2023-F-053

核技术利用建设项目

江苏省妇幼保健院总部
扩建放射诊疗项目环境影响报告表

江苏省妇幼卫生保健中心

2023 年 8 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

江苏省妇幼保健院总部
扩建放射诊疗项目环境影响报告表

建设单位名称：江苏省妇幼卫生保健中心

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：江苏省南京市鼓楼区江东北路 368 号

邮政编码：/　　联系人：[redacted]

电子邮箱：/　　联系电话：[redacted]

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">江苏省妇幼保健院总部扩建放射诊疗项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">江苏省妇幼卫生保健中心</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>唐金海</td><td>联系人</td><td>[redacted]</td><td>联系电话</td><td colspan="2">[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="6">江苏省南京市鼓楼区江东北路 368 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">经九路东侧、数字大道南侧、机场二通道西侧、纬四路北侧</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">南京市雨花台区行政审批局</td><td>批准文号</td><td colspan="3">雨审批项发[2021]37 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>[redacted]</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>[redacted]</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td colspan="2">[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☐新建 ☐改建 ☑扩建 ☐其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td colspan="2">86790.8</td></tr>
<tr><td rowspan="9">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 用放射性物质</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

1 建设单位基本情况、项目建设规模及任务由来

1.1 建设单位基本情况

江苏省妇幼卫生保健中心（以下简称医院）位于江苏省南京市鼓楼区江东北路 368 号，是一所集妇女儿童医疗、保健、科研、教学、康复及业务指导为一体的三级甲等妇幼保健机构，是江苏省唯一的省级妇幼保健院。

为均衡南京市医疗资源布局，南京雨花新城发展有限公司计划在南京市雨花台高新区开展江苏省妇幼保健院总部建设项目，项目选址位于经九路东侧、数字大道南侧、机场二通道西侧、纬四路北侧，项目总建筑面积 259800 平方米，包含门急诊区、医技、住院、药剂、保障系统、行政管理、院内生活等功能，设计床位约 1500 张，项目建设完毕交付江苏省妇幼卫生保健中心使用。江苏省妇幼保健院总部建设项目已履

行建设项目（非辐射类）环境影响评价手续，于 2022 年 11 月 3 日取得环评批复（批复文号：宁环（雨）建[2022]21 号，详见附件 4）。

1.2 项目建设规模及任务由来

根据医院总部建设项目规划，计划开展以下放射诊疗项目，主要包括：

（1）核医学科项目

医院计划于核医学科开展核素显像诊断项目和核素治疗项目。

核素显像诊断项目位于住院楼负一层，包括 1 间 PET/CT 机房、1 间 SPECT/CT 机房、1 间 D-SPECT 机房及相关配套用房，配备一台 PET/CT、一台 SPECT/CT 和一台 D-SPECT，使用 ^{18}F 和 ^{99m}Tc 两种核素。

核素治疗项目位于住院楼一层，开展甲癌与甲亢治疗，使用 ^{131}I 核素，包括 5 间核素病房及相关配套用房。

因此核医学科分为两个场所，即核素显像诊断场所和核素治疗场所。

（2）放疗科项目

放疗科位于综合楼负一层，主要包括医用直线加速器项目、后装机项目。

根据规划，医院计划在综合楼负一层新建放疗中心，主要包括 4 间加速器机房（1#~4#加速器机房）、1 间后装机房，2 间 CT 模拟定位机房、1 间 MRI 模拟定位机房及相关配套用房等。医院计划在 4 间加速器机房内各配备一台医用电子直线加速器（型号未定），在后装机房内配备一台后装机，使用一枚 ^{192}Ir 放射源，其活度为 $3.7\times10^{11}Bq$，属于III类放射源，用于肿瘤放射治疗；在 2 间 CT 模拟定位机房内各配备一台 CT 模拟定位机（型号未定），用于患者肿瘤位置定位。

（3）DSA 项目

医院计划在综合楼一层新建 1 间 DSA 手术室，在综合楼三层新建 2 间 DSA 手术室，在综合楼四层新建 1 间 DSA 手术室，每间手术室内各配备一台 DSA，用于介入治疗和诊断。

医院本次核技术利用项目情况一览表见表 1-1：

表 1-1 本次核技术利用项目一览表

放射源								
序号	放射源名称	数量	总活度（Bq）	类别	场所名称	活动种类	环评情况	许可情况
1	^{192}Ir	1	3.7×10^{11}	III	后装机房（综合楼负一层）	使用	扩建项目本次环评	未许可

非密封放射性物质

序号	工作场所等级	核素名称	日等效最大操作量（Bq）	年使用量（Bq）	场所名称	活动种类	环评情况	许可情况
1	乙级	^{18}F	1.11×10^{7}	2.77×10^{12}	核素显像诊断场所（住院楼负一层）	使用	扩建项目本次环评	未许可
2		^{99m}Tc	4.625×10^{7}	1.16×10^{13}		使用		
4	乙级	^{131}I	2.77×10^{9}	2.77×10^{12}	核素治疗场所（住院楼一层）	使用		
5		^{131}I	3.70×10^{8}	7.40×10^{11}		使用		

射线装置

序号	装置名称	数量	管电压 kV	管电流 mA	类别	场所名称	活动种类	环评情况	许可情况
1	医用直线加速器	1	X 射线：≤15MV 电子线：≤22MeV		II	1#加速器机房（综合楼负一层放疗科）	使用	扩建项目本次环评	未许可
2	医用直线加速器	1	X 射线：≤15MV 电子线：≤22MeV		II	2#加速器机房（综合楼负一层放疗科）	使用		
3	医用直线加速器	1	X 射线：≤15MV 电子线：≤22MeV		II	3#加速器机房（综合楼负一层放疗科）	使用		
4	医用直线加速器	1	X 射线：≤15MV 电子线：≤22MeV		II	4#加速器机房（综合楼负一层放疗科）	使用		
5	DSA	1	≤125	≤1000	II	1#DSA 手术室（综合楼一层）	使用		
6	DSA	1	≤125	≤1000	II	2#DSA 手术室（综合楼三层）	使用		
7	DSA	1	≤125	≤1000	II	3#DSA 手术室（综合楼三层）	使用		
8	DSA	1	≤125	≤1000	II	4#DSA 手术室（综合楼四层）	使用		
9	PET/CT	1	≤150	≤1000	III	PET/CT 机房（住院楼负一层核医学科）	使用		
10	SPECT/CT	1	≤150	≤1000	III	SPECT/CT 机房（住院楼负一层核医学科）	使用		
11	CT 模拟定位机	1	≤150	≤1000	III	1#模拟定位机房（综合楼负一层放疗科）	使用		
12	CT 模拟定位机	1	≤150	≤1000	III	2#模拟定位机房（综合楼负一层放疗科）	使用		

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《建设项目环境保护管理条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《建设项目环境影响评价分类管理名录》等法律法规的要求，本项目涉及使用II类、III类射线装置、III类放射源及乙级非密封放射性物质工作场所，应编制核技术利用项目环境影响评价报告表。受江苏省妇幼卫生保健中心委托，江苏玖清玖蓝环保科技有限公司承担该项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、现场监测、评价分析，编制该项目环境影响报告表。

2 项目周边保护目标及项目选址情况

医院总部项目选址位于经九路东侧、数字大道南侧、机场二通道西侧、纬四路北侧。总部院区地理位置见附图 1，总部院区平面布局见附图 2。

2.1 核医学科项目

核素显像诊断场所位于住院楼负一层，其东侧为地下车库，南侧为放疗科等区域，西侧为电梯厅、卫生间等区域，北侧为办公室、电梯厅、地下车库等区域，下方为负二层地下车库、库房、放射性污水泵房、排风排烟机房等，上方为核素治疗场所。住院楼负一层核素显像诊断场所及其楼上楼下对应区域平面布局见附图 4、附图 6、附图 8。

核素治疗场所位于住院楼一层，其东侧为配套商业服务设施、院内道路、地下车库出入口等区域，南侧为综合楼区域，西侧为电梯厅等住院楼内区域，北侧为住院楼内区域、停车场、垃圾暂存中心，下方为核素显像诊断场所，上方为治疗室等住院楼内区域。住院楼一层核素治疗场所及其楼上楼下对应区域平面布局见附图 8、附图 4、附图 9。

2.2 放疗科项目

放疗科位于医院综合楼负一层北侧。放疗科东侧为热水机房、电梯厅等，南侧为补风机房、更衣卫浴室等区域，西侧为走廊、食堂等，北侧为核素显像诊断场所区域，上方为平台、综合楼内区域，下方为地下车库。综合楼负一层放疗科及其楼上楼下对应区域平面布局见附图 5、附图 7、附图 6。

2.3 DSA 项目

DSA 手术室分别位于综合楼一层、三层、四层。1#DSA 手术室位于综合楼一层，其东侧为门厅、UPS 间等区域，南侧为更衣室、值班室等综合楼内区域，西侧为值班室、走廊、输液室等综合楼内区域，北侧为更衣室、办公室等综合楼内区域，上方为医护更衣、医护走廊等综合楼内区域，下方为地下车库。2#、3#DSA 手术室位于综合楼三层，其东侧为污物走廊，南侧为污物走廊、人员通道、值班室、办公室、会议室等综合楼区域，西侧为护士站、设备间、人员通道、谈话间等综合楼区域，北侧为患者走廊、无菌间、值班室等综合楼区域和住院楼区域，上方为骨科，下方为检查室。4#DSA 手术室位于综合楼四层，其东侧为排烟机房、电梯厅、楼梯厅，南侧为手术室、走廊等综合楼区域，西侧为控制室、设备间、手术室、麻醉区域等综合楼区域，北侧为住院楼区域，上方为设备层，下方为新风机房、污物暂存间、清洁间等综合楼区域。

综合楼 DSA 手术室及其楼上楼下对应区域平面布局见附图 10-附图 15。

根据本项目特点，结合《辐射环境保护管理导则-核技术利用项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关规定，确定以本项目拟建址周围 50m 的范围作为评价范围。根据现场调查分析及附图 2、附图 3 可知，本项目拟建址周围 50m 评价范围内无学校、居民区等环境敏感点。因此，本项目保护目标主要为辐射工作人员、各辐射工作场所拟建址评价范围内医护人员、患者及患者家属。

3 实践正当性分析

本项目的建设可以更好地满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，可达到一般非放射性诊治方法所不能及的诊断及治疗效果，是其它项目无法替代的，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合辐射防护“实践的正当性”原则。

4 原有核技术利用项目许可情况

江苏省妇幼卫生保健中心目前持有南京市生态环境局颁发的辐射安全许可证，证书编号为“苏环辐证[A0110]”，种类和范围为“使用 II 类、III 类射线装置”，发证日期为 2019 年 4 月 18 日，有效期至 2024 年 4 月 17 日。许可内容包含 2 台 DSA、11 台 III 类医用 X 射线装置，医院辐射安全许可证正副本见附件 5。医院在用核技术利用项目均已履行了环保手续。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/活度（Bq）×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	^{192}Ir	3.7×10^{11}Bq×1	III	使用	后装近距离治疗	后装机房（综合楼负一层）	后装机屏蔽体内	新增

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{18}F	液态	使用	1.11×10^{10}	1.11×10^{7}	2.77×10^{12}	放射诊断	很简单操作	核医学科（住院楼负一层）	负一层分装柜内
2	^{99m}Tc	液态	使用	4.625×10^{10}	4.625×10^{7}	1.16×10^{13}		很简单操作	核医学科（住院楼负一层）	负一层分装柜内
3	^{131}I	液态	使用	2.77×10^{10}	2.77×10^{9}	2.77×10^{12}	甲癌治疗	简单操作	核医学科（住院楼一层）	一层分装柜内
4	^{131}I	液态	使用	3.70×10^{9}	3.70×10^{8}	7.40×10^{11}	甲亢治疗	简单操作	核医学科（住院楼一层）	一层分装柜内

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（μA）/剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II	1	待定	电子	X 射线：≤15MV 电子线：≤22MeV	X 射线：≤2400cGy/min 电子线：≤2400cGy/min	放射肿瘤治疗	1#加速器机房（综合楼负一层放疗科）	新增
2	医用直线加速器	II	1	待定	电子	X 射线：≤15MV 电子线：≤22MeV	X 射线：≤2400cGy/min 电子线：≤2400cGy/min	放射肿瘤治疗	2#加速器机房（综合楼负一层放疗科）	新增
3	医用直线加速器	II	1	待定	电子	X 射线：≤15MV 电子线：≤22MeV	X 射线：≤2400cGy/min 电子线：≤2400cGy/min	放射肿瘤治疗	3#加速器机房（综合楼负一层放疗科）	新增

4	医用直线加速器	II	1	待定	电子	X 射线：≤15MV 电子线：≤22MeV	X 射线：≤2400cGy/min 电子线：≤2400cGy/min	放射肿瘤治疗	4#加速器机房（综合楼负一层放疗科）	新增

（二）X 射线机：包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	DSA	II	1	待定	≤125	≤1000	放射诊断与介入治疗	1#DSA 手术室（综合楼一层）	新增
2	DSA	II	1	待定	≤125	≤1000	放射诊断与介入治疗	2#DSA 手术室（综合楼三层）	新增
3	DSA	II	1	待定	≤125	≤1000	放射诊断与介入治疗	3#DSA 手术室（综合楼三层）	新增
4	DSA	II	1	待定	≤125	≤1000	放射诊断与介入治疗	4#DSA 手术室（综合楼四层）	新增
5	PET/CT	III	1	待定	≤150	≤1000	放射诊断	PET/CT 机房（住院楼负一层核医学科）	新增
6	SPECT/CT	III	1	待定	≤150	≤1000	放射诊断	SPECT/CT 机房（住院楼负一层核医学科）	新增
7	CT	III	1	待定	≤150	≤1000	放射诊断	1#模拟定位机房（综合楼负一层放疗科）	新增
8	CT	III	1	待定	≤150	≤1000	放射诊断	2#模拟定位机房（综合楼负一层放疗科）	新增

（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	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
核素治疗场所患者住院产生的废水及医护人员清洗废水	液态	^{131}I	/	/	约 267.5m^3	总α＜1Bq/L 总β<10Bq/L	由专用管道统一排入 1#衰变池	暂存于 1#衰变池内 180 天，监测结果经审管部门认可后排入医院污水处理系统
含有 ^{99m}Tc、^{18}F 放射性核素的排泄物	液态	^{99m}Tc、^{18}F	/	/	约 140m^3	总α＜1Bq/L 总β<10Bq/L	由专用管道统一排入 2#衰变池	暂存于 2#衰变池内 30 天后排入医院污水处理系统
核素显像诊断场所产生的一次性手套、滤纸、注射器、服药纸杯、手套、擦拭废纸等	固态	^{18}F、^{99m}Tc	/	/	约 200kg	^{18}F≤1×10^1Bq/g ^{99m}Tc≤1×10^2 Bq/g	分类收集于各场所的放射性废物桶内，送至放射性固体废物间暂存	暂存于固体废物间内不少于 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，作为医疗废物处理
核素治疗场所产生一次性服药杯、擦拭纸	固态	^{131}I	/	/	约 70kg	<1×10^2Bq/g	收集于各场所的放射性废物桶内，送至甲癌治疗中心放射性固体废物间暂存	暂存于固体废物间内不少于 180 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，作为医疗废物处理。
废源	固态	^{192}Ir	使用时间约 2.5 个半衰期退役，退役时活度约 6.5×10^{10}Bq	/	/	/	暂放在设备中	由原生产厂家回收处理
退役废靶	固态	/	/	/	/	/	暂存于铅罐中	委托有放射性固废处理资质的单位处理
废活性炭	固态	^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I	/	/	约 25kg	/	拆卸下来的过滤吸附装置作为放射性固体废物处理，送至甲癌治	暂存于固体废物间内不少于 180 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，作为医疗废物处理。

							疗区域放射性固体废物间暂存	
放射性药物操作时挥发的微量气溶胶	气态	^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I	/	/	微量	微量	不暂存	经通风橱管道内及屋顶排放口活性炭装置过滤后排放
DSA 手术产生的医疗废物	固态	/	/	/	/	/	暂存于手术室医疗垃圾暂存间	依托医院现有医疗废物收运系统并交由有资质单位处理
臭氧、 氮氧化物	气态	/	/	/	少量	/	不暂存	直接排入大气，臭氧的有效化学分解时间约为 50 分钟

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.含有放射性的废弃物要注明，其排放浓度用比活度(Bq/l，或 Bq/kg，或 Bq/m^3)，年排放总量分别用 Bq 和 kg。

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），国家主席令第 9 号，2015 年 1 月 1 日施行 （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 修正版），中华人民共和国主席令第 24 号，2018 年 12 月 29 日修订，2018 年 12 月 29 起施行 （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，国家主席令第 6 号，2003 年 10 月 1 日起施行 （4）《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修正版），国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日发布施行 （5）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修正版），国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日公布施行 （6）《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日实施 （7）《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，中华人民共和国国家发展和改革委员会第 29 号令，2020 年 1 月 1 日起施行 （8）《关于发布放射性废物分类的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行 （9）《关于发布放射源分类办法的公告》，国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日起施行 （10）《关于发布射线装置分类的公告》，原环境保护部、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）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正版），生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日施行 （12）《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 （13）《放射性废物安全管理条例》国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行 （14）《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》国家环保总局，环发[2006]145 号，2006 年 9 月 26 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》生态环境部部

	令第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行 （16）《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 （17）《生态环境部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 日起施行 （18）《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正版），江苏省第十三届人民代表大会常委会公告第 2 号，2018 年 5 月 1 日起施行 （19）《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 （20）《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187 号 （21）《江苏省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74 号，2018 年 6 月 9 日 （22）《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1 号，2020 年 1 月 8 日 （23）《省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49 号，2020 年 6 月 21 日
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-核技术利用项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016） （3）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021） （4）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021） （5）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021） （6）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021） （7）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002） （8）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010） （9）《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） （10）《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） （11）《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） （12）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128- 2019） （13）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020） （14）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020） （15）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）
其它	**与本项目相关附件** （1）委托书（附件 1） （2）射线装置、放射源、非密封放射性核素使用承诺书（附件 2） （3）放射源退役承诺处置诺书（附件 3） （4）关于江苏省妇幼保健院总部建设项目环境影响报告书的批复（附件 4） （5）辐射安全许可证（附件 5） （6）辐射环境现状检测报告（附件 6）

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

本项目后装机使用III类放射源，核医学科场所为乙级非密封放射性物质工作场所，加速器和 DSA 属于II类射线装置，根据《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中 1.5 的规定，本项目评价范围确定为核医学科乙级工作场所取其半径 50m 的范围，加速器机房、后装机房及 DSA 手术室取其机房边界外 50m 的范围。

环境保护目标

本项目位于南京市雨花台高新区扩建江苏省妇幼保健院总部，不涉及自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）及《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》（苏政发〔2020〕1 号），本项目评价范围不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域（见附图 21）。本项目为医用核技术利用项目，不会降低管控区的水、气、土壤的环境功能类别和环境质量，符合“三线一单”相关要求。

根据现场调查可知，本项目周围 50m 范围内无居民区、学校等敏感点。评价范围内未涉及《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号）》中划分的环境管控单元中的优先保护单元。因此，本项目保护目标主要为辐射工作人员、各辐射工作场所拟建址评价范围内医护人员、患者及患者家属，保护目标详见表 7-1。

表 7-1 本项目评价范围内保护目标情况一览表

项目		保护目标名称		方位	最近距离	规模
核医学科项目	核素显像诊断场所	辐射工作人员		工作场所内	紧邻	约 30 人
		医护人员 患者及患者家属	住院楼	东侧、西侧、北侧、楼上、楼下	约 5m	医护人员约 100 人 患者及患者家属人员不定
			综合楼	南侧	约 20m	
		地下停车场内行人		东侧、南侧、北侧、楼下	约 5m	不定
	核素治疗场所	辐射工作人员		工作场所内	紧邻	约 15 人
		医护人员 患者及患者家属	住院楼	东侧、西侧、北侧、楼上、楼下	约 5m	医护人员约 100 人 患者及患者家属人员不定
			综合楼	南侧	约 20m	
		停车场、院内道路上行人		东侧、南侧、北侧	约 5m	不定

放疗科项目		辐射工作人员		工作场所内	紧邻	约 30 人
		医护人员 患者及患者家属	综合楼	东侧、南侧、西侧、楼上、楼下	约 5m	医护人员约 120 人 患者及患者家属人员不定
			住院楼	北侧	约 5m	
		地下停车场内行人		南侧、北侧、楼下	约 10m	不定
DSA 项目	1#DSA 手术室	辐射工作人员		工作场所内	紧邻	约 5 人
		医护人员 患者及患者家属	综合楼	四侧、楼上、楼下	约 5m	医护人员约 200 人 患者及患者家属人员不定
		院内道路上行人		东侧	约 10m	不定
	2#、3#DSA 手术室	辐射工作人员		工作场所内	紧邻	约 10 人
		医护人员 患者及患者家属	综合楼	四侧、楼上、楼下	约 5m	医护人员约 200 人 患者及患者家属人员不定
			住院楼	北侧	约 25m	
	4#DSA 手术室	辐射工作人员		工作场所内	紧邻	约 5 人
		医护人员 患者及患者家属	综合楼	四侧、楼上、楼下	约 5m	医护人员约 180 人 患者及患者家属人员不定
			住院楼	北侧	约 20m	

评价标准

1《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

	剂量限值
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（但不可作任何追溯性平均），20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。
公众照射 剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

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

表7-3 表面污染控制水平（单位 Bq/cm²）

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。				

表 7-4 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4\times10^{9}$
乙	2×10^{7}~4×10^{9}
丙	豁免活度值以上~2×10^{7}

表 7-5 以核素活度浓度表示的清洁解控水平推荐值

解控水平（Bq/g）	核素
1×10^{2}	^{99m}Tc、^{131}I
1×10^{1}	^{18}F
注 1：上述解控水平推荐值原则上只适用于在组织良好、人员训练有素的工作场所对产生小量放射性固体废物的医学应用或实验室。 注 2：严禁为申报清洁解控而采用人工稀释等方法来降低核素活度浓度。 注 3：本表数值取自 GB 18871-2002 附录 A；	

8.5 放射性废物管理

8.5.1 注册者和许可证持有者应确保在现实可行的条件下，使其所负责实践和源所产生的放射性废物的活度与体积达到并保持最小。

8.5.2 注册者和许可证持有者应按照本标准和国家其他有关法规与标准的要求，对其所负责实践和源所产生的放射性废物实施良好的管理，进行分类收集、处理、整备、运输、贮存和处置，确保：

a）使放射性废物对工作人员与公众的健康及环境可能造成的危害降低到可以接受的水平；

b）使放射性废物对后代健康的预计影响不大于当前可以接受的水平；

c）不给后代增加不适当的负担。

8.5.3 注册者和许可证持有者进行放射性废物管理时，应充分考虑废物的产生与管理各步骤之间的相互关系，并应根据所产生废物中放射性核素的种类、含量、半衰期、浓度以及废物的体积和其他物理与化学性质的差别，对不同类型的放射性废物进行分类收集和分别处理，以利于废物管理的优化。

8.6 放射性物质向环境排放的控制

8.6.1 注册者和许可证持有者应保证，由其获准的实践和源向环境排放放射性物质时符合下列所有条件，并已获得审管部门的批准：

a）排放不超过审管部门认可的排放限值，包括排放总量限值和浓度限值；

b）有适当的流量和浓度监控设备，排放是受控的；

c）含放射性物质的废液是采用槽式排放的；

d）排放所致的公众照射符合本标准附录 B（标准的附录）所规定的剂量限制要求；

e）已按本标准的有关要求使排放的控制最优化。

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

a）每月排放的总活度不超过 10ALImin（ALImin 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者，其具体数值可按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得）

b）每一次排放的活度不超过 1ALImin，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

2《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）

5.3.1 辐射工作人员应熟练掌握安全与防护技能，取得相应资质。

5.3.2 辐射工作人员应根据实际需要配备适用、足够和符合标准的个人防护用具（器械、衣具），并掌握其性能和使用方法。个人防护用具应有备份，均应妥善保管，并应对其性能进行检验。

5.3.3 辐射工作场所应具备适当的防护手段与安全措施，做好个人防护工作。

5.3.4 在伴有外照射的工作场所，应做好个人外照射防护，包括β外照射防护。

5.3.5 在任何情况下均不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件的操作。

3《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）

表 7-6 综合医疗机构和其他医疗机构水污染排放限值（日均值）

序号	控制项目	排放标准
22	总α放射性（Bq/L）	1
23	总β放射性（Bq/L）	10

4《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）

4.2 辐射工作场所分级

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

4.3 辐射工作场所分区

4.3.1 应按照 GB18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。

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

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

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

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB 18871 执行。

4.5 服药患者出院要求

4.5.1 为确保放射性核素治疗患者出院后，不至于使接触患者的家庭成员及公众超过相关的剂量约束或剂量限值，出院患者体内放射性核素活度应符合附录 B 的相关规定。

4.5.2 接受碘-131 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400MBq 以下或距离患者体表 1 米处的周围剂量当量率不大于 25μSv/h 方可出院。

5 选址和布局

5.1 选址

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

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

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。

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

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

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1 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 30cm 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。

6.2 场所安全措施要求

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

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

6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。

6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

6.3 密闭和通风要求

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

6.3.3 碘-131 治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。

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

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

7 放射性废物的管理

7.2.3 固体放射性废物处理

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

a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

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

c）含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

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

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

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

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。

7.4 气态放射性废物的管理

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

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

5《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）

4一般要求

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GB18871-2002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。

4.10 开展放射治疗活动的医疗机构应制定相应的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备、应急演练和应急响应，确保有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。

5 选址、布局与分区要求

5.1 选址与布局

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

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

5.2 分区原则

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

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

6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

6.1 屏蔽要求

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

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

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

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

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

1）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（Ḣc）求得关注点的导出剂量率参考控制水平Ḣc,d (μSv/h)：

机房外辐射工作人员：Ḣc≤100 μSv/周；

机房外非辐射工作人员：Ḣc≤5 μSv/周。

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

人员居留因子T＞1/2 的场所：Ḣc,max≤2.5 μSv/h；

人员居留因子T≤1/2 的场所：Ḣc,max≤10 μSv/h。

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

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

6.2 安全防护设施和措施要求

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

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

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

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

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

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

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

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

c）应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质

子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；

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

8.4 气态废物管理要求

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

6《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）

7《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）

8《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X 射线设备机房布局

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

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

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

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

本项目 X 射线设备，机房最小有效使用面积、最小单边长度需要满足表 7-7 的要求。

表 7-7 不同 X 射线设备机房使用面积、单边长度的要求

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

b 单管头 、双管头或多管头 X 射线设备的每个管球各安装在 1 个房间内。
d 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。
e 机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

6.2 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。

本项目为 X 射线设备机房，机房的屏蔽防护铅当量需要满足表 7-8 的要求。

表 7-8 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
C 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	

6.3 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 2.5μSv/h；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间。

6.4 X 射线设备工作场所防护

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

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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

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

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

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

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

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

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

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

9 项目管理目标

（1）本项目辐射工作人员及公众的辐射剂量约束值：其中职业人员年有效剂量不

超过5mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv。

（2）核医学工作场所周围剂量当量率控制值：在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面0.3m处的周围剂量当量率控制目标值应不大于2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面0.3m处的周围剂量当量率不大于2.5μSv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜体外表面5cm处的周围剂量当量率控制目标值应不大于25μSv/h，30cm处的周围剂量当量率控制目标值应不大于2.5μSv/h。

核医学科表面污染控制水平控制值：本项目表面污染为β放射性物质，核医学科控制区内的工作台、设备、墙壁、地面等表面污染控制水平不大于40Bq/cm^2，监督区的工作台、设备、墙壁、地面等表面污染控制水平不大于4Bq/cm^2，工作人员的工作服、手套、工作鞋等工作台、设备、墙壁、地面等表面污染控制水平不大于4Bq/cm^2，工作人员的手、皮肤、内衣、工作袜等工作台、设备、墙壁、地面等表面污染控制水平不大于0.4Bq/cm^2。

（3）DSA手术室、CT模拟定位机房外周围剂量当量率应不大于2.5μSv/h。

（4）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射治疗项目开机与治疗时间，估算得到加速器机房、后装机房外30cm处的周围剂量当量率参考控制水平H_c。本项目1#-4#加速器机房屏蔽防护设计一致且拟配备的加速器的X射线、电子线能量、距靶1m处剂量率等设备参数一致，因此选取1#加速器机房估算30cm处的周围剂量当量率参考控制水平，见表7-9、表7-10。

表7-9 1#加速器机房外30cm处的周围剂量当量率参考控制水平

位置	东墙		西墙		屋顶		南墙		北墙	防护门
	主屏蔽	次屏蔽	主屏蔽	次屏蔽	主屏蔽	次屏蔽	迷路外墙（西）	迷路外墙	次屏蔽	
使用因子 U	1/4	1	1/4	1	1/4	1	1	1	1	1
居留因子 T	1/2	1/2	1/5	1/5	1/20	1/20	1/20	1	1	1/8
周剂量控制值（μSv/周）	5	5	5	5	5	5	5	100	5	5
周工作时间（h）	12									
导出周围剂量当量率参考控制水平（μSv/h）	3.3	0.8	8.3	2.08	33.3	8.3	8.3	8.3	0.4	3.3
标准控制水平（μSv/h）	10	10	10	10	10	10	10	2.5	2.5	10

周围剂量当量率参考控制水平取值（μSv/h）	3.3	0.8	8.3	2.08	10	8.3	8.3	2.5	0.4	3.3

表7-10 后装机房外30cm处的周围剂量当量率参考控制水平

位置	东墙	南墙	西墙	北墙	楼上	楼下	防护门
使用因子 U	1	1	1	1	1	1	1
居留因子 T	1/5	1/5	1	1/5	1	1/40	1/8
周剂量控制值（μSv/周）	5	5	100	5	5	5	5
周工作时间（h）	3.33						
导出周围剂量当量率参考控制水平（μSv/h）	7.5	7.5	30.0	7.5	1.5	60.1	12.0
标准控制水平（μSv/h）	10	10	2.5	10	2.5	10	10
周围剂量当量率参考控制水平取值（μSv/h）	7.5	7.5	2.5	7.5	1.5	10	10

10 参考资料

（1）《后装γ源近距离治疗控制检测规范》（WS 262-2017）

（2）《辐射防护导论》，方杰主编；《辐射防护技术与管理》，张丹枫、赵兰才主编。

（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。

表 7-11 江苏省γ辐射（空气吸收）剂量率和天然γ辐射所致人均年有效剂量当量（单位：nGy/h）

类别 \ 类型	原野γ辐射剂量率	道路γ辐射剂量率	室内γ辐射剂量率
范围	33.1-72.6	18.1-102.3	50.7-129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差（s）	7.0	12.3	14

注：1、测量值已扣除宇宙射线响应值；

2、现状评价时，以“均值±3s”作为参考值：原野为（50.4±21.0）nGy/h；道路为（47.1±36.9）nGy/h；室内为（89.2±42.0）nGy/h。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1 项目地理和场所位置

江苏省妇幼保健院总部项目位于经九路东侧、数字大道南侧、机场二通道西侧、纬四路北侧。总部院区地理位置见附图 1，总部院区平面图见附图 2。

本次评价总部院区放射诊疗项目包括核医学科项目、放疗科项目、DSA 项目，其中核医学科项目位于住院楼，放疗科、DSA 项目位于综合楼。根据现场调查可知，本项目周围 50m 范围内无居民区、学校等敏感点，拟建址现状见图 8-1。



拟建址大门



拟建址现状

图 8-1 江苏省妇幼保健院总部项目拟建址现状图

2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

环境现状评价的对象：本项目拟建址周围辐射环境

监测因子：γ辐射空气吸收剂量率、β表面污染、中子剂量率

监测点位：在拟建址及周围进行布点，γ辐射空气吸收剂量率布点 11 个，β表面污染布点 4 个，中子剂量率布点 4 个

3 监测方案、质量保证措施及监测结果

3.1 监测方案

监测单位：江苏玖清玖蓝环保科技有限公司

监测仪器：FH40G 型辐射剂量检测仪（探头型号 FHZ672E-10）（设备编号：J2718，检定有效期：2023 年 05 月 08 日-2024 年 05 月 07 日）、Como170 高灵敏α/β/γ便携式沾污检测仪（设备编号：J0417，检定有效期：2022 年 10 月 12 日-2023 年 10 月 11 日）、RJ37-7105He5 中子周围剂量当量仪（设备编号：J0519，检定有效期：2022 年 12 月 15 日-2023 年 12 月 14 日）

监测项目：γ辐射空气吸收剂量率、β表面污染、中子剂量率

监测布点：在项目拟建址周围进行布点，具体点位见图 8-2、图 8-3、图 8-4

监测时间：2023 年 06 月 16 日、2023 年 8 月 16 日

监测方法：《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《表面污染测定第 1 部分:β发射体（Eβmax＞0.15 MeV）和α发射体》（GB/T 14056.1-2008）

数据记录及处理：γ辐射空气吸收剂量率监测每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 20s，并待计数稳定后读取数值，每组数据计算每个点位的平均值并计算方差。本项目空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照 JJG 393，使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源，换算系数取 1.20Sv/Gy。β表面污染水平监测每个点位读取 5 个数据，读取间隔不小于 20s，并待计数稳定后读取数值，每组数据计算每个点位的平均值并计算方差。中子剂量率监测读取 5 个数据，读取间隔不小于 20s，并待计数稳定后读取数值，每组数据计算每个点位的平均值并计算方差。

3.2 质量保证措施

监测单位：江苏玖清玖蓝环保科技有限公司，该公司已通过资质认定

监测布点质量保证：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）与《表面污染测定第 1 部分:β发射体（Eβmax＞0.15 MeV）和α发射体》（GB/T 14056.1-2008）有关布点原则进行布点

监测过程质量控制质量保证：本项目监测按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《表面污染测定第 1 部分:β发射体（$E_{\beta max}$＞0.15 MeV）和α发射体》（GB/T 14056.1-2008）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质量保证：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校准或检验，监测报告实行三级审核。

3.3 监测结果

监测结果见表 8-1、表 8-2、表 8-3，详细检测结果见附件 6。

表 8-1 项目拟建址及周围环境γ辐射空气吸收剂量率

测点号	点位描述	测量结果 (nGy/h)
1	放疗中心拟建址（西）	34.9
2	放疗中心拟建址（中）	41.8
3	放疗中心拟建址（东）	27.5
4	核医学科拟建址	36.8
5	综合楼拟建址（东北）	39.6
6	综合楼拟建址（东）	38.8
7	综合楼拟建址（东南）	35.3
8	住院楼拟建址北侧过道	43.6
9	综合楼拟建址西侧过道	39.3
10	综合楼拟建址南侧过道	56.5
11	综合楼拟建址东侧过道	39.5
*表中结果扣除仪器宇宙响应值。		

表 8-2 β表面污染检测结果

测点号	点位描述	测量结果 (Bq/cm^2)
1	核医学拟建址（中）	＜MDL
2	核医学拟建址（东）	0.03
3	核医学拟建址（西）	0.03
4	核医学拟建址南侧	＜MDL
*MDL=0.017Bq/cm^2。		

表 8-3 中子剂量率检测结果

测点号	点位描述	测量结果 (μSv/h)
1	1#加速器机房拟建址处	0
2	2#加速器机房拟建址处	0
3	3#加速器机房拟建址处	0

4	4#加速器机房拟建址处	0

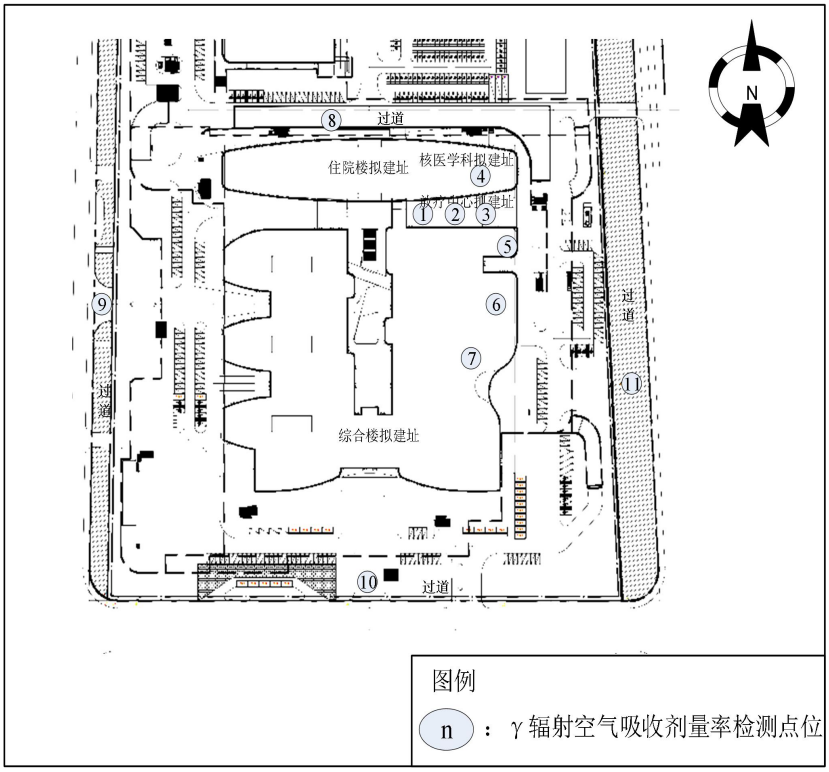


图 8-2　项目拟建址及周围检测点位图（环境本底）

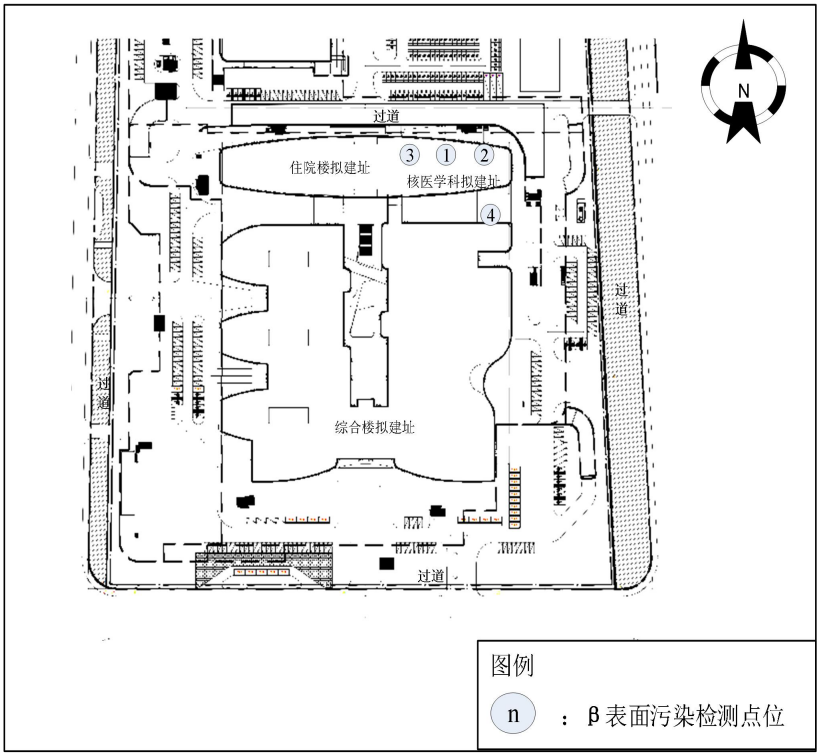


图 8-3　项目拟建址及周围检测点位图（表面污染）

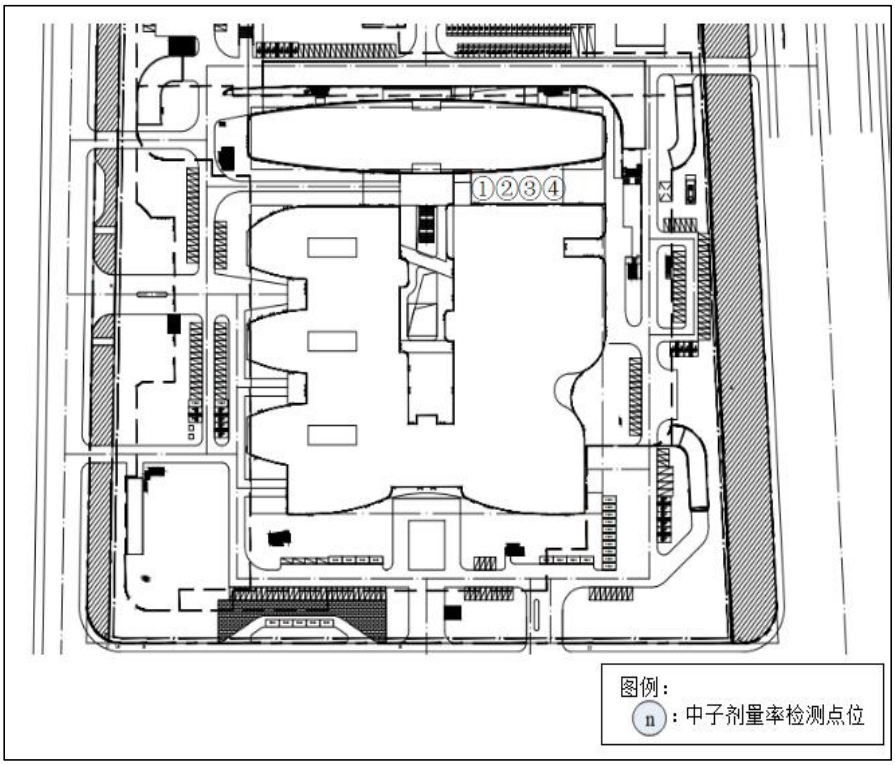


图 8-4 项目拟建址及周围检测点位图（中子剂量率）

4 环境现状调查结果评价

从现场监测结果可知，本项目拟建址及周围的环境γ辐射空气吸收剂量率为（27.5~56.5）nGy/h，处于江苏省环境天然γ辐射水平统计涨落范围内；核医学科拟建址周围β表面污染最大为 0.03Bq/cm²；江苏省妇幼保健院扩建放射诊疗项目拟建址周围中子剂量率为 0μSv/h。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

1 核医学科项目

核医学科包括两个场所，即核素显像诊断场所和核素治疗场所。其中核素显像诊断场所位于住院楼负一层，主要开展 PET/CT 显像诊断、SPECT 显像诊断；核素治疗场所位于住院楼一层，主要开展 ^{131}I 核素治疗。

1.1 核医学科工作场所分级

根据医院提供的预估核素种类及使用量，计算放射性药物日最大操作量和年总用量。通过查阅 GB 18871-2002 得到各核素的毒性组别及使用因子，根据核素的日最大操作量，经过毒性组别及使用因子的双重修正，得到最终的工作场所分级。

表 9-1 核医学科放射性核素日使用量及年使用量

负一层核医学科诊断项目		
^{18}F	日最大用量	10mCi/人×30 人=300mCi=1.11×10^{10}Bq
	年总量	10mCi/人×年门诊量 7500 人=75Ci=2.77×10^{12}Bq
^{99m}Tc	日最大用量	25mCi/人×日门诊量 50 人=1250mCi=4.625×10^{10}Bq
	年总量	25mCi/人×年门诊量 12500 人=312.5Ci≈1.16×10^{13}Bq
一层核医学科治疗项目		
^{131}I 甲癌	日最大用量	150mCi/人×日门诊量 5 人=750mCi=2.77×10^{10}Bq
	年总量	150mCi/人×年门诊量 500 人=75Ci=2.77×10^{12}Bq
^{131}I 甲亢	日最大用量	10mCi/人×日门诊量 10 人=100mCi=3.70×10^{9}Bq
	年总量	10mCi/人×年门诊量 2000 人=20Ci=7.40×10^{11}Bq

表 9-2 核医学科项目放射性核素日等效最大操作量核算

核素	物理状态/毒性组别	操作方式	日等效最大操作量
^{18}F	液态/低毒	很简单操作	日最大操作量 1.11×10^{10}Bq×0.01（低毒）/10（液态/很简单操作）=1.11×10^{7}Bq
^{99m}Tc	液态/低毒	很简单操作	日最大操作量 4.625×10^{10}Bq×0.01（低毒）/10（液态/很简单操作）=4.625×10^{7}Bq
核医学诊断场所日等效最大操作量：5.735×10^{7}Bq			
^{131}I	液态/中毒	简单操作	日最大操作量 2.77×10^{10}Bq×0.1（中毒）/1（液态/简单操作）=2.77×10^{9}Bq
^{131}I	液态/中毒	简单操作	日最大操作量 3.70×10^{9}Bq×0.1（中毒）/1（液态/简单操作）=3.70×10^{8}Bq

核医学治疗场所日等效最大操作量：3.14×10^{9}Bq

由上述表可知，核医学诊断场所日等效最大操作量为 5.735×10^{7}Bq，核医学治疗场所日等效最大操作量为 3.14×10^{9}Bq。根据 GB 18871-2002 中**乙级**非密封放射性物质工作场所范围（2×10^{7}Bq~4×10^{9}Bq），因此本项目核医学诊断场所、核医学治疗场所均为**乙级**非密封放射性物质工作场所。

1.2 核素显像诊断场所

1.2.1 PET/CT 项目

1.2.1.1 工作原理

PET（正电子发射断层显像仪）显像的原理是把微量正电子示踪剂注射到人体内，利用 PET 探测这些正电子核素在体内的分布情况，经计算机重建成断层图像，从而反映组织器官的生理代谢情况和早期病理变化，从而为临床提供疾病的生物代谢信息。但 PET 显像空间分辨率较差，难以精确定位，只有当疾病发生到“形态改变”这一阶段才能被发现，因此不能达到“早期诊断”的目的。

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

正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发的从不稳定状态向基态衰变过程中，从核内释放出与普通电子一样但电荷相反的粒籽，即正电子。正电子是一种反物质，从核内放出后很快与环境中自由电子碰撞湮灭，转化为一对方向相反、能量为 0.511MeV 的γ光子。如果在这对光子飞行方向上对置一对探测器，便可以几乎同时接受到这两个光子，并可推定光子发源（即正电子发射）点在两探头间连线上。通过环绕 360°排列的多组配对探头，经探头对之间符合线路检验判定每只探头信号时间耦合性，排除其他来源射线的干扰，得到探头对连线上的一维信息，再用滤波反投

射方式，将信号按探头对的空间位置向中心点反投射，便可形成与探头组连线轴平行的断层面正电子发射示踪剂分布图像。这种探测方式一次只反映一个层面的信息。实用中常用多层排列的探头对，配合层间符合线路，以利探测并重建更多层面的图像。

PET/CT 设备外形见图 9-1。



图 9-1 PET/CT 设备外形图

PET/CT 工作时，其 CT 的 X 射线管会产生 X 射线，属于Ⅲ类射线装置。使用的正电子示踪剂属非密封放射性物质，本项目显像用正电子核素特性见表 9-3。

表 9-3 本项目正电子核素特性一览表

[redacted]					
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

该院^{18}F正电子药物均由核医学科提前根据就诊病人预约情况确定药物使用量后向医药公司预定，医药公司按约定的时间将药品配送至核医学科高活室，由核医学科工作人员根据病人单人用药量进行药物分装。注射完药物后的患者进入PET/CT注射后候诊室等待，一定时间后进行扫描检查，检查完成后留观约10~20分钟后若无异常情况即可离开。

1.2.1.2 工作流程及产污环节分析

PET/CT项目整体工艺及操作程序见图9-2。

（1）医院根据患者预约情况，确定当天所使用的放射性核素及其剂量；

（2）医院提前向专业医药公司预订正电子药物，医药公司按照医院要求在规定时间内将药物按要求分装后送到医院高活室；

（3）医护人员为患者注射药物，注射后患者在候诊室停留一定时间后，进入机房进行扫描诊断。

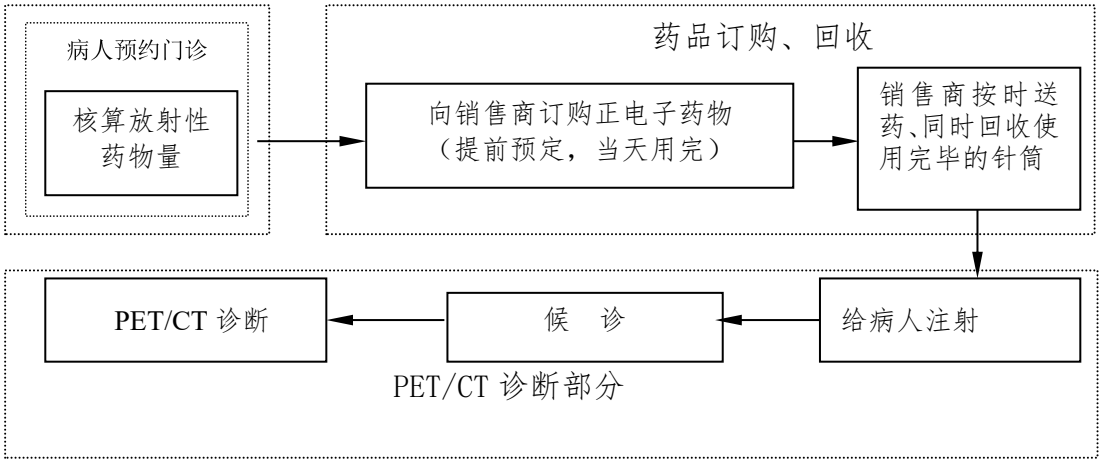


图 9-2 PET/CT 项目诊断操作流程示意图

PET/CT诊断部分具体工艺流程及产污环节见图9-3。

（1）购置的正电子药物在医药公司分装好后送至核医学科高活室；

（2）给病人注射药物（静推给药）；

（3）病人在注射后候诊室静坐候诊约20~30分钟；

（4）到PET/CT检查床开始扫描（10~20分钟不等）；

（5）图像后处理。



图 9-3 PET/CT 诊断部分具体工艺流程及产污环节

1.2.2 SPECT/CT、D-SPECT

1.2.2.1 工作原理

SPECT/CT 是单光子发射计算机断层成像技术的英文缩写（Single-Photon Emission Computed Tomography），是一种进行功能代谢显像的分子影像学设备，其工作原理是利用仪器探测人体内同位素的动态分布而成像，特点是可做功能、代谢方面的影像观察。SPECT/CT 不仅能显示二维平面图像，更主要的还能给出脏器的断层图像。它实际上就是一个探头可以围绕病人某一脏器进行 360°旋转的γ相机，在旋转时每隔一定角度（3°或 6°）采集一帧图片，然后经电子计算机自动处理，将图像叠加，并重建为该脏器的横断面、冠状面、矢状面或任何需要的不同方位的断层和切面图像，利用专用的核医学应用软件，对断层图像和数据做进一步的分析和处理，为核医学医生提供更多更精确的信息和定量分析的数据，从而极大地提高了诊断的灵敏度和准确性。SPECT 装置结合了诊断级多层 CT 的复合成像设备 SPECT/CT，可以精确定位病变的位置、性质和程度。

D-SPECT 即心脏 SPECT 检查主要是利用放射性同位素 ^{99m}Tc 作为示踪剂（显像剂），将这种示踪剂注射进入病人体内，其随血液流动，在心肌内聚集，使心肌成为γ射线的发射源，利用 SPECT 设备检测心肌发出的射线多少，就可以知道示踪剂在心肌内的分布情况，而心肌每个部位聚集放射性示踪剂的多少与到达该部位的血流量的多少有关。因而根据心肌局部放射性示踪剂的多少可以分析心肌的血流灌注情况，判断是否存在心肌缺血。在 SPECT 设备检查图像上，那些能摄取一定量放射性示踪剂的心肌会在图像中呈现亮块。如果有心肌缺血，导致局部心肌摄取的放射性示踪剂减少，图像就会偏暗（缺血越严重，缺血部位心肌的颜色就会越暗）。

本项目 SPECT 装置均仅用于对单光子核素 ^{99m}Tc 进行显像。SPECT/CT 工作时，其 CT 的 X 射线管会产生 X 射线，属于III类射线装置。使用的 ^{99m}Tc 核素属非密封放射性物质，本项目核素特性一览表见下表 9-4。

表 9-4 本项目单光子核素特性一览表

[redacted]					

该院 ^{99m}Tc 药物由核医学科根据就诊病人预约情况确定药物使用量向医药公司预定，医药公司按约定的时间将单名病人用药量分装成针剂后配送至核医学科注射室，该院核医学科不自行分装药物。

1.2.2.2 工作流程及产污环节分析

SPECT/CT与D-SPECT项目整体工艺及操作程序见图9-4。

1、医院根据患者预约情况，确定当天所使用的放射性核素及其剂量；

2、医院向专业医药公司预订^{99m}Tc药物，医药公司按照医院要求在规定时间内将药物按医院要求分装后送到医院；

3、医护人员为患者注射药物，注射后患者在候诊室停留一定时间后，进入机房进行扫描诊断。

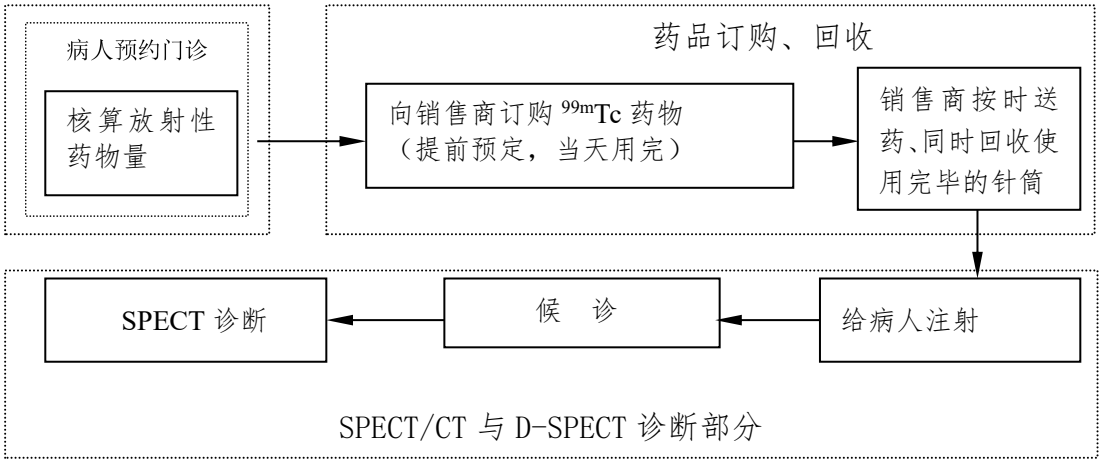


图 9-4 SPECT/CT 与 D-SPECT 诊断操作流程示意图

SPECT/CT与D-SPECT诊断部分具体工艺流程及产污环节见图9-5。

1、购置的^{99m}Tc药物在医药公司分装好后送至核医学科；

2、给病人注射药物（静推给药）；

3、病人在注射后候诊室静坐候诊约20~30分钟；

4、到SPECT检查床开始扫描（10~20分钟不等）；

5、图像后处理。



图 9-5 SPECT/CT 与 D-SPECT 诊断部分具体工艺流程及产污环节

1.3 核素治疗项目

1.3.1 工作原理

^{131}I 主要用于甲状腺方面疾病的治疗。I 是合成甲状腺激素的物质之一，甲状腺细胞通过钠/碘共转因子克服电化学梯度从血循环中浓聚 ^{131}I。因此，甲状腺疾病患者口服的 ^{131}I 药剂大都聚集在甲状腺内；^{131}I 衰变发射的β射线在组织内平均射程仅为 1mm，因此β粒籽的能量几乎全部释放在甲状腺组织内，对甲状腺周围的组织和器官影响较小。对于甲癌患者给予大剂量 ^{131}I，能够消除手术残留的甲状腺组织，减少复发和转移；^{131}I 治疗后，随访变得十分容易和灵敏可靠，测量血里的甲状腺球蛋白（Tg）及 B 超、X 线检查就可以监测有无复发和转移；^{131}I 治疗甲状腺癌转移灶具有高度的靶向性，副作用小，效果好。^{131}I 核素特性见表 9-5。

表 9-5 放射性核素特性一览表

1.3.2 工作流程

患者在治疗前需进行甲状腺功能测定，单名患者甲功测定用 ^{131}I 药物活度最大为 $2.22\times10^{5}Bq$，小于 GB 18871-2002 中 ^{131}I 豁免活度限值（$1\times10^{6}Bq$），对环境辐射影响较小。患者于病房楼一层喂药室服用甲测药物，服药后分别于 2h、4h、24h 后返回病房楼一层甲测室进行吸碘率测试，经测试确定各患者的用药量后，医院向有资质的公司预约甲亢用药。本项目甲亢治疗为门诊治疗，患者的单次口服剂量不超过 10mCi，满足 HJ 1188-2021 中要求的放射治疗患者出院时体内放射性活度不大于 400MBq 的要求。本项目甲亢病人日收治量最大为 10 人，年收治量最大为 2000 人，病人在服药后若无异常情况即可直接离开。

按照《^{131}I 治疗分化型甲状腺癌指南(2021 版)》，^{131}I 甲癌治疗使用的放射性药品主要为碘（^{131}I）化钠溶液，用量通常为 30mCi、100mCi、150mCi，个别用量达 200mCi。施行甲状腺全切术或次全切术患者，通常行 ^{131}I“清甲”或“清灶”治疗，“清甲”是指用 ^{131}I 摧毁术后残留的正常甲状腺组织，“清灶”是指用 ^{131}I 治疗甲状腺床残留甲状腺癌、甲状腺床复发灶和转移灶。“清甲”用量为 30mCi~100mCi，“清灶”用量为 100mCi~150mCi，少数肺部或骨转移治疗用量可达 200mCi，一般需要住院 2~4

天左右。本项目甲癌病人收治量为 5 人/日，每周二批次时 10 人/周，年收治量最大为 500 人，医院计划每周选定 2 天分批预约病人在服药室服药，供货商将药物送至甲癌治疗中心分装至自动分装仪内，医务人员远程操控自动分装仪对药物进行分装，患者在服药窗口服药后进入甲癌病房住院，住院治疗期间活动仅限于甲癌病房、卫生间及患者走廊，医院拟在配餐间设配餐机器人配餐。

本项目 ^{131}I 药液购自有资质的专业供货商并由其运输至分装室。到货时为装入铅套内的整罐药液，需要由医护人员按病人所需活度进行分装和质控，为进一步减少大剂量 ^{131}I 对医护人员的辐射影响，医院拟采用放射性药物自动分装仪进行分装，工作流程如下：

（1）将 ^{131}I 原液转运铅罐放置在分装柜的升降装置上，提升至柜内；

（2）打开防护罐盖，将抽药针头与稀释针头一并插入原液瓶内；

（3）在服药室按控制屏原液抽取键，将原液抽取稀释至活度计检测井内的分配瓶内；

（4）控制系统自动计算分配液活度及体积，矫正比活度参数，进入分配界面；

（5）输入患者信息，确认后自动进行药液抽取至服药口杯。

取药口信息屏显示患者信息及服药量，通过监控对讲系统指导患者服药、指导患者将口杯弃入服药窗口处的废物防护桶内，确认服药完毕后进入下一患者服药过程。

2 放疗科项目

放疗科位于综合楼负一层，主要包括医用直线加速器项目、后装治疗机项目。

2.1 直线加速器项目

2.1.1 工程设备

医用直线加速器项目位于综合楼负一层放疗科。放疗科内新建 4 间加速器机房，并购置 4 台直线加速器（型号未定）用于肿瘤放射治疗。本项目加速器技术参数见表 9-6。

直线加速器项目主要由加速器、加速器机房、控制室、设备间、模具存放间等组成。加速器机房则由治疗室、迷路和防护门组成。加速器结构见图 9-6，加速器外观见图 9-7。

表 9-6 本项目直线加速器技术参数

[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]

2.1.2 工作原理

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 射线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 射线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。

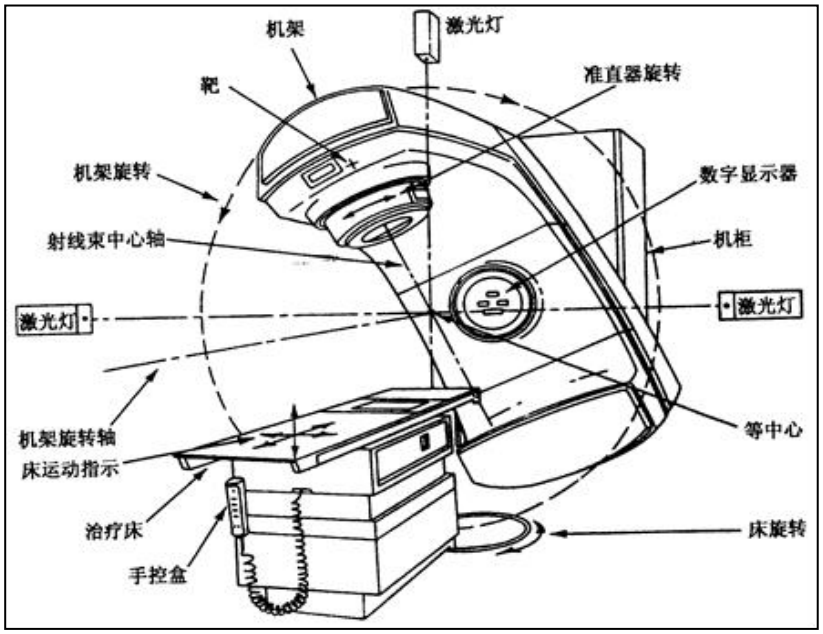


图 9-6 加速器结构图



图 9-7 加速器外观图

2.1.3 工作流程及产污环节分析

本项目加速器的工作流程及产污环节见图 9-8。



图 9-8 加速器项目作业流程及产污环节示意图

1）模拟定位：先通过 CT 模拟定位机对患者的病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和射野大小，拍片定位；

2）候诊登记：对已做模拟定位检查的患者进行登记候诊；

3）计算射线强度：根据患者疾病性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间；

4）摆位准备：在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位、标记，调整照射角度及视野；

5）实施照射：根据已制定的诊疗计划，实施照射；照射过程加速器开机会产生 X 射线、电子线、中子及感生放射性，对治疗室外工作人员、公众及周围环境有一定的

辐射影响；X 射线能使加速器机房内空气分子发生电离，产生的少量有害气体臭氧和氮氧化物。

6）治疗结束。

7）加速器工作人员进行肿瘤放射治疗时正常的开机治疗程序为：

①核对病人的姓名和治疗数据，仔细按治疗单要求摆位，除病人外全部离开治疗室，关闭治疗室门；

②选择运行模式；

③输入治疗参数；

④确认后开始治疗；

⑤治疗中通过电视屏幕监视病人情况和机器运行情况，一旦发现异常，立即停机、停束等妥善措施，及时报告维修、物理人员，做好记录。

2.2 后装机项目

2.2.1 工程设备

后装机即近距离后装治疗机，是使用放射性核素产生的射束治疗肿瘤的设备。它的功能是近距离放射治疗，后装治疗机的结构组成为：施源主机、放射源、控制系统、监视系统、附属安全设备和施源器、治疗床。

医院拟在医疗综合楼负一层放疗科内新建 1 间后装机房及配套用房，拟购买一台后装机（型号待定），使用放射源 ^{192}Ir 进行照射治疗，最大装源活度为 $3.7\times10^{11}Bq$（10Ci）。后装机外观见图 9-9。



图 9-9 后装机外观图

2.2.2 工作原理

后装治疗是放射治疗的一种方法，所谓后装就是治疗时先将不带放射源的治疗容器（施源器）置于治疗部位，然后在安全防护条件下用遥控装置将放射源通过导管送到已安装在患者体腔内的施源器内进行放射治疗，由于放射源是后来装上去的，故称之为“后装”。

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，广泛应用于治疗妇科、鼻咽、食道、支气管、直肠、膀胱、乳腺及胰腺等肿瘤。

2.2.3 工作流程及产污环节分析

①模拟定位：先通过 CT 模拟定位机对患者的病变部位进行拍片检查，详细定位；

②计算射线强度：根据患者所患疾病部位和大小确定照射剂量和照射的时间；

③实施照射：根据已制定的诊疗计划，实施照射；

④治疗结束。

后装机治疗一般工作流程及产污环节见图 9-10。



图 9-10 后装机治疗工作流程及产污环节示意图

2.3 CT 模拟定位机

医院拟在放疗科内新建两间 CT 模拟定位机房，配备 2 台 CT 模拟定位机，设备型号未定，设备管电压最大为 150kV，管电流最大为 1000mA。CT 模拟定位机主要用于患者肿瘤定位，使用过程中会产生 X 射线。

3 DSA 项目

DSA 项目位于综合楼内，包括一层 1#DSA 手术室、三层 2#和 3#DSA 手术室、四层 4#DSA 手术室，并各配备一台 DSA。

3.1 设备组成

DSA 因其整体结构像大写的“C”，因此也称作 C 型臂 X 光机，DSA 设备主要由 X 射线发生系统、影像增强接收器和显示系统、影像处理和系统控制部分、机架系统和导管床、影像存储和传输系统、防护屏及防护铅帘等构成。数字减影血管造影（DSA）是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，是 70 年代以来用于临床的一种崭新的 X 射线检查技术，是应用计算机程序两次成像完成的。常见数字减影血管造影机外观见图 9-11，运行工况说明见表 9-7。

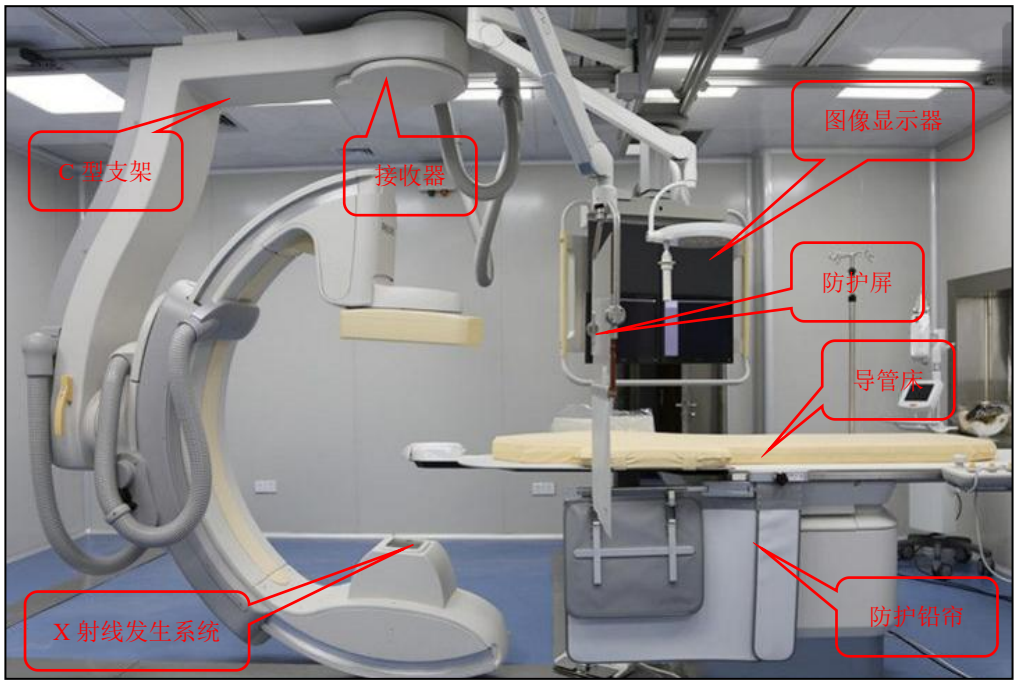


图 9-11 数字减影血管造影机外观图

表 9-7 常见 DSA 运行工况一览表

[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]

3.2 工作原理介绍

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结构示意图见图9-12。

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、心脏等），以及某些特定部位，对许多疾病实施局限性治疗。

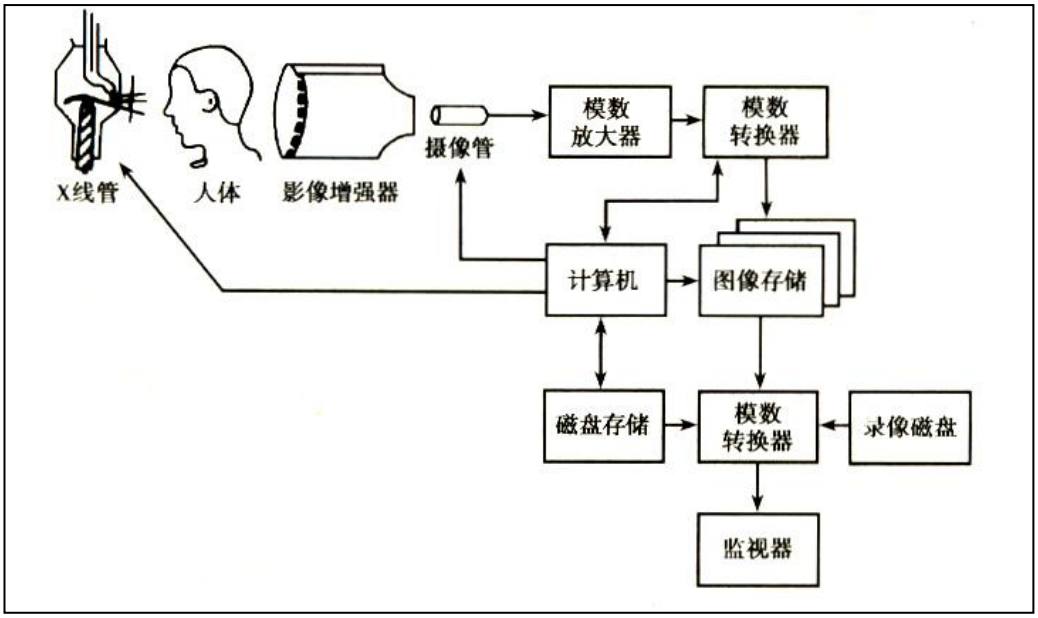


图 9-12 DSA 结构示意图

3.3 工作流程及产污环节分析

患者进行放射性介入诊断及治疗时，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。

DSA在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况（拍片）：操作人员采取隔室操作的方式（即操作医师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。

第二种情况（透视）：医生需进行手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师位于铅屏风后身着铅服、戴铅眼镜等在曝光室内对病人进行直接的手术操作。

本项目DSA工作流程及产污环节如下图：

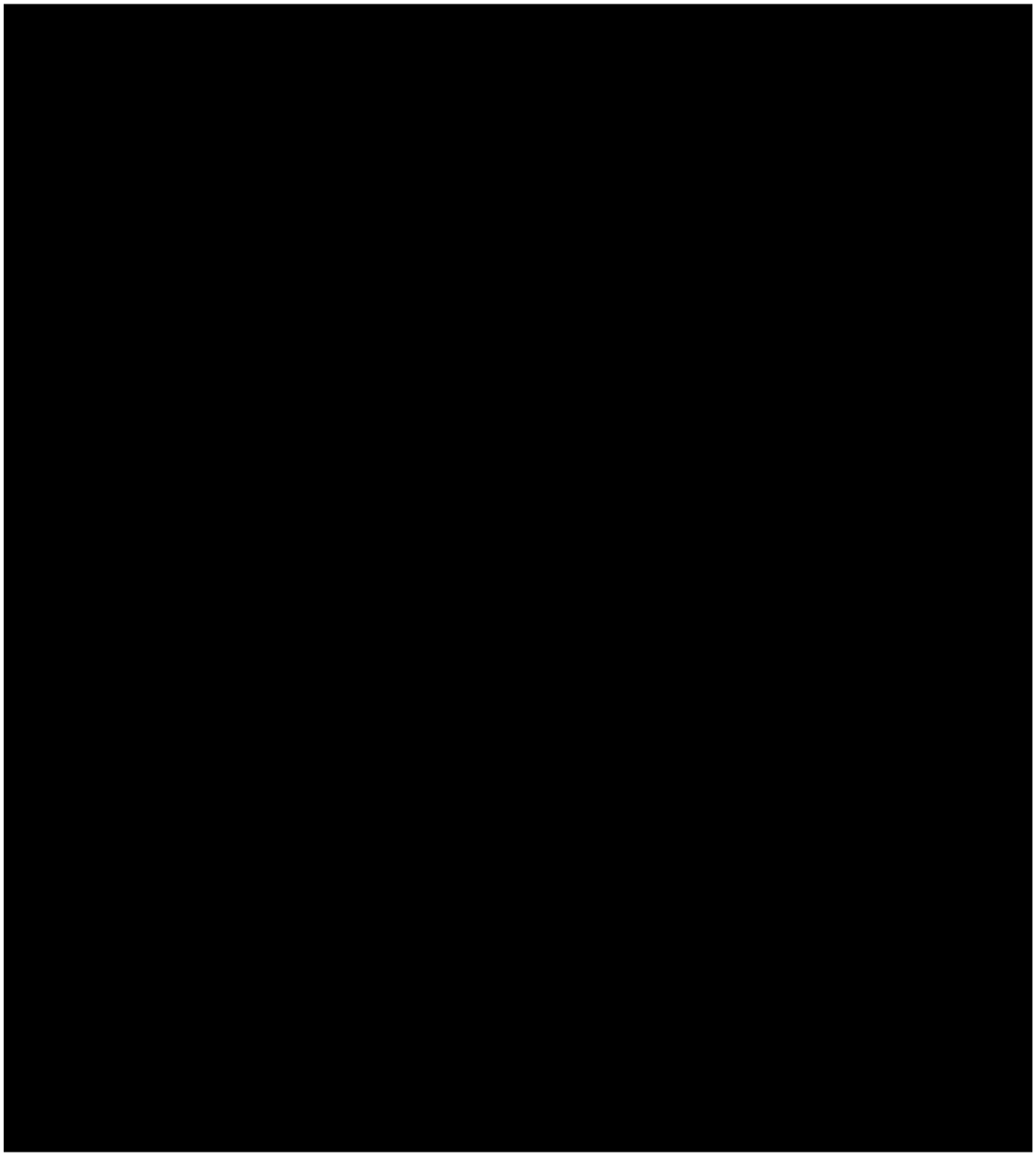


图 9-13 DSA 工作流程及产污环节示意图

污染源项描述

1 核医学科污染源项分析

核医学科主要放射性污染因子见表 9-8。

表 9-8 核医学科工作场所主要放射性污染一览表

放射性工作场所	主要放射性污染
核素显像诊断场所	X 射线、γ射线、表面污染、放射性固废、放射性废气、放射性废水
核素治疗场所	γ射线、表面污染、放射性固废、放射性废气、放射性废水

1.1 放射性污染

PET/CT 使用放射性核素为 ^{18}F，其衰变方式均为β^+衰变，粒子能量为 0.63MeV，在衰变时伴随发射 0.511MeV 的γ射线。SPECT/CT、D-SPECT 使用放射性核素为 ^{99m}Tc，其衰变方式为同质异能跃迁时伴随发射 0.14MeV 的γ射线。

PET/CT、SPECT/CT 中的 X 射线球管和探测器分别安装在被扫描组织的两侧，方向相对，有用线束透射方向为朝向诊断床（即患者方向），当球管产生的 X 射线穿过患者被扫描组织，透过组织的剩余射线为探测器所接收。因此 PET/CT 和 SPECT 开机过程中需要考虑其散射和泄漏的 X 射线辐射影响。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。本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 日常使用中管电压范围为 80kV~120kV、管电流为 20~200mA。

综上所述核医学科放射性污染因子主要为γ射线、X 射线和β射线。

1.2 放射性废水

核医学科产生放射性废水的主要来源是工作人员操作过程手部受到微量污染、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液以及病人冲洗排便用水。

（1）病人排泄废水

根据医院提供资料，^{18}F、^{99m}Tc 的显像测定日最大病人数量分别为 30 人、50 人，该部分病人不需要进行住院观察，病人每次诊疗废水产生量以 6.5L 计，主要来源于排泄、清洗废水，就诊期间产生的废水量最多为 520L/天。

^{131}I 的甲癌治疗日最大病人数量为 5 人，该部分病人需要进行住院，住院时间一般为 2~4 天，按照每周 7 天每天均是 5 人病人量，每人每天废水产生量以 150L 计，主要来源于淋浴、排泄废水、清洗废水，所以甲癌治疗期间产生的废水量最多为 5250L/周。甲亢为门诊治疗，病人服药后无异常即可离开，无放射性废水产生。

（2）工作场所清洁废水

核素显像诊断场所工作人员在完成一天的注射工作后需进行污染检测，并进行去污清洗而产生放射性废水，每天清洗废水产生量约为 40L，年工作 250 天，则年产生量为 10000L。

核素治疗场所医务工作人员每周的清洗用水量约为 100L，年工作 50 周，则年产生量为 5000L。

综上所述，核医学科工作场所产生的放射废水量见表 9-9：

表 9-9 放射性废水产生量

[redacted]

1.3 放射性固废

本项目使用过程中产生的放射性固废主要有：药物使用过程中产生的注射器、棉签、试管、手套、一次性服药杯、擦拭纸、含放射性核素的废活性炭等。

表 9-10 放射性固废产生量

工作场所	核素名称	来源	日产生量（kg）	年生产天数（天）	年产生量（kg）
核素显像诊断场所	^{18}F、^{99m}Tc	注射器、棉签、试管、手套	0.8	250	200
核素治疗场所	^{131}I	一次性服药杯、擦拭纸	0.2	350	70
通风系统	^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I	废活性炭：25kg/a			

1.3 放射性废气

核医学科工作场所均设有单独的通风系统，监督区拟设为正压通风，控制区域均拟设为微负压通风，以保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动。

本项目放射性药物分装及注射等操作在分装柜内进行，分装柜内均拟设计独立的通风系统，风速不小于 0.5m/s，通风系统设置活性炭过滤装置，能起到对放射性气溶胶的吸附作用，并定期拆卸更换作为放射性固体废物处置，排放口高出本栋建筑屋脊。放射性气体不会对项目周围环境带来明显影响。放射性气体对放射工作人员的影响可以忽略。

1.4 非放射性污染

本项目运行过程中产生的非放射性污染主要是 PET/CT、SPECT/CT 在工作过程

中的射线电离空气产生的少量臭氧和氮氧化物。

2 放疗科项目污染源项分析

2.1 直线加速器项目污染源项分析

2.1.1 放射性污染

（1）X 射线外照射

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。 医院拟新增的加速器 X 射线最大能量为 15MV，由于 X 射线的贯穿能力极强，可能对工作人员、公众及周围环境造成辐射污染。

（2）电子束

当加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗病人。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。加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器电子束治疗时，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗。

（3）中子

当医用电子加速器的 X 射线能量大于 10MeV 时，光子与加速器的靶、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）感生放射性

当入射电子加速电压大于 10MeV，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 2.1 分钟和 7.3 秒，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。

（5）放射性固体废物

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，委托有放射性固废处理资质的单位处理。

综上所述，加速器产生的辐射源项有 X 射线、电子线、中子及感生放射性。

2.1.2 非放射性污染

加速器装置在工作状态时，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。

2.2 后装机项目污染源项分析

2.2.1 放射性污染

本项目后装机最大装源活度为 $3.7\times10^{11}Bq$，^{192}Ir 放射源衰变时产生一定能量的β射线和γ射线。后装机采用不锈钢结构制造，治疗室采用混凝土浇筑，而β射线在混凝土和钢中的射程仅有几厘米，故评价时不考虑β射线的影响。而 ^{192}Ir 放射源产生的γ射线具有很强的贯穿能力，可能穿透屏蔽材料对治疗室外环境构成辐射污染。^{192}Ir 放射性核素能谱复杂，连续核跃迁中，辐射出平均能量为 370keV 的γ射线。

后装治疗机在正常运行过程中不产生放射性固体废弃物，但随着核素的自然衰变，^{192}Ir 放射源的活度不断降低，当 ^{192}Ir 放射源辐射水平不能满足治疗肿瘤需要时，就必需更换 ^{192}Ir 放射源，从而产生报废或退役的 ^{192}Ir 废源。^{192}Ir 的半衰期为 74 天，

一般每年需要更换 2 次放射源。放射源更换和回收都由设备厂家负责。

2.2.2 非放射性污染

后装机在工作状态时，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。

2.3 CT 模拟定位机

2.3.1 放射性污染

CT 装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机诊断期间，X 射线成为影响环境的主要因素。本项目的 CT 最大管电压为 150kV。

2.3.2 非放射性污染

CT 装置在工作状态时，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。

3 DSA 项目污染源项分析

3.1 放射性污染

DSA 运行时，产生的 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。本项目使用的 DSA 只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机出束期间，X 射线是主要污染因子。

3.1.1 有用线束

本项目 DSA 的有用线束方向为由下至上，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。本项目使用的 DSA 型号未定，最大管电压为 125kV，最大管电流为 1000mA。常用 DSA 设备的主要操作模式为透视及拍片，透视运行时常用管电压为 70~80kV、管电流为 1~20mA；拍片运行时最大常用管电压为 70~80kV、管电流 100~500mA。DSA 运行时离靶 1 米处的 X 射线发射率根据运行时的管电压和 DSA 的 X 射线管过滤条件从《辐射防护导论》（方杰著）附图 3 查取。

DSA 常用过滤板为 0.5mmCu，查 ICRP33 号报告图 2，额定电压 125kV 时离靶 1 米处的发射率约为 3.2mGy·m^2/mA·min，本项目正常运行时管电压为 80kV 时离靶 1 米处的发射率约为 0.8mGy·m^2/mA·min。

3.1.2 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 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB 9706.103-2020）中 12.4 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。

3.1.3 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。

3.1.4 工作负荷

根据医院提供的资料，每台 DSA 的工作负荷情况见表 9-11。

表 9-11 DSA 工作负荷

透视	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
	心脏介入	200 台		约 15min		约 50.0h
	神经介入	50 台		约 20min		约 16.7h
	综合介入	100 台		约 20min		约 33.3h
	小计	/		/		约 100.0h
拍片	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
	心脏介入	200 台	3～4s	6～10 次	约 0.7min	约 2.3h
	神经介入	50 台	6～10s	4～10 次	约 1.7min	约 1.4h
	综合介入	100 台	3～8s	7～15 次	约 2min	约 3.3h
	小计	/	/	/	/	约 7.0h
总 计						约 107.0h

3.2 非放射性污染

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。

DSA 在运行时均采用实时成像系统，院内不存档胶片，院内无废胶片产生。

介入手术后产生的一次性医疗用品、器械等主要为感染性和损伤性废物，属于《国家危险废物名录》中 HW01 医疗废物。医院在手术室内分别设置感染性和损伤性废物收集桶，并粘贴标识。手术过程中产生废物每日及时经污物通道至手术室医疗垃圾暂存间，最终依托医院现有医疗废物收运系统并交由资质单位处理。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1 核医学科项目

1.1 项目工作场所布局合理性分析

核素显像诊断场所位于住院楼负一层，其东侧为地下车库，南侧为放疗科等区域，西侧为电梯厅、卫生间等区域，北侧为办公室、电梯厅、地下车库等区域，下方为负二层地下车库、库房、放射性污水泵房、排风排烟机房等，上方为核素治疗场所；核素治疗场所位于住院楼一层，其东侧为配套商业服务设施、院内道路、地下车库出入口等区域，南侧为综合楼区域，西侧为电梯厅等住院楼内区域，北侧为住院楼内区域、停车场、垃圾暂存中心，下方为核素显像诊断场所，上方为治疗室等住院楼内区域。核医学科项目布局不邻接产科、儿科、食堂等部门，有单独出、入口，出口不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域，布局合理。

核医学科工作场所具体分区情况见表 10-1。

表 10-1 核医学科工作场所分区情况一览表

场所	控制区	监督区
核素显像诊断场所	缓冲过道、储源室、SPECT 注射 PET 注射准备间、运动负荷室（抢救室）、废物储存间、SPECT/CT 机房、D-SPCET 机房、D-SPCET 候诊、PET/CT 机房、SPECT/CT 注射后等待室及卫生间、PET/CT 注射后候诊室及卫生间、SPECT/CT 与 D-SPECT 留观及卫生间、PET/CT 留观及卫生间、患者更衣室 2、衰变池等	接待及等待区、咨询登记室、报告打印室、预留用房、问诊室、治疗室、患者更衣间 1、卫生通过间、观察区、SPECT/CT 与 D-SPCET 控制室、PET/CT 控制室、办公室、会议室、补风机房、缓冲过道等
核素治疗场所	缓冲间、准备间、放射性废物间、储源室、核素病房 01-05、配餐间、抢救室、出院前测量室、污物暂存间（被服暂存）、衰变池等	卫生通过间、普通病房、护士站、办公室、保洁间、弱电间等

核素显像诊断场所平面布置、“两区”划分、医/患通道路线、放射性药物和废物路线见附图 4，核素治疗场所平面布置、“两区”划分、医/患通道路线、放射性药物和废物路线示意图见附图 8。

1.1.1 核素显像诊断场所医/患通道路线、放射性药物和废物路线说明

医护人员路线：如附图 4 蓝色箭头所示，医护人员通过工作人员电梯厅进入核医学科核素显像诊断场所。通过门 D1 进入到 SPECT、PET/CT 控制室、办公室/会议室；通过门 D2、D3、D4 进入到卫生通过间、注射准备间。

病人路线：通过门 D5 进入到注射前候诊区，如附图 4 红色箭头所示，通过门 D6 进入控制区，分别在 SPECT 注射窗口和 PET 注射窗口进行放射性药物注射，注射完成后到注射后候诊室内候诊，在语音系统叫号后进入相应机房接受显像检查，检查结束后在留观室留观一段时间，确定无不良反应后，由缓冲过道通过门 D7 至电梯厅、楼梯厅离开。

放射性药物运输路线：如附图 4 紫色箭头所示，药物由药物公司提供，药物运输车停到负一层停车场，然后公司人员将装有药物的铅罐运进核医学科核素显像诊断场所，通过卫生通过间将药物放至分装柜内。

放射性废物运输路线：如附图 4 绿色箭头所示，注射准备间、SPECT/CT 机房、D-SPECT 机房、PET/CT 机房、运动负荷室（抢救室）等房间产生的放射性废物首先暂时放置在本房间的放射性废物桶内，然后统一收集放置到废物储存间。

1.1.2 核素治疗场所医/患通道路线、放射性药物和废物路线说明

医护人员路线：如附图 8 黄色箭头所示，医护人员通过护士站进入核医学科核素治疗场所。通过门 D8 进入到卫生通过间、准备间进行药物分装和给药。

病人路线：甲癌患者路线如附图 8 红色箭头所示，通过门 D9 进入到缓冲区，然后到窗口服用 ^{131}I 药物，服药后通过门 D10 入住核素病房，在治疗结束后，由缓冲间通过门 D13 离开。甲亢患者路线如附图 8 蓝色箭头所示，通过门 D9 进入到缓冲区，然后从门 D11 至甲亢通道服药后通过门 D12 离开。

放射性药物运输路线：如附图 8 紫色箭头所示，药物由药物公司提供，药物运输车停到地面停车场，然后公司人员将装有药物的铅罐运进核医学科核素治疗场所，通过缓冲间、甲亢通道将药物放至准备间分装柜内，药物通过准备间服药窗口输送给患者服用。

放射性废物运输路线：如附图 8 绿色箭头所示，准备间、核素病房等房间产生的放射性废物首先暂时放置在本房间的放射性废物桶内，然后统一收集放置到放射性废物间。核素病房患者住院使用的被服在患者出院后统一收集到废物暂存间（被服暂存）。

医院在核医学科控制区拟设置辐射屏蔽和安全防护设施，入口拟设置明显的符合 GB 18871-2002 要求的电离辐射警告标志，控制区以及各监督区均仅限辐射工作人员才能进入，公众不允许进入。本项目控制区和监督区划分明显，各组成部分功能区明

确，既能有效联系，又互不干扰，场所布局及分区能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射工作场所分区要求。核医学科工作场所的人流、患者通道均有专用、独立的通道，避免了交叉辐射污染，可以满足辐射防护要求。

1.2工作场所分级和分类

核医学诊断场所日等效最大操作量为 5.735×10^{7}Bq，核医学治疗场所日等效最大操作量为 3.14×10^{9}Bq。因此本项目工作场所均为**乙级**非密封放射性物质工作场所。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）和核医学科工作场所各房间的功能和使用放射性核素用量，得到各工作场所操作量最大的加权活度，见表 10-2。

表10-2 核医学科工作场所分类一览表

房间	核素	日操作最大活度（Bq）	毒性权重因子	操作性质修正因子	操作最大量的加权活度（Bq）	场所类别
核素显像诊断场所						
PET/CT机房	^{18}F	3.7×10^{8}	1	10	3.7×10^{7}	III
SPECT/CT、D-SPECT机房	^{99m}Tc	9.25×10^{8}	1	10	9.25×10^{7}	II
PET/CT注射准备间	^{18}F	3.7×10^{8}	1	10	3.7×10^{7}	III
SPECT/CT、D-SPECT注射准备间	^{99m}Tc	9.25×10^{8}	1	10	9.25×10^{7}	II
PET/CT注射后候诊室	^{18}F	7.4×10^{8}	1	10	7.4×10^{7}	II
SPECT/CT、D-SPECT注射后候诊室	^{99m}Tc	3.7×10^{9}	1	10	3.7×10^{8}	II
PET/CT留观室	^{18}F	7.4×10^{8}	1	10	7.4×10^{7}	II
SPECT/CT、D-SPECT留观室	^{99m}Tc	3.7×10^{9}	1	10	3.7×10^{8}	II
核素治疗场所						
核素病房	^{131}I	5.55×10^{9}	100	1	5.55×10^{11}	I
准备间	^{131}I	2.77×10^{10}	100	1	2.77×10^{12}	I

医院应根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“表 1 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求”进行设计和施工。

1.3 辐射防护屏蔽设计

本项目工作场所的屏蔽防护设计见表 10-3。

表 10-3 核医学科工作场所辐射防护屏蔽设计参数

场所	具体房间/设施	墙体	顶部	底部	防护门	观察窗
核素显像诊断场所	SPECT/CT 机房、D-SPECT 机房	24cm 实心砖+3mmPb 屏蔽材料	18cm 混凝土+3mmPb 屏蔽材料	12cm 混凝土+3mmPb 屏蔽材料	4mmPb	4mmPb
	PET/CT 机房	24cm 实心砖+6mmPb 屏蔽材料	18cm 混凝土+6mmPb 屏蔽材料	12cm 混凝土+6mmPb 屏蔽材料	8mmPb	8mmPb
	SPECT/CT 与 D-SPECT 注射准备间、PET/CT 注射准备间	24cm 实心砖+2mmPb 屏蔽材料	18cm 混凝土+6mmPb 屏蔽材料	12cm 混凝土+2mmPb 屏蔽材料	6mmPb	/
	储源室、PET/CT 注射后候诊室、PET/CT 留观室	24cm 实心砖+6mmPb 屏蔽材料	18cm 混凝土+6mmPb 屏蔽材料	12cm 混凝土+6mmPb 屏蔽材料	10mmPb	/
	卫生通过间、SPECT/CT 与 D-SPECT 留观室、D-SPECT 注射后候诊室、患者更衣室	24cm 实心砖+2mmPb 屏蔽材料	18cm 混凝土+2mmPb 屏蔽材料	12cm 混凝土+2mmPb 屏蔽材料	4mmPb	/
	SPECT/CT 注射后候诊室、运动负荷室（抢救室）	24cm 实心砖+2mmPb 屏蔽材料	18cm 混凝土+6mmPb 屏蔽材料	12cm 混凝土+2mmPb 屏蔽材料	4mmPb	/
	控制区进出防护门	/	/	/	5mmPb	/
	SPECT 注射窗：10mmPb；PET 注射窗：30mmPb；分装柜：35mmPb					
核素治疗场所	核素病房 01-05	24cm 混凝土+3mmPb 屏蔽材料	30cm 混凝土	18cm 混凝土+6mmPb 屏蔽材料	10mmPb	/
	污物暂存间、保洁间、储源室、放射性废物间、卫生通过间	24cm 混凝土+3mmPb 屏蔽材料	30cm 混凝土	18cm 混凝土+3mmPb 屏蔽材料	5mmPb	/
	配餐间	24cm 混凝土+3mmPb 屏蔽材料	30cm 混凝土	18cm 混凝土+6mmPb 屏蔽材料	10mmPb	/
	出院前测量室	24cm 混凝土+3mmPb 屏蔽材料	30cm 混凝土	18cm 混凝土+3mmPb 屏蔽材料	5mmPb	/
	抢救室	24cm 混凝土+3mmPb 屏蔽材料	30cm 混凝土	18cm 混凝土+6mmPb 屏蔽材料	10mmPb	/
	配餐机器人室	24cm 混凝土+3mmPb 屏蔽	30cm 混凝土	18cm 混凝土+3mmPb	普通门	/

		材料		屏蔽材料		
	控制区进出防护门	/	/	/	5mmPb	/
	准备间	24cm 混凝土+3mmPb 屏蔽材料	30cm 混凝土	18cm 混凝土+6mmPb 屏蔽材料	5mmPb	/
	给药窗口：30mmPb；分装柜：40mmPb					
注：混凝土为 2.35g/cm^3，铅密度为 11.3g/cm^3，实心砖为 1.65g/cm^3。						

1.4 辐射安全和防护措施设计

（1）医院拟在核医学科的控制区出入口、控制区内各房间门口、分装柜、各核素病房等核素操作场所表面、放射性废物桶表面等醒目位置均拟设置电离辐射警告标志，用于提醒无关人员不要靠近和逗留。

（2）医院拟在核医学科扫描机房门口设置工作状态指示灯，用于提示机房内设备的运行状态，同时拟在机房防护门安装闭门装置，确保防护门处于常闭状态，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。

（3）医院拟在核医学科控制区病患入口及病患出口处设带门禁系统的单向门，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线，加强对控制区带药患者的管理，并防止无关人员入内。同时医务人员应告知检查完成后病人离开路线，防止其对其他公众造成不必要照射。

（4）医院拟在核医学科的控制区内安装监控及对讲设备，通过监控及对讲设备对控制区内用药后患者进行有序管理，使患者有序进入核医学科用药就诊。同时，除了使用监控及对讲设备对患者进行逐个叫号注射（服药）以及扫描外，医院计划在地面设置指示箭头以及指示牌指示患者进行有序注射（服药）以及扫描，通过加强管理的方式减少患者的直接交叉辐射影响。

（5）核医学科工作场所内不得安排与放射性无关的工作。

（6）核医学科所有放射性药物的操作均应在注射准备间的分装柜内进行。放射性药物操作时均应在衬有吸水纸的托盘内进行，药物在使用前有铅盒和铅套屏蔽，注射药物时工作人员穿戴个人防护用品，并尽可能缩短操作时间。

（7）在控制区和监督区内不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物件。辐射工作人员操作后离开工作室前洗手和作表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

（8）使用操作应在指定的工作台或搪瓷盘内进行，操作人员需配戴个人防护用品，应避免皮肤直接接触放射性物质。

（9）非密封工作场所门窗及内部结构应尽量简单，墙面、地面应采用易于去污的材料或涂料，并平整光滑；地面与墙面交接应做成圆角，且应有一定的坡度朝向地漏（如设地漏）。

2 放疗科项目

2.1 项目工作场所布局合理性分析

放疗科位于医院综合楼负一层北侧。放疗科东侧为热水机房、电梯厅等，南侧为补风机房、更衣卫浴室等区域，西侧为走廊、食堂等，北侧为核素显像诊断场所区域，上方为平台、综合楼内区域，下方为地下车库，布局合理。

医院拟对放疗科项目进行控制区和监督区划分管理，拟将加速器治疗室、后装治疗室、CT 模拟机房内区域划为控制区，治疗期间严禁任何人进入；将控制室、设备间等区域划为监督区域，对监督区实施监控管理，控制区与监督区划分见附图 5。综上所述本项目工作场所控制区和监督区划分明显，能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中第 6.1 款中有关放射治疗布局的要求。

2.2 医用直线加速器

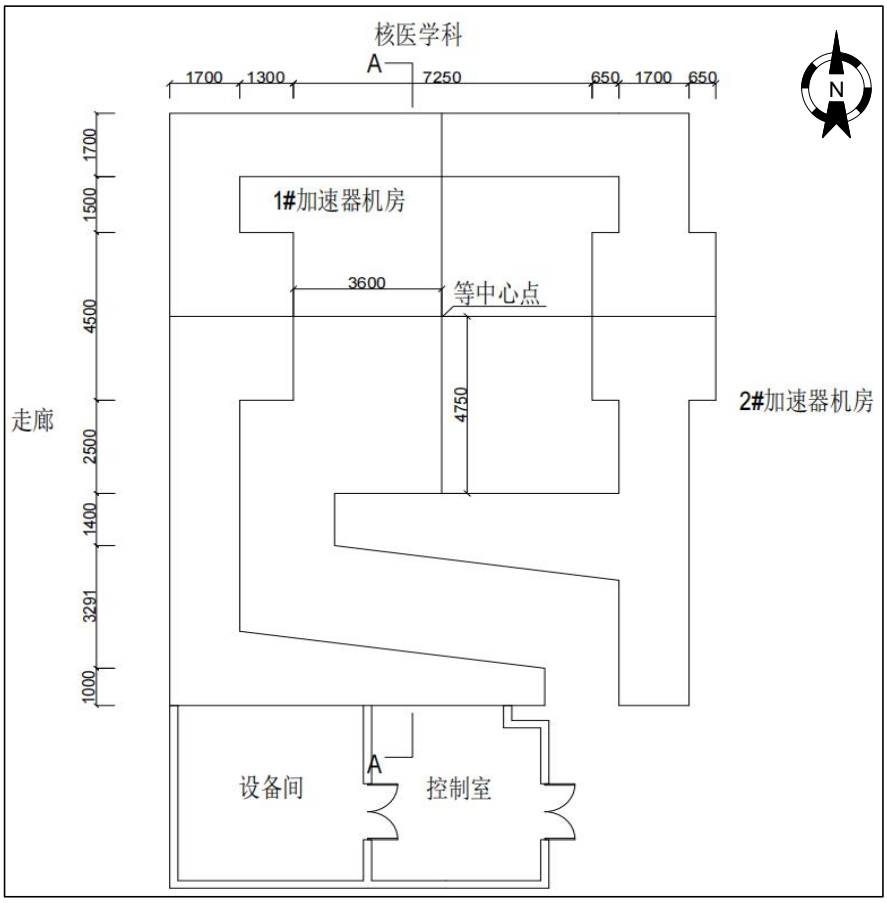
2.2.1 辐射防护屏蔽设计

本项目 4 间加速器屏蔽设计方案一致，加速器机房屏蔽见图 10-1（选取 1#加速器机房设计图纸），加速器机房辐射防护屏蔽设计参数（1#加速器机房为例）见表 10-4。

表 10-4 1#加速器机房辐射防护屏蔽设计参数

分类		屏蔽参数
东墙	主屏蔽	厚度：3000mm 混凝土；宽度：4.5m
	次屏蔽	1700mm 混凝土
南墙	迷道内墙	1400mm-2200mm 混凝土
	迷道外墙	1000mm-1900mm 混凝土
西墙	主屏蔽	厚度：3000mm 混凝土；宽度：4.5m
	次屏蔽	1700mm 混凝土
北	侧屏蔽	1700mm 混凝土

顶部	主屏蔽	厚度：2700mm 混凝土+600mm 顶部覆土；宽度：4.5m
	次屏蔽	1800mm 混凝土
底部		土层
防护门		20mmPb+15cm 含硼石蜡
注：混凝土密度为 2.35g/cm^3，铅板密度为 11.35g/cm^3；加速器机房防护门与墙体间隙小于防护门与墙体搭接长度的 1/10。		



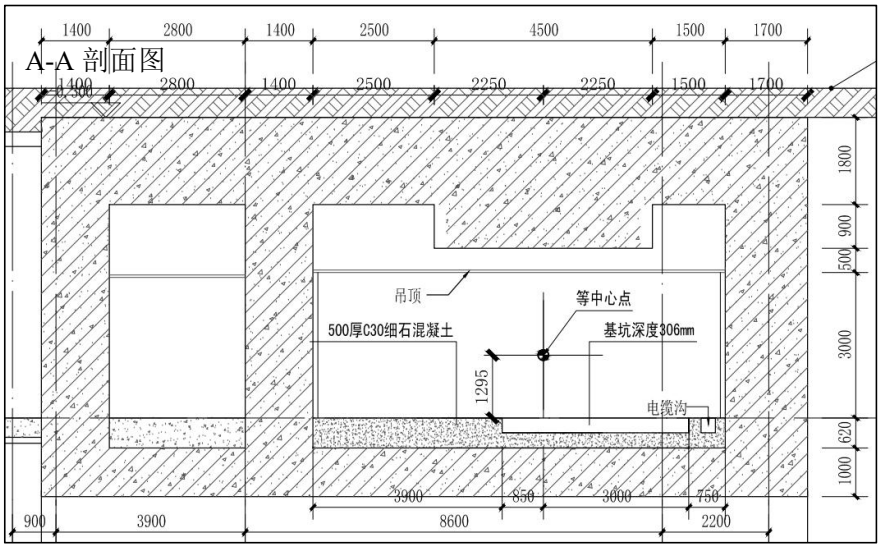


图 10-1 1#加速器机房设计图

2.2.2 辐射安全措施

为确保辐射安全，保障加速器安全运行，本项目加速器机房设计有相应的安全措施，安全措施见图 10-2（选取 1#加速器机房设计图纸）。安全措施主要有：

（1）钥匙开关控制：决定加速器产生辐射的主要控制系统用开关钥匙进行控制。

（2）门机联锁装置：加速器防护门拟安装门机联锁装置，只有当防护门完全关闭后才能开启加速器；在加速器出束状态下意外打开防护门，立即停止出束。

（3）开门开关：防护门内侧拟设置紧急开门按钮。

（4）急停开关：在加速器控制室内、迷道内和治疗室内屏蔽墙均拟安装急停开关，加速器治疗床设有急停开关，在发生紧急情况时能够及时切断加速器系统电源。

（5）工作状态指示灯及警示标志：在防护门上方拟安装工作状态指示灯，其中红灯代表加速器开机工作，黄灯代表加速器准备工作，绿灯代表加速器停止工作。门外拟张贴醒目、规范的电离辐射警告标志。

（6）监控装置：在加速器治疗机房内拟安装实时监控装置，监控终端显示器位于控制室内，并拟配备对讲装置，在治疗过程中辐射工作人员可以及时观察病人情况，与病人交流，防止意外情况的发生。

（7）辐射监测系统：治疗室内拟安装固定式辐射剂量监测仪并有报警功能，其辐射监测探头位于治疗室内，迷道内安装有剂量报警灯，剂量显示单元设置在控制室内，可实时监测治疗室内的辐射水平。

（8）通风措施：本项目加速器治疗室内设有通风装置。加速器机房进风管道位于机房西南、东南侧顶部，排风管道位于机房西北、东北角。

（9）电缆布设：加速器机房电缆线布设采用了地下“U”型穿墙管道，管道埋地深约 40cm，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

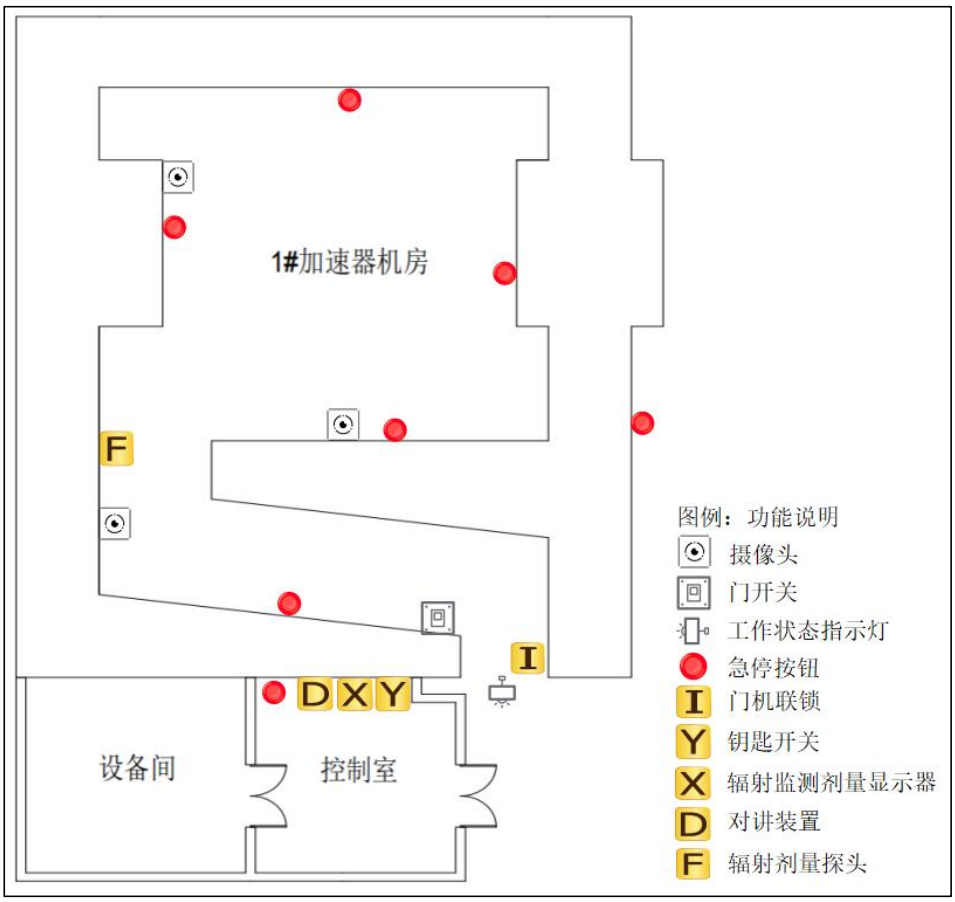


图 10-2 1#加速器机房安全措施图

2.3 后装机项目

2.3.1 辐射防护屏蔽设计

后装机房屏蔽见图 10-3，屏蔽设计参数见表 10-5。

表 10-5 后装机房辐射防护屏蔽设计参数

分类		屏蔽参数
东墙、南墙、北墙		800mm 混凝土
西墙	迷道内墙	800mm 混凝土
	迷道外墙	800mm 混凝土
顶部和底部		顶部：800mm 混凝土；底部：地面 300mm 混凝土
防护门		10mmPb
注：混凝土密度为 2.35g/cm^3，铅板密度为 11.35g/cm^3。		

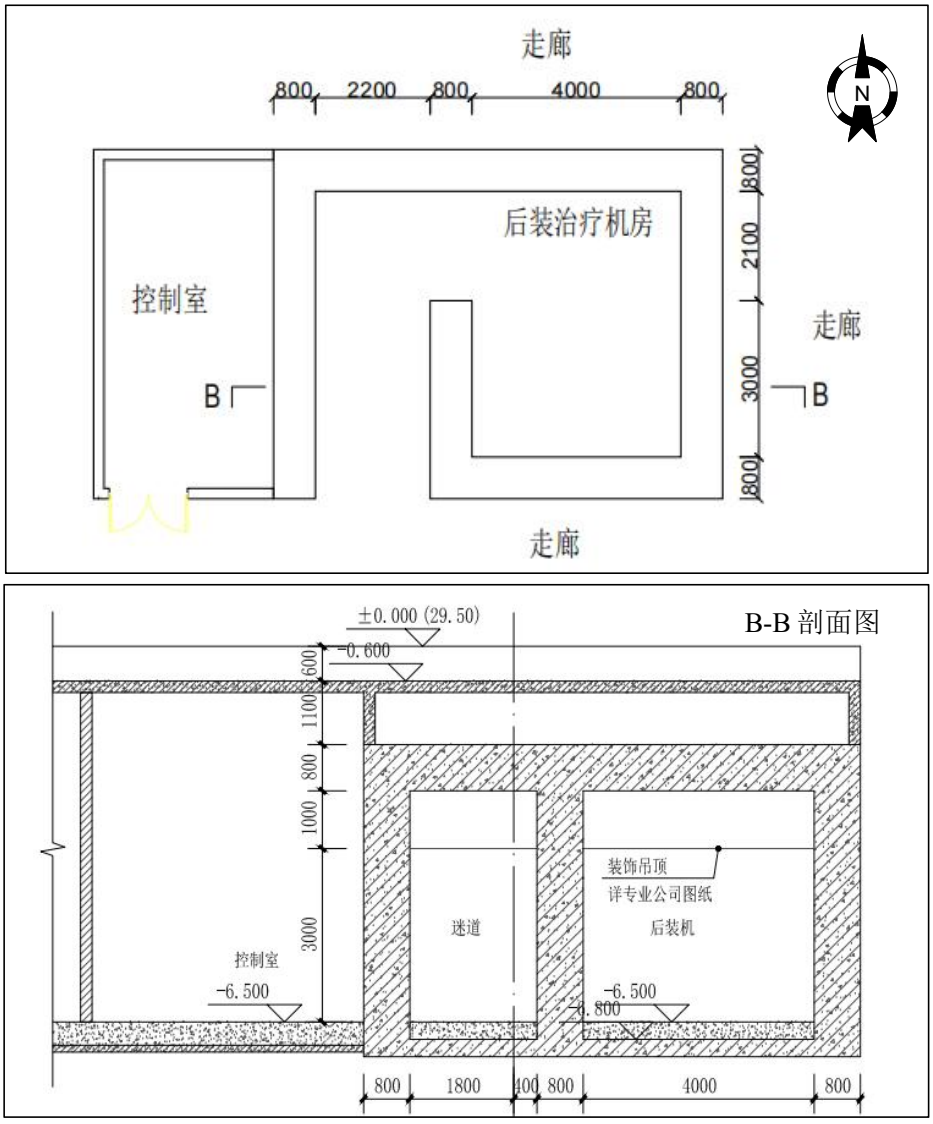


图 10-3 后装机房设计图

2.3.2 辐射安全措施

为确保辐射安全，保障安全运行，后装机设计有相应的安全措施，安全措施见图10-4。安全措施主要有：

（1）治疗室入口处拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，防止无关人员逗留和误入。

（2）治疗室拟安装门机联锁装置，开门状态不能出源照射，出源照射状态下若开门则放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。

（3）后装机控制台上、治疗床上、治疗室内拟安装紧急停机按钮，并明确标识和使用方法，按下紧急停机按钮应能使放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。

（4）治疗室防护门上设有门把手，通过门把手能从外部手动打开防护门。

（5）治疗室内拟安装固定式辐射剂量监测仪并有报警功能，其辐射监测探头位

于治疗室内，迷道内安装有剂量报警灯，剂量显示单元设置在控制室内，可实时监测治疗室内的辐射水平。

（6）治疗室内拟安装监控系统，并拟在控制室和治疗室之间设置对讲系统，在治疗过程中医务人员可以及时观察病人情况，与病人交流，防止意外情况的发生。

（7）治疗室内拟配备合适的储源容器和长柄镊子等设备。

（8）治疗室的电缆管道拟采用地下穿墙的“U”型设计，管道埋地深约 20cm，不会破坏机房的屏蔽效果。

（9）医院拟与放射源供货商签订废旧放射源回收文件，退役放射源将由供货商协助返回放射源生产厂家回收。

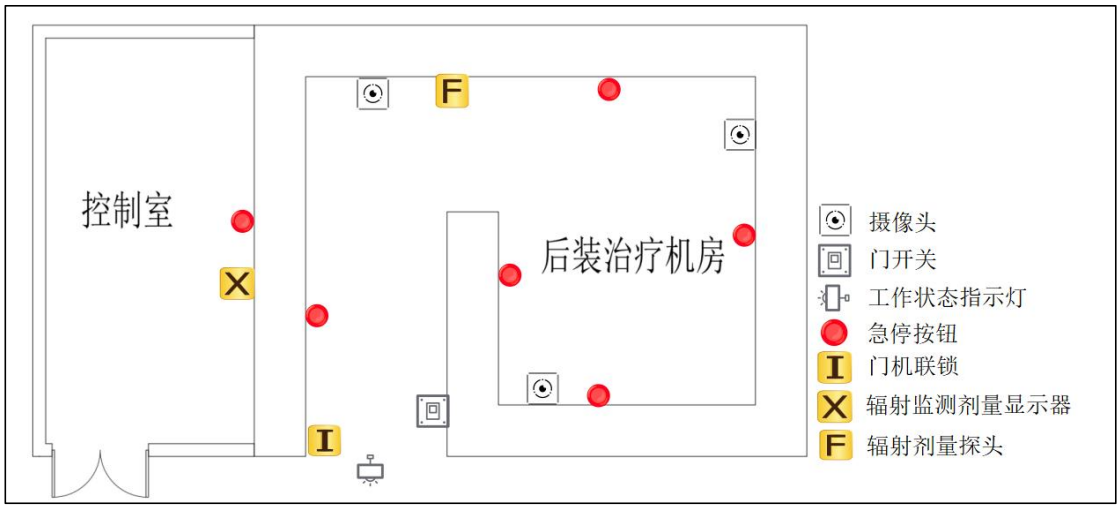


图 10-4 后装机房安全措施图

2.4 CT 模拟定位机

CT 模拟定位机房尺寸、最小单边长度、有效使用面积及屏蔽参数见表 10-6。

表 10-6 CT 模拟定位机房辐射防护屏蔽参数一览表

设备	参数		GBZ 130-2020 要求	评价
CT 模拟定位机	最小单边长度	5.1m	4.5m	满足
	有效使用面积	1#CT 模拟定位机房：5.1×9.0=45.9m^2 2#CT 模拟定位机房：5.1×9.0=45.9m^2	30m^2	满足
	防护（两个机房屏蔽防护一致）	四周墙面：240mm 实心砖+2mmPb 铅板（4.0mmPb） 顶部：180mm 混凝土+2mmPb 铅板（4.0mmPb） 地面：120mm 混凝土+2mmPb 铅板（3.5mmPb） 防护门：3.5mmPb 铅玻璃观察窗：3.5mmPb	2.5mmPb	满足

注：混凝土密度为 2.35g/cm³，实心砖密度为 1.65g/cm³，铅密度为 11.35g/cm³。

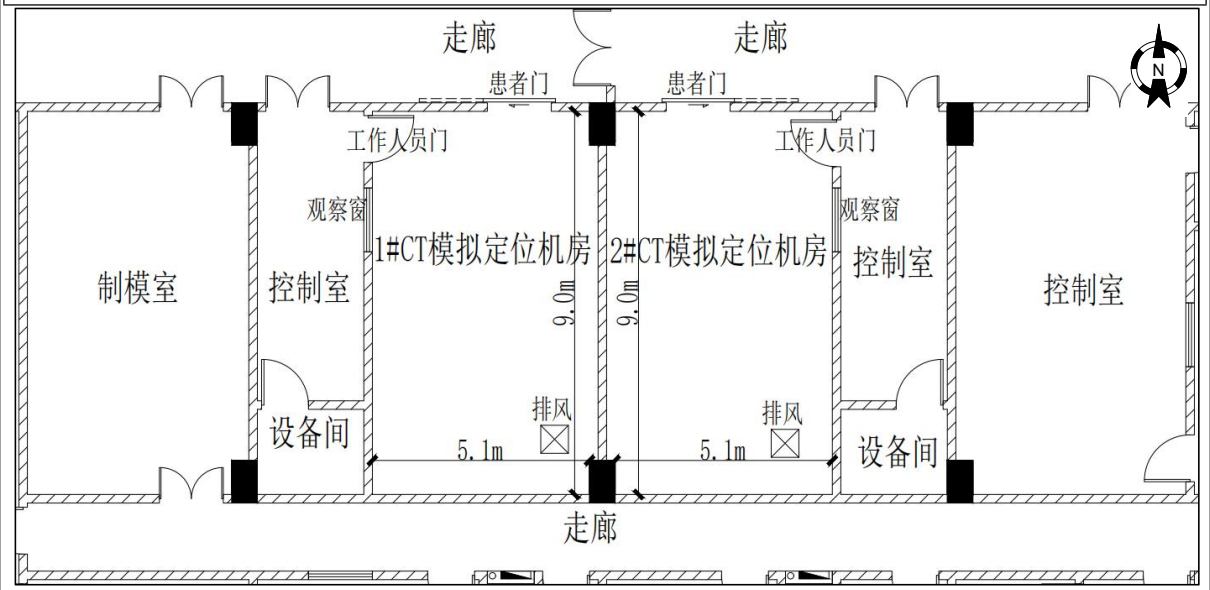


图 10-5 CT 模拟定位机房平面图

CT 模拟定位机房设计有相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

（1）控制台处设置观察窗，工作人员通过观察窗观察机房内患者状态。

（2）在机房入口处设置工作警示灯，警示灯箱处设置警示语句，并在醒目位置张贴“当心电离辐射”以及放射防护注意事项。

（3）防护门设置闭门装置，工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。

（4）辐射工作人员均拟配备个人剂量计并定期送检，同时建立个人剂量档案，拟开展职业健康监护并建立个人职业健康监护档案。

3 DSA 项目

3.1 项目工作场所布局合理性分析

DSA 手术室分别位于综合楼一层、三层、四层。1#DSA 手术室位于综合楼一层，其东侧为门厅、UPS 间等区域，南侧为更衣室、值班室等综合楼内区域，西侧为值班室、走廊、输液室等综合楼内区域，北侧为更衣室、办公室等综合楼内区域，上方为医护更衣、医护走廊等综合楼内区域，下方为地下车库，布局合理。2#、3#DSA 手术室位于综合楼三层，其东侧为污物走廊，南侧为污物走廊、人员通道、值班室、办公室、会议室等综合楼区域，西侧为护士站、设备间、人员通道、谈话间等综合楼区域，北侧为患者走廊、无菌间、值班室等综合楼区域和住院楼区域，上方为骨科，下方为检查室，布局合理。4#DSA 手术室位于综合楼四层，其东侧为排烟机房、电梯厅、楼梯厅，南侧为手术室、走廊等综合楼区域，西侧为控制室、设备间、手术室、

麻醉区域等综合楼区域，北侧为住院楼区域，上方为设备层，下方为新风机房、污物暂存间、清洁间等综合楼区域，布局合理。

综合楼一层 DSA 手术室工作场所主要由 1#DSA 手术室、控制室、缓冲间、设备间、污物处置间等组成。医院设有门禁系统，除科室人员刷门禁卡可以进入外，其他人员一般不允许进入。医院将 DSA 手术室划为控制区，控制室、缓冲间、设备间、污物处置间等区域划为监督区。控制区与监督区划分见附图 10。

综合楼三层 DSA 手术室工作场所主要由 2#DSA 手术室、3#DSA 手术室、控制室、设备间等组成。医院设有门禁系统，除科室人员刷门禁卡可以进入外，其他人员一般不允许进入。医院将 DSA 手术室划为控制区，控制室、设备间等区域划为监督区。控制区与监督区划分见附图 13。

综合楼四层 DSA 手术室工作场所主要由 4#DSA 手术室、控制室、设备间等组成。医院设有门禁系统，除科室人员刷门禁卡可以进入外，其他人员一般不允许进入。医院将 DSA 手术室划为控制区，控制室、设备间等区域划为监督区。控制区与监督区划分见附图 14。

综上所述 DSA 工作场所控制区和监督区划分明显，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的规定。

3.2 辐射防护屏蔽设计

本项目 DSA 手术室尺寸、最小单边长度、有效使用面积及屏蔽参数见表 10-7。

表 10-7 本项目 DSA 手术室辐射防护屏蔽参数一览表

机房名称	设计参数		GBZ 130-2020 要求	评价
1#DSA 手术室	最小单边长度	6.6m	3.5m	满足
	有效使用面积	6.6×7.8≈51.5m^2	20m^2	满足
	四周墙体：24cm 实心砖+2mmPb 防护涂料 顶部：12cm 混凝土+2mmPb 防护涂料 底部：18cm 混凝土+2mmPb 防护涂料 防护门：3mmPb，观察窗：3mmPb 铅玻璃		2mmPb	满足
2#、3#DSA 手术室	最小单边长度	5.6m	3.5m	满足
	有效使用面积	5.6×9.0=50.4m^2	20m^2	满足
	四周墙体：10cm 轻钢龙骨+3mmPb 防护涂料 顶部：12cm 混凝土+2mmPb 防护涂料 底部：18cm 混凝土+2mmPb 防护涂料		2mmPb	满足

	防护门：3mmPb，观察窗：3mmPb 铅玻璃			
4#DSA 手术室	最小单边长度	7.6m	3.5m	满足
	有效使用面积	7.6×12.0=91.2m^2	20m^2	满足
	四周墙体：10cm 轻钢龙骨+3mmPb 防护涂料 顶部：12cm 混凝土+2mmPb 防护涂料 底部：18cm 混凝土+2mmPb 防护涂料 防护门：3mmPb，观察窗：3mmPb 铅玻璃		2mmPb	满足
注：混凝土密度为 2.35g/cm^3，铅密度为 11.35g/cm^3。				

3.3 辐射安全措施

本项目 DSA 设计有相应的安全措施，主要有：

（1）控制台处设置观察窗，工作人员通过观察窗观察机房内患者状态。

（2）医院在 DSA 手术室入口处设置工作警示灯，警示灯箱处设置警示语句，并在醒目位置张贴“当心电离辐射”以及放射防护注意事项。

（3）机房防护门设置闭门装置，工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。

（4）医院拟为本项目 DSA 工作人员配备双个人剂量计。DSA 项目介入医生需在铅围裙外面衣领上和铅衣内侧各佩带一个剂量计，以估算人体未被屏蔽部分的剂量。介入手术医生应明显标记内外两个剂量计，防止剂量计带反，每季度及时对剂量计送检，建立个人剂量档案。

（5）医院拟为参与介入手术的辐射工作人员配备一系列的个人防护用品，主要包括铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、铅悬挂防护屏、床侧防护帘和铅防护吊帘。

（6）其他辐射安全措施

介入手术需要长时间的透视和大量的摄片，对病人和医务人员来说辐射剂量较高，因此在评估介入放射的效应和操作时，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放射的防护工作：

a）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。

b）一般说来，降低病人的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，以减少病人和介入人员的剂量。

c）所有在 DSA 手术室内的工作人员，并不仅限于介入手术医生，而包括周围护理人员，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。

d）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。

e）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，比如采用小照射野、低频率脉冲透视等方法。

f）加强 DSA 设备的质量保证工作，设备的球管与高压发生器、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。

g）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衣、机器自带的铅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（铅衣、铅围脖、铅帽及铅眼镜等）外，应着重考虑 X 射线机操作侧的屏蔽，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。如：床侧立地防护屏、防护手术手套、床侧竖屏及床上防护屏、床下吊帘、床侧吊帘、床上防护覆盖板等。以上组合屏蔽防护措施的使用，能够有效降低介入手术医务人员的吸收剂量，尤其是胸部以下部位屏蔽效果在 80%以上。

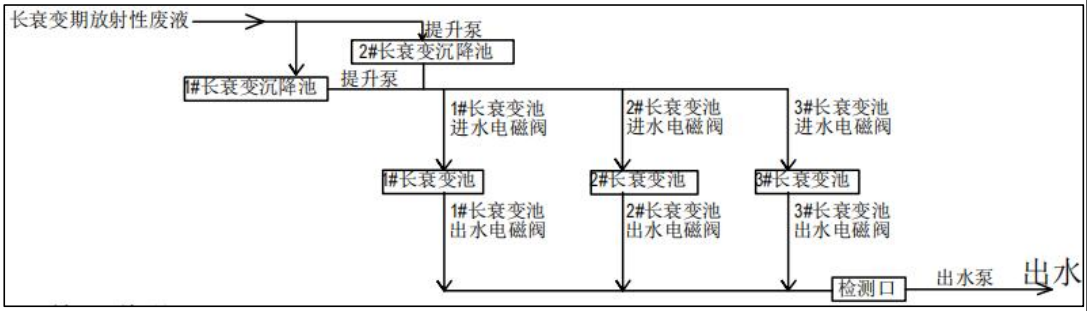
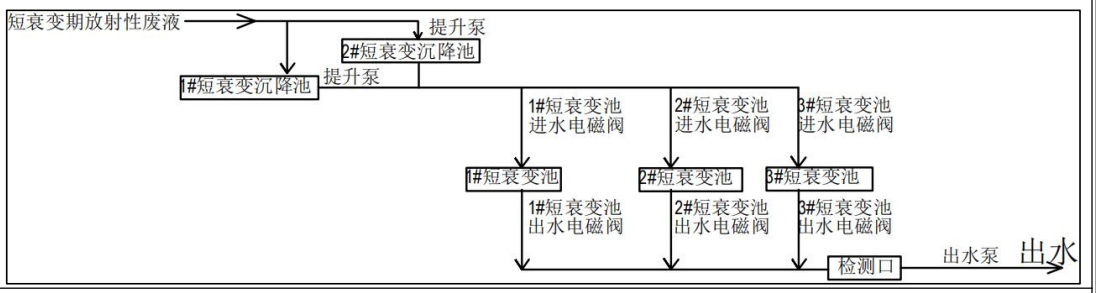
三废的治理

1 核医学科项目

1.1 放射性废水处理措施

医院在住院楼负二层东侧设有衰变池间，衰变池间四周墙体均拟采用 24cm 厚混凝土浇筑，底部为混凝土地面，顶部均为 12cm 厚混凝土。为提高衰变池利用率，医院计划在衰变池间内配备两套一体化不锈钢槽式衰变池，即 1#衰变池和 2#衰变池。其中 1#衰变池用于暂存核医学科一层甲癌治疗中心产生的放射性废水，2#衰变池用于暂存核医学科负一层产生的放射性废水。本项目衰变池设计见附图 16，衰变池构造、容积及工作流程见表 10-8：

表 10-8 衰变池构造、容积及工艺流程

名称	基本信息
1#衰变池	构造：四周和顶部均采用不锈钢制作，内贴 8mm 厚铅板。 容积：包括三个池子，第一格尺寸体积为：4.5m×3.2m×3.5m+4.5m×3.2m×5.0m=122.4m³、第二格尺寸体积为 5.0m×4.8m×5.0m=129.6m³、第三格尺寸体积为：4.8m×5.6m×4.5m≈121.0m³，每格有效容积均为 112m³，总有效容积为 336m³。 工艺流程： 
2#衰变池	构造：四周和顶部均采用不锈钢制作，内贴 8mm 厚铅板。 容积：包括三个池子，单个池子尺寸体积为：1.8m×1.8m×3.0m≈9.7m³，单个有效容积为 8.4m³，总有效容积为 25.2m³。 工艺流程： 
处理	衰变池采用并联运行方式，依次按第一格、第二格、第三格的顺序往各池进满水，

单元说明	当第三格到达最高水位时，停止进水。第一格达到衰变期后排空，再往第一格进水。以后按照第一格、第二格、第三格、第一格的顺序，当前一格到达最高水位时，排空达到衰变期的下一格，再往里面进水，循环往复。由于放射性废液排入到衰变池是与时间变化的动态过程，为了使衰变池的物理结构更加符合核素衰变的动态过程，将衰变池设计为多格并联式放射性衰变池。收集放射性废水的管道采用耐腐蚀的特种管道，考虑有生活粪便污水一并排出，在衰变池前设置沉降池，用以沉淀消化固形物，可进行酸化，促进排入衰变池。沉降池设置 2 座，一用一备，过了半衰期再进行清掏、维护。 出水水质在线监测系统是由探测器、探测装置及 PLC 和各电子元器件组成的，实时监测出水水质，并必须与系统控制柜联动，以便在设备出现问题时及时停止工作。

根据表 9-9 可知，核医学科核素治疗场所产生的废水量约为 267.5m^3/年，则月产生的废水量约为 22.3m^3，1#衰变池处理系统单个有效容积为 112m^3，当其中一个衰变池内废水储满开始至其它两个衰变池储满时间约为 300 天（224/22.3≈10.0），满足暂存时间超过 180 天的要求，衰变池留有取样口，排放前进行取样监测，监测结果经审管部门认可后排入医院污水处理系统。因此 1#衰变池的设计能够满足核医学科一层放射性废水暂存 180 天的衰变要求。

根据表 9-9 可知，核医学科核素显像诊断场所产生的废水量约为 140m^3/年，则月产生的废水量约为 11.7m^3，2#衰变池处理系统单个有效容积为 8.4m^3，当其中一个衰变池内废水储满开始至其它两个衰变池储满时间约为 42 天（16.8/11.7≈1.4），满足暂存时间超过 30 天的要求。

综上所述，核医学科医院采取的放射性废水处置措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

1.2 放射性固体废物处理措施

本项目各场所控制区房间内均拟设置 5mmPb 放射性废物收集桶，分别用于收集放射性物质操作过程中各场所产生的放射性固废。本项目放射性固体废物本身沾染的放射性核素活度浓度很低，经过 5mmPb 的废物铅桶屏蔽后，废物铅桶表面 30cm 处的辐射剂量率能够满足标准要求。医院在核医学科负一层设有 1 间放射性固体废物间，面积约为 3.09m^2，体积约为 9.3m^3；在核医学科一层设有 1 间放射性固体废物间，面积约为 7.41m^2，体积约为 22.2m^3。

根据表 9-10 可知，核医学科负一层年产生的放射性固体废物量约为 200kg，核医学科负一层放射性固体废物间体积约为 9.3m^3，能够满足放射性固体废物贮存超过 30 天的要求。

根据表 9-10 可知，核医学科一层年产生的放射性固体废物量约为 70kg，核医学科通风系统年产生废活性炭约为 25kg，核医学科一层放射性固体废物间体积约为 22.2m^3，能够满足放射性固体废物贮存超过 180 天的要求。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），医院拟对放射性废物的管理措施主要有：

（1）各场所设置的放射性废物桶均拟采用 5mm 铅当量的铅屏蔽，并拟在废物桶外明显位置设置电离辐射警示标志。废物桶的放置于房间角落，避开工作人员工作和经常走动的区域。

（2）废物桶内拟放置专用塑料袋直接收纳废物，拟对装满后的废物袋进行密封，不破漏，并再标记相应信息后及时送放射性废物间专用容器中贮存。

（3）对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，拟先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。

（4）放射性废物贮存间拟设通风设施，出入口设电离辐射警告标志。

（5）放射性废物袋、废物桶及其他存放废物的容器保证安全可靠，并拟在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

1.3 放射性废气处理措施

核医学科工作场所均设有单独的通风系统，监督区拟设为正压通风，控制区域均拟设为微负压通风，以保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动。

本项目放射性药物在分装柜内操作，分装柜均拟设计独立的排风系统，风速不小于 0.5m/s，外排口由专用管道延伸至住院楼顶，排风口高于本建筑的屋顶，设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附，定期更换的废活性炭作为放射性固体废物处理。本项目各场所通风系统的排风管道平面布局见附图 17、附图 18。本项目产生的放射性废气排放满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

2 放疗科项目

2.1 医用直线加速器

本项目运行过程中没有放射性废水、废气产生。直线加速器靶物质（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，委托有放射性固废处理资质的单位处理。

直线加速器在工作状态时，产生的 X 射线会使机房内空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。本项目加速器治疗室内设计有通风装置，通风设计见附图 19。送风管道及排风管道拟安装于治疗室天花板内，沿屏蔽墙体从迷路门上方进出，其中送风口有 2 个，均位于治疗室南侧；排风口有 2 个，均位于治疗室北侧，排风立管接入天花板内排风管道，室外排风口拟设置于屋顶上方，治疗室内送风口和排风口设置形成空气对流。医院拟为 4 间加速器机房配备有排风机，每个机房的排风量均为 3000m^3/h，治疗室净体积约为 245m^3（包括迷道），治疗室内通风换气频率约为 12.2 次/h。本项目加速器机房的通风次数能够满足《放射治疗辐射防护与安全要求》（HJ 1198-2021）中“放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h”的要求。

在工作中医院要保证加速器治疗室通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设备产生危害。治疗室内产生的少量臭氧和氮氧化物通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下 50min 左右可自行分解为氧气，对环境影响很小。

2.2 后装机

医院已承诺将与放射源生产厂家签订废源回收协议，退役的 ^{192}Ir 放射源暂存在后装机内，更换新源后，废源将由原生产厂家回收处置，满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中关于放射性废源处置的要求。

后装机房内 ^{192}Ir 放射源在使用过程中，产生的γ射线会使机房内空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。本项目后装机治疗室设有通风系统，通风设计见附图 19。送风管道及排风管道拟安装于机房天花板内，沿屏蔽墙体从迷路门上方进出，送风口有 1 个，位于机房西侧，排风口有 1 个，位于机房东北侧，排风立管接入天花板内排放管道，室外排风口拟设置于屋顶上方，治疗室内送风口和排风口设置形成空气对流。医院为后装机房配备 1 台风机，最大风量不少于 1000m^3/h，治疗室净体积约为 127m^3（包括迷道），治疗室内通风换气频率约为 7.9 次/h。本项目后装机房的通风次数能够满足《放射治疗辐射防护与安全要求》（HJ 1198-2021）中“放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h”的要求。

在工作中医院要保证机房通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设备产生危害。机房内产生的少量臭氧和氮氧化物通过排

风系统排入外环境，臭氧在 50min 左右常温下可自行分解为氧气，对环境影响很小。

3 DSA、CT 模拟定位机

DSA 与 CT 模拟定位机运行时不产生放射性废水、放射性废气及放射性固体废物，但其在开机并处于出束状态时，会使机房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，产生的臭氧和氮氧化物可通过机房的机械通风系统排出，臭氧常温下 50min 左右可自行分解为氧气，对环境影响很小。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目属于扩建项目，项目建设施工时对环境会产生如下影响：

（1）大气：建设施工过程中，燃油动力机械和运输车辆排放的废气，挖土、运土、填土、夯实和汽车运输过程的扬尘，都会给周围环境空气带来污染。污染大气的主要因子是 NO_2、CO、SO_2 和扬尘，尤其扬尘污染最为严重。对整个施工期而言，施工产生的扬尘主要集中在房屋建设阶段、露天堆场和裸露场地的风力扬尘。针对上述大气污染采取以下措施：a.及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；b.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；c.施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

（2）噪声：项目施工期噪声主要来源于施工机械噪声和运输车辆噪声。在施工过程中，由于各种施工机械设备的运转和各类车辆的运行，不可避免地将产生噪声污染。在施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）标准，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。

（3）固体废物：项目施工期间产生的废弃物主要是施工生活垃圾、施工建筑垃圾和弃土。施工人员产生的生活垃圾不要和建筑垃圾混放，定时清运到当地的垃圾处理站集中处理。建筑垃圾集中堆存，及时清运至指定场所堆存。

（4）废水：包括各种施工机械设备运转的冷却及洗涤用水，施工现场清洗废水，含有大量的泥砂、油污。同时在设备安装过程中，因调试、清洗设备，也会产生一定量的含油废水。由于施工队伍的生活活动会产生生活污水。对上述废水采取以下措施：a.尽量减少物料流失、散落和溢流现象，减少废水产生量；b.对废水进行必要的分类处理后排入城东污水处理厂；c.水泥、黄砂、石灰类的建筑材料需集中堆放，并采取一定的防雨措施，及时清扫施工运输过程中抛洒的上述建筑材料，以免这些物质被雨水冲刷带入污水系统内。

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局部区域，对周围环境影响较小。

设备调试阶段对环境影响

在设备安装调试时，会产生少量的 X、γ射线和臭氧、氮氧化物等气体，由于设备调试、检测时间较短，由厂家工程师进行，在调试时均按院方的各项辐射安全管理制

度进行操作，故对环境影响较小，也应注意避免人员受到不必要的照射。

运行阶段对环境的影响

一、运行阶段的辐射影响分析

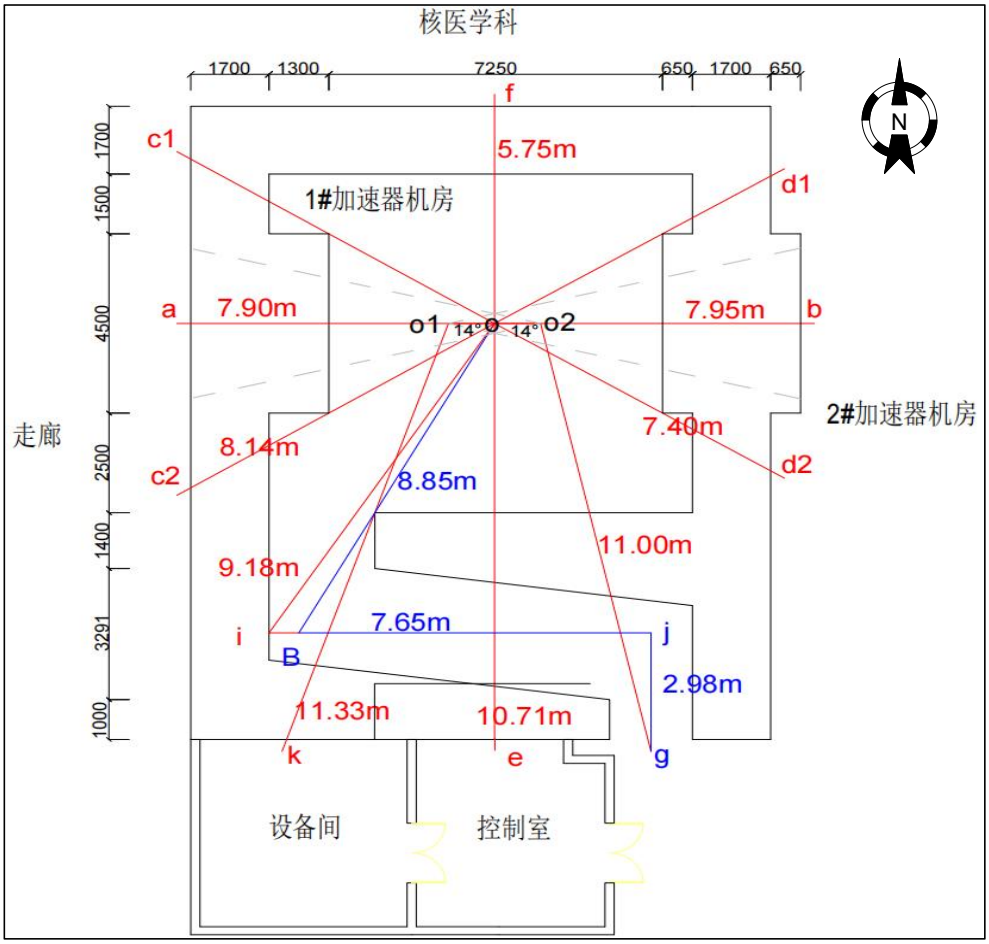
1 放疗科项目辐射环境影响分析

1.1 直线加速器项目

1.1.1 参考点位选取

本项目 1#-4#加速器机房屏蔽防护设计一致且拟配备的加速器的 X 射线、电子线能量、距靶 1m 处剂量率等设备参数一致。因此，选取 1#加速器进行辐射环境影响分析，若其能够满足辐射防护要求，则其它加速器机房必能满足要求。

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，在本项目加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在加速器机房设计尺寸的基础上，以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。1#加速器机房屏蔽墙和防护门外的预测参考点见图 11-1。



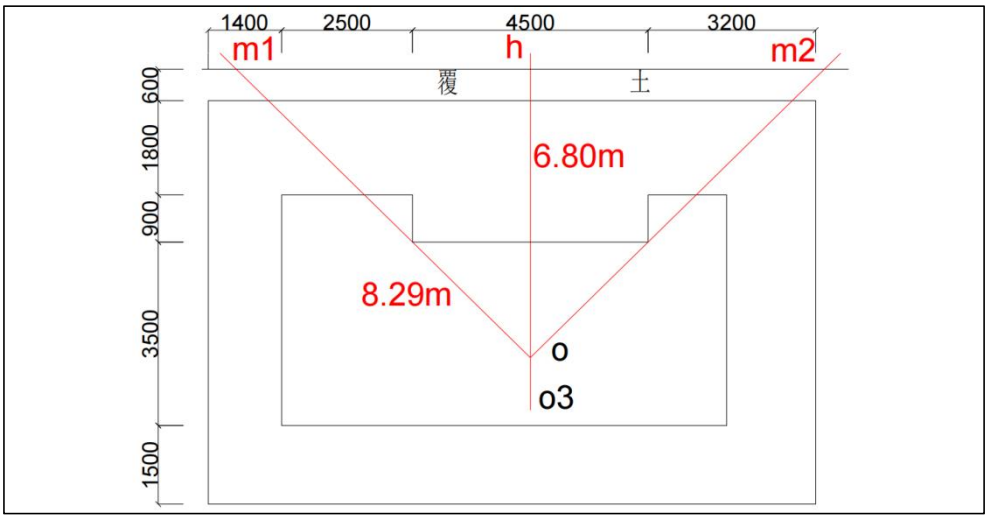


图 11-1　1#加速器机房参考点设置示意图

[redacted]

1.1.2 有用线束主屏蔽区宽度核算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）的相关公式，可计算出有用线束主屏蔽区宽度。

[redacted]

将各参数代入式（11-1）可估算出加速器机房主屏蔽墙宽度，见下表：

表 11-1　本项目加速器机房主屏蔽区域宽度设计评价表

[redacted]	[redacted]		
	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

*：$a_{东侧屏蔽墙（外凸）}$=3.65m+3.0m=6.65m

$a_{西侧屏蔽墙（内凸）}$=3.6m+1.3m=4.9m

$a_{屋顶屏蔽墙（内凸）}$=2.2m+0.9m=3.1m

从上面的估算结果可以看出，加速器机房主屏蔽区域屏蔽墙宽度能够满足拟配置的医用加速器有用射线束宽度的防护要求。

1.1.3 主屏蔽墙防护效果预测（东侧主屏蔽墙 b 点、西侧主屏蔽墙 a 点和屋顶 h 点）

（1）主射线路径：东侧主屏蔽墙 O_1→b，西侧主屏蔽墙：O_2→a、屋顶 O_3→h

（2）计算模式及参数选择：

加速器主射线照射方向为东墙、西墙及屋顶。主屏蔽区域受到辐射主要有有用射线束、泄漏射线及散射射线。与有用射线相比，泄漏射线及散射射线影响较小，因此主要考虑有用射线的影响。辐射防护预测模式可采用 GBZ/T 201.2 -2011 第 5.2 章中推荐的估算公式，相关参数均取自该标准中的附录 B：

[redacted]

设屏蔽墙外参考点距离屏蔽墙的距离均为30cm，各参考点处的辐射水平理论估算结果见表11-2、表11-3。

表 11-2 加速器机房主屏蔽区域防护能力计算结果（10MV，2400cGy/min）

[redacted]			
[redacted]			
[redacted]			
[redacted]			

泄漏辐射：东墙：O→d_1、O→d_2，西墙：O→c_1、O→c_2，屋顶：O→m_1、O→m_2

散射辐射：东墙：O_1→O→d_1、O_1→O→d_2；西墙：O_2→O→c_1、O_2→O→c_2；屋顶：O_3→O→m_1、O_3→O→m_2

根据图 11-1 可知，本项目东侧、西侧及屋顶的主屏蔽墙对称，因此本项目仅需预测 c_1、d_1 和 m_1 共 3 个参考点即可代表与主墙相连的次屏蔽墙的屏蔽效果。

（2）计算模式及参数选择：

泄漏辐射的屏蔽能力计算：

患者一次散射、泄漏辐射散射屏蔽能力计算：

设屏蔽墙外参考点距离屏蔽墙的距离均为 30cm，各参考点处的泄漏辐射及散射辐射水平理论估算结果见表 11-4、表 11-5。

表 11-4 加速器机房与主屏蔽相连次屏蔽区域防护能力计算结果

（10MV，2400cGy/min）

	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

表 11-5 加速器机房与主屏蔽相连次屏蔽区域防护能力计算结果

（15MV，600cGy/min）

[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

根据表 11-4、表 11-5 可知，加速器机房与主屏蔽区域相连的次屏蔽区域辐射防护设计能够满足配置的加速器的泄漏射线和一次散射 X 射线的辐射防护要求。

1.1.5 侧屏蔽墙屏蔽效果预测（e 点、f 点）

（1）射线路径：南墙：O→e，北墙：O→f

（2）计算模式及参数选择：

加速器机房南墙、北墙为次屏蔽墙，主要考虑泄漏射线的辐射影响，辐射防护预测模式与主射线估算相同（同公式（11-2））。

（3）预测计算结果

屏蔽墙外参考点 e、点 f 的位置见图 11-1，其辐射水平预测结果见表 11-6。

表 11-6 加速器机房屏蔽墙防护能力计算结果（10MV，2400cGy/min）

[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]

表 11-7 加速器机房屏蔽墙防护能力计算结果（15MV，600cGy/min）

[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]

[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]

根据表 11-6、表 11-7 可知，加速器机房侧屏蔽墙体的防护设计均能够满足配置的加速器的泄漏射线防护要求。

1.1.6 迷路外墙设计核算（k 点）

加速器机房主射线不向迷道照射，加速器靶点位于 O_1 点（偏离 O 点 1m）时，南侧迷道外墙 k 点处辐射剂量率最大，泄漏辐射起决定性作用。[redacted]根据公式（11-2），可估算出加速器机房南侧迷道外墙 k 点处辐射剂量率水平，计算结果见表 11-8、表 11-9。

表 11-8 迷路外墙 k 处的泄露辐射剂量率（10MV，2400cGy/min）

[redacted]							
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

表 11-9 迷路外墙 k 处的泄露辐射剂量率（15MV，600cGy/min）

[redacted]							
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

根据表 11-8、表 11-9 可知，加速器机房南侧迷道外墙的防护设计能够满足拟配置的加速器的泄漏射线防护要求。

1.1.7 迷路入口处辐射水平核算（g 点）

1.1.7.1 10MV，2400cGy/min 工况下，迷路入口处辐射水平核算（g 点）

根据 GBZ/T 201.2-2011，当加速器能量≤10MV 时，g 点处同时受到迷道内散射辐射（O_2→O→i→j→g）及加速器的泄漏辐射 O_1、O_2 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量的影响。

由图 11-1 可知，O_2 经迷路内墙屏蔽后到达迷路入口 g 点处的距离较 O_1 更短，且

穿过本迷路内墙的有效屏蔽厚度比 O_1 更薄，因此在核算泄漏辐射时只需核算 O_2 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量即可，若 O_2 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量能够满足要求，则 O_1 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量也能满足要求。

射线路径（射线类型）：O_2→g （泄漏射线），O_2→O→i→j→g（散射射线）。

（1）穿透过迷路内墙的泄漏 X 射线在 g 点处的辐射影响

射线路径（射线类型）：O_2→g

g 点泄露辐射剂量核算方法同 e 点，g 点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-10。

表 11-10 治疗室入口门外参考点泄漏辐射剂量率计算结果

[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]

根据表 11-10 结果可知，在 10MV，2400cGy/min 工况下，加速器的泄露辐射经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量 $\dot{H}_{og}$ 为 0.003μSv/h，满足标准要求（剂量率应小于参考控制水平的 1/4，即 3.3μSv/h/4=0.825μSv/h）。

（2）加速器机房的迷路散射辐射影响（g 点）

射线路径（射线类型）：O_1→O→i→j→g（散射射线）

[redacted]



根据公式（11-5），代入相关参数，可以估算出患者散射 X 射线经屏蔽墙（i 点）二次散射后在迷道入口处（g 点）的辐射剂量率，计算结果见表 11-11。

表 11-11 加速器机房迷道口处的散射辐射剂量率（10MV，2400cGy/min）

（3）防护门外泄露射线与散射射线辐射剂量率计算

加速器机房拟设 20mm 铅板+150mm 含硼聚乙烯板(5%) +1mm 铁锌合金钢板的防护门，在 10MV，2400cGy/min 的工况下，机房入口 g 点处无防护门时泄漏辐射剂量率最大为 0.003μSv/h，g 点处散射辐射水平约为 327.1μSv/h，

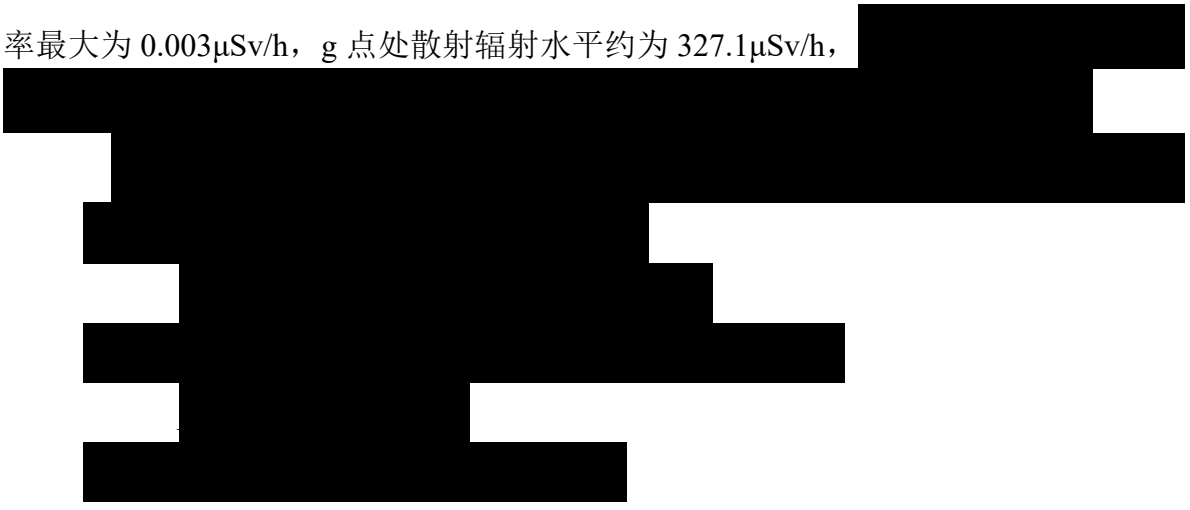


表 11-12 防护门外辐射剂量率计算结果

[redacted]

由理论估算结果可知，在 10MV，2400cGy/min 的工况下，加速器机房防护门拟设铅板厚度能够满足配置的加速器防护要求。

1.1.7.2 15MV，600cGy/min 工况下，迷路入口处辐射水平核算（g 点）

根据 GBZ/T 201.2-2011，当加速器能量≤10MV 时，g 点处同时受到迷道内散射辐射（O_2→O→i→j→g）及加速器的泄漏辐射 O_1、O_2 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量，当加速器能量＞10MV 时，g 点处还需额外考虑中子散射（O→B→j→g）的影响。

由图 11-1 可知，O_2 经迷路内墙屏蔽后到达迷路入口 g 点处的距离较 O_1 更短，且穿过本迷路内墙的有效屏蔽厚度比 O_1 更薄，因此在核算泄漏辐射时只需核算 O_2 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量即可，若 O_2 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量能够满足要求，则 O_1 经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量也能满足要求。

射线路径（射线类型）：O_2→g （泄漏射线），O_2→O→i→j→g（散射射线），O→B→j→g（中子散射）。

（1）穿透过迷路内墙的泄漏 X 射线在 g 点处的辐射影响

射线路径（射线类型）：O_2→g

g 点泄露辐射剂量核算方法同 e 点，g 点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-13。

表 11-13 治疗室入口门外参考点泄漏辐射剂量率计算结果

[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]

根据表 11-13 结果可知，在 15MV，600cGy/min 工况下，加速器的泄露辐射经迷路内墙屏蔽后在迷路入口 g 点的辐射剂量 $\dot{H}_{og}$ 为 0.002μSv/h，满足标准要求（剂量率应小于参考控制水平的 1/4，即 3.3μSv/h/4=0.825μSv/h）。

（2）加速器机房的迷路散射辐射影响（g 点）

射线路径（射线类型）：O_1→O→i→j→g（散射射线）

迷路入口处 g 点的散射辐射剂量率可以通过下面的估算模式进行估算：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (11\text{-}7)$$

式中，$\dot{H}_g$：g 点处散射辐射剂量率，μSv /h，本次计算保守按照 j 点处剂量率取值

$\dot{H}_0$：加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率，μSv•m^2/h

α_{ph}：患者 400cm^2 面积上的散射因子，计算时取 45°入射散射角的值

F：加速器有用线束在等中心处的最大治疗野面积，计算时取 40×40cm^2

α_2：混凝土墙入射的患者散射辐射的散射因子，通常取 i 处的入射角为 45°，散射角为 0°，α_2 值见附录 B 表 B.6.通常使用其 0.5 MeV 栏内的值

A：i 点处的散射面积，m^2

R_1：O-i 的距离，m

R_2：i-j 的距离，m

根据公式（11-7），代入相关参数，可以估算出患者散射 X 射线经屏蔽墙（i 点）二次散射后在迷道入口处（g 点）的辐射剂量率，计算结果见表 11-14。

表 11-14 加速器机房迷道口处的散射辐射剂量率（15MV，600cGy/min）

（3）防护门外泄露射线与散射射线辐射剂量率计算

加速器机房拟设 20mm 铅板+150mm 含硼聚乙烯板(5%) +1mm 铁锌合金钢板的防护门，在 15MV，600cGy/min 的工况下，机房入口 g 点处无防护门时泄漏辐射剂量率最大为 0.002μSv/h，g 点处散射辐射水平约为 81.8μSv/h，根据 GBZ/T 201.2 -2011 第 5.2.6.1，防护门外的辐射水平计算公式见公式（11-8），计算结果见表 11-15。

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-X/TVL} + \dot{H}_{og} \quad \text{……（11-8）}$$

式中，$\dot{H}$：防护门外辐射剂量率，μSv/h

$\dot{H}_g$：迷道口处散射辐射剂量率，μSv/h

$\dot{H}_{og}$：穿过迷路内墙的泄漏辐射在 g 处的剂量率

X：屏蔽物质厚度 cm

TVL：屏蔽物质的什值层厚度，m

表 11-15 防护门外辐射剂量率计算结果

[redacted]						
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]						

由理论估算结果可知，在 15MV，600cGy/min 的工况下，加速器机房防护门拟设铅板厚度能够满足配置的加速器防护要求。

（4）中子辐射

1）总中子注量率（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。总中子注量率计算采用公式（11-9）进行计算：

[redacted]

2）机房入口的中子剂量率（$\dot{H}_n$）

机房内的中子经迷道散射后，在机房入口门外 30cm（g）处无防护门时的剂量率采用公式（11-10）进行计算：

[redacted]

[redacted]

3）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点）无防护门时的中子俘获γ射线的剂量率采用公式（11-11）进行计算：

[redacted]

4）入口门屏蔽（$\dot{H}$）

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%）聚乙烯屏蔽，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按下式计算：

[redacted]

[redacted]

5）机房入口辐射剂量预测计算结果

机房入口辐射剂量预测计算参数及计算结果见表 11-16。

表 11-16 机房入口辐射剂量预测计算参数及计算结果

[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	
[redacted]	

[redacted]

根据上述结果可知，在 15MV，600cGy/min 工况下，1#加速器机房防护门能够满足拟配置的加速器防护要求，由此可推断出 2#-4#加速器机房防护门也能够满足拟配置的加速器防护要求。

1.1.8 加速器机房辐射防护评价

本项目加速器机房屏蔽墙、顶部及防护门外理论估算结果汇总见表 11-17、表 11-18。

表 11-17 本项目加速器机房屏蔽防护设计理论估算结果汇总表（10MV，2400cGy/min）

[redacted]

表 11-18 本项目加速器机房屏蔽防护设计理论估算结果汇总表（15MV，600cGy/min）

[redacted]

从表 11-17、表 11-18 中理论估算结果可以看出，在 10MV，2400cGy/min 和 15MV，

600cGy/min 的工况下，本项目加速器机房的治疗室屏蔽墙、屋顶及防护门的防护设计均能满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中的相关要求。

本项目 1#~4#加速器机房屏蔽防护设计一致且拟配备的加速器的 X 射线、电子线能量、距靶 1m 处剂量率等设备参数一致。因此，可推定 2#~4#加速器机房屏蔽防护设计必能够满足防护要求。

根据表 11-17 可知，在 10MV，2400cGy/min 的工况下，加速器防护门外的辐射剂量率约为 0.04μSv/h，当 1#、2#加速器机房共同运行时，3#、4#号加速器机房共同运行时，防护门外的叠加剂量率保守取 2 倍系数，即 0.08μSv/h，均能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中的相关要求。

根据表 11-18 可知，在 15MV，600cGy/min 的工况下，加速器防护门外的辐射剂量率约为 0.41μSv/h，当 1#、2#加速器机房共同运行时，3#、4#号加速器机房共同运行时，防护门外的叠加剂量率保守取 2 倍系数，即 0.82μSv/h，均能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中的相关要求。

1.1.9 加速器机房电子线治疗时防护评价

本项目加速器最大 X 射线能量为 15MV，电子线最大能量为 22MeV。由于电子束的穿透能力远小于 X 射线，对治疗 X 射线的屏蔽机房完全满足屏蔽电子束的要求。电子束治疗时，平均束流为 nA 量级，X 射线治疗时平均束流为μA 量级，治疗电子束所产生的韧致辐射远小于 X 射线治疗时的辐射，即使电子能量大于治疗 X 射线的最大能量，对屏蔽电子束的韧致辐射所需要的厚度也低于对 X 射线的屏蔽要求。

1.1.10 感生放射性的影响分析与评价

对于能量大于 10MV 的医用直线加速器，每次开机治疗时会产生感生放射性，它主要包括以下两个方面：①加速器结构材料的固态感生放射性：在加速器运行期间，由于有足够的结构屏蔽，由部件产生的感生放射性不会危害到屏蔽体外的人员。但当加速器停机后，人员进入机房会对人员造成一定的辐照危害。②气态感生放射性核素：加速器治疗室内的空气受到高能粒子照射时产生的感生放射核素（如 ^{11}C、^{13}N 和 ^{15}O 等）。参考《高能医用直线加速器感生放射性辐射场特点和防护研究》（职业与健康，2014 年 7 月第 30 卷第 13 期）中的表 2 和表 3：

表 11-19 15MV X 射线 600MU 不同照射野和不同时间机头感生放射性水平（μSv/h）

[redacted]											
[redacted]											
[redacted]											
[redacted]											
[redacted]											

表 11-20 15MV X 射线 600MU 机房内不同位置和不同时间感生放射性水平（μSv/h）

[redacted]						
[redacted]						
[redacted]						
[redacted]						
[redacted]						
[redacted]						
[redacted]						

从上述两个表可知，在加速器照射结束后短时间内会对进入治疗室的工作人员造成一定的辐射危害。因此，在保证放疗质量的同时，应使放疗工作人员所遭受的辐射剂量合理保持在可以做到的最低水平作为放疗防护的目标，可以从以下几个方面减少其对工作人员造成的危害：

①做好个人防护，佩戴好口罩；

②提高摆位效率，缩短滞留机房时间；

③待第一位病人治疗结束后，第二位病人可合理推迟进入治疗室（最少 5min 后再进入治疗室）；

④加强加速器室内通风，减少加速器室内空气中感生放射性核素的含量。

1.1.11 通风系统及电缆沟辐射防护评价

根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189 指出：“迷道的屏蔽计算是比较复杂的。一种简易的安全的估算方法，是使辐射在迷道中至少经过三次以上散射才能到达出口处。”加速器机房送风管道及排风管道拟安装于治疗室天花板内，沿屏蔽墙体从迷路门上方进出。开机时产生的 X 射线在排风管道和进风管道内至少经过 3 次散射后到达出口，能够满足辐射防护要求。

加速器机房电缆线布设采用了地下“U”型穿墙管道，管道埋地深约 40cm，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

1.1.12 防护门门缝辐射防护评价

本项目各加速器机房防护门与墙体重叠部分不小于防护门与墙体缝隙宽度的 10 倍，射线经过多次散射后才能出门缝隙，可推断各加速器机房防护门缝隙处的辐射剂量率均能够满足标准要求。

1.1.13 辐射工作人员和公众年有效剂量评价

本项目单台加速器年开机治疗时间不超过 600 小时，项目运行后工作人员位于加速器控制室内，工作人员及公众年有效剂量可通过下式进行估算，根据公式（11-13）估算辐射工作人员及机房外 30cm 处公众年有效剂量结果见表 11-21。

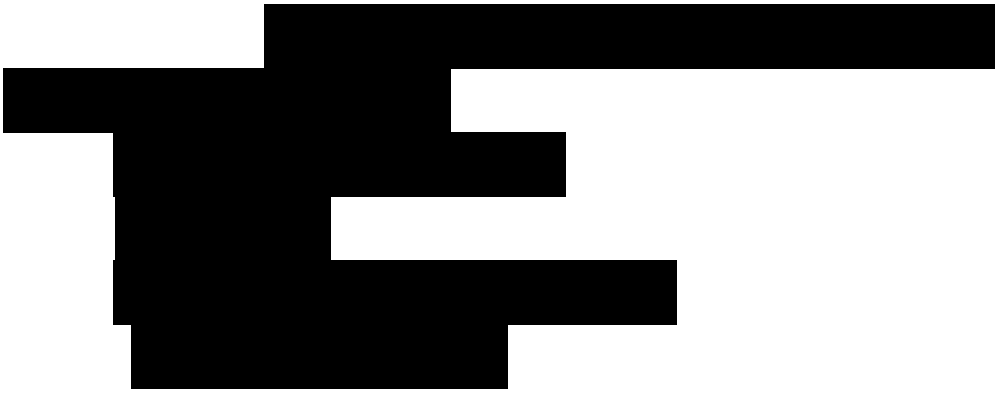
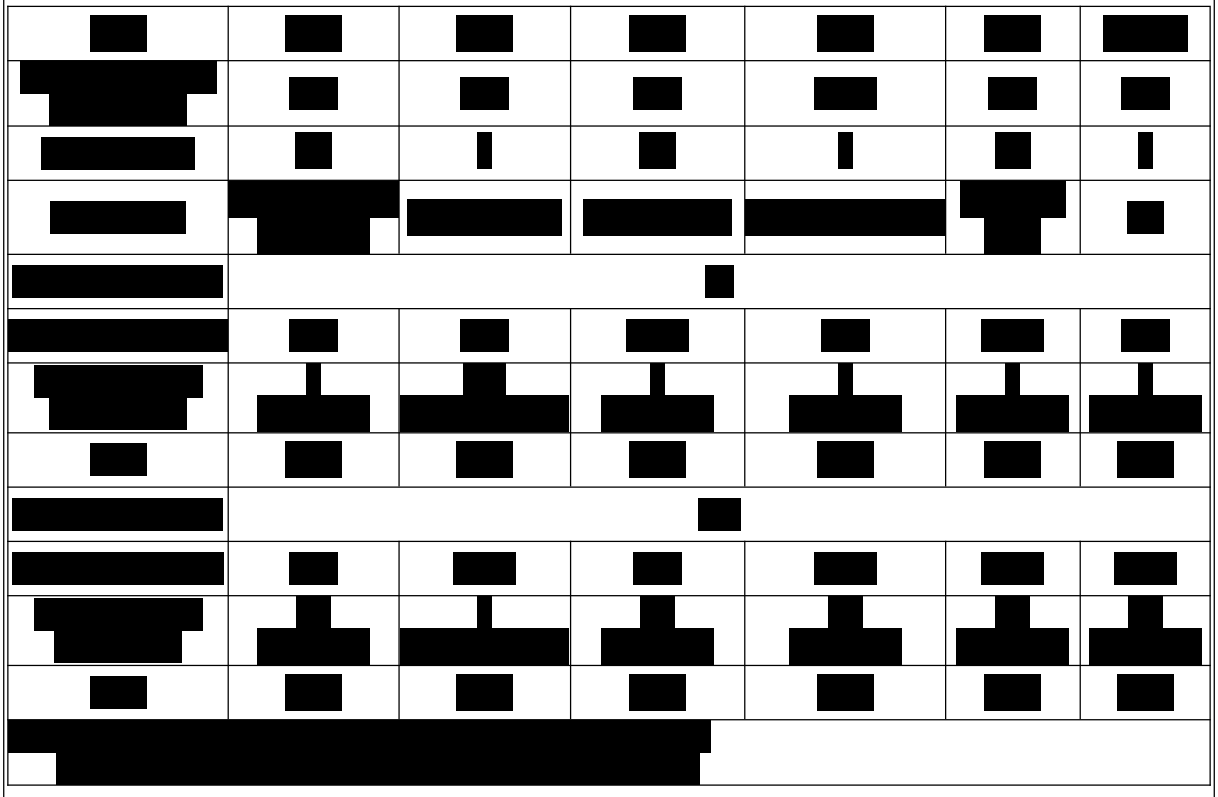


表 11-21 辐射工作人员及机房周围公众年有效剂量计算结果



从上表可知，本项目加速器项目运行后，工作人员年有效剂量约为 0.006mSv，机房为 30cm 处公众最大为 0.062mSv，能够满足本项目管理目标剂量约束值要求：

辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv，公众照射年有效剂量不超过 0.1mSv。

1.2 后装机项目辐射环境影响分析

1.2.1 参考点选取

本项目采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中推荐的后装治疗机房的计算方法进行理论计算。后装机在治疗室的摆放位置见图 11-2，图中红色实线区域为治疗源的使用区域，后装机出源点 O_1 距墙外参考点 a、d 距离最近，出源点 O_2 距墙外参考点 b、k 距离最近，出源点 O_4 距墙外参考点 c 距离最近，此时治疗室外参考点剂量率最大。当后装机出源点位于 O_3 位置时，后装机造成治疗室入口散射剂量率最大。

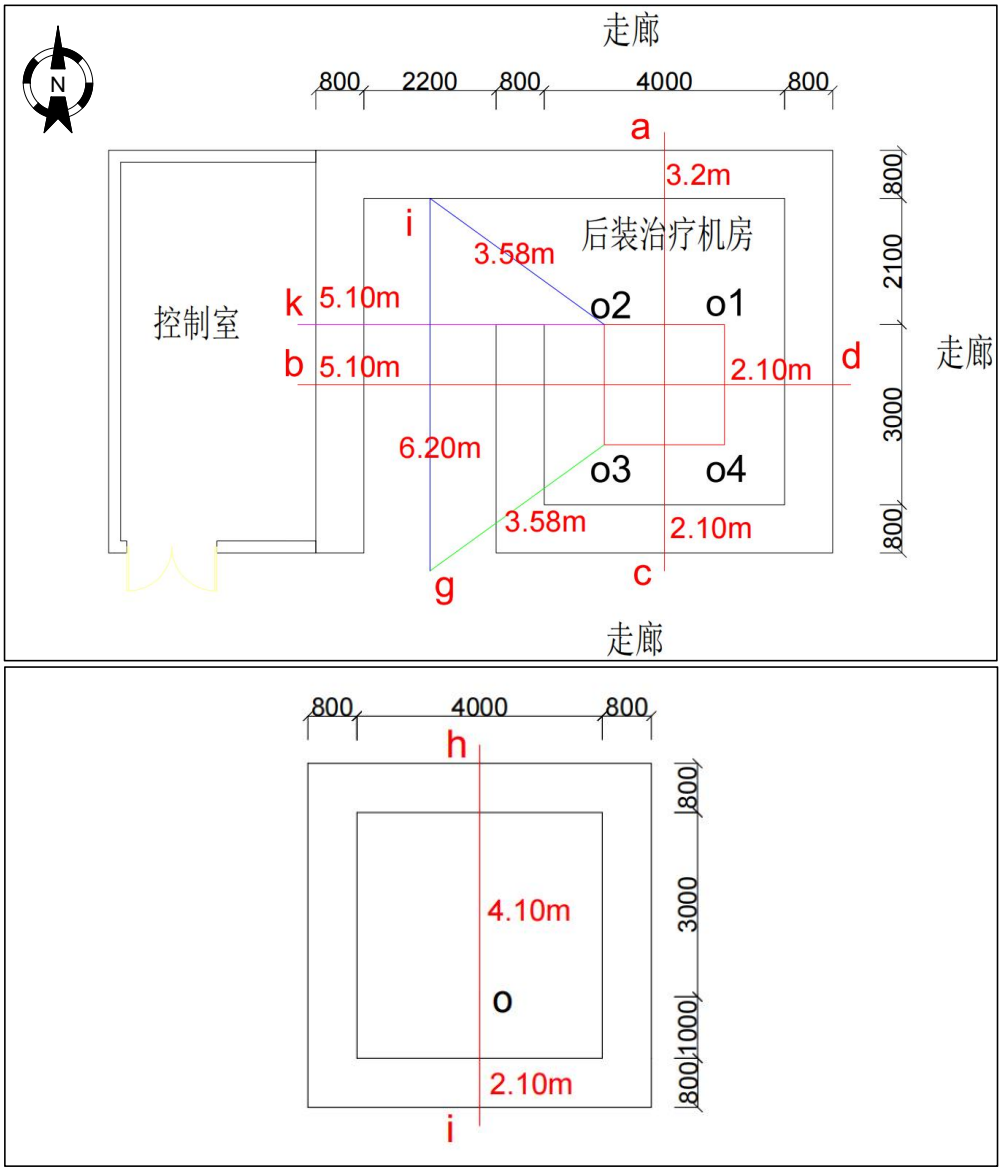


图 11-2 后装机房参考点位选取图

1.2.2 计算结果评价

（1）初级辐射屏蔽厚度与剂量估算

[redacted]

以上公式中计算参数和计算结果见表 11-22。

表 11-22 后装机治疗室墙体和屋顶防护计算

[redacted]							
[redacted]							
[redacted]							
[redacted]							
[redacted]							
[redacted]							

（2）治疗室入口屏蔽厚度与剂量估算

治疗源在 O_2 点发射的γ射线（即初级辐射）通过迷路散射至治疗室入口 g 产生的散射辐射剂量率$\dot{H}$，采用 GBZ/T 201.3-2014 中计算。



将以上参数代入公式（11-18），可计算得治疗源在 O_2 点发射的γ射线（即初级辐射）通过迷路散射至治疗室入口 g 产生的散射辐射剂量率$\dot{H}$为 24.51μSv/h。

穿透过迷路内墙的γ射线在 g 点处的辐射影响保守取治疗源在 O_3 点时进行估算，O_3 点距 g 点处的距离取 3.58m，迷道内墙的有效屏蔽厚度保守取 80cm，通过计算可得出治疗源在 O_3 点时，穿透过迷路内墙的γ射线在 g 点处的辐射剂量率为 0.017μSv/h。

治疗室入口屏蔽前的总剂量率为 24.51μSv/h+0.017μSv/h=24.527μSv/h，治疗室入口处设置有含 10mmPb 的防护门，根据（GBZ/T 201.3-2014）中附录 F 可知，在 g 处的散射辐射能量约为 0.2MeV，铅的 TVL_1=TVL 为 5mm，可计算得到 $B=1.0\times10^{-2}$，则经过治疗室入口防护门的屏蔽，门外剂量率将降低至 0.25μSv/h，小于周围剂量当量率参考控制水平 10μSv/h 的要求。

1.2.3 通风系统及电缆沟辐射防护评价

根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189 指出：“迷道的屏蔽计算是比较复杂的。一种简易的安全的估算方法，是使辐射在迷道中至少经过三次以上散射才能到达出口处。”后装机房送风管道及排风管道拟安装于治疗室天花板内，沿屏蔽墙体从迷路门上方进出。开机时产生的 X 射线在排风管道和进风管道内至少经过 3 次散射后到达出口，能够满足辐射防护要求。

后装机房电缆线布设采用了地下“U”型穿墙管道，管道埋地深约 20cm，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

综上所述，本项目在后装机出源治疗时，后装机治疗室墙体、顶、防护门外各关注点处剂量率估算值最大为 0.25μSv/h，能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）的要求。

1.2.4 防护门门缝辐射防护评价

本项目后装机房防护门与墙体重叠部分不小于防护门与墙体缝隙宽度的 10 倍，射线经过多次散射后才能出门缝隙，可推断后装机房防护门缝隙处的辐射剂量率能够满足标准要求。

1.2.5 首次装源、换源辐射环境影响分析

新购置的后装机是与放射源分开的，首次购买的放射源放置在 25mm 铅当量的储源罐中由放射源生产厂家运至医院后装机治疗室内，并由后装机生产厂家的工程师进行倒源和调试。

放射源 ^{192}Ir 的半衰期为 74 天，一般每年需要更换 2 次 ^{192}Ir 放射源。换源时，首先由放射源生产厂家将新源运至医院后装机治疗室内，由后装机生产厂家的工程师在后装机治疗室内进行换源、调试，本项目辐射工作人员仅在治疗室外负责辅助协调工作。后装机换源过程大约需要 30min，而根据后装机在出源治疗和贮源状态时治疗室外各关注点处辐射剂量率最大为 0.25μSv/h，该过程所致本项目辐射工作人员和周围公众的年有效剂量最大为 0.00025mSv，可忽略不计。

1.2.6 保护目标剂量评价

（1）辐射工作人员年有效剂量评价

①摆位及解除摆位过程所致辐射工作人员年有效剂量

根据《后装γ源近距离治疗放射防护要求》（GBZ 121-2017）中第 4.2.2 条“工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，因泄漏

辐射所致周围剂量当量率不大于 50μSv/h；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”。

本项目后装机每天治疗人数最大约为 20 人，年门诊量最大为 1000 人，工作人员摆位时距后装机约 1m，每位患者摆位时间约为 1min，解除摆位时间约为 1min，则辐射工作人员摆位及解除摆位过程所致年有效剂量约为 0.17mSv（辐射剂量率取 5μSv/h，居留因子取 1）。

②治疗过程所致辐射工作人员年有效剂量

本项目单名患者需照射治疗 6~10min，年门诊量最大为 1000 人，出源治疗时控制室内的辐射剂量率为 0.008μSv/h，则出源治疗过程所致辐射工作人员年有效剂量为 0.001mSv。

综上所述，本项目辐射工作人员年有效剂量最大约为 0.05mSv，满足本项目职业人员年有效剂量≤5mSv/a 的管理目标。

（2）周围公众年有效剂量评价

根据后装机出源治疗时，治疗室外各关注点处的辐射剂量率最大为 0.25μSv/h（防护门外），年出源治疗时间 t 取 166.7h（1000 人×10min/60），居留因子取 1/8，则本项目周围公众年有效剂量最大小于 0.005mSv，本项目周围公众年有效剂量能够满足本项目公众年有效剂量不大于 0.1mSv 的管理目标。

综上所述，本项目在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员和公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和本项目剂量约束值（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）的要求。

1.3 CT 模拟定位机项目

医院拟于综合楼负一层放疗科南侧两间 CT 模拟机房内开展 CT 模拟定位项目，两间 CT 模拟机房尺寸防护均一致，本项目取 1#CT 模拟定位机房进行屏蔽核算，机房四侧墙体均拟采用 240mm 实心砖+2mmPb（约 4.0mmPb），顶部拟采用 180mm 混凝土+2mmPb 铅板（约 4.0mmPb），底部拟采用 120mm 混凝土+2mmPb 铅板（约 3.5mmPb），防护门和观察窗均为 3.5mmPb。本项目 CT 模拟定位机型号未定，扫描过程中 CT 最大工况为 140kV、300mA，根据《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）P448 的能量散射公式计算一次散射能量与初级能量的比值，140kV 射线经过一次散射后能量约为 109.9kV，本项目取 110kV、300mA 计算。

根据《辐射防护手册（第一分册）》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）：

泄漏辐射影响采用下述公式计算：

[redacted]

将 CT 模拟机房屏蔽体的厚度 X、有关的拟合参数α、β、γ值代入公式（11-20），计算相应的散射辐射屏蔽透射因子值，列于表 11-23。

表 11-23 1#CT 模拟机房屏蔽体的散射屏蔽透射计算结果

屏蔽体		等效铅当量（mm）	B_S
1#CT 模拟机房	东墙、南墙、西墙、北墙	4.0	1.12E-05
	顶部	4.0	1.12E-05
	地板	3.5	3.72E-05
	西侧、北侧防护门	3.5	3.72E-05
	观察窗	3.5	3.72E-05

表 11-24 1#CT 模拟机房屏蔽体的漏射屏蔽透射计算结果

屏蔽体（设施）		等效铅当量（mm）	B_S
1#CT 模拟机房	东墙、南墙、西墙、北墙	4.0	1.50E-05
	顶部	4.0	1.50E-05
	地板	3.5	4.33E-05
	西侧、北侧防护门	3.5	4.33E-05
	观察窗	3.5	4.33E-05

CT 模拟定位机开机过程中泄漏辐射和散射辐射根据公式（11-19）~公式（11-21）进行计算，预测结果分别见表 11-25、表 11-26。

表 11-25 1#CT 模拟机房散射辐射参考点辐射水平估算结果

表 11-26 1#CT 模拟机房泄漏辐射参考点辐射水平估算结果

	H_i			$\dot{H}_L$

表 11-27 1#CT 模拟机房散射辐射及泄漏辐射叠加辐射水平估算结果（μSv/h）

根据表 11-27 理论估算结果可知，在开展模拟定位扫描过程中，CT 模拟机房外剂量当量率最大为 1.684μSv/h，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中 CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h 的要求。

2 核医学科项目辐射环境影响评价

2.1 核医学科负一层 PET/CT 和 SPECT 项目辐射环境影响分析

2.1.1 使用放射性核素的辐射防护效果预测与评价

。

本项目主要分析核素在注射过程、注射后病人候诊和扫描过程中对辐射工作人员和周围公众的辐射环境影响，预测结果见表 11-28、表 11-29。

表 11-28 PET/CT 项目周围参考点辐射水平估算结果



注：①药物至于 20mm 铅罐中，铅罐放置分装柜中。

②参考点 1：r=0.75m（药物距离分装柜外表面约 0.45m，参考点分装柜外表面 30cm）

参考点 2：r=0.6m（医生给病人注射时距离药物和病人约 0.3m，参考点注射窗外表面 30cm）

参考点 3：r=1m（指导摆位时医生距离扫描床约 1m）

参考点 4、7：r=5.04m（取病人距离墙约 4.5m，屏蔽墙厚 0.24m，参考点距离墙、门外 0.3m）

参考点 5、6、8：r=4.3m（取病人距离墙约 3.76m，屏蔽墙厚 0.24m，参考点距离墙、门外 0.3m）

参考点 9、15：r=4.65m（病人距离屋顶约 4.17m，顶部墙厚约 0.18m，参考点距离墙外 0.3m）

参考点 10、16：r=5.92m（病人距离本层地面取 1m，屏蔽墙厚 0.12m，底部距离下层参考点约 6.5m-1.7m=4.8m）

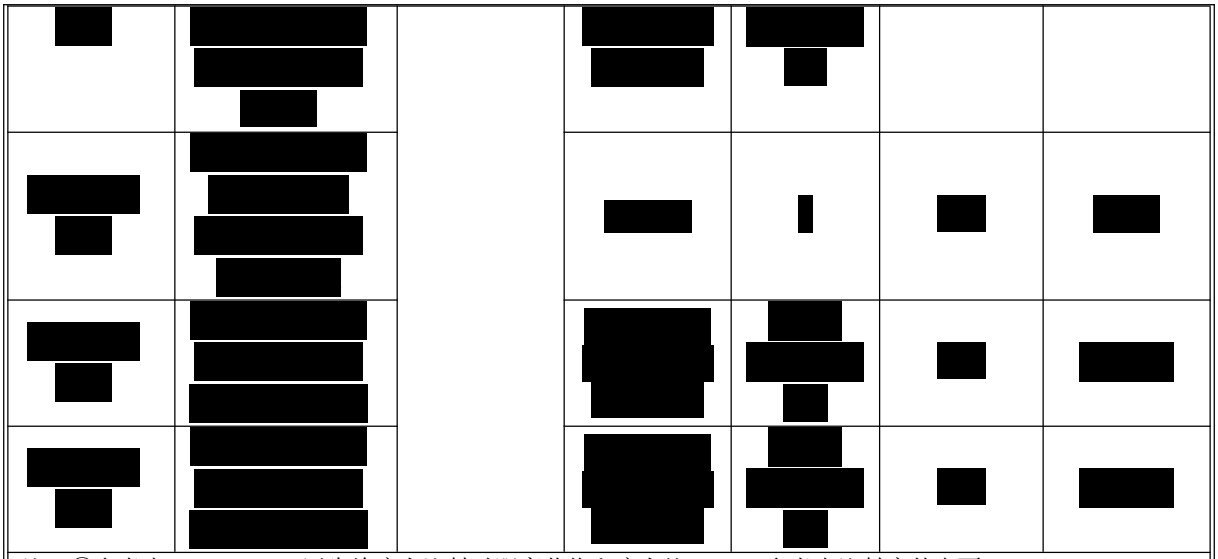
参考点 11、12：r=3.54m（取病人距离墙约 3m，屏蔽墙厚 0.24m，参考点距离墙、门外 0.3m）

参考点 13：r=4m（取病人距离墙约 2m，屏蔽墙厚 1.7m，参考点距离墙、门外 0.3m）

参考点 14：r=2.04m（取病人距离墙约 1.5m，屏蔽墙厚 0.24m，参考点距离墙、门外 0.3m）

表 11-29 SPECT 项目周围参考点辐射水平估算结果





注：①参考点 1：r=0.6m（医生给病人注射时距离药物和病人约 0.3m，参考点注射窗外表面 30cm）
参考点 2：r=1m（指导摆位时医生距离扫描床约 1m）
参考点 3、4、5：r=2.29m（保守取 D-SPECT 机房内南北侧距离：病人距离墙约 1.75m，屏蔽墙厚 0.24m，参考点距离墙、门外 0.3m）
参考点 6：r=3.14m（保守取 D-SPECT 机房内东西侧距离：取病人距离墙约 2.6m，屏蔽墙厚 0.24m，参考点距离墙、门外 0.3m）
参考点 7、13：r=4.65m（病人距离屋顶约 4.17m，顶部墙厚约 0.18m，参考点距离墙外 0.3m）
参考点 8、14：r=5.92m（病人距离本层地面取 1m，屏蔽墙厚 0.12m，底部距离下层参考点约 6.5m-1.7m=4.8m）
参考点 9、10：r=2.54m（取病人距离墙约 2m，屏蔽墙厚 0.24m，参考点距离墙、门外 0.3m）
参考点 11：r=4m（取病人距离墙约 2m，屏蔽墙厚 1.7m，参考点距离墙、门外 0.3m）
参考点 12：r=2.84m（取病人距离墙约 2.3m，屏蔽墙厚 0.24m，参考点距离墙、门外 0.3m）
参考点 15、16、17：r=3.14m（取病人距离墙约 2.6m，屏蔽墙厚 0.24m，参考点距离墙、门外 0.3m）

2.1.2 PET/CT 和 SPECT/CT 泄漏辐射和散射辐射防护效果预测与评价

2.1.2.1 与标准对照预测

本项目 SPECT/CT 机房及 PET/CT 机房辐射防护屏蔽设计参数与标准对比见表 11-30。

表 11-30 本项目屏蔽设计参数与标准对照表

机房	本项目拟建机房参数		标准要求（CT）	是否满足要求
PET/CT 机房	设计尺寸	有效使用面积：51.8m²	30m²	满足
		最小单边长度：6.51m	≥4.5m	满足
	屏蔽设计	四周墙体：24cm 实心砖+6mmPb 屏蔽材料（约 8mmPb）	≥2.5mmPb	满足
		顶棚：18cm 混凝土+6mmPb 屏蔽材料（约 8mmPb）	≥2.5mmPb	满足
		地面：12cm 混凝土+6mmPb 屏蔽材料（约 7mmPb）	≥2.5mmPb	满足
		防护门：8mmPb	≥2.5mmPb	满足
		观察窗：8mmPb	≥2.5mmPb	满足
SPECT/CT 机房	设计尺寸	有效使用面积：54.3m²	30m²	满足
		最小单边长度：6.76m	≥4.5m	满足

	屏蔽设计	四周墙体：24cm 实心砖+3mmPb 屏蔽材料（约 5mmPb）	≥2.5mmPb	满足
		顶棚：18cm 混凝土+3mmPb 屏蔽材料（约 5mmPb）	≥2.5mmPb	满足
		地面：12cm 混凝土+3mmPb 屏蔽材料（约 4mmPb）	≥2.5mmPb	满足
		防护门：4mmPb	≥2.5mmPb	满足
		观察窗：4mmPb	≥2.5mmPb	满足
注：砖密度为 1.65t/m^3；混凝土密度为 2.35t/m^3；铅玻璃密度为 4.68t/m^3；铅密度为 11.3t/m^3。				

根据表 11-30 可知，本项目 SPECT/CT 机房及 PET/CT 机房各侧墙体及门窗的屏蔽设计满足 GBZ 130-2020 标准中的关于 CT 机房的铅当量厚度要求，且机房的有效使用面积和最小单边长度也能够满足 GBZ 130-2020 标准中的相关要求，因此本项目 SPECT/CT 机房及 PET/CT 机房的屏蔽防护设计能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“CT 机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h”的要求。

2.1.2.2 理论预测

本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 在开机过程中需要考虑泄漏辐射和散射辐射。SPECT/CT 及 PET/CT 型号均未定，扫描过程中 CT 最大工况均为 140kV、200mA，根据《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）P448 的能量散射公式计算一次散射能量与初级能量的比值，140kV 射线经过一次散射后能量约为 109.9kV，本项目取 110kV、200mA 计算。

利用公式（11-20）对 PET/CT 和 SPECT/CT 机房的散射辐射屏蔽透射因子进行计算，列于表 11-31。

将相关参数代入公式（11-19）~公式（11-21）计算得到 PET/CT 和 SPECT/CT 泄漏辐射和散射辐射结果，见表 11-32 至表 11-37。

表 11-31 PET/CT 和 SPECT/CT 机房屏蔽体的屏蔽透射因子计算结果

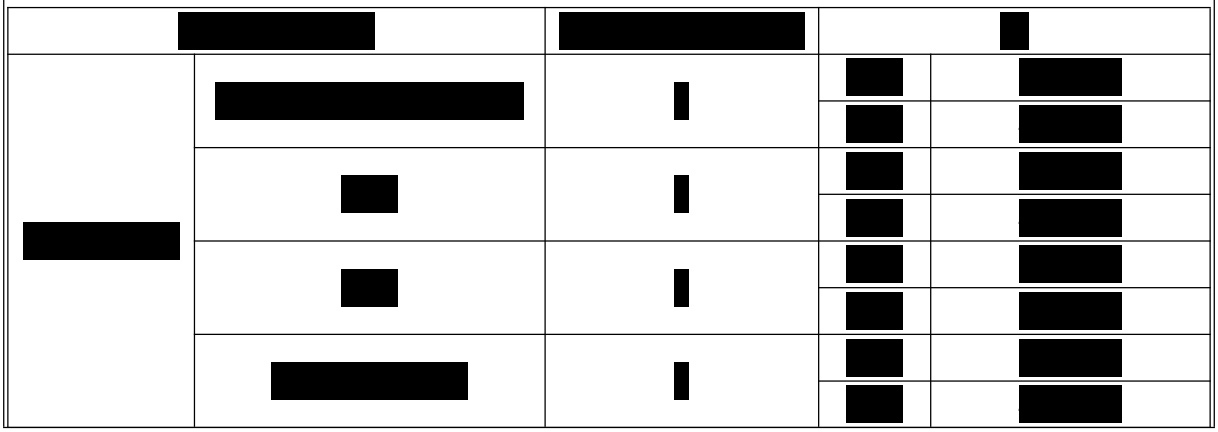


表 11-32 PET/CT 机房散射辐射参考点辐射水平估算结果

表 11-33 PET/CT 机房泄漏辐射参考点辐射水平估算结果

	H_l			$\dot{H}_L$

表 11-34 SPECT/CT 机房散射辐射参考点辐射水平估算结果

表 11-35 SPECT/CT 机房泄漏辐射参考点辐射水平估算结果

	H_l			$\dot{H}_L$

表 11-36 PET/CT 机房散射辐射及泄漏辐射叠加辐射水平估算结果（μSv/h）

表 11-37 SPECT/CT 机房散射辐射及泄漏辐射叠加辐射水平估算结果（μSv/h）

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

根据理论估算结果可知：

（1）在 PET/CT 项目开展过程中分装柜表面 30cm 剂量当量率为 1.37μSv/h；注射窗表面 30cm 剂量当量率为 2.29μSv/h；控制区内人员可到达屏蔽体外表面 30cm 处剂量当量率最大为 2.10μSv/h；控制区外人员可到达屏蔽体外表面 30cm 处剂量当量率最大为 0.94μSv/h；考虑放射性同位素和 CT 共同辐射影响后，PET/CT 机房外剂量当量率最大为 0.94μSv/h。综上所述，PET/CT 相关工作场所屏蔽能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中剂量当量率限值的要求。

（2）根据理论估算结果可知，在 SPECT 项目开展过程中注射窗表面 30cm 处剂量当量率均小于 0.001μSv/h；控制区内人员可到达屏蔽体外表面 30cm 处剂量当量率最大为 0.20μSv/h；控制区外人员可到达屏蔽体外表面 30cm 处剂量当量率均小于 0.001μSv/h；考虑放射性同位素和 CT 共同辐射影响后，SPECT 机房外剂量当量率最大为 1.045μSv/h。综上所述，SPECT 相关工作场所屏蔽能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中剂量当量率限值的要求。

根据理论估算结果可知，在穿戴铅衣情况下负责指导病人摆位的医护人员有一定的外照射影响（其中 PET/CT 为 49.36μSv/h，SPECT 为 8.86μSv/h），建议医院为指导摆位的医务人员配备铅屏风，以降低其辐射影响。

2.1.3 辐射工作人员和公众剂量估算

根据预测的各参考点处辐射剂量率，结合工作时间，辐射工作人员和公众停留概率，根据公式（11-13）即可得到各参考点处公众及工作人员的年受照剂量，见下表：

表 11-38 PET/CT 项目辐射工作人员和周围保护目标年有效剂量

[redacted]						
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]		[redacted]

[redacted]

表 11-39 SPECT 项目辐射工作人员和周围保护目标年有效剂量

[redacted]

2.2 核医学科一层甲癌治疗项目辐射环境影响分析

2.2.1 辐射防护效果预测与评价

医院拟根据患者情况提前向供货商订购 ^{131}I 放射性药物，供货商将当天订购的 ^{131}I 药物送至治疗中心服药室内。本项目甲癌治疗时单名病人药物用量一般约为 150mCi。本项目主要分析 ^{131}I 病人服药及服药后病人住院过程中对辐射工作人员和周围公众的辐射环境影响。五间病房中核素病房 05 尺寸最小，因此在进行预测时，选取核素病房 05、给药室周围参考点进行预测，每个病人用药量取 150mCi（5.55×10^{9}Bq），根据公式（11-23）可估算出各参考点处的辐射水平，预测结果见表 11-40。

表 11-40 甲癌治疗项目周围参考点辐射水平估算结果

[redacted]

[redacted]						
[redacted]						
[redacted]						
[redacted]						
[redacted]						
[redacted]						
[redacted]						
[redacted]						

注：①参考点 1：r=0.75m（药物距离分装柜外表面约 0.45m，参考点分装柜外表面 30cm）；
参考点 2：r=0.6m（药品摆放位置距离给药窗约 0.3m，参考点距给药窗外表面 30cm）
参考点 3、8：r=4.77m（病人距离屋顶约 4.17m，顶部墙厚约 0.3m，离墙外 0.3m）
参考点 4、7：r=4.2m（取病人距离防护门、墙约 3.66m，屏蔽墙厚 0.24m，参考点距离墙、门外 0.3m）
参考点 5：r=3.0m（取病人距离墙约 2.46m，屏蔽墙厚 0.24m，参考点距离墙、门外 0.3m）
参考点 6：r=2.9m（取病人距离墙约 2.36m，屏蔽墙厚 0.24m，参考点距离墙、门外 0.3m）
参考点 9：r=5.48m（病人距离本层地面取 1m，屏蔽墙厚 0.18m，底部距离下层参考点约 6m-1.7m=4.3m）

根据理论估算结果可知，在甲癌治疗项目开展过程中分装柜表面 30cm 剂量当量率为 0.68μSv/h；控制区内人员可到达屏蔽体外表面 30cm 处剂量当量率最大为 2.31μSv/h；控制区外人员可到达屏蔽体外表面 30cm 处剂量当量率最大为 0.81μSv/h。综上所述，甲癌治疗项目相关工作场所屏蔽能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中剂量当量率限值的要求。

2.2.2 辐射工作人员和公众剂量估算

对于甲癌治疗项目，本项目采用自动分装仪进行分装，辐射工作人员不需进行分装，因此，该项目过程中辐射工作人员几乎不会受到辐射影响。

医院开展 ^{131}I 甲癌治疗项目时，项目年运行约 350 天即 50 周。根据公式（11-13）可估算得到其周围保护目标年剂量，见表 11-41。

表 11-41 甲癌治疗项目周围保护目标所受年剂量值

[redacted]		[redacted]				
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]						

2.3 核医学科辐射工作人员及公众年有效剂量汇总

根据上述理论预测，得到核医学科各场所的辐射工作人员及公众汇总表见下表11-42。

表 11-42 本项目各场所辐射工作人员及公众年有效剂量汇总表

场所		辐射工作人员（mSv/a）		公众（mSv/a）
		年有效剂量	叠加	最大年有效剂量
核素显像诊断	PET/CT 注射	0.14	14.86	0.02
	PET/CT 摆位	6.17		
	PET/CT 操作	2.35		
	SPECT 注射	＜0.001		0.096
	SPECT 摆位	1.85		
	SPECT 操作	4.35		
核素治疗	/			0.05

根据上表可知，核医学科核素显像诊断场所辐射工作人员年有效剂量为14.86mSv，医院拟为核素显像诊断场所 PET/CT、SPECT 项目配备约 25 人，计划采取轮岗制，则估算核医学科辐射工作人员年有效剂量为 0.59mSv；对于核医学科核素治疗项目，本项目采用自动分装仪进行分装，辐射工作人员不参与分装，因此，该项目过程中辐射工作人员几乎不会受到辐射影响。综上所述，辐射工作人员年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和本项目管理目标（职业人员年有效剂量不超过 5mSv）的剂量限值要求。

根据上表可知，公众的年有效剂量最大为 0.096mSv，其年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和本项目管理目标（公众年有效剂量不超过 0.1mSv）的剂量限值要求。

综上所述，本项目在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员和公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和本项目管理目标（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）的剂量限值要求。

2.4 衰变池环境影响分析

本项目计算衰变池对外环境的辐射影响时，参照公式（11-23），从保守角度考虑，将衰变池内放射性废水的源强按照点源进行计算，其参考点处的辐射水平计算结果见表 11-43。

表 11-43 核医学科衰变池外辐射水平估算结果

[redacted]

由表可知，衰变池外周围辐射剂量率最大为 1.55μSv/h，能够满足《核医学辐射

防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中剂量当量率限值的要求。

2.5 放射性废水管道外环境影响分析

本项目核医学科设有两个衰变池，其中甲癌治疗产生的放射性废水排入 1#衰变池，PET/CT、SPECT 工作中产生的放射性废水排入 2#衰变池。排水管道采用地面板下敷设、顶板下敷设和降板区覆土内敷设，核医学科药物使用过程中产生的废水、患者在等候和住院所产生废水中所含放射性药物量很少，并使用 3mm 铅皮包裹。本项目计算放射性废水管道对外环境的辐射影响时，参照辐射防护导论 P78 公式（c）及公式（11-24），其参考点处的辐射水平计算结果见表 11-44。

[redacted]

$2r$

[redacted]

表 11-44 核医学科放射性废水排放管道外辐射水平估算结果

[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	Γ_K [redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]							

由表 11-44 可知，在本次预测条件下，本项目核医学科放射性废水管道外周围辐射剂量率约为 0.20μSv/h，能够确保其外表面 30cm 处的剂量当量率小于 2.5μSv/h，排水管道屏蔽防护能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中剂量当量率限值的要求。

3 DSA 项目辐射环境影响分析

3.1 与标准对照预测

本项目 DSA 手术室尺寸、最小单边长度、有效使用面积及屏蔽参数见表 11-45。

表 11-45 DSA 手术室辐射防护屏蔽参数一览表

机房名称	设计参数		GBZ 130-2020 要求	评价
1#DSA 手术室	最小单边长度	6.6m	3.5m	满足
	有效使用面积	6.6×7.8≈51.5m^2	20m^2	满足
	四周墙体：24cm 实心砖+2mmPb 防护涂料 顶部：12cm 混凝土+2mmPb 防护涂料 底部：18cm 混凝土+2mmPb 防护涂料 防护门：3mmPb，观察窗：3mmPb 铅玻璃		2mmPb	满足
2#、3#DSA 手术室	最小单边长度	5.6m	3.5m	满足
	有效使用面积	5.6×9.0=50.4m^2	20m^2	满足
	四周墙体：10cm 轻钢龙骨+3mmPb 防护涂料 顶部：12cm 混凝土+2mmPb 防护涂料 底部：18cm 混凝土+2mmPb 防护涂料 防护门：3mmPb，观察窗：3mmPb 铅玻璃		2mmPb	满足
4#DSA 手术室	最小单边长度	7.6m	3.5m	满足
	有效使用面积	7.6×12.0=91.2m^2	20m^2	满足
	四周墙体：10cm 轻钢龙骨+3mmPb 防护涂料 顶部：12cm 混凝土+2mmPb 防护涂料 底部：18cm 混凝土+2mmPb 防护涂料 防护门：3mmPb，观察窗：3mmPb 铅玻璃		2mmPb	满足

根据上表可知，本项目 DSA 手术室的有效使用面积、最小单边长度及屏蔽防护均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中 C 形臂 X 射线设备机房的相关要求即屏蔽铅当量不少于 2mm，最小单边长度不少于 3.5m，有效使用面积不少于 20m^2。因此可推断机房周围环境辐射水平能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h”的要求。

3.2 理论计算

根据表 11-45 可知，本项目 2#、3#、4#DSA 手术室屏蔽防护一致，其中 2#、3#DSA 手术室单边长度最小，因此选取 2#DSA 手术室进行分析。1#DSA 手术室墙体采用 24cm 实心砖+2mmPb 防护涂料，2#DSA 手术室墙体采用 10cm 轻钢龙骨+3mmPb 防护涂料，其余屏蔽防护均一致，根据表 11-48 可知，24cm 实心砖等效铅当量为 2.3mmPb，则 1#DSA 手术室四侧墙体防护铅当量为 4.3mmPb，因 2#手术室面积小于 1#手术室且四侧墙体屏蔽防护小于 1#DSA 手术室，其余防护均一致，则若 2#DSA 手术室屏蔽能够

满足要求，则其余手术室屏蔽均能够满足要求，因此本项目选取 2#DSA 手术室进行辐射影响预测。本项目的辐射影响构成情况见表 11-46。

表 11-46 本项目 DSA 设备有用线束及非有用线束的辐射影响构成情况

操作模式		正常运行时最大工况	射线种类	辐射影响对象
有用线束	拍片模式	80kV/500mA	有用线束	手术室顶部外公众
	透视模式	80kV/20mA	有用线束	手术室顶部外公众
非有用线束	拍片模式	80kV/500mA	泄漏射线	手术室外公众、控制室操作人员
	透视模式	80kV/20mA	散射线、泄漏射线	手术室外公众、控制室操作人员；手术室内介入治疗操作人员

（1） 本项目各屏蔽部位的铅当量厚度核算

由表 11-45，本项目使用的屏蔽材料除铅以外，还涉及混凝土、实心砖等。本项目按最大管电压 125kV 核算手术室各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。

[redacted]

由 GBZ 130-2020 中表 C.2、表 C.3 查取 125kV 管电压工况下 X 射线（主束）辐射衰减的有关的拟合参数，列于表 11-47。

表 11-47 125kV 管电压工况下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	屏蔽材料	α	β	γ
125kV（主束）	铅	2.219	7.923	0.5386
	混凝土	0.03502	0.07113	0.6974

本项目手术室屏蔽部位涉及的 240mm 实心砖、120mm 混凝土，按公式（11-20）、公式（11-25）计算其屏蔽透射因子 B、铅当量厚度，计算结果列于表 11-48。

表 11-48 混凝土、实心砖屏蔽透射因子 B、铅当量厚度计算结果

屏蔽体	屏蔽透射因子 B	铅当量厚度（mmPb）
24cm 实心砖	3.94E-04	2.3
12cm 混凝土	3.22E-03	1.4

18cm 混凝土	3.94E-04	2.3

根据前述各屏蔽材料的等效铅当量厚度核算情况，可对 2#手术室屏蔽体等效铅当量进行汇总，结果见下表：

表 11-49 2#手术室屏蔽体等效铅当量厚度核算及其与标准要求对比

屏蔽体	屏蔽设计参数	等效铅当量	标准要求[1]	评价结果
四侧屏蔽墙[2]	10cm 轻钢龙骨+3mmPb 防护涂料	3.0mmPb	2mmPb	满足要求
顶棚[3]	12cm 混凝土+2mmPb 防护涂料	3.4mmPb	2mmPb	满足要求
地板[2]	18cm 混凝土+2mmPb 防护涂料	4.3mmPb	2mmPb	满足要求
防护门[2]	3mmPb	3.0mmPb	2mmPb	满足要求
观察窗[2]	3mmPb	3.0mmPb	2mmPb	满足要求
注：[1]为 GBZ 130-2020 表 3 要求；[2]：为非有用线束方向；[3]：为有用线束方向				

由表 11-49，本项目手术室屏蔽体的等效铅当量满足 GBZ 130-2020 表 3 关于有用线束方向、非有用线束方向铅当量均不小于 2.0mmPb 的要求。

（2）关注点处有用线束辐射空气比释动能率计算



表 11-50 关注点处有用线束辐射空气比释动能率计算结果

[redacted]

（3）关注点处散射辐射与泄漏辐射空气比释动能率计算

本项目 DSA 手术室外关注点处散射辐射空气比释动能率计算采用公式（11-19），泄露辐射空气比释动能率计算采用公式（11-21），从《用于光子外照射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）附录表 B2 查取，对于本项目 DSA 运行管电压 80kV 时，查取 K 值为 1.67，按前述 90°方向一次散射线能量对应的 kV 值为 70kV，K 值取 1.60。本项目 DSA 常用最大管电压约为 80kV，80kV 射线经过一次散射后的能量值约为 69.2kV，因此按 80kV 和 70kV 管电压从 NCRP 147 号报告中查取铅的 X 射线辐射衰减的有关的三个拟合参数 a、β、γ，具体见表 11-51。受照体至关注点距离结果见表 11-52，相应的散射辐射及漏射辐射屏蔽透射因子值分别见表 11-53 及表 11-54，透视模式下 2#DSA 手术室外公众、控制室操作人员、手术室内介入操作人员处散射辐射及漏射辐射空气比释动能率计算结果见表 11-55 及表 11-56。

表 11-51 铅对 70kV 管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
70kV	5.369	23.49	0.5883
80kV	4.040	21.69	0.7187

表 11-52 受照体至关注点的距离

关注点位置		受照体至关注点的距离 *ds*（m）
2#DSA 手术室	东墙	6.4
	南墙	3.1
	西墙	4.3
	北墙	4.4
	地板	3.5
	南侧防护门	4.1
	观察窗	6.3
2#DSA 手术室内	第一术者位置	0.5
	第二术者位置	1.0
注：四侧墙体、门窗的参考点取距外表面 0.3m 处，手术室地面下方取距楼下地面 1.7m 处。		

表 11-53 手术室屏蔽体、介入操作人员防护用品散射辐射屏蔽透射因子计算结果

[redacted]				
[redacted]				
[redacted]				

表 11-54 手术室屏蔽体、介入操作人员防护用品漏射辐射屏蔽透射因子计算结果

[redacted]				
[redacted]				
[redacted]				

表 11-55 关注点处散射辐射空气比释动能率计算结果

[redacted]								
[redacted]								

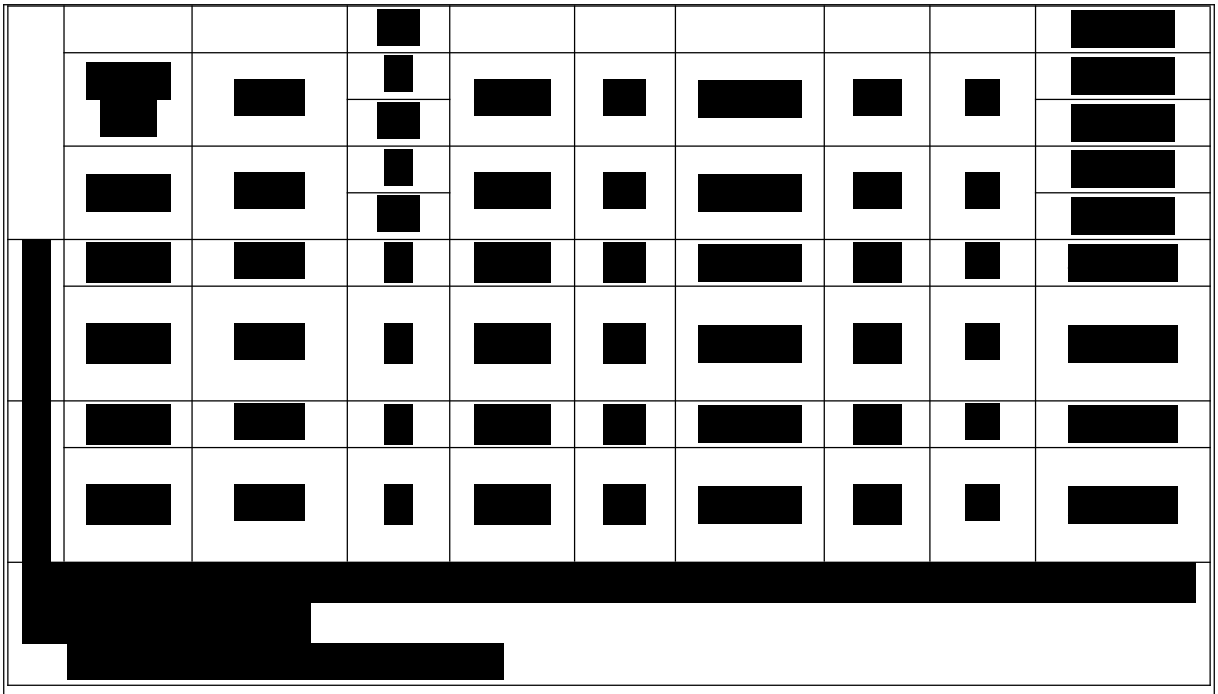


表 11-56 关注点处漏辐射空气比释动能率计算结果

根据表 11-50 可知，本项目手术室顶部外关注点的周围剂量当量率最大值为 0.32μSv/h，手术室散射辐射和泄漏辐射关注点处的周围剂量当量率及总剂量率见表 11-57。

表 11-57 本项目手术室散射辐射和泄漏辐射关注点处叠加剂量

[redacted]		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]		
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]		
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]		
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]		
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]		
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]		
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]		
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	[redacted]		

综上所述，2#手术室顶部外和其它屏蔽体外关注点的周围剂量当量率最大值分别为 0.32μSv/h 和 1.31E-04μSv/h，能够满足项目剂量约束值“机房屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率应不超过 2.5μSv/h”的要求。则 1#、3#、4#DSA 手术室的屏蔽防护均能够满足相关要求。

3.3 辐射工作人员和公众剂量评价

[redacted]



手术室周围公众、控制室辐射工作人员年有效剂量估算结果：

根据表 11-50 可知，本项目手术室顶部外关注点的周围剂量当量率最大值为 0.32μSv/h；由表 11-57 可知手术室外散射线和漏辐射空气比释动能率均小于 0.001μSv/h，叠加后的空气比释动能率也将小于 0.001μSv/h，控制室内居留因子取 1，除控制室外其它场所居留因子保守取 1，将有关参数代入公式（11-25），估算手术室四周公众及控制室辐射工作人员的年附加剂量，见表 11-58。

表 11-58 DSA 手术室四周公众及控制室辐射工作人员的年附加剂量

由表 11-58 可知，DSA 手术室四周公众的年附加剂量＜0.01mSv，控制室辐射工作人员的年附加剂量＜0.01mSv，满足公众项目管理目标 0.1mSv、工作人员项目管理目标 5mSv 的要求。2#、3#手术室均位于综合楼三层且邻近，计算叠加后四周公众的年附加剂量＜0.01mSv，控制室辐射工作人员的年附加剂量＜0.01mSv，满足公众项目

管理目标 0.1mSv、工作人员项目管理目标 5mSv 的要求。

手术室内介入操作人员年有效剂量估算结果：

将有关参数代入公式（11-26），计算第一术者、第二术者年有效剂量，见表 11-59。

表 11-59 介入操作人员年有效剂量估算结果

由表 11-59 可知，DSA 手术室内的介入操作第一、第二术者操作位的年有效剂量分别为 1.99mSv、0.50mSv，即使每台 DSA 设备的第一、第二术者操作位均分别由 1 人承担，也能满足工作人员项目管理目标 5mSv/a 的要求。

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

由于不同的患者和不同的病情采用的曝光时间和报告参数也不一样，对机房内介入手术医生累计剂量较难定量分析。因此，医院应加强对辐射工作人员的管理，确保其年累积剂量不超过本项目管理目标：

（1）医院 DSA 项目辐射工作人员应认真执行个人剂量计的佩戴规定，每次手术开展前介入手术医生应认真落实《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）职业性外照射个人监测规范的相关规定：DSA 项目介入手术医生需在铅围裙外面衣领上和铅衣内侧各佩带一个剂量计，以估算人体未被屏蔽部分的剂量。介入手术医生应该明显标记内外两个剂量计，防止剂量计带反，每季度及时对剂量计送检，建立个人剂

量健康档案。

（2）适当的安排工作负荷，分担手术的工作量，同时尽量提高介入手术医生手术的熟练程度，以降低人员受照射的累计时间。

（3）医院为介入手术医生配备防护用品，如铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等，介入医生手术时均按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）穿戴防护用品。

（4）在 X 射线出束口与介入手术医生操作位之间设置铅屏风，用于阻挡 X 射线漏射。

（5）介入手术医生应该结合 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。

二、非放射性“三废”影响分析

直线加速器在工作状态时，产生的 X 射线会使机房内空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。本项目加速器治疗室内设计有通风装置，通风设计见附图 19。医院拟为 4 间加速器机房配备排风机，每个机房的排风量均为 3000m^3/h，治疗室净体积约为 245m^3（包括迷道），治疗室内通风换气频率约为 12.2 次/h。本项目加速器机房的通风次数能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h”的要求。在工作中医院要保证加速器治疗室通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设备产生危害。治疗室内产生的少量臭氧和氮氧化物通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下 50min 左右可自行分解为氧气，对环境影响很小。

后装机房内 ^{192}Ir 放射源在使用过程中，产生的γ射线会使机房内空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。本项目后装机治疗室设有通风系统，通风设计见附图 19。医院为后装机房配备 1 台风机，最大风量不少于 1000m^3/h，治疗室净体积约为 127m^3（包括迷道），治疗室内通风换气频率约为 7.9 次/h。本项目后装机房的通风次数能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h”的要求。在工作中医院要保证机房通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设

备产生危害。机房内产生的少量臭氧和氮氧化物通过排风系统排入外环境，臭氧在50min左右常温下可自行分解为氧气，对环境影响很小。

DSA、CT模拟定位机运行时不产生放射性废水、放射性废气及放射性固体废物，但其在开机并处于出束状态时，会使机房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，产生的臭氧和氮氧化物可通过机房的机械通风系统（换气频率3~4次/小时）排出，臭氧常温下50min左右可自行分解为氧气，对环境影响很小。

介入手术后产生的一次性医疗用品、器械等主要为感染性和损伤性废物，属于《国家危险废物名录》中HW01医疗废物。医院在手术室内分别设置感染性和损伤性废物收集桶，并粘贴标识。手术过程中产生废物每日及时经污物通道至手术室医疗垃圾暂存间，最终依托医院现有医疗废物收运系统并交由资质单位处理。

事故影响分析

1 潜在事故分析

1.1 核医学科潜在事故分析

本项目核医学科为乙级非密封放射性物质工作场所，在放射性同位素的使用过程中，如果不被安全管理或可靠保护，可能对接触非密封源的人员造成超剂量照射。主要事故风险为：

（1）操作人员违反操作规程或误操作导致操作台面、地面或仪器设备受到表面沾污；

（2）注射器排气时挤出放射性药物、注射器有损漏以及注射针头没有装牢固，导致放射性药物漏洒；

（3）放射性药物被盗、丢失等；

（4）用药后病人脱离控制区，导致公众遭受较大外照射。

核医学事故工况产生的污染物及污染途径为γ外照射及表面沾污，还可能因吸入或食入造成内照射。

1.2 直线加速器项目潜在事故分析

医用电子直线加速器主要用于肿瘤放射治疗，加速器只有在治疗期间时才会产生大量X射线，因此，该项目辐射事故多为人员误留或误入加速器治疗机房产生的误照射事故，主要有：

（1）辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射；

（2）加速器治疗期间辐射工作人员或其他人员误留在治疗室内，使其受到大剂

量辐照；

（3）由于加速器安全联锁装置、工作状态指示灯或其他安全装置失灵，治疗期间人员误入加速器机房内受到误照射；

（4）设备维修调试过程中，维修人员误操作导致加速器出束，可能发生误照射。

1.3 后装机项目潜在事故分析

（1）门机联锁装置失灵，出源工作状态下，其他人员误入治疗室内从而造成不必要的照射，或防护门未完全关闭情况下出源，致使γ射线泄漏至治疗室外造成周围人员受到不必要的照射；

（2）医护人员还未全部撤离治疗室，即进行出源治疗，人员受到不必要的照射。

（3）换源过程和治疗过程中出现放射源卡源事故，导致放射源裸露在设备外；

（4）放射源丢失或被盗；

（5）火灾等突发性事故造成放射源源体破裂，对环境产生重大污染。

1.4 DSA 潜在事故分析

本项目 DSA 只有在开机曝光时才产生 X 射线，因此，主要存在以下可能事故情况：

（1）DSA 操作人员违反放射操作规程或误操作，造成意外照射；

（2）操作时其他无关人员滞留手术室内，受到照射；

（3）门机联锁失灵，防护门未完全关闭就开机曝光，导致人员误入受到照射；

（4）手术室屏蔽体脱落或出现裂缝，开机曝光时射线泄露，导致手术室周围人员受到照射。

2 辐射事故处置方法及预防措施

辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度等进行防范。江苏省妇幼卫生保健中心拟在以下几个方面采取一系列的预防措施，尽可能减小或控制事故的危害和影响：

（1）建立辐射安全管理机构，制定完善的规章制度，在实际工作过程中严格执行。

（2）加强辐射安全管理，加强辐射工作人员技能培训和辐射安全与防护知识的培训，提高个人的技能和辐射安全防范意识。

（3）定期检查各辐射工作场所的辐射安全措施运行情况，确保各项安全措施始终保持良好的工作状态。

（4）发生误照射，应立即切断电源，确保加速器停止工作。

（5）发生辐射事故立即向单位领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入。

（6）对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

（7）依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及《江苏省辐射污染防治条例》的要求制定辐射事故应急预案，明确建立应急机构和人员职责分工、辐射事故分类与应急响应的措施，并在今后工作中定期组织应急人员进行应急演练。发生辐射事故时，应立即启动本单位的事故应急方案，采取必要防范措施，在 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，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，同时向卫生健康部门报告。事故发生后公司应积极配合生态环境部门、公安部门及卫生健康部门调查事故原因，并做好后续工作。

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》要求，使用放射性同位素和射线装置的单位，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。从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

根据上述要求江苏省妇幼卫生保健中心目前已成立专门的放射防护委员会，医院计划在总部建设完成后新成立总部院区辐射安全与环境保护管理机构，负责医院的辐射安全管理工作。医院计划为本项目新配备辐射工作人员，并安排新配人员参加并通过生态环境部培训平台上的线上考核，考核合格方可上岗。

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》中的有关要求，使用放射性同位素的单位、使用II类、III类射线装置和III类放射源的单位要健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、台账登记制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急方案。

江苏省妇幼卫生保健中心计划在总部建设完成后根据相关标准要求制定一系列辐射安全管理规章制度，包括辐射防护和安全保卫制度、操作规程、岗位职责、设备检修维护制度、使用登记制度、辐射工作人员培训计划、监测方案及事故应急制度等。现对各项制度提出相应的建议如下：

操作规程：针对本项目建立操作规程。重点是明确辐射工作人员的资质条件要求、放射性药物的分装、活度测量、给药流程及实验过程中应采取的具体防护措施、放射性同位素实验操作的具体防护措施，重点是明确放射性药物分装、活度测量、给药操作步骤以及实验操作过程中必须采取的辐射安全措施。

岗位职责：明确辐射工作人员、台帐管理人员、操作人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关工作人员明确自己所在岗位具体责任。

辐射防护和安全保卫制度：根据本项目的具体情况建立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检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保

个人剂量报警仪、表面沾污仪保持良好工作状态；②辐射工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。

放射性同位素使用登记制度：建立放射性同位素台帐，重点是对使用情况进行登记和跟踪记录，由专人负责登记、形成台帐、每月核对，确保帐物相符。

人员培训计划：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。

监测方案：明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报环境保护行政主管部门。为了确保辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：①配备表面污沾污仪，用于核医学科每天工作完成后分别对场所及试验仪器进行表污监测；配备辐射巡测仪，定期对各个辐射工作 X-γ 剂量当量率进行巡测；②辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案；③委托有资质监测单位对本项目辐射工作场所的安全和防护状况进行年度检测，每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

放射性同位素和射线装置台账管理制度：针对本项目所有放射性同位素、射线装置等建立台帐和使用登记制度，规范放射性核素台帐和核素使用登记记录，对使用的放射性核素的使用情况进行登记和跟踪记录。

放射性废物管理制度：针对本项目产生的放射性固废和放射性废水，明确收集流程及登记信息，建立放射性废物及废液分类收集、登记管理制度，根据放射性固废及放射性废水的登记制度，规范放射性固废及放射性废水的解控程序，对满足解控要求的放射性固废及放射性废水进行解控并登记。

综上所述，医院在落实上述制度后，能够确保本项目满足国家相关的管理及技术层面要求。

辐射监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目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，包括个人剂量报警仪、表面污染仪、辐射巡测仪等仪器；用于对辐射工作场所周围的辐射水平进行巡测。

江苏省妇幼卫生保健中心计划为本项目配备相应的监测仪器，配备计划如下：

（1）核医学科配备 2 台表面沾污仪和 6 台个人剂量报警仪（D-SPECT 配备 2 台、

SPECT/CT 配备 2 台、PET/CT 配备 2 台）。

（2）放疗科配备 1 台辐射巡测仪和 10 台个人剂量报警仪（每个加速器机房各配备 2 台、后装机房配备 2 台）。

（3）综合楼 DSA 项目配备 1 台辐射巡测仪和 8 台个人剂量报警仪（每个 DSA 手术室各配备 2 台）。

医院应定期请有资质的单位对辐射工作场所和周围环境的辐射污染水平进行监测，每年 1～2 次；医院应定期对辐射场所及周围辐射污染水平进行监测，并对监测结果进行记录。

本项目计划新配备辐射工作人员，医院计划委托有资质单位为新配备辐射工作人员开展个人剂量监测（不少于 1 次/季度），并建立个人剂量档案；医院计划安排新配备人员在上岗前进行职业健康体检，体检合格后方可从事本项目工作。项目开展后辐射工作人员定期进行职业健康体检（1 次/2 年），并建立职业健康档案。

落实以上措施后，医院扩建核医学科、放疗科等核技术利用的管理措施能够满足辐射安全的要求。

辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中关于应急报告与处理的相关要求，江苏省妇幼保健院计划在总部建设完成后针对本项目可能产生的辐射事故情况制定事故应急方案，应急方案内容包括：

（1）应急机构和职责分工；

（2）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；

（3）辐射事故分级与应急响应措施；

（4）辐射事故调查、报告和处理程序；

（5）辐射事故信息公开、公众宣传方案。

发生辐射事故时，医院应立即启动本单位的事故应急方案，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，同时向卫生健康部门报告。事故发生后公司应积极配合生态环境部门、公安部门及卫生健康部门调查事故原因，并做好后续工作。

表 13 结论与建议

结论

1 辐射安全与防护分析结论

1.1 项目位置

江苏省妇幼保健院总部项目位于经九路东侧、数字大道南侧、机场二通道西侧、纬四路北侧。

本次评价总部院区放射诊疗项目包括核医学科项目、放疗科项目和 DSA 项目，其中核医学科项目位于住院楼，放疗科项目、DSA 项目位于综合楼。根据现场调查可知，本项目周围 50m 范围内无居民区、学校等敏感点。

1.2 项目分区及布局

本项目核医学科工作场所控制区和监督区划分明显，设计有患者进出路线、医务人员进出路线，可有效避免带有放射性的患者对其它人员造成不必要照射，项目布局合理。

本项目放疗科项目主要由加速器治疗室、后装治疗室、控制室、设备间等组成。其中控制室、设备间等均与治疗室分离，治疗室内设有迷路，迷路口设有防护门。医院拟对放疗科项目进行控制区和监督区划分管理，拟将加速器治疗室、后装治疗室内区域划为控制区，治疗期间严禁任何人进入；将控制室、设备间等区域划为监督区域，对监督区实施监控管理，项目布局合理。CT 模拟定位主要由 CT 模拟定位机房、控制室、设备间组成。其中控制室与机房分离，机房设置有观察窗与防护门。医院拟将 CT 模拟定位机房内划为控制区，治疗期间严禁任何人进入；将控制室等区域划为监督区域，对监督区实施监控管理，项目布局合理。

医院 DSA 手术室分别位于综合楼一层、三层和四层，1#DSA 手术室位于综合楼一层，2#、3#DSA 手术室位于综合楼三层，4#DSA 手术室位于综合楼四层。医院将各 DSA 手术室内划为控制区，与各手术室相邻的控制室等区域划为监督区，项目布局合理。

1.3 辐射安全措施

核医学科：（1）医院拟在核医学科的控制区出入口、控制区内各房间门口、分装柜等核素操作场所表面、放射性废物桶表面等醒目位置均拟设置电离辐射警告标志；（2）在核医学科扫描机房门口设置工作状态指示灯；（3）在核医学科控制区

病患入口及病患出口处设带门禁系统的单向门，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线；（4）在核医学科的控制区内安装监控及对讲设备；（5）在地面设置指示箭头以及指示牌指示患者进行有序注射（服药）以及扫描，通过加强管理的方式减少患者的直接交叉辐射影响；（6）核医学科工作场所内不安排与放射性无关的工作；（7）核医学科放射性药物的操作均在分装柜内进行；（8）在控制区和监督区内不进食、饮水、吸烟，也不进行无关工作及存放无关物件；（9）使用操作均拟在指定的工作台或搪瓷盘内进行，操作人员需配戴个人防护用品，避免皮肤直接接触放射性物质。

医用直线加速器：（1）决定加速器产生辐射的主要控制系统用开关钥匙进行控制；加速器防护门拟安装门机联锁装置；（2）在加速器控制室内、迷道内和治疗室内屏蔽墙合适位置拟安装急停开关；（3）在防护门上方拟安装工作状态指示灯，门外拟张贴醒目、规范的电离辐射警告标志；（4）在治疗室内拟安装实时监控装置，监控终端显示器位于控制室内，并拟配备对讲装置；（5）加速器治疗室内拟设计通风装置；（6）加速器机房电缆线布设采用了地下“U”型穿墙管道，管道埋地深约 40cm。

后装机：（1）治疗室入口处拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯；（2）治疗室拟安装门机联锁装置；（3）后装机控制台上、治疗室内拟设置紧急停机按钮；（4）后装机治疗室防护门门口拟设置手动开门装置；（5）治疗室内拟安装固定式辐射剂量监测仪并有报警功能；（6）治疗室迷道入口、迷道内及治疗室内拟安装监控，并拟在控制室和治疗室之间设置对讲系统；（7）治疗室内拟配备合适的储源容器和长柄镊子等设备。

CT 模拟定位机：（1）控制台处设置观察窗；（2）在机房入口处均设置工作警示灯，警示灯箱处设置警示语句，并在醒目位置张贴“当心电离辐射”以及放射防护注意事项；（3）机房防护门均设置闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动；（4）为工作人员配备个人剂量计；（5）配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套等防护用品。

DSA：（1）控制台处设置观察窗；（2）在 DSA 手术室入口处均设置工作警示灯，警示灯箱处设置警示语句，并在醒目位置张贴“当心电离辐射”以及放射防护注意事项；（3）机房防护门均设置闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动；（4）为 DSA 工作人员配备双个人剂量计；（5）配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防

护眼镜、介入防护手套、铅悬挂防护屏、床侧防护帘等。

1.4 辐射安全管理

医院计划在总部建设完成后新成立总部院区辐射安全与环境保护管理机构，负责医院的辐射安全管理工作，并根据相关法律条例制定辐射安全管理制度。

医院计划为本项目新配备辐射工作人员，并安排新配人员参加并通过生态环境部培训平台上的线上考核，考核合格方可上岗。

医院按要求为本项目配备相应的监测仪器，主要包括辐射巡测仪、表面污染仪及个人剂量报警仪，用于对所内日常运行时辐射场所周围的辐射水平进行监测；医院还应定期（不少于 1 次/年）请有资质的单位对辐射工作场所和周围环境的辐射水平进行监测，并委托资质的单位对本项目所有辐射工作人员进行个人剂量监测及职业健康检查，建立完整的个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

2 环境影响分析结论

根据理论预测可知，本项目核医学科、放疗科、DSA 工作场所的屏蔽设计能够满足辐射防护要求。在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员和公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和本项目管理目标（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）的剂量限值要求。

3 三废处理

3.1 核医学科

核医学科核素治疗场所产生的废水量约为 267.5m^3/年，则月产生的废水量约为 22.3m^3，1#衰变池处理系统单个有效容积为 112m^3，当其中一个衰变池内废水储满开始至其它两个衰变池储满时间约为 300 天（224/22.3≈10.0），满足暂存时间超过 180 天的要求，并在排放前进行取样监测，监测结果经审管部门认可后排入医院污水处理系统。因此 1#衰变池的设计能够满足核医学科一层放射性废水暂存 180 天的衰变要求。

核医学科核素显像诊断场所产生的废水量约为 140m^3/年，则月产生的废水量约为 11.7m^3，2#衰变池处理系统单个有效容积为 8.4m^3，当其中一个衰变池内废水储满开始至其它两个衰变池储满时间约为 42 天（16.8/11.7≈1.4），满足暂存时间超过 30 天的要求。

核医学科在一层、负一层均设有放射性固体废物间，体积分别约为 22.2m^3、9.3m^3，

能够满足放射性固体废物贮存的要求。

核医学科工作场所内设有单独的通风系统，监督区拟设为正压通风，控制区域均拟设为微负压通风，以保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动。本项目放射性药物在分装柜内操作，分装柜均拟设计独立的排风系统，风速不小于 0.5m/s，外排口由专用管道延伸至住院楼顶，排风口高于本建筑的屋顶，并在排风口处设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附，定期更换的废活性炭作为放射性固体废物处理。

3.2 医用直线加速器

直线加速器靶物质（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，委托有放射性固废处理资质的单位处理。

医院拟为 4 间加速器机房配备排风机，每个机房的排风量均为 3000m^3/h，治疗室净体积约为 245m^3（包括迷道），治疗室内通风换气频率约为 12.2 次/h。本项目加速器机房的通风次数能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h”的要求。治疗室内产生的少量臭氧和氮氧化物通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下 50min 左右可自行分解为氧气，对环境影响很小。

3.3 后装机

医院已承诺将与放射源生产厂家签订废源回收协议，退役的 ^{192}Ir 放射源暂存在后装机内，更换新源后，废源将由原生产厂家回收处置，满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中关于放射性废源处置的要求。

医院为后装机房配备 1 台风机，最大风量不少于 1000m^3/h，治疗室净体积约为 127m^3（包括迷道），治疗室内通风换气频率约为 7.9 次/h。本项目后装机房的通风次数能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h”的要求。机房内产生的少量臭氧和氮氧化物通过排风系统排入外环境，臭氧在 50min 左右常温下可自行分解为氧气，对环境影响很小。

3.4 DSA、CT 模拟定位机

DSA、CT 模拟定位机运行时不产生放射性废水、放射性废气及放射性固体废物，但其在开机并处于出束状态时，会使机房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，

产生的臭氧和氮氧化物可通过机房的机械通风系统排出，臭氧常温下 50min 左右可自行分解为氧气，对环境影响很小。

4 可行性分析结论

综上所述，江苏省妇幼保健院总部扩建放射诊疗项目在落实本报告提出的各项辐射安全措施和管理措施后，该医院将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

建议与承诺

（1）所有设备资料、放射源台账、放射性同位素台帐、射线装置台账和监测资料等妥善保管，存档备案。

（2）该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对医务人员的培训，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，使对环境的影响降到最低。

（3）各项辐射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。

（4）项目建成后，应根据有关规定及时办理竣工环保验收手续。

附表：本项目“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预期投资（万元）
辐射安全管理机构	**以文件形式明确管理职责：** 江苏省妇幼卫生保健中心目前已成立专门的放射防护委员会，医院计划在总部建设完成后新成立总部院区辐射安全与环境保护管理机构，负责医院的辐射安全管理工作。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中相关要求	/
辐射安全和防护措施	**屏蔽措施：** （1）核医学科按照“表 10-3 核医学科工作场所辐射防护屏蔽设计参数”和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）进行施工。 （2）4 间直线加速器机房按照“表 10-4 加速器机房辐射防护屏蔽设计参数”落实，后装机房按照“表 10-5 后装机房辐射防护屏蔽设计参数”落实，CT 模拟定位机按照“表 10-6 CT 模拟定位机房辐射防护屏蔽参数一览表”落实。 （3）DSA 手术室按照“表 10-7 本项目 DSA 机房辐射防护屏蔽参数一览表”落实。	（1）核医学科屏蔽措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）标准中辐射剂量率限值的要求。 （2）直线加速器、后装机、DSA、CT 模拟定位等机房外墙表面、防护门及顶部外 30cm 处的剂量率满足控制限值要求。	3000
	安全措施（警示标志、工作指示灯等）： 核医学科：（1）医院拟在核医学科的控制区出入口、控制区内各房间门口、分装柜等核素操作场所表面、放射性废物桶表面等醒目位置均拟设置电离辐射警告标志；（2）在核医学科扫描机房门口设置工作状态指示灯；（3）在核医学科控制区病患入口及病患出口处设带门禁系统的单向门，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线；（4）在核医学科的控制区内安装监控及对讲设备；（5）在地面设置指示箭头以及指示牌指示患者进行有序注射（服药）以及扫描，通过加强管理的方式减少患者的直接交叉辐射影响；（6）核医学科工作场所内不安排与放射性无关的工作；（7）核医学科所有放射性药物的操作均拟在高活室的分装柜内进行；（8）在控制区和监督区内不进食、饮水、吸烟，也不进行无关工作及存放无关物件；（9）使用操作应在指定的工作台或搪瓷盘内进行，操作人员需配戴个人防护用品，应避免皮肤直接接触放射性物质。 直线加速器：（1）加速器产生辐射的主要控制系统用开关钥匙进行控制；加速器防护门拟安装门机联锁装置；（2）在加速器控制室内、迷道内和治疗室内屏蔽墙合适位置拟安装急停开关；（3）在防护门上方拟安装工作状态指示灯，门外拟张贴醒目、规范的电离辐射警告标志；（4）在治疗室内拟安装实时监控装置，监控终端	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）标准中相关要求。	100

	显示器位于控制室内，并拟配备对讲装置；（5）加速器治疗室内拟设计通风装置；（6）加速器机房电缆线布设采用了地下“U”型穿墙管道，管道埋地深约 40cm。 后装机：（1）治疗室入口处拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯；（2）治疗室拟安装门机联锁装置；（3）后装机控制台上、治疗室内拟设置紧急停机按钮；（4）后装机治疗室防护门门口拟设置手动开门装置；（5）治疗室内拟安装固定式辐射剂量监测仪并有报警功能；（6）治疗室迷道入口、迷道内及治疗室内拟安装监控，并拟在控制室和治疗室之间设置对讲系统；（7）治疗室内拟配备合适的储源容器和长柄镊子等设备。 CT 模拟定位机：（1）控制台处设置观察窗；（2）在机房入口处均设置工作警示灯，警示灯箱处设置警示语句，并在醒目位置张贴“当心电离辐射”以及放射防护注意事项；（3）机房防护门均设置闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动；（4）为工作人员配备个人剂量计；（5）配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套等防护用品。 DSA：（1）控制台处设置观察窗；（2）在 DSA 手术室入口处均设置工作警示灯，警示灯箱处设置警示语句，并在醒目位置张贴“当心电离辐射”以及放射防护注意事项；（3）机房防护门均设置闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动；（4）为 DSA 工作人员配备双个人剂量计；（5）配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套、铅悬挂防护屏、床侧防护帘等。		
	三废处理措施： **（1）核医学科** 核医学科在负二层设有两套衰变池，其中 1#衰变池暂存核医学科一层产生的放射性废水，能够满足 180 天的暂存衰变要求，2#衰变池暂存核医学科负一层产生的放射性废水，能够满足 30 天的暂存衰变要求。 核医学科在一层、负一层均设有放射性固体废物间，体积分别约为 22.2m^3、9.3m^3，能够满足放射性固体废物贮存的要求。 核医学科工作场所内设有单独的通风系统，监督区拟设为正压通风，控制区域均拟设为微负压通风，以保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动。本项目放射性药物在分装柜内操作，分装柜均拟设计独立的排风系统，风速不小于 0.5m/s，外排口由专用管道延伸至住院楼顶，排风口高于本建筑的屋顶，并在排风口处设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附，定期更换的废活性炭作为放射性固体废物处理。 **（2）直线加速器**	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）标准中相关要求。	500

	直线加速器靶物质（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，委托有放射性固废处理资质的单位处理。 医院拟为 4 间加速器机房配备排风机，每个机房的排风量均为 3000m^3/h，治疗室净体积约为 245m^3（包括迷道），治疗室内通风换气频率约为 12.2 次/h。治疗室内产生的少量臭氧和氮氧化物通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下 50min 左右可自行分解为氧气，对环境影响很小。 **（3）后装机** 医院已承诺将与放射源生产厂家签订废源回收协议，退役的 ^{192}Ir 放射源暂存在后装机内，更换新源后，废源将由原生产厂家回收处置，满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中关于放射性废源处置的要求。 医院为后装机房配备 1 台风机，最大风量不少于 1000m^3/h，治疗室净体积约为 127m^3（包括迷道），治疗室内通风换气频率约为 7.9 次/h。机房内产生的少量臭氧和氮氧化物通过排风系统排入外环境，臭氧在 50min 左右常温下可自行分解为氧气，对环境影响很小。 **（4）DSA、CT 模拟定位机** DSA、CT 模拟定位机运行时不产生放射性废水、放射性废气及放射性固体废物，但其在开机并处于出束状态时，会使机房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，产生的臭氧和氮氧化物可通过机房的机械通风系统排出，臭氧常温下 50min 左右可自行分解为氧气，对环境影响很小。		
人员配备	**辐射防护与安全培训和考核：** 本项目工作人员为新配备辐射工作人员，医院计划安排新配备辐射工作人员参加并通过生态环境部培训平台上的线上考核，考核合格方可上岗。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法规条例中相关标准要求	定期投入
	个人剂量监测： 本项目工作人员为新配备辐射工作人员，医院计划安排新配备人员开展个人剂量监测（不少于 1 次/季度），并建立个人剂量档案。	每个季度送检一次	定期投入
	人员职业健康监护： 医院计划安排新配备人员在其上岗前进行职业健康体检，体检合格后方可从事本项目工作。项目开展后辐射工作人员定期进行职业健康体检（1 次/2 年），并建立职业健康档案。	2 年体检一次	定期投入
监测仪器和防护用品	医院按要求为本项目配备相应的监测仪器，主要包括辐射巡测仪、表面污染仪及个人剂量报警仪，用于对所内日常运行时辐射场所周围的辐射水平进行监测。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中相关要求以及审管部门关于	20

		监测仪器配备的要求	
辐射安全管理制度	江苏省妇幼卫生保健中心计划在总部建设完成后根据相关标准要求制定一系列辐射安全管理规章制度，包括辐射防护和安全保卫制度、操作规程、岗位职责、设备检修维护制度、使用登记制度、辐射工作人员培训计划、监测方案及事故应急制度等。	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》等法规条例中相关要求	/

以上措施必须在项目试运行前落实。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见   经办人签字　　公章 年　月　日
审批意见：   经办人签字　　公章 年　月　日