

核技术利用建设项目
马鞍山十七冶医院
新建放疗中心
(含 PET/CT 用房建设) 项目
环境影响报告表

(公示本)

马鞍山十七冶医院

2021 年 4 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目
马鞍山十七冶医院
新建放疗中心
(含 PET/CT 用房建设) 项目
环境影响报告表

建设单位名称：马鞍山十七冶医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：安徽省马鞍山市雨山区湖南西路 828 号

邮政编码：243000

联系人：姜**

电子邮箱：994684701@qq.com

联系电话：15155558082

《建设项目环境影响报告表》编制说明

《建设项目环境影响报告表》由具有从事环境影响评价资质的单位编制。

1.项目名称——指项目立项批复时的名称，应不超过30个字（两个英文字段作一个汉字）；

2.建设地点——指项目所在地详细地址，公路、铁路应填写起止地点；

3.行业类别——按国标填写；

4.总投资——指项目投资总额；

5.主要环境保护目标——指项目周围一定范围内集中居民住宅区、学校、医院、保护文物、风景名胜区、水源地和生态敏感点等，应尽可能给出保护目标、性质、规模和距厂界距离等；

6.结论与建议——给出本项目清洁生产、达标排放和总量控制的分析结构，确定污染防治措施的有效性，说明本项目对环境造成的影响，给出建设项目环境可行性的明确结论。同时提出减少环境影响的其他建议；

7.预审意见——由行业主管部门填写答复意见，无主管部门项目，可不填；

8.审批意见——由负责审批该项目的生态环境行政主管部门批复。

目 录

表 1 项目基本情况.....	- 1 -
表 2 放射源.....	- 13 -
表 3 非密封放射性物质.....	- 13 -
表 4 射线装置.....	- 14 -
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	- 15 -
表 6 评价依据.....	- 16 -
表 7 保护目标与评价标准.....	- 19 -
表 8 环境质量和辐射现状.....	- 31 -
表 9 项目工程分析与源项.....	- 38 -
表 10 辐射安全与防护.....	- 58 -
表 11 环境影响分析.....	- 75 -
表 12 辐射安全管理.....	- 115 -
表 13 结论与建议.....	- 118 -
表 14 审批.....	- 126 -
附图 1 新建放疗中心（含 PET/CT 用房建设）项目地理位置示意图.....	- 127 -
附图 2-1 马鞍山十七冶医院平面布局及辐射环境评价范围.....	- 128 -
附图 2-2 马鞍山十七冶医院平面布局及声环境评价范围.....	- 129 -
附图 3 放疗中心平面布局（负一层）.....	- 130 -
附图 4 放疗中心平面布局（一层）.....	- 131 -
附图 5 放疗中心平面布局图（二层）.....	- 132 -
附图 6 放疗中心剖面图.....	- 133 -
附图 7 本项目于安徽省生态红线区位置关系图.....	- 134 -
附件 1：委托书.....	- 135 -
附件 2：新建放疗中心（含 PET/CT 用房建设）项目立项文件.....	- 136 -
附件 3：一般项目备案回执.....	- 137 -
附件 4：辐射安全许可证正副本.....	- 139 -
附件 5：辐射安全领导小组.....	- 144 -
附件 6：医院辐射工作人员个人剂量检测报告.....	- 160 -
附件 7：医院辐射工作人员辐射安全与防护培训证书（部分）.....	- 173 -
附件 8：医院辐射工作人员职业健康体检情况（部分）.....	- 177 -
附件 9：现有核技术利用项目 2020 年度监测报告.....	- 178 -
附件 10：辐射环境现状监测报告.....	- 197 -
附件 11：本项目设计图.....	- 211 -
附件 12：医疗废物处置合同.....	- 220 -

表 1 项目基本情况

建设项目名称		马鞍山十七冶医院新建放疗中心（含 PET/CT 用房建设）项目			
建设单位		马鞍山十七冶医院			
法人代表	王仲恺	联系人	姜**	联系电话	15155558082
注册地址		安徽省马鞍山市雨山区湖南西路 828 号			
项目建设地点		安徽省马鞍山市雨山区湖南西路 828 号			
立项审批部门		马鞍山市雨山区 发展改革委员会	批准文号	**	
建设项目总投资 (万元)	**	项目环保总投资 (万元)	**	投资比例（环保 投资/总投资）	16.7%
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 ² ）	/
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 type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类		
	非密封放 射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input 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		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
其他	/				
<p>项目概述</p> <p>一、建设单位简介</p> <p>马鞍山十七冶医院（统一社会信用代码：12340500MB10452001）位于安徽省马鞍山市雨山区湖南西路 828 号。医院创建于 1965 年，是隶属于央企中国冶金科工集团有限公司的国有卫生事业单位，经过半个多世纪的发展，现已成为一所集医疗、预防、科研、教学、康复保健于一体的现代化三级甲等综合性医院。马鞍山十七冶医院是国家爱婴医院，马鞍山市雨山区医疗联合体总院，安徽省工伤康复定点医院，马鞍山市医保 AAA 信誉单位、物价信得过单位，安徽省第六至十一届文明单位。服务于马鞍山一市三县 230 万人口。</p>					

医院开设科室齐全，设有内、外、妇、儿肿瘤、康复等 27 个临床科室，编制床位 624 张，实际开放 750 张。在马鞍山地区享有较好知名度和良好声誉。其中普外科为安徽省重点学科，麻醉科为马鞍山市重点建设专科，医学影像科、内分泌科为马鞍山市重点扶持专科。微创外科、内分泌科、重症医学科、呼吸内科、消化内科、麻醉科和医学影像科为医院重点学科。

医院设备配置先进，拥有日本佳能 320 排（640 层）谱黄金 CT、德国西门子 64 排 128 层螺旋 CT、西门子 DSA、美国 GE 公司磁共振系统、乳腺钼靶 X 光机、DR、CR、GE 四维心脏彩超、体外冲击波碎石机、腹腔镜、喉镜、气管镜、胃镜、肠镜、动态心电图、全自动生化分析仪、化学发光仪、血液透析机、热疗机等大中型设备上千台套，以及现代化的层流空气净化手术麻醉间。

二、任务由来

随着人们生活水平不断提高，对医疗服务水平和医疗条件也提出了更高要求，提高医疗水平和质量也是构建社会主义和谐社会的重要一环，现有医疗机构难以满足人们快速增长的医疗需求，马鞍山十七冶医院综合考虑在医院 5 号楼（CT 及同位素室）南侧空地新建放疗中心（含 PET/CT 用房建设），在新建的放疗中心负一层内建设 1 座医用电子直线加速器机房，配备 1 台医用电子加速器用于肿瘤的放射治疗；同时，在放疗中心一层新建 1 处丙级非密封放射性物质工作场所（PET/CT 影像中心），于场所内使用非密封放射性物质 ^{18}F 开展 PET/CT 核素显像诊断工作。

该项目已在马鞍山市雨山区发展和改革委员会进行立项备案，备案文号：2019-340504-84-03-011314，详见附件 2。具体建设内容：新建 1 栋放疗中心（为地上二层，地下一层建筑），于放疗中心负一层内建设 1 座医用电子直线加速器机房，配备 1 台医用电子加速器用于肿瘤的放射治疗；于放疗中心一层新建 1 处丙级非密封放射性物质工作场所（PET/CT 影像中心），于场所内使用非密封放射性物质 ^{18}F 开展 PET/CT 显像诊断工作；于放疗中心二层新建配套辅助办公区域。该项目总投资约 6000 万元：含医疗设备投资 5900 万元，基建等投资 100 万元。

医院本次新建放疗中心项目已在建设项目环境影响登记表备案系统完成了一般项目的登记工作，其备案回执见附件 3。

三、编制目的

为加强核技术应用项目的辐射环境管理，防止辐射污染和意外事故的发生，确保其使用过程不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，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》和《放射性同位素与射线装置防护条例》等相关法律法规要求，建设方马鞍山十七冶医院需对该项目进行环境影响评价。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）的规定，本项目属于“第 172 条 核技术利用建设项目”中“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）的”应编制环境影响报告表。

为此，马鞍山十七冶医院委托南京瑞森辐射技术有限公司对该项目开展环境影响评价工作（委托书见附件 1）。南京瑞森辐射技术有限公司接受委托后，通过现场勘察、收集资料并结合现场监测等工作的基础上，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制了该项目环境影响报告表。

四、评价内容及目的

1、对马鞍山十七冶医院新建放疗中心（含 PET/CT 用房建设）项目施工期和运行期的环境影响进行评价分析。

2、对项目拟建地址进行辐射等环境质量现状监测，以掌握场所及周围的环境质量现状水平，并对项目进行环境影响预测评价。

3、提出污染防治措施，使辐射影响降低到“可合理达到的尽可能低水平”。

4、满足国家和地方生态环境部门对建设项目环境管理规定的要求，为项目的环境管理提供科学依据。

五、项目概况

项目名称：马鞍山十七冶医院新建放疗中心（含 PET/CT 用房建设）项目

建设单位：马鞍山十七冶医院

设计单位：中国十七冶集团有限公司

建设性质：新建

建设地点：安徽省马鞍山市雨山区湖南西路 828 号

1、建设内容与规模:

本项目位于安徽省马鞍山市雨山区湖南西路 828 号马鞍山十七冶医院院区内, 于 5 号楼 (CT 及同位素室) 南侧空地新建 1 栋放疗中心 (为地上二层, 地下一层建筑), 于放疗中心负一层内建设 1 座医用电子直线加速器机房, 配备 1 台医用电子加速器用于肿瘤的放射治疗; 于放疗中心一层新建 1 处丙级非密封放射性物质工作场所 (PET/CT 影像中心), 于场所内使用非密封放射性物质 ^{18}F 开展 PET/CT 显像诊断工作。本次拟申请新增辐射项目内容见表 1-1。

表 1-1 马鞍山十七冶医院本次新增核技术利用情况一览表

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
1	^{68}Ge	$9.25 \times 10^7 \times 1$ $4.62 \times 10^7 \times 2$	V	使用	校准源	PET/CT 影像中心	储源室内
非密封放射性物质							
序号	核素	用途	单个病人最大用量 (mCi/人·次)/用药方式	日最大病人 量(人)	年最大病人 量(人)	日最大操作量 (Bq)	
1	^{18}F	核素显像	15 (静脉注射)	20	5000	1.11×10^{10}	
射线装置							
序号	射线装置名称	装置型号	最大管电压	最大管电流	射线装置类别	活动种类	备注
1	医用电子直线加速器	未定	X 射线能量为 6、10MV, 10MV 时 1m 处最高剂量率: 600cGy/min 6MV 时 1m 处最高剂量率: 1400cGy/min 电子线: ≤ 20 MeV, 1m 处最大输出量: 1000cGy·m ² /min。		II	使用	拟购
2	PET/CT	未定	$\leq 140\text{kV}$	$\leq 800\text{mA}$	III	使用	拟购

2、工作制度及人员配置

工作制度: 本项目辐射工作人员年工作天数为 250 天, 实行 8 小时工作制。

本项目拟配置辐射工作人员 8 人, 均为医院新聘辐射工作人员, 配置至本项目后, 不再从事其他辐射工作。其中医用电子直线加速器项目拟配备 4 名辐射工作人员, PET/CT 影像中心拟配备 4 名辐射工作人员。各项目的辐射工作人员互不交叉。医院承诺新聘的辐射工作人员必须参加辐射安全与防护培训并考试合格后方可上岗参加

工作。后期随着工作量的不断增加，医院也计划持续引进技术熟练的医生、技师及护士，医院应做好辐射工作人员管理工作。

六、产业政策符合性

本项目系核与辐射技术用于医学领域，属高新技术。根据国家发展和改革委员会 2019 年第 29 号令《产业结构调整指导目录（2019 年）》，属于鼓励类中第三十七项“卫生健康”的第 5 条“医疗卫生服务设施建设”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。本项目的运营可为马鞍山市区及周边病人提供诊疗服务，是提高人民群众生活质量，提高全市医疗卫生水平和建设小康设备的重要内容，本项目具有放射实践的正当性，符合现行的国家产业政策。

七、本项目外环境及总图布置合理性分析

1、马鞍山十七冶医院外环境关系

马鞍山十七冶医院位于安徽省马鞍山市雨山区湖南西路 828 号（项目地理位置见附图 1）。医院东侧为雨山六村居民区；南侧为湖南西路；西侧为康复路及马鞍山钢铁股份有限公司；北侧为雨山六村居民区。

马鞍山十七冶医院用地属于医疗卫生用地，从周边外环境关系可知，医院周边规划为居民住宅和市政道路，周边无自然保护区等生态环境保护目标，无大的环境制约因素。

2、放疗中心外环境关系

马鞍山十七冶医院本次新建的放疗中心位于医院 5 号楼（CT 及同位素室）的南侧，放疗中心为地上二层，地下一层建筑，其东侧为医院地面停车场，南侧为理疗口腔门诊（二层建筑），西侧为医院围墙，北侧为 5 号楼（CT 及同位素室）。医院总平面布置图见附图 2。

3、辐射工作场所外环境关系

（1）医用电子直线加速器项目

医院本次新建的医用电子直线加速器机房位于放疗中心负一层，机房东、西及北侧均为土层，南侧为水冷机房、控制室及楼梯间，上方为 PET/CT 影像中心，下方为土层。放疗中心负一层平面布局见附图 3。

(2) PET/CT 核素显像项目

医院本次新建的非密封放射性物质工作场所（PET/CT 影像中心）位于放疗中心一层，工作场所东侧为室外停车场，南侧为理疗口腔门诊（二层建筑），西侧为医院围墙，围墙外是康复路及马鞍山钢铁股份有限公司，北侧为 5 号楼（CT 及同位素室），上方为放疗中心的医生办公室等，下方为医用电子直线加速器机房。放疗中心一层平面布局见附图 4，放疗中心二层平面布局见附图 5，放疗中心剖面图见附图 6。

4、项目选址合理性分析

医院对放疗中心的选址及布局时已充分考虑了项目特点、利益代价等及周围环境对本项目可能存在的影响，本项目辐射工作场所根据工作要求且有利于辐射防护和环境保护进行布局，功能分区明确，既能有机联系，又不互相干扰，且最大限度避开了人流量较大的门诊区或其它人流活动区；在设计阶段，辐射工作场所进行了合理的优化布局，同时兼顾了病人就诊的方便性。

马鞍山十七冶医院用地性质为医疗用地，本项目建设地点位于为医院内部，不新增用地，且本项目辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射通过采取相应的治理措施后对周围环境影响较小，从辐射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。

综上所述，评价认为，本项目选址及布局合理可行。

八、“三线一单”相符性分析

根据生态环境部发布的《关于以改善环境质量为核心加强环境影响评价管理的通知》（以下简称《通知》），《通知》要求切实加强环境影响评价管理，落实“生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和环境准入负面清单”约束，建立项目环评审批与规划环评、现有项目环境管理、区域环境质量联动机制，更好地发挥环评制度从源头防范环境污染和生态破坏的作用，加快推进改善环境质量。本项目“三线一单”符合性分析如下：

1、与生态保护红线相符性分析

本项目选址位于马鞍山十七冶医院院内，不新增占地，无生态环境破坏，医院已建成多年，项目用地为医疗卫生用地，根据《安徽省生态保护红线》本项目不在生态红线范围内，与最近的生态红线（江心洲）相距约 5 公里（详见附图 7）。因此，本项目的建设符合《安徽省生态保护红线》的要求。

2、环境质量底线

根据《2020 年环境质量概要》（马鞍山市生态环境局）可知，2020 年全市环境质量总体稳中趋好。全市环境空气质量达标天数比例为 88.3%，首要污染物为细颗粒物（PM2.5），全年无严重污染天气。水环境质量总体状况良好。城市主要集中式饮用水源地水质和水量达标率稳定保持在 100%。城市声环境质量有所好转。

本项目废气、废水排放、固体废物处置依托医院现有或新增的处理设施，根据医院环评及批复文件，废水排入医院的污水处理站处理后排入马鞍山市第二污水处理站处理后最终排入雨山河。医疗废物属危险废物，医院已委托有危险废物处置资质的单位处置，生活垃圾、废弃医药包装材料等一般固体废物交当地环卫部门清运处置。

本项目在严格落实环境保护及管理措施情况下，产生的废气、废水、噪声、固废均可做到达标排放或者有效处置，不会降低区域环境质量功能等级。项目在落实各项屏蔽措施和辐射安全管理设施和措施前提下，对所在区域的辐射环境影响甚微，均可满足相关限值要求和管理规定。

综上所述，本项目建设不会突破环境质量底线。

3、资源利用上线

本项目运营期间，消耗一定量的电源、水资源，项目资源消耗量相对区域资源利用总量较少，基本不会增加资源的利用量，符合资源利用上线要求。

4、环境准入负面清单

本项目系核与辐射技术用于医学领域，属高新技术。根据国家发展和改革委员会 2019 年第 29 号令《产业结构调整指导目录（2019 年）》，属于鼓励类中第三十七项“卫生健康”的第 5 条“医疗卫生服务设施建设”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。本项目的运营可为马鞍山市区及周边病人提供诊疗服务，提高全市医疗卫生水平和建设小康社会的重要内容，本项目具有放射实践的正当性，符合现行的国家产业政策，故不属于环境准入负面清单内的项目。

综上所述，本项目建设满足生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线，且不在环境准入负面清单中，符合“三线一单”环保要求。

九、实践的正当性

马鞍山十七冶医院新建放疗中心（含 PET/CT 用房建设）项目的目的是为了对病人进行医学诊断和放射治疗。在采取了相应的辐射防护措施后，项目所致的辐射危害

可得到有效控制，项目实施的利益大于代价，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的辐射防护“实践的正当性”原则。

十、项目单位核技术应用现状

1、辐射安全许可证的许可种类和范围

马鞍山十七冶医院已于 2020 年 06 月 09 日重新申领了辐射安全许可证，医院现持有安徽省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》（证书编号皖环辐证〔00145〕），有效期至 2024 年 01 月 13 日，许可种类和范围为：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所），医院目前共有 13 台射线装置（其中Ⅱ类射线装置 1 台，Ⅲ类射线装置 12 台）其许可情况及验收情况见表 1-2，辐射安全许可证正副本见附件 4。

表 1-2 马鞍山十七冶医院现有核技术利用情况一览表

非密封放射性物质							
序号	工作场所名称	场所等级	核素名称	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	使用情况	环评、许可及验收情况
1	核医学科	乙级	¹³¹ I	1.48×10 ⁸	1.85×10 ¹¹	使用	已环评、许可，已验收
2	核医学科	丙级	¹³¹ I	5.55×10 ⁵	4.16×10 ⁸	使用	
3	CT 室	丙级	¹²⁵ I（粒子源）	1.67×10 ⁷	2.96×10 ¹⁰	使用	

表 1-2 马鞍山十七冶医院现有核技术利用情况一览表（续表）

射线装置					
序号	装置名称	型号	类别	场所	环保验收情况
1	64 排 CT	SOMATOM	III	CT 室 2 号机房	已许可，并检测合格
2	DSA	Artis zee Ceiling	II	介入科	已许可，已验收
3	DR	Definium 6000	III	放射科 2 号机房	已许可，并检测合格
4	乳腺钼靶	Senoeraph DS	III	放射科	
5	移动式 X 射线机	HM-50B	III	放射科	
6	C 型臂 X 射线机	Brivo OEC 715	III	介入科 1 号手术室	
7	C 型臂 X 射线机	DG3310	III	介入科 2 号手术室	
8	骨密度	DPX-NT	III	核医学科	
9	DR	新东方 1000m	III	健康管理中心	
10	口腔全景 X 射线机	PROMAX	III	口腔科 1 号机房	
11	牙科 X 射线机	INTRAO570	III	口腔科 2 号机房	
12	320 排 CT	TSX-305A	III	CT 室 1 号机房	

13	DR	新东方 1000EC	III	放射科 1 号机房	
<p>马鞍山十七冶医院现有的核医学及 DSA 项目已于 2015 年 2 月完成了竣工环境保护验收工作。且医院现有核技术利用项目均开展了年度监测工作，其检测结果均符合国家相关标准要求。</p> <p>2、关于辐射安全与环境保护管理机构</p> <p>根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，马鞍山十七冶医院已根据现有核技术应用项目现状，于2021年1月8日医院印发了《关于调整医院辐射安全与防护管理领导管理小组的通知》，该文件任命了院长（尚昌凤）具体负责全院辐射安全管理工作（见附件5），其中辐射安全与防护管理领导小组的副组长（贾先慧）已取得辐射安全培训合格证书，证书编号：皖环辐培B1845049。医院的辐射安全与防护领导小组组成上涵盖了现有核技术应用所直接涉及的科室，在框架上符合要求。</p> <p>3、辐射工作人员个人剂量、体检、培训情况</p> <p>（1）个人剂量检测情况</p> <p>根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第 18 号令）的要求，马鞍山十七冶医院现有辐射工作人员 82 名，为对辐射工作人员所受剂量进行控制，医院委托了马鞍山市中心医院有限公司对医院的辐射工作人员进行个人剂量检测，2020 年度个人剂量检测报告见附件 6。</p> <p>个人剂量检测结果表明马鞍山十七冶医院辐射工作人员在 2020 年 1 月~2020 年 12 月全年所受附加剂量在（0.02~2.92）mSv，满足项目剂量管理限值（DSA 介入手术人员不超过 10mSv/a，其他辐射工作人员不超过 5mSv/a），也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于剂量限值的要求。</p> <p>根据医院提供的个人剂量检测报告，其中编号为：2020 个人剂量第 012 号（2020 年 6 月 30 日）和 2020 个人剂量第 012 号（2020 年 9 月 30 日）中的标准年号引用错误，但结果可信；根据检测报告可知，辐射工作人员存在剂量片遗失的情形，医院应加强辐射管理工作，杜绝剂量计损坏或丢失的情况再次发生。医院所有参与辐射工作的人员均进行个人剂量检测，并建立剂量管理限值和剂量评价制度，优化实践行为，做好个人剂量档案及职业健康检查档案工作。</p>					

(2) 辐射安全与防护培训情况

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及生态环境部发布的关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告，医院应组织辐射工作人员进行辐射安全与防护知识的学习并通过考核，考核不合格的不得上岗，部分辐射工作人员的培训证书见附件 7。

马鞍山十七冶医院现有辐射工作人员 82 名，其中潘廷静因未取得辐射安全与防护培训证书，医院尚未安排辐射岗位，其余人员均取得了辐射安全培训合格证书。医院应尽快组织相关人员及新聘人员网上自行学习辐射与防护相关知识，并及时了解相关考核计划，尽快通过考核，考核合格后再安排参与辐射工作。

医院应根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年 第 57 号）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。本项目拟新增的辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每 5 年接受一次再学习考核。

(3) 关于职业健康体检

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射工作人员职业健康管理暂行办法》（卫生部第 55 号令）的要求，马鞍山十七冶医院制定了辐射安全防护管理制度，制度规定对放射工作人员定期进行职业健康检查，建立职业健康体检档案，体检报告见附件 8。

马鞍山十七冶医院于 2019 年 5 月至 2020 年 11 月对全院辐射工作人员进行了职业健康体检（含新入职及离职人员），体检结果表明：全院辐射工作人员体检结果均为“可继续从事放射工作”。

在今后的工作中，医院应继续加强辐射管理工作，严格执行岗前培训和体检制度，避免辐射防护知识缺乏和体质不适合人员参与辐射工作；对于体检出现职业异常的人员，医院应督促及时复查，复查仍不宜从事放射工作的，应及时调整出辐射工作岗位。

4、关于辐射安全管理

(1) 现有核技术利用项目的监测达标情况

马鞍山十七冶医院已委托安徽达申卫生检测技术有限公司和合肥金浩峰检测研究院有限公司对医院现有核技术利用项目进行了 2020 年度的年度监测，其检测结果符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等相关标准要求。医院现有核技术利用项目的 2020 年度检测报告见附件 9。

(2) 辐射防护用品及监测仪器配置情况

目前，医院已购买了 2 台 X-γ 辐射剂量巡测仪等辐射监测设备，已为各辐射工作场所及人员配备了必要的铅防护服、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、铅橡胶围脖、铅悬挂防护屏等个人防护用品和辅助防护设施。

为确保医院核技术应用项目的辐射安全可靠，医院应根据本次核技术应用项目的具体情况，补充制定日常自行监测计划，定期检测射线装置及周围环境的辐射水平。

(3) 监测计划的执行情况

2020 年医院已委托检测单位对现有核技术利用项目进行了辐射防护检测，执行了委托外部有资质的检测单位进行检测的要求。

(4) 年度评估报告上报情况及主管部门的执法检查情况

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求和主管部门要求医院应在每年的 1 月 31 号之前将上一年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。马鞍山十七冶医院已上报 2020 年度评估报告至全国核技术利用辐射安全申报系统。

(4) 辐射安全管理制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，马鞍山十七冶医院已根据医院现有核技术利用项目现状，制定了《辐射防护档案管理制度》、《辐射人员健康管理制度》、《个人剂量牌佩戴规定》、《辐射安全与防护培训制度》、《受检者放射防护制度》、《放射药品管理制度》、《放射性医疗废物的处理方案》、《放射源管理制度》、《辐射防护应急处理预案》、《辐射环境监测及污染防治措施》等一系列规章制度，能够满足马鞍山十七冶医院现有核技术应用项目的管理需要，医院辐射安全管理领导小组应根据国家的法律法规及医院核技术利用情况牵头及时对辐射安全与防护相关制度进行系统修订，提高制度的可操作性，做到所有辐射工作都有

章可循，有制度保障。医院部分规章制度见附件 5。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活度种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	⁶⁸ Ge	$9.25 \times 10^7 \times 1$ $4.62 \times 10^7 \times 2$	V	使用	校准源	PET/CT 影像中心	储源室内	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液态/低毒 $T_{1/2}=109.8\text{min}$	使用	1.11×10^{10}	1.11×10^7	2.77×10^{12}	核素显像	注射 很简单操作	PET/CT 影像中心	按需订购, 不贮存
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用直线 加速器	II	1 台	未定	电子	X 射线: 6、10MV 电子线 ≤ 20 MeV	X 线最高剂量率: 6MV 时 1400cGy/min; 10MV 时 600cGy/min 电子线最高剂量率: 1000cGy/min	放射 治疗	放疗中心	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	PET/CT	III	1	未定	≤ 140	≤ 800	放射诊断	PET/CT 影像中心	本次环评
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
沾有放射性核素的注射器、手套、擦拭废纸等	固体	^{18}F	/			小于清洁解控水平	暂存于注射室内铅废物桶内，随后转移至废物间	存放十个半衰期，达到清洁解控水平后，由医院统一作为普通医疗废物处理
含放射性核素的卫生间下水及清洗废水	液体	^{18}F	/	约 6.4m^3	约 76.8m^3	总 $\beta < 10\text{ Bq/L}$	暂存于衰变池内	达到排放标准后，排至医院污水处理站
含有液态放射性药物分装时挥发的微量气溶胶	气体	^{18}F	/	微量	微量	微量	不暂存	在通风橱内操作，经通风橱管道内及屋顶排放口活性炭装置过滤后排放
臭氧和氮氧化物	气体	/	/	/	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温条件下 50 分钟后可自动分解为氧气
废活性炭	固体	/	/	/	/	小于清洁解控水平	更换后暂存在废物间内	存放十个半衰期，达到清洁解控水平后，由医院统一作为医疗废物处理

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^3 ；年排放总量用 kg 。

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

表 6 评价依据

法规 文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，1989年12月26日发布施行；2014年4月24日修订，2015年1月1日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），2018年12月29日发布施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月1日起实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第449号，2005年12月1日起施行；2019年修正，国务院令709号，2019年3月2日施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，（2017年修订版），国务院令第682号，2017年10月1日发布施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部第20号令，2021年1月8日起施行；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，（2021版），生态环境部第16号令，自2021年1月1日起施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第18号，2011年5月1日起施行；</p> <p>(9) 《射线装置分类》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，2017年第66号，2017年12月5日起施行；</p> <p>(10) 《放射源分类办法》，国家环保总局公告2005年第62号，2015年12月23日起施行；</p> <p>(11) 《放射性废物安全管理条例》，中华人民共和国国务院令第612号，2012年3月1日起施行；</p> <p>(12) 关于发布<放射性废物分类>的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017年公告第65号公布，自2018年1月1日起施行；</p> <p>(13) 《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》国家环保总局，环发[2006]145号，2006年9月26日起施行；</p> <p>(14) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号），2016年3月7日起施行；</p> <p>(15) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》生态环境部公</p>
----------	---

	<p>告2019年第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(16) 《产业结构调整指导目录》(2019年本)，中华人民共和国国家发展和改革委员会令第29号，2020年1月1日起施行。</p> <p>(17) 《安徽省放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2015年8月12日施行；</p> <p>(18) 《安徽省环境保护条例》，2017年11月17日安徽省第十二届人民代表大会常务委员会第四十一次会议修订，2018年1月1日起施行。</p>
技术标准	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(2) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)；</p> <p>(3) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)；</p> <p>(4) 《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>(5) 《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>(6) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)；</p> <p>(7) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)；</p> <p>(8) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)；</p> <p>(9) 《声环境质量标准》(GB3096-2008)；</p> <p>(10) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)；</p> <p>(11) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)；</p> <p>(12) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)；</p> <p>(13) 《境影响评价技术导则 声环境》(HJ2.4-2009)；</p> <p>(14) 《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ.2.2-2018)；</p> <p>(15) 《环境影响评价技术导则 地表水环境》(HJ2.3-2018)；</p> <p>(16) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)；</p> <p>(17) 《核辐射环境质量评价的一般规定》(GB11215-1989)；</p> <p>(18) 《环境地表γ辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-1993)。</p>
其他	<p>(1) 《2020年环境质量概要》(马鞍山市生态环境局，2021年2月10日)；</p>

- | | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none">(2) 医院提供的相关资料等；(3) 设计院提供的图纸等。 |
|--|--|

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

一、**辐射环境**：根据本项目的特点并参照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中“核技术利用建设项目环境影响评价报告书的评价范围和保护目标的选取原则：放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目评价范围，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边界外 50m 的范围”，确定为马鞍山十七冶医院新建放疗中心（含 PET/CT 用房建设）项目所在工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内作为评价范围，详见附图 2。

二、**声环境**：按照《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2009）的规定，本项目位于马鞍山十七冶医院新建的放疗中心内，医院属于 GB3096 规定的 2 类地区，声环境二级评价，本项目取放疗中心外 200m 作为评价范围，详见附图 2。

三、**大气环境**：本项目营运期产生少量的臭氧及氮氧化物，PET/CT 影像中心产生的少量放射性废气经活性炭过滤装置吸附后，不会排放至外环境，无其他废气产生。

按照《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）的规定，并结合项目实际情况，因此确定本项目大气环境影响评价工作等级为三级。

四、**地表水环境**：根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018）的规定，建设项目地表水环境影响评价等级按照影响类型、排放方式、排放量或影响情况、受纳水体环境质量现状、水环境保护目标等综合确定。

本项目营运期将产生少量的生活废水及医疗废水，该废水经过管道排至医院污水处理站进行处理，处理后达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）预处理标准后，经市政污水管网排入城市污水处理厂处理排出。

本项目污水水质简单，因此按照《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018）中的有关规定，确定本项目地表水环境影响评价工作等级为三级 B。

综上，此次评价重点为医用电子直线加速器和 PET/CT 工作场所的屏蔽措施和安全措施评价。

保护目标

一、辐射环境

本项目周围 50m 范围除南侧、西侧部分位于医院围墙外，其余方向均位于医院院内。50m 评价范围内无学校等环境敏感点。本项目辐射环境保护目标为医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患、陪同家属及院内外公众，详见表 7-1。

表 7-1 本项目评价范围内辐射环境保护目标一览表

保护目标名称	性质	方位	最近距离	规模	
放疗中心	控制室	职业人员	/	约 4 人	
	门诊楼	公众	东北侧	15~50 米	约 200 人
	理疗口腔门诊	公众	南侧	10~50 米	约 20 人
	马鞍山钢铁股份有限公司	公众	西侧	15~50 米	约 20 人
	5 号楼	公众	北侧	0~50 米	约 30 人
	放疗中心办公室	公众	上方	10~50 米	约 8 人

二、声环境

本项目医用电子直线加速器和 PET/CT 运行时不产生噪音，但机房和场所内安装有排风机用于排出项目少量的臭氧及氮氧化物及放射性废气，其中医用电子直线加速器机房的排风风机位于负一层顶部，其噪声源强为 64dB (A)；PET/CT 影像中心的排风风机位于放疗中心二层楼顶，其噪声源强为 63dB (A)，两处排风风机在安装过程均采用弹簧减震吊架，在采取隔声、减震等措施后，对周围敏感目标没有影响。

评价标准

一、引用标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射 剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv ②任何一年中的有效剂量，50mSv ③眼晶体的年当量剂量，150mSv ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv
公众照射 剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②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。

剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30% (即 0.1mSv/a~0.3mSv/a) 的范围之内。

辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区, 以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区:

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

监督区:

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

2、《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011):

6 治疗室防护和安全操作要求

6.1 治疗室的防护要求

6.1.1 治疗室选址、场所布局和防护设计应符合 GB18871 的要求, 保障职业场所和周围环境安全。

6.1.2 有用线束直接投照的防护墙(包括天棚)按初级辐射屏蔽要求设计, 其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计, 辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T 201.1 的要求。

6.1.3 在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h。

6.1.4 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

6.1.5 X 射线能量超过 10MV 的加速器, 屏蔽设计应考虑中子辐射防护。

6.1.6 治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

6.1.7 治疗室应有足够的使用面积, 新建治疗室不应小于 45m²。

6.1.8 治疗室入口处必须设置防护门和迷路, 防护门应与加速器联锁。

6.1.9 相关位置(例如治疗室入口处上方等)应安装醒目的照射指示灯及辐射标志。

6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。

3、《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）：

4.2 治疗机房布置要求

4.2.1 治疗装置控制室应与治疗机分离。治疗装置辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗装置分离的，应尽可能设置于治疗机房外。

4.2.2 直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留因子较大的用室，应尽可能避开有用束可直接照射到的区域。

4.2.3 X 射线管治疗装置的治疗机房可不设迷路。 γ 刀治疗装置的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路。除此而外，其他治疗机房应设置迷路。

4.2.4 应根据治疗要求给定治疗装置源点的位置（它可能偏离机房的对称中心）或后装治疗源可能应用的源点的位置与范围。

4、《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）：

4.2 剂量控制要求

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控制水平：

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（ \dot{H}_c ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

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

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

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（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

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

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

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

4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求：

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b) 两种情况控制：

a) 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）在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 $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 和最高剂量率 $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ，按照 4.2.1 求得关注点的剂量率参考水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 加以控制。

b) 除 4.2.2 中 a) 的条件外，应考虑下列情况：

1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量（率）的总和，应按 4.2.2 中的 a) 确定关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 加以控制；

2) 穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量 $250\mu\text{Sv}$ 加以控制；

3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，考虑上述 1) 和 2) 之后，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）。

5、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

引自“第 6 款 X 射线设备机房防护设施的技术要求”内容，如下：

6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房门、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 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求；

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

表 2 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

机房类型	机房内最小有效使用面积, m ²	机房内最小单边长度, m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5

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表 3 的规定。

6.2.2 医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 C 中表 C.4~表 C.7。

表 3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 3 的要求。

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

6.4 X 射线设备工作场所防护

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

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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

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

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

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

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

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

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

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

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 4 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT 体层扫描 (隔室)	-	-	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	-

7.4 CT 设备操作的防护安全要求

7.4.1 CT 工作人员应根据临床的实际需要，正确选取并优化设备工作参数，在满足诊断需要的同时，尽可能减少受检者受照剂量。

7.4.2 对儿童进行 CT 检查时，应正确选取扫描参数，以减少受照剂量，使儿童的 CT 应用达到最优化。

6、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）：

引至“第 5 款 工作场所的放射防护要求”内容，如下：

第 5.1 款 工作场所平面布局和分区

5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人员稠密区域。

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

- a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；
- b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；
- c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；
- d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。

5.1.3 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下：

a) 对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室（根据放射性核素防护特性分别设置）、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房；

c) 诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息站、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房；

5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据 GB18871 的有关规定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。

5.1.5 核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开设置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区（病房）的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。

5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物的患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。

5.1.7 应通过工作场所平面布局的设计和屏蔽手段，避免附近的辐射源（核医学周边场所内的辐射装置、给药后患者或受检者）对诊断区设备成像、功能检测的影响。

第 5.2 款 放射防护措施要求

5.2.3 核医学工作场所的通风按表 1 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

5.2.5 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。

5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。

5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。

5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。回旋加速器机房内应装备应急对外通讯设施。

5.2.10 扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。

第 5.3 款 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，宜不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。屏蔽计算中所涉及的常用放射性药物物理特性详见附件 H。PET 相关房间的辐射屏蔽计算方法和示例参见附录 I。

5.3.2 应根据使用核素的特点、操作方式以及潜在的照射的可能性和严重程度，做好工作场所监测，包括场所周围剂量当量率水平、表面污染水平或空气中放射性核素浓度等内容，工作场所放射防护检测方法见附件 J。开展核医学工作的医疗机构应定期对放射性药物操作后剂量率水平和表面污染水平进行自主监测，每年应委托有相

应资质的技术服务机构进行检测。核医学工作场所的放射性表面污染控制水平见表 2。

表 2 核医学工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹

1) 该区内的高污染子区除外。

7、《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）：

表 B.1 以核素活度浓度表示的清洁解控水平推荐值

解控水平 (Bq/g)	核素
1×10 ¹	¹⁸ F

注 1：上述解控水平推荐值原则上只适用于在组织良好、人员训练有素的工作场所对产生少量放射性固体废物的医学应用或实验室。

2：严禁为申报清洁解控而采用人工稀释等方法来降低核素活度浓度。

3：本表数值取自 GB18871-2002 附录 A，并与 GBZ167-2005 附录 B 的取值相一致。

8、《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）：

4.1.2 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 2 的规定。直接或间接排入地表水体和海域的污水执行排放标准，排入终端已建有正常运行城镇二级污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准。

二、辐射环境评价标准限值

1、个人剂量管理限值

①职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.2.1 条的规定，对任何工作人员，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均）20mSv。对于职业人员项目，要求按上述标准中规定的职业照射年有效剂量约束限值的 1/4 执行（即 5mSv/a）。本项目评价标准按上述标准中规定的职业照射年有效剂量约束限值的 1/4 执行，即 5mSv/a。

②公众照射：第 B1.2.1 条的规定，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年有效剂量 1mSv。项目要求按上述标准中规定的公众照射年有效剂量约束限值的 1/4 执行，即 0.25mSv/a。

2、放射性表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B11 工作场所的放射性表面污染的控制水平见表 7-2。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平

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

3、放射性废水排放限值

废水执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 限值，标准值见表 7-3。

表 7-3 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值）

控制项目	衰变池排放口排放标准（Bq/L）	依据
总 β	10	（GB18466-2005）表 2 限值
总 α	1	

4、表面污染解控

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B2 表面污染控制水平：“工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 B11 中所列设备类的控制水平的五分之一以下时（即 0.8Bq/cm²），经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。”。

5、工作场所内外控制剂量率

在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 25μSv/h，宜不大于 2.5μSv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜柜体外表面 5cm 的周围剂量当量率控制目标值不大于 25μSv/h；

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020），本项目各医用射线装置使用场所在距离机房屏蔽体外表面 30cm 外，周围辐射剂量率应满足：控制目标值不大于 2.5μSv/h。

6、其他

核医学科内通风橱的排风装置设计风速不小于 0.5m/s。

三、参考资料：

(1) 《安徽省环境状况公报》（2019年）：

2019年，全省伽玛辐射空气吸收剂量率（含宇宙射线贡献值）年均值为101nGy/h，范围为（60~130）nGy/h 。

(2) 《2020 年环境质量概要》（马鞍山市生态环境局）。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理和场所位置

马鞍山十七冶医院位于安徽省马鞍山市雨山区湖南西路 828 号医院东侧为雨山六村居民区；南侧为湖南西路；西侧为康复路及马鞍山钢铁股份有限公司；北侧为雨山六村居民区。

马鞍山十七冶医院本次新建的放疗中心位于医院 5 号楼（CT 及同位素室）的南侧，放疗中心为地上二层，地下一层建筑，其东侧为医院地面停车场，南侧为理疗口腔门诊（二层建筑），西侧为医院围墙，北侧为 5 号楼（CT 及同位素室）。

医院本次新建的医用电子直线加速器机房位于放疗中心负一层，机房东、西及北侧均为土层，南侧为水冷机房、控制室及楼梯间，上方为 PET/CT 影像中心，下方为土层。

医院本次新建的非密封放射性物质工作场所（PET/CT 影像中心）位于放疗中心一层，工作场所东侧为室外停车场，南侧为理疗口腔门诊（二层建筑），西侧为医院围墙，围墙外是康复路及马鞍山钢铁股份有限公司，北侧为 5 号楼（CT 及同位素室），上方为放疗中心的医生办公室等，下方为医用电子直线加速器机房。

马鞍山十七冶医院本次新建放疗中心（含 PET/CT 用房建设）项目拟建址周围环境见图 8-1~图 8-4。



图 8-1 项目拟建址东侧



图 8-2 项目拟建址南侧



图 8-3 项目拟建址西侧



图 8-4 项目拟建址北侧

二、辐射环境与声环境现状评价

为掌握项目所在地的辐射环境现状，南京瑞森辐射技术有限公司于 2021 年 03 月 5 日至 3 月 6 日按照标准规范对本次放疗中心拟建址及周边环境进行了 γ 辐射剂量率和声环境现状的布点监测，监测报告见附件 10。

1、监测因子

本项目的建设内容为医用电子直线加速器和非密封放射性物质工作场所，主要污染因子为工作场所运行时产生的 X 射线、 γ 射线、 β 表面污染及屋顶排风风机所产生的的噪声。为了更好反映实际情况，本项目的环境监测选取为 γ 辐射剂量率和等效连续 A 声级作为监测因子。

2、监测内容

对拟建项目周围环境水平进行本底调查。

3、监测方案

(1) 监测布点

参照《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001) 中的方法布设监测点，根据本次建设项目周围环境现状，监测点位的选取覆盖放疗中心拟建区域及周围 50m 公众人员工作区域。根据上述布点原则与方法，本项目监测点位布置如图 8-5 所示。对于声环境，在放疗中心拟建址周边进行布点。监测点位布置如图 8-6 所示。

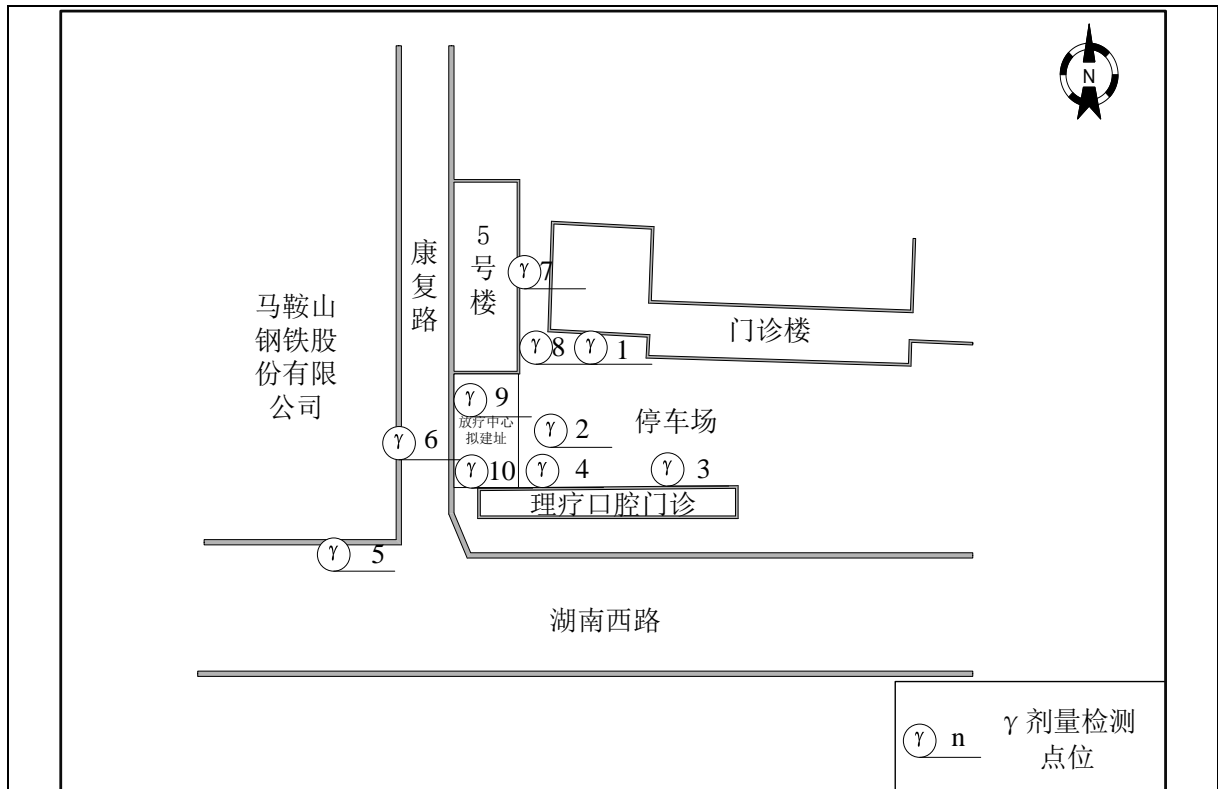


图 8-5 本项目拟建址周围辐射环境监测布点示意图

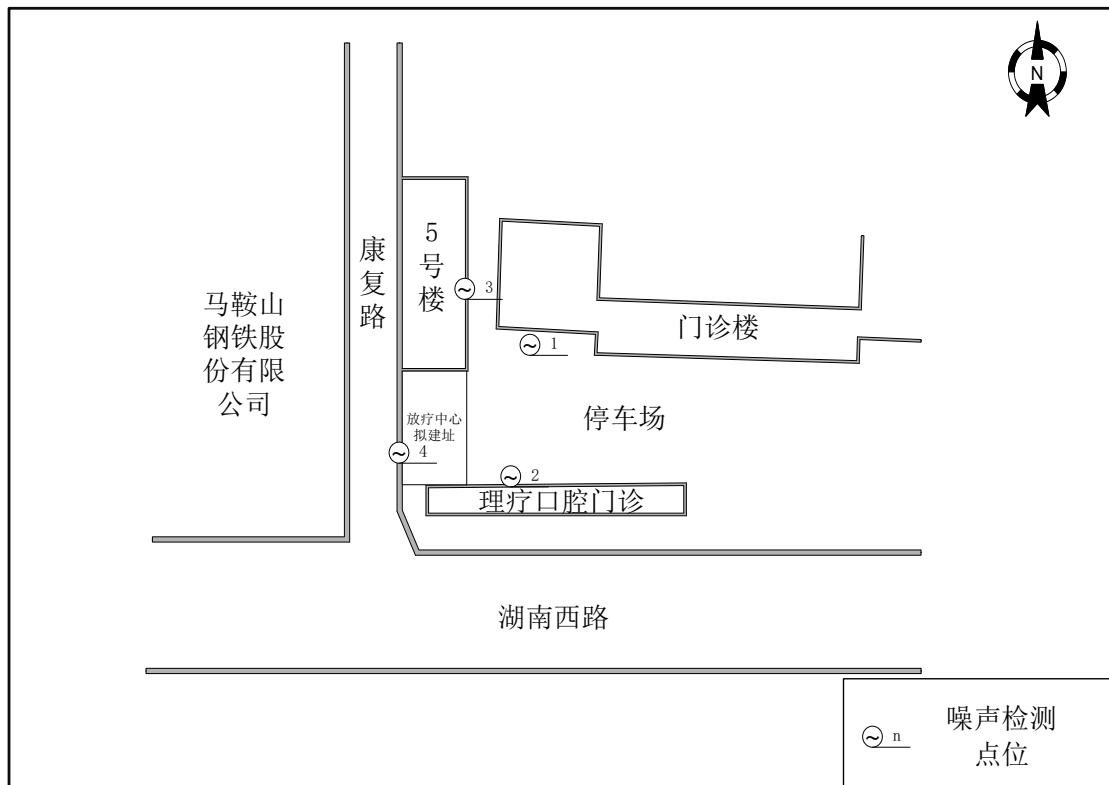


图 8-6 本项目拟建址周围声环境监测布点示意图

(2) 监测仪器

监测使用仪器见表 8-1。

表 8-1 监测使用仪器表

监测项目	监测设备		
	名称及编号	能量响应及监测范围	检定情况
γ 辐射剂量率	FH40G+FHZ672E-10 编号: NJRS-103	40keV~4.4MeV 10nSv/h~100μSv/h	检定有效期: 2021.01.18~2022.01.17
智能风速仪	ZRQF 编号: NJRS-079	/	检定有效期: 2020.4.22~2021.4.21
声级计	AWA6228+ 编号: NJRS-042	23dB (A) ~133dB (A)	检定有效期: 2020.6.16~2021.6.15
声校准器	AWA6221A 编号: NJRS-034	/	检定有效期: 2020.9.2~2021.9.1

4、质量保证措施

人员培训：监测人员经考核并持有合格证书上岗。

仪器刻度：监测仪器经计量部门检定，监测在有效期内。

自检：测量前、后均检查仪器的工作状态。

监测记录：现场监测过程，专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

数据处理与复核：监测报告实行三级审核制度，经校对审核，最后由授权签字人审定签发。

5、环境现状监测与评价

监测所用仪器已由计量部门年检，且在有效期内；测量方法按国家标准方法实施；测量数据处理符合统计学要求；布点合理，结果可信，能够反映出辐射工作场所的客观辐射水平，可以作为本次评价的科学依据。

具体监测结果如下：

表 8-2 项目拟建址 γ 辐射剂量率监测结果

测点编号	检测点位描述	测量结果 (nSv/h)	设备状态
1	拟建址东侧门诊楼	114	室外
2	拟建址东侧停车场	125	室外
3	拟建址南侧理疗口腔门诊	127	室外
4	拟建址南侧理疗口腔门诊	102	室外

5	拟建址西侧马鞍山钢铁股份有限公司围墙	102	室外
6	拟建址西侧马鞍山钢铁股份有限公司围墙	109	室外
7	拟建址北侧 5 号楼门口	104	室外
8	拟建址北侧 5 号楼门口	104	室外
9	拟建址中部（核酸采样点）	114	室外
10	拟建址中部（核酸采样点）	125	室外

由表 8-2 可知，本项目拟建位置周围环境辐射剂量当量率监测值在（102~127）nSv/h 之间，周围 γ 辐射剂量当量率与空气吸收剂量率数值基本相当，转换因子取 1，则拟建址现场及周边环境的空气吸收剂量率为（102~127）nGy/h。根据《安徽省环境状况公报》（2019 年）中数据显示，全省 γ 辐射空气吸收剂量率（含宇宙射线贡献值）平均值为 101nGy/h，范围为（60~130）nGy/h，由此可知，本项目拟建址区域周围辐射环境监测值与安徽省天然贯穿辐射水平相当，属于正常本底范围。

表 8-3 项目拟建址噪声检测结果

测点编号	点位描述	昼间噪声值（Leq（dB(A)））	夜间噪声值（Leq（dB(A)））
1	门诊大楼西南角	55	43
2	理疗口腔门诊北侧	58	45
3	5 号楼门口	56	47
4	院区西侧围墙	60	48

由表 8-3 可知，项目拟建址周围昼间噪声为（55~60）dB（A），夜间噪声为（43~48）dB（A）。符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 2 类功能区的标准要求。

三、大气及地表水环境现状评价

参照马鞍山市 2020 年环境质量概要。2020 年全市环境质量总体稳中趋好。全市环境空气质量达标天数比例为 88.3%，首要污染物为细颗粒物（PM2.5），全年无严重污染天气。水环境质量总体状况良好。城市主要集中式饮用水源地水质和水量达标率稳定保持在 100%。城市声环境质量有所好转。

一、环境空气

2020 年马鞍山市建成区环境空气质量指数（AQI）范围在 23~205 之间，环境空

气质量状况 95 天为“优”，228 天为“良”，36 天为“轻度污染”，6 天为“中度污染”，1 天为“重度污染”，未出现“严重污染”天气；环境空气天数达标天数比例为 88.3%。

2020 年马鞍山市环境空气首要污染物——细颗粒物（PM_{2.5}）年均质量浓度为 36 微克/立方米，超过《环境空气质量标准》（GB3095—2012）（以下同）中二级标准限值，与去年相比降低了 16.3%。

可吸入颗粒物（PM₁₀）年均质量浓度为 58 微克/立方米，达到二级标准限值，与去年相比下降了 14.7%。

二氧化硫年均质量浓度为 10 微克/立方米，达到一级标准限值，与去年相比降低了 16.7%。

二氧化氮年均质量浓度为 34 微克/立方米，达到一级标准限值，与去年相比降低了 5.6%。

一氧化碳日均值第 95 百分位数为 1.2 毫克/立方米，达到一级标准限值，与去年相比降低了 14.3%。

臭氧日最大 8 小时平均第 90 百分位数为 148 微克/立方米，超过二级标准限值，与去年相比降低了 16.9%。

马鞍山十七冶医院本次放疗中心拟建址位于医院院内，由公报可知医院周边空气质量均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中相关标准要求。

二、地表水

2020 年马鞍山市监测断面为 19 个，其中“十三五”国控监测断面 5 个，“十四五”国控监测断面 5 个，省控监测断面 9 个。2020 年，19 个监测断面总体水质状况为良好，与去年相比水质类别没有发生变化。其中，I～III 类和 IV～V 类水质断面比例分别为 84.2% 和 15.8%，没有出现劣 V 类水体。16 个监测断面中，5 个“十三五”国控监测断面水质全部达标，9 个省控监测断面中得胜河含山和县交界断面未达到相应的功能区划，其余监测断面均达标（符合相应功能区划）。

三、城市集中式饮用水水源地

2020 年马鞍山市采石水厂城市集中式饮用水水源地总取水量 9275.78 万吨，总达标水量 9275.78 万吨，饮用水水源地水质和水量达标率均为 100%。

四、声环境

（一） 道路交通声环境质量：

2020 年，全市道路交通噪声昼间平均等效声级为 65.8dB（A），与 2019 年相比上升了 0.2dB（A），城市昼间道路交通噪声等效声级范围在 54.8~74.3dB（A）之间，依据《环境噪声监测技术规范/城市声环境常规监测》（HJ640-2012）（城市道路交通噪声强度等级划分），马鞍山市昼间道路交通声环境强度为一级“好”。

（二） 城市昼间区域声环境质量：

2020 年，全市区域环境噪声昼间平均等效声级为 54.0dB（A），与 2019 年相比下降了 0.6dB（A）。昼间区域环境噪声等效声级范围在 44.7~66.5dB（A）之间。依据《环境噪声监测技术规范/城市声环境常规监测》（HJ640-2012）（城市区域环境噪声总体水平等级划分），马鞍山市昼间区域声环境总体水平为二级“较好”。

（三） 功能区噪声环境：

2020 年，马鞍山市各类功能区共监测 20 个点次，其中昼夜各监测 10 个点次，依据《声环境质量标准》（GB 3096-2008）进行评价，平均等效声级达标率为 91.2%，与去年相比上升了 11.2 个百分点。功能区昼间达标率为 97.5%、夜间达标率为 85.0%。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、施工期工艺分析

本项目位于马鞍山市十七冶医院院内，项目施工期间包括基础工程、主体工程、装饰工程、设备安装、工程验收等工序将产生噪声、扬尘、废气、固体废物和少量污水，其排放量随工期和施工强度不同而有所变化。

(一) 项目施工期工艺流程及产污节点图见下图：

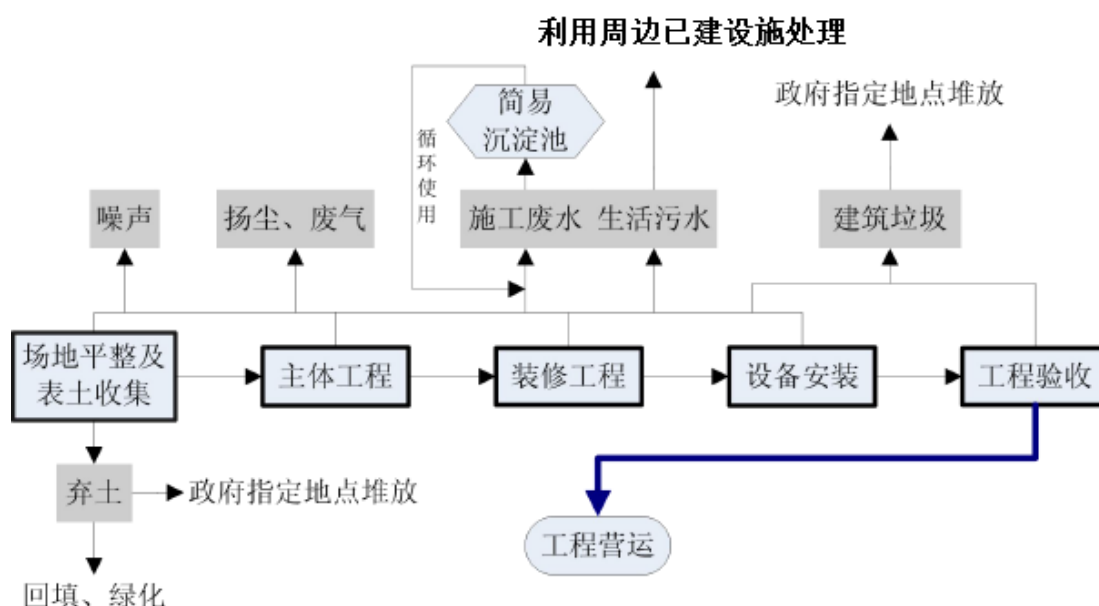


图 9-1 施工期工艺流程及产污节点图

(二) 施工期污染物治理及排放

根据分析，项目施工期主要污染物产生环节以及采取的污染防止措施如下：

1、废气

(1) 排放源

根据项目实施工程分析，项目在施工期其大气污染源主要来自于以下方面：

项目土石方开挖及回填过程产生的扬尘；土建混凝土浇筑及运输车辆装卸材料和行驶时产生的扬尘；建筑材料（混凝土、砖等）的现场搬运及堆放扬尘；施工垃圾的清理及堆放扬尘；人来车往造成的现场道路扬尘。

装饰工程施工如漆、涂、磨、刨、钻、砂等装饰作业以及使用某些装饰材料如涂料、人造板、某些有害物质（如苯系物、甲醛、酚等污染物）等形成有机废气污染物；

施工机械设备排放的少量无组织废气等。

(2) 治理措施

扬尘：在施工过程中，施工单位必须严格按照城市扬尘污染防治管理的有关规定进行治理，尽量减少扬尘对环境的影响程度。项目应根据《国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知》（国发〔2013〕37号）中关于施工扬尘的要求，综合整治城市扬尘。加强施工扬尘监管，积极推进绿色施工，建设工程施工现场应全封闭设置围挡，严禁敞开式作业。渣土运输车辆应采取密闭措施。全面推行现场标准化管理，落实降尘、压尘、抑尘措施。加强建筑垃圾管理，全面实行建筑垃圾密闭运输。考虑施工扬尘对区域大气环境的影响。施工单位应根据本项目建设的具体情况采取以下扬尘治理措施：

①积极推行绿色施工，制定、完善和严格执行建设施工管理制度，全面推行现场标准化管理；严格落实施工现场围挡、工地物料堆场覆盖、施工现场路面硬化、驶出工地车辆冲洗、渣土运输车辆密闭“六个百分之百”；加强建设工地监督检查，督促责任单位落实降尘、压尘和抑尘措施，开展建筑施工扬尘在线监测和视频监控工作。

②施工现场必须全封闭施工，建筑采用密目安全网，以减少结构和装修过程中的粉尘飞扬现象，降低粉尘向大气中的排放；脚手架在拆除前，先将脚手板上的垃圾清理干净，清理时应避免扬尘；施工过程中，楼上施工产生的建筑垃圾，不许在楼上向下倾倒，须运送地面。

③必须湿法作业，必须配齐保洁人员，定时对施工现场进行清扫，做到先洒水，后清扫。

④施工现场道路、作业区、生活区必须进行地面硬化。施工场地出口应设置冲洗平台。在施工区出口放置防尘垫，对运输车辆现场须设置洗车场，用水清洗车体和轮胎，不准车辆带泥出门。项目于施工车辆入口设置运输车辆冲洗平台，对进出工地车辆进行冲洗，确保车辆不带泥出门。

⑤对因堆放、装卸、运输、搅拌等易产生扬尘的污染源，应采取遮盖、洒水、封闭等控制措施。禁止在大风天进行渣土堆放作业，建材堆放地点要相对集中，并对临时土方堆场以毡布覆盖，裸露地面进行硬化和绿化，减少建材的露天堆放时间；开挖出的土石方应加强围栏，表面用毡布覆盖。

⑥施工运入土石方车辆，车厢应严密清洁，防止泄漏造成沿途地面的污染；自卸

车、垃圾运输车等运输车辆不允许超载，选择对周围环境影响较小的运输路线，定时对运输路线进行清扫，运输车辆出场时必须封闭，避免在运输过程中的抛洒现象。不准运渣车辆超载、冒载。运渣车辆，车箱遮盖严密后方可运出场外。土方运输时应合理规划运输路线，避免居民集中段通行，尽量选择人群较少的路段通行，同时合理安排土方运输时间。

⑦严格执行大气污染防治“六不准、六必须”。

⑧禁止现场设置混凝土搅拌站，必须使用商品混凝土。

⑨在距离敏感点较近的区域施工时，应加强对扬尘的治理，减少扬尘对敏感点的影响。

各区的施工管理由专人负责，并设定专门负责人定期对该区的施工扬尘污染防治措施以及环保管理进行检查和核实，严格按照当地关于城市扬尘污染管理的有关规定进行治理，尽量减少扬尘对环境的影响程度。

本项目施工过程中遇重污染天气时，严格按照相关要求减少施工，必要时停止施工建设。

施工机械废气：施工期间，使用机动车运送原材料、设备和建筑机械设备的运转，均会排放一定量的 CO、NO_x 以及未完全燃烧的 THC 等，其特点是排放量小，且属间断性无组织排放，由于其这一特点，加之施工场地开阔，扩散条件良好，因此对其不加处理也可达到相应的排放标准。在施工期内应多加注意施工设备的维护，使其能够正常的运行，提高设备原料的利用率。

装饰废气：装饰废气主要为装修阶段使用的涂料等挥发的有机废气等气体以及装修施工产生的扬尘，该废气的排放属无组织排放，涂料挥发废气其主要污染因子为二甲苯和甲苯等，此外还有极少量的汽油、丁醇和丙醇等。

在装修期间，应加强室内的通风换气，装修结束完成以后，也应每天进行通风换气一段时间后才能使用。装修扬尘则采用室内洒水降尘予以控制，降低施工扬尘产生量。

综上，在进行以上防治措施后，再加上项目所在场地扩散条件较好，因此本项目装修施工产生的装饰废气对区域大气环境影响较小。

2、废水

(1) 排放源

施工期废水主要为建筑施工产生的施工废水及施工人员的生活污水。

(1) 施工废水

项目不设置混凝土搅拌站，因此无搅拌废水产生。通过工艺分析可知施工过程中的生产废水主要来源于机械的冲刷、楼地及墙面的冲洗、构件与建筑材料的保潮、墙体的浸润、材料的洗刷排出的泥浆等。施工废水中的主要污染物为 pH、SS、COD、石油类等。施工现场设置简易临时沉淀池进行沉淀，沉淀后循环使用，保证不排入外环境。

针对项目不同的施工废水采取不同的防治措施。

①砂石料冲洗废水。其悬浮物含量大，需建沉降池，悬浮物进行沉淀后排放。废水澄清后可用于建筑工地洒水防尘。人工运输水泥砂浆时，应避免泄漏，泄漏水泥砂浆应及时清理。

②混凝土养护废水。混凝土养护可以直接用薄膜或塑料溶液喷刷在混凝土表面，待溶液挥发后，与混凝土表面结合成一层塑料薄膜，使混凝土与空气隔离，封闭混凝土中水分不再蒸发外逸，水泥依靠混凝土中水分完成水化作用。其多余废水经沉淀处理后循环使用。

③机械和车辆冲洗废水。主要为含油废水，应尽量要求施工机械和车辆到附近专门清洗点或修理点进行清洗和修理，小部分在项目区内进行清洗的施工机械、车辆所产生的含油废水不得随意弃置和倾流。机械保养冲洗水、含油污水不得随意排放，经隔油沉淀池处理达标后用于场区或周边洒水降尘。

3) 施工生活污水

本项目预计施工人员约 20 人，施工人员每天生活用水以 $0.02\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{d}$ 计，生活污水按用水量的 85% 计，则生活污水的排放量为 $0.14\text{m}^3/\text{d}$ 。

项目位于医院院内，项目场区内不设施工营地，办公生活依托周边已建污水处理设施，通过管网排放至污水处理厂进行处理。

综上所述，在采取合理的防治措施后，项目在施工期间不会对周围地表水环境造成水污染等问题。

3、噪声

(1) 排放源

施工期的噪声主要来源于施工现场的各类机械设备噪声，不同施工阶段和不同施工机械发出的噪声水平是不同的，且有大量设备交互作业，因此施工作业噪声将会对本项目内外环境带来一定的影响。根据施工量，按经验计算各施工阶段的昼夜的主要噪声源及场界噪声和建筑施工场界噪声限值标准见下表。

表 9-1 机械噪声源强一览表

施工阶段	运输内容	车辆类型	声源强度 (dB(A))
主体阶段	基础工程、建筑弃渣、弃土外运等	挖掘机、推土机、大型载重车	84~95
底板与结构阶段	钢筋、混凝土等	混凝土罐车、载重车	80~85
装修安装阶段	各种装修材料机必备设备	轻型载重卡车	75~80

(2) 治理措施

为了降低施工噪声的影响，施工单位应采取如下措施：

①结合施工场地周边环境敏感情况，严格落实国家及地方有关环境噪声污染防治管理办法的各项要求，创造良好的施工环境，做到文明施工。

②合理安排作业时间：施工方应合理安排施工时间，高噪声施工作业应尽量避免在休息期间进行。将倾倒卵石料、打桩等强噪声作业尽量安排在白天非午休时间进行，禁止夜间（22：00~6：00）施工，若工艺要求夜间必须进行连续作业的强噪声施工，根据《中华人民共和国环境噪声污染防治法》，建设单位必须有县级以上人民政府或者其有关主管部门的证明，在取得夜间施工许可证后应进行公示，方可进行。

③合理设计施工总平面图，将木工房、钢筋加工间等大部分产生高噪声的作业点合理的布局，以有效利用施工场区的距离衰减作用减少对周围环境敏感点的影响。

④严格遵守地方发布的中高考禁噪要求，在中、高考前 15 日内，禁止从事噪声超过国家规定标准的建筑施工等经营活动（抢修、抢险作业除外）；中、高考期间禁止施工。

⑤尽量采用先进的施工机械和技术，选用低噪声作业机具，降低噪声源。同时在高噪声设备源外围或项目建设边界修建施工围墙，施工场地周边临时施工围挡尽量采取实体围墙围挡，以阻隔噪声传播。

⑥使用商品混凝土，避免搅拌机和砂石料下料、进料时噪声的影响。商混输送泵地面铺设木板，四周打围进行作业。

⑦材料装卸采用人工传递，装卸、搬运钢管、模板等严禁抛掷；木工房使用前应完全封闭。

⑧文明施工：最大限度地降低人为噪声，不要采取噪声较大的钢模板作业方式；指挥塔吊时尽量使用信号旗，避免使用哨子等；在操作中尽量避免敲打砼导管；搬卸物品应轻放，施工工具不要乱扔、远扔；运输车辆进出施工现场控制或禁止鸣喇叭，减少交通噪声。

⑨施工区的施工管理由专人负责，并设定专门负责人定期对该区的施工噪声污染防治措施以及环保管理进行检查和核实，严格按照国家、地方的施工噪声防治和管理规范中的相关规程要求进行治理，尽量减少施工噪声对外环境的影响程度。

4、固废

(1) 排放源

施工期固体废物主要包括开挖土石方、施工人员生活垃圾和少量建筑垃圾。

①根据现场踏勘，拟建场地基本为平地，本项目土方开挖量较小。

②由于本项目在施工期间，会产生少量的生活垃圾。施工人员约 20 人，施工期生活垃圾按 0.1kg/人·d 计，产生量约为 2kg/d。

③本项目用地范围内不涉及拆迁工程，仅施工工程会产生少量的建筑垃圾，产生量约 4.0t。

(2) 治理措施

土石方：根据现场踏勘，拟建场地为平地，本项目土方开挖量较小。本项目不设置取土场和排土场。在开挖土石方时，遇降雨容易形成水土流失。因此，要求在进行开挖土石方作业时，一是在堆放场地周围设置排水沟及沉淀池，二是在雨季不进行开挖作业或只进行小规模作业，尽可能减少堆放土形成水土流失现象，三是优化项目设计和内部结构，尽量减少弃土弃渣，四是在临时堆土堆放时间超过 24 小时，需覆盖篷布等。采取上述措施，减少临时堆土场水土流失。

在堆放和调配土石方时，项目方应采取以下措施：

①开挖出的土石方应加强围栏，表面用毡布覆盖，对项目运入的土石方在运输过程中必须严格要求，不能随意倾倒土方，不致造成尘土洒落、飘逸的现象；

②应控制土石方临时堆放场占地面积和堆放量，并在土石方临时堆放场地周围设置导流明渠；

③施工单位必须办《建筑垃圾处置许可证》，严禁无证开挖；各类运输车辆应根据其实际负载情况清运渣土，不得超载；运输车辆出场前一律清洗轮胎，用毡布覆盖并封闭，避免在运输过程中的抛洒情况。

生活垃圾：施工人员每日产生的生活垃圾应经过袋装收集后，由环卫部门统一运送到垃圾处理场集中处理，不可就地填埋，以避免对居住区环境空气和水环境质量构成潜在的影响因素。

建筑垃圾：项目施工过程中产生的少量建筑垃圾，建筑垃圾尽量回收利用（如钢筋等），不能利用的建筑垃圾，经收集后，堆放至政府指定的建筑垃圾堆放点。

综上所述，项目施工期在严格落实了本环评提出的上述措施后，其施工期的固体废物可实现清洁处理和处置，不致造成二次污染。对周边居民的影响较小。

5、生态环境

项目基础开挖，施工过程中造成场地内土质结构松散，易被雨水冲刷造成水土流失，项目方施工期要配套建设中的水土保持措施。施工时采取修建临时挡土墙、排水沟、覆盖塑料布等措施，可有效防止水土流失。施工结束后应立即恢复植被，加大植树种草工作，实行绿色覆盖，减少硬覆盖。

项目方在进行地下室的施工过程中应注意区域地下水层的高度，谨防对地下水造成不良影响。项目施工期要做好相应水土保持措施，则施工期水土流失量很小，对生态环境不会产生明显影响。

根据项目分析，项目施工期废气、废水、噪声、固废处置措施合理可行，不会对区域环境产生明显不利影响。同时污染物也会随着施工期的结束而结束。因此，施工期对区域环境影响可接受。

二、营运期工艺分析

（一）医用电子直线加速器项目

1、工程设备

马鞍山十七冶医院拟于放疗中心负一层建设1座医用电子直线加速器机房，配备1台医用电子直线加速器（型号：未定，X射线能量为6、10MV，电子线能量为 $\leq 20\text{MeV}$ ），用于肿瘤的放射治疗。

表 9-2 本项目医用直线加速器技术参数情况一览表

型号	未定
位置	放疗中心
主要技术指标	X 射线能量 (MV) : 6、10 电子线能量 (MeV) : ≤20
射线最大出射角	28° (等中心点每侧 14°)
源轴距 SAD	1m
等中心点至机房地坪的高度	1.3m
距靶 1m 处 X 辐射剂量率	10MV 时: 最大 600cGy·m ² /min 6MV 时: 最大 1400cGy·m ² /min
最大照射野大小	40cm×40cm
机架旋转	360°
靶材料	钨合金
用途	放射治疗

医用电子直线加速器是产生高能 X 射线和电子束的装置，为远距离治疗机。主要由机架组件、辐射头、水冷系统、速调管、真空系统、充气系统、高压脉冲调制器、栅控电子枪电源、控制柜及操作盒、运控机箱、整机动力配电及低压电源、整机联锁保护电路等组成。从电子枪发出的同步电子束注入已建立高梯度的驻波加速场中加速，在加速管末端，电子束加速到所需能量后经过漂移管进入 270°偏转磁场。在偏转磁场中，电子束偏转 270°后由水平入射变为垂直出射，并同时完成聚集和消除能谱色差形成直径 2mm 左右的平行束流，经过引出窗到达移动靶件处。移动靶件具有不同工位，可根据治疗需要使电子束轰击合金靶产生 X 辐射或直接穿透初级散射箔产生电子辐射。典型医用直线加速器基本结构示意图见图 9-2。

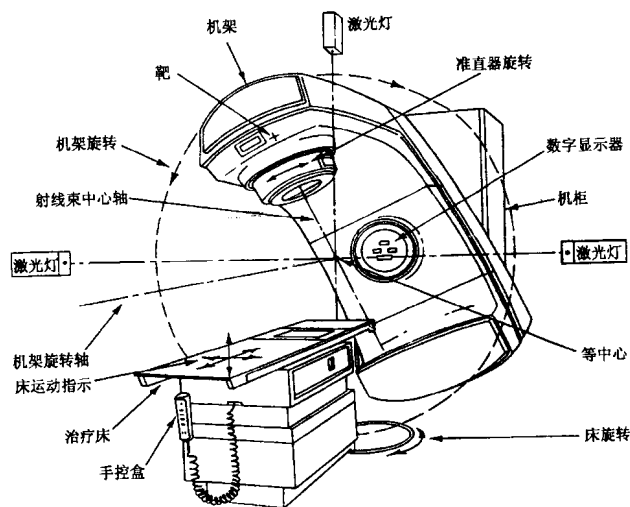


图 9-2 典型医用直线加速器基本结构示意图

2、工作原理

放疗是癌症三大治疗手段之一。是用各种不同能量的射线照射肿瘤，以抑制和杀灭癌细胞的一种治疗方法。放疗可单独使用，也可与手术、化疗等配合，作为综合治疗的一部分，以提高癌症的治愈率。放疗的基本目的是努力提高放疗的治疗增益比，即最大限度地将放射线的剂量集中到病变（靶区）内，而使周围的正常组织和器官少受或免受不必要的照射。

医用电子直线加速器是实现放疗的最常见设备之一，医用直线加速器是利用具有一定能量的高能电子与大功率微波的微波电场相互作用，从而获得更高的能量。这时电子的速度增加不大，主要是质量不断变大。电子直接引出，可作电子线治疗，电子打击重金属靶，产生韧致辐射发射 X 射线，作 X 线治疗。

马鞍山十七冶医院拟配备的医用电子直线加速器，X 射线能量 $\leq 10\text{MV}$ ，电子线能量 $\leq 20\text{MeV}$ 。依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）规定（§4.3.2.5），当加速器 X 射线 $\leq 10\text{MV}$ 时，中子的影响可忽略，对外环境的影响主要考虑韧致辐射发射的 X 射线。医用电子直线加速器系统示意图见图 9-3。

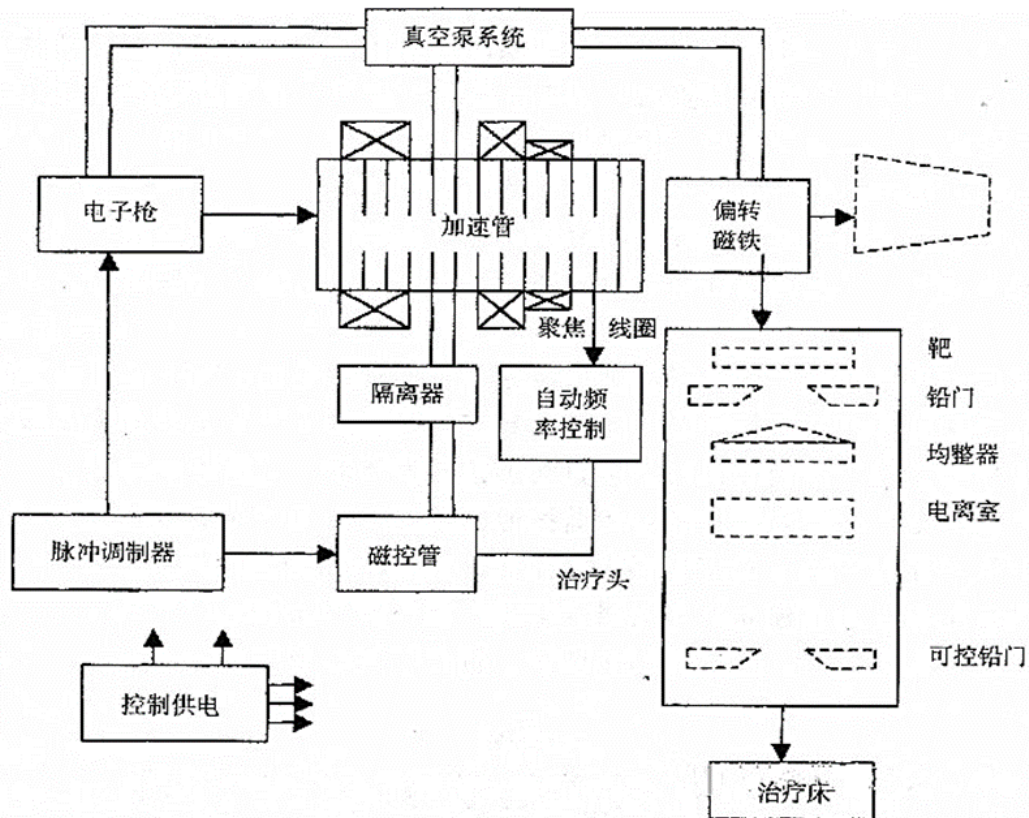


图 9-3 医用直线加速器系统示意图

3、工艺流程

1) 进行定位：先通过模拟定位机（5号楼 CT 室，已许可）对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。

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

3) 固定患者体位：在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。

4) 技师离开治疗室，进入控制室，根据 TPS 计划进行出束治疗；

5) 治疗结束后，关机，打开治疗室防护门，患者离开治疗室。

医用直线加速器放疗流程及产污环节如图 9-4 所示。

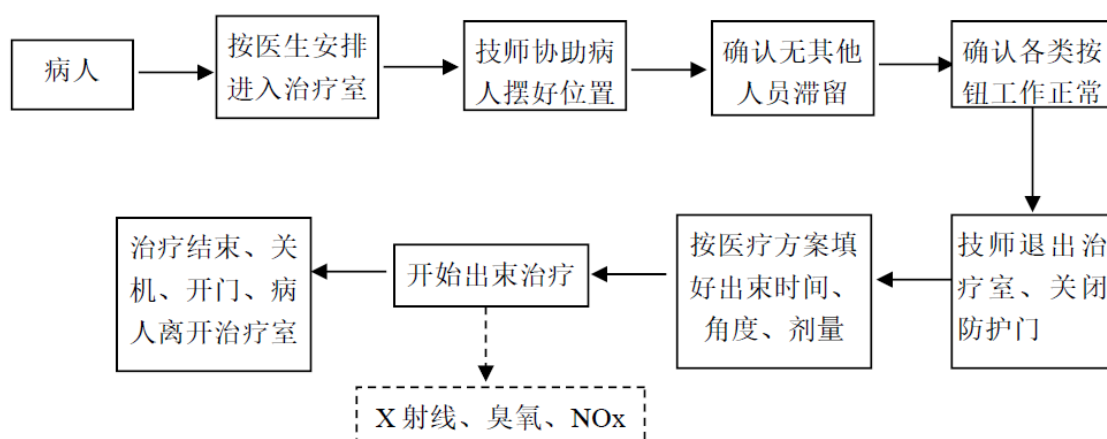


图 9-4 医用直线加速器放疗流程及产污环节示意图

4、主要用途

医用电子直线加速器主要用于肿瘤的放射治疗，根据医院预测的诊疗需要，本项目医用直线加速器机房投入使用后，预计每天接诊病人不超过 50 人次，每位病人出束治疗时间不超过 1.5min，年工作 250d，则单台医用电子直线加速器年出束运行时间约 313h。

5、项目人员流动的路径规划

本项目医用电子直线加速器机房位于放疗中心负一层，医用电子直线加速器项目的人流路径规划具体如下：

(1) 工作人员路径：

工作场所的技师由南侧的电梯进入负一层医用电子直线加速器工作区域，随后向北进入控制室。

(2) 患者路径:

患者按预约日期首先到一层候诊室, 随后由南侧的电梯进入负一层医用电子直线加速器工作区域, 随后向北进入机房内接受放射治疗, 治疗完成按照原路径返回。

医用电子直线加速器项目病人、医护人员流动路线见图 9-5。

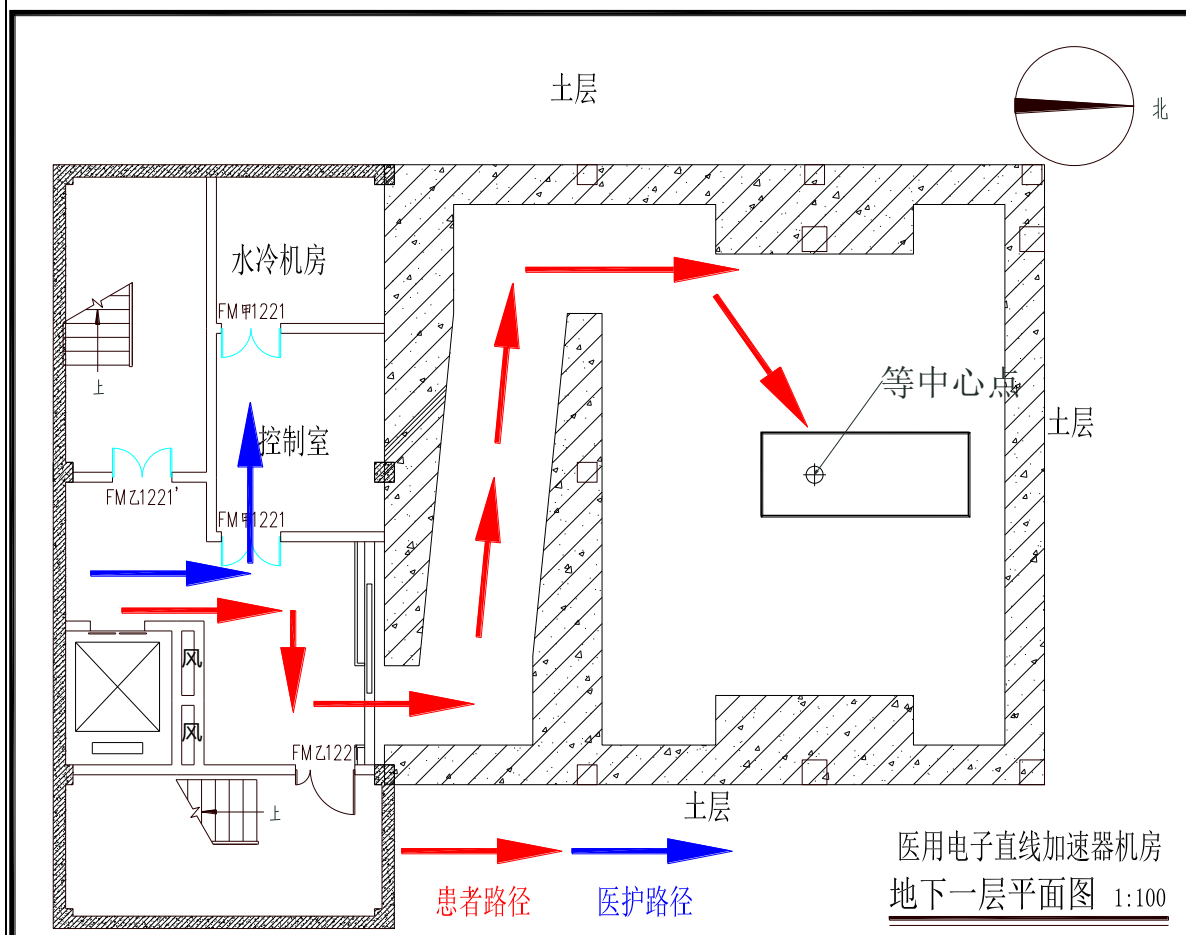


图 9-5 医用电子直线加速器项目人员路径示意图

(二) PET/CT 项目

1、工程设备

马鞍山十七冶医院拟于放疗中心一层建设 1 处非密封放射性物质工作场所 (PET/CT 影像中心), 于场所内使用放射性同位素 ^{18}F 开展 PET/CT 核素显像诊断, 本次拟配备的 1 台 PET/CT (型号: 未定, 属 III 类射线装置), PET/CT 将使用 3 枚 ^{68}Ge (属 V 放射源) 用于校准。

本次拟申请新增辐射项目内容见表 9-3。

表 9-3 马鞍山十七冶医院 PET/CT 影像中心核技术利用情况一览表

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
1	⁶⁸ Ge	9.25×10 ⁷ ×1 4.62×10 ⁷ ×2	V	使用	校准源	PET/CT 影像中心	储源室内
非密封放射性物质							
序号	工作场所名称	核素	日最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	活动 种类	用途	
1	放疗中心	¹⁸ F	1.11×10 ¹⁰	2.77×10 ¹²	使用	核素显像	
射线装置							
序号	射线装置名称	装置型号	最大 管电压	最大 管电流	射线装 置类别	活动 种类	备注
1	PET/CT	未定	≤140kV	≤800mA	III	使用	/

参照《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）中：

- 1.有相对独立、明确的监督区和控制区划分；
- 2.工艺流程连续完整；
- 3.有相对独立的辐射防护措施的特点，工作场所人流及物流具有自己的独立通道，不与其他楼层交叉等条件。

因此，马鞍山十七冶医院本次新建的工作场所应作为一个独立的非密封放射性物质工作场所，场所具有独立的监督区、控制区划分。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录C提供的放射性同位素工作场所放射性核素日等效最大操作计算方法和建设单位提供的放射性同位素最大日操作量，可以计算出核素的日等效最大操作量。非密封源工作场所的分级判据如表9-4。

表 9-4 非密封放射性物质工作场所的分级

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

放射性同位素的日等效最大操作量根据其毒性组别、操作方式、放射源状态和实际日最大操作量确定。毒性组别和操作方式与放射源状态修正因子见表9-5、表9-6。

表 9-5 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 9-6 操作方式与放射源状态修正因子

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

$$\text{日等效用量} = \frac{\text{日操作量} \times \text{毒性修正因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \dots\dots \text{公式9-1}$$

根据本项目非密封放射性物质工作场所使用放射性同位素的毒性组别、操作方式和日等效操作量，确定出本项目非密封放射性物质工作场所级别。

马鞍山十七冶医院本次新建项目使用的非密封放射性物质日最大用量及年总用量见表 9-7，其日等效最大操作量核算见 9-8。

表 9-7 非密封放射性物质工作场所使用的放射性核素日使用量及年使用量

¹⁸ F	日最大用量	单次使用最大量 15mCi×日最高峰 20 人=1.11×10 ¹⁰ Bq	核素 显像
	年总用量	单次使用最大量 15mCi×日最高峰 20 人×250 天=2.77×10 ¹² Bq	

表 9-8 非密封放射性物质工作场所使用的放射性核素日等效最大操作量核算

核素	物理状态/ 毒性组别	操作 方式	日等效最大操作量
¹⁸ F	液态/低毒	注射	日最大操作量 (1.11×10 ¹⁰ Bq) ×0.01 (低毒) /10 (液态/很简单操作) =1.11×10 ⁷ Bq

注：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）规定：医疗机构使用¹⁸F相关活动视为“很简单的操作”。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）非密封源工作

场所的分级原则，结合表 9-7 和表 9-8 计算结果可知医院本次新建的非密封放射性物质工作场所日等效最大操作量为 $1.11 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于（豁免 $\sim 2 \times 10^7$ ）Bq 的范围，确定马鞍山十七冶医院本次新建的工作场所为丙级非密封放射性物质工作场所。

（二）工作原理及工作流程

1、工作原理

医院本次新建的非密封放射性物质工作场所（PET/CT 影像中心）内使用 1 台 PET/CT（属 III 类射线装置）。PET/CT 是将 PET 与 CT 融为一体，由 PET 提供病灶详尽的功能与代谢等分子信息，而 CT 提供病灶的精确解剖定位。PET 系统的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。探测系统是整个正电子发射显像系统中的主要部分，它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。CT 主要有扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统组成，其中扫描部分由 X 线管、探测器和扫描架组成。PET/CT 的结构示意图见图 9-6。

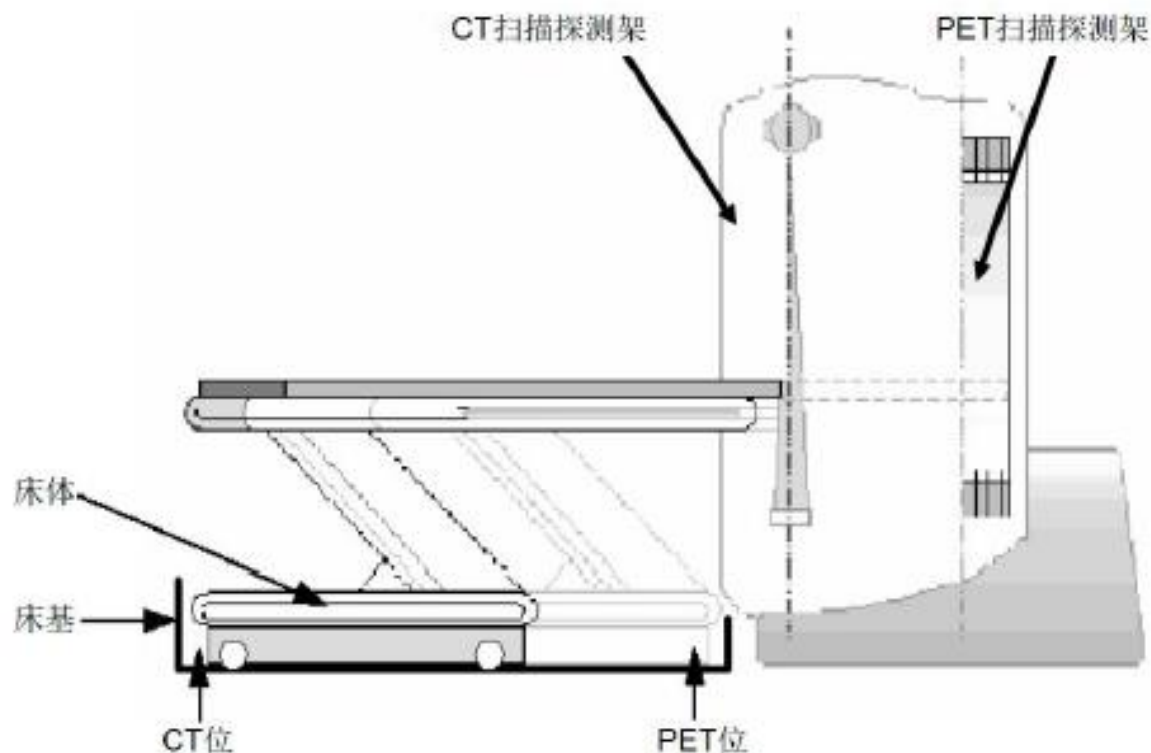


图 9-6 PET/CT 结构示意图

PET 是使用正电子衰变的核素而成像的设备。正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发的从不稳定状态向基态衰变过程中，从核内释放出与普通电子一样但电荷相反的粒籽，即正电子。正电子是一种反物质，从核内放出后很快与环

境中自由电子碰撞湮灭，转化为一对方向相反、能量为 0.511MeV 的 γ 光子。如果在这对光子飞行方向上对置一对探测器，便可以几乎同时接受到这两个光子，并可推定光子发源（即正电子发射）点在两探头间连线上。通过环绕 360° 排列的多组配对探头，经探头对之间符合线路检验判定每只探头信号时间耦合性，排除其他来源射线的干扰，得到探头对连线上的一维信息，再用滤波反投射方式，将信号按探头对的空间位置向中心点反投射，便可形成与探头组连线轴平行的断层面正电子发射示踪剂分布图像。这种探测方式一次只反映一个层面的信息。实际中常用多层排列的探头对，配合层间符合线路，以利探测并重建更多层面的图像。

PET/CT（Positron Emission Tomography and Computer Tomography），全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术，是在 PET（Positron Emission Tomography）和 CT（Computer Tomography）的基础上发展起来的新设备，充分结合了 PET 高灵敏度和 CT 高分辨率的优势。其原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或功能分子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术；同时结合应用高档多排 CT 技术进行精确定位，可精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息，并能够独立完成多排螺旋 CT 的临床显像，大大提高临床使用价值。

本项目拟使用的放射性核素种类及其特性见表 9-9。

表 9-9 放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	α/β 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量率当量率常数（裸源） ^① ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$)
^{18}F	109.8min	β^+ , EC	0.63 (+)	0.511	0.143

注：①该数据来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）。

2、工作流程

马鞍山十七冶医院本次新建的非密封放射性物质工作场所项目将根据患者预约情况提前向专业供应商订购正电子药物，正电子药物送达工作场所的储源室。医护人员再从铅罐中取出，放入铅通风橱内。 ^{18}F 到货时为装入铅罐内的整罐药液，需要由医护人员按病人所需活度进行分装（在注射室通风橱内进行分装），每次最多 $1.11 \times 10^{10}\text{Bq}$ （20 人量，放置于 40mmPb 的铅罐内，单日人数较多时，将分上下午两次订

购药物并分装)。

病人在注射前会提前在处置室安放留置针，病人到达注射窗口后，注射护士手持带铅套的注射器，在注射铅玻璃屏的屏蔽下为病人注射。注射完毕后，注射器放入专用废物铅桶内。每次分装过程中近距离接触正电子药物的时间保守按 2min、注射过程按 1min 估算。

患者根据注入的正电子药物特性，在注射后候诊室内静坐或静躺候诊（一般注射¹⁸F-FDG 后需等待约 20min），待药物代谢至靶器官，进入 PET/CT 机房，经医护人员摆位后，接受 PET/CT 的扫描，每次扫描约 10~20 分钟。扫描完成后，患者在留观室休息等待一段时间后，若无其他情况，从患者专用通道离开。核素显像诊断项目工作流程及产污环节分析见图 9-7。

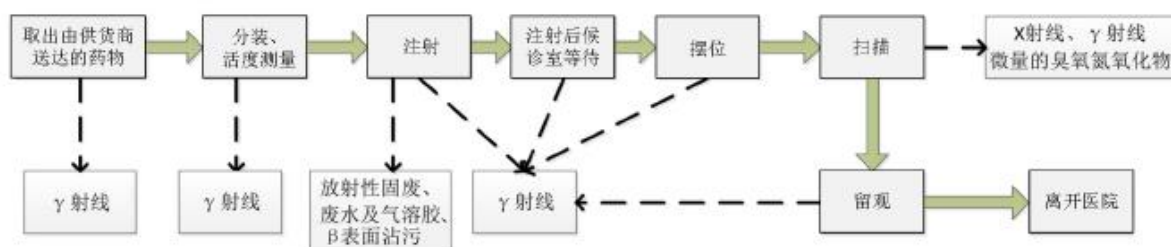


图 9-7 核素显像诊断项目工作流程及产污环节分析示意图

3、项目人流和物流的路径规划

本项目非密封放射性物质工作场所（PET/CT 影像中心）位于放疗中心一层，PET/CT 影像中心东侧为室外，南侧为病人候诊区域，西侧为医生及护士活动区域，北侧为 5 号楼。结合本项目的工艺流程，本次新增的非密封放射性物质工作场所人流、物流路径规划具体如下：

(1) 工作人员路径：

工作场所的护士及技师由护士站南侧的医生通道进入工作区域，注射药物的护士通过卫生通过间进入注射室，在通风橱内完成分装活度测量等操作，最后在注射窗口给患者施药。该路径上卫生间内配置有表面污染监测设备，设置有感应式洗手池和淋浴设施，注射室内产生的固体废弃物暂存于废物桶内，随后转移至 PET/CT 影像中心的废物间内；技师通过医生通道经阅片室进入控制室。

(2) 患者路径：

患者按预约日期首先到一层护士站，随后在护士站登记进入东侧的处置室安置留

置针，登记后的患者随后通过南侧带有门禁装置的防护门进入诊断区域，首先到达注射室，在注射室注射窗口注射放射性药物后，在注射后等候室休息等待，一般等待大约 10~20min，再进入 PET/CT 扫描间进行显像检查，检查完毕后在留观室休息约 10min 后离开。该路径上，患者入口和患者出口处均设置为单向门禁，仅允许患者单向通行。该诊断区域内设有专用卫生间，患者在专用卫生间内如厕，不随意走动，诊断期间，各自根据叫号系统提示到相应的位置进行诊断检查。

(3) 工作场所拟使用的药物运送路径：

本项目所使用的放射性药物会提前向有资质的供应商提前预定，供货单位会在病人就诊前将放射性药物通过 PET/CT 影像中心南侧的通道进入注射室在进入储源室，将放射性药物暂存至储源室内。

本次扩建的工作场所区域划分及病人、医护人员流动路线见图 9-8。

新建非密封放射性物质工作场所相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间单向开展，最大限度的减少了人员的流动性，有助于实施工作程序；医护人员与病患各自独立的通道，本次丙级非密封放射性物质工作场所布局满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于临床核医学工作场所的要求。

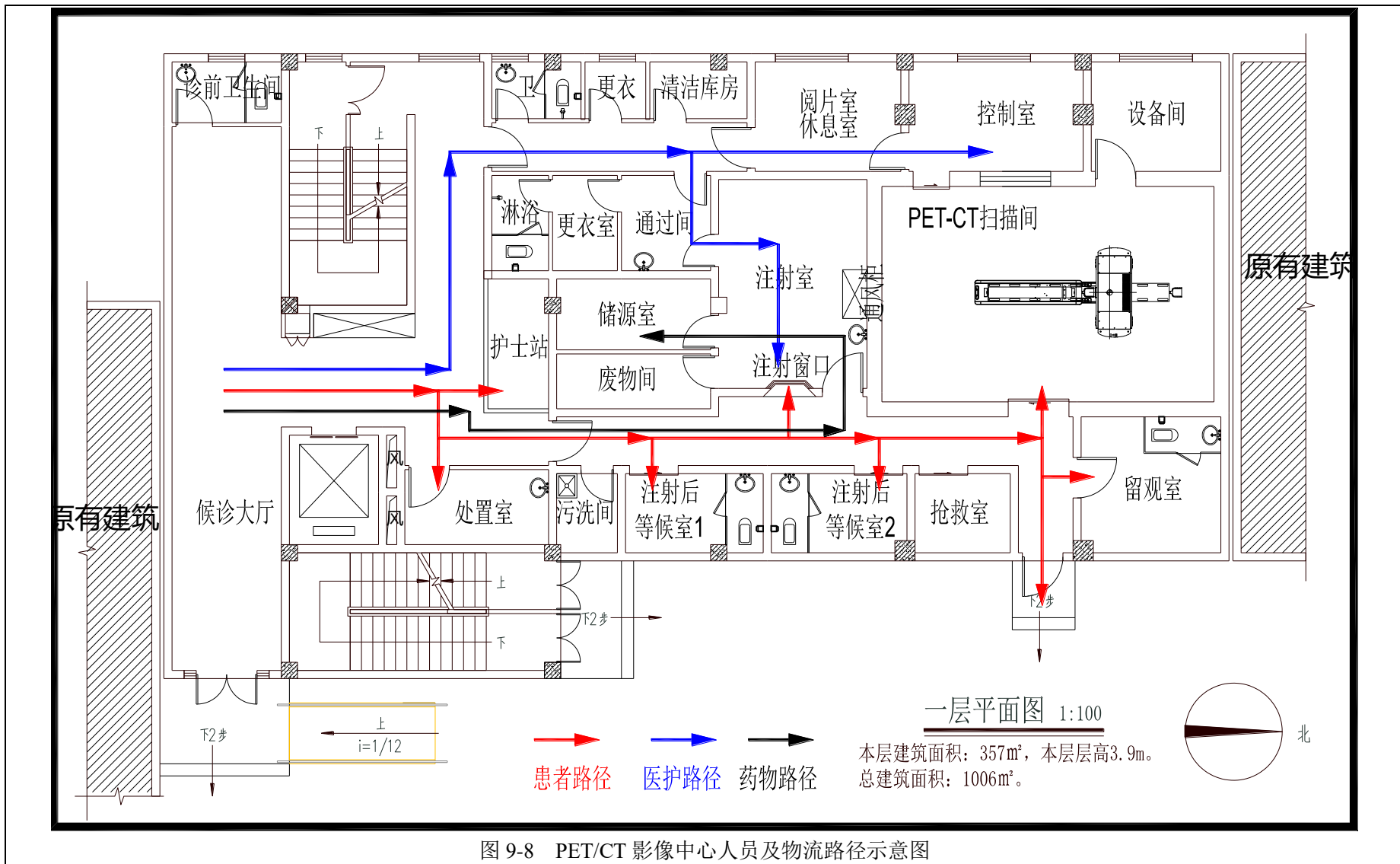


图 9-8 PET/CT 影像中心人员及物流路径示意图

污染源项描述

一、施工期污染源

1、废水

施工期少量废水主要来自以下几个方面：

①施工场地废水；②施工人员生活污水。

2、固体废物

施工期产生的固体废弃物主要包括施工人员的生活垃圾及废弃的各种建筑装饰材料等建筑垃圾，由于规模小，产生量较少。

3、噪声

主要是使用施工机械和装修设备产生的噪声。

二、营运期污染源

（一）医用电子直线加速器项目

1、辐射

①X 射线外照射：由医用电子直线加速器的工作原理可知，医用电子直线加速器以 X 射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，将产生高能 X 射线（6、10MV），1m 处最大输出量可达 1400cGy/min。由于 X 射线的贯穿能力极强，将对工作人员、公众及周围环境辐射造成辐射污染。这种 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。

②电子束：当加速器按电子束（ $\leq 20\text{MeV}$ ）模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗病人，1m 处最大输出量可达 1000cGy/min。电子束的屏蔽要求远低于高能 X 线，故在机房屏蔽厚度计算时不用考虑，但由于电子束的强度高，若发生人员以外照射，会造成伤害。

2、废气

本项目医用电子直线加速器出束过程中产生的 X 射线，会使机房内的空气电离，产生少量臭氧和氮氧化物。

3、废水

本项目医用电子直线加速器冷却系统采用蒸馏水，内循环使用不外排，不产生废水，工作人员及病人会产生少量的生活废水。

4、固体废物

本项目医用电子直线加速器工作过程不产生固体废物。

5、噪声

医用电子直线加速器机房设置机械排风装置，排风机运行时会产生噪声。

(二) PET/CT 核素显像项目

1、电离辐射

PET/CT 扫描时产生的 X 射线、放射性药物在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的 γ 射线。以上射线会造成医务人员和公众的外照射。

2、 β 放射性表面污染

医生在对含有放射性同位素 ^{18}F 的各种操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的 β 放射性表面污染。

3、放射性废气

本项目使用的 ^{18}F 在带有通风装置的通风橱内进行分装，产生少量的放射性气溶胶。

4、放射性废水

体内含有放射性核素的病人排泄物；工作场所清洗废水等。

5、固体废物

放射性同位素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性同位素的医疗固体废弃物，污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。

6、非放射性三废

本项目废气为电离辐射产生的 O_3 、 NO_x 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生活垃圾以及医疗废物；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。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作区域布局管理

(一) 工作场所布局合理性

1、医用电子直线加速器项目

本项目新建的医用电子直线加速器机房位于放疗中心负一层，于机房内配备 1 台医用直线加速器（型号未定，X 射线能量为 6、10MV，电子线能量为 $\leq 20\text{MeV}$ ），用于肿瘤的放射治疗。医用电子直线加速器机房设置有“L”型迷路，迷路口设有防护门，治疗室面积约 80.7m^2 （不含迷路）；医用直线加速器机房东侧、西侧、北侧和下方均为土壤层，南侧为候诊大厅、控制室、及水冷机房，上方为覆土层 PET/CT 影像中心；本项目的医用电子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”的规定及《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）中“治疗室入口处必须设置防护门和迷路”等规定，本项目的医用电子直线加速器机房布局合理。

2、PET/CT 核素显像项目

马鞍山十七冶医院本次新建的 PET/CT 影像中心为丙级非密封放射性物质工作场所，该场所位于医院新建的放疗中心一层。新建的场所东侧为室外停车场，南侧为护士站、处置室及候诊大厅等，西侧为更衣室、清洁库房及阅片室等，北侧为医院 5 号楼（CT 及同位素室），下方为医用电子直线加速器机房，上方为办公室和资料室等。

本次新建的 PET/CT 影像中心主要包括以下房间：注射室、储源室、废物间、卫生通过间、污洗间、注射后候诊室、抢救室、PET/CT 扫描间、控制室、设备间、留观室等。

本项目 PET/CT 影像中心位于放疗中心一层内，整个诊断工作场所相对独立建筑，与其他科室有明显的界限，新建的 PET/CT 影像中心工作场所避开了医院的产科、儿科、食堂等部门，且新建的工作场所出入口避开了人流量较大的门诊大厅、收费处等人群稠密区域，避免了对公众不必要的照射。

本项目辐射工作场所根据工作要求且有利于辐射防护和环境保护进行布局，功能分区明确，既能有机联系，又不互相干扰，且最大限度避开了人流量较大的门诊区或

其它人流活动区；在设计阶段，辐射工作场所进行了合理的优化布局，同时兼顾了病人就诊的方便性。

（二）两区划分

1、分区原则

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，将本项目辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

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

监督区—通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

2、控制区与监督区的划分

（1）区域划分

根据控制区和监督区的定义，结合项目辐射防护和环境情况特点进行辐射防护分区划分。

①医用电子直线加速器项目

本项目拟将屏蔽产生射线的医用电子直线加速器机房作为辐射防护控制区，严格控制人员进出，并在机房入口处设置电离辐射警告标志；拟将控制室、水冷机房等与机房相邻的区域作为辐射防护监督区。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定要求。

②PET/CT 核素显像项目

医院拟将注射室、废物间、储源室、注射后候诊室、PET/CT 扫描间、留观室、抢救室等划分为控制区，该区域涉及放射性同位素操作，是药物分装及带药病人的主要活动区域，设置有病人专用通道供带药病人行走，属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）定义的控制区，进行了专门的屏蔽防护设计；其余房间如：控制室及医生通道等属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）定义的监督区。控制区和监督区内病人及医护人员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。

本项目控制区和监督区划分情况见表 10-1，并在图 10-1，图 10-2 上进行了标识。

表 10-1 项目控制区和监督区划分情况

科室名称	控制区	监督区
医用电子直线加速器	医用电子直线加速器机房	控制室、水冷机房等
PET/CT 影像中心	注射室、废物间、储源室、注射后候诊室、PET/CT 机房、留观室、通过间等	控制室、设备间及医生通道等

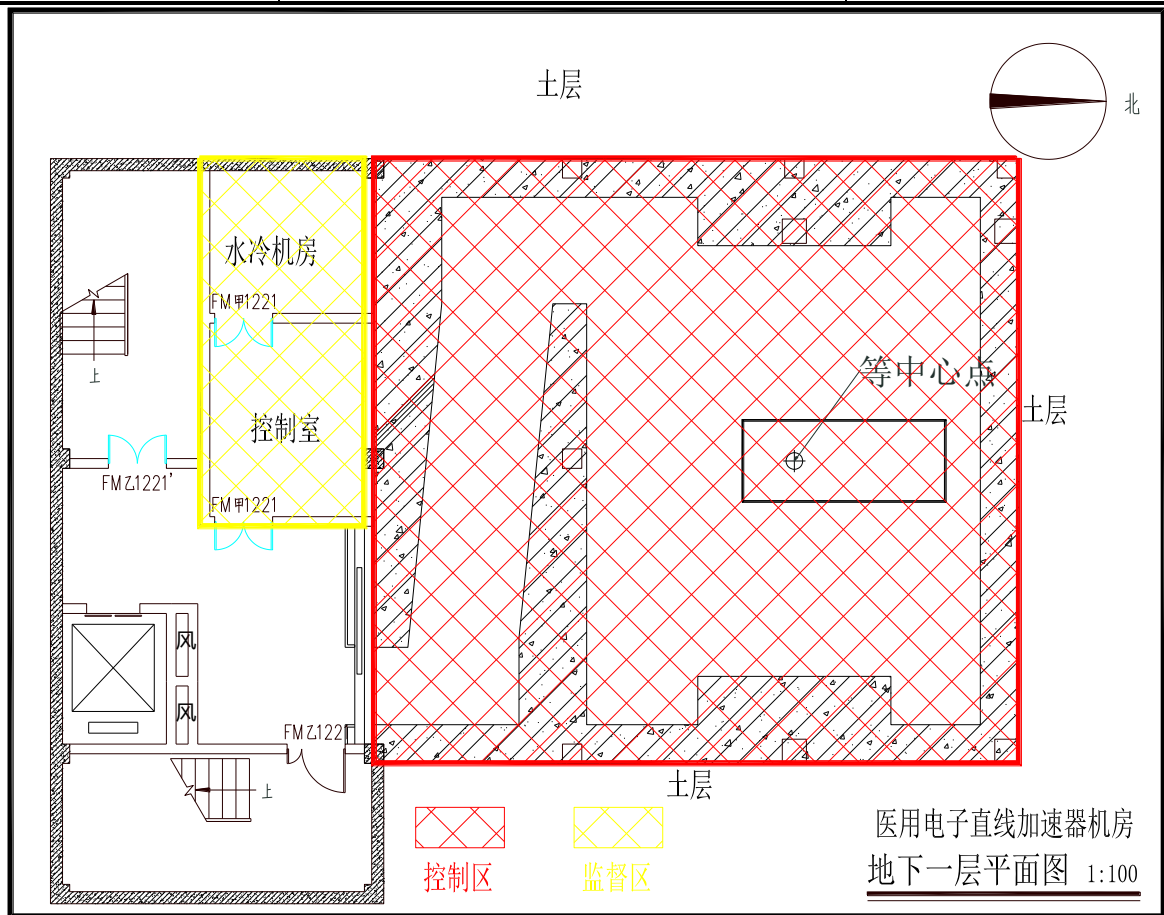


图 10-1 医用电子直线加速器工作场所分区示意图

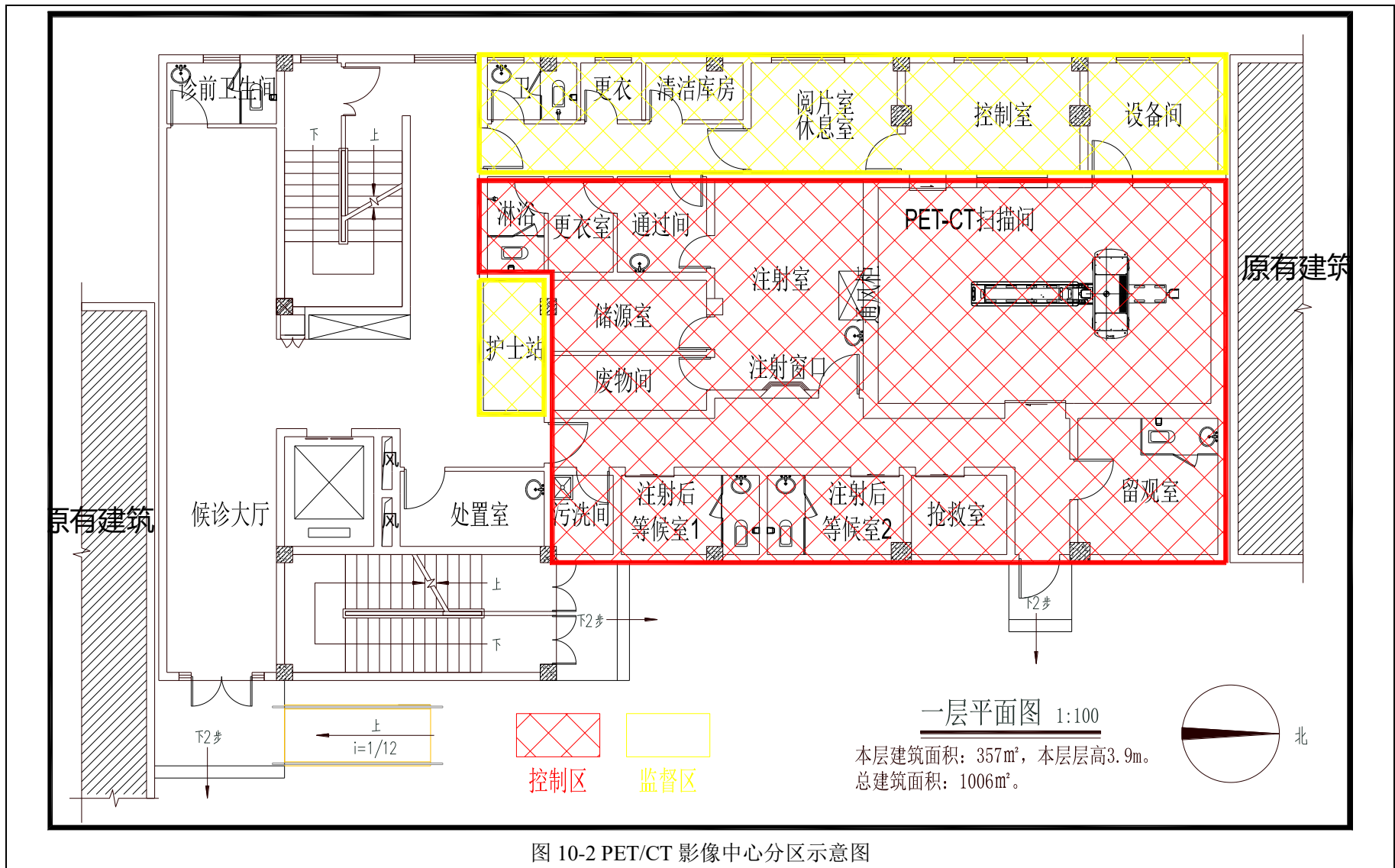


图 10-2 PET/CT 影像中心分区示意图

二、辐射安全及防护措施

(一) 机房屏蔽措施

1、医用电子直线加速器项目

本项目医用电子直线加速器机房屏蔽设计见表 10-2，PET/CT 诊断中心屏蔽设计见表 10-3，屏蔽施工设计见附件 11。

表 10-2 医用电子加速器防护屏蔽设计一览表

类别	屏蔽防护设计		屏蔽设计参数（厚度及材质）	主屏蔽宽度
医用直线 加速器	东墙	主屏蔽	180cm 砼	400cm
		次屏蔽	80cm 砼	/
	南墙	迷道内墙	70cm~140cm 砼	/
		迷道外墙	140cm~70cm 砼	/
	西墙	主屏蔽	180cm 砼	400cm
		次屏蔽	80cm 砼	/
	北墙	次屏蔽	80cm 砼	/
	屋顶	主屏蔽	290cm 砼	400cm
		次屏蔽	150cm 砼	/
	防护门		10mm 铅板+8cm 厚含硼石蜡	

注：本项目拟使用的混凝土密度不低于 2.35g/cm³，铅板的密度不低于 11.3g/cm³。

表 10-3 PET/CT 诊断中心屏蔽设计一览表

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
注射室	四面墙体	四周墙体均为 240mm 实心砖
	顶棚	300mm 厚混凝土
	地面	100mm 厚混凝土+300mm 土层
	防护门	东侧防护门为 8mmPb，南侧防护门为 10mmPb
	注射窗	15mmPb
	通风橱	50mmPb（ ¹⁸ F 用）
储源室及废物间	四面墙体	240mm 实心砖
	顶棚	300mm 厚混凝土
	地面	100mm 厚混凝土+300mm 土层
	防护门	防护门为 8mmPb
注射后候诊室 1 (含污洗间)	四面墙体	东侧墙体为 370mm 实心砖+2cm 厚硫酸钡涂料，南、西、北侧为 240mm 实心砖
	顶棚	300mm 厚混凝土
	地面	100mm 厚混凝土+300mm 土层
	防护门	8mmPb 铅门
注射后候诊室 2 (含抢救室)	四面墙体	东侧墙体为 370mm 实心砖+2cm 厚硫酸钡涂料，南、西、北侧为 240mm 实心砖

	顶棚	300mm 厚混凝土
	地面	100mm 厚混凝土+300mm 土层
	防护门	8mmPb 铅门
PET/CT 机房	四面墙体	370mm 实心砖
	顶棚	300mm 厚混凝土
	地面	100mm 厚混凝土+300mm 土层
	防护门	东侧防护门为 8mmPb，西侧防护门为 12mmPb
	观察窗	12mmPb 铅玻璃
	铅屏风	5mmPb
留观室	四面墙体	东、西侧为 370mm 实心砖，南、北侧为 240mm 实心砖
	顶棚	250mm 厚混凝土
	地面	100mm 厚混凝土+300mm 土层
	防护门	8mmPb 铅门
其他		核医学入口防护门为 10mmPb
		核医学出口防护门为 10mmPb
		通道顶部为 300mm 厚混凝土； 地面为 100mm 厚混凝土+300mm 土层

注：本项目拟使用的混凝土密度不低于 2.35g/cm^3 ，铅板的密度不低于 11.3g/cm^3 ，实心砖的密度不低于 1.65g/cm^3 ，硫酸钡涂料密度不低于 2.5g/cm^3 。

（二）辐射安全设施

1、医用直线加速器项目

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

①联锁装置：医用电子直线加速器机房防护门安装门机联锁装置，只有当防护门完全关闭后才能开启加速器，在加速器工作状态下，防护门意外开启加速器立即停止出束。机房内迷路处设有开门装置，可从机房内开启防护门，防护门设有防挤压功能。

②电离辐射警告标志及工作状态指示灯：在医用电子直线加速器机房防护门处设置醒目、规范的电离辐射警告标志，防护门上方安装工作状态指示灯。

③紧急停机按钮（急停开关）：本项目在加速器控制室内、迷路入口内旁侧和机房内各侧屏蔽墙面及治疗床两侧合适位置设计安装紧急停机装置，在发生紧急情况时能够及时切断加速器系统电源。

④防护门上方安装工作状态指示灯，门外设置醒目、规范的电离辐射警告标志。

⑤医用电子直线加速器机房内安装视频装置，控制室内医务人员可在实施治疗过

程中观察病人状态、治疗床和迷路区域情况，并配备对讲交流系统，医务人员与病人可进行双向交流。

⑥人员监护。从事医用电子直线加速器的辐射工作人员均拟配备个人剂量计并定期送检、同时已建立个人剂量档案，开展职业健康监护并建立个人职业健康监护档案。

⑦钥匙控制：决定加速器产生辐射的主要控制系统用开关钥匙进行控制。

⑧电缆敷设：本项目加速器与其控制室操作台之间的各种电缆管线，室内部分拟以地沟形式在地坪以下部位敷设，并在非主射线投照部位以“U”字形从地坪下方穿越墙体而过（见图 10-3）。

⑨通风系统：本项目医用直线加速器机房内设有送排风系统，医用直线加速器机房进出风管道避开主射线方向，穿墙管道采用“S”型穿墙方式（见图 10-3），射线经多次散射后，通风管道处辐射剂量将在控制范围内。

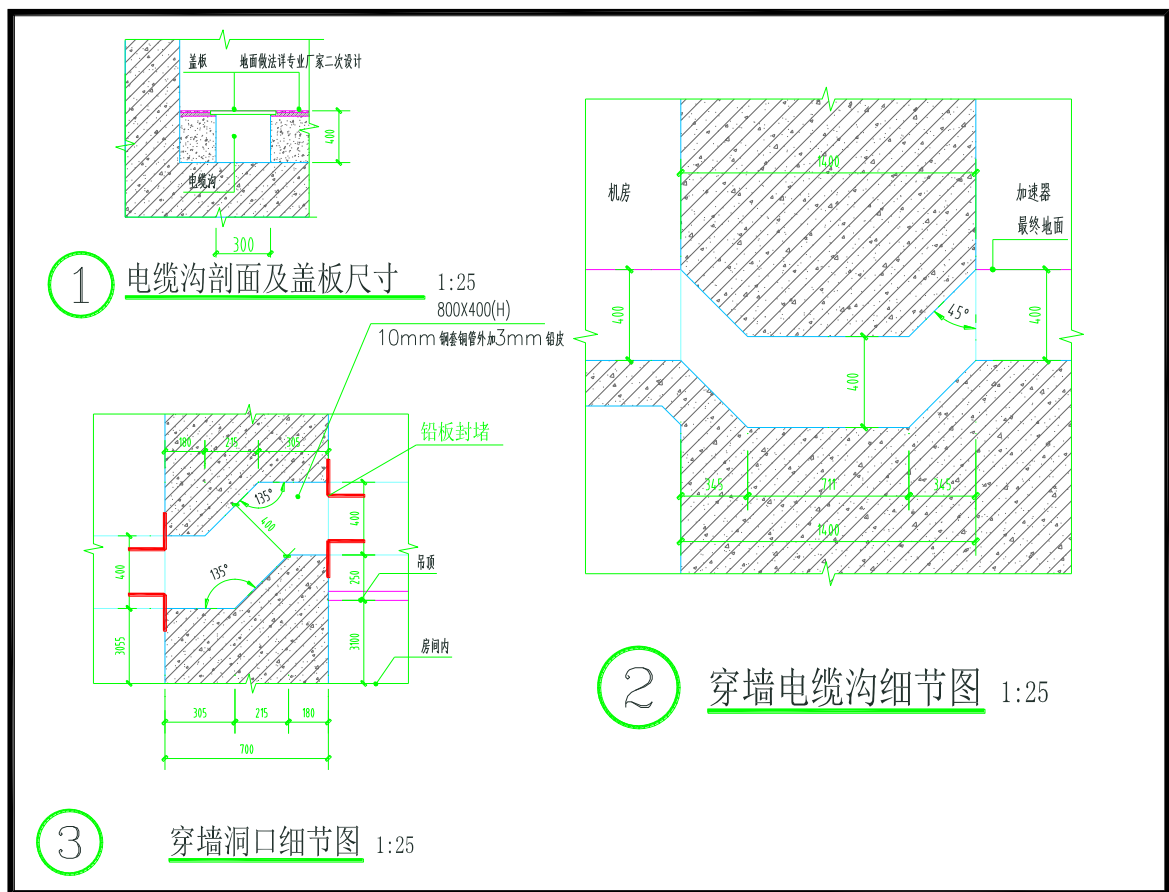


图 10-3 本项目医用电子直线加速器机房穿墙电缆沟及通风管道大样图

2、PET/CT 核素显像项目

(1) 电离辐射警告标志

医院拟将工作场所分别划分了控制区和监督区，在控制区入口处拟设置有符合规

范的电离辐射警告标志；

(2) 对控制区内带药病人的监督管理

医院应做好本项目控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；加强对控制区内病人的监督管理，避免其给药后随意走动；同时应告知检查完成后病人离开路线，防止其对公众造成不必要照射。

(3) “两区”内安全防护措施规定

工作人员离开工作室前洗手和作表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

(4) 放射性药物的存放安全措施

本项目所使用的放射性同位素 ^{18}F ，医院将通过向有相关资质的放射性核素供应单位购买。医院根据临床诊断所需药物的使用量，提前向放射性核素供应单位订购，供应单位在约定的时间负责将放射性药物运送至工作场所内的储源室内，建设单位安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续。建设单位将自行对购买的放射性核素进行分装。建设单位严禁无关人员进入工作场所所在区域，严禁辐射操作人员违规操作放射性核素。医院将在放射性核素交接结束后，开展进行放射诊断工作。

整个药液瓶被放置在铅罐内，能够满足当天病人的用药需求。建设单位根据所需的使用量，向有相关资质的放射性核素供应单位订购，并在放射性核素送达当天全部使用完，该工作场所正常情况下不会有放射性核素存放过夜。特殊情况下，由于病人未来就诊等原因，造成放射性核素未在当天使用完，少量放射性核素需在 PET/CT 影像中心存放过夜时，医院拟将未使用的少量放射性核素在储源室内存放。医院的工作场所外将设有视频监控系统和门禁系统，可以有效防止放射性核素的丢失隐患。

注射室防护门拟设计为铅防护门，钥匙由专人负责保管；日常期间由值班人员巡视检查；出入口安装摄像头。建设单位必须配备专（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、注销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）。

(5) 表面污染控制措施

为保证非密封放射性物质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，环评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。

(6) 人员防护措施

人员主要指本项目辐射工作人员、受检者及本次评价范围内其他人员。

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：将放射源安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽放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和注射器防护提盒。

时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少工作时间，使照射时间最小化。

距离防护：在不影响工作质量的前提下，保持与放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。

(7) 操作过程中的防护措施

医生在进行放射性药品的分装和注射操作时首先做好个人防护，包括穿铅衣，戴铅眼睛、铅手套、口罩、工作帽等，均具备 0.5mmPb 当量。分装时，手动将定量的药物移至注射器或容器内，经测量核定药物活度后转移给病人注射。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 10mmPb 废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。

(8) 工作场所对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，病人要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在等候区域内驻留，同时需要求注射完药物的病人在注射后等候室内休息，禁止随意走动，呕吐物和排泄物要排入专用厕所，最终排入废水衰变池。

三、监测计划：

1、外部监测计划

(1) 本项目在取得辐射安全许可后，应及时委托有资质单位对项目周围辐射环境进行验收监测；

(2) 委托有资质单位定期对项目周围环境辐射剂量进行监测，周期：1~2 次/年；

(3) 出现辐射事故，及时上报环保行政主管部门和相关部门，进行现场监测。

2、内部监测计划

马鞍山十七冶医院拟制定监测方案，医院在工作场所运行前应完善监测方案，监测内容应包括工作场所及周边环境。医院应配套购置相应的辐射监测仪器，其能量响应应满足本次核技术利用项目。

三废的治理

一、施工期

1、废水

施工期少量废水主要来自以下几个方面：

①施工场地废水；②施工人员生活污水。

(1) 生活废水

施工人员生活过程将有废水产生，废水种类主要有粪便污水、清洗污水等，主要污染物是 SS、COD、BOD₅ 等。施工人员的生活废水可通过集中收集后排入医院污水

处理站处理，施工人员生活废水预处理达标后排入市政污水管网进入合肥市王小郢污水处理厂处理，对地表水环境影响不大。

（2）施工废水

本项目主要采用混凝土及实心砖等材料进行辐射防护，施工期产生的施工废水很少。

施工期施工单位采用容器搅拌水泥砂浆，防止渗漏，严禁乱排乱倒，采取上述措施后，可以有效减少施工废水对周围环境的影响。

2、固体废物

施工期产生的固体废弃物主要包括施工人员的生活垃圾及废弃的各种建筑装饰材料等建筑垃圾，由于规模小，产生量较少。将由环卫部门统一处置。

3、噪声

主要是使用施工机械和装修设备产生的噪声。本项目主要为室内装修，通过建筑物墙体的屏蔽后，对周围环境影响较小。

二、营运期

（一）医用电子直线加速器项目

1、废气

本项目医用电子直线加速器在出束过程中产生的 X 射线会使机房内的空气电离，从而产生少量臭氧和氮氧化物，加速器束流越大，其产生量越高。其中臭氧毒性最大，产生量也最高，此外氮氧化物还会与室内水汽作用形成酸雾腐蚀机房内设备。故治疗室内需设置通风系统将工作中产生的废气及时排出室外。

本项目医用电子直线加速器机房与南侧控制室、水冷机房等辅助机房使用 2 套排风系统，采用箱式管道风机进行排风，其中用于医用电子直线加速器机房的排放系统的排风量为 3500m³/h，排风机位于放疗中心负一层东南角机房入口处顶部（位于室内），最终由放疗中心东南角电梯旁的风井排出室外。

本项目医用电子直线加速器机房内净容积约为 434m³，因此，本项目通风换气次数约为 10 次，能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

医用电子直线加速器机房采用机械进排风，机房的送风系统通过加速器机房南侧的风井引入，再由送风机引至加速器机房迷道入口处，从迷道入口防护门上方穿过，

进风管道采用斜“S”型穿墙管道，沿迷道上方进入加速器机房，进风口位于机房西侧顶部共2处，排风口位于机房东侧距离地面40cm处，与进风口形成对角。

机房的排风系统通过排风管道从机房东侧顶部引出，沿迷道上方穿过迷道入口防护门上方，同样采用“S”型穿墙管道，接入加速器机房东南角的排风风机，通过排风风机排至放疗中心排风井，最终由放疗中心楼顶排出室外。

经计算，单次照射完毕后，机房内臭氧浓度约为 $0.021\text{mg}/\text{m}^3$ ，少量臭氧通过排风机直接排入环境，经过大气的稀释和扩散作用其浓度将进一步降低，远低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准： O_3 标准为 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 。医院采取机械排风的措施后，医用直线加速器机房内产生的少量臭氧和氮氧化物能够得到充分的稀释扩散，常温下可以自行分解为氧气，对环境影响较小。

医用电子直线加速器机房排风、送风设计图见图10-4。

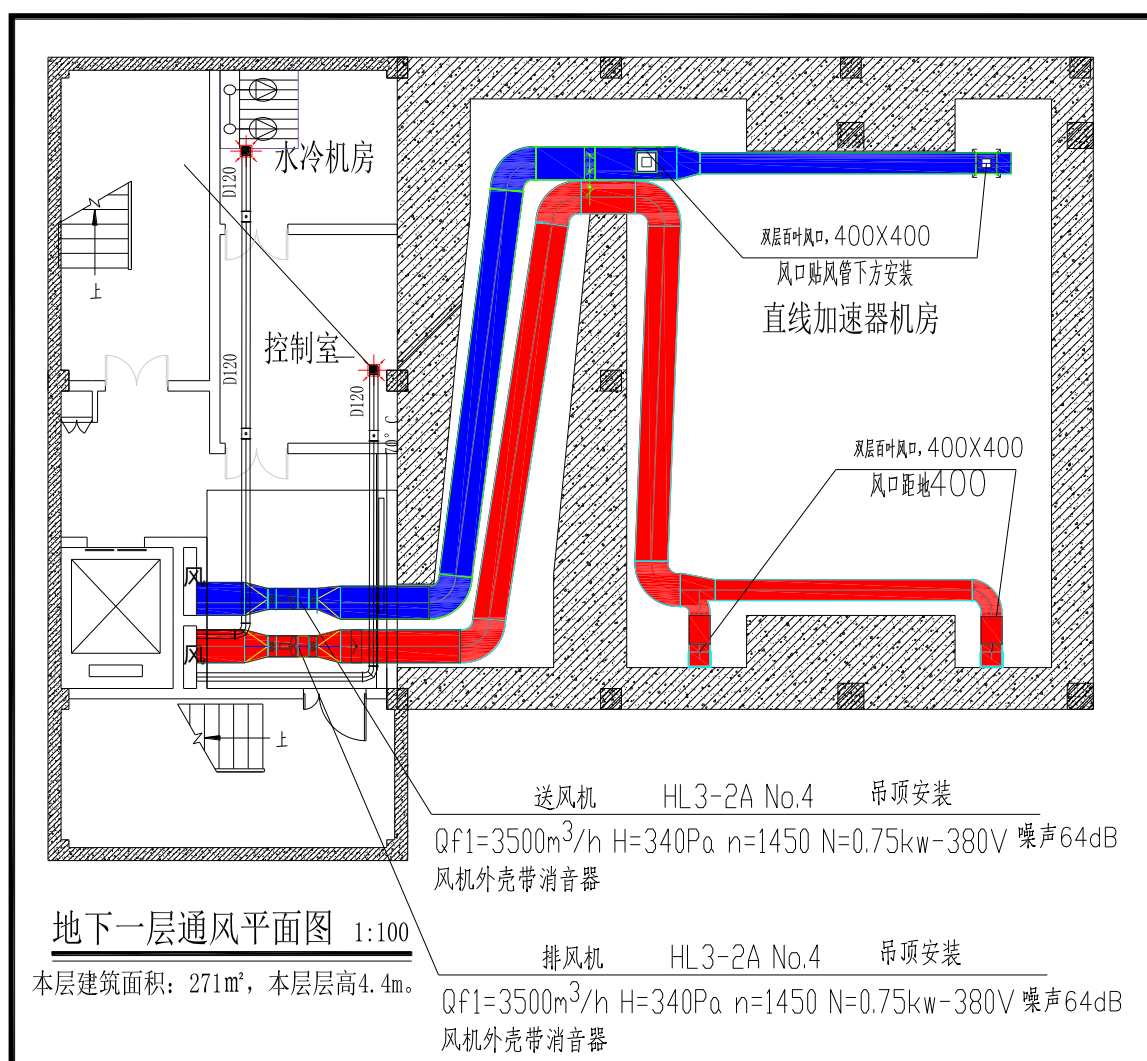


图 10-4 医用电子直线加速器工作场所通排风系统布置图

2、废水

马鞍山十七冶医院已建有污水处理站一座，设计处理能力为 400m³/d，现有处理规模约为 200m³/d，污水处理工艺采用“调节池+接触氧化池+沉淀池+消毒”的工艺。医院废水经污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）中表 2 的预处理标准要求后，经市政污水管网接管进入马鞍山市第二污水处理站集中处理，接管水量、水质不会对马鞍山市第二污水处理站处理能力造成冲击负荷，故本项目产生的废水依托医院现有污水处理设施是可行的。

3、固体废物

本项目医用电子直线加速器工作过程不产生固体废物。本项目工作人员产生的办公和生活垃圾不属于医疗废物，集中暂存于院区内生活垃圾暂存间，由市政环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

4、噪声

医用电子直线加速器机房设置机械排风装置，排风机运行时会产生噪声。

本项目放疗中心负一层医用电子直线加速器机房入口处顶部安装有 2 台 HL3-2A 型（风量为 3500m³/h）风机，根据设计院提供的设备参数，2 台风机的噪声源强均小于 64dB（A），本项目所使用的风机经过设备减震降噪等措施，并经过建筑隔声之后，运行期间厂界噪声可达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类标准要求。

（二）PET/CT 核素显像项目

本项目运行期产生的主要放射性“三废”为工作场所使用非密封性同位素过程中产生的含放射性固废、放射性废水和放射性废气，PET/CT 影像中心拟采取以下“三废”防治措施。

1、放射性废气

本项目工作场所排风管道分为 2 支，其中 1 支单独连接注射室内设置的通风橱，放射性药物的各项操作均在通风橱内进行，通风橱由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中“合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够风速（一般风速不小于 0.5m/s）”要求，医院购买的通风橱排风口处风速不得低于 0.5m/s；第 2 支管连接各注射后等候区、注射室、PET/CT 扫描间等。场所内的通排风系统需保证非密封放射性物质工作为负压工作场所。场所内的送风系统送风量

为 2000m³/h，排风系统排风量为 4140m³/h，保证了非密封放射性物质工作为负压工作场所，通风管道布置如图 10-5 所示。

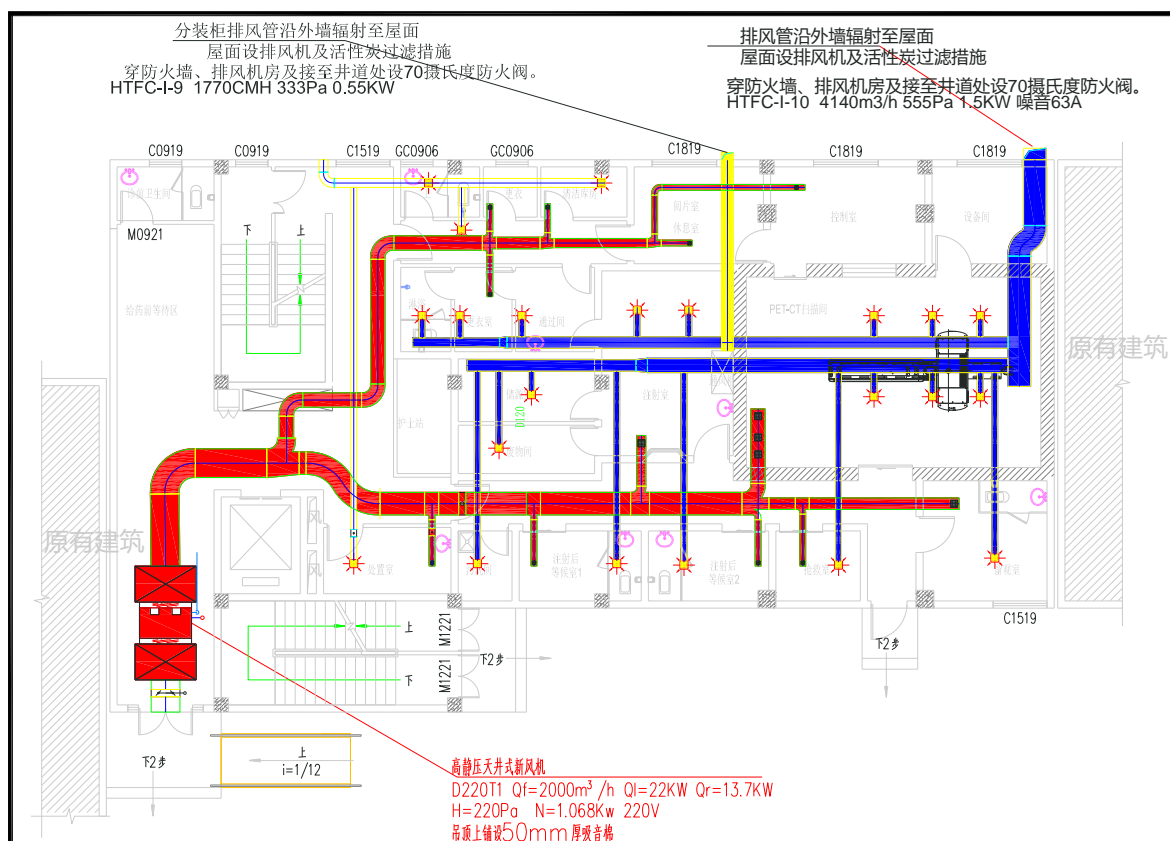


图 10-5 PET/CT 影像中心通排风管道布置图

工作场所产生的废气经由 2 根排风管道排至放疗中心楼顶。工作场所各排风管道必须密封良好，不与放疗中心其他排风管道相通，过滤器及活性炭需定期更换（1~2 次/年），更换后的活性炭经贮存衰变 10 个半衰期后作为一般医疗废物处置。

（二）放射性废水

本项目工作场所产生的含放射性废水包括：工作人员操作过程手部受到微量污染的清洗废水，清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水，以及患者冲洗排便用水。

工作场所产生的放射性废水通过预埋好的管道排至门诊大楼西侧本次新建的衰变池内，医院本次拟使用的放射性衰变池为半成品式的衰变池，根据其工作原理可知：PET/CT 影像中心产生的放射性废水先排至沉淀池再通过污水提升泵排至放射性废水衰变池（原理图见图 10-6），待放射性废水达到清洁解控水平后通过管道排至医院污水处理站处理达标后排入市政管网。

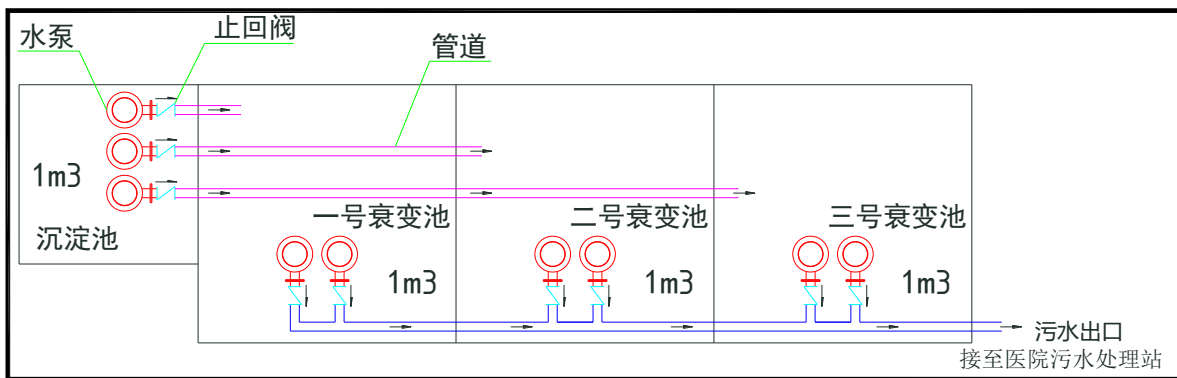


图 10-6 本项目使用的放射性废水衰变池系统

本项目新设置的放射性废水衰变池通过专门管路收集放射性废水，采用间歇式衰变的处理方式设计。放射性废水衰变系统利用一台人机界面全面监控放射性废水的水量及阀门状态等信息，可掌控放射性废水的流向，避免出现放射性废水的意外排放以及不可追溯的事故。

1、处理措施

本项目工作场所放射性废水将排入拟建于门诊大楼西侧新建的放射性废水衰变系统，该衰变池系统共设 3 个相同体积的放射性废水衰变槽体，每个有效容积为 1m^3 ，放射性废水衰变系统采用并联排放运行。

2、衰变池的运行原理

本项目本次新建的衰变池由一个沉淀池（ 1m^3 ）加三个容积均为 1m^3 的小池组成，PET/CT 影像中心产生的放射性废水先进入沉淀池进行初级沉淀后排入第一个衰变池中，待第一个衰变池的废水装满后关闭第一个衰变池的进水阀门，打开第二个衰变池的进水阀门，PET/CT 影像中心的废水通过沉淀池会排入第二衰变池内，此时第一个衰变池不外排放射性废水，待第二个衰变池的废水装满后，关闭第二个衰变池的进水阀门，打开第三个衰变池的进水阀门，此时 PET/CT 影像中心产生的放射性废水均进入第三个衰变池内，待第三个衰变池即将装满放射性废水时，此时打开第一个衰变池的排水阀门，将放射性废水排至医院污水处理站。三个衰变池以此往复运行。

3、衰变池容量可行性分析

工作场所放射性废水主要来源是工作台面、地面去污时产生的放射性废水，工作人员操作过程中手部受到微量污染的清洁废水，患者冲洗排便废水。

患者产生的废水量：参考《建筑给排水设计规范》（GB50015-2019）表 6.2.2 的医生生活用水量定额，同时根据该建设项目预期日检查人数，则本项目废水产生情况

见表 10-4:

表 10-4 马鞍山十七冶医院 PET/CT 影像中心废水产生情况一览表

序号	用水类别	单人单次废水量	日诊疗人数	日产生废水量	备注
1	使用 ^{18}F 患者	6L	15 人次	90L	/
2	工作人员	20L	4 人次	80L	/
3	场所清洗废水	150L/日		150L	/
合计				320L (约 0.32m ³)	/

根据医院制定的衰变池排水计划，待最后一个衰变池装满时，才排放第一个衰变池的废水。项目日产生放射性废水约 0.32m³，两个衰变池的容积为 2m³，即装满两个池子需要约 6.25d，且该场所仅使用放射性核素 ^{18}F ，则两个池子装满时已经经过了 6.25d (81.9 个半衰期) 远大于 10 个半衰期，故本项目衰变池的容积可满足废水处理的要求。

医院规定：

(1) 规定患者诊疗期间使用专用厕所，不得使用其他厕所。

(2) 专用厕所应具备使病人排泄物迅速全部冲洗入池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

(三) 放射性固废

本项目产生的放射性废物主要为：工作人员操作过程产生的一次性卫生用品、垫料、更换下的废高效过滤器滤芯及废活性炭等。工作场所拟将上述放射性固体废物采用专用塑料包装袋专门收集，包装袋要标明收贮时间、种类及数量等内容，按序封闭暂存于放射性衰变桶（10mm 铅当量）内，最后转移至废物间内，让放射性物质自行衰变，经检测符合排放标准后，按照医疗废物交由有资质单位进行处置。

医院应做到：

①放射性废物应收集在具有防护外层和电离辐射标志的固体废物桶中，固体废物桶应避免辐射工作人员和经常走动的地方，装满后的废物袋应密封，不破漏；

②存放废物的容器必须安全可靠，并在铅废物桶的显著位置处标有废物类型、核素种类、比活度范围和存放的日期等说明；

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）的相关规定。

(1) 放射性废物应收集在具有防护外层和电离辐射标志的固体废物桶中，固体废物桶应避免辐射工作人员和经常走动的地方，装满后的废物袋应密封，不破漏，并

及时转至放射性废物储存室内，并放入专用容器中贮存；

(2) 在放射性废物储存室出入口设电离辐射标志，存放废物的容器必须安全可靠；并在废物桶的显著位置处标有废物类型、核素种类、比活度范围和存放的日期等说明；

(3) 放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）的相关规定。

(四) 非放射性污染防治措施

本项目运行期间产生的非放射性污染物主要是噪声、生活污水、生活垃圾。具体治理措施如下：

1、生活污水和生活垃圾处理措施

本项目工作人员工作中会产生少量的生活污水、生活垃圾和办公垃圾，候诊病人候诊过程中产生少量的生活污水和生活垃圾，依托医院已有的污水处理系统和生活垃圾收集系统进行处理。

2、废气处理措施

本项目使用的 III 类射线装置在工作状态时，会使空气电离产生少量的臭氧(O₃)和氮氧化物(NO_x)，少量臭氧和氮氧化物可通过动力排风装置排出，臭氧 50 分钟后自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

3、噪声治理措施

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机，各机房所使用的通排风系统均为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值低于 64dB(A)，噪声较小，考虑到噪声的远距离衰减作用，各排风系统使用的风机均采用橡胶垫进行减震，噪声进一步减小，对周围环境影响可以忽略。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

(一) 施工期大气环境影响分析

本项目施工过程中，大气污染主要来自于施工场地的扬尘、施工机械的尾气。这些废气的影响是局部的、暂时的，影响的程度及范围有限，随着施工期的结束而逐渐消失。

施工期的大气污染物主要为施工扬尘、施工机械尾气和油漆废气，其中又以施工扬尘最为严重。施工扬尘主要取决于施工作业方式、材料的堆放及风力等因素，其中受风力因素的影响最大，随着风速的增大，施工扬尘产生的污染程度和超标范围也将随之增强和扩大。

施工扬尘主要来源于汽车行驶扬尘、施工场地材料堆放及裸露地表产生的扬尘等，主要污染因子为 TSP。根据市政施工的现场实测资料，在一般气象条件下，平均风速为 3.8m/s，建筑工地内 TSP 浓度为其上风向对照点的 2-2.25 倍，建筑施工扬尘影响范围可达 150m，影响范围内 TSP 浓度平均值可达 0.48mg/m³，是环境空气质量标准中二级标准值的 1.6 倍，当有围栏时，同等条件下其影响距离可缩短 40%，即影响范围缩小至 90m。尘粒在空气中传播的扩散情况与风速等气象条件有关，也与尘粒本身的沉降速度有关。以沙尘土为例，其沉降速度随粒径的增大而迅速增大。

当粒径为 250 μ m 时，沉降速度为 1.005m/s，因此当尘粒大于 250 μ m 时，主要影响范围在扬尘点下风向近距离范围内，而真正对外环境产生影响的是一些微小尘粒。

根据现场施工季节的气候情况不同，其影响范围和方向也有所不同。施工期间应特别注意施工扬尘的防治问题，须制定必要的防止措施，以减少施工扬尘对周围环境的影响。

为减少和防止扬尘，尽量减轻其污染程度，缩小其影响范围，最大程度降低施工扬尘对区域环境的影响，建设单位和施工单位应落实以下措施：

1) 施工场地四周必须建设 1.8m 高的临时围墙，缩小施工扬尘扩散范围，以降低施工扬尘对大气环境的影响。

2) 开挖时，对作业面和土堆适当喷水，使其保持一定湿度，以减少扬尘，而且开挖的泥土和建筑垃圾要及时运走，以防长期堆放表面干燥而起尘或被雨水冲刷。

3) 采用商品混凝土，不在施工现场进行混凝土搅拌等作业。

4) 加强施工现场的管理，水泥、石灰等材料运送时，不得超载，并尽量采取遮盖、密闭措施，减少沿途抛洒，并及时清扫散落在路面上的泥土和建筑材料，冲洗轮胎，定时洒水抑尘，以减少运输过程中的扬尘；水泥、石灰等容易飞散的物料，应统一存放，并采取盖棚等防风措施；尽量减少搬运环节，搬运时做到轻举轻放，防止包装袋破裂；砂石的筛料，水泥的拆包等应在避风处进行，起尘严重的场所四周要加设挡风尘设施。

5) 为防止场地起尘，应配备洒水车，必要时对相关路段洒水处理，使表面有一定的湿度，减少扬尘。定期清扫施工场地的洒落物，并辅以必要的洒水抑尘等措施，以保证场地不起尘，最大程度减少扬尘对周围大气环境的危害，必要时采用水雾以降低和防止二次扬尘。

6) 当风速过大时，应停止施工作业，并对堆存的砂粉等建筑材料采取遮盖措施。施工机械采用清洁能源，安装尾气净化装置后污染物排放量大大减小，室内装修采用环保水性涂料，不会对大气环境产生明显影响。各部分废气在采取相应措施后，均可以得到较好的控制，同时施工期的影响是暂时性的，随着施工作业结束，影响将随之消失。

(二) 施工期地表水环境影响分析

1、生活废水

施工人员生活过程将有废水产生，废水种类主要有粪便污水、清洗污水等，主要污染物是 SS、COD、BODs 等。施工人员生活废水量较少，如不妥善处理，也会造成施工区域的环境恶化。尤其在夏天，会造成蚊、蝇滋生，传染疾病，甚至影响到施工人员身体健康。

施工人员的生活废水应通过集中收集后排入医院污水处理站处理，施工人员生活废水预处理达标后排入市政污水管网进入市政污水处理厂处理，对地表水环境影响不大。

2、施工废水

主要来源于施工车辆以及机械设备的清洗、建材清洗、混凝土养护产生的废水等，另外还有场地雨污水。施工废水主要污染物为 SS，施工车辆及设备冲洗废水还含有少量油污。

施工废水的排放特点是间歇式排放，废水量不稳定。因此，施工中往往用水量无节制、废水排放量大，若不采取措施，将会在施工现场随意流淌，对周围水环境造成一定影响。

对于施工废水，建议在施工现场设置隔油沉淀池一座，收集施工中所排放的各类废水，废水经沉淀后，仍可作为施工用水的一部分重复使用，这样既节约了水资源，又减轻了对地表水环境的污染。

（三）施工期声环境影响分析

施工期噪声源主要包括：构筑物砌筑、场地清理和修理等使用施工机械的固定声源噪声以及施工运输车辆的流动噪声声源。经建筑工程施工工地噪声源强类比调查分析，确定拟建工程的噪声影响主要来源于施工现场（场址区内）的声源噪声，这些噪声将对作业人员和场址周围环境造成一定影响。因此现针对施工噪声进行声学环境影响预测分析。

1、噪声源强

施工期的噪声主要来源于施工现场的各类机械设备噪声，由于各施工阶段均有大量设备交互作业，这些设备在场地内的位置以及使用率均有较大变化。但施工期间的场界噪声必须满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）标准要求。

2、噪声影响预测

噪声源声级按自由声场衰减方式传播，主要考虑距离衰减，忽略大气吸收、障碍物屏障等因素，其衰减模式为：

$$L_2 = L_1 - 20 \lg r_2 / r_1$$

式中： L_1 、 L_2 分别为距声源 r_1 、 r_2 处的等效 A 声级（dB(A)）；

r_1 、 r_2 为接受点距声源的距离（m）。

施工期噪声源声级值随距离衰减预测结果见表 11-1：

表 11-1 施工期噪声影响预测结果 单位：dB（A）

噪声源强	距施工场界距离（m）							备注
	10	20	25	50	100	150	200	
100	80.0	74.0	72.0	66.0	60.0	56.5	54.0	以施工期最强噪声值预测

由表 11-1 施工期噪声影响预测结果可看出：施工期间昼间将对场界 100m 以内的噪声敏感点、夜间将对 200m 以内的噪声敏感点造成影响。由于项目夜间不进行施工，不会对周边敏感点产生影响。但项目 100m 范围内有敏感点，环评要求项目施工期需

采用移动隔声屏障，降低噪声对敏感点的影响。

考虑到施工期的暂时性，通过禁止夜间施工，并采取有效措施控制后，项目施工期噪声对周边敏感点及周围环境产生影响较小。

（四）施工期固体废弃物环境影响分析

根据现场踏勘，拟建场地基本为平地，本项目土方开挖量较小。

在开挖土石方时，遇降雨容易形成水土流失。因此，要求在进行开挖土石方作业时，一是在堆放场地周围设置排水沟及沉淀池，二是在雨季不进行开挖作业或只进行小规模作业，尽可能减少堆放土形成水土流失现象，三是优化项目设计和内部结构，尽量减少弃土弃渣。

施工人员每日产生的生活垃圾应经过袋装收集后，由环卫部门统一运送到垃圾处理场集中处理，不可就地填埋，以避免对居住区环境空气和水环境质量构成潜在的影响因素。

项目施工过程中产生的少量建筑垃圾，建筑垃圾尽量回收利用（如钢筋等），不能利用的建筑垃圾，经收集后，堆放至政府指定的建筑垃圾堆放点。

综上所述，项目施工期在严格落实了本环评提出的上述措施后，其施工期的固体废弃物可实现清洁处理和处置，不致造成二次污染。对周边居民的影响较小。

（五）生态环境影响分析

项目基础开挖，施工过程中造成场地内土质结构松散，易被雨水冲刷造成水土流失，项目方施工期要配套建设中的水土保持措施。施工时采取修建临时挡土墙、排水沟、覆盖塑料布等措施，可有效防止水土流失。施工结束后应立即恢复植被，加大植树种草工作，实行绿色覆盖，减少硬覆盖。

项目方在进行地下室的施工过程中应注意区域地下水层的高度，谨防对地下水造成不良影响。同时，项目方应尽快进行植被恢复，防治水土流失。项目施工期要做好相应水土保持措施，则施工期水土流失量很小，对生态环境不会产生明显影响。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

（一）医用电子直线加速器项目

马鞍山十七冶医院拟在新建的放疗中心新建设 1 座医用电子直线加速器机房，并

配备 1 台医用电子直线加速器，型号未定，其 X 射线能量为 6、10MV；电子线能量为 $\leq 20\text{MeV}$ ；射线最大出射角： 28° ；1m 处输出剂量率：10MV 时最高剂量率为 $600\text{cGy}/\text{min}$ ，6MV 时最高剂量率为 $1400\text{cGy}/\text{min}$ （3F 束流模式）。

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

本项目的医用电子直线加速器机房上方主屏蔽区上覆 30cm 土层，土层上方为 PET/CT 核素诊断区域，由于机房东侧、西侧、北侧和下方均为永久性土层，因此只在医用电子直线加速器机房外南侧及顶部设定关注点并进行预测，本项目医用电子直线加速器机房的关注点设定如图 11-1。

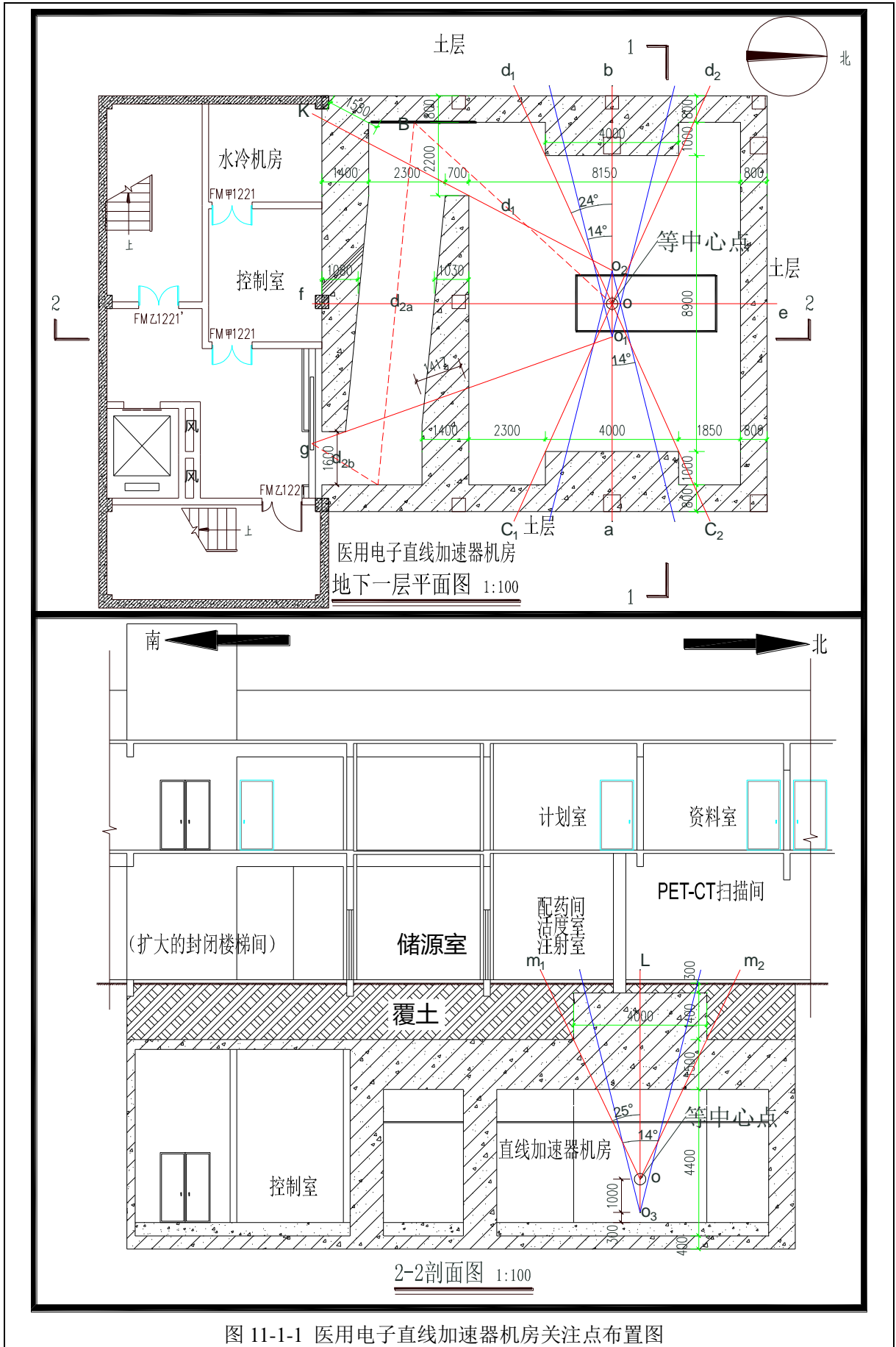


图 11-1-1 医用电子直线加速器机房关注点布置图

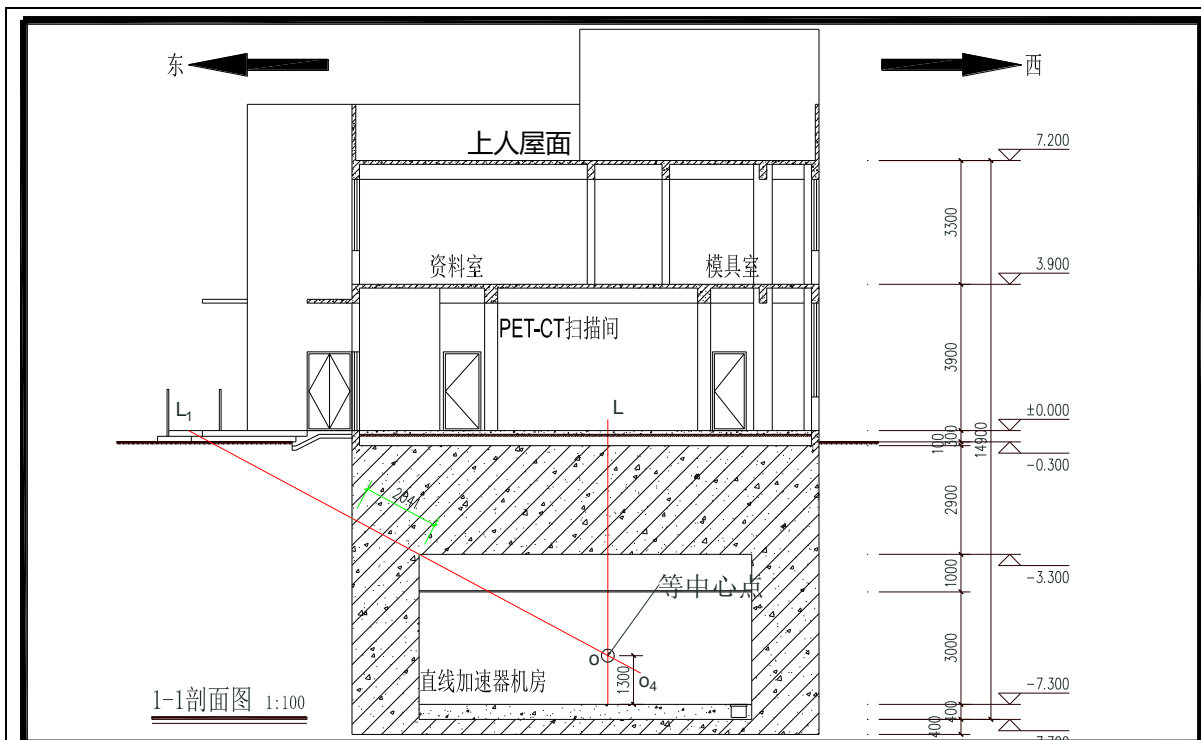


图 11-1-2 医用电子直线加速器机房关注点布置图

1、有用线束主屏蔽区的宽度核算

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）中的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度：

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

式中： Y_p —机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD —源轴距，m；

θ —治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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

将各参数代入公式 11-1 可估算出本项目的主屏蔽宽度核算结果并评价如表 11-2：

表 11-2 医用电子直线加速器机房主屏蔽区的宽度设计评价表

参数	取值		
	东墙主屏蔽	西墙主屏蔽	屋顶主屏蔽
a (m)	5.45	5.45	4.20
SAD (m)	1	1	1
θ (°)	14	14	14

计算宽度 Y_p (m)	3.82	3.82	3.19
设计宽度 (m)	4.00	4.00	4.00
评价	满足	满足	满足

2、当 X 射线能量为 10MV，1m 处输出剂量率为 600cGy/min 情况下，机房屏蔽能力分析

(1) 有用线束主屏蔽设计核算（东墙 a 点、西墙 b 点、屋顶 l 点）

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

②计算模式及参数选择

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的相关公式进行有用线束主屏蔽设计核算，在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时，首先按照公式 11-2 计算有效厚度 X_e (cm)，按照公式 11-3 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按照公式 11-4 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)。

$$X_e = X / \cos\theta \dots\dots \text{公式 11-2}$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1) / TVL} \dots\dots \text{公式 11-3}$$

式中， TVL_1 (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_1 时， $TVL_1 = TVL$ 。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1。

本项目中，a 点、b 点、l 点相应厚度主屏蔽的 B 值核算见表 11-2。

$$\dot{H} = \dot{H}_0 \cdot f \cdot B / R^2 \dots\dots \text{公式 11-4}$$

式中， \dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶(以下简称靶) 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，本项目为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

R ——靶点至参考点的距离，m，本项目参考点为相应屏蔽体外 30cm；

f ——对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率，0.1%。

将各参数代入模式计算，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)，辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-2。

③预测计算结果

将相应主屏蔽厚度得出的辐射屏蔽透射因子 B 值代入，得到相应辐射在屏蔽体外

关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)，将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 相比，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-3。

表 11-3 主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

参数	屋顶主屏蔽 (l 点)	屋顶主屏蔽 (l_1 点)
X (cm)	290 砵	180 砵
X_e (cm)	290 砵*	204 砵+432 土***
TVL (cm)	37	37
TVL_l (cm)	41	41
B	1.86×10^{-8}	1.37×10^{-11}
R (m)	7.30**	13.7
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8	3.6×10^8
f	1	1
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	0.126	<0.001
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 剂量率参考控制水平	2.5	2.5
评价结果	满足	满足

注：*不考虑土层的屏蔽能力；

**距离取距一层地面 30cm 处；

***土层密度(包括土粒及粒间的孔隙)约在 $1.1-1.4\text{g/cm}^3$ 之间，混凝土密度约为 2.35g/cm^3 对于经过屏蔽的低能 X 射线，将土层折算成混凝土进行屏蔽效果计算。

(2) 侧屏蔽墙屏蔽效果预测 (e 点、 f 点)

①射线路径(射线类型)： $O \rightarrow e$ (泄漏射线)(混凝土外为土层)， $O \rightarrow f$ (泄漏射线)。

②泄漏辐射：估算方法类似主屏蔽区。 TVL_l 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 $TVL_l=35\text{cm}$ ， $TVL=31\text{cm}$ 。

③ f 点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-4。

表 11-4 侧屏蔽泄漏射线辐射率计算参数和计算结果

参数	南侧屏蔽墙 (f 点)
X (cm)	211 砵
X_e (cm)	211 砵
TVL (cm)	31
TVL_l (cm)	35
B	2.10×10^{-7}
R (m)	9.00
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8

f	0.001
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	0.001
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 剂量率参考控制水平	2.5
评价结果	满足

(3) 与主屏蔽区相连的次屏蔽区的屏蔽效果预测 (c_1 点、 d_1 点、 d_2 点及 m_1 点、 m_2 点)

①射线路径 (射线类型): $O_2 \rightarrow O \rightarrow c_1$ (散射射线), $O_2 \rightarrow O \rightarrow c_2$ (散射射线), $O_1 \rightarrow O \rightarrow d_1$ (散射射线), $O_1 \rightarrow O \rightarrow d_2$ (散射射线), $O_3 \rightarrow O \rightarrow m_1$ (散射射线), $O_3 \rightarrow O \rightarrow m_2$ (散射射线)。

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

对于位置 c_1 点、 c_2 点、 d_1 点、 d_2 点和 m_1 点、 m_2 点, 考虑泄漏辐射和散射辐射的复合作用。

②泄漏辐射计算

泄漏辐射屏蔽, 估算方法类似主屏蔽区。 $f=0.001$ (泄漏辐射比率, 根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 要求, 对于 M 区域外泄漏辐射 (不包括中子), 吸收剂量平均值与最大吸收剂量的比值不应超过 0.1%), TVL_l 和 TVL 保守取附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 分别为 $TVL_l=35\text{cm}$, $TVL=31\text{cm}$ 。

③散射辐射屏蔽计算

在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时, 首先计算或直接在结构图中量出该屏蔽墙的有效厚度 X_e (cm), 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B_s (其中患者散射辐射在混凝土中的什值层, 查表 B.4 知, 对于 10MV 射线, 当散射角 30° 时, 患者散射辐射在混凝土中什值层为 28cm), 再按照公式 11-5 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$);

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

式中:

\dot{H}_0 : 加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 (以下简称靶) 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$, 本项目为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;

α_{ph} ：患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm² 面积上的散射因子。查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2。本项目按 10MV 取值，取 3.18×10^{-3} 。

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

R_s ：患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

叠加次屏蔽墙外泄漏辐射与患者一次散射辐射的瞬时剂量率值，将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 相比，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-5。

表 11-5 与主屏蔽相连的次屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

参数		屋顶次屏蔽 (m_1 、 m_2 点)
X (cm)		150 砵
X_e (cm)		165.5 砵
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)		3.6×10^8
泄漏辐射	TVL_l (cm)	35
	TVL (cm)	31
	B	6.17×10^{-6}
	R (m)	6.97
	f	0.001
	$\dot{H}_{\text{泄}}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.046
散射辐射	TVL_l (cm)	28
	TVL (cm)	28
	R_s (m)	6.87
	α_{ph}	3.18×10^{-3}
	B	1.23×10^{-6}
	F (cm ²)	1600
	$\dot{H}_{\text{散}}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.116
\dot{H} 泄漏辐射和散射辐射的复合作用		0.162 $\mu\text{Sv}/\text{h}$
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 剂量率参考控制水平		2.5
评价		满足

(4) 迷道外墙屏蔽效果预测 (k 点)

①射线路径 (射线类型) : $O_2 \rightarrow k$ (为有用线束不向迷道内墙照射模型下的泄漏射线)。

②计算模式及参数选择:

本项目有用线束不向迷道内墙照射, k 点的屏蔽厚度应考虑下列情况:

医用直线加速器靶点位于 O_2 时, k 点辐射剂量率最大, 泄漏辐射起决定性作用, O_2 至 k 的泄漏辐射的斜射角较小, 核算方法同 e 点。混凝土的 TVL_I 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 分别为 $TVL_I=35\text{cm}$, $TVL=31\text{cm}$ 。

③ k 点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-6。

表 11-6 迷道外墙屏蔽区外参考点辐射率计算参数和计算结果

参数	迷道外墙 (k 点)
X (cm)	140 砵
X_e (cm)	158 砵
TVL_I (cm)	35
TVL (cm)	31
B	1.08×10^{-5}
R (m)	10.1
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.60×10^8
f	0.001
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	0.038
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 剂量率参考控制水平	$2.5 \mu\text{Sv/h}$
评价	满足

(5) 迷道内墙屏蔽设计核算 (g 点)

①射线路径 (射线类型) : $O_I \rightarrow g$ (泄漏射线)。

②计算模式及参数选择:

g 点泄漏辐射剂量核算方法同 e 点。

O_I 至 g 点的距离 $R=9.55\text{m}$, 取泄漏因子 $f=0.001$, 公式 4 的 TVL_I 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 分别为 $TVL_I=35\text{cm}$, $TVL=31\text{cm}$ 。

③预测计算结果

表 11-7 穿过迷道内墙在 g 点的泄露辐射剂量率估算值

参数	机房入口门外 (g 点)
X (cm)	141.7 砵
X_e (cm)	141.7 砵

TVL_l (cm)	35
TVL (cm)	31
B	3.61×10^{-5}
R (m)	9.55
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8
f	0.001
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.143
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 剂量率参考控制水平	$0.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$
评价	满足

(6) 机房入口防护门屏蔽核算

①射线路径（射线类型）： $O_l \rightarrow O \rightarrow B \rightarrow P \rightarrow g$ （散射射线）。

②计算模式及参数选择：

g 点处的散射辐射剂量率按照公式 11-6 计算， g 点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-7。

$$H_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot \left(\frac{F}{400}\right)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A_2}{R_2^2} \cdot \frac{\alpha_3 \cdot A_3}{R_3^2} \cdot \dot{H}_0 \quad \dots\dots\text{公式 11-6}$$

式中， \dot{H}_0 、 α_{ph} 、 F 意义同前文；

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，本项目 e 处的入射角取 45° ，散射角取 0° ，具体取值见 GBZ/T201.2-2011 附录表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值；

α_3 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，本项目 e 处的入射角取 45° ，散射角取 0° ，具体取值见 GBZ/T201.2-2011 附录表 B.6，通常使用其 0.25MeV 栏内的值；

A_2 — B 处的散射面积， m^2 ；

A_3 — P 处的散射面积， m^2 ；

R_1 —等中心点到 B 之间的距离（由 CAD 图纸上读出）， m ；

R_2 — B 到 P 之间的距离（由 CAD 图纸上读出）， m 。

R_3 — P 到 g 之间的距离（由 CAD 图纸上读出）， m 。

表 11-8 g 处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果

参数	g 点
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	$3.60 \times 10^8 \mu\text{Sv}/\text{h}$
α_{ph}	1.35×10^{-3}
F	1600 cm^2
α_2	22.0×10^{-3}

α_3	25.0×10^{-3}
d_1	8.05m
d_{2a}	10.9m
d_{2b}	2.33m
A_2	12.56m^2
A_3	9.04m^2
g 点剂量率 (估算值)	$2.90\mu\text{Sv/h}$

入口门外的总辐射剂量率按公式 11-7 计算, 入口门外辐射量率计算参数和计算结果见表 11-9。

$$\dot{H} = \dot{H}_{\text{散}} \cdot 10^{-\left(\frac{X}{TVL}\right)} + \dot{H}_{og} \dots \dots \text{公式 11-7}$$

式中 $\dot{H}_{\text{散}}$ 是 g 处的散射辐射剂量率, \dot{H}_{og} 是 g 处的泄漏辐射剂量率;

X —防护门铅屏蔽厚度, cm;

TVL —辐射在铅中的什值层, cm, 取 0.5cm

表 11-9 入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果

参数	g 点	
$\dot{H}_{\text{散}}$	$2.90\mu\text{Sv/h}$	
X	10mm 铅	
TVL	5mm	
\dot{H}_{og}	$0.143\mu\text{Sv/h}$	
入口门外关注点总辐射剂量 \dot{H}	估算值	$0.172\mu\text{Sv/h}$
	控制值	$2.5\mu\text{Sv/h}$
	评价结果	满足

3、当 X 射线能量为 6MV, 1m 处输出剂量率为 1400cGy/min 情况下, 机房屏蔽能力分析

(1) 有用线束主屏蔽设计核算 (东墙 a 点、西墙 b 点、屋顶 l 点)

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

②计算模式及参数选择

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011) 的相关公式进行有用线束主屏蔽设计核算, 在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时, 首先按照公式 11-2 计算有效厚度 X_e (cm), 按照公式 11-3 估算屏

蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按照公式 11-4 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)。

$$X_e = X/\cos\theta \dots\dots \text{公式 11-2}$$

$$B = 10^{-(X_e+TVL-TV L_1)/TVL} \dots\dots \text{公式 11-3}$$

式中， TVL_l (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_l 时， $TVL_l=TVL$ 。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1。

本项目中， a 点、 b 点、 l 点相应厚度主屏蔽的 B 值核算见表 11-2。

$$\dot{H} = \dot{H}_0 \cdot f \cdot B/R^2 \dots\dots \text{公式 11-4}$$

式中， \dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶(以下简称靶) 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目为 $8.40 \times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R ——靶点至参考点的距离，m，本项目参考点为相应屏蔽体外 30cm；

f ——对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率，0.1%。

将各参数代入模式计算，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)，辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-10。

③预测计算结果

将相应主屏蔽厚度得出的辐射屏蔽透射因子 B 值代入，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)，将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 相比，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-10。

表 11-10 主屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

参数	屋顶主屏蔽 (l 点)	屋顶主屏蔽 (l_1 点)
X (cm)	290 砵	180 砵
X_e (cm)	290 砵*	204 砵+432 土***
TVL (cm)	33	33
TVL_l (cm)	37	37
B	2.15×10^{-9}	6.58×10^{-13}
R (m)	7.30**	13.7
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	8.40×10^8	8.40×10^8
f	1	1
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	0.034	<0.001

\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 剂量率参考控制水平	2.5	2.5
评价结果	满足	满足

注：*不考虑土层的屏蔽能力；
 **距离取距一层地面 30cm 处；
 ***土层密度(包括土粒及粒间的孔隙)约在 1.1-1.4g/cm³ 之间，混凝土密度约为 2.35g/cm³
 对于经过屏蔽的低能 X 射线，将土层折算成混凝土进行屏蔽效果计算。

(2) 侧屏蔽墙屏蔽效果预测 (e 点、f 点)

①射线路径 (射线类型)：O→e (泄漏射线)，O→f (泄漏射线)。

②泄漏辐射：估算方法类似主屏蔽区。TVL_l 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 TVL_l=34cm，TVL=29cm。

③f 点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-11。

表 11-11 侧屏蔽泄漏射线辐射率计算参数和计算结果

参数	南侧屏蔽墙 (f 点)
X (cm)	211 砵
X _e (cm)	211 砵
TVL (cm)	29
TVL _l (cm)	34
B	7.88×10 ⁻⁸
R (m)	9.00
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	8.40×10 ⁸
f	0.001
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	0.001
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 剂量率参考控制水平	2.5
评价结果	满足

(3) 与主屏蔽区相连的次屏蔽区的屏蔽效果预测 (c₁ 点、d₁ 点、d₂ 点及 m₁ 点、m₂ 点)

①射线路径 (射线类型)：O₂→O→c₁ (散射射线)，O₂→O→c₂ (散射射线)，O₁→O→d₁ (散射射线)，O₁→O→d₂ (散射射线)，O₃→O→m₁ (散射射线)，O₃→O→m₂ (散射射线)。

O→c₁ (泄漏射线)，O→c₂ (泄漏射线)，O→d₁ (泄漏射线)，O→d₂ (泄漏射线)，O→m₁ (泄漏射线)，O→m₂ (泄漏射线)。

对于位置 c₁ 点、c₂ 点、d₁ 点、d₂ 点和 m₁ 点、m₂ 点，考虑泄漏辐射和散射辐射的

复合作用。

②泄漏辐射计算

泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。 $f=0.001$ （泄漏辐射比率，根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）要求，对于 M 区域外泄漏辐射（不包括中子），吸收剂量平均值与最大吸收剂量的比值不应超过 0.1%）， TVL_l 和 TVL 保守取附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 $TVL_l=34\text{cm}$ ， $TVL=29\text{cm}$ 。

③散射辐射屏蔽计算

在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时，首先计算或直接在结构图中量出该屏蔽墙的有效厚度 X_e (cm)，估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B_s （其中患者散射辐射在混凝土中的什值层，查表 B.4 知，对于 6MV 射线，当散射角 30° 时，患者散射辐射在混凝土中什值层为 26cm），再按照公式 11-8 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)；

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

式中：

\dot{H}_0 ：加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目为 $8.40 \times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

α_{ph} ：患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子。查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2。本项目按 6MV 取值，取 2.77×10^{-3} 。

F ：治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ，本项目为 $40\text{cm} \times 40\text{cm} = 1600\text{cm}^2$ 。

R_s ：患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

叠加次屏蔽墙外泄漏辐射与患者一次散射辐射的瞬时剂量率值，将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 相比，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-12。

表 11-12 与主屏蔽相连的次屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

参数	屋顶次屏蔽 (m_1 、 m_2 点)
X (cm)	150 砵

	X_e (cm)	165.5 砵
	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	8.40×10^8
泄漏辐射	TVL_l (cm)	34
	TVL (cm)	29
	B	2.92×10^{-6}
	R (m)	6.97
	f	0.001
	$\dot{H}_{\text{泄}}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.050
散射辐射	TVL_l (cm)	26
	TVL (cm)	26
	R_s (m)	6.87
	α_{ph}	2.77×10^{-3}
	B	4.31×10^{-7}
	F (cm^2)	1600
	$\dot{H}_{\text{散}}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.083
\dot{H} 泄漏辐射和散射辐射的复合作用		$0.133\mu\text{Sv}/\text{h}$
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 剂量率参考控制水平		2.5
评价		满足

(4) 迷道外墙屏蔽效果预测 (k 点)

①射线路径 (射线类型): $O_2 \rightarrow k$ (为有用线束不向迷道内墙照射模型下的泄漏射线)。

②计算模式及参数选择:

本项目有用线束不向迷道内墙照射, k 点的屏蔽厚度应考虑下列情况:

医用直线加速器靶点位于 O_2 时, k 点辐射剂量率最大, 泄漏辐射起决定性作用, O_2 至 k 的泄漏辐射的斜射角较小, 核算方法同 e 点。混凝土的 TVL_l 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 分别为 $TVL_l=34\text{cm}$, $TVL=29\text{cm}$ 。

③ k 点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-13。

表 11-13 迷道外墙屏蔽区外参考点辐射率计算参数和计算结果

参数	迷道外墙 (k 点)
X (cm)	140 砵
X_e (cm)	158 砵

TVL_l (cm)	34
TVL (cm)	29
B	1.08×10^{-5}
R (m)	10.1
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	8.40×10^8
f	0.001
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.044
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 剂量率参考控制水平	$2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$
评价	满足

(5) 迷道内墙屏蔽设计核算 (g 点)

①射线路径 (射线类型): $O_l \rightarrow g$ (泄漏射线)。

②计算模式及参数选择:

g 点泄漏辐射剂量核算方法同 e 点。

O_l 至 g 点的距离 $R=9.55\text{m}$, 取泄漏因子 $f=0.001$, 公式 11-4 的 TVL_l 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 分别为 $TVL_l=34\text{cm}$, $TVL=29\text{cm}$ 。

③预测计算结果

表 11-14 穿过迷道内墙在 g 点的泄露辐射剂量率估算值

参数	机房入口门外 (g 点)
X (cm)	141.7 砵
X_e (cm)	141.7 砵
TVL_l (cm)	34
TVL (cm)	29
B	1.93×10^{-5}
R (m)	9.55
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	8.40×10^8
f	0.001
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.178
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 剂量率参考控制水平	$0.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$
评价	满足

(6) 机房入口防护门屏蔽核算

①射线路径 (射线类型): $O_l \rightarrow O \rightarrow B \rightarrow P \rightarrow g$ (散射射线)。

②计算模式及参数选择:

g 点处的散射辐射剂量率按照公式 11-9 计算, g 点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-15。

$$H_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot \left(\frac{F}{400}\right)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A_2}{R_2^2} \cdot \frac{\alpha_3 \cdot A_3}{R_3^2} \cdot \dot{H}_0 \dots\dots\text{公式 11-9}$$

式中， \dot{H}_0 、 α_{ph} 、 F 意义同前文；

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，本项目 e 处的入射角取 45° ，散射角取 0° ，具体取值见 GBZ/T201.2-2011 附录表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值；

α_3 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，本项目 e 处的入射角取 45° ，散射角取 0° ，具体取值见 GBZ/T201.2-2011 附录表 B.6，通常使用其 0.25MeV 栏内的值；

A_2 — B 处的散射面积， m^2 ；

A_3 — P 处的散射面积， m^2 ；

R_1 —等中心点到 B 之间的距离（由 CAD 图纸上读出）， m ；

R_2 — B 到 P 之间的距离（由 CAD 图纸上读出）， m 。

R_3 — P 到 g 之间的距离（由 CAD 图纸上读出）， m 。

表 11-15 g 处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果

参数	g 点
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	$8.40 \times 10^8 \mu\text{Sv}/\text{h}$
α_{ph}	1.39×10^{-3}
F	1600 cm^2
α_2	22.0×10^{-3}
α_3	25.0×10^{-3}
d_1	8.05m
d_{2a}	10.9m
d_{2b}	2.33m
A_2	12.56m^2
A_3	9.04m^2
g 点剂量率（估算值）	$6.97 \mu\text{Sv}/\text{h}$

入口门外的总辐射剂量率按公式 11-10 计算，入口门外辐射量率计算参数和计算结果见表 11-16。

$$\dot{H} = \dot{H}_{\text{散}} \cdot 10^{-\left(\frac{X}{TVL}\right)} + \dot{H}_{\text{泄}} \dots\dots\text{公式 11-10}$$

式中 $\dot{H}_{\text{散}}$ 是 g 处的散射辐射剂量率， $\dot{H}_{\text{泄}}$ 是 g 处的泄漏辐射剂量率；

X —防护门铅屏蔽厚度， cm ；

TVL —辐射在铅中的什值层， cm ，取 0.5cm

表 11-16 入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果

参数		g 点
$\dot{H}_{散}$		6.97 μ Sv/h
X		10mm 铅
TVL		5mm
\dot{H}_{og}		0.178 μ Sv/h
入口门外关注点总辐射剂量 \dot{H}	估算值	0.247 μ Sv/h
	控制值	2.5 μ Sv/h
	评价结果	满足

4、预测计算结果汇总及评价

综上所述，医用电子直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-17。

表 11-17 医用电子直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总

参考点	剂量率估算值 (μ Sv/h)		剂量率参考控制水平 (μ Sv/h)	结论
	X 射线能量为 10MV	X 射线能量为 6MV		
屋顶主屏蔽 (l 点)	0.126	0.034	2.5	满足
屋顶屏蔽 (l_1 点)	<0.001	<0.001	2.5	满足
屋顶次屏蔽 (m_1 、 m_2 点)	0.162	0.133	2.5	满足
南墙侧屏蔽 (f 点)	0.001	0.001	2.5	满足
迷路外墙 (k 点)	0.038	0.044	2.5	满足
迷路入口防护门 (g 点)	0.172	0.247	2.5	满足

由表 11-17 可知，医用电子直线加速器机房屏蔽设计能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）“在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处人员可达位置的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h”的限值要求。

考察点人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式进行估算，计算结果见表 11-18。

$$D_{Eff} = \dot{K}_\alpha \cdot t \cdot T \cdot U \dots \dots \text{公式 11-11}$$

上式中： D_{Eff} —考察点人员有效剂量（Sv）；

\dot{K}_α —考察点的空气比释动能率（Gy/h）；

t —考察点处受放射性核素影响的时间（h）；

T —居留因子，全部居留 $T=1$ ，部分居留 $T=1/4$ ，偶尔居留 $T=1/16$ ；

U —使用因子，因放射性核素以点源模式估算，而放射性衰变是持续发生的， U 取 1；

简化估算：1mGy 近似为 1mSv。

将表 11-17 医用电子直线加速器机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-11，根据医院预测的诊疗需要，本项目医用直线加速器机房投入使用后，预计每天接诊病人不超过 50 人次，每位病人出束治疗时间不超过 1.5min，年工作 250d，则单台医用电子直线加速器年出束运行时间约 313h，考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，根据公式 11-11 估算公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表 11-18。

表 11-18 医用直线加速器机房周围人员年有效剂量

参考点	参考点所在场所	居留因子 $T^{\text{①}}$	使用因子 U	剂量率估算值 ^② ($\mu\text{Sv/h}$)	人员可达处年有效剂量 (mSv/a)	目标管理值 (mSv/a)	结论
屋顶主屏蔽 (l 点)	PET/CT 机房	1/4	1/4	0.126	0.003	0.25	满足
屋顶屏蔽 (l_1 点)	停车场	1/4	1/4	<0.001	<0.001	0.25	满足
屋顶次屏蔽 (m_1 、 m_2 点)	PET/CT 机房	1/4	1	0.162	0.013	0.25	满足
西墙侧屏蔽 (f 点)	控制室	1	1	0.001	0.001	5	满足
迷路外墙 (k 点)	水冷机房	1/16	1	0.044	0.001	0.25	满足
迷路入口防护门 (g 点)	过道	1/4	1	0.247	0.019	0.25	满足

注：①居留因子取值见 GBZT201.1-2007 附录 A；

②剂量率估算值取 10MV 和 6MV 两种工况下的较大值。

根据表 11-18 结果分析知，该医用电子直线加速器投入运行后，医用电子直线加速器机房辐射工作人员有效剂量小于 0.001mSv，周围公众年有效剂量最高为 0.019mSv，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.25mSv）。

5、对院内外保护目标的环境影响分析

由于项目四周环境保护目标距机房墙体相对较远（远大于表面 0.3m），故本项目敏感点处公众所受的辐射剂量将小于表 11-19 中的理论计算值。

表 11-19 本项目对保护目标的影响分析

位置	参考点位	居留因子	距离 (m)	照射类型	年剂量 (mSv/a)	备注
放疗中心二层医生办公室	l	1	4	公众照射	0.004	放疗中心
东侧门诊楼	l_l	1/4	12	公众照射	<0.001	院内
南侧理疗口腔门诊	f	1/4	30	公众照射	<0.001	院内
西侧马鞍山钢铁股份有限公司	l_l	1/4	20	公众照射	<0.001	院外

由表 11-19 可知，医院医用电子直线加速器机房周边环境保护目标处的公众所受年最大剂量均低于 0.25mSv/a 的评价约束值。

6、医用电子直线加速器机房安全联锁系统

该项目医用电子直线加速器机房在控制室内的操作盒上、治疗床前侧、固定基座两侧、及机房内墙壁上、辅助电气机房的高压脉冲调制器门上等地方均设置紧急停机按钮开关，当遇到任何紧急情况需要立即停止照射，只要按动以上开关中的任何一个，除控制库和真空电源外的大部分高、低压供电同时被切断，照射立即结束。所有紧急按钮开关均设有自锁机构，按下后不会自动恢复，必须释放紧急按钮开关后才能恢复供电，进入正常工作状态。

防护门和医用电子直线加速器实现门机联锁控制。防护门装有常开式开关，用于确保加速器运行时防护门始终处于关闭状态，防护门处于开启状态，加速器无法启动；加速器运行时，防护门以外打开，设备自动停机。

所有紧急按钮开关和防护门均设双路供电系统，在停电状态下由医院应急电源供电，以确保在停电状态下能正常开启防护门。

(二) PET/CT 项目

参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中第 1.2 款 PET 等工作场所的屏蔽计算，保守起见，所用核素（如 ^{18}F 等）工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。

$$\dot{H}_p = \frac{A \times \Gamma}{r^2} 10^{(-\frac{x}{TVL})} \dots \dots \text{公式 11-12}$$

上式中： \dot{H}_p —屏蔽体外关注点剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

A — 单个患者或者受检者所用放射源的最大活度 (MBq) ;
 Γ — 距源 1m 处的周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$) ;
 r — 放射源到考察点的距离 (m) ;
 x — 屏蔽厚度 (mm) ;
 TVL — γ 射线的十分之一值层厚度 (mm)

由《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)查出铅、混凝土和实心砖对 ^{18}F 什值层见表 11-20。

表 11-20 本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	^{18}F
铅什值层厚度 TVL ($\rho=11.3\text{g}/\text{cm}^3$)	16.6mm
砼什值层厚度 TVL ($\rho=2.35\text{g}/\text{cm}^3$)	176mm
实心砖什值层厚度 TVL ($\rho=1.65\text{g}/\text{cm}^3$)	263mm

再采用方杰主编的《辐射防护导论》中公式计算参考点人员的有效剂量。

根据本项目的工程分析可知, PET/CT 核素诊断项目辐射影响主要包括护士分装、取药和活度测量(保守按照 2min 估算)、药物注射(保守按照 1min 估算)、病人候诊(等候约 20min)和病人扫描(扫描过程约 20min)4 个过程, 主要对 PET/CT 影像中心工作人员及室外公众产生外照射辐射影响。

根据公式(1)可估算出项目周围各参考点处的辐射水平, 各参考点位置见图 11-2, 预测结果见表 11-21。

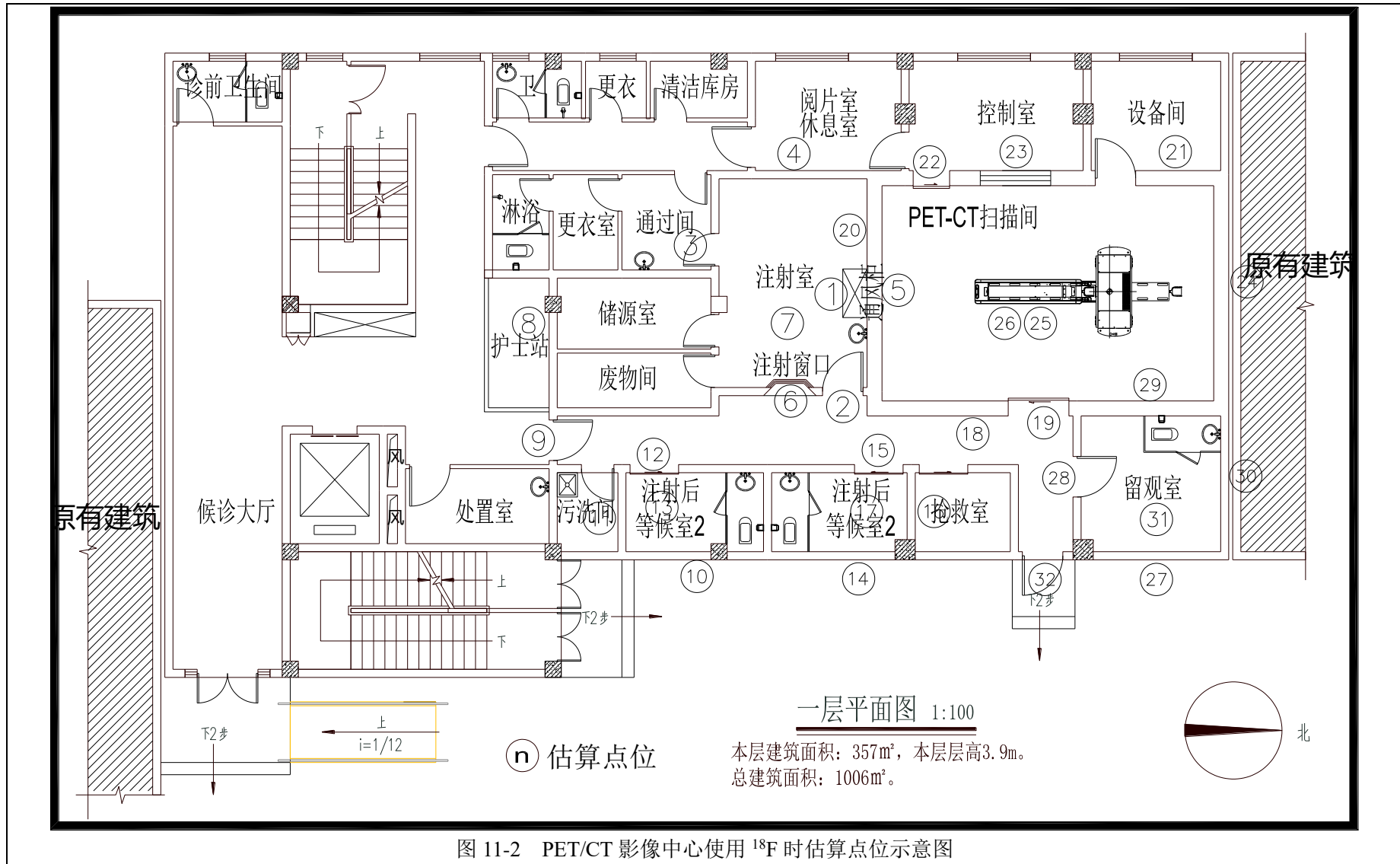


图 11-2 PET/CT 影像中心使用 ¹⁸F 时估算点位示意图

表 11-21 理论估算结果汇总

点 位	参考点位置	源强 (Bq)	距离 (m)	屏蔽材料及厚度	透射比	参考点辐射水平及 标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)		备注
1	通风橱外表面 5cm	$300 \times 3.70 \times 10^7$	0.5	50mmPb	0.0010	6.175	25	通风橱为 50mmPb
2	注射室东侧防护门外表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	2.8	8mmPb +10mmPb	0.0823	0.834	25	注射针套为 10mmPb 注射窗为 20mmPb
3	注射室南侧防护门外表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	3.7	10mmPb+10mmPb	0.0624	0.362	2.5	
4	注射室西墙外表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	3.3	240mm 实心砖+10mmPb	0.0306	0.223	2.5	
5	注射室北墙外表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	2.6	370mm 实心砖+10mmPb	0.0098	0.115	25	
6	注射位	$15 \times 3.70 \times 10^7$	0.5	20mmPb+10mmPb	0.0156	4.948	25	
7	注射室顶部外表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	3.5	300mm 砼+10mmPb	0.0049	0.032	2.5	
8	储源室南墙外表面 30cm	$300 \times 3.70 \times 10^7$	2.5	240mm 实心砖+40mmPb	0.0005	0.121	2.5	
9	患者入口处防护门外表面 30cm 处	$15 \times 3.70 \times 10^7$	3.5	10mmPb	0.2498	1.618	2.5	/
10	注射后候诊室 1 东墙外表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	1.8	370mm 实心砖+2cm 硫 酸钡涂料*	0.0302	0.739	2.5	假设 1 人同时候诊
11	注射后候诊室 1 南墙外表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	1.7	240mm 实心砖	0.1223	3.359	25	
12	注射后候诊室 1 防护门外表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	1.6	8mmPb	0.3297	10.220	25	
13	注射后候诊室 1 顶部外表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	3.5	300mm 砼	0.0197	0.128	2.5	
14	注射后候诊室 2 东墙外表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	1.8	370mm 实心砖+2cm 硫 酸钡涂料	0.0302	0.739	2.5	
15	注射后候诊室 2 防护门外表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	1.6	8mmPb	0.3297	10.220	25	

16	注射后候诊室 2 北墙外表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	1.6	240mm 实心砖	0.1223	3.792	25	
17	注射后候诊室 2 顶部外表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	3.5	300mm 砧	0.0197	0.128	2.5	
18	PET/CT 机房东墙外表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	3.2	370mm 实心砖	0.0392	0.304	25	/
19	PET/CT 机房患者入口防护门外表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	3.2	8mmPb	0.3297	2.555	25	/
20	PET/CT 机房南墙外表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	4.7	370mm 实心砖	0.0392	0.141	25	/
21	PET/CT 机房西墙表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	3.2	370mm 实心砖	0.0392	0.304	2.5	/
22	PET/CT 机房防护门表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	3.5	12mmPb	0.1893	1.226	2.5	/
23	操作位	$15 \times 3.70 \times 10^7$	3.5	15mmPb	0.1248	0.809	2.5	/
24	PET/CT 机房北墙表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	4.7	370mm 实心砖	0.0392	0.141	2.5	/
25	PET/CT 机房顶部表面 30cm	$15 \times 3.70 \times 10^7$	3.5	300mm 砧	0.0197	0.128	2.5	/
26	摆位	$15 \times 3.70 \times 10^7$	1	5.5mmPb	0.4663	37.009	/	铅屏风为 5mmPb
27	留观室东墙外表面 30cm	$11.6 \times 3.70 \times 10^7$	1.8	370mm 实心砖	0.0392	0.742	2.5	假设 1 人留观，并考虑衰减 40min
28	留观室防护门表面 30cm	$11.6 \times 3.70 \times 10^7$	2.3	8mmPb	0.3297	3.825	25	
29	留观室西墙外表面 30cm	$11.6 \times 3.70 \times 10^7$	2.1	370mm 实心砖	0.0392	0.545	25	
30	留观室北墙外表面 30cm	$11.6 \times 3.70 \times 10^7$	2.3	370mm 实心砖	0.1223	1.419	2.5	
31	留观室顶部外表面 30cm	$11.6 \times 3.70 \times 10^7$	3.5	300mm 砧	0.0197	0.099	2.5	
32	核医学出口处防护门外	$10.9 \times 3.70 \times 10^7$	3	10mmPb	0.2498	1.601	2.5	考虑衰减 50min

注：*：因本项目所使用的硫酸钡涂料密度大于混凝土密度，故 2cm 硫酸钡涂料保守按照 2cm 混凝土估算其屏蔽效果。

从表 11-21 中的理论估算结果可以看出，由于有 50mm 铅当量通风橱屏蔽， ^{18}F 药物取药过程中对取药操作人员的躯干辐射影响较小，但由于需要用手操作，手部剂量较高。 ^{18}F 药物针剂外设有铅套、同时操作中工作人员穿戴铅防护服，药物操作过程中对注射室内环境辐射影响较小。 ^{18}F 药物在操作过程中及病人在显像过程中对注射室、候诊区及 PET/CT 机房外的环境影响较小，注射室、候诊区及机房的防护设计均能够满足 ^{18}F 核素的辐射防护要求，项目对 PET/CT 影像中心周围环境辐射影响较小，均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；候诊期间由于病人相对集中，医院必须采取分批预约、分批注射、分批候诊的方式，严格按照要求控制候诊室内病人的数量，降低对病人及外环境的辐射影响。

保护目标的有效剂量估算

PET/CT 使用 ^{18}F 核素诊断过程中，工作人员主要受照射环节为取药、注射过程及病人扫描诊断过程。一般情况下，药物取药过程约 2 分钟，送至注射窗口、注射过程约 1 分钟，扫描过程约 20 分钟。

根据表 11-21 的各关注点处辐射剂量率，结合工作时间，辐射工作人员和公众停留概率，即可得到各关注点处公众及辐射工作人员的年受照剂量，见表 11-22。

表 11-22 使用 ^{18}F 显像扫描时工作场所公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点 位	关注点位置	关注点辐射 水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	关注对象	居留 因子	受照时间 (min)	有效剂量 (mSv)	目标管理限 值 (mSv)	备注
1	通风橱外表面 5cm	6.175	工作人员	1	取药 2min \times 20 次 \times 250d	1.029	5.0	/
2	注射室东侧防护门外表面 30cm	0.834	工作人员	1/16	注射 1min \times 20 次 \times 250d	0.004	5.0	/
3	注射室南侧防护门外表面 30cm	0.362	工作人员	1/4	注射 1min \times 20 次 \times 250d	0.008	5.0	/
4	注射室西墙外表面 30cm	0.223	工作人员	1/4	注射 1min \times 20 次 \times 250d	0.005	5.0	/
6	注射位	4.948	工作人员	1	注射 1min \times 20 次 \times 250d	0.412	5.0	/
7	注射室顶部外表面 30cm	0.032	公众	1/4	注射 1min \times 20 次 \times 250d	0.001	0.25	/
8	储源室南墙外表面 30cm	0.121	公众	1	工作 8h \times 250d	0.242	0.25	/
9	患者入口处防护门外表面 30cm 处	1.618	公众	1/4	停留 1min \times 20 次 \times 250d	0.034	0.25	/
10	注射后候诊室 1 东墙外表面 30cm	0.739	公众	1/4	等候 20min \times 10 次 \times 250d	0.154	0.25	/
13	注射后候诊室 1 顶部外表面 30cm	0.128	公众	1/4	等候 20min \times 10 次 \times 250d	0.027	0.25	/
14	注射后候诊室 2 东墙外表面 30cm	0.739	公众	1/4	等候 20min \times 10 次 \times 250d	0.154	0.25	/
17	注射后候诊室 2 顶部外表面 30cm	0.128	公众	1/4	等候 20min \times 10 次 \times 250d	0.027	0.25	/
20	PET/CT 机房南墙外表面 30cm	0.141	工作人员	1/4	扫描 20min \times 20 次 \times 250d	0.059	5.0	/
21	PET/CT 机房西墙表面 30cm	0.304	工作人员	1/4	扫描 20min \times 20 次 \times 250d	0.127	5.0	/
22	PET/CT 机房防护门表面 30cm	1.226	工作人员	1/4	扫描 20min \times 20 次 \times 250d	0.511	5.0	/
23	操作位	0.809	工作人员	1	扫描 20min \times 20 次 \times 250d	1.348	5.0	/
24	PET/CT 机房北墙表面 30cm	0.141	公众	1/32	扫描 20min \times 20 次 \times 250d	0.007	0.25	/

25	PET/CT 机房顶部表面 30cm	0.128	公众	1/4	扫描 20min×20 次×250d	0.053	0.25	/
26	摆位	37.009	工作人员	1	摆位 1min×20 次×250d	3.084	5.0	/
27	留观室东墙外表面 30cm	0.742	公众	1/4	留观 10min×20 次×250d	0.155	0.25	/
30	留观室北墙外表面 30cm	1.419	公众	1/32	留观 10min×20 次×250d	0.037	0.25	/
31	留观室顶部外表面 30cm	0.099	公众	1/4	留观 10min×20 次×250d	0.021	0.25	/
32	核医学出口处防护门外	1.601	公众	1/16	停留 1min×20 次×250d	0.033	0.25	/

本项目核素诊断过程中，工作人员主要受照射环节为注射过程及病人扫描诊断过程。一般情况下，注射过程约 1 分钟，扫描过程约 20 分钟。根据医院预测，项目运行后预计年门诊量约为 5000 人次，结合表 11-2 和表 11-3 计算结果可知，辐射工作人员在摆位时所受的年有效剂量较大，因项目在理论估算时是按照一名辐射工作人员进行摆位工作的工况进行的，因此建设单位马鞍山十七冶医院在实际工作中应尽量安排两名以上辐射工作人员进行摆位操作。

综上，则注射过程中人员受到的年有效剂量小于 1.441mSv (1.029+0.412)，摆位过程中及扫描过程中受到的年有效剂量约为 4.432mSv (1.348+3.084)，能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求。根据估算结果核素诊断过程中，周围公众（控制区外）年有效剂量最大为 0.155mSv（位于留观室东墙外），能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求：公众年有效剂量不超过 0.25mSv。

3、射线装置环境影响分析

马鞍山十七冶医院 PET/CT 影像中心 PET/CT 机房辐射防护设计见表 11-23。

表 11-23 马鞍山十七冶医院 PET/CT 影像中心 PET/CT 机房辐射防护设计一览表

类别	参数	设计厚度	铅当量	屏蔽及面积要求	评价
PET/CT 机房	墙体	370mm 实心砖	3.5mmPb	CT 机房（不含头颅移动 CT）、CT 模拟定位机房：有用线束方向铅当量 2.5mmPb，非有用线束方向铅当量 2.5mmPb。	满足
	防护大门	8mm 铅当量	8mmPb		
	防护小门	12mm 铅当量	12mmPb		
	观察窗	12mm 铅当量	12mmPb		
	屋顶	300mm 混凝土	>3.5mmPb		
	地面	100mm 混凝土+300mm 覆土	>3mmPb		
	机房面积	43.5m ² ，单边最短长度 5.3m		机房最小有效使用面积 30m ² ，机房内最小单边长 4.5m	满足

由上表可知马鞍山十七冶医院 PET/CT 影像中心 PET/CT 机房屏蔽防护措施能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

4、放射性废气影响分析

本项目工作场所排风管道分为 2 支，其中 1 支单独连接分装注射室内设置的通风橱，放射性药物的各项操作均在通风橱内进行，通风橱由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中“合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作

中应有足够风速（一般风速不小于 0.5m/s）”要求，医院购买的通风橱排风口处风速不得低于 0.5m/s；第 2 支管连接各等候区、注射室、PET/CT 机房等。场所内的通排风系统需保证非密封放射性物质工作为负压工作场所。

工作场所产生的废气经由排风系统排至放疗中心楼顶，在排风风管末端配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施。

工作场所各排风管道必须密封良好，不与放疗中心其他排风管道相通，过滤器及活性炭需定期更换（1~2 次/年），更换后的活性炭经贮存衰变经检测符合排放标准后作为一般医疗废物处置。

因此，本项目产生的放射性废气经活性炭吸附处理后排放对周围环境影响是可接受的，不会对周围公众造成不利影响。

5、放射性固废影响分析

本项目产生的放射性废物主要为：工作人员操作过程产生的一次性卫生用品、垫料、更换下的废高效过滤器滤芯及废活性炭等。工作场所拟将上述放射性固体废物采用专用塑料包装袋专门收集，包装袋要标明收贮时间、种类及数量等内容，按序封闭暂存于放射性衰变桶（10mm 铅当量）内，转移至储源室内，让放射性物质自行衰变，经检测符合排放标准后按照医疗废物交由有资质单位进行处置。

6、放射性废水影响分析

本项目工作场所产生的含放射性废水包括：工作人员操作过程手部受到微量污染的清洗废水，清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水，以及患者冲洗排便用水。

工作场所产生的放射性废水通过预埋好的管道排至本次新建的衰变池系统内，放射性废水先排至沉淀池再通过污水提升泵排至放射性废水衰变系统，待放射性废水达到清洁解控水平后通过管道排至医院污水处理站处理达标后排入市政管网。

二、非辐射环境影响分析

1、废水处理措施依托可行性分析

本项目医用电子直线加速器预测年诊疗人数不超过 20000 人次；本项目拟配备的 8 名辐射工作人员。其中医用电子直线加速器项目的患者不产生废水，PET/CT 影响中心预估产生的废水量为 0.32m³/d，因此本项目年产生废水量约为 80m³。

马鞍山十七冶医院已建有污水处理站一座，设计处理能力为 400m³/d，现有处理

规模为 200m³/d，本项目废水产生量较小，且水质与现状处理水质基本相应，不增加排放污染因子，依托污水处理设施执行的排放标准不变，因此医院的污水处理站处理完全有能力处理本项目产生的少量废水。医用污水处理站污水处理工艺采用“调节池+接触氧化池+沉淀池+消毒”的工艺，处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）中表 2 的预处理标准要求后，经市政污水管网接管进入马鞍山市第二污水处理站集中处理，接管水量、水质不会对马鞍山市第二污水处理站处理能力造成冲击负荷，故本项目产生的废水依托医院现有污水处理设施是可行的。

2、一般固体废物和医疗废物

本项目新增医疗废物主要包括 PET/CT 影像中心产生的医疗废物等，医用直线加速器项目不产生医疗废物，医院拟开展 PET/CT 诊断 5000 例/年，每次诊断医疗废物产生量按 0.1kg 估算，则医疗废物年产生量为 500kg。医护人员生活垃圾产生量按 1.0kg/d·人计，预计年新增生活垃圾量为 8kg。

医院已于院区西部建设有医疗废物暂存间（占地面积 35m²），明确专人负责医疗废物的收集、转运、暂存的运作，严格按照要求对医疗废物进行处理。具体由使用科室及时收取本科产生的医疗废物，并按照类别分置于有明显警示标识和警示说明的防渗漏、防锐器穿透的专用包装物或密闭的容器内，盛放医疗垃圾容器 3/4 封扎，并标识明确（产生科室、类别、重量、日期等），然后专人佩戴防护用品按规定时间路线将医疗废物收集至医疗暂存点，并过秤登记，运送工具防渗漏防遗撒，使用后及时清洁和消毒。收集时与使用科室进行核对，对医疗废物的来源、类别、重量或者数量、交接时间、最终去向以及经办人签名等项目进行具体登记，登记资料保存三年，要求科室医疗废物暂时贮存的时间不能超过 24 小时，医疗废物暂存点贮存时间不能超过 48 小时。医院与马鞍山市澳新环保科技有限公司拟签订合同（2020 年合同见附件 12，2021 年度合同仍在签订中），由该公司对本院医疗废物进行最终处置。

医院内部各处设置生活垃圾分类收集桶，每日收集后由环卫部门统一清运至垃圾处理厂处置。

故本项目新增少量医疗废物及生活、办公垃圾依托现行处理措施是可行的。

3、废气

本项目医用直线加速器运行过程中会使机房内空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，加速器束流越大，其产生量越高。其中臭氧毒性最大，产生量也最高，此外氮氧

化物还会与室内水汽作用形成酸雾腐蚀机房内设备。故治疗室内需设置通风系统将工作中产生的废气及时排出室外。根据医院提供的设计材料，本项目医用电子直线加速器机房与南侧控制室、水冷机房等辅助机房使用 2 套排风系统，采用箱式管道风机进行排风，其中用于医用电子直线加速器机房的排放系统的排风量为 3500m³/h，排风机位于放疗中心负一层东南角机房入口处顶部（位于室内），最终由放疗中心东南角电梯旁的风井排出室外。

本项目医用电子直线加速器机房内净容积约为 434m³，因此，本项目通风换气次数约为 10 次，能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

本次新增的医用直线加速器提供两种治疗模式，即 X 射线模式和电子束模式，由于 X 射线模式下产生的臭氧影响较小，故本项目只估算在医用直线加速器在运行期间电子束模式情况下产生的臭氧浓度，参照《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）中假设辐照期间靶室有通风，臭氧无分解，且在靶室内均匀分布，臭氧浓度可由下式进行估算。

$$C_0 = 2.79 \times \frac{Id}{V} (1 - e^{-\frac{v}{V}t}) \dots\dots \text{公式 11-13}$$

式中：

C_0 —臭氧浓度，mg/m³；

d —电子束在空气中所通过的距离，cm，本项目为 100cm；

I —电子束流强度，mA，本项目为 0.1mA；

t —辐照时间，s，本项目单次最长照射时间为 3min；

v —排气速率，m³/s；

V —医用直线加速器机房的容积，m³，本项目为 V=434m³。

表 11-24 臭氧的浓度计算参数及结果

参数	I (mA)	d (cm)	V (m ³)	t (s)	臭氧浓度 (mg/m ³)
医用直线加速器机房	0.1	100	434	180	0.021

由表 11-24，单次照射完毕后，机房内臭氧浓度能满足《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）中臭氧浓度质量标准的要求（≤0.16mg/m³）。

由于医用直线加速器开机治疗时通排风系统一直在运行，且每小时通风量为 3500m³/h。所以在医用直线加速器运行过程中机房内臭氧浓度能够满足《室内空气质

量标准》（GB/T18883-2002）中臭氧 1 小时均值 $\leq 0.16\text{mg}/\text{m}^3$ 的标准要求。臭氧通过通风管道引至负一层东南角风井排出，经扩散后对机房周围的环境影响可以满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准中 1 小时均值 $\leq 200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的标准要求，对机房周围的大气环境影响较小。

本项目 PET/CT 影像中心排风管道分为 2 支，其中 1 支单独连接注射室内设置的通风橱，放射性药物的各项操作均在通风橱内进行，通风橱由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中“合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够风速（一般风速不小于 $0.5\text{m}/\text{s}$ ）”要求，医院购买的通风橱排风口处风速不得低于 $0.5\text{m}/\text{s}$ ；第 2 支管连接各注射后等候区、注射室、PET/CT 扫描间等。场所内的通排风系统需保证非密封放射性物质工作为负压工作场所。场所内的送风系统送风量为 $2000\text{m}^3/\text{h}$ ，排风系统排风量为 $4140\text{m}^3/\text{h}$ ，保证了非密封放射性物质工作为负压工作场所。

4、噪声

由污染源分析可知，PET/CT 中心排风机的声功率级不大于 $64\text{dB}(\text{A})$ 。由于该项目排风口靠近屋面，因此采用半自由声场衰减模式进行预测：

$$L_A=L_{AW}-20\lg r-8$$

式中： L_A 为 A 声压级， $\text{dB}(\text{A})$ ； L_{AW} 为噪声源 A 声功率级， $\text{dB}(\text{A})$ ； r 为噪声源距预测点距离， m 。

由院区平面布置可知：噪声影响分析重点关注对院区内外的影响，参照现状检测中噪声值并根据下列公式估算本项目的噪声影响：

$$L_{\text{总}}=10\lg (10^{P1/10}+10^{P2/10})$$

式中， $P1$ 为 A 声压级， $\text{dB}(\text{A})$ ； $P2$ 为 A 声压级， $\text{dB}(\text{A})$ ，预测结果见表 11-25。

表 11-25 PET/CT 排风机风机噪声影响预测结果

预测点位	L_{AW} ($\text{dB}(\text{A})$)	r (m)	贡献值 ($\text{dB}(\text{A})$)	背景值 ($\text{dB}(\text{A})$)	叠加预测值 ($\text{dB}(\text{A})$)
门诊大楼西南角	64	34	25.4	55	55
理疗口腔门诊北侧	64	30	26.5	58	58
5 号楼门口	64	30	26.5	56	56
院区西侧围墙	64	7	39.1	60	60

由于该项目夜间不运行，因此不会改变区域夜间声环境现状，对区域夜间声环境无影响。由预测结果可知，该项目投入运行后，院区内外主要环境保护目标处昼间声环境预测值在（55~60）dB（A）范围内，与声环境现状相比增量很小，能满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）2类区昼间标准要求，且该项目排风噪声随着距离的增加而减小，且经墙体隔声后，该项目排、送风机噪声对室内人员的影响很小。

三、代价利益分析

马鞍山十七冶医院新建放疗中心（含PET/CT用房建设）项目，符合区域医疗服务需要，能有效提高区域医疗服务能力，核技术在医学上的应用有利于提高疾病的诊断正确率和有效治疗方案的提出，能有效减少患者疼痛和对患者损伤，总体上大大节省了医疗费用，争取了宝贵的治疗时间，该项目在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。

为保护该项目周边其他科室工作人员和公众，均加强了防护，从剂量预测结果可知，该项目周围公众年所受附加剂量满足项目管理限值0.25mSv的要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。因此，从代价利益分析看，该项目是正当可行的。

事故影响分析

（一）医用电子直线加速器项目

由工程分析可知：医用电子直线加速器辐射事故通常在联锁系统失效，而医用电子直线加速器仍然处在工作状态时发生。此时如果医务人员或其他病人误入机房，或者当医务人员或病人陪护人员尚未离开机房时，可能会造成这些人员受到不必要的射线照射。事故工况下主要辐射污染因子为X射线。

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

医务人员必须严格按照操作程序进行，防止事故照射的发生，避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射，工作人员每次上班时首先要检查设备及防护措施是否正常，若存在安全隐患，应立即修理，恢复正常。

(二) PET/CT 项目

一、可能发生的辐射事故

主要考虑电离辐射损伤、放射源和药物失控对环境的影响，具体为以下情形：

1、射线装置误照射

本项目共涉及Ⅲ类医用射线装置 1 台，为低危险射线装置，发生事故时一般不会受照者造成永久性辐射损伤，事故等级属一般辐射事故。Ⅲ类医用射线装置主要事故是由于设备控制失灵或操作失误或质保不佳，使被检者受到不必要的照射。

2、放射性药物撒漏

由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因造成的放射性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染。

3、放射性药物遗失

由于未锁好核医学科进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

4、患者呕吐造成控制区内的污染

患者服药初期将放射性药物呕吐到环境中，可能对环境在一定范围内造成暂时性的辐射污染。

5、其他管理不善

患者用药后未经允许离开核医学科，尤其是在用药初期离开候诊区，可能对接近患者的人员造成附加的照射剂量。

放射性废水未经足够的时间衰变即进行排放，使排放超出规定的限值，可能对环境或人体造成一定的危害。

放射性固体废物：放射性固体废物未经足够的时间衰变，存放时间过短，即进行擅自处理，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

2、事故工况辐射影响分析

根据 X 射线机的工作原理可知，当设备关机时不会产生 X 射线，不存在影响辐射环境质量事故，只有当设备开机时才会产生 X 射线等危害因素。本项目 CT 属于Ⅲ类射线装置，其 X 射线能量不大，曝光时间都比较短，事故情况下，人员误入或误照射情况下，可能导致人员受到超过年剂量限值的照射。

上述事故其危害结果及其所引发的放射性事故等级见表 11-26。

表 11-26 项目环境风险因子、危险因素、危害结果及事故分级表

项目装置名称	主要环境风险因子	危险因素	危害结果	事故等级
PET/CT 影像中心	X 射线 γ 射线	超剂量照射	核医学科、X 射线失控导致 9 人以下急性重度放射病、局部器官残疾 射线装置失控 导致人员受到超过年剂量限值的照射	一般辐射事故

三、事故防范措施

上述辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度和辐射事故应急措施加以防范，将辐射环境风险控制在可以接受的水平。针对在运行过程中可能发生的事故，本次评价提出以下防范措施，尽可能的减小或控制事故的危害和影响，主要体现在以下几个方面：

1、制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物撒漏事故的发生。发生撒漏等事故后，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦拭，直到擦干污染区。

患者在初期用药后，遇到不良反应引起呕吐造成工作场所的污染，医院工作人员应立即打扫，主要的呕吐物将打扫至控制区专门设置的废物桶内，并作为固体废物处理，暂存于储源室内，地面再用专门的清洁工具清扫，此时会产生少量的放射性废水，清扫废水量较小，且该事件发生率较低，不会造成放射性废水量的显著增加。

撒漏或病人呕吐后造成的地面污染，在清洁后须用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，该污染区未达到控制标准，应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。擦拭物收集放到放射性固体废物衰变桶中，作为放射性固体废物进行管理。

2、在诊断过程中应注意对被检者的防护，合理使用 X 射线，实施医疗照射防护最优化的原则，实际操作中可采用“高电压、低电流、重过滤、小视野”的办法，使被检者所受的剂量，达到合理的尽可能的低水平。

3、制定和完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。注射间设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

4、加强对用药患者的管理，在不影响诊断的情况下，限制其服药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对用药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面试导，使患者明白并自觉做到短期内不到公众场所活动，并避免与家人近距离密切接触。

5、加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性废水和固体废物经足够长的时间衰变后，方可排放或按照普通医疗垃圾处理，并做好监测记录。

6、核医学科个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅防护衣、防护镜等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人剂量仪佩戴于铅衣内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为病人注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。科主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

7、严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果监测表明防护墙外辐射水平偏高，应适当增加防护墙厚度。

5、应急措施

(1) 一旦发现其他无关人员误入扫描机房内，操作人员应立即利用最近的紧急停止开关切断设备电源。误入人员应在最短的时间内撤离机房，尽量缩短受照时间。同时，事故第一发现者应及时向医院的辐射安全管理领导小组及上级领导报告。辐射安全管理领导小组在接到事故报告后，应以最快的速度组织应急救援工作，迅速封闭事故现场，禁止无关人员进入该区域，严禁任何人擅自移动和取走现场物件（应急救援需要除外）。

(2) 对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查和救治，并在第一时间将事故情况通报当地生态环境、卫生健康等行政主管部门。

(3) 迅速查明和分析发生事故的原因，制订事故处理方案，尽快排除故障。若不能自行排除故障，则应上报当地环境保护主管部门并通知进行现场警戒和守卫，及时组织专业技术人员排除事故。

(4) 事故的善后处理，总结事故原因，吸取教训，采取补救措施。

医院应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条和《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》（原国家环保总局，环发

[2006]145 号) 中的要求, 发生辐射事故的, 立即启动事故应急方案, 采取必要防范措施, 并在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境和公安部门报告, 造成或者可能造成人员超剂量照射的, 还应当同时向卫生健康部门报告; 并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》, 向当地生态环境部门和公安部门报告, 造成或可能造成人员超剂量照射的, 同时向当地卫生健康行政部门报告。

马鞍山十七冶医院已成立了以院长为组长的辐射安全防护工作领导小组, 负责全院辐射安全监督管理工作, 并已制定《辐射安全事故应急处置预案》等各项辐射安全管理制度, 医院应根据本次新增核技术利用项目对其进行修订, 确保事故情况下的影响处于可控范围内。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

一、关于辐射安全与环境保护管理机构

医院已根据现有核技术应用现状，按《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求成立了辐射安全与防护管理领导管理小组，负责全院辐射安全与环境保护监督管理工作，保障放射工作人员、社会公众的健康与安全。该机构的组成已经涵盖了现有核技术应用所涉及的相关部门和科室，框架符合现有辐射管理要求。

马鞍山十七冶医院已开展核医学科多年，但首次开展放射治疗，本次为新增医用电子直线加速器和非密封放射性物质工作场所，本项目投入使用后，医院拟新设放疗科，将本次新增项目纳入医院新设的放疗科管理。

二、关于监测计划和监测仪器

本项目建成后，马鞍山十七冶医院将为本项目辐射工作场所及周围辐射水平进行控制，拟新购置 1 台表面沾污仪，1 台辐射巡检仪（能量响应能满足医用电子直线加速器巡检要求）。建设单位应制定相应的监测计划并定期送检，及时开展日常监测工作，并保存现场监测记录结果。

三、关于年度安全状况评估

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，该医院应定期开展辐射安全状况检查，基于实际运行情况，完成辐射安全年度评估报告。

在日后的工作中，医院应按《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求对医院核技术应用项目的安全和防护状况进行年度评估，编写年度评估报告（年度评估报告应当包括辐射安全和防护设施的运行与维护情况；辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；射线装置台账；场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；辐射事故及应急响应情况；核技术利用项目新建、改扩建和退役情况；存在的安全隐患及其整改情况；其他有关法律法规和规定的落实情况等方面的内容），并于每年 1 月 31 日前上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

医院已提交 2020 年度辐射安全和防护状况评估报告。

四、关于操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫等制度

马鞍山十七冶医院已按《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求制定了辐射安全管理制度、个人剂量管理制度、辐射工作人员培训制度等一系列规章制度，制定规章制度需具有比较强的操作性，在日常工作中应严格按照这些规章制度进行操作。

在本项目投入运行前，医院需要制定和本项目相关的规章制度，如操作规程等，并在日后的工作实践中，根据遇到的实际问题，按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》2019 修正版（生态环境部令第 7 号）的要求及时进行更新完善，提高制度的可操作性，并严格按照制度执行。

五、关于辐射工作人员管理

1、个人剂量检测

马鞍山十七冶医院已按《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，委托有资质单位对辐射工作人员个人剂量进行监测，检测结果均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于剂量限值的要求。

由于本项目为医院新增项目，医院拟新招聘辐射工作人员，医院需对新聘人员进行个人剂量检测、辐射安全与防护培训及进行职业健康体检。

2、辐射安全与防护培训

马鞍山十七冶医院需按《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，为提高辐射工作人员的专业技能和放射防护工作重要性的认识，目前医院现有辐射工作人员均已参加了辐射安全培训并取得培训合格证。

该项目投入使用后，新增辐射工作人员及医院现有工作人员（未取得培训证书的或过期的工作人员）应根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年第 57 号）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。本项目拟新增的辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”

报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每5年接受一次再学习考核。

3、职业健康体检

马鞍山十七冶医院已按《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射工作人员职业健康管理辦法》要求，为保护辐射工作人员身体健康，医院已安排现有辐射工作人员进行了职业健康体检。体检结果表明该医院现有辐射工作人员均可继续从事放射性岗位。

该项目投入使用后，新增辐射工作人员同样须进行岗前体检，并根据卫生部第55号令的规定：两次体检的时间间隔不应超过两年。

六、辐射事故应急

为有效预防、及时控制和消除辐射事件所致的危害，加强医院射线装置的安全监测和控制等管理工作，保障放射诊疗工作人员、受检者以及装置周围人员的健康安全，马鞍山十七冶医院成立了辐射安全管理小组，制定了突发放射事故报告流程，负责对放射事件的应急处理。辐射安全管理小组工作职责包括：

- 1) 在马鞍山十七冶医院辐射安全与环境保护委员会的指导下，做好医院辐射管理工作；
- 2) 由医学工程科负责人全面负责辐射安全与环境保护管理工作，制定并落实相关管理制度；
- 3) 定期组织对辐射工作场所、设备和人员进行辐射防护检测、监测和检查；
- 4) 组织辐射工作人员接受专业技术、辐射防护知识及有关规定的培训和健康检查；
- 5) 制定辐射事件应急预案并组织演练；
- 6) 记录辐射事件并及时报告。

马鞍山十七冶医院每年委托有资质单位对辐射工作场所防护情况进行监测，对辐射工作人员个人剂量定期送检，目前医院未发生放射源丢失、射线装置故障、机房周围辐射剂量超标、个人剂量超标等放射事件。在下一步的工作中，特别是本项目医用电子直线加速器及PET/CT工作场所运行后，评价单位建议医院加强设备的日常管理和检修工作，定期组织应急演练并保存演练、自查记录，做好辐射安全工作。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：马鞍山十七冶医院新建放疗中心（含 PET/CT 用房建设）项目

设计单位：中国十七冶集团有限公司

建设单位：马鞍山十七冶医院

建设地点：安徽省马鞍山市湖南西路 828 号

建设内容与规模：

本项目位于安徽省马鞍山市湖南西路 828 号马鞍山十七冶医院院区内，新建 1 栋放疗中心（为地上二层，地下一层建筑），于放疗中心负一层内建设 1 座医用电子直线加速器机房，配备 1 台医用电子加速器用于肿瘤的放射治疗；于放疗中心一层新建 1 处丙级非密封放射性物质工作场所（PET/CT 影像中心），于场所内使用非密封放射性物质 ^{18}F 开展 PET/CT 显像诊断工作。本次拟申请新增辐射项目内容见表 13-1。

表 13-1 马鞍山十七冶医院本次新增核技术利用情况一览表

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
1	^{68}Ge	$9.25 \times 10^7 \times 1$ $4.62 \times 10^7 \times 2$	V	使用	校准源	PET/CT 影像中心	储源室内
非密封放射性物质							
序号	核素	用途	单个病人最大用量 (mCi/人·次) /用药方式	日最大病人量 (人)	年最大病人量 (人)	日最大操作量 (Bq)	
1	^{18}F	核素显像	15 (静脉注射)	20	5000	1.11×10^{10}	
射线装置							
序号	射线装置名称	装置型号	最大管电压	最大管电流	射线装置类别	活动种类	备注
1	医用电子直线加速器	未定	X 射线能量为 6、10MV， 10MV 时 1m 处最高剂量率：600cGy/min 6MV 时 1m 处最高剂量率：1400cGy/min 电子线：≤20 MeV， 1m 处最大输出量：1000cGy·m ² /min。		II	使用	拟购
2	PET/CT	未定	≤140kV	≤800mA	III	使用	拟购

二、项目产业政策符合性

本项目系核技术应用项目在医学领域内的运用。根据国家发展和改革委员会 2019 年第 29 号令《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，属于鼓励类中第三十七项“卫生健康”的第 5 条“医疗卫生服务设施建设”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。本项目的运营可为马鞍山市及周边病人提供诊疗服务，是提高人民群众生活质量，提高全市医疗卫生水平和建设小康社会的重要内容，本项目具有放射实践的正当性，符合现行的国家产业政策。

三、实践正当性

马鞍山十七冶医院新建放疗中心（含 PET/CT 用房建设）项目的目的是为了对病人进行医学诊断和放射治疗。在采取了相应的辐射防护措施后，项目所致的辐射危害可得到有效控制，项目实施的利益大于代价，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的辐射防护“实践的正当性”原则。

四、项目选址及平面布局合理性

本项目辐射工作场所 50m 范围除南侧、西侧部分位于医院围墙外，其余方向均位于医院院区内。且工作场所设有专用的候诊区域，就诊通道。医院综合考虑项目特点和对周围环境可能存在的影响，该项目建设通过墙体的屏蔽后，项目运营对周围环境影响较小。综上所述，本项目总平面布置总体合理。

五、区域环境质量现状

根据监测结果，本项目拟建位置周围环境辐射剂量当量率监测值在（102~127）nSv/h 之间，周围 γ 辐射剂量当量率与空气吸收剂量率数值基本相当，转换因子取 1，则拟建址现场及周边环境的空气吸收剂量率为（102~127）nGy/h。根据《安徽省环境状况公报》（2019 年）中数据显示，全省 γ 辐射空气吸收剂量率（含宇宙射线贡献值）平均值为 101nGy/h，范围为（60~130）nGy/h，由此可知，本项目拟建址区域周围辐射环境监测值与安徽省天然贯穿辐射水平相当，属于正常本底范围。

六、代价利益分析

马鞍山十七冶医院新建放疗中心（含 PET/CT 用房建设）项目符合区域医疗服务需要，能有效提高区域医疗服务水平，核技术在医学上的应用有利于提高疾病的诊断正确率和治疗效果，能有效减少患者疼痛和对患者损伤，总体上大大节省了医疗费用，争取了宝贵的治疗时间，该项目在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效

益。

为保护该项目周边其他科室工作人员和公众，对医用电子直线加速器和 PET/CT 影像中心建设项目加强了防护，从剂量预测结果可知，项目致工作人员所受附加剂量小于 5mSv、公众年所受附加剂量小于 0.25mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”及本项目管理约束值的要求。因此，从代价利益分析看，该项目是正当可行的。

七、工作场所屏蔽措施

本项目医用电子直线加速器机房采用混凝土及铅防护门等材料进行屏蔽，PET/CT 影像中心工作场所采用实心砖墙、混凝土墙体及铅防护门等材料进行屏蔽，经理论计算其对周围环境的影响均能够满足国家相关标准要求。

八、辐射安全措施

1、电离辐射警告标志

医院拟将工作场所划分为控制区和监督区，在控制区入口处拟设置符合规范的电离辐射警告标志；

2、对控制区内带药病人的监督管理

医院应做好本项目控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；加强对控制区内分装或注射放射性药物病人的监督管理，避免其给药后随意走动；同时应告知检查完成后病人离开路线，防止其对公众造成不必要照射。

3、“两区”内安全防护措施规定

工作人员离开工作室前洗手和作表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

九、环境影响分析结论

1、正常工况下辐射环境影响

（1）辐射环境影响分析结论

在严格落实相关要求后，本项目所致职业人员年剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的辐射剂量限值要求，也满足本报告提出的照射剂量约束值（工作人员 5mSv/a、公众照射 0.25mSv/a）。评价结果表明本项目辐射工作场所的防护性能符合要求。

(2) 非放环境影响分析结论

该项目投入运行后，院区内外主要环境保护目标处声环境预测值与声环境现状相比增量很小，与现状调查时检测结果对比噪声贡献值很小，且该项目噪声随着距离的增加而减小，且经墙体隔声后，该项目多联机室外机的噪声对声环境质量影响较小。

2、事故工况下环境影响

经分析，本项目可能发生的辐射事故等级为一般辐射事故。环评认为，针对本项目可能发生的辐射事故，马鞍山十七冶医院按相关规定和本环评要求对已制定的《放射事件应急预案》进行补充完善后，能够有效控制并消除事故影响。

十、射线装置使用与安全管理的综合能力

马鞍山十七冶医院拥有专业的放射性医护人员和安全管理机构，有符合国家环境保护标准、职业卫生标准和安全防护要求的场所、设施和设备；建立了较完善的辐射安全管理制度、辐射事故应急措施；在补充《辐射安全管理规定》、《辐射工作设备操作规程》等相关管理制度并及时更新，认真落实并定期对辐射防护设施进行检查维护的前提下，具有对医用辐射设施的使用和安全管理能力。

十一、项目环境可行性结论

综上所述，本项目符合国家产业政策，项目选址及平面布局合理。项目拟采取的辐射防护措施技术可行，措施有效；项目制定的管理制度、事故防范措施及应急方法等能够有效的避免或减少工作人员和公众的辐射危害。在认真落实项目工艺设计及本报告表提出的相应防护对策和措施，严格执行“三同时”制度，严格执行辐射防护的有关规定，辐射工作人员和公众所受照射剂量可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的剂量限值和本环评提出的剂量管理约束值。放射性“三废”及非辐射环境影响均可满足国家标准的要求。评价认为，从辐射安全与防护以及环境影响角度分析，本项目建设是可行的。

建议和承诺

1、建议建设单位与规划部门沟通，报备负一层加速器机房建设，限值其东、西和北侧地下空间的开发利用。

2、落实本报告中的各项辐射防护措施和安全管理制度。

3、医院应加强管理，安排新聘辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习辐射安全和防护知识并进行考试，以取得

辐射安全培训合格证，今后培训时间超过 5 年的辐射工作人员，需进行再培训，详见国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）。

4、医院应于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并上传。医院必须在“全国核技术利用辐射安全申报系统”（网址：<http://rr.mee.gov.cn/>）中实施申报登记。延续、变更许可证，新增放射性同位素、射线装置或单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

5、经常检查辐射工作场所的电离辐射标志和电离辐射警告标志，工作状态指示灯，若出现松动、脱落或损坏，应及时修复或更换。

6、医院须重视控制区和监督区的管理。

7、医院今后在更换辐射安全许可证之前，需登录全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn/rsmsreq/login.jsp>），对相关信息进行修改。

8、本次环评放射性同位素及射线装置工作场所，日后如有变化，应另作环境影响评价。

9、根据原环保部《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评（2017）4 号）规定：

（1）建设单位可登陆环境保护部网站查询建设项目竣工环境保护验收相关技术规范（<http://kjs.mee.gov.cn/hjbhzbz/bzwb/other>）。

（2）项目竣工后，建设单位应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收（调查）报告。

（3）本项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，方可投入使用，未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

（4）除按照国家需要保密的情形外，建设单位应当通过其网站或其他便于公众知晓的方式，向社会公开下列信息：

①本项目配套建设的环境保护设施竣工后，公开竣工日期；

②对项目配套建设的环境保护设施进行调试前，公开调试的起止日期；

③验收报告编制完成后 5 个工作日内，公开验收报告，公示的期限不得少于 20 个工作日。

建设单位公开上述信息的同时，应当在建设项目环境影响评价信息平台（<http://114.251.10.205>）中备案，同时应当向所在地生态环境主管部门报送相关信息，并接受监督检查。

“三同时”验收一览表

“三同时”验收一览表

项目		设施（措施）	验收要求
辐射安全管理机构		已建立辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式下发	满足，辐射安全负责人已取得培训证书，且医院已成立辐射安全与环境保护领导小组。
辐射安全与防护措施	屏蔽措施	医用电子直线加速器机房主要采用混凝土及铅防护门进行屏蔽，PET/CT影像中心主要采用混凝土、实心砖、铅防护门及铅玻璃等材料进行防护具体防护参数见表 10-2。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求。
	安全措施（联锁装置、警示标志、工作指示灯等）	设置动力排风装置，设有闭门装置工作状态指示灯能与防护门有效联动	设置后可满足
		防护门上粘贴有当心电离辐射警告标志及其他注意事项	设置后可满足
		配备对讲装置，急停按钮，视频监控等	设置后可满足
人员配备	辐射防护与安全培训和考核	辐射安全管理人员和辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，考核合格后上岗。	本项目所有辐射工作人员参加辐射安全与防护培训并取得合格证书后可满足
	个人剂量监测	辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检，加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。	本项目所有辐射工作人员上岗前佩戴个人剂量计后可满足
	人员职业健康监护	辐射工作人员定期进行职业健康体检，并建立放射工作人员职业健康档案。	本项目所有辐射工作人员需按时体检，两次体检的时间间隔不应超过两年
防护用品		已配备辐射巡检仪 2 台，本次拟新配 1 台辐射巡检仪（能量响应满足加速器检测要求），表面污染仪 1 台	/
		护士配铅围裙、铅围脖、铅眼镜、铅帽等个人用品；患者配备铅三角巾，至少 1 套。	配备后可满足
辐射安全管理	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、辐射事故应急措施等制度	根据环评要求，按照项目的实际情况，补充相关内容，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	制订并完善后可满足

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

公章

经办人 年 月 日

审批意见

公章

经办人 年 月 日