

广州医科大学附属第一医院娄底医院  
核技术利用新建项目  
环境影响报告表

(送审稿)

建设单位 (盖章): 广州医科大学附属第一医院娄底医院

编制日期: 二〇二四年一月

# 广州医科大学附属第一医院娄底医院 核技术利用新建项目 环境影响报告表

(送审稿)

建设单位名称：广州医科大学附属第一医院娄底医院

建设单位法人代表(签名或签章)：

辉左  
印建

通讯地址：娄底市娄星区南环路与新星南路交叉口东南角

邮政编码：417000

联系人：王

电子邮箱：

@qq.com 联系电话：135

打印编号: 1705287609000

## 编制单位和编制人员情况表

项目编号	2bb505		
建设项目名称	广州医科大学附属第一医院娄底医院核技术利用新建项目		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
<b>一、建设单位情况</b>			
单位名称 (盖章)	广州医科大学附属第一医院娄底医院		
统一社会信用代码	12431300MB1P52227T		
法定代表人 (签章)	左建辉		
主要负责人 (签字)	胡		
直接负责的主管人员 (签字)	王		
<b>二、编制单位情况</b>			
单位名称 (盖章)	湖南三方环境科技有限公司		
统一社会信用代码	91430111MA4L287J6K		
<b>三、编制人员情况</b>			
<b>1. 编制主持人</b>			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
<b>2 主要编制人员</b>			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
	项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理		
	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物、评价依据、环境保护目标与评价标准、环境质量现状、结论与建议		



本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、环境保护部批准颁发。它表明持证人通过国家统一组织的考试,取得环境影响评价工程师的职业资格。

This is to certify that the bearer of the Certificate has passed national examination organized by the Chinese government departments and has obtained qualifications for Environmental Impact Assessment Engineer.



Ministry of Human Resources and Social Security  
The People's Republic of China



Ministry of Environmental Protection  
The People's Republic of China  
编号: HP00017533  
No.



姓名: \_\_\_\_\_  
Full Name \_\_\_\_\_  
性别: \_\_\_\_\_  
Sex \_\_\_\_\_  
出生年月: \_\_\_\_\_  
Date of Birth \_\_\_\_\_  
专业类别: \_\_\_\_\_  
Professional Type \_\_\_\_\_  
批准日期: 2015年5月24日  
Approval Date

持证人签名:  
Signature of the Bearer



签发单位盖章:  
Issued by \_\_\_\_\_  
签发日期: 2015年11月11日  
Issued on \_\_\_\_\_  
职称专用章  
(1)

管理号: 2015035110362014110703900053  
File No.



单位信息查看

专项整治工作补正

单位信息查看

湖南三方环境科技有限公司

注册时间: 2019-10-29 操作事项: 未有待办

当前状态: 正常公开

当前记分周期内失信记分

0

2023-10-30~2024-10-29

信用记录

基本情况

基本信息

单位名称:	湖南三方环境科技有限公司	统一社会信用代码:	
组织形式:	有限责任公司	法定代表人(负责人):	
法定代表人(负责人)证件类型:	身份证	法定代表人(负责人)证件号码:	
住所:	湖南省 - 长沙市 - 雨花区 - 振华路519号聚合工业园15栋401房		

设立情况

出资人或者举办单位等的名称(姓名)	属性	统一社会信用代码或身份证件号码
	自然人	
	自然人	
	自然人	

本单位设立材料

材料类型	材料文件
营业执照	<a href="#">公司营业执照副本2019.6.jpg</a>
章程	<a href="#">公司章程2019.5.27修订.pdf</a>

关联单位

单位名称(姓名)	统一社会信用代码(身份证号码)	法定代表人(负责人)	关联关系
----------	-----------------	------------	------

基本情况变更

信用记录

环境影响评价报告(表)信息提交

变更记录

编制人员

环境影响评价报告(表)情况 (单位: 本)

近三年编制环境影响评价报告(表)累计 79 本

报告书	19
报告表	60

其中, 经批准的环境影响报告(表)累计 12 本

报告书	4
报告表	8

编制人员情况 (单位: 名)

编制人员总计 31 名

具备环评工程师职业资格	2
-------------	---

注册时间: 2019-11-04

当前状态: 正常公开

当前记分周期内失信记分

0  
2023-11-04~2024-11-03

信用记录

况

基本信息

姓名:		从业单位名称:	湖南三方环境科技有限公司
职业资格证书管理号:		信用编号:	

变更记录

信用记录

环境影响报告书(表)情况 (单位: 本)

近三年编制环境影响报告书(表)累计 **45** 本

报告书	13
报告表	32

其中, 经批准的环境影响报告书(表)累计 **6** 本

报告书	2
报告表	4

环境影响报告书(表)情况

近三年编制的环境影响报告书(表)

序号	建设项目名称	项目编号	环评文件类型	项目类别	建设单位名称	编制单位名称	编制主持人	主要编制人员
1	广州医科大学附属...	2bb505	报告表	55--172核技术利...	广州医科大学附属...	湖南三方环境科技...		
2	娄底市第四污水处...	xyz43z	报告表	43--095污水处理...	娄底市城市发展集...	湖南三方环境科技...		
3	润海脂生产项目	2065o0	报告书	22--042精炼石油...	湖南九华石油科技...	湖南三方环境科技...		湘江
4	湖南中为科建制造...	0t3b93	报告表	30--066结构性金...	湖南中为科建制造...	湖南三方环境科技...		
5	水混预制构件加工...	11nags	报告表	27--055石膏、水...	湘潭市文昌砂石建...	湖南三方环境科技...		湘江
6	年回收1.2万吨碳酸...	lw6w96	报告书	36--081电子元件...	湖南省锐驰环保科...	湖南三方环境科技...		
7	全新LCV核心零部件...	32hf91	报告表	33--071汽车整车...	湖南远程新能源商...	湖南三方环境科技...		湘江
8	香他她集团总部基...	54c4te	报告表	11--021糖果、巧...	长沙黄鑫泰实业有...	湖南三方环境科技...		长沁
9	20万车付汽车零配...	di9ap7	报告表	33--071汽车整车...	长沙市比亚迪汽车...	湖南三方环境科技...		长沁

人员信息查看

注册时间: 2019-11-04

当前状态: 正常公开

当前记分周期内失信记分

0  
2023-11-06~2024-11-05

信用记录

基本情况

基本信息

姓名:		从业单位名称:	湖南三方环境科技有限公司
职业资格证书管理号:		信用编号:	

编制的环境影响报告书(表)情况

近三年编制的环境影响报告书(表)

序号	建设项目名称	项目编号	环评文件类型	项目类别	建设单位名称	编制单位名称	编制主持人	主要编制人员
1	广州医科大学附属...	2bb505	报告表	55--172核技术利...	广州医科大学附属...	湖南三方环境科技...		
2	核技术利用扩建项...	zh2x67	报告表	55--172核技术利...	湘潭市中医医院	湖南三方环境科技...		
3	年产1000吨塑料制...	69q940	报告书	20--039印刷	湖南大道新材料有...	湖南三方环境科技...		湘
4	新建110kV输变电工...	c5p0ha	报告表	55--161输变电工程	湖南裕能循环科技...	湖南三方环境科技...		
5	湖南裕能110kV输变...	56x5y4	报告表	55--161输变电工程	湖南裕能新能源电...	湖南三方环境科技...		
6	浅层X射线放疗治疗...	hh87h8	报告表	55--172核技术利...	长沙中科皮肤病医...	湖南三方环境科技...		
7	年产5万吨纳米级磷...	dshnqc	报告表	36--081电子元件...	湖南裕能新能源电...	湖南三方环境科技...		
8	湘钢厂区金属丝绳...	k31x5f	报告书	30--066结构性金...	湖南湘钢金属材料...	湖南三方环境科技...		
9	年产1万套充电桩改...	4y0911	报告表	35--077电机制造...	湖南爱可信装备制...	湖南三方环境科技...		

变更记录

信用记录

环境影响报告书(表)情况 (单位: 本)

近三年编制环境影响报告书(表)累计 10 本

报告书	3
报告表	7

其中, 经批准的环境影响报告书(表)累计 1 本

报告书	1
报告表	0



统一社会信用代码

91430111MA4L287J6K

# 营业执照

(副本)

副本编号: 1-1



扫描二维码登录  
“国家企业信用  
信息公示系统”  
了解更多登记、  
备案、许可、监  
管信息。

名称 湖南三方环境科技有限公司

注册资本 壹仟贰佰万元整

类型 有限责任公司(自然人投资或控股)

成立日期 2015年12月17日

法定代表人 刘剑

住所 长沙市雨花区振华路519号聚合工业园15栋401房

经营范围

一般项目: 技术服务、技术开发、技术咨询、技术交流、技术转让、技术推广; 环保咨询服务; 生态环境监测及检测仪器仪表销售; 水质污染物监测及检测仪器仪表销售; 生态环境监测及检测仪器仪表销售; 环境保护监测; 环境监测专用仪器仪表销售; 大气环境污染防治服务; 水环境污染防治服务; 土壤环境污染防治服务; 软件开发; 软件销售; 仪器仪表销售; 固体废弃物检测仪器仪表销售; 广告设计、代理; 会议及展览服务; 法律咨询(不含依法须经批准的项目许可的业务); 五金产品批发; 五金产品零售; 机械设备销售; 机械设备研发; 信息技术咨询服务; 广告制作; 租赁服务(不含许可类租赁服务); 对外承包工程; 工程管理服务; 土壤污染治理与修复服务; 环境卫生管理(不含环境质量监测、污染源检查、城市生活垃圾、建筑垃圾、餐厨垃圾的处置服务); 电子产品销售; 新材料技术研发; 碳减排、碳转化、碳捕集、碳封存技术研发; 园区管理服务; 资源循环利用服务技术咨询; 规划设计管理; 安全咨询服务; 土地调查评估服务; 水土流失防治服务; 电子、机械设备维护(不含特种设备); 环境应急技术装备销售; 环境应急治理服务; 环境保护专用设备销售; 网络与信息安全软件开发; 水污染治理; 大气污染治理; 电气设备销售; 农业面源和重金属污染防治技术服务; 生态恢复及生态保护服务; 土壤及场地修复装备销售; 土地整治服务; 汽车销售; 纸制品销售; 电子专用设备销售; 电子专用材料销售; 音响设备销售; 计算机及办公设备维修; 专用设备修理; 合同能源管理; 节能管理服务; 温室气体排放控制技术研发; 生态资源监测; 光通信设备销售(除依法须经批准的项目外,凭营业执照依法自主开展经营活动)许可项目: 建设工程施工; 建设工程设计; 建设工程监理。

新建项目, 他用无效。

仅用于广州医科大学附属第一医院娄底医院核技术利用

登记机关



2023年11月1日

国家企业信用信息公示系统网址: <http://www.gsxt.gov.cn>

市场主体应当于每年1月1日至6月30日通过国家企业信用信息公示系统报送公示年度报告。

国家市场监督管理总局监制

# 目 录

表 1	项目基本情况 .....	1
表 2	放射源 .....	14
表 3	非密封放射性物质 .....	14
表 4	射线装置 .....	15
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物） .....	17
表 6	评价依据 .....	18
表 7	保护目标与评价标准 .....	20
表 8	环境质量和辐射现状 .....	34
表 9	项目工程分析与源项 .....	37
表 10	辐射安全与防护 .....	69
表 11	环境影响分析 .....	96
表 12	辐射安全管理 .....	160
表 13	结论与建议 .....	171
表 14	审批 .....	176
附件	.....	178

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		广州医科大学附属第一医院娄底医院核技术利用新建项目			
建设单位		广州医科大学附属第一医院娄底医院			
法人代表		左建辉	联系人		联系电话
注册地址		娄底市娄星区南环路与新星南路交叉口东南角			
项目建设地点		娄底市娄星区南环路与新星南路交叉口东南角 项目中心地理位置为北纬 27°39'25.08"，东经 112°1'20.54"			
立项审批部门		/		批准文号 /	
建设项目总投资（万元）		9000 万	建设项目环保投资（万元）	2208 万	投资比例（环保投资/总投资） 24.5%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积(m <sup>2</sup> ) /
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类 <input checked="" type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" type="checkbox"/> 制备正电子放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input checked="" type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
	其他	/			

## 1.1 项目概况

### 一、医院简介和项目背景

为缓解当前传染病及应对公共卫生突发医疗床位不足的问题，全面提升娄底市或周边乡镇重大传染病救治能力和疾控机构核心能力，有效应对重大传染病疫情和突发公共卫生事件，保障人民身体健康和生命安全，娄底市卫生健康委员会拟在万宝新区南环路与新星南路交叉口东南角新建广州医科大学附属第一医院娄底医院（原名“娄底市城南医院建设项目”，又称“娄底市湘中医院（城南医院）”，又称“广州医科大学附属第一医院湘中医院建设项目”），设计为三级甲等综合医院。建设有门急诊医技综合楼、住院楼、传染病楼、行政科研综合楼等，配套建设硬化、亮化、绿化、给排水、供电、消防及环保工程等。项目分两期建设，建成后可提供总床位1950张，其中一期床位为1200张，二期床位为750张。全年工作365天。“广州医科大学附属第一医院娄底医院”主体环评已于2023年11月30取得，目前主体建筑正处于施工阶段。

## 1.2 项目由来

本项目为核技术利用新建项目，项目涉及到的用房主体工程为医院项目的组成部分，该项目于2023年1月委托湖南鑫创咨询管理有限责任公司编制《广州医科大学附属第一医院娄底医院环境影响报告书》，娄底市生态环境局已于2023年11月30日出具关于《广州医科大学附属第一医院娄底医院环境影响报告书》的审批意见，娄环审〔2023〕45号。

根据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021版）中（以下简称“名录”），项目主要为核技术利用建设项目，项目属于名录中的“五十五、核与辐射”中的“172、核技术利用建设项目”中的“制备PET用放射性药物的；医疗使用 I 类放射源的；使用 II 类、III 类放射源的；生产、使用 II 类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）；在野外进行放射性同位素示踪试验的；以上项目的改、扩建（不含在已许可场所增加不超出已许可活动种类和不高于已许可范围等级的核素或射线装置的）”类别，环评类别确定为“报告表”。湖南三方环境科技有限公司受广州医科大学附属第一医院娄底医院委托编制该核技术利用新建项目环境影响报告表。本环评单位接受委托后即派技术人员现场踏勘，并对项目所在地周边环境进行调查，经资料收集、分析、调研后，按照按照辐射项目环境影响评价技术规范的要求，编制完成了《广州医科大学附属第一医院娄底医院核技术利用新建项目环境影响报告表》。主要包括：

(1) 项目拟在院区门急诊医技综合楼三层中心手术室，新建2间DSA手术室，安装使用2台DSA设备，为II类射线装置；

(2) 项目拟在门急诊医技综合楼三层介入中心，新建4间DSA机房，安装使用4台DSA设备为II类射线装置；

(3) 项目拟在门急诊医技综合楼一层成人急诊放射科，新建1间DSA机房，安装使用1台DSA设备，为II类射线装置；

(4) 项目拟在住院楼负一层南侧（设计图上显示负二层，相对来说实际为医院负一层，全文以负一层表述）新建放疗中心，拟新建2个加速器机房，安装使用2台X射线能量最大10MV的医用直线加速器，为II类射线装置；拟新建1个后装治疗机房及相关辅助用房，安装一台后装治疗机（使用1枚铯-192  $^{192}\text{Ir}$  放射源治疗，场所内存在1枚 $^{192}\text{Ir}$  退役源暂存情况）；

(5) 项目拟在门急诊医技综合楼三层内镜中心新建ERCP机房，配置1台ERCP，用于内镜下逆行胰胆管造影检查、治疗，为II类射线装置；

(6) 项目拟在住院楼负一层新建一处核医学工作场所，拟用于候诊大厅及核医学科医务人员办公，包括问诊室、值班室、阅片室、资料室、主任办公室等；将负一层东南侧拟新建1台回旋加速器（自屏蔽）与其他辅助用房，生产 $^{18}\text{F}$ 放射性药物，用于医院使用 $^{18}\text{F}$ 放射性药物开展核医学影像诊断工作；拟新建PET诊疗场所，包括2间PET机房与其他辅助用房，并新购置1台PET/CT机和1台PET/MRI；拟新建SPECT/CT诊疗场所，拟建SPECT/CT机房与其他辅助用房，并新购置2台SPECT机（III类射线装置）；拟新建西南侧 $^{131}\text{I}$ 治疗场所，包括核素治疗病房3间，共6个床位，进行甲癌治疗、甲亢治疗、甲状腺检测；拟新建敷贴治疗室，使用 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ，进行敷贴治疗；拟新建骨转移治疗室，使用 $^{89}\text{Sr}$ 进行临床治疗。

## 1.3 项目概况

### 1.3.1 本项目工程建设

- 1、项目名称：广州医科大学附属第一医院娄底医院核技术利用新建项目
- 2、建设单位：广州医科大学附属第一医院娄底医院
- 3、建设性质：新建
- 4、建设地点：湖南省娄底市万宝新区南环路与新星南路交叉口东南角
- 5、项目投资：项目总投资9000万元，其中环保投资2169万元，占总投资24.1%。

### 1.3.2 本项目计划购置设备及后装放射源

本次项目的射线装置参数见下表 1-1。

表 1-1 本项目使用医用射线装置和后装放射源参数表

序号	装置名称	类别	型号	拟定参数	数量 (台)	应用场所
1	DSA	II类	待定	最大管电压 125 kV 最大管电流 1000 mA	1	中心手术室
2	DSA	II类	待定	最大管电压 125 kV 最大管电流 1000 mA	1	中心手术室
3	DSA	II类	待定	最大管电压 125 kV 最大管电流 1000 mA	1	介入中心
4	DSA	II类	待定	最大管电压 125 kV 最大管电流 1000 mA	1	介入中心
5	DSA	II类	待定	最大管电压 125 kV 最大管电流 1000 mA	1	介入中心
6	DSA	II类	待定	最大管电压 125 kV 最大管电流 1000 mA	1	介入中心
7	DSA	II类	待定	最大管电压 125 kV 最大管电流 1000 mA	1	成人急诊放射科
8	直线加速器	II类	待定	最大 X 射线能量： 6MV/10MV	1	放疗中心
9	直线加速器	II类	待定	最大 X 射线能量： 6MV/10MV	1	放疗中心
10	ERCP	II类	待定	最大管电压 120kV 最大管电流 125mA	1	门急诊医技综合楼三 层内镜中心
11	回旋加速器(自屏蔽)	II类	待定	能量：≤20 MeV 束流强度：≤ 0.15 A 生产放射性核素 F-18	1	核医学科
12	SPECT/CT	III类	待定	最大管电压 140 kV 最大管电流 800 mA	1	核医学科
13	SPECT/CT	III类	待定	最大管电压 140 kV 最大管电流 800 mA	1	核医学科
14	PET/CT	III类	待定	最大管电压 140 kV 最大管电流 800 mA	1	核医学科
15	PET/MRI	/	待定	/	1	核医学科
16	后装机( <sup>192</sup> Ir 源)	/	待定	$1.0 \times 10^9 \text{Bq} \times 2 \text{枚}$	1	核医学科

表 1-2 本项目项目使用放射源参数表

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq)	数量枚 (套) 数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	<sup>68</sup> Ge	$5.5 \times 10^7$	2	V类	使用	PET 校准	住院楼负一层核医学科	核医学储源室	/
2	<sup>90</sup> Sr ( <sup>90</sup> Y)	$1.012 \times 10^9$	1	V类	使用	敷贴治疗	住院楼负一层核医学科	核医学储源室	/
3	<sup>192</sup> Ir	$1.0 \times 10^9$	2	II类	使用	后装机治疗	住院楼负一层放疗中心	后装机治疗机房内	/

### 1.3.3 新建核医学科使用非密封放射性物质

本次项目新建核医学科使用放射源和非密封放射性物质见下表 1-2, 1-3。

表 1-3 新建核医学科使用非密封放射性物质表

序号	核素名称	半衰期	形状	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
1	<sup>18</sup> F	109.8min	液态	$2.59 \times 10^{10}$	$2.59 \times 10^8$	$6.734 \times 10^{12}$	生产 / 使用
2	<sup>99m</sup> Tc	6.02h	液态	$6.66 \times 10^{10}$	$6.66 \times 10^8$	$1.731 \times 10^{13}$	使用
3	<sup>89</sup> Sr	50.53d	液态	$1.48 \times 10^9$	$1.48 \times 10^8$	$3.848 \times 10^{11}$	使用
4	<sup>131</sup> I	8.04d	液态	$4.63 \times 10^{10}$	$6.29 \times 10^8$	$3.15 \times 10^{12}$	使用

根据 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》附录 C 中：非密封源工作场所的级别按照放射性核素日等效最大操作量的大小分级。放射性核素日等效最大操作量的计算方法如下：

$$\text{日等效最大操作量} = \frac{\text{实际日最大操作量 (Bq)} \times \text{毒性组别修正因子}}{\text{操作方式与放射性物质状态修正因子}}$$

经计算，新建核医学科使用非密封放射性核素日等效最大操作量为： $1.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ；依据 GB18871-2002 附录C 中规定乙级非密封源工作场所： $2.0 \times 10^7$ — $4.0 \times 10^9 \text{Bq}$ ，因此本项目新建核医学科（住院楼负一层）为乙级非密封放射性物质工作场所。

### 1.3.4 本项目劳动定员和工作制度

本项目使用设备全部新购，其工作场所均为新增辐射工作场所。

本项目建设完成后，新建中心手术室（2台DSA）计划配备辐射工作人员12人，其中：医师8人，技师2人，护士2人，全部为新增人员；新建介入中心（4台DSA），计划配备辐射工作人员24人，其中：医师16人，技师4人，护士4人，全部为新增人员；新建成人急诊放射科，新建1间DSA机房（1台DSA），计划配备辐射工作人员6人，其中医师3人，技师2人，护士1人；新建1间ERCP机房（1台ERCP），计划配备辐射工作人员7人，其中医师4人，技师2人，护士1人；新建放疗中心（2台直线加速器，1台后装机）计划配备辐射工作人员12人，其中：医师6人，物理师2人，技师4人，全部为新增人员；核医学科计划配备辐射工作人员36人，其中：医师20人，技师6人，护士8人，回旋加速器配1名物理师，1名放药化学师，全部为新增人员，医院新增放射工作人员97人。

放射工作人员在项目运行前需进行：

- （1）上岗前、在岗中职业健康检查，同时每1~2年进行了职业健康体检；
- （2）进行辐射安全与防护相关培训，考核成绩合格，持证上岗，定期参加复训；
- （3）正确佩戴热释光个人剂量计，每季度送检，监测结果存档备案。

工作制度：

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年1月4日实施）第十三条要求“生产放射性同位素的单位，要有建立健全的操作规程、岗位职责、辐射防护制度、安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训制度、台账管理制度和监测方案”，第十六条要求“使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等”。

本环评要求医院新增辐射工作人员在项目正式运行前参加辐射安全与防护知识考核、进行上岗前职业健康检查、配备个人剂量计，在辐射安全与防护知识考核合格和排除职业禁忌证后方可上岗。并且按管理办法的要求制定了上述辐射安全管理规章制度，为保障项目正常运行时周围环境的安全，确保公众、操作人员避免遭受意外照射和潜在照射，医院制定了一系列的规章制度，详见附件。

## 1.4 本项目地理位置及场所选址、布局合理性分析

### 1.4.1 建设单位的地理位置

广州医科大学附属第一医院娄底医院位于于万宝新区南环路与新星南路交叉口东南角，场地属丘陵地带，场地西北和东南侧局部山地坡度较高，整体地势呈现出由场地东北端向西南端升高的地形走势。项目红线范围内建筑物已基本拆迁完毕，场地内主要以灌木丛为主导的半自然人工生态系统。中心地理位置为东经112.025321°，北纬27.659331°，项目地理位置见附图1

### 1.4.2 本项目工作场所的选址

依据医院整体规划，广州医科大学附属第一医院娄底医院规划为一院、四区、双轴、构筑完备的医疗体系，从北至南形成由急到缓、从开发到管理的医疗轴线，自东北向西南顺时针方向依次布置行政科研教学区、综合服务区、综合医疗区、传染病医疗区。综合医疗区南靠规划滨湖街，布置有门诊楼、急诊楼、住院部，沿景观最优、沿街面最长面向开口作为门急诊出入口；传染病医疗区布置于场地下风向西南侧。

医院共设置八个出入口，主要人流由南侧滨湖街路，经步行广场进门诊大厅，由医疗街进入各功能区，沿门诊广场两侧分别设置急诊车行出入口、急救车行出入口、门诊、住院车行出入口。南侧西部设置传染车行出入口及院区污物出口。其中临北侧南环路分别设置行政科研、住院车行出入口、传染区物流车行出入口。东侧设置专科门诊车行出入口、体检、物流车行出入口。通过设置大量地面地下停车，满足医院停车需求。院内道路成环形布置，减小各功能间使用的相互干扰，达到人车分流、洁污分流、不同性质人员、物品路线分流的目的。

本项目拟新建中心手术室，成人急诊放射科，内镜中心以及放疗中心和核医学科分别位于门急诊医技综合楼三层、一层，住院楼负一层。

表 1-5 本项目工作场所（机房）周边环境一览表

场所	方位	周边环境及建筑
新建中心手术室	东侧	污物走道
	南侧	中心手术室 DSA2 室
	西侧	控制室，洁净走廊
	北侧	患者走廊
	楼上	办公区
	楼下	档案室

室	DSA2 室	东侧	污物走道
		南侧	DR 室, 设备间
		西侧	控制室, 洁净走廊
		北侧	中心手术室 DSA1 室
		楼上	办公区
		楼下	耗材库
新建介入中心	DSA1 室	东侧	控制室, 设备间
		南侧	污物走道
		西侧	洁净走廊
		北侧	污物走道
		楼上	办公区
		楼下	库房
	DSA2 室	东侧	洁净走廊
		南侧	缓冲间
		西侧	控制室, 设备间
		北侧	走廊
		楼上	办公区
		楼下	试剂库
	DSA3 室	东侧	控制室
		南侧	介入中心 DSA4 室
		西侧	设备间
		北侧	污物走道
		楼上	办公区
		楼下	缓冲间
	DSA4 室	东侧	控制室
		南侧	走廊
		西侧	走廊
		北侧	介入中心 DSA3 室
		楼上	办公区
		楼下	采血
成人急诊放	DSA1 室	东侧	走廊
		南侧	急诊 CT 室
		西侧	控制室
		北侧	缓冲间, 污物间
		楼上	诊室

射科		楼下	停车场
新建内镜中心	ERCP 机房	东侧	控制室
		南侧	护士站
		西侧	走廊
		北侧	走廊
		楼上	诊室
		楼下	库房
		新建放疗中心	直线加速器 1 室
南侧	室中心机房		
西侧	后装治疗机房		
北侧	控制室, 设备间		
顶上	住院楼走廊		
地下	土层		
防护门	患者走廊 (北侧)		
直线加速器 2 室	东侧		走廊
	南侧		弱电间, 排烟排风机房
	西侧		直线加速器 1 室
	北侧		控制室, 设备间
	顶上		住院楼走廊
	地下		土层
	防护门		患者走廊 (西侧)
后装治疗机房	东侧		直线加速器 1 室
	南侧		楼梯间
	西侧		库房
	北侧		控制室, 走廊
	顶上		空地
	地下		土层
	防护门		治疗室通道
回旋加速器室	东侧	设备间, 配电房	
	南侧	走廊	
	西侧	缓冲间	
	北侧	热室后区	
	顶上	住院楼办公室	
	地下	土层	

新 建 核 医 学	诊疗区	防护门	走廊
		东侧	PET, SPECT 诊疗场所,
		南侧	值班室、核医学科医护走廊
		西侧	甲癌病房、就诊患者走廊、值班室
		北侧	患者离院通道、出院检查、留观室、污染被服间
		顶上	空地
		地下	土层
	办公区	东侧	放疗中心
		南侧	就餐, 值班室
		西侧	核医学科诊疗区
		北侧	空调机房, 回旋加速器室
		顶上	复印室
		地下	土层



图1-1医院整体布局示意图

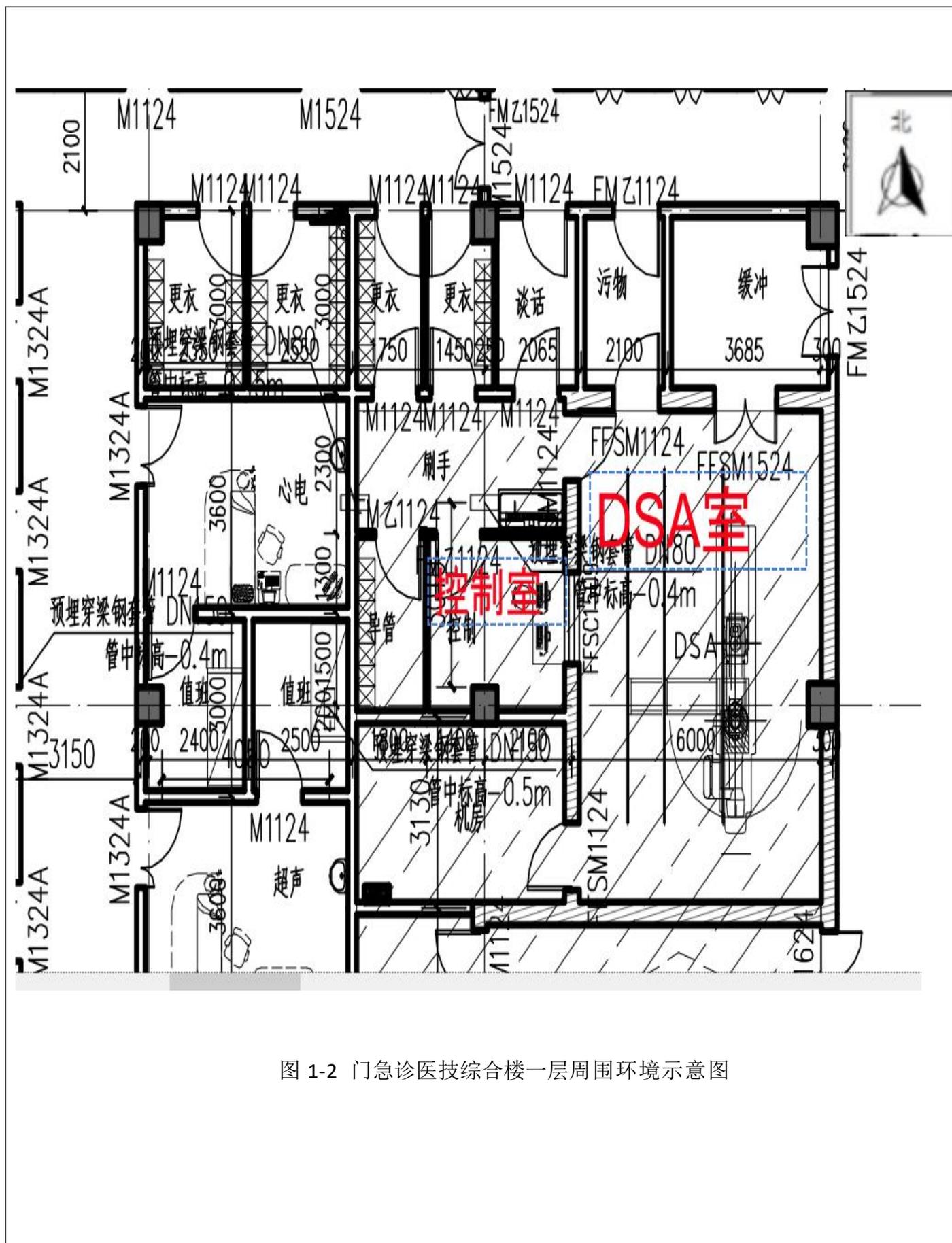


图 1-2 门急诊医技综合楼一层周围环境示意图

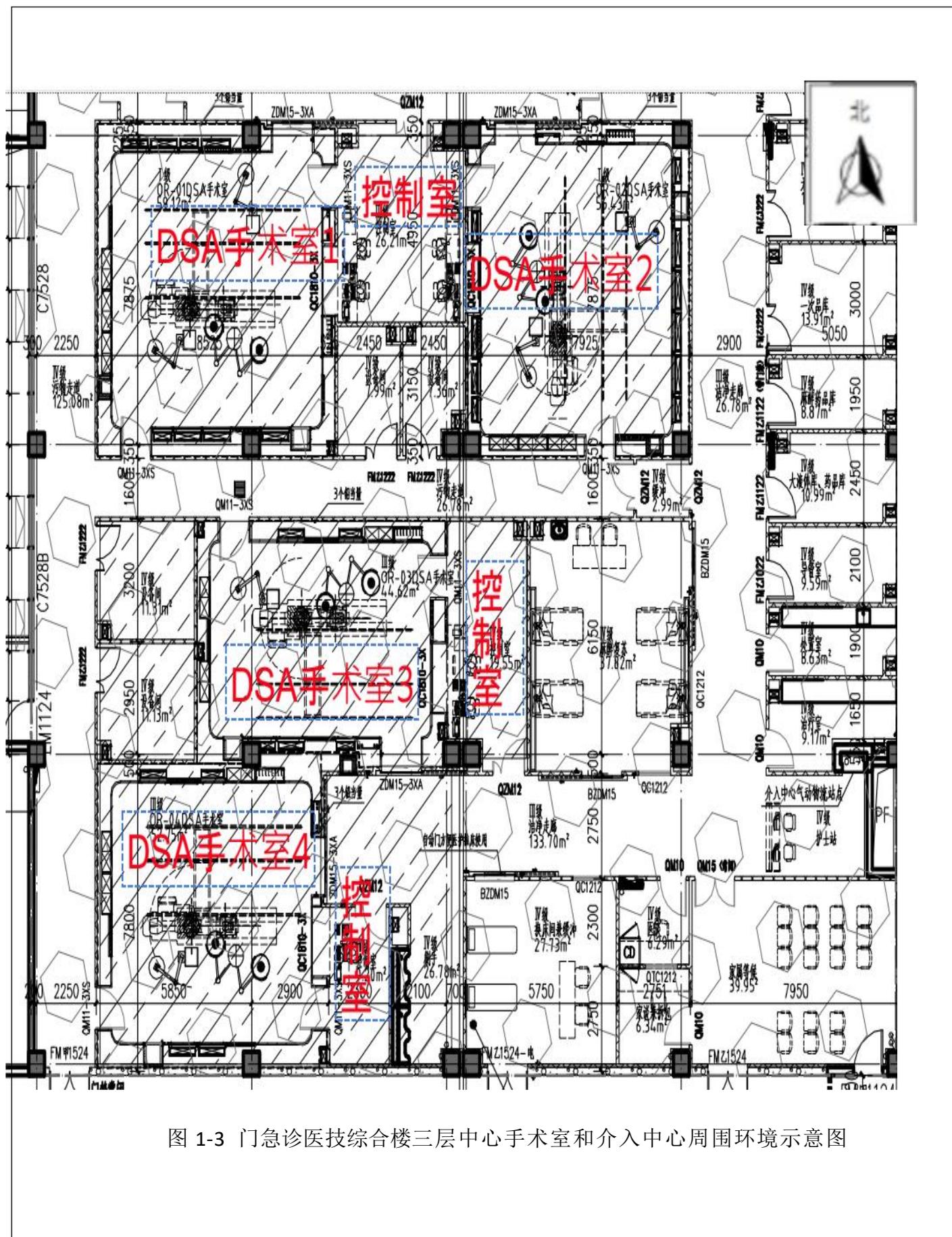


图 1-3 门急诊医技综合楼三层中心手术室和介入中心周围环境示意图

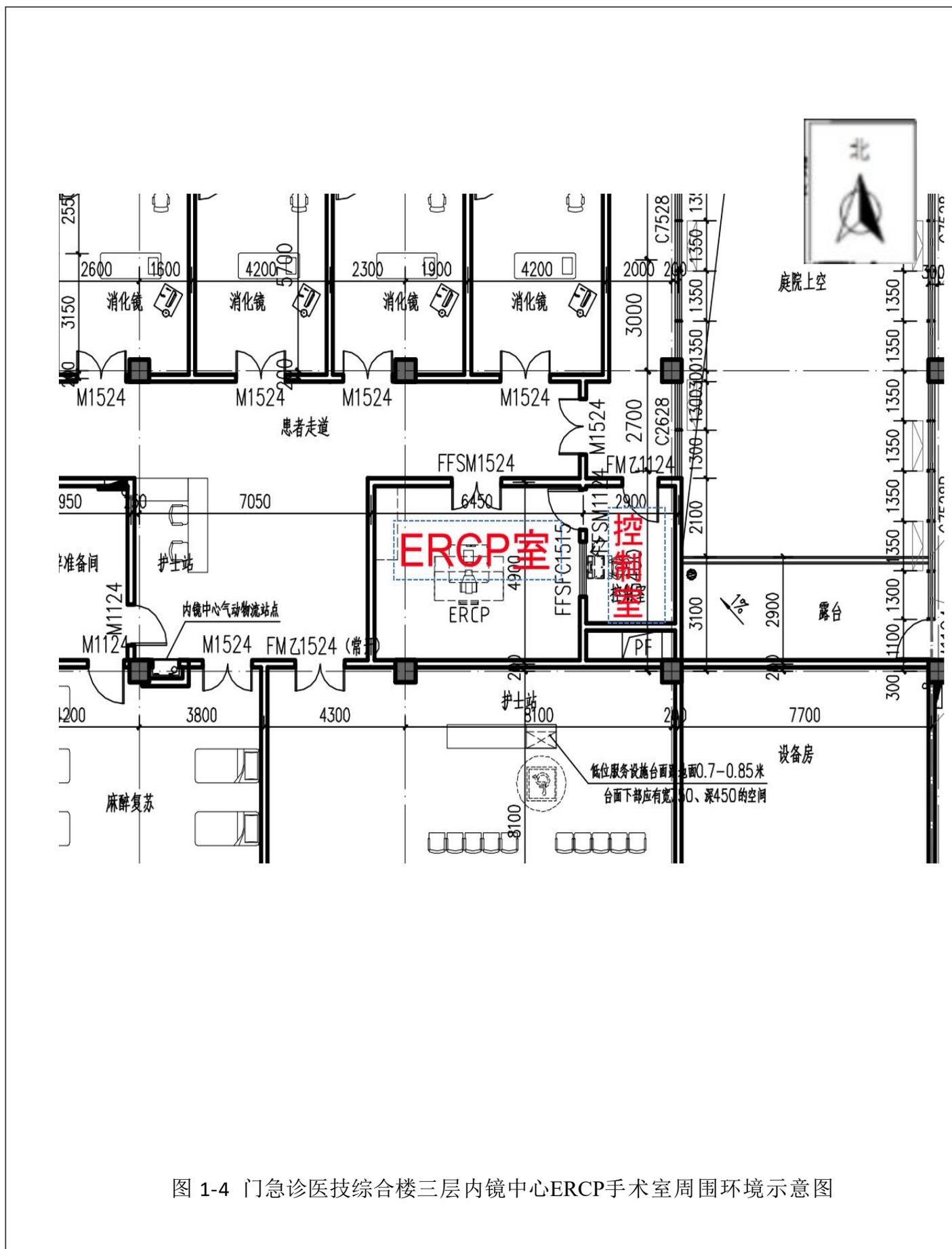


图 1-4 门急诊医技综合楼三层内镜中心ERCP手术室周围环境示意图

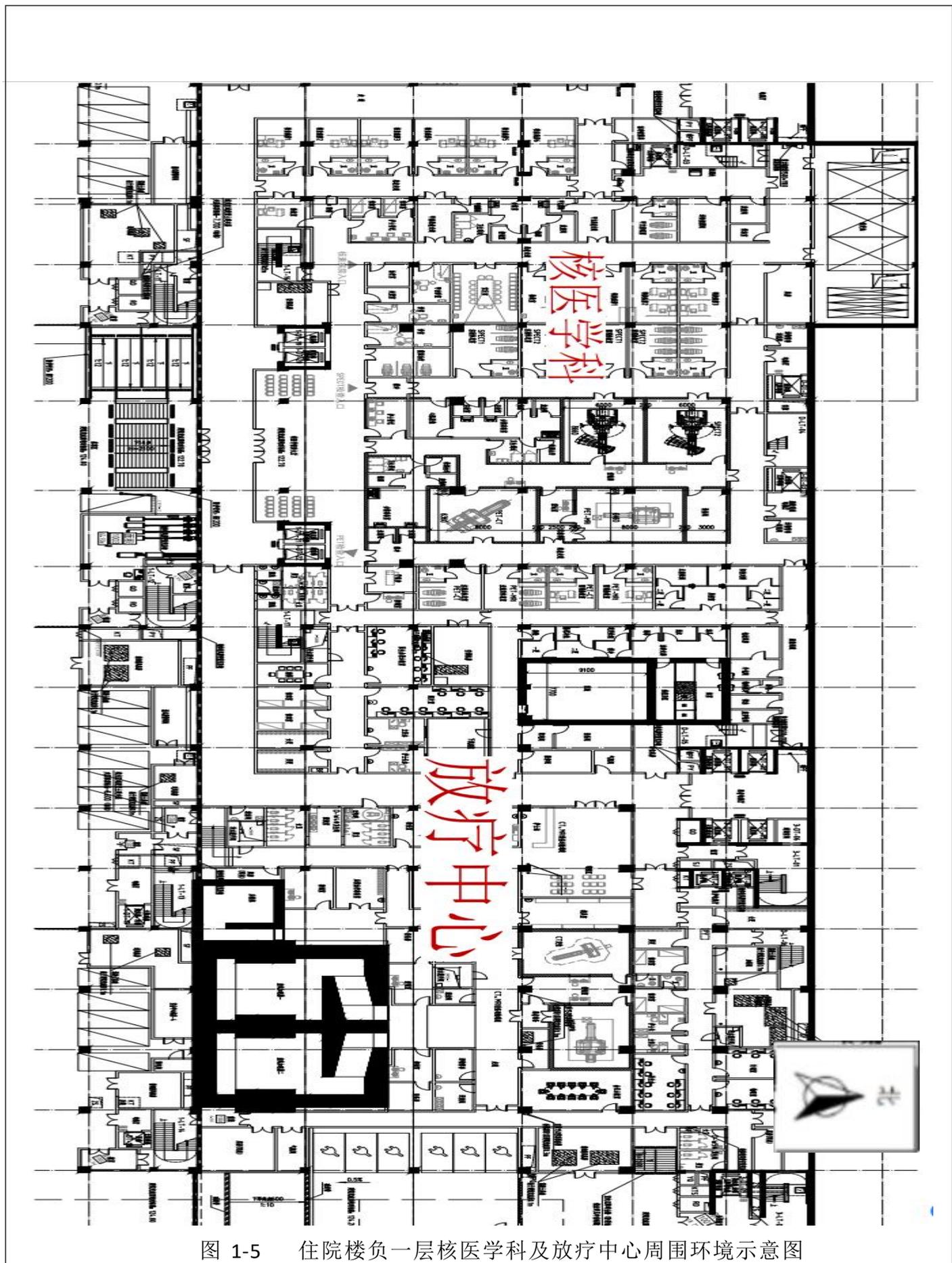


图 1-5 住院楼负一层核医学科及放疗中心周围环境示意图

**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	<sup>68</sup> Ge	$5.5 \times 10^7 \times 2$	V类	使用	PET校准	住院楼负一层核医学科	核医学科	本次环评
2	<sup>90</sup> Sr ( <sup>90</sup> Y)	$1.012 \times 10^9 \times 1$	V类	使用	敷贴治疗	住院楼负一层核医学科	核医学科	本次环评
3	<sup>192</sup> Ir	$1.0 \times 10^9 \times 2$	II类	使用	后装机治疗	住院楼负一层放疗中心	后装机治疗室	本次环评

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

**表 3 非密封放射性物质**

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	<sup>18</sup> F	液态、低毒组	使用	$2.59 \times 10^{10}$	$2.59 \times 10^8$	$6.734 \times 10^{12}$	核素显像	简单	核医学	核医学	本次环评
2	<sup>99m</sup> Tc	液态、低毒组	使用	$6.66 \times 10^{10}$	$6.66 \times 10^8$	$1.7316 \times 10^{13}$	核素显像	简单	核医学	核医学	本次环评
3	<sup>131</sup> I	液态、中毒组	使用	$4.63 \times 10^{10}$	$6.29 \times 10^8$	$3.15 \times 10^{12}$	治疗	很简单	核医学	核医学	本次环评
4	<sup>89</sup> Sr	液态、中毒组	使用	$1.48 \times 10^9$	$1.48 \times 10^8$	$3.848 \times 10^{11}$	治疗	简单	核医学	核医学	本次环评

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

**表 4 射线装置**

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	最大管电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II	1	待定	最大 X 射线能量：10 MV； 最大电子线能量：20 Mev；	10MV/1400cGy/min 6MV/2400cGy/min	10MV/1400cGy/min 6MV/2400cGy/min	放射治疗	住院楼负一层放疗中心	本次环评
2	医用电子直线加速器	II	1	待定	最大 X 射线能量：10 MV； 最大电子线能量：20 Mev；	10MV/1400cGy/min 6MV/2400cGy/min	10MV/1400cGy/min 6MV/2400cGy/min	放射治疗	住院楼负一层放疗中心	本次环评
3	回旋加速器 (自屏蔽)	II	1	待定	能量：≤20MeV 束流强度：≤0.15 A	待定	/	生产正电子放射性核素	住院楼负一层核医学科	本次环评
	以下空白									

注：医院提供参数

(二) X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II	1	待定	125	1000	介入治疗	门急诊医技综合楼三层中心手术室 1	本次环评
2	DSA	II	1	待定	125	1000	介入治疗	门急诊医技综合楼三层中心手术室 2	本次环评
3	DSA	II	1	待定	125	1000	介入治疗	门急诊医技综合楼三层介入中心	本次环评
4	DSA	II	1	待定	125	1000	介入治	门急诊医技综合楼三层介入中心	本次

							疗		环评
5	DSA	II	1	待定	125	1000	介入治疗	门急诊医技综合楼三层介入中心	本次环评
6	DSA	II	1	待定	125	1000	介入治疗	门急诊医技综合楼三层介入中心	本次环评
7	DSA	II	1	待定	125	1000	介入治疗	门急诊医技综合楼一层成人急诊放射科	本次环评
8	ERCP	II	1	待定	120	125	内镜下逆行胰胆管造影检查、治疗	门急诊医技综合楼三层内镜中心	本次环评
9	PET/CT	III	1	待定	/	/	医学显像	住院楼负一层核医学科 PET/CT 机房	本次环评
10	PET/MRI	/	1	待定	/	/	医学显像	住院楼负一层核医学科 PET/CT 机房	本次环评
11	SPECT/CT	III	1	待定	/	/	医学显像	住院楼负一层核医学科 SPECT/CT 机房 1	本次环评
12	SPECT/CT	III	1	待定	/	/	医学显像	住院楼负一层核医学科 SPECT/CT 机房 2	本次环评
	以下空白								

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

**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
退役 <sup>192</sup> Ir 源	固态	<sup>192</sup> Ir	-	-	-	-	退役后暂存在储源柜内的铅罐中	厂家回收
退役 <sup>68</sup> Ge 校准源	固态	<sup>68</sup> Ge	-	-	-	-	退役后暂存在储源室的铅罐中	厂家回收
放射性固体废物	固体	<sup>131</sup> I <sup>99m</sup> Tc <sup>18</sup> F <sup>89</sup> Sr	/	/	200kg	$\beta < 0.8 \text{Bq/cm}^2$	收集于放射性废物桶中后转移至废物库贮存	达到清洁解控水平后按医疗废物处理，不能解控的交由资质单位或厂家回收。
废弃过滤装置	固体	<sup>131</sup> I <sup>99m</sup> Tc <sup>18</sup> F	/	/	10kg	$\beta < 0.8 \text{Bq/cm}^2$	暂存废物库	
含放射性核素废液	液体	<sup>131</sup> I	/	/	/	<sup>131</sup> I 放射性活度浓度 $\leq 10 \text{Bq/L}$	半衰期达 50 多天，应该排入长半衰期衰变池，暂存超过 180 天	衰变池达标后排入医院污水处理设施，最后进入市政管网。
		<sup>99m</sup> Tc <sup>18</sup> F	/	/	/	/	排入短半衰期衰变池，暂存超过 30 天	
放射性废气	气体	<sup>131</sup> I	/	/	/	/	/	经碘吸附过滤装置后，住院楼楼顶排放
加速器废靶	固态	/	/	/	1 个/5-7 年	/	/	厂家回收
以下空白								

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m<sup>3</sup>；年排放总量用 kg。

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

**表 6 评价依据**

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日施行修订版；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日施行修订版；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 10 月 1 日施行修订版；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2019 年 3 月 2 日修订实施；</p> <p>(6) 《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 号修改），2021 年 1 月 4 日起施行；</p> <p>(7)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第 18 号；</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），生态环境部令第16 号，2021 年 1 月 1 日起实施；</p> <p>(9)《射线装置分类》，环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行；</p> <p>(10) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，环发[2006]145 号，2009 年 9 月 26 日施行；</p> <p>(11) 《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2020 年 1 月 1 日起施行）；</p> <p>(12) 《放射工作人员职业健康管理辦法》（中华人民共和国卫生部令第 55 号，2007 年 11 月 1 日）；</p> <p>(13) 《放射源分类办法》（国家环境保护总局 2005 年第 62 号令）；</p> <p>(14) 《放射性废物品安全管理条例》国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日施行；</p> <p>(15) 《湖南省突发环境事件应急预案管理办法》（湘政办发{2018}2 号）；</p>
<p>技术标准</p>	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(2) 《建设项目环境影响评价技术导则-总纲》（HJ2.1-2016）；</p> <p>(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》（HJ/10.1—2016）；</p>

	<p>(4) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(5) 《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>(6) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)；</p> <p>(7) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)；</p> <p>(8) 《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019)；</p> <p>(9) 《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)；</p> <p>(10) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)；</p> <p>(11) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)；</p> <p>(12) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)；</p> <p>(13) 《职业外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)。</p> <p>(14) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)；</p> <p>(15) 《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)；</p> <p>(16) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分：<math>\gamma</math>射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014)；</p> <p>(17) 《生态环境部辐射源安全监管司关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函〔2023〕20号)；</p>
其他	<p>(1) 建设项目环境影响评价委托书；</p> <p>(2) 本项目辐射现状监测报告；</p> <p>(3) 建设单位提供的相关资料。</p>

## 表 7 保护目标与评价标准

### 7.1 评价范围及评价因子

根据导则（HJ 10.1—2016）中“第 1.5 评价范围和保护目标：放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物质边界外 50m 的范围。”(无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围)。

本项目为医院核技术应用的环境影响评价，评价范围应包括：区域范围，设备范围，核素范围，人员范围。运营过程中产生的电离辐射经有效的屏蔽后对周围影响较小，且主要影响人员是射线装置（非密封源放射性物质工作场所）所在机房临近的职业工作人员和工作场所周围的公众。因此，本项目以核医学科工作场所半径 50m 范围、各新建射线装置所在场所实体屏蔽墙体边界外 50m 的范围为评价范围。评价区域范围示意图见图 7-1。

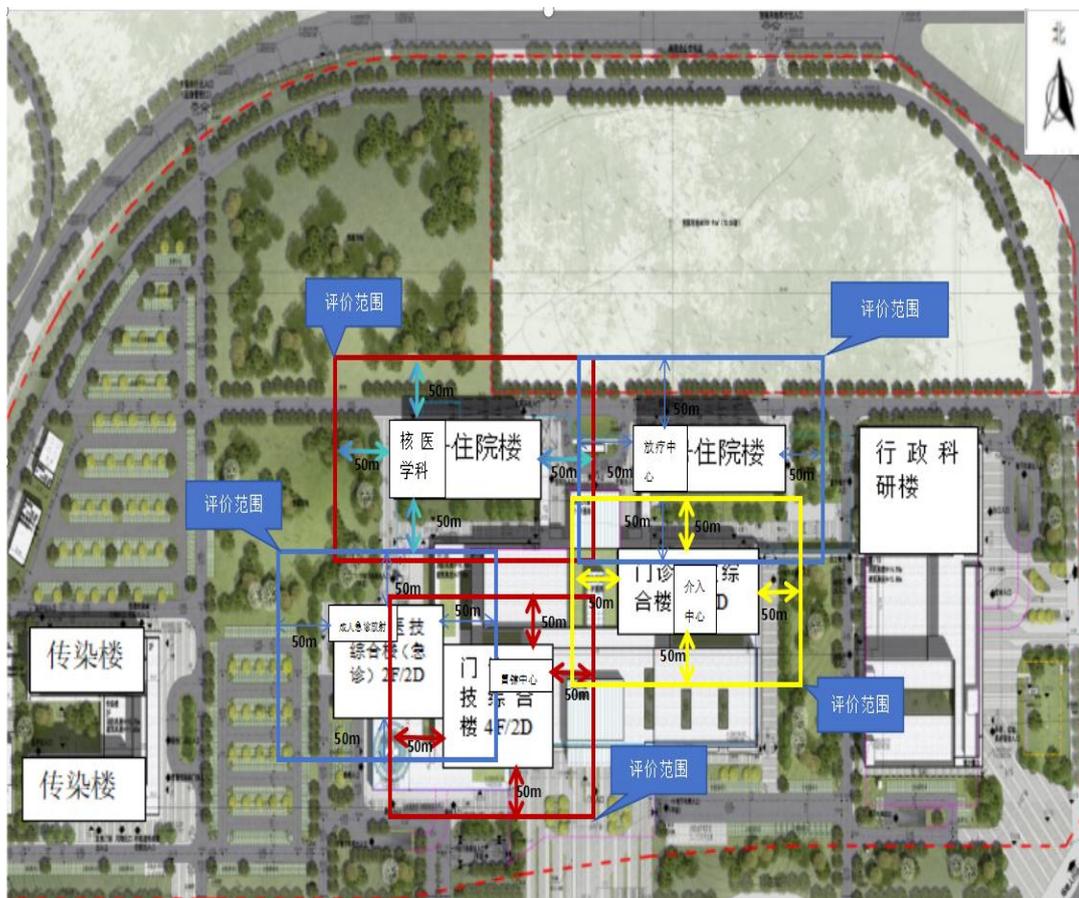


图 7-1 评价范围图

## 7.2 保护目标

环境保护目标为放射工作人员及评价范围内公众成员。包括：医院从事本项目操作的职业人员及邻近场所的公众，公众包括场所附近常驻人员等，不包括就诊病患及其他流动人员。本项目环境保护目标见下表

表 7-1 主要环境保护目标一览表

污染源	方位	保护目标	影响人群	距离	敏感人数
中心手术室 DSA1	东侧	污物走道	病人、医务人员	0-3m	若干
	南侧	中心手术室 DSA2 室	病人、工作人员	0-2m	若干
	西侧	控制室，洁净走廊	工作人员	0-3m	若干
	北侧	患者走廊	病人、公众、工作人员	0-3m	若干
	楼上	办公区	工作人员	0-4m	若干
	楼下	档案室	工作人员	0-4m	若干
	内部	本项目工作场所	医务人员	/	约 6 人
中心手术室 DSA2	东侧	污物走道	工作人员、医务人员	0-3m	若干
	南侧	DR 室，设备间	工作人员	0-3m	若干
	西侧	控制室，洁净走廊	公众、工作人员	0-3m	若干
	北侧	中心手术室 DSA1 室	医务人员	0-2m	若干
	楼上	办公区	公众、工作人员	0-4m	若干
	楼下	耗材库	公众、病人、医务人员	0-4m	若干
	内部	本项目工作场所	医务人员、工作人员	/	约 6 人
介入中心 DSA1	东侧	控制室，设备间	病人、医务人员	0-2m	若干
	南侧	污物走道	工作人员	0-3m	若干
	西侧	洁净走廊	公众、病人、工作人员	0-3m	若干
	北侧	污物走道	医务人员	0-3m	若干
	楼上	办公区	工作人员、医务人员	0-4m	若干
	楼下	库房	工作人员	0-4m	若干
	内部	本项目工作场所	医务人员、工作人员	/	约 6 人

表 7-1 主要环境保护目标一览表（续 1）

污染源	方位	保护目标	影响人群	距离	敏感人数
介入中心 DSA2	东侧	洁净走廊	病人、医务人员	0-3m	若干
	南侧	缓冲间	病人、工作人员	0-3m	若干
	西侧	控制室，设备间	工作人员	0-2m	若干
	北侧	走廊	病人、公众、工作人员	0-3m	若干
	楼上	办公区	工作人员	0-4m	若干
	楼下	试剂库	工作人员	0-4m	若干
	内部	本项目工作场所	医务人员	/	约 6 人
介入中心 DSA3	东侧	控制室	医务人员	0-3m	若干
	南侧	介入中心 DSA4 室	工作人员	0-3m	若干
	西侧	设备间	公众、工作人员	0-3m	若干
	北侧	污物走道	医务人员	0-2m	若干
	楼上	办公区	公众、工作人员	0-4m	若干
	楼下	缓冲间	公众、病人、医务人员	0-4m	若干
	内部	本项目工作场所	医务人员、工作人员	/	约 6 人
介入中心 DSA4	东侧	控制室	医务人员	0-3m	若干
	南侧	走廊	工作人员	0-3m	若干
	西侧	走廊	公众、工作人员	0-3m	若干
	北侧	介入中心 DSA3 室	医务人员	0-2m	若干
	楼上	办公区	医务人员、工作人员	0-4m	若干
	楼下	采血	公众、病人、医务人员	0-4m	若干
	内部	本项目工作场所	医务人员、工作人员	/	约 6 人
成人急诊放 射科 DSA	东侧	走廊	医务人员	0-3m	若干
	南侧	急诊 CT 室	工作人员	0-3m	若干
	西侧	控制室	公众、工作人员	0-3m	若干
	北侧	缓冲间，污物间	医务人员、工作人员	0-2m	若干
	楼上	诊室	公众、病人、工作人员 医务人员	0-4m	若干
	楼下	停车场	公众、病人、工作人员 医务人员	0-9m	若干
	内部	本项目工作场所	医务人员、工作人员	/	约 6 人

表 7-1 主要环境保护目标一览表 (续 2)

污染源	方位	保护目标	影响人群	距离	敏感人数
内镜中心 ERCP 机房	东侧	控制室	工作人员、医务人员	0-3m	若干
	南侧	护士站	医务人员、病人、工作人员	0-3m	若干
	西侧	走廊	病人、公众、工作人员	0-3m	若干
	北侧	走廊	病人、公众、工作人员	0-3m	若干
	楼上	诊室	医务人员、病人、公众、工作人员	0-4m	若干
	楼下	库房	工作人员	0-4m	若干
	内部	本项目工作场所	医务人员	/	约 7 人
直线加速器 1 室	东侧	直线加速器 2 室	病人	0-4m	若干
	南侧	室中心机房	工作人员	0-5m	若干
	西侧	后装治疗机房	病人、医务人员	0-5m	若干
	北侧	控制室, 设备间	医务人员	0-5m	若干
	楼上	住院楼走廊	病人、公众、工作人员	0-9m	若干
	楼下	土层	/	/	/
	内部	本项目工作场所	医务人员、工作人员	/	约 4 人
直线加速器 2 室	东侧	走廊	医务人员, 病人	0-3m	若干
	南侧	弱电间, 排烟排风机房	工作人员	0-5m	若干
	西侧	直线加速器 1 室	公众、工作人员	0-5m	若干
	北侧	控制室, 设备间	医务人员	0-2m	若干
	楼上	住院楼走廊	医务人员、工作人员、病人	0-9m	若干
	楼下	土层	/	/	/
	内部	本项目工作场所	医务人员	/	约 4 人
后装治疗机 房	东侧	直线加速器 1 室	医务人员	0-5m	若干
	南侧	楼梯间	工作人员	0-4m	若干
	西侧	库房	工作人员	0-3m	若干
	北侧	控制室, 走廊	医务人员、工作人员	0-3m	若干
	楼上	空地	公众、病人、工作人员 医务人员	0-9m	若干
	楼下	土层	/	/	/
	内部	本项目工作场所	医务人员、工作人员	/	约 6 人

表 7-1 主要环境保护目标一览表 (续 3)

污染源	方位	保护目标	影响人群	距离	敏感人数
核医学科回旋加速器室	东侧	设备间, 配电房	工作人员、医务人员	0-3m	若干
	南侧	走廊	医务人员、病人、工作人员	0-3m	若干
	西侧	缓冲间	病人、公众、工作人员	0-3m	若干
	北侧	热室后区	病人、公众、工作人员	0-3m	若干
	顶上	住院楼办公室	医务人员、病人、公众、工作人员	0-4m	若干
	地下	土层	工作人员	0-4m	若干
	内部	本项目工作场所	医务人员	/	约 7 人
核医学科诊疗区	东侧	PET, SPECT 诊疗场所,	病人、医务人员	0-20m	若干
	南侧	值班室、核医学科医护走廊	病人、医务人员	0-5m	若干
	西侧	甲癌病房、就诊患者走廊、值班室	病人、医务人员	0-5m	若干
	北侧	患者离院通道、出院检查、留观室、污染被服间	病人、医务人员	0-5m	若干
	顶上	空地	病人、公众、医务人员、工作人员	0-9m	若干
	地下	土层	/	/	/
	内部	本项目工作场所	医务人员、工作人员	/	约 10 人
核医学科办公区	东侧	放疗中心	医务人员、病人	0-3m	若干
	南侧	就餐, 值班室	工作人员、医务人员	0-5m	若干
	西侧	核医学科诊疗区	病人、医务人员	0-20m	若干
	北侧	空调机房, 回旋加速器室	医务人员、工作人员	0-3m	若干
	顶上	复印室	医务人员、工作人员、病人	0-9m	若干
	地下	土层	/	/	/
	内部	本项目工作场所	医务人员、工作人员	0-20m	约 26 人

注: 门急诊医技综合楼以一层地面为垂直标高 0m。

## 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）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

#### （1）附录 B 剂量限值和标明污染控制水平

##### B1 剂量限值

##### B1.1 职业照射

##### B1.1.1 剂量限值

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

- a ) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；
- b ) 任何一年中的有效剂量，50mSv；
- 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。

根据医院实际情况，本项目建设单位设定放疗中心放射工作人员有效剂量管理目标值为 5mSv/a ；后装治疗机房放射工作人员有效剂量管理目标值为 5mSv/a ；核医学科放射工作人员有效剂量管理目标值为 5mSv/a；介入中心医师及护士有效剂量管理目标值为5mSv/a ，介入技师有效剂量管理目标值为5mSv/a。

##### 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；
- c ) 眼晶体的年当量剂量，15mSv；
- d ) 皮肤的年当量剂量，50mSv。

本项目中，结合医院实际情况，建设单位设定放射工作场所周围非放射医务人员及

其他公众接受的有效剂量管理目标值为  $0.1\text{mSv/a}$ 。

## (2) 工作场所分区

根据 GB18871-2002 中6.4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。

### 6.4.1 控制区

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

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

3) 制定职业防护与安全措施，包括适用于控制区的规则与程序。

4) 运用行政管理程序和实体屏蔽限制进出控制区。

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

6) 定期审查控制区的实际状况，以确定是否有必要改变该区的防护手段或安全措施或该区的边界。

### 6.4.2 监督区

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

2) 在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。

3) 定期审查该区的条件，以确定是否有需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界

## 7.3.2 《放射治疗放射防护要求》（HJ1198-2021）

### 6.1 屏蔽要求

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

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

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

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

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

1) 对于医院实际情况：控制区外人员可达处，距屏蔽体30cm处剂量率控制目标值应该不大于  $2.5 \mu \text{ Sv/h}$ ；控制区内屏蔽体外表面30cm处的周围剂量率应该控制在 $25 \mu \text{ Sv/h}$ 以内，宜尽量控制在 $2.5 \mu \text{ Sv/h}$ 以内最佳。

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

6.2 安全防护设施和措施要求

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

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

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

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

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

6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受

到意外照射的安全连锁措施：

a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门一机/源连锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；

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；

d) 质子/重离子治疗装置安全连锁系统还应包括清场巡检系统、门钥匙开关(身份识别系统)。质子/重离子治疗室、加速器大厅和束流输运通道应建立分区清场巡检和束流控制的逻辑关系，清场巡检系统应考虑清场巡检的最长响应时间和分区调试情况的连锁设置。日常清场巡检时，如超出设定的清场巡检响应时间，需重新进行清场巡检；

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

6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

### 7.3.3 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）节选

#### 4 总则

##### 4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

#### 6 工作场所的辐射安全与防护

##### 6.1 屏蔽要求

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

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以

保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于  $25 \mu\text{Sv/h}$ 。

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

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

## 7.2 固体放射性废物的管理

### 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， $\alpha$  表面污染小于  $0.08\text{Bq/cm}^2$ 、 $\beta$  表面污染小于  $0.8\text{Bq/cm}^2$  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  $0.1\text{mSv/h}$ ，表面污染水平对  $\beta$  和  $\gamma$  发射体以及低毒性  $\alpha$  发射体应小于  $4\text{Bq/cm}^2$ 、其他  $\alpha$  发射体应小于  $0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

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

## 7.3 液态放射性废物的管理

### 7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总  $\alpha$  不大于  $1\text{Bq/L}$ 、总  $\beta$  不大于  $10\text{Bq/L}$ 、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。

### 7.3.4 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

#### 6. X射线设备机房防护设施的技术要求

##### 6.1 X射线设备机房布局

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

6.1.2 X射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

6.1.3 每台固定使用的X射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求；每台牙椅独立设置诊室的，诊室内可设置固定的口内牙片机，供该设备使用，诊室的屏蔽和布局应满足口内牙片机房的防护要求。

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

**表 7-3 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求**

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

##### 6.2 X射线设备机房屏蔽

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

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足上表的要求。

### 6.3 X射线设备机房屏蔽体外剂量水平

#### 6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

b) CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口腔牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

### 6.4 X射线设备工作场所防护

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

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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

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

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

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

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

### 6.5 X射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台X射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4（本报告中表 7-4）基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

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

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

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

**表 7-4 个人防护用品和辅助防护设施配置要求（节选介入、核医学等相关）**

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:铅橡胶帽子铅玻璃眼镜,	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床边防护帘/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	——
普通核医学和 SPECT 场所	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖 选配:铅橡胶帽子, 铅玻璃眼镜	——	——	——
正电子放射性药物和 <sup>131</sup> I 的场所	放射性污染防护服	——	——	——

注 1: “—”表示不做要求。

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。

**7.3.3 《放射治疗机房辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）（节选）**

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平：治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率应不大于下述 a )、b) 和 c ) 所确定的剂量率参考水平  $H_c$ ：

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

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

2) 放射治疗机房外非控制区的工作人员： $H_c \leq 5 \mu Sv/周$ ；

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

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

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

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

#### 4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30cm 处和（或）该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，可以根据机房外周剂量率参考控制水平  $H_c \leq 5\mu\text{Sv/h}$  和最高剂量率  $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ，加以控制。对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按  $100\mu\text{Sv/h}$  加以控制（可在相应处设置辐射告示牌）。

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

工作场所空气中臭氧最高容许浓度： $0.3\text{mg/m}^3$ 。NO<sub>x</sub>时间加权平均容许浓度为  $5\text{mg/m}^3$ 。

## 表 8 环境质量和辐射现状

### 8.1 项目所在的地理位置

广州医科大学附属第一医院娄底医院位于娄底市娄星区南环路与新星南路交叉口东南角。

### 8.2 评价区辐射环境质量现状监测

为了解本项目评价区域的辐射环境质量，委托湖南三方环境检测技术有限公司于 2023 年 12 月 19 日对本项目场所进行地表  $\gamma$  辐射剂量率及  $\beta$  表面污染。现状监测报告见附件。

#### 2、监测方案及质量保证

(1) 监测目的主要是为了了解项目地点天然辐射水平，是否属于湖南省建筑物内天然放射性水平，为辐射工作场所建成运行后对环境的影响提供依据。

#### (2) 监测依据

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；

《环境  $\gamma$  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）；《表面污染测定第一部分： $\beta$  发射体（ $E_{\beta \max} > 0.15\text{MeV}$ ）和  $\alpha$  发射体》（GB/T14056.1-2008）。

#### (3) 质量保证

该项目测量所用的仪器性能参数均符合国家标准方法的要求，均有有效的国家计量部门检定的合格证书，并有良好的日常质量控制程序。监测人员均经具有相应资质的部门培训，考试合格持证上岗，数据分析及处理采用国家标准中相关的数据处理方法，按国家标准和监测技术规范有关要求进行处理和填报，并按有关规定和要求进行三级审核。

(4) 监测仪器

表 8-1 监测所使用的仪器情况

仪器名称	X-γ辐射空气比释动能率仪
仪器型号	型号: RJ38-3602
出厂编号	RJ380700334
检定证书编号	hnlxz2023134-399
检定有效期	2023年6月20日有效期至2024年6月19日
能量响应范围	≤±30% (48Kev~3.0Mev,137Cs)
剂量率范围	0.01μSv/h~2mSv/h

表 8-2 监测所使用的仪器情况

仪器名称	α、β表面污染仪
仪器型号	COMO170
生产厂家	HJnlxiaia
检定单位	湖南省电离辐射计量站
检定有限期限	2023年6月18日有效期至2024年6月17日

表 8-3 周围环境 γ 辐射剂量率监测结果

监测位置		监测结果 (μ Gy/h)
1#	拟建传染楼南侧 (本底)	0.083~0.097
2#	拟建综合医技楼胃镜中心 ERCP 机房南侧	0.090~0.106
3#	拟建 2 号住院楼放疗中心东侧	0.078~0.089
4#	拟建综合医技楼成人急诊 DSA 西侧	0.094~0.109
5#	拟建综合医技楼介入中心南侧	0.095~0.105
6#	拟建 2 号住院楼放疗中心南侧	0.095~0.107
7#	拟建 2 号住院楼放疗中心东北侧	0.096~0.103
8#	拟建 2 号住院楼放疗中心北侧	0.095~0.108
9#	拟建医院职工宿舍楼	0.086~0.102
10#	娄星彩瓦厂公路旁	0.083~0.107
11#	拟建 1 号住院楼核医学科西南侧	0.081~0.106

注：以上监测结果已按 HJ1157-2021 进行了单位换算，监测结果未扣除宇宙射线。

表 8-4 拟建项目所在场址表面污染监测结果一览表



## 表 9 项目工程分析与源项

### 9.1 工程设备和工艺分析

#### 9.1.1 DSA 介入手术室

##### 1、设备基本情况

表 9-1 DSA 设备参数

名称	类别	数量	最大管电压	最大管电流	用途
DSA	II	7	125kV	1000mA	介入治疗

##### 2、DSA 设备工作原理

DSA的基本原理是先后将没有注入造影剂和注入造影剂后通过人体X线信号进行成像，分别经影像增强器增益后，再用高分辨率的电视摄像管扫描，将图像分割成许多的小方格，做成矩阵化，形成由小方格中的像素所组成的视频图像，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像并分别存储起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得的不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换成普通的模拟信号，获得了去除骨骼、肌肉和其它软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。通过DSA处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

##### 3、设备组成

DSA 主要组成部分：X 射线球管、高压发生器、探测器、C 型臂、导管床、操作台、影像增强器和电视摄像系统及图像处理系统等。

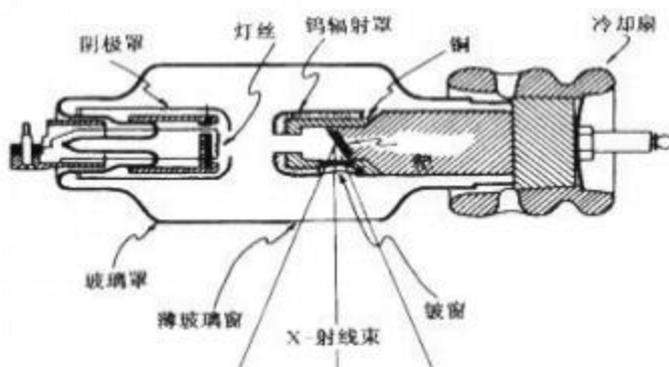
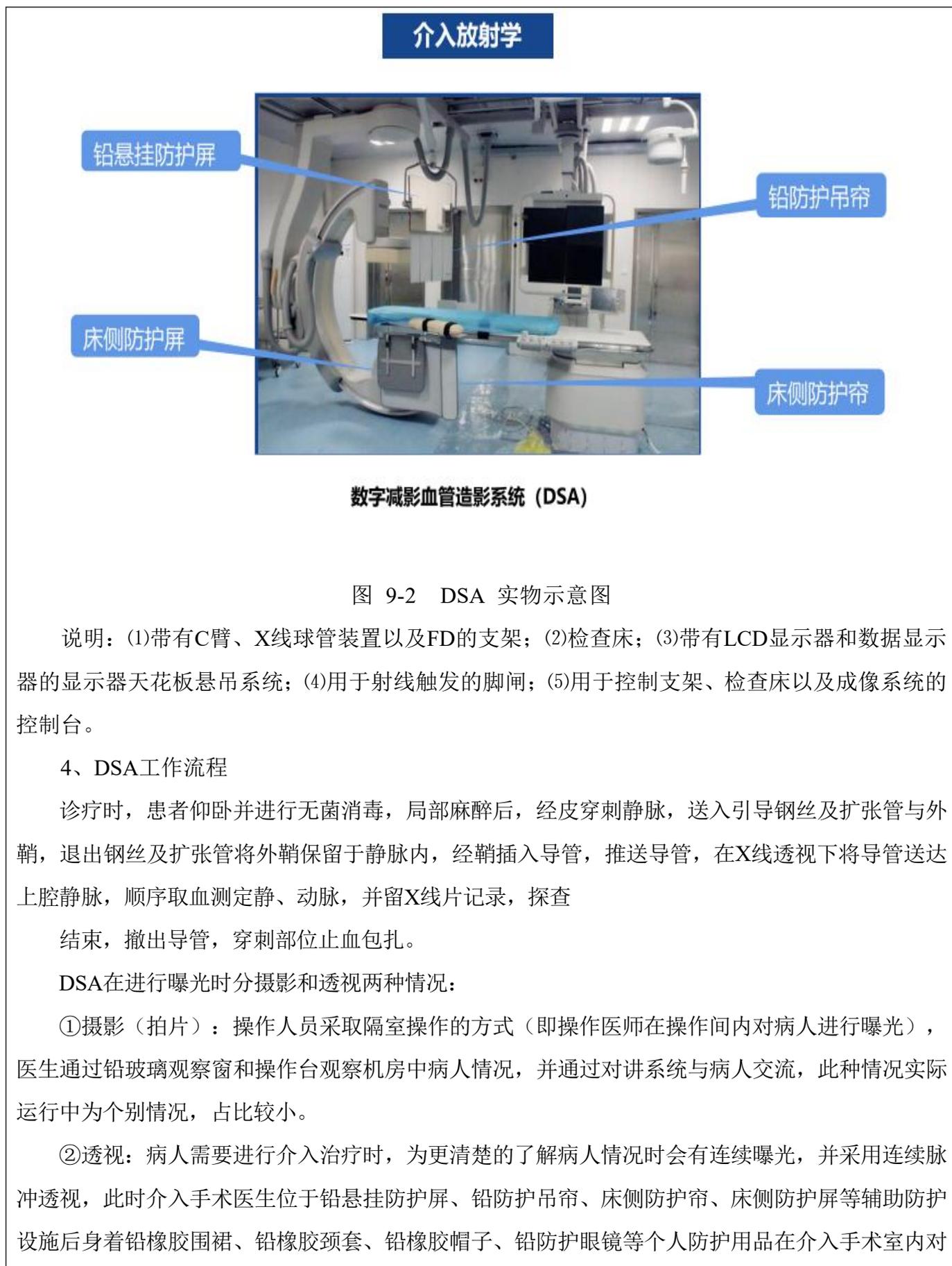


图 9-1 典型 X 射线管结构图



数字减影血管造影系统 (DSA)

图 9-2 DSA 实物示意图

说明：(1)带有C臂、X线球管装置以及FD的支架；(2)检查床；(3)带有LCD显示器和数据显示器的显示器天花板悬吊系统；(4)用于射线触发的脚闸；(5)用于控制支架、检查床以及成像系统的控制台。

#### 4、DSA工作流程

诊疗时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺静脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在X线透视下将导管送上腔静脉，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。

DSA在进行曝光时分摄影和透视两种情况：

①摄影（拍片）：操作人员采取隔室操作的方式（即操作医师在操作间内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房中病人情况，并通过对讲系统与病人交流，此种情况实际运行中为个别情况，占比较小。

②透视：病人需要进行介入治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时介入手术医生位于铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘、床侧防护屏等辅助防护设施后身着铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品在介入手术室内对

病人进行直接的介入手术操作。同室操作也存在摄影的情况。隔室操作时间较短，所占比例较小，而同室操作时间占整台手术 DSA 出束时间所占比例较大，并且同室操作对医生等职业人员的影响更大，是本次评价关注的重点。

### 5、工作负荷

依据医院计划，本项目介入医师、技师及护士属于新增加人员，原则上不参其他岗位相关放射工作，配备42名放射工作人员，介入中心，中心手术室，成人急诊放射科共7台DSA设备，其中中心手术室2台DSA，年计划2000台手术左右；介入中心4台DSA，年计划4000台手术左右；成人放射科1台DSA，年计划1000台手术左右，单台手术时间约 50min，单台手术射线装置透视出束时间约为 20min，摄影模式出束时间为5min，7台共年出束时间约为980h，平均每台DSA出束时间约140h/a。工作负荷最终以医院实际操作情况为准。

## 9.1.2 ERCP 机房

### 1、设备基本情况

表 9-2 ERCP 设备参数

名称	类别	数量	最大管电压	最大管电流	用途
ERCP	II	1	140kV	800mA	内镜下逆行胰胆管造影检查、治疗

### 2、ERCP设备工作原理

ERCP是经内镜逆行胰胆管造影（Encoscopic Retrograde Cholangio-Pancreatography）的英文首写字母，其装置与DSA装置类似，主要由X射线管、高压电源、平板探测器、导管床、操作台及工作站系统等组成。X射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成。阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中。当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。高电压加在X射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。

ERCP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，由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，使胰胆管显影，进而对胆道、胰腺等疾病进行诊断或治疗。ERCP具备不用开刀、创伤小、手术时间短、并发症少等特点。

### 3、设备组成

C型臂X射线机（ERCP）主要组成部分：X 射线球管、高压发生器、CMOS平板探测器、显

示器、C型臂、后处理工作站、图像存储系统等。



图 9-3 ERCP实物示意图

#### 4、ERCP工作流程

①预约登记：经医师诊断后，为需要实施介入诊疗的患者填写申请单，并告知可能出现的并发症及危害，患者签署知情同意后预约登记；

②术前准备：为患者做术前造影剂过敏试验，对于需行十二指肠乳头切开的患者，术前需进行血小板和凝血功能检测。

③插镜、插管：医生进入机房指导患者进行摆位、固定（一般采用俯卧位或坐卧位），对病人进行局部消毒处理和局部防护处理后再行插镜（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）、插管（经活检孔将导管插入乳头）。

④造影、透视：在透视下经造影导管注入造影剂，胆管或胰管显影后进行拍片储存，得到病人病灶部位清晰影像资料。

⑤根据患者胰胆管病变情况，采取不同内镜下治疗手术（如括约肌切开取石、放置引流管或支架缓解胆管梗阻、瘻管支架放置等）。

⑥术后处理：医师应及时书写手术记录，技师应及时处理图像、刻录光盘或照片，急症患者应尽快将胶片交给患者。

#### 4、工作负荷

依据医院计划，本项目介入医师、技师及护士属于新增加人员，原则上不参其他岗位相关放射

工作，配备7名放射工作人员，共1台ERCP设备，年计划500台手术，单台手术时间约 30min，单台手术射线装置透视出束时间约为10min，摄影模式出束时间为3min，运行负荷如下表所示。

表9-3 ERCP 运行负荷一览表

设备	用途	类型	每台平均曝光时间	工作量（台数/a）	曝光时间（h/a）
ERCP	内镜下逆行胰胆管造影检查、治疗	透视	10min	500	83.3
		摄影	3min		25

注：工作负荷最终以医院实际操作情况为准。

### 9.1.3 放疗中心

#### 9.1.3.1 医用直线加速器

##### 1、设备基本情况

表 9-4 本项目医用电子直线加速器基本参数一览表

序号	项目	额定参数
1	X 射线最大能量	6MV、10MV
2	电子线最大能量	6~18MeV
3	等中心点最高剂量率	2200~2400 MU/min
		600 MU/min
4	X 射线泄漏率	≤0.1%~0.5%
5	最大照射野面积	40cm×40cm
6	等中心距离地面高度	1240~1250mm
7	正常治疗距离（SAD）	100cm
8	射线最大出射角	28°

注：医用直线加速器型号未定，医院提供大致设备参数。

本项目拟配置的医用电子直线加速器，考虑常规模式和非均整（FFF）模式两种工作模式，X射线能量档位共2挡：6MV、10MV；常规模式工作时，X射线能量等中心最大剂量率均为600cGy/min（3.6×10<sup>8</sup>μGy/h）；非均整（FFF）模式工作时，6MV条件下，等中心最大剂量率为1600cGy/min（9.6×10<sup>8</sup>μGy/h），10MV条件下无非均整（FFF）模式。

## 2、设备组成

医用直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。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，后到达患者病灶实现治疗目的。见下图9-4，9-5。

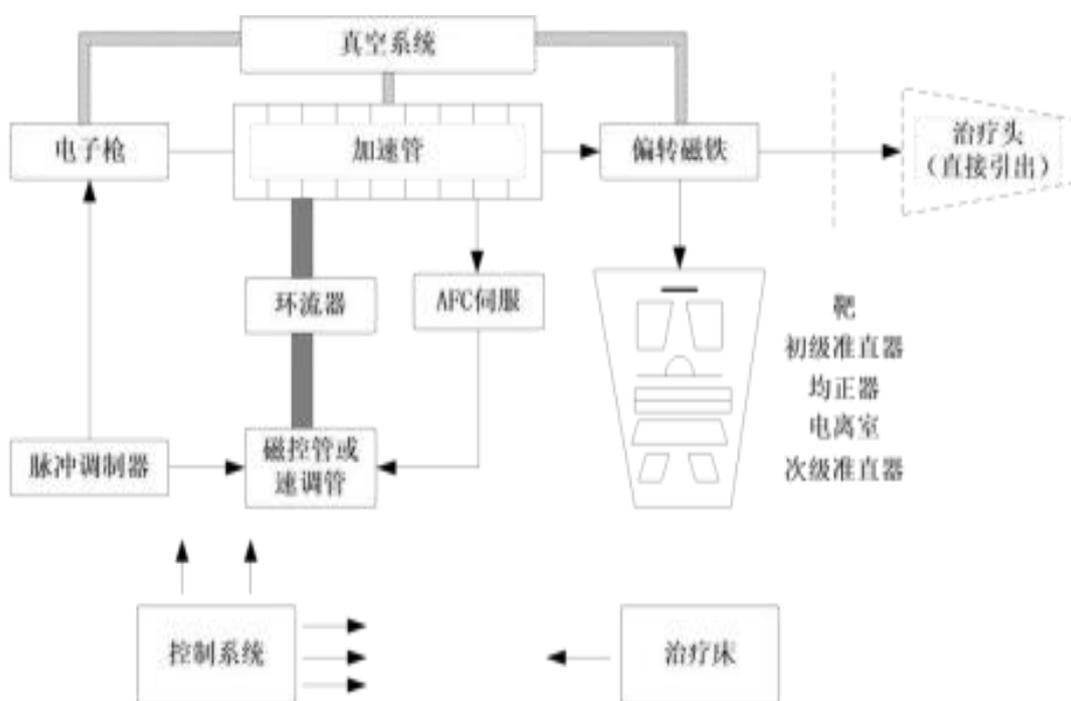


图 9-4 典型直线加速器内部结构框图

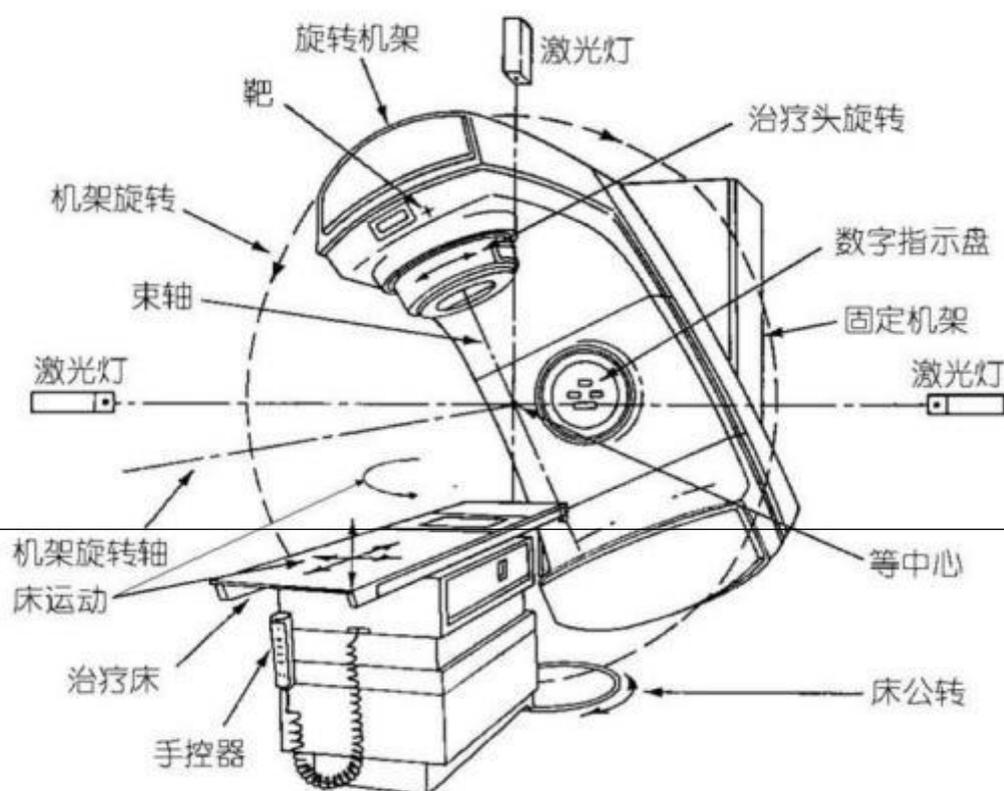


图 9-5 典型直线加速器外形示意图

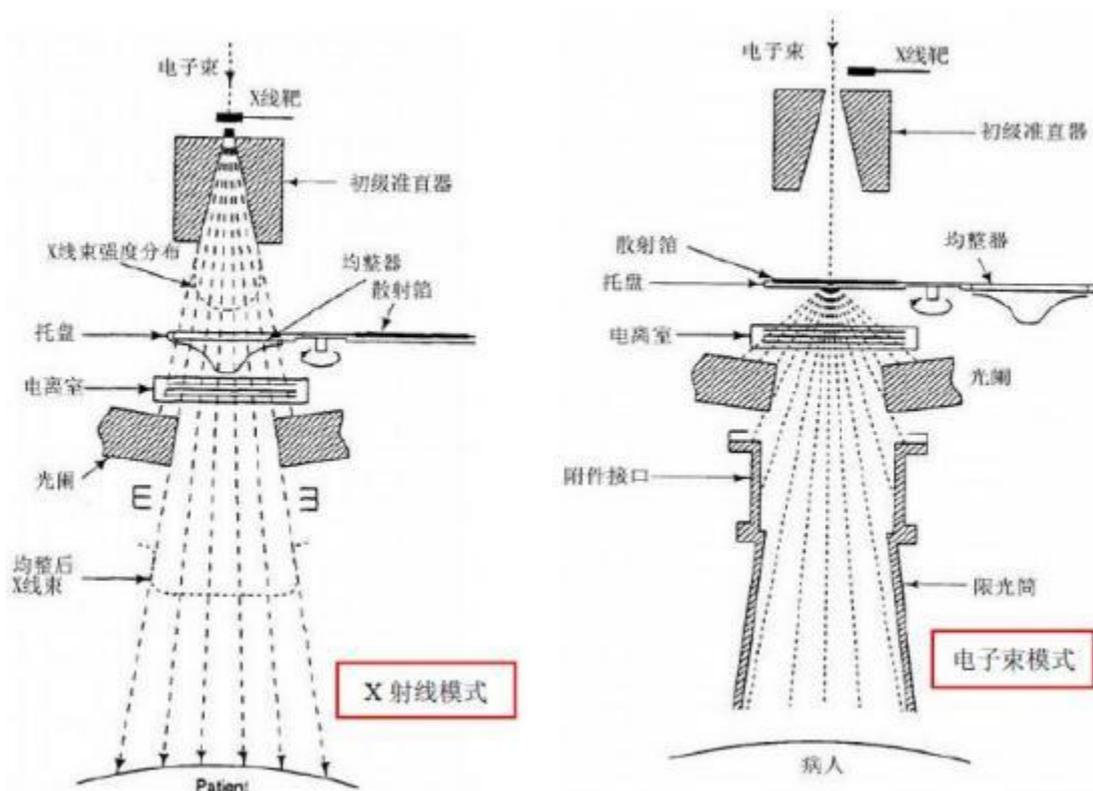


图 9-6 X 射线和电子束治疗模式结构示意图

### 3、工作原理

加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。当高能电子束与靶物质相互作用时产生韧致辐射，即X射线，其最大能量为电子束的最大能量。因此，医用电子直线加速器既可利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。医用电子直线加速器可根据所诊疗癌症类型及其在体中的位置、患者的身体状况和各次给予剂量之间的时间间隔，以最佳输出能量对人体肿瘤进行照射诊疗。

### 4、操作流程

(1) 患者定位：首先在体架上进行塑模，然后在模拟定位机或模拟 CT 定位机下进行定位，而后勾画治疗靶区；

(2) 治疗计划：通过模拟定位机对病变部位进行检查，确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位，根据患者疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间；

(3) 患者摆位：依据治疗计划在治疗床上进行摆位，确定病人位置及治疗坐标；

(4) 患者摆好位置后，操作人员最后一个离开治疗室，关好自动门，进入控制室再次确定治疗计划无误后，进行开机治疗。治疗期间直线加速器机房门不能从外面打开，当出现异常情况时，操作人员应立即就近按下【急停】按钮并迅速撤出相关人员；

(5) 治疗完毕后，将机器钥匙拨到 STBY ，取下病人身上附件，引导病人离开机房，记录当次治疗情况。

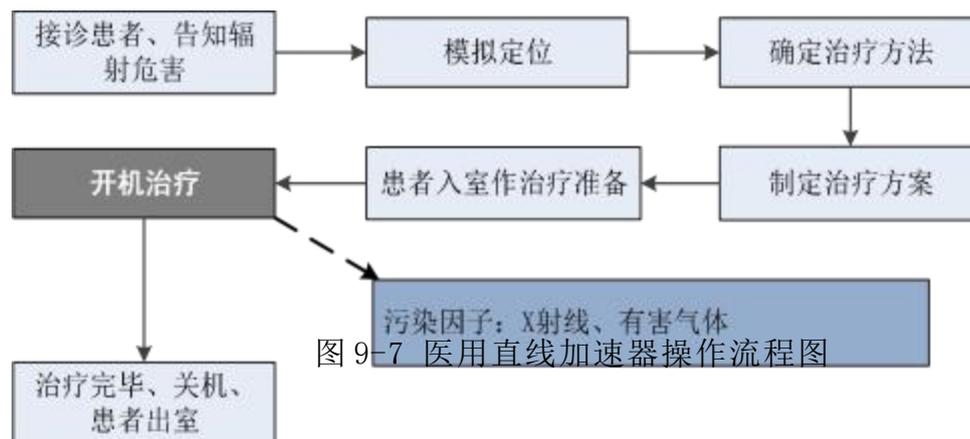


图 9-7 医用直线加速器操作流程图

## 5 、工作负荷

2台直线加速器拟计划配备辐射工作人员12人，其中：医师6人，物理师3人，技师3人，全部为新增人员，单台加速器计划接诊60人/天，每周工作5天，每年按50周计算，拟计划其中常规放射治疗量约占1/10，调强放射治疗量约占9/10，常规放射治疗患者治疗照射时间平均为2min/人次，调强放射治疗患者治疗照射时间平均为6min/人次，每人出束照射平均5min，2台年出束时间约为2700h，平均每台出束 1350h/a。

### 9.1.3.2 后装治疗机

#### 1 、后装机放射源基本概况

表 9-5 后装机  $^{192}\text{Ir}$  密封源参数

核素名称	$^{192}\text{Ir}$
初装源最大活度	3.7E+11/枚
密封源数量	2 枚（不同时使用）
密封源类别	II
贮存方式与地点	在用源：设备储源罐 退役源：后装治疗机机房源罐

放射源半衰期	74d
治疗等中心高度	80cm

说明：本项目后装机实际仅使用1枚  $^{192}\text{Ir}$ 密封源，由于在实际工作中，放射源供应厂家不能及时进行新源购置或废旧源的回收处置，为了不影响后装机正常进行放射治疗工作，一般在后装源更换前，采用新源提前购置，旧源未退役的现象，导致新、旧放射源同时在台账上的原因，避免了因放射源的迟滞影响正常的治疗工作。

## 2、后装机治疗原理

后装机为近距离放射治疗方式，利用 $^{192}\text{Ir}$ 放射源发出的 $\gamma$ 射线束形成一高剂量率的靶区，对人体有恶性肿瘤的部位进行照射，使肿瘤组织受到不可逆损毁。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、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，通过对话的方式输入各通道的驻留点位及各点的驻留时间，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。 $^{192}\text{Ir}$ 放射源装于机头源罐内，源罐由外而内分别为不锈钢外壳、铅防护、钨合金防护，其防护性能良好。 $^{192}\text{Ir}$ 放射源源罐结构示意图见下图9-8。

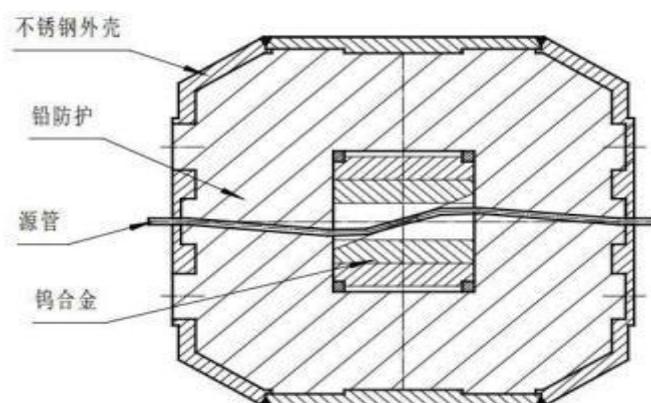


图 9-8  $^{192}\text{Ir}$  放射源源罐结构示意图

## 3、后装机治疗流程

- (1) 患者定位：首先在体架上进行塑模，然后在模拟定位机或模拟CT定位机下进行定位，而后勾画治疗靶区，治疗计划系统（TPS）制定治疗计划并传输给治疗控制系统。
- (2) 治疗前认真核对患者的科室、姓名及治疗计划。
- (3) 工作人员进入后装机机房给患者安装施源器，插入定位缆后转入模拟定位机下照片，调整施源器位置至符合要求。
- (4) 用数字化仪或图像传输，输入各驻留点，用TPS重建各点的三维坐标，根据临床要求，

设计和优化治疗计划。

(5) 关闭后装机房门，医护人员在控制室内通过计算机遥控步进马达系统，实行“模拟源探路，放射源治疗”，先走假源，无障碍后开始走真源放射治疗。

(6) 治疗过程中，通过监视器严密观察患者。

(7) 放射治疗结束后，真源自动复位，确认放射源回到罐中以后，将患者移出机房，取出施源器，并观察患者有无不适。

(8) 治疗结束后，关闭后装机。

(9) 在放射治疗过程中，如出现意外情况，按“紧急按钮”中止治疗，源自动复位，撤离患者，向有关领导报告，请专业维修人员处理。

#### 4、工作负荷

本项目使用的后装治疗机的有效开机时间每年工作按50周计，每周治疗30人次，每个患者放射治疗的有效时间不一致，本次环评以8min/人次计，则后装 机年有效工作时间为 200h。

### 9.1.4 核医学科

#### 9.1.4.1 核素制备场所

质子回旋加速器制备正电子药物氟<sup>[18F]</sup>脱氧葡萄糖注射液。

##### (1) 设备组成

核素制备场所分为<sup>18F</sup> 药物生产、化学合成及分装、药物质检三部分。

##### ①药物生产设备参数

回旋加速器（自屏蔽）数量：1 台；根据医院提供资料及设计图纸，拟购回旋加速器带自屏蔽体功能，型号待定，参数参考为能量：≤20MeV；束流强度≤0.15mA；加速粒子：质子。

##### ②药物生产设备组成

1) 工艺流程示意图如下图 9-8:



图9-9 工艺流程图

##### (2) 工艺流程简述

1、装靶、轰击：将 $\text{H}_2^{18}\text{O}$ 水装到靶腔内，检查加速器真空、磁场，设定轰击束流和时间开始打靶，带电粒子经加速器加速后轰击 $\text{H}_2^{18}\text{O}$ 而产生 $^{18}\text{F}$ 离子。

2、合成：打开合成热室，在自动合成模块上安装反应管、纯化柱、反应试剂等，连接管道。关闭热室，打开热室排风系统，使腔室保持负压；将轰击完成后产生的 $^{18}\text{F}$ 离子通过铺设于地沟及铅屏蔽的管道传输到合成热室中的合成模块中， $^{18}\text{F}$ 离子与合成前体在自动合成仪中进行一系列的化学反应，最终合成得产品 $^{18}\text{F}$ 脱氧葡萄糖注射液。

3、分装：打开分装热室排风，使腔室保持负压。将产品通过管道传输至分装热室，经除菌过滤后收集于钨合金罐中的产品瓶中，根据医院使用需求，使用全自动分装仪，将产品瓶中的 $^{18}\text{F}$ 脱氧葡萄糖注射液分装至铅防护罐中的西林瓶中。

4、包装：通过自动升降系统，将已分装好的铅防护罐移出分装热室，盖上铅防护罐盖，贴产品外标签。

5、发货：将产品运输罐通过传递窗移至包装间，经质量检验、表面污染和辐射剂量检、测合格后装入产品运输箱中送往指定场所。

由此可见，使用回旋加速器生产 $^{18}\text{F}$ 脱氧葡萄糖注射液等操作对工作环境造成的影响主要有中子、 $\gamma$ 射线以及放射性三废。其中中子产生在回旋加速器运行时的 $^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$ 反应， $\gamma$ 射线产生在回旋加速器运行时的 $^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$ 反应以及药物合成分装过程。而产生的放射性三废情况描述如下：

废水：主要为对工作场所清洗及药物合成中产生的少量放射性废水。

废气：回旋加速器生产 $^{18}\text{F}$ 过程中，由于次级辐射与空气的相互作用，在室内会产生少量放射性活化气体主要核素 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 和 $^{41}\text{Ar}$ 以及 $\text{O}_3$ 、 $\text{NO}_x$ ，产生的放射性气体通过加速器机房的排风系统经活性炭过滤后排放。

短半衰期固废：主要为合成分装 $^{18}\text{F}$ 脱氧葡萄糖注射液过程中产生，包括药液洒漏造成台面、小推车、地面污染或人员污染）去污产生的棉球、抹布、手套、工作服等。短半衰期固体废物收集于各工作岗位的铅废物桶中，再集中收储至废物库中的 $^{18}\text{F}$ 短半衰期固废收集桶中进行衰变。

长半衰期固废：主要为回旋加速器生产 $^{18}\text{F}$ 过程中产生，包括回旋加速器废靶膜、更换的药物传输管道、纯化柱、阀门、过滤器等合成、分装模块上的零部件等。长半衰期固体废物收集于各工作岗位的铅废物桶中，再集中收储至废物库中的 $^{18}\text{F}$ 长半衰期固废收集桶中进行衰变。

回旋加速器外形示意图，见图 9-10

注：（图为网上搜）



图9-10 回旋加速器外观示意图

本项目拟使用 1 台带自屏蔽的回旋加速器，制备放射性素  $^{18}\text{F}$  以满足医疗要求。拟回旋加速器的基本情况如下：

#### 1、工作原理

处于真空室内的带电粒子在高频、交变磁场作用下不断加速，当被加速粒子能量达到一定值时偏转引出到加速器外部的入射加速带电粒子束与其路径上的靶核碰撞，轰击靶材料，入射粒子被靶核吸收，激活的靶核因核反应发射出中子或 $\alpha$ 粒子，同时产生具有一定阈能的正电子放射性核素。本次新建拟生产的放射性核素为  $^{18}\text{F}$ ，半衰期为 109.8min，衰变时放出能量为 633.5keV 的 $\beta^+$ 粒子，正电子与原子核外负电子湮来时产生能量为 0.511MeV 的光子对( $\gamma$ 射线)，同时产生一定量的快中子。

本项目拟采用的回旋加速器为带自屏蔽回旋加速器，加速粒子为质子(p)。根据回旋加速器基本原理，加速粒子(质子)在真空中加速至指定能量，加速粒子加速过程不产生感生放射性核素，仅在加速粒子打在靶材料上之后，靶材料俘获加速粒子，产生放射性同位素  $^{18}\text{F}$ ；同时，周围屏蔽材料俘获加速粒子后，可能会产生少量短半衰期放射性同位素。本项目使用靶材料及生产工艺指标如表 9-6 所示。

表9-6 靶材料及其生产工艺指标

核素	靶核材料	反应类型	加速粒子	加速能量 MeV	加速束流强度
$^{18}\text{F}$	重氧水	$^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$	p	$\leq 20\text{MeV}$	$\leq 0.15\text{mA}$

### B、系统组成

回旋加速器一般由磁场系统、射频系统、真空系统、离子源系统、提取系统、诊断系统、靶系统和冷却系统等主系统组成：

**磁场系统：**提供被加速的带电粒子在所控制的轨道中做圆周运动所需要的磁场强度，由磁铁、线圈、磁场电源配给系统等组成；

**射频系统：**提供加速带电粒子所需的高频振荡加速电压，其频率与粒子多级轨道的旋转频率相等，由射频谐振腔、射频发生器和馈通电缆组成；

**离子源系统：**产生需要加速的负离子，由离子源、离子源电源配给器和气体控制系统组成。离子源的类型是冷阴极电离计，产生氢负离子或氙负离子；

**束流提取系统：**直接将加速的带电负离子从真空箱中引出，该系统的基础是剥离膜。被加速的负离子在通过剥离膜时被脱去 2 个电子而转变为阳离子，并能够调整引出的束流进入所选定的核素生产靶；

**靶系统：**是完成特定核反应而产生正电子核素的装置，各种类型的靶系统主要由靶室、真空绝缘箔、冷却系统组成；

**真空系统：**建立离子加速所需要的真空压力水平，降低束流的丢失，为高电压射频场提供绝缘；

**冷却系统：**包括水冷却系统和氦冷却系统。水冷却系统主要用于从不同系统中将热量带出，带出的热量在二级冷却系统中进行热交换，并将热量传送到初级冷却系统。氦冷却系统主要在轰击期间对靶室和靶窗的箔膜和钛箔膜之间进行冷却，两个箔膜之间的氦气流提供了所必需的冷却。

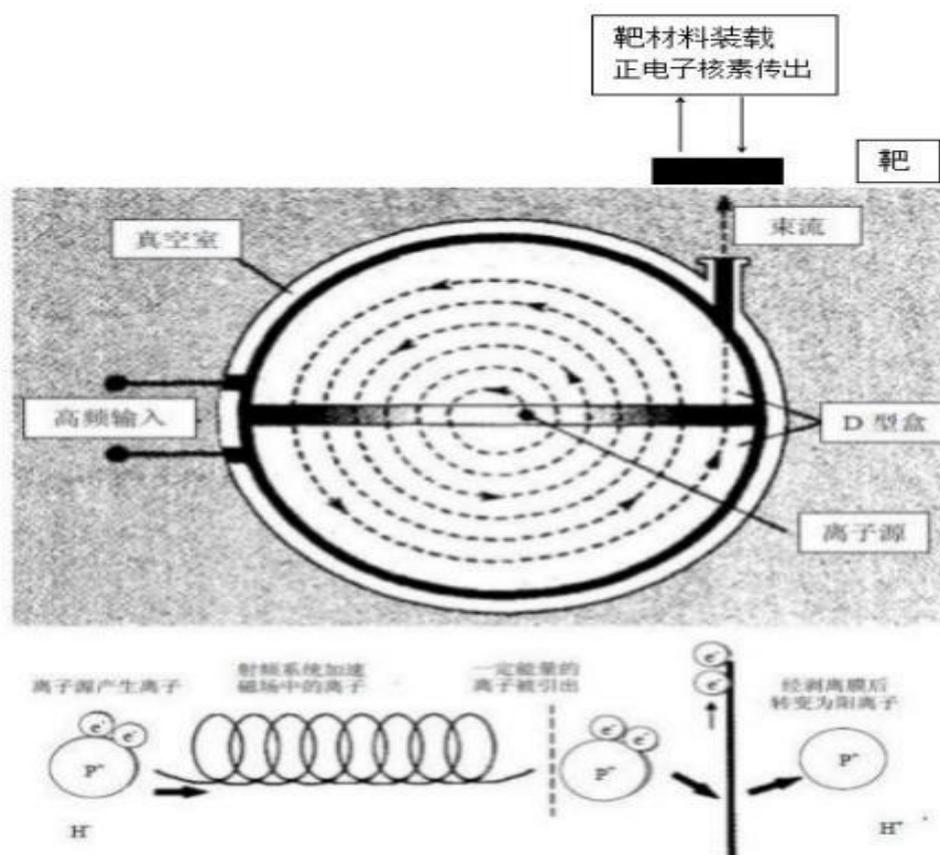


图9-11 回旋加速器工作原理示意图

### 3、工作流程

①利用回旋加速器生产放射性同位素  $^{18}\text{F}$ 。获得  $^{18}\text{F}$  后将核素由回旋加速器内 输送至合成分装热室中的合成模块，在模块内把捕获淋洗(从加速器传过来的氟 [ $^{18}\text{F}$ ] 离子溶液 经过 QMA 阴离子交换柱捕获淋洗，其中  $^{18}\text{F}$  离子被吸附在柱子上，再蒸发除水(淋洗结束后 加热反应管使乙腈与水共沸进行除水)，再进行亲核反应(待冷却后向反应管中加入三氟甘露糖溶液，混合液发生亲核反应， $^{18}\text{F}$  取代三氟甘露糖上的一个羟基成为 2- $^{18}\text{F}$ - 1, 3, 4, 6 四乙基-氟-2 酰基-D-葡萄糖，再除乙腈和水解(向反应管中加氢氧化钠溶液进行水解)，再精制(粗产品经过树脂柱，分离提纯，经过无菌滤膜过滤获得最终产品)。再在分装模块进行分装(自动分装仪进行动

分装测量)。放射性药物合成与分装均在热室内的模块箱里操作，全自动化完成。工作人员在监控室内的监视器上监视生产情况。分装完成后药品自动进入操作箱旁的铅/钨合金罐内，工作人员将罐体运至包装间包装后送至指定场所。

### $^{18}\text{F}$ FDG ( $^{18}\text{F}$ 氟代脱氧葡萄糖) 合成工艺流程

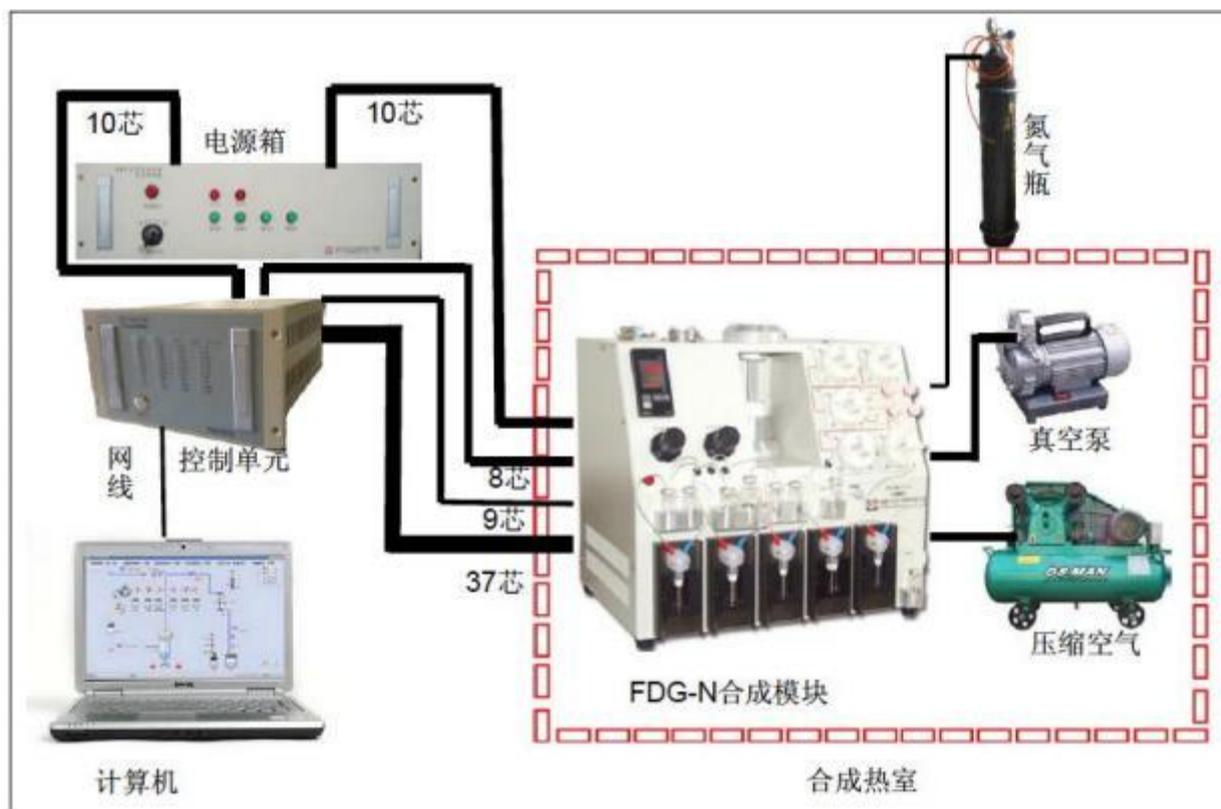


图 9-12 合成模块箱系统组成

生产前对回旋加速器进行调试，根据需要生产的放射性核素种类设置相应参数。回旋加速器运行期间，工作人员不进入回旋加速器室内，仅在控制室操作。核素生产时间平均为 2.5h/次，其中轰击时间约 1h/次。制备药物时设备主要参数及放射性核素的特性详见表 9-6。

#### ② 药物合成与分装

回旋加速器机房的核素离子生产完成后，通过氦气吹扫，通过专门的防护管道系统传输到合成热室内的相应模块箱中。

核素在洁净合成模块中合成过程中，无需人员干预，采用计算机程序自动控制。核素药品在洁净合成模块合成完成后，分别进入合成和分装模块，设置合成热室和分装热室。

。药物分装过程也采用计算机全自动控制，无需人工干预，药物在自动分装模块中将根据预

先设计的程序，经高效除菌过滤膜过滤被收集在安瓿瓶中。自动掉入专用的铅防护罐中，罐子的盖子为卡扣盖子，不易松动。根据预约患者的用药量分装出当日用药量后，余下的放射性药物按放射性固体废物处置，送至放射性固体废物间。

### ③药物质控

质控室设通风橱，工作人员在通风橱内将待检药物注射器吸取微量抽检样品，检验药物的pH值、活度和形状等。

产污环节：药物质控过程中核素衰变发出 $\beta^+$ 射线以及因发生正电子湮灭而产生的 $\gamma$ 射线；操作过程中，可能会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成放射性表面污染；发生药品泄露后医务人员去污、应急洗消、场所清洗时可能产生少量放射性废水；通风橱药物的挥发产生含放射性核素的废气；作业产生废棉签、口罩、手套等放射性固废。

### ④药物运输

放射性药物制备完成后，工作人员进入合成热室将合成分装模块内装有药物的铅罐取出，通过传递窗口传至外包间， $^{18}\text{F}$ 诊断药物使用转运小推车进行药物转运，经PET-CT西面通道送至分装室西面增设的药物通道传递窗口，由分装室工作人员将药物送至核素显像储源室内。

综上，回旋加速器制药过程(打靶、合成、分装)为计算机全自动控制，工作人员不参与操作，只是监控整个过程的执行情况；质控环节由工作人员在通风橱内操作。核素生产场所工作流程及产污环节见图9-13。

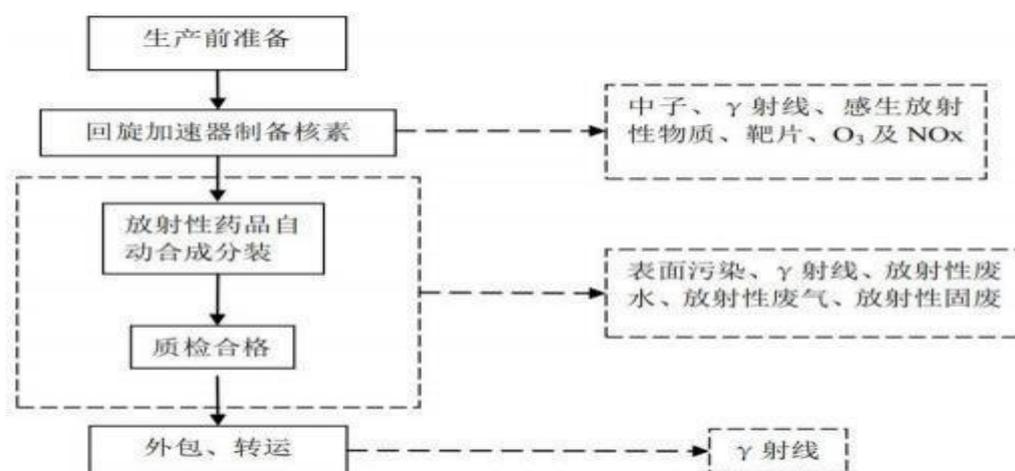


图9-13 回旋加速器工作场所工作流程及产污示意图

## 4、工作负荷

回旋加速器拟计划每天早上制药，轰击时间6点~7点，合成时间7点~8点，分装时间8点~8点10分，每天制药1次，年工作260天，52周。根据医院提供的PET-CT/MRI参数，药物初始活度不

大于 $1.92 \times 10^{11} \text{Bq}$ (5.2Ci)，合成后活度为 $1.33 \times 10^{11} \text{Bq}$ (3.6Ci)。

核素制备场所的等级划分以制备药物初始活度进行计算，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)：放射性药品生产中，分装、标记等活动视为“简单操作”。核素制备场所等级划分详见表 9-11。

表 9-11 核素制备场所等级划分一览表

核素名称	实际日操作量	毒性组别修正因子	与操作方式有关的修正因子	日等效最大操作量	非密封源工作场所等级
F-18	$3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$	低毒 (0.01)	1 (简单操作)	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	乙级

#### 9.1.4.1 核素显像区

##### 1、应用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记药物在 SPECT下开展显像诊断

###### (1) 工作原理

$^{99\text{m}}\text{Tc}$  标记的溶液以化合物形态存在，可以口服，可以静脉注射。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  标记的某些化合物或络合物，其化学性质各不相同，可以选择性地分布于不同的组织和器官里。正因为这个原因，治疗前才采用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的标记物来进行肝、肾、肺、心、脾、淋巴、骨髓、脑池、脊髓、骨骼等器官的显影以及炎症、肿瘤等病理定位。

###### (2) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记药物操作流程简述

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 半衰期很短为6.02h，根据医院提供的计划直接采购长沙原子高科标记好的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，使用。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  (SPECT) 单人最大用量为 $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$  (30mCi)，一天最大接诊人数60人， $^{99\text{m}}\text{Tc}$  (SPECT) 日最大操作量为 $6.66 \times 10^{10} \text{Bq}$ (1800mCi)； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (心肌显像)单人最大用量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)，一天最大接诊人数30人， $^{99\text{m}}\text{Tc}$  (心肌显像) 日最大操作量为 $6.66 \times 10^{10} \text{Bq}$  (750mCi)。

###### (3) SPECT 的工作原理

SPECT的全称是单光子发射计算机断层扫描仪 (Single-Photo Emission Computed Tomography)，本项目主要用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行显像，其使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行诊断的基本原理是：受检者注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在特定的器官或组织发射出能量为140keV的光子( $\gamma$ 射线)，穿过组织器官后到达SPECT探测器。SPECT使用低能准直器对 $\gamma$ 射线进行准直，通过闪烁体将 $\gamma$ 射线能力转换为光信号，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形。其主要的功能特点是：除了显示脏器形态结构外，更重要的是可观察到脏器血流灌注、功能和代谢的变化。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。

SPECT/CT是指高端ECT和多排螺旋CT结合成一体化的设备，即单光子发射计算机断层/X线计算机断层扫描仪，不仅提供ECT功能信息，而且提供诊断CT的解剖信息，能够将功能代谢和解剖结构结合显示成像。ECT本身不发射任何辐射，常用 $^{99m}\text{Tc}$ 为标记药物，利用ECT来探测这种放射性核素发射的 $\gamma$ 射线在体内的分布状态并还原成图像，其影像不仅可以显示脏器和病变的位置、形态、大小等解剖结构，还可以显示脏器的功能、代谢情况，提供有关脏器的血流、功能、代谢和引流等方面定性的和定量的信息。叠加CT扫描的出的解剖结构图像，较早诊断骨骼、心脏和肿瘤等多种临床疾病优势明显。SPECT/CT由探测器（探头）、CT部分、检查床和图像采集处理器四部分组成4、SPECT/CT 扫描工作流程

本项目使用的单光子药物均采用静脉注射的方式给药，采用手动分装。分装好的药物由医务人员注射室注射窗的屏蔽下为病人静脉注射，患者集中注射，病人注射后在 SPECT/CT 注射候诊室休息候诊（约2~4h），待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 SPECT/CT 机房。医生在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房辅助患者摆位，摆位时间约 1min，摆位完成后医生隔室操作对患者进行SPECT/CT扫描诊断，SPECT/CT 机房每次扫描 15min，扫描完成后，患者等候 5~10 分钟，待医生扫描图像无误后即可离开，若扫描图像不清晰，则需重新扫描（不再重新注射药物）。患者由诊断病人专用出口离开。

#### （4）工作负荷

依据医院计划，两台SPECT/CT接诊患者，计划接诊患者90人次/d，5d/周,52周/a，年工作260d/a，年接诊患者23400人，通常医师辅助患者摆位1min/人，SPECT扫描检查时间约 15min/人，CT机出束扫描时间约 3min/人。

## 2、应用 $^{18}\text{F}$ 标记药物在PET下开展显像诊断

### （1）工作原理

$^{18}\text{F}$ ：半衰期为109.8min，衰变类型为 $\beta^+$ 衰变，电子俘获（EC），主要射线为511KeV的 $\gamma$ 光子，最大正电子能量为633KeV，平均正电子能量为203KeV。一般被制为 $^{18}\text{F}$ -FDG（氟代脱氧葡萄糖）。葡萄糖是人体三大能源物质之一，将可以被PET探测并形成影像的正电子核素。 $^{18}\text{F}$ 标记在葡萄糖上，即 $^{18}\text{F}$ -FDG，它可准确反映体内器官/组织的葡萄糖代谢水平，是目前PET显像的主要显像剂。

### （2）PET的工作原理

本项目 $^{18}\text{F}$ 显像设备有PET-CT和PET-MRI两种设备。

PET是正电子发射断层显像（PositronEmissionTomography）的英文缩写。它作为一种先进的核医学影像手段，对于功能、代谢和受体分布等的显示具有优势，被称为“生化显像”或“分子成像”，利用核素示踪原理，在分子水平上，通过动态、定量的监测人体内部的生化变化来观察其功能状态，显示人体器官组织正常或病变。其临床显像过程为：将发射正电子的放射性核素标记到能够参与人体组织血流或代谢过程的化合物上，将标有带正电子化合物的放射性核素注射到受检者体内。让受检者在PET的有效视野范围内进行PET显像。

PET-CT是将PET和X线计算机断层扫描(Computer Tomography, CT)组合而成的多模式成像系统，是目前全球最高端的医学影像设备，同时也是一种可以在分子水平成像的影像技术。PET/CT将PET与CT融为一体，使两种成像技术优势互补，PET图像提供功能和代谢等分子信息，CT提供精细的解剖和病理信息，通过融合技术，一次诊断即可获得疾病的病理生理变化和形态学改变。

PET-MRI是将PET与MRI联合在一起组成的大型功能代谢与分子影像诊断设备，扫描过程中PET对进入体内的正电子核素进行扫描并显像，可获得代谢显像，而MRI可对PET图像做放射性的衰减校正，提供解剖学和组织学特征，两者结合可以看到组织功能和新陈代谢，提供比传统成像方式更优质的影像结果。系统还可以分别收集PET和 MRI 影像。

### （3）诊断工作流程

工作人员根据临床诊断所需用药量、病人预约情况确定诊断所需药物的使用量，提前预定药物。药物送达后，连同转运铅罐转移至分装柜内。本项目使用的正电子药物均采用静脉注射的方式给药，采用手动分装。分装好的药物由医务人员在注射室注射窗的屏蔽下为病人静脉注射。病人注射后在注射候诊室休息候诊（约 1h），待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入PET-CT/MRI机房。医生在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房辅助患者摆位，摆位时长约 1min，摆位完成后医生隔室操作对患者进行PET-CT/MRI扫描诊断，PET-CT/MRI机房每次扫描 15min，扫描完成后，患者等候5~10分钟，待医生扫描图像无误后即可离开，若扫描图像不清晰，则需重新扫描（不再重新注射药物）。患者由病人专用出口离开。

### （4）工作负荷

依据医院计划，医院有1台PET/CT和1台PET/MRI，共同接诊患者，计划接诊患者70人次/d，5d/周，52周/a，年工作303d/a，年接诊患者共18200人。实际已医院接诊人数为准。

#### 9.1.4.3 核素治疗区

使用放射性核素<sup>131</sup>I 开展甲癌、甲亢治疗和甲状腺功能检测；使用放射性核素<sup>90</sup>Sr进行敷贴

治疗；使用放射性核素 $^{89}\text{Sr}$ 进行骨转移治疗；医院计划每周购药 $^{131}\text{I}$ 一次， $^{90}\text{Sr}$ ， $^{89}\text{Sr}$ 。核素治疗原理及流程如下：

### 1、治疗原理

#### ①甲癌治疗

放射性核素 $^{131}\text{I}$ 可以高度选择性聚集在分化型甲状腺癌及转移灶， $^{131}\text{I}$ 衰变时发射出的射程很短的 $\beta$ 射线和能量跃迁时发出的 $\gamma$ 射线，从而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，达到抑制或破坏病变组织的目的，取得类似部分切除甲状腺的效果，而邻近的正常组织的吸收剂量很低，从而达到治疗目的。

#### ②甲亢治疗

甲状腺具有高度选择性摄取 $^{131}\text{I}$ 的功能，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多。 $^{131}\text{I}$ 在甲状腺内停留的时间较长，在甲亢患者甲状腺内的有效半衰期约3~5天。在患者服用 $^{131}\text{I}$ 后，90%以上的 $^{131}\text{I}$ 都会聚集到患者的甲状腺，其余的 $^{131}\text{I}$ 随代谢排出体外。 $^{131}\text{I}$ 衰变时主要发射 $\beta$ -粒子，且射程短，仅约2~3mm，对周围正常组织一般无影响。因此， $^{131}\text{I}$ 治疗可使部分甲状腺组织受到 $\beta$ 射线的集中照射，使部分甲状腺细胞发炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的功能恢复正常，达到治疗的目的。

#### ③甲状腺功能测定：

碘是甲状腺合成甲状腺激素的原料之一，放射性的 $^{131}\text{I}$ 也能被摄取并参与甲状腺激素的合成，其被摄取的速度和速度与甲状腺功能密切相关。将 $^{131}\text{I}$ 引入受检者体内，利用体外探测器测定甲状腺部位放射性计数的变化，可以了解 $^{131}\text{I}$ 被甲状腺摄取的情况，从而判断甲状腺的功能。

#### ④敷贴治疗

$^{90}\text{Sr}$ 敷贴治疗是利用核素 $^{90}\text{Sr}$ 发射 $\beta$ 射线，使局部病灶产生辐射生物效应而达到治疗目的。由于治疗的几乎全是子体 $^{90}\text{Y}$ 衰变为 $^{90}\text{Zr}$ 过程中发射的2.2MeV $\beta$ 射线，其形状为圆形或方形，出厂时已标定其放射性活度及表面剂量率，由于 $^{90}\text{Sr}$ 半衰期较长（28.1年），可以长期使用，但每年需做一次衰变校正。使用时根据病变形状在保护周围皮肤前提下直接敷贴，治疗可采用一次大剂量法或多次小剂量。 $^{90}\text{Sr}$ 是一种纯 $\beta$ -放射源，主要治疗皮肤毛细血管瘤、瘢痕疙瘩、慢性湿疹、鲜红斑痣、局限性神经性皮炎和牛皮癣等皮肤疾病。

#### ⑤骨转移治疗

$^{89}\text{Sr}$ 半衰期为50.53天，是一种用于姑息性治疗恶性肿瘤骨转移所致疼痛的放射性药物。在骨转移肿瘤患者体内半衰期更长，因此疗效持久，多数患者在治疗后2~7天内疼痛逐渐缓解，平均

缓解率约80%，疼痛缓解维持时间约3-6月，最长可达15个月；<sup>89</sup>Sr治疗主要副作用为骨髓抑制，但主要为轻度骨髓抑制，可对症处理，极少数发生严重骨髓抑制；<sup>89</sup>Sr为纯β射线，其穿透力弱，对患者家属及周围环境辐射危害可忽略不计，同时它具有靶向性，对肿瘤以外的组织和器官辐射剂量极小。

表9-12 医院核医学用放射性核素参数

核素名称	半衰期	衰变模式	毒性分组	α/β 最大能量 MeV	光子能量 MeV	周围剂量当量率常数 (裸源) μSv · m <sup>2</sup> /MBq · h
<sup>18</sup> F	109.8 min	β <sup>+</sup> , EC	低毒	0.63(+)	0.511	0.143
<sup>89</sup> Sr	50.53d	β <sup>-</sup>	中毒	0.5846		—
<sup>99m</sup> Tc	6.02h	同质异能跃迁	低毒	—	0.140	0.0303
<sup>131</sup> I	8.02d	β <sup>-</sup>	中毒	0.602	0.284, 0.365, 0.637	0.0595

注：数据主要来源于 AAPM, 2006. American Association of Physicists in Medicine, AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements Med. Phys. 33, 1, GBZ/T 261-2015 《外照射辐射事故中受照人员器官剂量重建规范》，<http://hps.org/publicinformation/radardecaydata> 毒性分组主要来源于 GB18871-2002。

## 2、工作流程

### ①甲癌治疗

工作流程：患者接受辅助检查，医生根据评估结果进行服药剂量的确定，并制定治疗方案。在确定方案后，<sup>131</sup>I治疗前，向患者及家属详细说明治疗过程、治疗禁忌症以及可能出现的不良反应和副作用，详细宣教<sup>131</sup>I治疗后对周围人群的辐射影响及防护措施。用药当日，由药品厂家根据建设单位提供的日最大所需量装入防护罐内，并负责运送至医院核素治疗区甲癌分装室。医护人员在通风橱内，通过自动分碘仪进行自动分装，病人根据语音播报到甲癌服药窗口自行取药服用。甲癌患者服药后进入甲癌病房住院观察。患者住院观察期间禁止外出和随意走动，住院观察4-5天左右，如无明显不良反应且达到出院标准(体内的放射性活度降至400MBq或距离患者体表1m处的周围剂量当量率不大于25 μSv/h)后，经过检测，则准予出院。

甲癌治疗及产污详见下图9-14。

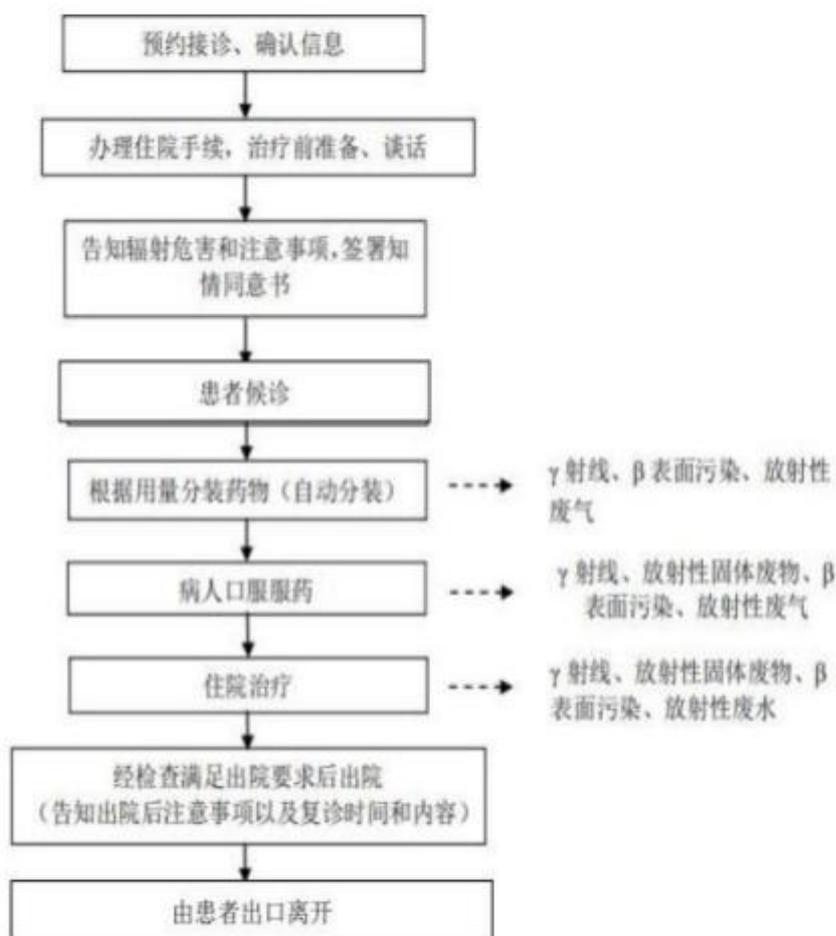


图 9-14 甲状腺治疗工作流程及产污示意图

### ②甲状腺治疗

工作流程：患者接受辅助检查，医生根据评估结果进行服药剂量的确定，并制定治疗方案。在确定方案后，<sup>131</sup>I治疗前，向患者及家属详细说明治疗过程、治疗禁忌症以及可能出现的不良反应和副作用，详细宣教<sup>131</sup>I治疗后对周围人群的辐射影响及防护措施。确定药物用量后，通过自动分碘仪进行自动分装，病人根据语音播报到甲亢服药窗口自行取药服用。服药后患者进入留观室，无异常后离开。

甲亢治疗及产污详见图9-15

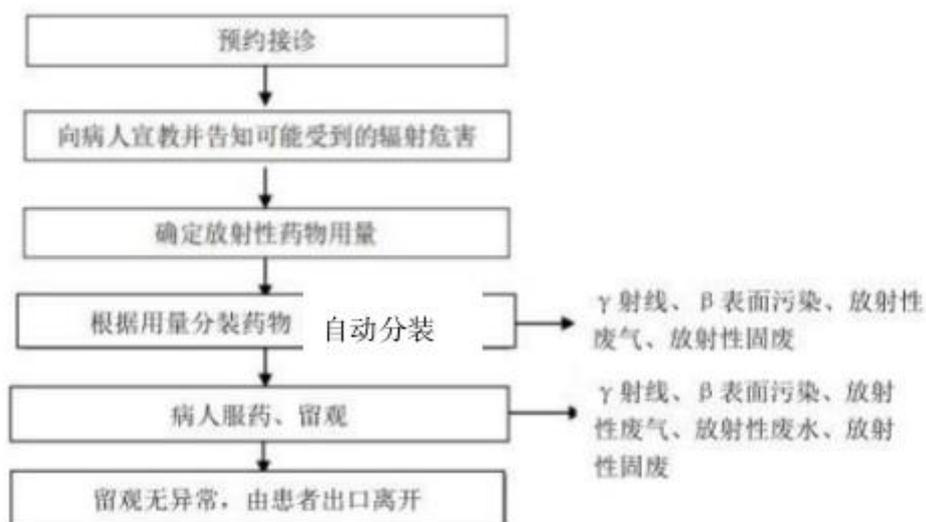


图9-15 甲亢治疗工作流程及产污示意图

### ③ 甲状腺功能测定

工作流程：患者提前预约，用药前向病人告知可能收到的辐射危害。根据患者情况制定用量，工作人员手动分装药物后将药物递到服药窗口给患者服用，患者服药后马上离开，分别于3小时、24小时后回来测摄碘率，每次检查30S。

甲状腺功能测定流程及产污详见图9-16。

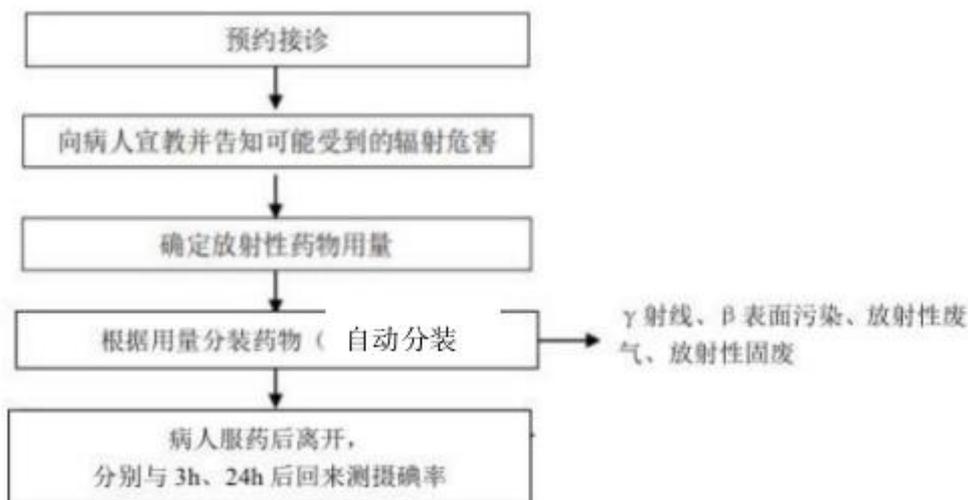


图9-16 甲状腺功能测定工作流程及产污示意图

### ④ 敷贴治疗

工作流程：患者提前预约，使用敷贴器前向病人告知可能收到的辐射危害。根患者在敷贴治疗前，职业人员根据患者皮肤病变的大小、厚薄以及部位的不同，选择不同的剂量和疗程，确定每次照射时间；治疗时，职业人员打开保险箱，持手柄取出敷贴器放在铅罐内予以屏蔽。敷贴治疗流程及产污详见图9-17。

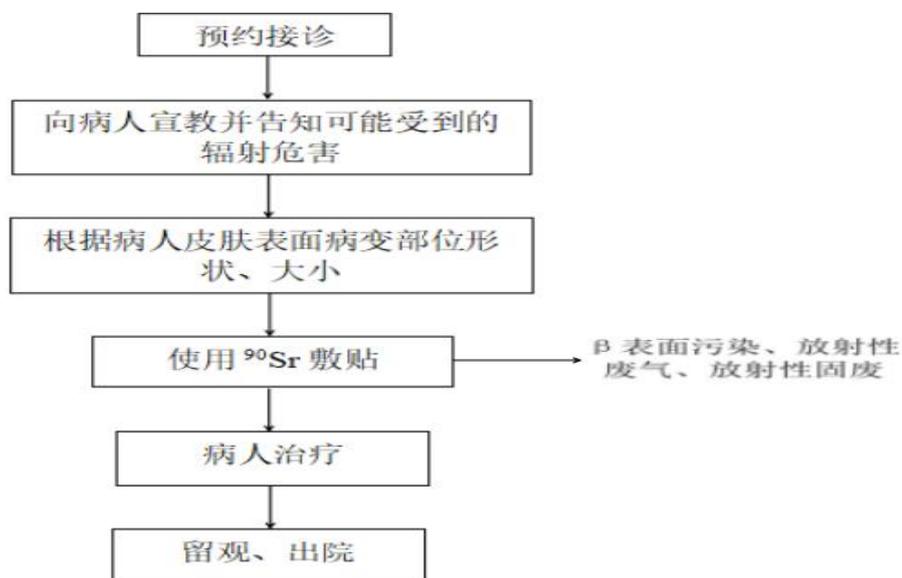


图 9-17 敷贴治疗工作流程及产污示意图

⑤骨转移治疗

工作流程:针剂注射属于简单的湿法操作，医生对患者进行检查，根据病情，在本院医疗条件允许范围内确定注射剂量，与患者预约，静脉缓慢注射(1~2min)。成人1.5~2.2MBq (40~60uCi)/kg或总量148MBq (4mCi)。可以重复给药，但一般间隔应不少于3个月.在观察室短暂观察，如无特殊情况，即由病人专门出口处离开回家。治疗流程及产污详见图9-18。

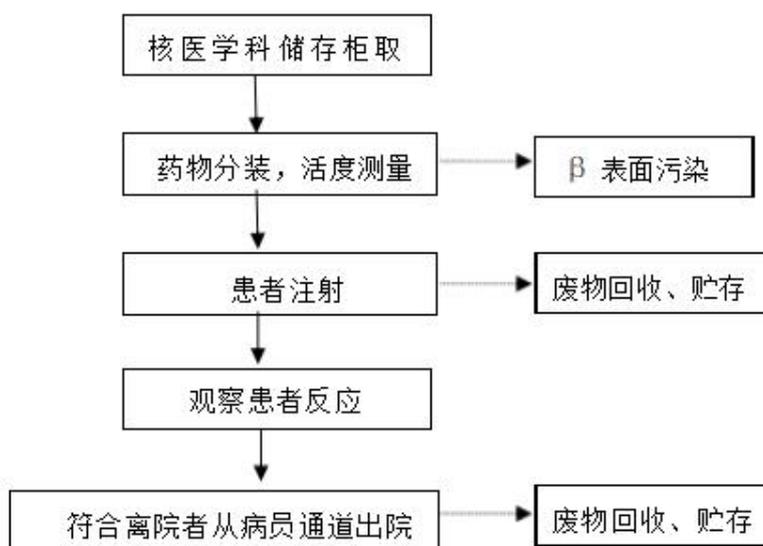


图 9-18 骨转移治疗工作流程及产污示意图

### 3、工作负荷

依据医院计划如下：

①甲癌治疗：一批次住院6人，每批次病人住院3-4天，全年52批次，全年治疗人数不超过360人，通常最大药量： $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$  (200mCi)。

②甲亢治疗：每天最多治疗5个病人，每周工作5天，每年工作52周（治疗人数不超过1300人/年），病人治疗期间通常最大药量： $^{131}\text{I}$ 服药量为10mCi ( $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ )。

③甲状腺功能测定：每天最多检查10个病人，每周工作5天，每年工作52周（检查人数不超过2600人/年），平检查期间通常最大药量： $^{131}\text{I}$ 服药量为0.01mCi ( $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ )。

④敷贴治疗： $^{90}\text{Sr}$ 每天最多治疗5个病人，每周工作5天，每年工作52周（治疗人数不超过1300人/年）。

⑤骨转移治疗： $^{89}\text{Sr}$ 每天最多治疗10个病人，每周工作5天，每年工作52周（治疗人数不超过2600人/年）。

## 9.2 污染源项描述

### 9.2.1 施工期间污染源项分析

本次建设是医院整体新建，土建工程依托整体工程，本项目的施工期建设包括铅门、铅窗、房间布局及房间实体防护等建设，最后进行设备的安装调试和工程验收，主体工程已进行环评。

本项目施工期主要为中心手术室，介入中心，放疗中心，核医学科，治疗室及操作室的建设及设备安装，目前机房和放疗室，核医学科均未开始建设，放射治疗设备均尚未安装。本项目土建工程的环境影响随着施工期的结束而结束，施工期工程量小，施工期短，对外界环境影响很小，不存在环保遗留问题。施工过程中产生辐射污染环节为设备安装及调试过程，应请专业人员进行，医院方不得自行安装设备。在安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在射线装置门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时各诊断室必须上锁。

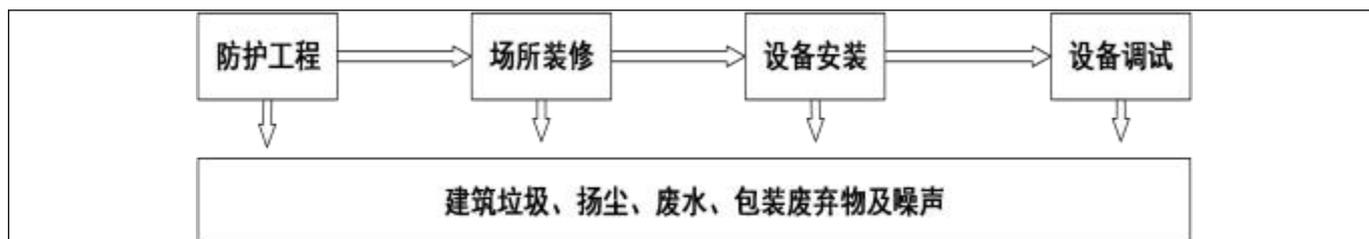


图 9-19 施工期工艺流程及产污环节

## 9.2.2 本项目运行期间正常工况下污染源分析

### 1、医用电子直线加速器

医用电子直线加速器属于 II 类射线装置，产生电子或 X 射线用于肿瘤治疗，主要污染因子为 X 射线，当加速器出束时产生电子和 X 射线，停止出束或关机则消失。本项目医用直线加速器最大 X 线能量为 10MV，不考虑中子或感生放射性的产生。加速器运行期间会产生废旧加速器废靶，由厂家回收。加速器出束治疗时 X 射线会电离空气，产生臭氧和氮氧化物等有害气体。

### 2、后装机

后装治疗机内装有 1 枚  $^{192}\text{Ir}$  密封源， $^{192}\text{Ir}$  源产生  $\gamma$  和  $\beta$  射线，污染因子为  $\gamma$  和  $\beta$  射线，正常情况下， $\beta$  射线被墙体屏蔽后可忽略。后装机治疗时， $\gamma$  射线会电离空气，产生少量臭氧和氮氧化物等有害气体。后装机使用  $^{192}\text{Ir}$  密封源一定时间后，因活度降低，不能达到治疗目的时，需要进行放射源更换，报废退役的放射源由厂家统一回收。

### 3、DSA 和 ERCP

DSA 和 ERCP 均属于 II 类射线装置，出束工作时均产生 X 射线，主要污染因子为 X 射线，当 DSA 和 ERCP 出束时产生 X 射线，停止出束或关机则消失。DSA 和 ERCP 出束时还会电离空气，产生少量臭氧和氮氧化物等有害气体。

### 4、核医学科

#### （一）核素制备场所污染源项分析

回旋加速器制药过程中污染因子主要包括：放射性核素生产过程中产生的中子、 $\gamma$  射线和  $\beta$  表面污染，还有含放射性核素的气态、液态和固体废物，此外还会产生少量的臭氧及氮氧化物。根据工艺流程，具体分析污染物和污染途径如下：

#### （1）贯穿辐射

回旋加速器在制备药物过程中，高速质子与靶物质作用伴随产生中子，中子与靶、部件、

屏蔽体等物质相互作用会放出 $\gamma$ 射线，中子和 $\gamma$ 射线具有较强的穿透力，如果对其屏蔽不好则可以穿过屏蔽墙、防护门、顶棚等对工作人员和公众产生一定辐射危害。在进行药物合成、分装、交接、传输等操作时，核素衰变时会发出 $\beta^+$ 射线以及发生正电子湮灭产生的 $\gamma$ 射线， $\beta^+$ 的最大能量为1.190MeV， $\beta^+$ 在空气中存在时间极短，极易与空气的电子结合(湮灭)而转化为两个 $\gamma$ 射线光子(能量为0.511MeV)。

核素制备、合成、分装均为自动控制，以上过程中工作人员在加速器控制室进行监控，受到的辐射影响较小，贯穿辐射主要来自质控及传递运输放射性同位素药物过程中。制药区无公众进入，加速器运行及在药物转运过程中周围公众活动量很小，对公众造成影响的可能性较小。

### (2)空气活化产物

粒子与稳定的非放射性核素作用发生核反应，生成放射性的核素，称该非放射性核素被活化。活化产物决定因素主要包括：中子发生率和能量、空气的组成、核反应截面、粒子在空气中的行程(自靶点至墙内表面的距离)。加速器在运行期间，中子活化空气产生的活化产物主要为： $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{41}\text{Ar}$ 。

这些核素均为 $\beta$ 、 $\gamma$ 衰变体，其中 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 半衰期很短，在很短时间内即可发生衰变，故可以不予考虑。主要考虑 $^{41}\text{Ar}$ 的影响，由于空气中可以生成 $^{41}\text{Ar}$ 的 $^{40}\text{Ar}$ 含量仅为1.3%，加上产生 $^{41}\text{Ar}$ 的活化反应截面很小，所以 $^{41}\text{Ar}$ 的生成率极其微小。

### (3)表面污染

工作人员在对含有放射性核素制剂的各种操作中，可能会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等发生放射性沾污，造成放射性表面污染。

### (4)放射性废物

#### ①放射性废气

在放射性药物成分装、质控时，药物挥发产生的含放射性核素的废气。

#### ②放射性废水

核素制备场所中回旋加速器制备放射性核素的过程是在密闭系统中进行的，回旋加速器的水冷系统使用循环水，冷却水不外排不产生废水。药物医务人员去污、应急洗消、场所清洗时产生一定量的放射性废水。

#### ③放射性固废

本工程产生的放射性固体废物有手套、棉签、滤纸、清洁去污时用过的抹布和活性炭等。核素制备场所中药物制取时，更换下来的放射性残留物如固体靶片。

(5)非放射性污染物

本项目废气为电离辐射产生的O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub>等废气；本项目废水为工作人员产生少量的生活污水；本项目的固体废物，主要为工作人员产生的办公垃圾；本项目噪声主要设备运行过程中产生的噪声以及排风系统风机产生的噪声。

5、小结

本项目正常运行期间主要污染因子见下表

表 9-13 本项目运行期正常工况下产生的主要污染源

序号	项 目		放射性污染源		其他污染源
	场所	名称	辐射类型	三废	
1	放疗中心	医用电子直线加速器	X 射线	加速器废靶	有害气体
2		后装治疗机	γ 射线	废旧放射源	有害气体
3	核医学科	回旋加速器（自屏蔽）	中子和瞬时 γ 射线	加速器废靶	有害气体
4		SPECT/CT	X 射线	/	有害气体
5		PET/CT	X 射线	/	有害气体
6		PET/MRI	/	/	/
6		<sup>99m</sup> Tc	γ 射线、表面污染	放射性三废	废弃活性炭过滤装置
7		<sup>18</sup> F	β 射线、表面污染	放射性三废	
8		<sup>131</sup> I	β 射线、表面污染	放射性三废	废弃碘吸附过滤装置
9		<sup>89</sup> Sr	β 射线、表面污染	放射性三废	废弃剩余的药物及药瓶
10		介入手术	DSA	X 射线	/
11	成人急诊放射科				
12	中心手术室				
13	内镜中心	ERCP			

9.2.3 本项目运行期辐射事故分析

## 1、医用直线加速器

在意外情况下，医用直线加速器可能出现的事故如下：

- (1) 门机联锁故障，人员误入正在出束的加速器治疗机房，造成人员被误照；
- (2) 医护人员或病人家属滞留加速器机房，启动加速器出束，造成人员被误照；
- (3) 急停按钮失灵或停束装置出现故障，加速器照射不能停束，造成意外照射；
- (4) 检修人员正在加速器机房进行检修维护，启动加速器出束，造成人员被误照。

事故防范处理措施：

(1) 加速器机房具有良好的屏蔽设计和多重联锁装置，以保证其安全运行，但需定期进行检查和维护，保障安全设施的有效性。

(2) 制定明确的操作规程，在放射治疗操作时，至少有 2 名操作人员同时在场，操作人员按照操作规程进行操作。为防止其他人员误留在加速机房的误照射，加速器在每次出束的时候必须对机房进行检查，确认无误后，方可进行加速器出束。

(3) 当急停开关失灵后，要立即断开整机动力电源；操作人员不能再开机，直到维修人员确保机器能够正常工作和急停开关正常。

(4) 加速器放疗工作人员在每次进入加速器室时须佩戴剂量报警仪和个人剂量计。

(5) 加速器出束前应使用对讲广播提示人员撤出治疗机房，并经视频监控确认无人员滞留后方可开机。

## 2、后装治疗机

在意外情况下，后装治疗可能出现的事故如下：

(1) 因工作人员操作不当或设备出现故障，在设备安装和更换放射源时，发生放射源由设备或容器中跌落出来，造成安装人员或操作人员受到强辐射照射。

(2) 设备检修时，工作人员误将后装机的屏蔽装置打开或卸下放射源，对维修人员产生强辐射照射。

(3) 后装机在使用过程中发生故障，出现卡源情况，门机联锁、急停装置失效，公众人员误入处于出源的后装机机房，受到不必要的辐射照射。

(4) 公众人员未及时撤离后装机机房，后装机出源治疗，受到不必要的辐射照射。

(5) 后装机放射源因管理不善发生被盗、丢失、遗弃等事故，造成辐射危害。

事故防范处理措施：

(1) 工作人员每次上班时首先要检查安全联锁装置是否正常。如有故障，应立即修

理，恢复正常后，方可开展治疗工作。

(2) 工作人员必须严格按照操作规程开展治疗工作，在放射治疗操作时，至少有 2 名操作人员，佩戴剂量报警仪和个人剂量计，避免人员受到辐射照射。

(3) 在机房内应设置紧急停机按钮与醒目的指示和说明，便于在紧急情况下使用。

(4) 工作人员准备开始出源前，应对治疗室进行清场，并通过视频监控确认治疗室内无人员逗留，方能开机出源治疗。

(5) 发现事故，需紧急停机控制事故，消除事故源，严禁无关人员进入，防止事故继续蔓延和扩大。

(6) 停电或意外事故中断治疗时，放射源应有立即回到贮存位置。

(7) 设备出现故障，应通知厂家立即派专业技术人员到现场排除故障，医院不能擅自处理，专人负责后装机控制，防止误操作造成人员意外照射事故。

### 3、核医学科

在意外情况下，核医学诊疗过程中可能出现的事故如下：

(1) 在操作非密封放射性物质的过程中，因容器破碎、药物泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。

(2) 放射性药物、设备校准源丢失或被盗，造成放射性事故；放射性药物在转移过程中由于操作人员违反操作规定或误操作引起意外泄漏而造成放射性表面污染。

(3) 放射性同位素使用中，出现患者识别错误，或者剂量使用错误，会给患者造成不该施加的照射。

(4) 放射性废气排放中过滤净化装置失效或功能减弱，造成环境空气污染。

(5) 放射性废液贮存衰变池外溢、或未达标排入医院污水处理设施，造成场所和设施的污染。

事故防范处理措施：

(1) 核医学科应配备必要的个人防护用品和应急处置用品，当发生药物泼洒时，立即使使用吸水垫等一次性用品快速吸收溢出物，防止其蔓延大面积造成污染。

(2) 严格执行核医学科非密封药物和设备校准的操作规程，经常盘存放射源库存及药物台账，做到账物一致，发现异常及时检查。

(3) 对患者进行注射或服药时，先要仔细核对患者信息，确认无误后方可给药，登记患者的信息尽可能的全面，避免因重名重性造成用药错误。

(4) 按照相关标准要求，配备必要的检测仪器设备，定期对核医学科诊疗区场所进行 $\gamma$ 辐射、表面污染、废气排放及衰变池废水检测，检测结果存档备案。

(5) 设计放射性废水衰变池时要有一定的冗余度，严格控制衰变池的废水排入，定期巡查衰变池放射性废水的贮存情况，按照相关规定要求专人管理放射性三废，建立放射性三废的收集、贮存和排放的管理台账，做好记录并存档备案。

#### 4、DSA和ERCPC设备

在意外情况下，DSA和ERCPC进行诊疗过程中可能出现的事故如下：

- (1) 工作人员违反放射操作规程或误操作，造成意外照射。
- (2) 联锁装置发生故障情况下，无关人员误入正在运行的射线装置机房。
- (3) 无关人员还未全部撤离机房，即进行曝光，受到不必要的照射。
- (4) 在防护门未关闭的情况下即进行曝光操作，造成周围人员的不必要的照射。
- (5) 介入手术曝光时间过长或单名医师手术量过多，导致手术医生超剂量照射。
- (6) 医护人员开展介入治疗时，未正确穿戴或者个人防护用品不能有效进行防护，受到射线超剂量照射。

事故防范处理措施：

- (1) 制定明确的操作规程，在放射诊疗时，至少有2名操作人员同时在场，操作人员按照操作规程进行操作。
- (2) 控制出束时间，在不影响手术的情况下降低设备管电压和管电流参数。
- (3) 在控制室内、DSA操作控制面板上、设备间电源开关分别设置急停按钮，当发生紧急情况，按下任一个急停开关按钮，立即停止X射线出束。
- (4) 介入手术时，操作医生需要确认机房内无其它闲杂人等、铅防护门正常关闭之后才能开启曝光。
- (5) 放射工作人员在进行放射诊疗工作时必须穿戴好防护用品，并佩戴个人剂量计，严禁在无任何防护措施情况下进行曝光，定期对防护用品有效性进行检测。
- (6) 机房防护门外设置醒目的电离辐射标志及工作状态指示灯，门灯联锁。
- (7) 患者通道防护门应有内部闭锁装置，防止其它人员误入。
- (8) 定期对放射性诊疗手术室的安全和防护设施进行有效性检查，发现设施故障或安全隐患立即进行维护维修，严禁在安全设施不正常下，开展放射诊疗工作。

#### 5、 $^{125}\text{I}$ 粒子植入

(1) 操作人员在装入专用植入器过程中因未采取辐射防护用具而导致自身超剂量外照射。

(2) 操作人员在装入专用植入器过程中因操作失误，粒子源脱落造成放射性核素释放入环境。

(3) 保管不善，放射性物品被盗，流失到社会，对局部环境产生污染，并可能使部分公众受到照射。

(4)  $^{125}\text{I}$ 粒子源植入病人体内后，意外排出体外，造成人员受照事故。

事故防范处理措施：

(1) 工作人员在进行治疗操作前，须正确穿戴辐射防护用具、携带剂量报警仪和佩戴个人剂量计，避免受到意外辐射照射。

(2) 工作人员必须严格按照操作规程开展治疗工作，在机房内应设置醒目的操作流程、指示和说明。

(3) 发现事故，需紧急停机控制事故，消除事故源，严禁无关人员进入，防止事故继续蔓延和扩大。

(4) 停电或意外事故中断治疗时，放射源应有立即回到贮存位置。

## 表 10 辐射安全与防护

### 10.1 本项目工作场所分区

#### 1、分级

##### (1) 辐射工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002),日等效最大操作量计算公式为:日等效最大操作量=日最大操作量×毒性组别修正因子/操作方式修正因子,计算结果见表 10-1。

表 10-1 非密封放射性物质日等效最大操作量

项目 \ 核素	<sup>131</sup> I	<sup>18</sup> F	<sup>99m</sup> Tc	<sup>89</sup> Sr
实际日最大操作量	4.63×10 <sup>10</sup> Bq	2.59×10 <sup>10</sup> Bq	6.66×10 <sup>10</sup> Bq	1.48×10 <sup>9</sup> Bq
毒性组别修正因子	0.1	0.01	0.01	0.1
操作方式修正因子	10	1	1	1
日等效最大操作量	6.29×10 <sup>8</sup> Bq	2.59×10 <sup>8</sup> Bq	6.66×10 <sup>8</sup> Bq	1.48×10 <sup>8</sup> Bq
场所日等效最大操作量	1.7×10 <sup>9</sup> Bq			

由表 10-1 可见,该评价项目工作场所拟使用放射性核素的日等效最大操作量为 1.7×10<sup>9</sup>Bq,根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》附录 C 表 C1 非密封源工作场所的分级,日等效最大操作量 2×10<sup>7</sup>~4×10<sup>9</sup> 为乙级非密封场,因此该项工作场所属于乙级非密封源工作场所。

#### 2、分区

为了便于加强管理,切实做好辐射安全防护工作,按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)要求在辐射工作场所内划出控制区和监督区。

控制区:在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散,以及在一定程度上预防或限制潜在照射,要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标识并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽(包括门锁和连锁装置)限制进出控制区,放射性操作区应与非放射性工作区隔开。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。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的制定区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标识；并定期检查工作的状况，确认是否需要防护措施和安全条件或是否需要更改监督区的边界。核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

本项目辐射工作场所分区见表 10-2 、图10-1，图 10-2，图 10-3，图 10-4：

表 10-2 本项目辐射工作场所分区

工作场所	控制区	监督区
直线加速器	加速器治疗机房及迷道	加速器控制室及加速器机房毗邻区域
后装治疗机	后装机治疗机房及迷道	后装机控制室及后装机房毗邻区域
核医学科	核医学科诊疗区域，包括：回旋加速器室、回旋加速器热室、储源室、分装室、注射室、给药室、抢救室、甲癌病房、污染被服间、污洗间、抢救室、运动室、注射候诊室、检查后留观室、SPECT/CT 检查室、PET/CT 检查室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。	与核医学科诊疗区毗邻区域、SPECT/CT 和 PET/CT 的控制室、设备间、清洁间、使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。
介入科 DSA 手术室 1（3F）	DSA 手术室机房	DSA 控制室及 DSA 机房毗邻区域
介入科 DSA 手术室 2（3F）	DSA 手术室机房	DSA 控制室及 DSA 机房毗邻区域
介入科 DSA 手术室 3（3F）	DSA 手术室机房	DSA 控制室及 DSA 机房毗邻区域
介入科 DSA 手术室 4（3F）	DSA 手术室机房	DSA 控制室及 DSA 机房毗邻区域
成人急诊放射科（1F）	DSA 手术室机房	DSA 控制室及 DSA 机房毗邻区域
手术中心 DSA 手术室 1（3F）	DSA 手术室机房	DSA 控制室及其手术室毗邻区域
手术中心 DSA 手术室 2（3F）	DSA 手术室机房	DSA 控制室及其手术室毗邻区域
ERCP 手术室	ERCP 手术室机房	ERCP 控制室及其手术室毗邻区域







图 10-3 本项目门急诊医技综合楼三层DSA和ERCP手术室分区图



## 10.2 DSA 和 ERCP 机房辐射安全与防护措施

### 1、DSA 和 ERCP 机房的屏蔽设计

本项目拟新建介入中心、中心手术室、成人急诊放射科，胃镜中心，涉及 7 台 DSA 设备和 1 台 ERCP 设备，根据医院提供资料，各机房的屏蔽设计见表 10-3。

表 10-3 本项目 DSA 和 ERCP 机房屏蔽设计表

场所及机房名称	项目	屏蔽设计方案	近似铅当量
门急诊医技综合楼三层 中心手术室 DSA 手术室（1）	四面墙体	240mm 实心砖+3mm 铅板	7mmPb
	顶上	150mm 混凝土+3mm 铅板	4.5mmPb
	地板	150mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡砂浆	4.5mmPb
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb
	防护门	4mmPb 电动平移门	4.0mmPb
门急诊医技综合楼三层 中心手术室 DSA 手术室（2）	四面墙体	240mm 实心砖+3mm 铅板	7mmPb
	顶上	150mm 混凝土+3mm 铅板	4.5mmPb
	地板	150mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡砂浆	4.5mmPb
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb
	防护门	4mmPb 电动平移门	4.0mmPb
门急诊医技综合楼三层介入 中心 DSA 手术室（1）	四面墙体	240mm 实心砖+3mm 铅板	7mmPb
	顶上	150mm 混凝土+3mm 铅板	4.5mmPb
	地板	150mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡砂浆	4.5mmPb
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb
	防护门	4mmPb 电动平移门	4.0mmPb
门急诊医技综合楼三层介入中心 DSA 手术室（2）	四面墙体	240mm 实心砖+3mm 铅板	7mmPb
	顶上	150mm 混凝土+3mm 铅板	4.5mmPb
	地板	150mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡砂浆	4.5mmPb
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb
	防护门	4mmPb 电动平移门	4.0mmPb
门急诊医技综合楼三层介入中心 （东）DSA 手术室（3）	四面墙体	240mm 实心砖+3mm 铅板	7mmPb
	顶上	150mm 混凝土+3mm 铅板	4.5mmPb
	地板	150mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡砂浆	4.5mmPb
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb
	防护门	4mmPb 电动平移门	4.0mmPb

门急诊医技综合楼三层中心介入中心 DSA手术室（4）	四面墙体	240mm 实心砖+3mm 铅板	7mmPb
	顶上	150mm 混凝土+3mm 铅板	4.5mmPb
	地板	150mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡砂浆	4.5mmPb
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb
	防护门	4mmPb 电动平移门	4.0mmPb
门急诊医技综合楼一层成人急诊放射 科 DSA 手术室（1）	四面墙体	240mm 实心砖+4mm 铅板	8mmPb
	顶上	150mm 混凝土+4mm 铅板	7.5mmPb
	地板	150mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡砂浆	4.5mmPb
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb
	防护门	4mmPb 电动平移门	4.0mmPb
门急诊医技综合楼三层内镜中心 ERCp 手术室	四面墙体	240mm 实心砖+3mm 铅板	7mmPb
	顶上	150mm 混凝土+3mm 铅板	4.5mmPb
	地板	150mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡砂浆	4.5mmPb
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3.0mmPb
	防护门	3mmPb 电动平移门	3.0mmPb

注：材料密度：混凝土：2.35g/cm<sup>3</sup>，铅：11.34g/cm<sup>3</sup>，实心砖 1.65g/cm<sup>3</sup>，硫酸钡 3.2g/cm<sup>3</sup>；各 DSA和ERCp机房采用顶部机械排风至室外，电缆管线采用“U”或“斜向”结构设计。

## 2、DSA和ERCp机房通风设施

本项目在每个 DSA 机房顶部均设置有动力排风装置，设备运行时机房内产生少量臭氧和氮氧化物，通过动力排气装置排出，避免在机房内累积。中心手术室DSA手术1室的动力排风装置设置在机房顶部西南角吊顶处，排风管道经机房大门上方，采用“U”形过墙的方式，穿过东墙墙体，沿洁净走廊至清排井；中心手术室DSA手术2室的动力排风装置设置在东南角吊顶处，排风管道采用“U”形过墙的方式，穿过东墙墙体，经库房及洁净走廊至清排井；介入手术中心 DSA手术1室动力排风装置设置于机房南侧吊顶处，排风管道采用直通的形式，穿过南墙墙体，经洁净走廊至清排井；介入手术中心DSA手术2室动力排风装置设置于机房南侧吊顶处，排风管道采用直通的形式，穿过南墙墙体，经洁净走廊至清排井；介入手术中心DSA手术3室动力排风装置设置于机房南侧吊顶处，排风管道采用直通的形式，穿过南墙墙体，经洁净走廊至清排井；介入手术中心DSA手术4室动力排风装置设置于机房南侧吊顶处，排风管道采用直通的形式，穿过南墙墙体，经洁净走廊至清排井；动力排风装置设置于机房南侧吊顶处，排风管道采用直通的形式，穿过南墙墙体，经洁净走廊至清排井。成人急诊放射科DSA手术室动力排风装置设置于机房南侧吊顶处，排风管道采用直通的形式，穿过南墙墙体，经洁净走廊至清排井；内镜

中心ERCP手术室进风口位于自机房南侧吊顶，排风口位于机房东北侧，排风口距底面0.3m高，通过管道由北侧墙体穿出后由主管道接门急诊医技楼主体设计预留通道至楼顶排放，采用2mm铅当量防护罩对百叶窗进行屏蔽防护，能保持机房内通风良好。排风示意图见附图。

### 3、DSA设备固有的辐射安全防护措施

(1) 装有可调限束装置，使装置发射的线束宽度尽量减小，以减小泄漏辐射；

(2) 采用栅控技术：在每次脉冲曝光间隔向旋转阳极加一负电压，抵消曝光脉冲的启辉与余辉，起到消除软X射线、提高有用射线品质并减小脉冲宽度作用。

(3) 采用光谱过滤技术：在X射线管头或影响增强器的窗口处放置合适过滤板，以多消除软X射线以及减少二次散射，优化有用X射线谱。设备提供适应设备不同应用时可以选用的各种形状与规格的准直器隔板和过滤板。影响增强器前面可酌情配置各种规格的滤线栅，以减少散射影响。

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

(5) 采用图像冻结技术：每次透视的最好一帧图像被暂存并保留于监视器上显示，即称之为图像冻结。充分利用此方法可以明显缩短总透视时间，减少不必要的照射。

(6) DSA设备配置用于射线触发的脚闸；当踩下脚闸时可以控制射线开关。

急停设施：

(7) DSA设备用于控制支架、检查床以及成像系统的控制台上配备紧急关闭按钮，使用紧急关闭按钮，系统可以在紧急情况下断电。

(8) 设备间安装电源总开关，可以切断整个系统的电源。

(9) 在控制室设置急停按钮。

### 4、ERCP设备固有的辐射安全防护措施

(1) 自带能在线监测表征输出剂量的指示装置。

(2) 配备床下铅帘、悬吊铅屏及铅帘等辅助防护用品与设施以及急停按钮，在设备运行中可用于加强对有关人员采取放射防护与安全措施；配备有相应的表征剂量的指示装置。

### 5、DSA和ERCP机房拟配置的辐射安全防护措施

(1) 在机房门上设置工作指示灯，粘贴电离辐射警告标志和中文警示说明。

(2) 设置机房门-灯连锁装置，机房门内设置闭门装置。

(3) 安装视频监控和语音对讲系统。

- (4) 在机房内安装机械通风装置，将机房内有害气体排出室外。
- (5) 每名辐射工作人员配置热释光个人剂量计，定期送检，监测结果存档备案，介入手术医生配备双个人剂量计，有条件应配置指端剂量计。
- (6) 配备便携式辐射巡测仪，定期对工作场所进行自主监测，监测结果存档。
- (7) 配备必要的个人防护用品。见下表 10-4。

**表 10-4 DSA 机房和 ERCP 拟配置防护用品和辅助防护设施一览表**

场所	使用对象	防护用品和辅助防护设施名称	数量	备注
DSA 和 ERCP 工作场所	工作人员	铅橡胶颈套（不小于 0.5mmPb）	16 件	/
		铅橡胶围裙（不小于 0.5mmPb）	16 件	/
		铅防护眼镜（不小于 0.5mmPb）	16 副	由于视力差异，铅防护眼镜需个性化定制，保证每个进入机房手术的工作人员有防护眼镜佩戴
		铅橡胶帽子（不小于 0.5mmPb）	5 件	/
		介入防护手套（不小于 0.025mmPb）	16 副	/
		铅悬挂防护屏/铅防护帘（不小于 0.5mmPb）	8 块	7 间 DSA 机房和 1 间 ERCP 各 1 块
		床侧防护帘/床侧防护屏（不小于 0.5mmPb）	8 块	7 间 DSA 机房和 1 间 ERCP 各 1 块
	受检者	铅橡胶性腺防护围裙（方形）、颈套、铅橡胶帽子（不小于 0.5mmPb）	8 套	7 间 DSA 机房和 1 间 ERCP 各 1 套
	辐射监测仪器	辐射检测巡检仪	1 台	7 间 DSA 机房和 1 间 ERCP 共用 1 台
		个人剂量报警仪	8 个	7 间 DSA 机房和 1 间 ERCP 各 1 个
个人剂量计		件	介入医生及护士 2 个/人，其余放射工作人员 1 个/人	

## 10.2 本项目新建放疗中心工作场所辐射安全与防护措施

### 10.2.1 医用电子直线加速器安全与防护措施

#### 1、医用电子直线加速器治疗机房的屏蔽设计

拟建放疗中心计划购置安装 2 台医用电子直线加速器，开展放射治疗工作，目前医院，防护参

数未定，型号未定，本项目直线加速器用房主要由加速器机房、控制室、辅助机房组成。加速器机房由治疗室、迷路和防护门组成。本项目加速器机房（治疗室）与控制室分离；机房（治疗室）设置 L 迷路，迷路口设有防护门，本项目直线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）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定。本项目加速器机房的有效面积（不含迷路）为 82.38m<sup>2</sup>，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要”的规定。根据 GBZ/T201.2-2011《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》，本次环评根据放疗工作人员的管理目标值进行推算，机房屏蔽设计，拟设计加速器治疗机房的屏蔽设计见表 10-5。

屏蔽体			普通直线加速器机房防护设计	
			1#号直线加速器机房	2#号直线加速器机房
平面	主屏蔽墙	次防护	1.7m 混凝土	1.7m 混凝土
		主防护	3.0m 混凝土，宽4.4m，内凸	
	迷道内墙		0.8-1.7m 混凝土	
	迷道外墙		1.08-1.7m 混凝土	
立面	侧防护		1.7m 混凝土	
	主防护		3.0m 混凝土，宽4.4m，内凸	
	次防护		1.7m 混凝土	
防护门			4mm 铁板包面+20mmPb+18cm 含 5%硼聚乙烯	
机房尺寸(m) (长×宽，不含迷道)			8.3×8.0	
层高m			吊顶高度 3.0m	
机房通风			2000 m <sup>3</sup> /h	
注：除特别说明外，本项目屏蔽体采用的混凝土密度约为 2.35g/cm <sup>3</sup> ，铅密度约为 11.3g/cm <sup>3</sup> 。				

注：材料密度：混凝土：2.35g/cm<sup>3</sup>，铅：11.34g/cm<sup>3</sup>。加速器机房顶上为医院空地，另加400mm回填陶粒混凝土和350mm混凝土。加速器机房内设置电缆地沟，上盖2.5cm厚不锈钢板。

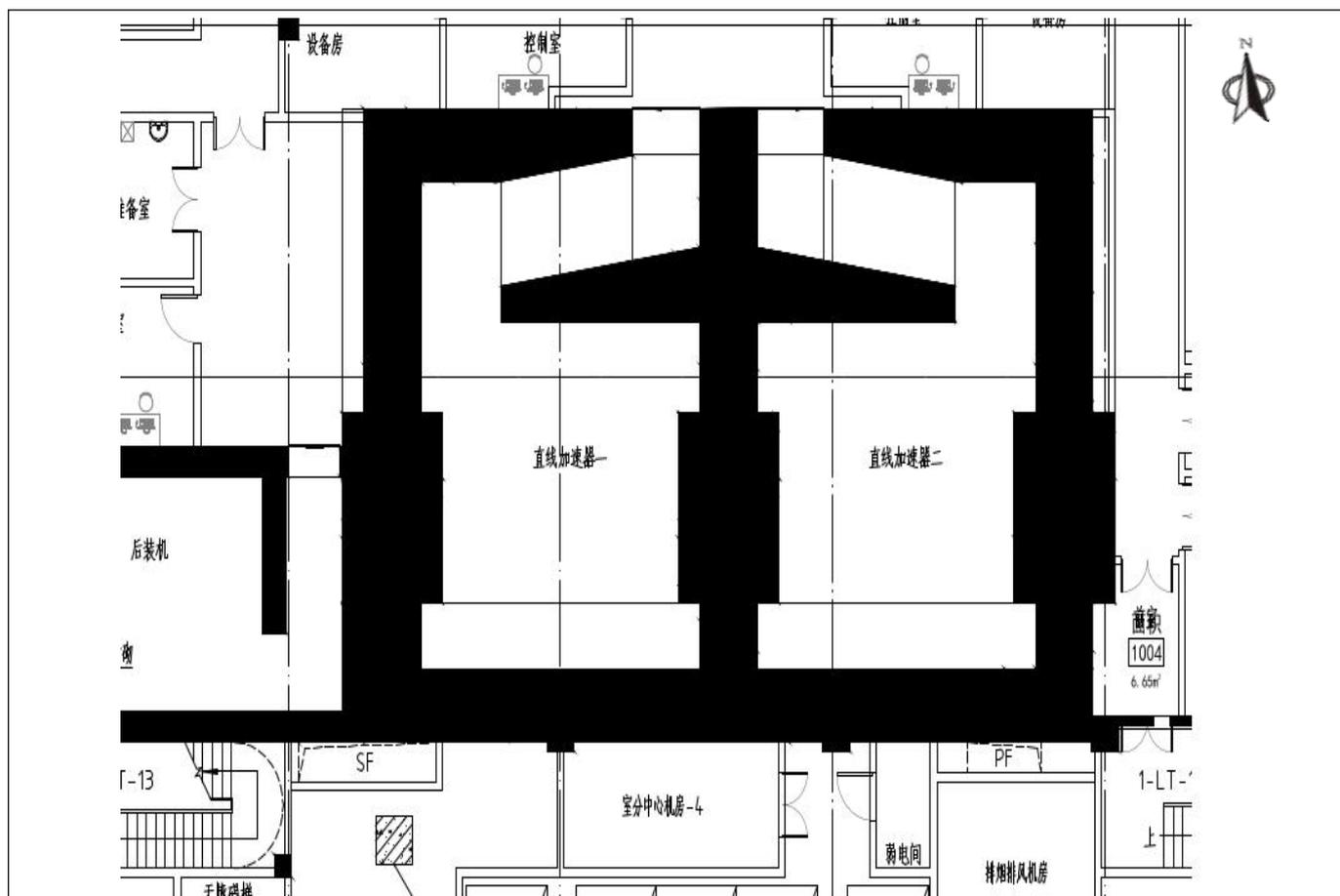


图 10-5 医用直线加速器机房平面示意图

## 2、医用电子直线加速器辐射安全防护措施

### (1) 警示标志

- ①加速器机房防护门外粘贴电离辐射标志和中文警示说明；
- ②加速器机房防护门上安装工作状态指示灯箱，当加速器出束治疗时，红灯亮，指示“正在工作中”。

### (2) 多重安全联锁装置

- ①门-灯联锁：当加速器防护门关闭完好，控制台上关门灯亮，允许加速器出束；
- ②门-机联锁：当加速器防护门未关闭完好，不能出束治疗，或当加速器正在出束治疗时，门被打开，立即停止出束；
- ③电源钥匙开关：加速器控制台上装有电源钥匙开关，专用钥匙由专人保管，只有钥匙在“开”的位置，才能接通电源，启动加速器。

(3) 紧急停机：设置多个紧急停机按钮，加速器自有包括：控制台上、治疗床旁和机架上各1个，另在治疗机房四周和迷道墙壁上各安装1个紧急停机按钮，采用串联方式，当遇到紧急情况时，按下任一紧急停机按钮，都能强制加速器停机。

(4) 紧急开门：除在加速器控制室设置有加速器防护门开/关控制外，在加速器治疗室迷道靠近出口位置安装有紧急开门开关，为误留加速器机房内人员自行逃生用。

(5) 设置加速器电动屏蔽门红外防夹装置，当开关门时，防止人员夹伤。

(6) 视频监控和语音对讲系统：在加速器治疗机房内安装有摄像监视系统，确保机房内无监控死角，能清楚地观察到加速器治疗室及迷道内影像。

(7) 辐射剂量报警装置：在加速器机房迷道内口墙上安装固定式辐射剂量报警装置，实时监测加速器机房的辐射剂量水平，超阈自动报警。

(8) 个人剂量计：为每名辐射工作人员配备个人辐射剂量计，专人专用，定期送检，监测结果存档备案。

(9) 电子式个人剂量报警仪：配备电子式个人剂量报警仪，超阈自动报警，使辐射工作人员能及时发现问题，采取正当措施处置。

(10) 配备个人防护用品和辐射监测仪器，用于自主监测，监测结果存档备案。

### 3、医用电子直线加速器机房通风设施

本项目2间直线加速器机房均采用机械送风、机械排风。2间机房的管道沿机房迷道经“U”型通过防护门顶上方，而后接入负一层排风井至综合医疗楼楼顶排放，通风示意图见附图。

本项目医用加速器机房（一）有效容积约为247.14m<sup>3</sup>，直线加速器机房（一）设计通风量约2000 m<sup>3</sup>/h，每小时设计通风次数为12.2次。本项目医用加速器机房（1）设置独立的进排风管道，在机房内设置了2个下排风口，分别位于机房西南角和东南角，距地面30cm处；设置2个进风口，位于机房顶部东北角、西北角。进风口设在放射治疗机房上部，排风口设在治疗机房下部，距地面30cm处，进风口与排风口位置对角设置，确保室内空气充分交换。

本项目医用加速器机房(二)容积约为247.14m<sup>3</sup>，直线加速器机房(二)设计通风量约2000m<sup>3</sup>/h，每小时设计通风次数为12.2次。本项目医用加速器机房（1）设置独立的进排风管道，在机房内设置了2个下排风口，分别位于机房西南角和东南角，距地面30cm处；设置2个进风口，位于机房顶部东北角、西北角。进风口设在放射治疗机房上部，排风口设在治疗机房下部，距地面30cm处，进风口与排风口位置对角设置，确保室内空气充分交换。

### 4、每个直线加速器机房拟采取的防护安全措施见下表 10-6:

表 10-6 直线加速器机房拟采取的防护措施表

序号	辐射防护安全措施		位置	数量
1	视频监控系统和 对讲系统	摄像头（全景监 控）	机房内	3个
		对讲系统（双向）	机房与控制室之间	1个
	防护门与辐射	防护门自动开关	控制室内	1个

2	启动检查		机房内迷道入口	1个
		门机联锁	设备、防护门	1个
3	钥匙开关		操作台	1个
			设备高压钥匙开关	1个
4	紧急停机开关 (共8个, 串联连接)		控制室内	1个
			防护墙	4个
			机架	2个
			迷路	1个
5	警示标志	工作指示灯	防护门上方	1个
		电离辐射警告标志	防护门上	1个
6	固定式剂量报警仪	控制室(探头设置在机房内)		1个
7	个人剂量计	放射工作人员佩戴		1个/人
8	个人剂量报警设备	放射工作人员佩戴		1个/人

### 10.2.2 后装治疗机房辐射安全与防护措施

#### 1、后装治疗机房的屏蔽设计

拟建放疗中心计划购置安装1台后装治疗机, 使用III类  $^{192}\text{Ir}$  密封源, 开展放射治疗工作, 按照相关标准, 结合设计图, 为本项目后装治疗机房拟设计屏蔽方案设计见表 10-7。

表 10-7 后装治疗机房屏蔽设计表

机房	项目	屏蔽设计方案
后装治疗室	机房尺寸	治疗室: 5.4m (南北) × 5.1m (东西) × 3.0m (高) 吊顶高度 迷道: 3.6m (长) × 1.6m (宽)
	东墙	迷路内墙: 700mm 混凝土 迷路外墙: 1800mm 混凝土 (与直线加速器一共用)
	南墙	700mm 混凝土
	西墙	700mm 混凝土
	北墙	北墙西段: 700mm 混凝土 北墙东段: 700mm 混凝土
	电动防护门	8mmPb

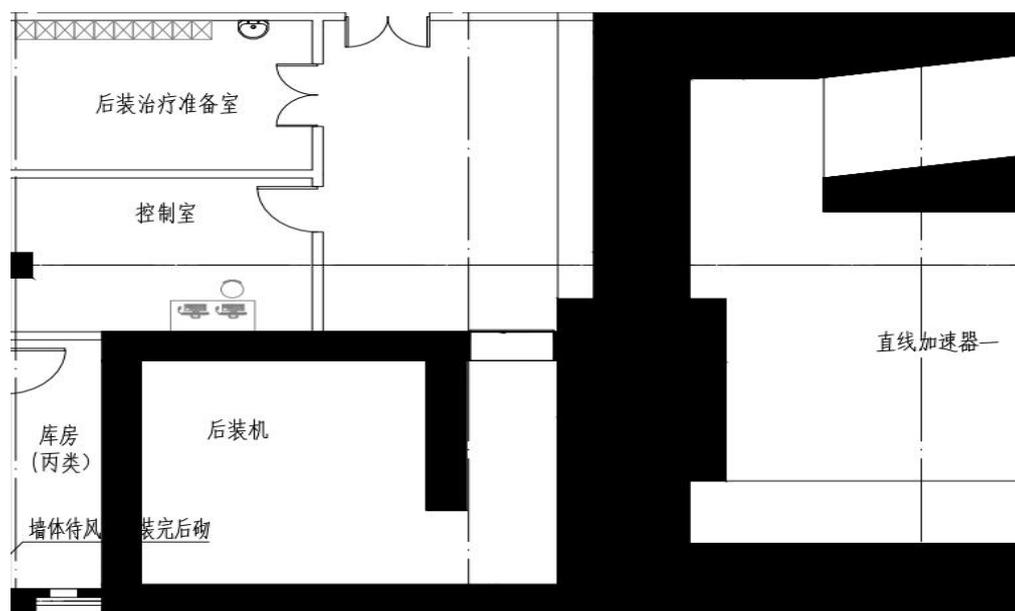


图 10-6 本项目后装治疗机房平面示意图

## 2、后装治疗机辐射安全防护措施

### (1) 警示标志

- ①后装机房防护门外和储源容器表面均粘贴电离辐射标志和中文警示说明；
- ②后装机房防护门上安装工作状态指示灯箱，当后装机出源治疗时，红灯亮，指示“正在工作中”。

### (2) 多重安全联锁装置

①门-机联锁：当后装机房门关闭完好，控制台上关门灯亮，方可操作后装机；当后装机正在出源治疗时，门被打开，后装源立即返回贮存位置；

②施源器与源联锁：固定在患者身体的施源器与治疗源运动实行联锁，如果发生施源管道遇堵等异常现象，自动回源。

③安装发生停电或意外中断时自动和手动回源装置，当后装源无法自动返回贮存位置，采用手动回源。

(3) 紧急停机：设置多个紧急停机按钮，控制台上和治疗床旁和机架上各1个，在治疗机房四周和迷道墙壁上各安装1个紧急停机按钮，采用串联方式，当遇到紧急情况时，按下任一紧急停机按钮，都能强制后装机停止工作，放射源自动返回贮存位置。

(4) 紧急开门：除在后装机控制室设置有治疗室防护门开/关控制外，在治疗室迷道靠近出

口位置安装有紧急开门开关，为误留加速器机房内人员自行逃生使用。

(5) 设置治疗室电动屏蔽门红外防夹装置，当开关门时，防止人员夹伤。

(6) 视频监控和语音对讲系统：在后装治疗机房内安装有摄像监视系统，确保机房内无监控死角，能清楚地观察到后装机治疗室和迷道的影像。

(7) 个人剂量计：为每名辐射工作人员配备个人辐射剂量计，专人专用，至少每季度送检1次，监测结果存档备案。

(8) 固定辐射剂量报警仪：治疗机房需安装固定式辐射剂量报警仪，超阈自动报警，使辐射工作人员能及时发现辐射剂量水平异常，采取正当措施处置。

(9) 配备个人防护用品和辐射监测仪器，自主监测结果存档备案。

(10) 治疗室内配有储源容器、仿真源、长柄镊子等应急设备。

### 3、后装治疗机房通风设施

本项目后装机机房有效容积（含迷路）约为113.13m<sup>3</sup>，后装治疗机房设计通风量约2000m<sup>3</sup>/h，每小时设计通风次数为15.0次/h。本项目后装机房拟设置独立的进排风管道，在机房内设置了2个排风口，位于机房东南角和西南角，距地面30cm处；设置2个进风口，分别位于机房顶部西北角和东北角，进风口设在放射治疗机房上部，排风口设在治疗机房下部，进风口与排风口位置对角设置，确保室内空气充分交换。管道沿机房迷道经“U”型通过防护门顶上方，而后直接向上到达屋顶排放。通风示意图见附图。

### 4、后装治疗机房拟采取的防护安全措施见下表10-8

表 10-8后装治疗机房拟采取的防护安全措施表

序号	辐射防护安全措施		位置	数量
1	视频监控系统 和对讲系统	摄像头（全景监控）	机房内	3个
		对讲系统（双向）	机房与控制室之间	1个
2	防护门与放射 源启动检 查	防护门启动开关	控制室内	1个
			防护门内	1个
		门机联锁	设备、防护门	1个
3	钥匙开关		操作台	1个
4	紧急停机开关 （共6个，串联连接）		控制室内	1个
			防护墙	4个
			迷路	1个
5	警示标志	工作指示灯	防护门上方	1个
		电离辐射警告标志	防护门上	1个

6	固定式剂量报警仪	控制室（探头设置在机房内）	1个
7	储源容器、保险柜及长柄镊子	机房内	1套
8	个人剂量计	放射工作人员佩戴	1个/人
9	个人剂量报警设备	放射工作人员佩戴	1个/人
10	X-γ辐射监测仪	本项目辐射工作场所共用	1个

### 10.3 新建核医学科辐射安全与防护措施

#### 1、新建核医学科诊疗区各场所的屏蔽设计

拟建核医学科，计划使用4种非密封放射性物质<sup>99m</sup>Tc、<sup>18</sup>F、<sup>131</sup>I、<sup>89</sup>Sr，购置安装4台显像设备，2台SPECT/CT和1台PET/CT、1台PET/MRI开展核医学诊疗工作。核医学科诊疗区的屏蔽设计医院未提供防护资料，按照相关标准，结合设计图，为本项目拟设计屏蔽方案设计见表10-9：

表 10-9 新建核医学科诊疗区场所屏蔽设计

机房名称	四周墙体	天花板	地板	防护门
PET/CT 机房	200mm 钢筋混 凝土+6mmPb 辐 射防护板	190mm 钢 筋 混 凝 土 +3mmPb 辐射防护板	300mm 钢筋混 凝土+3mmPb 硫 酸钡	6mmPb
SPECT/CT 机房	200mm 钢筋混 凝土+6mmPb 辐 射防护板	190mm 钢 筋 混 凝 土 +3mmPb 辐射防护板	300mm 钢筋混 凝土+3mmPb 硫 酸钡	6mmPb
SPECT/CT 机房	200mm 钢筋混 凝土+6mmPb 辐 射防护板	190mm 钢 筋 混 凝 土 +3mmPb 辐射防护板	300mm 钢筋混 凝土+3mmPb 硫 酸钡	6mmPb
分装室	200mm 实 心 墙+9mmPb 辐射防护板	190mm 钢 筋 混 凝 土 +3mmPb 辐射防护板	300mm 钢筋混 凝土	6mmPb
注射室	200mm 实 心 墙 +12mmPb 辐射防护板	190mm 钢 筋 混 凝 土 +3mmPb 辐射防护板	300mm 钢筋混 凝土	6mmPb
服药室	200mm 实 心 墙+9mmPb 辐射防护板	190mm 钢 筋 混 凝 土 +3mmPb 辐射防护板	300mm 钢筋混 凝土	6mmPb
注射候诊室	200mm 烧 结 多 孔 砖 +14mmPb	190mm 钢 筋 混 凝 土 +3mmPb	300mm 钢筋混 凝土	12mmPb

	辐射防护板	辐射防护板		
注射候诊室	200mm 实 心 墙 +14mmPb 辐射防护板	190mm 钢 筋 混 凝 土 +3mmPb 辐射防护板	300mm 钢 筋 混 凝 土	12mmPb
留观室/抢救室	200mm 实 心 墙 +11mmPb 辐射防护板	190mm 钢 筋 混 凝 土 +3mmPb 辐射防护板	300mm 钢 筋 混 凝 土	6 mmPb
储源室	200mm 实 心 墙 +9mmPb 辐射防护板	190mm 钢 筋 混 凝 土 +3mmPb 辐射防护板	300mm 钢 筋 混 凝 土	6 mmPb
污洗废物间	200mm 实 心 墙 +9mmPb 辐射防护板	190mm 钢 筋 混 凝 土 +3mmPb 辐射防护板	300mm 钢 筋 混 凝 土	6 mmPb
敷贴治疗室	200mm 实 心 墙 +6mmPb 辐射防护板	190mm 钢 筋 混 凝 土 +3mmPb 辐射防护板	300mm 钢 筋 混 凝 土	2 mmPb

## 2、新建核医学科诊疗区人员与物流路径规划设计

为了加强辐射安全管理，在核素显像区受检者和核素治疗区甲癌病人各出入口处设置专用单向门禁系统，对受检者的出入进行控制。核素制备区出入口均设置有门禁系统及监控设备，防止无关人员误入。结合本项目的工作流程及工作场所布局设计，医院拟规划出工作场所患者、药物及相关工作人员的流动路线，路径图详见附图；

### (1) 送药路线

生产的放射性药物运输路线： $^{18}\text{F}$ 药物定时运送，由核素制备区运输至核素显像区 $^{18}\text{F}$ 分装柜。

医院使用的放射性药物除回旋加速器生产的 $^{18}\text{F}$ 药物外，其余诊断、治疗项目使用放射性核素均为外购成品药物。工作人员每天早上上班前避开候诊病人，提前到达核医学科，与供药公司办理交接手续并存档，将药物暂存在分装柜内。

外购的放射性药物运输路线：供药公司人员→进入新建住院大楼负一层 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，分装柜/一层 $^{131}\text{I}$ 甲癌分装柜。送药时段通常为上班前(确保无诊疗患者)。

### (2) 患者路线

PET诊断患者行走路线：由新建2号住院大楼一楼前往负一层核医学科PET入口南门进入检查前患者专用电梯→电梯到达负一层大厅→患者检查通道→通过2道单向门进入注射窗口

接受注射→注射完成后沿PET患者通道向北到达注射后待检室候诊→候诊完成后进入PET机房扫描→扫描完成后沿PET患者通道向北进入PET留观抢救室→最终从北面PET患者出口处离开核医学科，出口处设置检查后患者专用电梯，方便患者直接离开。

SPECT-CT诊断患者行走路线：由新建2号住院大楼核医学科南门进入检查前患者专用电梯→电梯到达负一层大厅SPECT-CT入口→患者检查通道→通过2道单向门进入注射窗口接受注射→注射完成后沿SPECT-CT患者通道向东南到达注射后休息室候诊→候诊完成后进入SPECT-CT机房扫描→扫描完成后沿SPECT-CT患者通道向西进入SPECT-CT留观抢救室→最终从SPECT-CT患者出口处坐病人专用电梯离开核医学科，方便患者直接离开。

甲癌患者行走路线：由新建2号住院大楼核医学科西南门负一层入口进入→2道门+1道单向屏蔽门→进入核素治疗区→沿甲癌患者通道向东行走进入甲癌服药室→服药完成后进入甲癌病房住院→住院结束向西北行走→测量室→满足出院要求从核素病人出口处乘坐专用电梯离开核医学科，出口安排在1楼，方便患者直接离开。

甲亢患者路径规划：由新建2号住院大楼核医学科南门进入负一层→候诊大厅→沿通道向南北至窗口服药→服药后可直接离开，部分患者需进入留观/抢救室留观→完成留观后向西北行走→从核素病人西出口处乘坐专用电梯离开核医学科，出口安排在1楼，方便患者直接离开。

甲测患者路径规划：由新建2号住院大楼核医学科负一层南门进入→候诊大厅→沿通道向北至窗口服药→服药后向东北进入甲功测定室→完成甲功测定后向北行走，乘坐专用电梯离开核医学科→出口安排在1楼，方便患者直接离开。

敷贴患者路径规划：由新建2号住院大楼核医学科负一层南门进入→候诊大厅→沿通道向北至敷贴治疗室→完成治疗后向西行走，再向北行走乘坐专用电梯离开核素治疗区→出口安排在1楼，方便患者直接离开。

### (3) 工作人员路线

核素制备工作人员路径：由核医学科负一层北侧→经医生走道进入控制室、热室和质控室→工作结束后原路返回。

PET/SPECT核素操作工作人员路线：由核医学科负一层北侧走楼梯下负一层→经医生通道→卫生通过间→更衣后到达分装室、注射窗、储源室、→工作完成后原路返回离开。

PET/SPECT控制室工作人员行走路线：由北侧走楼梯下核医学科负一层→经医生通道→到达PET/SPECT机房控制室→工作完成后原路返回离开。<sup>131</sup>I核素工作人员路径规划：从负

一层核医学科西侧大厅进入→医生通道→经过更衣室进入控制室、 $^{131}\text{I}$ 储源室、分装室→工作完成后原路返回。

甲测、敷贴治疗工作人员路径规划：由拟建2号住院大楼核医学科负一层东门进入→候诊大厅→沿通道向东至甲功测定室、沿通道向北至敷贴治疗室→工作完成后原路返回。由上述核医学工作人员及药物运输路线可知，本次核医学科项目患者人员路线基本能够保证沿工作程序的相关功能房间单向流动，且能够满足医务人员及患者均具有独立的出入口和流动路线，能够有效防止交叉污染，避免公众、工作人员受到不必要的外照射，人员路线规划基本合理。同时医院严格规定药物运输时间，确保放射性药物运输时运输路线无人员通过，避免工作人员受到不必要的外照射。通过该措施后，本次核医学科项目能满足人员路线与放射性药物运输路线不交叉。

### 3、辐射安全和防护措施分析

#### (一) 辐射安全措施

##### (1) 核素制备区

##### ①回旋加速器室安全设施

(a) 安全联锁：加速器室的防护门与加速器的高压设置联锁，当防护门未关闭到位时，加速器无法开启高压出束；当加速器工作过程中误操作打开防护门时，加速器立即停止出束；控制台和大厅门钥匙控制；辐射报警灯与加速器出束状态联锁，准备出束时发出警示；

(b) 工作指示灯：加速器机房防护门外拟设置红黄绿三色工作指示灯信号，用于提示机房内设备的运行状态。红灯亮表示加速器正在出束工作；黄灯亮表示加速器已停机，加速器屏蔽门处于打开状态，非职业工作人员禁止入内；绿灯亮表示加速器已停机，屏蔽门处于关闭状态；

(c) 电离辐射警告标志：回旋加速器工作场所入口醒目位置及衰变池外设置电离辐射警告标志；

(d) 紧急开关：加速器机房入口门内侧迷道设置 1 个紧急开关，当人员被关在机房内紧急情况下按下开关，可实现防护门从内部打开，同时加速器停止出束；

(e) 急停开关：加速器室进出口、控制台操作台上各设置 1 个急停开关，人员滞留在机房内时就可以按下开关，实现加速器停止出束；

(f) 固定式剂量监测：加速器机房防护门内设置固定式剂量率仪监测探头；

(g) 视频监控：加速器机房内拟安装视频监控，监视器设置于控制室内，工作人员可及时掌握回旋加速器机房内部情况。

## ②合成热室工作场所安全设施

(a) 电离辐射警告标志：合成热室入口醒目位置设置电离辐射警告标志；

(b) 当加速器制备出核素之后，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室的门是否已经关闭，合成室里面的压力是否满足负压要求；只有这两项条件均满足的情况下，放射性核素才能通过管道进行传送，同时在控制室内操作台上有相应的核素传输工作状态指示灯；

(c)视频监控：拟安装视频监控系统，便于辐射工作人员观察合成热室内及周边的情况。

## ③质控室工作场所安全设施

电离辐射警告标志：质控室防护门入口醒目位置设置电离辐射警告标志。

## (2)核素显像区

### ①警告设施

医院拟在核素显像区控制区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。在PET机房、SPECT-CT机房受检者防护门与工作人员防护门上方设置工作状态指示灯，并与防护门有效关联，防护门关闭时指示灯为红色，防护门打开时，指示灯灭。

### ②紧急止动装置

在控制台上、治疗床上安装供紧急情况使用的强制终止照射的紧急止动按钮。一旦在检查过程中出现紧急情况，工作人员按动紧急止动按钮即可令PET、SPECT-CT停止运行。

### ③视频监控和对讲装置

在工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、工作场所进/出口情况；PET、SPECT-CT机房和控制室之间拟安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置与受检者交流。

## (3)核素治疗区

### ①警告设施

医院拟在核素治疗区控制区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。

### ②视频监控和对讲装置

在工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察患者的情况、工作场所进/出口情况；<sup>131</sup>I分装室和甲癌、甲亢服药室之间拟安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置与患者联系。

## (二)放射性药物的存放控制措施

本项目核医学科使用的<sup>18</sup>F放射性核素药物为医院自行生产，药物生产完毕后自动进入转运铅罐，由专人使用转运小推车，将药物运至核医学科核素显像区，定点运送到负一层<sup>18</sup>F

分装柜内。其余核医学科显像、治疗药物提前向供药单位订购放射性药物( $^{99m}\text{Tc}$ 每天送药一次,  $^{131}\text{I}$ 每周送药一次), 供药单位在约定的时间, 将预约用量的药物送至核医学科, 核医学科安排专人接收放射性核素, 经确认无误完成相关交接手续后暂存在负一层 $^{99m}\text{Tc}$ 分装柜或二层 $^{131}\text{I}$ 的自动分装仪。

医院必须配备专(兼)职人员负责放射性药物的管理并建立健全放射性物质的保管、领用、登记和定期检查制度。要求设置专门的台账(如交收账、库存帐、消耗账), 加强对放射性药物的管理, 严防丢失。放置放射性物质的容器, 必须容易开启和关闭, 容器外必须有明显的标签(注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起止时间、存放负责人等)。放射性药物要设有专门可靠的防火防盗等安全设施的贮存场所, 且不得将放射性药物与易燃易爆及其他危险物品放在一起。

### (三) 表面污染控制措施

为保证非密封放射性工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定的标准, 本次评价提出以下管理措施和要求:

- ①放射性药物应当有良好的外包装, 送入后要妥善储存及转移, 防止意外撒漏;
- ②操作放射性药物时, 须在有负压的通风橱内进行, 防止放射性物质撒漏;
- ③放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训, 具备相应的技能与防护知识, 并配备有适当的防护用品;

④操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质, 并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测, 并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污, 以满足《电离辐射防护源安全基本标准》

(GB18871-2002)中规定的标准值。

⑤场所内部装修及洗手盆等的设置应满足《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)中核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求。

### (四) 人员防护措施

#### (1) 辐射工作人员的防护

在实际工作中, 为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量, 普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

**屏蔽防护:** 通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的辐射危害; 为核素操作人员配备铅防护手套、铅衣等个人防护用品, 注射器配备注射防护套、注射器防护提盒、铅转运盒等。

**时间防护:** 在满足工作质量的前提下, 尽量减少扫描时间, 使照射时间最小化。

**距离防护:** 在不影响工作质量的前提下, 保持与辐射源尽可能大的距离, 使距离最大化。

(2)其他人员防护

屏蔽防护：辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护。

时间防护：设置明显的警示措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间。

距离防护：设置必要的防护、隔离、警示措施，尽可能增大人员与辐射场所之间的防护距离。

(五) 操作过程中的防护措施

医生在进行放射性药品分装、测活、注射操作时首先做好个人防护，穿戴好放射性污染防护服。分药时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。通风橱底部设有废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。注射时注射器外还配有注射器铅防护套，注射操作台拟采用铅玻璃防护，并在注射位设置铅挡板。注射操作时，医生与病人及药物分别位于铅玻璃的两侧，病人注射后进入注射后待检室候诊。

医生在进行放射性药品质检操作时首先做好个人防护，包括穿戴好放射性污染防护服。质控、分装、抽测均在通风橱内进行。

(六) 对服药和注射后病人防护措施

首先告知病人及家属辐射可能带来的危害性，患者要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在候诊室内驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区并尽量远离非密封放射性物质工作场所，同时需要求患者在注射后休息室静候，禁止随意走动，呕吐物和排泄物要排入注射后休息室内专用厕所，最终排入衰变池。

核医学科拟配备的个人防护用品及监测仪器一览表见表 10-9。

表 10-9 本项目核医学科个人防护用品及监测仪器一览表

场所	防护用品	数量	备注
核医学科	个人剂量计	1 个/人	
	X-γ剂量监测仪	1 个	
	活度计	3 台	
	固定式辐射剂量报警仪	2 个	
	表面沾污仪	3 台	
	铅橡胶颈套	4 套	
	铅橡胶围裙	4 套	
	铅橡胶衣	4 套	
	铅防护眼镜	4 套	
	去污应急用品	若干	

	放射性污物桶	若干	
	移动铅屏风	若干	
核医学科 高活区	<sup>99m</sup> Tc 分装柜	1 台	
	<sup>18</sup> F 分装分装柜	1 台	
	药物注射台 <sup>18</sup> F/ <sup>99m</sup> Tc/ <sup>89</sup> Sr	3 台	
	注射器铅罩 <sup>18</sup> F/ <sup>99m</sup> Tc/ <sup>89</sup> Sr	3 个	
	<sup>131</sup> I 分装分装柜	1 台	
	<sup>90</sup> Sr 储源柜	1 台	

#### 4、新建核医学科衰变池

医院拟计划在综合医疗楼北侧新建核医学科衰变池，预留空间为 984.96m<sup>3</sup>，面积为 182.4m<sup>2</sup>，初步设计总容积为 470m<sup>3</sup>，包括 2 个沉淀池（20.0m<sup>3</sup>/个）和 5 个贮水箱（86.0m<sup>3</sup>/箱），衰变池采取槽式贮存衰变方式，通过电动控制阀及水箱水位控制器分别控制进、出水量，交替贮存和排放。衰变池主要用于收集服药患者在住院或留观期间的排泄废水和操作放射性药物的医护人员清洁废水，医护人员的生活废水不排入衰变池。衰变池结构设计参考见下图：

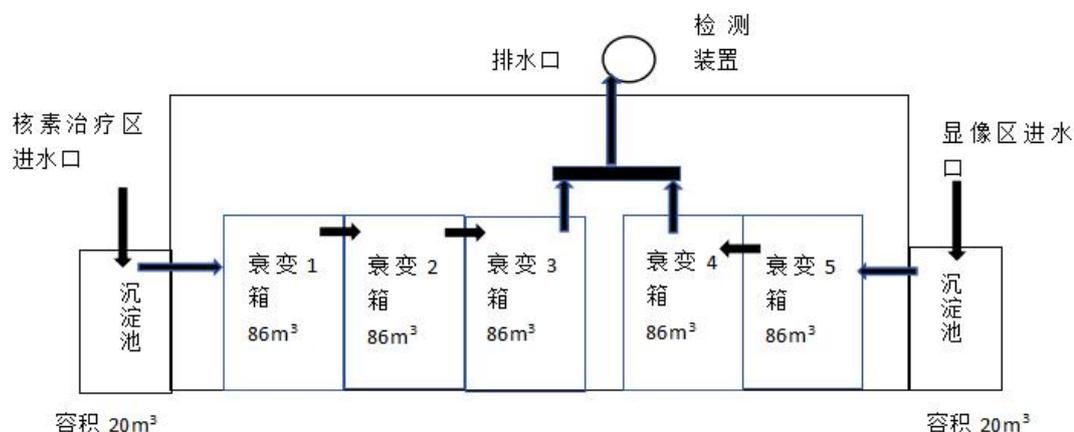


图 10-8 本项目核医学科衰变池示意图参考

依据 HJ1188-2021《核医学辐射防护与安全要求》和生态环境部《关于核医学标准相关条款咨询的复函》辐射函[2023]20 号的规定，对新建核医学科产生的放射性废水进行收集、贮存和排放进行管理，预留排放检测口，放射性废水（含 <sup>131</sup>I 核素）暂存超过 180 天，总 β 不大于 10Bq/L，<sup>131</sup>I 的放射性浓度不大于 10Bq/L。

#### 5、新建核医学科通风系统

新建核医学科共设计 2 组新风系统，即非活区和活性区。核医学科共设计 2 套独立排风系统：

1、放射性药物分装柜由厂家提供细化设计方案。核素  $^{18}\text{F}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  分装柜各安装活性炭过滤装置， $^{131}\text{I}$  分装柜安装碘吸附过滤装置，支管安装止回阀，3 套支管汇总后总管从西侧清排间引至综合医疗楼顶排放。

2、核医学诊疗区设计 1 套排风系统。核素  $^{18}\text{F}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  各功能房间包括：高活区、放射性废物间、储源室、注射室、抢救室、健身房、候诊留观室等汇入一个支管，SPECT 机房和 PET 机房汇入一个支管，均安装活性炭过滤装置；碘治疗区各功能房间包括：给药室、抢救室、被服间和 6 间甲癌病房和 1 间抢救室等汇入一个支管，安装碘吸附过滤装置。

各支管安装止回阀，最后汇入一个总管从东侧风井引至 2 号住院楼楼顶排放。核医学科独立排风管道直接引至综合医疗楼顶排放，，远离周围高层建筑或敏感目标，预留排风检测口，定期监测，保障过滤装置的有效性。

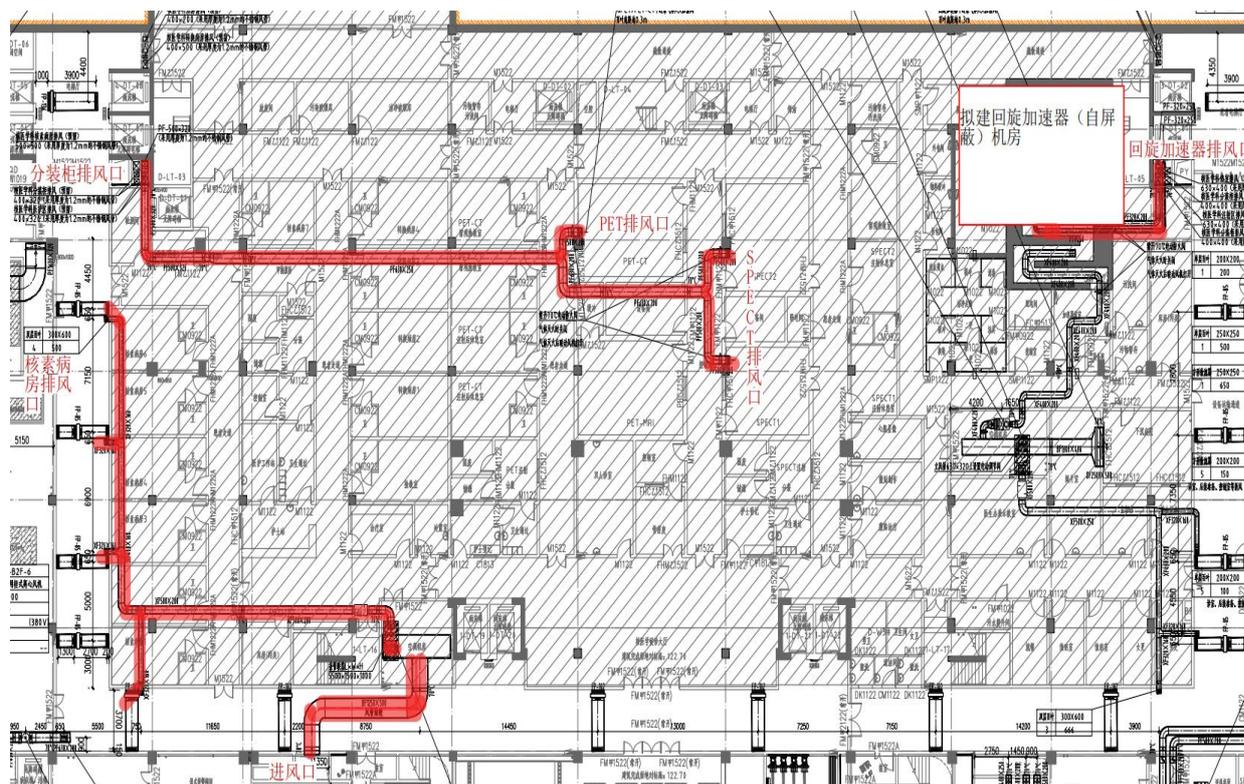


图 10-9 新建核医学科诊疗区排风示意图

## 10.4 三废的治理

### (一) DSA、加速器、后装机

本项目 DSA、加速器、后装机等装置运行过程中无放射性废水产生。

## 1、废气治理措施

本项目DSA、加速器、后装机机房均设计有机械排风装置，机房内换气次数不小于4次/h，产生的少量臭氧及放射性废气（10MV以上加速器）沿排气管道连接至楼顶排放，同时安装了空调辅助通风，在机房使用过程中，能够有效排除机房内少量的臭氧及氮氧化物，室外浓度臭氧和氮氧化物不会改变环境空气质量。

## 2、固废治理措施

1) DSA、ERCP设备维修更换的废旧X射线管、加速器产生的退役废弃靶、准直器及束流阻止器等部件均由加速器供应厂家直接回收，不在医院内存储。

2)  $^{192}\text{Ir}$ 放射源役后，由放射源退厂家统一回收，不在医院内存储。

3) 工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾不属于医疗废物，医院进行统一收集并由环卫部门统一处理。

## (二) 核医学科

### 1、放射性废水

住院楼核医学科放射性废水主要为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{131}\text{I}$ 药物治疗后患者产生的排泄物以及工作场所清洁废水。医院拟在住院楼楼负一层新建一座放射性废水衰变池，核医学科内产生的放射性废水拟通过专用管道引至衰变池内储存衰变，满足要求后再排入医院污水处理总站做进一步处理。

本项目核医学科负一层楼核素治疗场所无放射性废水产生，如发生核素洒落等污染放射性工作场所或人员体表的放射性污染事故，拟优先采用擦拭法去污，去污过程产生的放射性废水拟采用污物桶收集，经存放衰变或检测低于清洁解控水平的作为一般废液进行处置。

本项目核医学科药物均为按照患者用量分装好的独立针剂，正常情况下无放射性药物剩余，如发生患者未及时就诊等特殊情况下，剩余放射性药物拟作为放射性废物放置在废物间内贮存衰变，拟存放自然衰变达到清洁解控水平后，按医疗废物处理。

### 2、放射性废气

放射性气体流向：核医学科设送风系统，送风系统的引风口位于2号住院楼1楼室外广场。

准备间、储源室、注射服药室、污洗废物间、注射候诊室、留观室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房各设置一套排风系统，排风采用机械排风，每间房设置止回阀，排风量 4000m<sup>3</sup>/h，通过风量的设置，使得该区域保持负压。为防止污风倒流，在污风排出端设置止回阀。废气通过专用管道在医技楼负一楼与控制区、双联通风橱废气汇入一根排气管引至 2 号住院楼楼顶；<sup>131</sup>I 采取全自动分装仪进行分装，自动分装仪屏蔽能力为 60mmPb，根据医院提供资料，把自动分装仪放入通风橱，通风橱单独设一套专用排风系统，风速不小于 0.5m/s。

### (3) 固废治理措施

- ① 严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，力求控制和减少放射性废物产生量。
- ② 对放射性固体废物应采用分核素收集，根据同位素的性质，单独衰减，达到衰变时间和要求的，再收集在一起作为医疗垃圾处理。放射性固废应按照医疗废物（危险废物）的管理要求，实行联单管理制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。
- ③ 在各易产生放射性固废的房间设置放射性固废专用收集桶，供收集的专用污物桶应具有外防护层和电离辐射标志。污物桶放置点应避开工作人员作业和经常走动的地方。
- ④ 内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。
- ⑤ 放射性废物在放射性固体废物衰变箱中衰减达到清洁解控水平后，作为一般医疗垃圾处理。
- ⑥ 更换的废活性炭放在专用的固体废物衰变箱内衰变，放射性废物袋装时应不超过 20kg，放射性废物运输时表面的固定污染所引起的辐射水平应不超过 5 μSv/h，表面 β 辐射应不大于 0.4 Bq/cm<sup>2</sup>。

## 表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段对环境的影响

根据前节工程分析介绍，本次建设是医院整体新建，土建工程依托整体建设工程，本项目的施工期主要是机房的建设、装修及设备调试。污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物、有害气体、辐射等。项目的施工建设与“广州医科大学附属第一医院娄底医院整体建设项目”同步进行。施工产生的污染特别是扬尘和噪声可对医院自身环境以及周围的环境带来较大影响。施工期主要的污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物、有害气体、辐射等。

#### 1、噪声及防治措施

施工期噪声主要来自于场地开挖时的机械噪声、运输车辆产生的噪声、装修时的设备噪声。通过选取噪音低、振动小的设备，在居民较多的路段降低车速、禁止鸣笛等措施后可降低噪声对周围环境的影响。

#### 2、固体废物及防治措施

施工期固体废物主要为开挖土石方、建筑垃圾和装修垃圾。施工期产生的土石方等固体废物均妥善处理，无回收价值的废物统一收集后，运输至合法堆场堆放。

#### 3、废水及防治措施

施工期间产生的废水主要表现为施工人员的生活污水。施工生活污水由医院污水处理设施处理后进城市污水处理厂进一步处理。

#### 4、放射性污染及防治措施

设备安装及调试过程会产生放射性污染，因此本项目所涉及射线装置的安装应由专业人员进行，院方不得自行安装设备。在安装调试阶段，应加强辐射防护管理，保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，禁止无关人员靠近。

本项目工程施工期的影响随着工程的结束而消失。通过采取相应的防治措施后，对外界的影响小。

### 11.2 运行阶段对环境的影响

#### 11.2.1 数字减影血管造影系统（DSA）和 ERCP 辐射防护评价

##### 1、DSA和ERCP机房屏蔽效能核实

本项目DSA和ERCP机房平面布置及屏蔽情况与本评价对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中相关标准进行比对分析，符合性分析见表11-20，机房屏蔽设计情况一致，见

表11-1。

表 11-1 机房平面布置符合性分析

	最小单边长度	最小有效面积	符合性
标准	3.5m	20m <sup>2</sup>	/
中心手术 DSA 手术室 (1)	6.75m	53.4m <sup>2</sup>	符合
中心手术 DSA 手术室 (2)	7.05m	55.5m <sup>2</sup>	符合
介入中心 DSA 手术室 (1)	7.87m	59.12m <sup>2</sup>	符合
介入中心 DSA 手术室 (2)	7.85m	56.43m <sup>2</sup>	符合
介入中心 DSA 手术室 (3)	6.62m	44.62m <sup>2</sup>	符合
介入中心 DSA 手术室 (4)	6.76m	52.75m <sup>2</sup>	符合
成人急诊放射科 DSA 手术室	5.78m	34.71m <sup>2</sup>	符合
内镜中心 ERCP 机房	4.9m	31.6m <sup>2</sup>	符合

表 11-2 机房屏蔽情况符合性分析

	标准要求	机房屏蔽设施		近似铅当量 (mmPb)	符合性
中心手术 DSA 手 术室 (1)	有用线束： 2mmPb 非有用线束： 2mmPb	四面墙体	240mm 实心砖+3mm 铅板	7mmPb	满足
		顶上	150mm 混凝土+3mm 铅板	4.5mmPb	满足
		地板	150mm 混凝土+3mmPb 硫酸 钡砂浆	4.5mmPb	满足
		观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	满足
		防护门	4mmPb 电动平移门	4.0mmPb	满足
中心手术 DSA 手 术室 (2)	有用线束： 2mmPb 非有用线束： 2mmPb	四面墙体	240mm 实心砖+3mm 铅板	7mmPb	满足
		顶上	150mm 混凝土+3mm 铅板	4.5mmPb	满足
		地板	150mm 混凝土+3mmPb 硫酸 钡砂浆	4.5mmPb	满足
		观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	满足
		防护门	4mmPb 电动平移门	4.0mmPb	满足
		四面墙体	240mm 实心砖+3mm 铅板	7mmPb	满足

介入中心 DSA 手术 室 (1)	有用线束： 2 mmPb 非有用线束： 2 mmPb	顶上	150mm 混凝土+3mm 铅板	4.5mmPb	满足
		地板	150mm 混凝土+3mmPb 硫酸 钡砂浆	4.5mmPb	满足
		观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	满足
		防护门	4mmPb 电动平移门	4.0mmPb	满足
介入中心 DSA 手术 室 (2)	有用线束： 2 mmPb 非有用线束： 2 mmPb	四面墙体	240mm 实心砖+3mm 铅板	7mmPb	满足
		顶上	150mm 混凝土+3mm 铅板	4.5mmPb	满足
		地板	150mm 混凝土+3mmPb 硫酸 钡砂浆	4.5mmPb	满足
		观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	满足
		防护门	4mmPb 电动平移门	4.0mmPb	满足
介入中心 DSA 手 术室 (3)	有用线束： 2 mmPb 非有用线束： 2 mmPb	四面墙体	240mm 实心砖+3mm 铅板	7mmPb	满足
		顶上	150mm 混凝土+3mm 铅板	4.5mmPb	满足
		地板	150mm 混凝土+3mmPb 硫酸 钡砂浆	4.5mmPb	满足
		观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	满足
		防护门	4mmPb 电动平移门	4.0mmPb	满足
介入中心 DSA 手术 室 (4)	有用线束： 2 mmPb 非有用线束： 2 mmPb	四面墙体	240mm 实心砖+3mm 铅板	7mmPb	满足
		顶上	150mm 混凝土+3mm 铅板	4.5mmPb	满足
		地板	150mm 混凝土+3mmPb 硫酸 钡砂浆	4.5mmPb	满足
		观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	满足
		防护门	4mmPb 电动平移门	4.0mmPb	满足
成人急诊放 射科 DSA 手 术室	有用线束： 2 mmPb 非有用线束： 2 mmPb	四面墙体	240mm 实心砖+4mm 铅板	8mmPb	满足
		顶上	150mm 混凝土+4mm 铅板	7.5mmPb	满足
		地板	150mm 混凝土+3mmPb 硫酸 钡砂浆	4.5mmPb	满足
		观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	满足
		防护门	4mmPb 电动平移门	4.0mmPb	满足

内镜中心 ERCp 机房	有用线束： 2 mmPb 非有用线束： 2 mmPb	四面墙体	240mm 实心砖+3mm 铅板	7mmPb	满足
		顶上	150mm 混凝土+3mm 铅板	4.5mmPb	满足
		地板	150mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡砂浆	4.5mmPb	满足
		观察窗	3mmPb 铅玻璃	3.0mmPb	满足
		防护门	3mmPb 电动平移门	3.0mmPb	满足

注：机房屏蔽防护厚度一致，混凝土为 2.35g/cm<sup>3</sup>，铅的密度为 11.3g/cm<sup>3</sup>，硫酸钡砂浆的密度为 3.5g/cm<sup>3</sup>。根据 GBZ130-2020 采用 125kV(有用线束)的条件、《辐射防护技术与管理- 电离辐射防护技术与管理- 第一卷》核算铅当量；根据 GBZ130-2020 附录 C 及辐射防护手册第三分册核算，120mm 混凝土约等于 1.5mm 铅当量，30mm 硫酸钡约为 1.8mm 铅当量，砖铅当量核算密度为 1.65g/cm<sup>3</sup>，370mm 页岩实心砖约等于 3.5mmPb 当量。

从表 11-1、表 11-2 的结果看，DSA、ERCp 机房有效使用面积、最小单边长度以及墙体、顶棚、地板、防护门、观察窗的屏蔽厚度设计方案能够符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）标准要求。

## 2 辐射环境影响分析

本项目介入手术过程中，ERCp 图像增强器对 X 射线主束有屏蔽作用，因此，ERCp 设备运行时，医生操作位、机房的墙壁、地面、防护门及铅玻璃窗外仅考虑病人体表散射辐射影响

### (1) 计算公式

#### 1) 泄露辐射剂量率

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

$$H=f \times H_0 \times B / R^2 \quad (\text{式 11-1})$$

式中：

$H$ —关注点处的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$f$ —泄露射线比率；

$H_0$ —距靶点 1m 处的最大剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$R$ —靶点至关注点的距离，m；

$B$ —屏蔽透射因子，按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 中给出的公式计算。

$$B= [(1+\beta/\alpha)e^{\alpha X}-\beta/\alpha]^{-1/\gamma} \quad (\text{式 11-2})$$

式中：

$B$ —— 给定铅厚度的屏蔽透射因子；

$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ —— 铅对不同管电压X 射线辐射衰减有关拟合参数，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C 中表C.2 取值；

$X$ —— 铅厚度。

## 2) 散射辐射剂量率

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

$$H = \frac{H_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot (s/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \quad (\text{式 11-3})$$

式中：

$\alpha$ — 患者对X 射线的散射比；

$S$ — 散射面积，取典型值 100cm<sup>2</sup>；

$d_0$ — 源与患者的距离，m；

$d_s$ — 患者与关注点的距离，m；

$B$ — 屏蔽透射因子。

## (2) 剂量估算公式

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）-2000 年报告附录A，X- $\gamma$ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量计算公式如下：

$$H_d = H \times t \times T \times 10^{-3} \quad (\text{式 11-4})$$

式中：

$H_d$ —— X、 $\gamma$ 射线外照射人均有效剂量当量，mSv/a；

$H$ —— 关注点处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$t$ —— X、 $\gamma$  射线照射时间，h/a；

$T$ —— 居留因子。

手术室内工作人员所受辐射剂量估算参照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ

128-2019) 中外照射个人监测剂量评价方法“6.2.4 佩戴铅围裙内、外两个剂量计时, 宜采用以下公式估算有效剂量”。

$$E=\alpha H_u+\beta H_o \quad (\text{式 } 11-5)$$

式中:

$E$ —有效剂量中的外照射分量, 单位为毫希沃特 (mSv);

$\alpha$ —系数, 有甲状腺屏蔽时, 取0.79, 无屏蔽时, 取0.84;

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

$\beta$ —系数, 有甲状腺屏蔽时, 取0.051, 无屏蔽时, 取0.100;

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

#### a) 手术类型及工作量

根据医院提供的信息, 本项目正式运行后, 门急诊医技综合楼三层中心手术室(2台 DSA)、介入中心手术室(4台 DSA)、成人放射科急诊 DSA 手术室(1台 DSA) 各自计划 800 台手术左右, 单台手术时间约 50min, 单台手术射线装置透视出束时间约为 20min, 摄影出束时间为 1min, 年出束时间约为 280.0h。医院拟为每个 DSA 手术室配备 4 名介入医师、1 名技师及 1 名护士, 共计 6 放射工作人员, 同时医院按照操作规定拟将 28 名介入医生分成 3 组, 轮流上岗。本项目在年有效剂量估算时, 选取每组人员参与 40% 工作量进行计算, 则本项目介入科机房内介入医生可能受到的照射时间为 112h; 医院拟配置的放射技师受到的照射时间为 280h。参照《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 的规范性附录 A, 结合本项目实际情况, 工作人员居留因子取 1, 公众取 1/8。其中介入中心 DSA 手术室(1) 和介入中心 DSA 手术室(2) 共用一间控制室, 放射工作人员所受到 1 间 DSA 工作的附加年有效剂量最大值为 0.75mSv/a, 由于控制室位于两间 DSA 之间, 放射工作人员受到两间 DSA 同时运行时的辐射影响, 保守估算, 两间 DSA 同时运行辐射工作人员受到的年附加有效剂量最大值为 1.5mSv/a, 低于医院年有效剂量管理目标值 5mSv/a; 机房周边公众可能产生的年附加剂量最大值为 0.047mSv/a, 低于医院年有效剂量管理目标值 0.1mSv/a。

根据医院提供的信息, 本项目正式运行后, 内镜中心 ERCP 手术室年计划完成 500 台手术左右, 单台手术射线装置透视出束时间约为 10min, 摄影出束时间为 1min, 年总出束时间为 91.66h。医院拟为配备 4 名介入医师、2 名技师及 1 名护士, 共计 7 名放射工作人员, 同

时医院拟将 7 名放射工作人员分成 2 组，轮流上岗。本项目在年有效剂量估算时，选取每组人员参与 50%工作量进行计算，则本项目介入科机房内工作人员可能受到的照射时间为 48.8h；医院拟配置的放射技师受到的照射时间为 91.66h。参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的规范性附录 A，结合本项目实际情况，工作人员居留因子取 1/，公众取 1/8。

#### b)机房外工作人员及公众

参考 GBZ130-2020 中“具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求，本次评价在估算机房外工作人员及公众的年有效剂量管理目标值，以  $2.5\mu\text{Sv/h}$  保守估计。

#### C)机房内介入工作人员

根据标准要求和医院防护用品配备情况，介入医生甲状腺、性腺防护用品和铅围裙的铅当量为  $0.5\text{mmPb}$ ，本次评价分别计算有甲状腺屏蔽和无甲状腺屏蔽两种情况。屏蔽透射因子 B 根据 GBZ130-2020 附录 C 中公式 C.1 计算，铅对 125kV 散射 X 射线辐射衰减的有关三个拟合参数  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  分别为 2.233、7.888、0.7295，代入公式 C.1 可计算出屏蔽透射因子 B 为  $7.37\times 10^{-2}$ 。参考 WS76-2020 中“非直接荧光屏透射防护区检测平面上周围剂量当量率小于等于  $400\mu\text{Sv/h}$ ”的要求，本次评价在估算介入工作人员铅衣外的年有效剂量  $H_0$  时取  $400\mu\text{Sv/h}$  保守估计；参考《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)附录 C 中屏蔽透射因子 B 计算公式估算出介入工作人员在穿戴  $0.5\text{mm}$  铅衣时铅衣内的辐射剂量率为  $29.48\mu\text{Sv/h}$ ，故本次评价在估算介入工作人员铅衣内的年有效剂量  $H_u$  时取  $29.48\mu\text{Sv/h}$  保守估计。

### (2) 计算结果

透视时，本次评价分别计算有甲状腺屏蔽和无甲状腺屏蔽两种情况。透视时机房内介入工作人员，公众人员所受辐射剂量估算及年有效剂量估算见表 11-3 及表 11-4。

表 11-6 机房内介入工作人员透视时所受辐射剂量估算结果

分类	防护用品 铅当量 (mmPb)	$H_0$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	透射因子	$H_U$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$a$	$\beta$	$E_{\text{外}}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )
有甲状腺 屏蔽时	0.5	400	0.074	29.48	0.79	0.051	43.69
无甲状腺 屏蔽时	0.5	400	0.074	29.48	0.84	0.100	64.76

表 11-7 工作人员透视时所受个人年有效剂量估算结果

场所	人员类别	分类	$E_{\text{外}}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	透视工况年出 束时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)	剂量管理 目标值 (mSv/a)
DSA 手术 室 (7 间)	工作人员	机房内有甲状腺 屏蔽时	43.69	112	1	4.89	5.0
		机房内无甲状腺 屏蔽时	64.76	112	1	7.25	5.0
		机房外工作人员 (技师)	2.5	280	1	0.7	5.0
	公众人员		2.5	280	1/8	0.088	0.1
ERCP 手术室	工作人员	机房内有甲状腺 屏蔽时	43.69	48.8	1	2.14	5.0
		机房内无甲状腺 屏蔽时	64.76	48.8	1	2.29	5.0
		机房外工作人员 (技师)	2.5	91.66	1	0.23	5.0
	公众人员		2.5	91.66	1/8	0.229	0.1

根据剂量估算结果可知，介入科 DSA 运行时机房内工作人员(正确佩戴防护用品时)可能受到的年有效剂量为 4.89mSv，低于医院设定的 5.0mSv/a 的剂量管理目标值；机房外工作人员(技师)可能受到的年有效剂量为 0.7mSv，低于医院设定的 5.0mSv/a 的剂量管理目标值；公众人员可能

受到的年有效剂量为 0.087mSv，低于医院设定的 0.1mSv/a 的剂量管理目标值；ERCP 手术室运行时机房内工作人员（正确佩戴防护用品时）可能受到的年有效剂量为 2.62mSv，低于医院设定的 5.0mSv/a 的剂量管理目标值；机房外工作人员（技师）可能受到的年有效剂量为 0.3mSv，低于医院设定的 5.0mSv/a 的剂量管理目标值；公众人员可能受到的年有效剂量为 0.04mSv，低于医院设定的 0.1mSv/a 的剂量管理目标值。其中介入中心 DSA 手术室（1）和介入中心 DSA 手术室（2）辐射工作人员和公众人员年附加有效剂量估算 0.125（mSv/a）

由上述分析可知，在穿戴同样铅当量的防护用品时，在有甲状腺屏蔽的情况下较无甲状腺屏蔽的情况下所受剂量明显减少。因此，DSA 机房内介入手术工作人员在开展介入手术时应正确穿戴甲状腺防护用品，尽可能采用小视野，并充分利用配置的防护设施做好自身的防护，同时，介入医生可采取轮岗方式的管理措施，可减少个人的受照剂量。本次估算最大年有效剂量的结果仅供参考，实际应以 DSA、ERCP 营运后介入工作人员佩戴的个人剂量计检测结果为准，即在正确佩戴甲状腺屏蔽时，辐射工作人员的最大年有效剂量应满足医院设定的辐射工作人员年有效剂量管理目标值 5mSv/a 的要求。

### 11.2.2 医用电子直线加速器辐射防护评价

本项目新建放疗中心计划使用 2 台医用电子直线加速器，可使用 X 射线和电子线进行治疗，且主要以使用 X 射线为主，考虑到电子束使用次数有限，且电子束调试过程中，电子线与机头、床、人体组织等作用产生韧致辐射的能量和强度均低于电子束撞击钨靶产生的治疗 X 射线的能量和强度，因而，加速器机房及其防护门如满足 X 治疗束的屏蔽防护要求，则一定能够满足电子束治疗中产生的韧致辐射的防护要求，故本评价主要对 X 射线的环境影响进行评价，对电子束的环境影响不作具体评价。

#### 1、相关计算公式

##### （1）关注点剂量率参考控制水平， $H_c$

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），机房外各关注点的剂量率参考控制水平  $H_c$  由以下方法确定：

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

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \times U \times T) \quad (\text{式 11-6})$$

式中：

$\dot{H}_{c,d}$ ——导出剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$H_c$ ——周剂量参考控制水平，根据本项目人员剂量管理目标值及工作负荷，放射治疗机房外辐射工作人员： $H_c \leq 40\mu\text{Sv/周}$ ；放射治疗机房外非辐射工作人员： $H_c \leq 2\mu\text{Sv/周}$ ；

$U$ ——关注位置方向照射的使用因子；

$T$ ——人员在相应关注点驻留的居留因子；

$t$ ——周治疗照射时间， $\text{h}$ 。

②关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\text{max}}$ ：

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

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

(2) 机房辐射屏蔽体设计核算及机房外辐射水平计算公式

本评价采用《放射治疗机房辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007) 和《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011) 中的公式进行计算，具体如下：

1) 主屏蔽区宽度

$$Y_p = 2[(a + SAD)\tan\theta + 30] \quad (\text{式 11-7})$$

式中：

$Y_p$ —— 机房有用束主屏蔽区的宽度， $\text{cm}$ ；

$SAD$ —— 源轴距， $\text{cm}$ ；

$\theta$ —— 治疗束的最大张角（相对束中心的轴线）；

$a$ —— 等中心点至墙的距离， $\text{cm}$ 。当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽相连的次屏蔽墙（或顶）的内表面。

2) 有效屏蔽厚度

$$X = X_e \times \cos\theta \quad (\text{式 11-8})$$

式中：

$X_e$ —— 有效屏蔽物质厚度， $\text{cm}$ ；

$X$ —— 屏蔽物质厚度， $\text{cm}$ ；

$\theta$ —— 斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

3) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

$$B = 10^{(X_e + TVL - TVL_1) / TVL} \quad (\text{式 11-9})$$

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

式中：

$B$ —— 辐射屏蔽透射因子；

$TVL_1$ —— 辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度，cm；

$TVL$ —— 辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度，cm。

4) 有用线束和泄漏辐射的屏蔽透射因子估算：

$$B = \frac{H_c \times R^2}{H_0 \times f} \quad (\text{式 11-11})$$

$$H = \frac{H_0 \times f \times B}{R} \quad (\text{式 11-12})$$

式中：

$H_0$ —— 加速器有用线束中心轴上距产生治疗X射线束的靶1m处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

$R$ —— 辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

$f$ —— 对有用束为1；对泄漏辐射为泄漏辐射比率。

5) 患者一次散射辐射的屏蔽透射因子估算：

$$H = \frac{H_0 \times a_{ph} \times (F/400)}{R_s^2} \times B \quad (\text{式 11-13})$$

$$B = \frac{H_c \times R_s^2}{H_0 \times a_{ph} \times (F/400)} \quad (\text{式 11-14})$$

式中：

$H_0$ —— 加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率,  $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ;

$R_s$ —— 患者(位于等中心点)至关注点的距离, m;

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

$F$ —— 治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积,  $\text{cm}^2$ 。

6) 穿过患者或迷路内墙的有用线束在屏蔽墙上的一次散射辐射剂量

$$H = \frac{H_0 \times \alpha_w \times (F/10^4) \times B_p}{R^2} \quad (\text{式 11-15})$$

式中:

$H_0$ —— 加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率,  $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ;  $R$ —— 散射体中心点(有用线束在屏蔽墙上的投影点)与计算点的距离, m;

$\alpha_w$ —— 散射因子;

$F$ —— 治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积,  $\text{cm}^2$ ;

$B_p$ —— 有用线束射入散射体(屏蔽墙)前的屏蔽透射因子。

7) 加速器( $\leq 10\text{MV}$ )机房的迷路散射辐射屏蔽与剂量估算

a) 入口处的散射辐射剂量率

$$H_g = H_0 \times \frac{\alpha_{ph} \times (F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \quad (\text{式 11-16})$$

式中:

$H_0$ —— 加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率,  $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ;

$F$ —— 治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积,  $\text{cm}^2$ ;

$\alpha_{ph}$ —— 患者 $400\text{cm}^2$  面积上的散射因子;

$\alpha_2$ —— 混凝土墙入射的患者散射辐射的散射因子;

$A$ ——  $i$  处的散射面积,  $\text{m}^2$ ;

$R_l$ —— “ $o-i$ ” 之间的距离, m;

$R_2$  —— “ $i-g$ ” 之间的距离，m。

b) 防护门外辐射剂量率按下式计算：

$$B = \frac{H_i - H_{og}}{H_g} \quad (\text{式 11-17})$$

$$H = H_g \times 10^{-(X/\text{TVL})} + H_{og} \quad (\text{式 11-18})$$

式中：

$H_{og}$  ——  $o_l$  位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在  $g$  处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$H_g$  ——  $g$  处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ 。

8) 加速器 ( $\leq 10\text{MV}$ ) 机房的迷路散射辐射屏蔽与剂量估算

a) 入口处的散射辐射剂量率

$$H_g = H_0 \times \frac{\alpha_{ph} \times (F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \quad (\text{式 11-19})$$

式中：

$H_0$  —— 加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

$F$  —— 治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， $\text{cm}^2$ ；

$\alpha_{ph}$  —— 患者  $400\text{cm}^2$  面积上的散射因子；

$\alpha_2$  —— 混凝土墙入射的患者散射辐射的散射因子；

$A$  ——  $i$  处的散射面积， $\text{m}^2$ ；

$R_1$  —— “ $o-i$ ” 之间的距离，m；

$R_2$  —— “ $i-g$ ” 之间的距离，m。

b) 防护门外辐射剂量率按下式计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \times 10^{-(X/\text{TVL})} + \dot{H}_{og} \quad (\text{式 11-20})$$

式中：

$\dot{H}_{og}$  ——  $o_l$  位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在  $g$  处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

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

## 2、加速器主要技术指标

医院医用电子加速器拟新增两台，型号未定，提供相关参数见下表 11-1

表 11-7 医用电子直线加速器参数表

序号	项目	额定参数
1	X 射线最大能量	6MV、10MV
2	电子线最大能量	6~18MeV
3	等中心点最高剂量率	2200~2400 MU/min 600 MU/min
4	最大照射野面积	40cm×40cm
5	等中心距离地面高度：	1240~1250mm
6	射线最大出射角	28°

### 3、关注点及其剂量率控制水平

医院拟在负一层 1~2#加速器机房分别安装 X 线最大能量不高于 15MV 的直线加速器，各加速器的设备参数相同，计划工作量一样，且各机房的防护设计及拟采取的辐射防护措施基本一致。因此，以 2#加速器机房为例计算本项目直线加速器对周边的辐射环境影响。本项目新增的直线加速器有用线束不向迷路照射，加速器机房关注点如下图：

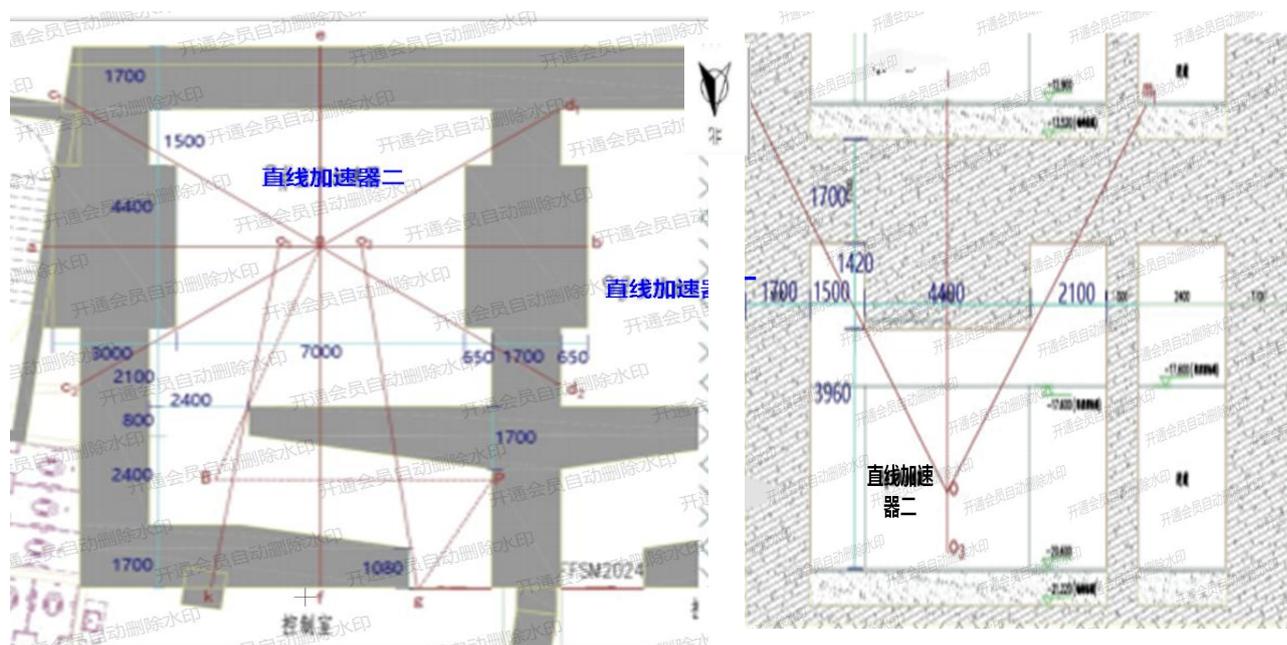


图 11-1 本项目直线加速器机房关注点示意图

根据公式 11-6 计算得出，各关注点的剂量率参考控制水平见下表：

表 11-8 本项目 2# 直线加速器机房外各关注点剂量率参考控制水平一览表

关注区域	关注点	位置描述	辐射束	路径	周治疗照射时间 $t(h)$	居留因子 U	使用因子 T	周剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ( $\mu Sv/h$ )	剂量率控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ( $\mu Sv/h$ )
主屏蔽区	a	东侧主屏蔽墙外 30cm (楼梯间)	有用线束	$o_2-a$	25	1/16	1/4	3.2	10
	b	西侧主屏蔽墙外 30cm (9# 直加机房)	有用线束	$o_1-b$		1/8	1/4	32	10
	l	顶部屏蔽体外 30cm (回土层)	有用线束	$o_3-l$		1	1/4	4	2.5
次屏蔽区	c <sub>1</sub> 、c <sub>2</sub>	东侧次屏蔽墙外 30cm (楼梯间)	泄漏辐射	$o-c_1/c_2$		1/16	1	0.8	10
			散射辐射	$o_2-o-c_1/c_2$					
	d <sub>1</sub> 、d <sub>2</sub>	西侧次屏蔽墙外 30cm (1# 直加机房)	泄漏辐射	$o-d_1/d_2$		1/8	1	8	10
			散射辐射	$o_1-o-d_1/d_2$					
	m <sub>1</sub> 、m <sub>2</sub>	顶部屏蔽体外 30cm (回土层)	泄漏辐射	$o-m_1/m_2$		1	1	1	2.5
			散射辐射	$o_3-o-m_1/m_2$					
侧屏蔽区	e	侧屏蔽墙外 30cm (楼梯间)	泄漏辐射	$o-e$		1/16	1	0.8	10
	f	迷路外墙外 30cm (控制室)	泄漏辐射	$o-f$	1	1	1	2.5	
	k	迷路外墙外 30cm (控制室)	泄漏辐射	$o_1-k$	1	1	1	2.5	
	g	防护门上方屏蔽体外	泄漏辐射	$o_2-g$	1/16	1	16	10	

迷路入口	g	迷路入口外 30cm	散射辐射	$o_2-o-i-g$	1/8	1	8	10
			泄漏辐射	$o_2-g$				
注：居留因子参照《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）附录 A 选取。								

4、直线加速器机房屏蔽体厚度核算及关注点辐射水平计算

表 11-9 本项目直线加速器机房主屏蔽区宽度估算参数及结果一览表

主屏蔽墙	计算参数			计算结果	拟实际设计值 (cm)	是否满足
	SAD (cm)	$\theta(^{\circ})$	a (cm)	$Y_p$ (cm)		
两侧主屏蔽墙	100	14	415	316.8	440	满足
顶棚主屏蔽墙	100	14	413	315.8	440	满足

根据上表可知，本项目加速器机房主屏蔽墙设计宽度可满足防护要求。

②屏蔽体防护设计厚度核算

根据 GBZ/T201.2-2011，主屏蔽区屏蔽厚度按有用线束估算，与主屏蔽区直接连接的次屏蔽区需要考虑有用线束水平照射或向顶照射时人体的散射辐射以及加速器的泄漏辐射，侧屏蔽墙主要考虑泄漏辐射，机房入口处需考虑散射辐射、泄漏辐射，估算参数和估算结果见下表：

表 11-9 本项目加速器机房主屏蔽及侧屏蔽体厚度核算及关注点处辐射水平  
计算参数及结果一览表

屏蔽体	辐射束	周剂量 导出剂 量率参 考控制 水平 $\dot{H}_{c,d}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	剂量率 控制水 平 $\dot{H}_{c,max}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$\theta(^{\circ})$	$TVL_l$ (cm)	$TVL$ (cm)	$H_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )	$f$	$R$ (m)	周剂量 导出屏 蔽体厚 度 $X$ (cm)	剂量率 导出屏 蔽体厚 度 $X$ (cm)	拟设计 厚度 $X$ (cm)	厚度计算 出的剂量 率 $H$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )		
主屏蔽	东墙	a	有用线	3.2	10	0	41	37	1.80E+09	1	7.8	288.6	268.3	300	1.69

侧屏蔽区	西墙	<i>b</i>	32	10	0	41	37	1.80E+09	1	7.8	247.6	268.3	300	1.69
	顶板	<i>l</i>	4	2.5	0	41	37	1.80E+09	1	7.13	287.8	296.2	<u>312</u>	<u>1.03</u>
	南墙	<i>e</i>	2	10	0	35	31	1.80E+09	0.001	5.7	149.6	126.5	170	0.48
	迷道内墙	<i>g</i>	8	10	0	35	31	1.80E+09	0.001	9.6	114.8	111.6	80~170	1.95
	防护门上 方屏蔽体		<u>16</u>	<u>10</u>	<u>0</u>	35	31	<u>1.80E+09</u>	<u>0.001</u>	<u>.6</u>	<u>104.9</u>	<u>111.6</u>	<u>205</u>	<u>0.01</u>
	迷道外墙	<i>k</i> <i>f</i>	1	2.5	~10	35	31	1.80E+09	0.001	9.65	134.4	122.2	170	0.17
			1	2.5	0	35	31	1.80E+09	0.001	9.5	144.9	131.8	250	6.53E-4
注：1、泄漏辐射至 <i>k</i> 、 <i>g</i> 点的斜射角较小，以0°垂直入射保守估算 <i>k</i> 、 <i>g</i> 点处泄漏辐射剂量率； 2、防护门上方屏蔽体厚度为迷道内墙厚度+迷道外墙厚度-通风管道直径。														

**表 11-10 本项目 2#加速器机房主屏蔽相连次屏蔽体厚度核算及关注点处辐射水平计算参数及结果一览表**

屏蔽体	次屏蔽区					
	东墙		西墙		顶板	
关注点	<i>c1</i> 、 <i>c2</i>		<i>d1</i> 、 <i>d2</i>		<i>m1</i> 、 <i>m2</i>	
辐射束	泄漏	散射	泄漏	散射	泄漏	散射
周剂量导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ (μSv/h)	0.8		8		1	
剂量率控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ (μSv/h)	10		10		2.5	
$\theta$ (°)	30		30		30	
$TVL_l$ (cm)	35		35		35	
$TVL$ (cm)	31		31		31	

$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	1.80E+09		1.80E+09		1.80E+09	
$f$	0.001		0.001		0.001	
$R(\text{m})$	7.85		7.85		7.08	
散射 $TVL(\text{cm})$	28		28		28	
$F(\text{cm}^2)$	1600		1600		1600	
$a_{ph}$	3.18E-03		3.18E-03		3.18E-03	
周剂量导出屏蔽体厚度 $X(\text{cm})$	133.0	149.5	104.4	122.6	132.8	149.3
剂量率导出屏蔽体厚度 $X(\text{cm})$	101.6	120.0	101.6	120.0	121.4	138.6
拟设计厚度 $X(\text{cm})$	170		170		170	
按拟设计厚度计算出的剂量率 $H(\mu\text{Sv}/\text{h})$	0.04	0.41	0.04	0.41	0.05	0.50
	0.45		0.45		0.55	

③防护门防护设计厚度核算

表11-11 防护门厚度核算及关注点处辐射水平计算参数及结果一览表

屏蔽体		防护门
关注点		g
计算参数	剂量率控制水平 $\dot{H}_{c,\text{max}}(\mu\text{Sv}/\text{h})$	2.5
	治疗室总内表面积 $S(\text{m}^2)$	330.6
	迷路内口面积 $S_0(\text{m}^2)$	12.91=2.4×5.38
	迷路横截面积 $S_l(\text{m}^2)$	12.91=2.4×5.38
	$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	1.80E+09
	$TVD(\text{m})$	3.9
	$d_1(\text{m})$	6.79
	$d_2(\text{m})$	10.4
	$TVL_\gamma(\text{cm})$	3.1
	$TVL_n(\text{cm})$	4.5
	泄漏辐射 $H_{og}(\mu\text{Sv}/\text{h})$	1.95
计算结果	剂量率导出屏蔽体厚度	$X_\gamma(\text{cm})$ 4.18cm 铅
		$X_n(\text{cm})$ 14.2cm 5%含硼聚乙烯
	实际设计厚度 $X(\text{cm})$	2cm 铅+0.4cm 铁板包面+18cm5%含硼聚乙烯 (~4.3cm 铅)
	按设计厚度计算出的剂量率 $H(\mu\text{Sv}/\text{h})$	0.29

注：防护门外剂量率控制水平按 $2.5\mu\text{Sv/h}$  保守计算。

由上述计算结果可知，本项目 1#直线加速器与 2#直线加速器墙体、顶板以及防护门的设计厚度等情况一致，根据 2#直线加速器机房墙体、顶板以及防护门的设计厚度能满足防护屏蔽计算要求，按设计厚度推算屏蔽体外 30cm 处参考点的周围剂量当量率不会超过相应的目标控制值，所以此次不重复计算 1#直线加速器。本项目按照下表设计防护屏蔽设计符合要求，见下表

表 11-12 本项目普通直线加速器机房防护设计一览表

屏蔽体			普通直线加速器机房防护设计	
			1#号直线加速器机房	2#号直线加速器机房
平面	主屏蔽墙	次防护	1.7m 混凝土	1.7m 混凝土
		主防护	3.0m 混凝土，宽4.4m，内凸	
	迷道内墙		0.8-1.7m 混凝土	
	迷道外墙		1.08-1.7m 混凝土	
立面	侧防护		1.7m 混凝土	
	主防护		3.0m 混凝土，宽4.4m，内凸	
	次防护		1.7m 混凝土	
防护门			4mm 铁板包面+20mmPb+18cm 含 5%硼聚乙烯	
机房尺寸(m) (长×宽，不含迷道)			8.3×8.0	
层高m			吊顶高度 3.0m	
机房通风			2000 m <sup>3</sup> /h	
注：除特别说明外，本项目屏蔽体采用的混凝土密度约为 2.35g/cm <sup>3</sup> ，铅密度约为 11.3g/cm <sup>3</sup> 。				

### 5、个人剂量估算

本项目加速器辐射工作人员及周边公众受到 X-γ射线产生的外照射所致的年有效剂量采用式 11-4 进行估算，结果见下表：

表 11-13 本项目加速器相关人员年附加有效剂量估算结果一览表

机房名称	关注点	敏感目标	使用因子	居留因子	关注点辐射剂量率估算值 (μSv/h)	工作负荷 (h/a)	年附加有效剂量估算值 H <sub>d</sub> (mSv/a)	管理目标值 (mSv/a)
	a	楼梯间	公众	1/4	1.69		0.05	0.1
	c1、c2			1			0.45	

1~2# 加速器 机房	<i>b</i>	相邻加速器 机房	其他辐 射工作 人员	1/4	1/8	1.69	2000	0.11	2.0
	<i>d1</i> 、 <i>d2</i>			1		0.45		0.11	
	<i>l</i>	回用土层； 相邻后装机 治疗室		1/4	1/8	<u>1.03</u>		<u>0.07</u>	
	<i>m1</i> 、 <i>m2</i>			1	1/8	0.55		0.14	
	<i>f</i> 、 <i>k</i> 、 <i>g</i>	控制室	辐射工 作人员	1	1	0.29		0.58	

通过上表估算结果可知，本项目加速器运行后，1~2#直线加速器辐射工作人员职业照射的附加剂量最大值为 0.58mSv/a，低于医院放疗科职业人员年受照剂量管理目标值 2mSv/a。因本项目加速器相邻房间也为加速器放射治疗区，在综合考虑项目周围其它核技术利用新建项目的辐射影响后，本项目加速器辐射工作人员职业照射的附加剂量会略有增加，但仍低于医院放疗科职业人员年受照剂量管理目标值 2mSv/a。本项目加速器机房周边公众可能受到的最大照射附加剂量值为 0.06mSv/a，低于医院设定的公众受照剂量管理目标值 0.1mSv/a。

### 11.2.3 后装治疗机的辐射防护评价

#### (1) 计算公式

本评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中的公式进行计算，具体如下：

①有效屏蔽厚度  $X_e$ 、屏蔽厚度  $X$  与屏蔽透射因子  $B$  的相应关系计算公式参照式 11-8 至 11-10。

②初级辐射的屏蔽

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 11-31})$$

式中：

$H_c$ —— 关注点处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$R$ —— 辐射源至关注点的距离， $\text{m}$ ；

$f$ —— 后装机取 1；

$H_0$ —— 活度为  $A$  的放射源在距其 1m 处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ，按下式计算； $H_0 = A \cdot K_\gamma$   
(式 11-32)

式中：

$A$ —— 可同时用于治疗放射源的活度的总和，单位为 MBq；

$K_\gamma$  —— 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， $K_\gamma$  的单位记为 $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。

③散射辐射的屏蔽

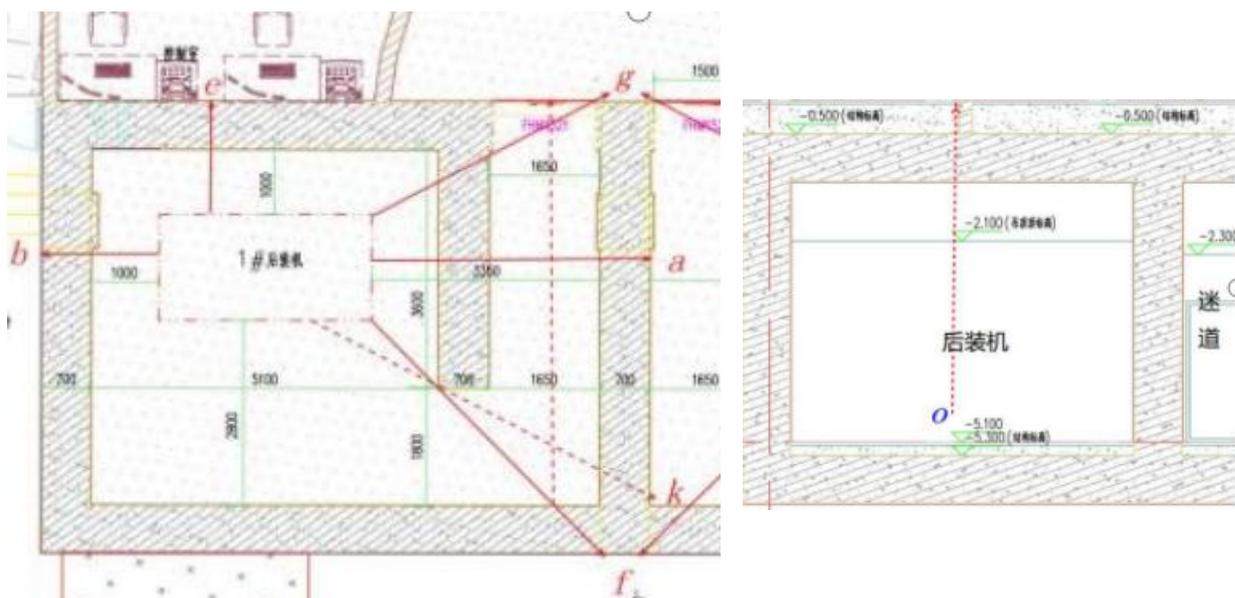
$$H = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (\text{式 11-33})$$

式中：

- $H$  —— 入口g 处的散射辐射剂量， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；
- $S_w$  —— 迷路内口墙的散射面积， $\text{m}^2$ ；
- $\alpha_w$  —— 散射体的散射因子；
- $R_1$  —— 辐射源至散射体中心点的距离， $\text{m}$ ；
- $R_2$  —— 散射体中心点至计算点的距离， $\text{m}$ ；

(2) 关注点

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： $\gamma$  射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014)，后装治疗机机房应考虑 $\gamma$ 射线（初级辐射）对墙和室顶的直接照射及散射辐射在机房入口处的照射。本项目后装机机房关注点如下图：



注：图中框内为治疗源可能使用的区域；各关注点为治疗源使用时，在各方向屏蔽体外可能受照剂量最大的位置。

图 11-2 本项目后装机机房关注点示意图

(3) 场所辐射水平计算

表 11-14 后装机房屏蔽体厚度核算及各关注点辐射剂量率计算参数及结果一览表

屏蔽体		北屏蔽墙	南屏蔽墙	西屏蔽墙	迷道内+外墙	迷道内墙	迷道外墙	顶棚	
关注点		<i>e</i>	<i>f</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>g</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	
位置		后装机控制室	走道	库房	一号直线加速器机治疗机房	等候区	一号直线加速器机治疗机房	回用土层	
计算参数	周剂量管理目标值 $\mu\text{Sv}/\text{Week}$	40	2	2	40	2	40	2	
	周工作负荷h	25							
	居留因子	1	1/16	1/16	1/8	1/8	1/8	1/16	
	周剂量导出剂量率参考控水平 $\dot{H}_{c,d}(\mu\text{Sv}/\text{h})$	1.6	1.28	1.28	12.8	0.64	12.8	0.08	
	剂量率控制水平 $\dot{H}_{c,max}(\mu\text{Sv}/\text{h})$	2.5							
	$\theta(^{\circ})$	0	0	0	0	~30	0	0	
	<i>TVL</i> (cm)	15.2							
	<i>R</i> (m)	2.0	3.8	2	4.35	3.90	5.92	3.9	
	<i>f</i>	1							
	<i>A</i> (MBq)	3.70E+05							
	$K_7\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	0.111							
	计算结果	周剂量导出屏蔽体厚度 <i>X</i> (cm)	57.87	50.87	59.34	33.89	51.68	29.83	68.83
		剂量率导出屏蔽体厚度 <i>X</i> (cm)	54.93	46.45	54.93	44.67	43.89	40.61	46.11
设计屏蔽体厚度 <i>X</i> (cm)		70	70	70	235	70	70	70	

按设计厚度计算出的剂量率 $H(\mu\text{Sv/h})$	0.25	0.07	0.25	1.34E-06	0.07	0.03	0.07
-------------------------------------	------	------	------	----------	------	------	------

机房入口处的散射辐射剂量采用公式 11-33 计算，防护门屏蔽厚度按散射辐射估算，关注点为上图中的 g 点，机房入口处辐射剂量的计算参数及估算结果见下表：

表 11-15 后装机房入口处散射辐射剂量计算参数及结果一览表

屏蔽体		防护门
关注点		g
计算参数	$A$ (MBq)	3.70E+05
	$K_{\gamma}$ ( $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ )	0.111
	$S_w$ ( $\text{m}^2$ )	2.35×3.90=9.165
	$a_w$	3.39E-02
	$R_1$ (m)	3.96
	$R_2$ (m)	6.40
	$TVL$ (cm)	铅：0.5
	初级辐射 $H_g$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.07
计算结果	散射辐射 $H$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	19.87 (屏蔽前)
	周剂量导出屏蔽体厚度 $X$ (cm)	0.77 铅
	剂量率导出屏蔽体厚度 $X$ (cm)	0.46 铅
	设计屏蔽体厚度 $X$ (cm)	1.0 铅
	按设计厚度计算出的剂量率 $H$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.27

由上述计算结果可知，本项目后装机机房墙体、顶板以及防护门的设计厚度能满足防护屏蔽计算要求，按设计厚度推算屏蔽体外 30cm 处参考点的周围剂量当量率不会超过相应的目标控制值。

(4) 所致剂量估算取值

1) 本项目使用的后装治疗机的有效开机时间每年工作按 50 周计，每周治疗 30 人次，每个患者放射治疗的有效时间不一致，本次环评以 8min/人次计，则后装机年有效工作时间为 200h。

2) 摆位时间：本项目后装机用源为  $^{192}\text{Ir}$  密封放射源，该源在自然状态下会自发衰变放射出  $\gamma$  射线，工作人员在治疗室内对患者摆位时，不可避免的受到  $^{192}\text{Ir}$  密封放射源泄漏辐射影响。评价摆位时间约 1min/人次，则摆位时间 5h/a。

3) 机房屏蔽体外剂量率：各关注点处剂量率按估算值考虑。

4) 摆位处剂量率：参考《后装 $\gamma$ 源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ121-2017)中 相关规定：“工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时，距离贮源器表面5cm 处的人 和位置，因泄露辐射所致周围剂量当量率不大于  $50\mu\text{Sv/h}$ ；距离贮源器表面 100cm 处的 球面上，任何一点因泄露辐射所致周围剂量当量率不大于  $5\mu\text{Sv/h}$ 。”从保守角度分析，摆位处剂量率按  $5\mu\text{Sv/h}$  考虑。

本项目后装机放射工作人员及周边公众个人剂量估算见下表：

表 11-16 后装机相关人员年附加有效剂量估算结果一览表

保护目标		计算参数			计算结果		管理目标值 (mSv/a)
		$H$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$t$ (h/a)	$T$	$H_d$ (mSv/a)		
放射工作人员	治疗—控制室	0.25	200	1	0.05	1.54	2.0
	机房北侧准备间	0.15	200	1	0.03		
	摆位	5	5	1	0.025		
公众	机房北侧候诊走道	0.25	200	1/8	0.006		0.1
	机房南侧走道	0.07	200	1/16	0.0009		
	机房西侧库房	0.25	200	1/16	0.003		
	机房顶部	0.07	200	1/16	0.0009		

通过上表计算可知，本项目后装机放射工作人员职业照射的附加剂量最大值为  $0.825\text{mSv/a}$ ，低于医院设定的职业人员受照剂量管理目标值  $2\text{mSv/a}$ 。本项目后装机机房周边公众可能受到的最大照射附加剂量值为  $0.003\text{mSv/a}$ ，低于医院设定的公众受照剂量管理目标值  $0.1\text{mSv/a}$ 。

### (5) 放射源的影响分析

#### (1) 放射源运输与换源

本项目后装治疗机使用密封源  $^{192}\text{Ir}$  的运输、换源事宜均由供源厂家负责，换源地点位于后装机房内，由供源单位工作人员进行换源操作，医院工作人员不参与换源操作。

#### (2) 放射源的退役

退役和废旧源应由供源厂家回收，退役或废旧源送贮前在后装机房内暂存，退役工作应报生

态环境部门备案。

本项目运行后，后装治疗机机房屏蔽措施符合标准要求，退役和废旧源由厂家回收后，采取措施可得到妥善处理，不会对周围环境造成不利影响。

#### 4、后装机放射治疗场所的放射性三废影响

后装机出源治疗期间不产生废液和废气，废弃放射源由厂家回收。后装机治疗时， $\gamma$ 射线会电离空气产生臭氧和氮氧化物等有害气体，本项目后装机机房设置有机 械通风系统，通过机械通风系统进行正常通风换气，辐照室内臭氧和氮氧化物的浓度将 进一步降低。项目产生的极少量的臭氧和氮氧化物通过自然排放、扩散后进入大气环境，对辐照室内工作人员的影响较小，同时对周边大气环境影响甚微。

### 11.2.4 核医学科

本项目核医学科涉及 4 种非密封放射性物质（ $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  和  $^{131}\text{I}$ ）和 4 台显影设备（2 台 SPECT/CT 和 1 台 PET/CT，1 台 PET/MRI），运营期的主要污染因子是 X、 $\gamma$  和  $\beta$  射线、表面污染及放射性三废的收集、贮存和排放， $\beta$  射线外照射经适当屏蔽可忽略。

#### 11.2.4.1 辐射环境影响

##### （一）核素制备场所

##### 1、工作场所辐射水平分析

##### ①计算参数

根据医院提供资料，本项目回旋加速器带自屏蔽，其最高中子能量小于等于 20MeV，束流强度小于等于 0.15A。

##### ②回旋加速器机房外关注点

回旋加速器机房位于新建住院大楼负一层，回旋加速器所在位置楼下为土层，楼上为住院大楼负一层出入院办理大厅，西侧为缓冲间，南侧为走道，北侧为热室、质控室，东侧为加速器前室和配电间，回旋加速器机房外的各关注点见图 11-6。

回旋加速器放置于 8m×8.5m×5.5m 的回旋加速器机房内，放置情况示意图见下图 11-3：

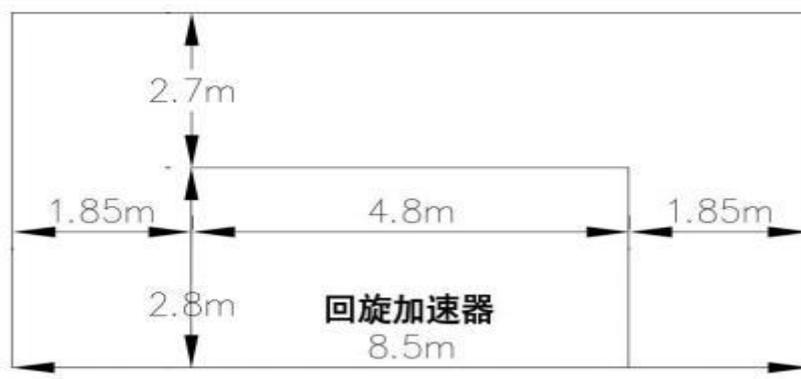


图 11-3 回旋加速器于机房放置示意图（正视图前侧）

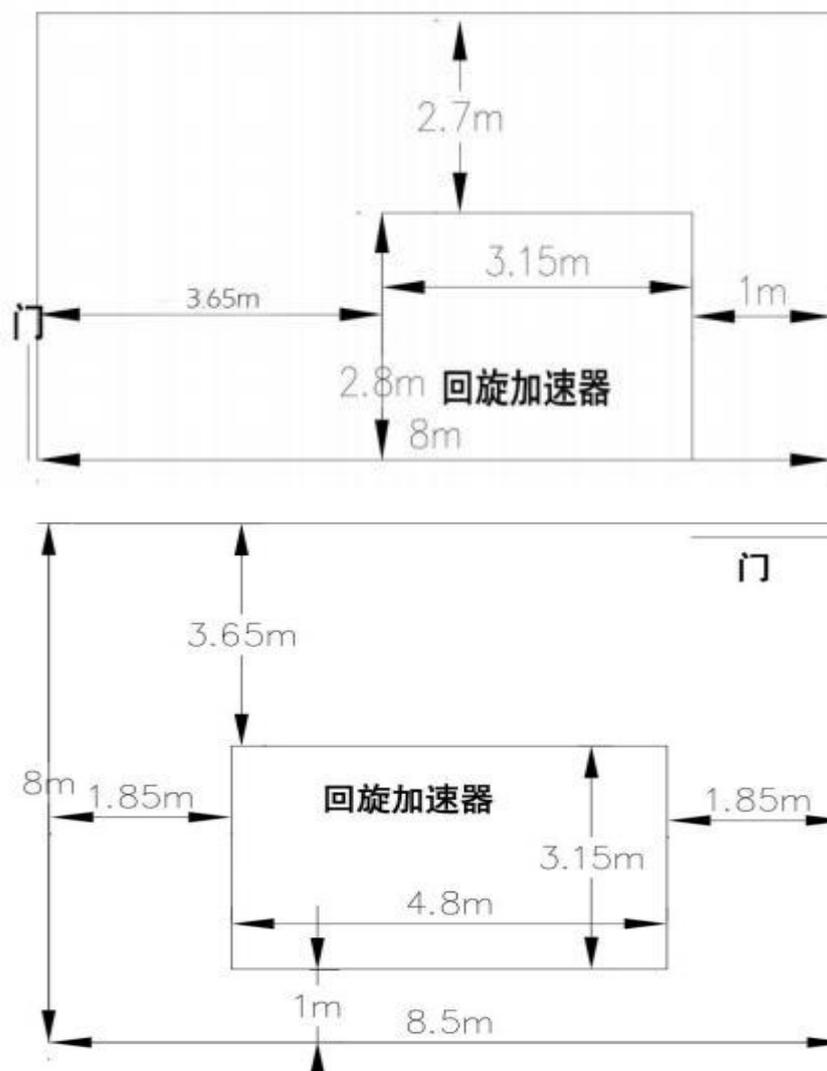


图 11-5 回旋加速器于机房1 放置示意图（俯视图）

加速器室墙（包括天花板）均按照 60cm 密度为 $2.35\text{g/cm}^3$  混凝土设计，加速器机房防护门采用 10mmPb 设计。详细设计参数见下表 11-17。

表 11-17 加速器机房辐射屏蔽防护设计参数

加速器室	面积	9100mm × 7700mm
	高	5400mm
	房顶厚	600mm 混凝土
	墙厚	600mm 混凝土
	门	10mmPb

根据图 11-3~ 11-5，加速器机房内预测点从等值线图中得出；机房外理论计算所取点位 为回旋加速器机房屏蔽墙、防护门外，机房楼上办公室地面处，具体点位选取见下图 11-8，11-9。

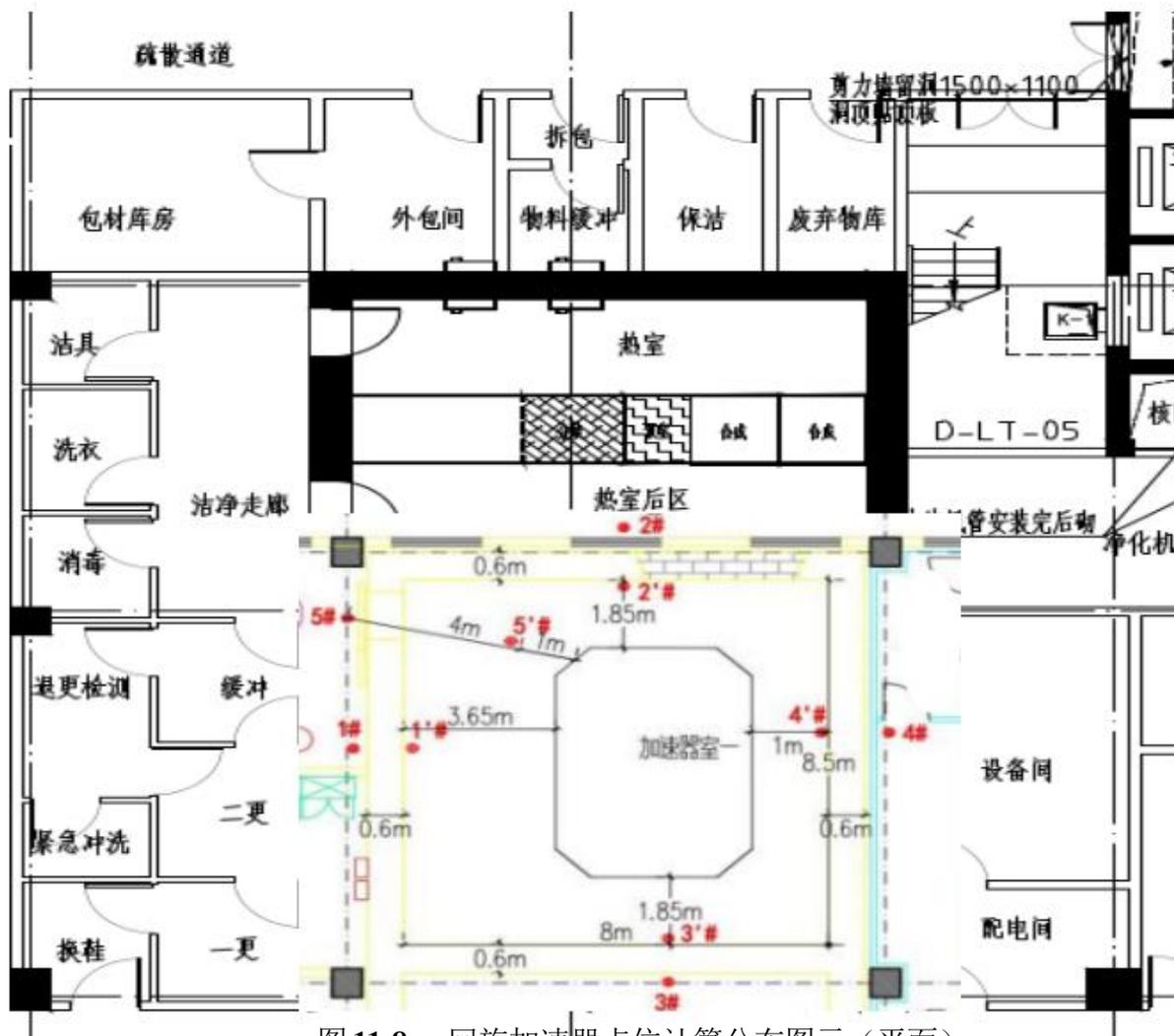


图 11-8 回旋加速器点位计算分布图示（平面）

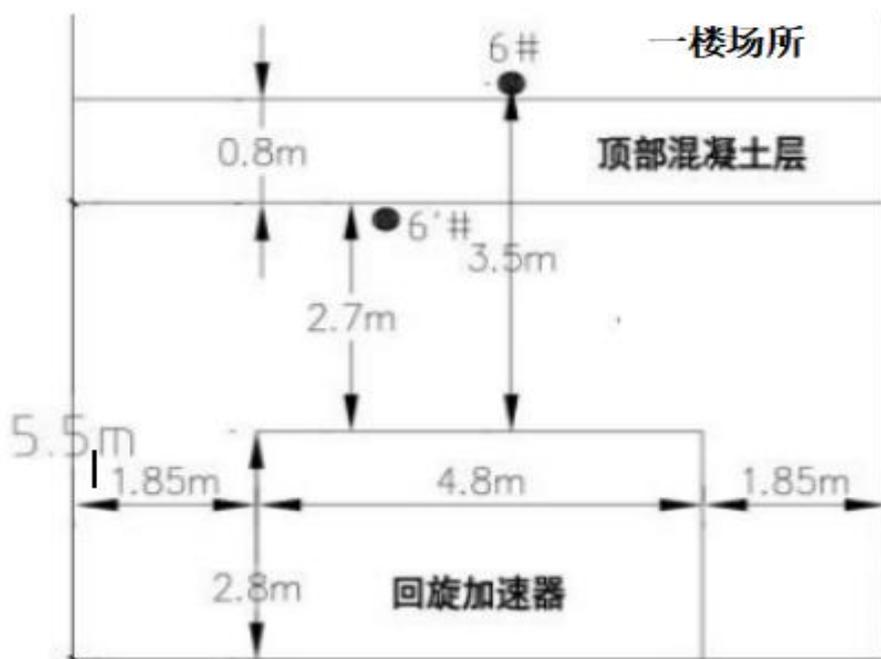


图 11-9 回旋加速器点位计算分布图示（纵向）

根据等值线图及机房辐射剂量率计算点位分布图给出的数据，汇总得出相应距离的保守剂量值如下表 11-18：

表 11-18 回旋加速器运行产生 $\gamma$ 射线和中子在到达屏蔽前的剂量率估值

估点位置	类型	方位	距离 (m)	剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	类型	方位	距离 (m)	剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )
1'#	$\gamma$ 辐射 剂量率	西侧	3.65	17	中子辐 射剂 率	西侧	3.65	17
2'#		北侧	1.85	41		北侧	1.85	17
3'#		南侧	1.85	41		南侧	1.85	17
4'#		东侧	1	82		东侧	1	41
5'#		西北侧	1	17		西北侧	1	17
6'#		顶部	2.7	17		顶部	2.7	17

回旋加速器机房周围点 R 处的中子和  $\gamma$  射线当量剂量率的总和  $H_R$  ( $\mu\text{Sv}/\text{H}$ ) 可按公式 11-1 进行计算。

$$H_R = \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \xi (Hn \xi 10^{-x/\text{TVL}_\gamma} + Hg \xi 10^{-x/\text{TVL}_n}) \dots\dots\dots (11-1)$$

式中:  $\text{TVL}_n$  为屏蔽材料对中子的十分之一值减弱厚度, cm;

$\text{TVL}_\gamma$  为屏蔽材料对 $\gamma$ 射线的十分之一值减弱厚度, cm;

$Hn$  为参考点 $r_0$  处中子当量剂量率,  $\mu\text{Sv}/\text{H}$ ;

$Hg$  为参考点 $r_0$  处 $\gamma$ 当量剂量率,  $\mu\text{Sv}/\text{H}$ ;

$X$  为屏蔽材料的厚度, cm;

$R$  为评价点距靶心距离, cm;

$r_0$  为参考点距靶心距离, cm。

根据《辐射防护手册》,当屏蔽墙水泥密度大于  $2.35\text{g}/\text{cm}^3$  时,相应的  $\gamma$  射线 1/10 值层  $\text{TVL}_\gamma$  为 38cm, 中子射线 1/10 值层  $\text{TVL}_n$  为 43cm。铅对于相应的  $\gamma$  射线 1/10 值层  $\text{TVL}_\gamma$  分别为 5cm, 对于相应的中子 1/10 值层  $\text{TVL}_n$  分别为 47.8cm, 对回旋加速器机房四周、防护门和顶层中子和  $\gamma$  射线当量率总和  $H_R$  进行估算。防护门采用 10mm 铅板为主要屏蔽材料, 主体材料前后用不锈钢板进行包夹。根据  $H_R$  估算加速器机房四周和顶层评价点所接受的年有效剂量, 年有效剂量  $H$  根据公式 11-2 进行计算。计算结果见表 11-5。

$$H = H_R \times U \times T \times t \dots\dots\dots (11-2)$$

式中:  $H_R$  参考点中子和 $\gamma$ 射线当量剂量率的总和;

$U$  为使用因子;

$T$  为停留因子;

$t$  为年工作时间, 辐射工作人员工作时间为 52 周/年, 5 天/周, 1 小时/天, 每日凌晨 5 点~6 点 (共 1 小时生产时间)。

表 11-19 回旋加速器机房四周墙体、天花板有效剂量估算

序号	位置	屏蔽墙厚度 (cm)	离靶心距离 R (m)	H <sub>R</sub> (μSv/H)	使用因子	停留因子	年有效剂量 (m Sv/a)	剂量约束值 (m Sv/a)
1	西墙外	60	4.25	0.83	1	0.25	0.22	5
2	北墙外	60	2.45	1.01	1	0.25	0.26	5
3	南墙外	60	2.45	1.01	1	0.25	0.26	5
4	东墙外	60	1.60	1.49	1	0.25	0.39	5
5	防护门外	60	4.00	1.68	1	0.25	0.44	5
6	楼上	60	3.30	0.76	1	1/16	0.05	0.1
/	公众	—	—	0.76	1	1/16	0.05	0.1

根据剂量估算，在回旋加速器束流为双靶 130 μA 的最大工况下，机房四周、顶部以及公众的辐射剂量率和年有效剂量可以达到剂量约束值要求。另外，类比同类型项目的运行工况，一般回旋加速器在日常运行的束流强度多控制为单靶 80 μA 或以下即可满足日常的生产需求；且加速器作业时间为凌晨时分，医院作业人数较少，因此加速器作业产生的辐射对于环境的实际影响会更小。因此，本次回旋加速器机房屏蔽设计可满足辐射防护的相关要求。

### 3、合成分装热室屏蔽分析

药物合成和分装均在热室的模块箱中完成，且合成与分装的过程均为自动生产。合成时，进行合成分装作业时工作人员仅需在控制室观察，待分装完成后再进入热室取走装有药物的罐体，因此将操作定为简单操作。医院每日生产计划如下表 11-20。

表 11-20 本项目场所放射性核素日等效最大操作量计算

核素名称	实际日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)
<sup>18</sup> F	2.59×10 <sup>10</sup>	0.01 (低毒性)	1 (简单操作)	2.59×10 <sup>8</sup>

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录C 中“非密封源日等效最大操作量在2×10<sup>7</sup>Bq~4×10<sup>9</sup>Bq 的工作场所为乙级”的规定，本次新建的合成分装热室为乙级非密封放射性物质工作场所。

根据工作计划对辐射场所防护计算

计算参数如下：

①本小节计算防护性能，根据医院提供的资料，本次新建回旋加速器单批次最大操作量为  $1.33 \times 10^{11} \text{Bq}$  (约为3.6Ci),且使用一个合成模块和分装模块进行生产，再从防护角度考虑；药物合成、分装模块相屏蔽能力如下表 11-21。

表 11-21 合成分装热室内FDG 药物合成、分装模块屏蔽能力

热室	屏蔽措施	数量	操作核素	位置
合成模块	正面屏蔽门 75mmPb 并附加电子联锁保护装置，侧面、后面、底面及顶部屏蔽 75mmPb	2	$^{18}\text{F}$	合成分装热室
分装模块	正面屏蔽 75mmPb,侧面、后面、底面及顶部屏蔽 75mmPb, 铅罐屏蔽40mmPb	1	$^{18}\text{F}$	

由于合成分装过程热室内无工作人员，因此需要选取合成、分装过程中距离热室外相对最近的人可到达区域进行预测。热室墙外代表性环境预测点与放射源之间的距离：取合成模块内源中心到热室北侧墙外最近距离400cm，到热室东侧墙外最近距离480cm，取分装模块内源中心到热室外最近距离300cm，取合成模块内源中心到热室上方二层最近距离515cm。热室模块点位估算见下图 11-10

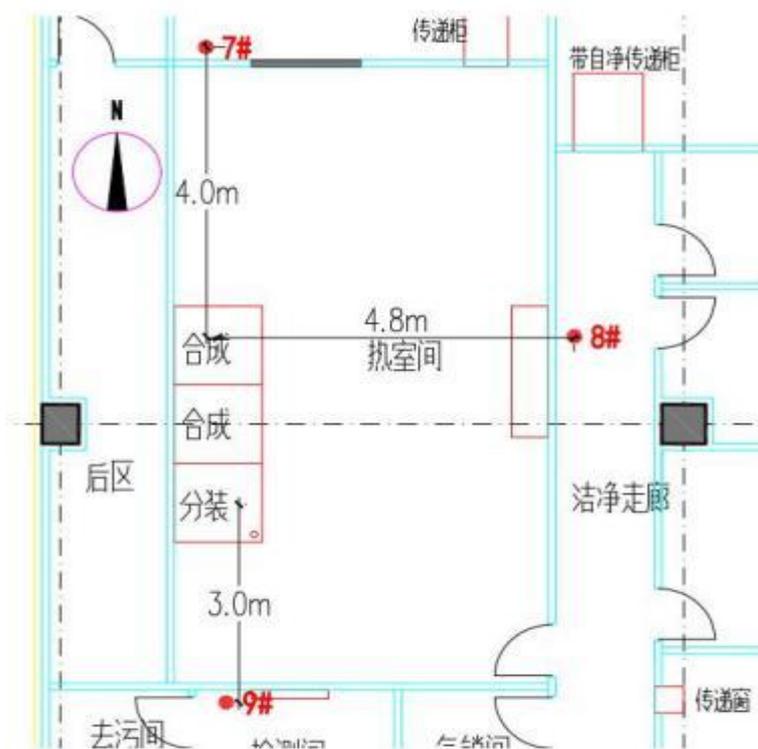


图 11-10 热室点位计算分布图示（平面）

本次项目放射性药品合成过程周围空气吸收剂量率估算采用《辐射防护手册第三分册辐射安全》(李德平)推荐经验公式。《辐射防护手册第三分册辐射安全》 $\gamma$ 点源 1m 处的空气吸收剂量率 D 可用经验公式表示：

$$D \approx 0.123AE \dots\dots\dots(11-3)$$

式中 D 为距点源 1m 处的空气吸收剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

A 为点源活度，MBq

E 为母核每次衰变发生的 $\gamma$ 射线总能量，MeV。

已知  $^{18}\text{F}$  的  $\gamma$  射线总能量为 0.51MeV，则计算得以点源计各核素 1m 处空气吸收剂量率如表 11-21 所式。

表 11-21 本项目放射性药品生产过程中 $^{18}\text{F}$  核素裸源状态下 1m 处空气比释动能率

核素名称	1 批次最大操作量 MBq	$\gamma$ 射线总能量 MeV	1m 处空气比释动能率 $\mu\text{Gy/h}$
$^{18}\text{F}$	$1.33 \times 10^{11}$ (已与业主核实最大操作量 3.6Ci)	0.51	$1.86 \times 10^4$

根据以上条件，扩建合成、分装热室在不同地方墙外剂量率估算如式所示。

$$P = \frac{D_0 \cdot T \cdot n}{10^{TVT} \cdot r^2} \dots\dots\dots \text{(式11-4)}$$

式中：P- 目标点剂量率值， $\mu\text{Gy/h}$ ；S-屏蔽当量；TVT-十分之一值屏蔽层厚度（ $^{18}\text{F}$  的 TVT 值分别保守取为 1.83cm）； $D_0$ -距源 1m 处剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；T-居留因子，无量纲，取 1；r-距防护计算点的距离，m；n-安全系数，无量纲，取 1。

热室工作场所内外评价点的辐射水平预测如下表 11-22。

表 11-22 热室工作场所内外相应评价点辐射剂量率预测结果

序号	工作场所	位置	拟屏蔽设计	与源中心距离 (m)	预测结果 (μGy/h)
1	合成模块箱	模块箱左右两侧	75mmPb	0.6	3.08
2		模块箱顶部	75mmPb	0.5	4.43
3		模块箱前侧	75mmPb	0.5	4.43
4	分装模块箱 (药物在 铅罐内)	模块箱左右两侧	75+40mmPb	0.6	0.02
5		模块箱前侧	75+40mmPb	0.37	0.05
6		模块箱顶部	75+40mmPb	0.34	0.06
7	热室间外 环境	热室外北侧距 合成模块最近 位置	75mmPb	4.0	0.09
8		热室外东侧距 合成模块最近 位置	75mmPb	4.8	0.06
9		热室外南侧距 分装模块最近 位置	75+40mmPb	3.0	<0.01
10		热室合成模块 箱楼上办公 场所	75mmPb	5.15	0.06

通过上表可得,以单批次回旋加速器可达到的最大生产量 8Ci 计算,在进行药物合成作业时,合成分装热室车间外北侧空气比释动能率达到最大值,为0.09μGy/h 小于2.5μGy/h,可满足控制区屏蔽要求。在实际的工作情况中,由于日常单批次的工作状况一般不会以最大工况进行生产,因此,实际的辐射水平比上式计算的更小。

热室外区域年有效剂量H 根据公式 11-2 进行计算。

$$H = H_R \times U \times T \times t \dots\dots\dots (11-2)$$

式中:  $H_R$  参考点中子和γ射线当量剂量率的总和;

U 为使用因子;

T 为停留因子;

t 为年工作时间,合成分装辐射工作人员工作时间为 52 周/年,5 天/周,1 小时/天,每日凌晨 5~6 点(共1小时生产时间)。

热室工作场所内外评价点的有效剂量预测如下表 11-22。

表 11-22 热室工作场所外相应评价点有效剂量估算

序号	位置	H <sub>R</sub> ( $\mu$ Sv/H)	使用 因子	停留 因子	年有效剂 量 ( m Sv/a)	剂量约束 值 ( m Sv/a)
7	北墙外	0.09	1	0.25	0.02	5
8	东墙外	0.06	1	0.25	0.02	5
9	南墙外	<0.01	1	0.25	<0.01	5
10	楼上	0.06	1	1	0.06	5
/	公众	0.06	1	1/16	<0.01	0.1

综上，根据剂量估算，合成分装热室间在最大工况（合成<sup>3.5</sup>CiFDG 药物时）运作下四周、顶部 以及公众的辐射剂量率和年有效剂量可以达到剂量约束值要求。另外，由于合成分装作业时间为凌晨时分，医院作业人数较少，因此合成分装作业产生的辐射对于公众的实际影响会更小。

## (二) 核素显像区

### 1、工作场所辐射水平分析

#### ①计算参数

本项目核素显像区各参数如下：

A、<sup>18</sup>F 放射源预期最大放射性活度：

1)<sup>18</sup>F 分装柜药物活度：分装柜药物活动按每天总药量计算，即 14630MBq (700mCi)进行计算；

2)<sup>18</sup>F 患者注射放射性药物活度：本项目单个受检者注射药物按照370MBq (10mCi)进行计算；

3) 根据建设单位提供的工作计划，<sup>18</sup>F 每日就诊患者 70 人，药物最大操作量为 14630MBq(700mCi)，<sup>18</sup>F 分装柜按照源活度 14630MBq(700mCi)进行计算；

4) <sup>18</sup>F 注射室按 1 名患者注射考虑，每名患者按209MBq(10mCi)进行计算，注射后患者走廊按 1 名患者考虑，源活度按照 209MBq ( 10mCi)进行计算；

5) 根据医院提供资料，PET-CT 注射后待检室按 1 批次最多3 名患者同时候诊考虑，源活度按照 627MBq(30mCi)进行计算，PET-MRI 注射后待检室按 1 批次最多2 名患者同时候诊考虑，源活度按照 418MBq(20mCi)进行计算；

6) PET-CT、PET-MRI 机房一次扫描 1 名患者，PET-CT 扫描患者 28 人/天，PET-MRI 扫描患者 14 人/天，患者注射药物 209MBq(10mCi)休息 1h 后再接受扫描，放射性核素衰变 t 时间后的活度计算公式如下：

$$A_t = A_0 \times e^{-\lambda t} = A_0 \times e^{\frac{-\ln 2}{T^{1/2}} \times t}$$

$A_t$ ——放射性核素衰变 t 时间的剩余活度，MBq；

$A_0$ ——放射性核素初始活度，MBq；

$T^{1/2}$ ——放射性核素半衰期时间，h；

$\lambda$ ——放射性核素衰变常数；

根据上述公式计算可知， $^{18}\text{F}$  在 60min 的衰变系数为 0.6852，则机房内源活度按照 143MBq 进行计算；

7) PET-CT/MRI 留观抢救室按 3 名患者考虑，受检者注射药物后休息 1h 再接受扫描，PET-CT 一人平均扫描时间 10min，PET-MRI 一人平均扫描时间 30min，保守以 PET-CT 一名患者进入留观室进行计算，三名患者衰变时间分别为 70min、80min、90min，则留观抢救室的总活度按照 341MBq(分别为 128MBq、114MBq、99MBq)进行计算。

B、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  放射源预期最大放射性活度：

1)  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  分装柜药物活度：药物由供药方一天送药一次，单次送药最多 25 支(分 3 个转运盒，单个转运盒最多 10 支药物，药物已装进注射手柄，手柄屏蔽厚度 1mmPb)，分装柜总活度按 18500MBq(500mCi) 进行计算。

2)  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药物抽测活度：根据标准要去取总药量的 10%进行抽测，则每天抽测药物活度为 1850MBq。

3)  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  患者注射放射性药物活度：本项目单个受检者注射药物按照 740MBq(20mCi) 进行计算；

4) 根据建设单位提供的工作计划， $^{99\text{m}}\text{Tc}$  每日就诊患者 25 人，药物最大操作量为 18500MBq(0.5Ci)， $^{99\text{m}}\text{Tc}$  分装柜按照源活度 18500MBq(0.5Ci)进行计算；

5)  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  注射室按 1 名患者注射考虑，每名患者按 740MBq(20mCi)进行计算，注射后患者走廊按 1 名患者考虑，源活度按照 740MBq(20mCi)进行计算；

6)  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  注射后待检室(2 个)，每个均按 3 名患者同时候诊考虑，源活度按照 2220MBq(60mCi)进行计算；

7) SPECT-CT 机房一次扫描 1 名患者，患者注射药物后 740MBq(20mCi)，休息 3h 再接受扫描，则根据衰减公式计算，机房内源活度按照 524MBq 进行计算；

8) SPECT-CT 留观/抢救室按 3 名患者考虑，受检者注射药物后休息 3h 再接受扫描，一人平均扫描时间 20min，3 名患者衰变时间分别为 200min、220min、240min，则留观室的源活度按照 1456MBq(分别为 504MBq、485MBq、467MBq) 进行计算。

核素显像区各场所计算参数详见表 11-23。

表 11-23 核素显像区各场所计算参数取值一览表

场所	核素	说明	最大放射性活度 A(MBq)
放药热室区	<sup>18</sup> F	当天所需全部药量一次转运到 80mmPb 分装柜	14630
转运	<sup>18</sup> F	PET-CT 每批次分装好 3 个患者的药物装进 50mm 铅盒转运至注射窗口， PET-MRI 每批次分装好 2 个患者的药物装进 50mm 铅盒转运至注射窗口，注射窗 50mmPb	每批次最大活度 1110
	<sup>99m</sup> Tc	每批次分装好 3 个患者的药物装进 4mm 铅盒转运至注射窗口 4mmPb	每批次最大活度 2220
抽测	<sup>99m</sup> Tc	取总药量的 10%抽测	1850
注射室	<sup>18</sup> F	1 人注射，注射窗 50mmPb	370
	<sup>99m</sup> Tc	1 人注射，注射窗 4mmPb	740
PET-CT 注射后待检室	<sup>18</sup> F	3 人候诊	1110
PET-MRI 注射后待检室	<sup>18</sup> F	2 人候诊	740
PET-CT/MRI 注射后患者走廊	<sup>18</sup> F	1 次 1 人	370
PET-CT 机房	<sup>18</sup> F	1 人扫描，受检者注射药物后休息 1h 再接受扫描	143
PET-MRI 机房	<sup>18</sup> F	1 人扫描，受检者注射药物后休息 1h 再接受扫描	143
PET-CT/MRI 留观抢救室	<sup>18</sup> F	3 人，受检者注射药物后休息 1h 再接受扫描，保守以 PET-CT 患者计，一人平均扫描时间 10min，衰变时间分别为 70min、80min、90min	341MBq(分别为 128MBq、114MBq、99MBq)

SPECT-CT注射后待 检室 1	<sup>99m</sup> Tc	3 人候诊	2220
SPECT-CT注射后待 检室 2	<sup>99m</sup> Tc	3 人候诊	2220
SPECT-CT注射后患 者走 廊	<sup>99m</sup> Tc	1 次 1 人	740
SPECT-CT 机房 (2 个)	<sup>99m</sup> Tc	1 人扫描, 受检者注射药物后 休息 3h 再接受扫描	524
SPECT-CT 留观 / 抢 救室	<sup>99m</sup> Tc	3 人, 受检者注射药物后休息 3h 再接受扫描, 一人平均扫描 时间 20min, 衰变时间分别为 200min、220min、240min	1456(分别为 504、 485、467)

②计算公式

本项目γ射线剂量率评价公式采用《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录I 中屏蔽厚度X 计算公式演变而来, 具体如下:

$$H_p = A \times f \times R^{-2} \times 10^{-x/TVL}$$

式中:

$H_p$ ——经屏蔽后, 关注点处的剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$A$ ——放射源的预期最大放射性活度,  $\text{MBq}$ ;

$f$ ——距离 1m 处剂量率常数,  $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$ , <sup>18</sup>F: 裸源0.143, 患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率0.092;

<sup>99m</sup>Tc: 裸源0.0303, 患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率0.0207;

<sup>131</sup>I: 裸源 0.0595, 患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率0.0583;

$R$  ——关注点距辐射源的距离,  $\text{m}$ ;

$x$  ——屏蔽层厚度,  $\text{mm}$ ;

$TVL$  ——γ射线在相应屏蔽材料中的什值层厚度,  $\text{mm}$ 。详见表 11-24。

表11-24 TVL 取值表

核素	TVL (mm)			
	铅 (11.3g/cm <sup>3</sup> )	混 泥 (2.35g/cm <sup>3</sup> )	土 砖 (1.65g/cm <sup>3</sup> )	硫酸钡 (3.2g/cm <sup>3</sup> )
<sup>18</sup> F	16.6	176	263	130

<sup>99m</sup> Tc	1	110	160	81
<sup>131</sup> I	11	170	240	125

②计算结果

根据以上计算公式，本项目设计核素显像区各场所计算结果详见表 11-25，从事注射工作人员的手部、身体剂量率以及摆位人员剂量率估算详见表 11-25。根据建设方提供资料，新建住院大楼建筑物一层的层高为4.8m，负一层的层高为5.9m。

表 11-25 核素显像区辐射剂量率计算参数及结果一览表（拟设计）

关注点		计算参数					计算结果
		A (MBq)	f μSv·m <sup>2</sup> / (h ·MBq)	R (m)	x (mm)	TVL (mm)	Hp (μSv/h)
<sup>18</sup> F 分装柜	柜体外表面 30cm	146 30	0.143	0. 5	铅 80	铅 16.6	0.1344
<sup>99m</sup> Tc 分装柜	柜体外表面 30cm	185 00	0.030 3	0. 5	铅 5	铅 1	0.02
PET 注射窗 ( <sup>18</sup> F 转运铅盒 每批次转运 3 个病人的药量 至注射窗)	注射窗外表面 30cm	111 0	0.143	0. 5	铅 50	铅 16.6	0.62
PET 注射室（病 人位于中心计 算）	东、西墙外 30cm	370	0.092	1.	实心红砖 370、 硫酸钡 30（铅合 计 27.18）	铅 16.6	0.22
	南、北墙外 30cm	370	0.092	2. 7			0.11
	顶部顶板外 30cm	370	0.092	4. 7	混凝土 250 （铅合计 23.58）		0.02
	楼下距地面 170cm	370	0.092	3.8	混凝土 120（铅 合计 11.32）		0.49
PET 注射	东墙外 30cm	370	0.092	1.6	实心红砖 370、硫酸钡 30 （铅合计 27.	铅 16.6	0.3

后患者走道					18)		
	顶部顶板外30cm	370	0.092	4.7	混凝土 250 (铅合计 23.58)	铅 16.6	0.02
	楼下距地面170cm	370	0.092	3.8	混凝土 120 (铅合计	铅 16.6	0.49
					11.32)		
	患者入口防护门外30cm	370	0.092	1.6	铅当量 16mm 防护门	铅 16.6	1.445
	北侧防护门外30cm	370	0.092	2.2	铅当量 16mm 防护门	铅 16.6	0.76
PET-CT 注射后待检室	东墙外30cm	1110	0.092	3.0	实心红砖 370、硫酸钡30 (铅合计 27.18)	铅 16.6	0.26
	南墙外30cm	1110	0.092	4.5			0.12
	西墙外30cm	1110	0.092	3.0			0.26
	北墙外30cm	1110	0.092	4.5			0.12
	顶部顶板外30cm	1110	0.092	4.7	混凝土 250 (铅合计 23.58)		0.17
	楼下距地面170cm	1110	0.092	3.8	混凝土 120 (铅合计 11.32)		1.47
	防护门外30cm	1110	0.092	3.0	铅当量 3mm 防护门		7.48
PET-CT/MRI 抢救室(留观室)	南墙外30cm	1110	0.092	2.2	实心红砖 370、硫酸钡30 (铅合计 27.18)	铅 16.6	0.49
	西墙外30cm	1110	0.092	2.1			0.53
	北墙外30cm	1110	0.092	2.2			0.49
	顶部顶板外30cm	1110	0.092	4.7	混凝土 250 (铅合计 23.58)		0.17

	楼下距地面 170cm	1110	0.092	3.8	混凝土 120 (铅合计 11.32)		1.47
	防护门外 30cm	1110	0.092	2.1	铅当量 8mm 防护 门		7.6
PET-CT 机 房	东墙外 30cm	253	0.092	3.3	实心红砖 370、 硫酸钡 30 (铅合 计 27.18)	铅 16.6	0.05
	南墙外 30cm	253	0.092	4.5			0.026
	西墙外 30cm	253	0.092	3.3			0.05
	北墙外 30cm	253	0.092	4.5			0.026
	顶部顶板外 30cm	253	0.092	4.7	混凝土 250 (铅合计 23.58)		0.04
	楼下距地面	253	0.092	3.8	混凝土 120 计 2.68)		0.34
	防护门外 30cm	740	0.0207	2.8	铅当量 3mm		0.002
	顶部顶板外 30cm	740	0.0207	4.7	混凝土 250 (铅合计 2.27)		0.0037
SPECT-CT 注射后患者 走廊 ( <sup>99m</sup> Tc)	楼下距地面 170cm	740	0.0207	3.8	混凝土 120 (铅合计 1.09)		0.086
	东墙外 30cm (楼梯间)	740	0.0207	2.0	实心红砖 370、硫酸钡 30 (铅合计 2.68)	铅 1	0.008
	北墙外 30cm (楼梯间)	740	0.0207	2.2			0.0066
	顶部顶板外 30cm	740	0.0207	4.7	混凝土 250 (铅合计 2.27)		0.0037
	楼下距地面 170cm	740	0.0207	3.8	混凝土 120 (铅合计 1.09)		0.086
	北防护门外	740	0.0207	7.1	铅当量 3mm		0.0003

	30cm						
	西防护门外 30cm	524	0.0207	3.4	铅当量 3mm		0.0009
SPECT-CT 注射后待检 室 1	西墙外 30cm	2220	0.0207	4.5	实 心 红 砖 370、硫酸 钡 30 (铅合 计 2.68)	铅 1	0.00474
	北墙外 30cm	2220	0.0207	4.5			0.00474
	顶部顶板外 离 地 30cm	2220	0.0207	4.7	混凝土 250 ( 铅 合 计 2.27)		0.011
	楼下距地面 170cm	2220	0.0207	3.8	混凝土 120 ( 铅 合 计 1.09)		0.26
	北防护门外 30cm	2220	0.0207	4.5	铅当量 3mm		0.002
	西防护门外 30cm	2220	0.0207	4.5	铅当量 3mm		0.002
	SPECT-CT 注射后待检 室 2	北防护门外 30cm	2220	0.0207	4.5	铅当量 3mm	铅 1
顶部顶板外 30cm		2220	0.0207	4.7	混凝土 250 ( 铅 合 计 2.27)		0.011
楼下距地面 170cm		2220	0.0207	3.8	混凝土 120 ( 铅 合 计 1.09)		0.26
SPECT-CT 机 房 (1) ( <sup>99m</sup> Tc)	东墙外 30cm	524	0.0207	3.7	实 心 红 砖 370、硫酸 钡 30 (铅合 计 2.68)	铅 1	0.0016
	南墙外 30cm	524	0.0207	2.9			0.0027
	西墙外 30cm	524	0.0207	3.7			0.0016
	北墙外 30cm	524	0.0207	2.9			0.0027
	顶部顶板外 30cm	524	0.0207	4.7	混凝土 250 ( 铅 合 计 2.27)		0.0026

	楼下距地面 170cm	524	0.0207	3.8	混凝土 120 (铅合计 1.09)		0.061
	观察窗外 30cm	524	0.0207	3.7	铅当量 3mm		0.0008
	防护门外 30cm	524	0.0207	2.9	铅当量 3mm		0.0013
SPECT-CT 机房(2) ( <sup>99m</sup> Tc)	东墙外 30cm	524	0.0207	2.8	实心红砖 铅 1 370、硫酸钡 30 (铅合计 2.68)		0.00289
	南墙外 30cm	524	0.0207	4.4			0.00117
	西墙外 30cm	524	0.0207	2.8			0.00289
	北墙外 30cm	524	0.0207	4.4			0.00117
	顶部顶板外 离 地 30cm	524	0.0207	4.7	混凝土 250 (铅 合计 2.27)		0.0026
	楼下距地面 170cm	524	0.0207	3.8	混凝土 120 (铅 合计 1.09)		0.061
	观察窗外 30cm	524	0.0207	2.8	铅当量 3mm		0.00138
	防护门外 30cm	524	0.0207	4.4	铅当量 3mm		0.00056
SPECT-CT 留观抢救室 ( <sup>99m</sup> Tc)	东墙外 30cm	1456	0.0207	2.3	实心红砖 370、 硫酸钡 30 (铅合 计 2.68)	铅 1	0.0119
	南墙外 30cm	1456	0.0207	2.9			0.0075
	西墙外 30cm	1456	0.0207	2.3			0.0119
	北墙外 30cm	1456	0.0207	2.9			0.0075
	顶部顶板外 30cm	1456	0.0207	4.7	混凝土 250 (铅 合计 2.27)		0.00473
	楼下距地面 170cm	1456	0.0207	3.8	混凝土 120 (铅 合计 1.09)		0.17
	防护门外 30cm	1456	0.0207	2.9	铅当量 3mm		0.00358

表 11-26 从事注射、转运、抽测、摆位工作人员剂量率估算表

关注点	计算参数					计算结果
	A (MBq)	f μSv·m <sup>2</sup> / (h·MBq)	R (m)	x (mm)	TVL (mm)	Hp (μSv/h)
<sup>18</sup> F 转运	14630	0.143	1	50	16.6	2.16
<sup>18</sup> F 注射位	370	0.143	0.5	50	16.6	0.2
PET 摆位	253	0.092	1.0	0.5	16.6	21.72
<sup>99m</sup> Tc 抽测	1850	0.0303	0.5	10	1	忽略不计
<sup>99m</sup> Tc 转运	18500	0.0303	1	4	1	0.056
<sup>99m</sup> Tc 注射位	740	0.0303	0.5	4	1	0.009
SPECT-CT 摆位	524	0.0207	1.0	0.5	1	3.43

由以上计算结果可知，核素显像区控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处和分装柜体外表面的周围剂量当量率小于 2.5 μSv/h，PET 核素显像区患者通道周围剂量当量率小于 10μSv/h。

## 2、核素显像区射线机房辐射防护设计合理性分析

根据医院提供资料，本项目核素显像区涉及 4 台装置，分别是 1 台 PET-CT、1 台 PET-MRI 和 2 台 SPECT-CT，核素显像区射线装置机房屏蔽设计与标准对比情况详见表 11-35。注：PET-CT 和 SPECT-CT 均属于 CT 机范畴，按相应 CT 机的要求执行，因 MRI 不属于射线装置，此次不评价。

表 11-27 核素显像区射线装置机房辐射防护设计与 GBZ130-2020 的对照表

场所名称	项目类别	本项目（拟设计）	标准要求	是否符合要求	
PET-CT 机房	机房内有效使用面积	45.4m <sup>2</sup>	30m <sup>2</sup>	符合	
	机房内最小单边长度	5.93m	4.5m	符合	
	屏蔽防护	东墙	370mm 实心红砖+30 硫酸钡，约 5mmPb	2.5mmPb	符合
		南墙	370mm 实心红砖+30 硫酸钡，约 5mmPb		
		西墙	370mm 实心红砖+30 硫酸钡，约 5mmPb		
		北墙	370mm 实心红砖+30 硫酸钡，约 5mmPb		
		顶部	250mm 混凝土，约 3mmPb		
		防护门	6mmPb		
观察窗	6mmPb 铅玻璃				

SPECT-CT(1) 机房	机房内有效使用面积		35.8m <sup>2</sup>	30m <sup>2</sup>	符合	
	机房内最小单边长度		5.25m	4.5m	符合	
	屏蔽 防护	东墙	370mm 实心红砖+30 硫酸钡，约 5mmPb		2.5 mmPb	符合
		南墙	370mm 实心红砖+30 硫酸钡，约 5mmPb			
		西墙	370mm 实心红砖+30 硫酸钡，约 5mmPb			
		北墙	370mm 实心红砖+30 硫酸钡，约 5mmPb			
		顶部	250 混凝土，约 3mmPb			
		防护门	3mmPb			
观察窗		3 mmPb 铅玻璃				
SPECT-CT(2) 机房	机房内有效使用面积		40.83m <sup>2</sup>	30m <sup>2</sup>	符合	
	机房内最小单边长度		4.95m	4.5m	符合	
	屏蔽 防护	东墙	370mm 实心红砖+30 硫酸钡，约 5mmPb		2.5 mmPb	符合
		南墙	370mm 实心红砖+30 硫酸钡，约 5mmPb			
		西墙	370 mm 实心红砖+30 硫酸钡，约 5mmPb			
		北墙	370mm 实心红砖+30 硫酸钡，约 5mmPb			
		顶部	250mm 混凝土，约 3mmPb			
		防护门	3mmPb			
观察窗		3 mmPb 铅玻璃				

根据上表可知，本项目 1 间 PET-CT 机房、2 间 SPECT-CT 机房的最小有效使用面积及最小单边长度、机房屏蔽防护厚度均能满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中的相应要求。

综上所述，核素显像区屏蔽设计不仅能满足放射性药物的辐射影响，也可以满足射线装置的屏蔽要求，核素显像区产生的辐射影响较小。

### 3、个人剂量估算

#### ①估算公式

核素显像区个人剂量估算与核素制备区公式一致。

#### ②参数选取

本项目受影响人员主要包括放射工作人员以及周边公众，根据本项目特点，放射工作人员主要考虑分装操作、转运药物以及注射药物时可能受影响。关注点处剂量率根据表 11-31 和表 11-32 估算结果进行取值，详见表 11-34。<sup>18</sup>F 药物分装按每人每次 1min 计，注射按 1min 计，药物转运从分装柜到注射窗口，转运时间按 1min 计，摆位人数按总人数的 10%考虑，摆位时间 3min/人次。PET-CT 和 PET-MRI 扫描时间按 10min 计。本项目按最不利情况考虑，分装、注射、药物转运由 1 名放射工作人员负责，摆位、扫描由 1 名工作人员负责。

<sup>99m</sup>Tc 根据预约病人情况外购好药品，药品到达院内分装柜后，取总药量的 10%进行抽测，抽测按 1min/支计，则抽测总时间为 26h/a，注射按 1min 计，药物转运从分装柜到注射窗口，转运时间按 1min 计，摆位人数按总人数的 10%考虑，摆位时间 3min/人次。SPECT-CT 扫描时间按 20min 计，2 台 SPECT-CT 平均分担工作量，即 1 台 SPECT-CT 每天最多扫描 13 名患者。本项目按最不利情况考虑，抽测、注射、药物转运由 1 名放射工作人员负责，摆位、扫描由 1 名工作人员负责。核素显像区放射工作人员及公众可达处受照时间详见表 11-28。

表 11-28 放射工作人员及公众关注点剂量率取值一览表

点位描述		屏蔽体外 30cm 处剂量率 ( $\mu$ Sv/h)
放射工作人员	<sup>18</sup> F 药物分装	0.1344
	<sup>18</sup> F 药物转运	2.16
	<sup>18</sup> F 药物注射	0.2
	PET-CT 扫描	0.50
	PET-CT 摆位	21.72
	PET-MRI 扫描	0.44
	PET-MR 摆位	21.72
	<sup>99m</sup> Tc 药物分装	0.02
	<sup>99m</sup> Tc 抽测	忽略不计
	<sup>99m</sup> Tc 转运	0.056
	药物注射 <sup>99m</sup> Tc	0.009
	SPECT-CT 扫描	0.00138
	SPECT-CT 摆位	3.43

公众(考虑人员可达处)	PET-CT 注射后待检室顶部顶板外 30cm	0.17
	PET-CT/MRI 抢救室顶部顶板外 30cm	0.17
	PET-MRI 注射后待检室顶部顶板外 30cm	0.12
	PET-MRI 注射后待检室南墙外 30cm 处	0.43
	PET-MRI 机房顶部顶板外 30cm	0.04
	SPECT-CT 留观/抢救室顶部顶板外 30cm	0.00473

表 11-29 核素显像区放射工作人员及公众受照时间一览表

点位描述		每次操作时长	全年工作量	年受照时间
放射工作人员	<sup>18</sup> F 药物分装	1min/370MBq	4040000MBq/a	216.67h
	<sup>18</sup> F 药物转运	0.5min/370MBq	4040000MBq/a	108.33h
	<sup>18</sup> F 药物注射	1min/370MBq	4040000MBq/a	216.67h
	PET-CT 扫描	10min/人次	7280 人次/a	1213.3h
	PET-CT 摆位	3min/人次	728 人次/a	36.4h
	PET-MRI 扫描	30min/人次	3640 人次/a	606.67h
	PET-MRI 摆位	3min/人次	364 人次/a	18.2h
	<sup>99m</sup> Tc 抽测	1min/d	260d	4.33h
	<sup>99m</sup> Tc 转运	1min/2220MBq	4810000MBq/a	36.11h
	药物注射 <sup>99m</sup> Tc	1min/740MBq	4810000MBq/a	108.33h
	SPECT-CT 扫描	20min/人次	6500 人次/a/台	2166.67h
	SPECT-CT 摆位	3min/人次	650 人次/a/台	32.5h
公众(考虑人员可达处)	PET-CT 注射后待检室顶部顶板外 30cm	按照 3 人同时候诊,每天 9 批次,每批次约 30min,每天共 4.5h, 居留因子取 1/40, 年工作 260 天		29.25h
	PET-CT/MRI 抢救室顶部顶板外 30cm	按照 3 人同时留观,每天 14 批次,每次约 20min,每天共 4.67h, 居留因子取 1/40, 年工作 260 天		30.36h
	PET-MRI 注射后待检室顶部顶板外 30cm	按照 2 人同时候诊,每天 7 批次,每批次 30min,每天共 3.5h, 居留因子取 1/40, 年工作 260 天		22.75h
	PET-MRI 注射后待检室南墙外 30cm 处			

PET-MRI 机房顶部顶板外 30cm	每次 1 人扫描, 每次扫描 30min, 每台 14 人, 每天共 7h, 居留因子取 1/40, 年工作 260 天	45.5h
SPECT-CT 留观 / 抢救室顶部顶板外 30cm	按照 3 人同时留观, 每天 8 批次, 每批次 0.5h, 每天共 4h, 居留因子取 1/40, 年工作 260 天	26h

注: 居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)的规范性附录 A 的要求取值。

③估算结果

本项目核素显像区放射工作人员及公众可达处个人剂量估算详见表 11-30。

表 11-30 放射工作人员及公众关注点剂量估算一览表

点位描述	屏蔽体外 30cm 处 剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年受照时间 h/a	估算结果 mSv/a	
放射工作人员	$^{18}\text{F}$ 药物分装	0.1344	216.67	0.029
	$^{18}\text{F}$ 药物转运	2.16	108.33	0.23
	$^{18}\text{F}$ 药物注射	0.2	216.67	0.043
	PET-CT 扫描	0.50	1213.3	0.6
	PET-CT 摆位	21.72	36.4	0.79
	PET-MRI 扫描	0.44	606.67	0.27
	PET-MRI 摆位	21.72	18.2	0.4
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 抽测	忽略不计	4.33	忽略不计
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 转运	0.056	36.11	0.002
	药物注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.009	108.33	0.00097
	SPECT-CT 扫描	0.00138	2166.67	0.003
	SPECT-CT 摆位	3.43	32.5	0.11
公众	PET-CT 注射后待检室顶部顶板外 30cm	0.17	29.25	0.005
	PET-CT/MRI 抢救室顶部顶板外 30cm	0.17	30.36	0.005
	PET-MRI 注射后待检室顶部顶板外 30cm	0.12	22.75	0.00273

(考虑人员可达处)	PET-MRI 注射后待检室南墙外 30cm 处	0.43	22.75	0.0098
	PET-MRI 机房顶部顶板外 30cm	0.04	45.5	0.00182
	SPECT-CT 留观/抢救室顶部顶板外 30cm	0.00473	26	0.0001

对于PET-CT 和 SPECT-CT 的放射工作人员还应考虑射线装置产生的辐射影响，通过前文可知，本项目机房屏蔽设计的铅当量高于 GBZ130-2020 中要求，所以估算射线装置对放射工作人员的影响时， $D_r$  取娄底市地区室内本底水平，即  $0.13\mu\text{Sv/h}$  进行计算，PET-CT 和 SPECT-CT 操作人员的剂量估算详见表 11-31。

表 11-31 PET-CT 和 SPECT-CT 操作人员剂量估算一览表

点位描述	屏蔽体外 30cm 处剂量率( $\mu\text{Sv/h}$ )	年受照时间 h/a	估算结果 mSv/a
PET-CT 操作人员	0.13	1213.3	0.16
SPECT-CT 操作人员	0.13	2166.67	0.28

本次评价按最不利情况考虑，药物的分装(抽测)、药物转运、注射由 1 名放射工作人员负责，摆位、扫描、操作射线装置由 1 名放射工作人员负责，则本项目放射工作人员受到总剂量详见表 11-32。

表 11-32 PET-CT/MRI 和 SPECT-CT 操作人员剂量估算一览表

工作描述	$^{18}\text{F}$ 操作人员	PET-CT 操作人员	PET-MRI 操作人员	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 操作人员	SPECT-CT 操作人员
药物分装	0.029mSv/a	/	/	忽略不计	/
药物转运	0.23 mSv/a	/	/	0.002	/
药物注射	0.043 mSv/a	/	/	0.00097	/
摆位	/	0.79	0.4	/	0.11
扫描	/	0.6	0.27	/	0.003
操作射线装置	/	0.16	/	/	0.28
总剂量	0.302mSv/a	1.55mSv/a	0.67 mSv/a	0.00297 mSv/a	0.393mSv/a

综上所述，本项目核素显像区放射工作人员年有效剂量小于医院提出的  $5\text{mSv/a}$  的管理目标值，公众年有效剂量最大为  $0.01\text{mSv}$ ，低于医院提出的  $0.1\text{mSv/a}$  的管理目标值。

### (三) 核素治疗区

## 1、工作场所辐射水平分析

### ①计算参数

本项目核素治疗区各参数如下：

1)<sup>131</sup>I 患者放射性药物活度：本项目 <sup>131</sup>I 核素病房设置 3 间病房共 6 个床位，每批次最多治疗 6 个病人，一年最多治疗 52 批次病人（治疗 312 人/年），平均每个病人治疗期间 <sup>131</sup>I 服药量为 150mCi（ $5.55 \times 10^9 \text{Bq}$ ）；<sup>131</sup>I 甲亢治疗每天最多治疗 5 个病人，每周工作 5 天，每年工作 52 周（治疗 1300 人/年），平均每个病人治疗期间 <sup>131</sup>I 服药量为 10mCi（ $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ）；甲状腺功能测定每天最多检查 10 个病人，每周工作 5 天，每年工作 52 周（检查 2600 人/年），平均每个人检查期间 <sup>131</sup>I 服药量为 10 $\mu$ Ci（ $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ ）。

2)放射性药物转运：每周最大来药量 37009.25MBq(1.00025Ci)，由供药方将药物装入甲癌分装室自动分装仪，甲癌病人每批次最大用药量 33300MBq(0.9Ci)，余下药物 3709.25MBq(0.10025Ci)由医院工作人员负责转运至储源室（含甲亢和甲状腺功能测定用药），转移铅盒铅当量为 60mm。

3)储源室药物活度：每周送药一次，甲癌病人服药后转运至储源室，储源室最大储药量为 3709.25MBq(0.10025Ci)。

4)<sup>131</sup>I 自动分装：每次根据预约病人的用药量，由甲亢分装室自动分装仪分出当天的甲亢、甲测病人的总药量，然后由放射工作人员进行手动分装，每天药量按照甲亢每日最多 6 人，甲测每日最多 10 人计算。甲亢分装柜源活度按照理论最大 3709.25MBq 进行计算；

5)甲亢服药走廊按照 1 人考虑，源活度按照 370MBq(10mCi)进行计算；

6)甲亢留观（抢救室）按照 1 人考虑，源活度按照 370MBq(10mCi)进行计算；7)甲癌病房按照 1 人 1 间考虑，源活度按照 5550MBq(150mCi)进行计算；

8)甲癌病区走廊按照 1 人考虑，源活度按照 5550MBq(150mCi)进行计算；

9)甲癌抢救室按照 1 人考虑，源活度按照 5550MBq(150mCi)进行计算；

10)甲测服药走廊按照 1 人考虑，源活度按照 370MBq(10mCi)进行计算；

11)<sup>89</sup>Sr 治疗年就诊患者共计 2600 名，按每名患者产生废物 30g 计，则废物产生量为 78kg/a。拟设置 2 个衰变箱用于含 <sup>89</sup>Sr 放射性固体废物的储存。

核素治疗区各场所计算参数详见表 11-33。

表 11-33 核素治疗区各场所计算参数取值一览表

场所	说明	最大放射性活度 A (MBq)
<sup>131</sup> I 甲癌分装柜	一次性进药 1.00025Ci，分装柜铅当量 60mm	37009.25
<sup>131</sup> I 储源室	50mmPb 铅罐储存，最大储药量 0.10025Ci	3709.25
<sup>131</sup> I 转运	最大转运药量 0.10025Ci	3709.25
<sup>131</sup> I 甲亢分装柜	甲亢每日最多 5 人，甲测每日最多 10 人，初始最大分装药量 0.10025Ci，分装柜铅当量 60mm	3709.25
甲亢服药走廊	1 人	370
甲亢留观抢救室	1 人	370
甲测服药走廊	1 人	370
甲癌服药窗	1 人	5550
甲癌病房	1 人1 间	5550
甲癌病区走廊	1 人	5550
甲癌抢救室	1 人	5550
<sup>89</sup> Sr 注射室	1 人	370

②计算公式

核素治疗区计算公式与核素显像区计算公式一致。

③计算结果

根据建设方提供资料，新建住院大楼建筑物一层的层高为 4.8m，负一层的层高为 5.9m。核素治疗区各场所计算结果详见表 11-34。

表 11-34 核素治疗区辐射剂量率计算参数及结果一览表

关注点		计算参数					计算结果
		A (MBq)	$f$ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/$ $(\text{h}\cdot\text{MBq})$	R (m)	x (mm)	TVL (mm)	Hp ( $\mu\text{Sv/h}$ )
储源室	<sup>131</sup> I 储源铅罐表面 30cm	3709.25	0.0595	0.35	铅当量 50	铅 11	0.05
	东墙外 30cm	3709.25	0.0595	1.5	铅罐 50、 实心红砖 370、硫酸 钡 30 (铅 合计 69.6)	铅 11	忽略不计
	南墙外 30cm	3709.25	0.0595	1.6			忽略不计
	西墙外 30cm	3709.25	0.0595	1.5			忽略不计
	北墙外 30cm	3709.25	0.0595	1.6			忽略不计

<sup>131</sup> I	顶部顶板外离地 170cm	3709.25	0.0595	6.5	铅罐 50、混凝土		忽略不计
	楼下距地面 170cm 处	3709.25	0.0595	3.7	300(铅合计 69.4)		忽略不计
	防护门外 30cm	3709.25	0.0595	1.6	铅罐 50、铅门当量 4 (铅合计 54)		0.001
<sup>131</sup> I 转运	<sup>131</sup> I 转运铅盒表面 30cm	3709.25	0.0595	0.35	铅当量 50	铅 11	0.05
甲癌分装柜	柜体外表面 30cm	37009.25	0.0595	0.5	铅当量 60	铅 11	0.03
甲亢分装柜	柜体外表面 30cm	3709.25	0.0595	0.5	铅当量 60	铅 11	0.003
甲癌分装室	东墙外 30cm	37009.25	0.0595	2.5	分装柜铅 60、混凝土 370、硫酸钡 30 (铅合计 86.6)	铅 11	忽略不计
	南墙外 30cm	37009.25	0.0595	1.9			忽略不计
	西墙外 30cm	37009.25	0.0595	2.5			忽略不计
	北墙外 30cm	37009.25	0.0595	1.9			忽略不计
	顶部顶板外离地 170cm	37009.25	0.0595	5.5	分装柜铅 60、混凝土 300 (铅合计 79.4)		忽略不计
	楼下距地面 170cm 处	37009.25	0.0595	4.7			忽略不计
	防护门外 30cm	37009.25	0.0595	1.9	分装柜铅 60、铅门当量 20(铅合计 80)		忽略不计
甲癌服药室	东墙外 30cm	5550	0.0583	2.4	混凝土 370、硫酸钡 30 (铅	铅 11	0.2
	南墙外 30cm	5550	0.0583	1.9			0.34
	西墙外 30cm	5550	0.0583	2.4			0.2

	北墙外 30cm	5550	0.0583	1.9	合计 26.6)		0.34
	顶部顶板外离地 170cm	5550	0.0583	4.8	混凝土 300(铅合		0.24
	楼下距地面 170cm 处	5550	0.0583	5.4	计 19.4)		0.19
	取药窗外 30cm	5550	0.0583	2.4	铅当量 40		0.013
	防护门外 30cm	5550	0.0583	1.9	铅当量 20		1.36
甲亢服药窗口及走廊 (131I)	东墙外 30cm	370	0.0583	2.5	实心红 砖 370、硫酸钡 30 (铅合计 19.6	铅 11	0.057
	南墙外 30cm	370	0.0583	1.7			0.12
	西墙外 30cm	370	0.0583	2.5			0.057
	顶部顶板外离地 170cm	370	0.0583	4.8	混凝土 120(铅合计 7.76)		0.18
	楼下距地面 170cm 处	370	0.0583	5.4	混凝土 120(铅合计 7.76)		0.15
	取药窗外 30cm	370	0.0583	1.7	铅当量 12		0.6
甲亢抢救室	东墙外 30cm	370	0.0583	2.9	实心红 砖 240 (铅合计 11	铅 11	0.26
	南墙外 30cm	370	0.0583	1.9			0.6
	西墙外 30cm	370	0.0583	2.9			0.26
	北墙外 30cm	370	0.0583	1.9			0.6
	顶部顶板外离地 170cm	370	0.0583	4.8	混凝土 120(铅合计 7.76)		0.18
	楼下距地面 170cm 处	370	0.0583	5.4			0.15
	防护门外 30cm	370	0.0583	1.9			铅当量 10
	东墙外 30cm	5550	0.0583	1.9	混凝土 370、硫酸	铅 11	0.34
	南墙外 30cm	5550	0.0583	2.2			0.255

甲癌患者走廊 ( <sup>131</sup> I)	西墙外 30cm	5550	0.0583	2.1	钡 30 (铅合计 26.6)	铅 11	0.28
	北墙外 30cm	5550	0.0583	2.2			0.255
	顶部顶板外离地 170cm	5550	0.0583	4.8	混凝土 300(铅合计 19.4)		0.242
	楼下距地面 170cm 处	5550	0.0583	5.4	混凝土 300(铅合计 19.4)		0.19
	东出口防护门外 30cm	5550	0.0583	1.9	铅当量 20		1.36
	西入口防护门外 30cm	5550	0.0583	2.1	铅当量 20		1.115
	取餐防护窗口外 30cm	5550	0.0583	1.6	铅当量 30		0.24
最西面甲癌病房 ( <sup>131</sup> I)	东墙外 30cm	5550	0.0583	2.5	混凝土 370、硫酸钡 30 (铅合计 26.6)	铅 11	0.2
	南墙外 30cm	5550	0.0583	4.7			0.056
	西墙外 30cm	5550	0.0583	2.5			0.2
	北墙外 30cm	5550	0.0583	4.7			0.056
	顶部顶板外离地 170cm	5550	0.0583	4.8	混凝土 300(铅合计 19.4)		0.242
	楼下距地面 170cm 处	5550	0.0583	5.4	混凝土 300(铅合计 19.4)		0.19
最东面甲癌病房 5 号 ( <sup>131</sup> I)	防护门外 30cm	5550	0.0583	4.7	铅当量 20	铅 11	0.22
	采光窗外 30cm	5550	0.0583	4.7	铅当量 25		0.078
	东墙外 30cm	5550	0.0583	2.6	混凝土 370、硫酸钡 30 (铅合计 26.6)		0.18
	南墙外 30cm	5550	0.0583	4.7			0.056
	西墙外 30cm	5550	0.0583	2.6			0.18
	北墙外 30cm	5550	0.0583	4.7			0.056
	顶部顶板外离地 170cm	5550	0.0583	4.8	混凝土 300(铅合计 19.4)		0.242

	楼下距地面 170cm 处	5550	0.0583	5.4	混凝土 300(铅合 计 19.4)		0.19
	防护门外 30cm	5550	0.0583	4.7	铅 当 量 20		0.22
	采光窗外 30cm	5550	0.0583	4.7	铅 当 量 25		0.078
甲 癌 抢 救 室 ( <sup>131</sup> I)	东墙外 30cm	5550	0.0583	2.5	混 凝 土 370、硫酸 钡 30(铅 合计26.6)	铅 11	0.2
	南墙外 30cm	5550	0.0583	4.7			0.056
	西墙外 30cm	5550	0.0583	2.5			0.2
	北墙外 30cm	5550	0.0583	4.7			0.056
	顶部顶板外离 地 170cm	5550	0.0583	4.8	混 凝 土 300(铅合 计 19.4)		0.242
	楼下距地面 170cm 处	5550	0.0583	5.4	混 凝 土 300(铅合 计 19.4)		0.19
	防护门外 30cm	5550	0.0583	4.7	铅 当 量 20		0.22
	采光窗外 30cm	5550	0.0583	4.7	铅 当 量 25		0.078
敷贴治 疗室	东墙外 30cm	5550	0.0583	2.5	混 凝 土 370、硫酸 钡 30(铅 合计26.6)	铅 11	0.2
	南墙外 30cm	5550	0.0583	4.7			0.056
	西墙外 30cm	5550	0.0583	2.5			0.2
	北墙外 30cm	5550	0.0583	4.7			0.056

由以上计算结果可知，医院采取对应屏蔽措施后，核素治疗区控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处和分装柜体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率均小于 2.5 $\mu$ Sv/h，控制区外人员 可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率小于 2.5 $\mu$ Sv/h。

## 2、个人剂量估算

### ①计算公式

本项目核素治疗区个人剂量估算公式与核素显像区计算公式一致。

### ②参数选取

核素治疗区受影响人员主要包括放射工作人员以及周边公众，根据项目特点，放射工作人员主要考虑药物转运、分装的影响。在甲癌住院病人住院期间第一天可排出65%的药物，因此甲癌病房周围剂量率分段考虑。放射工作人员及人员可达处关注点剂量率根据表 11-34 估算结果进行取值，详见表 11-35。

表 11-35 核素治疗区放射工作人员及公众可达处剂量率取值一览表

保护目标		屏蔽体外 30cm 处剂量 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
放射工作人员	$^{131}\text{I}$ 转运	0.05
	$^{131}\text{I}$ 分装	0.033
公众	甲癌病房上方	0.242 (第一天) /0.0847 (后三天)
	甲癌病房下方	0.19 (第一天) /0.0665 (后三天)
	甲癌病房南侧	0.056(第一天) /0.0196(后三天)
	最西面甲癌病房西侧	0.2(第一天) /0.07 (后三天)
	甲癌患者走廊西入口防护门外 30cm 处	1.115
	甲亢留观/抢救室上方 (回填层)	0.18
	甲亢留观/抢救室下方 (土层)	0.15
甲亢留观/抢救室北侧	0.6	

放射工作人员药物转运考虑从储源室到自动分装仪的往返时间，药物从自动分装仪转运到手动分装仪的时间两部分。每天从储源室到自动分装仪的往返时间按 5min 计，药物从自动分装仪到手动分装仪的时间按 1min 计，则每天药物转运时间 6min，全年工作 260 天，则年转运时间 26h。药物分装按 1min/人次，每天最多分装甲亢、甲状腺功能测定患者 7 人次的药量，则甲亢、甲状腺功能测定全天分装药物时间 7min，全年工作 260 天，则甲亢、甲状腺功能测定年分装时间 30.3h，甲癌每年 52 批次病人，每批次最多 6 人，则甲癌年分装时间 5.2h，则总年分装时间 35.5h。

公众受照时间根据公众可达处的场所功能取相应的居留因子。放射工作人员及公众受照时间详见表 11-36。

表 11-36 核素治疗区放射工作人员及公众可达处受照时间取值一览表

保护目标		年受照时间	备注
放射工作人员	$^{131}\text{I}$ 转运	26h	
	$^{131}\text{I}$ 分装	35.5h	

公众	甲癌病房上方	124.8h	每批次病人住院 4 天，全年 52 批次，居留因子取 1/40
	甲癌病房下方	124.8h	每批次病人住院 4 天，全年 52 批次，居留因子取 1/40
	甲癌病房南侧	124.8h	每批次病人住院 4 天，全年 52 批次，居留因子取 1/40
	最西面甲癌病房西侧	124.8h	每批次病人住院 4 天，全年 52 批次，居留因子取 1/40
	甲癌患者走廊西入口防护门外 30cm 处	0.13h	每个病人停留 1min，全年 312 个病人，居留因子取 1/40
	甲亢留观/抢救室上方（回填层）	8.67h	不考虑评价
	甲亢留观/抢救室下方（土层）	0.22h	不考虑评价
	甲亢留观/抢救室北侧	0.22h	年治疗 520 人次，按 1/10 的比例留观，每人每次留观 10min，居留因子取 1/40

综上，核素治疗区放射工作人员及公众个人剂量估算结果详见下表 11-37。

表 11-37 核素治疗区放射工作人员及公众剂量估算一览表

保护目标		屏蔽体外 30cm 处剂量 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年受照时间	个人剂量估算结果 (mSv/a)
放射工作人员	$^{131}\text{I}$ 转运	0.05	26h	0.0013
	$^{131}\text{I}$ 分装	0.033	35.5h	0.00117
公众	甲癌病房上方	0.242 (第一天) / 0.0847 (后三天)	124.8h	0.03
	甲癌病房下方	0.19 (第一天) / 0.0665 (后四天)	124.8h	0.024
	甲癌病房南侧	0.056 (第一天) / 0.0196 (后四天)	124.8h	0.007
	最西面甲癌病房西侧	0.2 (第一天) / 0.07 (后四天)	124.8h	0.025
	甲癌患者走廊西入口防护门外 30cm 处	1.115	0.13h	0.00014
	甲亢留观/抢救室上方(空地)	0.18	8.67h	0.00156
	甲亢留观/抢救室下方 (负一层药物、病人进入大	0.15	0.22h	0.000033

厅)			
甲亢留观/抢救室 北侧	0.6	0.22h	0.000132

由上表可知，本项目核素治疗区放射工作人员年有效剂量小于医院提出的5mSv/a 的管理目标值，公众年有效剂量低于医院提出的0.1mSv/a 的管理目标值。

### 11.2.4.2 (<sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y) 的辐射防护评价

#### 1) 计算公式

①β粒子在不同介质中的射程采用《辐射防护手册》（第三分册）P22 中式2.5 计算：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\beta max} \quad \text{(式 11-40)}$$

式中：

$d$  —— 最大射程，cm；

$\rho$  —— 屏蔽材料密度，g/cm<sup>3</sup>；

$E_{\beta max}$  —— β粒子的最大能量，MeV。

②无辐射屏蔽时，韧致辐射在空气中的吸收剂量率计算公式

韧致辐射影响评价公式参考《辐射剂量与防护》（霍雷、刘剑利、马永和）：

$$D=4.58 \times 10^{-14} AZ(E_b/r)^2 \cdot (\mu_{en}/\rho)_a \quad \text{(式 11-41)}$$

式中：

$D$  —— 屏蔽层中β粒子产生的韧致辐射在r(m)处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

$E_b$  —— 韧致辐射平均能量，MeV，约为入射β射线的最大能量的 1/3，即  $E_b \approx E_{max}/3$ ；

$r$  —— 距离辐射点的距离，m

$(\mu_{en}/\rho)_a$  —— 是平均能量为  $E_b$  的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数，m<sup>2</sup>/kg，

由《辐射防护导论》附表 1 查得。

$A$  —— 放射源活度，Bq

$Z$  —— 屏蔽材料的有效原子序数，<sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y 密封源考虑韧致辐射由源体发出，取38。

③有辐射屏蔽时，随距离变化的空气吸收剂量率计算公式：

$$H=H_0 \times 2^{-dp/HVL} \dots\dots\dots \text{(式 11-42)}$$

式中：

$H_0$  —— 无辐射屏蔽时，在距源r 米处的空气吸收剂量率，Gy/h

$H$  —— 屏蔽减弱后，在距源r 米处的空气吸收剂量率，Gy/h

$HVL$  —— 半值层厚度，mm，取值参考《辐射剂量与防护》（霍雷、刘剑利、马永和）表6-10 中 $E_\gamma$ 为 1.0MeV 对应的半减弱层厚度；

$dp$  —— 屏蔽层厚度，mm。

表 11-39  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  的 $\beta$ 射线在介质中理论最大射程

核素	$\beta$ 射线 能量 (MeV)	最大射程 cm				
		空气 $1.29 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$	组 织 或 水 $1 \text{g/cm}^3$	有 机 玻 璃 1. $18 \text{g/cm}^3$	铅 玻 璃 $7.36 \text{g/cm}^3$	铅 $11.34 \text{g/cm}^3$
$^{90}\text{Y}$ ( $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ )	2.284	885.27	1.14	0.97	0.16	0.10

本项目使用的 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  为密封放射源，其所发出的 $\beta$ 射线可被源本身或不锈钢外壳吸收，在整个使用过程中职业人员还穿戴有 0.5mmPb 当量的防护铅服、铅手套，且放射性核素仅在控制区特定区域使用，不可随意带出控制区，因此 $\beta$ 射线对职业人员和公众辐射影响是很小的。但 $\beta$ 射线被放射源本身以及源周围的其他物质阻止时会产生韧致辐射，韧致辐射会对周围环境产生辐射污染。

表 11-39 无屏蔽时 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  韧致辐射所致 $\gamma$ 空气吸收剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )

距离 核素	0.1m	0.5m	1m	1.5m	2m	3m
$^{90}\text{Y}$ ( $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ ) $1.48\text{E}+9\text{Bq}$	627.31	25.09	6.27	2.79	1.57	0.70

由上表可得，屏蔽后 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  韧致辐射所致各关注点 $\gamma$ 空气吸收剂量率如下：

表 11-40 屏蔽后 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  韧致辐射所致各关注点 $\gamma$ 空气吸收剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )

关注点	计算参数			计算结果
	$H_0$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )	$dp$ (mm)	$HVL$ (mm)	$H$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )
敷贴器外--手部	627.31	0.5+20	8.4	115.56

<sup>90</sup> Sr- <sup>90</sup> Y	敷贴器外--身体	25.09	0.5+20	8.4	4.62
	敷贴室墙外 30cm 处	2.79	240	100	0.53
	敷贴室地板外 30cm 处	6.27	120	50	1.19

由上表可知，敷贴治疗状态下，敷贴室外 30cm 处  $\gamma$  辐射剂量率均低于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  剂量率控制目标。储源状态下<sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y 敷贴器储存在贮源箱中，环评要求贮源箱表面 5cm 及表面 100cm 处空气吸收剂量率应满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）要求。

## 2) 个人剂量估算

本项目受影响人员主要为使用<sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y 敷贴器开展敷贴治疗时场所的放射工作人员以及周边公众，核医学科拟每天最多开展40例敷贴治疗，年最多开展 1300 例，考虑工作人员每次取源放源时间约为5min（108.3h/a），核医学科按全天工作时间 8h 考虑，即年工作时间2080h，则放射工作人员及周边公众个人剂量估算见下表：

**表 11-41 本项目辐射工作人员及公众附加有效剂量估算结果一览表**

保护目标		计算参数			计算结果	
		<i>H</i> ( $\mu\text{Sv/h}$ )	<i>t</i> (h/a)	<i>T</i>	<i>H<sub>a</sub></i> (mSv/a)	
核医学科 辐射工作 人员	敷贴器外--手部	115.56	108.3	1	12.52	
	敷贴器外--身体	4.62		1	0.5	0.77
	敷贴室底部医生办公室	0.13 <sup>①</sup>	2080	1	0.27	
公众	敷贴室底部	0.13 <sup>①</sup>	2080	1/8	0.03	

注：<sup>①</sup>根据敷贴室底部医生办公室工作人员实际可达处与源之间的距离重新计算所得，取 3m。

本项目核医学科敷贴工作人员职业照射的附加剂量为  $0.77\text{mSv/a}$ ，低于医院设定的职业人员受照剂量管理目标值  $5\text{mSv/a}$ 。核医学科周边公众可能受到的最大照射附加剂量值为  $0.03\text{mSv/a}$ ，低于医院设定的公众受照剂量管理目标值  $0.1\text{mSv/a}$ 。

### 11.2.4.3 放射性废物影响分析

#### 一、核医学科放射废气和有害气体

本项目核素制备场所有独立的通风系统。其中回旋加速器机房、加速器设备、热室合成分装柜排风机风量均设置为  $800\text{m}^3/\text{h}$ ，能够保证回旋加速器室内及其他场所成负压 状态。核素制备区排风通过制备区南面排风井引入本建筑物楼顶排放。在合成、分装柜 以及质控用的层流柜均设

有独立的排风系统，并且在壁顶设有活性炭过滤装置。本项目生产的 $^{18}\text{F}$ 放射性药物半衰期为109.8min，正常情况下，核素制备区废气影响较小。核医学核素显像区在负一层分装室设置两台分装柜，1台分装柜进行 $^{18}\text{F}$ 分装，1台分装柜进行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度抽检；核素治疗区在一层设置两台分装柜，1台手动分装柜置于甲亢分装室供甲亢及甲功测定患者分装药物使用，1台自动分装柜置于甲癌分装室供甲癌患者分装药物使用。本项目四台分装柜均安装有轴流风机（风速不小于 $0.5\text{m/s}$ ），顶端为排气口，能保持柜内负压。在分装柜的壁顶设置活性炭过滤装置，经过滤后汇入分装注射室排风管经排风井引至楼顶排放。

核素显像区储源间、放射性固体废物间废气与核素治疗区储源间、固体废物间废气经同一排风管引至楼顶排放。核素治疗区甲癌病房设一套单独排风管，经排风井引至楼顶排放。本项目核素治疗区分装室、核素病房均有独立的排风管道，符合相关标准要求。

正常情况下，核医学科的废气经活性炭过滤后排放对环境影响不大。

## 二、放射性废水

本项目放射性废水主要来源于负一层核素治疗区以及负一层核素制备区及显像区，建设有两套槽式衰变池系统，分别收集负一层放射性废水。

### (二) 一层核素治疗区

放射性废水主要来自甲癌病房卫生间、污洗间，医生淋浴间，甲测、甲亢共用卫生间，废水由专用下水管道接至负一层废水衰变池，废水经衰变池衰变满足排放标准后进医院污水处理站进行处理，下水管道露出地面的部分采取 $8\text{mmPb}$ 进行包裹防护。

甲癌患者每批次最多住院6人（四天），本项目用水量参考按照《医院污水处理技术指南》中参考数值 $100\sim 200\text{L}/\text{床}\cdot\text{d}$ 中最小值计算，每人每天产生废水 $200\text{L}$ （含患者生活用水、污洗水、场地）考虑，每批次病人废水产生量为 $7.2\text{m}^3$ ，一年按52批次病人住院计算，则甲癌病人废水产生量为 $374.4\text{m}^3/\text{a}$ ；

医生淋浴间废水产生量按 $50\text{L}/\text{人}\cdot\text{d}$ 计，分装工作人员4人，废水量为 $0.2\text{m}^3/\text{d}$ ，全年工作260天，放射工作人员废水量约为 $52\text{m}^3/\text{a}$ 。

甲测、甲亢每天最多治疗15个病人，废水产生量按 $10\text{L}/\text{人}\cdot\text{d}$ 计， $^{89}\text{Sr}$ 每天最多治疗10个病人，本项目使用的 $^{89}\text{Sr}$ 药物为分装好针剂，患者注射给药后即可离开，主要考虑清洁废水，操作核素的医护人员清洁用水，废水产生量按 $5\text{L}/\text{人}\cdot\text{d}$ 清洁废水收集于放射性废液衰变池，废

水产生量按 5L/人·d 计；废水量约为 $0.151\text{m}^3/\text{d}$ ， $41\text{m}^3/\text{a}$ 。

综上，核素治疗区放射性废水全年废水量约为  $467.4^3/\text{a}$ ，平均日产生量约  $1.865\text{m}^3/\text{d}$ 。

### (二) 负一层核素制备及显像区

放射性废水主要来自核素制备区淋浴间、核素显像区患者卫生间、污洗间、医生淋浴间，废水由专用下水管道接至负一层废水衰变池。本项目核素制备场所 3 名工作人员，显像区分装室工作人员共 4 人，每人产生废水按 50L/d 计，淋浴间每天废水量为  $0.35\text{m}^3$ 。核素显像区清洗废水按  $10\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  计，核素显像区病人活动范围约  $300\text{m}^2$ ，每天清洗废水约  $3\text{m}^3$ 。核素显像区患者不需住院，按就诊患者每人产生 15L 放射性废水计算，每天患者共 160 人，卫生间每天废水量  $5.75\text{m}^3$ 。

综上所述，核素制备区及显像区每天废水量为  $5.75\text{m}^3$ ，年工作 260d，年废水量为  $1495\text{m}^3$ 。

### (三) 新建核医学科放射性废液收集与贮存

计划在住院楼北侧新建核医学科衰变池，总容积  $470\text{m}^3$ ，包括 2 个沉淀池（ $20.0\text{m}^3/\text{个}$ ）和 5 个贮水箱（ $86.0\text{m}^3/\text{箱}$ ，净容积  $60\text{m}^3/\text{箱}$ ），采取槽式贮存衰变方式，通过电动控制阀及水位传感器自动控制，交替贮存和排放，排水口设置检测口。衰变池主要用于收集服药患者在候诊留观或住院期间的排泄废水、操作放射性药物的医护人员清洁废水，医护人员的生活废水不排入衰变池。

#### ②放射性废液衰变池的设计

新建核医学科放射性废液衰变池建设于地下，池体采用抗渗混凝土浇筑，管道外增加刚性铅屏蔽材料，池顶采用方形含铅铸铁井盖，衰变池设计平面示意图见下图 11-11：

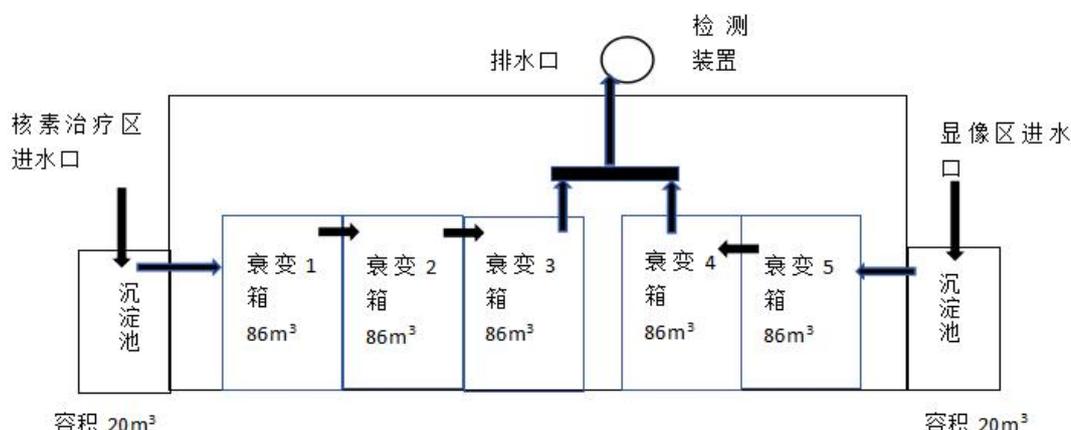


图 11-11 核医学科放射性废液衰变池示意图

(四) 废水达标性分析

新建核医学科衰变池收集的放射性废水估算参数如下：

a、门诊病例：按平均每人排尿 1 次（300mL），抽水马桶 1 次排水 6L/次，共计 6.3L/次；住院病例：甲癌病人按废水量 200L/床日计算。

b、病人出院时的排出量按给药量的比例计算活度：<sup>99m</sup>Tc/<sup>18</sup>F：33%；<sup>131</sup>I 甲癌：66%（取自辐射防护手册（第三分册）辐射安全 原子能出版社，1990.3）

c、核素操作时药物洒滴现象，使用一次性吸水纸等擦吸，按固废处置，操作核素的医护人员清洁用水，按每人每次 5L 清洁废水收集于放射性废液衰变池。

表 11-42 新建核医学科衰变池收集贮存放射性废水统计表

场所	用水类别	用水定额	日接诊病人人数	排入废液 L/d	单人药量 MBq/人	日总活度 Bq/d	废液浓度 Bq/L
<sup>99m</sup> Tc 诊疗区	服药病人排泄	6L/人/次	90 人2 次	1080	740	7.326×10 <sup>9</sup>	1.94×10 <sup>7</sup>
	医护人员清洁	5L/人	4 人4 次	80	/	/	/
<sup>18</sup> F 诊疗区	服药病人排泄	6L/人/次	70 人2 次	840	555	3.663×10 <sup>9</sup>	1.45×10 <sup>7</sup>
	医护人员清洁	5L/人	4 人4 次	80	/	/	/
平均		/	/	2085	/	/	/
注： <sup>99m</sup> Tc 或 <sup>18</sup> F 药物分装、注射需4 名医师，两种核素实行隔天接诊患者， <sup>99m</sup> Tc：90 人/d， <sup>18</sup> F：70 人/d。							
<sup>131</sup> I 治疗区	甲癌病人排泄	200L/床日	6 人	1200	5550	1.465×10 <sup>10</sup>	3.66×10 <sup>7</sup>
	医护人员清洁	5L/人	1 人2 次	10	/	/	/
合计		/	/	610	/	/	/
注： <sup>131</sup> I 为自动分装给药，医师运输药物需要清洁，分上、下午时段治疗甲亢、甲测和甲癌患者，医师清洁为 2 人 2 次；通常，甲亢药量为370MBq/人，服药后经医师准许离院；甲癌病人服药后住院 4 天，最多住院46 人。							

综上所述，新建核医学科计划将 1 个化粪池和 2 个衰变箱设计为短半衰期衰变池（<sup>99m</sup>Tc 和 <sup>18</sup>F），将另 1 个化粪池和 3 个衰变箱为 <sup>131</sup>I 衰变池。经估算，短半衰期衰变池，采取存一排一，放射性废液单池贮存时间为： $60 \div 2.085 = 38$  天，满足 HJ1188-2021《核医学辐射防护与安全要求》中“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后直接解控排放”要求。<sup>131</sup>I 衰变池采取存二排一，放射性废液两池贮存时间为： $120 \div 0.61 = 196$  天，满足

HJ1188-2021《核医学辐射防护与安全要求》中“含碘-131核素的暂存超过180天”要求。

根据GB18871-2002规定了单次放射性废液的排放总活度应小于核素对应的ALI<sub>min</sub>，月排放总量不得超过10ALI<sub>min</sub>。本项目使用核素的排放活度计算如下：

表 11-43 核医学科衰变池放射性排放废水活度分析表

核素	半衰期	GB18871-2022 要求		排放废液活度估算结果				评价结果
		ALI <sub>min</sub> (Bq)	10ALI <sub>min</sub> (Bq)	排入活度 (Bq)	暂存 时间	ALI <sub>min</sub> (Bq)	10ALI <sub>min</sub> (Bq)	
<sup>99m</sup> Tc	6.02h	1.79×10 <sup>8</sup>	1.79×10 <sup>9</sup>	7.326×10 <sup>9</sup>	33h	1.64×10 <sup>8</sup>	1.64×10 <sup>7</sup>	满足
<sup>18</sup> F	109.8 min	2.27×10 <sup>8</sup>	2.27×10 <sup>9</sup>	3.663×10 <sup>9</sup>	450min	2.14×10 <sup>8</sup>	2.14×10 <sup>7</sup>	满足
<sup>131</sup> I	8.04d	2.27×10 <sup>5</sup>	2.27×10 <sup>4</sup>	1.465×10 <sup>10</sup>	180d	2.68×10 <sup>3</sup>	2.68×10 <sup>2</sup>	满足

注：ALI<sub>min</sub>=DL/e<sub>j</sub>，DL：5mSv/a，e<sub>j</sub>（Sv/Bq）：<sup>99m</sup>Tc：2.2×10<sup>-11</sup>，<sup>18</sup>F：2.8×10<sup>-11</sup>，<sup>131</sup>I：2.2×10<sup>-8</sup>。

每次排放的活度不超过1ALI<sub>min</sub>，并每次排放后用不少于3倍排风量的水进行冲洗；每月排放的总活度不超过10ALI<sub>min</sub>，做好排放记录。

综上：新建核医学科的三废处理措施符合标准HJ1188-2021《核医学辐射防护与安全要求》的规定，可以满足核医学实践活动的要求。

### 三、放射性固废

正常工作下，本项目仅有核医学会产生放射性固废产生。

#### (一) 核素制备场所

本项目生产放射性药物的量略大于使用量，未使用的药物放在在合成热室中自然衰变，经1天后，合成热室中药物活度为1.48×10<sup>7</sup>Bq(0.4mCi)，由当班医生将药物取出放入合成热室里的铅废物桶继续衰变，达到解控要求后按一般医疗垃圾处理。除剩余的放射性药物外，核素制备场所还会在合成、分装、质控等操作过程中产生操作手套、口罩、吸水纸等固体废物，由于<sup>18</sup>F的半衰期较短，在铅废物桶衰变达到解控要求后按一般医疗垃圾处理。

#### (二) 核素显像区

核素显像区日接诊<sup>18</sup>F患者50人，<sup>99m</sup>Tc患者25人，按每名患者产生废物0.03kg/d计，则<sup>18</sup>F患者每天产生固体废物1.5kg，<sup>99m</sup>Tc患者每天产生固体废物0.75kg。在固体废物间拟设2个容积为100L的衰变箱，将核素显像区的废物分别暂存。暂存时间超过30天后经检测达到清洁解控水平做为医疗废物处理。

#### (三) 核素治疗区

甲亢和甲测患者日接诊人数共15人，按每名患者产生废物0.02kg/d，骨转移治疗患者日接

诊人为 5 人，按每名患者产生废物 30g 计，则废物产生量为 0.15kg/a；则甲亢和甲测、骨转移治疗患者每天产生固体废物 0.45kg。甲癌患者每天住院 6 人，按每人产生固体废物 0.5kg/d，则甲癌患者每天产生固体废物 3kg/d。核素治疗区每天产生固体废物 3.45kg。 $^{90}\text{Sr}$  商品敷贴器可长久使用，每 10 年产生一个废敷贴器。

甲测和甲亢废物每天收集一次送至固废间，甲癌患者的废物每批次病人出院后统一收集。含  $^{89}\text{Sr}$  放射性固体废物及废敷贴器在固废间暂存 180 天后进行检测，如达到解控水平作为医疗废物处理。没有达到解控水平的交由资质的单位处理，或继续在固废间暂存，直至达到解控水平。

综上所述，正常情况下，本项目产生的放射性废气、废水和固体废物对环境的影响不大。

## 表 12 辐射安全管理

### 12.1 辐射安全管理机构

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求：“使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作”。

为保证本项目建设期和运营期的辐射防护措施落实情况，医院拟成立以院长为主任委员的辐射防护安全管理委员会，负责全院辐射防护工作的监督、监测、检查、指导和管理等工作。

医院应进一步完善细化辐射安全与环境保护管理机构的职能，补充小组成员联系方式，若辐射安全与环境保护管理机构人员有调整或变动，应及时更新、修正，每个科室需将各自的领导小组办公室设在医务科，由医务科主任具体负责医院放射防护管理日常工作。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第3号第十六条要求：“辐射安全管理机构成员和放射工作人员均需参加辐射安全与防护培训并取得培训合格证”。本项目放射工作人员上岗前都必须参加辐射安全与防护培训并通过考试。取得培训合格证的人员，医院应每五年组织一次复训。职责落到实处。

### 12.2 辐射安全管理规章制度

建立、健全和严格执行辐射安全管理的规章制度是防止潜在照射发生的重要措施。为保障射线装置正常运行时周围环境的安全，确保公众、操作人员避免遭受意外照射和潜在照射，医院制定了相关辐射安全管理规章制度，为保证放射工作人员和周围公众人员的健康，医院必须严格按照国家法律法规执行，并加强对核技

术利用项目的日常管理：

(1) 根据医院的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是对核技术利用装置的安全防护和维修要落实到个人；在执行各项制度时，要明确管理人员、操作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

(2) 明确操作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤，重点是工作前的安全检查工作，工作人员佩戴个人剂量计，避免事故发生。

(3) 加强对辐射工作场所的安全和防护状况的日常检查,发现安全隐患应当立即整改;安全隐患有可能威胁到人员安全或者有可能造成环境污染的,应当立即停止辐射作业,安全隐患消除后,方可恢复正常作业。

(4) 为确保放射防护可靠性,维护放射工作人员和周围公众的权益,履行放射防护职责,避免事故的发生,医院应培植和保持良好的安全文化素养,减少人为因素导致人员意外照射事故的发生,医院应对本项目的辐射装置的安全和防护状况进行年度评估,并每年向发证机关提交上一年度的评估报告。

(5) 医院应在今后工作中,不断总结经验,根据实际情况,对各项制度加以完善和补充,并确保各项制度的落实。应根据环境保护管理部门对辐射环境管理的要求对相关内容进行补充和修改。如,针对本项目新增核素,应增加专项操作规程等制度。

## 12.3 辐射监测

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871—2002)、《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)、《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)、《职业性外照个人监测规范》(GBZ128-2019)等的要求,应建立必要的监测计划。辐射监测内容包括运行期核医学科工作场所及周围环境监测、个人剂量监测及放射工作人员职业健康检查等,要建立监测资料档案管理制度。

### (1) 加速器机房、后装机及 DSA 机房、核医学科工作场所及周围环境监测

根据国家相关要求,使用放射性同位素与射线装置的单位,应当按照国家环境监测规范,对相关场所进行辐射监测,并对监测数据的真实性、可靠性负责;不具备自行监测能力的,可以委托有资质的监测机构进行监测。

#### ①验收监测

设备安装到位,调试完成后,应委托有资质的单位进行验收监测。若发现问题,及时整改,直到合格为止。

#### ②常规监测

加速器机房、后装机及 DSA 机房工作场所与周围辐射剂量自主监测 1 次/季度;后

装机进行放射源更换倒装时，开展剂量率监测，监测结果存档备案。核医学科工作场所关注点和存源装置的表面 $\gamma$ 辐射水平，不少于1次/月；表面污染每次工作结束或发生药品洒落后及时监测。监测结果存档备案。放射工作人员个人剂量监测每季度1次送检；监测结果存档备案。医院应对配备的监测仪器按1次/年的频率进行校准。监测计划表详见表12-1。医院拟购置的监测仪器见表12-2。

(2) 个人剂量监测及职业健康管理

医院需对放射工作人员开展个人剂量监测，监测工作要委托具有相应资质的放射防护技术服务机构承担，个人剂量监测周期最长不应超过90天，医院需配合委托单位及时收发个人剂量卡。个人剂量监测档案包括放射工作人员姓名、性别、起始工作时间、监测年份、职业类别、每周受照剂量、年有效剂量、多年累积有效剂量等内容。加强对放射性工作人员个人剂量档案、个人职业健康档案的保管，要求终身保存，放射性工作人员调动工作单位时，个人剂量、个人职业健康档案应随其转给调入单位。医院还应关注辐射工作人员每一次的累积剂量监测结果，对监测结果超过剂量管理限值的原因进行调查和分析，优化实践行为，同时应建立并终生保存个人剂量监测档案，以备辐射工作人员查看和管理部门检查。辐射工作人员上岗前应当进行上岗前的职业健康检查，符合放射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作；项目运行后，医院还应当组织放射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过2年，必要时可增加临时性检查。

表 12-1 监测计划要求一览表

监测内容	监测点位	监测频次
辐射工作人员个人剂量(工作人员 X- $\gamma$ 外照射剂量)	个人剂量卡	90 天为一周期，一年监测四次
直线加速器机房	工作场所与周围辐射剂量	每年委托监测 1 次，
后装机机房	工作场所与周围辐射剂量 更换 倒装时，开展剂量率监测	自主监测不少于 1 次/月，更换倒装 监测每次监测

DSA 机房和 ERCP 机房	工作场所与周围辐射剂量	每年委托监测 1 次，
核医学科工作场所及周围环境辐射水平（X- $\gamma$ 辐射剂量率）	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	每年委托监测 1 次， 自主监测不少于 1 次/月
回旋加速器工作场所及周围环境辐射水平（X- $\gamma$ 辐射剂量率、中子剂量率）	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	每年委托监测 1 次， 自主监测不少于 1 次/月
放射性固体废物	废物包装外表面 30cm 处 X- $\gamma$ 辐射剂量率、 $\beta$ 表面污染	处理前
衰变池放射性废水排放口	总 $\beta$ 放射性、废水 $^{131}\text{I}$ 活度	排放前
核医学科工作场所表面放射性污染（ $\beta$ 表面污染）	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测），每年委托监测 1 次

表 12-2 医院拟配备的监测仪器一览表

项目	监测仪器名称	数量	功能	使用位置
门急诊医技综合楼三层	便携式 X/ $\gamma$ 剂量率检测仪	1	X- $\gamma$ 辐射剂量率监测	DSA 机房和 ERCP 机房

门急诊医技综合楼一层	便携式 X/γ 剂量率检测仪			DSA 机房
放疗中心	便携式 X/γ 剂量率检测仪			直线加速器机房、后装机机房
核医学场所	控制区固定式辐射剂量率报警仪	1套	显示机房内辐射剂量率情况	核素制备区回旋加速器机房
	中子周围剂量当量率仪	1台	中子剂量当量率监测	核素制备区
	便携式表面污染仪	3台	检测表面沾污	核素制备区、核素显像区、核素治疗区（含敷贴治疗）各1台
	便携式 X/γ 剂量率检测仪	3台	X-γ 辐射剂量率监测	核素制备区、核素显像区、核素治疗区（含敷贴治疗）各1台
	活度计	4台	测量放射性核素活度	回旋加速器质控室、核素显像区分装室、核素治疗区分装室、敷贴治疗室各1台
	探测器（X/γ 剂量率测量仪活度计）	1台	检查甲癌治疗病人拟出院时体内放射性活度	核素治疗区测量室
辐射工作人员	个人剂量报警仪	9台	瞬时剂量	核素制备：3台（3人）；核素显像区分装 注射：4台（4人）；核素治疗区分装：2台（2人）
	X/γ 个人剂量计	126人	累积剂量	核医学科药品分装与注射的工作人员每人2个，介入医生每人2个；其他辐射工作人员每人1个。

放射工作人员配置

本项目建设完成后，新建中心手术室（2台DSA）计划配备辐射工作人员12人，其中：医师8人，技师2人，护士2人，全部为新增人员；新建介入中心（4台DSA），计划配备辐射工作人员24人，其中：医师16人，技师4人，护士4人，全部为新增人员；新建成人急诊放射科，新建1间DSA机房（1台DSA），计划配备辐射工作人员6人，其中医师3人，技师2人，护士1人；新建1间ERCP机房（1台ERCP），计划配备辐射工作人员7人，其中医师4人，技师2人，护士1人；新建放疗中心（2台直线加速器，1台后装机）计划配备辐射工作人员12人，其中：医师6人，物理师2人，技师4人，全部为新增人员；核医学科

计划配备辐射工作人员36人，其中：医师20人，技师6人，护士8人，回旋加速器物理师1名，化学人员1名，全部为新增人员，医院新增放射工作人员97人。

按照相关法律法规要求，医院拟新增的放射工作人员应参加辐射安全与防护考核并取得成绩报告单或培训合格证书、进行职业健康检查及个人剂量监测。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021修订）》，建设单位应根据上述要求，同时应至少有1名医用物理人员负责质量保证与质量控制检测工作。

## 12.4 辐射事故应急

完善的预案、周到的准备和准确地事故处理必须依靠定期的应急演练来加以巩固和提高，从而真正发生时能够做到沉着应对、科学处置。组织应急演练应注意以下几个方面。

### （1）事故应急培训演习计划

完善的预案、周到的准备和准确地事故处理必须依靠定期的应急演练来加以巩固和提高，从而真正发生时能够做到沉着应对、科学处置。组织应急演练应注意以下几个方面。

①制定周密的演练方案，明确演练内容、目的、时间、地点、参演人员等。

②进行合理的人员分工，成立演练领导组、工作组、保障组等机构，进行角色分工，明确人员职责。

③做好充分的演练准备、维护仪器设备、配齐物资器材，找好演练场地。

④开展认真地实战演练，按照事先预定的方案和程序，有条不紊地进行，演练过程中除非发生特殊情况，否则尽量不要随意中断。若出现问题，演练完毕后再进行总结。

⑤做好完整地总结归纳，演练完毕后要及时进行归纳总结，对于演练过程中出现的问题要认真分析、并加以改正，成功的经验要继续保持。

### （2）应急响应准备

包括建立辐射事故应急值班制度、开展人员培训、配备必要的应急物资和器材。

①辐射事故应急办公室应建立完善的辐射事故应急预警机制，及时收集、分析辐射事故相关信息，协调下设小组人员开展辐射事故应急准备工作，定期开展事故应急演练，提高应急处置能力。

②定期就辐射安全理论，辐射事故应急预案、程序和处置措施，以及应急监测技术

等内容组织学习，必要时进行考核，以达到培训效果。

③根据医院核技术利用情况及可能发生的事故级别，需要做好事故应急装备的准备工作，主要包括交通、通讯、污染控制和安全防护等方面的物资和器材，具体见下表。

**表 12-3 辐射事故应急物资和器材一览表**

器材或物资类别	名称及数量	维护保养要求
监测仪器	便携式 X-γ剂量率仪 1 台，个人剂量计若干	定期开展维护保养和计量检定，保证仪器设备完好
通讯工具	手持对讲机或移动手机若干	定期充电、检查，保证完好
取证工具	数码照相机、摄像机、测距仪等	定期充电、检查，保证完好
警戒设备	电离辐射警告标志、警示灯等	保持干净、完好
人员防护设备	防辐射工作服、防护眼镜、手套（乳胶或纱棉）、口罩等	保持干净、完好

### （3）事故应急处理措施

辐射事故一旦发生，应立即采取以下措施进行处理，并根据事故情况启动应急预案。主要应急处理措施如下：

①X射线类装置射线无高压输入时即停止发射射线，因此处理此类事故的首要一条就是切断电源，切断电源可以停止照射。

②立即撤离有关工作人员，封锁现场，控制事故源，切断一切可能扩大事故范围的环节，防止事故扩大和蔓延；对可能受伤的人员，立即采取暂时隔离和应急救援措施，在采取有效个人防护措施的情况下组织人员控制事故现场，并根据需要实施医学检查和医学处理。

③如因射线装置输出量异常发生人员受到异常照射的事故，应及时检修射线装置，并进行输出量计量校准。保存控制器上的照射记录，不得随意更改，以便事后对受照人员进行受照剂量估算。

④若事故后经检查为机器出现故障，应通知厂家立即派专业技术人员到现场排除故障。医院不能擅自处理。

⑤发生辐射事故后，根据受照情况，应迅速安排事故受照人员的医学检查和医学监护。并在2小时内向医院领导及有关行政主管部门上报。并配合有关部门进行调查，查找事故原因，做好相关防范措施。

⑥医院应根据人员受照剂量，判定事故类型和级别，提出控制措施及救治方案，迅速安排受照人员接受医学检查、救治和医学监护。

### （4）应急报告程序

一般报告程序为：发现者报告给医院辐射事故应急工作小组成员，由其向市公安局、市生态环境局，并同时向省生态环境厅报告，造成人员受到超剂量照射应同时向卫生部门报告。

各部门联系方式如下：

辐射安全管理人员电话：13574064643

医务科办公室电话：

娄底市公安局电话：110

娄底市生态环境局电话：12369（24小时）

娄底市卫生健康委电话：

湖南省生态环境厅电话：0731-85698110

湖南省卫生健康委电话：0731-84822120

通过以上分析，广州医科大学附属第一医院娄底医院按照环评要求制定的应急预案内容详实、可操作性较强，能够满足在发生辐射安全事故时的应急处理需要。同时，建设单位应在日常加强事故应急演练，积极培植医护人员的安全文化素养培植，使树立较强的安全意识，减少人为因素导致意外事故的发生率，确保放射防护的可靠性，维护辐射工作人员和周围公众的权益。

综上所述，评价认为，广州医科大学附属第一医院娄底医院辐射环境管理满足《电离辐射防护与辐射安全基本标准》（GB18871-2002）以及《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关标准的要求。

## 12.5 项目投资和竣工验收检查内容

### 1、建设项目环保投资

本项目环保投资 2169 万，占总投资 9000 万的 24.1%，具体见下表：医院核技术利用新建项目环保投资一览表见表 12-3。

表 12-3 本项目环保投资一览表

序号	项目	费用（万元）
1	机房屏蔽	2132
2	辐射防护用品	2
3	固定式剂量报警仪	3
4	便携式表面污染仪	2
5	便携式 X/γ 剂量率检测仪	4

6	个人剂量报警仪	3
7	X/γ个人剂量计	1
8	中子剂量率测量仪	2
8	环境管理	20
合 计		2169

2、竣工验收

本项目建成后，应严格按照《建设项目环境保护管理条例》文件要求，开展竣工环境保护验收工作。本项目竣工环境保护验收一览表见下表。

表 12-4 竣工环境保护设施验收一览表

序号	验收项目	验收内容	验收要求
1	环保文件	项目建设的环评评价文件、环评批复、有资质单位 出具验收监测报告	各项资料齐全
2	环境管理制度、应急措施	成立管理机构，制定的辐射防护相关制度内容切实可行，具有可操作性，设备有操作规程	有专门的辐射领导机构，制定并落实各项制度，有关制度上墙
3	放射工作人员管理	①本项目拟配放射工作人员 97 名； ②医院应每 90 天对工作人员进行个人剂量检测，放射人员职业健康体检周期 不超过 2 年，并将资料存档； ③放射工作人员需参加辐射安全知识培训，并且每 5 年进行一次复训。	①人员按要求配备到位，并 具有相关的技术能力； ②个人剂量、职业健康体检 档案保存完整齐全； ③辐射工作人员取得辐射安全知识培训证书后持证上岗，并每 5 年进行一次复训，档案保存完整齐全。
4	防护用品	防护监测设备和防护用品按报告中要求落实	防护用品按要求落实到位(规格、数量满足日常工作需要) 。
5	辐射屏蔽设计及安全防护措施	①机房屏蔽防护按环评报告表的要求落实到位； ②机房内不得堆放无关杂物，保持 良好的通风； ③机房防护门上方设置工作状态指示灯，并且指示灯工 作正常，射线装置机房设置门灯有效关联； ④回旋加速器机房、放疗科，介入科，ERCP 各机房安全联锁、急停按钮、 应急开关等有效； ⑤核医学科各场所通风正常； ⑥防护门上均贴辐射警示标识及中文说明。	①按要求落实机房屏蔽防护措施，屏蔽体外辐射剂量率 满足标准要求。 ②机房内通风良好，无杂物。 ③按环评要求落实设备、机房各项安全措施，工作状态指示灯与机房门的关联有效。 ④回旋加速器机房安全联锁、急停按钮、应急开关等 有效。 ⑤医院各机房通风换气设施运转正常，机房内通风良好。

			⑥防护门上均贴辐射警示标识及中文说明。
6	辐射监测	①每年委托有资质的单位对工作场所周围环境进行常规监测，并出具监测报告； ②配备相应的自检设备，定时自检。	①场所检测档案完整。 ②配备相应的自检设备(良好，有校准证书)，防护用品数量、规格满足要求，定时自检。
7	电离辐射	剂量限值 辐射工作人员年有效剂量 $\leq 5\text{mSv}$ ； 公众成员年有效剂量 $\leq 0.1\text{mSv}$ 。	放射工作人员个人剂量检测报告满足要求，如果超出年有效剂量数值，应调离工作岗位
墙体剂量率控制		距离核医学及各机房屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。	核医学及设备运行时距离机房屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。
表面污染		控制区的表面污染控制水平 $<40\text{Bq/cm}^2$ ， 监督区的表面污染控制水平 $<4\text{Bq/cm}^2$ ， 其他的表面污染控制水平 $<0.4\text{Bq/cm}^2$	检测控制区的表面污染控制水平 $<40\text{Bq/cm}^2$ ， 监督区的表面污染控制水平 $<4\text{Bq/cm}^2$ ， 其他的表面污染控制水平 $<0.4\text{Bq/cm}^2$
8	放射性废气	核医学科、回旋加速器机房分别设置独立通风系统，废气经活性炭吸附后排放，排风口位于楼顶。	各机房通风设施运行良好，核医学科废气经活性炭过滤后排放，活性炭安放位置满足要求
9	放射性废水	核医学科设置单独排水系统和专用衰变池，衰变池有效容积满足要求，衰变池要防渗、防漏、防腐：碘-131 放射性废液总排放口总 $\alpha$ 不大于 $1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta$ 不大于 $10\text{Bq/L}$ 、碘-131 的放射性活度浓度不大于 $10\text{Bq/L}$ ；镅、氟放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放	核医学科设置单独排水系统和专用衰变池，三级衰变池有效容积满足要求，三级衰变池要防渗、防漏、防腐：碘-131 放射性废液总排放口总 $\alpha$ 不大于 $1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta$ 不大于 $10\text{Bq/L}$ 、碘-131 的放射性活度浓度不大于 $10\text{Bq/L}$ ；镅、氟放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放

10	放射性固废	<p>①配备放射性固体废物箱和固体废物衰变箱；</p> <p>②废弃物放入专用固体废物箱暂存并定期运至放射性固体废物间贮存，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，<math>\alpha</math>表面污染小于<math>0.08\text{Bq}/\text{cm}^2</math>、<math>\beta</math>表面污染小于<math>0.8\text{Bq}/\text{cm}^2</math>的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理；</p> <p>③含碘-131核素放射性固体废物暂存超过180天；</p> <p>④更换的废物活性炭、废敷贴器按放射性固体废物进行处理。</p>	<p>①按要求配备放射性固体废物箱和固体废物衰变箱；</p> <p>②废弃物放入专用固体废物箱暂存并定期运至放射性固体废物间贮存，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，<math>\alpha</math>表面污染小于<math>0.08\text{Bq}/\text{cm}^2</math>、<math>\beta</math>表面污染小于<math>0.8\text{Bq}/\text{cm}^2</math>的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理；</p> <p>③含碘-131核素放射性固体废物暂存超过180天；</p> <p>④更换的废物活性炭、废<math>^{90}\text{Sr}</math>敷贴器按放射性固体废物进行处理。</p>
----	-------	--	--

## 表 13 结论与建议

### 一、结论

#### (一) 项目概况

广州医科大学附属第一医院娄底医院拟新建 2 台直线加速器、7 台 DSA、1 台 ERCP、1 台后装治疗机(III类放射源)、核医学科场所,为乙级非密封放射性物质工作场所(敷贴治疗为丙级场所)。详细建设内容为:

1、在门急诊医技综合楼三层介入中心拟购置安装 4 台数字减影血管造影系统,中心手术室拟购置安装 2 台数字减影血管造影系统。胃镜中心拟购置安装 1 台 ERCP,均为(II类射线装置)。

2、在门急诊医技综合楼一层成人急诊放射科拟购置安装 1 台数字减影血管造影系统(II类射线装置)。

3、在住院楼负一层东侧新建放疗中心,拟购置安装 2 台医用直线加速器(II类射线装置)、1 台后装治疗机(III类放射源),开展放射治疗工作。

4、在住院楼负一层南侧新建核医学科,拟购置安装 1 台 PET/CT, 1 台 PET/MRI 和 1 台 SPECT/CT(III类射线装置),使用 4 种非密封放射性物质: $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{131}\text{I}$  和  $^{89}\text{Sr}$ ,使用  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  敷贴器进行皮肤敷贴治疗,开展核医学诊疗工作。

新建住院大楼负一层核医学场所使用放射性核素  $^{131}\text{I}$  开展甲状腺功能测定、甲亢和甲癌治疗,使用放射性核素  $^{90}\text{Sr}$  进行敷贴治疗;使用  $^{89}\text{Sr}$  进行骨转移治疗;负一层核医学场所配备一台回旋加速器生产  $^{18}\text{F}$  放射性药物,配备一台 PET-CT、一台 PET-MRI、两台 SPECT-CT 进行显像诊断, PET-CT/MRI 检查患者注射  $^{18}\text{F}$  放射性药物, SPECT-CT 检查患者注射  $^{99m}\text{Tc}$  放射性药物。PET-CT/MRI 设备均自带 1 枚  $^{68}\text{Ge}$  密封校准放射源。

本项目各 II 类射线装置工作场所和核医学科(核素制备场所、核素显像区与核素治疗)均有各自满足相对独立、具有明确的监督区和控制区划分,工艺流程连续完整,有相对独立的辐射防护措施。此外,核医学科处于负一层,涉及范围较大,因此,将

整个核医学科分为三个单独场所，经核算，三个场所均属于乙级非密封放射性工作场所（敷贴治疗为丙级场所）。

## （二）实践正当性分析

本项目的建设对保障健康、拯救生命起着十分重要的作用。项目营运以后提高了医院救治病人的效率，医院在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。因此，本项目的实施对受照个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《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。

## （三）产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2019年本）》，本项目使用的密封源、非密封放射性物质、回旋加速器属于鼓励类第六项“核能”第6条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目，PET-CT/MRI、SPECT-CT属于鼓励类第十三项“医药”中第5款“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，电子内窥镜、手术机，机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”，符合国家鼓励类产业政策。

## （四）选址可行性分析

本项目位于医院新建的门急诊医技综合楼和住院大楼负一层，新建放疗中心位于医院住院大楼负一层东侧，相对封闭独立，远离儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域；治疗机房和控制室实行隔室操作，人员进出顺畅，满足 HJ-1198-2021《放射治疗放射安全与防护要求》的选址和布局要求。

新建介入中心和胃镜中心，成人急诊放射科集中位于门急诊医技综合楼三层、一层建设，均设置了单独的 DSA 和 ERCP 机房，与控制室实行隔室操作，辅助用房设置齐全，操作顺畅，布局合理，方便医护人员及病人治疗，机房面积和屏蔽设计等，均满足 GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》的要求。

新建核医学科工作场所位于医院住院大楼负一层北侧，远离儿科、产科和食堂等部门及人员密集区域，核医学诊疗区域出入口安装门禁装置，与非放区域实行物理隔离，设置单独的医护人员、患者、放射性药物和放射性废物通道，操作顺畅，既有机联系又不交叉重叠，住院治疗区和门诊区域设置门禁装置进行有效隔离，配备必要的检测仪器和防护用品，设置了2套独立排风系统和放射性废液衰变池等设施，满足HJ1188-2021《核医学辐射防护与安全要求》的选址和布局要求。

根据“诊治工作要求、有利于辐射防护和环境保护以及各组成部分功能分区明确，既能有机联系，又不相互干扰”的原则，本项目工作场所各功能区分工明确，操作顺畅从辐射环境保护角度分析，选址合理，布局合理可行。

#### （五）环境影响分析结论

##### （1）DSA 和 ERCP

1) 本项目 DSA 和 ERCP 的使用面积和单边长度均满足《放射诊断放射防护要》（GBZ130-2020）标准要求。

2) 经过分析可得出，DSA 机房墙体、天花板、地板、防护门和观察窗防护设计均能满足符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

3) 本项目 DSA 和 ERCP 机房采用新风系统，在机房吊顶上设置排风口，机房排风量大于  $400\text{m}^3/\text{h}$ ，通过管道排放至室外，能保持机房内通风良好。

##### （2）放疗中心

1) 本项目直线加速器和后装机的使用面积和单边长度均满足《放射诊断放射防护要》（GBZ130-2020）标准要求。

2) 经过分析可得出，直线加速器机房和后装机使用房间墙体、天花板、地板、防护门和观察窗防护设计均能满足符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

##### （3）核医学科环境影响评价结论

1) 本项目核医学科应用核素  $^{99\text{Tc}^{\text{m}}}$  通过 SPECT/CT 扫描进行放射诊断， $^{18\text{F}}$  通过

PET/CT 扫描进行放射诊断， $^{131}\text{I}$  进行甲亢治疗， $^{89}\text{Sr}$  进行骨癌治疗， $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  敷贴器进行皮肤病治疗。

2) 经估算，核医学科工作场所屏蔽墙体、天花板、地板设计厚度均能满足场所外考察点相应的剂量管理目标值。

### 3) 废水、废气、固废

核医学科拟设计衰变池，总容积 $470\text{m}^3$ ，包括2个沉淀池( $20.0\text{m}^3/\text{个}$ )和5个贮水池( $86.0\text{m}^3/\text{池}$ ，有效净容积 $60\text{m}^3/\text{池}$ )。衰变池采取槽式贮存衰变方式，通过电动控制阀及水箱水位控制器分别控制进、出水量，交替贮存和排放，排水口设置检测口。新建核医学科依据使用核素的半衰期计划将整个衰变池分为短半衰期衰变池组和 $^{131}\text{I}$ 衰变池组，分别贮存，依据接诊患者的数量和衰变池的净容积，经估算：短半衰期衰变池的贮存时间约38天， $^{131}\text{I}$ 衰变池的贮存时间约196天，满足HJ1188-2021规定的放射性废液贮存要求，单次排放废液活度 $1\text{ALI}_{\text{min}}$ 和单月排放废液活度 $10\text{ALI}_{\text{min}}$ 满足GB18871-2002的废液排放要求。

核医学科设置了2套独立排风系统，直接引至2号住院楼楼顶排放，排风系统各功能区支管安装止回阀，总管安装过滤净化装置，排风口设置检测口，定期检测，及时更换失效的净化装置，保障其有效性，不会明显影响周围环境。 $^{131}\text{I}$ 采取全自动分装仪进行分装，自动分装仪屏蔽能力为 $40\text{mmPb}$ ，根据医院提供资料，把自动分装仪放入通风橱，通风橱单独设一套专用排风系统，风速不小于 $0.5\text{m/s}$ 。放射性固废分类收集后，放入放射性固体废物间衰变满足清洁解控水平经检测后，作普通医疗废物按相关规定处理。

综上所述，项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和辐射环境管理制度后，具备从事相应的辐射工作技术能力，项目对周围环境产生的辐射影响符合环境保护的要求。从环境保护的角度来看，本次评价认为该项目建设是可行的。

## 二、建议

1、医院应加强内部管理，明确管理职责，杜绝各类辐射事故的发生。在新增项目运营以前，医院应补充制订各项规章制度、操作规程，并张贴上墙；所有的放射工作场所均必须有电离辐射警告标志，警告标志的张贴必须规范。医院辐射防护标识应全

面、清晰，不留死角。

2、在新增项目运营前，医院应组织新增放射工作人员进行上岗前体检，培训，体检、培训合格人员方可从事放射性工作，辐射防护培训合格者按要求每五年进行一次的复训。定期组织放射工作人员到有资质的机构进行职业健康体检，定期开展个人剂量监测（每 90 天一次），完善放射工作人员个人剂量档案、职业健康监护档案，并终生保存。放射工作人员调动工作单位时，个人剂量、健康监护档案应随其转给调入单位。

3、医院应按照本报告表中要求配备好个人防护用品和辅助防护设施。加强对受检者非投照部位的防护，并对必要的陪护人员进行防护。

4、医院按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的要求，做好自主管理，制定工作场所和周围环境监测、防护性能监测等相关监测计划以及职业健康体检工作计划，并自购辐射监测设备，确保周围环境的辐射安全和工作人员健康。

5、医院拆除或更改环境保护设施，需得到生态环境主管部门批准后方可实施。

6、对医院辐射装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

7、医院在取得本次环评报告批复文件后，按要求对用房进行建设，场所达到使用要求后，向省生态环境厅申领《辐射安全许可证》。

8、项目竣工投入运营后，建设单位按照相关要求开展环保验收工作。

## 表 14 审批

市级生态环境主管部门审批意见：

公 章

经办人（签字）

年 月 日

下一级生态环境主管部门意见：

经办人（签字）

公 章

年 月 日

## 附件

附件 1 环评委托书

附件 2 事业单位法人证书

附件 3 现有环评批复文件

附件 4 介入、放疗、核医学等相关制度

附件 5 辐射安全应急预案

附件 6 项目辐射环境本底检测报告

## 附图

附图 1 建设单位地理位置图

附图 2 新建项目平面示意图

附图 3 本项目门急诊医技综合楼一楼平面示意图

附图 4 本项目门急诊医技综合楼三楼平面示意图

附图 5 本项目住院楼负一层核医学科平面示意图

附图 6 本项目住院楼负一层放疗中心平面示意图

附图 7 本项目放疗中心平面布局及路径设计示意图

附图 8 本项目核医学科平面布局及路径设计示意图

附图 9 放疗中心加速器及后装机治疗室机械通风设计图

附图 10 本项目核医学科放射性废水衰变池设计图

附图 11 本项目核医学科通风系统设计图

附图 12 本项目 DSA 和 ERCP 手术室通风系统设计图

附图 13 核医学场所（回旋加速器）排风设计图

附图 14 住院大楼负一层排水管网设计图

## 附件 1 环评委托书

# 环评委托书

湖南三方环境科技有限公司：

本单位拟在娄底市娄星区南环路与新星南路交叉口东南角建设广州医科大学附属第一医院娄底医院核技术利用新建项目（以下简称“本项目”），根据国家《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》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》等环保规定及相关要求，特委托贵单位进行本项目环境影响评价工作，请按此委托尽快开展工作。

特此委托。

单位名称：（盖章）广州医科大学附属第一医院娄底医院



2023年11月6日

## 附件 2 事业单位法人证书

	
<h1>事业单位法人证书</h1>	
统一社会信用代码 12431300MB1P52227T	
<b>名称</b>	娄底市城南医院（广州医科大学附属第一医院娄底医院）
<b>宗旨</b>	为人民群众提供基本医疗、疾病预防控制、健康教育等医疗和公共卫生服务
<b>业务范围</b>	围生服务
<b>住所</b>	娄底市万宝镇南环路与新星南路交叉路口 东南角
<b>经费来源</b>	财政补助
<b>开办资金</b>	¥16000万元
<b>举办单位</b>	娄底市卫生健康委员会
<b>登记管理机关</b>	娄底市事业单位监督管理局
<b>有效期</b>	自2022年08月25日至2027年08月25日
请于每年3月31日前向登记管理机关报送上一年度的年度报告	
	
	
国家事业单位监督管理局监制	

附件 3 现有环评批复文件

# 娄底市生态环境局文件

娄环审〔2023〕45号

## 娄底市生态环境局 关于广州医科大学附属第一医院娄底医院 环境影响报告书的批复

娄底市卫生健康委员会：

你单位呈报的《关于请求审批广州医科大学附属第一医院娄底医院环境影响报告书的请示》、湖南鑫创咨询管理有限责任公司编制的《广州医科大学附属第一医院娄底医院环境影响报告书》（简称“报告书”）和娄底市生态环境局娄星分局初审意见及相关附件收悉。经研究，批复如下：

一、娄底市卫生健康委员会拟在万宝新区南环路与新星南路交叉口东南角新建广州医科大学附属第一医院娄底医院，规划为集医疗、教学、科研、保健、康复、院前急救于一体的三

级甲等综合医院。主要建设内容为门急诊医技综合楼、行政科研综合楼、1#住院楼、2#住院楼、3#住院楼、传染病区、地下室医技用房等；设计总床位数为 1950 床（综合住院床位 1750 张、其中平疫结合床位 600 张，传染病楼床位 200 张）。项目总投资 26.14 亿元，总用地面积 224209.91 m<sup>2</sup>（其中医疗用地面积 175500.00 m<sup>2</sup>，预留用地面积 48709.91 m<sup>2</sup>），规划总建筑面积 314107.45 m<sup>2</sup>（计容建筑面积 235311.36 m<sup>2</sup>，不计容建筑面积 78796.09 m<sup>2</sup>）。项目总体规划一次涉及，分两期实施，其中一期投资 22.37 亿元，规划总建筑面积 260315.14 m<sup>2</sup>（总计容建筑面积 194234.03 m<sup>2</sup>，不计容建筑面积 66081.11 m<sup>2</sup>），设计总床位数为 1200 床（综合住院床位 1000 张、其中含平疫结合床位 600 张，传染病楼床位 200 张），主要建设门急诊医技综合楼（建筑面积 65770.16 m<sup>2</sup>，4F/2D，H=20.50m）、行政科研综合楼、1#住院楼、2#住院楼、传染病区、地下室医技用房等主体工程，配套建设地下停车房及设备用房、地上停车位、地下配套服务用房等辅助工程和硬化、亮化、绿化、给排水、供电、冷热源系统等公用工程以及环保工程等。本项目符合国家产业政策和相关规划，选址可行，工程的建设符合有关规定和要求。根据环境影响报告书评价结论和娄底市生态环境局娄星分局预审意见及技术评审意见，我局原则同意项目按照报告书确定提出的性质、规模、工艺、地点及采取的环境保护对策措施进行建设。

二、建设单位在项目设计、建设施工和营运管理过程中，应认真贯彻执行国家和地方的环境保护法律法规，切实落实报

告书提出的各项污染防治措施及风险防范措施，解决好公众关心的各种环境问题，并着重做好以下工作：

（一）按报告书要求，严格履行建设单位的环保主体责任，严格执行环境保护“三同时”制度；建立环境管理体系和环境监测计划；所有污染物排放口必须按照“便于采集样品、便于计量监测、便于日常现场监督检查”的原则要求规范化设置，设置与之相适应的环境保护图形标志牌；做好传染性污水消毒预处理池、隔油池、化粪池、综合污水处理站、事故池、污水输送管道、危险废物暂存间等重点区域和门急诊医技综合楼、住院楼、地下室医技、设备用房、传染楼等一般区域的防渗工作。

（二）按报告书要求加强施工期的环境管理。建设项目施工期间，必须严格执行国家和地方有关环境保护的法律法规，严格落实报告中提出的各项污染防治措施，确保施工期间噪声、废气、废水及固体废物等区域环境质量达标。

（三）加强废气污染防治措施。锅炉燃料采用天然气，锅炉烟气经低氮燃烧技术，通过排烟系统引至楼顶高空达标排放，二氧化硫、氮氧化物执行《锅炉大气污染物排放标准》（GB13271-2014）表2中燃气锅炉的排放浓度限值；污水处理站所有水池采用地埋封闭式，周边种植绿化带，投放除臭剂，氨、硫化氢、臭气浓度、甲烷执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）中表3的标准值；食堂油烟收集后经效率不低于98%的高效油烟净化器处理后，通过内置烟道引至屋

顶排放，执行《饮食业油烟排放标准》（试行）（GB18483-2001）表 2 中的大型标准；备用柴油发电机以轻质柴油作燃料，产生的柴油发电机燃油废气经排烟系统引至排风风井排放，颗粒物、二氧化硫、氮氧化物执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表 2 中最高允许排放浓度标准。

（四）加强废水污染防治。按“雨污分流，清污分流、污污分流”原则设计、建设，完善厂区给排水系统。锅炉清净下水全部回用作为院内绿化用水；经活性氧消毒预处理后的传染性废水、经化粪池预处理后的医疗废水与经隔油+化粪池预处理后的生活污水一并送至院内综合污水处理站（采用“格栅+脱氯池+调节池+水解酸化+接触氧化+斜管沉淀+活性氧消毒”技术）处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中预处理标准及《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）表 1 中 B 级标准限值后，通过废水总排放口排入市政污水管网，纳入娄底市第四污水处理厂，经深度处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》及修改单（GB18918-2002）表 1 中一级 A 标准后，最终排入檀山湾河。项目污水在不能通过市政污水管网排入娄底市第四污水处理厂处理前，严禁项目运营。

（五）加强噪声污染防治。优化厂区平面布置，合理布局，选用低噪声设备，密闭室内隔声，基础减振，安装消音器等降噪措施，确保厂界东、南、北噪声达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中 4 类标准，厂界西噪声达到 2

类标准。

(六) 严格固体废物处置。按照“减量化、资源化、无害化”原则，做好固体废弃物分类收集、堆（存）放、分质处理（置），严防产生二次污染。废塑料瓶和废玻璃瓶集中收集后定期外售给合法物资回收公司；餐厨垃圾集中收集后交由有资质单位处理处置；一般固体废物严格按照《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599-2020）要求建设，合理处理处置。医疗废物采用医疗废物专用包装物盛装后，分类存放于周转箱中，分区暂存于医疗废物暂存间，定期交由娄底市裕德医疗废物处置有限公司处置；废药物、药品分类收集包装暂存于医疗废物暂存间后交由有资质的单位处置；栅渣定期清理后委托有资质的单位处置；综合污水处理站污泥收集于96.6m<sup>3</sup>污泥池，处理后的污泥暂存于污泥间，委托有资质的单位定期处置；危废贮存间按《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）建设，按照《危险废物转移管理办法》进行管理，安全处置。生活垃圾经集中收集后，交由当地环卫部门统一清运处置。

三、主要污染物排放总量控制指标：二氧化硫 $\leq 1.07\text{t/a}$ 、氮氧化物 $\leq 8.51\text{t/a}$ 、化学需氧量 $\leq 24.91\text{t/a}$ 、氨氮 $\leq 3.99\text{t/a}$ 。依据《湖南省人民政府办公厅关于扩大排污权有偿使用和交易试点范围的通知》（湘政办函〔2012〕182号），本项目不属于工业企业、火电及钢铁企业，故项目无需通过交易平台购买排污权。

四、按照《排污许可证申请与核发技术规范 医疗机构》

(HJ1105—2020)以及报告书要求,排污单位可自行或委托监测机构开展监测工作,在院内综合污水处理站前安装在线自动监测,自动监测因子为流量、化学需氧量、氨氮、总余氯。

五、建设单位在启动生产设施或者在实际排污之前应依法取得排污许可证,并按相关规定对配套建设的环境保护设施进行竣工验收,项目分期建设,分期投运,分期验收。本项目环境影响报告书经批准后,项目的性质、规模、地点、采用的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。本项目环境影响报告书自批准之日起超过5年方决定开工建设的,环境影响报告书应当重新审核。

六、你单位在收到本批复后15个工作日内,将本批复及项目环评报告书送达娄底市生态环境局娄星分局,并按规定接受各级生态环境行政主管部门的监督检查。

娄底市生态环境局

2023年11月30日

行政审批专用章

抄送:娄底市生态环境局娄星分局,娄底市生态环境局综合行政执法支队、娄底市生态环境局科技监测科。

娄底市生态环境局办公室

2023年11月30日印发

## 附件 4 介入、放疗、核医学等相关制度

### 放疗防护安全管理要求

- 一、放疗科的位置选择正确性、设计合理性、建设的安全性符合要求；
- 二、配备合理的人员结构。
- 三、设备购置的合理性。购置的放疗设备、质控设备、检测设备、防护用品及设备符合放疗工作的需要，满足患者的治疗条件，应急事件的处理能力。
- 四、人员培训计划。根据实际情况、满足卫生、环保要求、满足工作开展、满足应急、满足治疗计划，制定计划。对放疗科科工作人员进行技能专业培训、放射防护知识、法律法规制度进行培训，满足正常工作需要。
- 五、制定、实放射防护管理制度、百分百实施放射治疗质量大纲。采取合理和有效的措施，将辐射防护问题最小化，保证无辐射泄露。放疗治疗质量规范化、制度化、强制性落实到位，没有放疗事件发生。
- 六、制定并落实放射事故应急预案，应对可能发生的事件。实时宣传放射事故应急预案，定期进行放射事故应急演练，保证放疗相关人员，人人知、人人会，人人都是事故处理的能手。
- 七、符合预控评要求。
- 八、符合环评及环评验收要求。
- 九、个人剂量。必须佩戴个人剂量计（报警仪），对个人辐

射剂量实时检测。按照规定，进行送检，并建立个人剂量管理档案。现在网上和纸质可同时保存，建议个人终身保存电子档，医院按规定年限保存，起到可追溯起源的作用。

十、个人剂量限制，满足 GB 18871 对工作人员的照射剂量限值得规范化要求。必须做到超剂量坚决休假离岗，辐射过敏必须调岗。

十一、建立个人健康体检制度。做到体检不遗漏，体检结果有章可查，长期保存。

十二、建立定期休假制度，做到调岗调人，离岗工作正常、合理运行。



- 一.非工作人员不得进入机房，工作期间不得在机房内喧哗，保持工作环境安静。
- 二.机房内严禁吸烟，严禁吃零食，保持机房整洁。
- 三.工作人员不得擅自使用机器做工作以外的病人。
- 四.工作人员在工作期间，应注意安全，防止意外情况发生。
- 五.维持机房温度和湿度恒定，保证机器处于正常工作环境。
- 六.工作人员应爱护公物，托架等 CT 室一切附属设备应放在指定位置，不得乱放。
- 七.护理人员应在每日工作结束前，对高压注射器进行清理。
- 八.技师、医生、护理人员的工作应遵守操作规程。
- 九.应定期对机器做清洁、CT 值校正等日常维护工作，并做好记录。
- 十.所有病人资料应及时保存，防止丢失。



- 一.严格执行各项规章制度和操作规程
- 二.DSA 须由专业技术人员操作，必须按操作程序进行操作。
- 三，技术操作参数，如造影程序，对比剂的总量，每秒的流量须在医生的指导下操作，由技师记录。
- 四.DSA 机未经操作人员许可，其他人员不得随意操作。
- 五.DSA 机每周保养一次，做到干净，清洁，卫生。
- 六.在导管室工作的工作人员，均须严格遵守无菌操作原则。保持室内肃静和整洁。
- 七.进入导管室见习，参观人员，须经有关部门批准。在房间内不得随意游走和出入。
- 八.入室人员均需戴口罩、帽子、穿白大衣、室内套鞋套或室内鞋。

## 设备维修保养制度

### 一.设备定期维护（每三个月进行一次）

- 1.设备机械性能维护：配重块安全装置检查，各机械限位装置有效性检查，各种运动运转检查，操作完整性检查。
- 2.设备电气性能维护：各种应急开关有效性检查，透视曝光参数(KV、MA、MAS)检查。
- 3.剂量检测：每六个月进行一次。
- 4.每日对 CT、MRI 进行一次水模检查。

### 二.日常维护（每日进行）

- 1.每日开机后先检查机器是否正常；有无提示错误等，如有必须先排除。
- 2.对于 X 线机和 CT 开机前必先预热后才能工作。对于 MRI，工作前先查看液氮和氦气情况。
- 3.每日工作完后，需清洗机器上的脏物和血迹等。

## 核医学科管理制度

### 一、核医学科的建立和设备要求

#### 1、核医学实验室地址的选择:

(1)要坐落在常年下风向、避开人员稠密的地方,最好是独立建筑物;

(2)若改建或其他非放射性工作部分在同一建筑物内时,则应单独设于一层或下风向的一侧,并注意与其他部门有一定的间距,特别要注意与食堂、托儿所、产科和摄影室等的分离。

2、核医学实验室的布局:放射性活性区应与非放射性活性区分开,有条件的单位应设置卫生通过间,以进行更衣、淋浴、监测放射性污染等、一般布局为:

(1)清洁区(应位于上风向侧,无放射性物质污染,包括办公室、会议室、图书室、图书资料室等)。

(2)低活性区(放射活性为微居里水平,包括测量室和示踪室),中活性区(放射活性高于低活性区,包括注射室、扫描室、洗涤室等,室内需要有通风柜或手套箱),高活性区(放射活性在毫居里水平,须远离其他工作室,房间墙壁要有足够厚度,包括贮源室、同位素发生器室、开瓶分装室、污物处置室)。

(3)贮源室要有单独出入口,以便运输。

3、核医学实验室的建筑物结构:要求能承受重量较大的铅

板、铅砖和铅屏风以及其他设备。

#### 4、实验室地面及工作台：

(1)要求不易吸附放射性物质，并便于清洗，地面可根据条件采用聚氯乙烯塑料、塑料漆、硬橡胶或耐酸金属板覆盖，覆盖物的块与块之间的缝隙要密合，边缘与地面相连处高出20厘米与墙体贴连；

(2)工作台及通风橱的工作面，应采用光滑、无缝、耐酸的金属板等制造；

(3)墙体离地面2米以下涂以耐酸油漆，天花板的转角处要做成圆形，便于冲洗。

#### 5、其他要求：

(1)高活性操作室所有管道(包括自来水、暖气片等)最好置于墙内或以光滑材料覆盖，避免外露；

(2)电灯开关装于门外最好采用弹簧门；

(3)自来水龙头用脚踏式或肘推式开关；

(4)应用独立的电源供电；

(5)活性区有良好的通风换气装置，使室内空气对于外部经常保持负压，使空气从低活性区流向高活性区；

(6)高活性的实验室应备有通风柜，其排气口应高出周围(50米范围内)最高屋顶3~4米，排气口应安装过滤装置和节流器，选用离心式鼓风马达，安装于屋顶的管道口外，操作时的截面风速每秒不低于1米；

(7)有两个通风柜时，应同时开关(由一个开关控制)；

(8)对于微居里水平的放射性核素分装、称量和研磨应在手套箱内进行(用有机玻璃做成)；

(9)放射性核素实验室，须设有小型暗室。

## 二、核医学科的组织

1、全科根据工作任务的需要，可分为以下几个组：

(1)甲状腺吸  $^{131}\text{I}$  功能组；

(2)放射免疫分析组；

(3)心肾功能组；

(4)脏器显象组(扫描、 $\gamma$ -照相和 ECT)；

(5)治疗组；

(6)实验研究组；

(7)资料组。

2、各组每天同时或交叉工作，每组包括医师、技师(士)若干名，各组设组长 1 名、科内根据情况设主任医(技)师、副主任医(技)师和主管医(技)师若干名，协助主任全面主持有关技术、医疗和行政工作。

## 三、放射性核素管理工作要点

1、从事放射性核素的工作人员，应具有高度的责任心，对放射性药物种类、剂量等在使用前应严格核对；

2、应认真执行放射性物质的登记、保管及使用制度；应严格执行无菌操作，进行药物的放射性标记，严防标记时

的污染；

3、在实验室内禁止存放食品或与工作无关的物品，严禁吸烟、饮水和进食；

4、实验室内应保持清洁卫生，经常测量室内的本底水平；

5、清洁用具如抹布、扫帚和拖把等各室均分别使用，定期做好监测；

6、若有污染，应放置或冲洗后再用，活性实验室内禁止闲杂人员随便进入；

7、放射性同位素的资料、图片，应建立完整的保管登记制度，定期随访，记录每次最后的诊断结果、工作人员必须对所使用仪器的性能、使用方法、注意事项有深入的了解和掌握，严格按操作规程进行工作，避免发生事故及仪器损坏，并应按要求进行定期保养。

#### 四、放射性核素的保管

1、放射源应指定专人负责保管；

2、新到放射源，应认真核对放射性核素名称、出厂日期、比放射性、总体积、总强度、并注意是否已作细菌培养、热原试验及溶液的酸碱度等；

3、及时作好放射性同位素使用账册的登记工作，并贴好瓶签；

4、使用放射性核素时，应认真逐项填写日期、放射性

核素名称、出厂日期、比放射性(毫居里/克·毫升)、总放射性剩余使用量、用途、服药人和核对人等项目；

5、放射源要妥善保管，严防丢失，常用放射源应按不同的品种分类存放于贮存室内，标志要鲜明，以防差错；

6、发现放射源丢失时，应立即追查询问，并报告上级机关；

7、治疗给药时应严格执行两人核对制度，同一时间给多个病人服药时，应仔细核对病人姓名、年龄及给药剂量。

#### 五、放射性操作条例

放射性操作时，要遵循对病人负责、对实验结果负责和对环境负责的原则，尽量减少不必要的照射。

##### 1、操作前的准备：

(1)熟悉操作程序和各个细节，应达到熟练的程度；

(2)曾经操作过的工作人员应在操作前复习；

(3)新工作人员需进行见习、冷试验，考核合格后方可上岗；

(4)从事多年放射性工作的人员，在开展新的工作时，也需要进行冷试验；

(5)在准备室把所需物品排列在托盘内，并完成有关的非放射性操作；

(6)计算并核对放射源和化学试剂；

(7)做好操作中的防护设计和安排，穿戴防护用具(戴帽

## 附件 5 辐射安全应急预案

### 广州医科大学附属第一医院娄底医院 辐射事故应急预案

为提高本院对突发辐射事故的处理能力，最大程度地预防和减少突发辐射事故的损害，保护环境，保障工作人员和公众的生命安全，维护社会稳定，特制定本预案。

#### 一、编制依据

《中华人民共和国污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《娄底市人民政府突发公共事件总体应急预案》、生态环境部《突发环境事件应急预案管理暂行办法》等。

#### 二、辐射事故分级

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条和《射线装置分类办法》规定，结合我院使用射线装置为Ⅲ类装置，发生事故时，定性为一般辐射事故，即：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。

#### 三、本预案适应范围

凡本院发生射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射所致辐射事故适用本应急预案。

#### 四、工作原则

以人为本、快速反应、预防为主、常备不懈。

## 五、组织机构及职能

### 1、辐射事故应急处理领导小组

组长：分管放射的副院长；电话：

副组长：办公室主任；电话：

成员：放射科，介入科，放疗中心，核医学科；电话：

应急值班电话：、

### 2、应急处理领导小组职责

- (1) 组织制定医院辐射事故应急处理预案。
- (2) 负责组织协调辐射事故应急处理工作。
- (3) 组织辐射事故应急人员的培训；
- (4) 负责与上级主管部门和当地生态环境部门的联络、报告应急处理工作，配合做好事故调查和审定；
- (5) 负责辐射事故应急处理期间的后勤保障工作；
- (6) 采取各种快速有效措施，做好善后处理，最大限度地消除对医院的负面影响。

### 3、小组职责分工

组长：全面负责小组工作，现场指挥工作。

副组长：具体负责小组工作，收集有关工作信息，各科室之间的协调，管理全院辐射工作人员的健康工作，辐射事故应急处理期间的后勤保障工作。

成员：负责事发现场安全保卫工作，负责对辐射操作人员和维修人员的日常管理，人员培训工作。

## 六、预防事故措施

- 1、健全辐射管理的各项规章制度，机器旁悬挂或放置操作规程卡片；
- 2、加强辐射工作人员的机器操作规程和辐射防护应急培训，持证上岗；
- 3、定期检查维修机器，使用处于正常工作状态；
- 4、加装应急开关或电源总开关。

## 七、应急处理措施

严格遵守射线装置的操作规程，一但发现控制台上的监视器不能停止、按钮不能复位或其它情况，造成射线装置一直出射线时：

- 1、立即按下应急开关或切断主控电源，保护好事故现场，及时上报；
- 2、医院启动应急预案；
- 3、控制现场，积极主动调查事故原因；
- 4、及时报告当地生态环境部门和卫生部门，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》；
- 5、协助生态环境部门、卫生部门调查事故原因。
- 6、协助卫生专业人员对受照射人员进行受照剂量估算，并进行身体检查和医学观察；
- 7、及时向公众发布消息，消除公众疑虑；

## 八、辐射事故的报告

发生辐射事故的科室，必须立即向医院值班时报告。医院值班室应立即向应急处理领导小组报告，应急处理领导小组及时收集整理相关处理情况向区生态环境局和区卫生局报告，最迟不得超过 2 小时。

医院值班电话：

娄底市生态环境局电话：

娄底市卫健委电话：

公安部门电话：

#### 九、善后处理

- 1、保存好受照人员的体检资料，做好医学跟踪观察；
- 2、请专业维修人员检查维修，确认正常后方可继续使用；
- 3、总结经验教训，防止类似事故再发生。

#### 十、预案管理

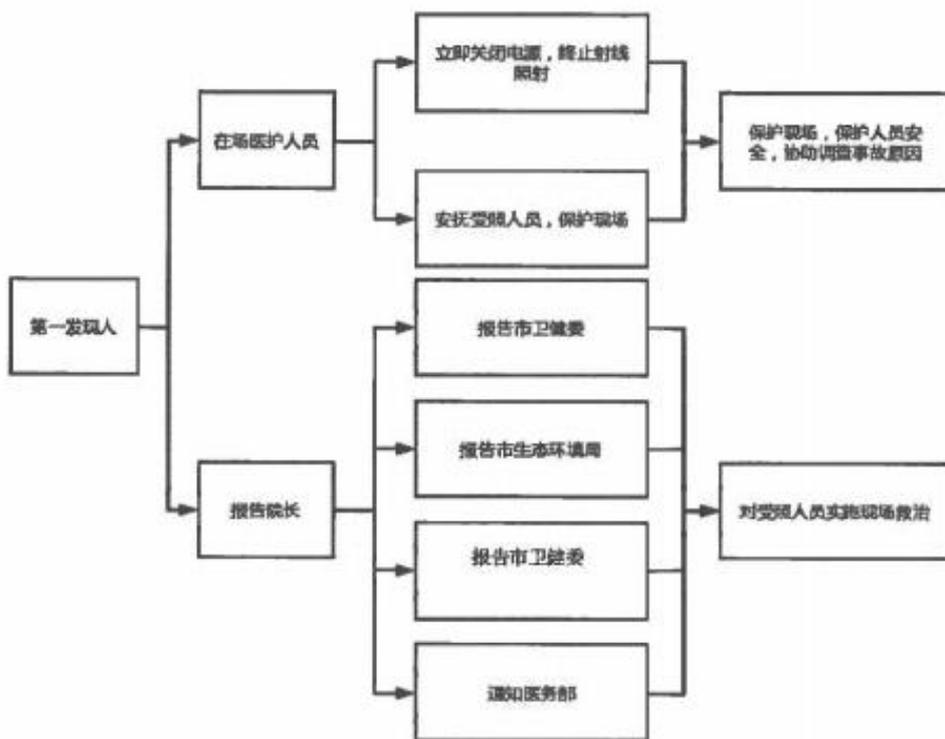
- 1、本预案自发布之日起实施；
- 2、本预案二年修订一次。

辐射事故初始报告表

事故单位名称						
法定代表人		地址		邮编		
电话		传真		联系人		
许可证号	许可证审批机关					
事故发生时间		事故发生地点				
事故类型	<input type="checkbox"/> 人员受照 <input type="checkbox"/> 人员污染		受照人数：		受污染人数：	
	<input type="checkbox"/> 丢失 <input type="checkbox"/> 被盗 <input type="checkbox"/> 失控		事故源数量：			
	<input type="checkbox"/> 放射性污染		污染面积 (m <sup>2</sup> )：			
序号	事故源核素名称	出厂活度 (Bq)	出厂日期	放射源编码	事故时活度 (Bq)	非密封放射性物质状态 (固/液态)
序号	射线装置名称	型号	生产厂家	设备编号	所在场所	主要参数
事故经过情况						
报告人签字			报告时间	年 月 日 时 分		

附图：

突发辐射环境事件处置流程图



附件 6 项目辐射环境本底检测报告



湖南三方环境检测有限公司  
监测报告

项目名称: 广州医科大学附属第一医院娄底医院建设项目  
辐射环境本底调查监测

检测项目: X- $\gamma$  辐射剂量率、表面污染

检测类别: 委托监测

报告编号: SFJC-2023-12-M-01

报告日期: 2023 年 12 月 21 日



## 监测报告说明

- 1、本单位保证检测的科学性、公正性和准确性，并对委托单位所提供的样品的技术资料保密。
- 2、报告封面、骑缝、结论无本单位监测报告专用章、章无效，报告无报告编写人、复核人、报告签发人的签名无效，报告涂改无效。
- 3、报告未加盖章时，仅做检测参考。
- 4、未经本单位批准不得部分复制报告；复制的报告未重新加盖本单位监测报告专用章无效。
- 5、自送样品的委托检测，本报告结果仅对来样负责。对不可复现的检测项目，结果仅对采样所代表的时间与空间负责。
- 6、对监测报告若有异议，应于收到报告之日起十五日内向本单位提出书面意见，逾期不予受理。但对不能保存的特殊样品，本单位不予受理。

地址：长沙市雨花区振华路 519 号聚合工业园 15 栋 402 室  
邮编：410019  
联系电话：(0731)82237373

湖南三方环境检测有限公司

报告编号：SFJC-2023-12-M-01

湖南三方环境检测有限公司

检测报告

监测项目	X-γ 剂量率		
委托单位	广州医科大学附属第一医院娄底医院		
监测地点	娄底市娄星区万宝镇新星南路（娄星彩瓦厂）		
监测类别	委托监测	监测方式	现场监测
委托日期	2023.12.16	监测日期	2023.12.19
监测环境条件	天气情况：晴 温度：3℃ 湿度：68%		
监测所依据的技术文件名称及代号	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002） 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021） 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）		
主要仪器的名称、型号规格及编号、检定信息、有效期	便携式 X、γ 辐射周围剂量当量率仪 型号：RJ38-3602 编号：RJ380700334 检定编号：hnjlxz2023134-399 检定日期：2023 年 6 月 20 日 有效期至 2024 年 6 月 19 日 表面污染仪 型号：RJ39-2180 编号：215307 检定编号：hnjln2023225-572 检定日期：2023 年 10 月 07 日 有效期至 2024 年 10 月 06 日		
仪器的主要技术指标（参数）	剂量率仪：1. 探测器：NaI, G-M 计数管 2. 测量范围：剂量率：0.01 μ Sv/h~2mSv/h；累积剂量：0.00 μ Sv~9.99Sv 3. 测量精度：0.01~1000 μ Sv/h ≤ ±5% 4. 能量响应：≤ ±30%（48Kev~3.0Mev,137Cs） 5. 角响应：仪器在 0° ~150° 时不超过校准方向上响应的 25% 6. 能量范围：35KeV~3.0MeV 7. 相对偏差：≤ ± 5%（137Cs） 表面污染仪：带有 ZnS 层的塑料闪烁体，探头面积 170cm <sup>2</sup> ； 效率(2π)：Cs-137, 35%；Am-241, 22%；U-238, 26%。		
监测结论	根据监测结果，所监测区域辐射剂量率及表面污染与娄底地区本底值接近，无放射性污染情况。		
备注	/		

湖南三方环境检测有限公司

报告编号：SFJC-2023-12-M-01

湖南三方环境检测有限公司

检测报告

场所：放射科施工区域					
剂量率检测结果					
序号	布点代码	点位描述	GPS 点位	测量结果 (nGy/h)	备注
1	△1	/	E112.024648 N27.658258	83~97	
2	△2	/	E112.026026 N27.658656	90~106	
3	△3	/	E112.026912 N27.660092	78~89	
4	△4	/	E112.025072 N27.658933	94~109	
5	△5	/	E112.026228 N27.659547	95~105	
6	△6	/	E112.026908 N27.659831	95~107	
7	△7	/	E112.027011 N27.660517	96~103	
8	△8	/	E112.026408 N27.660499	95~108	
9	△9	/	E112.022815 N27.658912	86~102	
10	△10	/	E112.022272 N27.656969	83~107	
11	△11	/	E112.024872 N27.659828	81~106	

注：1、检测结果未扣除宇宙射线响应。  
2、采取分区巡测方式进行检测。

一、专

湖南三方环境检测有限公司

报告编号：SFJC-2023-12-M-01

## 湖南三方环境检测有限公司 检测报告

场所：放射科施工区域						
表面污染检测结果						
序号	布点代码	点位描述	GPS 点位	测量结果(Bq/cm <sup>2</sup> )		备注
				α	β	
1	▲1	本底	E112.024068 N27.659551	/	/	
2	▲2	/	E112.025155 N27.660002	0	0.21	
3	▲3	/	E112.025718 N27.661276	0	0.24	
4	▲4	/	E112.025042 N27.660278	0	0.27	
5	▲5	/	E112.025361 N27.660962	0	0.31	
6	▲6	/	E112.025152 N27.661222	0	0.17	
7	▲7	/	E112.024616 N27.661048	0	0.18	
8	▲8	/	E112.024680 N27.660589	0	0.19	

注：测量值扣除本底值。分区随机取点进行检测。

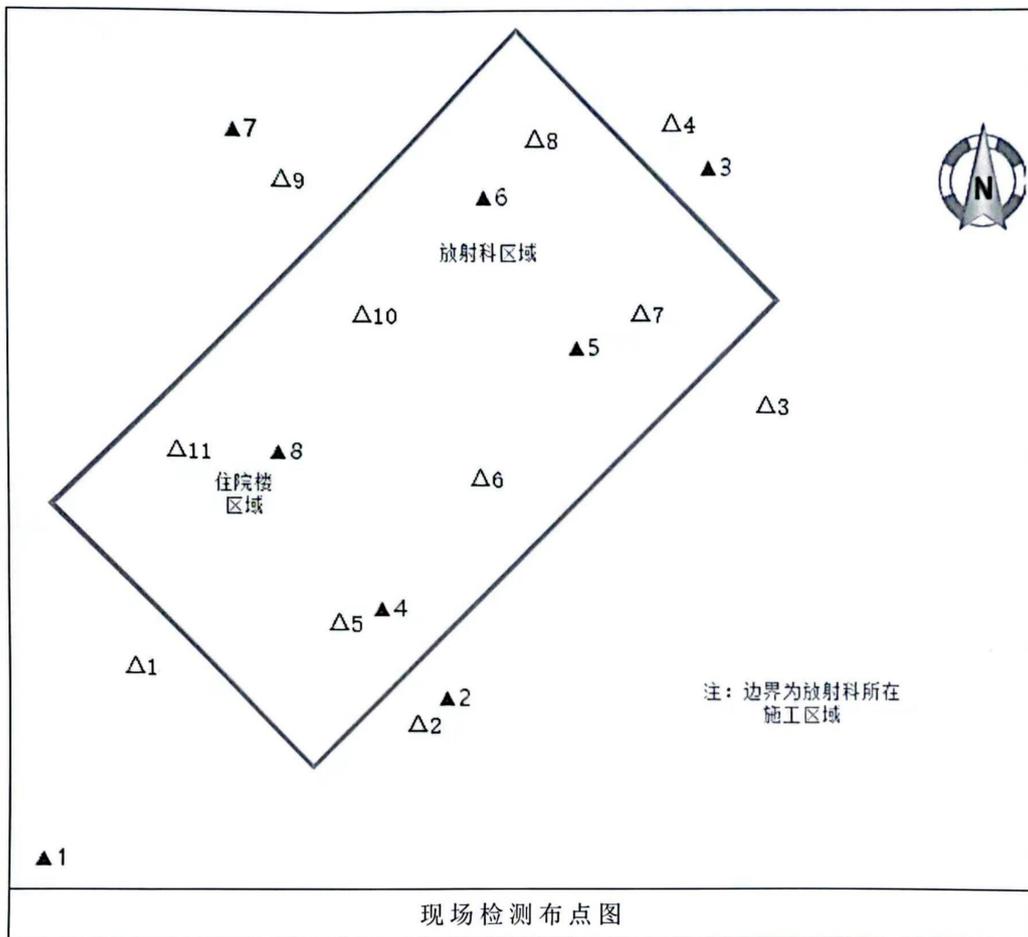
三方环境检测有限公司

湖南三方环境检测有限公司

报告编号：SFJC-2023-12-M-01

### 湖南三方环境检测有限公司

### 检测报告



现场检测布点图

\*\*\*报告结束\*\*\*

编制人 李强

审核人 陈益行

签发人 李强

日期 2023.12.21

日期 2023.12.25

日期 2023.12.25



附图 1 建设单位地理位置图



附图 2 新建项目平面示意图



附图3 本项目门急诊医技综合楼一楼平面示意图



附图 4 本项目门急诊医技综合楼三楼平面示意图

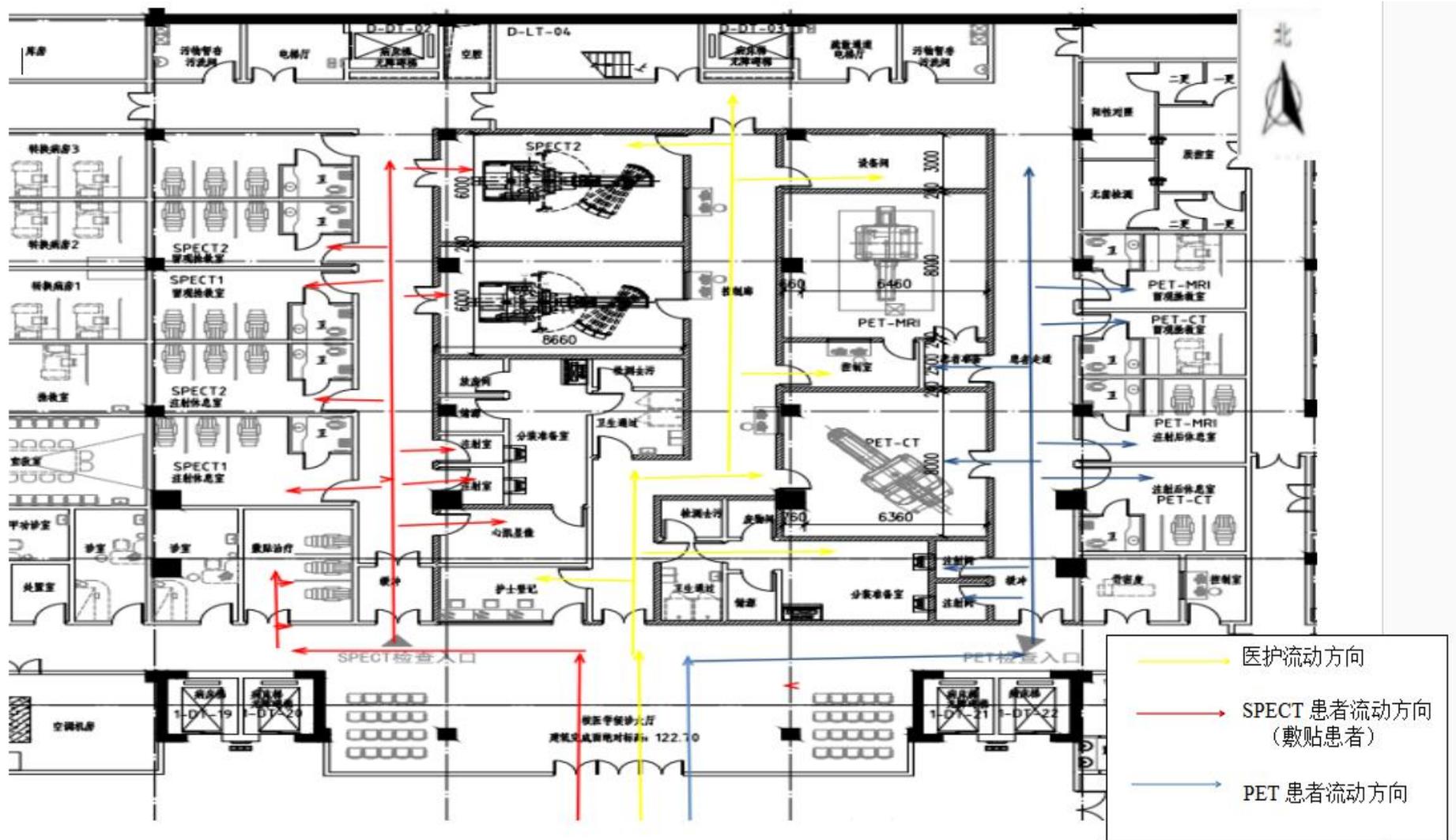


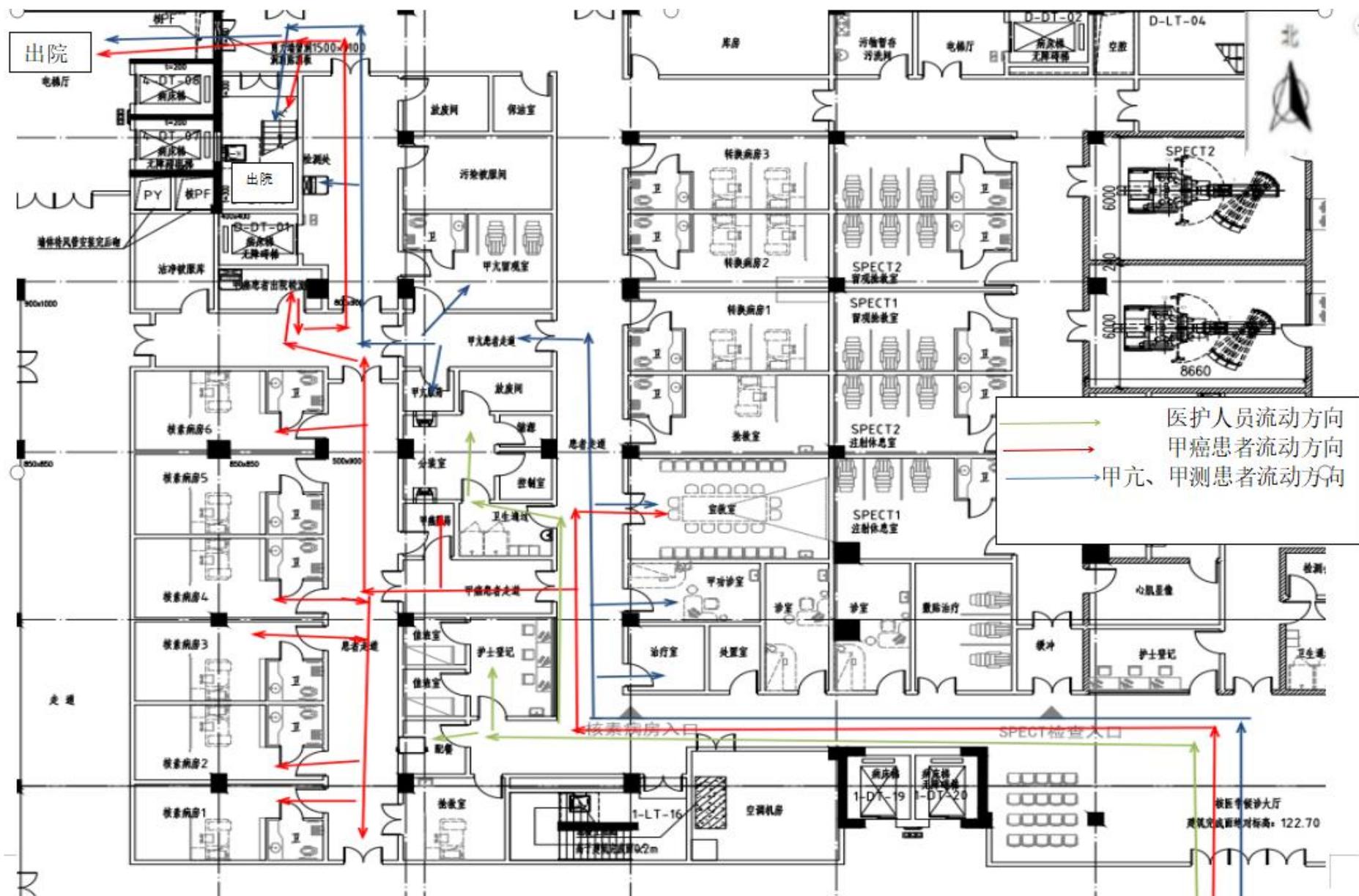




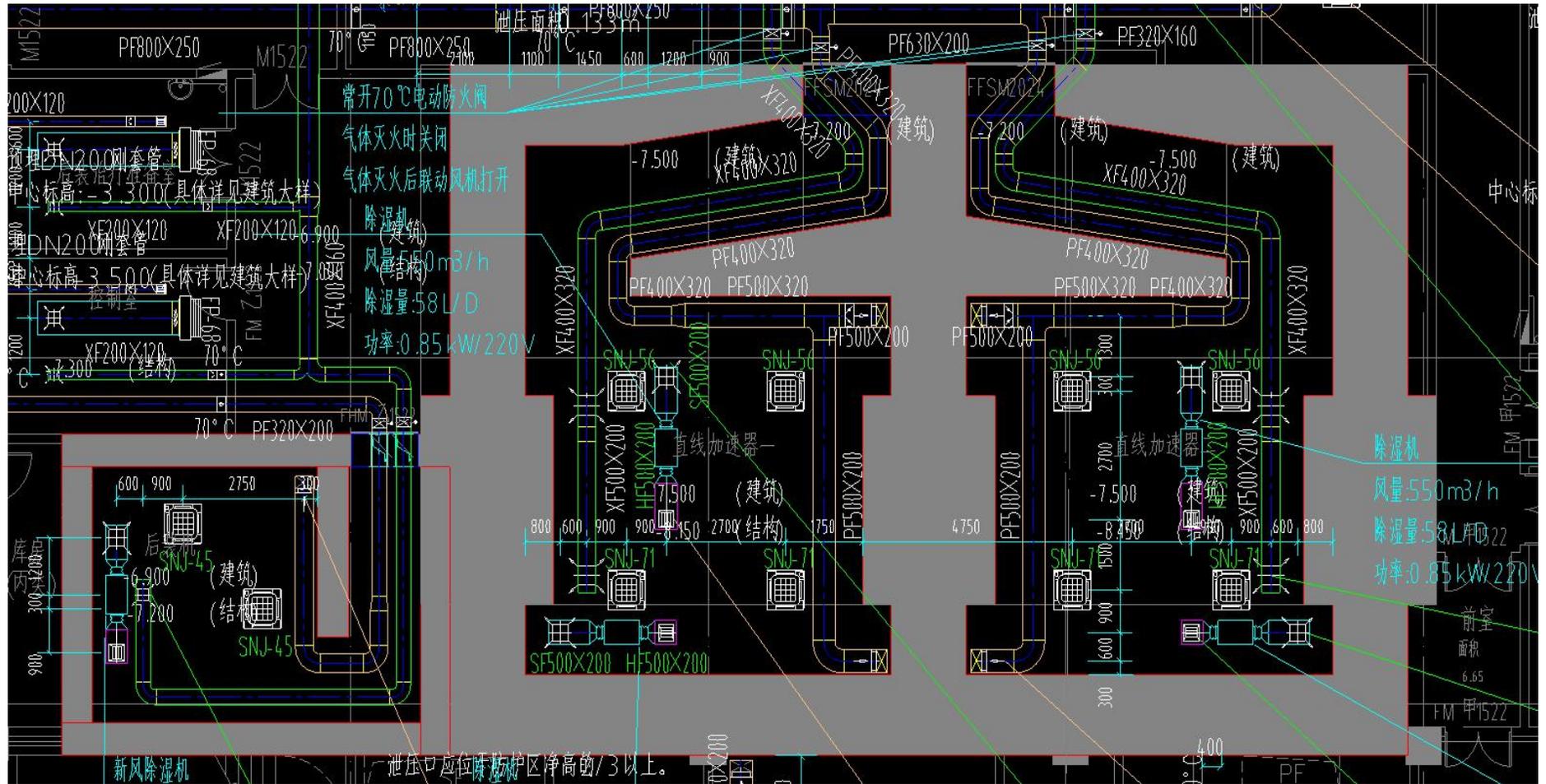


附图 8 本项目核医学科平面布局及路径设计示意图

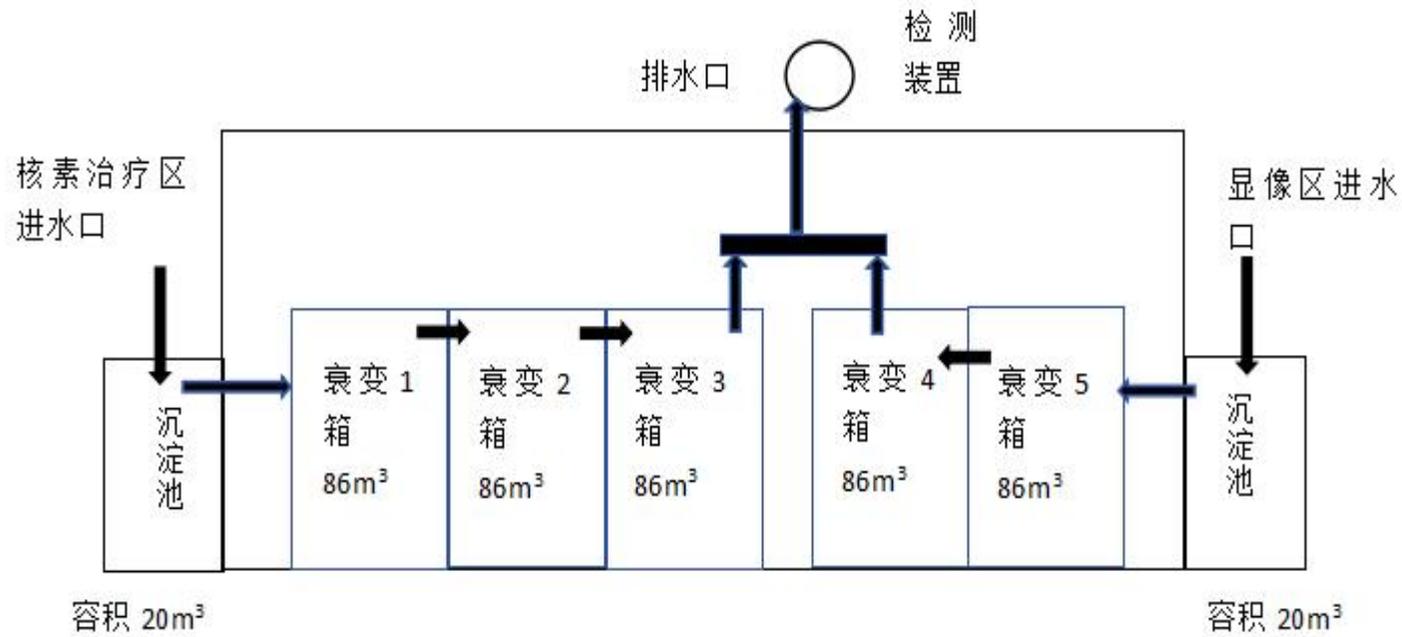




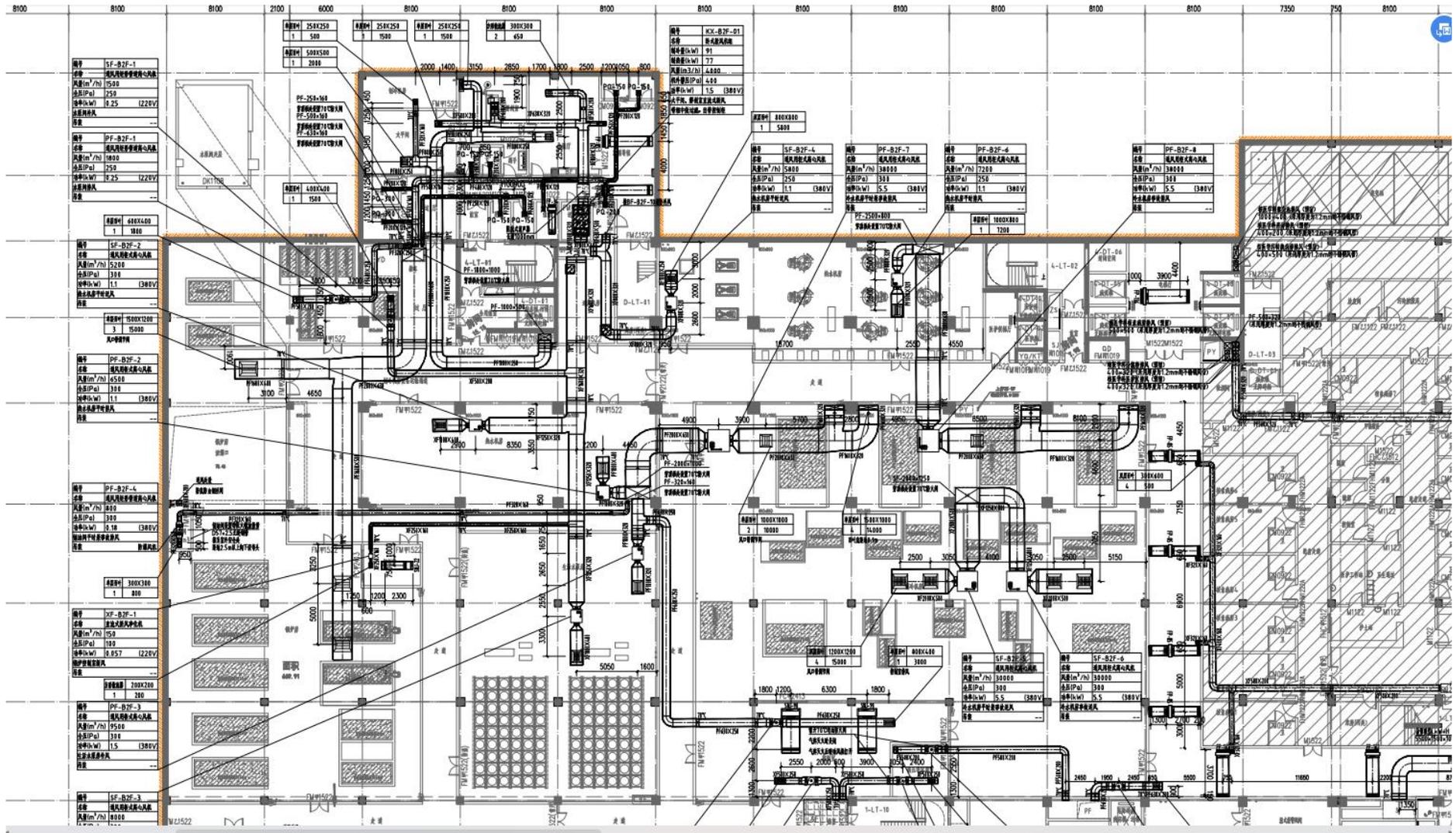
附图 9 放疗中心加速器及后装机治疗室机械通风设计图



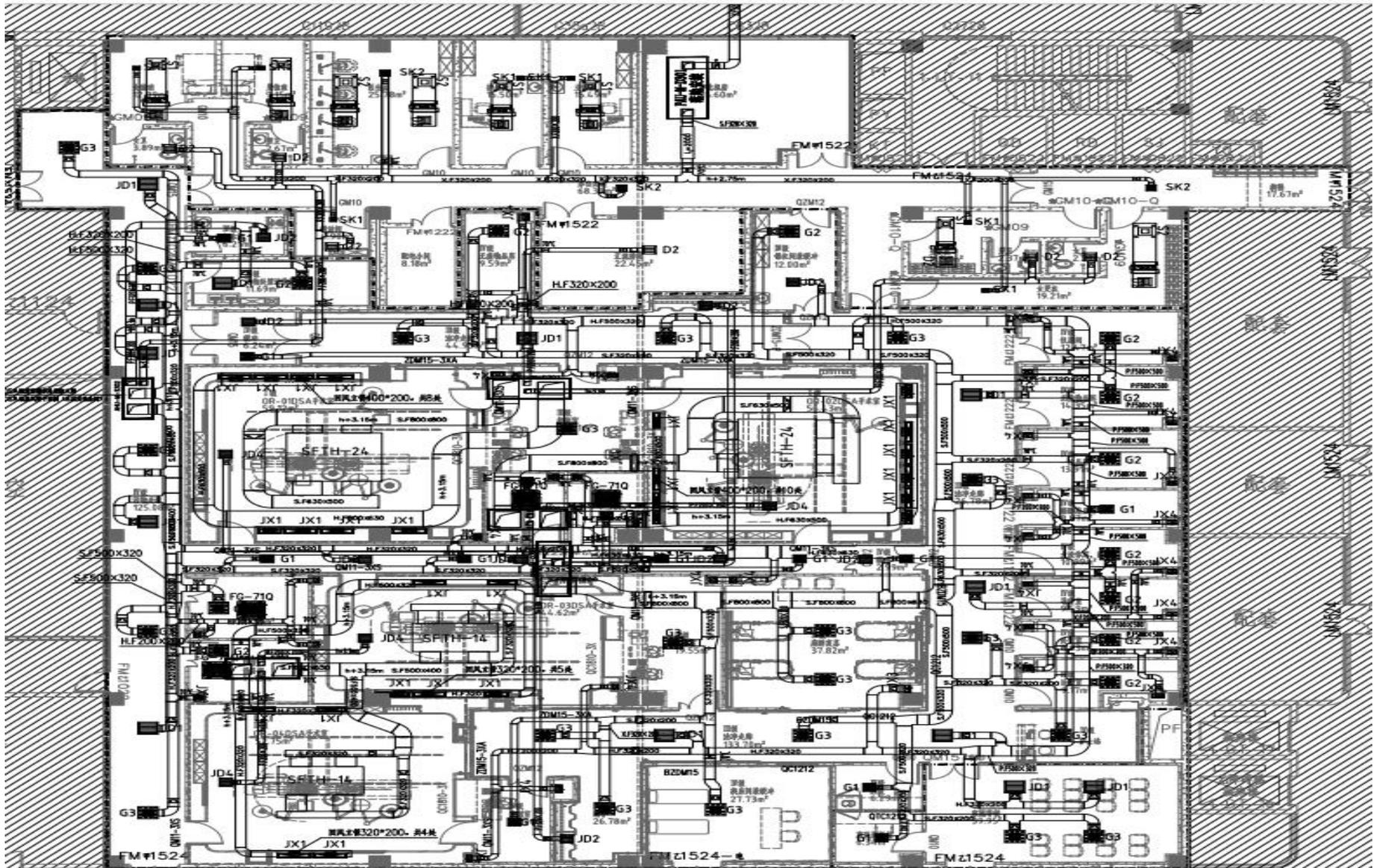
附图 10 本项目核医学科放射性废水衰变池示意图

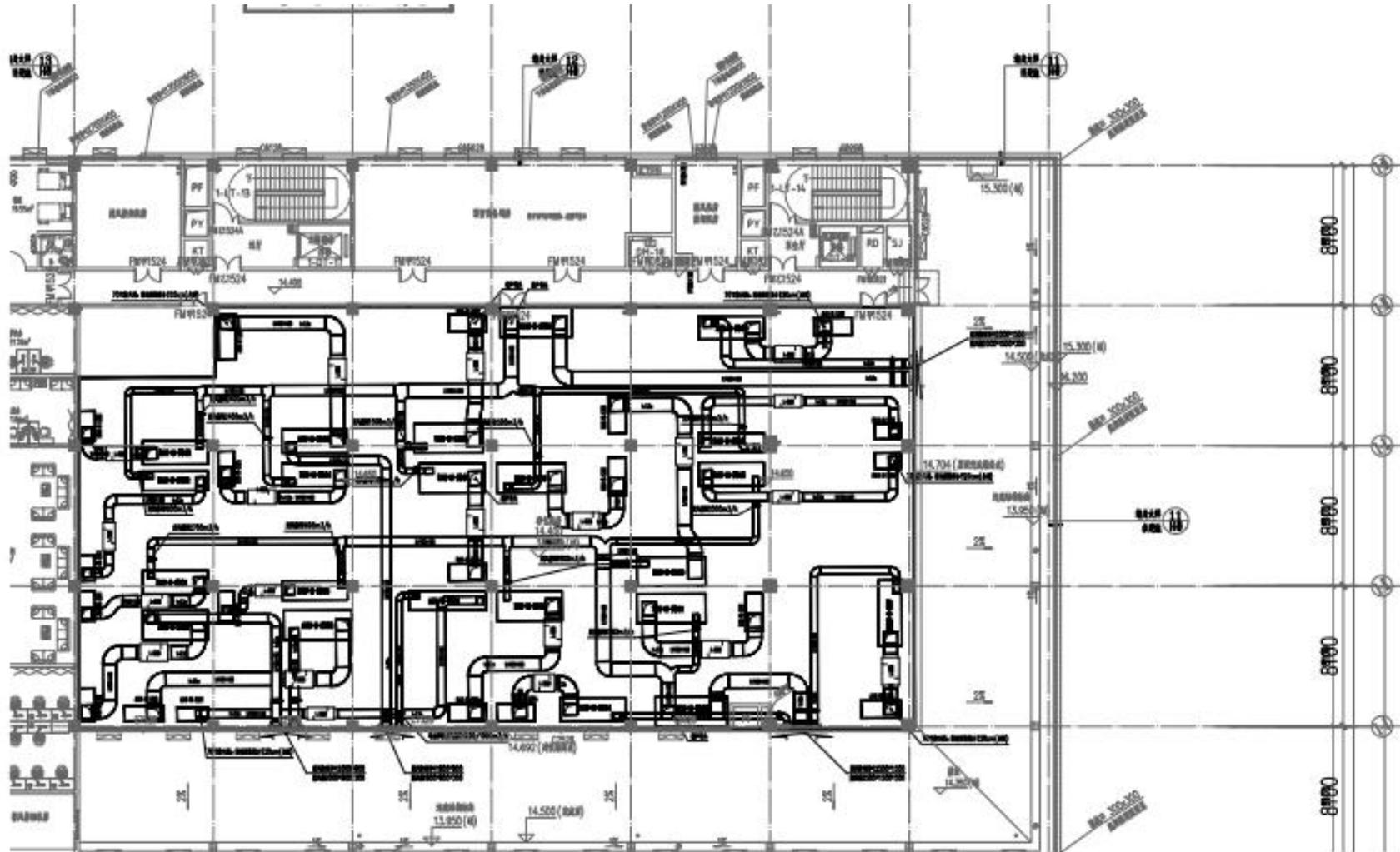


附图 11 本项目核医学科通风系统设计图



附图 12 本项目 DSA 和 ERCP 手术室通风系统设计图







附图 14 住院大楼负一层排水管

