核技术利用建设项目

江苏省中医药研究院
新建放射诊疗项目
环境影响报告表

（报批本）

江苏省中医药研究院

2022 年 12 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

江苏省中医药研究院

新建放射诊疗项目

环境影响报告表

建设单位名称：江苏省中医药研究院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：江苏省南京市栖霞区红山路 **100** 号

邮政编码：　　联系人：

电子邮箱：　　联系电话：

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="7">江苏省中医药研究院新建放射诊疗项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">江苏省中医药研究院（又称“江苏省中西医结合医院”）</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td></td><td>联系人</td><td></td><td>联系电话</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="7">江苏省南京市栖霞区十字街 100 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7">江苏省南京市栖霞区十字街 100 号江苏省中医药研究院
外科病房暨转化医学综合楼</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="3">/</td><td>批准文号</td><td colspan="2">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td></td><td>项目环保总投资（万元）</td><td></td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>10%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="4">☑新建 □改建 □扩建 □其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="10">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="5">□I类□II类□III类□IV类□V类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">□I类（医疗使用）□II类☑III类□IV类□V类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>□生产</td><td colspan="5">□制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☑乙 □丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="5">□II类□III类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">□II类□III类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☑II类☑III类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="6">/</td></tr>
</table>

项目概述

一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来

江苏省中医药研究院始建于 1958 年 4 月 29 日，1990 年更名为江苏中医药研究所，1995 年 11 月 14 日另被命名为江苏省中西医结合医院（以下简称 “医院”），1998 年 3 月 5 日，江苏中医药研究所改名为江苏省中医药研究院。医院地处南京市栖霞区，位于南京市红山路十字街 100 号，是江苏省唯一的一所以中西医结合为特色的三级甲等综合性医院和江苏省中西医结合临床医疗科研教学指导中心，也是全国十所重点中西医结合医院之一。随着经济发展和社会进步，社会对基本医疗服务方面的需求日益增加，近年来，医院门诊量逐年高速增长，最高日门急诊量已突破 4000

人次，根据目前医院门诊量增长趋势，预计近期门急诊量将达到4000-4500人次，医院现状床位数仅为 700 张，病人排队住院的矛盾比较突出，医疗用房规模不足已成为制约医院发挥基本医疗服务功能的瓶颈，与三级甲等医院的服务要求不相适应。

因此，医院拟通过扩建项目，重点增加医院的基本医疗用房，更好的满足省市居民的基本医疗服务需求。医院拟于南侧空地处新建1栋外科病房暨转化医学综合楼，该项目实施后，新增床位数800张，新增门诊量700人/天，建成后医院总床位数将达到1500张，门诊量人数达到4500人/天。该项目已委托南京赛特环境工程有限公司于2016年完成了一般建设项目的环境影响评价工作，并于2016年3月31日取得了原江苏省环境保护厅关于该项目的批复文件，批复文号为：苏环审[2016]32号，详见附件2。

根据规划，医院拟在外科病房暨转化医学综合楼负二层的放疗中心新建2座医用电子直线加速器机房，并配备2台医用电子直线加速器（X线最大能量15MV，属II类射线装置）；拟于放疗中心新建1座后装治疗机机房，并配备1台后装治疗机（内含1枚 ^{192}Ir 放射源，单枚最大装源活度为 $3.70\times10^{11}Bq$，为III类放射源）用于肿瘤的放射治疗，同时配套建设1座模拟定位机机房，配备1台模拟定位机，属III类射线装置；拟于外科病房暨转化医学综合楼负二层核医学科东区新建1处乙级非密封放射性物质工作场所，使用放射性同位素 ^{99m}Tc 开展SPECT/CT（属III类射线装置）显像诊断，使用放射性同位素 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 开展骨转移治疗项目；同时，于核医学科西区新建1处乙级非密封放射性物质工作场所，使用放射性同位素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展PET/CT（属III类射线装置）显像诊断；拟于外科病房暨转化医学综合楼五层手术部新建1座DSA手术室和1座复合手术室，并各配备1台数字减影血管造影机（Digital Subtraction Angiography，简称“DSA”， 属II类射线装置）。以上项目均属于核技术利用范畴。

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安全和防护条例》等相关法律法规要求，建设方江苏省中医药研究院需对该项目进行环境影响评价。受江苏省中医药研究院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位新建放射诊疗项目的环境影响评价工作（委托书见附件1）。

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“**使用III类放射源的；生产使用II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。

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。

江苏省中医药研究院新建放射诊疗项目环境影响评价报告表评价内容与目的：

1、对新建放射诊疗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、满足国家和地方环境保护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。

二、项目周边保护目标以及场址选址情况

江苏省中医药研究院位于江苏省南京市栖霞区十字街 100 号，医院东侧为十字街 110 号居民小区、十里长沟及言和路，南侧为华西路及华电社区，西侧为红山路，北侧为高家村 40 号居民区。医院地理位置示意图见附图 1，医院总平面布置及周围环境情况见附图 2。

本次新建放射诊疗项目均位于医院拟建的外科病房暨转化医学综合楼内，外科病房暨转化医学综合楼东侧为院内道路及十字街 110 号居民小区，南侧为院内道路及华西路，西侧为院内道路及红山路，北侧为门诊医技综合楼和内科医疗楼。

本项目放疗中心位于外科病房暨转化医学综合楼负二层西南部，拟在放疗中心新建 2 座医用电子直线加速器机房，并配备 2 台医用电子直线加速器（X 线最大能量 15MV，属II类射线装置）用于肿瘤的放射治疗。本次新建的 2 座医用电子直线加速器机房呈东西对称布置，机房东侧为后装治疗室，南侧为土层，西侧为汽车坡道，北侧为辅助机房及控制室等，上方依次为封闭区域（人员不可达）及室外地面，下方为战时消防水泵房（平时人员不可达）。

本次拟新建的后装治疗机机房位于医用电子直线加速器机房东侧，拟于后装治疗

机机房内配备 1 台后装治疗机（内含 1 枚 ^{192}Ir 放射源，单枚最大装源活度为 $3.70\times10^{11}Bq$，为III类放射源）用于肿瘤的放射治疗。后装治疗机机房东侧为控制室，南侧为土层，西侧为医用电子直线加速器 2#机房，北侧为准备室，上方闲置用房，下方为停车库。

拟于放疗中心新建 1 座模拟定位机机房，配备 1 台模拟定位机（型号未定，管电压≤150kV，管电流≤1500mA）用于模拟定位。本项目模拟定位机机房位于放疗中心东部，机房东侧为控制室、办公室及诊室等，南侧为室内走廊，西侧为候诊区，北侧为走廊等，上方为室内过道，下方为过道。

本项目核医学科位于外科病房暨转化医学综合楼负二层，共设 2 个非密封放射性物质工作场所（简称“东区”和“西区”），拟于核医学科东区工作场所内使用放射性同位素 ^{99m}Tc 开展 SPECT/CT（型号未定，管电压≤140kV，管电流≤1000mA）显像诊断项目，使用放射性同位素 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 开展骨转移治疗项目，属于乙级非密封放射性物质工作场所。拟于核医学科西区工作场所内使用放射性同位素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展 PET/CT（型号未定，管电压≤140kV，管电流≤1000mA）显像诊断项目，放射性同位素 ^{68}Ga 由医院使用锗镓发生器自行淋洗，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

其中东区核医学科东侧为楼梯间，南侧为报告间及办公室等，西侧为诊室、卫生间和电梯厅等，北侧为地下停车库，上方为设备间及配电房等，下方为战时进风机房等。西区核医学科东侧为候诊区及电梯厅，南侧为洁净通道，西侧为风机房，北侧为地下停车库，上方为医用气体机房等，下方为战时进风机房等。外科病房暨转化医学综合楼负二层平面布局示意图详见附图 3，负三层平面布局详见附图 4，负一层平面布局详见附图 5。

医院本次拟新增的 DSA 手术室和复合手术室均位于外科病房暨转化医学综合楼五层手术部，拟于 DSA 手术室和复合手术室内各配备 1 台 DSA（型号未定，管电压≤120kV，管电流≤1000mA），用于医学诊断及介入治疗。

DSA 手术室东侧为预麻室和麻醉物品室，南侧为污物走廊及仓库等，西侧为控制室及库房等，北侧为洁净内走廊等，上方为净化设备层走廊，下方为产科库房；复合手术室东侧为 CT 扫描间及 DSA、CT 设备间等，南侧为污物走廊及 17#和 18#手术室，西侧为控制室，北侧为洁净走廊，上方为净化设备层设备区，下方为体检科诊室。外科病房暨转化医学综合楼四层平面布置示意图详见附图 6，五层平面布局详见附图

7，六层平面布局详见附图 8。

本项目周围 50m 范围除东侧、南侧涉及部分居民区和西侧涉及院外道路外，其余方向均位于医院范围内，环境保护目标主要是本项目辐射工作人员及院内外其他公众。

本项目为医院外科病房暨转化医学综合楼建设的核技术利用部分，项目用地性质为医疗卫生用地。从周边外环境关系可知，医院周边规划为居民区和市政道路，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。

医院于 2016 年完成了外科病房暨转化医学综合楼项目的环境影响报告书，并取得原江苏省环境保护厅关于该项目的批复，批复文号为：苏环审〔2016〕32 号（见附件 2）。项目选址合理性已在相关环评报告中进行了论述，本项目建设地点均为外科病房暨转化医学综合楼内，不额外新增用地，医院整体布局合理，且拟建的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，从辐射安全防护角度分析，本项目选址是合理的。

三、原有核技术利用项目许可情况

江苏省中医药研究院于 2019 年 11 月 18 日重新申领了辐射安全许可证（苏环辐证[A0583]），许可种类和范围为：使用II、III类射线装置，有效期至 2024 年 11 月 17 日。辐射安全许可证正副本见附件 4。现有的核技术利用项目均进行竣工验收或年度监测工作，无历史遗留问题。

四、实践正当性及产业政策相符性分析

本项目为新增医用放射源、医用射线装置及非密封放射性物质工作场所，对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》及其修订（国家发展改革委令 2021 年第 49 号）和《江苏省工业和信息产业结构调整指导目录（2012 年本）》（苏政办发[2013]9 号）及其修改文件（苏经信产业[2013]182 号），不属于“限制类”或“淘汰类”项目，符合国家和江苏省现行的产业政策。本项目的运行，可为病人提供放射诊疗服务，并可提高当地医疗卫生水平，具有良好的社会效益和经济效益，经辐射防护屏蔽和安全管理后，其获得的利益远大于对环境的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

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	^{192}Ir	3.70×10^{11}Bq×1 枚	III类	使用	近距离放射治疗	负二层放疗中心	随机器存放于后装治疗机屏蔽体内	约 180 天更换一次，半衰期为 74.02 天
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{99m}Tc	液态/低毒 $T_{1/2}$=6.01h	使用	2.22×10^{10}	2.22×10^{7}	5.55×10^{12}	核素显像	分装、注射很简单操作	核医学科东区	按需订购，不贮存
2	^{89}Sr	液态/中毒 $T_{1/2}$=50.53d	使用	2.96×10^{8}	2.96×10^{7}	1.48×10^{10}	核素治疗	注射简单操作		
3	^{153}Sm	液态/中毒 $T_{1/2}$=46.5h	使用	2.96×10^{9}	2.96×10^{8}	1.48×10^{11}	核素治疗	注射简单操作		
4	^{18}F	液态/低毒 $T_{1/2}$=109.7min	使用	5.55×10^{9}	5.55×10^{6}	1.39×10^{12}	核素显像	注射很简单操作	核医学科西区	按需订购，不贮存
5	^{68}Ga	液态/低毒 $T_{1/2}$=68.3min	使用	1.85×10^{9}	1.85×10^{7}	4.62×10^{11}	核素显像	淋洗、注射简单操作		自行淋洗
6	^{68}Ga-^{68}Ge	液态/中毒 $T_{1/2}$=280d	使用	1.85×10^{9}	1.85×10^{6}	1.85×10^{9}	制备 ^{68}Ga	源的贮存		暂存在储源室内

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）/剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II	2 台	待定	电子	X 射线最大能量：15MV 15MV 时 1m 处常用最高剂量率 6Gy/min，10MV 时 1m 处常用最高剂量率 14Gy/min 电子线最大能量为 20MeV，最高剂量率：10Gy /min		放射治疗	放疗中心 医用电子直线加速器机房	本次环评

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	DSA	II	2	待定	≤125	≤1250	介入治疗	DSA 手术室 复合手术室	本次环评
2	PET/CT	III	1	待定	≤125	≤1250	核素显像	核医学科	
3	SPECT/CT	III	1	待定	≤140	≤1000	核素显像	核医学科	
4	模拟定位机	III	1	待定	≤150	≤1500	放射诊断	放疗中心	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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	^{99m}Tc、^{18}F、^{68}Ga	/	/	/	/	存放于专用放射性废物铅桶与废物库	暂存超过 30 天，经检测合格后，由医院统一作为医疗废物处理
		^{89}Sr 和 ^{153}Sm	/	/	/	/		暂存超过十个半衰期，经检测合格后，由医院统一作为医疗废物处理
含放射性核素的卫生间下水及清洗废水	液体	^{99m}Tc、^{18}F、^{68}Ga 等	/	约 16m^3	约 192m^3	/	暂存于衰变池内	自然衰变 30 天，可直接解控排放至医院污水处理站
含有液态放射性药物分装时挥发的微量气溶胶	气体	^{99m}Tc、^{18}F、^{68}Ga、^{89}Sr 和 ^{153}Sm	/	微量	微量	微量	不暂存	在手套箱中操作，经手套箱管道内及屋顶排放口活性炭装置过滤后排放
DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物	固体	/	/	约 10kg	约 120kg	/	暂存在机房内的废物桶	手术结束后集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置

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，臭氧在常温条件下可自动分解为氧气
废活性炭	固体	/	/	/	/	/	更换后暂存在放射性废物暂存间内	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
退役的 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器	固体	^{68}Ge-^{68}Ga	约一年更换一次	/	/	/	不暂存	交有资质单位收贮
退役废靶	固体	中子活化产物	/	/	/	/	不暂存	交有资质单位收贮
退役的 ^{192}Ir 放射源	固体	^{192}Ir	使用约 180 天更换一次，退役时活度约为 6.9×10^{10}Bq	/	/	/	不暂存	放射源厂家回收

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	（1）《中华人民共和国环境保护法》（修订版），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； （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； （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； （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； （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； （6）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令 第20号，2021年1月4日起施行； （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； （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； （9）《放射源分类办法》，国家环境保护总局公告 2005年 第62号，2005年12月23日起施行； （10）《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； （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； （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； （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； （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； （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

	告2019年第9号，2019年11月1日起施行； （16）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部，公告2019年第57号，2020年1月1日起施行； （17）《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部，公告2019年第38号，2019年11月1日起施行； （18）《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部，公告2019 年第39号，2019年11月1日起启用； （19）《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修改，国家发展和改革委员会2021年令第49号）2021年12月30日起施行； （20）《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议，2018年5月1日起实施。
技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； （2）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）； （3）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； （4）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （5）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （6）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）； （7）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）； （8）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； （9）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）； （10）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）； （11）《职业性外照射个人监测规范》 （GBZ 128-2019）； （12）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）； （13）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分一般原则：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）； （14）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）；

	（15）《后装γ源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262-2017）； （16）《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）。
其他	（1）环保部辐射安全与防护监督检查技术程序； （2）工程设计图纸及相关技术资料； （3）医院提供的相关资料。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

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》（HJ 10.1-2016）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**”，确定为江苏省中医药研究院本次新建放射诊疗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。

保护目标

医院放疗中心项目和核医学科项目的 50m 评价范围除南侧和西侧部分位于医院院界外，其余方向均位于医院范围内，复合手术项目 50m 评价范围除东侧部分位于院界外，其余方向均位于医院范围内，DSA 手术室项目 50m 评价范围除东侧和南侧部分位于院界外，其余方向均位于医院范围内。本项目评价范围内无学校等环境敏感点，项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属和东侧十字街 110 号居民小区和南侧华电社区华电一宿舍的公众及其他流动公众等，具体详见表 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			方位	最近距离	规模
放疗中心项目	辐射工作人员		控制室	/	8 人
	外科病房暨转化医学综合楼	其他医护工作人员	放疗科机房四周及上方	约 5m	约 200 人
		患者、患者家属及院内周边公众			约 800 张床位，其余为流动人员
	华电社区华电一宿舍		南侧	约 26m	2 栋宿舍楼（7 层）约 400 人
	厂房		南侧	约 42m	约 50 人
核医学科项目	辐射工作人员		核医学科工作场所	/	8 人
	外科病房暨转化医学综合楼	其他医护工作人员	核医学科四周及上方	约 5m	约 200 人
		患者、患者家属及院内周边公众			约 800 张床位，其余为流动人员

	华电社区华电一宿舍		南侧	约 35m	2 栋宿舍楼（7 层）约 300 人
	厂房		南侧	约 33m	约 50 人
复合手术室项目	辐射工作人员		控制室 DSA 机房	/	4 人
	外科病房暨转化医学综合楼	其他医护工作人员	DSA 机房四周及上下方	约 2m	约 400 人
		患者、患者家属及院内周边公众			约 800 张床位，其余为流动人员
	十字街 110 号居民小区		东侧	约 40m	4 层居民楼约 100 人
DSA 手术室项目	辐射工作人员		控制室 DSA 机房	/	4 人
	外科病房暨转化医学综合楼	其他医护工作人员	DSA 机房四周及上下方	约 2m	约 400 人
		患者、患者家属及院内周边公众			约 800 张床位，其余为流动人员
	十字街 110 号居民小区		东侧	约 48m	4 层居民楼约 100 人
	华电社区华电一宿舍		南侧	约 41m	1 栋宿舍楼（7 层）约 100 人
	厂房		南侧	约 44m	约 20 人

评价标准

一、评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

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，lmSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 lmSv，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。	

1.2 非密封源工作场所的分级

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

2、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）：

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

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

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

b）公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

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

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

机房外辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤100μSv/周；

机房外非辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤5μSv/周。

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

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

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

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

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

3、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；

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

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/T 201.2-2011）；

6、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）；

7、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5 mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a。

6.1 屏蔽要求

6.1.1 核医学场所屏蔽层设计应适当保守，按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。

6.1.2 设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时，除应考虑室内的辐射源外，还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。

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

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h。

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

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

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

a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

7.3.3.3 放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

8、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）：

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。

9、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

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
双管头或多 X 射线设备[a]（含 C 形臂）	30	4.5
单管头 X 射线设备[b]（含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 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
标称 125kV 以上的摄影机房	3.0	2.0
标称 125kV 及以下的摄影机房	2.0	1.0

C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

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；

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	-
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套选配：铅橡胶帽子	

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》（GB 18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）确定本项目职业照射的剂量约束值不超过 5 mSv/a。

②公众照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）确定本项目公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a。

2、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》（GB 18466-2005）表 2 限值，标准值见表 7-2。

表 7-2 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	（GB 18466-2005）表 2 限值
总 α	1	

3、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》（GB 18871-2002）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五十分之一以下时（即 0.8Bq/cm^2），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。”

表 B11 表面污染控制水平 单位: Bq/cm^2

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。

4、工作场所内外控制剂量率

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关规定及本项目放疗机房周开机治疗时间，估算得到放疗机房外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_c$。

$$\dot{H}_{c,\ d} = H_c/(t \cdot U \cdot T)\cdots\cdots\text{公式 7-1}$$

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

H_c—周剂量率参考控制水平 μSv/周；根据 HJ 1198-2021 中 6.1.4 的 a），机房外辐射工作人员：H_c≤100μSv /周；机房外非辐射工作人员：H_c≤5μSv/周；

t—治疗装置周工作时间，根据医院提供资料，本项目单台医用电子直线加速器放射治疗工作量为 80 人/天，每周工作 5 天，年出束时间约 500h，则本项目医用电子直线加速器周治疗照射时间为：t=10h/周；

U—关注位置的方向照射的使用因子；

T—人员在相应关注点驻留的居留因子。

根据公式 7-1 并结合图 11-1，本项目医用电子直线加速器机房各关注点剂量率参考水平详见表 7-3。

表 7-3 本项目医用电子直线加速器机房各关注点剂量率参考水平一览表

参考点		T	U	H_c（μSv/周）	t（h）	$\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）	$H_{c,max}$（μSv/h）	$\dot{H}_c$（μSv/h）
1#医用电子直线加速器机房	东墙主屏蔽（a 点）	1/2	1/4	5	10	4.0	2.5	2.5
	西墙主屏蔽（b 点）	1/16	1/4	5		32	10	10
	屋顶主屏蔽（l 点）	1/16	1/4	5		32	10	10
	东墙次屏蔽（c_1、c_2 点）	1/2	1	5		1.0	2.5	1.0
	西墙次屏蔽 d_2 点	1/16	1	5		8.0	10	8.0
	屋顶次屏蔽（m_1、m_2 点）	1/16	1	5		8.0	10	8.0
	迷路外墙（f 点）	1	1	100		10	2.5	2.5
	迷路外墙（k 点）	1/16	1	5		8.0	10	8.0
	防护门（g 点）	1/8	1	5		4.0	10	4.0
2#医用电子直线加速器机房	东墙主屏蔽（b'点）	1/2	1/4	5	10	4.0	2.5	2.5
	西墙主屏蔽（a'点）	1/2	1/4	5		4.0	2.5	2.5
	屋顶主屏蔽（l'点）	1/16	1/4	5		32	10	10
	东墙次屏蔽 d'_2 点	1/2	1	5		1.0	2.5	1.0
	西墙次屏蔽（c'_1、c'_2 点）	1/2	1	5		1.0	2.5	1.0
	屋顶次屏蔽（m'_1、m'_2 点）	1/16	1	5		8.0	10	8.0
	迷路外墙（f'点）	1	1	100		10	2.5	2.5
	迷路外墙（k'点）	1	1	100		10	2.5	2.5
	防护门（g'点）	1/8	1	5		4.0	10	4.0

注：$\dot{H}_c$为 $H_{c,max}$与导出的剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}$二者中选择较小者；

本项目 $H_{c,max}$取 HJ 1198-2021 中 6.1.4 给出关注点最高剂量率参考水平 $H_{c,max}$≤2.5μSv/h（人员居留因子＞1/2 场所）和 $H_{c,max}$≤10μSv/h（人员居留因子≤1/2 场所）。

同理，根据公式 7-1 并结合图 11-2，根据建设单位提供资料，每年有 1500 人次的门诊量，每次照射 1~2 个野，180 秒/野。治疗出束时间大约为 10 分钟/人次，后装机预计年工作时间为 250h，周工作时间约为 5h；本项目后装治疗机机房各关注点剂量率参考水平详见表 7-4。

表 7-4 后装治疗机机房各关注点剂量率参考水平一览表

参考点	T	U	H_c（μSv/周）	t（h）	$\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）	$H_{c,max}$（μSv/h）	$\dot{H}_c$（μSv/h）
东墙外（a 点）	1	1	100	5	20	2.5	2.5
西墙外（b 点）	1/2	1	5		2.0	2.5	2.0
北墙外（c 点）	1/4	1	5		4.0	10	4.0
顶部（l 点）	1/16	1	5		16	10	10
防护门（g 点）	1/8	1	5		8.0	10	8.0

注：$\dot{H}_c$为 $H_{c,max}$与导出的剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}$二者中选择较小者；

本项目 $H_{c,max}$取 HJ 1198-2021 中 6.1.4 给出关注点最高剂量率参考水平 $H_{c,max}$ ≤2.5μSv/h（人员居留因子＞1/2 场所）和 $H_{c,max}$ ≤10μSv/h（人员居留因子≤1/2 场所）。

本项目模拟定位机机房和 DSA 机房等射线装置机房边界周围剂量率控制水平参照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）等相关标准要求， DSA 机房和模拟定位机机房周围剂量当量率应不大于 2.5 μSv/h。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h。

放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h。

5、其他

（1）根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021），本项目医用电子直线加速器机房内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

（2）本项目核医学科内通风橱的排风装置设计风速应不小于 0.5m/s。

（3）本项目模拟 CT 机房和 DSA 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

三、参考资料

1、《辐射防护导论》，方杰主编。

2、《辐射防护手册（第一分册）》，李德平、潘自强主编。

3、《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（辐射防护第 13 卷第 2 期，1993 年 3 月），江苏省环境监测站。

江苏省室内、室外天然贯穿辐射所致（空气吸收）剂量率（单位：nGy/h）

\	室外剂量率	室内剂量率
均值	79.5	115.1
标准差（s）	7.0	16.3

本项目现状评价时参考的数值取均值±3 倍标准差范围

（均值±3s）*	58.5～100.5	66.2～164.0

*：评价时参考数值

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

江苏省中医药研究院位于江苏省南京市栖霞区十字街 100 号，医院东侧为十字街 110 号居民小区、十里长沟及言和路，南侧为华西路及华电社区，西侧为红山路，北侧为高家村 40 号居民区。

本次新建放射诊疗项目均位于医院拟建的外科病房暨转化医学综合楼内，外科病房暨转化医学综合楼东侧为院内道路及十字街 110 号居民小区，南侧为院内道路及华西路，西侧为院内道路及红山路，北侧为门诊医技综合楼和内科医疗楼。

本项目放疗中心位于外科病房暨转化医学综合楼负二层西南部，2 座医用电子直线加速器机房呈东西对称布置，机房东侧为后装治疗室，南侧为土层，西侧为汽车坡道，北侧为辅助机房及控制室等，上方依次为封闭区域（人员不可达）及室外地面，下方为战时消防水泵房（平时人员不可达）。

本项目后装治疗机机房位于医用电子直线加速器机房东侧，后装治疗机机房东侧为控制室，南侧为土层，西侧为医用电子直线加速器 2#机房，北侧为准备室，上方闲置用房，下方为停车库。

本项目模拟定位机机房位于放疗中心东部，机房东侧为控制室、办公室及诊室等，南侧为室内走廊，西侧为候诊区，北侧为走廊等，上方为室内过道，下方为过道。

本项目核医学科位于外科病房暨转化医学综合楼负二层，共设 2 个非密封放射性物质工作场所（简称“东区”和“西区”），其中东区核医学科东侧为楼梯间，南侧为报告间及办公室等，西侧为诊室、卫生间和电梯厅等，北侧为地下停车库，上方为设备间及配电房等，下方为战时进风机房等。西区核医学科东侧为候诊区及电梯厅，南侧为洁净通道，西侧为风机房，北侧为地下停车库，上方为医用气体机房等，下方为战时进风机房等。

医院本次拟新增的 DSA 手术室和复合手术室均位于外科病房暨转化医学综合楼五层手术部，DSA 手术室东侧为预麻室和麻醉物品室，南侧为污物走廊及仓库等，西侧为控制室及库房等，北侧为洁净内走廊等，上方为净化设备层走廊，下方为产科库房；复合手术室东侧为 CT 扫描间及 DSA、CT 设备间等，南侧为污物走廊及 17#和 18#手术室，西侧为控制室，北侧为洁净走廊，上方为净化设备层设备区，下方为体检

科诊室。

本项目周围 50m 范围除南侧涉及部分居民区外，其余方向均位于医院范围内，环境保护目标主要是本项目辐射工作人员及院内外其他公众本次新建项目拟建址周围环境现状见图 8-1 至图 8-4。



图 8-1 拟建址东侧



图 8-2 拟建址南侧



图 8-3 拟建址西侧



图 8-4 拟建址北侧

二、辐射环境现状评价

根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于本次项目拟建址及周围环境进行布点，测量辐射剂量率、表面污染水平及中子剂量当量率现状。监测结果见表 8-1~表 8-3，监测点位示意图见图 8-5~图 8-7。监测报告见附件 6。

（一）监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

（二）检测仪器：

1、辐射剂量率：

6150AD6/H+6150AD-b/H 型 X-γ 剂量率仪（设备编号：NJRS-126，检定有效期：2021 年 11 月 11 日～2022 年 11 月 10 日），检定单位：江苏省计量科学研究院，检定

证书编号：Y2021-0106289

能量范围：20keV～7MeV

剂量率范围：10nSv/h～99.9μSv/h

2、表面污染水平：

检测仪器：CoMo 170 型 α、β 表面污染测量仪（设备编号：NJRS-129，检定有效期：2022 年 4 月 10 日～2023 年 4 月 9 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：检定字第 202204002138 号）

测量范围：0cps～20000cps

3、中子剂量当量率：

FH40G+FHT762 型中子周围剂量当量率仪（设备编号：NJRS-022，检测有效期：2022 年 4 月 1 日~2023 年 3 月 31 日），检定单位：中国计量科学研究院，检定证书编号：DLjs2022-00700

能量范围：0.025eV～5GeV

剂量率范围：1nSv/h～100mSv/h

（三）检测日期及条件：

监测日期：2022 年 10 月 24 日

天气：多云

温度：16℃　　湿度：48%RH

监测布点：根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）有关布点原则进行布点。

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过计量认证（证书编号：221020340350，检测资质见附件 6），具备有相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，实施全过程质量控制。

监测人员、监测仪器及监测结果：监测人员均经过考核并持有合格证书，所有监测仪器均经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过检验，监测报告实行三级审核。

（四）评价方法：

参照江苏省天然贯穿辐射剂量水平调查结果，评价项目周围的辐射环境质量。

（五）检测结果：

表 8-1 新建放射诊疗项目拟建址周围γ辐射剂量率检测结果

测点编号	测点描述	测量结果（nGy/h）	备注
1	放疗中心拟建址东侧过道	69	/
2	放疗中心拟建址东侧控制室	71	/
3	放疗中心拟建址 2#直加机房内	54	/
4	放疗中心拟建址 1#直加机房内	60	/
5	放疗中心拟建址北侧制模室	58	/
6	放疗中心拟建址北侧过道	70	/
7	放疗中心拟建址北侧候诊区	68	/
8	核医学科东区拟建址东侧过道	52	/
9	核医学科东区拟建址南侧报告间	60	/
10	核医学科东区拟建址南侧过道	69	/
11	核医学科东区拟建址西侧过道	79	/
12	核医学科东区拟建址北侧过道	72	/
13	核医学科东区拟建址北侧停车场	77	/
14	核医学科东区拟建址内部	72	/
15	核医学科西区拟建址东侧入口处	77	/
16	核医学科西区拟建址南侧过道	70	/
17	核医学科西区拟建址南侧过道	73	/
18	核医学科西区拟建址西侧出口处	76	/
19	核医学科西区拟建址 PET/CT 机房	81	/
20	放疗中心拟建址上方	78	/
21	核医学科东区拟建址上方	71	/
22	核医学科西区拟建址上方	75	/
23	放疗中心拟建址下方	71	/
24	核医学科东区拟建址下方	73	/
25	核医学科西区拟建址下方	71	/
26	DSA 手术室东侧预麻室	57	/
27	DSA 手术室南侧过道	64	/
28	DSA 手术室西侧控制室	60	/
29	DSA 手术室北侧走廊	61	/
30	DSA 复合手术室东侧设备间	55	/
31	DSA 复合手术室南侧污物走廊	63	/
32	DSA 复合手术室西侧控制室	54	/
33	DSA 复合手术室北侧走道	59	/
34	DSA 手术室楼上	56	/
35	DSA 复合手术室楼上	62	/
36	DSA 手术室楼下	57	/
37	DSA 复合手术室楼下	63	/
38	新建放射诊疗项目拟建址东侧十字街 110 号	70	/
39	新建放射诊疗项目拟建址南侧华电宿舍	80	/

40	新建放射诊疗项目拟建址南侧华电宿舍	80	/

注：测量结果已扣除宇宙射线响应值。

表 8-2 核医学科工作场所放射性表面污染水平检测结果

测点编号	点位描述	测量结果(Bq/cm²)	备注
1	核医学科东区拟建址东侧过道	＜0.03	/
2	核医学科东区拟建址南侧报告间	＜0.03	/
3	核医学科东区拟建址南侧过道	＜0.03	/
4	核医学科东区拟建址西侧过道	＜0.03	/
5	核医学科东区拟建址北侧过道	＜0.03	/
6	核医学科东区拟建址北侧停车场	＜0.03	/
7	核医学科东区拟建址内部	＜0.03	/
8	核医学科西区拟建址东侧入口处	＜0.03	/
9	核医学科西区拟建址南侧过道	＜0.03	/
10	核医学科西区拟建址南侧过道	＜0.03	/
11	核医学科西区拟建址西侧出口处	＜0.03	/
12	核医学科西区拟建址 PET/CT 机房	＜0.03	/
13	核医学科东区拟建址上方	＜0.03	/
14	核医学科西区拟建址上方	＜0.03	/
15	核医学科东区拟建址下方	＜0.03	/
16	核医学科西区拟建址下方	＜0.03	/
17	新建放射诊疗项目拟建址南侧华电宿舍	＜0.03	/
18	新建放射诊疗项目拟建址南侧华电宿舍	＜0.03	/

注：表面 β 放射性污染水平探测下限（LLD）为 0.03Bq/cm²。

表 8-3 放疗中心拟建址及周围中子剂量当量率检测结果

测点编号	点位描述	测量结果(nSv/h)	备注
1	放疗中心拟建址东侧过道	＜LLD	/
2	放疗中心拟建址东侧控制室	＜LLD	/
3	放疗中心拟建址 2#直加机房内	＜LLD	/
4	放疗中心拟建址 1#直加机房内	＜LLD	/
5	放疗中心拟建址北侧制模室	＜LLD	/
6	放疗中心拟建址北侧过道	＜LLD	/
7	放疗中心拟建址北侧候诊区	＜LLD	/
8	放疗中心拟建址上方	＜LLD	/
9	放疗中心拟建址下方	＜LLD	/
10	新建放射诊疗项目拟建址南侧华电宿舍	＜LLD	/
11	新建放射诊疗项目拟建址南侧华电宿舍	＜LLD	/

注：仪器探测下限（LLD）为 1nSv/h。

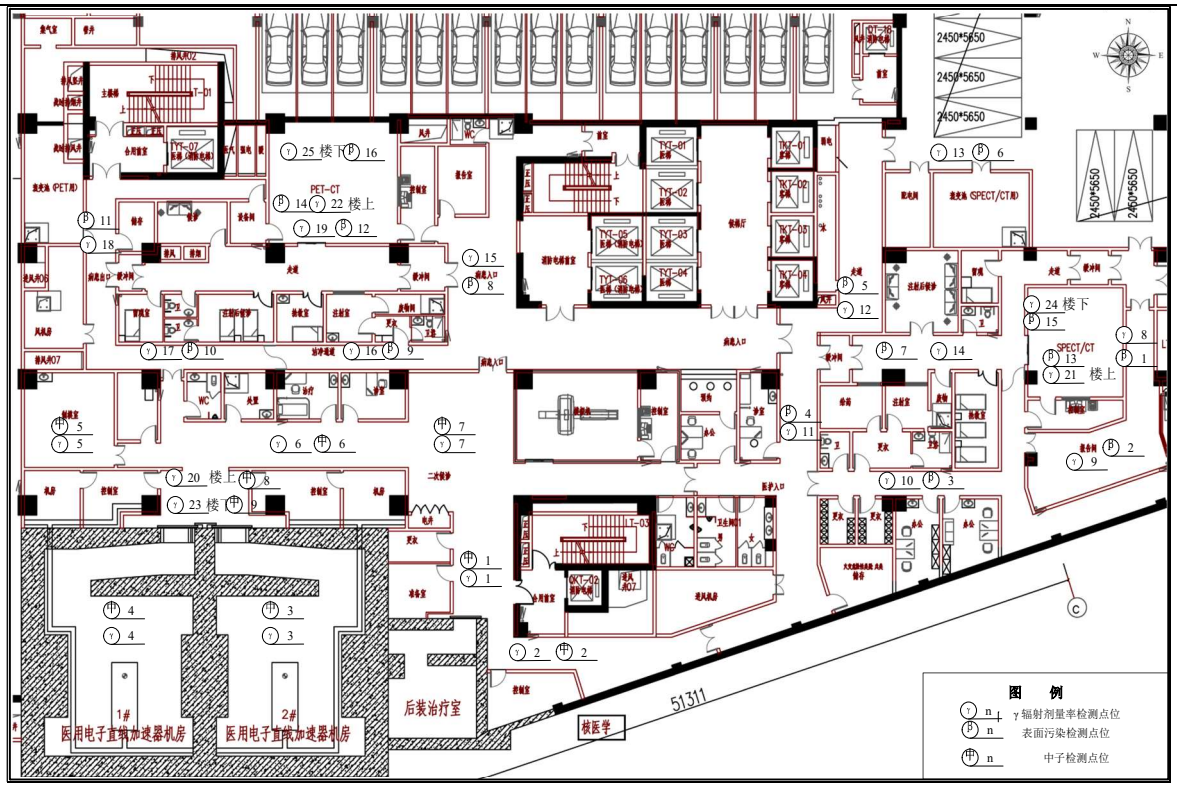

2450*5650
2450*5650
2450*5650
2450*5650
PET-CT
SPECT/CT
医用电子直线加速器机房
医用电子直线加速器机房
后装治疗室
核医学
51311
图 例
γ辐射剂量率检测点位
表面污染检测点位
中子检测点位

图 8-5 监测点位示意图

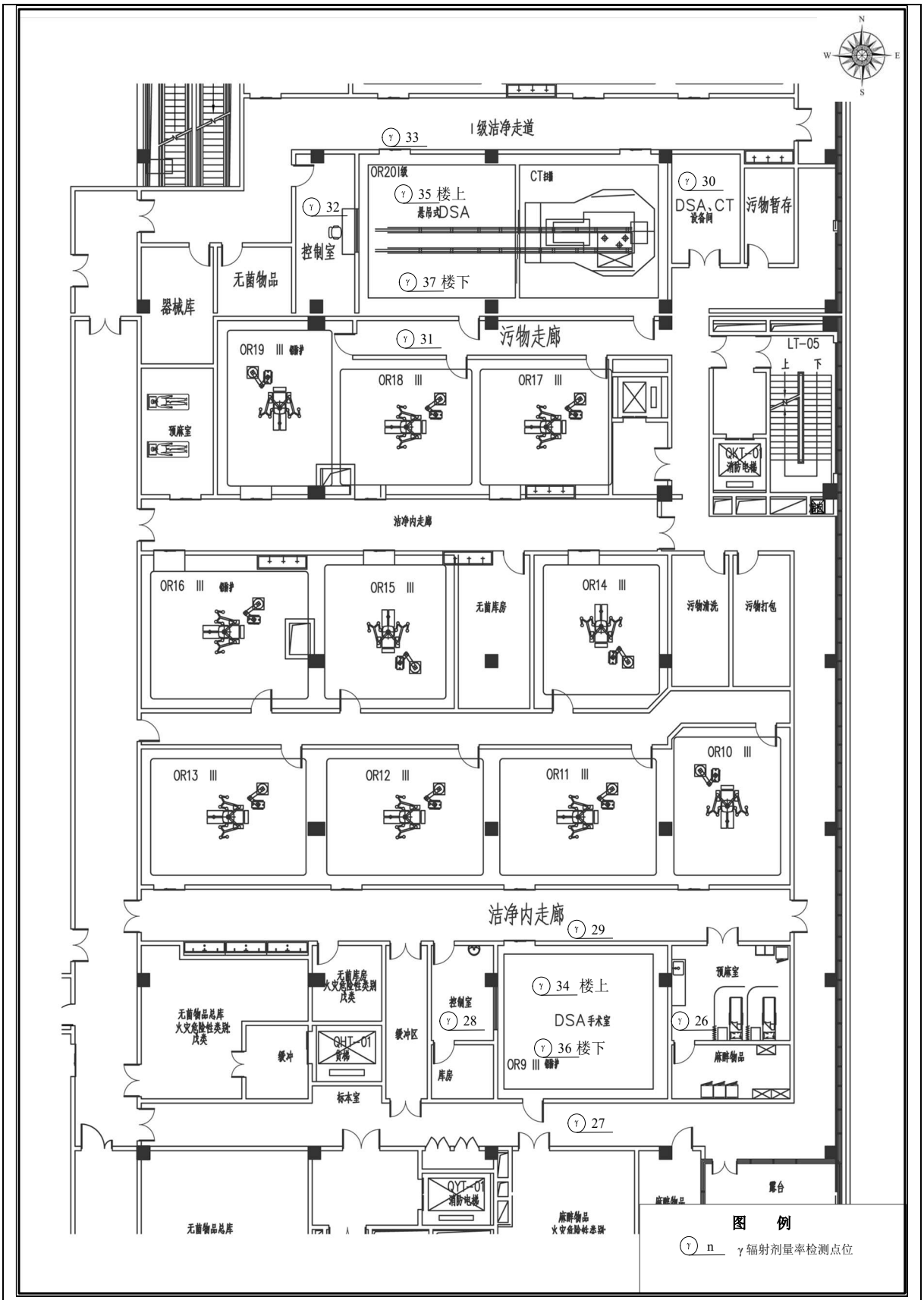

N
W
E
S
Ⅰ级洁净走道
γ 33
OR20Ⅰ级
γ 35 楼上
悬吊式DSA
CT扫描
γ 30
DSA、CT
设备间
污物暂存
γ 32
控制室
无菌物品
器械库
γ 37 楼下
γ 31
污物走廊
OR19 Ⅲ 负压
OR18 Ⅲ
OR17 Ⅲ
LT-05
上
下
预麻室
GKT-01
消防电梯
洁净内走廊
OR16 Ⅲ 负压
OR15 Ⅲ
无菌库房
OR14 Ⅲ
污物清洗
污物打包
OR13 Ⅲ
OR12 Ⅲ
OR11 Ⅲ
OR10 Ⅲ
洁净内走廊
γ 29
无菌物品总库
火灾危险性类别
戊类
缓冲
QHT-01
货梯
标本室
缓冲区
控制室
γ 28
库房
γ 34 楼上
DSA手术室
γ 36 楼下
OR9 Ⅲ 负压
预麻室
γ 26
麻醉物品
γ 27
QYT-01
消防电梯
麻醉物品
火灾危险性类别
戊类
露台
图 例
γ n γ辐射剂量率检测点位

图 8-6 监测点位示意图

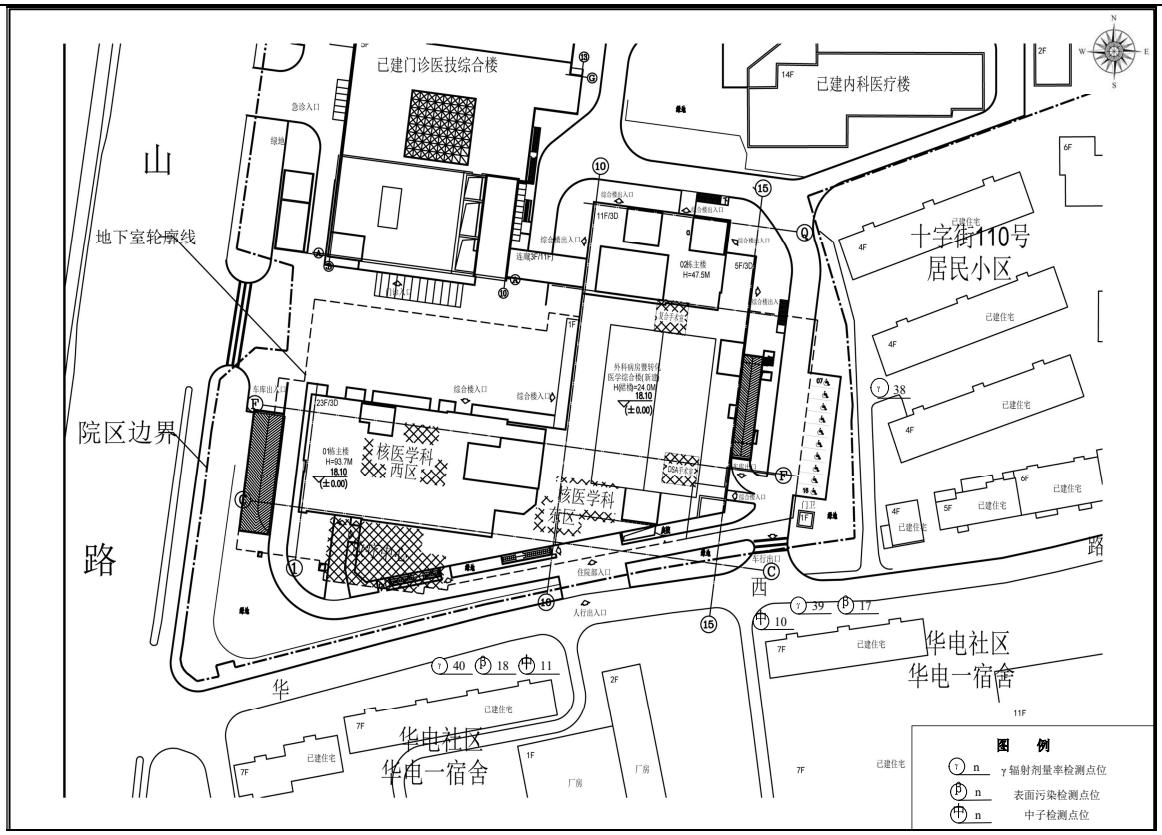


图 8-7 监测点位示意图

由表 8-1~表 8-3 监测结果可知，医院本次新建放射诊疗项目拟建址周围环境贯穿辐射剂量率在 52nGy/h～81nGy/h 之间，位于江苏省环境天然贯穿辐射水平涨落区间，属正常本底水平。医院核医学科拟建址及其周围表面 β 放射性污染测量结果为＜0.03Bq/cm^2。项目拟建位置周围中子剂量当量率在均＜0.001μSv/h，属于正常水平。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、工程设备

江苏省中医药研究院拟在外科病房暨转化医学综合楼负二层的放疗中心新建 2 座医用电子直线加速器机房，并配备 2 台医用电子直线加速器（X 线最大能量 15MV，属II类射线装置）；拟于放疗中心新建 1 座后装治疗机机房，并配备 1 台后装治疗机（内含 1 枚 ^{192}Ir 放射源，最大装源活度为 $3.70\times10^{11}Bq$，为III类放射源）用于肿瘤的放射治疗；同时，放疗中心配套建设 1 座模拟定位机机房，配备 1 台模拟定位机，属III类射线装置。拟于外科病房暨转化医学综合楼负二层核医学科东区新建 1 处乙级非密封放射性物质工作场所，使用放射性同位素 ^{99m}Tc 开展 SPECT/CT（属III类射线装置）显像诊断，使用放射性同位素 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 开展骨转移治疗项目。同时，于核医学科西区新建 1 处乙级非密封放射性物质工作场所，使用放射性同位素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展 PET/CT（属III类射线装置）显像诊断。拟于外科病房暨转化医学综合楼五层手术部新建 1 座 DSA 手术室和 1 座复合手术室，并各配备 1 台 DSA， 属II类射线装置）。

（一）放疗中心项目

1、医用电子直线加速器项目

医院拟于外科病房暨转化医学综合楼负二层放疗中心建设 2 座医用电子直线加速器机房，各配备 1 台医用电子直线加速器（型号：未定，X 射线最大能量为 15MV，电子线能量为≤20MeV），用于肿瘤的放射治疗，常见的医用电子直线加速器外观图见图 9-1。医院本次拟购置的医用电子直线加速器设备参数详见表 9-1。



图 9-1 常见医用电子直线加速器外观

表 9-1 本项目拟配备的医用电子直线加速器技术参数一览表

型号	未定
位置	放疗中心（负二层）
主要技术指标	X 射线能量（MV）：6、10、15 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	15MV 时：最大 6Gy·m^2/min 10MV 时：最大 14Gy·m^2/min
最大照射野大小	40cm×40cm
机架旋转	360°
靶材料	钨合金

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或行波加速场中加速，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。

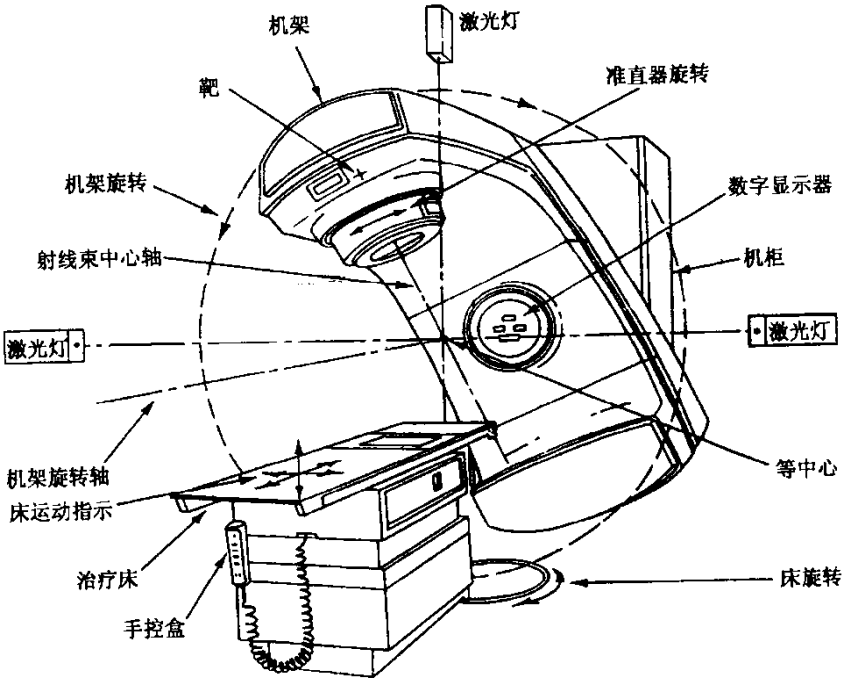


图 9-2 典型医用电子直线加速器基本结构示意图

2、后装治疗机项目

医院拟于外科病房暨转化医学综合楼负二层放疗中心新建 1 座后装机房，配备 1 台后装治疗机，内含 1 枚 ^{192}Ir 放射源，最大装源活度为 $3.70\times10^{11}Bq$，用于腔内、组织间等肿瘤的放射治疗。常见的后装治疗机外观图见图 9-3。



图 9-3 常见后装治疗机外观图

3、模拟定位机项目

医院拟于外科病房暨转化医学综合楼负二层放疗中心新建 1 座模拟定位机机房，配备 1 台模拟定位机（型号未定，管电压≤150kV，管电流≤1500mA），用于模拟定位。常见的模拟定位机外观见图 9-4。



图 9-4 常见的模拟定位机外观

模拟定位机是肿瘤放射治疗过程中用到的重要设备之一，在放射治疗中担负着模拟定位、等中心（位置）验证等重要工作，是整个放射治疗中重要的一环，实际上是一台特殊的 X 射线机。

模拟定位机的机架旋转、机头转动、限束器开闭、距离指示、照射野指示、治疗床各部分运动，都与医用电子直线加速器一样，因此它能准确地模拟医用电子直线加速器的一切机械运动。并通过模拟定位机的 X 线影像系统准确定出肿瘤的照射位置、

照射面积、肿瘤深度、等中心位置等几何参数，以及机架旋转、机头旋转角度、源瘤距、源皮距、限束器开度、升床高度等机械参数，为治疗摆位提供了有力的依据，确保放射治疗的正确实施。

本项目拟配备的模拟定位机主要技术参数见表 9-2。

表 9-2 本项目模拟定位机技术参数情况一览表

项目名称	技术参数
型号	型号未定
位置	外科病房暨转化医学综合楼负二层放疗中心模拟定位机机房
额定管电压	≤150kV
额定管电流	≤1500mA

（二）核医学科项目

医院拟于外科病房暨转化医学综合楼负二层核医学科新建 2 处非密封放射性物质工作场所，拟新建 1 座 PET/CT 机房（使用 ^{18}F 和 ^{68}Ga 核素）及 1 座 SPECT/CT 机房（使用 ^{99m}Tc 核素）开展核素显像诊断；使用放射性同位素 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 开展骨转移治疗项目。

1、PET/CT 诊断项目

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 结构示意图见图 9-5。

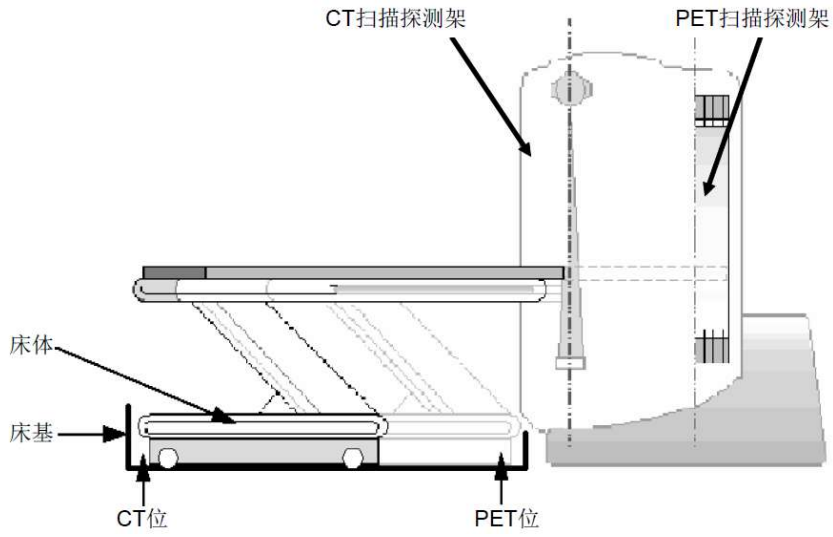


图 9-5 PET/CT 结构示意图

本项目拟新增的 1 台 PET/CT 主要设备技术参数见表 9-3。

表 9-3 核医学科 PET/CT 主要设备技术参数

项目名称	技术参数*
型号	型号未定
位置	外科病房暨转化医学综合楼负二层核医学科（西区）PET/CT 机房
额定管电压	≤140kV
额定管电流	≤1000mA
X 射线球管固有滤过	不低于 2.5mmAl
X 射线球管到等中心距离	≥60cm
泄露辐射	≤0.8mGy/h
用途	显像

注：*设备技术参数根据建设单位招标意向及主流供货商的常用参数确定，实际采购设备的源强参数不大于表列源强参数。

2、SPECT/CT 诊断项目

SPECT/CT 的基本结构分 3 部分，即旋转探头装置、电子线路、数据处理和图像重建的计算机系统。SPECT/CT 将功能显像的 SPECT 与解剖显像的 CT 图像有机融合，提高信噪比，在获取衰减校正后的核医学影像同时与同机 CT 图像融合，实现 SPECT 的高敏感性优势及 CT 的解剖准确性优势互补，既可显示病变的血液及功能改变，又可显示其解剖学影像，有效提高病灶的检出能力和定位能力，提高疾病诊断的准确率从而大大提高了诊断的效能。常见的 SPECT/CT 外观图见图 9-6。



图 9-6 常见 SPECT/CT 外观图

本项目拟新增的 1 台 SPECT/CT 主要设备技术参数见表 9-4。

表 9-4 核医学科 SPECT/CT 主要设备技术参数

项目名称	技术参数*
型号	型号未定
位置	外科病房暨转化医学综合楼负二层核医学科（东区）SPECT/CT 机房
额定管电压	≤140kV

额定管电流	≤1000mA
X 射线球管固有滤过	不低于 2.5mmAl
X 射线球管到等中心距离	≥60cm
泄露辐射	≤0.8mGy/h
用途	显像

注：*设备技术参数根据建设单位招标意向及主流供货商的常用参数确定，实际采购设备的源强参数不大于表列源强参数。

（三）介入诊断治疗项目

医院拟于外科病房暨转化医学综合楼五层手术部新建 1 座复合手术室，并配备 1 台 DSA（型号未定，管电压≤125kV，管电流≤1250mA）；新建 1 座 DSA 手术室，并配备 1 台 DSA（型号未定，管电压≤125kV，管电流≤1250mA），共计 2 台 DSA 均用于开展医学诊断及介入治疗。

DSA 因其整体结构像大写的“C”，因此也称作 C 型臂 X 光机，DSA 由 X 线发生装置（包括 X 射线球管及其附件、高压发生器、X 射线控制器等）和图像检测系统（包括光栅、影像增强管、光学系统、线束支架、检查床、输出系统等）组成。常见的 DSA 外观图见图 9-7。



图 9-7 常见 DSA 外观图

本项目拟新增的 DSA 主要设备技术参数见表 9-5，配套设备配置情况见表 9-6。

表 9-5 本项目 DSA 主要设备技术参数

指　标	技术参数*
型　号	型号未定
额定管电压	≤125kV（单管头）
额定管电流	≤1250mA
滤过	有用线束的总过滤 0.5mmCu
照射野	最小照射野：8cm×8cm；平板探测器范围：30cm×38cm

注：*设备技术参数根据建设单位招标意向及主流供货商的常用参数确定，实际采购设备的源强参数不大于表列源强参数且“总滤过条件”相应的滤过效果不低于表中的“滤过条件”。

表 9-6 本项目每台 DSA 配套设备一览表

序号	名称	数量	用途	位置
1	电源柜	1 套	DSA 配电	设备间
2	高压发生柜	1 套	DSA 高压装置	设备间
3	系统控制柜	1 套	设备控制和数据传输	设备间
4	控制系统	1 套	DSA 设备操作	控制室

二、工作原理及工作流程

（一）医用电子直线加速器项目

1、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，医用电子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。

当医用电子直线加速器加上高压后，即产生多种类型的辐射，可大致分为瞬时辐射和剩余辐射。瞬时辐射是指被加速的电子束、以及其与靶材料相互作用产生的高能 X 射线，此外，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/T 201.2-2011），当电子束打靶能量＞10MeV 时，其韧致辐射产生的高能 X 射线能量还将与直线加速器的高 Z 重金属靶材产生（γ、n）反应，产生中子。医用电子直线加速器产生的高能电子束、高能 X 射线和中子，可能会对工作人员和公众产生辐射危害。

剩余辐射是指由于中子活化使加速器及周围环境产生短寿命的感生放射性核素，包括固态感生放射性和气态感生放射性。医用电子直线加速器中产生的感生放射性从物理机制上可分为直接和间接两个过程。直接过程为韧致辐射光子与加速器部件发生的光核反应；间接过程则主要为光核反应所释放的光中子与加速器部件发生的中子俘获反应，即中子活化。由中子活化产生的放射性核素大多为丰中子核素，其衰变方式多为 β^-衰变。一般停机数小时后，感生放射性即可达到可忽略的水平。医用电子直线

加速器系统示意图见图 9-8。

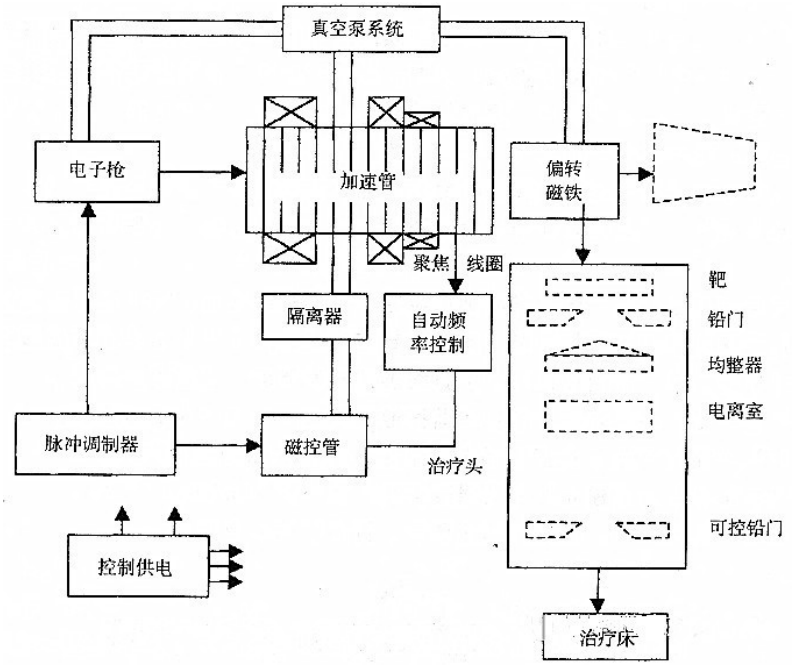


图 9-8 医用电子直线加速器系统示意图

2、工作流程

（1）进行定位：先通过模拟定位机（属III类射线装置）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）放疗医师根据医学影像临床诊断资料，提出放射治疗方案和精确治疗计划；

（3）放射治疗计划完成，并经放疗医师确认后，放疗技师领患者进入治疗室，对患者进行摆位；

（4）技师确认治疗室内无其他人员滞留，确认各类按钮工作正常后，关闭防护门；

（5）技师在控制室内设置参数，按照医疗方案调整好出束时间、角度、剂量，然后进行出束治疗。治疗过程，会产生 X 射线、电子线、中子、感生放射性，治疗室内的空气会电离产生臭氧和氮氧化物；

（6）治疗结束后，停止出束，解除定位，关闭系统，患者离开治疗室。医用电子直线加速器放疗流程及产污环节如图 9-9 所示。

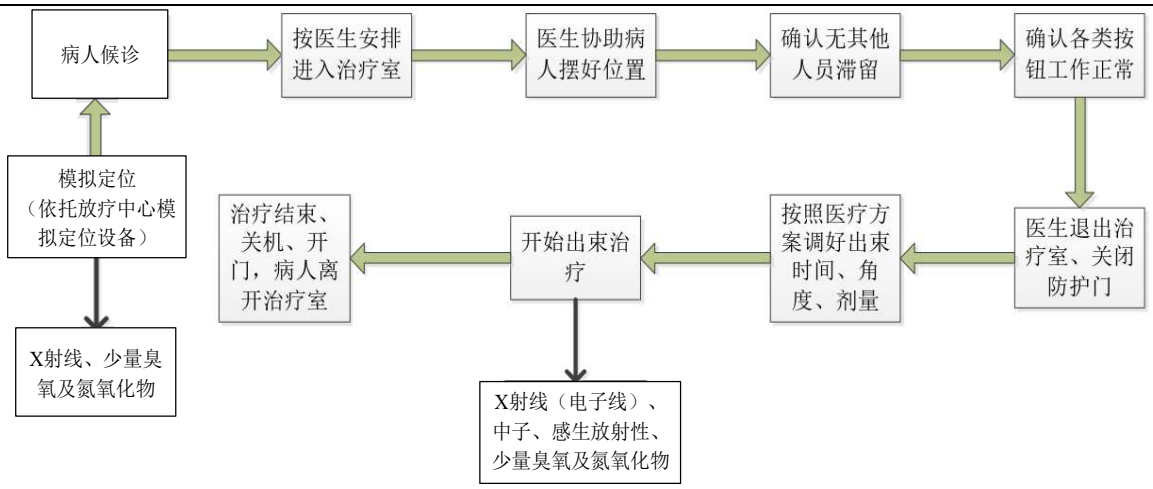


图 9-9 医用电子直线加速器放疗流程及产污环节示意图

（二）后装治疗机项目

1、工作原理

后装治疗是放射治疗的一种方法，所谓后装就是预先在患者需要治疗的部位正确地放置施源器，然后采用自动或手动控制，将贮源器内放射源输入施源器内实施治疗的技术。后装治疗属近距离放疗，治疗时依照临床要求，使γ放射源在人体自然腔、管道或组织间驻留而达到预定的剂量及其分布的治疗手段，后装治疗具有治疗距离短、局部剂量高、周边剂量迅速跌落的特点，主要治疗不同部位的肿瘤以及手术难以切净，而周围又有重要脏器限制外照射剂量的患者，如胰腺、胆管、膀胱癌、直肠癌及头颈部恶性肿瘤等。

2、工作流程及产污环节

后装治疗机治疗流程为：

①病人经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者与放疗科预约登记，以确定模拟定位和治疗时间。

②预约病人首先通过模拟定位机等设备上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状，确定治疗中心。定位操作过程类似于 X 射线影像诊断，工作人员隔室操作。

③确定肿瘤位置和形状后，物理人员根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划，该过程通常在电脑上完成。

④治疗计划制定后，肿瘤病人在技术人员协助下，依据计划在治疗床上进行连接施源器，该过程在治疗机房内完成。

⑤安装施源器后，技术人员进入操作室，确定所有安全措施到位后，启动治疗机进行照射。

⑥照射完毕后，放射源返回后装治疗机贮源装置，技术人员协助病人离开机房，为下次照射做准备。

本项目后装治疗机贮源装置安装在机房内，驱动装置安装在控制室内，在对病人进行治疗时由辐射工作人员在控制室隔室遥控操作进行。

本项目后装治疗机治疗流程及产污环节见图 9-10。

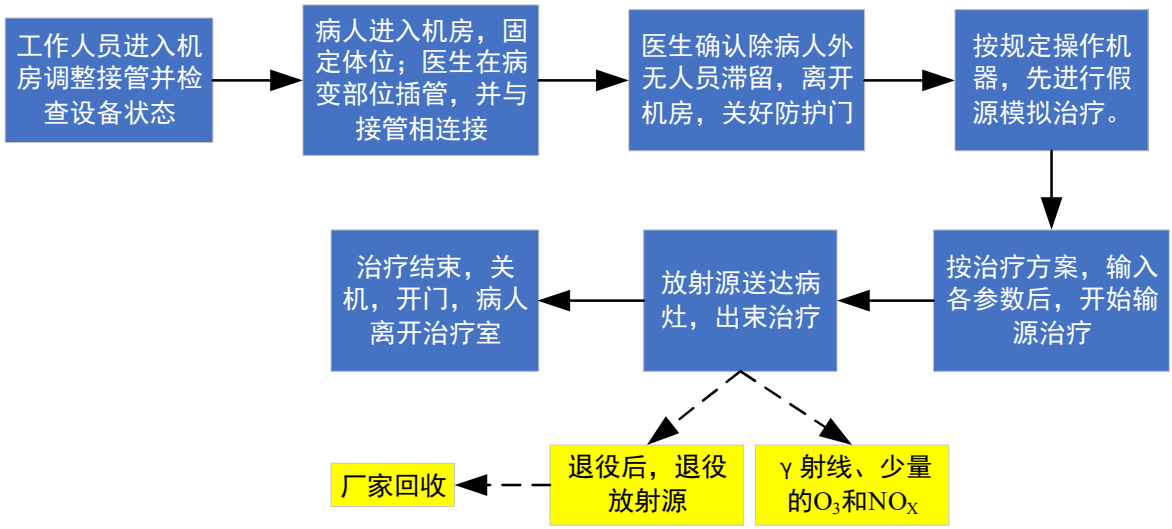


图 9-10 后装治疗机工作流程及产污环节示意图

（三）模拟定位机项目

1、工作原理

模拟定位机是肿瘤放射治疗过程中用到的重要设备之一，在放射治疗中担负着模拟定位、等中心（位置）验证等重要工作，是整个放射治疗中重要的一环，实际上是一台特殊的 X 射线机。

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

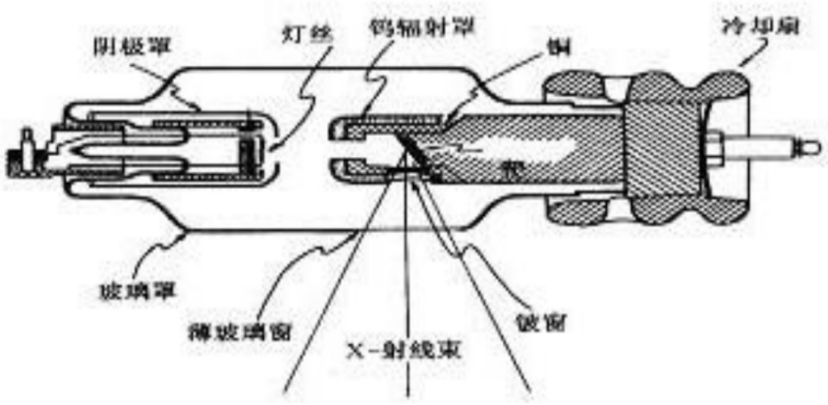


图 9-11 X 射线管基本结构示意图

模拟定位机的机架旋转、机头转动、限束器开闭、距离指示、照射野指示、治疗床各部分运动，都与放射治疗机一样，因此它能准确地模拟放射治疗机的一切机械运动。并通过模拟定位机的 X 线影像系统准确定出肿瘤的照射位置、照射面积、肿瘤深度、等中心位置等几何参数，以及机架旋转、机头旋转角度、源瘤距、源皮距、限束器开度、升床高度等机械参数，为治疗摆位提供了有力的依据，确保放射治疗的正确实施。

2、工作流程

患者经医生诊断后，预约登记诊断时间。受检者按约定时间在候诊区准备和等候。受检者进入机房在医务人员的指导下正确摆位。摆位完成后，除患者外，无关人员退出机房。工作人员检查无误后，即开启模拟定位机进行拍片/模拟定位。检查结束后，受检者离开机房。

模拟定位机诊断流程及产污环节见图 9-12。

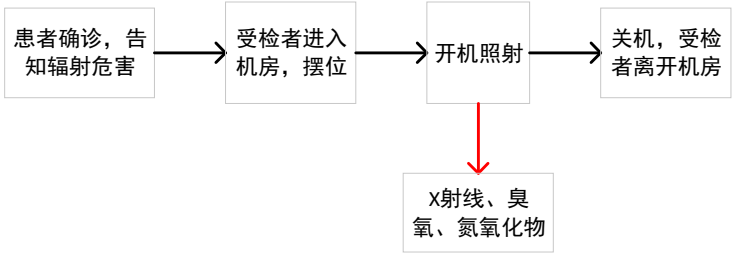


图 9-12 模拟定位机工作流程及产污环节示意图

（四）核医学科项目

1、放射性同位素 ^{99m}Tc 开展 SPECT/CT 显像诊断项目

（1）工作原理

SPECT/CT 即单光子发射计算机断层扫描。它将发射单光子的核素药物如 ^{99m}Tc 引入生物体，其经代谢后在脏器内外或病变部位和正常组织之间形成放射性浓度差异，

这些差异通过计算机处理成 ECT 图像，为肿瘤的诊治提供多方位信息。γ 照相机探头的每个灵敏点探测沿一条投影线（Ray）进来的 γ 光子，其测量值代表人体在该投影线上的放射性之和。在同一条直线上的灵敏点可探测人体一个断层上的放射性药物，它们的输出称作该断层的一维投影（Projection）。各条投影线都垂直于探测器并互相平行，称之为平行束，探测器的法线与 X 轴的交角 θ 称为观测角（View）。γ 照相机是二维探测器，安装了平行孔准直器后，可以同时获取多个断层的平行束投影，这就是平片。平片表现不出投影线上各点的前后关系。要想知道生物体在纵深方向上的结构，就需要从不同角度进行观测。可以证明，知道了某个断层在所有观测角的一维投影，就能计算出该断层的图像。从投影求解断层图像的过程称作重建（Reconstruction）。这种断层成像术离不开计算机，所以称作计算机断层成像术（Computered Tomography，CT）。CT 设备的主要功能是获取投影数据和重建断层图像。

SPECT/CT 是将 SPECT 和 CT 这两种设备安装在同一个机架上，两种显像技术的定位坐标系统相互校准，在两次扫描期间患者处于同一个检查床上且保持体位不变，可防止因患者移位产生的误差，在一定程度上也解决了时间配准的问题。通过 SPECT/CT 图像融合技术，可以将 SPECT 灵敏反映体内组织器官生理、生化和功能的变化与 CT 提供的精确的解剖结构信息相结合，真正实现了功能、代谢、生化影像与解剖结构影像的实时融合，为临床提供了更加全面、客观、准确的诊断依据。不仅如此，CT 提供的图像数据还可用于 SPECT 的衰减校正，有效提高 SPECT 的图像质量。

本项目 SPECT/CT 主要使用含放射性同位素 ^{99m}Tc 的药物进行显像。^{99m}Tc 为纯 γ 光子发射体，几乎可用于人体各重要脏器的形态和功能显像，是显像检查中最常用的放射性核素。目前全世界应用的显像药物中，^{99m}Tc 及其标记的化合物占 80%以上，广泛用于心、脑、肾、骨、肺等多种脏器疾患的显像检查。

（2）工作流程

医院核医学科 SPECT 诊断项目使用的 ^{99m}Tc 放射性药物购自专业供货商，其操作流程如下：医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向专业供应商订购，供应商根据医院预约的时间和用量定时将药物送达核医学科分装室，医院指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到分装标记室专用手套箱内，当天用完。^{99m}Tc 到货时为装入铅罐内的整罐药液，需要由医护人员按患者所需活度进行分装。

少量患者需提前在运动负荷室运动，待患者心律达到一定速率后再至注射室窗口

前注射药物。医护人员在手套箱内根据患者用药情况将药物分装至带铅套的注射器内，测定活度，经校对无误后，在注射铅玻璃屏的屏蔽下为患者注射。注射完毕后，废弃注射器放入专用废物铅桶内。每次分装过程中近距离接触 ^{99m}Tc 药物的时间保守按 2min、注射过程按 1min 估算，医院拟为核医学科 SPECT 诊断项目配备 2 名护士，负责核素分装及注射。

患者根据注入的 ^{99m}Tc 药物特性，在给药后候诊室内静坐约 20~30min，待药物代谢至靶器官，进入 SPECT/CT 机房，经医护人员摆位（每次约 1min）后，接受 SPECT/CT 的扫描，每次扫描约 10~20 分钟。扫描完成后，患者在留观室留观一段时间后，若无其他情况，从患者专用通道离开。核医学科 SPECT 诊断项目工作流程及产污环节分析见图 9-13。

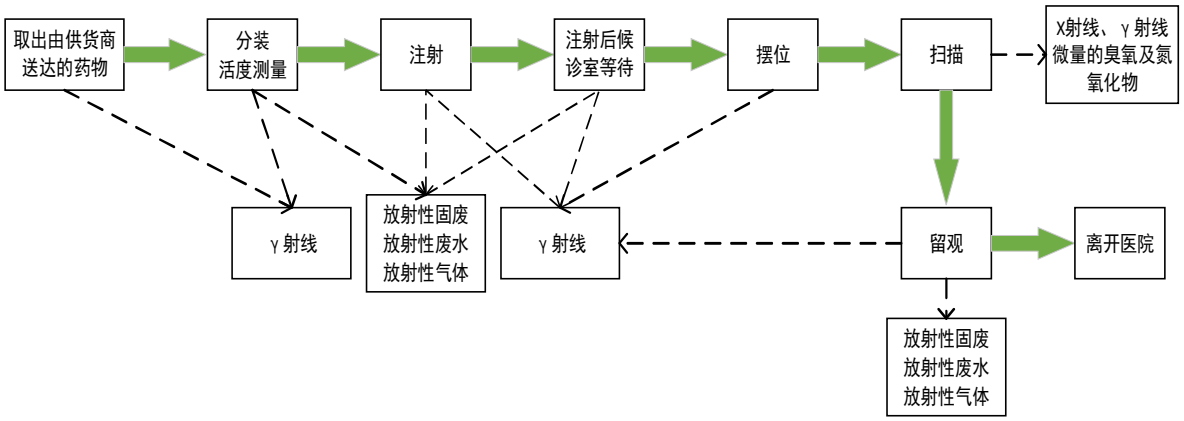


图 9-13 核医学科 SPECT 诊断项目工作流程及产污环节分析示意图

2、^{89}Sr 和 ^{153}Sm 治疗骨转移项目

（1）工作原理

常见的恶性肿瘤中乳腺癌、肺癌和前列腺癌等常发生骨转移。它们发生骨转移时，肿瘤细胞释放破骨细胞激活因子，后者刺激破骨细胞对骨质的吸收，导致骨溶解破坏的发生。同时，肿瘤细胞能分泌一些致病介质，如前列腺素、乳酸等，导致顽固性疼痛。

目前骨转移癌引起的疼痛一般利用放射性药物治疗，如 $^{89}SrCl_2$ 注射液。^{89}Sr 和 ^{153}Sm 是一种亲骨性放射性核素，进入体内后同钙一样参加骨矿物质的代谢过程，静脉给药后，恶性肿瘤骨转移病灶内的摄取率大于正常骨组织的 2~25 倍，并滞留在癌灶中，发射出 β 射线，利用其辐射效应杀伤癌细胞，缩小病灶，起到良好的镇痛作用。

（2）工艺流程及产污环节

医院根据与病人预约情况提前向药物供货商订 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 注射液，由药物供货

商负责将药物运输至给药室内，患者先在护士站登记并提前如厕，然后医生通知患者到达给药室注射窗口，按配送的药物直接给每个病人注射，不用稀释分装。^{89}Sr 和 ^{153}Sm 注射液按需订购暂存手套箱中。

该院预计使用 ^{89}Sr 病例每天最多 2 例，预计每名患者所使用 ^{89}Sr 的活度不超过 $1.48\times10^{8}Bq$（4mCi），患者用药后进行一定时间的观察，如无异常情况，患者随即就可以离开医院。该院预计使用 ^{153}Sm 病例每天最多 2 例，预计每名患者所使用 ^{153}Sm 的活度不超过 $1.48\times10^{9}Bq$（40mCi），患者用药后进行一定时间的观察，如无异常情况，患者随即就可以离开医院。^{89}Sr 和 ^{153}Sm 治疗流程及产污环节见图 9-14。

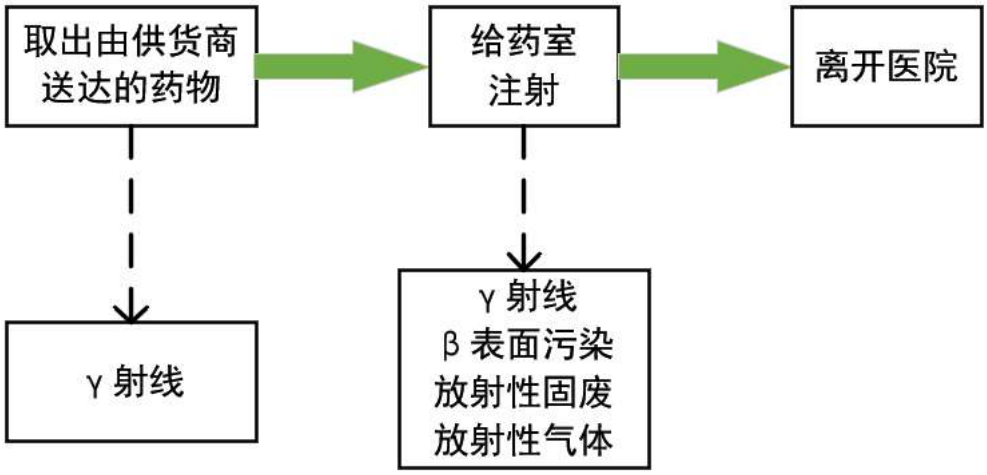


图 9-14 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 治疗骨转移项目工作流程及产污环节分析示意图

3、放射性同位素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展 PET/CT 显像检查项目

（1）PET/CT 的工作原理

核医学的体内诊断是将放射性核素及其标记物注射到人体内后，由于机体功能和代谢变化，因而可以通过放射性核素及其标记物在体内分布和代谢来反映人体内的病理或生理变化。放射性核素进入人体后，特定的放射性核素按照自身的规律发生衰变，在此过程中发射一定能量的γ 射线，采用特殊的探测装置可以在人体外探测到体内放射性核素的分布，就能准确的观察到体内的病理或生理变化过程，为医学研究与临床诊断提供可靠信息。

PET 的成像技术是利用带正电子的放射性核素注入人体内产生的湮没辐射 γ 光子构成影像。正电子只能瞬态存在，很快与组织中的负电子结合湮没辐射产生两个能量相等、方向相反的γ 光子。正电子放射性核素可构成人体各部位的任何影像，包括平面影像、动态影像、断层影像及全身影像。湮没辐射产生的γ 光子互成 180°，提供了很好的空间定位。正电子成像一般不需要机械准直器而采用电子准直，大大提高

了探测灵敏度，改善了空间分辨率。正电子断层显像主要用于心血管疾病、脑及神经疾病和肿瘤的诊断，对肿瘤的良、恶性鉴别诊断、分期、化疗和放疗后疗效观察及判断肿瘤病灶转移与复发均有重要价值。近年来，为获得清晰的成像，又发展了与 X 射线 CT 融合的 PET/CT、PET/MR 等设备。常见的 PET/CT 外观图见图 9-15。



图 9-15 常见的 PET/CT 外观图

本项目 PET/CT 拟使用放射性同位素 ^{18}F 和 ^{68}Ga，配合新增的 PET/CT 进行诊断治疗。

当某种放射性核素或其标记物（^{18}F 和 ^{68}Ga）通过注射等方式进入体内后，依其化学及生物学特性不同，随血流等进入某些特定的组织器官，参与或模仿某些生命物质在人体内的病理生理、引流代谢的过程。由于正常组织和病变组织在这个过程中的差异，使其聚集这种放射性核素或其标记物的能力发生了变化。利用 PET 来探测这种放射性核素发射的γ射线在体内的分布状态并还原成图像，其影像不仅可以显示脏器和病变的位置、形态、大小等解剖结构，更重要的是可以显示脏器的功能、代谢情况，提供有关脏器的血流、功能、代谢和引流等方面定性的和定量的信息。而血流、功能和代谢的异常，常是疾病的早期变化，出现在形态结构发生改变之前。因此，PET 放射性核素显像有助于疾病的早期诊断。

（2）锗镓发生器淋洗工作原理

本项目显像诊断使用的 ^{68}Ga 由锗镓发生器淋洗而成，该发生器属于裂变色层发生器，基本部件是钼酸锆柱/活化氧化铝柱、淋洗系统和用于保护工作人员的辐射屏蔽套。^{68}Ga 由活化氧化铝柱内 ^{68}Ge 不断裂变产生，并被活化氧化铝柱吸附，当加入适当的淋

洗剂时，^{68}Ga 便以 $^{68}GaO^{4-}$的形式被淋洗出来，整个过程称为“挤奶”。为了使用方便，一套发生器除基本部件外，常附加子体核素溶液接收瓶（即负压瓶）和一定量的淋洗剂（生理盐水）。由于母体核素的不断衰变就不断地产生子体核素，因而核素发生器可以反复淋洗制得子体核素。

（3）^{68}Ga 制备工作流程

本项目放射性同位素 ^{68}Ga 由工作人员通过发生器自行进行制备，其制备、注射和显像流程如下：

A：将生理盐水瓶插入发生器的双针，一分钟后整体拔下外有防护罐的负压瓶，即制得淋洗液，制得的淋洗液贮存于外有防护罐的负压瓶之中。通常整个淋洗过程约需两分钟。

B：测量活度：测量活度在手套箱内进行，由负责注射的工作人员完成，手套箱内配置有用于活度测量的活度计，工作人员用注射器吸取少量淋洗液，测量其放射性活度，得出该瓶淋洗液的比活度，同时可测量淋洗液的纯度。

C：标记：标记 ^{68}Ga 在手套箱内进行，工作人员同测量活度的人员为同一人，用于标记的冻干药盒在标记操作前经完整性检查后传递至手套箱内。用注射器将已测量好活度的淋洗液迅速转移至冻干药盒，并充分摇匀，稀释到预设体积。

D：给药试验、测定：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，病人注射完药物后进入注射后候诊室内观察等待，等待结束后注射病人进入 PET/CT 机房进行显像诊断，诊断结束后病人进入留观室休息一定时间后可直接离开。

（4）PET/CT 诊断工作流程、产污环节及污染因子

PET/CT 诊断具体工作流程如下：

1）接收患者，开具 PET 诊断单并告知患者诊断过程存在辐射危害；

2）医生根据病情确定使用核素的类别和剂量；

3）病人通过注射将放射性药物摄入。在药品摄入过程中存在 γ 射线污染，同时会产生放射性废水、固废(注射器、棉球、药品盒)；

4）病人注射药品后通过仪器进行器官显像和病情检查。此过程病人带有 γ 射线。

PET/CT 系统诊断工艺流程及产污位置图如图 9-16 所示。

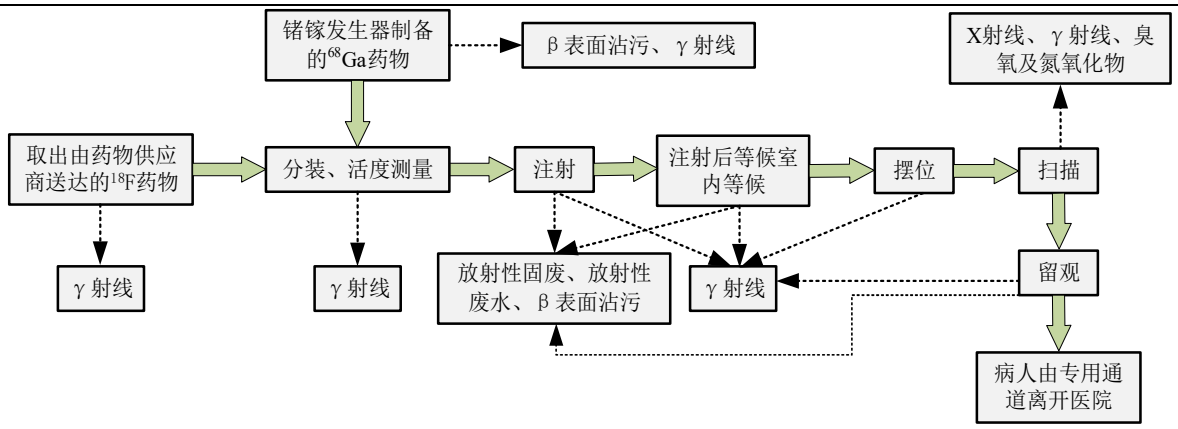


图 9-16 本项目核医学诊断流程及产污环节示意图

因此，用 ^{18}F 等核素标记 PET 显像主要环境影响为分装、注射对工作人员产生的外照射；分装、注射过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程产生的放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头、可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水、注射放射性药物患者的排泄物，PET/CT 扫描时产生的 X 射线。

（五）介入诊断治疗项目

1、工作原理

数字减影血管造影技术是常规血管造影术和电子计算机图像处理技术相结合的产物。DSA 的成像基本原理为：将受检部位没有注入造影剂和注入造影剂后的血管造影 X 射线荧光图像，分别经影像增强器增益后，再用高分辨率的电视摄像管扫描，将图像分割成许多的小方格，做成矩阵化，形成由小方格中的像素所组成的视频图像，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像并分别存储起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得的不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换成普通的模拟信号，获得了去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。通过 DSA 处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。DSA 系统结构图见图 9-17。

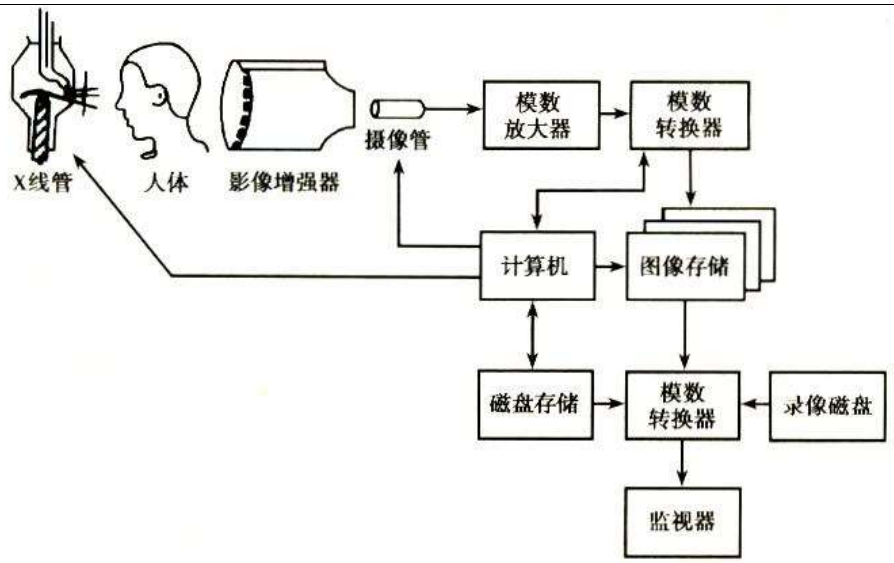


图 9-17　DSA 系统结构图

DSA 是引导介入放射治疗的重要医学影像设备，通过置入体内的各种导管（约1.5-2 毫米粗）的体外操作和独特的处理方法，对体内病变进行治疗。介入治疗具有不开刀、创伤小、恢复快、效果好的特点，目前，基于数字血管造影系统指导的介入治疗医生已能把导管或其他器械，介入到人体几乎所有的血管分支和其他管腔结构（消化道、胆道、气管、鼻管、心脏等），以及某些特定部位，对许多疾病实施局限性治疗。

2、工作流程

患者在进行 DSA 诊断和在 DSA 引导下进行介入治疗时，先仰卧进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺动脉，送入引导钢丝及扩张血管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达静脉，顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。本项目 DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况：血管减影检查。操作人员采取隔室操作的方式（即操作医师在控制室内对患者进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内患者情况，并通过对讲系统与患者交流。

第二种情况：引导介入治疗。患者需要进行介入手术治疗时，为更清楚的了解患者情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在机房内对患者进行直接的介入手术操作。

本项目采用先进的数字显影技术，电脑成像，不使用显（定）影液，不产生废显影液、废定影液和废胶片。注入的造影剂不含放射性。设备运行过程中产生的污染物

主要为 X 射线、少量臭氧和氮氧化物以及手术过程中产生的医疗废物。DSA 项目工作流程及产污环节如图 9-18。

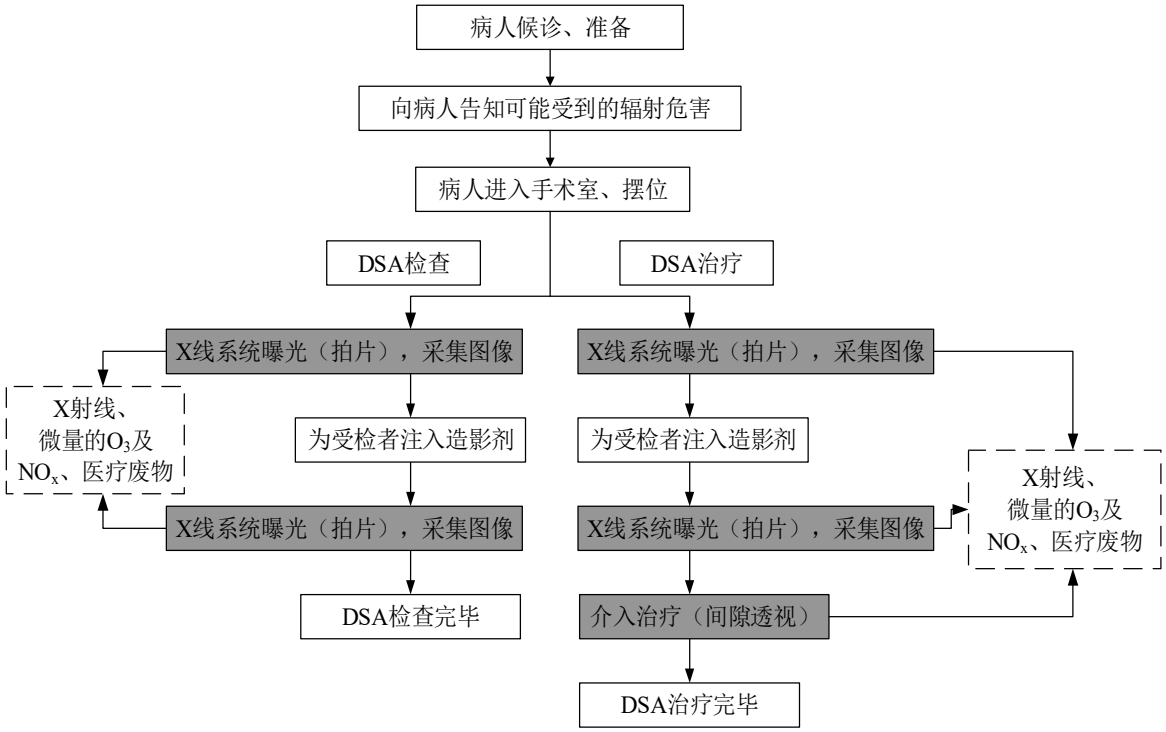


图 9-18 DSA 项目工作流程及产污环节示意图

三、核医学科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位于外科病房暨转化医学综合楼负二层，结合本项目的工艺流程，本次新建的核医学科项目人流、物流路径规划具体如下：

（一）核医学科东区

1、工作人员路径：

工作场所的医护人员由南侧的医护通道经卫生通过间进入给药室或注射室，在手套箱内完成分装活度测量等操作，最后在注射窗口或给药室给患者施药。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，给药室和注射室内产生的固体废弃物暂存于废物桶内，随后转移至核医学科的废物间内；技师通过医生通道向东进入 SPECT/CT 控制室。

2、患者路径：

（1）显像患者路径

患者按预约日期首先到负二层预约室，随后在预约室登记并安置留置针，登记后的患者通过西侧缓冲间经带有门禁装置的防护门进入诊断区域，首先到达注射室，在注射室窗口注射放射性药物后，在候诊区休息等待，一般等待大约 10～20min，再进

入 SPECT/CT 机房进行显像检查，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有缓冲间，防护门设置为单向门禁，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。

（2）治疗患者路径

患者按预约日期首先到负二层预约室，随后在预约室登记，登记后的患者通过西侧缓冲间经带有门禁装置的防护门进入诊断区域，首先到达给药室，在给药室窗口注射放射性药物后，无异常直接原路返回，不得进入诊断区域，也不在诊断区域如厕。

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卫生通过间将药物暂存于注射室内的手套箱内。

4、放射性废物运送路径：

本项目产生的放射性废物会先暂存在注射室或给药室的铅废物桶内，随后转移至工作场所的放射性废物间内暂存，暂存至规定时间后再转移至医院的医疗废物暂存间。

（二）核医学科西区

1、工作人员路径：

工作场所的医护人员由医护通道经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，随后转移至核医学科的废物间内；技师通过医生通道进入控制室。

2、患者路径：

患者按预约日期首先到负二层预约室，随后在预约室登记并安置留置针，登记后的患者通过东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，在候诊区休息等待，一般等待大约 10～20min，再进入 PET/CT 机房进行显像检查，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卫生通过间将药物暂存于注射室的通风橱内。

4、放射性废物运送路径：

本项目产生的放射性废物会先暂存在注射室的铅废物桶内，随后转移至工作场所西侧的废物间内暂存，暂存规定期限后统一转移至医院的医疗废物间并交有资质单位处置。

本次新建的工作场所病人、医护人员等流动路线见图 9-19，图 9-20。

本次新建非密封放射性物质工作场所项目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；医护人员与病患有各自独立的通道，本次丙级和乙级非密封放射性物质工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中关于核医学工作场所的要求。

图 9-19 本项目核医学科东区人流及物流路径示意图

图 9-20 本项目核医学科西区人流及物流路径示意图

污染源项描述

一、医用电子直线加速器项目

（一）放射性污染

1、X 射线外照射

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，产生 X 射线。发射出来的 X 射线主要用于治疗，治疗剂量与剂量率的大小、加速器电子能量、受照射的靶体材料、电子束流强度、电子入射方向、考察点到源的距离等因素有关。

该院拟新增的 2 台医用电子直线加速器 X 射线最大能量为 15MV，15MV 时，1m 处 X 射线最高输出剂量率为 6Gy/min，10MV 时，1m 处 X 射线最高输出剂量率为 14Gy/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。

本项目医用电子直线加速器机房位于外科病房暨转化医学综合楼负二层，不存在天空反射和侧散射。

2、电子束

当医用电子直线加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗患者。产生的电子属初级辐射，贯穿物质时受物质库仑场的影响，贯穿深度有限。

该院拟新增的 2 台医用直线加速器电子线最大能量为 20MeV，1m 处电子线最高输出剂量率为 10Gy/min。医用电子直线加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在医用电子直线加速器电子束治疗时间时，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗，可忽略对外环境的影响。

3、中子

当医用电子直线加速器的 X 射线能量大于 10MV 时，光子与医用电子直线加速器的靶、准直器、均整器及电子束和光子束通道上的其他物质相互作用发生光核反应所产生的中子。包括直接光中子以及直接光中子与加速器厅壁作用发生弹性散射和非弹性散射后产生的散射中子。

中子的辐射生物效应远高于 X、γ 射线，因此在高能医用电子直线加速器的防护设计中需要考虑中子的防护。一般情况下，治疗室墙体、天花板的屏蔽厚度满足了对 X 射线的防护要求时也能够满足对污染中子的防护要求，但要特别注意散射中子的防护，散射中子的影响主要考虑对防护门的影响。

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；工作人员工作中会产生少量的生活垃圾和办公垃圾。

加速器靶物质（件）以及机头等金属部件由于受电子的轰击会产生较强的感生放射性，机器退役（约使用 10 年）后更换下来的废靶件等应作为放射性废物处理。

5、感生放射性

当入射电子加速电压大于 10MV，它发射的强电离辐射照射在加速器设备的结构材料，治疗室内的各种设备、器械，治疗室的墙壁等物质上时，都可能使它们活化而产生感生放射性。感生放射性主要包括加速器结构材料的感生放射性、空气活化产生的放射性气体和冷却水的感生放射性。感生放射性的剂量水平与加速器加速电子的能量、束流、靶体物质、照射时间等因素有关。它不与加速器辐射的发射同步。

加速器设备（特别是加速器管）材料中主要元素铝、不锈钢和铜，它们由于（n，r）反应生成的子体核素寿命很短，在加速器刚停机的时候影响最大。加速器机房内空气活化产生的放射性核素，主要有 ^{11}C、^{15}O、^{16}N、^{41}Ar，半衰期较小，范围从 7.3 秒至 1.83 小时，长半衰期的核素产生率很低，这些放射性气体在空气中存在时间较短。冷却水中被活化而形成的放射性核素主要是 ^{15}O 和 ^{16}N，它们的半衰期为 2.1min 和 7.3s，所以正常运行时被活化的水对人体的危害是不重要的，但在停机后立即检修水系统时，活化的放射性核素可能对人体造成危害。

因此，本项目医用电子直线加速器开机期间，产生的 X 射线和中子为主要辐射环境污染因素。

（二）非放射性污染

1、废气：医用电子直线加速器在工作状态时，会使治疗室内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过通风系统排出治疗室，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

2、废水：主要是工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标

后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

3、固体废物：主要是工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

二、后装治疗机项目

（一）放射性污染

后装治疗机未使用时，放射源处于屏蔽位，少量的γ射线会穿透屏蔽体，对进入治疗机房治疗室的人员及室外公众等产生照射。

后装机在治疗过程中，机房治疗室内来自放射源的直射、散射和漏射γ射线会穿透屏蔽墙及防护门，对治疗机房治疗室外的工作人员和公众产生外照射影响。

^{192}Ir 放射源使用到一定年限后产生退役的放射源，可能会对周围环境产生一定的危害。

本项目后装治疗机内配备有一枚 ^{192}Ir 放射源，最大装源活度为 3.70×10^{11}Bq，^{192}Ir 放射源特性见表 9-7，衰变纲图见图 9-21。

表 9-7 ^{192}Ir 放射性核素特性

核素名称	半衰期	衰变类型及分支比（%）	主要α、β辐射能量（keV）与绝对强度（%）	主要γ、X 射线能量（keV）与绝对强度（%）	空气比释动能率常数（$Gy\cdot m^2\cdot Bq^{-1}\cdot h^{-1}$）
^{192}Ir	74.02d	β^-（95.13） ε（4.87）	538.3（41.43） 675.1（48.0） 258.7（5.6）	316.5（82.75） 468.1（47.81） 308.5（29.68） 296.0（28.72） 604.4（8.2）	1.11×10^{-13}

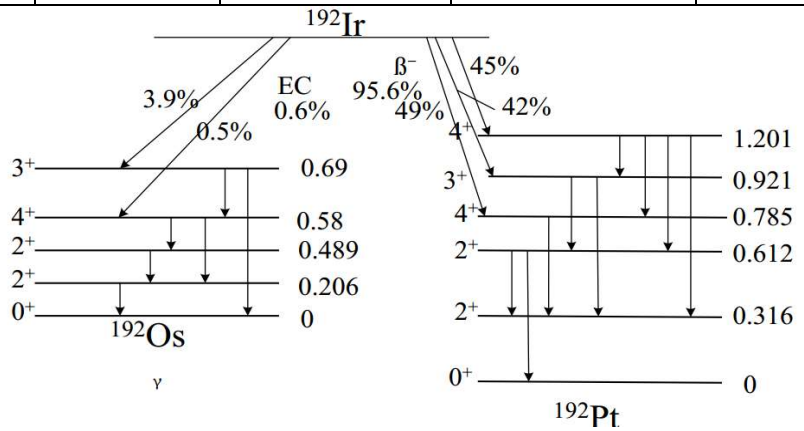


图 9-21 ^{192}Ir 衰变纲图

（二）非放射性污染

1、废气：后装机治疗过程中发射的γ射线，会使治疗机房治疗室内的空气产生电离，产生臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过排风管排出治疗室，臭氧在空

气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

2、废水：主要是工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

3、固体废物：主要是工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

三、模拟定位机项目

（一）放射性污染

本项目模拟定位机采用先进的数字成像技术，不使用显影液、定影液和胶片，因此不会产生废显影液、废定影液和废胶片。

模拟定位机在工作状态下会发出 X 射线，拟配置的 1 台模拟定位机最大管电压≤150kV、最大管电流≤1500mA，产生的 X 射线会对患者和医务人员有一定的附加辐射剂量。

（二）非放射性污染

1、废气：模拟定位机在工作状态时，会使机房内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过通风系统排至室外，臭氧在空气中可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

2、废水：主要是工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

3、固体废物：工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

四、核医学科项目

江苏省中医药研究院拟于外科病房暨转化医学综合楼负二层核医学科东区新建 1 处乙级非密封放射性物质工作场所，使用放射性同位素 ^{99m}Tc 开展 SPECT/CT（属III类射线装置）显像诊断，使用放射性同位素 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 开展骨转移治疗项目；同时，于核医学科西区新建 1 处乙级非密封放射性物质工作场所，使用放射性同位素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展 PET/CT（属III类射线装置）显像诊断。本次拟新增辐射项目见表 9-8。

表 9-8 江苏省中医药研究院核医学科项目情况一览表

非密封放射性物质

序号	核素	单个病人最大用量（mCi/人•次）	日最大病人量（人）	日最大操作量（Bq）	年工作天数	年最大病人量（人）	年总用量（Bq）
1	^{99m}Tc	20	30	2.22×10^{10}	250d	7500	5.55×10^{12}
2	^{89}Sr	4	2 人/周	2.96×10^{8}	50 周	100	1.48×10^{10}
3	^{153}Sm	40	2 人/周	2.96×10^{9}	50 周	100	1.48×10^{11}
4	^{18}F	10	15	5.55×10^{9}	250d	3750	1.39×10^{12}
5	^{68}Ga	10	5	1.85×10^{9}	250d	1250	4.62×10^{11}
6	^{68}Ga-^{68}Ge	生产制备 ^{68}Ga					1.85×10^{9}

表 9-8 江苏省中医药研究院核医学科项目情况一览表（续表）

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	≤1000mA	III	使用	拟购
2	SPECT/CT	未定	≤140kV	≤1000mA	III	使用	拟购

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。

根据医院本次新建的工作场所平面布局及周边环境可知，江苏省中医药研究院本次新建的两处核医学工作场所均符合以上三个条件。因此，江苏省中医药研究院本次新建项目应作为两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。

根据医院提供的预估工况分别核算其放射性核素日最大操作量和年总用量。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）附录 A 表 A.1 及表 A.2，得到该核素的毒性组别及操作方式，根据核素的日最大操作量，经过毒性组别及操作方式的双重修正，得到整个非密封放射性物质工作场所的日等效操作量，并判断其工作场所等级。

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别

修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 9-9 和表 9-10。

表 9-9 核医学常用放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	常用核素名称	毒性组别修正因子
高毒	^{90}Sr	1
中毒	^{22}Na、^{32}P、^{63}Ni、^{67}Ga、^{89}Sr、^{90}Y、^{99}Mo、^{111}In、^{125}I、^{131}I、^{153}Sm	0.1
低毒	^{3}H、^{11}C、^{11}CO、$^{11}CO_2$、^{14}CO、$^{14}CO_2$、^{18}F、^{51}Cr、^{99m}Tc、^{111m}In、^{123}I、^{127}Xe、^{133}Xe、^{201}Tl	0.01

表 9-10 核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子

活动类型	核素及状态	操作方式界定	操作方式修正因子
发生器淋洗	母体（液态）	贮存	100
	子体（液态）	简单操作	1
医疗机构使用	^{18}F、^{99m}Tc（液态）	很简单操作	10
	^{125}I 籽源（固态）	很简单操作	100
放射性药品生产	分装、标记（液体）	简单操作	1
	分装、标记（固体）	简单操作	10
核素治疗	^{131}I（液态）	简单操作	1

江苏省中医药研究院本次新建核医学科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 9-8，其日等效最大操作量核算见表 9-11，表 9-12。

表 9-11 本项目使用的放射性核素日等效最大操作量核算（核医学科东区）

核素	日最大操作量（Bq）	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量（Bq）	工作场所
^{99m}Tc	2.22×10^{10}	低毒 0.01	液态、很简单操作 10	2.22×10^{7}	核医学科东区
^{89}Sr	2.96×10^{8}	中毒 0.1	液态、简单操作 1	2.96×10^{7}	
^{153}Sm	2.96×10^{9}	中毒 0.1	液态、简单操作 1	2.96×10^{8}	
合计				**3.48×10^{8}Bq**	

表 9-12 本项目使用的放射性核素日等效最大操作量核算（核医学科西区）

核素	日最大操作量（Bq）	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量（Bq）	工作场所
^{18}F	5.55×10^{9}	低毒 0.01	液态、很简单操作 10	5.55×10^{6}	核医学科西区
^{68}Ga	1.85×10^{9}	低毒 0.01	液态、简单操作 1	1.85×10^{7}	
^{68}Ga-^{68}Ge	1.85×10^{9}	中毒 0.1	液态、贮存 100	1.85×10^{6}	
合计				**2.59×10^{7}Bq**	

根据表 9-11 和表 9-12 的计算结果可知医院本次新建的核医学科东区工作场所日等效最大操作量为 3.48×10^{8}Bq，属于（2×10^{7}~4×10^{9}）Bq 的范围，确定医院本次新建的核医学科东区为乙级非密封放射性物质工作场所，本次新建的核医学科西区工作场所日等效最大操作量为 2.59×10^{7}Bq，属于（2×10^{7}~4×10^{9}）Bq 的范围，确定医院本次

新建的核医学科西区为乙级非密封放射性物质工作场所。

江苏省中医药研究院本次新建的2处非密封放射性物质工作场所主要产生以下放射性污染：

1、电离辐射

医院拟在PET/CT机房内新增使用1台PET/CT（最大管电压140kV、最大管电流1000mA），拟SPECT/CT机房内新增使用1台SPECT/CT（最大管电压140kV、最大管电流1000mA）均用于核素诊断，均属于III类射线装置。

PET/CT和SPECT/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。

PET/CT和SPECT/CT显像检查用放射性核素在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的β射线和γ射线等，以上射线会造成医务人员和公众的外照射；在进行^{99m}Tc放射性核素操作过程中，引起操作台面、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污。本项目所使用的放射性核素特性见表9-13。

表9-13 放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变类型及分支比（%）	主要α、β辐射能量（keV）与绝对强度（%）	主要γ、X射线能量（keV）与绝对强度（%）	周围剂量率当量率常数（裸源）① （μSv·m²/MBq·h）
^{99m}Tc	6.02h	IT（100）	-	140.511（88.5）	0.0303
^{89}Sr	50.53d	β^-	0.5846	-	-
^{153}Sm	46.5h	β^-	0.2652	0.042，0.047，0.103	0.072
^{18}F	109.8min	β^+，EC	0.63（+）	0.511	0.143
^{68}Ga	68.3min	β^+，EC	1.9（+）	0.511	0.134
^{68}Ge	288d	EC（100）	-	0.0011，0.009225，0.009252，0.0103	-

注：①该数据来源于《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）。

2、放射性表面污染

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

3、放射性废气

本项目使用的在带有通风装置的手套箱或通风橱内进行分装，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、放射性固体废物

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和更换下来的废活性炭，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。

五、介入诊断项目

（一）放射性污染

DSA 在工作状态下会发出 X 射线，拟配置的 DSA 最大管电压≤125kV、最大管电流≤1250mA，其主要用作血管造影检查及配合介入治疗，由于在荧光影像与视频影像之间有影像增强器，从而降低了造影所需的 X 射线能量，再加上一次血管造影检查需要时间很短，因此血管造影检查的辐射影响较小。而介入放射需要长时间的透视和大量的摄片，对患者和医务人员有一定的附加辐射剂量。

DSA 产生的 X 射线是随机器的开、关而产生和消失，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。在开机出束期间，X 射线是主要污染因子。辐射场中的 X 射线包括有用线束（主束）、漏射线和散射线。由于射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。

1、有用线束

本项目 DSA 的有用线束投射方向为由下至上。有用线束的射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。DSA 具有自动照射量控制调节功能（AEC），摄影时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低，照射量率减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量率增大。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有一定的裕量。根据医院提供资料， DSA 正常运行时，透视模式的工况为（60～80）kV/（5～20）mA，拍片模式的工况为（60～80）kV/（100～500）mA。

DSA 运行时离靶 1 米处的 X 射线发射率根据运行时管电压和 DSA 的 X 射线管的过滤条件从《辐射防护导论》（方杰著）附图 3 中查取。本项目 DSA 过滤装置采用束光器自带 0.5mmCu 过滤器+附加过滤器，本项目保守按照过滤材料为 0.5mmCu 滤片进行剂量预测，查《辐射防护导论》附图 3，额定电压为 125kV 时，离靶 1 米处的发射率约为 3.2mGy·m^2/mA·min；本项目正常运行时最大电压为 80kV，离靶 1 米处的发射率约为 0.8mGy·m^2/mA·min。

2、泄漏射线

根据国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》“（77）用于诊断目的的每一个 X 射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1m 处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h”（在距离源 1m 处不超过 100cm^2 的面积上或者在离管或源壳 5cm 处的 10cm^2 面积上进行平均测量），以及《医用电气设备 第一部分：安全通用要求 三、并列标准 诊断 X 射线设备辐射防护通用要求》（GB 9706.12-1997）中 29.204.3 的相应要求，取本项目 DSA 离焦点 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率为 1.0mGy/h。

3、散射线

本项目 DSA 的散射线主要考虑有用线束照射到受检者人体产生的侧向散射线，其强度与有用线束的 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射面积和距离等有关。

工作负荷：根据医院提供的资料， 2 台 DSA 的工作负荷情况见表 9-14。

表 9-14 单台 DSA 工作负荷

	手术类别	年开展工作量	每台手术透视曝光时间	年透视曝光时间
透视	心脏介入	50 台	约 15min	约 12.5h
	神经介入	50 台	约 20min	约 16.7h
	综合介入	80 台	约 20min	约 26.6h
小计		/	/	约 56h

	手术类别	年开展工作量	单次采集时间	单台手术采集次数	单台手术最大采集时间	年采集时间
拍片	心脏介入	50 台	3～4s	6～10 次	约 0.7min	约 0.6h
	神经介入	50 台	6～10s	4～10 次	约 1.7min	约 1.4h
	综合介入	80 台	3～8s	7～15 次	约 2min	约 2.6h
小计		/	/	/	/	约 4.6h
总 计						约 61h

医院拟为介入诊断项目配备 8 名辐射工作人员，辐射工作人员年工作 250 天。

（二）非放射性污染

1、废气：DSA 在工作状态时，会使机房内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过通风系统排至室外，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

2、废水：主要是工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

3、固体废物：DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物暂存在机房内的废物桶，手术结束后集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置；工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

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、放疗中心

本项目的放疗中心设置于医院拟建的外科病房暨转化医学综合楼负二层（平面布局详见附图 3），医用电子直线加速器机房和后装治疗机机房南侧均紧邻土层，减少了对周围环境的辐射影响。医用电子直线加速器机房、后装治疗机机房和模拟定位机机房的控制室均位于治疗室的一侧，均为隔室操作，减少了对职业人员的照射。放疗中心平面布局详见附图 3。且该栋建筑为外科病房暨转化医学综合楼，避开了医院的儿科病房、产房和门诊等特殊人群区域或人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中关于选址与布局的规定。

2、核医学科

本项目核医学科位于医院拟建的外科病房暨转化医学综合楼负二层（平面布局详见附图 10 及附图 11），2 处工作场所相对独立，新增的非密封放射性物质工作场所避开了医院的产科、儿科、食堂等部门，且新增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。满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中关于选址与布局的规定。

3、介入诊断项目

本项目 DSA 配套独立用房，房间由射线装置机房和控制室组成。DSA 机房控制室与诊断机房分开单独布置（平面布局详见附图 13 及附图 14），区域划分明确，项目布局合理。

综上，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》（GB 18871-2002）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。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的规定：放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗室，术中放射治疗室应确定为临时控制区。

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

根据《核医学辐射安全与防护要求》（HJ 1188-2021）的规定：核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

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

2、控制区与监督区的划分

（1）放疗中心

本次环评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。医院拟将医用电子直线加速器机房（含迷道）、后装治疗机机房（含迷道）和模拟定位机机房等划分为控制区，该区域涉及射线装置的操作，属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及其他法律法规定义的控制区，进

行了专门的屏蔽防护设计；其余房间如：各控制室、水冷机房和辅助机房等属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及其他法律法规定义的监督区。

（2）核医学科

本次环评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。医院拟将涉及射线装置及放射性同位素的操作的核医学科东区的给药室、注射室、废物间、注射后候诊室、抢救室、SPECT/CT 机房、留观室、衰变池等和核医学科西区的注射室、废物间、注射后候诊室、抢救室、PET/CT 机房、留观室、衰变池等区域划为控制区，以上区域进行了专门的屏蔽防护设计；其余房间如：控制室、卫生通过间等属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及其他法律法规定义的监督区。

（3）复合手术室和 DSA 手术室

本项目拟将 DSA 所在机房作为辐射防护控制区，与机房相邻的控制室及设备间划为监督区，在机房入口处粘贴有电离辐射警告标志。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》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。

本项目控制区和监督区划分情况见表 10-1，并在图 10-1~图 10-5 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
放疗中心	医用电子直线加速器机房（含迷道）、后装治疗机机房（含迷道）、模拟定位机机房	各控制室和机房（辅助机房）等
核医学科	核医学科东区给药室、注射室、废物间、注射后候诊室、抢救室、SPECT/CT 机房、留观室、衰变池等	控制室、卫生通过间、缓冲间、设备间等
	核医学科西区注射室、废物间、注射后候诊室、抢救室、PET/CT 机房、留观室、衰变池等	
复合手术室	DSA 手术室、DSA 复合手术室	控制室、设备间等

图 10-1 放疗中心“两区”划分示意图

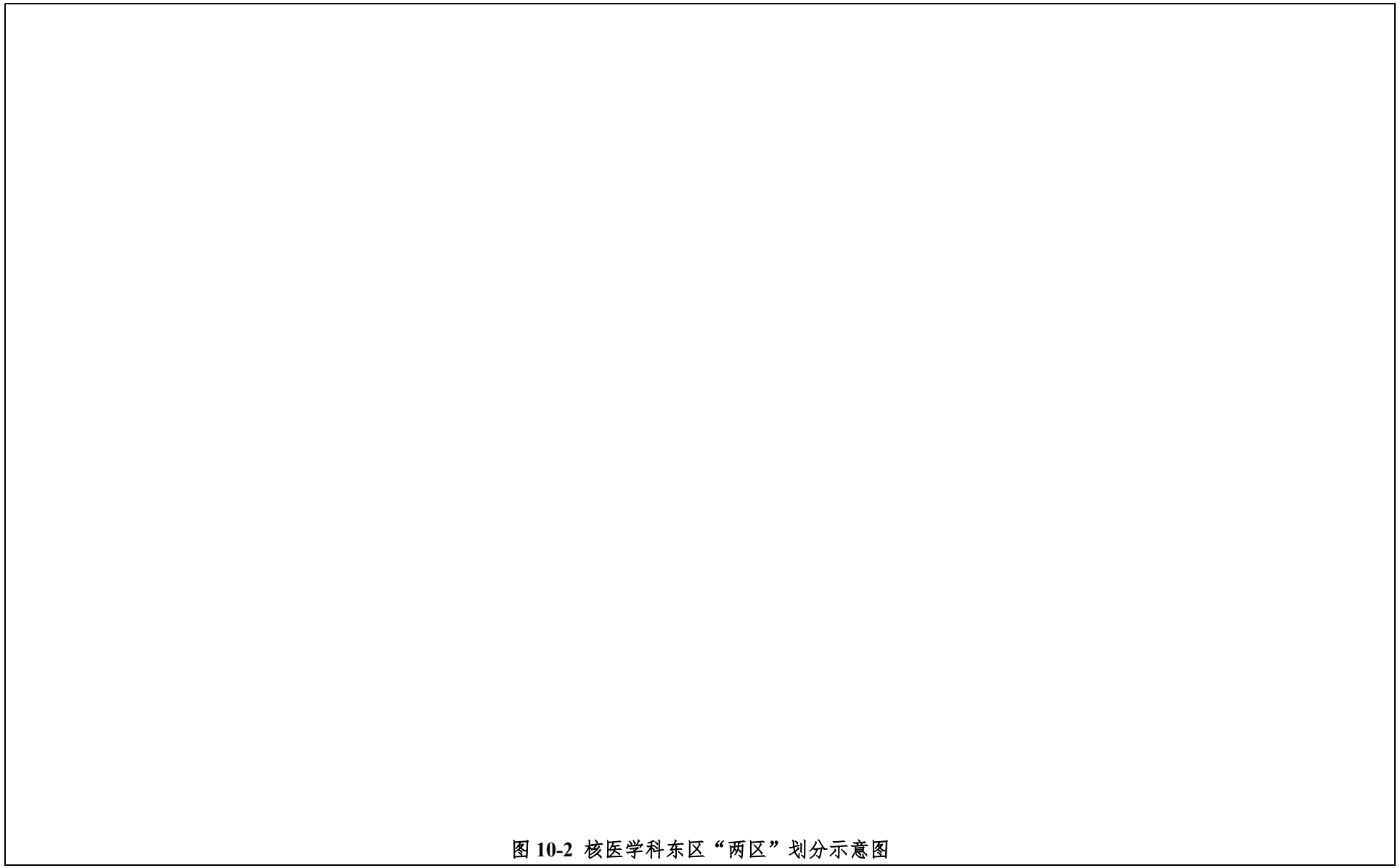


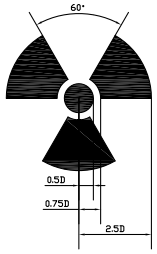
图 10-2 核医学科东区“两区”划分示意图

图 10-3 核医学科西区“两区”划分示意图

图 10-4 五层手术部 DSA 机房“两区”划分示意图

1）控制区的防护手段与安全措施：

①控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志（如图 10-5）。



a.电离辐射标志



b.当心电离辐射警告标志

图 10-5 电离辐射标志和电离辐射警告标志

②制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；

④在淋浴/更衣室备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

⑤定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

2）监督区防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区的边界；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

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

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

表 10-2 医用电子直线加速器机房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1#机房	东墙	主屏蔽	300cm 厚混凝土	510cm
		次屏蔽	150cm 厚混凝土	/
	南墙	次屏蔽	130cm 厚混凝土	/
	西墙	主屏蔽	300cm 厚混凝土	510cm
		次屏蔽	150cm 厚混凝土	/
	北墙	迷道外墙	90~130cm 厚混凝土	/

		迷道内墙	96~140cm 厚混凝土	/
	屋顶	主屏蔽	280cm 厚混凝土	510cm
		次屏蔽	130cm 厚混凝土	/
	地面		130cm 厚混凝土+40cm 回填层（普通混凝土）	
	防护门		15mm 铅板+15cm 厚含硼聚乙烯	
医用直线加速器 2#机房	东墙	主屏蔽	300cm 厚混凝土	510cm
		次屏蔽	150cm 厚混凝土	/
	南墙	次屏蔽	130cm 厚混凝土	/
	西墙	主屏蔽	300cm 厚混凝土	510cm
		次屏蔽	150cm 厚混凝土	/
	北墙	迷道外墙	90~130cm 厚混凝土	/
		迷道内墙	96~140cm 厚混凝土	/
	屋顶	主屏蔽	280cm 厚混凝土	510cm
		次屏蔽	130cm 厚混凝土	/
	地面		130cm 厚混凝土+40cm 回填层（普通混凝土）	
	防护门		15mm 厚铅板+15cm 厚含硼聚乙烯	

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。

2、后装治疗机项目

表 10-3　后装治疗机机房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）
后装治疗机机房	东墙		70cm 厚混凝土
	南墙		70cm 厚混凝土
	西墙	主屏蔽	300cm 砼
		次屏蔽	150cm 砼
	北墙	迷道内墙	70cm 厚混凝土
		迷道外墙	70cm 厚混凝土
	屋顶		60cm 厚混凝土
	地面		70cm 厚混凝土
	防护门		10mm 厚铅板

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。

3、模拟定位机项目

表 10-4 模拟定位机机房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）
模拟定位机机房	四周墙体	200mm 厚实心混凝土砖墙+1mmPb 硫酸钡涂料
	屋顶	15cm 厚混凝土+1.5mm 厚铅板
	地面	35cm 厚混凝土
	防护门	3mm 厚铅板
	观察窗	3mm 铅当量铅玻璃

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，硫酸钡涂料的密度不低于 4.7g/cm^3。

3、核医学科项目

表 10-5　核医学科东区防护屏蔽设计一览表

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
注射室（含废物间）	四面墙体	20cm 厚混凝土砖墙
	顶棚	150mm 厚混凝土
	地面	350mm 厚混凝土
	防护门	防护门为 3mmPb 铅防护门
	注射窗	5mmPb 铅玻璃
	手套箱	5mmPb
给药室	四面墙体	20cm 厚混凝土砖墙
	顶棚	250mm 厚混凝土
	地面	350mm 厚混凝土
	防护门	防护门为 3mmPb 铅防护门
	注射窗	5mmPb 铅玻璃
抢救室	四面墙体	20cm 厚混凝土砖墙
	顶棚	150mm 厚混凝土
	地面	350mm 厚混凝土
	防护门	防护门为 3mmPb 铅防护门
注射后候诊室	四面墙体	20cm 厚混凝土砖墙
	顶棚	200mm 厚混凝土
	地面	350mm 厚混凝土
	防护门	防护门为 3mmPb 铅防护门
SPECT/CT 机房	四面墙体	20cm 厚混凝土砖墙+1.5mmPb 硫酸钡涂料
	顶棚	150mm 厚混凝土+2.5mm 铅板
	地面	350mm 厚混凝土
	防护门	防护门为 4mmPb 铅防护门
	观察窗	5mmPb 铅玻璃
留观室	四面墙体	20cm 厚混凝土砖墙
	顶棚	200mm 厚混凝土
	地面	350mm 厚混凝土
	防护门	防护门为 3mmPb 铅防护门
衰变池	四面墙体	20cm 厚混凝土砖墙
	顶棚	200mm 厚混凝土
	地面	350mm 厚混凝土
	防护门	防护门为 3mmPb 铅防护门
其他		核医学入口缓冲间防护门为 3mmPb
		核医学出口缓冲间防护门为 3mmPb
		注射器防护外套 2mmPb
		放射性废物暂存间、储源间防护门为 3mmPb

注：本项目拟使用的混凝土密度不低于 2.35g/cm^3，混凝土砖的密度不低于 2.5 g/cm^3，铅板的

密度不低于 11.3g/cm^3，硫酸钡涂料的密度不低于 4.7g/cm^3。

表 10-6　核医学科西区防护屏蔽设计一览表

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
注射室（含废物间）	四面墙体	200mm 厚实心混凝土砖墙
	顶棚	250mm 厚混凝土
	地面	350mm 厚混凝土
	防护门	防护门为 10mmPb 铅防护门
	注射窗	50mmPb 铅玻璃
	注射器铅套	10mmPb
	通风橱	75mmPb
抢救室	四面墙体	东、南、北墙为 200mm 厚实心混凝土砖墙 西墙为 200mm 厚实心混凝土砖墙+1.5mmPb 硫酸钡涂料
	顶棚	250mm 厚混凝土
	地面	350mm 厚混凝土
	防护门	防护门为 15mmPb 铅防护门
注射后候诊室	四面墙体	东、西、北墙为 200mm 厚实心混凝土砖墙+1.5mmPb 硫酸钡涂料；南墙为 300mm 厚实心混凝土砖墙
	顶棚	150mm 厚混凝土+1mm 铅板
	地面	350mm 厚混凝土
	防护门	防护门为 15mmPb 铅防护门
VIP 候诊室	四面墙体	200mm 厚实心混凝土砖墙
	顶棚	150mm 厚混凝土+1mm 铅板
	地面	350mm 厚混凝土
	防护门	15mmPb
PET/CT 机房	四面墙体	东、南、西墙为 200mm 厚实心混凝土砖墙+1.5mmPb 硫酸钡涂料；北墙为 300mm 厚混凝土
	顶棚	150mm 厚混凝土+2.5mm 铅板
	地面	350mm 厚混凝土
	防护门	防护门为 12mmPb 铅防护门
	观察窗	12mmPb 铅玻璃
留观室	四面墙体	200mm 厚实心混凝土砖墙
	顶棚	150mm 厚混凝土+1mm 铅板
	地面	350mm 厚混凝土
	防护门	防护门为 12mmPb 铅防护门
衰变池	四面墙体	200mm 厚实心混凝土砖墙
	顶棚	150mm 厚混凝土
	地面	350mm 厚混凝土
	防护门	防护门为 3mmPb 铅防护门
其他	核医学入口缓冲间防护门为 15mmPb，出口为 12mmPb	
	放射性废物暂存间、储源间防护门为 10mmPb	

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，硫酸钡涂料

的密度不低于 4.7g/cm^3。

4、DSA 手术室和复合手术室项目

表 10-7　DSA 手术室和复合手术室机房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）
DSA 手术室和复合手术室	四周墙体	轻钢龙骨隔墙+3mm 厚铅板
	屋顶	15cm 厚混凝土+3mm 厚铅板
	地面	10cm 厚混凝土+3.5cm 硫酸钡水泥
	防护门	内衬 3mmPb 铅板
	观察窗	3mmPb 铅玻璃

注：本项目拟使用的混凝土密度不低于 2.35g/cm^3，硫酸钡水泥密度不低于 4.7 g/cm^3，铅板的密度不低于 11.3g/cm^3，硫酸钡涂料的密度不低于 4.7g/cm^3。

（二）辐射安全和防护措施

1、医用电子直线加速器项目

（1）当心电离辐射警告标志和工作状态指示灯

本项目 2 座医用电子直线加速器机房入口处防护门上方拟设置工作状态指示灯，防护门上粘贴有当心电离辐射警告标志和防止无关人员逗留误入等提示语。

（2）视频监控系统及语音对讲系统

本项目医用电子直线加速器机房拟设计安装视频监控系统和双向交流对讲装置，可实时观察机房内的动态。

（3）固定式报警仪

在医用电子直线加速器机房墙上安装固定式剂量报警装置（带剂量显示功能），探头安装在机房迷道内墙上（靠近防护门），只要迷道内的剂量超过预设的剂量阈值，就会报警提示人员不能进入机房，以防人员误入。

（4）门机联锁装置

除医用电子直线加速器自身所带的安全联锁外，机房拟设置门-机联锁，只有在机房门关闭时加速器才能出束进行治疗，出束状态下防护门打开加速器会立即停止出束。

（5）紧急开门装置

医用电子直线加速器机房拟设置从室内开启治疗机房门的紧急装置。同时，防护门拟设有防挤压功能。

（6）急停按钮

在医用电子直线加速器机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧、防护门内迷路入

口处、控制室控制台及设备壳体上均拟设置急停按钮，以避免医用电子直线加速器机房内人员尚未完全清空的情况下开机，产生误照射。

（7）其他安全装置

①医用电子直线加速器安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

②医用电子直线加速器机房电缆线穿墙方式拟采用“U”型穿墙管道（见附图 12），电缆沟不会破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

③防护门搭接方式：机房防护门设计制作时，除要考虑足够的防护厚度外，拟考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。本项目医用电子直线加速器机房门与墙之间的间隙小于 1cm，门与墙之间间隙与搭接比值小于 1/10，可有效防止门缝处射线泄漏。

④本项目医用电子直线加速器机房拟设计有通风装置，治疗室内拟采用机械进、出风，通风换气频率为不低于 4 次/h。医用电子直线加速器机房进出风管道避开主射线方向，射线经多次散射后，进出风管道进出口处辐射剂量将在控制范围内。

本项目医用电子直线加速器机房的辐射安全设施位置示意图详见图 10-6。

2、后装治疗机项目

（1）当心电离辐射警告标志和工作状态指示灯

本项目后装治疗机机房入口处防护门上方拟设置工作状态指示灯，防护门上粘贴有当心电离辐射警告标志和防止无关人员逗留误入等提示语。

（2）视频监控系统及语音对讲系统

本项目后装治疗机机房拟设计安装视频监控系统和双向交流对讲装置，可实时观察机房内的动态。

（3）固定式报警仪

在后装治疗机机房墙上安装固定式剂量报警装置（带剂量显示功能），探头安装在机房迷道内墙上（靠近防护门），只要迷道内的剂量超过预设的剂量阈值，就会报警提示人员不能进入机房，以防人员误入。

（4）门机联锁装置

除后装治疗机自身所带的安全联锁外，机房拟设置门-机联锁，只有在机房门关闭

时后装机才能出源进行治疗，出源状态下防护门打开后装治疗机会立即紧急回源。

（5）紧急开门装置

后装治疗机机房拟设置从室内开启治疗机房门的紧急装置。同时，防护门拟设有防挤压功能。

（6）急停按钮

在后装治疗机机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧、防护门内迷路入口处、控制室控制台及设备壳体上均拟设置急停按钮，以避免后装治疗机机房内人员尚未完全清空的情况下开机，产生误照射。

（7）其他安全装置

①后装治疗室内拟配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

②后装治疗机安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

③后装治疗机机房电缆线穿墙方式拟采用“U”型穿墙管道（见附图 12），电缆沟不会破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

④防护门搭接方式：机房防护门设计制作时，除要考虑足够的防护厚度外，拟考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。本项目后装治疗机机房门与墙之间的间隙小于 1cm，门与墙之间间隙与搭接比值小于 1/10，可有效防止门缝处射线泄漏。

⑤本项目后装治疗机机房拟设计有通风装置，治疗室内拟采用机械进、出风，通风换气频率为不低于 4 次/h。

本项目后装治疗机机房的辐射安全设施位置示意图详见图 10-6。

图 10-6 医用电子加速器机房和后装治疗机机房辐射安全设施位置示意图

3、模拟定位机项目

（1）电离辐射警告标志

模拟定位机机房入口处拟设置有“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明。

（2）工作状态指示灯

模拟定位机机房患者入口防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上拟设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，并与机房防护门有效关联。

（3）闭门装置

平开机房门拟设有自动闭门装置，推拉式机房门拟设有曝光时关闭机房门的管理措施，防护门关闭的情况下，设备才能出束照射。

（4）急停按钮

在模拟定位机机房控制室设置 1 个急停按钮，在出现紧急情况下，按下急停按钮，即可停止 X 射线系统出束。

（5）观察窗

模拟定位机机房控制室侧墙体上设置有观察窗，可有效观察到患者和受检者状态。

（6）防护用品

医院拟为患者配备的个人防护用品主要有铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套等，防护用品防护能力均不低于 0.5mm 铅当量。

4、核医学科项目

（1）电离辐射警告标志

医院拟将核医学科划分为控制区和监督区，在控制区入口处（SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、给药室、注射室、废物间、注射后候诊区、抢救室和留观室等）均拟设置有符合规范的电离辐射警告标志；

（2）工作状态指示灯、闭门装置

SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房防护门门口上方拟设置工作状态指示灯，且工作状态指示灯与机房相通的门设置联锁装置，用于提示机房内设备的运行状态；机房门设置闭门装置。

（3）语音对讲、监控装置

医院拟在 SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、注射室、注射后候诊室等与控制室内

设置双向语音对讲装置和监控系统，且 SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房控制台处安装有观察窗，在诊断过程中医务人员可以及时观察病人情况和与病人交流，保证诊断质量和防止意外情况的发生。

（4）对控制区内带药病人的监督管理

医院拟做好本项目控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；拟在控制区出入口设置单向门禁系统，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线；加强对控制区内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。

（5）“两区”内安全防护措施规定

工作人员离开工作室前洗手和做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，应采取去污措施。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。

（6）工作人员防护用品

医院拟为本项目工作人员配备的辐射防护装置及个人防护用品主要有铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、剂量报警仪、个人剂量计等。

（7）表面污染检测

医院拟在核医学出口缓冲间内安装表面污染仪，用于患者就诊后的表面污染水平检测。

5、介入诊断项目

（1）电离辐射警告标志

DSA 机房各入口处拟设置有“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明。

（2）工作状态指示灯及门灯联动装置

DSA 机房患者入口防护门上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上拟设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动，防护门关闭的情况下，工作状态指示灯才亮。平开机房门应设有自动闭门装置，推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施。电动推拉门宜设置防夹装置。

（3）急停按钮

DSA 控制室设置 1 个急停按钮，DSA 机房内的治疗床边操作面板自带 1 个急停按钮，各按钮分别与 X 射线系统连接，在出现紧急情况下，按下急停按钮，即可停止

X 射线系统出束。

（4）观察窗及对讲装置

DSA 控制室墙体上设置有观察窗，可有效观察到患者和受检者状态防护门开闭情况。DSA 机房控制室拟设置对讲装置，方便机房外工作人员与患者交流。

（5）个人防护用品

医院拟为本次扩建的 DSA 项目工作人员配备的辐射防护装置及个人防护用品主要有铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套、剂量报警仪、个人剂量计等，医院拟购置的各类防护用品除介入防护手套防护能力不低于 0.025mm 铅当量外，其余防护用品防护能力均不低于 0.5mm 铅当量。本项目 DSA 设备自带铅防护吊帘、床侧防护帘等辅助防护设施。

（6）人员监护

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）“5.3 佩戴 5.3.2”中要求“对于如介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计”和“5.3 佩戴 5.3.3”中 “对于 5.3.2 所述工作的情况，建议采用双剂量计监测方法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部”剂量计（如头箍剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等）”。

本项目辐射工作人员均应配备有个人剂量计（每名介入治疗医生需配备 2 套个人剂量计），并要求在上班期间必须佩戴。医院定期（每季度一次）将个人剂量计送有资质单位进行检测，定期安排其在有相应资质医院体检，检测结果存入个人剂量档案。

（7）规章制度

完善并落实射线装置相关的安全使用制度、管理制度，从事辐射工作的医务人员均须参加放射工作的培训与辐射安全培训考核。医务人员在操作过程中遵守以上制度，严格按操作程序，避免发生事故。

（8）其他辐射安全措施

介入治疗需要长时间的透视和大量的摄片，对患者和医务人员来说辐射剂量较高，因此在评估介入放射治疗的效应和操作时，其辐射损伤必须要加以考虑。由于需要医务人员在机房内，X 射线球管工作时产生的散射线对医务人员有较大影响，根据辐射防护“三原则”，医院还应在以下方面加强对介入治疗的防护工作：

（1）操作中减少透视时间和减少照相的次数可以显著降低工作人员的辐射剂量，介入人员在操作时应尽量远离检查床。

（2）一般说来，降低患者剂量的措施可以同时降低工作人员的辐射剂量，应加强对介入人员的培训，包括放射防护的培训，参与介入的人员应该技术熟练、动作迅速，以减少患者和介入人员的剂量。

（3）所有在介入治疗手术室内的工作人员都应开展个人剂量监测，医院应结合工作人员个人剂量监测的数据采取措施，控制和减少工作人员的受照剂量。

（4）引入的 DSA 及配套设备必须符合国际的或者国家的标准，满足各种特殊操作的要求，其性能必须与操作性质相符合；设备应该常规调节到满足低剂量的有效范围内，并尽可能提高图像质量。

（5）介入人员应该结合 DSA 设备的特点，了解一些降低剂量的方法，比如脉冲透视、优化滤线器、除滤线栅、图像处理、低剂量透视等方法。

（6）加强 DSA 设备的质量保证工作，设备的球管与发生器、透视和数字成像的性能以及其它相关设备应该定期进行检测。

（7）临床介入手术时，介入医生需站在 DSA 床边操作，仅依赖于医务人员身着铅橡胶围裙、机器自带的铅防护吊帘等防护设备被动防护。一般来说，床下球管机对医务人员的辐射剂量，由头、颈、胸至腹部呈现剂量逐渐上升的趋势，故操作人员除个人防护用品（铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜及介入防护手套等）外，应着重考虑 DSA 操作侧的屏蔽，该屏蔽要做到既不影响操作者的操作，又能达到防护目的，且能消毒。本项目 DSA 设备自带床侧防护帘、铅防护吊帘及铅悬挂防护屏，以上组合屏蔽防护措施的设置，能够有效降低介入手术医务人员的吸收剂量。

三、监测仪器和防护用品

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，开展放射诊疗的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。

表 10-8 个人防护用品和辅助防护设置配置符合性

项目	分项		《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求	本项目拟采取措施
模拟定位机项目	工作人员	个人防护用品	/	/
		辅助防护设施	/	/
	受检者	个人防护用品	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	1 件铅方巾、1 件铅橡胶颈套
		辅助防护设施	可调节防护窗口的立位防护屏 选配：固定特殊受检者体位的各种设备	1 扇立位防护屏
DSA 项目	工作人员	个人防护用品	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	8 件铅橡胶围裙、8 件铅橡胶颈套、8 顶铅橡胶帽子、8 副铅防护眼镜、4 副介入防护手套
		辅助防护设施	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅防护吊帘、床侧防护帘
	受检者	个人防护用品	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	2 件铅橡胶围脖、2 顶铅橡胶帽子、2 件铅方巾
		辅助防护设施	/	/
项目	**分项**		**《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）要求**	**本项目拟采取措施**
核医学诊断项目	工作人员		铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖 选配：铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	2 件铅橡胶衣、2 副铅防护眼镜
	患者或受检者		/	/

医院拟为本项目配备辐射巡测仪 1 台、固定式剂量监测报警装置 3 套、表面沾污仪 2 台及个人剂量报警仪 28 台。医院拟为辐射工作人员配备铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜（不低于 0.25mm 铅当量）及介入防护手套（不低于 0.025mm 铅当量）等个人防护用品（具体配备情况见表 10-8）。辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，以监测累积受照情况。医院拟定期组织辐射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

三废的治理

一、放疗中心

（一）医用电子直线加速器项目

1、废水治理

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，不会产生废水。本项目工作人员产生生活污水依托医院已有污水处理站处理。

2、废气治理

为了减少废气对人员产生的影响，2 座医用电子直线加速器机房均设置有独立的通排风系统。根据设计院提供的设计方案，本项目 2 座医用电子直线加速器机房有效容积均约为 332m^3，2 座机房的排风风量拟设计不低于 2800m^3/h，则每小时的换气次数约为 8 次，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“换气次数不少于 4 次/h”的要求。

本项目 2 座医用电子直线加速器机房均采用机械进排风，进风管道从加速器机房迷道入口防护门上方穿过进入加速器机房，进风管道采用“S”型管道，1#机房进风口位于机房东侧顶部共 2 处，排风口位于机房西侧距离地面约 30cm 处。排风管道沿迷道上方穿过迷道外墙，同样采用“S”型管道，室内气体由通排风系统经高效排风过滤器统一抽排至外科病房暨转化医学综合楼的 7#排风井再由楼顶排放。此处排风口位于建筑物屋顶，周围扩散条件良好，排风口位置附近无门、窗或人流较大的过道等位置。通排风管道走向示意图见图 10-7。

3、固体废物处理措施

本项目医用电子直线加速器工作过程不产生固体废物。

加速器靶物质（件）以及机头等金属部件由于受电子的轰击会产生较强的感生放射性，机器退役（约使用 10 年）后更换下来的废靶件等应作为放射性废物处理。医院应将更换的废靶件交有资质单位收贮。

院区内设置一处生活垃圾暂存间，产生的生活垃圾集中暂存，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。医院设有医疗废物暂存间，产生的医疗废物在此集中暂存，交由有资质单位进行统一收集、清运和处置。

（二）后装治疗机项目

1、废水治理

本项目工作人员和患者产生生活污水依托医院已有污水处理站处理。

2、废气治理

为了减少废气对人员产生的影响，后装治疗机机房设置有独立的通排风系统。根据设计院提供的设计方案，本项目后装治疗机机房有效容积约为 142m^3，机房的排风风量拟设计不低于 1000m^3/h，则每小时的换气次数约为 7 次，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“换气次数不少于 4 次/h”的要求。

本项目后装治疗机采用机械进排风，进风管道从机房迷道入口防护门上方穿过进入后装治疗机机房，进风管道采用“S”型管道，机房进风口位于机房东北角顶部共 1 处，排风口位于机房西南角距离地面约 30cm 处。排风管道沿迷道上方穿过迷道外墙，同样采用“S”型管道，室内气体由通排风系统经高效排风过滤器统一抽排至外科病房暨转化医学综合楼的 7#排风井再由楼顶排放。此处排风口位于建筑物屋顶，周围扩散条件良好，排风口位置附近无门、窗或人流较大的过道等位置。通排风管道走向示意图见图 10-7。

3、固体废物处理措施

本项目后装治疗机拟使用 ^{192}Ir 放射源，随着核素的自然衰变，^{192}Ir 放射源的活度不断降低，当 ^{192}Ir 放射源使用到一定年限后，会产生退役的 ^{192}Ir 放射源，退役 ^{192}Ir 放射源由原厂家回收处置。

院区内设置一处生活垃圾暂存间，产生的生活垃圾集中暂存，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。医院设有医疗废物暂存间，产生的医疗废物在此集中暂存，交由有资质单位进行统一收集、清运和处置。

（三）模拟定位机项目

1、废气治理

模拟定位机在开机出束期间，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧(O_3)和氮氧化物。

本项目模拟定位机机房设有通排风系统，其内通风口设置在机房距离地面约 0.3m 处，室内气体由通排风系统统一抽排至其所在建筑楼顶排放。

产生的臭氧和氮氧化物通过换气系统排入环境大气后，经自然分解扩散，对环境

产生影响较小。从保护患者、医护人员的健康安全角度考虑，本项目辐射场所能保持较好的通风，其通风系统进、排风口位置的设置合理。

2、固体废物

本项目工作人员产生的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，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

3、废水

医院已建污水处理站一座，生活污水经污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466－2005）中的表 2 预处理标准后排入市政污水管网进入城市污水处理厂处理。医院污水处理站设计处理能力能够满足本项目生活污水及医疗废水产生量和排放量的排放需求。



图 10-7 放疗中心通排风管道走向示意图

二、核医学科

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，核医学拟采取以下“三废”防治措施。

（一）放射性废气

1、核医学科东区

本项目核医学科东区工作场所排风管道分为 2 支，其中 1 支单独连接注射室和服药室内设置的手套箱，放射性药物的各项操作均在手套箱内进行，手套箱由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）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（风速应不小于 0.5m/s）”要求，医院购买的手套箱排风口处风速不得低于 0.5m/s；其余排风管连接各注射后候诊区、SPECT/CT 机房和留观室等。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 2 根排风管道排至病房楼楼顶，在工作场所排风管道末端均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，不与病房楼其他排风管道相通，过滤器及活性炭需定期更换，更换后的活性炭经贮存 30 天后作为医疗废物处置。

2、核医学科西区

本项目核医学科西区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手套箱，放射性药物的各项操作均在手套箱内进行，手套箱由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）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（风速应不小于 0.5m/s）”要求，医院购买的手套箱排风口处风速不得低于 0.5m/s；其余排风管连接各注射后候诊区、PET/CT 机房和留观室等。

工作场所产生的废气经由 2 根排风管道排至病房楼楼顶，在工作场所排风管道末端均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，不与病房楼其他排风管道相通，过滤器及活性炭需定期更换，更换后的活性炭经贮存 30 天后作为医疗废物处置。核医学科东区和西区工作场所通排风管道走向示意图见图 10-8。

图 10-8 核医学科通排风管道走向示意图

（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医院拟建的衰变池系统（负二层）内，放射性废水先排至集水坑再通过污水提升泵排至放射性废水衰变系统（见图10-9 和图 10-10），待放射性废水暂存时间规定时间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。

本项目核医学科东区拟设计的衰变池包括 1 个沉淀池、3 个衰变小池和配套设备，单个衰变小池有效容积约为 10m^3，衰变池系统总容积约为 30m^3。

图 10-9 本项目核医学科东区使用的放射性废水衰变池系统示意图

本项目核医学科西区拟设计的衰变池包括 1 个沉淀池、3 个衰变小池和配套设备，单个衰变小池有效容积约为 10m^3，衰变池系统总容积约为 30m^3。

图 10-10 本项目核医学科西区使用的放射性废水衰变池系统示意图

医院拟建的放射性废水衰变系统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。同时，衰变池出水末端设置有采样孔，便于排放前的取样。

1、处理措施

本项目工作场所放射性废水将排入拟建的放射性废水衰变系统，该衰变池系统均共设 3 个相同体积的放射性废水衰变槽体，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

核医学科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，核医学科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，此时核医学科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，以此类推，最终将放射性废水排至医院污水处理站。3 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》（GB 50015-2019）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 10-9 和表 10-10：

表 10-9 江苏省中医药研究院核医学科东区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 ^{99m}Tc 患者	6L	30 人次	180L	/
2	工作人员	20L	4 人次	80L	/
3	场所清洗废水	140L/日		140L	/
合计				400L（约 0.40m^3）	/

注：因使用放射性核素 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 治疗骨转移的患者，在就诊前会提前如厕，注射相对应的放射性药物后随即离开工作场所，不在工作场所停留，故均不考虑其产生的放射性废水对衰变池容积的影响。

表 10-10 江苏省中医药研究院核医学科西区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	180L	/
2	使用 ^{68}Ga 患者	6L	5 人次	30L	/
3	工作人员	20L	4 人次	80L	/
4	场所清洗废水	140L/日		140L	/
合计				430L（约 0.43m^3）	/

根据衰变池排水的排水方式，待最后一个衰变池装满时，才排放第一个衰变池的废水。核医学科东区日产生放射性废水约 0.40m^3，2 个衰变池的容积为 20m^3，即装满 2 个池子需要约 50d 大于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中规定的 30d 的要求，故本项目核医学科东区的衰变池的容积可满足废水处理的要求。核医学

科西区日产生放射性废水约0.43m^3，2个衰变池的容积为20m^3，即装满2个池子需要约43.4d大于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中规定的30d的要求，故本项目核医学科西区的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、垫料等（约0.2kg/d），以及定期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（废活性炭除外）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。更换下来的废活性炭暂存在废物间内，待其暂存满30d后作为医疗废物处置。

本项目核医学东区会使用放射性同位素^{89}Sr和^{153}Sm开展骨转移治疗项目，该2种放射性药物均由有资质供货商供应，均为独立包装的针剂，给患者施药后产生的固体废弃物主要由废弃的注射器和少量的一次性卫生用品，产生的废弃物很少，且患者人数相较其他诊断项目也很少，故产生的固体废弃物量相对较少。该类放射性固体废物会单独收集，暂存超过10个半衰期后作为医疗废物处置。

医院拟采取的措施：

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，固体废物桶应避开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；放射性废物每袋重量不超过20kg。

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

物桶应避开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

本项目工作过程中放射性同位素产生的γ射线会使空气电离产生少量的臭氧(O_3)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，臭氧常温下可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

三、介入诊断项目

1、废气：DSA 机房内的空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气。

2、废水：工作人员和部分患者产生的生活污水，由院内污水处理站统一处理。

3、固体废物：工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

本项目 DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物暂存在机房内的废物桶，手术结束后集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目各机房及工作场所建设属于整个外科病房暨转化医学综合楼基础建设的部分工程，施工期阶段环境影响已于《外科病房暨转化医学综合楼项目的环境影响报告书》中进行了详细描述，建设时将产生施工噪声、扬尘，同时会产生一定的废水、废气和建筑垃圾等。

建设施工时对环境会产生如下影响：

1、大气：本项目在建设施工期需进行的挖掘地基、打桩、混凝土浇筑等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：

①及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；

②车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；

③施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

2、噪声：整个建筑施工阶段，如打桩机、混凝土搅拌机、卷扬机及载重车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时需严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的要求，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业，如需连续施工，在夜间施工而产生环境噪声污染时，按《中华人民共和国环境噪声污染防治法》的规定，需取得当地人民政府或有关主管部门的证明，并公告附近居民。

3、固体废物：项目施工期间，会产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托有有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。

4、废水：项目施工期间，有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水进行初级沉淀处理，并经隔渣后排放。在施工阶段，将合理安排施工计划，先行修建临时化粪池，施工人员生活污水排入临时化粪池，及时清理。

医院在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在内局部区域，对周围环境影响较小。

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

医院拟在外科病房暨转化医学综合楼负二层放疗中心新建的2座医用电子直线加速器机房内配备2台医用电子直线加速器，型号未定，其X射线能量均≤15MV；电子线能量均≤20MeV；射线最大出射角：28°；1m处输出剂量率：15MV时最高剂量率为6Gy/min，10MV时最高剂量率为14Gy/min。

医院本次新建的2座医用电子直线加速器机房呈东西对称布置，防护一致，故选取医用电子直线加速器1#机房进行辐射影响分析。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）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1#医用电子直线加速器机房的关注点设定如图11-1。

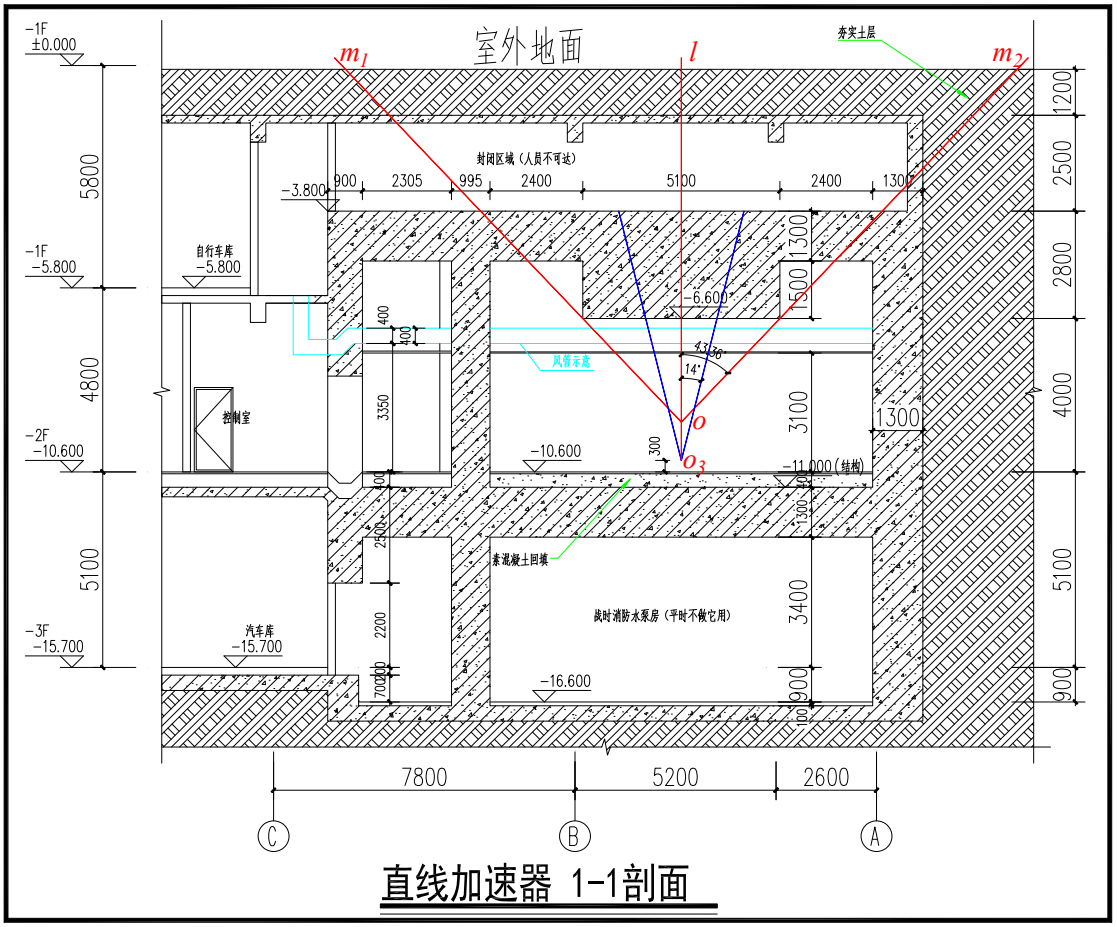


图 11-1-1 医用电子直线加速器机房关注点布置图（剖面图）

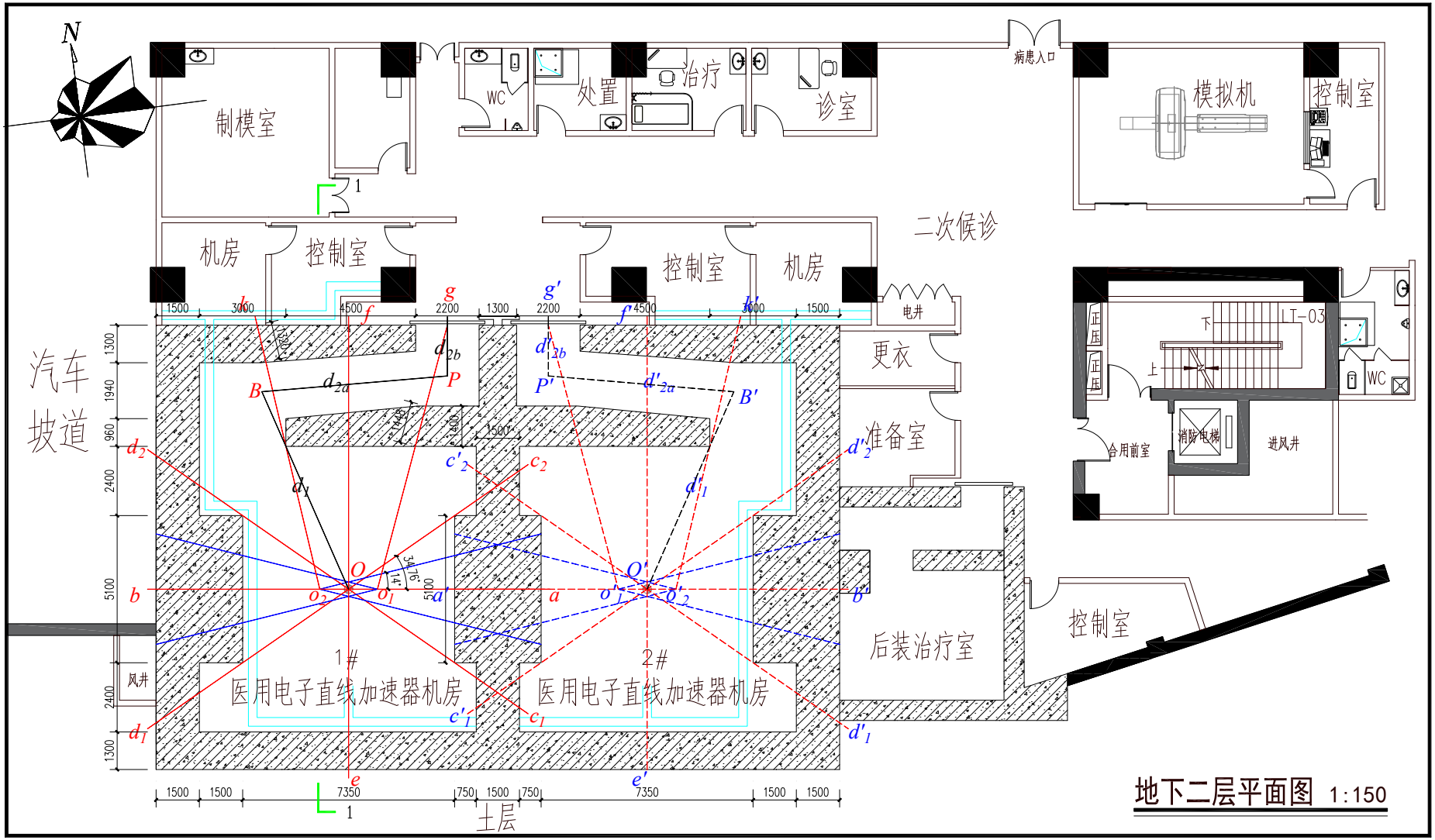


图 11-1-2 医用电子直线加速器机房关注点布置图（平面图）

1、有用线束主屏蔽区宽度核算

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

$$Y_p = 2[(a + SAD) \cdot tan\theta + 0.3]$$……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）；

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。

根据图 11-1，将各参数代入公式 11-1 得出本项目的主屏蔽宽度核算结果并评价如下表：

表 11-1 主屏蔽区域宽度设计评价表

参数	取值		
	东墙主屏蔽	西墙主屏蔽	屋顶主屏蔽
a（m）	6.675	5.175	4.20
SAD（m）	1	1	1
θ（°）	14	14	14
计算宽度 Y_p（m）	4.43	3.68	3.19
实际宽度（m）	5.10	5.10	5.10
评价	满足	满足	满足

2、医用电子直线加速器对关注点产生的剂量估算（当 X 射线最大能量为 15MV 时）

（1）主屏蔽区屏蔽效果预测（*a* 点、*b* 点和 *l* 点）

射线路径（射线类型）：O_2→*a*（主射线），O_1→*b*（主射线），O_3→*l*（主射线）。

使用 GBZ/T 201.2-2011 的相关公式计算有用线束主屏蔽核算，在给定的屏蔽物质厚度 *X*（cm）时，首先计算有效厚度 X_e（cm），估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 *B*，再计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL}$$……公式 11-2

式中，TVL_1（cm）和 *TVL*（cm）为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_1 时，TVL_1=*TVL*。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。

$$\dot{H} = \dot{H}_0 \cdot f \cdot B/R^2 \cdots\cdots \text{公式 11-3}$$

式中，$\dot{H}_0$——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率，μSv·m²/h，本项目为 3.6×10⁸μSv·m²/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$\dot{H}$（μSv/h），辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-2。

表 11-2 主屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

参数	东墙主屏蔽（*a* 点）	西墙主屏蔽（*b* 点）	屋顶主屏蔽（*l* 点）
X（cm）	300 砼	300 砼	280+20 砼*
X_e（cm）	300 砼	300 砼	300 砼
TVL（cm）	41	41	41
TVL_1（cm）	44	44	44
B	5.70×10^{-8}	5.70×10^{-8}	5.70×10^{-8}
R（m）	7.975	7.975	10.5
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	3.6×10^{8}	3.6×10^{8}	3.6×10^{8}
f	1	1	1
$\dot{H}$（μSv/h）	0.323	0.323	0.186
$\dot{H}_c$（μSv/h）剂量率参考控制水平	2.5	10	10
评价结果	满足	满足	满足

注：*考虑地面混凝土层的屏蔽效果，但不考虑土层的屏蔽能力，关注点取室外地面。

（2）侧屏蔽墙和迷道外墙屏蔽效果预测（*f* 点，*k* 点）

射线路径（射线类型）： *O*→*f*（泄漏射线），O_2→*k*（泄漏射线）。

泄漏辐射：估算方法类似主屏蔽区。TVL_1 和 *TVL* 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射。*f* 点、*k* 点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-3。

表 11-3 侧屏蔽墙和迷道外墙泄漏射线辐射率计算参数和计算结果

参数	西侧屏蔽墙（*f* 点）	迷道外墙（*k* 点）
X（cm）	219.4 砼	130 砼
X_e（cm）	219.4 砼	132 砼
TVL（cm）	33	33
TVL_1（cm）	36	36
B	2.77×10^{-7}	1.23×10^{-4}
R（m）	9.45	9.71

$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	3.6×10⁸	3.6×10⁸
f	0.001	0.001
$\dot{H}$（μSv/h）	0.001	0.471
$\dot{H}_c$（μSv/h）剂量率参考控制水平	2.5	8.0
评价结果	满足	满足

注：X_e 由图纸中直接测量所得。

（3）与主屏蔽区相连的次屏蔽区的屏蔽效果预测（c_1 点、c_2 点、d_2 点及 m_1 点、m_2 点）

A：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），$O_1 \rightarrow O \rightarrow d_2$（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），$O \rightarrow d_2$（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_2 点和 m_1 点、m_2 点，考虑泄漏辐射和散射辐射复合作用。

B：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《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011），加速器的泄漏辐射比率通常取 10^{-3}），TVL_1 和 TVL 保守取附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值。

C：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 15MV 射线，当散射角 30°时，患者散射辐射在混凝土中什值层为 31cm），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（μSv/h）。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \cdots\cdots \text{公式 11-4}$$

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，μSv·m²/h，本项目为 3.6×10⁸μSv·m²/h；

α_{ph}：患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm² 面积上的散射因子。查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2。本项目保守按 30° 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，cm^2，本项目为40cm×40cm=1600cm^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 11-4。

表 11-4 与主屏蔽相连的次屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

参数		东墙次屏蔽（c_1 点、c_2 点）	西墙次屏蔽（d_2 点）	屋顶次屏蔽（m_1 点、m_2 点）
X（cm）		150 砼	150 砼	130 砼
Xe（cm）		182.5 砼	182.5 砼	178.8 砼
$\dot{H}_0$（μSv·m^2/h）		3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8
泄漏辐射	TVL_1（cm）	36	36	36
	TVL（cm）	33	33	33
	B	3.63×10^{-6}	3.63×10^{-6}	4.70×10^{-6}
	R （m）	7.58	8.49	13.0
	f	0.001	0.001	0.001
	$\dot{H}_1$（μSv/h）	0.023	0.018	0.010
散射辐射	TVL_1（cm）	31	31	31
	TVL（cm）	31	31	31
	R_s（m）	7.58	8.49	13.0
	α_{ph}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
	B	1.30×10^{-6}	1.30×10^{-6}	1.70×10^{-6}
	F	1600	1600	1600
	$\dot{H}_s$（μSv/h）	0.103	0.082	0.046
$\dot{H}$泄漏辐射和散射辐射的复合作用（μSv/h）		0.126	0.100	0.056
$\dot{H}_c$（μSv/h）（剂量率参考控制水平）		1.0	8.0	8.0
评价		满足	满足	满足

（4）迷道内墙屏蔽设计核算（g 点）

A：射线路径（射线类型）：O_1→g（泄漏射线）。

B：计算模式及参数选择：

g 点泄漏辐射剂量核算方法同 f 点。

O_1 至 g 点的距离 R=9.46m， 取泄漏因子 f=0.001， TVL_1 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 TVL_1=36cm，TVL=33cm。

C：预测计算结果

表 11-5 穿过迷道内墙在 *g* 点的泄露辐射剂量率估算值

参数	机房入口处（*g* 点）
X（cm）	140 砼
X_e（cm）	144.8 砼
TVL_1	36
TVL	33
B	5.05×10^{-5}
R（m）	9.46
$\dot{H}_0$ (μSv·m²/h)	3.6×10^{8}
f	0.001
$\dot{H}$（μSv/h）	0.203
$\dot{H}_c$（剂量率参考控制水平）	0.5μSv/h
评价	满足

注：X_e 由图纸中直接测量所得；$\dot{H}_c$ 剂量率参考控制水平取自 GBZ/T201.2-2011 附录 D.1.2.6 中 a）。

（5）机房入口防护门屏蔽核算

本项目配置的医用电子直线加速器 X 射线最大为 15MV，且有用线束不向迷道照射，根据 GBZ/T 201.2-2011，对于＞10MV 的医用电子直线加速器机房迷道散射辐射需要估算下列各项：

①总中子注量 Φ_B

迷道的中子散射路径为“*o*→*B*→*P*→*g*”。*B* 点是从等中心点与迷道内墙端的连线和迷道长轴中心线之间的交点。在 *B* 点的总中子注量 Φ_B 按照公式 11-5 计算。

$$\Phi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26\ n}{2\pi} \cdots\cdots \text{公式 11-5}$$

式中三项分别是加速器机头外的杂散中子、杂散中子在治疗室内壁的散射中子及所形成的热中子。

式中：Φ_B—等中心处 1Gy 治疗照射时 *B* 处的总中子注量，（中子数/m²）/Gy；

Q_n—在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数，根据 NCRP No.151 中表 B.9 中列出的参数，本项目 Q_n 按照 18MV 医科达型加速器保守取 0.46×10^{12}（中子数/m²）/Gy；

d_1—等中心点 *o* 至 *B* 点的距离，m；

S—治疗机房的总内表面积（m²），包括四壁墙、顶面和底面，不包括迷路内各面积。上式用于铅屏蔽加速器机头。对于钨屏蔽的加速器机头，公式 11-5 的第一

项和第二项均乘以衰减因子 0.85。

在 B 点的总中子注量 Φ_B 计算结果见表 11-6。

表 11-6 总中子注量核算值

参数	取值
Q_n（中子数/Gy）	0.46×10^{12}
d_1（m）	7.48
S（m^2）	427.88
Φ_B（（中子数/m^2）/Gy）	1.56×10^{9}

②机房入口的中子俘获γ射线的剂量率$\dot{H}_\gamma$

机房内及迷路中的中子在与屏蔽物质作用时产生中子俘获γ射线，机房入口门外30cm（g）处无防护门时的中子俘获γ射线的剂量率$\dot{H}_\gamma$（μSv/h）按公式 11-6 计算。

$$\dot{H}_\gamma = 6.9\times10^{-1}\cdot\Phi_B\cdot10^{-d_2/TVD}\cdot\dot{H}_0\cdots\cdots\text{公式 11-6}$$

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

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

d_2—B 点至机房入口（g）点的距离，m；

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

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

对于二阶迷路，公式 11-6 中以二阶迷路 d_{2a} 和 d_{2b} 之和代替 d_2，并且$\dot{H}_\gamma$为公式 11-6 的 1/3。

机房入口门外 30cm（g）处无防护门时的中子俘获γ射线的剂量率$\dot{H}_\gamma$计算结果见表 11-7。

表 11-7 机房入口门外 30cm（g）处无防护门时的中子俘获γ射线的剂量率核算值

参数	取值
Φ_B（（中子数/m^2）/Gy）	1.56×10^{9}
d_{2a}（m）	6.45
d_{2b}（m）	2.06
TVD（m）	3.9
$\dot{H}_\gamma$（μSv/h）	0.85

③机房入口的中子剂量率$\dot{H}_n$

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm（g）处无防护门时的剂量率$\dot{H}_n$（μSv/h）按公式 11-7 计算。

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_B \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot \left[1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}\right] \cdot \dot{H}_0 \cdots\cdots \text{公式 11-7}$$

式中：2.4×10^{-15}—该计算方法中的经验因子，Sv/（中子数/m^2）；

S_0—迷路内口的面积，m^2；

S_1—迷路横截面积，m^2；

d_2—B 点至机房入口（g）点的距离，m；

T_n—迷路中能量相对高的中子剂量组分公式 11-7 方括号中的第二项衰减至十分之一行经的距离（m），称为什值距离。T_n 是一个经验值，与迷路横截面积有关，T_n 按公式 11-8 计算：

$$T_n = 2.06\sqrt{S_1} \cdots\cdots \text{公式 11-8}$$

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm（g）处无防护门时的剂量率 $\dot{H}_n$ 计算结果见表 11-8。

表 11-8 中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm（g）处无防护门时的剂量率核算值

参数	取值
Φ_B（（中子数/m^2）/Gy）	1.56×10^9
S_0（m^2）	16.5
S_1（m^2）	11.0
d_{2a}（m）	6.45
d_{2b}（m）	2.06
T_n（m）	6.83
$\dot{H}_n$（μSv/h）	93.7

④入口防护门屏蔽

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

本项目防护门屏蔽设计为含硼（5%）聚乙烯板 150mm，铅板 15mm，门外表面包裹有一定厚度的结构钢板。当给定防护门屏蔽厚度 X_γ 和 X_n 时，防护门外的辐射剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）按公式 11-9 计算。

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma \cdot 10^{-(X_\gamma/TVL_\gamma)} + \dot{H}_n \cdot 10^{-(X_n/TV\ n)} + \dot{H}_{og} \cdot B_{og} \cdots\cdots \text{公式 11-9}$$

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

本项目中，$\dot{H}_{og}$ 为 0.203μSv/h，$\dot{H}_\gamma$ 为 0.85μSv/h，$\dot{H}_n$ 为 93.7μSv/h，$\dot{H}_{og}$ 相对 g 处的总剂量率较小，可以忽略 $\dot{H}_{og} \cdot B_{og}$ 项。

入口处中子和中子俘获γ射线的能量均不是单一能量，TVL_γ和TVL_n参见附录C。因本项目中子屏蔽层为150mm含硼（5%）聚乙烯板，根据GBZ/T 201.2中附录C知，对于入口处平均能量为0.1MeV的中子，含硼（5%）聚乙烯板TVL_n为45mm；对于入口处中子俘获γ射线，GBZ/T 201.2中附录C认为平均能量为3.6MeV，铅的TVL_γ取值31mm。防护门外的辐射剂量率计算结果见表11-9。

表11-9 防护门外的辐射剂量率核算值

参数	取值
$\dot{H}_\gamma$（μSv/h）	0.85
X_γ（mm）	15
TVL_γ（mm）	31
$\dot{H}_n$（μSv/h）	93.7
X_n（mm）	150
TVL_n（mm）	45
$\dot{H}$（μSv/h）	0.322
$\dot{H}_c$（μSv/h）剂量率参考控制水平	4.0
评价	满足

3、医用电子直线加速器对关注点产生的剂量估算（X射线能量为10MV时）

因本项目拟配备的医用电子直线加速器以10MV，输出剂量率为14Gy/min运行时，剂量率大于15MV时的剂量率，从保守角度考虑以同样的方法计算机房周边各关注点处的辐射剂量率，最终选取两种情形下较大值作为机房关注点的理论估算值。

计算方法及公式与前文一致，不在赘述，具体计算结果如下：

（1）主屏蔽墙体屏蔽效果预测（*a*点、*b*点和*l*点）

表11-10 主屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

参数	东墙主屏蔽（*a*点）	西墙主屏蔽（*b*点）	屋顶主屏蔽（*l*点）
X（cm）	300砼	300砼	300砼
X_e（cm）	300砼	300砼	300砼
TVL（cm）	37	37	37
TVL_1（cm）	41	41	41
B	1.00×10^{-8}	1.00×10^{-8}	1.00×10^{-8}
R（m）	7.975	7.975	10.5
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	8.40×10^{8}	8.40×10^{8}	8.40×10^{8}
f	1	1	1
$\dot{H}$（μSv/h）	0.132	0.132	0.076
$\dot{H}_c$（μSv/h）	2.5	10	10
评价结果	满足	满足	满足

（2）侧屏蔽墙和迷道外墙屏蔽效果预测（*f* 点、*k* 点）

表 11-11 侧屏蔽墙和迷道外墙泄漏射线辐射率计算参数和计算结果

参数	北侧屏蔽墙（*f* 点）	迷道外墙（*k* 点）
X（cm）	219.4 砼	130 砼
X_e（cm）	219.4 砼	132 砼
TVL（cm）	31	31
TVL_1（cm）	35	35
B	1.13×10^{-7}	7.43×10^{-5}
R（m）	9.45	9.71
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	8.40×10^{8}	8.40×10^{8}
f	0.001	0.001
$\dot{H}$（μSv/h）	3.79×10^{-5}	0.662
$\dot{H}_c$（μSv/h）剂量率参考控制水平	2.5	8.0
评价结果	满足	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、c_2 点、d_2 点及 m_1 点、m_2 点）

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		东墙次屏蔽（c_1 点、c_2 点）	西墙次屏蔽（d_2 点）	屋顶次屏蔽（m_1 点、m_2 点）
X（cm）		150 砼	150 砼	130 砼
X_e（cm）		182.5 砼	182.5 砼	178.8 砼
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）		8.40×10^{8}	8.40×10^{8}	8.40×10^{8}
泄漏辐射	TVL_1（cm）	35	35	35
	TVL（cm）	31	31	31
	B	1.75×10^{-6}	1.75×10^{-6}	2.30×10^{-6}
	R（m）	7.58	8.49	13.0
	f	0.001	0.001	0.001
	$\dot{H}_1$（μSv/h）	0.026	0.020	0.011
散射辐射	TVL_1（cm）	28	28	28
	TVL（cm）	28	28	28
	R_s（m）	7.58	8.49	13.0
	α_{ph}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
	B	3.03×10^{-7}	3.03×10^{-7}	4.11×10^{-7}
	F	1600	1600	1600
	$\dot{H}_s$（μSv/h）	0.056	0.045	0.026
$\dot{H}$泄漏辐射和散射辐射的复合作用（μSv/h）		0.082	0.065	0.037
$\dot{H}_c$（μSv/h）（剂量率参考控制水平）		1.0	8.0	8.0
评价		满足	满足	满足

（4）迷道内墙屏蔽设计核算（*g* 点）

表 11-13 穿过迷路内墙在 g 点的泄露辐射剂量率估算值

参数	机房入口处（*g* 点）
X（cm）	140 砼
X_e（cm）	144.8 砼
TVL_1	35
TVL	31
B	2.87×10^{-5}
R（m）	9.46
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	8.40×10^{8}
f	0.001
$\dot{H}$（μSv/h）	0.270
$\dot{H}_c$（剂量率参考控制水平）	0.5μSv/h
评价	满足

4、预测计算结果汇总及评价

综上所述，1#医用电子直线加速器机房各关注点处理论估算结果汇总见表 11-14。

表 11-14 1#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（μSv/h）			剂量率参考控制水平（μSv/h）	结论
	15MV 时	10MV 时	最终取值		
东墙主屏蔽（*a* 点）	**0.323**	0.132	0.323	2.5	满足
西墙主屏蔽（*b* 点）	**0.323**	0.132	0.323	10	满足
屋顶主屏蔽（*l* 点）	**0.186**	0.076	0.186	10	满足
北墙侧屏蔽（*f* 点）	0.001	0.001	0.001	2.5	满足
东墙次屏蔽（c_1、c_2 点）	**0.126**	0.082	0.126	1.0	满足
西墙次屏蔽（d_2 点）	**0.101**	0.065	0.101	8.0	满足
屋顶次屏蔽（m_1、m_2 点）	**0.056**	0.037	0.056	8.0	满足
迷路外墙（*k* 点）	0.471	**0.662**	0.662	8.0	满足
迷路入口防护门（*g* 点）	**0.322**	0.270*	0.322	4.0	满足

注：*未考虑防护门的屏蔽效果

由于本项目 2 座机房呈东西镜像布置，机房防护一致，由表 11-11 可知，则 2 座医用电子直线加速器机房屏蔽设计均能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的限值要求。

5、辐射工作人员及周边公众的年有效剂量估算

参考点人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式进行估算。

$$D_{Eff} = \dot{H} \cdot t \cdot T \cdot U$$……公式 11-10

上式中：D_{Eff}—参考点人员有效剂量（Sv）；

$\dot{H}$—参考点的辐射剂量率（Sv/h）；

t—参考点处受照时间（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。

将表 11-14 中 1#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 11-10，根据医院预测的诊疗需要，本项目 1#医用直线加速器机房投入使用后，预计年工作 250d，则单台医用电子直线加速器年出束运行时间约 500h，考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，估算公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表 11-15。

表 11-15 医用电子直线加速器机房周围人员年有效剂量

机房	参考点所在场所	居留因子	使用因子	剂量率估算值（μSv/h）	年有效剂量（mSv/a）	目标管理值(mSv/a)	结论
1#医用电子直线加速器机房	北侧控制室	1	1	0.001	0.001	5.0	满足
	西侧汽车坡道	1/16	1/4	0.323	0.003	0.10	满足
	顶部室外地面	1/16	1/4	0.186	0.001	0.10	满足
	机房入口处	1/8	1	0.322	0.020	0.10	满足
2#医用电子直线加速器机房	东侧准备室	1/4	1/4	0.101	0.003	0.10	满足
	北侧控制室	1	1	0.001	0.001	5.0	满足
	顶部室外地面	1/16	1/4	0.186	0.001	0.10	满足
	机房入口处	1/8	1	0.322	0.020	0.10	满足

6、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 11-16 中的理论计算值。

表 11-16 本项目对保护目标的影响分析

位置	参考点位	居留因子	最近距离（m）	照射类型	年剂量（mSv/a）	结论
华电社区 华电一宿舍	*l*	1	26	公众照射	0.015	满足

注：不考虑土层及其他材料的屏蔽影响。

由表 11-16 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 0.1mSv/a 的评价约束值。

7、感生放射性辐射环境影响分析

医用直线加速器运行过程中靶中产生的高能光子可以与靶、准直器和限束系统中的金属材料的原子核发生各种核反应产生感生放射性，感生放射性水平取决于加速器电子的能量、束流强度、靶物质及运行时间等多种因素。感生放射性核素的活度和半衰期的范围都很宽，但大多数放射性核素的半衰期比较短，停机 5-10min 就可减弱到初始值的一半，因此放射性有效的防护措施之一就是等其自然衰变。

医用直线加速器运行期间，由于机房有足够的屏蔽，由部件产生的感生放射性不会对机房外的环境产生辐射污染。但每次治疗结束后，辐射工作人员需进入治疗室引导治疗后患者离开并对下一位患者进行摆位。往往由于放射治疗患者较多，辐射工作人员一般在医用直线加速器停机后 2min 左右就进入治疗室内，此时大部分感生放射性核素未能充分衰变。本项目使用 15MV 能量进行出束治疗的日就诊人数每台设备保守取 10 人/天，平均每位患者摆位时间为 1min，一年 250 个工作日，保守采用《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS 674-2020）标准规定限值最大值（距离外壳表面 1m 处≤20μSv/h）进行估算，辐射工作人员在摆位时受到的年有效剂量为 0.84mSv。

8、电子线辐射环境影响分析

本项目医用直线加速器在运行过程中产生的电离辐射包括有：电子、X 射线。

由于电子在物质中的射程是有限的，屏蔽比较容易，只要所选择的物质厚度大于带电粒子在该物质的射程，就可以将其完全吸收。根据《辐射防护手册 第三分册》（原子能出版社），其在 Z 较高的物质中的射程可用如下经验公式估算：

$$R = \frac{1}{2}E_{max}$$……公式 11-11

$$d = \frac{R}{\rho}$$……公式 11-12

其中：R——最大射程，单位 g/cm^2；

E_{max}——电子的最大能量，单位 MeV，本项目医用电子直线加速器最大电子能量为 20MeV；

ρ——材料的密度，单位 g/cm^3；

d——防护厚度，单位 cm。

根据上述公式，可计算得出电子在混凝土中射程为 4.68cm，加速器机房墙体最小

屏蔽厚度为150cm，所以本项目加速器机房设计结构和屏蔽厚度足以屏蔽电子线，因此加速器在运行中电子线对周围辐射环境影响很少。

根据上述结果分析知，医院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0.841mSv，周围公众年有效剂量最高为0.020mSv，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv）。

（二）后装治疗机项目

本项目后装治疗机治疗时，假设放射源全部被输送至施源器，则辐射环境影响预测时保守将其视为点源来预测计算机房治疗室屏蔽防护能力。辐射屏蔽防护及估算点位示意图见图11-2（预测点位取墙体或者防护门外30cm处）。

^{192}Ir 放射源虽有β、γ两种辐射，但β射线在空气中的射程较短，经放射源的内包鞘和治疗机的相关设施屏蔽后，在环境辐射方面已无影响，故本次环评中重点分析 ^{192}Ir 产生的γ射线的环境影响问题。

根据医院提供资料，医院预计每年使用后装治疗机治疗约5000例，平均每位患者治疗时间约10min，其中出束时间约3min，年治疗照射时间约250h/a；医生对患者进行摆位的时间约为2min/人。

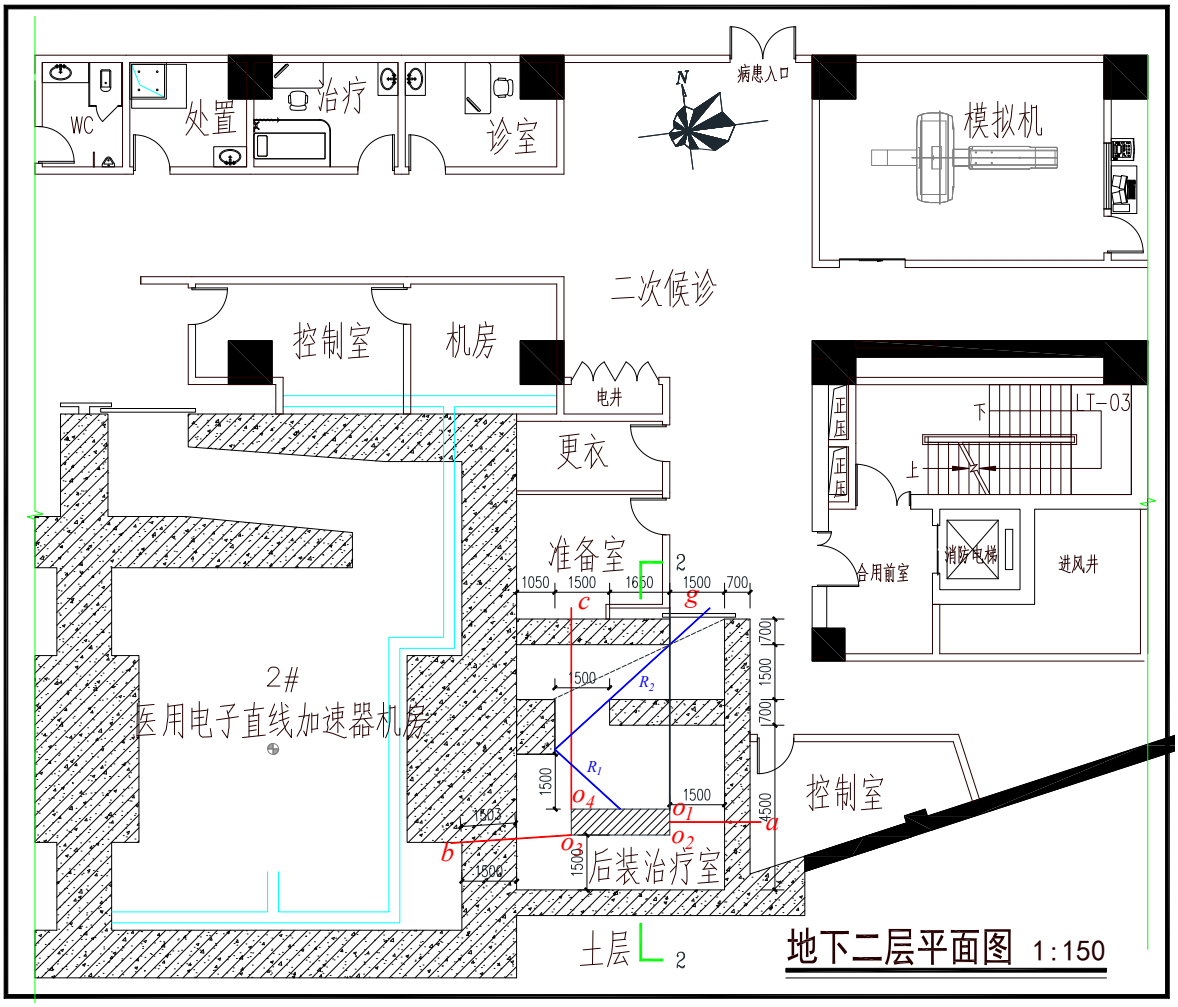


图 11-2-1 后装治疗机机房关注点布置图（平面图）

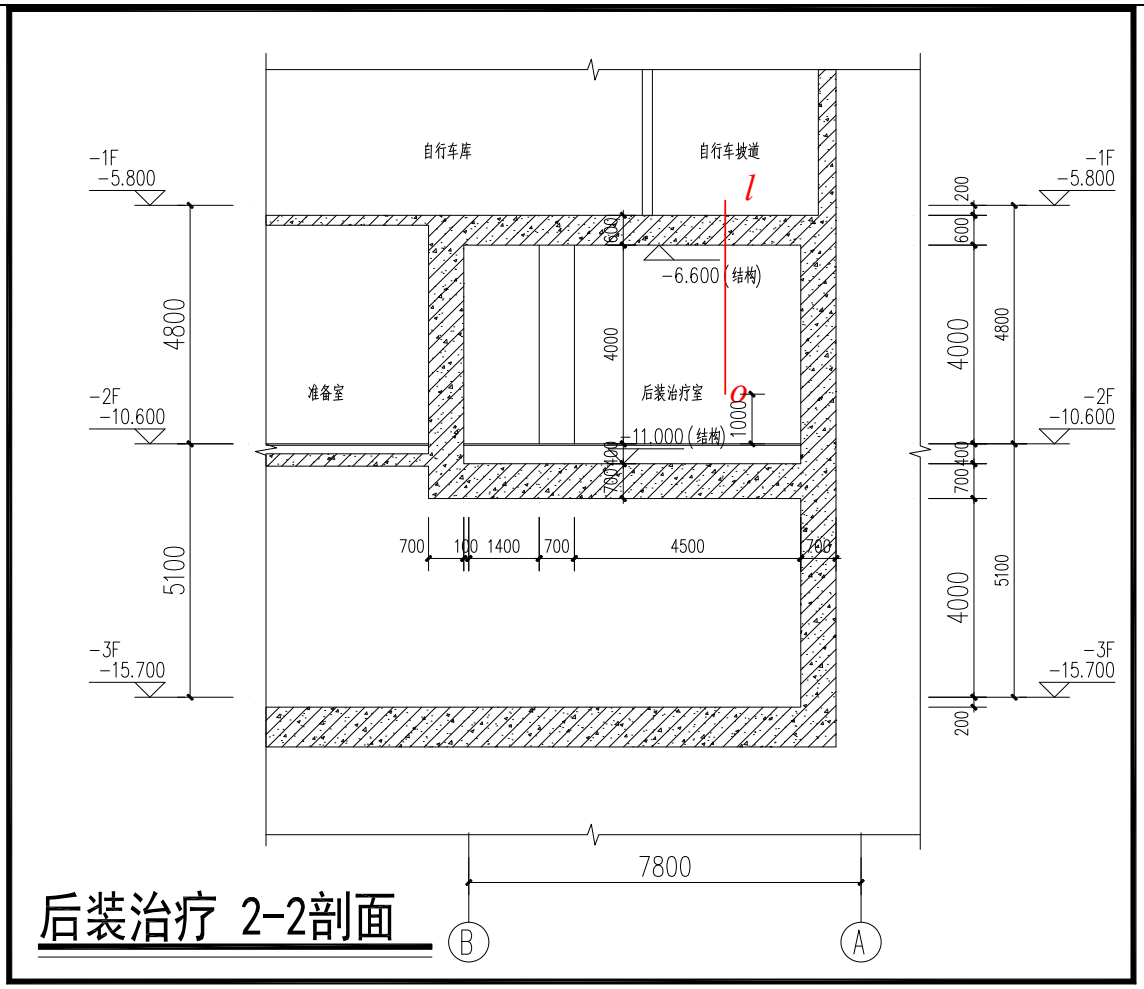


图 11-2-1 后装治疗机机房关注点布置图（剖面图）

1、后装治疗机房外关注点产生的剂量估算

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

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \cdots\cdots \text{公式 11-13}$$

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

f—对有用线束为 1；

R—辐射源至关注点的距离，m；

B—辐射屏蔽透射因子。

$$B = 10^{-(X_e+TVL-TVL_1)/TVL} \cdots\cdots \text{公式 11-14}$$

式中：X_e—有效屏蔽厚度，mm；

TVL_1—辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度，mm；

TVL—辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度，mm。

$$X_e = X/cos\theta = X \cdot sec\theta$$……公式 11-15

式中：*X*—屏蔽物厚度，mm；

θ—斜射角，即入射角与物质平面的法线的夹角。

表 11-17 后装机房辐射屏蔽防护效果预测结果

参数	东墙 *a* 点	西墙 *b* 点	北墙 *c* 点	顶部 *l* 点	出入口 g 点
屏蔽厚度 *X*（mm）	700 砼	1500 砼	700 砼	600 砼	700 砼
等效厚度 X_e（mm）	700 砼	1503 砼	700 砼	600 砼	700 砼
TVL_1（mm）	砼：152				
TVL（mm）	砼：152				
B	2.48×10^{-5}	1.29×10^{-10}	2.48×10^{-5}	1.13×10^{-4}	2.48×10^{-5}
A（MBq）	3.70×10^{5}				
K_r	0.111μSv/h·MBq				
R（m）	2.5	3.3	5.5	3.9	5.2
f	1				
$\dot{H}_0$（μSv/h）	4.11×10^{4}				
$\dot{H}$（μSv/h）	0.163	4.88×10^{-7}	0.034	0.305	0.038*
$\dot{H}_c$（μSv/h）	2.5	2.0	4.0	10	8.0
是否满足	满足	满足	满足	满足	满足

注：*仅考虑迷道内墙的屏蔽。

2、后装机房迷路防护门辐射防护设计核算

本项目后装机房入口设有“L”型迷路，迷路口用 10mmPb 防护当量的防护门屏蔽散射至迷路入口处的散射线。

入口 *g* 处的散射辐射剂量采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源 放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中公式计算：

$$H_s = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2}$$ ……公式 11-16

式中：*A*—放射源的活度，MBq；本项目 ^{192}Ir 放射源活度 *A* 为 3.70×10^{5}MBq；

K_γ—放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，此时，K_γ 的单位记为 μSv/（h·MBq），查自（GBZ/T 201.3-2014）附录 C；

S_w—迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可视见的墙区面积，m^2；

a_w—散射体的散射因子，本项目取 3.39×10^{-2}；（取值参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）表 C.4。

R_1—辐射源至散射体中心点的距离，m；

R_2—散射体中心点至计算点的距离，m。

表 11-18 后装机房入口 *g* 点处辐射剂量率计算结果

参数	取值
A 放射源活度（MBq）	3.70×10^5
K_γ 空气比释动能率常数（μSv/（h·MBq））	0.111
S_w（m^2）	1.36×4.0
a_w（散射体的散射因子）	3.39×10^{-2}
R_1（m）	2.42
R_2（m）	5.74
$\dot{H}$预测值（μSv/h）	39.25

根据公式 11-26 计算得机房入口前的散射辐射剂量率为 39.25μSv/h，后装机房迷路设有铅当量为 10mm 的防护门，保守取 ^{192}Ir 产生的 γ 射线经过散射后至迷路入口 *g* 处的能量约为 0.2MeV，铅中的 *TVL* 值为 5.0mm，因此，经过机房入口防护门的屏蔽后的辐射剂量率可参照下式进行计算，计算结果详见表 11-19：

$$\dot{H} = \dot{H}_s \cdot 10^{-\left(\frac{X}{TVL}\right)} + \dot{H}_{og} \quad \text{……公式 11-17}$$

式中 $\dot{H}_s$ 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 5mm

表 11-19 入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果

参数		g 点
$\dot{H}_s$		39.25μSv/h
X		10mm 铅
TVL		5mm
$\dot{H}_{og}$		0.038μSv/h
入口门外关注点总辐射剂量 $\dot{H}$	估算值	0.430μSv/h
	控制值	8.0μSv/h
	评价结果	满足

3、预测计算结果汇总及评价

综上所述，后装机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-20。

表 11-20 后装机房墙、顶、门外理论估算结果汇总

关注点 / 参数	东墙 *a* 点	西墙 *b* 点	北墙 *c* 点	顶部 *l* 点	防护门 g 点
H（μSv/h）	0.163	4.88×10^{-7}	0.034	0.305	0.430
$\dot{H}_c$（μSv/h）	2.5	2.0	2.5	2.5	2.5
结论	满足	满足	满足	满足	满足

本项目后装机房内设有通风装置，采用机械排风方式。本项目后装机房进风管道、排风管道穿墙处采用“S”型设计，管道经防护门上方由迷路到达机房内，射线经几次散射后，通风管道出口处辐射剂量将在控制范围内。电缆沟埋设在地下，电缆线布设采用地下“U”型穿墙管道，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

4、保护目标有效剂量评价

后装治疗机周治疗时间约为 5h，年运行时间约 250h，根据各参考点处年受照时间，并考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，则后装治疗机机房外辐射剂量预测结果见表 11-21。

表 11-21 后装治疗机机房外辐射剂量预测结果

参考点	参考点所在场所	居留因子*	使用因子	辐射剂量率（μSv/h）	年有效剂量（mSv/a）	目标管理值（mSv/a）	结论
东墙 *a* 点	控制室	1	1	0.163	0.040	5.0	满足
西墙 *b* 点	2#加速器机房	1/2	1	4.88×10^{-7}	＜0.001	0.1	满足
北墙 *c* 点	准备室	1/4	1	0.034	0.002	0.1	满足
顶部 *l* 点	自行车库	1/16	1	0.305	0.005	0.1	满足
迷路入口防护门 *g* 点		1/8	1	0.430	0.013	0.1	满足

注：*居留因子取值见 HJ 1198-2021 附录 A。

根据表 11-21 结果分析知，该后装治疗机投入运行后，后装治疗机机房外辐射剂量率均小于各关注点的剂量率参考控制水平，满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）的要求。

在进行放射治疗前，工作人员需进入机房对患者进行摆位，此时放射源处于贮存状态，工作人员进行摆位/解除摆位时距离设备约 1m，根据《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262-2017）中的相关要求：距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 5μSv/h，平均每位患者摆位/解除摆位各 1min，年门诊量最大 5000 人次，则辐射工作人员摆位过程中年最大有效剂量为 0.417mSv。

根据表 11-28 理论计算结果可知，本项目后装治疗机运行后辐射工作人员最大有效剂量为 0.457（0.417+0.040）mSv/a，周围公众年有效剂量最大值为 0.013mSv，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求。

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 11-22 中的理论计算值。

表 11-22 本项目对保护目标的影响分析

位置	参考点位	居留因子	最近距离（m）	照射类型	年剂量（mSv/a）	结论
华电社区 华电一宿舍	*l*	1	26	公众照射	0.010	满足

注：不考虑土层的屏蔽效能。

由表 11-22 可知，医院后装治疗机机房周边环境保护目标处的公众所受年最大剂量均低于 0.1mSv/a 的评价约束值。

6、机房门缝、通风系统及电缆沟辐射防护评价

本项目医用电子直线加速器机房和后装治疗机机房防护门设计制作时，除要考虑足够的防护厚度外，拟考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。本项目放疗机房门与墙之间的间隙小于 1cm，防护门与墙之间的搭接不小于 10cm，可有效防止门缝处射线泄漏。

本项目医用电子直线加速器机房和后装治疗机机房进、排风管道穿墙处均采用倒“S”型设计，管道为方管，进风管道内径为 400mm×400mm，排风管道内径为 400mm×400mm，管道经防护门上方由迷路到达机房内，管道穿迷路上方屏蔽到达机房内，管道系统均避开主射线方向，射线经几次散射后，通风管道出口处辐射剂量将在控制范围内。

电缆沟埋设在地下，电缆线布设采用地下“U”型穿墙管道，穿墙处埋地深度为 400mm，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

（三）模拟定位机项目

本项目模拟定位机机房实体屏蔽防护设计与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 X 射线设备机房屏蔽防护要求对照分析见表 11-23。

表 11-23 模拟定位机机房屏蔽防护设计一览表

参数	设计厚度	铅当量	屏蔽要求	评价
四侧墙体	200mm 厚实心混凝土砖墙 +1mmPb 硫酸钡涂料	3.3mm	2.5 mmPb	满足
防护门	3mm 铅	3mm		满足
观察窗	3mm 铅当量	3mm		满足
屋顶	150mm 厚混凝土+1.5mm 铅板	3mm		满足
地面	350mm 厚混凝土	4.6mm		满足
机房面积	36.7m^2，单边最短长度 5.4m	机房最小有效使用面积 30m^2， 机房内最小单边长 4.5m		满足

由上表对照结果可知，本项目模拟定位机实体屏蔽防护满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，机房实体屏蔽设计合理。

叠加影响分析

考虑放疗中心医用电子直线加速器机房和后装治疗机机房位置相对较近，则需考虑辐射工作人员和周边公众的剂量叠加影响，详见表 11-24。

表 11-24 放疗中心辐射工作人员和周边公众年有效剂量叠加情况一览表

位置	医用电子直线加速器贡献	后装机贡献	年有效剂量	照射类型
医用电子直线加速器机房入口处	0.026mSv/a①	/	0.026 mSv/a	公众照射
准备室	0.003mSv/a②	0.002③	0.005mSv/a	公众照射
华电社区 华电一宿舍	0.010 mSv/a	0.010mSv/a	0.020 mSv/a	公众照射

注：①取 1#和 2#医用电子直线加速器机房防护门入口处的叠加影响；

②参考 2#医用电子直线加速器的 d'_2 点进行计算；

③参考后装治疗机的 c 点进行计算。

综上所述，医院放疗中心投入运行后，医用电子直线加速器机房辐射工作人员受到的附加有效剂量最大为 0.841mSv/a，公众受到的附加有效剂量最大为 0.026mSv/a；后装治疗机房辐射工作人员受到的附加有效剂量最大为 0.457mSv/a，公众受到的附加有效剂量最大为 0.013mSv/a，院外保护目标处的公众受到的附加有效剂量最大为 0.020mSv/a，均分别小于 5mSv/a 和 0.1mSv/a 的剂量约束值。

（四）核医学科项目

本项目主要污染因子为 ^{18}F、^{99m}Tc、^{89}Sr 和 ^{153}Sm 放射性核素在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的 β、γ 射线及 β 放射性表面污染；PET/CT、SPECT/CT 装置 CT 扫描时产生的 X 射线。

1、β 射线辐射影响分析

β 射线的穿透性能较差，根据《辐射防护手册（第三分册）》，β 射线在不同物质中与最大射程对应的防护厚度为：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\rho max} \cdots\cdots \text{公式 11-18}$$

式中：$E_{\beta max}$—β 射线的能量，MeV；

ρ—物质的密度，g/cm^3。

d—与最大射程对应的防护厚度，cm。

主要计算参数及结果见表 11-25。

表 11-25 与最大射程对应的防护厚度计算参数及结果

核素	E_β(MeV)	屏蔽材料	ρ 材料密度(g/cm³)	d 防护厚度（cm）
^{89}Sr	1.495	空气	0.0012	622.9
		有机玻璃	1.18	0.633
		混凝土	2.30	0.325
		铅	11.1	0.067
^{153}Sm	0.2652	空气	0.001293	102.6
		有机玻璃	1.18	0.112
		混凝土	2.30	0.058
		铅	11.34	0.012
^{18}F	0.63	铅	11.3	0.03
		混凝土	2.35	0.14
		实心砖	1.65	0.19

本项目手套箱或通风橱均采用铅板及铅玻璃进行防护，工作场所墙体、顶部采用混凝土+铅板，各防护门均采用铅防护门，观察窗均为铅玻璃观察窗进行辐射防护，本项目 ^{18}F 等放射性核素 β 射线在上述屏蔽材料中射程均极短。在核素操作过程中，在穿戴好防护用品后，基本可以消除 β 射线对辐射工作人员及周围公众的辐射影响。

但是，β 射线可与物质相互作用从而产生韧致辐射，物质的原子序数越高，所产生的韧致辐射越强。

根据《辐射防护导论》（方杰主编）中的公式计算 β 射线产生的韧致辐射在考察点处空气中的吸收剂量率：

$$\dot{D} = 4.58 \times 10^{-14} A Z_e \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot (\mu_{en}/\rho) \cdots\cdots \text{公式 11-19}$$

其中：$\dot{D}$—是屏蔽层中由 β 粒子产生的韧致辐射在考察点处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

A—放射源的活度，Bq；

Z_e—吸收 β 粒子的屏蔽材料（或靶核）的有效原子序数；

E_b—β 粒子的平均能量，MeV；

r—放射源到考察点的距离，m；

μ_{en}/ρ—平均能量为 E_b 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数，m^2/kg。

由公式 11-19 计算其所致剂量率，主要计算参数及计算结果见表 11-26。

表 11-26 核素产生韧致辐射剂量率

核素	活度(Bq)	有效原子序数	E_b（MeV）	距离（m）	μ_{en}/ρ（m^2/kg）	剂量率（μGy/h）
^{89}Sr	1.48×10^8	6.3（有机玻璃）	0.5818	1	2.955×10^{-3}	0.072
^{153}Sm	1.48×10^9	5.85（有机玻璃）	0.0884	1	2.362×10^{-3}	0.0073
		7.36（空气）				0.0092

注：质量能量吸收系数取自《辐射防护导论》方杰主编。

由估算结果可知，距屏蔽层 1m 处韧致辐射剂量率低于 0.072μGy/h，且注射时一般在铅注射窗下给患者施药，经铅玻璃的进一步屏蔽后所致工作人员处辐射剂量率将远低于 0.072μGy/h，因此骨转移项目对周围辐射环境影响很少。

综上所述，本项目涉及使用的 ^{18}F 等放射性核素在整个过程中均采取了有效的屏蔽措施屏蔽 β 射线，同时在整个使用过程中辐射工作人员还穿戴有 0.5mm 铅当量的防护铅服，且周围公众与放射性核素之前还采取了距离隔离措施，因此 β 射线对辐射工作人员和周围公众辐射影响很小。

2、β 放射性表面污染影响分析

β 放射性表面沾污的影响主要来源于辐射工作人员操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对辐射工作人员和周围公众造成辐射影响，因此，为了使本项目核医学科的 β 放射性表面污染水平达到 GB 18871-2002 规定的要求，环评要求建设方要做到以下防护措施：

（1）使用、操作放射性同位素的人员应经过专业学习并持证上岗，具备相应的技能与防护知识；

（2）本项目放射性核素操作均在手套箱中进行；

（3）操作 ^{18}F、^{99m}Tc、^{89}Sr 和 ^{153}Sm 放射性核素应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料；

（4）不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

（5）放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污；

（6）做好就诊患者的管理，特别是注射放射性药品的患者管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动；

（7）如 β 放射性表面污染水平超过 GB 18871-2002 规定值，医院应暂停开展核医学科的相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务，同时辐射工作人员

出现手、皮肤、内衣、工作袜等出现污染情况需及时进行去污操作并暂停放射性物质操作评估其受照射剂量，并根据评估结果采取下一步措施（调整工作或接受治疗等）。

3、γ 射线辐射影响分析

本项目主要污染因子为 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 放射性核素在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的 γ 射线。

参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 中第 1.2 款 ^{99m}Tc 诊断、^{131}I 治疗、PET 等工作场所的屏蔽计算，保守起见，所有核素（如 ^{99m}Tc、^{131}I、^{18}F 等）工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。

$$X = TVL \times \lg(\frac{A \times \Gamma}{\dot{H}_P \times r^2}) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（I.1）}$$

式中：X—屏蔽厚度（mm）；

TVL—γ 射线的十分之一值层厚度（mm）；

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（μSv·m^2/MBq·h）；

$\dot{H}_P$—屏蔽体外关注点剂量率（μSv/h）；

R —放射源到考察点的距离（m）。

由公式 I.1 推导可得：

$$\dot{H}_P = \frac{A \times \Gamma}{r^2} 10^{(-\frac{x}{TVL})} \cdots\cdots \text{公式 11-20}$$

由《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）查出铅、混凝土和实心砖对 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 什值层见表 11-27。

表 11-27 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	^{99m}Tc	^{18}F
铅什值层厚度 TVL（ρ=11.3g/cm^3）	1mm	16.6mm
砼什值层厚度 TVL（ρ=2.35g/cm^3）	110mm	176mm
实心砖什值层厚度 TVL（ρ=1.65g/cm^3）	160mm	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。

$$D_{Eff} = \dot{H}_P \cdot t \cdot T \cdot U \cdots\cdots \text{公式 11-21}$$

上式中：D_{Eff}—考察点人员有效剂量（Sv）；

$\dot{H}_P$—考察点的空气比释动能率（μSv/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；

（1）使用放射性同位素 ^{99m}Tc 开展 SPECT/CT 显像检查项目（核医学科东区）

根据本项目的工程分析可知，SPECT/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 SPECT/CT 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 11-3，预测结果见表 11-28。

图 11-3　核医学科使用 ^{99m}Tc 时估算点位示意图

表 11-28 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（μSv/h）	备注
1	手套箱外表面 30cm 处	$600\times3.70\times10^{7}$	0.3	5mmPb	1×10^{-5}	0.075	手套箱为 5mmPb
2	注射位	$20\times3.70\times10^{7}$	0.5	5mmPb	1×10^{-5}	0.001	/
3	注射室东墙外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	1.8	20cm 厚混凝土砖墙	0.015	0.105	/
4	注射室南墙外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	1.8	20cm 厚混凝土砖墙	0.015	0.105	/
5	注射室南侧防护门外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	1.8	3mmPb	0.001	0.007	/
6	注射室西墙外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	1.8	20cm 厚混凝土砖墙	0.015	0.105	/
7	注射室顶部距地面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	4.8	15cm 厚混凝土	0.043	0.042	/
8	注射室下方距地面 1.7m 处	$20\times3.70\times10^{7}$	4.4	35cm 厚混凝土	6.6×10^{-4}	0.001	/
9	入口缓冲间防护门外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	4.3	3mmPb	0.001	0.001	/
10	注射后候诊室东墙外表面 30cm 处	$100\times3.70\times10^{7}$	2.8	20cm 厚混凝土砖墙	0.015	0.217	假设 5 人候诊
11	注射后候诊室南墙外表面 30cm 处	$100\times3.70\times10^{7}$	4	20cm 厚混凝土砖墙	0.015	0.106	
12	注射后候诊室防护门外表面 30cm 处	$100\times3.70\times10^{7}$	3.8	3mmPb	0.001	0.008	
13	注射后候诊室西墙外表面 30cm 处	$100\times3.70\times10^{7}$	2.8	20cm 厚混凝土砖墙	0.015	0.217	
14	注射后候诊室北墙外表面 30cm 处	$100\times3.70\times10^{7}$	4	20cm 厚混凝土砖墙	0.015	0.106	
15	注射后候诊室顶部距地面 30cm 处	$100\times3.70\times10^{7}$	4.8	15cm 厚混凝土	0.043	0.211	
16	注射后候诊室下方距地面 1.7m 处	$100\times3.70\times10^{7}$	4.4	35cm 厚混凝土	6.6×10^{-4}	0.004	
17	抢救室东墙外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	1.8	20cm 厚混凝土砖墙	0.015	0.105	/

18	抢救室南墙外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	3.2	20cm 厚混凝土砖墙	0.015	0.033	/
19	抢救室西墙外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	1.8	20cm 厚混凝土砖墙	0.015	0.105	/
20	抢救室北墙外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	3.2	20cm 厚混凝土砖墙	0.015	0.033	/
21	抢救室防护门外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	3.2	3mmPb	0.001	0.002	/
22	抢救室顶部距地面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	4.8	15cm 厚混凝土	0.043	0.042	/
23	抢救室下方距地面 1.7m 处	$20\times3.70\times10^{7}$	4.4	35cm 厚混凝土	6.6×10^{-4}	0.001	/
24	SPECT/CT 机房东墙外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	3.7	20cm 厚混凝土砖墙+1.5mmPb 硫酸钡涂料	4.8×10^{-4}	0.001	/
25	SPECT/CT 机房南墙外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	4.5	4mmPb	1×10^{-4}	1.1×10^{-4}	/
26	操作位	$20\times3.70\times10^{7}$	4.5	5mmPb	1×10^{-5}	1.1×10^{-5}	/
27	SPECT/CT 机房南防护门外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	4.5	4mmPb	1×10^{-4}	1.1×10^{-4}	/
28	SPECT/CT 机房西防护门外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	3.7	4mmPb	1×10^{-4}	1.6×10^{-4}	/
29	SPECT/CT 机房西墙外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	3.7	20cm 厚混凝土砖墙+1.5mmPb 硫酸钡涂料	4.8×10^{-4}	0.001	/
30	SPECT/CT 机房北墙外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	4.5	20cm 厚混凝土砖墙+1.5mmPb 硫酸钡涂料	4.8×10^{-4}	5.3×10^{-4}	/
31	SPECT/CT 机房顶部外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	4.8	15cm 厚混凝土+2.5mmPb	1.4×10^{-4}	1.3×10^{-4}	/
32	SPECT/CT 机房下方距地面 1.7m 处	$20\times3.70\times10^{7}$	4.4	35cm 厚混凝土	6.6×10^{-4}	0.001	/
33	摆位/解除摆位	$20\times3.70\times10^{7}$	1	2mmPb	0.003	0.071	2mmPb 铅屏风
34	留观室防护门外表面 30cm 处	$40\times3.70\times10^{7}$	1.7	3mmPb	0.001	0.016	假设 2 人同时留观
35	留观室东墙外表面 30cm 处	$40\times3.70\times10^{7}$	1.7	20cm 厚混凝土砖墙	0.015	0.236	

36	留观室南墙外表面 30cm 处	$40\times3.70\times10^{7}$	2.1	20cm 厚混凝土砖墙	0.015	0.155	
37	留观室西墙外表面 30cm 处	$40\times3.70\times10^{7}$	1.7	20cm 厚混凝土砖墙	0.015	0.236	
38	留观室北墙外表面 30cm 处	$40\times3.70\times10^{7}$	2.1	20cm 厚混凝土砖墙	0.015	0.155	
39	留观室顶部距地面 30cm 处	$40\times3.70\times10^{7}$	4.8	20cm 厚混凝土	0.043	0.084	
40	留观室下方距地面 1.7m 处	$40\times3.70\times10^{7}$	4.4	35cm 厚混凝土	6.6×10^{-4}	0.002	
41	走道距顶部地面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	4.8	20cm 厚混凝土	0.015	0.015	/
42	出口缓冲间防护门外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	1.5	3mmPb	0.001	0.010	/

从表 11-28 中的理论估算结果可以看出，由于有 5mm 铅当量手套箱屏蔽，^{99m}Tc 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。^{99m}Tc 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。^{99m}Tc 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 ^{99m}Tc 核素的辐射防护要求，项目对核医学科周围环境辐射影响较小，均小于 2.5μSv/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。

2、CT 环境影响分析

本项目按额定管电压 140kV 核算 SPECT/CT 机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。本项目 SPECT/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量见表 11-29。

表 11-29 核医学科东区 SPECT/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量一览表

参数	设计厚度 1)	铅当量 2)	屏蔽要求	评价
墙体	200mm 厚混凝土砖墙 +1.5mmPb 硫酸钡涂料	3.8mm	CT 机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向、非有用线束方向铅当量 2.5mm。	满足
防护门	4.0mm 铅	4.0mm		满足
观察窗	5.0mm 铅当量	5.0mm		满足
顶部	150mm 砼+2.5mm 铅板	4.0mm		满足
地面	350mm 砼	4.6mm		满足
面积	37.5m^2，最小单边长度为 5.55m	CT 机房内最小有效新建面积不小于 30m^2，单边长度不小于 4.5m。		满足

注：1、混凝土密度为 2.35g/cm^3，铅板密度为 11.3g/cm^3；

2、混凝土参照 GBZ 130-2020 中表 C.5 及表 C.6 中等效铅当量厚度数值采用插值法求得。

由上表可知，核医学科东区 SPECT/CT 机房屏蔽防护措施能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求。

本项目 SPECT/CT 机房辐射屏蔽主要考虑散射辐射与泄漏辐射的影响。本项目 SPECT/CT 设备型号未定，以 CT 模式运行时，其常用最大管电流约为 100mA、最大管电压为 140kV，根据《辐射防护手册（第一分册）》P448 的能量散射公式计算一次散射能量与初级射线能量的比值，140kV 射线经过一次散射后的射线能量约为 109.9kV，故本项目保守按 120kV 进行计算。

（1）关注点处散射辐射剂量率计算

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）给出的 X 射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的比

释动能率 H_s 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1）：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot r^2} \cdot K \quad \cdots\cdots \text{公式 11-22}$$

式中：H_0—X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1m 处由主束产生的比释动能率），$mGy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$，具体数值可根据 X 射线机管电压、过滤片等条件从《辐射防护导论》附图 3 查取，按本项目 CT 的最大管电压为 140kV、过滤片为 2.5mmAl 的条件从《辐射防护导论》附图 3 查得 H_0 为 $15mGy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$，即 $900000\mu Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot h^{-1}$；

I—管电流，mA；本项目 CT 模式下正常使用的最大管电流为 100mA；

a—人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，查《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1，本项目取值为 0.0018；

S—主束在受照人体上的散射面积，本项目取 $314cm^2$；

d_0—源至受照点的距离，本项目保守取 0.6m；

r—受照体至关注点的距离。

B_s—屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-23：

$$B_s = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha}\right) e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \cdots\cdots \text{公式 11-23}$$

式中：X—铅厚度，本项目机房屏蔽体的铅厚度见表 11-29；

α、β、γ—铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，具体见表 11-30。

表 11-30 铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
140kV（CT）	2.009	3.99	0.342
120kV（CT）	2.246	5.730	0.5470

K—有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，查《用于光子外照射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）表 B2， K 值取 1.60。

（2）关注点处泄漏辐射剂量率计算

泄漏辐射剂量率 $\dot{H}_L$ 采用下式计算：

$$\dot{H}_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \cdot K \quad \cdots\cdots \text{公式 11-24}$$

式中：H_i—距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，mGy/h；本项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取 0.8mGy/h。

B—屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-23。

K—有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，查《用于光子外照射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）表 B2，*K* 值取 1.60。

按照公式 11-23 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 *B*，机房外关注点处的辐射剂量率理论估算结果汇总见表 11-31。

表 11-31 SPECT/CT 机房 CT 出束状态下参考点处及叠加 ^{99m}Tc 放射性药物的辐射剂量率核算值

参考点位	24#	25#	26#	27#	28#	29#	30#	31#	32#
r（m）	3.7	4.5	4.5	4.5	3.7	3.7	4.5	4.8	4.4
B_s	1.96×10^{-5}	1.25×10^{-5}	1.31×10^{-6}	1.25×10^{-5}	1.25×10^{-5}	1.96×10^{-5}	1.96×10^{-5}	1.25×10^{-5}	3.23×10^{-6}
H_0	$900000\mu Gy\cdot m^2\cdot mA^{-1}\cdot h^{-1}$								
B	2.29×10^{-5}	1.50×10^{-5}	1.89×10^{-6}	1.50×10^{-5}	1.50×10^{-5}	2.29×10^{-5}	2.29×10^{-5}	1.50×10^{-5}	4.30×10^{-6}
H_i	800μGy/h								
剂量率估算值 *H*（μGy/h）	0.812	0.349	0.037	0.349	0.517	0.812	0.549	0.307	0.095
^{99m}Tc 致参考点辐射水平（μSv/h）	0.001	1.1×10^{-4}	1.1×10^{-5}	1.1×10^{-4}	1.6×10^{-4}	0.001	5.3×10^{-4}	1.3×10^{-4}	0.001
叠加辐射水平（μSv/h）	0.813	0.349	0.037	0.349	0.517	0.813	0.549	0.307	0.096
控制目标值（μSv/h）	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
是否满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

计算结果表明， SPECT/CT 以 CT 模式运行（工况：140kV/100mA）时，叠加放射性药物的辐射影响，机房四周墙体、顶部、地面及防护门处的辐射剂量率为（0.307~0.813）μSv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的要求。

3、保护目标的有效剂量估算

SPECT/CT 使用 ^{99m}Tc 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 11-28 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 11-32。

表 11-32　使用 ^{99m}Tc 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（μSv/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	手套箱外表面 30cm 处	0.075	工作人员	1	取药 2min×30 次×250d	0.019	5.0	/
2	注射位	0.001	工作人员	1	注射 1min×30 次×250d	1.1×10^{-4}	5.0	/
4	注射室南墙外表面 30cm 处	0.105	公众	1/16	取药 2min×30 次×250d	0.002	0.10	更衣室
5	注射室南侧防护门外表面 30cm 处	0.007	公众	1/16	取药 2min×30 次×250d	＜0.001	0.10	更衣室
7	注射室顶部距地面 30cm 处	0.042	公众	1/16	取药 2min×30 次×250d	0.001	0.10	设备间
8	注射室下方距地面 1.7m 处	0.001	公众	1/16	取药 2min×30 次×250d	＜0.001	0.10	进风机房
9	入口缓冲间防护门外表面 30cm 处	0.001	公众	1/16	停留 1min×30 次×250d	＜0.001	0.10	缓冲间
13	注射后候诊室西墙外表面 30cm 处	0.217	公众	1/4	候诊 20min×6 次×250d	0.027	0.10	过道
14	注射后候诊室北墙外表面 30cm 处	0.106	公众	1/16	候诊 20min×6 次×250d	0.003	0.10	配电间
15	注射后候诊室顶部距地面 30cm 处	0.211	公众	1/16	候诊 20min×6 次×250d	0.007	0.10	设备间
16	注射后候诊室下方距地面 1.7m 处	0.004	公众	1/16	候诊 20min×6 次×250d	＜0.001	0.10	进风机房
17	抢救室东墙外表面 30cm 处	0.105	公众	1/4	抢救 30min×5 次/年	＜0.001	0.10	过道
18	抢救室南墙外表面 30cm 处	0.033	公众	1/4	抢救 30min×5 次/年	＜0.001	0.10	过道
19	抢救室西墙外表面 30cm 处	0.105	公众	1/16	抢救 30min×5 次/年	＜0.001	0.10	更衣室
22	抢救室顶部距地面 30cm 处	0.042	公众	1/16	抢救 30min×5 次/年	＜0.001	0.10	设备间
23	抢救室下方距地面 1.7m 处	0.001	公众	1/16	抢救 30min×5 次/年	＜0.001	0.10	进风机房
24	SPECT/CT 机房东墙外表面 30cm 处	0.001	公众	1/4	显像 20min×30 次×250d	＜0.001	0.10	过道

25	SPECT/CT 机房南墙外表面 30cm 处	1.1×10^{-4}	工作人员	1/4	显像 20min×30 次×250d	＜0.001	5.0	控制室
26	操作位	1.1×10^{-5}	工作人员	1	显像 20min×30 次×250d	＜0.001	5.0	控制室
27	SPECT/CT 机房南防护门外表面 30cm 处	1.1×10^{-4}	工作人员	1/4	显像 20min×30 次×250d	＜0.001	5.0	控制室
31	SPECT/CT 机房顶部外表面 30cm 处	1.3×10^{-4}	公众	1/16	显像 20min×30 次×250d	＜0.001	0.10	设备间
32	SPECT/CT 机房下方距地面 1.7m 处	0.001	公众	1/16	显像 20min×30 次×250d	＜0.001	0.10	进风机房
33	摆位/解除摆位	0.071	工作人员	1	摆位 1min×30 次×250d	0.009	5.0	/
38	留观室北墙外表面 30cm 处	0.155	公众	1/16	留观 10min×15 次×250d	0.006	0.10	衰变池
39	留观室顶部距地面 30cm 处	0.084	公众	1/16	留观 10min×15 次×250d	0.003	0.10	设备间
40	留观室下方距地面 1.7m 处	0.002	公众	1/16	留观 10min×15 次×250d	＜0.001	0.10	进风机房
41	走道距顶部地面 30cm 处	0.015	公众	1/16	停留 1min×30 次×250d	＜0.001	0.10	设备间
42	出口缓冲间防护门外表面 30cm 处	0.010	公众	1/16	停留 1min×30 次×250d	＜0.001	0.10	缓冲间

注：控制区内不考虑工作公众辐射影响。

核医学诊断项目过程中，工作人员主要受照射环节为分装、注射过程及患者扫描诊断过程。一般情况下，分装过程约 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。预测本项目运行后， SPECT 诊断项目日接诊量最大为 30 人次。本项目 SPECT/CT 以 CT 模式运行的时间较短，平均每名患者约 20s，机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算见表 11-33。

表 11-33 SPECT/CT 机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点位	参考点位置	CT 致参考点辐射水平（μSv/h）	居留因子	CT 致参考点人员有效剂量（mSv/a）	关注对象	位置
24	SPECT/CT 机房东墙外表面 30cm 处	0.813	1/4	3.39×10^{-5}	公众	过道
25	SPECT/CT 机房南墙外表面 30cm 处	0.349	1/4	1.46×10^{-5}	工作人员	控制室
26	操作位	0.037	1	6.14×10^{-6}	工作人员	控制室
27	SPECT/CT 机房南防护门外表面 30cm 处	0.349	1/4	1.46×10^{-5}	工作人员	控制室
31	SPECT/CT 机房顶部外表面 30cm 处	0.307	1/16	3.21×10^{-6}	公众	设备间
32	SPECT/CT 机房下方距地面 1.7m 处	0.096	1/16	9.87×10^{-7}	公众	进风机房

注：控制区内不考虑工作公众辐射影响。

根据上述估算结果，分装过程中人员受到的年有效剂量为 0.019mSv，注射过程中人员受到的年有效剂量为＜0.001mSv，扫描过程中受到的年有效剂量约为 0.009mSv（＜0.001mSv/a<操作位>+6.14×10^{-6}mSv/a<操作位>+0.009mSv/a<摆位>）。辐射工作人员所受年有效剂量最大约为 0.019mSv，能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求。

根据上述估算结果，核医学诊断项目工作过程中，周围公众（控制区、监督区外）年有效剂量最大为 0.027mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）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 0.1mSv）。

4、使用放射性同位素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展 PET/CT 显像检查项目（核医学科西区）

本项目使用的 ^{68}Ga 通过锗镓发生器，淋洗、分装于注射室通风橱内，在使用时，操作人员仅需完成插瓶、取瓶、标记等步骤，近距离接触时间较短约 5min，年受照时间约 2500min（5min×2 次×250d）。根据医院提供的资料，锗镓发生器在使用过程中，

发生器表面剂量率约12μSv/（h•GBq），本项目锗镓发生器为50mCi（1.85×10^9Bq），则锗镓发生器表面剂量率约为22.2μSv/h，通风橱为75mmPb，操作时辐射工作人员与发生器的距离取0.5m，则辐射工作人员淋洗药物时所受年有效剂量约为0.002mSv/a。

由于^{68}Ga的核素特性与^{18}F类似，故本报告以使用^{18}F开展PET/CT显像作为典型工况来计算工作场所的辐射剂量率是否满足要求。

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11-4，预测结果见表11-34。

图 11-4　核医学科使用 ^{18}F 时估算点位示意图

表 11-34 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（μSv/h）	备注
1	通风橱外表面 30cm 处	$200\times3.70\times10^7$	0.3	75mmPb	0.0001	0.357	通风橱 70mmPb 铅套 10mmPb 注射窗 50mmPb
2	注射位	$10\times3.70\times10^7$	0.5	60mmPb	0.0002	0.051	
3	注射室东防护门外表面 30cm 处	$10\times3.70\times10^7$	2.0	10mmPb+10mmPb	0.0624	0.825	
4	注射室东防护门外表面 30cm 处	$10\times3.70\times10^7$	2.0	10mmPb+10mmPb	0.0624	0.825	
5	注射室南墙外表面 30cm 处	$10\times3.70\times10^7$	2.0	20cm 厚混凝土砖墙+10mmPb	0.0182	0.241	/
6	注射室西墙外表面 30cm 处	$10\times3.70\times10^7$	2.0	20cm 厚混凝土砖墙+10mmPb	0.0182	0.241	/
7	注射室顶部距地面 30cm 处	$10\times3.70\times10^7$	4.8	25cm 厚混凝土+10mmPb	0.0095	0.022	/
8	注射室下方距地面 1.7m 处	$10\times3.70\times10^7$	4.4	35cm 厚混凝土+10mmPb	0.0026	0.007	/
9	入口缓冲间防护门外表面 30cm 处	$10\times3.70\times10^7$	3.6	15mmPb	0.1248	0.510	/
10	抢救室东墙外表面 30cm 处	$10\times3.70\times10^7$	2.1	20cm 厚混凝土砖墙	0.0731	0.876	/
11	抢救室南墙外表面 30cm 处	$10\times3.70\times10^7$	2.0	20cm 厚混凝土砖墙	0.0731	0.966	/
12	抢救室西墙外表面 30cm 处	$10\times3.70\times10^7$	2.1	20cm 厚混凝土砖墙+1.5mmPb 硫酸钡涂料	0.0593	0.712	/
13	抢救室北墙外表面 30cm 处	$10\times3.70\times10^7$	2.0	20cm 厚混凝土砖墙	0.0731	0.622	/
14	抢救室防护门外表面 30cm 处	$10\times3.70\times10^7$	2.0	15mmPb	0.1248	1.651	/
15	抢救室顶部距地面 30cm 处	$10\times3.70\times10^7$	4.8	25cm 厚混凝土	0.0380	0.087	/
16	抢救室下方距地面 1.7m 处	$10\times3.70\times10^7$	4.4	35cm 厚混凝土	0.0103	0.028	/

17	注射后候诊室东墙外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	3.0	20cm 厚混凝土砖墙+1.5mmPb 硫酸钡涂料	0.0731	0.859	假设 2 人候诊
18	注射后候诊室南墙外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	2.0	30cm 厚混凝土砖墙	0.0197	0.522	
19	注射后候诊室北墙外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	2.0	20cm 厚混凝土砖墙+1.5mmPb 硫酸钡涂料	0.0593	1.570	
20	注射后候诊室防护门外表面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	3.0	15mmPb	0.1248	1.468	
21	注射后候诊室顶部距地面 30cm 处	$20\times3.70\times10^{7}$	4.8	15cm 厚混凝土+1mmPb	0.1223	0.562	
22	注射后候诊室下方距地面 1.7m 处	$20\times3.70\times10^{7}$	4.4	35cm 厚混凝土	0.0103	0.056	
23	VIP 候诊室东墙外表面 30cm 处	$10\times3.70\times10^{7}$	2.8	20cm 厚混凝土砖墙	0.0731	0.493	/
24	VIP 候诊室防护门外表面 30cm 处	$10\times3.70\times10^{7}$	2.5	15mmPb	0.1248	1.057	/
25	VIP 候诊室西墙外表面 30cm 处	$10\times3.70\times10^{7}$	2.8	20cm 厚混凝土砖墙	0.0731	0.493	/
26	VIP 候诊室北墙外表面 30cm 处	$10\times3.70\times10^{7}$	2.5	20cm 厚混凝土砖墙	0.0731	0.618	/
27	VIP 候诊室顶部距地面 30cm 处	$10\times3.70\times10^{7}$	4.8	15cm 厚混凝土+1mmPb	0.1223	0.281	/
28	VIP 候诊室下方距地面 1.7m 处	$10\times3.70\times10^{7}$	4.4	35cm 厚混凝土	0.0103	0.028	/
29	PET/CT 机房东墙外表面 30cm 处	$6.57\times3.70\times10^{7}$	4.5	20cm 厚混凝土砖墙+1.5mmPb 硫酸钡涂料	0.0593	0.102	考虑衰变 20min，5mmPb 铅屏风
30	操作位	$6.57\times3.70\times10^{7}$	4.5	12mmPb	0.1893	0.325	
31	PET/CT 机房东防护门外表面 30cm 处	$6.57\times3.70\times10^{7}$	4.5	12mmPb	0.1893	0.325	
32	PET/CT 机房南墙外表面 30cm 处	$6.57\times3.70\times10^{7}$	4.3	20cm 厚混凝土砖墙+1.5mmPb 硫酸钡涂料	0.0593	0.112	
33	PET/CT 机房南防护门外表面 30cm 处	$6.57\times3.70\times10^{7}$	4.3	12mmPb	0.1893	0.356	

34	PET/CT 机房西墙外表面 30cm 处	$6.57\times3.70\times10^7$	4.5	20cm 厚混凝土砖墙+1.5mmPb 硫酸钡涂料	0.0593	0.102	
35	PET/CT 机房北墙外表面 30cm 处	$6.57\times3.70\times10^7$	4.3	30cm 厚混凝土	0.0197	0.037	
36	PET/CT 机房顶部距地面 30cm 处	$6.57\times3.70\times10^7$	4.8	15cm 厚混凝土+2.5mmPb	0.0993	0.150	
37	PET/CT 机房下方距地面 1.7m 处	$6.57\times3.70\times10^7$	4.4	35cm 厚混凝土	0.0103	0.018	
38	摆位/解除摆位	$6.57\times3.70\times10^7$	1.0	5mmPb	0.4998	17.374	
39	留观室南墙外表面 30cm 处	$4.32\times3.70\times10^7$	2.0	20cm 厚混凝土砖墙	0.0731	0.417	考虑衰变 40min
40	留观室西墙外表面 30cm 处	$4.32\times3.70\times10^7$	2.0	20cm 厚混凝土砖墙	0.0731	0.417	
41	留观室防护门外表面 30cm 处	$4.32\times3.70\times10^7$	2.0	12mmPb	0.1893	1.082	
42	留观室顶部距地面 30cm 处	$4.32\times3.70\times10^7$	4.8	15cm 厚混凝土+1mmPb	0.1223	0.121	
43	留观室下方距地面 1.7m 处	$4.32\times3.70\times10^7$	4.4	35cm 厚混凝土	0.0103	0.012	
44	出口缓冲间防护门外表面 30cm 处	$4.32\times3.70\times10^7$	1.5	12mmPb	0.1893	1.923	

从表 11-34 中的理论估算结果可以看出，由于有 75mm 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，项目对核医学科周围环境辐射影响较小，均小于 2.5μSv/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。

4、CT 环境影响分析

本项目按额定管电压 140kV 核算 PET/CT 机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。本项目 PET/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量见表 11-35。

表 11-35 核医学科 PET/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量一览表

参数	设计厚度 1)	铅当量 2)	屏蔽要求	评价
墙体	东、南、西墙 200mm 厚实心混凝土砖墙+1.5mmPb 硫酸钡涂料	3.8mm	CT 机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向、非有用线束方向铅当量 2.5mm。	满足
	300mm 厚混凝土	3.8mm		满足
防护门	12mm 铅	12mm		满足
观察窗	12mm 铅当量	12mm		满足
顶部	150mm 厚混凝土+2.5mmPb	4.0mm		满足
地面	350mm 厚混凝土	4.6mm		满足
面积	56.4m^2，最小单边长度为 6.8m	CT 机房内最小有效新建面积不小于 30m^2，单边长度不小于 4.5m。		满足

由上表可知，核医学科 PET/CT 机房屏蔽防护措施能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求。

本项目 PET/CT 机房辐射屏蔽主要考虑散射辐射与泄漏辐射的影响。本项目 PET/CT 以 CT 模式运行时，其常用最大管电流约为 100mA、最大管电压为 140kV，根据《辐射防护手册（第一分册）》P448 的能量散射公式计算一次散射能量与初级射线能量的比值，140kV 射线经过一次散射后的射线能量约为 109.9kV，故本项目保守按 120kV 进行计算。可参照 SPECT/CT 机房的计算方式，此处不在赘述。机房外关注点处的辐射剂量率理论估算结果汇总见表 11-36。

表 11-36 PET/CT 机房 CT 出束状态下参考点处及叠加 ^{18}F 放射性药物的辐射剂量率核算值

参考点位	29#	30#	31#	32#	33#	34#	35#	36#	37#
r（m）	4.5	4.5	4.5	4.3	4.3	4.5	4.3	4.8	4.4
B_s	2.0×10^{-5}	1.9×10^{-13}	1.9×10^{-13}	2.0×10^{-5}	1.9×10^{-13}	2.0×10^{-5}	2.0×10^{-5}	1.2×10^{-5}	3.2×10^{-6}
H_0	$900000\mu Gy\cdot m^2\cdot mA^{-1}\cdot h^{-1}$								
B	2.3×10^{-5}	1.4×10^{-12}	1.4×10^{-12}	2.3×10^{-5}	1.4×10^{-12}	2.3×10^{-5}	2.3×10^{-5}	1.5×10^{-5}	4.3×10^{-6}
H_i	800μGy/h								
剂量率估算值 H（μGy/h）	0.509	5.5×10^{-9}	5.5×10^{-9}	0.601	6.0×10^{-9}	0.549	0.601	0.307	0.095
^{18}F 致参考点辐射水平（μSv/h）	0.102	0.325	0.325	0.112	0.356	0.102	0.037	0.150	0.001
叠加辐射水平（μSv/h）	0.611	0.325	0.325	0.713	0.356	0.651	0.638	0.457	0.096
控制目标值（μSv/h）	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
是否满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

计算结果表明， PET/CT 以 CT 模式运行（工况：140kV/100mA）时，叠加放射性药物的辐射影响，机房四周墙体、顶部、地面及防护门处的辐射剂量率为（0.096~0.713）μSv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的要求。

5、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 11-34 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 11-37。

表 11-37　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（μSv/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 30cm 处	0.357	工作人员	1	取药 2min×20 次×250d	0.059	5.0	/
2	注射位	0.051	工作人员	1	注射 1min×20 次×250d	0.004	5.0	/
4	注射室东防护门外表面 30cm 处	0.825	公众	1/16	取药 2min×20 次×250d	0.009	0.10	更衣室
5	注射室南墙外表面 30cm 处	0.241	公众	1/4	取药 2min×20 次×250d	0.010	0.10	洁净通道
7	注射室顶部距地面 30cm 处	0.022	公众	1/16	取药 2min×20 次×250d	2.3×10^{-4}	0.10	医用气体机房
8	注射室下方距地面 1.7m 处	0.007	公众	1/16	取药 2min×20 次×250d	7.3×10^{-5}	0.10	进风机房
9	入口缓冲间防护门外表面 30cm 处	0.510	公众	1/16	停留 1min×20 次×250d	8.0×10^{-5}	0.10	缓冲间
11	抢救室南墙外表面 30cm 处	0.966	公众	1/4	抢救 30min×5 次/年	0.001	0.10	洁净通道
15	抢救室顶部距地面 30cm 处	0.087	公众	1/16	抢救 30min×5 次/年	1.4×10^{-5}	0.10	医用气体机房
16	抢救室下方距地面 1.7m 处	0.028	公众	1/16	抢救 30min×5 次/年	0.001	0.10	进风机房
18	注射后候诊室南墙外表面 30cm 处	0.522	公众	1/4	候诊 20min×8 次×250d	0.087	0.10	洁净通道
21	注射后候诊室顶部距地面 30cm 处	0.562	公众	1/16	候诊 20min×8 次×250d	0.023	0.10	医用气体机房
22	注射后候诊室下方距地面 1.7m 处	0.056	公众	1/16	候诊 20min×8 次×250d	0.002	0.10	进风机房
23	VIP 候诊室东墙外表面 30cm 处	0.493	公众	1/16	候诊 20min×4 次×250d	0.010	0.10	设备间
25	VIP 候诊室西墙外表面 30cm 处	0.493	公众	1/16	候诊 20min×4 次×250d	0.010	0.10	储存室
26	VIP 候诊室北墙外表面 30cm 处	0.618	公众	1/16	候诊 20min×4 次×250d	0.013	0.10	过道
27	VIP 候诊室顶部距地面 30cm 处	0.281	公众	1/16	候诊 20min×4 次×250d	0.006	0.10	医用气体机房

28	VIP 候诊室下方距地面 1.7m 处	0.028	公众	1/16	候诊 20min×4 次×250d	0.001	0.10	进风机房
29	PET/CT 机房东墙外表面 30cm 处	0.102	工作人员	1/4	显像 20min×20 次×250d	0.042	5.0	控制室
30	操作位	0.325	工作人员	1	显像 20min×20 次×250d	0.542	5.0	控制室
31	PET/CT 机房东防护门外表面 30cm 处	0.325	工作人员	1/4	显像 20min×20 次×250d	0.135	5.0	控制室
34	PET/CT 机房西墙外表面 30cm 处	0.102	公众	1/16	显像 20min×20 次×250d	0.011	0.10	设备间
35	PET/CT 机房北墙外表面 30cm 处	0.037	公众	1/16	显像 20min×20 次×250d	0.004	0.10	停车位
36	PET/CT 机房顶部距地面 30cm 处	0.150	公众	1/16	显像 20min×20 次×250d	0.016	0.10	医用气体机房
37	PET/CT 机房下方距地面 1.7m 处	0.018	公众	1/16	显像 20min×20 次×250d	0.002	0.10	进风机房
38	摆位/解除摆位	17.374	工作人员	1	摆位 1min×20 次×250d	0.145	5.0	/
39	留观室南墙外表面 30cm 处	0.417	公众	1/4	留观 10min×20 次×250d	0.087	0.10	洁净通道
40	留观室西墙外表面 30cm 处	0.417	公众	1/4	留观 10min×20 次×250d	0.087	0.10	过道
42	留观室顶部距地面 30cm 处	0.121	公众	1/16	留观 10min×20 次×250d	0.006	0.10	医用气体机房
43	留观室下方距地面 1.7m 处	0.012	公众	1/16	留观 10min×20 次×250d	0.001	0.10	进风机房
44	出口缓冲间防护门外表面 30cm 处	1.923	公众	1/16	停留 1min×20 次×250d	0.010	0.10	缓冲间

注：控制区内不考虑工作公众辐射影响。

核医学诊断项目过程中，工作人员主要受照射环节为分装、注射过程及患者扫描诊断过程。一般情况下，分装过程约 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。预测本项目运行后， PET 诊断项目日接诊量最大为 20 人次。本项目 PET/CT 以 CT 模式运行的时间较短，平均每名患者约 20s，机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算见表 11-38。

表 11-38 PET/CT 机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点位	参考点位置	CT 致参考点辐射水平（μSv/h）	居留因子	CT 致参考点人员有效剂量（mSv/a）	关注对象	位置
29	PET/CT 机房东墙外表面 30cm 处	0.549	1/4	1.52×10^{-5}	工作人员	控制室
30	操作位	5.5×10^{-9}	1	6.12×10^{-13}	工作人员	控制室
31	PET/CT 机房东防护门外表面 30cm 处	5.5×10^{-9}	1/4	1.53×10^{-13}	工作人员	控制室
34	PET/CT 机房西墙外表面 30cm 处	0.549	1/16	3.81×10^{-6}	公众	设备间
35	PET/CT 机房北墙外表面 30cm 处	0.601	1/16	4.17×10^{-6}	公众	停车位
36	PET/CT 机房顶部外表面 30cm 处	0.307	1/16	2.13×10^{-6}	公众	医用气体机房
37	PET/CT 机房下方距地面 1.7m 处	0.095	1/16	6.56×10^{-7}	公众	进风机房

注：控制区内不考虑工作公众辐射影响。

根据上述估算结果，分装过程中人员受到的年有效剂量为 0.059mSv，注射过程中人员受到的年有效剂量为 0.004mSv，扫描过程中受到的年有效剂量约为 0.687mSv（＜0.542mSv/a<操作位>+6.12×10^{-13}mSv/a<操作位>+0.145mSv/a<摆位>）。辐射工作人员所受年有效剂量最大约为 0.687mSv，能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求。

根据上述估算结果，核医学诊断项目工作过程中，周围公众（控制区、监督区外）年有效剂量最大为 0.087mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）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 0.1mSv）。

5、放射性废气影响分析

（1）核医学科东区

本项目核医学科东区工作场所排风管道分为 2 支，其中 1 支单独连接注射室和服

药室内设置的手套箱，放射性药物的各项操作均在手套箱内进行，手套箱由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）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（风速应不小于 0.5m/s）”要求，医院购买的手套箱排风口处风速不得低于 0.5m/s；其余排风管连接各注射后候诊区、SPECT/CT 机房和留观室等。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 2 根排风管道排至病房楼楼顶，在工作场所排风管道末端均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，不与病房楼其他排风管道相通，过滤器及活性炭需定期更换，更换后的活性炭经贮存 30 天后作为医疗废物处置。

（2）核医学科西区

本项目核医学科西区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》（GBZ 120-2020）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（风速应不小于 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；其余排风管连接各注射后候诊区、PET/CT 机房和留观室等。

工作场所产生的废气经由 2 根排风管道排至病房楼楼顶，在工作场所排风管道末端均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，不与病房楼其他排风管道相通，过滤器及活性炭需定期更换，更换后的活性炭经贮存 30 天后作为医疗废物处置。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。

6、放射性固废影响分析

（1）核医学科东区

核医学科东区产生的放射性固体废物主要有废弃的注射器、一次性手套、棉签、滤纸等。核医学科注射室、候诊区、留观室等房间均拟设置 1~2 个放射性废物桶（防护厚度应不低于 5mmPb），另外，医院在核医学科东区内设有 1 个放射性废物暂存间。

根据医院对本项目规划的工作量估算每年产生放射性固体废物量，SPECT 诊断项目日接诊量最大为 30 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固

体废物产生量为 0.6kg/d（体积约为 2.0m^3/月），核医学科各房间内铅废物箱放置点应避开工作人员与其它人员经常走动的地方，并设置有电离辐射警告标志。

从核医学科各房间收集的含放射性废物应分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）后集中到废物库中的铅桶（废物库中设置若干铅桶，防护厚度不低 5mmPb）中暂存，在废物库内自然衰变超过 30 天后，经检测合格后作为医疗废物进行处理。

手套箱通风管道内更换下来的废活性炭，在废物库贮存超过 30 天后，经检测合格后作为医疗废物进行处理。

本项目核医学科东区的废物库面积约为 4.6m^2，总容积约为 13.8m^3，该放射性废物库容积能够满足放射性固体废物贮存 30 天的要求。

（2）核医学科西区

核医学科西区产生的放射性固体废物主要有废弃的注射器、一次性手套、棉签、滤纸等。核医学科注射室、候诊区、留观室等房间均拟设置 1~2 个放射性废物桶（防护厚度应不低于 10mmPb），另外，医院在核医学科西区内设有 1 个放射性废物暂存间。

根据医院对本项目规划的工作量估算每年产生放射性固体废物量，PET 诊断项目日接诊量最大为 20 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 0.4kg/d（体积约为 1.8m^3/月），核医学科各房间内铅废物箱放置点应避开工作人员与其它人员经常走动的地方，并设置有电离辐射警告标志。

从核医学科各房间收集的含放射性废物应分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）后集中到废物库中的铅桶（废物库中设置若干铅桶，防护厚度不低 5mmPb）中暂存，在废物库内自然衰变超过 30 天后，经检测合格后作为医疗废物进行处理。

通风橱通风管道内更换下来的废活性炭，在废物库贮存超过 30 天后，经检测合格后作为医疗废物进行处理。

本项目核医学科西区的废物库面积约为 5.6m^2，总容积约为 16.8m^3，该放射性废物库容积能够满足放射性固体废物贮存 30 天的要求。

7、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衰变池自行衰变后排至医院污水处理站处理达标后排入市政管网。

核医学科放射性废水经专用管道流入衰变系统，裸露管道外采用 2mmPb 铅皮包覆进行辐射防护，避免含放射性废水流动时造成管道穿行区域的辐射泄漏。

本项目核医学科将使用 ^{99m}Tc、^{18}F 和 ^{68}Ga 等核素，故本报告选用 ^{18}F 放射性核素进行管道外辐射剂量计算。将专用管道中的放射性废水看作线源，其对周围环境产生的辐射影响按《辐射防护导论》P78 公式进行计算：

$$X = \int d\dot{X} = \frac{\Gamma(x)\eta}{\cos\theta}\int_0^{a\cos\theta}\frac{dx}{x^2\sec^2\theta+2bxtg\theta+b^2}$$ ……公式 11-25

式中：Γ（x）—周围剂量当量率常数，μSv·m^2/Bq·h；

η—线密度，Bq/m；

a—线源长度，m；

b—线源到考察点的距离，m。

表 11-39 核医学科专用管道外剂量估算结果

参数		取值
单次排放 ^{18}F 核素活度①		3mCi
周围剂量当量率常数（μSv·m^2/Bq·h）		0.143
单次排水量（L）②		10.3
专用管道	管径（m）	0.05
	截面积（m^2）	0.002
线源到考察点的距离（m）④		3.0
屏蔽材料及厚度（mm）		2mm 铅
参考点处辐射剂量率（μSv/h）		小于 0.001
周围公众受照时间（s）		1s/次×（20 次/天+20 次/天）×250 天
周围公众受照剂量（mSv/a）		小于 0.001

注：1、单次核医学诊断项目患者，排泄物内核素活度排泄比率保守按 30%进行计算，则单次排放 ^{18}F 核素活度为 10mCi×30%=3mCi/次；

2、单次马桶抽水量 10L+排尿量 0.3L；

3、本项目裸露放射性废水排水管道于负二层楼板下方铺设，线源到参考点距离 b 保守取 3m。

由表 11-39 可知，裸露的放射性废水专用管道外采用 2mmPb 铅皮包覆进行辐射

防护，其对周围公众产生的辐射影响较小。

本项目共建设 2 套衰变池系统，其中核医学科东区衰变池系统位于场所北侧，核医学科西区衰变池系统位于场所西侧，2 套衰变池系统均位于四周墙体均为 20cm 混凝土砖墙的设备功能用房内，无关人员不可达，顶部附有 20cm 混凝土楼板，下方为 35cm 混凝土楼板，本报告选取核医学科西区为例计算衰变池周边的辐射剂量率，详见表 11-40。

表 11-40 衰变池周边关注点处的辐射剂量率

参考点位置	源强*	与源的距离（m）	屏蔽材料及厚度	透射比	参考点辐射水平（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）
四周墙体	12.3mCi	3.5	20cm 砼	0.0371	1.189	2.5

单次核医学诊断项目患者，排泄物内核素活度排泄比率保守按 30%进行计算，则单次排放 ^{18}F 核素活度为 10mCi×30%=3mCi/次，保守按 10 名候诊患者的排泄物进入衰变系统进行辐射计算（保守估计每名候诊患者均进行排泄，每 30 分钟有 2 名患者排泄，仅考虑到排泄物内核素活度随时间产生衰减，未考虑废水对核素的屏蔽影响）。

因此，核医学科衰变池采用此屏蔽设计进行辐射防护，对周围环境及公众产生的辐射影响较小。

（四）介入诊断项目

医院拟于外科病房暨转化医学综合楼五层手术部 DSA 手术室和 DSA 复合手术室各使用 1 台 DSA 开展介入诊断项目。

1、DSA 机房的屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性分析评价

表 11-41-1 医院 DSA 机房辐射防护设计一览表

机房名称	屏蔽体	屏蔽设计	换算铅当量 mmPb	防护要求 mmPb	符合性
DSA 手术室和 DSA 复合手术室	四面墙体	轻钢龙骨隔墙+3mm 铅板	3.0	2.0	符合
	顶部	15cm 混凝土+3mm 铅板	4.5	2.0	
	地面	12cm 混凝土+3.5cm 硫酸钡防护水泥	2.45	2.0	
	防护门	内衬 3mmPb 铅板	3.0	2.0	
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3.0	2.0	

注：硫酸钡防护水泥因其密度约为混凝土的 2 倍，保守按照 2 倍混凝土厚度进行估算。

表 11-41-2 医院 DSA 机房辐射防护设计一览表

机房名称	设计值		标准要求		
	最小单边长度（m）	有效使用面积（m^2）	最小单边长度（m）	有效使用面积（m^2）	符合性
DSA 手术室	6.25	45.0	3.5	20	符合

DSA 复合手术室	6.15	43.6	3.5	20	符合

由表 11-41 可知，本项目各 DSA 机房的屏蔽体的等效铅当量满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 3 关于有用线束方向、非有用线束方向铅当量均不小于 2.0mmPb 的要求，同时机房有效面积和最小单边长度也满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求，机房屏蔽设计合理。

2、DSA 机房的辐射影响预测

为了进一步评价屏蔽效果辐射防护效果，采用理论预测的方法进行影响分析。本项目 2 座 DSA 机房大小设计略有差异，本次选取其中 1 座机房（DSA 复合手术室）为例进行防护分析，其余机房屏蔽效果按此方法以此类推。

由于本项目 DSA 复合手术室四周墙体、防护门和观察窗的防护当量均为 3mmPb，故本报告选取距离屏蔽体外 30cm 最短距离处作为理论计算关注点，预测点选取如下：

1#-东侧屏蔽墙外 30cm 处，CT 扫描间；2#-南侧屏蔽墙外 30cm 处，污物走廊；

3#-西侧观察窗外 30cm 处，控制室；4#-北侧屏蔽墙外 30cm 处，洁净走廊；

5#-上方，净化设备层设备区；6#下方，体检科诊室。

共布设 6 个预测点，预测点布设见图 11-5 所示。

图 11-5 DSA 复合手术室预测点布设示意图

本项目 DSA 的辐射影响情况见表 11-42。

表 11-42 本项目 DSA 的辐射影响情况

操作模式	正常运行时最大工况	辐射影响对象
拍片模式	80kV/500mA	机房外公众、控制室操作人员
透视模式	80kV/20mA	机房外公众、控制室操作人员； 机房内介入治疗操作人员

1、关注点处有用线束辐射剂量率计算

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）给出的 X 射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.8）进行推导，得到有用线束在关注点处的辐射剂量率H的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1）：

$$H = \frac{H_0 \cdot I \cdot B}{d^2} \cdot K \cdots\cdots \text{公式 11-26}$$

式中：H—关注点处有用线束有效剂量率，μSv/h；

H_0—X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1m 处由主束产生的比释动能率），$mGy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$；具体数值可根据 X 射线机管电压、过滤片等条件从《辐射防护导论》附图 3 查取，按本项目正常使用的最大管电压为 80kV、过滤片为 0.5mmCu 的条件从《辐射防护导论》附图 3 查得H_0为 $0.8mGy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$，即 $48000\mu Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot h^{-1}$；

I—管电流，mA；本项目透视、拍片模式下正常使用的最大管电流分取 20mA、500mA；

d—关注点至 X 射线源的距离；

B—屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见公式 11-23；

K—有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，查《用于光子外照射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）表 B2，对于本项目 DSA 运行时常用最大管电压 80kV，K 值取 1.67。

根据 GBZ 130-2020 表 C.2 所所引用的 NCRP147 中相关数据查取管电压为 80kV（本项目正常运行最大管电压）时相应的 α、β、γ 数值，具体见表 11-43。

表 11-43 铅和混凝土对 80kV 管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
80kV（铅）	4.040	21.69	0.7187
80kV（混凝土）	0.04583	0.1549	0.4926

将 DSA 手术间顶面屏蔽体的铅厚度 X、有关的拟合参数 α、β、γ 值代入公式 11-23，计算相应的屏蔽透射因子值，列于表 11-44。

表 11-44　DSA 机房顶面屏蔽体透射因子计算结果

关注点位置	屏蔽材料	等效铅当量（mm）	*B*
5#-上方（净化设备层设备区）	150mm 混凝土+3mm 铅板+影像接收器等硬件设施	4.5	2.26×10^{-11}

将前述有关参数代入公式 11-26，计算透视、拍片模式下 DSA 复合手术室上方公众处有用线束辐射剂量率，计算结果见表 11-45。

表 11-45 关注点处有用线束辐射剂量率计算结果

关注点位置	操作模式	H_0（μGy·m²/（mA·h））	*I*（mA）	*B*	*d**（m）	*H*（μSv/h）
5#-上方（净化设备层设备区）	透视模式	48000	20	2.26×10^{-11}	4.5	1.79×10^{-6}
	拍片模式	48000	500	2.26×10^{-11}	4.5	4.46×10^{-5}

*注：机房层高为 4.5m，参考点取距离顶部地面 30cm 处，DSA 朝上照射时，机头接近地面，再考虑顶部屏蔽层厚度，故 d 保守取 4.5m。

2、关注点处散射辐射剂量率计算

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）给出的 X 射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的有效剂量率 H_s 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1）：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot d_s^2} \cdot K \cdots\cdots \text{公式 11-27}$$

式中：H_s—关注点处散射辐射有效剂量率，μSv/h；

H_0—X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1 m 处由主束产生的比释动能率），$mGy\cdot m^2\cdot mA^{-1}\cdot min^{-1}$，本项目取 $48000\mu Gy\cdot m^2\cdot mA^{-1}\cdot h^{-1}$；

I—管电流，mA；本项目透视、拍片模式下正常使用的最大管电流分取 20mA、500mA；

a—人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，由《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中查取；

本项目最大常用管电压为 80kV，对于散射线向机房四侧墙体投射的情况，从《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中采用内插法查取散射角 90º 时 80kV 对应的 *a* 值为 0.0008（该取值适用于机房四侧关注点相应预测计算）。

S—主束在受照人体上的散射面积，根据建设单位提供参数，照射野最小为 8cm×8cm=64cm²，最大为 30cm×38cm=1140cm²，考虑手术需要的最大照射面积约为 16cm×16cm，本项目取 256cm²；

d_0—源至受照点的距离，根据设备参数确定，本项目取 d_0 取最小值 0.45m（符合 ICRP 33 号报告第 98 段关于使用固定式 X 线透视检查设备的焦皮距的要求）；

d_s—受照体至关注点的距离。

B_s—屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-23。此处散射线是指本项目最大常用管电压（80kV，即 0.08MV）下有用线束（初级 X 射线）的散射线，其能量偏保守取有用线束侧向（散射角 θ=90º）的一次散射线能量，可借鉴康普顿散射定律计算一次散射线能量 E 与入射的初级 X 射线能量 E_0 之比值 $E/E_0=1/[1+E_0（1-\cos\theta）/0.511]= 1/[1+ 0.08×（1-\cos90º）/0.511]=0.865$，继而计算一次散射线能量 E 对应的 kV 值为 80kV×0.865=69.2 kV，近似取为 70kV，再从 GBZ 130-2020 表 C.2 中查取对应于 70kV 的 α、β、γ 数值，具体见表 11-46：

表 11-46 铅和混凝土对 70kV 管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
70kV（铅）	5.369	23.49	0.5881
70kV（混凝土）	0.05087	0.1696	0.3847

K—有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，查《用于光子外照射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）表 B2，按前述 90º 方向一次散射线能量对应的 kV 值为 70kV，K 值取 1.60。

将 DSA 机房和机房内介入操作人员防护用品与辅助防护设施的铅当量厚度 X、有关的拟合参数 α、β、γ 值代入公式 11-2，计算相应的散射辐射屏蔽透射因子值，列于表 11-47。

表 11-47 DSA 机房屏蔽体、介入操作人员防护用品屏蔽透射因子计算结果

关注点位置			屏蔽材料	B_s
DSA 机房外	1#-东侧屏蔽墙外 30cm 处，CT 扫描间		3.0mmPb	5.79×10^{-9}
	2#-南侧屏蔽墙外 30cm 处，污物走廊		3.0mmPb	5.79×10^{-9}
	3#-西侧观察窗外 30cm 处，控制室		3.0mmPb	5.79×10^{-9}
	4#-北侧屏蔽墙外 30cm 处，洁净走廊		3.0mmPb	5.79×10^{-9}
	6#下方，体检科诊室		120mm 混凝土+35mm 硫酸钡水泥	1.47×10^{-6}
机房内介入操作人员防护用品与辅助防护设施	第一术者	铅帘+铅衣	0.5+0.5 mmPb	2.83×10^{-4}
		铅帘	0.5 mmPb	5.34×10^{-3}
	第二术者	铅帘+铅衣	0.5+0.5 mmPb	2.83×10^{-4}
		铅帘	0.5 mmPb	5.34×10^{-3}

将前述有关参数代入公式 11-27，计算透视模式下 DSA 机房外公众、控制室操作人员、机房内介入操作人员处散射辐射剂量率，计算结果见表 11-48。

表 11-48 关注点处散射辐射剂量率计算结果

关注点位置		操作模式	H_0（μGy·m²/（mA·h））	I（mA）	B_s	d_s（m）	H_s（μSv/h）
1#-东侧屏蔽墙外 30cm 处，CT 扫描间		透视模式	48000	20	5.79×10^{-9}	4.16	1.30×10^{-6}
		拍片模式		500			3.25×10^{-5}
2#-南侧屏蔽墙外 30cm 处，污物走廊		透视模式	48000	20	5.79×10^{-9}	4.30	1.22×10^{-6}
		拍片模式		500			3.04×10^{-5}
3#-西侧观察窗外 30cm 处，控制室		透视模式	48000	20	5.79×10^{-9}	4.30	1.22×10^{-6}
		拍片模式		500			3.04×10^{-5}
4#-北侧屏蔽墙外 30cm 处，洁净走廊		透视模式	48000	20	5.79×10^{-9}	4.20	1.28×10^{-6}
		拍片模式		500			3.19×10^{-5}
6#下方，体检科诊室		透视模式	48000	20	1.47×10^{-6}	3.80	3.96×10^{-4}
		拍片模式		500			9.90×10^{-3}
第一术者	铅衣内	透视模式	48000	20	2.83×10^{-4}	0.5	2.75
	铅衣外	透视模式	48000	20	5.34×10^{-3}	0.5	51.9
第二术者	铅衣内	透视模式	48000	20	2.83×10^{-4}	1.0	0.69
	铅衣外	透视模式	48000	20	5.34×10^{-3}	1.0	12.97

注：距离均从 CAD 图纸直接量取。

3、关注点处泄漏辐射剂量率计算

泄漏辐射剂量率H_L采用下式计算：

$$H_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \cdot K \cdots\cdots \text{公式 11-28}$$

式中：H_L—关注点处泄漏辐射有效剂量率，μSv/h；

H_i—距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，mGy/h。本项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取 1.0mGy/h；

B—机房各屏蔽体的泄漏射线屏蔽透射因子，本项目 DSA 管电压为 80kV（本项目正常运行最大管电压）工况下 DSA 手术间四周屏蔽墙及地面的泄漏射线屏蔽透射因子见表 11-48；

K—有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，查《用于光子外照射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）表 B2，对于本项目 DSA 运行时常用最大管电压 80kV，K 值取 1.67。

将有关参数代入公式 11-28，计算 DSA 机房周围关注点处、机房内介入操作人员

操作位关注点处的泄漏辐射剂量率，计算结果见表 11-49。

表 11-49 关注点处漏辐射剂量率计算结果

关注点位置		H_i（mGy/h）	r（m）	B	H_L（μSv/h）
1#-东侧屏蔽墙外 30cm 处，CT 扫描间		1	4.16	4.15×10^{-7}	4.00×10^{-5}
2#-南侧屏蔽墙外 30cm 处，污物走廊		1	4.30	4.15×10^{-7}	3.74×10^{-5}
3#-西侧观察窗外 30cm 处，控制室		1	4.30	4.15×10^{-7}	3.74×10^{-5}
4#-北侧屏蔽墙外 30cm 处，洁净走廊		1	4.20	4.15×10^{-7}	3.93×10^{-5}
6#下方，体检科诊室		1	3.80	8.42×10^{-6}	9.74×10^{-4}
第一术者	铅衣内	1	0.5	1.43×10^{-3}	9.55
	铅衣外	1	0.5	1.37×10^{-2}	91.54
第二术者	铅衣内	1	1.0	1.43×10^{-3}	2.39
	铅衣外	1	1.0	1.37×10^{-2}	22.88

4、保护目标处预测计算结果汇总

综上所述，DSA 机房外保护目标处的辐射剂量率理论估算结果汇总见表 11-50。

表 11-50 DSA 机房外保护目标处辐射剂量率计算统计结果

保护目标位置		操作模式	X 射线辐射剂量率（μSv/h）			
			有用线束	散射线	漏射线	合计
1#-东侧屏蔽墙外 30cm 处，CT 扫描间		透视模式	/	1.30×10^{-6}	4.00×10^{-5}	4.13×10^{-5}
		拍片模式	/	3.25×10^{-5}		7.25×10^{-5}
2#-南侧屏蔽墙外 30cm 处，污物走廊		透视模式	/	1.22×10^{-6}	3.74×10^{-5}	3.87×10^{-5}
		拍片模式	/	3.04×10^{-5}		6.79×10^{-5}
3#-西侧观察窗外 30cm 处，控制室		透视模式	/	1.22×10^{-6}	3.74×10^{-5}	3.87×10^{-5}
		拍片模式	/	3.04×10^{-5}		6.79×10^{-5}
4#-北侧屏蔽墙外 30cm 处，洁净走廊		透视模式	/	1.28×10^{-6}	3.93×10^{-5}	4.05×10^{-5}
		拍片模式	/	3.19×10^{-5}		7.11×10^{-5}
5#上方，净化设备层设备区		透视模式	1.79×10^{-6}	/	/	1.79×10^{-6}
		拍片模式	4.46×10^{-5}	/		4.46×10^{-5}
6#下方，体检科诊室		透视模式	/	3.96×10^{-4}	9.74×10^{-4}	1.37×10^{-3}
		拍片模式	/	9.90×10^{-3}		1.09×10^{-2}
第一术者	铅衣内	透视模式	/	2.75	9.55	12.3
	铅衣外	透视模式	/	51.9	91.54	143.4
第二术者	铅衣内	透视模式	/	0.69	2.39	3.1
	铅衣外	透视模式	/	12.97	22.88	35.9

由表 11-50 结果分析知，拍片模式的非有用线束在 DSA 机房外关注点处的辐射剂量率明显大于透视模式；机房外辐射工作人员关注点剂量率最大为 6.79×10^{-5}μSv/h，公众关注点剂量率最大为 1.09×10^{-2}μSv/h，出现在机房下方，本项目 DSA 机房屏蔽设计能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

（三）周围公众及辐射工作人员年有效剂量估算

1、年有效剂量估算模式

DSA 机房周围公众、控制室辐射工作人员年有效剂量计算采用联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）2000 年报告附录 A 中的计算公式进行估算：

$$H_{Er} = H_r \times T \times t$$……公式 11-29

式中：H_{Er}—X 射线外照射年有效剂量，mSv/a；

H_r—关注点处剂量率，μSv/h；

T—居留因子；

t—年照射时间，h。

DSA 机房内介入操作人员的外照射辐射年有效剂量计算借鉴《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）给出的公式进行估算：

$$E = \alpha H_u + \beta H_o$$……公式 11-30

式中：α—系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84；

H_u—铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 H_p（10），mSv；

β—系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.100；

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

2、年有效剂量估算

将有关参数代入公式 11-29，估算 DSA 机房四周公众及控制室辐射工作人员的年附加剂量，见表 11-51。

表 11-51　DSA 机房四周公众及控制室辐射工作人员的年附加剂量

关注点位置	操作模式	t（h）	T*	辐射剂量率（μSv/h）	年有效剂量 H_{Er}（mSv/a）	
1#-东侧屏蔽墙外 30cm 处，CT 扫描间	透视模式	56	1/2	4.13×10^{-5}	1.16×10^{-6}	1.32×10^{-6}
	拍片模式	4.6		7.25×10^{-5}	1.67×10^{-7}	
2#-南侧屏蔽墙外 30cm 处，污物走廊	透视模式	56	1/16	3.87×10^{-5}	1.35×10^{-7}	1.55×10^{-7}
	拍片模式	4.6		6.79×10^{-5}	1.95×10^{-8}	
3#-西侧观察窗外 30cm 处，控制室	透视模式	56	1	3.87×10^{-5}	2.17×10^{-6}	2.48×10^{-6}
	拍片模式	4.6		6.79×10^{-5}	3.12×10^{-7}	
4#-北侧屏蔽墙外 30cm 处，洁净走廊	透视模式	56	1/4	4.05×10^{-5}	5.67×10^{-7}	6.49×10^{-7}
	拍片模式	4.6		7.11×10^{-5}	8.18×10^{-8}	
5#上方，净化设备层设备区	透视模式	56	1/16	1.79×10^{-6}	1.12×10^{-7}	3.48×10^{-7}
	拍片模式	4.6		4.46×10^{-5}	2.37×10^{-7}	

6#下方，体检科诊室	透视模式	56	1/2	1.37×10^{-3}	3.48×10^{-5}	6.34×10^{-5}
	拍片模式	4.6		1.09×10^{-2}	2.50×10^{-5}	

由表 11-51， DSA 机房四周公众的年附加剂量最大为 6.34×10^{-5}mSv，满足公众项目管理目标 0.1mSv 的要求；控制室辐射工作人员的年附加剂量 2.48×10^{-6}mSv，满足工作人员项目管理目标 5mSv 的要求。

将有关参数代入公式 11-30，计算第一术者、第二术者年有效剂量，结果列于表 11-52。

表 11-52 介入操作人员年有效剂量估算结果

位置	α	β	部位	辐射剂量率（μSv/h）			年照射时间（h）	年有效剂量 E（mSv）
				散射线	漏射线	合计		
第一术者	0.79	0.051	铅衣内	2.75	9.55	12.3	56	0.95
			铅衣外	51.9	91.54	143.4		
第二术者			铅衣内	0.69	2.39	3.1		0.24
			铅衣外	12.97	22.88	35.9		

由表 11-52，DSA 机房内第一术者操作位的年有效剂量为 0.95mSv，即使由一人承担，不会超过工作人员项目管理目标 5 mSv 的要求；第二术者操作位的年有效剂量为 0.24mSv，即使由 1 人承担，也不会超过工作人员项目管理目标 5mSv 的要求。DSA 机房内的护士保守按照第二术者操作位估算，也不会超过工作人员项目管理目标 5mSv 的要求。

对于介入手术，由于其实际工作中 DSA 透视工况及操作时间的不确定性，辐射工作人员需要依靠佩戴个人剂量计进行跟踪性监测才能准确的测定其受照剂量的大小，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）要求进行佩戴，医院应加强对介入手术工作人员的个人剂量监测管理，在日常检测中发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理。介入手术工作人员均按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）穿戴防护用品（铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等），并充分利用自带的铅悬挂防护屏及床侧防护帘等做好自身防护，确保其年有效剂量满足标准限值要求。

DSA 手术室可根据上述计算过程进行理论计算，预测点选取如下：

1#-东侧屏蔽墙外 30cm 处，预麻室；2#-南侧屏蔽墙外 30cm 处，污物走廊；

3#-西侧观察窗外 30cm 处，控制室；4#-北侧屏蔽墙外 30cm 处，洁净走廊；

5#-上方，净化设备层设备区；6#下方，产科库房。

共布设 6 个预测点，预测点布设见图 11-6 所示，计算结果见表 11-53：

图 11-6 DSA 手术室关注点布置示意图

表 11-53　DSA 手术室四周公众及控制室辐射工作人员的年附加剂量

关注点位置		操作模式	*T*	辐射剂量率率（μSv/h）	年有效剂量（mSv/a）
DSA 手术室	1#-东侧屏蔽墙外 30cm 处，预麻室	透视模式	1/4	4.95×10^{-5}	7.93×10^{-7}
		拍片模式	1/4	8.69×10^{-5}	
	2#-南侧屏蔽墙外 30cm 处，污物走廊	透视模式	1/16	3.87×10^{-5}	1.55×10^{-7}
		拍片模式	1/16	6.79×10^{-5}	
	3#-西侧观察窗外 30cm 处，控制室	透视模式	1	2.36×10^{-5}	1.51×10^{-6}
		拍片模式	1	4.15×10^{-5}	
	4#-北侧屏蔽墙外 30cm 处，洁净走廊	透视模式	1/4	4.95×10^{-5}	7.93×10^{-7}
		拍片模式	1/4	8.69×10^{-5}	
	5#-上方，净化设备层设备区	透视模式	1/16	1.79×10^{-6}	3.48×10^{-7}
		拍片模式	1/16	4.46×10^{-5}	
	6#下方，产科库房	透视模式	1/16	1.37×10^{-3}	7.92×10^{-6}
		拍片模式	1/16	1.09×10^{-2}	

综上所述，根据上述理论估算结果，本项目 2 座 DSA 机房在经实体屏蔽后，对 DSA 机房外辐射工作人员和周围公众的环境影响较小，同时在开展介入工作时，在采取有效的辐射防护措施和医院良好的管理情况下，辐射工作人员的年有效剂量可以满足标准限值要求。

（二）非辐射环境影响分析

1、废水处理措施依托可行性分析

工作人员和部分患者产生的普通生活污水，由院内污水处理站统一处理。

2、固体废物和医疗废物

本项目在运营期工作人员及患者陪同家属会产生少量的生活垃圾。

医院拟建设有垃圾处理站，本项目产生的生活垃圾集中暂存，将由市政环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

且本项目设置有废物间（用于存放放射性废物），工作过程中产生的医疗废物在此暂存，所有放射性废物经衰变后检测符合排放标准后转移至医院医疗废物暂存间，医院产生的医疗废物最终将委托有资质单位进行统一收集、清运和处理。

3、废气

工作场所内及其他区域设有机械排风装置，排风口直接排放到室外，因室内产生的臭氧氮氧化物较少，所以废气对环境影响很小。

事故影响分析

本项目新建的医用电子直线加速器、后装治疗机（使用III类放射源）、DSA 为II类射线装置，模拟定位机、PET/CT 和 SPECT/CT 为III类射线装置，核医学科工作场所为乙级和丙级非密封放射性物质工作场所。医院在开展放射治疗和诊断过程中，如果安全管理或防护不当，可能对人员产生误照射。因此本项目主要事故风险为：

（1）医用电子直线加速器、模拟定位机、PET/CT、SPECT/CT、DSA 工作状态下，未按工作流程进行清场，人员误留、误入机房内，导致发生误照射。

（2）医用电子直线加速器、后装治疗机、模拟定位机房、PET/CT、SPECT/CT 机房门机联锁失效，导致防护门无法自动关闭，开机时防护门外工作人员或公众受到误照射。

（3）操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

（4）核医学科药物注射时，注射器排气有可能挤出放射性药物，注射器有损漏以及注射针头没有装牢固，造成放射性药物泼洒或者散逸挥发，产生γ辐射，操作台面或仪器设备受到放射性污染。

（4）注射药物的患者未按要求停留于控制区，导致公众遭受较大剂量照射。

（5）由于保管或管理工作不到位，导致 ^{99m}Tc 等放射性核素的丢失、被盗，使公众受到误照射。

（6）放射性废水专用管道长期使用老化破裂，或衰变池渗漏，造成核医学科地面受到放射性污染。

针对本项目可能发生的辐射事故，可采取以下的处理措施：

发生误照射（人员误留、误入机房内；操作人员违反操作规程或误操作；机房门-机联锁装置失效，导致防护门无法自动关闭），应立即按下急停开关，确保医用电子直线加速器、后装治疗机、模拟定位机、PET/CT、SPECT/CT、DSA 停止工作。

（2）迅速安排受照人员接受医学检查和救治；

（3）发生非密封放射性物质污染，封闭工作场所，控制人员走动，以避免放射性污染扩散，并进行场所和人员的去污。

（4）药物注射前，告知患者注意事项，使之了解放射性药物对他人的危害，并加强对带药患者的监督管理。

（5）对发生事故的射线装置，请有关供货单位或相关检测部门进行检测或维修，分析事故发生的原因，并提出改进意见。

（6）医院应定期对医用电子直线加速器机房、后装治疗机、模拟定位机机房、DSA 机房、核医学科工作场所辐射安全措施进行检查、维护，发现问题及时维修；每次工作前均应检查相应辐射安全装置的有效性，定期对工作场所进行检测。医院还应在平时工作中加强工作人员的辐射防护知识的培训，尽可能避免辐射事故的发生。

（7）事故发生后，积极配合生态环境等管理部门做好事故调查和善后处理工作。

医院应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，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，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》。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；对于可能受到大剂量照射的人员，迅速安排医学检查和救治，积极配合政府管理部门做好事故调查和善后工作。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用乙级非密封放射性物质工作场所和使用II类、III类射线装置的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射安全管理及辐射工作的人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核。

医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。医院应根据本次新建放射诊疗项目修订相关文件，明确医院相关辐射项目的管理人员及其职责，将该项目辐射安全管理纳入全院的辐射安全管理工作中。本项目辐射工作人员拟由医院新聘用，不兼职其它放射工作，放疗中心、核医学科、手术中心 2 座 DSA 机房拟分别配备 12 名、8 名、8 名辐射工作人员。

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”。本项目拟配置的辐射安全管理人员及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 年接受一次再培训考核。

辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《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》的有关要求，使用放射源和射线装置的单位要“有健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施”。目前医院已制定相关制度。医院应根据本次新建项目的特点及以下内容制定并

完善相关制度，并落实到实际工作中，严格执行，加强辐射安全管理。

1、操作规程：

明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。重点是：

①提高辐射工作人员对放射性药物操作的熟练程度，尽量减少辐射工作人员与放射性药物的近距离接触时间；

②确保开展辐射工作时所有辐射屏蔽措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；

③从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

④在工作场所严禁吸烟、进食；

⑤放射性“三废”的处理需严格按照操作规程执行。

2、岗位职责：

明确射线装置、放射性药品使用工作人员、台帐管理人员、药物注射人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

3、辐射防护和安全保卫制度：

根据射线装置及放射性药物操作的具体情况制定相应的辐射防护和安全保卫制度。重点是：

①定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全联锁装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪和表面沾污仪保持良好工作状态；

②工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护；

③放射性药物注射后患者应严格限制在控制区内；

④当注射后候诊室内有多位注射放射性药物的患者同时候诊时，建议医院在患者之间采用铅屏风进行隔离，减少患者间的交叉辐射影响。

4、设备维修制度：

明确射线装置和辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保射线检测装置、安全措施（联锁装置、警示标志、工作指示灯、急停按钮）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

5、放射性同位素使用登记制度：

建立放射性同位素台帐，重点是：放射性药物的使用、贮存情况等由专人负责登记、专人形成台帐、每月核对，确保帐物相符。

6、人员培训计划和健康管理制度：

明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。相关辐射工作人员应及时学习最新的国家政策法规及标准，熟练掌握放射性防护知识、最新的操作技术。根据18号令及《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》，辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并通过考核。医院应组织新进辐射工作人员定期参加职业健康体检（不少于1次/2年），并为其建立辐射工作人员职业健康监护档案。

7、监测方案：

明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。为了确保非密封放射性物质工作场所及II类、III类射线装置的辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：

①明确监测项目和频次；

②辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案，依据《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正），在日常检测中发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生和健康部门调查处理；

③对发生放射性药物泼洒的事故处理进行全程监测；

④医院应当按照有关标准、规范的要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测，发现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告；

⑤委托有资质监测单位对本单位的放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度检测，每年1月31日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

辐射监测

根据辐射管理要求，医院拟为本项目配备辐射巡测仪 1 台、固定式剂量监测报警装置 3 套、表面沾污仪 2 台及个人剂量报警仪 28 台，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，拟制定如下监测计划：

1、委托有资质的单位定期对项目周围环境 X-γ 辐射剂量率及核医学科表面污染水平进行监测，周期：1～2 次/年；

2、辐射工作人员配备个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于 1 次/季）送有资质机构进行个人剂量监测，建立个人剂量档案；

3、定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录；

4、所有辐射工作人员上岗前进行职业健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐射工作后，定期开展职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立个人职业健康档案；

5、出现外照射事故，立即采取应急措施，并在 1 小时之内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。

医院须根据上述监测计划，明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。

辐射事故应急

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，辐射事故应急方案应明确以下几个方面：

①应急机构和职责分工；

②应急的具体人员和联系电话；

③应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；

④辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

⑤辐射事故调查、报告和处理程序。

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况时，应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，在 1 小时之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。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，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。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：江苏省中医药研究院新建放射诊疗项目

建设单位：江苏省中医药研究院（又称“江苏省中西医结合医院”）

建设地点：江苏省南京市栖霞区十字街 100 号外科病房暨转化医学综合楼

建设内容与规模：

江苏省中医药研究院拟在外科病房暨转化医学综合楼负二层的放疗中心新建 2 座医用电子直线加速器机房，并配备 2 台医用电子直线加速器（X 线最大能量 15MV，属II类射线装置）；拟于放疗中心新建 1 座后装治疗机机房，并配备 1 台后装治疗机（内含 1 枚 ^{192}Ir 放射源，单枚最大装源活度为 $3.70\times10^{11}Bq$，为III类放射源）用于肿瘤的放射治疗，同时配套建设 1 座模拟定位机机房，配备 1 台模拟定位机，属III类射线装置；拟于外科病房暨转化医学综合楼负二层核医学科东区新建 1 处乙级非密封放射性物质工作场所，使用放射性同位素 ^{99m}Tc 开展 SPECT/CT（属III类射线装置）显像诊断，使用放射性同位素 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 开展骨转移治疗项目；同时，于核医学科西区新建 1 处乙级非密封放射性物质工作场所，使用放射性同位素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展 PET/CT（属III类射线装置）显像诊断；拟于外科病房暨转化医学综合楼五层手术部新建 1 座复合手术室，并配备 1 台 DSA，新建 1 座 DSA 手术室，并配备 1 台 DSA，均属II类射线装置。

二、项目产业政策符合性

本项目为新增医用放射源、医用射线装置及非密封放射性物质工作场所，对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》及其修订（国家发展改革委令 2021 年第 49 号）和《江苏省工业和信息产业结构调整指导目录（2012 年本）》（苏政办发[2013]9 号）及其修改文件（苏经信产业[2013]182 号），不属于“限制类”或“淘汰类”项目，符合国家和江苏省现行的产业政策。

三、实践正当性

江苏省中医药研究院新建放射诊疗项目的目的是为了对病人进行医学诊断和治疗。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》（GB 18871-2002）

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

本项目为江苏省中医药研究院外科病房暨转化医学综合楼建设的核技术利用部分，项目用地性质为医疗卫生用地。从周边外环境关系可知，医院周边规划为居民区和市政道路，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。

医院于 2016 年完成了外科病房暨转化医学综合楼项目的环境影响报告书，并取得原江苏省环境保护厅关于该项目的批复，批复文号为：苏环审〔2016〕32 号（见附件 3）。项目选址合理性已在相关环评报告中进行了论述，本项目建设地点均为外科病房暨转化医学综合楼内，不额外新增用地，医院整体布局合理，且拟建的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，从辐射安全防护角度分析，本项目选址是合理的。

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（52～81）nGy/h 之间与江苏省天然贯穿辐射水平相当，属于正常本底范围。医院核医学科拟建址及其周围表面 β 放射性污染测量结果为＜0.03Bq/cm^2。项目拟建位置周围中子剂量当量率在均＜0.001μSv/h，属于正常水平。

六、环境影响分析结论

1、施工期环境影响分析

本项目施工工程量比较小，施工时间较短，故施工期的环境影响是短暂的，施工结束后影响即可消除，对周围环境影响较小。

2、营运期正常工况下辐射环境影响

（1）辐射环境影响分析结论

在严格落实环评提出的要求后，本项目所致职业人员年剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)的辐射剂量限值要求，同时也符合本报告提出的照射剂量约束值要求（职业照射 5mSv/a、公众照射 0.1mSv/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）水环境影响分析

本项目辐射工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、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。通过独立的废水管

道收集来自核医学科工作场所的放射性废水，进入医院新建的废水衰变池，进行衰变处理，衰变后的废水排入医疗废水处理站进一步处理后纳入市政污水管网。

（3）固体废物影响分析

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注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料和更换下的废活性炭。医院拟将上述放射性固体废物采用专用塑料包装袋专门分类收集，按序封闭暂存于废物间的放射性衰变桶内（每袋废物表面剂量率不超过0.1mSv/h，重量不超过20kg），让放射性物质自行衰变，经检测符合排放标准后作为普通医疗废物处理。在整个收集、储存、处理过程中，做好台账记录，台账内容应包括：标明收贮时间、种类及数量、储存时间、废物最终处置去向等。

（4）大气环境影响分析

开机出束期间产生的X、γ射线等与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧(O_3)及氮氧化物。臭氧经空调系统抽取后排放，由于治疗过程中每次曝光时间短，产生的臭氧量较少，且臭氧极不稳定，再经大气稀释自然扩散后，对周围大气环境影响轻微。

项目运行过程可能会产生少量的放射性气溶胶，医院已设置有通排风系统，且设有活性炭过滤装置，产生的少量放射性气溶胶经活性炭过滤后对周围环境影响很小。

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。针对本项目可能发生的辐射事故，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。

八、非密封放射性物质工作场所及射线装置使用与安全管理的综合能力

江苏省中医药研究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。

九、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》（GB 18871-2002）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。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、该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对操作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。

2、各项安全措施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

3、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

4、医院取得本项目环评批复后，应及时申请辐射安全许可证，按照法规要求开展竣工环境保护验收工作，环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月，最长不超过 12 个月。

辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施		预期效果	预计投资（万元）
辐射安全管理机构	建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于 1 名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。		满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	/
辐射安全和防护措施	屏蔽措施：本项目放疗中心、核医学科及复合手术室四侧墙体及顶部均采用混凝土、实心砖、铅板等材料进行辐射防护，防护门为铅防护门，详见表 10-2、3、4。		满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求。	97
	安全措施	医用直线加速器机房和后装治疗机机房设置门机联锁装置，并设置急停按钮、视频监控系统及对讲装置，防护门外设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，医用直线加速器机房和后装治疗机机房均拟设置从室内开启治疗机房门的装置，防护门拟设有防挤压功能。在治疗室内设置固定式剂量监测报警装置。	满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的相关要求。	
		核医学科控制区入口处（包括工作场所的 SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、注射室、废物间、候诊区、留观室门口）、放射性废物桶表面设置电离辐射警告标志，同时在 SPECT/CT 机房、PET/CT 机房防护门处设置工作状态指示灯及闭门装置，并设置急停按钮及对讲装置；医院在核医学科注射室内均配备有手套箱；医院拟在工作场所的控制区患者走廊内安装监控及广播设备，通过监控及广播设备对控制区内用药后患者进行有序管理，以减少患者因聚集或者误入导致额外增加对周围的辐射影响；	满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的相关要求。	
		模拟定位机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态灯，模拟定位机房设有门机联锁装置，射线装置机房内外均设置有急停按钮。	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	

		DSA 机房入口处均拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态指示灯；DSA 机房设有闭门装置，机房内外均设置有急停按钮。	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	
人员配备	放疗科拟配备 12 名辐射人员，核医学科拟配备 8 名辐射工作人员，介入科拟配备 8 名辐射工作人员。辐射安全管理人员和辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核，考核合格后上岗。 辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检（两次监测的时间间隔不应超过 3 个月），加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。 辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立放射工作人员职业健康档案。		满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	10
监测仪器和防护用品	配备辐射巡测仪 1 台、表面沾污仪 2 台、固定式报警仪 3 台。 配备个人剂量报警仪 28 台。DSA 介入治疗医生配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等，同时设置铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏等防护用品。		满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	20
辐射安全管理制度	制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、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。		满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关要求。	/
总计	/		/	1000

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

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