmPb 硫酸钡水泥砂浆防护；地板为 16cm 厚混凝土，拟在此基础上附加 1mmPb 硫酸钡水泥砂浆防护；</p> <p>防护门：患者出入口为 3mmPb 不锈钢推拉铅门，医护出入口和污物门为 3mmPb 不锈钢平开铅门；</p> <p>观察窗：拟采用 3mmPb 铅玻璃窗。</p>
主体工程	CT 模拟定位机	<p>平面布置设计：</p> <p>位于加速器机房东北侧 CT 模拟定位室，机房长 7.20m，宽 5.20m。</p> <p>屏蔽设计方案一致，详细如下：</p> <p>四周墙体为：37cm 实心粘土砖+1mmPb 钡水泥防护；</p> <p>顶棚和底板：25cm 混凝土+1mmPb 钡水泥防护；</p> <p>防护门：患者出入口为 4mmPb 不锈钢推拉铅门，医护出入口为 4mmPb 不锈钢平开铅门；</p> <p>观察窗：拟采用 4mmPb 铅玻璃窗。</p>
辅助工程	辅助用房	<p>加速器机房： 配备有控制室、候诊大厅、制冷机房和电气辅助设备用房，以及模具室、休息室、更衣室、物理师室等辅助用房。</p> <p>DSA 机房： 机房西侧为控制廊（控制室相连、无隔断）、更衣沐浴室和休息室等，机房中间间隔设备间、污物间、谈话间等辅助用房。</p>
公用工程	给水	依托院内供水管网
	排水	依托院区排水管网，经过医院污水处理站处理达标后排放。
	供配电	依托院内供配电系统
	新风系统	直线加速器拟新建通风管网； CT 模拟定位室、DSA 机房拟设置动力通风装置。
环保工程	废气处理系统	<p>加速器机房： 拟采用上进风下排风的方案，每间机房拟设置 1 个送风口和 2 个排风口，安装排风机的排风量约为 3400m³/h，加速器机房体积均为 375m³，按照 75% 的通风效率计算，排风次数约为 6.8 次/h。机房送风与排风管道分别在迷路外墙上采用“Z”形穿越墙体，通过管道最终引至屋顶景观花园排放。</p>
		<p>CT 模拟定位室： 拟采用吸顶式排风扇进行通风，排风管道连接至楼层的排风总管道，排风室外。</p>
		<p>DSA 机房： 拟采用吸顶式排风扇进行通风，排风管道连接至楼层的排风总管道，排风室外。</p>
	废水处理系统	依托院区排水管网，实行雨污分流，经过医院污水处理站处理达标后排放。
固体废物处理处置	生活垃圾统一收集后交由环卫部门处理；医疗垃圾用脚踏式开关垃圾桶收集后由污物通道暂存在医院医疗固废暂存间，最后集中处置；直线加速器更换下来的退役靶、准直器交有资质单位进行处置。	

1.3.2 劳动定员

本项目配备放射工作人员约 22 人，均为现有人员调配，仅从事本项目工作。其中直线加速器机房和 CT 模拟定位室拟配备 10 名放射工作人员，包括医生 4 人、物理师 2 人、技师 4 人；介入手术室拟配备 12 名放射工作人员，包括医生 6 人、护士 3 人、技师 3 人。

按照相关法律法规要求，医院拟新增的放射工作人员应参加辐射安全与防护考核及培训，通过考核后持证上岗，并进行职业健康检查，体检合格方可上岗。

1.4 项目选址及其合理性分析

(1) 建设单位地址及周边关系

三江总院位于上饶市信州区上饶大道 96 号，院区中心地理坐标为东经 117°57'05.196"，北纬 28°25'16.066"。院区东临上饶大道，南临志敏西大道，西侧为规划道路，北面为城市绿地及景观水系。地理位置详见图 1-1。

三江总院总体呈南北向布置，北侧为感染楼、规培楼、食堂，中部为行政楼、门诊楼、医技楼，南侧为住院楼和急救中心。本项目所在的医技楼西侧为景观花园，南侧为宽约 20 米的消防登高场地，路南为住院楼，东侧紧邻门诊，北侧为道路，路北 20 米外为行政楼，平面布置见图 1-2。

(2) 加速器及 CT 模拟定位机选址及其合理性分析

本项目 2 台加速器机房、CT 模拟定位室位于医技楼负一层放疗科，负一层平面布置详见图 1-3。

2 间加速器机房成南北对称设计，加速器机房区域东侧为控制室、准备厅，南侧和北侧均为制冷机房和电气辅助设备用房，西侧为楼梯间、过道、通风设施机房和压缩空气和真空吸引室，机房区域上方为景观花园，下方为土层。

CT 模拟定位室位于加速器机房东北侧，该机房东侧为资料室，西侧为控制室，南侧为医护通道，北侧为通道，上方为 CT 室、设备间和过道，下方为停车场。

放疗科平面布置详见图 1-4，楼下投影位置示意详见图 1-5。

《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）对放射治疗场所选址提出了具体要求：5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周围环境的辐射影响，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。

《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）对放射治疗设备选址及布局提出了具体要求：6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置；6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械，电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，应尽可能设置于治疗机房外。

本项目加速器机房和 CT 模拟定位室集中布置，选址避开了儿科病房、产房等特殊人员及人员密集区域，放射治疗场所与其他辅助用房分开布置，均设有独立用房，且采取了必要的辐射屏蔽防护措施。

综上所述，本项目 2 台加速器机房和 CT 模拟定位室选址及布局合理。

（3）DSA 选址及其合理性分析

本项目 3 间 DSA 机房位于医技楼一层，医技楼一层平面布置详见图 1-6。

3 间 DSA 机房及辅助用室南北向连续布置，机房布局基本相同。其中 DSA 机房 1 东侧为污物打包间和过道，南侧为谈话间和走廊，西侧为设备间和控制廊，北侧为资料室和胃肠控制室，楼上为标本处理区，楼下为运动室配药室；DSA 机房 2 东侧为患者通道，南侧为污物打包间和设备间，西侧为控制廊，北侧为谈话间和走廊，楼上为输血室，楼下为核医学科诊室；DSA 机房 3 东侧为患者通道，南侧为过道，西侧为控制廊，北侧为污物打包间和设备间，楼上为办公室，楼下为地下车库。DSA 机房平面布置详见图 1-7，楼上投影位置示意详见图 1-8。

《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）对机房选址及布局提出了具体要求：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。

综上所述，本项目 3 间 DSA 机房与其他辅助工作场所分开，均设有独立用房，且采取了必要的辐射屏蔽防护措施。因此，本项目 DSA 机房选址可行。

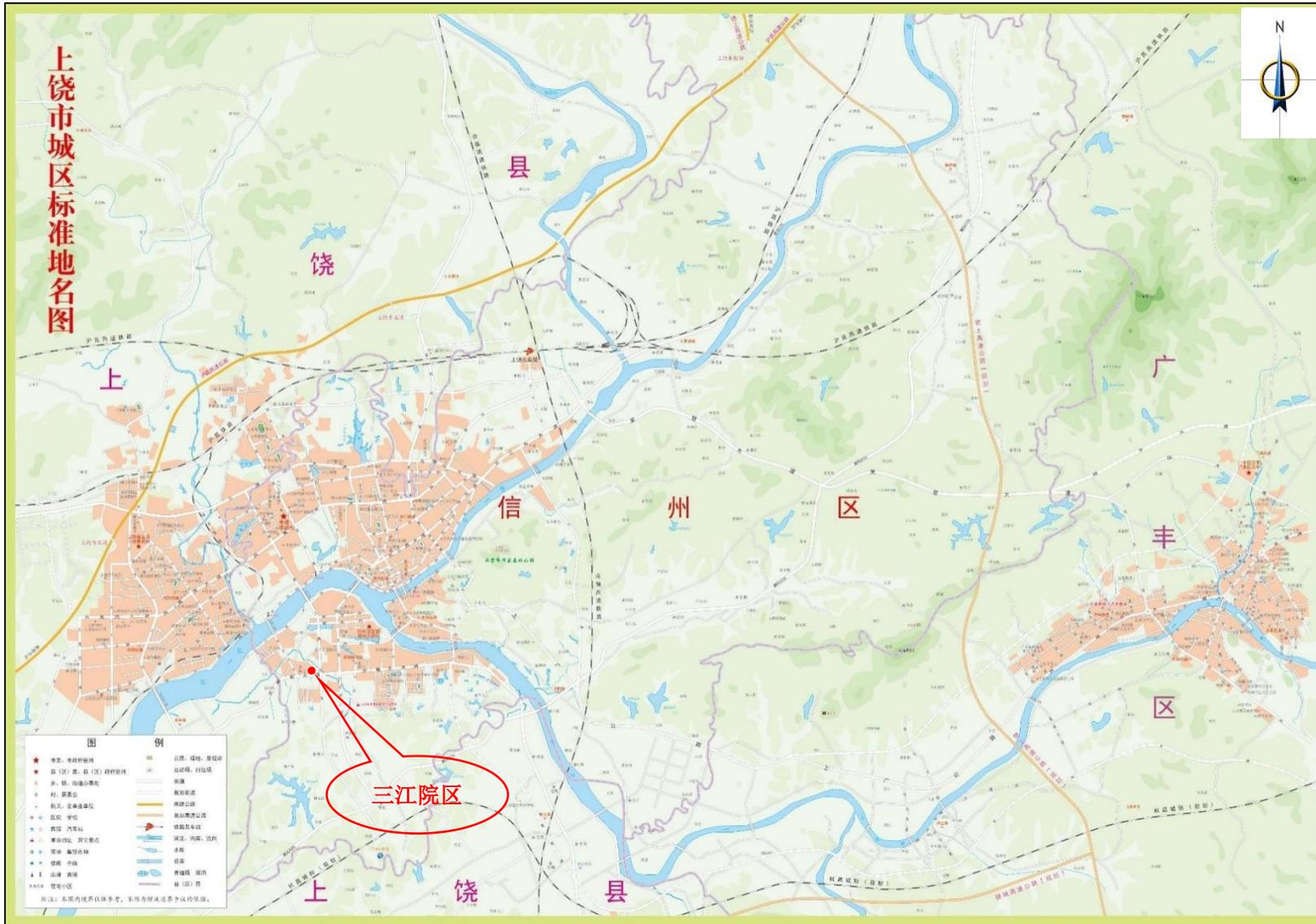


图 1-1 三江总院地理位置图

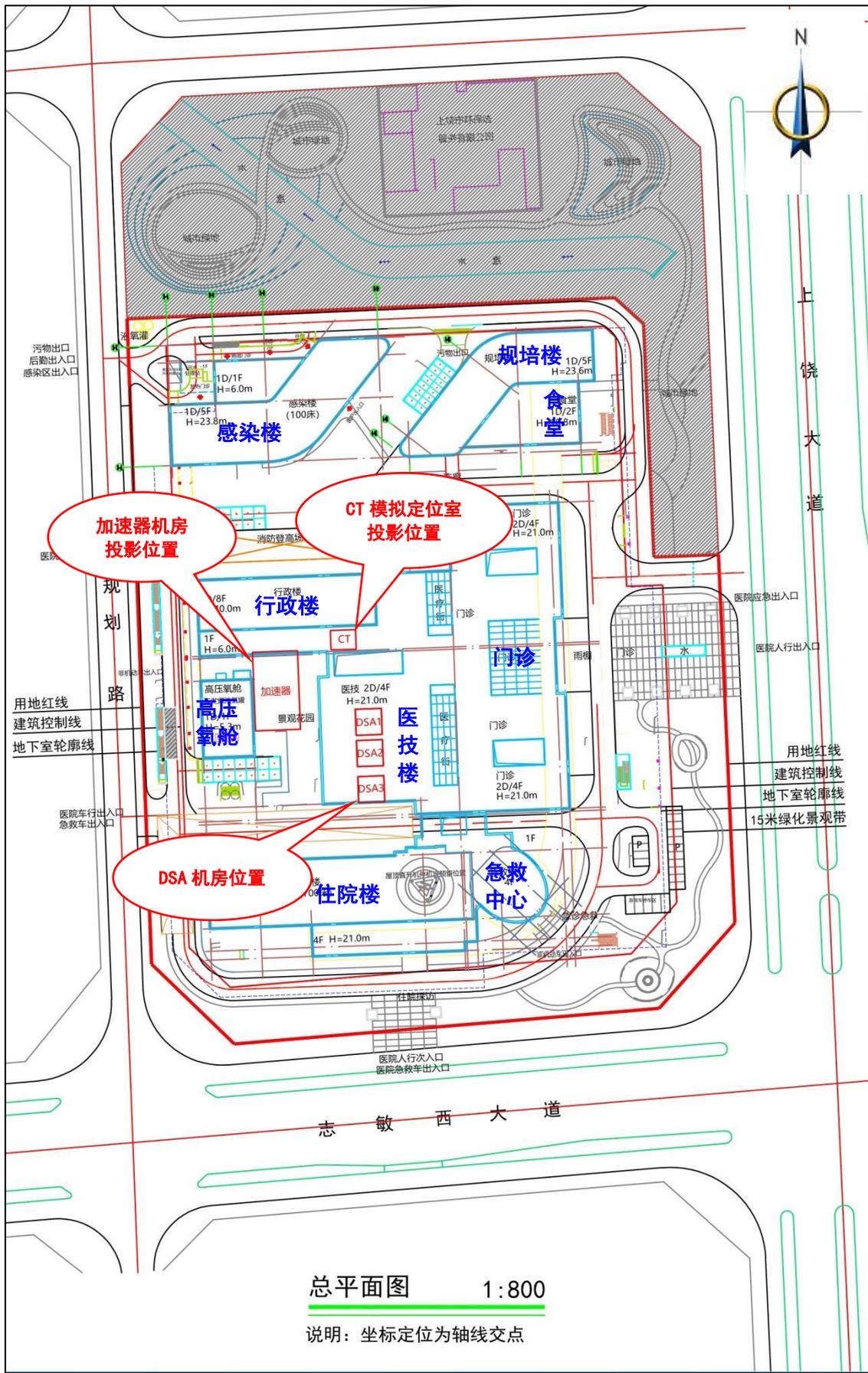


图 1-2 三江总院总平面布置图

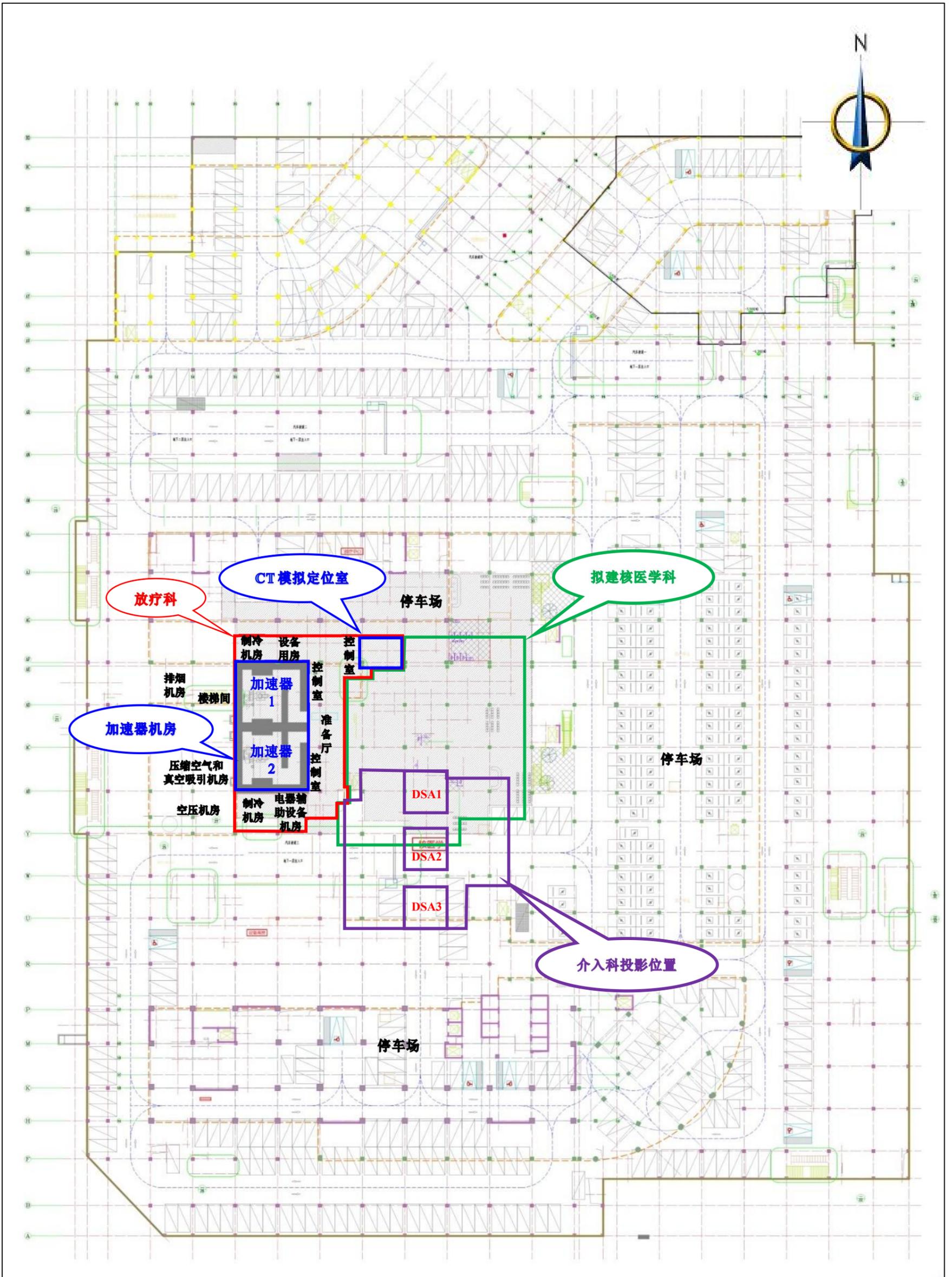


图 1-3 负一层平面布置图

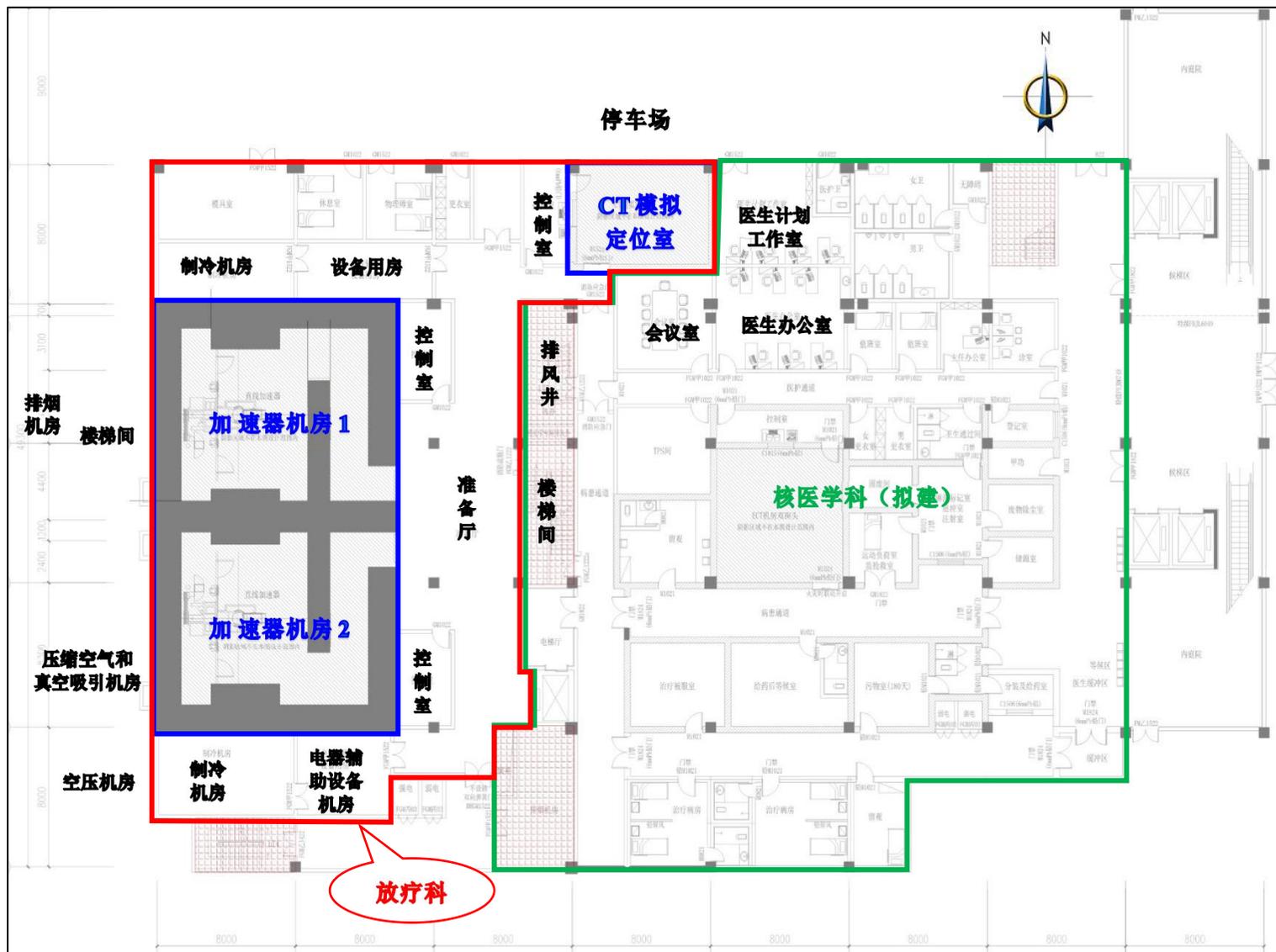


图 1-4 放疗科平面布置图（局部）

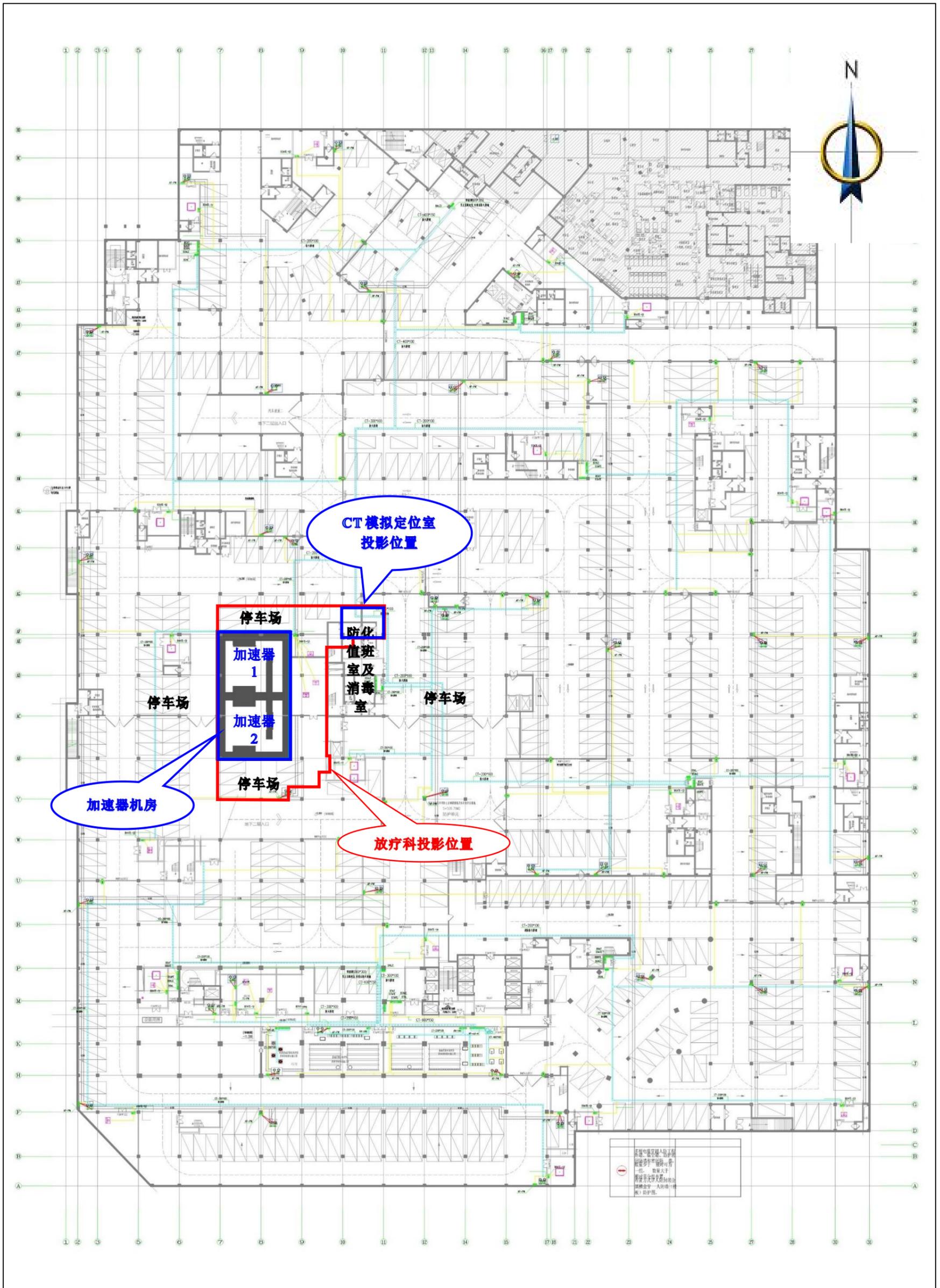


图 1-5 负二层平面布置图

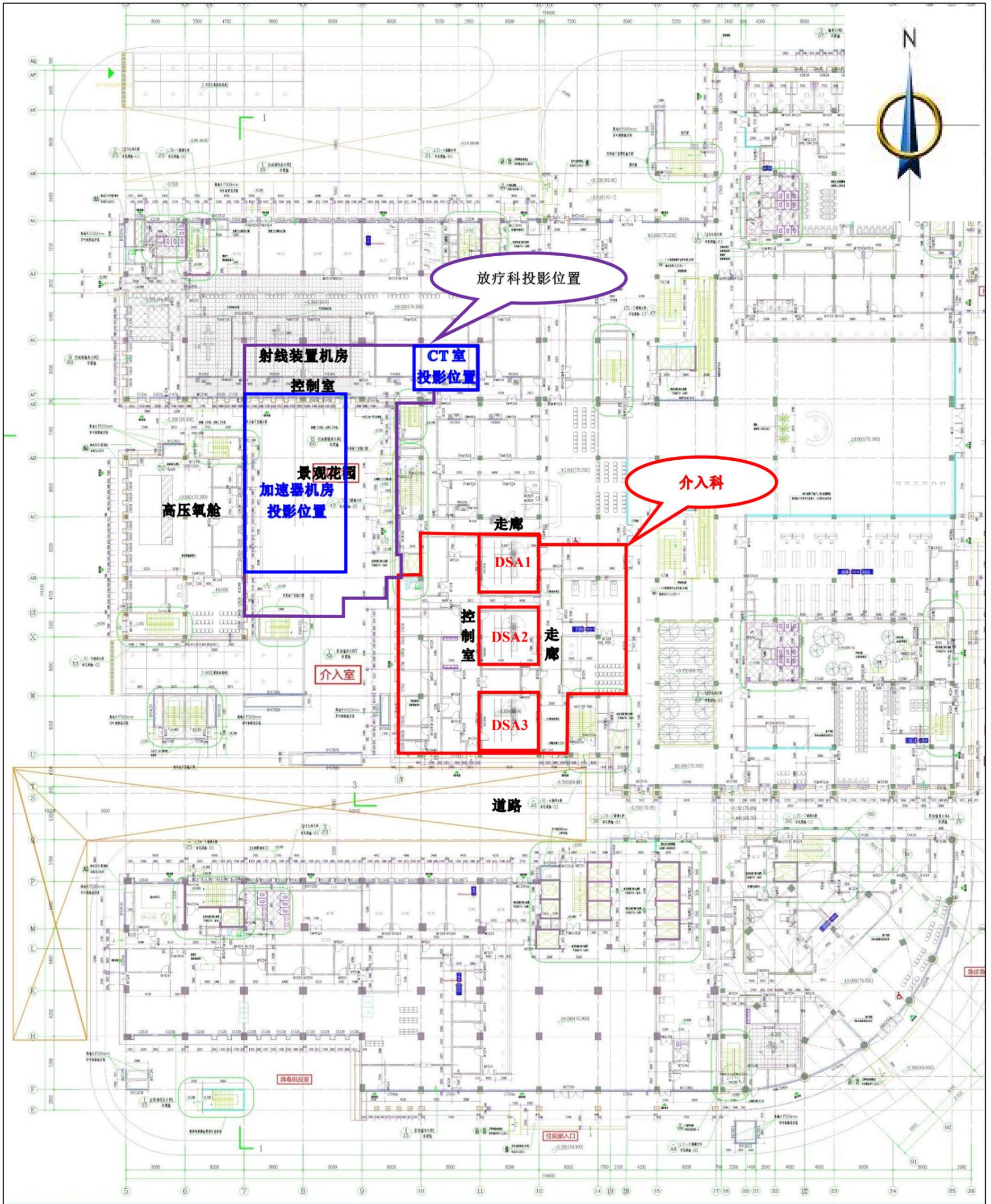


图 1-6 一层平面布置图

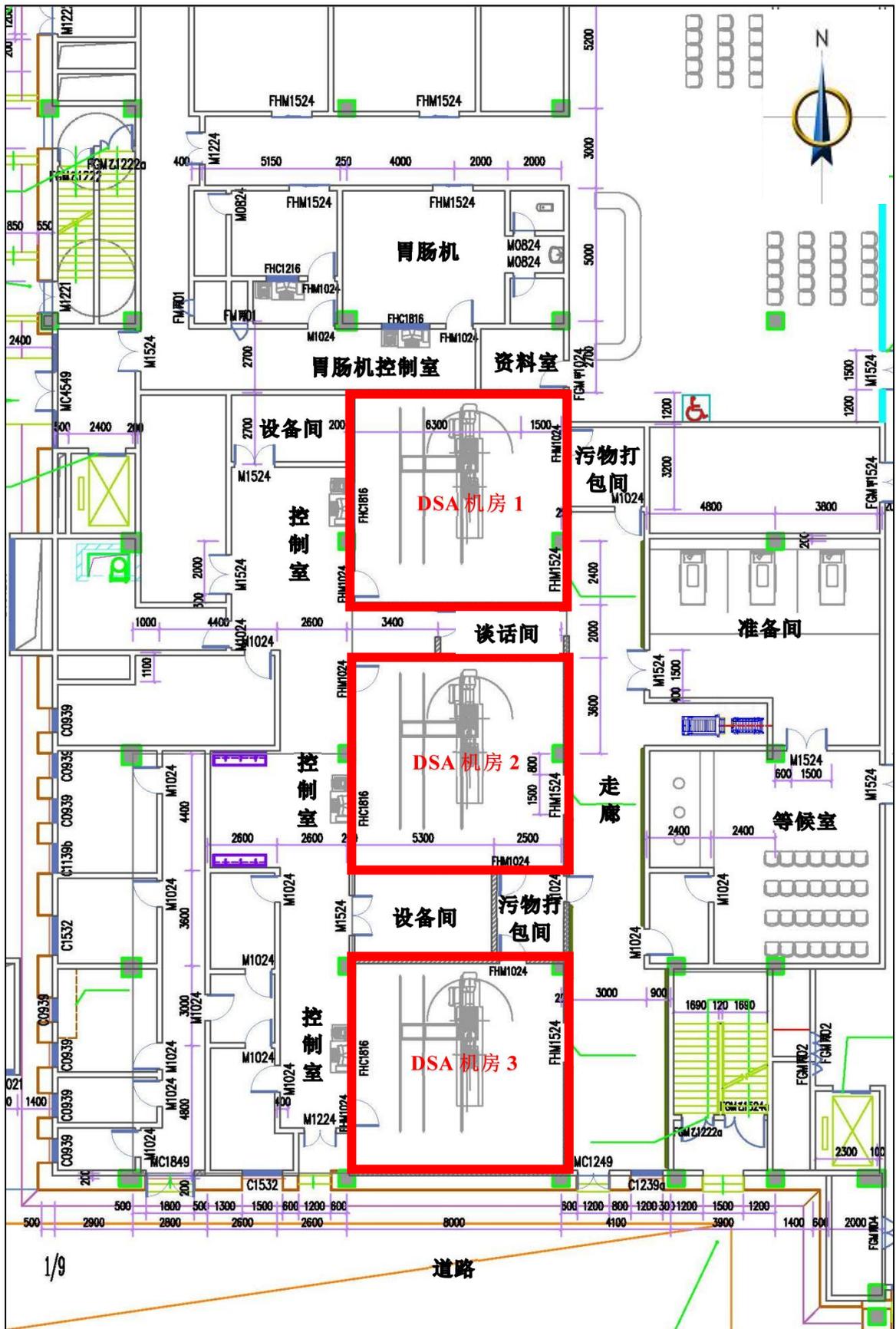


图 1-7 介入科平面布置图

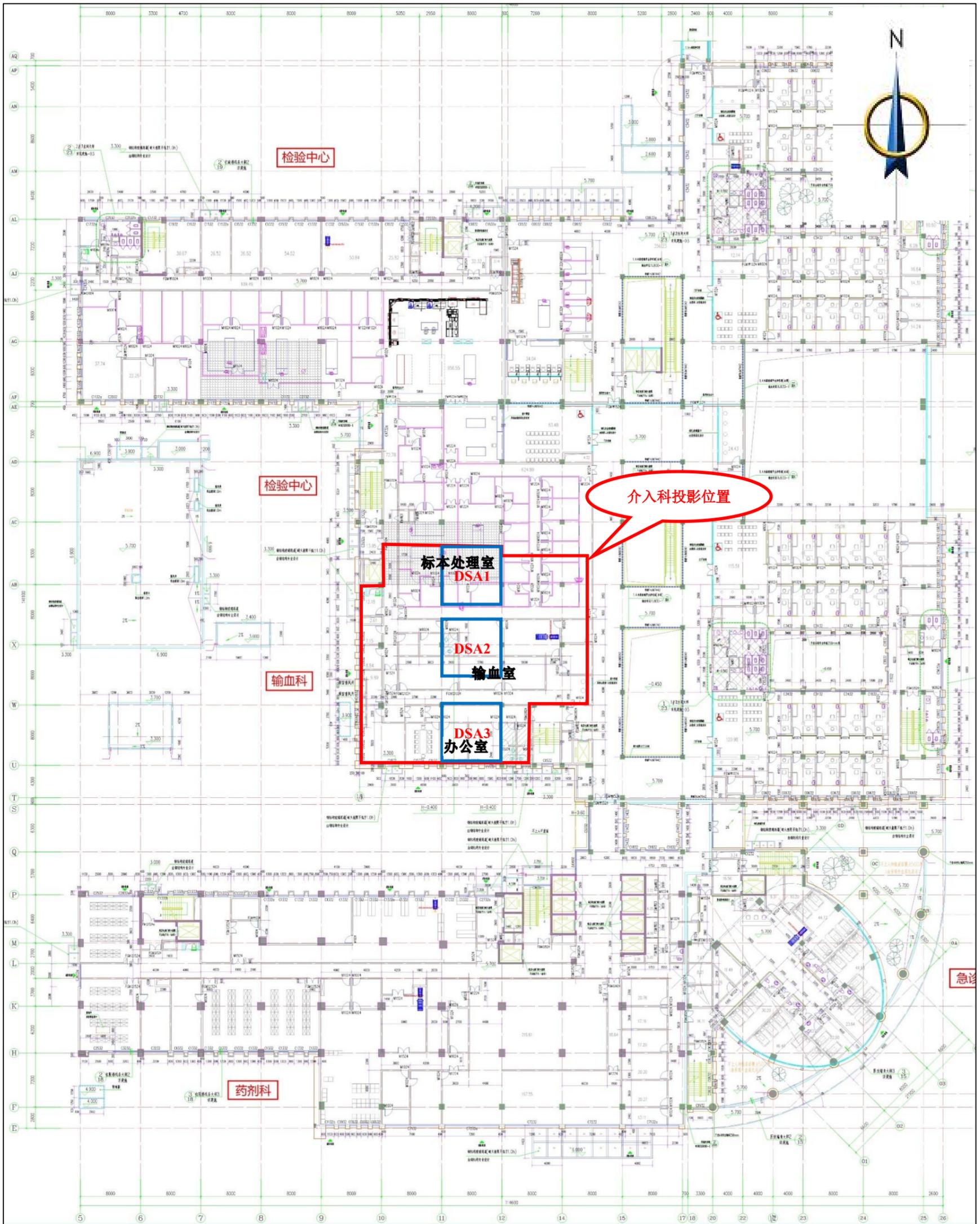


图 1-8 二层平面布置图

1.5 原有核技术利用项目回顾

1.5.1 辐射安全许可情况

建设单位现有1台陀螺旋转式钴-60放射外科治疗系统（使用1枚I类Co-60放射源），以及15台射线装置，包括2台40排螺旋CT、2台64排CT、3台DR、1台移动C臂机、1台移动DR、1台胃肠机、1台骨密度仪、1台口腔CT、1台数字乳腺X钼靶机、1台小C臂机和1台DSA。

上述放射源及射线装置均已履行相关环保审批手续，具体如下：

2008年1月，建设单位取得原国家环境保护总局《关于上饶市立医院放射性同位素应用与射线装置环境影响报告表的批复》（环审[2007]583号），审批的设备包括X光机等III类射线装置5台，使用碘-125开展放射免疫分析（日等效操作量为 $1.85E+5$ 贝克，属豁免水平），新建陀螺旋转式钴-60放射外科治疗系统（陀螺刀），使用1枚活度为 $2.59E+14$ 贝克（7000居里）的Co-60放射源（I类放射源）。

2010年4月19日，原江西省环境保护厅出具了《关于上饶市立医院核技术应用项目竣工环境保护验收意见的函》（赣环辐函[2010]4号），对上述项目进行了环保护验收，验收范围包括：陀螺旋转式钴-60立体定向放射治疗系统（含I类Co-60放射源）、螺旋CT、DR、X光机、移动式C型臂X光机各1台及胃肠机2台。

2017年7月17日，建设单位取得原江西省环境保护厅《关于对上饶市立医院数字减影血管造影仪医用射线装置应用项目环境影响报告表的批复》（赣环辐字[2017]29号），审批的设备为1台Artis one型数字减影血管造影机；2017年11月14日，医院完成了该项目竣工环境保护验收。

2019年12月，建设单位办理了放射源进口审批手续，委托北京三强核力辐射工程技术有限公司代理进口加拿大NORDION公司生产的伽马刀用钴-60放射源，于2020年4月19日运抵医院并安装，共计22枚，总活度 $2.846E+14Bq$ ；原有伽马刀用钴-60放射源，于2020年5月21日运出医院，总活度 $6.277E+13Bq$ 。建设单位编制了辐射安全分析报告，并最终取得了江西省生态环境厅颁发的辐射安全许可证。

建设单位现已取得江西省生态环境厅颁发的辐射安全许可证，证书编号：赣环辐证[E2327]（详见附件2），种类和范围为：使用I类放射源；使用II类、III类射线装置。有效期至2028年10月15日。

医院现有核技术利用情况如下：

表 1-3 放射源台账一览表

核素名称	类别	用途	总活度 (Bq)	台账				许可情况
				编码	出厂日期	出厂活度	地址	
Co-60	I类	远距放射治疗装置	2.59E+14	CA20CO000082	2020/1/1	1.20E+13	门诊大楼地下室放疗室	环评许可：环审[2007]583号 验收：赣环辐函[2010]4号
				CA20CO000062	2020/1/1	1.20E+13		
				CA20CO000212	2020/1/1	1.42E+13		
				CA20CO000192	2020/1/1	1.43E+13		
				CA20CO000052	2020/1/1	1.21E+13		
				CA20CO000032	2020/1/1	1.21E+13		
				CA20CO000022	2020/1/1	1.20E+13		
				CA20CO000162	2020/1/1	1.42E+13		
				CA20CO000222	2020/1/1	1.42E+13		
				CA20CO000172	2020/1/1	1.42E+13		
				CA20CO000132	2020/1/1	1.21E+13		
				CA20CO000182	2020/1/1	1.42E+13		
				CA20CO000202	2020/1/1	1.42E+13		
				CA20CO000102	2020/1/1	1.21E+13		
				CA20CO000142	2020/1/1	1.42E+13		
				CA20CO000012	2020/1/1	1.21E+13		
				CA20CO000112	2020/1/1	1.20E+13		
				CA20CO000072	2020/1/1	1.20E+13		
				CA20CO000152	2020/1/1	1.42E+13		
				CA20CO000092	2020/1/1	1.21E+13		
CA20CO000042	2020/1/1	1.21E+13						
CA20CO000122	2020/1/1	1.20E+13						

表 1-4 射线装置台账一览表

序号	名称	型号	类别	工作场所	许可情况
1	64 排 CT 机	SOMATOM go.Top	III类	门诊大楼 二楼放射科 5 号机房	环审[2007]583 号 赣环辐函[2010]4 号
2	数字胃肠 X 光机	DRF-5D	III类	门诊大楼 二楼放射科 4 号机房	
3	DR 机	新东方 1000X5 型	III类	体检中心大楼 体检中心摄片室	
4	小 C 臂机	SIREMOBIL Compact	III类	住院部大楼 五楼 1 号手术室	
5	DSA	Artis one	II类	住院部附楼 一楼介入室	赣环辐字[2017]29 号 自主验收
6	口腔 CT	美国锐柯 CS9300C select	III类	门诊大楼 四楼口腔科 CBCT 室	已登记备案
7	64 排 CT 机	SOMATOM Definition As	III类	门诊大楼 二楼放射科 3 号机房	已登记备案
8	数字乳腺 X 钼靶机	西门子 Mammomat Fusion	III类	体检中心大楼 体检大楼机房	已登记备案
9	移动式数字化 医用 X 射线 摄影装置	uDR 370i	III类	门诊大楼 二楼放射科	已登记备案
10	移动式 C 形臂 X 射线机	Cios Select S1	III类	住院部大楼 五楼 10 号手术室	已登记备案
11	DR 机	柯达 3000	III类	门诊大楼 二楼放射科 1 号机房	已登记备案
12	DR 机	新东方 1000X5 型	III类	门诊大楼 二楼放射科 2 号机房	已登记备案
13	40 排螺旋 CT	uCT 528	III类	体检中心大楼 体检放射机房	已登记备案
14	40 排螺旋 CT	uCT 528	III类	感染性疾病科 大楼放射机房	已登记备案
15	骨密度检测仪	Prodigy Pro Compact	III类	门诊大楼 二楼放射科 6 号机房	已登记备案

1.5.2 辐射安全管理现状

建设单位严格遵守《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》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等法律、法规要求，配合各级生态环境部门监督和指导，辐射安全管理情况如下：

(1) 辐射防护管理机构

为加强医院放射安全工作的管理，医院成立了辐射安全与环境保护管理小组，全面负责医院的辐射安全防护和管理工作。

(2) 规章制度建设及落实情况

建设单位已制订一系列的放射防护管理制度，包括《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射安全与防护管理规定》、《辐射工作人员培训计划、监测方案》、《培训/再培训管理制度》、《射线装置检修维护保养制度》、《影像科检查室工作流程及制度（MRI室）》、《上饶市立医院介入室质量保证方案》、《血管造影机操作规程》等。

(3) 放射工作人员管理情况

建设单位现有 62 名辐射工作人员，其中 34 人已参加辐射安全与防护培训并取得合格证书，其余 28 人已参加自主培训与考核，考核成绩均合格。

建设单位已为所有放射工作人员建立了个人健康档案，2023 年 12 月，参加放射性职业健康体检人数 58 人，包括上岗前 3 人，在岗期间 55 人，体检均合格，均可从事或继续从事放射岗位工作；2024 年岗前体检 4 人，体检均合格，均可从事放射岗位工作。

建设单位为放射工作人员配备了个人剂量计，并委托有资质单位进行定期检测，根据近 1 年个人剂量监测报告，年受照剂量最大值为 1.48mSv，符合标准要求。

现有放射工作人员基本情况详见表 1-6。

(4) 辐射安全防护情况

根据《2024 年上饶市立医院辐射安全与防护年度评估报告》，建设单位委托有资质单位分别进行个人剂量监测、工作场所监测、场所外的环境监测，2024 年年度评估结论如下：

①屏蔽防护：医院各放射工作场所墙体、门、窗等均采取了辐射屏蔽，根据 2024 年度检测报告，各机房外关注点处辐射剂量率均满足相关标准要求，屏蔽防护

措施安全有效。

②警示标识：各机房防护门上方均设有工作状态指示灯，防护门上粘贴有电离辐射警告标志。

③通风：DSA 机房内设置独立空调换气，采取连续换气方式；其他射线机机房设置机械排风系统，排风口远离敏感点及空调进风口，均满足国家相关标准要求。

④防护用品：各机房内均配备了一定数量的符合国家标准要求的个人防护用品供受检者或者工作人员使用，以减少不必要的外照射。

⑤管理制度：制订了一系列的管理制度及应急预案，并张贴上墙。

（5）辐射事故应急管理情况

建设单位依据《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和防护条例》等法律法规的要求，制定了《上饶市立医院放射（辐射）事件应急处理预案》，成立了放射事件应急处理领导小组，明确了其职责，制定了应急准备、应急计划及事故的调查、处理及报告等内容。自运行至今，医院未发生过辐射安全事故。

（6）辐射安全年度评估情况

医院对本单位辐射工作场所的安全和防护状况进行了年度评估，并已上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，满足相关管理要求。

1.6 实践正当性

本项目的建设对保障健康、拯救生命起着十分重要的作用。项目营运以后，将为患者提供一个优越的诊疗环境，具有明显的社会效益，同时将提高医院档次及服务水平，吸引更多的就诊人员，医院在保障患者健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。

综上所述，本项目的实施对受照个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目建设符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

表 1-5 辐射工作人员培训、体检及个人剂量情况一览表

序号	姓名	职业类别	辐射培训有效期	辐射培训类型	体检结论	2024 年度 个人剂量 mSv
1	邵鹏飞	放射技师	2023-11-20 至 2028-11-19	自主考核	2023 年，可从事放射工作	1.44
2	曾墨林	放射科技师	2023-06-15 至 2028-06-14	自主考核	2023 年，可继续放射工作	0.50
3	郑建峰	放射技术	2023-06-15 至 2028-06-14	自主考核	2023 年，可继续放射工作	0.39
4	张毅飞	放射技师	2024-03-15 至 2029-03-15	FS24JX0100169	2024 年，可从事放射工作	0.1
5	叶剑秋	放射诊断	2021-08-20 至 2026-08-19	自主考核	2023 年，可继续放射工作	0.43
6	应宇鸣	放射诊断	2023-06-15 至 2028-06-14	自主考核	2023 年，可继续放射工作	0.40
7	黄逸晨	放射技师	2023-06-15 至 2028-06-14	自主考核	2023 年，可继续放射工作	0.45
8	吴翰林	放射诊断	2023-06-15 至 2028-06-14	自主考核	2023 年，可继续放射工作	0.37
9	程鸣瑶	放射技术	2021-08-20 至 2026-08-20	自主考核	2023 年，可继续放射工作	0.46
10	郑倩	钼靶技术员	2021-01-26 至 2026-01-26	FS21JX0100155	2023 年，可继续放射工作	0.47
11	童佳羽	放射技术	2024-06-02 至 2029-06-02	FS24JX0200070	2023 年，可继续放射工作	0.82
12	洪帅	放射科技师	2023-06-15 至 2028-06-15	自主考核	2023 年，可继续放射工作	0.39
13	吕蹦蹦	放射科技师	2023-06-15 至 2028-06-14	自主考核	2023 年，可继续放射工作	0.55
14	俞琪燕	放射技术	2021-08-20 至 2026-08-20	自主考核	2023 年，可继续放射工作	0.34
15	刘缙尧	介入技师	2021-04-02 至 2026-04-02	FS21JX0100329	2023 年，可继续放射工作	0.39
16	苏文豪	放射诊断	2021-08-20 至 2026-08-20	自主考核	2023 年，可继续放射工作	0.46
17	汪涛	影像诊断	2021-06-10 至 2026-06-10	FS21JX0101006	2023 年，可继续放射工作	0.42

18	谭思	护师	2021-12-20 至 2026-12-20	FS21JX0101541	2023 年, 可继续放射工作	0.31
19	岳磊	神经内科医生	2024-03-15 至 2029-03-15	FS24JX0100191	2024 年, 可从事放射工作	0.09
20	龚政	放射技术	2021-01-26 至 2026-01-26	FS21JX0100033	2023 年, 可继续放射工作	0.46
21	朱文财	放射技术	2021-08-20 至 2026-08-20	自主考核	2023 年, 可继续放射工作	0.41
22	孟雅雯	护士	2021-04-02 至 2026-04-02	FS21JX0100585	2023 年, 可继续放射工作	0.22
23	祝席敏	放射诊断	2021-08-20 至 2026-08-20	自主考核	2023 年, 可继续放射工作	0.31
24	张宝	放射诊断	2021-08-20 至 2026-08-20	自主考核	2023 年, 可继续放射工作	0.42
25	程桂芬	口腔科护士	2024-07-03 至 2029-07-02	自主考核	2024 年, 可从事放射工作	0.18
26	张津川	放射技术	2021-08-20 至 2026-08-20	自主考核	2023 年, 可继续放射工作	0.37
27	郑剑钧	神经内科脑血管介入	2023-11-24 至 2028-11-24	FS23JX0101696	2023 年, 可继续放射工作	0.35
28	陈金萍	消化内镜介入治疗	2023-08-23 至 2028-08-23	FS23JX0101179	2023 年, 可继续放射工作	0.36
29	程永熙	心血管科医师	2024-06-07 至 2029-06-07	FS24JX0100509	2023 年, 可从事放射工作	0.36
30	邹彬	介入医生	2024-11-13 至 2029-11-13	FS24JX0100848	2024 年, 可从事放射工作	0.17
31	纪溢琳	放射技术	2021-04-09 至 2026-04-09	FS21JX0100751	2023 年, 可继续放射工作	0.29
32	郑超	放射技术	2023-06-15 至 2028-06-14	自主考核	2023 年, 可继续放射工作	0.42
33	冯方波	放射技术	2023-06-15 至 2028-06-14	自主考核	2023 年, 可继续放射工作	0.45
34	许俊	护理	2021-08-20 至 2026-08-20	自主考核	2023 年, 可继续放射工作	0.39
35	王康丽	介入护理	2023-08-23 至 2028-08-23	FS23JX0101166	2023 年, 可继续放射工作	0.38
36	蔡祥春	骨科	2021-04-09 至 2026-04-09	FS21JX0100754	2023 年, 可继续放射工作	0.04

37	祝方军	放射治疗	2021-10-13 至 2026-10-13	FS21JX0200180	2023 年, 可继续放射工作	0.36
38	方水英	介入护理	2023-03-24 至 2028-03-24	FS23JX0100207	2023 年, 可继续放射工作	0.30
39	张跃林	骨科	2021-08-20 至 2026-08-20	自主考核	2023 年, 可继续放射工作	0.03
40	叶飞	介入医师	2023-09-25 至 2028-09-25	FS23JX0101303	2023 年, 可继续放射工作	0.40
41	龚骏	介入医师	2021-01-26 至 2026-01-26	FS21JX0100211	2023 年, 可继续放射工作	0.89
42	万强强	介入医师	2021-01-26 至 2026-01-26	FS21JX0100032	2023 年, 可继续放射工作	0.47
43	罗丽丽	介入护理	2021-04-02 至 2026-04-02	FS21JX0100333	2023 年, 可继续放射工作	0.33
44	李康清	介入医师	2021-10-13 至 2026-10-13	FS21JX0101311	2023 年, 可继续放射工作	0.76
45	余方强	放射诊断	2023-06-15 至 2028-06-14	自主考核	2023 年, 可继续放射工作	0.35
46	徐新雨	骨科	2021-01-26 至 2026-01-26	FS21JX0100220	2023 年, 可继续放射工作	0.03
47	温子欢	骨科	2021-01-26 至 2026-01-26	FS21JX0100208	2023 年, 可继续放射工作	0.06
48	张亚明	放射治疗	2021-06-10 至 2026-06-10	FS21JX0200137	2023 年, 可继续放射工作	0.74
49	乔春	护理	2021-04-12 至 2026-04-12	FS21JX0100830	2023 年, 可继续放射工作	0.22
50	韩任江	放射诊断	2023-06-15 至 2028-06-14	自主考核	2023 年, 可继续放射工作	0.28
51	郑康兴	骨科	2021-01-26 至 2026-01-26	FS21JX0100296	2023 年, 可继续放射工作	0.05
52	王书霞	放射科护士	2024-04-03 至 2029-04-02	自主考核	2023 年, 可从事放射工作	0.36
53	华伟	放射治疗	2021-06-10 至 2026-06-10	FS21JX0200136	2023 年, 可继续放射工作	0.98
54	陈翔	介入医师	2021-04-02 至 2026-04-02	FS21JX0100330	2023 年, 可继续放射工作	0.57
55	吴伟红	消化内镜介入治疗	2023-08-22 至 2028-08-22	FS23JX0101153	2023 年, 可继续放射工作	0.53

56	丁树盛	心胸外科介入	2023-08-22 至 2028-08-22	FS23JX0101162	2023 年, 可继续放射工作	0.17
57	江毅平	放射治疗	2023-08-22 至 2028-08-22	FS23JX0200147	2023 年, 可继续放射工作	0.81
58	刘震	放射治疗	2021-04-09 至 2026-04-09	FS21JX0200101	2023 年, 可继续放射工作	0.75
59	徐诗华	放射诊断	2021-08-20 至 2026-08-20	自主考核	2023 年, 可继续放射工作	0.35
60	肖红卫	放射诊断	2021-08-20 至 2026-08-20	自主考核	2023 年, 可继续放射工作	0.35
61	杨乐华	放射诊断	2021-08-20 至 2026-08-20	自主考核	2023 年, 可继续放射工作	0.30
62	郭建群	放射诊断	2021-08-20 至 2026-08-20	自主考核	2023 年, 可继续放射工作	0.46

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动 种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/
		以下空白						

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

表 3 非密封放射性物质

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

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	加速器	II	1	Elekta Synergy	电子	X 射线: 10MV 电子线: 15MeV	X 射线: 6MV : 1400 cGy/min (FFF 模式) 10MV : 600 cGy/min 电子线: 15MeV: 600 cGy/min	放射治疗	医技楼负一层 加速器机房 1	新增
2	加速器	II	1	/	电子	X 射线: 10MV 电子线: 15MeV	X 射线: 6MV : 1400 cGy/min (FFF 模式) 10MV : 600 cGy/min 电子线: 15MeV: 600 cGy/min	放射治疗	医技楼负一层 加速器机房 2	新增

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	CT 模拟定位机	III	1	待定	140	800	模拟定位	医技楼负一层放疗科 CT 模拟定位室	新增
2	DSA	II	1	待定	125	1000	介入治疗	医技楼一层介入科 DSA 机房 1	新增
3	DSA	II	1	待定	125	1000	介入治疗	医技楼一层介入科 DSA 机房 2	新增
4	DSA	II	1	待定	125	1000	介入治疗	医技楼一层介入科 DSA 机房 3	新增

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
加速器退役靶	固态	/	/	/	/	/	不暂存	厂家回收
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	/	/	/	不暂存	通过排风系统排放入大气中
以下空白	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

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

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》2015年1月1日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》2018年12月29日修订并施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》2003年10月1日起施行；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》2005年9月14日中华人民共和国国务院令 第449号公布；根据2014年7月29日《国务院关于修改部分行政法规的决定》（国务院令 第653号）修订；依据2019年3月2日《国务院关于修改部分行政法规的决定》（国务院令 第709号）修订；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》国务院第682号令，2017年10月1日实施；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国环境保护部令 第18号，2011年5月1日起施行；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》生态环境部令 第20号，2021年1月4日发布实施；</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，生态环境部令 第16号，2021年1月1日施行；</p> <p>(9) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，中华人民共和国环境保护部、国家卫生计生委公告 2017年第66号，2017年12月5日起实施；</p> <p>(10) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，环发[2006]145号；</p> <p>(11) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》（卫生部令 第55号）；</p> <p>(12) 《放射性废物安全管理条例》（中华人民共和国国务院令 第612号），2012年3月1日起施行；</p> <p>(13) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》，中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第7号，2023年12月27日；</p> <p>(14) 《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），2020年1月1日施行；</p> <p>(15) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021年第9号），2021年3月15日实施；</p>
-------------	---

	<p>(16) 《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>
技术标准	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(4) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；</p> <p>(5) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；</p> <p>(6) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）；</p> <p>(7) 《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）；</p> <p>(8) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；</p> <p>(9) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(10) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>(11) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；</p> <p>(12) 《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ 98-2020）；</p> <p>(13) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）；</p> <p>(14) 《工作场所职业病危害警示标识》（GBZ 158-2003）；</p> <p>(15) 《放射性废物管理规定》（GB 14500-2002）；</p> <p>(16) 参考《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS 76-2020）。</p>
其他	<p>(1) 环境影响评价工作委托书，见附件 1；</p> <p>(2) 建设单位提供的设计图纸等资料；</p> <p>(3) 辐射环境本底监测报告，见附件 9；</p> <p>(4) 《中国环境天然放射性水平》，国家原子能出版社，2015；</p> <p>(5) 其他相关资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）规定：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。

本项目涉及的加速器、CT 模拟定位机和 DSA 均设有独立机房，具有实体边界。因此，本项目评价范围为各机房实体边界外 50m 以内的区域，详见图 7-1。

7.2 保护目标

根据建设单位提供的规划科室及工作人员数量、就诊人员流量，结合项目平面布置等情况，确定本项目的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员及其所在的医技楼和周边建筑内其他医务工作人员、就诊的患者及家属。详见下表：

表 7-1 环境保护目标一览表

机房名称	机房位置	位置关系		保护目标	保护人群	规模
		方位	距离 (m)			
加速器机房 1	医技楼负一层	东	紧邻-3.1m	控制室	辐射工作人员	5 人
			紧邻-7.1m	走廊	公众成员	4 人
			10m	拟建核医学科	公众成员	30 人
		南	紧邻-9.9m	加速器机房 2	公众成员	1 人
		西	紧邻-27m	排风机房、空压机房	公众成员	1-2 人
		北	紧邻-3.2m	制冷机房、电气辅助设备用房	公众成员	1-2 人
		楼上	紧邻	景观花园	公众成员	/
		四周	13-50m	地下停车场	公众成员	30 人
加速器机房 2	医技楼负一层	东	紧邻-3.1m	控制室	辐射工作人员	5 人
			紧邻-7.1m	走廊	公众成员	4 人
			10m	拟建核医学科	公众成员	30 人
		南	紧邻-3.2m	制冷机房、电气辅助设备用房	公众成员	1-2 人
		西	紧邻-27m	排风机房、空压机房	公众成员	1-2 人
		北	紧邻-9.9m	加速器机房 1	公众成员	1 人
		楼上	紧邻	景观花园	公众成员	/

		四周	13-50m	地下停车场	公众成员	30人
CT 模拟 定位室	医技楼 负一层	东	紧邻-7.2m	医生计划工作室	公众成员	8人
		南	紧邻-3m	会议室	公众成员	9人
		东南	紧邻-40m	拟建核医学科	公众成员	30人
		西	紧邻-3m	控制室	辐射工作人员	2人
		四周	10-50m	地下停车场	公众成员	30人
		楼上	紧邻	过道	公众成员	2人
		楼下	紧邻	地下停车场	公众成员	5人
DSA 机房 1	医技 综合楼 一层	东	紧邻-2.8m	污物打包间	公众成员	/
			紧邻-11.6m	患者走廊	公众成员	2人
		南	紧邻-1.8m	谈话间、医生走廊	公众成员	2人
		西	紧邻-4.4m	控制室、设备间	辐射工作人员	2人
		北	紧邻-2.3m	资料室和胃肠控制室	公众成员	2人
		楼上	紧邻	标本处理区	公众成员	1人
		楼下	紧邻	运动室配药室	公众成员	1人
DSA 机房 2	医技 综合楼 一层	东	紧邻-2.8m	患者走廊	公众成员	2人
		南	紧邻-3.2m	污物打包和设备间	公众成员	/
		西	紧邻-5.2m	控制室	辐射工作人员	2人
		北	紧邻-1.8m	谈话间、医生走廊	公众成员	2人
		楼上	紧邻	输血室	公众成员	2人
		楼下	紧邻	核医学科诊室	公众成员	2人
DSA 机房 3	医技 综合楼 一层	东	紧邻-2.8m	患者走廊	公众成员	2人
		南	紧邻-16m	过道	公众成员	2人
		西	紧邻-2.6m	控制室	辐射工作人员	2人
		北	紧邻-3.2m	污物打包和设备间	公众成员	/
		楼上	紧邻	办公室	公众成员	6人
		楼下	紧邻	地下车库	公众成员	5人
DSA 机房	医技楼 一层	四周	50m 范围内	医技楼内其他房间	公众成员	80人
备注：以上规模均为最大可能人数。						

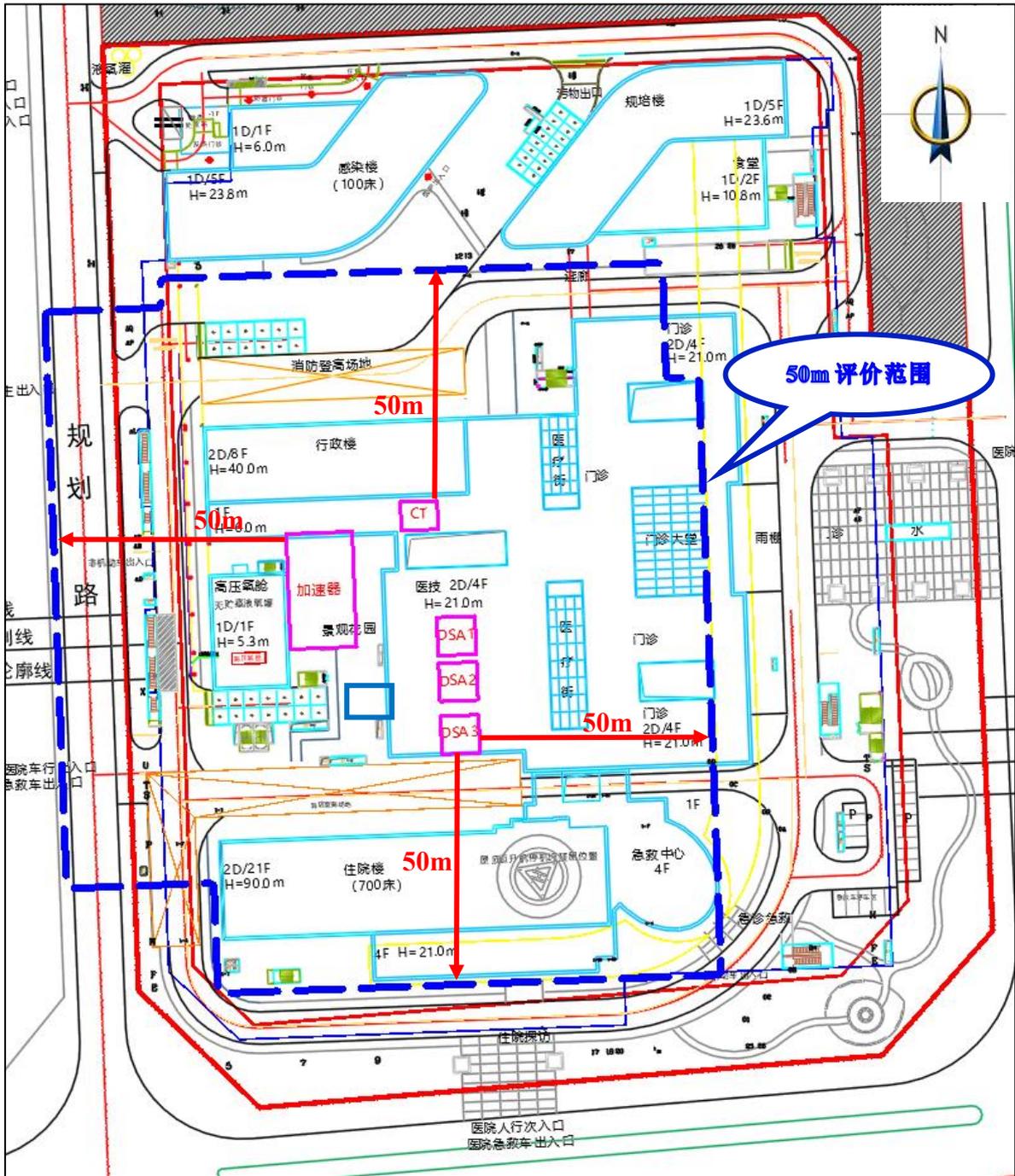


图 7-1 本项目加速器评价范围图

7.3 评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

①剂量限值

第 4.3.2.1 款, 应对个人受到的正常照射加以限值, 以保证本标准 7.2.2 规定的特殊情况外, 由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B (标准的附录 B) 中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

B1.1.1.1 条规定: 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;

c) 眼晶体的年当量剂量, 150mSv;

d) 四肢 (手和足) 或皮肤的年当量剂量, 500mSv。

B1.2.1 规定: 实践使公众中有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: 年有效剂量, 1mSv。

结合拟使用的医用射线装置的实际情况, 确定本项目的放射工作人员的年剂量约束值为职业照射的四分之一, 即 5mSv/a, 公众人员的年剂量约束值取公众照射的十分之一, 即 0.1mSv/a。

②辐射工作场所的分区

第 6.4 款应把辐射工作场所分为控制区和监督区, 以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

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

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

e) 运用行政管理程序和实体屏障限制进出控制区。

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

6.4.2 监督区

6.4.2.1 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。

6.4.2.2 b) 在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。

(2) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GBZ18871-2002 中剂量限值相关规定。

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

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

b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

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围环境的辐射影响，不得设置在居民、写字楼和商住两用建筑内。

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

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）。

6.1 屏蔽要求

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

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

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

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面 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、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面 30cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1) 和 2) 所确定的剂量率参考控制水平 \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： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

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

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

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

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量 250 μSv 加以控制。

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

6.2 安全防护设施和措施要求

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(3) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)

6.1 布局要求

6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

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

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

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

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

6.1.6 X射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。

6.2 空间、通风要求

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

6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于4次/h。

6.3 屏蔽要求

6.3.1 治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平

6.3.1.1 治疗机房（不包括移动式电子加速器治疗机房）墙和入口门外30cm处（关注点）的周围剂量当量率应不大于下述a）、b）和c）所确定的周围剂量当量率参考控制水平 H_c ：

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

$$\dot{H}_c \leq H_e / (t \times U \times T) \dots\dots\dots (7-1)$$

式中：

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

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

t ——设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周（ h/周 ）；

U ——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T ——人员在关注点位置的居留因子，取值方法参见附录 A。

b) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ：

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

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

c) 由上述 a) 中的导出周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 和 b) 中的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 。

6.3.2 治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平

6.3.2.1 在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30cm 处，或在立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，周围剂量当量率参考控制水平同 6.3.1。

6.3.3 屏蔽材料

屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能和经济因素，符合最优化要求，新建机房一般选用普通混凝土。

6.4 安全装置和警示标志要求

6.4.1 监测报警装置

含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常。

6.4.2 联锁装置

放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。

6.4.3 标志

医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：

- a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；
- b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。

6.4.4 急停开关

6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。

6.4.6 视频监控、对讲交流系统

控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。

(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

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。

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

表 7-2 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

设备类型	机房内最小有效使用面积 ^d m ²	机房内最小单边长度 ^e m
单管头 X 射线设备 ^b (含 C 形臂, 乳腺 CBCT)	20	3.5

b 单管头、双管头或多管头 X 射线设备的每个管球各安装在 1 个房间内。
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 7-3 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~C.7。

表 7-3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 7-3 的要求。

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5 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；

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 0.25 mSv。

6.4 X 射线设备工作场所防护

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

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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

注意事项告知栏。

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

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

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

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

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

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

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 7-4 个人防护用品和辅助设施配置要求

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

(5) 《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）

工作场所空气中臭氧的最高容许浓度为 0.3mg/m³、氮氧化物的时间加权平均容许浓度为 5mg/m³。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

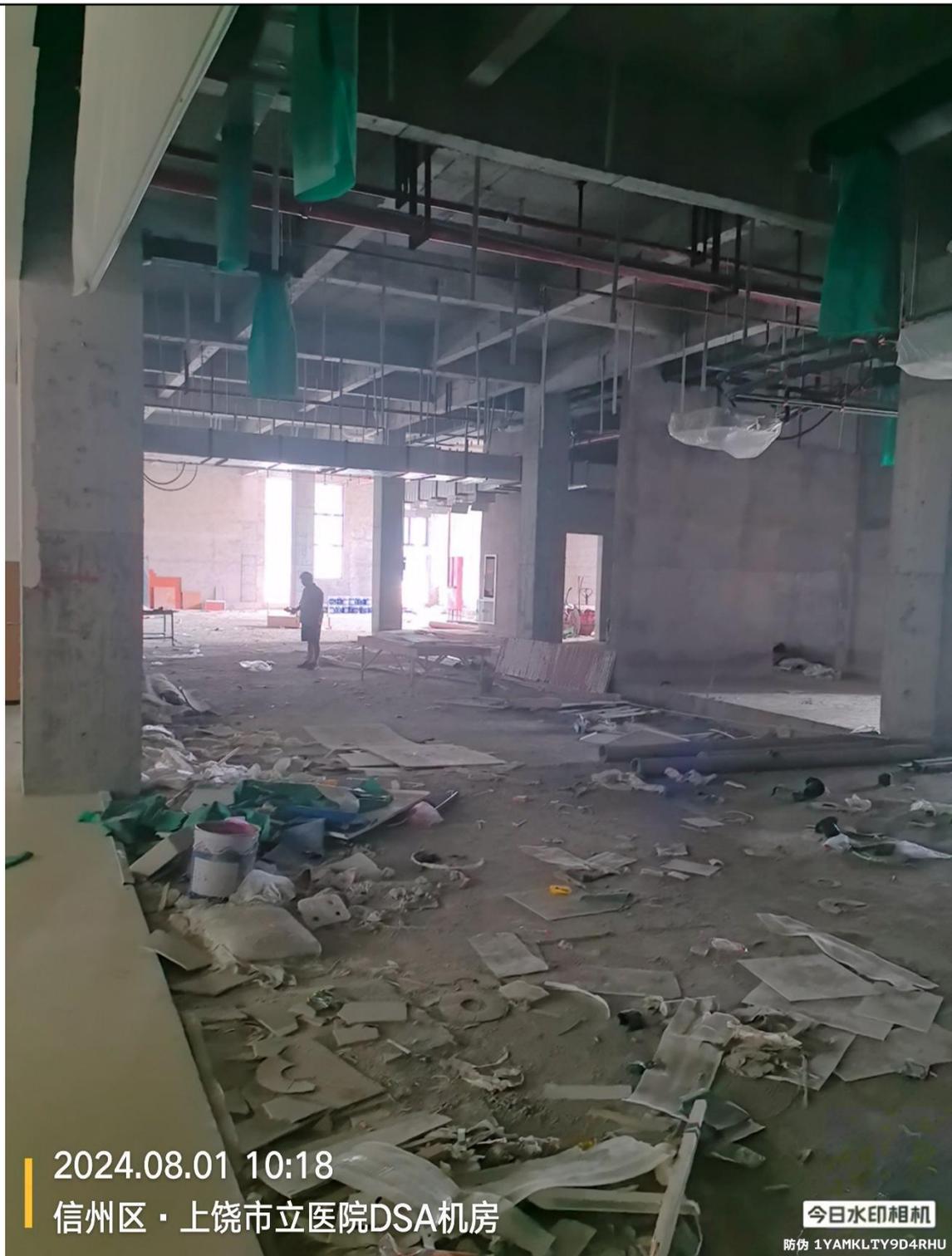
本项目加速器机房和 CT 模拟定位室位于负一层，DSA 机房位于医技楼一层。根据现场调查，医技楼主体工程已建成，加速器机房已浇筑完成，目前未进行机房装修和设备安装；CT 模拟定位室和 DSA 机房现为闲置状态，目前未进行机房装修和设备安装。现场照片如下：



加速器机房内部



CT 模拟定位室



DSA 机房现状

8.2 辐射环境质量现状监测

为了解项目建设地点辐射本底水平，环评公司委托江西福康职业卫生技术服务有限公司于2024年8月1日对拟建加速器、DSA工作场所进行了辐射环境现场监测。

江西福康职业卫生技术服务有限公司已取得江西省市场监督管理局核发的《检验检测机构资质认定证书》（证书编号：161415340609），已批准的检测能力范围包括环境辐射检测中的 γ 射线剂量率，依据标准包括《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）和《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021），监测报告及资质附表详见附件9。

8.2.1 监测因子

环境 γ 辐射剂量率。

8.2.2 监测依据

《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；

《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。

8.2.3 监测仪器

表 8-1 检测设备参数一览表

仪器名称	环境X- γ 剂量率仪
仪器型号	RFT-205
编号	44000506
生产厂家	上海瑞福特仪器仪表有限公司
量程范围	0.01 μ Gy/h~200 μ Gy/h
能量响应	48keV~3MeV $\leq \pm 30\%$ (相对于 137Cs)
检定单位	华东国家计量测试中心
有效日期	2024年10月12日
证书编号	2023H21-20-4871900002
检定结论	检定合格

8.2.4 质量保证措施

a 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。

b 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上

岗。

c 监测仪器经计量部门检定，检定合格后方可使用。

d 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常，并用标准源对仪器进行校验。

e 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

f 监测报告严格实行三级审核制度；

g 监测周期，每年一次。

8.2.5 监测布点及结果分析

本次检测选取了拟建加速器、CT 模拟定位室及 DSA 工作场所及周边敏感目标作为检测点位，共布设 48 个检测点位，监测布点详见下图：

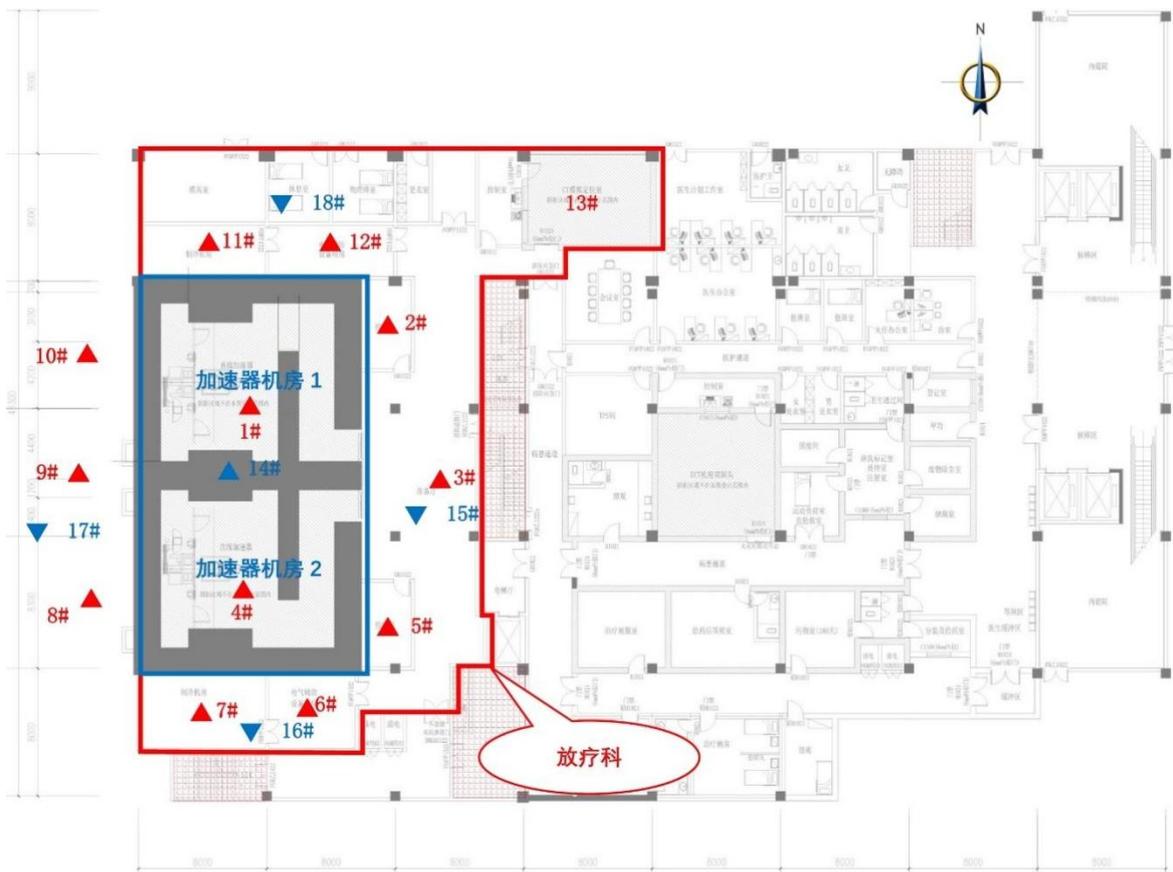


图 8-1 放疗科辐射环境现状监测布点图

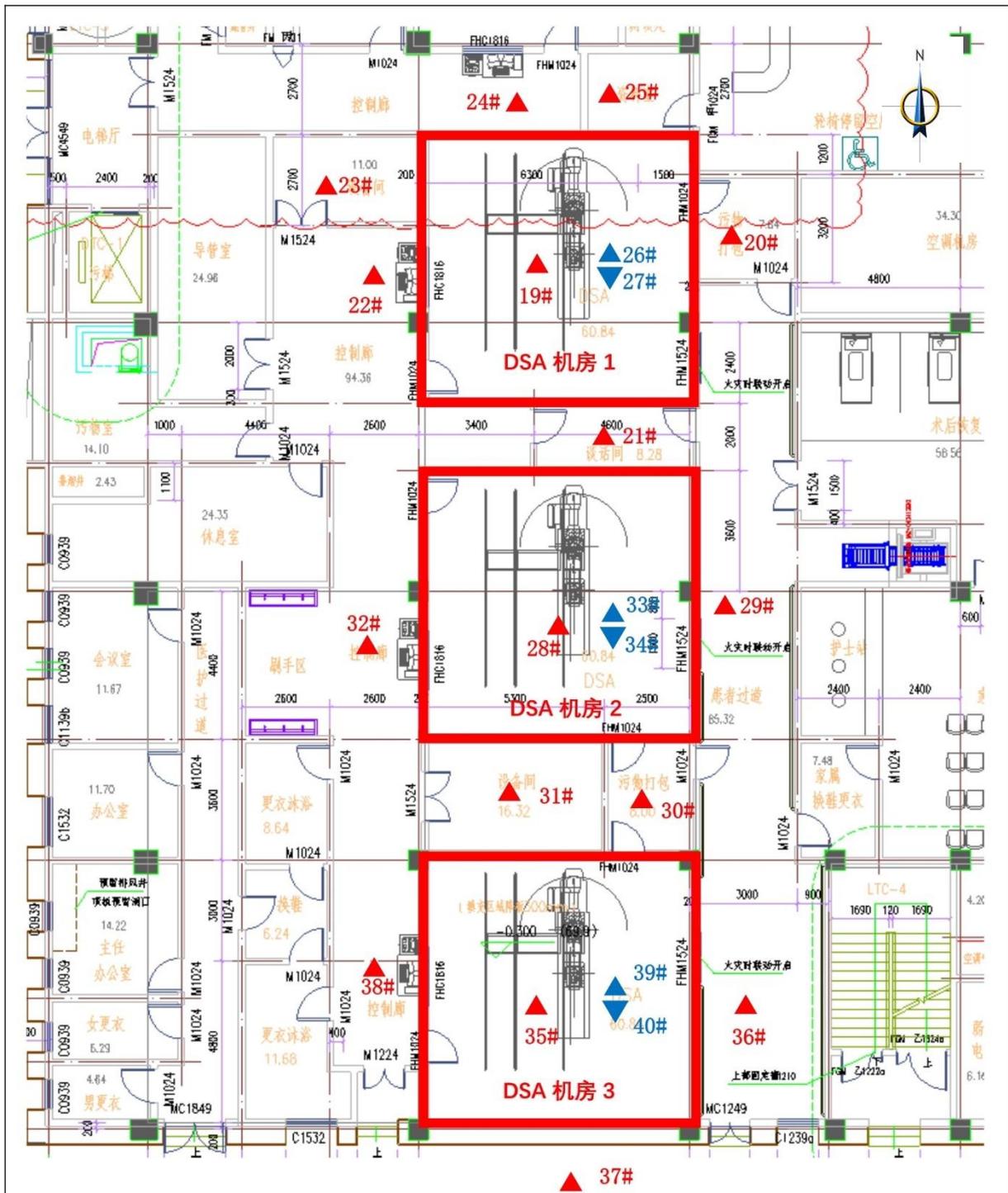


图 8-2 介入科辐射环境现状监测布点图

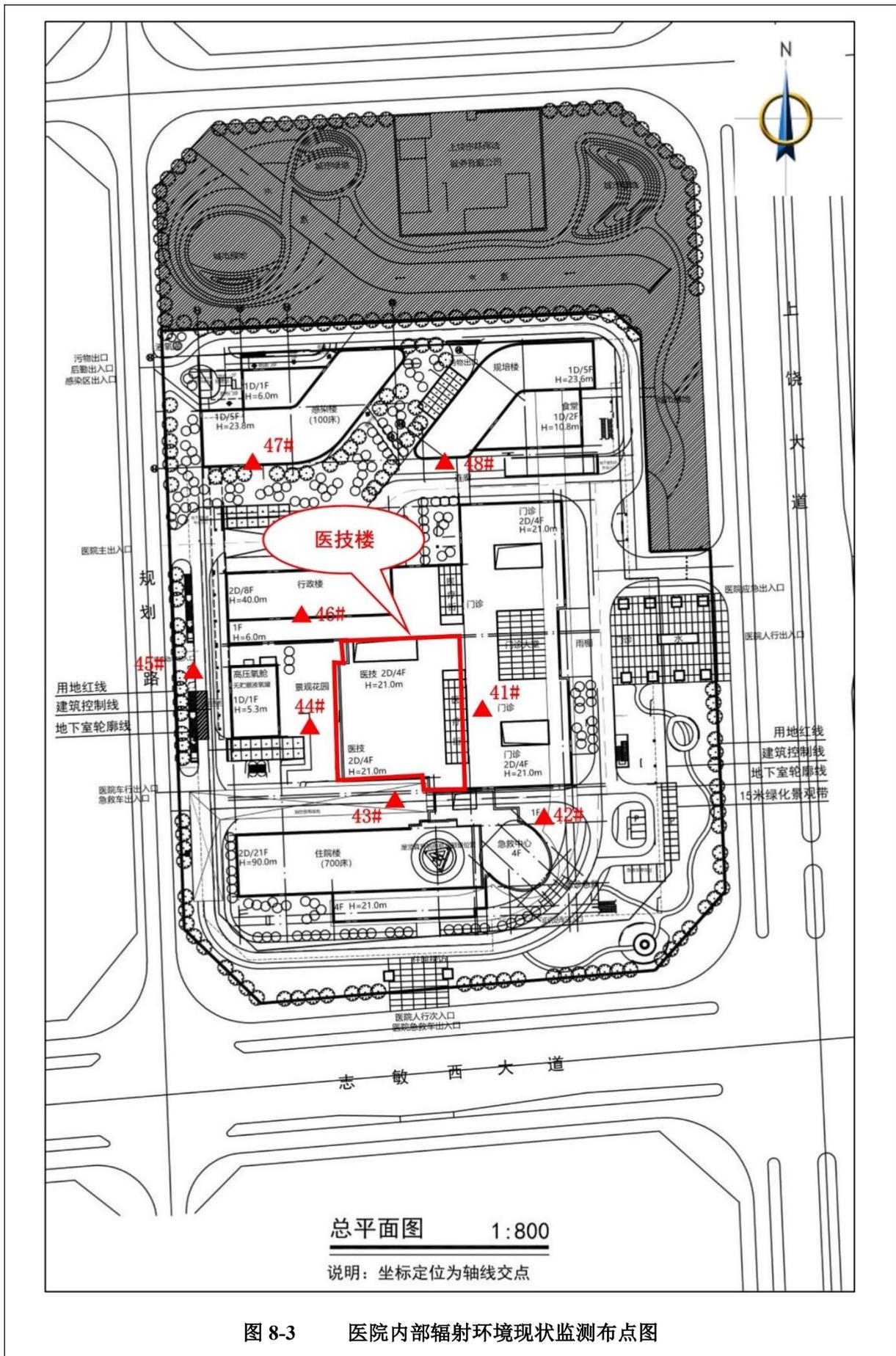


图 8-3 医院内部辐射环境现状监测布点图

辐射环境现状监测结果详见下表：

表 8-2 辐射环境现状检测结果一览表

序号	检测位置	检测结果 (μGy/h)	备注
1	加速器机房 1 内	0.22±0.019	室内
2	加速器机房 1 东侧控制室内	0.24±0.021	室内
3	加速器机房 1 和 2 东侧患者走廊	0.21±0.017	室内
4	加速器机房 2 内	0.22±0.021	室内
5	加速器机房 2 东侧控制室内	0.19±0.013	室内
6	加速器机房 2 南侧电气辅助设备用房	0.19±0.013	室内
7	加速器机房 2 南侧制冷机房	0.20±0.017	室内
8	加速器机房 2 西侧空压机房	0.21±0.019	室内
9	加速器机房 1 和 2 西侧排风机房	0.24±0.013	室内
10	加速器机房 1 北侧制冷机房	0.22±0.022	室内
11	加速器机房 1 北侧制冷机房	0.21±0.022	室内
12	加速器机房 1 北侧电气辅助设备用房	0.18±0.015	室内
13	CT 模拟定位机机房	0.20±0.018	室内
14	加速器机房楼上景观花园	0.21±0.021	室外
15	医技楼地下二层停车场	0.20±0.017	室内
16	医技楼地下二层停车场	0.21±0.018	室内
17	医技楼地下二层停车场	0.22±0.016	室内
18	医技楼地下二层停车场	0.20±0.021	室内
19	DSA 机房 1 内部	0.22±0.025	室内
20	DSA 机房 1 东侧污物打包室	0.24±0.027	室内
21	DSA 机房 1 南侧谈话间	0.18±0.017	室内
22	DSA 机房 1 西侧控制台	0.23±0.019	室内
23	DSA 机房 1 西侧设备间	0.20±0.016	室内
24	DSA 机房 1 北侧胃肠控制室	0.22±0.018	室内
25	DSA 机房 1 北侧资料室	0.21±0.016	室内
26	DSA 机房 1 楼上标本处理区	0.22±0.021	室内
27	DSA 机房 1 楼下运动室配药室	0.20±0.016	室内

28	DSA 机房 2 内部	0.20±0.020	室内
29	DSA 机房 2 东侧患者走廊	0.21±0.024	室内
30	DSA 机房 2 南侧污物打包间	0.20±0.017	室内
31	DSA 机房 2 南侧设备间	0.22±0.014	室内
32	DSA 机房 2 西侧控制台	0.22±0.017	室内
33	DSA 机房 2 楼上输血室	0.20±0.013	室内
34	DSA 机房 2 楼下核医学科诊室	0.19±0.019	室内
35	DSA 机房 3 内部	0.22±0.019	室内
36	DSA 机房 3 东侧患者走廊	0.22±0.017	室内
37	DSA 机房 3 南侧过道	0.22±0.023	室内
38	DSA 机房 3 西侧控制台	0.20±0.019	室内
39	DSA 机房 3 楼上办公室	0.23±0.021	室内
40	DSA 机房 3 楼下地下车库	0.23±0.024	室内
41	门诊楼外空地	0.21±0.015	室外
42	急诊中心楼外空地	0.20±0.023	室外
43	住院楼外空地	0.19±0.015	室外
44	景观花园	0.21±0.021	室外
45	临规划路绿地	0.20±0.018	室外
46	行政楼外绿地	0.20±0.015	室外
47	感染楼外空地	0.21±0.023	室外
48	规培楼外空地	0.22±0.022	室外

注：监测结果已扣除仪器对宇宙射线的响应值。

由上述检测结果可知，项目场所评价范围内 γ 辐射剂量率室内现状监测值在 0.18~0.24 μ Gy/h，与上饶市建筑物室内本底值 48.7~365.8nGy/h 相当；项目场所评价范围内 γ 辐射剂量率室外现状监测值在 0.19~0.22 μ Gy/h 之间，在上饶市道路和原野本底值为 15.1~361.3nGy/h 范围内，上饶市室内及道路、原野本底值摘自中国原子能出版社 2015 年 7 月编制的《中国环境天然放射性水平》。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 医用电子直线加速器

9.1.1.1 加速器设备组成

医用电子直线加速器以磁控管/速调管为微波功率源的行波型/驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统、控制保护系统和锥形束计算机断层扫描系统（CBCT）。

CBCT 与加速器治疗机同轴同床使用，用于图像引导定位，医用电子直线加速器与锥形束计算机断层扫描系统不会同时出束。锥形束计算机断层扫描系统包括 CBCT 影像平板、球管、高压发生器以及图像处理软件。CBCT 系统 X 射线机与加速器治疗机同轴，影像平板位于射线机对面，便于在加速器治疗过程中提供病灶的三维图像。

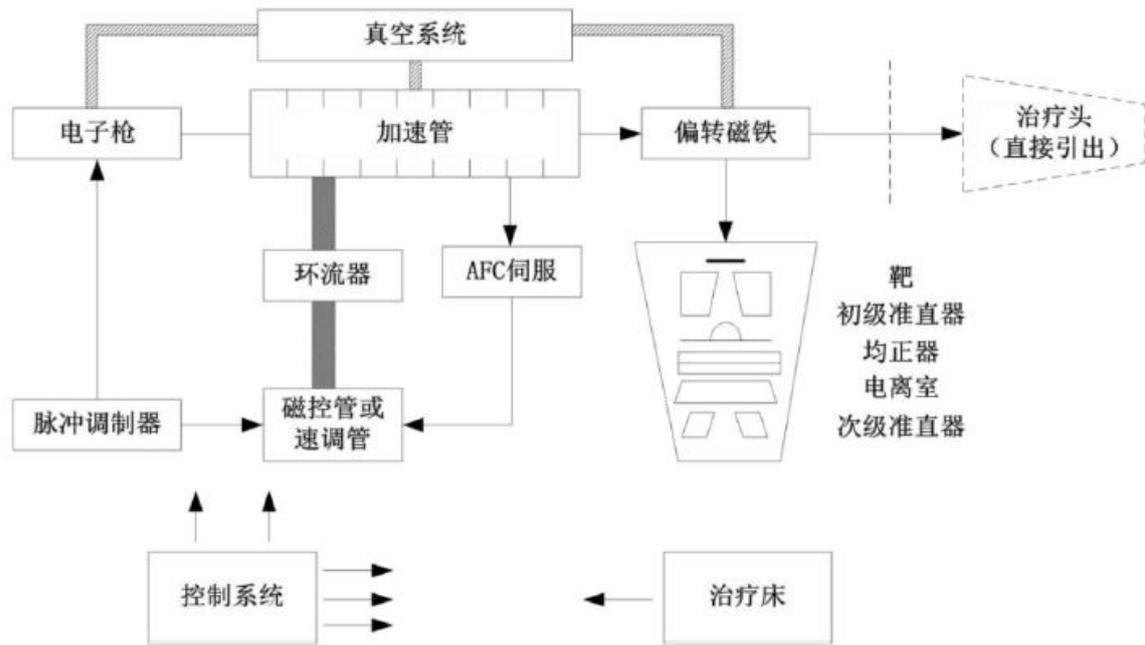


图 9-1 典型医用电子直线加速器组成结构图

9.1.1.2 加速器工作原理

医用电子直线加速器是将电子枪产生的电子经加速管加速后形成高能电子束的装置。它既可以产生高能电子束，也可利用高能电子束与靶物质相互作用时的韧致辐射产生 X 射线束。因此，作为一种体外照射的治疗设备，医用加速器利用产生的高能电子束或 X 射线，对人体恶性肿瘤进行照射，使肿瘤组织受到不可逆损伤。可根据癌症

类型及其所在位置、患者的身体状况等，选择不同的输出方式对肿瘤进行照射，同时使肿瘤周围正常组织得到最大限度的保护，达到治疗肿瘤的目的。

CBCT 工作原理为 X 线发生器以较低的剂量围绕照射体做环形数字式投照，然后将围绕体多次“交集”中所获得的数据在计算机中重组后进而获得三维图像。该系统采用定位床，用负压袋将患者固定，用十字激光灯对患者位置进行初始定位，确定三维立体坐标，将 CT/MRI 图像中病灶的坐标转换到辐射装置的坐标系中，在治疗时，通过基于 CBCT 的图像引导定位装置进行摆位验证，通过三维床各轴的微动来调整患者的姿态，以确保放射治疗前靶区的准确性。治疗过程中，图像引导系统可以随时监测患者靶区的位置偏移，超出许可范围时给出警告并可中止治疗。

典型医用电子直线加速器示意图如下：

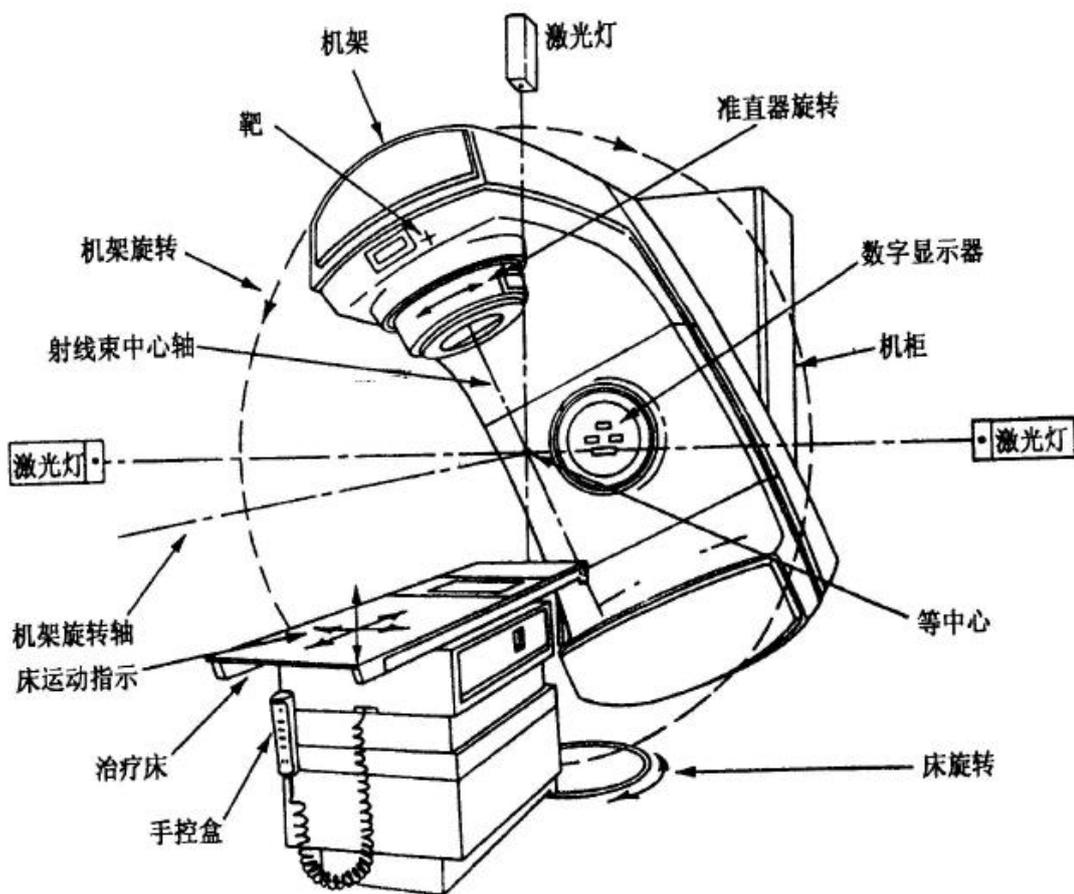


图 9-2 典型医用电子直线加速器结构示意图

9.1.1.3 加速器工作流程及产污环节

- (1) 对患者进行诊断、治疗正当性判断，并预约登记。
- (2) 进行定位。先通过 CT 模拟定位机对病变部位进行详细检查，然后确定照射

的方向、角度和视野大小，拍片定位。

(3) 制订治疗计划。根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。

(4) 固定患者体位。在利用加速器进行治疗时需依靠 CBCT 图像引导系统对患者进行定位验证摆位，通过三维床调整患者姿态，确保放射治疗前靶区的准确性。

(5) 开机治疗。准备工作就绪后，在控制室通过计算机发出指令，开启加速器，对准患者病灶进行精确治疗。

(6) 医护人员指导患者离开加速器机房，治疗结束。

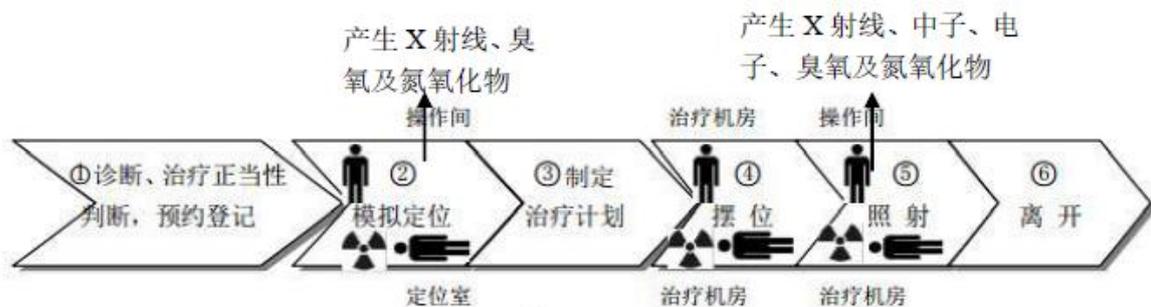


图 9-3 加速器治疗流程及排污节点图

9.1.1.4 加速器工作负荷

根据医院初步计划，预计年放射治疗人员约 500 人，每名患者治疗次数约 20 次，周工作天数为 5 天/周，年工作周数为 50 周/年。

加速器计划治疗患者工作量：每台 20 人次/天，其中常规治疗占比约 10%，每人受照时间约 0.75min；调强治疗占比约 90%，每人受照时间约 3.75min；加速器设备质控时间为 5min/次/周。

综上所述，每台加速器年常规治疗时间为 375min（6.25h），年调强治疗时间为 16875min（281.25h），年设备质控时间为 250min（4.17h），年总出束时间为 291.67h。

9.1.2 CT 模拟定位机

9.1.2.1 CT 模拟定位机设备组成

CT 模拟定位机主要由 CT 扫描机、外置激光定位系统及模拟定位软件组成。其中 CT 扫描机包括扫描架（装有 X 射线球管、滤线器、准直器、参考探测器、探测器及各种电子线路等）、检查床、X 射线高压发生器等组成。

9.1.2.2 CT 模拟定位机工作原理

CT 模拟定位机设备中产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成。

X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成（详见图 9-4），阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。

CT 模拟定位机是将患者在治疗体位下进行 CT 扫描，并将 CT 图像传入图像工作站，通过三维数字重建感兴趣的图像显示方式，在工作站中进行虚拟透视和虚拟模拟的过程，提供了准确的病变靶的形状、大小、方位等信息，为后续治疗摆位提供有力的依据，确保放射治疗的正确实施。

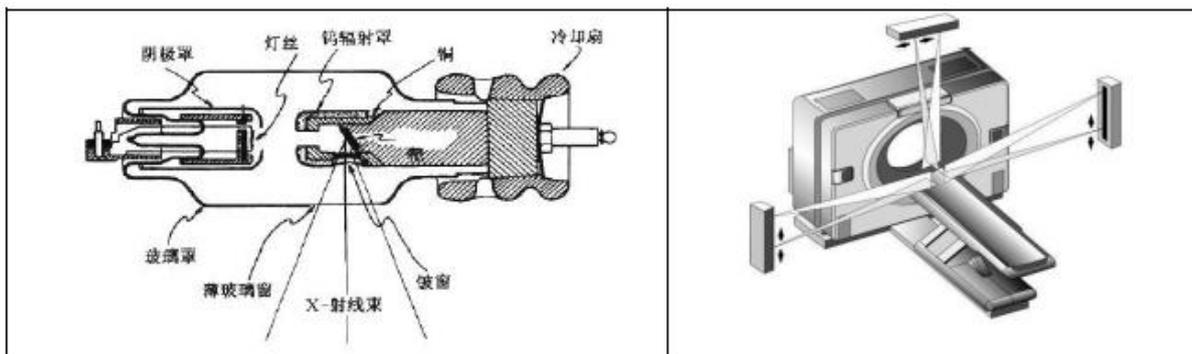


图 9-4 典型 X 射线管结构和 CT 模拟定位机示意图

9.1.2.3 CT 模拟定位机工作流程及产污环节

(1) 病人经医生诊断、治疗正当性一判断后，确定需要治疗的患者与放疗科预约登记，以确定模拟定位和治疗时间。

(2) 病人按约定时间在候诊区准备和等候。

(3) 检查室内在医生的指导下正确摆位。

(4) 医生进行隔室操作，利用 X 射线影像诊断设备进行扫描成像，确定肿瘤的具体位置和形状。

(5) 照射完毕后，技术人员协助病人离开机房，将相关数据传输给治疗计划系统（TPS）制定治疗计划。

在透视状态下，医生和护士近台操作；在摄影和类 CT 状态下，工作人员在机房外。

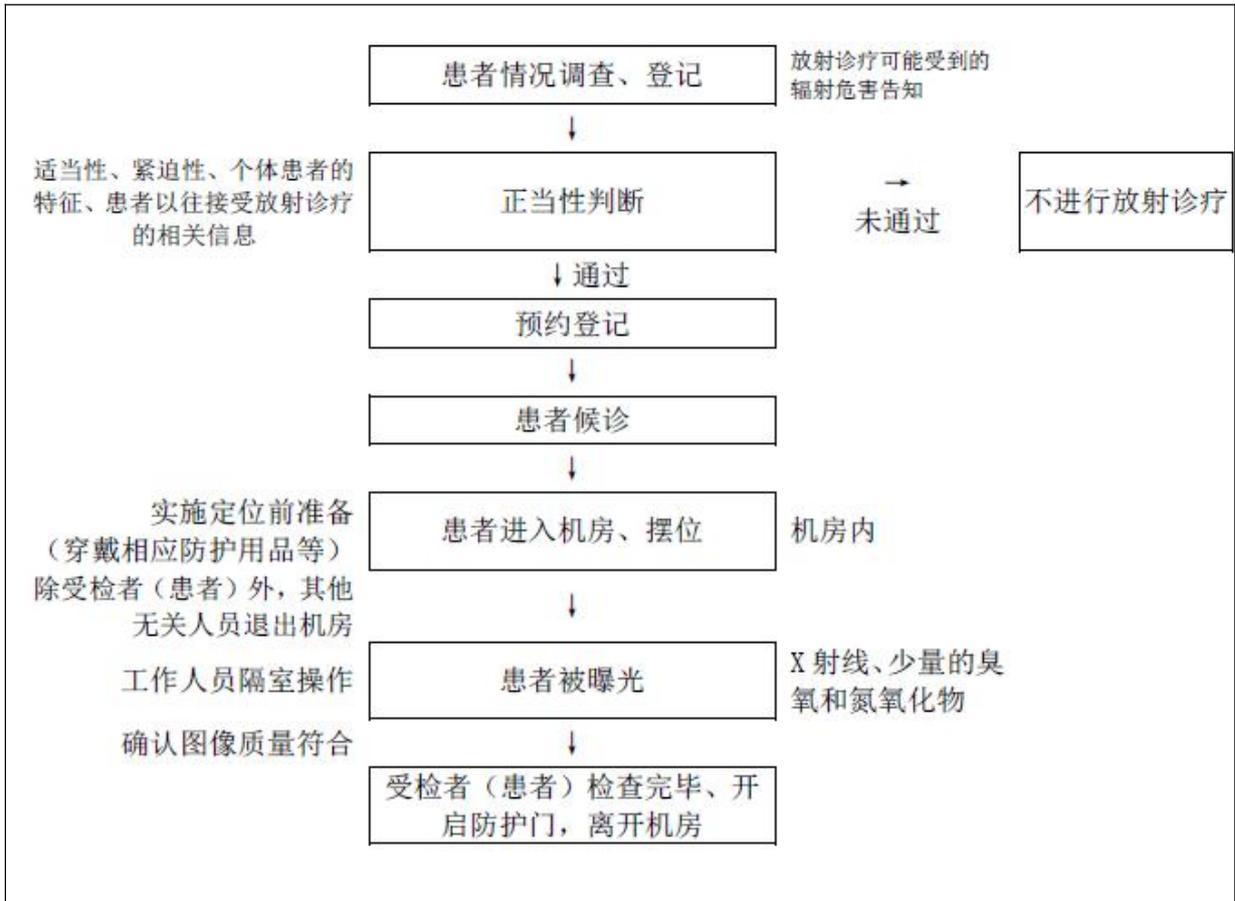


图 9-5 CT 模拟定位机工艺流程及产污环节图

9.1.2.4 CT 模拟定位机工作负荷

根据医院初步计划，预计年放射治疗人员约 500 人，每名患者治疗次数约 20 次，周工作天数为 5 天/周，年工作周数为 50 周/年。

CT 模拟定位机定位每天工作量为 40 次/天，单次曝光时间为 0.5 分钟，则 CT 模拟定位机年曝光时间为 83.3 小时。

9.1.3 DSA

9.1.3.1 DSA 设备组成

DSA 主要由平板探测器、球管、C-arm 支持系统、导管床、操作台及工作站系统等组成，典型 DSA 整体外观示意图见下图：

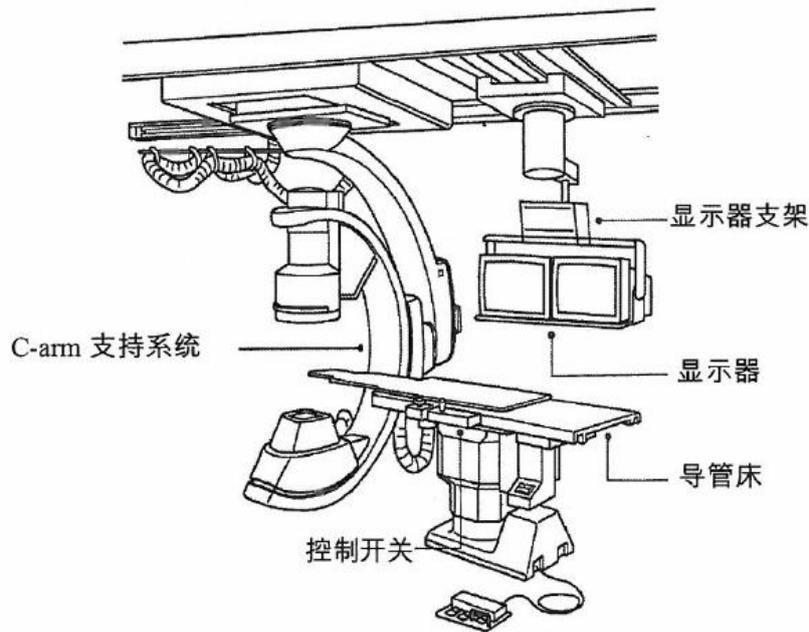


图 9-6 典型 DSA 整体外观示意图

9.1.3.2 DSA 工作原理

数字减影血管造影技术(Digital Subtraction Angiography, 简称 DSA)是血管造影术和电子计算机图像处理技术相结合的产物, 其成像基本原理为: 将受检部位没有注入透明的造影剂和注入透明的造影剂(含有有机化合物, 在 X 射线照射下会显影)后的血管造影 X 射线荧光图像, 分别经影像增强器增益后, 再用高分辨率的电视摄像管扫描, 将图像分割成许多的小方格, 做成矩阵化, 形成由小方格中的像素所组成的视频图像, 经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字, 形成数字图像并分别存储起来, 然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减, 获得的不同数值的差值信号, 再经对比度增强和数/模转换成普通的模拟信号, 获得了去除骨骼、肌肉和其他软组织, 只留下单纯血管影像的减影图像, 通过显示器显示出来。通过 DSA 处理的图像, 可以看到含有造影剂的血液流动顺序以及血管充盈情况, 从而了解血管的生理和解剖的变化, 并以造影剂排出的路径及快慢推断有无异常通道和血液动力学的改变。

介入诊疗技术是在血管、皮肤上作直径几毫米的微小通道, 或经人体原有的管道, 在医学影像设备的引导下对病灶局部进行治疗的创伤最小的治疗方法。该技术是将不同的药物经血管或经皮肤直接穿刺注射入病灶内, 改变病灶血供并直接作用于病灶; 还可将不同的材料及器材置于血管或身体其他器官, 恢复这些器官的正常功能。介入诊疗技术具有不开刀、创伤小、恢复快、效果好的特点。

DSA 主要用于心脑血管、外周血管、肿瘤的检查 and 介入微创治疗。

随着硬件系统的不断完善，影像链处理技术的飞跃，DSA 设备已经从影像增强系统（image intensifier）发展到了数字平板探测器；硬件的进步同样促进了整体机架机械运动性能的提升。术中三维血管造影、三维路图、旋转采集血管机“类 CT”或称“CT（Cone-BeamCT）”锥束等三维成像成为可能，各种基于“类 CT”的高级功能也纷纷开始萌芽，如出现了导管室内的术中定量分析、功能学成像等高端应用，可帮助医生判断即刻疗效、影响决策；术中实时导航可增加医生对解剖的空间认知；同时，血管造影剂、高压注射器等配套设备的提升也使 DSA 技术有了明显进步。

类 CT 功能能进行三维旋转采集及重建，并且利用厂家工作站根据病变特点选择不同的重建方式，进行多种密度组织重建，提供类 CT 高分辨图像，有利于判断病变解剖部位及结构，从而帮助临床诊断。通过旋转采集原始影像数据传送到影像后处理工作站，经校正后进行断层重建，同时重建出横断面、矢状面、冠状面的断层图像。

9.1.3.3 DSA 工作流程及产污环节

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

拍片检查（摄影模式）：受检者预约，医生接诊受检者并告知在摄影过程中可能受到的辐射危害。受检者登记，进入房，被固定在检查床上，调整大平板影像接收器并对检查部位进行定位后，医生离开机房，关闭防护门。技师在操作间内分别对没有注入造影剂和注入造影剂的受检部位进行照射，得到的两幅血管造影 X 射线荧光图像经计算机减影处理后，在计算机显示屏上显示出血管影像的减影图像。医生根据该图像确诊受检者病变的范围、程度，选择治疗方案。

介入治疗（透视模式）：按照治疗方案对受检者实施介入治疗。医生根据操作要求，踩住手术床下的脚踏板开关启动数字减影血管造影装置进行透视，通过大平板影像接收器显示的连续画面，完成介入操作。每台手术 DSA 进行透视的次数及每次透视时间因受检者的部位、手术的复杂程度而不同。介入手术完成后关机，受检者离开机房。

产污环节分析：DSA 的 X 射线诊断机曝光时，主要污染因子为 X 射线。由于射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。注入的造影剂不含放射性，同时射线装置均采用先进的数字成像技术，不会产生废显影液、废定影液和废胶片。X 射线与空气发生作用可能会产生少量臭氧、氮氧化物，但由于本项目使用的 X 射线能量较低，且曝

光时长很短，一般保证室内良好通风即可。

数字减影血管造影装置检查与介入治疗流程及产污环节见下图：

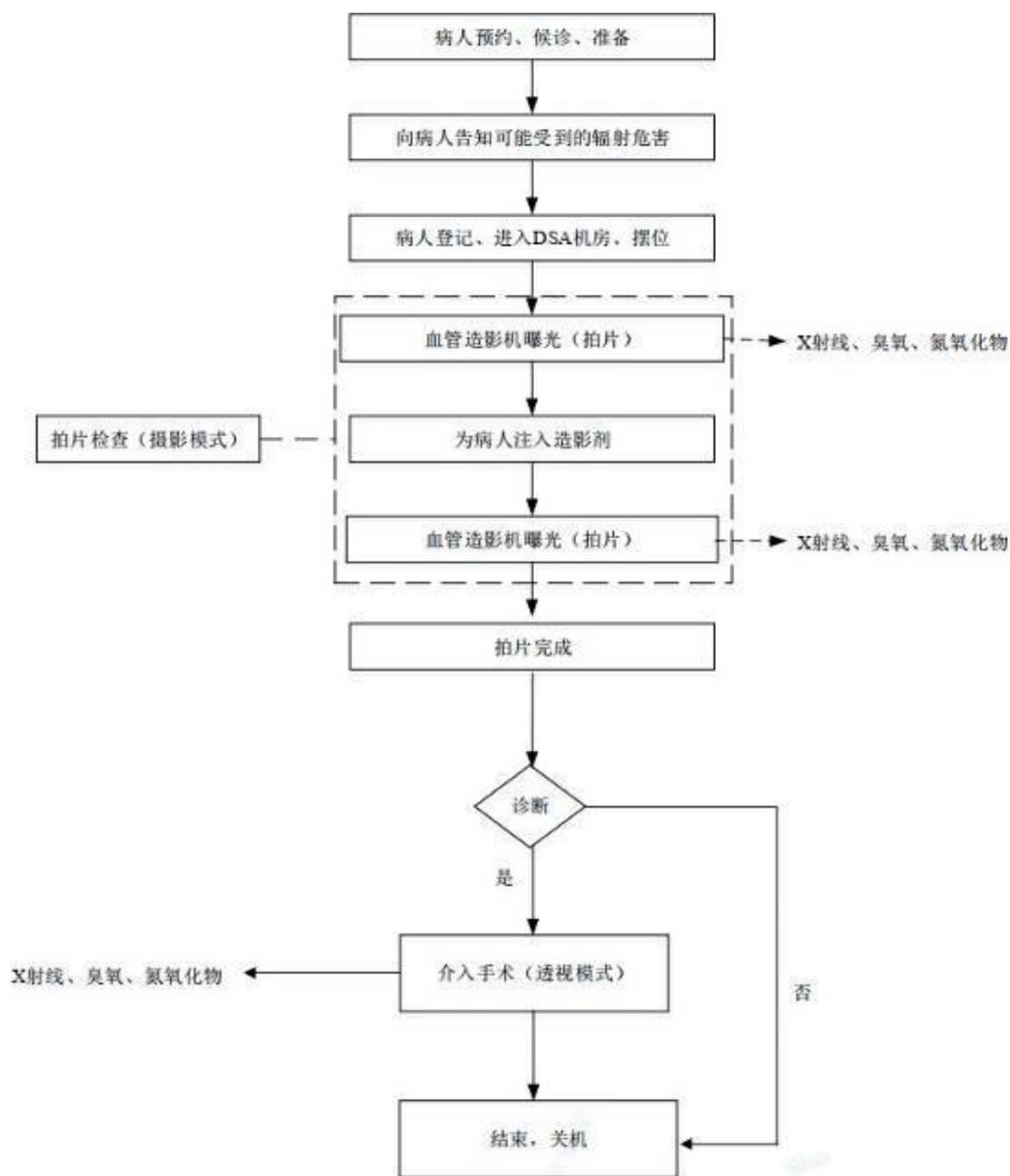


图 9-7 DSA 工艺流程及产污环节图

9.1.3.4 DSA 工作负荷

根据医院提供的初步计划，预计每年每台最多完成介入手术 300 例，每例手术中 DSA 出束时间平均约 21min，其中透视 20min/例，摄影（含类 CT 模式）1min/例。则每台 DSA 设备年出束时间为 105h。

介入手术室拟配备 12 名放射工作人员，包括医生 6 人、护士 3 人、技师 3 人，分为 3 个工作组，分别负责 1 台 DSA 的手术作业。

9.2 污染源项描述

9.2.1 加速器污染源项描述

(1) 正常工况污染源项

① X 射线

由加速器的工作原理可知，医用直线加速器用于 X 线治疗时，电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物质及其他加速器结构材料相互作用时将产生高能 X 射线，其可能对工作人员和公众造成危害。这种 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。

② 电子线

加速器用电子束治疗时，电子束的屏蔽要求远低于高能 X 线，故在机房屏蔽墙厚度计算时不用考虑，但由于电子束的强度高，若发生人员意外照射，会造成伤害。

③ 臭氧及氮氧化物

医用直线加速器机房内的空气受到 X 线及电子线照射会产生一定量的臭氧和氮氧化物，若在机房内聚集，对机房的人员和设施均具有一定的危害。由类似工程可知，只要确保每小时排风不小于 4 次，产生的臭氧和氮氧化物对机房内外环境影响较小。

④ 中子

当加速器 X 射线标称能量大于 10MV 时，高能光子会与 X 射线靶、一级准直器、X 射线均整器和治疗准直器多种高原子序数的材料如铅、钨等发生 (γ 、n) 光核反应，产生中子辐射。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)和《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198—2021)，高于 10MV X 射线治疗束和质子重离子治疗束的放射治疗，除考虑中子放射防护外，在日常操作中还应考虑感生放射线的放射防护。本项目使用的加速器 X 射线能量不大于 10MV，故无需考虑中子辐射及感生放射性影响。

⑤ 放射性废物

加速器维修时会产生少量固体废物，加速器更换下来的废靶等需作为固体放射性废物处理，更换下来后需用专门盛装放射性废物的容器装好，由加速器设备供应商回收。

(2) 事故工况污染源项

直线加速器的 X 射线受开机和关机控制，关机时没有射线发出。因此，在意外情况下，可能出现的辐射事故（事件）如下：

①工作人员或病人家属在防护门关闭前尚未撤离治疗室，加速器运行可能产生误照射。

②安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的加速器治疗室受到照射。

③工作人员误操作导致病人受到不必要的照射。

从理论上讲，发生上述这种事故的几率极小，为防止事故的发生，在购置设备时要注意安全联锁设施的可靠性与稳定性的设计水平，使用过程中要经常定期检查和维护联锁系统及安全保障系统，仪器操作人员应严格按照操作规程进行运行操作，每次开机前必须要确认机房内无人员时，才能进行开机运行。

9.2.2 CT 模拟定位机污染源项描述

(1) 正常工况污染源项

①由 CT 模拟定位机的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因此 CT 模拟定位机在非开机状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。由于射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。

②X 射线与空气作用，产生少量的臭氧和氮氧化物，不暂存、不累积，通过 CT 模拟定位机房内通风系统排至室外，对环境的影响可忽略不计。

③在 CT 模拟定位机使用过程中自身不产生液态、固态等放射性废物，不存在放射性三废对环境的污染。

(2) 事故工况污染源项

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

②无关人员误入正在运行的 X 射线机房，由 X 射线直接或散射照射对人体造成潜在的照射伤害。

③工作人员还未全部撤离机房，外面人员启动设备，造成有关人员被误照。

④检修时，误开机时，维修人员受到潜在的照射伤害。

⑤当射线装置控制系统出现故障或工作人员操作失误，装置出束过大，病人可能

接受额外照射。

9.2.3 DSA 污染源项描述

(1) 正常工况污染源项

① 电离辐射

正常开机工况下，当 X 射线管发射的电子轰击靶物质时，产生韧致辐射，即 X 射线。X 射线经透射（有用线束）、漏射和散射，对工作场所及其周围环境产生辐射影响。

② 废气

DSA 运行过程中 X 射线会使空气中的氧气发生电离继而产生 O₃ 和 NO_x。O₃ 和 NO_x 由 DSA 机房的排风系统排出。

③ 其他

DSA 属清洁的物理诊断装置，在使用过程中自身不产生液态、固态等放射性废物，不存在放射性三废对环境的污染。

本项目 DSA 采用数字成像，无废显、定影液产生，因此主要为辐射工作人员及就诊患者和家属所产生的的生活污水。在进行介入治疗时会产生一次性不含放射性的医疗用品及器械、废纱布等医疗固体废物。

(2) 事故工况污染源项

可能发生的事事故工况主要有以下几种：

① 控制系统或电器系统发生故障，造成受检者受到超剂量照射。

② 拍片前，DSA 机房内的无关人员尚未退出，操作间技师启动设备出束，致使无关人员受到误照射。

③ 医生、护士、受检者进行介入手术治疗时，未落实个人辐射防护措施受到超剂量照射。

④ 工作状态下，防护门未关闭或突然被打开，对附近经过或停留人员造成一定量的散射和漏射 X 射线照射。

⑤ DSA 机房屏蔽结构劳损，射线装置出束，致使 X 射线泄漏到 DSA 机房外面，给周围的辐射工作人员和公众造成不必要照射；

⑥ 医生进行介入手术治疗时，采用较大功率进行透视时，对医生、护士、受检者造成超剂量照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 加速器和 CT 模拟定位机安全设施

三江总院拟在医技楼地下一层设置放疗科，拟设置 2 间医用电子直线加速器机房和 1 间 CT 模拟定位室，分别配备 2 台医用电子直线加速器和 1 台 CT 模拟定位机。

10.1.1.1 工作场所布局分析

本项目 2 间医用电子直线加速器机房相邻，共用一面屏蔽墙，平面布局镜像布置。各加速器机房由治疗室、迷道和防护门组成，机房（治疗室）与控制室均分离，各机房（治疗室）均设置 L 型迷道，迷道口设有防护门；CT 模拟定位机房与控制室分开设置，机房拟设控制室防护门和机房防护门。

加速器机房和 CT 模拟定位室相邻环境状况如表 10-1 所示。

表 10-1 加速器机房和 CT 模拟定位室相邻环境状况一览表

机房名称	东侧	南侧	西侧	北侧	顶棚	下层
加速器机房 1	控制室、准备厅	加速器机房 2	楼梯间、过道	制冷机房、电气辅助设备用房	景观花园	土层
加速器机房 2	控制室、准备厅	制冷机房、电气辅助设备用房	楼梯间和通风设施机房	加速器机房 1	景观花园	土层
CT 模拟定位室	医生计划工作室	过道和会议室	控制室	通道	过道	地下停车场

各机房基本设计参数见表 10-2，平面布局详见图 10-1。

表 10-2 机房设计有效使用面积与标准要求一览表

机房名称	有效使用面积	最小单边长度	标准要求		评价
			有效使用面积	最小单边长度	
加速器机房 1	7.3m×8.0m=58.4m ² （不含迷路）		满足放射诊疗需要		符合
加速器机房 2	7.3m×8.0m=58.4m ² （不含迷路）		满足放射诊疗需要		符合
CT 模拟定位室	37.4m ² （5.2m×7.2m）	5.2m	30m ²	4.5m	符合

由上表可知，本项目医用电子直线加速器机房未设置在居民楼、写字楼和商住两用的建筑物内，CT 模拟定位室充分考虑了邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全机房。上述机房选址均避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，周围也无人员流动性大的商业活动区域，因此本项目医用电子直线加速器工作场所布

局满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）关于选址与布局的要求，CT 模拟定位机房布局满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

10.1.1.2 辐射工作场所分区

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防护工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的要求在放射工作场所内划出控制区和监督区。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求专门的防护手段和安全措施的限定区域。在控制区域进出口及其他可能行人过往位置处设立醒目的警示标志，运用工作人员工作卡进出和采取门锁及联锁装置等限制进出控制区。

监督区：未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。在监督区入口及人员路过的合适位置处张贴辐射危险警告标志，定期检查工作状况，自行巡测确定是否需要整改防护及安防措施，或是否需要更改监督区的边界。

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中要求，结合本项目建设情况，建设单位为加强核技术利用场所的管理，限制无关人员进入，避免受到不必要的照射，对本项目加速器所在场所划定控制区和监督区，进行分区管理。分区情况如下：

控制区：将加速器机房（含迷道）及 CT 模拟定位室划为控制区。

监督区：将加速器机房及 CT 模拟定位室相邻的控制室、医生计划工作室、制冷机房、电气辅助设备用房、通风设施用房、会议室等划为监督区。

工作场所辐射安全分区详见表 10-3 及图 10-3。

表 10-3 工作场所分区一览表

控制区	监督区			
	机房东侧	机房南侧	机房西侧	机房北侧
加速器机房 1	控制室、准备厅	/	/	制冷机房、电气辅助设备用房
加速器机房 2	控制室、准备厅	制冷机房、电气辅助设备用房	空气压缩和真空吸引机房	/
CT 模拟定位室	医生计划工作室	会议室	控制室	/

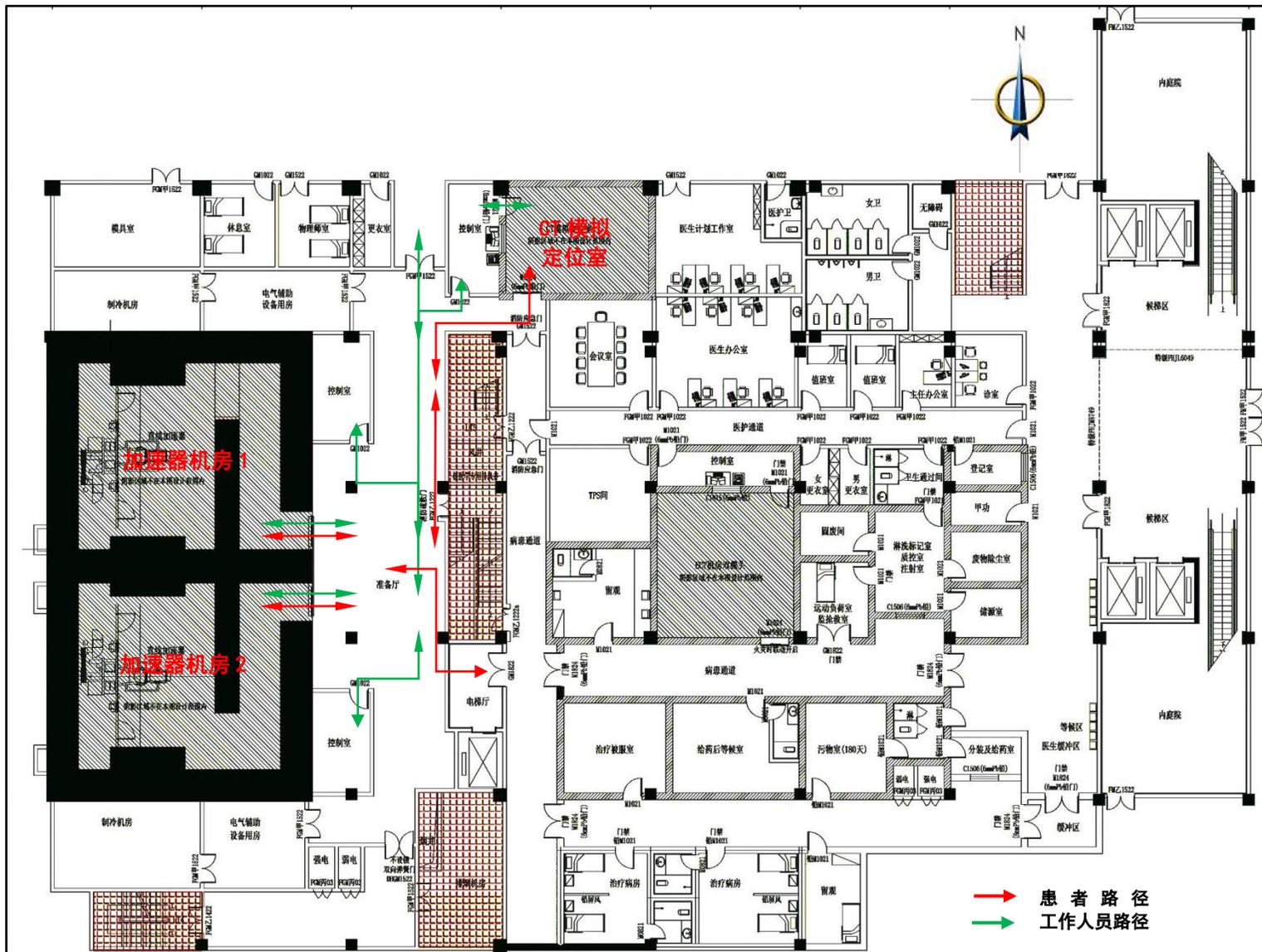


图 10-1 放疗科平面布局图



图 10-2 辐射工作场所分区图

10.1.1.3 辐射防护设施及措施

10.1.1.3.1 工作场所辐射防护屏蔽设计

(1) 加速器机房

根据设计方案，本项目两间加速器机房四周墙体及顶棚均采用标准混凝土（ $\rho=2.35\text{g/cm}^3$ ）浇注，防护门拟采用不锈钢内衬铅板和含硼聚乙烯复合材料防护门。机房屏蔽设计情况详见表 10-4。机房平面布置及屏蔽见图 10-3，剖面见图 10-4。

表 10-4 加速器机房屏蔽防护设计情况一览表

机房名称	方位	屏蔽区域	具体参数
加速器 机房 1	北侧	主屏蔽区	2900mm 厚混凝土，宽度 4000mm
		次屏蔽区	1700mm 厚混凝土
	南侧	主屏蔽区	3200mm 厚混凝土，宽度 4000mm
		次屏蔽区	1800mm 厚混凝土
	顶棚	主屏蔽区	2900mm 厚混凝土，宽度 4000mm
		次屏蔽区	1700mm 厚混凝土
	西侧	侧墙	1700mm 厚混凝土
	东侧	迷路内墙	1300mm 厚混凝土
		迷路外墙	1700mm 厚混凝土
	防护门		10mmPb+50cm 含硼（5%）聚乙烯
加速器 机房 2	南侧	主屏蔽区	2900mm 厚混凝土，宽度 4000mm
		次屏蔽区	1700mm 厚混凝土
	北侧	主屏蔽区	3200mm 厚混凝土，宽度 4000mm
		次屏蔽区	1800mm 厚混凝土
	顶棚	主屏蔽区	2900mm 厚混凝土，宽度 4000mm
		次屏蔽区	1700mm 厚混凝土
	西侧	侧墙	1700mm 厚混凝土
	东侧	迷路内墙	1300mm 厚混凝土
		迷路外墙	1700mm 厚混凝土
	防护门		10mmPb+50cm 含硼（5%）聚乙烯

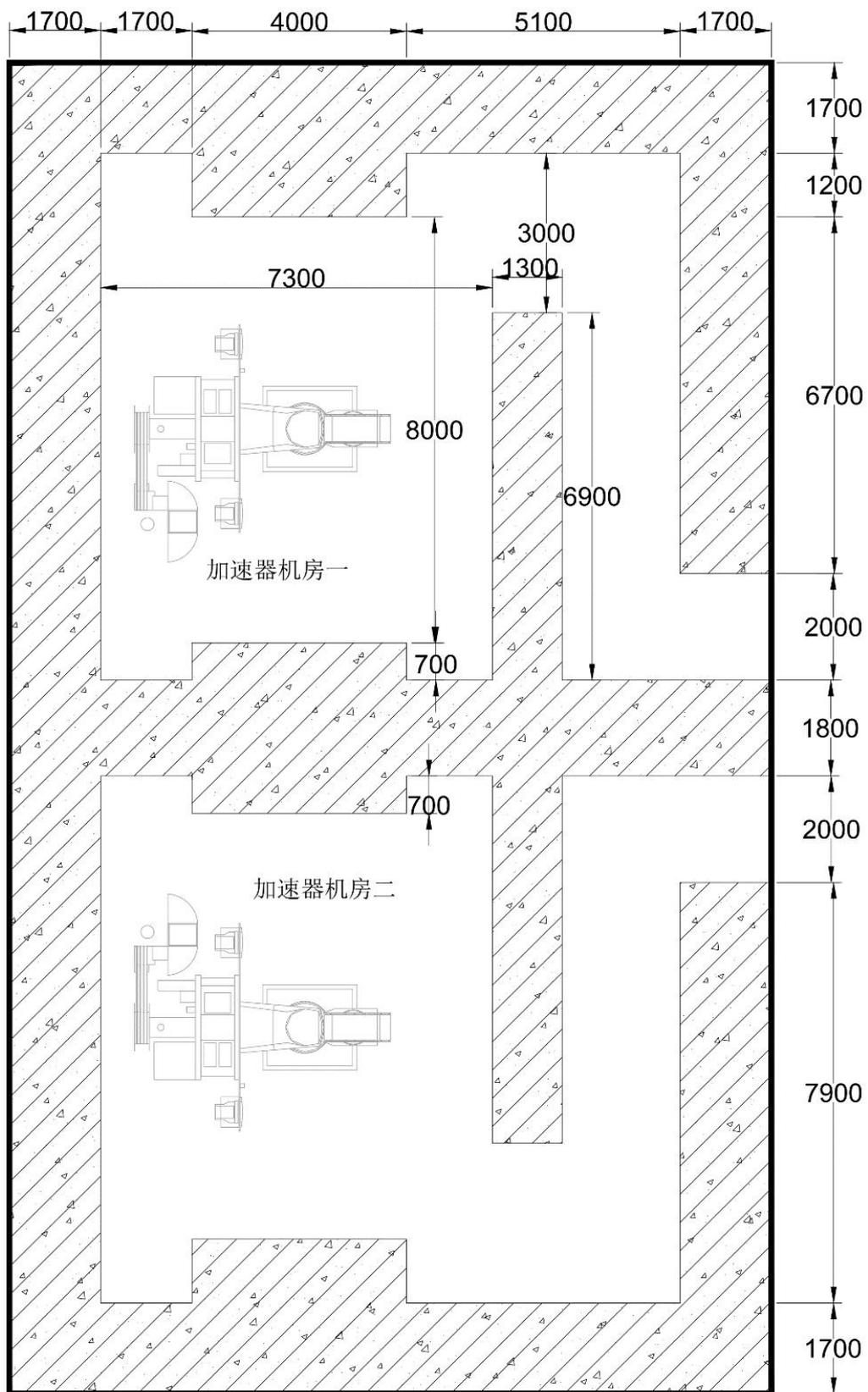


图 10-3 加速器机房平面布置及屏蔽设计方案

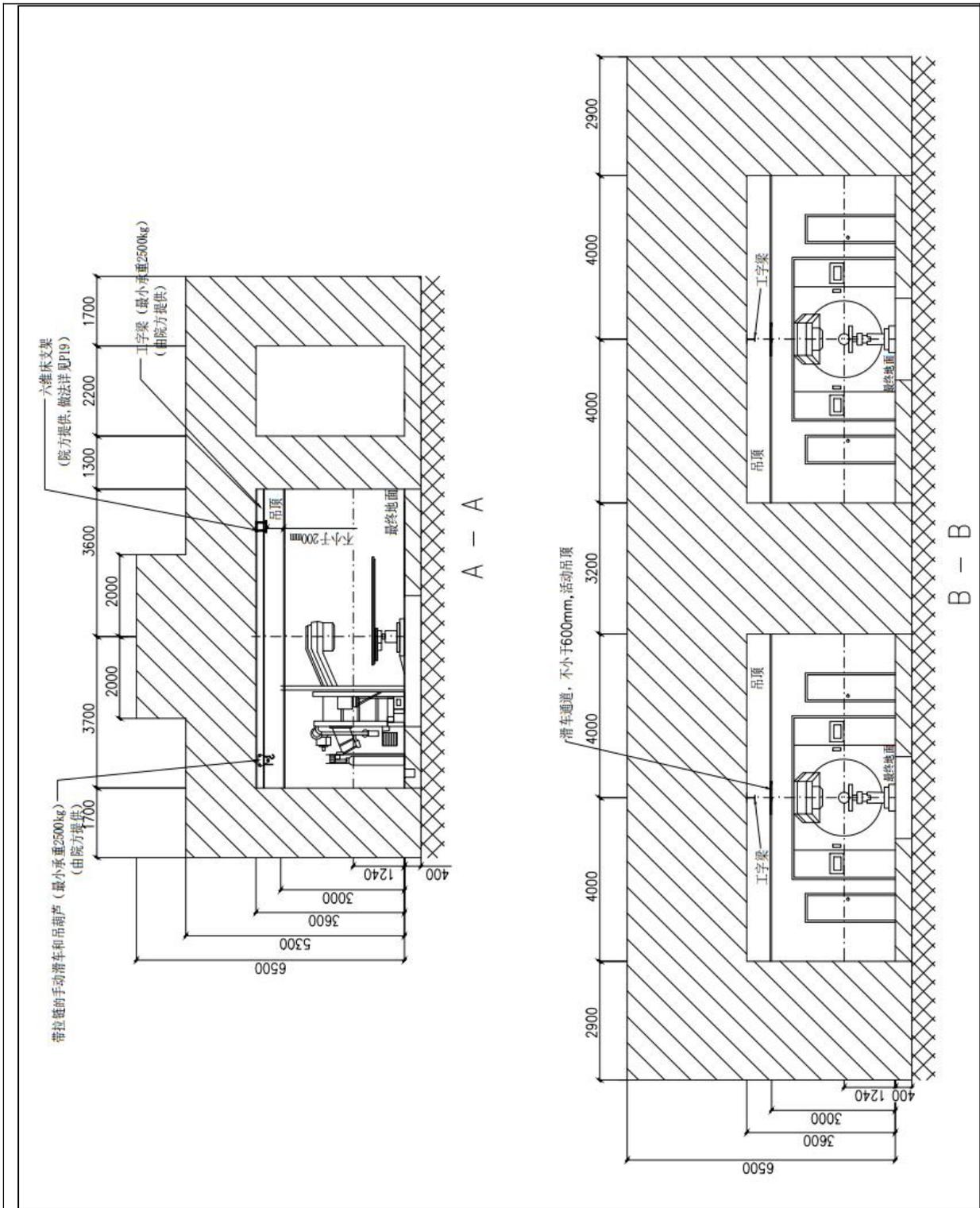


图 10-4 加速器机房剖面图及屏蔽设计方案

(2) CT 模拟定位室

CT 模拟定位室屏蔽设计情况详见下表：

表 10-5 CT 模拟定位室屏蔽防护设计情况一览表

机房名称	屏蔽体	屏蔽体设计材料及厚度（折合铅当量）	标准要求	评价
CT 模拟定位室	四周墙体	37cm 实心粘土砖+1mmPb 钡水泥 (约 4.16mmPb)	2.5 mmPb	符合
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	2.5 mmPb	符合
	防护门	内衬 4mm 铅板	2.5 mmPb	符合
	顶棚	25cm 混凝土+1mmPb 钡水泥 (4.01mmPb)	2.5 mmPb	符合
	底板	25cm 混凝土+1mmPb 钡水泥 (4.01mmPb)	2.5 mmPb	符合

备注：1、混凝土密度 2.35g/cm³，铅密度 11.3g/cm³，砖密度 1.65g/cm³。

由《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的附录 C 的式 C.1、C.2 可算得混凝土、砖屏蔽物质的铅当量，实心砖厚度先按密度转换公式转换成混凝土厚度，再转换成铅当量。370mm 实心砖厚度相当于 $370\text{mm} \div 2.35\text{g/cm}^3 \times 1.65\text{g/cm}^3 = 259.79\text{mm}$ 混凝土厚度。

按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 中，计算铅当量的公式为：

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

式中：

B—给定不同屏蔽物质厚度的屏蔽透视因子；

α 、 β 、 γ —不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰弱的有关的拟合参数；

X—不同屏蔽物质厚度。

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

式中：

X—不同屏蔽物质的铅当量厚度；

α —不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

β —不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

B —给定铅厚度的屏蔽透射因子。

根据上述公式，结合表 10-5 可知，CT 模拟定位室屏蔽防护铅当量折算情况详见表 10-6。

表 10-6 CT 模拟定位室屏蔽体等效铅当量厚度

管电压 (140kV)		顶棚	四周墙体	地板
混凝土	X(mm)	250	259.79	250
	α	0.03360	0.03360	0.03360
	β	0.01220	0.01220	0.01220
	γ	0.5190	0.5190	0.5190
	B	1.25E-04	8.96E-05	1.25E-04
铅	α	2.009	2.009	2.009
	β	3.990	3.990	3.990
	γ	0.3420	0.3420	0.3420
不同屏蔽物质折算成铅当量 X(mmPb)		3.01	3.16	3.01
硫酸钡涂料	(mmPb)	1	1	1
折算合计	(mmPb)	4.01	4.16	4.01

10.1.1.3.2 辐射安全防护设施和措施

一、加速器机房

为保障加速器安全运行，本项目医用电子直线加速器机房设计有相应的辐射安全装置和保护措施，具体如下：

(1) 通风管道

各加速器机房均拟设置 1 个送风口和 2 个排风口，其中送风口设置于机房顶棚，管道采用 S 型管道由防护门上方穿越机房，经迷道到达迷道内入口上方，排风口拟设置于机房墙体距地 0.2m 处，管道均采用 S 型管道穿越相应西侧墙体到达室外。

机房设计排风量均为 3400m³/h，每间机房容积约为 375m³（含迷道），按照 75% 的通风效率计算，通风次数约 6.8 次，符合相关标准要求。

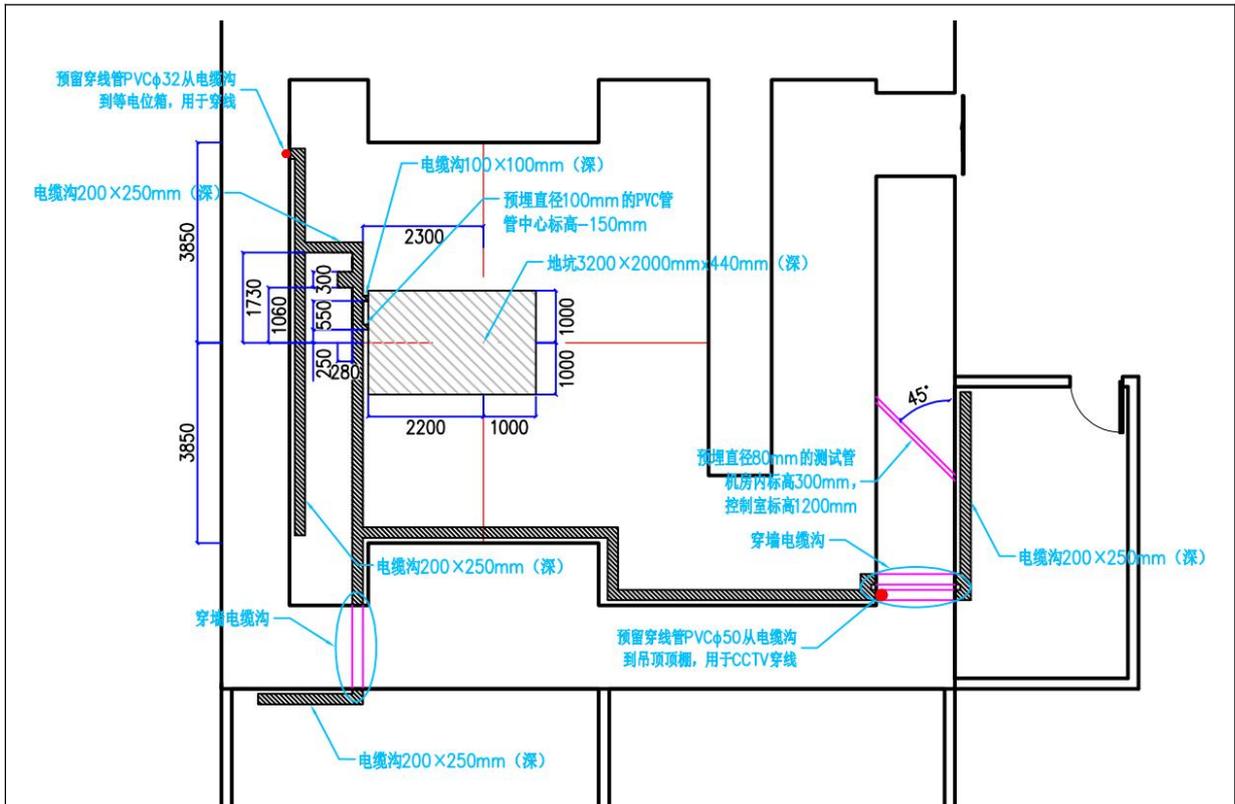


图 10-8 电缆管线穿墙示意图 (加速器机房 2)

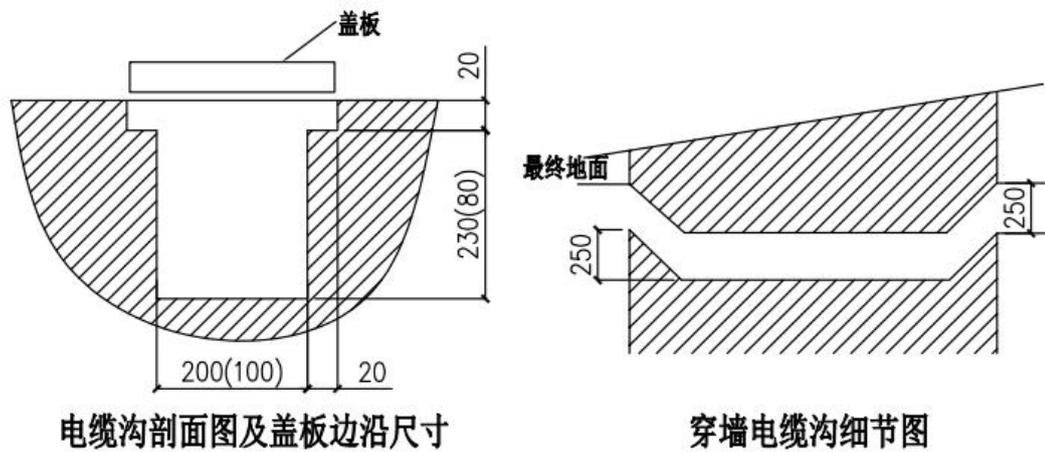


图 10-9 电缆沟穿墙示意图

(3) 测量电缆管道铺设

加速器机房需预留测量电缆管道，测量电缆管道应以 45 度角从迷道墙壁打入控制室内，需要保证从迷道内从低往高以一定角度穿透防护墙。详见下图：

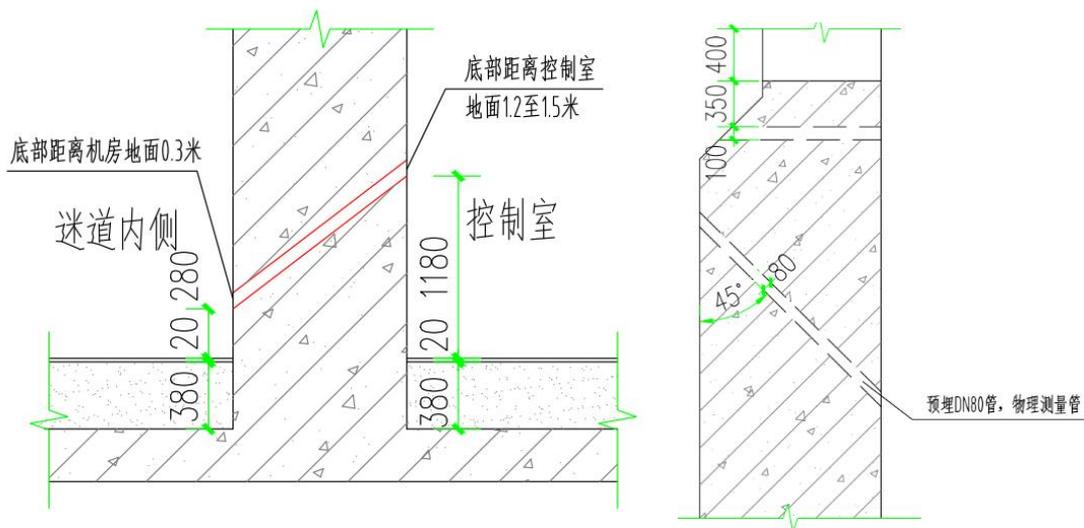


图 10-10 测量电缆管线穿墙示意图

(4) 迷路及防护门

加速器机房入口处设置防护门及迷路，拟设防护门为电动推拉式防护门，防护门拟设红外线防夹传感器，在门体关闭时如检测到障碍物时，门体自动打开，直至障碍物消除后门体才自动关闭；防护门拟设电储备器，在断电的情况下能打开防护门；防护门具有手动装置，防护门内设置应急开门设施。为减少接缝处的泄漏辐射，加速器机房和防护门宽于门洞的部分大于“门—墙”间隙的 10 倍。

(5) 警示装置和工作状态指示灯

①工作状态指示灯：应按相关标准要求，设备安装调试完毕后，在机房防护门正上方安装工作状态指示灯，用来警示人员不要进入处于工作状态的机房。

②电离辐射标志：应按相关标准要求，设备安装调试完毕后，机房外醒目位置粘贴了“当心电离辐射”、“禁止入内”、“禁止停留”标志，用来提示附近或经过人员不要进入处于工作状态的机房。操作室内需粘贴“戴防护眼镜”、“穿防护服”等警示标识。

③停机或意外中断照射时开启声光报警器。

(6) 监视与对讲装置

①监视系统：加速器治疗室内设置 6 套视频监控摄像装置，迷道内设摄像装置，设备区内设置摄像装置，在控制室内设置监控显示器，视频监控和摄像装置便于控制室操作人员观察治疗室内患者状态、机房内和迷路人员停留情况。

②对讲装置：加速器机房与控制室间均拟装配双向交流对讲装置，用于指挥人员

进出和方便与患者之间的沟通，避免病人照射时移动而导致重复照射。

(7) 紧急停机按钮

加速器机房控制室操作台、治疗床（自带紧急停机按钮）、治疗室四面墙体及迷道墙体上均设置紧急停机按钮，共 8 个，且设置说明标识，按下急停按钮直线加速器立即停止出束。安全联锁系统一旦被触发后，须人工复位并通过控制台才能重新启动。

(8) 实时辐射水平监测系统

拟在直线加速器治疗机房迷道内入口处设置固定式在线辐射剂量率监测探头，实时监测室内辐射剂量率水平，具有异常情况下报警功能，显示单位设置在控制室中，工作人员可以及时了解设备的工作情况以及机房中的辐射水平。实时监测系统与设备联锁系统联网，异常或事故情况下，不能启动加速器，可以中断或终止辐照。

(9) 安全联锁装置

①辐照参数预选值联锁：控制台在选择各种辐照参数之前，照射不能启动。

②计时器联锁：控制台配置具有时间显示的辐照控制计时器，并能独立完成控制辐照终止系统。当辐照中断或终止后，能保持其读数，必须将计时器复零后，方能启动下一次照射。

③剂量复零联锁：显示的剂量读数在辐照中断或终止后保持不变，辐照中断或终止后需将显示器复位到零，下次辐照才能启动。

④门机联锁：当防护门处于开启状态时，加速器不能启动辐照；当加速器处于辐照状态时，一旦防护门被强迫打开，加速器能立即切断高压电源，停止出束。

⑤紧急开关：用于紧急状态时终止照射，紧急开关应有醒目标识及文字显示；室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能。

⑥电源钥匙开关：控制台上装有电源钥匙开关，专用钥匙由专人保管，只有钥匙在“开”的位置，才能接通电源，启动加速器。

只有同时具备下列条件时加速器才能开机出束：

- a、电源钥匙置于“开”的位置；
- b、防护门处于关闭状态；
- c、计时器复零；
- d、选择各种辐照参数；

- e、剂量显示器复零后，并预置了剂量；
- f、两道独立的剂量监测系统设置值有一定的差值。

只要具备下列任一条件加速器不能出束：

- a、电源钥匙置于“关”的位置或没有插入；
- b、防护门处于开启状态；
- c、计时器没有复零；
- d、没有选择各种辐照参数；
- e、剂量显示器没有复零。

在下列情况时加速器可以停止出束：

- a、按下控制台上、调制器、治疗床上和机房内墙面的紧急停机开关；
- b、强行将防护门打开；
- c、切断电源。

(10) 屏蔽补偿

机房内墙、外墙上的电器部件的位置，应与同侧墙体有同等的屏蔽，对嵌入式安装造成的屏蔽减弱的地方，应进行屏蔽补偿。

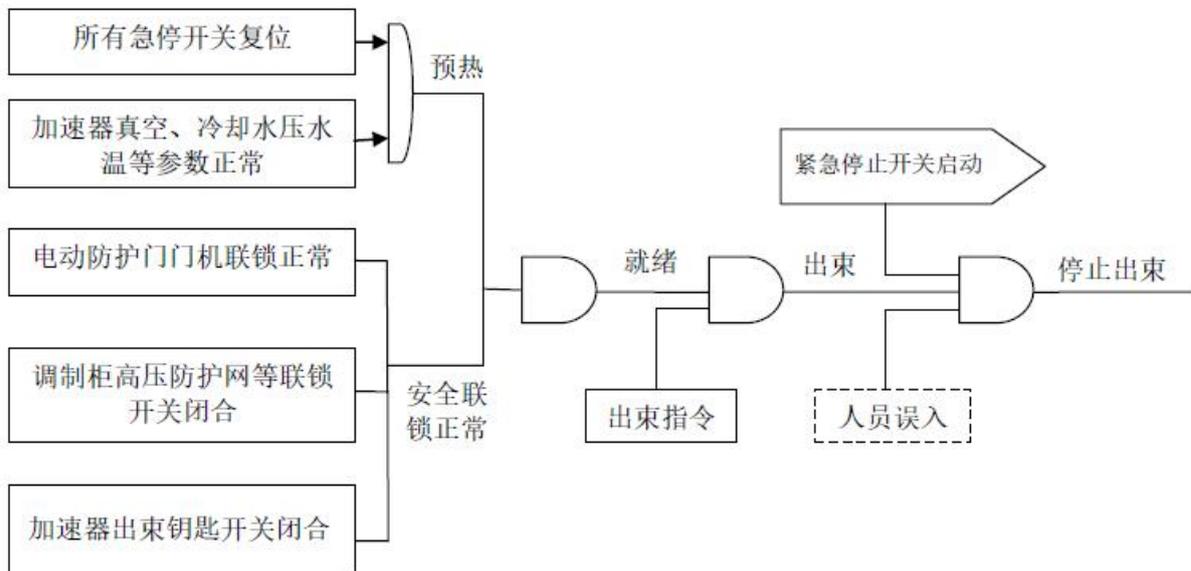


图 10-11 安全联锁逻辑图

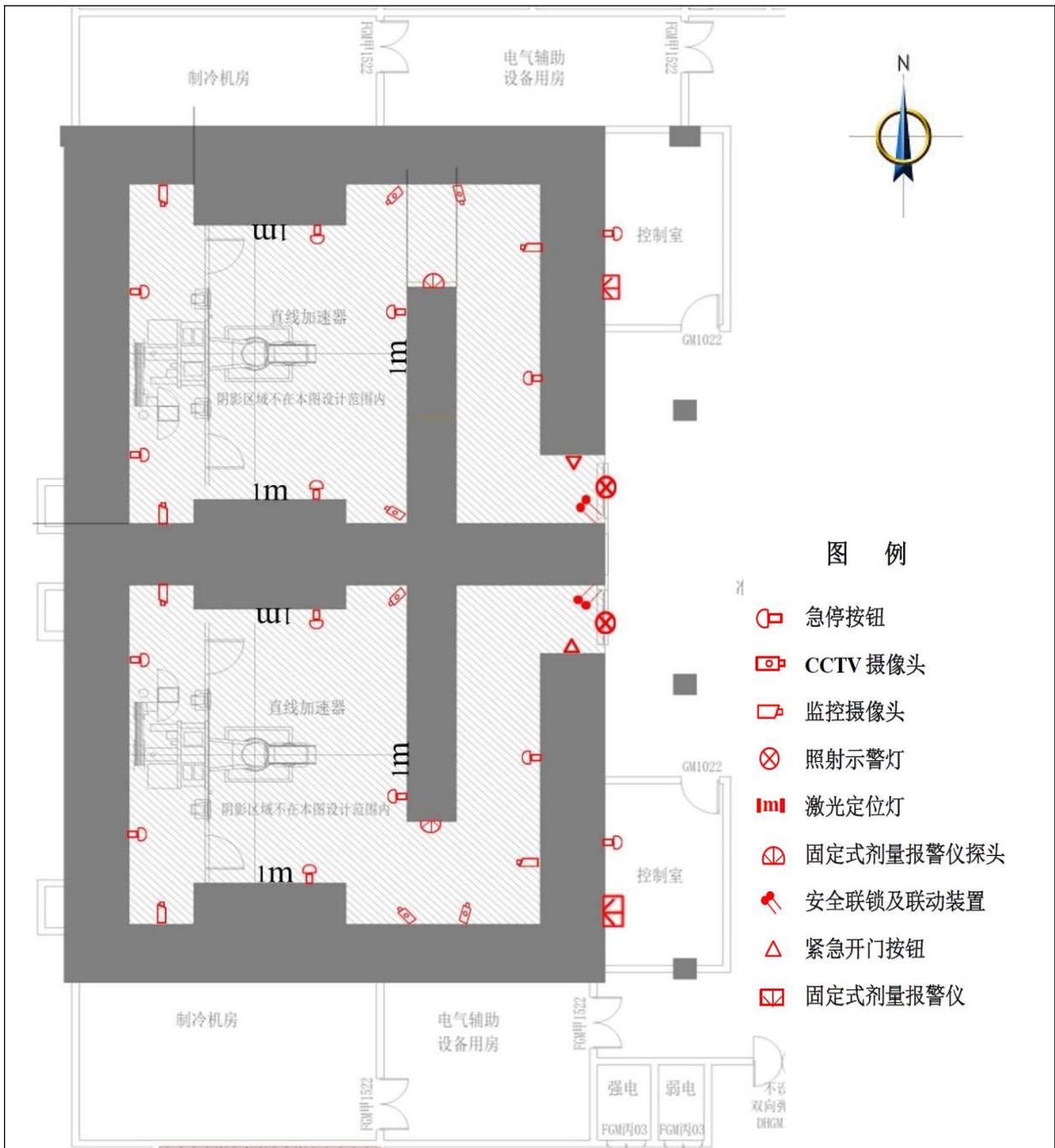


图 10-12 加速器机房辐射防护与安全控制设施布置图

(12) 管理措施

①调试合格后，应委托有资质的单位对加速器工作场所及其周边环境进行辐射水平检测，保证场所使用能够满足相关标准要求。

②放疗工作人员应熟练掌握业务技能，接受辐射安全与防护及有关法律知识的培训，取得培训合格证或考试成绩报告单后持证上岗。

③制定操作规程、岗位职责、应急处理措施等规章制度，并张贴上墙。

④对辐射工作场所的安全联锁系统进行定期检查，保存安全联锁的正常有效运

行。

⑤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。

⑥任何人员未经授权或允许不得进入控制区，放疗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。

⑦放射工作人员均需佩戴个人剂量计，并定期进行检测，建立个人剂量档案。为放射工作人员配备个人剂量报警仪等检测仪表，在辐射工作期间，辐射工作人员应全程佩戴开启状态下的个人剂量报警仪。

二、CT 模拟定位机

为保障 CT 模拟定位机安全运行，机房设计有相应的辐射安全装置和保护措施，具体如下：

（1）观察窗

本项目 CT 模拟定位机拟在西侧控制室与机房隔断墙上设观察窗，设置的位置便于观察到患者状态及防护门开闭情况。

（2）防护门

本项目 CT 模拟定位机拟设机房防护门、控制室防护门，拟设机房防护门为电动推拉式防护门、控制室防护门为手动平开式防护门。平开式防护门拟设置自动闭门装置，推拉式机房门拟设置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，电动推拉式防护门拟设置防夹装置。

（3）电离辐射警告标志

医院拟在 CT 模拟定位机各防护门上粘贴符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志。

（4）对讲装置

拟在 CT 模拟定位室内与控制室之间设置对讲装置。

（5）工作状态指示灯

拟在 CT 模拟定位机房防护门上方设置带“射线有害灯亮勿入”可视警示语句的工作状态指示灯，工作状态指示灯能与机房门联动。

（6）放射防护注意事项告知栏

拟在候诊区设置放射防护注意事项告知栏。

(7) 紧急停机按钮

拟在模拟定位控制室操作位处、CT 模拟定位设备上设置紧急停机按钮。

(8) 防护用品

根据医院提供的资料，拟为本项目 CT 模拟定位机房患者配备相应的个人防护用品。在辐射工作中应做好个人的放射防护，以达到辐射防护的目的。

表 10-7 防护用品配置计划一览表

机房	防护用品配置		
	受检者	陪检者	工作人员
CT 模拟定位室	0.5mmPb 包裹式铅橡胶方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子各 1 件	0.5mmPb 铅防护衣	—

(9) 电缆管线屏蔽补偿措施

CT 模拟定位机房的各种电缆管线和电缆沟管道拟以地线布置，并在出入口处以铅板覆盖。本项目 CT 模拟定位机房电缆管线穿墙设计如下图所示：

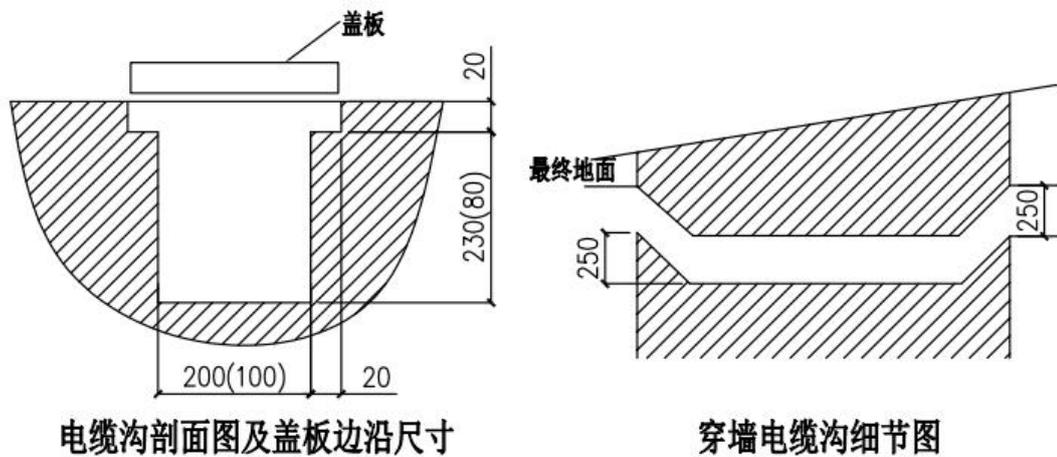


图 10-13 CT 模拟定位室电缆管线穿墙示意图

(10) 通风装置

该项目 CT 模拟定位机房拟采用具有送新风的中央空调进行通风。

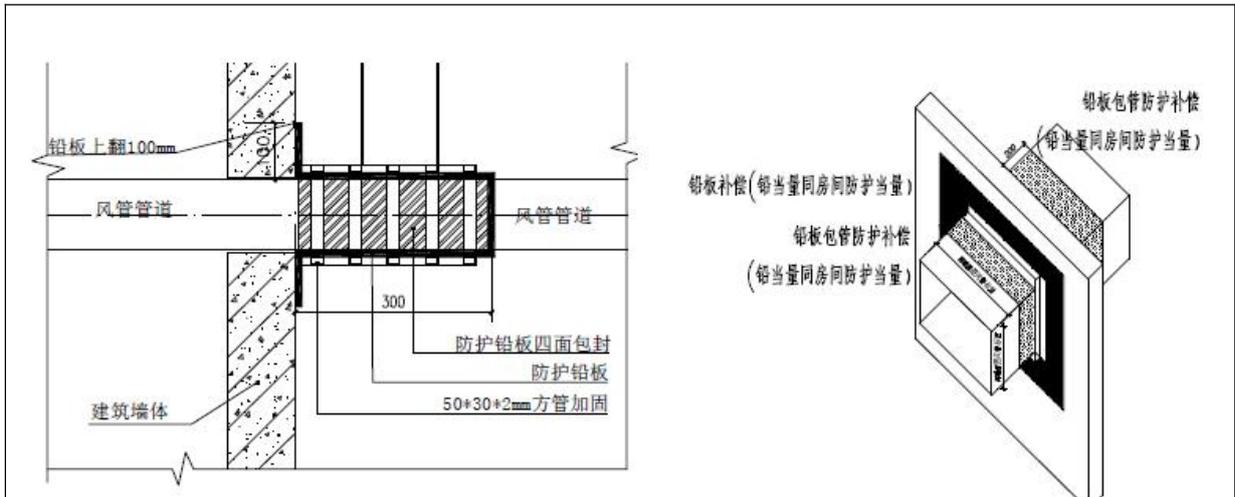


图 10-14 CT 模拟定位室通风管道穿墙辐射屏蔽补偿示意图

10.1.1.4 辐射安全防护措施设置合理性分析

本项目加速器机房和 CT 模拟定位室拟采取多项辐射防护与安全控制设施和措施，本次评价与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）对照进行符合性分析，详细如下：

表 10-8 CT 模拟定位室辐射防护措施符合性分析一览表

项目	GBZ130 标准要求	辐射防护设计情况	符合性
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。	有用线束朝上，避免了有用线束直接照射门、窗和管线口位置；有用线束未直接照射工作人员操作位。	符合
	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。	CT模拟定位机房布局充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。	符合
	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。	CT模拟定位机设有单独的机房，机房满足使用设备的布局要求。	符合
	表 2 CT机：机房内最小有效使用面积不小于 30m ² ，最小单边长度不小于 4.5m。	机房面积：约37.4m ² ，单边最小长度：5.2m。	符合
机房屏蔽	表 3 CT 模拟定位机房：有用线束方向、非有用线束方向铅当量 2.5mmPb	由表 10-5 可知，CT 模拟定位机房屏蔽参数可以满足标准要求。	符合
	6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求： b) CT 机机房外的周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h	由表 11 可知，CT 模拟定位机房可满足“CT 机机房外的周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h”的要求。	符合

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。	CT 模拟定位机房拟在控制室侧设置观察窗、对讲装置，便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。	符合
	6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	CT 模拟定位机房内不堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	符合
	6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	CT 模拟定位机房拟采用具有送新风的中央空调进行通风。	符合
	6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志、机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。	CT 模拟定位机房控制室工作人员通道门为平开式机房门，拟设置自动闭门装置；患者通道推拉式机房门拟设有曝光时关闭机房门的管理措施；机房门外拟设计安装醒目的电离辐射警告标志。推拉式防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱处拟设置警示语句，且工作状态指示灯能与推拉式防护门有效关联。拟在 CT 模拟定位机房控制室操作位处、CT 模拟定位设备上设置紧急停机按钮。	符合
	6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。		符合
	6.4.6 电动推拉门宜设防夹装置	机房防护门为电动推拉门，拟设防夹装置。	符合
	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。	受检者不在机房内候诊；检查过程中陪检者不滞留在机房内。	符合
	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	CT 模拟定位机房拟按 CT 类型的防护要求设置。	符合
	6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者	CT 模拟定位机的安放利于操作者观察受检者。	符合
	6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。	CT 模拟定位机机房出入门处于散射辐射对低的位置。	符合
X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求	为受检者配备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 对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣 防护用品的铅当量应不小 0.25mmPb， 甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb。	拟为受检者配置 0.5mmPb 包裹式铅橡胶方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子各 1 件。为陪检者配备 1 件 0.5mmPb 铅防护衣。	符合
	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。	拟设置专门的防护用品架放置个人防护用品。	符合

表 10-9 与《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）符合性对照分析表

项目	标准要求	拟采取的安全防护措施和设施	备注
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。	本项目选址位于医院内部，未设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	符合
	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。	本项目放射治疗场所位于医技楼负一层，该建筑专为放射治疗场所设置，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。	符合
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，如直线加速器机房区域。 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)。	本项目放射治疗场所按标准要求划分控制区和监督区，将治疗机房和迷路设置为控制区，其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区，本项目加速器工作场所辐射安全分区图见图 10-2。	符合
屏蔽要求	6.1.1 放射治疗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。	本项目放射治疗室屏蔽设计按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件参数，同时考虑了所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射，并进行了设计核算，详见表 11。	符合
	6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。使用大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。	本项目加速器机房拟采用标准混凝土（ $\rho=2.35\text{g/cm}^3$ ）浇注完成，材料结构性能、防护性能均可以满足最优化要求。本项目最大 X 射线能量为 10MV，无需考虑中子屏蔽。	符合
	6.1.3 管线穿越屏蔽体时应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。	根据设计方案，通风管线采取“S”型穿墙方式，电缆管线采取“U”型穿墙方式，能确保满足屏蔽体外的辐射防护要求；防护门与墙体的搭接大于防护门与墙体间隙的 10 倍。	符合
安全防护设施和措施	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。	拟在加速器机房防护门（治疗场所入口及控制区入口）外安装工作状态指示灯和电离辐射警告标志，防护门粘贴射防护注意事项，其中工作状态指示灯具备开机、停机指示。 加速器机房内设置监控摄像头，实时监视机房内部观察患者状态、治疗床和迷路区域情况；在治疗室内设置双向交流对讲装置。	符合

	6.2.2 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检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。	各加速器机房内均安装固定式辐射剂量检测仪，并具备报警功能，其探测器位置设置在机房迷道内入口处，显示单位设置在控制室内。	符合
	6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全连锁措施： a) 放射治疗室应设置门-机连锁装置，防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下开门停止出束。 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； 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。	1、加速器机房拟设置门机连锁装置，防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下开门停止出束。 2、放射治疗室拟设置室内紧急开门装置，防护门拟设置红外线防夹装置。 3、拟在放射治疗设备的控制台、治疗室迷道出入口及治疗室四周墙壁设置急停按钮，急停按钮设置醒目标识及文字显示能让在机房区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。	符合
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连锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全连锁的正常有效运行。	拟对辐射工作场所的安全连锁系统定期进行试验自查，保证安全连锁的正常有效运行。	符合
	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。	治疗期间，有两名技师协调操作，做好当班记录，严格执行交接班制度	符合
	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。	加速器机房控制室设置门禁，未经授权或允许的人员不得进入。在治疗前工作人员应确认机房内没有无关人员，工作人员进入治疗室前确认放射治疗结束或治疗室已经终止的情况下方可进入放射治疗室。	符合
固态废物管理要求	8.2.2.1 活化后的准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。	加速器的废靶只在装置需要更换金属钨靶时才产生，更换下来的废靶由加速器设备供应商回收或有资质单位处理。	符合
	8.2.2.3 建立放射性固体废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率）、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固体废物处置，并做好存档记录。	医院拟建立放射性固体废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果(剂量当量率)、监测日期、去向等相关信息。	符合
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。	加速器机房拟设置排风系统，每小时换气约6.8次，排气口位于地面景观花园，离门、窗或人流较大的过道等位置较远。	符合

表 10-10 与《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）符合性对照分析表

项目	标准要求	拟采取的安全防护措施和设施	备注
布局要求	6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	加速器机房为单独建造的放疗场所，设备间、控制室等辅助设施与直加机房同时设计和建造，并根据医疗流程需要合理布置，满足安全、卫生和方便的原则。	符合
	6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。	本项目将加速器机房（包含迷道）划定为控制区，加速器机房相邻的控制室、设备用房等区域划定为监督区，分区情况见图10-2。	符合
	6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。	机房设置了主次屏蔽墙，经预测分析，主屏蔽墙能满足有用线束的屏蔽要求，其他屏蔽墙均能满足漏射线及散射线的屏蔽要求。	符合
	6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	本项目治疗机房与控制室分开设置，辅助用房均位于机房外。	符合
	6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。	有用线束朝向机房南侧和北侧墙体及地板和顶棚，控制室位于治疗室东侧，避开了有用线束直接照射。	符合
	6.1.6 X射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。	加速器治疗机房均设置“L”型迷路。	符合
空间、通风要求	6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。	本项目加速器机房的有效使用面积均为58.4m ² ，满足放射治疗设备的临床应用需要。	符合
	6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于4次/h。	各加速器机房拟设置排风系统，每小时换气约6.8次，排气口位于建筑顶部景观花园内，离门、窗或人流较大的过道等位置较远。	符合
屏蔽材料	6.3.3 屏蔽材料的选择应考虑其性能结构、防护性能和经济因素，符合最优化原则，新建机房一般选用普通混凝土。	各加速器机房采用混凝土浇筑，防护门拟采用铅板和含硼（5%）聚乙烯材料制作。	符合
安全装置和警示标志要求	6.4.2 连锁装置 放射治疗设备都应安装门机连锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。	拟安装门机连锁装置，机房迷路入口处设置有紧急开门装置，防护门拟设置防挤压功能。	符合

	<p>6.4.3 标志 医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志： a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志； b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。</p>	放射治疗工作场所的入口处外墙上拟张贴电离辐射警告标志；治疗机房门口拟张贴电离辐射警告标志；在防护门上方拟设置工作状态指示灯。	符合
	<p>6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。</p>	拟在放射治疗设备的控制台、治疗室迷道出入口及治疗室四周墙壁设置急停按钮，急停按钮设置醒目标识及文字显示能让在机房区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。	符合
	<p>6.4.6 视频监控、对讲交流系统 控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。</p>	拟在机房内设置摄像头，摄像头对机房内全方位的观察，并且安装对讲设备连接治疗室和控制室，能够使操作者和患者双向交流。	符合
放射治疗操作中的放射防护要求	<p>7.1 对于高于10 MV X射线治疗束和质子重离子治疗束的放射治疗，除考虑中子放射防护外，在日常操作中还应考虑感生放射线的放射防护。</p>	本项目拟使用加速器X射线最大能量为10MV，保守考虑，防护门进行了中子防护设计，日常操作中考虑感生放射线的影响和防护。	符合
	<p>7.3 操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，应保障安全联锁正常运行。</p>	本项目拟在控制室内将操作规程等制度上墙，在每天上班接诊患者前先检查一遍安全联锁等安全设施的情况，确保在各安全设施无故障下进行直加出束。	符合
	<p>7.5 实施治疗期间，应有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不应擅自离开岗位。</p>	本项目拟为每台直线加速器配备2名技师，在患者治疗时，严格执行密切观察机房内患者情况和控制室的仪器现状，确保能够立刻发现异常下马上处理，工作期间不会擅自离开岗位。	符合

由表 10-8 可知，本项目 CT 模拟定位机房的辐射防护措施符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）相关要求。

由表 10-9 和 10-10 可知，本项目医用电子直线加速器机房的辐射安全防护设施和措施符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（H J1198-2021）的相关要求。

10.1.2 DSA 安全设施

10.1.2.1 工作场所布局分析

本项目 DSA 机房位于医技楼一层，3 间 DSA 机房南北向布置，机房布局相同，DSA 拟设置于机房中央，各机房相邻环境状况见下表：

表 10-11 DSA 机房相邻环境状况一览表

机房名称	东侧	南侧	西侧	北侧	上方	下方
DSA 机房 1	污物打包间和过道	谈话间	控制室和设备间	资料室和胃肠控制室	标本处理区	运动室配药室
DSA 机房 2	患者过道	污物打包和设备间	控制室	谈话间	输血室	核医学科诊室
DSA 机房 3	患者过道	过道	控制室	污物打包和设备间	办公室	地下车库

根据上表可知，本项目 3 间 DSA 机房的设置充分考虑了邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全机房，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，周围也无人员流动性大的商业活动区域，因此 DSA 机房布局满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）。

各机房设计参数见表 10-12，平面布局详见图 10-15。

表 10-12 DSA 机房设计情况一览表

机房	设计尺寸	机房净高	有效使用面积
DSA 机房 1	长 7.8 m×宽 7.8 m	3.0 m	60.8 m ²
DSA 机房 2	长 7.8 m×宽 7.8 m	3.0 m	60.8 m ²
DSA 机房 3	长 7.8 m×宽 7.8 m	3.0 m	60.8 m ²

根据上表可知，本项目 DSA 各机房设计方案满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“最小有效使用面积 20m²，机房内最小单边长度 3.5m”的要求，机房工作场所布局及设计基本合理。

10.1.2.2 辐射工作场所分区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中要求，结合本项目设计情况，建设单位为加强核技术利用医疗设备所在区域的管理，限制无关人员进入，避免受到不必要的照射，对本项目 DSA 所在场所划定控制区和监督区，进行分区管理。以 DSA 机房屏蔽墙和防护门、窗等屏蔽体为界，DSA 机房划定为控制区，

DSA 机房相邻的控制室、设备间等区域划定为监督区。

控制区：将 DSA 机房 1、DSA 机房 2 及 DSA 机房 3 划为控制区。

监督区：将 DSA 机房相邻的控制廊、谈话间、设备间、污物打包间、资料室、胃肠控制室等划为监督区。

划分情况详见图 10-15 及表 10-13。

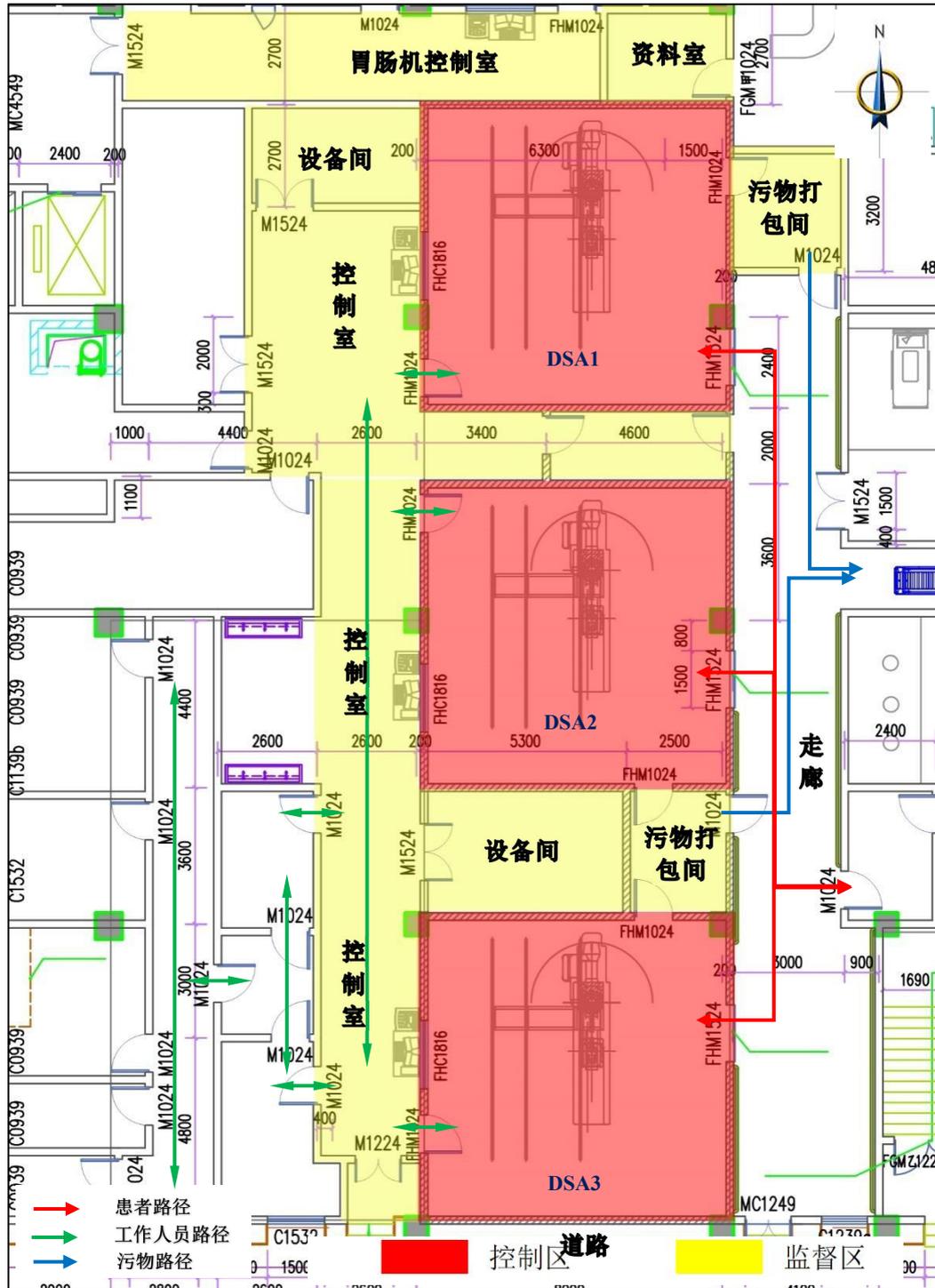


表 10-13 DSA 工作场所辐射安全分区一览表

控制区	监督区			
	机房东侧	机房南侧	机房西侧	机房北侧
DSA 机房 1	污物打包间	谈话间	设备间、控制室	资料室和胃肠控制室
DSA 机房 2	/	污物打包和设备间	控制室	谈话间
DSA 机房 3	/	/	控制室	污物打包和设备间

10.1.2.3 辐射防护设施及措施

10.1.2.3.1 工作场所辐射防护屏蔽设计

(1) 屏蔽设计方案

根据设计方案，本项目 DSA 机房四面墙体拟采用 370mm 厚实心砖墙附加 1mmPb 硫酸钡水泥砂浆，顶板为 120mm 厚砼板附加 2mmPb 辐射防护材料，底板为 160mm 厚砼板附加 1mmPb 辐射防护材料，各机房均设有 3 个防护门，其中患者出入防护门为电动推拉门，医生出入门、污物门均为平开门，防护门采用 3mm 厚铅门，观察窗采用 3mmPb 铅玻璃窗。

(2) 屏蔽防护核算

为分析本项目 DSA 机房的辐射防护性能，根据医院提供的设计方案，将该机房的主要技术参数列表分析，按照公式 10-1 和公式 10-2 计算如下：

表 10-14 本项目 DSA 机房屏蔽防护等效铅当量厚度

材料	拟合参数	顶棚	地板	四周墙体
混凝土	X (mm)	120	160	/
	α	0.03502	0.03510	/
	β	0.07113	0.06600	/
	γ	0.6974	0.7832	/
	B	3.21E-03	3.96E-03	/
砖	X (mm)	/	/	370
	α	/	/	0.02870
	β	/	/	0.06700
	γ	/	/	1.346
	B	/	/	9.99E-06
铅	α	2.219	2.233	2.219
	β	7.923	7.888	7.923

	γ	0.5386	0.7295	0.5386
不同屏蔽物质折算成铅当量 X(mmPb)		1.4	2.2	3.9
硫酸钡涂料 (mmPb)		2	1	1
合计 (mmPb)		3.4	3.2	4.9

备注：因《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）无 125kV 对应砖（90°非有用线束）的拟合参数，因此本项目保守采用 125kV 对应砖（有用线束）拟合参数计算。

由上表铅当量核算结果可知，各 DSA 机房四周墙体、顶板、底板及防护门、窗的防护材料及厚度折算铅当量至少为 3.0mmPb，可以满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）标准要求。

10.1.2.3.2 辐射安全防护措施

（1）机房通风

根据医院提供的设计资料，拟在三间 DSA 机房设置动力通风装置，并保持良好的通风。进排风管穿墙坑洞均位于房间内吊顶之上，经排风管道连接至楼层的排风总管道，排至室外。各机房风机排风量为 2500m³/h，能满足机房良好通风的要求。

通风管道穿墙坑洞及外伸 1m 的管道拟采用 2mm 铅皮包裹进行屏蔽补偿，开口四周可能存在缝隙，缝隙采用硫酸钡涂料进行填充，并采用 2mm 铅皮对通风管与墙面防护层搭接，搭接长度为 30cm，经过补偿措施处理后，能够有效防止射线直接从风管照射出机房。

（2）警示标识

患者出入防护门外拟设置电离辐射警告标志、放射防护注意事项、工作状态指示灯，灯箱处设警示语句，警示人们注意可能发生的危险。等候区拟设置放射防护注意事项告知栏。

（3）手术室和操作间之间拟设置铅玻璃观察窗和摄像头，辐射工作人员在有屏蔽的防护设施的操作间内进行曝光操作，观察窗和摄像头设置的位置便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。

（4）手术室内禁止堆放与介入手术无关的杂物。

（5）受检者出入手术室的防护门为电动推拉门，电动推拉门拟设置防夹装置，同时设有曝光时关闭机房门的管理措施。电动推拉门上方拟设置工作状态指示灯，并与电动推拉门有效关联。机房其余防护门为平开门，拟设置自动闭门装置。

（6）受检者不可在手术室内候诊，设有等候区；无特殊情况，陪检者不得在手

术室内滞留。

(7) 拟在 DSA 操作间和机房内设对讲装置，以便操作间医生和介入手术医生之间更好的沟通，避免由于沟通不畅导致重复照射。

(8) 各机房内安装有 2 个紧急停止开关，其中 1 个位于操作间操作台上，1 个位于手术床上，出现紧急情况的时候能够及时地切断电源，保护病人和操作人员的安全。

(9) 机房内吊顶处设置烟感报警器，机房内配备灭火器。

10.1.2.3.3 管理措施

(1) 医院配置设备到位调试合格后，应委托有资质的单位对机房外的周围剂量当量率进行检测，保证机房的屏蔽能力满足要求。

(2) 所有放射工作人员均佩戴个人剂量计，并定期进行测读，建立个人剂量档案。

(3) 医院按照相关法律法规和标准的要求制定辐射防护规章制度、设备操作规程、应急预案等，并张贴上墙。

(4) 放射科工作人员应熟练掌握业务技术，接受放射防护的有关法律知识培训，满足放射工作人员岗位要求。

(5) X 射线机曝光时，应保证门灯关联有效。

(6) 介入放射用 X 射线设备应具有可准确显示受检者照射剂量的装置。

(7) X 射线设备机房放射防护安全设施在项目竣工时应进行验收检测，在使用过程中，应按规定进行定期检测。

(8) 项目采用射线装置进行诊断及手术辅助时，应制定最优化方案，在满足诊断前提下，选择合理可行的射线参数（高 kV，低 mA）、尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照射时间，也避免患者受到额外剂量的照射。

(9) 应用 X 射线检查应经过正当性判断。执业医师应掌握好适应症，优先选用非 X 射线的检查方法。

(10) 配备辅助防护设施：DSA 设备拟配备铅悬挂防护屏或铅防护帘、床侧防护帘或床侧防护屏等辅助防护用品与设施，在设备运行中可用于加强对有关人员采取放射防护与安全措施。

10.1.2.4 辐射安全防护设施和措施设置合理性分析

根据医院提供的设计方案，将该机房的主要技术参数列表分析，与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对该机房防护设施的技术要求比照，具体见下表：

表 10-15 辐射安全与防护措施设计情况一览表

项目	标准要求	实际情况	符合性
机房布局	单管头 X 射线机：机房内最小有效使用面积 20m ² ，最小单边长度 3.5m。	本项目各 DSA 机房面积均为：60.8m ² ，最小单边长为 7.8m。	符合
机房屏蔽	C 型臂 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向铅当量 2mmPb，非有用线束方向铅当量 2mmPb。	本项目 3 间 DSA 机房四侧墙体实际建设方案为 370mm 厚实心砖墙，顶板屏蔽厚度为 120mm 厚砼板附加 2mmPb 硫酸钡水泥防护，底板屏蔽厚度为 160mm 厚砼板附加 1mmPb 硫酸钡水泥防护，拟采用 3mmPb 的观察窗和防护门。根据前文与标准对比分析，可以满足标准要求。	符合
工作场所防护	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。	3 间 DSA 机房与控制室之间均设置铅玻璃观察窗，且观察窗位于墙面中间位置，便于观察。	符合
	机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	医院已制定管理要求，机房内不得堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	符合
	机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	3 间 DSA 机房均拟设置动力排风装置，并保持良好的通风。	符合
	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。	拟在 3 间 DSA 机房大门外设置电离辐射警告标志，在手术室防护门外顶部设置工作状态指示灯，显示“工作中，射线有害，灯亮勿入”，以警示人员注意安全；并在机房大门旁醒目位置张贴放射防护注意事项；在机房外醒目位置设置公告栏。	符合
	平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。	本项目 3 间 DSA 机房设有电动防护门和推拉式防护门，防护门均设置有自动开、闭门装置，机房大门外工作状态指示灯与机房门设置有联动装置。	符合
	电动推拉门宜设置防夹装置	本项目 3 间 DSA 机房电动推拉门均拟设置防夹装置。	符合
	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。	本项目受检者不在机房内候诊，无陪检者滞留。	符合

现场应配备工作人员、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服。	拟为辐射工作人员配备 12 套个人防护用品，为受检者配备 3 套个人防护用品，为 3 台 DSA 设备各配备 1 件铅悬挂防护屏、1 件铅防护帘、2 件床侧防护帘、1 座移动铅防护屏风。详见表 10-16。	符合
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 2 mmPb。	拟配备的防护用品和辅助防护设施的铅当量均符合标准要求，详见表 10-16。	符合
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。	拟配备的防护用品和辅助防护设施的铅当量均符合标准要求，详见表 10-16。	符合
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。	本项目配备的个人防护用品均拟挂在铅衣室内，并妥善保存。	符合
应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	本项目 3 台 DSA 设备布局合理，有用线束不会直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	符合

综上所述，本项目各 DSA 机房按相关标准要求进行了设计，相关辐射安全与防护措施均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

10.1.3 防护用品

医院拟为本项目配备辐射防护用品及检测仪器，详见下表：

表 10-16 本项目拟配备的防护用品、检测仪表一览表

机房名称	使用对象	拟配备的防护用品			
		防护用品种类	数量	备注	
加速器机房	工作人员	个人剂量计	10 个	/	
		个人剂量报警仪	10 台	每人 1 台	
	/	X-γ辐射检测仪	1 台	加速器与 DSA 共用	
	/	固定式剂量检测系统	2 台	/	
CT 模拟定位室	受检者	个人防护用品	铅橡胶方巾	1 件	0.5mmPb
			铅橡胶颈套	1 件	0.5mmPb
			铅橡胶帽子	1 件	0.5mmPb
	陪检者	个人防护用品	铅防护衣	1 件	0.5mmPb

DSA 机房	工作人员	个人防护用品	个人剂量计	21 个	介入医师及护士共 9 人，铅衣内外各佩戴 1 个，技师佩戴 1 个。
			个人剂量报警仪	3 台	/
			铅橡胶围裙	9 件	0.5mmPb
			铅橡胶颈套	9 件	0.5mmPb
			铅防护眼镜	9 副	0.5mmPb 个性化铅防护眼镜
			介入防护手套	9 副	0.025 mmPb
			铅橡胶帽子	9 顶	0.5 mmPb
		辅助防护设施	铅悬挂防护屏	3 件	2 mmPb
			铅防护吊帘	3 件	2 mmPb
			床侧防护帘	3 件	2 mmPb
	床侧防护屏		3 件	2 mmPb	
	移动铅防护屏风		3 件	2 mmPb	
	受检者	个人防护用品	铅橡胶性腺防护围裙	3 件	0.5mmPb
			铅橡胶颈套	3 件	0.5mmPb
			铅橡胶帽子	3 顶	0.5mmPb

备注：X-γ辐射检测仪为医院各科室共用设备，铅防护眼镜需根据使用人员的近视情况，佩戴有相应度数的铅防护眼镜。

10.2 三废的治理

10.2.1 放射性废气

本项目 CT 模拟定位机、DSA 运行过程中产生的 X 射线与空气作用可产生少量臭氧和氮氧化物，CT 模拟定位机房、DSA 机房内均拟设置动力通风系统，并保持良好的通风。机房室内产生的少量臭氧和氮氧化物通过送排风系统和外界空气对流，可改善室内空气中臭氧及氮氧化物问题，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对于机房排风要求。

各加速器机房均设置强制通风系统，加速器机房新风口和排风口对角设置，新风口位于天花处、排风口位于距地面 30cm 处；每间机房拟安装排风机的排风量约为 3400m³/h，按照 75%的通风效率计算，排风次数约为 6.8 次/h，能满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中关于通风换气次数的要求（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)。各机房废气排放管道最终由建筑物屋顶引至地面景观花园排放，能够迅速稀释扩散，产生的臭氧和氮氧化物对机房内、外环境无影响。

10.2.2 放射性废液

本项目 CT 模拟定位机、DSA 属于 X 射线装置，在正常运行过程中，不会产生放射性废液。

本项目医用直线加速器冷却水有防止跑、冒、滴及漏冷却水的措施，即冷却水是在密封的系统中循环利用，在正常运行过程中，不会产生放射性废水。

10.2.3 放射性固体废物

本项目 CT 模拟定位机、DSA 属于 X 射线装置，在正常运行过程中，不会产生放射性固体废物。

本项目医用电子直线加速器需要更换金属钨靶时会产生废靶，换下的废靶由生产厂家回收处理。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目加速器机房主体已建成，CT 模拟定位室和 DSA 机房现为空置状态，建设单位拟对本项目各工作场所设计布局和装修，涉及到新墙体的彻筑、建筑装饰、设备安装等。施工期主要的污染因子有：噪声、废水、固体废弃物和扬尘。

(1) 大气环境影响分析

主要为装修等产生的粉尘。为减小施工期间粉尘对外界环境的影响，施工单位应做到以下几点：加强施工现场管理，应进行适当的加湿处理。

(2) 水环境影响分析

施工期间产生的废水主要表现为施工人员的生活污水。经医院内部现有的污水管网排入污水处理站处理。

(3) 声环境影响分析

施工期噪声主要来自于机房建设和装修。通过选取噪音低、振动小的设备降低噪声对周围环境的影响。

(4) 固体废物影响分析

施工过程固体废弃物主要是生活垃圾、建筑垃圾。产生的废弃物如废材料、废纸张、废包装材料、废塑料薄膜等应妥善保管，及时回收处理；对于不可回收的建筑垃圾，应定点堆放，及时送指定的建筑垃圾堆放场；施工人员产生的生活垃圾依托医院生活垃圾收集设施收集后，交由环卫部门统一处理。

(5) 放射性污染及防治措施

设备安装及调试过程会产生放射性污染，因此本项目设备的安装、调试由设备厂家专业人员进行，院方不得自行安装设备。在安装调试阶段，应加强辐射防护管理，保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，禁止无关人员靠近。

综上所述，该项目施工工程量小、施工工艺简单、施工周期短，且施工期产生的少量废水和固体废物均可依托医院现有的处理措施进行处理，只要建设单位和施工单位在施工过程中严格落实对施工扬尘的管理和控制措施，施工期的环境影响能降到最低程度。同时由于施工期对环境产生的影响均为暂时的，随着施工期的结束，影响即自行消除。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 加速器辐射环境影响分析

本项目拟使用的直线加速器 X 射线能量为 6MV 和 10MV 两个档位，两种模式下等中心点处最大剂量率分别为 1400cGy/min（6MV，840Gy/h，FFF 模式）、600cGy/min（10MV，360Gy/h）；电子线最大能量为 15MeV，电子线等中心点最大剂量率 600cGy/min（360Gy/h）。

本次评价以 X 射线能量 10MV 和 6MV（FFF 模式）两种情况进行理论估算，对电子线影响进行简要分析。

11.2.1.1 有用线束主屏蔽区宽度核算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007），宽束辐射的有用束对应的机房屏蔽为主屏蔽区，其范围应略大于有用束在机房屏蔽墙（或顶）的投影区，可按下式确定：

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

式中： Y_p —机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD—源轴距，m。本项目取 1m；

θ —治疗束的最大张角（相对束中的轴线），本项目预设取值 14°；

a —等中心点至“墙（主屏蔽墙与次屏蔽墙连接位置）”的距离，m。

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

本项目 2 间加速器机房共用一面主屏蔽墙，该面墙即为内凸，又为外凸，因此本次评价分别计算，详细如下：

表 11-1 有用线束主屏蔽区宽度核算一览表

机房	屏蔽墙	形式	等中心至“墙”的距离 a (m)	计算值 Y_p (m)	建设宽度 (m)	评价结果
加速器 机房 1	北主屏蔽墙	内凸	3.95	3.07	4.0	满足
	南主屏蔽墙	内凸	3.95	3.07	4.0	满足
		外凸	6.45	4.31	4.0	不满足
	顶棚主屏蔽墙	外凸	5.65	3.42	4.0	满足
加速器 机房 2	北主屏蔽墙	内凸	3.95	3.09	4.0	满足
		外凸	6.45	4.31	4.0	不满足
	南主屏蔽墙	内凸	3.95	3.09	4.0	满足

顶棚主屏蔽墙	外凸	5.65	3.42	4.0	满足
--------	----	------	------	-----	----

由上述核算结果可知，当共用主屏蔽墙按外凸计算时，该墙设计宽度不能满足有用线束主屏蔽区宽度要求，本次评价建议将该主屏蔽墙加宽至 4.4m 以上。

11.2.1.2 加速器治疗室外关注点选取

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的要求，通常在治疗机房外、距机房外表面 30cm 处，选择人员受照的周围剂量当量可能最大的位置作为关注点。

本次评价选取各加速器治疗机房外、距机房外表面 30cm 处作为关注点，加速器机房所在区域正下方为岩土层，人员无法到达，故不设关注点。

关注点详见图 11-1 和图 11-2。

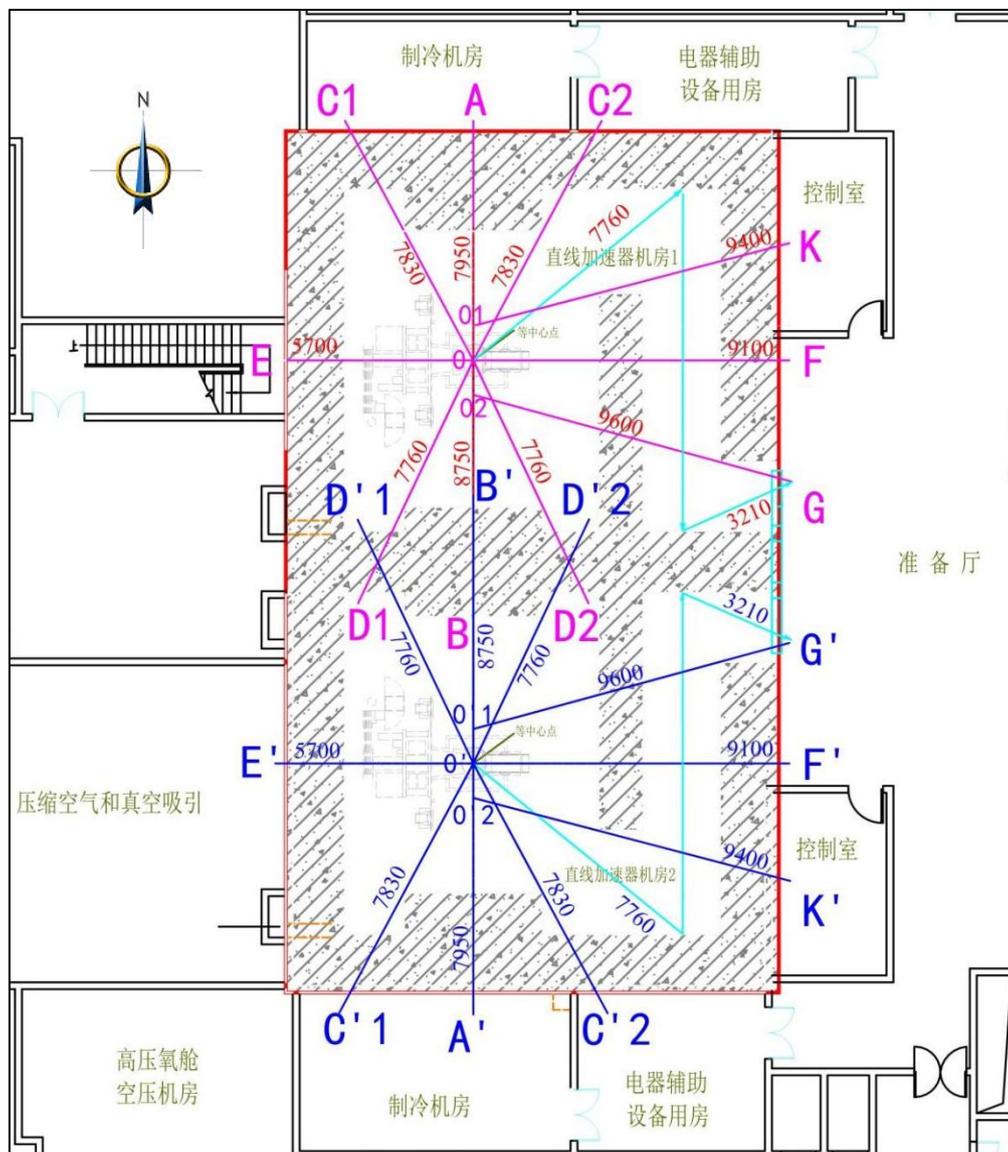


图 11-1 各加速器机房关注点平面示意图

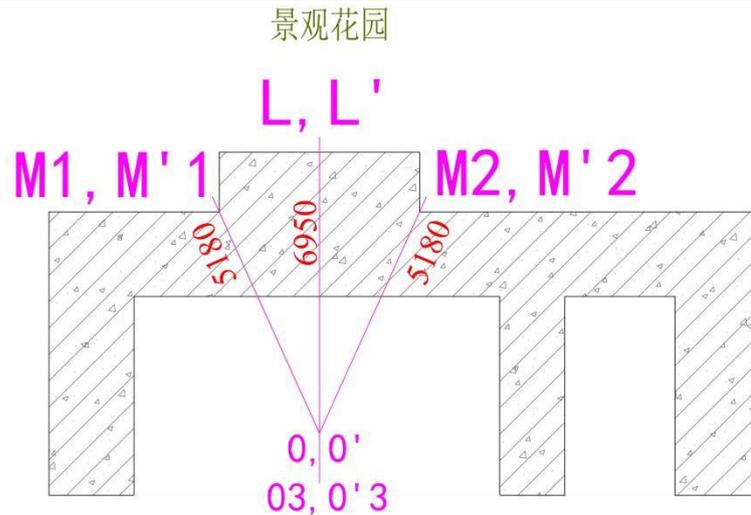


图 11-2 各加速器关注点纵断面示意图

11.2.1.3 剂量控制要求

(1) 周工作负荷 (W) 和周治疗时间 (t)

根据医院初步计划，加速器计划治疗患者工作量：每台 20 人次/天，其中常规治疗占比约 10%，调强治疗占比约 90%。常规治疗人数为 2 人次，调强治疗人数为 18 人次。周工作天数为 5 天。

1) 常规放射治疗

本项目每台加速器常规治疗占比约 10%，每人受照时间约 0.75min，即周照射时间约为 0.125 小时。

2) 调强放射治疗

本项目每台加速器调强治疗占比约 90%，每人受照时间约 3.75min，即周照射时间约为 5.625 小时。

本项目调强因子保守取 5。

(2) 周围剂量当量率参考控制水平

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中 4.2.1，同时依照附录 A 及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中 6.14 计算直线加速器机房外关注点剂量率控制水平。

①有用线束在关注点的导出剂量率参考控制水平：

$$\dot{H}_{c,d} = Hc / (t \cdot U \cdot T) \quad (11-3)$$

式中：Hc—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。

②漏射辐射在关注点的导出剂量率参考控制水平：

$$\dot{H}_{c,d} = Hc / (t \cdot N \cdot T) \quad (11-4)$$

式中： Hc —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；

N —调强治疗时用于漏射辐射的调强因子，取 $N=5$ ；

T —人员在相应关注点的驻留的居留因子。

表 11-2 不同场所的居留因子

场所	居留因子 (T)		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室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、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

经计算，各关注点处剂量率参考控制水平见下表：

表 11-3 关注点处剂量率参考控制水平一览表

机房	关注点	辐射类型	H_c (Sv/周)	时间 t (h)	使用 因子 U	调强 因子 N	居留 因子 T	$\dot{H}_{c,d}$ 计算值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	\dot{H}_c 取值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
加速器 机房 1	A (制冷机房)	有用 线束	5	5.75	1/4	1	1/4	13.91	10	10
	B (加速器 机房 2)	有用 线束	5	5.75	1/4	1	1/2	6.96	10	6.96
	C1 (制冷机房)	散射+泄 漏辐射	5	5.75	1	5	1/4	0.70	10	0.70
	C2 (电器辅助 设备用房)	散射+泄 漏辐射	5	5.75	1	5	1/4	0.70	10	0.70
	D1	散射+泄	5	5.75	1	5	1/2	0.35	10	0.35

加速器 机房 2	(加速器 机房 2)	漏辐射								
	D2 (加速器 机房 2)	散射+泄 漏辐射	5	5.75	1	5	1/2	0.35	10	0.35
	E (楼梯间)	泄漏 辐射	5	5.75	1	5	1/4	0.70	10	0.70
	F (准备厅)	泄漏 辐射	5	5.75	1	5	1/4	0.70	10	0.70
	G (机房入口)	散射+泄 漏辐射	5	5.75	1	5	1/8	1.39	10	1.39
	K (控制室)	散射+泄 漏辐射	100	5.75	1	5	1	17.39	2.5	2.5
	L (景观花园)	有用 线束	5	5.75	1/4	1	1/20	69.57	10	10
	M1 (景观花园)	散射+泄 漏辐射	5	5.75	1	5	1/20	3.48	10	3.48
	M2 (景观花园)	散射+泄 漏辐射	5	5.75	1	5	1/20	3.48	10	3.48
	A' (制冷机房)	有用 线束	5	5.75	1/4	1	1/4	13.91	10	10
	B' (加速器 机房 1)	有用 线束	5	5.75	1/4	1	1/2	6.96	10	6.96
	C'1 (制冷机房)	散射+泄 漏辐射	5	5.75	1	5	1/4	0.70	10	0.70
	C'2 (电器辅助 设备用房)	散射+泄 漏辐射	5	5.75	1	5	1/4	0.70	10	0.70
	D'1 (加速器 机房 1)	散射+泄 漏辐射	5	5.75	1	5	1/2	0.35	10	0.35
	D'2 (加速器 机房 1)	散射+泄 漏辐射	5	5.75	1	5	1/2	0.35	10	0.35
	E' (空压机房)	泄漏 辐射	5	5.75	1	5	1/4	0.70	10	0.70
	F' (准备厅)	泄漏 辐射	5	5.75	1	5	1/4	0.70	10	0.70
	G' (机房入口)	散射+泄 漏辐射	5	5.75	1	5	1/8	1.39	10	1.39
	K' (控制室)	散射+泄 漏辐射	100	5.75	1	5	1	17.39	2.5	2.5
L' (景观花园)	有用 线束	5	5.75	1/4	1	1/20	69.57	10	10	
M'1 (景观花园)	散射+泄 漏辐射	5	5.75	1	5	1/20	3.48	10	3.48	
M'2 (景观花园)	散射+泄 漏辐射	5	5.75	1	5	1/20	3.48	10	3.48	

11.2.1.4 有用线束、泄漏辐射、散射辐射影响估算

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

1、屏蔽厚度与屏蔽透射因子

(1) 有效屏蔽厚度

$$X_e = X \cdot \sec \theta \quad (11-5)$$

式中：

X —屏蔽物质厚度，cm；

X_e —有效屏蔽厚度，cm；

θ —入射夹角，°。

(2) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (11-6)$$

式中：

B —辐射屏蔽透射因子；

TVL_1 —辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度；

TVL —辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度。

2、有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算

对于给定的屏蔽物质厚度时，屏蔽体外关注点的剂量率计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-7)$$

式中：

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

\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 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f —对有用束为 1；对泄漏辐射为泄漏辐射比率。

相关参数及计算结果见表11-4至表11-6。

表 11-4 直线加速器机房主射线与漏射线致关注点处剂量 (10MV 6Gy/min)

机房		加速器机房 1						加速器机房 2					
关注点		主屏蔽 (北墙)	主屏蔽 (南墙)	主屏蔽 (顶棚)	侧屏蔽 (东墙)	侧屏蔽 (控制区)	侧屏蔽 (西墙)	主屏蔽 (南墙)	主屏蔽 (北墙)	主屏蔽 (顶棚)	侧屏蔽 (东墙)	侧屏蔽 (控制区)	侧屏蔽 (西墙)
		(A)	(B)	(L)	(F)	(K)	(E)	(A')	(B')	(L')	(F')	(K')	(E')
路径		02-A	01-B	03-L	0-F	01-K	0-E	0'1-A'	0'2-B'	0'3-L'	0'-F'	0'2-K'	0'-E'
X (cm)	砗	290	320	290	300	170	170	290	320	290	300	170	170
cosθ	砗	1	1	1	1	1.04	1	1	1	1	1	1.04	1
X _e (cm)	砗	290	320	290	300	176	170	290	320	290	300	176	170
TVL ₁ (cm)	砗	41	41	41	35	35	35	41	41	41	35	35	35
TVL (cm)	砗	37	37	37	31	31	31	37	37	37	31	31	31
B		1.86E-08	2.88E-09	1.86E-08	2.83E-10	2.83E-06	4.42E-06	1.86E-08	2.88E-09	1.86E-08	2.83E-10	2.83E-06	4.42E-06
R (m)		7.95	8.75	6.95	9.1	9.4	5.7	7.95	8.75	6.95	9.1	9.4	5.7
\dot{H}_0 (μSv·m ² /h)		3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08
f		1	1	1	0.1%	0.1%	0.1%	1	1	1	0.1%	0.1%	0.1%
H相应屏蔽 体外关注点 剂量率 (μSv/h)		1.06E-01	1.35E-02	1.39E-01	1.23E-06	1.15E-02	4.89E-02	1.06E-01	1.35E-02	1.39E-01	1.23E-06	1.15E-02	4.89E-02

表 11-5 直线加速器机房主射线与漏射线致关注点处剂量 (6MV 14Gy/min)

机房		加速器机房 1						加速器机房 2					
关注点		主屏蔽 (北墙)	主屏蔽 (南墙)	主屏蔽 (顶棚)	侧屏蔽 (东墙)	侧屏蔽 (控制区)	侧屏蔽 (西墙)	主屏蔽 (南墙)	主屏蔽 (北墙)	主屏蔽 (顶棚)	侧屏蔽 (东墙)	侧屏蔽 (控制区)	侧屏蔽 (西墙)
		(A)	(B)	(L)	(F)	(K)	(E)	(A')	(B')	(L')	(F')	(K')	(E')
路径		02-A	01-B	03-L	0-F	01-K	0-E	0'1-A'	0'2-B'	0'3-L'	0'-F'	0'2-K'	0'-E'
X (cm)	砗	290	320	290	300	170	170	290	320	290	300	170	170
cosθ	砗	1	1	1	1	1.04	1	1	1	1	1	1.04	1
X _e (cm)	砗	290	320	290	300	176	170	290	320	290	300	176	170
TVL ₁ (cm)	砗	37	37	37	34	34	34	37	37	37	34	34	34
TVL (cm)	砗	33	33	33	29	29	29	33	33	33	29	29	29
B		2.15E-09	2.66E-10	2.15E-09	6.72E-11	1.27E-06	2.04E-06	2.15E-09	2.66E-10	2.15E-09	6.72E-11	1.27E-06	2.04E-06
R (m)		7.95	8.75	6.95	9.1	9.4	5.7	7.95	8.75	6.95	9.1	9.4	5.7
\dot{H}_0 (μSv·m ² /h)		8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08
f		1	1	1	0.1%	0.1%	0.1%	1	1	1	0.1%	0.1%	0.1%
H相应屏蔽体外关注点剂量率 (μSv/h)		2.86E-02	2.91E-03	3.75E-02	6.82E-07	1.21E-02	5.28E-02	2.86E-02	2.91E-03	3.75E-02	6.82E-07	1.21E-02	5.28E-02

表 11-6 两种工作模式下各加速器机房主射线与漏射线致关注点处剂量率对比情况一览表

机房		加速器机房 1						加速器机房 2					
关注点		主屏蔽 (北墙)	主屏蔽 (南墙)	主屏蔽 (顶棚)	侧屏蔽 (东墙)	侧屏蔽 (控制区)	侧屏蔽 (西墙)	主屏蔽 (南墙)	主屏蔽 (北墙)	主屏蔽 (顶棚)	侧屏蔽 (东墙)	侧屏蔽 (控制区)	侧屏蔽 (西墙)
		(A)	(B)	(L)	(F)	(K)	(E)	(A')	(B')	(L')	(F')	(K')	(E')
路径		02-A	01-B	03-L	0-F	01-K	0-E	0'1-A'	0'2-B'	0'3-L'	0'-F'	0'2-K'	0'-E'
\dot{H} 相应屏蔽 体外关注 点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	10MV	1.06E-01	1.35E-02	1.39E-01	1.23E-06	1.15E-02	4.89E-02	1.06E-01	1.35E-02	1.39E-01	1.23E-06	1.15E-02	4.89E-02
	6MV	2.86E-02	2.91E-03	3.75E-02	6.82E-07	1.21E-02	5.28E-02	2.86E-02	2.91E-03	3.75E-02	6.82E-07	1.21E-02	5.28E-02
最大值		1.06E-01	1.35E-02	1.39E-01	1.23E-06	1.21E-02	5.28E-02	1.06E-01	1.35E-02	1.39E-01	1.23E-06	1.21E-02	5.28E-02

3、与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区屏蔽与剂量估算

初级辐射束不直接到达该屏蔽墙，屏蔽计算只考虑加速器装置头的泄漏辐射和来自患者体表的散射辐射，二者之和为该点的总剂量率。

(1) 患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算

利用下列公式对患者体表的散射辐射进行剂量计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad (11-8)$$

式中：

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

\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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

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，又称 400cm^2 面积上的散射因子；其值见标准 GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.2，10MV 时取 3.18×10^{-3} ，6MV 时取 2.77×10^{-3} ；

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

B —辐射屏蔽透射因子，相应的 TVL 见标准 GBZ/T201.2-2011 附录 B 表 B.4，10MV 时取 28cm，6MV 时取 26cm。

相关参数及计算结果见表 11-7 和表 11-8。

表 11-7 患者体表的散射辐射致次屏蔽区关注点处的剂量率（10MV 6Gy/min）

机房	加速器机房 1			加速器机房 2		
	次屏蔽 (北墙)	次屏蔽 (南墙)	次屏蔽 (顶棚)	次屏蔽 (南墙)	次屏蔽 (北墙)	次屏蔽 (顶棚)
关注点	C1/C2	D1/D2	M1/M2	C'1/C'2	D'1/D'2	M'1/M'2
路径	02-0- C1/C2	01-0- D1/D2	03-0- M1/M2	0'1-0'- C'1/C'2	0'2-0'- D'1/D'2	0'3-0'- M'1/M'2
X (cm)	170	180	170	170	180	170
sec θ	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
X _e (cm)	192.5	203.9	192.5	192.5	203.9	192.5
TVL (cm)	28	28	28	28	28	28
R _s (m)	8.83	8.76	6.18	8.83	8.76	6.18
α_{ph}	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03
B	1.33E-08	5.24E-09	1.33E-08	1.33E-08	5.24E-09	1.33E-08

F (cm ²)	1.60E+03	1.60E+03	1.60E+03	1.60E+03	1.60E+03	1.60E+03
\dot{H}_0 (μSv/h)	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08
\dot{H}_c (μSv/h)	7.81E-04	3.13E-04	1.59E-03	7.81E-04	3.13E-04	1.59E-03

表 11-8 患者体表的散射辐射致次屏蔽区关注点处的剂量率 (6MV 14Gy/min)

机房	加速器机房 1			加速器机房 2		
关注点	次屏蔽 (北墙)	次屏蔽 (南墙)	次屏蔽 (顶棚)	次屏蔽 (南墙)	次屏蔽 (北墙)	次屏蔽 (顶棚)
	C1/C2	D1/D2	M1/M2	C'1/C'2	D'1/D'2	M'1/M'2
路径	02-0- C1/C2	01-0- D1/D2	03-0- M1/M2	0'1-0'- C'1/C'2	0'2-0'- D'1/D'2	0'3-0'- M'1/M'2
X (cm)	170	180	170	170	180	170
secθ	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
X _e (cm)	192.5	203.9	192.5	192.5	203.9	192.5
TVL (cm)	26	26	26	26	26	26
R _s (m)	8.83	8.76	6.18	8.83	8.76	6.18
α_{ph}	2.77E-03	2.77E-03	2.77E-03	2.77E-03	2.77E-03	2.77E-03
B	3.93E-09	1.44E-09	3.93E-09	3.93E-09	1.44E-09	3.93E-09
F (cm ²)	1.60E+03	1.60E+03	1.60E+03	1.60E+03	1.60E+03	1.60E+03
\dot{H}_0 (μSv/h)	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08
\dot{H}_c (μSv/h)	4.69E-04	1.75E-04	9.58E-04	4.69E-04	1.75E-04	9.58E-04

(2) 泄漏辐射

泄漏辐射计算公式见式 (11-7)，代入相关参数，计算结果见表 11-9 和表 11-10。

表 11-9 泄漏辐射致次屏蔽区关注点处的剂量率 (10MV 6Gy/min)

机房	加速器机房 1			加速器机房 2		
关注点	次屏蔽 (北墙)	次屏蔽 (南墙)	次屏蔽 (顶棚)	次屏蔽 (南墙)	次屏蔽 (北墙)	次屏蔽 (顶棚)
	C1/C2	D1/D2	M1/M2	C'1/C'2	D'1/D'2	M'1/M'2
路径	02-C1/C2	01-D1/D2	03-M1/M2	0'1-C'1/C'2	0'2-D'1/D'2	0'3-M'1/M'2
X (cm)	170	180	170	170	180	170
secθ	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
X _e (cm)	192.5	203.9	192.5	192.5	203.9	192.5
TVL (cm)	35	35	35	35	35	35
TVL1 (cm)	31	31	31	31	31	31

B_L	2.42E-06	1.15E-06	2.42E-06	2.42E-06	1.15E-06	2.42E-06
R (m)	8.73	7.68	6.1	8.73	7.68	6.1
f	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	1.15E-02	7.03E-03	2.35E-02	1.15E-02	7.03E-03	2.35E-02

表 11-10 泄漏辐射致次屏蔽区关注点处的剂量率 (6MV 14Gy/min)

机房	加速器机房 1			加速器机房 2		
关注点	次屏蔽 (北墙)	次屏蔽 (南墙)	次屏蔽 (顶棚)	次屏蔽 (南墙)	次屏蔽 (北墙)	次屏蔽 (顶棚)
	C1/C2	D1/D2	M1/M2	C'1/C'2	D'1/D'2	M'1/M'2
路径	02-C1/C2	01-D1/D2	03-M1/M2	0'1-C'1/C'2	0'2-D'1/D'2	0'3-M'1/M'2
X (cm)	170	180	170	170	180	170
sec θ	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
X_e (cm)	192.5	203.9	192.5	192.5	203.9	192.5
TVL (cm)	34	34	34	34	34	34
TVL1 (cm)	29	29	29	29	29	29
B_L	1.55E-06	7.19E-07	1.55E-06	1.55E-06	7.19E-07	1.55E-06
R (m)	8.73	7.68	6.1	8.73	7.68	6.1
f	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	1.71E-02	1.02E-02	3.50E-02	1.71E-02	1.02E-02	3.50E-02

加速器装置头的泄漏辐射和来自患者体表的散射辐射之和为次屏蔽区关注点的总剂量率，计算如下：

表 11-11 两种工作模式下各加速器机房次屏蔽区关注点处剂量率对比情况一览表

机房	加速器机房 1			加速器机房 2		
关注点	次屏蔽 (北墙)	次屏蔽 (南墙)	次屏蔽 (顶棚)	次屏蔽 (南墙)	次屏蔽 (北墙)	次屏蔽 (顶棚)
	C1/C2	D1/D2	M1/M2	C'1/C'2	D'1/D'2	M'1/M'2
\dot{H} 次屏蔽区 关注点 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	10MV	1.22E-02	7.34E-03	2.51E-02	1.22E-02	7.34E-03
	6MV	1.75E-02	1.04E-02	3.59E-02	1.75E-02	1.04E-02
	最大值	1.75E-02	1.04E-02	3.59E-02	1.75E-02	1.04E-02

4、加速器（≤10MV）机房迷路散射辐射屏蔽与剂量估算

本项目加速器有用线束不向迷路照射，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），迷路入口处的辐射剂量考虑如下：

(1) 入口处的患者散射辐射剂量率

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \times (F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \times \dot{H}_0 \quad (11-9)$$

式中：

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

α_{ph} — 患者 400cm^2 面积上的散射因子，见附录 B 表 B.2，通常取 45° 散射角的值；10MV 时取 1.35×10^{-3} ，6MV 时取 1.39×10^{-3} ；

F — 治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

α_2 — 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 值见附录表 B.6，10MV 时取 5.8×10^{-3} ，6MV 时取 7.3×10^{-3} ；

A — i 处的散射面积； m^2 ；

R_1 — “o-i”之间的距离， m ；

R_2 — “i-g”之间的距离， m ；

\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， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ 。

表 11-12 患者散射至入口处的剂量率（路径：02-0-I-G/0'1-0'-I'-G'）

机房	关注点	模式	\dot{H}_0	A	α_{ph}	α_2	F	R_1	R_2	\dot{H}_g
加速器 机房 1	防护门 (G)	10MV	8.40E+08	14.0	1.35E-03	5.80E-03	1600	7.76	13.11	35.59
		6MV	3.60E+08	14.0	1.39E-03	7.30E-03	1600	7.76	13.11	19.77
加速器 机房 2	防护门 (G')	10MV	8.40E+08	14.0	1.35E-03	5.80E-03	1600	7.76	13.11	35.59
		6MV	3.60E+08	14.0	1.39E-03	7.30E-03	1600	7.76	13.11	19.77

(2) 穿过迷路内墙的泄漏辐射在入口处的剂量率

计算公式见式（11-7），迷路内墙的屏蔽透射因子按式（11-6）计算，计算参数及结果如下：

表 11-13 入口处的泄漏辐射剂量率（路径 01-G1/0,1-G,1）

机房	关注点	模式	X _e (cm)	TVL (cm)	TVL1 (cm)	B _L	R (m)	f	\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv/h}$)
加速器机房 1	防护门 (G)	10MV	137.5	35	31	9.07E-05	9.6	0.1%	3.54E-01
		6MV	137.5	34	29	6.44E-05	9.6	0.1%	5.87E-01
加速器机房 2	防护门 (G')	10MV	137.5	35	31	9.07E-05	9.6	0.1%	3.54E-01
		6MV	137.5	34	29	6.44E-05	9.6	0.1%	5.87E-01

根据表11-3计算结果，g处的参考控制水平为1.39 $\mu\text{Sv/h}$ ，大于表11-13预测结果最大值0.59 $\mu\text{Sv/h}$ ，即本项目各加速器机房迷道内墙厚度可以满足屏蔽防护要求。

(3) 防护门入口处的辐射剂量率

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），在给定的防护门的铅屏蔽厚度 X（cm）时，防护门外的辐射剂量率 \dot{H} 按下式计算：

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

式中：

\dot{H}_{og} —入口处的漏射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

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

X—屏蔽厚度，cm；

TVL—什值层，0.5cm（铅）。

综上所述，本项目各加速器机房防护门外的辐射剂量率见下表：

表 11-14 防护门外的辐射剂量率

机房	位置	模式	\dot{H}_g	\dot{H}_{og}	TVL (mm)	铅门厚度 X (mm)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
加速器机房 1	防护门 (G)	10MV	35.59	3.54E-01	5	10	7.10E-01
		6MV	19.77	5.87E-01	5	10	7.85E-01
加速器机房 2	防护门 (G')	10MV	35.59	3.54E-01	5	10	7.10E-01
		6MV	19.77	5.87E-01	5	10	7.85E-01

由上表预测分析可以，各加速器机房防护门采取 10mm 铅屏蔽后，可以满足该关注点处剂量率参考控制水平要求。

11.2.1.5 本项目直线加速器机房墙体及防护门外关注点的剂量率情况

根据上述计算结果，本项目直线加速器机房墙体及防护门外关注点的剂量率预测结果统计如下：

表 11-15 关注点的剂量率统计情况表

机房	关注点	10MV 模式 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	6MV 模式 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	最大辐射 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率 控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	结论
加速器机房 1	A (制冷机房)	4.57E-02	2.86E-02	4.57E-02	10	满足
	B (加速器机房 2)	5.32E-02	2.91E-03	5.32E-02	6.96	满足
	C1 (制冷机房)	1.22E-02	1.75E-02	1.75E-02	0.70	满足
	C2 (电器辅助设备用房)	1.22E-02	1.75E-02	1.75E-02	0.70	满足
	D1 (加速器机房 2)	7.34E-03	1.04E-02	1.04E-02	0.35	满足
	D2 (加速器机房 2)	7.34E-03	1.04E-02	1.04E-02	0.35	满足
	E (排风机房)	2.44E-01	5.28E-02	2.44E-01	0.70	满足
	F (准备厅)	2.27E-06	6.82E-07	2.27E-06	0.70	满足
	G (机房入口)	7.10E-01	7.85E-01	7.85E-01	1.39	满足
	K (控制室)	1.15E-02	1.21E-02	1.21E-02	2.5	满足
	L (景观花园)	7.79E-02	3.75E-02	7.79E-02	10	满足
	M1 (景观花园)	2.51E-02	3.59E-02	3.59E-02	3.48	满足
M2 (景观花园)	2.51E-02	3.59E-02	3.59E-02	3.48	满足	
加速器机房 2	A' (制冷机房)	4.57E-02	2.86E-02	4.57E-02	10	满足
	B' (加速器机房 1)	5.32E-02	2.91E-03	5.32E-02	6.96	满足
	C'1 (制冷机房)	1.22E-02	1.75E-02	1.75E-02	0.70	满足
	C'2 (电器辅助设备用房)	1.22E-02	1.75E-02	1.75E-02	0.70	满足
	D'1 (加速器机房 1)	7.34E-03	1.04E-02	1.04E-02	0.35	满足
	D'2 (加速器机房 1)	7.34E-03	1.04E-02	1.04E-02	0.35	满足
	E' (空压机房)	2.44E-01	5.28E-02	2.44E-01	0.70	满足
	F' (准备厅)	2.27E-06	6.82E-07	2.27E-06	0.70	满足
	G' (机房入口)	7.10E-01	7.85E-01	7.85E-01	1.39	满足
	K' (控制室)	1.15E-02	1.21E-02	1.21E-02	2.5	满足

	L' (景观花园)	7.79E-02	3.75E-02	7.79E-02	10	满足
	M'1 (景观花园)	2.51E-02	3.59E-02	3.59E-02	3.48	满足
	M'2 (景观花园)	2.51E-02	3.59E-02	3.59E-02	3.48	满足

由上表可知，本项目加速器各机房屏蔽墙体和防护门材料及厚度均可以满足相应标准要求。本项目各直线加速器机房屏蔽体外 30cm 处的剂量率均符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的相关要求；同时满足表 11-3 中相应的剂量率参考控制水平的要求。

11.2.1.6 有效剂量估算

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

$$H_{Er}=H_r \times T \times t \times 10^{-3}(\text{mSv}) \quad (11-11)$$

其中： H_{Er} — X、γ射线外照射人均年有效当量剂量，mSv；

H_r — X、γ射线周围剂量当量率，μSv/h；

T— 居留因子；

t— 年受照时间，h。

计算各关注点处人员所受辐射影响（年有效剂量）如下：

表 11-16 受照剂量估算一览表

机房	关注点	\dot{H} (μSv/h)	使用因子 (U)	居留因子 (T)	年有效剂 (mSv/a)
加速器机房 1	A (制冷机房)	4.57E-02	1/4	1/4	8.33E-04
	B (加速器机房 2)	5.32E-02	1/4	1/2	1.94E-03
	C1 (制冷机房)	1.75E-02	1	1/4	1.28E-03
	C2 (电器辅助设备用房)	1.75E-02	1	1/4	1.28E-03
	D1 (加速器机房 2)	1.04E-02	1	1/2	1.52E-03
	D2 (加速器机房 2)	1.04E-02	1	1/2	1.52E-03
	E (排风机房)	2.44E-01	1	1/4	1.78E-02
	F (准备厅)	2.27E-06	1	1/4	1.66E-07
	G (机房入口)	7.85E-01	1	1/8	2.86E-02
	K (控制室)	1.21E-02	1	1	3.53E-03

	L (景观花园)	7.79E-02	1/4	1/20	2.84E-04
	M1 (景观花园)	3.59E-02	1	1/20	5.24E-04
	M2 (景观花园)	3.59E-02	1	1/20	5.24E-04
加速器机房 2	A' (制冷机房)	4.57E-02	1/4	1/4	8.33E-04
	B' (加速器机房 1)	5.32E-02	1/4	1/2	1.94E-03
	C'1 (制冷机房)	1.75E-02	1	1/4	1.28E-03
	C'2 (电器辅助设备用房)	1.75E-02	1	1/4	1.28E-03
	D'1 (加速器机房 1)	1.04E-02	1	1/2	1.52E-03
	D'2 (加速器机房 1)	1.04E-02	1	1/2	1.52E-03
	E' (空压机房)	2.44E-01	1	1/4	1.78E-02
	F' (准备厅)	2.27E-06	1	1/4	1.66E-07
	G' (机房入口)	7.85E-01	1	1/8	2.86E-02
	K' (控制室)	1.21E-02	1	1	3.53E-03
	L' (景观花园)	7.79E-02	1/4	1/20	2.84E-04
	M'1 (景观花园)	3.59E-02	1	1/20	5.24E-04
	M'2 (景观花园)	3.59E-02	1	1/20	5.24E-04

由上表可知，职业工作人员的最大年有效剂量值为 $3.53E-3mSv$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和剂量约束值 $5mSv$ 的要求，公众最大年有效剂量值为 $2.86E-02mSv$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和剂量约束值 $0.1mSv$ 的要求。

11.2.1.7 电子束辐射影响分析

本项目将利用直线加速器电子束进行皮肤、人体浅表肿瘤的治疗（与X射线治疗肿瘤类型不同，X射线进行人体深部肿瘤的治疗）。

电子在物质中的射程是有限的， $15MeV$ 的电子线在混凝土中的射程很短，约 $3.5cm$ ，电子线的穿透能力明显弱于X射线，一般情况下，满足屏蔽X射线防护要求时即可满足屏蔽电子线的防护需要，屏蔽比较容易。本项目加速器机房设计结构和屏蔽厚度可满足X射线屏蔽要求，因此足以屏蔽电子线，在运行过程中电子线对周围环境辐射影响基本无影响。

11.2.1.8 废气影响分析

直线加速器在运行过程中在电子束模式下会产生一定的臭氧和氮氧化物。根据《辐射防护手册》（第三分册），直线加速器运行时臭氧的浓度按下式计算：

$$C=3.25 (SIt/dv) \times 10^{-3} \quad (11-12)$$

式中：

C —臭氧浓度（重量比），ppm；

S —电子在空气中的线撞阻止本领，keV/cm，其数值与电子能量有关，本项目保守取 3.0 keV/cm；

d —器外电子束在空气中所通过的距离，cm；取 100cm；

I —器外电子束流强度，mA；取 0.1mA；

t —照射时间，s，保守按精准放疗出束时间 6min 计；

v ——加速器机房的容积， m^3 ；本项目为 $375m^3$ （含迷路）。

根据热力学，ppm 转化为在常温常压下的 mg/m^3 公式如下：

$$mg/m^3 = M/22.4 \times C \times (273 / (273 + T)) \times P/101.325 \quad (11-13)$$

式中：

M ——臭氧分子量，为 48；

T ——温度，为 $25^\circ C$ ；

P ——大气压，为 101kPa。

表 11-17 机房内臭氧浓度计算参数及计算结果一览表

机房	I(mA)	d(cm)	v(m ³)	t(s)	S(keV/cm)	C(重量比)	臭氧浓度(mg/m ³)
加速器机房 1	0.1	100	375	360	3.0	0.026	0.18
加速器机房 2	0.1	100	375	360	3.0	0.026	0.18

由上表可知，单次照射完毕后，机房内的臭氧浓度为 $0.18 mg/m^3$ ，能够满足《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）规定机房内的臭氧浓度不大于 $0.30 mg/m^3$ 的要求。

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（ $5mg/m^3$ ）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。

各直线加速器机房内均设置了机械排风系统，采用了上进风下排风的方案，每间机房拟安装排风机的排风量约为 3400m³/h，排风次数约为 6.8 次/h，能满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中关于通风换气次数的要求（治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h）。机房送风与排风管道分别在迷路外墙上采用“S”形穿越墙体，通过医技楼内主管道最终引至一楼景观花园排放。臭氧和氮氧化物经过大气的稀释和扩散作用，浓度会进一步地降低，对周围大气环境影响十分轻微。

11.2.2 CT 模拟定位机辐射环境影响分析

为了全面了解新增 CT 模拟定位机投入运行后对周围环境及人员影响的范围和程度，本评价采用南昌大学第一附属医院已环评且履行了竣工验收监测的 Somatom Pefinition As 型 128 层螺旋 CT 机的例行监测数据进行类比。

11.2.2.1 类比可行性分析

本项目类比条件见下表：

表 11-18 CT 模拟定位机类比可行性分析一览表

类比项	本项目	类比项目概况	备注
	未定	Somatom Pefinition As	/
额定管电压	最大 140kV	140kV	一致
额定管电流	最大 800mA	800mA	一致
机房面积	37.4m ² （5.2m×7.2m）	40.1m ² （7.36m*5.46m）	小于类比对象
四面墙体	370mm 实心砖+1mmPb 钡水泥	370mm 实心砖+1mmPb	一致
顶棚	250mm 混凝土+1mmPb 钡水泥 （4.01mmPb）	300mm 混凝土 （约 3.7mmPb）	优于类比对象
地板	250mm 混凝土+1mmPb 钡水泥 （4.01mmPb）	300mm 混凝土 （约 3.7mmPb）	优于类比对象
防护门	4mmPb	4mmPb	一致
观察窗	4mmPb	4mmPb	一致

从上表可知，本项目新增 CT 模拟定位机与南昌大学第一附属医院 Somatom Pefinition As 型 128 层螺旋 CT 进行类比相比，本项目设备参数与类比项目基本一致，机房的四面墙体、顶棚及防护门窗均优于类比项目，机房面积略小于类比机房，因此，具有可类比性。

11.2.2.2 类比监测结果

类比监测结果见下表：

表 11-19 类比 CT 机房周围剂量当量率监测结果

序号	检测位置	检测结果 (μSv/h)	
1	工作人员操作位	0.14	
2	距观察窗 C 外 30cm 处	上端	0.14
3		中间	0.14
4		下端	0.14
5		左侧	0.14
6		右侧	0.13
7		距工作人员防护门 M 外 30cm 处	上端
8	中间		0.14
9	下端		0.15
10	左侧		0.14
11	右侧		0.14
12	距受检者防护门 M 外 30cm 处	上端	0.16
13		中间	0.14
14		下端	0.16
15		左侧	0.14
16		右侧	0.32
17	距东侧防护墙外 30cm 处	左侧	0.14
18		中间	0.13
19		右侧	0.15
20	距南侧防护墙外 30cm 处	左侧	0.13
21		中间	0.14
22		右侧	0.15
23	距西侧防护墙外 30cm 处	左侧	0.15
24		中间	0.14
25		右侧	0.14
26	距北侧防护墙外 30cm 处	左侧	0.15

27		中间	0.15
28		右侧	0.14
29	距机房正上方 100cm 处 (X 射线检查室)		0.16
30	距机房正下方 170cm 处 (停车场)		0.16
31	距管线口 G 外 30cm 处		

备注：检测条件：120kV，250mAs，出束时间 8.44s，本底值 0.11~0.18 μ Sv/h。

从上表类比监测结果表明：南昌大学第一附属医院 Somatom Definition As 型 128 层螺旋 CT 设备在开机状态下机房周边各点的周围剂量当量率监测结果在 (0.13~0.32) μ Sv/h 之间，可知各机房屏蔽墙体、防护门、观察窗外 30cm 处辐射剂量率均满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中“CT 机房周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h 的要求”。

11.2.2.3 有效剂量估算

CT 模拟定位机定位每天工作量为 40 次/天，单次曝光时间为 0.5 分钟，则 CT 模拟定位机年曝光时间为 83.3 小时。

根据公式 (11-11)，计算各关注点处人员所受辐射影响 (年有效剂量) 如下：

表 11-20 CT 模拟定位室外人员受照剂量估算一览表

机房	关注点	\dot{H} (μ Sv/h)	居留因子 (T)	年有效剂 (mSv/a)
CT 模拟定位室	操作位	0.14	1	1.17E-02
	医生计划工作室	0.15	1	1.25E-02
	会议室	0.15	1/4	3.12E-03
	防护门外	0.32	1/8	3.33E-03

由上表可知，职业工作人员的最大年有效剂量值为 1.17E-2mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 和剂量约束值 5mSv 的要求，公众最大年有效剂量值为 3.33E-03mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 和剂量约束值 0.1mSv 的要求。

11.2.2.4 CT 模拟定位及医用电子直线加速器叠加影响分析

保守估计，放射治疗项目辐射工作人员参与 CT 模拟定位工作和医用电子直线加速器工作，医用电子直线加速器工作人员附加年有效剂量最大为 3.53E-3mSv，叠加

CT 模拟定位所致的年有效剂量最大值 $1.17E-2mSv$ 后，放射治疗项目辐射工作人员附加年有效剂量最大为 $1.52E-2mSv/a$ 。

11.2.2.5 三废的环境影响分析

本项目 CT 模拟定位机正常运行过程中不产生放射性固体废物和放射性废液，运行过程中产生的 X 射线与空气作用可产生少量臭氧和氮氧化物，机房拟设置通风系统，经通风系统排出室外，不会对公众及环境造成危害。

综上所述，本项目 CT 模拟定位机在采取相关辐射防护措施后，设备正常运行期间对工作人员、公众及环境的影响较小。

11.2.3 DSA 辐射环境影响分析

为了全面了解新增 DSA 投入运行后对周围环境及人员影响的范围和程度，本评价采用抚州市立医院已投入使用的 1 台 UNIQ FD20 型 DSA 验收监测数据（监测报告编号：赣福康检字 23-FKFF328）来进行类比分析，对本项目的 DSA 工作场所建成后周围剂量当量率来进行类比预测。

11.2.3.1 类比可行性分析

类比可行性分析情况见下表：

表 11-21 DSA 类比可行性分析一览表

类比项目	本项目 3 间 DSA 机房概况	类比项目概况	备注
		未定	UNIQ FD20
额定管电压	最大 125kV	125kV	一致
额定管电流	最大 1000mA	1000mA	一致
机房面积	60.8m ²	52.8m ² (7.80m*6.77m)	优于类比对象
墙体厚度	370mm 厚实心砖墙+ 1mmPb 硫酸钡水泥砂浆 (相当于 4mmPb)	东、西墙 240mm 实心砖+ 2mmPb 硫酸钡水泥	相当
		南、北墙 120mm 实心砖+ 2mmPb 硫酸钡板	优于类比对象
顶棚厚度	120mm 厚砵板+ 2mmPb 硫酸钡水泥砂浆 (相当于 3.5mmPb)	200mm 厚混凝土+ 1mmPb 硫酸钡板	相当
地板厚度	160mm 厚砵板+ 1mmPb 硫酸钡水泥砂浆 (相当于 3.0mmPb)	250mm 厚混凝土+ 1mmPb 硫酸钡板	劣低于类比对象，但符合标准要求

防护门	3mmPb	4mmPb	
观察窗	3mmPb	4mmPb	

由上表可知，本项目 DSA 与抚州市立医院现有 DSA 相比：最大管电压、最大管电流与类比项目一致，机房面积优于类比对象，四周墙体、顶棚屏蔽能力与类比对象相当或优于类比项目，地板、防护门和观察窗屏蔽能力劣于类比项目，但符合且超过标准要求。

综上所述，本次类比对象具有较好的可比性。

11.2.3.2 类比监测结果

类比监测数据见下表：

表 11-22 类比项目 DSA 机房外关注点处 X-γ 辐射剂量率监测结果

序号	检测位置		透视模式 检测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	透视模式 检测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	类 CT 模式 检测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	工作人员操作位	开机状态	0.18±0.017	0.20±0.012	0.20±0.014
		关机状态	0.17±0.001	0.17±0.001	0.17±0.001
2	距观察窗 C 外 30cm 处	开机状态	0.20±0.018	0.20±0.017	0.23±0.024
		关机状态	0.17±0.001	0.17±0.001	0.17±0.001
3	距防护门 M1 外 30cm 处	开机状态	0.20±0.019	0.19±0.018	0.28±0.013
		关机状态	0.17±0.001	0.17±0.001	0.17±0.001
4	距防护门 M2 外 30cm 处	开机状态	0.19±0.018	0.21±0.020	0.26±0.019
		关机状态	0.16±0.001	0.16±0.001	0.16±0.001
5	距防护门 M3 外 30cm 处	开机状态	0.18±0.019	0.19±0.019	0.21±0.018
		关机状态	0.16±0.001	0.16±0.001	0.16±0.001
6	距防护门 M4 外 30cm 处	开机状态	0.20±0.019	0.18±0.016	0.22±0.023
		关机状态	0.16±0.001	0.16±0.001	0.16±0.001
7	距东侧防护墙外 30cm 处	开机状态	0.17±0.014	0.18±0.013	0.20±0.015
		关机状态	0.15±0.001	0.15±0.001	0.15±0.001
8	距南侧防护墙外 30cm 处	开机状态	0.17±0.018	0.17±0.017	0.21±0.017
		关机状态	0.16±0.001	0.16±0.001	0.16±0.001
9	距西侧防护墙外	开机状态	0.18±0.018	0.19±0.018	0.18±0.016

	30cm 处	关机状态	0.15±0.001	0.15±0.001	0.15±0.001
10	距北侧防护墙外 30cm 处	开机状态	0.18±0.017	0.19±0.017	0.19±0.018
		关机状态	0.16±0.001	0.16±0.001	0.16±0.001
11	距机房正上方 地面 100cm 处	开机状态	0.18±0.020	0.18±0.016	0.20±0.012
		关机状态	0.15±0.003	0.15±0.003	0.15±0.003
12	距机房正下方 地面 170cm 处	开机状态	0.20±0.011	0.18±0.020	0.19±0.015
		关机状态	0.17±0.001	0.17±0.001	0.17±0.001
13	距管线口 G 外 30cm 处	开机状态	0.22±0.017	0.22±0.014	0.25±0.021
		关机状态	0.17±0.001	0.17±0.001	0.17±0.001
14	门急诊医技综合大楼 负一楼西侧	开机状态	0.17±0.013	0.17±0.015	0.18±0.014
		关机状态	0.14±0.001	0.14±0.001	0.14±0.001
15	门急诊医技综合大楼 负一楼南侧	开机状态	0.17±0.011	0.17±0.011	0.17±0.017
		关机状态	0.14±0.001	0.14±0.001	0.14±0.001
16	门急诊医技综合大楼 负一楼东侧	开机状态	0.17±0.014	0.17±0.018	0.18±0.018
		关机状态	0.15±0.001	0.15±0.001	0.15±0.001
17	门急诊医技综合大楼 负一楼北侧	开机状态	0.18±0.017	0.18±0.013	0.18±0.016
		关机状态	0.14±0.001	0.14±0.001	0.14±0.001

注：监测结果未扣除宇宙射线响应值；

上表结果表明：抚州市立医院 UNIQ FD20 型 DSA 设备在透视状态下，机房墙体、防护门及观察窗外 30cm 处的周围剂量当量率监测结果在 0.17~0.22 μ Sv/h 之间，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“机房周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μ Sv/h”要求；摄影工作条件下，机房墙体、防护门及观察窗外 30cm 处的周围剂量当量率监测结果在 0.17~0.22 μ Sv/h 之间，在类 CT 工作条件下，机房墙体、防护门及观察窗外 30cm 处的周围剂量当量率监测结果在 0.20~0.28 μ Sv/h 之间，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“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”要求。

根据类比监测结果可知，本项目 DSA 运行后对周边环境的影响也能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中相关限值要求。

11.2.3.3 有效剂量估算

1、剂量估算公式

(1) 机房外工作人员及公众

根据联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）-2000年报告附录A中的计算，X- γ 射线产生的外照射人均年有效当量剂量按公式（11-9）计算。

(2) 机房内介入人员

机房内介入医护人员的有效剂量估算采用 GBZ128-2019 中的估算公式，计算公式如下：

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \quad (11-14)$$

式中：

E——有效剂量中的外照射分量，单位为毫希沃特（mSv）

α ——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84；

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

β ——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.100；

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

2、有效剂量估算

(1) 控制室工作人员受照剂量估算

根据 GBZ130-2020 中“具有透视功能的X射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求，本项目 DSA 机房外的周围剂量当量率按照 2mmPb 屏蔽后屏蔽体外 30cm 处 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 计算。

根据医院提供的屏蔽防护设计方案可知，3间 DSA 机房屏蔽厚度至少为 3mmPb，则机房外的周围剂量当量率 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 需再经 1mmPb 衰减。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C.1，屏蔽透射因子见公式 10-1。经计算，1mm 铅的屏蔽透射因子为 0.017，则衰减后的周围剂量当量率计算值为 $0.04\mu\text{Sv/h}$ 。

根据医院提供的资料，本次评价保守按每年每台设备 300 例手术计，每例手术出束时间平均约 21min，则每台 DSA 年总出束时间为 105h。

根据公式（11-11）计算，控制室工作人员最大年有效剂量约为 4.2E-3mSv，可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求及医院设定的剂量约束值（工作人员 5mSv/a）的要求。

（2）机房内介入医护人员受照剂量估算

本次评价参考《医用X射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）中“非直接荧光屏透射设备透视防护区检测平面上周围剂量当量率 $\leq 400\mu\text{Sv/h}$ ”的剂量限值要求，第一术者经铅衣、铅围脖等防护设施（0.5mmPb）屏蔽后，所受周围剂量当量率为 $29.6\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目DSA介入科分为3个工作组，分别负责3台DSA，工作人员不交叉作业，根据公式（11-14）计算，本项目各DSA医护人员年有效剂量估算结果见下表：

表 11-23 每台 DSA 设备工作人员有效剂量估算一览表

工作模式	受照部位	计算参数		计算结果（mSv/a）				管理目标值（mSv/a）
		时间 t (h/a)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	有甲状腺屏蔽年有效剂量		无甲状腺屏蔽年有效剂量		
透视	铅衣外	100	400	2.04 (H_0)	4.38	4.00 (H_0)	6.49	5
	铅衣内	100	29.6	2.34 (H_u)		2.49 (H_u)		
摄影		5	0.04	5.00E-05				
合计				4.38		6.49		

由上表可知，按最不利情况考虑，工作人员有甲状腺屏蔽时平均受照剂量为 4.38mSv/a，可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求及医院设定的剂量约束值（工作人员 5mSv/a）的要求。

本次评价建议 DSA 运行期间应加强管理，手术时放射工作人员应严格佩戴甲状腺屏蔽防护用具。

（3）公众受照剂量估算

参照控制室操作人员受照剂量估算过程，根据公式（11-9）计算，公众居留因子保守也取 1，按最不利情况考虑，公众所受的最大年有效剂量约为 4.2E-3mSv，可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求及医院设定的剂量约束值（公众 0.1mSv/a）的要求。

11.2.3.4 环境敏感保护目标辐射影响分析

本项目 50m 评价范围内环境敏感目标主要为本项目 DSA 机房周边有关工作人员、其他医务工人员、病人及周边公众等。

根据类比监测结果可知，DSA 设备开机导致的机房屏蔽墙体最大附加 X- γ 辐射剂量为 0.1 μ Sv/h。根据 X 射线减弱规律，X 射线强度在空气中随距离增加而减弱，本评价保守估算，采用 DSA 机房屏蔽墙体最大附加 X- γ 辐射剂量估算出环境敏感保护目标的最大年有效剂量为 0.01mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，也显著低于剂量约束值 0.1mSv，故本项目对环境敏感保护目标产生的辐射影响很小。

11.3 事故影响分析

11.3.1 事故影响类别识别

1、直线加速器事故影响类别识别

（1）直线加速器门-机联锁装置失效造成误照射

因加直线速器门机联锁装置失效，防护门尚未关闭到位直线加速器即出束运行，导致门外的公众成员受到误照射；或无关人员推门进入正在运行的直线加速器机房内而受到误照射。

（2）人员滞留在机房内造成误照射

①放射工作人员为病人摆位时，控制室人员未观察即出束诊疗，造成该摆位人员受到误照射。

②病人治疗前，工作人员、病人家属等进入机房后尚未全部撤离，仍有人滞留在机房内某个不易察觉的地方，控制室放射工作人员未发现即出束诊疗，导致机房内人员受到误照射。

（3）医疗照射不正当化造成误照射

滥用射线装置对病员进行诊断、治疗，造成病员受到不必要的照射。

（4）直线加速器调试、维修时造成误照射

①调试阶段公众误入机房

在设备安装调试过程中，机房安全防护措施未完全到位或者运行，无关人员进入机房，在设备开机出束过程中受到误照射。

②维修阶段人员误入受到误照射

直线加速器结构复杂，故障率较高。常见故障有机械故障（如多叶准直器故障、限位开关损坏）、电气故障（如自动稳频故障、剂量异常、电离室损坏、磁控管损坏、测距灯/光野灯损坏）和软件故障（如电脑死机、网络传输故障）。

上述故障发生后由专业维修人员对设备进行维修，维修人员在维修加速器时，加速器钥匙由维修人员控制，机房防护门保持敞开且加速器不能出束操作，维修完成后维修人员再关闭机房防护门进入控制室通过钥匙开机出束并检查。在此过程中若有人误入机房停留在不易察觉的角落未被维修人员发现而开机出束导致机房内误入人员受到误照射。特殊情况下加速器的屏蔽系统（铅铋合金）拆除下来忘记装回或者装回前误开机，相关人员受到误照射。

（5）未进行质量控制检测

直线加速器年久或更换部件和维、检修后，未进行质量控制检测，机器性能指标发生变化，有可能在诊疗过程中使患者可能受到较大剂量的照射。

2、DSA 和 CT 模拟定位机事故影响类别识别

（1）射线装置控制系统或电器系统发生故障或人员疏忽，造成人员受到超剂量照射。

（2）拍片前，DSA 和 CT 模拟定位机房内公众人员尚未退出，操作间操作人员启动设备出束，致使公众人员受到误照射。

（3）射线装置工作状态下，防护门未关闭或突然被打开，对附近经过或停留人员受到一定量的散射和漏射 X 射线照射。

（4）医生、护士、受检者进行介入手术治疗时，未落实个人辐射防护措施受到超剂量照射。

（5）DSA 和 CT 模拟定位机房屏蔽结构劳损，射线装置出束，致使 X 射线泄漏到 DSA 机房外面，给周围的辐射工作人员和公众造成不必要照射。

11.3.2 事故应急措施

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

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

(3) 及时报告卫生、生态环境主管部门；

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

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

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

11.3.3 事故防范措施

为减少各种辐射事故的发生，建设单位拟采取的防范措施如下：

1、直线加速器事故防范措施

(1) 直线加速器门-机联锁装置失效风险防范措施

按照规范要求定期对各个联锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机联锁装置失效的情况下违规操作；通过直线加速器故障报警系统及时发现故障，及时修复；通过纵深防御以减少由于某个联锁失效或在某个联锁失效期间产生辐射。设备维修单位维修时，旁路联锁系统需取得辐射安全管理机构的批准，并在维修后及时进行联锁恢复及功能测试。

(2) 人员滞留在机房内风险防范措施

开机出束运行前，按照操作规程清点人数，包括工作人员和病人家属，并按程序通过监控系统对直线加速器机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，声灯报警警示。同时，经常检查监控系统，单个摄像头损坏要及时维修，保证监控系统能全视角无死角的监控机房和迷道。

(3) 医疗照射不正当化产生辐射事故的风险防范措施

放射工作人员须加强职业技能和辐射防护培训，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

(4) 加速器调试、维护维修时风险防范措施

调试阶段由设备方/辐射安全设施单位负责。调试前建设单位做好辅助工作，开机出束前项目用房区域外设置警示标识、警示带、安保人员等，清理无关人员，加

强安保巡视，禁止无关人员进入。

医院在采购加速器时将充分考虑生产企业的售后产品技术支持，提高产品可靠性，减少设备维修频率；在维护和维修时，佩戴个人剂量报警仪，加速器运行钥匙由设备维护维修人员掌控，避免其他人员误操作造成误照射；维修期间旁路的门机联锁在维修后及时恢复；维修期间拆除的屏蔽系统及时装回，并检查其位置 and 安全性；维修后开机出束试机前，按照操作规程通过监控系统对直线加速器机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，声灯报警警示，确保安全无人在机房后才能试机。

（5）未进行质量控制检测风险防范措施

建设单位按照规范要求做好设备稳定性检测和状态检测以及辐射防护与安全措施定期检查，使设备及各项辐射防护安全措施始终保持在有效状态下工作。

建设单位在认真落实上述措施后，能有效减少和杜绝辐射事故的发生，减少对周围环境和公众的影响。

2、DSA 和 CT 模拟定位事故防范措施

（1）门灯指示灯失效的风险防范措施

按操作规程定期对各个联锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在警示灯失效的情况下违规操作。

（2）无关人员留在机房内未作防护的风险防范措施

撤离机房时清点人数，必须按程序对机房进行全视角搜寻，对滞留机房内的无关人员强行劝离。有外来人员进入时，工作人员应根据情况，采取急停或相应措施，阻止外来人员受到误照射。

（3）工作人员操作失误的风险防范措施

放射工作人员必须加强防护知识培训，提高防护技能，避免犯常识性错误；加强职业道德修养，增强责任感；严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

（4）未进行质量控制检测的风险防范措施

建设单位按照规范要求做好设备稳定性检测和状态检测以及辐射防护与安全措施定期检查，使设备及各项辐射防护安全措施始终保持在有效状态下工作。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 辐射安全管理机构

建设单位已成立放射诊疗安全和防护管理领导小组，详细如下：

组 长：	徐立新	副院长	13907936225
成 员：	赵 超	院长助理兼任医务科科长	13979301392
	杨乐华	放射科主任	13807930859
	肖红卫	放射科副主任	13755337373
	徐文芸	预防保健科科长	13870315398
	江毅平	放射医学主治医师	13907939962
	孔德帆	防保科科员	18270494862

工作职责为制定并落实放射诊疗和放射防护相关管理制度，成员负责各自科室的放射防护与安全工作日常管理、相关资料和放射工作人员意见收集汇总。

12.1.2 辐射工作人员配备及培训情况

建设单位现有 62 名辐射工作人员，其中 34 人已参加辐射安全与防护培训并取得合格证书，其余 28 人已参加自主培训与考核，考核成绩均合格。

为满足本项目放射工作和安全防护的需要，医院拟配备放射工作人员约 22 人，其中直线加速器及 CT 模拟定位室拟配备 10 人（医生 4 人、物理师 2 人、技师 4 人），介入手术室拟配备 12 人（医生 6 人、护士 3 人、技师 3 人），具体人员未定，均将纳入放射工作人员进行管理。

从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。根据生态环境部《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（2019 年，第 57 号）的相关要求，建设单位应在项目运行前组织本项目辐射工作人员到生态环境部辐射安全与防护培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）报名参加核技术利用辐射安全与防护考核，通过考核后，取得成绩报告单方可上岗。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关要求，上饶市立医院制定了《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射安全与防护管理规定》、《辐射工作人员培训计划、监测方案》、《培训/再培训管理制度》、《射线装置检修维护保养制度》、《影像科检查室工作流程及制度（MRI室）》、《上饶市立医院介入室质量保证方案》、《血管造影机操作规程》等。

根据医院反馈，在医院日常工作中，各项规章制度得到了有效落实。本次评价建议医院根据本项目实际情况，制定加速器、CT模拟定位机、DSA等相关设备操作规程、岗位职责、监测计划等，并依据新增人员情况，调整放射诊疗安全和防护管理领导小组，并划定其职责。

12.3 辐射监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第449号令）等相关法规和标准，射线装置使用单位需开展核技术利用工作场所防护检测、个人剂量监测等监测工作。

医院拟为放射工作人员配备个人剂量计，并委托有资质单位进行定期检测，根据2024年个人剂量监测报告，各放射工作人员职业照射个人剂量监测结果均未见异常。

医院委托有资质单位对各辐射工作场所进行辐射环境检测，根据2024年度检测报告，各机房外关注点处辐射剂量率均满足相关标准要求，屏蔽防护措施安全有效。

下一步建设单位应根据加速器工作情况，完善辐射监测方案，具体如下：

12.3.1 个人剂量监测

建设单位已委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测，监测周期不超过3个月；后续项目建成后，拟将本项目配备的辐射工作人员也纳入个人剂量监测计划中，并建立个人剂量档案和健康管理档案，做好工作人员的剂量数据登记工作，每季度汇总、分析、评估，提出处理意见；根据工作场所辐射水平的高低变化与潜在照射的可能性大小，确定个人监测的类型、周期和不确定度等要求。出现个人剂量季度超标情况，医院应及时作出核实和信息反馈意见。

事故情况下，根据情况对有关人员及少数代表性的公众进行个人监测。进行作业人员的意外事故剂量监测和估算，并有详细记录。

12.3.2 工作场所及环境监测

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等的要求，制定详细的监测计划。

医院将严格执行辐射监测计划，做好辐射工作场所的监测。医院每年委托有相关资质的辐射监测机构对辐射工作场所进行监测。

医院拟配备便携式 X- γ 剂量率测量仪对辐射工作场所周围环境进行监测，并建立监测技术档案。监测仪器每年至少由国家计量认证单位检定一次，并取得使用合格证书。有效期内的监测仪器经可能涉及计量刻度的重大维修后，必须重新进行检定。

(1) 工作场所环境监测

用便携式辐射监测仪对辐射工作场所周围环境进行辐射剂量检测，例行监测为每周一次，操作时监测。监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

(2) 异常监测

当个人剂量超过年剂量限值、机房墙外、各控制区以及监督区出现异常情况时，须查明原因。发生意外事故，应按放射事故管理规定，及时监测和处理。

具体监测方案、监测项目和监测频率见下表：

表 12-1 辐射监测计划

监测对象	监测点位	监测方案	监测项目	监测频率	监测方式
加速器	操作位、机房防护门及门缝、四周墙壁等屏蔽体外表面 30cm 处、楼上及周边敏感目标处	实测	X- γ 辐射剂量率	每年一次	委托有资质单位监测
		实测	X- γ 辐射剂量率	每周一次	自行监测
	辐射防护装置	检查	安全联锁、指示灯、摄像及对讲装置等	每次开机使用前	自行检查
CT 模拟定位机	操作位、管线口、机房防护门及门缝、观察	实测	X- γ 辐射剂量率	每年一次	委托有资质单位监测

	窗、四周墙壁等屏蔽体外表面30cm处、楼上及周边敏感目标处	实测	X-γ辐射剂量率	每周一次	自行监测
	辐射防护装置	检查	安全连锁、指示灯、摄像及对讲装置等	每次开机使用前	自行检查
DSA	机房防护门及门缝、观察窗、四周墙壁、楼上等屏蔽体外表面30cm处、楼下170cm、操作位、管线口及周边敏感目标处	实测	X-γ辐射剂量率	每年一次	委托有资质单位监测
		实测	X-γ辐射剂量率	每周一次	自行监测
	辐射防护装置	检查	安全连锁、指示灯、摄像及对讲装置等	每次开机使用前	自行检查
辐射工作人员	/	佩戴个人剂量计	年累计剂量	每季度送检	送有资质单位检测
外环境	/	实测	X-γ辐射剂量率	每年一次	委托有资质单位监测

12.4 辐射事故应急

建设单位制定了《上饶市立医院放射安全事件应急处理预案》（2025年修订版）（详见附件5），详细如下：

12.4.1 应急管理机构及职责

（1）放射性事件应急处理领导小组

组长：刘和开

副组长：赵超

成员：邱传军、邵丽婷、徐文芸、周泽、钱润麟、郑尚辉、刘贤军、胡建华、龚骏、江毅平、张亚明、林远志、肖红卫、苏文豪、唐芝翔、翁玉

（2）工作职责：

- 1.贯彻执行国家放射性事件应急处理的方针政策和应急处理工作要求。
- 2.负责向上级和属地有关部门报告医院内发生的放射性事故和事件。
- 3.组织制定医院放射性事件应急处理预案，做好应急处理准备和协调工作。
- 4.应急处理期间充分调动人力、物力支援，实施统一指挥、统一组织、统一行

动。

5.采取各种有效快速的救援措施，最大限度地减少放射污染、危害，避免人身伤亡和财产损失，消除对医院的负面影响。

6.组织人员参加放射性事件应急处理培训和演练。

7.配合上级有关部门进行放射事故调查和审定工作。

（三）应急救援工作小组成员

邱传军、邵丽婷、周泽、肖红卫、钱润麟、龚骏、江毅平、张亚明、林远志、苏文豪

（四）应急救援工作小组职责

1.放射事件应急救援工作小组下设办公室，挂靠在医务科，医务科负责人兼任办公室主任，负责应急演练、负责调动全院医疗专家参与医疗救援。

2.组织放射性事件应急救援工作人员的培训；（医务科）

3.负责与技术专家组、现场处理组的联络工作，组织协调事故的处理善后工作；报告应急救援工作情况；（应急办）

4.负责对控制区内人员的撤离和对周围人员的疏散，布置安全警戒，禁止无关人员和车辆进入危险区域；（保卫科）

5.放射性事件应急处理期间，负责组织抢救物资和工具的供应，组织车辆运送抢险物资和人员等后勤保障工作；（总务科）

6.负责与卫生健康行政主管部门、生态环境部门、公安部门等相关部门的联络和放射事件应急处理工作汇报；（预防保健科、保卫科）

7.完成应急处理领导小组交办的其它工作。

12.4.2 应急处理程序

（一）核医学科应急程序

1.立即撤离现场人员，封锁现场，禁止无关人员进出，同时向本科室主任、医院放射性事件应急处理领导小组报告。

2.控制放射源，实时进行辐射剂量监测。

3.对受伤人员进行妥善救治和安置。

4.尽早按核医学科相关药品去污原则、去污程序清洗；在去污过程中防止交叉和扩大污染，工作人员应做好安全防护，并佩戴个人剂量计；去污产生的废物、废液

按放射性废物处理。

5.发生放射源丢失、被盗事故时，应当保护好现场，并逐级上报及认真配合有关部门进行调查侦破。事故发生后，协助卫生健康行政部门、环保部门有关人员赶赴事故现场、核实事故情况，估算受照剂量、判定事故类型级别，提出救治措施及救治方案，迅速立案调查；协助公安机关负责事故现场的勘察、收集证据、现场保护和调查，并采取有效措施控制事故扩大。

（二）放疗技术科应急程序

1.发生钴-60放射源丢失事故时，立即启动预案，通知保卫科保护好现场。立即上报环保部门、公安部门迅速查找、侦查，尽快追回丢失的放射性物质。

2.陀螺旋转式立体定向放射治疗系统治疗病人出现卡源时，应立即从治疗室撤离病人和放射工作人员，关闭安全防护门，并汇报器械科，由器械科联系厂家技术人员迅速对设备进行检测和检修，设备故障解除后方能进入治疗室。

3.查看病人情况，如有受伤应立即送急诊或病房进行救治。

初步确定事故性质和影响范围，禁止无关人员进入。

4.听从放射性事件应急处理领导小组安排部署，迅速展开监测布点和摄像、拍照等调查取证工作，确定事故发生的时间、地点、原因、污染物种类、性质、数量，已造成的污染范围、影响程度及造成的危害等情况。

5.根据调查取证和现场监测结果，结合专家组意见，放射性事件应急处理领导小组确定事件影响范围内的污染物处理方案，减少污染危害。

6.放射性事件应急处理领导小组结合现场监测结果和专家组意见确定污染事件可能长期存在的潜在或间接危害社会影响，对污染危害实施跟踪调查、监测，直至危害消除。

（三）医学影像科及介入应急程序

1.立即终止原放射诊疗操作，关闭操作电源，切断一切可能扩大污染范围的环节；向本科室主任及放射性事件应急处理领导小组报告。

2.迅速撤离有关人员，对事故受照射人员进行及时的检查、救治和医学观察。

3.封锁现场，实行现场警戒，划定紧急隔离区，禁止无关人员进入，保护事故现场，保留导致事故的材料，设备和工具等。

4.根据放射事故的性质，配合有关部门，积极采取相应的去污染措施。

本项目运行前，建议建设单位根据加速器、CT 模拟定位机及 DSA 可能发生的辐射事故情形，修改完善辐射事故应急预案。同时，建设单位应在日常加强事故演习，加强医院人员的安全文化素养培养，树立较强的安全意识，减少人为因素导致的意外事故的发生率，确保放射防护可靠性，维护辐射工作人员和周围公众的权益。

12.5 环保投资及“三同时”竣工环保验收

本项目计划总投资 12000 万元，其中环保投资 1000 万元，占比为 8.33%。

根据《建设项目环境保护管理条例》，项目竣工后，建设单位自主或委托技术机构开展环保竣工验收工作，本项目“三同时”竣工环境保护验收内容见表 12-2。

表 12-3 “三同时”验收一览表

项目	“三同时措施”	环保投资（万元）	验收要求	验收标准
环保相关文件	项目建设的环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具验收监测报告	20	环保履行手续齐备，建立相关管理档案，且已取得辐射安全许可证。	/
辐射安全管理	成立管理机构，制定的辐射防护相关制度内容切实可行，具有可操作性，设备有操作规程。	/	成立专门的辐射安全管理机构，制定并落实辐射安全与防护管理制度，如操作规程、岗位职责等，相关制度张贴上墙。	/
放射工作人员管理	医院应每 3 个月对放射工作人员进行个人剂量检测，放射人员职业健康体检周期不超过 2 年，相关资料均按要求存档；放射工作人员需参加辐射安全知识培训，每 5 年进行一次复训。	10	委托有资质单位进行个人剂量监测和职业健康体检，建立个人剂量、职业健康档案，并保存完整齐全。组织放射工作人员参加辐射安全知识培训和复训，取得相关资质证书后持证上岗。	/
建设内容	拟新增 2 台医用电子直线加速器，最大 X 射线能量 10MV；1 台 CT 模拟定位机，最高管电压 140kV，最大管电流 800mA；3 台 DSA，最高管电压 125kV，最大管电流 1000mA。	890	建设地点、拟引进的设备参数与环评阶段一致，即医技楼负一层 2 间加速器机房新增 2 台 X 射线最大能量为 10MV 的医用电子直线加速器；1 间 CT 模拟定位室新增 1 台 CT 模拟定位机；医技楼一层 3 间 DSA 机房新增 3 台数字减影血管造影机最高管电压 125kV，最大管电流 1000mA。	/
屏蔽防护措施	各加速器机房墙体、防护门采取必要的屏蔽防护，采取的屏蔽材料及其厚度见表 10-4。		加速器机房 1: 北墙：主屏蔽墙体厚 2.9m（宽度为 4.0m），与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙体厚 1.7m； 南墙：主屏蔽墙厚 3.2m（宽度为 4.0m），与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙体厚 1.8m； 屋顶：主屏蔽体厚 2.9m，主屏蔽区宽度为 4.0m，与主屏蔽体相连的次屏蔽体厚 1.7m； 西侧墙体厚 1.7m；东侧迷路内墙厚 1.3m，迷道长 9.9m，迷道外墙厚 1.7m。 防护门：10mmPb+50cm 含硼聚乙烯复合材料。	《放射治疗放射防护要求》GBZ121-2020、《放射治疗辐射安全与防护要求》HJ1198-2021

			<p>加速器机房 2: 北墙：主屏蔽墙厚 3.2m（宽度为 4.0m），与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙体厚 1.8m； 南墙：主屏蔽墙体厚 2.9m（宽度为 4.0m），与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙体厚 1.7m； 屋顶：机房屋顶主屏蔽体厚 2.9m，主屏蔽区宽度为 4.0m，与主屏蔽体相连的次屏蔽体厚 1.7m； 西侧墙体厚 1.7m；东侧迷路内墙厚 1.3m，迷道长 9.9m，迷道外墙厚 1.7m。 防护门：10mmPb+50cm 含硼聚乙烯复合材料。</p>	
	CT 模拟定位室墙体、顶板、底板、防护门和观察窗采取必要的屏蔽防护，详见表 10-5。		四周墙体为：37cm 实心粘土砖墙，拟在此基础上附加 1mmPb 硫酸钡水泥砂浆防护； 顶棚和底板：25cm 混凝土，拟在此基础上附加 1mmPb 硫酸钡水泥砂浆防护； 防护门：患者出入门为 4mmPb 不锈钢推拉铅门，医护出入门和污物门为 4mmPb 不锈钢平开铅门； 观察窗：拟采用 4mmPb 铅玻璃窗。	《放射诊断放射防护要求》 GBZ130-2020
	DSA 机房墙体、顶板、底板、防护门和观察窗采取必要的屏蔽防护，详见表 10-14。		四周墙体为：37cm 实心粘土砖墙，拟在此基础上附加 1mmPb 硫酸钡水泥砂浆防护； 顶棚和底板：顶棚为 12cm 厚混凝土，拟在此基础上附加 2mmPb 硫酸钡水泥砂浆防护；地板为 16cm 厚混凝土，拟在此基础上附加 1mmPb 硫酸钡水泥砂浆防护； 防护门：患者出入门为 3mmPb 不锈钢推拉铅门，医护出入门和污物门为 3mmPb 不锈钢平开铅门； 观察窗：拟采用 3mmPb 铅玻璃窗。	《放射诊断放射防护要求》 GBZ130-2020
辐射安全防护措施	加速器机房： 包括监视和对讲设备、配备固定式剂量报警仪、安全联锁、指示灯及辐射标志等。		①设置安全联锁装置及紧急停止装置； ②机房防护门正上方安装工作状态指示灯，机房外醒目位置粘贴了“当心电离辐射”、“禁止入内”、“禁止停留”标志，中文标明放射防护注意事项，制度上墙； ③设置停机或意外中断照射时开启声光报警器。	《放射治疗放射防护要求》 GBZ121-2020、 《放射治疗辐射安全与防护要求》 HJ1198-2021

		<p>④在控制室与机房之间设视频监控系统与对讲机；</p> <p>⑤设置工作运行指示灯、门灯联动、门机联锁；有从室内开启治疗机房门的装置，防护门有防夹装置；</p> <p>⑥设置固定式剂量检测仪，并带报警功能；</p> <p>⑦治疗室内、迷道、操作台等处设紧急停机按钮，防护门内设紧急开门按钮，治疗床设急停按钮；</p> <p>⑧直线加速器机房至少配备个人剂量报警仪 2 台，巡测仪 1 台。</p>	
	<p>CT模拟定位室： 包括安全联锁、指示灯及辐射标志等。</p>	<p>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。</p> <p>②机房设机房防护门、控制室防护门；</p> <p>③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。</p> <p>④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。</p> <p>⑤机房内与控制室之间设置对讲装置</p> <p>③控制室操作位处、CT 模拟定位设备上设置紧急停机按钮。</p>	<p>《放射诊断放射防护要求》 GBZ130-2020</p>
	<p>DSA机房： 包括监视和对讲设备、安全联锁、指示灯及辐射标志等。</p>	<p>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。</p> <p>②机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。</p> <p>③机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。</p> <p>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。</p> <p>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</p>	<p>《放射诊断放射防护要求》 GBZ130-2020</p>

			灯能与机房门有效关联。 ⑥电动推拉门宜设置防夹装置。	
剂量 限值	年受照剂量限值	/	①放射治疗工作人员： $\leq 5\text{mSv/a}$ ②介入医护人员（医生、护士）： $\leq 5\text{mSv/a}$ ③介入技师： $\leq 5\text{mSv/a}$ ④公众成员年有效剂量 $\leq 0.1\text{mSv/a}$	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB18871-2002及环评批复和医院剂量约束值的要求。
	机房外剂量率控制限值	/	直线加速器：机房外关注点处的剂量率控制限值详见表11-3； CT模拟定位机：机房外的周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ； DSA：在透视条件下，机房外的周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；	《放射治疗放射防护要求》GBZ121-2020、 《放射治疗辐射安全与防护要求》HJ1198-2021、《放射诊断放射防护要求》GBZ130-2020
有害 气体	加速器机房： 设置强制排风系统	费用计入机房建设及措施费中，不再单独列出。	设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，采用上进风下排风的方案，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，安装排风机的排风量为 $3400\text{m}^3/\text{h}$ ，换气次数不少于9次/h，机房送风与排风管道分别在迷路外墙上采用“S”形穿越墙体，通过医技楼内主管道最终引至景观花园排放。排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。	《放射治疗放射防护要求》GBZ121-2020、 《放射治疗辐射安全与防护要求》HJ1198-2021
	CT模拟定位室： 拟采用具有送新风的中央空调进行通风。		机房拟采用具有送新风的中央空调进行通风。	《放射诊断放射防护要求》GBZ130-2020
	DSA 机房： 动力通风装置		3间 DSA 机房设置动力通风装置，并保持良好的通风。进排风管穿墙坑洞均位于房间内吊顶之上，连接医技楼主管道。两台风机排风量为 $2500\text{m}^3/\text{h}$ ，能满足机房良好通风的要求。	《放射诊断放射防护要求》GBZ130-2020
防护 用品	防护监测设备和防护用品按报告中表 10-16 要求落实	80	加速器机房： 配备个人剂量计 1 个/人，共计 10 个；配备 1 台 X- γ 辐射检测仪，10 台个人剂量报警仪，2 套固定式剂量检测系统。	放射治疗放射防护要求》GBZ121-2020、 《放射治疗辐射安全与防护要求》HJ1198-2021

		<p>CT模拟定位室： 配备受检者防护用品 1 套，包括铅橡胶方巾 1 件，铅橡胶颈套 1 件，铅橡胶帽子 1 件；配备陪检者铅防护衣 1 件。</p>	《放射诊断放射防护要求》 GBZ130-2020
		<p>DSA 机房： 介入手术的医护人员配备个人剂量计 2 个/人，影像技师配备个人剂量计 1 个/人，共计 21 个；配备 3 台个人剂量报警仪，9 套介入人员穿戴的防护用品（包括铅围裙、个性化的铅防护眼镜等）；配备 3 套床侧辅助防护设施（包括铅悬挂防护屏、床侧防护帘等）；配备 3 套受检者防护用品（包括铅橡胶围裙、铅帽等）。防护用品种类、数量及铅当量应满足标准要求。</p>	《放射诊断放射防护要求》 GBZ130-2020
辐射监测	①委托监测； ②自主监测，检测仪器配备详见表 10-16。	<p>①建立辐射环境监测档案，并保持档案完整。 ②配备相应的自主监测仪表，并定期检定或校准，保证设备处于良好状态。定期进行自主检测并记录，建立相关档案。 ③每年委托有资质的单位对工作场所辐射防护状况及周围环境进行常规监测，并出具监测报告。</p>	/

表 13 结论与建议

13.1 结论

(1) 项目概况

上饶市立医院三江总院位于上饶市信州区上饶大道 96 号，院区中心坐标为 117°57'05.196"，北纬 28°25'16.066"。医院拟在医技楼负一层 2 间加速器机房新增 2 台 X 射线最大能量为 10MV 的医用电子直线加速器；配套 1 台 CT 模拟定位机，安置于 CT 模拟定位室；拟在医技楼一层 3 间 DSA 机房新增 3 台数字减影血管造影机，最高管电压 125kV，最大管电流 1000mA。

(2) 可行性分析结论

根据前述分析，项目加速器、CT 模拟定位机、DSA 运行对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害。因此，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的要求。

(3) 选址合理性

根据前述分析，本项目场址辐射环境质量现状良好，直线加速器机房和 CT 模拟定位室选址避开了儿科病房、产房等特殊人员及人员密集区域，放射治疗场所与其他辅助用房分开布置，均设有独立用房，且采取了必要的辐射屏蔽防护措施；DSA 机房与其他辅助工作场所分开，均设有独立用房，且采取了必要的辐射屏蔽防护措施。

本项目根据科室工作流程对各功能用房进行了布局设计，放射诊疗区和非放射诊疗区分开，方便病人诊疗和医生办公，且放射诊疗区置于人流不密集位置，能更好的保护病人及医院工作人员的安全。从环境保护角度分析，本项目辐射工作场所选址及布局可行。

(4) 辐射安全与防护分析结论

根据加速器相关计算结果可知，当共用主屏蔽墙按外凸计算时，该墙设计宽度不能满足有用线束主屏蔽区宽度要求，本次评价建议将该主屏蔽墙加宽至 4.4m 以上。本项目两台加速器机房墙体及防护门设计厚度、关注点处剂量率水平均能满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中标准要求。

根据 CT 模拟定位机和 DSA 机房辐射屏蔽设计与标准对比可知，CT 模拟定位室

四侧墙体、顶板和底板屏蔽折算铅当量至少为 4mmPb，3 间 DSA 机房四侧墙体、顶板和底板屏蔽折算铅当量至少为 3mmPb，均可以满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）标准要求。通过类比分析可知，本项目 CT 模拟定位机、各 DSA 辐射工作场所的四面墙体、天棚、防护门和观察窗的厚度能满足相关标准的要求，关注点处剂量率估算结果能够满足相关标准要求。

（5）环境影响分析结论

通过估算可知，本项目放射治疗工作人员参与 CT 模拟定位工作和医用电子直线加速器工作，医用电子直线加速器工作人员附加年有效剂量最大为 $3.53\text{E-}3\text{mSv}$ ，叠加 CT 模拟定位所致的年有效剂量最大值 $1.17\text{E-}2\text{mSv}$ 后，放射治疗项目辐射工作人员附加年有效剂量最大为 $1.52\text{E-}2\text{mSv/a}$ 。符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和剂量约束值 5mSv 的要求。

DSA 控制室工作人员所受的最大年有效剂量为 $4.2\text{E-}3\text{mSv}$ ，可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求及医院设定的剂量约束值（工作人员 5mSv/a ）的要求；手术室内医护人员在有甲状腺屏蔽时平均受照剂量为 4.38mSv/a ，可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求及医院设定的剂量约束值（工作人员 5mSv/a ）的要求；公众所受的最大年有效剂量约为 0.01mSv ，可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求及医院设定的剂量约束值（公众 0.1mSv/a ）的要求。

（6）辐射安全管理

建设单位已成立放射诊疗安全和防护管理领导小组，并建立了相关辐射安全管理规章制度和辐射事故应急预案。

（7）结论

上饶市立医院三江总院核技术利用项目符合“实践的正当性”要求。项目建设符合国家产业政策，项目选址和布局合理可行，项目涉及的机房屏蔽设计满足标准要求，拟采取的辐射安全防护措施可行，医院现有辐射与环境保护管理措施基本健全，能满足本项目需求，医院在采取本环评提出的各项辐射防护及污染防治措施后，对周围环境产生的辐射影响较小，且符合环境保护的要求。从环境保护的角度来看，本次评价认为该建设项目是可行的。

13.2 建议

(1) 本次评价建议将两加速器室中间共用主屏蔽墙加宽至 4.4m 以上。

(2) 本次评价建议建设单位根据本项目实际情况，在项目运行前，制定加速器、CT 模拟定位机、DSA 等相关设备操作规程、岗位职责、监测计划等，并依据新增人员情况，调整放射诊疗安全和防护管理领导小组，并划定其职责。

(3) 本次评价建议建设单位拟新增放射工作人员应在入职前完成放射职业健康体检，完成辐射安全与防护培训与考核，职业健康体检合格并取得辐射安全与防护培训考核合格证书后方可上岗。

(4) 项目竣工投用前，医院应自行组织竣工环境保护验收，并将验收结果进行公示，验收合格后方可正式运行。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

公 章

经办人：

年 月 日

审批意见：

公 章

经办人

年 月 日