

核技术利用建设项目

重庆市第四人民医院科学城院区建设项目（一期）

（核技术利用部分）

环境影响报告表

建设单位：重庆市第四人民医院

编制单位：重庆宏伟环保工程有限公司

编制时间：2023 年 10 月

生态环境部监制

表 1 项目基本情况

建设项目名称		重庆市第四人民医院科学城院区建设项目（一期）（核技术利用部分）				
建设单位		重庆市第四人民医院				
法人代表		张荣贵	联系人	米翔	联系电话	188*****758
注册地址		重庆市渝中区健康路 1 号				
项目建设地点		重庆市高新区西永 M 组团 M24-2 号地块				
立项审批部门		重庆高新技术产业开发区 管理委员会改革发展局		批准文号	渝高新改投〔2021〕406 号 2012-500112-04-01-529034	
建设项目总投资 （万元）		5000	项目环保投资 （万元）	300	投资比例（环保 投资/总投资）	6%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ）	/
应用 类 型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类			
		☐ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类			
	非密封放 射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物			
		☐ 销售	/			
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙			
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类			
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类			
		☒ 使用	☒ II 类 ☒ III 类			
	其他	无				
	1.1 建设单位概况 重庆市第四人民医院（重庆市急救医疗中心、重庆大学附属中心医院）位于重庆市渝中区健康路 1 号，始建于 1939 年，前身为“中正医院”，1950 年更名为西南工业部第一工人医院，1954 年更名为重庆市第一工人医院，1984 年更名为重庆市第四人民医院，1988 年 3 月依托重庆市第四人民医院合并原重庆市急救站，组建了重庆市急救医疗中心、重庆市第四人民医院，2017 年 10 月成为重庆大学附属中心医院，是集急救、医疗、科研、教学、预防为一体的国家三级甲等综合医院。 为加快重庆高新区经济社会发展，满足广大人民群众日益增长的医疗卫生需求，医					

院在重庆市高新区西永 M 组团 M24-2 号地块建设科学城院区。

1.2 任务由来

重庆市第四人民医院科学城院区（一期）整体建设项目已于 2023 年 1 月完成了环境影响评价工作，根据《重庆市第四人民医院科学城院区建设项目（一期）环境影响评价报告书》及其环评批准文件可知，重庆市第四人民医院科学城院区建设项目（一期）主要建设内容为：项目总建筑面积 207531m²，包含门急诊楼、感染楼、医技楼、住院楼、行政办公楼等地上构建筑物和停车库、设备用房、医疗用房、人防工程等地下建筑。主要开设有儿科、内科、外科、眼科、皮肤科、麻醉、中医康复、妇科、产科、口腔科、五官科、影像科、整形美容科、检验科、输血科、病理科、内镜中心、核医学科、放疗中心、消化内科、心内科、心外科、神经内科、神经外科、骨科、呼吸科、泌尿外科、肿瘤科、妇产科等科室，配套设置太平间、锅炉、液氧站、食堂等。

根据建设单位提供的资料，科学城院区拟配置 23 台 III 类射线装置（1 台 SPECT/CT、1 台 PET/CT、1 台 CT 模拟定位机、5 台 DR、1 台数字胃肠机、7 台 CT 机、1 台乳腺钼靶机、4 台移动 C 形臂、2 台骨密度仪），7 台 II 类射线装置（5 台数字减影血管造影 X 射线机（以下称 DSA）、2 台医用电子直线加速器），建设 1 个核医学科工作场所（乙级非密封放射性物质工作场所）和 1 个籽粒植入工作场所（丙级非密封放射性物质工作场所）。除 SPECT/CT、PET/CT 和 CT 模拟定位机外的 III 类射线装置及丙级非密封放射性物质工作场所已单独填报了《建设项目环境影响登记表》，因此，本次评价内容仅涉及医院新建放疗中心、核医学科和 DSA 介入手术工作场所及相关设施，以下称本次评价涉及内容为本项目。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》以及《建设项目环境保护管理条例》等相关规定，本项目应进行环境影响评价，医院委托重庆宏伟环保工程有限公司开展该项目的环评工作。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 版）的“五十五 核与辐射 172 核技术利用建设项目”可知，使用 II 类射线装置的；乙级非密封放射性物质工作场所的项目环境影响评价文件形式为编制环境影响报告表。

评价单位在进行现场踏勘及收集有关资料的基础之上，并按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，

编制完成了《重庆市第四人民医院科学城院区建设项目（一期）（核技术利用部分）环境影响报告表》。

1.3 评价思路

（1）本项目属于医院建设工程的一部分，其建设与医院整体建设工程同步进行，医院施工期环境影响已在环境影响报告书中进行详尽分析，因此，本次对项目施工期的环境影响仅进行简要描述。且本项目工作人员和就诊人员在医院总定员范围内，其产生的一般生活废水、固废等依托医院公用设施，本项目不重复核算。

（2）本项目拟配置射线装置和放射性核素涉及的参数，依据医院提供的相关信息，并参考重庆市目前医院投入使用的相关设备、使用核素的常规参数确定。

（3）核医学科拟设置核医学实验室，位于核医学科东北端，拟使用 ^{125}I 试剂盒开展放免分析。本项目放免试剂盒拟定日使用活度不超过 $1.0\text{E}+6\text{Bq}$ ，根据《关于实施碘-125 放射免疫体外诊断试剂使用有条件豁免管理的公告》（环保部公告 2013 年第 74 号）内容，可以实行豁免管理，因此本项目评价内容中不包括放免分析。

（4）核医学科东北侧设置 1 个粒籽植入工作场所（粒籽植入手术拟使用放疗中心 CT 模拟定位机引导），该部分已单独填报《建设项目环境影响登记表》，备案号：202350019300000067，本项目不涉及粒籽植入内容。同时除 SPECT/CT、PET/CT 和 CT 模拟定位机外的 III 类射线装置也单独填报了《建设项目环境影响登记表》，备案号：202350019300000068。本报告中不包含上述部分内容。

（5）本项目拟购 PET/CT 按不使用密封校准源的设备进行采购，因此本项目不涉及密封源相关内容，核医学科预留有 1 间校准源储存室，如后期购置设备需要使用密封性校准源，按照拟配校准源情况完善环保手续。

（6）本项目涉及多个工作场所和多台射线装置，根据医院建设和运行需求，项目可能存在分期建设情况，但本报告对本次新建院区（一期）工程建设范围内的放疗中心、核医学科和 DSA 介入手术相关内容统一进行环境影响评价，后续验收根据实际建设情况进行。

1.4 项目概况

（1）项目内容和规模：设置放疗中心、核医学科和 DSA 手术工作场所，项目总建

筑面积约 5800m²。医院地下建筑整体连通，共 2 层，其中地下一层范围大于地下二层。放疗中心和核医学科均位于地下一层，且其对应下方为实土层，无建筑物。

①放疗中心位于医院负一层北侧，拟配置 2 台医用电子直线加速器(II 类射线装置)、1 台 CT 模拟定位机(III 类射线装置)和 1 台 MR 模拟定位机，开展放射治疗工作。放疗中心建筑面积约 1800m²。

②核医学科与放疗中心相邻布置，位于医院负一层北侧，核医学科分为诊断区和治疗区，诊断区拟设置 1 间 PET 检查室、1 间 SPECT 检查室、注射后候诊室、放射性药物分装室、废物暂存间、储源间等，拟配置 1 台 PET/CT(III 类射线装置)和 1 台 SPECT/CT(III 类射线装置)。治疗区拟设置 10 间甲癌病房(单人间)、药物操作区、配餐室、抢救室、甲亢留观室、敷贴治疗室、污物暂存间等。核医学科拟使用 ¹⁸F、^{99m}Tc、¹³¹I、⁸⁹Sr、³²P 分别进行显像诊断和核素治疗工作。经核算，核医学科的放射性核素日等效最大操作量约为 3.45×10⁹Bq，年最大使用量为 1.29×10¹³Bq，属于乙级非密封源工作场所。核医学科建筑面积约 2500m²。

③DSA 手术工作场所分为两部分，第一部分：在门急诊楼 B 区 1 层急救中心设置 1 间 DSA 手术室，配置拟 1 台 DSA(单管头、II 类射线装置)。第二部分：在医技楼 1 层西北侧介入手术中心设置 4 间 DSA 机房，拟配置 4 台 DSA(单管头、II 类射线装置)。使用 DSA 辅助开展介入手术工作。DSA 手术相关工作场所建筑面积约 1500m²。

项目总投资约 5000 万元，其中环保投资约 300 万元。

(2) 项目组成情况

本项目组成情况见下表 1-1。

表 1-1 本项目组成一览表

项目组成		具体内容	
主体工程	放疗中心	机房	放疗中心位于医院-1F 北侧，设置 2 间直线加速器机房（有效内空尺寸为 7m×8m×3.7m，不含迷路）和 1 间 CT 模拟定位机房（有效尺寸为 7.6m×7.3m×5.4m）。
		设备	①2 台医用电子直线加速器，设备型号：待定，X 射线能量：10MV，X 射线剂量率 2400cGy/min，II 类射线装置，并集成一个 150kV 的 CBCT 进行定位验证； ②1 台 CT 模拟定位机，设备型号：待定，最大管电压为 140kV，最大管电流为 800mA，III 类射线装置。

续表 1-1 本项目组成一览表		
项目组成		具体内容
主体工程	核医学科	核医学科位于医院-1F 北侧，分为诊断区和治疗区，诊断区和治疗区之间间隔下沉庭院。
		诊断区 共设置 1 间 PET 检查室、1 间 SPECT 检查室以及相应设备控制室、放射性药物操作区、患者候诊室、卫生通过区、废物间、储源室、抢救室/负荷室、留观室、清洁间等用房，其中 PET/CT 和 SPECT/CT 患者候诊和留观用房均独立设置。使用放射性核素开展 PET/CT、SPECT/CT 显像诊断工作。
		治疗区 共设置 10 间甲癌病房（单人间）、1 间敷贴治疗室、放射性药物操作区、抢救室、甲亢留观室、废物间、储源室、值班室、配餐间、卫生通过区、自动分药仪控制室等用房。使用放射性核素开展各类治疗工作。
	核医学科	放射性核素 外购 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P 等放射性核素开展核医学科诊断和治疗工作，日等效最大操作量约为 $3.45 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大使用量为 $1.29 \times 10^{13} \text{Bq}$ ，属于乙级非密封源工作场所。
		设备 ①1 台 PET/CT，设备型号：待定，最大管电压为 140kV，最大管电流为 800mA，III 类射线装置； ②1 台 SPECT/CT，设备型号：待定，最大管电压为 140kV，最大管电流为 800mA，III 类射线装置；
	DSA 手术室	DSA 机房 1、在门急诊楼 B 区 1F 南侧急救中心设置 1 间 DSA 手术室（有效尺寸为 $7.45\text{m} \times 7.65\text{m} \times 4.8\text{m}$ ）； 2、在医技楼 1F 西北侧介入手术中心设置 4 间 DSA 机房（DSA 机房 1~4：有效尺寸均为 $7.3\text{m} \times 7.35\text{m} \times 5.2\text{m}$ ）。
		设备 5 台 DSA，II 类射线装置，单管头，设备型号均待定，最大管电压为 125kV，最大管电流为 1250mA。
辅助工程	放疗中心	放疗中心设置计划室、工作人员办公区、诊室、候诊区等辅助用房。
	核医学科	核医学科设置工作人员办公区、候诊大厅、护士站等辅助用房。
	DSA 手术室	1、急救中心 DSA 手术室设置工作人员更衣、清洁设施和设备控制室、设备间等； 2、医技楼 DSA 介入手术中心设置独立工作人员更衣、清洁等设施，设置控制室、设备间等用房。

续表 1-1 本项目组成一览表		
项目组成		具体内容
储运工程	储存	在核医学科内设置 2 间储源室,分别用于放置本项目诊断区和治疗区使用放射性核素。核医学科储源室防护门均设置门禁装置,储源室内外安装监控。
	放射性药物运输	核医学科放射性药物均由专业厂家供货。诊断区药物由厂家从住院楼 1F 北侧室外道路经楼梯间直接转运到-1F 核医学科患者走廊,然后经患者走廊、PET 注射室运至储源室内。治疗区药物由厂家通过门诊治疗患者出口将药物运至-1F,再通过患者走廊经服药室、分装室后运至储源室内。
公用工程	给水	由城市供水管网提供,依托医院新建供水管网。
	排水	雨污分流,污污分流。放射性废水经废水衰变处理设施处理达标后排入医院污水处理站处理达 GB18466-2005 预处理排放标准后接入市政污水管网。一般生活污水管网接入医院污水排水管网进入污水处理站处理。
	供配电	由市政电网供电,依托医院供配电系统。
	通风	项目各工作场所均单独设置机械新风系统和排风系统。
		放疗中心 2 间直线加速器机房和 CT 模拟定位机房均拟设置进风口和排风口进行通风换气,进风口均设置在机房天花。每间直线加速器机房拟设置 2 个排风口,位于机房天花进风口对侧墙体下方距地面 0.3m 处,形成“上进风,下排风”的布置。CT 模拟定位机机房排风口布置在东南角,且分别在离地 0.3m 处和天花各设置 1 个,进风口位于西北侧天花。 单个直线加速器机房抽风量约 2000m ³ /h,通风换气次数约 5 次/h。
		核医学科 核医学科拟设置 9 套独立的放射性废气收集管道,控制区各用房顶部拟设置排风口,另放射性药物操作采用的自动分药仪、手套箱使用独立通风管道。所有排风管道通过排风井引至住院楼 11F 屋顶上方经活性炭吸附后高于屋顶排放。
		DSA 手术室 ①急救中心: DSA 手术室采用机械排风,排风管道通过排风井,通向门诊急诊楼 B 区 3F 屋顶上方排放。 ②介入手术中心: 4 间 DSA 机房均采用机械排风,排风管道通过排风井引至医技楼 5F 屋顶上方排放。
环保工程	地面清洁	核医学科控制区拟设置专用清洁间,且诊断区和治疗区清洁间独立,清洁间内配置清洁用品用于清洁控制区。核医学科清洁用品分场地使用,不交叉。放疗中心、DSA 手术场所按照医院管理常规清洁。

续表 1-1 本项目组成一览表			
项目组成		具体内容	
环保工程	废水	放射性废水	核医学科拟设置 2 套独立放射性废水衰变处理设施，分别收集长半衰期核素和短半衰期核素的放射性废水，2 套设施均设置为槽式。衰变处理设施拟设置在住院楼北侧室外绿化区土壤层下方，长半衰期衰变池（收集治疗区放射性废水，以下简称 1#衰变池）由 4 个独立槽体组成，每个槽体容积约为 108m ³ （有效容积 93.6m ³ ），总容积为 432m ³ （有效容积 374.4m ³ ）；短半衰期衰变池（收集诊断区放射性废水，以下简称 2#衰变池）由 3 个独立槽体组成，每个槽体容积约为 15m ³ （有效容积 13m ³ ），总容积为 45m ³ （有效容积 39m ³ ）。
		非放射性废水	本项目废水依托医院东侧新建的污水处理站处理，医院污水处理站设计处理能力为 2000m ³ /d，处理后接入市政污水管网。
	固废	放射性固废	核医学科设置 4 个放射性废物间，分别为诊断区的 1 间废物间（约 3m ² ），治疗区的 3 间废物间：废物间 1（约 4.5m ² ）、污染被服暂存间（约 10m ² ）、废物间 2（约 7m ² ）。分别用于暂存诊疗过程和患者住院产生的放射性固废，放射性固废衰变达到规定时间并监测合格后作为一般医疗废物交有资质单位处理，甲癌患者被服清洗后回用。未用完的放射性药物，作为放射性固废衰变处置。
		非放射性固废	项目运行产生的其他废物依托医院的收运系统，一般医疗废物交有资质的单位处理，生活垃圾交环卫部门处理。废铅防护用品按有关规定由医院收集、暂存后妥善处理，交有资质单位处置，并做好相应记录
		危险废物	DSA、CT 模拟定位机、PET/CT、SPECT/CT 等射线装置报废后，高压球管和和设备组件去功能化后交由物资回收单位处置，阴极射线管作为危险废物单独交有资质单位处理。
	废气	放疗中心	放疗中心直线加速器机房和 CT 模拟定位机机房均设置排风管道，3 间机房废气管道通过排风井引至住院楼北侧室外绿化区域。
		核医学科	核医学科内非放射性区域和放射性区域排风设施彼此独立。控制区共拟设置 9 套废气管道，且各分支管道内设置防倒灌装置，并保持负压。同一条排风管道上各用房排风口按照低活度到高活度的次序连接。排风管网将废气通过大楼排风井引至住院楼 11F 楼顶，经活性炭吸附后高于楼顶排放，其中手套箱废气收集口和排放口处均设置活性炭吸附装置。 衰变池间顶部设置排风口，放射性废水衰变处理设施的废气通过口逸散，衰变池周边区域为室外绿化带、道路等。
		DSA 手术场所	①介入手术中心：4 间 DSA 机房均采用机械排风，排风管道通过引至医技楼屋顶上方排放。 ②急救中心：DSA 手术室采用机械排风，排风管道通过排风井，通向门诊楼屋顶上方排放。

续表 1-1 本项目组成一览表

项目组成		具体内容
环保工程	辐射防护	核医学科控制区用房、放疗中心诊疗机房和 DSA 机房的四周墙体、顶棚、地板、防护门、观察窗等均采用足够厚的屏蔽材质（如：混凝土、实心砖、铅玻璃、铅防护门等）进行辐射屏蔽防护，保证屏蔽体外周围剂量当量率满足标准限值要求。 各工作场所均拟采取各类安全防护措施：放疗中心治疗机房处设置门机联锁、监控、对讲、急停、剂量报警仪等设施。核医学科对各区域出入口等采用门禁管控，控制区内设置监控对讲设施，粘贴各类标识标语，配备专业防护用品和防护设施等。DSA 介入手术场所配备不同人群的个人防护用品和辅助防护设施，各机房防护门外均设置工作指示灯、电离辐射警示标志等。

1.5 辐射防护方案

本项目共涉及3个工作场所，各工作场所辐射防护设计方案情况见表1-2~表1-4。

表 1-2 放疗中心辐射防护方案设计

用房名称	有效内空尺寸	防护方案	
CT 模拟定位机房	7.6m×7.3m×5.4m，有效使用面积约 55.5m ²	四周墙体：300mm 混凝土 顶棚：350mm 混凝土 防护门、观察窗：3.5mmPb	
直线加速器机房 1、2	7m×8m×3.7m（不含迷路），有效使用面积约 56m ²	北墙	主屏蔽墙：2600mm 混凝土+土壤层 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：1500mm 混凝土 主屏蔽墙带宽：4800mm（内凸）
		南墙	主屏蔽墙：3000mm 混凝土 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：1800mm 混凝土 主屏蔽墙带宽：4800mm（内凸）
		迷路墙	迷路内墙：1300mm 混凝土（墙体迷路内口侧为圆弧状） 迷路外墙：1500mm 混凝土 迷路内口：宽 2500mm，高 4200mm
		侧墙（2 间机房共用墙）	侧屏蔽墙：1500~2300mm 混凝土
		顶棚	主屏蔽墙：2800mm 混凝土 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：1500mm 混凝土 主屏蔽墙带宽：4800mm（外凸）
		防护门	15mmPb+100mm 含硼 5%的聚乙烯 防护门上方墙体 1500mm

放疗中心下方为实土层，2 间加速器东西对称布置，各屏蔽体厚度均一致

表 1-3 核医学科辐射防护设计方案表

用房名称	内空尺寸	防护方案	
PET 检查室	使用面积约 41.6m ²	四周墙体	260mm 混凝土+1mmPb
		防护门	10mmPb
		观察窗	10mmPb
SPECT 检查室	使用面积约 38.4m ²	四周墙体	260mm 混凝土+1mmPb
		防护门	5mmPb
		观察窗	5mmPb
PET 分装室	使用面积约 7.5m ²	四周墙体	300mm 实心砖
		防护门	2mmPb
SPECT 分装室	使用面积约 6.5m ²	四周墙体	300mm 实心砖
		防护门	2mmPb
PET 注射室	使用面积约 4.6m ²	四周墙体	300mm 实心砖
		防护门	10mmPb
		注射窗	20mmPb
SPECT 注射室	使用面积约 4.6m ²	西墙	240mm 混凝土
		其余墙体	300mm 实心砖
		防护门	2mmPb
		注射窗	10mmPb
运动负荷室/ 抢救室	使用面积约 8.9m ²	西墙	260mm 混凝土
		其余墙体	240mm 混凝土
		防护门	10mmPb
诊断区储源间	使用面积约 3.7m ²	北墙	240mm 混凝土
		西墙	260mm 混凝土
		南墙	200mm 实心砖
		东墙	300mm 实心砖
		防护门	5mmPb
诊断区废物间	使用面积约 2.7m ²	北墙	300mm 实心砖
		其余墙体	200mm 实心砖
		防护门	2mmPb
PET 候诊室	使用面积约 14.6m ²	四周墙体	320mm 混凝土
		采光窗	15mmPb
		防护门	15mmPb
SPECT 候诊室	使用面积约 10.5m ²	四周墙体	260mm 混凝土
		采光窗	2mmPb
		防护门	2mmPb

项目基本情况

续表 1

SPECT VIP 候诊室	使用面积约 10.5m ²	四周墙体	260mm 混凝土
		采光窗	2mmPb
		防护门	2mmPb
PET VIP 候诊室	使用面积约 10.5m ²	北墙、南墙	260mm 混凝土
		东墙	320mm 混凝土
		西墙	280mm 混凝土
		采光窗	10mmPb
		防护门	10mmPb
PET 留观室	使用面积约 10.5m ²	四周墙体	280mm 混凝土
		采光窗	10mmPb
		防护门	10mmPb
SPECT 留观室	使用面积约 10.5m ²	东墙	260mm 混凝土
		西墙	320mm 混凝土
		南墙、北墙	200mm 混凝土
		采光窗	2mmPb
		防护门	2mmPb
患者走廊	/	出入口防护门	15mmPb
		墙体	30cm 实心砖
住院病房 1~10	使用面积约 19.5m ²	四周墙体	350mm 混凝土
		采光窗	16mmPb
		防护门	12mmPb
敷贴治疗室	使用面积约 4.6m ²	南墙	350mm 混凝土
		其余墙体	200mm 实心砖
		门	/
服药室（甲癌、甲亢）	使用面积约 8.6m ²	四周墙体	400mm 混凝土
		防护门	20mmPb
		观察窗	20mmPb
治疗区分装室	使用面积约 20.8m ²	南墙	400mm 混凝土
		其余墙体	200mm 实心砖
		防护门	2mmPb
治疗区废物间 1	使用面积约 4.7m ²	四周墙体	200mm 实心砖
		防护门	2mmPb
治疗区储源室	使用面积约 4.7m ²	四周墙体	200mm 实心砖
		防护门	2mmPb
⁸⁹ Sr 注射室	使用面积约 8.5m ²	南墙	400mm 混凝土
		其余墙体	200mm 实心砖

		注射窗	/
		防护门	/
服药室（甲吸）	使用面积约 6.8m ²	四周墙体	200mm 实心砖
		服药窗	/
		防护门	/
治疗区抢救室	使用面积约 11.7m ²	四周墙体	350mm 混凝土
		防护门	15mmPb
污染被服暂存间	使用面积约 9.2m ²	四周墙体	200mm 实心砖
		防护门	/
治疗区废物间 2	使用面积约 7.2m ²	四周墙体	200mm 实心砖
		防护门	2mmPb
甲亢留观室	使用面积约 14.2m ²	四周墙体	270mm 混凝土
		防护门	10mmPb
患者走廊	/	出入口防护门	10mmPb
		墙体	20cm 实心砖
污水间 1	使用面积约 10m ²	四周墙体	350mm 混凝土
		防护门	16mmPb
污水间 2	使用面积约 9.2m ²	四周墙体	200mm 混凝土
		防护门	10mmPb
衰变池间	/	四周墙体	300mm 混凝土
		顶棚	300mm 混凝土+1m 覆土层

备注：①核医学科下方为实土层，诊断区用房顶板为 250mm 混凝土+700mm 水泥回填垫层，治疗区顶板为 350mm 混凝土；

②核医学科防护屏蔽方案示意图见附图 6.5。

表 1-4 DSA 机房辐射防护设计方案表

用房名称	有效内空尺寸	防护方案	
急救中心 DSA 手术 室、介入手 术中心 DSA 机房 1~4	急救中心 DSA 手术室： 7.45m×7.65m×4.8m，有效使 用面积约 57m ² ；介入手术中 心 DSA 机房 1~4： 7.3m×7.35m×5.2m，有效使用 面积约 53.5m ²	四周墙体	370mm 实心砖
		顶棚	200mm 混凝土
		地板	200mm 混凝土
		防护门、观察窗	3mmPb

表 1-2~表 1-4 总体备注：各屏蔽材料选取密度分别为：混凝土密度 2.35g/cm³，实心砖密度 1.65g/cm³，铅密度 11.3g/cm³，土壤密度保守取 1g/cm³。另各工作场所地坪混凝土楼板上均拟采用水泥回填垫层，水泥砂浆密度为 1.8g/cm³。

1.6 设备配置

本项目不同工作场所的配套设施设备见表 1-5~表 1-7。

表 1-5 放疗中心设备配置一览表

序号	名称	数量	位置	用途	备注
1	医用电子直线加速器	2 台	直线加速器机房内	肿瘤治疗	拟购, II类射线装置
2	CT 模拟定位机	1 台	CT 模拟定位机机房内	肿瘤定位	拟购, III类射线装置
3	监控对讲系统	2 套	直线加速器机房	监控机房内情况、双向沟通	/
4	精密空调	3 台	直线加速器、CT 模拟定位机机房内	机房内温控	/
5	供电系统	3 套	直线加速器、CT 模拟定位机的设备间	保证设备供电稳压	/
6	冷却系统	2 套	直线加速器设备间	为设备散热	水冷, 循环系统
7	固定剂量报警仪	2 台	直线加速器机房内	监控机房内剂量	/
8	个人剂量报警仪	4 台	进入加速器机房内放射工作人员	剂量报警	/
9	激光定位系统	3 套	直线加速器、CT 模拟定位机机房内	摆位定位	/
10	除湿机	3 台	直线加速器、CT 模拟定位机机房内	湿度控制	/
11	铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、颈套	1 套	CT 模拟定位机机房	辐射防护	成人不低于 0.25mmPb, 性腺防护用品不低于 0.5mmPb
12	个人剂量计	按需	放射工作人员	/	每名放射工作人员佩戴 1 枚
13	X-γ辐射巡测仪	1 台	医院共用	周围剂量率监测	/
14	放射治疗计划系统	1 套	放疗科办公室	制定放疗计划	/
15	三维水箱	1 套	放疗科办公室	直线加速器质控	/
16	平板电离室矩阵	1 套	放疗科办公室		/
17	等中心检测仪	1 套	放疗科办公室		/
18	剂量水箱	1 个	放疗科办公室		/
19	放疗剂量仪	1 套	放疗科办公室		/

表 1-6 核医学科拟配置配套设施设备一览表

序号	名称	数量	位置	型号/规格	备注
1	SPECT/CT	1 台	SPECT 检查室	待定	III类射线装置
2	PET/CT	1 台	PET 检查室	待定	III类射线装置
3	手套箱	2 台	诊断区分装室	10mmPb	^{99m}Tc
				40mmPb	^{18}F
4	手套箱	1 台	治疗区分装室	10mmPb	/
5	自动分药仪	1 台	服药室（甲癌、甲亢）	40mmPb	/
6	放射性废物桶	2 个	诊断区分装室、废物间	5mmPb	存放 ^{99m}Tc 废物
		2 个		15mmPb	存放 ^{18}F 废物
		4 个	治疗区分装室、废物间等	15mmPb	存放 ^{89}Sr 、 ^{131}I 废物
7	注射器防护套	2 个	诊断区分装室	1 个 15mmPb	/
				1 个 5mmPb	
8	移动注射车	2 个	流动使用	20mmPb	主要在运动负荷室和 SPECT 检查室内使用
9	铅罐	1 个	诊断区分装室	40mmPb	/
10	铅围裙、铅围脖、铅手套、铅眼镜、铅衣、铅手套	5 套	诊断区和治疗区卫生通过间、SPECT 和 PET 检查室	0.5mmPb	/
11	活度计	3 套	诊断区分装室、治疗区分装室	/	/
12	橡胶手套	若干	分装室、敷贴治疗室	/	操作放射性药物时使用
13	长柄钳、常规护士器械	2 套	诊断区分装室、治疗区分装室	/	/
14	器械柜	2 套	诊断区分装室、治疗区分装室	/	/
15	表面沾污仪	2 台	卫生通过间	/	/
16	个人剂量报警仪	2 台	工作人员携带	/	/
17	对讲、监控系统	1 套	核医学科控制区	/	监控和指导患者活动
18	个人剂量计	按需	记录个人受照剂量	胸前	每人 2 枚
19	放射性污染清污套装	多套	卫生通过间	/	防水工作服、防水手套、鞋套、吸水纸、去污剂等

项目基本情况

续表 1

20	甲癌患者体表剂量率监测仪	1 套	甲癌病房走廊	/	监测甲癌患者是否满足出院要求
21	有机玻璃眼镜	2 套	敷贴治疗室	/	/
22	敷贴储源柜	1 个	敷贴治疗库房	/	塑胶材质
23	辐射剂量报警仪	1 套	核医学科内	/	监测工作场所剂量率水平

表 1-7 介入手术工作场所的设备配置一览表

序号	名称	数量	用途	位置	备注
1	DSA (125kV, 1250mA)	5 台	介入手术	介入手术中心 DSA 机房 1~4, 急救中心介入手术室	/
3	电源柜	5 套	DSA 配电	设备间	DSA 配套设备
4	高压发生柜	5 套	DSA 高压装置	设备间	
5	系统控制柜	5 套	设备控制和数据传输	设备间	
6	控制系统	5 套	DSA 设备操作	操作间	
7	中心供氧装置	5 套	患者供氧	各 DSA 机房内	手术配套设备
8	除颤仪	5 台	手术配套用	各 DSA 机房内	
9	高压注射器	5 台	手术配套用	各 DSA 机房内	
10	吸痰器	5 台	手术配套用	各 DSA 机房内	
11	电生理仪	5 台	手术配套用	各 DSA 机房内	
12	中心负压吸引	5 套	手术配套用	各 DSA 机房内	
14	移动防护屏	5 架	辐射防护	各 DSA 机房内	辅助防护设施
15	个人剂量计	按需	记录个人受照剂量	胸前	手术人员铅衣内外各 1 枚
16	铅橡胶围裙、颈套、眼镜、帽子、介入防护手套	20 套	介入手术医生防护使用	铅衣库房	每个机房 4 套
17	床侧防护帘/床侧防护屏、铅悬挂防护屏、移动防护屏	5 套	介入手术医生防护使用	各 DSA 机房内	每个机房 1 套
18	铅橡胶性腺防护	5 套	介入手术病人防护使用	铅衣库房	每个机房 1 套

	围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套		用		
19	等离子空气消毒机	5 台	场所消毒	5 间 DSA 机房内	每个机房 1 台

1.7 劳动定员和工作制度

本项目开展的诊疗项目包括：肿瘤放射治疗、核医学放射性核素诊疗、DSA 介入手术等。为保证本项目的运行，医院拟配置 63 名工作人员，包括放射肿瘤医师、放疗物理师、核医学物理师、核医学医师、各类射线装置操作技师、护士和介入手术临床医师、工程师等。本项目工作人员均在新院区劳动定员内，目前具体工作人员名单未定，所有工作人员到岗后均按照辐射工作人员进行管理。工作人员实行轮休制，年工作天数为 250 天。

表 1-8 项目劳动定员情况表

工作场所	医师	技师	护士	物理师、工程师	合计
核医学科	3	4	6	1	14
放疗中心	3	6	2	1	12
介入手术室	20	5	10	/	35
衰变池维护人员	/	/	/	2	2
合计	26	15	18	4	63

注：①衰变池维护工作可能由医院安排专门的后勤人员或者委外进行，保守考虑，衰变池维护由医院自行安排工作人员负责，工作人员作为辐射工作人员进行管理；

②核医学科工作人员负责控制区清洁工作。

1.8 工作负荷

根据医院提供的资料，核医学科年最多接待诊疗患者 15900 人次；放疗中心的 CT 模拟定位机年接待约 3000 人次，2 台直线加速器年最多接待 30000 人次；DSA 手术室预计年开展介入手术约 4000 台（单台设备约 800 台），包括心脏介入手术、神经介入手术和综合（血管和非血管）介入手术。

表 1-9 项目工作负荷情况表

工作场所	设备名称	日患者人次	年患者人次	备注
核医学科	SPECT/CT	30	7500	/
	PET/CT	20	5000	/

放疗中心	直线加速器1	60	15000	/
	直线加速器2	60	15000	/
	CT模拟定位机	/	3000	/
急救中心	DSA	/	800	开展心脏介入、神经介入和综合介入手术等
介入手术中心	DSA1	/	800	
	DSA2	/	800	
	DSA3	/	800	
	DSA4	/	800	
核医学科治疗部分				
核医学科	甲癌	4	500	/
	甲亢	10	1000	
	甲吸	15	1500	/
	敷贴	5	200	
	骨转移治疗	5	200	

1.9 外环境概况

本项目涉及 4 个工作场所，包括放疗中心、核医学科、医技楼介入手术中心和门急诊楼急救中心 DSA 手术室。其中放疗中心与核医学科相邻布置在医院-1F 北侧，医院地下室整体连通，核医学科和放疗中心所在区域对应地面建筑为住院楼。2 个 DSA 工作场所分别位于医院中部的医技楼和南部的门急诊楼 B 区，医院总平面示意图见附图 2。

各大楼四周均为室外道路和绿化等，其周边外环境关系情况见表 1-10。

表 1-10 项目所在楼周围外环境关系一览表

序号	名称	方位	最近距离 (m)	环境特征
住院楼				
1	院内道路、绿化带	东侧	紧邻	院内绿化及道路
	医院二期建设用地		约 30m	医院规划区域
2	院内道路、绿化带、广场	北侧	紧邻	院内绿化及道路
	液氧站		约 35m	医院内设施
	规划市政道路		约 55m	拟建市政道路
	渝州汽车二厂		约 70m	生产企业，拟拆除
3	院内道路、绿化带	南侧	紧邻	院内绿化及道路
	门急诊楼、医技楼、办公楼		约 15m	医院拟建大楼，地面建筑最

				高为 7F
4	院内道路、绿化带、广场	西侧	紧邻	院内绿化及道路
	科学大道		约 80m	市政道路
医技楼				
1	院内道路、绿化带	东侧	紧邻	院内绿化及道路
	办公楼、感染楼		约 10m	医院拟建大楼，地面建筑最高为 7F
2	院内道路、绿化带	北侧	紧邻	院内绿化及道路
	住院楼		约 35m	医院拟建大楼，11F
3	院内道路、绿化带	南侧	紧邻	院内绿化及道路
	门急诊楼		约 10m	医院拟建大楼，5F
4	院内道路、绿化带	西侧	紧邻	院内绿化及道路
	门急诊楼		约 10m	医院拟建大楼，5F
门急诊楼				
1	院内道路、绿化带	东侧	紧邻	院内绿化及道路
	感染楼		约 20m	医院拟建大楼，2F
2	院内道路、绿化带	北侧	紧邻	院内绿化及道路
	医技楼、住院楼		约 10m	医院拟建大楼，地面建筑最高为 11F
3	院内道路、绿化带、广场	南侧	紧邻	院内绿化及道路
	西城一路		约 65m	市政道路
4	院内道路、绿化带、广场	西侧	紧邻	院内绿化及道路
	科学大道		约 60m	市政道路

注：①上述距离为大楼边界至各区域的距离；②医院北侧区域现状为渝州汽车二厂，该区域拟拆除并重新规划，目前土地规划拟作为商业和住宅用地，本项目建成后该区域实际用途以建设情况为准

1.10 选址可行性

放疗中心位于医院-1F北侧，医院地下建筑总共两层，但楼层边界不一致。放疗中心所在区域超出了医院-2F和住院楼地面建筑物边界，其上下方均为土壤层。放疗中心周边相邻区域主要包括土壤层、核医学科等，加速器机房位于放疗中心北端。其顶棚上方为室外绿化区和广场，四周除北侧的土壤层外，均为放疗中心用房。避开了儿科病房、

产房等特殊人群密集区域或人员流动性大的商业活动区域。科室用房独立，放疗中心与周边相邻区域均有实体隔断。

核医学科位于医院-1F北侧（放疗中心西侧），其下方为实体层，四周紧邻区域主要为放疗中心、土壤层、院内下沉庭院、地下停车场车道、楼内电梯厅和过道等，不与产科、儿科、食堂毗邻，核医学科工作场所独立设置，与周边其他非放射性工作场所有明显的分界，且有实体隔断。设置3个患者专用出口，均可以直接通向大楼1层外的室外道路，未设置在门诊大厅、收费处等人群密集区域，患者可以沿室外道路通向医院出口，最近离开离开路径约80m。核医学科排风口位于住院楼11F屋顶上方，为医院最高建筑物屋顶。

DSA 手术室分两个区域，分别位于门急诊楼 B 区 1F 和医技楼 1F。门急诊楼急救中心 DSA 手术室用房包括：1 间 DSA 机房、设备控制室、工作人员更衣、设备间、患者准备等用房，该工作场所四周均为门急诊楼内过道。医技楼介入手术中心包括：4 间 DSA 机房、设备控制室、工作人员更衣、设备间、患者准备等用房，DSA 机房独立设置，其周边相邻主要为介入手术相关用房。

综上所述，项目涉及的放疗中心和核医学均位于建筑底层一端，各工作场所均独立成区，远离人口稠密区域，且不与敏感区域毗邻。DSA 机房的设置充分考虑邻室及周围场所的人员防护与安全。项目选址满足《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）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等相关标准的相关要求。因此，项目各辐射用房选址可行。

1.11 与项目有关的环境保护问题

1.11.1 项目所在院区的环保手续情况

重庆市第四人民医院科学城院区属于新建项目，已按照要求编制完成了环境影响报告书，并于 2023 年 1 月取得了重庆市高新区生态环境局出具的环境影响评价文件批准书：渝（高新）环准[2023]002 号。医院目前处于基础建设阶段。

1.11.2 医院现有核技术利用情况

（1）医院现有核技术利用项目及辐射安全许可情况

重庆市第四人民医院位于重庆市渝中区健康路 1 号，目前无其他院区。医院已办理

了辐射安全许可证，证号为：渝环辐证（00107），有效期至 2027 年 12 月 18 日。根据辐射安全许可证内容，医院开展的核技术利用项目为使用 I 类放射源（ ^{60}Co ）；使用 II 类射线装置、III 类射线装置；使用非密封放射性物质（乙级）。根据医院提供的资料，医院目前已配置了 19 台医用 X 射线装置（其中 II 类射线装置 2 台（DSA），III 类射线装置 17 台），设置 1 个核医学科工作场所，使用 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{125}I 粒籽源和 ^{89}Sr ，均在许可范围内。

（2）辐射安全管理情况

根据调查，医院现有在职放射工作人员 120 人，其中核医学科 5 人，放射治疗 3 人，介入手术相关 53 人，放射诊断 59 人。

医院现有放射工作人员均参加了辐射安全与防护培训，并考核合格，做到持证上岗。根据调查，医院所有放射工作人员均佩戴了个人剂量计，每 3 个月将个人剂量计交有资质单位进行检测，并建立了个人健康档案。根据医院最近 4 个季度个人剂量监测报告，医院现有放射工作人员年受照剂量均低于 5mSv。

医院按照要求每年对现有核技术利用项目进行监测，根据医院提供的资料，各放射工作场所监测结果满足评价标准要求。

医院成立有辐射防护管理机构，制定了相应的管理制度和应急预案，并张贴上墙。

（3）小结

根据上述调查，医院核技术利用项目运行至今，无辐射安全事故发生，运行总体良好，无环保遗留问题。

1.12 本项目与医院的依托关系

本项目位于医院新建科学城院区，医院院本部已开展有多种核技术利用项目。因此，本项目主要依托医院现有辐射工作人员、管理体系和新建院区主体结构、公用设施，依托可行性分析详见表 1-11。

表 1-11 项目依托可行性分析

依托工程		可行性分析
主体工程		本项目所有工作场所均位于新医院新建大楼内，设计上已经考虑了本项目涉及区域，因此主体建筑依托可行。
公用	给水	医院由市政供水管网供给，项目依托医院新建给水管网供水可行。

工程	排水	实行雨污分流。雨水排入市政雨水管网；医疗废水经医院新建污水处理站处理后排入市政污水管网。项目位于医院医疗综合楼内，各工作场所排水管网统一设计。因此，项目依托医院新建排水管网排水可行。
	供配电	医院用电由市政电网供给。因此，项目依托医院供电系统可行。
环保工程	废水	医院污水处理站拟设置在医院东侧，处理能力为 2000m ³ /d，其设计上包含了医院全院运行过程中产生的废水处理，本项目产生的废水量计入医院总量中，处理达标后排放。因此，项目废水依托医院新建污水处理站处理可行。
	固废	医疗废物暂存间拟设置在医院东侧，面积约 80m ² 。废物暂存间设计时就考虑了本项目的医疗废物暂存量，医疗废物暂存后交有资质单位处理。项目依托可行。
	废气	项目各个科室单独设计废气收集管网，依托大楼设置的排风井等引至室外排放。
辐射安全管理		医院成立了辐射管理机构，并制定了相应的辐射安全管理制度，本项目开展的核技术利用项目与医院现有的基本一致，因此，现有管理机构和管理制度等基本能满足本项目的管理要求。依托可行。

1.13 本项目与医院的发展衔接性

本项目是按照大型综合性医院标准进行建设的，主要目的是解决科学城片区群众的医疗需求，承担区域医疗任务。放射诊疗相关科室是医院医疗服务中的重要组成部分，设置放疗中心、核医学科、DSA 手术室等相应工作场所并开展诊疗服务，可以确保医院整体医疗服务水平。

因此，本项目建设与医院的发展相适应。

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

序 号	核素 名称	理化 性质	活动 种类	实际日最大 操作量(Bq)	日等效最大操 作量 (Bq)	年最大用 量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{99m} Tc	液态低毒组	使用	2.77×10 ¹⁰	2.77×10 ⁷	6.94×10 ¹²	显像检查	很简单的操作	住院楼-1F 核医 学科	诊断区储源室
2	¹⁸ F	液态低毒组		7.4×10 ⁹	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹²	显像检查	很简单的操作		
				/	1.48×10 ⁶	/	备药	贮存		
3	¹³¹ I	液态中毒组		3.33×10 ¹⁰	3.33×10 ⁹	4.07×10 ¹²	甲状腺治疗	简单的操作		治疗区储源室
4	⁸⁹ Sr	液态中毒组		7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁷	2.96×10 ¹⁰	骨转移治疗	简单的操作		
5	³² P	固态中毒组		9.25×10 ⁸	9.25×10 ⁶	3.7×10 ¹⁰	敷贴治疗	简单的操作		
合计				7.01×10 ¹⁰	3.45×10 ⁹	1.29×10 ¹³	/			

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒籽	最大能量（MeV）	额定电流（mA）/ 剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	Ⅱ类	2台	待定	电子	X射线：10MV 电子线：22MeV	X射线≤2400cGy/min； 电子线≤1000cGy/min；	肿瘤放射治疗	住院楼-1F 放疗 中心直线加速 器机房	拟购
						集成 CBCT 的 X 射线：电压 150kV，电流 800mA				
以下空白										

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	CT 模拟定位机	Ⅲ类	1	待定	140	800	肿瘤定位	住院楼-1F 放疗中心 CT 模拟定位机机房	拟购
2	DSA	Ⅱ类	1	待定	125	1250	介入治疗	门急诊楼 1F 急救中心 DSA 手术室	拟购
3	DSA	Ⅱ类	4	待定	125	1250	介入治疗	医技楼 1F 介入手术中心 DSA 机房 1~4	拟购
4	PET/CT	Ⅲ类	1	待定	140	800	显像检查	住院楼-1F 核医学科 PET 检查室	拟购
5	SPECT/CT	Ⅲ类	1	待定	140	800	显像检查	住院楼-1F 核医学科 SPECT 检查室	拟购

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电 压（kV）	最大靶电 流（mA）	中子强 度（n/s）	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度（Bq）	贮存方式	数量	
本项目不涉及中子发生器。													

表5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称		状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
核医学科	放射性废水	长半衰期放射性废水	主要含 ^{131}I	/	35m^3	419m^3	总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$	排入 1#废水衰变处理设施暂存衰变	衰变达标后排入医院污水处理站进一步处理。
		短半衰期放射性废水	主要含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	19m^3	226m^3		排入 2#废水衰变处理设施暂存衰变	
	放射性废气		主要含 ^{131}I ，含微量 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr 等	/	少量	少量	/	不暂存	废气收集后引至住院楼 11F 屋顶上方经活性炭吸附处理后高于楼顶排放（其中手套箱上方另设活性炭吸附装置）。
	放射性固废	废棉签、一次性手套、滤纸、棉球、注射器、针头、清洁用抹布等	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	630kg/a	辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2	暂存在核医学科诊断区废物间内衰变	衰变达到规定时间要求后并监测合格后按一般医疗废物交有医疗废物处置资质的单位处理。
		废棉签、废纸杯、一次性手套、滤纸、棉球、注射器、针头、餐巾、餐盒、清洁用抹布、废活性炭等	^{131}I 、 ^{89}Sr	/	/	940kg/a		暂存在核医学科治疗区废物间内衰变	
		未用完的含放射性核素的药物	/	/	微量	微量	/	诊断区或治疗区废物间	作为放射性固废衰变处置
		使用后的敷贴器	^{32}P	/	微量	微量	/	暂存在敷贴室储存柜内	交厂家回收
		受核素污染的被服	^{131}I	/	/	1500kg/a	辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2	暂存在核医学科污染被服暂存间内衰减	衰变达到要求后统一进行清洗消毒，再回用。

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

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

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日施行修订版； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日施行修订版； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行； (4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 9 月 1 日施行修订版； (5) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日施行修订版； (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日施行修订版； (7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日施行修订版； (8) 《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 日施行； (9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日施行）； (10) 《射线装置分类》，环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行； (11) 《医疗废物管理条例》，中华人民共和国国务院令第 380 号； (12) 《国家危险废物名录》（2021 年版）； (13) 《放射性废物分类》，公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行； (14) 《重庆市环境保护条例》，2022 年 11 月 1 日施行修订版； (15) 《重庆市辐射污染防治办法》，渝府令 338 号，2021 年 1 月 1 日起施行； (16) 重庆市环境保护局关于印发《重庆市放射性同位素与射线装置辐射安全许可管理规定》的通知，渝环[2017]242 号； (17) 《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订）。
------	---

续表 6 评价依据

技术标准	(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)； (2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)； (3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) (4) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)； (5) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)； (6) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)； (7) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)； (8) 《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019)； (9) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)； (10) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)； (11) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)； (12) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011)； (13) 《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》(GBZ/T144-2002)； (14) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)； (15) 《职业性外照射急性放射病诊断》(GBZ104-2017)； (16) 《环境γ辐射剂量率测定规范》(HJ1157-2021)； (17) 《医疗废物集中处置技术规范(试行)》； (18) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素(一)》(GBZ2.1-2019)； (19) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)； (20) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)； (21) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)。
------	--

续表 6 评价依据

其他	(1) 评价内容确认函； (2) 《重庆市第四人民医院科学城院区建设项目（一期）环境影响报告书》及其批准文件； (3) 医院《辐射安全许可证》； (4) 项目工作场所设计资料； (5) NCRP144 号报告、NCRP147 号报告、NCRP151 号报告； (6) ICRP 第 94 号出版物； (7) 《辐射防护导论》； (8) 《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）； (9) 《Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook-放射性核素和辐射防护数据手册》(2002 年) (10) 《辐射防护技术与管理》； (11) 《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等）； (12) 《三种电子加速器产生的臭氧危害分析》（中国辐射卫生 2020 年 6 月第 29 卷第 3 期）； (13) 医院提供的其他资料。
----	---

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

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）的相关规定，并结合该项目射线装置、放射性核素为能量流污染的特征，根据能量流的传播与距离相关的特性，确定以该项目射线装置机房和核医学科控制区边界外 50m 区域作为辐射环境的评价范围。

7.2 保护目标

（1）项目用房/机房周围环境概况

本项目各工作场所外环境保护目标分布情况如下。

①放疗中心

直线加速器机房：位于医院-1F，在水平方向上：北侧为实土层，南侧为走廊、放疗中心诊室、阅片室、办公区、候诊大厅、抢救室、风机房、模拟定位机工作场所、电梯厅、核医学科用房、营养制剂区、食堂、下沉庭院等，西侧为水冷机房 1、设备间 1、控制室 1、粒籽植入用房、核医学用房等，东侧为楼梯间、资料室、水冷机房 2、设备间 2、控制室 2、走廊、模具室、风机房等。在地面方向上：机房对应区域为室外绿化和广场，北侧为室外绿化、广场、液氧站、院内道路、市政道路、渝州汽车二厂等，南侧为室外绿化、道路、住院楼等，东西两侧均为室外绿化、道路等。在机房下层方向上，南侧为制冷机房、地下停车场，其余三面均为土层。

CT 模拟定位机房：位于医院-1F，在水平方向上：北侧为走廊、粒籽植入用房、直线加速器用房、核医学科用房等，南侧为排烟机房、放疗中心候诊大厅、核医学科用房、电梯厅、食堂、下沉庭院、变电机房等，西侧为核医学科用房、锅炉房、水泵间等，东侧为控制室、设备间、MR 模拟定位机房、放疗中心诊室、办公区、营养制剂区、下沉庭院、食堂等。在地面方向上：机房对应区域为室外绿化和道路，北侧为室外绿化、广场、液氧站、院内道路、市政道路等，南侧为室外绿化、道路、住院楼等，东西两侧均为室外绿化、道路等。在机房下层方向上，南侧为制冷机房、地下停车场，其余三面均为土层。

②核医学科

位于医院-1F，诊断区和治疗区中间间隔一个下沉庭院，治疗区在北，诊断区在南。

续表 7 保护目标与评价标准

在水平方向上：北侧为走廊、护士站、核医学科实验室、粒籽植入用房等，南侧为走廊、校正源室、控制室、核医学科办公区、空调机房、下沉庭院、变电机房、服务用房、地下停车场、药库等，西侧为走廊、电梯间、水泵间、锅炉房、地下停车场车道等，东侧为核医学科候诊大厅、护士站、吸碘率测定室、空调机房、污物提升泵房、电梯厅、放疗中心用房、营养制剂区、食堂等。在地面方向上：治疗区对应区域为室外绿化和广场，诊断区对应区域为住院楼（一层为静配中心），北侧为室外绿化、广场、液氧站、院内道路、市政道路等，南侧为住院楼、室外绿化、道路、门急诊楼、医技楼等，治疗区东西两侧均为室外绿化、道路等，诊断区东西两侧为住院楼。在机房下层方向上，东南侧为制冷机房、地下停车场，其余三面均为土层。

③DSA 工作场所

急救中心 DSA 手术室：位于门急诊楼 B 区 1F，在水平方向上分为门急诊楼内区域和门急诊外区域。北侧：建筑内为走廊、电梯等，建筑外为室外绿化、道路、医技楼等，南侧：建筑内为走廊、抢救大厅、急诊急救大厅等，建筑外为室外绿化、道路等，西侧均在门急诊楼内，包括控制室、耗材库房、工作人员更衣洗手用房、走廊、急诊中心工作人员用房、急诊中心影像检查用房、药房、诊室、检验室、输液室等，东侧：建筑内为设备间、污物间、缓冲间、走廊、谈话室、库房、EICU 等，建筑外为室外绿化、道路等。机房上方为门急诊楼用房，对应区域为空调机房，下方为地下停车场。

介入手术中心 DSA 机房 1~4：位于医技楼 1F，在水平方向上分为医技楼内区域和医技楼外区域。北侧：建筑内为控制廊、各类物品库房、工作人员更衣区、办公区等，建筑外为室外绿化、道路、住院楼等，南侧均在医技楼内，包括患者通道、患者等候、复苏用房、谈话间、家属等候区、DSA 设备间、MRI 工作场所、影像中心等，西侧：建筑内为缓冲间、污物打包间、走廊，建筑外为室外绿化、道路、门急诊楼等，东侧：建筑内为走廊、供应中心等，建筑外为室外绿化、道路等。机房上方为医技楼用房，对应区域为预留实验室，在地面下方范围内，-1F 对应区域为地下停车场，北侧为地下停车场、变电机房、服务用房等，西侧为药库、水泵房变电机房等，南侧和东侧及-2F 均为地下停车场。

(2) 项目用房/机房环境保护目标

项目 50m 评价范围内周围环境保护目标见表 7-1~7-3，本项目环境影响因子为电离辐射。

表 7-1 放疗中心诊疗机房周围环境保护目标情况一览表

序号	环境保护目标	方位	水平距离	高差	环境特征及主要影响人群
直线加速器机房 1、2					
1	走廊	南	相邻	平层	放疗中心区域，公众，约 5 人
2	放疗中心诊室、阅片室、办公区、候诊大厅、抢救室、模拟定位工作场所等		约 5m		放疗中心区域，公众，约 2 人
3	药膳营养制剂区、食堂、下沉庭院、电梯厅、核医学科等		约 10m~50m		住院楼内区域，公众，约 200 人
4	控制室 1	西	相邻		项目配套用房，放射工作人员，约 3 人
5	水冷机房 1、设备间 1 等		相邻		放疗中心配套用房，公众，约 5 人
6	粒籽植入工作场所等		约 5m		医院医疗区域，公众，约 10 人
7	核医学科用房等		约 20m~50m		医院医疗区域，公众，约 100 人
8	控制室 2	东	相邻		项目配套用房，放射工作人员，约 3 人
9	楼梯间、设备间、水冷机房、资料室		相邻		放疗中心配套用房，公众，约 5 人
10	走廊、模具室、风机房等		约 2m~50m		放疗中心区域，公众，约 5 人
11	绿化带、广场等	楼上	对应区域	+7m	医院内户外区域，公众，约 50 人
12	绿化带、广场、液氧站、道路等		相邻	+7m	医院内户外区域、共用设施，公众，约 50 人
13	规划道路		北	约 20m	市政道路，公众，约 100 人
14	渝州汽车二厂（现状）		北	约 40m~50m	生产企业，公众，约 500 人。该企业后期拟拆除
15	绿化带、道路等		南	相邻	医院内户外区域，公众，约 50 人
16	住院楼		南	约 15m~50m	医院拟建大楼，地面 11F，公众，约 1000 人
17	室外绿化、道路等		东	相邻	医院内户外区域，公众，约 50 人
18	室外绿化、道路等		西	相邻	医院内户外区域，公众，约 50 人
19	制冷机房、地下停车场等	楼下	南	约 15m~50m	医院-2F 区域，公众，约 50 人

CT 模拟定位机房						
1	走廊、楼梯间	北		相邻	平层	医院用房、公众，约 100 人
2	加速器工作场所、粒籽植入工作场所、核医学科用房等			约 5m~50m		医疗区域，公众，约 100 人
3	排烟机房	南		相邻		放疗中心区域，公众，约 2 人
4	放疗中心候诊大厅、核医学科用房、电梯厅、食堂、下沉庭院、变电机房等			约 3m~50m		住院楼内区域，公众，约 100 人
5	核医学科用房、锅炉房、水泵间等	西	相邻~50m	住院楼内区域，公众，约 100 人		
6	控制室	东		相邻		项目配套用房，放射工作人员，约 2 人
7	设备间			相邻		项目配套用房，公众，约 2 人
8	MR 模拟定位机房、放疗中心候诊室、办公区、营养制剂用房等			约 3m		住院楼内区域，公众，约 2 人
9	下沉庭院、食堂等			约 40m~50m		医院配套区域，公众，约 500 人
10	室外绿化、道路等	楼上	对应区域	/	+7m	医院内户外区域，公众，约 10 人
11	室外绿化、广场、液氧站、道路等		北	相邻	+7m	医院内户外区域、共用设施，公众，约 50 人
12	规划道路			约 40m~50m	+7m	市政道路，公众，约 100 人
13	室外绿化、道路等		南	相邻	+7m	医院内户外区域，公众，约 10 人
14	住院楼			约 3m~50m	+7m	医院拟建大楼，地面 11F，公众，约 1000 人
15	室外绿化、道路等		东	相邻~50m	+7m	医院内户外区域、共用设施，公众，约 50 人
16	室外绿化、道路等		西	相邻~50m	+7m	医院内户外区域，公众，约 50 人
17	制冷机房、地下停车场等		楼下	南	约 20m~50m	约-3m
高差中的“+”表示保护目标高于本项目，“-”表示保护目标低于本项目，差值为本项目工作场所地面与保护目标地面的值						

表 7-2 核医学控制区周围环境保护目标情况一览表

序号	环境保护目标	方位	水平距离	高差	环境特征及主要影响人群
1	下沉庭院	诊断区和治疗区中间		平层	医院室内庭院，公众，约 20 人
2	走廊	北	相邻		核医学科走廊，公众，约 10 人

3	护士站、核医学科骨密度工作场所、实验室等、粒籽植入工作场所等			约 2m~50m		医疗用房，公众，约 20 人
4	核医学科走廊	南		相邻	平层	核医学科走廊，公众，约 5 人
5	校正源室、控制室			相邻		项目辅助用房，放射工作人员，约 4 人
6	核医学办公室、空调机房等			约 5m		核医学区域，公众，约 20 人
7	下沉庭院、变电房、服务用房、药库、地下停车场等			约 10m~50m		医院公共设施区域，公众，约 50 人
8	走廊、电梯间等	西		相邻	平层	住院楼内区域，公众，约 20 人
9	水泵间、锅炉房、地下停车场车道等			约 5m~50m		医院公共设施区域，公众，约 20 人
10	核医学科候诊大厅、护士站、吸碘率测定室、空调机房、污物提升泵房等	东		相邻		核医学科配套区域，公众，约 50 人
11	电梯厅、放疗中心用房、食堂、营养制剂配置等			约 7m~50m		
12	住院楼	楼上	诊断区 对应	/	+6m	医院拟建大楼，地面 11F，公众，约 1000。1F 为静配中心
13	室外绿化、广场等		治疗区 对应	/	+6m	医院户外区域，公众，约 50 人
14	室外绿化、广场、液氧站、道路等		北	相邻	+6m	医院户外区域，公众，约 50 人
15	规划道路			约 40~50m	+6m	市政道路，公众，约 50 人
16	住院楼		南	相邻	+6m	医院拟建大楼，地面 11F，公众，约 1000。
17	室外绿化、道路等			约 10m	+6m	医院户外区域，公众，约 50 人
18	门急诊楼、医技楼等			约 40m~50m	+6m	医院拟建大楼，地面最高 5F，公众，约 1000 人
19	住院楼		诊断区 东西两侧	相邻~50m	+6m	医院拟建大楼，地面 11F，公众，约 1000。
20	室外绿化、道路等		治疗区 东西两侧	相邻~50m	+6m	医院户外区域，公众，约 50 人
21	制冷机房、地下停车场等	楼下	东南	约 20m~50m	约-3m	医院-2F 区域，公众，约 50 人

高差中的“+”表示保护目标高于本项目，“-”表示保护目标低于本项目，差值为本项目工作场所地面与保护目标地面的值

表 7-3 DSA 机房周围环境保护目标情况一览表

序号	环境保护目标	方位	水平距离	高差	环境特征及受影响人群
急救中心 DSA 手术室					
1	走廊、电梯厅等	北	相邻	平层	门急诊楼公共区域, 公众, 约 50 人
2	室外绿化、道路等		约 8m		医院户外区域, 公众, 约 50 人
3	医技楼		约 30m~50m		医院医疗大楼, 地面为 4F, 公众, 约 1000 人
4	走廊	南	相邻		门急诊楼公共区域, 公众, 约 10 人
5	抢救大厅、急诊急救大厅等		约 3m		门急诊楼医疗区域, 公众, 约 100 人
6	室外绿化、道路等		约 25m~50m		医院户外区域, 公众, 约 50 人
7	控制室	西	相邻		DSA 辅助用房, 放射工作人员, 约 5 人
8	工作人员更衣、洗手区、库房		相邻		DSA 辅助用房, 放射工作人员, 约 5 人
9	走廊、急诊工作人员区、急诊影像检查用房、药房、检验、输液室、诊室等		约 8m~50m		门急诊楼内区域, 公众, 约 100 人
10	设备间、缓冲间、污物间	东	相邻		DSA 机房配套区域, 公众, 约 2 人
11	走廊、谈话间、库房等		约 3m		急救中心用房, 公众, 约 10 人
12	EICU 等		约 15m		急救中心用房, 公众, 约 50 人
13	室外道路、绿化等		约 30m~50m		医院户外区域, 公众, 约 50 人
14	空调机房	楼上	对应区域	+5m	门急诊楼 2F, 公众, 约 10 人
15	门急诊楼其他区域		相邻	+5m	门急诊楼 2~4F, 公众, 约 500 人
16	医院-1F 和-2F 地下停车场	楼下	相邻~50m	-5m	医院地下建筑, 公众, 约 500 人
介入手术中心 DSA 机房 1~4					
1	控制廊	北	相邻	平层	DSA 辅助用房, 放射工作人员, 约 20 人
2	库房、工作人员更衣区、办公区等		约 3m		DSA 辅助用房, 公众, 约 20 人
3	室外绿化、道路等		约 20m		医院户外区域, 公众, 约 50 人
4	住院楼		约 48m~50m		拟建大楼, 地面上为 11F, 公众, 约 1000 人

续表 7-3 DSA 机房周围环境保护目标情况一览表

序号	环境保护目标	方位		水平距离	高差	环境特征及受影响人群
5	患者通道	南		相邻	平层	介入手术中心患者通道，公众，约 10 人
6	麻醉复苏、等候、谈话间、DSA 设备间等			约 3m		介入手术中心配套用房，公众，约 20 人
7	走廊、MRI 工作场所、影像中心等			约 8m~50m		医技楼内区域，公众，约 20 人
8	缓冲间、污物间等	西		相邻		介入手术中心配套用房，公众，约 5 人
9	走廊、室外绿化、道路等			约 3m		公共区域，公众，约 50 人
10	门急诊楼			约 25m~50m		医疗大楼，地面上 5F，公众，约 1000 人
11	走廊	东		相邻		医技楼内区域，公众，约 20 人
12	供应中心等			约 8m		医院用房，公众，约 20 人
13	室外绿化、道路等			约 45m~50m		医院户外区域，公众，约 50 人
14	预留用房	楼上	对应区域	/	+5m	医技楼 2F，预留区域，公众，约 100 人
15	医技楼其他区域		相邻	相邻~50m	+5m	医技楼 2~5F，公众，约 500 人
16	医院-1F 和-2F	楼下		相邻~50m	-5m	地下停车场、变电机房、药库、水泵房、服务用房，公众，约 500 人

高差中的“+”表示保护目标高于本项目，“-”表示保护目标低于本项目，差值为本项目工作场所地面与保护目标地面的值

根据本项目周围环境保护目标分布情况，确定本项目环境保护对象为该医院从事放射诊疗的放射工作人员以及周围活动的公众成员。

项目核医学科治疗区和诊断区的放射性废水通过管道分别流向的 2 个独立的污水间提升泵房（以下简称污水间 1 和污水间 2），污水间 1 位于治疗区患者入口北侧，污水间 2 位于 SPECT 留观室西侧。放射性废水通过 2 个污水间内的提升装置，将放射性废水排至放射性废水衰变设施处，放射性废水处理设施位于住院楼北侧土壤层内，其顶棚上方为室外绿化带，四周均为土壤层。

核医学科工作场所所有废气均通过大楼排风井引至住院楼 11F 上方屋顶排放。

放射性废水处理设施和废气排放口与周围环境保护目标情况如下表 7-4 所示。因污

水间 1 和污水间 2 分别位于核医学科治疗区和诊断区控制区内，其周围环境保护目标同核医学科控制区一起考虑，具体见表 7-2。

表 7-4.1 衰变池间周围环境保护目标表

序号	保护目标	环境特征及受影响人群	方位	水平最近距离	垂直高差
1	住院楼	医院主要建筑物，-2F/11F，公众，约 1000 人	南侧	约 30m	池顶与建筑 1F 地面等高
2	室外绿化、广场、道路、液氧站等	医院内户外区域，公众，约 100 人	四周相邻		池顶与地面等高
3	规划道路	市政道路，公众，约 100 人	北侧	约 10m	池顶与地面等高
4	渝州汽车二厂	生产企业	北侧	约 30m	池顶与地面等高

表 7-4.2 核医学诊疗区域废气排放口周围环境保护目标表

序号	保护目标	基本情况	核医学废气排放口		
			方位	水平最近距离	垂直高差
1	住院楼	-2F/11F	/	项目所在楼	排放口高于楼顶约 2m
2	门急诊楼	-2F/5F	西侧	约 40m	排放口高于楼顶约 25m
3	医技楼	-2F/4F	南侧	约 45m	排放口高于楼顶约 30m

7.3 评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

4.3.2 剂量限制和潜在照射危险限制

B1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值。

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv 作为职业照射剂量限值。

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv。

d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

B1.2 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不超过下述限值：年

有效剂量，1mSv。

6.2.3 表面放射性污染的控制

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

工作场所的表面污染控制水平如表 B11（本环评表 7-6）所列。

表 7-6 工作场所的放射性表面污染控制水平表 单位：Bq/cm²

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

1) 该区内的高污染子区除外

附录 B2.2 工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 B11（本环评表 7-6）中所列设备类的控制水平的五十分之一以下时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。

6.4 辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.3 非密封源工作场所的分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录）的规定进行。

C1 应按表 C1（本环评表 7-7）将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-7 非密封源工作场所的分级

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

C2 放射性核素的日等效操作量的计算

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒行组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 C2（本环评表 7-8）和表 C3（本环评表 7-9）。放射性核素的毒性分组见附录 D（标准的附录）。

表 7-8 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 7-9 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较 低的固体	液体，溶液， 悬浮液	表面有污染 的固体	气体，蒸汽，粉末，压 力很高的液体，固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

8.6 放射性物质向环境排放的控制

8.6.2 不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

（a）每月排放的总活度不超过 $10\text{ALI}_{\min}$ （ $\text{ALI}_{\min}$ 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者）；

（b）每一次排放的活度不超过 $1\text{ALI}_{\min}$ ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

（2）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

4.2 辐射工作场所分级

应按照 GB18871 的要求规定，将辐射工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分为甲级、乙级和丙级。核医学常用放射性核素的毒性与操作方式修正因子可参考附录 A。

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB18871 执行。

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

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5 μSv/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。

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

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

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

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

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

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

c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

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

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

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

(3) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

本标准适用于医疗机构开展核医学诊断、治疗、研究和放射性药物制备中使用放射性物质时的防护。

5.2 放射防护措施要求

5.2.1 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应的防护措施。

5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为I、II、III三类。不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 1（本环评报告表 7-10），核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G。

表 7-10 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

操作方式	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗

表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b

^a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

^b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

G.1 核医学工作场所分类见表 G.1（本环评见表 7-11）。

表 7-11 非密封源工作场所的分类

分类	日操作最大量放射性核素的加权活度，MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

G.2 加权活度计算方法见式（G.1）：

$$\text{加权活度} = \frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作性质修正因子}} \dots\dots\dots (\text{G.1})$$

G.3 核医学常用放射性核素的毒性权重因子相关参数见表 G.2（本环评见表 7-12），不同操作性质的修正因子取值见表 G.3（本环评见表 7-13）。

表 7-12 核医学常用放射性核素的毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	⁷⁵ Se、 ⁸⁹ Sr、 ¹²⁵ I、 ¹³¹ I、 ³² P、 ⁹⁰ Y、 ⁹⁹ Mo、 ¹⁵³ Sm	100
B	¹¹ C、 ¹³ N、 ¹⁵ O、 ¹⁸ F、 ⁵¹ Cr、 ⁶⁷ Ga、 ^{99m} Tc、 ¹²³ I、 ¹¹¹ In、 ^{113m} In、 ²⁰¹ Tl	1
C	¹⁴ C、 ³ H、 ^{81m} Kr、 ¹²⁷ Xe、 ¹³³ Xe	0.01

表 7-13 不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	操作性质修正因子
贮存	100
废物处理，闪烁法计数和显像，候诊区及诊断病床区	10
配药、分装以及施给药，简单放射性药物制备，治疗病床区	1
复杂放射性药物制备	0.1

5.2.3 核医学工作场所的通风按表 1（本环评表 7-10）要求，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通风橱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。

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μ Sv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μ Sv/h，宜不大于 2.5 μ Sv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μ Sv/h；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。

6 操作中的放射防护要求

6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备

6.1.1 个人防护用品及去污用品

开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品（见附录K），其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护服。当使用的^{99m}Tc活度大于800MBq时，防护用品的铅当量应不小于0.5mmPb，个人防护用品及去污用品具体配置见附录K；对操作⁶⁸Ga、¹⁸F等正电子放射性药物和¹³¹I的场所，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。

8 医用放射性废物的放射防护管理要求

8.8每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，质量不超过20kg。

8.9 储存场所应具有通风设施，出入处设电离辐射警告标志。

8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

11.3 工作人员的放射防护要求

11.3.2 工作人员防护用品配备见附录 K，操作前要穿戴好防护用品。防护衣厚度不应小于 0.25mmPb 铅当量。对性腺敏感器官，可考虑穿含 0.5mmPb 铅当量防护的三角裤或三角巾。

(4) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)

本标准适用于 X 射线影像诊断和介入放射学。

放射治疗和核医学中的 X 射线成像设备参照本标准执行。

第 6.1.5 款 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2（本报告表 7-15）的规定。

表 7-15 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

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

机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积，机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长

本项目核医学科和放疗中心的 PET/CT、SPECT/CT、CT 模拟定位机参照标准中 CT 机的要求执行。本项目 DSA 为单管头 X 射线设备，按照上表单管头 X 射线设备的要求执行。

第 6.2.1 款 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不小于表 3（本报告表 7-16）要求：

表 7-16 不同类型射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

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

第 6.3.1 款 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

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

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

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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

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

附录 B

B.1 检测条件 X 射线设备机房防护检测条件和散射模体应按表 B.1 的要求。表 B.1 中备注 1：介入放射学设备按透视条件进行检测。

B.2 关注点检测的位置要求

B.2.1 距墙体、门、窗表面 30cm ；顶棚上方（楼上）距顶棚地面 100cm ，机房地面下方（楼下）距楼下地面 170cm 。

（5）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

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

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

b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a 。

6.1 屏蔽要求

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

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

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

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6.2 安全防护设施和措施要求

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8.4 气态废物管理要求

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

(6) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)

6 工作场所放射防护要求

6.2 空间、通风要求

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

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

(7) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）

4.8.3 治疗机房辐射屏蔽涉及诸多物理量：治疗装置有用束给予患者受治部位的剂量为吸收剂量(Gy)、治疗装置的泄漏辐射和可能产生的杂散中子及其散射辐射剂量为周围剂量当量或空气比释动能(Sv 或 Gy)、人员在治疗机房外的受照剂量为有效剂量(Sv)、在治疗机房外的辐射场和剂量仪表的测量值为周围剂量当量(Sv)。为了治疗机房屏蔽剂量估算和评价的方便及统一，在辐射屏蔽及其设计范畴内，不进行诸物理量与本标准中的周围剂量当量之间的转换系数修正。

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

(9) 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）

(10) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）

4.1.2 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 2 的规定。

5.4.1 低放射性废水应经衰变池处理。

6.1.2 总 α 、总 β 在衰变池出口采样监测。

标准表 2 中总 β 排放限值（日均值）：10Bq/L。

(11) 医疗废物

医疗废物属于危险废物，按国家危险废物名录分为医疗废物（HW01，废物代码 841-001-01～841-005-01），按《医疗废物管理条例》和《重庆市人民政府关于进一步加强医疗废物管理的通告》（渝府发[2007]71 号）要求进行收集处置；其贮存按《医疗废物集中处置技术规范（试行）》（环发[2003]206 号）、《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）执行。

(12) 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）

二级标准：臭氧 1 小时平均限值为 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.2\text{mg}/\text{m}^3$)；二氧化氮 1 小时平均限值为 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.2\text{mg}/\text{m}^3$)。

(13) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素（一）》（GBZ2.1-2019）

室内：臭氧浓度的接触限值： $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ；氮氧化物的接触限值： $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(14) 评价标准及相关参数值

①年剂量管理目标值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B 要求，放射工作人员连续 5 年的年平均有效剂量不超过 20mSv，四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv，公众成员年平均剂量有效剂量不超过 1mSv。根据《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）要求：一般情况下，职业照射的管理目标值不超过 5mSv/a；公众照射的管理目标值不超过 0.1mSv/a。

因此，建设单位根据以上相关要求，将 DSA 手术室与核医学科、放疗中心统一按照“职业照射的有效管理目标值不超过 5mSv/a，公众照射的有效管理目标值不超过 0.1mSv/a”执行。另外，手部皮肤当量剂量取其要求的四分之一即 125mSv/a 作为核素操作人员的手部皮肤年剂量管理目标值。

②加速器机房屏蔽体外控制水平核算

上述标准中《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）均对直线加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率参考控制水平有规定，本评价按照其相关要求保守计算直线加速器机房的屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算如下：

居留因子

根据 HJ1198-2021 附录 A，不同场所的居留因子选取如表 7-17 所示。

表 7-17 不同场所的居留因子

场所	居留因子		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制区、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区域
部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2：相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5：走廊、雇员休息室、职员休息室

偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8: 各治疗室门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有行人车辆来往的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯
备注：后文加速器等相应计算中的居留因子参照本表取值，后文不再提及。 直线加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算 本项目拟购买的2台直线加速器X射线最大能量均为10MV，单台设备周治疗时间约7.5h。按最不利情况考虑，泄漏辐射的调强因子N全部取5。放射治疗机房屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算结果见表7-18，复合辐射的导出剂量率为散射辐射与泄露辐射之和，核算结果大于2.5 μSv/h的，最终剂量率参考控制水平保守取2.5 μSv/h。直线加速器机房的导出剂量率参考控制水平按照GBZ/T201.2-2011附录A的计算要求进行。 关注点剂量率控制水平计算公式： A：单一辐射 a) 有用线束 $H_{c,d}=H_c/(t.U.T)$ 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—有用线束向关注点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 b) 单一泄漏辐射 $H_{c,d}=H_c/(t.N.T)$ 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—调强治疗时用于泄露辐射的调强因子，通常N=5 T—人员在相应关注点驻留的居留因子 B：复合辐射 与主屏蔽直接相连的次屏蔽区，需要考虑加速器的泄露辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射。			

a) 以关注点剂量率限值的一半, 作为关注点的患者散射辐射导出剂量率参考控制水平。

b) 将单一泄漏辐射计算公式中的 H_c 以 $0.5H_c$ 代替, 作为关注点的泄露辐射导出剂量率参考控制水平。

表 7-18 剂量率控制水平核算表 单位: $\mu\text{Sv/h}$

治疗室 名称	屏蔽体外关注点		H_c ($\mu\text{Sv/}$ 周)	辐射类型		T	$H_{c,\max}$	$H_{c,d}$	剂量率参考控制 水平 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)
	方位	紧邻环境情况					($\mu\text{Sv/h}$)	($\mu\text{Sv/h}$)	
直线加 速器机 房 1	西墙	控制室	100	泄漏辐射		1	2.5	2.67	2.5
		设备间、水冷机 房	5	泄漏辐射		1/40	10	26.67	2.5
	南墙	走廊	5	有用线束		1/5	10	3.33	2.5
				复合 辐射	散射		10	5	2.5
					泄漏			0.33	
	顶棚	室外绿化	5	有用线束		1/40	10	26.67	2.5
				复合 辐射	散射		10	5	2.5
					泄漏			2.67	
	防护门	机房门口	5	散射		1/8	10	5.33	2.5
				泄漏辐射		-	0.5*	/	
	东墙	直线加速器机 房 2	5	泄漏辐射		1/2	10	0.27	0.27
	北墙	土壤层	-	有用线束		-	10	/	2.5
				复合 辐射	散射		10	/	2.5
					泄漏			/	
直线加 速器机 房 2	东墙	控制室	100	泄漏辐射		1	2.5	2.67	2.5
		设备间、水冷机 房	5	泄漏辐射		1/40	10	26.67	2.5
	南墙	走廊	5	有用线束		1/5	10	3.33	2.5
				复合 辐射	散射		10	5	2.5
					泄漏			0.33	
	顶棚	室外绿化	5	有用线束		1/40	10	26.67	2.5
				复合 辐射	散射		10	5	2.5
					泄漏			2.67	

	防护门	机房门口	5	散射		1/8	10	5.33	2.5
			-	泄漏辐射		-	0.5*	/	
	西墙	直线加速器机房 1	5	泄漏辐射		1/2	10	0.27	0.27
	北墙	土壤层	-	有用线束		-	10	/	2.5
				复合	散射		10	/	2.5
				辐射	泄漏			/	

备注*：根据GBZ/T 201.2-2011的4.3.2.6及4.3.2.5.1b)可知，机房迷路入口处的加速器泄漏辐射剂量率参考控制水平应小于其1/4。因此，防护门泄漏辐射剂量率考虑剂量率参考控制水平按其1/5即 $2.5 \times 1/5 = 0.5$ 取值。直线加速器机房北墙外为土壤层，不考虑居留因子，剂量率限值直接按照 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 控制。射线使用因子均保守取1

③放射性废水排放活度

本项目核医学科 2 套放射性废水衰变设施均拟采用槽式排放方式，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），对于槽式衰变池：

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

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），放射性废液总排放口碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/L 。

④项目剂量限值与污染物排放指标

本评价根据《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）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等标准以及医院确定的个人剂量管理目标值，确定本项目的评价标准限值见表 7-19 所示。

表 7-19 项目剂量限值及污染物排放指标表

年剂量限值要求		执行依据
放射工作人员	年剂量管理目标值不超过 5mSv/a ，手部皮肤的年当量剂量管理目标值为 125mSv/a 。	GB18871-2002、 HJ1198-2021、 HJ1188-2021 及医院管理要求
公众成员	年剂量管理目标值 0.1 mSv/a	
剂量率控制值		执行依据

放疗中心	CT 模拟定位机房	距离机房墙体、门、窗表面 30cm，机房顶棚上方距楼上地面 100cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h。	GBZ130-2020
	直线加速器机房	距离机房屏蔽体外表面 30cm 处：机房侧屏蔽墙（2 间机房共墙）外周围剂量当量率不大于 0.27 μ Sv/h，其余方向上周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h。	GBZ/T 201.2-2011 GBZ121-2020 HJ1198-2021 核算后综合取值
核医学科	工作场所	控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h。	HJ1188-2021 GBZ120-2020 GBZ130-2020 综合取值
	手套箱、自动分药仪、注射窗外表面	柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μ Sv/h； 设备外表面 30cm 处，人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25 μ Sv/h。	
	废物桶、管道、衰变池等	固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h。	
DSA 机房		在透视条件下检测时，距离机房墙体、门、窗表面 30cm，机房顶棚上方距楼上地面 100cm，机房地面下方距楼下地面 170cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h；在摄影条件下检测时，距离 DSA 机房四周墙体、门、窗表面 30cm，顶棚上方（楼上）距顶棚地面 100cm，机房地面下方（楼下）距地面 170cm 处的周围剂量当量率应不大于 25 μ Sv/h，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25mSv。	GBZ130-2020
机房面积及最小单边长要求			
设备名称	机房内最小有效使用面积	机房内最小单边长度	/
CT 模拟定位机、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房	30m ²	4.5m	GBZ130-2020
DSA 机房	20m ²	3.5m	GBZ130-2020
通风要求			执行依据
直线加速器机房	治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h		GBZ121-2020
CT 模拟定位机房、DSA 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	核医学工作场所应保持良好的通风，保持工作场所的负压和各区之间的压差。 通风橱应有足够的通风能力，风速不小于 0.5m/s，排放管道独立，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。		GBZ120-2020 HJ1188-2021

	通风橱等排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。	
放射性废物排放		执行依据
放射性固体废物	收集：每袋废物的表面辐射剂量率 $\leq 0.1\text{mSv/h}$ ，质量不超过 20kg。	GBZ120-2020 HJ1188-2021
	排放：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，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。放射性固废暂存时间满足要求后，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 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。	
放射性废水	槽式衰变处理设施： a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放； b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），放射性废液总排放口：碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L ；总 β 不大于 10Bq/L 。	HJ1188-2021
工作场所表面污染		执行依据
核医学	工作台、设备、墙壁、地面：控制区： $\beta \leq 4 \times 10\text{Bq/cm}^2$ ；监督区： $\beta \leq 4\text{Bq/cm}^2$ ； 工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区： $\beta \leq 0.4\text{Bq/cm}^2$ ； 手、皮肤、内衣、工作袜： $\beta \leq 4 \times 10^{-1}\text{Bq/cm}^2$ 。	GB18871-2002
非放射性废物排放		执行依据
非放射性废水	经医院污水处理站处理后方可排放	GB18466-2005
非放射性医疗废物	交具有相应资质的单位处置	渝府发 [2007]71 号

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

重庆市第四人民医院科学城院区位于重庆市高新区西永 M 组团 M24-2 号地块，主要建筑大楼包括住院楼、医技楼、办公楼和门急诊楼，本项目涉及工作场所分别位于医院住院楼、医技楼和门急诊楼内，其中核医学科和放疗中心位于住院楼-1F，介入手术中心位于医技楼 1F，急救中心 DSA 手术室位于门急诊楼 1F。

项目地理位置图见附图 1，项目工作场所见附图 3 等图所示。

8.2 辐射环境现状评价

重庆市第四人民医院科学城院区目前处于基础施工阶段，为了解拟建项目所在位置辐射环境质量背景及现状情况，本次环评委托重庆泓天环境监测有限公司对本项目所在位置的环境γ辐射剂量率背景值进行了监测，监测时间为 2023 年 7 月 5 日，监测结果和监测布点见监测报告：渝辐（监）[2023]496 号。

8.2.1 监测因子

环境γ辐射剂量率。

8.2.2 监测方案

（1）监测方法和依据

监测方法和依据见表 8-1。

表 8-1 监测方法和依据

监测项目	监测方法	监测依据
环境γ辐射剂量率	仪器法	《环境γ辐射剂量率测量技术规范》HJ1157-2021

（2）监测点位选取

监测点位情况见表 8-2，监测布点图见图 8-1~8-4。

表 8-2 监测点位描述

监测因子	序号	监测对象	监测点位描述
环境γ辐射 剂量率	1	拟建场所环境 γ 辐射 水平	拟建门急诊楼，DSA 手术室区域
	2		拟建办公楼
	3		拟建医技楼，介入手术中心区域
	4		拟建住院楼，核医学科诊断区区域

续表 8 环境质量和辐射现状

表 8-2 监测点位描述			
监测因子	序号	监测对象	监测点位描述
环境γ辐射 剂量率	5	拟建场所环境 γ 辐射 水平	拟建住院楼北侧户外区域，核医学科治疗区
	6		拟建住院楼北侧户外区域，放疗中心
	7		拟建住院楼东侧
	8		拟建院区西侧
项目目前处于基础施工阶段，无地面建筑物			

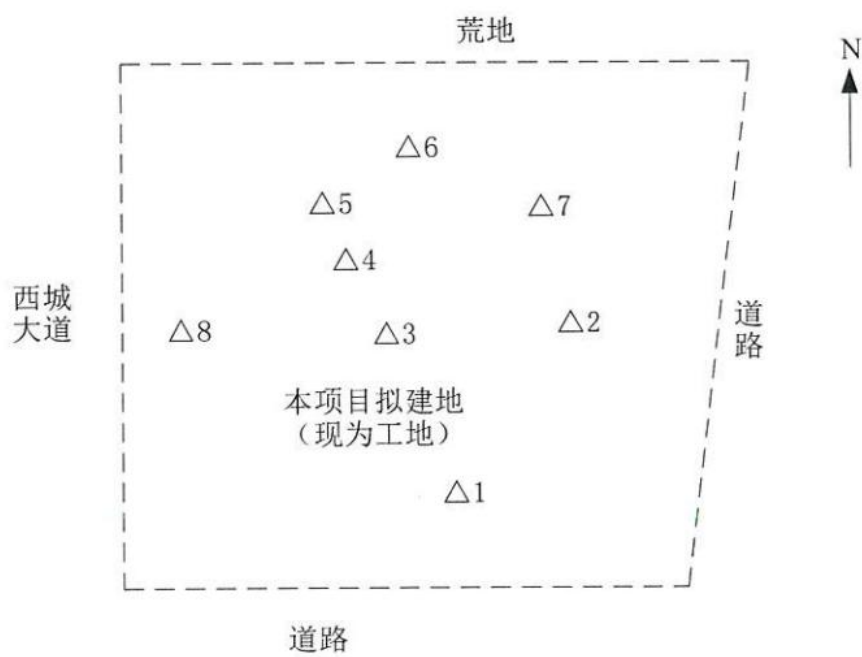


图 8-1 监测点示意图

本项目共涉及 4 个工作场所，均位于第四人民医院新建院区内，该院区目前处于地下基础施工阶段。根据现场情况和本项目工作场所分布情况，本次共设置 8 个监测点位，布点时考虑了项目诊疗用房在医院用地范围内的对应位置、医院内环境保护目标和院内室外区域等。同时布点考虑了在新建院区范围内均匀分布，监测点位分别涉及医院地块四周和中部。因此，本次监测布点能够反映本项目涉及工作场所内外的辐射环境背景水平。

(3) 测定方式

本项目选取的测定方式为即时测量，即用监测仪器直接测量出点位上的对应监测因子的监测结果。

续表 8 环境质量和辐射现状

8.3 质量保证措施

8.3.1 监测仪器

监测仪器在检定有效期内使用，监测仪器及检定情况见表 8-3。

表 8-3 监测仪器及检定情况

仪器名称	型号	仪器编号	计量检定证书编号	有效期至	校准因子
环境级 χ 、 γ 辐射巡检仪	RGM52 00	1222203004 005	Y2022-0108775	2023.11.13	0.95

8.3.2 监测人员机报告审核制度

监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、审核、审定，最后由授权签字人签发。因此，监测结果有效。

8.4 监测结果

监测结果统计见表 8-4。

表 8-4 项目所在区域辐射环境监测结果统计

序号	监测点位描述	环境 γ 辐射剂量率测量值（nGy/h）
1	本项目拟建地（门急诊楼）	81
2	本项目拟建地（行政办公楼）	80
3	本项目拟建地（医技楼）	78
4	本项目拟建地（住院楼）	83
5	本项目拟建地（住院楼北侧）	81
6	本项目拟建地（住院楼北侧）	78
7	本项目拟建地（住院楼东侧）	83
8	本项目拟建地（门急诊楼西侧）	86

备注：上述结果未扣除宇宙射线响应值

由监测统计结果可知，项目所在地的地表 γ 辐射剂量率监测值在 78nGy/h~86nGy/h 之间。与《2022 年重庆市辐射环境质量报告书》中全市各点位环境 γ 辐射空气吸收剂量率测量均值范围 78.0~119nGy/h（未扣除宇宙射线响应值）相比较，项目所在工作场所及周边区域的辐射水平在重庆市区域辐射水平的正常涨落范围内。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期污染工序及污染物产生情况

本项目属于医院整体建设工程的一部分，工作场所依托新建医疗大楼主体结构，项目各项设施与医院建设工程同步进行施工。根据《重庆市第四人民医院科学城院区建设项目（一期）环境影响报告书》内容，项目施工期（土建、装修、设备安装等）主要污染物包括：

（1）废气

施工期的大气污染源主要为施工扬尘。

（2）废水

施工期废水主要为工人生活污水和施工废水。

（3）噪声

施工过程中的噪声主要是各种施工机械、设备产生的噪声。

（4）固体废弃物

主要为施工人员产生的生活垃圾、土石弃方、建筑垃圾等。

9.2 运行期污染工序及污染物产生情况

9.2.1 放疗中心污染工序及污染物产生情况

9.2.1.1 直线加速器

1、设备组成及工作方式

本项目拟配置 2 台 X 射线能量最大为 10MV 的医用电子直线加速器，医用电子直线加速器由主机系统、控制系统、治疗床、恒温水系统构成。另外每台加速器集成 1 个 CBCT（锥形束 CT）进行定位验证。

用于放射治疗的 X 射线是从直线加速器治疗头产生的，治疗头是加速器最终用于治疗射束的形成部位。治疗头提供射束修整、定位、屏蔽、监测等功能，其基本结构包括偏转系统、X 线靶、均整器、电子散射箔和准直器。散射器常安装在均整器旋转托盘上，还有光野灯、源皮距标尺灯、电离室和联锁装置等。

加速器设备外观见图 9-1 所示。

续表 9 项目工程分析与源项



图 9-1 典型医用电子加速器示例图

直线加速器的工作方式为工作人员将患者按照治疗计划要求，固定在治疗床上后，通过 CBCT 调整病人位置，在加速器控制面板中输入治疗参数，使用 X 射线对患者进行治疗。治疗过程中，工作人员位于控制室内，并通过监视器，观察患者情况。

2、设备参数

根据建设单位提供资料，医用电子直线加速器的主要技术指标见表 9-1。

表 9-1 加速器主要技术指标

项目	指 标
射线类型	X 射线、电子线
标称能量	X 射线：10MV；电子线：22MeV；
焦点至等中心点距离（L _A ）	100cm
射线束最大张角（散射角）	28°
照射方式	具有等中心旋转系统之固定束治疗和移动束治疗的间歇加载连续运行式
最大照射野	40cm×40cm
等中心处最大剂量率	普通模式 600cGy/min，FFF 模式 2400cGy/min
机架旋转	180°
等中心点离地高度	设备等中心点离地高度约 130cm
泄露辐射率	千分之一
靶材料	钨合金

续表 9 项目工程分析与源项

项目	集成 CBCT
最大管电压	150kV
最大管电流	800mA

3、工作原理

医用电子直线加速器用于放射治疗的 X 线和电子束是从加速器治疗头产生的，治疗头是加速器最终用于治疗射束的形成部位。治疗头提供射束修整、定位、屏蔽、监测等功能，其基本结构包括偏转系统、X 线靶、均整器、电子散射箔和初级准直器，散射器常安装在均整器旋转托盘上，还有照野灯、源皮距标尺灯、电离室和联锁装置等，见图 9-2 所示。

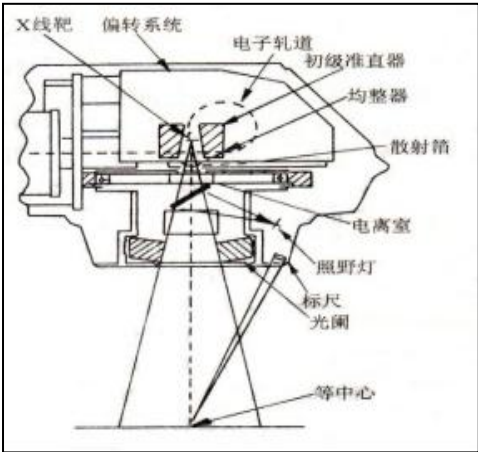


图 9-2 加速器治疗头的结构图

三相电压经升压、整流和滤波成 11kV 的直流高压，对调制器中的脉冲形成网络（PFN）充电，经氢闸流管后输入到脉冲变压器；同时另一高压通过直流变压器产生 5 直流高压，供给电子枪发射电子，电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，经调制、准直后射向患者病灶，或者通过 2cm 左右的空气射到金属靶，产生大量高能 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后达到患者病灶实现治疗目的。医用电子直线加速器既可以利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀死肿瘤细胞。

CBCT 即为锥形束投照计算机重组断层影像设备，其原理是 X 射线发生器以较低的射线量围绕投照体做环形数字式投照，然后将围绕投照体多次数字投照后“交集”中所获得的数据在计算机中重组后获得三维图像。

续表 9 项目工程分析与源项

4、操作流程及产污环节

本项目直线加速器治疗主要工作流程见图 9-3 所示。

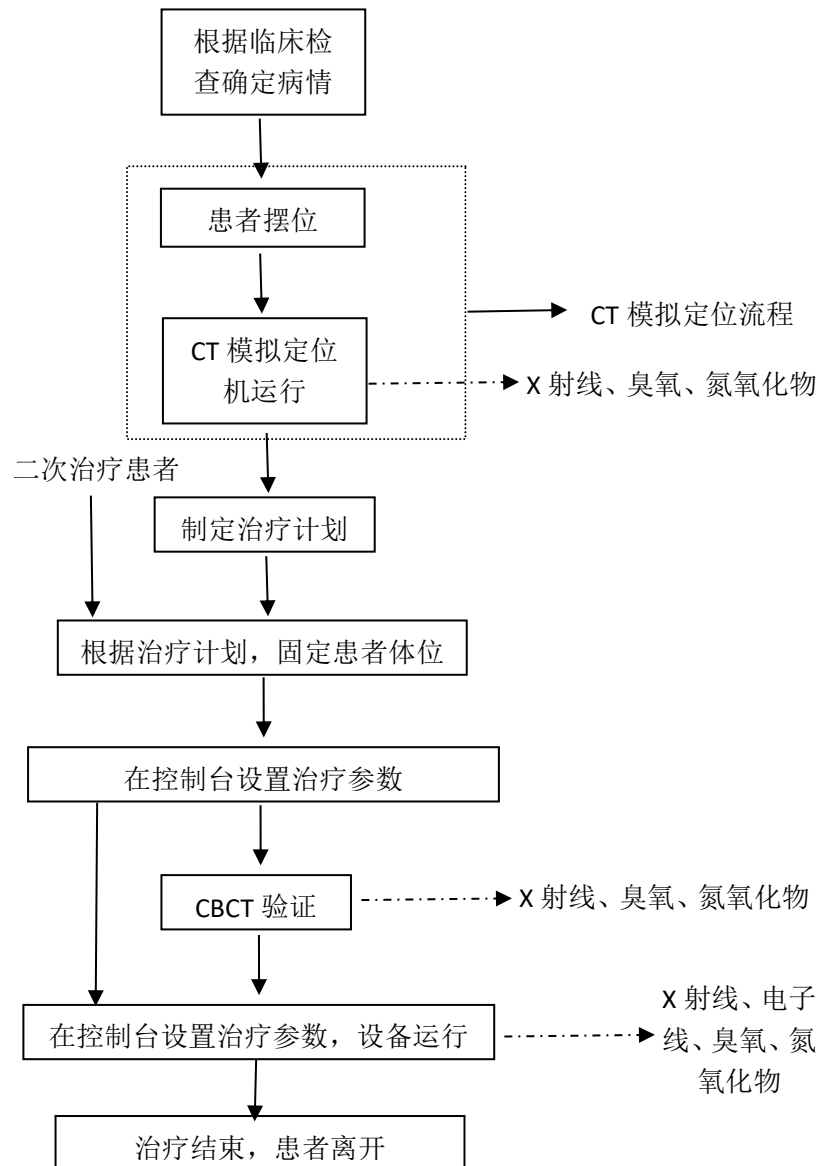


图 9-3 医用电子直线加速器放射治疗工艺流程示意图

肿瘤治疗主要操作流程为：

(1) 接诊：当患者通过影像学检查患有占位性病变，并经过病理诊断后，医生根据患者的具体情况确定是否适用放射治疗，如果符合放疗适应症（告知病人及家属辐射危害），即可准备进入放疗流程。

(2) 模拟定位：使用放疗中心 CT 模拟定位机和 MR 模拟定位机进行扫描，确定肿瘤的位置和范围，MR 定位流程与 CT 流程一致，但其产排污不在本项目评价范围。

续表 9 项目工程分析与源项

(3) 制定放疗计划：将模拟定位影像图像导入计算机治疗计划系统 (TPS) 后制定治疗计划，临床医生根据模拟定位检查图像勾画靶区，确定需要照射的范围和剂量。由放疗物理师、放疗技师和临床医生一起，根据病情确定照射范围和剂量，计划完成后经科室集体讨论后确认。方案确定后以跟治疗时同等的摆位条件（如垫肩、加固定器等）放到模拟定位设备上进行核对。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，做好治疗固定器等，确定最后的治疗计划，以保证放射位置的精确性和放射剂量的精确性。

(4) 实施放射治疗：

①工作人员在直线加速器控制室接通电源，启动控制系统，在控制台上设置治疗参数；

②医护人员将患者送入治疗室，技术人员进行摆位；固定治疗体位，肿瘤中心位于等中心点；

③除了待治疗病人，其余人员撤出治疗室，关闭防护门，通过监控系统观察机房内情况，检查连锁系统；

④CBCT 验证，具体流程为：治疗前采集数字影像数据，然后与定位影像数据进行在线配准。如果得到的比对结果在容许误差范围内，则治疗可以进行；如果比对结果超出误差容许范围，调整患者位置后使之在容许误差范围内，再行治疗，实现患者定位与治疗的精确重合。

⑤在控制室控制台确认治疗参数，插入专用控制钥匙，加速器出束治疗；

⑥治疗完毕，加速器停止出束，打开迷路防护门，医护人员进入治疗室解除体位固定器，将病人送出治疗室。

特别说明：患者治疗一般一个疗程进行一次模拟定位和一次 CBCT 验证。

5、工作负荷

每台医用电子直线加速器治疗工作量为最多一天治疗 60 人次/d，每周工作 5d，年工作 50 周，单台设备年最多治疗患者 15000 人次。平均每名患者治疗照射时间约为 1.5min，则周有效出束时间为 7.5h/台.周，年有效出束时间为 375h/台.年。放射治疗主要为 X 射线治疗，电子线治疗很少，保守全部考虑为 X 射线治疗。

在病人首次治疗时需要进行 CBCT 定位验证，在病人后续治疗一般一周使用一次。

续表 9 项目工程分析与源项

单次验证扫描一圈，即 1min。按照加速器试用情况，预计单台加速器年使用不超过 5000 次/年，即 83h/a。

9.2.1.2 CT 模拟定位机

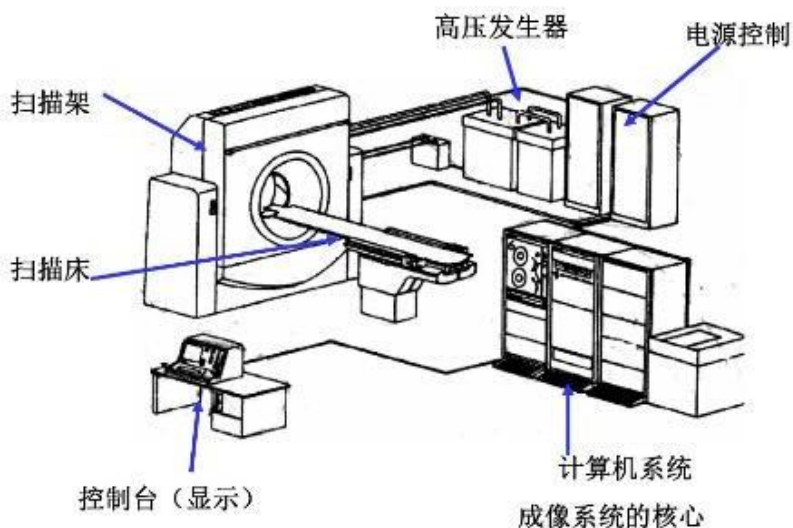
1、设备组成及工作方式

放疗中心拟配备 1 台 CT 模拟定位机。

拟配置的 CT 模拟定位机为大孔径 CT，主要由扫描床、扫描架、高压发生器、控制台、计算机系统和激光定位系统等组成。典型 CT 模拟定位机见图 9-4（a），其主要结构见图 9-4（b）。



图 9-4（a） CT 模拟定位机（示例图）



续表 9 项目工程分析与源项

图 9-4 (b) CT 模拟定位机主要组成结构示意图

CT 模拟定位机的工作方式为利用 CT 模拟定位机对患者进行扫描，导出影像数据，然后制定放疗治疗计划，以便后续进行放射治疗。工作人员在控制室隔室操作设备运行。

2、设备参数

医院拟配置的模拟定位机主要性能指标见表 9-2。

表 9-2 模拟定位机设备参数

设备名称	CT 模拟定位机
型号	待定
射线装置类别	III类射线装置
主要技术参数	额定管电压：140kV 额定管电流：800mA
过滤板	3mmAl
等中心照射野	50cm×1cm

3、工作原理

CT 模拟机可以看作是诊断性 CT 机与传统模拟定位机的有机结合。CT 模拟机不仅可以像诊断性 CT 机一样为治疗计划系统提供高质量的横断面 CT 影像资料，帮助临床医生精确勾画出肿瘤靶区及危险器官的轮廓，进而帮助计算机计划系统进行组织不均匀性校正，提高剂量计算的准确性。还能够借助复杂的计算机软件，将治疗计划给出的照射野三维空间分布结果重叠在 CT 重建的病人解剖资料之上，在相应的激光定位系统的辅助下，实现对治疗条件的虚拟模拟。

4、工艺流程及产污环节

模拟定位机工作流程如图 9-3 所示。

5、工作负荷

CT 模拟定位机年最多检查 3000 人次，单人次最大运行时间为 2min。

9.2.1.3 放疗中心人员路径

放疗中心医护人员和患者可以通过电梯直接到达住院楼-1F，然后通过室内走廊进入放疗中心，工作人员由走廊分别进入直线加速器和 CT 模拟定位机控制室，根据工作内容再由机房防护门进入机房，工作完成原路返回。

续表 9 项目工程分析与源项

模拟定位的就诊病人从机房北侧防护门进入机房，完成定位后出来；直线加速器治疗病人从机房防护门进入然后原路返回。

工作人员和患者路径示意图见附图 5.1。

9.2.2 核医学科污染工序及污染物产生情况

工作方式：核医学诊断是以放射性核素显像及脏器功能测定为主的体内诊断法和以体外放射性分析为主的体外诊断法组成。本项目采用放射性核素显像及脏器功能测定为主的体内诊断法。医院核医学科拟使用非密封放射性同位素为 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，放射性同位素均直接购买成品药物。核医学放射性核素治疗项目主要包括 ^{131}I 甲亢治疗、 ^{131}I 甲癌治疗、 ^{32}P 敷贴治疗、 ^{89}Sr 转移癌治疗等。放射性核素治疗是利用放射性核素参与人体代谢自动在特定组织内聚集或者将放射性核素放置在人体的指定位置，对其周围病变细胞造成杀伤。

9.2.2.1 核医学显像诊断

1、应用正电子放射性药物开展核医学显像诊断

(1) 工作原理

PET(Positron Emission Tomography，正电子发射型计算机断层显像)核素显像技术是专为探测体内正电子发射体湮没辐射时同时产生的方向相反的能量为 0.511MeV 的两个 γ 光子的显像仪器。放射性药物注射到受检者体内，让受检者在 PET 的有效视野范围内进行 PET 显像。放射性药物发射出的正电子在体内移动大约 1mm 后与组织中的负电子结合发生湮灭辐射，产生两个能量相等（511KeV）、方向相反的 γ 光子。由于两个光子在体内的路径不同，到达两个探测器的时间也有一定差别，如果在规定的时间内（一般为 0~15 μs ），探头系统探测到两个互成 180 度（ ± 0.25 度）的光子时，即为一个符合事件。探测器便分别送出一个时间脉冲，脉冲处理器将脉冲变为方波，符合电路对其进行数据分类后，送入工作站进行图像重建，便得到人体各部位横断面、冠状断面和矢状断面的影像，对疾病进行诊断。

(2) 基本结构

PET 的基本结构与其他核医学影像设备相似，都是由探测器（探头）、电子学系统、计算机数据处理系统、显示记录装置、扫描机架和同步检查床等部分组成。

续表 9 项目工程分析与源项

PET/CT 是将 PET 和 CT 两个已经相当成熟的影像技术相融合，实现了 PET 和 CT 图像的同机融合。使 PET 的功能影像与螺旋 CT 结构影像两种显像技术的优点融于一体，形成优势互补，一次成像即可获得 PET 图像，又可获得相应部位的 CT 图像及 PET/CT 的融合图像，即可准确地对病灶进行定性，又能准确定位，PET 和 CT 结果可以互相印证，相互补充，使 PET/CT 的诊断效能及临床实用价值更高。CT 扫描数据还可用于 PET 图像的衰减校正。医院常用 PET/CT 见图 9-5。



图 9-5 医院常用 PET/CT（示例）

（3）工作流程

①根据医生指导意见，需要接受全身或脏器显像检查的人员提前预约登记，确定用药量。

本项目拟使用的 ^{18}F 药物拟外购，医院根据与患者预约情况提前向有资质的药物供货商/生产商定药，由其负责在合理时段内将药物运输至核医学科储源室，使用时在转运至 PET/CT 分装室内，在防护手套箱内进行活度测定、分装（取药，即注射器吸药），然后在分装室内通过注射窗台为病人注射。

②受检者按约定时间在核医学科大厅进行登记、准备；

③操作核素的医务人员（护士）根据患者相关信息，锁定患者，在防护手套箱内将放射性药物分装为针剂，分装单人份药物时间约 0.5min。

④准备好的受检者经过核医学科患者通道进入控制区，到达 PET 注射窗口前，操作核素的医务人员穿戴好个人防护用品，通过注射窗口在分装室为患者注射药物，注射时

续表 9 项目工程分析与源项

间平均约 0.5min/每人（包括核对患者信息、注射准备、注射等步骤）；

⑤注射了放射性药物的患者进入 PET 候诊室等候（45min~60min）或进行检查前的准备；

⑥接到检查通知的患者从 PET 候诊室进入 PET 检查室进行检查，PET/CT 每次平均扫描时间约 15min/人次（包含 CT 运行时间，每次平均扫描时间约 2min/人次）。

⑦检查完成后，受检者在留观室留观 5~10min，经主管医生确认图像质量满意后，受检者通过核医学科患者通道离开核医学区域。

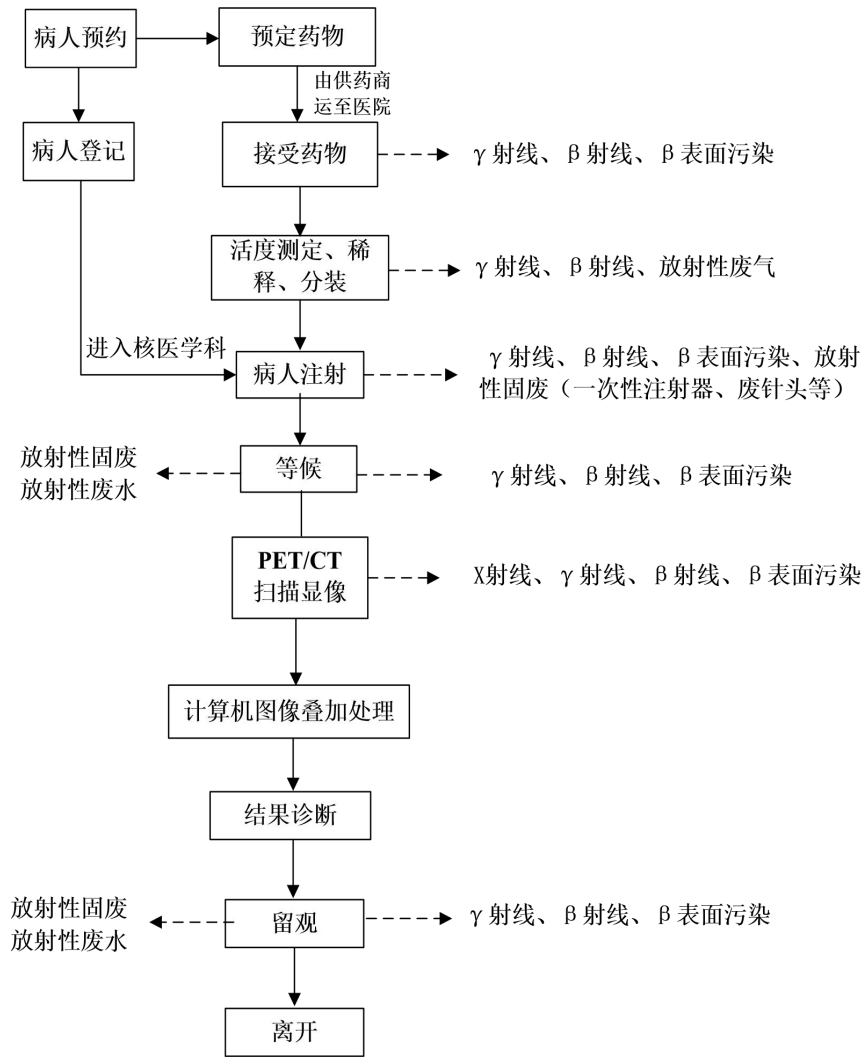


图 9-6 应用正电子放射性药物在 PET/CT 下显像诊断流程图

(4) 工作负荷

医院使用 ¹⁸F 开展 PET 显像诊断工作，预计全年注射 ¹⁸F 标记药物进行显像诊断的患者约 5000 人次，放射性药物使用情况见表 9-3。

表 9-3 放射性药物使用情况表

核素 名称	单人最大用 量 (Bq)	日最大人次	最大日操 作量(Bq)	年就诊 人次	年最大用 量 (Bq)	用途
^{18}F	3.7×10^8	20 (5 日/周)	7.4×10^9	5000	1.85×10^{12}	恶性肿瘤、神经系统疾病、感染性疾病、心脏疾病等诊断

PET/CT 只进行正电子放射性药物显像，PET/CT 工作负荷约 5000 人次/年，单人次显像检查时间约 15min，年工作时间为 1250h，其中包括 CT 模式扫描的时间，平均 CT 开机时间约为 2min，年有效开机时间约为 166.67h。

2、应用单光子放射性药物开展核医学显像诊断

(1) 工作原理

SPECT (Single Photon Emission Computerized Tomography, 单光子发射型计算机断层显像) 是利用 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等放射性核素的示踪作用，不同的显像剂在体内有其特殊的分布和代谢规律，能够选择性的聚集在特定脏器、组织或病变部位，使其与临近组织之间的放射性分布形成一定程度浓度差，而显像剂中的放射性核素可发射出具有一定穿透力的 γ 射线，利用 SPECT 探头对这些单光子进行探测和记录，通过计算机处理从而获得脏器、组织或者病变部位的形态、位置、大小以及脏器功能图像数据。

(2) 基本结构

SPECT 系统一般由探测器、机架、控制台、计算机（包括接口）和外围设备五部分构成。SPECT/CT 同样是将 SPECT 和 CT 结合成一体化的设备，使用同一个检查床和同一个图像处理工作站，将 SPECT 图像和 CT 图像融合，可以同时放映病灶的病理生理变化和形态结构，明显提高诊断的准确性。医院常用 SPECT/CT 见图 9-8。



图9-8 医院常用SPECT/CT（示例）

（3）工作流程

①根据医生指导意见，需要接受全身或脏器显像检查的人员提前预约登记，确定用药量。使用的 ^{99m}Tc 放射性药物为从供药厂家直接外购成品（已分装好的针剂），由其负责将药物运输至核医学科储源室内。使用时，工作人员将放射性药物转运至分装室内，在手套箱内进行 ^{99m}Tc 活度测定，然后在分装室注射窗口处为病人注射。

②受检者按约定时间在核医学科门诊室进行登记、准备；

③准备好的受检者经过核医学科患者通道到达 SPECT 注射窗口前，接受放射性药物注射。部分心肌显像的受检者，需要由工作人员使用移动注射车，在患者旁完成注射。注射时间平均约 30s/每人。

④注射了放射性药物的受检者进入 SPECT 候诊室等候（5min~20min）或进行检查前的准备。

⑤注射药物的受检者从 SPECT 候诊室进入 SPECT 检查室进行显像检查，SPECT/CT 平均扫描时间约 15min/次（包含 CT 运行时间，平均扫描时间约 2min/次）；

⑥检查完成后，受检者通过核医学科患者通道离开核医学区域。

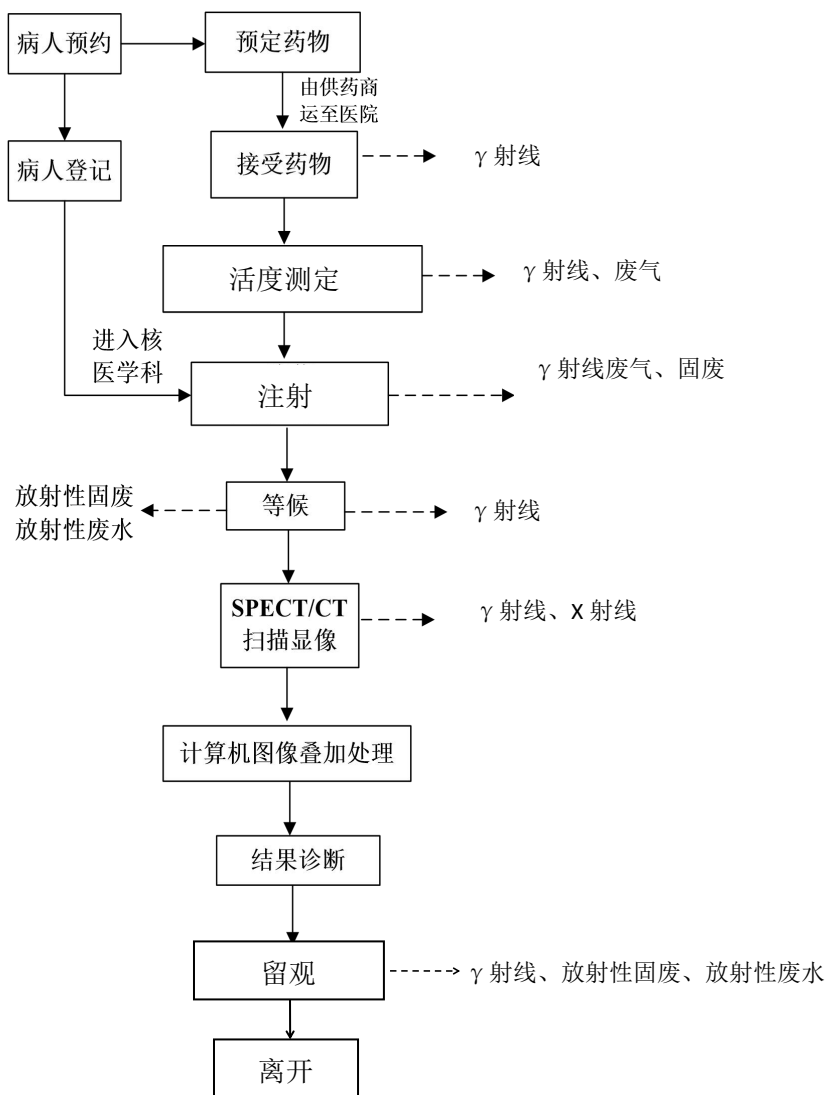


图 9-9 SPECT/CT 下显像诊断流程

(4) 工作负荷

医院使用 ^{99m}Tc 开展 SPECT/CT 显像诊断工作，预计全年注射 ^{99m}Tc 标记药物进行显像诊断的患者约 7500 人次。放射性药物使用情况见表 9-5。

表 9-5 放射性药物使用情况表

核素名称	单人·次最大用量 (Bq)	日最大人·次	最大日操作量 (Bq)	年就诊人·次	年最大用量 (Bq)	用途
^{99m}Tc	9.25×10^8	30 (5 日/周)	2.77×10^{10}	7500	6.94×10^{12}	骨转移显像、肾功能显像、心肌灌注显像等

单人次显像检查时间约 15min，年工作时间为 1875h，其中包括 CT 模式扫描的时间，平均 CT 开机时间约为 2min，年有效开机时间约为 250h。

3、影像诊断工作负荷小结

综上所述,项目核医学科核素使用情况汇总见表 9-6,工作负荷见表 9-7 和 9-8 所示。

表 9-6 核医学科核素用量统计表

核素名称	用途	单人次最大用量（Bq）	最多接待人次（人次）			核素用量（Bq）		
			日	每周开展天数	年	日	周	年
¹⁸ F	扫描诊断	3.70×10 ⁸	20	5	5000	7.4×10 ⁹	3.70×10 ¹⁰	1.85×10 ¹²
^{99m} Tc		9.25×10 ⁸	30	5	7500	2.77×10 ¹⁰	1.39×10 ¹¹	6.94×10 ¹²
合计		——	50	/	12500	3.51×10 ¹⁰	1.76×10 ¹¹	8.79×10 ¹²

表 9-7 核医学科设备及设备操作人员工作负荷统计表

设备名称	工作内容	诊断人数或者操作频次 人次/年或次/年	单次所需时间	年有效开机时间
PET/CT	PET 显像 (含 CT 扫描 2min)	5000	15min/人次	1250 h/年
	摆位	500 (按 10%计)	1min/人次	8.3h/年
SPECT/CT	SPECT 显像 (含 CT 扫描 2min)	7500	15min/人次	1875 h/年
	摆位	750 (按 10%计)	1min/人次	12.5h/年

表 9-8 核医学科核素操作人员负荷统计表

设备名称	工作内容	诊断人数或者操作频次 人次/年或次/年	单次所需时间	年有效操作时间
^{18}F	分装	5000	0.5min/人次	41.7h/年
	注射		0.5min/人次	41.7h/年
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	活度测定	7500	0.5min/人次	62.5h/年
	注射		0.5min/人次	62.5h/年

9.2.2.2 核医学甲状腺功能诊断

本项目核医学科利用 ^{131}I 进行甲吸测定,对甲状腺疾病进行诊断。

(1) 甲吸测定工作原理

甲吸测定全称为甲状腺摄碘率测定。碘是合成甲状腺激素的物质之一,甲状腺细胞通过钠/碘共转运子克服电化学梯度从血循环中浓聚 ^{131}I ,因此患者口服的 ^{131}I 药剂大都

聚集在甲状腺内。在体外用探测器在颈部测量甲状腺对 ^{131}I 的摄取速度和摄取量即吸碘率。利用不同时间段患者摄碘率的变化曲线来判断患者甲状腺功能是否正常，为甲状腺疾病的诊断和放射性碘治疗提供了可靠的数据。

(2) 甲吸测定流程

甲状腺吸碘功能测定主要用于甲亢治疗、甲癌治疗患者服碘量的计算以及亚急性甲状腺炎患者的诊断，其主要流程包括患者准备、服药、甲功测定和结果判定。应用 ^{131}I 甲吸测定流程图见图 9-10。

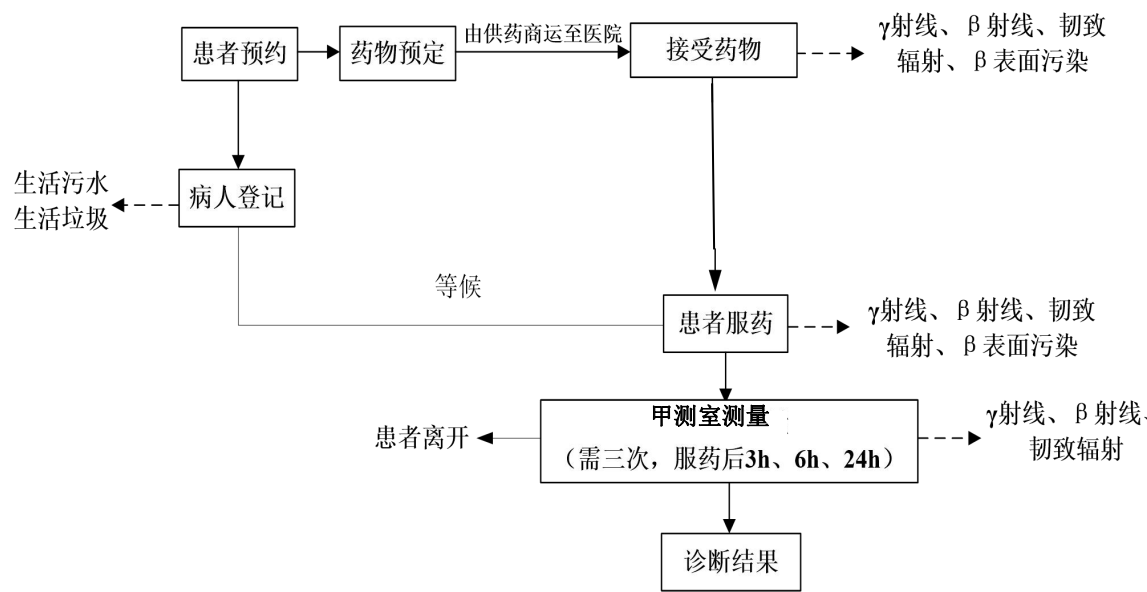


图 9-10 应用 ^{131}I 甲吸测定流程图

甲状腺吸碘功能测定主要用于准备 ^{131}I 治疗的病人计算口服 ^{131}I 量。甲测受检者在治疗区服药间（甲吸）口服放射性药物，服用 ^{131}I 后 3h、6h、24h 在甲吸测量室用甲功测定仪测定甲状腺部位的放射性计数，测量前先测定室内自然本底的计数及标准源计数。三次测量之间间隔时间较长，患者可离开医院自由活动或进入甲测室留观。根据测量结果计算出的甲状腺吸碘率值可判定受检者甲状腺功能，检查后即可离开。

(3) 工作负荷

医院仅针对需进行甲状腺治疗的患者使用 ^{131}I 开展甲状腺功能诊断，预计全年 ^{131}I 甲吸测定约 1500 人·次。 ^{131}I 甲吸测定药物使用情况见表 9-7。

表 9-7 ^{131}I 甲吸测定药物使用情况表

核素名称	单人·次最大用量 (Bq)	日最大人·次	最大日操作量 (Bq)	年就诊人·次	年最大用量 (Bq)	用途
^{131}I	2.22×10^5	15	3.33×10^6	1500	3.33×10^8	甲吸测定

9.2.2.3 核医学核素治疗

(1)放射性核素治疗工作原理

该项目涉及的放射性核素治疗项目主要包括 ^{131}I 甲亢治疗、 ^{131}I 甲癌治疗、 ^{32}P 敷贴治疗、 ^{89}Sr 转移癌治疗等。本项目放射性核素治疗是利用放射性核素参与人体代谢自动在特定组织内聚集或者将放射性核素放置在人体的指定位置，对其周围病变细胞造成杀伤。

① ^{131}I 治疗

本项目主要利用 ^{131}I 开展甲亢治疗、甲癌治疗工作。

甲亢治疗：全称甲状腺功能亢进症治疗。甲状腺细胞对碘化物具有特殊的亲和力，服用药物后 ^{131}I 能够被甲状腺高度选择性吸收，甲亢患者的甲状腺中功能亢进的病变组织比一般的甲状腺组织的摄碘率更高。医院拟使用的碘 ^{131}I 化钠口服液（简称 ^{131}I ），用于甲状腺机能亢进（甲亢）的治疗。 ^{131}I 属中毒组核素，在甲状腺内有效半衰期约为 3.5~4.5d，有较长的停留时间； ^{131}I 衰变时发射的 β 射线射程平均约 1mm，几乎全部为甲状腺组织吸收；使用适当剂量的 ^{131}I ，其辐射生物效应使功能亢进的甲状腺细胞受破坏，甲状腺缩小、甲状腺激素的合成减少而达到治疗的目的。

甲癌治疗：即甲状腺癌治疗。 ^{131}I 是一种带有放射性的碘，摄入体内主要聚集在有甲状腺和其他摄取碘的组织里。由于分化型甲状腺癌细胞分化较好，因此具备部分摄取碘的能力，但通常比甲状腺组织弱很多，当正常甲状腺组织被去除后，分化好的甲状腺癌组织能够摄取一定量的 ^{131}I ，利用 ^{131}I 衰变发出的 β 射线破坏肿瘤细胞，达到治疗目的。

② ^{89}Sr 转移性癌治疗

放射性核素转移癌治疗是利用机体内能高度选择地聚集在病变组织的化合物作为载体，将放射性核素靶向运送到病变组织或细胞，使放射性核素与病变细胞距离贴近。根据当距辐射源的距离增大，来自源的辐射强度随距离平方值增长而减小的原理，使得辐射剂量主要集中在病灶内，而在比较远处的正常健康细胞得到较低的、不太会引起损伤的剂量。

③ ^{32}P 敷贴治疗

敷贴治疗是将含有一定剂量放射性核素制成敷贴器，紧贴于皮肤/黏膜或角膜等病变处，利用射线所产生的电离辐射生物效应，使某些皮肤疾患或眼病得到治疗的方法。本

项目拟直接购买成品敷贴治疗器，敷贴器出厂时各项指标满足 GBZ120-2020 的要求。直接将敷贴器放置在患者体表进行治疗。

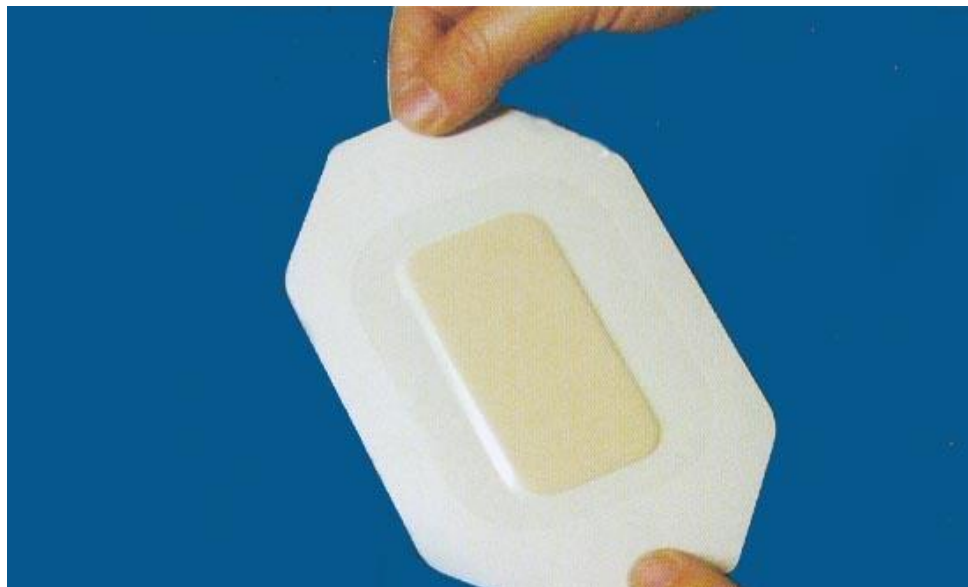


图 9-11 成品敷贴器示意图

(2) 工艺流程

① ^{131}I 治疗流程

医院根据患者预约情况向放射性药物厂家公司预定含 ^{131}I 的放射性药物（一般每次预定一天的用量），然后由放射性药物厂家公司当天用专车运抵医院，放射性药物厂家的专业技术人员将装有核素的铅罐放入核医学科治疗区储源室内，使用时，医生将铅罐放入服药间（甲亢、甲癌）全自动分装仪内，然后医生在控制室内隔室通过电脑控制将蒸馏水注入自动分装仪中对购买的 ^{131}I 液态放射性药物进行稀释。操作者可以在本机界面或远程计算机设定样品的分配活度、体积和计划使用时间，系统会自动完成将放射性原料（母液）进行稀释处理、定量分配和样品体积配比的全部工作，测试合格的溶液可用于患者服用。自动分装仪示意图 9-12。



图 9-12 ^{131}I 自动分装仪示意图

甲亢治疗流程：甲亢患者进入治疗区患者服药间内听医生指挥自行在自动分装仪出药口处取药、服药。甲亢病人服药剂量大小不等，根据医院提供的资料，服药量在5~10mCi，患者在服药后通过患者走廊专用出口离开。

极少数患者核算用药量超过10mCi，可采取两种方案处理：①分两次服药，即先服≤10mCi的药量，等待3~6个月后，再次进行甲吸测定确定二次服药量（计为治疗2人次）。②先服用抗甲亢药物进行治疗，缩小甲状腺体积，再进行 ^{131}I 甲吸测定和甲亢治疗。一般甲亢治疗患者最大服药量为10mCi（370MBq），低于离院限值400MBq的要求，病人可以直接离院。部分患者因身体原因需在甲亢留观室短时留观，一般留观时间不超过2小时，每天留观人数最多不超过3人。

甲亢治疗流程图见图 9-13。

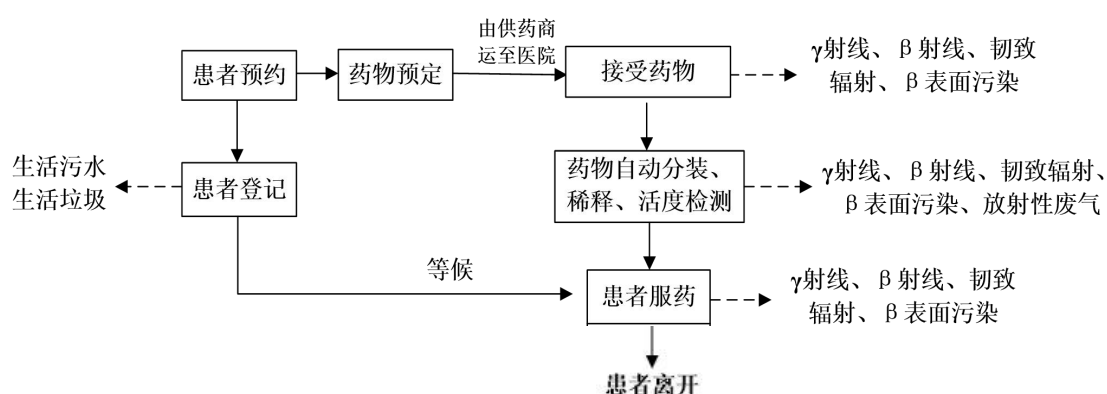


图 9-13 应用 ^{131}I 甲亢治疗流程图

甲癌治疗流程：因 ^{131}I 用药量一般低于 200mCi/人，考虑药物的排泄，一般服药后

病人第一天就代谢了药物的 55%，因此，一般患者住院 3~5 天即可出院。

核医学科病房区设置有 10 间治疗病房，均为单人间，每批最多 4 名患者，患者一般住院 3~5 天，每周最多安排 20 名患者入院。20 名患者入院批次为：第 1 天 4 名、第 2 天 4 名、第 3 天 2 名、第 4 天 4 名、第 5 天 4 名、第 6 天 2 名。

每间病房设置门禁，由工作人员远程控制门禁系统，住院期间病人不可离开核医学科病房区。每日餐点，由工作人员通过送餐室传递窗送至治疗区病房走廊内，护士站工作人员控制门禁逐个打开病房门门禁，病人逐个在窗口室上取餐及归还餐具。

具体治疗流程如下：

甲癌患者听医务人员指挥进入核医学科治疗区服药室自动分装仪处自行取药并服药，服药之后至甲癌病房住院治疗，患者满足出院（体内 ^{131}I 不高于 400MBq 或 1m 处剂量率小于 $25\ \mu\text{Sv/h}$ ）条件后离开，出院前进行 SPECT/CT 扫描检查。 ^{131}I 甲癌治疗流程图见图 9-14。

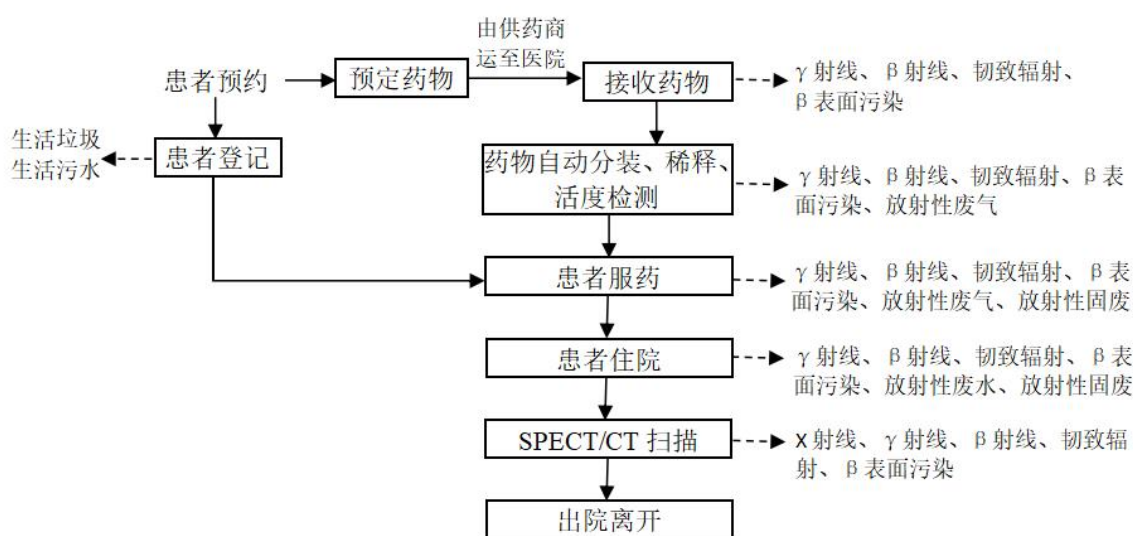


图 9-14 应用 ^{131}I 甲癌治疗流程图

② ^{89}Sr 治疗流程

医院根据患者预约情况向放射性药物厂家公司预定 ^{89}Sr 放射性药物成品针剂，由放射性药物厂家公司负责将药物运输至治疗区储源室内。使用时，转运至分装给药室，工作人员通过与注射室之间的注射窗口，为患者注射药物。患者注射放射性药物后，如无特殊情况，即由患者专门出口处离开回家。应用 ^{89}Sr 治疗流程图见图 9-15。

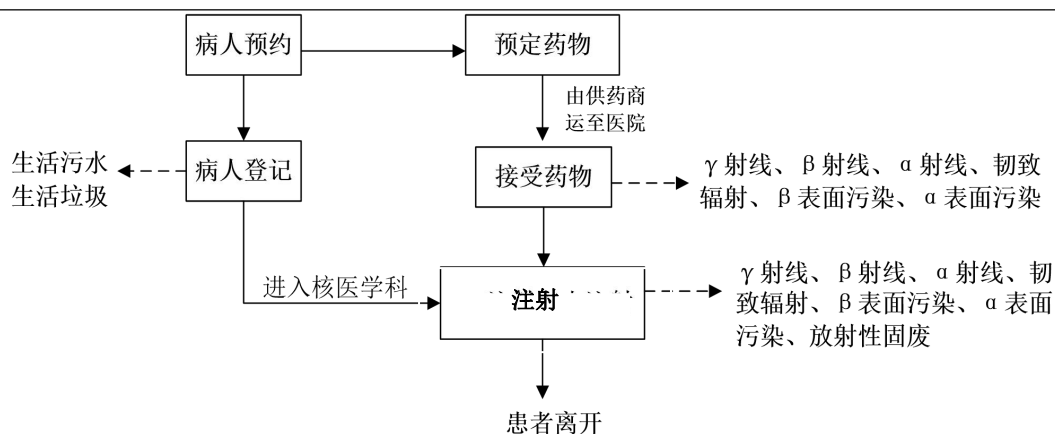


图 9-15 应用 ^{89}Sr 治疗流程图

③ ^{32}P 敷贴治疗流程

本项目拟直接向厂家订购成品敷贴器，核医学科不自己进行制作，厂家根据科室提供的敷贴面积、形状、剂量要求等定制。成品敷贴器表面已覆盖薄膜等材质，表面污染水平和剂量率均满足出厂要求。由厂家负责将药物运输至核医学科敷贴治疗室内储源箱保存。患者在核医学科预约登记后，在敷贴治疗室进行等候，核医学科工作人员将敷贴器固定在患者体表进行敷贴（操作时间约 1min）治疗，而后患者在敷贴室休息，直至治疗结束，医护人员取下敷贴器后即可离开。应用 ^{32}P 敷贴治疗流程图见图 9-16。

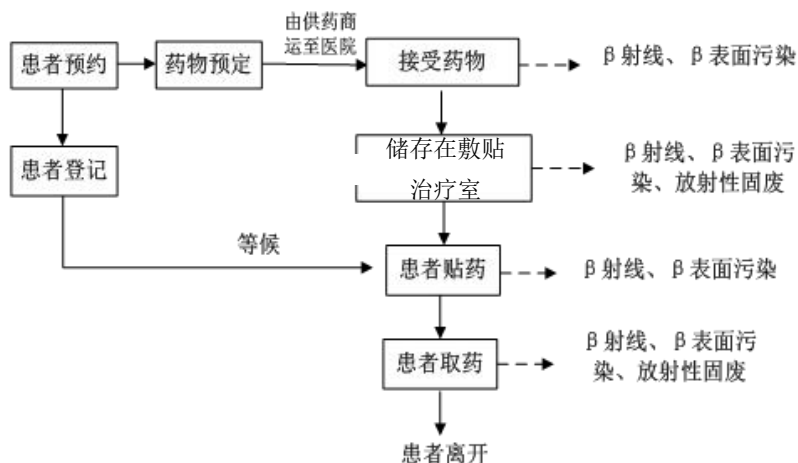


图 9-16 应用 ^{32}P 敷贴治疗流程图

(3) 工作负荷

医院使用 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 开展放射性药物治疗，预计全年 ^{131}I 甲亢治疗约 1000 人·次、 ^{131}I 甲癌治疗约 500 人·次、 ^{32}P 敷贴治疗约 200 人·次、 ^{89}Sr 转移癌治疗约 200 人·次。治疗核素使用情况见表 9-8。

表 9-8 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 等治疗核素使用情况表

核素名称		单人·次最大 用量 (Bq)	日最大 人·次	最大日操 作量 (Bq)	年就诊 人·次	年最大用量 (Bq)	用途
^{131}I	甲亢	3.70×10^8	10	3.7×10^9	1000	4.07×10^{12}	甲亢治疗
	甲癌	7.40×10^9	4	2.96×10^{10}	500		甲癌治疗
^{32}P		1.85×10^8	5	9.25×10^8	200	3.7×10^{10}	敷贴治疗
^{89}Sr		1.48×10^8	5	7.4×10^8	200	2.96×10^{10}	转移癌治疗
合计		/	24	3.5×10^{10}	1900	4.14×10^{12}	/

9.2.2.5 核医学科工作负荷小结

综上所述，项目核医学科核素使用情况汇总见表 9-9，工作负荷见表 9-10 和 9-11 所示。

表 9-9 核医学科核素用量统计表

核素 名称	用途	单人次最大 用量 (Bq)	最多接待人次 (人次)			核素用量 (Bq)		
			日	每周开 展天数	年	日	周	年
^{18}F	显像诊断	3.70×10^8	20	5	5000	7.4×10^9	3.7×10^{10}	1.85×10^{12}
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	显像诊断	9.25×10^8	30	5	7500	2.78×10^{10}	1.39×10^{11}	6.94×10^{12}
^{131}I	诊断 (甲吸)	2.22×10^5	15	5	1500	3.33×10^{10}	1.66×10^{11}	4.07×10^{12}
	治疗 (甲亢)	3.70×10^8	10	5	1000			
	治疗 (甲癌)	7.40×10^9	4	5	500			
^{32}P	治疗	1.85×10^8	5	2	200	9.25×10^8	1.85×10^9	3.7×10^{10}
^{89}Sr	治疗	1.48×10^8	5	2	200	7.4×10^8	1.48×10^9	2.96×10^{10}
合计		——	89	/	15900	7.01×10^{10}	3.45×10^{11}	1.29×10^{13}

表 9-10 核医学科设备及人员工作负荷统计表

设备名称	工作内容	诊断人数或者操作频 次 人次/年或次/年	单次所需时 间	年有效开机时 间
PET/CT	PET 显像 (含 CT 扫描 2min)	5000	15min/人次	1250h/年
	摆位	500 (按 10%计)	1min/人次	8.33h/年

SPECT/CT	SPECT 显像（含 CT 扫描 2min）	8000（含甲癌患者）	15min/人次	2000h/年
	摆位	800（按 10%计）	1min/人次	13.33h/年
表 9-11 核医学科核素操作人员负荷统计表				
设备名称	工作内容	诊断人数或者操作频次 人次/年或次/年	单次所需时间	年有效操作时间
¹³¹ I（人工分装）	甲吸测定（分装给药）	1500	1min/人次	25h/年
¹³¹ I（自动分装）	甲亢甲癌治疗（口服给药）	1500	/	/
¹⁸ F	分装	5000	0.5min/人次	41.67h/年
	注射		0.5min/人次	41.67h/年
^{99m} Tc	活度校验	7500	0.5min/人次	62.5h/年
	注射	7500	0.5min/人次	62.5h/年
³² P	敷贴治疗	200	5min/人次	16.67h/年
⁸⁹ Sr	注射	200	0.5min/人次	1.67h/年

9.2.2.6核医学人员、物品路径

（1）诊断区

项目人流规划

①SPECT/CT、PET/CT 受检者：项目受检者在核医学科候诊大厅登记后，接到就诊通知，从核医学科诊断区患者走廊东侧大门（单向门禁）进入控制区内→受检者在注射室（PET/CT 和 SPECT/CT 分开两个注射室）前静脉注射放射性药物→进入 PET/CT 和 SPECT/CT 独立的候诊室等待检查→在检查室扫描→扫描后在留观室留观，一般留观 10min→沿患者走廊出口（门禁）离开。

患者出口外的走廊通向就近楼梯间，该楼梯只通向大楼 1F，且 1F 楼梯出口处可直接通向室外道路。然后沿室外道路离开医院。楼梯出口距医院大门最近距离约 120m

②设备操作技师：核医学科工作人员办公区位于核医学控制区南侧，工作人员可由医护走廊进入控制室，工作结束，原路返回。需进行受检者摆位时，通过控制室和检查室之间的防护门进入检查室，摆位时，使用铅衣、铅防护屏等防护用品。

③放射性药物操作人员：由工作人员走廊经卫生通过间后进入放射性药物操作区→

在分装室内完成相应工作→工作结束按原来路径经卫生通过间，进行表面污染监测达标后方可离开。

项目物流规划

①放射性药物院内运输路径规划

供货方从住院楼 1F 北侧室外道路，直接将放射性药物通过楼梯间运至-1F 核医学科患者走廊北侧→通过核医学科患者走廊→经注射室和分装室→将药物放至储源间内暂存。

¹⁸F 根据医院患者量，一天最多送两次药物，运输时间一般在核医学科未开诊期间。

②放射性废物运出路径规划

每日下班后，控制区内各放射性废物专用污物桶内污物由专人收集至放射性废物暂存间内→放射性废物暂存达到清洁解控水平作为医疗废物→经过分装室、患者走廊出口、患者走廊出口外污物电梯转运至大楼一层→经室外道路送至医院医疗废物暂存间后交有资质单位处理。

（2）治疗区

项目人流规划

①甲癌患者路线：

患者由治疗区患者走廊入口（单向门禁）进入核医学治疗区域，然后在服药室（甲亢、甲癌）内自行服用 ¹³¹I 放射性药物（本项目 ¹³¹I 治疗所使用的放射性药物使用自动分装仪，由工作人员在分药仪控制室内隔室操作）→服药结束后，患者通过患者走廊进入住院病房（患者走廊设置隔离门），然后在相应病房内住院→达到出院标准后经核医学科甲癌患者出口（门禁）离开。

甲癌患者出口外走廊可以通向最近楼梯间，该楼梯只能通向医院室外绿化和道路处，楼梯出口距医院大门最近距离约 100m。

②甲亢患者路线：

服药前路径与甲癌患者一致→服药结束后，患者直接经患者走廊离开或到达甲亢留观室留观→由核医学科门诊治疗患者出口离开。

门诊治疗患者出口通向最近楼梯间和电梯间，且只能通向医院室外绿化和道路处，地面出口距医院大门最近距离约 80m。

③甲功能检查患者：

甲功能检查患者药物使用量很小，由工作人员在治疗区分装室人工分装，患者在治疗区服药室（甲吸）服药→服药结束后，由门诊治疗患者出口离开，再回到核医学科大厅吸碘率测试室进行后续检查。

④⁸⁹Sr 转移癌治疗患者：

患者由治疗区患者走廊入口（单向门禁）进入治疗区域，然后在注射室内由工作人员通过分装室和注射室之间的注射窗口注射放射性药物→注射结束后沿患者走廊，通过门诊治疗患者出口直接离开。

⑤敷贴治疗

本项目设置独立敷贴治疗室，位于甲癌患者住院病区北侧，治疗室为独立用房，患者和工作人员直接由核医学科公共走廊进入敷贴治疗室，治疗结束原路返回，敷贴治疗期间，患者在治疗室内，待治疗结束，工作人员回收敷贴器后，再离开。敷贴器为一次性使用物品，使用后的敷贴器，单独收集，交厂家回收处置。

⑥放射性药物操作人员：工作人员通过工作人员走廊，经过放射性药物操作区入口处卫生通过间穿戴防护用品→进入分装室完成相应工作→工作结束按原来路径经卫生通过间、更衣进行表面污染监测达标后方可离开。

项目物流规划

①放射性药物院内运输路径规划

供货方通过核医学科门诊治疗患者出口电梯，直接将放射性药物从地面运至核医学科内，然后经过内部走廊，将放射性药物运送至治疗区储源室内。药物运输时段在核医学科未开诊的时间，与患者离开时间错开。

②放射性废物运出路径规划

每日下班后，放射性药物操作区内各放射性废物专用污物桶内污物由专人收集至放射性废物暂存间内→放射性废物暂存达到标准规定的时间要求同时满足清洁解控水平后作为医疗废物→治疗区走廊→放射性废物转运出口→医院医疗废物暂存间后交有资质单位处理。

患者离院后，统一将住院病房内，患者住院产生的放射性废物打包封存，暂存至污染被服暂存间内，至少一个半衰期后，被服等经过表面污染监测合格后，交医院洗衣房

进行清洗，并标记，仅作为核医学科病房使用。其余放射性废物暂存达到清洁解控水平后由通过患者出口运送至医院医疗废物暂存间后交有资质单位处理。

项目核医学科人流、物流走向示意图见附图6.1所示。

9.2.3 DSA 介入治疗污染工序及污染物产生情况

9.2.3.1 工作原理及工作方式

1、X 射线产生及成像原理

本项目配置的 DSA 属于Ⅱ类射线装置，其中产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成，X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成。X 射线管结构见图 9-11，X 射线管的阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶体所突然阻挡从而产生 X 射线。

成像装置是用来采集透过人体的 X 射线信号的，由于人体各部组织、器官密度不同，对 X 射线的衰减程度各不一样，成像装置根据接收到的不同信号，通过平板探测器、计算机等方式进行成像。

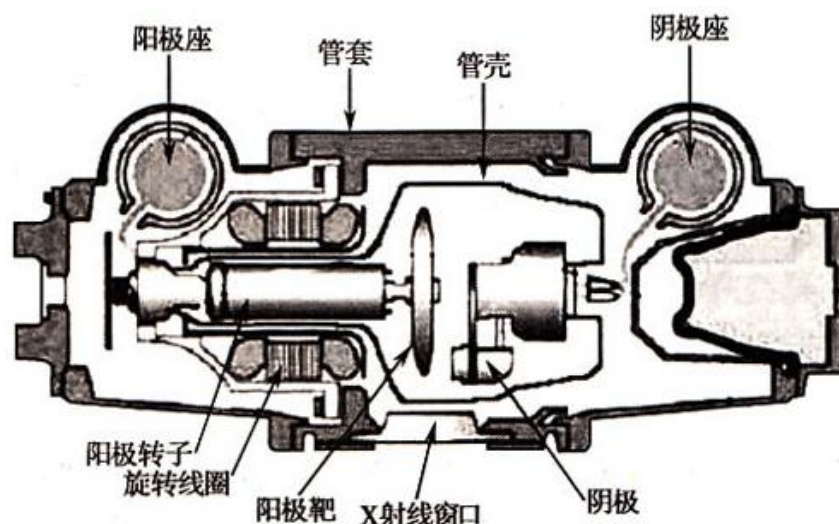


图 9-17 典型 X 射线管结构图

2、DSA 工作原理

DSA 的基本原理是先后将没有注入造影剂和注入造影剂后通过人体 X 线信号进行成像，经平板探测器转化为数字图像，并分别存储起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，消除图像中相同结构的部分，只留下单纯血管影像的减影图

像，通过显示器显示出来。通过 DSA 处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

3、工作方式

介入手术工作方式为手术工作人员在 DSA 设备的图像引导下，经皮针穿刺或引入导管做抽吸注射、引流或对管腔、血管等做成型、灌注、栓塞等，然后对疾病进行治疗。DSA 设备操作分为透视和采集的方式，采集时，手术人员位于控制室内，透视过程中，手术人员在手术室内。

9.2.3.2 设备组成

DSA 系统组成：Gantry，俗称“机架”或“C 型臂”，由“L”臂、PIVOT、“C”臂组成，同时还包括了数字平板探测器、球管、束光器等部件；专业手术床；Atlas 机柜，该机柜由 DL、RTAC、JEDI 构成；球管和数字平板探测器分别通过各自的水冷机控制温度；图像处理系统。

项目设备采用平板探测器（FD）技术成像：FD 技术可以即时采集到患者图像，对图像进行后期处理，轻松保存和传送图像。

DSA 工作示意图见图 9-18，本项目设备实物图如下图 9-13 所示。



图 9-18 DSA 工作示意图



图 9-19 DSA 示例图

表 9-10 DSA 设备参数

设备名称	DSA
型号	待定
射线装置类别	II 类射线装置
主要技术参数	额定管电压：125kV 额定管电流：1250mA
过滤板	3mmAl
等中心照射野	20cm×20cm

9.2.3.3 操作流程

DSA 主要操作流程为：在 DSA 引导下进行一系列的介入手术。在介入手术过程中，介入手术医生必须在床旁并在 X 射线导视下进行操作。

项目 DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况，采集。采集包括电影和减影两种模式，根据手术方案，采集次数不同。一般情况下，电影模式下是医生在 DSA 机房内由手术医生直接采集，医生与病人直接交流。在减影模式下则采取隔室操作的方式（即 DSA 技师在控制位内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。实

实际操作过程中，减影模式下手术医生也可能在 DSA 机房内的移动铅防护屏后。无论哪种工作模式，医生在 DSA 机房内必须身着铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等个人防护用品。

第二种情况，透视。病人需进行介入手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时介入手术医生位于铅悬挂防护屏（或铅防护吊帘）、床侧防护帘（或床侧防护屏）等辅助防护设施后，并身着铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等个人防护用品在 DSA 机房内对病人进行直接的介入手术操作。

DSA 操作流程及产污环节见图 9-20 所示。

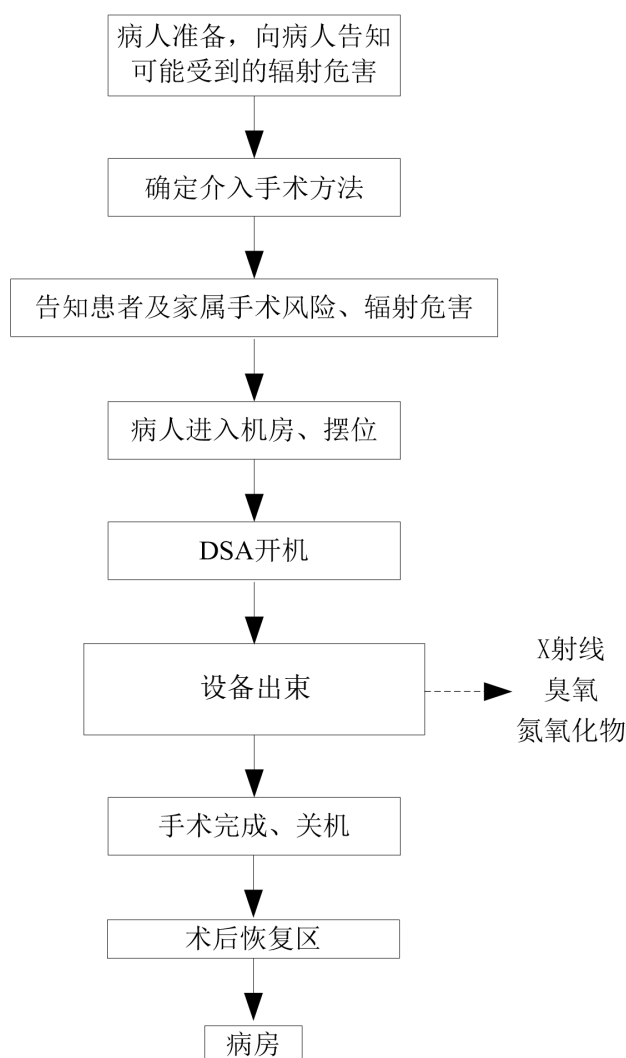


图 9-20 DSA 介入设施工作流程及产污环节图

9.2.3.4 工作负荷

根据医院提供的资料，医院开展介入手术的工作负荷见表 9-11。

表 9-11 医院 DSA 工作负荷表（单台）

透 视					
手术类别	年开展工作量（台）	每台手术透视曝光时间（min）		年透视曝光时间（h）	
心血管介入	400	约 20		约 133.33	
神经介入	100	约 21		约 35	
外周等其他介入	300	约 15		约 75	
小计	800	/		243.33	
采 集					
手术类别	年开展工作量 （台）	单次采集时间 （S）	单台手术采 集次数（次）	单台手术最大采 集时间（min）	年采集时间 （h）
心血管介入	400	3~4	6~10	约 0.67	约 4.47
神经介入	100	6~10	4~10	约 1.67	约 2.78
外周等其他介入	300	3~5	1~3	约 0.25	约 1.25
小计	800	/			约 8.50
总计	/				约 251.83

由上表可知，本项目每台 DSA 年透视时间约 243.3h，采集时间约 8.5h，单台 DSA 总年有效开机时间约 251.8h。

9.2.3.5 人流物流路径

1、介入手术中心

工作人员路径：工作人员通过手术中心工作人员出入口，更换衣物后，通过缓冲间进入DSA控制廊，再进入DSA机房，工作结束，原路返回。

患者路径：手术病人由手术中心患者入口直接进入换床区换床，然后通过手术中心患者走廊的直接进入DSA机房，手术结束后原路返回。DSA机房4患者出入口处额外设置了缓冲间；

物流路径：DSA机房1~3的污物由机房大门转运，手术结束后，手术过程中产生的医疗废物通过各DSA机房患者大门经患者走廊西侧污物转运口运出介入手术中心。DSA机房4设置单独的污物通道，手术结束后，手术过程中产生的医疗废物通过DSA

机房1朝向污物通道的防护门经污物通道运出。所有废物最终转运至医院医疗废物暂存间。

2、急救中心手术室

工作人员路径：工作人员通过手术室工作人员出入口，更换衣物后，进入DSA控制室和机房开展工作，工作结束，原路返回。

患者路径：手术病人由换床区换床，然后通过直接进入DSA机房，手术结束后原路返回；

物流路径：DSA机房设置单独的污物通道，手术结束后，手术过程中产生的医疗废物通过DSA机房朝向污物通道的防护门转运出去。

项目DSA手术室人流、物流走向示意图见附图7.1和7.2所示。

9.3 污染源项描述

9.3.1 放疗中心

9.3.1.1 电离辐射

本项目放疗中心共配置2台X射线能量最高为10MV的医用电子直线加速器和1台CT模拟定位机。本项目直线加速器X射线最高能量为10MV，不考虑感生放射性。

1、X射线

医用电子直线加速器：加速器电子枪产生的电子经过加速后撞击金属靶产生高能X射线，其最大能量为10MV，其贯穿能力极强。因此，在加速器运行期间，X射线为主要污染因子。

主射线：当加速器中光阑完全打开时，从辐射头靶射出的X射线为一个半角为 $(28/2)^\circ$ 的锥形线束，其标称能量为10MV。主射线是唯一用于治疗目的的射线，又称有用线束。

漏射线：由靶向外从各个方向上穿过辐射头泄漏出来的射线成为漏射线。

散射线：当主射线射入治疗台上的人体时，会产生散布于各个方向上的次级散射辐射，这种散射线能量比主射线能量低得多，剂量率决定于被照区域，初级射线能量和散射角度。

另外，CBCT系统的CT最大管电压150kV，考虑常规设备的过滤板为3mmAl。根据射线衰减原理和《辐射防护导论》附图3，离靶1米处的发射率约为

13.4mGy·m²/mA·min。该能量和剂量率相对 10MV 直线加速器来说非常微小，且 CBCT 在 150kV 电压条件下所对应的使用电流很小，且对机房外的影响均为散射辐射影响，因此，本报告后文的机房屏蔽效能核算及控制室操作人员的年剂量估算不再考虑该部分影响。

CT 模拟定位机：拟配置的 1 台 CT 模拟定位机产生 X 射线，在开机不曝光或不开机状态下均不产生 X 射线。X 射线能量在零和曝光管电压之间，为连续能谱分布，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。辐射场中的 X 射线包括有用线束、漏射线和散射线，因有用线束受影像探测器阻挡，机房内以散射线为主。

有用线束：CT 模拟定位机最大管电压 140kV，考虑常规设备的过滤板为 3mmAl。根据射线衰减原理和《辐射防护导论》附图 3，离靶 1 米处的发射率约为 11.8mGy·m²/mA·min。

漏射线：由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。

散射线：由有用线束及漏射线在各种散射体（限束装置、受检者、射线接收装置及检查床、墙壁等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离等有关。

2、电子束

加速器在运行时产生的高能电子束，其最大能量为 22MeV，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。然而被加速器加速的电子束穿过薄膜窗从加速器中引出后，成为能量较高的外电子束，它在空气中的射程较长，这时要绝对禁止非治疗人员在加速器开机时误入治疗室，以防被电子束或散射电子照射造成事故。

9.3.1.2 非放射性“三废”

1、废气

A：直线加速器

主要考虑直线加速器运行过程中，产生的臭氧和氮氧化物。由于直线加速器主要使用 X 射线进行治疗，使用电子束情况较少，因此主要按 X 射线估算产生 O₃ 情况。根据文献《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等，中华放射医学与防护杂志，1994 年 4 月第 14 卷第 2 期）中给出的扩展射线束所致 O₃ 产额的公式进行估算，其计算公式如下：

$$P = 2.43 \times D_o(1 - \cos \theta)RG \quad (9-1)$$

式中：P：扩展射线束单位时间内产生的 O₃ 的总质量，mg/h；

D_o：距射线束源点 1m 处的空起比释动能率，Gy·m²/min；

R：射线束中心轴上源点至治疗室墙壁的距离，m；

G：空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 分子数，取值为 10；

θ：射线束的半张角，取值为 14°。

加速器屏蔽体外部非有用线束区域的漏射线所致臭氧产额为有用线束的 10%，因此本项目臭氧的实际产额按照上述公式计算值的 1.1 倍取值。各参数的取值和计算结果见表 9-13。

表 9-13 医用电子直线加速器的 O₃ 产额的计算参数和计算结果

治疗室	D _o (Gy·m ² /min)	R (m)	G	θ (°)	P (mg/h)
直线加速器机房	24	4.5	10	14	85.75

根据《三种电子加速器产生的臭氧危害分析》（中国辐射卫生 2020 年 6 月第 29 卷第 3 期），氮氧化物（主要为二氧化氮）产额考虑为 O₃ 产额的一半，则医用电子直线加速器运行时，直线加速器机房内氮氧化物产额为 42.87mg/h。

B：CT 模拟定位机

模拟定位机运行产生的 X 射线与空气作用，产生少量的臭氧和氮氧化物等废气。

2、废水

主要为工作人员、患者和家属产生的生活污水，产生量小。

3、固废

主要为诊疗过程中产生的非放射性医疗废物、工作人员和患者等产生的一般生活垃圾。项目配置的铅橡胶衣、帽子等含铅防护用品，在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品。直线加速器更换下来的机头结构组件等。

9.3.2 核医学科

由核医学科操作流程及核素辐射特性表可知，本次放射性同位素使用过程中主要污染因子包括：β射线、γ射线、β表面污染、放射性“三废”。PET/CT、SPECT/CT 仅在使用 CT 模式下扫描产生 X 射线。

医院使用的放射性同位素性能特性参数见表 9-14。

表 9-14 医院使用放射性同位素特性参数

序号	核素		半衰期	衰变模式	α/β 最大能量 MeV	光子能量 MeV	毒性分组	性状	Γ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	操作方式	用途	摄入方式	工作场所	来源
1	氟	^{18}F	109.8 min	β^+ , EC	0.63 (+)	0.511	低毒	液体	0.143	很简单的操作	PET/CT 显像诊断	注射	PET 分装室	外购成品药物
2	锝	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	同质异能跃迁	—	0.140	低毒	液态	0.0303	很简单的操作	SPECT/CT 显像诊断	注射	SPECT 分装室	外购成品针剂
3	碘	^{131}I	8.02d	β^-	0.602	0.284, 0.365, 0.637	中毒	固态	0.0595	简单操作		口服		外购成品胶囊
4	磷	^{32}P	14.26d	β^-	1.71	—	中毒	固态	—	简单操作	敷贴治疗	体表接触	敷贴治疗室	外购成品敷贴器
5	锶	^{89}Sr	50.53d	β^-	0.5846	—	中毒	液态	—	简单操作	肿瘤骨转移治疗	注射	服药室	外购成品针剂

注：EC 表示轨道电子俘获； Γ 表示距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ；“—”表示无相关数据；上表数据主要来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 H。

9.3.2.1 电离辐射

1、 β 射线

本项目核医学科使用 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 过程中会产生 β 射线，其 β 射线能量在 0.5846~1.71MeV 之间， β 射线在人体组织中的射程较短，患者的身体完全能够阻挡 β 射线，同时人体皮肤也能有效阻挡 β 射线进入人体。

2、 γ 射线

本项目核医学科使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 过程中会产生 γ 射线，其 γ 射线能量在 0.14MeV~0.637MeV 之间， γ 射线在人体组织中的射程较长，患者的身体不能完全能够阻挡 γ 射线，同时人体皮肤也不能有效阻挡 γ 射线进入人体。因此，本项目评价时将考虑 γ 射线的影响。

3、韧（通“韧”，下同）致辐射

本项目核医学科使用的 ^{32}P 、 ^{89}Sr 等放射性核素的 β 粒子穿过周围物质时将产生韧致辐射。

4、 β 表面污染

医生在操作放射性核素过程中，不可避免地会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污，造成 β 放射性表面污染。

5、X 射线

核医学科使用的 PET/CT、SPECT/CT 装置使用 CT 模式扫描产生 X 射线。以上装置在开机并曝光时产生 X 射线，在开机不曝光或不开机状态下均不产生 X 射线。X 射线能量在零和曝光管电压之间，为连续能谱分布，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。辐射场中的 X 射线包括有用线束、漏射线和散射线。

①有用线束：直接由 X 射线球管产生的电子通过打靶获得 X 射线并通过辐射窗口用来照射人体，形成诊断影像的射线。X 射线的能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。X 射线管的管电压、管电流越高，光子束流越强。根据射线衰减原理和《辐射防护导论》中附图 3 恒定电压为 50~200kV 时 X 射线机的发射率常数，本项目 PET/CT、SPECT/CT 的过滤板均为 3mmAl，额定电压为 140kV，查图可知，离靶 1 米处的发射率约为 $11.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。

②漏射线：由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。

③散射线：由有用线束及漏射线在各种散射体（限束装置、受检者、射线接收装置及检查床、墙壁等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离有关。

9.3.2.2 废气

1、放射性废气

核医学科开展诊断、治疗活动过程中，放射性药物活度测量、分装、稀释等操作过程中会产生少量的放射性气溶胶废气。本项目使用的放射性核素包括 ^{18}F 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等，其中离子型的 ^{131}I 放射性药物易氧化析出 ^{131}I （单质碘），碘在常温下易挥发，产生放射性气溶胶，其他放射性核素均购买成品药物/针剂，操作比较简单，在正常工作情况下均不会产生气溶胶和蒸汽，仅在操作失误，射性物质泼洒在工作台面或地面，可能会有微量药物挥发进入空气中。

核医学科废气经专用排风系统收集后引至住院楼 11F 楼顶经活性炭吸附后高于楼顶排放。住院楼为医院最高建筑物，项目所在区域全年主导风向为西北风，核医学科排风口下风向 200m 范围内，均没有高于其的建筑物。

2、非放射性废气

X 射线、 γ 射线与空气作用，产生少量的臭氧和氮氧化物等废气。

9.3.2.3 废水

1、放射性废水

本项目采用污污分流的方式。放射性废水主要来自受检者/患者排泄物；工作人员操作放射性药物的过程中手部可能受到微量放射性核素标记液污染的洗手水；清洗控制区室内地面、工作台和一些重复使用的医疗器械带有微量放射性核素标记液的清洗水等。本项目在同一天参与放射性药物操作的约 6 名工作人员，其用水定额按 5L/人·d 考虑（洗手用水），本项目病人每天最多约 95 人，包括：20 名 PET/CT 受检者、30 名 SPECT/CT 受检者、10 名甲癌患者（按一天最多同时在病房住院的人数考虑）、10 名甲亢患者、5 名 ^{89}Sr 骨转移治疗患者、5 名敷贴治疗患者和 15 名甲吸患者。

^{89}Sr 骨转移治疗和甲亢患者给药后无异常一般直接通过患者走廊离开核医学科。另敷贴治疗患者为使用固态物质包裹的放射性核素，放射性药物不参与体内代谢。一般情况下，不考虑上述部分患者的放射性废水收集处理。但治疗区设置有甲亢留观室，部分

需要留观的甲亢患者可在留观室短时留观，其产生的放射性废水按照每天 3 名甲亢患者在留观室留观考虑。

放射性废水主要来源为 PET/CT 和 SPECT/CT 显像检查（注射药物后，需在相应候诊区候诊并排泄）和甲癌患者住院治疗相关工作产生的放射性废水量。

项目核医学科设计两套独立的放射性废水处理设施。1#衰变处理设施为“含碘放射性废水”收集处置，主要收集治疗区：治疗区卫生通过间、清洁间、甲亢留观室、甲癌病房等涉及 ^{131}I 等长半衰期放射性核素区域的放射性废水；2#衰变处理设施为“其他放射性废水”收集处置，主要收集诊断区：诊断区卫生通过间、抢救室、SPECT/CT 候诊室、PET/CT 候诊室、留观室等区域（主要含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等短半衰期放射性核素）的放射性废水。

项目产生的放射性废水除放射性外，其余因子均为普通医疗废水，因此，放射性废水单独收集后经项目废水衰变处理设施处理后，再排入医院污水处理站进一步处理。

“含碘放射性废水”产排情况：每天参与放射性药物的操作的为 2 名医务人员，操作药物过程中洗手水按 5L/人·d 考虑；患者住院前，需进行宣教工作，指导其在住院期间节约用水，并根据运行情况加装节水管控装置，因此 10 名甲癌住院病人按人均 100L/d 计；每天甲亢留观患者为 3 名，用水量按 16L/人·d 考虑；住院病人的离院前的 SPECT/CT 扫描为直接由病房往返 SPECT/CT 检查室，在病房排泄。治疗区控制区区域约 500m²，每天清洁 1 次，用水量按照 0.1L/m²·次计。

“其他放射性废水”产排情况：每天参与放射性药物的操作的为 4 名医务人员，操作药物过程中洗手水按 5L/人·d 考虑。核医学科门诊注射诊断病人用药含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的病人需要在核医学科候检或留观，最多 50 人次/d，考虑排泄频率为 2 次/人次，用水量按 8L/人·次计。根据《节水型卫生洁具》(GB/T31436-2015)规定，节水型蹲便器用水量应不大于 6L，本次考虑洗手水等用水量按 8L/人·次计。

项目放射性排水情况见表 9-16。

表 9-16 项目放射性废水排放情况表

用水类别		用水定额	用水规模	用水量 (L/d)	排水量 (L/d)	排水量(L /月)	排水量 (m ³ /年)	去向
治 疗	药物操作 工作人员	5L/人·班	2 人	10	10	200	2.4	经 1#衰变 处理设施

区	甲癌病人	100L/人.d	10 人	1000	1000	30000	360	处理达标 后排入医 院污水处 理站。
	甲亢病人	16L/人.d	3 人	48	48	960	4.8	
	清洁用水	0.1L/m²·次	约 500m²	50	45	900	10.8	
	未预见水量按以上水量的 10%计			110.8	110.3	3174	38.1	
	小计			1219	1213	35234	416	
诊 断 区	药物操作 工作人员	5L/人·班	4 人	20	20	400	4.8	经 2#衰变 处理设施 处理达标 后排入医 院污水处 理站。
	受检者	16L/人·d	50 人	800	800	16000	192	
	清洁用水	0.1L/m²·次	约 400m²	40	36	720	8.6	
	未预见水量按以上水量的 10%计			86	83.6	1676	20.5	
	小计			946	919	18436	226	
总计				2.15m³ /d	2.12m³/ d	53.35m³/ 月	642m³/a	

注：①医护人员、患者/受检者排水系数取 1，清洁用水排水系数取 0.9。

②诊断区按照 20d/月计。治疗区药物操作、甲亢留观和工作场所清洁按照 20d/月计，住院病房按 30d/月计。

2、非放射性废水

本项目主要产生的非放射性废水主要来源于核医学科医务人员、病人（等候未用放射性药物时产生）及家属产生，属于一般医疗废水和生活污水。项目核医学科位于医疗综合楼内，这些就诊人员、医院工作人员的废水产生量已纳入整个医院用排水考虑，本报告不再单独核算。

9.3.2.4 固废

1、放射性固废

本项目核医学科控制区产生的放射性固废主要包括：

放射性废物（棉球、注射器、针头等）：核医学科 ¹⁸F 等放射性药物需分装，产生的放射性固体废物包括棉球、空药瓶、注射器、针头等，清洁污染用的吸水纸、纸巾等，其产生量大约为 5.0kg/a。诊断区将进行含 ¹⁸F、^{99m}Tc 放射性药物的给药，给药方式均为注射，产生的放射性固体废物包括：一次性注射器、针头、手套、棉签等，产生量约 625kg/a。治疗区将进行含 ¹³¹I 和 ⁸⁹Sr 放射性药物的给药，¹³¹I 给药方式为口服，⁸⁹Sr 给药方式为注射，产生的放射性固体废物包括：一次性纸杯、纸巾、一次性注射器、针头、手套、棉签等，产生量约 40kg/a。核医学科住院病人产生的放射性固废主要包括：可能

沾染放射性药物的餐盒、纸巾等，产生量约 500kg/年。敷贴治疗产生的放射性废物主要为废弃敷贴器，作为放射性废源，交厂家回收处置。

废活性炭：核医学科放射性废气处理系统采用活性炭吸附，活性炭 3~6 个月更换一次，核医学科废气处理的活性炭吸附设施共 12 个（2 台手套箱和自动分装仪上方各 1 个，9 套管网排放口处各 1 个），每次装填的活性炭滤网共重约 100kg，则废活性炭产生约 400kg/a（按每 3 月更换一次）。

住院病房可能沾染放射性药物的被服（血液、汗液、尿液等沾染），约 3kg/人，待其在病房废物间内至少衰变一个半衰期并达到清洁解控水平后，清洗消毒处理后再利用。

核医学科实行预约制，非正常情况下少量未用完的放射性药物，短半衰期（ ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）的到诊断区废物间暂存衰变，长半衰期（ ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr ）的在治疗区废物间暂存衰变，达到要求后作为一般医疗废物处理。

表 9-17 放射性固废产生情况

产生来源		污染物种类	产污系数	产污数量	产生量	处理方式		
诊 断 区	药物分装	一次性注射器、针头、棉签等	/	/	约 5kg/a	每天分类收集在诊断区废物间衰变处理，衰变时间不低于 30 天。	达到衰变时间后并经监测合格后作为一般医疗废物交有医疗废物处置资质的单位处置。	
	给药	一次性注射器、针头、手套、棉签等	50g/人·次	12500 人·次/a	约 625kg/a			
	给药	未用完的放射性药物	/	微量	/			
	小计		/	/	约 630kg/a			/
治 疗 区	给药	一次性注射器、针头、手套、棉签等	50g/人·次	200 人·次/a	约 10kg/a	每天分类收集在治疗区废物间内衰变处理。 ¹³¹ I 衰变时间不低于 180 天， ³² P、 ⁸⁹ Sr 不小于十个半衰期。	达到衰变时间后并经监测合格后作为一般医疗废物交有医疗废物处置资质的单位处置。	
	给药	未用完的放射性药物	/	微量	/			
	服碘	一次性纸杯	10g/人·次	3000 人·次/a	约 30kg/a			
住 院 区 域		纸巾、餐盒等	1kg/人	500 人·次/a	约 500kg/a	每天收集打包后直接到病房废物间内衰变处理。		
		小计		/	/	约 540kg/a		/
		可能沾染放射性药物的被服		3kg/人·次	500 人·次/a	约 1500kg/a		暂存在核医学科被服衰减室衰减，达到清洁解控水平后，再进行清洗消毒处理和再利用。
放射性废气处理		废活性炭	100kg/次	4 次/a	约 400kg/a	暂存在治疗区废物间内，全部按照 ¹³¹ I 的衰变要求时间 180 天衰变后监		

					测合格后作为一般医疗垃圾处置。
总计	/	/	/	约 1570kg/a	/
备注：使用后的敷贴器、住院患者使用的被服不计入废物总量。					
2、非放射性固废 核医学科配置的铅防护用品使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品。 SPECT/CT 和 PET/CT 使用一定年限后，可能不能正常工作，报废成为固体废物，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化，报废的设备交由物质回收部门处置。其中报废的阴极射线管属于《国家危险废物名录》中 HW49 其他废物（废物代码：900-044-049），作为危险废物交有资质单位处置。 核医学科位于医疗综合楼内，核医学科运行产生的非放射性医疗废物和生活垃圾较少，本报告不再单独核算。 9.3.3DSA介入治疗 9.3.3.1 电离辐射 与电离辐射危害有关的辐射安全环节主要为 DSA 设备 X 射线球管出束照射患者期间，产生的 X 射线能量在零和曝光电压之间，为连续能谱分布，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。辐射场中的 X 射线包括有用线束、漏射线和散射线。 1、有用线束 直接由 X 射线球管产生的电子通过打靶获得 X 射线并通过辐射窗口用来照射人体，形成诊断影像的射线。其射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。靶物质原子序数，加在 X 射线管的管电压、管电流越高，光子束流越强。由于本项目 X 射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。 DSA 具有自动照射量控制调节功能（AEC），采集时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低，照射量减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量率增大。为防止 X 射线球管烧毁并延长其使用寿命，在实际使用时，管电压和管电流通常留有约 30% 的裕量。根据医院资料提供资料及重庆市多家医院 DSA 的设备工作条件发现：①在极端情况下，DSA 透视工况运行管电压为额定电压，即 125kV，电流自动跟随电压，电流不大于 110mA；在极端情况下，DSA 采集工况运行管电压也为额定电压，即 125kV，电流自动跟随电压，电流不大于 500mA。②常用透视工况为 60~90kV/5~20mA，采集工					

况为 60~90kV/300~500mA。

根据射线衰减原理和《辐射防护导论》（P342，附图 3），本项目 DSA 过滤板按常规设备考虑为 3mmAl，额定电压和常用最大电压距靶 1m 处有用线束的发射率见表 9-18。

表9-18 额定电压和常用最大电压距靶1m处有用线束的发射率

序号	电压	距靶1m处有用线束的发射率
1	额定电压125kV	9.8mGy•m ² /mA•min
2	常用最大电压90kV	5.3mGy•m ² /mA•min

2、漏射线

由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。根据 NCRP147 号报告第 138 页 C.2 可知，DSA 的漏射线剂量率很小，泄漏辐射距焦点 1m 处，在任一 100cm²区域内的平均空气比释动能不超过 1mGy/h。

3、散射线

由有用线束及漏射线在各种散射体（限束装置、受检者、射线接收装置及检查床、墙壁等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离等有关。

9.3.3.2 废气

X 射线与空气作用，可以使气体分子或原子电离、激发，产生臭氧和氮氧化物，影响室内空气质量。臭氧和氮氧化物是一种对人体健康有害的气体。根据《X 射线工作场所臭氧氮氧化物浓度监测》（中国辐射卫生 1998 年第 7 卷第 3 期，郝海鹰、刘容、王玉海），在正常通风的摄片机房、透视机房、CT 室内（工作电压 70~90kV 下）射线装置正常工作 1 小时后，机房内的臭氧浓度最大为 0.064mg/m³，氮氧化物的浓度最大为 0.042mg/m³。本项目 DSA 机房面积、设备运行参数与其基本一致，因此机房内臭氧等浓度也基本一致。

9.3.3.3 固废

介入手术过程中主要产生感染性和损伤性废物，属于《国家危险废物名录》中 HW01 医疗废物。医院在 DSA 机房内设置感染性和损伤性废物收集桶，并粘贴标识。

DSA 在运行时均采用实时成像系统，不洗片，不产生洗片废液，无废片产生。项目产生生活垃圾依托院内生活垃圾暂存间暂存交环卫部门处理。介入工作场所拟配置的多

套铅橡胶衣、帽子等含铅防护用品，铅防护用品使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品。

DSA 使用一定年限后，可能不能正常工作，报废成为固体废物，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化，报废的设备交由物质回收部门处置。其中报废的阴极射线管属于《国家危险废物名录》中 HW49 其他废物（废物代码：900-044-049），作为危险废物交有资质单位处置。

9.3.3.4 废水

本项目产生的少量医疗废水进入医院污水处理站统一处理，达标后排入市政管网。

9.3.4 污染源项小结

综上，本项目主要污染物产生情况统计汇总见表 9-19。

表 9-19 本项目主要污染物情况统计汇总表

场所		污染类型	主要污染因子		最大产生量		处理方式及去向	
放疗中心	直线加速器机房	电离辐射	X 射线		10MV，主射束方向 1m 处剂量率最大为 24Gy/min		屏蔽体防护	
			电子线		不大于 22MeV			
	CT 模拟定位机机房	电离辐射	X 射线		X 射线能量不大于 140kV，距靶 1m 处主射束的输出量不大于 11.8mGy•m²/mA•min。		屏蔽体防护	
DSA 机房		电离辐射	X 射线		距靶 1m 处有用线束的发射率：125kV 下 不 大 于 9.8mGy• m² /mA•min； 漏射线距焦点 1m 处平均空气比释动能率不超过 1mGy/h		屏蔽体防护	
核医学科		电离辐射	β射线、β表面污染		能量不大于 1.71MeV		屏蔽体防护	
			γ射线		能量不大于 0.637MeV			
			X 射线	PET/CT、 SPECT/CT	X 射线能量不大于 140kV，距靶 1m 处主射束的输出量不大于 11.8mGy/mA•m²•min			
		放射性三废	废气	^{99m} Tc、 ¹⁸ F、 ¹³¹ I 等		少量		活性炭吸附后高于项目所在楼屋顶排放
			废水	1#收集系统主要含 ¹³¹ I；2#收集系统主要含 ¹⁸ F、 ^{99m} Tc		2.12m³/d，644.95m³/a		分别排入 1#、2#废水衰变处理设施处理后再排入医院污水处理站处理。
			固废	一次性注射器、针头、手套、棉签等，一次性纸杯、纸巾、餐盒、清洁用抹布、清洁污染用的吸水纸等		含 ¹⁸ F、 ^{99m} Tc 的	630kg/a	暂存在废物间内，达到衰变时间后并经监测合格后作为一般医疗废物交有医疗废物处置资质的单位处置
						含 ¹³¹ I、 ⁸⁹ Sr 的	540kg/a	
		废活性炭		400kg/a				

			未使用完的放射性药物	微量	短半衰期 (^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$) 的在核医学废物间暂存衰变, 达到要求后作为一般医疗废物处理, 长半衰期 (^{131}I) 交厂家回收。
			可能沾染放射性药物的被服	1500kg/a	暂存在核医学科污染被服暂存间衰减, 达到清洁解控水平后, 再进行清洗消毒处理和再利用
本项目	非放射性废气		臭氧、氮氧化物等	少量	通风换气
	非放射性废水		医疗废水、生活污水	少量	依托医院污水处理系统收集处理
	非放射性固废		医疗废物	少量	依托医院医疗废物暂存间暂存, 交有资质的单位处理
			生活垃圾	少量	依托医院收运系统, 交环卫部门处理
			废铅防护用品	少量	由医院收集、暂存后交有资质单位处置
			加速器机头更换组件	少量	厂家回收
			报废的 DSA、CT 模拟定位机、PET/CT、SPECT/CT	/	设备去功能化后交物资回收单位回收, 其中阴极射线管为危险废物, 交有资质单位回收

表 10 辐射安全与防护

10.1 选址可行性

10.1.1 放疗中心

选址原则

GBZ121-2020：放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端。

HJ 1198—2021：

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；

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

本项目可行性分析

本项目放疗中心选址时充分考虑了其对周边环境的辐射影响，放疗中心位于医院-1F北侧，医院地下建筑整体连通，共两层，其中放疗中心所在区域下方无建筑物，为土壤层，因此放疗中心所在位置为建筑物底层一端。放疗中心周边相邻区域主要为土壤层、核医学科、下沉庭院、电梯厅等。避开了儿科、产科等敏感人群区域。因此，放疗中心选址符合标准规定的选址原则，选址可行。

10.1.2 核医学科

选址原则

HJ 1188—2021：

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。

核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

GBZ120-2020：

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。

本项目可行性分析

本项目核医学科工作场所位于医院-1F北侧，与放疗中心相邻布置，位于所在楼层的一端，其北侧为土壤层，南侧为下沉庭院，西侧为地下停车场车道，东侧为放疗中心等，核医学科上方为静配中心和室外道路、绿化等，下层为土壤层，不与产科、儿科、食堂毗邻，四周相邻区域大多为人员驻留时间较短的场所。核医学科工作场所集中设置，与周边区域均有实体屏蔽，工作场所设置独立出入口，有独立的人员和物流通道，其中患者出口可以通向室外道路，避免了门诊大厅、收费处等人群稠密区域。核医学科放射性废气排放口位于住院楼11F屋顶上方，住院楼为医院最高建筑物，排风口100m范围内，无高于其位置的建筑。放射性废水衰变设施位于住院楼北侧室外土壤层内，其四周均为土层，上方为室外绿化，无人员长期驻留位置。

综上，项目核医学科选址满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，选址可行。

10.1.3 DSA介入治疗

本项目共设置2个DSA工作场所，分别位于门急诊楼B区1F急救中心和医技楼1F介入手术中心，2个工作场所均为独立区域，除DSA机房外，配套设置工作人员更衣、患者等候、工作人员操作等用房。工作场所周边相邻区域为大楼内走廊，常驻人员较少。项目拟采取的防护方案满足标准要求，对周围环境影响可以接受。因此，从辐射环境保护和介入手术诊疗的角度需求分析，项目选址可行。

10.2 工作场所布局

10.2.1 放疗中心

10.2.1.1 布局情况

本项目放疗中心共设置2间直线加速器机房、1间CT模拟定位机房和1间MR模拟定位机房，2间加速器机房相邻布置，2间模拟定位机房共用1间控制室。2间直线加速器机房均设置有直迷路，机房外设置控制室和设备间。直线加速器机房和CT模拟单位机房的屏蔽主体结构均拟采用混凝土。直线加速器机房有用线束投照方向为南北两侧，分别朝向土壤层和走廊。CT模拟定位机房与控制室间设置铅玻璃观察窗，观察窗设置位置便于查看机房内患者情况。工作人员办公区集中设置在放疗中心东侧，另在放疗中心候诊大厅处设置护士站和诊室。候诊大厅位于放疗中心主入口处，便于患者就诊。

10.2.1.2布局合理性分析

(1) 本项目直线加速器机房和模拟定位机房设置在走廊两侧，相对集中，便于放疗工作的开展。

(2) 直线加速器机房设置有迷路，机房屏蔽体采用混凝土结构，加速器控制室设置在机房外，另直线加速器机房外单独设置有水冷机房和设备间。

(3) 直线加速器机房有用线束投照方向未朝向控制室，也不朝向迷路方向。

(4) CT模拟定位机房独立设置，控制室与机房间设置铅玻璃观察窗，观察窗设置位置便于查看机房内患者情况。

因此，综合考虑，本项目放疗中心工作场所布局合理。

10.2.2 核医学科

10.2.2.1布局情况

分别设置诊断区和治疗区，2个区域的工作人员、患者、放射性药物和废物路径均相互独立。诊断区和治疗区中间为下沉庭院，工作人员办公区位于诊断区南侧，与诊断区间隔有室内走廊。诊断区设置有包括1间PET检查室、1间SPECT检查室、设备控制室、药物分装室、注射室、储源室、PET注射后候诊室、SPECT注射后候诊室、废物间、卫生通过间等功能用房，各用房沿患者走廊依次布置，患者入口旁为放射性药物分装和注射等用房，然后患者走廊两侧分别布置注射后候诊室、检查室和留观室，患者走廊出口外为室内走廊，通向检查患者出口，出口为专用楼梯间（患者出口电梯在-1F层需刷卡才能开启，患者离开不能使用电梯），只通向大楼1F，1F出口可直接到达室外道路。治疗区设置有包括10间住院病房（单人间）、抢救室、服药室、分装室、甲亢留观室、废物间、储源室、配餐间、污染被服暂存间、卫生通过间等用房，住院病房与药物操作区之间使用防护门隔断，且住院患者和门诊治疗患者离开通道相互独立。除办公区、诊断区和治疗区外，核医学科设置有独立实验室，位于核医学科最北侧。

10.2.2.2 布局合理性分析

(1) 核医学科治疗场所和诊断场所分开布置，且人员、物品路径相对独立。诊断区和治疗区内用房均按照诊疗流程布置，诊断区患者入口处为注射室然后沿患者走廊依次布置候诊室、检查室、留观室等用房，治疗区的住院病房独立成区，与患者服药等场所之间使用防护门隔断，门诊治疗患者服用/注射药物后由专用出口离开，住院患者住院期间活动范围限值在住院病房和病房走廊内，达到出院要求后从病房走廊的患者专用出

口离开。核医学科诊断和治疗两个部分的控制区均集中设置，高活度区集中在入口端，便于管理。

(2) 诊断区和治疗区的人流、物流通道相互独立，2个区域均设置有独立的工作人员和患者通道，工作人员通道和患者通道之间不交叉，减少了给药后患者对其他人员的照射。核医学科患者出入口均设置单向门禁，就诊前，患者在核医学科大厅等候，接到通知的患者/受检者才会进入控制区内。患者给药区在患者入口处，采用预约叫号的方式，依次安排患者进入控制区内，避免给药前和给药后患者交叉。

(3) 放射性药物和放射性废物运输依托患者通道，但其转运时间都是在核医学科不开诊的时段。放射性药物和废物的转运，均在现有场所布局的情况下，采取了尽可能短的路线。

(4) 放射性药物操作场所出入口处设置卫生通过间，设置洗手池和淋浴设施，放置个人防护用品、表面污染监测仪等。诊断区患者候诊室，治疗区住院病房、甲亢留观室内均设置患者专用卫生间。

(5) 诊断区和治疗区设置独立的清洁间，放置清洁用品和去污用品，两者之间不混用。非放射性区域有单独的清洁间，放射性区域和非放射性区域的清洁分开进行。

(6) 整个核医学工作场所主要采用混凝土和实心砖作为屏蔽材料，且将控制区各功能用房集中设置，降低其对周边环境的辐射影响。

(7) 设置独立敷贴治疗用房，包括治疗室和敷贴器储存室，工作人员和患者有单独的出入口，出入口未设置在核医学科控制区内，患者治疗结束可以直接离开。

综上所述，本项目核医学科各功能用房布置情况满足HJ1188-2021和GBZ120-2020中关于核医学布局的要求，本项目布局合理。

10.2.3DSA 手术工作场所

10.2.3.1 布局情况

本项目 DSA 手术工作场所分为两部分，包括急救中心 DSA 手术室和医技楼介入手术中心。急救中心 DSA 机房四周分别为室内走廊、控制室、库房、污物间、设备间、缓冲间。介入手术中心 4 间 DSA 机房相邻布置，机房四周分布控制廊、患者通道、室内走廊、缓冲间、污物间设备间等。机房屏蔽主体结构采用混凝土和实心砖，控制室均独立设置在机房外，机房与控制室之间设置观察窗。

10.2.3.2 布局合理性分析

DSA 机房采取了满足标准要求的屏蔽结构,充分考虑了周边相邻区域机周围场所的人员防护与安全。每台 DSA 均使用独立机房,设备主射线受到人体和平板探测器阻挡,因此机房内主要射线类型为散射线和漏射线。观察窗设置位置便于查看机房内患者情况。工作人员和患者通道相互独立,互不影响。DSA 机房内不堆放与介入手术无关的杂物。综上所述,项目布局考虑了不同类型通道相对独立,且利于辐射防护。

项目布局合理,满足 GBZ130-2020 的相关要求。

10.3 各射线装置机房面积

拟建项目各射线装置机房规格尺寸和标准要求见表10-1所示。

表10-1 各机房建设要求对比表

机房名称	尺寸、面积		标准要求		是否满足要求
	机房内最大矩形尺寸 (长×宽)	有效内空面积 (m ²)	最小单边长 (m)	面积 (m ²)	
直线加速器机房 1、2	7m×8m	56	有足够的使用空间		满足
CT 模拟定位机机房	7.6m×7.3m	55.5	≥4.5	≥30	满足
PET 检查室	6.45m×6.3m	40.6	≥4.5	≥30	满足
SPECT 检查室	6.2m×6.05m	37.5	≥4.5	≥30	满足
DSA 机房 1	7.3m×7.35m	53.7	≥3.5	≥20	满足
DSA 机房 2	7.3m×7.35m	53.7	≥3.5	≥20	满足
DSA 机房 3	7.3m×7.35m	53.7	≥3.5	≥20	满足
DSA 机房 4	7.3m×7.35m	53.7	≥3.5	≥20	满足
急救中心 DSA 手术室	7.45m×7.65m	57	≥3.5	≥20	满足

本项目各射线装置的最小单边长及最小有效使用面积均满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)要求。

10.4 辐射工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)相关要求,拟建项目工作场所拟划为控制区及监督区,实行分区管理,限制无关人员受到不必要的照射。

GB18871-2002 规定“控制区:在辐射工作场所划分的区域,在这种区域内需要或可能需要专门防护手段或安全措施;监督区:未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段或安全措施,但需要经常对其职业照射条件进行监督和评价”。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021):放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下,控制区包括加速器大厅、治疗室(含迷路)等场所,如质

子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。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《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）：放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）：核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：应按照 GB 18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。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。核医学工作场所的监督区主要包括显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。

项目控制区、监督区具体划分见表 10-2，分区布置图见图 10-1~10-4。

表 10-2 本项目工作场所分区情况表

工作场所	控制区范围	监督区范围
放疗中心	直线加速器机房 1（含迷路）、直线加速器机房 2（含迷路）、CT 模拟定位机房	资料室、水冷机房、设备间、控制室、走廊、污物提升泵房、排烟机房、等候大厅等，机房其他相邻区域及上方对应区域
核医学科	诊断区：PET 注射室、SPECT 注射室、分装室、废物间、卫生通过间、储源室、抢救室/负荷室、SPECT 候诊室、SPECT VIP 候诊室、SPECT 留观室、清洁间、PET 候诊室、PET VIP	核医学候诊大厅、护士站、走廊、控制室、空调机房、卫生间、下沉庭院、楼梯间配电间、校正源室、UPS 室、新风井、污物提升泵房、缓冲间、自动分药仪控制室、

	候诊室、PET 留观室、污水间 2、SPECT 检查室、患者走廊 治疗区：污水间 1、被服间、清洁间、病房 1~10、敷贴治疗室和储源室、抢救室、服药室（甲癌、甲亢）、分装室、治疗区废物间 1、储源室、卫生通过间、清洁间、注射室、服药室（甲吸）、污染被服暂存间、治疗区废物间 2、污洗间、甲亢留观室、患者走廊、衰变池	配餐间等,核医学科其他相邻区域及对应上方区域,衰变池对应上方区域
介入手术中心	DSA 机房 1~4	控制廊、走廊、设备间、患者通道、缓冲间、打包间、预留用房,机房其他相邻区域及对应上下方区域
急救中心	DSA 手术室	控制室、走廊、耗材库房、设备间、污物间、换床缓冲间,机房其他相邻区域及对应上下方区域

续表 10 辐射安全与防护

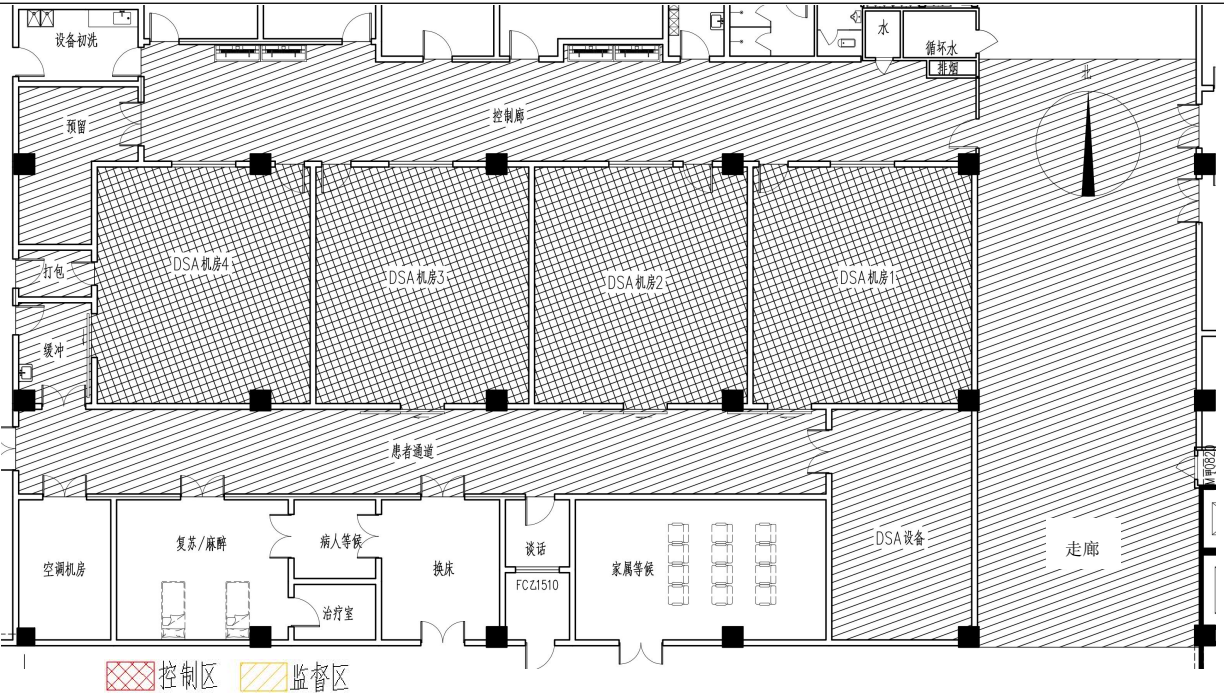


图10-3 介入手术中心分区布置示意图

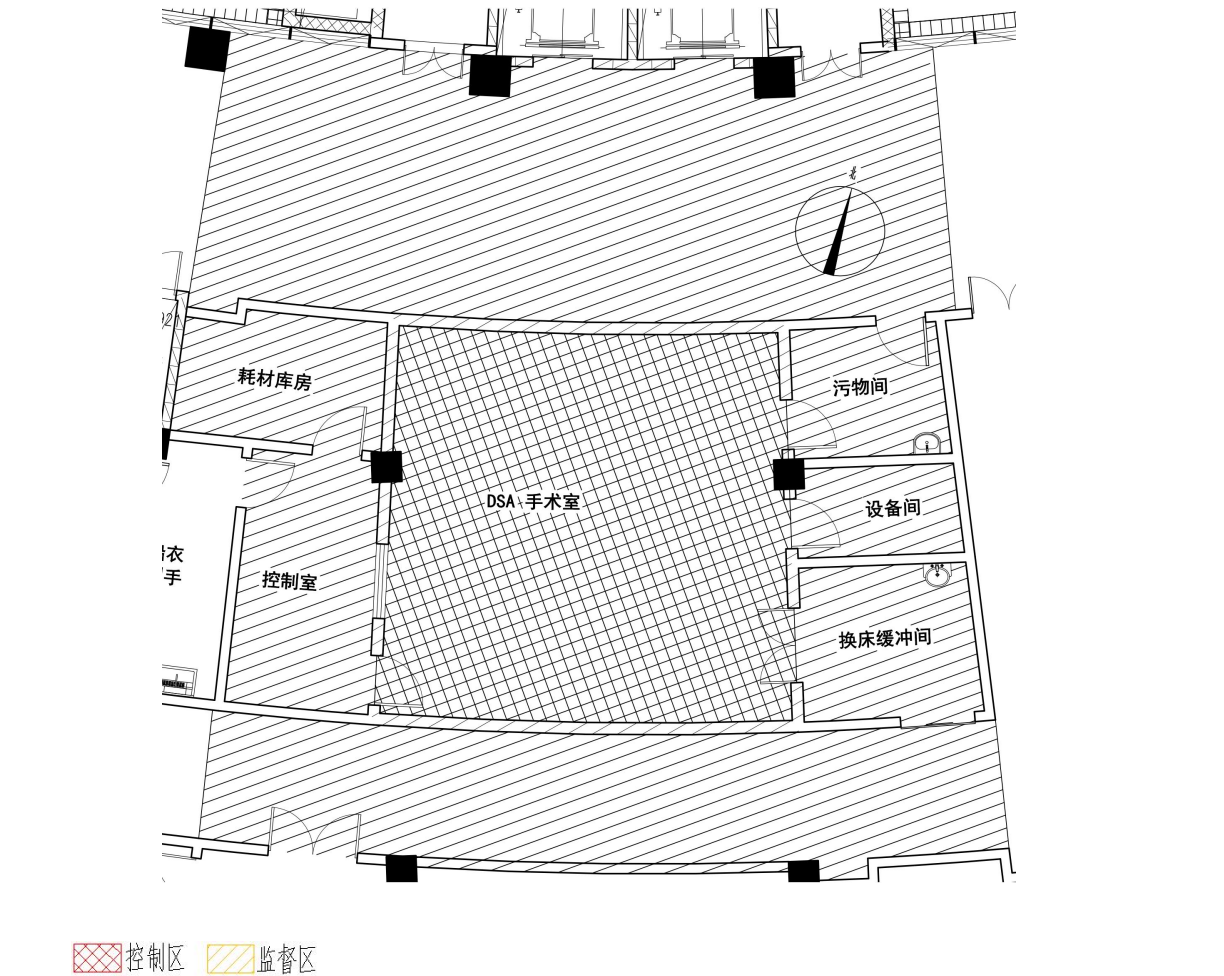


图10-4 急救中心DSA手术室分区布置示意图

续表 10 辐射安全与防护

医院拟严格限制无关人员进出控制区，在正常诊疗的工作过程中，控制区内不得有无关人员滞留，保障该区的辐射安全。对控制区拟设置防护门、墙体等实体边界，出入口设置电离辐射警示标志、门禁等设施，并在控制区入口设置标明控制区的标识，限制无关人员随意进入，以便控制正常照射和防止（或限制）潜在照射。对监督区入口处的适当地点应设立标明监督区的标识（如地面警示贴条），防止无关人员受到不必要的照射，定期检查辐射剂量水平，进行经常性的监督和评价。

10.5 非密封源工作场所分级、分类

10.5.1 非密封源工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法，日等效最大操作量的计算公式如下：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作方式修正因子}}$$

放射性工作场所因操作放射性物质的毒性组别和操作量的不同，产生的放射性危害的机率也不同，为了便于管理，非密封性工作场所按所用放射性核素日等效最大操作量并考虑操作因素分为甲、乙、丙三级。根据建设单位提供的放射性同位素用量，可以计算本项目使用的放射性同位素日等效最大操作量见表 10-3。

表 10-3 非密封源工作场所分级核算表

核素名称	日最大操作量 (Bq)	毒性组修正因子	操作方式	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	工作场所等级
¹⁸ F	1.48×10 ¹⁰	0.01	源的储存	100	1.48×10 ⁶	乙级
	7.4×10 ⁹		很简单操作	10	7.4×10 ⁶	
^{99m} Tc	2.77×10 ¹⁰	0.01	很简单操作	10	2.77×10 ⁷	
¹³¹ I	3.33×10 ¹⁰	0.1	简单操作	1	3.33×10 ⁹	
³² P	9.25×10 ⁸	0.1	简单操作	1	9.25×10 ⁶	
⁸⁹ Sr	7.4×10 ⁸	0.1	简单操作	1	7.4×10 ⁷	

根据该项目使用的放射性核素的毒性组别、用量及操作因子，本项目核医学工作场所的日等效最大操作量为 3.45×10⁹Bq，根据 GB18871-2002 的分级，核定医院核医学科为乙级非密封源工作场所。

续表 10 辐射安全与防护

10.5.2 临床核医学工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的要求，本项目核医学科控制区房间功能及放射性同位素的使用情况对其进行分类，具体见表 10-4。

表 10-4 项目核医学科工作场所分类计算

房间名称	非密封性物质操作最大日用量 (MBq)	毒性权重因子	操作性质 修正因子	该房间操作最大量放射性 核素的加权活度 (MBq)	分类
PET 检查室	^{18}F 7400	1	10	740	II
SPECT 检查室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 27750	1	10	2775	II
分装室	^{18}F 14800	1	1	14800	II
PET 注射室	^{18}F 7400	1	1	7400	II
SPECT 注射室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 27750	1	1	27750	II
运动负荷室/抢救室	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 1295	1	10	129.5	II
储源间	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 42550	1	100	425.5	II
废物间	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 425.5	1	10	42.5	III
PET 候诊室	^{18}F 5550	1	10	555	II
SPECT 候诊室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 20812	1	10	2081.2	II
PET VIP 候诊室	^{18}F 1850	1	10	185	II
SPECT VIP 候诊室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 6937	1	10	693.7	II
PET 留观室	^{18}F 4200	1	10	420	II
SPECT 留观室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 23500	1	10	2350	II
甲癌病房 1~10	^{131}I 7400	100	1	740000	I
敷贴治疗室	^{32}P 1850	100	1	185000	I
服药室（甲癌、甲亢）	^{131}I 33300	100	1	3330000	I
分装室	^{131}I 、 ^{89}Sr 743	100	1	74300	I
废物间 1	^{131}I 、 ^{89}Sr 340	100	10	3400	II
储源室	^{131}I 、 ^{89}Sr 34043	100	100	34043	II
^{89}Sr 注射室	^{89}Sr 740	100	1	74000	I
服药室（甲吸）	^{131}I 3.3	100	1	333	II
抢救室	^{131}I 7400	100	1	740000	I
废物间 2	^{131}I 、 ^{89}Sr 340	100	10	3400	II

续表 10 辐射安全与防护

甲亢留观室	^{131}I	740	100	1	74000	I
-------	------------------	-----	-----	---	-------	---

备注：①废物间按照相应患者用量的 1%考虑。
 ② ^{18}F 在分装室和储源室考虑为备药量，其余考虑为实际操作量。
 ③控制区污洗间，主要用于存放控制区清洁用品，甲癌污染被服间放置患者使用的被服，均不涉及使用放射性核素，仅可能存在少量沾污，因此不核算加权活度，计为 III 类工作场所。

根据上表，核医学科治疗区除废物间、服药室（甲吸）、储源室以外的房间均为 I 类，诊断区除废物间外的用房、治疗区废物间、污染被服室、服药室（甲吸）、储源室为 II 类，诊断区废物间为 III 类。

本项目核医学工作场所根据分类要求，各房间装修设计情况与《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）对比分析如下表所示。

表10-5 核医学科室内表面及装备结构设计防护与标准对照表

房间	本项目设计	GBZ120-2020 要求	分类	是否符合
治疗区除废物间、服药室（甲吸）、储源室以外的房间	地面：PVC 地板胶铺设，并延伸上墙 表面：防水漆、不锈钢，易清洗	结构屏蔽：需要 地面：与墙壁接缝无缝隙 表面：易清洗 分装柜：需要 通风：特殊的强制通风 管道：特殊的管道 ^a 盥洗与去污：洗手盆 ^b 和去污设备	I	是
诊断区除废物间外的用房、治疗区废物间、污染被服室、服药室（甲吸）、储源室	防护手套箱：2 间分装室拟设置防护手套箱，密封负压效果好 室内通风：独立机械排风系统 管道：独立通风管、废水管，废水管根据核医学科布局来设置，尽量短，主管道拟作标记，暴露于空气的水管包铅皮防护	结构屏蔽：需要 地面：与墙壁接缝无缝隙 表面：易清洗 分装柜：需要 通风：良好通风 管道：普通管道 盥洗与去污：洗手盆 ^b 和去污设备	II	是
诊断区废物间	清洗及去污设备：拟配置专用洗手池，配置感应式水龙头，配备去污用品	结构屏蔽：不需要 地面：易清洗 表面：易清洗 分装柜：不必须 通风：一般自然通风 管道：普通管道 盥洗与去污：洗手盆 ^b	III	是

^a：下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测；
^b：洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

同时，《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）也要求：核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。

续表 10 辐射安全与防护

根据上表对比分析可知，本项目核医学科的装修设计能满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中对核医学场所室内表面及装备结构要求，同时也满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。

10.6 辐射安全与防护

10.6.1 放疗中心

10.6.1.1 直线加速器：

1、设备安全功能

本项目拟购买符合相关要求的设备，拟购设备自身采取多种固有安全防护措施：

①直线加速器由专用钥匙控制，只有通过专用钥匙才能使加速器出射线。钥匙由专人保管。放疗技术人员离开控制室进入机房时，拔出专用钥匙，随身携带，以防他人误操作而发出射线。

②直线加速器使用计算机控制系统的加速器软件和硬件控制程序设置加密措施，未经允许不得存取或修改；用于监视连锁或作为测量线路、控制线路一部分的计算机一旦发生故障，将终止辐照。

③控制台能显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、吸收剂量率、治疗方式、楔形过滤器类型及规格等辐照参数预选值。

④吸收剂量的控制：设备具有独立的双道剂量监测系统，其输出显示为剂量监测值，并能用来计算受照靶体积内某一参考点的剂量；双道剂量监测系统可实现冗余剂量监测功能，某道剂量监测系统发生故障时，保障另一道能够正常工作；每道剂量监测系统都能设置为达到预置参数时能终止照射；可设置超过值百分比；任何原因引起的剂量监测读数变化大于 5%时，能自动终止照射；双道剂量监测系统的显示清晰易读，紧靠在一起并安置在治疗控制台上预选剂量监测值的显示附近；电源故障或元件失灵造成中断或终止时，两道剂量监测系统显示的预选参数和剂量数据保持不变，失效时刻的预选参数和剂量读数以可读出的方式储存起来，至少保持 20min 以上；中断或终止后把显示器复位到零，下次照射才能启动；控制台上确定剂量监测系统预选参数前，不能开始照射。

辐射头内安装两个辐射探测器，位于均整过滤器和束散射过滤器的患者一侧，其中中心在参考轴上；照射过程中，如果辐射探测器偏离参考轴，能终止照射。

续表 10 辐射安全与防护

在设备控制台上配置一个控制计时器。控制计时器为递增式计时器，与照射的启动和停止同步，在照射中断或终止后保持其读数，照射终止后，在启动下次照射之前能复位回零，为防止剂量监测系统失效，当预选的时间达到时，终止照射，独立于任何其他控制照射终止系统或子系统，保控制计时器的设定值不超过使用说明书给定的限值，在两次照射之间或在照射前控制计时器能终止照射。

⑤辐射类型的选择和显示：照射终止后，在治疗控制台上重新选择好辐射类型之前，无法进行下一次照射；当要求在治疗室内和治疗室控制台上均进行选择辐射类型时，一处的选择不能在另一处显示出来，只有等两处都完成选择后才给出显示；在治疗室内的选择与治疗控制台的选择不一致时，不会进行照射；在照射期间和在照射之前，能在治疗控制台上显示所用照射类型；联锁装置能确保只能进行被选类型的照射。

⑥能量的选择和显示：照射终止后，在治疗控制台上重新选择好能量之前，能阻止下一次照射；当要求在治疗室内和治疗控制台上均进行选择能量操作时，一处的选择能不在另一处显示出来，只有等两处都完成选择后才给出显示；治疗室内的选择和治疗控制台上的选择不一致时，能阻止照射；能产生不同能量辐射束的设备，在照射期间和在照射之前能在治疗控制台上显示在使用说明书上规定的能量值；正常运行时，在所选运行模式和能量的条件下产生的辐射，发生在 X 射线靶上电子轰击平均能量的偏差超过 $\pm 20\%$ 时，或者在电子线窗上电子轰击平均能量偏差超过 $\pm 20\%$ 或 $\pm 2\text{ MeV}$ （取其小者）时，都能终止照射。

⑦楔形过滤器的选择和型式：加速器能自行选择楔形过滤器，能在治疗室、控制台选择并在控制台显示后才能启动出束。出束前楔形过滤器未到位，能有两个独立的联锁装置阻止出束或终止照射。

⑧照射限束装置的联锁：当 X 射线限束装置被用作电子线限束系统的一部分时，有联锁，当其实际位置和要求的位置相差超过 10cm（在正常治疗距离处）时，能阻止电子线。

2、屏蔽措施

①屏蔽体

本项目 2 间加速器机房东西对称布置，共用侧屏蔽墙。南墙和北墙为主屏蔽墙，北

续表 10 辐射安全与防护

侧主屏蔽厚度为 2600mm，副屏蔽区厚度为 1500mm，南侧主屏蔽厚度为 3000mm，副屏蔽区厚度为 1800mm，迷路内墙厚度为 1300mm，迷路外墙厚度为 1500mm，侧墙为楔形，其厚度在 1500~2300mm 之间。顶棚主屏蔽墙厚度为 2800mm，副屏蔽墙厚度为 1500mm 混凝土。防护门的屏蔽防护厚度为 15mmPb+100mm 含硼 5%的聚乙烯（防护门屏蔽材料叠放顺序为机房内侧至外侧先聚乙烯后铅板）。

②穿墙管线补偿：

直线加速器机房各穿墙管线情况见附图 5.2，直线加速器机房穿墙管线包括送排风管、电缆沟、剂量检测管、弱电套管等。

电缆沟：

直线加速器机房电缆沟穿墙处位于加速器机房迷路外墙北侧，电缆沟采用 U 形由机房地坪下方穿过机房进入水冷机房，电缆沟盖板为 2mm 钢板。

通风管道：

机房内新风、排风、冷媒水管道穿墙处均位于机房防护门上方混凝土区域，通风管道穿墙区域呈 Z 形穿过屏蔽墙，冷媒水管为斜向，管道穿墙区域水平方向上屏蔽墙混凝土最薄处为 730mm，管线穿墙口外侧离机房外地面高度最小为 4300mm。

物理测试孔：

物理测试孔由直线加速器机房迷路外墙靠近控制室处以水平 45° 穿过屏蔽墙进入控制室，且垂直方向上也为斜向，机房内穿墙口离地高度为 300mm，控制室处穿墙口离地高度为 1200mm，管道直径为 100mm。

强弱电套管：

强弱电套管由直线加速器机房与设备间相邻屏蔽墙体处以水平 45° 穿过屏蔽墙进入设备间，穿墙处离地高度约 4000mm，管道直径为 100mm，共 4 条管道。

3、联锁系统

①直线加速器机房防护门与设备联锁，防护门未关闭之前，设备无法启动，如果设备运行过程中防护门打开，设备将停止运行。

②加速器有两道独立的剂量监测系统，每一道剂量监测系统能单独终止照射，一道剂量系统发生故障不影响另一道系统的功能。当控制台计算机故障、加速管真空故障等加速器会自动出现系统联锁，不能发出射线。

续表 10 辐射安全与防护

③直线加速器故障保护系统:由主要联锁和次级联锁组成,主要联锁是为了在机器的元器件或子系统出故障时立即停止出束并关闭发热元件,防止故障的进一步扩大。次要联锁提醒操作者可能存在影响机器工作的状态,产生次要联锁时机器马上转到“停止出束”状态。

④直线加速器机房内拟设置多个急停开关,分别安装在机房迷道上和机房内四周墙上,另设备和控制室处也设置有急停开关。紧急停机开关为红色按钮式开关,易于辨认,按下后不能自动复位。在紧急情况下,便于治疗室和控制室内的人员及时终止照射。机房墙壁上的紧急停止按钮安装高度约 1.3m。

⑤安全联锁系统一旦被触发,需要人工复位后才能重新启动设备。设备调试和维修时,放疗中心工作人员全程参与,不得随意调整联锁系统设置,并及时进行联锁系统功能测试,查验是否正常运行。放疗中心拟制定安全联锁系统检查制度,定期对其运行状态进行检查,确保其正常运行。

另外,项目加速器拟集成的 CBCT 与加速器是一个整体,其联锁方式等与加速器一致。如门机联锁,在防护门开启时,CBCT 不能启动,CBCT 出束时防护门打开则自动断电停止出束。其余不再赘述。

4、固定式剂量报警装置

直线加速器机房内拟设置固定式剂量报警装置,仪器探头安装在机房迷路内入口处墙体上,仪表指示仪装在相应控制室内,对机房内剂量率进行实时监测和报警。实时剂量率监测值显示在主机面板上,实时剂量率的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警装置,以警示现场工作人员,确保工作人员安全。

5、对讲系统、视频监控系统

直线加速器机房内拟安装视频监控系统与对讲系统,显示和控制器设置在相应设备控制室,放射工作人员在控制室内便可清晰地观察到患者的治疗情况,如发现患者不适、位置移动、部件脱落、设备异常等情况,可及时采取紧急措施。治疗室与控制室拟设置对讲设备,便于放射工作人员与患者之间进行交流。

6、工作信号指示灯、警示标识

直线加速器机房防护门外拟设置规范的电离辐射警告标志。机房防护门上方拟安装

续表 10 辐射安全与防护

醒目的工作状态指示灯等，提醒周围人员尽量远离该区域。直线加速器机房的工作状态指示灯与设备联锁。

7、应急措施

直线加速器机房除紧急停止按钮外，断电时，防护门联锁断开，可以在停电等紧急情况下，由人员手动将门推开。防护门内侧墙壁上设置紧急开门按钮，防护门处设置红外防挤压装置，防人员被夹伤。机房外的防护门开门按钮（1 个）设置在直线加速器操作室内。

8、通风

放疗中心拟设置新风和排风系统，2 间直线加速器机房内均拟设置机械通风装置，机房内设置新风口（2 个）和排风口（2 个），并连接至相应通风管道。直线加速器机房新风口设置在机房内天花一侧，排风口设置在新风口对侧墙体下方靠近地面处，呈对角线“上送下排”式设置。单个直线加速器机房排风风量约 2000m³/h，机房容积约 400m³，通风换气次数约为 5 次/h，不小于标准规定的 4 次/h。

9、管理

①拟配备的放射工作人员应经过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，并经过考核合格后方可上岗。

②工作人员在操作放射治疗设备之前，要求正确佩戴个人剂量计和剂量报警仪，在设备使用之前需要从监控设备中确定机房内是否有无关人员滞留。开机期间应有两名操作人员值班，认真做好当班记录，严格执行交接班制度。除接受治疗的患者外，机房内不得有其他人员。

③除与诊疗工作相关的物品外，各设备机房内均不存放无关杂物。

④拟制定直线加速器相应辐射事故应急处理制度，明确具体辐射事故的处置流程。

⑤针对辐射工作场所防护情况，将每年委托有资质单位进行一次监测，并将监测结果妥善保管，发现异常及时进行处理。

10、综合情况

综上所述，项目直线加速器各类辐射防护与安全设施、防护用品、监测仪器等见表 10-6。项目直线加速器机房主要辐射安全防护设施布置示意图见图 10-5。

续表 10 辐射安全与防护

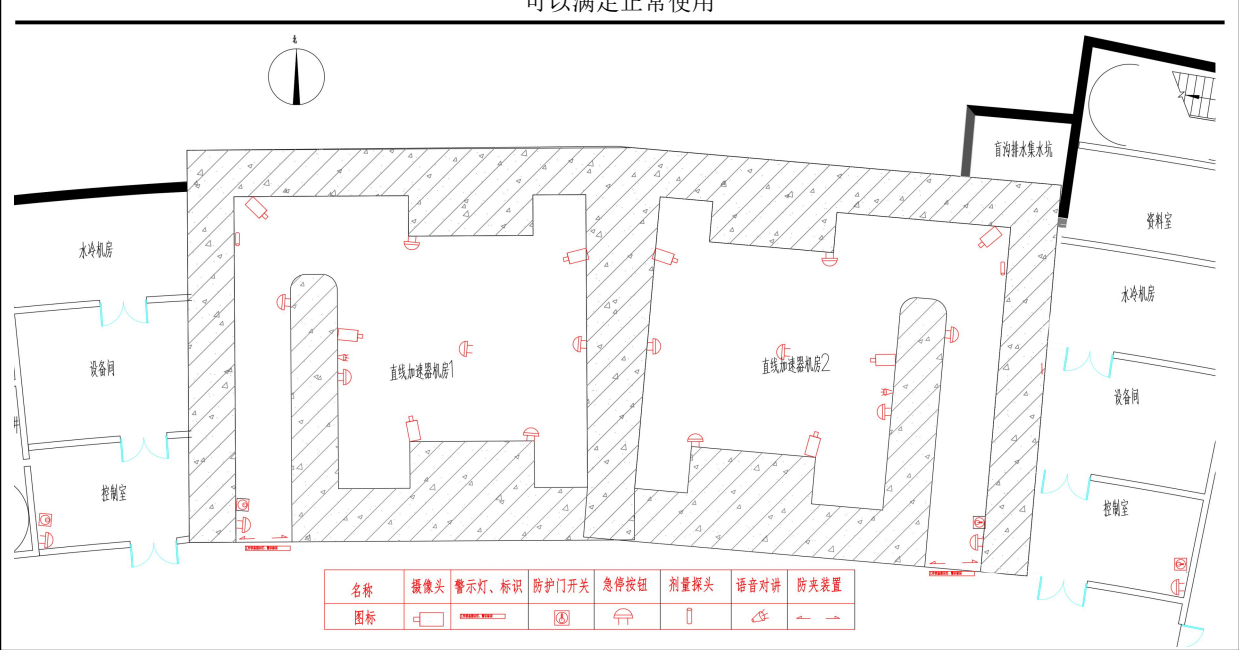
表 10-6 加速器辐射防护安全设施、监测仪器一览表				
工作场所	安全防护措施	数量	说明	备注
直线加速器机房 1、2	急停开关	8 个×2	红色按钮。分别位于加速器控制室、机房内、迷道、设备上。按下急停按钮后不能自动复位。紧急情况下便于终止治疗。	/
	视频监控设备	4 个×2	布置在机房内、迷道内，便于全方位观察机房及迷道内的情况。	
	对讲系统	1 套×2	方便机房内外工作人员之间、工作人员与病人之间进行沟通交流，病人有困难时方便停止治疗。	
	联锁装置	多套×2	直线加速器机房设置多重联锁装置，包括门机联锁、系统联锁、双剂量联锁、故障保护系统等。	
	警示标志警示语	1 套×2	在机房入口处设置电离辐射警示标志和中文警示说明，防止警示与误进入。	
	应急开门装置	1 套×2	以备停电时使用。防护门内设置一个开门按钮，并设置手动开门系统。	
	红外防挤压装置	1 套×2	防人员被夹伤。	
	固定式剂量报警仪	1 套×2	1 个探头位于机房迷道内口附近墙体上，仪表指示仪装在控制室内。对机房进行实时剂量率、累积剂量监测和声光报警。	
	工作状态指示灯	1 套×2	两色信号灯，红色：直线加速器运行严禁入内。绿色：电子加速器进入准备出束状态。	
	个人剂量报警仪	2 台×2	进入直线加速器机房内工作人员使用	
	个人剂量计	若干	每名放射工作人员佩戴 1 枚	根据人员配置
	智能化 X-γ 辐射仪	1 台	日常监测使用	放疗中心共用
	剂量扫描仪、水箱	1 套	设备质量检测使用	加速器质控
直线加速器工作场所急停按钮、监控、固定式报警仪等安全设施安装时，应结合使用需求确定合适高度，确保设施可以满足正常使用				
				

图10-5 加速器机房辐射安全设施布置示意图

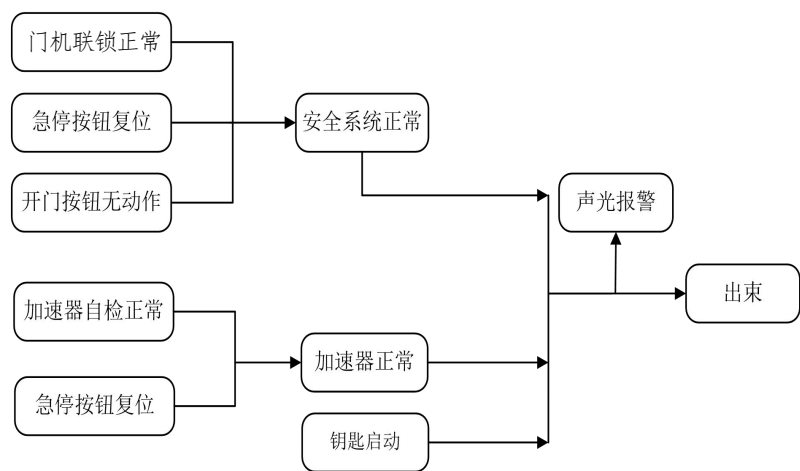


图 10-6 直线加速器辐射安全联锁逻辑关系图

从上图可知，仅当加速器机房的门机联锁正常、各急停按钮全部复位、开门按钮无动作、加速器自检正常等全部满足要求，才能通过钥匙启动加速器运行出束。当前述任一条件出现故障不满足要求时，加速器不能运行出束；同时，在加速器运行出束过程中，前述任意条件不能满足时，加速器自动停止出束。

上述直线加速器机房拟设置的辐射防护安全与设施能满足辐射防护的要求，保证射线装置正常运行，减少对周围环境和人员的影响。

10.6.1.2CT 模拟定位机

1、设备安全功能

- 本项目拟购买符合相关要求的设备，拟购设备自身采取多种固有安全防护措施：
- ①设备自带出线口限束系统；设备有清晰的焦点位置标示及过滤条件标示；
 - ②在扫描程序开始之前，应指明某一扫描程序期间所用的设备运行条件；对于任意一种扫描程序，都能在操作者控制台上显示剂量信息。
 - ③模拟定位机设备上和控制台设置急停按钮。
 - ④模拟定位机拟安装在机房中央位置，且拟将 CT 机头朝向远离防护门窗的位置，降低辐射影响。

2、屏蔽措施

CT 模拟定位机机房四周墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 350mm 混凝土，防护门、观察窗为 3.5mmPb。

续表 10 辐射安全与防护

3、通风

CT 模拟定位机机房采用机械通风，机房内拟布置进风口和出风口，新风口位于机房西北侧吊顶处，排风口共 2 个，均位于机房东南侧，其中 1 个设置在吊顶处，另一个设置在离地约 300mm 处。机房废气经出风口引出后进入排风系统，再通过风井引至医院户外绿化带处排放。

4、管线进出口防护

机房新风管道和排风管道均由墙体上方靠近顶棚处（吊顶内）穿过屏蔽墙体，穿墙处离地高度超过 3m，穿墙区域位于吊顶内，人员无法到达，且穿墙口管道采用 3mmPb 铅皮包裹，包裹长度不小于通风管道穿墙口长边宽度的 2 倍。电缆管线由机房与控制室隔墙下方地坪处穿过，穿墙口位于水泥回填垫层内（厚度约 600mm），并拟在管线口机房侧采用 3mmPb 覆盖，铅板覆盖范围为管线口面积的 2 倍。

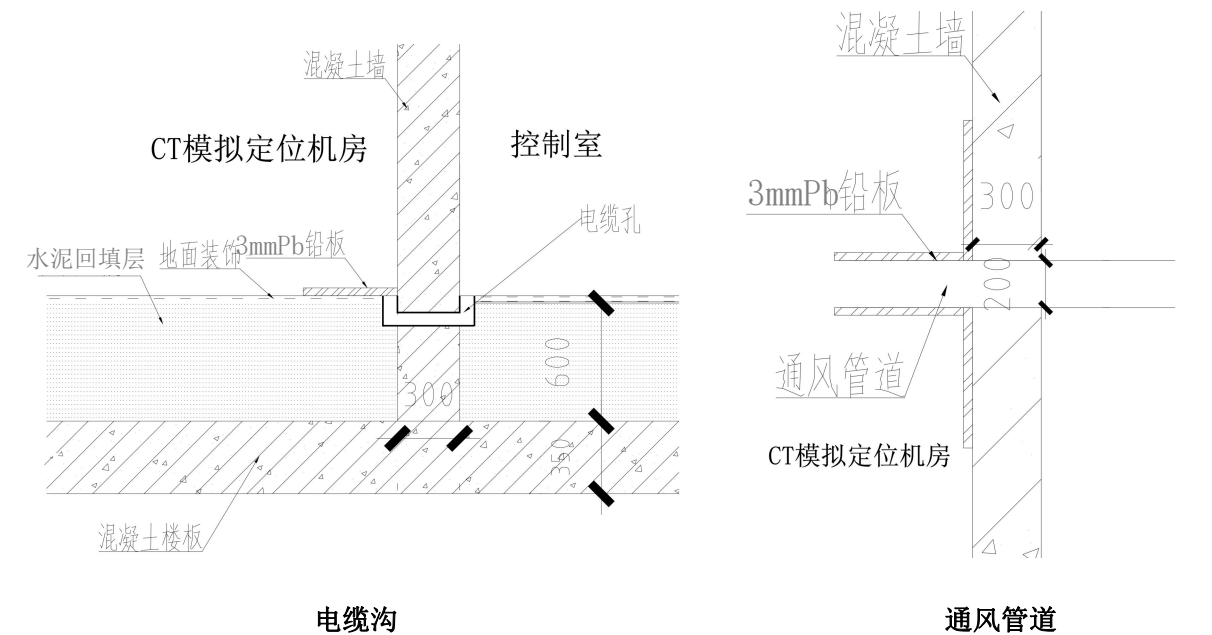


图 10-7 穿墙线管防护示意图

5、工作信号指示灯及警示标志

CT 模拟定位机机房防护门上方拟设置工作状态指示灯，并设置门灯联动装置，防护门上拟设置电离辐射警示标志，警示公众成员，减少无关人员在机房外的停留时间。

6、防夹和闭门

CT 模拟定位机机房病人进出门设计为电动推拉门，拟设置防夹装置；机房工作人员进出门设计为平开门，拟设置自动闭门装置。

续表 10 辐射安全与防护

7、个人防护用品及监测仪器

CT 模拟定位机工作场所拟配置铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套等个人防护用品。

表 10-8 项目拟配置的个人防护用品和辅助防护设施情况

设备 类型	工作人员		患者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT 模拟 定位机	/	/	铅橡胶性腺防护方巾 1 个（大方巾， 0.5mmPb），铅橡胶颈套 1 个 （0.5mmPb）	/

10.6.2 介入工作场所辐射安全与防护

1、设备固有措施

本项目拟购买符合相关要求的设备，拟购设备自身采取多种固有安全防护措施：

①本项目 DSA 设可调限束装置，使装置发射的线束照射面积尽量减小，以减少泄漏辐射。透视曝光开关为常断式开关，并配备透视限时装置。DSA 具备工作人员在不变换操作位置情况下成功切换透视和采集功能的控制键。设备自带阻止焦皮距小于 20cm 的装置。

②采用光谱过滤技术：在 X 射线管头或影像增强器的窗口处设置合适铝过滤板，以多消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱。设备提供适应 DSA 不同应用时可以选用的各种形状与规格的准直器隔板和铝过滤板。影像增强器前面酌情配置各种规格的滤线栅，减少散射影响。

③采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视，改善图像清晰度；并能明显地减少透视剂量。

④采用图像冻结技术：每次透视的最后一帧图像被暂存并保留于监视器上显示，即称之为图像冻结（last image hold，LIH）。充分利用此方法可以明显缩短总透视时间，达到减少不必要的照射。

⑤配备辅助防护设施：包括铅悬挂防护屏、床侧防护帘、床侧防护屏等。

⑥应急开关：DSA 设备上及控制台上设置急停开关，按下急停按钮，DSA 设备立即停止出束。

续表 10 辐射安全与防护

⑦设备自带剂量显示功能，可以显示并记录当前患者的辐射剂量和整台手术总辐射剂量。

2、机房采取的辐射安全与防护措施

①项目 5 间 DSA 机房四周墙体采用 37cm 实心砖作为屏蔽，铅门和观察窗均为 3mmPb；顶棚和地板为 20cm 混凝土。根据后文计算，DSA 机房四周墙体、顶棚及地板屏蔽防护能力均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

②DSA 机房患者出入门为推拉式电动门，设有红外线感应防夹装置，介入手术中心 DSA 机房 4 和急救中心 DSA 手术室污物通道防护门、5 间 DSA 机房的控制室防护门均为手动平开门，设自动闭门装置。所有防护门外均设置门灯联锁功能。机房和控制室之间设置铅玻璃观察窗，观察窗四周配备防护窗套，窗套屏蔽能力与铅玻璃屏蔽能力相当，观察窗设置位置便于查看机房内情况和防护门开关情况。

3、通风

5 间 DSA 机房天花上方均单独设置一个抽风口，并连接至独立机械排风管道，然后分别通向医技楼屋顶和门诊急诊屋顶上方排放。通风管道布设在机房吊顶内，穿墙区域离地高度超过 3m。另急救中心 DSA 手术室设置净化通风系统。

4、管线进出口防护

机房新风管道和排风管道均由墙体上方靠近顶棚处（吊顶内）穿过屏蔽墙体，穿墙处离地高度超过 3m，穿墙区域位于吊顶内，人员无法到达，且穿墙口管道采用 2mmPb 铅皮包裹，包裹长度不小于通风管道穿墙口长边宽度的 2 倍。电缆管线由机房与控制室隔墙下方地坪处穿过，穿墙口位于水泥回填垫层内（厚度约 400mm），并拟在管线口机房侧采用 2mmPb 覆盖，铅板覆盖范围为管线口面积的 2 倍。急救中心 DSA 手术室净化通风管道从手术室顶棚上方穿过，接入手术室上方空调机房，顶棚通风管道开孔区域，设置防护罩，防护罩采用 200mm 混凝土。

续表 10 辐射安全与防护

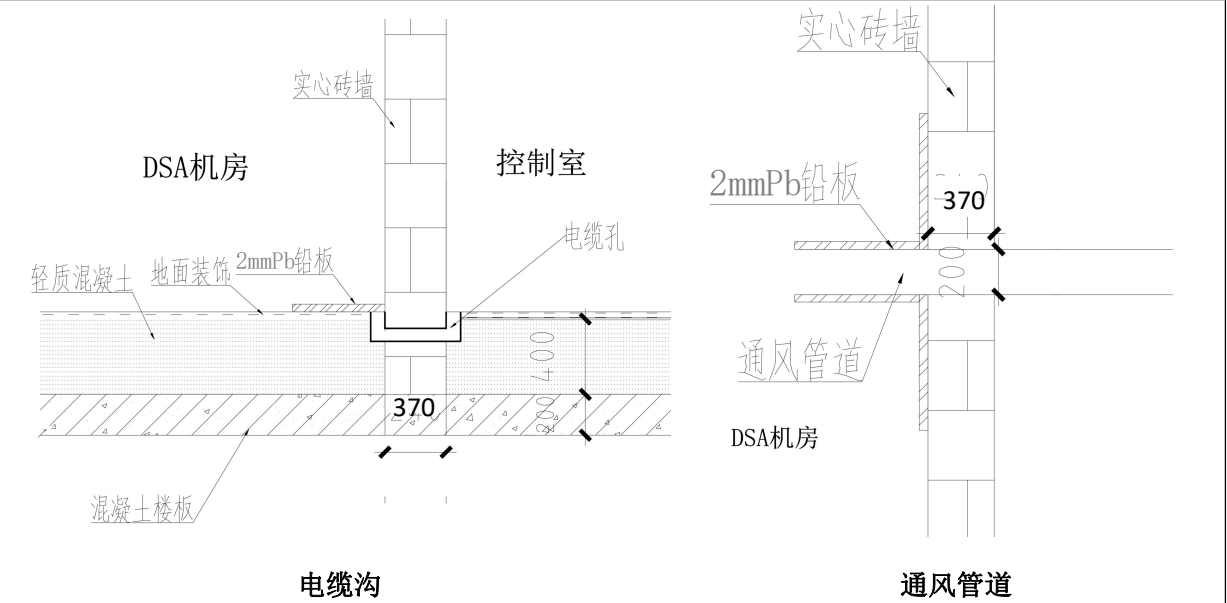


图 10-8 穿墙线管防护示意图

5、联锁系统

在 DSA 机房所有防护门处均设置门灯联锁系统，防护门外上方设置醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置警示语句，在防护门关闭时，指示灯亮，警示无关人员远离该区域。

6、警示标识

DSA 机房各防护门外均拟设置电离辐射警告标志，并写有“当心电离辐射”的警示语句；DSA 机房患者出入口处拟粘贴放射防护注意事项标牌。

7、辐射防护用品

介入手术中心和急救中心 DSA 手术室均拟设置专门的防护用品存放间，铅橡胶围裙、铅橡胶衣服等均悬挂存放。拟配备的个人防护用品具体见表 10-10。

表 10-10 项目拟配置的个人防护用品和辅助防护设施情况

设备 类型	工作人员		患者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防 护设施
DSA	铅橡胶围裙 20 件，前襟 0.5mmPb、后背 0.25mmPb、铅橡胶颈套 20 个（0.5mmPb）、铅防护眼镜 20 副（0.5mmPb），介入	铅悬挂防护屏 5 个（0.5mmPb）、床侧防护帘 5 个（0.5mmPb）、床侧防护屏 5 个（0.5mmPb）、移	铅橡胶性腺防护方巾 5 个（0.5mmPb），铅橡胶颈套 5 个	/

续表 10 辐射安全与防护

	防护手套 20 双 (0.025mmPb)	动铅防护屏 5 个 (2mmPb)	(0.5mmPb)	
根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020), 医院配置的个人防护用品及辅助防护设施符合要求。 8、其他 医院在进行介入手术时, 应制定最优化方案, 在满足诊断前提下, 选择合理可行尽量低的射线参数、尽量短的曝光时间, 减少放射工作人员和相关公众的受照射时间, 避免病人受到额外剂量的照射。 医院应合理安排医疗废物运出时间。DSA 机房工作时, 严禁医疗废物运出; 待 DSA 设备停止工作时, 方可进行医疗废物运送。除与手术相关的物品, 机房内不堆放其他杂物。 合理布置 DSA 机房内介入手术用辅助设备, 安装对讲装置。 10.6.3 核医学科 1、工作场所屏蔽 核医学科控制区各用房四周墙体拟采用 20~40cm 混凝土和 20~30cm 实心砖, 诊断区顶棚采用 25cm 混凝土+70cm 水泥回填垫层, 治疗区顶棚采用 35cm 混凝土, 防护门窗为 2~20mmPb。根据后文核算, 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率均低于 2.5 μ Sv/h, 满足标准限值要求。PET 和 SPECT 候诊室内候诊椅之间拟设置 10cm 实心砖隔断。各防护门和观察窗的生产委托有生产资质的厂家承担, 保证产品和安装质量, 合理设置搭接宽度。 核医学科工作场所穿墙管线主要包括通风管网和 2 间检查室的设备穿墙电缆等, 核医学科各功能用房通风管道均由墙体上方靠近顶棚处水平直接穿墙, 穿墙高度超过 3m。通风管道穿越核医学科控制区边界处, 采用 5mmPb 铅板包裹, 作为屏蔽补偿。SPECT 和 PET 检查室电缆穿墙位置均设置在机房与控制室共用墙体下方地坪处(垫层内, 位于混凝土楼板上), 电缆沟穿墙处拟采用 5mmPb 防护材料覆盖。 甲癌病房和诊断区候诊室均设置采光窗, 采光窗采用铅玻璃材料, 防护厚度满足要求。 2、工作场所表面装备结构				

续表 10 辐射安全与防护

核医学科工作场所地面和墙壁外表面均使用光滑易清洗、防渗透的材料，放射性药物操作台面使用不锈钢。

3、辐射防护及安全设施

①警示标识与工作状态指示灯

拟在核医学科设置控制区和监督区的标识，在控制区入口、出口、废物暂存间、储源室、PET 检查室、SPECT 检查室等区域防护门上粘贴电离辐射警告标志，放射性废物桶、手套箱、自动分装仪外设置电离辐射标志。PET 检查室、SPECT 检查室防护门上方设置与门联锁的工作状态指示灯。

②门禁装置

核医学科控制区患者专用出入口均设置单向门禁，防止无关人员入内。甲癌患者住院病房等处均设置门禁，禁止无关人员入内。甲癌病房门禁系统由工作人员远程控制，除到走廊领取餐食（外包装选择体积和重量较小的材质）等必要情况下打开外，其余时段，病房门均处于关闭状态，避免甲癌住院病人随意出入和无关人员误入，在紧急情况下，断电后，门禁系统失效后，可以手动打开防护门。

核医学科安全设施拟设置图见附图 6.6。

4、工作场所及患者管理措施

①工作场所管理措施

设置控制区和监督区的标识，诊断区和治疗区放射性药物操作区域的工作人员出入口处均拟设置卫生通过间，并放置表面污染监测仪，操作放射性药物的工作人员离开控制区前拟清洗并进行表面污染监测，合格后方可离开。同时控制室内物品，也必须监测合格后才带出。

每天工作结束后，使用表面污染监测仪对工作场所污染水平进行监测，每周使用辐射剂量仪对工作场所外代表性区域的周围剂量当量率进行自主监测，另核医学科各功能用房辐射防护情况每年委托有资质单位进行一次监测，监测结果妥善保存，发现结果不符合标准要求的，及时整改。明确控制室区不得饮食、饮水、抽烟等，且不得在控制区内放置与放射性药物操作无关的物品。

控制区内设置专用污洗间，用于放置拖把、抹布等场所清洁用品，不与其他区域混

续表 10 辐射安全与防护

用，清洁由核医学科放射工作人员负责。控制区内各功能用房的洗手池、便池等拟采用脚踏式和感应式出水方式。

②患者管理措施

核医学科按照乙级非密封源工作场所管理，注射/服用了放射性药物的病人在专用卫生间入厕。拟在地面和墙壁上设置病人行走箭头标识、提示标牌等，指示各类人员在项目场地内的活动路径。病人活动区域拟设置对讲、视频监控装置。通过管理措施，尽量避免受药病人之间的交叉影响，病人进入控制区前，告知病人就诊、离开注意事项。包括按照指示标牌行进、听从工作人员指导在核医学科内指定区域注射/服用放射性药物、使用放射性药物后不能随意走动、离开核医学科后按照指引离院、不要到人员聚集场所，特别需要避免和儿童接触等。

建立核医学科工作制度、受检者/患者管理制度等，对项目诊疗流程、设备及放射性药物操作、患者在控制区内的活动进行规范，便于管理。在候诊室、甲癌病房等患者驻留区域均粘贴患者注意事项，要求患者在核医学科诊疗期间，不要随地吐痰、卫生间使用后及时冲洗，注意手部清洁等内容。

制定住院患者管理制度和登记台账，规范患者住院期间行为和离院注意事项，并在患者离院前，发放信息卡，注明患者使用放射性药物情况和个人信息等。

5、放射性核素和废物管理

①放射性核素管理

治疗区和诊断区储源室防护门均设置防盗门锁，钥匙专人保管，房间内均安装监控。接收、使用放射性药物及时登记建档，做到交接账目清楚、账物相符，敷贴器到货后，还应对其表面 5cm 和 100cm 处的周围剂量当量率进行监测，并将结果登记在使用台账中。核医学科按照每批次患者使用量订购放射性药物，未使用完的放射性药物放回储源室保存，不能使用的放射性药物作为放射性固废处置，并登记去向，使用后的敷贴器作为放射性废源，交厂家回收处置。

放射性药物使用前，放置在厂家提供的防护容器内，除 PET/CT 显像检查和甲状腺治疗使用的核素（ ^{18}F 、 ^{131}I ）外，其余放射性药物均按照医院订购需求分装好后再送到核医学科。敷贴治疗直接购置制备完成的成品 ^{32}P 敷贴器（敷贴器购置合格厂家生产的，

续表 10 辐射安全与防护

并要求厂家提供生产批号、敷贴核素情况、表面剂量率等信息)。所有放射性药物根据使用场所分别暂存在核医学科指定用房内,并在储存场所处设置专用存放柜等,放射性药物存放柜外粘贴电离辐射标志。 ^{131}I 放射性药物采用自动分装给药设备,工作人员隔室操作设备。诊断区放射性药物注射时,使用配套注射器防护套、注射窗等防护设施,并采用预埋针等方式,尽可能减少工作人员操作时间,降低放射性药物对工作人员的辐射影响。

②放射性废物管理

治疗区和诊断区放射性废物暂存间等用房防护门均设置防盗门锁,钥匙专人保管,房间内均安装监控。放射性废物每日由专人分类、打包、记录后转移至放射性废物暂存间,并在放射性废物袋外设置内含放射性废物情况标签,建立放射性废物暂存间接收、转移台账。

放射性污物桶外粘贴电离辐射标志,针头等尖锐废物单独收集,避免划伤人员。每袋废物重量不超过 20kg,含 ^{131}I 的放射性废物需暂存超过 180 天,含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性废物暂存时间需超过 30 天,含 ^{89}Sr 的放射性废物需暂存超过 500 天。固体放射性废物暂存时间满足要求的,经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平, β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的,对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

甲癌病房患者使用后的被服单独放置在污染被服暂存间内暂存,存放 8 天后,对被服表面进行表面污染监测,满足要求后再送交清洗,且清洗后仅用于甲癌病房。 ^{32}P 敷贴器均直接购买厂家提供的固态成品,废弃源由厂家回收,核医学科不自行处置。

诊断区和治疗区分别设置一套独立的放射性废水衰变设施,用于收集各放射性功能用房内产生的废水,均位于住院部北侧室外土壤层内。衰变池间采用混凝土,2 套衰变设施拟采用槽式衰变池罐体,根据后文核算,其有效容积能满足项目放射性废水的衰变处理要求,保证经衰变后废水总 β 排放满足标准限值要求。

核医学科使用独立通风系统,按照各功能用房布置情况,设置新风和排风管道,且诊断区和治疗区通风管道相互独立。放射性药物手套箱和自动分装仪均设置独立排风管道,风速不小于 $0.5\text{m}/\text{s}$ 。所有排风管道最终通过核医学科专用排风井通向住院楼屋顶排放,排放口处设置活性炭吸附装置。控制区内排风管道设置防倒灌设施。核医学工作人

续表 10 辐射安全与防护

员定期检查通风设施运行情况，形成检查记录，活性炭吸附装置每季度更换一次，更换下的废弃活性炭作为放射性固废处置。

6、敷贴治疗管理设施

敷贴治疗患者座位间隔 1.2m 以上，发放敷贴治疗患者治疗卡，详细记录患者治疗信息和治疗次数，并在每次治疗前收回卡片，治疗结束，更新信息后再交回患者。

本项目使用商品敷贴器，敷贴器表面已覆盖塑料薄膜等材料，其表面污染和剂量率满足标准要求。对患者进行敷贴治疗时，工作人员使用 3mm 以上橡胶板覆盖敷贴治疗区周边正常人体组织。脸部敷贴时，注意屏蔽病变区域周边正常皮肤，其余部位，露出正常皮肤范围不大于 0.5cm。周边正常皮肤结果屏蔽后，在表面再覆盖一张塑料薄膜，然后再将敷贴器贴在病变部位表面。治疗过程中，使用胶带固定敷贴器，控制照射时间。敷贴治疗操作过程中，工作人员全程使用有机玻璃眼镜等用品，并尽可能使用镊子等工具，操作过程中，避免敷贴器接触锐器，划破敷贴器外表层。

(7) 甲癌患者管理措施

住院病房均拟设置为单人间，甲癌患者服药后在专用病房内住院观察，在走廊上安装辐射剂量率监测设备，其体表 1m 处周围剂量当量率低于 25 μ Sv/h 时才允许出院。

7、个人防护用品和辅助防护设施

拟配置移动铅屏风、注射器屏蔽套、铅衣、铅帽、铅眼镜、铅围裙等防护用品和防护设施。

表 10-9 项目拟配置的个人防护用品和辅助防护设施情况

序号	防护用品名称	数量	铅当量	使用场所
1	注射器防护套	1 个 (^{18}F)	15mmPb	诊断区分装室
		1 个 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	5mmPb	
2	移动注射车	1 个	20mmPb	流动使用
3	铅围裙、铅围脖、铅手套、铅眼镜、铅衣、铅手套	5 套	0.5mmPb	卫生通过间、SPECT 和 PET 检查室等

8、辐射监测与事故应急处理

为每个工作人员均配备个人剂量计并进行个人剂量监测，在有条件的情况下，将会对放射性药物操作人员进行手部、眼部个人剂量监测和内照射评价。发现个人剂量监测

续表 10 辐射安全与防护

数据异常的将进行调查，并根据调查结果调整工作人员工作内容。

核医学科拟制定辐射事故应急处理措施，主要针对放射性物质泼洒造成的放射性污染的应急处理流程，另核医学科拟配备清污去污用品和工具，清洗设施等，发生放射性污染后，可以及时处理。按照要求进行定期演练，核对应急物资准备情况，发生辐射事故后，可以有效进行应急工作。

核医学科辅助防护用品、设施及监测仪器等具体配置情况见本报告表 1-6。

10.7 放射性“三废”的处理

根据工程分析，项目涉及放射性三废的有核医学科，放疗中心和 DSA 手术室不产生放射性“三废”。

10.7.1 核医学科放射性废气

根据核医学科废气管网布置图可知，本项目核医学科控制区共设置9套排风管网，其中治疗区和诊断区各排风管道彼此独立。最终所有排风管道在核医学科专用排风井处汇集，通过排风井，独立通向住院楼11F屋顶上方排放。各管道收集范围见表10-11所示。

表10-11 核医学科工作场所废气收集情况表

区域	管道编号	主要收集范围	备注
治疗区	①	10间甲癌病房	管道通过大楼排风井，独立通向医疗住院楼11F屋顶上方排放，出口设置活性炭
	②	支管1：10间甲癌病房卫生间	
		支管2：甲亢留观室卫生间	
	③	支管1：清洁间、被服间	
		支管2：污洗间、患者走廊、甲亢留观室	
		支管③：抢救室	
		支管4：清洁间、储源室、服药室、注射室	
	④	废物间1、废物间2、污染被服暂存间	
诊断区	⑤	自动分药仪	
	⑥	手套箱	
	⑦	支管1：PET候诊室、抢救室、SPECT候诊室、SPECT检查室、SPECT VIP候诊室、清洁间、PET VIP候诊室、PET留	

续表 10 辐射安全与防护

		观室、PET检查室、SPECT留观室、患者走廊	
		支管2: PET注射室、SPECT注射室、储源室、废物间	
	⑧	各候诊室、留观室卫生间	
	⑨	手套箱	

注：衰变池放射性废气通过排气筒排放，排气筒离地高约4m，周边为室外绿化、道路等；

项目核医学科各功能用房的通风口通过并联的方式汇入相应排风管道，各管道内设置防倒灌装置，并保持负压。各放射性废气管经排风井（内部废气管道各自独立）引至住院楼11F楼顶，再经活性炭吸附后高于楼顶排放，另诊断区和治疗区放射性药物操作使用的手套箱及自动分装仪在设备上方额外设置一套活性炭装置。活性炭定期更换，更换下的活性炭作为放射性固废，暂存在核医学科治疗区放射性废物间内，存放时，活性炭放置在密封袋内。

综上所述，核医学科共设置9套独立的排风管网，其中10间甲癌病房使用1套排风管网，治疗区3个放射性废物间（废物间1、废物间2、污染被服暂存间）使用1套排风管道，治疗区和诊断区的手套箱分别使用1套排风管道。诊断区和治疗区的排风管道全部相互独立，且注射室、储源室等场所的排风口接入点均拟设置在管道末端，整体满足放射性废气流向从低活度到高活度区的要求。诊断区工作场所使用1套排风管网，该管网分为2个支管，支管1为注射室、储源室、废物间等直接涉及放射性核素的场所，其接入口位于总管末端，支管2为候诊室、检查室、留观室等注射室患者活动区域，放射性核素注射到患者体内后，基本不会逸散到空气中，因此该部分用房内空气中放射性核素含量都很微弱，较药物操作区而言属于低活度区，其接入口位于总管前端。防护手套箱风速不低于0.5m/s，废气收集处和排放处均设置活性炭吸附，能保证废气得到充分的吸附。各排风管道内设置防倒灌装置，防止交叉污染。核医学科通风设施的设置满足HJ1188-2021中关于通风的相关要求。

10.7.2核医学科放射性废水

核医学科拟采用污污分流的方式。普通医疗废水进入医院污水处理站处理，放射性废水经衰变处理设施处理达标后再进入医院污水处理站进一步处理。

本项目共设置2套衰变处理设施（以下称衰变池），均位于住院楼北侧室外绿化土壤下方，使用混凝土修建一个池体（以下称衰变池间），用于放置衰变槽、管网和其他

续表 10 辐射安全与防护

配套设施设施，2套衰变池排放方式均为槽式间歇性排放。

核医学科各功能用房的放射性废水收集管网布置在核医学科地面下方（核医学科下方为实土层），诊断区和治疗区的放射性废水通过重力自流经管网收集至核医学科污水间1（墙体为350mm混凝土、顶棚为350mm混凝土、防护门为16mmPb）和污水间2（墙体为200mm混凝土、顶棚为250mm混凝土、防护门为10mmPb）内，再通过污水间提升装置（一备一用），将废水通过废水管道（室内部分铺设-1F天花上方，离地约4m，管道采用5mm铸铁管，裸露在空气部分包裹5mmPb铅）排向住院楼北侧室外绿化下方的衰变池间处，污水间按照重点防渗要求建设。核医学科产生放射性废水的房间主要为诊断区注射后候诊室卫生间、留观室卫生间、甲癌病房卫生间、污洗间、卫生通过间淋浴区等，排水点主要为便池、洗手盆、地漏处，放射性废水管道由排水点处下穿，然后在回填层内铺设。污水间位于诊断区和治疗区控制区内，衰变池间位于住院楼北侧室外土壤层下方，池体和池顶板采用300mm混凝土，衰变池间顶板与地面齐平，检修入口高于地面，检修口四周和顶板采用混凝土。

2套衰变池均采用槽式间歇排放工艺，拟采用一体式专业设施，为高度智能化控制系统，拟设置控制系统、剂量监控探测系统，所有运行状态自行监控，实现全自动稳定运行。

2个衰变池收集范围见表10-12所示。

表10-12 放射性废水收集情况表

名称	收集区域	对应污水间	主要收集范围	备注
1#衰变池	治疗区	污水间1	10间甲癌病房卫生间、清洁间、卫生通过间、污洗间、甲亢留观室卫生间	2套衰变池独立运行
2#衰变池	诊断区	污水间2	卫生通过间、PET候诊室卫生间、抢救室、SPECT候诊室卫生间、PET VIP候诊室卫生间、清洁间、SPECT VIP候诊室卫生间、PET留观室卫生间、SPECT留观室卫生间	

1#衰变池包括4个并联的衰变槽组成，每个衰变槽尺寸为9m×4m×3m，采用自动化控制系统，当第1个槽体注满后，自动关闭，开启第2个槽体，当第2个槽体注满后，

续表 10 辐射安全与防护

自动关闭，开启第 3 个槽体，依次类推，到第 3 个槽体注满后，开启第一个槽体进行排放，依次循环。放射性废水排放口处设置自动取样监测系统。衰变池的总体积为 432m^3 ，有效体积为 374.4m^3 （根据厂家提供资料，其有效容积可以达到总容积的 86.6%），单个衰变槽有效体积均为 93.6m^3 。根据后文核算，衰变处理设施的体积能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）等标准的要求，经处理后的废水能达标排放。

2#衰变池包括 3 个并联的衰变槽组成，每个衰变槽尺寸为 $2.5\text{m} \times 2\text{m} \times 3\text{m}$ ，采用自动化控制系统，当第 1 个槽体注满后，自动关闭，开启第 2 个槽体，当第 2 个槽体注满后，自动关闭，开启第 3 个槽体，依次类推，到第 2 个罐注满后，开启第一个槽体进行排放，依次循环。放射性废水排放口处设置自动取样监测系统。衰变池的总体积为 45m^3 ，有效体积为 39m^3 （据厂家提供资料，其有效容积可以达到总容积的 86.6%），单个衰变槽有效体积均为 13m^3 。根据后文核算，衰变处理设施的体积能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）等标准的要求，经处理后的废水能达标排放。

根据后文核算，污水间、衰变池间周边人员可到达处的周围剂量当量率均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足评价标准《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）等标准的要求。

衰变池间和污水间按照重点防渗要求建设，项目放射性废水管道则采用耐腐蚀的特种管道，衰变池间顶面上方设电离辐射警示标识。衰变池前端拟设置带绞刀的废液预处理槽（内设污水提升泵，一备一用），放射性废水经过搅拌破碎后再接入放射性废水衰变槽体进行后续衰变处理。

10.7.3 核医学科放射性固废

由污染源分析可知，核医学科放射性固体废弃物主要包括一次性注射器、手套、一次性纸杯、病房区住院病人沾染放射性药物的餐盒、纸巾、被服等，以及更换下来的活性炭吸附网等物品。

病房区住院病人使用过的被服拟在污染被服间内暂存，达到清洁解控水平后（至少暂存一个半衰期）再进行清洗消毒处理，而后再利用。核医学科病房区的被服单独清洗和使用，不与其他病房的被服一起清洗和混用。使用后的 ^{32}P 敷贴治疗器收集后交厂家回收。

本项目在核医学科治疗区分装室旁设置废物间1（内空面积约 4.5m^2 ），在治疗区西

续表 10 辐射安全与防护

侧设置废物间2（内空面积约7m²），在核医学科诊断区分装室旁设置废物间（内空面积约3m²）。

各废物间收集范围见表10-13所示。

表10-13 核医学科工作场所固废收集情况表

名称	区域	主要收集范围	备注
废物间1	治疗区	放射性药物分装、注射、患者服药等过程中产生的放射性固废、更换下来的废活性炭	在相应废物间暂存达到要求，经监测合格转运至医院废物间。 甲癌患者住院被服暂存8天后，结果监测满足要求，然后统一进行清洗后回用
污染被服暂存间		甲癌患者住院产生的放射性固废，包括被服、生活垃圾等	
废物间2		治疗区废物间存储达到空间上限后，转运过来的废物	
废物间	诊断区	放射性药物分装、注射过程中产生的放射性固废。未使用完的放射性核素	

核医学科工作场所各放射性废物产生点设置放射废物桶，放射性废物在每天诊疗工作结束后，由专人统一收集处理。治疗区和诊断区的放射性废物单独收集。更换下来的废活性炭统一按照治疗区要求，暂存在治疗区放射性废物间。放射性废物衰变达到规定时间要求并监测合格后作为一般医疗废物交有资质单位处理。甲癌病床配置专用被服，换下来的被服先在病房废物间存放衰变，衰变至少一个半衰期清洗后再使用。未用完的放射性药物，在放射性废物间暂存后作为放射性固废衰变处置。

核医学科放射性固废均进行了分类收集处理，对环境的影响可以接受。

另外，项目放射性固废应严格采取以下治理措施：

①严格区分放射性废物与非放射性废物，不混同处理，力求控制和减少放射性废物产生量，每袋放射性废物重量不超过 20kg。

②放射性固废应按照医疗废物（危险废物）的管理要求，实行联单管理制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。

③供收集的专用废物桶应具有外防护层和电离辐射标志，内置专用塑料袋，废物桶放置点应避开工作人员作业和经常走动的地方。

续表 10 辐射安全与防护

④内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如针头套、硬牛皮纸外套），防止刺破废物袋。

⑤放射性废物间设紫外灯消毒杀菌，经常检修排风系统，保持室内良好的通风，废物间防护门上均设置电离辐射警告标志。

⑥废物暂存间不存放易燃、易爆和腐蚀性物品。

10.8 拟采取辐射安全与防护措施与相关要求的符合性分析

本项目拟采取的辐射安全与防护措施与《核医学辐射防护与安全要求》HJ1188-2021、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198—2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121—2020）、《核医学放射防护要求》GBZ（120—2020）等相关要求对比情况见表 10-14 所示。

续表 10 辐射安全与防护

表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表		
标准号	标准要求	项目情况
HJ 1198—2021	4.5 构成放射治疗相关辐射工作场所安全联锁系统的物项应满足以下要求： a) 应满足冗余性要求，采用的物项应为完成某一安全功能所必须的最少数目的物项，保证运行过程中某物项失效或不起作用的情况下可使其整体不丧失功能； b) 应满足多元性要求，包括系统多元性和多重剂量监测，采用不同的运行原理、不同的物理变量、不同的运行工况、不同的元器件等； c) 应满足独立性要求，当某一安全部件发生故障时，不会造成其它安全部件的功能出现故障或失去作用； d) 应满足失效安全的要求，当某一安全物项或部件出现故障时，应确保放射治疗装置重新回到安全状态。	放射治疗设备自带多重安全联锁系统，且满足冗余性和独立性要求
	4.7 从事放射治疗的医疗机构应对放射治疗场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估，证明采取的辐射安全与防护措施的有效性。	放疗中心拟配备辐射剂量巡测仪，定期对直线加速器机房外周围剂量当量率进行检测
	4.10 开展放射治疗活动的医疗机构应制定相应的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备、应急演练和应急响应，确保有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。	医院拟制定辐射事故应急预案，放疗中心拟制定直线加速器专项辐射事故应急处理措施，定期组织进行应急演练工作，确保辐射事故的有序处理
放射治疗场所辐射安全与防护要求	6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。	本项目 2 间直线加速器机房均采用混凝土浇筑，满足要求
	6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。	直线加速器的电缆、通风管道等在设计上采用 U 型和斜向 45° 的穿墙方式，通风管道穿墙区域采用混凝土进行防护补偿，防护门设计上考虑了门与墙体的搭接宽度
	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： a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明； b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯； c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。	放疗中心入口处和各放射治疗机房防护门外均拟粘贴电离辐射警告标志，防护门上方拟设置与设备联锁的工作状态指示灯，机房内设置多个视频监控，显示器安装在控制室内，且机房和控制室间安装对讲装置。

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
HJ 1198 —2021	放射治 疗场所 辐射安 全与防 护要求	6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。	直线加速器机房内均拟安装固定式剂量报警仪探头，安装位置位于机房迷路内入口处，显示面板安装在控制室，加速器机房内剂量率水平超过报警仪设定阈值，报警仪可以放出警报
		6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施： a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门—机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施； b) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能； c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发； f) 安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。	直线加速器机房的防护门拟与设备联锁，防护门开启状态下，设备将无法正常出束，设备运行过程中，防护门意外开启，设备将停止出束。 防护门处拟设置红外线防挤压装置，防止人员误伤，防护门内侧墙上安装紧急开门按钮。机房迷路入口内、控制台、机房内墙上、机身等处均拟设置急停按钮，且在急停按钮处用文字标明。 安全联系系统一旦被触发，需由工作人员在控制台进行操作后才能重新启动设备。正常设备维修时，不会改动安全联系设施的设置，设备重新运行前，工作人员现场检查安全联锁设施正常后，才能开始工作
	操作的 辐射安 全与防 护要求	7.1 医疗机构应对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。	放疗中心拟制定安全联锁系统检查制度，根据不同设施情况进行定期检查
		7.2 治疗期间，应有两名及以上人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守。	每台直线加速器拟配备 2 名操作技师，2 名工作人员作为一组，同时进行工作。拟制定直线加速器工作场所管理制度，要求设备操作人员做好当班记录，严格执行交接班制度，加速器设备试用、调试、检修期间，必须有操作人员在控制室值守。

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
HJ 1198—2021	操作的辐射安全与防护要求	7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入含放射源或质子/重离子装置的治疗室前须携带个人剂量报警仪。检修人员进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域前，应先进行工作场所辐射监测，在单位辐射安全管理机构批准后方可进入。进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域的参观人员须在辐射工作人员带领下进入。	直线加速器机房拟设置门机联锁、工作状态指示灯、电离辐射警示标志等，禁止无关人员入内。工作人员在系统提示治疗结束，通过监控确定机房内情况后，再打开防护门进入机房，并随身佩戴个人剂量报警仪
	放射性废物管理要求	8.2.2 其他固体废物管理要求 1、质子/重离子加速器、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。 2、建立放射性固体废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率）、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固体废物处置，并做好存档记录。	本项目直线加速器机头组件更换后全部交由厂家回收。 本项目直线加速器 X 射线能量最大值为 10MV，无放射源，因此本项目无放射性固废。
		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。	2 间直线加速器机房内均设置机械排风系统，换气量约 5 次/h，均不小于 4 次/h，排风管道出口位于医院室外绿化处
	辐射监测要求	9.1.1 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。	医院拟制定辐射监测制度，辐射工作场所拟每年委托有资质单位进行辐射防护监测
		9.2.1 应根据使用放射治疗设备种类、能量和使用方式配备相应的辐射监测设备，对辐射工作场所的辐射水平（X- γ 辐射周围剂量当量率、中子辐射周围剂量当量率等）进行监测。	医院拟制定辐射监测制度，辐射工作场所拟每年委托有资质单位进行辐射防护监测
		9.2.2 应对放射治疗工作场所机房四周屏蔽墙外 30 cm 处、顶棚、操作位、观察窗、防护门，以及其他关注处点开展 X- γ 辐射周围剂量当量率监测；中子源治疗装置、质子/重离子加速器治疗装置、大于 10 MV 的 X 射线放射治疗设备还应对前述位置开展中子剂量当量率监测。	按照规范要求，医院拟每年委托有资质单位对辐射工作场所外周围剂量当量率进行监测

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
HJ 1198—2021	辐射监测要求	9.2.3 放射治疗设备安装调试阶段，应在最大工况下，由辐射工作人员进行全面的辐射监测，评估辐射安全状况，确保辐射水平达标。	设备安装调试完成后，拟委托有资质单位对设备性能和工作场所辐射水平进行验收监测
		9.3.1 开展放射治疗相关活动的机构应自行或委托有能力的监测机构对工作场所运行工况下周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于 1 次/年。	医院拟制定辐射监测制度，辐射工作场所拟每年委托有资质单位进行辐射防护监测
		9.4.1 放射治疗工作场所的工作人员应佩戴个人剂量计，对个人外照射剂量进行监测。同时应根据射线类型选择合适的个人剂量计。临时工作人员、实习人员应纳入个人剂量监测范围。	拟为本项目辐射工作人员均配备 1 枚个人剂量计，并定期送交监测，科室的借调、实习等人员均纳入个人剂量监管范畴
GBZ121-2020	空间、通风要求	6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。	直线加速器机房新风口拟设置在机房内靠迷路内墙侧的天花处，排风口设置在新风口对侧墙体（机房侧屏蔽墙）下方靠近地面处，新风口与排风口为对角线分布。直线加速器机房排风风量约 2000m³/h，通风换气次数约为 5 次/h，均不小于 4 次/h。
	放射治疗操作中的放射防护要求	7.1 对于高于 10MV X 射线治疗束和质子重离子治疗束的放射治疗，除考虑中子放射防护外，在日常操作中还应考虑感生放射线的放射防护。	本项目直线加速器 X 射线能量为 10MV。
HJ 1188—2021	服药患者出院要求	4.5.1 为确保放射性核素治疗患者出院后，不至于使接触患者的家庭成员及公众超过相关的剂量约束或剂量限值，出院患者体内放射性核素活度应符合附录 B 的相关规定。	甲癌患者体内活度低于 400MBq 后才允许出院，甲亢患者服药量最大为 370MBq， ⁸⁹ Sr 治疗患者最大使用药物活度为 148MBq，均满足 ¹³¹ I 患者出院活度低于 400MBq， ⁸⁹ Sr 患者出院低于 200MBq 的要求。
		4.5.2 接受碘-131 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400 MBq 以下或距离患者体表 1 米处的周围剂量当量率不大于 25 μSv/h 方可出院。	使用辐射剂量率监测仪对患者体表 1m 处周围剂量当量率进行监测，监测结果小于 25 μSv/h 才允许出院
	屏蔽要求	6.1.1 核医学场所屏蔽层设计应适当保守，按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。	后文按照要求进行了核医学工作场所进行估算

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
HJ 1188—2021	屏蔽要求	6.1.2 设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时，除应考虑室内的辐射源外，还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。	根据后文计算，本项目各功能用房外 30cm 处的周围剂量当量率均小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ，相互之间的辐射影响很小
		6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。	根据后文核算，核医学科各功能用房外 30cm 处周围剂量当量率满足要求
		6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25 $\mu\text{Sv/h}$ 。	根据后文核算，本项目放射性药物手套箱和自动分装仪表面剂量满足要求
		6.1.7 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30 cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。	本项目放射性固废采用带防护屏蔽的铅污物桶，放射性废水衰变池采用地埋式并修建衰变池间，池体采用混凝土结构，使衰变池间表面剂量率满足要求
		6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。	本项目放射性物质均存放在制定用房内，使用前，放射性物质均位于厂家提供的防护容器中
	场所安全措施要求	6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。	核医学科放射性药物操作台面拟采用不锈钢材料，地面采用 PVC 地胶，并延伸上墙。确保表面易清洗
		6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。	放射性药物分装等均在手套箱内完成。工作人员配备铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜等个人防护用品，另核医学科配备注射器防护套等防护设施，候诊室座位之间设置实心砖隔断。甲癌病房均为单人间。

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
HJ 1188—2021	场所安全措施要求	6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。	放射性药物操作区工作人员出入口处设置卫生通过间，并配备表面污染监测仪器。工作人员结束工作后，先清洗双手，然后进行表面污染监测，所有控制区内物品带离控制区前均需进行表面污染监测。发现污染，及时使用核医学科配备的去污用品进行去污
		6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。	核医学科拟制定放射性核素使用登记台账，记录放射性核素到货和使用信息。核医学科设置 2 个储源室，放射性核素按照使用情况，分别放置在诊断区和治疗区储源室内。核医学科工作场所每年委托有资质单位进行工作场所辐射防护监测，控制区出入口均设置门禁装置，禁止无关人员入内
		6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。	核医学科拟配置铅罐等防护设施，表面均粘贴电离辐射警告标志。铅罐拟设置手提把手
		6.2.7 敷贴器治疗场所应设置专门的治疗室，治疗时严禁将敷贴源带出治疗室外。敷贴治疗中，医务人员应采取有效的个人防护措施，对病人的正常组织应采用合适的屏蔽措施。敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面，不得将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后应存放于干燥的贮源箱内。	核医学科拟设置一间专门的敷贴治疗室，并分隔为库房和患者治疗室。治疗过程中，严禁患者离开治疗室。工作人员使用必要的防护用品，并使用橡胶板等屏蔽患者正常组织。治疗过程中，避免敷贴器接触锐器，不得接触水和酒精等溶剂
		6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯	SPECT/CT 和 PET/CT 检查室防护门上方均设置与防护门联锁的工作状态指示灯
	密闭和通风要求	6.3.1 核医学工作场所应保持有良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。	核医学科使用独立通风系统，各区域气流基本保持监督区向控制区流动，且诊断区和治疗区排风管道相互独立，药物操作手套箱等使用独立排风管道，保持工作场所各区域的压差，且放射性区域通风管道内均设置防倒灌装置，防止交叉污染。
		6.3.3 碘-131 治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。	10 间甲癌治疗病房并联至同一条排风管道，且位于该排风主管不接入其他用房的排风设施，病房门设置电子门禁装置，处于常闭状态

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
HJ 1188— 2021	密闭和 通风要 求	6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。	放射性药物手套箱、通风橱均使用独立排风管道，抽风口风速不低于 0.5m/s，设备顶部抽风口处安装活性炭吸附设施
		6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。	放射性药物手套箱均使用独立排风管道，抽风口风速不低于 0.5m/s。核医学科所有排风管道均由专用排风井引至住院楼 11F 屋顶上方天台处，且排放口位置离最近高层建筑距离均超过了 50m
	放射性 废物的 管理	7.1.1 应根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。	核医学科放射性废物均分类收集，配备多个铅防护污物桶
		7.1.2 应按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，应尽量控制和减少放射性废物产生量。	放射性废物按照产生场所、核素种类等分开收集和打包，控制存放时间，减少存放数量
		7.1.3 核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。	放射性废物按照产生场所、核素种类等分开收集和打包，分类存放在相应放射性废物间内，控制存放时间，减少存放数量，满足解控水平后及时进行处理。
		7.1.4 应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。	拟制定放射性废物处置台账，做好记录并存档备案
		7.2.1 固体放射性废物收集 1、固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。 2、含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。 3、放射性废物每袋重量不超过 20 kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存	核医学科拟配备多个放射性污物桶，设置放射性废物暂存间，注射器针头等尖锐废物单独收集并包装好，放置划伤人员或者刺破垃圾袋。每袋废物重量不超过 20kg，转运前打包好并标注废物信息

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
HJ 1188—2021	放射性废物的管理	7.2.2 固体放射性废物贮存 1、产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。 2、放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。 3、废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。 4、含放射性的实验动物尸体或器官应装入废物袋做好防腐措施（如存放至专用冰柜内），并做好屏蔽防护。不需要特殊防护措施即可处理的尸体含放射性常用核素的上限值见附录 C。 5、废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。	核医学科设置多个放射性污物桶和放射性废物暂存间，放射性废物分类收集和存放并做好记录，放射性废物均密封保存，废物间设置机械排风口，并连接至核医学科专用排风系统中，治疗区 3 个废物间采用独立排风管道。放射性废物间入口粘贴电离辐射警告标志，设置门锁。废物间内不存放易燃、易爆、易腐蚀性的物品
		7.2.3 固体放射性废物处理 1、固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08 Bq/cm²、β表面污染小于 0.8 Bq/cm²的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理： a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天； b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍； c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。 2、不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 4 Bq/cm²、其他 α 发射体应小于 0.4 Bq/cm²。 3、固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。	放射性废物每日由专人分类、打包、记录后转移至放射性废物暂存间，每袋废物重量不超过 20kg，含 ¹³¹I 的放射性废物需暂存超过 180 天，含 ¹⁸F、^{99m}Tc 的放射性废物暂存时间需超过 30 天，含 ⁸⁹Sr 的放射性废物需暂存超过 500 天。放射性废物暂存时间满足要求后，在对垃圾袋表面剂量率（剂量率接近本底辐射水平）和污染水平（表面污染小于 0.8Bq/cm²）监测合格后才能转运。甲癌病房患者使用后的被服单独放置在病房废物间内暂存，存放 8 天后，对被服表面进行表面污染监测，满足要求后再送交清洗。³²P 敷贴器均直接购买厂家提供的固态成品，使用后敷贴器由厂家回收，核医学科不自行处置。 放射性废物袋外设置内含放射性废物情况标签，建立放射性废物接收、转移台账，登记放射性废处置详细信息。

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号		标准要求	项目情况
HJ 1188— 2021	放射性废物的管理	7.3.1 放射性废液收集 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。 2、核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。 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。 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。	核医学科设置 2 个独立放射性废水衰变设施，用于收集诊断区和甲癌治疗区各功能用房产生的放射性废水。使用后多余放射性药物交回厂家回收处置，使用后注射器等可能含有放射性药物的废物单独收集，作为放射性废物处理，铅污物桶外粘贴电离辐射标志。核医学科设置有去污用品、洗手池等，控制区各功能用房和卫生通过间的洗手池出水方式均采用感应出水。下水管道接入污水间，再通过污水间的提升装置将放射性废物流向衰变池，污水间和衰变池池均设置标记。
		7.3.2 放射性废液贮存 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。 2、含碘-131 治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。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。 3、核医学诊断和门诊碘-131 治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为 3-5 级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。	衰变池房和污水间均采用混凝土，并按照重点防渗要求进行处理。诊断区和治疗区分别设置一套独立放射性废水收集衰变池。根据后文核算，核医学科 2 个放射性废水设备设施的容积均满足放射性废水衰变要求。 2 个放射性衰变池均拟采用多个独立槽体构成，并在放射性废水接入衰变槽体前，设置生物降解池。衰变池采用自动化感应管理，并设置出水活度监测装置，衰变池设置搅拌破碎设施，防止管道堵塞。

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
HJ 1188— 2021	放射性废物的管理	7.3.3 放射性废液排放 1、对于槽式衰变池贮存方式： a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放； b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期(含碘-131 核素的暂存超过 180 天)，监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1 Bq/L、总 β 不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/L。 3、放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。	1、两个衰变池均采用槽式衰变池，根据后文核算，治疗区衰变池容积可以满足 180 天的存放要求，且出口总 β 小于 10 Bq/L。诊断区衰变池容积可以满足 30 天的存放要求。 2、核医学科拟制定放射性废物处置管理制度，建立放射性废物处置台账，放射性药物操作剩余的废液中，半衰期超过 24h 的交回厂家处置，半衰期小于 24h，废液连同包装容器一起作为放射性固废处置。
		7.4 气态放射性废物的管理 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。 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。	核医学科使用独立通风系统，各功能用房排风口连接至排风管道，然后通过核医学科专用排风井通向住院楼 11F 屋顶上方天台排放，排放口处设置活性炭过滤吸附设施，活性炭定期更换，更换下的活性炭作为放射性固废处置
	辐射监测	8.1.1 开展核医学诊疗实践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。	核医学科每年委托有资质单位进行一次工作场所辐射防护监测
		8.1.2 所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括测量对象、测量条件、测量方法、测量仪器、测量时间和测量人员等信息。	委托有资质单位进行，妥善保存监测结果
		8.1.3 应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应查找原因并及时报告，提出改进辐射防护工作的意见和建议。	发现结果不满足标准要求的，及时进行整改

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
HJ 1188—2021	辐射监测	8.2.1 应根据使用放射性核素种类、数量和操作方式,对核医学工作场所的外照射剂量率水平和表面放射性污染水平进行监测。	核医学科每年委托有资质单位进行一次工作场所辐射防护监测,包括工作场所外周围剂量当量率和工作场所表面污染水平,另核医学科也会使用购置的表面污染仪对场所和人员表面污染水平进行检测
		8.2.2 核医学工作场所辐射监测点位、内容和频次应包括但不限于表 1 的内容。	核医学科使用购置的辐射剂量监测仪和表面污染仪进行自主监测,工作场所辐射防护水平监测周围为 1 个月,工作场所表面污染水平监测为每次工作结束后
		8.3 环境监测:开展核医学相关活动的机构应自行或委托有能力的监测机构对工作场所周围环境的辐射水平进行监测,监测频次应不少于 1 次/年。	核医学科每年委托有资质单位进行一次工作场所辐射防护监测
		8.4.1 核医学工作场所的工作人员应佩戴个人剂量计,对个人外照射剂量进行监测。	为每个工作人员均配备个人剂量计并进行个人剂量监测
		8.4.2 对于操作大量气态和挥发性放射性物质的工作人员,应根据场所的放射性气溶胶浓度开展内照射评价,当怀疑其体内受到放射性污染时,应进行体内放射性监测。	在有条件的情况下,将会对放射性药物操作人员进行内照射评价。
		8.4.3 个人剂量档案应按要求妥善保存,监测数据异常时,及时进行调查。	妥善保管个人剂量监测报告,发现个人剂量监测数据异常的将进行调查,并根据调查结果调整工作人员工作内容。
GBZ120-2020	放射防护措施要求	5.2.4 分装药物操作宜采用自动分装方式, ¹³¹ I 给药操作宜采用隔室或遥控给药方式。	本项目甲状腺治疗使用的 ¹³¹ I 药物分装给药采用自动化设备,工作人员在独立操作室隔室操作设备运行。其余放射性药物基本拟直接购买已分装完成的成品药物, ¹⁸ F 由工作人员在手套箱内手动分装。
		5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。	核医学科控制区各出入口外均拟设置电离辐射警告标志
		5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。	核医学科地面拟粘贴患者就诊引导标识
		5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。	核医学科控制区内设置多个监控探头和对讲装置,包括患者走廊、注射后候诊室、检查室等,2 间检查室与控制室间设置铅玻璃观察窗

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
GBZ120-2020	个人防护用品、辅助用品及去污用品配备	6.1.1 个人防护用品及去污用品 开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品，其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护服。当使用的 ^{99m}Tc 活度大于 800 MBq 时，防护用品的铅当量应不小于 0.5mmPb；对操作 ^{68}Ga、^{18}F 等正电子放射性药物和 ^{131}I 的场所，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。	本项目拟配备铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜等个人铅防护用品和橡胶板、有机玻璃眼镜等敷贴治疗过程中的防护用品，另核医学科拟配置一次性橡胶手套、口罩、防水工作服和工作鞋、去污剂（加入清洗洗涤剂 and 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、一次性镊子等应急去污用品。 操作放射性药物的时候，拟通过熟练技能、使用留置针等方式缩短操作时间，同时使用注射器防护套。^{131}I 放射性药物的分装和给药由自动分装设备完成，工作人员隔室操作。
		6.1.2 辅助用品：根据工作内容及实际需要，合理选择使用移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、分装柜或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品	核医学科拟配置移动铅防护屏、注射器防护套、铅防护罐、放射性药物手套箱、铅污物桶等设施，以便满足工作中的防护要求
	放射性药物操作的放射防护要求	6.2.1 操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。	核医学科诊断区设置有专门的放射性药物分装注射室，另配备有移动注射车。治疗区设置放射性药物服药室和 ^{89}Sr 注射室。放射性药物使用前均放置在厂家提供的防护箱中
		6.2.2 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。	核医学科拟配置专业的注射器防护套
		6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。	核医学科工作人员在操作放射性药物的过程中，将按照规范要求合理使用防护用品，并尽可能缩短操作时间
		6.2.4 操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风柜内进行。通风柜保持良好通风，并按操作情况必要时进行气体或气溶胶放射性浓度的监测；操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体的工作人员宜使用过滤式口罩。	^{131}I 放射性药物操作在自动分装仪内进行，并设置通风柜，使用独立机械排风管道。核医学科工作人员进入控制区后，全程佩戴口罩，使用后的口罩作为放射性废物处置

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
GBZ120-2020	放射性药物操作的放射防护要求	6.2.5 控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。	核医学科拟制定管理制度，要求在控制区内不能饮食、饮水、抽烟等，且不得在控制区内放置与放射性药物操作无关的物品
		6.2.6 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过标准规定值，应采取相应去污措施。	诊断区和治疗区放射性药物操作区域工作人员出入口处均设置卫通过间、安装洗手池，放置表面污染监测仪，配备清洁去污用品，工作人员结束工作后，先洗手，然后对体表沾污情况进行监测，监测合格方能离开
		6.2.7 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 2 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。	核医学科拟在制度中明确所有控制区内物品必须在经过表面污染监测合格后方能带出控制区
		6.2.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。	放射性药物使用前储存在厂家提供的防护屏蔽容器内，妥善保管在放射性药物操作区的指定用房内
		6.2.10 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。	本项目放射性核素存放场所均位于控制区内，且房间门均能上锁，核医学工作场所辐射防护情况拟由有资质单位每年进行一次检测
		6.2.11 贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。	放射性核素在运输过程中，均放置在厂家提供的专业储源容器内，另核医学科拟配备铅罐和注射器转运罐等防护设施
		6.2.12 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。	核医学科拟制定放射性核素使用登记台账，记录放射性核素到货、使用等内容
		6.2.13 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。	本项目涉及放射性核素基本按需订购，未使用完的放射性物质将妥善放置在相应核素储存柜内，交由厂家回收

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
GBZ120-2020	放射性药物操作的放射防护要求	6.2.14 当发生放射性物质溢出、散漏事故时,应根据单位制定的放射事故处置应急预案,参照使用 6.1.2 和附录 K 所列用品,及时控制、消除放射性污染;当人员皮肤、伤口被污染时,应迅速去污并给予医学处理。	核医学科拟制定辐射事故应急处理措施,主要针对放射性物质泼洒造成的放射性污染的应急处理流程,另核医学科拟配备清污去污用品和工具,清洗设施等,发生放射性污染后,可以及时处理
		6.2.15 核医学放射工作人员应按 GBZ 128 的要求进行外照射个人监测,同时对于近距离操作放射性药物的工作人员,宜进行手部剂量和眼晶状体剂量监测,保证眼晶状体连续 5 年期间,年平均当量剂量不超过 20 mSv,任何 1 年中的当量剂量不超过 50 mSv;操作大量气态和挥发性物质的工作人员,例如近距离操作 ^{131}I 的工作人员,宜按照 GBZ 129 的要求进行内照射个人监测。	核医学科工作人员均拟配备个人剂量计并进行个人剂量监测,在有条件的情况下,将会对放射性药物操作人员进行手部和眼部个人剂量监测
	患者出院的管理要求	7.2.2 对甲亢和甲状腺癌患者,出院时应按附录 L 中 L.4 给出接触同事和亲属及到公众场所的合理限制和有关防护措施(限制接触时间及距离等)的书面建议。	^{131}I 患者治疗前,工作人员将提供书面告知文件,并讲解服药后的注意事项,包括与其他人员的接触距离,接触时间限制等
	陪护者、探视者和家属的防护管理要求	7.3.1 开展核医学工作的医疗机构应向陪护者、探视者和家庭成员提供有关的辐射防护措施(例如限定接触或接近患者或受检者的时间等)及其相应的书面指导(见附录 L),用附录 L 中 L.1 给出的剂量控制参考值对其所受剂量加以约束,使其在患者或受检者诊断或治疗期间所受的剂量不应超过 5 mSv。儿童应尽量避免探视已施用放射性药物的患者或受检者,无法避免时所受剂量不应超过 1 mSv。	核医学科患者在诊疗期间,正常情况,不允许公众陪护和探视,患者就诊前,将提供书面材料告知患者核医学放射性药物检查和治疗后的注意事项,要求在一段时间内,尽可能减少和公众的接触,特别需要避免和儿童接触
		7.3.2 对接受放射性药物治疗的患者,应对其家庭成员提供辐射防护的书面指导。对接受放射性药物治疗的住院患者,仅当其家庭成员中的成人所受剂量不能超过 5 mSv、其家庭成员中的儿童以及其他公众所受剂量不能超过 1 mSv,才能允许患者出院。探视者和家庭成员所受剂量的估算方法以及与剂量约束相对应的放射性药物施用量可见附录 L 中的方法。	放射性治疗患者达到标准规定的出院要求后,才能离开核医学科,另核医学科患者就诊前,将提供书面材料告知患者核医学放射性药物检查和治疗后的注意事项,要求在一段时间内,尽可能减少和公众的接触

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
GBZ120-2020	医用放射性废物的放射防护管理要求	8.4 开展放射性药物治疗的医疗机构，应为住院治疗患者或受检者提供有防护标志的专用厕所，专用厕所应具备使患者或受检者排泄物迅速全部冲入放射性废液衰变池的条件，而且随时保持便池周围清洁。	甲癌病房内均设置独立卫生间，下水管道全部连接至衰变池，卫生间墙壁和地面采用易清洁材料
		8.5 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。	铅污物桶外粘贴电离辐射标志，放射性药物操作区、候诊室、注射给药室等均放置铅污物桶
		8.6 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破损，及时转送存储室，放入专用容器中存储。	放射性废物使用较厚的塑料袋分类打包，打包后，在塑料袋外设置标签，说明里面固废情况，然后放置在放射性废物间内暂存
		8.7 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。	注射器等废物，使用后，单独收集，注射器针头外套塑料保护壳，防止误伤人员
		8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1 mSv/h，质量不超过 20 kg。	每袋放射性废物的重量不超过 20kg，处置前，会对垃圾袋表面剂量率进行监测，不超过 0.1mSv/h 才能打包转运
		8.9 储存场所应具有通风设施，出入口设电离辐射警告标志。	核医学科放射性废物暂存间均设置抽风口并连接至核医学科排风管网，废物间防护门上均拟粘贴电离辐射警告标注
		8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。	放射性废物分类收集，在垃圾袋、铅污物桶等外表面均标注废物种类、收集时间等信息
		8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4 \text{ Bq/cm}^2$ 。	放射性废物转运至医院医疗废物暂存间前，将对垃圾袋表面污染水平进行检测，达到限值要求后才能转运
	¹³¹ I 治疗患者住院期间的放射防护要求	10.1.1 ¹³¹ I 治疗病房区应为相对独立的场所，病房区入口处应设缓冲区。患者住院后，只能在治疗区活动。	本项目甲癌治疗病房区相对独立设置，由住院病房和患者走廊组成，与服药室、门诊治疗患者活动区域之间使用防护门隔断。治疗区患者入口和直接通向病房区的入口处均拟设置缓冲区。患者住院期间，只能在住院病房区域活动。

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
GBZ120-2020	131I 治疗患者住院期间的放射防护要求	10.1.2 ¹³¹ I 治疗病房区应有独立的通风系统，通风管道应有过滤装置，并定期更换，更换的过滤装置按放射性固体废物处理。	甲癌治疗区设置独立通风系统，排放管道出口位于住院楼 11F 屋顶上方，排放口处设置活性炭过滤吸附装置，更换下来的活性炭作为放射性固废处置
		10.1.3 ¹³¹ I 治疗住院患者的排泄物不应直接排到医院的公共污水管道，应先经过衰变池的衰变。下水管道宜短，露出地面的部分应进行防护和标记。	核医学科控制区内放射性废水均排入衰变池内进行衰变后再排入污水处理站进行后续处理。治疗区和治疗区各用房的放射性废水管道均铺设在核医学科地面下方（核医学科下方为土壤层，无建筑物），放射性废水管道分别接入污水间 1 和污水间 2，再由污水间通过提升设备排入衰变池内，从污水间至衰变池之间的放射性废水管道铺设在核医学科顶板上方覆土层内（约 1.7m 厚），各下水管道尽可能短设置。
		10.1.4 病房内应设置患者专用厕所和淋浴间，厕所内应有患者冲厕所和洗手的提示。	甲癌病房内均设置独立患者卫生间，患者住院病房内粘贴住院期间注意事项，包括不要随地吐痰、卫生间使用后及时冲洗，注意手部清洁等内容
		10.1.5 病房可设置采光窗，采光窗应进行必要的防护，使其符合防护屏蔽要求。	本项目甲癌病房内采光窗采用铅玻璃，其防护厚度满足要求
		10.1.6 分装室与给药室之间药物传递应便捷，分装好的 ¹³¹ I 宜采用机械或自动、半自动的方式传递到给药室，给药过程应有监控。分装室应设置工作人员通过间，通过间应配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。	本项目 ¹³¹ I 放射性药物拟采用自动分装仪，分装仪放置在服药室内，由患者自行服药。工作人员隔室操作，服药室内安装监控，操作间内设置显示屏。放射性药物操作区工作人员出入口处设置卫生通过间，安装洗手池、淋浴设施、放置表面污染监测仪
		10.1.7 施用了 ¹³¹ I 治疗药物的患者如需住院应使用专用病房。专用病房宜为单人间，如不能实现，每间病房最多不应超过 2 人，并且 2 人之间应设置适当的防护屏蔽。	甲癌住院病房均为单人间
		10.1.8 病房中应配备对讲、监控等设施。	甲癌病房内安装监控和对讲装置，并在病房内注明该区域有监控和语音设施
		10.1.9 患者使用过的被服应先进行存放衰变，衰变至少一个半衰期再进行清洗。	甲癌病房患者使用后的被服单独放置在污染被服间内暂存，存放 8 天后，对被服表面进行表面污染监测，满足要求后再送交清洗

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表		
标准号	标准要求	项目情况
GBZ120-2020	131I 治疗患者住院期间的放射防护要求	10.1.10 在 ^{131}I 病房场所应使用专用的保洁用品,不能和其他场所(包括核医学其他放射性场所)混用,病房区域内应有存放及清洗保洁用品的场所。
		甲癌病房区设置独立卫生清洁间,用于放置甲癌住院患者工作场所专用清洁用品,并由核医学科工作人员指导清洁人员场所清洁中的注意事项
		10.2.1 宜订购按照患者人份分装的 ^{131}I 药物,如果需要分装,则应配备分装防护通风厨,宜采用自动分装、机械手分装或半自动分装。
		医院按需订购药物, ^{131}I 分装由自动分装设施完成,工作人员隔室操作
		10.2.2 治疗前应和患者签署知情同意书。
		核医学科甲癌患者住院前,将和患者及家属沟通,说明放射性药物治疗注意事项,签订治疗同意书
		10.2.3 除医护人员之外的人员不应进入病房。
		甲癌患者住院期间,控制区出入口门禁装置关闭,除必要的工作人员进入控制区内进行工作外,无关人员不能进行上述区域
		10.2.4 向病房内传递生活必需品,应通过病房外的缓冲区传递。
		患者餐饮等物品,由工作人员通过配餐间的传递窗放至病房外走廊上,再由工作人员打开病房门禁装置,远程安排患者依次到走廊领取物品
		10.2.5 2 名及以上患者不宜近距离接触或者集聚。
		甲癌病房均为单人病房,且病房门均设置门禁装置,由工作人员远程控制
		10.2.6 给药过程中应提供防污染措施。
		^{131}I 放射性药物由自动分装仪完成分装和给药的过程,工作人员通过监控和对讲指导患者服药
		10.2.7 医护人员宜通过视频及对讲进行查房等医疗活动。当医护人员必须进入专用病房对患者进行救治时,应穿戴个人防护用品。
		甲癌病房内安装监控和对讲装置,工作人员通过控制台远程对患者情况进行例行查验。必须进入病房对患者进行救治时,工作人员全程穿戴橡胶手套、防污服等个人防护用品
		10.2.8 病房区域内应配备测量患者体内活度的设备或可测量周围剂量当量率的仪器,按照 7.2 的要求进行出院管理。
		拟在甲癌治疗区患者走廊上安装固定式剂量监测仪,并在地面划定患者站立位置,用于监测患者体表 1m 处的周围剂量当量率,低于 $25\ \mu\text{Sv/h}$ 时才能安排出院
		10.2.9 应减少放射性废物的产生量。患者食物宜选用产生废物少的食材。
		在患者住院病房内粘贴住院注意事项,提醒患者尽可能减少废弃物的产生,患者餐饮使用便利且体积小、重量轻的容器存放。所有病房内使用物品,尽可能减少外包装数量

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
GBZ120-2020	放射性核素敷贴治疗放射防护要求	12.1.1 放射性核素应选用半衰期较长、 β 射线能量较高，不伴生 γ 辐射或仅伴生低能 γ 辐射的放射性核素，例如 ^{90}Sr - ^{90}Y 和 ^{32}P 敷贴器。	本项目敷贴治疗使用 ^{32}P 敷贴器，满足要求
		12.1.2 外购放射性核素敷贴器应具有生产厂家或制作者的说明书及检验合格证书，并应有生产批号和检验证书号。说明书应载明敷贴器编号、核素名称及化学符号、辐射类型及能量、放射性活度、源面空气吸收剂量率、表面放射性污染与泄漏检测、检测日期、使用须知和生产单位名称。	购置敷贴器时，要求生产厂家提供资质证明、生产合格证明、敷贴器生产批号、购置敷贴器核素名称、核素基本信息、敷贴器活度、表面剂量率等信息
		12.1.3 商品敷贴器除具有源箔、源壳、源面保护膜、铝合金保护环框和源盖外，尚应有防护屏和手柄或其它固定装置，敷贴器的安全分级应符合 GB 4075 的要求。	医院拟向专业厂家购置满足出厂要求的成品敷贴器
		12.1.4 商品敷贴源应封装严密，并规定推荐使用期限。超过使用期限或表面污染超过标准 GBZ 120—2020 或疑有泄漏者应送回制作单位经检修后，再确定能否继续使用。	厂家运送敷贴室时按照要求打包号，并注明使用期限、表面污染情况等信息。核医学科工作人员根据厂家要求妥善保管，过期敷贴器返回厂家
		12.1.5 敷贴源投入临床使用前，除自制敷贴器（如 ^{32}P 敷贴器）外应有法定计量机构认可的源面照射均匀度和源面空气吸收剂量率或参考点空气吸收剂量率的测量数据，其不确定度不大于 $\pm 5\%$ ，并附带有剂量检定证书。	购置敷贴器时，要求厂家提供敷贴器表面照射均匀度、吸收剂量率等信息并要求每批次敷贴器均有剂量检定证明
		12.1.6 自制敷贴器的处方剂量应根据病变性质和病变部位确定，根据处方剂量和面积大小确定所用放射性核素活度。	本项目拟直接购置成品敷贴器
		12.1.7 眼科用敷贴器可根据病变需要做成不同形状（如圆形、船形、半圆形）或开有上述不同形状的窗的防护套来适应治疗不同角膜、结膜病变的需要。	工作人员根据患者治疗需求订购敷贴器

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
GBZ120-2020	放射性核素敷贴治疗放射防护要求	12.1.8 废弃商品敷贴器应按放射性废源管理，自制敷贴器可根据核素的性质按放射性废物管理。	使用过后的敷贴器由工作人员回收并统一放置储存箱内（采用塑胶材料），然后交厂家回收处置
		12.3.1 贮源箱的外表面应标有放射性核素名称、最大容许装载放射性活度和牢固、醒目的电离辐射标志（见 GB 2894）。	敷贴器存储箱外粘贴核素名称、最大存放量和电离辐射标志
		12.3.2 贮源箱的屏蔽层结构应分内外两层。内层为铝或有机玻璃等低原子序数材料，其厚度应大于 β 辐射在相应材料中的最大射程。外层为适当厚度的铅、铸铁等重金属材料，并具有防火、防盗的性能。	医院拟购置敷贴器存储箱，放置在敷贴器存放室内。存储箱的结构分为两侧，内侧为有机玻璃，外侧为钢板，敷贴存储箱可以上锁，钥匙由核医学科工作人员保管
		12.3.3 距离贮源箱表面 5cm 和 100 cm 处因泄漏辐射所致的周围剂量当量率分别不应超过 $10 \mu\text{Sv/h}$ 和 $1 \mu\text{Sv/h}$ 。	敷贴器到货后，存放在储存箱内，核医学科工作人员使用辐射剂量仪对存储箱表面 5cm 和 100cm 处周围剂量当量率进行监测，并将监测结果计算在敷贴器使用台账上
		12.4.1 敷贴治疗应设置专用治疗室，该治疗室应与诊断室、登记值班室和候诊室分开设置。治疗室内使用面积应满足治疗要求。	核医学科设置有独立敷贴治疗室，并分隔为敷贴器库房和患者治疗区
		12.4.2 治疗室内高 1.5 m 以下的墙面应有易去污的保护涂层。地面，尤其在治疗患者位置，应铺有可更换的质地较软又容易去污染的铺料。	敷贴治疗室地面和墙面 1.5m 高的范围内，其表面材料均拟采用防渗、易清洗的
		12.4.3 治疗室内患者座位之间应保持 1.2 m 的距离或设置适当材料与厚度的防护屏蔽。	敷贴治疗室内患者座位间保持 1.2m 以上的距离
		12.4.4 治疗室内应制定敷贴治疗操作规程及卫生管理制度，并配有 β 污染检查仪等检测仪器。	拟制定敷贴治疗流程和注意事项、患者管理制度等，并粘贴在敷贴治疗室内，核医学科配备有表面污染监测仪
		12.5.1 实施敷贴治疗前，应详细登记治疗日期、使用敷贴源的编号、辐射类型、活度、照射部位与面积，并发给具有患者姓名、性别、年龄、住址、诊断和照射次数等项目的治疗卡。	制定敷贴器登记使用台账、患者就诊登记台账等，详细记录敷贴器使用情况和患者治疗信息，并在患者治疗卡上及时更新患者情况和治疗次数等内容

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
GBZ120-2020	放射性核素敷贴治疗放射防护要求	12.5.2 每次治疗前,先收回患者的治疗卡,再给予实施敷贴治疗。治疗完毕,先如数收回敷贴器再发给治疗卡。由工作人员收回敷贴器放回贮源箱内保存。	每次患者治疗前,核对治疗卡信息,收回治疗卡,再进行治疗,患者治疗结束,回收敷贴器并更新治疗卡信息后,在交给患者。回收敷贴器单独收集,作为废源处置
		12.5.3 实施敷贴治疗时不应将敷贴源带出治疗室外。	患者治疗过程中均在敷贴治疗室内驻留,不得将敷贴器带出治疗室,治疗结束后,由工作人员回收敷贴器
		12.5.4 实施治疗时,应用不小于 3 mm 厚的橡皮泥或橡胶板等屏蔽周围的正常组织。对颜面部部位的病变,屏蔽其周围正常皮肤;对其他部位的病变,则在病变周围露出正常皮肤不大于 0.5 cm。并在周围已屏蔽的皮肤上覆盖一张玻璃纸或塑料薄膜后,将敷贴器紧密贴在病变部位。	对患者进行敷贴治疗时,使用 3mm 以上橡胶板覆盖敷贴治疗区周边正常人体组织。脸部敷贴时,因注意屏蔽病变区域周边正常皮肤,其余部位,露出正常皮肤范围不大于 0.5cm。周边正常皮肤结果屏蔽后,在表面再覆盖一张塑料薄膜,然后再将敷贴器贴在病变部位表面
		12.5.5 敷贴治疗时,照射时间长的可用胶布等固定,请患者或陪同人员协助按压敷贴器,照射时间短的可由治疗人员亲自按压固定敷贴器,有条件者可利用特制装置进行远距离操作。	敷贴治疗过程中,使用胶带固定敷贴器
		12.5.6 敷贴器应定期进行衰变校正,以调整照射时间。每次治疗时应有专人使用能报警的计时器控制照射时间。治疗过程中应密切观察治疗反应和病变治疗情况,及时调整照射剂量,防止产生并发症。	核医学科根据治疗需求订购成品敷贴器,根据患者病变治疗需求,设定照射时间。患者治疗过程中,使用计时器,控制患者照射时间。并注意观察患者治疗过程中的情况,发现异常,及时处理
		12.5.7 敷贴治疗中,医务人员应采取有效的个人防护措施,如戴有机玻璃眼镜或面罩和尽量使用远距离操作工具。	敷贴工作人员在治疗过程中,佩戴有机玻璃眼镜和橡胶手套,使用镊子等取用敷贴器
		12.5.8 敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面。不应将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中,使用后应存放于干燥处。	敷贴器单独收集保存,使用过程中避免和锐器接触

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号	标准要求		项目情况
GBZ130-2020	一般要求	5.1.1 X 射线设备出线口上应安装限束系统（如限束器、光阑等）。	设备自带
		5.1.2 X 射线管组件上应有清晰的焦点位置标示。	
		5.1.3 X 射线组件上应标明固有过滤，所有附加滤过片均应标明其材料和厚度。	
	CT 设备防护性能的专用要求	5.4.1 在扫描程序开始之前，应指明某一扫描程序期间所使用的 CT 运行条件。	设备自带
		5.4.2 对于任意一种 CT 扫描程序，都应在操作者控制台上显示剂量信息。	
		5.4.3 CT 设备应设置急停按钮，以便在 CT 扫描过程中发生意外时可以及时停止出束。	
	介入放射学用 X 射线设备防护性能的专用要求	5.8.2 在机房内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。	设备自带
		5.8.3 X 射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于 20 cm 的装置。	设备自带
		5.8.4 介入操作中，设备控制台和机房内显示器上应能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光剂量记录。	设备自带

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表		
标准号	标准要求	项目情况
GBZ130-2020	X 射线设备机房防护设施的技术要求	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 CT 模拟定位机房和 5 间 DSA 机房均在机房和控制室之间设置了观察窗，设置位置便于观察到机房内患者状态及防护门开闭情况
		6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。
		本项目模拟定位机房仅放置和肿瘤定位相关的物品，DSA 机房内仅放置和介入手术相关的物品，不堆放其他杂物
		6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。
		CT 模拟定位机房和 5 间 DSA 机房均设置机械排风设施，满足场所良好通风的要求
		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。
		CT 模拟定位机房和 5 间 DSA 机房所有防护门外均拟设电离辐射警告标志；防护门上方设置醒目的工作状态指示灯，灯箱上拟设置可视警示语句；候诊区拟设置放射防护注意事项告知栏。
		6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。
		本项目 CT 模拟定位机房和 DSA 机房的平开机房门均拟设置自动闭门装置，推拉式机房门均为自动延时闭门，同时制度中明确工作人员开始曝光前，必须确认机房所有防护门均在关闭状态。所有机房门外均拟设置与防护门联锁的工作状态指示灯。
		6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。
		本项目 CT 模拟定位机房和 DSA 机房的所有电动推拉式门均拟设置红外线感应防夹装置。
		6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。
		放疗中心和 DSA 手术区域均有专门的患者候诊区，均不在机房内候诊。一般情况，诊疗过程中机房内仅有患者和工作人员，其他人员不得进入
		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。
		本项目 CT 模拟定位设备机房的防护设施按照 CT 的要求进行设置。
		6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。
		CT 模拟定位机的摆放能利于操作者观察受检者。

续表 10 辐射安全与防护

续表 10-14 项目辐射防护措施与标准要求对比情况表			
标准号		标准要求	项目情况
GBZ130-2020	X 射线设备 机房防护设 施的技术要 求	6.4.10 机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。	本项目射线装置均拟安装在机房中间，使机房防护门尽可能处于散射辐射相对低的位置。
		6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护服。	本项目 CT 模拟定位和 DSA 工作场所按照标准要求和诊疗需求配备了铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜等个人防护用品和床侧防护帘、悬挂防护屏等辅助防护设施，数量和铅当量均满足要求。
		6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。	本项目 CT 模拟定位和 DSA 工作场所拟配置儿童患者相应的辐射防护用品，铅当量均不小于 0.5mmPb。
		6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。	本项目工作场所均拟设置专门的个人防护用品存放区，防止垂直挂衣架和存放柜等，妥善放置防护用品，防止断裂。
GBZ128-2019	监测系统和 使用要求	5.3.2 对于介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计	本项目介入手术人员和核医学放射性药物操作人员均拟配备内外双个人剂量计，并要求其在工作人员规范佩戴
		5.3.3 对于 5.3.2 所述工作情况，建议采用双剂量计监测方法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计（如头箍剂量计、腕部计量计、指环剂量计等）	

根据上表可知，本项目拟采取的辐射安全与防护措施满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198—2021）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121—2020）、《核医学放射防护要求》（GBZ120—2020）等相关标准的要求。

续表10 辐射安全与防护

10.9 工作场所服务期满后退役

若医院核技术利用项目搬迁或者不再使用时，医院应编制相应退役方案、制定退役目标，首先安全、妥善放射性药物与放射性废物，并按照相关法规规定完善退役环保手续。

根据现行法律法规，本项目涉及到的乙级非密封放射性物质工作场所（核医学科）需要编制退役环境影响报告表，完成退役之后还需要进行验收监测，重新办理辐射安全许可证。

表 11 环境影响分析

11.1 施工期环境影响

本项目施工与医院整体工程同时进行，项目施工对外界的影响是暂时的，随着施工期的结束，影响也将消失。根据《重庆市第四人民医院科学城院区工程（一期）环境影响报告书》内容，施工期整体对环境的影响可以接受，本次不再对施工期环境影响进行分析。

11.2 营运期辐射环境影响分析

11.2.1 屏蔽体屏蔽效能核算

11.2.1.1 放疗中心

1、辐射屏蔽的剂量参考控制水平估算

估算结果见本报告表 7-16。

2、直线加速器机房屏蔽效能核算

电子在空气中的射程很短，且穿透力弱，本项目直线加速器机房主体结构采用混凝土，电子线对于机房外的辐射影响是很小的。另外，CBCT系统的CT最大管电压150kV，该能量和剂量率相对10MV直线加速器来说非常微小，且CBCT在150kV电压条件下所对应的使用电流很小，对机房外的影响均为散射辐射影响，因此，本报告后文的机房屏蔽效能核算及控制室操作人员的年剂量估算主要考虑直线加速器X射线影响。

1) 迷路入口处屏蔽估算公式

直线加速器机房屏蔽效核采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中的效核公式。本项目直线加速器 X 射线能量为 10MV，且有用线束不向迷路内墙照射，因此根据 GBZ/T 201.2-2011 中 4.3.2.5.1 项，机房入口处的辐射照射考虑如下几个方面：

①迷路入口处包括下列辐射

A:人体受有用线束照射时，散射至迷路内入口处的辐射并再次受墙的二次散射至迷路入口处的辐射；

B:至迷路内入口处的设备泄露辐射受墙散射至迷路入口处的辐射；

C:有用线束穿过患者身体并射入另一侧主屏蔽墙处的散射辐射至迷路外墙再次散射至迷路入口处的辐射；

续表 11 环境影响分析

计算时，只需考虑①项辐射。

入口处患者散射辐射剂量率估算公式如下：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{a_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_0 \quad (11-1)$$

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

$\dot{H}$ —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R_1 —“o-i”之间的距离，m；

R_2 —“i-g”之间的距离，m；

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上的散射因子；

a_2 —混凝土墙入射的患者散射辐射的散射因子；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

A—i 处的散射面积， m^2 。

②泄露辐射穿过迷路内墙到达机房入口处的剂量，此项值应为机房入口处的参考控制水平的一个分数（一般小于 1/4）。

2)机房墙体屏蔽估算方法

A、有效屏蔽厚度：

$$X_e = X \cdot \sec\theta \quad (11-2)$$

$$X = X_e \cdot \cos\theta \quad (11-3)$$

式中：X—屏蔽物质厚度；

X_e —有效屏蔽厚度；

θ —斜射角，即入射线与物质平面的法线的夹角。

B、屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系：

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (11-4)$$

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (11-5)$$

式中：B—辐射屏蔽透射因子；

续表 11 环境影响分析

TVL₁—辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度；

TVL—辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度。

C、有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算：

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

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

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

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ （以 $\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{min}$ 为单位的值乘以 6×10^7 ）。

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f—对有用束为 1；对泄漏辐射为泄漏辐射比率，取 10^{-3} 。

D、患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算：

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

$$\dot{H}_c = \frac{\dot{H} \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot B \quad (11-9)$$

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

$\dot{H}$ —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子。

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 。

E、有用线束主屏蔽区宽度计算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007），

续表 11 环境影响分析

主屏蔽宽度计算公式如下：

$$Y_p = 2[(SAD + a) \tan(\theta) + 0.3] \quad (11-10)$$

式中： Y_p —机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD —源轴距，m，本项目为 1m；

a —等中心至墙面的距离，m；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），本项目为 14° 。

3) 应考虑辐射的关注点

2 间加速器机房对称布置，所有屏蔽体均相同。2 间机房四周外环境也相同，各屏蔽体周围剂量当量率控制水平相同。因此只选择其中 1 间进行计算。机房计算各关注点示意图见图 11-1~11-2。保守考虑，核算关注点均直接选择屏蔽体外 30cm 处。本项目 2 间加速器机房相邻布置，机房南侧走廊和顶棚上方人员可能同时受到 2 间机房的辐射影响，因此 c1 点和 m2 点计算结果需考虑 2 倍叠加。

续表 11 环境影响分析

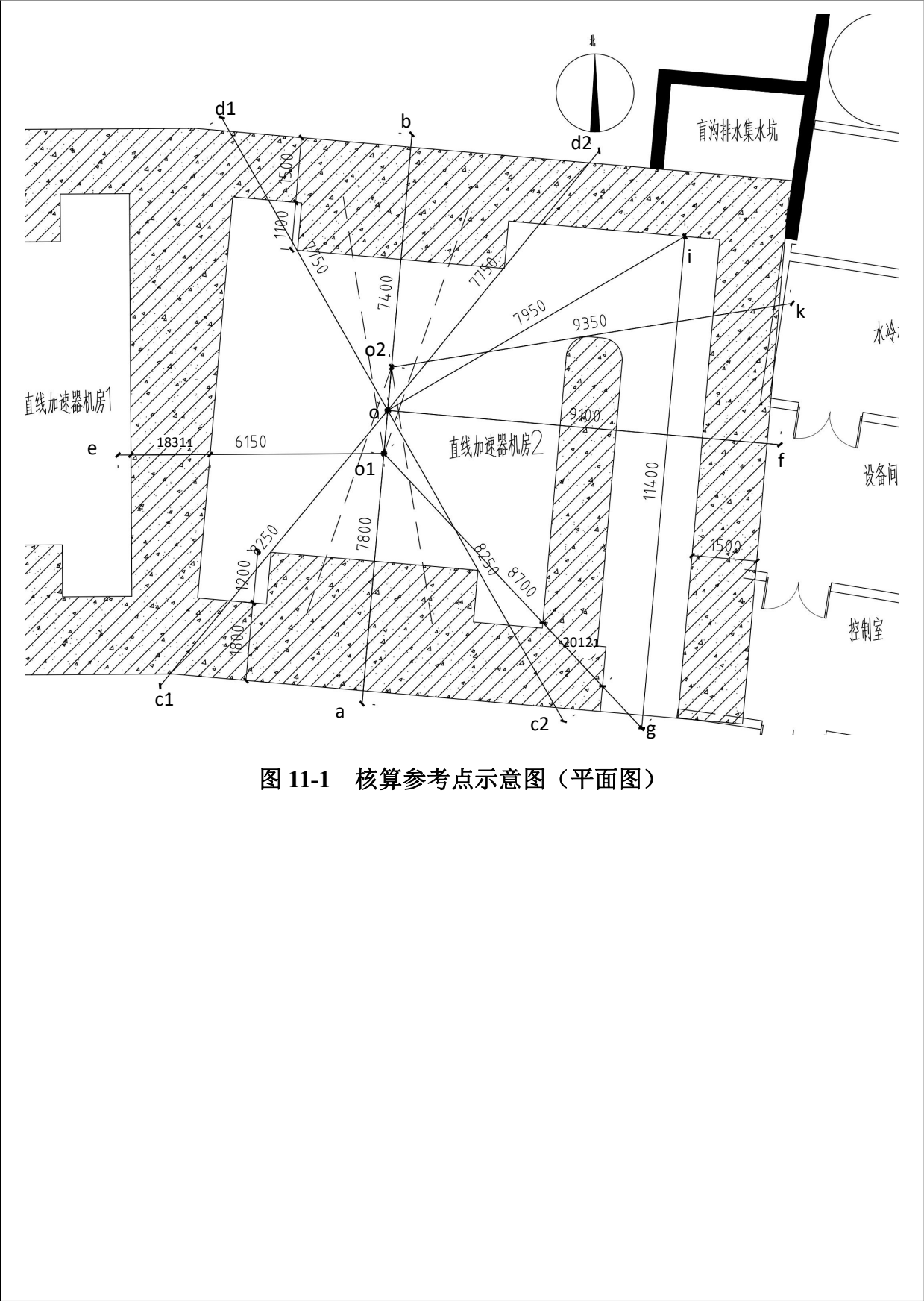


图 11-1 核算参考点示意图（平面图）

续表 11 环境影响分析

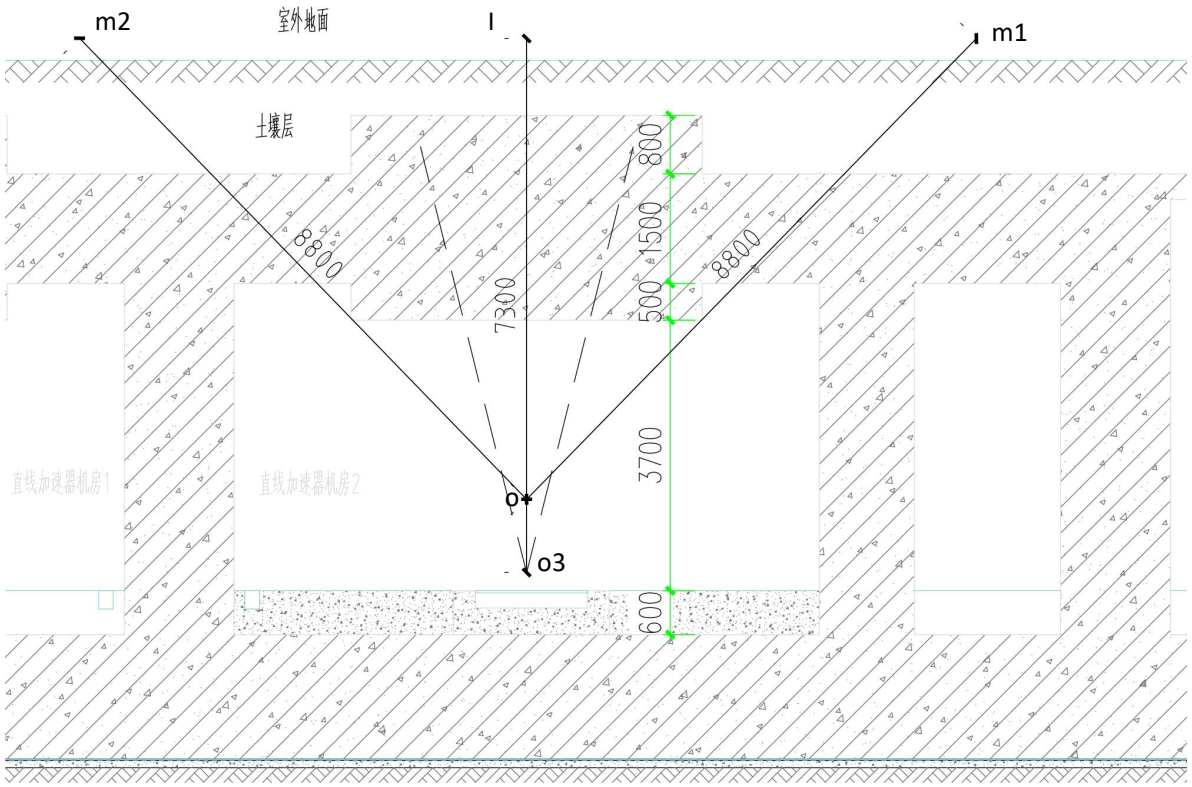


图 11-2 核算剖面参考点示意图

4) 核算参数

综上所述，计算所用参数见表 11-1。

表 11-1 公式中涉及的参数取值

参数	单位	取值	取值依据
H_c (参考控制水平)	$\mu\text{Sv/h}$	0.5~2.5	GBZ121-2020、GBZ/T201.2-2011、HJ1198-2021
H_o (初始剂量率)	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	1.44×10^9	10MV，最高剂量率，2400cGy/min
f	/	1	有用线束
		0.001	漏射线束
有用束 TVL ₁	cm	41	GBZ/T201.2—2011 附录 B 表 B.1、B.4 得出（混凝土），X 射线能量 10MV
有用束 TVL	cm	37	
90°泄漏辐射 TVL ₁	cm	35	
90°泄漏辐射 TVL	cm	31	
30°散射辐射 TVL	cm	28	

续表 11 环境影响分析

F	cm ²	40×40	等中心最大对称野面积
α_{ph}	/	3.18×10^{-3}	患者 400cm ² 面积上的散射因子, 见 GBZ/T201.2—2011 附录 B 表 B.2, 取 10MV、30°
α_2	/	22×10^{-3}	患者散射辐射在迷路内入口处的散射因子, 见 GBZ/T201.2—2011 附录 B 表 B.6, 45° 入射、0° 出射、0.5MeV
A	m ²	11.8	患者散射辐射在迷路内入口处的散射面积
防护门 TVL	mmPb	5	见 GBZ/T201.2—2011 附录 D.1.4.1

表 11-2 各关注点距离取值

机房名称	屏蔽体	关注点位置	距离	备注
直线加速器机房	南侧主屏蔽墙	o2-a 点: 走廊	7.8m	/
	南侧副屏蔽墙	o-c 点: 走廊	8.25m	/
	机房门	o-i-g 点: 机房入口	等中心至迷路内入口: 7.95m 迷路内入口至外入口: 11.4m	患者散射辐射
	迷路外墙	o2-k 点: 水冷机房	9.35m	/
	迷路墙	o-f 点: 控制室	9.1m	/
	迷路内墙	o1-g 点: 机房入口	8.7m	泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后到达机房入口处
直线加速器机房	顶棚主屏蔽墙	o3-I 点: 室外绿化	7.3m	/
	顶棚副屏蔽墙	o-m 点: 室外绿化	8.8m	/
	北侧主屏蔽墙	o1-b 点: 土壤层	7.4m	/
	北侧副屏蔽墙	o-d 点: 土壤层	7.75m	/
	西墙	o-e 点: 直线加速器机房 1	6.15m	/

所有关注点均在屏蔽体外 30cm 处

5) 屏蔽效能核实结果

对于复合辐射中的泄露辐射和散射辐射, 当其分别的导出限值小于 2.5 μ Sv/h 的一

续表 11 环境影响分析

半时，取导出限值作为剂量率参考控制水平，当大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的一半时，保守取 $1.25 \mu\text{Sv/h}$ 作为剂量率参考控制水平。直线加速器机房屏蔽墙屏蔽效能的核算结果见表 11-3。

续表11 环境影响分析

表 11-3 直线加速器机房屏蔽墙屏蔽效能的核算结果表 单位：μSv/h									
墙体名称	关注点	射线类型	计算参数	屏蔽体厚度（mm）		设计厚度下周围剂量当量率		评价	
				计算	设计				
南侧主屏蔽墙	o2-a 点	主射线	R=7.8m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =2.5μSv/h, f=1, TVL=37cm, TVL1=41cm	2621		3000	0.24	满足标准要求	
南侧副屏蔽墙	o-c 点	散射	R=8.25m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =1.25μSv/h, TVL=28cm, α _{ph} =3.18×10 ⁻³ , θ=30°, F=1600cm ²	1293	1393	1800	0.01	0.02×2 =0.04	满足标准要求
		漏射	R=8.25m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =0.33μSv/h, f=0.001, θ=30°, TVL=31cm, TVL1=35cm	1325			5.62×10 ⁻³		
迷路墙	o-f 点	漏射	R=9.1m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =2.5μSv/h, f=0.001, TVL=31cm, TVL1=35cm	1231		2800	2.17×10 ⁻⁵		满足标准要求
迷路外墙	o2-k 点	漏射	R=9.35m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =2.5μSv/h, f=0.001, TVL=31cm, TVL1=35cm	1224		1500	0.32		满足标准要求
顶棚主屏蔽墙	o3-I 点	主射线	R=7.3m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, f=1, H _C =2.5μSv/h, TVL=37cm, TVL1=41cm	2642		2800	0.94		满足标准要求
顶棚副屏蔽墙	o-m 点	散射	R=8.8m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =1.25μSv/h, TVL=28cm, α _{ph} =3.18×10 ⁻³ , θ=30°, F=1600cm ²	1280	1280	1500	0.15	0.22×2 =0.44	满足标准要求
		漏射	R=8.8m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =1.25μSv/h, f=0.001, θ=30°, TVL=31cm, TVL1=35cm	1155			0.07		
北侧主屏蔽墙	o1-b 点	主射线	R=7.4m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =2.5μSv/h, f=1, TVL=37cm, TVL1=41cm	2638		2600+1000mm 土壤层	0.23		满足标准要求

续表11 环境影响分析

北侧副屏蔽墙	o-d 点	散射	R=7.75m, $H_0=1.44\times10^9\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, $H_C=1.25\mu\text{Sv}/\text{h}$, TVL=28cm, $\alpha_{\text{ph}}=3.18\times10^{-3}$, $\theta=30^\circ$, $F=1600\text{cm}^2$	1307	1307	1500	0.20	0.28	满足标准要求
		漏射	R=7.75m, $H_0=1.44\times10^9\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, $H_C=1.25\mu\text{Sv}/\text{h}$, $f=0.001$, $\theta=30^\circ$, TVL=31cm, TVL1=35cm	1185			0.08		
西墙	o-e 点	漏射	R=6.15m, $H_0=1.44\times10^9\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, $H_C=0.27\mu\text{Sv}/\text{h}$, $f=0.001$, TVL=31cm, TVL1=35cm	1637		射线实际斜穿经过的混凝土厚度 (1831)	0.06		满足标准要求
迷路内墙	o1-g 点	泄露辐射穿过迷路内墙	R=8.7m, $H_0=1.44\times10^9\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, $H_C=0.5\mu\text{Sv}/\text{h}$, $f=0.001$, TVL=31cm, TVL1=35cm	1460		射线实际斜穿经过的混凝土厚度 (2012)	0.01		满足标准要求
机房北墙外为实土层, 上方为院内广场等									

备注: 根据 GBZ/T 201.1-2007 第 4.8.3 款相关要求, Sv/Gy 转换系数取 1。

根据上表可知, 在现有设计条件下, 直线加速器机房各屏蔽体外 30cm 处的周围剂量率最大值为 $0.94\mu\text{Sv}/\text{h}$, 满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) 中直线加速器机房外周围剂量率限值要求。

本项目直线加速器 X 射线能量为 10MV, 因此, 机房入口不考虑中子屏蔽。直线加速器机房防护门屏蔽效能核算结果见表 11-4。

续表11 环境影响分析

表 11-4 直线加速器机房防护门屏蔽效能核算结果表 单位: $\mu\text{Sv/h}$

屏蔽体	关注点	辐射类型	计算参数	计算厚度	屏蔽体设计厚度	设计厚度下周围剂量当量率	评价
防护门	O-i-g	患者散射辐射	$\alpha_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$ 、 $\alpha_2=22\times 10^{-3}$, $A=11.7\text{m}^2$, $R_1=7.95\text{m}$, $R_2=11.4\text{m}$, $\text{TVL}=5\text{mm}$ (铅), $F=1600\text{cm}^2$, $H_0=1.44\times 10^9\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, $H_c=2.49$	11.8	15mmPb	0.57	设计满足要求
防护门上方穿墙点	g'	迷路散射辐射	$\alpha_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$ 、 $\alpha_2=22\times 10^{-3}$, $A=11.7\text{m}^2$, $R_1=7.95\text{m}$, $R_2=11.4\text{m}$, $\text{TVL}=28\text{cm}$, $F=1600\text{cm}^2$, $H_0=1.44\times 10^9\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$, $H_c=2.49$	661	730mm 混凝土	1.42	设计满足要求

根据表 11-3, 经过迷路内墙屏蔽后的泄漏辐射剂量率为 $0.01 \mu\text{Sv/h}$, 因此防护门外散射辐射剂量率控制水平为 $2.5-0.01=2.49 \mu\text{Sv/h}$

根据上表可知, 在现有设计条件下, 直线加速器机房防护门外 30cm 处的周围剂量率为 $0.57 \mu\text{Sv/h}$, 防护门上方穿墙口外 30cm 处的周围剂量率为 $1.42\mu\text{Sv/h}$, 满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) 中直线加速器机房外周围剂量率的限值要求。

直线加速器机房主屏蔽墙宽度核算结果见表 11-5, 计算结果表明, 机房主屏蔽宽度满足要求。

表 11-5 直线加速器机房主屏蔽宽度核算结果表 单位: $\mu\text{Sv/h}$

屏蔽体	类别	计算参数	计算宽度	设计宽度	评价
北墙	主屏蔽宽度	$\text{SAD}=1\text{m}$, $a=4.6\text{m}$, $\theta=14^\circ$	3.4m	4.8m	设计满足要求
南墙	主屏蔽宽度	$\text{SAD}=1\text{m}$, $a=4.7\text{m}$, $\theta=14^\circ$	3.5m	4.8m	设计满足要求
顶棚	主屏蔽宽度	$\text{SAD}=1\text{m}$, $a=5.25\text{m}$, $\theta=14^\circ$	3.7m	4.8m	设计满足要求

3、CT 模拟定位机机房屏蔽效能核算

①CT 模拟定位机机房铅当量效核

根据医院提供的屏蔽防护方案及设备参数，CT 模拟定位机机房屏蔽体的铅当量核算结果见表 11-9。

根据标准要求，CT 机房的屏蔽防护铅当量厚度需不低于 2.5mmPb，本项目 CT 模拟定位机房采用混凝土作为屏蔽材料，因此，需将混凝土折合为等效铅当量进行对照。CT 模拟定位机最大电压为 140kV，根据 GBZ130-2020 附表 C.6 和 C.7，在 140kV（CT）条件下，2.5mmPb 对应的混凝土厚度为 216mm，根据推算：350mm 混凝土折合约 4.05mmPb，300mm 混凝土折合约 3.47mmPb。

表 11-9 射线装置机房屏蔽厚度核算对比表

机房名称	屏蔽防护体	屏蔽防护设计	折合铅当量	标准要求	评价结果
CT 模拟定位机机房	墙体	30cm 混凝土	3.47mmPb	2.5mmPb	满足要求
	顶棚	35cm 混凝土	4.05mmPb		满足要求
	防护门	3.5mmPb 铅板	3.5mmPb		满足要求
	观察窗	3.5mmPb 铅玻璃	3.5mmPb		满足要求

备注：混凝土密度 2.35g/cm³。

根据上表核算和对比分析，本项目 CT 模拟定位机房屏蔽体的屏蔽能力均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

②CT 模拟定位机机房屏蔽体外剂量率核算

A：核算公式

本项目涉及 1 台 CT 模拟定位机，CT 模拟定位机的影响以散射线为主，因此机房外剂量率均以散射计算。

根据《辐射防护导论》（原子能出版社）第三章第三节（P116-P117）散射线的屏蔽计算公式（3.66）进行推导得出，按最不利情况考虑居留因子取 1，管电压修正系数取 1，推导得出本项目关注点的散射辐射剂量率计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{I \times H_0 \times B}{R_s^2} \times \frac{F \times a}{R_0^2} \quad (11-10)$$

式中：I—X 射线装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）；

H_0 —距辐射源点(靶点)1 m 处输出量, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$, 以 $\text{mSv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 , Sv/Gy 转换系数取值为 1;

B—屏蔽透射因子;

F— R_0 处的辐射野面积, CT 扫描采用窄束, 射线装置运行时的最大照射野面积为 50cm^2 ($50\text{cm}\times 1\text{cm}$);

a—散射因子, 入射辐射被单位面积 (1cm^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; 根据 NCRP147 号报告第 137 页附图 C.1, 120kV 散射系数最大约为 7.2×10^{-6} ;

R_S —辐射源点(靶点)至散射体的距离, 单位为米(m), 根据设备参数, 本项目取 0.38m;

R_0 —散射体至关注点的距离, 单位为米(m), 根据设备布设位置确定。

B: 核算参数

根据工程分析, CT 模拟定位机常用最大电压为 120kV, 最大运行电流约 200mA; 设备在 120kV、3mmAl 过滤板情况下主射线方向 1m 处发射率为 $9.0\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。

③核算结果

根据核算公式, CT 模拟定位机机房外周围剂量当量率核算结果见表 11-10。

表 11-10 CT 模拟定位机机房屏蔽体外剂量率核算结果表

机房名称	屏蔽体名称	距离 R(m)	防护设计厚度	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否满足要求
CT 模拟定位机机房	墙体	4	30cm 混凝土 (3.47mmPb)	0.70	是
	控制室防护门、观察窗	4.4	3.5mmPb	0.54	是
	患者防护门	4.8	3.5mmPb	0.45	是
	顶棚	7.4	350mm 混凝土 (4.05mmPb)	0.05	是

备注: 设备离地高度按 1.0m 考虑, 顶棚核算到楼上地面 1.0m 处。

根据上表计算可知, 在常用最大工况下, CT 模拟定位机机房顶棚上方 1m 处, 其他各屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率为 $0.05\sim 0.70\mu\text{Sv/h}$, 均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)的要求。

11.2.1.2 核医学科

1、屏蔽核算条件

本项目使用 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 五种放射性核素，核医学科各功能用房根据使用的核素情况进行分别计算。

其中 ^{89}Sr 、 ^{32}P 均为纯 β 核素，其衰变时 β 射线最大能量为 1.71 MeV。 β 射线在空气中的射程是很短的，因此不考虑其在治疗过程中产生 β 射线对敷贴室外环境的辐射影响。

2、计算公式

计算公式来源为 GBZ120-2020 附录 I。

$$x = TVL \times \lg\left(\frac{A \times \Gamma}{\dot{H}_p \times r^2}\right) \quad (11-11)$$

式中：

x —屏蔽厚度,单位为毫米（mm）；

TVL — γ 射线的十分之一值层厚度，单位为毫米（mm）；

A —单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为兆贝可（MBq）；

Γ —距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ，见表 H.1；

$\dot{H}_p$ —屏蔽体外关注点剂量率控制值，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

r ——参考点与放射源间的距离，单位为米（m）。

3、计算参数

①计算参数见表 11-11。

表 11-11 计算参数表

项目	周围剂量当量率 常数（裸源） $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{MBq}$	受检者体内单位放射性活 度所致体外 1m 处的周围剂 量当量率 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	TVL			
			铅	铁	混凝土	实心砖
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.0303	0.0207	1mm	19mm	110mm	160mm
^{131}I	0.0595	0.0583	11mm	56mm	170mm	240mm
^{18}F	0.143	0.092	16.6mm	64mm	176mm	263mm

数据来源 GBZ120-2020

根据上表各放射性核素的射线能量及参数，确定工作场所各用房仅有1种核素的按照该种核素的参数进行预测，诊断区有多种核素的用房，考虑影响更大的核素参数进行

核算。

②考虑剂量估算和评价的方便及统一，在屏蔽及设计范畴内，不进行诸物理量与周围剂量当量之间的转换系数修正。

③本项目 2 间检查室涉及的核素分别为 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，根据工程分析，该场所内涉及放射性核素产生的 γ 射线和 CT 部分运行产生的 X 射线，因此，评价按照 γ 射线和 X 射线分别进行效核。

④给药后患者视为“点源”。核算时，有座椅和床位、设施（如手套箱、储源柜等）的，核算距离以座椅、床位中心、设施位置为源点；衰变池按照池体中心位置为起点核算；其余主要考察点按照核素/患者距离屏蔽体外表面 1.0m 考虑。“点源”离地约 1.0m，核医学科位于住院楼负一层，其下方为实土层，核医学分为两部分，诊断区地面标高为 -6.1m，治疗区地面标高 -6.7m，顶棚上方考察点为距地面 0.3m，则诊断区核算高度总体考虑约 5.4m，治疗区核算高度总体考虑约 6m；各用房外考察点为四周屏蔽体外 30cm。

⑤PET/CT 扫描前患者需要排空，大约排泄掉给药活度的 15%，排泄导致的核素活度校正因子为 0.85。给药后患者至少经 45min 后到 PET/CT 机房接受检查，则注射药物后患者体内核素自然衰变的校正因子为 0.75。给药后患者至少经 60min 后（等候室候诊至少 45min，PET/CT 机房检查至少 15min）到留观室留观，则注射药物后患者体内核素自然衰变的校正因子为 0.67。

⑥ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 的半衰期分别为 6.02h 和 8.02d，在核医学科诊疗期间，放射性核素在体内的自然衰变对放射性核素总活度影响不大，因此，不考虑注射/服用上述药物后患者体内核素随时间衰变的校正因子。

⑦控制区屏蔽体屏蔽效能核算时仅考虑单个核算条件，顶棚屏蔽后基本为本底值，本次不再考虑周围用房的剂量叠加影响。

⑧清洁间、污染被服暂存间等用房仅有少量沾污的物品存放，因此，不计算上述工作场所屏蔽防护。治疗区分装室和服药室（甲吸）涉及甲吸药物分装和患者服药，但甲吸使用的 ^{131}I 放射性药物活度很低，因此不计算该用房屏蔽防护。根据 HJ1188-2021 要求，距固体放射性废物收集桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，因此不计算放射性废物储存用房外周围剂量率。

综上所述，核医学科各功能房间核算条件见表 11-12。

表 11-12 各功能用房屏蔽计算核算条件表

场所名称	核算条件	1m 处的辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
诊断区		
PET 检查室	PET/CT 机房同一时间仅接纳 1 名患者，放射性药物总活度按 370MBq 核算。考虑吸收因子影响， ^{18}F 剂量率常数取 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。排泄导致的衰减校正因子为 0.85，患者体内核素自然衰变的校正因子为 0.75。CT 部分按照采用电压 120kV、200mA 考虑，其 1m 处发射剂量率为 $9.0\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。	$^{18}\text{F}: 370 \times 0.092 \times 0.85 \times 0.75 = 21.7$ CT: $9 \times 200 \times 6 \times 10^4 = 5.4 \times 10^5$
SPECT 检查室	患者体内 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度 925MBq 核算，剂量率常数取 $0.0207\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。CT 部分按照采用电压 120kV、200mA 考虑，其 1m 处发射剂量率为 $9.0\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。	$^{99\text{m}}\text{Tc}: 925 \times 0.0207 = 19.15$ CT: $9 \times 200 \times 6 \times 10^4 = 5.4 \times 10^5$
PET 分装室	所有药物位于分装柜内： ^{18}F ，总活度为 14800MBq，置于防护手套箱内的放射性药物铅罐（40+40mmPb）中； ^{18}F 剂量率常数取 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。 单支药物： ^{18}F ，总活度为 370MBq，置于注射器防护套内（15mmPb）中； ^{18}F 剂量率常数取 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	分装： $14800 \times 0.143 \div 10^{(80/16.6)} = 0.03$ 注射： $370 \times 0.143 \div 10^{(15/16.6)} = 6.61$
SPECT 分装室	药物已按照要求分装为单支，仅续测量活度。活度为 925MBq，剂量率常数取 $0.0303\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$925 \times 0.0303 = 28.03$
PET 注射室	单人次患者放射性药物活度按 370MBq 核算。 ^{18}F 剂量率常数取 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	$370 \times 0.092 = 34.04$
SPECT 注射室	患者体内 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度 925MBq 核算，剂量率常数取 $0.0207\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$^{99\text{m}}\text{Tc}: 925 \times 0.0207 = 19.15$
运动负荷室/抢救室	按 ^{18}F 考虑，单人次患者放射性药物活度按 370MBq 核算。 ^{18}F 剂量率常数取 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	$370 \times 0.092 = 34.04$
储源间	所有放射性核素在室内情况，且考虑 ^{18}F 备药量。 ^{18}F 总活度 14800MBq 在 40mmPb 铅罐内，剂量率常数 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度按照 27750MBq 核算，置于厂家防护箱内（20mmPb），剂量率常数取 $0.0303\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$^{18}\text{F}: 14800 \times 0.143 \div 10^{(40/16.6)} = 8.24$ $^{99\text{m}}\text{Tc}: 27750 \times 0.0303 \div 10^{(10/1)} = < 0.01$
PET 注射后候诊室	最多同时候诊 3 人，设置患者候诊床，床位间拟设置实心砖隔断，因此考虑不同床位距关注点距离。单人次患者放射性药物活度按 370MBq 核算。 ^{18}F 剂量率常数取 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	单人次 $370 \times 0.092 = 34.04$
PET VIP 注射后候诊室	最多同时候诊 1 人，设置患者候诊床。患者放射性药物活度按 370MBq 核算。 ^{18}F 剂量率常数取 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	$370 \times 0.092 = 34.04$
SPECT 注射后候诊室	最多同时候诊 3 人，单人放射性药物活度按 925MBq 核算。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 剂量率常数取 $0.0207\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	单人次 $925 \times 0.0207 = 19.15$
SPECT VIP 注射后候诊室	最多同时候诊 1 人，放射性药物活度按 925MBq 核算。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 剂量率常数取 $0.0207\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	$925 \times 0.0207 = 19.15$

PET 留观室	留观室可同时容纳 3 名患者，单人次活度按 370MBq 核算， ^{18}F 剂量率常数 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ，排泄导致的衰减校正因子为 0.85，患者体内核素自然衰变的校正因子为 0.67。	单人次 $370\times 0.092\times 0.85\times 0.67=19.39$
SPECT 留观室	留观室可同时容纳 3 名患者，单人次活度 925，剂量率常数 $0.0207\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	单人次 $925\times 0.0207=19.15$
患者走廊	走廊上同时有 2 名患者，均按 ^{18}F 考虑，单人次患者放射性药物活度按 370MBq 核算。 ^{18}F 剂量率常数取 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	$370\times 0.092\times 2=68.08$
治疗区		
住院病房	单人间，放射性药物活度按 7400MBq 核算， ^{131}I 剂量率常数取 $0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$7400\times 0.0583=431.42$
服药室（甲亢、甲癌）	该房间以一位甲癌患者服药后计算，药物活度 7400MBq 计算。 ^{131}I 剂量率常数 $0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$7400\times 0.0583=431.42$
储源室	所有 ^{131}I 在室内情况。 ^{131}I 活度 33300MBq 在 40mmPb 铅罐内， ^{131}I 剂量率常数 $0.0595\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$33300\times 0.0595\div 10^{(40/11)}=0.46$
抢救室	放射性药物活度按 7400MBq 核算， ^{131}I 剂量率常数取 $0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	$7400\times 0.0583=431.42$
甲亢留观室	该房间可同时留观 3 名甲亢患者，单名甲亢患者药物活度 370MBq 计算。 ^{131}I 剂量率常数 $0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。	单人次 $370\times 0.0583=21.57$
患者走廊	患者根据给药和工作人员通知，依次按顺序离院，走廊考虑 1 名 ^{131}I 患者，甲癌患者服药后在病房内住院，体内活度低于 400MBq 后离院，单人次患者放射性药物活度按 400MBq 核算。 ^{18}F 剂量率常数取 $0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	$400\times 0.0583=23.32$

4、计算结果

本评价按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求进行屏蔽防护评价。根据其 5.4 条的要求，距核医学工作场所各控制区房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。故本项目功能用房边界屏蔽体外 0.3 m 处的周围剂量当量率按照 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 进行控制。控制区各房间屏蔽效能核算结果见表 11-13。

表 11-13 本项目核医学科工作场所主要房间屏蔽效能核算结果表

房间名称	墙体名称	1m 处周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	距离 (m)	设计厚度	设计厚度下周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	标准限值
诊断区						
PET 分装室	四周墙体	6.61	1	30cm 实心砖	0.48	2.5
	顶棚		5.4	25cm 混凝土	8.61×10^{-3}	2.5
	防护门		1.5	2mmPb	2.23	2.5
SPECT 分装	四周墙体	28.03	1	30cm 实心砖	0.37	2.5
	顶棚		5.4	25cm 混凝土	5.13×10^{-3}	2.5

室	防护门		1.5	2mmPb	0.12	2.5
PET 注射室	四周墙体	34.04	1.5	30cm 实心砖	1.09	2.5
	顶棚		5.4	25cm 混凝土	0.04	2.5
	防护门		2	10mmPb	2.13	2.5
SPECT 注射室	四周墙体	19.15	1.5	30cm 实心砖	0.11	2.5
	防护门		2	2mmPb	0.05	2.5
	顶棚		5.4	25cm 混凝土	3.51×10^{-3}	2.5
运动负荷室/ 抢救室	四周墙体	34.04	1.5	24cm 混凝土	0.65	2.5
	顶棚		5.4	25cm 混凝土	0.04	2.5
	防护门		2.5	10mmPb	1.36	2.5
储源间	四周墙体	8.24	1	20cm 实心砖	1.43	2.5
	顶棚		5.4	25cm 混凝土	0.01	2.5
	防护门		1.5	5mmPb	1.83	2.5
PET 注射后候诊室	四周墙体	单人 34.04	1、1.5、1.5	32cm 混凝土	0.98	2.5
	采光窗		2、2.8、3.8	15mmPb	1.90	2.5
	顶棚		5.4	25cm 混凝土	0.13	2.5
	防护门		2、2.5、3.5	15mmPb	2.09	2.5
PET VIP 注射后候诊室	四周墙体	34.04	1.5	26cm 混凝土	0.50	2.5
	采光窗		2	10mmPb	2.13	2.5
	顶棚		5.4	25cm 混凝土	0.04	2.5
	防护门		2	10mmPb	2.13	2.5
SPECT 注射后候诊室	四周墙体	单人 19.15	1、1.5、1.5	26cm 混凝土	0.16	2.5
	采光窗		2、2.8、3.8	2mmPb	0.09	2.5
	顶棚		5.4	25cm 混凝土	0.01	2.5
	防护门		2、2.5、3.5	2mmPb	0.09	2.5
SPECT VIP 注射后候诊室	四周墙体	19.15	1.5	26cm 混凝土	0.04	2.5
	采光窗		2	2mmPb	0.05	2.5
	顶棚		5.4	25cm 混凝土	3.51×10^{-3}	2.5
	防护门		2	2mmPb	0.05	2.5
PET 留观室	四周墙体	单人 19.39	1、1.5、1.5	28cm 混凝土	0.94	2.5
	采光窗		2、2.8、3.8	10mmPb	2.16	2.5
	顶棚		5.4	25cm 混凝土	0.08	2.5
	防护门		2、2.5、3.5	10mmPb	2.38	2.5
SPECT 留观室	四周墙体	单人 19.15	1、1.5、1.5	20cm 混凝土	0.55	2.5
	采光窗		2、2.8、3.8	2mmPb	0.09	2.5
	顶棚		5.4	25cm 混凝土	0.01	2.5

	防护门		2、2.5、3.5	2mmPb	0.09	2.5
患者走廊	出入口防护门	68.08	2	15mmPb	2.12	2.5
	墙体			30cm 实心砖	1.23	2.5
治疗区						
病房	四周墙体	431.42	1.5	35cm 混凝土	1.67	2.5
	采光窗		2.5	16mmPb	2.42	2.5
	顶棚		6	35cm 混凝土	0.10	2.5
	防护门		4.5	12mmPb	1.73	2.5
服药室 （甲亢、 甲状腺癌）	四周墙体	431.42	1	40cm 混凝土	1.91	2.5
	防护门		2	20mmPb	1.64	2.5
	观察窗		2	20mmPb	1.64	2.5
	顶棚		6	35cm 混凝土	0.10	2.5
抢救室	四周墙体	431.42	1.5	35cm 混凝土	1.67	2.5
	顶棚		6	35cm 混凝土	0.10	2.5
	防护门		3.5	15mmPb	1.52	2.5
甲亢留观室	四周墙体	单人 21.57	1、1.5、1.5	27cm 混凝土	1.05	2.5
	顶棚		6	35cm 混凝土	0.02	2.5
	防护门		2、2.5、3.5	10mmPb	1.31	2.5
患者走廊	出入口防护门	23.32	2	10mmPb	0.72	2.5
	墙体			20cm 实心砖	0.86	2.5
治疗区储源室内放射性药物存放在厂家提供的屏蔽容器内，屏蔽后，容器表面剂量率很低，因此不计算储源室外周围剂量率						

表 11-14 核医学科显像检查室屏蔽效能核算结果

工作场所	屏蔽体	1m 处周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		距离	屏蔽厚度	屏蔽后剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		剂量率限值
PET 检查室	四周墙体	^{18}F	21.7	3.5	26cm 混凝土+1mmPb	0.06	0.33	2.5
		CT	1.08×10^8			0.27		
	防护门	^{18}F	21.7	4.5	10mmPb	0.27	0.27	2.5
		CT	1.08×10^8			2.31×10^{-7}		
	观察窗	^{18}F	21.7	4	10mmPb	0.34	0.34	2.5
		CT	1.08×10^8			2.92×10^{-7}		
	顶棚	^{18}F	21.7	5.4	25cm 混凝土+70cm 水泥砂浆	2.54×10^{-5}	2.66×10^{-5}	2.5
		CT	1.08×10^8			1.21×10^{-6}		

SPECT 检查室	四周墙体	^{99m} Tc	19.15	3.5	26cm 混凝土+1mmPb	6.77×10 ⁻⁴	0.27	2.5
		CT	1.08×10 ⁸			0.27		
	防护门	^{99m} Tc	19.15	4.5	5mmPb	9.46×10 ⁻⁶	1.75 ×10 ⁻²	2.5
		CT	1.08×10 ⁸			1.75×10 ⁻²		
	观察窗	^{99m} Tc	19.15	4	5mmPb	1.2×10 ⁻⁵	2.21 ×10 ⁻²	2.5
		CT	1.08×10 ⁸			2.21×10 ⁻²		
	顶棚	^{99m} Tc	19.15	5.4	25cm 混凝土+70cm 水泥砂浆	1.37×10 ⁻⁶	2.58 ×10 ⁻⁶	2.5
		CT	1.08×10 ⁸			1.21×10 ⁻⁶		

注：计算放射性药物屏蔽防护厚度时，按照各屏蔽材料对应 TVL 值进行计算，计算 CT 部分屏蔽防护厚度时，将混凝土按照 GBZ130-2020 附表 C.7 中的 140kV（CT）条件折算为对应铅当量。CT 的输出剂量率按照 120kV、200mA 条件，不考虑 120kV 条件下的 Sv 和 Gy 的转换系数。2 间检查室顶棚楼板与住院楼一层地面之间有 700mm 水泥回填层（密度 1.8g/cm³），计算时，考虑该部分屏蔽作用。

根据表 11-13 和表 11-14 可知，按照项目屏蔽防护设计方案进行建设，本项目核医学科控制区各功能用房四周、顶棚外 30cm 处的周围剂量当量率均小于 2.5 μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中核医学科工作场所外周围剂量率限值的要求。

5、防护手套箱、注射窗等防护设施屏蔽效能核实

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中要求保证分装柜柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h。《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中要求保证通风柜人员操作位、注射窗外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，通风柜非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h，固体放射性废物收集桶外表面 30 cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μSv/h。

本项目拟配备 3 个防护手套箱和 1 台自动分药仪，其屏蔽估算分别考虑各自涉及的放射性药物的影响。

核医学科防护设施外表面的周围剂量当量率估算结果见表 11-15。

表 11-15 核医学科各防护设施屏蔽效能核算结果

设施名称	核素	放射源的最大活度（MBq）	周围剂量当量率常数	预测距离（m）	屏蔽材料及厚度	周围剂量当量率(μSv/h)		标准限值（μSv/h）
PET 手套箱	¹⁸ F	7030	0.143	0.25	防护手套箱 40mmPb	0.12	1.77	≤25
					铅罐 40mmPb			
		370			防护手套箱 40mmPb	1.65		

	^{18}F	7030	0.143	0.5	防护手套箱 40mmPb 铅罐 40mmPb	0.04	0.62	<2.5
		370			防护手套箱 40mmPb	0.58		
PET 注射窗	^{18}F	370	0.143	0.5	注射窗 20mmPb	1.16		<2.5
				0.25	注射器防护套 15mmPb	3.30		/
SPECT 手套箱	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	925	0.0303	0.25	防护手套箱 20mmPb	<0.01		≤ 25
		925	0.0303	0.5	防护手套箱 20mmPb	<0.01		<2.5
SPECT 注射窗	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	925	0.0303	0.5	注射窗 10mmPb	<0.01		<2.5
				0.25	注射器防护套 5mmPb	<0.01		/
自动分药仪	^{131}I	33300	0.0595	0.25	铅罐 40mmPb, 自动分装仪 40mmPb	<0.01		≤ 25
		33300	0.0595	0.5	铅罐 40mmPb, 自动分装仪 40mmPb	<0.01		≤ 2.5
放射废物桶	^{18}F	37	0.143	0.5	铅桶 15mmPb	1.87		<2.5
	^{131}I	333	0.0595	0.5	铅桶 15mmPb	2.42		<2.5
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	277.5	0.0303	0.5	铅桶 5mmPb	<0.01		<2.5

备注：①周围剂量当量率常数单位为 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ；考虑放射性药物位于手套箱内距离操作面约 20cm，放射废物桶直径约 40cm，废物分核素收集暂存。因 ^{18}F 半衰期很短，每天工作结束后，放射性药物活度已衰变到很小的数值，因此，收集 ^{18}F 的放射性污物桶内放射性活度考虑为每天使用量的 0.5%。②表中预测距离 0.25 为距表面 5cm 处，0.5 为距表面 30cm 处。③治疗区分装室手套箱用于分装甲吸药物，其活度很低，因此不估算手套箱外屏蔽。④每批次 ^{18}F 药物最多为 7400MBq。

根据表 11-15 核算可知，防护手套箱表面 5cm 处周围剂量当量率满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）（不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ），同时防护手套箱、注射窗、放射废物桶表面 30cm 处的周围剂量当量率也满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）（小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ）。因此，项目拟配置的手套箱等防护设施的屏蔽能力满足要求。

11.2.1.3 DSA 机房铅当量核算

根据医院提供的屏蔽防护方案及设备最大参数，其机房屏蔽体的铅当量核算结果见表 11-16。

表 11-16 射线装置机房屏蔽厚度与 GBZ130-2020 要求对比表

机房名称	屏蔽防护体	设计屏蔽防护情况	折合铅当量	标准要求	评价结果
介入手术中	四周墙体	37cm 实心砖	3.53mmPb	2.0mmPb	满足要求
心 DSA 机	铅门	3mmPb	3mmPb	2.0mmPb	满足要求
房 1~4、急	观察窗	3mmPb	3mmPb	2.0mmPb	满足要求

救中心 DSA 手术室 (125kV)	楼板	20cm 混凝土	2.72mmPb	2.0mmPb	满足要求
注：混凝土折合铅当量按照 GBZ130-2020 附录 C.5 和 C.7 中 125kV（90° 非有用线束）条件下的铅当量和混凝土对应数值进行核算					

根据上表核算结果，项目机房屏蔽体的屏蔽能力能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。

11.2.1.4 DSA 机房屏蔽体外剂量率核算

1、核算公式

根据公式计算得到屏蔽透射因子 B 后，关注点的散射辐射剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$) 根据《辐射防护导论》（原子能出版社）第三章第三节（P116-P117）散射线的屏蔽计算公式(3.66)进行推导得出，按最不利情况考虑居留因子取 1、管电压修正系数取 1，推导得出项目关注点的散射辐射剂量率计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{I \times H_0 \times B}{R_s^2} \times \frac{F \times a}{R_0^2} \dots\dots (11-14)$$

式中：

$\dot{H}$ ——关注点散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

I ——X 射线装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）；

H_0 ——距辐射源点(靶点)1m 处输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ，以 $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 ，Sv/Gy 转换系数取值为 1。即常用最大电压 90kV 时， H_0 为 $5.3 \text{mGy} \cdot \text{m}^2 / \text{mA} \cdot \text{min} \times 6 \times 10^4 = 3.18 \times 10^5 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ 。

B ——屏蔽透射因子，根据计算得出；

F —— R_0 处的辐射野面积，射线装置运行时的最大照射野面积为 400cm^2 ($20 \text{cm} \times 20 \text{cm}$)；

a ——散射因子，入射辐射被单位面积 (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；根据 NCRP147 号报告第 137 页附图 C.1，125kV 射线装置 1m 处的每平方厘米的散射系数最大为 7.5×10^{-6} ；90kV 射线装置 1m 处的每平方厘米的散射系数最大为 6.82×10^{-6} 。

R_s ——辐射源点（靶点）至散射体的距离，单位为米（m），根据设备参数，本项目取 0.38m；

R_0 ——散射体至关注点的距离，单位为米（m），根据设备布设位置确定。

2、核算参数

项目 DSA 存在透视及采集两种工况，本次评价按照透视常用工况及采集常用工况分别计算 DSA 机房墙体外周围剂量当量率。DSA 常用透视工况为 60~90kV/5~20mA，常用采集工况为 60~90kV/300~500mA。

透视工况按照常用最大 90kV、20mA 进行计算；采集工况按照常用最大 90kV、500mA 进行计算。DSA 在 90kV、3mmAl 过滤板情况下主射线方向 1m 处发射率为 $5.3\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。Sv/Gy 转换系数取值为 1。

预测参数见表 11-17。

表 11-17 核算参数

设备名称	管电压 (kV)	对应管电流 I (mA)	输出量 H_0 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$	发射率 $\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA min}$	散射面积 $F (\text{c m}^2)$	散射因子 α	散射距离 R_s (m)
DSA	90	20 (透视)	3.18×10^5	5.3	400	6.82×10^{-6}	0.38
	90	500 (采集)	3.18×10^5	5.3	400	6.82×10^{-6}	0.38
管电压		材质	拟合参数				
			α	β	γ		
90kV		铅	3.067	18.83	0.7726		

3、机房外周围剂量当量率核算结果

本项目 5 台 DSA 电压均为 125kV，5 间 DSA 机房分别位于介入手术中心（4 间）和急救中心（1 间），其中介入手术中心 4 间 DSA 机房规格一致，因此选择介入手术中心其中 1 间 DSA 机房和急救中心 DSA 手术室进行估算，2 间机房计算点情况见图 11-6 和图 11-7 所示。

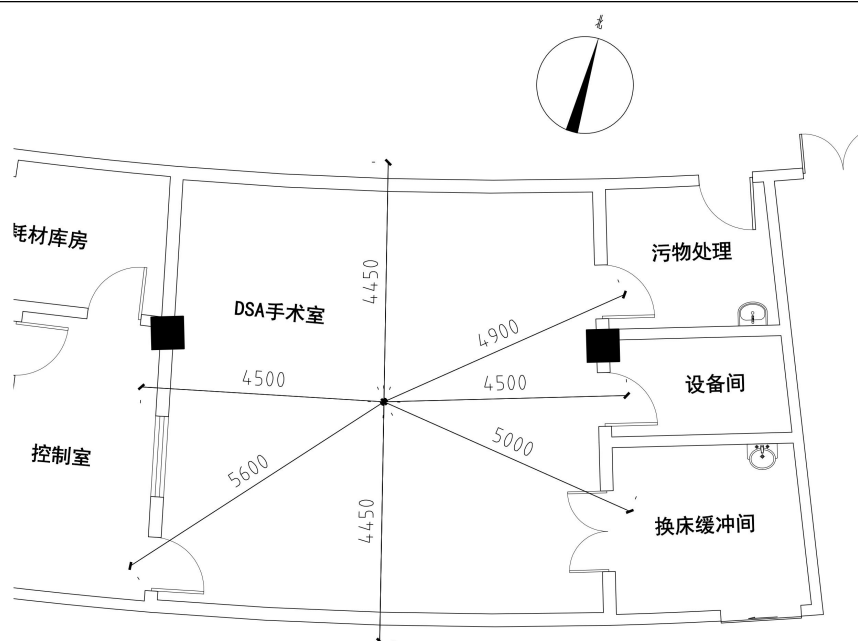


图 11-6 急救中心 DSA 手术室各计算点距离示意图

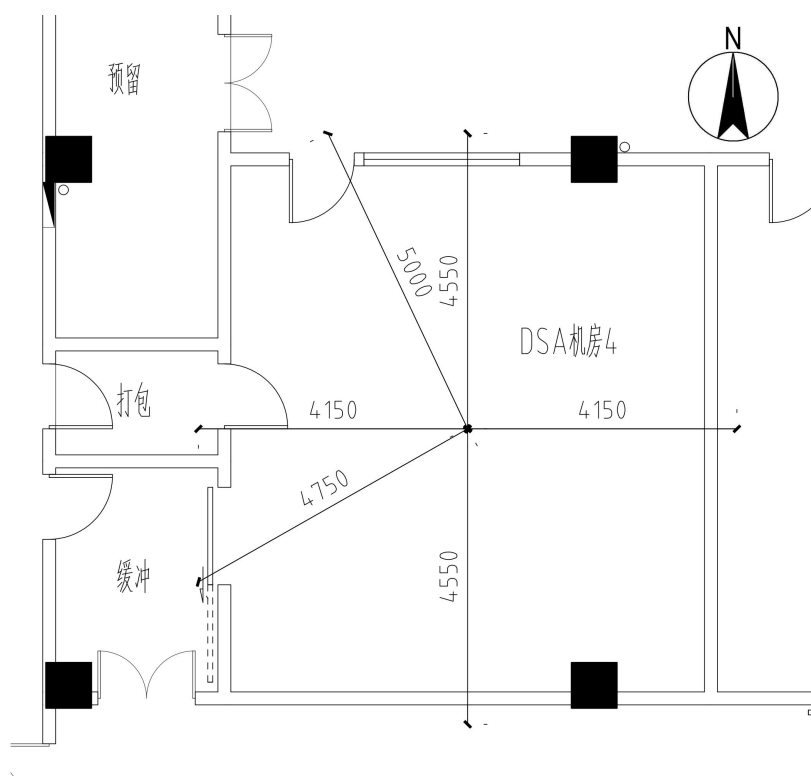


图 11-7 介入手术中心 DSA 机房各计算点距离示意图

透视、采集状态下 DSA 机房外周围剂量当量率核算结果分别见表 11-18 所示。

表 11-18 DSA 机房屏蔽核算结果

墙体名称	射线 类型	距离 R(m)	屏蔽体设计厚 度	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		设计厚度是 否满足要求
				透视	采集	

DSA 手术室							
东面	墙体	散射	4.5	3.53mmPb	0.01	0.23	是
	机房大门	散射	5	3mmPb	0.04	0.95	是
	污物门	散射	4.9	3mmPb	0.04	0.99	是
南面	墙体	散射	4.45	3.53mmPb	0.01	0.24	是
北面	墙体	散射	4.45	3.53mmPb	0.01	0.24	是
西面（控制室）	墙体	散射	4.5	3.53mmPb	0.01	0.23	是
	观察窗	散射	4.5	3mmPb	0.05	1.18	是
	防护门	散射	5.6	3mmPb	0.03	0.76	是
顶棚	顶棚	散射	5.4	2.72mmPb	0.08	1.93	是
地板	地板	散射	5	2.72mmPb	0.09	2.25	是
介入手术中心 DSA 机房							
西面	墙体	散射	4.15	3.53mmPb	0.01	0.27	是
	污物门	散射	4.15	3mmPb	0.06	1.38	是
	机房大门	散射	4.15	3mmPb	0.06	1.38	是
南面	墙体	散射	4.55	3.53mmPb	0.01	0.23	是
东面	墙体	散射	4.15	3.53mmPb	0.01	0.27	是
北面（控制室）	墙体	散射	4.55	3.53mmPb	0.01	0.23	是
	观察窗	散射	4.55	3mmPb	0.05	1.15	是
	防护门	散射	4.55	3mmPb	0.05	1.15	是
顶棚	顶棚	散射	5.4	2.72mmPb	0.08	1.93	是
地板	地板	散射	5	2.72mmPb	0.09	2.25	是
介入手术中心 DSA 机房 4 的防护门位置与其他 3 间机房不同，但机房尺寸一致，保守考虑，各防护门窗计算距离均取同侧墙体垂直最短距离。							
备注：①设备离地高度按 1.0m 考虑；②大楼 1 层层高为 5.4m，负一层层高为 5.7m，顶棚核算到楼上地面 1.0m 处，地面核算离下层地面 1.7m 处。 根据计算，该项目 DSA 机房在常用工况下，透视条件下的屏蔽体外的周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h，采集条件下的屏蔽体外的周围剂量当量率均小于 25μSv/h。可以满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。介入手术中心 4 间 DSA 机房并列布置，机房外关注点可能同时受到多台设备的辐射影响，考虑到射线穿过机房屏蔽体的路							

径和距离，考虑 2 间机房在同等条件的共同影响，表 11-18 中的估算结果乘以 2 倍系数后仍满足标准要求。

11.2.2 个人剂量估算

X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下列公式计算：

$$H_{Er} = H^*_{(10)} \times t \times 10^{-3} \quad (11-15)$$

式中：H_{Er}：X 或 γ 射线外照射人均年有效剂量，mSv；

H*₍₁₀₎：X 或 γ 射线周围剂量当量率， μ Sv/h；

t：X 或 γ 射线照射时间，h。

11.2.2.1 放疗中心个人剂量估算及环境保护目标影响

2 间直线加速器机房相邻布置，CT 模拟定位机房距加速器机房最近距离约 10m，不考虑加速器机房和 CT 模拟定位机房对机房外人员的辐射叠加影响。加速器机房周围人员驻留区域可能受到 2 间加速器机房共同影响的地方包括机房南侧走廊和顶棚上方室外道路等，其余区域不考虑叠加影响。

1、CT 模拟定位机机房周围人员剂量估算

模拟定位机机房外紧邻区域活动人员的年有效剂量当量估算见表 11-19。

表 11-19 模拟定位机机房外活动人员的年有效剂量估算表

受影响群体		墙体外周围剂量当量率 (μ Sv/h)	照射时间 (h/a)			剂量估算 (mSv/a)
			满负荷 工作时间	居留因子	有效受照 时间	
放射工作人员（控制室）		0.70	100	1	100	0.07
公众成员	北侧走廊	0.70	100	1/5	20	0.01

根据上表可知，模拟定位机机房屏蔽体外的放射工作人员受到的年附加剂量小于项目年剂量管理目标值 5mSv/a，公众成员受到的年附加剂量小于项目年剂量管理目标值 0.1mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的要求。

2、直线加速器机房周围人员剂量估算

放疗中心拟配置 2 台 10MV 的直线加速器，每台设备年治疗时间约 375h。

①放射工作人员

患者治疗时，放射工作人员在控制室内工作。根据表 11-3 可知，放射工作人员在控

制室内受到最大辐射剂量率为 $4.61 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ 。

直线加速器放射工作人员年有效剂量估算结果见表 11-20。

表 11-20 直线加速器放射工作人员年有效剂量估算表（单台）

工作场所	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		照射时间 (h/a)			年有效剂量 (mSv/a)
			满负荷 工作时间	居留因 子	有效受 照时间	
控制室	设备操作	4.61×10^{-6}	1875	1	1875	8.64E-6

根据上表可知，直线加速器放射工作人员受到的附加年有效剂量远小于项目的年剂量管理目标值 5.0mSv/a 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，后期设备工作人员将配备多组轮岗操作，因此每名工作人员实际受照剂量均小于估算值。

②公众成员

放疗中心直线加速器机房屏蔽体外公众成员年有效剂量估算结果见表 11-21。

表 11-21 直线加速器机房外公众成员年有效剂量估算表

序号	环境保护目标	方位	最小 距离	关注点最大 周围剂量当 量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	照射时间 (h/a)			年有效 剂量 (mSv/a)
					满负荷 工作时间	居留 因子	有效受 照时间	
1	走廊	南	相邻	0.07	1875	1/5	375	0.03
2	室外绿化、道路	楼上	/	0.94	1875	1/40	46.9	0.04

只计算直线加速器机房相邻处公众较长驻留的区域

根据上表可知，直线加速器机房屏蔽体外的公众成员受到的年附加剂量均小于评价约束值 0.1mSv/a，考虑公众同时受到 2 间加速器机房的叠加辐射影响，其年剂量仍低于公众管理目标值，满足《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）的要求。

3、环境保护目标影响

放疗中心各环境保护目标处公众受照剂量估算值见表 11-22。

表 11-22 环境保护目标处公众周围剂量当量率预测结果表

序号	环境保护目标名称	方位		水平距离	保护目标处剂量率值(μSv/h)	工作时间	居留因子	年受照剂量(mSv)
直线加速器机房 1、2								
1	走廊	南		相邻	0.07	1875	1/5	0.03
2	模拟定位工作场所、放疗中心诊室、阅片室、办公区、候诊大厅等			约 5m	0.03	1875	1	0.06
3	药膳营养制剂区、食堂、下沉庭院、电梯厅、核医学科等			约 10m	0.01	1875	1/2	0.01
4	水冷机房 1、设备间 1	西		相邻	0.31	1875	1/20	0.03
5	粒籽植入工作场所（分装、储源）			约 5m	0.12	1875	1/20	0.01
	粒籽植入工作场所（病房）			约 10m	0.07	1875	1/2	0.07
6	核医学科用房等			约 20m	0.03	1875	1/2	0.03
7	设备间 2、水冷机房 2、资料室、楼梯间	东		相邻	0.31	1875	1/20	0.03
8	走廊、模具室、风机房等			约 2m	0.21	1875	1/5	0.08
9	绿化带、广场、道路等	楼上	对应及相邻区域	/	0.94	1875	1/40	0.04
10	规划道路		北	约 20m	6.86×10^{-2}	1875	1/40	3.28×10^{-3}
11	渝州汽车二厂			约 40m	2.26×10^{-2}	1875	1	0.04
12	住院楼		南	约 15m	7.84×10^{-3}	1875	1	1.47×10^{-2}
13	制冷机房、地下停车场等	楼下	南	约 15m	7.84×10^{-3}	1875	1/40	3.67×10^{-4}
CT 模拟定位机房								
1	走廊、楼梯间	北		相邻	0.70	100	1/5	1.39×10^{-2}
2	加速器工作场所、粒籽植入工作场所、核医学科用房			约 5m	0.14	100	1/2	6.78×10^{-3}
3	排烟机房	南		相邻	0.70	100	1/20	3.48×10^{-3}
4	放疗中心候诊大厅、核医学科用房、电梯厅、食堂、下沉庭院等			约 3m	0.23	100	1/2	1.15×10^{-2}
5	核医学科用房、锅炉房、	西		相邻	0.70	100	1/2	3.48×10^{-2}

	水泵间等							
6	设备间	东		相邻	0.70	100	1/20	3.48×10^{-3}
7	MR 模拟定位机房、诊室、办公区、营养制剂用房等			约 3m	0.23	100	1	2.30×10^{-2}
8	下沉庭院、食堂等			约 40m	0.01	100	1/5	1.15×10^{-4}
9	室外绿化、道路、广场、液氧站等	楼上	对应及相邻区域	/	0.05	100	1/40	1.33×10^{-4}
10	规划道路		北	约 40m	0.01	100	1/40	1.44×10^{-5}
11	住院楼		南	约 3m	0.23	100	1	2.30×10^{-2}
12	制冷机房、地下停车场等	楼下	南	约 20m	0.02	100	1/40	4.83×10^{-5}

经过周边用房自身屏蔽体和距离衰减影响，实际上环境保护目标受到的影响可能更小。

因此，项目放疗中心射线装置所致周围50m范围内环境保护目标的影响甚微，对各环境保护目标不会带来不利影响，对环境的影响可以接受。

11.2.2.2 核医学科个人剂量估算及环境保护目标影响

1、放射工作人员全身剂量估算

①操作核素的医务人员

本项目核医学科购买放射性药物成品，护士主要负责核医学科含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物的分装和注射，另敷贴医师负责使用敷贴器和为患者进行敷贴治疗。因 ^{131}I 为自动分装给药（甲吸药物为人工分装，但其药物操作活度低，不考虑该部分辐射影响），工作人员不直接操作放射性核素，因此不考虑该部分工作人员操作放射性药物收到的辐射剂量。

A、放射性药物分装：含 ^{18}F 的放射性药物在诊断区分装室内的手套箱内完成放射性药物分装，然后在注射窗台前为患者进行注射，根据前文表 11-15 计算结果，距手套箱表面 5cm 处的周围剂量当量率为 $1.77 \mu\text{Sv/h}$ ，工作人员每分装一只药物的时间为 0.5min，每年注射人次共 5000 人，总分装时间为 41.67h。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在注射前，需要进行活度校验，该过程在诊断区分装室的手套箱内进行，根据前文表 11-15 的计算结果，手套箱表面 5cm 处的周围剂量当量率 $<0.01 \mu\text{Sv/h}$ ，其辐射影响很小，不考虑该部分受照剂

量。

B、注射/给药：护士与注射放射性药物之间有注射窗隔离，并使用注射器防护套。据表 11-15 计算结果，注射含 ^{18}F 的放射性药物 370MBq，并考虑注射窗、注射器屏蔽效果，则注射窗外表面 5cm 处周围剂量当量率约为 $3.3\mu\text{Sv/h}$ 。根据工程分析，单次注射时间取 0.5min，放射性药物注射时间为 41.67h（5000 次/年）。根据表 11-15 计算结果， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射时，注射窗表面周围剂量当量率 $<0.01\mu\text{Sv/h}$ ，其辐射影响很小，不考虑该部分受照剂量。

②操作设备的医务人员

A、PET/CT 技师：PET/CT 技师主要负责辅助患者摆位及 PET/CT 扫描显像。

摆位：PET/CT 机房与控制室之间拟设置观察窗和对讲装置，正常情况下，技师通过对讲指导患者自行摆位，仅当部分特殊受检者需要技师帮助摆位，此部分按受检者的 1/10 考虑。根据工程分析，每年 PET/CT 显像约 5000 人次，则摆位考虑 500 人次，每次摆位时间按 0.5min 计，则摆位时间约为 4.17h。患者显像时 1m 处的剂量率为 $21.7\mu\text{Sv/h}$ （同表 11-12 患者检查时，1m 处辐射剂量率），摆位时考虑技师与患者距离约 0.5m，剂量率为 $61.38\mu\text{Sv/h}$ 。

显像：PET/CT 显像过程中，技师位于控制室内，通过观察窗观察机房内情况。PET/CT 机房的观察窗拟采用 10mmPb 铅玻璃进行防护。根据表 11-14 可知，PET/CT 机房观察窗外 30cm 处的瞬时剂量约 $0.34\mu\text{Sv/h}$ 。根据工程分析，全年进行 PET/CT 显像为 5000 人次/年，总检查时间为 1250h。

B、SPECT/CT 技师：SPECT/CT 技师主要负责辅助患者摆位及 SPECT/CT 扫描显像。

摆位：根据工程分析，每年 SPECT/CT 显像约 7500 人次，正常情况下，技师通过对讲指导患者自行摆位，仅当部分特殊受检者需要技师帮助摆位，此部分按受检者的 1/10 考虑。每次摆位时间按 0.5min 计，则摆位时间约为 6.25h，患者显像时 1m 处的剂量率为 $19.15\mu\text{Sv/h}$ （同表 11-12 患者检查时，1m 处辐射剂量率），摆位时考虑技师与患者距离约 0.5m，剂量率为 $54.16\mu\text{Sv/h}$ 。

显像：SPECT/CT 显像过程中，技师位于控制室内，通过观察窗观察机房内情况。

SPECT/CT 机房的观察窗拟采用 5mmPb 铅玻璃进行防护。根据表 11-14 可知, SPECT/CT 机房观察窗外 30cm 处的瞬时剂量约 $2.21 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ 。根据工程分析, 全年进行 SPECT/CT 显像为 7500 人次/年, 总检查时间为 1875h。

核医学科工作人员年有效剂量估算结果见下表所示。

表 11-22 核医学放射工作人员年有效剂量估算表

人员	受照来源	瞬时剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)	操作时间 (h/a)	年有效剂量 (mSv/a)	
护士	^{18}F 放射性药物分装	1.77	41.67	0.07	0.21
	^{18}F 放射性药物注射	3.3	41.67	0.14	
SPECT/CT 技师	SPECT/CT 操作	2.21×10^{-2}	1875	0.04	0.38
	SPECT/CT 患者摆位	54.16	6.25	0.34	
PET/CT 技师	PET/CT 操作	0.34	1250	0.42	0.68
	PET/CT 患者摆位	61.38	4.17	0.26	

设备操作人员受照剂量保守选择 CT 和放射性核素共同作用下的周围剂量当量率作为估算参考值

由上表可知, 核医学科放射工作人员在正常工作情况下, 操作核素的护士受到的年受照剂量最大约为 0.21mSv/a ; PET/CT 和 SPECT/CT 的操作人员在控制室可能同时受到 2 间机房的影响, 其年受照剂量为 1.06mSv 。核医学科工作人员的受照剂量均小于建设单位的年剂量管理目标值 5mSv/a , 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 要求。

在实际工作中, 工作人员拟正确穿戴和使用防护用品, 放射工作人员能熟练操作和轮岗, 有效减少操作时间, 还可以降低放射工作人员的受照剂量。

2、核素操作人员手部剂量估算

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的铅 TVL 为 1mm, 经过注射器防护套、手套箱、注射窗等设施屏蔽后, 其对周围的辐射影响很小, 因此主要考虑工作人员操作 ^{18}F 时的手部剂量。单支 ^{18}F 放射性药物活度为 370MBq , 剂量率常数 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$, 分装、注射时考虑手部距离放射性药物约 5cm, 放射性药物按照裸源考虑注射器屏蔽套屏蔽 (15mmPb), 分装、注射时计算手部处剂量率最大为 $591\mu\text{Sv/h}$, 核素的分装、注射时间共约 83.33h/a 。

表 11-23 核医学核素操作人员手部受照剂量估算表

人员	受照来源	瞬时剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)	操作时间 (h/a)	年有效剂量 (mSv/a)	
护士	^{18}F 放射性药物分装	591	41.67	24.63	49.25
	^{18}F 放射性药物注射		41.67	24.63	

医护人员手部受照剂量能满足项目年剂量管理目标值 125mSv/a 的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

3、衰变池维修人员受照剂量

衰变池采用专业衰变罐组成，全自动管理，但需定期对衰变罐及相应管道、自动化监管装置等进行检查和维护。因衰变池房为核医学科控制区，进入衰变池房进行维护的人员，应按照规范要求，作为放射工作人员管理，配备个人剂量计、参加辐射防护培训等，同时，衰变池检修门设置锁具，防止无关人员入内。一般衰变设施每年维修一次（其余巡查仅人员查看设施运行情况，不长时间驻留），单次检修时间约 1h。

根据估算，衰变池内周围剂量当量率约为 $3174 \mu\text{Sv/h}$ （参考后文衰变池屏蔽计算中的放射性废水活度，关注点考虑距衰变池中心 2m），年工作时间为 1h，年受照剂量为 3.17mSv ，满足辐射工作人员年剂量管理目标值 5mSv 的要求。实际上，衰变池罐体分开布置，衰变池内放射性废水对某一点产生的周围剂量率小于估算值，因此，在实际工作中，工作人员所接受的辐射剂量低于估算值。检修工作人员在衰变处理设施内外进行巡查和检修工作时，均应佩戴个人剂量计，实际受照剂量以个人剂量监测结果为准。

4、公众成员剂量估算

核医学科工作场所控制区屏蔽体外公众成员年有效剂量估算结果见表 11-23。

表 11-23 核医学科控制区外公众成员年有效剂量估算表

序号	环境保护目标	方位	最小距离	关注点最大周围剂量当量率($\mu\text{Sv/h}$)	总时间(h)	居留因子	年有效剂量(mSv/a)
1	下沉庭院	/	相邻	2.13	1250	1/40	0.07
2	核医学科走廊	北	相邻	0.08（距甲癌病房约 5m）	1000	1/5	0.02
3	护士站、核医学科实验室、骨密度工作场所、粒籽植入工作		约 3m	0.07（距甲癌病房约 8m）	1000	1/2	0.03

	场所等								
4	核医学科走廊		南	相邻	0.33	1250	1/5	0.08	
5	核医学办公室、空调机房等			约 5m	0.06	1000	1	0.08	
6	下沉庭院、变电房、服务用房、药库、地下停车场等			约 10m	0.02	1250	1	0.03	
7	走廊、电梯间等		西	相邻	0.33	1250	1/5	0.08	
8	水泵间、锅炉房、地下停车场车道等等			约 5m	0.05	1250	1/20	3.32×10^{-3}	
9	核医学科候诊大厅、吸碘率测定室、护士站、空调机房、污物泵房等		东	相邻	1.09	83.33	1	0.09	
10	电梯厅、放疗中心用房、食堂、营养膳食配置等			约 7m	0.03	83.33	1/2	1.25×10^{-3}	
11	住院楼		楼上	诊断对应及相邻区域	/	2.66×10^{-5}	1250	1	3.33×10^{-5}
12	室外绿化、道路等			治疗对应及相邻区域	/	0.11	1000	1/40	2.75×10^{-3}
13	室外绿化、广场、液氧站、道路等			北	相邻	0.08	1000	1/40	2×10^{-3}
14	规划道路		楼上	北	约 40m	2.35×10^{-3}	1000	1/40	5.89×10^{-5}
15	室外绿化、道路等			南	约 10m	0.02	1250	1/40	6.25×10^{-4}
16	门急诊楼、医技楼等				约 40m	1.82×10^{-3}	1250	1	2.28×10^{-3}
17	制冷机房、地下停车场等		楼下	东南	约 20m	0.01	83.33	1/40	2.08×10^{-5}

备注：剂量率选择核医学控制区最靠近该方向上的房间外周围剂量率数值，受照时间选择该房间中存在放射性核素的总时间，并综合考虑核素衰减、人员驻留时间段等因素。治疗区上方南侧住院楼处剂量率值考虑住院楼底板 250mm 混凝土的屏蔽效果。

根据上表可知，核医学科工作场所控制区外的公众成员受到的年附加剂量最大为 0.09mSv/a ，小于年剂量管理目标值 0.1mSv/a ，满足《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）等标准要求。各环境保护目标处经过自身屏蔽体和距离衰减影响，实际上环境保护目标受到的影响可

能更小。因此，项目核医学科所致周围50m范围内环境保护目标的影响甚微，对各环境保护目标不会带来不利影响，对环境的影响可以接受。

诊断区患者离开核医学科至出口楼梯间中间走廊一侧为核医学科值班室，值班室内人员会受到患者经过走廊时的辐射影响，保守角度，不考虑墙体屏蔽效果，距离取2m，每名患者在同一个位置驻留时间为0.5min，分别估算¹⁸F和^{99m}Tc患者离院过程中，该值班室人员年受照剂量。从估算结果可以看出，值班室人员年受照剂量满足要求。

表 11-24 核医学科值班室处人员年有效剂量估算表

核素	活度 (MBq)	剂量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	2m 处剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	人次	每名患者 驻留时间	居留因 子	受照剂量 (mSv)	总受照剂量 (mSv)
¹⁸ F	210	0.092	4.83	5000	0.5min	1/20	0.01	0.07
^{99m} Tc	925	0.0207	19.15	7500			0.06	

值班室一般为中午或者晚上有人员驻留，因此居留因子取 1/20

11.2.2.3 介入中心个人剂量估算及环境保护目标影响

1、放射工作人员

A. 操作间放射工作人员有效剂量估算

◆ 透视情况下控制室放射工作人员有效剂量估算

项目 DSA 机房透视模式下控制室最大周围剂量当量率按 $0.04\mu\text{Sv/h}$ 考虑，年透视出束时间为 243.3h/a，则控制室的放射工作人员受到的年有效剂量约为 0.01mSv/a 。

◆ 采集情况下控制室放射工作人员有效剂量估算

在采集情况下，机房外控制室周围剂量当量率按 $1.18\mu\text{Sv/h}$ 考虑，年采集出束时间为 8.5h/a，则控制室的放射工作人员（包括控制室内技师和采集时在控制室的介入手术医生）受到的附加有效剂量约为 0.01mSv/a 。

表 11-25 DSA 控制室工作人员受照剂量表

工作场所	设备运行 条件	周围剂量当量 率	设备出束时间 (h/a)	受照剂量 (mSv/a)	总受照剂量
控制室	透视	$0.04\mu\text{Sv/h}$	243.3	0.01	0.02mSv/a
	采集	$1.18\mu\text{Sv/h}$	8.5	0.01	

综上所述，项目控制室的放射工作人员（包括控制室内技师和采集时在控制室的手术医生）受到的附加有效剂量最大为 0.02mSv/a ，考虑到介入手术中心4间机房共用一个

控制走廊，控制廊内工作人员可能同时受到4台设备的辐射，因此，控制室内工作人员可能受到的年剂量为0.08mSv/s，能满足本项目放射工作人员年有效剂量管理目标限值5mSv/a和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

B. 介入手术医护人员

◆ 透视情况下介入手术人员有效剂量估算

参照《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）表 B.1 规定：透视防护区检测平面上的周围剂量当量率不应大于 400 μ Sv/h。医护人员均穿戴个人防护设施（个人防护用品铅当量主要为 0.5mmPb），以式 11-1 计算防护用品透射因子，不考虑射线与介入手术医护人员的距离衰减因素，不区分手术人员位置，保守核算常用电压及额定电压条件下手术医务人员受照剂量在医院年剂量管理目标值下的年工作时间（DSA 的年有效出束时间），核算结果见表 11-26。

表 11-26 透视时介入手术医护人员受照剂量

运行管电压	透射因子	周围剂量当量率	手术位周围剂量当量率	单台设备单组医生最大受照射时间	受照剂量（mSv/a）
90kV	2.5×10^{-2}	400 μ Sv/h	10.1 μ Sv/h（铅衣内）	243.3h/a	2.46
90kV	/	400 μ Sv/h	400 μ Sv/h（铅衣外）		97.32

上述估算是按照透视防护区测试平面上的周围剂量当量率不大 400 μ Sv/h 的基础上计算的，实际介入手术过程中，手术医生受到的照射剂量与铅悬挂防护屏位置、铅防护用品质量、手术医生的手术熟练度及习惯等相关。因此，介入手术医生实际受到的年有效剂量以个人剂量计监测结果为准，医院应根据最大手术工作时间对手术医生进行工作调配，以确保辐射安全。

另外，医院还应采取以下措施确保辐射安全工作：

（1）要求从事介入手术人员在实际工作中，应正确佩戴个人剂量计，手术室医护人员应在防护铅衣内外各佩戴 1 枚个人剂量计；

（2）医院应定期对个人剂量进行监测，确保放射工作人员受到的年有效剂量低于医院的年剂量管理目标值。

◆ 采集情况下介入工作人员有效剂量估算

在采集情况下，机房内手术人员位于移动铅防护屏风后，防护屏风铅当量为

2mmPb，放置位置距设备距离约2m，设备电压为90kV，电流为500mA，经过计算，移动铅防护屏风后周围剂量当量率约为129.1 μ Sv/h，工作人员穿戴铅衣等个人防护用品（0.5mmPb），经过防护后，受照剂量率约为27.7 μ Sv/h。本项目年采集出束时间为8.5h/a。

表 11-27 采集时介入手术医护人员受照剂量

工作场所	受照部位	周围剂量当量率	设备出束时间（h/a）	受照剂量（mSv/a）
DSA 机房内(防护屏后)	铅衣内	27.7 μ Sv/h	8.5	0.24
	铅衣外	129.1 μ Sv/h		1.10

◆ 介入手术人员有效剂量估算

综上所述，DSA机房内的放射工作人员在采集和透视条件下，受到的辐射剂量分别为：铅衣内为2.46（透视）+0.24（采集）=2.7mSv/a，铅衣外为97.32（透视）+1.1（采集）=98.42mSv/a。

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019），中6.2.4 佩戴铅围裙内外两个剂量计时，宜采用下式估算有效剂量：

$$E=\alpha H_u+\beta H_o$$

E-有效剂量中的外照射分量，单位为mSv

α -系数，有甲状腺屏蔽时，取0.79，无屏蔽时，取0.84；

H_u -铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 H_p （10），单位为mSv

β -系数，有甲状腺屏蔽时，取0.051，无屏蔽时，取0.1；

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

本次使用理论估算值来核算工作人员受照剂量。

本项目拟为工作人员配备甲状腺防护用品，则： $E=0.79\times 2.7+0.051\times 98.42=7.15\text{mSv}$

根据上述计算可知，本项目单台设备工作人员受照剂量为7.15mSv，5台设备导致的工作人员总受照剂量为35.75mSv。根据医院提供的资料，医院DSA手术人员为30名，拟分为15个组，每组工作人员年受照剂量约2.38mSv，考虑到工作人员工作量可能不平均的情况。单名工作人员受照剂量乘以1.2的系数，因此，每名工作人员年受照剂量约为2.86mSv，小于本项目放射工作人员年有效剂量管理目标限值5mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

2、公众成员剂量估算

项目 DSA 机房四周相邻区域除介入手术用房外，均为室内走廊，公众成员剂量估算保守考虑各机房中屏蔽体外最大剂量、单台 DSA 最大工作时间（满负荷：透视 243.3h/a，摄影 8.5h/a）。具体见表 11-29 所示。

表 11-29 公众成员剂量估算

工作场所	环境保护目标名称	方位	最近距离	关注点最大周围剂量当量率（μSv/h）		曝光时间（h/a）	居留因子*	年有效剂量（mSv/a）	
急救中心 DSA 手术室	走廊、电梯厅	北	相邻	透视	0.01	243.3	1/5	9.41×10^{-4}	
				采集	0.24	8.5			
	室外绿化、道路		约8m	透视	1.30×10^{-3}	243.3	1/40	1.50×10^{-5}	
				采集	0.03	8.5			
	医技楼		约30m	透视	1.62×10^{-4}	243.3	1	8.64×10^{-5}	
				采集	0.01	8.5			
	设备间、缓冲间、污物间		东	相邻	透视	0.04	243.3	1/20	8.93×10^{-4}
					采集	0.99	8.5		
	走廊、谈话间、库房等	约3m		透视	0.02	243.3	1/5	1.44×10^{-3}	
				采集	0.37	8.5			
	EICU	约15m		透视	2.64×10^{-3}	243.3	1/2	6.03×10^{-4}	
				采集	0.07	8.5			
	室外道路、绿化	约30m		透视	7.79×10^{-4}	243.3	1/40	9.43×10^{-6}	
				采集	0.02	8.5			
	走廊	南	相邻	透视	0.01	243.3	1/5	9.41×10^{-4}	
				采集	0.24	8.5			
	抢救大厅、急诊急救大厅等		约3m	透视	3.83×10^{-3}	243.3	1/2	8.64×10^{-4}	
				采集	0.09	8.5			
	室外绿化、道路		约25m	透视	2.07×10^{-4}	243.3	1/40	2.43×10^{-6}	
				采集	0.01	8.5			
	工作人员更衣、洗手区、库房		西	相邻	透视	0.04	243.3	1/5	4.15×10^{-3}
					采集	1.18	8.5		
	走廊、急诊工作人员区、药房、检验、诊室、急诊影像用房等	约8m		透视	0.01	243.3	1	2.75×10^{-3}	
				采集	0.17	8.5			

介入 手术 中心 DSA 机房 1~4	空调机房	楼 上	对应 区域	/	透视	0.08	243.3	1/20	1.76×10^{-3}
	门急诊楼其他区 域		相邻	相邻	采集	1.93	8.5	1	3.52×10^{-2}
					透视	0.08	243.3		
					采集	1.93	8.5		
	地下停车场	楼下	/	透视	0.09	243.3	1/40	1.02×10^{-3}	
				采集	2.25	8.5			
	库房、工作人 员更衣区、办 公室等	北	约 3m	透视	0.02	243.3	1	7.64×10^{-3}	
				采集	0.42	8.5			
	室外绿化、道 路		约 20m	透视	1.52×10^{-3}	243.3	1/40	1.75×10^{-5}	
				采集	0.04	8.5			
	住院楼		约 48m	透视	3.82×10^{-4}	243.3	1	1.87×10^{-4}	
				采集	0.01	8.5			
	走廊		东	相邻	透视	0.01	243.3	1/5	9.97×10^{-4}
					采集	0.27	8.5		
	供应中心	约 8m		透视	1.30×10^{-3}	243.3	1	5.99×10^{-4}	
				采集	0.03	8.5			
	室外绿化、道 路	约 45m		透视	7.79×10^{-5}	243.3	1/40	8.89×10^{-7}	
				采集	1.95×10^{-3}	8.5			
患者通道	南	相邻		透视	0.01	243.3	1/5	9.22×10^{-4}	
				采集	0.23	8.5			
麻醉复苏、等 候、谈话、DSA 设备间等		约 3m	透视	3.34×10^{-3}	243.3	1/5	3.03×10^{-4}		
			采集	0.08	8.5				
走廊		约 8m	透视	1.30×10^{-3}	243.3	1/5	1.20×10^{-4}		
			采集	0.03	8.5				
影像中心、 MRI 工作场所		约 15m	透视	5.20×10^{-4}	243.3	1	2.20×10^{-4}		
			采集	0.01	8.5				
缓冲间、污物 间	西	相邻	透视	0.06	243.3	1/20	1.26×10^{-3}		
			采集	1.39	8.5				
走廊、室外绿 化、道路		约 3m	透视	0.02	243.3	1/5	1.90×10^{-3}		
			采集	0.49	8.5				
门急诊楼		约 25m	透视	1.13×10^{-3}	243.3	1	5.10×10^{-4}		
			采集	0.03	8.5				
预留用房		楼	对应	/	透视	0.08	243.3	1/5	7.05×10^{-3}

	上	区域		采集	1.93	8.5		
医技楼其他区域		相邻	相邻	透视	0.08	243.3	1	3.52×10^{-2}
				采集	1.93	8.5		
地下停车场、服务用房等	楼下	/		透视	0.09	243.3	1	4.06×10^{-2}
				采集	2.25	8.5		

根据上表可知，DSA机房外紧邻活动区域的公众成员受到的年附加有效剂量均低于项目年剂量管理目标值0.1mSv/a和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

（GB18871-2002）的要求。介入手术中心4间DSA机房相邻布置，工作场所外公众可能同时受到4台设备的辐射影响，考虑到间隔远的机房对于同一个位置的距离和屏蔽体屏蔽效果差异很大，因此公众受照剂量考虑2间机房的叠加影响，根据上表可知，公众年受照剂量最大值约为0.04mSv，叠加后，受照剂量为0.08mSv，仍满足要求。

11.2.3 放射性“三废”环境影响分析

根据工程分析，项目涉及到产生放射性“三废”的为核医学科。

11.2.3.1 核医学科放射性“三废”环境影响分析

1、核医学科放射性废水影响分析

（1）放射性废水来源及排放量

根据工程分析内容，本项目核医学科放射性废水中的放射性核素主要为 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I ，其来源为门诊及住院患者的排泄物，还有工作人员操作过程中手部可能受到微量核素污染的洗手水、清洗室内地面、工作台和一些重复使用的医疗器械带有微量核素的清洗水。核医学科拟建设两套放射性废水收集管网和衰变处理设施，1#衰变处理设施处理治疗区放射性废水（主要含 ^{131}I ），2#衰变处理设施处理诊断区放射性废水（主要含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）。根据工程分析核算，进入1#衰变处理设施的废水量为：1.2m³/d，34.9m³/月；进入2#衰变处理设施的废水量为：0.92m³/d，18.4m³/月。

（2）放射性废水收集及处置系统

核医学科拟采用污污分流的方式，放射性废水衰变处理设施处理达标后再排入医院污水处理站处理。2套衰变池均为槽式处理间歇排放工艺。1#衰变处理设施单个衰变槽有效体积为93.6m³，4个衰变槽总有效体积为374.4m³；2#衰变处理设施单个衰变槽有效体积为13m³，3个衰变槽总有效体积为39m³。

(3) 衰变池衰变能力的确定

①废水排放总量和浓度

本评价按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，本项目放射性废水的排放应满足排放总量限值和浓度限值。

②每日放射性废水产生活度

根据 AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements, PET、PET/CT 扫描前患者需要排空，一般给药 2 小时后，膀胱排出活度约 15%~20%。本评价按照最不利情况考虑，所有患者均排出给药量活度的 20%进入衰变池。根据 ICRP 第 94 号出版物给出的数据，对于甲癌患者，甲癌患者排泄物排泄到废水中活度按给药量的 85%估算（按住院 3 天考虑，住院第 1 天排泄 55%，第 2 天排泄 22%，第 3 天排泄 8%）。因此，根据核医学科工作核素用量，本项目放射性药物给药量、放射性废水核素产生量见表 11-30 和表 11-31 所示。

表 11-30 核医学科治疗区用药量及废水核素产生量计算表

核素名称	星期	甲癌患者						甲亢患者	合计
		第一批	第二批	第三批	第四批	第五批	第六批		
¹³¹ I（甲癌）	1	1.63×10 ¹⁰	/	/	/	/	1.18×10 ⁹	6.1×10 ⁸	1.81×10 ¹⁰
	2	6.51×10 ⁹	1.63×10 ¹⁰	/	/	/	/	6.1×10 ⁸	2.34×10 ¹⁰
	3	2.37×10 ⁹	6.51×10 ⁹	8.14×10 ⁹	/	/	/	6.1×10 ⁸	1.76×10 ¹⁰
	4	/	2.37×10 ⁹	3.25×10 ⁹	1.63×10 ¹⁰	/	/	6.1×10 ⁸	2.25×10 ¹⁰
	5	/	/	1.18×10 ⁹	6.51×10 ⁹	1.63×10 ¹⁰	/	6.1×10 ⁸	2.45×10 ¹⁰
	6	/	/	/	2.37×10 ⁹	6.51×10 ⁹	8.14×10 ⁹	/	1.70×10 ¹⁰
	7	/	/	/	/	2.37×10 ⁹	3.25×10 ⁹	/	5.62×10 ⁹

备注：每天最多接受 4 名甲癌患者，每周最多接受 20 名患者，按照患者平均住院 3 天，考虑到床位数量，在一个星期内，收治甲癌患者的批次为：第一天 4 名、第二天 4 名、第三天 2 名、第四天 4 名、第五天 4 名、第六天 2 名。

表 11-31 核医学科诊断区用药量及废水核素产生量计算表

核素名称	单人最大用量（Bq）	最大人数（人）		最大用量（Bq）		产生比例	最大产生量（Bq）	
		每日	每月	每日	每月		日	月

^{18}F	3.7×10^8	20	400	7.4×10^9	1.48×10^{11}	20%	1.48×10^9	2.96×10^{10}
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	9.25×10^8	30	600	2.78×10^{10}	5.55×10^{11}	20%	5.55×10^9	1.11×10^{11}

③1#衰变池处理效果核算

A 放射性废水核算：

本项目核医学科治疗区放射性废水拟使用槽式衰变池处理设施，放射性废水衰变的计算思路为：以每天产生放射性废水的初始活度值为基数，计算经过衰变 n 天到排放时的活度，并将这些 $(m-k+1)$ 天的不同活度值的放射性废水的总活度作为单次放射性废水排出的活度值。衰变计算公式如下：

$$A(n) = A_0 \times e^{-(0.693n/T_{1/2})} \quad (11-29)$$

$$A_{\text{出水}} = \sum_{n=k}^m A_{(n)} \quad (11-30)$$

式中： A_0 —每天产生的初始放射性活度；

$A_{(n)}$ —单份衰变 n 天后的放射性活度；

$A_{\text{出水}}$ —衰变池排放口的活度，Bq；

$T_{1/2}$ —核素半衰期，d；

m —单份放射性废水最长衰变时间，d；

k —单份放射性废水最短衰变时间，d；

n —衰变天数 $(k \leq n \leq m)$ ，d。

排放废水的活度浓度公式为：

$$A_c = \frac{A_{\text{出水}}}{V} \quad (11-31)$$

式中： A_c —衰变池排放口的活度浓度，Bq/L；

V —衰变池容积，L。

根据核算，治疗区放射性废水产生量为 $1.2\text{m}^3/\text{d}$ ，每个衰变罐能接纳约 78d（核素不操作日也有住院病人产生废水，直接按此自然日核算）的放射性废水。衰变池前端设置约 3m^3 生物降解池，放射性废水经过生物降解池后再流入衰变池，衰变罐 1#装满后，依次装 2#、3#，当 4#装满后，衰变罐 1#废水再排入排水口，监测合格后再排放。此时，衰变罐 1 的第一份废水衰变天数 m 为 $4 \times 78 - 1 = 311\text{d}$ ，最后一份废水衰变天数 k 为

$3 \times 78 - 1 = 233\text{d}$ 。

根据计算，含碘放射性废水经衰变后，废水排放时，排放槽所有废水中含碘-131 活度约为 $3.52 \times 10^2 \text{Bq}$ 。废水衰变完成后每月最多排放一个槽体的废水，即月排放碘-131 活度为 $3.52 \times 10^2 \text{Bq}$ ，单个槽体总废水容积为 93.6m^3 ，废水排放碘-131 浓度和 β 总浓度约为 $3.76 \times 10^{-3} \text{Bq/L}$ ，能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）（ ^{131}I 的 $1\text{ALI}_{\min}$ 为 $9.09 \times 10^5 \text{Bq}$ ， $10\text{ALI}_{\min}$ 为 $9.09 \times 10^6 \text{Bq}$ ）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）（总 β 不大于 10Bq/L 、碘-131 不大于 10Bq/L ）及《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）的排放浓度要求（ $\beta < 10 \text{Bq/L}$ ）。放射性废水在衰变池内的暂存时间超过 180 天。

B 其他放射性废水核算：

诊断区放射性废水拟使用槽式衰变池处理设施，计算思路同上。

根据核算，放射性废水产生量为 $0.92 \text{m}^3/\text{d}$ ，单个衰变罐有效体积为 13m^3 ，每个衰变罐能接纳约 14d 的放射性废水，核医学科每月最多工作 22 天，因此每个衰变罐能接纳约 19 个自然日产生的水量。衰变罐 1#装满后，依次装 2#、3#，当 3#装满后，衰变罐 1#废水再排入排水口，监测合格后再排放。此时，衰变罐 1 的第一份废水衰变天数 m 为 $3 \times 19 - 1 = 56\text{d}$ ，最后一份废水衰变天数 k 为 $2 \times 19 - 1 = 37\text{d}$ 。

根据计算，放射性废水经衰变后，废水排放时，放射性废水进入排水口时的活度远小于 0.01Bq/L 。能满足《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）（总 β 不大于 10Bq/L ）及《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）的排放浓度要求（ $\beta < 10 \text{Bq/L}$ ）。放射性废水在衰变池内的暂存时间远超过 30 天，满足暂存时间要求。

综上所述，本项目放射性废水经衰变后，废水排放能满足《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）、《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）的要求，本项目拟新建的衰变池有效容积及类型能满足本项目的要求。

（4）放射性废水处理工艺可行性分析

核医学科放射性废水采用槽式衰变间歇排放的工艺处理放射性废水，而后排入医院

污水处理站进一步处理。废水处理设施为自动化控制，实现全自动稳定运行和排放。

综上所述，项目拟设置独立的放射性废水收集和处理系统，放射性废水经废水衰变处理设施处理后能满足相应标准要求，之后排入医院污水处理站进一步处理。因此，项目产生的放射性废水能够得到有效处理，达标排放。

（5）废水衰变处理设施建设要求

①放射性废水衰变处理设施屏蔽效能核算

项目废水衰变处理设施位于医疗综合楼西南侧室外绿化带下，其四周池体和顶板采用 30cm 混凝土+30cm 土壤层（密度 $>1.3\text{g/cm}^3$ ）。衰变池间四周均为土壤层，且检修口位于角落，衰变池间顶板高度低于检修口约 2m，检修口区域仅受到散射辐射的影响，而放射性废水所产生的射线经过多次散射后，其能量和剂量率都很小，因此，衰变池间辐射防护屏蔽仅考虑顶板屏蔽厚度。

放射性废水衰变处理设施顶棚屏蔽效能核算结果见表 11-31。

表 11-31 放射性废水衰变处理设施屏蔽效能核算结果表

部位	衰变池屏蔽材料及厚度	核素名称	最大活度（MBq）	周围剂量当量率常数	预测距离（m）	周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
顶部	30cm 砼+30cm 土壤层	^{18}F	1.48×10^3	0.1430	4	1.43
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	5.55×10^3	0.0303		
		^{131}I	2.07×10^5	0.0595		

备注：①周围剂量当量率常数单位为 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ；②衰变池中废水活度：“含碘放射性废水”的活度按照废水装满时含碘的总活度，“其他放射性废水”的活度按照核素当日产生活度考虑；③预测距离取衰变池液位中心距地面的高度

根据上述核算结果，项目放射性废水衰变处理设施池顶上方 30cm 处的周围剂量当量率最大为 $1.43\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的限值要求（小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ）。

同时，医院拟加强管理，地面划出在衰变处理设施区域，设置禁停标志和电离辐射警示标志，避免区域内停车和公众成员长时间停留，以减少对人员的影响。

②污水间影响核算

核医学科治疗区和诊断区的放射性废水分别通过管道流向核医学科污水间 1 和污水间 2 内的动力提升装置内，再通过提升泵的压力，将放射性废水输入到衰变池内，提升

泵一用一备。为了降低泵的消耗，提升装置可以设置储存到一定水量后，再排出，设置储水量为 0.3m³。污水间 1 收集治疗区放射性废水，根据前文核算可知，0.3m³ 放射性废水中的 ¹³¹I 活度约为 6452MBq。污水间 2 收集诊断区放射性废水，诊断区按照 PET 和 SPECT 受检者产生的放射性废水根据患者比例，分别为 2/5 和 3/5，根据前文核算可知，0.3m³ 放射性废水中的 ¹⁸F 和 ^{99m}Tc 活度分别为 193MBq 和 1086MBq。

表 11-31 污水间屏蔽效能核算结果表

部位	污水间屏蔽材料及厚度	核素名称	最大活度 (MBq)	周围剂量当量率常数	预测距离 (m)	周围剂量当量率 (μSv/h)
污水间 1						
顶部	35cm 砼	¹³¹ I	6452	0.0595	7	0.07
四周	35cm 砼	¹³¹ I	6452	0.0595	1.5	1.49
防护门	16mmPb	¹³¹ I	6452	0.0595	2.5	2.16
污水间 2						
顶部	25cm 砼	¹⁸ F	193	0.1430	6.4	0.03
		^{99m} Tc	1068	0.0303		
四周	20cm 砼	¹⁸ F	193	0.1430	1.5	1.11
		^{99m} Tc	1068	0.0303		
防护门	10mmPb	¹⁸ F	193	0.1430	2.5	1.11
		^{99m} Tc	1068	0.0303		

提升装置位于污水间地面下方，计算以污水间地面中部为源点

根据上述核算结果，项目核医学科污水间外的周围剂量当量率最大为 2.16μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的限值要求（小于 2.5μSv/h）。

③废水管网影响核算

核医学科排水管采用 5mm 铸铁管道，其中暴露在空气中的部分采用 5mmPb 铅皮包裹防护。

根据前文核算，放射性废水收集管网中的废水活度浓度按照当天产生的放射性废水活度浓度考虑，即 ¹³¹I 的为 $2.45 \times 10^{10} \text{Bq} / 1.2 \text{m}^3 = 2.04 \times 10^4 \text{Bq} / \text{cm}^3$ ，¹⁸F 的为 $1.48 \times 10^9 \text{Bq} / 0.92 \text{m}^3 = 1.61 \times 10^3 \text{Bq} / \text{cm}^3$ （根据前文核算，^{99m}Tc 的影响远远小于 ¹⁸F，此处不再考虑）。将废水管网看为无限长线源，考虑管道半径为 5cm，考察点为管道外人员所

达处（负一层），计算点位考虑-1F距地面170cm处，管道距关注点约2m。根据《辐射防护手册》第一分册相应公式，查《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》（GBZ/T144-2002）表B.1的参数，可以计算出经过屏蔽的含碘放射性废水管网人员可达处的周围剂量当量率最大值为 $2.25\mu\text{Sv/h}$ ，其他放射性管网人员可达处周围剂量当量率最大值为 $0.35\mu\text{Sv/h}$ 。

因此，项目废水管网按照现有设计防护方案建设，放射性管网的辐射影响满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。放射性管网具有流动性，不停留，对周围人员产生的影响很小。

④施工要求

废水衰变处理设施拟采用高等级抗渗混凝土结构，然后按照重点防渗要求建设，确保各池体满足屏蔽防护、防渗、耐酸碱腐蚀、无渗透和泄露的要求；废水衰变处理设施处拟设标识，排放口拟设置排污口并便于采样。

综上，核医学科的废水衰变处理设施能满足核医学科运行产生的放射性废水衰变达到相关标准限值要求（总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ ，总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ ）。

2、核医学科放射性废气影响分析

项目核医学科使用的放射性药物为非气态放射性药物，仅 ^{131}I 属于碘化钠化合物，离子型的 ^{131}I 放射性药物易氧化析出 ^{131}I （单质碘），碘在常温下易挥发，产生放射性气溶胶，其余核素在诊疗过程中均不易挥发。

本项目核医学科拟设置独立的排风系统，工作场所拟设置9套废气收集系统收集核医学科放射性废气，收集后通过管道进入专用排风井，引至住院楼11F楼顶经活性炭处理后高于楼顶排放。各排风支管均设置防倒灌装置并保持负压，避免放射性废气泄漏。

放射性废气排放口位于住院楼西侧，住院楼为医院最高建筑物，排风口距周边居民小区距离均超过100m。同时，核医学科内废气均活性炭吸附处理后再排放，活性炭定期更换，吸附效果好。因此，项目核医学科产生的放射性废气排放周围环境的影响很小。

3、核医学科放射性固废影响分析

本项目产生放射性固体废物拟分类（按不同区域、不同核素、不同医疗废物类别等）收集在专用放射废物桶内，桶内设专用塑料袋，每天下班由专人统一将桶内的放射性固

体废物连同垃圾袋存放到废物间暂存衰变，待其衰变达到时间要求后，并监测合格后作为一般医疗废物交有资质单位处理。项目放射性固废得到有效处置，不会对周围环境产生压力，对环境无影响。除敷贴治疗器外，其余未使用完且不再使用的放射性药物作为放射性固废处置。使用后的敷贴器统一交由厂家回收。

11.2.4 非放射性“三废”环境影响分析

11.2.4.1 废水

项目运行产生少量的生活污水、医疗废水等依托医院拟新建的污水处理站处理。污水处理站处理达标后排入市政污水管网进入城市污水处理厂处理。项目非放射性废水能得到合理处置，对环境的影响可以接受。

11.2.4.2 固体废物

医务人员、病人及家属产生的少量生活垃圾交市政环卫部门处理。医务人员、病人诊疗过程产生少量的医疗废物，医疗废物转存于医院医疗废物暂存间内，暂存间内拟设置感染性废物和损伤性废物收集桶，相应类别的塑料桶旁墙上贴中文标签，医疗废物暂存间大门贴有警示标识；医疗废物暂存间为封闭空间，日常不使用时锁闭大门，设专人管理，防止非工作人员接触医疗废物；面积足够，能够暂存整个医院不低于 2 天内产生的医疗废物；设置紫外线消毒装置消毒，设置换气扇进行通风换气。医院与资质单位签订医疗废物处置协议，交该单位每天收集、处置。因此，本项目产生医疗废物及时运送至医疗废物暂存间，此种处理措施依托可行。

铅防护用品在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后成为报废铅防护用品，由医院收集后妥善保存，交有资质单位回收处置。

项目产生的固体废物均能得到合理的处理，对环境的影响可以接受。

报废的射线装置去功能化后交由物资回收单位处置，阴极射线管属于危险废物（废物代码：900-044-049），交有资质单位处置。

11.2.4.3 废气

X 射线、 γ 射线等与空气作用，可以使气体分子或原子电离、激发，产生臭氧和氮氧化物。各科室用房在保持通风换气的条件下，臭氧和氮氧化物浓度甚小。少量的有害气体直接与大气接触、不累积，很快被空气的对流而扩散，不会影响机房、机房外大气

环境质量，对环境的影响可以接受。

1、放疗中心废气

(1) 放疗中心废气排放浓度

①模拟定位机废气

放疗中心模拟定位机运行时产生的臭氧和氮氧化物量极少。模拟定位机机房内均拟设置机械排风口，并连接至排风管道，可确保良好的通风效果。

②医用电子直线加速器废气

直线加速器运行时产生的非放射性废气主要为臭氧、氮氧化物（主要为二氧化氮）。根据工程分析，单台直线加速器机房臭氧产额为 81.94mg/h，氮氧化物产额为 40.97mg/h。根据设计资料，单个加速器机房排风量为 2000m³/h。根据文献《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等，中华放射医学与防护杂志，1994 年 4 月第 14 卷第 2 期），考虑直线加速器机房运行时的连续排风和 O₃ 的分解，机房内空气中 O₃ 的平均浓度可由下式计算。

$$Q_{(t)} = \frac{Q_0 T}{V} (1 - e^{-t/T}) \quad (11-19)$$

式中：Q_(t)：t 时刻机房内 O₃ 的平均浓度，mg/m³；

Q₀：O₃ 的产生率，mg/h；

V：加速器机房体积（不含迷道），m³；

T：有效清除时间，h。

有效清除时间 T 可由下式计算。

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad (11-20)$$

式中：t_v：换气一次所需要的时间，h；

t_d：O₃ 的有效分解时间，取 0.83h。

因本项目加速器运行单次后，需要转移病人，给下一位病人准备等，不是连续出束，因此，本次核算考虑单次治疗（1.5min）产生的臭氧在设计通风情况下机房内的臭氧浓度。各参数的取值和 O₃ 浓度的计算结果见表 11-32。

表 11-32 加速器机房内 O₃ 浓度计算结果表

机房	Q ₀ (mg/h)	V (m ³)	t _v (h)	T _d (h)	T (h)	t (h)	Q _(t) (mg/m ³)
单台直线加速器机房	81.94	310	0.11	0.83	0.14	0.025	<0.01

由上述计算可知，单次治疗后直线加速器机房臭氧的浓度<0.01mg/m³，低于《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中规定的臭氧浓度限值 0.3mg/m³，也低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准中规定的臭氧 1 小时平均限值 0.2mg/m³。

单次治疗后氮氧化物浓度<0.01mg/m³，远低于 GBZ2.1-2019 中规定的 5mg/m³，也远低于 GB3095-2012 二级标准中规定的二氧化氮 1 小时平均限值 0.2mg/m³。

此外，根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），直线加速器机房通风换气次数应不小于 4 次/h。根据设计，直线加速器机房排风量约为 2000m³/h，通风换气次数为 5 次/h，满足上述标准的要求。

（2）放疗中心废气排放影响

放疗中心直线加速器机房和 CT 模拟定位机房废气经排风系统引至住院楼北侧室外绿化处排放。放疗中心各射线装置机房产生的臭氧、氮氧化物浓度小，远远低于环境空气质量的限值要求，排放后废气经大气扩散和分解，不累积，浓度将进一步降低。

2、核医学科废气

核医学科 PET/CT、SPECT/CT 的 CT 模式运行时产生的臭氧和氮氧化物量极少。该类废气经核医学科排风系统一起收集后引至住院楼 11F 屋顶上方排放，排放后废气经大气扩散和分解后，浓度将进一步降低。因此，PET/CT、SPECT/CT 的 CT 模式运行产生的废气对周围环境影响小。衰变处理设施内的气体，通过衰变池顶棚上方排气筒排放，排气筒周边为室外绿化区域，对公众的影响很小。

3、DSA 手术室废气

DSA 运行时产生的臭氧和氮氧化物量极少，DSA 机房内均设置独立机械排风口并连接至排风管道，可确保良好的通风效果。机房内废气经排风管道引至所在大楼屋顶上方排放，排放后废气经大气扩散和分解后，浓度将进一步降低。因此，DSA 运行产生的废气对周围环境影响小。

11.3 实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

放射性同位素的应用及射线装置在对疾病的诊断和治疗有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。本项目营运以后，医院将为病人提供一个更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益；随着医院医疗技术与及服务水平的提高，医院在为患者(受检者)健康服务的同时也将创造更大的经济效益。项目拟采取的辐射安全与防护措施符合要求，对环境的影响也在可接受范围内。在项目营运过程中建设单位应掌握好适应症，正确合理地使用设备进行医疗照射。

项目建设严格执行“三同时”，采取切实可行的环保措施，保证环保投资和环保设施正常投入与运行，确保项目在取得经济效益和社会效益的同时，具备环境效益。因此，该项目放射性同位素的应用及射线装置的使用对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

11.4 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订）第一类 鼓励类中“六、核能 6、同位素、加速器及辐照应用技术开发”、“十三、医药 5、新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”。

本项目为同位素应用、高端放射治疗设备加速器的应用、数字化医学影像设备应用，属于产业结构鼓励类，符合国家产业政策。

11.5 事故影响分析

11.5.1 事故状态可能引起的电离辐射生物效应

电离辐射作用于机体后，其能量传递给机体的分子、细胞、组织和器官等基本生命物质后，引起一系列复杂的物理、化学和生物学变化，由此所造成生物体组织细胞和生

命各系统功能、调节及代谢的改变，产生各种生物学效应。电离辐射引起生物效应的作用是一种非常复杂的过程，大多数学者认为放射损伤发生是按一定的阶梯进行的。生物基质的电离和激发引起生物分子结构和性质的变化，由分子水平的损伤进一步造成细胞水平、器官水平的损伤，继而出现相应的生化代谢紊乱，并由此产生一系列临床症状。电离辐射生物效应按照剂量与效应的关系进行分类，分为随机性效应和组织反应。

随机性效应是指电离辐射照射生物机体所产生效应的发生概率(而非其严重程度)与受照射的剂量大小成正比，而其严重程度与受照射剂量无关；随机性效应的发生不存在组织反应阈剂量。辐射致癌效应和遗传效应属于随机性效应。受照射个体体细胞受损伤引发突变的结果，最终可导致受照射人员的癌症，即辐射致癌效应；受照射个体生殖细胞遗传物质的损伤，引起基因突变或染色体畸变可以传递下去并表现为受照者后代的遗传紊乱，导致后代先天畸形、流产、死胎和某些遗传性疾病，即遗传效应。

组织反应定义为通常情况下存在组织反应阈剂量的一种辐射效应，受照剂量超过一定的阈值时才会发生，其效应的严重程度随超过阈值的剂量越高而越严重。组织反应是辐射照射导致器官或组织的细胞死亡，细胞延缓分裂的各种不同过程的结果，指除了癌症、遗传和突变以外的所有躯体效应和胚胎效应及不育症等，包括血液、性腺、胚胎、眼晶体、皮肤的辐射效应及急性放射病，如放射性皮肤损伤、生育障碍。

项目产生的随机性效应是关注的重点，因其无法防护，所以尽量降低人员的受照剂量，减少随机性效应产生的概率。

不同照射剂量的 X、 γ 射线对人体损伤估计见表 11-33。

表 11-33 不同照射剂量的 X、 γ 射线对人体损伤的估计表

剂量 (Gy)	类型		初期症状和损伤程度
<0.25 0.25~0.5 0.5~1	/		不明显和不易察觉的病变 可恢复的机能变化，可能有血液学的变化 机能变化，血液变化，但不伴有临床症状
1~2 2~3.5 3.5~5.5 5.5~10	骨髓型 急性 放射病	轻度 中度 重度 极重度	乏力，不适，食欲减退 头昏，乏力，食欲减退，恶心，呕吐，白细胞短暂上升后下降 多次呕吐，可有腹泻，白细胞明显下降 多次呕吐，腹泻，休克，白细胞急剧下降
10~50	肠型急性放射病		频繁呕吐，腹泻严重，腹痛，血红蛋白升高
>50	脑型急性放射病		频繁呕吐，腹泻，休克，共济失调，肌张力增高，震颤，抽搐，昏睡，定向和判断力减退

备注：来自《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）和《辐射防护导论》P33。

11.5.2 事故等级分类

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故从重到轻分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，见表 11-34。

表 11-34 辐射事故等级分级一览表

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

11.5.3 加速器事故影响分析

11.5.3.1 加速器辐射潜在风险事故类型

本项目直线加速器的安装、检修由设备销售厂家负责。建设单位只负责日常安全使用及管理。由于设备自身的屏蔽措施以及设备的固有安全联锁装置，设备在正常使用的情况下发生事故的极小，在意外情况下，可能发生的辐射事故主要包括：

（1）直线加速器门-机联锁装置旁路/失效造成误照射

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

（2）人员滞留在机房内造成误照射

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

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

（3）医疗照射不正当化造成误照射

滥用射线装置对病员进行诊断、治疗，造成病员受到不必要的照射。

（4）直线加速器调试、维修时造成误照射

①调试阶段公众误入机房

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

②维修阶段人员误入受到误照射

直线加速器结构复杂，故障率较高。常见故障有机械故障（如多叶准直器故障、限位开关损坏）、电气故障（如自动稳频故障、剂量异常、电离室损坏、磁控管损坏、测距灯/光野灯损坏）和软件故障（如电脑死机、网络传输故障）。上述故障发生后由专业维修人员对设备进行维修，维修人员在维修加速器时，加速器钥匙由维修人员控制，机房防护门保持敞开且加速器不能出束操作，维修完成后维修人员再关闭机房防护门进入控制室通过钥匙开机出束并检查。在此过程中若有人误入机房停留在不易察觉的角落未被维修人员发现而开机出束导致机房内误入人员受到误照射。

（5）未进行质量控制检测

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

11.5.3.2 加速器风险事故后果

根据上述分析，加速器运行产生的最大可信辐射事故主要是人员受到误照射，主要为加速器门-机联锁装置失效时人员误入加速器机房、工作人员或病人家属人员滞留在机房内不易察觉的位置受到误照射，以及设备调试、维修阶段公众误入加速器机房受到误照射。

（1）设备正常运行时误入受到误照射剂量核算

根据建设单位提供的资料，直线加速器在对病人开机治疗时常用输出剂量率为6Gy/min，单次照射时间不超过1.5min。

门-机联锁装置失效时人员误入机房，或者工作人员、病人家属滞留在机房内不易察觉的位置时，其距离直线加速器辐射源点较远，考虑为非主射方向的3m；工作人员

为病人摆位时受到误照射时距离直线加速器辐射源点较近，考虑为非主射方向的 1m。正常情况下，加速器出束治疗时，设备会发出出束警报，同时机房内设置有视频监控，工作人员或公众成员听到声响后可就近按下机房内急停按钮或者控制室放射工作人员发现后可按下紧急停止按钮，该反应时间考虑为 0.5min；非正常情况下，设备不发生出束警报，视频监控不显示，工作人员不能及时按下急停按钮，该受照时间考虑为单次治疗时间 1.5min。

根据上述条件，并根据本报告直线加速器屏蔽效能核算公式，此种情况下人员受到的误照射剂量见下表 11-35。

表 11-35 正常治疗误入事故状态下人员受到的剂量估算表

事故情况	射线类型	距离	照射时间	剂量
门-机联锁装置失效误入、工作人员或公众成员滞留在机房内不易察觉的角落是出束	散射 漏射	3m	0.5min	4.7×10^{-3} Gy
			1.5min	13.9×10^{-3} Gy
工作人员在为患者摆位时加速器误出束	散射 漏射	1m	0.5min	4.2×10^{-2} Gy
			1.5min	12.6×10^{-2} Gy

备注：Sv、Gy 的转换系数取 1。

（2）调试、维修阶段误入受到误照射剂量核算

加速器调试、维修阶段，输出剂量率最大为 24Gy/min，开机照射时间不超过 30s。

加速器调试、维修阶段时人员误入机房，其距离直线加速器辐射源点较近，考虑为主射方向的 1m 和非主射方向的 1m。

按照射线的衰减理论（与距离的平方成反比），则此种情况下，误入人员的事故受照剂量估算如下表 11-36 所示。

表 11-36 调试、维修阶段事故状态下人员受到的剂量估算表

事故情况	射线类型	距离	照射时间	剂量
加速器调试、维修时人员受到误照射	主射线	1m	0.5min	12Gy/次
	散射、漏射	1m	0.5min	0.17 Gy/次

备注：Sv、Gy 的转换系数取 1。

综上，根据核算，加速器正常运行时误入人员受到误照射的事故情况下，单次误入人员受到的剂量最大为 12.6×10^{-2} Gy，超过公众成员年剂量限值，属于一般辐射事故，

不会发生急性放射病，但可能会导致随机性效应发生概率增加。

根据核算，调试、维修阶段误入人员受到误照射的情况下，单次误入人员在非主射方向上受到的剂量最大为 0.17Gy，超过公众成员年剂量限值，属于一般辐射事故；在主射线方向受到的剂量最大为 12.00Gy，能导致患上肠型急性放射病，出现频繁呕吐，腹泻严重，腹痛，血红蛋白升高的病症，能导致死亡。调试、维修阶段误入人员数量一般不超过 2 个，故造成死亡人数将不超过 2 人，最高辐射事故等级为重大辐射事故。

设备维修、调试一般由设备厂家派 1~3 名专业人员进行维修。因此，维修人员最多不会超过 3 名。设备维修、调试时维修人员分布设备四周维修，故停留在主射方向上的维修人员一般不会超过 2 名，其受到最大剂量为 12.00Gy，导致死亡人数不会超过 2 个，最高辐射事故等级为重大辐射事故。

11.5.3.3 加速器风险防范措施

为减少各种辐射事故的发生，建设单位应采取的防范措施如下：

①直线加速器门-机联锁装置失效风险防范措施

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

②人员滞留在机房内风险防范措施

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

③医疗照射不正当化产生辐射事故的风险防范措施

放射工作人员须加强专业知识学习，加强辐射防护知识培训，加强职业技能培训，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加速器调试、维护维修时风险防范措施

调试阶段由设备方/辐射安全设施单位负责。调试前建设单位做好辅助工作，开机出束前项目用房区域外设置警示标示、警示带、安保人员等，先清理无关人员后禁止无关人员进入项目用房区域，自身安保人员全部在外围巡视，保证除调试技术人员和控制室值守人员外，禁止无关人员进入加速器机房和控制室。

医院在采购加速器时应充分考虑生产企业的售后产品技术支持，提高产品可靠性，减少设备维修频率；在维护和维修时，佩戴个人剂量报警仪，加速器运行钥匙由设备维护维修人员掌控，避免其他人员误操作造成误照射；同时维修后开机出束试机前，按照操作规程通过监控系统对直线加速器机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，声灯报警警示，确保安全无人在机房后才能试机。

⑤未进行质量控制检测风险防范措施

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

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

11.5.4 非密封放射性工作场所事故影响分析

11.5.4.1 非密封放射性工作场所辐射潜在风险事故类型

①由于管理不善，导致放射性药物保管不善丢失、被盗，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

②工作人员未认真核对姓名、药物名称、种类、给药途径、用量等，致使他人用药错误或过量而造成误照射。

③由于工作人员操作不熟练或者其他原因造成工作时放射性药物撒漏，可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，造成手和皮肤污染，还可能产生放射性废水和处理产生放射性固废。

④放射性固体废物未经足够长时间的暂存衰变，擅自处置，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

⑤违反核医学管理规定在核医学科工作场所吸烟、进食，可能吸入和食入放射性物质造成人员内照射。

⑥手部有伤仍从事放射性物质操作，也可能造成内照射。

⑦工作人员存在不良工作习惯，对自身的防护不重视，注射用棉签，一次性手套未妥善收集和处置，致使室内受到污染，辐射水平增高。

11.5.4.2 非密封放射性工作场所风险事故后果

(1) ①类辐射事故

根据上述事故类型，本项目放射性药物进入核医学科后，拟放置在储源室内，且存放在厂家提供的储源容器中，使用前才由放射工作人员从其中拿出来。储源室拟设置防盗防护门、视频监控设施，且进入核医学科控制区的门均拟设置门禁，日常无关人员无法进入，因此，①类事故发生概率较低。放射性药物存放在厂家提供的防护箱内，且医院内各区域均覆盖监控，从工作人员发现放射性药物被盗，上报公安机关，找到放射性药物，公众受照时间一般不会超过24小时，且放射性核素活度随着时间衰减。该种事故条件下，人员受到的辐射剂量为超过年剂量限值，产生的辐射危害很小。另放射性药物被盗后，因意外泼洒，造成环境污染，放射性核素原液容量一般都很小（5ml~20ml），泼洒造成的污染面积很小，不会造成大范围的环境辐射污染事故，仅对局部范围造成辐射污染。

(2) ②类辐射事故

核医学科工作人员严格执行相关管理制度，科室采用语音呼叫系统，一次呼叫1人进入注射室/服药室，并多处核实身份信息，发生错误给药和过量给药药物致使他人造成误照射事故的概率极低，本报告不与核算。

(3) ③~⑦类事故

③~⑦类事故发生后，以③放射性药物撒漏事故概率较大，且放射性药物事故活度最大，对人员和周围环境产生的影响最大。

本项目核医学科工作场所可能发生放射性药物撒漏事故的工作环节主要考虑 ^{18}F 分装、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度校验、 ^{131}I 服药。

根据项目核素使用情况，本次评价考虑医务人员操作 ^{18}F 针剂、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 针剂破碎的情况进行事故剂量估算。

估算参数及结果见表 11-37。

表 11-37 事故剂量核算参数/条件表

核素	裸源 1 米处的周围剂量当量率常数($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	撒泼药量 (MBq)	处理距离 (m)	处理/受照时间 (min)	事故剂量 (mSv/次)
^{18}F	0.1430	370	0.1	30	0.84
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.0303	925	0.1	30	0.44
^{131}I	0.0595	7400(甲癌)	0.1	30	6.96

处理距离考虑工作人员使用清污用品对放射性污染进行处理时,污染源距工作人员躯干距离,保守取 0.1m

核医学科发生放射性核素泼洒等事故,现场由核医学科辐射工作人员处置,根据上述核算,单次 ^{131}I 口服药物撒漏及 ^{18}F 针剂、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 针剂破损时,事故处置人员的受照剂量不会超过工作人员年剂量限值。

11.5.4.3 非密封放射性工作场所风险防范措施

发生在非密封放射性工作场所的放射事故主要是污染事故,导致人员的照射方式主要是外照射和放射性沾染。针对本项目辐射潜在事故类型,主要的风险防范措施如下:

①加强核医学科管理,严格按《放射性药品管理办法》制订“放射性药品的保管制度”。每日工作开始前、结束后检查保险柜、防护门、门禁等,保证其能正常工作。

②严格执行核医学的预约制,尽量通过时间将各种核素诊疗病人分开,杜绝用错药的情况;核医学科拟设置视频监控和语音对讲系统,在每位病人用药前,认真核对病人姓名、性别等基本信息,确认后再行用药。

③放射工作人员加强操作练习,严格执行操作规程,轻拿轻放,避免药物撒泼和破损;提前警示病人自取服药口杯并拿稳口杯,减少病人撒泼药物的概率。

④放射性固废在每天工作结束后由专人处置后放到污物储存间暂存衰变,每个废物袋表明核素名称、数量、暂存时间等,严格按照要求暂存足够时间后,对每个废物包装进行监测,合格后再行处置。制定放射性废物管理制度,建立废物进出台账,责任落实到人,定期清查。

⑤在核医学科明显位置张贴警示标语,禁止任何人在核医学科内吸烟、进食。加强放射工作人员管理和提前与病人宣贯必要的防护知识。

⑥加强放射工作人员管理,禁止手部有伤仍从事放射性物质操作。

⑦加强放射工作人员管理，严格区分放射性废物和非放射性废物，放射性废物产生后立即全部进入放射废物桶内。

11.5.5 DSA 及 CT 模拟定位机影响分析

11.5.5.1 辐射潜在风险事故类型

项目涉及到的 X 射线装置有核医学科的 PET/CT、SPECT/CT，放疗中心的 CT 模拟定位机，介入手术工作场所的 DSA，核医学科主要辐射事故为放射性核素相关，因此，主要分析 DSA 和 CT 模拟定位相关辐射事故情况。

根据 X 射线装置的运行特性，可能发生的辐射事故主要如下：

①在设备故障等极端风险情况下，出现 X 射线装置在最大管电压情况下运行造成机房外人员的误照射。

②DSA 机房内除手术人员外、其他射线装置机房除病人外，其他无关人员（如清洁人员、医疗废物运输人员、病人家属等）在防护门关闭前因未及时撤离而滞留在机房内，防护门未关闭或射线装置工作时门被开启，此时射线装置开机出束，造成射线装置机房内公众成员的误照射。

11.5.5.2 风险事故后果

（1）最大管电压运行受照

操作人员不按照相关要求，采用各 X 射线装置的最大管电压运行，机房外人员受到的照射剂量计算见表 11-38。

表 11-38 最大管电压下机房外人员受照剂量估算表

设备名称		最大运行参数	屏蔽体外最大周 围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	最大受照时 间 (min)	有效剂量 (mSv/ 次)	总有效剂 量 (mSv)
DSA	透视	125kV, 110mA 发射率 $9.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$	15.79	单台手术: 21	5.53×10^{-3}	7.56×10^{-3}
	摄影	125kV, 500mA 发射率 $9.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$	71.78	单台手术: 1.7	2.03×10^{-3}	
CT 模拟定位 机		140kV, 500mA 发射率 $11.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$	2.54	1	4.23×10^{-5}	

（2）误入、滞留受照

因各种原因导致 X 射线装置在常用最大工况下运行过程中人员滞留机房内或者误入而发生误照射（散射方向），其受照剂量估算情况见表 11-39。

表 11-39 机房内人员误照射所受辐射剂量估算表

设备运行条件		受照情景	事故受照 时间	人员所在位置周围剂 量当量率（μSv/h）	受照剂量 （mSv）
DSA 机房内人员					
采集 模式	90kV、	常规采集条件下，单次出束受照	10s	3×10 ⁶	8.3
	500mA	常规采集条件下，整台手术受照	1.7min	3×10 ⁶	83.5
	125kV、	额定采集条件下，单次出束受照	10s	5.5×10 ⁶	15.3
	500mA	额定采集条件下，整台手术受照	1.7min	5.5×10 ⁶	153.1
透视 模式	90kV、 20mA	常规透视条件下，及时发现事故 后按下急停开关	2min	1.2×10 ⁵	4
		常规透视条件下，整台手术受照	21min	1.2×10 ⁵	41.9
	125kV、 110mA	额定透视条件下，及时发现事故 后按下急停开关	2min	1.2×10 ⁶	40.6
		额定透视条件下，整台手术受照	21min	1.2×10 ⁶	426.4
CT 模拟定位机房内人员					
CT 模 拟定 位机 运行	120kV， 200mA	距设备 1m	1min	2.69×10 ⁵	4.48
人员所在位置辐射剂量率为对应设备运行条件下，设备 1m 处的散射辐射剂量率值					

综上核算，项目 DSA 及 CT 模拟定位机发生的单次误照射可能会造成人员受到超过年剂量限值，属于一般辐射事故。

此外，手术医生受到的年有效剂量以个人剂量计监测结果为准，医院每季度对放射工作人员个人剂量计测读一次值，如发现异常加密监测频率，医院应根据最大手术工作时间对手术医生进行工作调配，以确保其受到的剂量不超过年剂量管理目标值。因此要求放射工作人员在工作时必须佩戴个人剂量计。

11.5.5.3 风险防范措施

由于各种管理不善或人因失误等造成的误照射，导致人员的照射方式主要是外照射，医院应采取以下措施防范风险事故的发生。

①DSA 配置多名手术医护人员，医院应合理安排各手术医护人员的工作量，尽量做到平均分配，降低单名手术医护人员的受照剂量。同时，加强管理，培植手术医护人员

的安全文化素养，提高手术医护人员的个人防护意识，在开展介入手术时正确穿戴防护用品和使用铅防护设施（吊帘、防护屏等），并正确佩戴个人剂量计，且个人剂量计要按照规定不低于 3 个月检测一次，发现问题及时处理和纠正，保证个人受照剂量低于管理目标值。个人防护用品不使用时，采用悬挂或平铺方式妥善存放，防止断裂后减弱防护能力。

②医院应定期做好设备稳定性检测和质控检测，加强设备维护，使设备始终保持在最佳状态下工作，尽可能避免最不利条件运行的风险事故发生。

③撤离 X 射线装置机房时应清点人数，放射工作人员对机房按搜寻程序进行查找，确认没有无关人员停留在机房后才开始操作。加强防护门等的联锁检查，确保门灯联锁、工作状态指示灯等能正常工作，减少误入的几率。机房内的清洁、医疗废物转运等尽量由手术医护人员处理，尽量避免医院后勤人员（如清洁人员、医疗废物运输人员等）进入机房，杜绝在 X 射线装置运行时进入机房；也可加强医院后勤人员（如清洁人员、医疗废物运输人员等）的教育，做到在确认 X 射线装置在非运行状态下才能进入机房工作。此外，各 X 射线装置上设置有紧急停机按钮，日常加强对放射工作人员的教育，让其熟悉其功能和操作，发生辐射事故后能及时作出反应和正确的操作，减少事故受照剂量。

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

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构及人员

12.1.1 辐射安全与环境保护管理机构

按照《电离辐射防护与辐射安全基本标准》关于“营运管理”的要求，为确保辐射防护可靠性，维护辐射工作人员和周围公众的权益，履行放射防护职责，尽可能的避免事故的发生，医院应培植和保持良好的安全文化素养，减少因人为因素导致人员意外照射事故的发生。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条要求：使用放射性同位素、射线装置的单位使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

医院成立了放（辐）射工作安全防护领导小组，并明确了组织职责，并指定专人单人医院辐射安全管理员。医院现有的辐射安全与环境保护管理机构设置符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求。

本项目开展后，目前医院的管理机构和管理人员也能满足相关要求，因此，本项目的辐射环境管理可直接纳入现有管理机构管理，并根据科学城院区人员设置情况，完善现有辐射安全管理组织的成员配备情况。

12.2 放射工作人员及培训

本项目劳动定员 63 人，主要包括医师（放疗、核医学科等）、技师、护士、物理师等，均为放射工作人员。本项目工作人员在新医院劳动定员中，目前具体人员尚未确定。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用放射性同位素、射线装置的单位从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（公告 2019 年第 57 号），辐射安全与防护培训需求的人员可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（以下简称培训平台，网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）免费学习相关知识，并参加考核，取得辐射安全培训合格证书，持

证上岗。已持证上岗的，在辐射安全培训合格证有效期到期前，需进行再次考核。

医院目前所有辐射工作人员均进行了辐射防护培训，并取得了培训合格证，培训时间在有效期内，本项目运行前，涉及的放射工作人员也拟按照上述要求管理。

12.3 辐射安全管理制度、档案等

12.3.1 规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证，应当建立有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护、安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、台账管理制度、监测方案。

目前医院已开展有核医学、放射治疗（不含直线加速器）、DSA 介入手术等诊疗项目，制定了一系列管理制度，可以满足现有核技术利用项目得运行管理需求。

本项目拟依托医院现有辐射防护管理体系，同时，在本项目建成运行前，拟结合项目现场情况、防护设施配备、开展的诊疗项目、工作人员配备等具体情况，制定各辐射工作场所专用管理制度，确保诊疗工作正常开展。

12.3.2 个人剂量管理

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十三条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满 75 周岁，或者停止辐射工作 30 年。另外，放射工作人员上岗期间，必须正确佩戴个人剂量计，并对个人剂量计严格管理，不允许将个人剂量片相互传借，不允许将个人剂量片带出项目建设单位。

建设单位现有放射工作人员均配置了个人剂量计，每 3 个月进行一次个人剂量监测，医院最近四个季度的总个人剂量监测结果均小于年剂量管理目标值 5mSv/a，未出现超年剂量的情况。本项目的放射工作人员尚未确定，在本项目运行前，医院也按照现有管理制度要求为每名放射工作人员配置个人剂量计，并按照规定要求进行剂量监测，建立个人剂量档案。

本项目建成后，部分放射工作人员在医院本部和科学城院区均从事相应放射工作，

则该放射工作人员的个人剂量计应做到计随人走，正确记录该放射工作人员受到的年剂量情况。

12.3.3 职业健康体检

放射工作人员上岗前，应进行岗前职业健康检查，符合放射工作人员健康标准的方可参加相应的辐射工作。

从事辐射工作期间，放射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。对不适宜继续从事辐射工作的，应脱离辐射工作岗位，并进行离岗前的职业健康检查。项目单位应建立和保存放射工作人员的健康档案。

根据调查，医院现有放射工作人员均按照要求在每两年进行一次职业健康体检，目前在岗放射工作人员均无体检异常，无疑似职业病人员。待本项目放射工作人员落实到位后，也按照要求进行岗前职业健康体检，并按照相关要求进行了复检，并建立相应档案。

12.3.4 年度评估

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

医院已按照上述要求每年均按要求提交了上一年度的年度评估报告，医院今后仍应继续落实年度评估制度，于每年 1 月 31 日前均向发证机关提交年度评估报告。年度评估报告应包括核素使用记录、医用 X 射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容。

12.3.5 档案管理

辐射安全与防护管理档案资料分以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“年度评估”、“辐射应急资料”。

本项目运营前，医院应认真落实相关制度和规定，新增放射工作人员进行职业健康体检、配置个人剂量计、参加辐射安全与防护培训并取得合格证，将健康体检报告、个人剂量监测报告、辐射安全培训合格证等建立档案保存。档案信息和保存等按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定执行。

医院应根据自身辐射项目开展的实际情况将档案资料整理后分类管理。

12.4 核安全文化建设

核安全文化是从事核安全相关活动的全体工作人员的责任心，对于核技术利用项目核安全文化的建设要求建设单位树立并弘扬核安全文化。核安全文化表现在从事单位核技术利用工作的相关领导与员工及最高管理者具备核安全文化素养及基本的放射防护与安全知识。

医院已建立了辐射环境安全管理体系，明确了医院各层次人员的职责、不断识别医院内部核安全文化的薄弱处并加以纠正，落实两个“零容忍”，即对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”，将核安全文化的建设贯彻在核技术利用项目的各个环节，确保项目的辐射安全。

12.5 辐射活动能力评价

根据《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》的相关规定，医院从事本项目辐射活动的能力评价如表 12-1。

表 12-1 医院从事本项目辐射活动能力评价表

应具备条件	落实情况
（一）使用Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类放射源，使用Ⅰ类、Ⅱ类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	已成立放（辐）射防护管理工作领导小组，负责医院目前的辐射安全与环境保护管理工作，并设置 1 名辐射防护管理员，学历为本科。本项目建成后，拟纳入医院统一管理，并根据新院区人员情况完善管理组织
（二）从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	本项目放射工作人员尚未到位，项目工作人员从医院劳动定员中调配和培养。医院已制定培训计划，医院后期会按照制度落实持证上岗。
（三）使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	项目拟设置专用房间存储放射性药物，并拟设置监控系统、防护门（具有防盗功能）等。
（四）放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	项目各工作场所拟设置警示标志、剂量监控、各种多重联锁、就诊指示标志、分区标识等措施，配置防护用品、辐射剂量监测仪、个人剂量计、剂量报警仪等设施。

（五）配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。	项目拟配备表面污染监测仪、X-γ辐射剂量巡测仪、固定式剂量警报仪、个人剂量计、个人剂量报警仪等，同时拟配置铅橡胶衣服、铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽子、铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏等防护设施和防护用品。
（六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	医院现有辐射环境管理制度较齐全，但还应补充部分新设备的操作规程，并根据现有运行经验和更新的法律法规、标准等完善现有管理制度，相应制度张贴上墙。
（七）有完善的辐射事故应急措施。	已制定辐射事故应急措施，还需要进一步完善。
（八）产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位，还应配备质量控制监测设备，制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划，至少有一名医用物理人员负责质量保证与质量控制监测计划	项目运行将产生放射性“三废”，医院拟采取相应的处理措施（具体见表10），保证放射性废物达标排放，对环境的影响可接受。核医学科拟配备活度计作为质控设备，并制定放射性核素使用台账，在核素使用前对活度进行测量。放疗中心拟配备加速器质控设备，设备清单见表1-5，并拟制定质控监测计划
第五条 生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。 射线装置的生产调试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。 放射性同位素的包装容器、含放射性同位素的设备和射线装置，应当设置明显的放射性标识和中文警示说明	核医学科控制区出入口均拟粘贴电离辐射警告标志、设置门禁装置，在2间检查室防护门外拟设置与防护门联锁的工作状态指示灯。 射线装置机房入口设置防护门，防护门均拟设置门禁装置，粘贴电离辐射警告标志，并设置与防护门联锁的工作状态指示灯，在患者候诊区粘贴放射防护注意事项标牌，在控制室粘贴操作规程。 核医学科分装柜、污物桶外均拟粘贴电离辐射标志。
第六条 生产、使用放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定采取有效措施，防止运行故障，并避免故障导致次生危害。	工作场所和射线装置均拟设置多重安全联锁装置，并制定操作规程，粘贴在工作场所内

第七条 放射性同位素和被放射性污染的物品应当单独存放，不得与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放，并指定专人负责保管。 贮存、领取、使用、归还放射性同位素时，应当进行登记、检查，做到账物相符。对放射性同位素贮存场所应当采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的安全措施。	核医学科拟设置独立的储源间和放射性废物间，并指定专人管理。制定放射性核素使用台账。储源室防护屏蔽厚度符合要求，房间门设置门禁装置，工作场所设置防火和防水设施。
第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	医院拟制定辐射监测制度，并购置辐射监测仪器，采用自主监测和委托监测结合的方式，确保场所辐射水平满足要求
第十一条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当加强对本单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况的日常检查。发现安全隐患的，应当立即整改；安全隐患有可能威胁到人员安全或者有可能造成环境污染的，应当立即停止辐射作业并报告发放辐射安全许可证的环境保护主管部门（以下简称“发证机关”），经发证机关检查核实安全隐患消除后，方可恢复正常作业。	制定辐射防护管理制度，设置辐射防护管理机构，定期对工作场所运行情况进行检查，发现隐患，及时要求进行整改。
第十二条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	按照要求，每年 1 月 31 号前向发证单位提交医院年度辐射防护安全评估报告
第十七条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。	医院原有辐射工作人员，均持有培训合格证，项目运行后新增的辐射工作人员，将按照现有规范，在上岗前参加辐射防护培训，合格后再上岗
第二十三条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。 辐射工作人员有权查阅和复制本人的个人剂量档案。辐射工作人员调换单位的，原用人单位应当向新用人单位或者辐射工作人员本人提供个人剂量档案的复制件。	医院现有辐射工作人员均按照要求定期进行个人剂量监测和职业健康检查，并建立了辐射工作人员管理档案

根据上表可知，医院已建立有相应的管理体系，因此，本项目的辐射环境管理工作依托现有的管理体系，对于从事本项目的辐射活动有一定的能力。本项目运行前，医院应针对本项目现场设施和人员配备情况，补充本项目部分专用管理制度。医院在认真落实上述要求后，方具备从事本项目辐射活动的能力，本项目方可投入正式运行。

12.6 辐射监测

根据《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》中的相关要求，建设单位应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托有资质的环境监测机构进行监测，并将监测记录资料统计结果及时上报主管部门，以便主管部门及时了解项目安全运行情况。

建设单位可配备相应的监测仪器，或委托有资质的单位定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，按规定要求开展各项目监测，做好监测记录，存档备查。

根据调查，医院委托有资质单位每年对现有辐射工作场所进行监测，监测结果均满足相关标准的要求，现有辐射项目运行对周围环境和人员的影响满足要求。

本项目辐射监测内容包括：

（1）个人剂量监测

对放射工作人员进行个人照射累积剂量监测。要求放射工作人员在工作时必须佩戴个人剂量计，专人专戴，并将个人剂量结果存入档案。

监测单位：具有个人剂量监测资质的单位；

监测频率：3 个月测读一次个人剂量计；

监测结果处理：年剂量超过 5mSv，开展调查，查找原因（个人剂量计佩戴不规范、辐射防护措施失效、工作负荷过大等），根据调查结果改正或者对工作人员进行调岗等。

（2）工作场所及周围环境监测

为保证项目辐射工作场所的安全，项目建成后的监测包括验收监测、例行监测和日常监测。

①验收监测：验收时监测一次，委托有资质单位监测。监测结果交生态环境主管部门存档。项目防护设施发生变化、项目设备大修或者更换后也要进行监测。

②例行监测：每一年监测一次，委托有资质单位监测。监测结果纳入年度评估报告提交生态环境主管部门。

③日常监测：按照监测计划开展日常监测，日常监测由建设单位自行监测。做好监测记录，存档备查，发现问题及时整改，监测仪器按照规定定期送有资质单位进行检定。

监测因子及执行标准限值如下表所示。

表 12-2 项目监测及检查内容一览表

监测地点		监测项目	日常监测频率	限值要求
核医学科	工作场所周围环境	周围剂量当量率	一年 1 次	/
	工作场所控制区边界人员可达处、控制区内部屏蔽体外 30cm 处		4 周一次	小于 2.5 μ Sv/h
	距离手套箱表面 5cm		4 周一次	不大于 25 μ Sv/h
	距离手套箱、放射废物桶表面 30cm		4 周一次	小于 2.5 μ Sv/h
	放射性固废		每次处理前	环境辐射水平
	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面、等候室等	β 表面污染	每次工作结束后 (出现放射性药物洒落应及时监测)	工作台、设备、墙壁、地面： 控制区： $\beta \leq 4 \times 10 \text{Bq/cm}^2$ ；监督区： $\beta \leq 4 \text{Bq/cm}^2$
	人体手、皮肤、衣服、工作鞋、工作袜等		每次从控制区放射性药物分装室经卫生通过间离开	工作服、手套、工作鞋： 控制区/监督区： $\beta \leq 0.4 \text{Bq/cm}^2$ ； 手、皮肤、内衣、工作袜： $\beta \leq 4 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^2$ 。
	放射性固废		每次处理前	$\beta < 0.8 \text{Bq/cm}^2$
放疗中心	CT 模拟定位机机房屏蔽体外	周围剂量当量率	每年一次	不大于 2.5 μ Sv/h
	直线加速器机房屏蔽体外		(涉及设备大修等应进行监测)	
DSA 工作场所	DSA 机房屏蔽体外	周围剂量当量率	每年一次 (涉及设备大修等应进行监测)	透视条件下小于 2.5 μ Sv/h

备注：上述监测中，在屏蔽体外的监测，监测点位主要布置在四周屏蔽体 0.3m 处、防护门外 0.3m 处、门缝搭接、穿墙管线等屏蔽相对薄弱处，以及屏蔽体楼上距地面 0.3m (DSA 机房、CT 模拟定

位机房为 1.0m)，楼下距地面 1.7m 处等。

为了确保放疗中心直线加速器机房的安全运行，需定期对工作场所各项安全联锁设施进行检查，确保其处于正常状态，检查内容和频率见表 12-3。

表 12-3 放射治疗中心工作场所安全措施检查一览表

监测地点	监测项目	日常监测频率
直线加速器机房	门机联锁、监控、对讲、电离辐射警告标志、门灯联锁、 设备系统自带联锁、防护门防夹	每日
	急停开关、固定式剂量报警仪、激光定位	每月

12.7 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及重庆市环境保护局关于印发《重庆市放射性同位素与射线装置辐射安全许可管理规定》的通知》（渝环〔2017〕242 号）要求，辐射工作单位应建立完善的辐射事故应急方案或具有针对性与操作性的应急措施。

12.7.1 事故分级

根据《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

根据本报告表 11 分析，加速器运行在事故工况下致人员的误照射可能超过年剂量限值，即造成一般辐射事故的发生；在极端事故情况下，人员可能受到较大剂量的照射，导致严重辐射损伤甚至死亡的重大辐射事故。DSA 及 CT 模拟定位机发生的单次误照射可能会造成人员受到超过年剂量限值，属于一般辐射事故。

12.7.2 事故应急方案与措施

医院目前已经制定了辐射事故应急预案，主要内容如下：

（1）应急组织

由医院辐射防护管理领导小组负责协调和组织人员处理辐射事故，并明确了应急办公室联络电话，以及上级主管部门应急联络方式，明确了医院各相关科室在应急处置时的工作职责。

（2）事故处理

根据不同的辐射事故类型，制定了分类处理流程，包括现场管控、事故上报、人员救治等。

（3）事故后处置

事故处理完成后，对事故原因和处置过程进行讨论，划定责任归属，进行处罚，并总结经验，避免下次事故的发生。

（4）各类辐射事故具体处置措施

由于各种管理不善或人误等造成的误照射，导致人员的照射方式主要是外照射。根据射线这种运行原理，加速器、DSA、CT模拟定位机等，在开机出束状态下才会产生辐射影响，未出束则不会产生辐射影响。因此，发生误照射事故时应第一时间切断装置电源（就近按下急停按钮），确保装置停止出束，再对人员进行救治。对于核医学科，主要考虑放射性核素相关事故的应急处置：发生放射性药物丢失、被盗事件后，第一时间报告，并进行追查处置。发生药物撒泼后，应立即报告，禁止无关人员进入事故区域，现场按照要求进行清污工作。

12.7 辐射安全与管理投资估算

项目环保投资估算表见表 12-4。

表 12-4 辐射安全与管理投资估算

序号	项目	环境保护（辐射防护）措施	投资（万元）
1	辐射安全管理	管理制度建立、修订等，制度上墙，各处标识标牌、警示标志等	5
2	人员	辐射安全与防护培训与考核、个人剂量监测、体检	10
3	监测仪器和防护用品	固定式剂量报警仪、个人剂量报警仪、X-γ辐射剂量巡测仪、放疗剂量仪、水箱、表面污染检查仪、个人剂量计、活度计等	140
4	防护设施和防护用品	工作服、口罩、手套等 各工作场所辐射防护设施、防护用品	
5	废气治理措施	废气收集管网、处置	55
6	废水治理措施	放射性废水收集管网、废水衰变设施	50
7	固废治理设施	签订处置协议	5
8	环境影响评价、竣工验收、辐射安全许可证办理等		30
合计			300

注：项目工作场所辐射屏蔽费用计入项目建设投资

12.8 竣工验收

根据《建设项目环境保护管理条例》，工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。建设项目正式投产运行前，建设单位应当如实查验、监测项目环境保护设施运行情况，编制验收调查报告，完成自主竣工环保验收工作。同时，项目建成后，应及时更换《辐射安全许可证》，在许可范围内从事核技术利用项目。

本工程竣工环境保护验收一览表见表 12-5。

表 12-5 项目环保设施竣工验收内容及管理要求一览表

序号	验收内容	验收要求			备注
1	建设内容	①放疗中心配置 2 台医用电子直线加速器（II 类射线装置）、1 台 CT 模拟定位机（III 类射线装置）。 ②核医学科诊断区设置 1 间 PET 检查室、1 间 SPECT 检查室、注射后候诊室、放射性药物分装室、废物暂存间、储源间等，配置 1 台 PET/CT（III 类射线装置）和 1 台 SPECT/CT（III 类射线装置）。治疗区设置 10 间住院病房（单人间）、药物操作区、配餐室、抢救室、甲亢留观室、敷贴治疗室、污物暂存间等。使用 ¹⁸F、^{99m}Tc、¹³¹I、⁸⁹Sr、³²P 分别进行显像诊断和核素治疗工作。经核算，核医学科的放射性核素日等效最大操作量约为 3.45×10⁹Bq，年最大使用量为 1.29×10¹³Bq，属于乙级非密封源工作场所。 ③DSA 手术工作场所配置 5 台 DSA（单管头、II 类射线装置）。			不超过环评范围
2	环保资料	建设项目的环评影响评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告等			齐全
3	机房面积及尺寸要求	机房名称	最小单边长度	最小面积	GBZ130-2020 GBZ121-2020
		PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、CT 模拟定位机	≥4.5m	≥30m ²	
		DSA 机房	≥3.5m	≥20m ²	
		直线加速器机房	有足够的设备使用空间		
4	年有效剂量管理	放射工作人员年剂量管理目标值 5 mSv/a 核医学科工作人员手部剂量管理目标值 125 mSv/a 公众成员年剂量管理目标值 0.1 mSv/a			GB18871-2002 HJ1188-2021 HJ1198-2021 及医院管理要

				求
5	剂量率控制	核医学科	①控制区外人员可达处、控制区内用房屏蔽体外表面30cm处周围剂量当量率控制目标值应小于2.5μSv/h。 ②防护手套箱：距离屏蔽体外表面5cm处周围剂量当量率控制目标值应不大于25μSv/h。 ③防护手套箱、自动分装仪、注射窗、放射废物桶、暴露于地面的管道表面30cm处周围剂量当量率控制目标值小于2.5μSv/h。	HJ1188-2021 GBZ120-2020 GBZ130-2020
		放疗中心	距离CT模拟定位机房外墙体、门、窗表面30cm，机房顶棚上方距楼上地面100cm，机房地板下方距楼下地面170cm处，周围剂量当量率不大于2.5μSv/h。	GBZ130-2020
			距离机房屏蔽体外表面30cm处：机房侧屏蔽墙（2间机房共墙）外周围剂量当量率不大于0.27μSv/h，其余方向上周围剂量当量率不大于2.5μSv/h。	多标准要求，环评核算后综合取值
		DSA机房	透视条件下，距离DSA机房墙体、门、窗表面30cm，机房顶棚上方距楼上地面100cm，机房地板下方距楼下地面170cm处的周围剂量当量率小于2.5μSv/h。	GBZ130-2020
6	表面污染	核医学科：①工作台、设备、墙壁、地面：控制区：$\beta \leq 4 \times 10 \text{Bq/cm}^2$；监督区：$\beta \leq 4 \text{Bq/cm}^2$； ②工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区：$\beta \leq 0.4 \text{Bq/cm}^2$； ③手、皮肤、内衣、工作袜$\beta \leq 4 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^2$。		GB18871-2002 GBZ120-2020
7	辐射防护与安全措施	核医学科	①核医学科工作场所设置电离辐射警告标志，划分控制区和监督区，设置相应的分区标识；在地面/墙面设置病人、医生在场所内的行走箭头标识，规定各类人员的活动路径。 ②核医学室内表面及装备结构要求满足GBZ120-2020，控制区屏蔽体的防护能力满足要求。 ③设置卫生通过间（含淋浴），工作人员离开时进行表面污染监测，储源室门、废物间门设防盗装置。工作场所设置对讲装置、视频监控、门禁装置等。配置手套箱、铅罐等防护设施。设置用药后病人专用卫生间，设置单独的污洗间，分区配置清洁设施、分区清洁；控制区内上水设置洗消设备（含洗消液），各水出口设置感应式或脚踏式开关。 ④2间检查室的各防护门上方设置工作状态指示灯，	齐全，满足相关要求

				并进行门灯联锁,设置电离辐射警告标志,平开门设置自动闭门装置,推拉门设置防夹装置。 ⑥加强管理,建立完善的就医流程、放射性药物、放射性废物管理台账。 ⑦设置放射性废水衰变处理设施,收集处置放射性废水,并设置电离辐射警告标志。工作场所设置独立废气收集管网收集并设置活性炭吸附装置处理工作场所废气。设置放射性废物间、放射废物桶等收集、贮存放射性废物。 ⑧配备个人防护用品及辅助防护设施,放射工作人员佩戴个人剂量计,工作场所配置表面污染监测仪、个人剂量报警仪等。	
7	辐射防护与安全措施	放疗中心	模拟定位机房	机房内设置有机机械排风设施,保持良好的通风,防护门外设有电离辐射标志,并安设醒目工作指示灯,设置门灯联锁;平开门设置自动闭门装置,推拉门设置防夹装置。	齐全,满足相关要求
			直线加速器机房	①机房内设置急停开关、固定式剂量报警仪、紧急开门按钮、视频监控系统与对讲系统,防护门外设置红外防挤压装置; ②医用电子直线加速器自带多重联锁装置,如系统联锁、双剂量联锁,并设置故障保护系统等,并设置门机联锁; ③防护门外设置电离辐射警告标志、醒目工作状态指示灯。工作场所设置辐射分区标识。	
		DSA机房		①DSA 机房各防护门外均设置电离辐射警告标志,安装工作状态指示灯,并设置门灯联锁。 ②机房内设置有机机械排风设施,保持良好的通风,防护门外设有电离辐射标志,并安设醒目工作指示灯,设置门灯联锁;平开门设置自动闭门装置,推拉门设置防夹装置。	齐全,满足相关要求
7	废物排放	废气		核医学科控制区设置独立废气管网收集工作场所的废气,各处废气收集后引至住院楼 11F 顶经活性炭吸附后高于楼顶排放。各套废气收集管设置防倒灌装置并保持负压,其中手套箱废气收集口和排放口均设置活性炭吸附装置,手套箱废气收集口风速不低于 0.5m/s。放疗中心废气收集管网,通过排风井引至室外排放,直线加速器机房的通风换气次数不小于 4 次/h。	HJ1188-2021 HJ1198-2021 GBZ120-2020 GBZ121-2020 GBZ130-2020 按要求建设,满足相关要

			PET/CT 检查室、SPECT/CT 检查室、CT 模拟定位机、DSA 机房内设置动力通风装置，并保持良好的通风。	求。
		废水	核医学科设置放射性废水衰变处理设施，为槽式间歇性排放，位于住院楼北侧室外土壤层内。 排放要求为：诊断区暂存时间超过 30 天，治疗区暂存时间超过 180 天，排放口总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ 。每月排放的总活度不超过 10ALImin；每一次排放的活度不超过 1ALImin。	HJ1188-2021 HJ1198-2021 GBZ120-2020 GBZ121-2020 按要求建设，满足相关要求
			非放射性废水直接经污水管网进入医院污水处理站处理。	
8	废物排放	固废	核医学科设置放射性废物间暂存衰变放射性废物，放射性废物按照核素等类别分类收集贮存衰变。收集的每袋放射性废物的表面辐射剂量率 $\leq 0.1\text{mSv/h}$ ，质量不超过 20kg。衰变时间要求为：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，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。放射性固废暂存时间满足要求后，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 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。	HJ1188-2021 HJ1198-2021 GBZ120-2020 GBZ121-2020 按要求建设，满足相关要求
			一般医疗废物依托医院医疗废物暂存间暂存，交有资质的单位处理；生活垃圾依托医院收运系统，交环卫部门处理；废铅防护用品由医院收集后妥善保管，交有资质单位处置。	
9	人员要求	拟配备核医学医师、放疗医师、介入手术医师、技师、物理师、护士等，参加辐射安全与防护培训并考核合格，按要求复训。		《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等
10	辐射安全管理	有辐射环境管理机构；有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、年度评估制度、辐射事故应急预案等。相应制度张贴上墙。		档案管理规范
11	防护用品	每名放射工作人员均配置 1 枚个人剂量计（其中 DSA 手术医务人员何核医学科放射性核素操作人员铅衣内外各配置 1 枚），根据工作场所配置适宜数量的个人剂量报警仪。		GBZ130-2020 GBZ128-2019 HJ1188-2021 HJ1198-2021
		配备与诊断、治疗、手术相适宜的辅助防护设施及个人防护用品，包括铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套、铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾；铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏等。		

表 13 结论及建议

13.1 项目概况

重庆市第四人民医院在新建科学城院区设置放疗中心、核医学科和 DSA 手术工作场所，项目总建筑面积约 5800m²。

①放疗中心位于住院楼负一层北侧，配置 2 台医用电子直线加速器(II 类射线装置)、1 台 CT 模拟定位机(III 类射线装置)和 1 台 MR 模拟定位机(本项目不涉及该部分内容)。放疗中心建筑面积约 1800m²。

②核医学科位于住院楼负一层西侧，分为诊断区和治疗区，诊断区设置 1 间 PET 检查室、1 间 SPECT 检查室、注射后候诊室、放射性药物分装室、废物暂存间、储源间等，配置 1 台 PET/CT(III 类射线装置)和 1 台 SPECT/CT(III 类射线装置)。治疗区设置 10 间甲癌病房(单人间)、药物操作区、配餐室、抢救室、甲亢留观室、敷贴治疗室、污物暂存间等。核医学科使用 ¹⁸F、^{99m}Tc、¹³¹I、⁸⁹Sr、³²P 分别进行显像诊断和核素治疗工作。经核算，核医学科的放射性核素日等效最大操作量约为 3.45×10⁹Bq，属于乙级非密封源工作场所。核医学科建筑面积约 2500m²。

③DSA 手术工作场所分为两部分，第一部分：在门急诊楼 1 层急救中心设置 1 间 DSA 手术室，配置 1 台 DSA(单管头、II 类射线装置)。第二部分：在医技楼 1 层西北侧设置 4 间 DSA 机房，配置 4 台 DSA(单管头、II 类射线装置)。DSA 手术相关工作场所建筑面积约 1500m²。

项目总投资约 5000 万元，其中环保投资约 300 万元。

13.2 实践正当性

医院非密封放射性物质、射线装置的使用，在医疗诊断治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用，对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

13.3 产业政策符合性

核医学科、放疗中心主要是利用同位素、X 射线开展放射诊断、治疗等工作，属于《产业结构调整指导目录》(2019 年本)第一类 鼓励类中“六、核能”的“6、同位素、加速器及辐照应用”和“十三、医药”的“5、高端放射治疗设备的应用”；DSA 属于《产业结构调整指导目录》(2019 年本)第一类 鼓励类中的“十三、医药”的“5、数字化医学

影像设备的应用”。本项目属于产业结构鼓励类，符合相关产业政策。

13.4 辐射环境现状

根据监测统计结果可知，项目所在地的地表 γ 辐射剂量率监测值在 78nGy/h～83nGy/h 之间（未扣除宇宙射线响应值）。与 2022 年重庆市全市各点位环境 γ 辐射空气吸收剂量率测量均值范围 78.0~119nGy/h（未扣除宇宙射线响应值）相比较，项目所在工作场所及周边区域的辐射水平在重庆市区域辐射水平的正常涨落范围内。

13.5 选址合理性及布局合理性

（1）选址可行性

放疗中心位于医院负一层北侧，其所在区域上下方均为土壤层。放疗中心周边相邻区域主要包括土壤层、核医学科等，加速器机房顶棚上方为室外绿化区和广场。避开了儿科病房、产房等特殊人群密集区域或人员流动性大的商业活动区域。科室用房独立，放疗中心与周边相邻区域均有实体隔断。

核医学科位于住院楼负一层北侧，与放疗中心相邻布置，其下方为实体层，四周紧邻区域主要为放疗中心、土壤层、院内下沉庭院、地下停车场车道、楼内电梯厅和过道等，不与产科、儿科、食堂毗邻，核医学科工作场所独立设置，与周边其他非放射性工作场所有明显的分界，且有实体隔断。核医学科设置单独的人员、物流通道，工作人员和患者均有独立出入口，患者出口设置专用电梯或楼梯，可以直接通向大楼1层外的室外道路，未设置在门诊大厅、收费处等人群密集区域。

DSA 手术室分两个区域，分别位于门急诊楼一层和医技楼一层，其周边相邻主要为介入手术相关用房。

综上所述，项目涉及的 3 个科室均各自独立成区，远离人口稠密区域，且不与相对敏感区域毗邻，项目选址满足《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）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等相关标准的相关要求。因此，项目选址可行。

（2）布局合理性

本项目放疗中心共设置2间直线加速器机房、1间CT模拟单位机房。3间机房集中设置，便于工作的开展。直线加速器机房设置有迷路，机房屏蔽体采用混凝土结构，各方向墙体考虑了不同射线的屏蔽防护要求。治疗设备控制室设置在机房外，另直线加速器

续表 13 结论及建议

机房外单独设置有水冷设备机房。CT模拟定位机房独立设置，控制室与机房间设置铅玻璃观察窗，观察窗设置位置便于查看机房内患者情况。综合考虑，本项目放疗中心工作场所布局基本合理。

本项目核医学科工作场所分为治疗区和诊断区，2个工作场所分开设置，有独立的工作人员、患者出入口和放射性药物运送通道。治疗区中，分住院病房和放射性药物操作区，两个区域相对独立，中间设置隔离门，便于诊疗工作的开展。治疗区按照诊疗工作的需求，设置有储源室、服药室、患者住院病房（内设独立卫生间）、抢救室、废物间和工作人员值班等用房。且各功能用房集中设置，防止交叉污染。诊断区放射性药物操作场所同样集中设置，设置PET/CT和SPECT/CT独立的注射后患者候诊室，候诊室内设置卫生间，便于管理，放射性药物存放场所位于操作区相邻位置，放射性废物暂存间也同样设置在邻近区域，减少了药物和废物的转运路径。在运动负荷室内放置抢救用品。甲癌患者服药后在专门的病房内住院观察，检查区患者给药后在专门的候诊室内等待检查，限制了给药后患者的活动空间。核医学科设置有独立的工作人员和控制区患者通道，减少了给药后患者对其他人员的照射。放射性药物和放射性废物依托人员通道，但其转运时间都是在核医学科不开诊的时段，因此，无交叉影响。核医学科患者出入口均设置单向门禁，核医学科大厅设置等候区，正常情况下，无关人员不会进入控制区，接到通知的患者/受检者才会进入控制区内，避免了给药前和给药后的患者/受检者交叉影响。放射性药物和废物的转运，均在现有场所布局的情况下，采取了尽可能短的路线。诊断区和甲癌治疗区的放射性药物操作场所出入口处均设置了卫生通过间，设置洗手池，防止个人防护用品、表面污染监测仪等。甲癌病房内、PET/CT和SPECT/CT注射后候诊室内均设置有独立卫生间。整个核医学工作场所采用实心砖、混凝土等作为屏蔽材料，且将各功能用房集中设置，降低其对周边环境的辐射影响。

本项目5间DSA机房采取了满足标准要求的屏蔽结构，充分考虑了周边相邻区域机周围场所的人员防护与安全。DSA设备控制室与机房之间隔墙上设置铅玻璃观察窗，观察窗设置位置便于查看机房内患者情况。DSA机房内不堆放与介入手术无关的杂物。

从辐射环境保护角度分析，综上所述，本项目各功能用房布局合理，满足相关规范。

13.6 辐射防护与安全措施结论

续表 13 结论及建议

①分区：本项目按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等的要求进行了分区，按照要求进行分区管理，限制无关人员受到不必要的照射。

②屏蔽体防护：本项目核医学科控制区内各用房、放疗中心和 DSA 机房均设计了足够厚度的屏蔽体，可保证房间屏蔽体外周围剂量当量率满足辐射防护的要求；各屏蔽体的穿墙管线采用多种穿越方式（如“U”形、斜线）或采取屏蔽补偿，对屏蔽体的防护能力削弱甚微，不影响墙体的屏蔽防护效果；铅防护门的生产和安装均交有资质的厂家负责，以保证防护门搭接处的屏蔽能力；施工时保证施工质量。

③辐射安全与防护设施/措施

A：项目核医学科人流、物流（废物）相对独立，并拟设置多个门禁系统；拟在控制区工作人员出入口设置卫生通过间，配备防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备；拟设放射性药物分装操作的自动分装设施、通风装置等设备及相关辅助设施；注射给药及给药后病人活动区域拟设置对讲、视频监控装置；储源室设置安保防盗设施。放射性药物分装注射场所、操作台面采用易于去除污染的材料；控制区各功能房间均配置通风系统，放射性药物分装时通风装置保持负压；气流组织遵循自清洁区向低活性区再向高活性区的流向设计，并设置防倒灌设施并保持负压，以防止工作场所放射性气体交叉污染。控制区分区清洁，各上水设置感应式开关/出口。核医学非密封放射源工作场所辐射安全防护措施符合相关标准规范，亦满足辐射安全要求。

B：本项目拟配置的直线加速器自身安全性能较好；机房设置多重联锁、急停按钮、监控系统、对讲系统；机房内设置固定式剂量报警装置，具有声光报警功能；防护门上方设置醒目的工作状态指示灯，与设备运行状态联锁，并设置中文说明；防护门上设置电离辐射警示标识；防护门内外设置开门按钮，并设置手动开门装置；防护门处设置红外线防挤压装置。

C：DSA 及 CT 模拟定位机房设置门灯联锁，各防护门外上方拟设置醒目的工作状态指示灯、电离辐射警告标志；每台 DSA 拟配置 1 套铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏等辅助防护设施；按有关标准要求配备介入手术工作人员和患者个人防护用品。

④通风：项目核医学科、放疗中心、手术中心均设置独立的通风系统。核医学科废

续表 13 结论及建议

气收集至住院楼11F顶后经活性炭吸附后再高于楼顶排放，其中手套箱废气收集口和排放口均设置活性炭吸附装置；放疗中心和DSA机房的废气经排风管道引至室外排放。核医学手套箱排风风速不小于0.5m/s，加速器机房通风换气次数不低于4次/h，其余射线装置机房有良好的通风。

⑤医院拟在项目各科室配置个人剂量报警仪、智能化X-γ辐射仪等监测仪器，并拟配置设备质量检测仪器，保证设备、放射工作人员、公众成员的安全。

综上，建设单位拟采取的辐射安全与防护措施落到实处后，项目的建设能够满足辐射防护的要求。

13.7 环境影响分析

①本项目核医学科控制区边界、控制区内各用房屏蔽体外的周围剂量当量率均小于2.5 μSv/h，放疗中心直线加速器机房、CT 模拟定位机房、DSA 机房（透视条件下）屏蔽体外周围剂量当量率均低于 2.5μSv/h，核医学科防护手套箱表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 25μSv/h，防护手套箱、注射窗、自动分装仪等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。固体放射性废物收集桶、衰变处理设施（人员可接近处）等外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。屏蔽体外的剂量率满足评价标准限值要求。

②项目各类放射工作人员、公众成员的年附加有效剂量均满足本项目的年剂量管理目标值（放射作人员 5mSv/a，公众成员 0.1mSv/a），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及相关标准的要求。项目运行后，对周围环境保护目标的影响有限，能为环境所接受。

③项目涉及的各科室均设置单独的排风系统。核医学科放射性废气收集至住院楼11F 楼顶经活性炭吸附装置吸附处理后高于楼顶排放，周围高层建筑距离核医学废气排放口较远，因此，核医学科废气经处理和大气扩散后对周围环境的影响较小。放疗中心、DSA 机房采用独立排风系统，可保持各射线装置机房内良好的通风，排放口处正常情况下人员无法到达，废气排出室外扩散后，对环境影响小。

④项目产生的放射性废水经衰变处理设施（槽式）处理至低于排放标准后排入医院废水处理站处理，非放射性废水直接排入医院污水处理站处理。项目运行产生的废水得到有效处理，对环境的影响小。

续表 13 结论及建议

⑤放射性固废在产生处使用废物桶收集，而后按核素、废物种类等分类暂存于诊断区和治疗区的放射性废物间内，衰变时间满足要求并监测合格后作为一般医疗废物处理。医疗废物依托医院危废暂存间暂存后交有资质单位处理，危险废物实行联单管理制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。生活垃圾交环卫部门处理，废铅防护用品由医院收集后妥善保管，交生产厂家回收处置。项目各固体废物均能得到有效处理，对周围环境影响小。

13.8 辐射环境管理

医院成立了辐射安全与环境保护管理领导小组，各项规章制度、操作规程、应急处理措施基本健全、具有可操作性。但仍需按照新的法律法规、标准等完善现有管理制度，并加强日常应急响应的准备工作及应急演练。医院应严格执行各项规章制度执行，放射工作人员需经辐射防护与安全培训并考核合格后才能上岗，在工作时正确佩戴个人剂量计，定期进检测并进行健康体检。医院还应在今后的工作中，不断完善相关管理制度，加强管理，杜绝辐射事故的发生。

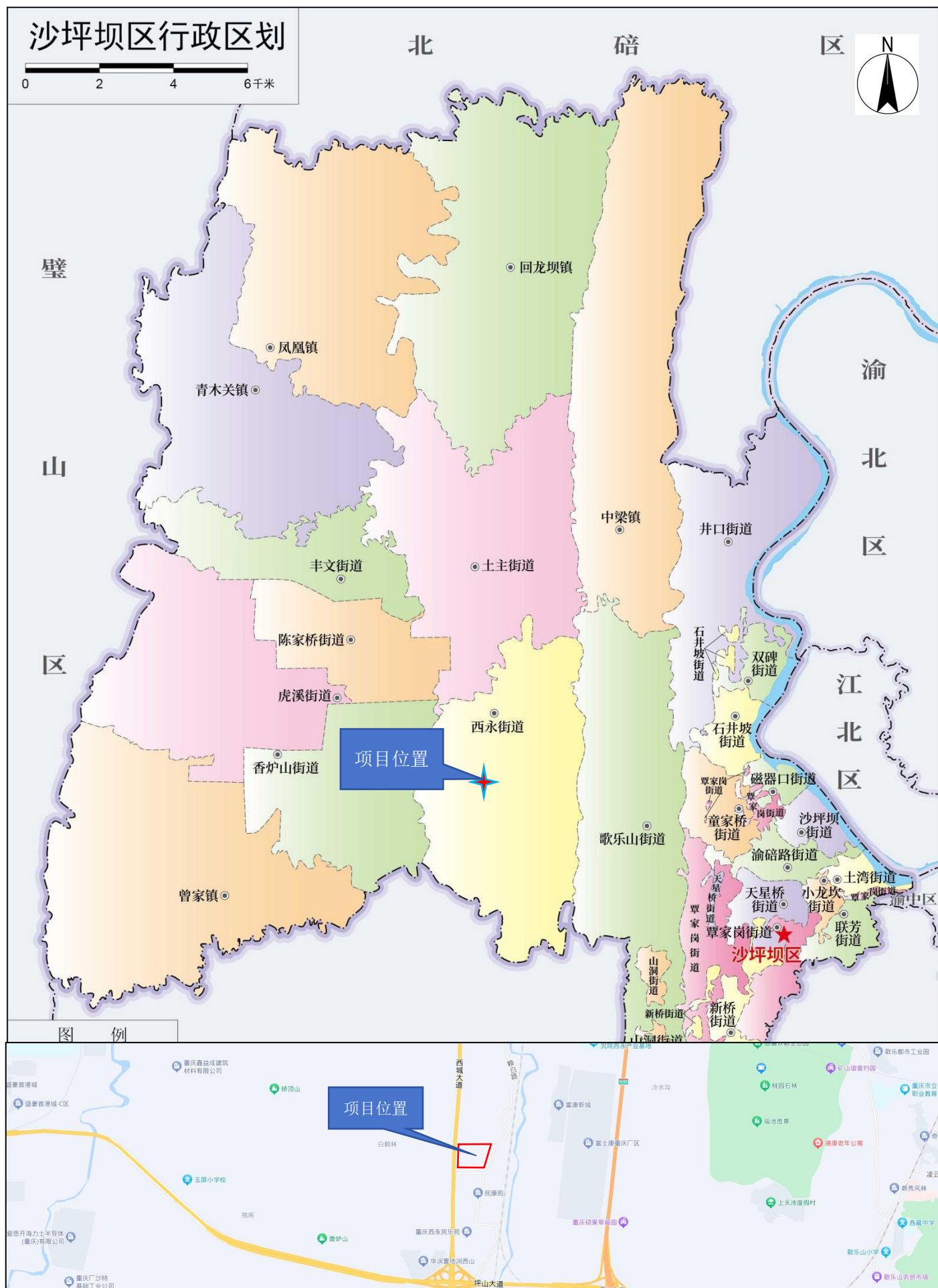
综上所述，本项目符合国家产业政策，符合辐射防护“实践的正当性”要求，项目选址可行，平面布局合理。在制定的辐射安全防护措施和管理措施后，项目环境风险可控，能实现辐射防护安全目标及污染物的达标排放。因此，从环境保护的角度来看，该项目的建设是可行的。

附录

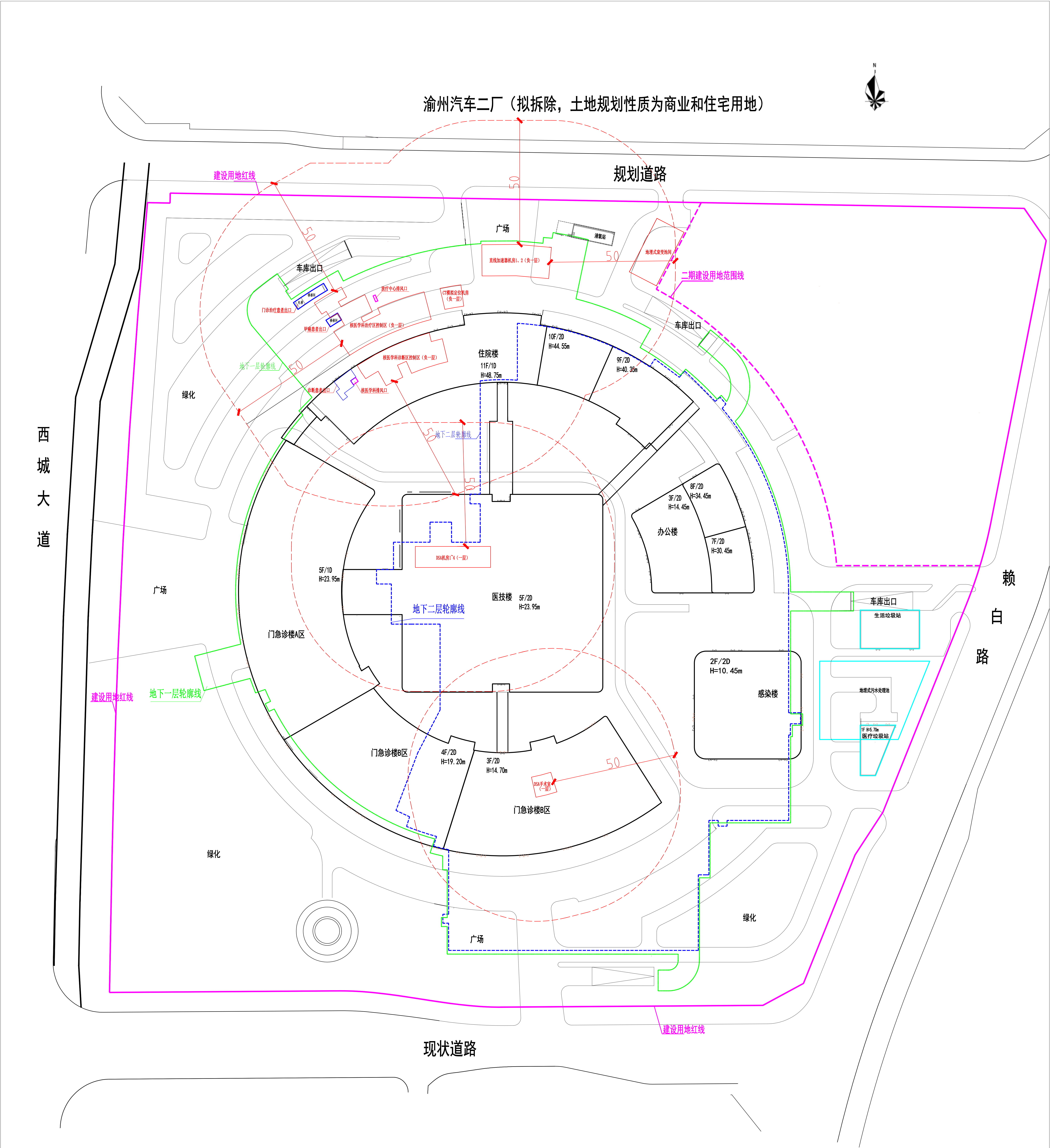
附图

附图 1 项目地理位置图

附图 2 医院总平面及环境保护目标布置图



附图 1 项目地理位置图



附图2 医院总平面及环境保护目标布置图