表 1 项目基本情况

建设项目名称		大荔县医院放疗科、核医学科及 DSA 手术室核技术利用项目				
建设单位		大荔县医院				
法人代表		张辉	**联系人**		**联系电话**	
注册地址		大荔县洛滨大道中段北侧				
项目建设地点		陕西省渭南市大荔县洛滨大道中段北侧大荔县医院 外科综合楼西北侧地下一层、肿瘤综合楼一层、外科综合楼一层				
立项审批部门		/	**批准文号**	/		
建设项目总投资（万元）		5523	**项目环保投资（万元）**	505	**投资比例（环保投资/总投资）**	9.14%
项目性质		☑新建 □改建 □扩建 □其他			占地面积（m²）	1062
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 项目概述

1.1.1 项目背景

1.1.1.1 医院简介

大荔县医院（以下简称医院）始建于 1941 年，是集医疗、急救、教学、科研、预防、保健和康复为一体的综合性二级甲等医院。为解决大荔县人民群众就医问题，大荔县人民政府研究决定对大荔县医院进行整体迁建，迁建地位于大荔县洛滨大道中段北侧。医院现占地 106.5 亩，设置床位 750 张，开设科室 55 个，现有在岗职工 982 名，专业技术人员 830 人，目前拥有市级临床重点专科 12 个。

根据《大荔县经济发展局关于大荔县医院整体迁建项目建议书的批复》（荔经发[2016]20 号），医院于 2016 年 3 月委托信息产业部电子综合勘察研究院编制了《大荔县医院整体迁建项目环境影响报告书》，2016 年 8 月 5 日该项目取得大荔县环境保护局对《大荔县医院整体迁建项目环境影响报告书》的批复（荔环发〔2016〕48 号），2017 年 6 月该项目完成建设并投入运行。后续由于医院发展需要，医院决定在北侧预留用地建设肿瘤综合楼和外科综合楼及其配套区域，2022 年 11 月，医院委托陕西陆环环保工程有限公司对肿瘤综合楼和外科综合楼及其配套区域进行了环境影响评价工作，2022 年 12 月 12 日分别取得渭南市生态环境局大荔分局关于《渭南市生态环境局大荔分局关于大荔县医院肿瘤综合楼建设项目环境影响报告表的批复》（荔环发〔2022〕107 号）和《渭南市生态环境局大荔分局关于大荔县医院外科综合楼建设项目环境影响报告表的批复》（荔环发〔2022〕108 号）。目前，肿瘤综合楼和外科综合楼正在建设中。

1.1.1.2 目的和任务的由来

为提高大荔县人民诊疗需求和医院自身发展需要，医院拟开展直线加速器治疗、核素显像诊断和数字减影血管造影介入诊疗的工作。

医院拟在外科综合楼西北侧地下一层设置放疗科，建设 1 间 10MV 直线加速器机房和 1 间 CT 模拟定位机房及其他相关辅助用房；肿瘤综合楼一层设置核医学科，建设 1 间 PET/CT 和 1 间 SPECT/CT 机房及相关辅助功能用房（涉及使用放射性核素 ^{18}F 和 ^{99m}Tc）；外科综合楼一层东南侧建设 1 间 DSA 介入手术室及其他相关辅助用房。

1.1.1.3 工作过程概述

根据环境保护部和国家卫生和计划生育委员会《关于发布<射线装置分类>的公告》（原国家环境保护总局公告 2017 年第 66 号）相关规定，医用电子直线加速器、DSA 属于**Ⅱ类射线装置**，CT 模拟定位机、PET-CT 和 SPECT-CT 中 CT 部分均为**Ⅲ类射线装置**。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中附录 C 非密封源工作场所的分级，项目核医学科诊断区域日等效最大操作量为 4.24×10^{7}Bq，属于**乙级非密封放射性物质工作场所**。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（以下简称名录）中“五十五、核与辐射 172、核技术利用建设项目”中“……使用Ⅱ类、Ⅲ类放射源的；生产、使用Ⅱ类射线装置的；

乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）……”应编制环境影响报告表；“……生产、销售、使用III类射线装置的”，应填报环境影响登记表。按照建设内容涉及名录中两个及以上项目类别的建设项目，其环境影响评价类别按照其中单项等级最高的确定要求，本项目应编制环境影响报告表。

西安旭奥环境科技有限公司（环评单位）接受医院委托，承担对本项目的环境影响评价工作。接受委托后，环评单位组织技术人员进行现场勘察调查，收集、整理有关资料，对项目的建设情况进行了初步分析，并根据建设项目的应用类型及所在地周围区域的环境特征，在现场勘察、资料调研、预测分析的基础上，按照《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的基本要求，编制了《大荔县医院放疗科、核医学科及DSA手术室核技术利用项目环境影响报告表》。

1.1.2 实践正当性分析

放疗科使用医用电子直线加速器对肿瘤进行治疗，病人无须手术、损伤小，可为病人提供一个更加优越的诊疗环境，同时对提高肿瘤放疗水平具有重大意义。

核医学科使用PET-CT和SPECT-CT对受检者进行核素显像诊断，功能检查与形态学检查能有机地结合，使显像具有更高的灵敏度和更清晰的分辨率，可以同时反映病灶的病理生理变化及形态结构，对提高诊断的准确性具有重要作用。

DSA对提高心脑血管疾病治疗水平具有重大意义，在保障病人健康的同时，进一步提高了医院的医疗水平，推动医院整体发展。

综上，项目建设所带来的个人和社会利益远大于可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”要求。

1.1.3 相关政策符合性

该项目属于中华人民共和国国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024年本）》（2023年第7号令修改）鼓励类中“十三、医药，4.高端医疗器械创新发展：新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备……”，故本项目符合国家产业政策。

1.1.4 建设规模

1.1.4.1 放疗科

医院拟在外科综合楼西北侧地下一层建设放疗科，总建筑面积约462m²，主要建

设内容包括：1间直线加速器机房和1间CT模拟定位机房及配套的控制室、水冷机房等其他辅助功能用房。直线加速器机房和CT模拟定位机房屋顶上方为室外地坪，下方为土层。其中，直线加速器机房东西长10.3m，南北宽5.4m，有效使用面积（不含迷道）约为55.6m²，主屏蔽方向为南、北、上三个方向；CT模拟定位机房南北长8.43m，东西宽4.8m，有效使用面积约40.4m²。直线加速器和CT模拟定位机房剪力墙为外科综合楼建筑主体框架一部分，已随主体框架同步建设。

放疗科拟配置的设备相关参数见表1-1。

表 1-1　放疗科拟配置的设备相关参数一览表

序号	设备名称	数量	型号、类别	具体参数	用途	工作场所
1	直线加速器	1 台	型号待定 II 类射线装置	最大 X 射线能量 10MV，等中心点最大剂量率 2400cGy/min 最大照射野 40cm×40cm 最大电子线 22MeV CBCT 最大管电压 150kV 最大管电流 800mA	放射治疗	外科综合楼西北侧地下一层直线加速器机房
2	CT模拟定位机	1台	型号待定 III类射线装置	最大管电压140kV； 最大管电流800mA	放射诊断定位	外科综合楼西北侧地下一层CT模拟定位机房

1.1.4.2 核医学科

医院拟在肿瘤综合楼一层设置核医学科（乙级非密封放射性物质工作场所），总建筑面积约 450m²，主要建设内容包括：1 间 PET-CT 机房、1 间 SPECT-CT 机房、操作间、给药室、固废间、储源室、PET 注射后候诊室、SPECT 注射后候诊室、运动负荷兼抢救室、PET 留观室、缓冲间及其他辅助用房，核医学科楼上为检验科，楼下为隔震层和停车场。肿瘤综合楼设计为楼体建筑框架，地板采用 160mm 混凝土，顶棚采用 120mm 混凝土建造，墙体部分均尚未施工。

医院拟在 PET-CT 机房内安装使用 1 台 PET-CT（属于III类射线装置，生产厂家与型号待定），使用非密封放射性物质 ^{18}F 开展 PET-CT 显像诊断；拟在 SPECT-CT 机房内安装使用 1 台 SPECT-CT（属于III类射线装置，生产厂家与型号待定），使用非密封放射性物质 ^{99m}Tc 开展 SPECT-CT 显像诊断。

因本次环评阶段医院尚未选定 PET/CT，SPECT/CT 型号，而不同厂家生产的 PET/CT、SPECT/CT 使用的校准源配置不一致，故校准源类型及数量目前无法确定，医院拟后期单独进行环境影响登记表填报，本次评价不包含校准源。

本项目拟使用的非密封放射性核素 ^{18}F、^{99m}Tc 均根据患者情况提前预约登记，

向厂家进行定量订购，厂家根据需求将订购的放射性药物送至医院核医学科储源室。在向患者体内注射 ^{18}F 药物前，医院需根据患者所需注射药物活度在手套箱内进行药物分装；^{99m}Tc 为已分装针剂，医院不再对其进行分装。

1.1.4.2.1 ^{18}F 用药量情况

根据医院计划，PET-CT每天最多检查10人次，每人次最大药物注射量10mCi。^{18}F 半衰期为109.8min，医院计划分两个时段送药（上午7:30和下午12:30），上午时段和下午时段各送5人需药量；每个时段分2批注射，第一批依次注射3人，第二批依次注射2人；每批注射间隔时间约45分钟。考虑到放射性药物自身的衰变，为保证每批次最后一位患者注射^{18}F药物量A为10mCi，拟采取增加放射性药物出厂活度的方式确保活度满足使用要求，即要考虑放射性药物的使用量和备用量。根据半衰期衰减公式（1-1）和医院注射计划反推计算，得出A_0=13.3mCi，则^{18}F日实际用量至少为13.3mCi×5人×2次=133mCi（4.92×10^9Bq）。医院药物日实际最大操作量考虑^{18}F日实际用量+日备用量，^{18}F日备用量按照日实际用药量的一半考虑，则实际日最大操作量=日最大用药操作量+日最大备用操作量，即医院^{18}F的实际日最大操作量为133mCi+（133÷2）mCi=200mCi，即7.4×10^9Bq。

$$A=A_0e^{-(0.693t/T_{1/2})} \tag{1-1}$$

式中：A—衰变后放射性核素活度；

A_0—初始时刻（t=0）放射性核素活度；

e—自然对数的底数，约等于2.71828；

t—衰变时间；

$T_{1/2}$—半衰期。

PET-CT 拟使用放射性核素相关情况见表 1-2。

表 1-2　PET-CT 拟使用放射性核素相关情况一览表

核素	形态	半衰期	主要射线和能量	单人核素最大用量（Bq）	日最大接诊人数	日最大操作量（Bq/d）	年最大用量（Bq）	活动种类	来源
^{18}F	液体	109.8min	γ射线 511keV	3.7×10^8（10mCi）	10 人	7.4×10^9	1.85×10^{12}	使用	外购
注：年工作时间 250 天。									

1.1.4.2.2 ^{99m}Tc 用药量情况

根据医院计划，SPECT-CT每天最多检查20人次，每人次最大药物注射量25mCi。^{99m}Tc半衰期为6.02h，医院计划分两个时段送药（上午7:30和下午12:30），上午时段

和下午时段各送10人需药量；每个时段分2批注射，每批依次注射5人；每批注射间隔时间约2小时。^{99m}Tc实际用量根据半衰期衰减公式（1-1）和医院注射计划计算，至少为564.74mCi（2.09×10^{10}Bq），考虑到放射性药物自身的衰变，为保证每批次最后一位患者注射^{99m}Tc药物量A为25mCi，拟采取增加放射性药物出厂活度的方式确保活度满足使用要求，即要考虑放射性药物的使用量和备用量。根据半衰期衰减公式（1-1）和医院注射计划反推计算，得出A_0=31.5mCi，则^{99m}Tc日实际用量至少为31.5mCi×10人×2次=630mCi（2.33×10^{10}Bq）。医院药物日实际最大操作量考虑^{99m}Tc日实际用量+日备用量，^{99m}Tc日备用量按照日实际用药量的一半考虑，则实际日最大操作量=日最大用药操作量+日最大备用操作量，即医院^{99m}Tc的实际日最大操作量为630mCi+（630÷2）mCi=945mCi，即3.50×10^{10} Bq。

项目 SPECT-CT 拟使用放射性核素相关情况见表 1-3。

表 1-3　SPECT-CT 拟使用放射性核素相关情况一览表

核素	形态	半衰期	主要射线和能量	单人核素最大用量（Bq）	日最大接诊人数	日最大操作量（Bq/d）	年最大用量（Bq）	活动种类	来源
^{99m}Tc	液体	6.02h	γ射线 140keV	9.25×10^8（25mCi）	20 人	3.50×10^{10}	8.75×10^{12}	使用	外购
注：年工作时间 250 天。									

核医学科拟使用射线装置情况见表 1-4。

表 1-4　核医学科拟使用射线装置相关参数一览表

名称	型号	数量	类别	CT 部分主要技术参数		工作场所
				最大管电压	最大管电流	
PET-CT	待定	1 台	Ⅲ类	140kV	830mA	肿瘤综合楼一层核医学科 PET-CT 机房
SPECT-CT	待定	1 台	Ⅲ类	140kV	830mA	肿瘤综合楼一层核医学科 SPECT-CT 机房

1.1.4.2 DSA 介入手术室

医院拟在外科综合楼一层东南侧建设 1 间 DSA 介入手术室以及操作间、缓冲间、设备间、污洗间、污物通道、术后恢复准备间和更衣间等其他辅助用房/区域。在 DSA 介入手术室内配置 1 台 DSA，为Ⅱ类射线装置。外科综合楼设计为楼体建筑框架，地板采用 160mm 混凝土，顶棚采用 120mm 混凝土建造，墙体部分尚未施工。项目涉及的 DSA 主要技术参数详见表 1-5。

表1-5　DSA设备主要技术参数一览表

型号	主要参数	类别	拟放置位置
型号待定	最大管电压：125kV 最大管电流：1250mA	II类	外科综合楼一层东南侧 DSA 介入手术室内

1.1.5 劳动定员和工作负荷

1.1.5.1 劳动定员

放疗科拟新聘 5 名辐射工作人员，包括 3 名直线加速器操作人员和 2 名 CT 模拟定位机操作人员，该 5 名辐射工作人员不参与院内其他辐射工作。

核医学科拟新聘6名辐射工作人员，包括1名^{18}F分装、注射人员和1名^{99m}Tc注射人员，4名影像工作人员。2名分装、注射人员固定在给药室工作，4名影像工作人员分为2组分别操作PET-CT和SPECT-CT。该6名辐射工作人员仅在各自岗位工作，不兼职参与其他辐射工作。

DSA介入手术室拟新聘3名辐射工作人员，包括1名介入医生，1名介入护士和1名影像技师，在本项目运营后，该3名人员不再兼职从事除本项目外的其他辐射类岗位工作。

1.1.5.2 工作负荷

（1）放疗科

直线加速器：预计每年工作时间 250d，周工作时间 5d，日治疗人数最多 60 人，年治疗人数最多为 15000 人次。平均每人治疗剂量为 4.5Gy（1.5Gy/野次×3 野次/人），则直线加速器单次出束照射时间为 4.5/24*60=11.25s，常规放射治疗下周工作负荷 W=60×5×1.5×3=1350Gy/周；调强放射治疗中，对泄漏辐射，周工作负荷为 6750Gy/周（当调强因子 N=5 时）。10MV 加速器等中心处常用的最高剂量率 D_0 为 2400cGy/min，则周治疗照射时间 $t=W/D_0$=1350/24=56.25min=0.94h；调强下的工作时间 N •t≈4.69h。加速器的年治疗照射时间为 T=0.94×50=47h。

CT 模拟定位机：年工作时间 250d，日诊断人数最多 60 人，每名患者使用 CT 定位的出束时间约为 10s，年出束时间为 41.7h。

（2）核医学科

PET-CT：预计每年工作时间约 250d，每天最多接待患者 10 人，年累计接待患者人数为 2500 人次。每名患者 ^{18}F 最大注射量为 10mCi（3.7×10^8Bq）。

SPECT-CT：预计每年工作时间约 250d，每天最多接待患者 20 人，年累计接待

患者人数为 5000 人次。每名患者 ^{99m}Tc 最大注射量为 25mCi（9.25×10^{8}Bq）。

（3）DSA 介入手术室

DSA：预计每年最多手术400例，平均每台手术透视时间10min，摄影0.5min，则透视年累积出束时间66.7h，摄影年累积出束时间3.33h。

1.1.6 项目选址及周边关系

1.1.6.1 医院地理位置及四邻关系

医院位于陕西省渭南市大荔县洛滨大道中段北侧，地理坐标为经度：109.927801°，纬度：34.814460°，医院地理位置见图 1-1。

医院北侧现状为空地，后续规划为公园绿地和文化设施用地；东侧为东长社区和大荔县监察委员会；南侧为洛滨大道，隔路为世纪嘉园小区和绿化区；西侧现状为空地，后续规划为西二环延伸段。医院四邻关系见图 1-2。

1.1.6.2 医院总平面布置

医院建筑主要包括门诊楼、住院楼、1#传染病房楼、发热门诊、2#传染病房楼（在建）、内科综合楼（在建）、肿瘤综合楼（在建）、外科综合楼（在建）、综合保障中心、洗衣房、动力中心、污水处理站及配套设施和绿化景观等。医院总平面布局示意见图 1-3。

1.1.6.3 项目所在区域的总平面布置

（1）放疗科

根据医院提供的图纸，本项目放疗科位于医院外科综合楼西北侧地下一层，放疗科东侧、西侧、北侧均为土层，南侧为外科综合楼地下停车场，直线加速器机房位于放疗科东北角，CT模拟定位机房位于直线加速器机房西侧，为一般人员不易到达的区域。直线加速器和CT模拟定位机房正上方均为室外地坪，正下方均为土层；加速器机房东侧为柴发机房，南侧为低压配电室，西侧为候诊大厅、控制室和水冷机房，北侧为土层。

放疗科平面布局示意见图 1-4。

（2）核医学科

根据医院提供的图纸，本项目核医学科位于医院拟建的肿瘤综合楼一层，核医学科患者通道以北自西向东依次为PET-CT注射后候诊室、SPECT-CT注射后候诊室、PET 留观室；患者走廊以东依次为污洗间、缓冲间、运动负荷兼抢救室；患者通道

以南自西向东依次为固废间、储源室、给药室、PET-CT 机房、SPECT-CT 机房及其控制室。核医学科正上方为检验科，正下方为隔震层和停车场。核医学科平面布局示意见图 1-5。

（3）DSA 介入手术室

根据医院提供的图纸，本项目 DSA 介入手术室位于医院拟建的外科综合楼一层东南侧，DSA 介入手术室东侧为谈话间、操作间和缓冲间；南侧为室外；西侧为术后恢复准备间、污洗间、设备间、污物通道；北侧为走廊；DSA 介入手术室正上方为消毒供应室，正下方为隔震层和停车场。DSA 介入手术室平面布局见图 1-7。

1.1.6.4 项目选址合理性

（1）放疗科

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中相关选址要求，本项目放疗科选址合理性分析见表1-6。

表 1-6　放疗科选址合理性分析

法规标准	标准要求	设计情况	评价
《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）	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。	放疗科位于医院外科综合楼西北侧地下一层，用地类型为医疗卫生用地，不涉及民居、写字楼及商住两用的建筑物。	符合要求
	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。	放疗科位于外科综合楼西北侧地下一层，其东侧、西侧、北侧均为土层，南侧为外科综合楼地下停车场，正上方为室外地坪，正下方为土层。 放疗科周围无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，也无人员流动性大的商业活动区域。	符合要求
《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）	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。	项目直线加速器机房设置于医院外科综合楼西北侧地下一层，正下方为土层；加速器机房治疗室与控制室、水冷机房等同时设计建造，布置合理。	符合要求

本项目放疗科选址满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中选址相关要求。

（2）核医学科

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关选址要求，核医学科选址具体情况分析见表 1-7。

表 1-7　核医学科选址合理性分析

法规标准	相关要求	设计情况	评价
《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）	5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。	核医学科位于医院肿瘤综合楼一层，核医学科楼上为检验科，地下为隔震层和停车场。核医学科诊断区与其他科室分层布置，并配套建设相应的功能用房，核医学科诊断区自成一区，通过设计合适的时间、空间和交通模式来控制辐射源的活动，可实现工作人员、患者、放射性药物、放射性废物路径相对独立。	符合要求
	5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。	核医学科正上方为检验科，正下方为隔震层和停车场。东侧 50m 范围内为外科综合楼，西侧、南侧和北侧 50m 范围内主要为 2#传染病房楼、道路与停车场。核医学科与非放射性工作场所有明确的分界墙隔离，工作场所不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。	符合要求
	5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。	核医学科放射性废气通过独立的排风管道由室外引至肿瘤综合楼楼顶北侧排放，废气排放前经活性炭吸附处理。	符合要求
《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）	5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。	核医学工作场所功能用房相对集中，不邻接产科、儿科、食堂等部门；核医学科设计有单独的出入口和独立的候诊区，出口未设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。	符合要求

因此，核医学科选址和布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）选址相关要求。

（3）DSA 手术室

项目DSA介入手术室位于外科综合楼一层东南侧，东侧为操作间、办公室、更衣间等辅助用房，西侧为术后恢复准备间、设备间、污物通道及影像科，北侧为走廊和电梯厅，南侧为外科综合楼室外区域。

综上所述，项目选址充分考虑了邻近周围场所的防护和安全。医院在落实相应

辐射安全防护设施及措施后可更大程度的减少对周边职业人员、公众及患者家属的影响。从辐射场所的楼层平面布局可知，各辐射场所与其配套单元间功能布局分区明确，不相互穿插、干扰。项目选址合理。


N
医院所在地
大荔县医院
大荔站
下吕曲北村
贺家洼村
北黄五队
董家村
周家堡
户家新庄
黄家营
北黄村
西埝村
南黄村
丰家村
北埝路
新兴村
大荔互通
埝桥镇
潘家庄
高八村
张西
卡布丢丢
韩壕村
东府广场
游斜村
同堤村
南七村
下庙村
东城南村
石子砂
婆合
朝婆路
下埝头
双良路
242国道
S13
S108
S202
S242
1 公里
图 1-1 医院地理位置图

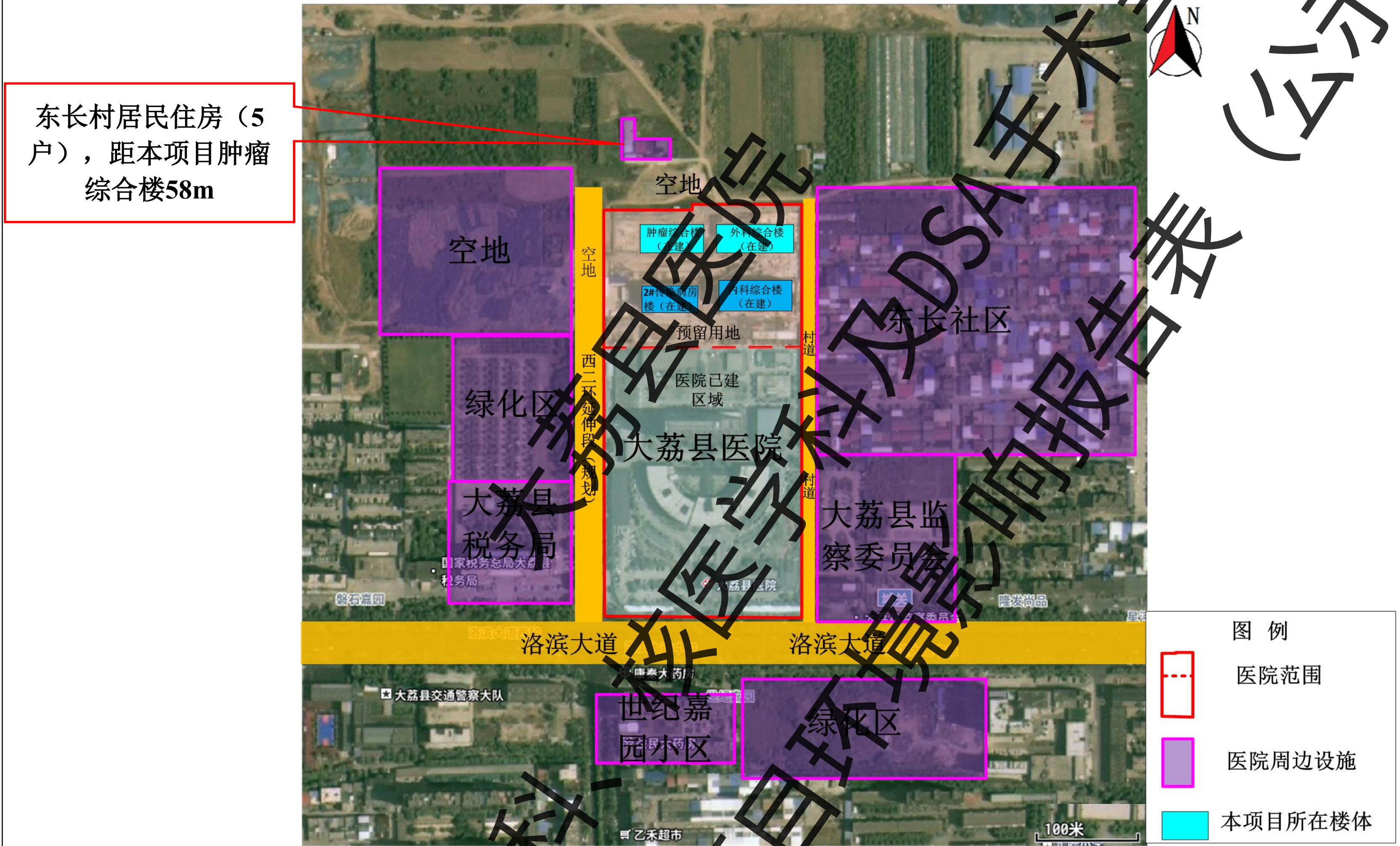


图 1-2 医院四邻关系示意图

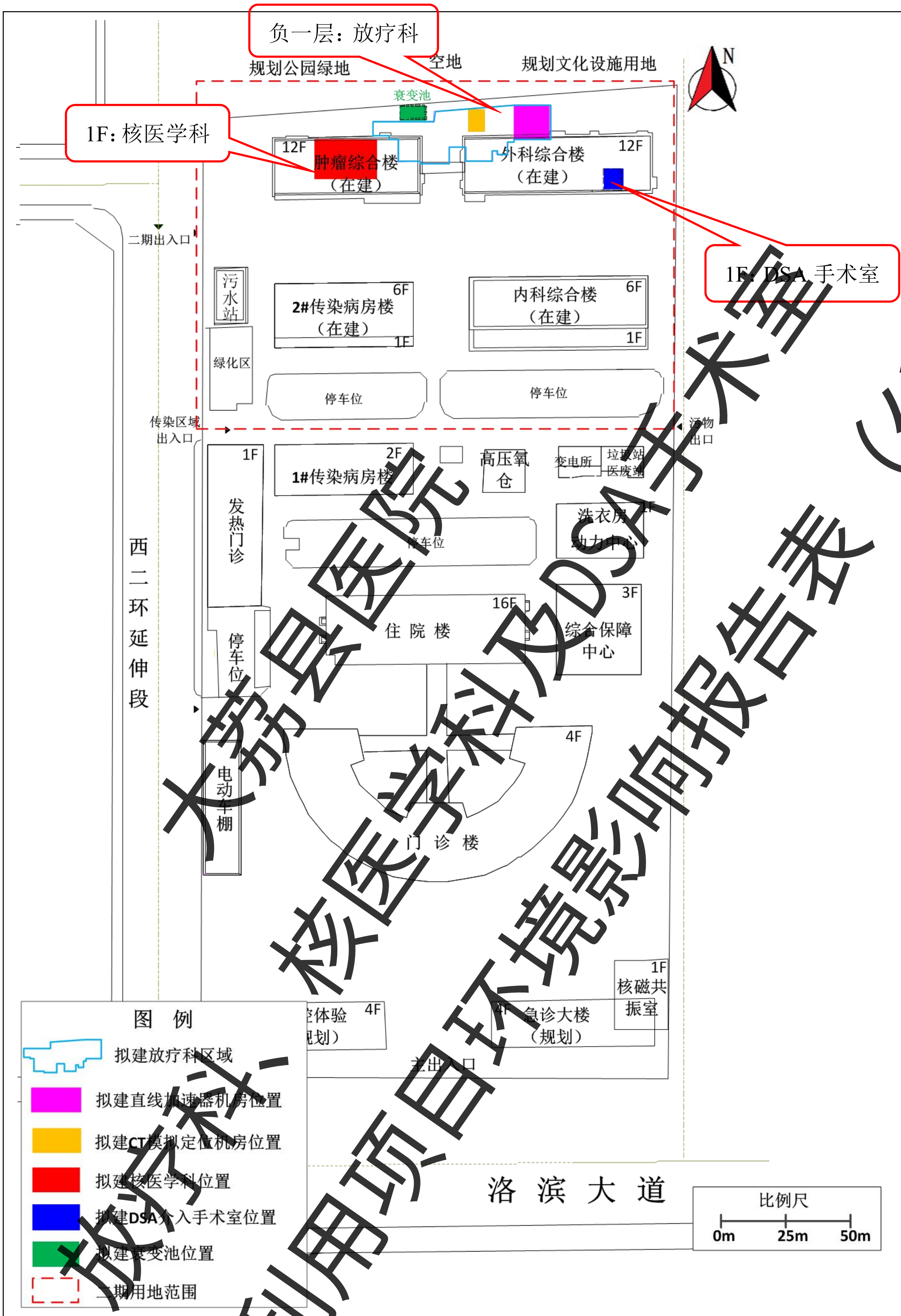


图 1-3 医院总平面布局示意图

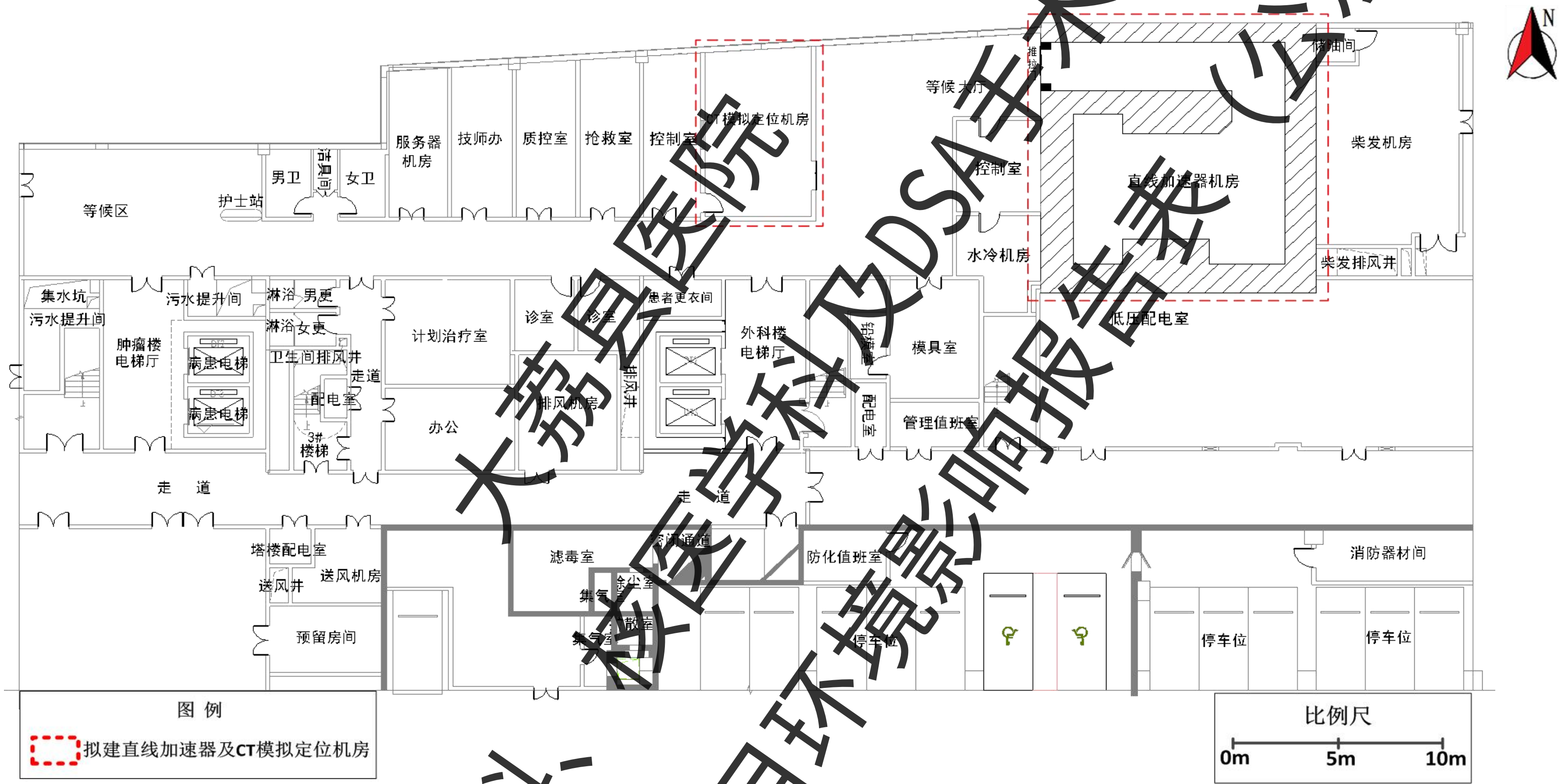


图 1-4 拟建放疗科区域平面布局示意图（外科综合楼西北侧地下一层）

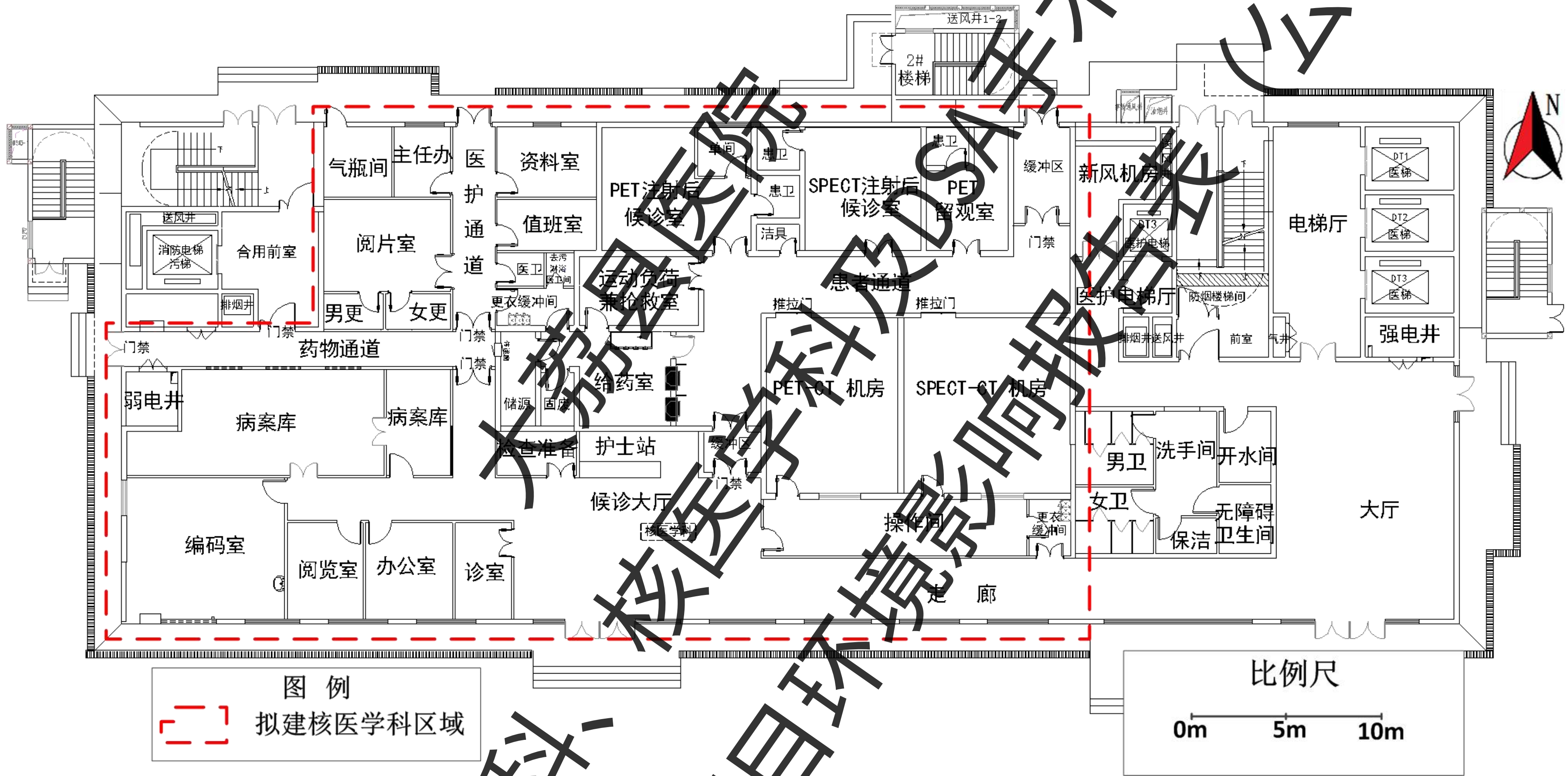


图 1-5 拟建核医学科平面区域布局示意图（肿瘤综合楼一层）

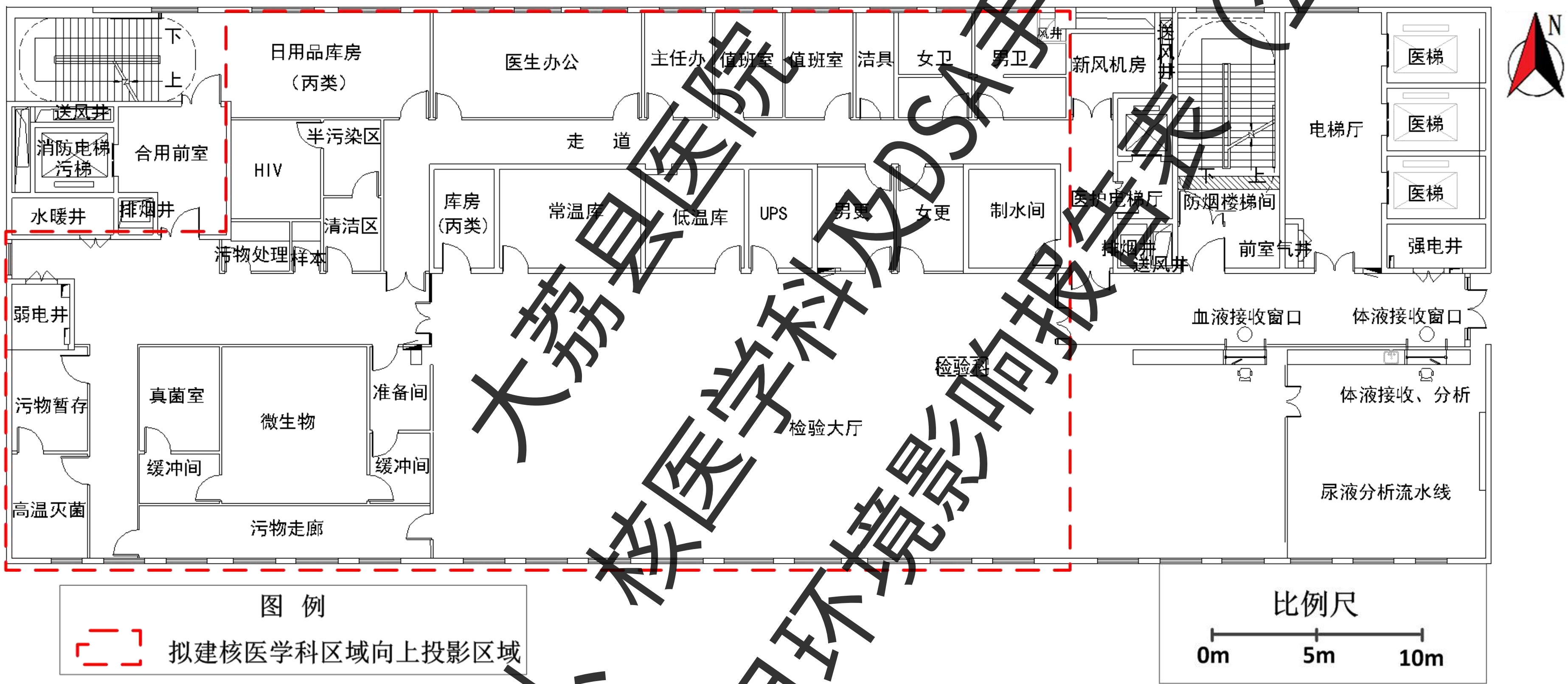


图 1-6 拟建核医学科上方区域平面布局示意图（肿瘤综合楼二层）

图 1-7 拟建DSA介入手术室区域平面布局示意图（外科综合楼一层）

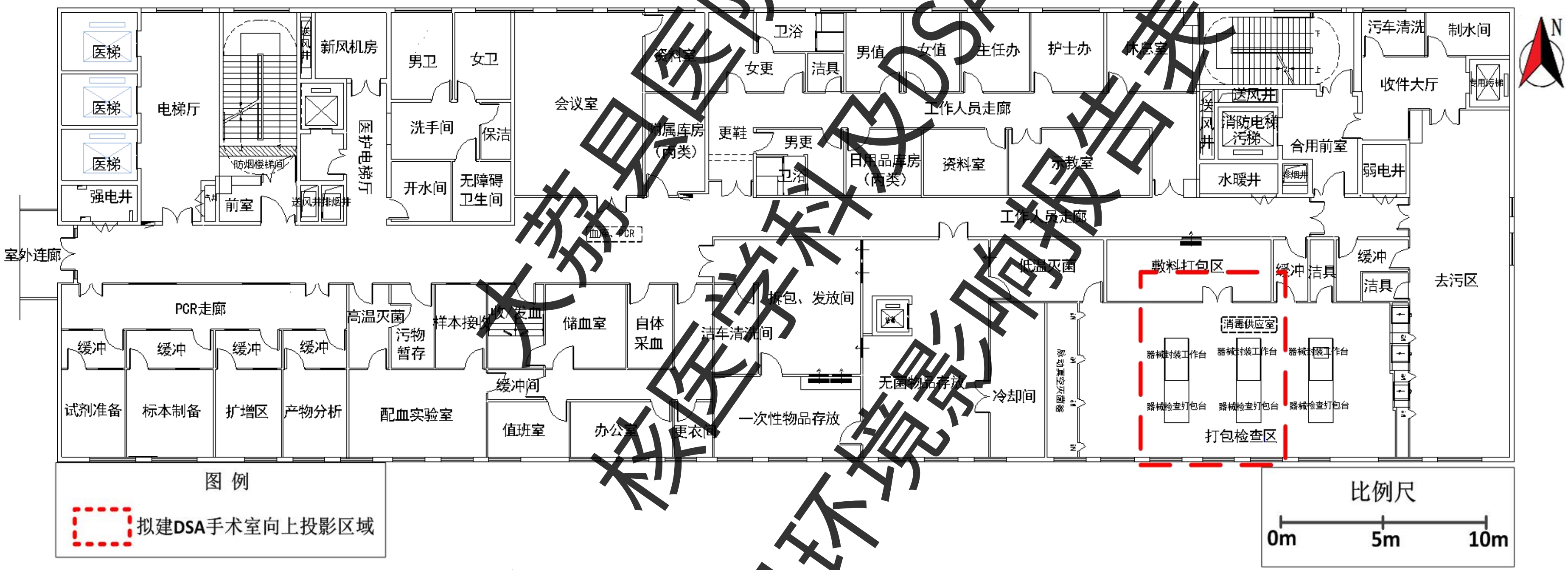


图 1-8 拟建 DSA 介入手术室上方区域平面布局示意图（外科综合楼二层）

1.2 原有核技术利用项目许可情况

1.2.1 环保手续履行情况

（1）现有辐射安全许可证

医院现持有 2023 年 12 月 26 日由渭南市生态环境局核发的辐射安全许可证，证书编号：陕环辐证[40076]，有效期至 2028 年 12 月 25 日。许可种类和范围：使用 II 类、III类射线装置。辐射安全许可证核准的种类和范围见表 1-8。

表 1-8　陕环辐证[40076]号核准的种类和范围

序号	装置名称	型号	类别	数量	辐射活动场所名称	活动种类
1	DSA	Vicor-CV100	II 类	1	导管室	使用
2	16 排螺旋 CT	OptimaCT680 Expert	III类	1	CT 检查二室	使用
3	64 排螺旋 CT	BrightSpeed Elite Select	III类	1	CT 检查一室	使用
4	直接数字化成像系统	Digital DiagnostVR	III类	1	放射科 DR 一室	使用
5	X 线诊断装置	COLLMATOR TYPER-300	III类	1	放射科 DR 二室	使用
6	CT 机	uCT528	III类	1	消化内科 CT 室	使用
7	移动式数字 X 射线机	KD-C5100	III类	1	手术室 9	使用
8	移动式数字 X 射线机	KD-M800	III类	1	消化内科 CT 室	使用
9	移动式 C 型臂 X 射线机	ALC-280B1	III类	1	手术室 8	使用
10	数字胃肠机	OPERA	III类	1	数字胃肠室	使用
11	医用 X 线机	HCQ-P 型	III类	1	牙片机机房	使用
12	牙科 CT 机	Bondream3D-1020MS	III类	1	口腔 CBCT 室	使用

（2）现有核技术利用项目环保手续履行情况

对医院现有环保手续进行收集整理，医院现有核技术利用项目环保手续履行情况见表1-9。

表 1-9　医院现有核技术利用项目环保手续履行情况

项目名称	环保手续			验收手续			备注
	批复文号	批复时间	评价内容	批复文号	批复时间	验收内容	
大荔县医院新增 DSA 核技术应用项目	陕环批复〔2018〕493 号	2018 年 11 月 6 日	新增一套 Vicor-CV100 型血管造影系统	2018 年 12 月 2 日，已进行竣工环境保护验收		1 台 Vicor-CV100 型 DSA	环评、验收一致
渭南市大荔县医院扩建医用放射性装置项目	①OPERA 型数字胃肠机 1 台、②DigitaLDiagnostVR 型直接数字化成像系统、③OptimaCT680Expert 型 16 排螺旋 CT1 台、④BrightSpeed Elite Select 型 64 排螺旋 CT1 台			2017年4月25日进行了备案登记（备案编号：201761052300000011）。			
渭南市大荔县医院扩建医用放射性装置应用项目	①使用 COLLIMATOR TYPER-300 型数字化医用 X 射线摄像系统，数量 1 台，位于门诊放射科；②使用 KD-C5100 型 C 型臂，数量 1 台，位于手术室			2017年8月14日进行了备案登记（备案编号：201761052300000020）。			
大荔县医院使用射线装置应用项目	KD-M800 型移动式数字 X 射线机 1 台			2020 年 6 月 29 日进行了备案登记（备案编号：202061052300000133）。			
大荔县医院使用射线装置应用项目	①uCT528 型 CT 机 1 台、②Bondream3D-1020MS 牙科 CT 机 1 台、③HCQ-P 型医用 X 线机 1 台			2021 年 10 月 25 日进行了备案登记（备案编号：202161052300000047）。			
大荔县医院射线装置核技术利用项目	ALC-280B1 型移动式 C 型臂 X 射线机 1 台			2023 年 11 月 16 日进行了备案登记（备案编号：202361052300000058）。			
注：医院现有核技术利用项目分别位于医院门诊楼和住院楼。							

1.2.2 辐射安全管理现状

医院按照《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及《陕西省放射性污染防治条例》等相关法律法规要求，配合各级生态环境主管部门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，建立了辐射安全和防护制度。

（1）辐射防护管理机构设置情况

为加强辐射安全和防护管理工作，医院成立了辐射安全与环境保护管理领导小组，明确了小组成员及工作职责，确定有专职辐射安全与防护管理人员。领导小组全面负责全院辐射安全与防护管理工作。

（2）规章制度建设及落实情况

医院已制定辐射安全管理规章制度，包括：《辐射事故应急预案》《辐射安全与防护管理制度》《辐射工作人员岗位职责》《放射工作人员放射防护培训制度》《放射工作人员职业健康检查制度》《医院个人剂量计监测管理制度》《射线装置设备管理制度》《防护用品管理制度》《DSA 操作规程》《CT 机操作规程》《辐射环境监测方案》等，用于医院的辐射安全与防护管理，并在工作中予以贯彻落实。

（3）工作人员培训情况

根据医院提供的资料，医院现有 74 名辐射工作人员，其中 13 名辐射工作人员已通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的考核并取得了合格成绩单（医用 X 射线诊断与介入放射学），剩余 61 人为仅从事 III 类射线装置使用活动的辐射工作人员，均已通过医院自行组织的符合国家核技术利用辐射安全与防护培训平台要求的自主考核。

（4）职业健康检查情况

医院 74 名辐射工作人员已于 2023 年 2 月、7 月至 8 月、12 月，2024 年 2 月、4 月、8 月、12 月在渭南职业病防治院进行了职业健康检查，建立了职业健康检查档案并存档。根据医院提供的体检报告单，有 1 名辐射工作人员妊娠 5 个月，建议暂时脱离放射岗位，其余辐射工作人员的体检结果显示“可继续原放射工作”或“可从事放射性工作”。

（5）个人剂量检测情况

医院为辐射工作人员均配备了个人剂量计，并委托有资质单位开展个人剂量检

测，建立了个人剂量档案并存档。根据 2024 年 1 月~2024 年 12 月的个人剂量检测报告，医院所有辐射工作人员中连续四个季度的累积剂量最大值为 2.333mSv，满足不大于 5mSv/a 的剂量管理限值，其中，导管室辐射工作人员贾慧丰 2024 年第 1 季度的个人剂量当量值达到了 1.107mSv，经医院与个剂检测单位调查，为该名工作人员个人剂量计曾经被留置于放射工作场所内所致，2024 年第 3 季度的个人剂量当量值达到了 0.961mSv，为该名工作人员曾佩戴个人剂量计接受放射性检查所致。

表1-10　医院辐射工作人员个人剂量最大值

编号	各佩戴周期个人剂量当量(mSv)$H_p(10)$				年个人剂量当量（mSv）$H_p(10)$
	2024.1.1 起3 个月	2024.4.1 起3 个月	2024.7.1 起3 个月	2024.10.1 起3 个月	
033	1.107	0.069	0.961	0.196	2.333

（6）辐射工作场所及辐射环境监测情况

2024 年 7 月，医院委托有资质单位对现有 12 台射线装置工作场所进行了辐射环境检测（报告编号：SXYP-2024FH219）。

表 1-11　辐射工作场所关注点最大 X.γ辐射剂量率

序号	设备名称	规格型号	检测条件	关注点最大X-γ辐射剂量率（μSv/h）	标准限值（μSv/h）
1	牙科 CT 机	Bondream3D-1020MS	管电压：90kV、管电流：10mA	1.346	2.5
2	医用 X 线机	HCQ-P 型	管电压：60kV、曝光时间：1100ms	0.162	2.5
3	DSA	Vicor-CV100	管电压：100kV、管电流：30mA	0.164	2.5
4	直接数字化成像系统	DigitaLDiagnostVR	管电压：120kV、管电流：100mA、曝光时间：200ms	0.599	2.5
5	X 线诊断装置	COLLMATOR TYPER-300	管电压：120kV、管电流：100mA、曝光时间：200ms	0.439	2.5
6	数字胃肠机	OPERA	透视模式：管电压：125kV、管电流：3mA	0.226	2.5
			摄影模式：管电压：100kV、管电流：100mA、曝光时间：200ms	0.161	25

7	64 排螺旋 CT	BrightSpeed Elite Select	管电压：120kV、管电流：350mA	0.262	2.5
8	16 排螺旋 CT	OptimaCT680 Expert	管电压：120kV、管电流：400mA	0.492	2.5
9	CT 机	uCT528	管电压：120kV、管电流时间积：150mAs	0.546	2.5
10	移动式数字 X 射线机	KD-M800	管电压：80kV、管电流时间积：20mAs	0.172	25
11	移动式 C 型臂 X 射线机	ALC-280B1	管电压：105kV、管电流：4mA	0.868	2.5
12	移动式数字 X 射线机	KD-C5100	管电压：120kV、管电流：4.2mA	1.953	25

据检测报告可知，医院现有 12 台射线装置工作场所的辐射环境检测结果均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）标准要求。

（7）辐射防护监测仪

医院配备有 1 台辐射防护监测仪器，已进行检定。

（8）其他

医院严格按照相关法律法规及陕西省生态环境厅的各项要求，认真履行各项规章制度。每年接受省、市生态环境主管部门的监督检查和辐射环境监测，并按时提交年度评估报告。

1.2.3 医院现存问题及提出的改进建议

问题：

①医院现有辐射安全许可证上“（三）射线装置”中管电压，管电流技术参数填报有误；

②经检测，医院辐射工作人员贾慧丰 2024 年第 1 季度和第 3 季度个人剂量数值较高，原因分别为曾将剂量计留置于放射机房内和曾佩戴剂量计接受过放射检查。

改进建议：

①建议医院核实现有射线装置管电压、管电流参数后，在国家核技术利用申报系统台账维护中进行数据维护；

②医院应做好辐射工作人员剂量计管理。

表 2 放射源

序号	核素名称	放射性活度（Bq）/ 活度（Bq）×枚数	类别	活动类别	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
1	^{18}F	液体，半衰期109.8min，低毒	使用	7.4×10^{9}	7.4×10^{6}	1.85×10^{12}	PET-CT显像检查	很简单的操作	核医学科	外购，暂存于肿瘤综合楼一层核医学科储源室。
2	^{99m}Tc	液体，半衰期6.02h，低毒	使用	3.5×10^{10}	3.5×10^{7}	8.75×10^{12}	SPECT-CT显像检查	很简单的操作	核医学科	外购，暂存于肿瘤综合楼一层核医学科储源室。

注：考虑到 ^{18}F 与 ^{99m}Tc 的衰变以及存在的其他不可控因素，日最大操作量需留有余量，因此 ^{18}F 与 ^{99m}Tc 的实际日最大操作量需大于实际注射量。

表 4 射线装置

（一）加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量	额定电流（mA）/剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	直线加速器	II 类	1 台	待定	电子	X 射线：10MV 电子线：22MeV	X 射线：2400cGy/min 电子线：1000cGy/min	放射治疗	外科综合楼西北侧地下一层放疗科直线加速器机房	拟购

（二）X 射线机

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	PET-CT	III类	1 台	待定	140	830	显像诊断	肿瘤综合楼一层核医学科 PET-CT 机房	拟购
2	SPECT-CT	III类	1 台	待定	140	830	显像诊断	肿瘤综合楼一层核医学科 SPECT-CT 机房	拟购
3	DSA	II 类	1 台	待定	125	1250	介入治疗	外科综合楼一层 DSA 介入手术室	拟购
4	CT 模拟定位机	III类	1 台	待定	140	800	模拟定位	外科综合楼西北侧地下一层放疗科 CT 模拟定位机房	拟购
5	直线加速器 CBCT 图像引导系统	III类	/	/	150	800	诊断定位	外科综合楼西北侧地下一层放疗科直线加速器机房	直线加速器自带

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
废金属靶	固体	/	/	/	通常 1 个靶使用 7~10 年才更换	/	/	由加速器供应商更换后交由有资质单位处置
放射性废水（药物操作人员清洗废水、场所清洁废水、患者排泄物等）	液体	^{18}F、^{99m}Tc	/	/	145m^3	总β<10Bq/L	专用衰变池暂存	暂存时间需满足 HJ1188-2021 要求（超过 30 天），由院内污水处理站处理后经市政污水管网排至大荔县污水处理厂
放射性固体废物（空药瓶、废注射器、吸水纸、棉棒、一次性卫生防护用品、废活性炭、清洁时用过的抹布及拖布等）	固体	^{18}F、^{99m}Tc	/	/	435kg	/	核医学科固废间暂存	暂存时间需满足 HJ1188-2021 要求（含 ^{18}F、^{99m}Tc 的废物暂存时间超过 30 天），经监测辐射剂量率为本底水平，总β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，按医疗废物处理，最终交由有资质单位处置
手套箱及核医学科辐射工作场所活性区内含微量放射性核素的挥发性气体	气体	^{18}F、^{99m}Tc	/	可忽略	可忽略	微量	/	经专用活性炭吸附过滤后接专用排风管道，最终引至肿瘤综合楼屋顶北侧排放
臭氧、氮氧化物等	气体	臭氧、氮氧化物等	/	可忽略	可忽略	微量	/	由专用排风管道送至放疗科及外科综合楼外环境排放

表 6 评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国环境保护法（修订）》中华人民共和国主席令第九号，2015 年 1 月 1 日施行； （2）《中华人民共和国环境影响评价法（修订）》第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议，2018 年 12 月 29 日起施行； （3）《建设项目环境保护管理条例》，国务院第 682 号修改，2017 年 10 月 1 日发布施行； （4）《中华人民共和国放射性污染防治法》中华人民共和国主席令第六号，2003 年 10 月 1 日起施行； （5）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》国务院令第 449 号公布，2019 年 3 月 2 日第二次修订； （6）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行； （7）《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； （8）《关于发布<射线装置分类>的公告》环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，2017 年第 66 号，2017 年 12 月 6 日起施行； （9）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（修订）》生态环境部令第 20 号，第四次修改，2021 年 1 月 4 日； （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》国家环保总局，环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日起施行； （11）《放射工作人员职业健康管理办法》中华人民共和国卫生部令第 55 号，2007 年 11 月 1 日施行； （12）《放射源分类办法》国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号； （13）《放射性物品分类和名录（试行）》国家环境保护总局公告 2010 年第 31 号，2010 年 3 月 4 日； （14）《关于发布<放射性废物分类>的公告》环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行； （15）《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，2016 年 3 月 7 日； （16）《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），自 2020 年 1 月 1 日起施行； （17）《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），自 2021 年 3 月 15 日起施行； （18）《关于核医学标准相关条款咨询的复函》生态环境部辐射函〔2023〕20 号，2023 年 9 月 11 日； （19）《放射工作人员职业健康管理办法》中华人民共和国卫生部令第 55 号，2007 年 11 月 1 日施行； （20）陕西省环境保护厅关于印发新修订《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知（陕环办发〔2018〕29 号），2018 年 6 月 6 日起施行； （21）《陕西省放射性污染防治条例（2019 年修正）》陕西省人大，2019 年 7 月 31 日起施行。
技术标准	（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （2）《建设项目环境影响评价技术导则总纲》（HJ2.1-2016）； （3）《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； （4）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； （5）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； （6）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）； （7）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）； （8）《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）； （9）《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）； （10）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； （11）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）； （12）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；

	（13）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （14）《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ2.1-2019）； （15）《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）； （16）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）； （17）《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019）。
其他	（1）环境影响评价委托书； （2）医院提供的现有核技术利用项目环保手续、监测资料等； （3）《辐射防护手册 第三分册：辐射安全》，原子能出版社，1990 年； （4）《中国环境天然放射性水平》，中国原子能出版社，2015 年。

表 7 环境保护与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016)中相关规定“乙级非密封放射性物质工作场所项目的评价范围取半径 50m 的范围，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”。

根据上述要求并结合项目所涉及的工作场所布局和边界，给出本项目环境影响评价范围示意图，如图 7-1、图 7-2 所示。

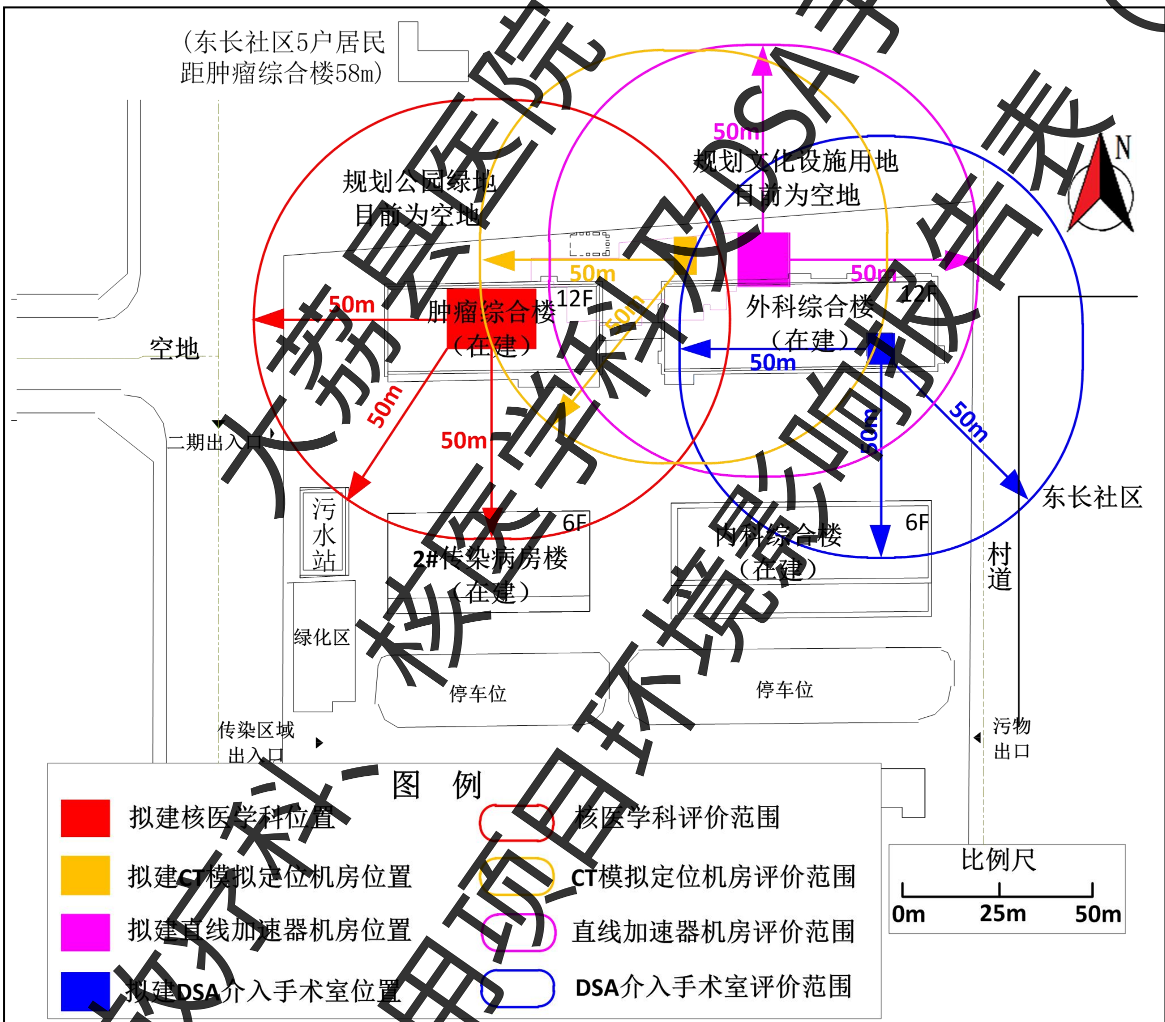
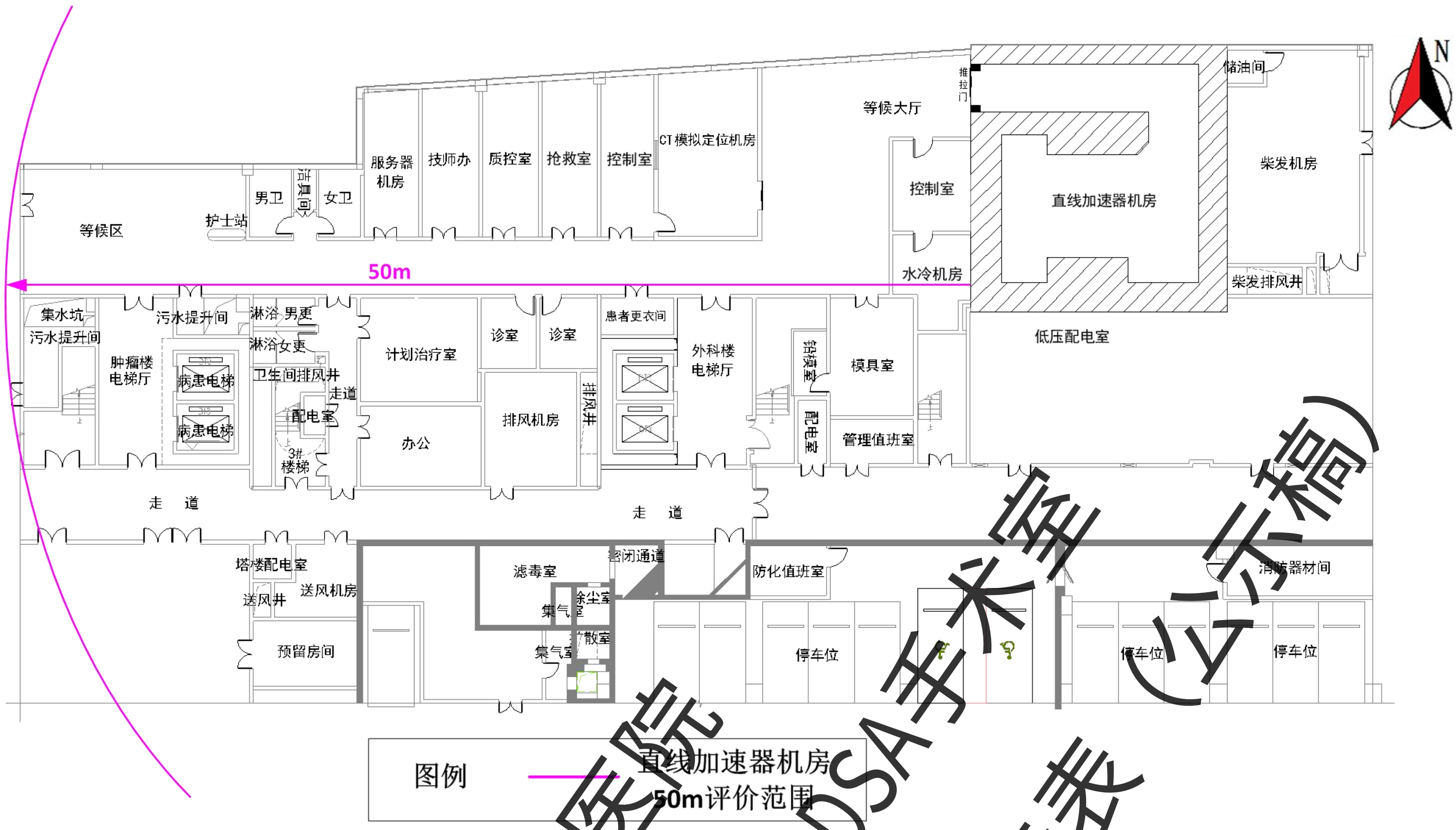
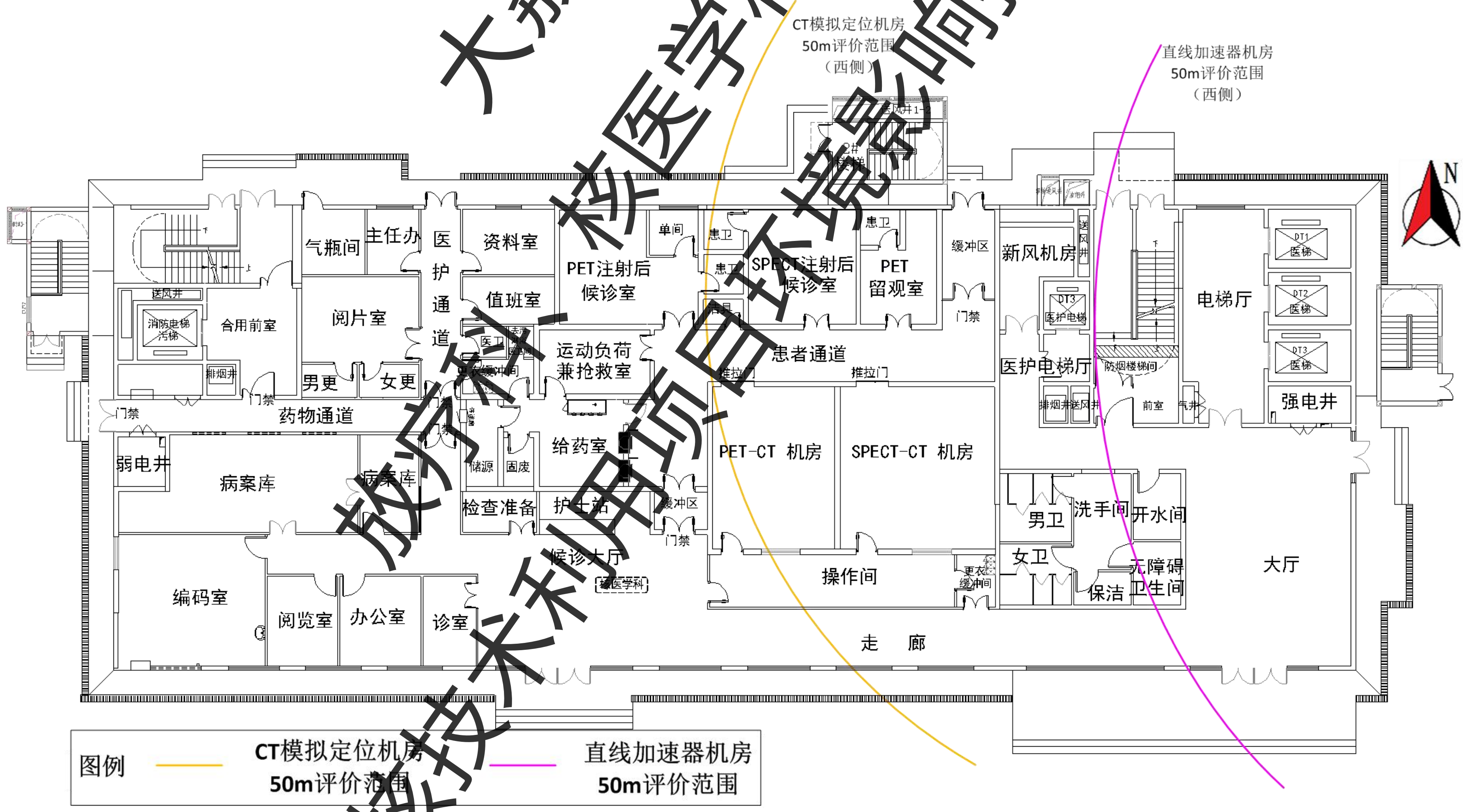


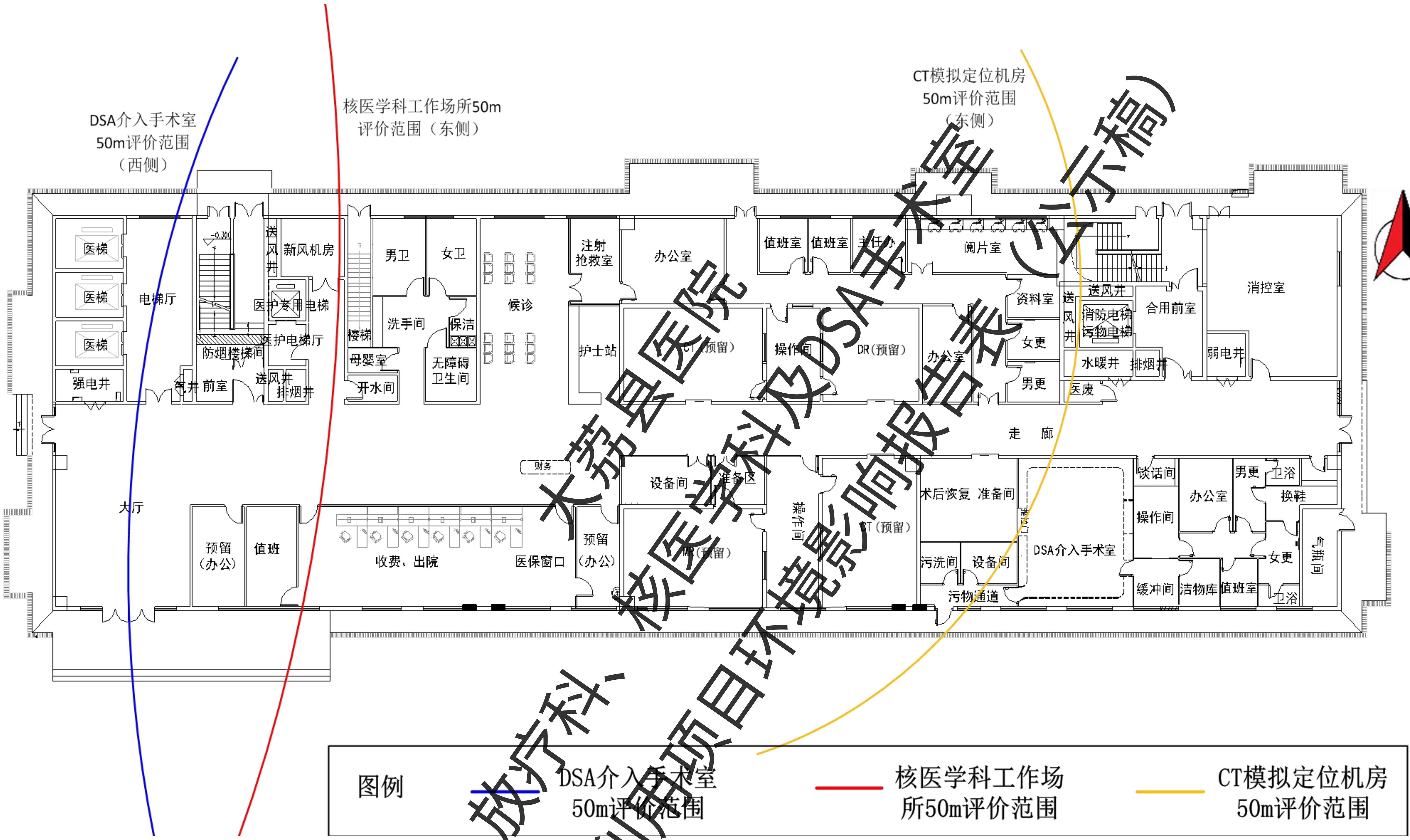
图 7-1 本项目评价范围图



CT模拟定位机房及直线加速器机房西侧50m评价范围（外科综合楼西北侧地下一层）



CT模拟定位机房及直线加速器机房西侧50m评价范围（肿瘤综合楼）



核医学科工作场所、CT模拟定位机房西侧50m评价范围及DSA介入手术室东侧50m评价范围（外科综合楼）

图 7-2 本项目评价范围图

7.2 环境保护目标

项目环境保护目标为评价范围内的辐射工作人员与公众。见表 7-1。

表 7-1　项目环境保护目标一览表

<table>
<tr><th>序号</th><th colspan="2">保护目标位置</th><th>方位</th><th>距屏蔽体外表面距离（m）</th><th>人口数量</th><th>剂量约束值</th></tr>
<tr><td>1</td><td rowspan="8">核医学科（肿瘤综合楼一层）</td><td>核医学科工作场所</td><td>内部</td><td>/</td><td>6人（核医学科工作场所辐射工作人员）</td><td>≤5mSv/a（职业工作人员）</td></tr>
<tr><td>2</td><td>院内道路</td><td>东、南、西、北侧</td><td>0.3~50</td><td>流动人员</td><td rowspan="7">≤0.1mSv/a（公众人员）</td></tr>
<tr><td>3</td><td>电梯厅、卫生间、开水间、保洁间、肿瘤综合楼大厅、楼梯、外科综合楼一层</td><td>东侧</td><td>0.3~50</td><td>其他医务人员约30人、流动人员</td></tr>
<tr><td>4</td><td>检查准备间、护士站、候诊大厅、走廊</td><td>南侧</td><td>0.3~50</td><td>其他医务人员约3人、流动人员</td></tr>
<tr><td>5</td><td>传染病房楼（在建）一层</td><td>南侧</td><td>41~50</td><td>其他医务人员约10人、流动人员</td></tr>
<tr><td>6</td><td>污水站</td><td>西南侧</td><td>47.5~50</td><td>3人</td></tr>
<tr><td>7</td><td>资料室、值班室、医护通道、主任办、阅片室、更衣室、诊室、办公室、阅览室、病案库、编码室、气瓶间、电梯厅、弱电井</td><td>西侧</td><td>0.3~15.9</td><td>其他医务人员约10人、流动人员</td></tr>
<tr><td>8</td><td>检验科</td><td>正上方</td><td>0.3</td><td>其他医务人员约10人、流动人员</td></tr>
<tr><td>9</td><td rowspan="2">直线加速器机房</td><td>控制室、水冷机房</td><td>西侧</td><td>0.3</td><td rowspan="2">5 人（放疗科辐射工作人员）</td><td rowspan="2">≤5mSv/a（职业工作人员）</td></tr>
<tr><td>10</td><td>CT模拟定位机房及其控制室</td><td>西侧</td><td>10.9~34.2</td></tr>
</table>

11	（外科综合楼西北侧地下一层）	等候大厅、走廊、楼梯、模具室、铅模室、外科楼电梯厅、患者更衣间、排风机房、抢救室、质控室、技师办、诊室、计划治疗室、办公室、更衣间、淋浴间、卫生间、洁具间、护士站、等候区、预留房间，污水提升间、肿瘤楼电梯厅等	西侧	0.3~50	其他医务人员约25人、流动人员	≤0.1mSv/a（公众人员）
12		服务器机房	西侧	28.9	1人（机房检修人员）	
13		管理值班室、防化值班室	西南侧	6.3~14.3	2人（其他工作人员）	
14		低压配电室、走道、消防器材间、外科综合楼地下停车位	南侧	0.3~50	流动人员	
15		柴发机房及其储油间	东侧	0.3	2人（机房管理人员）	
16	CT模拟定位机房（外科综合楼西北侧地下一层）	控制室	西侧	0.3	5人（放疗科辐射工作人员）	≤5mSv/a（职业工作人员）
17		直线加速器机房及其控制室、水冷机房	东侧	6.6~24.4		
18		等候大厅	东侧	0.3	流动人员	≤0.1mSv/a（公众人员）
19		柴发机房及其储油间	东侧	24.4~32.0	2人（机房管理人员）	
20		走道、患者更衣间、楼梯、铅模室、模具室、外科楼电梯厅、低压配电室、消防器材间、排风机房、外科综合楼地下停车位等	南侧	0.3~50.0	其他医务人员约3人、流动人员	

21		抢救室、质控室、技师办、诊室、计划治疗室、办公室、更衣间、淋浴间、卫生间、洁具间、护士站、等候区、走道、配电室、楼梯、送风机房、预留房间，污水提升间、肿瘤楼电梯厅等	西侧	2.9~50	其他医务人员约20人、流动人员	
22		服务器机房	西侧	12.1	1人（机房检修人员）	
23	直线加速器机房、CT模拟定位机房向上投影至地平面	院内道路、停车场	东、南、西、北侧	0.3~50	流动人员	≤0.1mSv/a（公众人员）
24		外科综合楼一层	南侧	0.3~20.5	其他医务人员约30人、流动人员	
25		肿瘤综合楼一层	西侧	21.5~50	其他医务人员约20人、流动人员	
26	DSA介入手术室（外科综合楼一层）	DSA介入手术室	内部	/	3人（DSA介入手术室辐射工作人员）	≤5mSv/a（职业工作人员）
27		操作间、缓冲间、办公室、值班室、更衣间等	东侧	0.3~9.4		
28		气瓶间	东侧	9.4	流动人员	≤0.1mSv/a（公众人员）
29		院内道路、东长社区村道	东侧	14.6~27.6	流动人员	
30		东长社区	东侧	27.6~50	约25人	
31		院内道路、停车场、非机动停车位、内科综合楼（在建）一层	南侧	0.3~50	其他医务人员约30人、流动人员	
32		术后恢复准备间、设备间、污物通道、污洗间	西侧	0.3~5.7	3人（其他医务工作人员、患者）	

33		影像科	西侧	5.7~23.8	10人（其他辐射工作人员）	≤5mSv/a（职业工作人员）
34		MR室及其操作间、预留办公室、收费窗口、值班室、走廊、候诊大厅、洗手间、电梯厅、外科综合楼大厅等	西侧	11~50	其他医务人员约20人、流动人员	≤0.1mSv/a（公众人员）
35		院内道路、停车场	北侧	18~30.5	流动人员	
36		消毒供应室	正上方	0.3	其他医务人员约6人	

本项目根据评价范围内环保目标分布情况，选取机房相邻区域环保目标作为关注点，对其所受年剂量进行了定量分析。

根据射线源随距离的平方成反比衰减关系，其他非相邻区域距离更远且有更多墙体的屏蔽阻隔，其所受射线源的辐射影响将越小，故距离机房最近的关注点可以代表该方位可能受到的最大辐射剂量，可评判其所受辐射影响均满足剂量约束值要求。

7.3 评价标准

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）等标准，本项目的剂量要求、屏蔽体表面剂量率控制值、场所分区、通风要求、放射性废物管理要求、辐射安全防护措施和设施等要求见表 7-2 所示。

表 7-2 本项目评价标准一览表

要求 \ 执行对象	剂量要求：辐射工作人员	剂量要求：公众	执行标准
剂量限值（mSv/a）	20	1	GB18871-2002
剂量约束值（mSv/a）	≤5	≤0.1	HJ1198-2021
	≤5	≤0.1	HJ1188-2021

屏蔽体表面剂量率控制值		执行标准
直线加速器机房	本项目直线加速器机房剂量率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（H_c）求得关注点的导出剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}$(μSv/h)：机房外辐射工作人员：H_c≤100 μSv/周； 机房外非辐射工作人员：H_c≤5 μSv/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$\dot{H}_{c,max}$(μSv/h)： 1）人员居留因子T≥1/2的场所：$\dot{H}_{c,max}$≤2.5μSv/h； 2）人员居留因子 T<1/2 的场所：$\dot{H}_{c,max}$≤10μSv/h。	HJ1198-2021 GBZ121-2020
CT模拟定位机房	距机房屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h。	GBZ130-2020
核医学科 工作场所	**本项目核医学科工作场所剂量控制应符合以下要求：** 1.工作场所控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2）房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h； 2.控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子＜1/2），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室门外、核素治疗住院病房门外以及核医学科患者走廊等位置，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h； 3.放射性药物分装箱体、注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h； 4.放射性药物分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 25μSv/h。	HJ1188-2021 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号） GBZ120-2020
DSA介入手术室	具有透视功能的X射线机在透视条件下检测时，周围剂量当量率控制目标值应不大于2.5μSv/h。	GBZ130-2020

<table>
<tr><th colspan="3">表面污染控制水平</th><th>执行标准</th></tr>
<tr><td colspan="2">表面类型</td><td>β放射性物质（Bq/cm²）</td><td rowspan="6">GB18871-2002
GBZ120-2020</td></tr>
<tr><td rowspan="2">工作台、设备、墙壁、地面</td><td>控制区</td><td>4×10</td></tr>
<tr><td>监督区</td><td>4</td></tr>
<tr><td>工作服、手套、工作鞋</td><td>控制区、监督区</td><td>4</td></tr>
<tr><td colspan="2">手、皮肤、内衣、工作袜</td><td>4×10^{-1}</td></tr>
<tr><th colspan="3">非密封放射性物质工作场所分级</th><th>执行标准</th></tr>
<tr><td>级别</td><td colspan="2">日等效最大操作量/Bq</td><td rowspan="4">GB18871-2002</td></tr>
<tr><td>甲</td><td colspan="2">>4×10^{9}</td></tr>
<tr><td>乙</td><td colspan="2">2×10^{7}～4×10^{9}</td></tr>
<tr><td>丙</td><td colspan="2">豁免活度值以上～2×10^{7}</td></tr>
<tr><th colspan="3">场所分区管理</th><th>执行标准</th></tr>
<tr><td colspan="2">控制区</td><td>把需要或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。</td><td rowspan="2">GB18871-2002
HJ1188-2021
GBZ120-2020</td></tr>
<tr><td colspan="2">监督区</td><td>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，但要经常对职业照射条件进行监督和评价。</td></tr>
<tr><th colspan="3">选址和布局</th><th>执行标准</th></tr>
<tr><td rowspan="3">放疗科</td><td>选址</td><td>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。
2.放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。
3.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。</td><td rowspan="2">HJ1198-2021
GBZ121-2020</td></tr>
<tr><td rowspan="2">布局</td><td>1.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。
2.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。
3.X 射线管治疗设备的治疗机房可不设迷路；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。
4.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。</td></tr>
<tr><td>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。
2.X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含</td><td>GBZ130-2020</td></tr>
</table>

		楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。 3.每台固定使用的X射线设备应设有单独的机房，机房应满足设备的布局要求。 4.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，CT机机房内最小有效使用面积、最小单边长度应符合最小单边长度4.5m，最小有效使用面积30m^{2}的规定。	
核医学科	选址	1.核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。 2.核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。 3.核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。	HJ1188-2021 GBZ120-2020
	布局	1.核医学科工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置，同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。 2.核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。 3.核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	

机房使用面积、单边长度控制			执行标准
机房名称	机房内最小有效使用面积（m^2）	机房内最小单边长度（m）	GBZ130-2020
CT模拟定位机房 PET-CT机房 SPECT-CT机房	30	4.5	
DSA介入手术室	20	3.5	

放疗机房通风要求		执行标准
直线加速器机房	放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设置在放射治疗机房上部，排风口应设置在治疗机房下部，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。	GBZ121-2020

	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，排气口不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。	HJ1198-2021
CT 模拟定位机房	机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	GBZ130-2020
核医学科工作场所通风要求		**执行标准**
6.3.1 核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。 6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、手套箱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、手套箱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。 6.3.5 手套箱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有手套箱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。		HJ1188-2021
核医学工作场所通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的手套箱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。		GBZ120-2020
DSA 工作场所通风要求		**执行标准**
DSA 介入手术室	机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	GBZ130-2020
核医学工作场所放射性废物管理		**执行标准**
固体放射性废物	固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08 Bq/cm^2、β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理： a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；	HJ1188-2021
液态放射性废物	所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；	
气态放射性废物	7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。 7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。	

衰变池要求		执行标准
放射性废液收集	7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。 7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集 在专用容器中。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。 7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。 7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。	
放射性废液贮存	7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。 7.3.2.2 槽式废液衰变池应由污泥池和 槽式衰变池组成，衰变池本体设计为2组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上 预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。 7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积 应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。	HJ1188-2021
放射性废液排放	7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式： a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；	

辐射监测				执行标准
工作场所	监测内容	监测点位	监测频次	
直线加速器机房	辐射水平（X-γ辐射剂量率）	四周屏蔽墙外30cm处、机房楼上30cm处、控制室、防护门外30cm处、电缆沟	开展放射治疗活动的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作。不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。委托有资质单位每年监测不少于一次	HJ1198-2021
CT 模拟定位机房	辐射水平（X-γ辐射剂量率）	距四面墙体及门窗表面 0.3m、机房楼上距地面 1.0m、操作位、线沟等	每季度自测一次，委托有资质单位每年监测一次	GBZ130-2020
核医学科工作场所	辐射水平（X-γ辐射剂量率）	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	不少于 1 次/月	HJ1188-2021
	表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	
DSA 介入手术室	辐射水平（X-γ辐射剂量率）	距四面墙体及门窗表面 0.3m、机房楼上距地面 1.0m、操作位、线沟等	每季度自测一次，委托有资质单位每年监测一次	GBZ130-2020

防护用品					执行标准
场所	辐射工作人员		患者或受检者		
	必配	选配	必配	选配	
CT 模拟定位机房	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套	铅橡胶帽子	—	—	GBZ130-2020
普通核医学和 SPECT 场所	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	铅橡胶帽子、铅玻璃眼镜	—	—	GBZ120-2020

正电子放射性药物和 ^{131}I 的场所	放射性污染防护服	—	—	—	
介入放射性操作	**个人防护用品：** 铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套	铅橡胶帽子	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套	铅橡胶帽子	GBZ130-2020
	辅助防护设施： 铅悬挂防护屏/铅防护吊帘/床侧防护屏/床侧防护帘	移动铅防护屏风	—	—	

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置及场所位置

8.1.1 医院地理位置

医院地理位置见图 1-1，医院总平面布置见图 1-3。

8.1.2 项目场所位置

本项目拟在外科综合楼西北侧地下一层设置放疗科，建设 1 间 10MV 直线加速器机房和 1 间 CT 模拟定位机房及其他相关辅助用房；肿瘤综合楼一层设置核医学科，建设 1 间 PET/CT 和 1 间 SPECT/CT 机房及相关辅助功能用房（涉及使用放射性核素 ^{18}F 和 ^{99m}Tc）。外科综合楼一层东南侧建设 1 间 DSA 介入手术室及其他相关辅助用房。

8.2 辐射环境质量现状评价

8.2.1 监测方法

为了解项目拟建场地及周边环境γ辐射本底水平，本次评价委托陕西新高科辐射技术有限公司，于2024年5月24日对场地及周边环境进行本底检测，检测结果见附件5，《拟建肿瘤综合楼、外科综合楼周围区域环境γ辐射剂量率检测报告》（报告编号：FHJC-SXGK-032024030）中相关数据。监测方案见表8-1。

表 8-1 辐射环境质量现状监测方案

监测因子	监测点位	监测频次
γ剂量率	拟建肿瘤综合楼、外科综合楼周围区域1#~12#	每个点位连续监测10次
监测方法：《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。		

8.2.2 监测点位

环境γ辐射剂量率监测点位布设情况详见图8-1。

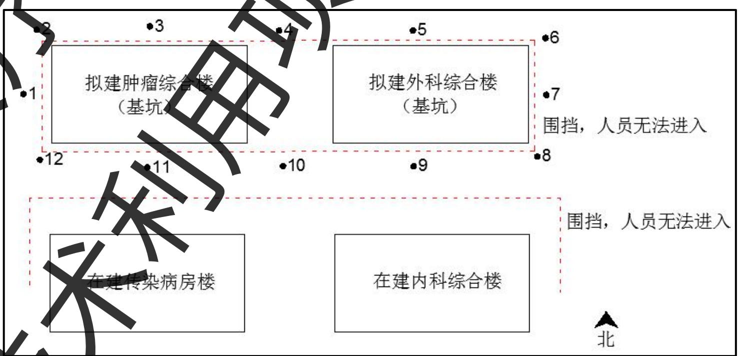


图 8-1 拟建肿瘤综合楼、外科综合楼周围区域检测点位图

8.2.3 监测使用仪器

监测仪器相关情况见表8-2。

表 8-2　监测仪器相关信息一览表

检测仪器 名称、型号、编号	测量范围	检定单位	证书编号	证书有效期
环境监测用 X、γ辐射空气比释动能率仪 FD-3013H-6882	0.01～200 μGy/h	中国辐射防护研究院放射性计量站	检字第[2024]-L0593	2024.8.9～2025.8.8

8.2.4 质量保证：

①结合现场实际情况及检测点位的可到达性，在项目拟建场地周边环境布设检测点位，充分考虑检测点位的公正性和客观性，以保证检测结果的科学性和可比性；

②严格按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）和《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）进行检测；

③检测仪器每年经有资质的计量部门检定/校准，合格后方可使用；

④每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；

⑤检测人员持证上岗；

⑥检测结果经三级审核，保证检测数据的准确。

8.2.5 监测结果及评价

项目拟建肿瘤综合楼、外科综合楼周围区域环境γ辐射剂量率检测结果见表 8-3。

表 8-3　环境γ辐射剂量率监测结果

点位编号	点位描述	检测结果（μGy/h）	
		平均值	标准差
1	检测点1	0.07	0.008
2	检测点2	0.08	0.007
3	检测点3	0.07	0.008
4	检测点4	0.08	0.008
5	检测点5	0.08	0.007
6	检测点6	0.08	0.007
7	检测点7	0.08	0.007
8	检测点8	0.07	0.006

9	检测点9	0.08	0.005
10	检测点10	0.07	0.005
11	检测点11	0.08	0.006
12	检测点12	0.08	0.009
注：表中数据已扣除宇宙射线响应值，此处宇宙射线响应值为0.012μGy/h，建筑物对宇宙射线的屏蔽因子按道路、原野取1。			

由表 8-3 可知，项目拟建肿瘤综合楼、外科综合楼周围区域环境γ辐射剂量率为 70~80nGy/h（已扣除宇宙射线响应值）。与《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年）中“渭南市γ辐射剂量率调查结果（原野：49~113nGy/h，道路：35~104 nGy/h，室内：77~160nGy/h）”相当，属天然辐射本底水平，辐射环境质量现状无异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 放疗科设备和工艺分析

9.1.1.1 直线加速器

（1）设备组成及工作原理

10MV直线加速器属于Ⅱ类射线装置，它的结构单元包括：加速管、微波系统、电子枪、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统、电源及控制系统、照射头、治疗床。电子枪产生的电子经微波加速器导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出形成电子线，也可通过2cm左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能X线，经一级准直器和滤线器，形成剂量均匀稳定的X线束，再通过监测电离室和二次准直器限束到达患者病灶，实现治疗目的。

直线加速器在开机状态下产生电子线和X射线等，电子线贯穿能力弱、射程短，因此只适合治疗表浅部位的肿瘤。电子线靠电离效应来破坏生物组织，并在此过程中损失其能量，能量在35～45MeV以下的电子线有一个明确的射程，而电子线的大部分能量都损失在射程的末端，射程随能量延长。通过调节电子线的能量，使电子线射程恰好超过肿瘤的范围，就能对肿瘤灶有较大的破坏作用，而病灶外的组织及表层组织则受到很少损害。X射线主要依靠康普顿散射效应，破坏生物组织细胞，并在此过程损失能量，X射线有较强的穿透能力，但没有明显的射程，适合治疗人体深部肿瘤。

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

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

交替使用，不会同时进行。

典型电子直线加速器内部结构见图9-1，典型电子直线加速器示意见图9-2。

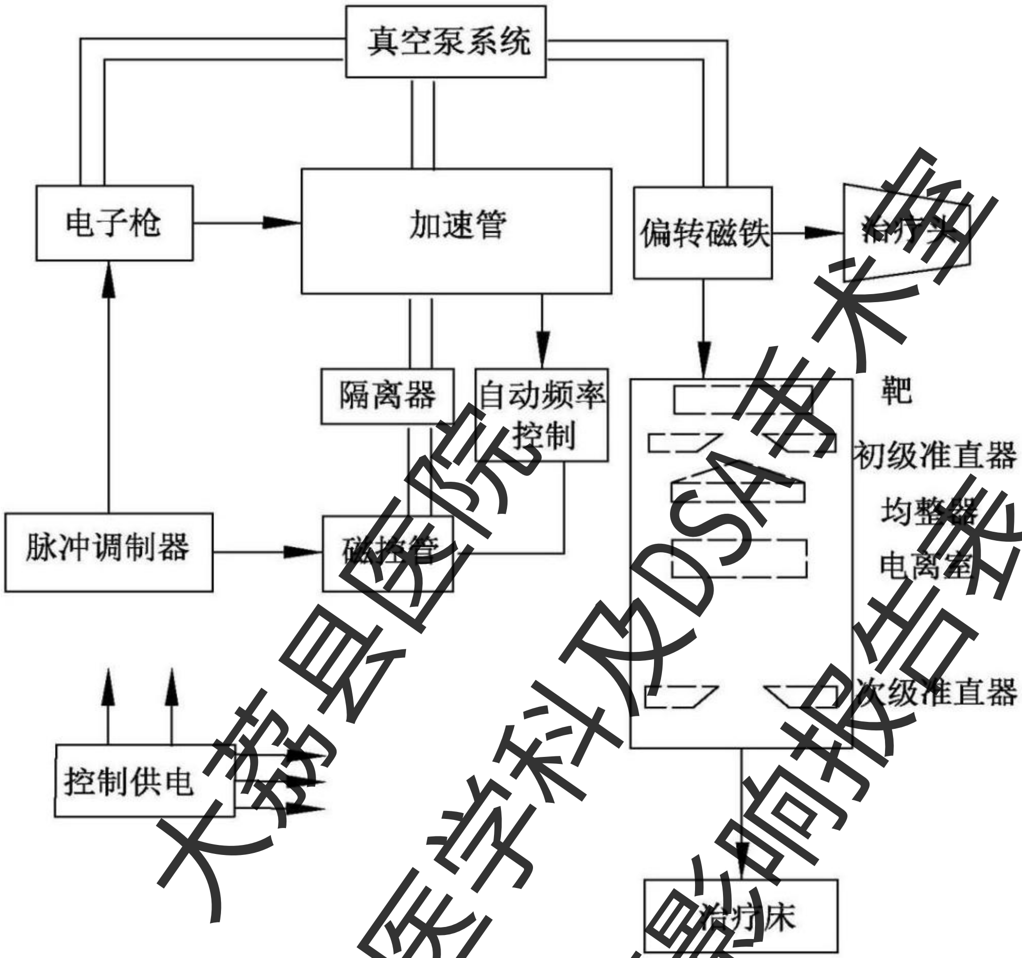


图 9-1 典型医用电子直线加速器内部结构图

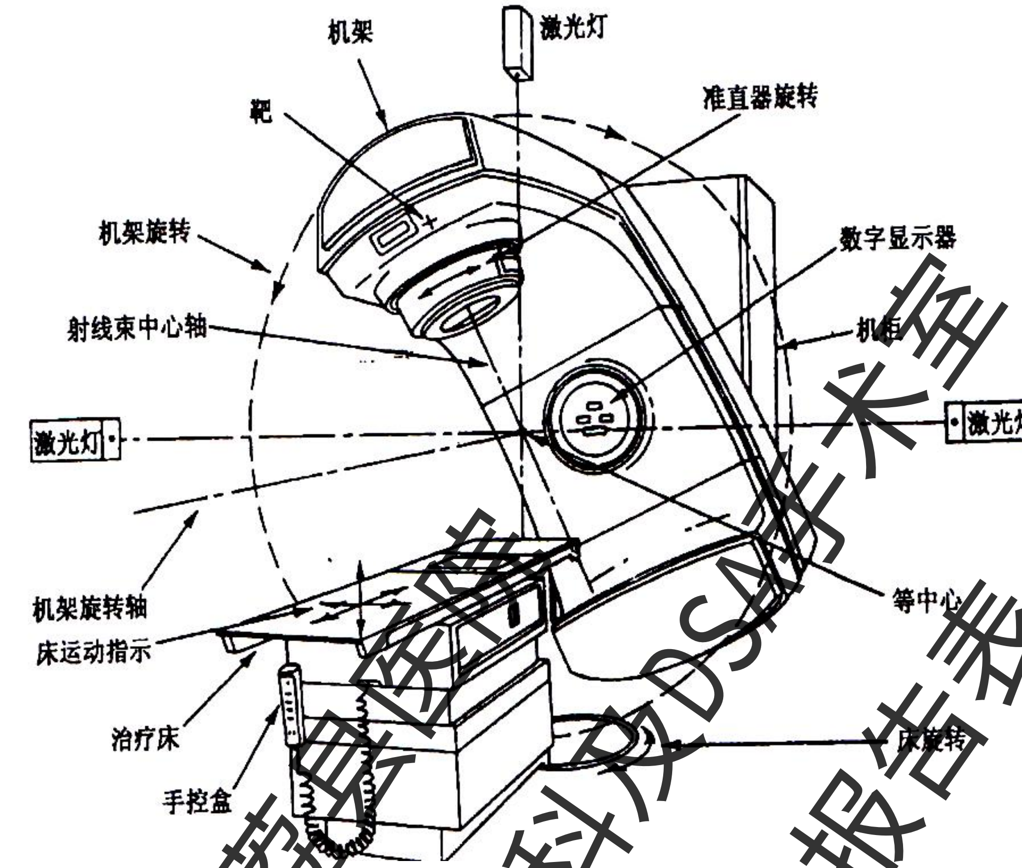


图 9-2 典型医用电子直线加速器示意图

（2）工艺分析

直线加速器在进行放射治疗时，患者位于机房内，操作人员位于控制室隔室操作。

直线加速器治疗流程如下：

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

②治疗计划设计阶段：借助计算机治疗计划系统（TPS）进行治疗计划设计，选择射线能量、照射野大小、治疗剂量与剂量比、楔形滤过板等。

③治疗计划的确认：上述设计好的治疗计划，以跟治疗时同等的摆位条件（如垫肩、加固定器等）放到模拟定位机上进行核对。经证实为可行后，在病人体表上作出相应的照射野标记，填写治疗单，做好治疗固定器、挡野铅块和组织补偿块等，确定之后的治疗计划。

④治疗计划执行：

a、设置治疗机的物理、几何参数。b、护理人员将病人送入治疗室，辐射工作

人员进行摆位。c、固定治疗体位，肿瘤中心位于等中心点。d、除了待治疗病人，其余人员撤出治疗室，关闭防护门。e、加速器出束，进行治疗。f、治疗完毕，加速器停止出束，方可打开机房防护门，护理人员将患者送出治疗室。

直线加速器治疗流程及产污环节见图9-3。

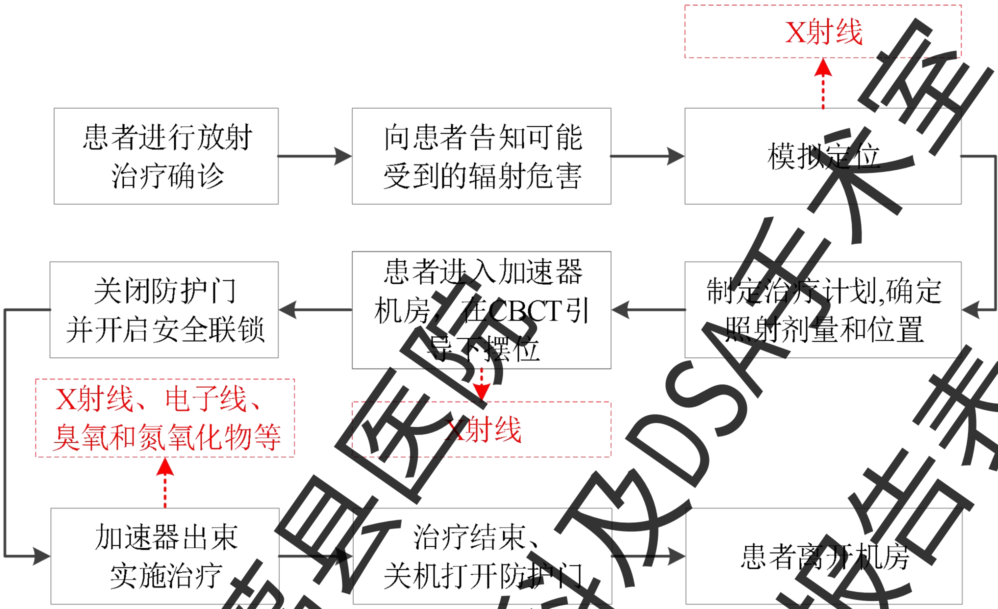


图 9-3 直线加速器治疗流程及产污环节示意图

项目直线加速器治疗过程中污染因子主要为：电子束、X射线、臭氧和氮氧化物等。

9.1.1.2 CT 模拟定位机

（1）设备组成及工作原理

CT 模拟定位机是在肿瘤放射治疗中制定放疗计划的关键设备之一，常用作放射治疗之前的需放射部位的定位，属于放射治疗辅助设备。CT 模拟定位机一般由主机、支臂、机柜、诊断床、操作台、X 射线高频高压发生装置、X 射线球管影像增强系统、专用图像处理系统和数字化工作站组成。该机是利用 X 射线穿透人体组织时，会因为组织结构和薄厚的不同而损失能量，然后通过探测器收集穿透人体的 X 射线能量强度变化信息，利用计算机程序进行分析，还原人体内部组织结构和变化信息，并将其进行图像化处理，准确定位出肿瘤的照射位置、照射面积、肿瘤深度、等中心位置等几何参数，为放射治疗摆位提供依据，确保放射治疗的正确实施。

典型 CT 模拟定位机结构及工作原理见图 9-4。

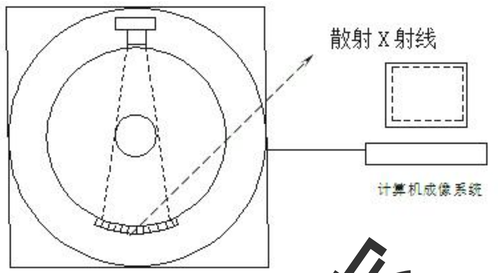
	
典型 CT 模拟定位机结构图	典型 CT 模拟定位机工作原理图

图 9-4 典型 CT 模拟定位机结构图及工作原理图

（2）工作流程

①待诊断的患者经过身份核实，进入机房，工作人员帮助患者摆位；

②摆位完成后，除患者外，无关人员退出机房；

③工作人员检查无误后，即开机进行扫描成像；

④出束结束后，工作人员进入机房，指导患者离开机房。

CT模拟定位机工作过程中污染因子主要为：X射线、臭氧和氮氧化物等。

9.1.2 核医学科设备和工艺分析

9.1.2.1 PET-CT 显像诊断

（1）设备组成及工作原理

PET-CT 是把核医学显像和现代医学影像学成像结合在一起，达到取长补短的目的。PET 显像是反映组织或脏器代谢或功能变化的功能显像，可以通过图像观察分子水平的代谢和功能变化，这些变化早于形态和结构的变化，可用于肿瘤的早期诊断、寻找原发灶及转移灶、判断心肌存活等，但图像的空间分辨和质量较差。CT 等现代医学影像学成像具有空间分辨率高、解剖结构和脏器轮廓清楚、图像质量好，但反映功能和代谢变化差，确定占位性病变的性质比较困难。利用图像融合技术，把核医学显像和现代医学影像学成像相重叠，所显示的图像为两者图像的融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置图像，一次检查可快速了解全身的整体状况，便于病灶的准确定性和精确定位。

本项目 PET-CT 使用放射性核素 ^{18}F 进行显像诊断，^{18}F 半衰期 109.8min。

典型 PET-CT 见图 9-5。

图 9-5 典型 PET-CT 实物图

（2）工艺分析

PET-CT 显像诊断工作流程：

a、根据临床诊断需药量，提前一天向供药单位订购所需放射性药物。

b、供药单位按照订购要求在约定时间内将放射性药物运送至项目核医学科指定地点，核医学科安排值班人员接收，经确认无误完成相关交接手续，并将放射性药物暂放在储源室。

c、工作人员穿戴好个人防护用品在给药室手套箱内对外购的放射性药物 ^{18}F 进行分装。

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

辐射工作人员将钨合金注射器防护套套在注射器上，通过注射窗口对患者进行药物注射（静推给药），注射后的注射器以及棉签等固体废物丢入旁边专用废物桶。

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

f、通过语音提示，患者进入 PET-CT 机房接受显像扫描。患者进入机房后，控制室的辐射工作人员进入机房对患者辅助摆位，随后离开机房进入控制室，隔室操作 PET-CT 对患者实施显像扫描。

g、扫描完成后，无不良反应患者由患者通道离开核医学科辐射场所控制区，有不良反应患者在留观室留观。

PET-CT 显像诊断过程的污染因子主要是：放射性药物产生的γ射线和β射线，CT 扫描时产生的 X 射线，放射性废水、放射性废气、放射性固废等。

PET-CT 显像诊断工作流程及产污环节见图 9-6。

图 9-6 项目 PET-CT 显像诊断工作流程及产污环节示意图

9.1.2.2 SPECT-CT 显像诊断

（1）设备组成及工作原理

SPECT-CT 即单光子发射计算机断层扫描（Single-Photon Emission Computed Tomography），医疗人员向受检者体内注射一定活度的放射性核素，通过γ探测器来探测病人体内组织发出的γ射线强度，并对探测到的γ光子进行计算处理，从而形成人体内部器官组织图像。本项目使用发射单光子的核素药物是 ^{99m}Tc。

SPECT-CT 基本结构包括：旋转探头装置、电子线路、数据处理和图像重建的计算机系统。

SPECT-CT 由 SPECT 和诊断 CT 融合而成，SPECT-CT 机主要用于探测人体内放射性核素发射出的γ射线并成像；CT 机主要起定位和辅助分析作用。

（2）工艺分析

SPECT-CT 显像诊断工作流程：

SPECT-CT 诊断项目采用的放射性核素 ^{99m}Tc 为外购已分装针剂，根据临床诊断

需药量，提前一天向供药单位订购所需放射性药物。供药单位按照订购要求在约定时间内将放射性药物运送至项目核医学科指定地点，核医学科安排值班人员接收，经确认无误完成相关交接手续，并将放射性药物暂放储源室。

项目外购的放射性药物 ^{99m}Tc 事先由供药单位分装好，不再进行分装。

医生开具 SPECT-CT 诊断单，并告知患者诊断过程存在辐射危害，病人通过注射将放射性药物摄入，患者摄入药品后被安排至专用的注射后候诊室等候，待放射性药物代谢一定水平后进入 SPECT-CT 机房进行扫描诊断，患者扫描结束后直接离开核医学科。

SPECT-CT 放射诊断过程的污染因子主要是：放射性药物产生的γ射线和β射线，CT 扫描时产生的 X 射线，放射性废水、放射性固废、放射性废气等。

SPECT-CT 放射诊断工作流程及产污环节见图 9-7。

图 9-7 项目 SPECT-CT 放射诊断工作流程及产污环节示意图

9.1.3 DSA 介入手术室设备和工艺分析

9.1.3.1 DSA

（1）设备组成及工作原理

DSA（Digital Subtraction Angiography，数字减影血管造影设备）因其整体结构像大写的“C”，因此也称作C型臂X光机。DSA设备主要由X射线发生系统、影像接

收器和显示系统、影像处理和系统控制部分、机架系统和导管床、影像存储和传输系统、防护屏及防护铅帘等构成。

DSA是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得到一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来，对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示。由于造影剂用量少，浓度低，损伤小，较安全。通过DSA处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。在进行DSA手术时，医务人员将介入导管经皮下血管注入，通过DSA自带的X射线成像系统，将导管在血管内的影像显现出来。通过DSA处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

DSA工作示意图见图9-8，常见数字减影血管造影机外观见图9-9。

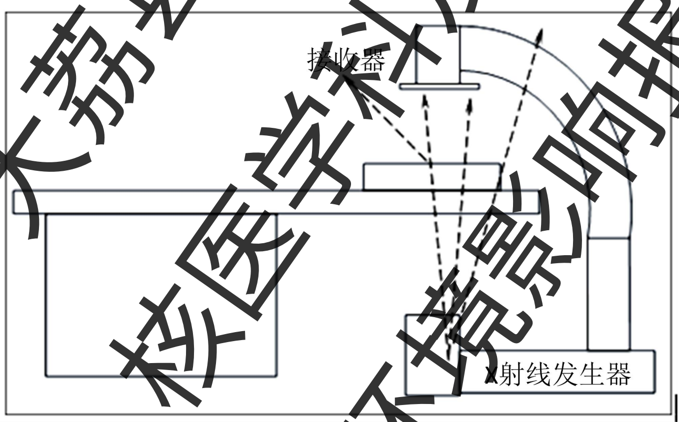


图 9-8 项目 DSA 工作示意图

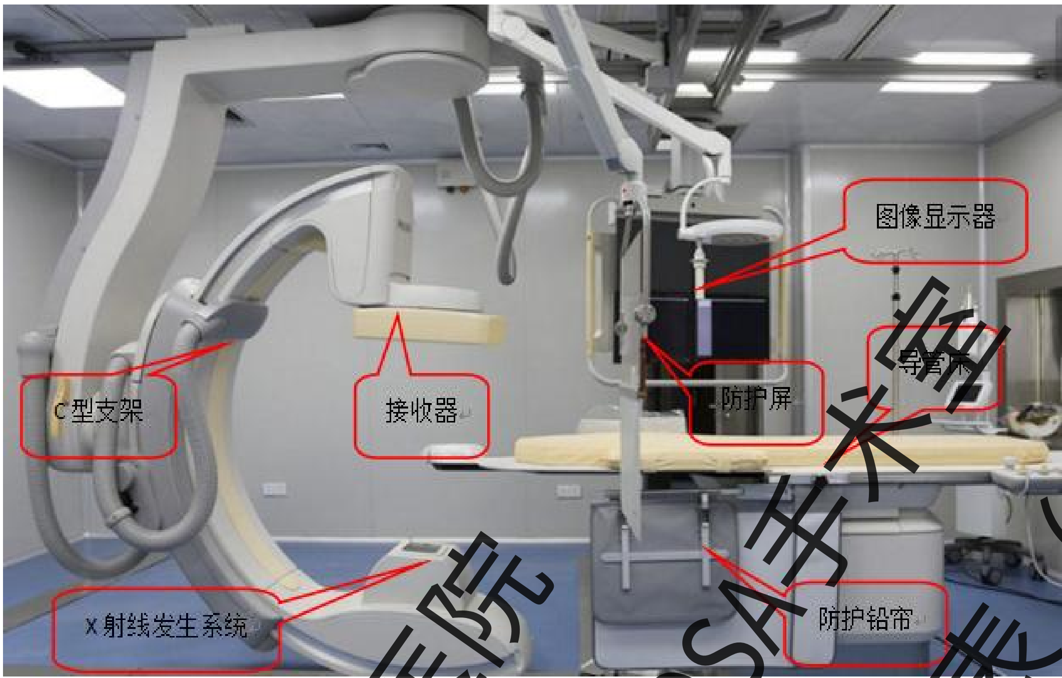


图 9-9 DSA 外观图

（2）工作流程及产污环节

DSA在进行曝光时分DSA诊断和介入治疗两种情况。

①诊断：诊断采用隔室操作方式，通过控制X线系统曝光，采集造影部位图像。具体方式是受检者位于检查床上，医护人员调整X射线球管、人体、影像增强器三者之间的距离，然后进入操作间，关好防护门。医师、操作人员通过操作间的电子计算机系统控制的X系统曝光，采集造影部位图像。医师根据该图像确诊患者病变的范围、程度，选择治疗方案。

②介入治疗：DSA介入治疗采用近台同室操作方式，通过控制DSA的X线系统曝光，对患者的部位进行脉冲透视。具体方法是受检者位于手术床上，介入手术医师位于手术床旁，距DSA的X线管0.5m处，在非主射束方向，配备个人防护用品（如铅衣、铅围脖、铅眼镜、介入手套等），同时手术床旁设有屏蔽挂帘和铅防护帘。介入治疗中，医师、护士佩戴防护用品，医师根据操作需求，踩动手术床下的脚踏开关启动DSA的X线系统进行透视（DSA的X线系统连续发射X射线），通过悬挂显视屏上显示的连续画面，完成介入操作。每台手术DSA系统的X线系统进行透视的次数及每次透视时间因患者的部位、手术的复杂程度而不同。介入手术结束后关机，病人离开介入室。

DSA操作流程及产污环节见图9-10。

图 9-10 DSA 操作流程及产污环节示意图

9.2 污染源项描述

9.2.1 放疗科

9.2.1.1 直线加速器

（1）正常工况

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

直线加速器配备的CBCT图像引导系统工作时会发射X射线。

加速器正常运行状态下可能产生的污染因子如下：

①电子束

加速器产生的电子束贯穿能力相对X射线和中子而言弱得多，即使是高能电子束，在空气中的射程也只有几十米。因此在X射线得到充分屏蔽的情况下，电子束也能够得到足够的屏蔽，故本项目电子束防护不做讨论。

②X射线

加速器电子枪产生的电子经过加速后，轰击金属靶而产生高能X射线，X射线具有较强的贯穿能力，如果没有采取足够防护措施对其进行屏蔽，会对工作人员和公众造成不必要的辐射影响，危及周围医生患者健康与安全。但这种X射线是随加速器的开关而产生和消失。电子直线加速器配备的CBCT图像引导系统工作时会发射X射线。

因此在加速器开机状态下，X射线是加速器污染环境的主要污染因子。

③废靶

直线加速器的加速器金属靶的寿命一般为7-10年，在更换金属靶时会产生废金属靶。

④臭氧、氮氧化物

加速器运行产生的X射线会与空气相互作用，电离空气产生臭氧和氮氧化物等有害气体。

（2）事故工况

①安全联锁系统故障或失效，机房的防护门未关好即开机导致射线泄漏，造成机房防护门外活动人员受到意外照射；

②安全连锁系统故障或失效，加速器运行中人员闯入受到意外照射，或者人员未退出机房的情况下开机，受到意外照射；

③工作人员或无关人员在治疗过程中滞留机房，受到意外照射。

9.2.1.2 CT 模拟定位机

（1）正常工况

CT 模拟定位机在正常运行时，会产生 X 射线，在机房相邻区域产生泄漏辐射和散射辐射，需要进行屏蔽防护。如果机房的门、窗、墙体等屏蔽防护措施不当，控制室内的工作人员、机房门（墙）外的公众人员有可能受到泄漏和散射的 X 射线辐射。

设备运行产生 X 射线时，X 射线与空气相互作用，会产生臭氧和氮氧化物等有害气体。

CT 模拟定位机定位时产生的一次性床单、手套等固体废物，采用专用容器集中收集，在机房就地打包，最终转运至医院现有的医疗废物暂存间，委托有资质单位

处置。

（2）事故工况

①防护门控制失灵或安全联锁装置故障，人员误入正在运行的机房内而造成辐射损伤；

②管理不善，无关人员在射线装置开机时进入机房或开机时未离开机房，从而受到不必要的较大剂量辐射照射。

9.2.2 核医学科的污染源项描述

（1）正常工况

PET-CT 使用的放射性药物为 ^{18}F，^{18}F 衰变模式为 EC 和β^+，其中β^+粒子在体内经湮灭产生两个方向相反的γ光子，同时放射性药物 ^{18}F 在使用过程会产生β射线，CT 扫描时会产生 X 射线；SPECT-CT 使用的放射性药物为 ^{99m}Tc，^{99m}Tc 衰变产生γ射线和内转换电子，CT 扫描时会产生的 X 射线。此外，项目正常运行期间还会产生一定量的放射性废水、放射性废气、放射性固废及臭氧、氮氧化物等。

污染源项如下：

①γ射线

由于γ射线具有较强的穿透性，放射性药物在给药室注射过程中，对其周围环境和工作人员会产生一定辐射影响，经注射进入患者体内后，患者本身短时间内成为“辐射体”，在衰变过程产生的γ射线造成患者周围辐射水平升高；注射后患者短期内对近距离接触的人员造成影响，部分γ射线穿透候诊室、诊断机房、留观室的实体屏蔽对屏蔽体外活动人员产生一定辐射影响，污染途径为γ射线外照射，因此γ射线是核医学科项目的主要污染因子。

②X 射线

PET-CT 或者 SPECT-CT 开机扫描时 CT 会产生的 X 射线。X 射线穿透机房的实体屏蔽造成机房周围环境辐射水平升高，人员在此区域活动时受到一定的照射剂量影响，污染途径为 X 射线外照射，因此，X 射线是核医学科项目的主要污染因子。

③β射线

由于放射性药物 ^{18}F 会产生β射线，在使用活动过程中不可避免地会在工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性沾染，污染途径为β射线表面污染。因此β射线是核医学科项目的主要污染因子。

④放射性废水

项目核医学科辐射工作场所产生的放射性废水主要为药物操作人员清洁去污及工作场所清洁时可能带有微量放射性的废水和患者的排泄物等，主要含有 ^{18}F、^{99m}Tc。

1）PET-CT 显像诊断每天接诊患者最多 10 人，SPECT-CT 显像诊断每天接诊患者最多 20 人，参考《节水型卫生洁具》（GB/T31436-2015），节水型坐便器平均用水量应不大于 5L，患者洗手用水量按 1L·次计，按照患者如厕 2 次计算，则显像检查患者用水量为 12L/人·次，本次保守按全部排放计算；

2）核医学科参与放射性药物分装、注射操作的人员共 2 人，参考《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019）表 3.2.2，门诊医务人员用水量平均为 60~80L/d，本次核素操作人员用水量按平均值 60L/人·d 计（含给药室及去污淋浴医卫间药物注射人员的清洗用水）；

3）核医学科场所清洁预计每天产生废水量 0.1m³/d。

则核医学科的放射性废水产生量见下表。

表 9-1 核医学科放射性废水排放情况表

用水类别		用水定额	用水规模	废水总量		去向
				m³/d	m³/a	
核医学科工作场所	辐射工作人员	60L/人·d	2 人	0.12	30	衰变池
	显像检查患者	12L/人·次	30 人	0.36	90	
	清洁用水	0.1m³/d	/	0.1	25	
合计				0.58	145	

综上，项目运营期间产生含放射性废水总量 0.58m³/d（145m³/a）全部排入衰变池存放超过 30 天后，即满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准要求后，再排入医院总污水处理站进一步处理。

⑤放射性废气

核医学科使用放射性核素过程中，会产生含微量 ^{18}F、^{99m}Tc 的放射性废气

⑥固体废物

核医学科诊断活动过程中，将产生一定量的放射性固废、医疗垃圾、生活垃圾等。

1）放射性固废

项目放射性固废来源有：^{18}F 分装、药物注射过程中产生的废注射器、消毒棉签、注射台上的吸水纸、口罩、乳胶手套、放射性污染防护服、擦拭纸巾等；工作场所清洁时用过的抹布及拖布；吸附放射性废气产生的废活性炭等滤材。

根据医院提供的资料，项目核医学科日接诊人数最多 30 人，放射性废物按人均每天 0.05kg 计，则放射性废物每天产生量约为 1.5kg，全年产生量约为 375kg；清洁时用过的抹布及拖布产生量约为 10kg/a。放射性废物分类收集在内置专用塑料袋的污物桶（污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志）内，塑料袋装满后密封并及时运送至核医学科固废间内专用容器中。排风系统的活性炭预计每年更换一次，每次填装量为 50kg，则废活性炭产生量为 50kg/a。放射性固体废物年产生量约 435kg。

2）医疗废物

核医学科产生的非放射性医疗废物运至医院的医疗废物暂存间暂存，定期交由有资质的单位处理，生活垃圾交由环卫部门处理。

（2）事故工况

①由于误操作，导致放射性药物错误注射；

②对放射性药物管理不善，造成放射性药物丢失或被盗；

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

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

⑤对放射性废物管理不善，对社会和环境会造成一定影响；

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

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

9.2.3 DSA

（1）正常工况

① DSA开机时发出X射线，X射线贯穿手术室的屏蔽墙进入外环境，对操作间内职业工作人员及手术室周围公众产生外照射影响；在介入手术过程中，对手术室内医护人员造成较高剂量的外照射。

② X射线与空气作用会产生极少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，由于项目射线装置的管电压、管电流较小，产生的有害气体相对较少，通过在手术室内安装动力通风装置，可满足手术室通风换气要求。

③ 项目注入的造影剂不含放射性，采用数字显影技术，无废显影液和定影液产生。

④ 项目采用数字显影技术，不会产生废胶片。介入手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医疗废物，采用专用容器集中收集，就地打包，经污物通道转运至医疗废物暂存间，委托有资质单位处置。

（2）事故工况

项目DSA属于Ⅱ类射线装置，运行过程中可能发生的辐射安全事故如下：

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

② 与诊疗无关的人员在未撤离手术室，射线装置开始运行，对其造成额外误照射。

③ 医生在手术室内为患者摆位或进行其它术前准备工作时，控制台处操作人员误开机出束，对手术室内医生造成误照射。

④ 介入治疗时，医生未穿戴防护用品进入手术室，或未配置合格的防护用品，使医生受到较高剂量的附加照射。

⑤ 安全警示装置发生故障，医护人员误入正在运行的手术室造成额外照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局

10.1.1.1 直线加速器机房和 CT 模拟定位机工作场所布局及合理性分析

本项目直线加速器机房和 CT 模拟定位机机房位于医院外科综合楼西北侧地下一层，与《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）中相关要求的符合性分析见表 10-1、表 10-2。

表 10-1 直线加速器机房平面布局合理性分析

法规标准	标准要求	本项目情况	评价
《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）	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。	放疗科位于医院外科综合楼西北侧地下一层，用地类型为医疗卫生用地，不涉及民居、写字楼及商住两用的建筑物。	符合要求
	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。	放疗科位于外科综合楼西北侧地下一层，其东侧、西侧、北侧均为土层，南侧为外科综合楼地下停车场，正上方为室外地坪，正下方为土层。放疗科周围无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，也无人员流动性大的商业活动区域。	符合要求
《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）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。	直线加速器机房设置于医院外科综合楼西北侧地下一层，位于建筑底层一端；直线加速器机房与控制室、水冷间等同时设计建造。	符合要求
	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。	直线加速器机房与控制室、水冷间等分开设置。	符合要求

	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。	直线加速器机房四面及顶部均受到初级辐射照射，经预测满足屏蔽要求。控制室设置在机房西侧。	符合要求
	6.1.6　X射线管治疗设备的治疗机房可不设迷路；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。	直线加速器机房已设置迷路。	符合要求
	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。	直线加速器机房的有效使用面积（不含迷路）为55.6m²，机房面积能够满足使用要求。	符合要求

表 10-2　CT 模拟定位机房平面布局合理性分析

法规标准	标准要求	设计情况	评价
《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）	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。	本项目CT模拟定位机房合理布置，有用线束未直接照射门、窗和管线口位置和工作人员操作位。	符合要求
	6.1.2X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。	根据CT模拟定位机房辐射屏蔽设计，机房可以满足相应照射方向的屏蔽厚度要求，不会对周围场所人员造成影响。	符合要求
	6.1.3每台固定使用的X射线设备应设有单独的机房，机房应满足设备的布局要求。	本项目CT模拟定位机配有独立的机房，机房空间满足设备的布局要求。	符合要求
	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，CT机机房内最小有效使用面积、最小单边长度应符合最小单边长度4.5m，最小有效使用面积30m² 的规定。	根据项目平面布局图，项目CT模拟定位机房南北长8.43m，东西宽4.8m，有效使用面积约40.4m²，满足使用要求。	符合要求

根据表 10-1，项目直线加速器机房工作场所布局满足《放射治疗放射防护要求》

（GBZ121-2020）中的相关规定；根据表 10-2，项目 CT 模拟定位机工作场所布局满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关规定，项目放疗科工作场所布局合理。

10.1.1.2 工作场所分区管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《放射治疗辐射安全与防护》（HJ1198-2021），辐射工作场所应分为控制区及监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

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

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

《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）5.2.1放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷道）等场所，如.......，**直线加速器机房**、含源装置的治疗室、........等。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）。

根据GB18871-2002及HJ1198-2021相关要求，本项目将直线加速器机房（含迷道）、CT模拟定位机房划分为控制区管理，并在机房防护门的显著位置张贴符合规定的电离辐射警告标志；将直线加速器机房控制室、水冷机房、CT模拟定位机房控制室划分为监督区管理；直线加速器机房防护门外区域划分为监督区，该区域为直线加速器机房的相邻区域，且为辐射工作人员进入控制室的必经区域，故纳入监督区管理，沿控制室西墙向北延伸直至北墙处地面划出监督区标识线，并张贴监督区字样；经常对其职业照射条件进行监督和评价。

直线加速器机房工作场所分区管理示意图详见图 10-1。

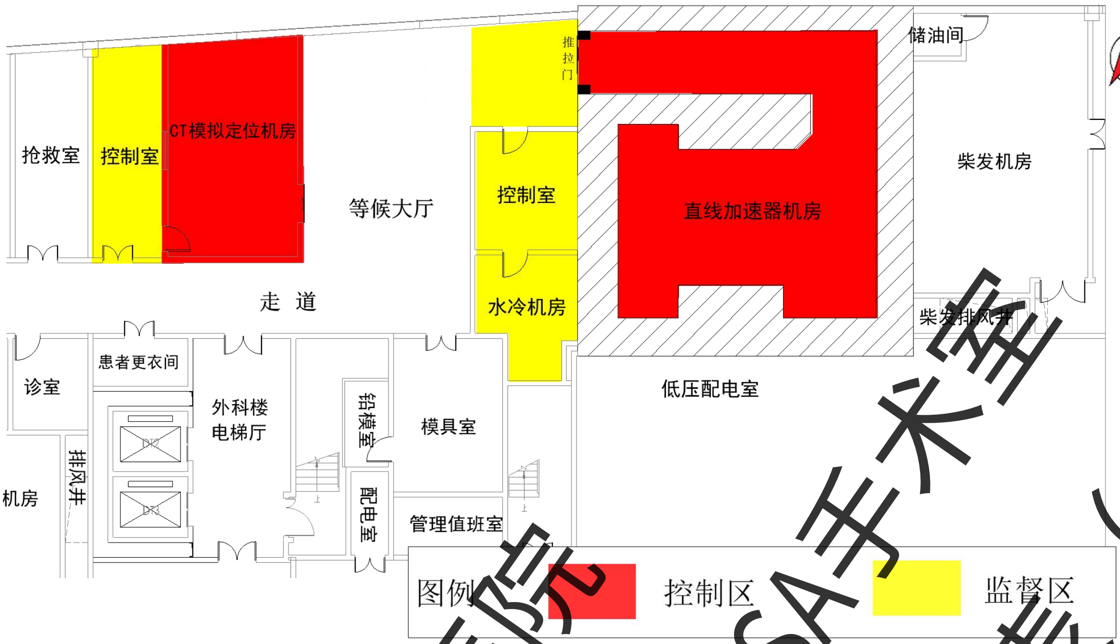


图 10-1 项目直线加速器工作场所分区管理示意图（地下一层）

10.1.1.3 屏蔽设计

（1）医用电子直线加速器

根据医院提供的图纸，直线加速器机房屏蔽防护设计参数详见表 10-3。

表 10-3 直线加速器机房屏蔽防护设计参数一览表

机房	位置			建设内容与规模
直线加速器机房	机房有效使用面积及净高			有效使用面积约 55.6m^2，长 10.3m×宽 5.4m，净高 4.0m
	东侧		侧屏蔽墙	1.5m 厚混凝土
	南侧		主屏蔽墙	2.8m 厚混凝土，宽 4.2m
			次屏蔽墙	1.5m 厚混凝土
	西侧		侧屏蔽墙	1.6m 厚混凝土
	北侧	迷道内墙	主屏蔽墙	2.2m 厚混凝土，宽 4.7m
			次屏蔽墙	1.2m 厚混凝土
		迷道外墙		1.0m 厚混凝土
	屋顶		主屏蔽墙	2.8m 厚混凝土，宽 4.4m
			次屏蔽墙	1.6m 厚混凝土
	地板			2.5m 厚混凝土
	防护门			16mmPb 防护门

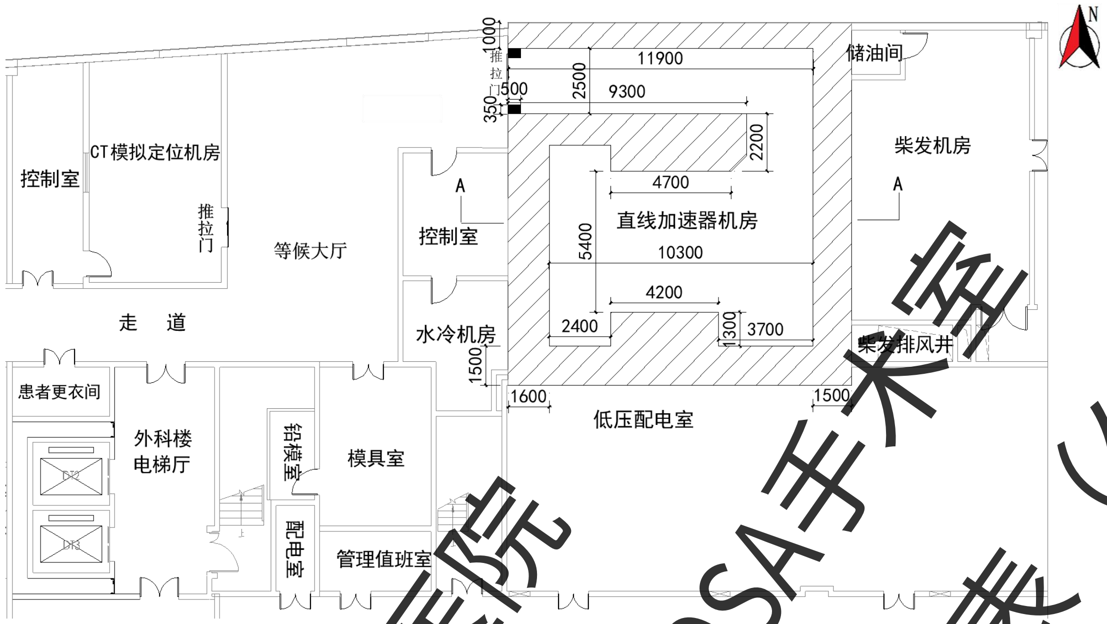


图 10-2 直线加速器机房平面设计图

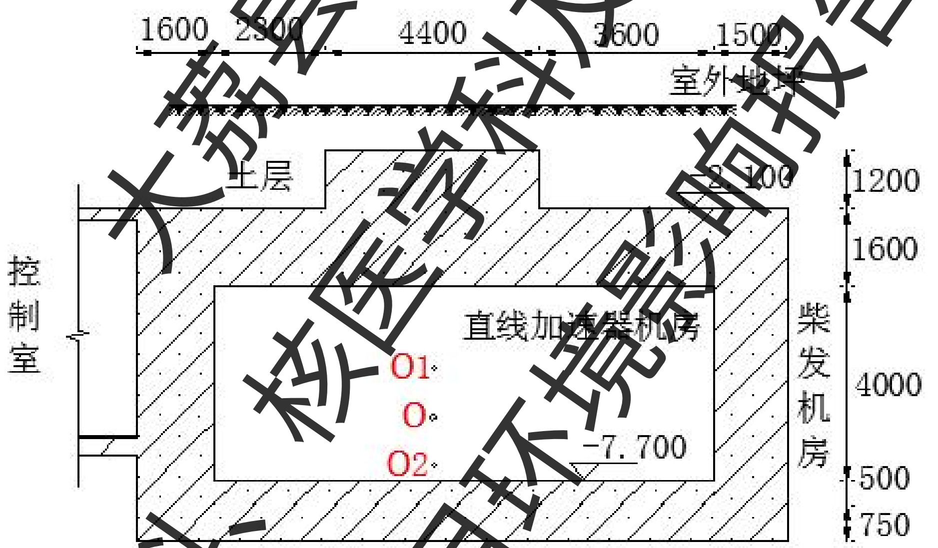


图 10-3 直线加速器机房A-A剖面图

（2）CT模拟定位机

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C公式C.1和C.2，混凝土的α、β、γ取值自附录C表C.2。见表10-4。

表 10-4 X射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压（kV）	材料	α	β	γ
140（CT）	混凝土	0.03360	0.01220	0.5190

①计算得出在管电压140kV下，250mm混凝土等效铅当量约为3.01mmPb。《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中未给出砖的拟合参数，根据《放射防护实用手册》P98，“在医用诊断X射线范围内，一砖厚（240mm）实心砖墙约为2mm的铅当量”。

②根据《辐射防护手册 第三分册》第62页表3.3，在管电压150kV条件下，33mm钡水泥（3.2g/cm^3）等效2mmPb，51mm钡水泥（3.2g/cm^3）等效3mmPb。本项目CT模拟定位机最大管电压为140kV，本次保守按照150kV条件下计算等效铅当量，由内插法得出，39mm钡水泥（3.2g/cm^3）等效2.3mmPb。

根据医院提供的设计图纸，CT模拟定位机房的辐射防护屏蔽措施见表10-5。

表10-5 项目CT模拟定位机房的辐射防护屏蔽参数一览表

位 置	屏蔽措施	等效铅当量	标准要求
四周墙体	240mm实心砖+39mm硫酸钡涂料	4.30mmPb	2.5mmPb
屋 顶	250mm混凝土层	3.01mmPb	2.5mmPb
地 板	土层	/	/
工作门	4mm铅当量手动平开门	4.0mmPb	2.5mmPb
受检者门	4mm铅当量电动推拉门	4.0mmPb	2.5mmPb
观察窗	4mmPb防护玻璃板和窗框	4.0mmPb	2.5mmPb

由表10-5可知，CT模拟定位机房四周墙体等效铅当量为4.3mmPb，屋顶等效铅当量为3.01mmPb，观察窗、工作人员门、受检者门的等效铅当量为4.0mmPb，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“2.5mmPb”的屏蔽防护铅当量厚度要求。

10.1.1.4 电缆管线穿墙设计

加速器机房的全部电缆均通过地下电缆沟走线，电缆沟覆盖3mm厚铅板，从安装加速器的地坑出线后沿着屏蔽墙内侧走线，在出口处采用“倒梯形”设计，下沉后穿越屏蔽墙到达机房外。通过多次折返的电缆沟设计和下沉地面穿越屏蔽墙的设计，增加泄漏射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。

电缆沟穿屏蔽墙剖面图见图10-4。

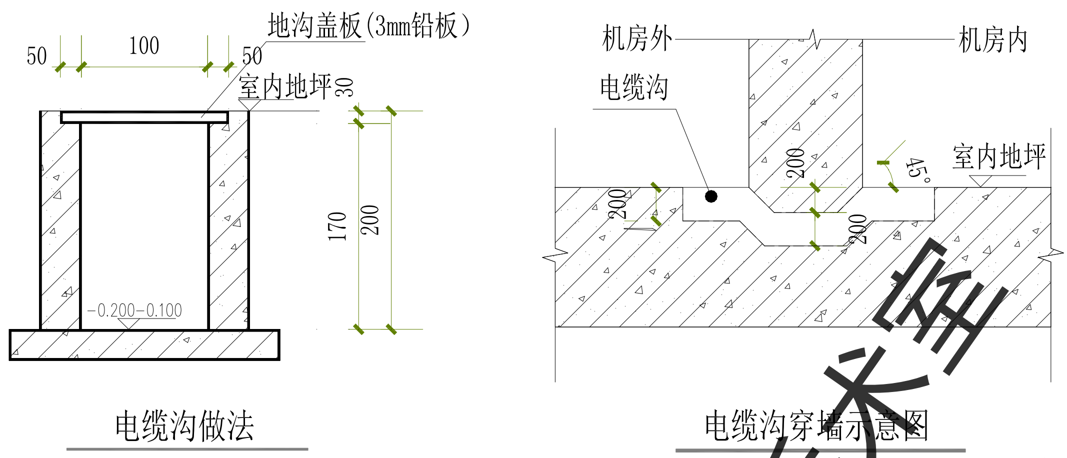


图 10-4 直线加速器机房电缆沟穿屏蔽墙剖面图

10.1.1.5 通风设计

项目加速器、CT 模拟定位机运行过程中，X 射线与空气发生电离作用，产生微量臭氧和氮氧化物等有害气体。

（1）直线加速器机房

为减小臭氧和氮氧化物的危害，项目直线加速器机房内设置了动力送排风装置，采用“上送下排”的送排风形式。在加速器机房天花板北侧设置送风口（1000mm×400mm 的双层百叶风口）2 个，南侧屏蔽墙内侧（距地面高 0.3m 处）设置排风口 2 个（630mm×800mm 的单层百叶风口），送风口和排风口形成对角设置。送、排风管道在机房防护门洞口上方呈 45°穿过屏蔽墙体，穿墙部分的空隙用硫酸钡水泥填充，洞口与管道交接处采用 10mm 铅当量铅皮包裹，防止射线泄漏。加速器机房产生的臭氧和氮氧化物等有害气体经排风管道引至加速器机房西南侧的排风井，由排风管道引至地面排放，排气口高出地面 3.5m，排气口周围无门、窗或人流较大的过道。

项目加速器机房体积约 257.8m^3（机房有效容积 222.4m^3+迷路容积 35.4m^3=257.8m^3），排风机额定风量为 6000m^3/h，在不考虑排风功率损失的情况下，机房通风换气次数约为 23 次/h，因此，项目直线加速器机房送排风设计满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“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。”及《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“通风换气次数应不小于 4 次/h”的规定。

（2）CT 模拟定位机房

本项目CT模拟定位机房设置动力通风系统，CT模拟定位机房在天花板南侧设置1个送风口（400mm×400mm的双层百叶风口），天花板西北侧设置有1个上排风口（320mm×500mm的单层百叶风口），在东墙北侧距地面0.3m高处设置1个下排风口（320mm×500mm的单层百叶风口）。满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风”的要求。

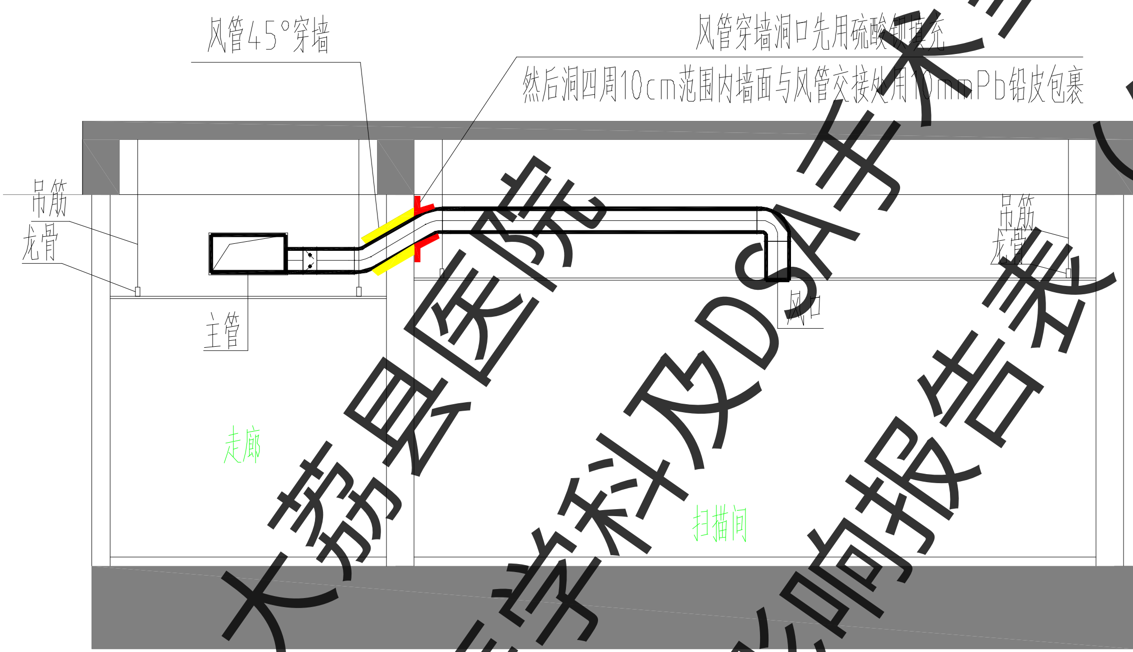


图 10-5 直线加速器机房风管穿屏蔽墙剖面图

10.1.1.6 其他辐射安全与防护措施

（1）直线加速器机房

针对本项目直线加速器机房，项目拟采取以下辐射安全防护措施：

①标志和指示灯：拟在加速器工作场所入口处设置电离辐射警告标志，在机房防护门上设置醒目且符合 GB18871 规定的电离辐射警告标志、工作状态指示灯，保证加速器运行时，状态指示灯正常工作。

②实时摄像监控和对讲系统：拟在加速器机房内设摄像监视系统，使控制室的工作人员可清楚地观察到机房内加速器的工作情况，如发生意外情况可及时处理。拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统，方便控制室与机房内人员联系，若发生紧急情况，可通过对讲系统及时告知控制室工作人员，避免接受不必要的辐照。

③固定式剂量率报警仪：机房迷道内入口处设置固定式剂量率报警仪，显示屏

拟设置于控制室内，对监测点进行实时剂量率/累计剂量监测和报警。实时剂量率/累计剂量监测值同时显示在主机面板上，实时剂量率/累计剂量的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

④门机联锁：项目加速器机房防护门与加速器设置联锁，一旦防护门被打开，联锁装置即切断加速器的高压电源，使加速器不能正常出束或立即停止出束。定期对门机联锁装置进行检查，发现异常及时妥善处理。

⑤防夹装置：防护门拟设置红外防夹装置，防护门内侧拟设置从室内开门的按钮，保障加速器机房工作人员及患者安全。加速器机房设有紧急开门装置，在停电或电动门故障时使用。

⑥急停按钮：在机房四周屏蔽墙面、迷道墙，防护门内旁侧、控制台和治疗床旁拟安装急停按钮，并设置明显的标志，供应急停机使用。一旦人员误入或遇其它紧急情况，按“急停按钮”，强迫加速器高压电源自动断开，事故处理完毕后，再于人工就地复位，加速器才能重新启动。

⑦应急照明灯：在加速器机房及迷路转角处人员容易到达位置，设置应急灯，在遇到紧急状况时，为加速器机房提供应急照明，避免造成人员伤害。

⑧配备 1 台便携式 X-γ 辐射剂量监测仪，辐射工作人员应定期对项目工作场所及周围辐射水平进行监测，发现异常立即报告负责人，并采取有效措施妥善处理。建立监测数据档案。

加速器机房拟采取的防护安全措施见表 10-6。

表 10-6　直线加速器机房拟采取的辐射安全与防护措施一览表

序号	辐射安全与防护措施	位置	数量
1	电离辐射警告标识	机房防护门上	≥1 个
2	工作状态指示灯	机房防护门上方	≥1 个
3	实时摄像监控系统	迷路转角处、机房内	≥2 个
4	对讲装置	控制台、治疗床附近	≥1 对
5	固定式剂量率警报仪	迷道内入口	1 套
6	门机联锁装置	防护门与加速器	1 套
7	红外防夹装置	防护门	1 套

8	紧急开门装置	迷道外入口	1 个
9	急停按钮	机房四周屏蔽墙面、迷道墙、防护门内旁侧、控制台及治疗床边	≥8 个
10	应急照明灯	迷路转角处	≥1 个
11	便携式辐射剂量监测仪	放疗科	1 台

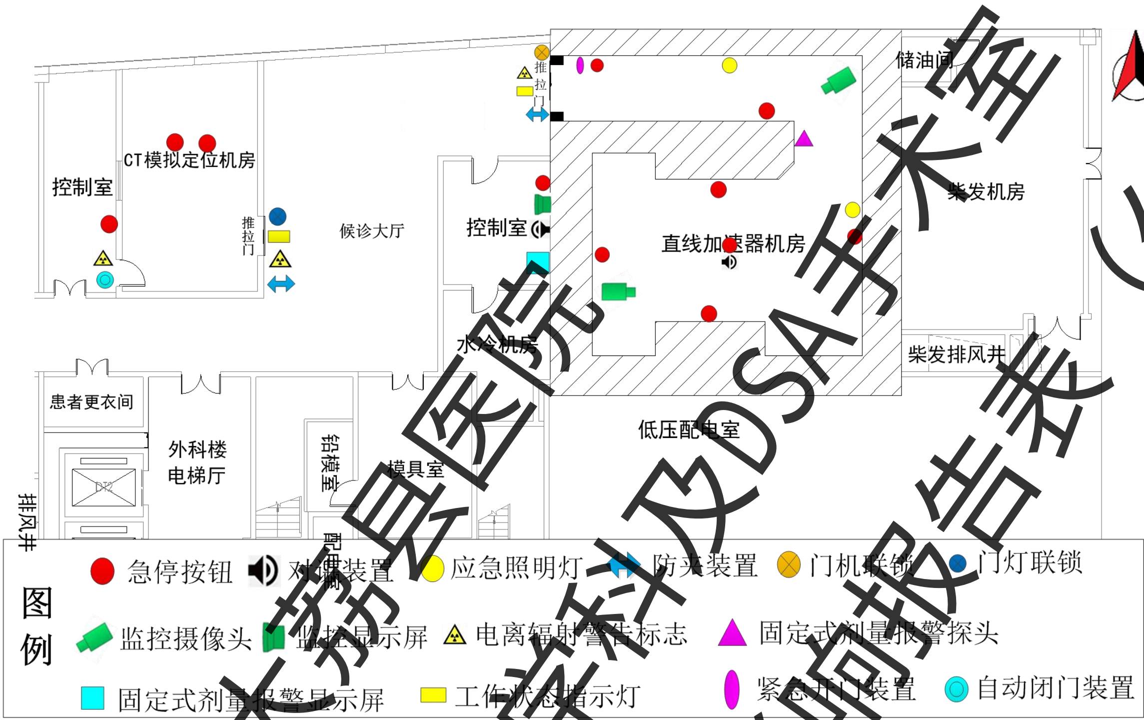


图 10-6 直线加速器和 CT 模拟定位机房辐射安全防护设施安装位置示意图

（2）其他防护措施

①医院应安排工作人员使用便携式X-γ剂量率监测仪定期对项目工作场所及周围辐射水平进行监测，发现异常立即报告负责人，并采取有效措施妥善处理。建立监测数据档案。

②为本项目辐射工作人员配备个人剂量计（根据辐射工作人员数量配备）。

③控制室内张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等。

（2）CT 模拟定位机

CT 模拟定位机房拟采取以下安全与防护措施：

①CT 模拟定位机房室受检者门和工作人员防护门外设置电离辐射警告标志，受检者门上方设置醒目的工作状态指示灯，指示灯的灯箱上设置“射线有害，灯亮勿入”的警示语句。指示灯与患者进出防护门有效联动。

②受检者门设置为感应式电动推拉门，拟设置红外防夹装置。

③CT 模拟定位机机身和控制室设置有急停按钮，供应急停机使用。

④控制室设置有观察窗或摄像监控，操作人员通过观察窗或摄像监控可观察机房各防护门或机房内工作人员及患者状态；CT 模拟定位机的安放应利于操作者观察受检者。候诊区设置放射防护注意事项告知栏。

⑤机房内设置动力通风装置，设备运行时应打开以保持良好的通风。

⑥辐射工作人员正确佩戴个人剂量计。机房内应为受检者配备铅当量不小于 0.5mmPb 的铅橡胶性腺防护围脖（方形）或方巾、铅当量不小于 0.25mmPb 的铅橡胶颈套、0.25mmPb 的铅橡胶帽子等个人防护用品，以避免病人受到不必要的照射。

10.1.1.7 放疗科拟采取的防护和安全措施评价

（1）直线加速器机房

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）与《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），对直线加速器机房拟采取的安全防护设施和措施与标准要求对照详见表 10-7。

表 10-7　加速器机房拟采取的安全防护措施和设施符合情况表

序号	安全防护设施和措施	标准要求		加速器机房拟采取的安全防护措施和设施	评价
《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）					
1	标志和指示灯	**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**，……；	项目拟在直线加速器工作场所入口处设置“当心电离辐射”的警告标志	符合要求
			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**；	项目拟在直线加速器机房防护门上设置“当心电离辐射”警示牌和工作状态指示灯	符合要求
2	视频监控、对讲交流系统		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**。	项目拟在直线加速器机房内、迷道转角处安装摄像监控装置，显示屏设置在控制室内，使控制室的工作人员可清楚地观察到机房内设备的工作情况；拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。	符合要求

3	监测报警装置	**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。	项目拟在直线加速器机房迷道内入口处设置固定式剂量率报警仪，剂量报警显示仪表拟设置于机房的控制室内。	符合要求
4	联锁装置、断电自动回源措施	**6.2.3** 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施： a）**放射治疗室**和.......应设置**门－机/源联锁装置**，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。	项目直线加速器机房防护门与加速器设置联锁，机房门未关闭状态下不能启动设备	符合要求
	紧急开门装置和防夹装置	b）放射治疗室和.......应设置室内**紧急开门装置**，防护门应设置**防夹伤功能**；	项目拟在直线加速器机房防护门内侧设置紧急开门装置，机房门拟设置红外防夹装置	符合要求
	急停按钮	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。	项目拟在直线加速器机房四周屏蔽墙面、防护门内旁侧、控制台及治疗床旁设置急停按钮，急停按钮设置醒目标识和文字且便于触发。	符合要求
《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）				
1	联锁装置	**6.4.2** 放射治疗设备都应安装门机**联锁装置或设施**，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。	项目直线加速器机房防护门与加速器设备设置联锁，机房门未关闭状态下不能启动加速器；直线加速器机房防护门拟设置红外防夹装置，内侧拟设置开门按钮。	符合要求
2	标志	**6.4.3** 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**	项目拟在直线加速器工作场所入口处设置“当心电离辐射”的警告标志；拟在直线加速器机房防护门上设置“当心电离辐射”警示牌和工作状态指示灯。	符合要求
3	急停按钮	**6.4.4** 放射治疗设备控制台上应设置**急停开关**，放射治疗机房内的急停开	项目拟在直线加速器机房四周屏蔽墙面、防护门内旁侧、控	符合要求

		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。	制台及治疗床旁设置急停按钮，急停按钮设置醒目标识和文字且便于触发，供应急停机使用。	
4	视频监控、对讲交流系统	**6.4.6** 控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷道区域情况的**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。	项目拟在直线加速器机房迷路转角处及机房内安装摄像监控系统，显示屏设置在控制室内，使控制室的工作人员可清楚地观察到机房内加速器设备的工作情况；拟在治疗床附近、控制台安装对讲系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。	符合要求

（2）CT 模拟定位机房

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），对 CT 模拟定位机房拟采取的安全防护措施和设施与标准要求对照详见表 10-8。

表 10-8　CT 模拟定位机房拟采取的安全防护措施和设施符合情况表

序号	**安全防护设施和措施**	**《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）**	**CT 模拟定位机房拟采取的安全防护措施和设施**	**评价**
1	观察窗或摄像监控装置	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	本项目机房与操作间之间设有观察窗，工作人员能够方便的观察到患者状态及防护门开闭情况	符合要求
2	不堆放杂物	6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物	项目机房内不堆放与诊断工作无关的杂物	符合要求
3	动力通风装置	6.4.3 机房应设置**动力通风装置**，并保持良好的通风	本项目 CT 模拟定位机房内设置有动力通风系统，在天花板西北侧设置有 1 个 32cm×50cm 上排风口，在东北角距地 30cm 处设置一个 32cm×50cm 下排风口，并安装动力通风装置，保持机房内良好的通风。	符合要求
4	标志和指示灯、可视警示语句、注意事项	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	项目拟在 CT 模拟定位机房防护门上设置“当心电离辐射”警示牌和工作状态指示灯，灯箱上设置可视警示语句，受检者候诊区设置放射防护注意事项告知栏	符合要求

5	自动闭门装置、门灯联锁装置	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**	机房设置 2 个防护门，患者门为电动推拉门，工作状态指示灯与机房门设置门灯联锁。医护人员防护门手动平开门，设置自动闭门装置。	符合要求
6	防夹装置	6.4.6 电动推拉门宜设置**防夹装置**	受检者门拟设置红外防夹装置	符合要求
7	/	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	项目拟设置候诊大厅，位于机房外部	符合要求
8	/	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	项目 CT 模拟定位机房防护设施拟按照 CT 机房设置	符合要求

10.1.2 工作场所布局

10.1.2.1 核医学科工作场所布局及合理性分析

项目核医学科辐射工作场所位于肿瘤综合楼一层，核医学科患者通道以北自西向东依次为 PET-CT 注射后候诊室及其患卫、PET-CT 注射后候诊单间、SPECT-CT 注射后候诊室及其患卫、PET 留观室及其患卫；患者走廊以西依次为去污间、缓冲间、运动负荷兼抢救室；患者通道以南自西向东依次为储源室、固废间、给药室、PET-CT 机房、SPECT-CT 机房及其控制室。核医学科平面布局图见图 1-5。

核医学科工作场所选址及布局合理性分析见表 10-9。

表 10-9　核医学科工作场所平面布局合理性分析

法规标准	标准要求	设计情况	评价
《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）	5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。	本项目核医学科仅为门诊诊断，不设置住院治疗场所；控制区集中设置在中间区域，储源室、给药室、运动负荷兼抢救室、注射后候诊室、留观室相邻，与机房分开设置，保证工作实施沿着各功能房间单向开展，避免人员交叉辐射。	符合要求
	5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放	通过采取空间和时间管控，放射性药物、工作人员、患者、放射性废物路线相对独立；患者通道与工作人员通道分离，注射后患者与注射前患者通道不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。	符合要求

	射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。		
	5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	项目控制区的入口和出口设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者的随意流动，保证工作场所内的工作人员免受不必要的照射；本项目患者通道出入口设置缓冲区，给药室出入口设置工作人员更衣缓冲间和去污淋浴医卫间；项目 2 间注射后候诊室、1 间留观室均设置专用卫生间。	符合要求
《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）	5.1.2c）在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动。	本项目核医学科控制区的入口和出口设计有门锁权限控制和单向门禁系统等安全措施。	符合要求
	5.1.2d）在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。	本项目给药室出口设置更衣缓冲间和去污淋浴医卫间，可进行表面污染检测，发现污染及时去污。	符合要求
	5.1.3a）对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室（根据放射性核素防护特性分别设置）、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房	^{99m}Tc、^{18}F 诊断区域核医学工作场所设计有给药前候诊大厅、储源室、给药室、注射后候诊室、留观室、运动负荷兼抢救室、机房、控制室、污洗间和患者专用卫生间、固废间、等功能用房。	符合要求
	5.1.3c）诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房。	核医学科诊断区域设计有值班室、更衣缓冲间、去污淋浴医卫间、护士站、运动负荷兼抢救室等辅助用房。	符合要求
	5.1.5 核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区(病房)的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。	核医学工作场所的设计布局有助于开展工作，避免无关人员通过。本项目不涉及治疗工作场所。	符合要求

综上所述，核医学科工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关要求。

10.1.2.2 工作场所分区管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），辐射工作场所应分为控制区及监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中4.3.2的要求："核医学工作场所的控制区主要包括........、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域"。4.3.3的要求"核医学工作场所的监督区主要包括...........和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域"对核医学科场所进行控制区和监督区的划分。

控制区的出入口应设置电离辐射警告标志，并采取管理措施和实体屏蔽结合的措施限制控制区人员流动。

监督区应划定边界，并设置监督区标识，定期监测并评价是否需要采取措施或更改监督区边界。

本项目将核医学科工作场所内PET-CT机房、SPECT-CT机房、患者通道、给药室、固废间、储源室、运动负荷兼抢救室、PET注射后候诊室及其患卫、PET注射后候诊单间、SPECT-CT注射后候诊室及其患卫、PET留观室及其患卫、洁具间以及室外衰变池划分为控制区；将更衣缓冲间、去污淋浴医卫间、操作间、患者通道出入口的缓冲区、药物通道划分为监督区。

项目核医学科工作场所分区管理示意见图10-7、衰变池分区管理示意见图10-8。

10.1.2.3 人流、物流、固废路径规划

为了加强辐射安全管理，结合项目工作流程及工作场所布局，在核医学科地面或墙壁设置简明易懂的导向标识或导向提示，或通过对讲形式引导患者，限制其流动方向。项目核医学科区域医护人员、患者、放射性药物及放射性固废流动路线如图10-9所示。

项目核医学科工作场所内医护人员、患者、放射性药物和放射性固废的流动路线如下：

（1）医护人员路线

①给药室辐射工作人员：给药室辐射工作人员上班时间为8:00～12:00和13:00～18:00，由肿瘤综合楼西北侧门进入，经医生通道从更衣缓冲间进入给药室，药物分装质控完成后分别在注射窗口完成对患者^{18}F或^{99m}Tc的静脉注射。工作完成后，工作人员沿原路返回，在更衣缓冲间进行表面污染检测，检测不合格时需在去污淋浴医卫间清洁去污，检测合格后方可更衣离开。

②PET-CT和SPECT-CT设备操作人员：上班时间为8:00～12:00和13:00～18:00，由医护通道经候诊大厅进入操作间完成PET-CT和SPECT-CT图像采集。工作完成后，工作人员从操作间南侧门经走廊离开。

③诊室和检查准备室等工作人员上班时间为8:00～12:00和13:00～18:00，由大厅进入相关工作区域，完成相关工作后原路返回。

（2）患者路线

患者在正常接诊时间8:00～12:00和13:00～18:00，经过肿瘤综合楼一层大厅进入核医学科，患者首先在护士站进行预约登记，然后根据护士引导进入相应诊断区域。

PET-CT和SPECT-CT显像诊断患者：患者预约和登记后在大厅等候，通过语音叫号，依次由患者的单向专用入口（单向，只进不出）进入核医学科控制区，在注射窗口进行药物静脉注射后，在对应的注射后候诊室候诊，等待通知后分别进入PET-CT或SPECT-CT机房进行显像诊断，SPECT-CT患者不留观，PET-CT检查完成后进入留观室进行留观，最后从核医学科北侧大门（单向，只出不进）离开核医学工作场所。

患者的出入口均设置单向门禁，仅允许患者单向通行。注射后候诊室、PET留观室均设有独立的卫生间，患者可在专用卫生间如厕，不随意走动。

（3）放射性药物路线

项目采用的放射性药物均外购，根据临床诊断需药量，提前一天向供药单位订购所需放射性药物。供药单位按照订购要求，在约定时间（早7:30和中午12:30）将放射性药物由肿瘤综合楼西侧大门进入，经药物通道将所订药物从储源室西墙上的药物传递窗运送至储源室内。核医学科安排值班人员接收，经确认无误完成相关交接手续。

（4）放射性固废路线

放射性固废在核医学科固废间进行暂存，衰变至符合清洁解控水平。在18:30无病人后，放射性固废通过患者通道运出。

综上所述，核医学科医护人员通道和患者通道分开设置，注射后患者与工作人员活动路径不交叉；患者通道入口、出口分开，并采用单向门禁系统，防止给药后患者进入非放射性工作区，注射后患者与注射前患者活动路径不交叉；放射性药物和放射性废物的流动通过严格限制运输时间的方式，即每天上午上班前和中午上班前由核素供应商将订购的核素药物沿药物通道运至储源室，药物送达时，医护通道采用门禁管控，严禁医护人员流动，上班期间 8:00～12:00 和 13:00～18:00 为医护人员专用通道；放射性固废在 18:30 下班后沿患者通道运出，上班期间 8:00～12:00 和 13:00～18:00 为患者专用通道；以此确保人员与放射性药物通道、放射性废物通道不交叉。通过上述措施最终实现相对独立的工作人员、患者、放射性药物、放射性固废路径，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。

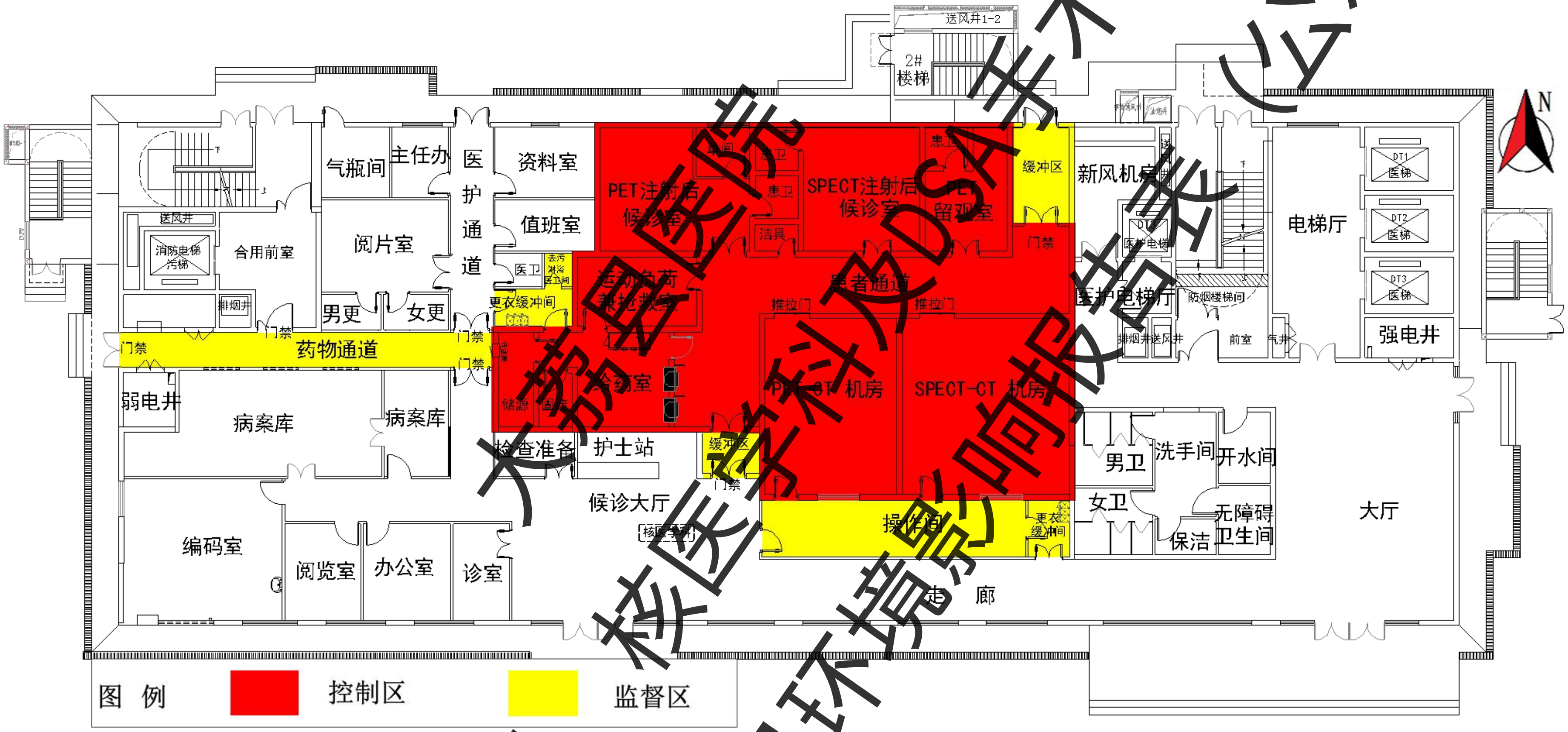
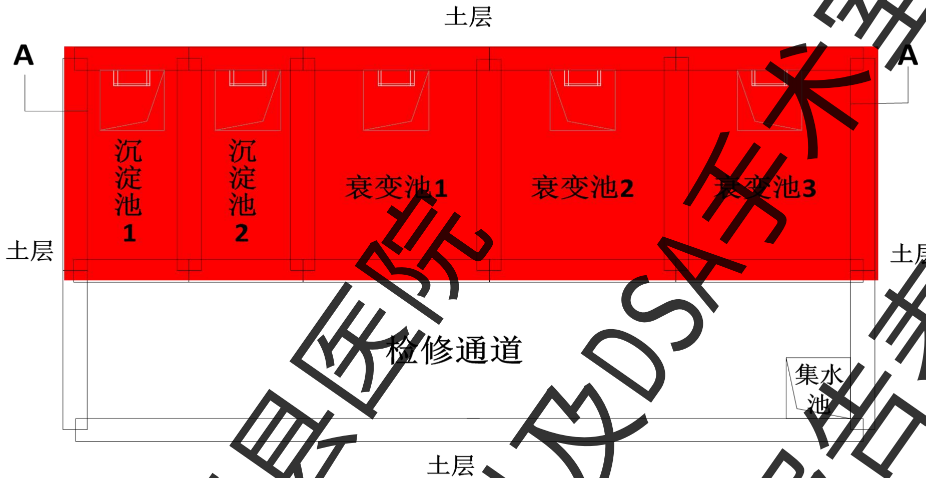
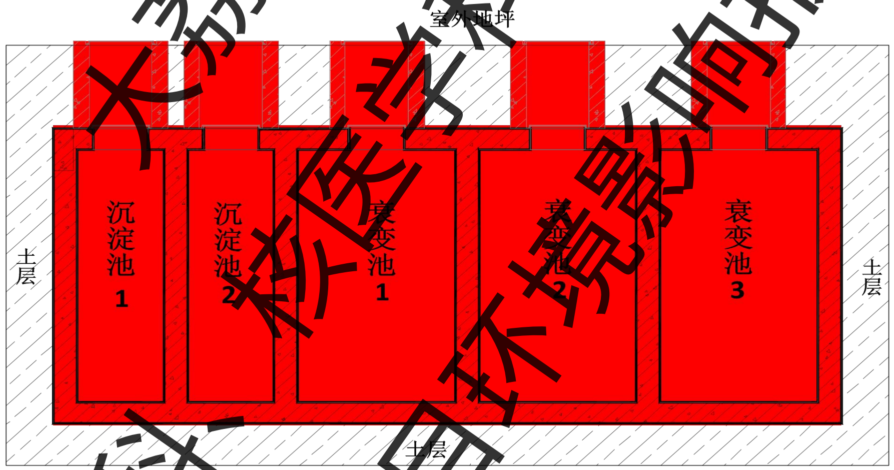


图 10-7 项目核医学科工作场所分区管理示意图（一层）



衰变池平面图



衰变池A-A剖面图

图 10-8 项目衰变池分区管理示意图（地下）

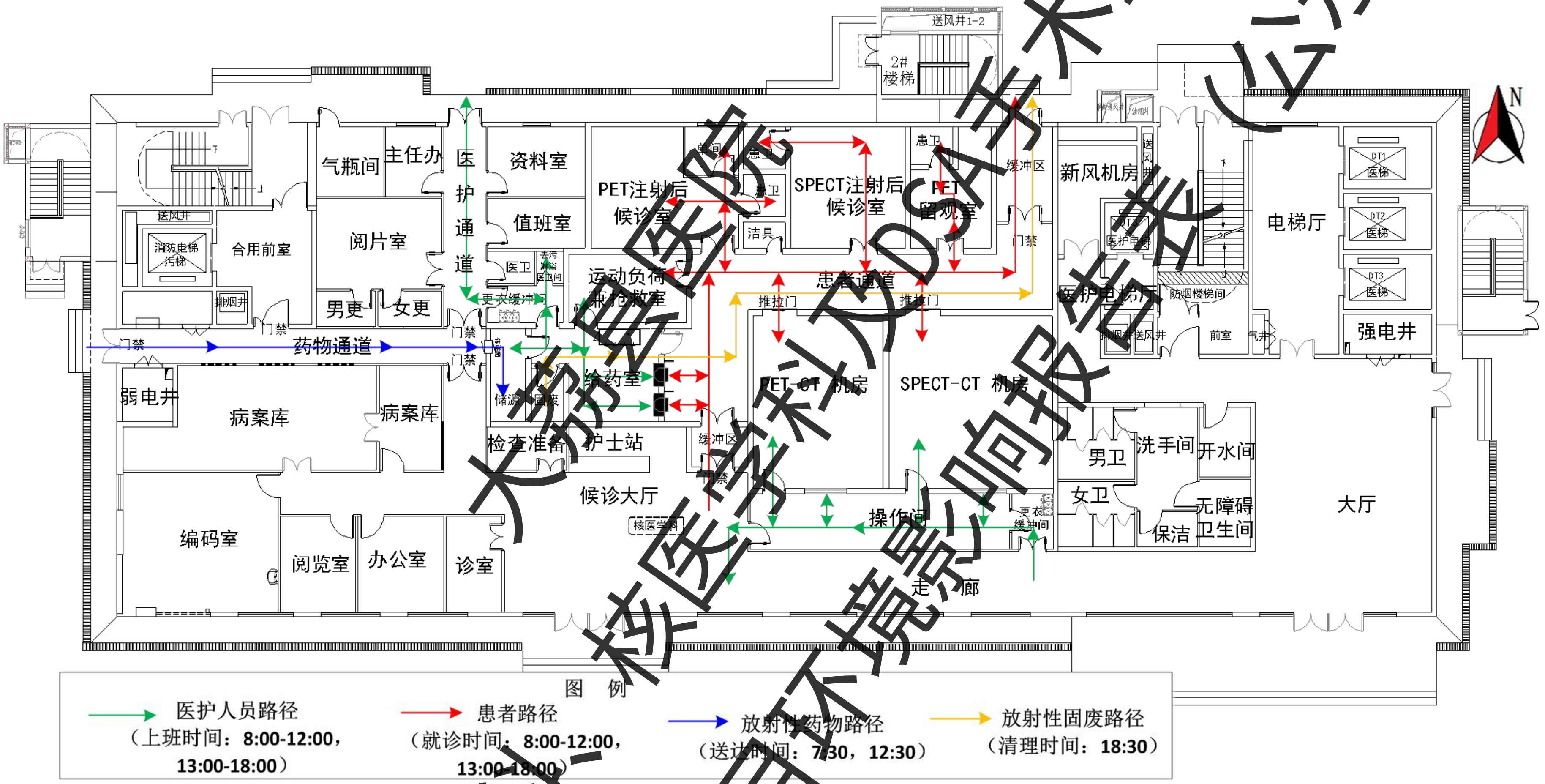


图 10-9 项目核医学科工作场所工作人员、患者、放射性药物、放射性固废路径示意图

10.1.2.4 非密封放射性物质工作场所分级管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录C非密封放射性物质工作场所的分级规定以及环办辐射函〔2016〕430号，项目使用的非密封放射性核素日等效最大操作量见表10-11。

表 10-10 非密封放射性物质工作场所的分级

级别	日等效最大操作/Bq
甲	＞4×10^{9}
乙	2×10^{7}～4×10^{9}
丙	豁免活度值以上～2×10^{7}

表 10-11 非密封放射性物质（核素）日等效最大操作量

项目	核素种类	毒性分组/毒性组别修正因子	操作方式/操作修正因子	日实际最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）
PET-CT	^{18}F	低毒/0.01	很简单操作/10	7.4×10^{9}	7.4×10^{6}
SPECT-CT	^{99m}Tc	低毒/0.01	很简单操作/10	3.5×10^{10}	3.5×10^{7}
合计	/	/	/	4.24×10^{10}	4.24×10^{7}
注：日等效最大操作量=日实际最大操作量×毒性组别修正因子÷操作修正因子。					

根据表 10-11 可知，核医学科工作场所的日等效最大操作量为 4.24×10^{7}Bq，在 2×10^{7}~4×10^{9}Bq 之间，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C，本项目核医学科工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

10.1.2.5 屏蔽设计情况

核医学科工作场所屏蔽设计情况见表 10-12。

表 10-12 项目辐射工作场所屏蔽设计一览表

工作场所	屏蔽部位	屏蔽材料及规格
PET-CT 机房	四周墙体	240mm 实心砖墙+52mm 硫酸钡涂料
	观察窗	10mmPb 防护玻璃板
	防护门	受检者门：10mmPb，工作人员门：10mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+104mm 硫酸钡涂料
	地板	160mm 混凝土+52mm 硫酸钡涂料
SPECT-CT 机房	东侧、南侧墙体	240mm 实心砖墙+39mm 硫酸钡涂料
	西侧、北侧墙体	240mm 实心砖墙+52mm 硫酸钡涂料
	观察窗	4mmPb 防护玻璃板
	防护门	受检者门：4mmPb，工作人员门：4mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+3mm 铅板

	地板	160mm 混凝土+39mm 硫酸钡涂料
给药室	四周墙体	240mm 实心砖墙+52mm 硫酸钡涂料
	注射窗	^{18}F：50mmPb 防护玻璃板，^{99m}Tc：10mmPb 防护玻璃板
	防护门	12mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+5mm 铅板
	地板	160mm 混凝土+39mm 硫酸钡涂料
运动负荷兼抢救室	四周墙体	240mm 实心砖墙+52mm 硫酸钡涂料
	防护门	东侧：10mmPb，南侧：12mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+5mm 铅板
	地板	160mm 混凝土+39mm 硫酸钡涂料
PET 注射后候诊室	四周墙体	240mm 实心砖墙+52mm 硫酸钡涂料
	防护门	12mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+130mm 硫酸钡涂料
	地板	160mm 混凝土+39mm 硫酸钡涂料
候诊单间	东墙	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料
	北墙	240mm实心砖墙+65mm硫酸钡涂料
		20mmPb防护玻璃板
	西墙、南墙	15mmPb
	防护门	15mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+130mm 硫酸钡涂料
	地板	160mm 混凝土+39mm 硫酸钡涂料
PET 留观室	东侧、南侧墙体	240mm 实心砖墙+52mm 硫酸钡涂料
	西侧、北侧墙体	240mm 实心砖墙+39mm 硫酸钡涂料
	防护门	15mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+65mm 硫酸钡涂料
	地板	160mm 混凝土+26mm 硫酸钡涂料
SPECT 注射后候诊室	东侧、北侧墙体	240mm 实心砖墙+39mm 硫酸钡涂料
	南侧、西侧墙体	240mm 实心砖墙+52mm 硫酸钡涂料
	防护门	4mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+3mm 铅板
	地板	160mm 混凝土+26mm 硫酸钡涂料
固废间	东、南、西侧墙体	240mm 实心砖墙+52mm 硫酸钡涂料
	防护门	8mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+5mm 铅板
	地板	160mm 混凝土+39mm 硫酸钡涂料
储源室	东、南、西侧墙体	240mm 实心砖墙+52mm 硫酸钡涂料
	防护门	8mmPb
	药物传递窗	10mmPb
	屋顶	120mm 混凝土+5mm 铅板

	地板	160mm 混凝土+39mm 硫酸钡涂料
患者通道	四周墙体	240mm 实心砖墙+52mm 硫酸钡涂料
	屋顶	120mm 混凝土+5mm 铅板
	地板	160mm 混凝土+39mm 硫酸钡涂料
衰变池	四周墙体、顶部、底部	300mm 混凝土
患者入口防护门		10mmPb 带门禁防护门
患者出口防护门		8mmPb 带门禁防护门
注：硫酸钡密度不小于 3.2g/cm³。		

10.1.2.6 电缆管线穿墙设计

PET-CT 机房、SPECT-CT 机房的全部电缆均通过地下电缆沟走线，电缆沟覆盖 3mm 铅板，从安装 PET-CT 和 SPECT-CT 的地坑出线后沿着屏蔽墙内侧走线，在出口处采用“倒梯形”设计，下沉后穿越屏蔽墙到达机房外。通过多次折返的电缆沟设计和下沉地面穿越屏蔽墙的设计，增加泄漏射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。

电缆沟穿屏蔽墙剖面图见图 10-10。

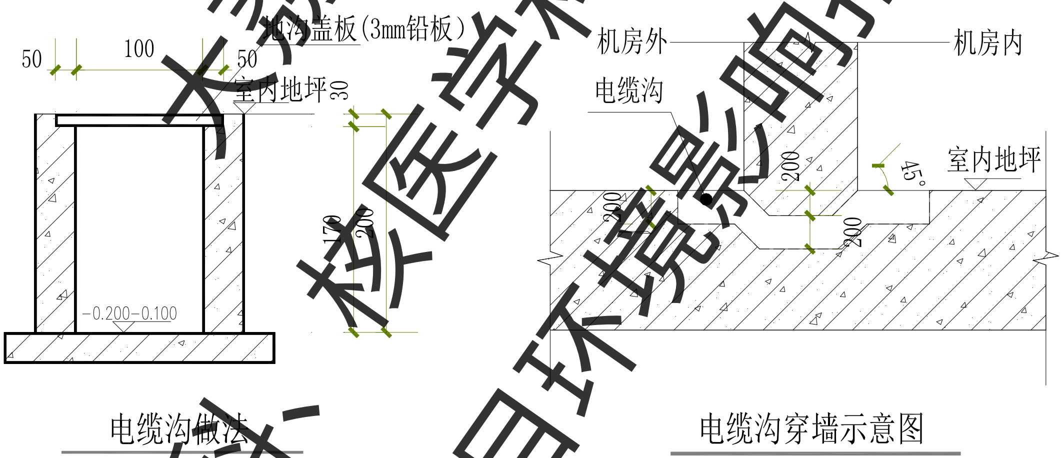


图 10-10 PET-CT 机房、SPECT-CT 机房电缆沟穿屏蔽墙剖面图

10.1.2.7 通风设计

本项目核医学操作过程中会产生放射性废气，拟通过 2 条相对独立的排风管线收集。

①给药室手套箱排风管线：手套箱的放射性废气经独立的排风管线接入患者通道出口处的排风立管，手套箱顶部设有高效活性炭过滤防护装置，管道采用专用防辐射排风管。手孔处测量的风速应不小于 0.5m/s。

②核医学科其他区域排风管线：药物通道、储源室、固废间、给药室、更衣缓冲间、去污淋浴医卫间、运动负荷兼抢救室、缓冲区、操作间、PET-CT 机房、SPECT-CT 机房、PET 注射后候诊室及候诊单间、SPECT 注射后候诊室及患卫、洁具间、PET 留观室及患卫、患者通道设置一路排风管道。

核医学科工作场所主管道内保持负压，各支管设止回阀，防止气流从控制区向监督区倒灌，放射性废气通过患者通道出口缓冲区的排风立管引至肿瘤综合楼楼顶屋面经活性炭过滤后排放，排放口位置距楼顶屋面 3.0m（肿瘤综合楼层高 52.8m），排放口朝西设置，满足 HJ1188-2021 中“核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。”的要求。

PET-CT 机房、SPECT-CT 机房排风管道呈 45°穿过北侧屏蔽墙体，穿墙部分的空隙用硫酸钡水泥填充，洞口与管道交接处采用 10mm 铅当量铅皮包裹，防止射线泄漏。

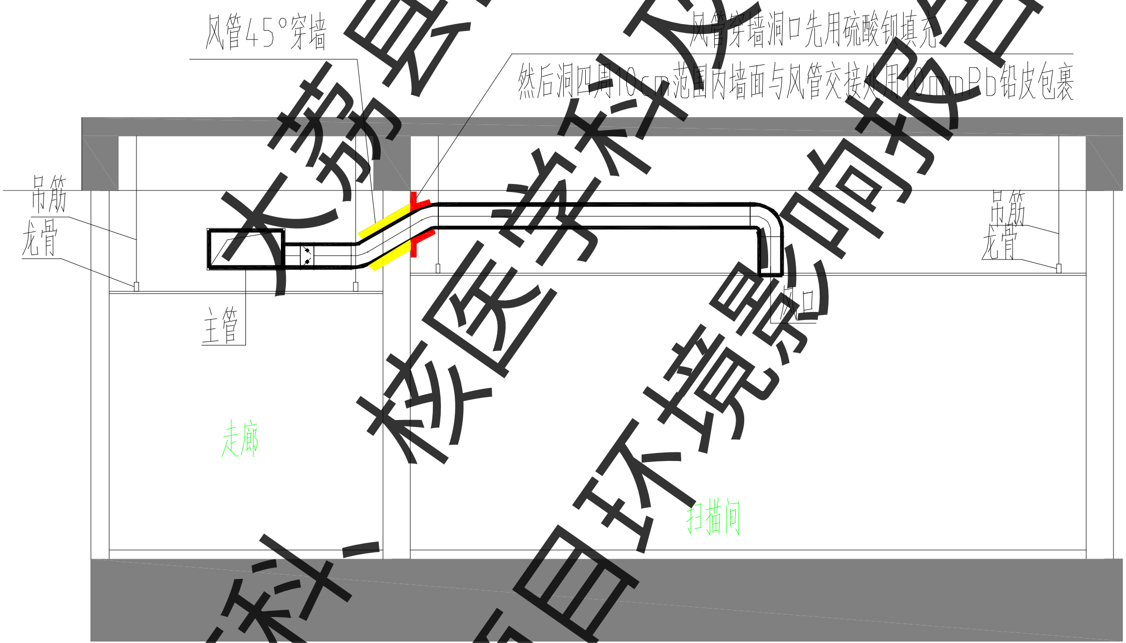


图 10-11 PET-CT 机房、SPECT-CT 机房风管穿屏蔽墙剖面图

10.1.2.8 辐射安全与防护措施

（1）工作场所安全防护措施

①在核医学科控制区、储源室、固废间入口应设置电离辐射警告标志；在手套箱、铅罐、注射转移屏蔽箱、铅废物桶等表面设置电离辐射警告标志；在 PET-CT 机房、SPECT-CT 机房患者防护门上方设置工作状态指示灯和灯箱警示语句，且工作状

态指示灯和防护门应有效联动。工作场所内手动防护门安装自动闭门装置，电动防护门安装防夹装置。

②在 PET-CT 机房、SPECT-CT 机房操作间共设置 2 个急停按钮，并设置中文标识，供应急停机使用。

③SPECT-CT 机房、PET-CT 机房及操作间、留观室、抢救室内设置双向对讲装置；候诊大厅、给药室之间设置叫号系统；在 SPECT-CT 机房、PET-CT 机房与操作间之间设置观察窗；在注射窗口、患者通道、注射后候诊室等处设置病人导向标识或导向提示。

④项目控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者的随意流动，保证工作场所内的工作人员免受不必要的照射。严禁药物注射后患者随意走动，严禁串门，严禁在通道内穿行，以避免与其他患者之间的交叉照射；严禁无关人员滞留或误入；PET 注射后候诊室、SPECT 注射后候诊室、PET 留观室、抢救室及患者通道内的相应位置均设置视频监控系统，以对辐射工作场所的情况进行实时监控，及时发现突发情况并及时进行处理。

⑤注射后候诊室卫生间、留观室卫生间、去污淋浴医卫间、给药室配置的洗手台均设置为感应式水龙头，患者专用卫生间的便池设为感应式节水座便马桶。

⑥所有能在屏蔽体内或屏蔽体后进行的操作均设置屏蔽体，项目拟配置注射器屏蔽套、转移注射箱等。

⑦放射性药物（^{18}F、^{99m}Tc）由供药单位负责运输，供药单位根据医院第二天诊疗计划配备药物，预估配送时间，确保注射时放射性药物活度符合要求。供药单位对放射性物品运输中的核与辐射安全负责。

⑧妥善处理放射性废物。在固废间、给药室、注射后候诊室及卫生间、留观室及卫生间、患者走廊等位置放置污物桶，污物桶内放置专用塑料袋直接收纳废物。对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。专用塑料袋装满后应密封，不破漏，及时转送至核医学科固废间，放入专用容器中存储。应在存放废物的专用容器的显著位置设置废物类型、核素种类、存放日期等说明。

⑨制定各项规章制度和操作规程，辐射工作人员严格遵守规章制度，严格按操作规程进行操作，禁止放射工作人员在辐射活性区饮食。在工作台操作放射性药物

时，一旦发生放射性污染，应立即采用吸水纸、棉布擦拭或用其他吸附材料覆盖洒漏区域等干式处理方法处理，擦拭材料作为放射性固体废物处置，并检测表面污染状况，采取措施确保表面污染水平低于控制限值，并将擦拭物作为放射性固废处置。

上述警示和安全控制措施对预防和控制潜在照射，避免放射性污染，保障相关放射工作人员和公众的健康与安全起着积极的作用。

（2）工作场所表面污染控制与防护措施

①操作放射性药物的工作人员离开控制区前应洗手和进行表面污染检测，确认表面污染检测达标后方可更衣离开。如有污染，应及时去污直至达到国家标准。从控制区取出物品也要进行表面污染检测，防止超过表面污染控制水平的物品被带出控制区。

②放射性药物质控、分装应在手套箱内进行，手套箱的操作台面均要求光滑、平整、易于清洗去污，所有涉及放射性药物操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内。

（3）工作人员的防护措施

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

（4）患者的防护措施

患者根据预约按时到候诊大厅候诊，需进行 PET-CT 或 SPECT-CT 扫描的患者通过语音叫号到注射窗口接受药物注射，后经语音提示到对应的注射后候诊室候诊，不应随意走动，并在患者专用卫生间入厕，扫描完毕患者经控制区出口防护门离开，尽量减少对其他人员的影响。

为防止无关人员进入控制区，应在控制区入口防护门、控制区出口防护门、核素进出防护门处设置带门禁系统的单向门，实现“入口处患者只入不出、出口处患者只出不入”，保证控制区内患者的单向流动，避免无关人员进入控制区。

核医学科工作场所辐射防护设施安装位置示意图见图 10-10。

图 10-12 核医学科工作场所辐射防护设施安装位置示意图

（5）放射性药物管理

医院核医学科应设置专职（或兼职）放射性药品管理人员，具体负责放射性药品交接手续的办理（由2名注射护士轮流负责）。当送药单位将放射性药品运至医院核医学科内，核医学科放射性药品管理人员核对预定的放射性药品数量、活度，进行入库登记。将^{18}F、^{99m}Tc药物存入储源室中。储源室安装视频监控系统，并设置门锁，实行双人双锁管理，防止被盗事件发生。医院应建立放射性药品台账管理制度，明确购置、到货、暂存、使用等环节放射性药物量。定期进行盘点，做到账物相符。

（6）监测仪器

项目核医学科配置X-γ剂量率仪、β表面污染监测仪等监测仪器。

（7）防护设施及个人防护用品

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关要求，结合项目实际情况，项目拟配置的防护设施及个人防护用品见表10-13。

表10-13 核医学科拟配置的防护设施及个人防护用品一览表

防护设施及个人防护用品		配置计划
手套箱		1个，60mmPb，设置于给药室
注射窗	^{18}F	1套，50mm铅当量，两侧设有手套孔
	^{99m}Tc	1套，10mm铅当量，两侧设有手套孔
注射器屏蔽套	^{18}F	1个，10mmPb
	^{99m}Tc	1个，5mmPb
转运注射箱	^{18}F	1个，20mmPb当量，存储、转运注射器；
	^{99m}Tc	1个，5mmPb当量，存储、转运注射器
手提式屏蔽箱	^{18}F	1个，10mmPb当量（配备钨合金手套），用于单支剂量转运
	^{99m}Tc	1个，5mmPb当量（配备钨合金手套），用于单支剂量转运
储源铅罐	^{18}F	数量满足实际工作需要，40mmPb，置于储源室，可放10ml/20ml/30ml用药
	^{99m}Tc	数量满足实际工作需要，20mmPb，置于储源室，可放10ml/20ml/30ml用药
铅污物桶		≥7个，10mmPb，置于固废间、给药室、注射后候诊室及卫生间、患者走廊、留观室及卫生间等。
高剂量屏蔽罐	给药室	2个，50mmPb

远距离取物夹	给药室	2个，方便抓握，有微调按钮，便于抓物品，尖端爪子有橡胶吸头，保证握力，一般为45~90cm
必配：铅橡胶衣、铅橡胶围脖、铅橡胶围裙， 选配：铅帽，铅眼镜	^{99m}Tc	≥2套，0.5mmPb
放射性污染防护服	^{18}F	数量满足实际工作需要
	^{99m}Tc	数量满足实际工作需要
应急及去污用品	更衣缓冲间	一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂和硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。

10.1.3　DSA介入手术室辐射安全防护措施和设施

10.1.3.1 工作场所平面布局

项目拟在外科综合楼一层建设1间DSA介入手术室以及其它辅助功能用房，配置1台DSA，用于介入手术。手术区内一般出现的人员较少，主要为操作间和手术室的医务工作人员与需要手术的患者。根据医院提供的图纸，DSA介入手术室的机房设计有效使用面积和最小单边长度见表10-14。

表10-14　DSA介入手术室设计建设规模情况表

机房	机房建设规模
DSA介入手术室	南北长7.0m，东西宽5.4m，有效使用面积37.8m²

项目DSA介入手术室设计的有效使用面积和最小单边长度均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“机房内最小有效使用面积20m²，机房内最小单边长度3.5m”的要求。

10.1.3.2 工作场所分区管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），辐射工作场所应分为控制区及监督区，以便辐射防护管理和职业照射控制。

控制区及监督区定义详见10.1.1.2。

控制区：DSA介入手术室。

监督区：与控制区相邻的职业人员居留区域划为监督区。

项目DSA介入手术室的工作场所分区管理示意图见图10-13。

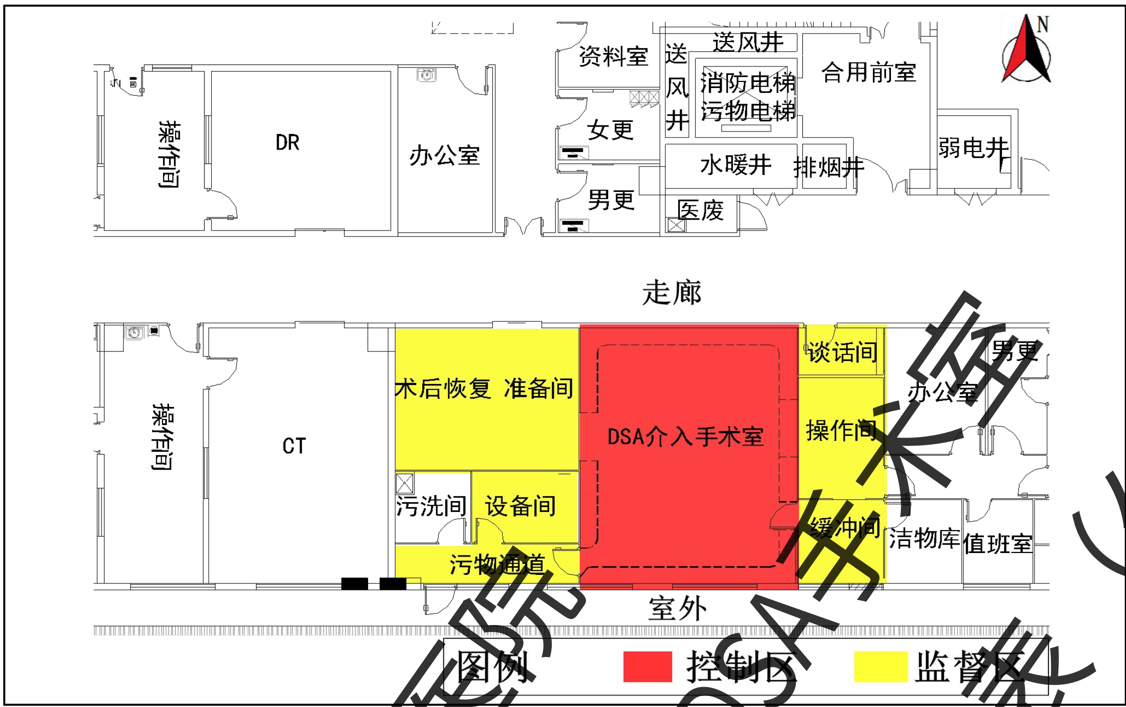


图 10-13 DSA 介入手术室分区管理示意图（外科综合楼一层）

10.1.3.3 医护、患者、污物流动路线

（1）医护人员流动路线：医护人员在换鞋更衣后进入操作间，由缓冲间医护人员防护门进入手术室；

（2）患者流动路线：患者在术后恢复准备间换床后，进入手术室；

（3）污物流动路线：污物在术后通过西侧污物门和污物通道在污洗间打包，经污物通道南侧门运至医院医疗废物暂存间，最终委托有资质单位处置。

DSA 医护人员、患者、污物流动路线详见图 10-14。

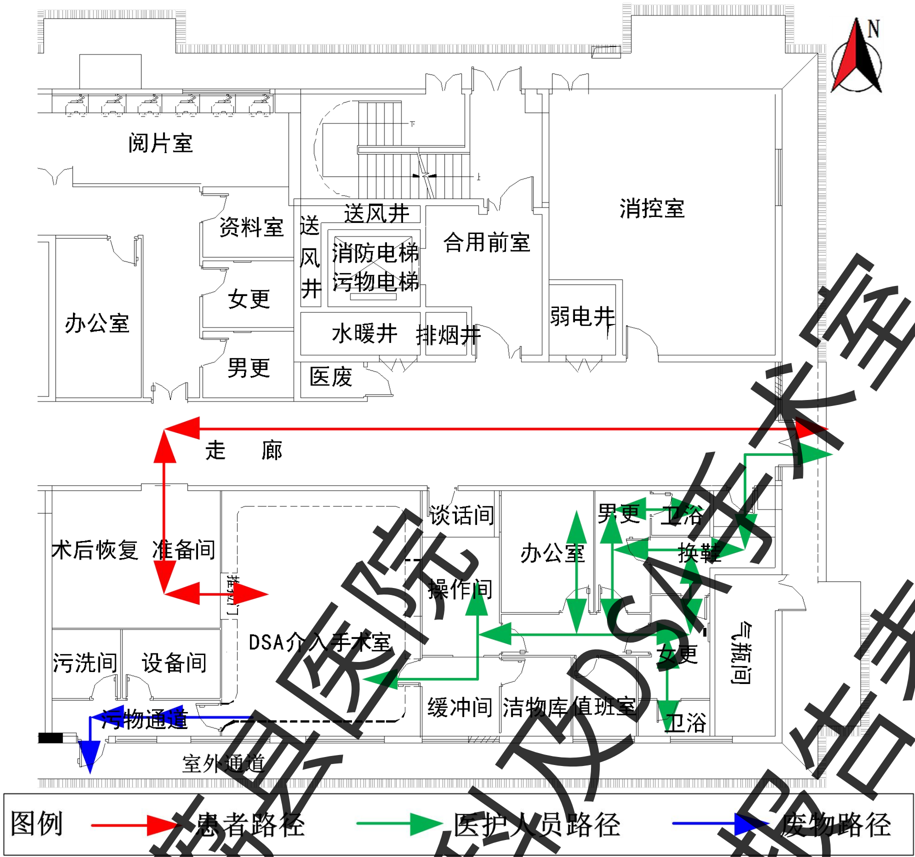


图 10-14 DSA 介入手术室医护人员、患者、污物路线示意图（外科综合楼一层）

10.1.3.4 辐射防护屏蔽设计

（1）设备固有的主动防护技术

项目DSA设备采取的先进主动防护技术如下：

①采用光谱过滤技术。在X射线管头或影像增强器的窗口处放置合适铝过滤板，以消除软X射线以及减少二次散射，优化有用X射线谱。此外，设备提供适应不同应用时可选用的各种形状与规格的准直器隔板和铝过滤板。

②在手术室内具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和采集功能的控制键。

③配备有能阻止使用焦皮距小于20cm的装置。

④透视曝光开关为常断式开关，并配有透视计时及限时报警装置。

⑤介入操作中，设备控制台和手术室内显示器上能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光记录。

（2）工作场所辐射屏蔽设计

根据医院提供的设计图纸，项目DSA介入手术室的辐射防护屏蔽措施具体参数

详见表10-15。120mm混凝土、160mm混凝土在125kV下的等效铅当量计算根据GBZ130-2020附录C公式C.1和C.2，其中α、β、γ取值自GBZ130-2020。

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

$$X=\frac{1}{\alpha\gamma}\ln\left(\frac{B^{-\gamma}+\frac{\beta}{\alpha}}{1+\frac{\beta}{\alpha}}\right) \quad \cdots\cdots (C.2)$$

表10-15　X射线辐射衰减的有关的拟合参数

电压	材料	α	β	γ
125kV	砖	0.02870	0.06700	1.346
	混凝土	0.03502	0.07113	0.6974
	铅	2.219	7.923	0.5386
注：表中α、β、γ取值自GBZ130-2020，DSA参数取值为125kV主束状态下拟合参数。				

①计算得管电压125kV下，240mm实心砖墙等效铅当量约为2.28mmPb，120mm混凝土等效铅当量约为1.44mmPb，160mm混凝土等效铅当量约为2.02mmPb。

②根据《辐射防护手册 第三分册》第62页表3.3，在管电压150kV条件下，33mm钡水泥（3.2g/cm^3）等效2mmPb，51mm钡水泥（3.2g/cm^3）等效3mmPb。本项目拟配备DSA最大管电压为125kV，本次保守按照150kV条件下计算等效铅当量，由内插法得出，39mm钡水泥（3.2g/cm^3）等效2.3mmPb。

表 10-16　项目DSA介入手术室的辐射防护屏蔽参数一览表

位置	拟采取的屏蔽措施	等效铅当量	标准要求	评价及建议
四周墙体	240mm实心砖+3mm铅当量铅板	5.28mmPb	2.0mmPb	满足
顶棚	120mm混凝土+3mm铅当量铅板	4.44mmPb	2.0mmPb	满足
地板	160mm混凝土+39mm硫酸钡涂料	4.32mmPb	2.0mmPb	满足
防护门窗	工作人员门、患者门、污物门、观察窗4mm铅当量	4.0mmPb	2.0mmPb	满足
注：项目所用硫酸钡密度为3.2g/cm^3。				

由表10-16可知，项目DSA介入手术室四周墙体、顶棚、地板及各防护门窗的等效铅当量为4~5.28mmPb，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“介入X射线设备机房有用线束方向铅当量2mm，非有用线束方向铅当量2mm”的要求。

10.1.3.5 安全与防护措施

项目DSA介入手术室拟采取以下安全与防护措施：

①DSA介入手术室患者门、缓冲间门和污物门外均设置电离辐射警告标志，患者门上方设置醒目的工作状态指示灯，指示灯的灯箱上设置“射线有害，灯亮勿入”的警示语句。

②患者门拟设置为电动推拉门，设置门灯联锁和红外防夹装置。

③缓冲间门、污物门为平开门，拟设置自动闭门装置。

④机房内拟设置摄像监控装置，监控显示屏放置在操作间，操作人员通过摄像监控能观察到各防护门开闭及手术室内工作人员及患者状态。

⑤DSA治疗床侧和操作间设置有急停按钮，供紧急停机使用。

⑥候诊区设置放射防护注意事项告知栏。

DSA介入手术室辐射防护设施安装位置示意图见图10-15。

图 10-15 DSA 介入手术室辐射防护设施安装位置示意图

⑦手术室内布局合理，尽量避免了有用线束直接照射门、窗和管线口（包括线缆沟、通风管道等）位置和工作人员操作位。手术室内不堆放与诊断工作无关的杂物。

⑧手术室设置了动力通风装置，风机的额定风量大于500m³/h，臭氧和氮氧化物等经排风管道引至外环境排放，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）“机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风”要求。

⑨本项目拟配置1台便携式X、γ辐射监测仪，定期巡检并建立自行监测数据档案。

⑩辐射工作人员正确佩戴个人剂量计。手术室内配备铅当量不小于0.5mmPb的铅

悬挂防护屏、0.5mmPb铅防护吊帘、0.5mmPb床侧防护帘、0.5mmPb床侧防护屏、2mmPb移动铅防护屏风等辅助防护设施。为放射工作人员配备铅当量不小于0.5mmPb的铅橡胶围裙、0.5mmPb的铅橡胶颈套、0.025mmPb介入防护手套、0.25mmPb铅防护眼镜、0.25mmPb铅橡胶帽子等个人防护用品。对病人病灶进行照射时，将病人病灶以外的部位用防护用品（其中儿童铅当量不小于0.5mmPb）进行遮盖，以避免病人受到不必要的照射。

项目DSA介入手术室配备的个人防护用品和辅助防护设施要求见表10-17。

表 10-17　个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘/床侧防护屏/床侧防护帘 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	不需要
注：工作人员的个人防护用品和辅助防护设施的数量根据实际需求灵活调整；成人和儿童患者或受检者的个人防护用品各1套。				

10.2 “三废”治理

10.2.1 放疗科

（1）臭氧和氮氧化物

本项目直线加速器正常使用过程中，无放射性废气产生。

直线加速器工作时，X射线与空气中的氮和氧作用，会产生少量臭氧和氮氧化物等有害气体。通过通风换气可有效降低臭氧和氮氧化物的浓度。

在工作中要保证通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员及环境产生危害。

（2）废水

直线加速器冷却水封闭循环，不外排，不会对周围环境产生影响。

工作人员和部分病人产生的医疗废水，依托医院污水处理站统一处理，处理后排入市政污水管网。

（3）固废

项目直线加速器产生的固体废物为废金属靶，只有在需要更换金属靶时才产生（通常1个金属靶使用7~10年才更换），废金属靶作为放射性固废，由供应商更换交

由有资质单位处置，不在项目地贮存。

工作人员产生的少量生活垃圾，经医院垃圾桶收集后定期由环卫部门清运。

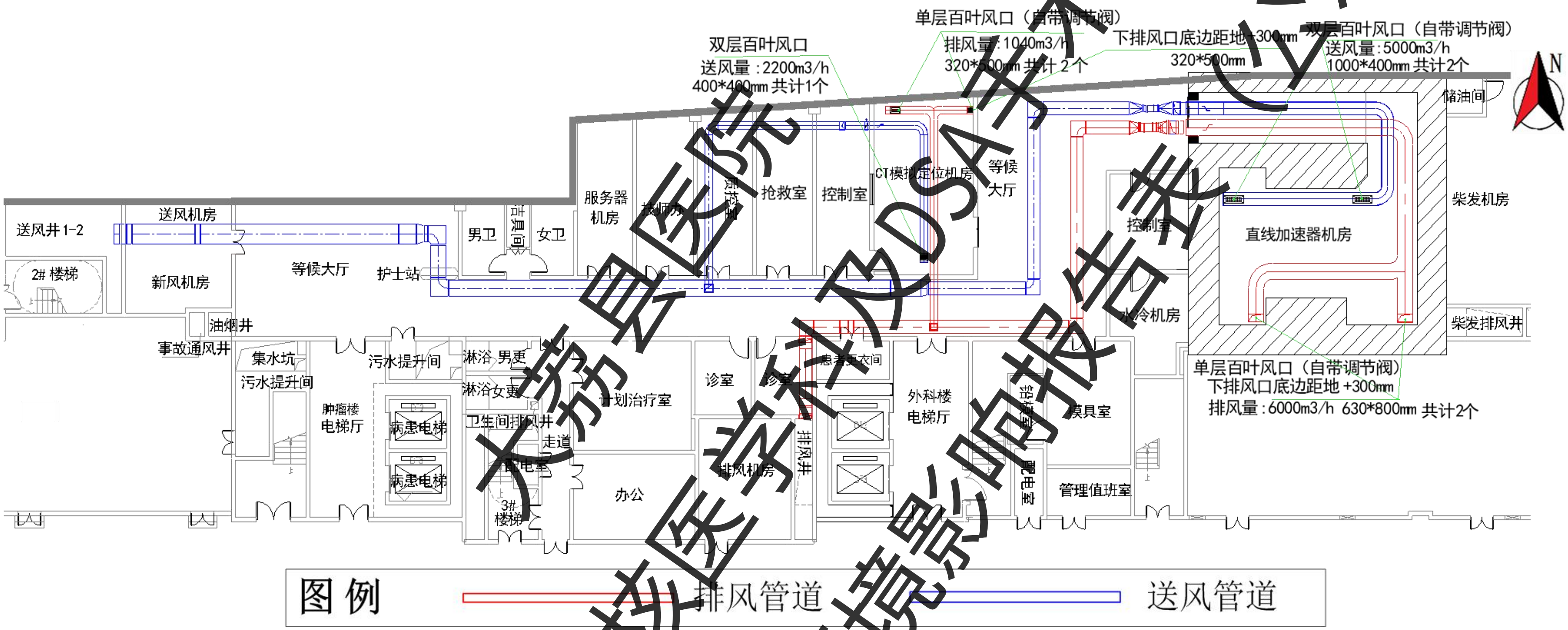


图 10-16 直线加速器及CT模拟定位机房排风平面图

10.2.2 核医学科

（1）放射性废气

本项目核医学操作过程中会产生放射性废气，拟通过 2 条相对独立的排风管线收集。

①给药室手套箱排风管线：手套箱的放射性废气经独立的排风管线接入患者通道出口处的排风立管，手套箱顶部设有高效活性炭过滤防护装置，管道采用专用防辐射排风管。手孔处测量的风速应不小于 0.5m/s。

②核医学科其他区域排风管线：药物通道、储源室、固废间、给药室、更衣缓冲间、去污淋浴医卫间、运动负荷兼抢救室、缓冲区、操作间、PET-CT 机房、SPECT-CT 机房、PET 注射后候诊室及候诊单间、SPECT 注射后候诊室及患卫、洁具间、PET 留观室及患卫、患者通道设置一路排风管道。

核医学科工作场所主管道内保持负压，各支管设止回阀，防止气流从控制区向监督区倒灌，放射性废气通过患者通道出口缓冲区的排风立管引至肿瘤综合楼楼顶屋面经活性炭过滤后排放，排放口位置距楼顶屋面 3.0m（肿瘤综合楼层高 52.8m），排放口朝西设置，满足 HJ1188-2021 中“核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。”的要求。项目核医学科放射性废气排风管道路径见图 10-17。

故项目产生的放射性废气在采取上述措施后对环境影响较小，核医学科各工作场所排风系统能够符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

（2）放射性废水

核医学科工作场所（肿瘤综合楼一层）内放射性废水管道位于核医学科地板下方 20cm 处，去污淋浴医卫间、给药室、洁具间、PET 注射后候诊患者卫生间、SPECT 注射后候诊患者卫生间、PET 注射后候诊患者卫生间的放射性废水分别汇入主管道，主管道途经运动负荷兼抢救室、给药室、SPECT 注射后候诊室、PET 注射后候诊室、PET 注射后候诊单间等工作场所，管道外屏蔽措施利用途径地核医学科场所地板的屏蔽防护（运动负荷兼抢救室、给药室地板、PET 注射后候诊室、PET 注射后候诊单间地板：160mm 混凝土+39mm 硫酸钡涂料，SPECT 注射后候诊室地板：160mm 混凝土+26mm 硫酸钡涂料）。

室外部分放射性废水管道向东延伸接入衰变池，途径区域上方为室外地坪，无人员长居留场所。管道敷设位于室外地坪下方 35cm 处，与核医学科场所内的废水管道高差为-15cm，管道总长约 38m，坡度约 15°，管道外包裹 8mm 铅当量铅皮。

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

放射性废水在核医学科收集后排入衰变池统一处理。医院拟在肿瘤综合楼东北侧新建一座地埋式衰变池，衰变池拟建区域现状为空地，衰变池四周均为土层，上方为室外地坪，一般无人员在此停留；衰变池整体长 10m、宽 5.2m、高 5.4m，采用 300mm 厚混凝土浇筑，四周墙体及地面、顶板进行防渗漏和耐酸碱处理。衰变池进水方式为间歇式，由 3 组衰变池槽体并联组成，每个槽体有效容积均为 16.5m³（2×2.5×3.3m），第一个槽体前端设置容积约为 9.9m³的沉淀池（2 个，一用一备）。

放射性废水首先进入沉淀池进行沉淀，沉淀池水位到达高液位时，1#衰变池槽体开始进水，直到沉淀池水位降至低液位时，1#衰变池的进水电动阀关闭，重复上述过程，直至 1#衰变池槽体注满放射性废水后进水电动阀关闭，开始衰变计时；随后 2#衰变池槽体开始进水，重复上述过程直至 2#衰变池槽体注满放射性废水后进水电动阀关闭，开始衰变计时；3#衰变池槽体同样按照上述过程注入放射性废水，待 3#衰变池到达高液位时，1#衰变池内废水已达到衰变排放标准，将其废水全部排入院内污水处理站；待 1#衰变池排空后，关闭 1#衰变池出水电动阀并开启 1#衰变池进水电动阀。3 个衰变池依次交替循环进水、衰变、排水，达到暂存时间的废水进入医院污水处理站，处理达标后排入市政管网。

衰变池整套系统采用自动化控制，对所有池内液位、储存时间、水泵运行状态、运行时间、阀门启闭状态进行在线实时监控，状态异常报警，池体液位非正常下降报警，池体液位超过警戒液位报警。

经计算，本项目放射性废水日排放量约 0.58m³/d，每个衰变池体储存满需要大约 28 天（16.5m³÷0.58m³/d≈28 天），则排放时放射性废水最短衰变时间约为 56 天（28 天×2=56 天）。本项目放射废水在衰变池衰变后，其衰变时间满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中 7.3.3.1 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废

液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放的要求。

核医学科工作场所放射性废水排放走向见图 10-18，衰变池设计见图 10-19。

（3）放射性固体废物

核医学科产生的放射性固废约 435kg/a。

放射性固废先按时间分类收集在内置专用塑料袋的污物桶（污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志）内，密封后及时运送至核医学科固废间的废物暂存桶内。按照 HJ1188-2021 要求，放射性固废暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2，可对废物清洁解控，按医疗废物处置。

图 10-17 核医学科排风管道示意图

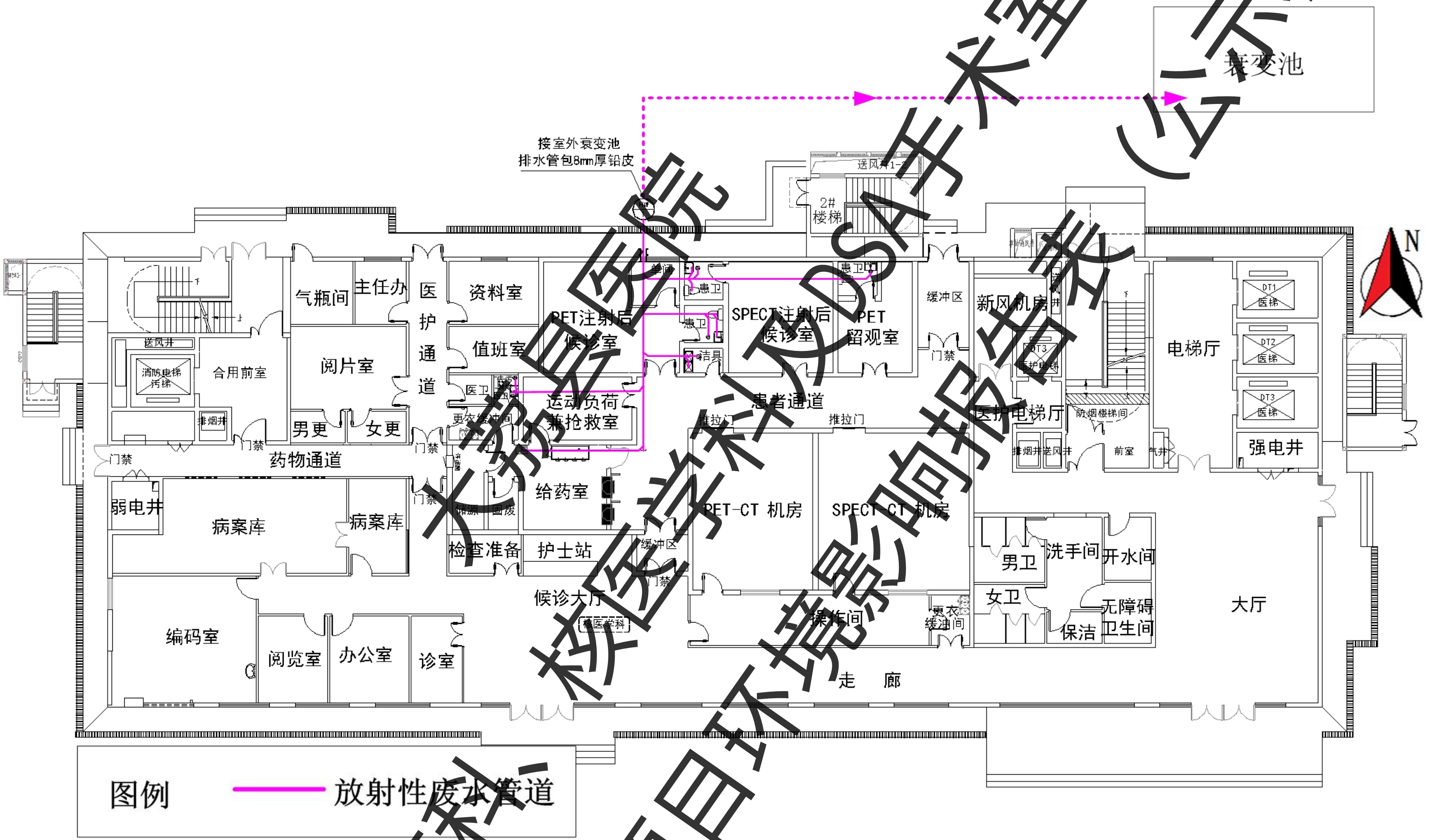


图 10-18 核医学科放射性废水排放去向示意图

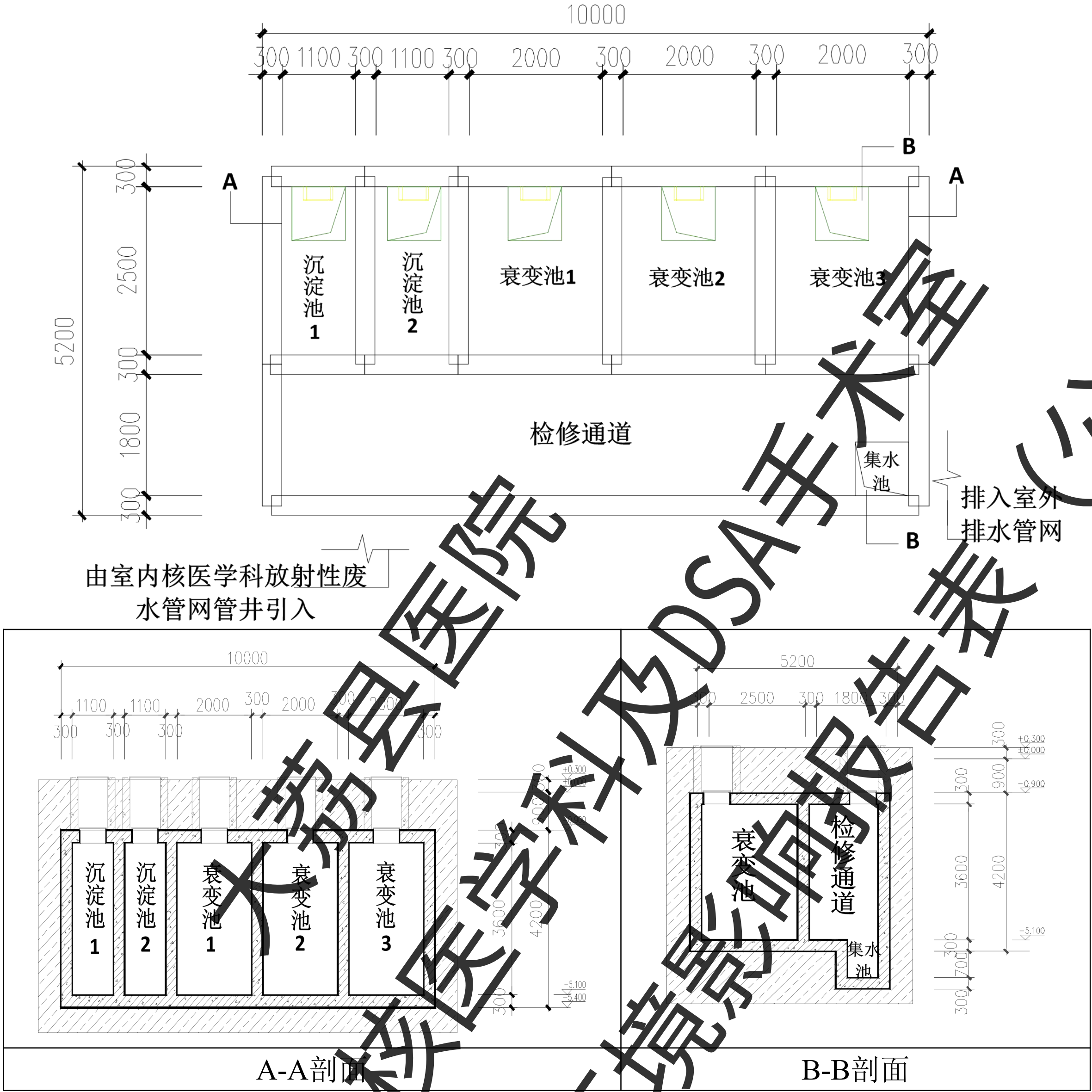


图 10-19 核医学科衰变池设计图

10.2.3 DSA

（1）废气

DSA设备在开机并处于出束状态时，X射线与空气作用会产生极少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，由于项目射线装置的管电压、管电流较小，产生的有害气体相对较少。

DSA介入手术室在天花板南侧设置1个排风口，排风量为800m³/h；排风管道经DSA介入手术室东侧墙体穿出，经管道引至外科综合楼东侧室外进行排放，室外排风口距地面高约3.3m。满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）“机房应设

置动力通风装置，并保持良好的通风”要求。

（2）废水

项目采用数字显影技术，无废显影液和定影液产生。3名工作人员会产生一定量的生活污水统一纳入医院污水处理系统，不会对周围水环境产生不良影响。

（3）固体废物

项目采用数字显影技术，不会产生废胶片。介入手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医疗废物，在手术室由专用包装袋、容器分类收集后，经DSA介入手术室西侧的污物通道进入污洗间，在污洗间对污物就地打包，放置在医院污物暂存处，最终委托有资质的单位处置。工作人员产生的少量的生活垃圾经垃圾桶分类收集后由环卫部门统一处理。3名辐射工作人员生活垃圾产生量约为0.5kg/（人·d），则生活垃圾产生量为1.5kg/d，纳入医院生活垃圾清运系统，不会对周围环境产生不良影响。

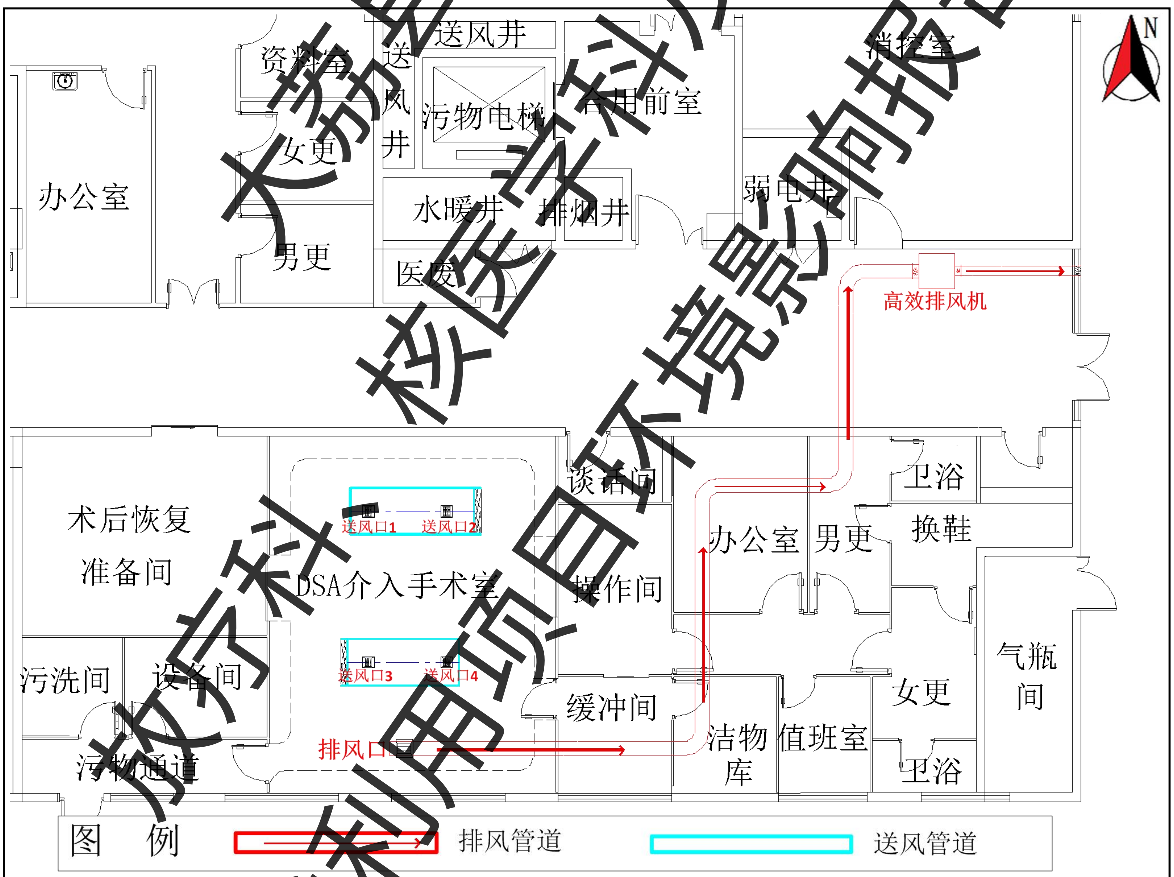


图 10-20 DSA介入手术室通风管道走向示意图

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目拟在外科综合楼西北侧地下一层设置放疗科，肿瘤综合楼一层设置核医学科，外科综合楼一层设置一间 DSA 介入手术室。项目所在肿瘤综合楼、外科综合楼已进行环境影响评价并取得批复，针对施工期产生的环境影响已提出了相应的防护措施。

肿瘤综合楼、外科综合楼设计为楼体建筑框架，地板采用 160mm 混凝土，顶棚采用 120mm 混凝土建造。本项目施工期主要为机房防护设施装修及设备安装，对环境有影响的因素为施工噪声、施工扬尘、固体废弃物及废水等，提出以下措施：

（1）废气：施工期物料堆场应定点定位，并采取洒水喷淋等防尘抑尘措施，废料堆及时清运。运输物料车避免超高超载，实行封闭运输，避免水泥沙土因颠簸撒漏。

（2）施工期间产生极少量的施工用具洗刷废水经过沉淀后与生活污水排至医院污水管网，依托医院污水处理站处理达标后排入市政污水管网。

（3）噪声：施工现场如电钻、切割机等产生的噪声，治理措施为：①噪声专人专管：施工现场提倡文明施工；②选择使用噪声较小的施工设备和工艺，从源头降低噪声污染；优化施工方案，合理安排作业时间，禁止夜间施工，选择对周围人群影响较小的时段施工；设置围挡等必要的噪声控制设施。

（4）固体废物：施工期间建筑垃圾以及建材包装的废包装材料和施工人员产生的生活垃圾等。治理措施为：施工期间的建筑垃圾应在指定的地点堆放，并及时清运；废包装材料和生活垃圾产生量少，分类收集于垃圾桶，由环卫部门统一清运。

项目施工期短，施工范围小，通过控制作业时间、加强施工现场管理等手段，施工期对周围环境影响较小，且施工期影响均为暂时影响，随着施工期的结束而消除。本项目设备的安装、调试由设备厂家专业人员进行，建设单位不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在门上粘贴电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。由于设备的安装调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是

可接受的。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 放疗科

11.2.1.1 直线加速器机房

11.2.1.1.1 机房屏蔽体厚度核算

放疗科拟配置的直线加速器是可以开展X射线和电子线两种束流的放射治疗装置。电子线最大不超过22MeV，考虑到电子线治疗次数有限（工作负荷不足X射线治疗的1%），且电子线治疗过程中，电子线与机头、治疗床、人体组织等作用，产生韧致辐射的能量和强度低于电子束撞击钨靶产生的X射线强度。如机房四周墙体、屋顶和防护门等屏蔽体能满足X射线的屏蔽防护要求，即可满足电子线治疗中产生的韧致辐射的防护要求。

直线加速器配备的CBCT作为图像引导系统，其能量相比于直线加速器较小，且不与直线加速器同时工作，不存在叠加影响，因此在本项目屏蔽满足直线加速器屏蔽要求的情况下，也满足图像引导系统的屏蔽要求。

综上所述，本次直线加速器机房以直线加速器产生的X射线核算屏蔽体的屏蔽能力满足相关标准的要求。

（1）主屏蔽墙宽度核算

① 核算公式

主屏蔽墙宽度核算公式如下：

$$Y_p=2[(a+\mathrm{SAD})\cdot\tan\theta+0.3] \qquad (11\text{-}1)$$

式中：

Y_p —— 机房有用射线束主屏蔽墙的宽度，m；

SAD —— 源轴距，m，项目取1m；

θ —— 治疗束的最大张角（相对束中的轴线）。项目拟配置的加速器治疗最大照射野为40cm×40cm，治疗束可达到对角线的最大张角为31.6°，θ=15.8°；

a —— 等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”

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

② 核算结果

主屏蔽区宽度示意图见图11-1，按照公式11-1，本项目加速器机房主屏蔽区的宽度核算结果详见表11-1。

表 11-1 加速器机房主屏蔽墙的宽度核算结果一览表

<table>
<tr><th colspan="2">主屏蔽区位置</th><th>主屏蔽墙类型</th><th>等中心点至“墙”的距离（m）</th><th>核算宽度（m）</th><th>设计宽度（m）</th><th>评价</th></tr>
<tr><td colspan="2">机房南墙主屏蔽区</td><td>内凸</td><td>4.0</td><td>3.4</td><td>4.2</td><td>符合</td></tr>
<tr><td rowspan="2">迷路内墙主屏蔽墙</td><td>东半墙</td><td rowspan="2">内凸</td><td>3.7[a]</td><td>1.6</td><td>2.6</td><td>符合</td></tr>
<tr><td>西半墙</td><td>3.7[a]</td><td>1.6</td><td>2.1</td><td>符合</td></tr>
<tr><td colspan="2">机房顶主屏蔽区</td><td>外凸</td><td>5.5[b]</td><td>4.2</td><td>4.4</td><td>符合</td></tr>
<tr><td colspan="7">注：a、等中心点至迷路内墙表面（与主屏蔽相连接的次屏蔽墙的内表面）的垂直距离；
b、等中心点至主屏蔽区墙（或顶）的外表面的垂直距离。</td></tr>
</table>

根据表11-1可知，本项目直线加速器机房主屏蔽区的设计宽度均满足有用射线束屏蔽宽度要求。

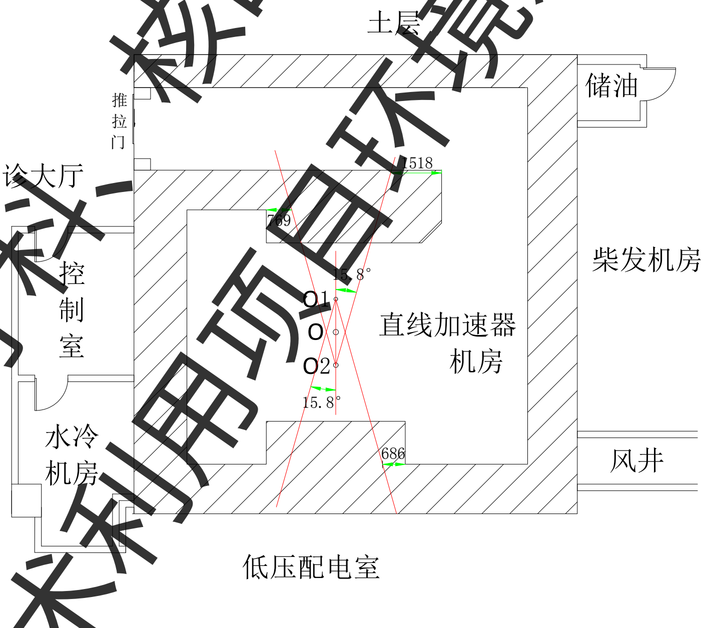


图 11-1 加速器机房主屏蔽宽度示意图（平面）

（2）机房防护墙体屏蔽厚度核算

①关注点的选取

据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的要求，在本项目直线加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在直线加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器最大功率运行并针对关注点最不利情况对机房进行辐射屏蔽核算。

本项目加速器机房北侧为土层，人员不可到达，因此关注点取土层上方室外地坪，居留因子按照对应地面位置取值。

本项目直线加速器机房X射线辐射影响分析关注点设定情况见图11-2~图11-4。

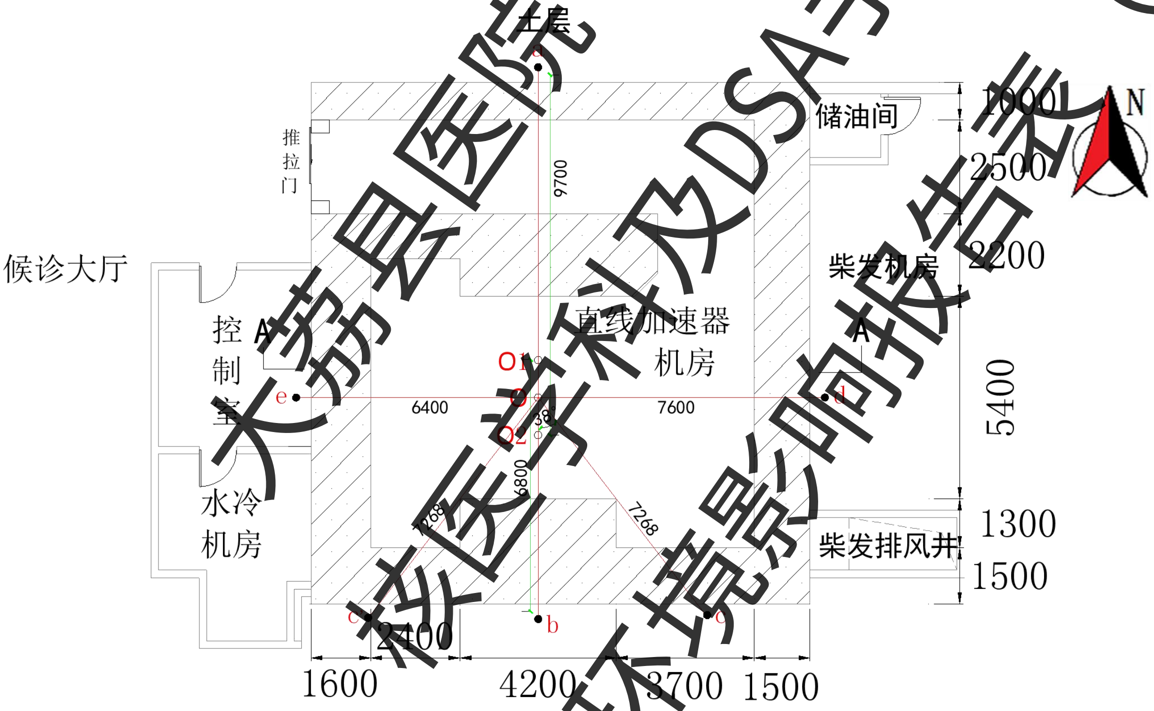


图 11-2 加速器机房关注点设定示意图（平面）

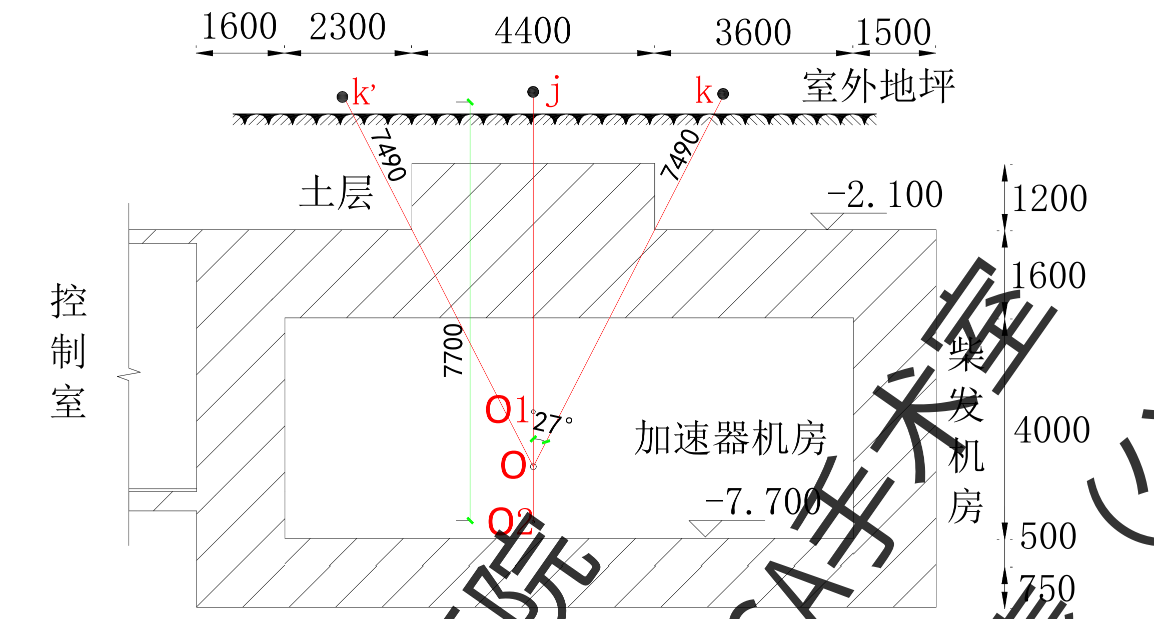


图 11-3 加速器机房关注点设定示意图（A-A 剖面）

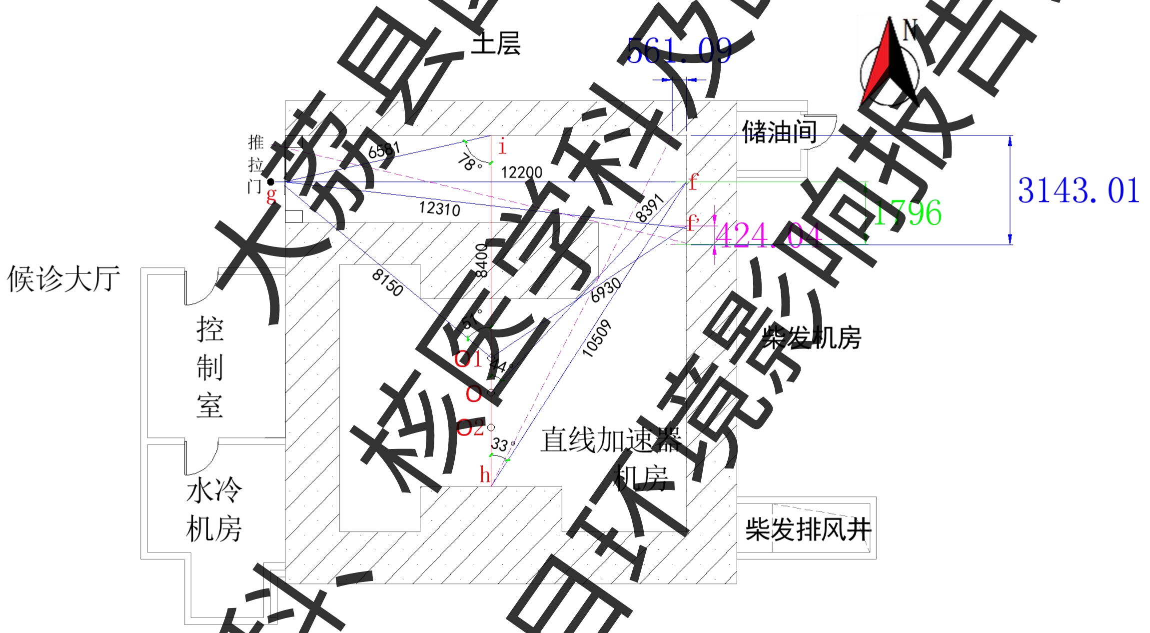


图 11-4 加速器机房关注点设定示意图（机房门外）

各参考点及其辐射线路见表 11-2。

表 11-2 机房计算参考点和辐射线路

机房	屏蔽体	参考点	屏蔽类型	辐射线路	距离（m）
加速器机房	南墙	b	主屏蔽区，有用线束	O1-b	6.80
		c/c'	次屏蔽区，患者散射辐射和加速器泄漏辐射	O-c/c' O1-O-c/c'	7.26

	东墙	d	侧屏蔽墙，泄漏辐射	O-d	7.60
	北墙（迷路外墙）	a	主屏蔽区，有用线束	O2-a	9.70
	西墙	e	侧屏蔽墙，泄漏辐射	O-e	6.40
	防护门	g	次屏蔽区，患者散射辐射和加速器泄漏辐射	O1-f'-g，O-f-g，O1-h-f-g，O2-i-g，O1-g	19.23，20.59，26.40，14.98，8.15
	屋顶	j	主屏蔽区，有用线束	O2-j	7.70
		k/k'	次屏蔽区，患者散射辐射和加速器泄漏辐射	O-k/k' O2-O-k/k'	7.49

②关注点的剂量率参考控制水平

a）使用放射治疗周工作负荷、关注点使用因子和居留因子，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）6.1.4，由以下周剂量参考控制水平（H_c）求得关注点的导出剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}$：

机房外辐射工作人员：$H_c \leq 100\mu Sv$/周；

机房外非辐射工作人员：$H_c \leq 5\mu Sv$/周。

b）按照关注点人员居留因子（T）的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,max}$按以下情况取值：

人员居留因子T＞1/2的场所：最高剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,max}$ ≤2.5μSv/h；

人员居留因子T≤1/2的场所：最高剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,max}$ ≤10μSv/h。

c）取a）、b）中较小者作为关注的剂量率参考控制水平（$\dot{H}_c$）。

根据GBZ/T201.2-2011附录A.2，**单一有用线束**在关注点的导出剂量率控制水平按公式11-2计算。

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

式中：

H_c —— 周参考剂量控制水平，μSv/周；

t —— 治疗装置周治疗照射时间，h；

U —— 有用线束向关注位置的方向照射的使用因子；

T —— 人员在相应关注点驻留的居留因子，居留因子取值参考HJ1198-2021 附录A表A.1。

根据GBZ/T201.2-2011附录A.2，**单一泄漏辐射**在关注点的导出剂量率控制水平按公式11-3计算。

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

式中：

H_c —— 周参考剂量控制水平，μSv/周；

t —— 治疗装置周治疗照射时间，h；

N —— 调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常N=5；

T —— 人员在相应关注点驻留的居留因子，居留因子取值参考HJ1198-2021 附录A表A.1。

对于与主屏蔽直接相连的**次屏蔽区**，属于复合辐射，根据（GBZ/T 201.2-2011）中附录A2.2 复合辐射，需考虑加速器的泄漏辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射。以关注点最高剂量率参考控制水平的一半$\dot{H}_{c,\max}/2$估算屏蔽患者散射辐射所需要的屏蔽厚度，将式11-3中H_c以$0.5H_c$代替来估算屏蔽泄漏辐射所需要的屏蔽厚度，选取屏蔽厚度较厚者作为该关注点的屏蔽设计。相应屏蔽下，泄漏辐射和散射辐射在关注点的剂量率之和为该处的剂量控制值。

本项目拟配置的加速器 X 线最大能量为 10MV，等中心处最大剂量率为 2400cGy/min；预计加速器日诊疗人数 60 人，周工作时间为 5d，平均每人治疗剂量为 4.5Gy（1.5Gy/野次×3 野次/人），则直线加速器单次出束照射时间为 4.5/24*60=11.25s，常规放射治疗下周工作负荷 W=60×5×1.5×3=1350Gy/周，则周治疗照射时间 t=W/D_0=1350/24≈56.25min≈0.94h；调强放射治疗中，对泄漏辐射，周工作负荷为 6750Gy/周（当调强因子 N=5 时），调强下的工作时间 N・t≈4.69h。在垂直于射野中心轴并通过等中心的平面内，除最大射野外，X 射线的泄漏率≤0.1%。

机房外关注点剂量率参考控制水平见表11-3。

表11-3　加速器机房关注点剂量率参考控制水平一览表

机房	关注点位置	射线类型	使用时间 t	使用因子 U	调强因子 N	居留因子 T	H_c (μSv/周)	$\dot{H}_{c,d}$ (μSv/h) 计算值	$\dot{H}_{c,max}$ (μSv/h)	最终取值 (μSv/h)
加速器机房	b（低压配电室）	有用线束	0.94	1/4	/	1/20	5	426	10	10
	c/c'（低压配电室）	患者一次散射辐射	0.94	1/4	/	1/20	5/2	213	10/2	5
		泄漏辐射	0.94	/	5	1/20	5/2	11	10/2	5
	d（柴发机房）	泄漏辐射	0.94	/	5	1/20	5	21	10	10
	a（北侧土层，上方为室外地坪）	有用线束	0.94	1/4	/	1/40	5	851	10	10
	e（控制室）	泄漏辐射	0.94	/	5	1	100	21	2.5	2.5
	g（防护门外）	泄漏辐射 散射辐射	0.94	/	5	1/8	5	8.5	10	8.5
	j（上方室外地坪）	有用线束	0.94	1/4	/	1/40	5	851	10	10
	k/k'（上方室外地坪）	患者一次散射辐射	0.94	1/4	/	1/40	5/2	426	10/2	5
		泄漏辐射	0.94	/	5	1/40	5/2	21	10/2	5

注：1.次屏蔽区受到的小角度散射辐射仅在有用线束朝向特定方向时出现，故使用因子与该方向有用线束的使用因子相同。
2.关注点a位于土层，其上方为室外地坪，本报告通过土层关注点处周围剂量当量率保守反映土层上方的周围剂量当量率，由于土层上方为人员偶然居留的区域，因此居留因子T取1/40。

③机房屏蔽墙体厚度核算

主屏蔽区仅考虑有用线束，侧屏蔽墙仅考虑泄漏辐射，计算结果与设计厚度进行比较，分析是否满足屏蔽厚度要求。与主屏蔽区相连的次屏蔽区需考虑泄漏辐射和患者一次散射辐射的复合作用，分别计算其所需屏蔽厚度，取较厚者。

有用线束和泄漏辐射屏蔽所需要的透射因子 B 按公式（11-4）计算，散射辐射的透射因子按式（11-5）进行计算，再按公式（11-6）估算所需要的有效屏蔽厚度 Xe(cm)，然后按照公式（11-7）获得屏蔽厚度。

$$B=\frac{\dot{H}}{\dot{H}_0}\cdot\frac{R^2}{f} \qquad (11\text{-}4)$$

$$B=\frac{\dot{H}_c\cdot R_s^2}{\dot{H}_0\cdot\alpha_{ph}\cdot(F/400)}\qquad(11\text{-}5)$$

$$X_e=TVL\cdot lg\,B^{-1}+(TVL_1-TVL)\qquad(11\text{-}6)$$

$$X=X_e\cdot cos\,\theta\qquad(11\text{-}7)$$

式中：

B —— 屏蔽透射因子；

$\dot{H}_c$ —— 剂量率参考控制水平，μSv/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处的最高剂量率，μSv•m²/h；

R —— 辐射源点至关注点的距离，m；

f —— 对有用束为1，对90°泄漏辐射为0.001；

R_s —— 患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph} —— 与X射线的MV值及散射角有关，患者400cm²面积上垂直入射X射线散射至距其1m（关注点方向）处的剂量比例，又称400cm²面积上的散射因子，10kV下散射角30°时，α_{ph}=3.18×10⁻³；

F —— 治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²。本项目直线加速器治疗最大照射野为40cm×40cm，则F取值1600cm²；

θ —— 斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角；

TVL —— 辐射在屏蔽物质中平衡什值层厚度；

TVL_1 —— 辐射在屏蔽物质中第一什值层厚度；

X_e —— 有效屏蔽厚度，cm；

X —— 墙体屏蔽厚度，cm。

表 11-4 加速器机房计算参数取值

计算参数	10MV 加速器
$\dot{H}_0$	等中心处最大剂量率 2400cGy/min，$\dot{H}_0$=24×6×10⁷=1.44×10⁹μSv·m²/h。
$\dot{H}_c$	剂量限值，按表 11-3 取值。

R/R_s	根据建设单位提供的机房平面设计图取值，见表 11-2。
f	对有用束为 1，对 90°泄漏辐射为 0.001
α_{ph}	α_{ph}=3.18×10^{-3}（30°散射角）
F	1600cm^2
TVL_1、TVL	有用线束 TVL_1=41cm，TVL=37cm。
	90°泄漏辐射 TVL_1=35cm，TVL=31cm。
	患者散射辐射 TVL=28cm（30°散射角）。

将相关参数代入公式进行计算，结果见表11-5。

表11-5　加速器治疗模式下机房四周墙体屏蔽厚度核算

关注点点位		距离（m）	$\dot{H}_c$（μSv/h）	$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	B	计算厚度（混凝土，cm）		设计厚度（混凝土，cm）	结论
直线加速器机房	b	6.80	10（有用）	1.44×10^9	3.21×10^{-7}	244.3		280	满足
	c/c'	7.26	5（散射）	1.44×10^9	1.44×10^{-5}	106.9	106.9	150	满足
		7.26	5（泄漏）	1.44×10^9	1.83×10^{-4}	94.5			
	d	7.60	10（泄漏）	1.44×10^9	4.01×10^{-4}	109.3		150	满足
	a	9.70	10（有用）	1.44×10^9	6.53×10^{-7}	232.9		220+100	满足
	e	6.40	2.5（泄漏）	1.44×10^9	7.11×10^{-5}	132.6		160	满足
	j	7.70	10（有用）	1.44×10^9	4.12×10^{-7}	240.3		280	满足
	k/k'	7.49	5（散射）	1.44×10^9	1.53×10^{-5}	120.2	120.2	160	满足
		7.49	5（泄漏）	1.44×10^9	1.95×10^{-4}	106.1			

（3）防护门X射线防护能力分析

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），有用线束向迷路内墙照射时，加速器机房迷路入口防护门处（g点）的辐射剂量率主要考虑如下：

1）入射至f点的散射辐射至g处的辐射中，f点的入射辐射可能来自：泄漏辐射（O1-f'-g）；患者散射辐射（O-f-g）；向h处照射的有用线束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面h点的散射辐射（O1-h-f-g）。

2）穿过迷路内墙的有用线束受迷路外墙散射至g处的辐射（O2-i-g）。此项值应为g处的参考控制水平的一个分数（一般小于1/4）。若此辐射剂量值较高，应增加迷路内墙的屏蔽厚度。

3）g处还需核算泄漏辐射（以偏离O的位置O1为中心）经迷路内墙屏蔽后在迷路入口g处的辐射剂量（O1-g），核算结果应为g处的参考控制水平的一个分数（一般小于1/4）。若此辐射剂量值较高，应增加迷路内墙的屏蔽厚度。

表 11-6 加速器机房迷路入口处（g）考虑的辐射

关注点	关注点考虑的辐射	路径	距离（m）
防护门外g	泄漏辐射经东侧屏蔽墙散射后在g处的辐射	O1-f'-g	O1-f'：6.93 f'-g：12.3
	人体受有用线束照射时，由f点散射至g处的辐射	O-f-g	O-f：8.39 f-g：12.2
	有用线束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面h点的散射辐射	O1-h-f-g	O1-h：3.70 h-f：10.50 f-g：12.2
	穿过迷路内墙的有用线束受迷路外墙散射至g处的辐射	O2-i-g	O2-i：8.40 i-g：6.58
	迷路内墙屏蔽后在迷路入口g处的辐射	O1-g	8.15

故本项目考虑迷路入口处的辐射剂量率以下三个方面：

1）入射至f点的散射辐射至g处的辐射中，f点的入射辐射可能来自：泄漏辐射（O1-f'-g）；患者散射辐射（O-f-g）；向h处照射的有用线束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面h点的散射辐射（O1-h-f-g）。

下面分别对以上三种辐射情形进行分析：

a. 射入东侧屏蔽墙上的泄漏辐射被散射至g点的辐射剂量率（O1-f'-g）按式（11-8）计算。

$$\dot{H} = \frac{f \bullet H_0 \bullet A \bullet \alpha_w}{R_L^2 \bullet R^2} \tag{11-8}$$

式中：

$\dot{H}$—计算点的辐射剂量率，μSv/h；

f—加速器的泄漏辐射比率，通常取 10^{-3}；

H_0—有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的最高剂量率，项目为 2400cGy/min，即 1.44×10^9μSv•m²/h；

A—散射面积，自泄漏辐射始点和计算点共同可视见的散射体区域面积 m²，项目取 1.70m²（长度 0.424m、机房高度 4m）；

a_w—散射体的散射因子，单位面积（1m²）散射体散射到距其 1m 处的散射

辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比，项目保守取 5.1×10^{-3}；

R_L—泄漏辐射始点至散射体中心点的距离，项目取 6.93m（O1-f′）；

R—散射体中心点至计算点的距离，项目取 12.3m（f′-g）。

经计算，项目射入屏蔽墙上的泄漏辐射被散射至 g 点的剂量率为 1.72μSv/h。

b. 患者散射至机房 g 点辐射剂量率（O-f-g）按公式（11-9）计算。

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

式中：

$\dot{H}_g$—计算点的散射辐射剂量率，μSv/h；

α_{ph}—患者400cm²面积上的散射因子，项目患者散射角按45°保守取值，即α_{ph}取1.35×10^{-3}；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²，本项目等中心处最大治疗野40cm×40cm；

a_2—砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，项目按混凝土墙45°入射、0°散射、1m²散射面积、0.5MeV栏的散射因子保守取值，即$a_2=22\times10^{-3}$；

R_1----等中心点到一次散射的距离，m，项目取8.39m（O-f）；

R_2----一次散射到迷路口的距离，m，项目取12.2m（f-g）；

A----一次散射的散射面积，m²，项目取7.2m²（长度1.80m，机房高度4m）。

$\dot{H}_0$—有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的最高剂量率，项目为 2400cGy/min，即 1.44×10^9μSv•m²/h；

经计算，患者散射至计算点g点的辐射剂量率为117.56μSv/h。

c. 有用线束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面h点的射线散射至机房迷路入口g点的辐射剂量率（O1-h-f-g）按公式（11-10）计算。

$$\dot{H}=\dot{H}_0\bullet\frac{\alpha_W\bullet(F/10^4)}{R^2}\bullet B_P\bullet\frac{\alpha_2\bullet A}{R_2^2} \qquad (11\text{-}10)$$

式中：

$\dot{H}$—计算点的辐射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_0$—有用线束中心轴上距产生治疗X射线束的靶1m处的最高剂量率，项目为2400cGy/min，即1.44×10^9μSv•m²/h；

a_W—散射因子，单位面积（$1m^2$）散射体散射到距其1m处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比，取4.1×10^{-3}；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2，本项目等中心处最大治疗野40cm×40cm；

R—散射体中心点（有用线束在屏蔽墙上的投影点）与计算点的距离，m，项目取10.50m（h-f）；

B_P—有用线束射入散射体（屏蔽墙）前的屏蔽透射因子，对于患者取 0.34。

a_2—散射辐射的散射因子，项目按混凝土墙45°入射、0°散射、0.5MeV栏，$1m^2$散射面积的散射因子保守取值，即$a_2=22\times10^{-3}$；

A—f点处的散射面积，m^2，项目取$14.8m^2$（长度3.70m，机房高度4m）；

R_2—f点至g点之间的距离，m，项目取12.2m；

经计算，有用线束穿过患者身体并射入屏蔽墙内表面h点的射线散射至机房迷路入口g点的辐射剂量率为6.37μSv/h。

综上，入射至f处的散射辐射至g点的辐射剂量率共计125.65μSv/h。

2）有用线束穿过迷路内墙，垂直射入迷路外墙并散射至计算点的辐射剂量率（O2-i-g）按公式（11-11）计算。

$$\dot{H} = \dot{H}_o \bullet \frac{F/10^4}{R^2} \bullet \alpha_w \bullet B_p \tag{11-11}$$

式中：

$\dot{H}$—计算点的辐射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_0$—有用线束中心轴上距产生治疗X射线束的靶1m处的最高剂量率，项目为2400cGy/min，即1.44×10^9μSv•m^2/h；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2，本项目等中心处最大治疗野40cm×40cm；

10^4—将$1m^2$面积转换为10^4cm^2；

R—散射体中心点（有用线束在迷路外墙上的投影点）与计算点的距离，m，项目取6.58m（i-g）；

a_W—散射因子，单位面积（$1m^2$）散射体散射到距其1m处的散射辐射剂量

率与该面积上的入射辐射剂量率的比，参照GBZ/T201.2-2011附录B中表B.5，0°入射、75°散射，散射因子取2.1×10^{-3}；

B_P—有用线束射入散射体（迷路外墙）前的屏蔽透射因子，项目迷路内墙厚度220cm，TVL_1=41cm，TVL=37cm，则$B_P=10^{-（220+37-41）/37}=1.45\times10^{-6}$。

经计算，项目有用线束穿过迷路内墙，垂直射入迷路外墙并散射至计算点g点的辐射剂量率为0.016μSv/h。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011），在按式（11-11）估算该项散射时，有用线束边缘距g点可能较近，并且还存在迷路内墙的杂散辐射，该项散射辐射剂量率可能为单个计算点理论值的2倍，因此，**该项散射辐射剂量率保守取值，为0.032μSv/h**，小于g点参考控制水平的1/4（8.5μSv/h×1/4=2.215μSv/h）。

3）漏射线经迷路内墙屏蔽后在迷路入口g处的辐射剂量（O1-g）

在给定屏蔽物质厚度X（cm）时，首先按式X_e=X•secθ计算有效厚度X_e（cm），X_e=（1.2m/cos51°=1.9m），再按式$B=10^{-(X_e+TVL-TVL1)/TVL}$估算屏蔽物质的屏蔽透射因子B，$B=10^{-（190+31-35）/31}=1.0\times10^{-6}$；并按式（11-12）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）：

$$\dot{H} = \frac{H \cdot f}{R^2} \cdot B \qquad （11-12）$$

$\dot{H}$—计算点的辐射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_0$—有用线束中心轴上距产生治疗X射线束的靶1m处的最高剂量率，项目为2400cGy/min，即1.44×10^9μSv•m²/h；

f—对90°泄漏辐射为0.001；

B—有用线束射入散射体（屏蔽墙）前的屏蔽透射因子，$B=10^{-（190+31-35）/31}=1.0\times10^{-6}$；

R—辐射源点至关注点的距离，m；项目取8.15m（O1-g）；

经计算，泄漏射线经迷路内墙屏蔽后对g点的贡献值为0.0217μSv/h，小于g点参考控制水平的1/4（8.5μSv/h×1/4=2.215μSv/h）。

4）机房防护门需要的屏蔽透射因子按照公式11-13估算：

$$B=\frac{\dot{H}_c-\dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \qquad (11\text{-}13)$$

式中：

$\dot{H}_c$—防护门外辐射剂量率控制水平，项目加速器机房取8.5μSv/h；

$\dot{H}_{og}$—泄漏辐射经T位置穿过迷路内墙在g点的剂量率，经计算为0.0217μSv/h；

$\dot{H}_g$—g点的散射辐射剂量率，μSv/h。项目在g点的散射辐射剂量率包括穿过迷路内墙的有用线束受迷路外墙散射至g点的辐射剂量率（0.016μSv/h）和入射至f点的辐射散射至g点的辐射剂量率（125.65μSv/h），经计算g点的散射辐射剂量率共计125.67μSv/h。

g处的散射辐射能量约为0.2MeV，铅的TVL为5mm。保守起见，按防护门外防护门剂量控制水平取2.215μSv/h时计算，由公式11-13得g处需要的屏蔽透射因子B=0.0199，相应铅厚度(X)为：X=TVL·logB^{-1}=**8.51mm**。

本项目加速器机房采用16mmPb当量防护门，满足铅当量要求。

5）在给定防护门的铅屏蔽厚度X（cm）时，防护门外的辐射剂量率按公式11-14计算：

$$\dot{H}=\dot{H}_g \bullet 10^{-(X/TVL)}+\dot{H}_{og} \qquad (11\text{-}14)$$

式中TVL=5mm。经计算加速器机房防护门外g点的剂量率为$\dot{H}$=125.67×10$^{-(16/5)}$+0.0217=**0.101μSv/h**。

11.2.1.1.2 屏蔽体外剂量率核算

根据机房屏蔽墙体的设计厚度，首先按式（11-15）计算有效厚度，再按式（11-16）估算屏蔽物质的屏蔽透射因子B；有用线束或泄漏辐射在关注点处的剂量率按式（11-17）计算；患者一次散射辐射在关注点处的剂量率按式（11-18）计算。

$$X_e=X\bullet\sec\theta \qquad (11\text{-}15)$$

$$B=10^{-(X_e+TVL-TVL1)/TVL} \qquad (11\text{-}16)$$

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_0\cdot f}{R^2}\cdot B \qquad (11\text{-}17)$$

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_0\cdot \alpha_{ph}\cdot (F/400)}{R_s^2}\cdot B \qquad (11\text{-}18)$$

式中：

θ—斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

TVL—辐射在屏蔽物质中的平衡什值层，cm；

TVL_1—辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度，cm；

$\dot{H}_0$—加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的最高剂量率，项目取 1.44×10^9μSv•m²/h；

R—辐射源点至关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子；

f—对有用束为 1；对 90°泄漏辐射为 0.001；

α_{ph}—与 X 射线的 MV 值及散射角有关，患者 400cm² 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；取散射角 30°时，散射因子 $\alpha_{ph}=3.18\times10^{-3}$。

R_s—患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

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

将相关参数代入公式进行计算，加速器机房屏蔽墙体外周围剂量当量率结果详见表 11-7。

表 11-7 加速器机房屏蔽墙体周围剂量当量率估算结果一览表

机房	关注点	墙体厚度（cm）	θ（°）	关注点至辐射源点/等中心点距离（m）	f	α_{ph}	屏蔽透射因子B	关注点剂量率（μSv/h）		控制值(μSv/h)	结论
加速器机房	b（低压配电室）	280	0	6.80	1	/	3.47×10^{-8}	1.08		10	满足
	c/c'（低压配电室）	150	38	7.26（散射）	/	3.18×10^{-3}	1.59×10^{-7}	5.53×10^{-2}	8.19×10^{-2}	5	满足
			38	7.26（泄漏）	0.001	/	9.74×10^{-7}	2.66×10^{-2}		5	
	d（柴发机房）	150	0	7.60	0.001	/	1.95×10^{-5}	0.49		10	满足

机房	关注点	墙体厚度（cm）	θ（°）	关注点至辐射源点/等中心点距离（m）	f	α_{ph}	屏蔽透射因子B	关注点剂量率（μSv/h）		控制值（μSv/h）	结论
	e（控制室）	160	0	6.40	0.001	/	9.28×10^{-6}	0.33		2.5	满足
	a（土层）	320	0	9.70	1	/	2.88×10^{-9}	4.41×10^{-2}		10	满足
	j（室外地坪）	280	0	7.70	1	/	3.47×10^{-8}	0.84		10	满足
	k/k'（室外地坪）	160	27	7.49（散射）	/	3.18×10^{-3}	3.86×10^{-7}	0.13	0.15	5	满足
			27	7.49（泄漏）	0.001	/	6.87×10^{-7}	0.02		5	

综上所述，本项目直线加速器运行时，直线加速器机房周围剂量当量率满足相关标准对屏蔽体外剂量率的要求。

11.2.1.1.3 个人剂量估算

辐射工作人员与公众所照射的辐射年剂量按下式计算：

$$H = t \cdot T \cdot \dot{H} \cdot U \times 10^{-3} \tag{11-19}$$

式中：

H—放射工作人员与公众的年附加剂量，mSv/a；

t—年出束时间（h）；

T—居留因子，参照HJ1198-2021中附录A取值；

$\dot{H}$—关注点的周围剂量当量率，μSv/h；

U—使用因子。

本次评价按照最不利情况估算年受照剂量，计算结果见表11-8。

表 11-8 直线加速器机房外各关注点年受照剂量估算结果

点位		最大周围剂量当量率(μSv/h)	年出束时间t	居留因子T	使用因子U	年受照剂量(mSv/a)		约束值（mSv/a）
低压配电室	b	1.08	47	1/20	1/4	6.35×10^{-4}	9.80×10^{-4}	0.1
	c/c'	泄漏：2.66×10^{-2}	235	1/20	1	3.13×10^{-4}		
		散射：5.53×10^{-2}	47	1/20	1/4	3.25×10^{-5}		
柴发机房（d）		0.49	235	1/20	1	**5.76×10^{-3}**		0.1
控制室（e）		0.33	235	1	1	**0.078**		5

<table>
<tr><td>土层（a）[注]</td><td>4.41×10^{-2}</td><td>47</td><td>1/40</td><td>1/4</td><td colspan="2">1.30×10^{-5}</td><td>0.1</td></tr>
<tr><td>室外地坪（j）</td><td>0.84</td><td>47</td><td>1/40</td><td>1/4</td><td colspan="2">2.47×10^{-4}</td><td>0.1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">室外地坪
（k/k’）</td><td>泄漏：0.02</td><td>235</td><td>1/40</td><td>1</td><td>1.18×10^{-4}</td><td rowspan="2">1.56×10^{-4}</td><td rowspan="2">0.1</td></tr>
<tr><td>散射：0.13</td><td>47</td><td>1/40</td><td>1/4</td><td>3.82×10^{-5}</td></tr>
<tr><td>防护门外（g）</td><td>0.101</td><td>235</td><td>1/8</td><td>1</td><td colspan="2">2.97×10^{-3}</td><td>0.1</td></tr>
<tr><td colspan="8">注：关注点a位于加速器机房北侧土层，其上方为室外地坪，本次评价通过土层关注点处周围剂量当量率保守反映土层上方的周围剂量当量率，由于土层上方为人员偶然居留的区域，因此居留因子T取1/40。</td></tr>
</table>

根据表11-8可知，加速器运行所致辐射工作人员最大年有效剂量为0.078mSv，机房周围公众年最大年有效剂量为5.76×10^{-3}mSv，均低于项目剂量约束值（工作人员不超过5mSv/a，公众人员不超过0.1mSv/a），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关要求。

50m范围内其他环境保护目标距辐射源的距离更远，间隔的墙体更多，因此上表中关注点处年有效剂量满足标准要求的情况下，50m范围内其他环境保护目标处的年有效剂量也满足标准要求。

11.2.1.1.4 污染物影响分析

①臭氧和氮氧化物

直线加速器机房产生极少量的臭氧和氮氧化物，经排风管道引至排风井（排烟井）排出，直线加速器机房体积约257.8m³（机房有效容积222.4m³+迷路容积35.4m³=257.8m³），机房设置两个排风口，总排风量设计为6000m³/h，机房通风换气次数约为23次/h。因此，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中机房换气次数不小于4次/h的要求。项目产生的臭氧和氮氧化物等对周围大气环境的影响极小。

②生活废水

放疗科工作人员及患者产生的生活废水依托医院污水处理站处理，对环境不会产生影响。

③生活垃圾

放疗科工作人员及患者产生生活垃圾依托医院垃圾清运系统处理，对环境不会产生影响。

11.2.1.2 CT模拟定位机

本项目配备有1台CT模拟定位机用于放射治疗前的定位。

11.2.1.2.1 机房防护能力分析

1）机房空间符合性分析

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），CT模拟定位机使用面积及最小单边长度符合性分析详见表11-9。

表 11-9 CT 模拟定位机房使用面积及最小单边长度符合性分析一览表

机房名称	参数	设计值	标准要求	是否符合
CT模拟定位机房	使用面积	40.4m^2	≥30m^2（按CT评价）	符合
	最小单边长	4.8m	≥4.5m（按CT评价）	符合
注：评价标准依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。				

由上表可知，CT模拟定位机房使用面积及最小单边长度满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中CT机房相关要求。

2）机房防护屏蔽设计符合性

本项目拟配置CT模拟定位机最大管电压为140kV，最大管电流800mA。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表3中的要求，机房的X射线防护屏蔽措施符合性分析见表10-5。

①根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C公式C.1和C.2，混凝土的α、β、γ取值自附录C表C.2，计算得出在管电压140kV（CT）下，250mm混凝土等效铅当量3.01mmPb。《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中未给出砖的拟合参数，根据《放射防护实用手册》P98，"在医用诊断X射线范围内，一砖厚（240mm）实心砖墙约为2mm的铅当量"。

②根据《辐射防护手册 第三分册》第62页表3.3，在管电压150kV条件下，33mm钡水泥（3.2g/cm^3）等效2mmPb，51mm钡水泥（3.2g/cm^3）等效3mmPb。本项目CT模拟定位机最大管电压为140kV，本次保守按照150kV条件下计算等效铅当量，由内插法得出，39mm钡水泥（3.2g/cm^3）等效2.3mmPb。

表 11-10　CT 模拟定位机房的辐射防护屏蔽参数一览表

位置	屏蔽措施	等效铅当量	标准要求
四周墙体	240mm实心砖+39mm硫酸钡涂料	4.30mmPb	2.5mmPb
屋顶	250mm混凝土	3.01mmPb	2.5mmPb
防护门窗	工作人员门、患者门、观察窗4mmPb	4.0mmPb	2.5mmPb
注：项目所用硫酸钡密度为3.2g/cm³。			

由上表可知，CT模拟定位机房四周墙体的等效铅当量为4.3mmPb；屋顶的防护铅当量为3.01mmPb；工作人员、患者门和观察窗的铅当量均为4mmPb。均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中CT机房屏蔽防护铅当量厚度2.5mmPb的要求。

11.2.1.2.2 剂量率分析

CT模拟定位机用于肿瘤患者肿瘤部位的定位，根据前文分析，机房有效使用面积、最小单边长度、机房防护铅当量水平均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求。

本项目拟安装的CT模拟定位机最大管电压140kV、最大管电流800mA。

参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表E.2中数据，CT在75%位数下，焦点处的剂量率最大为60mGy（扫描时间2s），因此CT扫描时焦点处的最大剂量率保守取1.08×10^{8}μSv/h，考虑机房外关注点处剂量率同时存在漏射线和散射线影响。

1）估算公式

泄漏周围剂量当量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》(李德平、潘自强主编，原子能出版社，1987）。对于给定的屏蔽物质，屏蔽透射因子依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 计算。

$$H = \frac{f \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \tag{11-20}$$

$$B = \left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \tag{11-21}$$

式中：H—关注点处的泄漏周围剂量当量率，μSv/h；周围剂量当量率与空气吸

收剂量率换算系数在辐射屏蔽计算时通常取 1Sv/Gy。

f—泄漏射线比率，取 0.1%；

H_0—距靶点 1m 处的最大剂量率，μGy/h；

R—靶点至关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子；

X—铅厚度，mm。

α、β、γ为铅对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见表 11-11。

表 11-11　X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

电压	材料	α	β	γ
140kV（CT）	铅	2.009	3.99	0.3420
注：α、β、γ取值参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C。				

散射周围剂量当量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册》（李德平、潘自强主编，原子能出版社，1987）中给出的公式计算。

$$H = \frac{H_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot (S/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \qquad (11\text{-}22)$$

式中：

H —关注点处的患者散射周围剂量当量率，μSv/h；周围剂量当量率与空气吸收剂量率换算系数在辐射屏蔽计算时通常取1Sv/Gy；

H_0 —距靶点1m处的最大剂量率，μGy/h；

α —患者对X射线的散射比，参考《辐射防护手册 第一分册》P437表10.1取0.0016（150kV，45°散射）；

S —散射面积，取20cm²（CT照射野宽1cm，长20cm）；

d_0 —源与患者的距离，一般取0.5m；

d_s —患者与关注点的距离，m；

B —屏蔽透射因子。

2）估算结果

本项目 CT 模拟定位机出束状态下屏蔽体外各关注点的泄漏辐射剂量率估算结果见表 11-12。

表 11-12　CT 模拟定位机房各关注点泄漏 X 射线剂量率

关注点位置描述		屏蔽设计	R（m）	H_0（μSv/h）	B	H（μSv/h）
东	候诊大厅	240mm实心砖+39mm硫酸钡涂料	3.1	1.08×10^{8}	8.01×10^{-6}	9.01×10^{-2}
	患者防护门外	4.0mmPb	3.2	1.08×10^{8}	1.50×10^{-5}	0.158
西	操作间	240mm实心砖+39mm硫酸钡涂料	3.5	1.08×10^{8}	8.01×10^{-6}	7.07×10^{-2}
	观察窗	4mmPb	3.1	1.08×10^{8}	1.50×10^{-5}	0.169
	工作人员防护门外	4mmPb	3.8	1.08×10^{8}	1.50×10^{-5}	0.112
南	走廊	370mm实心砖+20mm钡水泥	4.7	1.08×10^{8}	8.01×10^{-6}	3.92×10^{-2}
上	室外地坪	250mm混凝土	7.1	1.08×10^{8}	1.25×10^{-4}	0.267
注：CT模拟定位机房北侧和正下方为土层，人员无法到达，因此不考虑此处周围当量剂量率。						

本项目 CT 模拟定位机出束状态下屏蔽体外各关注点的散射辐射剂量率估算结果见表 11-13。

表 11-13　CT 模拟定位机房各关注点散射 X 射线剂量率

关注点位置描述		屏蔽设计	R（m）	H_0（μSv/h）	B	H（μSv/h）
东	候诊大厅	240mm实心砖+39mm硫酸钡涂料	3.1	1.08×10^{8}	8.01×10^{-6}	2.88×10^{-2}
	患者防护门外	4.0mmPb	3.2	1.08×10^{8}	1.50×10^{-5}	5.06×10^{-2}
西	操作间	240mm实心砖+39mm硫酸钡涂料	3.5	1.08×10^{8}	8.01×10^{-6}	2.26×10^{-2}
	观察窗	4mmPb	3.1	1.08×10^{8}	1.50×10^{-5}	5.39×10^{-2}
	工作人员防护门外	4mmPb	3.8	1.08×10^{8}	1.50×10^{-5}	3.59×10^{-2}
南	走廊	370mm实心砖+20mm钡水泥	4.7	1.08×10^{8}	8.01×10^{-6}	1.25×10^{-2}
上	室外地坪	250mm混凝土	7.1	1.08×10^{8}	1.25×10^{-4}	8.55×10^{-2}
注：CT模拟定位机房北侧和正下方为土层，人员无法到达，因此不考虑此处周围当量剂量率。						

本项目 CT 模拟定位机出束状态下各关注点的总辐射剂量率估算结果见表 11-14。

表 11-14 CT 模拟定位机房各关注点总剂量率

关注点位置描述		CT泄漏剂量率（μSv/h）	CT散射剂量率（μSv/h）	CT总剂量率（μSv/h）
东	候诊大厅	9.01×10^{-2}	2.88×10^{-2}	0.119
	患者防护门外	0.158	5.06×10^{-2}	0.209
西	操作间	7.07×10^{-2}	2.26×10^{-2}	9.33×10^{-2}
	观察窗	0.169	5.39×10^{-2}	0.223
	工作人员防护门外	0.112	3.59×10^{-2}	0.148
南	走廊	3.92×10^{-2}	1.25×10^{-2}	5.17×10^{-2}
上	室外地坪	0.267	8.55×10^{-2}	0.353

由上表可知，本项目CT模拟定位机房各屏蔽体外30cm处的瞬时剂量率均满足“周围剂量当量率控制目标值不大于2.5μSv/h”的要求。

11.2.1.2.3 个人剂量估算

本项目CT模拟定位机房为电子直线加速器提供模拟定位，因此CT模拟定位机的工作量60人/d。每年诊断15000人次，平均每名患者出束时间约10s，则CT模拟定位机年出束时间约41.7h。

CT模拟定位机房外人员年有效剂量估算结果见表11-15。

表 11-15 CT 模拟定位机房外人员年有效剂量估算结果

点位描述	人员类型	关注点剂量率（μSv/h）	年出束时间（h）	居留因子T	年受照剂量(mSv)	约束值（mSv/a）
东侧（候诊大厅）	公众	0.119	41.7	1/20	2.48×10^{-4}	0.1
东侧（患者防护门外）	公众	0.209	41.7	1/8	1.09×10^{-3}	0.1
南侧（走廊）	公众	5.17×10^{-2}	41.7	1/5	4.31×10^{-4}	0.1
西侧（观察窗）	职业人员	0.223	41.7	1	**9.30×10^{-3}**	5
西侧（工作人员防护门外）	职业人员	0.148	41.7	1	6.17×10^{-3}	5
顶部（室外地坪）	公众	0.353	41.7	1/40	3.68×10^{-4}	0.1

由上表可知，CT模拟定位机运行所致辐射工作人员年最大附加有效剂量为9.30×10^{-3}mSv，小于5mSv/a的标准限值；考虑到CT模拟定位机房东侧候诊大厅公众同时受到直线加速器防护门外的剂量率影响，因此候诊大厅公众年受照剂量为CT模

拟定位机房候诊大厅人员年受照剂量和直线加速器防护门外的人员年受照剂量叠加值，即（2.48×10^{-4}mSv+2.97×10^{-3}mSv）=3.23×10^{-3}mSv，小于0.1mSv/a的标准限值。

50m范围内其他环境保护目标距辐射源的距离更远，间隔的墙体更多，因此上表中关注点处年有效剂量满足标准要求的情况下，50m范围内其他环境保护目标处的年有效剂量也满足标准要求。

11.2.1.2.4 其他废物环境影响分析

①臭氧、氮氧化物

CT模拟定位机在开机并处于出束状态时，X射线与空气作用会产生极少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，机房设置动力通风装置，机房内产生的少量臭氧、氮氧化物等废气通过排风管道排出室外，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求。

②废水

CT模拟定位机房工作人员及患者产生的生活废水依托医院污水处理站处理，其影响已在建设项目环境影响评价过程中论述。

③固体废物

CT模拟定位机房工作人员及患者产生生活垃圾依托医院垃圾清运系统处理，其影响已在建设项目环境影响评价过程中论述。

11.2.2 核医学科

11.2.2.1 核医学科辐射环境影响分析

根据工程分析可知，项目核医学科运行阶段环境影响主要为放射性核素（^{18}F、^{99m}Tc）在使用过程中产生的γ射线、β射线、放射性废水、放射性废气、放射性固废等以及 PET-CT 和 SPECT-CT 中 CT 部分在出束时产生的 X 射线。

11.2.2.2 核医学科墙体屏蔽防护效能核算

（1）计算公式

①^{99m}Tc诊断、^{18}F诊断等工作场所的屏蔽计算可采用瞬时剂量率计算方法。γ射线来自放射性核素，相对于所在场所的尺寸，放射源可看作是点源，符合瞬时剂量率目标要求的屏蔽厚度d计算可由以下公式得出：

$$d = TVL \cdot lg(\frac{A \cdot \Gamma}{H_P \cdot R^2}) \qquad (11\text{-}23)$$

式中：d 一符合剂量率目标要求的墙体屏蔽厚度，单位mm；

TVL— γ射线在防护材料的十分之一值层厚度，单位mm；

A—放射源活度，单位MBq；

Γ—距源1m处的周围剂量当量率常数，单位μSv·m^2·MBq^{-1}·h^{-1}；

R—为参考点与放射源间距离，单位m；

H_p一对参考点处要求的瞬时剂量率控制水平，单位μSv/h；

② 经屏蔽后关注点处的剂量率：

$$H_R = A\times\Gamma\times R^{-2}\times 10^{-\frac{X}{TVL}} \qquad (11\text{-}24)$$

式中：H_R—经屏蔽后关注点的剂量率，单位μSv/h；

R—为参考点与放射源间距离，单位m；

A—放射源活度，单位MBq；

Γ—距源1m处的周围剂量当量率常数，单位μSv·m^2·MBq^{-1}·h^{-1}；

TVL— γ射线在防护材料的十分之一值层厚度，单位mm；

X—屏蔽体的屏蔽厚度，mm。

（2）周围剂量当量率控制目标值

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及2023年9月13日生态环境部《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）中工作场所屏蔽要求，本评价报告中工作场所控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2）房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h，控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子＜1/2），如给药室防护门外、给药后患者候诊室门外以及核医学科患者走廊等位置，其周围剂量当量率应小于10μSv/h；放射性药物分装箱体、注射窗外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h；放射性药物分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于25μSv/h。

（3）相关参数选取

根据本项目核医学科使用的核素特性及使用量，PET-CT扫描使用^{18}F，SPECT-CT扫描使用^{99m}Tc，故本次评价PET-CT工作场所以^{18}F的相关参数进行核算，SPECT-CT

工作场所分别以^{99m}Tc相关参数进行核算。医院计划，PET-CT使用放射性核素^{18}F进行显像诊断，每天最多检查10人次，每人次最大药物注射量10mCi。SPECT-CT使用放射性核素^{99m}Tc进行显像诊断，每天最多检查20人次，每人次最大药物注射量25mCi。医院计划分两个时段送药（上午7:30和下午12:30），^{18}F上午时段和下午时段各送5人药量，^{99m}Tc上午时段和下午时段各送10人药量。

表 11-16　放射性核素相关参数一览表

核素	①对于裸源单位放射性活度所致体外1m处的周围剂量当量率 $\mu Sv\cdot m^2(h\cdot MBq)^{-1}$	②患者体内单位放射性活度所致体外1m处的周围剂量当量率 $\mu Sv\cdot m^2(h\cdot MBq)^{-1}$	TVL（mm）		
			混凝土 (2.35g/cm^3)	砖 (1.65g/cm^3)	铅 (11.3g/cm^3)
^{18}F	0.1430	0.0920	176	263	16.6
^{99m}Tc	0.0303	0.0207	110	160	1
注：数据来源《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录H、I、L。					

（4）计算结果

① 等效厚度核算过程

对于γ射线，由于硫酸钡的质量衰减系数不小于混凝土，本项目所用硫酸钡涂料密度 3.2g/cm^3，混凝土密度 2.35g/cm^3，保守起见，将硫酸钡涂料按混凝土考虑。根据$10^{-X_1/TVL_1}=10^{-X_2/TVL_2}$进行等效铅当量计算。

本项目屏蔽材料等效铅当量折算过程如下：

表 11-17　屏蔽材料等效铅当量折算

核素	屏蔽材料	折算过程（mm）	等效铅当量
^{18}F	240mm实心砖	240÷263×16.6=15.14	15.14mmPb
	52mm硫酸钡涂料	52÷176×16.6=4.90	4.90mmPb
	39mm硫酸钡涂料	39÷176×16.6=3.67	3.67mmPb
	26mm硫酸钡涂料	26÷176×16.6=2.45	2.45mmPb
	65mm硫酸钡涂料	65÷176×16.6=6.13	6.13mmPb
	104mm硫酸钡涂料	104÷176×16.6=9.80	9.80mmPb
	130mm硫酸钡涂料	130÷176×16.6=12.26	11.03mmPb
	120mm混凝土	120÷176×16.6=11.31	11.31mmPb
	160mm混凝土	160÷176×16.6=15.09	15.09mmPb
^{99m}Tc	240mm实心砖	240÷160×1=1.50	1.50mmPb
	52mm硫酸钡涂料	52÷110×1=0.47	0.47mmPb
	39mm硫酸钡涂料	39÷110×1=0.35	0.35mmPb
	26mm硫酸钡涂料	26÷110×1=0.23	0.23mmPb

核素	屏蔽材料	折算过程（mm）	等效铅当量
	120mm混凝土	120÷110×1=1.09	1.09mmPb
	160mm混凝土	160÷110×1=1.45	1.45mmPb

②距离取值说明

对于PET工作场所，留观室的核算距离考虑人体源位于留观室中心距四周墙体和防护门的距离近似取值；对注射后候诊室，最多有3人同时候诊，其中1人位于候诊单间内，另外2人作为1个点源位于候诊室中心，考虑人体源距四周墙体和防护门的距离近似取值；对运动负荷兼抢救室，考虑人体源位于抢救室中心距四周墙体和防护门的距离近似取值；对PEC-CT检查室，以设备摆放位置中心点距四周墙体和防护门的距离近似取值。

对于SPECT-CT工作场所，注射后候诊室按5人同时候诊作为1个点源，考虑人体源位于候诊室中心距四周墙体和防护门的距离近似取值；对运动负荷兼抢救室，考虑人体源位于抢救室中心距四周墙体和防护门的距离近似取值；对SPECT-CT检查室，以设备摆放位置中心点距四周墙体和防护门的距离近似取值。

③控制区各工作场所屏蔽效能核算结果见下表。

表 11-18　PET-CT、SPECT-CT 显像检查各场所屏蔽估算结果

场所名称	A（MBq）	Γ $\mu Sv \cdot m^2(h \cdot MBq)^{-1}$	核算位置	R（m）	设计值	设计厚度下墙体外瞬时剂量率（μSv/h）	H_p （μSv/h）	是否符合
PET工作场所								
PET-CT机房（考虑1人）	370（^{18}F）	0.092（人体源）	东墙（SPECT-CT机房）	3.34	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.189	2.5	是
			南墙（操作间）	4.37	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.111	2.5	是
			西墙（患者通道）	3.34	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.189	10	是
			北墙（患者通道）	4.26	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.116	10	是
			楼上（检验大厅）	4.80	120mm 混凝土+104mm硫酸钡涂料	0.079	2.5	是
			楼下（隔震层）	2.10	160mm 混凝土+52mm硫酸钡涂料	0.482	2.5	是
			观察窗	4.26	10mmPb	0.469	2.5	是
			工作人员防护门外（操作间）	4.61	10mmPb	0.400	2.5	是
			受检者防护门外（患者通道）	4.60	10mmPb	0.402	10	是
给药室（^{18}F考虑一批2人，一次注射1人）*	370（^{18}F）	0.143（裸源）	东墙（患者通道）	2.52	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料+10mmPb钨合金注射屏蔽套	0.129	10	是
			南墙（护士站）	2.63	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料+10mmPb钨合金注射屏蔽套	0.119	2.5	是

			西墙（医护通道）	5.93	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料+10mmPb钨合金注射屏蔽套	0.023	10	是
			北墙（运动负荷兼抢救室）	2.44	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料+10mmPb钨合金注射屏蔽套	0.138	10	是
			防护门外（患者通道）	2.75	12mmPb+10mmPb钨合金注射屏蔽套	0.331	10	是
			楼上（检验大厅）	4.80	120mm 混凝土+5mm 铅板+10mmPb 钨合金注射屏蔽套	0.060	2.5	是
			楼下（隔震层）	2.10	160mm 混凝土+39mm硫酸钡涂料+10mmPb钨合金注射屏蔽套	0.222	2.5	是
给药室（^{18}F考虑手套箱内4人药物操作量）*	3208（^{18}F）	0.143（裸源）	东墙（患者通道）	2.46	60mmPb手套箱侧面+240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	1.14×10^{-3}	10	是
			南墙（护士站）	4.19	60mmPb手套箱正面+240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	3.94×10^{-4}	2.5	是
			西墙（医护通道）	6.08	60mmPb手套箱侧面+240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	1.87×10^{-4}	10	是
			北墙（运动负荷兼抢救室）	0.89	60mmPb手套箱侧面+240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	8.73×10^{-3}	10	是
			防护门外（患者通道）	2.19	60mmPb手套箱侧面+12mmPb	4.40×10^{-3}	10	是
			楼上（检验大厅）	4.80	60mmPb手套箱侧面+120mm混凝土+5mm铅板	5.04×10^{-4}	2.5	是

			楼下（隔震层）	2.10	60mmPb手套箱侧面+160mm混凝土+39mm硫酸钡涂料	1.87×10^{-3}	2.5	是
注射窗	370（^{18}F）	0.143（裸源）	^{18}F注射窗	0.5	50mmPb+10mmPb钨合金注射屏蔽套	0.051	2.5	是
手套箱	3700（^{18}F，考虑5人药物最大操作量）	0.143（裸源）	手套箱工作面	0.5	60mmPb	0.514	2.5	是
储源室	3700（^{18}F，考虑5人药物操作量）	0.143（裸源）	东墙（固废间）	1.24	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料+40mmPb储源铅罐	0.083	2.5	是
			南墙（检查准备间）	1.67	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料+40mmPb储源铅罐	0.046	2.5	是
			西墙（药物通道）	1.24	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料+40mmPb储源铅罐	0.083	2.5	是
			传递窗外（药物通道）	1.37	10mmPb+40mmPb储源铅罐	0.274	2.5	是
			防护门外（给药室）	1.66	8mmPb+40mmPb储源铅罐	0.246	2.5	是
			楼上（检验大厅）	4.80	120mm混凝土+5mm铅板+40mmPb储源铅罐	9.31×10^{-3}	2.5	是
			楼下（隔震层）	2.10	160mm 混凝土+39mm硫酸钡涂料+40mmPb储源铅罐	0.035	2.5	是
固废间	74（^{18}F半衰期很短，活度按日最大操作	0.143（裸源）	东墙（给药室）	1.27	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料+10mmPb铅污物桶	0.102	2.5	是
			南墙（检查准备间）	1.67	240mm实心砖墙+52mm	0.059	2.5	是

	量的1%考虑）				硫酸钡涂料+10mmPb铅污物桶			
			西墙（储源室）	1.27	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料+10mmPb铅污物桶	0.102	10	是
			防护门外（给药室）	1.53	8mmPb+10mmPb铅污物桶	0.372	2.5	是
			楼上（检验大厅）	4.80	120mm混凝土+5mm铅板+10mmPb铅污物桶	0.012	2.5	是
			楼下（隔震层）	2.10	160mm 混凝土+39mm硫酸钡涂料+10mmPb铅污物桶	0.044	2.5	是
PET注射后候诊室（考虑2人）	740（^{18}F）	0.092（人体源）	东墙（洁具间）	3.86	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.284	10	是
			南墙（运动负荷兼抢救室）	2.03	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	1.025	10	是
			西墙（值班室、资料室）	3.62	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.322	2.5	是
			北墙（室外过道）	4.27	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.232	2.5	是
			防护门外（患者通道）	3.16	12mmPb	1.290	10	是
			单间门	3.27	15mmPb	0.795	10	是
			单间墙	2.57	15mmPb	1.287	10	是
			楼上（办公室）	4.80	120mm 混凝土+130mm硫酸钡涂料	0.112	2.5	是
			楼下（隔震层）	2.10	160mm 混凝土+39mm硫酸钡涂料	1.144	2.5	是

候诊单间（考虑1人）	370（^{18}F）	0.092（人体源）	东墙（SPECT注射后候诊室患卫）	1.68	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.748	10	是
			南墙（PET注射后候诊室）	1.43	15mm 铅板	2.078	10	是
			西墙（PET注射后候诊室）	1.54	15mm 铅板	1.792	10	是
			北墙（室外过道）	1.57	240mm 实心砖墙+65mm硫酸钡涂料	0.723	2.5	是
			北侧防护窗（室外过道）	1.57	20mmPb	0.862	2.5	是
			防护门（PET注射后候诊室）	1.44	15mm 铅板	2.050	10	是
			楼上（办公室）	4.80	120mm 混凝土+130mm硫酸钡涂料	0.056	2.5	是
			楼下（隔震层）	2.10	160mm 混凝土+39mm硫酸钡涂料	0.572	2.5	是
PET留观室（考虑1人）	370（^{18}F）	0.092（人体源）	东墙（患者通道）	2.27	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.410	10	是
			南墙（患者通道）	2.40	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.367	10	是
			西墙（SPECT注射后候诊室）	2.27	240mm实心砖墙+39mm硫酸钡涂料	0.486	10	是
			北墙（室外过道）	4.07	240mm实心砖墙+39mm硫酸钡涂料	0.151	2.5	是
			防护门外（患者通道）	2.10	15mmPb	0.964	10	是
			楼上（卫生间）	4.80	120mm 混凝土+65mm硫酸钡涂料	0.131	2.5	是
			楼下（隔震层）	2.10	160mm 混凝土+26mm硫酸钡涂料	0.678	2.5	是

运动负荷兼抢救室（考虑1人抢救）	370（^{18}F）	0.092（人体源）	东墙（患者通道）	3.08	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.223	10	是
			南墙（给药室）	2.02	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.518	2.5	是
			西墙（缓冲间）	3.08	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.223	2.5	是
			北墙（PET注射后候诊室）	2.02	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.518	2.5	是
			东侧人员进出门（患者通道）	3.03	10mmPb	0.926	10	是
			南侧人员进出门（给药室）	2.75	12mmPb	0.852	2.5	是
			楼上（库房）	4.80	120mm 混凝土+5mm 铅板	0.154	2.5	是
			楼下（隔震层）	2.10	160mm 混凝土+39mm硫酸钡涂料	0.572	2.5	是
SPECT工作场所								
SPECT-CT机房（考虑1人）	925（^{99m}Tc）	0.0207（人体源）	东墙（男卫）	4.05	240mm实心砖墙+39mm硫酸钡涂料	1.65×10^{-2}	2.5	是
			南墙（操作间）	4.37	240mm实心砖墙+39mm硫酸钡涂料	1.42×10^{-2}	2.5	是
			西墙（PET-CT机房）	4.05	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	1.25×10^{-2}	2.5	是
			北墙（患者通道）	4.26	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	1.13×10^{-2}	10	是
			楼上（检验大厅）	4.80	120mm 混凝土+3mm 铅板	6.76×10^{-5}	2.5	是
			楼下（隔震层）	2.10	160mm 混凝土+39mm硫酸钡涂料	6.88×10^{-2}	2.5	是
			观察窗	4.26	4mmPb	1.06×10^{-4}	2.5	是

			工作人员防护门外（操作间）	4.78	4mmPb	8.38×10^{-5}	2.5	是
			受检者防护门外（患者通道）	4.77	4mmPb	8.42×10^{-5}	10	是
注射窗	925（^{99m}Tc）	0.0303（裸源）	^{99m}Tc注射窗	0.5	10mmPb+5mmPb钨合金注射屏蔽套	1.12×10^{-13}	2.5	是
储源室	17500（^{99m}Tc考虑10人药物操作量）	0.0303（裸源）	东墙（固废间）	1.24	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料+20mmPb储源铅罐	3.70×10^{-20}	2.5	是
			南墙（检查准备间）	1.67	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料+20mmPb储源铅罐	2.04×10^{-20}	2.5	是
			西墙（药物通道）	1.24	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料+20mmPb储源铅罐	3.70×10^{-20}	2.5	是
			传递窗外（药物通道）	1.37	10mmPb+20mmPb储源铅罐	2.83×10^{-28}	2.5	是
			防护门外（给药室）	1.66	8mmPb+20mmPb储源铅罐	1.92×10^{-26}	2.5	是
			楼上（检验大厅）	4.80	120mm混凝土+5mm铅板+20mmPb储源铅罐	1.87×10^{-25}	2.5	是
			楼下（隔震层）	2.10	160mm 混凝土+39mm硫酸钡涂料+20mmPb储源铅罐	1.91×10^{-20}	2.5	是
固废间	3500（^{99m}Tc活度按日最大操作量的10%考虑）	0.0303（裸源）	东墙（给药室）	1.27	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料+10mmPb铅污物桶	7.05×10^{-11}	2.5	是
			南墙（检查准备间）	1.67	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料+10mmPb铅污物桶	4.07×10^{-11}	2.5	是

			西墙（储源室）	1.27	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料+10mmPb铅污物桶	7.05×10^{-11}	10	是
			防护门外（给药室）	1.53	8mmPb+10mmPb铅污物桶	4.53×10^{-17}	2.5	是
			楼上（检验大厅）	4.80	120mm混凝土+5mm铅板+10mmPb铅污物桶	3.74×10^{-17}	2.5	是
			楼下（隔震层）	2.10	160mm 混凝土+39mm硫酸钡涂料+10mmPb铅污物桶	3.81×10^{-11}	2.5	是
SPECT注射后候诊室（考虑5人）	4625（^{99m}Tc）	0.0207（人体源）	东墙（PET 留观室）	3.00	240mm 实心砖墙+39mm硫酸钡涂料	0.150	10	是
			南墙（患者通道）	3.15	240mm 实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.103	10	是
			西墙（PET 注射后候诊室卫生间）	3.00	240mm 实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.114	10	是
			北侧墙体（室外过道）	3.15	240mm 实心砖墙+39mm硫酸钡涂料	0.136	2.5	是
			防护门外（患者通道）	2.10	4mmPb	9.96×10^{-4}	10	是
			楼上（值班室）	4.80	120mm 混凝土+3mm 铅板	3.38×10^{-4}	2.5	是
			楼下（隔震层）	2.10	160mm 混凝土+26mm硫酸钡涂料	0.454	2.5	是
运动负荷兼抢救室（考虑1人运动）	925（^{99m}Tc）	0.0207（人体源）	东墙（患者通道）	3.08	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.022	10	是
			南墙（给药室）	2.02	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.050	2.5	是

			西墙（缓冲间）	3.08	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.022	2.5	是
			北墙（PET注射后候诊室）	2.02	240mm实心砖墙+52mm硫酸钡涂料	0.050	2.5	是
			东侧人员进出门（患者通道）	3.03	10mmPb	2.09×10^{-10}	10	是
			南侧人员进出门（给药室）	2.75	12mmPb	2.53×10^{-12}	2.5	是
			楼上（库房）	4.80	120mm 混凝土+5mm 铅板	6.76×10^{-7}	2.5	是
			楼下（隔震层）	2.10	160mm 混凝土+39mm硫酸钡涂料	0.069	2.5	是

注：①计算时机房选取四面屏蔽体外表面 30cm 作为关注点；

②从保守角度考虑，计算时不考虑患者体内核素随时间的衰变影响；

③注射窗口按 1 人注射考虑，^{18}F 分装时在手套箱内进行，按照 1 个时段的治疗人数（5 人）考虑。^{99m}Tc 不分装，在手套箱内（60mmPb）暂存时对手套箱外 0.5m 处的瞬时剂量率最大为 2.12×10^{-59}，可忽略不计；

④PET-CT 注射后候诊室（不包括候诊单间）可同时候诊 2 人，放射源活度 A 按照 2 人考虑；

⑤给药室手套箱内存在 ^{18}F、^{99m}Tc 两种核素，本次选取 ^{18}F 保守核算屏蔽体厚度；

⑥^{18}F对给药室屏蔽体外瞬时剂量率计算考虑2种情形，即注射时1人药物最大注射量（370MBq）对屏蔽体外产生的瞬时剂量率和手套箱内剩余4人药物最大操作量（5人药物最大操作量-1人药物最大操作量，由公式1-1得出1人药物最大操作量为13.3mCi，即$3700MBq-13.3\times3.7\times10^7\times1=3208MBq$）对屏蔽体外产生的瞬时剂量率，与给药室四周屏蔽体外的距离分别按照注射时药物位于给药室中心位置距离屏蔽体外距离取值和贮存时药物位于手套箱中心位置距四周屏蔽体外距离取值；

⑦^{99m}Tc在储源室暂存时对储源室屏蔽体外产生的瞬时剂量率最大为3.70×10^{-20}，可忽略不计，^{99m}Tc放射性固体废物在对固废间暂存时对固废间屏蔽体外产生的瞬时剂量率最大为7.05×10^{-11}，可忽略不计；

⑧由于^{18}F一批注射2人，依次进行PET-CT扫描，因此PET留观室内只有1名患者，计算时不考虑留观室内卫生间的防护；

⑨各核算位置周围剂量当量率控制目标值根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及2023年9月13日生态环境部《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）中工作场所屏蔽要求进行选取。

CT运行时，患者释放的γ射线与CT散射的叠加剂量率见后文表11-24。

根据上表及后文表11-17计算结果可知，核医学科各工作场所的墙体、防护门、观察窗、地板及顶棚屏蔽体外剂量当量率满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准限值，满足辐射防护要求。

11.2.2.3 Ⅲ类射线装置机房屏蔽体屏蔽 X 射线的能力校核

（1）机房空间符合性分析

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），PET-CT机房（5.6m×7.4m）和SPECT-CT机房（7.0m×7.4m）的X射线防护按CT部分评价，使用面积及最小单边长度符合性分析详见表11-19。

表 11-19 机房使用面积及最小单边长度符合性分析一览表

机房名称	参数	设计值	标准要求	评价
PET-CT 机房	使用面积	41.4m²	≥30m²（按 CT 评价）	符合
	最小单边长	5.6m	≥4.5m（按 CT 评价）	符合
SPECT-CT 机房	使用面积	51.8m²	≥30m²（按 CT 评价）	符合
	最小单边长	7.0m	≥4.5m（按 CT 评价）	符合
注：评价标准依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。				

根据表 11-19 可知，项目 PET-CT、SPECT-CT 机房使用面积及最小单边长度满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 CT 机房相关要求。

（2）机房防护屏蔽设计符合性

①根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C公式C.1和C.2，混凝土的α、β、γ取值自附录C表C.2，计算得出在管电压140kV（CT）下，120mm混凝土等效铅当量约为1.2mmPb，160mm混凝土等效铅当量约为1.7mmPb。《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中未给出砖的拟合参数，根据《放射防护实用手册》P98，“在医用诊断X射线范围内，一砖厚（240mm）实心砖墙约为2mm的铅当量”。

②根据《辐射防护手册 第三分册》第62页表3.3，在管电压150kV条件下，33mm钡水泥（3.2g/cm³）等效2mmPb，51mm钡水泥（3.2g/cm³）等效3mmPb。本项目拟配置PET-CT、SPECT-CT最大管电压为140kV，本次保守按照150kV条件下计算等效铅当量，由内插法得出，39mm钡水泥（3.2g/cm³）等效2.3mmPb，52mm钡水泥（3.2g/cm³）

等效3.0mmPb，104mm钡水泥（3.2g/cm³）等效5.9mmPb。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表3中的要求，机房的X射线防护屏蔽措施符合性分析见表11-20。

表 11-20　PET-CT 和 SPECT-CT 机房 X 射线防护屏蔽措施符合性分析一览表

机房名称	屏蔽部位	屏蔽材料及规格	等效屏蔽	标准要求	是否符合
PET-CT 机房（按 CT 部分评价）	四周墙体	240mm 实心砖墙+52mm 硫酸钡涂料	5.0mmPb	≥2.5mmPb	符合
	观察窗	10mmPb 防护玻璃板	10.0mmPb	≥2.5mmPb	符合
	受检者防护门	10mmPb	10.0mmPb	≥2.5mmPb	符合
	工作人员防护门	10mmPb	10.0mmPb	≥2.5mmPb	符合
	屋顶	120mm 混凝土+104mm 硫酸钡涂料	7.1mmPb	≥2.5mmPb	符合
	地板	160mm 混凝土+52mm 硫酸钡涂料	4.7mmPb	≥2.5mmPb	符合
SPECT-CT 机房（按 CT 部分评价）	西侧、北侧墙体	240mm 实心砖墙+52mm 硫酸钡涂料	5.0mmPb	≥2.5mmPb	符合
	东侧、南侧墙体	240mm 实心砖墙+39mm 硫酸钡涂料	4.3mmPb	≥2.5mmPb	符合
	观察窗	4mmPb 防护玻璃板	4.0mmPb	≥2.5mmPb	符合
	受检者防护门	4mmPb	4.0mmPb	≥2.5mmPb	符合
	工作人员防护门	4mmPb	4.0mmPb	≥2.5mmPb	符合
	屋顶	120mm 混凝土+2mm 铅板	4.2mmPb	≥2.5mmPb	符合
	地板	160mm 混凝土+39mm 硫酸钡涂料	4.0mmPb	≥2.5mmPb	符合
注：PET-CT 中 CT 部分最大管电压 140kV、最大管电流 830mA；SPECT-CT 中 CT 部分最大管电压 140kV、最大管电流 830mA。					

根据表11-20可知，本项目PET-CT和SPECT-CT机房的屏蔽能力能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，CT部分运行中对外环境影响很小。

11.2.2.4 PET-CT 和 SPECT-CT 附加剂量率分析

PET-CT、SPECT-CT进行CT扫描时，机房周围存在CT散射与患者释放的γ射线的叠加辐射贡献，故单独进行分析。

本项目拟安装的PET-CT设备中CT部分最大管电压140kV、最大管电流830mA；

SPECT-CT 设备中 CT 部分最大管电压 140kV、最大管电流 830mA。

参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表E.2中数据，CT在75%位数下，焦点处的剂量率最大为60mGy（扫描时间2s），因此CT扫描时焦点处的最大剂量率保守取1.08×10^{8}μSv/h，考虑机房外关注点处剂量率同时存在漏射线和散射线影响。

11.2.2.4.1 估算公式

泄漏周围剂量当量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》（李德平、潘自强主编，原子能出版社，1987）。对于给定的屏蔽物质，屏蔽透射因子依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 计算。

$$H=\frac{f\cdot H_0\cdot B}{R^2} \quad (11\text{-}25)$$

$$B=\left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X}-\frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (11\text{-}26)$$

式中：H—关注点处的泄漏周围剂量当量率，μSv/h；周围剂量当量率与空气吸收剂量率换算系数在辐射屏蔽计算时通常取 1Sv/Gy。

f—泄漏射线比率，取 0.1%；

H_0—距靶点 1m 处的最大剂量率，μGy/h；

R—靶点至关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子；

X—铅厚度，mm。

α、β、γ为铅对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见表 11-21。

表 11-21　X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

电压	材料	α	β	γ
140kV（CT）	铅	2.009	3.99	0.3420
注：α、β、γ取值参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C。				

散射周围剂量当量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册》（李德平、潘自强主编，原子能出版社，1987）中给出的公式计算。

$$H=\frac{H_0\cdot\alpha\cdot B\cdot(S/400)}{(d_0\cdot d_s)^2} \quad (11\text{-}27)$$

式中：

H —关注点处的患者散射周围剂量当量率，μSv/h；周围剂量当量率与空气吸收剂量率换算系数在辐射屏蔽计算时通常取1Sv/Gy；

H_0 —距靶点1m处的最大剂量率，μGy/h；

α —患者对X射线的散射比，参考《辐射防护手册 第一分册》P437表10.1取0.0016（150kV，45° 散射）；

S —散射面积，取20cm²（CT照射野宽1cm，长20cm）；

d_0 —源与患者的距离，一般取0.5m；

d_S —患者与关注点的距离，m；

B —屏蔽透射因子。

11.2.2.4.2 估算结果

本项目 PET-CT 机房、SPECT-CT 机房 CT 出束状态下屏蔽体外各关注点的泄漏辐射剂量率估算结果见表 11-22。

表 11-22 PET-CT、SPECT-CT 机房各关注点泄漏 X 射线剂量率

机房名称	屏蔽防护体名称	距离（m）	等效铅当量（mmPb）	H_0（μSv/h）	透射因子 B	H（μSv/h）
PET-CT 机房	东墙	3.34	5.0	1.08×10^8	1.89×10^{-6}	1.83×10^{-2}
	南墙	4.37		1.08×10^8	1.89×10^{-6}	1.07×10^{-2}
	西墙	3.34		1.08×10^8	1.89×10^{-6}	1.83×10^{-2}
	北墙	4.26		1.08×10^8	1.89×10^{-6}	1.12×10^{-2}
	楼上	4.80	7.1	1.08×10^8	2.65×10^{-8}	1.24×10^{-4}
	楼下	2.10	4.7	1.08×10^8	3.50×10^{-6}	8.57×10^{-2}
	观察窗	4.26	10.0	1.08×10^8	7.70×10^{-11}	4.58×10^{-7}
	工作人员防护门	4.61	10.0	1.08×10^8	7.70×10^{-11}	3.92×10^{-7}
	受检者防护门	4.60	10.0	1.08×10^8	7.70×10^{-11}	3.93×10^{-7}
SPECT-CT 机房	东墙	4.05	4.3	1.08×10^8	8.01×10^{-6}	5.28×10^{-2}
	南墙	4.37		1.08×10^8	8.01×10^{-6}	4.53×10^{-2}
	西墙	4.05	5.0	1.08×10^8	1.89×10^{-6}	1.24×10^{-2}
	北墙	4.26		1.08×10^8	1.89×10^{-6}	1.12×10^{-2}
	楼上	4.80	4.2	1.08×10^8	9.87×10^{-6}	4.63×10^{-2}

	楼下	2.10	4.0	1.08×10^{8}	1.50×10^{-5}	0.367
	观察窗	4.26	4.0	1.08×10^{8}	1.50×10^{-5}	8.93×10^{-2}
	工作人员防护门	4.78	4.0	1.08×10^{8}	1.50×10^{-5}	7.09×10^{-2}
	受检者防护门	4.77	4.0	1.08×10^{8}	1.50×10^{-5}	7.12×10^{-2}

本项目 PET-CT 机房、SPECT-CT 机房 CT 出束状态下屏蔽体外各关注点的散射辐射剂量率估算结果见表 11-23。

表 11-23　PET-CT、SPECT-CT 机房各关注点散射 X 射线剂量率

机房名称	屏蔽防护体名称	距离（m）	等效铅当量（mmPb）	H_0（μSv/h）	透射因子 B	H（μSv/h）
PET-CT 机房	东墙	3.34	5.0	1.08×10^{8}	1.89×10^{-6}	5.85×10^{-3}
	南墙	4.37		1.08×10^{8}	1.89×10^{-6}	3.42×10^{-3}
	西墙	3.34		1.08×10^{8}	1.89×10^{-6}	5.85×10^{-3}
	北墙	4.26		1.08×10^{8}	1.89×10^{-6}	3.59×10^{-3}
	楼上	4.80	7.1	1.08×10^{8}	2.65×10^{-8}	3.97×10^{-5}
	楼下	2.10	4.7	1.08×10^{8}	3.50×10^{-6}	2.74×10^{-2}
	观察窗	4.26	10.0	1.08×10^{8}	7.70×10^{-11}	1.47×10^{-7}
	工作人员防护门	4.61	10.0	1.08×10^{8}	7.70×10^{-11}	1.25×10^{-7}
	受检者防护门	4.60	10.0	1.08×10^{8}	7.70×10^{-11}	1.26×10^{-7}
SPECT-CT 机房	东墙	4.05	4.3	1.08×10^{8}	8.01×10^{-6}	1.69×10^{-2}
	南墙	4.37		1.08×10^{8}	8.01×10^{-6}	1.45×10^{-2}
	西墙	4.05	5.0	1.08×10^{8}	1.89×10^{-6}	3.98×10^{-3}
	北墙	4.26		1.08×10^{8}	1.89×10^{-6}	3.59×10^{-3}
	楼上	4.80	4.2	1.08×10^{8}	9.87×10^{-6}	1.48×10^{-2}
	楼下	2.10	4.0	1.08×10^{8}	1.50×10^{-5}	0.118
	观察窗	4.26	4.0	1.08×10^{8}	1.50×10^{-5}	2.86×10^{-2}
	工作人员防护门	4.78	4.0	1.08×10^{8}	1.50×10^{-5}	2.27×10^{-2}
	受检者防护门	4.77	4.0	1.08×10^{8}	1.50×10^{-5}	2.28×10^{-2}

本项目 CT 出束状态下各关注点的总辐射剂量率估算结果见表 11-24。

表 11-24　PET-CT、SPECT-CT 机房屏蔽体外 CT 运行附加剂量率核算结果

机房名称	屏蔽防护体名称	CT泄漏剂量率（μSv/h）	CT散射剂量率（μSv/h）	CT总剂量率（μSv/h）	患者辐射剂量率（μSv/h）	患者辐射叠加CT 辐射剂量率（μSv/h）
PET-CT 机房	东墙	1.83×10^{-2}	5.85×10^{-3}	2.41×10^{-2}	0.189	0.213
	南墙	1.07×10^{-2}	3.42×10^{-3}	1.41×10^{-2}	0.111	0.125
	西墙	1.83×10^{-2}	5.85×10^{-3}	2.41×10^{-2}	0.189	0.213
	北墙	1.12×10^{-2}	3.59×10^{-3}	1.48×10^{-2}	0.116	0.131
	楼上	1.24×10^{-4}	3.97×10^{-5}	1.64×10^{-4}	0.079	0.079
	楼下	8.57×10^{-2}	2.74×10^{-2}	0.113	0.482	0.605
	观察窗	4.58×10^{-7}	1.47×10^{-7}	6.05×10^{-7}	0.469	0.469
	工作人员防护门	3.92×10^{-7}	1.25×10^{-7}	5.17×10^{-7}	0.400	0.400
	受检者防护门	3.93×10^{-7}	1.26×10^{-7}	5.19×10^{-7}	0.402	0.402
SPECT-CT 机房	东墙	5.28×10^{-2}	1.69×10^{-2}	6.97×10^{-2}	1.65×10^{-2}	8.62×10^{-2}
	南墙	4.53×10^{-2}	1.45×10^{-2}	5.98×10^{-2}	1.42×10^{-2}	7.40×10^{-2}
	西墙	1.24×10^{-2}	3.98×10^{-3}	1.64×10^{-2}	1.25×10^{-2}	2.89×10^{-2}
	北墙	1.12×10^{-2}	3.59×10^{-3}	1.48×10^{-2}	1.13×10^{-2}	2.61×10^{-2}
	楼上	4.63×10^{-2}	1.48×10^{-2}	6.11×10^{-2}	6.76×10^{-5}	6.11×10^{-2}
	楼下	0.367	0.118	0.485	6.88×10^{-2}	0.554
	观察窗	8.93×10^{-2}	2.86×10^{-2}	0.118	1.06×10^{-4}	0.118
	工作人员防护门	7.09×10^{-2}	2.27×10^{-2}	9.36×10^{-2}	8.38×10^{-5}	9.36×10^{-2}
	受检者防护门	7.12×10^{-2}	2.28×10^{-2}	9.40×10^{-2}	8.42×10^{-5}	9.36×10^{-2}

由表 11-24 可知，本项目 PET-CT、SPECT-CT 机房屏蔽体外同时考虑患者释放的γ射线和 CT 扫描散射对周围环境的辐射影响，则 PET-CT 机房、SPECT-CT 机房各屏蔽体外 30cm 处的瞬时剂量率均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中 2.5μSv/h 的限值要求。

11.2.2.5 剂量估算

（1）人员受到的附加年有效剂量可由下式计算得到：

$$H_E=H_R\times T\times t\times10^{-3} \qquad (11\text{-}28)$$

式中：H_E — X-γ辐射外照射人均年有效剂量当量，mSv；

H_R — X-γ辐射剂量率，μSv/h；

t — 年工作时间，h；

T — 居留因子。

（2）估算结果

11.2.2.5.1 PET显像检查所致工作人员剂量估算

PET显像检查使用放射性核素^{18}F，其显像检查过程大致可分为药物分装、转运、注射、摆位、扫描5个过程，因此可通过这5个过程估算工作人员年有效剂量。根据医院提供的资料，单名患者^{18}F药物用量为370MBq，每天检查10人次，年工作250天，年治疗病人2500人次。

分装：医院核医学科^{18}F药物采用预约方式，由供药单位将药物置于铅罐内送至医院储源室。给药室辐射工作人员在手套箱内进行^{18}F药物分装，年诊疗患者2500人次，每次药物分装时间为1min，年分装时间累积41.67h，工作人员分装位置处的剂量率保守按0.514μSv/h（表11-15手套箱处），则分装过程所致工作人员有效剂量为2.14×10^{-2}mSv/a。

转运：确定注射对象后，需将药物从手套箱转运至注射窗口，预计每次转运时间约20s，则年累计转运时间约13.89h。转运过程中，针剂采用10mmPb钨合金注射屏蔽套+10mmPb转运屏蔽箱屏蔽，转运人员体表距离屏蔽箱约0.5m，经计算，屏蔽箱表面0.5m处剂量率13.20μSv/h，则转运过程所致工作人员有效剂量为0.183mSv/a。

注射：工作人员为患者进行^{18}F药物注射时，工作人员在一体化注射窗（50mm铅当量）后给患者进行注射，工作人员距离患者约0.5m，工作人员注射操作位剂量率为0.051μSv/h（表11-15 ^{18}F注射窗处），每次给患者注射药物时间按30s计，年工作时间按20.83h计，则注射^{18}F药物所致工作人员年有效剂量为1.06×10^{-3}mSv/a。

摆位：注射^{18}F的患者在候诊室进行候诊后，进入PET-CT显像检查室进行检查。工作人员指导患者进行摆位时与患者距离约1m，患者注射370MBq的^{18}F药物1m处的剂量率约为34.04μSv/h，每个病人摆位按1min计，PET-CT按照每天10人计算，全年累积时间41.67h，PET-CT摆位过程所致工作人员年有效剂量为1.42mSv/a。

扫描：PET-CT分为PET部分扫描和CT部分扫描，全年检查病人2500人次。每人次PET扫描时间约15min，全年累积扫描时间625h，工作人员操作处剂量率按患者注

射药物后所致剂量率0.469μSv/h（见表11-15 PET-CT机房观察窗处）进行计算；考虑到CT扫描时X射线的叠加影响，工作人员操作位处剂量率取6.60×10^{-7}μSv/h（见表11-18 PET-CT机房观察窗处CT辐射剂量率），CT部分扫描时间每人次20s，全年累积CT扫描时间13.9h。

综上，PET显像检查所致工作人员年受照剂量见表11-25。

表 11-25　PET 显像检查所致工作人员年受照剂量核算表

工作场所	工作岗位	剂量率（μSv/h）	全年累积工作时间（h）	受照剂量（mSv/a）	岗位人数（人）	每人所受职业照射剂量（mSv/a）	
PET场所	分装	0.514	41.67	2.14×10^{-2}	1	0.205	
	转运	13.2	13.89	0.183			
	PET注射	0.051	20.83	1.06×10^{-3}			
	摆位	34.04	41.67	1.42	2注	0.71	1.0
	PET扫描	0.469	625	0.293		0.293	
	CT扫描	6.60×10^{-7}	13.9	9.17×10^{-9}		9.17×10^{-9}	
注：摆位时，2名辐射工作人员轮流操作，平均每人所受职业照射剂量为受照剂量的一半，扫描时，2名辐射工作人员均位于操作室，所受年剂量不均摊。							

由上表计算结果可知，本项目PET显像检查所致工作人员职业照射的最大剂量值为1.0mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的工作人员的职业照射水平控制限值（20mSv/a）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的职业照射的剂量约束值（5mSv/a）。

11.2.2.5.2 SPECT-CT显像检查所致工作人员剂量估算

SPECT-CT显像检查使用放射性核素^{99m}Tc，其显像检查过程大致可分为药物转运、注射、摆位、扫描4个过程。根据医院提供的资料，单名患者^{99m}Tc药物用量为925MBq，每天检查20人次，年工作250天，年治疗病人5000人次。

转运：确定注射对象后，需将药物从手套箱转运至注射窗口，预计每次转运时间约20s，则年累计转运时间约27.78h。转运过程中，针剂采用5mmPb钨合金注射屏蔽套+5mmPb转运屏蔽箱屏蔽，转运人员体表距离屏蔽箱约0.5m，经计算，屏蔽箱表面0.5m处剂量率1.12×10^{-8}μSv/h，则转运过程所致工作人员有效剂量为3.11×10^{-7}mSv/a。

注射：工作人员为患者进行^{99m}Tc药物注射时，工作人员在一体化注射窗（10mm铅当量）后给患者进行注射，工作人员距离患者约0.5m，工作人员注射操作位剂量率为1.12×10^{-13}μSv/h（表11-15 ^{99m}Tc注射窗处），每次给患者注射药物时间为30s计，年工作时间为41.67h，则注射^{99m}Tc药物所致工作人员有效剂量为4.67×10^{-15}mSv/a。

摆位：患者注射^{99m}Tc后进入SPECT-CT显像检查室进行检查过程中，工作人员指导患者进行摆位时与患者距离约1m，患者注射925MBq的^{99m}Tc药物1m处的剂量率约为19.15μSv/h，每个病人摆位按1min计，全年累积时间83.33h，摆位过程所致工作人员年有效剂量为1.60mSv/a。

扫描：SPECT-CT分为SPECT部分扫描和CT部分扫描，全年检查病人5000人次。每人次SPECT扫描时间约15min，全年累积时间1250h，工作人员操作处剂量率按服药患者所致剂量率1.06×10^{-4}μSv/h（见表11-15 SPECT-CT机房观察窗处））进行计算；CT部分扫描时考虑到X射线的叠加影响，工作人员操作位处剂量率取0.128μSv/h（见表11-18 SPECT-CT机房观察窗处CT辐射剂量率），扫描时间每人次20s，全年累计时间27.78h。

综上，SPECT-CT显像检查所致工作人员年受照剂量见表11-26。

表 11-26 SPECT-CT 显像检查所致工作人员年受照剂量核算表

<table>
<tr><th>工作场所</th><th>工作岗位</th><th>剂量率（μSv/h）</th><th>全年累积工作时间（h）</th><th>受照剂量（mSv/a）</th><th>岗位人数（人）</th><th colspan="2">每人所受职业照射剂量（mSv/a）</th></tr>
<tr><td rowspan="5">SPECT场所</td><td>转运</td><td>1.12×10^{-8}</td><td>27.78</td><td>3.11×10^{-7}</td><td rowspan="2">1</td><td colspan="2" rowspan="2">3.11×10^{-7}</td></tr>
<tr><td>SPECT注射</td><td>1.12×10^{-13}</td><td>41.67</td><td>4.67×10^{-15}</td></tr>
<tr><td>摆位</td><td>19.15</td><td>83.33</td><td>1.60</td><td rowspan="3">2[注]</td><td>0.80</td><td rowspan="3">0.803</td></tr>
<tr><td>SPECT扫描</td><td>1.06×10^{-4}</td><td>1250</td><td>1.33×10^{-4}</td><td>1.33×10^{-4}</td></tr>
<tr><td>CT扫描</td><td>0.128</td><td>27.78</td><td>3.56×10^{-3}</td><td>3.56×10^{-3}</td></tr>
<tr><td colspan="8">注：摆位时，2名辐射工作人员轮流操作，平均每人所受职业照射剂量为受照剂量的一半，扫描时，2名辐射工作人员均位于操作室，所受年剂量不均摊。</td></tr>
</table>

由上表计算结果可知，SPECT-CT检查所致工作人员职业照射的最大剂量值为0.803mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的工作人员的职业照射水平控制限值（20mSv）及《核医学辐射防护与安全要求》

（HJ1188-2021）中规定的职业照射的剂量约束值（5mSv）。

根据表11-25、表11-26，^{18}F分装、转运、注射的辐射工作人员所受的年有效剂量为0.205mSv，^{99m}Tc转运、注射的辐射工作人员所受的年有效剂量为3.11×10^{-7}mSv；此外，本项目PET-CT机房与SPECT-CT机房共用一间操作间，核医学科显像诊断辐射工作人员的年有效剂量需考虑PET-CT与SPECT-CT同时运行的影响。扫描时，4名影像工作人员均位于操作间内，受到的年职业照射剂量为$0.293+9.17\times10^{-9}+1.33\times10^{-4}+3.56\times10^{-3}=0.297$mSv，因此操作间PET影像工作人员受到的职业照射年最大剂量值合计约为0.71+0.297=1.007mSv（摆位所受剂量+扫描所受剂量），SPECT影像工作人员受到的职业照射年最大剂量值合计约为0.8+0.297=1.097mSv（摆位所受剂量+扫描所受剂量），均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的工作人员的职业照射水平控制限值（20mSv/a）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的职业照射的剂量约束值（5mSv/a）。

11.2.2.5.3 公众成员剂量估算与评价

核医学科工作场所屏蔽体外公众成员年剂量估算结果见表11-27所示。由表11-27可知，核医学科工作场所控制区边界外的公众成员受到的年剂量最大为0.049mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的公众的职业照射水平控制限值（1mSv/a）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的公众照射的剂量约束值（0.1mSv/a）。

表 11-27　公众成员年受照剂量估算结果

工作场所	关注点		患者辐射影响		CT 扫描影响（μSv/a）		居留因子	年有效剂量（mSv/a）	
			周围剂量当量率（μSv/h）	年受照射时间（h）	周围剂量当量率（μSv/h）	年受照射时间（h）			
PET-CT 机房	楼上	检验大厅	0.079	扫描 625h（含摆位）	1.64×10^{-4}	扫描时间 20s/人次，全年 13.9h	1	0.049	
SPECT-CT 机房	东侧	走廊	1.65×10^{-2}	扫描 1250h（含摆位）	6.97×10^{-2}	扫描时间 20s/人次，全年 27.78h	1/5	4.51×10^{-3}	
		男卫	1.65×10^{-2}		6.97×10^{-2}		1/20	1.13×10^{-3}	
	楼上	检验大厅	6.76×10^{-5}		6.11×10^{-2}		1	1.78×10^{-3}	
给药室[注1]	南侧	护士站	3.94×10^{-4}	^{18}F 储存 2000h	/	/	1	7.88×10^{-4}	3.27×10^{-3}
			0.119	^{18}F 注射 20.83h	/	/	1	2.48×10^{-3}	
	楼上	检验大厅	5.04×10^{-4}	^{18}F 储存 2000h	/	/	1	1.01×10^{-3}	2.26×10^{-3}
			0.060	^{18}F 注射 20.83h	/	/	1	1.25×10^{-3}	
PET 注射后候诊室[注2]	北侧	室外过道	0.232	按候诊室容纳 2 人，候诊时间按平均 20min 计，则候诊时间为 2500 人/年÷2 人/次×20min/次÷60min/h=416.7h	/	/	1/40	2.42×10^{-3}	
	西侧	值班室	0.322		/	/	1/5	2.68×10^{-2}	
		资料室	0.322		/	/	1/20	6.71×10^{-3}	
	楼上	办公室	0.112		/	/	1	0.047	
SPECT 注射后候	北侧	室外过道	0.136	候诊室可容纳 5 人，候诊时	/	/	1/40	1.7×10^{-3}	

诊室	楼上	值班室	3.38×10^{-4}	间按平均 30min 计，则候诊时间为 5000 人/年 ÷5 人/次×30min/次÷60min/h=500h	/	/	1/5	3.84×10^{-5}
PET 留观室	北侧	室外过道	0.151	按 1 人留观，留观时间按最长 10min 计，则留观时间为 2500 人/年÷1 人/次×10min/次÷60min/h=416.7h	/	/	1/40	1.57×10^{-3}
	楼上	卫生间	0.131		/	/	1/20	2.73×10^{-3}
抢救室兼运动负荷（抢救）	楼上	库房	0.154	考虑 1 名患者抢救时间 30min，每年最多 5 个患者抢救，全年累积时间 2.5h	/	/	1/20	1.93×10^{-5}
抢救室兼运动负荷（运动）	楼上	库房	6.76×10^{-7}	运动负荷每年最多 1500 人（按 ^{99m}Tc 患者总人数 30%计），每人运动时间最长 10min，全年累积时间 250h	/	/	1/20	8.45×10^{-9}

注 1：给药室内的辐射源考虑手套箱外活度为 370MBq 的 ^{18}F 注射量和手套箱内活度为 3208MBq 的 ^{18}F 储存量，手套箱内 ^{18}F 储存时间保守按照每天 8 小时，年 250 天计算，即年储存时间为 8h×250 天=2000h；

注 2：PET 注射后候诊室候诊人数最多为 3 人，其中 1 人位于候诊单间内，另外 2 人位于候诊单间外候诊，本次保守按照每批 2 人候诊计算候诊时间。

注3：核医学科各工作场所正上方2F为检验科，包括检验大厅在内的各实验室，考虑有其他工作人员驻留，保守起见居留因子统一取1；

11.2.2.5.4 叠加影响分析

考虑本项目核医学科北侧室外道路可能受到PET注射后候诊室、SPECT注射后候诊室和PET留观室中相邻2个房间的辐射影响。叠加影响的分析如下：

①周围剂量当量率叠加影响

表 11-28　周围剂量当量率叠加影响情况

关注点	影响来源	关注点剂量率，μSv/h	叠加后剂量率，μSv/h	剂量率限值μSv/h	是否合格
北侧室外道路	PET 注射后候诊室+候诊单间	0.232+0.862	1.23	2.5	合格
	SPECT 注射后候诊室	0.136			
北侧室外道路	SPECT 注射后候诊室	0.136	0.287	2.5	合格
	PET 留观室	0.151			
注：表中数据来自表 11-18。					

因此，本项目核医学科北侧室外道路的周围剂量当量率叠加后最大约1.037μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准限值。

②人员年剂量叠加影响

表 11-29　年剂量叠加影响情况

关注点		影响来源	有效剂量，mSv/a	叠加后有效剂量，mSv/a	剂量控制水平，mSv/a	是否合格
公众	北侧室外道路	PET 注射后候诊室	2.42×10^{-3}	4.12×10^{-3}	0.1	合格
		SPECT 注射后候诊室	1.70×10^{-3}			
	北侧室外道路	SPECT 注射后候诊室	1.70×10^{-3}	3.27×10^{-3}	0.1	合格
		PET 留观室	1.57×10^{-3}			
注：表中数据来自表 11-27。						

综上所述，若考虑叠加影响，核医学科工作场所控制区边界外的公众成员受到的有效剂量最大值为4.12×10^{-3}mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的公众的职业照射水平控制限值（1mSv/a）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的公众照射的剂量约束值（0.1mSv/a）。

11.2.2.6 放射性废气影响分析

本项目核医学科工作场所采取独立的排风系统，并根据各功能区的活性高低分别设置排风管道及高效活性炭过滤防护装置，保持含放射性核素场所负压以防止放

射性气体交叉污染，不违背核医学科排风系统低活度往高活度转移的要求。主管道均拟布设于吊顶上方，然后通过支管连接至各个工作区域用房，管道节点处拟设置调节阀门，防止放射性废气倒灌，主管道在吊顶上方至风井后，沿风井向上至屋面，经活性炭过滤后排至大气。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）5.2.3“操作放射性药物所用的手套箱应有专用的排风装置，风速应不小于0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。”和I.8“测量手套箱风速时应在正常操作状态，没有手孔的手套箱为前档玻璃开到一半，在前档玻璃打开处测量，有手孔的为2个手孔打开后，在手孔处测量。”本项目核医学科手套箱单独专设一路排风管道，管道连接专用防辐射排风管，手孔处测量的风速应不小于0.5m/s，管道内部设有高效活性炭过滤防护装置。

故项目产生的放射性废气在采取上述措施后对环境影响较小，核医学科各工作场所排风系统能够符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

本环评要求活性炭过滤装置应加强维护，建议采用高效的蜂窝状活性炭，活性炭应每一年更换一次，以保证过滤效果。更换废活性炭的工作人员应正确穿戴个人防护用品（放射性污染防护服）和佩戴个人剂量计，将更换下来的废活性炭（含放射性核素）采用专用废物袋密封，并在显著位置标注废物种类、核素种类、活度水平和存放日期等说明，放置在核医学科固废间内衰变暂存。

11.2.2.7 放射性废水影响分析

项目核医学科工作场所产生的放射性废水的主要来源为给药室工作人员手部受到微量污染后进行清洗，工作场所台面、地面的清洗，以及患者排泄物冲洗用水等。

医院拟在肿瘤综合楼东北侧新建一座地埋式衰变池，衰变池整体长 10m、宽 5.2m、高 5.4m，采用 300mm 厚混凝土浇筑，四周墙体及地面、顶板进行防渗漏和耐酸碱处理。衰变池进水方式为间歇式，由 3 组衰变池槽体并联组成，每个槽体有效容积为 16.5m^3（2×2.5×3.3m，有效容积为 16.5m^3），第一个槽体前端设置容积约为 9.9m^3 的沉淀池 2 座（一用一备），沉淀池定期清掏，防止池底污泥堵塞管口，污泥清掏前，医院应联系检测单位对沉淀池内放射性污泥进行监测，放射性指标合格后方可由有资质单位处置。

^{18}F、^{99m}Tc半衰期均小于24h，因此放射性废水贮存时间须超过30天后可直接解

控排放。本项目放射性废水经两座沉淀池沉淀后由西向东按顺序逐个排入1-3号衰变池（2×2.5×3.3m，有效容积为16.5m³）。项目运行期产生废水量约为0.58m³/d（145m³/a），每个池体储存满需要28天，则排放时放射性废水最短衰变时间按2个池体计约为56天。故含^{18}F、^{99m}Tc的放射废水在衰变池衰变后，衰变时间满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）暂存时间超过30天的要求。达到暂存时间后进入医院污水处理站，处理达标后经市政管网排至大荔县污水处理厂。

11.2.2.8 放射性固体废物影响分析

项目核医学科产生的固体废物主要为与放射性核素接触过的一次性注射器、棉签、注射台上的吸水纸、口罩、乳胶手套、放射性污染防护服、其他一次性卫生用品等医疗废物以及废气处理产生的废活性炭等。PET 和 SPECT 诊断年产生放射性固废总量 435kg。

项目拟在给药室、运动负荷兼抢救室、注射后候诊室及卫生间、留观室及卫生间、PET-CT机房、SPECT-CT机房内放置专用废物桶。核医学科废气过滤更换下来的废活性炭装入专用塑料袋中，塑料袋密封后转移至核医学科固废间放置衰变。废物桶内放置专用塑料袋直接收纳废物。废物桶具有屏蔽能力，并在表面张贴电离辐射标志。

核医学科固废间内设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入锐器盒或其他包装材料中，然后再装入专用塑料袋内，专用塑料袋装满后密封，查看有无破漏后，及时转送核医学科固废间贮存。放射性废物每袋重量不超过20kg。

核医学科固废间内设置有通风换气装置，防护门上设置电离辐射警告标志，防护门及四周墙体材质具有防火、防射线泄漏等功能，固废间内安装视频监控系统，并设置门锁，防止被盗事件发生。此外，固废间内禁止存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求，半衰期小于24小时（含^{18}F、^{99m}Tc核素）的放射性固废暂存时间超过30天，经监测辐射剂量率满足所处

环境本底水平，β表面污染小于0.8Bq/cm²，可对废物清洁解控作为医疗废物处理。

不能解控的放射性固体废物应按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，表面污染水平对β和γ发射体应小于4Bq/cm²。

应安排专人负责管理废物的存储和处理，建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。废物管理人员应熟悉国家有关放射性废物管理法律法规，具备掌握放射防护和剂量监测专业技术的安全文化素养，接触放射性废物的工作人员必须穿放射性污染防护服，并佩戴个人剂量计。

11.2.3 DSA

11.2.3.1 辐射环境影响分析

（1）关注点选取

关注点的选取以 DSA 介入手术室中心位置作为辐射源点；有用线束向上照射，设备机头距地面 0.5m，治疗床高 1m；防护门窗考虑安装位置角度；关注点位距墙体、门、窗表面 0.3m，屋顶上方（楼上）距屋顶地面 1.0m，屋顶下方（楼下）距楼下地面 1.7m。

本项目位于外科综合楼 1 层，1 层层高 4.8m，2 层层高 4.8m，楼下隔震层层高 2.1m。泄漏辐射源点按机头距地面 0.5m 考虑，泄漏辐射距楼上取 5.3m，距楼下 0.9m；散射辐射源点按治疗床高 1.0m 考虑，散射辐射距楼上取 4.8m，距楼下 1.4m。

关注点分布示意图见图 11-3 和图 11-4。

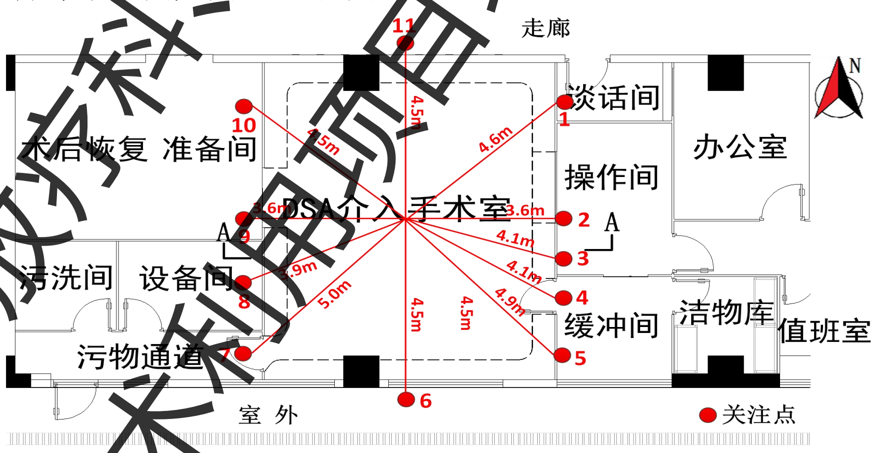


图 11-5 各关注点分布简图（平面）

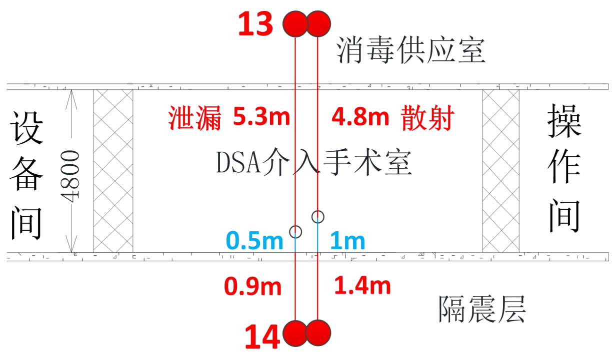


图 11-6 各关注点分布简图（A-A 剖面）

（2）各关注点剂量率估算

医院拟配置的 DSA 尚未确定生产厂家与型号，本项目按照最大管电压为 125kV，最大管电流为 1250mA 进行屏蔽能力核算。

DSA包括透视和摄影两种工作模式。根据《医用外照射源的辐射防护》(ICRP33）P55图2，管电压125kV时，2mmAl滤过下，离靶1m处的剂量率读值约为11mGy/mA•min。结合市场流通的设备机型及医院提供的资料，选取最大管电压下的最大工作电流进行估算，项目透视时最大管电流取25mA，摄影时管电流取800mA。

表 11-30 不同电压下离靶 1m 处的剂量率

电压	离靶1m处的剂量率读值（mGy/mA•min）
125kV	11

距靶点 1m 处的剂量率 H_0（μGy/h）为以 mGy/mA•min 为单位的剂量率读值乘以 6×10^4，再乘以工作电压下对应电流（mA）得出。则透视状态下 $H_0=11\times6\times10^4\times25=1.65\times10^7$μGy/h，摄影状态下 $H_0=11\times6\times10^4\times800=5.28\times10^8$μGy/h。

表 11-31 DSA 不同运行条件下的参数取值

设备	运行条件		距靶1m处的剂量率H_0（μGy/h）
DSA	透视	125kV，25mA	1.65×10^7
	摄影	125kV，800mA	5.28×10^8

项目射线装置主束照向患者，各关注点处仅考虑泄漏线和散射线影响，一般射线泄漏率按 0.1%估算。

11.2.1.2 估算方法

（1）泄漏辐射剂量率估算

泄漏周围剂量当量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册　辐射源与屏蔽》（李德平、潘自强主编，原子能出版社，1987）。对于给定的屏蔽物质，屏蔽透射因子依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C计算。

$$H = \frac{f \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \tag{11-29}$$

$$B = \left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \tag{11-30}$$

式中：H—关注点处的泄漏周围剂量当量率，μSv/h；周围剂量当量率与空气吸收剂量率换算系数在辐射屏蔽计算时通常取1Sv/Gy。

f—泄漏射线比率，取0.1%；

H_0—距靶点1m处的最大剂量率，μGy/h；

R—靶点至关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子；

X——铅厚度，mm。

α、β、γ为铅对X射线辐射衰减的有关的拟合参数见表11-32。

表 11-32　X射线辐射衰减的有关的拟合参数

电压	材料	α	β	γ
125kV（主束）	铅	2.219	7.923	0.5386
125kV（散射）	铅	2.233	7.888	0.7295
注：α、β、γ取值参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C。				

（2）散射辐射剂量率估算

关注点处的散射周围剂量当量率参考《辐射防护手册第一分册》（李德平、潘自强主编，原子能出版社，1987）中给出的公式计算。

$$H = \frac{H_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot (S/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \tag{11-31}$$

式中：H—关注点处的患者散射周围剂量当量率，μSv/h；周围剂量当量率与空气吸收剂量率换算系数在辐射屏蔽计算时通常取1Sv/Gy。

H_0—距靶点1m处的最大剂量率，μGy/h；

α—患者对X射线的散射比，取自《辐射防护手册 第一分册》P437表10.1，125kV射线散射与入射X、γ射线照射量之比值a为0.0015（90°散射，相对于400cm²散射面积）；

S—散射面积，取典型值400cm²；

d_0—源与患者的距离，一般取0.5m；

d_S—患者与关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子。

11.2.1.3 估算结果

不同模式下，机房各关注点的泄漏和散射辐射剂量率计算结果见表11-33和11-34。

表 11-33 各关注点泄漏辐射剂量率计算结果一览表

关注点位置描述		序号	距离R（m）	铅当量X(mm)	透射因子B	透视状态剂量率(μSv/h)	摄影状态剂量率(μSv/h)
东侧	谈话间墙面	1	4.6	5.28	4.87×10^{-7}	3.80×10^{-4}	1.22×10^{-2}
	观察窗	2	3.6	4.0	8.42×10^{-6}	1.07×10^{-2}	0.343
	操作间墙面	3	4.1	5.28	4.87×10^{-7}	4.78×10^{-4}	1.53×10^{-2}
	缓冲间门	4	4.1	4.0	8.42×10^{-6}	8.26×10^{-3}	0.264
	缓冲间墙面	5	4.9	5.28	4.87×10^{-7}	3.35×10^{-4}	1.07×10^{-2}
南侧	室外	6	4.5	5.28	4.87×10^{-7}	3.97×10^{-4}	1.27×10^{-2}
西侧	污物通道间门	7	5.0	4.0	8.42×10^{-6}	5.56×10^{-3}	0.178
	设备间墙面	8	3.9	5.28	4.87×10^{-7}	5.28×10^{-4}	1.69×10^{-2}
	患者防护门外	9	3.6	4.0	8.42×10^{-6}	1.07×10^{-2}	0.343
	术后恢复准备间墙面	10	4.5	5.28	4.87×10^{-7}	3.97×10^{-4}	1.27×10^{-2}
北侧	洁净走廊墙面	11	4.5	5.28	4.87×10^{-7}	3.97×10^{-4}	1.27×10^{-2}
楼上	消毒供应室	12	5.3	4.44	3.15×10^{-6}	1.85×10^{-3}	5.93×10^{-2}
楼下	隔震层	13	0.9	4.32	4.12×10^{-6}	8.40×10^{-2}	2.69

表 11-34　各关注点散射辐射剂量率计算结果一览表

关注点位置描述		序号	距离R（m）	铅当量X(mm)	透射因子B	透视状态剂量率(μSv/h)	摄影状态剂量率(μSv/h)
东侧	谈话间墙面	1	4.6	5.28	9.55×10^{-7}	4.47×10^{-3}	0.143
	观察窗	2	3.6	4.0	1.67×10^{-5}	0.127	4.07
	操作间墙面	3	4.1	5.28	9.55×10^{-7}	5.62×10^{-3}	0.180
	缓冲间门	4	4.1	4.0	1.67×10^{-5}	9.82×10^{-2}	3.14
	缓冲间墙面	5	4.9	5.28	9.55×10^{-7}	3.94×10^{-3}	0.126
南侧	室外	6	4.5	5.28	9.55×10^{-7}	4.67×10^{-3}	0.149
西侧	污物通道间门	7	5.0	4.0	1.67×10^{-5}	6.60×10^{-2}	2.11
	设备间墙面	8	3.9	5.28	9.55×10^{-7}	6.22×10^{-3}	0.199
	患者防护门外	9	3.6	4.0	1.67×10^{-5}	0.127	4.07
	术后恢复准备间墙面	10	4.5	5.28	9.55×10^{-7}	4.67×10^{-3}	0.149
北侧	洁净走廊墙面	11	4.5	5.28	9.55×10^{-7}	4.67×10^{-3}	0.149
楼上	消毒供应室	12	4.8	4.44	6.23×10^{-6}	2.68×10^{-2}	0.857
楼下	隔震层	13	1.4	4.32	8.15×10^{-6}	0.412	13.2

（3）屏蔽体外剂量率

根据表11-33和表11-34的计算结果，不同模式下各关注点处总的辐射剂量率见表11-35。

表 11-35　不同状态下各关注点剂量率汇总结果一览表

关注点位置描述		序号	透视状态剂量率（μSv/h）			摄影状态剂量率（μSv/h）		
			泄漏剂量率	散射剂量率	总剂量率	泄漏剂量率	散射剂量率	总剂量率
东侧	谈话间墙面	1	6.56×10^{-3}	7.80×10^{-2}	4.85×10^{-3}	0.21	2.50	0.155
	观察窗	2	1.07×10^{-2}	0.127	0.138	0.343	4.07	4.42
	操作间墙面	3	8.26×10^{-3}	9.82×10^{-2}	6.10×10^{-3}	0.264	3.14	0.195
	缓冲间门	4	8.26×10^{-3}	9.82×10^{-2}	0.106	0.264	3.14	3.41
	缓冲间墙面	5	5.78×10^{-3}	6.87×10^{-2}	4.27×10^{-3}	0.185	2.20	0.137

南侧	室外	6	6.86×10^{-3}	8.15×10^{-2}	5.07×10^{-3}	0.219	2.61	0.162
西侧	污物通道间门	7	5.56×10^{-3}	6.60×10^{-2}	7.16×10^{-2}	0.178	2.11	2.29
	设备间墙面	8	9.13×10^{-3}	0.108	6.74×10^{-3}	0.292	3.47	0.216
	患者防护门外	9	1.07×10^{-2}	0.127	0.138	0.343	4.07	4.42
	术后恢复准备间墙面	10	6.86×10^{-3}	8.15×10^{-2}	5.07×10^{-3}	0.219	2.61	0.162
北侧	洁净走廊墙面	11	6.86×10^{-3}	8.15×10^{-2}	5.07×10^{-3}	0.219	2.61	0.162
楼上	消毒供应室	12	1.85×10^{-3}	2.68×10^{-2}	2.86×10^{-2}	5.93×10^{-2}	0.857	0.917
楼下	隔震层	13	8.4×10^{-2}	0.412	0.496	2.69	13.2	15.9

由表11-35可知，在透视状态下，DSA介入手术室各屏蔽体外表面0.3m处的周围剂量当量率最大为0.496μSv/h，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“具有透视功能的X射线机在透视条件下检测时，周围剂量当量率控制目标值应不大于2.5μSv/h”的要求；摄影状态下周围剂量当量率最大为15.9μSv/h，估算条件为800mA，按照GBZ130-2020归一至100mA时为1.99μSv/h，满足“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25μSv/h”的要求。

11.2.2 个人剂量估算

11.2.2.1 工作量

项目DSA运行包括透视和采集两种模式，项目运行后预计每年进行手术400台，平均每台手术透视时间10min，采集0.5min。

项目在不同工作模式下年开机时间见表11-36。

表 11-36　不同工作模式下的开机时间一览表

设备名称	工作模式	管电压（kV）	管电流（mA）	单台手术平均出束时间	年预计手术次数(台)	年累积出束时间
DSA	透视	125	26.7	10min	400	66.7h
	采集	125	640	0.5min	400	3.33h

11.2.2.2 估算方法

相关人员受到的年有效剂量计算公式如下：

$$H_w=H_R \times K \times t \times T \times 10^{-3} \quad \text{……………………………}（11-32）$$

式中：H_w—年有效剂量，mSv/a；

H_R—手术室外周围剂量当量率，μSv/h；

K—有效剂量与吸收剂量换算系数，取1Sv/Gy；

t—出束时间，h/a；

T—人员居留因子，参照GBZT201.1-2007附录A取值。

11.2.2.3估算结果

（1）职业人员年附加剂量

① 操作间内职业人员年有效剂量估算

根据表11-35计算结果，结合公式11-32，操作间内职业人员可能受到的年有效剂量见表11-37。

表 11-37　操作间内职业人员年有效剂量估算结果一览表

关注点位置描述	透视状态		摄影状态		居留因子	年有效剂量估算（mSv/a）
	总剂量率（μSv/h）	出束时间（h/a）	总剂量率（μSv/h）	出束时间（h/a）		
东侧观察窗	0.138	66.7	4.42	3.33	1	**0.024**
东侧操作间墙面	6.10×10^{-3}	66.7	3.41	3.33	1	0.012

由表11-37可知，DSA正常运行时，操作间内职业人员受到本项目的年有效剂量最大值为0.024mSv，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中年剂量限值（职业人员20mSv）及本次评价所取的年剂量约束值（职业人员5mSv）。

②介入手术医生年附加有效剂量估算

摄影模式是为了给减影状态提供蒙片，根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中7.8.3“除存在临床不可接受的情况外，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留”。因此，摄影模式下，介入手术医生和护士退出DSA介入手术室在控制室内，摄影模式下医护人员受照剂量按照操作间处的剂量率（表11-35）计算；

在透视模式下，手术医生和护士在DSA介入手术室内对患者进行手术。介入手

术时医生、护士穿戴铅衣、铅帽、铅眼镜（医生佩戴介入防护手套）等防护用品，位于铅悬吊屏和床侧铅帘后。根据《医用X射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）附录B中表B.1 X射线透视设备的检测项目及技术要求“7、非直接荧光屏透视设备透视防护区检测平面上周围剂量当量率不大于400μGy/h”，因此本次评价保守按照X射线设备在确保铅屏风和床侧铅挂帘等防护设施正常使用的情况下，手术医生和护士铅衣外按照在透视防护区测试平面上的空气比释动能率为400μGy/h进行计算。

根据公式11-30计算可知，管电压125kV时，手术医生、护士穿0.5mm厚铅衣的辐射透射因子B为0.0557。项目DSA手术透视情况下年累积出束时间66.7h，摄影出束时间3.33h，医护人员可能受到的年有效剂量见表11-38。

表 11-38　DSA 介入手术室医生护士年有效剂量估算结果一览表

人员	剂量率（μSv/h）	防护铅当量（mmPb）	透射因子	时间(h)	年有效剂量（mSv）	
医生护士	透视：400	0.5	0.0557	66.7	1.49	**1.50**
	摄影：4.42	/	/	3.33	1.47×10^{-2}	

经计算、介入手术所致手术室内操作医生、护士年剂量为1.50mSv，事实上，上述估算偏保守，忽略了DSA材料的衰减作用，此外项目DSA设备床边操作系统、床边剂量控制系统等防护设施可实时显示剂量率、调节运行档位。因此，项目DSA在正常运行情况下，医护人员实际受到的年有效剂量率小于理论计算值。介入手术医生和护士受到的年有效剂量低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中年剂量限值（职业人员20mSv）及本次评价所取的年剂量约束值（职业人员5.0mSv）。

（2）公众年附加剂量估算

根据表11-35计算结果，结合公式11-32，项目正常运行时，公众受到的年有效剂量见表11-39。

表 11-39　DSA 介入手术室周边公众受到的年有效剂量估算结果一览表

关注点位置描述	透视状态		摄影状态		居留因子	年有效剂量估算（mSv/a）
	周围剂量当量率（μSv/h）	出束时间（h/a）	周围剂量当量率（μSv/h）	出束时间（h/a）		
东侧谈话间墙面	4.85×10^{-2}	66.7	0.155	3.33	1/5	7.50×10^{-4}
南侧室外	5.07×10^{-3}	66.7	0.162	3.33	1/40	2.19×10^{-5}
西侧污物通道间门	7.16×10^{-2}	66.7	2.29	3.33	1/8	1.55×10^{-3}
西侧设备间墙面	6.74×10^{-3}	66.7	0.216	3.33	1/20	5.84×10^{-5}
西侧患者防护门外	0.138	66.7	4.42	3.33	1/8	2.99×10^{-3}
西侧术后恢复准备间墙面	5.07×10^{-3}	66.7	0.162	3.33	1/5	1.76×10^{-4}
北侧洁净走廊墙面	5.07×10^{-3}	66.7	0.162	3.33	1/5	1.76×10^{-4}
楼上消毒供应室	2.86×10^{-2}	66.7	0.917	3.33	1	**4.96×10^{-3}**
楼下隔震层	0.496	66.7	15.9	3.33	1/40	2.15×10^{-3}

由表11-39可知，DSA正常运行时，手术室周围公众受到的年有效剂量最大值为4.96×10^{-3}mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中年剂量限值（公众人员1mSv）及本次评价所取的年剂量约束值（公众人员0.1mSv）。

11.2.3 废气环境影响分析

DSA在开机并处于出束状态时，X射线与空气作用会产生极少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，由于项目射线装置的管电压、管电流较小，产生的有害气体相对较少。项目在DSA介入手术室内部设置动力通风装置，产生的O_3和NO_X通过排风管道排出室外，满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)“6.4.3 机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风”的标准要求，对大气环境影响很小。

11.2.4 废水影响分析

项目采用数字显影技术，注入的造影剂不含放射性，无废显影液和定影液产生。废水主要来自于运行期间DSA介入手术室辐射工作人员产生的少量生活污水，可依托医院污水处理站收集处理，经处理后污水进入市政污水管网，对周围水环境影响较小。

11.2.5 固体废物影响分析

项目采用数字显影技术，不会产生废胶片。介入手术时产生的废医用器具和废药棉、纱布、手套等医疗废物，经污物通道暂存于DSA介入手术室西侧的污洗间，在污洗间采用专用包装袋、容器分类收集后就地打包，从污物通道南侧门运至医院危废暂存间，最终委托有资质单位处置。工作人员产生的少量的生活垃圾经垃圾桶分类收集后由环卫部门统一处理。

11.3 事故影响分析

11.3.1 直线加速器事故影响

11.3.1.1 辐射事故

直线加速器用于医用放射治疗时，可能发生的辐射事故包括：

（1）医用电子直线加速器的安全联锁系统失效，在机房内部有辐射工作人员停留，或者病人家属在防护门关闭后尚未撤离，或者机房防护门未关闭的情况下启动出束。

（2）辐射工作人员对医用电子直线加速器进行误操作导致出束剂量超过放射治疗要求。

（3）医用电子直线加速器所在房间的局部屏蔽防护遭受损坏，导致射线泄漏，机房外部辐射剂量率超标。

10MV直线加速器主射束1m处最高剂量率为24Gy/min，在对病人开机治疗时，若出现人员误入、误留治疗室，则相关人员均会受到不同程度的辐射影响。本次评价按照环境影响评价最不利原则，分别估算患者家属位于治疗室的不同位置时，一次治疗所受到的剂量（保守以最大剂量率出束、考虑到平均每人次治疗剂量4.5Gy，10MV电子直线加速器一次治疗照射时间4.5/24×60=11.25s）和受照达到有效剂量限值（公众人员不超过1mSv/a）的时间下限，以及公众成员位于迷路内入口，和防护门外30cm时，一次治疗所受到的剂量。

有用线束方向和泄漏辐射的剂量率按式（11-33）估算，在非有用线束方向受到散射辐射剂量率按式（11-34）计算：

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_0\cdot f}{R^2} \qquad (11\text{-}33)$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \qquad (11\text{-}34)$$

式中：

$\dot{H}_0$—加速器有用线束中心轴上距产生治疗X射线束的靶1m处的最高剂量率，10MV加速器为24Gy/min；

f—对有用束为1，对90°泄漏辐射为0.001；

R—辐射源点至关注点的距离，m；R^2=（1^2+Rs^2）；

α_{ph}—患者400cm²面积上的散射因子，取10MV加速器，散射角90°中的较大值，为3.81×10^{-4}；10MV加速器取90°散射角对应的值，为3.81×10^{-4}；

Rs—患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

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

根据公式11-33、式11-34，主束方向、非有用线束方向不同距离不同受照时间所致人员剂量见表11-40。

表 11-40　不同照射方向人员滞留机房内受照剂量限值估算表

估算点		吸收剂量率（mSv/min）	1次治疗所受剂量（mSv）
10MV直线加速器	有用线束方向，距靶点1m处	24000	4500
	非有用线束方向，距等中心1.0m处	48.6	9.11
	迷路转角处，距等中心约8.16m处	1.03	0.19
注：直线加速器一次治疗人员所受剂量为4.5Gy。			

根据表11-40可知，在设备出束治疗期间，若出现人员误留治疗室的情况，人员处于非主束方向受到泄漏辐射和散射辐射照射剂量在一次治疗中最低为0.19mSv；防护门未关闭情况下，公众位于10MV直线加速器防护门外30cm处的辐射剂量率根据前文计算结果为108.04μSv/h，计算可得相关人员在直线加速器一次治疗中受到的剂量为3.38×10^{-4}mSv。

综上所述，当出现人员误入、误留治疗机房时，相关人员所受剂量较高，会发生较大辐射事故，因此医院应加强管理，杜绝人员误入、误留治疗机房，当出现上述事故时，医院应及时启动应急预案，并根据应急预案的程序及时报告主管部门。

11.3.2.2 风险防范与事故应急处理措施

针对以上突发事故，本次环评提出以下防范措施：

（1）医院应按操作规程定期对各个连锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机、门-灯连锁装置失效的情况下违规操作；通过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连锁失效或在某个连锁失效期间产生辐射。

（2）辐射工作人员应在开机运行前认真检查机房内人员情况，除病人外，一律不得停留。待确认无误后，方可进行下一步操作。

（3）辐射工作人员须加强专业知识学习，加强防护知识培训；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）医院在采购加速器时应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；在维护和维修时，决不可擅自解除联锁系统。

（5）医院应保证电子直线加速器紧急停机按钮、设备控制台紧急停机按钮以及机房内的紧急开门按钮、紧急停机按钮、固定式剂量报警仪正常工作，同时应确保放射工作人员做好定期辐射巡测工作，熟知相关辐射事故应急措施，在辐射事故发生后及时上报、估算意外照射剂量，并将受意外照射人员及时送医。

11.3.2 核医学科事故影响

11.3.2.1 辐射事故

针对医院核医学科应用的放射性核素与射线装置进行分析，该项目可能发生辐射事故为：

（1）放射性药品丢失、被盗事故

医院核医学科管理不严、保管不当，导致放射性药品丢失、被盗，进而对公众造成辐射影响。

（2）放射性药品洒漏事故

放射性药品分装、注射操作过程中因操作不当，放射性药品出现洒漏对工作场所台面、地上等形成放射性污染。

（3）射线装置误照射事故

本项目PET-CT、SPECT-CT属于Ⅲ类射线装置，在进行显像检查时，由于防护门闭门装置失效，工作人员误入正在运行的检查室，致使人员受到照射；或工作人员尚未撤离检查室，即开启设备进行扫描，对室内工作人员进行放射性照射。

11.3.2.2 采取的预防措施

（1）放射性药品丢失、被盗事故

为了防止放射性药品贮存期间发生丢失、被盗事故，医院拟采取如下防范措施：

①放射性药品贮存场所（储源室、给药室）均位于一层核医学科控制区内，在核医学科患者通道入口、出口处设计单向门禁系统，限制无关人员进入此区域；

②在储源室、给药室以及主要通道处设计安装视频监控系统，由医院保卫部门进行全天监控；

③对放射性药品贮存场所（储源室、给药室）设置门锁，采用双人双锁进行管理；

④建立放射性药品台账制度，实现专人管理，明确放射性药物的签收、储存和发放等环节有详细的程序和记录；

应急措施：当发生放射性药品被盗事故，事故发现者应立即上报医院辐射事故应急领导机构。接到报告后，医院应立即启动辐射事故应急预案。同时，保护事故现场，防止无关人员进入现场，在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，并向当地生态环境主管部门和公安部门报告，协助公安、生态环境主管部门对被盗放射性药品进行侦察和追缴。禁止缓报、瞒报、谎报或者漏报辐射事故。

（2）放射性药品洒漏事故

工作人员在分装、注射或给药过程中，由于工作人员未按操作规程要求或操作失误，可能导致盛装放射性药物的试剂瓶被打翻或者破碎，进而导致放射性药物洒漏在工作台面以及地上。假如发生洒漏事故，人员在其附近逗留时间越长，接受的剂量也就越大，同时距离事故点距离越近，所受到的剂量越大。对事故洒漏场地进

行清污的人员，应加强个人防护措施，减少接触时间和尽量增加操作距离，以减少辐射影响。

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

应急措施：若发生非密封放射性物质洒漏事故，应迅速用吸附衬垫或其他物质吸干溅洒的液体，用酒精药棉或纸巾进行擦抹，以防止污染扩散。吸附、擦拭物质作为放射性固体废物，放入带有屏蔽功能的废物桶内。并对污染区域进行表面污染监测，β表面污染大于4Bq/cm^2，用酒精药棉或纸巾进行擦拭，直到污染区表面污染小于4Bq/cm^2。

（3）射线装置误照射事故

本项目核医学科共涉及III类PET-CT、SPECT-CT射线装置2台，为低危险性射线装置，发生严重事故时，可能会对室内工作人员造成辐射损伤。为了预防事故发生，可采取如下防范措施：

①定期对PET-CT、SPECT-CT防护门闭门装置进行检查、维护，确保其处于正常的工作状态；

②控制室工作人员每次在使用PET-CT、SPECT-CT进行扫描前，通过观察窗查看检查室内人员停留情况，在仅有患者且防护门关闭到位的情况下，开启PET-CT、SPECT-CT设备进行扫描操作。

应急措施：发生误照射事故时，控制室内工作人员应立即按下紧急停机开关或切断射线装置高压电源，终止射线装置出束，同时向医院辐射安全与环境保护应急管理机构报告。

11.3.3 DSA 介入手术室事故影响

11.3.3.1、可能发生的辐射事故

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

（2）人员在防护门关闭后未撤离手术室，射线装置开始运行，造成额外照射。

（3）医生在手术室内为患者摆位或进行其它术前准备工作时，控制室操作台处操作人员误开机出束，对手术室内医生造成误照射。

（4）介入治疗时，医生未穿戴防护用品进入手术室，使医生受到较高剂量的附加照射。

（5）安全警示装置发生故障，医护人员误入正在运行手术室造成额外照射。

11.3.3.2、采取的预防措施

（1）定期对DSA设备的安全和防护措施进行检查，对发现的安全隐患及时采取有效措施，妥善处置。

（2）加强放射工作人员的管理与业务培训，确认各项管理制度的执行情况。除存在临床不可接受的情况下，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留；对患者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留。针对DSA制定相关的操作规程，并做到“制度上墙”（即将操作规程张贴在控制室醒目位置），放射工作人员必须严格按照操作规程进行操作，以避免因误操作造成工作人员和公众受到意外辐射。

（3）射线装置发生故障而紧急停机后，在未查明原因和维修结束前，不得重新启动射线装置。

（4）介入医生做好个人防护，介入手术前配备必要的铅衣、铅眼镜、铅围裙、铅屏风及铅吊帘等防护用品，按照GBZ128规定正确佩戴个人剂量计

（5）手术室门外明显处应设置电离辐射警示标志，并安装醒目的工作状态指示灯。定期检查门灯联锁装置，确保门灯联锁装置正常运行，防止人员误入。

（6）定期对辐射工作场所的安全防护装置进行维护、保养。配备必要的辐射监测仪器，对工作场所实施必要辐射环境监测，及时发现使用过程中可能存在的射线的泄漏。

（7）辐射应急管理机构应对本项目的应急组织人员、救护计划和方法、救护器材和设备以及联络方式进行明确布置和安排，一旦事故发生时可立即执行。

一旦发生辐射事故，处理的原则是：

（1）第一时间断开电源，停止X射线的产生。

（2）及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查。

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

（4）在事故处理过程中，要在可合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

为了保证辐射防护措施得到有效落实，指导和督促从事放射活动的人员做好辐射安全和放射防护工作，医院按照《中华人民共和国环境保护法》《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许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等要求，成立了以院长张辉为组长的辐射安全与环境保护管理领导小组，指定专人负责辐射安全防护管理工作。医院以正式文件明确了小组成员以及相关工作职责。

辐射安全与环境保护管理领导小组全面负责本单位的辐射防护管理工作；组织制定本单位的辐射事故应急预案和辐射防护管理制度；审核监督辐射工作人员上岗资质；安排工作人员定期参加辐射防护知识的培训，监督本单位放射工作人员上岗前、在岗期间、离岗时的职业健康体检，负责辐射事件直接向上级管理部门报告。

辐射防护管理人员主要职责如下：

（一）负责组织制订辐射防护工作管理制度；

（二）负责组织全体员工学习辐射防护管理制度，并督促检查防护管理制度的贯彻落实；

（三）每月组织进行一次射线装置设备检查，并将检查内容、检查情况等详细记录，对检查中发现的问题提出整改意见，报告领导小组；

（四）督促检查辐射工作人员，坚持每日工作前的常规检查制度，一旦发现问题，及时报告；

（五）负责制订检测计划，定期委托具有相应资质的第三方检测机构对本单位的辐射工作人员进行个人剂量检测、射线装置设备质量控制检测和辐射工作场所防护检测，同时应建立好个人剂量监测及其它检测档案，及时归档保存；

（六）负责制订本单位辐射工作人员辐射防护知识培训管理制度，组织本机构放射诊疗工作人员接受专业技术、辐射防护知识及有关规定的培训；

（七）负责制订本单位辐射工作人员职业健康检查管理制度，并按照制度要求，对辐射工作人员职业健康监护的管理，组织实施辐射工作人员进行就业前、从业中、

离岗时的健康检查和应急健康检查，并建立辐射工作人员职业健康监护档案；

（八）负责建立防护用品管理台账，督促防护措施的落实情况等；

（九）负责制订本单位辐射事故应急预案，组织辐射事故应急演练、应急响应及善后处理，记录本机构发生的辐射事故并及时报告上级行政部门；

（十）负责编制射线装置安全和防护状况进行年度评估报告，报送领导小组审批后，上报卫生健康和生态环境主管部门；

医院现有辐射安全与环境保护管理领导小组人员配备和相关人员职责，能够满足对辐射安全与环境保护管理机构设置的管理要求，本项目建成投运前，应将放疗科、核医学科成员纳入到辐射安全与环境保护管理领导小组，并完善相应的工作职责。

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 辐射安全管理制度

针对本次新增的直线加速器和核医学科，医院应按照《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29 号）相关要求，增加《直线加速器操作规程》《CT 模拟定位机操作流程》《放疗科人员岗位职责》《核医学科辐射工作场所监测制度》《PET-CT、SPECT-CT 设备维护、维修制度》《PET-CT、SPECT-CT 辐射装置修理与维护应急处理措施》《放射性同位素使用登记制度》等。医院在今后日常工作中应严格落实各项辐射安全管理制度，并根据实际工作对其进行不断完善，使之更满足辐射安全管理要求。

12.2.2 人员管理

针对本项目配备的辐射工作人员，应满足以下要求：

（1）医院应组织核医学科及操作Ⅱ类射线装置的辐射工作人员参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的考核，操作Ⅲ类射线装置辐射工作人员进行自主培训考核，取得成绩合格单后方可上岗。辐射工作人员取得上岗证后，应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的规定，每五年进行再培训。项目运行期若新增人员，同样需要参加相应的辐射安全培训并取得成绩合格单。

（2）辐射工作人员应按照相应类别进行岗前、岗中和离岗职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作；两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。

（3）辐射工作人员要接受个人剂量监测，医院负责建立个人剂量档案。辐射工作人员调动时，个人剂量档案将随其转给调入单位，个人剂量档案终身保存；个人剂量计的监测周期一般为 1 个月，最长不得超过 3 个月；工作人员个人剂量监测工作应委托具有相关资质的个人剂量监测技术服务机构进行。

（4）应建立辐射工作人员培训档案、个人剂量监测档案和职业健康监护档案。其中培训档案应包括每次培训的课程名称、培训时间、考试或考核成绩等资料；个人剂量监测档案应包括：1）历年常规监测的方法和结果等相关资料；2）应急或者事故中受到照射的剂量和调查报告等相关资料；职业健康监护档案应包括：1）职业史、既往病史和职业照射接触史；2）历次职业健康检查结果及评价处理意见；3）职业性放射性疾病诊疗、医学随访观察等健康资料。

12.2.3 辐射安全管理标准化建设

根据《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29 号）的相关要求，核技术利用单位应进行辐射安全管理标准化建设。

医院现有的辐射安全管理与标准化建设的具体要求对照情况见表 12-1。

表 12-1　辐射安全管理标准化建设项目表（二）—辐射安全管理部分

管理内容		管理要求	有/无
人员管理	决策层	就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作。	有
		年初工作安排和年终工作总结时，应包含辐射环境安全管理工作内容。	有
		明确辐射安全管理部门和岗位的辐射安全职责。	有
		提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障。	有
	辐射防护负责人	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求，向员工和公众宣传辐射安全相关知识。	有
		负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告。	有

		建立健全辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责。	有
		建立辐射环境安全管理档案。	有
		对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有巡查及整改记录。	有
	直接从事放射工作的作业人员	岗前进行职业健康体检，结果无异常。	有
		参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗。	有
		了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺。	有
		熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况后，能有效处理。	有
机构建设		设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射环境安全管理机构和负责人。	有
制度建立与执行		建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整。	有
		建立放射性同位素与射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立放射性同位素、射线装置台账。	有
		建立本单位放射性同位素与射线装置岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案。	有
		建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案。	有
		建立辐射工作人员个人剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员分析原因并及时报告相关部门，保证个人剂量监测档案的连续有效性。	有
		建立辐射工作人员职业健康体检管理制度，定期对辐射工作人员进行职业健康体检，对体检异常人员及时复查，保证职业人员健康监护档案的连续有效性。	有
		建立辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等），建立维护与维修工作记录档案（包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间）。	有
		建立辐射环境监测制度，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案。	有
		建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度，定期对监测仪器设备进行检定，并建立检定档案。	有
*应急管理		结合单位实际，制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行应急演练。	有
		辐射事故应急预案应报所在地县级环境保护行政主管部门备案。应急预案应当包括下列内容：①可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和处理程序。	有

根据对医院现有制度的制定情况及执行情况进行调查，医院已制定的辐射安全与防护管理工作制度，在实际工作中均已贯彻落实，医院各项规章制度执行良好。

本项目建成投入使用运行前，应建立并落实相应的规章制度和操作规程，如《直

线加速器操作规程》《CT 模拟定位机操作流程》《放疗科人员岗位职责》《核医学科辐射工作场所监测制度》《PET-CT、SPECT-CT 设备维护、维修制度》《PET-CT、SPECT-CT 辐射装置修理与维护应急处理措施》《放射性同位素使用登记制度》等。并根据本项目实际情况修订《辐射监测计划》等相关制度。

12.3 辐射监测

本项目建成后，医院将制订日常监测方案，并利用检测仪器对各辐射工作场所及周边环境进行日常监测，监测数据存档备查。项目辐射监测计划见表 12-2。

表 12-2　项目辐射监测计划

位置	监测内容	监测点位	监测因子	监测频次
直线加速器机房	辐射水平	四周屏蔽墙外 30cm 处、机房楼上 30cm 处、控制室、防护门外 30cm 处、电缆沟	X-γ辐射剂量率	每季度自测一次，委托有资质单位每年监测一次
CT 模拟定位机房	辐射水平	距四面墙体及门窗表面 0.3m、机房楼上距地面 1.0m、操作位、线沟等	X-γ辐射剂量率	每季度自测一次，委托有资质单位每年监测一次
核医学科	辐射水平	①核医学科各功能用房四周墙体、顶棚、防护门（缝隙和中央）、观察窗外 30cm 处、操作位、管线洞口/通风口，机房顶棚 30cm 处，机房地面下方（楼下）距楼下地面 1.7m 高度处，核医学科工作场所控制区边界外 30cm 处；②手套箱的观察窗、手孔位、操作位、箱身周围 5cm 处；③药物屏蔽容器表面 5cm 处；注射台的观察窗、手孔位、操作位；④放射性废物桶表面 5cm 处。	X-γ辐射剂量率	不少于1次/月；委托有资质单位每年监测一次
	表面放射性污染	放射性药物分装、注射后候诊等场所：工作台面、设备表面、墙壁、地面、座椅、洗手池、患者卫生间地面以及可能受到污染位置。	β射线表面污染	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）
		核医学科工作人员手、皮肤暴露部分以及工作服手套、手套、鞋、帽等。		每次人员离开前
		放射性废物桶表面 5cm 及表		每次人员离开前

		面100cm处。放射性固废包装袋外表面。		
	含放射性废水	衰变池出水口	总β	委托有资质单位每季度监测一次
DSA介入手术室	辐射水平	四周屏蔽墙外30cm处、机房顶棚30cm处，机房地面下方（楼下）距楼下地面1.7m高度处，控制室、防护门外30cm处、电缆沟	X-γ辐射剂量率	每季度自测一次，委托有资质单位每年监测一次
		术者位		委托有资质单位每年监测一次
个人剂量监测		辐射工作人员个人剂量计	个人累积剂量	委托有资质单位每季度监测一次

12.4 辐射事故应急

12.4.1 辐射事故应急预案

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性核素与射线装置安全与防护条例》、《放射性核素与射线装置安全许可管理办法》等相关法律法规规定，医院已制定《辐射事故应急预案》，该预案能够满足医院现有射线装置辐射事故应急管理。

根据现场调查，医院运行至今尚未发生辐射事故，未启动过上述应急预案。

12.4.2 本项目辐射事故应急

医院应结合本项目放射性核素和射线装置的应用情况，将本项目新增的医用电子直线加速器、CT模拟定位机、PET-CT、SPECT-CT、新增核素（^{18}F、^{99m}Tc）等纳入医院辐射事故应急预案。补充医用电子直线加速器使用过程中的事故性出束、人员误入、急停开关失灵等辐射事故，针对新增放射性核素（^{18}F、^{99m}Tc）操作过程和分装过程中可能出现的辐射事故（放射性药品洒漏、丢失、被盗等事故情况），对医院现有的辐射事故应急预案进行修订。依据国家相关法律法规、标准要求等，不断对应急预案进行补充修改和完善，使应急预案更具有操作性、可行性。同时医院应加强宣传教育工作，普及辐射事故预防常识，增强职工的防范意识和相关心理准备，提高防范能力；组织辐射事故应急预案的演练，提高辐射事故应急处置能力；加强应急管理及相关专业技术人员的日常培训，不断提高辐射事故应急管理、应急监测及应急救援处置人员的专业素质和技能。严格落实放射工作各项规章制度和放射性同位素安全防护管理制度。每年针对可能发生的辐射事故组织一次应急演练，

演练内容包括人员的及时救助、应急处置、应急辐射环境监测，受照人员剂量评估及医学处理、防护设施使用方法、应急通讯联络和应急上报流程等，及时总结演练经验，并妥善保存应急演练记录。当发生辐射事故时，能立即启动辐射事故应急预案，并采取必要的防护措施，并于2小时内填写《辐射事故初始报告表》上报生态环境主管部门、公安部门及卫生部门。医院辐射安全管理机构要初步判断事件等级，发生较大辐射以上事故，在上级生态环境主管部门未到场时，要设立临时现场指挥，迅速控制事态和现场，配合生态环境主管部门进行事故应急监测核实事故情况，监测并估算受照剂量。

12.5 环境保护投资与“三同时”环保验收一览表

12.5.1 环保投资

项目总投资 5523 万元，其中环保投资 505 万元，占总投资的 9.14%。环保投资主要用于辐射安全设施购置、放射工作人员职业健康体检、个人防护用品采购以及个剂监测、工作场所监测等。项目环保投资明细一览表见表 12-3。

表 12-3　项目环保投资明细一览表

实施时段	类别	污染源		污染防治措施或设施	费用
运营期	废气	直线加速器机房	NOx、O_3	1 套动力通风系统	10
		CT 模拟定位机房	NOx、O_3	1 套动力通风系统	3
		核医学科	含 ^{18}F、^{99m}Tc 放射性废气	2 套动力通风系统，经活性炭吸附后，经专用管道排入大气	15
		DSA 介入手术室	NOx、O_3	1 套动力通风系统	3.5
	固废	直线加速器机房	废金属靶	由供应商更换收回处置。	/
		核医学科	放射性固体废物（空药瓶、废注射器、吸水纸、棉签、一次性卫生防护用品）、废活性炭等	固废桶内按要求存放后处置。	1
	废水	核医学科	含^{18}F、^{99m}Tc核素的患者排泄物及冲洗废水	衰变池贮存一定时间后，检测合格后，排入医院污水处理站，处理合格后经市政污水管网排入大荔县污水处理厂	70

	辐射安全防护设施	直线加速器机房	X-γ射线	机房防护墙、防护门等	50
				门机联锁装置、红外防夹装置、自动闭门装置、工作状态指示灯、电离辐射警示标志、摄像监控装置、固定式剂量率报警仪、对讲装置、个人剂量计等。	10
		CT 模拟定位机房	X-γ射线	机房防护墙、防护门及观察窗等	30
				门灯联锁装置、红外防夹装置、自动闭门装置、工作状态指示灯、电离辐射警示标志、个人剂量计等。	2
				个人防护用品：铅橡胶衣、铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅眼镜等。	1.5
		核医学科	X射线、γ射线、β射线表面污染	机房防护墙、防护门及观察窗等	190
				门灯联锁装置、红外防夹装置、自动闭门装置、工作状态指示灯、电离辐射警示标志、对讲装置、个人剂量计等。	12
				个人防护用品：铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖、铅眼镜等。	3
				辅助防护设施：手套箱、分装柜、1 个手套箱、转运注射箱、钨合金注射屏蔽套、铅罐、铅污物桶、个人剂量计等。	5
		DSA 介入手术室	X-γ射线	机房防护墙、防护门及观察窗等	60
				门灯联锁装置、红外防夹装置、自动闭门装置、工作状态指示灯、电离辐射警示标志、个人剂量计等。	2
				个人防护用品：铅橡胶衣、铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、介入防护手套、铅眼镜等。	1.5
人员管理	成立辐射安全防护管理领导小组，建立环境管理制度				/
	人员培训				/
	个人剂量监测和职业健康检查				3
环境监测	辐射防护监测仪				1.5
	β表面污染监测仪				1
	定期委托监测				5
环境管理	环境影响评价及竣工环境保护验收费用				25
合计					505

12.5.2 竣工环境保护验收

为规范项目竣工环境保护验收的程序和标准，强化医院环境保护主体责任，根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院第682号令，2017年10月1日起实施）以及《建设项目竣工环境保护验收管理办法》的规定，项目竣工后应及时进行自主验收，编制验收监测报告。验收合格，并取得新的辐射安全许可证后，方可投入生产或使用。项目竣工环境保护验收清单见表12-4。

表12-4 项目竣工环境保护验收清单

序号	验收内容		验收方式
1	辐射安全管理机构		修订辐射安全防护管理领导小组并明确成员职责。
2	辐射安全管理制度		按照项目的实际情况，补充完善全面的、具有可操作性的辐射安全规章制度。针对新增的直线加速器、CT模拟定位机、放射性同位素可能存在的风险，修订应急预案，落实必要的应急物质。定期进行辐射事故应急演练。应急预案应包含本项目直线加速器、放射性同位素和CT模拟定位机的辐射事故应急情况。
3	辐射安全防护措施	放疗科	直线加速器机房：固定式剂量率报警仪、应急照明灯、工作状态指示灯、电离辐射警告标识、摄像监控装置、门机联锁装置、对讲装置、急停按钮、防夹装置、紧急开门装置、动力送排风装置、便携式辐射剂量监测仪等。
			CT模拟定位机房：电离辐射警告标志、工作状态指示灯、门灯联锁装置、红外防夹装置、自动闭门装置、观察窗或摄像监控装置、动力通风装置等等。
		核医学科	①项目核医学科工作场所划分控制区和监督区，控制区出入口安装门禁； ②设置卫生通过间，工作人员离开时进行表面污染监测； ③机房墙体、防护门、观察窗防护当量满足标准限值要求，设置有门灯联锁装置、急停按钮、电离辐射警告标志、工作状态指示灯、对讲装置、摄像监控装置等； ④机房内通风良好； ⑤手套箱一个。
		DSA介入手术室	门灯联锁装置、红外防夹装置、自动闭门装置，急停按钮、工作状态指示灯、电离辐射警告标志、摄像监控装置、动力通风装置。

4	防护用品	放疗科		个人剂量计、铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅帽等个人防护用品。
		核医学科		个人剂量计、放射性污染防护服、铅橡胶衣、铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅帽（选配）、铅眼镜（选配）。
		DSA 介入手术室		个人剂量计、铅衣、铅颈套、铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅眼镜、介入防护手套等个人防护用品。
5	机房面积	放疗科		带有 CBCT 的放疗机房机房面积≥30m²，机房内最小单边长度≥4.5m。
				CT 模拟定位机房面积≥30m²，机房内最小单边长度≥4.5m。
		核医学科		SPECT-CT、PET-CT 机房面积≥30m²，机房内最小单边长度≥4.5m。
		DSA 介入手术室		DSA 介入手术室最小有效使用面积≥20m²，机房内最小单边长度≥3.5m。
6	放射性废水	核医学科		核医学科衰变池排口设置标准采样口，医院污水处理站总排口：总β放射性<10Bq/L。
7	放射性废气	核医学科		设置 1 个手套箱，核医学科设置专用排风管道，放射性废气采取活性炭过滤装置处理后，由楼顶排放。手套箱应有专用的排风装置，手孔处测量的风速应不小于 0.5m/s。
8	放射性固废	核医学科		设置固废间，有放射性废物处理台账。待放射性废物活度浓度低于 HJ1188-2021 清洁解控水平的要求后，作为医疗废物处理。
				每袋废物（重量≤20kg）的表面辐射剂量率≤0.1mSv/h；废物包装盒外表面：β＜0.8Bq/cm²
				所含核素半衰期小于 24 小时（主要为含 ^{18}F、^{99m}Tc 核素）的放射性固体废物暂存时间超过 30 天。
9	环境监测仪器			配备 1 台 X-γ辐射剂量监测仪器，1 台表面污染监测仪，每年检定 1 次；应定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，详细记录监测数据并归档。
10	职业教育培训			辐射工作人员应定期参加相应类别的辐射安全和防护知识培训考核，取得成绩合格单后方能上岗。
11	个人剂量档案			为每名辐射工作人员配备个人剂量计，辐射工作时要求佩戴，定期送检并保存放射工作人员个人剂量监测档案。
12	健康档案			定期对辐射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康检查档案。
13	剂量管理限值	放疗科	剂量限值	项目公众剂量约束值不超过0.1mSv/a，职业工作人员剂量约束值不超过5mSv/a。
			墙体外剂量率控制	直线加速器机房在正常工况下监测机房周围辐射当量剂量率，屏蔽体外表面30cm处剂量率满足剂量率参考控制水平；CT模拟定位机房屏蔽体外表面30cm处剂量率满足不大于2.5μSv/h的限值要求。

		核医学科	剂量限值	项目公众剂量约束值不超过 0.1mSv/a，职业工作人员剂量约束值不超过 5mSv/a。
			墙体外剂量率控制	屏蔽墙体外表面 30cm 处、防护门表面及缝隙 30cm、管线穿墙孔洞处空气吸收剂量率应小于 2.5μSv/h。核医学科各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h。
			表面污染	①工作台、设备、墙壁、地面：控制区：β＜4×10Bq/cm²；监督区：β＜4Bq/cm²；②工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区：β＜4Bq/cm²；③手、皮肤、内衣、工作袜：β＜4×10⁻¹ Bq/cm²。
		DSA 介入手术室	剂量限值	项目公众剂量约束值不超过 0.1mSv/a，职业工作人员剂量约束值不超过 5mSv/a。
			墙体外剂量率控制	透视条件下，DSA 介入手术室屏蔽体外表面 30cm 处剂量率剂量率不大于 2.5μSv/h。
			术者位	手术室内术者位满足《医用 X 射线诊断设备质量控制检测》（WS76-2020）透视防护区检测平面上不大于 400μSv/h 的要求。

表 13 结论与建议

13.1 结论

1、项目概况

为满足广大患者诊疗需求和医院自身发展需要，大荔县医院拟在外科综合楼西北侧地下一层建设放疗科，设计 1 间 10MV 直线加速器机房和 1 间 CT 模拟定位机房及其他相关辅助用房；拟在肿瘤综合楼一层建设核医学科（乙级非密封放射性物质工作场所，日等效最大操作量为 4.24×10^{7}Bq），设计 1 间 PET/CT 和 1 间 SPECT/CT 机房及相关辅助功能用房（涉及使用放射性核素 ^{18}F 和 ^{99m}Tc）；拟在外科综合楼一层建设 1 间 DSA 介入手术室及其他相关辅助用房。

2、实践正当性

项目建设所带来的个人和社会利益远大于可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”要求。

3、辐射环境质量现状

项目拟建辐射工作场所的环境γ辐射剂量率与渭南市γ辐射剂量率调查结果相当，属天然辐射本地水平，辐射环境现状无异常。

4、辐射安全与防护分析结论

（1）辐射安全防护措施

①放疗科

放疗科工作场所明显位置张贴电离辐射警告标志；直线加速器机房设置工作状态指示灯、门-机联锁装置、红外防夹装置、紧急开门装置、急停按钮、摄像视频装置、对讲系统、应急照明灯、固定式剂量率报警仪，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）相关要求；CT模拟定位机房拟设置观察窗、各防护门张贴电离辐射警告标志、设置工作状态指示灯、门灯联锁装置、受检者门设红外防夹装置、工作人员门设自动闭门装置，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求。

②核医学科

核医学科 PET-CT、SPECT-CT 射线装置均设计有单独的机房，工作人员隔室进

行操作，各辐射工作场所采取的屏蔽体均满足辐射防护屏蔽要求。核医学科辐射工作场所控制区出入口、PET-CT 机房、SPECT-CT 机房、给药室、注射后候诊室、留观室等涉及放射性核素场所均设置电离辐射警告标识和中文警告说明；机房安装门灯联锁装置和工作状态指示灯；核医学科辐射工作场所控制区出入口安装门禁，其内部场所设置分区标识，地面设置行走路径标识；核医学科配备满足需要的放射性废物贮存设施（固废间）、放射性废水衰变池、专用排风管道及活性炭过滤设施，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。

③DSA 介入手术室

项目在操作台处设置观察窗，工作人员通过观察窗观察手术室内患者状态及防护门开闭状态；在手术室治疗床旁和操作间各设置 1 个紧急停机按钮，确保出现紧急事故时，能立即停止照射；手术室防护门外应设电离辐射警告标志、辐射安全注意事项和工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句。患者防护门设置为感应式电动推拉门，设置门机联锁和红外防夹装置，医护人员防护门和污物门为手动平开门，均宜设置自动闭门装置，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求。

（2）辐射场所分区

①放疗科

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相关要求，本项目将直线加速器机房（含迷道）、CT模拟定位机房划分为控制区管理；将直线加速器机房控制室、水冷机房、CT模拟定位机房控制室及直线加速器机房防护门外区域划分为监督区管理。

②核医学科

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求，本项目将核医学科工作场所内PET-CT机房、SPECT-CT机房、患者通道、给药室、固废间、储源室、运动负荷兼抢救室、PET注射后候诊室及其患卫、PET注射后候诊单间、SPECT-CT注射后候诊室及其患卫、PET留观室及其患卫、洁具间和衰变池划分为控制区；将去污淋浴医卫间、更衣缓冲间、药物通道、操作间及其更衣缓冲间、患者通道出入口的缓冲区划分为监督区。

③DSA介入手术室

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关要求，本项目将DSA介入手术室划分为控制区，将与手术室相邻的谈话间、操作间、缓冲间、术后恢复准备间、设备间、污物通道划分为监督区。

5、辐射环境影响分析

（1）辐射环境影响分析

经计算，本项目直线加速器机房设计屏蔽措施满足相关要求，机房外关注点处的剂量率满足各关注点剂量率参考控制水平，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范-第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）相关要求。

核医学科PET-CT机房、SPECT-CT机房面积和单边尺寸满足标准要求。根据预测计算，核医学科各工作场所屏蔽墙体表面30cm处、防护门表面30cm处、手套箱、注射窗外表面剂量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求，具备较好的辐射屏蔽能力。

DSA介入手术室、CT模拟定位机房、PET-CT机房和SPECT-CT机房屏蔽防护能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中机房周围剂量当量率应不大于2.5μSv/h的要求。

（2）"三废"影响分析

本项目运行以后，放疗科不产生放射性废水。核医学科产生的放射性废水经过排水管道收集，暂存于放射性废水衰变池内，经暂存规定期限后排放，废水排放满足《核医学辐射防护和安全要求》（HJ1188-2021）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）排放要求。核医学科非密封放射性物质的分装操作在手套箱内进行，手套箱设计有独立的排风系统，负压操作，放射性废气经活性炭吸附后，汇集至排风井引至肿瘤综合楼楼顶排放；放疗科、DSA工作场所设置通风装置，其产生的NO_X、O_3等废气经通风管道引至室外排放。放射性沾染物品以及放射性固体废物将其分类收集后，送至核医学科固废间，暂存规定期限后，达到清洁解控水平后，按照医疗废物处置。

（3）项目所致职业人员、公众年附加有效剂量

①放疗科

放疗科辐射工作人员年有效剂量最大为0.078mSv，公众年有效剂量最大为5.76×10^{-3}mSv。均满足职业人员不大于5mSv/a、公众不大于0.1mSv/a剂量约束值要求。

CT模拟定位机运行所致辐射工作人员最大附加有效剂量为9.30×10^{-3}mSv，小于5mSv/a的标准限值；公众年最大附加有效剂量为3.23×10^{-3}mSv，小于0.1mSv/a的标准限值。

②核医学科

项目正常运行期间，核医学科造成辐射工作人员所受年有效剂量最大值约为1.097mSv，工作场所周边公众所受年有效剂量最大值约为0.049mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中对辐射工作人员及公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理限值要求。

③DSA

操作间内职业人员受到的附加年有效剂量最大值为0.024mSv，介入手术所致手术室内操作医生和护士年有效剂量为1.50mSv，手术室周围公众受到的年有效剂量最大值为4.96×10^{-3}mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中年剂量限值（职业人员20mSv）及本次评价所取的年剂量约束值（职业人员5.0mSv/a，公众人员0.1mSv/a）。

6、辐射安全管理

医院成立了辐射安全防护管理机构，并明确了相关成员职责。医院制定了一系列辐射安全管理制度，用于指导和规范从事放射活动的人员做好辐射安全和辐射防护工作。医院应根据实际使用情况不断完善操作规程、岗位职责、辐射安全和防护制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，使其具有更强的针对性和可操作。项目开展后将其纳入医院现有辐射安全管理体系，并根据人事变动情况及时调整人员名单，明确相关人员职责，可满足项目对辐射安全管理的要求。

7、项目可行性分析结论

项目在落实本报告提出的各项污染防治措施、辐射安全防护措施和辐射安全管理制度后，运行期对周围环境的辐射影响可达到合理且尽可能低的水平，满足辐射防护最优化原则。项目运行所致放射工作人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准限值要求，符合剂量限值约束原则。因此，从辐射安全和环境保护角度分析，项目建设可行。

13.2 建议与承诺

（1）项目建设期间，医院应严格按照《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29 号）相关要求，建立健全各项辐射防护管理规章制度，规范管理与操作，认真开展自查自评工作，发现问题及时整改，竣工验收前须达到辐射安全管理标准化要求。

（2）项目竣工后，医院应按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，对项目配套建设的环境保护设施进行自主验收，取得辐射安全许可证后方可投入运行。

（3）项目建成运行后，应严格执行辐射环境监测制度，每年应对射线装置应用的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向辐射安全许可证发证机关报送上一年度辐射安全年度评估报告。

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