核技术利用建设项目

滕州市中医医院
新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置应用项目
环境影响报告表

滕州市中医医院

2025 年 8 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

滕州市中医医院
新建放射诊疗、核医学工作场所、
DSA 装置、ERCP 装置应用项目
环境影响报告表

建设单位名称：滕州市中医医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：山东省枣庄市滕州市滕州善国中路 52 号

邮政编码：277599　　联系人：焦守水

电子邮箱：1453675158@qq.com　　联系电话：13863240158

建设项目环境影响报告书（表）
编制情况承诺书

本单位 山东益源环保科技有限公司 （统一社会信用代码 91370400674530884T ）郑重承诺：本单位符合《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》第九条第一款规定，无该条第三款所列情形， 不属于 （属于/不属于）该条第二款所列单位；本次在环境影响评价信用平台提交的由本单位主持编制的 滕州市中医医院新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA装置、ERCP装置应用项目 项目环境影响报告书（表）基本情况信息真实准确、完整有效，不涉及国家秘密；该项目环境影响报告书（表）的编制主持人为 汤爱华 （环境影响评价工程师职业资格证书管理号 2014035370352013373004000974 ，信用编号 BH019411 ），主要编制人员包括 汤爱华 （信用编号 BH019411 ）（依次全部列出）等 1 人，上述人员均为本单位全职人员；本单位和上述编制人员未被列入《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》规定的限期整改名单、环境影响评价失信“黑名单”。

承诺单位(公章)：

2025 年 9 月 11 日

[redacted]

应用类型	非密封放射性物质	☑生产	☑制备 PET 用放射性药物
		□销售	/
		☑使用	☑乙　□丙
	射线装置	□生产	□II类　□III类
		□销售	□II类　□III类
		☑使用	☑II类　□III类
	其他	/	

1.1 建设单位概述

滕州市中医医院始建于 1958 年，是一所集医疗、教学、科研、预防、保健、康复于一体的三级甲等中医医院。医院现有三个院区，老院区地处善国中路 52 号，北院区位于学院中路 2136 号，工人医院院区位于滕州市荆河中路 292 号。为优化医疗卫生资源质量与配置，保持医疗卫生事业均衡发展，滕州市中医医院在滕州市东沙河街道征地对现有老院区进行迁建。

滕州市中医医院迁建项目建设地点位于山东省滕州市东沙河街道荆河东路南侧，上善大道西侧，明德路东侧，兼爱路北侧。迁建项目规划占地 176834 平方米，总建筑面积 400000 平方米，其中地上建筑面积 340000 平方米，地下建筑面积 60000 平方米。地

上建筑中包括门急诊医技综合楼、特需住院楼、行政综合楼、制剂中心、感染楼及其他配套用房；地下建筑主要用途为停车、设备用房、餐厅、医疗及其附属用房。

门急诊医技综合楼为主要医疗业务用房，主要功能包括门诊、急诊科、医技；地下室部分共 1 层，层高 7.1 米，医疗功能主要为核医学工作场所、放疗中心、中心药库、病案库等。

迁建项目可研 2022 年 7 月 25 日获得滕州市行政审批服务局批复，批复文件《关于滕州市中医医院迁建项目可行性研究报告的批复》（滕行审投字〔2022〕26 号，见附件 5），项目代码：2111-370481-04-01-647751。迁建项目环境影响报告书 2024 年 6 月 14 日通过枣庄市生态环境局审批，批复文号：枣环滕审字〔2024〕2 号（见附件 6），项目目前已开始进入土方施工阶段。

1.2 滕州市中医医院现有项目概况

1.2.1 辐射安全许可证情况

医院现持有辐射安全许可证，证书编号为鲁环辐证[04561]，有效期至 2028 年 8 月 29 日，许可种类和范围为“使用II类、III类射线装置”。医院辐射安全许可证登记射线装置情况见下表。

表 1-1　医院辐射安全许可证登记射线装置情况一览表

序号	装置名称	型号	数量	类别	工作场所	环保手续履行情况
1	DR	Definium　6000	1	III类	放射科	已备案、已许可
2	数字胃肠机	P-S 800+	1	III类	放射科	已备案、已许可
3	床旁 DR	Sirius　130HP	1	III类	放射科	已备案、已许可
4	牙科 X 射线机	MSD-III	1	III类	放射科	已备案、已许可
5	16 排螺旋 CT	Brightspeeed Elite Select	1	III类	放射科	已备案、已许可
6	小型 C 臂	JZ06-1	1	III类	放射科	已备案、已许可
7	128 排螺旋 CT	Discovery Ci	1	III类	放射科	已备案、已许可
8	碎石机	HD SWL-VM	1	III类	放射科	已备案、已许可
9	乳腺机	Senographe Essential	1	III类	放射科	已备案、已许可
10	DSA	Optima CL323i	1	II类	病房楼二楼	2023 年 7 月 7 日取得环评批复，文号：枣环许可〔2023〕48 号，已许可；2023.9.24 完成自主验收。

医院现有核技术利用项目均已履行环保手续。医院现有辐射安全许可证正、副本见附件 7，现有 DSA 项目环评审批及验收情况证明材料见附件 8。

1.2.2 辐射安全管理现状

医院已成立辐射安全与环境保护领导小组，签订了辐射工作安全责任书，明确了法定代表人为辐射安全工作第一责任人，明确了领导小组职责分工。制定了一系列的辐射安全管理规章制度，涵盖了现有设备及场所的使用管理要求，并制定了《辐射事故应急预案》，医院已开展了 2024 年辐射事故应急演练，形成了辐射事故应急演练总结报告，并将应急演练情况记录入档。医院各院区目前在岗辐射工作人员均配有个人剂量计，并委托有资质单位每三个月检测一次，出具个人剂量检测报告，并建立了个人剂量档案。医院 2024 年已委托有资质单位对各院区辐射工作场所周围环境辐射剂量率进行了检测，各场所检测结果均合格；医院各院区均已配备便携式辐射监测仪，用于开展自主监测，有自主监测记录。医院已按期提交了 2024 年度辐射安全与防护年度评估报告。

1.3 本项目概况

为进一步提高医院放射诊疗水平，更好满足患者就诊需求，根据医院整体发展规划，迁建项目配套核医学工作场所及射线装置，在地下室新建核医学科、放疗中心，在门急诊医技综合楼二层内镜中心新建 ERCP 手术室、四层新建 DSA 手术室。

项目地理位置示意图见附图 1-1，项目周边环境关系影像图见附图 1-2，医院总平面布置图见附图 1-3，医院建筑地下室部分范围及核技术应用部分项目位置见附图 1-4

项目建设内容如下：

1、核医学工作场所

核医学工作场所拟建于地下室北部，本项目涉及放射性药品制备及使用，新建回旋加速器中心、放射性核素诊断场所（PET 诊断、SPECT 诊断）、放射性核素治疗（^{131}I）中心。

（1）回旋加速器中心

回旋加速器中心位于核医学工作场所西侧，由回旋加速器机房、控制室、热室、设备间、阳性对照室、全检质控室等组成，机房内配置 1 台回旋加速器，用于制备核医学诊断用放射性药物 ^{18}F、^{11}C、^{13}N，回旋加速器制备核素日等效最大操作量为 1.11×10^{8}Bq。

（2）放射性核素诊断场所

①PET 诊断场所

PET 诊断中心使用放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 开展临床显像诊断，由 PET-CT/PET-MR 机房、分装室、注射室、候诊室等组成，PET-CT/PET-MR 机房内分别配置 1 台 PET-CT、1 台 PET-MR，用于放射性药物 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 显像诊断。

②SPECT 诊断场所

SPECT 检查中心使用放射性核素锝-99m（^{99m}Tc）开展临床显像诊断，^{99m}Tc 使用钼锝发生器淋洗制备，由 SPECT 机房、控制室、设备间、分装室、注射室、候诊室等组成。

（3）放射性核素（^{131}I）治疗中心

^{131}I 治疗中心由控制室、分源储源室、服碘室（甲癌）、控制室（甲亢服碘室）、甲癌病房、甲功室等组成，使用碘-131（^{131}I）进行甲功测定、甲亢治疗、甲癌治疗。

放射性核素诊断场所日等效最大操作量为 3.3004×10^{9}Bq。

本项目核医学工作场所放射性核素日等效最大操作量为 3.4114×10^{9}Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

2、放疗中心

放疗中心拟建于地下室（核医学工作场所西侧），本项目涉及一处医用电子直线加速器工作场所、一处后装治疗工作场所。

（1）医用电子直线加速器

医用电子直线加速器工作场所由加速器机房、控制室、水冷机房、设备间等组成，拟购置 1 台医用直线加速器（生产厂家和型号均未确定，仅确定主要技术参数，X 射线最大能量 15MV，电子线最大能量 20MeV），用于肿瘤的放射治疗。根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（原环境保护部、原国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号）有关规定，医用电子直线加速器均属于II类射线装置。

（2）后装机

后装治疗机工作场所由后装治疗机机房、控制室、准备室等组成，同时拟购置 1 台后装治疗机（生产厂家和型号均未确定，仅确定主要技术参数），使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源（最大装源活度为 3.7×10^{11}Bq），安装于后装治疗机机房内，主要用于妇科、鼻咽、食道、支气管及直肠等肿瘤的放射治疗。根据《关于发布<放射源分类办法>的公告》（原国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号）有关规定，后装治疗机使用的 ^{192}Ir 放射源属于

III类放射源。

3、介入诊疗

（1）DSA 装置

DSA 装置拟建于门急诊医技综合楼 4 层中部北侧介入中心，由 1-4 号 DSA 机房、1-2 号控制室（1、2 号 DSA 机房共用 1 号控制室，3、4DSA 机房共用 2 号控制室）、设备间等组成，于 4 间 DSA 机房内分别安装 1 台 DSA 装置（最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA）。

（2）ERCP 装置

ERCP 装置拟建于门急诊医技综合楼 2 楼东北部内镜中心，该工作场所主要由 ERCP 机房、控制室等组成，于 ERCP 机房内同时安装 1 台 ERCP 装置（最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA）。

DSA 装置主要用于心血管、神经、外周等疾病的介入诊疗，ERCP 装置主要用于经内镜逆行性胰胆管造影术（属于一种介入手术，辐射工作人员需在床旁注射造影剂并近台同室操作），根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（原环境保护部、原国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号）有关规定，本项目 4 台 DSA 装置、1 台 ERCP 装置均为II类射线装置。

本次评价涉及的非密封放射性物质工作场所详见表 1-2，放射源详见表 1-3，射线装置详见表 1-4。

表 1-2 本次评价非密封放射性物质工作场所

工作场所名称	核素名称	每日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	操作方式	工作场所日等效最大操作量（Bq）	场所分级
PET 用药物制备场所	^{18}F	7.4×10^{9}	7.4×10^{7}	1.85×10^{12}Bq（50Ci）	简单操作	3.4114×10^{9}	乙级非密封放射性物质工作场所
	^{11}C	1.85×10^{9}	1.85×10^{7}	9.25×10^{10}Bq（2.5Ci）	简单操作		
	^{13}N	1.85×10^{9}	1.85×10^{7}	9.25×10^{10}Bq（2.5Ci）	简单操作		
PET 诊断场所	^{18}F	7.4×10^{9}	7.4×10^{7}	1.85×10^{12}Bq（50Ci）	很简单操作		
	^{11}C	1.85×10^{9}	1.85×10^{7}	9.25×10^{10}Bq（2.5Ci）	简单操作		

	^{13}N	1.85×10^{9}	1.85×10^{7}	9.25×10^{10}Bq（2.5Ci）	简单操作		
^{99m}Tc 诊断场所	^{99}Mo	2.96×10^{10}	2.96×10^{7}	1.48×10^{12}	简单操作		
	^{99m}Tc	1.48×10^{10}	1.48×10^{7}	3.7×10^{12}Bq（100Ci）	简单操作		
^{131}I 核素治疗场所	^{131}I 甲功	1.85×10^{6}	1.85×10^{5}	2.683×10^{12}Bq	简单操作		
	^{131}I 甲亢	1.85×10^{9}	1.85×10^{8}		简单操作		
	^{131}I 甲癌	2.96×10^{10}	2.96×10^{9}		简单操作		

注：1、^{18}F、^{11}C、^{13}N 诊断工作依托 PET-CT 和 PET-MRI 开展；2、^{99m}Tc 诊断工作依托 SPECT-CT 开展。

表 1-3　本次评价放射源

核素名称	活度（Bq/枚）	数量（枚）	类别	工作场所名称	用途	状态
^{192}Ir	3.7×10^{11}	1	III类	放疗中心后装机机房	放射治疗	拟购

注：拟装源活度参考医科达Flexitron HDR、瓦里安GammaMedplus iX、新华 XHDR30、天津荣力 RL-HZJ18 等设备。

表 1-4 本次评价射线装置

装置名称	型号	主要参数	意向厂家	数量（台）	分类	机房位置
回旋加速器	待定	质子束流能量最大 20MeV 束流强度最大 100μA	GE、原子高科等	1	II类	核医工作场所回旋加速器机房
医用电子直线加速器	待定	X 射线最大能量 15MV 电子线最大能量 20MeV	医科达、瓦里安等	1	II类	放疗中心直线加速器机房
DSA 射线装置	待定	最大管电压：125kV 最大管电流：1000mA	飞利浦、GE、西门子、北京万东等	4	II类	门急诊医技综合楼介入中心 1-4 号 DSA 机房
ERCP 装置	待定	最大管电压：125kV 最大管电流：1000mA		1	II类	门急诊医技综合楼内镜中心 ERCP 机房

注：1、回旋加速器参考山东省内医院配置的 GE Qilin 型、PET trance 840、MINI trance 等加速器参数；

2、直线加速器参数参考近年山东省内医院新上医科达 Infinity、瓦里安 Vital Beam、联影 uRT-linac 506c、沈阳东软 NMSR600 等加速器参数。

根据医院计划，项目放疗中心用 1 台 CT 模拟定位机、核医学检查用 1 台 SPECT-CT 和 1 台 PET-CT 属III类射线装置；PET 装置的日常维护需使用校准源（V类放射源），

另行于建设项目环境影响登记表备案系统（山东省）内单独备案，因此本次评价不涉及V类放射源、III类射线装置的评价分析。对于 SPECT-CT/PET-CT 在 CT 使用过程中机房需采取的安全设施包含在本次评价范围。

1.5 项目选址合理性

1、项目选址

本项目拟建于滕州市中医医院地下室及门急诊医技综合楼内，其中放射诊疗、核医学工作场所项目位于地下一层内，DSA 装置、ERCP 装置应用项目位于门急诊医技综合楼内，无新增用地。

医院东侧为上善大道，南侧为兼爱路（规划），西侧为明德路（规划），北侧为荆河东路。

核医学工作场所（回旋加速器、放射性核素诊断及治疗）和放疗中心（直线加速器、后装机）位于地下室西北侧，两个项目紧邻，该项目区东侧为消防水池，南侧为风机房、库房、变电所、机房及楼梯间，西侧为泵房、太平间、医疗废物及生活垃圾暂存间、污水处理站、风机房，北侧为病案库、电梯间、风机房、变电所等，楼上为绿地，楼下为土层无建筑。

1 间 ERCP 机房位于门急诊医技综合楼 2 楼东北部内镜中心，机房东侧临空，南侧为纤支镜室，西侧为准备间、控制室、油烟井，北侧临空，楼上为空调机房（3 楼）、污洗室、走廊、通风夹墙，楼下为体检等候区（1 楼）。

4 间 DSA 机房位于门急诊医技综合楼 4 楼介入中心，DSA1、DSA2 机房紧邻，共用控制室 1 及设备间 1，DSA1、DSA2 机房东侧为走廊，南侧为设备间 1、走廊，西侧为走廊，北侧为控制廊 1，楼上为楼顶平台，楼下为中医科集中候诊区、走廊；DSA3 机房东侧为走廊，南侧为走廊，西侧为控制廊 2，北侧为设备间 2，楼上为楼顶平台，楼下为中医科集中候诊区、诊室、前室；DSA4 机房东侧为控制廊 2，南侧为走廊，西侧为换床间，北侧为设备间 3、更衣室，楼上为楼顶平台，楼下为肿瘤药物调配间、二更、清洁室。

项目地理位置示意图见附图 1-1，项目周边环境关系影像图见附图 1-2，医院总平面布置图见附图 1-3，医院建筑地下室部分范围及核技术应用部分项目位置见图 1-4。

地下室（放疗中心、核医学工作场所）平面布置图见附图 1-5，1 楼至楼顶平台平面布置图分别见附图 1-6 ～ 1-10。

2、项目周边保护目标

本项目 50m 评价范围内主要为医院建筑、道路，无学校、养老院、居民区等环境敏感目标。

放疗中心项目位于地下室（门急诊医技综合楼地下室投影部分北侧），周围 50m 评价范围内院内建筑，为南侧为门急诊医技综合楼、综合住院楼 1（13F/1D），北侧 3#综合住院楼（13F/1D）、制剂中心（3F）内人员；

核医学工作场所项目位于地下室（门急诊医技综合楼地下室投影部分北侧），周围 50m 评价范围内院内建筑，为南侧门急诊医技综合楼、综合住院楼 1（13F/1D）、综合住院楼 2（13F/1D），北侧行政综合楼（3F/1D）、综合住院楼 3（13F/1D）、特需住院楼（13F/1D）内人员；

DSA 项目位于门急诊医技综合楼 4 楼中部北侧，周围 50m 评价范围内院内建筑，为项目所在门急诊医技综合楼，西侧综合住院楼 1（13F/1D）、东侧综合住院楼 2（13F/1D）内人员；

ERCP 项目位于门急诊医技综合楼 2 楼中部北侧东北，周围 50m 评价范围内院内建筑，为项目所在门急诊医技综合楼、综合住院楼 2 内人员。

3、选址合理性分析

根据医院提供的资料，本项目核医学工作场所位于地下室，该区域地面部分为绿地，下方为土层，上下方均无建筑；周围主要为放疗中心、地下停车场、电梯厅、病案库、药库、风机房、污水处理区、消防水池及泵房等，与儿科、产科、食堂等部门及人员密集区不毗邻；核医学工作场所与周围区域以实体墙体或者常闭防火门进行物理隔离，并有单独的人员、物流通道，周围无关人员相对流动较少，场所相对独立；患者出口为室外，非门诊大厅、收费处等人群稠密区域。核医学工作场所建在地下室内，和周围区域进行了物理隔离，设置了单独的人员物流通道，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）5.1 的选址要求。

放疗中心（直线加速器和后装机）位于地下室，与核医学工作场所相邻，属于地下建筑，该区域地面部分为绿地，下方为土层，上下方均无建筑；该区域相对独立，周围无儿科、产科、食堂等特殊人群及人员密集区域或人员流动性大的商业活动区域。放疗中心建在地下室内，和周围区域进行了物理隔离，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）5.1 的选址与

布局要求。

核医学工作场所与放疗中心之间、以及这两个区域与周围区域之间以实体墙体或者常闭防火门进行物理隔离，并设置了单独的人员、物流通道，符合放射治疗与核医学辐射防护与安全要求。核医学工作场所、放疗中心与周围区域物理隔离示意图见附图 1-11。

介入中心 4 座 DSA 机房、内镜中心 1 座 ERCP 机房相对集中分布，便于日常辐射管理，且各机房周围无关人员相对较少。

上述各工作场所相对独立，人员相对流动较少，减少了公众受照射的概率。经分析，本项目核医学工作场所、加速器、后装机、DSA 机房、ERCP 机房周围辐射水平均可满足国家相关要求，经有效的防护和治理措施，项目运行过程中对周围环境及保护目标的辐射影响较小，因此，本项目选址基本合理可行。

1.6 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（国家发展和改革委员会 2023 年令第 7 号，2024 年 2 月 1 日起施行），本项目属于“第一类 鼓励类”-“三十七、卫生健康”中“1、医疗卫生服务设施建设”，为鼓励类项目，符合国家产业政策要求。

1.7 实践正当性

本项目核医学工作场所（回旋加速器中心、放射性核素诊断场所、诊疗场所）、放疗中心（医用电子直线加速器、后装机）、放射诊疗（DSA、ERCP）的建设可以提高医院的整体医疗水平、满足群众基本医疗服务和健康保障的需求，并进一步提供达到国际水准的高端优势专科医疗服务，项目的开展满足医院医学诊疗的工作需要，具有明显的经济效益和社会效益。虽然在放射诊疗过程中，放射性同位素和射线装置的应用将会对周围环境、辐射工作人员及公众造成一定辐射影响，但是在按照国家、省、市相关辐射防护要求下正确使用和管理放射性同位素和射线装置，根据报告后续预测分析，工作场所外辐射水平及人员受照剂量能满足相应标准要求。因此，本项目从利益和代价方面分析，其对受电离辐射照射的人员和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

1.4 目的和任务的由来

本项目核医学工作场所日等效最大操作量为 3.4114×10^{9}Bq，属乙级非密封放射性物

质工作场所（乙级：2×10^{7}～4×10^{9}Bq）；后装机内装 ^{192}Ir 最大活度约 3.7×10^{11}Bq（10Ci），根据《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号），本项目 ^{192}Ir 放射源为III类放射源；根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，2017 年第 66 号），本项目医用电子直线加速器、回旋加速器属II类射线装置。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，上述项目应编制环境影响报告表。

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境保护管理条例》、《建设项目环境影响评价分类管理名录》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规对伴有辐射建设项目环境管理的规定，本项目须执行环境影响评价制度。受滕州市中医医院委托，我单位承担了该项目的辐射环境影响评价工作。接受委托后，在进行现场勘察、收集和分析有关资料、实地监测及预测估算等基础上，依照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016），编制完成了《滕州市中医医院滕州市中医医院新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置应用项目环境影响报告表》。

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
1	^{192}Ir	（5.55×10^{11}Bq）×1	III类	使用	放射治疗	地下室 1 层放疗中心后装机机房	后装机装置内	/

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{18}F	液态、低毒组、半衰期 109.8min	生产	1.48×10^{10}	1.48×10^{8}	3.7×10^{12}	放射诊断	简单操作	地下室 PET 用药物制备场所、PET、SPECT 诊断场所、^{131}I 治疗场所	暂存于分装热室的铅罐
			使用	7.4×10^{9}	7.4×10^{6}	1.85×10^{12}	放射诊断	很简单操作		分装室 1 手套箱铅罐内
2	^{11}C	液态、低毒组、半衰期 20.33min	生产	1.85×10^{9}	1.85×10^{7}	9.25×10^{10}	放射诊断	简单操作		暂存于分装热室的铅罐
			使用	1.85×10^{9}	1.85×10^{7}	9.25×10^{10}	放射诊断	简单操作		分装室 1 手套箱铅罐内
3	^{13}N	液态、低毒组、半衰期 10.0min	生产	1.85×10^{9}	1.85×10^{7}	9.25×10^{10}	放射诊断	简单操作		暂存于分装热室的铅罐
			使用	1.85×10^{9}	1.85×10^{7}	9.25×10^{10}	放射诊断	简单操作		分装室 1 手套箱铅罐内
4	^{99}Mo（母体）	液体、中毒组、半衰期 66.02h	淋洗，母体	2.96×10^{10}	2.96×10^{7}	1.48×10^{12}	放射诊断	贮存		SPECT 分装室手套箱
5	^{99m}Tc	液态、低毒组、半衰期 6.02h	淋洗，子体使用	1.48×10^{10}	1.48×10^{8}	3.7×10^{12}	放射诊断	简单操作		
6	^{131}I	液态、中毒组、半衰期 8.04d	使用	1.85×10^{6}（甲功）	1.85×10^{5}	2.683×10^{12}	放射治疗	简单操作		储源分源室手套箱铅罐内
				1.85×10^{9}（甲亢）	1.85×10^{8}					

				2.96×10^{10}（甲癌）	2.96×10^{9}					

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）/剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	回旋加速器	II类	1 台	待定	质子	质子束流能量最大 20MeV	束流强度最大 100μA	核素制备	地下室回旋加速器机房	拟购
2	医用直线电子加速器	II类	1 台	待定	电子	X 射线最大能量：15MV 最高电子能量：20 MeV	X 线：常规式：6MV、10MV、15MV 均为 600cGy·m²/min；FFF 束流模式：6MV：1400cGy·m²/min；10MV：2400cGy·m²/min。 电子线：600cGy·m²/min。	放射治疗	地下室放疗中心直线加速器机房	拟购

（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
3	DSA	II类	4 台	待定	125	1000	介入诊疗	门急诊医技综合楼 4 楼 DSA 机房	/
4	ERCP	II类	1 台	待定	125	1000	介入诊疗	门急诊医技综合楼 2 楼 ERCP 机房	/

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
使用完的 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器（核医学工作场所）	固态	-	-	-	-	-	SPECT 分装室手套箱	供源单位回收
剩余放射性药物（核医学工作场所）	液态	^{18}F、^{11}C、^{13}N	-	-	-	-	PET 诊断场所固废间铅罐内	衰变至解控水平后按规范处置
	液态	^{99m}Tc	-	-	-	-	SPECT 诊断场所固废间铅罐内	
	液态	^{131}I	-	-	-	-	地下一层固废间 3 铅罐内	
放射性废水（核医学工作场所）	液态	^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{99m}Tc	-	-	-	-	1#槽式放射性废水处理系统衰变池	暂存衰变超过 30 天后，排至医院污水处理站
	液态	^{131}I	-	-	-	-	2#槽式放射性废水处理系统衰变池	暂存衰变超过 180 天，经监测满足要求后，排至医院污水处理站
放射性固体废物（核医学工作场所）	固态	^{18}F、^{11}C、^{13}N	-	-	-	-	PET 用药制备场所固废间衰变箱/滤网、靶膜专用衰变箱	暂存衰变超过 30 天后，并经监测满足 HJ1188-2021 要求后，按一般医疗废物处理
放射性固体废物（核医学工作场所）	固态	^{99m}Tc	-	-	-	-	SPECT 诊断场所固废间 2 衰变箱	
放射性固体废物（核医学工作场所）	固态	^{131}I	-	-	-	-	^{131}I 诊断场所固废间污物暂存间衰变箱	暂存衰变超过 180 天后，并经监测满足 HJ1188-2021 要求后，按一般医疗废物处理
沉淀池和衰变池的沉渣	固态	^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{99m}Tc	-	-	-	-	1#槽式放射性废水处理系统沉淀池和衰变池	暂存衰变达 30 天后，随废水一并排至医院污水处理站

	固态	^{131}I	-	-	-	-	2#槽式放射性废水处理系统沉淀池和衰变池	暂存衰变超过 180 天后，经监测满足要求后，随废水一并排至医院污水处理站
废活性炭	固态	^{18}F、^{11}C、^{13}N	-	-	-	-	PET 诊断场所废物库专用衰变箱	暂存衰变超过 30 天后，并经监测满足 HJ1188-2021 要求后，按一般医疗废物处理
废活性炭	固态	^{99m}Tc、	-	-	-	-	SPCET 诊断场所废物库专用衰变箱	
废活性炭	固态	^{131}I	-	-	-	-	^{31}I 诊疗场所废物库专用衰变箱	暂存衰变超过 180 天后，并经监测满足 HJ1188-2021 要求后，按一般医疗废物处理
活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器、加速器靶	固态	-	-	-	-	-	不暂存	委托有资质单位处置
放射性废气（核医学工作场所）	气态	主要为 ^{131}I	-	-	-	-	-	通风系统分别经活性炭高效过滤装置过滤后，由综合住院楼 2 楼顶（13F）排至外环境
废旧 ^{192}Ir 放射源	固态	^{192}Ir	-	-	-	-	-	由供应商回收或送交具备相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。运输过程由具备相应资质的单位负责运输
感生放射性废物（直线加速器）	固态	感生放射性废靶					约数年更换一次，更换下来的废靶暂存在放射性废物库。	委托有资质的单位处置

表 6 评价依据

法规文件	1．《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第 9 号，2015.1.1 施行； 2．《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令第 24 号，2018.12.29 第二次修订后施行； 3．《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第 6 号，2003.10.1 施行； 4．《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，中华人民共和国第十三届全国人民代表大会常务委员会第十七次会议第二次修订，2020.9.1 施行； 5．《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 709 号第二次修订，2019.3.2 施行； 6.《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017.10.1 施行； 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 号修订，2021.1.4 施行； 8.《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，2011.5.1 施行； 9．《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部令第 16 号 2021.1.1 施行； 10．《关于发布<射线装置分类>的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，2017 年第 66 号，2017.12.5 施行； 11.《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，国家环保总局环发〔2006〕145 号，2006.9.26 施行； 12.《关于发布放射源分类办法的公告》，国家环境保护总局公告 2005 年 第 62 号，2005.12.23 施行； 13.《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环办辐射函〔2016〕430 号，2016.3 施行； 14.《关于发布<放射性废物分类>的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年 第 65 号，2018.1.1 施行；

	15. 《国家危险废物名录（2025 年版）》，生态环境部、国家发展和改革委员会、公安部、交通运输部、国家卫生健康委员会令第 36 号，2025.1.1 施行； 16.《产业结构调整指导目录（2024年本）》，国家发展和改革委员会2023年令第7号； 17.《关于发布〈建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法〉配套文件的公告》，生态环境部公告 2019 年第 38 号，2019 年 11 月 1 日起施行； 18.《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令 第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行； 19.《山东省辐射污染防治条例》，山东省人民代表大会常务委员会公告第 37 号，2014.5.1 施行； 20.《山东省环境保护条例》，山东省第十三届人大常务委员会第七次会议，2018.11.30 修订，2019.1.1 施行； 21.《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430 号）； 22.《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，生态环境部辐射源安全监管司，辐射函〔2023〕20 号，2023.9.11。
技术标准	1.《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 2.《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； 3.《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； 4.《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； 5.《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）； 6.《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）； 7. 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； 8.《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）； 9.《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； 10.《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； 11.《职业性内照射个人监测规范》(GBZ129-2016)；

	12.《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）； 13.《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》(GBZ/T201.2-2011)； 14.《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014)； 15.《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； 16.《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）； 17.《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）； 18.《山东省医疗机构污染物排放控制标准》(DB37/596-2020)。
其他	1.项目环境影响评价委托书； 2.医院提供的有关技术资料； 3.《辐射防护手册》第一分册《辐射源与屏蔽》、第三分册《辐射安全》（李德平主编）； 4.《辐射防护导论》（方杰主编）； 5.《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》（山东省环境监测中心站，1989 年）； 6.《北京市临床核医学使用 ^{18}F 核素场所的辐射水平调查》（李桂云，中国辐射卫生 2004 年 12 月第 13 卷第 4 期）； 7.《南水北调山东段沿线土壤的放射性水平》（邓大平、许家昂等，中国辐射卫生，2006 年 12 月第 15 卷第 4 期）； 8.《分化型甲状腺癌患者的 131I 有效半衰期》（易艳玲等，原子能科学与技术，Vol44, suppl.2010.9）； 9.《医用电子直线加速器感生放射性的测量和分析》（中国辐射卫生，2021 年 10 月 第 30 卷第 5 期）。

枣庄市环境天然辐射水平

根据山东省环境监测中心站对山东省环境天然放射性水平的调查，枣庄市环境天然γ辐射剂量率见下表。

表 6-1 枣庄市环境天然辐射水平（$\times10^{-8}$Gy/h）

监测内容	范　围	平均值	标准差
原 野	3.92～9.14	5.92	1.04
道 路	1.64～11.19	4.59	1.86
室 内	4.53～14.12	8.22	1.93
注：表中数据摘自《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》，山东省环境监测中心站，1989年。			

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目为使用III类放射源、II类射线装置及乙级非密封放射性物质工作场所。

根据《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围；放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。”相关规定，确定本项目评价范围为本项目放疗中心（医用电子直线加速器机房、后装机机房）、核医学工作场所（回旋加速器、PET、SPECT 诊断场所、^{131}I 治疗场所）、DSA 机房、ERCP 机房实体屏蔽墙体外 50m 区域。

本项目核技术利用类型为使用III类放射源、II类射线装置及乙级非密封放射性物质工作场所，因此本次评价范围为核医学工作场所、直线加速器机房、后装机机房、DSA 机房以及 ERCP 机房四周实体屏蔽墙体外 50m 的区域。项目评价范围详见附图 1-3。

7.2 保护目标

本项目各方向 50m 范围内为医院内部建筑和道路，无学校、居民区等环境敏感目标。本项目保护目标为评价范围内活动的职业人员和公众成员。其中，职业人员指利用本项目放射性药物、回旋加速器、直线加速器、后装机、DSA 及 ERCP 开展放射性药品制备、放射诊断、放射治疗工作的辐射工作人员，公众成员为本项目评价范围内的非本项目医护人员、其他就诊患者和陪护人员、被动与用药患者近距离接触的公众、保护目标处的公众人员及偶然经过的其他公众成员。本项目评价范围内保护目标详见下表。

表 7-1 项目评价范围内保护目标一览表

场所名称	位置描述	保护目标	环境特征	方位及距离	规模
核医学工作场所、加速器机房、后装机房、DSA 机房、ERCP 机房	直线加速器机房、控制室	职业人员	/	场所内、四周毗邻	7 人
	后装机机房、控制室	职业人员	/	场所内、四周毗邻	4 人

	回旋加速器机房、控制室、热室等	职业人员	/	场所内、四周毗邻	4 人
	放射性核素诊断场所	职业人员	/	场所内、四周毗邻	12 人
	放射性核素治疗场所	职业人员	/	场所内、四周毗邻	10 人
	DSA 机房、控制室	职业人员	/	场所内、四周毗邻	16 人
	ERCP 机房、控制室	职业人员	/	场所内、四周毗邻	4 人
门急诊医技综合楼	院内，四周	本项目评价范围内的非本项目医护人员、其他就诊患者和陪护人员、被动与用药患者近距离接触的公众、保护目标处的公众人员及偶然经过的其他公众成员	4F/1D，高度 22m	四周 0～50m 范围内	约 600 人
综合住院楼 1	院内，四周		13F/1D，高度 66.3m	四周 0～50m 范围内	约 600 人
综合住院楼 2	院内，四周		13F/1D，高度 66.3m	四周 0～50m 范围内	约 600 人
综合住院楼 3	院内，四周		13F/1D 高度 57.3m	四周 0～50m 范围内	约 600 人
特需住院楼	院内，四周		13F/1D 高度 57.3m	四周 0～50m 范围内	约 100 人
行政综合楼	院内，四周		3F/1D 高度 19.8m	四周 0～50m 范围内	约 150 人
制剂中心	院内，四周		3F 高度 213m	四周 0～50m 范围内	约 30 人

7.3 评价标准

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

1、人员年有效剂量

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录B规定：

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

a）由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；

b）任何一年中的有效剂量，50mSv；

c）眼晶体的年当量剂量，150mSv；

d）四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a）年有效剂量，1mSv；

b）特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

B1.2.2 慰问者及探视人员的剂量限值

B1.2.1 所规定的剂量限值不适用于患者的慰问者（例如：并非是他们的职责，明知会受到照射却自愿帮助护理、支持和探视慰问正在接受医学诊断和治疗的患者人员）。但是，应对患者的慰问者所受的照射加以约束，使他们在患者诊断或治疗期间所受的剂量不超过 5mSv。

依据照射剂量管理和潜在照射危险约束的防护要求，相关标准中又提出了年剂量管理目标值，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）照射剂量约束和潜在照射危险约束的防护要求，剂量约束值通常在公众照射剂量限值的 10%-30%的相关要求。

结合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定：一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5 mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a。

2、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 表 B11 所规定的限值要求。工作场所的表面污染控制水平如下表所列。

表 7-2　工作场所的放射性表面污染控制水平　　Bq/cm^2

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	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}

注：1）该区内的高污染子区除外

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）表 C1 的规定进行。非密封

源工作场所的分级应按下表将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-3 非密封源工作场所的分级

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

附录 C 提供的非密封源场所放射性核素日等效操作量计算方法计算公式如下：

$$日等效操作量=\frac{实际日操作量\times核素毒性组别修正因子}{操作方式与放射源状态修正因子}$$

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）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式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下表 7-4 和表 7-5。

表 7-4 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 7-5 操作方式与辐射源状态修正因子

操作方式	辐射源状态			
	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

4、待积有效剂量

B1. 3.4　除氨子体和氡子体外，表 B3 和 B6、表 B7 分别对职业照射和公众照射给出了食入和吸入单位摄入量所致的待积有效剂量 e（g）$_{j,\ ing}$和 e（g）$_{j,\ inh}$。利用下

列关系式，可以由相应的单位摄入量的待积有效剂量的值得到放射性核素 j 的年摄入量限值，$I_{j,L}$：

$$I_{j,L}=DL/e_j$$

式中：DL——相应的有效剂量的年剂量限值；

ej——表 B3 和 B6、B7 中给出的放射性核素 j 的单位摄入量所致的待积有效剂量的相应值。

7.3.2 核医学工作场所相关标准要求

1、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）

4.2 辐射工作场所分级

应按照 GB 18871 的规定，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。

附录 A 中表 A.2 给出了核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子。

表 7-6 核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子

活动类型	核素及状态	操作方式界定	作方式修正因子
发生器淋洗	母体（液态）	贮存	100
	子体（液态）	简单操作	1
医疗机构使用	^{18}F、^{99m}Tc（液态）	很简单操作	10
放射性药品生产	分装、标记（液体）	简单操作	1
核素治疗	^{131}I（液态）	简单操作	1

4.3 辐射工作场所分区

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

4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

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

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

4.4.2　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 5 mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a。

4.5　服药患者出院要求

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 400MBq 以下或距离患者体表 1 米处的周围剂量当量率不大于 25μSv/h 方可出院。

5.1　选址

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

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

5.1.3　核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2　布局

5.2.2　核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。

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

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1.5 **距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/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 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h。

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。

6.2　场所安全措施要求

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

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

6.2.9　扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

6.3　密闭和通风要求

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

6.3.3 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。

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

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

7　放射性废物的管理

7.1 一般要求

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

7.1.4 应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.1 固体放射性废物收集

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

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

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 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。

7.2.2 固体放射性废物贮存

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

7.2.3 固体放射性废物处理

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

a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

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

c）含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

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

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.2 放射性废液贮存

7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、

耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

7.3.2.2 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。

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

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

7.4 气态放射性废物的管理

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

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

根据附录 B，碘-131 患者出院时体内放射性活度应≤400MBq。

2、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）

一、关于槽式衰变池中含碘-131 放射性废水排放

含碘-131 放射性废水可按照下列任意一种方式进行排放：

（一）根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第 8.6.2 条规定，经监管部门确认单次排入普通下水道的废水中碘-131 活度不超过 1ALImin（9E+5 贝可），每月排放的废水中碘-131 总活度不超过 10ALImin(9E+6 贝可）。

（二）暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。

（三）暂存不满 180 天但监测结果表明碘-131 活度浓度已降至不高于 10 贝可/升水平，也可直接排放。

二、关于控制区剂量率

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021，以下称核医学标准）第 6.1.5 节规定，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。本条规定的具体含义为：

1.控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2），周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。

2.控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子＜1/2），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 10μSv/h。

5.3 关于独立通风要求

核医学标准第 6.3.4 节规定，手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管道在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。

3、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

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。

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。

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 20mSv，任何 1 年中的当量剂量不超过 50mSv；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 GBZ129 的要求进行内照射个人监测。

10.1.1 ^{131}I 治疗病房区应相对独立的场所，病房区入口应设缓冲区。患者住院后，只能在治疗区活动。

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，更换后的过滤装置按放射性固体废物处理。

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。

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，给药过程中应有监控。分装室应设置工作人员通过间，通过间应配备表面污染监测及剂量率监测仪表及清洗设施。

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。

10.1.8 病房中应配备对讲、监控等设施。

7.3.3 放射治疗相关标准要求

1、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GB 18871-2002 中剂量限值相关规定。

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

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

b）公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a。

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

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

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

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

6.1.3　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、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面 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，由以下周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）：

机房外辐射工作人员：$\dot{H}c \leq 100$μSv/周；

机房外非辐射工作人员：$\dot{H}c \leq 5$μSv/周。

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

人员居留因子 T＞1/2 的场所：$H_{c,max} \leq 2.5$μSv/h；

人员居留因子 T≤1/2 的场所：$H_{c,max} \leq 10$μSv/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 250μSv 加以控制。

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

第 6.2.1 款 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。

第 6.2.3 款 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。

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。

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

8.2.1 废旧放射源管理要求

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

8.2.2.1 质子/重离子加速器、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如

活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固态废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

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。

附录 A 表 A.1 给出了不同场所的居留因子，见下表：

表 7-7　　不同场所的居留因子

场所	居留因子（T）		示例
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	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
偶然停留	1/16	1/8-1/40	1/8：各治疗室房门； 1/20：公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室； 1/40：仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场，车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯。

2、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）

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

6.2.2 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。

第 7.1 款 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。

7.3.4《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）

6.1 X 射线设备机房布局

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

6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围

场所的人员防护与安全。

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

表 7-8　X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

机房类型	机房内最小有效使用面积 [d] m^2	机房内最小单边长度 [e] m
单管头 X 射线设备 [b]（含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5
[b] 单管头 、双管头或多管头 X 射线设备的每个管球各安装在 1 个房间内。 [d] 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。 [e] 机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。		

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

表 7-9　不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

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

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

c）具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25μSv/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。

参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对 X 射线设备工作场所防护的规定：

6.4　X 射线设备工作场所防护

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

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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

注意事项告知栏。

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

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-5 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

本项目放射学检查类型为介入放射学操作，需要配备的防护用品及防护设施需要满足下表的要求。

表 7-10 介入放射学操作个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	—
注 1：“—”表示不需要求。 注 2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防护手套。				

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

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

综上所述，各工作场所相关标准如下：

对于核医学工作场所，根据GB 18871-2002 和HJ 1188-2021，本次评价以 5.0mSv/a作为职业人员的年管理剂量约束值，以 0.1mSv/a作为公众成员的年管理剂量约束值；以GB18871-2002 规定的年有效剂量限值的 1/4，以 125mSv/a作为职业人员手部的年当量剂量约束值；以 5.0mSv/a作为慰问者在患者诊断期间所受到的管理剂量约束值。根据HJ1188-2021 及国家核安全局《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号），以 2.5μSv/h作为核医学工作场所各控制区内房间外表面

30cm考察点处的剂量率目标控制值；以 2.5μSv/h作为手套箱外表面 30cm处人员操作位的周围剂量当量率目标控制值。控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子＜1/2），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 10μSv/h。

对于放射治疗项目，根据GB 18871-2002 和HJ 1198-2021，本次评价以 5.0mSv/a作为职业人员的年管理剂量约束值，以 0.1mSv/a作为公众成员的年管理剂量约束值。根据HJ 1198-2021，加速器机房和后装机各屏蔽体外 30cm处的剂量率目标控制值。

对于DSA机房和ERCP机房，本次评价以GB18871-2002 规定的年有效剂量限值的 1/4，即以 5.0mSv/a作为职业人员的年管理剂量约束值，以 37.5mSv/a作为职业人员眼晶体的年当量剂量约束值，以 125mSv/a作为职业人员四肢的当量剂量约束值；以GB18871-2002 规定的年有效剂量限值的 1/10，即以 0.1mSv/a作为公众成员的年管理剂量约束值。根据GBZ130-2020 中 6.3.1 a)、b)，本次评价采用 2.5μSv/h作为DSA机房、ERCP机房各屏蔽体外 30cm处的剂量率目标控制值。

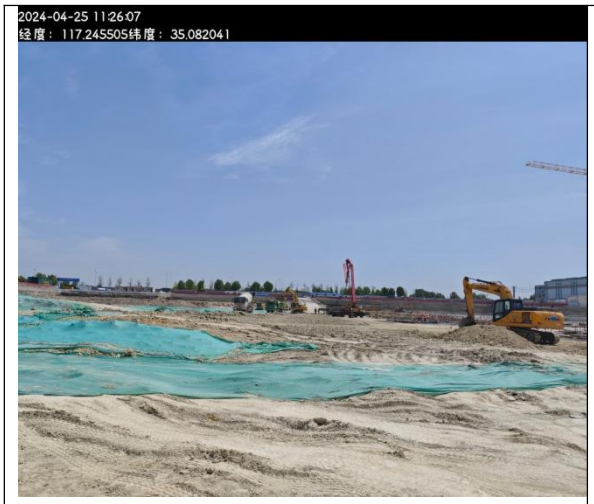
表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理及场所位置

滕州市中医医院（迁建）东侧为上善大道，南侧为兼爱路（规划），西侧为明德路（规划），北侧为荆河东路。

本项目拟建于滕州市中医医院地下室、门急诊医技综合楼 2 楼内镜中心和 4 楼介入中心。项目 50m 评价范围内主要为医院建筑、道路，无学校、养老院、居民区等环境敏感目标。

本项目四周 50m 范围环境情况见表 1-7，现场勘查照片见图 8-1。



项目拟建址东侧现状

项目拟建址南侧现状

项目拟建址西侧现状

项目拟建址北侧现状

项目拟建址中间现状

图 8-1　现场勘查照片

8.2 环境质量与辐射现状

为了解项目区域周围辐射环境现状，本次对本项目拟建区域及周围环境进行布点监测。

8.2.1 环境γ空气吸收剂量率监测方案

1.环境现状评价对象

项目拟建区域及周围辐射环境现状。

2.监测因子

环境γ辐射空气吸收剂量率。

3.监测点位

根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）等有关监测技术规范要求，于项目拟建区域及周围环境布设 5 个监测点位。监测点位示意图见图 8-2。

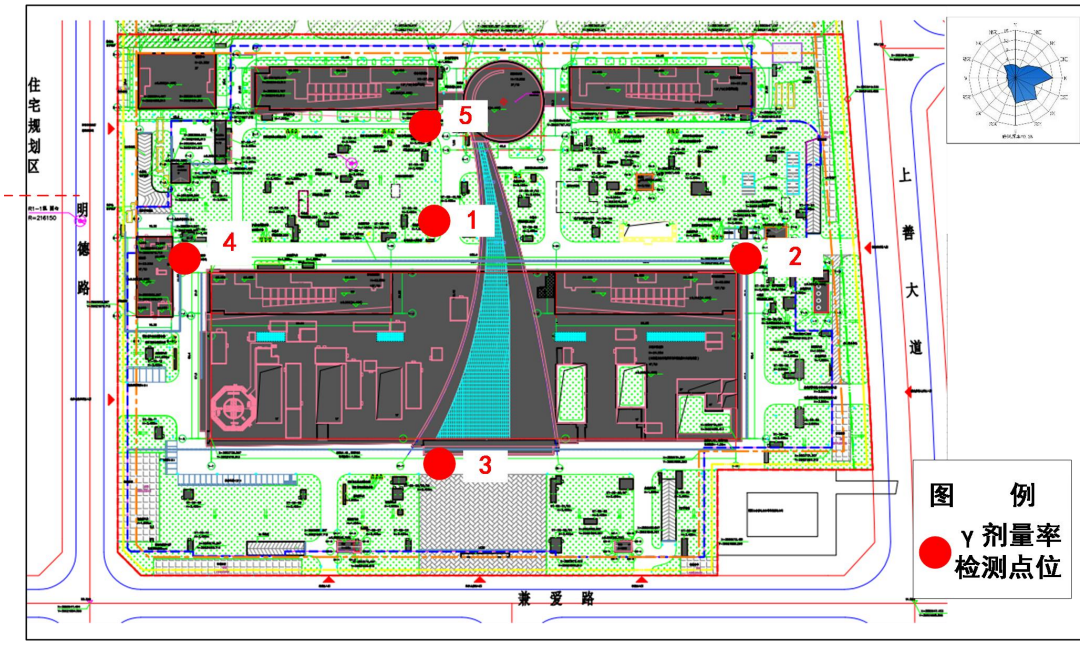


图 8-2　项目环境γ辐射剂量率现状监测点位示意图

4.质量保证措施

（1）监测单位

本次评价委托具备生态环境检测资质的山东丹波尔环境科技有限公司开展监测，具备监测本项目监测因子的能力。

（2）监测仪器

检测仪器名称：便携式 X-γ剂量率仪，仪器型号：FH40G+FHZ672E-10，内部编号：JC01-09-2013；系统主机测量范围：10nGy/h～1Gy/h，探测器测量范围：1nGy/h～100μGy/h；系统主机能量范围：36keV～1.3MeV；探测器能量范围：30keV～4.4 MeV；相对固有误差：-11.9%（相对于 ^{137}Cs 参考γ辐射源）；经山东省计量科学研究院检定校准合格，证书编号：Y16-20232972，检定有效期至 2024 年 12 月 19 日，校准因子：1.14。在有效期内。

（3）监测方法

依据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）的要求和方法进行现场测量。将仪器接通电源预热 15min 以上，仪器探头离地 1m，设置好测量程序，仪器自动读取 10 个数据，计算均值和标准偏差。

（4）其他保证措施

本次由两名监测人员共同进行现场监测，由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。监测时获取足够的数据量，以保证监测结果的统计学精度。建立完整的文件资料。仪器校准（测试）证书、监测布点图、测量原始数据、统计处理记录等全部保留，以备复查。监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、审核，最后由技术负责人审定。

5.监测时间与条件

2024 年 7 月 23 日，天气：晴，气温：25.1℃，相对湿度：42.3%。

6.监测结果

项目区域及周围环境γ辐射空气吸收剂量率监测结果见表 8-2。

表 8-1 项目区域及周围环境γ辐射空气吸收剂量率监测结果 单位：nGy/h

点位号	点位描述	监测结果	
		平均值	标准差
1	项目拟建址中间	48.2	0.79
2	项目拟建址东侧	53.2	1.30
3	项目拟建址南侧	60.4	0.96
4	项目拟建址西侧	59.5	0.96
5	项目拟建址北侧	60.2	0.91

注：1.上表中监测结果已扣除宇宙射线响应值（14.8nGy/h）；
2.上述点位均为室外点位；
3.宇宙射线响应值的屏蔽修正因子，原野及道路取 1.0，平房取 0.9，多层建筑物取 0.8。

7.环境现状调查结果评价

由表 8-1 的监测数据可知，项目拟建区域室外点位环境γ空气吸收剂量率为（48.2～60.4）nGy/h，处于枣庄市环境天然辐射水平范围内：道路（1.64～11.19）×10^{-8}Gy/h。

8.2.2 土壤中总β放射性监测方案

1.环境现状评价对象

拟建核医学工作场所下风向处的土壤。

2.分析项目

固体中总β放射性。

3.取样点位

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），并综合考虑项目所在地主导风

向，在项目东南侧（上风向）、西北侧（下风向）取土壤进行检测，土壤取样位置见图 8-3。

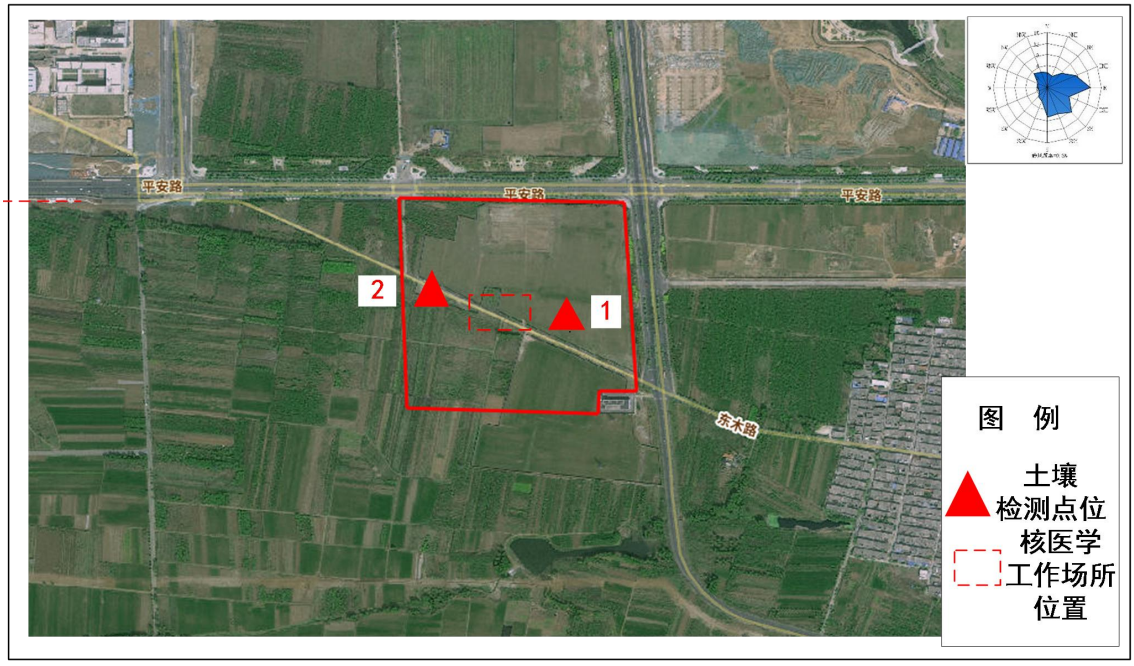


图 8-3　项目土壤放射性监测点位示意图

4.收样日期与检测条件

收样日期：2024 年 4 月 28 日

5.质量保证措施

（1）检测单位

核工业二三O研究所，其通过了计量认证，具备完整、有效的质量控制体系。

（2）检测仪器

仪器名称：低本底α、β计测量仪。

（3）检测依据

总α：参照 EJ/T 1075 -1998，参《水中总 α 放射性浓度的测定 厚源法）》

总β：参照 EJ/T 900 -1994，《水中总 β 放射性测定 蒸发法》

（4）其他保证措施

严格按照相关规范开展样品制备工作，实施制样小组自检、实验室内部检查和质控员监督检查三级质量检查。采取国家标准要求的分析方法开展实验室分析，确认所选分析测试方法的检出限、测定下限、精密度、准确度、线性范围等各项特性指标满足要求，并形成质量记录。实验室内部通过定量校准、精密度控制、准确度

控制、绘制准确度控制图、异常样品复检等保证检测数据的可靠性和准确性。建立完整的文件资料，各项记录全部保留，以备复查。检测报告严格实行三级审核制度，经过校对、审核，最后由技术负责人审定。

6.分析结果

核医学工作场所拟建位置下风向土壤中总β、总α放射性分析结果见表 8-3。

表 8-2 土壤中总β放射性分析结果　　单位：Bq/kg

序号	取样地点	总α	总β
1	核医学工作场所拟建址东南侧（上风向）	1067.4	863.8
2	核医学工作场所拟建址西北侧（下风向）	1085.1	1152.8

7.土壤中总β放射性分析结果评价

由表 8-2 检测数据可知，核医学工作场所拟建位置东南侧（上风向）土壤总α放射性检测结果为 1067.4Bq/kg，西北侧（下风向）土壤总α放射性检测结果为 1085.1Bq/kg；核医学工作场所拟建位置东南侧（上风向）土壤总β放射性检测结果为 863.8Bq/kg，西北侧（下风向）土壤总β放射性检测结果为 1152.8Bq/kg。参考《南水北调山东段沿线土壤的放射性水平》（邓大平等，中国辐射卫生 Dec 2006，Vol15，No 4）本项目周围土壤中放射性水平处于本底水平范围内。

表 9 施工期环境影响分析

9.1 施工期工程分析

本项目作为滕州市中医医院迁建项目组成部分，各机房及各辅助用房施工期的环境影响已纳入《滕州市中医医院迁建项目环境影响报告书》之中，滕州市中医医院新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置应用项目施工期主要包括放射诊疗工作场所、核医学工作场所、DSA 机房、ERCP 机房的防护工程、装修工程、设备安装等。施工期可能的污染因素主要为常规环境要素，主要为噪声、扬尘、废水、固体废物等。施工期工艺流程及产污环节见图 9-1。

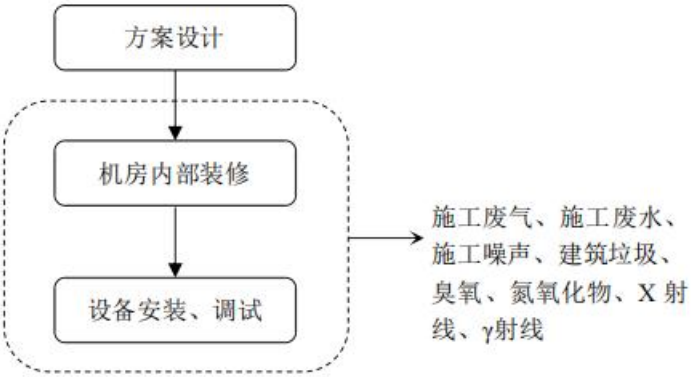


图 9-1　施工期工艺流程及产污环节图

9.2 施工期污染源项描述

1、噪声

施工期的噪声污染特点是随着施工阶段的不同，噪声源将发生明显的变化，噪声影响程度也有所不同。本项目施工过程在建筑内部施工，施工噪声对周边的环境影响较小。随着施工期的结束，施工噪声影响也将结束。

2、施工废气

施工期间对大气环境的影响主要表现为施工扬尘和装修过程中的有机气体污染。扬尘主要来源于：施工物料的堆放、装卸过程产生的扬尘；建筑物料的运输造成的道路扬尘；清除固废和清理工作面引起的扬尘。有机废气污染主要来源于装修期的涂料废气，室内装修时采用环保水性涂料，不会对大气环境产生明显影响。施工期的废气污染影响是暂时性的，随着施工作业结束，影响将随之消失。

3、废水

施工期废水主要为施工人员的生活污水。施工人员生活污水的主要污染物指标为CO

D、BOD_5、SS 和 NH_3-N。该项目施工现场产生的生活污水依托医院污水处理设施处理后接管市政污水管网，不会对周围环境产生影响。

4、固体废物

项目施工期固废主要有建筑施工及装修过程中产生的建筑垃圾、施工人员的生活垃圾。施工期建筑垃圾应优先回用，无法回收利用的可清运至城市建筑垃圾填埋场作无害化处置；施工期生活垃圾集中收集后，委托环卫部门进行安全处置。

5 、设备安装调试的污染分析

本项目射线装置和后装机的安装及调试由设备供货方专业人员进行，医院方不得自行安装及调试设备。安装调试阶段是在辐射防护设计完成后进行，在此过程中各屏蔽体屏蔽到位，调试人员严格按照操作规程进行调试，关闭防护门，在机房门外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近，对周围环境影响较小。

设备安装调试过程中会产生噪声、废包装废物及电离辐射。

9.3 施工期环境影响分析

本项目建设阶段施工工程量小、施工工艺简单、施工周期短，且施工期产生的少量废水和固体废物均可依托医院拟设置的处理措施进行处理，只要建设单位和施工单位在施工过程中严格落实对施工噪声和建筑垃圾的管理和控制措施，施工期的环境影响能降到最低程度。同时由于施工期对环境产生的影响均为暂时的、可逆的，随着施工期的结束，影响即自行消除。

为降低本项目施工期的环境影响，建设单位和施工单位需落实以下措施：

（1）施工过程选用低噪声设备，合理安排施工时间，夜间禁止高噪声设备施工；

（2）施工过程中产生的废弃物（例如废材料、废纸张、废包装材料及塑料薄膜等），每天由施工单位统一进行处理运送至垃圾处理站，日产日清；

（3）施工过程中产生的建筑垃圾（废弃混凝土、砖块、砂石等），应优先回收利用，如用做其他工程回填，铺设道路，剩余少量建筑垃圾可清运至城市建筑垃圾填埋场作无害化处置。

（4）施工工人生活污水经化粪池预处理后经市政污水管道排入污水处理厂，因此施工人员的生活污水对地表水环境影响较小。

（5）施工工地内作业区、材料堆放场地、车行道路应当进行硬化等防尘处理；

（6）施工期间，做到“六个百分比”，降低扬尘影响。

（7）本项目射线装置和后装机的安装及调试由设备供货方专业人员进行，医院方不得自行安装及调试设备。安装调试阶段是在辐射防护设计完成后进行，在此过程中各屏蔽体屏蔽到位，调试人员严格按照操作规程进行调试，关闭防护门，在机房门外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近，对周围环境影响较小。

因此，本项目施工期达到以上作业基本要求，可以将施工期对其所产生的环境影响降至最低程度，施工结束后，项目施工期的环境影响随之消除。

表 10 放射诊疗项目环境影响评价

运营期工程分析及污染源分析

10.1 项目工程分析与源项

10.1.1、医用电子直线加速器：

1、工作原理和设备组成

医用电子直线加速器作为体外照射的一种医疗设备，利用其特定装置产生的高能 X 射线，对人体有恶性肿瘤的部位进行照射，（在照射治疗前，应用计算机立体定位系统的图像三维重建和剂量分布重建）使得肿瘤组织受到不可逆损毁，不断减少肿瘤细胞，同时肿瘤周围正常结构得到最大限度的保护，达到治疗肿瘤疾病的目的。

医用电子直线加速器是实现放疗的最常见设备之一，它是利用具有一定能量的高能电子与大功率微波的微波电场相互作用，从而获得更高的能量。这时电子的速度增加不大，主要是质量不断变大。电子直接引出，可作电子线治疗，电子打击重金属靶，产生韧致辐射发射 X 射线，作 X 线治疗。医用电子直线加速器有两种治疗模式：①电子束治疗模式，当直线加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗病人，电子线到达预定部位后能量迅速下降，因而能大大减少射线对病变后面正常组织的危害，特别适于体表或靠近体表的各种肿瘤，例如，采用电子线治疗乳腺癌，肺部及心脏；②X 线治疗模式，电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。

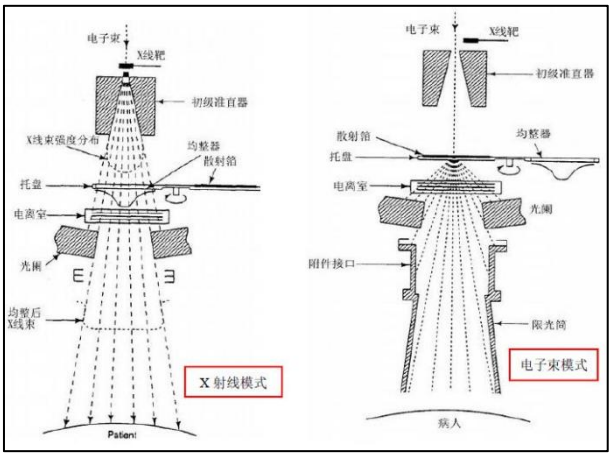


图 10.1-1　X 射线和电子束治疗模式结构示意图

医用电子直线加速器至少要包括，一个加速场所（加速管），一个大功率微波源和

波导系统，控制系统，射线均整和防护系统。医用直线加速器按照微波传输的特点分为行波和驻波两类，其基本结构和系统包括电子枪、微波功率源（磁控管或者速调管）、波导管（隔离器、RF（射频微波源）监测器、移相器、RF 吸收负载、RF 窗等）、DC 直流电源（射频发生器、脉冲调制器、电子枪发射延时电路等）、真空系统（真空泵）、伺服系统（聚焦线圈、对中线圈）、偏转系统（偏转室、偏转磁铁）、剂量监测系统、均整系统、射野形成系统等，分别安装于治疗头、固定机架、旋转机架、治疗床、控制台等处。医用电子直线加速器系统内外部结构示意图见图 10.1-2、图 10.1-3。

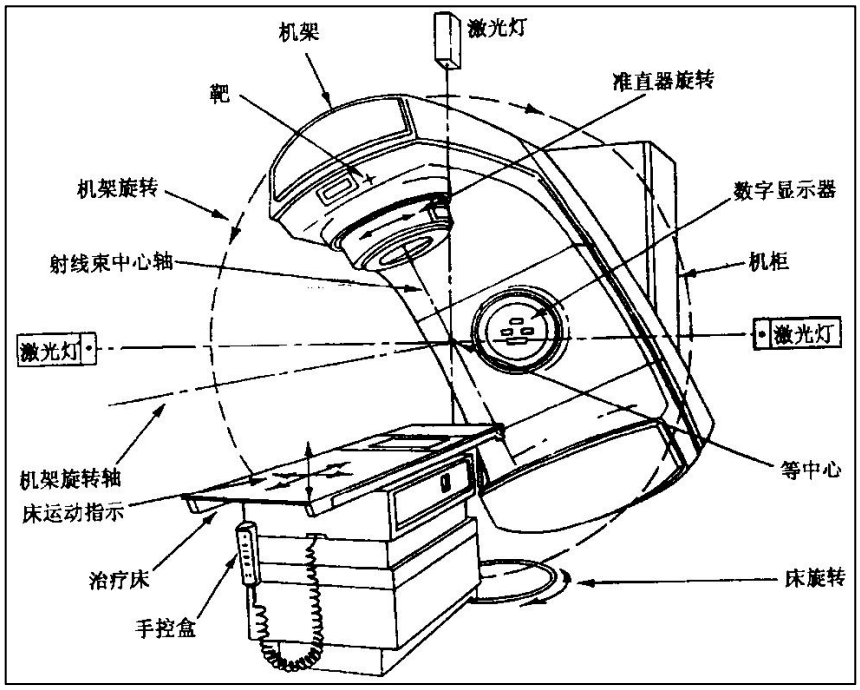


图 10.1-2 医用电子直线加速器基本结构示意图

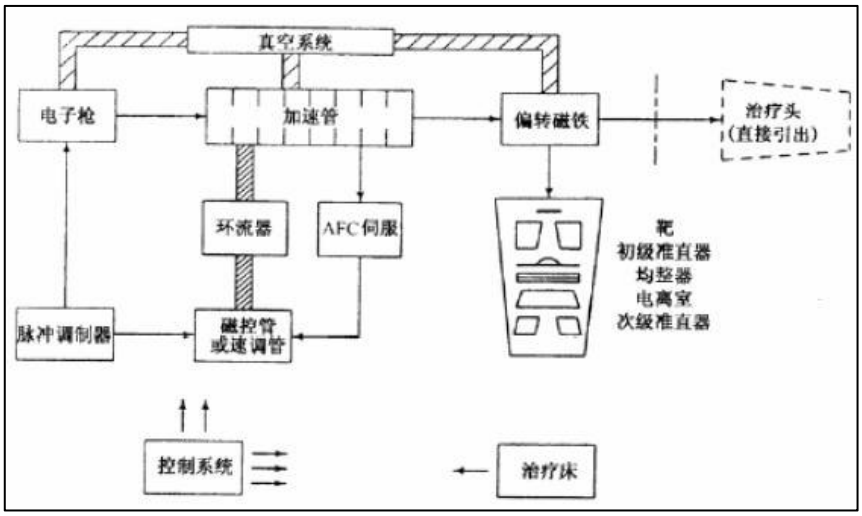


图 10.1-3　典型医用电子直线加速器机内部结构示意图

2、技术参数

由于项目尚处于设计阶段，拟安装使用的直线加速器的具体品牌与型号未定，医院参考同类医院同类设备的使用情况，确定本项目的直线加速器参数：X 线最大能量 15MV，电子线最大能量 20MeV，X 射线等中心 1m 处均为剂量率为 600cGy/min；含有 FFF 高剂量率治疗模式，6MVFFF 模式下最大剂量率为 1400cGy/min，10MVFFF 模式下最大剂量率为 2400cGy/min。直线加速器的主要技术参数见表 10.1-1，常见医用电子直线加速器外观见图 10.1-4。

表 10.1-1 本项目直线加速器技术参数一览表

参数名称	参数值
型号	待定
意向厂家	待定
加速粒子	电子
X 射线能量	X 射线能量：6MV、10MV、15MV 三档
电子线最大能量	6~22MeV 可选五档
射线最大出射角	28°（等中心点每侧 14°）
源轴距 SAD	1000mm
等中心点至机房地坪高度	1240mm
距靶 1m 处最高剂量率	X 线：常规：6MV、10MV、15MV 均为 600cGy·m^2/min； FFF 束流模式：6MV：1400cGy·m^2/min；10MV：2400cGy·m^2/min。 电子线：600cGy·m^2/min。
X 射线泄漏率	在所有的方向上，距离电子加速路径 1m 处的 X 线吸收剂量，将不超过等中心处吸收剂量的 0.1%
最大照射野尺寸	40cm×40cm
机架旋转	±180°
靶材料	钨钢合金

注：上述参数参考医科达 Infinity、瓦里安 vital beam、联影 uRT-linac 506c、沈阳东软 NMSR600 等。

图 10.1-4　常见医用电子直线加速器外观图

3、工作流程及产污环节

医用电子直线加速器放射治疗流程如下：

a、登记候诊：对放疗患者进行登记、候诊。

b、模拟定位：使用模拟定位机（放疗中心北侧机房）对患者肿瘤进行定位检查。

c、制定治疗计划：根据患者瘤体的类型、部位和大小等初步确定照射剂量和照射时间，并进一步制定相应的治疗计划。

d、摆位准备：摆位前认真查对病人信息、照射条件及摆位要求，调整治疗床高度，严格按照摆位要求实施摆位；摆位结束，摆位人员等非患者均离开机房，关闭防护门。

e、实施照射：根据放疗计划，运用医用电子加速器技术实施精确照射。

f、照射结束：病人离开加速器机房，摆位人员 3min 后进行下一个患者摆位。

医用电子直线加速器放射治疗工作一般流程及产污环节见图 10.1-5。

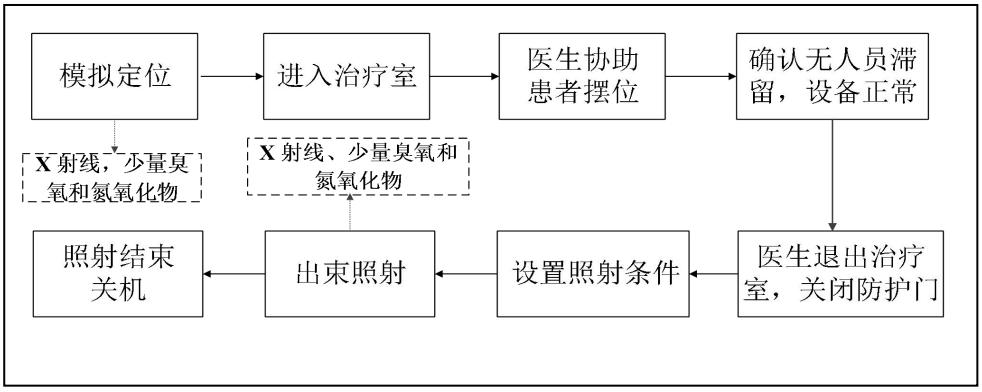


图 10.1-5　医用电子直线加速器放疗工作流程及产污环节示意图

（2）工作人员与工作负荷

医院拟为放疗中心直线加速器项目新配置辐射工作人员 5 人，其中医师 2 名、技师 2 名、物理师 1 名，该 5 名工作人员需参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台网上培训，经考核合格后方可上岗。医院为工作人员配发 5 支个人剂量计（每人 1 支、委托个人剂量检测后由检测单位配发）、个人剂量报警仪 2 部，新配备 1 台便携式辐射监测仪（全院除核医学工作场所外，其他场所共用），并委托有资质的单位定期对个人剂量进行检测。

工作负荷：根据医院提供的资料，常见癌症治疗最大照射总剂量为 60Gy（分 20-30 次照射，单次治疗剂量约为 2Gy）；本项目投运后，加速器预计年最大治疗人数为 2500 人，加速器照射保守按照 600cGy·m^2/min 剂量率计算，每个病人总治疗照射时间约为 10min，辐射工作人员于医用电子加速器机房内对患者进行摆位等操作最长时间为 2min/例，则加速器年累计放射治疗时间最长约为 417h、年累计进行摆位等操作时间最长约为 84h。年工作时间为 250 天。

4、污染源项描述

辐射污染因子分析：

（1）X 射线及高能电子束

本项目医用电子加速器电子枪产生的电子最高能量为 20MeV，电子经过加速后，受到金属靶的阻止而产生韧致辐射 X 射线，由于 X 射线的贯穿能力极强，对周围环境可能造成辐射污染，但运行时产生的 X 射线随加速器的开、关而产生和消失。加速器在运行时产生的高能电子束，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。因此在加速器开机的时间内，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。

（2）中子和中子俘获γ射线

当医用电子加速器的 X 射线能量高于 10MV 时，高能光子会与 X 射线靶、一级准直器、X 射线均整器和治疗准直器多种高原子序数的材料如铅、钨等发生（γ，n）光核反应，生成中子。根据 HJ 1198-2021 第 6.1.2 款，大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

（3）感生放射性

根据《辐射防护手册 辐射源与屏蔽》（第一分册）可知，绝大多数天然核素的

反应阈能在 10MeV 以上，当加速器发出的射线能量达到或超过空气中某些核素的（γ, n）的反应阈能时，与空气中的 C、O、N、Ar 等相互作用，可诱发感生放射性核素 ^{11}C、^{13}N、^{15}O 和 ^{41}Ar，半衰期分别为 10min、2.1min、20.5min、1.83h，放射性气体产额很低，半衰期较短，经通风系统有效通风，不再考虑感生放射性气体排放的影响。仅关注感生放射性对摆位人员的影响。

（4）放射性废水

本项目医用电子加速器运行过程循环冷却水使用蒸馏水/去离子水，循环使用，不外排。在加速器运行期间，冷却水尤其是靶部分水被活化而含有放射性核素主要为 ^{15}O、 ^{16}N，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，只需放置较短的时间，其活度就可衰减到可忽略的水平。

（5）放射性固体废物

15MV 直线加速器使用数年更换一次的被活化的加速器感生放射性废靶。活化后的准直器、束流阻止器及加速器靶等在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理。

非辐射污染源

（1）废气

放射诊疗过程中发射的 X 射线会使机房内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物，它们是具有刺激性作用的非放射性有害气体，对有害气体的防护主要通过通风换气进行。通风次数应达到不小于每小时 4 次，可保持相应加速器机房内良好通风；同时每次放射治疗结束后，适当延长辐射工作人员再次进入机房时间，缩短摆位时间，注意与机头等易于产生感生放射性的部位保持适当距离；此外定期对加速器机房内的辐射剂量进行监测，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》GBZ126-2011）的要求。

（2）废水

直线加速器运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为病人和医生产生的生活污水。

（3）固体废物

工作人员在工作过程中会产生一定量的生活垃圾。

10.1.2 后装机：

1、工作原理和设备组成

后装机是将放射源施用器放置于人体管腔内瘤体表面，利用 1 枚 ^{192}Ir 放射源发出的γ射线束，通过计算机控制系统，使放射源直接在瘤体表面或瘤体内进行放疗，使肿瘤组织受到不可逆损毁，从而达到肿瘤治疗的目的。后装治疗机可通过腔内、管内、鼻咽、支气管、前列腺、胸部等体内肿瘤和皮肤浅表肿瘤进行近距离放射治疗。整机由后装机及控制操作软件和放疗计划系统软件构成，可由治疗计划系统给出治疗方案，也可由医生对病变部位和体内器官的剂量要求，通过人机对话的方式输入各通道的驻留点位置及各点的驻留时间，从而精确的控制照射剂量，把对相邻正常组织的影响限制到最低水平，得到最佳的治疗效果。

后装机由储源器、施源器、通道和控制台组成。储源器是可容纳一个或多个放射源的容器，当放射源不工作时可提供电离辐射的防护。施源器是将放射源送入预定位置的部件，自带屏蔽防护；通道是在后装机中专供密封放射源或其组件在其运动的轨迹，此管道与储源器和施源器相连接，拟购后装机为单源多通道后装机。

a 储源器

可容纳放射源的容器，当放射源不工作时，它可提供电离辐射的防护。由外而内分别为不锈钢外壳、铅防护、钨合金防护，防护性能良好。

b 施源器

它是将一个或多个放射源送入预定位置的部件，自带屏蔽防护。施源器的形状、结构设计以及材料选择应适应靶区的解剖特点，保证放射源在其中正常驻留或运动，并按照剂量学原则，形成各种预定的剂量分布，最大限度地防护邻近正常组织和器官。

c 通道

专供密封放射源或其组件在其中运动的轨道，此管道与储源器和施源器相连接，其接头衔接严密、牢固，防止放射源冲出或脱落。管道应尽量平滑，具有可允许的最小曲率半径，以保证放射源传输畅通无阻。

d 控制台

后装机的控制系统能准确地控制照射条件，可显示放射源的启动、传输、驻留及返回工作储源器的源位，还能显示治疗日期、通道、照射总时间及时间倒计数。控制系统设有安全锁等多重保护和联锁装置，防止意外情况下对患者的误照射。

典型后装机外观示意图见图 10.1-6.1，施源器示意图见图 10.1-6.2，储源器结构见图 10.1-6.3。

图 10.1-6.1 典型后装机外观示意图

图 10.1-6.2 后装机施源器示意图

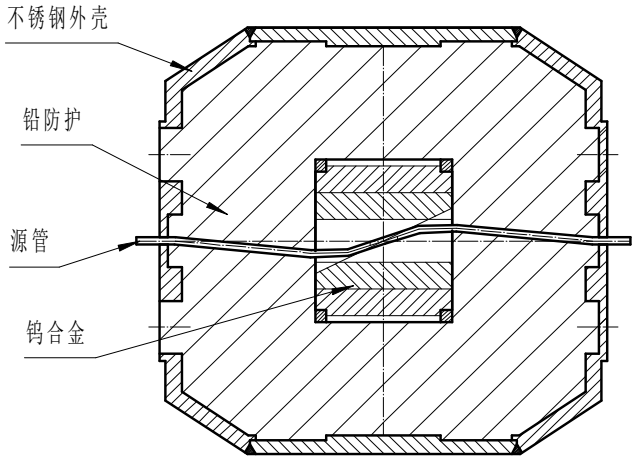


图 10.1-6.3 储源器结构示意图

2、技术参数

医院调研多家后装机供应商后确定使用放射源 ^{192}Ir 进行照射治疗，初装源活度为 $3.7\times10^{11}Bq$（10Ci），主要用于腔内、组织间等放射治疗。该 ^{192}Ir 放射源属于III类放射源。主要设备技术参数见表 10.1-2，^{192}Ir 放射源特性见表 10.1-3，衰变纲图见图 10.1-7。

表 10.1-2 本项目后装机技术参数一览表

核素	活度（Bq）	γ射线能量均值	空气比释动能率常数 Kr	等中心距地面高度	最大照射野	每天治疗人次	每人次照射时间
^{192}Ir	3.7×10^{11}	0.37MeV	0.111μSv/(h.MBq)	0.8m	20×20cm	20 人次	10min

注：参数参考医科达Flexitron HDR、瓦里安GammaMedplus iX、新华 XHDR30、天津荣力 RL-HZJ18 等。

表 10.1-3 ^{192}Ir 放射性核素特性

核素名称	半衰期	衰变类型及分支比（%）	主要α、β辐射能量（keV）与绝对强度（%）	主要γ、X 射线能量（keV）与绝对强度（%）	空气比释动能率常数（Gy·m^2·Bq^{-1}·h^{-1}）
^{192}Ir	74.02d	β$^-$（95.13） ε（4.87）	538.3（41.43） 675.1（48.0）25 8.7（5.6）	316.5（82.75） 468.1（47.81） 308.5（29.68） 296.0（28.72） 604.4（8.2）	1.11E-13

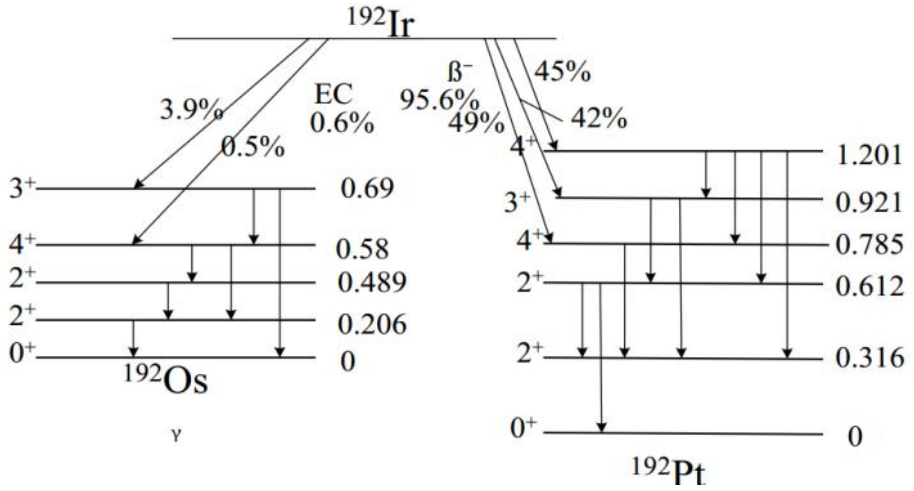


图 10.1-7 ^{192}Ir 衰变纲图

3、工作流程及产污环节

后装治疗工作的基本流程为：

后装机近距离治疗工作流程如下：

①在准备间内，辐射工作人员对病人进行消毒，然后安装施源器。②使用模拟定位机对施源器安装位置进行定位，获取定位影像并传至治疗计划系统，医师和物理师在物理室制定治疗计划。定位完成后，病人在准备间等待治疗。

③将病人移至后装机机房内，调整后装机，接好后装机施源管后，工作人员离开后装机治疗室，关闭防护门，通过视频监控装置观察后装机治疗室。

④技师操作后装机控制电脑，打开病人治疗计划，在计算机的控制下，首先由假源进行探路，如果输源软管和施源器通道无阻力，假源退回，随后真源从储源罐出来，

按照治疗计划的各驻留点时间要求逐点停留，直至完成治疗后真源退回到贮源器内。

⑤工作人员打开防护门，进入治疗室，拆除施源管，将病人移出后装治疗室：在准备室取出施源器。

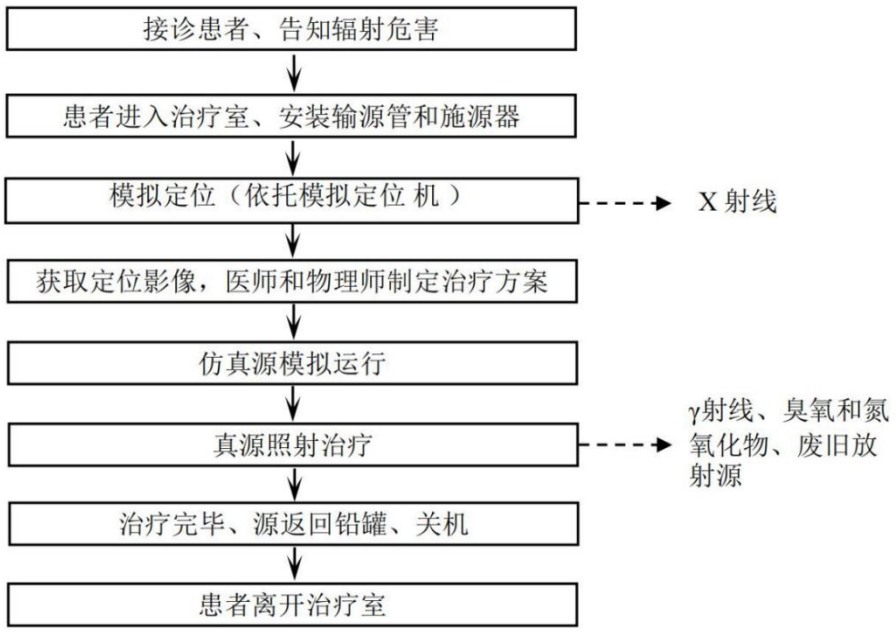


图 10.1-8 本项目后装治疗机工作流程及产污环节示意图

4、后装机换源操作

本项目后装机初装源/换源均由持有辐射安全许可证并具有相应资质的单位负责，医院仅负责日常安全使用及管理。根据放射源出厂活度，本项目后装机每四个月需要更换一次放射源。废旧放射源由供源单位回收处理，不在医院暂存。后装机换源时医院需制定周密的计划，并报相关部门备案。

换源流程具体如下：先由有资质单位的通过辐射安全考核的专业技术人员将专用的贮源器（专用贮源器的屏蔽能力与后装机未出源时的屏蔽能力基本一致）与后装机输源管连接，然后退出机房，关闭防护门，通过电脑控制其出源，源进入专用的贮源器后，待回收；然后换源工作人员将含有新源的专用贮源器上一根长约 1m 的钢丝连接到后装机（钢丝的另一端即为新源），然后退出机房，关闭防护门，通过电脑控制将钢丝连同新源一起进入后装机，完成一次换源工作，废源由供源单位回收处理，不在医院内暂存。

（2）工作人员与工作负荷

医院拟为放疗中心后装机项目新配置辐射工作人员 4 人，其中医师 2 名、技师 1

名、物理师 1 名，该 4 名工作人员需参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台网上培训，经考核合格后方可上岗。医院为工作人员配发 4 支个人剂量计（每人 1 支）、个人剂量报警仪 2 部，新配备 1 台便携式辐射监测仪（全院除核医学工作场所外，其他场所共用），并委托有资质的单位定期对个人剂量进行检测。

工作负荷：根据医院提供的资料，本项目后装治疗机平均每天治疗 20 人，每周工作 5 天，每名患者治疗照射时间不超过 6~10min，则周治疗出束时间不超过 16.67h，年治疗出束时间不超过 833h。

5、污染源项目

（1）辐射污染因子分析：γ射线、β射线

本项目后装机所使用的放射源为 ^{192}Ir，常温下为固态金属，半衰期为 74.0 天。^{192}Ir 衰变时会发射出β射线和γ射线，其中β射线穿透力很弱（在钢中的射程约为 0.3mm），能被源罐完全屏蔽，再加上墙体屏蔽，β射线不能释放到环境中；γ射线能量均值为 0.37MeV，具有很强的贯穿能力，部分γ射线能穿透屏蔽材料对治疗室外周围环境造成辐射影响。

（2）废气

后装治疗机 ^{192}Ir 产生的γ射线与空气作用可产生少量臭氧（O_3）和氮氧化物（NO、NO_2）。根据机房设计方案，后装机房设计有通风系统，可明显降低非放射性有害气体的浓度，减轻其对工作场所的环境污染。

3、废水

本项目后装机治疗过程中不产生医疗废水，产生的废水主要为病人和医生产生的生活污水。

4、固体废物：

本项目后装机运营时产生的固废主要为医疗过程中产生的医疗废物、生活垃圾和放射性废源。

5、废旧 ^{192}Ir 放射源

本项目 ^{192}Ir 放射源退役会产生退役放射源。^{192}Ir 放射源的半衰期为 74 天，当其衰变至其活度不能满足放射治疗需要时，将更换放射源，从而产生退役的放射源，可能会对周围环境产生一定的危害。一般放射源衰变至 1.1×10^{11}Bq（2.95Ci）左右不再使用，约 4 个月产生 1 枚废旧放射源，一年约产生 3 枚废旧放射源。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中废旧放射源管理要求，“废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方”。本项目退役放射源由供源单位回收处理，不在医院内暂存。

10.2 辐射安全与防护

10.2.1 医用电子直线加速器

1、工作场所布局及分区

（1）选址及平面布局合理性分析

医用电子直线加速器机房位于地下室负 1 层放疗中心，加速器的治疗室和控制室等辅助用房分离布置，主束照射方向为南侧和北侧，控制室布置于机房东侧，不在主射照射方向。直线加速器机房内包含迷路的整个内部面积约为 124m^2，不含迷路的内空最大矩形面积约为 63.8m^2（8.86m×7.2m）；机房设置的迷路为“L”型迷路，迷路入口设置防护门。加速器机房和后装机、核医学科等集中建设，下方为土壤层，上方为绿化带，不属于设置在民居、写字楼和商住两用建筑物内；区域相对独立，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域和其他人员流动性大的商业活动区域。放射诊疗中心平面布置见附图 10-1。

该加速器机房布局符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中关于放射治疗场所选址与布局的规定，布局合理。本项目机房平面布置见图 10.2-1。

（2）工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021），应把放射治疗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。

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目拟将医用电子直线加速器机房的治疗室和迷道作为控制区，严格控制人员进出，并在治疗室入口处设置电离辐射警告标志；拟将与机房相邻的控制室、水冷机房、空调机房等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划为监督区，并在控制区边界设置电离辐射警告标志。本项目辐射防护分区的划分符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中关于放射治疗工作场所的分区规定要求。本项目工作场所分区见图 10.2-1。

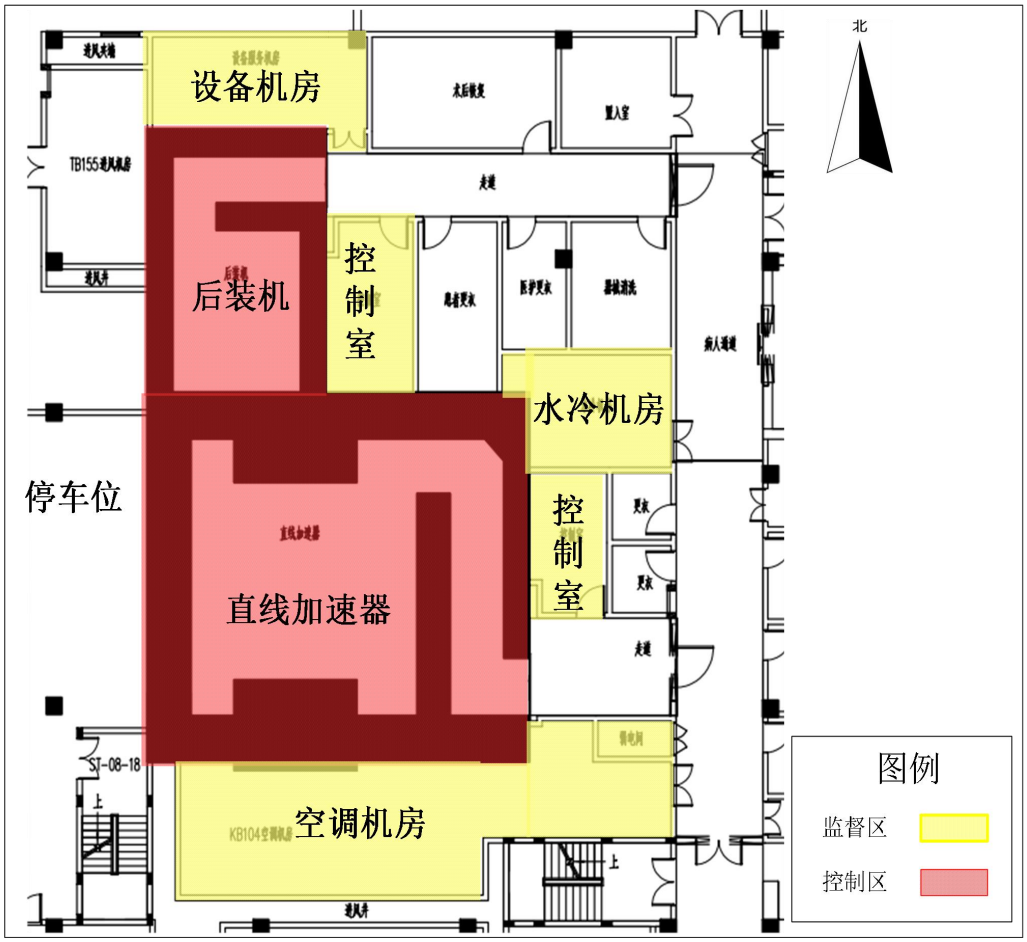


图 10.2-1　本项目直线加速器、后装机项目平面布置、工作场所分区图

2、辐射防护屏蔽设计

（1）加速器机房屏蔽墙设计

本项目加速器机房治疗室主体内径尺寸（南北长×东西宽×净高）为 12.26m×10.1m×4.0m，总有效使用面积（含迷路）约 100.8m ^{2}，总净容积（含迷路）约 403.2m ^{3}。迷路内墙长 8.1m，迷路宽 2.1m，迷路内口宽 2.0m，迷路外口宽 2.1m。加速器坐西向东安装，加速器治疗头可实现南北方向±180°旋转，主射束可照射上、下、南、北四个方向。

本项目放射治疗机房采用混凝土浇筑结构，迷道入口设铅防护门。机房具体屏蔽设计参数见表 10.2-1，屏蔽设计图见图 10.2-2.1、图 10.2-2.2。

表 10.2-1　加速器机房屏蔽设计参数

屏蔽防护设计		屏蔽设计（厚度及材质）
东墙	迷路内墙	130cm 砼
	迷路外墙	100cm 砼
西墙	侧屏蔽区	170cm 砼

南墙	主屏蔽区	330cm 砼（宽度为 480cm）
	次屏蔽区	170cm 砼
北墙	主屏蔽区	330cm 砼（宽度为 480cm）
	次屏蔽区	170cm 砼
屋顶	主屏蔽区	330cm 砼（宽度为 480cm）+50cm 土层
	次屏蔽区	170cm 砼+110cm 土层
防护门		内含 16mm 铅板+150mm 含硼聚乙烯

注：混凝土密度为 2.35g/cm^3，铅板密度为 11.3g/cm^3。

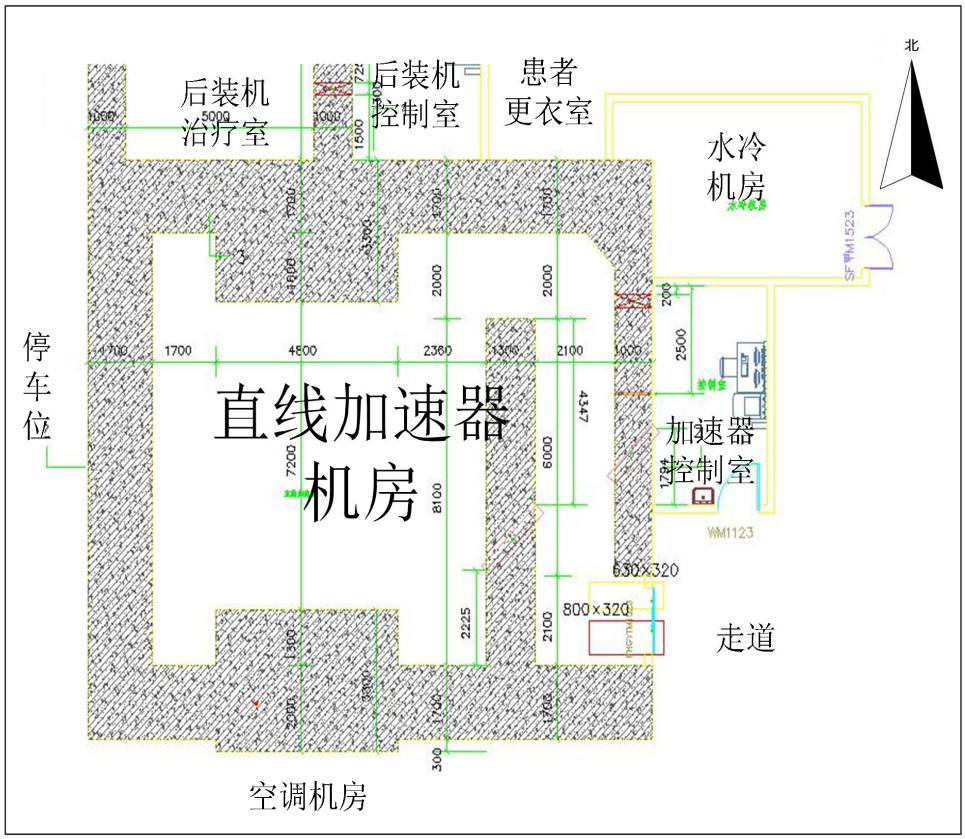


图 10.2-2.1　放射治疗机房屏蔽设计图（平面图）

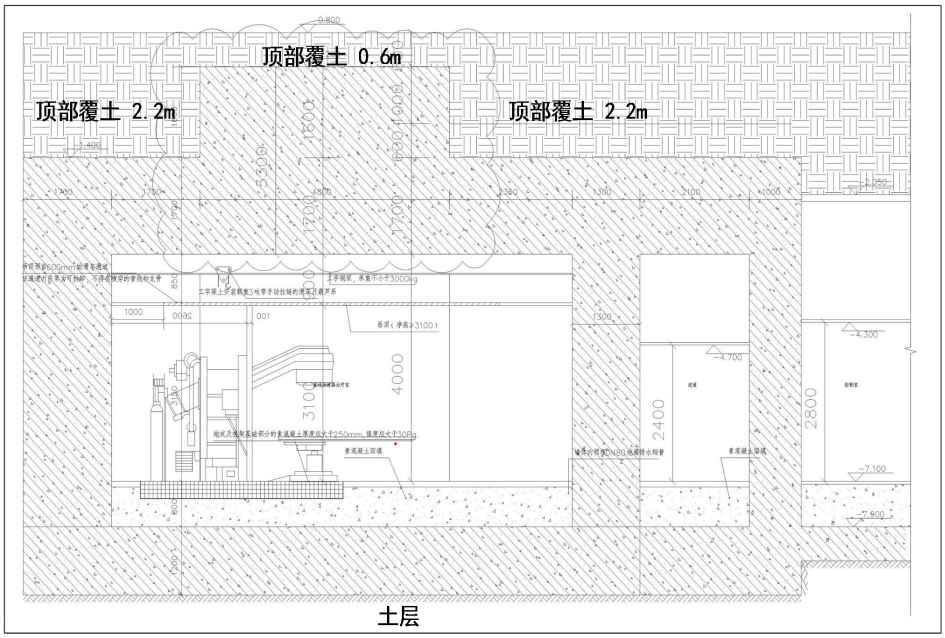


图 10.2-2.2　加速器机房屏蔽设计图（剖面图）

（2）风管、线缆穿墙设计

根据设计单位提供的项目通风设计图纸，医用电子直线加速器机房与各辅助用房共用送风系统，并设置独立的排风系统。通风管道从加速器机房迷道防护门上方以“Z”型风管穿越，电缆管沟从机房东北侧迷道外墙以“U”型穿越进入控制室。

本项目送风、排风管道以及线缆分别以“U”型、“Z”型穿越加速器机房墙体，并且穿越点位置不在加速器主束照射范围内，设计较为合理，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中对管线穿越屏蔽体时要求。

直线加速器机房管线穿墙垂向布置详见下图。

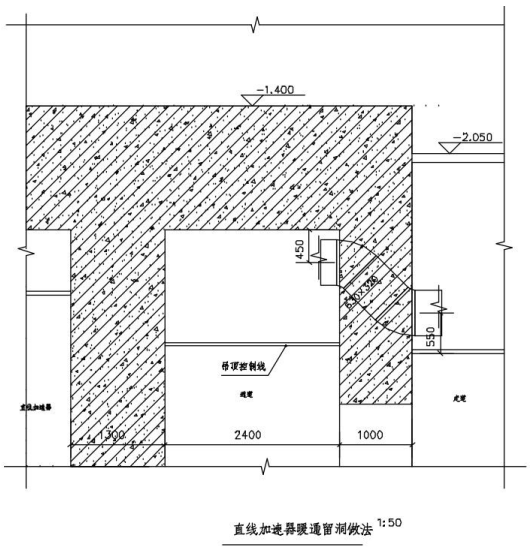


图 10.2-3　机房通风管线穿墙节点示意图

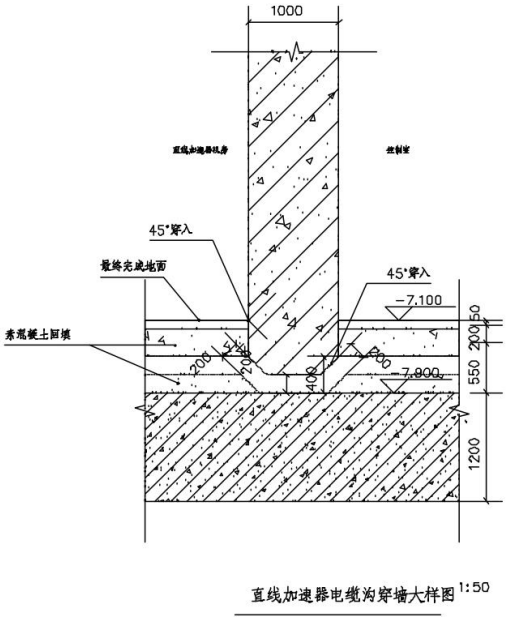


图 10.2-4　机房电缆沟穿墙节点示意图

（3）防护门搭接设计

机房防护门设计制作时，除要考虑足够的防护厚度外，拟考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。根据经验，建议门与墙之间的间隙小于 1cm，门四周与墙体及地槽的重叠宽度拟大于门缝的 10 倍。

防护门：加速器治疗室迷道外口拟设防护门 1 个，铅钢结构、防护能力为 16mm Pb+150mm 含硼聚乙烯。防护门高 2.5m、宽 2.4m，门洞高 2.3m，宽 2.1m，与门洞上下接量均为 10cm，左右搭接量均为 15cm，搭接处缝隙不大于 0.5cm，搭接宽度与缝隙比例均在 10:1 之上，可满足防护要求。

（4）空间、通风设计

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），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。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。

根据建设单位提供资料，直线加速器治疗室内包含迷路的整个内部面积约为 100.8m^2，不含迷路的内空最大矩形面积为 66.5m^2（8.86m×7.5m），机房内的面积可以满足本项目的使用需要。《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）“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”要求。

直线加速器机房、后装机房、模拟定位机房共用一套排风系统。直线加速器机

房安装新风口共 4 个，分别设在机房南侧上部，排风口共 3 个，分别设在治疗机房北侧下部，距地面 0.3m。直线加速器机房体积约 403.2m^3，后装机机房体积约 225m^3，模拟定位机机房体积约 187.2m^3，该排风系统机房总体积 863.2m^3。该排风系统排风风机风量 8000m^3/h，考虑排风系统的有效效率，按 75%进行保守估算，则机房每小时通风次数均可达 7.4 次，满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021）中通风换气次数应不小于 4 次 h 的要求，可保持相应加速器机房内良好通风。

根据建设单位提供设计资料，直线加速器机房治疗区设置 4 个进风口和 3 个排风口，其中进风管道口位于机房室顶南侧，排风口位于治疗区北侧距地面 0.3m 处。进、排风管道均以“Z”型穿迷路入口防护门上方屏蔽墙；排风管道引至放疗中心地下室放疗中心北侧预留风井，室外排风口末端设置在放疗中心上部北侧外 5 米处，距地 0.5m，该区域周边为放疗中心空地，非人流密集区域。进风、排风口设置满足 GBZ121-2020“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”要求。

加速器机房、后装机房进风系统设计见附图 10-2，排风系统设计图见附图 10-3。

3、辐射安全设施和措施

为保障医用电子直线加速器安全运行，避免在开机期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，根据国家相关标准要求，本项目拟配备相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

（1）联锁装置：加速器机房安装门机联锁装置、红外线防挤压装置：在防护门未完全关闭时射线装置不能出束照射，在射线装置出束状态下意外开门即停止出束；门关上时方可出束，出束期间开门则自动停止出束，必须重新设置才可继续出束。防护门设置红外线防挤压装置，防护门内侧和外侧均设置手动开门装置。医院应定期对安全联锁系统等安全设施进行检查。

（2）电离辐射警告标志和工作状态指示灯：放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；放射治疗工作场所在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯与加速器联锁，防止无关人员逗留和误入。

（3）急停开关：为保证放射治疗机房内设置的急停开关位置能使机房内的人员

从各个方向均能观察到且便于触发，医院拟在设备表面、控制室/台、治疗室迷道入口门内旁侧、加速器机房内四侧墙壁等处设置急停按钮；同时，医院拟在急停按钮处设置醒目标识及文字显示，能让在机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。事故处理完毕后，再于本地复位，加速器才能重新启动。

机身和治疗室内以及控制台上设置紧急停机按钮，分别位于入口门内旁侧 1 个、迷道 1 个、治疗室内北墙上 1 个、南墙上 1 个、东墙上 1 个、西墙上 1 个，距地面高度约 1.2m；控制室内 1 个，以备事故状况下紧急停机；急停按钮有醒目标识及文字显示。

（4）紧急开门按钮：机房内迷道入口处人员易接触的位置拟设置紧急开门按钮，在事故状态下人员逃逸至迷道内可通过该按钮开启防护门，实现紧急逃逸，防护门设有防挤压功能。

（5）视频监控和对讲交流装置：控制室和机房之间拟设计安装视频监控系统和对讲装置，可覆盖整个机房和迷道，在治疗过程中医务人员可以及时观察病人情况，与病人交流，防止意外情况的发生。

（6）固定式辐射剂量监测仪：在机房内安装固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，以防止超剂量照射事故的发生，其显示单元拟设置在控制室内。

在治疗室迷道内口处设置固定式辐射剂量率仪，并具有异常情况下报警功能，显示单元设置在控制室内。

（7）所有辐射工作人员均拟配备个人剂量计，新配备 1 台便携式辐射监测仪（全院除核医学工作场所外，其他场所共用），拟为加速器辐射工作人员配备 2 部个人剂量报警仪。

（8）人员管理要求：操作人员严格遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，保障安全联锁正常运行。实施治疗期间，有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不得擅自离开岗位

（9）放射工作人员应进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案；放射工作人员进入治疗室前拟认真检查安全联锁是否正常运行，拟佩戴个人剂量报警设备；实施治疗期间拟安排两名及以上操作人员协同操作，严格执行交接班制度，发现异常及时处理。

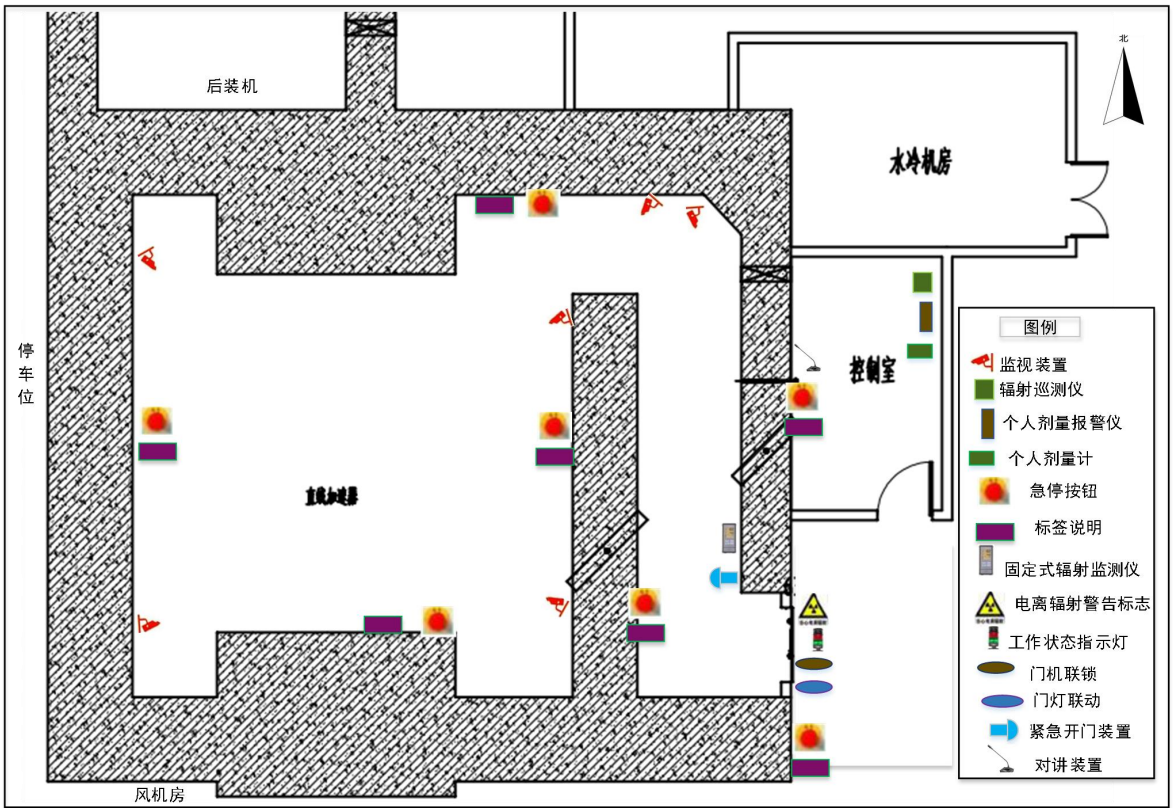


图 10.2-5　直线加速器机房辐射安全与防护措施分布示意图

10.2.2 后装机

1、工作场所布局及分区

（1）选址及平面布局合理性分析

本项目后装机机房位于地下室放疗中心直线加速器机房北侧，后装机房的治疗室和控制室等辅助用房分离布置；后装机机房内包含迷路的整个内部面积约为 43m^2，不含迷路的内空最大矩形面积为 29.5m^2（5.9m×5m）；机房设置的迷路为“L”型迷路，迷路入口设置防护门。后装机和加速器机房、核医学科等集中建设，下方为土壤层，上方为绿化带，不属于设置在民居、写字楼和商住两用建筑物内；区域相对独立，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域和其他人员流动性大的商业活动区域。

该加速器机房布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中关于放射治疗场所选址与布局的规定，布局合理。放疗中心平面布置及人流物流示意图见附图 10-1。

（2）工作场所分区

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目拟将后装机用房的治疗室和迷道作为控制区，严格控制人员进出，并在治疗室入口处设置电离辐射警告标志；拟将与机房相邻的控制室、直线加速器设备机房作为监督区。本项目辐射防护分区的划分符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中关于放射治疗工作场所的分区规定要求。本项目工作场所分区见图 10.2-1。

2、辐射防护屏蔽设计

（1）机房屏蔽墙设计

本项目后装机治疗机房采用混凝土浇筑结构，迷道入口设铅防护门。机房具体屏蔽设计参数见表 10.2-2，屏蔽设计图见图 10.2-5.1、图 10.2-5.2。

表 10.2-2　　后装机机房屏蔽设计参数

屏蔽防护设计		屏蔽设计（厚度及材质）
东墙		100cm 砼
南墙		170~330 cm 砼（与直线加速器机房共用墙体）
西墙		100cm 砼
北墙	迷路内墙	100cm 砼
	迷路外墙	100cm 砼
屋顶		1.05cm 砼+50cm 土层
防护门		16mm 铅当量
机房治疗室南北长度 590cm，东西宽度 500cm，迷路宽度 170cm，迷路入口宽度 170cm，机房净高 525cm。		

注：混凝土密度为 2.35g/cm^3，铅板密度为 11.3g/cm^3。

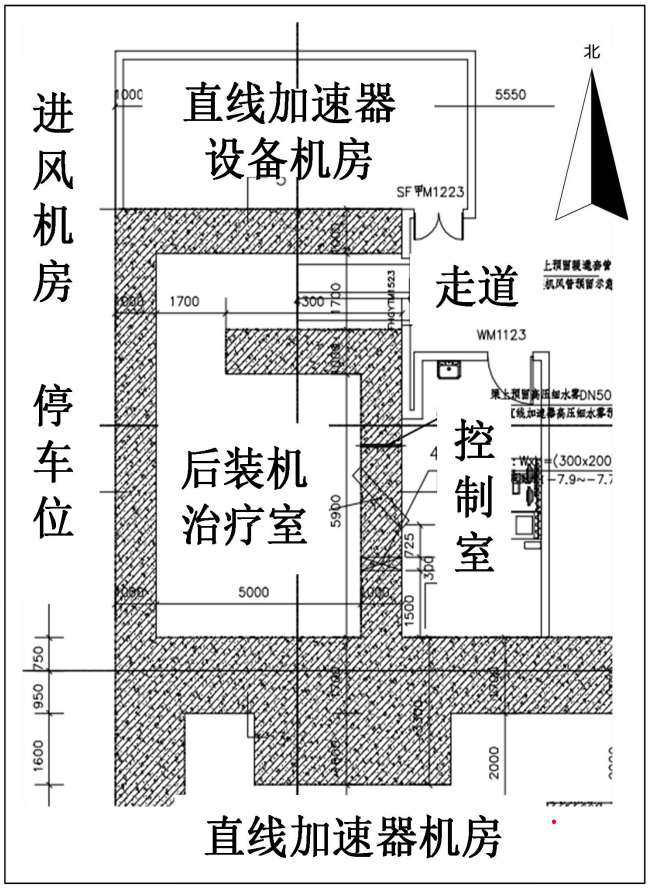


图 10.2-6.1　后装机机房屏蔽设计图（平面图）

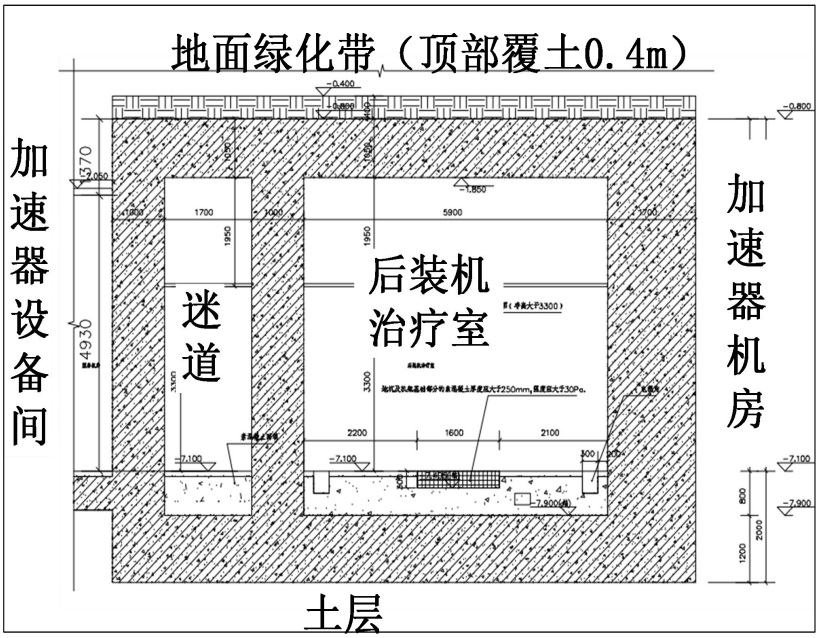


图 10.2-6.2　后装机机房屏蔽设计图（剖面图）

（2）风管、线缆穿墙设计

根据设计单位提供的项目通风设计图纸，后装机房与各辅助用房共用送风系统，

并设置独立的排风系统。通风管道从后装机房东侧屏蔽墙上方以“Z”型风管穿越，电缆管沟从机房东北侧迷道外墙以“U”型穿越进入控制室。

本项目送风、排风管道以及线缆分别以“U”型、“Z”型穿越后装机房墙体，设计较为合理，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中对管线穿越屏蔽体时要求。

根据设计单位提供的项目通风设计图纸，医用电子直线加速器机房与各辅助用房共用送风系统，并设置独立的排风系统。通风管道从加速器机房迷道防护门上方以“Z”型风管穿越，电缆管沟从机房东北侧迷道外墙以“U”型穿越进入控制室。

本项目送风、排风管道以及线缆分别以“U”型、“Z”型穿越加速器机房墙体，并且穿越点位置不在加速器主束照射范围内，设计较为合理，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中对管线穿越屏蔽体时要求。

后装机房管线穿墙垂向布置详见下图。

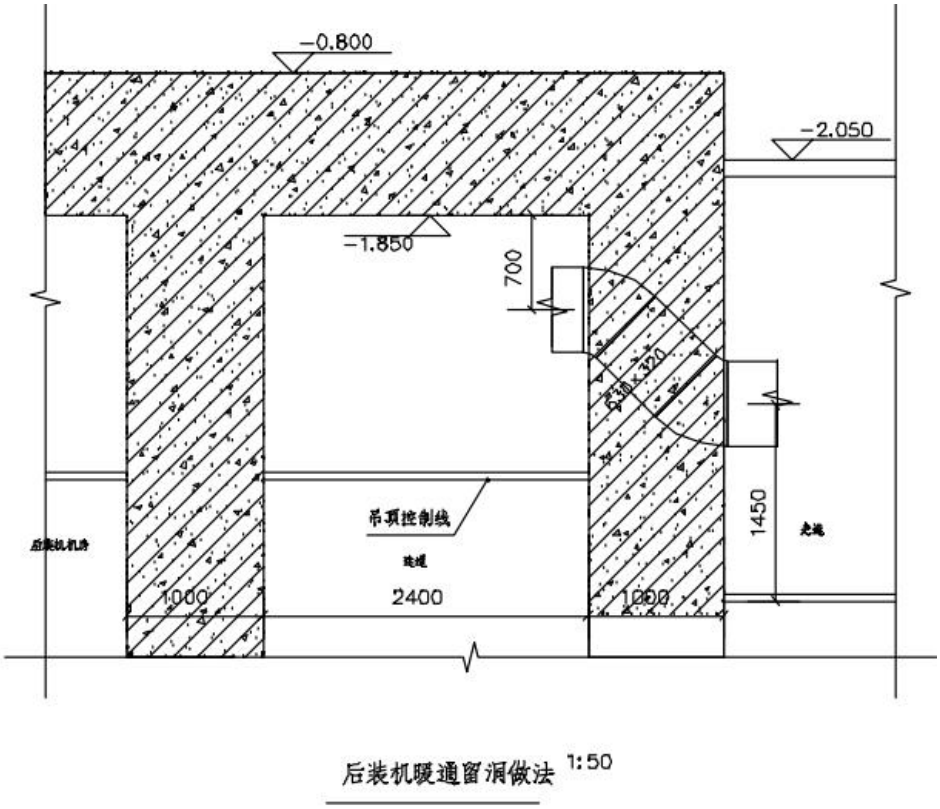


图 10.2-7　后装机房通风管线穿墙节点示意图

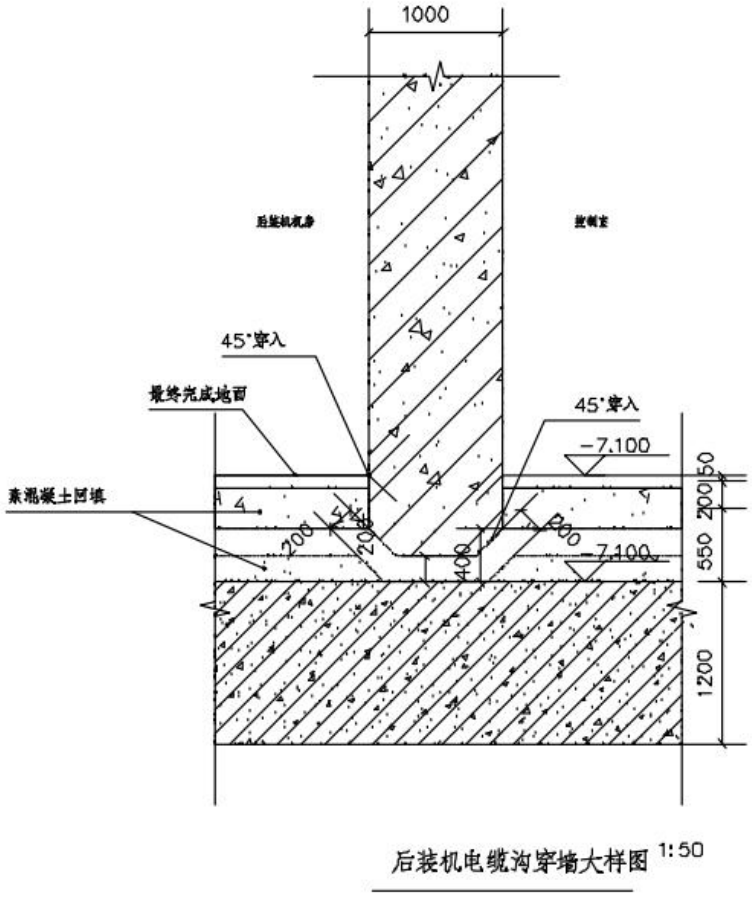


图 10.2-8　机房电缆沟穿墙节点示意图

（3）防护门搭接设计

机房防护门设计制作时，除要考虑足够的防护厚度外，拟考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。根据经验，建议门与墙之间的间隙小于 1cm，门四周与墙体及地槽的重叠宽度拟大于门缝的 10 倍。

防护门：后装机房迷道外口拟设防护门 1 个，铅钢结构、防护能力为 16mmPb。防护门高 2.5m、宽 2.0m，门洞高 2.3m，宽 1.7m，与门洞上下接量均为 10cm，左右搭接量均为 15cm，搭接处缝隙不大于 0.5cm，搭接宽度与缝隙比例均在 10:1 之上，可满足防护要求。

（4）空间、通风设计

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），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。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。

根据建设单位提供资料，后装机治疗室内包含迷路的整个内部面积约 43m^2，不

含迷路的内空最大矩形面积为 29.5m^2（5.9m×5m），机房内的面积可以满足本项目的使用需要。《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）“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”要求。

根据建设单位提供设计资料，后装机房治疗区设置 3 个进风口和 2 个排风口，其中进风管道口位于机房室顶西侧，排风口位于治疗区东侧距地面 0.3m 处。进、排风管道均以“Z”型穿迷路入口防护门上方屏蔽墙；排风管道引至放疗中心地下一层预留风井，室外排风口末端设置在放疗中心一层西墙外 5 米处，距地 0.5m，该区域周边为放疗中心空地，非人流密集区域。进风、排风口设置满足 GBZ121-2020“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”要求。

后装机房容积约为 212m^3，加速器机房的排风系统排风量均为 2800m^3/h，考虑排风系统的有效效率，按 75%进行保守估算，则机房每小时通风次数均可达 5 次/h，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中通风换气次数应不小于 4 次/h 的要求。

直线加速器机房、后装机房、模拟定位机房共用一套排风系统。后装机机房新风口共 3 个，分别设在机房西侧上部，排风口共 2 个，分别设在治疗机房东侧下部，距地面 0.3m。后装机机房体积约 225m^3，直线加速器机房体积约 403.2m^3，模拟定位机机房体积约 187.2m^3，该排风系统机房总体积 863.2m^3。该排风系统排风风机风量 8000m^3/h，考虑排风系统的有效效率，按 75%进行保守估算，则机房每小时通风次数均可达 7.4 次，满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020）和《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021）中通风换气次数应不小于 4 次 h 的要求，可保持相应加速器机房内良好通风。

进、排风管道均以“Z”型穿迷路入口防护门上方屏蔽墙；排风管道引至放疗中心地下室放疗中心北侧预留风井，室外排风口末端设置在放疗中心上部地面北侧外 5 米处，距地 0.5m，该区域周边为放疗中心空地，非人流密集区域。进风、排风口设置满足 GBZ121-2020“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”要求。

加速器机房、后装机房进风系统设计见附图 10-2，排风系统设计图见附图 10-3。

3、辐射安全和防护措施

为保障后装机安全运行，避免在开机期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，根据国家相关标准要求，本项目后装γ源放射治疗设备自身必须具备的防护措施如下：

（1）联锁装置：治疗室入口采用迷路形式，安装防护门（16mmPb）并设置门机联锁，开门状态不能出源照射，出源照射状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。

防护门未完全关闭时不能出源照射，出源状态下开门放射源回到治疗设备的安全位置。设有断电自动回源措施，当发生事故或故障时，放射源能够自动返回至储源器内；后装机自带手动回源装置，当自动回源装置故障时，可通过操控手动回源装置使放射源返回至储源器内。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。医院拟定期对安全联锁系统等安全设施进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。

（2）电离辐射警告标志和工作状态指示灯：放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；放射治疗工作场所在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态指示灯与设备联锁，防止无关人员逗留和误入。

（3）急停开关：为保证机房内设置的急停开关位置能使人员从各个方向均能观察到且便于触发，在后装机设备表面人员易触及位置以及机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置急停开关。事故处理完毕后，再于本地复位，后装机才能重新启动。别位于入口门内旁侧 1 个、迷道外墙靠门处 1 个、治疗室内北墙上 1 个、南墙上 1 个、东墙上 1 个、西墙上 1 个，距地面高度约 1.2m；控制室内 1 个，以备事故状况下紧急停机；急停按钮有醒目标识及文字显示。

防护门拟设置红外线防挤压装置，防护门内侧和外侧均设置手动开门装置。

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

除去后装γ源放射治疗设备自身必须具备的防护措施外，建设单位拟对后装机采

取的联锁装置和安全措施如下：

（1）后装治疗设备控制系统应有安全锁等多重保护和联锁装置；实施治疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源必须能自动返回工作贮源器，必须同时显示和记录已照射的时间和剂量，直到下一次照射开始，同时应发出声光报警信号。后装机配备 UPS，保证发生停电时，放射源能自动返回工作贮源器。

（2）当自动回源装置功能失效时，必须有手动回源措施进行应急处理；治疗室内应备有应急储源容器（20mmPb）、长柄镊子等应急设备（＞30cm）。

（3）在控制台上必须能通过γ射线监测显示放射源由工作贮源器内输出和返回贮存位置的状态；必须在生产厂家给出的放射源最大安全传输次数内，不发生放射源脱落、卡源等故障。

（4）计时器联锁：在控制台配置有时间显示的辐照控制计时器，并能独立完成控制辐照终止装置。当辐照中断或终止后，能保留其读数，只有在复零后才能启动下一次照射。

（5）固定式辐射剂量监测仪：在机房内安装固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，以防止超剂量照射事故的发生。

（6）治疗室内设置有使放射源迅速返回贮源器的应急开关与放射源监测器和手动回源装置。

（7）放射源更换：每年由厂家专业人员负责更换 2 次放射源，由厂家先回收废源后再更换新源；放射源运输应符合《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）标准要求。

（8）人员管理要求：操作人员严格遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，保障安全联锁正常运行。实施治疗期间，有两名及以上操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不得擅自离开岗位。

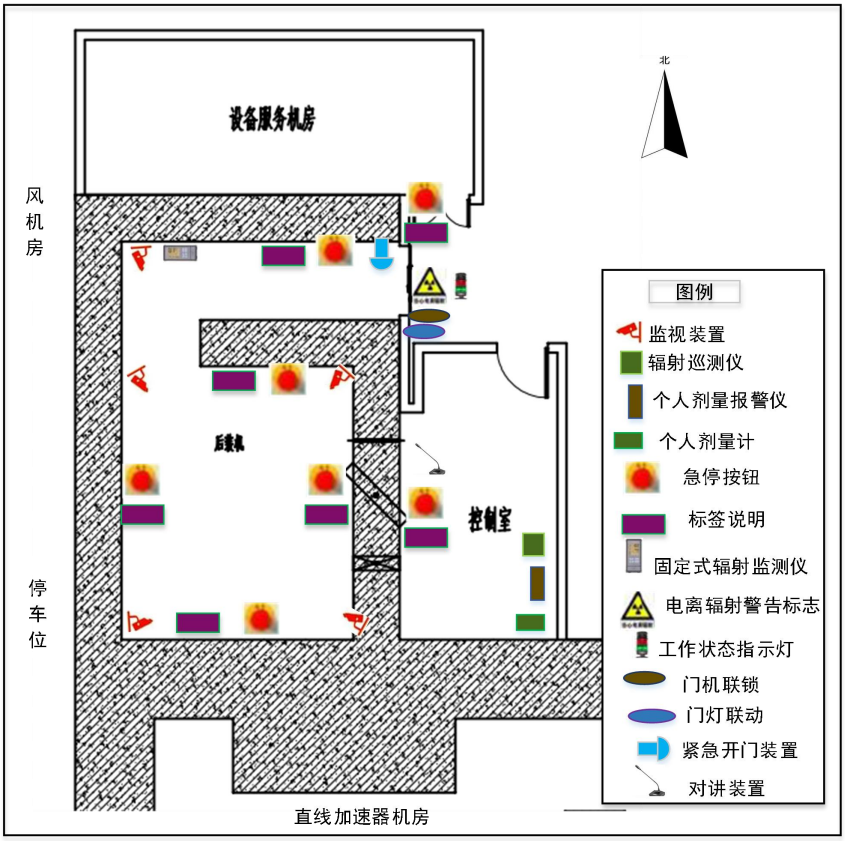


图 10.2-9　后装机机房辐射安全与防护措施分布示意图

4、监测仪器和防护用品

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，开展放射诊疗的单位应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。

医院为放疗中心新配备 1 台便携式辐射监测仪（全院除核医学工作场所外，其他场所共用），拟为本项目配备 2 台个人剂量报警仪，用于辐射防护监测和报警。所有辐射工作人员工作时均拟佩戴个人剂量计，以监测累积受照情况。医院拟按相关要求建立放射工作人员个人剂量监测档案。

10.3 环境影响分析

运行阶段对环境的影响

10.3.1 医用电子直线加速器

一、设备参数、预测点位

由于项目尚处于设计阶段，拟安装使用的直线加速器的具体品牌与型号未定，医院参考同类医院同类设备的使用情况，确定本项目的 15MV 直线加速器参数：X 线最大能量 15MV，电子线最大能量 20MeV，X 射线等中心 1m 处均为剂量率为 600cGy/min；含有 FFF 高剂量率治疗模式，6MVFFF 模式下最大剂量率为 1400cGy/min，10 MVFFF 模式下最大剂量率为 2400cGy/min。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的要求，在本项目加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在加速器机房尺寸厚度基础上，假定加速器最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。本项目医用电子直线加速器机房的关注点设定见图 10.3.1-1～图 10.3.1-2。

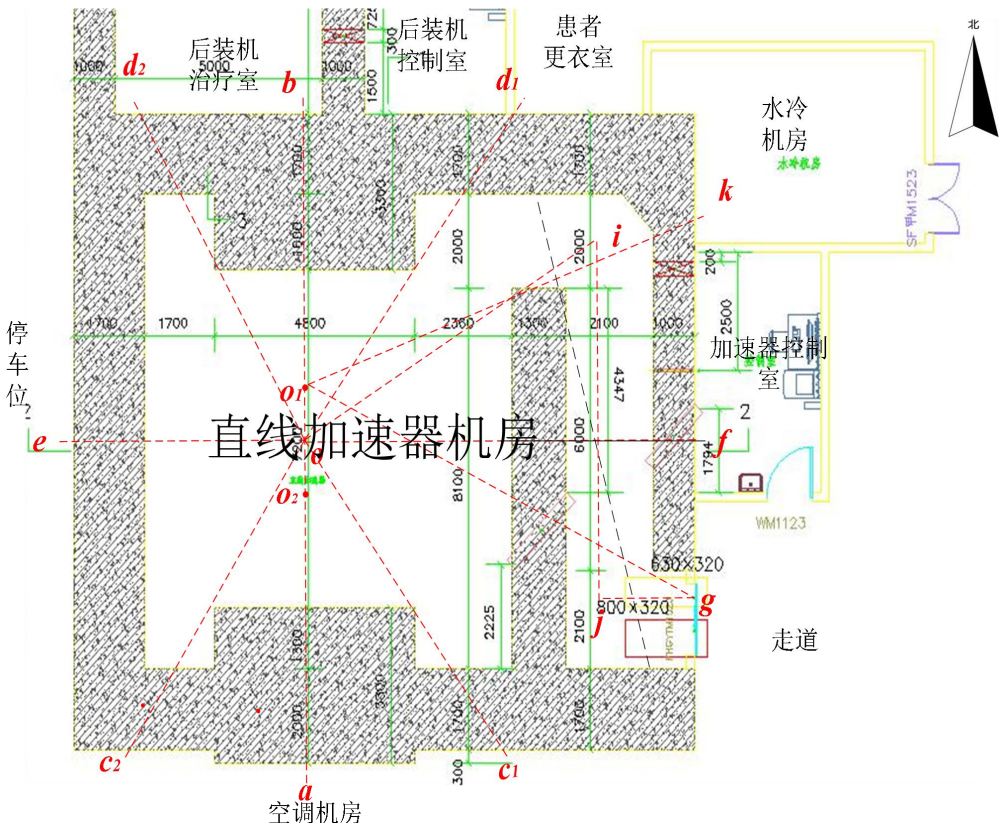


图 10.3.1-1 加速器机房屏蔽设计和关注点位图（平面图）

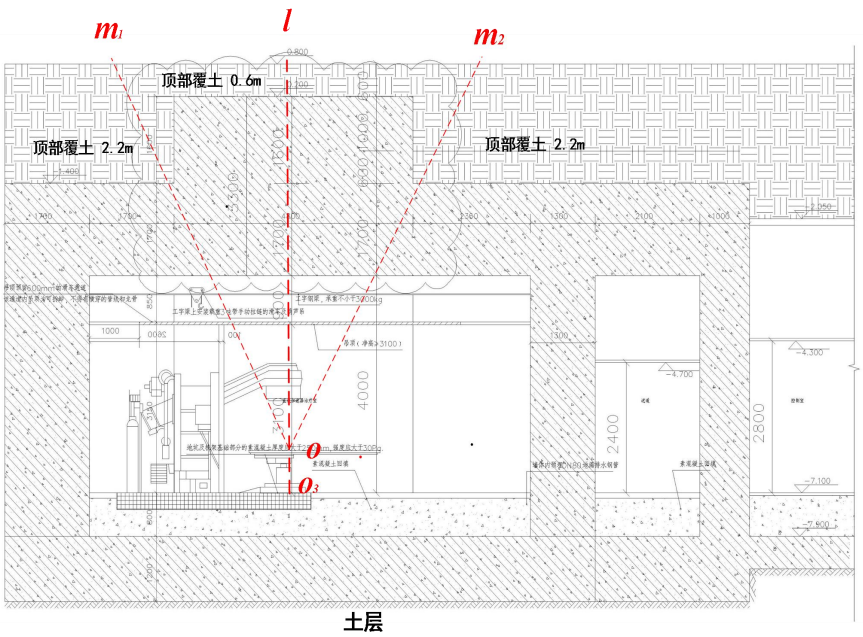


图 10.3.1-2 加速器机房屏蔽设计和关注点位图（剖面图）

二、辐射防护效果预测

1、有用线束主屏蔽区的宽度核算

使用《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）中的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度：

$$Y_p = 2\left[\left(a + SAD\right)\cdot \tan\theta + 0.3\right] \qquad \text{公式 10.3.1-1}$$

式中：Y_p—机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD—源轴距，m；

θ—治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

a—等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面。

将各参数代入公式 10.3.1-1，可估算出本项目主屏蔽宽度核算结果并评价如表 10.3.1-1：

表 10.3.1-1 本项目直线加速器机房主屏蔽区的宽度设计评价表

屏蔽区	SAD（m）	θ（°）	a（m）	Y_p 计算值（m）	Y_p 设计值（m）	评价结果
南墙主屏蔽	1	14	5.2 1)	3.69	4.8	满足
北墙主屏蔽	1	14	5.2 1)	3.69	4.8	满足
顶部主屏蔽	1	14	6.06 2)	4.12	4.8	满足

注：1）南墙、北墙 a=7.2÷2+1.6=4.9m；
2）顶部 a=4.0+1.7-1.24+1.6=6.06m。

2、机房外关注点辐射剂量率估算

本项目直线加速器 X 线能量 6MV、10MV、15MV 时 1m 处输出剂量率为 600cGy·m^2/min，FFF 束流模式 6MV 时 1m 处输出剂量率为 1400cGy·m^2/min，10MV 时 1m 处输出剂量率为 2400cGy·m^2/min，本次理论预测分别按“6MV、1400cGy·m^2/min”、“10MV 、2400cGy·m^2/min”和“15MV 、600cGy·m^2/min”进行计算。

1）有用线束主屏蔽设计核算（*a* 点、*b* 点、屋顶 *l* 点）

（1）主射线路径：$o_1 \rightarrow a$，$o_2 \rightarrow b$，屋顶 $o_3 \rightarrow l$。

（2）计算模式及参数选择

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的相关公式进行有用线束主屏蔽设计核算，在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按照公式 10.3.1-2 计算有效厚度 X_e（cm），按照公式 10.3.1-3 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按照公式 10.3.1-4 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）。

$$X_e = X/\cos\theta = X \cdot \sec\theta \qquad \text{公式 10.3.1-2}$$

式中：X—设计屏蔽厚度，cm；

θ—斜射角。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \qquad \text{公式 10.3.1-3}$$

式中：TVL_1（cm）和 TVL（cm）为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_1 时，$TVL_1 = TVL$。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1。本项目中，对应 6MV 的 X 射线能量，混凝土 TVL_1 为 37cm，TVL 为 33cm；对应 10MV：TVL_1=41cm，TVL=37cm；对应 15MV：TVL_1=44cm，TVL=41cm。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \qquad \text{公式 10.3.1-4}$$

式中：$\dot{H}_0$—加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率，μSv·m^2/h；

R—靶点至参考点的距离，m，本项目参考点均为相应墙外 30cm；

f—对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比 0.1%。

（3）预测计算结果

将相应主屏蔽厚度得出的辐射屏蔽透射因子 B 值代入，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h），将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 相比，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见下表。

表 10.3.1-2　医用电子直线加速器机房主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

参数		*a* 点（南墙主屏蔽区外 30cm 处，空调机房）	*b* 点（北墙主屏蔽区外 30cm 处，后装机治疗室）	*l* 点（顶部主屏蔽区外 30cm 处，顶部空地）
X（cm）		330	330	330 混凝土+60cm 土层
X_e（cm）		330	330	365.7*
TVL_1（cm）	6MV	37	37	37
	10 MV	41	41	41
	15MV	44	44	44
TVL（cm）	6MV	33	33	33
	10MV	37	37	37
	15 MV	41	41	41
B	6MV	1.32E-10	1.32E-10	1.32E-10
	10 MV	1.55E-09	1.55E-09	1.55E-09
	15MV	1.42E-09	1.42E-09	1.42E-09
R（m）		8.2	8.2	7.96
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	6MV	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08
	10MV	1.44E+09	1.44E+09	1.440E+09
	15MV	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08
f		1	1	1
$\dot{H}$（μSv/h）	6MV	0.002	0.002	0.002
	10MV	0.033	0.033	0.035
	15MV	0.008	0.008	0.008
$\dot{H}_c$（μSv/h）		10	10	10
评价		满足	满足	满足

注：*顶部覆盖 60cm 土壤，土壤容重（包括土粒及粒间的孔隙）约为 1.4g/cm³，对于经过屏蔽的低能 X 射线，将 90cm 土壤屏蔽效果折算成 35.7cm 混凝土屏蔽效果。

2）与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽设计核算（*c*、*d*、*m* 点）

（1）射线路径（射线类型）：$o_1 \rightarrow o \rightarrow c_1$、$c_2$（散射射线），$o_2 \rightarrow o \rightarrow d_1$、$d_2$（散射射线），$o_3 \rightarrow o \rightarrow m_1$、$m_2$（散射射线）。

$o \rightarrow c_1$、c_2（泄漏射线），$o \rightarrow d_1$、d_2（泄漏射线），$o \rightarrow m_1$、m_2（泄漏射线）。

对于位置 c、d、m 点，考虑泄漏辐射和散射辐射的复合作用。

（2）泄漏辐射计算模式及参数

泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。f=0.001（泄漏辐射比率，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZT201.2-2011）要求，对于 M 区域外泄漏辐射（不包括中子），吸收剂量平均值与最大吸收剂量的比值不应超过 0.1%），公式 10.3.1-3 的 TVL_1 和 TVL 保守取附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，对应 6MV：TVL_1=34cm，TVL=29cm ；对应 10MV：TVL_1=35cm，TVL=31cm；对应 15MV：TVL_1=36cm，TVL=33cm。

（3）散射辐射屏蔽计算

在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先用公式 10.3.1-1 计算或直接在结构图中量出该屏蔽墙的有效厚度 X_e（cm），按照公式 10.3.1-2 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B_s（其中患者散射辐射在混凝土中的什值层，查表 B.4 知，当散射角 30°时，患者散射辐射在混凝土中什值层对于 6MV 射线为 26cm，对于 10MV 射线为 28cm，对于 10MV 射线为 31cm），再按照公式 10.3.1-5 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）；

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \qquad \text{公式 10.3.1-5}$$

式中：$\dot{H}_0$—加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率，μSv·m²/h，本项目 6MV 时为 8.4×10^8μSv·m²/h，10MV 时为 1.44×10^9μSv·m²/h，15MV 时为 3.6×10^8μSv·m²/h。

α_{ph}—患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm² 面积上的散射因子。根据散射线能量和考察点斜射角，查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2。本项目按 30°取值，对于 6MV，为 2.77×10^{-3}，对于 10MV，为 3.18×10^{-3}，15MV 为 2.774×10^{-3}（30°采用插值法取值）。

F—治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积，cm²，本项目为 40cm×40cm=1600cm²。

R_s—患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

（4）预测计算结果

叠加次屏蔽墙外泄漏辐射与患者一次散射辐射的瞬时剂量率值，将其与本项目确

定的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 相比，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见下表，其中 X_e、R 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 10.3.1-3　与主屏蔽相连的次屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

参数			c_1 点、c_2 点（南墙次屏蔽区外 30cm 处，空调机房）	d_1 点、d_2 点（北墙次屏蔽区外 30cm 处，d_1 点，后装机治疗室，d_2 点后装机控制室）	m_1 点、m_2（顶部次屏蔽区外 30cm 处，顶部空地）
X（cm）			170	170	170cm 混凝土+220cm 土层
X_e（cm）			196.3	196.3	333
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）		6MV	8.4×10^{8}	8.4×10^{8}	8.4×10^{8}
		10MV	1.44×10^{9}	1.44×10^{9}	1.44×10^{9}
		15MV	3.6×10^{8}	3.6×10^{8}	3.6×10^{8}
泄漏辐射	TVL_1（cm）	6MV	34	34	34
		10MV	35	35	35
		15MV	36	36	36
	TVL（cm）	6MV	29	29	29
		10MV	31	31	31
		15MV	33	33	33
	B	6MV	2.53×10^{-6}	1.69×10^{-6}	4.63×10^{-8}
		10MV	3.7×10^{-6}	3.7×10^{-6}	1.28×10^{-7}
		15MV	1.39×10^{-6}	1.39×10^{-6}	3.62×10^{-11}
	R（m）		8.5	8.5	7.6
	f		0.001	0.001	0.001
	$\dot{H}$（μSv/h）	6MV	0.003	0.003	2.2×10^{-8}
		10MV	0.012	0.012	2.1×10^{-7}
		15MV	0.007	0.007	2.06×10^{-7}
散射辐射	TVL_1（cm）	6MV	26	26	26
		10MV	28	28	28
		15MV	28	28	28
	TVL（cm）	6MV	26	26	26
		10MV	28	28	28
		15MV	28	28	28
	R_s（m）		8.5	8.5	7.6
	α_{ph}	6MV	2.77×10^{-3}	2.77×10^{-3}	2.77×10^{-3}

		10MV	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
		15MV	2.77×10^{-3}	2.77×10^{-3}	2.77×10^{-3}
	B	6MV	2.82×10^{-8}	2.82×10^{-8}	4.29×10^{-14}
		10MV	9.76×10^{-8}	9.76×10^{-8}	3.86×10^{-13}
		15MV	4.65×10^{-7}	4.65×10^{-7}	6.14×10^{-12}
	F（cm^2）		1600	1600	1600
	$\dot{H}$（μSv/h）	6MV	0.004	0.004	6.9×10^{-9}
		10MV	0.025	0.025	1.2×10^{-7}
		15MV	0.029	0.029	4.9×10^{-7}
$\dot{H}$（μSv/h）复合作用		6MV	0.007	0.007	2.9×10^{-8}
		10MV	0.037	0.037	3.3×10^{-7}
		15MV	0.036	0.036	7.2×10^{-7}
$\dot{H}_c$（μSv/h）剂量率参考控制水平			3.2	3.2	10
评价			满足	满足	满足

注：*顶部覆盖 240cm 土壤，土壤容重（包括土粒及粒间的孔隙）约为 1.4g/cm^3，对于经过屏蔽的低能 X 射线，将 240cm 土壤屏蔽效果折算成 131cm 混凝土屏蔽效果。

3）侧屏蔽墙屏蔽设计核算（*e*、*f* 点）

（1）射线路径（射线类型）：o→*e*、o→*f*（泄漏射线）。

（2）计算模式及参数选择

该区考虑泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。公式 10.3.1-4 中，*f*=0.001（泄漏辐射比率，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZT201.2-2011）要求，对于 M 区域外泄漏辐射（不包括中子），吸收剂量平均值与最大吸收剂量的比值不应超过 0.1%）。

（3）预测计算结果

e 点、***f*** 点的辐射剂量率预测结果见下表，其中 X_e 的取值由 CAD 图纸上读取。

表 10.3.1-4　医用电子直线加速器机房侧屏蔽墙外泄漏辐射剂量率核算值

参数		***e*** 点（西侧屏蔽墙外 30cm 处，停车位）	***f*** 点（东迷路外墙外 30cm 处，加速器控制）
X_e（cm）		170 砼	230 砼
TVL_1（cm）	6MV	34	34
	10MV	35	35
	15MV	36	36

TVL（cm）	6MV	29	29
	10MV	31	31
	15MV	33	33
B	6MV	2.0×10^{-6}	1.7×10^{-8}
	10MV	4.4×10^{-6}	5.1×10^{-8}
	15MV	8.7×10^{-6}	1.3×10^{-7}
R（m）		6.1	9.46
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	6MV	8.4×10^{8}	8.4×10^{8}
	10MV	1.44×10^{9}	1.44×10^{9}
	15MV	3.6×10^{8}	3.6×10^{8}
f		0.001	0.001
$\dot{H}$（μSv/h）	6MV	0.046	1.6×10^{-4}
	10MV	0.17	8.2×10^{-4}
	15MV	0.084	5.3×10^{-4}
$\dot{H}_c$（μSv/h）剂量率参考控制水平		10	2.5
评价		满足	满足

4）迷路外墙屏蔽设计核算（*k* 点）

（1）射线路径（射线类型）：$o_1 \rightarrow k$（泄漏射线）。

（2）计算模式及参数选择

该区考虑泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。公式 10.3.1-4 中，*f*=0.001（泄漏辐射比率，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZT201.2-2011）要求，对于 M 区域外泄漏辐射（不包括中子），吸收剂量平均值与最大吸收剂量的比值不应超过 0.1%）。

（3）预测计算结果

k 点的辐射剂量率预测结果见下表，其中 X_e 的取值由 CAD 图纸上读取。

参数		***k*** 点 （东迷路外墙外 30cm 处，水冷机房）
X_e（cm）		130 砼
TVL_1（cm）	6MV	34
	10MV	35
	15MV	36
TVL（cm）	6MV	29

	10MV	31
	15MV	33
B	6MV	4.9×10^{-5}
	10MV	8.6×10^{-5}
	15MV	1.4×10^{-4}
R（m）		10.4
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	6MV	8.4×10^{8}
	10MV	1.44×10^{9}
	15MV	3.6×10^{8}
f		0.001
$\dot{H}$（μSv/h）	6MV	0.38
	10MV	1.15
	15MV	0.47
$\dot{H}_c$（μSv/h）剂量率参考控制水平		2.0
评价		满足

表 10.3.1-5　医用电子直线加速器机房迷道外屏蔽墙外泄漏辐射剂量率核算值

5）迷路入口处辐射水平核算（*g* 点）

（1）迷路入口处γ剂量率辐射水平核算（*g* 点）

根据 GBZ/T201.2-2011，*g* 点处同时受到加速器的泄漏辐射及迷道内散射辐射。

①射线路径（射线类型）

o_2→*g*（泄漏射线），o_2→*o*→*j*→*g*（散射射线）。

②泄漏辐射计算模式及参数选择

g 点泄漏辐射剂量核算方法同 *e* 点，计算结果见下表。

表 10.3.1-6 迷路入口处的泄漏辐射剂量率核算值

参数		防护门外 *g* 点
X_e（cm）		149 砼
TVL_1（cm）	6MV	34
	10MV	35
	15MV	36
TVL（cm）	6MV	29
	10MV	31
	15MV	33
B	6MV	1.1×10^{-5}

	10MV	2.1×10^{-5}
	15MV	3.8×10^{-5}
R（m）		10.6
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	6MV	8.4×10^{8}
	10MV	1.44×10^{9}
	15MV	3.6×10^{8}
f		0.001
$\dot{H}_{og}$（μSv/h）	6MV	0.081
	10MV	0.269
	15MV	0.121

③机房入口防护门屏蔽设计核算

根据 GBZ/T201.2-2011，入口 g 点处的散射辐射剂量率 $\dot{H}_g$ 按公式 10.3.1-6 计算。计算结果见表 10.3.1-7。

$$\dot{H}_g=\dot{H}_0\times\frac{\alpha_{ph}\cdot(F/400)}{R_1^2}\times\frac{\alpha_2\cdot A_1}{R_2^2}\times\frac{\alpha_3\cdot A2}{R_3^2}$$ 公式 10.3.1-6

式中：$\dot{H}_g$—g 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_0$—加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的最高剂量率，μSv·m²/h；

α_{ph}—患者 400cm² 面积上的散射因子，见附录 B 表 B.2，通常取 45°散射角的值，根据 GBZ/T201.2-2011 表 B.2，本项目 6MV 时，a_{ph} 为 1.39×10^{-3}；10MV 时，a_{ph} 为 1.35×10^{-3}；15MV 时，a_{ph} 为 1.05×10^{-3}（采用插值法取值）；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；

α_2—砼墙入射的患者散射辐射（能量见附录 B 表 B.6）的散射因子，通常取 j 处的入射角为 45°，散射角为 0°；a_2 值见附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值；

α_3—根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）A3.1.2“α_2—从以后的物质散射出来的 0.5MeV 的 X 射线的散射系数（假设对以后所有散射过程是相同）的规定”，α_3 取值参照α_2；

A_1—i 处的散射面积，m²；

A_2—j 处的散射面积，m²；

R_1—“$o\rightarrow$i”之间的距离，m；

R_2— “$i \rightarrow j$”之间的距离，m；

R_3— “$j \rightarrow g$”之间的距离，m；

A_1、A_2—-散射点处的散射面积，m^2；为自入口和等中心位置 O 共同可视见的区域，包括治疗机房吊顶上方的区域；

A_1=（1.91+0.27）×4.6+1.53（CAD 图上量取）×2=13.09m^2；

A_2=2.1×2.1×2+（2.1+2.1）×4.6=28.14m^2。

表 10.3.1-7　迷路入口处的散射辐射剂量率核算值

参数		机房（*g* 点）
a_{ph}	6MV	1.39×10^{-3}
	10MV	1.35×10^{-3}
	15MV	1.05×10^{-3}
F（cm^2）		1600
α_2		22×10^{-3}
α_3		22×10^{-3}
R_1（m）		8.4
R_2（m）		8.2
R_3（m）		2.4
A_1（m^2）		13.09
A_2（m^2）		28.14
$\dot{H}_0$（μSv·m^2/h）	6MV	8.4×10^{8}
	10MV	1.44×10^{9}
	15MV	3.6×10^{8}
$\dot{H}_g$（μSv/h）	6MV	30.5
	10MV	50.7
	15MV	9.9

在给定防护门的铅屏蔽厚度 *X*（cm）时，防护门外 *g* 点处的辐射剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）按公式 10.3.1-7 计算，预测结果见表 10.3.1-8。

$$\dot{H}=\dot{H}_g\cdot10^{(X/TVL)}+\dot{H}_{og} \qquad \text{公式 10.3.1-7}$$

式中：$\dot{H}_{og}$—g 处的泄漏辐射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_g$—g 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

TVL—辐射在铅中的什值层，cm。

表 10.3.1-8　迷路入口防护门外的辐射剂量率核算值

参数		机房（*g* 点）
$\dot{H}_{og}$（μSv/h）	6MV	0.081
	10MV	0.269
	15MV	0.067
$\dot{H}_g$（μSv/h）	6MV	30.5
	10MV	50.7
	15MV	9.9
X（cm）		1.6（铅）
TVL（cm）	6MV	0.5（铅）
	10MV	0.5（铅）
	15MV	0.5（铅）
$\dot{H}$（μSv/h）防护门外的辐射剂量率	6MV	0.10
	10MV	0.30
	15MV	0.13
$\dot{H}_c$ 剂量率参考控制水平（μSv/h）		2.0
评价		满足

（2）15MV 时迷路入口处中子辐射水平核算（*g* 点）

本项目直线加速器机房配置的医用电子直线加速器 X 射线最大能量为 15MV，且有用线束不向迷路照射，根据 GBZ/T201.2-2011，对于＞10MV 的医用电子直线加速器机房迷路散射辐射需要估算下列各项：

①总中子注量Φ_B

迷路的中子散射路径为“*o*→*B*→*P*→*g*”。*B* 点是从等中心点与迷路内墙端的连线和迷路长轴中心线之间的交点。在 *B* 点的总中子注量Φ_B按照公式 10.3.1-8 计算。

$$\Phi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S}$$　　公式 10.3.1-8

式中三项分别是加速器机头外的杂散中子、杂散中子在治疗室内壁的散射中子及

所形成的热中子。

式中：Φ_B—等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量，（中子数/m^2）/Gy；

Q_n—在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数，根据 NCRP No.151 中表 B.9 中列出了一些型号的加速器 Qn 值可参考使用，本项目 Q_n 取 0.76×10^{12}（中子数/m^2）/Gy；

d_1—等中心点 O 至 i 点的距离，m；

S—治疗机房的总内表面积（m^2），包括四壁墙、顶面和底面，不包括迷路内各面积。上式用于铅屏蔽加速器机头，对于钨屏蔽的加速器机头，公式 10.3.1-8 的第一项和第二项均乘以衰减因子 0.85。

在 B 点的总中子注量 Φ_B 计算结果见下表。

表 10.3.1-9　总中子注量核算值

参数	机房
Q_n（中子数/Gy）	0.76×10^{12}
d_1（m）	8.6
S（m^2）	369
Φ_B（（中子数/m^2）/Gy）	3.0×10^9

②机房入口的中子俘获γ射线的剂量率 $\dot{H}_\gamma$

机房内及迷路中的中子在与屏蔽物质作用时产生中子俘获γ射线，机房入口门外 30cm（g）处无防护门时的中子俘获γ射线的剂量率 $\dot{H}_\gamma$（μSv/h）按公式 10.3.1-9 计算。

$$\dot{H}_\gamma = 6.9\times10^{-16}\cdot\Phi_B\cdot10^{-d_2/TVD}\cdot\dot{H}_0 \qquad \text{公式 10.3.1-9}$$

式中：6.9×10^{-16}—该方法中的经验因子，Sv/（中子数/m^2）；

Φ_B—等中心处 1Gy 治疗照射时 i 处的总中子注量，（中子数/m^2）/Gy；

d_2—i 点至机房入口（g）点的距离，m；

TVD—将γ辐射剂量减至其十分之一的距离（称为什值距离），对于 15MV 加速器为 3.9m；

$\dot{H}_0$—等中心点处治疗 X 射线剂量率，本项目为 3.6×10^{8}μSv·m^2/h。

对于二阶迷路，公式 10.3.1-9 中以二阶迷路 d_{2a} 和 d_{2b} 之和代替 d_2，并且 $\dot{H}_\gamma$ 为公式 10.3.1-9 的 1/3。

机房入口门外 30cm（g）处无防护门时的中子俘获γ射线的剂量率$\dot{H}_\gamma$计算结果见下表。

表 10.3.1-10 机房入口门外 30cm（g）处无防护门时的中子俘获γ射线的剂量率核算值

参数	机房
Φ_B（（中子数/m²）/Gy）	3.0×10^9
d_2（m）	10
TVD（m）	3.9
$\dot{H}_\gamma$（μSv/h）	2.03

③机房入口的中子剂量率$\dot{H}_n$

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm（g）处无防护门时的剂量率$\dot{H}_n$（μSv/h）按公式 10.3.1-10 计算。

$$\dot{H}_n = 2.4\times10^{-15}\cdot\Phi_B\cdot\sqrt{\frac{S_0}{S_1}}\cdot\left[1.64\times10^{-(d_2/1.9)}+10^{-(d_2/T_n)}\right]\cdot\dot{H}_0 \qquad \text{公式 10.3.1-10}$$

式中：2.4×10^{-15}—该计算方法中的经验因子，Sv/（中子数/m²）；

S_0—迷路内口的面积，m²；

S_1—迷路横截面积，m²；

d_2—B 点至机房入口（g）点的距离，m；

T_n—迷路中能量相对高的中子剂量组分公式 10.3.1-10 方括号中的第二项衰减至十分之一行经的距离（m），称为什值距离。T_n是一个经验值，与迷路横截面积有关，T_n按公式 10.3.1-11 计算：

$$T_n = 2.06\sqrt{S_1} \qquad \text{公式 10.3.1-11}$$

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm（g）处无防护门时的剂量率$\dot{H}_n$计算结果见下表。

表 10.3.1-11 中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm 处无防护门时的剂量率核算值

参数	机房
Φ_B（（中子数/m²）/Gy）	3.93×10^9
S_0（m²）	8
S_1（m²）	8.4
d_2（m）	9.9
T_n（m）	5.97

$\dot{H}_n$（μSv/h）	55.9

④入口门屏蔽

入口门屏蔽设计时，通常使中子和中子俘获γ射线屏蔽后有相同的辐射剂量率，对于中子俘获γ射线，以铅屏蔽；对于中子，以含硼（5%）聚乙烯板屏蔽。

本项目防护门屏蔽设计为含硼（5%）聚乙烯板 150mm，铅板 16mm，门外表面包裹有一定厚度的结构钢板。当给定防护门屏蔽厚度 X_γ和 X_n时，防护门外的辐射剂量率$\dot{H}$ （μSv/h）按公式 10.3.1-12 计算。

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma \cdot 10^{-(X_\gamma/TVL_\gamma)} + \dot{H}_n \cdot 10^{-(X_n/TVL_n)} + \dot{H}_{og} \cdot B_{og} \qquad \text{公式 10.3.1-12}$$

式中：B_{og}—防护门对$\dot{H}_{og}$的屏蔽透射因子，在$\dot{H}_{og}$相对 g 处的总剂量率较小时，可以忽略$\dot{H}_{og} \cdot B_{og}$项。

本项目中，机房$\dot{H}_{og}$为 0.121μSv/h，$\dot{H}_\gamma$为 2.03μSv/h，$\dot{H}_n$为 55.9μSv/h，$\dot{H}_{og}$相对 g 处的总剂量率较小，可以忽略$\dot{H}_{og} \cdot B_{og}$项。

入口处中子和中子俘获γ射线的能量均不是单一能量，TVL_γ和 TVL_n参见附录 C。因本项目中子屏蔽层为 150mm 含硼（5%）聚乙烯板，根据 GBZ/T201.2 中附录 C 知，对于入口处平均能量为 0.1MeV 的中子，含硼（5%）聚乙烯板 TVL_n为 45mm；对于入口处中子俘获γ射线，GBZ/T201.2 中附录 C 认为平均能量为 3.6MeV，铅的 TVL_γ取值 31mm。

防护门外的辐射剂量率计算结果见表 10.3.1-12。

表 10.3.1-12　防护门外的辐射剂量率核算值

参数	机房
$\dot{H}_\gamma$（μSv/h）	2.03
X_γ（mm）	16
TVL_γ（mm）	31
$\dot{H}_n$（μSv/h）	55.9
X_n（mm）	150
TVL_n（mm）	45
$\dot{H}$ （μSv/h）	0.64
$\dot{H}_c$（μSv/h）剂量率参考控制水平	3.2
评价	满足

（3）15MV 时迷路入口处辐射水平核算（*g* 点）

根据表 10.3.1-8、表 10.3.1-12 核算，15MV 时迷路入口处辐射剂量率为 0.13+0.64=0.77（μSv/h），满足该点位 3.2μSv/h 剂量率参考控制水平要求。

6）预测计算结果汇总及评价

医用电子直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见下表。

表 10.3.1-13　医用电子直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总表

参考点	剂量率估算值（μSv/h）			剂量率参考控制水平（μSv/h）	结论
	X 射线能量为 6MV	X 射线能量为 10MV	X 射线能量为 15MV		
f 点（东迷路外墙外 30cm 处，加速器控制室）	1.6×10^{-4}	8.2×10^{-4}	5.3×10^{-4}	2.5	满足
k 点（东迷路外墙外 30cm 处，水冷机房）	0.38	1.15	0.47	2.5	满足
g 点（东侧防护门外 30cm 处）	0.10	0.30	0.77	2.5	满足
a 点（南墙主屏蔽区外 30cm 处，空调机房）	0.002	0.033	0.008	2.5	满足
c_1 点、c_2 点（南墙次屏蔽区外 30cm 处，空调机房）	0.007	0.025	0.036	2.5	满足
e 点（西侧屏蔽墙外 30cm 处，停车位）	0.046	0.043	0.084	2.5	满足
b 点（北墙主屏蔽区外 30cm 处，后装机治疗室）	0.002	0.171	0.008	2.5	满足
d_1 点（北墙次屏蔽区外 30cm 处，后装机治疗室，）	0.007	0.025	0.036	2.5	满足
d_2 点（北墙次屏蔽区外 30cm 处，后装机控制室）	0.007	0.025	0.036	2.5	满足
l 点（顶部主屏蔽区上部 30cm 处，顶部绿地）	0.002	0.035	0.008	2.5	满足
m_1 点、m_2 点（顶部次屏蔽区上部 30cm 处，顶部绿地）	2.9×10^{-8}	3.3×10^{-7}	7.2×10^{-7}	2.5	满足

由表 10.3.1-13 可知，本项目医用电子直线加速器机房屏蔽设计能够满足相应位置周围剂量当量率的限值要求。

3、保护目标有效剂量评价

关注点人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式进行估算：

$$D_{Eff}=H\cdot t\cdot T\cdot U \qquad \text{公式 10.3.1-13}$$

式中：D_{Eff} —关注点人员有效剂量（Sv）；

H—关注点的辐射剂量率（Sv/h）；

t—关注点处年受照时间（h），本项目加速器年出束运行时间不超过 625 h；

T—居留因子；

U—使用因子；

（1）加速器机房周围职业人员及公众成员年有效剂量

照射时间：根据医院提供的资料，本项目投运后，加速器预计年最大治疗人数为 2500 人，常见癌症治疗最大照射总剂量为 60Gy（分 20-30 次照射，单次治疗剂量约为 2Gy），加速器照射保守按照 600cGy·m^2/min 剂量率计算，每个病人总治疗照射时间约为 10min，辐射工作人员于医用电子加速器机房内对患者进行摆位等操作最长时间为 2min/例，则加速器年累计放射治疗时间最长约为 417h、年累计进行摆位等操作时间最长约为 84h。年工作时间为 250 天。

加速器机房外公众活动区域居留因子选取参照表 7-7。

将表 10.3.1-13 中辐射剂量率估算值代入公式 10.3.1-13，估算公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表 10.3.1-4。

表 10.3.1-14　医用电子直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总表

参考点	参考点所在场所	居留因子 T	使用因子 U	年受照时间（h）	剂量率估算值（μSv/h）	年有效剂量（mSv/a）	目标管理值（mSv/a）	结论
f	东侧，迷路外墙外 30cm 处（加速器控制室）	1	1	417	8.2×10^{-4}	3.42E-04	5	满足
k	东侧，迷路外墙外 30cm 处（水冷机房）	1/8	1	417	1.15	5.99E-02	0.1	满足
g	东侧，防护门外 30cm 处（走道）	1/5	1	417	0.77	6.42E-02	0.1	满足
a	南侧，南墙主屏蔽区外 30cm 处（空调机房）	1/8	0.25	417	0.033	4.30E-04	0.1	满足
c1、c2	南侧，南墙次屏蔽区外 30cm 处（空调机房）	1/8	1	417	0.036	1.88E-03	0.1	满足
e	西侧，西屏蔽墙外 30cm 处（停车位）	1/40	1	417	0.084	8.76E-04	0.1	满足
b	北侧，北墙主屏蔽区外 30cm 处（后装机治疗室）	1/8	0.25	417	0.171	2.23E-03	0.1	满足
d2	北侧，北墙次屏蔽区外 30cm 处（后装机治疗	1/8	1	417	0.036	3.00E-03	0.1	满足

	室）							
d1	北侧，北墙次屏蔽区外30cm处（后装机患者更衣室）	1/5	1	417	0.036	1.88E-03	0.1	满足
l	顶部主屏蔽区外30cm处（绿地）	1/40	0.25	417	0.035	9.12E-05	0.1	满足
m1 m2	顶部次屏蔽区外30cm处（绿地）	1/40	1	417	7.2×10^{-7}	7.51E-09	0.1	满足

注：1）居留因子取值见GBZT201.1-2007附录A；
2）各环境保护目标处的剂量率取所在方向屏蔽体外最大剂量率按距离平方反比进行估算。

根据表10.3.1-14结果分析知，该项目医用电子直线加速器投入运行后，辐射工作人员和周围公众年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv）。

（2）环境保护目标处公众成员年有效剂量

本项目加速器机房周围50m评价范围内存在3处保护目标，为综合住院楼1（南侧25m）、综合住院楼3（北侧40m）、制剂中心（西北侧50m）。由表10.3.1-13可知，加速器机房外公众成员所受年有效剂量最大为6.42E-02mSv/a，项目保护目标距场所最近距离约25m，距离较远，剂量率随距离而衰减，经墙体屏蔽和距离衰减，对保护目标处公众辐射影响较小，也低于本评价采用的公众人员0.1mSv年管理剂量约束值。

综上所述，在加强日常管理情况下，本项目加速器职业人员及公众成员所接受的年有效剂量均满足本评价提出的年管理剂量约束值，满足国家有关要求。

4、感生放射性环境影响评价

由于本项目加速器最大能量为15MV，高能光子会与X射线靶、一级准直器、X射线均整器和治疗准直器多种高原子序数的材料如铅、钨等发生（γ、n）光核反应，产生中子辐射。中子与加速器结构材料发生的（n,γ）俘获反应会产生感生放射性核素，这些核素会发射β或γ射线。加速器运行期间，由于有足够的结构屏蔽，由部件产生的感生放射性不会危害在屏蔽体外的工作人员，但在加速器停机后，工作人员立即进入加速器治疗室则可能受到辐射危害。根据辐射源项分析可知，感生放射性的衰变较快，因此，可通过延迟进入机房来减少感生放射性对辐射工作人员的影响。

本项目医用电子加速器最大电子能量为20MeV，大于10MeV，其运行过程中涉

及感生放射性危害。鉴于医用电子加速器运行期间的感生放射性存在不确定性，本次评价引用《医用电子直线加速器感生放射性的测量和分析》（贾斌等，中国辐射卫生，2021 年 10 月第 30 卷第 5 期）可知，15MV 医用电子加速器的检测结果，出束停止后 10s，加速器机头外壳表面 5cm 周围剂量当量率最大值为 0.99μSv/h，距外壳 1m 处固定点的周围剂量当量率最大值为 0.99μSv/h；在出束停止 5min 后，加速器机头外壳表面 5cm 周围剂量当量率最大值为 0.53μSv/h，距外壳 1m 处固定点的周围剂量当量率最大值为 0.54μSv/h。能满足《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS674-2020）对于感生放射性的周围剂量当量“a）累积测量 5min，在离外壳表面 5cm 任何易接近处≤10μSv，离外壳表面 1m 处≤1μSv；b）在≤3min 的时间内，测得感生放射性的周围剂量当量率在离外壳表面 5cm 任何易接近处≤200μSv/h，离外壳表面 1m 处≤20μSv/h。”的要求。

本项目加速器辐射工作人员在加速器关机 3min 后进入机房查看患者情况和摆位，辐射工作人员与加速器机头距离取 1m，年累计进行摆位等操作时间最长为 84h，计算得出每名辐射工作人员每年受到的感生放射性辐射影响约为 0.0832mSv。根据表 10.3.1-14 结果分析知，该项目 15MV 医用电子直线加速器投入运行后，辐射工作人员年有效剂量为 3.01×10^{-4}mSv，则辐射工作人员年有效剂量为 0.0835mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射工作人员年剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv）。

5、电子线辐射环境影响分析

本项目医用电子直线加速器在运行过程中产生的电离辐射包括：电子、X 射线。由于电子在物质中的射程是有限的，屏蔽比较容易，只要所选择的物质厚度大于带电粒子在该物质的射程，就可以将其完全吸收。根据《放射卫生学》（章仲侯主编，P171）其中电子在介质中的射程可根据公式 10.3.1-14 近似计算：

$$d=\frac{1}{2\rho}E_{Max} \qquad \text{公式 10.3.1-14}$$

式中：E_{Max}-电子最大能量，本项目直线加速器最大电子能量为 20MeV；

d-最大射程，cm;

ρ-屏蔽材料密度，本项目屏蔽材料为混凝土，混凝土密度为 2.35g/cm³。

根据上述公式可计算出电子在混凝土中射程为 4.25cm，加速器机房墙体最小屏蔽厚度为 170cm，所以本项目加速器机房设计结构和屏蔽厚度足以屏蔽电子线，因此加

速器在运行中电子线对周围辐射环境影响很小。

5、通风口和电缆管线口外辐射水平分析

本项目后装机房进风口和排风口处均采用“Z”型穿墙方式，在“Z”型通风管道处射线至少经过3次散射，每次散射剂量率减小1～2个数量级，电缆管线口均采用地下“U”型穿墙，因此通风口和电缆管线口不会影响墙体的屏蔽效果。根据《辐射防护导论》第189页“实例证明，如果一个能使辐射至少散射三次以上的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全”，由此可推断电缆管道出口处的辐射剂量率均能够满足标准要求，预计通风口和电缆管线口外剂量率可低于2.5μSv/h的限值。

6、天空反散射及侧散射

根据上述计算可知，本项目加速器机房室顶外剂量率最大值仅为0.035μSv/h（保守计算，未考虑土壤层的屏蔽作用），远低于2.5μSv/h的限值，因此本次不再考虑天空反散射和侧散射的影响。

7、与后装机同时运行时的叠加影响分析

本项目医用电子加速器与后装机存在同时运行的情况，两座机房南北相邻布置，根据平面布局，控制区边界外主要考虑在后装机治疗室防护门外的叠加影响。

后装机对防护门外和屏蔽墙外各关注点的辐射剂量率贡献值最大不超过0.008μSv/h，医用电子加速器对其防护门外和屏蔽墙外各关注点的辐射剂量率贡献值最大不超过1.15μSv/h（水冷机房），则叠加影响不超过1.158μSv/h，满足2.5μSv/h的剂量率参考控制水平。

根据上述计算结果，在保守估算的情况下，医院加速器治疗室和后装机治疗室外的辐射水平仍远低于剂量率参考控制水平，存在防护过当的情况，这主要是由于医院考虑远期存在更换更大能量设备的可能，采用了加强型的防护，以避免后期改造。项目辐射防护设施设计满足国家标准要求，在考虑了经济和社会因素之后，周围受照影响等均保持在可合理达到的尽量低的水平，基本符合“辐射防护最优化”原则。

三、三废影响分析

1、废水

工作人员和部分病人产生的普通生活污水，由院内污水处理站统一处理。

2、废气

本项目放射治疗机房均采用机械通风系统，进风口设在放射治疗机房上部，排风

口设在治疗机房下部，通风量的设计拟保证机房内通风换气次数均大于 4 次/h，室外排风口末端设置在门急诊医技综合楼楼顶，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）及《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中对放射治疗机房通风的要求。机房内产生的臭氧和氮氧化物通过通风系统排至外环境，臭氧常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小。

3、固体废物

本项目放射治疗过程中产生的定位体膜、一次性床单等医疗废物交医院现有医疗废物贮存点集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置。工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

四、事故影响分析

1、可能的辐射事故（件）情形

（1）安全联锁装置发生故障情况下，人员误入正在运行的机房而造成 X 射线误照射。

（2）工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离机房，加速器运行，会对工作人员或病人家属产生不必要的 X 射线照射。

（3）工作人员在机房内为患者摆位或其他准备工作，控制台处操作人员误开机出束，发生事故性出束，对工作人员造成辐射伤害。

（4）加速器控制系统出现故障，照射治疗不能停止，病人受到计划外照射。

（5）维修期间的事故，加速器维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

2、可能的辐射事故（件）防范措施

（1）制定自检制度，且严格进行经常性自查，如发现门机联锁、监视器、工作状态指示灯、电离辐射警告标志不够完善或失灵，以及防护门出现故障，应立即补充和修复。定期进行门机联锁装置、工作指示灯检查，防止人员误入。

（2）加强人员培训，制定规范的操作规程并落实。

（3）制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，实施照射前控制台工作人员应先观察监控确保机房内摆位工作人员已撤出。

（4）做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

（5）医院应联系有维修资质的人员前来对设备进行维护，不得私自拆卸维修加速器。

10.3.2 后装机

一、设备参数、预测点位

根据《后装γ源近距离治疗质量控制检测规范》（WS262-2017）中贮源器表面 5cm 处泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 50uSv/h，贮源器表面 100cm 处泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 5uSv/h。本项目在后装机贮源状态时，经机房墙体和防护门的屏蔽后，贮源器中的放射源对机房周围环境辐射影响很小。而后装机在出源治疗时，放射源全部被传送至施源器，则机房四周墙体和屋顶主要受到放射源 4π发射的γ射线（即初级辐射）对墙和机房顶部的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射。故本项目主要考虑后装机出源治疗时对机房外的辐射影响。

本项目主要考虑放射源发射的γ射线（即初级辐射）对墙和室顶的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射。这里采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中推荐的后装治疗机房的屏蔽计算方法。

后装机房屏蔽设计参数：治疗室面积（不含迷道）为 29.5 ㎡（5.9m×5m×5.25m），机房四周墙体、顶棚及底板采用密度 2.35g/cm³的混凝土浇筑。机房东侧屏蔽墙厚度为 1.0m，西侧屏蔽墙厚度为 1.0m，北侧迷道内、外墙屏蔽墙厚度均为 1.0m，南侧屏蔽外墙为直线加速器机房北侧屏蔽墙，主屏蔽厚度 3.3m，次屏蔽厚度 1.7m；顶棚屏蔽厚度为 1.05m，顶棚上方为 0.4m 厚的土壤层；底板厚度为 1.2m 混凝土，下部为土层。

由于医院尚未确定后装机在本项目机房中的具体摆放位置，本项目以医院给出的范围进行核算（红色框线），该红色区域最近分别距东侧内墙 1.0m，南侧内墙 1m，西侧内墙 3m，北侧内墙 3m，离地高度为 1m，距顶部屏蔽内墙 4.25m。

根据下图，虚线区域为治疗源可能的使用区域（即后装治疗病床位置），后装机出源点 O2 距东墙外预测点 a 最近，出源点 O3 距西墙外预测点 b 最近，出源点 O5 距顶上预测点 e 距离最近，出源点 O4 距南墙外预测点 c 最近、出源点 O2 距北墙外预测点 d 距离最近（此时预测点剂量率最大）。当后装机出源点位于 O3 时，迷道入口的散射辐射剂量率最大。

本项目后装机出源治疗时，放射源全部被输送至施源器，辐射环境影响预测时保守将其视为点源来预测计算机房屏蔽防护能力。辐射屏蔽防护及估算点位示意图见图10.3.2-1、图 10.3.2-2（预测点位取墙体或者防护门外 30cm 处）。

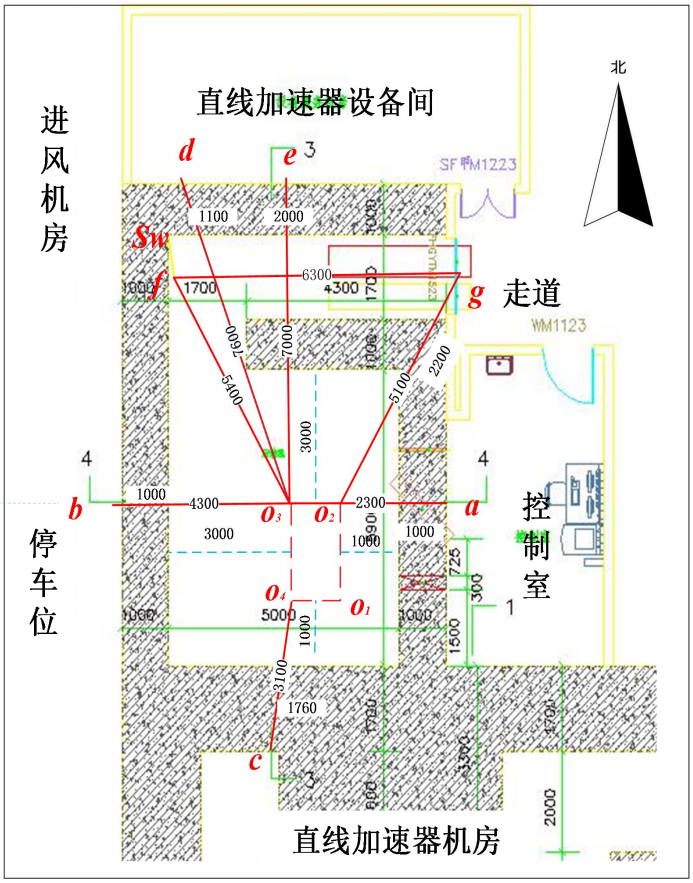


图 10.3.2-1　后装机房计算点位图（平面图）

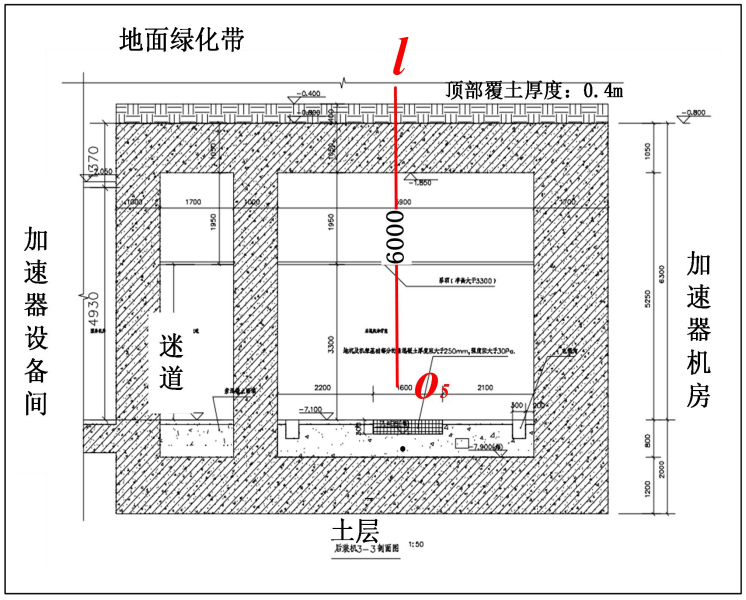


图 10.3.2-2　后装机房计算点位图（剖面图）

二、辐射防护效果预测

1、后装治疗机房墙体及顶部辐射防护设计核算

在给定的屏蔽物质厚度 X（mm）时，相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中的公式进行预测计算，计算结果见表 10.3.2-1。

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_0\cdot f}{R^2}\cdot B \qquad \text{公式 10.3.2-1}$$

式中：$\dot{H}_0$—活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，单位为μSv/h；

f —对有用线束为 1；

R—辐射源至关注点的距离，单位为米（m）；

B—辐射屏蔽透射因子，根据公式 10.3.2-2 进行计算。

$$B=10^{-(X_e+TVL-TVL_1)/TVL} \qquad \text{公式 10.3.2-2}$$

式中：TVL_1（cm）和 TVL（cm）为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_1 时，$TVL_1=TVL$。查 GBZ/T 201.3-2014 附录 C 中表 C.1，对 ^{192}Ir，混凝土 $TVL_1=TVL=152$mm；铅 $TVL_1=TVL=16$mm。

$$\dot{H}_0=A\cdot K_\gamma \qquad \text{公式 10.3.2-3}$$

式中：A—放射源的活度，单位为 MBq；

K_γ—放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，此时 K_γ 单位记为μSv/（h·MBq），查自（GBZ/T201.3-2014）附录 C。

2、后装机房迷路防护门辐射防护设计核算

本项目后装机房入口设有直迷路，治疗室内的γ射线在穿过人体后通过迷路散射至治疗室入口，入口 g 处（防护门内）的散射辐射剂量率采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源 放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中公式进行计算，结果见表 10.3.2-2。

$$\dot{H}=\frac{A\cdot K_\gamma\cdot S_w\cdot\alpha_w}{R_1^2\cdot R_2^2} \qquad \text{公式 10.3.2-4}$$

式中：A—放射源的活度，单位为 MBq；本项目 ^{192}Ir 放射源活度 A 为 3.7×10^5MBq；

K_γ—放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，此时，K_γ的单位记为μSv/（h·MBq），查自（GBZ/T201.3-2014）附录C；

S_w：迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可视见的墙区面积，单位为平方米（m^2），本项目为 1.7m（宽）×5.65m（高）=9.6 m^2；

a_w ：散射体的散射因子，本项目取 3.5×10^{-2}；（取值参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）表 C.4，本项目按 0.25MeV、45°入射辐射和 15°反散射取值。

R_1：辐射源至散射体中心点的距离，单位为米（m）；

R_2：散射体中心点至计算点的距离，单位为米（m）。

表 10.3.2-1 后装机房辐射屏蔽防护效果预测结果

参数	东侧 *a* 点（控制室）	西侧 b 点（停车位）	南侧 *c* 点（加速器机房）	北侧 *d* 点（加速器设备间）	北侧 *e* 点（加速器设备间）	防护门内 *g* 点	顶部 *l* 点（绿地）
建筑结构	混凝土（防护门为铅）						
X（cm）	1000	1000	1760	1100	2000	砼：2200 铅：10	砼：1050 +500 土层*
X_e（mm）	1000	1000	1760	1100	2000	砼：2200 铅：10	1288
TVL_1（mm）	152	152	152	152	152	砼：152 铅：16	152
TVL（mm）	152	152	152	152	152	砼：152 铅：16	152
B	2.64E-07	2.64E-07	2.64E-12	5.80E-08	6.95E-14	3.36E-15	3.36E-09
A（MBq）	3.7×10^5						
K_r（μSv/h·MBq）	0.111						
R（m）	2.3	4.3	3.1	7.6	7.0	5.1	6.00
f	1						
$\dot{H}_0$	4.11×10^4						
$\dot{H}$（μSv/h）	2.0E-03	5.9E-04	1.1E-08	4.1E-05	5.8E-11	5.3E-12	3.8E-06
控制剂量率（μSv/h）	2.5	1.2	2.4	2.4	0.6	0.6	2.4
是否满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

注：*顶部覆盖 400mm 土壤，土壤容重（包括土粒及粒间的孔隙）约为 1.4g/cm^3，对于经过

屏蔽的低能 X 射线，将 400mm 土壤屏蔽效果折算成 238mm 混凝土屏蔽效果。

表 10.3.2-2　后装机房入口 *g* 点（无防护门）处辐射剂量率计算结果

参数	取值
A（MBq）	3.70×10^{5}
K_{γ}（μSv/（h·MBq））	0.111
S_w（m^2）	9.6
a_w	3.5×10^{-2}
R_1（m）	5.4
R_2（m）	6.3
$\dot{H}$ 预测值（μSv/h）	11.92

根据公式 10.3.2-4 计算得机房入口前的散射辐射剂量率为 11.92μSv/h，叠加射线通过迷道内墙透射到防护门内剂量率 5.3×10^{-12}μSv/h，后装机防护门外 g 点（无防护门）处剂量率为 11.92μSv/h。后装治疗机房入口设有铅当量为 16mm 的铅防护门，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源 放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）附录 F，^{192}Ir 产生的γ射线经过散射后至迷路入口 *g* 处的能量约为 0.2MeV，铅中的 $TVL=TVL_1$=5.0mm，经计算，*B* 值为 6.3×10^{-4}，因此，经过机房入口防护门的屏蔽后 *g* 点处的辐射剂量率为 0.008μSv/h。

3、保护目标剂量评价

根据公式 10.3.1-13 计算后装机房外人员的年有效剂量。

（1）辐射工作人员年有效剂量评价

①摆位过程所致辐射工作人员年有效剂量

根据《后装γ源近距离治疗质量控制检测规范》（WS262-2017）中贮源器表面 5cm 处泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 50μSv/h，贮源器表面 100cm 处泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 5μSv/h。本项目后装机每天治疗人数最大为 20 人，年门诊量最大为 5000 人，工作人员摆位时距后装机约 1m，每位患者摆位和解除摆位时间约为 2min，则辐射工作人员摆位过程所致年有效剂量约为 0.833mSv（辐射剂量率取 5μSv/h，居留因子取 1）。

②治疗过程所致辐射工作人员年有效剂量

本项目单名患者需照射治疗 6～10min，年门诊量最大为 5000 人，出源治疗时控制室内的辐射剂量率为 0.002μSv/h，则出源治疗过程所致辐射工作人员年有效剂量 0.

0016mSv。

综上所述，本项目后装治疗辐射工作人员年有效剂量最大约为 0.835mSv，满足本项目职业人员年有效剂量≤5mSv/a 的管理目标。

（2）机房周围公众年有效剂量评价

根据医院提供的资料，本项目后装治疗机平均每天治疗 20 人，每周工作 5 天，每名患者治疗照射时间约为 6～10min，则周治疗出束时间不超过 16.67h，年治疗出束时间不超过 833h，计算结果见表 10.3.2-3。

表 10.3.2-3　后装机房外人员的年有效剂量预测结果

保护目标	辐射剂量率（μSv/h）	使用因子	居留因子	年有效剂量（mSv/a）	剂量约束值（mSv/a）	是否符合
东墙（控制室，*a* 点）	2.0E-03	1	1	1.6E-03	0.1	满足
西墙（停车位，*b* 点）	5.9E-04	1	1/8	6.1E-05	0.1	满足
南墙（加速器机房，*c* 点）	1.1E-08	1	1/8	1.1E-09	0.1	满足
北墙（加速器设备间，*d* 点）	4.1E-05	1	1/8	4.3E-06	0.1	满足
北墙（加速器设备间，*f* 点）	5.8E-11	1	1/8	6.0E-12	0.1	满足
防护门外（*g* 点）	0.008	1	1/5	1.3E-03	0.1	满足
顶部绿地（*l* 点）	3.8E-06	1	1/40	7.9E-08	0.1	满足

注：居留因子取值参考《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）表 A.1。

根据表 10.3-12 结果分析知，该后装机运行时，后装机房外周围公众年有效剂量最高为 0.0016mSv，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

（3）环境保护目标处公众成员年有效剂量

本项目后装机机房周围 50m 评价范围内存在 3 处保护目标，为综合住院楼 1（南侧 25m）、综合住院楼 3（北侧 40m）、制剂中心（西北侧 50m）。由表 10.3.2-3 可知，后装机机房外公众成员所受年有效剂量最大为 1.6E-03mSv/a，项目保护目标距场所最近距离约 25m，距离较远，剂量率随距离而衰减，经墙体屏蔽和距离衰减，对保护目标处公众辐射影响较小，也低于本评价采用的公众人员 0.1mSv 年管理剂量约束值。

综上所述，在加强日常管理情况下，本项目后装机职业人员及公众成员所接受的年有效剂量均满足本评价提出的年管理剂量约束值，满足国家有关要求。

4、换源辐射环境影响分析

放射源 ^{192}Ir 的半衰期为 74 天，一般每年需要更换 3 次 ^{192}Ir 放射源。换源时，购买的放射源放置在 25mm 铅当量的储源罐中由放射源生产厂家运至医院后装机治疗室内，关闭防护门后由后装机生产厂家的工程师在后装机治疗室内进行换源、调试，本项目辐射工作人员仅在治疗室外负责辅助协调工作。后装机换源过程大约需要 30 min，根据后装机在出源治疗和贮源状态时治疗室外各关注点处辐射剂量率最大为 0.008μSv/h 可知，后装机在换源、调试时对后装机治疗室周围环境辐射影响较小，约为 8×10^{-6}mSv/a，该过程所致本项目辐射工作人员和周围公众的年有效剂量可忽略不计。

本项目 ^{192}Ir 密封源运输事宜由供源厂家承担，密封源是由专人、专车运输，保证运输安全。经与医院核实，本项目装换源由供源厂家负责。医院负责协助源厂家进行换装源操作，在换装源过程中，严格按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关规定，做好安全与防护工作；安装放射源后须请有监测资质的单位对剂量率进行监测，因此，换装源过程的影响是可控的。换装源完成后，放射源即贮存于后装机机头自屏蔽体内，经过自屏蔽体和治疗室墙体的屏蔽后，放射源对周围环境影响较小。

5、放射治疗机房电缆管廊、通风管道、门缝辐射补偿措施的效果评价

本项目后装机房进风口和排风口处均采用“Z”型穿墙方式，在“Z”型通风管道处射线至少经过 3 次散射，每次散射剂量率减小 1～2 个数量级，电缆管线口均采用地下“U”型穿墙，因此通风口和电缆管线口不会影响墙体的屏蔽效果。根据《辐射防护导论》第 189 页“实例证明，如果一个能使辐射至少散射三次以上的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全”，由此可推断电缆管道出口处的辐射剂量率均能够满足标准要求，预计通风口和电缆管线口外剂量率可低于 2.5μSv/h 的限值。

6、天空反散射及侧散射

根据上述计算可知，本项目后装机房室顶外剂量率 3.8×10^{-6}μSv/h，远低于 2.5μSv/h 的限值，因此本次不再考虑天空反散射和侧散射的影响。

7、与后装机同时运行时的叠加影响分析

本项目医用电子加速器与后装机存在同时运行的情况，两座机房南北相邻布置，根据平面布局，控制区边界外主要考虑在后装机治疗室防护门外的叠加影响。

后装机对防护门外和屏蔽墙外各关注点的辐射剂量率贡献值最大不超过 0.008μS

v/h，医用电子加速器对其防护门外和屏蔽墙外各关注点的辐射剂量率贡献值最大不超过 0.77μSv/h，则叠加影响不超过 0.778μSv/h，满足 2.5μSv/h 的剂量率参考控制水平。

根据上述计算结果，在保守估算的情况下，医院加速器治疗室和后装机治疗室外的辐射水平仍远低于剂量率参考控制水平，存在防护过当的情况，这主要是由于医院考虑远期存在更换更大能量设备的可能，采用了加强型的防护，以避免后期改造。项目辐射防护设施设计满足国家标准要求，在考虑了经济和社会因素之后，周围受照影响等均保持在可合理达到的尽量低的水平，基本符合“辐射防护最优化”原则。

三、三废影响分析

1、废水

工作人员和部分病人产生的普通生活污水，由院内污水处理站统一处理。

2、废气

本项目后装机房均采用机械通风系统，进风口设在放射治疗机房上部，排风口设在治疗机房下部，通风量的设计拟保证机房内通风换气次数均大于 4 次/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）及《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中对后装机房通风的要求。机房内产生的臭氧和氮氧化物通过通风系统排至外环境，臭氧常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小。

3、固体废物

本项目放射治疗过程中产生的定位体膜、一次性床单等医疗废物交医院现有医疗废物贮存点集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置。工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

本项目后装治疗机正常治疗过程中，不产生放射性固体废物，但经一定使用年限后，会产生报废或退役的 ^{192}Ir 放射源。医院承诺与放射源供源厂家签订废旧放射源回收协议，由其回收废旧放射源，并负责运输；如确定无法交回供源厂家的，应交有相应资质的单位收贮，废旧放射源的运输应委托有资质的单位运输。废旧放射源处置前贮存在后装治疗机内，不得私自进行拆卸、处置。本次评价要求废旧放射源送贮完成之日起 20 日内，及时向生态环境主管部门备案，申请办理放射源注销手续。在废旧放射源按照设计方案妥善处置后，放射性固废的环境影响可基本消失。

医院将加强放射源倒装活动的辐射安全管理，倒装工作委托供源厂家或有相应能

力且通过辐射安全考核的专业人员进行。本次评价建议进行倒装工作的单位制定放射源倒装活动方案，对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置、倒源屏蔽体搭建进行确认；装放射源时应对机房周围和含源设备表面进行辐射监测，关注机房的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况，做好安装和更换的放射源清点并记录；倒源结束后对含放射源的治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。

四、**事故影响分析**

1、可能的辐射事故（件）情形

（1）门源联锁装置发生故障或工作人员未及时观察到机房内存在无关人员等情况下，人员误入正在运行的机房而造成γ射线误照射。本项目后装机治疗室和迷道内设有监控摄像头，防护门设有门源联锁装置，控制室内同时工作的人员不少于 2 名，因此此类情况发生概率极低，一旦发现此情况，操作人员按下急停开关，可防止人员受到进一步照射，一般受到误照射的人员受照剂量可控制在 1mSv 以下，基本不会对人造成永久性损伤，若误照射时间较长、近距离接触放射源，可能对人员造成可恢复的临时性损伤；

（2）后装机放射源卡源导致放射源不能回到贮存位置，造成误照射，受照剂量可能超过 1mSv，可能对病人等造成可恢复的临时性损伤

（3）由于管理不善，发生放射源失窃，导致公众受照和环境受到辐射污染。

2、能的辐射事故（件）防范措施

（1）工作人员必须定期检查门机联锁装置等防护设施是否正常，如果失灵，应立即修理，使其恢复正常；每次开机时，首先通过机房内的监控确认机房内无无关人员的情况下再开机，防止对误入人员造成误照射；

（2）发生卡源、开关失灵或其他故障时，应立即停止工作，工作人员和病人要迅速撤离治疗室，通过操控手动回源装置使放射源返回至贮源器内。辐射工作人员手动回源整个过程约需要 3min，距放射源 1m 处的辐射剂量率为 41070μSv/h，居留因子取 1，不考虑个人防护用品屏蔽作用，工作人员在 3min 内所受剂量为 2.0mSv，能够满足 GB18871-2002 的“除了抢救生命的行动外，必须尽一切合理的努力，将工作人员所受到的剂量保持在最大单一年份剂量值的两倍以下”的规定；

（3）非工作状态下，^{192}Ir 放射源于后装机贮源器贮存，且防护门处于关闭状态，防护门加锁，设置专人管理，日常工作中做好使用台账，只要加强管理，一般不会出

现放射源失窃的情况。一旦出现放射源失窃的情况，医院应及时上报当地生态环境部门、公安部门及卫生部门，并配合相关部门调查，及时找回放射源。

表 11 核医学工作场所环境影响分析（含回旋加速器分析）

11.1 项目工程分析与源项

本项目核医学工作场所位于地下室负 1 层，包括放射性核素制备区域（回旋加速器中心）和放射性核素使用区域。放射性核素制备区域（回旋加速器中心）拟安装并使用 1 台回旋加速器，用于制备放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N（回旋加速器打靶在回旋加速器机房内完成，属于II类射线装置）；放射性核素使用区域涉及放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{99m}Tc 和 ^{131}I 的应用，使用放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{99m}Tc 开展临床显像诊断，其中放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 依托 PET-CT、PET-MRI 开展放射性诊断工作，放射性核素 ^{99m}Tc 依托 SPECT-CT 开展放射性诊断工作；使用放射性核素 ^{131}I 开展甲亢、甲癌患者治疗。

11.1.1 工程设备和工艺分析

一、放射性核素制备区域（回旋加速器中心）

1、回旋加速器组成

回旋加速器主要由磁场系统、高频系统、离子源系统、真空系统、引出系统、靶系统、冷却系统、控制系统等组成。设备基本组成见图 11.1-1，典型设备外观图如图 11.1-2。

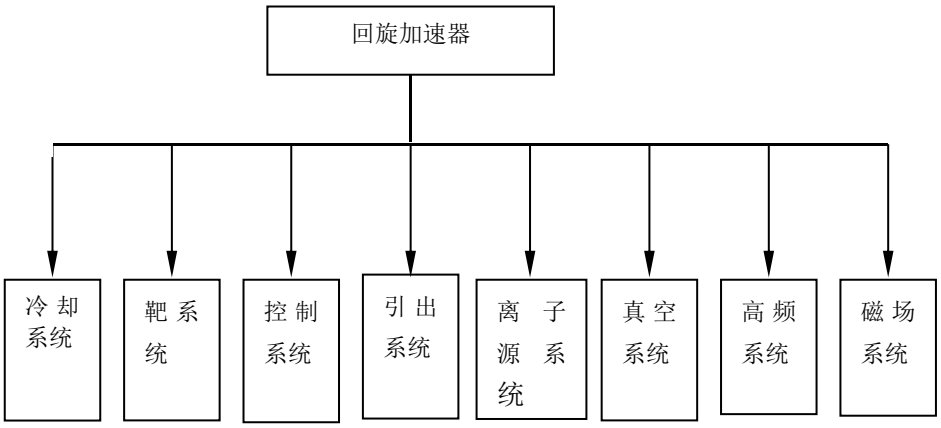


图 11.1-1 设备基本组成

图 11.1-2　典型设备外观图

（1）磁场系统

磁场系统包括上下磁轭、磁场线圈、磁场电源等。在维修时，上磁轭可以用液压装置将其打开。磁场靠安装在上下磁轭之间线圈上的电流获得能量。线圈由连续的铜片组成，线圈的这种组成方法使得线圈内产生的热量可通过线圈外冷却水的传导而排出，这样就不必要应用中通冷却水的磁场线圈。每一磁场极含有 4 个磁嵴，临近磁嵴之间的区域称之为磁谷，加速的束流在到达提取半径的路径中交替经过磁嵴与磁谷确定的强和弱的磁场。当束流通过每一次磁嵴区域时，由于强磁场的影响，束流轨迹近似为圆形；然而在磁谷区域时，束流轨迹接近于笔直的路径向下一个磁嵴区。这交替的磁场（方位角变化的）对束流粒子在加速的中心层面提供了强的聚焦力，这些强的聚焦力引导粒子返回中心层面，产生高的束流引出效率。

（2）高频（RF）系统

高频系统作用是对“D”盒结构提供一个交替的高电压用以加速 H-离子。“D”盒结构为径向的扇形小腔体，束流每一圈经过 2 个 “D”盒各一次，得到 2 次加速。束流以这种方式得到能量，其轨道半径也逐渐增加。因此，当向提取半径方向加速时，束流的轨迹被描述为准螺旋形。当束流提取到达提取半径时，其能量也将达到预定能量。射频系统包括初级放大器、中级放大器、末级放大器、频率合成器、耦合器，以及相应的控制和检测电路，随着温度的变化，频率也不断且自动地受 RF 控制元件调整以

维持共振。

（3）离子源系统

回旋加速器的离子源系统是垂直安装在真空内部的潘宁离子源（PIG离子源）。离子源的机械安装与更换仅在维修中进行，在正常操作中不需要进行调试或干预性操作。离子源有2个位于中心层面上下的钽电极，1个中空的位于两个阴极之间的圆柱型阳极。氢气分子电离子产生等离子体，偏压下提取出氢负离子，进入加速区域，不断得到能量，直到达到需要的能量并被引出。

（4）真空系统

真空系统包括磁辄之间的真空仓，用于抽气的泵，仪表和控制部分。真空仪表和控制部分用于监测仓室的压力及在系统出现故障时对仪器起到保护作用。真空仓连续不断的抽取以排除来源于离子源及真空室内表面的气体。真空系统通常要求每天 24 小时不停的工作以保证真空仓内残留的气体达到最小，加速器的性能最优化，这将有利于提高离子的提取效率，减少加速器内部的活化。真空泵分为两种：机械泵用于初级真空的获得，扩散泵用于高真空的获得。当维修时或有提前通知停电时，需要手动关闭真空系统，此时需要先关闭扩散泵，等冷却后才能关机械泵。

（5）束流引出系统

引出系统的作用主要是将加速器加速到一定能量的束流靶体上，与相应原料发生核反应。现代很多回旋加速器都使用 H^-离子源，因此，引出系统相对简单。这种引出系统仅使用一块很薄的碳膜（微米量级），当 H^-经过碳膜时，H^-中 2 个电子被剥离，使束流从负离子变成正离子 H^+，结果使其受到的磁场作用力相反，带正电荷的束流偏向预定的出口并轰击靶体。Qilin 加速器支持双束流引出，可服务于多达 6 个靶位。

（6）靶系统

主要由准直器、氦冷却室、靶室、水冷却室和双相三通阀组成。生产正电子核素的核反应在此装置内完成。核素 ^{18}F 的生产使用液体靶，所有原料都从外部的操作台内进行注射，操作人员无需进入回旋加速器机房即可完成靶材料的添加。液体靶外部注射模块与加速器上的靶通过地沟内的管线进行连接，通过高纯氮气把靶原料压入靶内。待轰击结束后，通过高纯氮气将靶内的产物由管道传输到热室内进行标记合成。

（7）冷却系统

加速器运行中产生的热量有三种方式加以排出，第一种是用 He 冷，第二种是水

冷，第三种是风冷。在回旋加速器中，对靶窗的冷却采用 He 冷却，而对其他很多系统产生的热量，如：磁体、D 盒、真空泵、离子源等，则采用水冷却。风冷则主要使用在一些不方便或者不能使用水冷却的系统，如高频以及集成电路板等。

（8）控制系统

在控制系统计算机的界面上，可以独立地操作和控制每个子系统。而且更重要的运行参数，系统都有反馈值，便于了解系统的工作状态以及进一步的调整。系统能够根据条件和环境的改变，自动优化系统参数，使系统工作在最优的条件下，生产的效率得以提高，并延长了机器和相关部件的使用寿命。另外，这种智能化也包括了机器的连锁保护，可以有效的避免各种失误造成的对机器或者人身的伤害。

2、回旋加速器工作原理

回旋加速器是粒子（质子）加速器，其工作原理如图 11.1-3 所示。它由一个具有高度真空的对称分成两侧的 D 型盒组成。D 型盒放入高场强的直流磁极之间，两侧 D 型盒加上交流高频高压。被加速带电离子如质子和氘核从两侧 D 型盒中心注入，在磁场作用下，带电离子作圆周运动。当离子在一侧加速到最大速度时改变磁场方向使离子到磁场另一侧 D 型盒中被加速。离子每通过两侧 D 型盒一次，能量得到增加，同时运动轨道半径随之加大。经过许多圈的加速离子达到所要求的能量并被处理后去轰击靶产生放射性同位素。回旋加速器经特殊设计，粒子在运行一周中被加速四次。回旋加速器工作原理如图 11.1.1-3 所示。

加速器制备放射性同位素是利用加速器将带电粒子加速到一定的能量，轰击特定的靶

材料，引起核反应而实现的。生产出来的放射性核素主要为缺中子核素，以发射β^+或电子俘获形式进行衰变，能量适中、半衰期短、辐射危害小，适合 PET 显象。

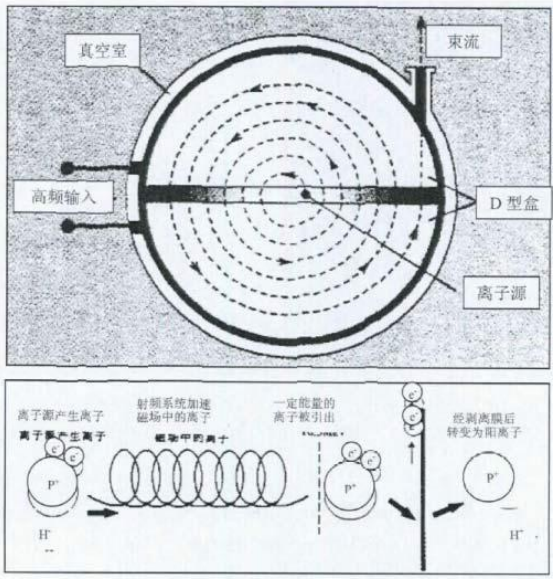


图 11.1-3　回旋加速器工作原理

3、回旋加速器工作流程

制备放射性药品^{18}F、^{11}C、^{13}N制备工作流程如下：

（1）计划产量：根据医院病人预约数量和就诊病人情况选择靶材及综合制剂单位，制定当天的制备任务，进行放射性核素生产前的物料准备。

（2）在回旋加速器开机前，工作人员先进入回旋加速器机房进行巡视，确保机房内无人及各个环节准备（靶物质、冷却系统、通风系统等）就绪后，关闭回旋加速器机房防护门，进入回旋加速器控制室内开启回旋加速器；

（3）回旋加速器由自动控制的加液泵经小孔径管道将液态靶物质装载于靶中（液态靶物质无放射特性），设定制备条件，轰击不同靶位一定时间（视核素种类和所需制备量而定）生成所需核素后，通过靶产物传输管道进入热室内进行化学合成，自动分装或活度计中直接测定活度，并用水和氦气将回旋加速器管道吹干。以上整个过程（包括加速器打靶及化学合成）为全自动控制，无需工作人员进入回旋加速器机房/热室内，仅在控制室监控整个过程的执行情况；

（4）化学合成、分装后取样进入放化实验室检验、全检室、阳性对照室等（主要为观察药物的澄明度，测量其pH值，再检测其放射化学纯度），待检验合格后，制备的药物转入铅罐经由专用药物通道进入PET放射诊断区域的分装质控室。

回旋加速器工作流程及产污环节见图11.1-4。

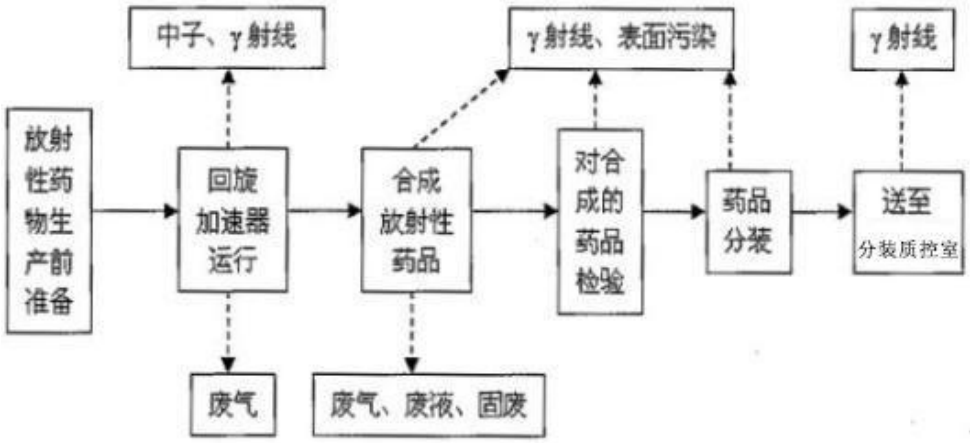


图 11.1-4 回旋加速器工作流程及产污环节

4、核素制备剂量及特性

（1）核素制备剂量

根据生产厂家提供的资料，Qilin型回旋加速器加速质子（P）的标称能量为9.6MeV，最大P束流可达到70μA；回旋加速器制备的放射性核素信息见下表。

表 11.1-1 Qilin 型回旋加速器制备的放射性核素能力一览表

核素种类	靶物质名称	制备时束流强度	质子能量	最大生产能力
^{18}F	铌靶	70μA	9.6MeV	3500mCi/120min
^{11}C	铝靶	35μA	9.6MeV	900mCi/30min
^{13}N	银靶	35μA	9.6MeV	75mCi/25min

本项目回旋加速器中心按核医学科需求量进行核素制备，按全年 50 周计，回旋加速器制备 ^{18}F 时每周开机 5 天，每天开机 1 次，每日最大制备量 7.4×^{9}10Bq(300mCi)，年最大制备量为 1.85×10 ^{12}Bq(50Ci)；^{11}C、^{13}N 每周各开机 1 天，当天均开机 1 次，每日最大制备量均为 1.85×10^{9}Bq(50mCi)，年最大制备量均为 9.25×10^{10}Bq(2.5Ci)。

表 11.1-2 本项目回旋加速器制备核素生产计划一览表

序号	核素	日制备核素量	制备次数	年制备次数	年制备核素量
1	^{18}F	7.4×10^{9}Bq(200mCi)	5 次/周	250	1.85×10^{12}Bq（50Ci）
2	^{11}C	1.85×10^{9}Bq(50mCi)	1 次/周	50	9.25×10^{10}Bq（2.5Ci）
3	^{13}N	1.85×10 ^{9}Bq(50mCi)	1 次/周	50	9.25×10^{10}Bq（2.5Ci）

5、放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 特性

正电子放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 自然衰变过程为β^{+}辐射，β^{+}粒子在自然界中不能长时间独立存在，很快会与原子中轨道电子结合发生湮灭反应，同时释放出 2 个能量相同（0.511MeV）、方向相反的γ光子，即γ射线，γ射线对周围环境产生外照射辐

射影响。

核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 自然衰变过程为β纯辐射，β射线在空气及人体组织中射程均较短，不会对周围环境产生外照射辐射影响，但β^+粒子发生湮灭反应后产生的γ光子将会对周围环境产生外照射影响。正电子发射及其湮灭图见图 11.1-5。

正电子放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 的最大特点是半衰期较短。放射性核素 ^{18}F 的半衰期最长，仅为 109.8min，放射性核素 ^{13}N 的半衰期最短，约为 10 分钟。正电子放射性核素的湮灭光子能量为 0.511MeV，^{18}F 的γ射线照射量常数为 0.58R·m 2/h·Ci，^{11}C、^{13}N 的γ射线照射量常数为 0.6R·m^2/h·Ci。

$$\beta^+ + \beta^- \rightarrow \gamma + \gamma + Q\text{（能量）}$$

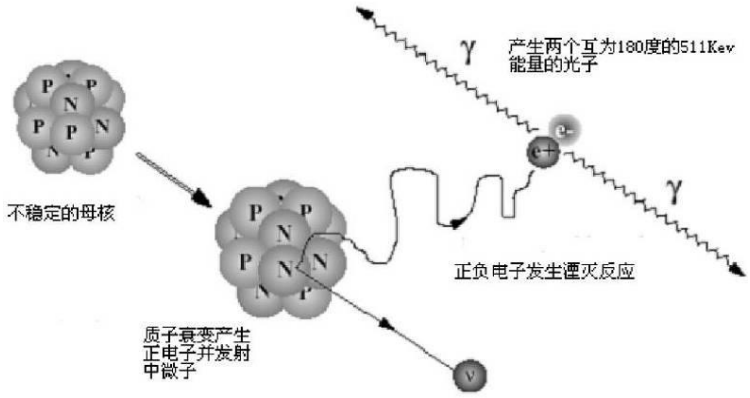


图 11.1-5 正电子发射及其湮灭简图

正电子放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 的物理特性如表 11.1-3 所示。

表 11.1-3 回旋加速器生产正电子放射性核素的特性

核素	衰变类型	半衰期	最大电子能量（MeV）	最大射程（mm）	平均射程（mm）
^{18}F	β^+、EC	109.8min	0.64	2.4	0.22
^{11}C	β^+、EC	20.33min	0.96	5.0	0.28
^{13}N	β^+	10.0min	1.19	5.4	0.62

二、^{18}F、^{11}C、^{13}N 放射诊断

1、放射性药物订购、使用量及诊断规模

1）放射性药物预约制备情况

医院根据患者拟使用放射性药物量及用药时间，由放射性核素制备区域（回旋加速器中心）制备分装好的 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 放射性药物，辐射工作人员将盛有 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 放射性药物的铅罐转运至 PET 放射诊断区分装室手套箱中，当天用完。

2）放射性药物使用量与诊断规模

（1）^{18}F 诊断

根据医院提供材料，^{18}F 诊断患者每日最多接诊 20 人次，每人最大用量 3.70×10^{8} Bq（10mCi），则日最大操作量为 7.4×10^{9}Bq（200mCi）。每周开展 5 天，每年按 50 周计，年最多接诊 5000 人次，年用量约为 $5000\times3.7\times10^{8}=1.85\times10^{12}$Bq（50Ci）。

本项目注射 ^{18}F 患者诊断工作依托 PET-CT 或 PET-MR 开展，诊断时患者体内 ^{18}F 放射性药物最大携带量 3.70×10^{8}Bq（10mCi）。

（2）^{11}C

根据医院提供资料，本项目使用 ^{11}C 放射性药物日最大诊断量为 5 人次，患者每次最大注射活度为 3.7×10^{8}Bq(10mCi)，则日最大使用量为 1.85×10^{9}Bq(50mCi)，每周开展 1 天，每年按 50 周计，全年开展 250 人次诊断，则年最大使用量为 9.25×10^{10}Bq (2.5Ci)。

本项目注射 ^{11}C 患者诊断工作依托 PET-CT 或 PET-MRI 开展，诊断时患者体内 ^{11}C 放射性药物最大携带量为 3.7×10^{8}Bq(10mCi)。

（3）^{13}N

根据医院提供资料，本项目使用 ^{13}N 放射性药物每日最大诊断量为 5 人次，患者每次最大注射活度为 3.7×10^{8}Bq(10mCi)，则日最大使用量为 1.85×10^{9}Bq(50mCi)，每周开展 1 天，每年按 50 周计，全年开展 250 人次诊断，则年最大使用量为 9.25×10^{10} Bq(2.5Ci)。

本项目注射 ^{13}N 患者诊断工作依托 PET-CT 或 PET-MRI 开展，诊断时患者体内 ^{13}N 放射性药物最大携带量为 3.7×10^{8}Bq(10mCi)。

2、诊断原理

PET其全称是正电子发射型计算机断层扫描显像仪（positron emission tomography，简称PET），是反映病变的基因、分子、代谢及功能状态的显像设备。它是利用正电子核素标记葡萄糖等人体代谢物作为显像剂，通过病灶对显像剂的摄取来反映其代谢变化，从而为临床提供疾病的生物代谢信息。CT是常用的断层显象技术，MR为磁共振成像技术，可以清楚地获得病变的解剖结构信息，但仅靠结构特点难以作出准确的判断。PET-CT和PET-MR是将PET与CT或MR整合在一台仪器上，组成一个完整的显像系统，被称作PET-CT系统或PET-MR系统。病人在检查时经过快速的全身扫描，可以同时获得CT或MR解剖图像，以及PET功能代谢图像，两种图像优势互补，从而

可对疾病作出全面、准确的判断。

PET使用正电子示踪剂（如^{18}F、^{11}C、^{13}N），核素释放的正电子在组织内移行的距离很短，依据能量的不同一般在10^{-1}cm到10^{-2}cm的范围内。核素衰变过程中正电子从原子核内放出后很快与自由电子碰撞湮灭，转化成一对方向相反的γ光子。在光子飞行方向上设置一对探测器，几乎可同时接收到这两个光子，通过环绕360°排列的多组配对探头，得到探头对连线上的一维信息，将信号向中心点反投射并加以适当的数字处理，便可形成断层示踪剂分布图像。当由正电子放射性核素所标记的示踪剂（显像剂）注入血流后，到达全身，聚集在特定的器官或某一部位，凡代谢率高的组织或病变在PET上呈明确的高代谢亮信号，凡代谢率低的组织或病变在PET上呈低代谢暗信号。

临床主要应用于肿瘤、脑和心脏等领域重大疾病的早期发现和诊断。

3、诊断流程及产污环节

（1）医院接受患者预约登记，收集患者病史，并对患者进行常规检查，确定注射剂量及诊断时间；

（2）根据患者注射剂量及诊断时间，由回旋加速器中心制备分装好的^{18}F、^{11}C、^{13}N放射性药物，辐射工作人员将盛有^{18}F、^{11}C、^{13}N放射性药物的铅罐转运至内科住院综合楼地下一层核医学工作场所PET放射诊断区分装质控室内手套箱中；

（3）注射前，辐射工作人员将放射性药物从手套箱内取出，隔着注射窗口对注射室内患者进行静脉注射；

（4）注射放射性药物的患者在注射后候诊室静卧休息一定时间（约50-60min）后，进入PET-CT或PET-MRI（约20min）机房进行检查；

（5）检查结束后，检查结束后，大多数患者直接离开，少数患者在留观室留观一段时间（停留约20min）后离开。

^{18}F、^{11}C、^{13}N放射诊断流程及产物环节见图11.1-6。

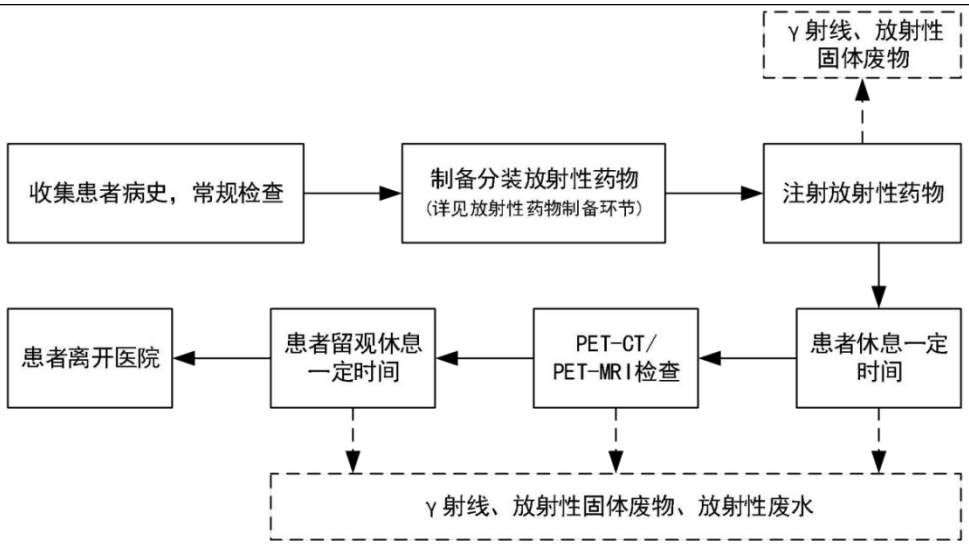


图 11.1-6　^{18}F、^{11}C、^{13}N（PET-CT/PET-MR）诊断流程及产污环节图

4、放射性核素特性

放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 的特性同本节“一　5、放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 特性”。

三、^{99m}Tc 放射诊断

1、放射性药物订购、使用量及诊断规模

（1）放射性药物订购情况

根据医院提供材料，本项目 ^{99m}Tc 由钼锝发生器制备，钼锝发生器规格为 $2.96\times10^{10}Bq$（800mCi），预计每 2 天订购 1 个，每年按 250 天计，每年最多订购 125 个发生器柱。

（2）放射性药物使用量及诊断规模

根据医院提供材料，^{99m}Tc 诊断患者每日最多接诊 20 人次，每人用药量一般为 $1.85\times10^{8}Bq$～$7.4\times10^{8}Bq$（5～20mCi），则日最大操作量为 $1.48\times10^{10}Bq$（400mCi）。每周开展 5 天，每年按 50 周计，年最多接诊 5000 人次，年用量约为 $5000\times7.4\times10^{8}=3.7\times10^{12}Bq$（100Ci）。

本项目注射 ^{99m}Tc 患者诊断工作依托 SPECT-CT 开展，诊断时患者体内 ^{99m}Tc 放射性药物最大携带量为 $7.4\times10^{8}Bq$（20mCi）。

2、诊断原理

SPECT-CT 是将单光子发射计算机断层成像系统(Single-Photon Emission Computed Tomography，SPECT)和 X 射线计算机断层成像系统(CT)一体化组合的影像诊断设备，具备 SPECT(单光子发射型计算机断层扫描)功能及 CT 功能，可完成 SPECT 和 CT 的一站式服务，利用图像融合技术，可将功能代谢与解剖结构完美结合显示成像，得到 SPE

CT 和 CT 的融合图像，两种图像优势互补，完成对病变的精细解剖定位和功能影像诊断，灵敏度高、特异性强、定位准等功效。

患者注射 ^{99m}Tc 放射性药物，^{99m}Tc 在特定的器官或组织发射出能量为 140keV 的低能光子(γ射线)，穿过组织器官后达到 SPECT 探测器。SPECT 使用低能准直器对γ射线进行准直，通过闪烁体将γ射线能量转换为光信号，再通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大，得到的测量值代表在该投影线上的放射性大小，再利用计算机从投影求解断层图像。

临床主要应用于骨骼显像、心脏灌注断层显像、甲状腺显像、肾动态显像等。

3、诊断流程

（1）接受患者预约后，医院收集患者病史，并对患者做常规检查；

（2）根据患者病情，确定放射性药物 ^{99m}Tc 使用量，制备放射性药物 ^{99m}Tc，辐射工作人员测量放射性药物 ^{99m}Tc 活度、标记并分装到注射器内。

（3）辐射工作人员隔着注射窗口对注射室内患者进行静脉注射；

（4）施药患者在注射后候诊室休息一定时间，根据患者患病类型和患者自身情况，休息时间不同（0.5-2 小时，骨扫描患者约 6h），等待检查；

（5）施药患者进入 SPECT-CT 机房进行 SPECT-CT 扫描（约 20min）；

（6）检查结束后，患者在留观室休息一段时间，之后从 SPECT 放射诊断区患者出口离开。

^{99m}Tc 诊断流程及产污环节见下图。

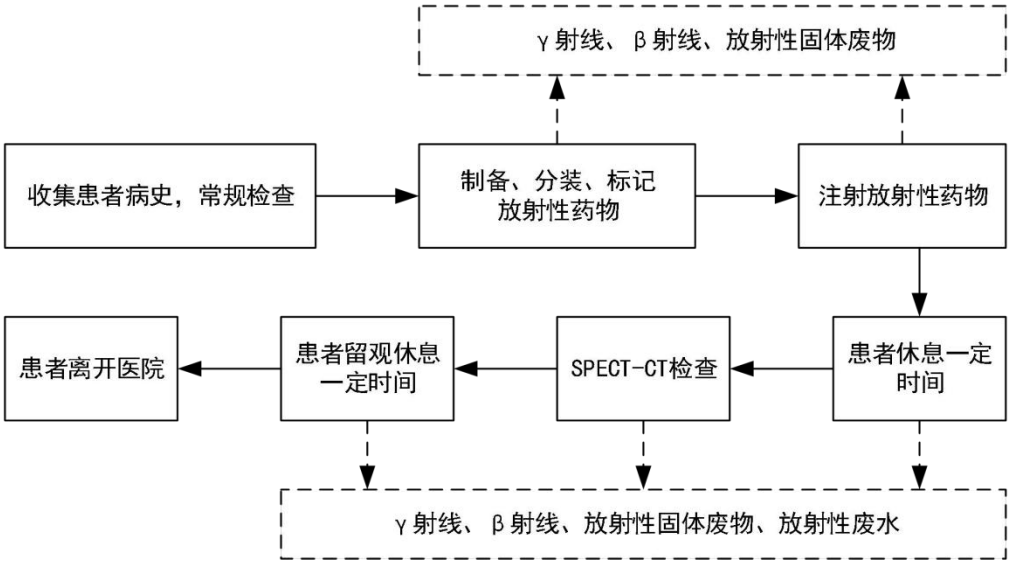
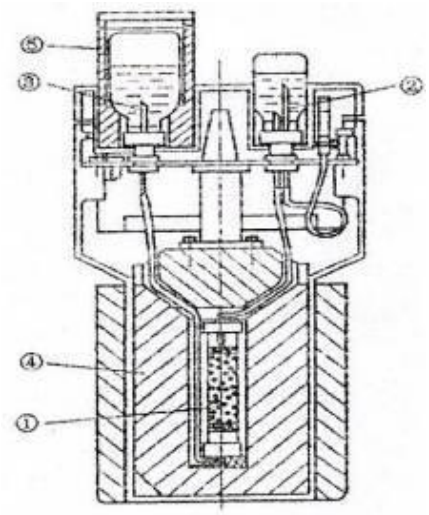


图 11.1-7　^{99m}Tc（SPECT-CT）诊断流程及产污环节图

4、放射性药物 ^{99m}Tc 制备流程

打开 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器顶部的铅屏蔽盖，在发生器的一端插上生理盐水瓶作淋洗液，另一端插上真空瓶，由于负压作用淋洗出 ^{99m}Tc 标记液，^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器内部结构见下图；



①吸附 ^{99}Mo 的色谱柱；②双针插座，淋洗时将生理盐水瓶插上；③单针插座淋洗时将生理真空瓶插上；④铅屏蔽体，40mm；⑤淋洗液接收的铅防护容器。

图 11.1-8　^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器内部结构

5、放射性核素特性

（1）^{99}Mo

放射性核素 ^{99}Mo 半衰期为 2.75d，衰变方式为β$^-$衰变，衰变时除发射β射线外还发射 0.2MeV 的γ射线。^{99}Mo 衰变图纲见下图。

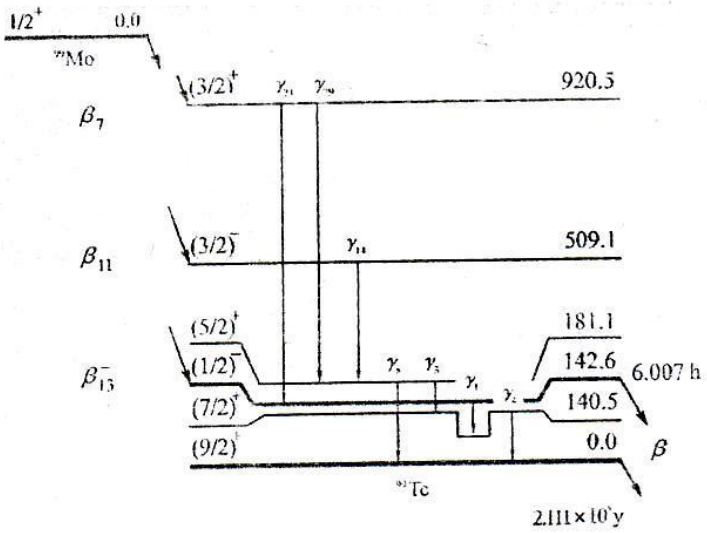


图 11.1-9　^{99}Mo 衰变纲图

（2）^{99m}Tc核素特性

核素 ^{99m}Tc 为 ^{99}Tc 的同质异能素，IT%≈100%，半衰期为 6.02 小时，主要获取方式：^{99}Mo 衰变子体。^{99m}Tc 发生 IT 跃迁时释放γ射线，能量为 145.5keV，其子体为核素 ^{99}Tc，^{99}Tc 发生β衰变，^{99}Tc 的半衰期为 2.14×10^5 年。^{99m}Tc 的衰变纲见下图。

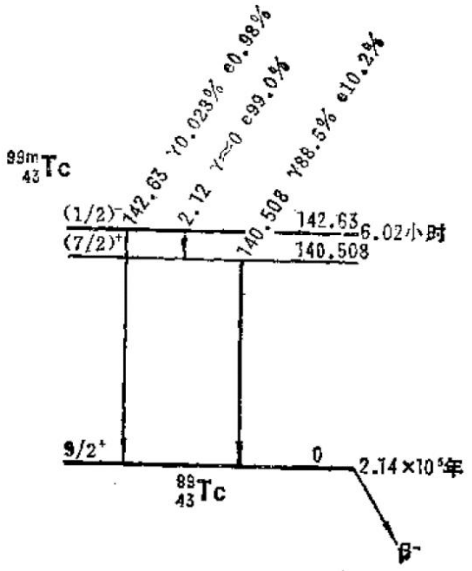


图 11.1-10　^{99m}Tc 衰变纲图

三、^{131}I 放射性核素诊疗

1、放射性药物订购、使用量及质量规模

（1）放射性药物订购

医院根据患者拟使用放射性药物量及治疗时间，向供货厂家预定碘化钠（^{131}I）放射性药物，由供货厂家将盛有^{131}I放射性药物的铅罐运输至地下室核医学工作场所储源室，当天用完。

（2）放射性药物使用量

①甲功测定

根据医院提供材料，本项目甲功测定每天最多 5 人，每人最大用量 3.7×10^5Bq（10μCi），则日最大操作量为 1.85×10^6Bq（0.05mCi），每周最多接诊 25 人，每年按 50 周计，全年开展甲功测定 1250 人次，则年最大使用量 4.625×10^8Bq（12.5mCi）。

②甲亢治疗

根据医院提供材料，^{131}I 甲亢治疗患者每日最多接诊 5 人次，每人最大用药量为 3.7×10^8Bq（10mCi），则日最大操作量为 1.85×10^9Bq（50mCi）。每周开展 5 天，每年按 50 周计，年最多接诊 1250 人次，则年最大使用量 4.625×10^{11}Bq（12.5Ci）。

③甲癌治疗

根据医院提供材料，^{131}I 甲癌治疗患者每日最多接诊 4 人次，每人最大用药量为 $7.4\times10^{9}Bq$（200mCi），则日最大操作量为 $2.96\times10^{10}Bq$（800mCi）。每周最多接诊 6 人，每年按 50 周计，年最多接诊 300 人次，则年最大使用量 $2.22\times10^{12}Bq$（60Ci）。

则本项目 ^{131}I 日最大操作量为 $3.145\times10^{10}Bq$（850mCi），年最大使用量约为 $2.683\times10^{12}Bq$。

2、^{131}I治疗原理

（1）甲功测定

甲状腺是具有选择性摄取和浓聚碘的功能，其摄取碘的速度和数量与甲状腺的功能状态有关，口服 ^{131}I 后可被甲状腺滤泡上皮细胞摄取、浓聚。在体外，利用甲状腺功能仪探测甲状腺 ^{131}I 发射的γ射线，获得不同时间甲状腺部位的放射性计数率，根据甲状腺摄取 ^{131}I 的数量和速度、释放的速率来判定甲状腺功能状态。

（2）甲亢治疗

^{131}I 衰变为 ^{131}Xe 时放射出 95%的β射线，该射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有 0.5mm，一般不会造成甲状腺周围组织例如甲状旁腺、喉返神经等的辐射损伤。^{131}I 治疗可使部分甲状腺组织受到β射线的集中照射，使部分甲状腺细胞引发炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的异常功能恢复正常，达到甲亢治疗的目的。

（3）甲癌治疗

由于 ^{131}I 可以高度选择性聚集在分化型甲状腺癌及转移灶，且 ^{131}I 衰变时发射出射程很短的β射线和能量跃迁时发出γ射线，通过高剂量 ^{131}I 对病变组织进行内照射治疗，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或者破坏病变组织的目的，取得类似部分切除甲状腺的效果，从而达到甲癌治疗的目的。

3、^{131}I 放射性核素治疗流程

辐射工作人员在储源室将铅罐转移到手套箱内碘全自动分装仪中，在分源储源内遥控操作计算机设定样品的分配活度、体积等，系统自动完成放射性原液的稀释、定量分配、在线活度测量和样品体积配比等工作，碘全自动分装仪自动将药物分装到预先放置的一次性杯子中备用，辐射工作人员通过对讲系统指导患者通过服碘间窗口拿取药物后口服。

（1）甲功测定

甲亢患者需先进行甲功测定，辐射工作人员从甲功室铅罐内将药物取出，监督指导患者服药；利用甲状腺功能仪探测患者服药后 2、4、24h，获得甲状腺部位的放射性计数率，计算甲状腺摄 ^{131}I 率，绘制 ^{131}I 率曲线，并注明各时间点的摄 ^{131}I 率。

（2）甲亢治疗

辐射工作人员根据甲亢患者甲功测定情况，利用碘全自动分装仪将药物分装（可直接测定药物活度，放置于分源储源室内手套箱中），辐射工作人员通过对讲系统指导患者通过服碘间窗口拿取药物后口服，指导患者服药；甲亢患者服药后，进行一定时间观察后（一般为 10min），如无异常情况，即可离开医院。

本项目甲亢患者体内放射性物质最大活度为 3.7×10^{8}Bq(10mCi、370MBq)，满足 GB18871-2002 中规定的接受 ^{131}I 治疗患者出院要求（＜10.8mCi），同时也满足 HJ1188-2021 中规定“接受碘-131 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400MBq 以下或距离患者体表 1 米处的周围剂量当量率不大于 25μSv/h 方可出院”要求。

（3）甲癌治疗

辐射工作人员利用碘全自动分装仪将药物分装（与甲亢治疗共用），在控制室远程监督指导患者服药。辐射工作人员通过对讲系统指导患者通过服碘间窗口拿取药物后口服，甲癌患者服药后进入甲癌病房住院（一般住院 5 天），出院当天使用相关设备测量患者体内放射性药物活度或患者周围剂量当量率，满足 GB18871-2002 和 HJ1188-2021 中关于患者出院相关要求后方可出院。

^{131}I 核素诊疗流程：

根据医院提供资料，首先开展治疗前准备工作，甲亢患者和甲癌患者治疗前需先进行甲功测定，由职业人员利用一体式碘自动分装仪远程将药物分装，监督指导患者服药，甲功测定患者在服药后 2、4、24h 测定甲状腺部位及速率，计算甲状腺摄取 ^{131}I，绘制 ^{131}I 率曲线，并注明各时间点的摄碘率；职业人员根据患者测定情况，计算不同患者服用 ^{131}I 的剂量；服药前找患者家属谈话，告知其病情、注意事项，治疗前签字；患者进行服碘治疗时，职业人员利用一体式碘自动分装仪远程对药物进行分装，远程指导患者服药，甲亢患者服药后进行一定时间观察后（一般为 10min）如无异常情况，患者即可离开医院。甲癌患者服药后进入甲癌病房住院（一般住院 4.5 天），出院当天依托 SPECT-CT 进行扫描复查，以观察甲癌残留灶及转移灶的摄碘情况。[13]

^{1}I 核素诊疗流程及产污环节图见下图。

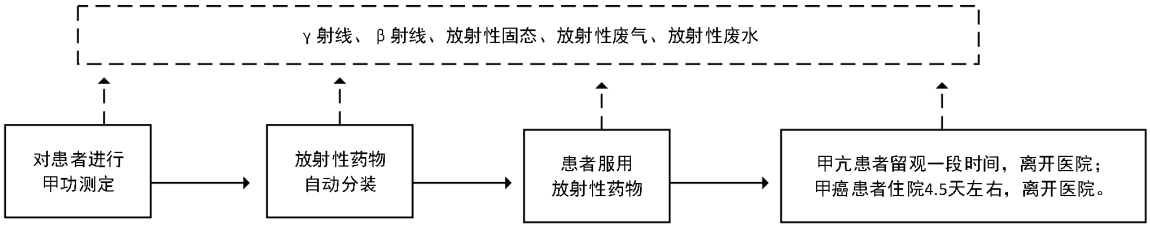


图 11.1-11　^{131}I 核素治疗流程及产污环节图

4、^{131}I 放射性核素特性

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

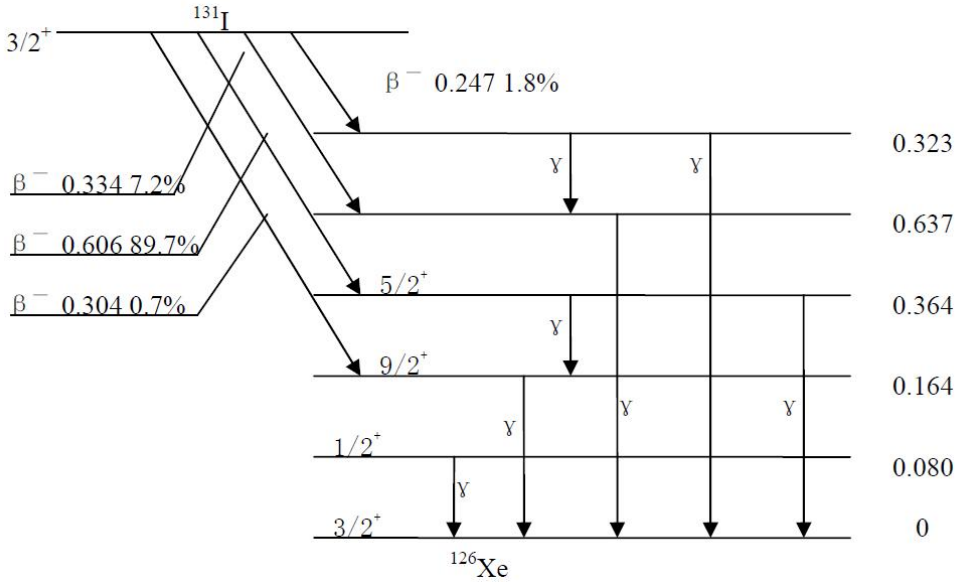


图 11.1-12　^{131}I 衰变纲图

综上所述，核素使用方案如下表所示：

表 11.1-3 核素使用方案

核素	每人最大用量	日最大接诊量	日最大操作量	门诊安排	每年开展周数	年最大接诊量	年最大用量
^{18}F 使用	3.7×10^{8}Bq（10mCi）	20 人次	7.4×10^{9}Bq（200mCi）	5 天/周	50 周	5000 人次	1.85×10^{12}Bq（50Ci）
^{11}C 使用	3.7×10^{8}Bq（10mCi）	5 人次	1.85×10^{9}Bq（50mCi）	1 天/周	50 周	250 人次	9.25×10^{10}Bq（2.5Ci）
^{13}N 使	3.7×10^{8}Bq	5 人次	1.85×10^{9}Bq	1 天/周	50 周	250 人	9.25×10^{10}Bq

用	（10mCi）		（50mCi）			次	（2.5Ci）
^{99}Mo	2.96×10^{10}	2 天 1 个	1.48×10^{10}Bq	一年 125 个			3.7×10^{12}
^{99m}Tc	7.4×10^{8}Bq（20mci）	20 人次	1.48×10^{10}Bq（400mCi）	5 天/周	50 周	5000 人次	3.7×10^{12}Bq（100Ci）
^{131}I 甲功	3.7×10^{5}Bq（0.01mCi）	5 人次	1.85×10^{6}Bq（0.05mCi）	5 天/周	50 周	1250 人次	2.683×10^{12}Bq（72.5Ci）
^{131}I 甲亢	3.7×10^{8}Bq（10mCi）	5 人次	1.85×10^{9}Bq（50mCi）	5 天/周	50 周	1250 人次	
^{131}I 甲癌	7.4×10^{9}Bq（200mCi）	4 人次	2.96×10^{10}Bq（0.8Ci）	6 人/周	50 周	350 人次	

注：甲癌患者一般周一下午和周二上午口服药物。

11.1.2 运营期污染源项描述

一、回旋加速器

1、质子

回旋加速器将 H^-离子加速，到达末端时经过靶膜后成为能量为 9.6MeV 质子（p 初级辐射因子），被聚焦为直径不大于 0.6mm 的一股束流射向靶，在空间所占体积很小。质子的穿透性很弱（在物质中的射程很短，仅为同等能量电子射程的几十分之一到百分之一），很易被物质所阻挡。因此，对这种作为内束应用的质子束，其外照射防护在本项目中不作考虑。

2、中子

当高能量粒子作用于任何一种物质均可引起核反应而释放出中子，中子具有很强的穿透能力，对回旋加速器周围环境产生辐射影响。以制备 ^{18}F 为例，当质子的能量为 11MeV 时，^{18}O(p，n)^{18}F 反应所释放中子的最大能量为 5MeV，中子的散率为 1.2×10^{11}n/s。中子的强穿透能力使其可能穿过屏蔽体，对回旋加速器周围环境产生辐射影响。

3.γ射线、β射线

回旋加速器制备、合成、分装和质检过程中，核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 在衰变过程中释放γ射线、β射线，由于β或（β_{+}）穿透能力较弱，γ射线穿透能力很强，对周围环境会造成一定的辐射影响，本项目主要考虑核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 的γ射线影响。

4、β表面污染

工作人员在操作核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 时，可能引起工作台、地面等放射性沾污，造成β表面污染。

5、放射性废气（含感生放射性气体）

回旋加速器运行过程中，室内空气受中子照射后生成放射性活化气体，主要含^{15}O(2.1min)、^{13}N(10min)、^{11}C(20.4min)，半衰期较短；在放射性药物制备、合成、分装及质检过程中，其自屏蔽体内产生微量含^{18}F、^{11}C、^{13}N等的放射性气体。

本项目回旋加速器中心设计有放射性废气处理系统，该系统采用负压排风方式，于回旋加速器机房、热室、放化实验室、全检室等房间设置集气口，加速器设有单独的排气管道，可有效收集场所内产生的放射性活化气体及自屏蔽体内产生的放射性气体，经收集的放射性废气通过系统尾部配置的高效过滤装置进行过滤处理，相应总排风口末端位于楼顶上方，高于屋脊。放射性废气处理系统的运行可有效降低场所内放射性气体浓度，不会对环境造成污染。

6、放射性废水

回旋加速器制备核素过程中不产生废水，在设备维护的过程中冲洗靶会产生冲靶后废水，一年最多维护两次，每次的水量大约 2L。本项目放射性废水产生环节主要为冲淋、洗手等环节，另外无菌检测、阳性对照也会产生少量的放射性废水。上述废水均进入衰变池衰变达标后进入医院污水处理站处理后，经市政污水管网排入城市污水处理厂处理。

7、放射性固体废物

主要有以下几种：

1）放射性药物制备时，更换的放射性残留物如硅胶、树脂、氧化铝、碳柱、滤膜等；

2）放射性药物制备常规操作和药物质检等产生的注射器、针头、一次性手套、吸水纸等；

3）回旋加速器维护时更换过滤网、靶膜等；

4）回旋加速器更换或退役时，活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器、加速器靶等；

5）沉淀池和衰变池底部的沉渣，放射性废气处理系统定期更换的废活性炭等。

综上所述，本项目回旋加速器中心主要评价因子为中子、γ射线、β表面污染、放

射性废气、放射性废水、放射性固体废物。

二、放射性核素使用区域

本项目放射性核素使用区域涉及 5 种非密封放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{99m}Tc、^{131}I 的应用，在正常工作情况下产生的辐射危害因素分析如下：

1、正常工况

（1）γ射线、β射线

①核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 衰变过程中发射（产生）正电子，正电子与原子核周围的轨道电子（负电子）发生结合，同时释放两个能量相等方向相反的γ光子（0.511MeV），即γ射线。γ射线穿透能力较强，可能会对周围环境会造成一定的辐射影响。

②核素 ^{99m}Tc、^{131}I 在 IT 跃迁时释放γ射线和β射线。β射线穿透能力较弱，外照射的影响相对较小；γ射线穿透能力很强，对周围环境会造成一定的辐射影响，本项目主要考虑核素 ^{99m}Tc、^{131}I 的γ射线影响。

③患者用药后，体内的放射性核素产生的γ射线在一定时间内会对周围环境或者人员会造成一定的辐射影响。

（2）β表面污染

工作人员在操作核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{99m}Tc、^{131}I 时，可能引起工作台、地面等放射性沾污，造成β表面污染。

（3）放射性废气

本项目拟使用的核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{99m}Tc 属于非挥发性核素，操作比较简单，不经过加热、振荡等步骤，挥发量极少，为安全起见 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{99m}Tc 诊断场所分装质控室内设置了手套箱，放射性药物的分装操作等都在负压手套箱内操作。

^{131}I 诊疗场所使用离子型的 ^{131}I 放射性药物易氧化析出单质碘，碘在常温下易挥发，正常使用过程中有放射性气体产生；^{131}I 诊疗场所碘分装室内设置了一体式碘自动分装仪，医护人员远程操控分装、指导患者口服，不直接进行药物操作。同时 2 处核医学工作场所均设有通风系统，均加装活性炭过滤器，放射性废气经吸附过滤处理后，由综合住院楼 2（13F，66.3m）楼顶排至外环境。

（4）放射性废水

本项目核医学工作场所放射性废水产生环节主要为患者注射 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{99m}Tc 和口服 ^{131}I 放射性药物后，所产生的排泄物（包括呕吐物、痰液等）以及冲洗水，

内含有放射性核素，具有放射性；另外，日常清洗去污或事故情况下清洗均可产生放射性废水。

（5）放射性固体废物

本项目产生的放射性固废可分为三个方面：①被污染的注射器、针头、手套、导管、药棉、纱布、吸水纸、破碎杯皿、擦拭表面污染的抹布和病人使用的一次性杯子等；②沉淀池和衰变池底部的沉渣；③定期更换的废活性炭。

（6）使用完的 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器及剩余放射性药物

本项目使用 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器淋洗药物，会产生使用完的 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器。一般情况下，医院按照诊断计划订购和使用放射性药物，不存在剩余放射性药物。特殊情况如患者未按照预约及时就诊时，可能剩余放射性药物。

综上所述，本项目 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{99m}Tc 核素诊断、^{131}I 诊疗工作场所主要评价因子为γ射线、β表面污染、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物、剩余放射性药物及使用完的 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器。

2、事故工况

（1）在核素转移、分装和注射（口服）过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的放射性物质泄漏或倾洒，对工作台面、地面造成的放射性表面污染。

（2）由于管理不善，发生 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器、放射性药物失窃，造成人员受照事故。

（3）患者服药后未经允许离开核医学科，可能对接近患者的人员造成过量照射。

（4）由于管理不善，使放射性废水、放射性固废未经足够时间的衰变排放，对环境和人体造成一定的危害。

11.2 项目安全设施

11.2.1 项目安全设施

一、项目场所布局

本项目核医学工作场所包括放射性核素制备区域（回旋加速器中心）、放射性核素诊断区域（SPECT 放射诊断区和 PET 放射诊断区）、^{131}I 放射性核素诊疗区域，位于医院地下室门急诊医技综合楼北侧，2 套槽式放射性废水处理系统位于地下室核医学工作场所东侧 TB156 排风机房地面以下，核医学工作场所平面布置示意图见附图 11.2-1。

回旋加速器中心主要包括回旋加速器机房及控制室、设备间、气瓶间、UPS 间、一更、二更、缓冲间、热室、传递间、退更缓冲、淋浴间、洗衣整衣间、全检质控室、阳性对照室、无菌检测室、脱衣洗手（2 处）、穿衣手消（2 处）、废物暂存间、原料取样、留样间、拆包间、库房、化学库房、原料库房、缓冲间（2 处）等。

PET 诊断场所主要有校准源库、分装室、注射室、废物暂存库、PET-CT/PET-MR 注射后候诊室（2 间，含卫生间）、PET-CT 扫描室、PET-MR 扫描室、PET-CT/PET-MR 控制室、PET-CT/PET-MR 设备间、留观室 1（含卫生间）、抢救室、诊室 1-2、阅片室、更衣室、去污淋浴室、缓冲间（2 间）等。

SPECT 诊断场所主要有分装质控室、废物暂存库、注射室、留置针室、抢救兼运动负荷室、SPECT-CT 扫描室、SPECT-CT 控制室、SPECT-CT 设备间、SPECT-CT 注射后候诊室（含卫生间）、留观室、更衣室、去污淋浴室、缓冲间（2 处）、用药前候诊大厅（核医学检查共用）等。

^{131}I 治疗场所主要有分源储源室、自助服碘室（甲癌）、控制室（甲亢服碘室）、甲癌病房 1～3（双人间，含卫生间）、抢救室兼甲亢观察室、甲吸室、甲功室、被服衰变间、污洗污存间（固废暂存）、缓冲间（4 处）、甲癌患者走廊等，护士工作站、配餐间、医护更衣室等。

本项目放射性核素制备区域（回旋加速器中心）、放射性核素诊断区域（SPECT放射诊断区和PET放射诊断区）医护人员均经核医学工作场所西北侧同一个医护楼梯出入；^{131}I诊疗区域医护人员经该区域北侧一医护楼梯出入。

PET、SPECT检查患者通过核医学工作场所东南部楼梯进入核医学诊断大厅。SPECT放射诊断患者由核医学检查大厅西侧南部入口进入检查工作区，由该检查中心南

侧出口离开；PET放射诊断患者由核医学检查大厅东北侧入口进入检查工作区，由该检查中心南侧出口离开；^{131}I诊疗患者由该诊疗区域东南侧入口进入，检查治疗后由该诊疗区东北侧出口离开。

本项目核医学工作场所平面布置分别见附图 11.2-1，根据设计图纸可知，本项目住院治疗场所和门诊诊断场所分开布置；根据诊疗流程合理设计场所布局，分装质控室均设计在场所靠近放射药物供给侧，各区域均设计有放废库（废库）和储源室，各场所内控制区集中布置，集中存放射性药物和放射性固体废物，同时场所内的患者通道、留观室、注射后候诊室及甲癌病房等房间能够有效限制给药后患者的活动空间，患者出口处为人员非密集区，满足 HJ1188-2021 第 5.2.1 款要求。

二、项目场所分级

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430 号），对于放射性药品生产、使用场所，如果有相对独立、明确的监督区和控制区划分，工艺流程连续完整，且有相对独立的辐射防护措施，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算。本项目门诊医技综合楼地下一层放射性核素制备场所（回旋加速器中心）和放射核素治疗、诊断场所（^{131}I 治疗中心、PET 诊断场所、SPECT 诊断场所）可满足上述条件，可分别作为一个单独场所进行日等效操作量核算。

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

$$日等效操作量=\frac{实际日操作量\times核素毒性组别修正因子}{操作方式与放射源状态修正因子}$$

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），^{99m}Tc、^{18}F、^{11}C、^{13}N 属低毒组，毒性组别修正因子为 0.01，^{99}Mo 和 ^{131}I 属中毒组，毒性组别修正因子为 0.1。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 A，发生器淋洗母体（液态）^{99}Mo 操作方式为贮存，操作方式修正因子为 100；发生器淋洗子体（液态）^{99m}Tc 操作方式为简单操作，操作方式修正因子为 1；医疗机构使用 ^{18}F、^{9m}Tc（液态）操作方式为很简单操作，操作方式修正因子为 10；放射性药品生产分装、标记（液态）操作方式为简单操作，操作方式修正因子为 1；核素治疗 ^{131}I（液态）操作方式

为简单操作，操作方式修正因子为 1。标准未对医疗机构使用 ^{11}C、^{13}N 的操作方式进行界定，本次评价保守界定为“简单操作”，操作方式修正因子取 1。

本项目使用核素的日等效最大操作量计算结果见下表：

表 11.2-1　放射性核素日等效最大操作量计算表

工作场所名称	核素	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日最大操作量 Bq	日等效最大操作量 Bq	工作场所日等效最大操作量（Bq）
回旋加速器中心	^{18}F	0.01	1	7.4×10^{9}	7.4×10^{7}	1.11×10^{8}
	^{11}C	0.01	1	1.85×10^{9}	1.85×10^{7}	
	^{13}N	0.01	1	1.85×10^{9}	1.85×10^{7}	
PET 诊断场所	^{18}F	0.01	10	7.4×10^{9}	7.4×10^{7}	1.11×10^{8}
	^{11}C	0.01	1	1.85×10^{9}	1.85×10^{7}	
	^{13}N	0.01	1	1.85×10^{9}	1.85×10^{7}	
^{99m}Tc 诊断场所	^{99}Mo	0.1	100	2.96×10^{10}	2.96×10^{7}	4.44×10^{7}
	^{99m}Tc	0.01	10	1.48×10^{10}	1.48×10^{7}	
^{131}I 核素治疗场所	^{131}I 甲功	0.1	1	1.85×10^{6}	1.85×10^{5}	3.145×10^{9}
	^{131}I 甲亢	0.1	1	1.85×10^{9}	1.85×10^{8}	
	^{131}I 甲癌	0.1	1	2.96×10^{10}	2.96×10^{9}	

根据上表，本项目放射性核素制备场所（回旋加速器中心）日等效最大操作量为 1.11×10^{8}Bq，放射性核素诊断、诊疗场所（^{131}I 治疗中心、PET 诊断场所、SPECT 诊断场所）日等效最大操作量为 3.3004×10^{9}Bq，核医学工作场所日等效最大操作量为 3.4114×10^{9}Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所（乙级：2×10^{7}～4×10^{9}Bq）。

三、项目场所分区

根据《电离辐射防护与放射源安全基本标准》(GB18871-2002）第 6.4 款规定，应把辐射工作场所分为控制区和监督区以便于辐射防护管理和职业照射控制。根据该规定要求，医院拟将工作场所划分为控制区和监督区进行管理。

（一）场所分区：

1、回旋加速器中心：

控制区：回旋加速器机房、热室、传递间、全检质控室、阳性对照室、无菌检测室、废物暂存间。

监督区：控制室、设备间、气瓶间、UPS 间、一更、二更、缓冲间、退更缓冲、淋浴间、洗衣整衣间、脱衣洗手（2 处）、穿衣手消（2 处）、原料取样、留样间、

拆包间、库房、化学库房、原料库房、缓冲间（2 处）等。

2、PET 诊断场所：

控制区：校准源库、分装室、注射室、废物暂存间、PET-CT/PET-MR 注射后候诊室（2 间，含卫生间）、PET-CT 扫描室、PET-MR 扫描室、留观室（含卫生间）、抢救室。

监督区：PET 诊断场所主要有 PET-CT/PET-MR 控制室、PET-CT/PET-MR 设备间、阅片室、更衣室、去污淋浴室、缓冲间（2 间）等。

3、SPECT 诊断场所

控制区：分装质控室、废物暂存库、注射室、留置针室、抢救兼运动负荷室、SPECT-CT 扫描室、SPECT-CT 注射后候诊室（含卫生间）、留观室。

SPECT 诊断场所主要有 SPECT-CT 控制室、SPECT-CT 设备间、更衣室、去污淋浴室、缓冲间（2 处）、用药前候诊大厅（核医学检查共用）等。

4、^{131}I 放射诊疗场所

控制区：主要有分源储源室、服碘室（甲癌）、控制室（甲亢服碘室）、甲功室、甲癌病房 1～3（双人间，含卫生间）、抢救室兼甲亢观察室、被服衰变间、污洗污存间、甲癌患者走廊等

监督区：缓冲间（3 处）、等待区、护士工作站、医护更衣室（含淋浴）。

5.临时控制区：放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 由回旋加速器中心转运至 PET 放射诊断区过程中，医护通道等划为临时控制区。

核医学工作场所分区图见附图 11.2-2。

（二）控制区和监督区拟采取的防护及管理措施

1、控制区防护及管理措施如下：

（1）非有关工作人员严禁入内，不允许用药患者随便出入，除特别需要外不允许亲友陪护；

（2）在控制区进出口设置门禁装置及电离辐射警告标志，并应给出相应的辐射水平和污染水平的指示；

（3）为辐射工作人员配备个人防护用品、个人衣物贮存柜、被污染衣物贮存柜，科室内配备辐射防护监测仪、表面污染仪；从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测并记录。

（4）工作场所严格按照 GB18871-2002 附录 B 中“表 B11 表面放射性物质污染控制水平”的有关规定执行；

（5）及时清理放射性固废，患者痰液、呕吐物入专用收集容器。

2、监督区防护及管理措施如下：

（1）其他无关公众人员严禁入内；

（2）在监督区入口处设立表明监督区的标牌；

（3）监督区与控制区分割处设置防护门，将控制区与监督区分开，设有门禁，人员不得随意出入。

核医学工作场所严格按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B 中表 B11 表面放射性物质污染控制水平的有关规定执行。

四、人流和物流情况

1、人流路径

SPECT、PET、^{131}I 核素诊疗场所内设计了患者通道和医护通道的双通道设计：

（1）患者通道

①PET 诊断患者由核医学检查大厅东侧入口进入，在预约登记处登记，在核医学检查大厅候诊，根据语音对讲系统的通知从患者入口的单向门禁系统进入，在注射窗口处接受注射，进入 PET-CT/PET-MR 注射后候诊室 1～2 等待，听到叫号后进入 PET-CT/PET-MR 扫描室进行扫描检查，检查结束后遵医嘱进入抢救兼留观室留观，无异常后经东侧 PET 诊断场所患者出口单向门禁系统离开。

②SPECT 诊断患者由核医学检查大厅东侧入口进入，在预约登记处登记，在核医学检查大厅候诊，根据语音对讲系统的通知从患者入口的单向门禁系统进入，在注射窗口处接受注射，进入 SPECT-CT 注射后候诊室等待，听到叫号后进入 SPECT-CT 扫描室进行扫描检查，检查结束后遵医嘱进入留观室留观，无异常后经西侧 SPECT 诊断场所患者通道出口单向门禁系统离开。其中进行负荷心肌灌注显像检查的患者需先进入抢救兼运动负荷室进行运动，然后再接受注射，注射后进入 SPECT-CT 扫描室进行扫描检查。

③^{131}I 甲功测定患者由南侧楼梯或电梯入口进入，在门诊室接受诊断后，在用药前候诊大厅候诊，在语音对讲系统中听到通知后从甲功甲亢患者入口的门禁系统进入，然后进入控制室（甲亢服碘室）口服药物，之后进入甲功测定室进行甲功测定，

测定结束后由东侧甲功甲亢患者出口单向门禁系统离开；^{131}I 甲亢患者服药前流程与甲功测定患者一致，进入控制室（甲亢服碘室）口服药物后，进入甲亢留观室留观一定时间后，若无异常即可由北侧甲功甲亢患者出口单向门禁系统离开；^{131}I 甲癌患者自东侧甲癌患者入口进入，在自助服碘室（甲癌）服药后进入甲癌病房 1～3 住院，患者出院当天还需要进行 SPECT-CT ^{131}I-DWS 检查，由 SPECT-CT 工作场所工作人员合理安排分流患者（与其他患者错时），甲癌患者由甲癌出口门禁系统、^{99m}Tc 患者出口门禁系统逆向进入 SPECT-CT 扫描室扫描，之后原路返回病房，患者符合出院要求后由北侧 ^{131}I 甲癌患者出口门禁离开。

医院对有关患者作为流动源加强管理，诊疗前做好导向指导，做好醒目的人员走向标识。相关出入口门设计了门禁。

（2）医护通道

①负责 PET-CT/PET-MR 设备操作的医护人员于核医学工作场所西北侧入口进入，在更衣室更衣后，经医护走廊进入 PET-CT/PET-MR 控制室，在共用控制室内进行设备操作或进入 PET-CT 扫描室/PET-MR 扫描室指导患者摆位；负责 SPECT-CT 设备操作的医护人员于核医学工作场所西北侧入口进入，经医护走廊进入 SPECT-CT 控制室，在控制室内进行设备操作或进入 SPECT-CT 扫描室指导患者摆位。

②PET、SPECT 诊断场所核素操作人员于核医学工作场所西北侧入口进入，在各更衣室更衣后，由医护走廊进入场所内部，^{18}F、^{11}C、^{13}N 核素操作人员进入该区分装室进行药物操作，在注射窗口处给患者注射等；^{99m}Tc 核素操作医护人员进入该区分装室进行药物操作，在注射窗口处给患者注射等。

③^{131}I 核素操作人员由碘 131 核素治疗区西北侧出入口进入储源分装间，将装有药物的铅罐转移至 ^{131}I 手套箱小型碘自动分装仪后，打开铅罐，进行分装，通过监控对讲系统与患者进行沟通，指导患者服药；另外，送餐人员将甲癌患者餐食送至备餐间内，通过监控室内对讲系统通知患者至备餐间南侧窗口处取餐。上述医护人员工作结束后沿原路径返回更衣室更换干净衣服，离开核医学工作场所。

④ ^{18}F、^{11}C、^{13}N 制备工作人员于核医学工作场所西北侧入口进入，控制人员进入控制室，制备工作人员经一更、二更、缓冲间进入

2、物流路径

本项目核医学工作场所物流路径分为放射性药物路径、放射性废物运输路径，均

选择在人员活动较少的清晨时段，避免对无关人员造成污染。

（1）放射性药物路径

辐射工作人员将回旋加速器中心制备、分装好的放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 放置于药物转移拉杆箱中，经医护通道等场所，运输至 PET 放射诊断区分装质控室内手套箱中，药物转移总距离约 10m。

钼锝发生器经由供货厂家负责运输，供货厂家人员由 SPECT 核医学检查大厅西侧入口进入，将 钼锝发生器放置于分装室手套箱内。

^{131}I 运输人员通过核医学工作场所北侧入口，直接将药物送至 ^{131}I 分装储源间内贮存。

（2）放射性废物路径

本项目放射性核素制备场所产生的放射性废物在该区放废库内衰变箱中暂存，PET 诊断场所产生的放射性固体废物统一集中 PET 放射诊断区放废库内衰变箱中暂存，SPECT 诊断场所产生的放射性固体废物在 SPECT 放射诊断区衰变箱中暂存，^{131}I 诊疗场所产生的放射性固体废物在 ^{131}I 诊疗区衰变箱中暂存，衰变至满足解控水平后（经检测确保表面剂量率满足所处环境本底水平、β表面污染低于 0.8Bq/cm^2），按一般医疗废物处理。

放射性药物和放射性废物运输选择在人员活动较少的清晨时段，避免对无关人员造成污染。

核医学工作场所人流、物流示意图见附图 11.2-3。

综上所述，项目核医学工作场所控制区设计集中；PET、SPECT、^{131}I 诊疗场所医护通道与用药后患者通道不交叉，用药前患者和用药后患者不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道尽可能短捷，通道设计基本合理，功能房间设置齐全。因此，该核医学工作场所设计基本合理。

五、相关场所屏蔽设计

1、放射性核素制备场所

（1）回旋加速器机房防护

回旋加速器机房南北长 13m，东西长 10m，高 6.1m；工作区南北长 4.9m，东西 5.4m，室内净高 3.8m。工作区东、南、西侧墙体均为 2300mm 厚混凝土，室顶为 2300mm 厚混凝土（顶部覆土 1.0m）；北侧为 3 回路迷道，由内至外迷道墙宽度分别为：

1 迷道墙 1.4-0.929m 厚混凝土，2 迷道墙 1.055-0.585m 厚混凝土，3 迷道墙 0.5m 厚混凝土，迷道外墙 1-0.7m 厚混凝土，迷道东侧外墙为 2.3-1.8m 厚混凝土，迷道西侧外墙为 3.4-1.9m 厚混凝土。设有放射性气体或液体传输管道，废液排放管道为加厚 PVC 板，外包防护砂浆，气体管道为不锈钢管道，外包铅板防护。回旋加速器机房采用电动推拉式防护门，采用 16mm 纯铅板防护层+120mm 聚乙烯防中子屏蔽层结构。

（2）热室、传递间的防护

热室整体南北长7.7m，东西长6.1m，室内净高4.85m，四周墙体均为300mm厚混凝土，顶板为250mm厚混凝土（顶部覆土1.6m）。热室内放置合成与分装工作柜，东侧分别与缓冲间、传递间设置防护门，南墙与缓冲间设置手动平开式防护门，防护能力为15mmPb当量；东侧与全检质控室设置15mmPb当量防护窗。

传递间位于热室东侧，整体长、宽、高分别为：1.85m×1.7m×4.85m。四周墙体均为300mm厚混凝土，室顶为250mm厚混凝土（顶部覆土1.6m）。东墙设计1个传递窗，铅当量为15mmPb，南墙与全检质控室之间设置手动平开式防护门，防护能力为15mmPb当量。

（3）传输管道的屏蔽

加速器制备的放射性同位素经管道自动传输到合成热室中，此管道设置在地沟内，地沟两侧及上方设置≥60mmPb 当量放射性药物传输产品管线的屏蔽防护。合成热室和分装热室之间提供≥60mmPb 当量放射性药物传输产品管线的屏蔽防护。

表 11.2-2　回旋加速器中心主要房间尺寸及屏蔽防护设计

序号	项目	尺寸 m	四周墙体	室顶	地板	防护门	窗
1	**热室**	7.7×6.1×4.85	四周墙体为300mm 混凝土	250mm 混凝土+1600mm 土层	500mm 混凝土+土层	15mmPb	东侧防护窗、南侧传递窗 1-2，15mmPb
2	传递间	1.85×1.7×4.85	四周墙体为300mm 混凝土	250mm 混凝土+1600mm 土层	500mm 混凝土+土层	15mmPb	东侧传递窗 15mmPb
3	全检质控室	13.2×5.0×4.85	四周墙体为300mm 混凝土	250mm 混凝土+1600mm 土层	500mm 混凝土+土层	15mmPb	南侧传递窗 15mmPb

4	阳性对照室	4.9×4.4×4.85	四周墙体为300mm 混凝土	250mm 混凝土+1600mm 土层	500mm 混凝土+土层	15mmPb	北侧防护窗 15mmPb
5	无菌检测室	4.9×4.3×4.85	四周墙体为300mm 混凝土	250mm 混凝土+1600mm 土层	500mm 混凝土+土层	15mmPb	北侧防护窗 15mmPb
6	废物暂存间	2.1×2.0×4.85	四周墙体为300mm 混凝土	250mm 混凝土+1600mm 土层	500mm 混凝土+土层	15mmPb	-

本项目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无接缝，易于清洗、去污。

2、PET 诊断场所、SPECT 诊断场所、^{131}I 核素诊疗场所

PET 诊断场所、SPECT 诊断场所、^{131}I 核素诊疗区域主要房间屏蔽设计见下表：

表 11.2-3　PET 诊断场所主要房间尺寸及屏蔽防护设计

序号	项目	尺寸 m	四周墙体	室顶	地板	防护门	窗
1	校准源库	2.6×1.9×4.85	四周墙体为300mm 混凝土	250mm 混凝土+1600mm 土层	500mm 混凝土+土层	15mmPb	-
2	分装室	8.0×2.7×4.85	四周墙体为300mm 混凝土	250mm 混凝土+1600mm 土层	500mm 混凝土+土层	15mmPb	-
3	注射室	2.8×2.6×4.85	四周墙体为300mm 混凝土	250mm 混凝土+1600mm 土层	500mm 混凝土+土层	15mmPb	北侧落地式牛头联屏注射窗 40mmPb
4	注射后候诊室 1	5.5×4.55×4.85	四周墙体为300mm 混凝土	250mm 混凝土+1600mm 土层	500mm 混凝土+土层	15mmPb	
5	注射后候诊室 2	6.2×4.55×4.85	四周墙体为300mm 混凝土	250mm 混凝土+1600mm 土层	500mm 混凝土+土层	15mmPb	-
6	废物暂存库	5.0×1.9×4.85	四周墙体为300mm 混凝土	250mm 混凝土+1600mm 土层	500mm 混凝土+土层	15mmPb，	-
7	PET-CT 扫描室	7.96×6.0×4.85	四周墙体为300mm 混凝土	250mm 混凝土+1600mm 土层	500mm 混凝土+土层	15mmPb	15mmPb
8	PET-MR 扫描室	7.96×6.0×4.85	四周墙体为300mm 混凝土	250mm 混凝土+1600mm 土层	500mm 混凝土+土层	15mmPb	15mmPb

9	留观室	4.4×4.4×4.85	四周墙体为300mm混凝土	250mm混凝土+1600mm土层	500mm混凝土+土层	15mmPb	-
10	更衣室、去污淋浴室	5.3×2.8×4.85	四周墙体为300mm混凝土	250mm混凝土+1600mm土层	500mm混凝土+土层	15mmPb	-
11	患者走廊	26.1×2.9×4.85	四周墙体为300mm混凝土	250mm混凝土+1600mm土层	500mm混凝土+土层	15mmPb	-
注：混凝土的密度为2.35g/cm^3。							

表 11.2-4 SPECT 诊断场所主要房间尺寸及屏蔽防护设计

序号	项目	尺寸 m	四周墙体	室顶	地板	防护门	窗
1	分装室（L 型）	西侧 2.95×2.4×4.85 南侧 2.3×2.2×4.85	四周墙体为300mm混凝土	250mm混凝土+1600mm土层	500mm混凝土+土层	4mmPb	-
2	注射室	3.0×2.45×4.85	四周墙体为300mm混凝土	250mm混凝土+1600mm土层	500mm混凝土+土层	-	北侧落地式牛头联屏注射窗15mmPb
3	废物暂存库（L 型）	西侧：2.8×1.15×4.85 东侧：1.95×1.9×4.85	四周墙体为300mm混凝土	250mm混凝土+1600mm土层	500mm混凝土+土层	4mmPb	-
4	抢救兼运动负荷室	5.0×4.7×4.85	四周墙体为300mm混凝土	250mm混凝土+1600mm土层	500mm混凝土+土层	南门4mmPb	-
5	注射后候诊室	7.9×4.15×4.85	四周墙体为300mm混凝土	250mm混凝土+1600mm土层	500mm混凝土+土层	南门4mmPb	-
6	SPECT-CT 扫描室	7.9×5.5×4.85	四周墙体为300mm混凝土	250mm混凝土+1600mm土层	500mm混凝土+土层	4mmPb	4mmPb
7	控制室、设备间	7.9×3.7×4.85	四周墙体为300mm混凝土	250mm混凝土+1600mm土层	500mm混凝土+土层	4mmPb	4mmPb

8	患者走廊	20.3×2.6×4.85	四周墙体为300mm混凝土	250mm混凝土+1600mm土层	500mm混凝土+土层	4mmPb	-
注：混凝土的密度为2.35g/cm^3。							

表 11.2-5 ^{131}I 治疗场所主要房间尺寸及屏蔽防护设计

序号	项目	尺寸 m	四周墙体	室顶	地板	防护门	备注
1	分源储源间	4.9×2.0×4.85	四周墙体为300mm混凝土	250mm混凝土+1600mm土层	500mm混凝土+土层	10mmPb	东侧落地式牛头联屏注射窗40mmPb
2	自助服碘室（甲癌）	3.3×2.6×4.85	四周墙体为300mm混凝土	250mm混凝土+1600mm土层	500mm混凝土+土层	南、北防护门18mmPb，防护窗15mmPb	西侧落地式牛头联屏注射窗40mmPb
3	甲功室	5.7×2.8×4.85	四周墙体为300mm混凝土	250mm混凝土+1600mm土层	500mm混凝土+土层	东、西防护门10mmPb	-
4	控制室（甲亢服碘室）	3.3×2.0×4.85	四周墙体为300mm混凝土	250mm混凝土+1600mm土层	500mm混凝土+土层	北防护门18mmPb，南防护门15mmPb，防护窗15mmPb	西侧落地式牛头联屏注射窗40mmPb
5	甲癌病房1～2（双人间，含卫生间）	6.9×3.85×4.85	四周墙体为440mm混凝土	250mm混凝土+1600mm土层	500mm混凝土+土层	13mmPb	-
6	甲癌病房3（单人间，含卫生间）	6.9×4.25×4.85	四周墙体为440mm混凝土	250mm混凝土+1600mm土层	500mm混凝土+土层	13mmPb	-
7	甲亢留观室兼抢救室（L型）	4.8×3.8×4.85 1.5×1.2×4.85	四周墙体为300mm混凝土	250mm混凝土+1600mm土层	500mm混凝土+土层	北防护门18mmPb，南北防护门15mmPb	-

8	被服衰变间	2.2×1.9×4.85	四周墙体为300mm 混凝土	250mm 混凝土+1600mm 土层	500mm 混凝土+土层	10mmPb	
9	污物暂存间	2.2×1.9×4.85	四周墙体为300mm 混凝土	250mm 混凝土+1600mm 土层	500mm 混凝土+土层	10mmPb	-
10	甲癌患者走廊	25.2×2.5×4.85	北侧甲癌病房处墙体为440mm 混凝土；其他墙体为300mm 混凝土	250mm 混凝土+1600mm 土层	500mm 混凝土+土层	东、西防护门10mmPb，甲癌病房防护门13mmPb，服碘功能区防护门18mmPb	配餐防护窗10mmPb
注：混凝土的密度为 2.35g/cm^3。							

六、项目防护措施

除工作场所屏蔽设计外，医院拟通过以下几个方面进一步完善和加强防护措施。

1、防护器材配备

（1）合成与分装装置的屏蔽

热室位于回旋加速器机房东南侧，热室内放置 3 套合成热室（合成工作柜）与 1 套分装热室（分装工作柜）。

合成工作柜提供PET正电子放射性药物合成的过程保护。拟购合成工作柜内尺寸：860mm（w）×750mm（d）×700mm（h），外尺寸：1180mm（w）×1050mm（d）×2400mm（h）。合成柜屏蔽铅当量≥70mmPb，设有与箱体相同防护能力的铅玻璃视窗。

分装工作柜提供 PET 正电子放射性药物分装操作的过程保护。拟购分装工作柜内尺寸：1000mm（w）×680mm（d）×700mm（h），外尺寸：1160mm（w）×1050 mm（d）×2400mm（h）。分装柜屏蔽铅当量≥70mmPb，设有与箱体相同防护能力的铅玻璃视窗，前面设有一对带防护孔盖的操作伸手孔，屏蔽铅当量≥70mmPb；分装箱顶部与专用排风管道相连接，在分装箱顶部安装一套活性炭高效过滤装置（视项目开展频率由厂家定期进行更换，去除效率可达 90%以上）；排风管内保持负压，拟安装防回流装置。

（2）^{18}F、^{11}C、^{13}N 手套箱：于 PET 分装室内北侧放置 1 个手套箱，用于 ^{18}F、^{11}

C、^{13}N 质控、分装；为不锈钢外壳，正面为铅玻璃+铅钢复合板防护，其他防护面以铅钢复合板作为防护，防护能力为 55mmPb；手套箱内均配有照明和机械排风装置（风速不低于 0.5m/s）；手套箱顶部与专用排风管道相连接，在手套箱顶部安装一套活性炭高效过滤装置（视项目开展频率由厂家定期进行更换，去除效率可达 90%以上）；排风管内保持负压，拟安装防回流装置。

（2）^{99m}Tc 手套箱：于 SPECT 分装室内南侧放置 1 个手套箱，用于钼锝发生器的贮存和 ^{99m}Tc 淋洗、质控、分装，为不锈钢外壳，正面为铅玻璃+铅钢复合板防护，其他防护面以铅钢复合板作为防护，防护能力为 40mmPb；手套箱内均配有照明和机械排风装置（风速不低于 0.5m/s），在手套箱顶部安装一套活性炭高效过滤装置（视项目开展频率由厂家定期进行更换，去除效率可达 90%以上）；排风管内保持负压，拟安装防回流装置。

（3）^{131}I 手套箱：于分装质控室内东侧放置 1 个手套箱，用于药物质控和分装；不锈钢外壳，正面为铅玻璃+铅钢复合板防护，其他防护面以铅钢复合板作为防护，防护能力为 40mmPb；手套箱内均配有照明和机械排风装置（风速不低于 0.5m/s）；手套箱顶部与专用排风管道相连接，在手套箱顶部安装一套活性炭高效过滤装置（视项目开展频率由厂家定期进行更换，去除效率可达 90%以上）；排风管内保持负压，拟安装防回流装置。

医院拟购置小型碘自动分装仪，置于分装质控室手套箱内。正常情况下，使用分装仪自动进行药物活度测定和分装，职业人员在监控室远控操作，监督指导患者服药。

（4）人员配置及个人防护用品：根据医院提供资料，放射性核素制备场所拟编配 4 名辐射工作人员；PET、SPECT 诊断工作场所拟编配 12 名辐射工作人员，分别为 4 名医生、4 名技师、4 名护士，计划由医生和护士负责核素操作，技师负责摆位和扫描；^{131}I 诊疗工作场所拟编配 10 名辐射工作人员，分别为 4 名医生、2 名技师、4 名护士，计划由医生和护士负责核素操作，技师负责摆位和扫描。拟按 GBZ120-2020 要求为辐射工作人员购置必需的个人防护用品，以满足日常使用要求，详见下表。

表 11.2-6　个人防护用品

配备情况	场所类型	工作人员		患者或受检者
		必备	选备	
GBZ120-2020 要求	SPECT 场所	铅橡胶围衣、铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、放射性污染防护服	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	——

	正电子放射性药物和 ^{131}I 的场所	放射性污染防护服	——	——
医院拟配备	SPECT 场所	6 套防护用品包括（铅橡胶围衣、铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽、铅玻璃眼镜，0.5mmPb）、 放射性污染防护服（人手一套）		——
	放射性核素制备场所和 ^{18}F 诊断场所	放射性污染防护服，人手一套	——	——
	^{131}I 治疗场所	放射性污染防护服，人手一套	——	

拟为辐射工作人员配备个人剂量计，其中医生和护士（负责药物分装与注射等）采用双剂量计监测方法，拟配备 2 支个人剂量计；技师拟配备 1 支个人剂量计（委托个人剂量检测后由检测单位配发）。

（5）检测设备：拟为放射性核素制备场所、PET 核素诊断场所、SPECT 核素诊断场所、^{131}I 核素治疗场所各配备 1 台表面污染检测仪（共 4 台）、1 台辐射监测仪，拟为辐射工作人员个人剂量报警仪 26 部（人手一个），待配备后可满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求和日常使用需求。

（6）防护用具：拟配备 3 个 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 药物铅罐，50mmPb 当量。拟在 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 诊断场所的抢救兼留观室 1 设置 1 樘铅屏风，防护能力为 10mmPb。拟在 ^{99m}Tc 诊断场所抢救兼留观室设置 1 樘铅屏风，防护能力为 5mmPb；PET 注射后候诊室设置 2 樘铅屏风，防护能力为 5mmPb；SPECT-CT 注射后候诊室设置 4 樘铅屏风，防护能力为 5mmPb。拟在 ^{131}I 治疗场所的抢救室兼甲亢留观室设置 1 樘铅屏风，防护能力为 10mmPb。

（7）应急及去污用品：拟配备应急及去污用品主要包括一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂；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。拟配备洗眼器，洗手盆均为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

2、辐射防护安全措施

（1）回旋加速器机房

①控制室内操作台上设核素传输工作状态指示灯，机房防护门内侧、四周墙壁和

束流输运通道内设置急停按钮，机架本身自带 2 处急停按钮；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；

②机房防护门拟设置门-机联锁、2 套（不同厂家生产）红外安全防夹系统、开门开关、张贴电离辐射警告标志等安全措施；回旋加速器机房内设有紧急开门装置及清场措施；

③机房内近防护门处拟设置固定式剂量监测探头，设置剂量联锁，当探测到机房内剂量率超过设置阈值时，回旋加速器防护门不能从外部被打开；回旋加速器机房内外拟设声光报警，同时控制室内操作台上和机房防护门入口有剂量率实时显示。

④回旋加速器本身有一套完整的安全联锁装置，只有当靶、离子源、D 型盒、磁铁线圈、冷水系统达到一定流量时，束流才能达到靶上；只有当自屏蔽体封闭、离子源射频屏蔽箱盖关闭、射频电源箱柜的门关闭才能出束。

（2）热室

①当加速器制备出^{18}F、^{11}C、^{13}N之后，放射性核素传输之前，热室设备将根据程序设定，自动检测合成热室的门是否已经关闭，热室里面的压力是否满足负压要求；只有这两项条件满足的情况下，放射性核素才能通过管道进行传送，同时在加速器控制室内操作台上有相应的核素传输工作状态指示灯；

②热室工作场所入口醒目位置拟设置电离辐射警告标志；

③热室内拟安装固定式剂量率监测探头，当探测到热室内剂量率超过设置阈值时（如设置为2.5μSv/h），则热室防护门不能从外部被打开；同时热室内和热室工作场所入口处拟设声光报警，控制室内操作台上和热室防护门口有剂量率实时显示。

（3）^{99m}Tc、^{18}F（^{11}C、^{13}N）、^{131}I 核素诊疗场所

本项目 SPECT-CT 扫描室、PET-CT 扫描室控制台及扫描床内设计有紧急停机按钮；SPECT-CT 扫描室、PET-CT 扫描室的患者进出防护门均为电动推拉式，设计防夹装置、工作状态指示灯和电离辐射警告标志，且工作状态指示灯和防护门能够有效联动，同时设有曝光时关闭机房门的管理措施；医护进出防护门均为平开门，设计自动闭门装置和电离辐射警告标志；核医学工作场所出入口等处均设计有电离辐射警告标志；核医学场所内设计有明确的患者或受检者导向标识或导向提示；SPECT-CT 扫描室、PET-CT 扫描室与控制室之间均设计有观察窗和双向对讲装置；各机房控制室与 SPECT-CT 注射后候诊室、PET-CT/PET-MR 注射后候诊室 1～2、PET 诊断抢救兼

留观室、SPECT 诊断抢救兼留观室，监控室与甲癌病房 1～3、甲亢留观室之间均设计有监控设备和对讲装置，可满足相关要求。

3、药物贮存措施

^{18}F、^{11}C、^{13}N 于用药当天提前生产，采用铅罐传递至 PET 分装室内贮存。钼锝发生器、^{131}I 在运输过程分别放置于供源单位提供的专门屏蔽容器内，由供源单位送至指定场所贮存。本项目 PET 诊断区分装室、SPECT 诊断区分装室、^{131}I 储源间均拟设置双人双锁、监控等防盗措施，并与省放射源在线监控系统联接。于醒目位置张贴电离辐射警告标志；在贮存期间 PET 诊断区分装室、SPECT 诊断区分装室、^{131}I 储源间禁止无关人员进入，定期进行放射防护监测，建立放射性同位素台帐，贮存、领取、使用、归还放射性药物时，均进行登记、检查，做到账物相符，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质和活度等，对各设施定期巡检，可满足 HJ 1188—2021 中第 6.2.4 款和 GBZ120-2020 中第 6.2.9 款至第 6.2.13 款要求。

七、通风设计

1、放射性核素制备场所（回旋加速器中心）

放射性核素制备过程中放射性废气产生环节主要为放射性药物的生产、合成、分装、质控等工序。对于放射性核素制备场所产生的放射性废气，拟设置 9 套独立通风系统，具体如下：

表 11.2-7　PET 用药制备场所通风及废气治理设施表

排气管道编号	收集废气范围	处理方式
1	回旋加速器设备	活性炭吸附后高空排放
2	回旋加速器机房	活性炭吸附后高空排放
3	热室合成、分装手套箱，前室、控制室、走道、设备间、气瓶间、留样间、原料取样间	活性炭吸附后高空排放
4	热室、传递间、缓冲间 1、缓冲间 2	活性炭吸附后高空排放
5	全质质控室及手套箱、放射性废物暂存款、缓冲间 3	活性炭吸附后高空排放
6	热室合成、分装手套箱	活性炭吸附后高空排放
7	阳性对照间、无菌检测室、脱衣洗手间 1-2，穿衣手消间 1-2、	活性炭吸附后高空排放
8	一更、二更、进热室缓冲间、退耕缓冲间、淋浴间、更衣室、检测间、洁净走廊、洗衣整衣间	活性炭吸附后高空排放
9	UPS 间	/

放射性核素制备场所通风系统设计图见附图 11.2-4。

上述 9 套通风系统均设计了专用管道和风机，手套箱和分装柜设置独立的排气管道，排风管内保持负压，拟安装防回流装置；1～8 排气管道放射性废气在活性炭吸附间经活性炭高效过滤装置（视项目开展频率由厂家定期进行更换，去除效率可达 90%以上）处理，废气分别经所在风井，汇集到综合住院楼 1 楼顶排放，各排风口高出屋脊。各排风口处设防雨帽、防虫网。综合住院楼 1 楼顶无人员停留，对周围影响较小。

2、^{18}F、^{11}C、^{13}N 核素诊断过程中放射性废气产生环节主要为放射性药物的分装、取药、注射等工序。^{99m}Tc 核素诊断过程中放射性废气产生环节主要为放射性药物的淋洗、分装、取药、注射等工序；^{131}I 核素治疗过程中放射性废气产生环节主要为放射性药物的操作、口服等工序。对于各工序产生的放射性废气，医院拟设置 7 套独立通风系统，具体如下：

表 11.2-8　PET 用药制备场所通风及废气治理设施表

排气管道	收集废气范围	处理方式	备注
1	碘-131：甲癌病房 1-3	活性炭吸附后高空排放	碘-131 放射诊疗区域废气
2	碘-131：储源室碘分装手套箱	活性炭吸附后高空排放	
3	碘-131：储源室房间、服碘室（甲癌）、控制室（甲亢服碘室）、甲功室、抢救室兼甲亢留观室、被服衰变间、污洗污存、护士工作站（无）、医护更衣淋浴室、进出缓冲间	活性炭吸附后高空排放	
4	PET-CT 机房、PET-MR 机房、控制室、设备间	活性炭吸附后高空排放	PET 放射诊断区域废气
5	走道、示教会议室、医生办公室、值班室、污洗污存室、更衣室、缓冲间、PET 阅片室	活性炭吸附后高空排放	
6	PET：分装室、校准源库、废物暂存库、更衣室、去污淋浴室、注射室、病人通道、抢救室、注射后候诊室 1-2、缓冲间、留观室	活性炭吸附后高空排放	
7	SPECT：SPECT 机房、走道、更衣室、去污淋浴室、废物暂存库、分装室、注射室、留观室、注射后候诊室	活性炭吸附后高空排放	SPECT 放射诊断区域废气
8	诊室（2 间）、缓冲间（核医学检查大厅入核医学工作区）、留置针室、	/	

PET、SPECT 核素诊断场所、^{131}I 核素诊疗场所通风系统设计图见附图 11.2-5。

上述 8 套通风系统均设计了专用管道和风机，手套箱和分装柜设置独立的排气管道，排风管内保持负压，拟安装防回流装置；1#排气管道负责收集甲癌病房废气，2#排气管道负责收集碘 131 分装手套箱分装废气，碘 131 放射诊疗区域其他房间废气由 3#排气管道收集，1#、2#、3#排气管道共用 1 套活性炭高效过滤装置，6#、7#排气管道分别安装 1 套活性炭高效过滤装置（视项目开展频率由厂家定期进行更换，去除效率可达 90%以上）；废气分别经所在风井，汇集到住院楼 2 楼顶排放，各排风口高出屋脊 3m。各排风口处设防雨帽、防虫网。综合住院楼 2 楼顶无人员停留，对周围影响较小。

各核医学工作场所的控制区均采用微负压通风，监督区均采用正压通风，使气流由清洁区向控制区流动。气流总体根据非放射性区气压＞监督区气压＞控制区气压进行设计，使气体由非放射性区域流向监督区，再流向控制区。排风管道设反风阀，防止排风反流。

医院计划在购置活性炭高效过滤装置时，即与厂家签订协议，由厂家定期检查维护活性炭高效过滤装置（本项目共计 8 套），保持活性炭干燥，确保过滤效率满足 90%以上。

综上所述，各核医学工作场所排风系统设计符合 HJ1188-2021 和 GBZ120-2020 的规定。

八、放射性废水处理系统设计

医院拟于地下室核医学应用场所区域东侧建设放射性废水衰变池，共拟建设 2 套槽式放射性废水处理系统，其中北侧 1#槽式放射性废水处理系统用于处理放射性核素制备场所、PFT 诊断场所、SPECT 诊断场所产生的放射性废水；南侧 2#槽式放射性废水处理系统，用于处理 ^{131}I 诊疗过程中产生的放射性废水。两套放射性废水处理系统位于地下室地面以下（池顶位于地下室地面标高以下 2m，池底标高位于地下室地面标高以下 6.5m），靠近本项目核医学工作场所，其四侧为土层，上方为 TB156 排风机房、排风井、停车位，预留φ1000mm 检修孔位于各沉淀池和衰变池侧顶部，选址基本满足要求。

1#槽式放射性废水处理系统由 2 个沉淀池（1#、2#沉淀池，一用一备）、3 个衰变池（1#～3#衰变池）组成，设置 2 个集水坑（一用一备）。该系统标高低于本项目核素生产、诊断工作场所，放射性废水通过重力排水汇入集水坑。放射性核素制备场

所和 PET、SPECT 诊断场所产生的放射性废水经专用管道汇入集水坑，汇入集水坑的放射性废水再经污水提升泵提升至 1#槽式放射性废水处理系统中暂存衰变。专用管道为含铅机制铸铁管结构，铅厚 10mm。专用管道采用机制含铅的铸铁排水管，敷设在建筑降板的垫层内，管道埋深根据坡降，起端排水管道 H-0.60，坡度不小于 0.01。

2#槽式放射性废水处理系统由 2 个沉淀池（3#、4#沉淀池，一用一备）、3 个衰变池（4#～6#衰变池）组成，设置 3 个集水坑。该系统标高低于本项目 ^{131}I 诊疗场所，放射性废水通过重力排水汇入集水坑，汇入集水坑的放射性废水再经污水提升泵提升至 2#槽式放射性废水处理系统中暂存衰变。专用管道为含铅机制铸铁管结构，铅厚 10mm。专用管道采用机制含铅的铸铁排水管，敷设在建筑降板的垫层内，管道埋深根据坡降，起端排水管道 H-0.60，坡度不小于 0.01。

1#、2#槽式放射性废水处理系统每个沉淀池、衰变池、集水坑各垫层均采用 C15 混凝土，主体采用 C25 混凝土，池壁、底面及池盖均拟采用 300mm 混凝土（抗渗等级为 P6）+涂抹 20mm 防水砂浆。1#、2#槽式放射性废水处理系统均采用智能化控制监测系统，系统由放射性废液控制柜，用户可视终端，自动取样测量装置等器件构成。采用“间歇式”运作方式，系统与每个衰变池内的液位传感器相连，达到液位上限后该衰变池内电动阀会自动关闭，下一级衰变池内电动阀自动开启，当衰变池内废水满足暂存时限、经自动取样检测满足排放要求后，废水可排入医院污水处理站。各阀门均采用电/手动双控阀，日常状态下使用电动控制阀，电动阀损坏时启用手动阀。沉淀池和衰变池侧面均预留检修井，同时沉淀池和衰变池底部均设计有切割式污水泵，可将沉积物粉碎成小颗粒，随废水一并衰变排放。

（1）1#槽式放射性废水处理系统（放射性核素制备场所、PET 诊断场所、SPECT 诊断场所）

医院拟于放射性核素制备场所的质控室、无菌检测区和阳性对照区的淋浴间、洗衣整衣间、脱衣洗手间（2 处）、穿衣手消间（2 处）等设置地漏；于 PET 诊断场所的分装室、去污淋浴室等设置地漏，于 PET 诊断场所的 PET-CT/PET-MR 注射后候诊室 1～2、抢救兼留观室设置患者专用卫生间；于 SPECT 诊断场所的分装室、去污淋浴室等设置地漏，于 SPECT 诊断场所的 SPECT-CT 注射后候诊室、抢救兼留观室设置患者专用卫生间，上述区域产生的放射性废水汇入 1#系统集水坑，之后提升至地

下 1#槽式放射性废水处理系统进行衰变。

1#槽式放射性废水处理系统自西向东依次为 1#沉淀池、2#沉淀池、1#衰变池、2#衰变池、3#衰变池。1#沉淀池有效容积为 16.32m^3（2.4*1.7*4），2#沉淀池有效容积为 17.28m^3（2.4*1.85*4），2 个沉淀池为一用一备，并联结构；三个衰变池有效容积均为 35.52m^3（2.4*3.7*4），3 个衰变池为并联运行。

1#槽式放射性废水处理系统具体工作流程如下：

放射性核素制备场所、PET 诊断场所和 SPECT 诊断场所产生的放射性废水通过专用管道排放至 1#沉淀池内进行沉淀，1#衰变池上部电动控制阀打开，下部控制阀及其余衰变池控制阀关闭，废水经专用管道进入 1#衰变池内，当液面到达设定高度，自动关闭 1#衰变池上部控制阀，2#衰变池的上部控制阀打开，当 2#衰变池液面达到设定高度时，自动关闭 2#衰变池上部控制阀，打开 3#衰变池上部控制阀，当 3#衰变池液面达到设定高度时，自动关闭 3#衰变池上部控制阀，打开 1#衰变池下部控制阀，废水通过管道排入医院污水处理站，当水位低至一定程度后，关闭下部控制阀，等待接纳新产生的废水。

（2）2#槽式放射性废水处理系统（^{131}I 治疗场所）

医院拟于 ^{131}I 治疗场所的储源分源室、污洗污存室、处置间兼抢救室、甲吸室、服碘室（甲癌）、控制室（甲亢服碘室）等设置地漏，于甲癌病房 1～3（双人间）设置患者专用卫生间，上述区域产生的放射性废水经地下专用管道重力排放至地下 2#处理系统进行衰变。

2#槽式放射性废水处理系统自西向东依次为 3#沉淀池、4#沉淀池、4#衰变池、5#衰变池、6#衰变池，3#沉淀池有效容积为 16.74m^3（2.7*1.55*4），4#沉淀池有效容积为 17.67m^3（2.85*1.55*4），2 个沉淀池为一用一备，并联结构；4#衰变池有效容积为 280.8m^3（12*5.85*4），5#、6#衰变池有效容积为 259.44m^3（13.85*4.7*4），3 个衰变池为并联运行。

2#槽式放射性废水处理系统具体工作流程如下：

^{131}I 治疗产生的放射性废水通过专用管道排放至 3#沉淀池内，1#衰变池上部电动控制阀打开，下部控制阀及其余衰变池控制阀关闭，废水经专用管道进入 1#衰变池内，当液面到达设定高度，自动关闭 1#衰变池上部控制阀，2#衰变池的上部控制阀打开，当 2#衰变池液面达到设定高度时，自动关闭 2#衰变池上部控制阀，打开 3#衰

变池上部控制阀，当 3#衰变池液面达到设定高度时，自动关闭 3#衰变池上部控制阀，打开 1#衰变池下部控制阀，废水通过管道排入医院污水处理站，当水位低至一定程度后，关闭下部控制阀，等待接纳新产生的废水。

当 1#沉淀池需要检修时，关闭 1#沉淀池进水控制阀，通过手动阀门将 1#沉淀池内水泵入对应的衰变池内，打开 2#沉淀池进水控制阀，废水经专用管道进入 2#沉淀池内。3#和 4#沉淀池的使用同理。

核医学工作场所放射性废水输送管道路径示意图见附图 11.2-6。放射性废水处理系统平面布置及工艺管线设计图见附图 11.2-7。

九、放射性固体废物处理设施

1、放射性核素制备过程中产生的放射性固体废物

（1）放射性药物制取时更换的放射性残留物如硅胶、树脂、氧化铝、碳柱、滤膜等；

放射性药物常规操作和药物质检等产生的注射器、针头、一次性手套、吸水纸等；

（2）回旋加速器维护时更换过滤网、靶膜等；

（3）回旋加速器更换或退役时，活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器、加速器靶等；活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器、加速器靶等在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后即放进屏蔽容器委托设备方转运，最终送交有资质的单位收贮。

医院拟在放废库配备 2 个放射性废物衰变箱，防护效果均为 20mmPb，容积均为 60L，用于暂存含 ^{18}F（^{11}C、^{13}N）的放射性固体废物，每天将回旋加速器机房、热室和质控室等场所内收集的放射性废物转移至废物暂存间放射性废物衰变箱内。拟配备 5 个放射性废物衰变桶，防护效果均为 20mmPb，容积均为 10L，分别放置于回旋加速器机房、热室、全检室、无菌检测室、阳性对照室；拟配备 2 个废滤网、靶膜专用衰变箱，防护效果为 50mmPb，容积均为 100L，放置于废库内，用于收集回旋加速器维护时产生过滤网、靶膜（全年最多更换 8 次）等；拟配备 1 个洗靶防护工作台，防护效果为 50mmPb。

2、PET 诊断、SPECT 诊断、^{131}I 核素诊疗过程中产生的放射性固体废物

PET 诊断、SPECT 诊断、^{131}I 核素诊疗过程中产生的固废主要有被污染的注射器、针头、手套、导管、药棉、纱布、吸水纸、破碎杯皿、擦拭表面污染的抹布和病人使

用的一次性杯子等；

医院拟于 PET 诊断场所的分装室、PET-CT 扫描室、PET-MR 扫描室、PET-CT/PET-MR 注射后候诊室 1～2、抢救兼留观室 1 等各放置 1 个 ^{18}F 专用污物桶（分装室污物桶屏蔽厚度为 20mm 铅当量，其余房间污物桶屏蔽厚度为 10mm 铅当量，容积均为 10L），用于患者注射、候诊等过程中产生的放射性废物的暂存，每天将各诊区收集的放射性废物转移至放废间放射性废物衰变箱（3 个，屏蔽厚度为 20mm 铅当量，容积不低于 60L）内。

医院拟于 ^{99m}Tc 诊疗场所的分装室、运动负荷室、SPECT-CT 扫描室、SPECT-CT 注射后候诊室、抢救兼留观室等各放置 1 个 ^{99m}Tc 专用污物桶（分装室污物桶屏蔽厚度为 20mm 铅当量，其余房间污物桶屏蔽厚度为 10mm 铅当量，容积均为 10L），用于患者注射、候诊等过程中产生的放射性废物的暂存，并于固废间内放置 3 个放射性废物衰变箱（屏蔽厚度为 20mm 铅当量，容积不低于 60L），每天将各诊区收集的放射性废物转移至固废间放射性废物衰变箱内。

拟于 ^{131}I 治疗场所的储源分源室、自助服碘室（甲癌）、控制室（甲亢服碘室）、甲吸室、甲亢留观室、甲癌病房 1～3 等各放置 1 个 ^{131}I 专用污物桶（屏蔽厚度为 20 mm 铅当量，容积均为 10L），用于患者服药、住院等过程中产生的放射性废物的暂存，并于污物暂存间内共放置 4 个 ^{131}I 专用放射性废物衰变箱（屏蔽厚度为 20mm 铅当量，容积为 100L），每天收集的放射性废物转移至污物暂存间放射性废物衰变箱内。

3、PET 用药物制备场所和 ^{99m}Tc、^{18}F（^{11}C、^{13}N）、^{131}I 核素诊疗场所放射性废水处理系统沉渣

1#、2#槽式放射性废水处理系统沉淀池和衰变池底部的沉渣：各沉淀池和衰变池底部均设有切割式污水泵，排放废水时，沉渣经各池内切割式污水泵粉碎为小颗粒后，随废水一并排放，池内沉渣难于排出时，进行酸化预处理后再排入医院污水处理站。

4、放射性核素制备场所和 ^{99m}Tc、^{18}F（^{11}C、^{13}N）诊断场所、^{131}I 核素诊疗场所放射性废气处理系统定期更换的废活性炭

（1）对于放射性核素制备场所和 ^{99m}Tc、^{18}F（^{11}C、^{13}N）诊断场所活性炭高效过滤装置需定期更换活性炭，医院拟于 ^{18}F（^{11}C、^{13}N）诊断场所废物库内放置 2 个 ^{18}F（^{11}C、^{13}N）专用衰变箱中（屏蔽厚度为 10mm 铅当量，容积不低于 100L），放射性

核素制备场所和 ^{99m}Tc、^{18}F（^{11}C、^{13}N）诊断场所通风管道内定期更换的废活性炭置于该废活性炭专用衰变箱中暂存衰变；

（2）对于 ^{131}I 核素诊疗场所活性炭高效过滤装置需定期更换的活性炭，医院拟于 ^{131}I 诊疗固废暂存间内放置 4 个 ^{131}I 专用衰变箱（屏蔽厚度为 20mm 铅当量，容积不低于 100L），^{131}I 核素治疗场所通风管道内定期更换的废活性炭置于该废活性炭专用衰变箱中暂存衰变。废活性炭经检测确保表面剂量率满足所处环境本底水平、β表面污染低于 0.8Bq/cm^2 后，按一般医疗废物交于具有相应危险废物处置资质的单位进行规范处置。

本项目所用放射性废物衰变箱拟按照 HJ1188-2021 和 GBZ120-2020 相关规定，设置具有屏蔽结构和电离辐射标志的衰变箱，衰变箱表面注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息。在衰变箱内放置有专用塑料袋直接收纳废物，对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。本项目衰变箱内的放射性废物经设定周期存放后可达到解控水平，可按一般医疗废物处理（医疗废物属于危险废物，废物代码为 841-005-01），随医院其他医疗废物一并交由具有相应危险废物处置资质的单位进行规范处置。医院应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。

使用完的 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器暂存于分装室手套箱内，由供源单位回收。因患者未及时就诊产生的剩余的放射性药物 ^{18}F（^{11}C、^{13}N）、^{99m}Tc、^{131}I 随铅罐放置于相应的固废间内暂存，衰变至解控水平后按规范处置。

十、回旋加速器生产药物的院内转运安全防护措施

本项目放射性药品生产制备区域与使用区域紧邻，药物转移距离约 10m，在转移放射性药物时，需严格执行辐射防护三原则（时间、距离、屏蔽），院内转运关键防护措施及操作流程如下：

（一）转运前准备

1、药物包装与屏蔽

（1）专用容器：使用铅罐或钨合金容器。

（2）分层防护：内层：铅玻璃瓶（储存药液）；外层：铅罐+防震泡沫，容器表面标注“放射性”标志及核素信息（如活度、半衰期）。

2、路径规划

（1）选择最短路线，避开人员密集区（如门诊大厅、儿科病房）。

（2）设置“放射性药物专用通道”（优先电梯或专用货梯），转运时间尽量避开人流高峰。

3、人员培训与防护设备

（1）转运人员需持有经辐射安全与防护培训合格；

（2）转运人员需穿戴防护服，佩戴个人剂量计，带便携式辐射监测仪，实时检测剂量率。

（二）转运中防护措施

1、操作规范

（1）时间控制：快速转运（单次转运时间<5 分钟），减少暴露时间；短半衰期药物（^{11}C、^{13}N）需优先转运。

（2）距离管理：手持容器时保持手臂伸直（增加距离），或使用带长柄的转运推车（距离≥1m 可使剂量率降至 1/4）。

（3）屏蔽优化：推车加装铅板（5mm 厚），降低周围剂量率至<2.5 μSv/h。

2、应急准备

转运箱内置吸水垫和密封袋，防止药液泄漏；随车配备应急包（含铅手套、污染检测试纸、表面污染检测仪）。

（三）交接与记录

（1）剂量监测：交接时测量容器表面及周围 1m 处剂量率，记录于《放射性药物转运日志》。

（2）双人核查：核对药物名称、活度（需校正至转运时间）、接收科室签字确认。

（四）特殊场景处理

1、高活度药物：临时封闭转运路径，由辐射防护员清场。

2、意外泄漏处理：

（1）立即划定 3m 隔离区，用吸水材料覆盖污染面，报告辐射安全小组；

（2）污染区域用巡测仪检测，去污至<0.4 Bq/cm²（GB 18871-2002 限值）。

放射性药品院内转运流程见下图。

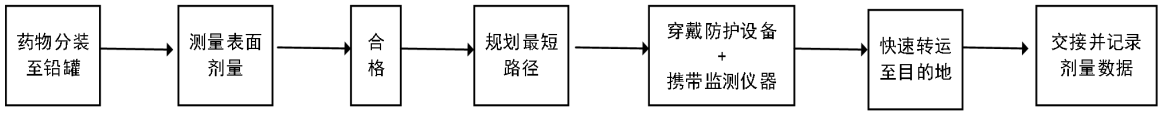


图 11.2-1　放射性药品院内转运流程示意图

11.2.2 三废的治理

1、放射性废气

放射性核素制备场所和放射性核素诊断、治疗场所共设计16套通风系统，废气分别经活性炭过滤装置（共8套）过滤后住院楼楼顶以上高空排放，各排风口高出屋脊3 m，设防雨帽、防虫网。住院楼楼顶无人员停留。通风系统设计可满足HJ1188-2021和GBZ120-2020中放射性废气控制要求。在此情况下，核医学工作场所产生的放射性废气对周围环境影响较小。

2、放射性废水

放射性核素制备场所和放射性核素诊断场所产生的含 ^{99m}Tc、^{18}F、^{11}C、^{13}N 的放射性废水由专用管道排至东侧 1#槽式放射性废水处理系统，经停留衰变满足 30 天后，排入医院污水处理总站作进一步处理后外排，对周围水环境影响较小。^{131}I 治疗场所产生的含 ^{131}I 放射性废水由专用管道排至东侧 2#槽式放射性废水处理系统，经停留衰变满足 180 天后，经检测，衰变池总排放口满足“总β不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L”后，排入医院污水处理总站作进一步处理后外排，对周围水环境影响较小。

3、放射性固体废物

（1）放射性核素制备场所放射性药物制取时更换的放射性残留物如硅胶、树脂、氧化铝、碳柱、滤膜等，放射性药物常规操作和药物质检等产生的注射器、针头、一次性手套、吸水纸等，回旋加速器维护时更换过滤网、靶膜等转移至相应的衰变箱中，衰变至解控水平后，按一般医疗废物处理，交于具有相应危险废物处置资质的单位进行规范处置。

（2）放射性核素制备场所活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器、加速器靶等在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后即放进屏蔽容器委托设备方转运，最终送交有资质的单位收贮。

（3）放射性核素制备场所、放射性核素诊断场所和 ^{131}I 核素诊疗场所定期更换的废活性炭分别存放在 ^{18}F（^{11}C、^{13}N）诊断场所废物库和 ^{131}I 核素诊疗场所废物库专

用衰变箱中衰变，其中放射性核素制备场所、放射性核素诊断场所更换的废活性炭暂存衰变满足 30 天、^{131}I 核素诊疗场所更换的废活性炭暂存衰变满足 180（^{99m}Tc、^{131}I）天后，经检测确保表面剂量率满足所处环境本底水平、β表面污染低于 0.8Bq/cm^2 后，按一般医疗废物交于具有相应危险废物处置资质的单位进行规范处置。

（4）^{18}F（^{11}C、^{13}N）、^{99m}Tc、^{131}I 核素诊疗场所产生的被污染的注射器、针头、手套、导管、药棉、纱布、吸水纸、破碎杯皿、擦拭表面污染的抹布和病人使用的一次性杯子等，转移至相应的衰变箱中，衰变至解控水平后，按一般医疗废物处理，交于具有相应危险废物处置资质的单位进行规范处置。

（5）1#、2#槽式放射性废水处理系统沉淀池和衰变池底部的大部分沉渣经设定周期存放后可达到解控水平，由切割式污水泵粉碎后随废水一并排放，对于少量难于排出的沉渣，进行酸化预处理后再随废水一并排入医院污水处理站。

使用完的 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器由供源单位回收。因患者未及时就诊产生的剩余的放射性药物（^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I）随铅罐放置于相应的固废间（^{18}F）/固废间（^{99m}Tc）/固废间（^{131}I）内暂存，衰变至解控水平后按规范处置。

11.3 运行期环境影响分析

11.3.1 回旋加速器中心辐射水平预测与评价

一、回旋加速器运行对周围辐射环境影响

由放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 的辐射特性可知，3 种放射性核素的γ射线照射量常数相近；同时，本项目主要应用核素 ^{18}F（半衰期为 109.8min），其他 2 种核素 ^{11}C（半衰期为 20.4min）、^{13}N（半衰期为 10.0min）应用较少，且半衰期短于核素 ^{18}F。因此，本次评价以核素 ^{18}F 进行预测与评价，满足对 ^{18}F 的辐射安全防护管理要求，即可同时满足对 ^{11}C、^{13}N 的辐射安全防护管理要求。

1、设备参数、预测点位

由于项目尚处于设计阶段，拟安装使用的回旋加速器的具体品牌与型号未定，医院参考同类医院同类设备的使用情况，确定本项目回旋加速器参数为：质子束流能量最大为20MeV，单靶质子束流强度最大为100μA，中子产额为5.0×10^{11}n/s；γ射线最大能量为8MeV，γ射线在剂量率最大为8.8×10^{3}μSv/h•μA。

回旋加速器机房工作区东、南、西侧墙体为 2.3m 厚混凝土结构（密度为 2.35g/cm^3），北侧为迷道，回旋加速器室顶层为 2.3m 厚钢筋混凝土，迷道内外侧墙体均为 0.7-1m 厚混凝土结构（密度为 2.35g/cm^3），加速器机房的防护门采用 16mmPb 的防护厚度（含 12cm 含硼聚乙烯）；地下专用的输送放射性药品的管道采用 1/16 英寸聚四氟乙烯材质、60mm 厚的铅当量防护，管道尺寸为 80×80mm。加速器机房平面图及预测点位分布示意图见图 11.3-1，加速器机房剖面图及机房正上方预测点位分布示意图见图 11.3-2。

根据医院提供的资料，新建回旋加速器机房防护参数见下表。

表 11.3-1 回旋加速器机房防护参数

东侧屏蔽墙	南侧屏蔽墙	西侧屏蔽墙	北侧屏蔽墙（迷道外墙）	第一层迷道防护墙	第二层迷道防护墙	第三层迷道防护墙	迷路防护门	专用运输管道屏蔽防护
230cm	230cm	230cm	70-100cm	92.9-140cm	58.5-105.5cm	50cm	16mmPb 的防护厚度（含 12cm 聚乙烯）	1/16 英寸聚四氟乙烯材质、60mm 厚的铅当量

注：防护门对应迷道墙最薄处为 170（120+50）cm

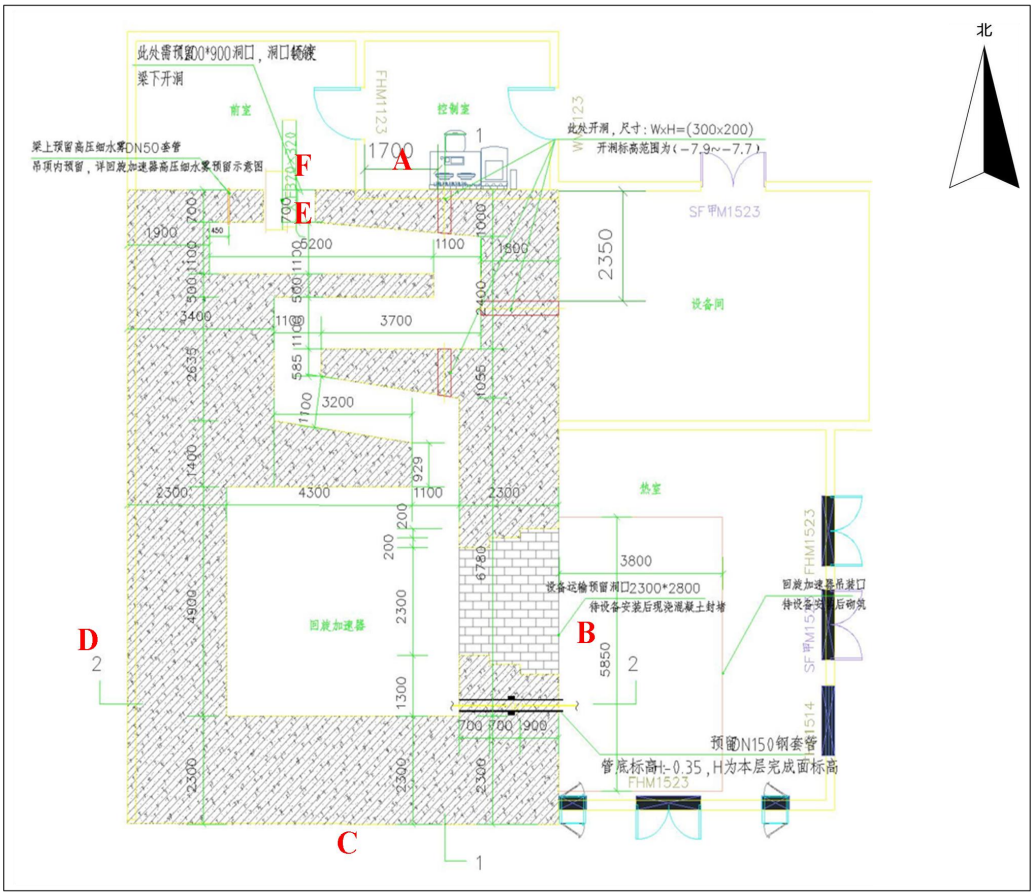


图 11.3-1 回旋加速器机房屏蔽设计和关注点位图（平面图）

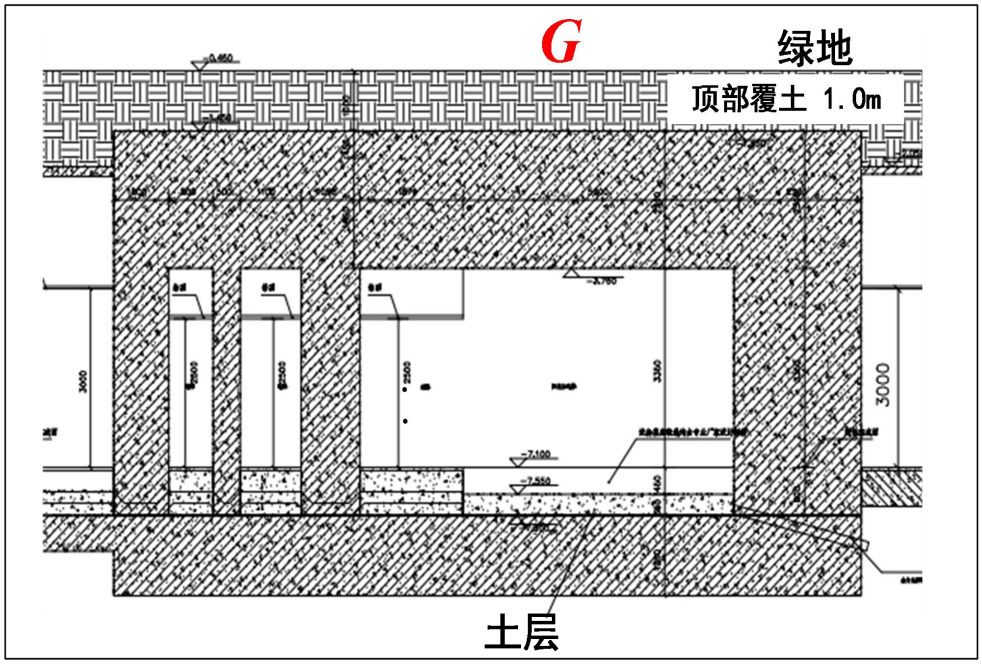


图 11.3-2 回旋加速器机房屏蔽设计和关注点位图（剖面图）

2、辐射防护效果预测

（1）屏蔽墙透射计算

根据单能中子垂直入射时穿过混凝土后的透射系数（《辐射防护导论》南京大学出版，方杰编著），具体参数见表11.3-2。

a、加速器机房周围的环境γ辐射剂量率参考《辐射防护导论》，采用以下公式进行计算：

$$H=\frac{F_{jo}\cdot\eta\cdot q}{(Ki\cdot ri^2)}$$ （公式11.3-1）

式中：H—计算点处由于γ射线造成的剂量率，μSv/h；

Fjo—辐射源j的发射率，本项目为γ射线剂量率（μSv/h•μA）×加速器的流强I（μA）；

η—γ射线在屏蔽层中的透射比，无量纲，由《辐射防护导论》附图13推算得出；

q—居留因子，在计算环境剂量时保守取1；

Ki—与辐射源 j（γ射线）相关的单位换算系数，取1；

r_i—计算点与辐射源j（γ射线）的距离，m。

b、加速器机房周围由于中子造成的环境辐射剂量率参考《辐射防护导论》，采用以下公式进行计算：

$$H=\frac{\varphi\cdot\zeta\cdot q}{(2.8\times10^4\cdot r^2)}$$ （公式11.3-2）

式中： *H*—计算点处由于中子造成的剂量率，Sv/h；

φ —距离中子源1m处的注量率，$m^2\cdot cm^{-2}\cdot s^{-1}$，$\varphi=I\cdot y\times10^{-4}/r^2$，I•y为中子产额，r取1m，*φ*为$5.0\times10^7\ m^2\cdot cm^{-2}\cdot s^{-1}$；

ζ—中子透射系数，$Sv\cdot cm^2$，由《辐射防护导论》附图33推算得出；

q—居留因子，保守取1；

r —计算点与中子源的距离，m；

计算参数及结果见下表。

表 11.3-2　计算参数及结果

评价点位	混凝土屏蔽厚度（cm）	γ射线 F_{jo}（初始剂量率，μSv/h）	γ射线η（透射比，无量纲）	中子产额（n/s）	中子透射系数（Sv•cm^{-2}）	计算点与射线源的距离（m）	γ射线剂量率（μSv/h）	中子剂量率（μSv/h）
A	192	8.8×10^{5}	1×10^{-5}	5.0×10^{11}	3.3×10^{-11}	8.25	0.129	7.87×10^{-10}
B	230		1×10^{-6}		6.6×10^{-12}	4.35	0.047	6.61×10^{-10}
C	230					4.2	0.050	7.09×10^{-10}
D	230					4.35	0.047	6.61×10^{-10}
E	175		3×10^{-5}		5.0×10^{-11}	7.95	0.418	1.41×10^{-9}
G	289.6		1×10^{-6}		8.0×10^{-13}	5.6	0.028	4.56×10^{-11}

注：1、E 点处的γ射线和中子剂量率为防护门处未经过防护门的透射剂量率；

2、屏蔽厚度超过 230m，γ射线η统一取 1×10^{-6}。

（2）迷道散射计算

取防护门外中心点作为迷道散射计算点，根据机房平面设计，射线最少经过4次散射才能到达防护门处。

经过迷道散射后的剂量率值（Hs）参考以下公式进行计算：

$$H_s=\frac{\alpha_1\cdot\alpha_2\cdots\alpha_n\cdot A_1\cdot A_2\cdots A_n}{d_1^{\ 2}\cdot d_2^{\ 2}\cdots d_{n+1}^{\ 2}}\cdot H_0\cdot T \qquad \text{（公式11.3-3）}$$

式中：n—散射次数，本项目为4次；

α—散射系数，保守取4×10^{-2}；

H_0 —取距离射线靶1m处的初始剂量率μSv/h，参数取值见表11.3-2；

T—居留因子，保守取1；

d1 —入射距离，取3.0m；

d2~dn—散射距离，分别取4.8m、5.0mm；

dn+1—最后一次散射面中心至防护门外的距离，取5.2m；

A1~n—对应的散射面积，分别取2.01m^2、2.01m^2、5.36m^2。

由公式11.3-3计算得，到达防护门处的γ剂量率为8.7×10^{-3}μSv/h，中子剂量率为0.494μSv/h。

（3）迷道防护门外剂量率计算：

本项目防护门设计16mmPb+12cm含硼聚乙烯。

a：γ射线剂量率核算

γ射线经迷道散射在防护内外造成的剂量率为0.0087μSv/h，γ透射剂量率为0.418μSv/h，防护门处E点处剂量率为0.4267μSv/h。

对于γ射线，在给定防护门的铅屏蔽厚度 X（cm）时，防护门外 F 点处的辐射剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）按公式 11.3-4 计算。

$$\dot{H}=\dot{H}_e\cdot10^{(X/TVL)} \qquad \text{公式 11.3-4}$$

式中：$\dot{H}_e$ —e 处的辐射剂量率，μSv/h；

TVL—辐射在铅中的什值层，cm。

经计算，经迷道散射、透射在防护门外造成的γ剂量率为 4.27×10^{-4}μSv/h。

b：中子剂量率核算

中子经迷道散射在防护门处造成的剂量率为0.494μSv/h，透射剂量率为1.41×10^{-9}μSv/h，无防护门时E点处中子剂量率为0.494μSv/h。

对于防护门外的中子剂量，可通过以下公式计算：

$$H=H_0\times e^{-\Sigma_r\cdot d} \qquad \text{（公式11.3-5）}$$

式中：H—防护门外的中子剂量率；

H_0—未经过防护门屏蔽的中子剂量率；

r—屏蔽材料对中子的宏观分出截面，石蜡为$0.109cm^{-1}$；

d—屏蔽材料厚度，取石蜡12cm。

经计算中子经迷道透射、散射在防护门外造成的中子剂量率为0.133μSv/h。

防护门外F点总的剂量率为4.27×10^{-4}+0.133=0.1334μSv/h。

④屏蔽墙及防护门外剂量率统计及分析

屏蔽墙及防护门外剂量率详见下表。

表 11.3-3 屏蔽墙及防护门外剂量率

预测点	A	B	C	D	F	G
预测剂量值（μSv/h）	0.129	0.047	0.050	0.047	0.1334	0.028
剂量管理限值（μSv/h）	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

根据预测结果可知，回旋加速器机房在现有屏蔽设计及最大工况运行条件下，机房屏蔽墙及防护门外30cm处剂量率在0.028~0.1334μSv/h之间，满足要求。

二、热室、放化实验室、无菌检测室、阳性对照室周围辐射环境影响

合成后药物于合成热室、分装热室依次流转，对于核素合成、分装过程中对热室周围的辐射剂量率计算公式，本次评价公式参考《辐射防护手册》（第一分册）和《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)，见公式 11.3-6～公式 11.3-8。

（一）计算公式选取

1、有辐射屏蔽时，随距离变化的空气吸收剂量率计算公式：

$$H_{\mathrm{p}} = \frac{A \times \Gamma}{\mathrm{r}^2} \times 10^{-\frac{\mathrm{x}}{TVL}} \quad \text{……（公式 11.3-6）}$$

式中：

$\dot{H}_P$：屏蔽体外关注点剂量率控制值，μSv/h；

x：屏蔽厚度，mm；

A：单个患者或受检者所用放射源的最大活度，MBq；

Γ：距源 1m 处的周围剂量当量率常数，μSv·m²/（MBq·h）；

r：参考点与放射源间的距离，m；

TVL：γ射线的十分之一值层厚度，mm。

2、根据公式 11.3-6 推出，无辐射屏蔽时，随距离变化的空气吸收剂量率计算公式：

$$H_P = \frac{A \times \Gamma}{r^2} \quad \text{……（公式 11.3-7）}$$

式中：

$\dot{H}_P$：屏蔽体外关注点剂量率控制值，μSv/h；

A：单个患者或受检者所用放射源的最大活度，MBq；

Γ：距源 1m 处的周围剂量当量率常数，μSv·m²/（MBq·h）；

r：参考点与放射源间的距离，m；

3、放射源活度随时间的衰变计算公式：

根据《辐射防护手册》（第一分册）中推荐公式：

核素活度：

$$A = A_0 \cdot e^{-\frac{0.693t}{T_{1/2}}} \quad \text{（公式 11.3-8）}$$

式中：

A：　　经 t 时间衰变后的活度，mCi；

A_0：　　t=0 时的活度，mCi；

$T_{1/2}$：　　放射性核素的半衰期；

t：　　时间

（二）主要预测参数选取

患者单次最大注射放射性药物 ^{18}F 为 3.7×10^8Bq（10mCi），每日最大诊断为 20 人次，则放射性药物 ^{18}F 日最大制备/分装量为 7.4×10^9Bq（200mCi）。

由 GBZ120-2020 附录 H 查出 ^{18}F 裸源的Γ照射量率常数为：0.143μSv·m²/(MBq·h)。由 GBZ120-2020 附录 I 查出，混凝土（密度为 2.35g/cm³）对 ^{18}Fγ射线的十分之一值层约为 1766mm，铅（密度为 11.3g/cm³）对 ^{18}Fγ射线的十分之一值层约为 16.6mm。

关注点选取：计算场所屏蔽体外表面剂量当量达标性时，关注点位置选择在屏蔽墙、防护门、观察窗、室顶等屏蔽体外 0.3m 处，计算人员有效剂量时参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中相关内容，关注点位置选择在屏蔽墙、防护门、观察窗、室顶等屏蔽体外 0.3m 处，计算人员剂量时顶棚上方关注点位置选择在楼上对应房间地面上方 1.0m 处。

放射源位置参考点：因本项目工作场所中放射源为药物或者注射后的患者。由于两者的位置并非完全固定的，因此考虑到辐射防护最优化原则，取场所药物或者注射后的患者内常居留位置作为放射源参考位置。例如注射后候诊区（多名人员）及扫描室内放射源位置参考点选择该房间居中、病床上患者胸腹部位置，分装注射室内放射源位置参考点选择注射窗附近位置。

（三）预测结果

1、热室外辐射水平预测

每天打靶 1 次，每次在合成和分装工作柜中 ^{18}F 操作量最大为 7.4×10^9Bq（200mCi）。假设估算时所有核素均在工作柜中间位置，药物合成和分装依次进行，药物距

离工作柜外表面 30cm 处距离最小约 0.5m。合成、分装工作柜防护效果均为 70mmPb，由公式 11.3-6 计算，合成柜外表面辐射剂量率为 0.257μSv/h，再经墙体屏蔽(按四周墙体、室顶和地面材质及厚度最不利情况 300mm 混凝土进行考虑)和距离衰减(按热室外预测点距放射性药物 1m 进行考虑)，则合成过程中热室外剂量率应不大于 1.27E-03μSv/h，满足本次评价采用的 2.5μSv/h 限值要求。

2、全检质控室、无菌检测室、阳性对照室

分装后的放射性药物取样 0.2mCi 放入铅罐中(防护效果为 25mmPb)，转运至全检质控室内，经全检质控室检验后再放入铅罐中(防护效果为 25mmPb)，转运至无菌检测室、阳性对照室内进行检验，检验过程中放射性药物距全检质控室、无菌检测室或阳性对照室外 30cm 处均大于 1m，全检质控室、无菌检测室和阳性对照室四周墙体、室顶和地面分别为 300mm 混凝土、250mm 混凝土+1600mm 土层和 500mm 混凝土（下为土层）。由公式 11.3-6 计算，检验过程中，全检质控室、无菌检测室/阳性对照室外 30cm 处辐射剂量率最大为 6.52E-04μSv/h，满足本次评价采用的 2.5μSv/h 限值要求。

11.3.2 PET 诊断、SPECT 诊断、^{131}I 核素诊疗辐射水平预测与评价

本次评价公式参考《辐射防护手册》（第一分册）和《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)，见公式 11.3-6～公式 11.3-8。

一、PET-CT/PET-MR（^{18}F、^{11}C、^{13}N）扫描诊断过程辐射水平预测

由放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 的辐射特性可知，3 种放射性核素的γ射线照射量常数相近；同时，本项目主要应用核素 ^{18}F(半衰期为 109.8min)，其他 2 种核素 ^{11}C(半衰期为 20.4min)、^{13}N(半衰期为 10.0min)应用较少，且半衰期短于核素 ^{18}F。因此，本次评价以核素 ^{18}F 进行预测与评价，满足对 ^{18}F 的辐射安全防护管理要求，即可同时满足对 ^{11}C、^{13}N 的辐射安全防护管理要求。

1、辐射源项

^{18}F每人最大用量3.70×10^{8}Bq（10mCi），日最大操作量为7.4×10^{9}Bq（200mCi）。由于^{18}F半衰期较短，考虑2倍的衰减裕量，则最大暂存量为1.48×10^{10}Bq（400mCi）。

2、药物储存、分装过程

根据医院提供资料，药物接收后置于分装间内储存。包装铅罐厚度不低于 50mm Pb，按照每日最大操作量 400mCi（14800MBq）考虑，根据公式 11.3-6，铅罐外 1m 处周围剂量当量率为 2.06μSv/h，满足 HJ1188-2021 中小于 2.5μSv/h 的要求。考虑分

装室墙体和防护门的防护作用，四周墙体、室顶和地面分别为 300mm 混凝土、250mm 混凝土+1600mm 土层和 500mm 混凝土（下为土层），^{18}F 药物储存过程，分装室外 30cm 处辐射剂量率最大为 4.06E-02μSv/h，满足 HJ1188-2021 中小于 2.5μSv/h 的要求。

根据医院提供资料，^{18}F 专用手套箱尺寸约为 1200mm×850mm×2100mm（高），药物分装过程，按照每日最大操作量 400mCi 考虑，手套箱防护能力为 50mmPb，药物位于手套箱内中部，不考虑手套箱的厚度，药物距离手套箱外表面 30cm 处距离约 0.725m，根据公式 11.3-6，手套箱（含铅玻璃）外表面 30cm 处周围剂量当量率为 1.96μSv/h，满足 HJ1188-2021 中小于 2.5μSv/h 的要求。

3、药物转移及操作过程

对于职业人员在转移、分装、取药及注射等过程中手部等距药物距离较近，在该种状态下，药物无法作为点源进行估算，公式 11.3-6 不适用，所得理论计算结果偏高，因此本次评价采用类比的方法进行估算。根据《北京市临床核医学使用 ^{18}F 核素场所的辐射水平调查》（李桂云，中国辐射卫生 2004 年 12 月第 13 卷第 4 期）中的现场检测结果，职业人员在给病人注射 ^{18}F 使用量为 166.5～407MBq/例（4.5～11mCi/例）时，手部剂量率范围在 101～505μGy/h，胸部（身体部位）剂量率为 16～252.2μGy/h。

根据公式 11.3-7，不考虑辐射屏蔽，通过类比，本项目分装时操作药物最大为 400mCi，取药和注射时操作药物最大为 10mCi，则本项目职业人员分装时手部剂量率为 400×505/11≈18363.64μGy/h；分装时身体部位有 55mmPb 手套箱的防护，则职业人员身体部位剂量率为 4.46μGy/h。

本项目患者最大注射 10mCi，则取药和注射时职业人员手部剂量率为 10×505/11≈459.09μGy/h；身体部位剂量率为 10×252.2/11≈229.27μGy/h。

本项目操作核素前，需将装有药物的铅罐自全检质控室转移至分装室内，铅罐内药量按照 400mCi 考虑，转移铅罐过程中，铅罐防护能力为 50mmPb，则转移过程职业人员身体受照剂量率为 8.92μGy/h，手部受照剂量率为 17.86μGy/h。

职业人员在转移、分装、取药及注射时手部、身体的剂量率如下表所示：

表 11.3-4　操作 ^{18}F 过程中人员受照剂量率（μGy/h）

工作过程	核素活度	点位描述	γ辐射剂量率
转移	400mCi	身体	8.92
		手部	17.86

分装	400mCi	身体	4.46
		手部	18363.64
取药/注射	10mCi	身体	229.27
		手部	459.09

4、^{18}F 诊断工作场所主要房间屏蔽水平预测

本次评价对分装室、PET-CT/PET-MR注射后候诊室1～2、PET-CT扫描室、PET-MR扫描室、抢救兼留观室等主要区域屏蔽水平进行预测。对于分装室、分装过程的影响，本章节前述进行了分析，不再进行估算。

分装室注射过程中每次自手套箱内取出1人用量进行注射考虑，注射过程源强总活度370MBq（10mCi）；PET-CT/PET-MR注射后候诊室1～2每次最多容留1人，源强总活度370MBq（10mCi）；PET-CT扫描室、PET-MR扫描每次容留1人，源强按照患者至少休息40min后衰变考虑，即287 MBq（7.77mCi）；抢救兼留观室1作为抢救用时仅容纳1人，作为留观用时最多容留2人，按照患者注射药物至少60min后衰变考虑，即253MBq（6.85mCi），每次最多容留2人，患者之间设铅屏风进行防护，抢救兼留观室1源强总活度507MBq（6.85×2=13.7mCi）。

根据公式 11.3-7、公式 11.3-8，^{18}F（^{11}C、^{13}N）诊断工作场所外γ辐射剂量如下表所示：

表 11.3-5　^{18}F 断工作场所外γ辐射剂量率

核素：^{18}F；其他参数：Γ（裸源）：0.143μSv·m²/（MBq·h）、Γ（体内）：0.092μSv·m²/（MBq·h）；TVL（铅）：16.6mm；TVL（混凝土）：176mm；TVL（砖）：263mm。					
房间及源强	考察点	屏蔽措施	考察点到源最近距离（m）	考察点γ辐射剂量率（μSv/h）	剂量率控制目标（μSv/h）
分装室（注射过程，370MBq）	四周墙外	300mm 混凝土	1.8	0.32	2.5
	固废暂存间防护门外 30cm 处	15mmPb	3.1	0.69	2.5
	西防护门外 30cm 处	15mmPb	6.4	0.16	2.5
	室顶上方 0.3m 处	250mm 混凝土+1600mm 土层	6.2	2.0×10^{-7}	2.5
注射室（370MBq）	四周墙外	300mm 混凝土	1.9	0.32	2.5
	注射窗口外 30cm 处	40mmPb	1	0.21	2.5
	防护门外 30cm 处	15mmPb	2.8	0.84	2.5
	室顶上方 0.3m 处	250mm 混凝土+	6.2	2.0×10^{-7}	2.5

		1600mm 土层			
PET-CT/PET-MR 注射后候诊室（370MBq）	四周墙外 30cm 处	300mm 混凝土	1.8	0.32	2.5
	防护门外 30cm 处	15mmPb	3.0	0.73	2.5
	室顶上方 0.3m 处	250mm 混凝土+1600mm 土层	6.2	2.0×10^{-7}	2.5
PET-CT 扫描室（287 MBq）	四周墙外 30cm 处	300mm 混凝土	3.6	0.06	2.5
	南防护门外 30cm 处	15mmPb	5.3	0.18	2.5
	西防护门外 30cm 处	15mmPb	4.7	0.23	2.5
	西观察窗外 30cm 处	15mmPb	3.6	0.39	2.5
	PET-CT 操作位	15mmPb	4.2	0.29	2.5
	PET-MR 操作位	15mmPb	5.6	0.16	2.5
	室顶上方 0.3m 处	250mm 混凝土+1600mm 土层	6.2	1.6×10^{-7}	2.5
PET-MR 扫描室（287 MBq）	四周墙外 30cm 处	300mm 混凝土	3.6	0.06	2.5
	南防护门外 30cm 处	15mmPb	5.6	0.16	2.5
	东防护门外 30cm 处	15mmPb	4.7	0.23	2.5
	东观察窗外 30cm 处	15mmPb	3.6	0.40	2.5
	PET-CT 操作位	15mmPb	5.6	0.16	2.5
	PET-MR 操作位	15mmPb	4.2	0.29	2.5
	室顶上方 0.3m 处	250mm 混凝土+1600mm 土层	6.2	1.6×10^{-6}	2.5
抢救兼留观室（507 MBq）	四周墙外 30cm 处	300mm 混凝土	1.8	0.44	2.5
	西防护门外 30cm 处	15mmPb	2.6	1.34	2.5
	北防护门外 30cm 处	15mmPb	3.1	0.94	2.5
	室顶上方 0.3m 处	250mm 混凝土+1750mm 土层	6.2	2.7×10^{-6}	2.5

注：1、源距各屏蔽墙体和防护门窗的距离根据源在各功能房间内的实际情况，距地高度按 1m 考虑；

2、参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表 J.1，对于室顶上方的关注点取距顶棚地面 0.3m 处；本项目地下为土层，不进行核算；

3、根据防护单位提供资料，混凝土的密度为 2.35g/cm^3，土壤的密度 1.4g/cm^3。

4、控制室 PET-CT、PET-MR 操作位受到 PET-CT 扫描室、PET-MR 扫描室叠加影响，叠加后剂量率为 0.45μSv/h。

由上表可知，分装室、注射室、PET-CT/PET-MR 注射后候诊室 1～2（1 人）、PET-CT 扫描室、PET-MR 扫描室、抢救兼留观室 1（2 人）、^{18}F 患者走廊外剂量率均低于相应的剂量率控制目标，表明各主要房间屏蔽墙体、室顶、防护门窗的屏蔽设计能够满足辐射防护要求。同时，PET-CT 扫描室防护也满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的标准要求的 CT 机房有用线束方向和非有用线束方向不低于 2.5mmPb 的要求。

5、用药患者离开医院对环境的影响

按患者单次最大注射 ^{18}F 为 3.7×10^{8}Bq（10mCi）进行预测，考虑人体软组织的屏蔽，参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表 L.1，患者或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为 $0.092\mu Sv\cdot m^{2}\cdot h^{-1}\cdot MBq^{-1}$，$^{18}F$ 半衰期 109.8min，根据公式 11.3-7、公式 11.3-8，用药不同时间后，距用药患者体外 1m 处的γ辐射剂量率如下表所示：

表 11.3-6 ^{18}F 患者注射药物后体外 1m 处不同时间的γ辐射剂量率（μSv/h）

时间 核素	注射后	40min	注射后 1h	注射后 12h	注射后 24h
^{18}F（10mCi）	34.04	26.45	23.31	0.36	0.0038

从上表可以看出，^{18}F 患者接受注射 1h 后体外 1m 处γ辐射剂量率为 23.31μSv/h；参照 GBZ120-2020 中第 7.2.1 款“接受 ^{131}I 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400 MBq 或距离患者体表 1 m 处的周围剂量当量率不大于 25 μSv/h 方可出院，以控制该患者家庭与公众成员可能受到的照射。”，本项目 ^{18}F 患者检查后满足离院要求。

6、摆位过程

利用 PET-CT/ PET-MR 扫描过程中，职业人员于 PET-CT 扫描室/ PET-MR 扫描室内对患者进行摆位指导，在指导过程中职业人员与患者间隔大约 1m，按照注射 ^{18}F 40min 后开始摆位，根据表 11.3-6，距患者 1m 处职业人员手部、身体所受γ辐射剂量率为 26.45μSv/h。

二、SPECT-CT（^{99m}Tc）扫描诊断过程辐射水平预测

1、辐射源项

根据医院提供材料，发生器柱最大规格为2.96×10^{10}Bq（800mCi），^{99m}Tc每人最大用量7.4×10^{8}Bq（20mCi），日最大操作量为1.48×10^{10}Bq（400mCi）。

2、^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器贮存、淋洗及药物分装过程

^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器贮存和淋洗均在分装质控室手套箱（40mmPb）内进行，单个发生器活度为 800mCi，一次订购一个。淋洗过程在密闭发生器中负压条件下自动进行，发生器色谱柱外面有 40mm 的铅防护，外有 40mmPb 当量手套箱的防护。根据医院提供资料，该手套箱尺寸约为 1600mm×850mm×2100mm（高），药物淋洗过程中，发生器置于手套箱内中部，不考虑手套箱的厚度，发生器距离手套箱外表面 30cm 处距离约 0.725m，根据公式 11.3-6，手套箱外表面 30cm 处周围剂量当量率为 1.71×10^{-77}μSv/h。药物分装过程，按照每日最大操作量 400mCi 考虑，操作位位于手套箱内中部，不考虑手套箱的厚度，根据公式 11.3-6，手套箱（含铅玻璃）外表面 30cm 处周围剂量当量率为 8.53×10^{-38}μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）小于 2.5μSv/h 的要求。综合考虑分装室墙体和防护门的防护作用，^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器贮存、淋洗及药物分装过程对分装室外的影响极低，可以忽略不计。

3、药物操作过程

职业人员在分装、取药及注射等过程中手部等距药物距离较近，在该种状态下，药物无法作为点源进行估算，公式 11.3-6 不适用，所得理论计算结果偏高，因此本次评价采用类比的方法进行估算。类比数据采用《滨州市人民医院现有核医学科改扩建及新建一处 PET-CT 中心应用项目》中的现状检测结果，核医学科常规核素的操作方法、操作流程及人员防护情况基本相同（类比报告中注射过程未使用注射器屏蔽套，医护人员在取药等过程中均佩戴铅衣、铅围脖等个人防护用品及个人剂量计），具有一定可比性。

根据该项目检测报告，操作人员在取药时（使用 ^{99m}Tc，活度为 7.4×10^{8}Bq，即 20mCi），其手部剂量率为 1.90μGy/h，身体剂量率为 522.4nGy/h；注射时（使用 ^{99m}Tc，活度为 7.4×10^{8}Bq，即 20mCi），其手部剂量率为 68.6μGy/h，身体剂量率为 13.79μGy/h。

根据公式 11.3-6，不考虑辐射屏蔽，本项目 ^{99m}Tc 分装时操作活度最大为 400mCi，按照注射过程中身体和手部所受剂量率折算，则分装过程工作人员手部剂量率最大为 68.6×400/20=1372μGy/h，身体部位剂量率为 13.79×400/20=275.8μGy/h。

因此，职业人员在分装、取药及注射时手部、身体的剂量率如下表所示：

表 11.3-7 操作 ^{99m}Tc 过程中人员受照剂量率

核素活度	考察点	剂量率（μGy/h）
400mCi	手部（分装）	1372

	身体（分装）	275.8
20mCi	手部（取药）	1.90
	身体（取药）	0.5224
20mCi	手部（注射）	68.6
	身体（注射）	13.79

4、^{99m}Tc 诊断工作场所主要房间屏蔽水平预测

本次评价对注射室、运动负荷室、SPECT-CT注射后候诊室、SPECT-CT扫描室、抢救兼留观室等主要区域屏蔽水平进行预测。对于分装室外^{99}Mo-^{99m}Tc发生器贮存、淋洗及药物分装过程的影响，本章节前述进行了分析，不再对此过程进行估算。

分装室和注射室注射过程中每次自手套箱内取出1人用量进行注射考虑，注射过程源强总活度740MBq（20mCi）；抢救兼运动负荷室每次停留1人，源强总活度740 MBq（20mCi）；SPECT-CT注射后候诊室每次最多容留4人，患者之间设铅屏风进行防护，源强总活度2960MBq（80mCi）；SPECT-CT扫描室每次容留1人，不考虑候诊过程中核素衰变，源强总活度740MBq（20mCi）。留观室作为抢救功能时，仅容纳1人，源强总活度740MBq（20mCi）；作为留观功能时，每次最多容留3人，患者之间设铅屏风进行防护，源强总活度2220MBq（60mCi），因此抢救兼留观室2源强总活度最大为2220MBq（60mCi）。

根据公式 11.3-6，^{99m}Tc 诊断工作场所外γ辐射剂量如下表所示：

表 11.3-8　^{99m}Tc 诊断工作场所外γ辐射剂量率

核素：^{99m}Tc；其他参数：Γ（裸源）：0.0303μSv·m^2/（MBq·h）、Γ（体内）：0.0207μSv·m^2/（MBq·h）；TVL（铅）：1mm；TVL（混凝土）：110mm；TVL（砖）：160mm。					
房间及源强	考察点	屏蔽措施	考察点到源的最近距离（m）	考察点γ辐射剂量率（μSv/h）	剂量率控制目标（μSv/h）
分装室（注射过程，740MBq）	四周墙外 30cm 处	300mm 混凝土	1.8	0.013	2.5
	防护门外 30cm 处	4mmPb	1.5	0.001	2.5
	室顶上方 0.3m 处	250mm 混凝土+1600mm 土层	6.2	6.8×10^{-12}	2.5
注射室（740MBq）	四周墙外 30cm 处	300mm 混凝土	1.8	0.013	2.5
	注射窗口外 30cm 处	15mmPb	1	2.2×10^{-14}	2.5
	南防护门外 30cm 处	4mmPb	3.4	1.9×10^{-4}	2.5
	室顶上方 0.3m 处	250mm 混凝土+1600mm 土层	6.2	6.8×10^{-12}	2.5

抢救兼运动负荷室（740MBq）	四周墙外 30cm 处	300mm 混凝土	1.8	0.013	2.5
	南、东防护门外 30cm 处	4mmPb	3.5	1.8×10^{-4}	2.5
	室顶上方 0.3m 处	250mm 混凝土+1600mm 土层	6.2	6.8×10^{-12}	2.5
SPECT-CT 注射后候诊室（4 人，2960MBq）	西墙外 30cm 处	300mm 混凝土	1.8	0.052	2.5
	北防护门外 30cm 处	4mmPb	2.0	2.2×10^{-3}	2.5
	室顶上方 0.3m 处	250mm 混凝土+1600mm 土层	6.2	2.7×10^{-11}	2.5
SPECT-CT 扫描室（740MBq）	四周墙外 30cm 处	300mm 混凝土	3.4	3.6×10^{-3}	2.5
	南防护门外 30cm 处	4mmPb	5.5	7.4×10^{-5}	2.5
	西防护门外 30cm 处	4mmPb	4.5	1.1×10^{-4}	2.5
	西观察窗外 30cm 处控制室	4mmPb	3.4	1.9×10^{-4}	2.5
	室顶上方 0.3m 处	250mm 混凝土+1600mm 土层	6.2	6.8×10^{-12}	2.5
留观室（2220MBq）	四周墙外 30cm 处	300mm 混凝土	1.8	0.039	2.5
	北防护门外 30cm 处	2mmPb	3.5	0.055	2.5
	室顶上方 0.3m 处	250mm 混凝土+1600mm 土层	6.2	2.2×10^{-11}	2.5

注：1、源距各屏蔽墙体和防护门窗的距离根据源在各功能房间内的实际情况，距地高度按 1m 考虑；

2、参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表 J.1，对于室顶上方的关注点取距顶棚地面 0.3m 处，底板下方为土层,不进行核算；

3、根据防护单位提供资料，采用混凝土的密度为 2.35g/cm^3，土壤的密度 1.4g/cm^3。

由上表可知，分装室（注射过程）、注射室、抢救兼运动负荷室、SPECT-CT 注射后候诊室（4 人）、SPECT-CT 扫描室、留观室（3 人）等 SPECT-CT（^{99m}Tc）诊断主要工作场所外辐射剂量率均低于相应的剂量率控制目标，表明各主要房间屏蔽墙体、室顶、防护门窗的屏蔽设计能够满足辐射防护要求。同时，SPECT-CT 扫描室防护也满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的标准要求的 CT 机房有用线束方向和非有用线束方向不低于 2.5mmPb 的要求。

5、用药患者离开医院对环境的影响

按患者单次最大注射 ^{99m}Tc 为 7.4×10^8Bq（20mCi）进行预测，考虑人体软组织的屏蔽，参考 GBZ120-2020 附录 L 表 L.1，注射后 ^{99m}Tc 的Γ照射量率常数为 0.0207μSv·m^2·h^{-1}·MBq^{-1}，^{99m}Tc 的半衰期为 6.02h，根据公式 11.3-7、公式 11.3-8，用药不同时间

后核素活度与距用药患者体外 1m 处的γ辐射剂量率如下表所示：

表 11.3-9 ^{99m}Tc 患者注射药物后体外 1m 处不同时间的γ辐射剂量率（μSv/h）

时间 参数	注射完时	1h 后	2h 后	3h 后	5h 后	10h 后	24h 后	48h 后
核素活度 mCi	20	17.83	15.89	14.16	11.25	6.33	1.26	0.08
体外 1m 剂量率μSv/h	15.32	13.65	12.17	10.84	8.61	4.84	0.97	0.06

根据上表，本项目 ^{99m}Tc 患者接受注射初期体外 1m 处γ辐射剂量率为 15.32μSv/h；参照 GBZ120-2020 中第 7.2.1 款“接受 ^{131}I 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400 MBq 或距离患者体表 1 m 处的周围剂量当量率不大于 25 μSv/h 方可出院，以控制该患者家庭与公众成员可能受到的照射。”，本项目患者注射初期即满足离院要求。

6、摆位过程

利用 SPECT-CT 扫描过程中，职业人员于 SPECT-CT 扫描室内对患者进行摆位指导，在指导过程中职业人员与患者间隔大约 1m，不考虑药物衰变，仅考虑人体软组织的屏蔽，由表 11.3-9，距患者 1m 处职业人员手部、身体所受γ辐射剂量率为 15.32μSv/h。

三、^{131}I诊疗过程辐射水平预测

1、辐射源项

本项目 ^{131}I 用于甲功测定、甲亢治疗和甲癌治疗，甲功测点每人最大用药量为 3.7×10^{5}Bq（10μCi），甲亢患者每人最大用药量为 3.7×10^{8}Bq（10mCi），每日最多有 5 名患者进行甲亢治疗（每周 1 次），日最大操作量为 1.85×10^{9}Bq（50mCi）；甲癌患者单次最大口服 ^{131}I 为 7.4×10^{9}Bq（200mCi），每日最多接诊 4 人次（每周最多 6 人），日最大操作量为 2.96×10^{10}Bq（800mCi）。^{131}I 日最大操作量为 3.145×10^{10}Bq（850mCi）。由于甲功测定时 ^{131}I 服用量微小，基本不会对周围环境产生影响，本次评价主要对甲亢、甲癌治疗场所的辐射影响。

2、药物储存、质控过程

根据医院提供资料，药物接收后置于储源间内储存。包装铅罐厚度不低于 40mm Pb，按照每日最大操作量 850mCi（31450MBq）考虑，根据公式 11.3-6，铅罐外 1m 处周围剂量当量率为 0.43μSv/h，满足 HJ1188-2021 中小于 2.5μSv/h 的要求。考虑储

源间墙体和防护门的防护作用，^{131}I 药物储存过程对储源间外的影响很小。

根据医院提供的材料，医院拟于储源间内设置碘全自动分装仪(40mmPb)，职业人员将存有药物 ^{131}I 的铅罐置于碘全自动分装仪内，操作员远程操作分装仪将药物分装到一次性杯子，患者直接由服碘间窗口处拿取药物后服药。

在 ^{131}I 药物分装和患者服药过程中，职业人员为远程监督，不近距离接触药物及患者；职业人员近距离接触药物的过程为将铅罐从储源室内取出转移至手套箱内分装仪上并打开铅罐瞬间。因此本次评价仅考虑转移和打开铅罐过程中职业人员受照影响。

^{131}I 手套箱尺寸约为 1100mm×850mm×2100mm（高），40mmPb 当量，药物质控过程，按照单次最大量 31450MBq（850mCi）考虑，操作位位于手套箱内中部，不考虑手套箱的厚度，药物距离手套箱外表面 30cm 处距离约 0.725m，根据公式 11-2，手套箱（含铅玻璃）外表面 30cm 处周围剂量当量率为 1.9×10^{-4}μSv/h，满足 HJ1188-2021 中小于 2.5μSv/h 的要求。

再经墙体屏蔽（按四周墙体、室顶和地面材质及厚度最不利情况 300mm 混凝土进行考虑）和距离衰减（按储源罐外预测点距放射性药物 1m 进行考虑），则分源储源室外剂量率应不大于 1.9×10^{-4}μSv/h，满足本次评价采用的 2.5μSv/h 限值要求。

3、药物转移及操作过程

医院采用小型碘自动分装仪对 ^{131}I 进行分装，分装仪位于分源储源室手套箱内。职业人员打开小型碘自动分装仪内铅罐，然后远程操作小型碘自动分装仪将药物分装到一次性杯子，通过对讲系统指导患者口服，患者直接拿取盛有分装好药液的一次性杯子，甲癌患者在自助服碘室自行服药、甲亢患者在控制室（甲亢服碘室）自行服药。服碘室安装有监控，全过程进行严格监控监督。在药物分装和患者服药过程中，职业人员不近距离接触药物。职业人员近距离接触药物的过程为将铅罐从存放处转移手套箱处以及将盛有药物的铅罐放在分装仪上打开铅罐的瞬间。

本项目职业人员转移铅罐及打开铅罐过程中手部等距药物距离较近，在该种状态下，药物无法作为点源进行估算，公式 11-2 不适用，所得理论计算结果偏高，因此本次评价采用类比的方法进行估算。类比数据采用《济南市中心医院核医学工作场所（^{99m}Tc、^{131}I、^{18}F、^{89}Sr、^{32}P）应用项目》中的现状检测结果，核医学科常规核素的操作方法、操作流程情况基本相同，具有一定可比性。

根据该项目检测报告，600mCi^{131}I 放置于储药铅罐内，^{131}I 储药铅罐外 5cm 处剂量率为 44.8μSv/h，^{131}I 储药铅罐外 1m 处剂量率为 3.72μSv/h；600mCi^{131}I 放置于储药铅罐内，^{131}I 铅罐打开时工作人员手部剂量率为 0.320mSv/h，身体剂量率为 78.1μSv/h。

根据公式 11-2，不考虑辐射屏蔽，本项目 ^{131}I 日最大操作量为 3.145×10^{10}Bq（850mCi），按照转移和打开铅罐过程中身体和手部所受剂量率折算，则转移过程职业人员手部受照剂量率最大为 44.8×850/600=63.47μSv/h，身体受照剂量率为 3.72×850/600=5.27μSv/h；打开过程职业人员手部受照剂量率为 0.320×850/600×1000≈453.33μSv/h，身体受照剂量率为 78.1×850/600≈110.64μSv/h。

因此，^{131}I 职业人员转移和打开铅罐过程中手部和身体剂量率如下表所示：

表 11.3-10　使用过程药物周围γ辐射剂量率

核素活度	操作过程	考察部位	辐射剂量率（μSv/h）
3.145×10^{10}Bq（850mCi）	转移铅罐过程	手部	63.47
		身体	5.27
	打开铅罐的瞬间	手部	453.33
		身体	110.64

4、甲亢、甲癌治疗工作场所主要房间屏蔽水平预测

本次评价对储源分源间、甲癌服碘室、抢救室兼甲亢留观室、控制室（甲亢服碘室）、甲癌病房1～3、SPECT-CT扫描室等主要区域屏蔽水平进行预测。对于储源分源间外的影响，本章节前述进行了分析，此处仅对其他房间进行估算。

储源分源间药物单次最大操作量31450MBq（850mCi）；自助服碘室每次仅一人服药，源强总活度最大7400MBq（200mCi）；甲癌病房1～3均为双人间，源强总活度14800MBq（400mCi）；抢救室兼甲亢留观室可能抢救甲癌或者甲亢患者，作为抢救室使用时，仅能容留1人，源强总活度最大7400MBq（200mCi），作为甲亢留观室使用时，每次最多容纳2人，源强总活度最大740MBq（20mCi），抢救室兼甲亢留观室按照源强总活度最大7400MBq（200mCi）核算；控制室（甲亢服碘室）每次仅一人服药，源强总活度最大370MBq（10mCi）；患者出院前，进行SPECT-CT扫描，4天后患者体内核素活度约315.98MBq（8.54mCi）。

根据公式 11.3-6，甲亢甲癌治疗工作场所外 ^{131}I 所致γ辐射剂量率如下表所示：

表 11.3-11　甲亢甲癌治疗工作场所外 ^{131}I 产生的γ辐射剂量率

核素：^{131}I；其他参数：Γ（裸源）：0.0595μSv·m²/（MBq·h）、Γ（体内）：0.0583μSv·m²/（MBq·h）；TVL（铅）：11mm；HVT（混凝土）：170mm； HVT（砖）：240mm ；。

房间及源强活度	考察点	屏蔽措施	考察点到源的最近距离（m）	考察点γ辐射剂量率（μSv/h）	剂量率控制目标（μSv/h）
自助服碘室（7400 MBq）	四周墙外 30cm 处	300mm 混凝土	1.8	2.33	2.5
	北防护门外 30cm 处	18mmPb	2.3	1.92	10
	南防护门外 30cm 处，控制室	18mmPb	2.1	2.31	10
	南防护窗外 30cm 处，控制室	15mmPb	2.8	2.43	10
	室顶上方 0.3m 处	250mm 混凝土+1600mm 土层	6.2	9.6×10^{-7}	2.5
甲癌病房 1～3（14800MBq）	四周墙外 30cm 处	440mm 混凝土	1.2	2.15	2.5
	南防护门外 30cm 处	15mmPb	4.2	3.28	10
	室顶上方 0.3m 处	250mm 混凝土+1600mm 土层	6.2	1.9×10^{-6}	2.5
抢救室兼甲亢留观室（7400 MBq）	四周墙外 30cm 处	300mm 混凝土	1.8	2.33	2.5
	北防护门外 30cm 处	18mmPb	2.6	1.50	10
	南防护门外 30cm 处	10mmPb	3.9	3.57	10
	室顶上方 0.3m 处	250mm 混凝土+1600mm 土层	6.2	9.6×10^{-7}	2.5
控制室（甲亢服碘室）（370MBq）	四周墙外 30cm 处	300mm 混凝土	1.8	0.15	2.5
	北防护门外 30cm 处	18mmPb	2.6	0.094	10
	南防护门外 30cm 处	10mmPb	3.9	0.22	10
	室顶上方 0.3m 处	250mm 混凝土+1600mm 土层	6.2	6.0×10^{-8}	2.5
SPECT-CT 扫描室（315.98 MBq）	四周墙外 30cm 处	300mm 混凝土	3.4	0.03	2.5
	南防护门外 30cm 处	4mmPb	5.5	0.27	2.5
	西防护门外 30cm 处	4mmPb	4.5	0.40	2.5
	西观察窗外 30cm 处	4mmPb	3.4	0.70	2.5
	室顶上方 0.3m 处	250mm 混凝土+1600mm 土层	6.2	6.2×10^{-10}	2.5

注：1、源距各屏蔽墙体和防护门窗的距离根据源在各功能房间内的实际情况，距地高度按 1m 考虑；

2、参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表 J.1，对于室顶上方的关注点取距顶棚地面 0.3m 处，底板下方为土层,不进行核算；

3、根据防护单位提供资料，采用混凝土的密度为 2.35g/cm³，土壤的密度 1.4g/cm³。

由以上分析可知，分源储源间、自助服碘室、甲癌病房1～3、抢救室兼甲亢留观室、控制室（甲亢服碘室）、SPECT-CT扫描室等甲亢甲癌治疗主要工作场所外辐射剂量率均低于相应的剂量率控制目标，表明各主要房间屏蔽墙体、室顶、防护门窗的屏蔽设计能够满足辐射防护要求。

（5）患者服药后患者周围γ辐射剂量率

^{131}I物理半衰期为8.04天。对服用^{131}I的甲亢患者，根据卫生部医政司主编的《核医学诊断与治疗规范》，^{131}I在人体内的有效半衰期约3.5d～4.5d，本次评价取4.5天；对服用^{131}I的甲癌患者，根据《分化型甲状腺癌患者的^{131}I有效半衰期》（易艳玲等，原子能科学与技术，Vol44, suppl.2010.9），期刊通过测量分化型甲状腺癌患者在全甲状腺切除术后，接受^{131}I治疗后对周围环境的辐射剂量率,采用单指数曲线拟合方法处理测量数据，计算出分化型甲状腺癌患者的^{131}I平均有效半衰期为（14.6±6.5）h，本评价取最大值21.1h，考虑人体软组织的屏蔽，参考GBZ120-2020附录L表L.1，对于^{131}I，患者或受检者体内单位放射性活度所致体外1m处的剂量率为0.0583μSv·m^2（h·MBq）$^{-1}$；根据公式11.3-7、公式11.3-8分别计算甲亢、甲癌患者服药后体外1m处剂量率。

表 11.3-12　甲亢患者服药后体外 1m 处剂量率（μSv/h）

时间 核素	服用后	24h 后	4.5 天后	9 天后	13.5 天后	18 天后	22.5 天后	27 天后	31.5 天后	36 天后
^{131}I(10mCi)	21.57	18.49	10.79	5.39	2.70	1.35	0.67	0.34	0.17	0.08

表 11.3-13　甲癌患者服药后体外 1m 处剂量率（μSv/h）

时间 核素	服用后	1 天后	2 天后	3 天后	4 天后	5 天后	6 天后	7 天后	10 天后	13 天后
^{131}I(200mCi)	431.42	196.14	89.17	40.54	18.43	8.38	3.81	1.73	0.16	0.015

从上表的预测值中可以看出，服药后甲癌患者对周围辐射环境影响随时间的增加而逐渐减小。

患者体内携带一定量活度的放射性核素离开医院是允许的，对于核素 ^{131}I，根据 GB18871-2002 规定以及 HJ1188-2021 中附录 B，患者出院时体内放射性活度上限为 400MBq（10.8mCi）；根据 GBZ120-2020 中第 7.2.1 款“接受 ^{131}I 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400 MBq 或距离患者体表 1 m 处的周围剂量当量率不大于 25 μSv/h 方可出院，以控制该患者家庭与公众成员可能受到的照射。”。

本项目甲亢治疗患者最大用量为 10mCi，因此服药后若无异常可直接离开；^{131}I

甲癌治疗患者，用量高于 10.8mCi 时，需住院治疗，待体内核素 ^{131}I 含量小于 400MBq（10.8mCi）时，方可允许离开医院。估算可知，甲癌患者住院 4 天后，体内核素活度最大为 8.54mCi，因此甲癌患者需要住院 4 天即可达到出院标准。

服药患者相当于一个流动的放射源，在一段时间内，对近距离接触的公众可能产生γ外照射，并且患者排泄物也会对环境可能产生一定的影响。但是这种影响是暂时的，影响将随着时间的推移越来越小，因此必须加强对服药患者管理，必须向患者及其家属作出口头及书面的住院期间及出院后的防护措施指导，给出辐射防护建议，要求患者在一定时间内避免外出。

11.3.3 放射性废物影响分析

一、放射性废水影响分析

（一）含 ^{99m}Tc、^{18}F、^{11}C、^{13}N 放射性废水

1、放射性废水产生情况

放射性核素制备场所药物制备过程中质控、清洗仪器、日常清洗去污等废水共计 20L/d。每天开机 1 次，每周开机 5 天，年工作 50 周，则药物制备过程中废水产生量为 5m^3/a。回旋加速器维护过程排放冷却水，冷却水产生量低于 100L/a。放射性核素制备场所总的废水产生量为 5.1m^3/a。

^{99m}Tc 和 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 就诊患者注射药物经扫描检查后，大多数直接离开，少部分需留观，无异常后离开。参照《建筑给水排水设计标准》（GB 50015-2019），对于门诊部病人，每个病人每次最高日用水量为 10～15L，本项目 ^{99m}Tc 患者（5000 人次/年）和 ^{18}F、、^{11}C、^{13}N 患者（5500 人次/年）平均用水量按 15L/人计，废水量产生按 80%计，则 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 患者废水产生量为 126m^3/a。此外，医护人员洗手、卫生清扫（涮洗拖把）、意外操作失误等产生清洁或清洗废水，按照 ^{99m}Tc 和 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 诊断场所分别日产 150L 计，每年开展 250 天，则废水产生量为 75m^3/a。因此，^{99m}Tc、^{18}F 诊断工作放射性废水总产生量为 201m^3/a。

综上所述，含 ^{99m}Tc、^{18}F 放射性废水总产生量为 206.1m^3/a。

2、放射性废水衰变情况

上述放射性废水经专用管道收集排入 1#槽式放射性废水处理系统，先经过沉淀池，再进入衰变池。3 个衰变池并联运行，单个衰变池有效容积 35.52m^3，总有效容积为 106.56m^3，则单个衰变池内放射性废水停留衰变时间约为 62.9 天，已满足 HJ11

88-2021 要求的 30 天，上述废水经暂存衰变后可直接排入医院污水处理总站作进一步处理后外排。

（二）含 ^{131}I 放射性废水

1、放射性废水产生情况

本项目 ^{131}I 甲亢患者服药后留观一段时间，无异常可离开，少部分患者可能出现呕吐等症状，可能产生冲洗水；甲癌患者服药后直接进入病房。参照《建筑给水排水设计标准》（GB 50015-2019），对于门诊部病人，每病人每次最高日用水量为 10～15L，^{131}I 甲亢患者（1250 人次/年）平均用水量按 15L/人，废水量产生按 80%计，则该部分废水产生量为 15m^3/a。甲癌患者（300 人次/年）平均住院 5 天，根据医院提供资料并参照《建筑给水排水设计标准》（GB 50015-2019），用水量计为 200L/床位·天，废水量产生按 80%计，该部分废水产生量为 240m^3/a。此外，医护人员洗手、卫生清扫（涮洗拖把）、意外操作失误等产生清洁或清洗废水，按照日产 50L 计，每年按 250 天计，则废水产生量为 12.5m^3/a。因此，^{131}I 治疗工作场所放射性废水总产生量为 267.5m^3/a。

2、放射性废水衰变情况

上述放射性废水经专用管道收集排入 2#槽式放射性废水处理系统，先经过沉淀池，再进入衰变池。3 个衰变池并联运行，单个衰变池最小有效容积 259.44m^3，总有效容积为 799.68m^3，则单个衰变池内放射性废水停留衰变时间约为 353 天，已满足 HJ1188-2021 要求的 180 天。

根据 HJ1188-2021 第 7.3.3.1 中 b）款规定，本项目含 ^{131}I 放射性废水排放前，应进行检测，衰变池总排放口满足“总β不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L”后，方可排入医院污水处理总站作进一步处理后外排。

对于含 ^{99m}Tc、^{18}F 和 ^{131}I 的放射性废水，医院应安排专人负责放射性废液的暂存和处理，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。

二、 放射性固体废物影响分析

本项目产生的放射性固废可分为以下几个方面：

1、含 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 放射性固体废物

（1）回旋加速器维护时更换的过滤网、靶膜等放射性固体废物约 2kg/a（约合 2

0L），置于滤网、靶膜专用衰变箱内衰变（2 个，每个不低于 10L）。过滤网、靶膜等全年最多更换 8 次，每次更换的过滤网、靶膜不超过 0.25kg（约合 2.5L），滤网、靶膜专用衰变箱容积可以满足使用需求。上述固废衰变暂存超过 30 天后，经监测，固体放射性废物表面剂量率满足所处环境本底水平、β表面污染低于 0.8Bq/cm^2 后，可作一般医疗废物处理，交于具有相应危险废物处置资质的单位进行规范处置。

（2）放射性核素制备场所收集的放射性固体废物置于固废间专用衰变箱（3 个，容积 60L）内。放射性核素制备常规操作和药物质检等产生的放射性固体废物约 0.5kg/d，10.4kg/月（约合 30L）。放射性核素制备更换的放射性残留物如硅胶、树脂、氧化铝、碳柱、滤膜等，约 10kg/a，0.83kg/月（约合 2.5L）。每天将回旋加速器机房、热室和质控室等场所污物桶（不低于 10L）收集的含 ^{18}F 放射性废物转移至固废间 1 衰变箱（3 个，每个不低于 60L）内。

（3）^{18}F、^{11}C、^{13}N 诊断场所年接诊 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 患者 5500 人次，患者不住院，放射性固废产生量按 0.05kg/·人计，则含 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 放射性废物产生量为 275kg/a，即 22.92kg/月（约合 70L）。根据医院管理要求，医院拟每天将分装室、PET-CT 扫描室、PET-MR 扫描室、PET-CT/PET-MR 注射后候诊室 1～2、抢救兼留观室等场所污物桶（不低于 10L）收集的含 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 放射性废物转移至固废间衰变箱（3 个，容积 60L）内。

每个放射性废物暂存间内 3 个衰变箱轮流使用，单个衰变箱封闭暂存时间约为 35 天，可满足 HJ1188-2021 暂存时间超过 30 天的要求。经监测，固体放射性废物表面剂量率满足所处环境本底水平、β表面污染低于 0.8Bq/cm^2 后，可作一般医疗废物处理，交于具有相应危险废物处置资质的单位进行规范处置。

2、含 ^{99m}Tc 放射性固体废物

年接诊 ^{99m}Tc 患者 5000 人次，患者不住院，放射性固废产生量按 0.05kg/·人计，则含 ^{99m}Tc 放射性废物产生量为 250kg/a，即 20.83kg/月（约合 70L）。根据医院管理要求，医院拟每天将分装室 2、运动负荷室、SPECT-CT 扫描室、SPECT-CT 注射后候诊室、抢救兼留观室 2 等场所污物桶（不低于 10L）收集的含 ^{99m}Tc 放射性废物转移至固废间衰变箱（3 个，每个不低于 60L）内，3 个衰变箱轮流使用，单个衰变箱封闭暂存时间约为 42 天，可满足 HJ1188-2021 暂存时间超过 30 天的要求。经监测，固体放射性废物表面剂量率满足所处环境本底水平、β表面污染低于 0.8Bq/cm^2 后，可

作一般医疗废物处理，交于具有相应危险废物处置资质的单位进行规范处置。

3、含 ^{131}I 放射性固体废物

年接诊 ^{131}I 甲亢治疗患者 1250 人次，患者不住院，放射性固废产生量按 0.05kg/·人计；年接诊 ^{131}I 甲癌就诊患者 300 人次，住院约 5 天，每天放射性固废产生量按 0.1kg/·人计；则 ^{131}I 放射性废物产生量为 212.5kg/a，平均每月产生废物 17.7kg（约 50L）。根据医院管理要求，医院拟每天将分源储源室、自助服碘室（甲癌）、控制室（甲亢服碘室）、甲亢留观室、甲癌病房 1～3 等场所污物桶（容积不低于 10L）收集的含 ^{131}I 放射性废物转移至固废间衰变箱（共 4 个，每个不低于 100L）内，4 个衰变箱轮流使用，单个衰变箱封闭暂存时间为 6 个月（约 180 天）。经监测，固体放射性废物表面剂量率满足所处环境本底水平、β表面污染低于 0.8Bq/cm^2 后，可作一般医疗废物处理，交于具有相应危险废物处置资质的单位进行规范处置。可满足 HJ1188-2021 中“含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天”的要求。

4、放射性废水处理系统沉渣

1#、2#槽式放射性废水处理系统沉淀池和衰变池内会沉淀一部分放射性核素，沉渣在沉淀池和衰变池内停留衰变满足清洁解控水平后，经沉淀池和衰变池内切割式污水泵搅拌后随水流排出。沉渣如经电动搅拌还难以排出，则进行酸化预处理后再排入医院污水处理站。

5、废活性炭

放射性废气处理系统需定期更换活性炭，更换周期由厂家确定。放射性核素制备场所、^{18}F、^{11}C、^{13}N 诊断场所、 ^{99m}Tc 诊断场所通风管道内更换的废活性炭置于 PET 诊断区废物库 ^{18}F 专用衰变箱中暂存衰变满足 30 天，^{131}I 核素治疗场所通风管道内更换的废活性炭置于 ^{131}I 核素治疗场所废物库，^{131}I 专用衰变箱中暂存衰变满足 180 天，经检测确保表面剂量率满足所处环境本底水平、β表面污染低于 0.8Bq/cm^2 后，按一般医疗废物交于具有相应危险废物处置资质的单位进行规范处置。

医院计划在购置活性炭高效过滤装置时，即与厂家签订协议，由厂家定期检查维护活性炭高效过滤装置，保持活性炭干燥，确保过滤效率满足 90%以上。

本项目使用完的 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器暂存于分装室内，由供源单位回收。剩余的放射性药物（^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{99m}Tc、^{131}I）随铅罐放置于相应的固废间内暂存，衰变至解控水平后按规范处置。

综上所述，本项目核医学工作场所产生的放射性废物均得到妥善处置，对环境影响较小。医院应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，以满足 HJ1188-2021 对放射性固体废物的管理要求。

三、放射性废气影响分析

1、放射性核素制备区域

本项目制备的核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 等均属于非挥发性核素，正常操作过程中放射性气体产生量较少，对于放射性药物制备、合成、分装等工序中产生的及少量放射性废气，医院拟于回旋加速器中心内设置通风系统。其中回旋加速器机房设有 2 个独立的排风管道，回旋加速器设备设有单独的排风管道，接入机房排风管道，且相对机房呈负压状态；并于热室、全检质控室、无菌检测室、阳性对照室等主要房间设置集气口，收集的放射性废气通过管道尾部的高效过滤装置进行过滤处理，最终排放口（排放口设计有止回阀，防止倒流）位于住院楼 1 楼顶上方，高于屋脊 3m，且总排放口周边无邻近的高层建筑，因此放射性废气对周围环境和人员不会造成影响。

2、放射性核素使用区域

本项目 ^{99m}Tc、^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{131}I 核素诊疗场所中 ^{99m}Tc、^{18}F、^{11}C、^{13}N 药物的分装等操作均在相应分装室手套箱内进行，^{99m}Tc、^{18}F 药物物理性质稳定，静脉注射给药属于很简单操作，正常工作情况下，可能产生极少量的气溶胶和蒸汽等，不会造成工作环境的空气污染。^{18}F、^{11}C、^{13}N 分装室手套箱、^{99m}Tc 分装室手套箱、^{99m}Tc 和 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 诊断区域内主要房间分别设置通风系统，收集的放射性废气通过管道尾部的高效过滤装置进行过滤处理，最终排放口（排放口设计有止回阀，防止倒流）位于住院楼 2 楼顶上方，高于屋脊 3m，且总排放口周边无邻近的高层建筑，因此放射性废气对周围环境和人员不会造成影响。

（1）^{131}I 放射性核素公众导出浓度分析

^{131}I 药物为离子型溶液，易氧化析出单质碘，碘在常温下易挥发，在进行药物操作过程中，将有少量的挥发性的核素 ^{131}I 进入空气；患者体内代谢的 ^{131}I 也有极少量（文献报告约 0.008%~0.03%份额）随呼出气进入空气中。本项目甲亢、甲癌治疗采用小型碘自动分装仪分装，^{131}I 药物年用量为 2.6825×10^{12}Bq，假设转移到空气中份额为 0.1‰，则产生量为 2.6825×10^{8}Bq/a；根据 ICRP 第 94 号出版物，呼出气中放射性

碘含量为服用活度的 0.008～0.03%，本项目保守按 0.03%估算，则患者呼入空气中的 ^{131}I 的量为 $2.6825\times10^{12}Bq\times0.03\%=8.0475\times10^{8}Bq/a$；因此空气中气载放射性流出物中 ^{131}I 的总量为 $1.073\times10^{9}Bq/a$。

根据医院提供设计资料，楼顶引风机风量为 $10000m^3/h$，按全年 50 周，每周开机 5 天，每天风机运行 24h 计（甲癌患者住院），考虑活性炭吸附（吸附效率 90%）净化后，计算可得楼顶排气口气载放射性流出物中 ^{131}I 的排放浓度为 $1.073\times10^{9}Bq/a\times10\%\div(50\times5\times24\times10000)=1.79Bq/m^3$，低于 ^{131}I 放射性核素公众导出浓度 DAC 13Bq/m³ 的限值要求。

（2）^{131}I 气载流出物放射性核素公众剂量贡献值分析

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B1 3.4 推导气载流出物公众剂量贡献值公式：

$$DL=I_{j.L}\times e_j,\qquad（公式 11.3-9）$$

式中：$I_{j.L}$ ——年摄入量，单位：Bq

E_j ——放射性核素 j 的单位摄入量所致的待积有效剂量的相应值（Sv/Bq）

根据前文，项目气载流出物浓度为 $1.79Bq/m^3$，排放口位于综合住院楼 2 楼顶，高度约为 69.2m，采用高斯烟羽模型分析，下风向最大落地点浓度 $2.45\times10^{-5}Bq/m^3$。

^{131}I 气载流出物公众剂量贡献值，只考虑吸入，设定气载流出物 ^{131}I 不衰减，按照成人呼吸量 $20m^3$/天，暴露时间为全天连续暴露（24h/天），^{131}I 排放时间为 250 天/年，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B7，^{131}I 吸入剂量转换系数取最大 7.4×10^{-9} Sv/Bq，则气载流出物致公众年有效剂量为：

$2.45\times10^{-5}Bq/m^3\times20m^3$/天×250 天×$7.4\times10^{-9}$ Sv/Bq=$9.06\times10^{-6}mSv/a$

^{131}I 气载流出物放射性核素公众剂量贡献值为 $9.06\times10^{-6}mSv/a$，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（公众年有效剂量不超过 0.1mSv）

项目区域评价区无主导风向为东风。PET、SPECT 诊断场所和 ^{131}I 诊疗区域的放射性废气排放口位于综合住院楼 2 楼顶北侧（H=66.3m），废气排放口在建筑物屋顶，距离西侧感染楼（位于下风向，楼高 H=23.5m）最近直线距离约 75m，距离北侧综合住院楼 3、特需住院楼（位于侧风向，楼高 H=57.3m）最近直线距离约 88m，距离西北侧制剂中心（位于侧风向，楼高 H=21.3m）最近直线距离约 142m，已尽可能远离

了邻近的高层建筑，废气排放口设置合理。经上述理论分析，排气口气载放射性流出物中 ^{131}I 的排放浓度均低于 ^{131}I 放射性核素公众导出浓度 DAC 13Bq/m^3 的限值要求，气载流出物公众剂量贡献值能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众剂量限值要求（1mSv/a）和本项目管理目标剂量约束值要求（0.1 mSv/a）；考虑放射性物质衰变，放射性物质经大气扩散后浓度会更低，在此情况下，核医学工作场所产生的放射性废气对周围环境及保护目标处影响较小。

医院计划在购置活性炭高效过滤装置时，即与厂家签订协议，由厂家定期检查维护活性炭高效过滤装置，保持活性炭干燥，确保过滤效率满足设计要求。

同时，为了减少放射性废气的产生，医院应加强管理，医护人员应熟练操作规程，减少核素撒漏等事故工况。放射性药物密闭保存，盛放在专用容器中。核素操作均在手套箱中进行，不得在手套箱外敞开盛放核素的容器。

四、表面污染分析

本项目职业人员在核素操作过程中，可能对台面、设备、墙壁、地面等造成放射性表面污染。医院须采取以下措施控制表面污染：

（1）对职业人员进行岗前培训，使其熟练操作；

（2）操作放射性物质均在手套箱内进行；

（3）如有核素洒落等操作，职业人员用棉布或吸水纸将其擦拭处理，擦拭物放至放射性衰变桶内，衰变达到清洁解控水平后按一般医疗废物处理；

（4）职业人员进出工作场所需更衣，操作时穿放射性污染防护服；本项目控制区房间内地板和墙壁之间的接缝无缝隙设计施工；设置易清洗、防污性能好的墙面、地面等；室内设置通风系统。

在严格落实以上措施的情况下可有效避免表面污染带来的辐射影响，场所内表面污染水平能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于表面污染控制水平的要求。

11.3.4 人员年有效剂量

1、年有效剂量估算公式

$$H = 0.7 \times D_r \times T \qquad \text{（公式 11.3-10）}$$

式中：

H：　　年有效剂量，Sv/a；

0.7：　　吸收剂量对有效剂量的换算系数，Sv/Gy；

Dr：　　空气吸收剂量率，Gy/h；

T：　　年受照时间，h/a。

2、居留因子

居留因子参照《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）选取，见下表。

表11.3-14 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、治疗控制室、护士站、电子加速器的相邻手术室与诊室、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑物中的驻留区
部分居留	1/4	1/2～1/5	1/2：与屏蔽室相邻的患者检查室 1/5：走廊、工作人员休息室
偶然居留	1/16	1/8～1/40	1/8：各治疗机房房门外30cm处、相邻的（共用屏蔽墙）放射诊疗机房 1/20：公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40：仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货区域、楼梯、无人看管的电梯

3、放射性核素制备场所职业人员年有效剂量

（1）工作量及工作人员

本项目回旋加速器生产核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N，每天开机 1 次，全年最多开机 250 次，每次开机时间不超过 1h，则加速器全年运行时间最多为 250h。放射性核素制备场所计划配备工作人员 4 名。

（2）职业人员年有效剂量估算

PET 用药物制备场所辐射工作人员受照射的环节主要为：制药、质控、维护、药物传递等。

①回旋加速器生产核素及药物合成、分装（制药）

生产放射性核素及药物合成为自动化工艺。生产过程中，工作人员一般在回旋加速器机房北侧办公室内，不长时间在控制室内停留，根据理论估算结果，工作人员停留区域，回旋加速器机房外 30cm 处中子和γ射线剂量率估算结果最大为 0.1334μSv/h（出现在防护门外 30cm 处），保守按此估算，停留因子按部分居留，保守取 1/2，则生产过程工作人员手部年当量剂量和身体年有效剂量为 0.017mSv/a。

药物合成、分装过程中，工作人员一般在回旋加速器机房北侧办公室内，不长时间在控制室内停留，热室距离办公室最近直线距离约 10.5m，考虑热室四周混凝土、实心砖墙和距离屏蔽，因此，药物合成、分装过程工作人员受照剂量可以忽略。

②质控

按每次操作量 1mCi 进行预测，根据《北京市临床核医学使用 ^{18}F 核素场所的辐射水平调查》（李桂云，中国辐射卫生 2004 年 12 月第 13 卷第 4 期）中的现场检测结果，职业人员在给病人注射 ^{18}F 使用量为 166.5～407MBq/例（4.5～11mCi/例）时，手部剂量率范围在 101～505μGy/h，胸部（身体部位）剂量率为 16～252.2μGy/h。根据公式 11.3-7，不考虑辐射屏蔽，放射源的最大活度与关注点剂量率成一次正比关系，通过类比，本项目质控时职业人员手部剂量率为 1×505/11≈45.91μGy/h，身体部位剂量率为 1×252.2/11≈22.93μGy/h。每次质控时间 10min，全年质控最多 250 次，则质控过程工作人员手部年当量剂量为 1.91mSv/a，身体年有效剂量为 0.96mSv/a。

③从回旋加速器内卸下靶盒和过滤膜（维护）

每次用时 5min，全年最多卸 8 次，共用 40min。在停机 2～3 天后卸靶，根据设备厂商提供的资料，靶前（即卸靶人手部）剂量率约为 400μSv/h，距靶 50cm（即卸靶人身体）剂量率约为 30μSv/h。则卸下靶盒和过滤膜过程工作人员手部年当量剂量约为 0.267mSv/a，身体年有效剂量为 0.02mSv/a。

④洗靶（维护）

洗靶频率一般每年 2 次，每次洗靶工作所需时间（实际操作）约 30min。靶维护工作中的放射源是残留的 ^{18}F 等，在停机 2～3 天后（达 20 个半衰期以上）进行维护洗靶，感生放射性水平非常低，并且洗靶过程在洗靶防护工作台（50mmPb 当量）后操作，因此该过程工作人员受照剂量可以忽略。

⑤药物传递

药物传递过程用时约 30s，全年最多传递 250 次，则传递过程工作人员全年受照时间为 2.08h。该过程工作人员手部和身体受照剂量分别按照前述表 11.3-4 中转移过程手部和身体所受γ辐射剂量率 17.86μGy/h、8.92μGy/h 进行计算，则传递过程工作人员手部年当量剂量和身体年有效剂量分别为 0.026mSv/a、0.013mSv/a。

⑥年剂量合计

综合估算 PET 用药物制备场所职业人员年有效剂量，详情见下表。

表11.3-15　放射性核素制备场所职业人员剂量估算详情

过程	生产	合成、分装	质控	维护	洗靶	传递	总和
手部(mSv/a)	0.017	0	1.91	0.267	0	0.026	2.21
身体(mSv/a)	0.017	0	0.96	0.02	0	0.013	1.01

该院 PET 用药物制备场所共 4 名工作人员，由表 11.3-15 可见，在 1 名工作人员负责全年全部工作，其手部年当量剂量为 2.21mSv/a，身体年有效剂量为 1.01mSv/a。因人员无明确分工，按 4 名工作人员均衡考虑，工作人员手部人均年当量剂量为 0.56mSv/a，身体人均年有效剂量为 0.25mSv/a，均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的职业人员四肢 500mSv/a、身体部位 20mSv/a 的剂量限值，也低于本评价提出的职业人员四肢 125mSv/a、身体部位 5mSv/a 的年管理剂量约束值。

4、^{99m}Tc、^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{131}I 核素诊疗职业人员年有效剂量

（1）使用 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 进行 PET-CT 扫描过程

PET-CT（^{18}F、^{11}C、^{13}N）诊断过程中，职业人员受照射的环节主要为：转移、分装、取药、注射、摆位指导和扫描过程。由表 11.3-4 可知，转移、分装、取药、注射过程中 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 对职业人员手部和身体的γ辐射剂量率；由前述估算可知，摆位过程中，距患者 1m 处职业人员手部、身体所受γ辐射剂量率为 26.45μSv/h；由表 11.3-5 可知，扫描过程中，职业人员所在位置所受γ辐射剂量率最大为 0.39μSv/h（PET-CT 扫描室/PET-MR 扫描室控制室操作位）。

由公式 11.3-10 估算 PET-CT（^{18}F）诊断过程中，职业人员手部年当量剂量和身体年有效剂量入下表所示。

表 11.3-16　使用 ^{18}F（^{11}C、^{13}N）过程中职业人员手部年当量剂量和身体年有效剂量

操作项	每项操作时间	年操作次数*	T（h/a）	Dr（手部，μGy/h）	Dr（身体，μGy/h）	H（手部，mSv/a）	H（身体，mSv/a）
转移	30s	250	2.08	8.92	17.86	0.013	0.026
分装	2min	250	8.33	18363.64	4.46	107.12	0.03
取药	10s	5500	15.28	459.09	229.27	4.91	2.45
注射	30s	5500	45.83	459.09	229.27	14.73	7.36
摆位	1min	5500	91.67	26.45（μSv/h）	26.45（μSv/h）	2.42	2.42
扫描	20min	5500	1833.33	0.39（μSv/h）	0.39（μSv/h）	0.72	0.72

注：*：利用 ^{11}C、^{13}N 开展诊断手部、身体受照射剂量，相关参数参照 ^{18}F 诊断相关剂量。

（2）使用 ^{99m}Tc 进行 SPECT-CT 扫描过程

SPECT-CT（^{99m}Tc）诊断过程中，根据上文预测，钼锝发生器贮存及淋洗过程分装室外剂量率可忽略不计，则贮存和淋洗过程职业人员手部和身体受照剂量可以忽略。职业人员受照射的环节主要为：分装、取药、注射、摆位和扫描过程等。由表 11.3-7 可知，分装、取药、注射过程职业人员手部和身体剂量率。由前述估算可知，摆位过程中，距患者 1m 处职业人员手部、身体所受γ辐射剂量率为 15.32μSv/h。根据表 11.3-8，SPECT-CT 控制室内辐射水平最大为 1.9×10^{-4}μSv/h（SPECT-CT 扫描室西防护窗外控制室操作位），由公式 11.3-10 计算得使用 ^{99m}Tc 过程中，职业人员手部当量剂量和身体年有效剂量如下表所示：

表 11.3-17　使用 ^{99m}Tc 过程中职业人员所受手部当量剂量和身体年有效剂量

操作项	每项操作时间	年操作次数	T（h/a）	Dr（手部，μGy/h）	Dr（身体，μGy/h）	H（手部，mSv/a）	H（身体，mSv/a）
分装	1.5min	250×2	12.5	1372	275.8	12.01	2.41
取药	10s	5000	13.89	1.90	0.5224	0.02	0.01
注射	30s	5000	41.76	68.6	13.79	2.00	0.40
摆位	1min	5000	83.33	15.32（μSv/h）	15.32（μSv/h）	1.28	1.28
扫描	20min	5000	1666.67	1.9×10^{-4}（μSv/h）	1.9×10^{-4}（μSv/h）	3.2×10^{-4}	3.2×10^{-4}

（3）使用 ^{131}I 治疗过程

^{131}I 治疗过程中，职业人员受照射的环节主要为：转移铅罐、打开铅罐、指导患者服药、甲癌患者查房及甲癌患者 SPECT-CT 扫描过程。

根据表 11.3-10 可知，转移、打开铅罐过程中职业人员手部和身体剂量率。

职业人员指导患者服药过程中，位于南侧控制室内，考虑 300mm 混凝土防护+18mmPb 当量防护门的防护，其他墙体不予计算，按照 300mm 混凝土防护和 18mmPb 当量防护门考虑，根据公式 11.3-6，甲亢、甲癌患者服药中，职业人员所在监控室辐射水平最大为 0.58μSv/h。

医院每年接诊 300 名甲癌患者，每名甲癌患者住院 5 天，住院过程中职业人员尽量通过视频及对讲进行查房，特殊情况进入病房查房，按每名患者查房两次考虑，每次查房与每名患者接触 1min，查房过程中不考虑屏蔽，不考虑衰减，距离病人约 1m，根据公式 11.3-7 计算查房过程医生手部年当量剂量和身体年有效剂量均为 440×1÷60

×300÷1000≈2.2mSv/a。

进行SPECT-CT扫描之前，职业人员在SPECT-CT扫描室1～2内指导患者正确姿势，此过程职业人员距患者约1m，本次评价按照出院患者（体内核素活度值为8.54mCi）的1m外剂量率考虑，根据公式11.3-7计算，不考虑铅衣，此时职业人员手部、身体受照剂量率为18.8μSv/h。根据表11.3-11，扫描过程中控制室内辐射水平最大为0.74μSv/h。

由此估算 ^{131}I 甲亢、甲癌治疗过程中，职业人员所受手部当量剂量和身体年有效剂量如下表所示：

表 11.3-18　使用 ^{131}I 过程中职业人员所受手部当量剂量和身体年有效剂量

操作项	每项操作时间	年操作次数	T（h/a）	Dr（手部，μGy/h）	Dr（身体，μGy/h）	H（手部，mSv/a）	H（身体，mSv/a）
转移铅罐	2min	250	8.33	63.47	5.27	0.37	0.03
打开铅罐	5s	250	0.35	453.33	110.64	0.11	0.03
指导服药	2min	300	8.33	0.58（μSv/h）	0.58（μSv/h）	0.005	0.005
甲癌查房	—	—	—	440（μSv/h）	440（μSv/h）	2.2	2.2
摆位	1min	300	5.0	18.8（μSv/h）	18.8（μSv/h）	0.094	0.094
扫描	20min	300	100	0.74（μSv/h）	0.74（μSv/h）	0.074	0.074

经与医院沟通，PET、SPECT 诊断工作场所拟编配 12 名辐射工作人员，分别为 4 名医生、4 名技师、4 名护士；^{131}I 诊疗工作场所拟编配 10 名辐射工作人员，分别为 4 名医生、2 名技师、4 名护士。一般情况下，取药、注射、打开铅罐、指导服药、甲癌查房等过程由医护负责，患者摆位、扫描过程由技师负责，由此综合估算职业人员年有效剂量，详情见下表。

表 11.3-19　本项目 ^{99m}Tc、^{18}F（^{11}C、^{13}N）、^{131}I 核素诊疗场所职业人员剂量

核素名称	过程	医生（12 人）、护士（8 人）		技师（6 人）	
		H（手部，mSv/a）	H（身体，mSv/a）	H（手部，mSv/a）	H（身体，mSv/a）
^{18}F	转移	0.013	0.026	—	—

	分装	107.12	0.03	—	—
	取药	4.46	2.23	—	—
	注射	13.39	6.69	—	—
	摆位	—	—	2.20	2.20
	扫描	—	—	2.32	2.32
^{99m}Tc	分装	12.01	2.41	—	—
	取药	0.02	0.01	—	—
	注射	2.00	0.40	—	—
	摆位	—	—	1.28	1.28
	扫描	—	—	3.2×10^{-4}	3.2×10^{-4}
^{131}I	转移铅罐	0.37	0.03	—	—
	打开铅罐	0.11	0.03	—	—
	甲癌查房	0.005	0.005	—	—
	摆位	—	—	2.2	2.2
	扫描	—	—	0.094	0.094
综合剂量		139.50	11.86	8.09	8.09
人均剂量		17.44	1.48	1.35	1.35

根据上表可知，^{99m}Tc、^{18}F、^{131}I核素诊疗场所运行过程中，医护手部人均年当量剂量为17.44mSv/a、身体人均年有效剂量为1.48mSv/a；技师手部年当量剂量为1.35mSv/a、身体年有效剂量为1.35mSv/a，均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的职业人员四肢500mSv/a、身体部位20mSv/a的剂量限值，也低于本评价提出的职业人员四肢125mSv/a、身体部位5mSv/a的年管理剂量约束值。

5、慰问者年有效剂量

（1）^{18}F、^{11}C、^{13}N 诊断

由表 11.3-6 可知，注射 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 患者离开医院 1 天后距离患者 1m 处剂量率已降至 0.0038μSv/h，可见注射 ^{18}F 患者离开医院后对外环境影响持续时间较短。本次按注射 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 患者 1 天内与慰问者接触考虑，居留因子取 1，根据表 11.3-6，以 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 患者注射后 1m 处的剂量率进行计算，则慰问者一次所受的辐射剂量为 34.04×24×1÷1000≈0.817mSv/a，患者一般在治疗前后各进行一次检查，一年最多进行两次检查，则慰问者所受年有效剂量为 1.63mSv/a，低于 GB18871-2002 提出的慰问者 5mSv/a 的剂量限值。

（2）^{99m}Tc 诊断

根据表 11.3-9，随着核素的衰变，患者对陪护人员的影响逐渐减小，经 48h 后，距离患者 1m 处的辐射剂量率为 0.06μSv/h，已基本无影响。陪护人员平时与患者距离平均按 lm 考虑，停留因子取 l，γ辐射剂量率按照患者服药 20mCi 后体外 1m 处剂量率 15.32μSv/h 保守计算，则慰问者一次所受的辐射剂量为 15.32×48×1÷1000≈0.735mSv/a，患者一般在治疗前后各进行一次检查，一年最多进行两次检查，则慰问者所受年有效剂量为 1.47mSv/a，低于 GB18871-2002 提出的慰问者 5mSv/a 的剂量限值。

（3）^{131}I 甲亢治疗

根据表11.3-12可知，口服^{131}I（最大服药量10mCi）甲亢患者接受治疗36天后，其体外1m处的剂量率可降至0.08μSv/h，对周围环境影响较小。本次按口服^{131}I甲亢患者接受治疗36天内与慰问者接触，每天接触以24h计算，停留因子取1，无屏蔽措施，γ辐射剂量率按表11.3-12，对36天内受照剂量分时段累加计算，则陪护人员受照射的年有效剂量为［21.57×24+18.49×3.5×24+（10.79+5.39+2.70+1.35+0.67+0.34+0.17+0.08）×4.5×24］×1/1000≈4.40mSv/a，低于GB18871-2002提出的慰问者5mSv/a的剂量限值。

（4）^{131}I甲癌治疗

由前述可知，甲癌患者住院 4 天后可达到出院标准，根据表 11.3-13 可知，口服 ^{131}I 甲癌患者接受治疗 13 天后距离 ^{131}I（最大服药量 200mCi）患者 1m 处的剂量率可降至 0.015μSv/h，对周围环境影响较小。本次按口服 ^{131}I 甲癌患者接受治疗 13 天内与慰问者接触（住院的 4 天时间无人陪护，不计算在内），每天接触以 24h 计算，停留因子取 1，无屏蔽措施，γ辐射剂量率按表 11.3-13，对 5-13 天内分时段累加计算，则陪护人员受照射的年有效剂量为（18.43×24+8.38×24+3.81×24+1.73×72+0.16×72）×1/1000≈0.89mSv/a，低于 GB18871-2002 提出的慰问者 5mSv/a 的剂量限值。

综上所述，慰问者年有效剂量最大为 4.40mSv/a，低于 GB18871-2002 提出的慰问者 5mSv/a 的剂量限值。医院应加强患者离开场所时的指导，要求患者尽可能减少与慰问者接触时间，增加接触距离。

6、公众成员年有效剂量

（1）公众与注射 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{99m}Tc 患者及口服 ^{131}I 甲亢、甲癌患者近距离接触

a、公众与 ^{18}F 患者近距离接触

注射 ^{18}F、^{11}C、^{13}N 的患者对公众的影响，按患者在其接受注射后 1 天内与公众接触考虑，每天外出时间按 10 小时计算，与患者距离平均按 lm 考虑，居留因子取 1/16，以 ^{18}F 患者注射后 1m 处的剂量率进行计算，则公众成员年有效剂量为 34.04×10÷16÷1000≈0.021mSv/a，低于本报告提出的 0.1mSv/a 的公众成员年管理剂量约束值。

b、公众与 ^{99m}Tc 患者近距离接触

注射 ^{99m}Tc 的患者对公众的影响，按照患者在其接受注射后 48h（2 天）内与公众接触，每天外出时间按 10 小时计算，与患者距离平均按 lm 考虑，停留因子取 1/16，γ辐射剂量率按照患者服药 20mCi 后体外 1m 处剂量率 15.32μSv/h 保守计算，公众成员受到的年有效剂量为 15.32×10×2×（1/16）/1000≈0.019mSv/a，低于本报告提出的 0.1mSv/a 的公众成员年管理剂量约束值。

c、公众与 ^{131}I 甲亢患者近距离接触

口服 ^{131}I 的甲亢患者对公众的影响，按甲亢患者在接受治疗 36 天内与公众接触，每天外出时间按 8 小时计算，与患者距离平均按 lm 考虑，停留因子取 1/16，γ辐射剂量率按表 11-18 计，经分段累加计算，公众成员受到的年有效剂量为［21.57×10+18.49×3.5×8+（10.79+5.39+2.70+1.35+0.67+0.34+0.17+0.08）×4.5×8］×(1/16)/1000≈0.09 mSv/a，低于本评价提出的 0.1mSv/a 的公众成员年管理剂量约束值。

d、公众与 ^{131}I 甲癌患者近距离接触

服用 ^{131}I 的甲癌患者对公众的影响，按甲癌患者在接受治疗 13 天内与公众接触（住院 4 天内不与公众接触），每天外出时间按 8 小时计算，与患者距离平均按 lm 考虑，停留因子取 1/16，γ辐射剂量率按表 11-19 计，经分段累加计算，公众成员受到的年有效剂量为（18.43×8+8.38×8+3.81×8+1.73×24+0.16×24）×(1/16)/1000≈0.02mSv/a，低于本评价提出的 0.1mSv/a 的公众成员年管理剂量约束值。

根据上述分析，公众成员受照剂量率汇总情况见下表所示。

表 11.3-20 与用药患者接触的公众成员年受照剂量汇总

序号	公众成员接触类型	接触时间	接触距离	受照剂量（mSv/a）	管理剂量约束值（mSv/a）	是否符合
1	与注射 ^{18}F 患者接触	≤10h	≥1m	0.021	0.1	符合
2	与注射 ^{99m}Tc 患者接触	2 天（每天≤10h）	≥1m	0.019	0.1	符合
3	与口服 ^{131}I 甲亢患者接触	36 天（每天≤8h）	≥1m	0.09	0.1	符合

4	与口服 ^{131}I 甲癌患者接触	13 天（每天≤8h）	≥1m	0.02	0.1	符合

根据上表，公众成员在控制与用药患者接触时间、接触距离情况下，其受照剂量可满足本评价提出的 0.1mSv/a 公众成员管理剂量约束值。

（2）核医学工作场所周围

本项目地下室核医学工作场所周围公众成员主要为场所四周途径公众。根据上文辐射水平估算结果，用公式 11.3-10 计算得核医学工作场所外公众成员剂量如下表所示：

表 11.3-21　核医学工作场所周围公众所受年有效剂量

关注点	剂量率最大值μSv/h	居留因子	受照时间 h	年有效剂量 mSv/a	管理约束值 mSv/a
东侧，排风机房、换热机房	0.54	1/16	2000	0.067	0.1
南侧，处方库	0.055	1/16	2000	0.007	0.1
西侧，制冷机房、空调机房	0.046	1/16	2000	0.006	0.1
北侧，病案库、扫描室	0.133	1/16	2000	0.016	0.1
北侧，空调机房	0.133	1/16	2000	0.016	0.1

注：核医学科东侧、南侧均为地下土层。

本项目核医学工作场所周围 50m 评价范围内存在 1 处保护目标，为其所在的门诊医技病房综合楼。根据表 11.3-21 理论估算，本项目核医学工作场所周围公众成员年有效剂量最大为 0.067mSv/a，因此本项目核医学工作场所所致门诊医技病房综合楼保护目标处公众的年有效剂量最大为 0.067mSv/a，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的公众成员 1mSv/a 的剂量限值，也低于本评价提出的公众成员 0.1mSv/a 的年管理剂量约束值。

综上所述，在加强日常管理情况下，本项目核医学工作场所职业人员及公众成员所接受的年有效剂量均满足本评价提出的年管理剂量约束值，满足国家有关要求。

11.3.4 本项目退役

本项目终止后，医院应尽快拟定乙级非密封放射性物质工作场所服务期满退役计划，编制退役方案，按计划实施退役。

医院可参考以下的退役计划实施退役：

（1）医院在本项目核医学工作场所停用后，编制乙级非密封放射性物质工作场

所退役实施方案，委托有资质的环评机构编制退役环境影响评价文件。未经批准的，该场所不得退役或挪作他用。

（2）医院按照退役实施方案开展退役工作。做好退役过程中的安全防护和辐射环境监测，严格落实退役方案和应急预案各项要求，确保退役过程中的辐射环境安全。

（3）工作场所实施退役后，委托有资质的单位进行退役终态验收监测，编制终态验收监测报告表，开展自主验收。退役场所验收合格方可用于其他用途。

另外，回旋加速器退役前应对其各组成部件进行感生放射性检测，属于放射性固废的

应单独收集并交有资质的单位处置，不得随意弃置。

11.3.5 事故影响分析

一、放射性核素制备场所

1、可能的辐射事故（件）情形

（1）回旋加速器机房门-机联锁失效或操作人员失误，人员误入机房，造成误照射。

（2）回旋加速器生产过程中，由于设备故障导致放射性气体可能会发生泄漏。

（3）由于管理不善，发生放射性药物失窃，导致公众受照和环境受到辐射污染。

（4）在转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄漏，造成台面、地面辐射污染。

（5）工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量。

（6）放射性废水或放射性固废衰变时间不够，未达到解控水平或排放标准即进行处理。

（7）液体靶泄漏：液体靶在照射和传输过程中，靶密封膜片破裂、传输管线堵塞和破裂，或者传输压力不足，靶产物附着于传送管道内壁，造成非密封放射性物质泄漏，使加速器机房内部发生放射性污染；

2、可能的辐射事故（件）防范措施及处理措施

（1）制定自检制度，且严格进行经常性自查，如发现门-机联锁装置、剂量联锁装置、工作状态指示灯、电离辐射警告标志不够完善或失灵，以及防护门出现故障，应立即补充和修复。在回旋加速器运行之前，工作人员须进入机房巡视，确认无人员滞留后关闭防护门。定期开展安全装置与设施检查，保证门-机联锁装置有效；制定

并落实操作规范，工作人员定期培训。

（2）做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

（3）医院须制定和完善放射性核素制备的安全管理制度，设专人负责，做好核素的制备、转运登记工作，确保放射性药物安全。

（4）医院制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物洒漏事故的发生，发生事故后，应及时用棉布或者吸水纸等擦拭，擦拭物收集放到放射性废物衰变箱中。

（5）医院要求职业人员进入控制区须穿戴防护用品，个人剂量计佩戴于左胸前，穿戴放射性污染防护服，尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物距离。

（6）放射性废物衰变箱、废靶储存衰变箱外标注内含核素种类、封存时间。加强放射性废水和固废排放处理管理。

（7）回旋加速器运行前检查靶密封膜片和传输时管线的气密性。如果靶物质泄漏会导致加速器机房剂量增高，一旦在打靶或者核素传输过程中，出现固定式剂量率（大于 2.5μSv/h）报警情况，立即停机，关闭通风，人员撤离，控制出入口。利用正电子核素半衰期短的特性，等待其自行衰减。隔日，待场所的放射性水平恢复安全水平，再进行处理或者管路维修。更换下来的物件装入衰变箱暂存。现场人员做好个人防护，佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

二、放射性核素使用区域

1、可能的辐射事故（件）情形

结合核素使用过程的工作流程，可能的辐射事故主要与以下几种情况：

（1）由于病人同名、操作失误等，导致患者给药量错误，发生异常照射；

（2）在药物转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的核素意外泄露，造成台面、地面辐射污染；

（3）由于管理不善，放射性药物被盗、丢失，导致公众受照和环境受到辐射污染；

（4）工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量；

（5）放射性废水或放射性固废衰变时间不够，未达到解控水平或排放标准即进行处理，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

（6）通风系统中的活性炭过滤装置故障、活性炭未及时更换，活性炭吸附饱和

对放射性废气无效果造成超标排放；

（7）患者在离开医院后，可能对接近患者的人员造成额外照射。

2、可能的辐射事故（件）防范措施

（1）核医学科要有明确识别病人（例如通过照片）程序性文件，工作人员定期培训，严格按程序给药，确保用药正确；

（2）制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，配备必要的防护用品，减少药物操作过程中洒漏事故发生；

（3）制定并落实放射性核素的安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。应设置防盗门及报警装置等设施，做好防盗工作；

（4）加强工作人员自身防护安全意识，定期组织培训，工作人员视工作需要进入核医学工作场所等穿戴防护用品（必备铅衣、铅裙、铅脖，选配铅帽、铅眼镜）和放射性污染防护服，个人剂量计佩戴于铅衣内部左胸前；

（5）加强放射性废水排放管理，定期检查放射性废水处理系统，确保放射性废水在衰变池内暂存衰变满足 30 天（含 ^{99m}Tc 和 ^{18}F）或 180 天（含 ^{131}I），方可排入医院污水处理总站作进一步处理后外排。加强放射性固废排放管理，放射性固体废物衰变箱外显著位置标明废物类型、核素种类和存放日期等信息，经设定周期存放后可达到解控水平，在确保废物袋表面剂量率满足所处环境本底水平、β表面污染低于 0.8Bq/cm^2 后，方可作为一般医疗废物交由具备相应危险废物处置资质的单位进行规范处置；

（6）委托设备厂家定期检查维护通风设施，与活性炭供应单位进行沟通交流同类项目的废活性炭的更换频次，对活性炭进行定期更换，确保放射性废气排放浓度满足要求排放；

（7）加强对有药患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对出院的有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公共场所去活动，并避免与家人近距离密切接触。核医学工作场所设置监控，进出口设置控制门，经核实达到离开条件方可允许患者离开。

表 12　DSA、ERCP 介入诊疗项目环境影响评价

12.1 项目工程分析与源项

DSA 装置项目位于门急诊医技综合楼 4 楼介入中心内，拟建设 4 间 DSA 机房，各机房内分别配套 1 台 DSA 装置（型号未定，最大管电压为 125kV，最多管电流为 1000 mA），共 4 台 DSA 装置，用于放射诊断及介入治疗；ERCP 装置项目位于门急诊医技综合楼 2 楼内镜中心，拟建设 1 间 ERCP 机房，机房内配套 1 台 ERCP 装置（型号未定，最大管电压为 150kV，最多管电流为 1000mA），用于放射诊断及介入治疗。

12.1.1 项目工程分析

一、设备组成及设备参数

1、DSA 设备组成及设备参数

数字减影血管造影（DSA）因其整体结构像大写的“C”，因此也称作 C 型臂 X 光机，DSA 设备主要包括 C 型臂机架系统、检测床、显示器吊架及显示系统、X 射线高压发生器装置、X 射线球管、数字平板探测器、图像采集处理系统、后处理工作站、防护屏及防护铅帘等。

本项目拟配备的 DSA 用于血管造影检查及介入手术治疗。根据医院提供的资料，主要设备技术参数见表 12.1-1，典型 DSA 外观见图 12.1-1。

表 12.1-1　本项目 DSA 主要设备技术参数

名称	1#DSA	2#DSA	3#DSA	4#DSA
型号	待定	待定	待定	待定
意向厂家	待定	待定	待定	待定
最大管电压（kV）	125	125	125	125
最大管电流（mA）	1000	1000	1000	1000
球管类型	单球管	单球管	单球管	单球管
X 射线球管滤过	≥ 2.5mmAl	≥ 2.5mmAl	≥ 2.5mmAl	≥ 2.5mmAl
机房位置	门急诊医技综合楼 4 楼介入中心 DSA1 手术室	门急诊医技综合楼 4 楼介入中心 DSA2 手术室	门急诊医技综合楼 4 楼介入中心 DSA3 手术室	门急诊医技综合楼 4 楼介入中心 DSA4 手术室
帧率	摄影帧数规格：30fps，15fps，7.5fps，3.75fps；常用帧数为 15fps。成人取脉冲宽度为 10ms/帧，儿童为 5ms/帧。			

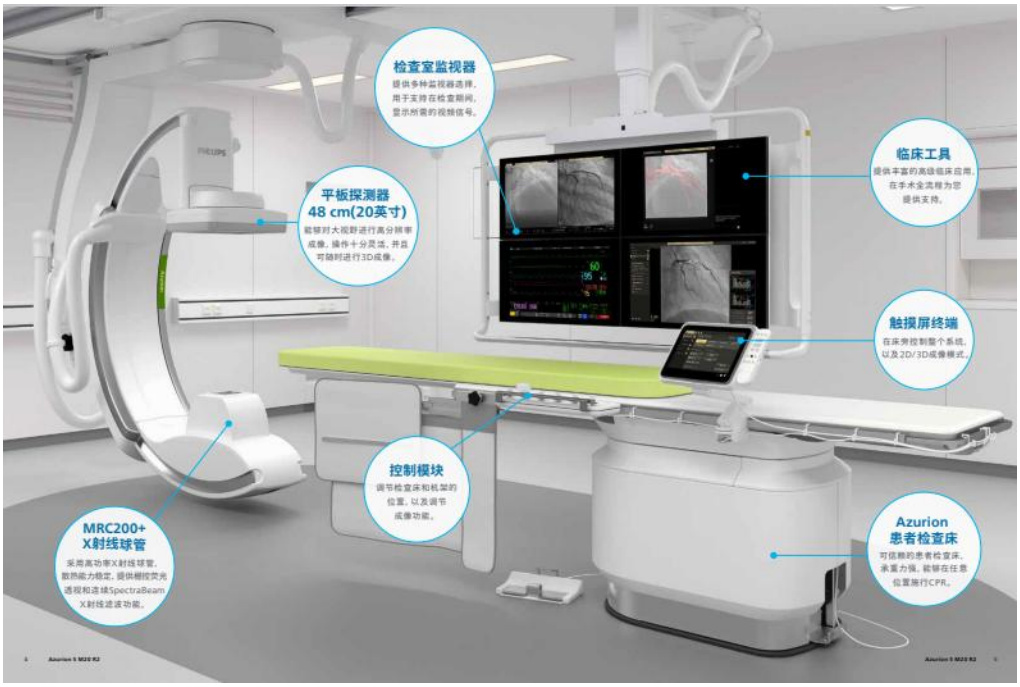


图 12.1-1　典型 DSA 装置外观图

2、ERCP 设备组成及设备参数

为移动式 C 臂机的衍生机，主要由带有影像增强器或平板探测器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图象处理系统、操作台、磁盘或磁带机、多幅照相机组成。典型 ERCP 装置见图 12.1-2，本项目 ERCP 设备主要技术参数见表 12.1-2。

表 12.1-2　本项目 ERCP 主要设备技术参数

名称	ERCP 用 C 形臂 X 射线机
型号	待定
意向厂家	待定
最大管电压（kV）	125
最大管电流（mA）	1000
球管类型	单球管
X 射线球管滤过	≥ 2.5mmAl
机房位置	门急诊医技综合楼 2 楼内镜中心 ERCP 手术室
帧率	设备摄影帧数规格：30fps，15fps，7.5fps，3.75fps；常用帧数为 15fps。成人取脉冲宽度为 10ms/帧，儿童为 5ms/帧。

图 12.1-2　　典型 ERCP 装置外观图

二、工作原理

本项目 DSA、ERCP 装置使用 X 射线进行放射成像的技术设备，由射线管、高压电源和数字平板探测器等主要部件组成。X 射线管由阴极、阳极和聚焦器组成。利用高压电源加热阴极灯丝使之发射电子，电子被加速后打在阳极金属靶上，因韧致辐射效应而产生 X 射线，典型 X 射线管的结构见图 12.1-3。

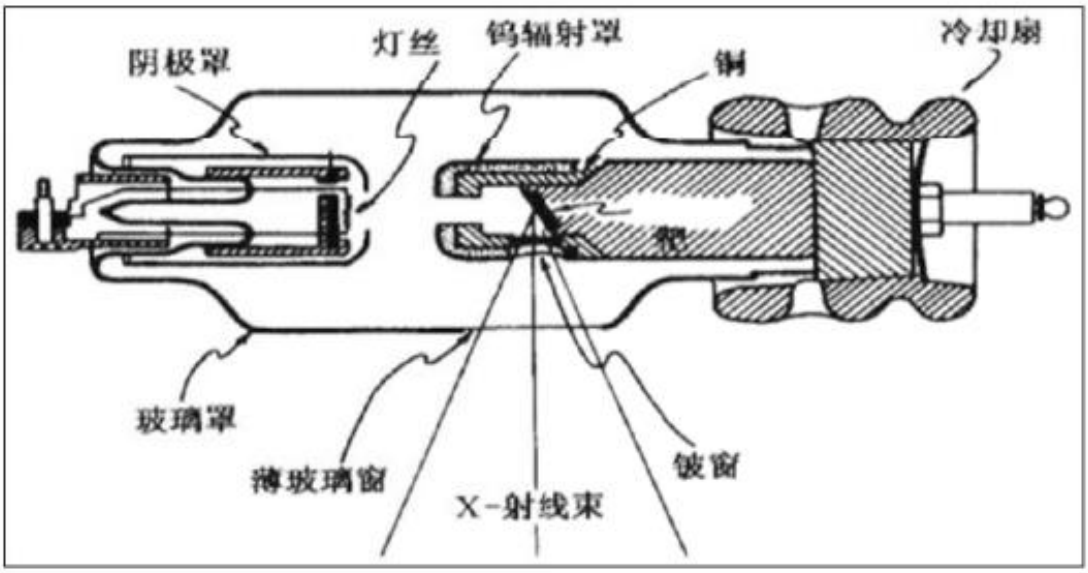


图 12.1-3　　典型 X 射线管结构图

1、DSA 工作原理

数字减影血管造影技术（Digital Subtraction Angiography，简称 DSA）是常规血管造影术和电子计算机图像处理技术相结合的产物。数字减影血管造影机（DSA）主要采用时间减影法，即将造影剂未达到欲检部位前摄取的蒙片与造影剂注入后摄取的造影片在计算机中进行数字相减处理，仅显示有造影剂充盈的结构，具有高精密度和灵敏度。利用计算机系统将注射造影剂前的透视影像转换成数字形式贮存于记忆盘中，称作蒙片。然后将注入造影剂后的造影区的透视影像也转换成数字，并减去蒙片的数字，将剩余数字再转换成图像，即成为除去了注射造影剂前透视图像上所见的骨骼和软组织影像，剩下的只是清晰的纯血管造影像。

在血管造影时，X 射线照射人体后产生的影像，经影像增强器强化，由摄像机接收并把它变成模拟信号输入模一数转换器，把模拟信号转变成数字信号，然后把数字信号存入存贮器。同时电子计算机图像处理系统把图像分成许多像素，并通过数-模转换器把数字信号变成模拟信号，再输入监视器，从监视器屏幕上就可见到实时纯血管的图像。

DSA 系统结构图见图 12.1-4。

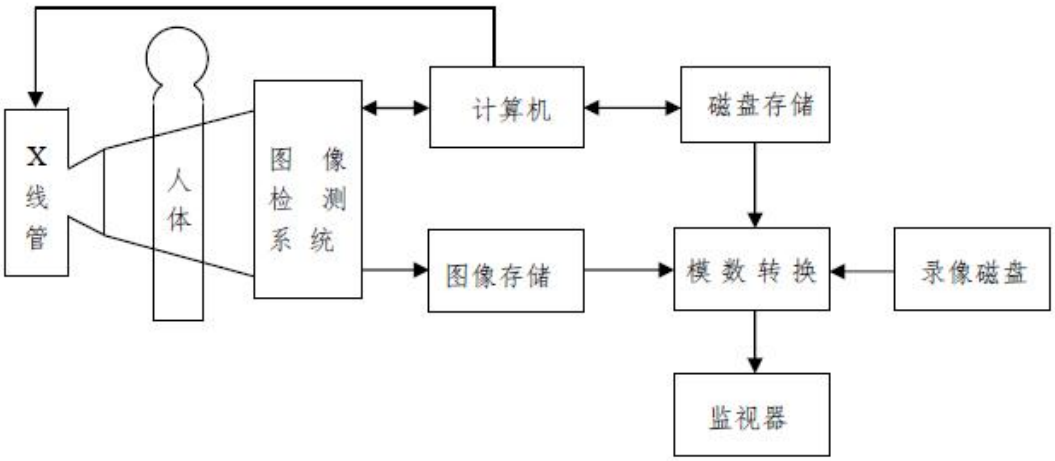


图 12.1-4　DSA 系统结构图

DSA 是引导介入放射治疗的重要医学影像设备，通过置入体内的各种导管（约 1.5—2 毫米粗）的体外操作和独特的处理方法，对体内病变进行治疗。介入治疗具有不开刀、创伤小、恢复快、效果好的特点，目前，基于数字血管造影系统指导的介入治疗医生已能把导管或其他器械，介入到人体几乎所有的血管分支和其他管腔结构（消化道、胆道、气管、鼻管、心脏等），以及某些特定部位，对许多疾病实施局限性治疗。

2、ERCP 工作原理

ERCP（Encoscopic Retrograde Cholangio-Pancreatography）即经内镜逆行胰胆管造影，是目前微创治疗胆胰疾病的主要手段之一，是指将十二指肠镜插至十二指肠，找到十二指肠乳头，由活检管道内插入造影导管至乳头开口部，注入造影剂后进行 X 射线摄片，以显示胰胆管的技术。在 ERCP 的基础上，可以进行十二指肠乳头括约肌切除术（EST）、内镜下鼻胆汁引流术（ENBD）、内镜下胆汁内引流术（ERBD）等介入治疗。

三、工作流程及产污环节

1、DSA 工作流程及产污环节

患者在接受 DSA 诊断和放射性介入治疗时，先仰卧进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺动脉，送入引导钢丝及扩张血管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达静脉，顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。本项目 DSA 工作流程及产污环节见图 12.1-5。

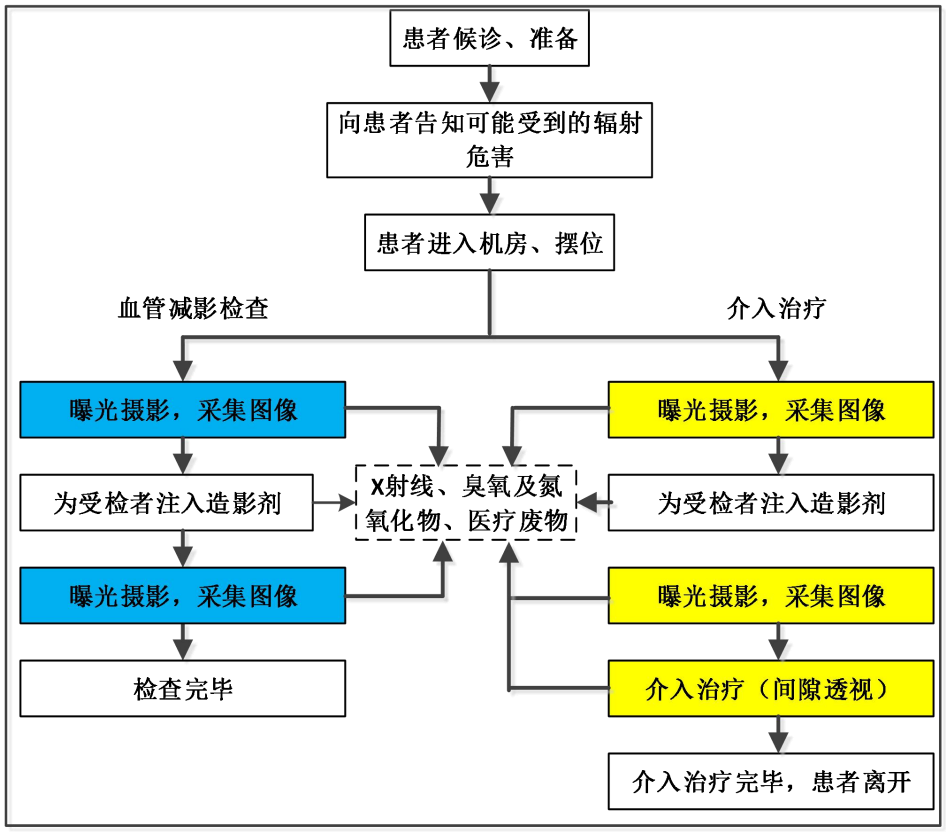


图 12.1-5　本项目 DSA 工艺流程及产污环节示意图

2、ERCP 工作流程及产污环节

ERCP 手术是指将十二指肠镜通过口腔、胃部送至十二指肠降段，找到十二指肠乳

头后，通过活检孔道将造影导管自十二指肠乳头插入，并经该导管注入造影剂，使胆道和胰管显影。通过此项技术发现病变，从而对胆胰管进行诊断。

ERCP 造影过程中需要医生在手术室根据手术检查情况等，进行踩踏式曝光，其治疗形式属于介入治疗。介入治疗是在医学影像设备的引导下，通过置入体内的各种导管（约 1.5-2 毫米粗）的体外操作和独特的处理方法，对体内病变进行治疗。ERCP 装置在开展 X 射线作业时，处于手术区内的辐射工作人员（医师、护士）需穿戴铅防护服、铅围脖，佩戴个人剂量计。护师位于医师旁边，全程配合医师手术。

ERCP 手术操作过程主要分为以下几步：

（1）插镜：患者一般采取俯卧位或左侧卧位，十二指肠镜经口依次通过食管胃、进入十二指肠降段，找到十二指肠乳头。

（2）插管：选择性插管是顺利进行 ERCP 诊断和治疗的基础。经活检孔插入导管，调节角度钮及抬钳器，使导管与乳头开口垂直，将导管插入乳头。多数 ERCP 医师插管成功率应大于 85%以上，导丝引导下选择性插管成功率高，并发症少

（3）造影：在透视下经造影导管注入造影剂，在荧光屏上见到胆管或胰管显影显示病变。尽量减少不必要的胰管显影，以防术后胰腺炎的发生。

（4）摄片：胰胆管显影后，进行摄片存储。

（5）治疗：根据患者胰胆管病变情况，采取不同内镜下治疗措施（如括约肌切开取石、放置引流管或支架缓解胆管梗阻、瘘管支架放置等）。

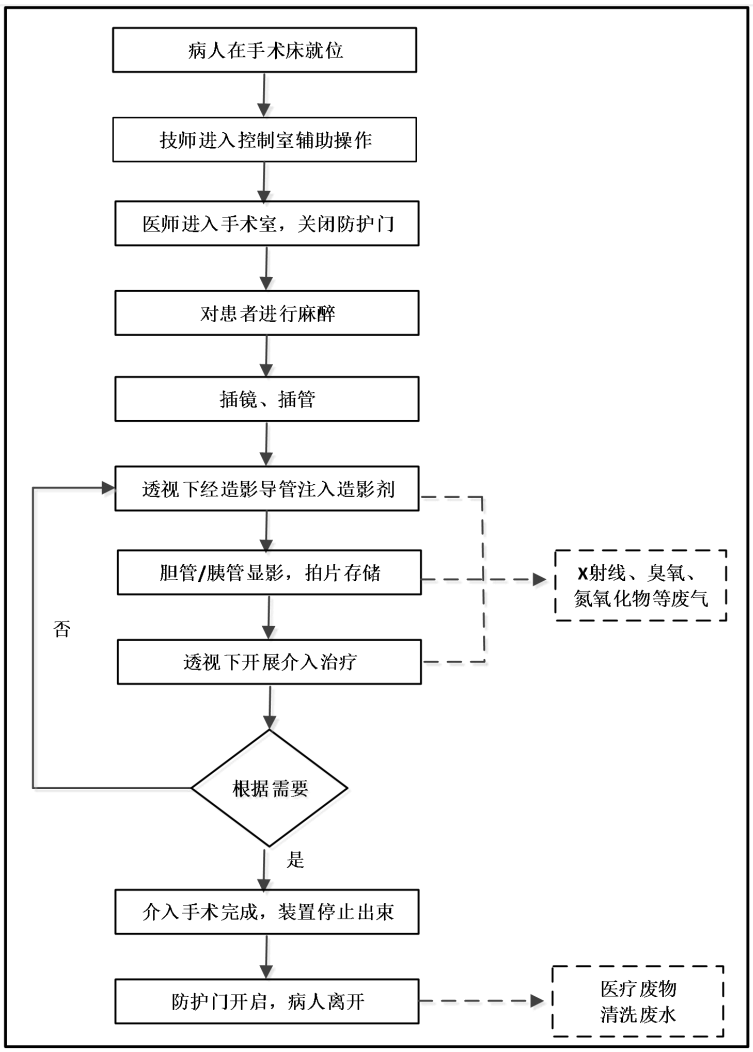


图 12.1-6　ERCP 手术治疗流程及产污环节示意图

本项目 DSA、ERCP 在使用时分为两种情况：

第一种情况：血管减影检查（摄影）。操作人员采取隔室操作的方式（即操作医师在控制室内对受检者进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内受检者情况，并通过对讲系统与受检者交流。

第二种情况：引导介入治疗（透视）。患者需要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，此时操作医师位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在机房内对病人进行直接的介入手术操作。

本项目采用先进的数字显影技术，电脑成像，不使用显（定）影液，不产生废显影液、废定影液和废胶片。注入的造影剂不含放射性。设备运行过程中产生的污染物主要为 X 射线、少量臭氧和氮氧化物以及手术过程中产生的医疗废物。

四、工作负荷

医院拟为本项目每台 DSA、ERCP 配备 4 名辐射工作人员（2 名医生、1 名护士、1 名技师），该项目辐射工作人员均为新招聘专职工作人员，不从事其他辐射工作项目。

手术过程中，医师、护士在手术室内近台操作，2 名医师均位于手术床旁，站位顺序依次为第一术者、第二术者，其中第一术者距球管约 0.5m 处，负责为患者进行介入手术；第二术者距球管约 1m 处，负责辅助第一术者进行手术；护士负责术中护理操作和配合，位于术者位之后。全年手术中，医院拟规定 2 名医师交替作为第一和第二术者位操作医师，以保障单个医师工作量不会过大。辐射工作人员年工作 250 天。

根据滕州市中医医院提供的资料，预估本项目单台 DSA、ERCP 的工作负荷情况见表 12.1-3。

表 12.1-3　本项目 DSA、ERCP 工作负荷

<table>
<tr><td colspan="6">透视</td></tr>
<tr><td>手术类别</td><td colspan="2">年开展工作量</td><td colspan="2">每台手术
透视曝光时间</td><td>年透视
曝光时间</td></tr>
<tr><td>综合介入</td><td colspan="2">300 台</td><td colspan="2">约 20min</td><td>约 100h</td></tr>
<tr><td colspan="6">摄影</td></tr>
<tr><td>手术类别</td><td>年开展
工作量</td><td>单次曝光
时间</td><td>单台手术
采集次数</td><td>单台手术最
大采集时间</td><td>年曝光时间</td></tr>
<tr><td>综合介入</td><td>300 台</td><td>≤1s</td><td>16~50 次</td><td>约 50s</td><td>约 4.17h</td></tr>
</table>

12.1.2 污染源项描述

一、辐射污染源

本项目 DSA、ERCP 运行时，X 射线球管出束产生的 X 射线对周围公众及辐射工作人员产生辐射影响，关机后 X 射线随之消失。

X射线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（主束）、漏射线和散射线。由于射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。

DSA 的 C 型臂上，X 射线球管及平板探测器分别在 C 型臂的两端，球管出束口恒定朝向平板探测器照射，出束主射线在平板探测器成像范围（照射野范围）内。在对 X 射线探测时，均要求平板探测器具有对电离辐射的高阻断能力，要求所有入射到发光材料上的 X 射线尽可能多地被吸收，当 X 射线穿过平板探测器而没被吸收，就不会产生激发，从而影响成像效果。

1、有用线束

有用线束的射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。DSA 具有自动照射量控制调节功能（AEC），摄影时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低，照射量率减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量率增大。根据医院提供的资料，当 DSA、ERCP 运行管电压为最大管电压的极端情况时，透视模式下的电流不大于 20mA，摄影模式下的电流不大于 500mA；DSA、ERCP 正常运行时，透视模式的工况为（60～80）kV/（5～20）mA，摄影模式的工况为（60～80）kV/（100～500）mA。

由于本项目 DSA、ERCP 设备型号待定，项目 DSA、ERCP 设备拟购置于正规厂家合格产品，滤过材料、泄漏辐射等必须满足国家标准要求。X 射线球管滤过材料参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 5.1.5C）“除牙科摄影和乳腺摄影用 X 射线设备外，X 射线有用线束中的所有物质形成的等效总滤过，应不小于 2.5mmAl”的要求，本评价 DSA、ERCP 设备的等效总滤过保守按 2.5mmAl 考虑。DSA、ERCP 设备运行时离靶 1 米处的 X 射线发射率根据运行时管电压和 X 射线管的过滤条件从《辐射防护导论》（方杰著）附图 3 中查取，本项目正常运行时最大管电压为 80kV，离靶 1 米处的发射率约为 5mGy·m^2/（mA·min）。

2、泄漏射线

根据国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》“（77）用于诊断目的的每一个 X 射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1m 处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1 mGy/h”（在距离源 1m 处不超过 100cm^2 的面积上或者在离管或源壳 5cm 处的 10cm^2 面积上进行平均测量），以及《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB9706.103-2020）中 12.4 的相应要求，本项目 DSA、ERCP 离焦点 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率为 1.0mGy/h。

3、散射线

本项目 DSA、ERCP 的散射线主要考虑有用线束照射到受检者人体产生的侧向散射线，其强度与有用线束的 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射面积和距离等有关。

二、非放射性污染源

1、废水

本项目工作人员和部分病人在工作中将产生一定量的生活污水。

2、废气

本项目机房内的空气在 X 射线作用下分解产生少量臭氧和氮氧化物。

3、固体废物

本项目 DSA 采用数字成像，无废显、定影液及废胶片产生，手术过程中会产生一定量的棉签、纱布、手套、器具、介入导丝、废造影剂、废造影剂瓶等医疗废物，工作人员产生的生活垃圾。

12.2 辐射安全与防护

12.2.1 项目安全设施

一、工作场所布局

1、**DSA** 工作场所布局合理性

本项目拟配备的 4 台 DSA 位于院内门急诊医技综合楼 4 楼介入中心，每个 DSA 项目配套独立用房，房间由 DSA 机房、控制室、设备间及办公用房等组成，DSA 机房与其它辅助房间分开单独布置，机房满足拟使用设备的布局要求。有用线束不直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。DSA1 机房最小有效使用面积为 84.55m^2、最小单边长度为 8.9m；DSA2 机房最小有效使用面积为 68.53m^2、最小单边长度为 7.8m；DSA3 机房最小有效使用面积为 82.95m^2、最小单边长度为 7.9m；DSA4 机房最小有效使用面积为 104.25m^2、最小单边长度为 7.5m，均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，项目布局合理。

2、ERCP 工作场所布局合理性

本项目拟配备的 ERCP 位于院内门急诊医技综合楼 2 楼内镜中心 ERCP 机房，ERCP 项目配套独立用房，房间由 ERCP 机房、控制室、设备间及办公用房等组成，ERCP 机房与其它辅助房间分开单独布置，机房满足拟使用设备的布局要求。有用线束不直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。机房最小有效使用面积为 84.55m^2、最小单边长度为 8.9m，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，项目布局合理。

二、项目分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，将本项目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。

1、DSA 项目分区

（1）控制区：医院拟将各 DSA 机房作为控制区，拟在各防护门显著处设置电离辐射警告标志及中文警示说明，采用联锁、门锁等方式防止非辐射工作人员误入，造成误照射；

（2）监督区：医院拟将与各机房相邻的控制室、设备间等作为监督区，拟在监督区的所有入口处设立表明监督区的标牌，限制无关人员进入，并经常对职业照射条

件进行监督和评价。本项目 DSA 工作场所分区符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。本项目 DSA 工作场所辐射防护分区见图 12.2-1。

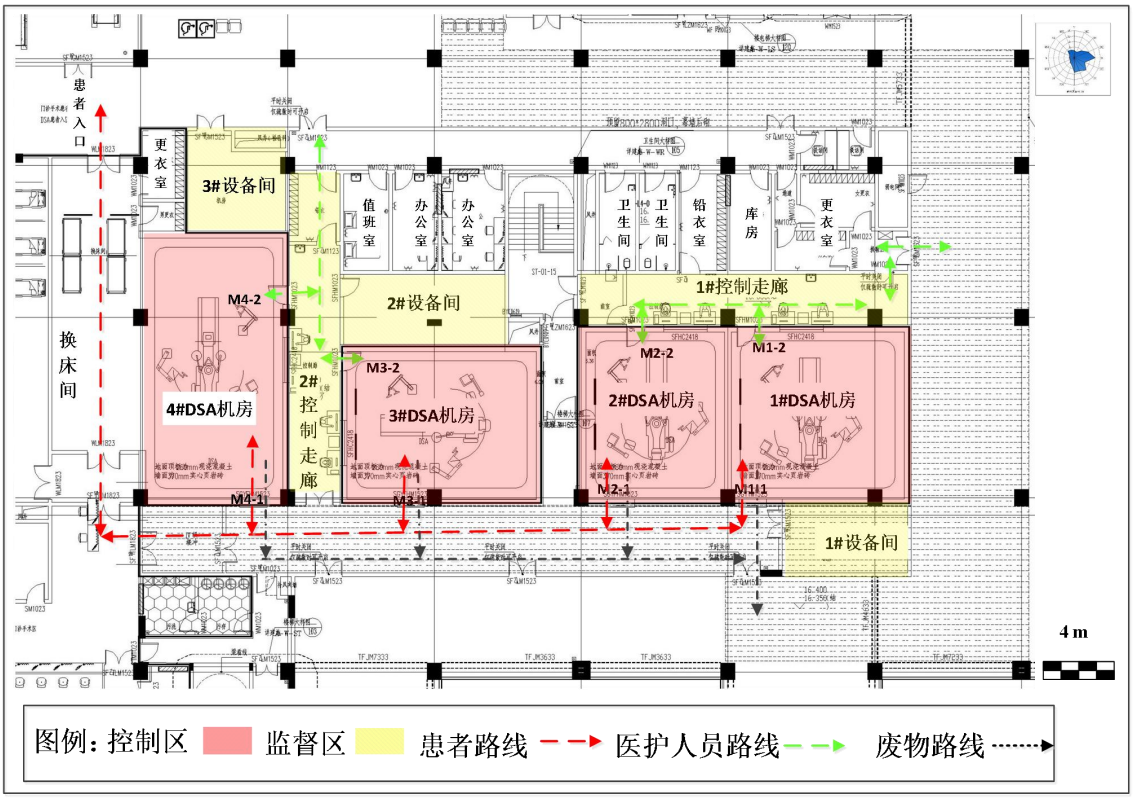


图 12.2-1　本项目 DSA 工作场所平面布置、分区及人流、物流路径示意图

2、ERCP 项目分区

（1）控制区：医院拟将各 ERCP 机房作为控制区，拟在各防护门显著处设置电离辐射警告标志及中文警示说明，采用联锁、门锁等方式防止非辐射工作人员误入，造成误照射。

（2）监督区：医院拟将与各机房相邻的控制室、准备间等作为监督区，拟在监督区的所有入口处设立表明监督区的标牌，限制无关人员进入，并经常对职业照射条件进行监督和评价。本项目 ERCP 工作场所分区符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。本项目 ERCP 工作场所辐射防护分区见图 12.2-2。

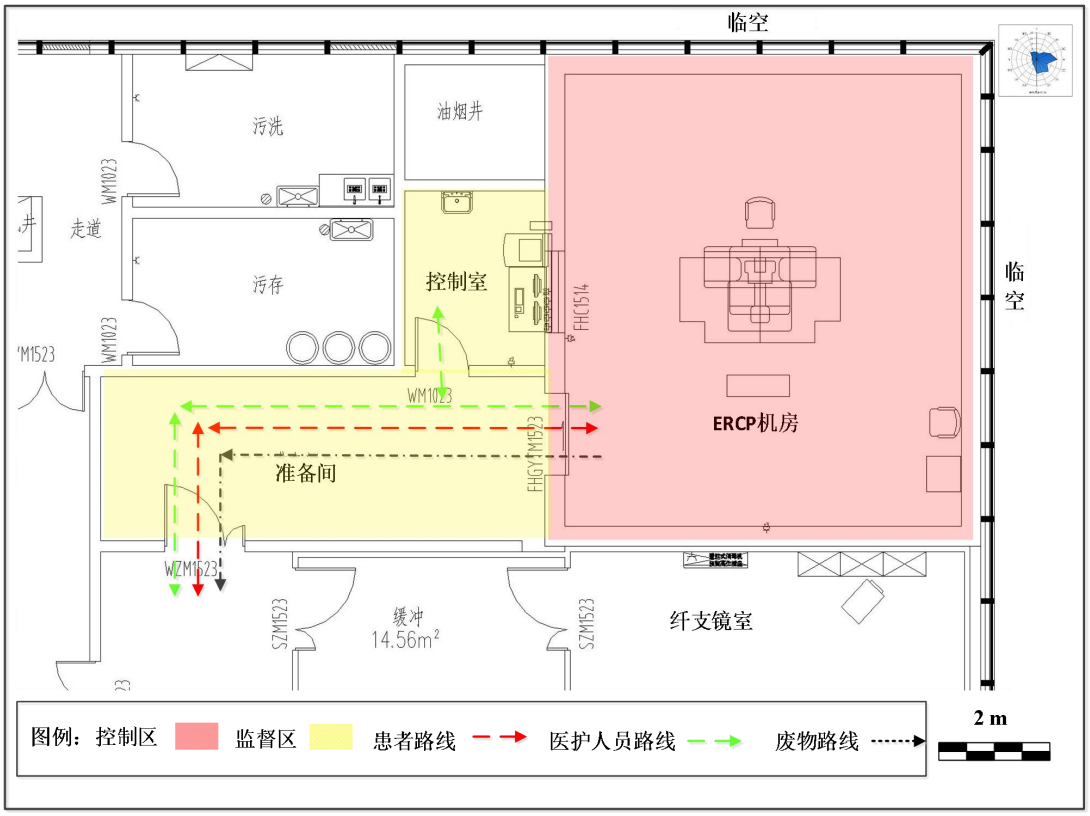


图 12.2-2　本项目 ERCP 工作场所平面布置、分区及人流、物流路径示意图

三、辐射防护屏蔽设计

1、DSA 辐射屏蔽设计

根据医院提供的资料，本项目 DSA 机房辐射防护屏蔽设计情况见下表。

表 12.2-1 本项目 DSA 机房屏蔽设计一览表

机房	屏蔽体	屏蔽设计参数	机房尺寸	有效使用面积
1#机房	四面墙	370mm 实心砖	东西长：9.5m 南北长：8.9 m 高：4.9 m	84.55m²
	顶板	260mm 混凝土		
	地板	260mm 混凝土		
	防护门	内衬 4.0mm 铅板		
	观察窗	4.0mm 铅当量铅玻璃		
	穿墙管线屏蔽	管线穿墙位置处管道周围采用 3mm 铅屏蔽		
2#机房	四面墙	370mm 实心砖	东西长：7.7m 南北长：8.9 m 高：4.9 m	68.53m²
	顶板	260mm 混凝土		
	地板	260mm 混凝土		
	防护门	内衬 4.0mm 铅板		

	观察窗	4.0mm 铅当量铅玻璃		
	穿墙管线屏蔽	管线穿墙位置处管道周围采用 3mm 铅屏蔽		
3#机房	四面墙	370mm 实心砖	东西长：10.5m 南北长：7.9 m 高：4.9 m	82.95m^2
	顶板	260mm 混凝土		
	地板	260mm 混凝土		
	防护门	内衬 4.0mm 铅板		
	观察窗	4.0mm 铅当量铅玻璃		
	穿墙管线屏蔽	管线穿墙位置处管道周围采用 3mm 铅屏蔽		
4#机房	四面墙	370mm 实心砖	东西长：7.5m 南北长：13.9 m 高：4.9 m	104.25m^2
	顶板	260mm 混凝土		
	地板	260mm 混凝土		
	防护门	内衬 4.0mm 铅板		
	观察窗	4.0mm 铅当量铅玻璃		
	穿墙管线屏蔽	管线穿墙位置处管道周围采用 3mm 铅屏蔽		

注：本项目使用的铅密度为：11.3 g/cm$^{3'}$，混凝土密度为：2.35 g/cm^3，实心砖密度为：1.65g/cm^3。

由表 12.2-1 可知，本项目各 DSA 机房最小单边长度和有效使用面积均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“单管头 X 射线设备最小单边长度不少于 3.5m，有效使用面积不少于 20m^2”的要求。

2、ERCP 辐射防护屏蔽设计

根据医院提供的资料，本项目 ERCP 机房辐射防护屏蔽设计情况见下表。

表 12.2-2　本项目 ERCP 机屏蔽设计一览表

机房	屏蔽体	屏蔽设计参数	机房尺寸	有效使用面积
1#机房	四面墙	370mm 实心砖	东西长：8.2m 南北长：7.4 m 高：4.9 m	60.68m^2
	顶板	280mm 混凝土		
	地板	280mm 混凝土		
	防护门	内衬 3.0mm 铅板		
	观察窗	3.0mm 铅当量铅玻璃		
	穿墙管线屏蔽	管线穿墙位置处管道周围采用 3 mm 铅屏蔽		

注：本项目使用的铅密度为：11.3 g/cm^3，混凝土密度为：2.35 g/cm^3，实心砖密度为：1.65g/cm^3。

由表 13.2-1 可知，本项目各 ERCP 机房最小单边长度和有效使用面积均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“单管头 X 射线设备最小单边长度不少于 3.5m，有效使用面积不少于 20m^2”的要求。

12.2.2 工作场所辐射安全与防护措施

除工作场所屏蔽设计的安全防范措施外，医院还将进一步完善和加强以下几个方面的防护措施。

1、防护安全措施

（1）DSA 手术室及 ERCP 机房和控制室之间设计双向对讲装置，并设置观察窗，便于进行监视观察和通话；患者进出防护门均为电动推拉门，设计有脚踏式门开关装置、防夹装置、工作状态指示灯和电离辐射警告标志，且工作状态指示灯和防护门能够有效联动，同时设有曝光时关闭机房门的管理措施；医护进出防护门、污物运出防护门为电动推拉门或手动平开门，设计有自动闭门装置和电离辐射警告标志；控制台及扫描床处各设置一个紧急停机按钮，紧急状态下按下紧急停机按钮即可实现紧急停机，防止发生辐射安全事故。

（2）医院拟为各 DSA 手术室及 ERCP 机房分别配备铅衣 3 件、铅橡胶围裙 3 件、铅防护眼镜 3 副、铅橡胶颈套 3 件、铅橡胶帽子 3 件及介入防护手套 3 副，拟为各 DSA 手术室及 ERCP 机房患者和受检者分别配备铅围裙 1 件、铅围脖 1 件、铅帽 1 个。经核实，职业人员将根据手术需要轮换开展工作，同时进入各 DSA 手术室及 ERCP 机房内的医护人员不超过 3 人，拟配备的个人防护用品能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求以及日常使用要求。另外，本项目每台 DSA 及 ERCP 装置均自带 1 个 0.5mmPb 防护吊屏、1 个 0.5mmPb 床侧防护帘。待配备相应的个人防护用品及辅助防护用品后，可满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第五款辐射防护要求。本项目各 DSA 手术室及 ERCP 机房拟配备防护器材详见下表。

表 12.2-3　本项目各 DSA 手术室及 ERCP 机房拟配备的防护用品一览表

机房	防护器材	防护名称及规格	工作人员	患者和受检者
各 DSA	个人防护用品	铅衣（0.5mmPb）	3 件	/

手术室及ERCP机房		铅防护眼镜（0.5mmPb）	3 副	/
		铅橡胶颈套（0.5mmPb）	3 件	1 件
		铅橡胶围裙（0.5mmPb）	3 件	1 件
		铅橡胶帽子（0.5mmPb）	3 件	1 件
		介入防护手套（0.025mmPb）	3 副	/
	辅助防护用品	床侧防护帘（0.5mmPb）	1 件	
		床侧防护帘（0.5mmPb）	1 件	
注：各 DSA 手术室、ERCP 机房拟配备防护用品一致。				

2、人员配置及培训、职业健康管理

根据医院提供资料，医院拟为本项目每台 DSA、ERCP 装置配备 4 名专职辐射工作人员，2 名医师，1 名护士，一名技师；DSA 装置项目共配备辐射工作人员 16 名，ERCP 装置配备工作人员 4 名，共配置 20 名辐射工作人员，所有人员均新招聘。医院拟组织 DSA 和 ERCP 射线装置所有辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行培训并考核合格后上岗，拟对辐射工作人员开展职业健康监护，定期安排其在有相应资质单位进行职业健康体检，并建立职业健康档案。

3、辐射监测仪器配备

医院拟新配备 1 台便携式辐射监测仪（全院除核医学工作场所外，其他场所共用），每个 DSA 手术室、ERCP 机房配备个人剂量报警仪 2 部。上岗前为辐射工作人员配备个人剂量计（委托个人剂量检测后由检测单位配发）；对于介入辐射工作人员存在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，同时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），对个人剂量计进行定期检测；待配备相关设备后，可满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第五款的辐射防护要求。

4、其他辐射安全措施

根据辐射防护“三原则”，医院拟在以下方面加强防护：

（1）操作中减少透视时间和减少摄片的次数，介入人员在操作时应尽量远离检查床。

（2）加强对介入人员的培训，包括放射防护的培训，参与介入的人员应该技术熟练、动作迅速，以减少病人和介入人员的剂量。

（3）所有在介入放射手术室内的工作人员都开展个人剂量监测，结合个人剂量数据采取措施，减少工作人员的受照剂量。

（4）配备的 DSA、ERCP 及配套设备必须符合国际或国家标准，满足各种特殊操作的要求，其性能必须与操作性质相符合；在保证图像质量的情况下，设备调节到满足低剂量的有效范围内。

（5）介入人员结合 DSA、ERCP 设备的特点，了解一些降低剂量的方法，比如采用小照射野、低频率脉冲透视等方法。

（6）加强 DSA、ERCP 设备的质量保证工作，设备的球管与发生器、透视和数字成像的性能以及其他相关设备应定期进行检修。

（7）临床介入手术时，介入医生站在 DSA、ERCP 床边操作，操作人员除个人防护用品（铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜及介入防护手套等）外，该屏蔽做到既不影响操作者的操作，又能达到防护目的，且能消毒。如：床侧立地防护屏、防护手术手套、床侧竖屏及床上防护屏、床下吊帘、床侧吊帘、床上防护覆盖板等。

DSA、ERCP 辐射安全与防护措施分布示意图分别见图 12.2-3~图 12.2-5。

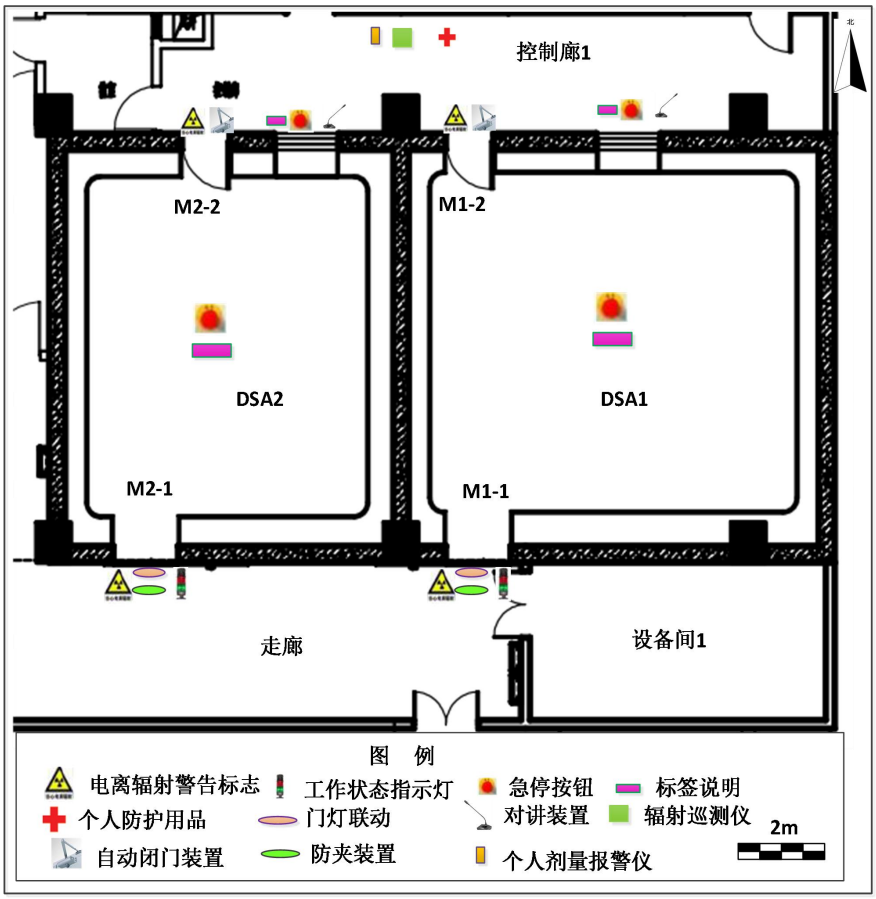


图 12.2-3　本项目 DSA1、DSA2 机房辐射安全与防护设施分布示意图

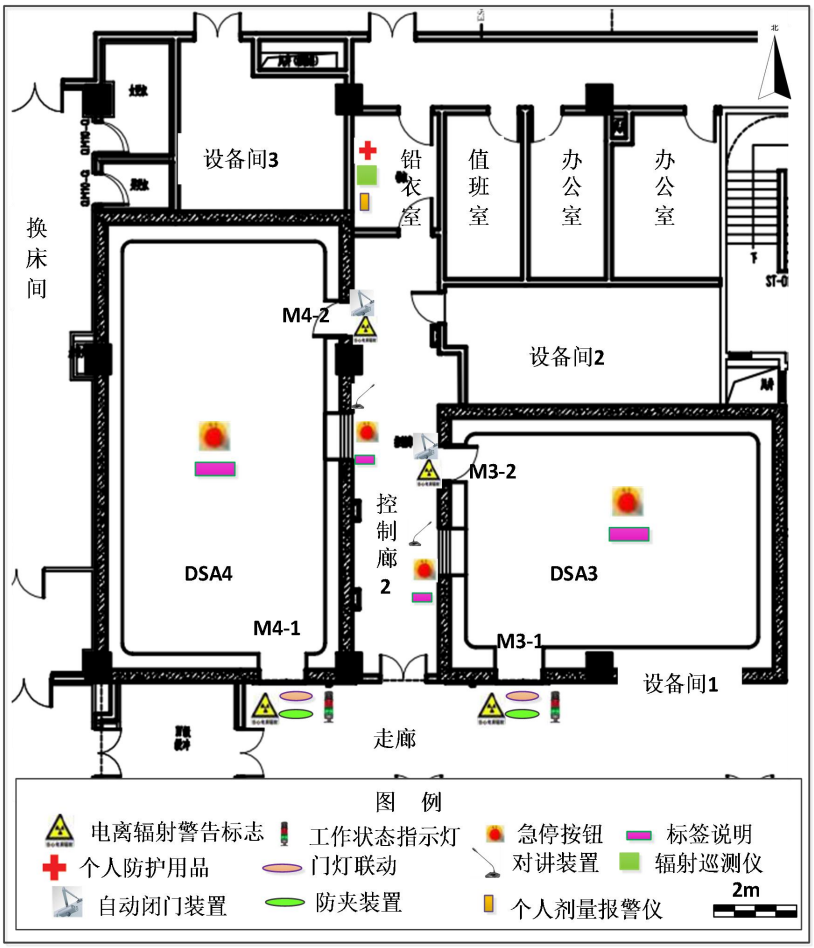


图 12.2-4　本项目 DSA3、DSA4 机房辐射安全与防护设施分布示意图

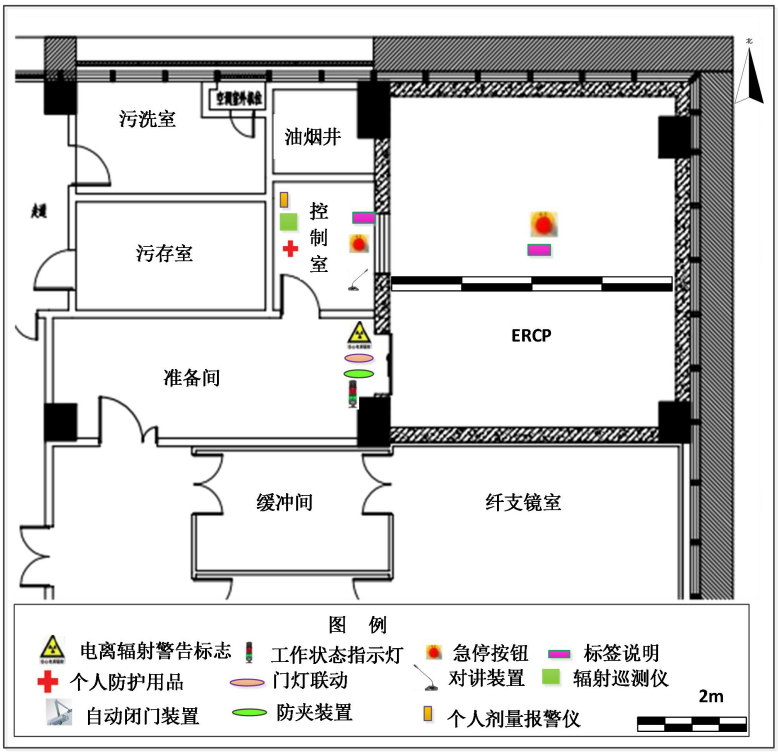


图 12.2-5　本项目 ERCP 机房辐射安全与防护设施分布示意图

12.2.3 三废的治理

1、废水

工作人员和部分病人产生的生活污水，由院内污水处理站统一处理达标后排至市政污水管网，对周围环境影响较小。

2、废气

医院拟为本项目 DSA、ERCP 机房配备动力通风系统，进风口拟位于顶部，排风口拟位于地面以上 30cm 处。机房内的空气在 X 射线作用下分解产生少量臭氧、氮氧化物等有害气体，通过通风系统由风井引至于楼顶排放，通风设计符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）第 6.4.3 款的规定，不会对周围环境和周围人员造成影响。

3、固体废物

本项目所使用的射线装置采用数码摄片方式，不使用传统的显、定影液洗片方式，不会有废显、定影液及废胶片等感光材料危险废物（编号：HW16）产生。

本项目 DSA、ERCP 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具、介入导丝、废造影剂、废造影剂瓶等医疗废物暂存在机房内的废物桶，手术结束后交医院现有医疗废物贮存点集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置。工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

在采取以上相关固体废物污染措施后，本项目 DSA、ERCP 手术产生的固体废物能得到合理处理，不会产生二次污染，不会对周边环境产生影响。

12.3 环境影响分析

12.3.1 运行阶段辐射环境影响分析

一、DSA 机房的屏蔽设计与标准要求的相符性分析评价

1、评价标准

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 3 规定，“C 形臂 X 射线设备机房有用线束方向铅当量 2mm；非有用线束方向铅当量 2mm”根据附录 C，DSA 机房、ERCP 机房按照管电压 125kV 计算，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C.1、C.2 公式进行计算。

2、本项目 DSA 机房各屏蔽部位的铅当量厚度核算

由表 12.3-3 可知，本项目 DSA 机房使用的屏蔽材料除铅板以外，还涉及混凝土、实心砖和铅玻璃。根据医院提供的材料，铅玻璃已给出具体铅当量，本项目按最大管电压 125kV 的极端条件核算 DSA 机房各屏蔽部位混凝土和实心砖的等效铅当量厚度。

按照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 b）给出的计算公式进行计算：

$$X=\frac{1}{\alpha\gamma}In\left(\frac{B^{-\gamma}+\frac{\beta}{\alpha}}{1+\frac{\beta}{\alpha}}\right) \qquad \text{公式 12-1}$$

式中：

X—给定屏蔽物质的铅厚度；

α、*β*、*γ*—铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

B—给定屏蔽物质的屏蔽透射因子，给定铅厚度的屏蔽透射因子 B 值对照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 a）相应要求采用给出的计算公式进行计算：

$$B=\left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X}-\frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \qquad \text{公式 12-2}$$

式中：

B—给定屏蔽物质的屏蔽透射因子；

X—不同屏蔽物质的厚度；

α、*β*、*γ*—给定屏蔽物质（本项目为混凝土和实心砖）对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见下表：

表 12.3-1　不同管电压工况下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	屏蔽材料	α	β	γ
125kV（主束）	铅	2.219	7.923	0.5386
	混凝土	0.03502	0.07113	0.6974
125kV（散射）	铅	2.233	7.888	0.7295
	混凝土	0.03510	0.06600	0.7832
	实心砖	0.02870	0.06700	1.346

本项目机房屏蔽部位涉及的混凝土和实心砖按公式 12-1、公式 12-2 和表 12.3-1 参数，计算其屏蔽透射因子 *B*、铅当量厚度，计算结果列于下表。

表 12.3-2　屏蔽透射因子 *B*、铅当量厚度计算结果

屏蔽体	屏蔽透射因子 *B*	铅当量厚度（mm）
260mm 混凝土（125kV 主束）	2.27E-05	3.56
260mm 混凝土（125kV 散射）	2.82E-05	3.76
280mm 混凝土（125kV 主束）	1.13E-05	3.87
280mm 混凝土（125kV 散射）	1.40E-05	4.08
370mm 实心砖（125kV 散射）	9.99E-06	4.23

3、屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性分析

根据前述各屏蔽材料的等效铅当量厚度核算情况，对本项目 DSA 机房屏蔽体等效铅当量进行汇总并进行评价，结果见下表：

表 12.3-3　各机房屏蔽体等效铅当量厚度核算及其与标准要求对比

设备	屏蔽体	屏蔽设计参数	等效铅当量（mm）	标准要求（铅当量）	评价结果
1#DSA	四面墙	370mm 实心砖	4.23	2.0mm	满足要求
	顶板（主束）	260mm 混凝土	3.56	2.0mm	满足要求
	底板	260mm 混凝土	3.76	2.0mm	满足要求
	防护门	内衬 4.0mm 铅板	4.0	2.0mm	满足要求
	观察窗	4.0mm 铅当量铅玻璃	4.0	2.0mm	满足要求
2#DSA	四面墙	370mm 实心砖	4.23	2.0mm	满足要求
	顶板（主束）	260mm 混凝土	3.56	2.0mm	满足要求
	底板	260mm 混凝土	3.76	2.0mm	满足要求
	防护门	内衬 4.0mm 铅板	4.0	2.0mm	满足要求

	观察窗	4.0mm 铅当量铅玻璃	4.0	2.0mm	满足要求
3#DSA	四面墙	370mm 实心砖	4.23	2.0mm	满足要求
	顶板（主束）	260mm 混凝土	3.56	2.0mm	满足要求
	底板	260mm 混凝土	3.76	2.0mm	满足要求
	防护门	内衬 4.0mm 铅板	4.0	2.0mm	满足要求
	观察窗	4.0mm 铅当量铅玻璃	4.0	2.0mm	满足要求
4#DSA	四面墙	370mm 实心砖	4.23	2.0mm	满足要求
	顶板（主束）	260mm 混凝土	3.56	2.0mm	满足要求
	底板	260mm 混凝土	3.76	2.0mm	满足要求
	防护门	内衬 4.0mm 铅板	4.0	2.0mm	满足要求
	观察窗	4.0mm 铅当量铅玻璃	4.0	2.0mm	满足要求
ERCP	四面墙	370mm 实心砖	4.23	2.0mm	满足要求
	顶板（主束）	280mm 混凝土	3.87	3.0mm	满足要求
	底板	280mm 混凝土	4.08	2.0mm	满足要求
	防护门	内衬 3.0mm 铅板	3.0	2.0mm	满足要求
	观察窗	3.0mm 铅当量铅玻璃	3.0	2.0mm	满足要求

由表 12.3-3 可知，本项目 DSA 机房、ERCP 机房的屏蔽体的等效铅当量满足 GBZ 130-2020 表 3 关于有用线束方向、非有用线束方向铅当量均不小于 2.0mmPb 的要求。

二、DSA 的辐射影响预测

为了进一步评价屏蔽辐射防护效果，采用理论预测的方法进行影响分析。本项目 DSA 设备有用线束方向朝上，介入手术过程中，DSA 图像增强器对 X 射线主束有屏蔽作用，NCRP147 号报告“Structural Shielding Design for Medical Imaging X-ray Facilities”4.1.6 节（Primary Barriers，P41-45）及 5.1 节（Cardiac Angiography，P72）指出，DSA、ERCP 屏蔽估算时不需要考虑主束照射。因此本项目 DSA、ERCP 需要屏蔽的辐射仅考虑泄漏辐射和散射辐射。本项目 DSA、ERCP 非有用线束的辐射影响构成情况见下表。

为了进一步评价屏蔽效果辐射防护效果，采用理论预测的方法进行影响分析。本项目 DSA、ERCP 辐射影响构成情况见表 12.3-4，DSA 计算点位示意图见图 12.3-1.1，ERCP 计算点位示意图见图 12.3-1.2。

表 12.3-4 本项目 DSA 辐射影响构成情况

操作模式	正常运行时最大工况	射线种类	辐射影响对象
摄影模式	80kV/500mA	散射线、漏射线	机房外公众 控制室操作人员
透视模式	80kV/20mA	散射线、漏射线	机房外公众 控制室操作人员 机房内介入手术操作人员

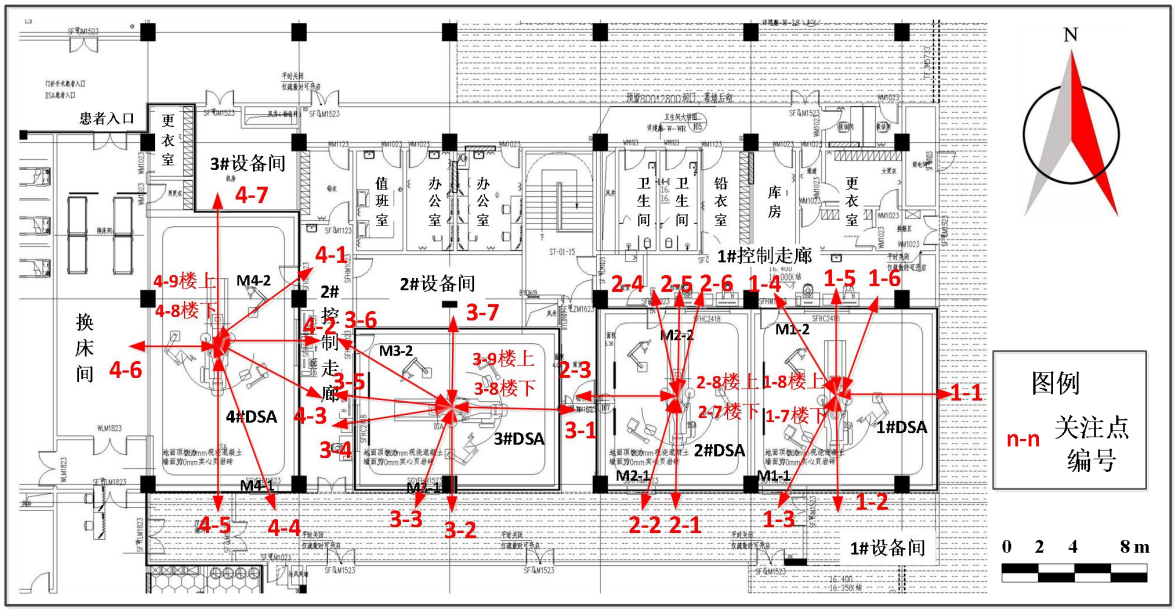


图 12.3-1.1 本项目 DSA 计算点位示意图

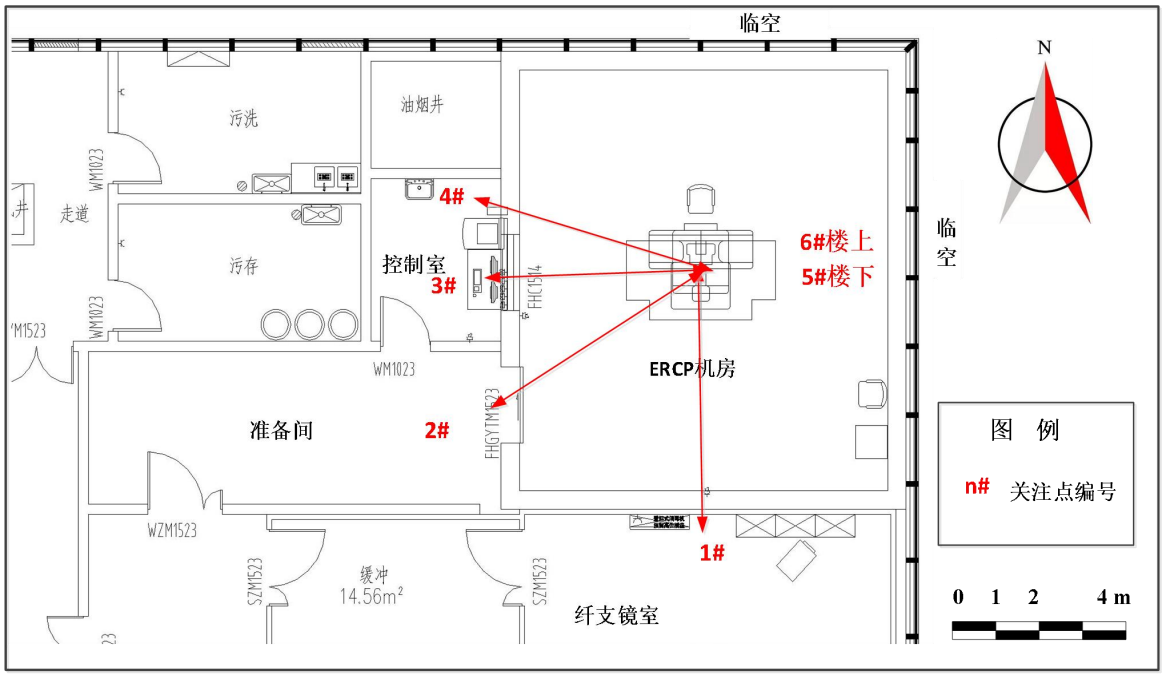


图 12.3-1.2 本项目 ERCP 计算点位示意图

1、关注点处散射辐射剂量率计算

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）给出的X射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的辐射剂量率 H_s 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取 1），继而在公式中增加“有效剂量与空气比释动能转换系数”修正因子，得到散射辐射有效剂量率计算公式：

$$H_s=\frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot d_s^2} \cdot K \qquad \text{公式 12-3}$$

式中：

Hs—关注点处散射辐射有效剂量率，μSv/h；

H_0—X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1 m 处由主束产生的比释动能率），mGy·m²/（mA·min）：本项目取 5mGy·m²/（mA·min），即 300000μGy·m²/（mA·h）；

I—管电流，mA；本项目透视、摄影模式下正常使用的最大管电流分别取 20mA、500mA；

a—人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，由《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 查取。本项目常用最大管电压为 80kV，对于散射线向机房四侧墙体投射的情况，从《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中采用内插法查取散射角 90º时 80kV 对应的 a 值为 0.0008；

S—主束在受照人体上的散射面积，考虑手术需要的最大照射面积约为 16cm×16cm，本项目取 256cm²；

d_0—源至受照点的距离，根据设备参数确定，本项目 d_0 取最小值 0.45m（符合 ICRP 33 号报告第 98 段关于使用固定式 X 线透视检查设备的焦皮距的要求）；

d_s—受照体至关注点的距离，m；

B_s——屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 12-2。

本项目 DSA 常用最大管电压约为 80kV（8 即 0.08MV），根据《辐射防护手册（第一分册）》的能量散射公式：

$$E=\frac{E_0}{1+\frac{E_0(1-\cos\theta)}{0.511}} \qquad \text{公式 12-4}$$

80kV 射线经过一次散射后的能量值约为 69.2kV，按 70kV 管电压从《放射诊断放

射防护要求》（GBZ130-2020）表 C.2 查铅的 X 射线辐射衰减有关的拟合参数α、β、γ值，见下表。

表 12.3-5　铅对 70kV 管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
70kV	5.369	23.49	0.5881

K—有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy；查《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）表 G.2，表中无 70kV 对应的数据，根据 60kV 和 80kV 数据使用内插法得管电压为 70kV 时有效剂量与空气比释动能转换系数为 1.60Sv/Gy；

将前述有关参数代入公式 12-3，计算透视和摄影模式下 DSA 机房外公众、控制室操作人员、机房内介入操作人员处散射辐射剂量率，计算结果见表 12.3-8。

表 12.3-6.1　DSA 机房关注点处散射辐射剂量率计算结果

关注点位置（点位编号）	操作模式	H_0	I	Bs	d_0	ds	Hs
		μGy•m²/（mA•h）	mA	/	m	m	μSv/h
DSA1 机房							
东墙外 30cm，走廊（1-1）	透视模式	300000	20	7.85E-12	0.45	5.2	7.05E-09
	摄影模式		500				1.76E-07
南墙外 30cm，设备间（1-2）	透视模式	300000	20	7.85E-12	0.45	5.1	7.33E-09
	摄影模式		500				1.83E-07
M1-1 外 30cm，走廊（1-3）	透视模式	300000	20	2.70E-11	0.45	6.1	1.76E-08
	摄影模式		500				4.40E-07
M1-2 外 30cm，走廊（1-4）	透视模式	300000	20	2.70E-11	0.45	6.4	1.60E-08
	摄影模式		500				4.00E-07
观察窗外 30cm，控制室（1-5）	透视模式	300000	20	2.70E-11	0.45	5.1	2.52E-08
	摄影模式		500				6.30E-07
北墙外 30cm，控制室（1-6）	透视模式	300000	20	7.85E-12	0.45	5.2	7.05E-09
	摄影模式		500				1.76E-07
楼下，中医科集中候诊区（1-7）	透视模式	300000	20	9.79E-11	0.45	4.5	1.17E-07
	摄影模式		500				2.93E-06
楼上，楼顶平台（1-8）	透视模式	300000	20	2.86E-10		5.8	2.07E-07
	摄影模式		500				5.17E-06
DSA2 机房							

南墙外 30cm， 走廊（2-1）	透视模式	300000	20	7.85E-12	0.45	5.1	7.33E-09
	摄影模式		500				1.83E-07
M2-1 外 30cm，设备间（2-2）	透视模式	300000	20	2.70E-11	0.45	5.6	2.09E-08
	摄影模式		500				5.22E-07
西墙外 30cm，走廊（2-3）	透视模式	300000	20	7.85E-12	0.45	4.5	9.41E-09
	摄影模式		500				2.35E-07
M2-2 外 30cm，控制室（2-4）	透视模式	300000	20	2.70E-11	0.45	5.3	2.33E-08
	摄影模式		500				5.83E-07
北墙外 30cm，控制室（2-5）	透视模式	300000	20	7.85E-12	0.45	5.1	7.33E-09
	摄影模式		500				1.83E-07
观察窗外 30cm，控制室（2-6）	透视模式	300000	20	2.70E-11	0.45	5.2	2.42E-08
	摄影模式		500				6.06E-07
楼下，中医科集中候诊区（2-7）	透视模式	300000	20	9.79E-11	0.45	4.5	1.17E-07
	摄影模式		500				2.93E-06
楼上，楼顶平台（2-8）	透视模式	300000	20	2.86E-10	0.45	5.8	2.07E-07
	摄影模式		500				5.17E-06
DSA3 机房							
东墙外 30cm，走廊（3-1）	透视模式	300000	20	7.85E-12	0.45	5.7	5.86E-09
	摄影模式		500				1.47E-07
南墙外 30cm，走廊（3-2）	透视模式	300000	20	7.85E-12	0.45	4.6	9.00E-09
	摄影模式		500				2.25E-07
M3-1 外 30cm，走廊（3-3）	透视模式	300000	20	2.70E-11	0.45	4.8	2.84E-08
	摄影模式		500				7.11E-07
观察窗外 30cm，控制室（3-4）	透视模式	300000	20	2.70E-11	0.45	5.7	2.02E-08
	摄影模式		500				5.04E-07
西墙外 30cm，控制室（3-5）	透视模式	300000	20	7.85E-12	0.45	5.8	5.66E-09
	摄影模式		500				1.42E-07
M3-2 外 30cm，控制室（3-6）	透视模式	300000	20	2.70E-11	0.45	6.7	1.46E-08
	摄影模式		500				3.65E-07
北墙外 30cm，设备间（3-7）	透视模式	300000	20	7.85E-12	0.45	4.6	9.00E-09
	摄影模式		500				2.25E-07
楼下，中医科集中候	透视模式	300000	20	9.79E-11	0.45	4.5	1.17E-07

诊区（3-8）	摄影模式		500				2.93E-06
楼上，楼顶平台（3-9）	透视模式	300000	20	2.86E-10	0.45	5.8	2.07E-07
	摄影模式		500				5.17E-06
DSA4 机房							
M4-2 外 30cm，控制室（4-1）	透视模式	300000	20	2.70E-11	0.45	6.1	1.76E-08
	摄影模式		500				4.40E-07
观察窗外 30cm，控制室（4-2）	透视模式	300000	20	2.70E-11	0.45	4.4	3.38E-08
	摄影模式		500				8.46E-07
东墙外 30cm，控制室（4-3）	透视模式	300000	20	7.85E-12	0.45	4.6	9.00E-09
	摄影模式		500				2.25E-07
M4-1 外 30cm， 走廊（4-4）	透视模式	300000	20	2.70E-11	0.45	8.1	9.98E-09
	摄影模式		500				2.50E-07
南墙外 30cm，走廊（4-5）	透视模式	300000	20	7.85E-12	0.45	7.6	3.30E-09
	摄影模式		500				8.25E-08
西墙外 30cm，换床间（4-6）	透视模式	300000	20	7.85E-12	0.45	4.4	9.84E-09
	摄影模式		500				2.46E-07
北墙外 30cm，设备间（4-7）	透视模式	300000	20	7.85E-12	0.45	7.6	3.30E-09
	摄影模式		500				8.25E-08
楼下，肿瘤药物调配间（4-8）	透视模式	300000	20	9.79E-11	0.45	4.5	1.17E-07
	摄影模式		500				2.93E-06
楼上，楼顶平台（4-9）	透视模式	300000	20	2.86E-10	0.45	5.8	2.07E-07
	摄影模式		500				5.17E-06

注：1、门急诊医技综合楼楼层高度：1 层：6.0m，2 层：5.2m，3 层：5.2m，4 层：5.8m。

2、DSA 楼上距离：d_s=5.8-1.0+1.0=5.8m ；楼下距离：d_s=5.2-1.7+1.0=4.5m，其他点位通过 CAD 图纸量取。

表 12.3-6.2　ERCP 机房关注点处散射辐射剂量率计算结果

关注点位置（点位编号）	操作模式	H_0	I	Bs	d_0	ds	Hs
		μGy•m²/（mA•h）	mA	/	m	m	μSv/h
南墙外 30cm，纤支镜室（1#）	透视模式	300000	20	8.79E-11	0.45	4.8	8.27E-09
	摄影模式		500				2.07E-07
防护门外 30cm，准备间（2#）	透视模式	300000	20	5.79E-09	0.45	5.1	5.41E-06
	摄影模式		500				1.35E-04
观察窗外 30cm，控	透视模式	300000	20	5.79E-09	0.45	4.3	7.61E-06

制室（3#）	摄影模式		500				1.90E-04
西墙外 30cm，控制室（4#）	透视模式	300000	20	8.79E-11	0.45	4.5	9.41E-09
	摄影模式		500				2.35E-07
楼下，1 楼体检等候区（5#）	透视模式	300000	20	1.34E-11	0.45	5.3	4.87E-08
	摄影模式		500				1.22E-06
楼上，3 楼空调机房（6#）	透视模式	300000	20		0.45	5.2	1.52E-08
	摄影模式		500				3.79E-07

注：1、门急诊医技综合楼楼层高度：1 层 6.0m，2 层 5.2m，3 层 5.2m，4 层 5.8m。

2、ERCP 楼上距离：d_s=5.2-1.0+1.0=5.2m ；楼下距离：d_s=6.0-1.7+1.0=5.3m，其他点位通过 CAD 图纸量取。

2、关注点处泄漏辐射剂量率计算

DSA 泄漏辐射剂量率 $\dot{H}_L$ 采用下式计算：

$$\dot{H}_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \cdot K \qquad \text{公式 12-5}$$

式中：

H_i—距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，mGy/h；本项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取 1.0mGy/h。

r—源至关注点的距离，m；

B—DSA 机房、ERCP 机房各屏蔽体的泄漏射线屏蔽透射因子，根据公式 12-2 进行计算。

α、β、γ—铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；本项目 DSA 正常运行最大管电压 80kV，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 C.2 中相关数据，制作拟合曲线，由拟合曲线查取管电压为 80kV 时相应的α、β、γ 数值，见下表。

表 12.3-6　铅对 80kV 管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
80kV	3.722	21.356	0.699

K—有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy；查《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）表 G.2，管电压为 80kV 时有效剂量与空气比释动能转换系数取 1.67Sv/Gy。

将有关参数代入公式 12-5，计算 DSA 机房周围关注点处、机房内介入操作人员操

作位关注点处的泄漏辐射剂量率计算结果见表 12.3-7.1，ERCP 机房周围关注点处、机房内介入操作人员操作位关注点处的泄漏辐射剂量率计算结果见表 12.3-7.2。

表 12.3-7.1　DSA 机房关注点处漏射线辐射剂量率计算结果

关注点位置（点位编号）	H_l	r	B	$\dot{H}_L$
	mGy/h	m	/	μSv/h
DSA1 机房				
东墙外 30cm，走廊（1-1）	1	5.2	9.49E-09	5.86E-07
南墙外 30cm，设备间（1-2）	1	5.1	9.49E-09	6.09E-07
M1-1 外 30cm，走廊（1-3）	1	6.1	2.23E-08	1.00E-06
M1-2 外 30cm，走廊（1-4）	1	6.4	2.23E-08	9.11E-07
观察窗外 30cm，控制室（1-5）	1	5.1	2.23E-08	1.43E-06
北墙外 30cm，控制室（1-6）	1	5.2	9.49E-09	5.86E-07
楼下，中医科集中候诊区（1-7）	1	4.50	5.46E-08	4.50E-06
楼上，楼顶平台（1-8）		5.80	1.15E-07	5.70E-06
DSA2 机房				
南墙外 30cm，　走廊（2-1）	1	5.1	9.49E-09	6.09E-07
M2-1 外 30cm，设备间（2-2）	1	5.6	2.23E-08	1.19E-06
西墙外 30cm，走廊（2-3）	1	4.5	9.49E-09	7.82E-07
M2-2 外 30cm，控制室（2-4）	1	5.3	2.23E-08	1.33E-06
北墙外 30cm，控制室（2-5）	1	5.1	9.49E-09	6.09E-07
观察窗外 30cm，控制室（2-6）	1	5.2	2.23E-08	1.38E-06
楼下，中医科集中候诊区（2-7）	1	4.50	5.46E-08	4.50E-06
楼上，楼顶平台（2-8）		5.80	1.15E-07	5.70E-06
DSA3 机房				
东墙外 30cm，走廊（3-1）	1	5.7	9.49E-09	4.88E-07
南墙外 30cm，走廊（3-2）	1	4.6	9.49E-09	7.49E-07
M3-1 外 30cm，走廊（3-3）	1	4.8	2.23E-08	1.62E-06
观察窗外 30cm，控制室（3-4）	1	5.7	2.23E-08	1.15E-06
西墙外 30cm，控制室（3-5）	1	5.8	9.49E-09	4.71E-07
M3-2 外 30cm，控制室（3-6）	1	6.7	2.23E-08	8.31E-07
北墙外 30cm，设备间（3-7）	1	4.6	9.49E-09	7.49E-07
楼下，中医科集中候诊区（3-8）	1	4.50	5.46E-08	4.50E-06

楼上，楼顶平台（3-9）		5.80	9.49E-09	5.70E-06
DSA4 机房				
M4-2 外 30cm，控制室（4-1）	1	6.1	5.46E-08	1.00E-06
观察窗外 30cm，控制室（4-2）	1	4.4	2.23E-08	1.93E-06
东墙外 30cm，控制室（4-3）	1	4.6	9.49E-09	7.49E-07
M4-1 外 30cm， 走廊（4-4）	1	8.1	2.23E-08	5.68E-07
南墙外 30cm，走廊（4-5）	1	7.6	9.49E-09	2.74E-07
西墙外 30cm，换床间（4-6）	1	4.4	9.49E-09	8.18E-07
北墙外 30cm，设备间（4-7）	1	7.6	9.49E-09	2.74E-07
楼下，肿瘤药物调配间（4-8）	1	4.50	5.46E-08	4.50E-06
楼上，楼顶平台（4-9）		5.80	1.15E-07	5.70E-06

注：r 值同表 12.3-6.1 中 *ds*。

表 12.3-7.2 ERCP 机房关注点处漏射线辐射剂量率计算结果

关注点位置（点位编号）	H_l	r	B	$\dot{H}_L$
	mGy/h	m	/	μSv/h
南墙外 30cm，纤支镜室（1#）	1	4.8	7.85E-12	5.69E-10
防护门外 30cm，准备间（2#）	1	5.1	5.79E-09	3.72E-07
观察窗外 30cm，控制室（3#）	1	4.3	5.79E-09	5.23E-07
西墙外 30cm，控制室（4#）	1	4.5	7.85E-12	6.47E-10
楼下，1 楼体检等候区（5#）	1	5.20	5.42E-11	3.35E-09
楼上，3 楼空调机房（6#）		5.30	1.66E-08	9.86E-07

注：r 值同表 12.3-6.2 中 *ds*。

4、 关注点处预测计算结果汇总

根据上述计算结果，对 DSA 机房外各关注点处的辐射剂量率理论估算结果进行汇总，见表 12.3-10。

表 12.3-8.1 DSA 机房关注点处辐射剂量率计算结果

关注点位置（点位编号）	使用模式	辐射剂量率（μSv/h）		辐射剂量率合计（μSv/h）
		散射线	漏射线	
DSA1 机房				
东墙外 30cm，走廊（1-1）	透视	7.05E-09	5.86E-07	5.93E-07
	摄影	1.76E-07	5.86E-07	7.62E-07
南墙外 30cm，设备间	透视	7.33E-09	6.09E-07	6.16E-07

（1-2）	摄影	1.83E-07	6.09E-07	7.92E-07
M1-1 外 30cm，走廊（1-3）	透视	1.76E-08	1.00E-06	1.02E-06
	摄影	4.40E-07	1.00E-06	1.44E-06
M1-2 外 30cm，走廊（1-4）	透视	1.60E-08	9.11E-07	9.27E-07
	摄影	4.00E-07	9.11E-07	1.31E-06
观察窗外 30cm，控制室（1-5）	透视	2.52E-08	1.43E-06	1.46E-06
	摄影	6.30E-07	1.43E-06	2.06E-06
北墙外 30cm，控制室（1-6）	透视	7.05E-09	5.86E-07	5.93E-07
	摄影	1.76E-07	5.86E-07	7.62E-07
楼下，中医科集中候诊区（1-7）	透视	1.17E-07	4.50E-06	4.62E-06
	摄影	2.93E-06	4.50E-06	7.43E-06
楼上，楼顶平台（1-8）	透视	2.07E-07	5.70E-06	5.91E-06
	摄影	5.17E-06	5.70E-06	1.09E-05
DSA2 机房				
南墙外 30cm， 走廊（2-1）	透视	7.33E-09	6.09E-07	6.16E-07
	摄影	1.83E-07	6.09E-07	7.92E-07
M2-1 外 30cm，设备间（2-2）	透视	2.09E-08	1.19E-06	1.21E-06
	摄影	5.22E-07	1.19E-06	1.71E-06
西墙外 30cm，走廊（2-3）	透视	9.41E-09	7.82E-07	7.92E-07
	摄影	2.35E-07	7.82E-07	1.02E-06
M2-2 外 30cm，控制室（2-4）	透视	2.33E-08	1.33E-06	1.35E-06
	摄影	5.83E-07	1.33E-06	1.91E-06
北墙外 30cm，控制室（2-5）	透视	7.33E-09	6.09E-07	6.16E-07
	摄影	1.83E-07	6.09E-07	7.92E-07
观察窗外 30cm，控制室（2-6）	透视	2.42E-08	1.38E-06	1.40E-06
	摄影	6.06E-07	1.38E-06	1.98E-06
楼下，中医科集中候诊区（2-7）	透视	1.17E-07	4.50E-06	4.62E-06
	摄影	2.93E-06	4.50E-06	7.43E-06
楼上，楼顶平台（2-8）	透视	2.07E-07	5.70E-06	5.91E-06
	摄影	5.17E-06	5.70E-06	1.09E-05
DSA3 机房				
东墙外 30cm，走廊（3	透视	5.86E-09	4.88E-07	4.94E-07

-1）	摄影	1.47E-07	4.88E-07	6.34E-07	
南墙外 30cm，走廊（3-2）	透视	9.00E-09	7.49E-07	7.58E-07	
	摄影	2.25E-07	7.49E-07	9.74E-07	
M3-1 外 30cm，走廊（3-3）	透视	2.84E-08	1.62E-06	1.65E-06	
	摄影	7.11E-07	1.62E-06	2.33E-06	
观察窗外 30cm，控制室（3-4）	透视	2.02E-08	1.15E-06	1.17E-06	
	摄影	5.04E-07	1.15E-06	1.65E-06	
西墙外 30cm，控制室（3-5）	透视	5.66E-09	4.71E-07	4.77E-07	
	摄影	1.42E-07	4.71E-07	6.13E-07	
M3-2 外 30cm，控制室（3-6）	透视	1.46E-08	8.31E-07	8.45E-07	
	摄影	3.65E-07	8.31E-07	1.20E-06	
北墙外 30cm，设备间（3-7）	透视	9.00E-09	7.49E-07	7.58E-07	
	摄影	2.25E-07	7.49E-07	9.74E-07	
楼下，中医科集中候诊区（3-8）	透视	1.17E-07	4.50E-06	4.62E-06	
	摄影	2.93E-06	4.50E-06	7.43E-06	
楼上，楼顶平台（3-9）	透视	2.07E-07	5.70E-06	5.91E-06	
	摄影	5.17E-06	5.70E-06	1.09E-05	
M4-2 外 30cm，控制室（4-1）	透视	1.76E-08	1.00E-06	1.02E-06	
	摄影	4.40E-07	1.00E-06	1.44E-06	
DSA4 机房					
观察窗外 30cm，控制室（4-2）	透视	3.38E-08	1.93E-06	1.96E-06	
	摄影	8.46E-07	1.93E-06	2.77E-06	
东墙外 30cm，控制室（4-3）	透视	9.00E-09	7.49E-07	7.58E-07	
	摄影	2.25E-07	7.49E-07	9.74E-07	
M4-1 外 30cm， 走廊（4-4）	透视	9.98E-09	5.68E-07	5.78E-07	
	摄影	2.50E-07	5.68E-07	8.18E-07	
南墙外 30cm，走廊（4-5）	透视	3.30E-09	2.74E-07	2.78E-07	
	摄影	8.25E-08	2.74E-07	3.57E-07	
西墙外 30cm，换床间（4-6）	透视	9.84E-09	8.18E-07	8.28E-07	
	摄影	2.46E-07	8.18E-07	1.06E-06	
北墙外 30cm，设备间（4-7）	透视	3.30E-09	2.74E-07	2.78E-07	
	摄影	8.25E-08	2.74E-07	3.57E-07	

楼下，肿瘤药物调配间（4-8）	透视	1.17E-07	4.50E-06	4.62E-06
	摄影	2.93E-06	4.50E-06	7.43E-06
楼上，楼顶平台（4-9）	透视	2.07E-07	5.70E-06	5.91E-06
	摄影	5.17E-06	5.70E-06	1.09E-05

根据上述计算结果，对 ERCPP 机房外各关注点处的辐射剂量率理论估算结果进行汇总，见表 12.3-8.2。

表 12.3-8.2　　ERCP 机房关注点处辐射剂量率计算结果

关注点位置（点位编号）	使用模式	辐射剂量率（μSv/h）		辐射剂量率合计（μSv/h）
		散射线	漏射线	
南墙外 30cm，纤支镜室（1#）	透视	8.27E-09	5.69E-10	8.84E-09
	摄影	2.07E-07	5.69E-10	2.07E-07
防护门外 30cm，准备间（2#）	透视	5.41E-06	3.72E-07	5.78E-06
	摄影	1.35E-04	3.72E-07	1.36E-04
观察窗外 30cm，控制室（3#）	透视	7.61E-06	5.23E-07	8.13E-06
	摄影	1.90E-04	5.23E-07	1.91E-04
西墙外 30cm，控制室（4#）	透视	9.41E-09	6.47E-10	1.01E-08
	摄影	2.35E-07	6.47E-10	2.36E-07
楼下，1 楼体检等候区（5#）	透视	4.87E-08	3.35E-09	5.20E-08
	摄影	1.22E-06	3.35E-09	1.22E-06
楼上，3 楼空调机房（6#）	透视	1.52E-08	9.86E-07	1.00E-06
	摄影	3.79E-07	9.86E-07	1.37E-06

由表 12.3-8.1、12.3-8.2 可知，本项目机房内 DSA、ERCP 正常运行时，在经机房墙体、防护门等屏蔽防护后，透视、摄影模式下各机房边界周围剂量率均能满足不大于 2.5μSv/h 的剂量率控制水平要求。本项目 DSA 机房屏蔽能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

三、辐射工作人员及周围公众年有效剂量估算：

1、年有效剂量估算模式：

（1）DSA 机房、ERCP 机房内辐射工作人员年有效剂量

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）6.2.4，双剂量计有效剂量估算可参考以下公式：

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \qquad \text{公式 12-6}$$

式中：

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 0.100；

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

（2）DSA 机房、ERCP 机房外辐射工作人员及周围公众年有效剂量

采用联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）2000 年报告附录 A 中的计算公式进行估算：

$$H_{Er} = H_r \times T \times t \qquad \text{公式12-7}$$

式中：

H_r—关注点处辐射剂量率，μSv/h；

t—年照射时间，h；根据医院提供的资料，本项目DSA、ERCP透视和摄影年照射时间分别取100h和4.17h（见本报告表12.1-3）；

T—居留因子；居留因子选取参考《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）附录 A。

2、DSA 机房、ERCP 机房内辐射工作人员年有效剂量

根据医院提供资料，本项目医师和护士在机房内进行介入手术，技师仅在机房外控制室内进行设备操作。摄影时，除非必要，职业人员尽量不在机房室内停留。透视时，医师在机房内近台操作，技师不在机房内停留，护士尽量不在机房内停留。在机房内停留的职业人员穿戴铅衣、铅围脖、铅帽、铅眼镜以及介入防护手套等辐射防护用品。

本次评价采用类比监测的方法评价职业人员可能接受的辐射年有效剂量。本项目 DSA 装置的最大管电压 125kV、最大管电流 1000mA。

本次评价采用潍坊市中医院 Innova IGS 520 型 DSA 装置（最大管电压 125kV、最大管电流 1000mA）运行时的检测数据进行类比，其主射束照射方向均为主要向上照射，该 DSA 装置最大管电压、最大管电流与本项目 DSA、ERCP 装置参数相同，透视和减影状态下有自动控制功能，散射模体为标准水模+1.5mm 铜板，其检测时减影状态下检测条件为：管电压 112kV、管电流 427mA，透视状态下检测条件为：管电压 86kV、管

电流 176mA。同时根据医院提供的资料，本项目正常开展介入手术时的工况与类比项目运行时相近，DSA 和 ERCP 工作时会根据患者胖瘦自动调节电压及电流，并留有一定余量，一般不超过本次检测工况。防护铅屏为 0.5mmPb 当量，与本项目配备防护铅屏一致，类比结果可作为本项目运行后的最大剂量率参考。因此具有较好的类比性。

监测日期：2023 年 10 月 7 日。

监测单位：潍坊正沅环境检测有限公司。

检测报告编号：正沅检(2023)第 218 号。

检测仪器为便携式 X-γ剂量率仪，型号：HD-2005 型，编号为 F12032，检定证书编号：Y16-20231606，检定有效期：2023 年 07 月 13 日～2024 年 07 月 12 日。

仪器技术指标：测量范围：（1～100000）×10^{-8}Gy/h；能量响应：25keV～3MeV，极限偏差±15%；对宇宙射线的能量响应：极限偏差±15%；剂量率指示的固有误差：≤±10%；角响应：极限偏差±15%，（^{137}Cs，0°～150°相对于最大响应数值）；长期稳定性：≤±5%（连续工作 8 小时）；使用环境：湿度≤90%（-10℃～+40℃）。

各部位辐射水平监测结果见表 9-4。

表 12.3-9　Innova IGS 520 型 DSA 辐射工作人员操作位 X 射线辐射剂量率监测结果

监测点位		X 射线辐射剂量率（μSv/h）	
		透视（86kV、176mA）	摄影（112kV、427mA）
胸部	铅衣外	9888.5	15929.2
	铅衣内	1109.5	1780.6
腹部	铅衣外	8138.7	11330.4
	铅衣内	891.4	1435.6
手部	未戴手套	16275.1	20484.4
下肢	铅衣外	5139.1	8003.4
	铅衣内	70	1367.0
眼部	铅眼镜外	4117.8	6328.8
	铅眼镜内	501.6	927.3

职业人员所受剂量根据上表中腹部铅衣内和铅衣外剂量率进行估算。根据表 12.3-10，DSA、ERCP 介入室内职业人员可能接受的最大年有效剂量为：0.79×[（1109.5×100+1780.6×4.17）×1÷100000]+0.051×[（9888.5×100+15929.2×4.17）×1÷100000]≈1.47mSv/a。

职业人员四肢年当量剂量为：（16275.1×100+20484.4×4.17）1÷100000≈17.13mSv/a。

职业人员眼部年当量剂量为：（501.6×100+927.3×4.17）×1÷100000≈0.54mSv/a。

综上，本项目 DSA、ERCP 介入室内职业人员年有效剂量最大值为 1.47mSv，四肢年当量剂量最大值为 17.13mSv，眼部年当量剂量最大值为 0.54mSv，分别满足本评价采用的职业人员年剂量管理目标值不超过 5.0mSv、四肢不超过 125mSv、眼晶体不超过 37.5mSv 的管理要求。

3、DSA 机房、ERCP 机房外辐射工作人员及周围公众年有效剂量

将有关参数代入公式 12-7，根据表 12.3-8.1 的计算结果估算 DSA 机房四周公众及控制室辐射工作人员的年附加剂量，见下表。

表 12.3-10.1　DSA 机房四周公众及控制室辐射工作人员的年附加剂量

关注点位置	射线类型	T（h）	T	辐射剂量率（μSv/h）	年有效剂量（mSv/a）	人员类型
DSA1 机房						
东墙外 30cm，走廊（1-1）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	5.93E-07	1.56E-08	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	7.62E-07		
南墙外 30cm，设备间（1-2）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	6.16E-07	1.62E-08	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	7.92E-07		
M1-1 外 30cm，走廊（1-3）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	1.02E-06	2.70E-08	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	1.44E-06		
M1-2 外 30cm，走廊（1-4）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	9.27E-07	2.45E-08	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	1.31E-06		
观察窗外 30cm，控制室（1-5）	散射线+漏射线（透视）	100	1	1.46E-06	1.55E-07	辐射工作人员
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1	2.06E-06		
北墙外 30cm，控制室（1-6）	散射线+漏射线（透视）	100	1	5.93E-07	6.25E-08	辐射工作人员
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1	7.62E-07		
楼下，中医科集中候诊区（1-7）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	4.62E-06	1.23E-07	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	7.43E-06		
楼上，楼顶平台（1-8）	散射线+漏射线（透视）	100	1/40	5.91E-06	1.59E-08	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/40	1.09E-05		
DSA2 机房						
南墙外 30cm，走廊（2	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	6.16E-07	1.62E-08	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	7.92E-07		

-1）						
M2-1 外 30cm，设备间（2-2）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	1.21E-06	3.20E-08	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	1.71E-06		
西墙外 30cm，走廊（2-3）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	7.92E-07	2.09E-08	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	1.02E-06		
M2-2 外 30cm，控制室（2-4）	散射线+漏射线（透视）	100	1	1.35E-06	1.43E-07	辐射工作人员
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1	1.91E-06		
北墙外 30cm，控制室（2-5）	散射线+漏射线（透视）	100	1	6.16E-07	6.50E-08	辐射工作人员
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1	7.92E-07		
观察窗外 30cm，控制室（2-6）	散射线+漏射线（透视）	100	1	1.40E-06	1.49E-07	辐射工作人员
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1	1.98E-06		
楼下，中医科集中候诊区（2-7）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	4.62E-06	1.23E-07	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	7.43E-06		
楼上，楼顶平台（2-8）	散射线+漏射线（透视）	100	1/40	5.91E-06	1.59E-08	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/40	1.09E-05		
DSA3 机房						
东墙外 30cm，走廊（3-1）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	4.94E-07	1.30E-08	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	6.34E-07		
南墙外 30cm，走廊（3-2）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	7.58E-07	2.00E-08	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	9.74E-07		
M3-1 外 30cm，走廊（3-3）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	1.65E-06	4.36E-08	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	2.33E-06		
观察窗外 30cm，控制室（3-4）	散射线+漏射线（透视）	100	1	1.17E-06	1.24E-07	辐射工作人员
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1	1.65E-06		
西墙外 30cm，控制室（3-5）	散射线+漏射线（透视）	100	1	4.77E-07	5.02E-08	辐射工作人员
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1	6.13E-07		
M3-2 外 30cm，控制室（3-6）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	8.45E-07	2.24E-08	辐射工作人员
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	1.20E-06		
北墙外 30cm，设备间（3	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	7.58E-07	2.00E-08	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	9.74E-07		

-7）						
楼下，中医科集中候诊区（3-8）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	4.62E-06	1.23E-07	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	7.43E-06		
楼上，楼顶平台（3-9）	散射线+漏射线（透视）	100	1/40	5.91E-06	1.59E-08	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/40	1.09E-05		
DSA4 机房						
M4-2 外 30cm，控制室（4-1）	散射线+漏射线（透视）	100	1	1.02E-06	1.08E-07	辐射工作人员
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1	1.44E-06		
观察窗外 30cm，控制室（4-2）	散射线+漏射线（透视）	100	1	1.96E-06	2.08E-07	辐射工作人员
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1	2.77E-06		
东墙外 30cm，控制室（4-3）	散射线+漏射线（透视）	100	1	7.58E-07	7.98E-08	辐射工作人员
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1	9.74E-07		
M4-1 外 30cm， 走廊（4-4）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	5.78E-07	1.53E-08	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	8.18E-07		
南墙外 30cm，走廊（4-5）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	2.78E-07	7.31E-09	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	3.57E-07		
西墙外 30cm，换床间（4-6）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	8.28E-07	2.18E-08	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	1.06E-06		
北墙外 30cm，设备间（4-7）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	2.78E-07	7.31E-09	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	3.57E-07		
楼下，肿瘤药物调配间（4-8）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	4.62E-06	1.23E-07	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	7.43E-06		
楼上，楼顶平台（4-9）	散射线+漏射线（透视）	100	1/40	5.91E-06	1.59E-08	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/40	1.09E-05		

将有关参数代入公式 12-7，根据表 12.3-8.2 的计算结果估算 ERCP 机房四周公众及控制室辐射工作人员的年附加剂量，见下表。

表 12.3-10.2　ERCP 机房四周公众及控制室辐射工作人员的年附加剂量

关注点位置	射线类型	T（h）	T	辐射剂量率（μSv/h）	年有效剂量（mSv/a）	人员类型
南墙外 30c	散射线+漏射线（透视）	100	1	8.84E-09	1.75E-09	公众

m，纤支镜室（1#）	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1	2.07E-07		
防护门外 30cm，准备间（2#）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	5.78E-06	2.86E-07	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	1.36E-04		
观察窗外 30cm，控制室（3#）	散射线+漏射线（透视）	100	1	8.13E-06	1.61E-06	辐射工作人员
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1	1.91E-04		
西墙外 30cm，控制室（4#）	散射线+漏射线（透视）	100	1	1.01E-08	1.99E-09	辐射工作人员
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1	2.36E-07		
楼下，1 楼体检等候区（5#）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	5.20E-08	2.57E-09	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	1.22E-06		
楼上，3 楼空调机房（6#）	散射线+漏射线（透视）	100	1/4	1.00E-06	2.64E-08	公众
	散射线+漏射线（摄影）	4.17	1/4	1.37E-06		

由表 12.3-10.1、12.3-10.2 可知，本项目 DSA 机房及 ERCP 机房控制室工作人员年附加剂量均满足职业照射剂量限值（20mSv）及项目管理目标年有效剂量约束值（5mSv）的要求，DSA 机房及 ERCP 机房周围公众年附加剂量均满足公众剂量限值（1mSv）及项目管理目标年有效剂量约束值（0.1mSv）的要求。

对于介入手术，由于其实际工作中 DSA 透视工况及操作时间的不确定性，辐射工作人员需要依靠佩戴个人剂量计进行跟踪性监测才能准确的测定其受照剂量的大小，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）要求进行佩戴，医院应加强对介入手术工作人员的个人剂量监测管理，在日常检测中发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生部门调查处理。介入手术工作人员均按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）穿戴防护用品（铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等），并充分利用自带的铅悬挂防护屏及床侧防护帘等做好自身防护，确保其年有效剂量满足标准限值要求。

4、控制室的辐射叠加影响分析

DSA1 机房与 DSA2 机房共用控制廊 1，DSA3 机房与 DSA4 机房共用控制廊 2，需考虑机房之间的辐射叠加影响，通过表 12.3-10.1 分析可知，DSA1 在控制廊内最大年有效剂量为 1.55E-07mSv，DSA2 在控制廊内最大年有效剂量为 1.49E-07mSv，叠加后控制廊 1 内年有效剂量为 3.04E-07mSv；DSA3 在控制廊 2 内最大年有效剂量为 1.2

4E-07mSv，DSA4 在控制廊 2 内最大年有效剂量为 2.08E-07mSv，叠加后控制廊 2 内年有效剂量为 3.32E-07mSv；能满足辐射工作人员 5mSv/a 项目管理目标的要求。

5、环境保护目标处公众成员年有效剂量

本项目 DSA 机房周围 50m 评价范围内存在 3 处保护目标，为综合住院楼 1（西侧 15m）、综合住院楼 2（东侧 30m）；由表 12.3-10.1 可知，DSA 机房外公众成员所受年有效剂量最大为 1.23E-07mSv/a，项目保护目标距场所最近距离约 15m，距离较远，剂量率随距离而衰减，经墙体屏蔽和距离衰减，对保护目标处公众辐射影响较小，也低于本评价采用的公众人员 0.1mSv 年管理剂量约束值。

本项目 ERCP 机房周围 50m 评价范围内存在 1 处保护目标，为综合住院楼 2（上方 11m）,由表 12.3-10.2 可知，ERCP 机房外公众成员所受年有效剂量最大为 2.86E-07mSv/a，项目保护目标距场所最近距离约 11m，距离较远，剂量率随距离而衰减，经墙体屏蔽和距离衰减，对保护目标处公众辐射影响较小，也低于本评价采用的公众人员 0.1 mSv 年管理剂量约束值。

综上所述，根据上述理论估算结果，本项目 DSA、ERCP 机房在经实体屏蔽后，对 DSA、ERCP 机房外辐射工作人员和周围公众的环境影响较小，同时在开展介入工作时，在采取有效的辐射防护措施和医院良好的管理情况下，辐射工作人员的年有效剂量可以满足标准限值要求。四、三废的治理评价

1、废水

本项目工作人员和部分病人产生的生活污水，由院内污水处理站统一处理。

2、废气

本项目 DSA 机房、ERCP 机房内拟配备通风系统，进风口拟位于机房顶部，排风口拟位于地面以上 30cm 处，进风和排风管道拟设计于天花板上方。机房内的空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过通风系统排入大气，臭氧常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

3、固体废物

本项目所使用的射线装置采用数码摄片方式，不使用传统的显、定影液洗片方式，不会有废显、定影液及废胶片等感光材料危险废物（编号：HW16）产生。

本项目 DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具、介入导丝、废造影剂、废造影剂瓶等医疗废物暂存在机房内的废物桶，手术结束后交医院现有医疗废物贮存

点集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置。工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

在采取以上相关固体废物污染措施后，本项目固体废物能得到合理处理，不会产生二次污染，不会对周边环境产生影响。

12.3.2 事故影响分析

本项目 DSA、ERCP 为II类射线装置，在射线装置开展医疗诊断和介入治疗过程中，如果不被安全管理或可靠保护，可能对误入机房的受照人员产生较严重放射损伤。

一、可能的辐射事故（件）情形

1、机房局部屏蔽厚度不能满足辐射安全需要，造成辐射工作人员和公众受到误照射。

2、DSA 和 ERCP 装置不能正常关机，导致进入介入室内的辐射工作人员和公众成员受到误照射。

3、监视器、工作状态指示灯、紧急停机按钮、电离辐射警告标志等防护设施不完善或失灵，或者防护门发生故障，导致人员误入或停留介入室内而造成误照射。

4、DSA 和 ERCP 机房内辐射工作人员不按要求佩戴个人防护用品，造成不必要照射。

5、误设置照射参数，造成超剂量照射。

二、可能的辐射事故（件）防范措施

1、严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果辐射水平监测结果表明防护墙外局部偏高，可适当增加局部防护墙厚度。依照本次环评评价结果看，DSA 和 ERCP 机房的屏蔽墙厚度均能满足防护要求，假如日后由于某些特殊原因导致局部屏蔽墙防护能力下降，应及时增加防护厚度。

2、射线装置均配有紧急停止按钮，医院应定期进行射线装置检修和维护，及时发现问题，如超过使用年限，应停止使用。

3、制定自检制度，且严格进行经常性自查，如发现闭门装置、门灯联动装置、紧急停机按钮、监视器、工作状态指示灯、电离辐射警告标志等防护设施不够完善或失灵，或防护门出现故障，应及时检修和维护。定期进行门灯联动装置、工作状态指示灯检查，防止人员误入。

4、完善 DSA 和 ERCP 装置的安全操作规程，加强人员培训；配备铅衣等防护用

品。

5、本项目 DSA 和 ERCP 装置可根据患者的被检部位，自动设置照射管电压和管电流。医院定期检查和检测 DSA 和 ERCP 装置性能，并定期进行设备维护。

依照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的规定，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。本项目 DSA、ERCP 射线装置运行期间的最大可信事故为射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射，属于一般辐射事故。

医院拟根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，并在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，同时向卫生健康行政主管部门报告；并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康行政主管部门报告。

医院拟加强管理，严格执行射线装置的操作规程及工作场所分区管理要求，定期监测射线工作场所的辐射环境剂量率等，确保辐射工作场所安全。当发生或发现辐射事故后，当事人应立即向所在单位的辐射安全负责人报告，启动辐射事故应急预案。

表 13　辐射安全管理

13.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

1、管理机构

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及生态环境主管部门的要求，医院已成立了辐射安全领导小组，签订了辐射工作安全责任书，并配备了辐射安全管理人员，负责辐射安全与环境保护工作。医院明确了领导小组成员及各自职责，由该领导小组负责全院辐射安全防护管理工作。根据医院发展的需要应不断的进行完善。

2、职业人员

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，本项目职业人员均应进行辐射安全与防护培训。

医院拟为本项目配备 55 名辐射工作人员专职从事相应放射诊疗工作，其中放疗中心 9 名（直线加速器 5 名，后装机 4 名）、核医学科 26 名（回旋加速器中心 4 名、放射性核素诊断项目 12 名、放射性核素治疗项目 10 名）、介入中心 DSA 项目 16 名、内镜中心 ERCP 项目 4 名，医院应组织其通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行相应培训并考核合格后上岗。

待本项目运行后，医院应视项目开展情况编配相应的职业人员，上岗前应根据工作安排组织其在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行相应培训并考核合格后上岗。医院应加强辐射工作人员管理，严禁安排未考核合格的人员从事辐射工作。

13.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等要求，滕州市中医医院已制定了《X 射线装置操作规程》、《设备检修维护制度》、《辐射防护安全和保卫管理制度》、《放射工作人员岗位职责》《人员培训制度》、《辐射工作人员培训计划》、《台账管理制度》等规章制度，规章制度中对辐射工作人员岗位责任、辐射防护和安全保卫、设备检修与使用等方面分别做出明确的要求和规定，保障从事辐射工作的人员和公众的健康与安全，保护环境。

本项目新增使用非密封放射性物质、乙级非密封放射性物质工作场所以及III类放射源（后装机）、II类射线装置（医用电子加速器），按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》以及生态环境主管部门的要求，医院应补充制定并完善《放射性核素订购、保管、

领取、使用登记制度》《放射性核素显像安全操作规程》《PET-CT/MRI 操作规程》、《PET-CT/MRI 质量控制规范》、《SPECT 操作规程》、《SPECT 质量控制规范》、《回旋加速器操作规程》、《回旋加速器岗位职责》、《回旋加速器质量控制规范》、《后装治疗机操作规程》、《后装治疗机岗位职责》、《后装治疗机使用登记制度》、《直线加速器操作规程》、《直线加速器质量控制规范》、《放射诊疗射线装置使用登记制度》、《DSA 操作规程》、《DSA 使用登记制度》、《ERCP 操作规程》、《ERCP 使用登记制度》《钼锝发生器操作规定》《岗位职责》《辐射防护与安全保卫制度》《设备检修维护制度》《放射性废物处理规定》《设备使用登记制度》《人员培训计划》《辐射工作人员个人剂量监测制度》《辐射工作人员职业健康管理制度》《辐射监测方案》《射线装置台账管理制度》《放射源台账管理制度》《自行检查和年度评估制度》及《辐射事故应急预案》等，以满足核技术应用项目的辐射安全管理要求。

按上述要求实施后，可满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关要求，具有从事《辐射安全许可证》所许可的范围内辐射活动的技术能力。

13.3 辐射监测

本项目投运前，医院拟配备 4 台表面污染检测仪、1 台便携式辐射监测仪为核医学科专用；拟配备 1 台便携式辐射监测仪为直线加速器、后装机、DSA 机房、ERCP 机房等场所共用。根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射治疗辐安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等要求，建议按照以下内容完善《辐射监测方案》：

一、辐射监测

辐射监测包括工作场所监测和个人剂量监测：

1、委托监测（验收监测、年度监测）：取得环评批复后，应及时重新申请辐射安全许可证，并委托有资质单位对项目周围辐射环境进行验收监测；联系有监测资质的机构定期对医院辐射工作场所进行年度监测。监测报告与年度评估报告一并上报生态环境部门。

2、自行监测：定期自行开展辐射监测，制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案。

3、应急监测：当有预期运行事件或异常情况下，为保证辐射安全和防止发生辐射污染进行必要的相关场所应急监测。

4、个人剂量检测：对工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超剂量约束值。

二、核医学工作场所监测

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求，应对核医学工作场所开展监测，监测方案详见表 13-1。

表 13-1　应用非密封放射性物质工作场所监测方案

监测内容	采样（监测）布点	监测频次
γ辐射水平	核素使用相关场所、衰变池上方、衰变箱外表面、核医学工作场所周围、上方相邻楼层以及环境保护目标处。	不少于 1 次/月
β表面污染	放射性核素操作台面、手套箱表面、核素使用相关场所墙壁和地面，给药后患者候诊室，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等表面。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）
废水总β	衰变池废水排放口	含 ^{131}I 放射性废水每次排放前
土壤总β	以工作场所为中心，半径 50～300m 以内，重点关注下风向	验收监测 1 次，运行期间发生放射性泄漏事故时及时监测
γ辐射水平和β表面污染	固体放射性废物外表面	每次排放前

三、直线加速器机房、后装机房、回旋加速器机房、DSA 机房、ERCP 机房监测

1、环境监测

委托有资质的单位定期监测，监测方案详见表 13-2。

表 13-2　辐射工作场所环境监测方案

检测项目	采样（监测）布点	监测频次
X-γ辐射水平	以各机房为中心 50m 范围内，各机房控制室（操作间）操作位、观察窗、防护门（门的左、中、右侧 3 个点和门缝四周）外表面 30cm 处；机房四周墙外 30cm 处；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；射线装置机房外可能受到辐射影响的位置。包括巡测和定点，巡测范围包括所有可达的机房外墙壁屋顶及机房下面。定点位置一般为关键部位，包括出线状态下的机房门口及工作人员操作位置。公众可能居留的有代表性的区域及保护目标处。	1～2 次/年

2、工作场所自主监测

辐射工作场所自主监测，监测方案详见表 13-3。

表 13-3　辐射工作场所自主监测方案

检测项目	采样（监测）布点	监测频次
X-γ辐射水	各机房控制室（操作间）操作位、观察窗、防护门（门的左、中、	不少于 1

平	右侧 3 个点和门缝四周）外表面 30cm 处；机房四周墙外 30cm 处；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；管线口处，楼上、楼下相邻房间；各辐射工作场所控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的区域及环境保护目标处。	次/月

所有辐射监测记录应建档保存。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。定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应及时查找原因并报告，同时进行整改。

四、辐射工作人员个人剂量检测

1、所有从事辐射工作的人员，须接受个人剂量监测。临时工作人员、实习人员应纳入个人剂量监测范围。进行定期查体，建立个人剂量档案和健康档案，人手一册，由专人负责保管和管理，长期保存。

2、每位辐射工作人员工作期间须按要求佩戴个人剂量计。对于负责核医学科放射药物操作等全身受照不均匀的工作情况以及介入辐射工作人员，应在铅围脖外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计；采用双剂量计监测方法（在铅围脖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。

3、个人剂量计的读取时间一般为 1 个月，最长不应超过 3 个月一次。

4、个人剂量监测数据异常时，应及时查明原因并报告生态环境主管部门。

13.4 辐射事故应急

根据国家《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》、《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（国家环保总局，环发〔2006〕145 号）以及《突发环境事件信息报告办法》（环保部令第 17 号）等法律法规的要求，医院已制定《辐射事故应急预案》（2023 版）并不断修订和完善，并根据应急预案定期开展应急演练，一旦发生辐射事故时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，保护工作人员、公众和环境的安全。本项目新增使用非密封放射性物质、乙级非密封放射性物质工作场所以及III类放射源（后装机）、II类射线装置（医用直线加速器、回旋加速器、DSA 装置、ERCP 装置），医院应对应急预案进行修订。预案主要包括以下内容：

一、辐射事故应急处理机构与职责

根据新增项目涉及部门，完善辐射事故应急领导小组组成人员，组织、开展辐射事故的应急处理工作，明确小组成员联系方式。

辐射事故应急领导小组负责组织开展辐射事故的应急处理工作。

二、应急处理领导小组职责

1、贯彻执行国家、省、市辐射事故应急处理工作的法律、法规。

2、负责向区、市生态环境局报告医院发生的应急事件或事故。

3、组织制定应急响应方案，做好应急准备工作。

4、应急期间配合区、市生态环境局进行监测和事故调查工作。

5、组织参加省、市、区生态环境部门应急人员培训。

6、在辐射事故发生时，统一指挥本单位的应急响应启动。

7、做好辐射环境安全管理工作。

二、辐射事故应急救援应遵循的原则

以人为本，科学施救；统一领导，分级管理；属地为主，分级响应。

三、辐射事故分类与分级

国家根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，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。

1、特别重大放射性污染事故，是指I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围辐射污染后果，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。

2、重大放射性污染事故，是指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。

3、较大放射性污染事故，是指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。

4、一般放射性污染事故，是指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。

四、辐射事故应急救援应遵循的原则

1、迅速报告原则；

2、主动抢救原则；

3、生命第一的原则；

4、科学施救，控制危险源，防止事故扩大的原则；

5、保护现场，收集证据的原则。

五、辐射事故的应急响应

（一）应急准备

按照常备不懈、保障人身安全、保护环境的方针，做好响应准备。日常准备工作指定医院有关辐射装置科室主任负责，应急状态时，自动转入辐射事故应急领导小组统一指挥。

（二）辐射事故应急组织的启动

1、当发生辐射事故时，相关科室必须及时通知辐射事故应急领导小组，并及时上报区、市生态环境部门、卫生健康委员会或公安部门，请求提供指导和支援。

2、应急领导小组召集专业人员，根据具体情况迅速制定事故处理方案。

3、事故处理须在单位负责人的领导下，在有经验的工作人员和卫生防护人员的参与下进行。未得到允许不得进入事故区。

4、发生辐射事故时，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》并附上《辐射事故初始报告》，确保辐射事故及时、按要求上报。

（三）应急措施

必须严格遵守国家有关放射性防护的法规和规定，贯彻“安全第一，预防为主”的方针，定期做好放射源装置和射线装置的检测，确保门机联锁装置、应急开关装置等安全装置，射线报警仪等防护安全装置工作状态良好，制定严格的防护管理制度并严格贯彻执行，把发生事故的可能性降低到最低。

建立放射性事故报告制度，一旦发生放射性事故，设施事故现场负责人应立即向各设施负责人、应急响应组织负责人报告，应急响应负责人则应按照应急计划或程序指令启动应急响应，指挥控制缓解事故，按照《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》(原国家环境保护总局、公安部、原卫生部，环发〔2006〕145 号，2006.9.26)尽快向生态环境、卫生健康部门及公安机关报告，最迟不得超过 2 小时。

如有发生放射性核素泄漏污染环境时，应控制人员进入。选择合理的去污方法，防止交叉污染。去污时佩戴有效的个人防护用品。一般核素药物为液态，若发生撒漏，可用抹布擦拭清除，抹布作为放射性固体废物，储存于放射性衰变箱等中达到相应暂存时间后，作为普通的医疗垃圾处理。为防止污染的扩散，去污程序应先从污染轻的周围渐向污染重的部位。如经反复清洗效果不明显时，可根据放射性核素的化学性质和污染表面的性质，选用有效的去污剂进一步去污。严重污染事故时要及时向生态环境部门报告，应立即通知在场的其他人员，同时迅速标出污染范围，防止其他人员进入污染区。污染区的人员经采取减少危害和防止污染扩散的必要措施后，要脱去污染的衣服并将其留在污染区，立即离

开此区。事故发生后，应尽快通知防护负责人和主管人员，并立即向有关监督管理部门报告。防护人员应迅速提出全面处理事故的方案，并协助主管人员组织实施。污染区经去污、监测后，经防护人员批准方可重新工作。

发生放射源丢失或被盗、误置、遗弃事故时，所在科室应当迅速迅速根据放射源种类、活度，立即报告应急响应组织负责人，并保护好现场。积极配合公安和卫生行政部门做好调查、侦破工作，尽快追回丢失的放射源。

在放射源意外丧失屏蔽且难以回复到其安全储存位置情况下，确认放射源发生卡源时应迅速按下“急停”键，此时放射源仍未收回罐中心，射线报警仪仍持续报警。人员必须立即撤离受到该辐射源影响而产生的高剂量率的房间或局部区域，并进行患者心里疏导，同时关闭铅防护门。应对撤离的房间或局部区域实施出入控制，做好记录(患者已照射时间、剂量、撤离机房时间、估算患者辐射剂量)，直到采取了事故缓解措施，使其恢复到可以接受的安全状态后，方可解除其出入控制。对履行控制缓解行动的设施内应急人员、外来支援人员和急救人员提供使当的个人辐射防护用品。

鉴于医用放射源应用设施所操作或使用的放射源总活度有限，并多为具有高度安全性的密封源，发生在设施内的放射性泄露通常不会对设施场所区外造成明显危害，因而，场外通常没有必要采取撤离公众的防护行动。

射线装置机房进入失控，如门机联锁装置失效，或射线装置故障或误操作引起误照射，根据外照射防护三原则，减少受照射时间，增加照射距离，立即断电或按下紧急开关，或尽快撤离事故现场到机房外安全区域。

对于受到或怀疑受到急性辐射损伤的人员，应迅速送往专门的辐射损伤医疗单位进行诊断或治疗，应向医疗单位提供经诊人员的个人剂量监测或估计结果以及他们的受照情况；及时认真的收集与事故相关的物品和资料，仔细分析事故原因，判定事故级别，处理事故措施要讲究社会和经济效益，尽可能降低事故的损失，保护好国家及公众的财产。

（四）应急物资、设施保障

核医学科配备表面污染监测仪器、被污染衣物储存柜、剂量率监测仪器、个人防护用品（铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜）、铅罐、放射性废物箱、门禁等；后装机治疗室配备应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

（五）应急联系电话

给出生态环境部门、卫生健康委员会以及公安部门应急联系方式。

枣庄市生态环境局：0632-3312294；枣庄市卫生健康委员会：0632-3314381；枣庄市公安局：0632-9600110。急救电话：120

六、应急救援工作

1、建立警戒区。对事故现场及周边环境进行侦察检测，为事故处置划定警戒范围，建立警戒区，并在通往事故现场的主要干道上实行交通管制。

2、紧急疏散。指导、组织群众采取各种措施，迅速撤离出危险区域或可能受到危害的区域，同时做好自救与互救工作。

3、危险控制与消除。根据事故具体情况，制定处置方案，监控潜在险情并及时消除，尽快组织工程抢险队和技术专家及时救援，控制事故继续扩大，对险情进行控制与消除。

4、人员抢救。抢救事故现场人员脱离事故现场，由医疗救护组对受伤人员进行救护。 5.应急救援的各项后勤保障工作，由后勤保障组组织有关部门按分工实施。

七、辐射事故应急的终止

1、事故得到控制，由应急领导小组向区、市生态环境局提出应急状态的终止申请。

2、对辐射事故造成的环境污染，进行环境辐射监测。

3、总结造成辐射事故产生的过程，分析事故发生的原因，从中吸取经验教训。

4、根据实践经验，对应急预案进行修改。

八、辐射事故的调查

1、本单位发生重大辐射事故后，应立即成立事故调查组、善后处理组和恢复工作组。

2、调查组要遵循实事求是的原则对事故的发生时间、地点、起因、过程和人员伤害情况及财产损失情况进行细致的调查分析，并认真做好调查记录，记录要妥善保管。

3、配合医院辐射事故应急领导小组编写、上报事故报告书方面的工作，同时，协助卫生健康委员会、公安部门进行事故调查、处理等各方面的相关事宜。

九、培训与应急演练

1、制定应急培训计划，每年对辐射工作人员、辐射事故应急领导小组成员定期开展辐射事故应急知识的教育和宣传。向辐射工作人员和应急小组成员解读、培训本预案，使单位人员熟悉应急职责、响应程序和处置措施，切实提高应急联动处置能力。

2、每年定期进行辐射事故应急演练，模拟核医学科、放疗中心、介入中心、内镜中心等辐射事故现场。对应急演练过程中发现的问题及时纠正，对演练效果进行总结和评价，演练计划、演练方案、演练脚本、演练评估和演练音像资料要及时归档备查。

本次评价建议，医院根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》等文件要求，针对本项目投运后可能发生的回旋加速器、直线加速器、后装机、^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器、DSA、ERCP 损坏与放射源破损等潜在的辐射事故、辐射事故发生后初报和续报的时限要求和内容、与市级和县级辐射事故应急预案的衔接等内容，修订和补充本《放射性事故应急预案》中应急响应行动计划。医院日常进行了相关应急演练，每年至少一次。模拟事故现场，保持应急人员的应急能力。演练由辐射事故应急领导小组负责，事先制定演练方案，事中检查演练过程并及时发现问题，事后形成事故演练评价，对发现的问题及时纠正，应急演练所有材料均建档保存，落实情况较好。

经核实，医院未发生过辐射安全事故。

表 14 结论与建议

14.1 结论

14.1.1 项目概况

为进一步提高医院放射诊疗水平，更好满足患者就诊需求，滕州市中医医院拟在迁建院区（位于滕州市东沙河街道荆河东路南侧，上善大道西侧，明德路东侧，兼爱路北侧）新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置应用项目。

放射诊疗项目拟建于地下室（门急诊医技综合楼北侧），涉及一处医用直线加速器工作场所、一处后装治疗工作场所；医用直线加速器工作场所建设 1 座直线加速器机房，配套购置 1 台医用直线加速器，属于使用II类射线装置；后装机机房，拟购置安装 1 台铱-192（^{192}Ir）后装机，额定装源活度为 3.7×10^{11}Bq(10Ci)，属于使用III类放射源。

核医学工作场所（核医学科）拟建于地下室（门急诊医技综合楼北侧，放疗中心东侧），本项目涉及放射性药品制备及使用，内部设置回旋加速器中心、放射性核素诊断中心、放射性核素（^{131}I）治疗中心。回旋加速器中心配套购置回旋加速器 1 台，用于生产诊断用放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N，日等效最大操作量为 1.11×10^{10}Bq，属于II类射线装置；放射性核素诊断中心建设 PET 诊断场所（使用放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N，日等效最大操作量为）和 SPECT 诊断场所（使用放射性核素 ^{99m}Tc），放射性核素（^{131}I）治疗中心使用 ^{131}I 进行甲功测定、甲亢、甲癌治疗，核医学科工作场所日等效最大操作量为 3.3004×10^{9}Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

DSA 装置拟建于门急诊医技综合楼 4 层中部北侧介入中心，建设 1 号～4 号 DSA 机房，拟购置 4 台 DSA 装置（生产厂家和型号均未确定，仅确定主要技术参数），分别安装于 1 号～4 号 DSA 机房内；DSA 装置均属于II类射线装置。

ERCP 装置拟建于门急诊医技综合楼 2 楼东北部内镜中心，建设 1 处 ERCP 装置工作场所，拟购置 1 台 ERCP 装置（生产厂家和型号均未确定，仅确定主要技术参数），安装于 ERCP 机房内，ERCP 装置属于II类射线装置。

本项目放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置用于放射诊疗，有利于全面提升所在区域卫生健康事业发展水平，满足人民群众高质量医疗服务需求，具有良好的社会效益和经济效益，其运行过程中产生的辐射影响可以满足国家有关要求，符合实践的正当性。

14.1.2 选址合理性

本项目 50m 评价范围内无学校、养老院、居民区等环境敏感目标。本项目放疗中心和核医学工作场所项目位于院区地下室门急诊医技综合楼地下室投影北侧区域，楼下为土层，楼上为绿地，各场所与周围区域以实体墙体或者常闭防火门进行物理隔离，不邻接儿科、产科、餐厅等场所；患者出口为室外，非门诊大厅、收费处等人群稠密区域；核医学工作场所室外排风口位于综合住院楼 1、综合住院楼 2（H=64.8m）楼顶北侧，高出屋脊 3m，距离西侧感染楼（位于下风向，楼高 H=23.5m）最近直线距离约 75m，距离北侧综合住院楼 3、特需住院楼（位于侧风向，楼高 H=57.3m）最近直线距离约 88m，距离西北侧制剂中心（位于侧风向，楼高 H=21.3m）最近直线距离约 142m，废气排放口设置合理。上述各工作场所相对独立，人员相对流动较少，减少了公众受照射的概率。经分析，本项目核医学工作场所、后装机机房、加速器机房、DSA 机房、ERCP 机房周围辐射水平均可满足国家相关要求，经有效的防护和治理措施，项目运行过程中对周围环境及保护目标的辐射影响较小，因此，本项目选址基本合理可行。

14.1.3 现状监测

经现状监测，项目拟建区域室外点位环境γ空气吸收剂量率为（48.2～60.4）nGy/h，处于枣庄市环境天然辐射水平范围内：道路（1.64～11.19）×10^{-8}Gy/h。

核医学工作场所拟建位置东南侧（上风向）土壤总α放射性检测结果为 1067.4Bq/kg，西北侧（下风向）土壤总α放射性检测结果为 1085.1Bq/kg；核医学工作场所拟建位置东南侧（上风向）土壤总β放射性检测结果为 863.8Bq/kg，西北侧（下风向）土壤总β放射性检测结果为 1152.8Bq/kg。参考《南水北调山东段沿线土壤的放射性水平》（邓大平等，中国辐射卫生 Dec 2006，Vol15，No 4）本项目周围土壤中放射性水平处于本底水平范围内。

14.1.4 加速器项目环境影响评价结论

（1）布局。加速器机房控制室和治疗室分离，设置有迷路，迷路口设置有铅防护门；控制室避开了有用线束直接照射方向。加速器机房布局符合 HJ 1198-2021 第 5.1 款和 GBZ 121-2020 第 6.1 款要求，工作场所布局合理。

（2）分区。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的有关规定，将加速器机房及其附属场所划分为“控制区”和“监督区”两区管理。

（3）项目屏蔽设计及防护措施。加速器机房墙体采用混凝土实体屏蔽，防护门防护能力均为 16mmPb（外层）+150mm 含硼聚乙烯。各防护门设置门-机联锁装置、电离辐射警告标志、红外线防挤压装置、内外侧手动开门装置、工作状态指示灯，各治疗室与控制室

之间设计有电视监视及双向对讲装置，各治疗室迷路内口处设置固定式辐射剂量率仪，机身和治疗室内以及控制台上设置紧急停机按钮，在治疗的各个环节保证仪器的正常运行，有效的保证患者的安全防护，使处于安全有效管理之中。拟为加速器辐射工作人员配备个人剂量计 5 支（每人 1 支、委托个人剂量检测后由检测单位配发）、个人剂量报警仪 2 部；配备 1 台便携式辐射监测仪（全院除核医学工作场所外，其他场所共用 1 台）。

（4）通风系统。各机房通风采用上进下出、对角设置，换气次数大于 4 次/h，排风口位于治疗区北侧距地面 0.3m 处，满足 HJ 1198-2021 要求，对周围环境影响较小。

（5）辐射水平。经预测分析，加速器机房外剂量率均低于 2.5μSv/h 剂量率控制目标。加速器机房主屏蔽设计宽度均满足要求。

（6）人员剂量。加速器职业人员、周围公众成员、保护目标处公众成员所受年有效剂量低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的工作人员身体20mSv/a、公众成员1mSv/a的剂量限值，也分别低于本评价提出的工作人员身体5mSv/a、公众成员0.1mSv/a的年管理剂量约束值。

14.1.5 后装机项目环境影响评价结论

（1）布局。后装机机房控制室和治疗室分离，设置有迷路，迷路口设置有铅防护门。机房布局符合 HJ 1198-2021 第 5.1 款和 GBZ 121-2020 第 6.1 款要求，工作场所布局合理。

（2）分区。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的有关规定，该后装机机房及其附属场所划分为“控制区”和“监督区”两区管理。

（3）项目屏蔽设计及防护措施。后装机机房墙体采用混凝土实体屏蔽，防护门为 16 mmPb。防护门设置电离辐射警告标志、设置工作状态指示灯、门-源联锁装置、自动回源装置、设计红外线防挤压装置，内外手动开门装置，治疗室、迷道与控制室之间设计有电视频装置及双向交流对讲系统，在治疗室迷道内口处设置固定式辐射剂量率仪，机身和治疗室内以及控制台上设置紧急停机按钮，治疗室内配备应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。在治疗的各个环节保证仪器的正常运行，有效的保证患者的安全防护，使处于安全有效管理之中。拟为后装机辐射工作人员配备个人剂量计 4 支（每人 1 支、委托个人剂量检测后由检测单位配发）、个人剂量报警仪 2 部；配备 1 台便携式辐射监测仪（全院除核医学工作场所外，其他场所共用 1 台）。

（4）通风系统。机房通风采用上进下出、对角设置，换气次数大于 4 次/h，室外排风口位于治疗区北侧距地面 0.3m 处，满足 HJ 1198-2021 要求，对周围环境影响较小。

（5）辐射水平。经预测分析，后装机机房外剂量率低于 2.5μSv/h 剂量率控制目标。

（6）人员剂量。后装机职业人员、周围公众成员、保护目标处公众成员所受年有效剂量低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的工作人员身体20mSv/a、公众成员1mSv/a的剂量限值，也分别低于本评价提出的工作人员身体5mSv/a、公众成员0.1mSv/a的年管理剂量约束值。

（7）废旧 ^{192}Ir 放射源。医院拟与供源单位签订废旧源返回协议，废旧 ^{192}Ir 放射源拟由供应商回收或送交具备相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。废旧放射源由具备相应资质的单位负责运输。废旧放射源得到妥善处置，不会对环境造成不利影响。

14.1.6 核医学工作场所环境影响评价结论

（1）场所分级：本项目放射性核素制备场所（回旋加速器中心）日等效最大操作量为 1.11×10^{8}Bq，放射性核素诊断、诊疗场所（^{131}I 治疗中心、PET 诊断场所、SPECT 诊断场所）日等效最大操作量为 3.3004×10^{9}Bq，核医学工作场所日等效最大操作量为 3.4114×10^{9}Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所（乙级：2×10^{7}～4×10^{9}Bq）。

（2）布局。本项目核医学工作场所控制区设计集中；^{99m}Tc、^{18}F（^{11}C、^{13}N）、^{131}I 诊疗场所医护通道与用药后患者通道不交叉，用药前患者和用药后患者不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道尽可能短捷，通道设计基本合理，功能房间设置齐全。该核医学工作场所设计基本合理。

（3）分区。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的有关规定，2 个核医学工作场所分别划分为“控制区”和“监督区”两区进行管理。

（3）项目屏蔽设计及防护措施。本项目回旋加速器机房工作区东、南、西侧墙体为 2.3m 厚混凝土结构（密度为 2.35g/cm^3），北侧为三回路迷道，回旋加速器室顶层为 2.3m 厚混凝土，迷道内外侧墙体均为 0.7-1m 厚混凝土结构（密度为 2.35g/cm^3），加速器机房的防护门采用 16mmPb 的防护厚度（含 12cm 含硼聚乙烯）。回旋加速器机房控制室内操作台上设核素传输工作状态指示灯，机房防护门内侧、四周墙壁和束流输运通道内设置急停按钮；机房防护门拟设置门-机联锁、红外安全防夹系统、开门开关、张贴电离辐射警告标志等安全措施；机房内近防护门处拟设置固定式剂量监测探头，设置剂量联锁；机房内外拟设声光报警，同时控制室内操作台上和机房防护门入口有剂量率实时显示；回旋加速器本身有一套完整的安全联锁装置。热室工作场所入口设置电离辐射警告标志，热室内拟安装固定式剂量率监测探头，同时热室内和热室工作场所入口处拟设声光报警，控制室内操

作台上和热室防护门口有剂量率实时显示。^{99m}Tc、^{18}F（^{11}C、^{13}N）、^{131}I 核素诊疗场所四周墙体、室顶、地板、防护门、观察窗均采用有效的屏蔽。拟配 3 个手套箱；拟按 GBZ120-2020 要求为辐射工作人员购置所需的个人防护用品：对于 SPECT-CT（^{99m}Tc）场所，拟配备铅橡胶围衣、铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽、铅玻璃眼镜、放射性污染防护服等；对于 PET 用药物制备场所、^{18}F（^{11}C、^{13}N）和 ^{131}I 诊疗场所，拟配备放射性污染防护服等，以满足日常使用要求。拟为职业人员配备个人剂量计，其中医生和护士（负责药物分装与注射等）采用双剂量计监测方法，配备 2 支个人剂量计；技师拟配备 1 支个人剂量计（委托个人剂量检测后由检测单位配发）。拟为核医学工作场所配备表面污染监测仪 4 台、辐射监测仪 1 台、个人剂量报警仪 26 部。拟配备 ^{18}F（^{11}C、^{13}N）药物铅罐；拟为患者配备防护铅屏风。拟配备必需的应急及去污用品。核医学工作场所出入口等处设计有电离辐射警告标志，设计有明确的患者或受检者导向标识或导向提示，配备所需的监控设备和对讲装置，分源储源间、各分装室均拟设置双人双锁、监控等防盗措施。

（4）辐射水平。经估算，在现有设计条件下，核医学工作场所外各关注点剂量率均能满足相应的剂量率控制目标。

（5）放射性废水。放射性核素物制备场所、放射性核素诊断场所产生的含 ^{99m}Tc、^{18}F、^{11}C、^{13}N 放射性废水由专用管道排至地下二层北侧 1#槽式放射性废水处理系统，经停留衰变满足 30 天后，排入医院污水处理总站作进一步处理后外排，对周围水环境影响较小。放射性核素（^{131}I）治疗场所产生的含 ^{131}I 放射性废水由专用管道排至 2#槽式放射性废水处理系统，经停留衰变满足 180 天后，经检测，衰变池总排放口满足“总β不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L”后，排入医院污水处理总站作进一步处理后外排，对周围水环境影响较小。

（6）放射性固体废物。回旋加速器维护时更换过滤网、靶膜等置于固废间，滤网、靶膜专用衰变箱中封闭暂存超过 30 天；放射性核素制备场所放射性药物制取时更换的放射性残留物如硅胶、树脂、氧化铝、碳柱、滤膜等，放射性药物常规操作和药物质检等产生的注射器、针头、一次性手套、吸水纸等，^{18}F、^{11}C、^{13}N 诊断场所收集的放射性固体废物均置于相应固废间衰变箱中封闭暂存超过 30 天，经监测，固体放射性废物表面剂量率满足所处环境本底水平、β表面污染低于 0.8Bq/cm^2 后，可作一般医疗废物处理，交于具有相应危险废物处置资质的单位进行规范处置。活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器、加速器靶等拆卸后即放进屏蔽容器委托设备方转运，最终送交有资质的单位收贮。^{99m}Tc 诊断场

所收集的沾染 ^{99m}Tc 放射性固体废物置于 ^{99m}Tc 诊断场所固废间衰变箱中封闭暂存超过 30 天，^{131}I 治疗场所收集的沾染 ^{131}I 放射性固体废物置于 ^{131}I 治疗场所固废间衰变箱中停留衰变 180 天后，经检测确保表面剂量率满足所处环境本底水平、β表面污染低于 0.8Bq/cm^2 后，按一般医疗废物交于具有相应危险废物处置资质的单位进行规范处置。1#、2#槽式放射性废水处理系统沉淀池和衰变池底部的沉渣满足解控水平后，经搅拌后随水流排出，难以排出的，经酸化预处理后，再随废水排入医院污水处理站。放射性核素物制备场所、^{18}F（^{11}C、^{13}N）诊断场所、^{99m}Tc 诊断场所和 ^{131}I 核素治疗场所通风管道内更换的废活性炭置于相应区域废物库，含 ^{18}F（^{11}C、^{13}N）、^{99m}Tc 废活性炭在衰变箱中暂存衰变满足 30 天，^{131}I 专用衰变箱中暂存衰变满足 180 天、经检测确保表面剂量率满足所处环境本底水平、β表面污染低于 0.8Bq/cm^2 后，按一般医疗废物交于具有相应危险废物处置资质的单位进行规范处置。

使用完的 ^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器暂存于 SPECT 诊断场所分装室内，由供源单位回收。剩余的放射性药物（^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I）随铅罐放置于相应的固废间内暂存，衰变至解控水平后按规范处置。

（7）放射性核素制备场所和放射性核素诊断、治疗场所共设计17套通风系统，废气分别经活性炭过滤装置过滤后住院楼楼顶以上高空排放，各排风口高出屋脊3m，设防雨帽、防虫网。住院楼楼顶无人员停留。通风系统设计可满足HJ1188-2021和GBZ120-2020中放射性废气控制要求。在此情况下，核医学工作场所产生的放射性废气对周围环境影响较小。

（8）人员剂量。放射性核素制备场所工作人员手部人均年当量剂量为 0.56mSv/a，身体人均年有效剂量为 0.25mSv/a；^{99m}Tc、^{18}F、^{131}I 核素诊疗场所运行过程中，医护手部人均年当量剂量为 17.44mSv/a、身体人均年有效剂量为 1.48mSv/a；技师手部年当量剂量为 1.35mSv/a、身体年有效剂量为 1.35mSv/a；慰问者年有效剂量最大为 4.40mSv/a，公众成员年有效剂量最大为 0.09mSv/a，核医学工作场所周围公众成员年有效剂量最大为 0.067mSv/a，分别低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的工作人员四肢 500mSv/a、工作人员身体 20mSv/a、慰问者 5mSv/a、公众成员 1mSv/a 的剂量限值，也分别低于本评价提出的工作人员手部 125mSv/a、工作人员身体 5mSv/a、慰问者 5mSv/a、公众成员 0.1mSv/a 的年管理剂量约束值。

14.1.7 DSA 装置和 ERCP 装置环境影响评价结论

（1）项目屏蔽设计及防护措施：项目 DSA 机房四面墙壁采用 370mm 实心砖、顶板、

底板采用 260mm 混凝土、防护门内衬 3.0mm 铅板、观察窗采用 3.0mm 铅当量铅玻璃防护，管线穿墙位置处管道周围采用 3mm 铅屏蔽；项目 ERCP 机房四面墙壁采用 370mm 实心砖、顶板、底板采用 280mm 混凝土、防护门内衬 3.0mm 铅板、观察窗采用 3.0mm 铅当量铅玻璃防护，管线穿墙位置处管道周围采用 3mm 铅屏蔽。

（2）医院拟将介入中心和手术中心 DSA 工作场所、以及内镜中心 ERCP 工作场所划分为“控制区”和“监督区”两区进行分区管理。

（3）4 座 DSA 机房、1 座 ERCP 机房均拟配备双向对讲装置和视频监控，防护门均拟安装工作状态指示灯、门-灯联动装置及电离辐射警告标志，推拉防护门拟设置自动闭门装置和防夹装置，平开防护门拟设置自动闭门装置；设备管线拟采用 U 型管道穿墙；DSA 装置和 ERCP 装置均自带 1 个床侧防护帘（0.5mmPb）和 1 个防护吊屏(0.5mmPb)，操作台及治疗床处均随机带有紧急停机按钮；4 座 DSA 机房、1 座 ERCP 机房均设置通风系统。

（4）经分析，DSA 装置或 ERCP 装置将来投入使用后，DSA 工作场所或 ERCP 工作场所实体屏蔽层外 30cm 处的辐射剂量率均能满足本次评价提出的 2.5μSv/h 目标控制值。

（5）经分析，本项目 DSA、ERCP 辐射工作人员可能接受的手部年当量剂量最大为 17.13mSv、眼晶体年当量剂量最大为 0.54mSv、躯干年有效剂量最大为 1.47mSv，分别低于本报告采用的辐射工作人员四肢年当量剂量约束值(125mSv)、眼晶体年当量剂量约束值(37.5mSv)、年有效剂量约束值(5mSv)。根据预测结果，在落实本报告提出的各项辐射安全与防护措施的情况下，本项目投入运行后辐射工作人员和公众所受辐射剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众年有效剂量限值要求以及本项目管理目标限值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

（6）本项目使用 DSA 装置、ERCP 装置，在介入过程中无放射性废液、放射性废气以及放射性固体废弃物产生。一般废水主要是工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入市政污水管网，对周围环境影响较小；射线在工作状态时，会使机房内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，臭氧在常温下可自行分解为氧气，且本项目机房设有动力通风装置，能满足机房的通风换气要求；本项目 DSA 手术过程中会产生一定量的棉签、纱布、手套、器具、废造影剂瓶等医疗废物，暂存在机房内的废物桶，手术结束后交医院医疗废物贮存点集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置。

14.1.8 辐射安全管理结论

滕州市中医医院签订了辐射工作安全责任书，明确了法定代表人为辐射安全工作第一责任人，成立了辐射安全与环境保护领导小组。根据医院发展的需要应不断进行完善。

本项目放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置拟分别配备 9 名、26 名、16 名、4 名职业人员，共计 55 人，医院应组织其通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行相应培训并考核合格后上岗。

在本次环评项目实施前，医院应补充制定并完善《放射性核素订购、保管、领取、使用登记制度》《放射性核素显像安全操作规程》《PET-CT/MRI 操作规程》《SPECT 操作规程》《回旋加速器操作规程》《回旋加速器岗位职责》《后装治疗机操作规程》《后装治疗机岗位职责》《后装治疗机使用登记制度》《直线加速器操作规程》《放射诊疗射线装置使用登记制度》《DSA 操作规程》《DSA 使用登记制度》《ERCP 操作规程》《钼锝发生器操作规定》《放射性废物处理规定》及《辐射事故应急预案》等，以满足核技术应用项目的辐射安全管理要求。

职业人员每人均应配置个人剂量计（其中负责药物转移与注射等人员等均采用双剂量计监测方法），定期对个人剂量进行监测。本项目投运前，医院拟配备 4 台表面污染监测仪、1 台便携式辐射监测仪为核医学科专用；拟配备 1 台便携式辐射监测仪为直线加速器、后装机、DSA 机房、ERCP 机房等场所共用。在制定的辐射事故风险防范措施和相应的事故应急预案条件下，通过进一步完善安全措施，其环境风险是可控的。

综上所述，滕州市中医医院新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置项目，在切实落实报告中提出的辐射管理、辐射防护等各项措施，严格执行相关法律法规、标准规范等文件的前提下，该项目对辐射工作人员和公众成员是安全的，对周围环境产生的辐射影响较小，不会引起周围辐射水平的明显变化。因此，从环境保护角度分析，项目建设是可行的。

14.2 建议与承诺

14.2.1 承诺

1.按照设计方案施工，落实各项安全防护设施和监测仪器；

2.建立健全并落实各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，建立辐射安全管理档案；

3.医院应安排职业人员参加核技术利用辐射安全与防护培训，考核合格，方可上岗；

4.按照相关要求，及时重新申领辐射安全许可证，按时组织竣工环境保护验收。

14.2.2 建议

1.建立健全辐射安全管理体系，加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，防止辐射事故的发生；

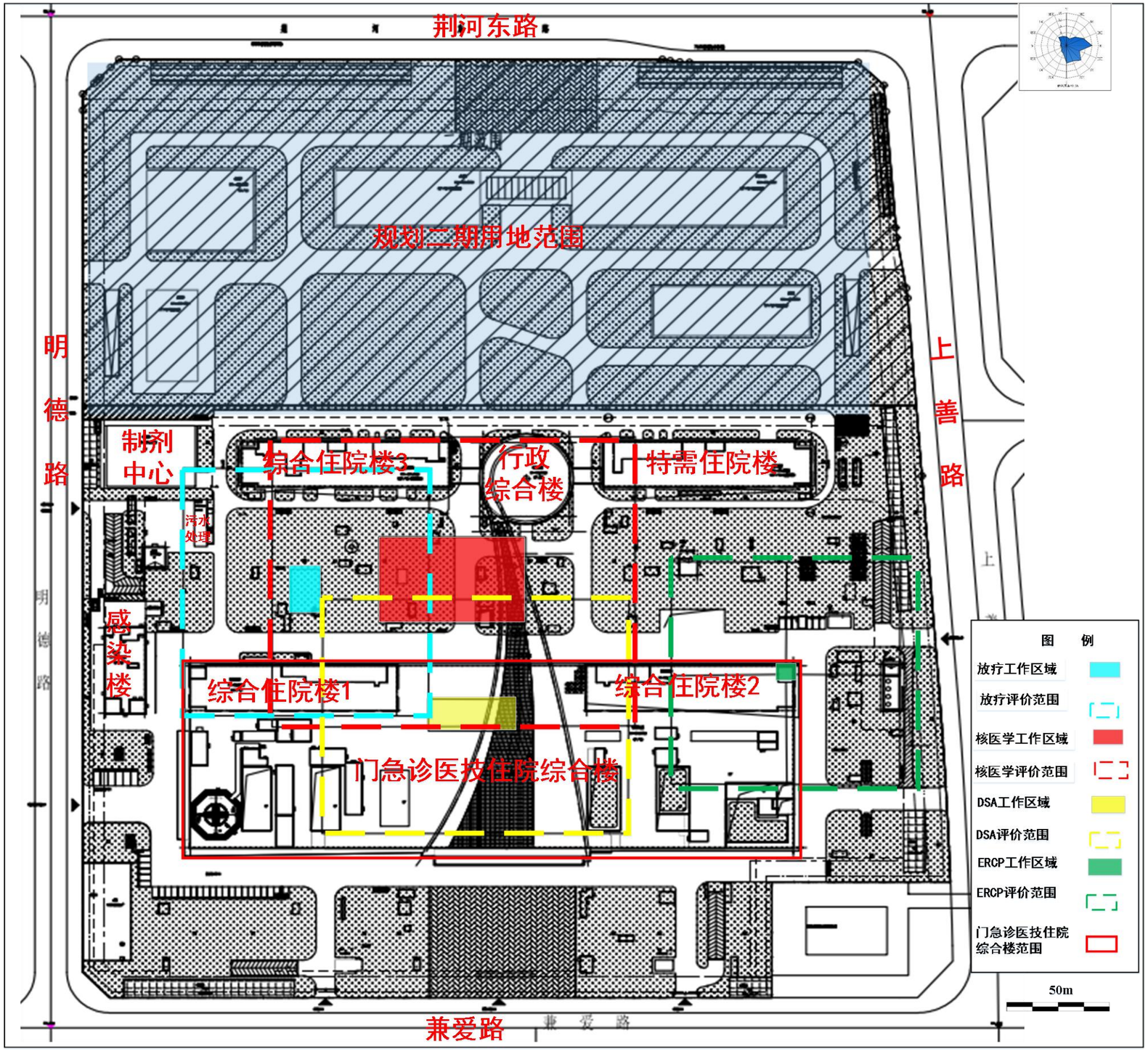
2.医院应加强放射性固体废物、放射性废水的监测，并保存监测记录。

表 14 审批

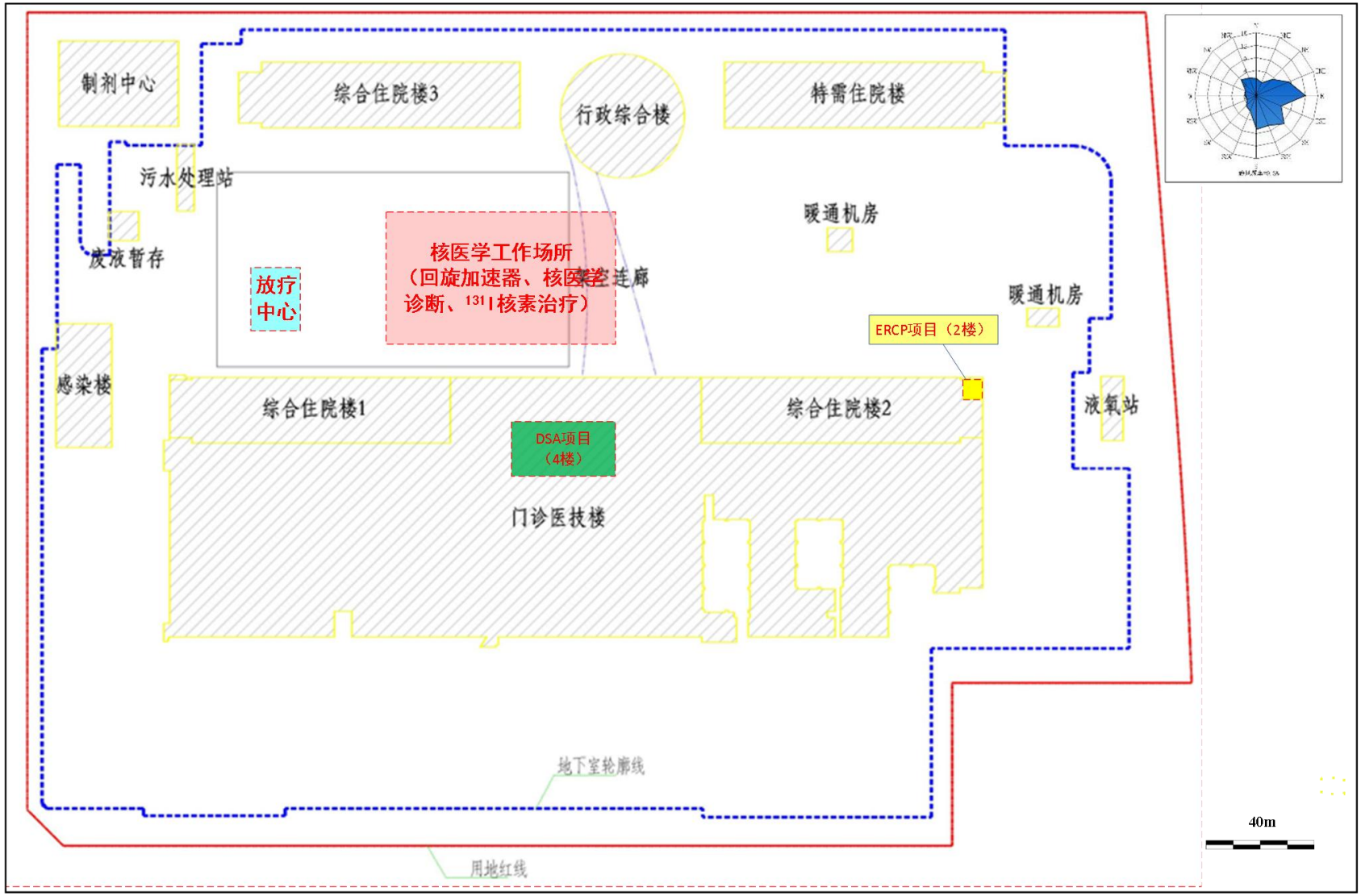
下一级生态环境部门预审意见 公 章 经办人：　　年　　月　　日
审批意见 公 章 经办人：　　年　　月　　日

附图 1-1　　项目地理位置图

附图 1-2　　项目周边环境图

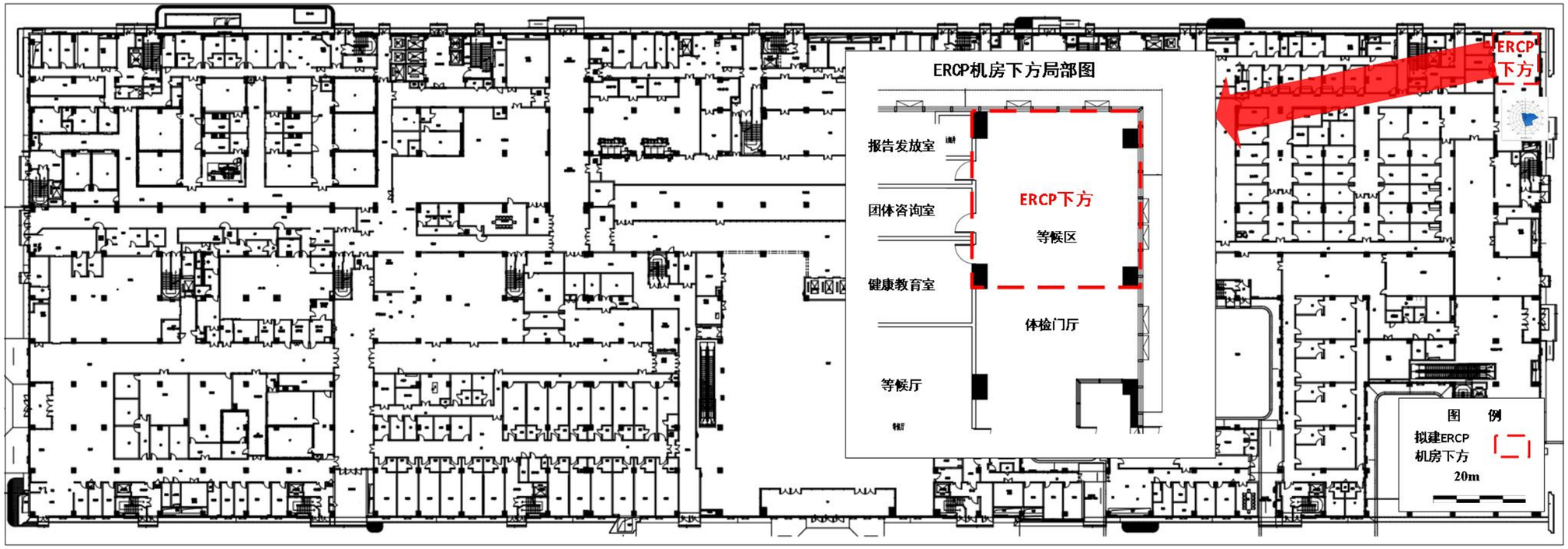


附图 1-3　医院总平面布置、评价范围图

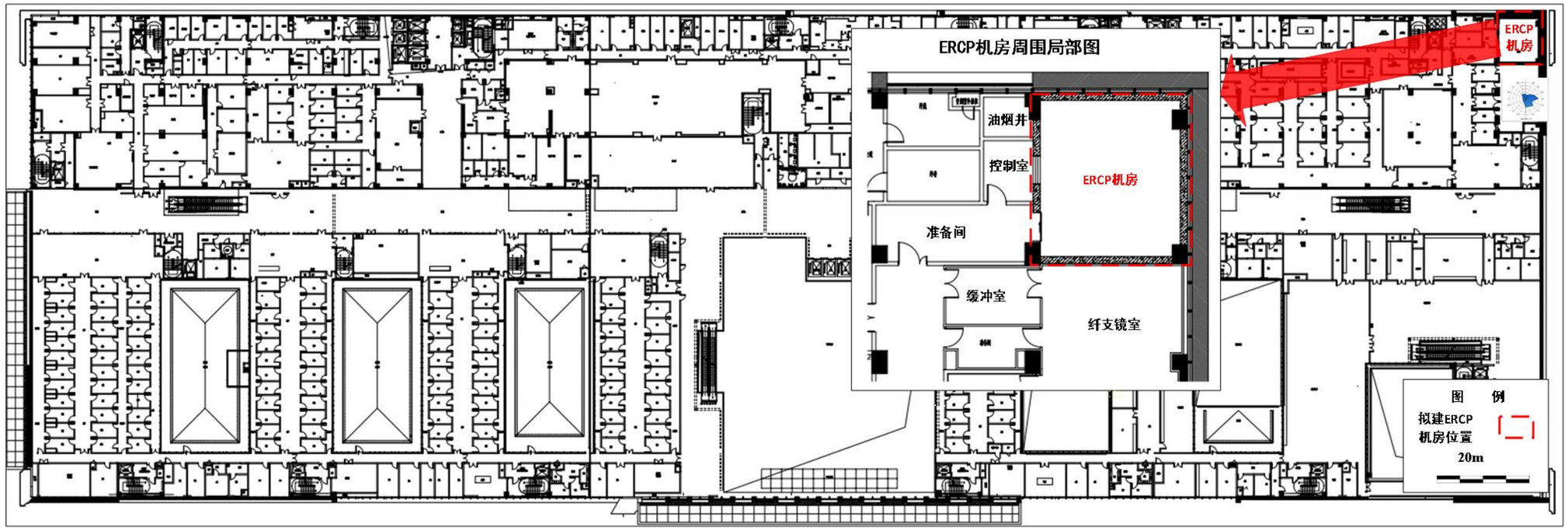


附图 1-4　　医院地下部分建筑范围图

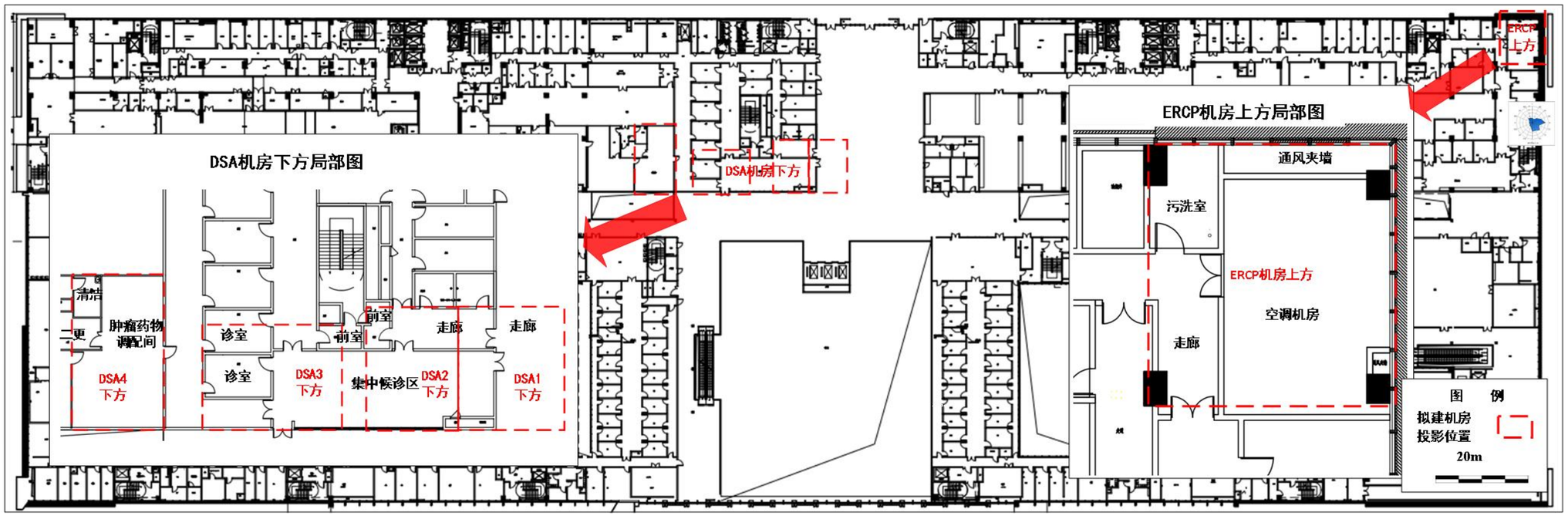
附图 1-5　地下室（放疗中心、核医学工作场所）平面布置图



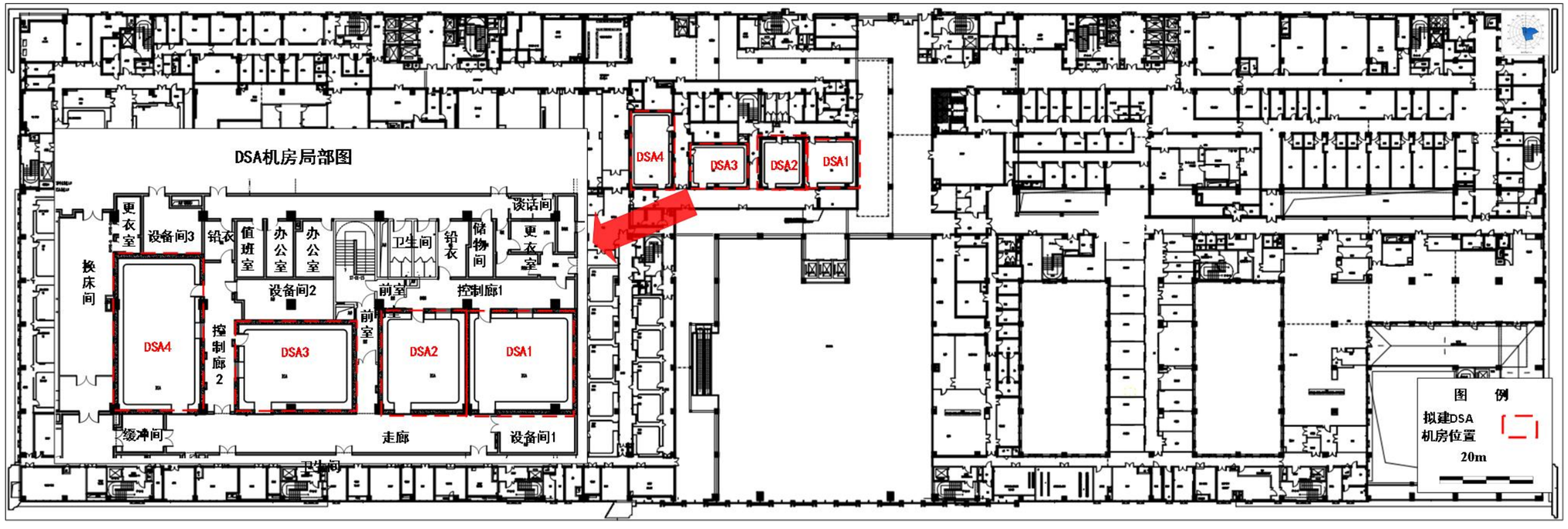
附图 1-6　门急诊医技综合楼一楼（ERCP 机房楼下）平面布置图



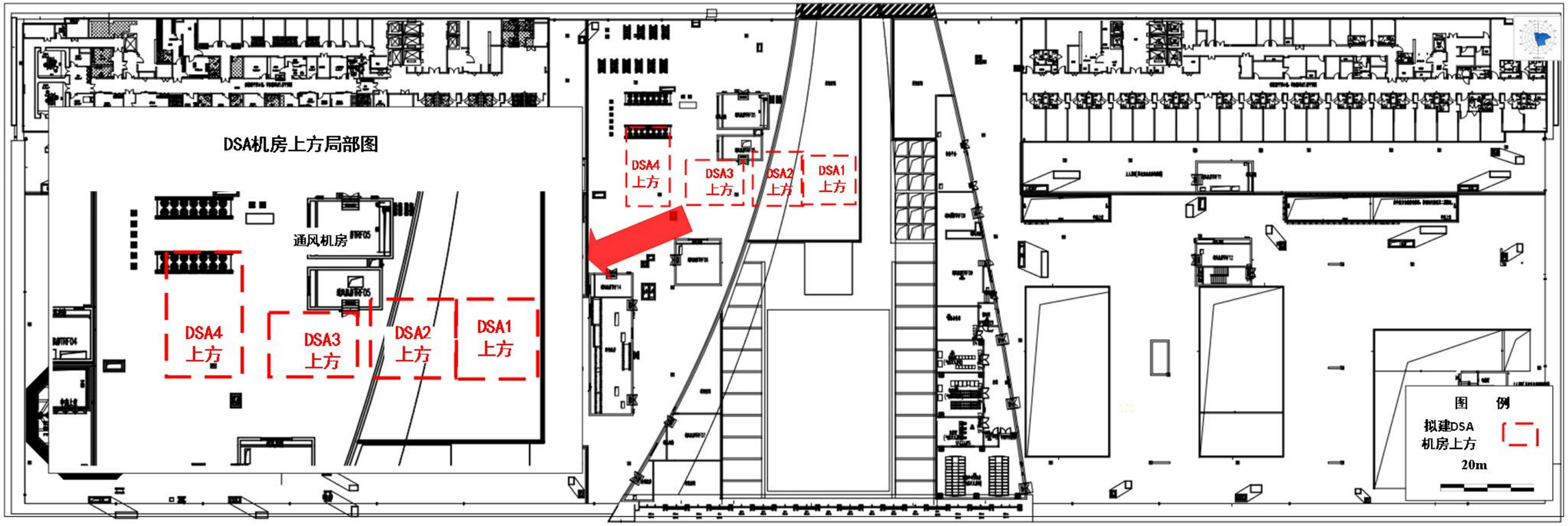
附图 1-7　门急诊医技综合楼二楼（ERCP 机房所在楼层）工作场所平面布置图



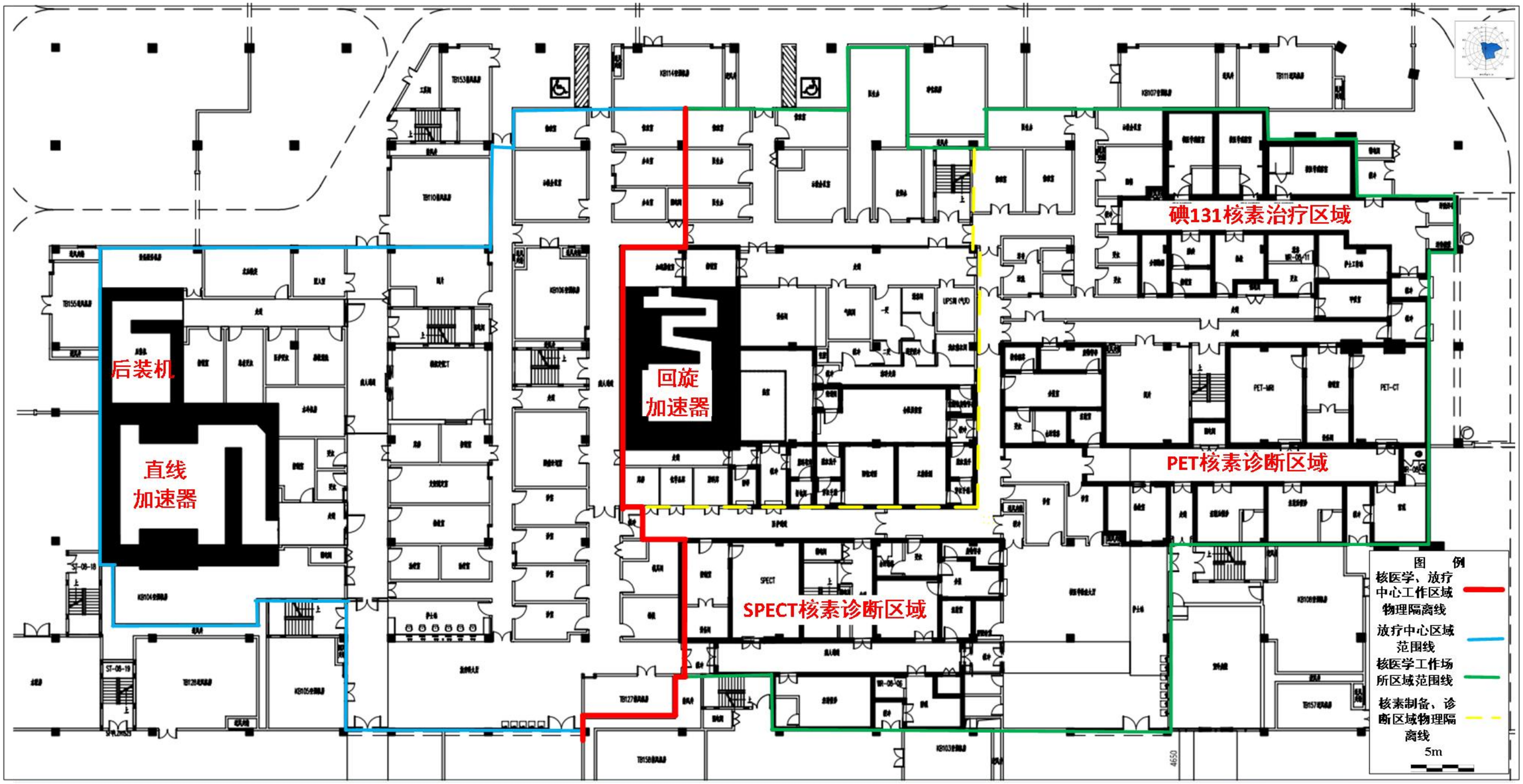
附图 1-8　门急诊医技综合楼三楼（DSA 机房楼下，ERCP 机房楼上）平面布置图



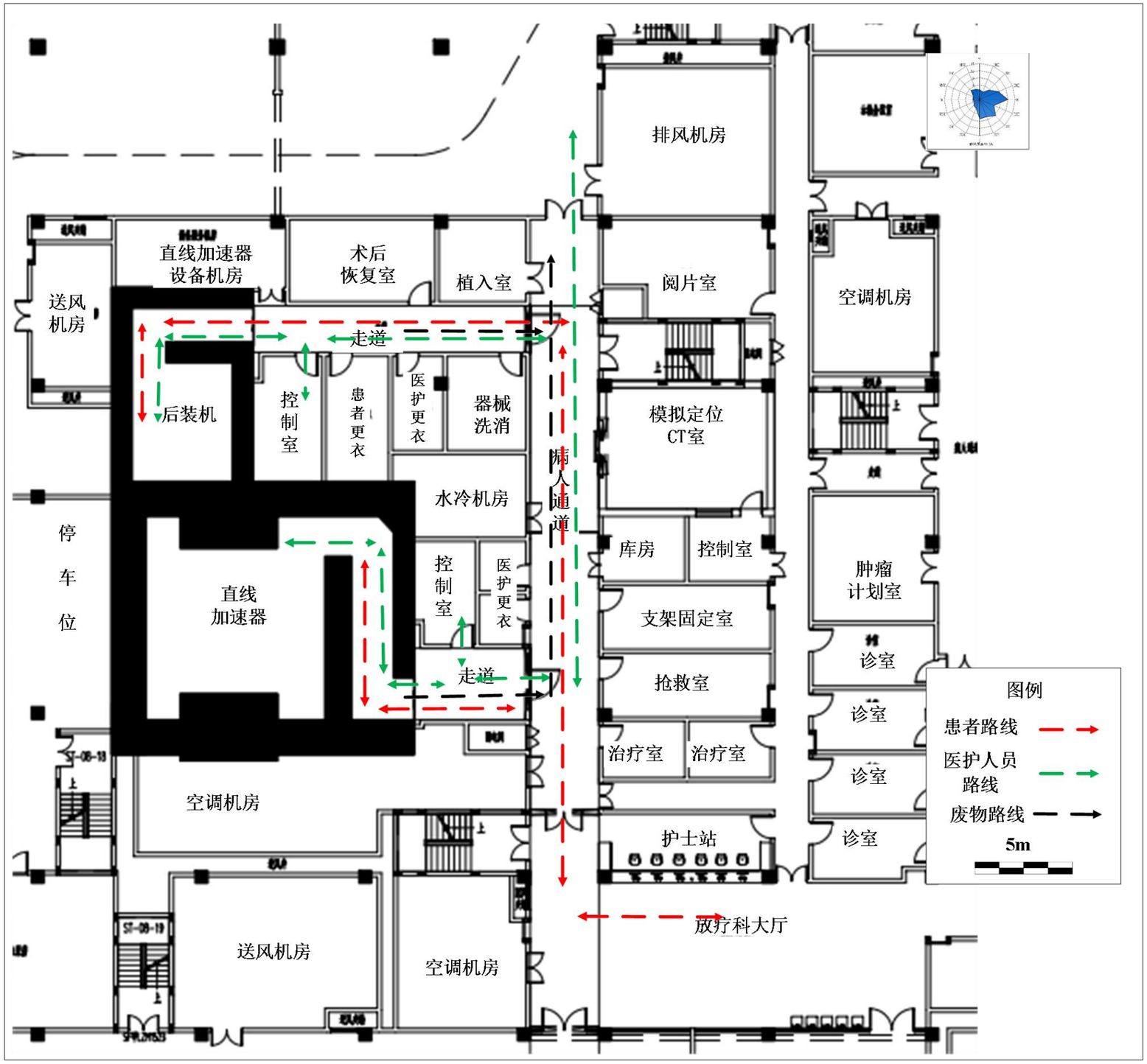
附图 1-9　门急诊医技综合楼四楼（DSA 机房所在楼层）平面布置图



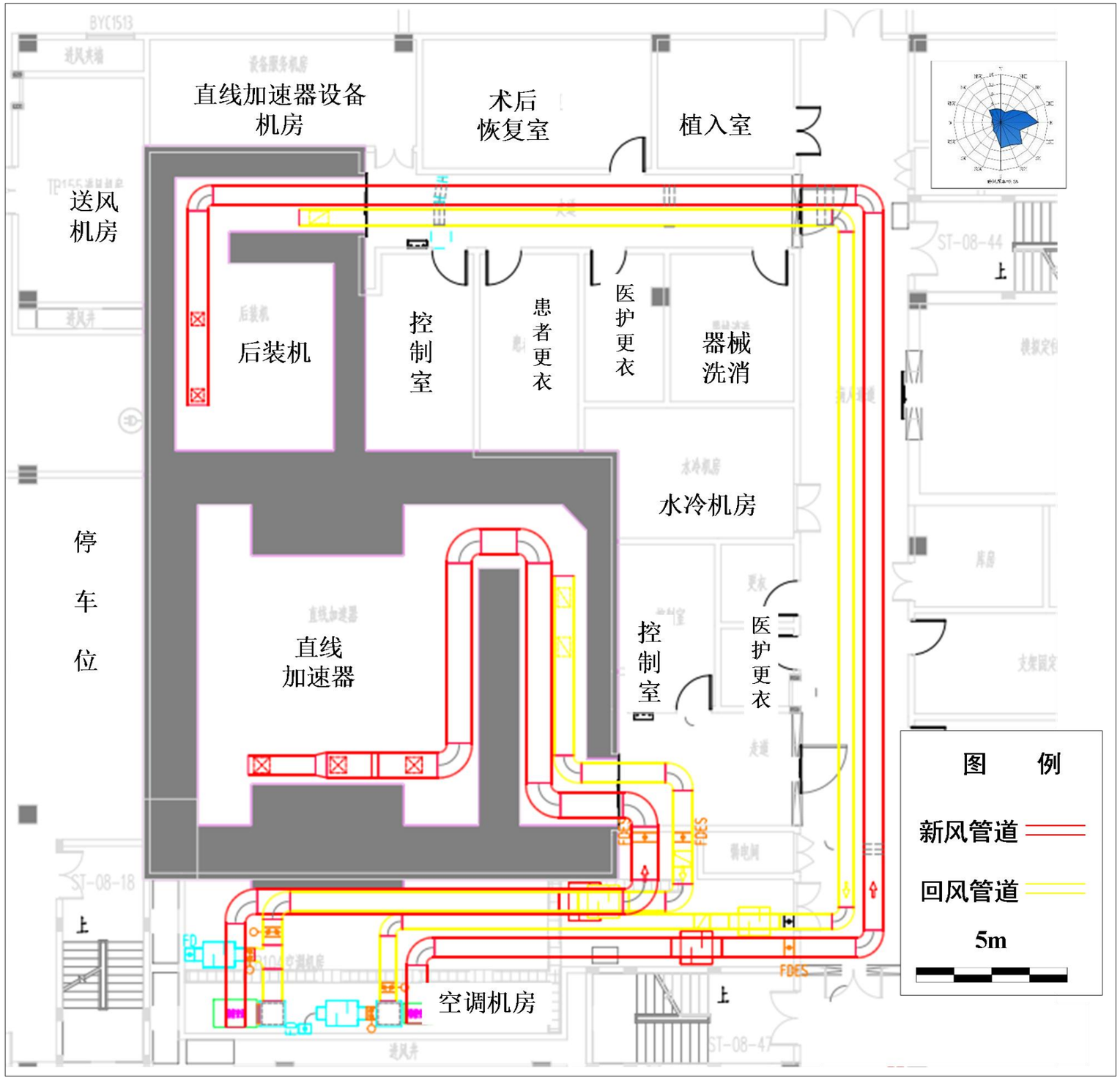
附图 1-10　门急诊医技综合楼楼顶（DSA 机房楼上）平面布置图



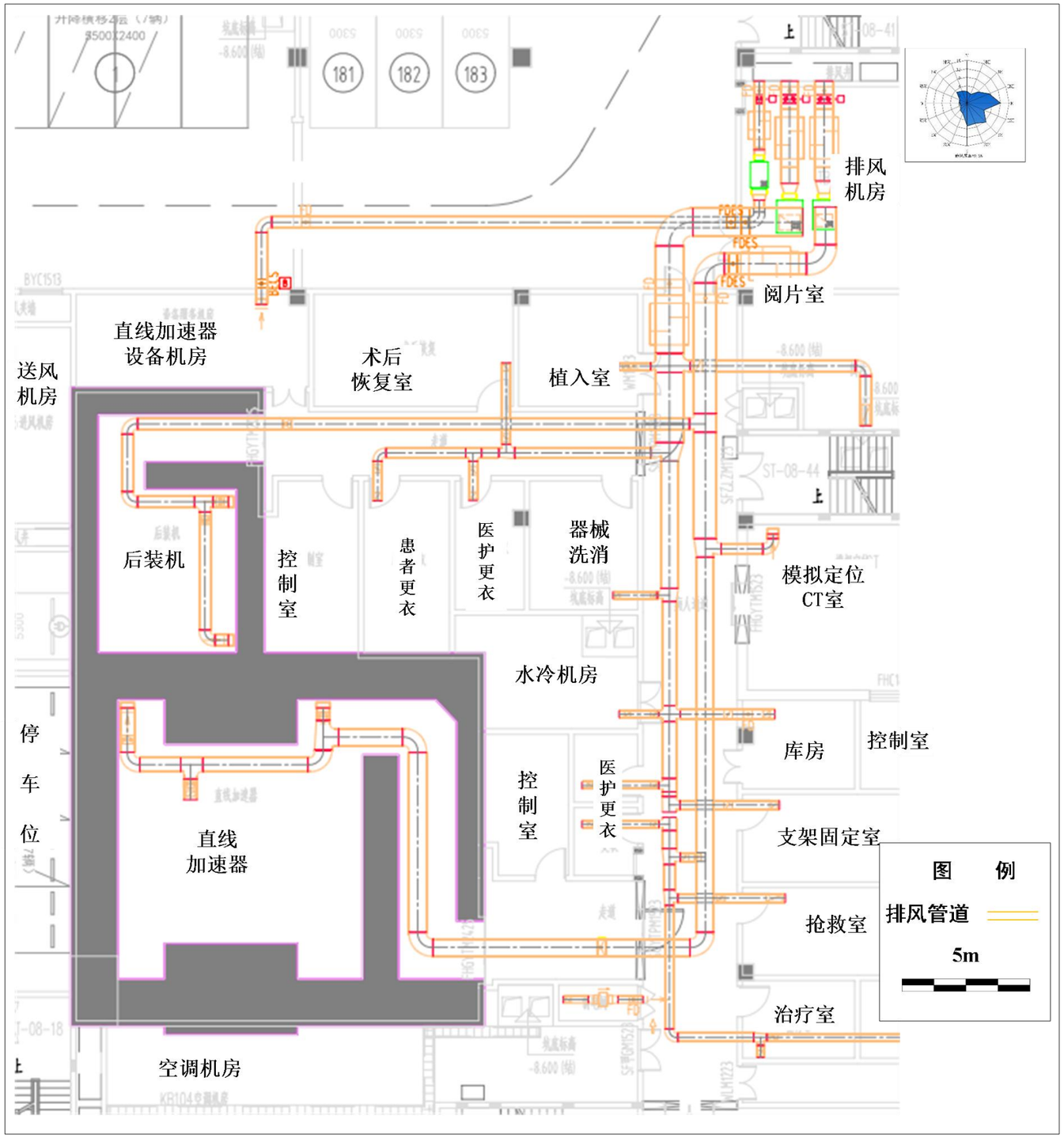
附图 1-11　放疗中心、核医学工作场所物理隔离示意图



附图 10-1　放疗中心平面布置及人流、物流示意图



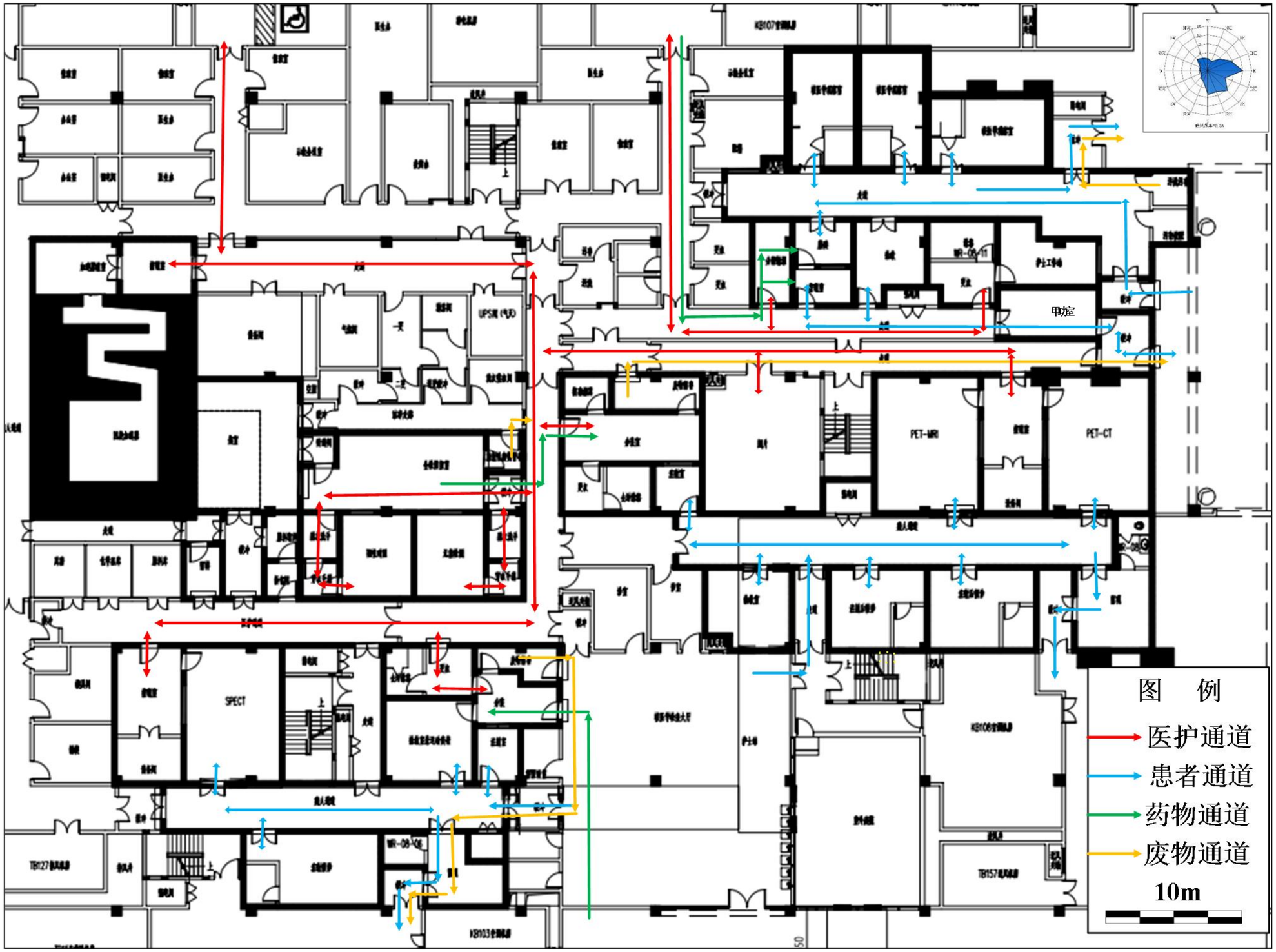
附图 10-2　直线加速器、后装机进风系统设计图



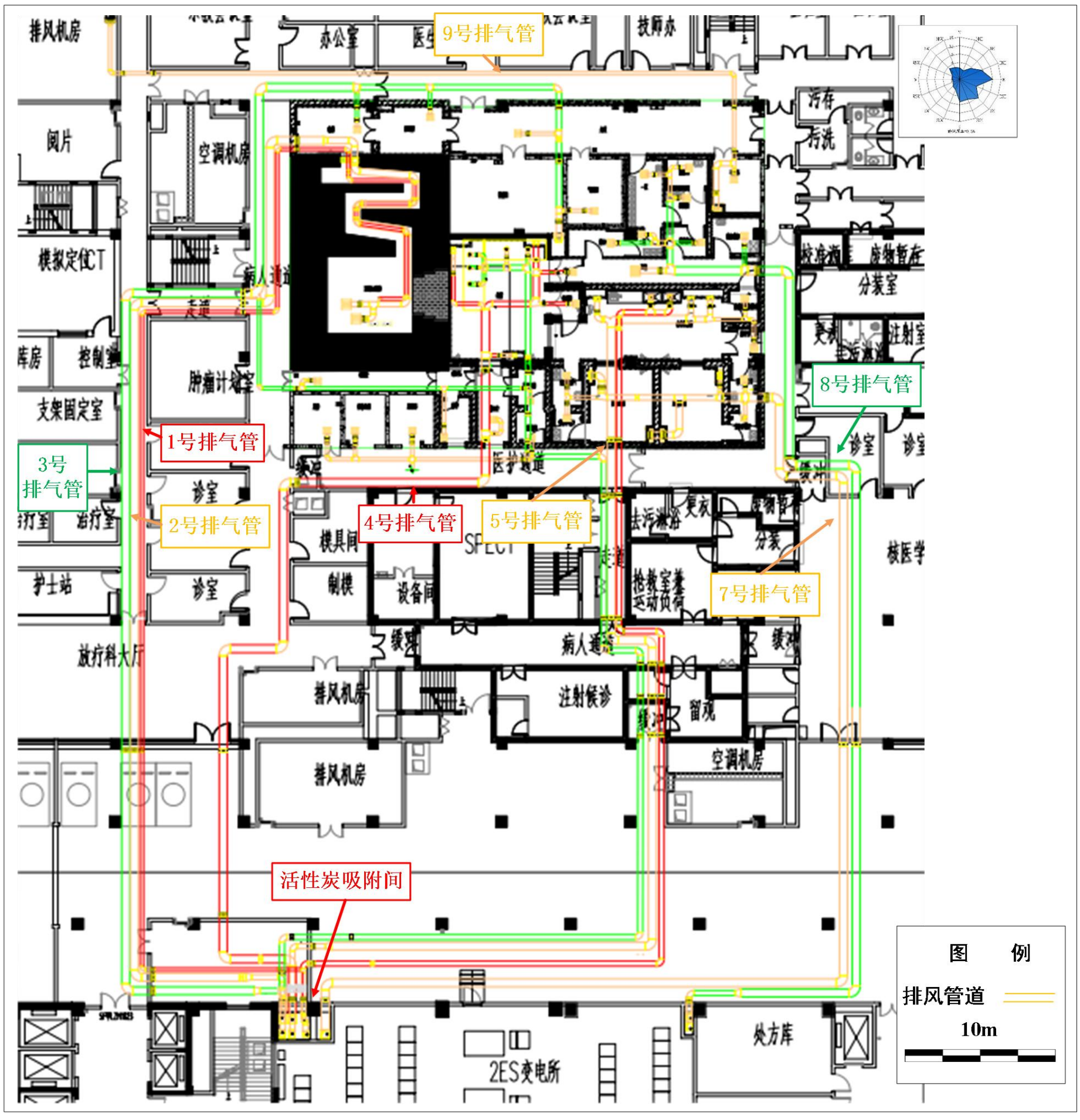
附图 10-3　直线加速器、后装机排风系统设计图

附图 11.2-1　　核医学工作场所平面布置图

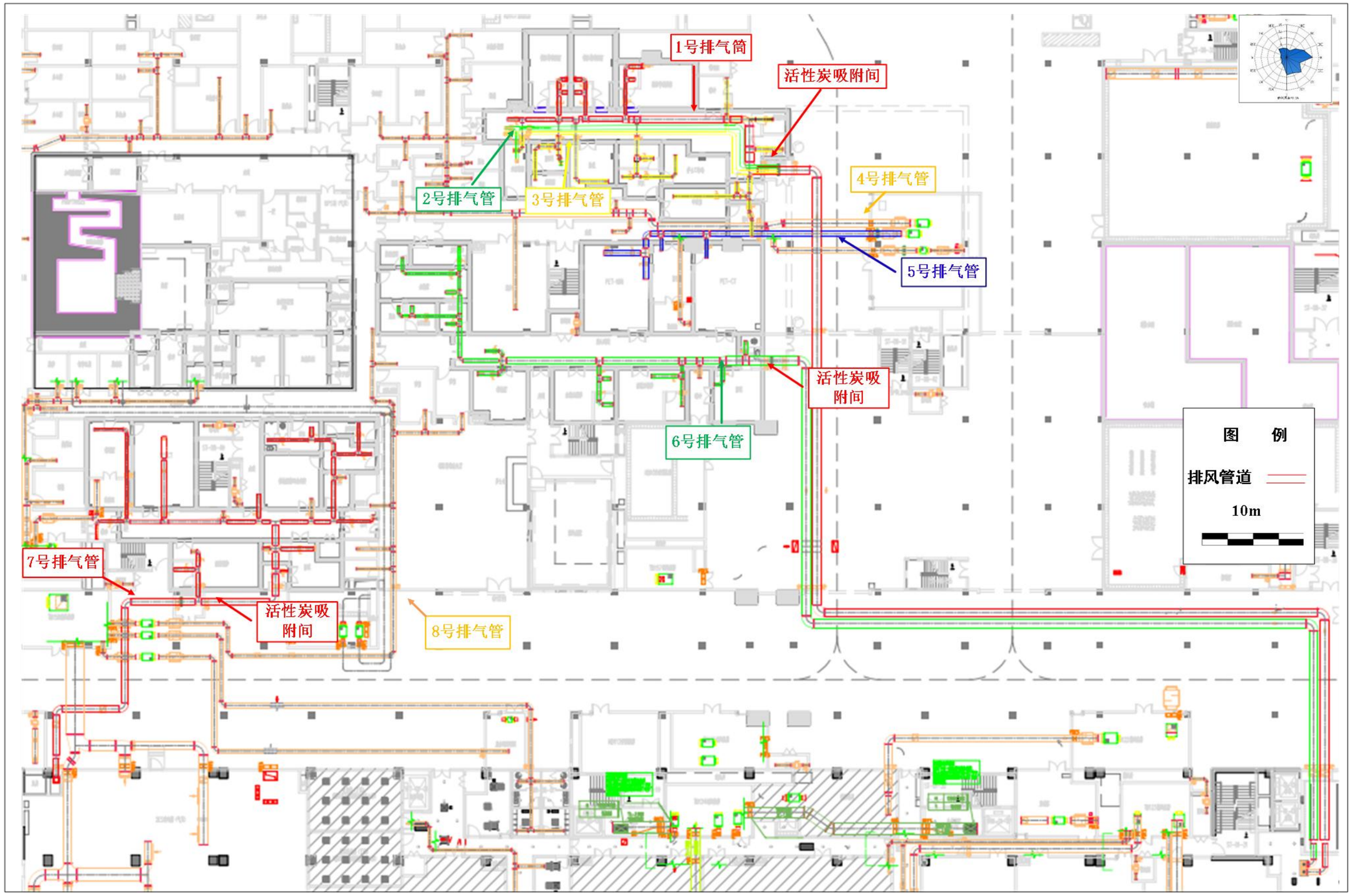
附图 11.2-2　核医学工作场所分区图



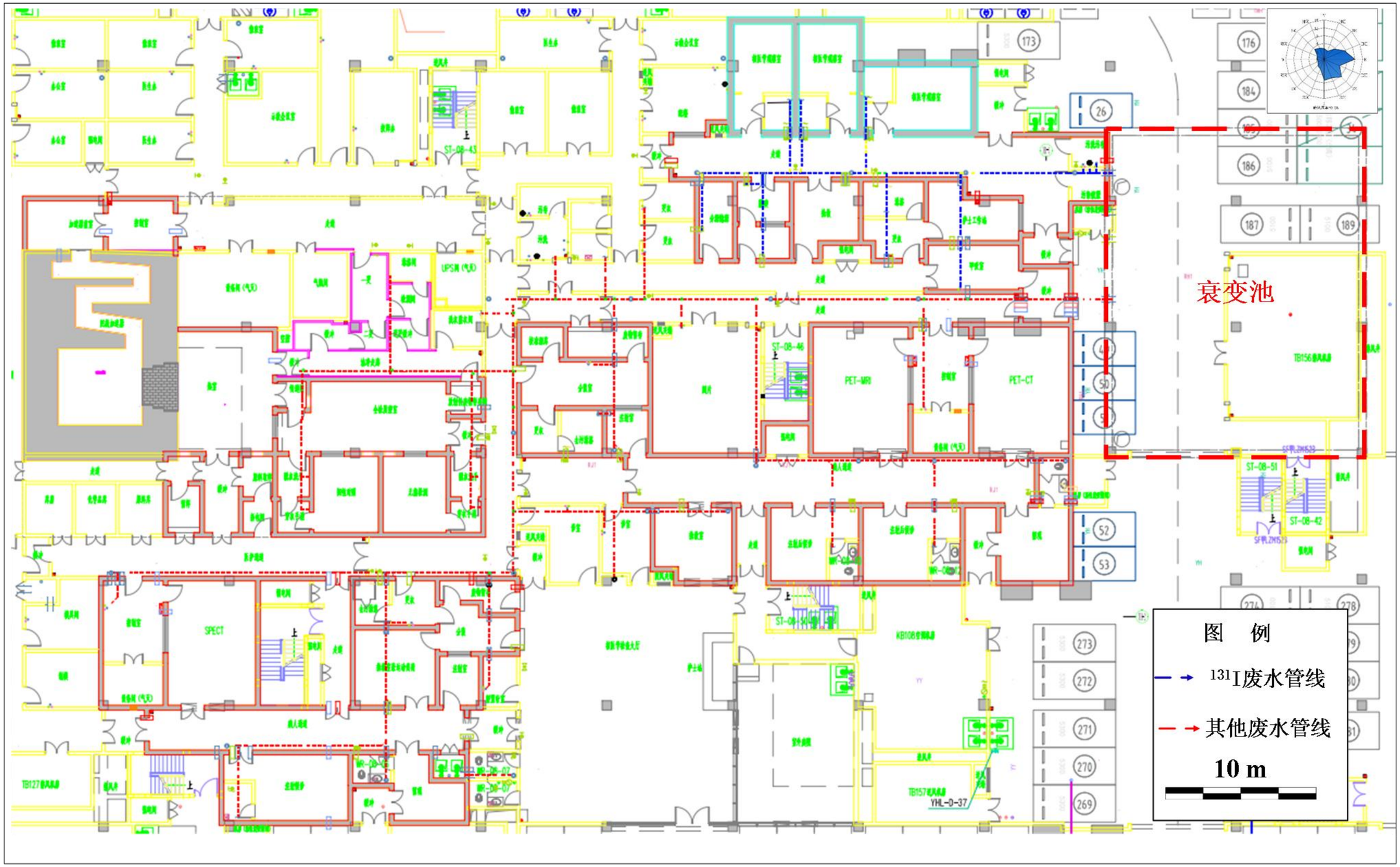
附图 11.2-3　核医学工作场所人流、物流走向示意图



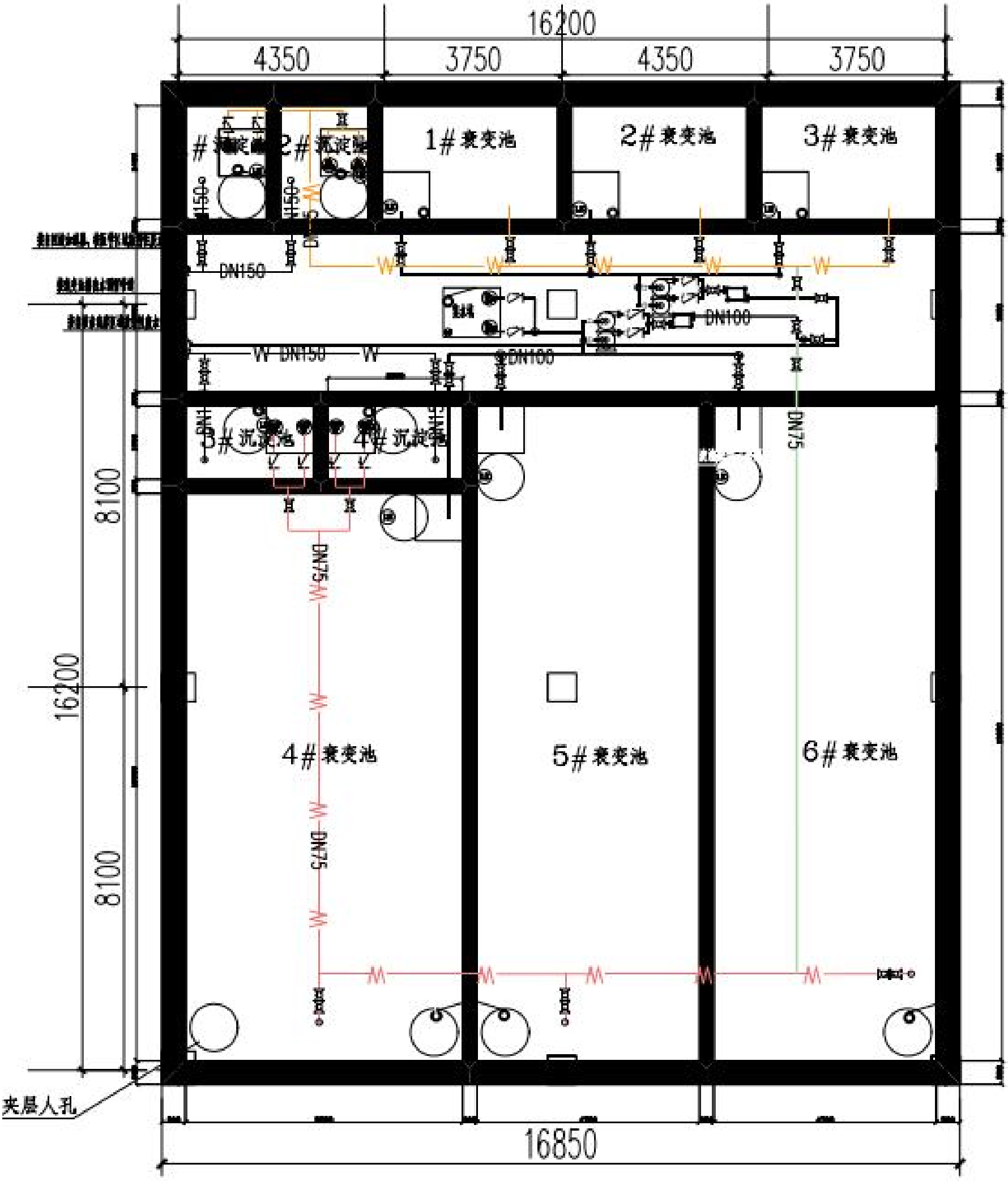
附图 11.2-4　PET 用药制备场所通风系统设计图



附图 11.2-5　PET、SPECT 诊断场所、^{131}I 诊疗场所通风系统设计图



附图 11.2-6　核医学工作场所放射性废水输送管道路径示意图



负一层衰变池池体管路点位平面图1:100

附图 11.2-7　衰变池平布布置及工艺管线设计图

附件 4：法人证书、执业许可证

事业单位法人证书

统一社会信用代码 12370481493330138U

名　　称 滕州市中医医院

法定代表人 郝德春

宗旨和业务范围 以病人为中心，以质量为核心，全心全意为广大人民群众健康服务。完成市政府交给的各项业务工作和临时性任务，其中包括：医疗、护理、教学、科研、药剂、康复、预防保健、健康教育、养老服务、临终关怀、培训等

经费来源 财政补贴

开办资金 ￥605.8万元

住　　所 滕州市善国中路52号

举办单位 滕州市卫生健康局

登记管理机关 滕州市事业单位登记管理局

有效期 自2025年01月27日至2026年03月31日

请于每年3月31日前向登记管理机关报送年度报告。

国家事业单位登记管理局监制

中华人民共和国

医疗机构执业许可证

机构名称 滕州市中医医院　　**法定代表人** 郝德春

地　　址 滕州市善国中路52号、滕州市学院中路2136号　　**主要负责人** 郝德春

诊疗科目 预防保健科 /内科:呼吸内科专业,消化内科专业,神经内科专业,心血管内科专业,肾病学专业,内分泌专业,免疫学专业;老年病专业 /外科:普通外科专业,神经外科专业;骨科专业;泌尿外科专业;胸外科专业;整形外科专业 /妇产科:妇科专业;产科专业;计划生育专业 /儿科:小儿消化专业;小儿呼吸专业 /眼科 /耳鼻喉科:耳科专业;鼻科专业;喉科专业 /口腔科(口腔外、口腔颌面外、正畸、口腔修复、口腔预防保健;牙体牙髓病专业;牙周病专业;口腔粘膜病专业;儿童口腔专业、口腔颌面外科专业;口腔修复专业;口腔正畸专业;口腔种植专业;口腔病理专业;预防口腔专业 /医疗美容科:美容外科,美容中医科 /肿瘤科 /急诊医学科 /康复医学科 /临终关怀科 /麻醉科 /重症医学科 /医学检验科,临床体液、血液专业;临床微生物学专业;临床化学检验专业;临床免疫;血清学专业;临床细胞分子遗传学专业 /病理科 /医学影像科:X线诊断专业;CT诊断专业;超声波成像诊断专业;超声诊断专业;心电诊断专业;脑电及肌电诊断专业;介入放射学专业 /中医科:内科专业;外科专业;妇产科专业;儿科专业;皮肤科专业;眼科专业;耳鼻喉科专业;骨伤科专业;肛肠科专业;针灸科专业;推拿科专业;康复医学专业******

登记号 49333013837048111A2101

有效期限 自 2025 年 02 月 08 日至 2035 年 06 月 28 日

该医疗机构经核准登记，准予执业

发证机关　枣庄市行政审批服务局

发证日期　2025 年02 月 08 日

中华人民共和国国家卫生健康委员会制

附件 5：可行性研究批复

滕州市行政审批服务局文件

滕行审投字〔2022〕26 号

关于滕州市中医医院迁建项目可行性研究报告的批复

滕州市中医医院:

你单位《滕州市中医医院迁建项目可行性研究报告》已由我局于 2021 年 11 月 3 日批复(滕行审投字〔2021〕97 号),因项目建设内容、投资额等变化较大，你单位重新编制了项目可行性研究报告等文件并报批，经研究，现批复如下:

一、项目名称: 滕州市中医医院迁建项目（项目代码: 2111-370481-04-01-647751）。

二、建设位置: 滕州市东沙河街道平安路南侧，上善大道西侧。

三、建设内容: 按照三级医院标准建设，规划占地面积 176834 平方米，规划建筑面积 400000 平方米，其中地上建筑面积 340000 平方米，地下建筑面积 60000 平方米。主要建设内容包括门诊楼、医技楼、住院楼、综合服务楼、康复

-1-

楼、疫病防治中心、核酸检测中心、地下停车场及其他配套用房等，同时购置各类医疗设备及相关辅助设备设施等。

四、项目投资及资金来源：项目总投资510000万元，由市财政配套255000万元，拟申请专项债券255000万元。

五、建设工期：项目工期为43个月，从2022年9月至2026年3月。

六、项目建设严格执行《招标投标法》等国家有关招标投标的规定，本工程勘察、设计、建筑工程、安装工程、监理、设备购置等，均应通过委托招标形式进行公开招标。

七、自本批复发布之日起，收回《关于滕州市中医医院迁建项目可行性研究报告的批复》（滕行审投字〔2021〕97号）原件并作废。

八、本批复文件有效期为2年，自发布之日起计算。在批复文件有效期内未开工建设的，应在批复文件有效期届满30日前向我单位申请延期。项目在批复文件有效期内未开工建设也未申请延期的，或虽提出延期申请但未获批准的，本批复文件自动失效。

九、如需对本批复文件所规定的有关内容进行调整，请及时以书面形式向我单位报告，并按有关规定办理。

请你单位接此批复后，抓紧完善项目开工前的各项手续，尽快组织实施。

附件：滕州市中医医院迁建项目招标方案核准意见

滕州市行政审批服务局

2022年7月25日

项目登记单

项目代码：2111-370481-04-01-647751

项目所属行政区划：	滕州市	投资项目行业分类：	社会事业
行业核准目录：	社会事业：权限内政府投资项目审批（含初步设计概算审批）		
项目名称：	滕州市中医医院迁建项目		
项目类型：	审批类项目	建设性质：	迁建
项目（法人）单位：	滕州市中医医院		
项目法人证照类型：	统一社会信用代码	项目法人证照号码：	12370481493330138U
拟开工时间：	2022年	拟建成时间：	2025年
总投资：	510000万元	建设地点：	滕州市
建设地点详情：	370000,370400,370481		
所属行业：	卫生	申报日期：	2021-11-02
建设规模及内容：	一、建设位置：滕州市东沙河街道平安路南侧，上善大道西侧。二、建设内容：按照三级医院标准建设，规划占地面积176834平方米，规划建筑面积400000平方米，其中地上建筑面积340000平方米，地下建筑面积60000平方米。主要建设内容包括门诊楼、医技楼、住院楼、综合服务楼、康复楼、疫病防治中心、核酸检测中心、地下停车场及其他配套用房等，同时购置各类医疗设备及相关辅助设备设施等。三、项目投资及资金来源：项目总投资510000万元，由市财政配套255000万元，拟申请专项债券255000万元。四、建设工期：项目工期为43个月，从2022年9月至2026年3月。		
建设地点详细地址			
联系人名称：	甘志浩	联系电话：	13806376955
联系人邮箱：		项目阶段：	

附件 6：环评批复

枣庄市生态环境局文件

枣环滕审字〔2024〕2 号

枣庄市生态环境局
关于滕州市中医医院迁建项目环境影响报告书的批复

滕州市中医医院：

你单位报送的《滕州市中医医院迁建项目环境影响报告书》收悉。经研究，批复如下：

一、项目为迁建，位于滕州市东沙河街道荆河东路南侧。建设 2 栋综合住院楼、1 栋特需住院楼、1 栋康复住院楼、1 栋门急诊医技住院楼、1 栋发热门诊楼、1 栋感染楼、1 栋行政科研楼、1 栋制剂中心、1 栋会议中心、1 栋学生公寓、1 栋专家公寓楼，规划占地面积 176834 平方米，总建筑面积 400000 平方米。项目建成后，共安置床位 2600 张，计划接诊人次 6800 人/天。项目总投资 510000 万元，其中环保投资 600 万元。

在全面落实报告书提出的各项生态保护和污染防治措施后，对环境的不利影响可得到控制和缓解，我局从环保角度原则同意报告书中所列建设项目的性质、规模、地点、环境保护措施等。

-1-

二、项目在建设及运行过程中要严格落实报告书提出的污染防治措施及以下要求：

（一）加强施工期环境管理。严格执行《山东省扬尘污染防治管理办法》（2018年修订本）、《山东省扬尘污染综合整治方案》（鲁环发〔2019〕112号）等相关规定，落实扬尘治理措施。施工期废水、施工垃圾须妥善处理，不得直接外排；优化施工方案，合理安排施工时间，施工场地边界噪声须满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）相关标准。建设期间严格落实安全生产要求，严禁违规作业，严防事故发生。

（二）严格落实大气污染防治措施。污水处理站恶臭气体通过生物除臭塔处理后经15m高的排气筒DA001有组织排放，氨、硫化氢、臭气浓度排放须满足《恶臭污染物排放标准》（GB14554-93）表2标准要求。

食堂油烟经油烟净化器处理后，通过高于楼顶1.5m的排气筒DA002排放，外排废气须满足《饮食业油烟排放标准》（DB37/597-2006）大型规模标准要求。

严格落实报告书中提出的无组织废气治理措施，污水站周边须满足《山东省医疗机构污染物排放控制标准》(DB37/596-2020)表2污水处理站周边大气污染物最高允许浓度限值，院界恶臭污染物浓度须符合《恶臭污染物排放标准》（GB14554-93）表1二级新改扩建标准值要求。

（三）严格落实水污染防治措施。项目实行雨污分流，感染科废水经消毒池预处理，医务人员、管理人员及后勤职工生活污水、门（急）诊废水、普通病房用水、煎药机清洗废水经化粪预处理，化验废水经中和池预处理，食堂废水经隔油预处理，与手术废水、纯水制备废水、空调冷却塔排污水等其他废水合并排至

污水处理站进一步处理。污水处理站出水满足《山东省医疗机构污染物排放控制标准》（DB37/596-2020）表1中二级标准、《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）A等级标准和《流域水污染物综合排放标准第1部分：南四湖东平湖流域》（GB37 3416.1—2023）表2其他排污单位的排放限值要求后，排入市政污水管网，进入国电银河水务（滕州）有限公司进行深度处理。

（四）严格落实土壤和地下水污染防治措施。按照“源头控制、分区防治、污染监控、应急响应”相结合的原则，加强污染防控，落实分区防渗措施，避免发生“跑、冒、滴、漏”现象，防止地下水和土壤污染。

（五）强化噪声污染防治。优化院区平面布置，采取选用低噪声设备、减振、隔声、消声等降噪措施；对进入院区的汽车采取禁止鸣笛、限速等措施；加强管理，禁止就诊及陪护人员大声喧哗及高噪声活动。院界噪声须符合《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的2类标准要求。

（六）严格落实固体废物分类处置措施。生活垃圾、中药药渣由环卫部门定期清运；医疗废物、检验室有毒废液、栅渣、化粪池和污水处理站污泥委托有资质单位进行处置；废包装材料外售废品收购站；未污染的输液瓶（袋）由有资质的再生资源利用单位回收利用；废反渗透膜由厂家回收；厨余垃圾收集后由专业的餐厨垃圾收集单位运输、处置。一般固体废物执行《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》、《一般工业固体废物管理台账制定指南（试行）》（生态环境部公告2021年第82号）、《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）有关要求。医疗废物严格按照《山东省医疗机构污染物排放控制标

准》（DB37/596-2020）、《山东省医疗废物管理办法》、《医疗废物管理条例》、《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）的规定与要求收集、贮存和处置。

（七）健全环境管理制度。按照相关要求在规定位置设置规范的污染物排放口、监测口，并设立标志牌。严格根据相关规定强化落实环境管理及监测计划，安装污染物自动监控设备，并按要求与生态环境部门联网。严格按照国家环境保护相关法律法规以及排污许可证申请与核发技术规范要求申请排污许可证，不得无证排污或不按证排污。

（八）强化环境风险防范和应急措施。你单位须按照有关规定组织开展安全风险评估和隐患排查治理，制定突发环境事件应急预案，配备必要的事故防范应急设施、设备并演练，切实加强事故应急处理及防范能力，确保环境安全。

（九）项目建成后，COD、氨氮排放量应分别控制在22.4t/a、2.24t/a以内，COD、氨氮总量控制指标从国电银河水务（滕州）有限公司总量指标中调剂解决。

（十）强化环境信息公开与公众参与机制。在项目运营过程中，按规定发布企业环境保护信息，自觉接受社会监督。建立畅通的公众参与渠道，加强宣传与沟通工作，及时解决公众反映的环境问题，满足公众合理的环境保护要求。

三、项目建设必须严格执行配套的环境保护设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的环境保护“三同时”制度。项目建成后，须按规定程序实施竣工环境保护验收。

四、若该建设项目的性质、规模、地点、生产工艺或者防治污染、防止生态破坏的措施发生重大变动的，应当重新报批该项目的环境影响报告书。自环境影响报告书批复文件批准之日起，

如超过5年项目才开工的，应当在开工前将环境影响报告书报批重新审核。如根据法律法规等相关规定需要进行更严格要求的，实行从严管理。

五、你单位须履行环境保护主体责任，主动接受各级生态环境部门的监督管理和执法检查。

六、如有符合《中华人民共和国行政许可法》第七十八条“行政许可申请人隐瞒有关情况或者提供虚假材料申请行政许可，行政机关应不予受理或者不予行政许可情形”或不符合相关法律法规规定要求的，本批复自然作废。

枣庄市生态环境局

2024年6月14日

主题词：生态环境　　环境影响评价　　报告书　　批复

抄　送：滕州市生态环境保护综合执法大队、山东绿盾环境服务有限公司

枣庄市生态环境局　　2024年6月14日印发

附件 7：辐射安全许可证

辐射安全许可证

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称：滕州市中医医院

地　　址：滕州市善国中路52号

法定代表人：甘志浩

种类和范围：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置

证书编号：鲁环辐证〔04561〕

有效期至：2028 年 08 月 29 日

发证机关：枣庄市生态环境局

发证日期：2023 年 08 月 30 日

中华人民共和国生态环境部制

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称	滕州市中医医院		
地　　址	滕州市善国中路52号		
法定代表人	甘志浩	电话	13806376955
证件类型	身份证	号码	370481197202100970
涉源部门	名　称	地　址	负责人
	放射科	医院门诊楼	赵茹贵
	介入室	病房楼二楼	邵珠琳
种类和范围	使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置		
许可证条件			
证书编号	鲁环辐证[04561]		
有效期至	2028 年 08 月 29 日		
发证日期	2023 年 08 月 30 日（发证机关章）		

活动种类和范围

（三）射线装置

证书编号：　　鲁环辐证[04561]

序号	装置名称	类别	装置数量	活动种类
1	医用 X 射线诊断机	Ⅲ	9	使用
2	DSA 装置	Ⅱ	1	使用
	以	下	空	白

台帐明细登记

（三）射线装置

证书编号： 鲁环辐证[04561]

序号	装置名称	规格型号	类别	用 途	场 所	来源／去向		审核人	审核日期
1	DR	Definium 6000	III	放射诊断	医院放射科	来源	GE	张琦	2018.02.05
						去向			
2	数字胃肠机	P-SR800+	III	放射诊断	医院放射科	来源	GE	张琦	2018.02.05
						去向			
3	床边DR	130HF	III	放射诊断	医院放射科	来源	日立	张琦	2018.02.05
						去向			
4	牙科X线机	MSD-III	III	放射诊断	医院放射科	来源	GE	张琦	2018.02.05
						去向			
5	16排螺旋CT	Brightspeed Elite Select	III	放射诊断	医院放射科	来源	西安集智	张琦	2018.02.05
						去向			
6	小型C臂	JZ06-1	III	放射诊断	医院放射科	来源	GE	张琦	2018.02.05
						去向			
7	128排螺旋CT	Discovery CT	III	放射诊断	医院放射科	来源	深圳峰瑞	张琦	2018.02.05
						去向			
8	碎石机	HD.ESWL-VII	III	放射诊断	医院放射科	来源	GE	张琦	2018.02.05
						去向			

台帐明细登记

（三）射线装置

证书编号： 鲁环辐证[04561]

序号	装置名称	规格型号	类别	用 途	场 所	来源／去向		审核人	审核日期
9	乳腺机	Senographe Essential	III	放射诊断	医院放射科	来源	GE	张琦	2018.02.05
						去向			
10	DSA	Optima CL3231	II	血管造影	病房楼二楼	来源	美国 GE	陈蕾	2023.8.30
						去向			
						来源			
						去向			
						来源			
						去向			
						来源			
						去向			
						来源			
						去向			
						来源			
						去向			
						来源			
						去向			

附件 8：　医院现有 DSA 项目环评批复及验收文件

8.1 DSA 项目环评批复

枣庄市生态环境局文件

枣环许可字〔2023〕48 号

枣庄市生态环境局
关于滕州市中医医院 DSA 装置应用项目
环境影响报告表的批复

滕州市中医医院:

你单位《DSA 装置应用项目环境影响报告表》收悉。经研究，批复如下:

一、该项目属新建项目，位于枣庄市滕州市善国中路 52 号，总投资 550 万元，其中环保投资 65 万元，环保投资比例 11.82%，DSA 工作场所占地面积约 160 ㎡。你单位拟于病房楼二楼东北侧建设一处 DSA 工作场所，包括 DSA 介入室、控制室、设备间、耗材间、医生办公室、仓库、护士长办公室、女/男更衣室（含卫生间）等，拟购置 1 台 Optima CL3231 型 DSA 装置（属于II类射线装置），安装于 DSA 介入室内，最大管电压为 125kV，最大管

电流为 1000mA。目前 DSA 工作场所已建成，DSA 装置已安装，目前处于未使用状态。

你单位在全面落实报告表提出的各项辐射安全管理、辐射防护和环境风险防范措施，配合当地政府做好区域环境风险防范后，环境不利影响能够得到控制和缓解。从环境保护角度分析，项目建设总体可行。

二、该项目应严格落实环境影响报告表提出的辐射安全管理、辐射防护要求和以下要求。

（一）加强辐射安全管理

1.建立辐射安全责任制，明确单位法人是辐射安全第一责任人，分管负责人为直接责任人，设立辐射工作岗位，明确岗位职责。

2.建立健全辐射安全规章制度。应涵盖设备管理、操作规程、安全使用、质量控制、安全管理、应急管理、辐射防护等方面。

3.加强辐射工作人员辐射安全教育培训，培育公司核安全文化。及时组织辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，经培训合格后方可从事辐射工作。

4.配备必要的辐射监测仪器和场所及个人辐射防护器材。

5.要加强辐射工作人员自身辐射防护，尽可能减少个人受照剂量。要建立辐射工作人员个人剂量档案，并长期保存。

6.制定辐射监测计划，对辐射工作场所和周围环境定期进行辐射监测，并长期保存监测数据。

7.制定本单位辐射事故应急预案，做到定期修订、定期演练、持续有效。

8.每年对本单位从事辐射项目的安全和防护情况进行年度评估，于次年1月31日前向生态环境主管部门报送《辐射安全和防护状况年度评估报告》。

（二）落实辐射防护措施

1.按设计文件和该项目报告表要求建设辐射建设项目，实体防护（墙、门、迷宫、窗等的尺寸、结构、材料等）须满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准（GB18871-2002）》辐射防护要求，项目对环境的辐射影响应控制在评价标准以下。

2.落实各项安全联锁措施。控制台、防护门、指示灯应联锁。

3.按标准和环评报告表要求在机房内设置通风换气系统。

4.在防护门上方设置“工作指示”灯箱，在工作场所醒目处设置“电离辐射”标识或“电离辐射警告”标识。

三、你单位必须严格执行环境保护“三同时”制度，配套建设的环境保护设施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产的环境保护“三同时”制度，项目完成后按规定的程序进行环境保护竣工验收，验收合格后方可投入运行。

四、你单位应在接到此审批意见后10日内，将本审批意见及报告表送枣庄市生态环境局滕州分局，并按规定接受各级生态环境主管部门的监督检查。

枣庄市生态环境局

2023年7月7日

（此页无正文）

公开属性：主动公开

抄　送：枣庄市生态环境保护综合执法支队、枣庄市生态环境局滕州分局

8.2 验收材料

滕州市中医医院 DSA 装置应用项目

竣工环境保护验收意见

滕州市中医医院于 2023 年 09 月 24 日组织召开了 DSA 装置应用项目竣工环境保护验收工作组会议，验收组由建设单位、验收检测及验收报告编制单位、专业技术专家组成（名单附后）。验收组收集整理了相关材料、踏勘了项目现场、核查了 DSA 工作场所建设和辐射防护措施落实情况，听取了建设单位关于项目基本情况的介绍，经验收监测、专家审核，形成验收意见如下：

一、项目基本情况

1．建设内容

滕州市中医医院新建一处 DSA 工作场所，位于病房楼二楼东北侧，新购置 1 台 Optima CL323i 型 DSA 装置，属于 II 类射线装置，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA，DSA 装置导管床东西方向放置，C 形臂位于导管床西侧，安排 11 名辐射工作人员。本项目实际总投资 550 万元，实际环保投资 65 万元。

2．环保审批手续

滕州市中医医院于 2023 年 06 月委托山东益景检测技术有限医院编制了《滕州市中医医院 DSA 装置应用项目环境影响报告表》，枣庄市生态环境局于 2023 年 07 月 07 日对该项目出具了审批意见（枣环许可字[2023]48 号）。

医院于 2023 年 08 月 30 日重新申领了辐射安全许可证，证书编号为“鲁环辐证[04561]”，许可种类和范围为“使用 II 类、III类射线装置”，本次验收的 1 台 Optima CL323i 型 DSA 装置已做许可登记。

3．验收范围

病房楼二楼东北侧一处 DSA 工作场所，1 台 Optima CL323i 型 DSA 装置。

二、变动情况

经现场调查并对照环评批复要求，本项目无重大变动。

三、辐射防护设施落实情况

1．DSA 工作场所包括 DSA 介入室、控制室、设备间、耗材间、医生办公室、仓库、护士长办公室、女/男更衣室（含卫生间）等。介入室四周屏蔽墙体采用 240mm 实心砖+30mm 钡水泥，室顶、地板采用 200mm 混凝土，观察窗采用铅玻璃结构，防护能力为 3.0mmPb。

2．设有 2 处进风口和 1 处排风口，有效通风量为 1000m³/h，换气次数为 6 次/h。

3．患者进出防护门（大防护门）设有防夹装置、工作状态指示灯、门灯联动装置和电离辐射警告标志。同时在灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语；医护人员进出防护门设置防夹装置和电离辐射警告标志。介入室设有观察窗及双向对讲装置，控制台及扫描床处各设一个紧急停机按钮，候诊区设置放射防护注意事项告知栏。

4．DSA 工作场所进行分区管理，将介入室划为控制区，控制室、设备间划为监督区，并在防护门上粘贴电离辐射警告标志和中文警示说明。

5．医院配有 1 台 GAM313 型便携式辐射检测仪、1 台 JF100 型个人剂量报警仪，医师和护师每人配备 2 支个人剂量计。

6．医疗废物依托医疗废物暂存库，交由渤瑞环保股份有限医院处置。

四、辐射管理制度落实情况

1．医院成立了辐射安全领导小组，签订了辐射工作安全责任书。

2．医院制定了《DSA 操作规程》、《设备检修维护制度》、《辐射防护安全和保卫管理制度》、《工作岗位职责》、《人员培训制度》、《台账管理制度》等规章制度，制定了《辐射事故应急预案》，开展了辐射事故应急演练。

3．医院安排 11 名辐射工作人员，其中邵珠琳和王静已参加医用 X 射线诊断与介入放射学辐射安全与防护考核，成绩合格，其余 9 人拟近期参加辐射安全与防护考核，考核合格后方可上岗，并建立了个人剂量档案。

4．医院承诺按要求上传年度评估报告。

五、验收监测结果

1．现场监测结果

（1）关机状态下

DSA 介入室周围空气吸收剂量率范围为 5.92×10^{-8}Gy/h～8.50×10^{-8}Gy/h，处于枣庄市天然辐射水平范围内（室内 3.92×10^{-8}Gy/h～9.14×10^{-8}Gy/h）。

（2）开机状态下

介入室屏蔽体及防护门外周围剂量当量率最大值为 0.15μSv/h，满足环评审批意见及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）“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 2.5μSv/h”要求。

2．职业人员与公众受照剂量

根据计算结果，DSA 控制室职业人员（技师）年有效剂量最大为 0.01944mSv/a；DSA 介入室内职业人员（医师、护师）躯干年有效剂量最大值为 0.287mSv，四肢年当量剂量最大值为 44.282mSv，眼部年当量剂量最大值为 10.729mSv；公众接受的年有效剂量最大值为 0.0182mSv/a，均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的辐射工作人员年有效剂量限值（20mSv）和公众年有效剂量限值（1mSv）的要求，同时满足本项目环评报告及审批意见要求的辐射工作人员年有效剂量约束值（躯干 5mSv、四肢 125mSv、眼晶体 20mSv）和公众年有效剂量约束值（0.1mSv）的要求。

六、验收结论

本项目环保手续齐全，基本落实了环评及环评批复中规定的各项辐射安全管理制度和辐射安全防护措施，监测结果满足环评及环评批复限值要求，满足建设项目竣工环境保护验收条件，验收合格。

七、后续要求

1．进一步完善辐射安全管理机构，强化安全意识，定期检查各项辐射安全防护设施、措施，确保项目安全运行。

2．适时修订和完善辐射安全管理制度，加强应急演练。

滕州市中医医院

2023 年 09 月 24 日

滕州市中医医院 DSA 装置应用项目

竣工环境保护验收工作组名单

组成		姓名	单位	职务/职称	签名
组长	建设单位	程俐	滕州市中医医院	副院长	
成员		梁志刚		设备科主任	
		胡伟		介入科护士长	
	技术专家	刘卫东	山东省核与辐射安全监测中心	研究员	
	验收编制单位	白伟筱	济南固得检测科技有限公司	技术员	
	验收检测单位	刘保伟	济南固得检测科技有限公司	检测员	

附件 9：　辐射环境现状检测报告（γ剂量率）

221512052438

丹波尔环境科技

检　测　报　告

丹波尔辐检[2024]第 229 号

项目名称：滕州市中医医院新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置应用项目

委托单位：山东益源环保科技有限公司

检测单位：山东丹波尔环境科技有限公司

报告日期：2024 年 5 月 20 日

说　　明

1. 报告无本单位检测专用章、骑缝章及CMA章无效。
2. 未经本【检测机构】书面批准，不得复制（全文复制除外）检测报告。
3. 自送样品的委托检测，其检测结果仅对来样负责。对不可复现的检测项目，结果仅对采样（或检测）所代表的时间和空间负责。
4. 对检测报告如有异议，请于收到报告之日起两个月内以书面形式向本公司提出，逾期不予受理。

山东丹波尔环境科技有限公司
地址：济南市历下区燕子山西路 58 号
邮编：250013
电话：0531-61364346
传真：0531-61364346

检 测 报 告

检测项目	γ辐射剂量率		
委托单位、联系人及联系方式	山东益源环保科技有限公司 徐工 13863247875		
检测类别	委托检测	检测地点	拟建场所区域及周围
委托日期	2024 年 4 月 23 日	检测日期	2024 年 4 月 25 日
检测依据	1. HJ61-2021《辐射环境监测技术规范》 2. HJ1157-2021《环境γ辐射剂量率测量技术规范》		
检测设备	检测仪器名称：便携式 X-γ剂量率仪； 仪器型号：FH40G+FHZ672E-10；　内部编号：JC01-09-2013； 系统主机测量范围：10nGy/h～1Gy/h； 探测器测量范围：1nGy/h～100μGy/h； 系统主机能量范围：36keV～1.3MeV； 探测器能量范围：30keV～4.4MeV； 相对固有误差:-11.9%(相对于 ^{137}Cs 参考γ辐射源)； 检定单位：山东省计量科学研究院；检定证书编号：Y16-20232972； 检定有效期至：2024 年 12 月 19 日；　校准因子：1.14。		
环境条件	天气：晴　　温度：25.1℃　　相对湿度：42.3%		
解释与说明	滕州市中医医院拟建设一处核医学场所，用于医院放射诊断、诊疗工作，核医学场所的使用会对周围环境产生影响，依据相关标准在拟建核医学区域及周围进行布点检测。 检测结果见第 2 页； 检测布点示意图及现场检测照片见附图。		

检 测 报 告

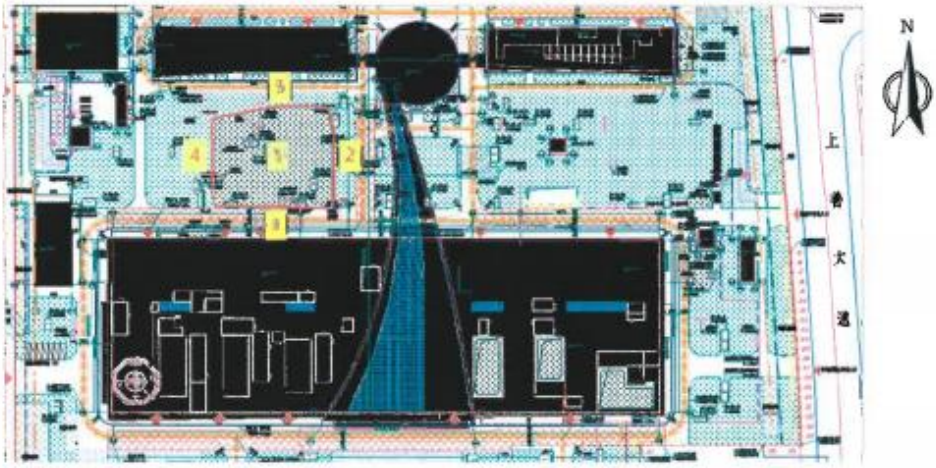
表 1 拟建场所及周围 γ 辐射剂量检测结果（nGy/h）

点位	点位描述	剂量率	标准偏差
1#	新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置区域中间位置	48.2	0.79
2#	新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置区域东侧	53.2	1.30
3#	新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置区域南侧	60.4	0.96
4#	新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置区域西侧	59.5	0.96
5#	新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置区域北侧	60.2	0.91
范　围		48.2～60.4	

注：1. 表中检测数据已扣除宇宙射线响应值 14.8nGy/h；
2. 宇宙射线响应值的屏蔽修正因子，原野及道路取 1，平房取 0.9，多层建筑物取 0.8。

检 测 报 告

附图 1：检测布点示意图



检 测 报 告

附图 2：现场检测照片

以　　下　　空　　白

检测人员 何雪　核验人员 [illegible]　批 准 人 刘东雄

编制日期 2024.5.20　核验日期 2024.5.20　批准日期 2024.5.20

附件 10： 辐射环境现状检测报告（土壤）

CNNC

CMA 231820182527

分 析 检 测 报 告

报告批号：2024-0524

委托单位：山东益源环保科技有限公司

样品类别：土壤

样品数量：2

报告日期：2024年05月09日

核工业二三〇研究所

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-0524　　共 2 页 第 1 页

1　基础信息

委托单位名　称	山东益源环保科技有限公司		
项　目名　称	滕州市中医医院新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA装置、ERCP装置应用项目		
客　户地　址	-		
样品类别	土壤	样品数量	2
检测类别	委托检测	委托日期	2024-04-28
样品来源	委托方送样	是否分包	否
检测项目	总α、总β共二项		

2　检测方法及仪器设备

检测项目	分析方法	使用仪器	检出限
总α	参照 EJ/T 1075-1998参照《水中 总α放射性浓度的测定 厚源法》	低本底α、β测量仪	39.1Bq/L
总β	参照 EJ/T 900-1994参照《水中总放射性测定 蒸发法》	低本底α、β测量仪	17.8Bq/L
意见和解释			

编制：李源　　校核：赵思琪　　签发：柳全良

核工业二三〇研究所
分析检测报告

报告批号：2024-0524　　共 2 页 第 2 页

序号	统一编号	样品原号	样品性质	检测结果	
				Bq/kg	
				总 β	总 α
1	240524-0001	东南侧（上风向）	土壤	863.8	1057.4
2	240524-0002	西北侧（下风向）	土壤	1152.8	1085.1

以下空白

附件 11　专家意见

滕州市中医医院新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置应用项目环境影响报告表技术评审意见

2025 年 7 月 16 日，枣庄市生态环境局组织召开《滕州市中医医院新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置应用项目环境影响报告表环境影响报告表》（以下简称“报告表”）技术评审视频会。建设单位滕州市中医医院、评价单位山东益源环保科技有限公司的代表参加了会议。会议邀请 3 名专家（名单附后）组成专家技术评审组，负责报告表技术评审。

会议期间，与会代表察看了项目建设现场影像资料，建设单位简要介绍了拟建工程的有关情况，评价单位汇报了报告表主要内容。经审阅材料和讨论，形成技术评审意见如下：

一、项目总体评价

为进一步提高医院放射诊疗水平，更好满足患者就诊需求，滕州市中医医院拟在迁建院区（位于滕州市东沙河街道荆河东路南侧，上善大道西侧，明德路东侧，兼爱路北侧）新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置应用项目。

本项目放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置项目用于放射诊疗工作，有利于全面提升所在区域卫生健康事业发展水平，满足人民群众高质量医疗服务需求，具有良好的社会

关规划要求，选址基本合理，在认真落实报告表提出的辐射安全防护与管理措施后，满足相关法律法规及标准的要求，从环境保护角度分析，项目建设可行。

二、报告编制质量评价

报告表内容较齐全，评价依据及标准适当，工程及源强较清晰，评价因子正确，现状检测及评价模式等符合相关技术规范，辐射安全及环境保护措施满足相关法规与标准要求，报告表评价结论总体可信。经进一步完善后，可作为行政许可与辐射环境管理的依据。

三、需要完善的主要内容

1、核实设备参数，细化工程和源项分析；

2、核实工作负荷，补充安全联锁逻辑关系图和辐射安全设施布置图；

3、细化放疗场所、核医学场所隔离措施，明确人流、物流通道；

4、细化碘 131 通风系统设计；

5、考虑脉宽等脉冲参量，完善 DSA 屏蔽校核；

6、细化回旋药物院内转运管控措施；

7、完善辐射事故应急措施，加强应急演练；

8、落实与会代表提出的其他合理化建议。

滕州市中医医院新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置应用项目
环境影响报告表技术评审签字表

序号	姓名	单位	职务	联系方式	签字
1	华芳	山东省核与辐射安全监测中心	研究员	13583196979	华芳
2	宋晓东	山东省电力工程咨询院有限公司	研究员	13356663706	宋晓东
3	马君健	山东省分析测试中心	高级工程师	13708930919	马君健

滕州市中医医院新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置应用项目环境影响报告表

修

改

说

明

山东益源环保科技有限公司

2025 年 **7** 月

滕州市中医医院新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA装置、ERCP装置应用项目环境影响报告表评审意见修改说明

2025年7月16日，滕州市中医医院新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA装置、ERCP装置应用项目组织召开“滕州市中医医院新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA装置、ERCP装置应用项目境影响报告表”(以下简称“报告表”)技术评审视频会，现根据专家组意见，对报告表的修改说明如下：

1.核实设备参数，细化工程和源项分析。

修改说明：经和建设单位沟通，建设单位拟购置的ERCP意向采购厂家为飞利浦、西门子医疗、通用电气、万东等厂家的设备，拟购置设备的最大管电压为125kV，最大管电流为1000mA；因具体生产厂家、设备型号等尚未确定，环评保守按照同类设备最大管电流、管电压进行评价。

2.核实工作负荷，补充安全联锁逻辑关系图和辐射安全设施布置图。

修改说明：

（1）根据单个患者治疗总照射剂量、加速器剂量率以及项目年治疗患者总量，调整直线加速器工作负荷，详见P50。

（2）根据各装置机房安全联锁逻辑关系和辐射安全设施设置情况，补充了各机房辐射安全与防护措施示意图：

①直线加速器机房辐射安全与防护设施分布示意图（图

10.2-5），详见 P64；

②后装机机房辐射安全与防护措施分布示意图（图 10.2-9），详见 P72；

③DSA 机房辐射安全与防护措施示意图（图 12.2-3、图 12.2-4），详见 P204-205；

④ERCP 机房辐射安全与防护措施分布示意图（图 12.2-5），详见 P205。

3. 细化放疗场所、核医学场所隔离措施，明确人流、物流通道。

修改说明：

（1）根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）5.1 的选址要求对核医学场所建设进行了细化，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）5.1 的选址与布局要求对放疗中心建设进行了细化，并对核医学工作场所与放疗中心之间、以及这两个区域与周围区域之间物理隔离措施进行了细化，详见 P8-9。

补充了核医学工作场所、放疗中心与周围区域物理隔离示意图，详见附图 1-11。

（2）补充放疗中心人流物流示意图，对详见附图 10-1；对核医学工作场所人流路径（患者通道、医护通道）、物流路径（放射性药物路径、放射性废物路径）进行了细化，详见 P127-129 及附图 11.2-3。

4. 细化碘 131 通风系统设计。

修改说明：与设计单位沟通，细化了碘 131 通风系统设计，

在碘131分装手套箱活性炭吸附设施后单独设计1条排气管道，将甲癌病房单独设置1条排气管道，该区域其他房间设置1条排气管道，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）6.3通风设计要求，详见P138-139。

5.考虑脉宽等脉冲参量，完善DSA屏蔽校核。

修改说明：补充脉冲频率、脉宽等设备性能技术参数：根据医院提供资料，本项目拟购置DSA设备摄影可采用帧率为30fps，15fps，7.5fps，3.75fps，2fps，1fps，0.5fps，常用频率为15fps；成人取脉冲宽度为10ms/帧，儿童为5ms/帧。单台手术透视最大出束时间约为50s；透视时间因手术不同而有所差异，本项目取综合介入手术最大曝光时间20min。详见P189。

6.细化回旋药物院内转运管控措施。

修改说明：细化了回旋加速器生产药物的院内转运安全防护措施，通过药物包装与屏蔽、路径规划、人员防护设备、操作规范、应急准备、剂量检测与核查、药品交接等方面提出要求，并对意外泄漏等特殊情况分别提出院内转运管控措施，详见P145-146。

7.完善辐射事故应急措施，加强应急演练。

修改说明：通过建立放射性事故报告制度、放射性核素泄漏的、放射源的丢失、卡源、射线装置失控等应急场景提出不同的应急措施，对应急演练场景脚本设置、演练频率、参与单位等方面对应急演练提出具体要求，详见P235-237。

8.按照与会专家提出的意见修改报告。

修改说明：修改说明：对与会代表提出的意见进行了修改。见报告表全文。

专家（签名）：

日期：2025 年 7 月 31 日

滕州市中医医院新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置应用项目环境影响报告表

修

改

说

明

山东益源环保科技有限公司

2025 年 7 月

滕州市中医医院新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置应用项目环境影响报告表专家意见修改说明

2025 年 7 月 16 日，滕州市中医医院新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置应用项目组织召开“滕州市中医医院新建放射诊疗、核医学工作场所、DSA 装置、ERCP 装置应用项目境影响报告表”(以下简称“报告表”)技术评审视频会，现根据专家意见，对报告表的修改说明如下：

1、根据细化核医学工作场所与放射诊疗场所物理隔离措施，明确单独的人员、物流通道，确保核医学工作场所的独立性。

修改说明：

（1）根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）5.1 的选址要求对核医学场所建设进行了细化，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）5.1 的选址与布局要求对放疗中心建设进行了细化，并对核医学工作场所与放疗中心之间、以及这两个区域与周围区域之间物理隔离措施进行了细化，详见 P8-9。

补充了核医学工作场所、放疗中心与周围区域物理隔离示意图，详见附图 1-11。

（2）补充放疗中心人流物流示意图，对详见附图 10-1；对核医学工作场所人流路径（患者通道、医护通道）、物流路径（放射性药物路径、放射性废物路径）进行了细化，详见 P127-129 及

附图 11.2-3。

2、细化回旋加速器生产药物的院内转运安全防护措施。

修改说明：细化了回旋加速器生产药物的院内转运安全防护措施，通过药物包装与屏蔽、路径规划、人员防护设备、操作规范、应急准备、剂量检测与核查、药品交接等方面提出要求，并对意外泄漏等特殊情况分别提出院内转运管控措施，详见 P145-146。

3、规范核技术利用项目职业人员年有效约束值的管理要求，报告中要做到在评价标准中提出的要求，后面章节的分析评价部分都有回应。

修改说明：以《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）为主对报告“表 7 保护目标与评价标准”中执行标准内容进行了调整，增加了待积有效剂量内容，规范了职业人员年有效约束值的管理要求，并分别在后文及结论中进行了回应。详见报告全文。

4、优化附图，做到清晰易读。补充附图 11.2-2 核医学工作场所分区图示。

修改说明：将所有设计建筑结构附图进行了优化，将原图中和内容不相关的文字、距离标注、内容标注等删除，做到了整体图面较简洁，详见附图。

（1）补充了放疗中心、核医学工作场所物理隔离示意图（详见附图 1-11）；

（2）补充了放疗中心平面布置及人流物流示意图（详见附图 10-1）；

（3）细化了核医学工作场所分区图（详见附图 11.2-2）、人流、物流示意图（详见附图 11.2-）等图件。

5、完善项目单位辐射事故应急预案，细化不同场景核技术利用项目可能发生的辐射事故，有针对性的制定应急准备和应急响应措施。

修改说明：细化了回旋加速器生产药物的院内转运安全防护措施，通过药物包装与屏蔽、路径规划、人员防护设备、操作规范、应急准备、剂量检测与核查、药品交接等方面提出要求，并对意外泄漏等特殊情况分别提出院内转运管控措施，详见 P145-146。

6、P．1 使用放射源勾选错误；P．12 表格中 DSA 数量错误；P．70（3）后装机防护门搭接设计中，出现“加速器治疗室迷道外”，错误。

修改说明：

（1）修改表 1 中放射源类别为“III类”，详见 P1；

（2）修改表 4 中 DSA 数量为“4 台”，详见 P12；

（3）修改后装机防护门搭接设计中笔误内容为“后装机房迷道外”。

专家（签名）：

日期：2025 年 7 月 31 日