核技术利用建设项目

扩建医用加速器、TOMO 刀、核医学科及血管造影用 X 射线装置项目

环境影响报告表

（脱密公示本）

苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）（公章）

2024 年 1 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

扩建医用加速器、TOMO 刀、核医学科及血管造影用 X 射线装置项目

环境影响报告表

建设单位名称：苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）

建设单位法人代表（签字或盖章）：

通讯地址：苏州工业园区崇文路 9 号

邮政编码：215125 联 系 人：

电子邮箱：/ 联系电话：

打印编号：1706088105000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	gn00bx
建设项目名称	扩建医用加速器、TOMO刀、核医学科及血管造影用X射线装置项目
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目
环境影响评价文件类型	报告表
一、建设单位情况	
单位名称（盖章）	苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）
统一社会信用代码	12320500466
法定代表人（签章）	
主要负责人（签字）	
直接负责的主管人员（签字）	
二、编制单位情况	
单位名称（盖章）	江苏睿源环境科技有限公司
统一社会信用代码	91320106MA20BXME57
三、编制人员情况	

1. 编制主持人

姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
赵凌宇	201905035320000015	BH020792	

2 主要编制人员

姓名	主要编写内容	信用编号	签字
魏文静	表7保护目标与评价标准 表8环境质量和辐射现状 表9项目工程分析与源项 表10辐射安全与防护 表11环境影响分析 表12辐射安全管理 表13结论与建议	BH023978	
赵凌宇	表1项目基本情况 表2放射源 表3非密封放射性物质 表4射线装置 表5废弃物（重点是放射性废弃物） 表6评价依据	BH020792	

编制主持人和主要编制人员信息

编制主持人证书



环境影响评价工程师

Environmental Impact Assessment Engineer

本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、生态环境部批准颁发，表明持证人通过国家统一组织的考试，具有环境影响评价工程师的职业水平和能力。

姓　　名：赵凌宇

证件号码：

性　　别：女

出生年月：

批准日期：2019年05月19日

管 理 号：201905035320000015

人力资源和社会保障部 人事考试中心 提供查询结果

中华人民共和国人力资源和社会保障部　中华人民共和国生态环境部

仅用于苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）扩建医用加速器、TOMO刀、核医学科及血管造影用X射线装

编制主持人社会保险缴纳证明



江苏省社会保险权益记录单

（参保单位）

使用官方江苏智慧人社APP扫描验证

参保单位全称：江苏睿源环境科技有限公司　　现参保地：鼓楼区

统一社会信用代　　查询时间

页

单位参保险种	养老保险	工伤保险	失业保险
缴费总人数			

序号	姓名	公民身份号码（社会保障号）	缴费起止年月	缴费月数
1	赵凌宇		202311 - 202401	3
2	魏文静		202311 - 202401	3

说明：
1. 本权益单涉及单位及参保职工个人信息，单位应妥善保管。
2. 本权益单为打印时参保情况。
3. 本权益单已签具电子印章，不再加盖鲜章。
4. 本权益单记录单出具后有效期内（6个月），如需核对真伪，请使用江苏智慧人社APP，扫描右上方二维码进行验证（可多次验证）。

江苏省社会保险 电子专用章

打印时间：2024年1月26日

编 号 320114000202005150216

统一社会信用代码

91320106MA20BXME57

营业执照

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

名　　称　江苏睿源环境科技有限公司

类　　型　有限责任公司(自然人投资或控股)

法定代表人　曹大军

经营范围　环境技术研发、技术服务、技术咨询、技术转[illegible]境影响评价；环境检测；生态监测；放射卫生防护检测[illegible]；水土保持技术咨询、技术服务；水土保持方案设计。[illegible]须经批准的项目，经相关部门批准后方可开展经营活动，

注册资本　1000万元整

成立日期　2019年11月04日

营业期限　2019年11月04日至******

住　　所　南京市雨花台区花神大道23号5号楼513室

登记机关　南京市雨花台区行政审批局

2020 年 05 月 15 日

国家企业信用信息公示系统网址：http://www.gsxt.gov.cn

国家市场监督管理总局监制

仅用苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）扩建医用加速器、TOMO刀、核医学科及血管造影用X射线装置项目

目录

表 1 项目基本情况 1
表 2 放射源 11
表 3 非密封放射性物质 11
表 4 射线装置 12
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） 14
表 6 评价依据 17
表 7 保护目标与评价标准 21
表 8 环境质量和辐射现状 31
表 9 项目工程分析与源项 37
表 10 辐射安全与防护 68
表 11 环境影响分析 87
表 12 辐射安全管理 147
表 13 结论与建议 153
表 14 审批 157
辐射污染防治措施“三同时”措施一览表 158

附图：

附图 1 苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）地理位置图

附图 2-1 苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）周围环境示意图

附图 2-2 苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）平面布置图

附图3本项目与生态空间管控区域相对位置关系图

医用直线加速器及TOMO刀项目

附图 4 二期医疗综合楼负一层医用直线加速器及 TOMO 刀机房平面布局图

附图 5 医用直线加速器及 TOMO 刀机房平面及剖面布置图

核医学科项目

附图 6-1 二期医疗综合楼负一层北半部平面布局图

附图 6-2 二期医疗综合楼一层北半部平面布局图

附图 6-3 二期医疗综合楼负二层北半部平面布局图

附图 6-4 核医学科平面布局图

附图 6-5 核医学科人流物流示意图

附图 6-6 核医学科控制区监督区示意图

附图 6-7 核医学科辐射安全与防护措施分布图

附图 6-8 核医学科排风管道示意图

附图 6-9 核医学科衰变池设计图（1）

附图 6-9 核医学科衰变池设计图（2）

附图 6-9 核医学科衰变池设计图（3）

附图 6-10 核医学科废水管道示意图

附图 6-11 核医学科最终排口示意图

ERCP、中 C 及 DSA 项目

图 7-1 二期医疗综合楼北楼 1 层平面布置图

图 7-2 二期医疗综合楼北楼 2 层平面布置图

图 7-3 二期医疗综合楼北楼 3 层平面布置图

图 7-4 二期医疗综合楼北楼 4 层平面布置图

图 7-5 二期医疗综合楼北楼 5 层平面布置图

附件：

附件 1 委托书

附件 2 承诺书

附件 3 原有核技术项目环评批复

附件 4 辐射安全许可证正副本及验收材料

附件 5 本项目拟建址周围环境本底检测报告

附件 6 本项目拟购射线装置说明书

附件 7 本项目血管造影用 X 射线装置及 PET-CT 工况说明

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">扩建医用加速器、TOMO 刀、核医学科
及血管造影用 X 射线装置项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>**</td><td>联系人</td><td>***</td><td>联系电话</td><td colspan="2">**********</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="6">苏州工业园区崇文路 9 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">苏州工业园区崇文路 9 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">/</td><td>批准文号</td><td colspan="3">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资(万元)</td><td>5000</td><td>项目环保投资(万元)</td><td>2060</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td colspan="2">41.2%</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">/</td></tr>
<tr><td rowspan="8">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>☐销售</td><td colspan="5">☐I类 ☐II类 ☐III类 ☐IV类 ☐V类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☐I类（医疗使用） ☐II类 ☐III类 ☐IV类 ☑V类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>☐生产</td><td colspan="5">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="5">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☑乙 ☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="5">☐II类 ☐III类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="5">☐II类 ☐III类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☑II类 ☑III类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="6">/</td></tr>
</table>

项目概述：

1. 建设单位基本情况、项目建设规模、任务由来及原有核技术利用项目许可情况

苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）是苏州工业园区首家现代化公立三级医院，是苏州大学直属附属医院，是集医疗、教学、科研于一体的综合性医疗机构。医院立足江苏自贸区苏州片区的区位优势，紧紧围绕高质量的医疗服务、高精尖的人才培养、高层次的生物医药转化三大使命，高点定位，行稳致远。作为重要的民生实事工程，医院于2020年12月30日正式启用，曾用名为苏州市独墅湖医院(苏州大学附属独墅湖医院)，现已更名为苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院），更名文件见附件1。

医院分两期建设，总建筑面积 50 余万平方米，设床位 3000 张；一期建设 13.1 万平方米，标准床位 800 张，已经顺利投入使用；二期总投资约 35 亿元，规划建筑面积约 39 万平米，床位 2200 张。2021 年 10 月 28 日，医院举行二期项目开工奠基仪式，项目建设周期 3-4 年，计划 2025 年投入使用。

1.1 原有核技术利用项目许可情况

苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）一期已开展核技术利用项目，目前在用 1 处核医学科工作场所（乙级非密封放射性物质工作场所）、1 台医用直线加速器（II 类射线装置）、3 台 DSA（II类射线装置）及 24 台III类射线装置（包括 CT、DR、骨密度仪、乳腺机、数字胃肠机、C 臂机、口腔 CT 机、口腔牙片机等）。

苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）于 2017 年 5 月 23 日取得《关于新建核医学科等核技术利用项目环境影响报告表的批复》（苏环辐（表）审〔2017〕024 号），随后于 2019 年 12 月 25 日取得《关于苏州市独墅湖医院五台 DSA 应用项目环境影响报告表的批复》（苏环辐（表）审〔2019〕039 号），近期于 2023 年 12 月 26 日取得了《省生态环境厅关于苏州市独墅湖医院(苏州大学附属独墅湖医院)4 号直线加速器机房改建成射波刀机房项目环境影响报告表的批复》（苏环辐(表)审〔2023〕70 号）。环评批复见附件 3。

医院现已申领辐射安全许可证，许可证编号为苏环辐证[01384]，种类和范围为“使用V类放射源；使用II类、III类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。”，有效期至 2026 年 07 月 15 日，发证机关为江苏省生态环境厅。2021 年 9 月 28 日及 2023 年 4 月 3 日，医院对一期已领证的部分核技术利用项目进行建设项目竣工环保自主验收，其余项目尚未完成建设。辐射安全许可证正副本及验收证明见附件 4。

表 1-1 苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）已有核技术利用项目一览表

射线装置									
序号	射线装置名称、型号	数量	装置参数	类别	工作场所	活动种类	环评情况	许可情况	验收情况
1	直线加速器 (Vital Beam)	1	X 射线：10 MeV	II	一期综合楼地下一层放疗科	使用	已环评	已许可	已验收
2	口腔 CT 机 (Soredex PP3-1)	1	90kV/16mA	III	一期综合楼地下一层放疗科	使用	已环评	已许可	/
3	SPET/CT (Symbia Intevo Excela)	1	130kV/240mA	III	一期综合楼地下一层核医学科	使用	已环评	已许可	已验收
4	CT	1	140kV/740mA	III	一期综合楼一	使用	已环评	已许可	/

	(Revolution CT)				层 CT 影像区				
5	CT (Optima CT620)	1	140kV/560mA	III	一期综合楼一层急诊影像区	使用	已环评	已许可	/
6	CT 模拟定位机 (Brilliance CT Big Bore)	1	140kV/500mA	III	一期综合楼地下一层放疗科	使用	已环评	已许可	/
7	C 臂机 (OEC Elite CFDx)	1	120kV/150mA	III	一期综合楼三层手术室	使用	已环评	已许可	/
8	C 臂机 (BV Vectra)	1	110kV/21mA	III	一期综合楼三层手术室	使用	已环评	已许可	/
9	数字胃肠机 (SONIALVISION SMIT)	1	150kV/1000mA	III	一期综合楼一层 X 光影像区	使用	已环评	已许可	/
10	DR (DRX-Innovation Plus)	1	150kV/800mA	III	一期综合楼一层急诊影像区	使用	已环评	已许可	/
11	DR (DRX-Evolution Plus)	1	150kV/1000mA	III	一期综合楼一层 X 光影像区	使用	已环评	已许可	/
12	骨密度仪 (Horizon-Wi)	1	140kV/2.5mA	III	一期综合楼一层 X 光影像区	使用	已环评	已许可	/
13	乳腺机 (MAMMOMAT Inspiration)	1	35kV/190mA	III	一期综合楼一层 X 光影像区	使用	已环评	已许可	/
14	DSA (Artis Pheno)	1	125kV/1000mA	II	一期综合楼三层复合手术室	使用	已环评	已许可	已验收
15	DSA (Artist One)	1	125kV/1000mA	II	一期综合楼四层 DSA 室	使用	已环评	已许可	已验收
16	DSA (UNIQ FD20)	1	125kV/1000mA	II	一期综合楼四层 DSA 室	使用	已环评	已许可	已验收
17	发热门诊 CT (uCT528)	1	140kV/350mA	III	一期发热门诊方舱 CT 室	使用	已环评	已许可	/
18	移动 DR (DRX-Revolution)	1	150kV/400mA	III	一期住院楼二三层 ICU	使用	已环评	已许可	/
19	碎石机 (Compact Delta II)	1	110kV/6.5mA	III	一期综合楼二层体外震波室	使用	已环评	已许可	/
20	口内牙片机 (ERGON-X HF)	1	70kV/7mA	III	一期综合楼三层口腔科	使用	已环评	已许可	/
21	C 臂机 (Cios Alpha)	1	125kV/120mA	III	一期综合楼二层内镜中心	使用	已环评	已许可	/
22	PET/CT (Discovery MI)	1	140kV/600mA	III	一期综合楼地下一层核医学科	使用	已环评	已许可	已验收
23	C 臂机 (Cios Alpha)	1	125kV/120mA	III	一期医技楼二号机房	使用	已环评	已许可	/
24	O 臂机 (O2)	1	140kV/100mA	III	一期住院楼三楼手术室 9	使用	已环评	已许可	/
25	移动 DR (DRX-Revolution)	1	150kV/400mA	III	一期住院楼一楼影像中心	使用	已环评	已许可	/
26	CT (uCT 960)	1	144kV/833mA	III	一期住院楼一楼影像中心 CT 三室	使用	已环评	已许可	/
27	C 臂机	1	125kV/250mA	III	一期住院楼三	使用	已环评	已许可	/

	(Cios Spin)					楼手术室 16				
28	CT (SOMATOM Drive)		1	140kV/800mA	III	一期门诊一层 CT 检查 2 室	使用	已环评	已许可	/

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）	年最大操作量（Bq）	工作场所	活动种类	环评情况	许可情况	验收情况
1	乙级	^{99m}Tc	5.55E+7	1.39E+13	一期综合楼地下一层核医学科	使用	已环评	已许可	已验收
2		^{89}Sr	3.70E+7	9.25E+10		使用	已环评	已许可	未验收
3		^{131}I	3.70E+8	9.25E+11		使用	已环评	已许可	已验收
4		^{18}F	1.85E+7	4.63E+12		使用	已环评	已许可	已验收

放射源

序号	放射源	出厂日期	出厂活度（Bq）	编码	工作场所	活动种类	环评情况	许可情况	验收情况
1	Ge-68（刻度/校准源）	2021.09.14	5.5E+7	US21GE003255	一期综合楼地下一层核医学科	使用	已环评	已许可	/
2	Ge-68（刻度/校准源）	2021.09.14	5.5E+7	US21GE003265	一期综合楼地下一层核医学科	使用	已环评	已许可	/

医院已根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关法律法规，成立了辐射安全与环境保护管理小组，并制定相关辐射安全管理制度。辐射安全与环境保护管理小组负责辐射防护与安全工作的领导工作，包括制定了相关辐射防护与安全制度、辐射安全与防护措施的定期检查、设备仪器自检、组织辐射工作人员定期参加辐射防护与安全知识考核及自主考核、定期职业健康体检、个人剂量计送检并管理好辐射工作人员个人剂量及职业健康档案、委托有资质单位对建设单位辐射工作场所进行年度检测。

医院现有辐射工作人员均已通过核技术利用辐射安全与防护考核或自主考核，已委托苏州工业园区疾病防治中心有限公司对已有人员开展个人剂量检测，均满足人员年有效剂量限值要求，已委托苏州工业园区疾病防治中心对已有人员进行职业健康体检，均为可继续从事原放射工作。

已依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条，每年对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交了上一年度的评估报告。



图1-1 年度评估报告

1.2 本项目核技术利用项目情况

为提升当地医疗卫生条件和医疗环境设施，完善医院结构和促进当地卫生事业发展，苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）拟进一步扩建二期核技术利用项目。

本项目拟在院区二期范围内建设数间机房、手术室及其辅房，将安装 1 台II类射线装置医用直线加速器及 1 台II类射线装置螺旋断层放疗系统（TOMO）（配套使用 1 台III类射线装置 CT 模拟定位机），用于开展放射治疗；建设 10 台血管造影用 X 射线装置（1 台 ERCP、1 台中 C 及 8 台 DSA）及配套使用的 1 台III类射线装置 CT，用于开展放射诊断和介入治疗。拟在二期范围内建设核医学科（乙级非密封放射性物质工作场所），将使用 ^{18}F 及 1 台III类射线装置 PET-CT 及配套使用的 2 枚 V 类校准源 ^{68}Ge、1 台 PET-MRI 及配套使用的 2 枚 V 类校准源 ^{68}Ge，用于开展核素诊断；使用 ^{131}I 开展甲癌治疗，使用 ^{177}Lu 开展前列腺癌治疗，使用 ^{89}Sr 开展骨转移治疗，使用 ^{32}P 及 1 枚 V 类放射源 $^{90}Sr/^{90}Y$ 开展敷贴治疗，本项目辐射工作人员均为院区二期开业后新增人员，不兼岗其他核技术利用项目。本项目核技术利用项目详见下表。

表 1-2 苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）本项目核技术利用情况一览表

射线装置									
序号	装置名称、型号	数量	装置参数	类别	工作场所	活动种类	环评情况	许可情况	验收情况
1	医用直线加速器（瓦里安 Truebeam）	1	X 射线：15MV 电子线：22MeV	II	二期医疗综合楼负一层放疗科加速器机房	使用	本次环评	未许可	未验收
2	螺旋断层放疗系统（TOMO）（安科锐 Radixact	1	放射治疗：6MV CT 成像：3.5MV	II	二期医疗综合楼负一层放疗科 TOMO 刀机房	使用	本次环评	未许可	未验收

	Treatment De）								
3	CT 模拟定位机（西门子 SOMATOM Force）	1	150kV/1300mA	III	二期医疗综合楼负一层放疗科 CT 模拟机房	使用	本次环评	未许可	未验收
4	ERCP（西门子 AXIOM Artis U）	1	150kV/800mA	II	二期医疗综合楼北楼二层内镜中心 ERCP 胰胆治疗手术室	使用	本次环评	未许可	未验收
5	中 C（西门子 AXIOM Artis U）	1	150kV/800mA	II	二期医疗综合楼北楼二层内镜中心中 C 内镜治疗手术室	使用	本次环评	未许可	未验收
6	DSA（飞利浦 Azurion 7 M20）	1	125kV/1000mA	II	二期医疗综合楼北楼四楼手术室 OR22（DSA 复合手术室）	使用	本次环评	未许可	未验收
	CT（飞利浦 Brilliance iCT Family）	1	140kV/1000mA	III	二期医疗综合楼北楼四楼 CT 室（DSA 复合手术室）	使用	本次环评	未许可	未验收
7	DSA（北京万东医疗科技股份有限公司 CGO-2100）	1	125kV/1000mA	II	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 1	使用	本次环评	未许可	未验收
8	DSA（GE Optima IGS 330）	1	125kV/1000mA	II	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 2	使用	本次环评	未许可	未验收
9	DSA（飞利浦 Azurion 3 M15）	1	125kV/1000mA	II	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 3	使用	本次环评	未许可	未验收
10	DSA（飞利浦 UNIQ FD20）	1	125kV/1000mA	II	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 4	使用	本次环评	未许可	未验收
11	DSA（西门子 Artis Q zeego）	1	125kV/1000mA	II	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 5	使用	本次环评	未许可	未验收
12	DSA（西门子 Artis Q zen floor）	1	125kV/1000mA	II	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 6	使用	本次环评	未许可	未验收
13	DSA（西门子 Artis Q zen ceiling）	1	125kV/1000mA	II	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 7	使用	本次环评	未许可	未验收
14	PET-CT（西门子 Biograph mCT 128）	1	140kV/800mA	III	二期医疗综合楼北楼负一层核医学科	使用	本次环评	未许可	未验收

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）	年最大操作量（Bq）	工作场所	活动种类	环评情况	许可情况	验收情况
1	乙级	^{18}F	1.480E+07	3.70E+12	二期医疗综合楼地下一层核医学科	使用	本次环评	未许可	未验收
2		^{32}P	1.480E+07	3.70E+10		使用	本次环评	未许可	未验收
3		^{89}Sr	1.850E+07	3.70E+10		使用	本次	未许可	未验收

							环评		
4		^{177}Lu	1.850E+08	9.25E+10		使用	本次环评	未许可	未验收
5		^{131}I	3.700E+09	1.85E+12		使用	本次环评	未许可	未验收
合计			**3.94E+09**	**等级**	**乙级**				
放射源									
序号	放射源	出厂日期	出厂活度（Bq）	数量	工作场所	活动种类	环评情况	许可情况	验收情况
1	^{90}Sr/^{90}Y（敷贴器）	/	1.50E+09	1	二期医疗综合楼地下一层核医学科	使用	本次环评	未许可	未验收
1	^{68}Ge（刻度/校准源）	/	5.55E+08	1	二期医疗综合楼地下一层核医学科 PET-CT 机房	使用	本次环评	未许可	未验收
2	^{68}Ge（刻度/校准源）	/	5.55E+08	1		使用	本次环评	未许可	未验收
3	^{68}Ge（刻度/校准源）	/	5.55E+08	1	二期医疗综合楼地下一层核医学科 PET-MRI 机房	使用	本次环评	未许可	未验收
4	^{68}Ge（刻度/校准源）	/	5.55E+08	1		使用	本次环评	未许可	未验收

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》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的规定，本项目需进行环境影响评价，依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第 16 号，2021 年版），本项目属于“172 核技术利用建设项目”中“使用 V 类放射源、使用II类、III类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。”，本项目应编制环境影响报告表。受苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）委托，江苏睿源环境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

苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）位于苏州工业园区崇文路 9 号。医院东侧为雪堂街；南侧为创苑路；西侧为河道和松涛街；北侧为崇文路。院区一期建有综合楼、一期污水处理站等，二期拟建二期医疗综合楼、科教综合楼、二期感染楼、专家公寓/行政办公/学术报告厅、二期污水处理站、二期垃圾站等。医院地理位置图见附图 1，周围环境示意图见附图 2。

2.1 医用直线加速器及螺旋断层放疗系统（TOMO）

本项目医用直线加速器及螺旋断层放疗系统（TOMO）机房位于二期医疗综合楼负一层中部，医用直线加速器及螺旋断层放疗系统（TOMO）机房东侧为各类配套机房，

南侧、西侧为土层，北侧为控制室、设备间及等候区，楼上为院区道路及绿化，楼下为土层。

本项目医用直线加速器及螺旋断层放疗系统（TOMO）机房周围 50m 范围无居民区、学校等环境敏感目标。50m 范围内涉及①二期医疗综合楼，②一期综合楼，③上方院区道路及绿化。本项目周围环境保护目标主要为从事医用直线加速器及螺旋断层放疗系统（TOMO）操作的辐射工作人员及周围公众。

二期医疗综合楼负一层医用直线加速器及 TOIMO 刀机房平面布局图见附图 4，医用直线加速器及 TOMO 刀机房平面及剖面布置图见附图 5。

2.2 核医学科

本项目核医学科位于二期医疗综合楼负一层西北部，核医学科东侧为各类库房及设备用房，南侧为土层，西侧为各类机房，北侧为配电房、停车场及电梯厅，楼上为肿瘤门诊、日间化疗大厅及道路，楼下为回旋加速器工作场所（预留）及停车场。

本项目核医学科周围 50m 范围无居民区、学校等环境敏感目标。50m 范围内涉及①二期医疗综合楼，②二期感染楼，③一期综合楼，④上方南侧、西侧、北侧院区道路及绿化。本项目周围环境保护目标主要为从事核医学科操作的辐射工作人员及周围公众。

二期医疗综合楼负一层北半部平面布局图见附图 6-1，二期医疗综合楼一层北半部平面布局图见附图 6-2，二期医疗综合楼负二层北半部平面布局图见附图 6-3 ，核医学科平面布局图见附图 6-4。

2.3 ERCP、中 C 及 DSA

本项目1台ERCP及1台中C分别安装于北楼二层内镜中心ERCP胰胆治疗室及北楼二层内镜中心中C内镜治疗室，两间机房南北设置，中间共用控制室。该区域东侧为过道，南侧为卫生间，西侧为过道，北侧为库房和麻醉库房，下方为等候区，上方为会议室、更衣区、办公室、过道。

本项目OR22（DSA复合手术室）位于北楼四楼手术中心（二）内，OR22（DSA复合手术室）西侧、北侧和东侧为过道、南侧为设备间、体外循环间、走廊、控制室，下方为机房、值班室、办公室及过道，上方为预留区域。

本项目7台DSA分别安装于北楼五层导管手术室内，编号分别为1~7，该区域东侧为手术层办公区，南侧及西侧为走廊及办公区，北侧为项目辅房、走廊及楼梯间，下方

为楼梯间、过道、手术室、机房及库房，上方为楼外。

本项目ERCP、中C及DSA周围50m范围无居民区、学校等环境敏感目标。50m范围内涉及①二期医疗综合楼，②二期感染楼，③一期综合楼，④上方南侧、西侧、北侧院区道路及绿化。本项目周围环境保护目标主要为从事ERCP、中C及DSA操作的辐射工作人员及周围公众。

二期医疗综合楼北楼1-5层见图7-1~图7-5。

3.选址合理性分析

根据《苏州工业园区总体规划（2012~2030）》，项目所在地为“医疗卫生用地”，根据苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）不动产权证，本项目用地属于医卫慈善用地。医院于 2015 年 11 月 23 日取得原苏州工业园区环境保护局《关于对苏州市独墅湖医院一期建设项目环境影响报告书的审批意见》，于 2021 年 7 月 6 日通过自主验收。医院另于 2022 年 4 月 26 日取得苏州工业园区生态环境局《苏州市独墅湖医院（暨 DK20060788 号地块）二期项目建设项目环保审批意见》，目前正在建设中。院区周围紧邻交通干道，出行便捷，有利于医院和外界的联系，城市基础配套设施完善，给排水等市政管网完善，电力电缆等埋设齐全，为项目建设提供良好条件。

本项目拟将核医学科及放疗科室集中设置于建筑底层端部靠近绿化的一侧，并将其余射线装置于承担医技功能的二期综合体内集中设置，上述选址能够尽可能减少周围保护目标，辐射影响较大的项目均远离了儿科、产科或住院楼层等人群长期居留的区域；核医学科的出入口均直通建筑出口及僻静处，便于用药后患者离场的同时，减少了其与院区公众接触的可能性；放疗设备周围主要为土层，上方紧邻院区道路及绿化，同样能够较少对周围公众的影响。本项目拟建址周围50m范围集中在院区红线内，而本项目所在区域均为集中管理的辐射工作场所，有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对周围环境影响较小，**从辐射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。**

4.实践正当性

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，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。

医院在放射诊断、放射治疗、介入治疗过程中，对放射源、射线装置及非密封放射

性物质的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对放射源、射线装置和非密封放射性物质的安全管理在建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理放射源、射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。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。

5.项目产业政策符合性

本项目属于国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中的“鼓励类”第三十七条“卫生健康”第 1 款“1．医疗服务设施建设：预防保健、卫生应急、卫生监督服务设施建设，医疗卫生服务设施建设，传染病、儿童、精神卫生专科医院和康复医院（中心）、护理院（中心）、安宁疗护中心、全科医疗设施与服务，医养结合设施与服务”，其建设符合国家现行产业政策。

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	$^{90}Sr/^{90}Y$	1.50E+09Bq×1	V	使用	敷贴治疗	二期医疗综合楼地下一层核医学科	二期医疗综合楼地下一层核医学科储源柜内	本次扩建
2	^{68}Ge	5.55E+08×1	V	使用	校准	二期医疗综合楼地下一层核医学科 PET-CT 机房		本次扩建
3	^{68}Ge	5.55E+08×1	V	使用	校准			
4	^{68}Ge	5.55E+08×1	V	使用	校准	二期医疗综合楼地下一层核医学科 PET-MRI 机房		本次扩建
5	^{68}Ge	5.55E+08×1	V	使用	校准			

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）	年最大操作量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{18}F	液态、低毒	使用	1.480E+10	1.480E+07	3.70E+12	显像诊断	很简单操作	二期医疗综合楼地下一层核医学科	二期医疗综合楼地下一层核医学科储源柜内
2	^{32}P	液态、中毒	使用	1.480E+08	1.480E+07	3.70E+10	敷贴治疗	简单操作		
3	^{89}Sr	液态、中毒	使用	1.850E+08	1.850E+07	3.70E+10	骨转移治疗	简单操作		
4	^{177}Lu	液态、中毒	使用	1.850E+09	1.850E+08	9.25E+10	前列腺癌治疗	简单操作		
5	^{131}I	液态、中毒	使用	3.700E+10	3.700E+09	1.85E+12	甲癌治疗	简单操作		

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）/剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II	1	瓦里安 Truebeam	电子	X 射线：15MV 电子线：22MeV	X 射线：6MV-1400cGy/min（1m 处） 10MV-2400cGy/min（1m 处） 15MV- 600cGy/min（1m 处） 电子线：1000cGy/min（1m 处）	放射治疗	二期医疗综合楼负一层放疗科加速器机房	本次扩建
2	螺旋断层放疗系统（TOMO）	II	1	安科锐 Radixact Treatment De	电子	6MV（放射治疗） 3.5MV（CT 成像）	治疗剂量率：1060cGy/min(0.85m 处） 成像剂量率：45cGy/min(0.85m 处）	放射治疗	二期医疗综合楼负一层放疗科 TOMO 刀机房	本次扩建

（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	ERCP	II	1	西门子 AXIOM Artis U	150	800	放射诊断/介入治疗	二期医疗综合楼北楼二层内镜中心 ERCP 胰胆治疗室	本次扩建
2	中 C	II	1	西门子 AXIOM Artis U	150	800	放射诊断/介入治疗	二期医疗综合楼北楼二层内镜中心中 C 内镜治疗室	本次扩建
3	DSA	II	1	飞利浦 Azurion 7 M20	125	1000	放射诊断/介入治疗	二期医疗综合楼北楼四楼手术室 OR22（DSA 复合手术室）	本次扩建
4	CT	III	1	飞利浦 Brilliance iCT Family	140	1000	放射诊断	二期医疗综合楼北楼四楼 CT 室（DSA 复合手术室）	本次扩建
5	DSA	II	1	北京万东医疗科技股份有限公司 CGO-2100	125	1000	放射诊断/介入治疗	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 1	本次扩建
6	DSA	II	1	GE Optima IGS 330	125	1000	放射诊断/介入治疗	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 2	本次扩建

7	DSA	II	1	飞利浦 Azurion 3 M15	125	1000	放射诊断/介入治疗	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 3	本次扩建
8	DSA	II	1	飞利浦 UNIQ FD20	125	1000	放射诊断/介入治疗	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 4	本次扩建
9	DSA	II	1	西门子 Artis Q zeego	125	1000	放射诊断/介入治疗	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 5	本次扩建
10	DSA	II	1	西门子 Artis Q zen floor	125	1000	放射诊断/介入治疗	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 6	本次扩建
11	DSA	II	1	西门子 Artis Q zen ceiling	125	1000	放射诊断/介入治疗	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 7	本次扩建
12	PET-CT	III	1	西门子 Biograph mCT 128	140	800	放射诊断	二期医疗综合楼负一层核医学科	本次扩建
13	CT 模拟定位机	III	1	西门子 SOMATOM Force	150	1300	放射诊断	二期医疗综合楼负一层放疗科 CT 模拟机房	本次扩建

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大靶电流（μA）	中子强度（n/s）	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度（Bq）	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
二期核医学科								
核医学科固体放射性废物：一次性注射器、口罩、口杯、擦拭纸和空药瓶、手套、塑料袋等（放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液将留存于原容器或专用容器内）	固态	^{18}F、^{32}P、^{89}Sr、^{177}Lu、^{131}I	/	约 194.6kg	约 2335kg	可以解控的：辐射剂量率满足所处环境本底水平、β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 ； 无法解控的：废物包装体外的表面剂量率不超过 0.1mSv/h，表面污染水平对β和γ发射体小于 4 Bq/cm^2。	（1）门诊区分装室产生的 ^{18}F、^{32}P 放射性废物以及敷贴治疗室产生的 ^{32}P 放射性废物暂存于放射性废物暂存间 4；门诊区诊疗区域产生的 ^{18}F 相关放射性废物暂存于放射性废物暂存间 1；治疗区的甲癌住院区域以外区域产生的 ^{131}I、^{89}Sr、^{177}Lu 相关放射性废物暂存于放射性废物暂存间 3；甲癌住院区域患者产生的放射性废物暂存于放射性废物暂存机 2。 （2）二期的活性炭暂存于放射性废物暂存间 1。 （3）各暂存间内设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物分开存放：a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物超过 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 ^{131}I 的放射性固体废物暂存超过 180 天。	暂存衰变经过监测达标后，针对活性炭结合 HJ 1188—2021 的 7.2.3.1 和 7.4.2 与其他废物一起作为医疗废物处理。长期暂存依旧无法监测达标的，按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。
核医学科排风口更换的活性炭（半年更换一次）	固态	^{18}F、^{32}P、^{89}Sr、^{177}Lu、^{131}I	/	约 46.7kg	约 560kg			

核医学科的排泄废水、清洗废水、淋浴废水	液态	^{18}F、^{89}Sr、^{177}Lu、^{131}I	/	约 41.2m^3	4.94E+02m^3	总β不大于 10Bq/L；^{131}I 的相应废水暂存 180 天后，衰变池废水直接排放	液态放射性废物通过专用管道排至衰变池暂存。门诊区的 ^{18}F 相关废水进入二期的门诊区衰变池 1#、2#；治疗区的 ^{89}Sr 相关废水进入二期骨转移区衰变池 1#、2#；^{177}Lu、^{131}I 相关废水进入二期住院区衰变池 1#、2#、3#、4#、5#（污泥池）。	经衰变池收集贮存到排水计划周期（其中 ^{131}I 的相应废水暂存 180 天以上），监测达标后排入医院污水处理站
核医学科气态放射性废物	气态	^{18}F、^{32}P、^{89}Sr、^{177}Lu、^{131}I	/	微量	微量	微量	不暂存	经手套箱过滤净化系统净化后通过核医学科独立的排风系统引至屋顶高于屋面排放，并在出口处设置雨帽及活性炭过滤装置
臭氧及氮氧化物	气态	/	/	/	少量	/	不暂存	通过排风管道引至屋顶排放，直接进入大气，臭氧在常温条件下约 50min 可自然分解为氧气
退役放射源（校准源）	固体	^{68}Ge	/	/	/	/	暂存于二期核医学科的门诊区储源室内	由原生产厂家回收或由城市放射性废物库回收处置

医用直线加速器、TOMO、ERCP、中 C、DSA、CT、PET-CT 射线装置								
名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	少量	不暂存	直接进入大气，常温常态常压的空气中臭氧分解半衰期为 50 分钟，可自动分解为氧气
废靶件（医用直线加速器）	固态	/	/	/	/	/	不暂存	由生产厂家回收处置，若生产厂家不能回收，则应交有收贮资质的单位回收处置
医疗废物（主要产生自 ERCP、中 C、DSA 工作场所）	固态	/	/	/	药棉（约 1200kg/a）、纱布（约 1500kg/a）、手套（约 1300kg/a）、含有废弃造影剂的输液瓶（约 800kg/a）	/	暂存在院区医疗废物暂存间	采用专用容器集中收集后按照医疗废物执行转移联单制度，委托当地有资质的单位定期处置

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、年排放总量分别用比活度(Bq/l 或 Bq/kg 或 Bq/m^3)和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	1) 《中华人民共和国环境保护法》（2014年修订本），中华人民共和国主席令第9号，自2015年1月1日起施行； 2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正本），中华人民共和国2018年主席令第24号，自2018年12月29日起施行； 3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国2003年主席令第6号，自2003年10月1日起施行； 4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020年修订本），中华人民共和国2020年主席令第43号，自2020年9月1日起施行 5) 《建设项目环境保护管理条例》（2017年修正本），中华人民共和国2017年国务院令第682号，自2017年10月1日起施行； 6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国原环境保护部令第18号公布，自2011年5月1日起施行； 7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019年修正本），中华人民共和国2019年国务院令第709号，自2019年3月2日起施行； 8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），中华人民共和国生态环境部令第20号修正，自2021年1月4日起施行； 9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，中华人民共和国生态环境部令第16号，自2021年1月1日起施行； 10) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，中华人民共和国原国家环保总局环发〔2006〕145号，自2006年9月26日起施行； 11) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，中华人民共和国生态环境部公告2019年第39号，自2019年11月1日起施行）； 12) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，中华人民共和国生态环境部2019年部令第9号，自2019年11月1日起施行；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，中华人民共和国生态环境部2019年公告第38号，自2019年11月1日起施行； 13) 《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》，中华

	人民共和国生态环境部公告2019年第57号，自2020年1月1日起施行； 14) 《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），江苏省人民代表大会常务委员会公告2018年第2号，自2018年5月1日起施行； 15) 《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，自2018年6月9日起施行； 16) 《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，自2020年1月8日起施行； 17) 《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，自2020年6月21日起施行； 18) 《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），2021年5月31日印发； 19) 《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》，原环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局2017年公告第65号，自2018年1月1日起施行； 20) 《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； 21) 《放射源分类办法》，原国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号，自 2005 年 12 月 23 日起施行； 22) 《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》，原环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局2017年公告第65号，自2018年1月1日起施行； 23) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，原环境保护部办公厅环办辐射函〔2016〕430号，2016年3月7日公布并实施； 24) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，生态环境部辐射源安全监管司，辐射函〔2023〕20号，2023年9月11日社会公开； 25) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第7号），自2024年2月1日起施行。
技术标准	1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）； 2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； 3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； 4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；

	5) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 6) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）； 7) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）； 8) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； 9) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）； 10) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； 11) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； 12) 《表面污染测定 第1部分：β发射体（E β max＞0.15MeV）和α发射体》（GB/T 14056.1-2008）； 13) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）； 14) 《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）； 15) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)； 16) 《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）。
其他	**附图：** 附图 1 苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）地理位置图 附图 2-1 苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）周围环境示意图 附图 2-2 苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）平面布置图 附图3本项目与生态空间管控区域相对位置关系图 医用直线加速器及TOMO刀项目 附图 4 二期医疗综合楼负一层医用直线加速器及 TOMO 刀机房平面布局图 附图 5 医用直线加速器及 TOMO 刀机房平面及剖面布置图 核医学科项目 附图 6-1 二期医疗综合楼负一层北半部平面布局图 附图 6-2 二期医疗综合楼一层北半部平面布局图 附图 6-3 二期医疗综合楼负二层北半部平面布局图 附图 6-4 核医学科平面布局图 附图 6-5 核医学科人流物流示意图

附图 6-6 核医学科控制区监督区示意图

附图 6-7 核医学科辐射安全与防护措施分布图

附图 6-8 核医学科排风管道示意图

附图 6-9 核医学科衰变池设计图（1）

附图 6-9 核医学科衰变池设计图（2）

附图 6-9 核医学科衰变池设计图（3）

附图 6-10 核医学科废水管道示意图

附图 6-11 核医学科最终排口示意图

ERCP、中 C 及 DSA 项目

图 7-1 二期医疗综合楼北楼 1 层平面布置图

图 7-2 二期医疗综合楼北楼 2 层平面布置图

图 7-3 二期医疗综合楼北楼 3 层平面布置图

图 7-4 二期医疗综合楼北楼 4 层平面布置图

图 7-5 二期医疗综合楼北楼 5 层平面布置图

附件：

附件 1 委托书

附件 2 承诺书

附件 3 原有核技术项目环评批复

附件 4 辐射安全许可证正副本及验收材料

附件 5 本项目拟建址周围环境本底检测报告

附件 6 本项目拟购射线装置说明书

附件 7 本项目血管造影用 X 射线装置及 PET-CT 工况说明

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

本项目拟使用的射线装置均为II类射线装置、III类射线装置，拟使用的放射源为V 类放射源，扩建的非密封放射性物质工作场所为乙级。根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”相关规定，确定为本次核技术利用项目所在所有工作场所实体屏蔽墙体外 50m 范围内作为评价范围，详见附图 2-2。

保护目标

本项目建设地点位于苏州工业园区崇文路 9 号，本次放射诊疗项目所在所有工作场周围 50m 范围集中在院区红线范围，不涉及居民区、学校等环境敏感目标。

对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号）、《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49号）后可以确定，本项目不涉及江苏省生态空间管控区域、江苏省国家级生态保护红线区域。本项目评价范围内不涉及《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》第三条中环境敏感区。本项目的建设符合江苏省及苏州市“三线一单”（生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单）要求。

根据本项目评价范围确定本项目环境保护目标为：

表7-1 本项目保护目标情况一览表

保护目标名称			方位	最近距离（m）	人员数量	剂量约束值（mSv/a）
医用直线加速器、TOMO 刀及配套使用的 CT 模拟定位机	辐射工作人员	医用直线加速器、TOMO 刀机房控制室及紧邻的机房内	治疗室北侧及紧邻机房内	紧邻	≤8 人	5.0
	周围公众	二期医疗综合楼	东侧、北侧	紧邻	医护约 300 人/天；患者及陪护家属约 500 人/天	0.1
		一期综合楼	南侧	约 15m	医护约 200 人/天；患者及陪护家属约 400 人/天	0.1
		院区道路及绿化	上方	紧邻	流动人员	0.1

核医学科	辐射工作人员	核医学科内	/	/	≤16 人	5.0
	回旋加速器（预留）辐射工作人员	核医学楼下	下方	紧邻	约 6 人	5.0
	周围公众	二期医疗综合楼	东侧、西侧、北侧、楼上	紧邻	医护约 200 人/天；患者及陪护家属约 400 人/天	0.1
		一期综合楼	南侧	约 32m	医护约 50 人/天；患者及陪护家属约 250 人/天	0.1
		二期感染楼	西侧	约 28m	医护约 50 人/天；患者及陪护家属约 100 人/天	0.1
		院区道路及绿化	上方南侧、西侧、北侧	约 5m	流动人员	0.1
ERCP/中C/复合手术室及配套使用的 CT 室	辐射工作人员	手术室及辅房	/	紧邻及内部	≤21 人	5.0
	周围公众	二期医疗综合楼	东侧、南侧、西侧、北侧、楼上、楼下	紧邻	医护约 400 人/天；患者及陪护家属约 600 人/天	0.1
		一期综合楼	南侧	约 48m	医护约 10 人/天；患者及陪护家属约 60 人/天	0.1
		院区道路及绿化	南侧、北侧	约 20m	流动人员	0.1
导管手术室 1~7	辐射工作人员	手术室及辅房	/	紧邻及内部	≤49 人	5.0
	周围公众	二期医疗综合楼	东侧、南侧、西侧、北侧、楼上、楼下	流动人员	医护约 300 人/天；患者及陪护家属约 600 人/天	0.1
		一期综合楼	南侧	约 34m	医护约 100 人/天；患者及陪护家属约 300 人/天	0.1
		二期感染楼	西侧	约 46m	医护约 5 人/天；患者及陪护家属约 20 人/天	0.1
		院区道路及绿化	南侧、西侧、北侧	约 15m	流动人员	0.1

评价标准

1）职业照射和公众照射的照射剂量限值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

类别	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。

2）剂量约束值

参考《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002 ）“11.4.3.2 剂量约束值”，结合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021 ）中“4.4.2 剂量约束值”以及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）“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”要求，本项目剂量约束值如下：

A）职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

B）公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

医用加速器、TOMO 刀：

1）剂量率参考控制水平

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）6.1.4 及《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121—2020）6.3.1 确定管理目标：

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

机房外辐射工作人员：$\dot{H}c$≤100μSv/周；

机房外非辐射工作人员：$\dot{H}c$≤5μSv/周。

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

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

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

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

控制。

C）对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 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）。

*	*
*	*

图 7-1 医用加速器及 TOMO 刀机房外关注点

表 7-3 医用加速器及 TOMO 刀机房外剂量率参考控制水平

关注点位		位置	居留因子	使用因子	周出束时间 h/周	$\dot{H}_c$，μSv/周	剂量率参考控制水平μSv/h		
							$H_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$	**$\dot{H}_c$**
医用直线加速器机房	北墙外 30cm（f 点）	控制室	1	1	10	100	10	2.5	**2.5**
	北墙外 30cm（k 点）	设备间	1/20	1	10	100	200	10	**10**
	东墙外 30cm（b 点）	TOMO 刀机房	1/2	1/4	10	100	80	10	**10**
	防护门外 30cm（g 点）	等候区通道	1/8	1	10	5	4	10	**4**
	顶部表面外 30cm（1 点）	院区道路	1/40	1/4	10	5	80	10	**10**
注：根据 GBZ/T201.2-2011 中“有用线束水平照射或向顶照射（使用因子 U=0.25）”，本项目 a、b、1 点使用因子为 0.25，其余点位均取 1。									
关注点位		位置	居留因子	使用因子	周出束时间 h/周	$\dot{H}_c$，μSv/周	剂量率参考控制水平μSv/h		
							$H_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$	**$\dot{H}_c$**
TOMO 刀机房	北墙外 30cm（f’点）	控制室	1	1	10	100	10	2.5	**2.5**
	北墙外 30cm（k’点）	设备间	1/20	1	10	100	200	10	**10**
	西墙外 30cm（b’点）	医用直线加速器机房	1/2	1/4	10	100	80	10	**10**
	东墙外 30cm（a’点）	配套机房	1/20	1/4	10	100	800	10	**10**
	东墙外 30cm（c'_1、c'_2 点）	配套机房	1/20	1/4	10	100	800	10	**10**
	防护门外 30cm（g’点）	等候区通道	1/8	1	10	5	4	10	**4**
	顶部表面外 30cm（l’点）	院区道路	1/40	1/4	10	5	80	10	**10**
注：根据 GBZ/T201.2-2011 中“有用线束水平照射或向顶照射（使用因子 U=0.25）”，本项目 a’、b’、l’点使用因子为 0.25，其余点位均取 1。									

2）废物管理要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）“8 放射性废物管理要求”确定管理目标：

（2.1）固态废物管理要求

直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如活化后的准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为固体放射性废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固态废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。低水平的活化部件等集中放置在固态废物暂存间暂存衰变，经衰变后仍超出清洁解控水平的送交有资质的单位收贮。

建立放射性固态废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率)、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固态废物处置，并做好存档记录。

（2.2）气态废物管理要求

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。

非密封放射性物质工作场所

1）放射性表面污染控制水平

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

6.2.3 表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服，以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B（标准的附录）B11 所规定的限制要求。

表 7-4 工作场所的放射性表面污染控制水平　　单位： Bq/cm^2

表 面 类 型		β放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4×10
	监督区	4
工作服手套、工作鞋	控制区、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}
*该区内的高污染子区除外。		

***β粒子最大能量小于 0.3MeV 的β放射性物质的表面污染控制水平，可为本表 中所列数值的 5 倍。**

2）周围剂量当量率

结合《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020 ）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）以及生态环境部辐射源安全监管司 2023 年 9 月 11 日《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）确定本项目屏蔽要求如下：

A）距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μSv/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。

（*控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2），周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子＜1/2），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 10μSv/h）；

B）放射性药物分装的箱体应设有屏蔽结构，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。

C）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。

（*结合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表 J.1 核医学工作场所控制区边界周围剂量当量率检测点的选择及数量，针对楼下关注点取控制区房间下方人员可达处离地 1.7m 位置）

3）放射性废物管理

（3.1）固体放射性废物

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021 ）“7.2.3 固体放射性废物处理”及“7.4.2”，结合本项目核素特征确定管理目标：

收集

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

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

C）放射性废物每袋重量不超过 20 kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

D)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。

贮存

A）产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

B）放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有

效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

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

D）含放射性的实验动物尸体或器官应装入废物袋做好防腐措施（如存放至专用冰柜内），并做好屏蔽防护。不需要特殊防护措施即可处理的尸体含放射性常用核素的上限值见附录 C。

E）废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

处理

A）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，β表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

B）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；

C）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；

D）含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

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

F）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。

（3.2）液态放射性废物

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021 ）“7.3.3 放射性废液排放”及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》规定，结合本项目核素特征确定管理目标：

收集

A）核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。（本项目衰变池均为槽衰变池）

B）核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

C）核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

D）放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

贮存

A）经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

B）含 ^{131}I 治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为 2 组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。

C）核医学诊断和门诊 ^{131}I 治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为 3-5 级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。（本项目衰变池均为槽衰变池）

排放

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，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β不大于 10 Bq/L。含 ^{131}I 的放射性废水暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放；

C） 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。

D)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；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 ^{131}I 的暂存超过 180 天）。二期治疗区的住院区衰变池内废水暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。其余衰变池在暂存至计划周期，监测结果经确认后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总β不大于 1Bq/L。

E）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。

（3.3）气态放射性废物

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021 ）“6.2.2”“6.3 密闭和通风要求”和“7.4 气态放射性废物的管理”规定确定管理目标：

A）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。

B）放射性物质的分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、手套箱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行。手套箱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。

C）手套箱应有足够的通风能力。设有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。

D）产生气态放射性废物的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。单独的排风系统意为手套箱等设备的排风管道在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体可汇入到一个主管道中排放。

E）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（通风设计厂家推荐半年一次）。更换下来的过滤器按固体放射性废物进行收集、处理。

ERCP、中 C 及 DSA:

1）使用面积、单边长度、屏蔽防护铅当量厚度要求

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）6.1.5 和 6.2.2 确定管理目标：

表 7-5 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

机房类型	机房内最小有效使用面积 m^2	机房内最小单边长度 m
单管头 X 射线设备(含 C 形臂)	20	3.5
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5

表 7-6 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）	2.5	

2）周围剂量当量率

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）“6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平”确定管理目标：

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

B) CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5 μSv/h；

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

（*机房地面下方（楼下）关注点为距楼下地面 170 cm 处）

参考资料

1）《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 7-7 江苏省全省环境天然γ辐射剂量率调查结果　　单位：nGy/h

项目	原野	道路	室内
测值范围	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	14.0

***现状评价时，参考“均值±3s”数值：原野为（50.4±21.0）nGy/h；道路为（47.1±36.9）nGy/h；室内为（89.2±42）nGy/h。**

2）*；

3）*；

4）*；

5）*；

6）*；

7）*；

8）*；

9）*。

表 8 环境质量和辐射现状

1. 项目地理和场所位置

苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）位于苏州工业园区崇文路 9 号。医院东侧为雪堂街；南侧为创苑路；西侧为松涛街；北侧为崇文路。

医用直线加速器及螺旋断层放疗系统（TOMO）

本项目医用直线加速器及螺旋断层放疗系统（TOMO）位于二期医疗综合楼负一层中部，医用直线加速器及螺旋断层放疗系统（TOMO）东侧为各类配套机房，南侧、西侧为土层，北侧为控制室、设备间及等候区，楼上为院区道路及绿化，楼下为土层。

核医学科

本项目核医学科位于二期医疗综合楼负一层西北部，核医学科东侧为各类库房及设备用房，南侧为土层，西侧为各类机房，北侧为配电房、停车场及电梯厅，楼上为肿瘤门诊、日间化疗大厅及道路，楼下为回旋加速器工作场所（预留）及停车场。

ERCP、中 C 及 DSA 项目：

ERCP、中C及DSA项目：

本项目1台ERCP及1台中C分别安装于北楼二层内镜中心ERCP胰胆治疗室及北楼二层内镜中心中C内镜治疗室，两间机房南北设置，中间共用控制室。该区域东侧为过道，南侧为卫生间，西侧为过道，北侧为库房和麻醉库房，下方为等候区，上方为会议室、更衣区、办公室、过道。

本项目OR22（DSA复合手术室）位于北楼四楼手术中心（二）内，OR22（DSA复合手术室）西侧、北侧和东侧为过道、南侧为设备间、体外循环间、走廊、控制室，下方为机房、值班室、办公室及过道，上方为预留区域。

本项目7台DSA分别安装于北楼五层导管手术室内，编号分别为1~7，该区域东侧为手术层办公区，南侧及西侧为走廊及办公区，北侧为项目辅房、走廊及楼梯间，下方为楼梯间、过道、手术室、机房及库房，上方为楼外。

本项目所有核技术利用项目 50m 范围集中于院区内，不涉及院区外居民区、学校等环境敏感目标。本项目周围环境保护目标主要为从事本项目操作的辐射工作人员及周围公众。

*	*
二期医疗综合楼拟建址北侧	一期综合楼北侧（二期感染楼拟建址）
*	*
二期医疗综合楼拟建址西侧	一期综合楼
*	*
一期与二期项目之间院区道路及绿化拟建址	一期综合楼楼内庭院
二期医疗综合楼北楼拟建址	二期医疗综合楼南楼拟建址
*	*
*	*
一期综合楼北侧	院区北门

图 8-1 本项目拟建址周围环境现状及工程师现场踏勘照片

2.环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

评价对象：本项目扩建医用核技术利用项目拟建址周围辐射环境。

监测因子：本项目扩建医用核技术利用项目拟建址周围环境γ辐射剂量率、β表面沾污、中子辐射剂量率。

监测点位：本项目扩建医用核技术利用项目拟建址及周围布设γ辐射剂量率监测点位、β表面沾污监测点位及中子辐射剂量率监测点位，分别位于本项目扩建医用核技术利用项目拟建址周围及保护目标处。

3. 监测方案、质量保证措施

监测方案：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）及《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）在扩建医用核技术利用项目拟建址周围布设监测点位，对扩建医用核技术利用项目拟建址周围环境辐射水平进行检测。

质量保证措施：江苏睿源环境科技有限公司已通过检验检测机构资质认定，合理布设检测点位，保证各检测点位布设的科学性，同时满足相关标准要求。检测按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）和公司《质量体系文件》的要求，实施全过程质量控制。检测人员均经过考核并持有合格证书，检测仪器均经过计量部门检定，并在有效期内，检测报告实行三级审核制度，检测时仪器使用前后检查是否正常。

4. 监测结果与环境现状调查结果评价

监测单位：江苏睿源环境科技有限公司

监测日期：

本项目拟建址：2023 年 5 月 10 日（环境条件：天气：阴；温度：24℃；湿度：36%）

检测仪器：

①仪器设备：X-γ辐射监测仪

型号/规格：BG9512P

设备编号：RY-J001

检定有效日期：2022.6.6——2023.6.5

检定单位：江苏省计量科学研究院

检定证书编号：Y2022-0045496

测量范围：外置探头：10nGy/h~200μGy/h

能量响应范围：外置探头：25keV~3MeV

②仪器设备：表面沾污仪

型号/规格：CoMo170

设备编号：RY-J002

检定有效日期：2022.5.26——2023.5.25

检定单位：江苏省计量科学研究院

检定证书编号：Y2022-0045505

③仪器设备：中子周围剂量当量（率）仪

型号/规格：YT-0611N

设备编号：RY-J003

校准有效日期：2022.6.29——2023.6.28

检定单位：中国核动力研究设计院

检定证书编号：校字第 2022-N009 号

中子灵敏度：2.83cps/nSv/h

测量范围：0.01uSv/h~100mSvh

能量响应范围：0.025eV～15MeV

评价方法：参考表 7-8 江苏省全省环境天然γ辐射剂量率调查结果，评价该项目周围环境辐射水平。

监测结果：本项目拟建址周围现状环境γ辐射剂量率监测结果见表 8-1，环境β表面沾污检测结果见表 8-2，中子辐射剂量率检测结果见表 8-3，（报告见附件 5），上述监测点位示意图见图 8-2。

表 8-1 本项目拟建址周围环境γ辐射剂量率检测结果

测点号	点位描述	测量结果（nGy/h）	备注		
1	院区东部北	70	道路	道路	检测日期：2023 年 5 月 10 日
2	院区北部东	69	道路	道路	
3	院区北部西	68	道路	道路	
4	院区西部北	69	道路	道路	
5	院区西部中（1）	69	道路	道路	
6	院区中部西（1）	67	道路	道路	
7	院区中部东（1）	68	道路	道路	
8	院区东部中（1）	67	道路	道路	
9	院区东部中（2）	70	道路	道路	
10	院区中部东（2）	76	道路	道路	
11	院区中部西（2）	81	楼房	室内	
12	院区西部中（2）	79	楼房	室内	

13	院区西部南	75	道路	道路	
14	院区南部西	70	道路	道路	
15	院区南部东	66	道路	道路	
16	院区东部南	67	道路	道路	

***已扣除宇宙响应值（仪器的宇宙响应值为 13nGy/h）。**

***BG9512P 型 X-γ辐射监测仪直接读数单位为 nGy/h。建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房取值为 0.8，平房取值为 0.9，原野、道路取值为 1。**

表 8-2 本项目拟建址周围环境β表面沾污检测结果

测点号	测点位置	β（Bq/cm^2）	备注
1	院区东部北	未检出	检测日期：2023 年 5 月 10 日
2	院区北部东	未检出	
3	院区北部西	未检出	
4	院区西部北	未检出	
5	院区西部中（1）	未检出	
6	院区中部西（1）	未检出	
7	院区中部东（1）	未检出	
8	院区东部中（1）	未检出	
9	院区东部中（2）	未检出	
10	院区中部东（2）	未检出	
11	院区中部西（2）	未检出	
12	院区西部中（2）	未检出	
13	院区西部南	未检出	
14	院区南部西	未检出	
15	院区南部东	未检出	
16	院区东部南	未检出	

注：β表面污染检测下限为 0.031Bq/cm^2。

表 8-3 本项目拟建址周围环境中子辐射剂量率检测结果

测点号	点位描述	测量结果（μSv/h）	备注
1	院区东部北	未检出	检测日期：2023 年 5 月 10 日
2	院区北部东	未检出	
3	院区北部西	未检出	
4	院区西部北	未检出	
5	院区西部中（1）	未检出	
6	院区中部西（1）	未检出	
7	院区中部东（1）	未检出	
8	院区东部中（1）	未检出	
9	院区东部中（2）	未检出	
10	院区中部东（2）	未检出	
11	院区中部西（2）	未检出	
12	院区西部中（2）	未检出	
13	院区西部南	未检出	
14	院区南部西	未检出	
15	院区南部东	未检出	
16	院区东部南	未检出	

注：中子辐射剂量率检测下限为 0.01uSv/h。

根据表 8-1 的监测结果可知，苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）本项目拟建址周围 X-γ辐射剂量率在 66nGy/h~76nGy/h（道路）、79nGy/h~81nGy/h（室内）范

围内，与江苏省天然γ辐射水平相当。

根据表 8-2、8-3 的监测结果可知，苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）本项目拟建址周围β表面污染辐射水平低于检测下限（0.031Bq/cm^2），未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）B11 工作场所的表面污染控制水平。中子辐射剂量率低于检测下限（0.01uSv/h）。

*

图 8-2 本项目拟建检测点位示意图

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

1. CT模拟定位机

1.1 工程设备

CT 模拟定位系统是一个与 CT 扫描机连接的实时三维立体治疗计划系统，所有配置均由同一计算机工作站控制，集影像诊断、图像传输、肿瘤定位和治疗计划为一体。

表 9-1 本项目 CT 模拟定位机设备情况一览表

参数名称	参数值
型号	西门子 SOMATOM Force CT
管电压	150kV
管电流	1300mA
设备自身硬件铅当量	*

*

图9-1 西门子SOMATOM Force CT外形图

1.2 工作原理

模拟机的机架旋转、机头转动、限束器开闭、距离指示、照射野指示、治疗床各部分运动，都与医用加速器一样，因此它能准确地模拟加速器的一切机械运动。并通过模拟定位机的X线影像系统准确定出肿瘤的照射位置、照射面积、肿瘤深度、中心位置等几何参数，以及机架旋转、机头旋转角度、源瘤距、源皮距、限束器开度、升床高度等机械参数，能为治疗摆位提供有力依据，确保放射治疗的正确实施。基本配置包括以下几部分：

(1)CT 扫描系统：获取病人的影像资料；

(2) 多层面 CT 影像显示控制台；

(3) CT模拟软件系统(虚拟人体的建模、定位参考标系的确定、等中心空间位置的确立、虚拟定位片DDR (digitalreconstructedradiography)的生成等)和 3D-治疗计划系统（CT 模拟定位软件与治疗计划系统不是同一回事，二者可集成在一起，也可各自独立，不能互相取代）；

(4)激光投影定位装置，不同于直线加速器室用来进行设备定位和验证的激光系统在 CT 模拟定位系统有着特殊而重要的作用，计算机精确控制下实现定位参考点和治疗机等中心点的设立，是质量保证的一个较关键的环节；

(5)网络：通过基于 DICOM 及补充协议的 PACS 系统或其它数据传输系统及时、快速无损地传送影像数据是 CT 模拟定位技术迅速发展的主要原因之一。CT 模拟定位需要采集大量的影像数据 (一般为 20~40 层，10~20MB)，必须将其传输到专用的 CT 模拟定位软件中加以处理，借助网络可在几秒的时间内完成数据传输。

CT 模拟定位技术还可以提供任何重要组织与靶区的剂量体积直方图(DVH)，以观察剂量体积效应。还能在数秒内重建 CT 数字化影像，包括冠状、矢状和轴向的影像，通过 CT重建图像与剂量分布曲线的复合图，验证3D放疗计划结果。

1.3 工作流程及产污环节

CT 模拟定位系统的工作包括以下步骤:

(1) 准备阶段：准确完成病人的治疗位置摆位，从屋顶、两侧墙面三个方向用激光束将 CT 扫描中心点标记在皮肤上。

(2) CT 扫描和设定靶区：对肿瘤扫描，获得多层血横扫图像以及扫描轮廓(AP位与侧位)，在每一CT 图像上标出靶区与重要器官位置，并立即显示在多幅影像显示屏上(MID)。

(3) 剂量计算与优化处理：根据显示上获得的三维解剂信息，对基础射野经过快速优化计算，系统对放疗参数加以优化、修改、并设置挡铅块。

(4) 将治疗计划结果作标记：通过计算机控制的激光束将射线束中心、射野范围、挡错部位以及病人的体位进行标记，用笔或喷墨头将激光记号画在皮肤上。完成模拟定位的全过程。出束过程中可能产生X射线、臭氧及氮氧化物。

流程图见图9-4及图9-6。

1.4 CT模拟定位机人员配置及工作制度

人员配置：建设单位拟本项目CT模拟定位机机房配备2名辐射工作人员。

工作制度：本项目辐射工作人员每年工作250天，每周工作5天，为两座放疗机房患者提供治疗前模拟定位服务，每年预计服务病人不超过1000人。

2.医用直线加速器

2.1 工程设备

医用直线加速器以磁控管为微波功率源的驻波型加速器，它的结构单元为：加速管、微波系统、调制器、束流传输系统、准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。本项目加速器用于肿瘤的放射治疗，因加速器在治疗时具有多档调节模式

和调强功能。

表 9-2 本项目医用直线加速器设备情况一览表

参数名称	参数值
型号	瓦里安 Truebeam
能量	X 射线：15MV 电子线：22MeV
射线最大出束角	*
源轴距 SAD	*
距靶 1 米处最高剂量率	*
最大辐照野大小	*
机架旋转	*
靶材料	*
最大泄漏比例	*

*
*

图 9-2 瓦里安 Truebeam 医用电子直线加速器结构示意图

2.2 工作原理

加速器是使电子在高真空场中受磁场力控制、电场力加速而获得高能量的特种电磁、高真空装置，是人工产生各种高能电子束或 X 射线的设备。电子从电子枪发射出来，以一定的初始速度进入加速管，由磁控管或速调管来的微波电磁场同时输入到加速。电子在微波电场作用下，得到不断加速。加速后的电子经过偏转磁铁或消色差偏转磁铁，射向金属靶，当高能电子束与靶物质相互作用时产生韧致辐射，即 X 射线。X 射线经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。加速器按电子束治疗时，被加速的电子不被引导到 X 射线转换靶转换成 X 射线，而是被引导到散射箔，然后通过电离室、准直器、照射筒射向患者的病灶部位，达到治愈疾病的目的。

加速器是以磁控管为微波功率源的驻波型加速器，它的结构单元为：加速管、微波系统、调制器、束流传输系统、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行波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过2cm左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能X线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的X线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。典型的加速器机构图见下图。

*
加速器功能框图
*
X射线和电子束治疗模式结构示意图

图9-3 医用直线加速器设备功能信息图

2.3 工作流程及产污环节

（1）根据医师指导意见，需要接受治疗的病人提前预约登记，以确定治疗时间，候诊准备。

（2）进行定位：先在模拟定位机房进行扫描，确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。该过程可能产生 X 射线、臭氧及氮氧化物。

（3）制定治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间，在物理室内完成，物理师采用模具验证治疗计划。

（4）固定患者体位：利用加速器进行治疗时，医师指导护师需对患者进行定位、标记、调整照射角度和照射野。

（5）医师离开机房回到控制室内，技师确认无其他人员滞留，各类工作按钮正常后，关闭防护门。

（6）技师在控制室设置参数，按照医疗方案调整好出束时间、角度、剂量。

（7）开机治疗时，医师在控制室内通过监控观察。开机出束过程可能产生 X 射线、电子束、中子、臭氧及氮氧化物、感生放射性物质。

（8）治疗完毕，停止出束，病人离开机房。停止出束后短时间内机头部件周围仍可能有感生放射性物质产生。

本项目医用直线加速器工作流程及产污环节如图所示：

*

图9-4 本项目医用直线加速器工作流程及产污环节示意图

2.4 直线加速器人员配置及工作制度

人员配置：建设单位拟本项目加速器机房配备4名辐射工作人员。

工作制度：本项目辐射工作人员每年工作250天，每周工作5天，加速器年出束时间不超过500小时，周出束时间不超过10小时，实行白班单班制。

3.螺旋断层放疗系统（TOMO）

3.1 工程设备

螺旋断层放疗系统（TomoTherapy，俗称 TOMO，）融合了 CT 影像系统和 IMRT 技术，其一台 6MV 的直线加速器安装在 CT 机架的滑环上，在患者随治疗床移动，对体积大、形状复杂的肿瘤实施高度适形的照射，并有效地避免对危机器官的照射。

同时，其同源的兆伏级 CT 设计可以每天治疗前获取 MVCT 影像，对患者进行摆位验证，确保了肿瘤靶区的精确照射。螺旋断层放射治疗系统（TOMO）包括以下部分：

1）旋转机架：直线加速器部分、CT 探测器子系统、温控系统安装在旋转机架上；

2）患者治疗床：带有复合材料的平板床面，用于支撑患者和旋转孔内移动患者；

3）激光定位系统：有利于确定床上患者的初始位置，在断层图像匹配后也可实现修正患者位置；

4）操作台工作站：控制室内，操作人员可控制和监视断层图像的采集、患者定位和治疗情况；

5）状态控制台：配有选择步骤类型的钥匙开关，开始、停止出束、紧急停止按钮及其状态指示灯；

6）计划系统工作站：用于图像采集和组织定义，评估及保存优化治疗计划；

7）共享数据库服务器：包含整个系统所使用的患者和机器数据；

8）最优化引擎：采用剂量优化和剂量计算，该设备采用专用硬件来加速优化和剂量计算过程。

表 9-3 本项目螺旋断层放疗系统（TOMO）设备情况一览表

参数名称	参数值
型号	安锐科 Radixact Treatment De
能量	治疗束：X 射线≤6MV；CT 扫描射线束： X 射线≤3.5MV
源轴距 SAD	*
等中心点相对水平地面高度	*
治疗束剂量率	*
CT 扫描射线束剂量率	*
最大照射野尺寸	*
射线最大出束角	*
机架旋转角度	*
靶材料	*
最大泄漏比例	*

Radixact 螺旋放疗系统是一种图像引导的强度调制放射疗法（IG-IMRT），该平台通过独特的高速多叶准直仪（MLC），结合 ClearRT™ 螺旋扇形束 kVCT 成像技术，可在不损害正常健康组织的情况下对肿瘤形成辐射。

Radixact 放射治疗传送系统通过在组织间形成陡峭的剂量梯度，以确保在保留正常组织的同时，创建与肿瘤形状一致性较高的剂量。由于该系统配备了内置真实 CT 探测器，因此可以提供图像引导和调节性放射治疗，现在具有 Synchrony®实时输送适配功能，可在输送过程中移动目标。

Radixact 在治疗前可以确定肿瘤形状和肿瘤位置并执行日常成像，从而确保照射

肿瘤时精确的靶向性，能针对各类癌症提供有效、准确的个性化放射治疗。

*
安科锐螺旋断层放疗系统（TOMO）产品图
*
TOMO 系统结构示意图

图 9-5 安锐科 Radixact Treatment De 设备系统信息图

3.2 工作原理

螺旋断层放射治疗系统（TOMO）是一个综合的放射治疗系统，集成了计划、剂量计算、CT 扫描定位和螺旋治疗等功能调强放射治疗。这一系统的主要特点在于：高能 X 射线束 360°旋转聚焦注射肿瘤，靶区适形性佳，剂量分布均匀，使正常组织及器官得到最大限度的保护；具有图像引导功能，每次治疗前在治疗机上进行 MVCT 成像，确认治疗体位在三维空间上与治疗计划--致后再进行放疗，从而保证了治疗的精确性。

6MV 直线加速器安装在螺旋 CT 滑环机架上，加速管沿机架的径向安装，机架能够 360°旋转。它可产生 6MV 的扇形束 X 射线，经射线出口处的二元开/关式多叶准直器调制，从而实现 360°螺旋断层调强放射治疗，也可形成 3.5MV 的扇形束 X 射线，经螺旋扫描而重建出兆伏级的三维 CT 图像(即 MVCT)。在治疗开始前进行 MVCT 成像扫描，重建出患者的三维影像，与计划 CT 影像进行比较，从三维方向上修正摆位误差，从而实现图像引导下的 IMRT 治疗。

TOMO 是螺旋 CT 和 6MV 直线加速器的结合体，其与加速器在辐射防护上的区别为，治疗系统自带 12.5cm 铅厚度主束挡铅，安装于 X 射线发生器对侧位置上，并同步转动，由于有用束对应区带有的铅板和治疗区结构件的总屏蔽效能，使有用束对应的治疗区的辐射剂量与泄漏辐射相当，从而减少了室内所需的屏蔽。

3.3 工作流程及产污环节

（1）根据医师指导意见，需要接受治疗的病人提前预约登记，以确定治疗时间，候诊准备。

（2）进行定位：根据病灶的部位确定定位体位，通过 MRI 或 CT 扫描采集影像资料，用于确定靶区位置、形状和大小。该过程可能产生 X 射线、臭氧及氮氧化物。

（3）制定治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小，放疗医师根据医

学影像临床诊断资料，提出放射治疗方案和精确治疗计划。

（4）固定患者体位：放射治疗计划完成，并经放疗医师确认后，放疗技师领患者进入治疗室，对患者进行摆位，医师指导护师需对患者进行定位、标记、调整照射角度和照射野。

（5）医师离开机房回到控制室内，技师确认无其他人员滞留，各类工作按钮正常后，关闭防护门。

（6）技师在控制室设置参数，按照医疗方案调整好出束时间、角度、剂量。开机治疗时医师在控制室内通过监控观察。该过程可能产生 X 射线、臭氧及氮氧化物。

（7）治疗完毕，停止出束，关闭系统，病人离开机房。

本项目螺旋断层放射治疗系统（TOMO）工作流程及产污环节如图所示：

*

图9-6 本项目TOMO工作流程及产污环节示意图

3.4 人员配置及工作制度

人员配置：建设单位拟本项目TOMO刀机房配备4名辐射工作人员。

工作制度：本项目辐射工作人员每年工作250天，每周工作5天，TOMO年出束时间不超过500小时，周出束时间不超过10小时，实行白班单班制。

3.5 人流物流路径

医护人员：本项目加速器机房设置二期医疗综合楼负一层。技师每日可通过办公区域进入控制室准备放疗工作，医护人员进入机房进行摆位，摆位完成后医护人员退出机房进入控制室，技师开始放疗工作。

患者：患者前期准备工作完成后，治疗当天通常由西侧电梯进入负1层，通过走道到达等候区进行等候。随后进入机房进行治疗，治疗完成后，患者原路返回离开放射治疗区。

物流：机房内产生的污物运往污物暂存间。

*

图9-7 本项目医用加速器和TOMO人流物流路径示意图

4. 核医学科

4.1 工程设备

本项目核医学科拟建址位于二期医疗综合楼负一层，包括 PET-CT 显像区、PET-MRI 显像区、敷贴室、甲癌治疗、前列腺癌治疗、骨转移治疗等辐射工作场所，

拟使用 ^{18}F、^{32}P、^{89}Sr、^{177}Lu、^{131}I 非密封放射性物质，配套使用 1 台 PET-CT 及配套使用的 2 枚 V 类校准源 ^{68}Ge、1 台 PET-MRI 及配套使用的 2 枚 V 类校准源 ^{68}Ge。

同时建设单位在该场所内敷贴室使用 1 枚V类放射源 $^{90}Sr/^{90}Y$ 敷贴器，用于敷贴治疗。核医学科拟使用核素的参数见下表。

表 9-4 本项目核医学科主要技术参数表

非密封放射性物质					
核素名称	半衰期	主要衰变方式	主要β粒子能量/ MeV	主要γ射线能量/MeV	用途
^{18}F	109.8min	*	*	*	显像诊断
^{32}P	14.26d	*	*	*	敷贴治疗
^{89}Sr	50.53d	*	*	*	骨转移治疗
^{177}Lu	6.73d	*	*	*	前列腺癌治疗
^{131}I	8.02d	*	*	*	甲癌治疗
放射源					
核素名称	半衰期	主要衰变方式	主要β粒子能量/ MeV	主要γ射线能量/MeV	用途
$^{90}Sr/^{90}Y$	28.1a	*	*	*	敷贴治疗

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C1 非密封放射性物质工作场所的分级判据。

表 9-5 非密封放射性物质工作场所的分级

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

根据附录 C2 放射性核素的日等效操作量的计算，放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。

表 9-6 放射性核素毒性组别修正因子

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

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）：放射性药品生产中，分装，标记等活动视为“简单操作”；医疗机构使用 ^{18}F 相关活动视为“很简单的操作”，使用 ^{131}I 核素相关活动视为“简单操作”。需要制备敷料或分装的核素 ^{32}P、^{89}Sr、^{177}Lu 操作方式修正因子参照 ^{131}I。

表 9-7 操作方式与放射源状态修正因子

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

本项目各非密封放射性物质毒性参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）表 A.1 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB188871-2002）附录 D。

表 9-8 本项目非密封放射性物质工作场所工作负荷表

核素名称	单个患者配药消耗实际用量（mCi/人/次）	日最大患者量（人）	日最大用量（Bq）	年最多患者（人）	年最大用量（Bq）
^{18}F	10	40	1.480E+10	10000	3.70E+12
^{32}P	2	2	1.480E+08	500	3.70E+10
^{89}Sr	5	1	1.850E+08	200	3.70E+10
^{177}Lu	50	1	1.850E+09	50	9.25E+10
^{131}I	200	5	3.700E+10	250	1.85E+12

PET显像通常需要6mCi/人，考虑到药物衰变，通常按照10mCi/人考虑购药量（每日400mCi）。假设患者用药时间相隔15min，实际每日^{18}F的施用量最大约为375mCi，假设交接及分装时间花费10min，则预计购入400mCi能够满足要求。

表 9-9 本项目非密封放射性物质工作场所分级表

核素名称	日最大用量/Bq	毒性分组	毒性组别修正因子	性状	操作方式	操作方式修正因子	日等效最大操作量/Bq
^{18}F	1.480E+10	低毒	0.01	液态	很简单操作	10	1.480E+07
^{32}P	1.480E+08	中毒	0.1	液态	简单操作	1	1.480E+07
^{89}Sr	1.850E+08	中毒	0.1	液态	简单操作	1	1.850E+07
^{177}Lu	1.850E+09	中毒	0.1	液态	简单操作	1	1.850E+08
^{131}I	3.700E+10	中毒	0.1	液态	简单操作	1	3.700E+09
合计日等效最大操作量/Bq				3.94E+09			
工作场所级别				乙级			

根据表 9-9，核医学科场所日等效最大操作量为 3.94E+09Bq，场所等级为乙级。

PET-CT 是将 PET 与 CT 融为一体，由 PET 提供病灶详尽的功能与代谢等分子信息，而 CT 提供病灶的精确解剖定位。PET 系统的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。CT 主要由扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统组成，其中扫描部分由 X 线管、探测器和扫描架组成。

PET-MRI 是一种融合了正电子发射型计算机断层显像（PET）和磁共振（MRI）成像的先进显像设备。它相当于是 PET 和磁共振的结合，只要做一次扫描，就能同

时完成 PET 和磁共振的检查。

PET-MRI 总体结构包括磁体、梯度线圈、射频系统和表面线圈，以及与体线圈整合在一起的具有 TOF 技术的 PET 探测器环、电子学线路、数据处理、扫描机架、冷却系统和同步扫描床等。具有 TOF 技术的 PET 探测器和 MRI 信号传输均采用光纤技术以加速数据传输，并且达到提高信噪比目的。为了将 PET 与 MRI 之间的电、磁干扰降到最低程度，需要对 PET 探测器整体进行静磁场屏蔽、射频屏蔽和γ射线（511keV）屏蔽，以实现 PET 与 MRI 设备进行同步扫描功能。

*	*
PET-MRI机型外观图	PET-CT机型外观图

图 9-8 常见 PET-MRI 和 PET-CT 机器外形图

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。PET-CT 主要技术参数见下表（见附件 6）。

表 9-10 本项目核医学科 PET-CT 主要技术参数表

射线装置：X 射线机							
设备名称	工作模式	主射方向	X 射线管/准直器的最低总过滤当量	额定工况		常用最大工况	
				管电压	管电流	管电压	管电流
PET-CT	拍片	北侧、南侧、上侧、下侧	*	140kV	800mA	120kV	350mA
设备自身硬件铅当量：*							

PET-CT 和 PET-MRI 共配备 4 枚 5.55E+08Bq^{68}Ge 校准源。密封校准源 ^{68}Ge 主要用于 PET 的能量及图像校准，4 枚 ^{68}Ge 校准源平常存放于核医学科储源柜内。当 PET 图像空间位置不准确时，由专人从校准保险箱内取出，在 PET 机房使用，一般每半年校准一次。工作人员将含密封校准源铅罐推至设备外挂放射源支架上，工作人员退出机房，设备进行校准。校准源使用过程中不产生放射性废物，图像校准及能量校准过程中释放出γ射线贯穿屏蔽层对操作人员产生影响甚微。^{68}Ge 校准源衰变放出γ射线，同时也会产生退役校准源。

4.2 工作原理

（1）PET-MRI 和 PET-CT 项目

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。

MR 即磁共振成像，磁共振成像是断层成像的一种，利用磁共振现象从人体中获得电磁信号，并重建出人体信息。PET-MRI 即正电子发射计算机断层显像仪和核磁共振成像技术结合一体化组合成的大型功能代谢与分子影像诊断设备，扫描过程中 PET 对进入人体内的正电子核素进行扫描并显像，可获得代谢显像，而 MRI 对 PET 图像做放射性的衰减校正，可以提供解剖学和组织特征，两者相结合可以看到组织功能和新陈代谢，可提供比传统成像方式更为优质的影像结果，是目前最好的高端体检手段。

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，借此诊断疾病，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子，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，便可以几乎同时接收到这两个光子，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组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。

（2）^{32}P、$^{90}Sr/^{90}Y$敷贴治疗工作原理

放射性核素敷贴治疗：某些病变对β射线较敏感，可利用^{32}P、^{90}Sr或^{90}Y对表浅病变进行外照射治疗。$^{90}Sr/^{90}Y$为成品放射源，取出后可直接使用于患处，^{32}P通常制成敷料，适用于不同患处。

（3）^{131}I甲癌治疗工作原理

一般来说，甲癌病人在颈部的病灶可以通过手术切除，但是有一些病灶是超出了颈部或者是颈部病灶很广泛，甲状腺腺体组织没有完全切除干净，一般可进行 ^{131}I 治疗。利用特异性抗体作为载体，与能释放β射线或γ射线的放射性核素结合，借助抗体的靶向作用，与肿瘤组织特异性结合，使肿瘤组织区域浓聚大量的放射性核素，并滞留一定时间，放射性核素在衰变过程中发射出β射线或γ射线，通过射线的辐射作用破坏或干扰肿瘤细胞的结构和功能，起到抑制、杀伤或杀死肿瘤细胞的作用。

（4）^{89}Sr核素治疗原理

^{89}Sr放射性药物主要用于缓解乳腺癌、肺癌、鼻咽癌、神经内分泌肿瘤等晚期恶性肿瘤骨转移所致骨痛，用于治疗肿瘤转移的放射性药物都是趋骨性的，骨组织代谢活跃的部分浓聚更多的放射性药物。骨肿瘤病灶部位由于骨组织受到破坏，成骨细胞的修复作用极其活跃，所以浓聚大量的放射性药物。由于不是肿瘤细胞直接浓聚放射性药物，是肿瘤部位骨组织代谢活跃形成的放射性药物浓聚，因此是一种间接的浓聚机制。浓聚的放射性核素在衰变过程中发射出来的射线对病变进行集中照射，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，使受到大剂量照射的细胞因繁殖能力丧失、代谢紊乱、细胞衰老或死亡，从而达到抑制或破坏病变组织，达到治疗目的。本项目使用^{89}Sr核素治疗骨转移癌。

（5）^{177}Lu核素治疗原理

前列腺特异性膜抗原（prostate specific membrane antigen，PSMA）是由前列腺上皮细胞分泌的一种II型跨膜糖蛋白，主要表达于前列腺癌细胞表面，尤其在转移性去势抵抗性前列腺癌（metastatic castration resistant prostate cancer，mCPRC）患者中常为高表达。PSMA是前列腺癌诊断与治疗中最具前景的标志物与靶点。

靶向PSMA放射性配体疗法为前列腺癌治疗带来了革命性的变化，其中小分子抑制剂PSMA-617和PSMA-I&T是目前广泛应用的PSMA配体。^{177}Lu-PSMA依靠对PSMA的高亲和结合力靶向前列腺癌细胞，通过^{177}Lu的放射性杀伤肿瘤细胞，并减少对邻近

正常组织的影响。

4.3工作流程及产污环节

（1）显像诊断

本项目^{18}F放射性药物直接向有资质单位进行购买，本项目不涉及^{18}F药物制备，其注射和显像流程如下：

①根据预约的患者数量向供药公司订购非密封放射性物质^{18}F，并由供药公司运输到医院；

②供药公司在早晨或下午将订购量的^{18}F送往医院，运输过程由供药公司负责，运输过程中^{18}F药物放在铅罐内。该过程可能产生γ射线及β射线；

③供药公司送来的药物放入PET-CT区域储源室内。其中^{18}F半衰期极短（109.8min），每次订购的放射性药物当天全部用完（暂存时间每日不超过1h）；

④分装室工作人员（做好防护措施，穿铅衣、铅手套等）将装有放射性核素的铅罐放在50mm铅当量手套箱（PET-CT区域分装室）内进行分装。分装完成后通过对讲机呼叫患者进行药物注射，注射时，工作人员和患者采用隔离操作，注射窗材质为50mm铅当量。该过程可能产生γ、β射线、β表面沾污、韧致辐射、放射性三废；

⑤每一位患者注射完药物后进入注射后等候室进行静息观察，观察等待期间禁止人员陪护，患者不得离开休息室；注射后等候室1最大容纳4名患者，注射后等候室2最大容纳1名患者，各休息室之间不允许串门。该过程可能产生γ、β射线、放射性三废；

⑥观察时间结束后，注射了^{18}F的患者进入PET-CT检查室或者PET-MRI检查室进行扫描，单次扫描时间约2~10min。该过程可能产生γ、β射线、X射线、臭氧、氮氧化物；

⑦扫描完成后，患者进入休息室留观静息，期间多喝水排泄，无异常后患者离开。该过程可能产生γ、β射线、放射性三废。

校准过程影响极小且频次极低，日常工作流程及产污环节如下：

*

图9-9 PET-CT、PET-MRI工作流程及产污环节图

（2）^{131}I 甲癌治疗

治疗流程

由于甲癌患者服药剂量较大，根据建设单位介绍，本项目甲癌患者最大服药量为200mCi。甲癌患者通常需住院治疗（3~5天），达到出院标准后方可出院。

①治疗前准备：首先详细询问病史、临床表现，进行相关体格检查后进行相关辅助检查，必要时行相应扫描。根据患者病史、症状及体征并结合辅助检查结果进行病情评估，办理住院手续。^{131}I治疗前，向患者详细说明治疗过程，并说明治疗的禁忌症及可能出现的不良反应和副作用，详细宣教^{131}I治疗后对周围人群的辐射防护。治疗方案制定：由科室副主任医师或以上人员根据患者病情进行治疗方案的制定。治疗前说明该治疗可能导致的不良反应及副作用之后，取得患者同意，签署知情同意书，准备治疗。治疗前嘱患者停用甲状腺片、优甲乐、雷替斯等甲状腺制剂、含碘食物药物1~2周，治疗当日空腹；

②^{131}I治疗药物剂量：根据患者病史、病情及相关辅助检查结果进行药物剂量的确定，然后根据预约的患者量向供药公司订购非密封放射性物质^{131}I，并由供药公司运输到医院。供药公司在早晨将订购的^{131}I送往医院，运输过程由供药公司负责，运输过程中^{131}I药物放在铅罐内。供药公司送来的药物放入储源室（暂存时间每日不超过1h）。该过程可能产生γ射线及β射线；

③^{131}I药物准备：本项目使用自动分碘仪和对讲装置，因此实际在甲癌治疗过程中，辐射工作人员可在手套箱外设定自动分碘仪进行自动分装，随后离开治疗区域。护师台通过对讲机和监控指导患者进入给药区，由患者自行服药。治疗完毕嘱告知患者治疗后注意事项，辐射工作人员酌情处理紧急情况。该过程可能产生γ、β射线、韧致辐射、β表面沾污、放射性三废；

④甲状腺癌^{131}I治疗患者服用药物后禁止外出，仅允许在病房内部自由活动，服药后住院观察，如无明显不良反应则准予出院并告知患者出院后注意事项、药物使用及复诊时间和内容；患者离开前在检测区进行检测，确保出院时体内放射性活度不超过400MBq。该过程可能产生γ、β射线、β表面沾污、放射性三废。

日常工作流程及产污环节如下：

*

图 9-10 甲癌治疗流程图

（3）^{89}Sr 核素治疗

治疗流程

①核医学科门诊接诊恶性肿瘤骨转移患者，首先详细询问病史、临床表现，进行相关体格检查后进行相关辅助检查。根据患者病史、症状及体征并结合辅助检查结果进行病情进行^{89}Sr治疗。^{89}Sr治疗前，向患者详细说明治疗过程，并说明治疗的禁忌症及可能出现的不良反应和副作用。治疗方案制定：由科室副主任医师或以上人员根据患者病情进行治疗方案的制定。治疗前说明该治疗可能导致的不良反应及副作用之后，取得患者同意，签署知情同意书，准备治疗。

②治疗实施：根据患者病史、病情及相关辅助检查结果进行药物剂量的确定，然后根据预约的患者量向供药公司订购非密封放射性物质^{89}Sr，并由供药公司运输到医院。供药公司在早晨将订购的^{89}Sr送往医院，运输过程由供药公司负责，运输过程中89Sr药物放在铅罐内。供药公司送来的药物放入核医学科储源柜内（暂存时间每日不超过1h）。该过程可能产生β射线；

③^{89}Sr 药物准备：分装室辐射工作人员将在手套箱外对装有放射性药物进行分装。分装完成后通过对讲机呼叫患者进行药物注射，注射时，工作人员和患者采用隔室操作；治疗完毕嘱告知患者治疗后注意事项，辐射工作人员酌情处理紧急情况。该过程可能产生β射线、韧致辐射、β表面沾污、放射性三废；

④^{89}Sr治疗患者注射后在留观室留观0~3小时，无异常后患者离开。该过程可能产生β射线、β表面沾污、放射性三废。

日常工作流程及产污环节如下：

*

图9-11 骨转移治疗流程图

^{177}Lu 核素治疗

治疗流程

①治疗前准备：首先详细询问病史、临床表现，进行相关体格检查后进行相关辅助检查，必要时行相应扫描。根据患者病史、症状及体征并结合辅助检查结果进行病情评估，办理住院手续。^{177}Lu治疗前，向患者详细说明治疗过程，并说明治疗的禁忌

症及可能出现的不良反应和副作用，详细宣教^{177}Lu治疗后对周围人群的辐射防护。治疗方案制定：由科室副主任医师或以上人员根据患者病情进行治疗方案的制定。治疗前说明该治疗可能导致的不良反应及副作用之后，取得患者同意，签署知情同意书，准备治疗；

②^{177}Lu治疗药物剂量：根据患者病史、病情及相关辅助检查结果进行药物剂量的确定，然后根据预约的患者量向供药公司订购非密封放射性物质^{177}Lu，并由供药公司运输到医院。供药公司在早晨将订购量的^{177}Lu送往医院，运输过程由供药公司负责，运输过程中^{177}Lu药物放在铅罐内。供药公司送来的药物放入储源室（暂存时间每日不超过1h）。该过程可能产生γ、β射线；

③^{177}Lu药物准备：分装室辐射工作人员（做好防护措施，穿铅衣、铅手套等）将在手套箱外对装有放射性药物进行分装。分装完成后通过对讲机呼叫患者进行药物注射，注射时，工作人员和患者采用隔室操作；治疗完毕嘱告知患者治疗后注意事项，辐射工作人员酌情处理紧急情况。该过程可能产生γ、β射线、韧致辐射、β表面沾污、放射性三废；

④^{177}Lu治疗患者服用药物后禁止外出，仅允许在病房内部自由活动，服药后住院观察，如无明显不良反应则准予出院并告知患者出院后注意事项、药物使用及复诊时间和内容。给药后后续通过扫描了解全身^{177}Lu摄取情况以预评估本次治疗效果。^{177}Lu患者住院3天。该过程可能产生γ、β射线、β表面沾污、放射性三废。

日常工作流程及产污环节如下：

*

图 9-12 前列腺癌治疗流程图

（4）^{32}P敷贴治疗

操作流程

^{32}P放射性溶液保存在一层北侧核医学科储源间的铅罐中。患者由接诊台的护师带入敷贴治疗室后，医师根据患者病变的大小、厚薄及部位的不同，选择不同的剂量和疗程，确定每次照射时间，在手套箱内制作不同的^{32}P敷贴器。

①根据患者病史、病情及相关辅助检查结果进行药物剂量的确定，然后根据预约的患者量向供药公司订购非密封放射性物质^{32}P，并由供药公司运输到医院。供药公司在早晨将订购的^{32}P送往医院，运输过程由供药公司负责，运输过程中^{32}P药物放在

铅罐内。供药公司送来的药物放入储源室（暂存时间每日不超过1h）。该过程可能产生β射线；

②辐射工作人员随后穿戴乳胶手套，在手套箱内操作，采用优质滤纸采按病变形状要求剪成规格大小及形状不同的纸片，作为^{32}P溶液的支持物，滤纸上画有格子。用生理盐水分别将不同大小与形状的滤纸做一次吸水试验以确定滴加^{32}P溶液的毫升数；用手控移液管吸取预先计算好的混有色剂的^{32}P溶液，按每张滤纸的吸水量分格滴加^{32}P溶液，通过颜色的深浅来调整^{32}P活度的分布均匀性。烤干滤纸，色剂均匀分布。用三层优质塑料薄膜与胶布套封，经检测表面无放射性污染后即可使用。该过程可能产生β射线、韧致辐射、β表面沾污、放射性三废；

③请患者进入敷贴室进行同室治疗。该过程可能产生β射线、β表面沾污、放射性三废；

④只完成后请患者离开敷贴室。

日常工作流程及产污环节如下：

*

图 9-13 ^{32}P 敷贴治疗流程图

（5）$^{90}Sr/^{90}Y$敷贴治疗

A.操作流程

$^{90}Sr/^{90}Y$皮肤敷贴器保存在一层北侧核医学科储源间的铅罐中。患者由接诊台的护师带入敷贴治疗室后，医师根据患者病变的大小、厚薄及部位的不同，选择不同的剂量和疗程，确定每次照射时间；治疗时，医师打开铅罐，持手柄取出敷贴器放在患处，治疗完毕，医师/护师将放射源放回铅罐，将铅罐放回储源间的保险柜中。运输过程中可能产生β射线，治疗和储源过程可能产生β射线及韧致辐射。

日常工作流程及产污环节如下：

*

图 9-14 $^{90}Sr/^{90}Y$ 敷贴治疗流程图

4.4 核医学科人员配置及工作制度

人员配置：建设单位拟本项目核医学科配备16名辐射工作人员，其中诊断区医护4名、治疗区医护4名、技师4名、清洁人员4名。受影响时间见表11-28。

工作制度：本项目辐射工作人员每年工作250天，每周工作5天，实行白班单班制。

4.5 人流物流路径

（1）人员流通合理性

①辐射工作人员：

每日医护人员由核医学科北侧电梯厅到达地下负1层，通过核医学科门厅进入留置针室东侧过道，通过缓冲区进入PET分装室及通过更衣室进入治疗区分装室。每日工作结束后，原路径返回。每日工作结束待所有患者检查结束后，所有医护人员在淋浴间更换好衣物，并进行放射性表面污染检测功能，检测放射污染合格，才能回到非放射工作场所。

每日技师人员由核医学科北侧电梯厅到达地下负1层，通过核医学科门厅进入阅片室南侧过道，从而进入PET-CT及PET-MRI控制室。每日工作结束待所有患者检查结束后，所有技师人员在控制室更换好衣物，并进行放射性表面污染检测功能，检测放射污染合格，才能回到非放射工作场所。

②患者：

门诊区：患者由核医学科北侧电梯厅到达地下负1层，通过核医学科门厅进入门诊区中间过道，在注射等候室进行注射给药，在注射后等候室内进行扫描等候，在PET-CT、PET-MRI机房进行诊断扫描，扫描后进入休息室留观，留观完成后通过**出口1**离开核医学场所，再通过核医学科楼梯3到达地面一层，经楼梯3北侧出口到达院区，从而离开医院。

甲癌治疗：患者由核医学科北侧电梯厅到达地下负1层，通过核医学科门厅进入病案室西侧过道，通过缓冲区进入甲癌病房区，在^{131}I给药区进行服药，服药后进入病房，住院5天，患者离开前在出院检测区进行检测，确保患者出院时体内放射性活度不超过400MBq。甲癌患者上午入院，入院后不离开甲癌病区，治疗完成由**出口2**离开核医学科，经核医学专梯2到达地面一层，经专梯1西侧出口到达院区，从而离开医院；日常病人通过金属传递窗投递废物到暂存间。

^{177}Lu治疗：患者由核医学科北侧电梯厅到达地下负1层，通过核医学科门厅进入病案室西侧过道，从而进入治疗区，在^{177}Lu给药区进行服药，服药后进入病房，住院3天离开核医学科。^{177}Lu患者仅周一上午入院，入院后进入病房听通知，当日下午去专用窗口完成服药，然后回到病房，病房有门禁，周三晚门诊工作结束出院，由**出口3**离开核医学科，经核医学专梯2到达地面一层，经专梯2南侧出口到达院区，从而离

开医院；病人较少，每周仅1名，出院时体内核素基本衰变殆尽。

骨转移治疗：患者由核医学科北侧电梯厅到达地下负1层，通过核医学科门厅进入病案室西侧过道，从而进入治疗区，在骨转移给药区进行服药，服药后进入留观室，留观完离开核医学科。患者周二~周五下午1:00~5:00期间听通知直接到专用窗口给药，然后进入留观室，5点前结束诊疗离开，由**出口3**离开核医学科，经核医学专梯2到达地面一层，经专梯2南侧出口到达院区，从而离开医院。

医院拟控制每个时段就诊患者数量，前一位病人注射（服药）完进入注射后候诊室后，医师通知下一位病人进行注射（服药），同理，当上一位病人扫描完从通道离开后，方通知下一位病人进行扫描，以避免病人之间交叉照射。本项目线路设置可有效避免带有放射性的病人对其它人员造成不必要照射。

③送餐人员：

送餐：送餐人员从负一层餐厅取得餐食后，通过总务库东侧过道、南侧过道至核医学科病案室南侧过道门与核医学科护师交接，然后传递给核医学科病人。

（2）药物及废物通道合理性

药物运入：

医院根据患者预约情况提前1天向厂家预约，当日早上由值班医护人员接应，厂家在用药当天医护人员上班前将核素经负二层停车场至核原入口电梯，通过核原入口电梯送至负一层，存放于储源室中。如有剩余药物，则在用药第二天上班前由厂家连同铅罐一并取回。药物运送时避开人流集中时间段，不与医护人员、患者出入时间交叉，符合要求。

废物运出：

放射性同位素操作过程中产生的如一次性注射器、手套、棉签、药瓶、吸水纸等带微量放射性同位素的固体废弃物，在分装室、敷贴室、服药室、各留观室、各候检室、各病房等房间内由铅废物暂存桶收集，所有废物集中分类收集工作在患者和医护人员均离开后开展。

核医学科区域放射性废物收集后暂存于废物暂存间内，均在铅废物存储罐进行贮存衰变，经检测达标后运至院区存放普通医疗废物的医疗废物暂存间。废气排风口设置的活性炭更换下的活性炭作为固体放射性废物处理。

因此，在时间上药物早上运入，废物晚上运出；在空间上药物经专梯运入，废物

经患者通道运出。物流互不交叉的同时，在时间上能够和人流实现分流。

（3）小结

核医学工作场所已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，能够减少给药后患者对其他人员的照射。通过管理及物理隔离，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已尽可能短捷。该核医学科路径规划是合理的。核医学科人流物流示意图见附图6-5。

5. 介入治疗

5.1工程设备

表 9-11 本项目介入治疗相关设备计划购置型号

装置名称、型号	装置参数	工作场所
ERCP（西门子 AXIOM Artis U）	150kV/800mA	二期医疗综合楼北楼二层内镜中心 ERCP 胰胆治疗手术室
中 C（西门子 AXIOM Artis U）	150kV/800mA	二期医疗综合楼北楼二层内镜中心中 C 内镜治疗手术室
DSA（飞利浦 Azurion 7 M20）	125kV/1000mA	二期医疗综合楼北楼四楼手术室 OR22（DSA 复合手术室）
CT（飞利浦 Brilliance iCT Family）	140kV/1000mA	二期医疗综合楼北楼四楼 CT 室（DSA 复合手术室）
DSA（北京万东医疗科技股份有限公司 CGO-2100）	125kV/1000mA	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 1
DSA（GE Optima IGS 330）	125kV/1000mA	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 2
DSA（飞利浦 Azurion 3 M15）	125kV/1000mA	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 3
DSA（飞利浦 UNIQ FD20）	125kV/1000mA	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 4
DSA（西门子 Artis Q zeego）	125kV/1000mA	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 5
DSA（西门子 Artis Q zen floor）	125kV/1000mA	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 6
DSA（西门子 Artis Q zen ceiling）	125kV/1000mA	二期医疗综合楼北楼五楼导管手术室 7
设备自身硬件铅当量：≥0.85mm		

5.1.1 ERCP、中C（移动式C臂X射线机）

ERCP（Encoscopic Retrograde Cholangio-Pancreatography）即经内镜逆行胰胆管造影技术，是目前微创治疗胆胰疾病的主要手段之一，是指将十二指肠镜插至十二指肠，找到十二指肠乳头，由活检管道内插入造影导管至乳头开口部，注入造影剂后进行X射线摄片，以显示胰胆管的技术。在ERCP的基础上，可以进行十二指肠乳头括约肌切除术（EST）、内镜下鼻胆汁引流术（ENBD）、内镜下胆汁内引流术（ERBD）等介入治疗。

ERCP使用的医疗射线装置多为移动式C臂X射线机及其衍生机。主要由带有影像

增强器或平板探测器电视系统的X射线诊断机、高压注射器、电子计算机图像处理系统、操作台、磁盘或磁带机、多幅照相机组成。

*	*

图9-15 常见ERCP设备（动态大平板数字胃肠机）及中C的示例图

*

图 9-16 本项目拟购机型产品图

5.1.2 DSA

该产品由高压发生器、球管、C形臂、平板探测器或影像增强器、缩光器、图像处理系统、控制台、显示器支架、显示器、X射线剂量记录设备、定位装置组成。

（1）X 线发射装置主要包括 X 线球管、高压发生器和 X 线遮光器。

介入治疗需要连续发射 X 射线，要求有较高的球管热容量和散射率，因此 DSA 必须具有阳极热容量在 1MHU 以上、具有大小焦点的 X 线球管。此外，还需具有一个能产生高千伏、短脉冲和恒定输出的高压发生器、X 线遮光器用来限制 X 线照射视野，避免患者接受不必要的辐射。

（2）影像检测和显示系统，用于将 X 线信息影像转换成可见影像。

目前数字成像系统共有两种：影像增强器和平板探测器。平板探测器分为间接转换平板探测器和直接转换平板探测器。间接转换平板探测器由碘化铯等闪烁体晶体涂层与非晶硅薄膜晶体管 TFT 构成。间接转换平板探测器的工作过程一般分为两步：闪烁晶体涂层将 X 射线的能量转换为可见光，其次非晶体硅 TFT 将可见光转换为电信号。直接转换平板探测器主要由非晶硒 TFT 构成：入射的 X 射线是硒层产生电子空穴对，在外加偏压电场作用下，电子和空穴向相反的方向移动形成电流，电流在薄膜晶体管中形成电信号。现代大型 DSA 设备普遍使用平板探测器，其转换环节少，减少了噪声，使 X 线光子信号的损失降到了最低限度，大大提高了光电转换效率。不但保证了优质的图像质量，而且降低了射线剂量。影像增强器可分为 X 射线影像增强器、红外线影像增强器和可见光影像增强器等。影像增强器是由增强管、管容器、电源、光学系统以及支架(支持)部分组成。它的主要部分是影像增强管，里面有输入屏(接受 X 射线辐射产生电子流)和输出屏(接受电子轰击发光)，使前者增强数千倍亮度的图像在输出屏上成像。

（3）影像处理和系统控制。

影像被数字化后，则需进行各种算术逻辑运算，并对减影的图像进行各种后处理。

计算机系统是血管造影机的关键部件，具有快速处理能力，主要对数字影像进行对数变换处理、时间滤波处理和对比度增强处理。

系统控制部分具有多种接口，用于协调 X 线机、机架、计算机处理器和外设联动等。

（4）机架系统和导管床机架有悬吊式和落地式两种，各有利弊，可根据工作特点和机房情况选择。导管检查床具有手术床和透视诊断床两种功能，多采用高强度、低衰减系统的碳素纤维床面，减少对 X 线的吸收。

（5）影像存储和传输系统（PACS），采用在线存储和近线存储两种存储方式，充分利用网络技术实现影像资料的共享，方便随时调阅，更加高效的交流和管理影像信息。

*

图9-17 DSA的示例图

5.1.3 CT

CT成像基本原理是用X线束对人体检查部位一定厚度的层面进行扫描，由探测器接收透过该层面的X线，转变为可见光后，由光电转换器转变为电信号，再经模拟/数字转换器（analog/digital converter）转为数字信号，输入计算机处理。图像形成的处理有如将选定层面分成若干个体积相同的长方体，称之为体素（voxel）。扫描所得信息经计算而获得每个体素的X线衰减系数或吸收系数，再排列成矩阵，即数字矩阵（digital matrix），数字矩阵可存储于磁盘或光盘中。经数字/模拟转换器（digital/anolog converter）把数字矩阵中的每个数字转为由黑到白不等灰度的小方块，即像素(pixel)，并按矩阵排列，即构成CT图像。

5.2 工作原理

5.2.1 ERCP、中 C 及 DSA

数字减影血管造影技术（简称DSA）及经内镜逆行性胰胆管造影术(ERCP)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、ERCP的成像基本原理为：将受检部位没有注入透明的造影剂和注入透明的造影剂（含有有机化合物，在 X 射线照射下会显影）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，可以看到含有造影剂的血液流动顺序以及血管充盈情况，从而了解血管的生理和解剖的变化，并以造影剂排出的路径及快慢推断有无异常通道和血流动力学的改变，因此进行介入手术时更为安全。数字X线系统原理图见下图。

*

图9-18 数字X线系统原理图

5.2.2 CT

本项目CT主要由扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统组成，其中扫描部分由X线管、探测器和扫描架组成。

5.3 工作流程及产污环节

5.3.1 本项目介入诊疗工作流程及产污环节

（1）病人候诊、准备、检查：由主管医师写介入诊疗申请单；介入接诊医师检查是否有介入诊疗的适应症，在排除禁忌症后完善术前检查和预约诊疗时间。

（2）向病人告知可能受到的辐射危害：介入主管医师向病人或其家属详细介绍介入诊疗的方法、途径、可能出现的并发症、可预期的效果、术中所用的介入材料及其费用等。

（3）设置参数，医护人员护送病人进入 ERCP、中 C 及 DSA 手术室并辅助摆位：根据不同手术或检查方案，设置射线装置的相关技术参数，以及其他监护仪器的设定。

（4）根据不同的治疗方案，医师、技师及护师密切配合，完成介入手术或检查；复合手术室诊疗过程中如若需进行 CT 扫，将暂停 DSA 设备上诊疗工作，打开 DSA 手术室及 CT 手术室之间防护门，将病人推入 CT 室进行扫描，随后原路送回 DSA 手术室继续进行诊疗工作；

产污：ERCP、中C、DSA及CT出束过程中将产生X射线；X射线电离空气产生臭氧和氮氧化物。

（5）诊疗完毕关机：手术医师应及时书写手术记录，技师应及时处理图像、刻录光盘或照片，急症病人应尽快将胶片交给病人；对单纯接受介入造影检查的病人，手术医师应在 24 小时内将诊断报告写出由病人家属取回。

产污：诊疗过程中的耗材将转化为医疗废物，由清洁人员运走集中暂存。

本项目一般 ERCP、中 C 及 DSA 设备工作流程及产污环节如下图：

*

图9-19 本项目ERCP、中C及DSA设备工作流程及产污环节示意图

*

图 9-20 本项目 DSA-CT 复合手术室工作流程及产污环节示意图

ERCP、中 C 及 DSA 设备在进行曝光时分两种情况：

第一种情况（摄影）：技师采取隔室操作的方式（即技师在控制室内对病人进行曝光），医师通过铅玻璃观察窗观察 ERCP、中 C 及 DSA 手术室/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）：医师需要进行手术治疗时，为更清楚地了解病人情况时会有连续曝光，并采取连续脉冲透视，此时操作医师位于铅屏或铅帘后身着铅服、戴铅眼镜等在 ERCP、中 C 及 DSA 手术室/机房内对病人进行直接的手术操作。

5.4人流物流规划

人流：

医护人员：每日手术前医师、技师和护师由医师通道进入ERCP、中C及DSA控制室，然后由控制室进入ERCP、中C及DSA手术室或机房，技师通过医师通道进入控制室调试设备；手术结束后，按原路线返回。

患者：手术开展前，病人从病房经走廊从患者通道进入ERCP、中C及DSA手术室或机房，术后护师通过患者通道把病人推回病房休息。

污物：在手术结束、病人离开后，清洁人员将所有医疗废物经ERCP、中C及DSA手术室或机房防护门将医疗废物运至住院部内的污物间，定期委托有资质单位外运处置。

5.5 工作量及曝光时间

工作制度及人员配置：本项目辐射工作人员每年工作250天，实行白班单班制。本项目10台DSA/ERCP/中C共计配备40名医师，20名护师，10名技师。

开机时间：医院根据诊疗经验预计，心血管内科将是手术量及接触射线时长最长的科室。因此主要评估上述科室辐射工作人员年有效剂量，以确定从事介入相关工作的辐射工作人员的最大年有效剂量。

经医院预计，心血管内科每名医师最多每年承担 200 场介入相关诊疗工作，每名护师最多每年承担 400 场介入相关诊疗工作，每名技师最多每年承担 400 场介入相关

诊疗工作。手术中 10%为复杂手术（透视平均出束 25min），10%为普通手术（透视平均出束 15min），80%为简单手术（透视平均出束 8min），每台手术摄影出束 1min，则每名医师透视时间约为 34.7h，每名护师透视时间为 69.3h，每名医师摄影时间 3.33h，每名护师摄影时间 6.67h。每间手术室每年承担 400 场介入相关诊疗工作，每名技师和周围公众每年透视时间为 69.3h，摄影时间 6.67h。

综上所述，本项目辐射工作人员配置情况如下表：

表9-12 本项目辐射工作人员配置情况一览表

科室	核技术利用项目	辐射工作人员配置	每年受影响时间
放疗科	CT 模拟定位机	2 名技师	每年服务患者不超过 1000 人
	医用直线加速器	4 名医护	平均每人每周 10h，每年 500h
	TOMO 刀	4 名医护	平均每人每周 10h，每年 500h
核医学科：门诊区、治疗区		16 名辐射工作人员，其中诊断区医护 4 名、治疗区医护 4 名、技师 4 名、清洁人员 4 名	诊断区医护人均约 463h，技术人均约 1698h，治疗区医护人均约 16.2h，清洁人员人均约 54.1h
介入科：ERCP/中 C/DSA，复合手术室 CT		40 名医师，20 名护师，10 名技师	每名医师参与透视时间约为 34.7h，每名医师参与摄影时间 3.33h； 每名护师参与透视时间为 69.3h，每名护师参与摄影时间 6.67h； 每名技师参与每年透视时间为 69.3h，摄影时间 6.67h。

6. 原有工艺不足和改进情况

建设单位的原有核技术项目均已履行环保手续，已建设项目已申领辐射安全许可证并完成自主验收。

根据原有辐射工作场所年检报告可知，原有核技术项目周围剂量当量率满足标准要求，同时根据各设备性能检测报告可知其符合仪器相关质控评价标准。经过确认，原有辐射工作人员最新连续四季度个人剂量结果未出现超标情况，且各运营场所辐射防护措施及相关制度齐全。原有辐射工作人员已参加辐射防护与安全知识考核及自主考核、已定期进行职业健康体检、个人剂量计送检，并有完善的辐射工作人员个人剂量及职业健康档案。院区已配备与原有核技术利用项目相匹配的监测仪器及报警设备。

综上所述，原有工艺不存在不足和需要改进情况。本项目因医疗需求增长，需进一步扩展核技术利用项目。

污染源项描述

一．医用直线加速器及 TOMO 刀项目

1.辐射污染源分析

(1) X 射线、电子线

医用直线加速器及 TOMO 刀的电子枪产生的电子经过加速后，受到金属靶的阻止而产生韧致辐射 X 射线，其辐射可分为瞬发辐射和感生辐射两类。瞬时辐射包括初级辐射(被加速的电子) 及其与靶材料或加速器的结构材料相互作用产生的次级辐射 X 射线等。瞬发辐射在加速器运行时产生，关机后即消失。剩余是指加速器的初级电子束和次级辐射在加速器结构材料及环境介质(包括空气、屏蔽物等) 中诱发生成的感生放射性。剩余辐射在加速器关机后仍存在。而且随加速器的运行时间的增加而积累，随加速器关机时间的增加而减弱。但只有当粒子的能量大于核反应的阈能时，才会产生感生放射性。

本项目医用直线加速器及 TOMO 刀可以提供 2 种射线（X 射线和电子线）用于肿瘤治疗，医用直线加速器最大 X 射线能量为 15MV，最大电子线能量为 22MeV；TOMO 刀最大 X 射线能量为 6MV（放射治疗），最大 X 射线能量为 3.5MV（CT 成像）。电子与靶物质作用产生韧致辐射 X 射线。由于 X 射线的贯穿能力极强，对周围环境可能造成辐射污染，但运行时产生的 X 射线随加速器的开关而产生和消失。加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。配套使用的模拟定位 CT 扫描时会产生 X 射线。在医用直线加速器、TOMO 刀和 CT 出束的时间内，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。

医用直线加速器在运行时，电子枪产生大量的电子，电子被加速后聚焦为一股束流，电子束虽然占据的体积小，但能量非常集中，电子束的贯穿能力比 X 射线弱，加速器四周的混凝土屏蔽墙和防护门均能将其完全屏蔽。

直线加速器停止运行后，无 X 射线污染产生。

（2）中子

在加速器工作时，高能电子束与靶物质相互作用而产生的韧致辐射，与加速器部件以及空气等物质作用形成放射性核，而会发生光核反应，放出中子。根据《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) 中“7.1 对于高于 10MV X 射线治疗束和质子重

离子治疗束的放射治疗，除考虑中子放射防护外，在日常操作中还应考虑感生放射线的放射防护。”，本项目拟建的医用直线加速器能量为 15MV，需考虑中子辐射和感生放射性。

由治疗机头中产生的中子分为 2 部分：一部分是混在 X 射线野内的原射快中子和经治疗机头衰减漏射出来的漏射中子组成的直射中子，另一部分是由治疗室墙壁、天花板、地板多次散射后的散射中子，散射中子其能量较低。上述中子是放射治疗工作中不需要的，所以又统称为污染中子。

中子的辐射生物效应远高于 X、γ射线，按中子能量高低，其辐射权重因子(WR)为 5~20，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了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防护门的影响。

(3) 感生放射性

本项目医用直线加速器电子最大能量为 22MeV，当治疗过程中电子能量超过相关核素（γ，n)反应的阈能量时，中子活化作用使治疗室空气中产生 ^{3}N、^{15}O 等放射性气体。其衰变过程中产生正电子，即β+射线，β+射线在空气中的射程只有几米。放射性气体产额很低，半衰期较短，通过合理的通风系统可使其浓度降低。

（3）固体废物

电子最大能量为 22MeV 的医用直线加速器金属靶部件由于受电子的轰击会产生较强的感生放射性，医用直线加速器金属靶更换时会有废靶件产生，废靶件属于固体放射性废物。

二. 核医学科场所

1.辐射污染源分析

1.1 外照射

根据二期核医学科涉及使用的放射性核素的物理特性，运行过程可产生的电离辐射包括：β、γ射线、β射线产生的韧致辐射（本项目核素能量见表 9-3），同时 PET-CT 扫描时 CT 会产生 X 射线，PET-CT 最大管电压为 140kV。

1.2表面污染

二期核医学工作人员操作放射性药物时，有可能出现溢出、滴洒等，均会造成工

作台面、地面、设备表面和操作器械的放射性污染；这些表面污染如果不及时发现、处理，会对人员产生外照射。

1.3.固体放射性废物

本项目核医学门诊检查、治疗区工作场所产生的固体放射性废物有：因采用注射、口服的方式进行给药后产生的一次性注射器、针头、手套、药瓶、滤纸等医用器具，产生量约 100g/（d·人·次），^{32}P 为敷贴治疗，几乎不产生固体放射性废物和液态放射性废物，制作敷贴器过程中如果产生废液采用滤纸吸附的方法将其转化为固态废物，存放在废物桶内，按照 100g/（d·人·次）考虑。

本项目骨转移治疗区总计每天患者人数 1 人，因采用注射、口服的方式进行给药后产生的一次性注射器、针头、手套、药瓶等医用器具，产生量约 100g/（d·人·次）。

本项目前列腺癌和甲癌治疗区住院患者每周 6 人，因采用注射、口服的方式进行给药后产生的一次性注射器、针头、手套、药瓶等医用器具及生活垃圾，产生量约 0.5kg/（d·人·次）。

核医学场所专用排风管道通向的排风口设置有活性炭过滤器，共 7 个排口，每个排口一次装填 40kg 活性炭，建设单位将每半年进行校正和更换。

综上所述，本项目固体放射性废物产生量见下表。

表 9-13 核医学科固体放射性废物汇总表

核素名称	半衰期	产生来源	产生量（kg/d/人）	人数/d	日产生量（kg/d）	年产生量（kg/a）
^{18}F	109.8min	一次性注射器、口罩、口杯、擦拭纸和空药瓶、手套、塑料袋等	*	*	*	*
^{32}P	14.26d		*	*	*	*
^{89}Sr	50.5d		*	*	*	*
^{177}Lu	6.73d		*	*	*	*
^{131}I	8.02d		*	*	*	*
^{18}F、^{89}Sr、^{177}Lu、^{131}I	/	活性炭	共计 7 个排口，每个排口一次装填 40kg 活性炭，每半年进行校正和更换			*
总计						2335

注：医院每年工作 50 周，每周工作 5 天，其中前列腺癌患者每周住院 3 天，甲癌患者每周住院 5 天。

另外，固体放射性废物还包括退役放射源：核医学科场所内使用的PET-CT配套使用的校准源随着核素的自然衰变，放射源的活度不断降低，当放射源使用到一定年限后，会产生退役的放射源。

1.4. 液态放射性废物

本项目核医学科门诊区、治疗区产生的液态放射性废物主要为用药患者的排泄物和冲洗水、工作人员的应急淋浴和清洗废水以及工作场所的清洗废水等。本项目门诊区涉及使用非密封放射性物质 ^{18}F、^{32}P；在治疗区涉及使用非密封放射性物质 ^{89}Sr、^{177}Lu、^{131}I。

参考《建筑给水排水设计标准》（GB 50015-2019）中平均日情况下，门诊患者用水定额取 6~12L/次/人，治疗患者用水定额取 320L/日/人，废水产污取 0.8。以及工作场所产生的清洗废水，以及辐射工作人员应急冲洗、淋浴废水。

表 9-14 核医学科废水排放汇总表

核素名称	半衰期	产生来源	用水量 L/d•人	排放量（L/d•人）	人数/d	日产生量（L/d）	年产生量（m^3/a）
门诊区（患者）							
^{18}F	109.8min	排泄、清洗	*	*	*	*	*
治疗区（患者）							
^{89}Sr	50.5d	排泄、清洗	*	*	*	*	*
^{177}Lu	6.73d	排泄、清洗	*	*	*	*	*
^{131}I	8.02d	排泄、清洗	*	*	*	*	*
总计						1.93E+03	4.57E+02
门诊区场所及工作人员清洁去污		*	*	*	*	*	*
治疗区场所及工作人员清洁去污		*	*	*	*	*	*
总体总计						2.08E+03	4.94E+02

注：治疗区场所分为骨转移治疗和前列腺癌及甲癌治疗，2 个治疗场所及工作人员清洁去污日产生量各为 50L；医院每年工作 50 周，每周工作 5 天，其中前列腺癌患者每周住院 3 天，甲癌患者每周住院 5 天。

1.5 气态放射性废物

本项目涉及的放射性核素在操作过程中，由于空气的流动而“挥发”出的微量气态放射性废物，被医务人员或公众吸入体内造成的内照射影响。本项目二期核医学科门诊区分装室和治疗区分装室均拟配备手套箱，手套箱保持负压且设有排风系统，风速不小于 0.5m/s，且核医学场所内各房间拟设置排风系统，废气经配套的专用排风管道排出，排口高于本建筑屋顶。为除去含核素气态放射性废物，在顶部排口设置活性炭过滤装置。整个核医学科工作场所均拟设置新风系统，保证工作场所内空气循环。

三．ERCP/中C/DSA项目：

由 ERCP/中 C/DSA 工作原理可知，ERCP/中 C/DSA 只有在开机并处于出束状态时才会发出 X 射线，故 DSA 在开机期间，X 射线是项目主要污染物。无其他放射性三废产生。利用 X 射线束进行诊断和手术的同时，射线装置产生的主射线、漏射线及散射射线也可能会穿透诊断室的屏蔽墙、观察窗、防护门等对诊断室外的职业人员

产生辐射影响。一次血管造影检查需要时间很短，因此血管造影检查的辐射影响较小；而介入手术则需要长时间的透视和大量的摄片，对工作人员有一定的附加辐射剂量。

本项目 10 台射线装置的额定管电压及额定管电流为 150kV/800mA、125kV/1000mA 两种规格。根据建设单位提供附件 7，透视选用评价工况为 90kV、20mA，摄影选用评价工况为 80kV、700mA。根据附件 6，以固有滤过为 2.5mmAl 进行取值。根据 ICRP33 号报告 P32 图 2，结合评估工况里的电流参数，从而可知射线装置透视时距离机头 1m 处空气比释动能率，见下表。

表9-15 本项目ERCP/中C/DSA 1m处空气比释动能率一览表

射线装置	模式	评价工况		滤过材料	距靶1m处的发射率（mGy/mA·min）	1m处空气比释动能率
		电压	电流			
西门子 AXIOM Artis U	透视	90kV	20mA	*	*	*
	摄影	80kV	700mA	*	*	*
飞利浦 Azurion 7 M20	透视	90kV	20mA	*	*	*
	摄影	80kV	700mA	*	*	*
万东 CGO-2100	透视	90kV	20mA	*	*	*
	摄影	80kV	700mA	*	*	*
GE Optima IGS 330	透视	90kV	20mA	*	*	*
	摄影	80kV	700mA	*	*	*
飞利浦 Azurion 3 M15	透视	90kV	20mA	*	*	*
	摄影	80kV	700mA	*	*	*
飞利浦 UNIQ FD20	透视	90kV	20mA	*	*	*
	摄影	80kV	700mA	*	*	*
西门子 Artis Q zeego	透视	90kV	20mA	*	*	*
	摄影	80kV	700mA	*	*	*
西门子 Artis Q zen floor	透视	90kV	20mA	*	*	*
	摄影	80kV	700mA	*	*	*
西门子 Artis Q zen ceiling	透视	90kV	20mA	*	*	*
	摄影	80kV	700mA	*	*	*

根据《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 条款，本项目射线装置在 1m 处泄漏射线的空气比释动能率保守取 1.00E+03μGy/h。

四.非辐射污染源分析

固体废物：本项目利用 ERCP/中 C/DSA 设备开展诊疗工作时将产生一定量的医用器具和药棉、纱布、手套以及残留含有少量造影剂的废弃输液瓶等医疗废物，药棉（约 1200kg/a）、纱布（约 1500kg/a）、手套（约 1300kg/a）、含有废弃造影剂的输

液瓶（约 800kg/a）。DSA/ERCP 装置采用先进的实时成像系统，注入的造影剂不含放射性，废造影剂在瓶中，作为医疗废物暂存。

废气：在射线作用下，空气可能被电离分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下可自行分解为氧气。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、医用直线加速器机房、TOMO 刀机房

1. 工作场所布局及分区

本项目医用直线加速器机房、TOMO 刀机房位于院内门诊医技楼负一层南侧中部，2 座机房相邻，呈镜像对称分布。本项目医用直线加速器机房、TOMO 刀机房工作场所独立，配套完善，平面布置能够满足治疗需要。放射治疗场所未设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。本项目设置在多层建筑物的底层的一端，已尽量避开儿科病房、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。控制室已与机房分开设置，凡是可以与机房分离的辅助设施均设置于机房外。已合理设置有用线束的朝向，直接与机房相连的控制室和其他居留因子较大的用室已尽可能避开被有用线束直接照射。机房均设有 L 型迷路。

因此，以上布局符合《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）的要求，场所设计合理。

为便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）要求在辐射工作场所内划出控制区和监督区。

*

图 10-1 本项目医用直线加速器机房及 TOMO 刀机房两区划分示意图

表10-1 本项目医用直线加速器机房及TOMO刀机房“两区”划分一览表

工作场所	控制区	监督区	备注
医用直线加速器机房及辅房	医用直线加速器机房（含迷道）	控制室、配套机房	控制区内禁止外来人员进入，职业人员在进行日常工作时候尽量不要在控制区内停留以减少不必要的照射。监督区范围内应限制无关人员进入。控制区：在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志。监督区：在监督区入口处的合适位置张贴监督区标牌；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。
TOMO刀机房及辅房	TOMO刀机房（含迷道）	控制室、配套机房	

2.工作场所辐射屏蔽设计

表 10-2 本项目医用直线加速器机房及 TOMO 刀机房屏蔽设计参数

屏蔽方位	医用直线加速器机房	TOMO刀机房
东侧主屏蔽墙	300cm混凝土	300cm混凝土
西侧主屏蔽墙	300cm混凝土	300cm混凝土
东西与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙	180cm混凝土	180cm混凝土
南墙	150cm混凝土	150cm混凝土
迷道内墙	120cm混凝土	120cm混凝土
迷道外墙	150cm混凝土	150cm混凝土
顶部屏蔽墙	300cm混凝土	300cm混凝土
防护门（设计单位设计的防护门尺寸两侧铅板搭接宽度大于门缝宽度10倍以上）	20mm铅板及150mm含硼聚乙烯	20mm铅板

电缆管线及排风管道等布设

医用直线加速器和 TOMO 刀机房与控制室和设备间之间的各种电缆管线，室内部分以地沟形式在地坪以下布设，电缆沟盖板采用 3mm 钢-6mm 铅-3mm 钢铅板覆盖，穿墙部分均位于北侧迷路外墙，穿墙管道呈“U”型穿墙，下沉后穿越屏蔽墙到达辅房，通过多次折返的电缆沟设计和下沉地面穿越屏蔽墙的设计，增加了泄漏射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。排风管穿墙处均采用“U”型穿墙并设 6mm 厚铅皮包裹屏蔽，进风管穿墙处均采用“Z”型穿墙 6mm 厚铅皮包裹屏蔽其他所有电、水、气管、物理测试管线布设走向必须符合辐射屏蔽防护要求，在北侧迷路穿越墙体，如在防护墙体部位设置开关箱等嵌入式电气设备，要在箱体后补充相应的屏蔽防护措施。具体穿墙部分示意图见下图。

*
*
*

图 10-2 管线洞口穿墙部分设计图

3. 辐射安全及防护措施

3.1 设备固有安全措施

①加速器及TOMO刀只有在开机状态时才有X射线和电子线产生，断电停机即停止出束；射线通过多叶准直器定向出来，其他方向的射线被自带屏蔽材料所屏蔽。

②2座机房控制台上有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行状况。

③条件显示联锁：加速器及TOMO均具有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂量选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

④2座机房控制台上有蜂鸣器，在加速器工作时发出声音以提醒人员防止误入。

⑤时间控制联锁：当预选照射时间选定时，定时器能独立地使照射停止。

⑥加速器及TOMO均设置有密码，操作密码只有具体操作人员掌握，只有输入正确的密码后才可能进行操作和参数的修改。

⑦剂量分布监测装置与辐照终止系统联锁，当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止辐照。

3.2 拟设置的辐射安全措施

电离辐射警告标志和工作状态指示灯：放射治疗工作场所的入口处将设置电离辐射警告标志；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；

监控及对讲系统：控制室将设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；

固定式辐射剂量监测仪：机房（迷道内入口处）将设置固定式辐射剂量监测仪（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；

门－机联锁装置：机房将设置门－机联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下开门停止出束；

紧急开门装置和防夹装置：将设置室内紧急开门装置，防护门将设置防夹伤功能；

急停按钮：将在控制室/台、迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁内设置急停按钮；急停按钮将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能观察到且便于触发；

安全联锁：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，任何联锁旁路将通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后将及时进行联锁恢复及功能测试；

防护门：医用直线加速器机房的防护门设计时已考虑感生放射线的放射防护；

防护设备：考虑到可能有行动不便的极少数患者需要陪护或者事故状态，以及病人非病患部位的防护需求，拟增配人员防护用品。

人员监测设备：医院已配备便携式辐射监测仪用以进行场所的自行监测，本项目所有辐射工作人员要求配备个人剂量计并定期送检，定期开展职业健康体检，建立个人剂量档案和个人职业健康监护档案。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第七条，需配备 4 台个人剂量报警仪。

通风设施：射线装置运行过程中，射线与空气作用会产生少量臭氧等有害气体，机房设置有动力排风装置，并保持良好的通风。进风及排风口布局示意图见图 10-3。

*

图 10-3 本项目医用直线加速器机房及 TOMO 刀机房辐射安全与防护措施图

二、二期核医学科

1.工作场所布局及分区

选址：二期核医学工作场已集中于主要开展门诊医技工作，无人长期居留的建筑物的一端或底层，已设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。核医学工作场所未毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离。场所有单独出、入口，出口未设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。核医学工作场所排风口的位置已尽可能远离周边高层建筑。

布局：核医学工作场所已合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所已相对分开布置；同一工作场所内已根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，能够保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰，给药区域均靠近病房。控制区应相对集中，高活室集中在东部和南部，防止交叉污染。核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等将平整光滑，室内地面与墙壁衔接处将无接缝，易于清洗、去污。敷贴器治疗场所已设置专门的治疗室。放射性废物的暂存区域已集中设置，尽量减小了放射性药物、放射性废物的存放范围，已设置留观区域，限制了给药后患者的活动空间。对于诊断工作场所已设置候诊区、放射性药物贮存场所、分装给药质控区域、控制室、机房、给药后患者卫生间和放射性废物暂存场所等功能用房；对于治疗工作场所已设置放射性药物贮存场所、分装给药质控区域、病房和留观区、给药后患者专用卫生间、值班室和放置急救设施的区域等功能用房；诊断工作场所和治疗工作场所都设置了清洁用品储存场所、员工休息室、护师站、更衣区、卫生间、去污淋浴间、抢救区等辅助用房，部分医护人员使用的功能用房和辅助用房能够共同利用。

核医学工作场所设立了相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员和患者路径已尽量分开，能够减少给药后患者对其他人员的照射。通过设计和运营管理，注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者将不交叉，人员与放射性药物路径将不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道已尽可能短捷。

控制区的入口和出口应设置门锁权限控制、单向门和对讲系统等安全措施，预防无关人员随意进入控制区，以及限制给药后患者的随意流动，能够避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口已设立卫生缓冲区，在分装和给药室的出口处已设计卫生缓冲区，可进行污染检测，将为工作人员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。控制区内设有给药后患者的专用卫生间。

因此，以上选址和布局符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的要求，场所设计合理。核医学科布局图见附图 6-4。

为便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）要求在辐射工作场所内划出控制区和监督区。分区图见附图 6-6。

表 10-3 本项目二期核医学科控制区和监督区划分一览表

场所	控制区	监督区	备注
门诊区	分装室、抢救室、敷贴治疗室、注射室、注射后等候室 1、储源室、放射性废物暂存间 4、核素专梯、注射后等候室 2、扫描后留观区、PET-CT 机房、PET-MRI 机房、放射性废物暂存间 1、洁具间。	核医学科门厅、阅片室、会议室、办公室 1~3、值班室 1~4、资料室、控制室、休息室、设备间、病案室、楼梯间 2 间、医护卫生间 1~4、护师站、医护办公室、核医学专梯 1~2、洁净被服间、餐食准备间、表污检测间、更衣间、卫生通过间及各过道、缓冲区。	控制区内禁止外来人员进入，职业人员在进行日常工作时候尽量不要在控制区内停留以减少不必要的照射。监督区范围内应限制无关人员进入。 控制区：在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志。 监督区：在监督区入口处的合适位置张贴监督区标牌；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。
治疗区	分装室、射性废物暂存间 3、储源室、骨转移留观区、骨转移给药区、^{131}I 给药区、^{177}Lu 给药区、^{177}Lu 病房、缓冲区、取餐/被服间、仪器室/抢救室、甲癌病房 1~5、患者过道、放射性废物暂存间 2、脏污被服间		
衰变池	衰变池		

2.工作场所辐射屏蔽设计

本项目核医学科项目辐射防护屏蔽设计参数见下表。

表10-4 核医学科工作场所控制区屏蔽防护设计一览表

场所		屏蔽体及屏蔽厚度
门诊区	分装室	四周墙体：450mm混凝土 顶部：300mm混凝土 底部：400mm混凝土 东侧、南侧、北侧防护门：25mmPb 西侧防护门：32mmPb 西侧注射窗：50mm 铅当量
	注射室	四周墙体：450mm混凝土 顶部：300mm混凝土 底部：400mm混凝土 东侧、西侧防护门：32mmPb
	抢救室	四周墙体：350mm混凝土（东侧、西侧、北侧） 顶部：300mm混凝土 底部：400mm混凝土 西侧防护门：26mmPb
	注射后等候室1	四周墙体：200mm混凝土（东侧、南侧、西侧） 顶部：300mm混凝土 底部：400mm混凝土 西侧防护门：20mmPb
	注射后等候室2	四周墙体：200mm混凝土 顶部：300mm混凝土 底部：400mm混凝土 西侧防护门：10mmPb
	PET-CT机房	四周墙体：300mm混凝土 顶部：300mm混凝土 底部：400mm混凝土 东侧、南侧防护门：25mmPb 南侧观察窗：25mmPb
	PET-MRI机房	四周墙体：250mm混凝土 顶部：300mm混凝土 底部：400mm混凝土 东侧、南侧防护门：25mmPb 南侧观察窗：25mmPb
	扫描后留观区	四周墙体：300mm混凝土（东侧、南侧、西侧） 顶部：300mm混凝土 底部：400mm混凝土 西侧防护门：25mmPb
	放射性废物暂存间1	四周墙体：400mm混凝土 顶部：300mm混凝土 底部：400mm混凝土 南侧防护门：25mmPb
	储源室	四周墙体：200mm混凝土 顶部：300mm混凝土 底部：200mm混凝土 南侧、北侧防护门：20mmPb
	放射性废物暂存间4	四周墙体：400mm混凝土 顶部：300mm混凝土 底部：400mm混凝土

		西侧防护门：25mmPb
治疗区	分装室	四周墙体：200mm混凝土（东墙、西墙、北墙）、300mm混凝土 顶部：300mm混凝土 底部：120mm混凝土 南侧、西侧、北侧防护门：10mmPb
	甲癌病房1~5	四周墙体：350mm混凝土 顶部：300mm混凝土 底部：400mm混凝土 北侧防护门：15mmPb
	患者通道	墙体：350mm混凝土 传递窗：15mmPb
	放射性废物暂存间2	四周墙体：300mm混凝土 顶部：300mm混凝土 底部：400mm混凝土 西侧防护门：20mmPb
	脏污被服间	四周墙体：250mm混凝土 顶部：300mm混凝土 底部：400mm混凝土 西侧防护门：20mmPb
	出院检测区	四周墙体：350mm混凝土 顶部：300mm混凝土 底部：400mm混凝土 北侧防护门：25mmPb
	仪器室/抢救室	四周墙体：350mm混凝土 顶部：300mm混凝土 底部：400mm混凝土 北侧防护门：25mmPb
	^{177}Lu病房	四周墙体：200mm混凝土 顶部：120mm混凝土 底部：120mm混凝土 北侧、东侧、西侧防护门：3mmPb
	骨转移给药区	四周墙体：200mm混凝土 顶部：120mm混凝土 底部：120mm混凝土 北侧、南侧防护门：3mmPb
	骨转移留观区	四周墙体：200mm混凝土 顶部：120mm混凝土 底部：120mm混凝土 北侧、南侧防护门：3mmPb
	储源室	四周墙体：200mm混凝土 顶部：300mm混凝土 底部：120mm混凝土 西侧、北侧防护门：10mmPb
	放射性废物暂存间3	四周墙体：300mm混凝土 顶部：300mm混凝土 底部：200mm混凝土 南侧、北侧防护门：20mmPb
衰变室和	衰变室四周墙体为400mm混凝土、顶部为400mm混凝土。门诊区衰变池四周拟	

衰变池	设置20mmPb防护；前列腺癌和骨转移治疗区衰变池除东侧、南侧及北侧为400mm混凝土，西侧为20mmPb；甲癌治疗1-4#衰变池西侧、南侧及北侧为400mm混凝土，东侧为20mmPb，5#污泥池南侧为400mm混凝土，其余三侧为20mmPb。门诊区、前列腺癌和骨转移治疗区废水排水管道外包裹3mm铅，甲癌治疗区液态放射性废物排水管道外包裹5mm铅。检修口井盖为20mm铅盖板。

PET-CT机房有效使用面积及最小单边长达标分析

拟安装射线装置参数	长（m）	宽（m）	有效使用面积（m^2）	最小单边长（m）	有效使用面积、单边长度的要求	评价
140kV，800mA	8.4	4.7	39.5	4.7	CT 机房（不含头颅移动 CT）最小有效使用面积为 30m^2，机房内最小单边长度为 4.5m	满足

3. 辐射安全及防护措施

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021)、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），本项目核医学科设计有如下辐射安全和防护措施：

电离辐射警告标志：本项目核医学场所控制区的入口、控制区内各防护门表面、手套箱表面、自动分碘仪表面、废物铅桶表面、储源柜、转运设备表面粘贴有符合 GB18871-2002 要求的电离辐射警告标志，警告无关人员不要靠近和逗留；

受检者导向标识或导向提示：本项目核医学场所中相应位置将有明确的患者或受检者导向标识或导向提示；

监视设施或观察窗和对讲装置：本项目核医学场所给药后患者或受检者候诊室、扫描机房将配备监视设施或观察窗和对讲装置，监控显示器位于值班室，可实时监控放射性药物和校准源的情况。

工作状态指示灯：本项目扫描机房外防护门上方将设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与患者通道防护门设置门灯联动装置；

单向门及门禁：患者进、出口防护门设计为单向门并设有门禁，入口只进不出，出口只出不进，禁止无关人员进入。患者出口专用电梯设有门禁，禁止无关人员使用，且电梯只能到达地面一层；患者出口楼梯间门设有门禁，禁止无关人员进入。控制区与外部相通的其他防护门为常闭消防门，设计有门禁，禁止人员进出；

自动分碘仪：本项目 ^{131}I 药物将采用自动分碘仪进行自动分装，^{131}I 给药操作将采用隔室或远程指导给药方式；

储存、转运等容器：本项目核医学场所放射性物质内部运输将配备有足够屏蔽的储存、转运等容器；

手套箱：本项目核医学工作场所拟配备手套箱；

防护用品：本项目将为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器将设置适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、病房的床位旁将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；

储源柜：放射性物质将贮存在专门场所的储源柜内，定期进行辐射水平监测，不允许无关人员入内。贮存的放射性物质将建立台账，及时登记，确保账物相符；

污水管道：本项目污水管道已做防护设计；

监测仪器：本项目操作放射性药物的控制区出口将配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均拟进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，拟采取相应的去污措施。另外拟配备 4 台个人剂量报警仪；

闭门装置：扫描机房平开门将设置自动闭门装置，确保防护门处于常闭状态。

双人双锁：本项目储源柜拟设置双人双锁，分别由专人保管。贮存、领取、使用、归还辐射源时，应当进行登记、检查，做到账物相符。并对辐射源定期进行盘存，确保其处于指定位置，具有可靠的安全保障；

应急物资：放射性表面去污用品（如抹布、滤纸）、去污试剂、警戒线等应急物资；

洗消处理设备：核医学科工作场所上水拟配备洗消处理设备，控制区内的淋浴、洗手池、拖把池将选用自动感应式的开关，马桶将采用节水模式；洗手池计划安装伸缩式水龙头，方便头、眼和面部受污染时，采用向上流动的水进行冲淋；

废物铅桶：将设置废物铅桶，其内将放置专用塑料袋直接收纳废物，将确保每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，α、β表面污染水平＜0.4Bq/cm^2，质量不超过 20kg；

缓冲区：医护人员可通过病房外的缓冲区向病房内传递生活必需品；

出院检测：甲癌住院病房出口区域将配备能够测量体内活度的设备或测量周围剂量当量率的仪器，患者出院前将进行监测，待患者体内的放射性活度降至 400MBq

或距离患者体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 25μSv/h 后，方可出院。

上述措施分布图见附图 6-7。

三、ERCP/中 C/DSA 项目：

1. 工作场所布局及分区

建设单位拟在门诊医技楼北楼二层修建1间ERCP胰胆治疗手术室及1间中C内镜治疗手术室，其辐射工作场所由ERCP胰胆治疗手术室、中C内镜治疗手术室、控制室构成；拟在门诊医技楼北楼四层修建1间DSA-CT复合手术室，其辐射工作场所由DSA复合手术室及其CT室、控制室、体外循环、设备间构成；拟在门诊医技楼北楼五层修建7间导管手术室，其辐射工作场所由导管手术室1-导管手术室7、5间设备间、控制廊构成。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射工作场所的分区原则：应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定位**控制区**；将未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域定为**监督区**。

表10-5 本项目“两区”划分一览表

场所位置	两区划分	区域	要求
门诊医技楼北楼二楼	控制区	ERCP胰胆治疗手术室、中C内镜治疗手术室	控制区内禁止辐射工作人员以外的无关人员进入，工作人员进行摄影采集时应退出DSA手术室以减少不必要的照射。 监督区范围内应限制辐射工作人员和无关人员进入。 控制区：在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志。 监督区：在监督区入口处的合适位置张贴监督区标牌；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。
	监督区	控制室	
门诊医技楼北楼四楼	控制区	DSA复合手术室及其CT室	
	监督区	DSA复合手术室的控制室、体外循环及设备间	
门诊医技楼北楼五楼	控制区	导管手术室1-导管手术室7	
	监督区	设备间、控制室	

*

*

*

图 10-4 ERCP/中 C/DSA 辐射工作场所控制区、监督区示意图

2. 工作场所辐射屏蔽设计

ERCP/DSA/中 C 项目：

本项目 10 间机房及复合手术室配套的 CT 室均采用相同的屏蔽设计：四周墙体均为 370mm 实心砖墙；楼板及地面均为 260mm 混凝土；所有防护窗均为 15mm 铅玻璃，等效 3mm 铅当量；防护门均内嵌 3mm 铅板。

本项目共拟建设 10 间机房及复合手术室配套的 CT 室，机房的层高均为 5m，10 间机房及复合手术室配套的 CT 室的长、宽及面积情况见下表。

表 10-7 本项目机房长、宽及面积情况一览表

序号	机房名称	拟安装射线装置参数	长（m）	宽（m）	有效使用面积（m^2）	最小单边长（m）	有效使用面积、单边长度的要求	评价
二期门诊医技楼北楼二楼								
1	ERCP 胰胆治疗手术室	150kV，800mA	8.5	5.9	50.2	5.9	单管头 X 射线设备 b (含 C 形臂，乳腺 CBCT)机房内最小有效使用面积 20m^2，机房内最小单边长度 3.5m	满足
2	中 C 内镜治疗手术室	150kV，800mA	8.5	5.5	46.8	5.5		满足
二期门诊医技楼北楼四楼								
3	DSA 手术室（复合手术室配套）	125kV，1000mA	12.3	7.4	91.0	7.4	单管头 X 射线设备 b (含 C 形臂，乳腺 CBCT)机房内最小有效使用面积 20m^2，机房内最小单边长度 3.5m	满足
	CT 室（复合手术室配套）	140kV，1000mA	7.2	6.1	43.9	6.1	CT 机房（不含头颅移动 CT）最小有效使用面积为 30m^2，机房内最小单边长度为 4.5m	满足
二期门诊医技楼北楼五楼								
4	导管手术室 1	125kV，1000mA	7.9	6.4	50.6	6.4	单管头 X 射线设备 b (含 C 形臂，乳腺 CBCT)机房内最小有效使用面积 20m^2，机房内最小单边长度 3.5m	满足
5	导管手术室 2	125kV，1000mA	7.9	6.4	50.6	6.4		满足
6	导管手术室 3	125kV，1000mA	7.8	6.4	49.9	6.4		满足
7	导管手术室 4	125kV，1000mA	8.2	6.5	53.3	6.5		满足
8	导管手术室 5	125kV，1000mA	7.9	6.5	51.4	6.5		满足
9	导管手术室 6	125kV，1000mA	8.2	7.9	64.8	7.9		满足
10	导管手术室 7	125kV，1000mA	7.6	6.5	49.4	6.5		满足

表 10-8 本项目 DSA/ERCP/中 C 手术室及 CT 室拟建屏蔽设计

位置	设计厚度
四周墙体	370mm 实心砖墙
楼顶/地面	260mm 混凝土
机房防护门	3mm 铅板
观察窗	15mm 铅玻璃

由此可知本项目 DSA/ERCP 手术室/中 C 手术室及 CT 室辐射屏蔽措施均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，同时 DSA/ERCP 手术室或机房

有效面积和单边最短长度也满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，DSA/ERCP 手术室或机房屏蔽设计合理。

3. 辐射防护污染防治措施

警示标志及设施：各手术室在所有防护门朝向室外的一面均将张贴电离辐射警告标志，防护门朝向室外的一面上方将设置醒目的工作状态指示灯，灯箱上有“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，工作状态指示灯能与防护门有效关联。将在监督区入口张贴标牌，另在作为监督区的各防护门外区域的地面用警戒线划分门宽×1m 的监督区；病人候诊区域张贴或悬挂《放射防护注意事项告知栏》。

闭门装置与防夹装置：拟为各手术室平开机房门设置自动闭门装置；推拉式机房门拟制定曝光时关闭机房门的管理措施；电动推拉门宜设置防夹装置。

急停按钮：本项目射线装置通常在床体和操作台自带 1 个急停按钮，在机器故障时可摁下，避免意外照射。

开门按钮：拟在各手术室内侧靠近手术室防护门位置设置开门按钮，事故发生时能够按下按钮从内部离开手术室/机房。

门灯联锁：拟在各手术室防护门朝向室外位置各安装 1 个工作状态指示灯，且所有防护门拟设置工作状态指示灯且能与手术室门有效关联。

对讲装置：控制室和各手术室内拟设置对讲装置，便于医护人员在控制室内知晓患者在手术室内的状况、及时处理意外情况。

防护用品：本项目拟为 10 间拟建手术室的辐射工作人员配备与实际参数手术室内工作人员数量一致的 0.5mm 铅当量的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽子及 0.025mm 铅当量的介入防护手套；拟为每间手术室病人配备 1 套 0.5mm 铅当量的铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套及铅橡胶帽子；本项目 DSA 设备自带 0.5mm 铅当量移动铅帘或铅吊屏，ERCP 设备手术室拟配套使用 0.5mm 以上铅当量的铅屏风。以上措施配备情况满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求，因此预计上述措施能够有效降低手术室内辐射工作人员和病人的吸收剂量，起到屏蔽防护效果。

监测仪器：医院拟为本项目配备 1 台便携式 X-γ剂量监测仪，用于射线装置使用期间定期巡检；拟为本项目每间手术室配备 2 个个人剂量报警仪，辐射工作人员应配备足量的个人剂量计，并定期送检。

三废的治理

一．医用直线加速器及 TOMO 刀项目

1. 固体废物

医用直线加速器：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，更换靶会产生含放射性废靶件，加速器钨靶使用寿命较长，一般可使用 5-10 年，加速器更换下来的靶物质及其他强感生放射性部件均应作为放射性废物进行处理，由有资质的单位回收处理，不得随意丢弃。废靶回收时由回收单位人员直接拆卸带走，不进行储存。

二．核医学科场所

1. 固体放射性废物

处理措施

本项目涉及施用核素的房间内均拟设置固体放射性废物收集桶，用于分核素种类收集产生的核素固体放射性废物，到达一定量时转入放射性废物暂存场所内的铅废物桶进行暂存衰变。定期更换下的活性炭过滤器将作为固体放射性废物进行收集处理。

本项目将严格执行《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）7.2 及《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）8 的要求。

表 10-9 核医学科固体放射性废物汇总表

核素名称	半衰期	产生来源	产生量（kg/d/人）	人数/d	日产生量（kg/d）	年产生量（kg/a）
^{18}F	109.8min	一次性注射器、口罩、口杯、擦拭纸和空药瓶、手套、塑料袋等	*	*	*	*
^{32}P	14.26d		*	*	*	*
^{89}Sr	50.5d		*	*	*	*
^{177}Lu	6.73d		*	*	*	*
^{131}I	8.02d		*	*	*	*
^{18}F、^{89}Sr、^{177}Lu、^{131}I	/	活性炭	共计 7 个排口，每个排口一次装填 40kg 活性炭，每半年进行校正和更换			*
总计						2335

注：医院每年工作 50 周，每周工作 5 天，其中前列腺癌患者每周住院 3 天，甲癌患者每周住院 5 天。

本项目核医学门诊区分装室产生的 ^{18}F、^{32}P 放射性废物以及敷贴治疗室产生的 ^{32}P 放射性废物暂存于放射性废物暂存间 4；门诊区诊疗区域产生的 ^{18}F 相关放射性废物暂存于放射性废物暂存间 1。放射性废物暂存间 1 放置 2 个铅废物桶，放射性废物暂存间 4 放置 4 个铅废物桶，每个铅废物桶体积为 0.2m^3。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）7.2.3，本项目含有 ^{18}F 的

放射性废物暂存 31 天，废物产生量为 124kg；含有 ^{32}P 的放射性废物暂存 143 天，废物产生量为 28.6kg。医疗废物密度国家统计结果平均值是 488.85kg/m^3，考虑到器皿体积等附加因素，按照平均密度 1×10^{3}kg/m^3，则含有 ^{18}F 的放射性废物体积为 0.124m^3，含有 ^{32}P 的放射性废物体积为 2.86E-02m^3。

本项目的活性炭也暂存于放射性废物暂存间 1，活性炭中所含核素包括 ^{18}F、^{89}Sr、^{177}Lu、^{131}I。本项目共 7 个排口，其中包含 ^{89}Sr 核素的排口包括治疗区其余控制区排风口、治疗区分装室的一个手套箱排口及监督区排口，共计 3 个排口。按照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，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，由于活性炭每半年（182 天）进行校正和更换，剩余 4 个排口的活性炭于下次更换前满足暂存时间要求，含有 ^{89}Sr 核素的活性炭暂存 506 天，因此活性炭最大暂存量为 400kg，活性炭密度（450-650）kg/m^3，保守按照 450kg/m^3 进行计算，活性炭体积为 0.89m^3。

保守按照不同核素的放射性废物暂存时间考虑放射性废物最大暂存量：

门诊区放射性废物体积和活性炭废物体积总计为 1.05m^3，放射性废物暂存间 1 和放射性废物暂存间 4 铅废物桶体积总计为 1.2m^3。

因此本项目放射性废物暂存间 1 和放射性废物暂存间 4 按照相应要求能够满足本项目门诊区放射性废物存放要求。本项目门诊区固体放射性废物暂存相应时间后经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，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。

本项目治疗区的甲癌住院区域以外区域产生的 ^{131}I、^{89}Sr、^{177}Lu 相关放射性废物暂存于放射性废物暂存间 3；甲癌住院区域患者产生的放射性废物暂存于放射性废物暂存间 2。放射性废物暂存间 2 放置 3 个铅废物桶，放射性废物暂存间 3 放置 3 个铅废物桶，每个铅废物桶体积为 0.2m^3。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）7.2.3，本项目含有 ^{89}Sr 的放射性废物暂存 506 天，废物产生量为 50.6kg；含有 ^{177}Lu 的放射性废物暂存 68 天，废物产生量为 34kg；含有 ^{131}I 的放射性废物暂存 181 天，废物产生量为 452.5kg。医疗废物密度国家统计结果平均值是 488.85kg/m^3，考虑到器皿体积等附加因素，按照平均密度 1×10^{3}kg/m^3，则含有 ^{89}Sr 的放射性废物体积为 5.06E-02m^3，含有 ^{177}Lu 的放射性废物体积为 3.4E-02m^3，含有 ^{131}I 的放射性废物体积为 0.46m^3。

保守按照不同核素的放射性废物暂存时间考虑放射性废物最大暂存量：

放射性废物体积为 0.55m³，放射性废物暂存间 2 和放射性废物暂存间 3 铅废物桶体积总计为 1.2m³。

因此本项目放射性废物暂存间 2 和放射性废物暂存间 3 按照相应要求能够满足本项目治疗区放射性废物存放要求。本项目治疗区固体放射性废物暂存相应时间后经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

退役放射源：核医学科场所配套使用的校准源随着核素的自然衰变，放射源的活度不断降低，当放射源使用到一定年限后，会产生退役的放射源，退役放射源由原厂家回收处置。

2.液态放射性废物

本项目核医学科下方的衰变室设计有3个衰变池，均为槽式衰变池。

2.1门诊区衰变池

表10-9 门诊区衰变池废水收集情况

核素名称	半衰期	产生来源	用水量 L/d•人	排放量（L/d•人）	人数/d	日产生量（L/d）	年产生量（m³/a）
门诊区（患者）							
^{18}F	109.8min	排泄、清洗	*	*	*	*	*
场所及工作人员清洁去污		*	*	*	*	*	*
总体总计						434	108.5

注：医院每年工作 50 周，每周工作 5 天。

门诊区衰变池设计有2级并联槽式衰变池。每级池子可使用容积为42m³，总容积84m³。根据上表可知，每天病人产生的核素液态放射性废物384L，辐射工作场所及人员产生核素液态放射性废物50L。

根据要求，保守按照液态放射性废物待放满第一个衰变池起计算衰变时间，拟计划排水周期为35天（按照每周5个工作日计算，实际产生废水天数为25天）：

液态放射性废物在达到排水周期前需要的体积为10.85m³（（384+50）×25/1000=10.85），本项目设计的衰变池使用体积为42m³。

因此完全能够满足本项目核医学科核素排水周期内的容纳需求。

2.2治疗区甲癌衰变池

表10-10 治疗区甲癌衰变池废水收集情况

核素名称	半衰期	产生来源	用水量 L/d•人	排放量（L/d•人）	人数/d	日产生量（L/d）	年产生量（m^3/a）
门诊区（患者）							
^{131}I	8.02d	排泄、清洗	*	*	*	*	*
场所及工作人员清洁去污		*	*	*	*	*	*
总体总计						1330	332.5

注：医院每年工作 50 周，每周工作 5 天，甲癌患者每周住院 5 天。

治疗区甲癌衰变池设计有1个污泥池和4级并联槽式衰变池。每级池子可使用容积为80m^3，总容积320m^3。根据上表可知，每天病人产生的核素液态放射性废物1280L，辐射工作场所及人员产生核素液态放射性废物50L。

根据要求，保守按照液态放射性废物待放满第一个衰变池起计算衰变时间，拟计划排水周期为200天（按照每周5个工作日计算，实际产生废水天数为143天）：

液态放射性废物在达到排水周期前需要的体积为191m^3（（1280+50）*143/1000≈191），本项目3个设计的衰变池使用体积为240m^3。

因此衰变池完全能够满足本项目核医学科核素排水周期内的容纳需求。

2.3治疗区其他衰变池

表10-11 治疗区其他衰变池废水收集情况

核素名称	半衰期	产生来源	用水量 L/d•人	排放量（L/d•人）	人数/d	日产生量（L/d）	年产生量（m^3/a）
门诊区（患者）							
^{89}Sr	50.5d	排泄、清洗	*	*	*	*	*
^{177}Lu	6.73d	排泄、清洗	*	*	*	*	*
场所及工作人员清洁去污		*	*	*	*	*	*
总体总计						315.6	53.3

注：医院每年工作 50 周，每周工作 5 天，其中前列腺癌患者每周住院 3 天。

治疗区其他衰变池设计有2级并联槽式衰变池。每级池子可使用容积为88m^3，总容积176m^3。根据上表可知，每天病人产生的核素液态放射性废物315.6L，辐射工作场所及人员产生的核素液态放射性废物50L。

根据要求，保守按照液态放射性废物待放满第一个衰变池起计算衰变时间，拟计划排水周期为510天（按照每周5个工作日计算，实际产生废水共73周，实际产生废水天数为365天，由于，前列腺癌患者每周住院3天，因此前列腺癌患者产生废水天数为219天）：

液态放射性废物在达到排水周期前需要的体积为77.9m³（（9.6+50）*365/1000+256*219/1000≈77.9），本项目设计的衰变池使用体积为88m³。

因此衰变池完全能够满足本项目核医学科核素排水周期内的容纳需求。

液态放射性废物衰变池拟设废水取样口和检修口，排放前应对液态放射性废物进行取样监测，监测结果符合排放标准后方可排放。建设单位应根据监测数据，结合废水在衰变池中的储存周期，制定排水计划，按照计划定期将废水排放至院区污水处理站进一步处理达标后纳入专用排污管道。每次排放应做好排放时间、监测数据、排放量等应详细记录，设置专门的废水排放台账，台账应有专人管理，存档保存。

根据设计，本项目核医学科液态放射性废物通过地下三层的吊顶处的下水管道进入衰变池进行衰变，核医学科废水管道排布方式可见附图6-10。本项目衰变池位于衰变室内，衰变池底部为土层，衰变池均采用不锈钢结构，进行防腐防水处理。衰变室及衰变池已设计防护。污水管采用耐酸防腐材料，且管外径用铅皮包裹。具体衰变池和衰变室设计可见附图6-9。

本项目衰变池每个池子配套2个污水泵（其一为备用泵）和1个液位计（通过液位计控制实际池使用容积）。衰变池池壁上方设置溢流孔，如果出现液位计失效，电动阀无法及时切换的非正常工况，废水可外溢至其它衰变池。进入衰变池的污水管采用耐酸防腐材料，且管外径用铅皮包住。衰变池池壁内表面及池底均抹防水沙浆及耐酸碱腐蚀涂料。检修口井盖设有止水条，井盖密封。

本项目将严格执行《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）7.3及《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）8的要求。

3.气态放射性废物

本项目核医学科放射性物质工作场所设有独立的通排风系统，排风/新风/手套箱均设置独立的排风管道。在设计有辐射防护屏蔽的房间，对于穿墙后的风管采取不小于墙壁铅当量的屏蔽措施。对于裸露在外的排风管道的防护，在需要低铅当量防护的位置直接采用铅板包裹，在需要高铅当量防护的位置则在风管外侧用5#角钢做外骨架后包裹铅板，并用角钢联结天棚楼板或梁柱支撑固定。

本项目核医学科通排风系统示意图见附图6-8。具体排风措施如下表所示。

表10-12本项目核医学科工作场所排风措施一览表

工作场所	排风措施	
二期核医学门诊区及治疗区		
门诊区的手套箱	一支独立的排风管道，管道口安装独立机械排风装置	每路排管道进入风井前均拟设置止回阀，各支管均设置防倒灌装置，避免废气倒灌和泄漏。门诊区和治疗区场所均单独设置独立的手套箱管道、控制区管道、监督区管道，每个区域之间保证场所处于负压以防止放射性气体交叉污染。 核医学门诊区和监督区所有排风管道通过负1层排风井引至所在大楼楼顶（楼高72.1m），回旋加速器制药区域所有排风管道通过负2层排风井引至所在大楼楼顶（楼高72.1m）。 排风口放射性气体经活性炭过滤处置后排放，楼顶排风口安装大功率排风机，排风高度距地约为74.1m，排口不朝向周围高层建筑及周围环境保护目标，排气口拟设置取样、采样平台，便于日常的环境监测。 排风管道设置有过滤装置，安装活性炭过滤器，保守预计总的过滤效率大于80%。
门诊区的其他控制区：分装室、抢救室、敷贴治疗室、注射室、注射后等候室1、储源室、放射性废物暂存间4、核素专梯、注射后等候室2、扫描后留观区、PET-CT机房、PET-MRI机房、放射性废物暂存间1、洁具间。	共用一支独立排风管道，管道口安装独立机械排风装置	
治疗区的手套箱	各一支独立排风管道，管道口安装独立机械排风装置	
治疗区的控制区：甲癌病房	共用一支独立排风管道，管道口安装独立机械排风装置	
治疗区的其他控制区：分装室、射性废物暂存间3、储源室、骨转移留观区、骨转移给药区、^{131}I给药区、^{177}Lu给药区、^{177}Lu病房、缓冲区、取餐/被服间、仪器室/抢救室、患者过道、放射性废物暂存间2、脏污被服间	共用一支独立排风管道，管道口安装独立机械排风装置	
核医学科的监督区：核医学科门厅、阅片室、会议室、办公室1~3、值班室1~4、资料室、控制室、休息室、设备间、病案室、楼梯间2间、医护卫生间1~4、护师站、医护办公室、核医学专梯1~2、洁净被服间、餐食准备间、表污检测间、更衣间、卫生通过间及各过道、缓冲区。	共用一支独立排风管道，管道口安装独立机械排风装置	

本工程拟采用的活性炭过滤器主要是用于去除放射性气溶胶颗粒，一次装量约40kg，过滤器内部呈Z字形的排布以保证密封性。本项目所使用的活性炭过滤器为浸渍活性炭过滤器，该过滤器经过特殊的浸渍剂浸渍处理，可加大对空气中挥发的^{131}I等进行吸附，吸附效率可至少达到80%。建设单位将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，更换周期不超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按固体放射性废物进行收集、处理。

三.非辐射污染处理措施

1.固体废物

本项目运行时产生的医用器具、药棉、纱布、手套、含少量废弃造影剂的输液瓶以及废弃的造影剂等医疗废物，采用专用容器集中收集后，由专人运送至院区的医疗

废物暂存间。按照医疗废物执行转移联单制度，委托当地有资质的单位定期处置。

本项目 ERCP/中 C/DSA 装置采用先进的实时成像系统，注入的造影剂不含放射性，废造影剂在瓶中，作为医废暂存。

2.废气

本项目医用直线加速器机房及 TOMO 刀机房采取通风设计，进风及排风口布局示意图如下。

*
底部排风口
*
顶部进风口

图 10-5 进风及排风口布局示意图

进风口位于 2 座机房治疗室防护门上方，离地 2.9m，进风管道以斜入 45°从墙体穿入。经管道接至迷道内口，沿机房吊顶安装。医用直线加速器机房及 TOMO 刀机房排风口均位于治疗室地面。2 座机房治疗室容积 325m^3，拟设置排风机通风量为 2000m^3/h，通风换气次数约为 6 次/h。

因此机房已设计强制排风系统，进风口将设在放射治疗机房上部，排风口将设在治疗机房下部，进风口与排风口位置为对角设置，能够确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。以上设计满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）的通风要求。

本项目 ERCP/中 C/DSA 手术室或机房采用净化空调系统通风，通风条件良好。手术室或机房通风措施符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定的“机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风”要求。本项目装置工作时会使周围空气电离产生极少量臭氧和氮氧化物，臭氧和氮氧化物可通过手术室通风系统排出。臭氧在常温常压下稳定性较差，可自行分解为氧气，装置运行过程中产生的少量臭氧和氮氧化物对周围环境空气影响较小。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目医院一期已完成建设，二期正在建设中，影响主要为施工废水、施工废气、施工噪声及施工固体废弃物影响。施工期对环境会产生如下影响：

1.施工期扬尘

施工过程中会产生一定扬尘，属于无组织排放，施工过程需满足《施工场地扬尘排放标准》（DB32/4437-2022）要求。针对上述大气污染拟采取以下措施：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.施工期噪声

施工期噪声包括土建施工过程、通风及电气设备安装过程中机械产生的噪声，由于施工场地为封闭院区，公众活动较少，施工噪声对周围环境的影响较小。在施工时尽量使用噪声低的先进设备。

3.施工期废水

施工期废水主要为施工人员的生活污水；施工人员产生的生活污水拟依托医院内现有的污水处理设施处理后排放。

4.施工固废

施工期固废主要是建设过程中产生的固体废物和施工人员的办公垃圾，固体废物为一般固废，部分回收利用；部分与办公垃圾一同依托医院现有垃圾收集设施收集。

医院在施工期间认真搞好组织工作，文明施工，切实落实各种环保措施，将施工期的影响控制在院区内局部区域，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

1. 医用直线加速器辐射影响分析

1.1 加速器机房混凝土屏蔽效果预测

医用直线加速器在运行过程中产生的电离辐射为：电子、X射线、中子。本项目医用直线加速器采用电子束进行治疗时，运行过程中最大电子线能量为22MeV。由于电子在物质中的射程是有限的，屏蔽比较容易，只要所选择的物质厚度大于带电粒子在该物质中的射程，就可以将其完全吸收。根据《放射卫生学》（章仲侯主编，

P171）计算公式$d=E_{MAX}/2\rho$，电子在混凝土中射程为4.68cm，加速器机房墙体最小屏蔽厚度为150cm，所以本项目加速器机房设计结构和屏蔽厚度足以屏蔽电子线，因此在运行过程中电子线对周围辐射环境影响较小。本次评价主要考虑X射线和中子的辐射环境影响。

考虑到本项目医用直线加速器有6MV、10MV及15MV三档，结合不同挡位剂量率，评价10MV/2400cGy/min时的X射线影响，以及15MV/600cGy/min的X射线和中子的影响。

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的要求，在本项目加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。机房南侧、西侧、下方为土层，因此上述方位均不进行剂量评价。

*
*

图 11-1 本项目加速器计算关注点示意图

1.1.1 有用线束主屏蔽区半宽度核算

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

*……（公式 11-1）

式中，Y_p— 机房有用线束主屏蔽区的宽度，m；

SAD— 源轴距，m；

θ— 治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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

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

表 11-1　加速器机房主屏蔽区域宽度设计评价表

参数	西墙主屏蔽
a（m）	*
SAD（m）	*
θ(°)	*
计算宽度 Y_p（m）	**3.79**
设计宽度（m）	4
评价	满足

注：东墙及顶部墙厚全部为 3m，厚度相同，因此不用计算主屏蔽区域宽度

1.1.2 主屏蔽屏蔽效果预测（b 点和 l 点）

（1）射线路径（射线类型）：

O_1→b（主射线），O_3→l（主射线）

（2）计算模式及参数选择：

使用 GBZ/T201.2 的相关公式计算有用线束主屏蔽核算，在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按照公式 11-2 计算有效厚度 Xe（cm），按照公式 11-3 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按照公式 11-4 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h）。

* ……（公式 11-2）

式中，X— 设计屏蔽厚度，cm；

θ— 斜射角。

*……（公式 11-3）

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

本项目中，b 点、l 点相应厚度主屏蔽的 B 值核算见表 11-2。

* ……（公式 11-4）

式中，$\dot{H}_0$—有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率，μSv·m^2/h，本项目为*（15MV）和*（10MV）；

R —靶点至参考点的距离，m，本项目参考点均为相应墙外 30cm；

f —对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比。

（3）预测计算结果

将各参数代入模式计算，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h），计算结果如下：

表 11-2 主屏蔽区屏蔽效果预测表

X 射线能量	15MV		10MV	
参数	东墙主屏蔽（**b 点**）	屋顶主屏蔽（**l 点**）	东墙主屏蔽（**b 点**）	屋顶主屏蔽（**l 点**）
X（cm）	300 混凝土	300 混凝土	300 混凝土	300 混凝土
TVL（cm）	*	*	*	*
TVL_1（cm）	*	*	*	*
B	*	*	*	*
R（m）	*	*	*	*
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	*	*	*	*
f	*	*	*	*
H（μSv/h）	2.84E-01	4.57E-01	1.99E-01	3.21E-01
$\dot{H}_c$（μSv/h）（剂量率参考控制水平）	10	10	10	10
评价结果	满足	满足	满足	满足

本项目直线加速器机房顶部墙厚全部为 3m，厚度相同，根据以上主屏蔽区屏蔽效果预测能够满足辐射防护要求，因此不再考虑散射线及漏射线辐射影响。

1.1.3 侧屏蔽墙屏蔽效果预测（e，f、k）

（1）射线路径（射线类型）：

O →e（泄漏射线)，O→f（泄漏射线），O_1→k（泄漏射线）

（2）计算模式及参数选择：

该区考虑泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。

公式 11-3 对应的 TVL_1 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，*；*（泄漏辐射比率），参考点均为相应墙外 30cm。

（3）预测计算结果

将各参数代入公式计算，计算结果如下

表 11-3 侧屏蔽区预测计算结果表

X 射线能量	15MV			10MV		
参数	北墙侧屏蔽（**f 点**）	迷道外墙（**k 点**）	迷道口（**g 点**）	北墙侧屏蔽（**f 点**）	迷道外墙（**k 点**）	迷道口（**g 点**）
X（cm）	270 混凝土	170 混凝土	130 混凝土	270 混凝土	170 混凝土	130 混凝土
TVL（cm）	*	*	*	*	*	*
TVL_1（cm）	*	*	*	*	*	*
B	*	*	*	*	*	*
R（m）	*	*	*	*	*	*
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	*	*	*	*	*	*

f	*	*	*	*	*	*
H（μSv/h）	3.30E-05	2.79E-02	4.91E-01	4.29E-05	5.66E-02	1.19
$\dot{H}_c$（μSv/h）（剂量率参考控制水平）	2.5	10	/	2.5	10	/
评价结果	满足	满足	/	满足	满足	/

1.1.4 加速器机房入口防护门屏蔽核算（g 点）

10MV情况：对≤10MV且有用线束不向迷路照射的机房，机房入口处（g点）的瞬时辐射最高剂量率应小于剂量率参考控制水平。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中5.2.6.1的相关规定对g点的辐射剂量率进行估算。

（1）射线路径（射线类型）：

O→g（泄漏射线），O_1→O→B→P→g（散射射线）。

根据GBZ/T201.2-2011，入口g点处的散射辐射剂量率H_g 按下式计算。

*……（公式 11-5）

式中：Hg—g处的散射辐射剂量率，μSv/h；

α_{ph} —患者400cm^{2}面积上的散射因子，*；

F— 治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2，*；

α_2—混凝土墙入射的患者散射辐射，*；

A—B处的散射面积，*；

R_1—d_{OB}的距离，*；

R_2—d_{BP}与dpg之和，*；

$\dot{H}_0$—有用线束中心轴上距产生治疗X射线束的靶（以下简称靶）1m处的常用最高剂量率，μSv·m^2/h，本项目为1.44E+09Sv·m^2/h；

表11-4 迷路入口处的散射辐射剂量率核算值

参数	迷路入口处（g’点）
α_{ph}	*
F（cm^2）	*
α_2	*
R_1（m）	*
R_2（m）	*
A（m^2）	*
$\dot{H}_0$（μSv·m^2/h）	1.44E+09
Hg（μSv/h）	145

在给定防护门的铅屏蔽厚度X（cm）时，防护门外g’点处的辐射剂量率H（μSv/h）

按公式11-6计算，预测结果见下表：

*……（公式 11-6）

式中：H_{og}—g’处的泄漏辐射剂量率，μSv/h；

H_g—g’处的散射辐射剂量率，μSv/h；

TVL—辐射在铅中的什值层，根据GBZ/T201.2-2011中5.2.6.1取0.5cm。

表11-5 迷路入口防护门外的辐射剂量率核算值

参数	迷路入口处（g 点）
H_{og}	*
H_g	*
X（cm）	*
TVL（cm）	*
$\dot{H}$（μSv/h） 防护门外的辐射剂量率	1.20
Hc（μSv/h） 剂量率参考控制水平	4
评价	满足

综上所述，防护门外（g 点位置）辐射剂量率为 1.20μSv/h，满足相关要求。

15MV情况：对＞10MV且有用线束不朝向迷路照射的直线加速器机房，机房入口处（g点）的瞬时辐射最高剂量率应小于剂量率参考控制水平。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中4.3.2.6的相关规定，考虑在迷路内的散射中子和中子俘获γ射线在g点的辐射剂量。由于g点位置的散射辐射能量相对中子俘获γ射线能量较低，在防护中子俘获γ射线的屏蔽门外，此部分能量可忽略不计。

（1）射线路径（射线类型）：

O→g（泄漏辐射）；O→B→P→g（中子辐射）。

（2）计算模式及参数选择：

机房入口的中子剂量率计算模式及参数选择：

按照公式(11-7)计算出总中子注量ϕ_B，再按照公式(11-8)计算机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm(g 点)无防护门时的剂量率$\dot{H}_n$。

*……（公式 11-7）

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

Q_n— 在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数，中子数/Gy。

d_1— 等中心点 O 至 B 点的距离，8.25m。

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

*……（公式 11-8）

式中：$\dot{H}_n$、$\dot{H}_o$、ϕ_B、d_2 意义同前文；

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

S_0— 迷路内口的面积，*；

d_2— d_{BP} 与 d_{pg} 之和，*；

S_1— 迷路横截面积，*；

T_n— 迷路中能量相对高的中子剂量组公式 11-7 方括号中的第二项衰减至十分之一行径的距离（m），称为什值距离。T_n 是一个经验值，与迷路横截面积有关，T_n 按下式计算：$T_n = 2.06\sqrt{S_1}$

机房入口的中子俘获γ射线的剂量率计算模式及参数选择：

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 $\dot{H}_\gamma$ 按下式计算

*……（公式 11-9）

式中：$\dot{H}_\gamma$ 意义同前文；

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

ϕ_B— 等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量，（中子数/m^2）/Gy，按公式 11-7 计算，B 点是从等中心点与迷路内墙端的连线和迷路长轴中心线之间的交点；

d_2—d_{BP} 与 dpg 之和，11.45m；

TVD — 将γ辐射剂量减至其十分之一的距离（称为什值距离），*；

$\dot{H}_o$— 等中心点处治疗 X 射线剂量率（μGy/h），本项目取 3.60E+08。

（3）预测计算结果

将各参数代入公式 11-7 计算得总中子注量 ϕ_B，计算结果见下表。

表 11-6 总中子注量 ϕ_B 计算

参数	Q_n（中子数/Gy）	d_1（m）	S（m^2）	ϕ_B（中子数/ m^2）/Gy
取值	*	*	*	4.25E+09

注：表中 Q_n 数值来自 NCRP NO.151 的表 B.9。

将各参数代入公式 11-8 计算得计算机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm(g 点)无防护门时的剂量率 $H_{n,}$ 计算结果见下表。

表 11-7 机房入口门外 30cm 处无防护门时的中子辐射剂量率计算

参数	ϕ_B（中子数/ m^2）/Gy	H_0（μSv /h）	S_0（m^2）	S_1（m^2）	d_2（m）	T_n（m）	H_n（μSv /h）
取值	*	*	*	*	*	*	34.8

将各参数代入公式 11-9 计算得机房入口门外 30cm(g 点)无防护门时的中子俘获γ射线的剂量率 $\dot{H}_\gamma$，计算结果见下表。

表 11-8 机房入口门外 30cm 无防护门时的中子俘获γ射线的剂量率计算

参数	ϕ_B（中子数/ m^2）/Gy	H_0（μSv /h）	d_2（m）	TVD（m）	$\dot{H}_\gamma$（μSv /h）
取值	*	*	*	*	0.408

（4）计算模式及参数选择：

入口门屏蔽设计时，通常考虑中子和中子俘获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：

*…（公式 11-10）

式中，$\dot{H}$意义同前文；

X_γ －防护门铅屏蔽厚度，cm；

X_n －防护门含硼（5%）聚乙烯屏蔽厚度，cm；

$\dot{H}_\gamma$ －机房入口门外 30cm 处无防护门时的中子俘获γ射线的剂量率，μSv /h，按公式（11-9）计算；

$\dot{H}_n$ －机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm 处无防护门时的剂量率，μSv/h，按公式（11-8）计算；

$\dot{H}_{og}$ －穿过迷路内墙的泄漏辐射在防护门入口处无防护门时的剂量率，μSv /h；

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

TVL_γ－中子俘获γ射线在铅屏蔽中的什值层，cm；

TVL_n－中子在含硼（5%）聚乙烯屏蔽中的什值层，cm。

（5）预测计算结果

将各参数代入公式（11-10）计算得防护门外的辐射剂量率，计算结果见下表。

表 11-9 防护门外的辐射剂量率计算

参数	$\dot{H}_{\gamma}$（μSv /h）	X_{γ}（cm）	TVL_{γ}（cm）	$\dot{H}_{n}$（μSv /h）	X_{n}（cm）	TVL_{n}（cm）	$\dot{H}_{og}$（μSv/h）	B_{og}	$\dot{H}$（μSv /h）
取值	*	*	*	*	*	*	*	*	0.320

注：①表中 X_{γ}为防护门铅屏蔽厚度，X_{n}为防护门含硼（5%）聚乙烯屏蔽厚度；
②TVL_{γ}与 TVL_{n}值取至 GBZ/T201.2-2011 附录 C。

综上所述，防护门外（g 点位置）的辐射剂量率满足相关要求。

1.2参考点的年有效剂量水平估算：

*……（公式 11-11）

式中：H_{c}：参考点的年有效剂量水平，mSv/a；

$\dot{H}_{c,d}$：参考点处剂量率，μSv/h；

t：装置年照射时间，h；

U：装置关注点方向照射的使用因子；

T：人员在相应关注点驻留的居留因子。

选取前文关注点最大的辐射剂量率作为人员剂量评估参考值。

表 11-10 加速器机房墙、顶、门外辐射影响理论估算结果汇总表

位置	居留因子	使用因子	辐射剂量率（μSv/h）	剂量率控制水平(μSv/h)	周剂量估算值(μSv/a)	目标管理值(μSv/周)	年剂量估算值(mSv/a)	目标管理值(mSv/a)	结论
控制室（**f 点**）	*	*	4.29E-05	2.5	4.29E-04	100	2.15E-05	5	满足
TOMO 刀机房（**b 点**）	*	*	2.84E-01	10	3.55E-01	100	1.78E-02	5	满足
院区道路（**l 点**）	*	*	4.57E-01	10	2.86E-02	5	1.43E-03	0.1	满足
设备间（**k 点**）	*	*	5.66E-02	10	2.83E-02	5	1.42E-03	0.1	满足
等候区通道（**g 点**）	*	*	1.20	4	1.50	5	7.50E-02	0.1	满足

注：本项目加速器周出束时间约为 10h/周，年出束时间约为 500h/年。

从上表中理论估算结果可以看出，本项目医用直线加速器机房的治疗室屏蔽墙、屋顶及防护门的防护设计能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）辐射防护要求。医用直线加速器机房辐射工作人员及周围公众周有效剂量以及年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及本项目管理目标限值要求。

2. TOMO 辐射影响分析

2.1 TOMO 刀机房混凝土屏蔽效果预测

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的要求，在本项目TOMO刀机房外设定关注点。从保守角度出发，在TOMO刀机房设计的尺寸厚度基础上，假定TOMO最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。机房南侧、下方为土层，因此上述方位均不进行剂量评价。计算公式同医用直线加速器（≤10MV）情况。

*
*

图 11-2 本项目 TOMO 计算关注点示意图

2.1.1 有用线束主屏蔽区半宽度核算

见上述 1.医用直线加速器辐射影响分析 1.1.1 章节。

根据图 11-2，将各参数代入公式 11-1 得出本项目 TOMO 刀机房的主屏蔽宽度核算结果并评价如下表：

表 11-11 TOMO 刀机房主屏蔽区域宽度设计评价表

参数	东墙主屏蔽
a（m）	*
SAD（m）	*
θ(°)	*
计算宽度 Y_p（m）	**3.79**
设计宽度（m）	4
评价	满足

注：西墙及顶部墙厚全部为 3m，厚度相同，因此不用计算主屏蔽区域宽度。

2.1.2 主屏蔽屏蔽效果预测（a’、b’点和 l’点）

（1）射线路径（射线类型）：

O'_2→a’（主射线），O'_1→b’（主射线），O'_3→l’（主射线）

（2）计算模式及参数选择：

见上述 1.医用直线加速器辐射影响分析 1.1.2（2）章节。

（3）预测计算结果

将各参数代入模式计算，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（μSv/h），计算结果如下：

表 11-12 主屏蔽区屏蔽效果预测表

参数	东墙主屏蔽（**a’点**）	西墙主屏蔽（**b’点**）	屋顶主屏蔽（**l’点**）
X（cm）	300 混凝土	300 混凝土	300 混凝土
TVL（cm）	*	*	*

TVL_1（cm）	*	*	*
B	*	*	*
R（m）	*	*	*
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	*	*	*
f	*	*	*
H（μSv/h）	6.81E-03	6.81E-03	1.10E-02
$\dot{H}_c$（μSv/h）（剂量率参考控制水平）	10	10	10
评价结果	满足	满足	满足

2.1.3 侧屏蔽墙屏蔽效果预测（f’、k’点）

（1）射线路径（射线类型）：

O’→f’（泄漏射线），O'_1→k’（泄漏射线）

（2）计算模式及参数选择：

该区考虑泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。

对应的 TVL_1 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 TVL_1=29cm，TVL=34cm；f=0.001（泄漏辐射比率），参考点均为相应墙外 30cm。

（3）预测计算结果

将各参数代入公式计算，计算结果如表 11-13。

表 11-13 侧屏蔽区预测计算结果表

参数	北墙侧屏蔽（**f’点**）	迷道外墙（**k’点**）	迷道口（**g’点**）
X（cm）	270 混凝土	170 混凝土	130 混凝土
TVL（cm）	*	*	*
TVL_1（cm）	*	*	*
B	*	*	*
R（m）	*	*	*
$\dot{H}_0$（μSv·m²/h）	*	*	*
f	*	*	*
H（μSv/h）	3.79E-06	8.35E-03	2.16E-01
$\dot{H}_c$（μSv/h）（剂量率参考控制水平）	2.5	10	/
评价结果	满足	满足	/

2.1.4 与主屏蔽区相连的次屏蔽区（c'_1 点、c'_2 点）

本项目 TOMO 刀机房顶部墙厚全部为 3m，厚度相同，根据以上主屏蔽区屏蔽效果预测能够满足辐射防护要求，因此不再考虑散射线及漏射线辐射影响。

（1）射线路径（射线类型）：

O'_2→O’→c'_1（散射射线），O'_2→O’→c'_2（散射射线）。

O’→c’$_1$（泄漏射线），O’→c’$_2$（泄漏射线）。

（2）计算模式及参数选择：

- **辐射计算模式及参数**

泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。f=0.001（泄漏辐射比率），公式 11-3 对应的 TVL_1 和 TVL 保守取附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 TVL_1=29cm，TVL=34cm。

- **散射辐射计算计算模式及参数**

在给定的屏蔽物质厚度 X（cm）时，首先按照公式 11-2 计算有效厚度 X_e（cm），按照公式 11-3 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B_s（其中患者散射辐射在混凝土中的什值层，查表 B.4 知，对于 6MV 射线，当散射角 30°时，患者散射辐射在混凝土中什值层为 26cm）。

（3）预测计算结果

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

表 11-14 与主屏蔽相连的次屏蔽区屏蔽效果预测表

参数 \ 关注点		TOMO 刀机房
		c’$_1$、c’$_2$ 点
$\dot{H}_0$（μSv·m^2/h）		*
设计厚度	X（cm）	*
等效厚度	Xe（cm）	*
泄漏辐射	TVL（cm）	*
	TVL_1（cm）	*
	R（m）	*
	B_L	*
	$\dot{H}$（μSv/h）	*
散射辐射	TVL（cm）	*
	R_s（m）	*
	α_{ph}	*
	B_s	*
	F（cm^2）	*
	$\dot{H}$（μSv/h）	*
泄漏辐射和散射辐射的复合作用(μSv/h)		1.57E-03
$\dot{H}_c$ 剂量率参考控制水平(μSv/h)		10
评价结果		满足

注：表中 Xe 数据从设计图纸中直接测量所得。

2.1.5 迷道入口门设计核算（g'点）

对≤10MV且有用线束不向迷路照射的机房，机房入口处（g'点）的瞬时辐射最高剂量率应小于剂量率参考控制水平。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中5.2.6.1的相关规定对g'点的辐射剂量率进行估算。

（1）射线路径（射线类型）：

O'→g'（泄漏射线），O'_1→O'→B'→P'→g'（散射射线）。

表11-15 迷路入口处的散射辐射剂量率核算值

参数	迷路入口处（g'点）
α_{ph}	*
F（cm^2）	*
α_2	*
R_1（m）	*
R_2（m）	*
A（m^2）	*
$\dot{H}_0$（μSv·m^2/h）	4.6E+08
Hg（μSv/h）	5.96

在给定防护门的铅屏蔽厚度X（cm）时，防护门外g'点处的辐射剂量率H（μSv/h）预测结果见下表：

表11-16 迷路入口防护门外的辐射剂量率核算值

参数	迷路入口处（g'点）
H_{og}	*
H_g	*
X（cm）	*
TVL（cm）	*
$\dot{H}$（μSv/h） 防护门外的辐射剂量率	2.17E-01
Hc（μSv/h） 剂量率参考控制水平	4
评价	满足

综上所述，防护门外（g'点位置）辐射剂量率为 2.17E-01μSv /h，满足相关要求。

2.2参考点的年有效剂量水平估算：

见上述1.医用直线加速器辐射影响分析1.2章节：

表 11-17 TOMO 刀机房墙、顶、门外辐射影响理论估算结果汇总表

位置	居留因子	使用因子	辐射剂量率（μSv/h）	剂量率控制水平(μSv/h)	周剂量估算值(μSv/周)	目标管理值(μSv/周)	年剂量估算值(mSv/a)	目标管理值(mSv/a)	结论
控制室（**f'点**）	*	*	3.79E-06	2.5	3.79E-05	100	1.90E-06	5	满足
配套机房（**a'点**）	*	*	6.81E-03	10	8.51E-04	5	4.26E-05	0.1	满足
医用直线加速器机房（**b'点**）	*	*	6.81E-03	10	8.51E-03	100	4.26E-04	5	满足
院区道路（**l'点**）	*	*	1.10E-02	10	6.88E-04	5	3.44E-05	0.1	满足
设备间（**k'点**）	*	*	8.35E-03	10	4.18E-03	5	2.09E-04	0.1	满足
等候区通道（**g'点**）	*	*	2.17E-01	4	2.71E-01	5	1.36E-02	0.1	满足

注：本项目 TOMO 周出束时间约为 10h/周，年出束时间约为 500h/年。

综上所述，从理论估算结果可以看出，本项目TOMO刀机房的治疗室屏蔽墙、屋顶及防护门的防护设计能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）辐射防护要求。TOMO刀机房辐射工作人员及周围公众周有效剂量以及年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及本项目管理目标限值要求。

叠加影响：考虑到医用直线加速器与TOMO刀共用等候区，上方院区道路受两者影响，辐射工作人员进入机房工作时，临近机房可能在使用状态。因此针对等候区的周围剂量当量率合计1.42μSv/h；针对公众，等候区的周剂量估算值合计1.77μSv，年剂量估算值合计8.86E-02mSv，院区道路的周剂量估算值合计2.93E-02μSv，年剂量估算值合计1.46E-03mSv；针对职业人员，医用直线加速器辐射工作人员周剂量估算值合计8.94E-03μSv，年剂量估算值合计4.48E-04mSv，TOMO刀辐射工作人员周剂量估算值合计3.55E-01μSv，年剂量估算值合计1.78E-02mSv。上述值仍旧满足目标管理值。

3、核医学科

3.1 本项目β射线辐射影响分析

针对本项目使用的β衰变核素，日常工作中本项目辐射工作人员将采取一定的防护措施，如穿戴辐射防护服、防护眼镜以及防护手套。操作核素的器械材质最基础为有机玻璃，注射时将在注射器外套上防护套。根据射线能量查阅 NIST estar 数据库，采用以下公式，计算射线在空气、有机玻璃、混凝土、铅中的射程，结果见下表：

*……（公式 11-12）

R——β射线射程（cm）；

R_{CSRA}——质量射程(Continuous Slowing Down Approximation-Range)（g/cm^2）；

ρ——材料密度（g/cm^3），分别取空气、有机玻璃、混凝土、铅的密度在 NIST 数据库中对应数据。

表 11-18 各种核素β射线在不同屏蔽物质中的最大射程

序号	核素	主要β粒子能量（MeV）	CSDA Range (g/cm^2)	ρ（g/cm^3）		R（cm）
1	^{18}F	0.63	*	空气	*	2.12E+02
			*	有机玻璃	*	2.28E-01
			*	混凝土	*	1.14E-01
			*	铅	*	3.74E-02
2	^{32}P	1.71	*	空气	*	7.79E+02
			*	有机玻璃	*	8.41E-01
			*	混凝土	*	4.22E-01
			*	铅	*	1.44E-01
3	$^{90}Sr/^{90}Y$ 敷贴器	0.54/2.27	*	空气	*	189/1140
			*	有机玻璃	*	0.174/1.08
			*	混凝土	*	0.104/0.621
			*	铅	*	0.0335/0.178
4	^{89}Sr	0.5846	*	空气	*	2.12E+02
			*	有机玻璃	*	1.96E-01
			*	混凝土	*	1.14E-01
			*	铅	*	3.74E-02
5	^{177}Lu	0.2058	*	空气	*	4.22E+01
			*	有机玻璃	*	3.87E-02
			*	混凝土	*	2.29E-02
			*	铅	*	8.09E-03
6	^{131}I	0.602	*	空气	*	2.12E+02
			*	有机玻璃	*	1.96E-01
			*	混凝土	*	1.14E-01
			*	铅	*	3.74E-02

由上表可知在核素操作过程中，辐射工作人员在穿戴好防护用品后，再经过操作

器械和防护用品两次屏蔽后基本可消除β射线影响，屏蔽体外受β射线辐射影响极小。

3.2 本项目γ射线辐射影响分析

3.2.1 计算公式

本项目在进行辐射环境影响预测时，将放射性药物、已用药的患者及放射性废物等简化成点源，则周围空气比释动能率近似按照点源模式估算，参考方杰主编的《辐射防护导论》中的公式估算关注点周围剂量当量率：

*……（公式 11-13）

H——关注点处周围剂量当量率μSv/h；

A——辐射源活度（Bq）；

Γ——辐射源裸源周围剂量当量率常数(μSv·m^2·MBq^{-1}·h^{-1})，*；患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率常数（μSv·m^2·MBq^{-1}·h^{-1}），*；其他核素参数参考*；

r—辐射源到关注点的距离（m）；

η—透射比，无屏蔽情况下取 1，*。

根据*采用什值层计算本项目屏蔽材料透射比：

*……（公式11-14）

X：屏蔽材料厚度，mm；

TVL：不同核素对应什值层厚度，mm。

3.2.2 参数选择

表11-19 非密封放射性物质计算参数一览表

序号	核素	单个患者配药活度（MBq）	辐射源裸源周围剂量当量率常数(μSv·m^2·MBq^{-1}·h^{-1})	患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率常数（μSv·m^2·MBq^{-1}·h^{-1}）
1	^{18}F	*	*	*
2	^{177}Lu	*	*	*
3	^{131}I	*	*	*

表 11-20 本项目发射γ射线的核素单次操作最大活度 A 及常数Γ一览表

核素	A (MBq)	辐射源裸源周围剂量当量率常数(μSv·m^2·MBq^{-1}·h^{-1})	裸源 A×Γ (μSv·m^2·h^{-1})	患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率常数(μSv·m^2·MBq^{-1}·h^{-1})	患者体内 A×Γ (μSv·m^2·h^{-1})
^{18}F	*	*	*	*	*
^{177}Lu	*	*	*	*	*
^{131}I	*	*	*	*	*

表 11-21 本项目发射γ射线的核素在不同材料中的什值层（mm）

核素	混凝土（2.35g/cm³）	铅（11.4g/cm³）
	TVL	TVL
^{18}F	*	*
^{177}Lu	*	*
^{131}I	*	*

注：^{18}F、^{131}I 核素什值层取自《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 表 I.1；^{177}Lu 核素什值层取自《辐射安全手册》图 6.4 混凝土（2.2g/cm³）什值层为 150mm，已根据混凝土密度差距进行折算。

表11-22 本项目屏蔽材料透射比计算结果

材质及厚度	^{18}F	^{177}Lu	^{131}I
120mm 混凝土	*	*	*
200mm 混凝土	*	*	*
250mm 混凝土	*	*	*
300mm 混凝土	*	*	*
350mm 混凝土	*	*	*
400mm 混凝土	*	*	*
450mm 混凝土	*	*	*
32mm 铅门	*	*	*
26mm 铅门	*	*	*
25mm 铅门	*	*	*
20mm 铅门	*	*	*
15mm 铅门	*	*	*
10mm 铅门	*	*	*
3mm 铅门	*	*	*
5mmPb 注射器防护套	*	*	*
10mmPb 铅废物暂存桶	*	*	*
25mm 铅当量铅玻璃	*	*	*
50mmPb 手套箱/铅罐/转运容器/自动分装仪/给药窗	*	*	*
0.5mmPb 防护用品	*	*	*

由于本项目核医学科运营过程采用当日运输当日使用的原则，故储源室内贮存辐射源的铅罐表面最大周围剂量当量率计算结果如下。

表11-23 储源室内铅罐表面周围γ辐射剂量当量率最大值

位置	核素	日最大用量（MBq）	辐射源裸源周围剂量当量率常数（μSv·m²·MBq⁻¹·h⁻¹）	铅罐透射比	铅罐表面周围剂量当量率（μSv/h）
门诊区储源室	^{18}F	*	*	*	11.4
治疗区储源室	^{177}Lu	*	*	*	1.15E-07
	^{131}I	*	*	*	6.97E-01

3.2.3 计算结果

表11-24 γ射线引起的周围剂量当量率估算结果

场所	预测点	核素	源强 ($\mu Sv \cdot m^2 \cdot h^{-1}$)	距离（m）	屏蔽材料	透射比	周围剂量当量率 (μSv/h)	控制目标值 (μSv/h)	是否满足要求
门诊区									
分装室	手套箱表面外（分装操作位）	^{18}F 裸源	*	*	50mm 铅当量铅罐+50mm 铅当量手套箱	*	4.01E-03	2.5	满足
			*	*	50mm 铅当量铅罐+5mmPb 注射器防护套	*	1.03E-01	2.5	满足
	手套箱表面外（非操作位）	^{18}F 裸源	*	*	50mm 铅当量手套箱	*	1.61	25	满足
	墙外 30cm（核医学科内医护工作区）	^{18}F 裸源	*	*	450mm 混凝土+5mmPb 注射器防护套	*	4.35E-02	2.5	满足
	门外 30cm（核医学科内医护工作区）	^{18}F 裸源	*	*	25mm 铅门+5mmPb 注射器防护套	*	2.06E-01	2.5	满足
	窗外 30cm（注射室）	^{18}F 裸源	*	*	50mm 铅当量+5mmPb 注射器防护套	*	1.03E-01	2.5	满足
	注射操作位	^{18}F 裸源	*	*	50mm 铅当量+5mmPb 注射器防护套+0.5mm 铅当量防护用品	*	1.50E-01	/	/
	楼上 30cm（门诊诊室）	^{18}F 裸源	*	*	300mm 混凝土+5mmPb 注射器防护套	*	1.72E-02	2.5	满足
	楼下离地 1.7m（预留回旋区）	^{18}F 裸源	*	*	400mm 混凝土+5mmPb 注射器防护套	*	7.30E-03	2.5	满足
注射室	墙外 30cm（门诊区）	^{18}F 患者体内	*	*	450mm 混凝土	*	4.81E-02	2.5	满足
	门外 30cm（患者通道）	^{18}F 患者体内	*	*	32mmPb 铅门	*	6.42E-02	10	满足
	窗外 30cm（门诊区分装室）	^{18}F 患者体内	*	*	50mm 铅当量	*	1.32E-01	2.5	满足
	楼上 30cm（诊室）	^{18}F 患者体内	*	*	300mm 混凝土	*	2.21E-02	2.5	满足
	楼下离地 1.7m（预留回旋区）	^{18}F 患者体内	*	*	400mm 混凝土	*	9.38E-03	2.5	满足

抢救室	门外 30cm（患者通道）	^{18}F 患者体内	*	*	26mmPb 铅门	*	1.26E-01	10	满足
	墙外 30cm（门诊区分装室）	^{18}F 患者体内	*	*	350mm 混凝土	*	7.94E-02	2.5	满足
	楼上 30cm（绿化）	^{18}F 患者体内	*	*	300mm 混凝土	*	2.21E-02	2.5	满足
	楼下离地 1.7m（预留回旋区）	^{18}F 患者体内	*	*	400mm 混凝土	*	9.38E-03	2.5	满足
注射后等候室 1	墙外 30cm（医护操作区域）	4 个 ^{18}F 患者体内	*	*	450mm 混凝土	*	2.61E-02	2.5	满足
	门外 30cm（患者通道）	4 个 ^{18}F 患者体内	*	*	20mmPb 铅门	*	6.93E-01	10	满足
	楼上 30cm（抢救室/宣教室/过道）	4 个 ^{18}F 患者体内	*	*	300mm 混凝土	*	8.86E-02	2.5	满足
	楼下离地 1.7m（预留回旋区）	4 个 ^{18}F 患者体内	*	*	400mm 混凝土	*	3.75E-02	2.5	满足
注射后等候室 2	门外 30cm（过道）	^{18}F 患者体内	*	*	10mmPb 铅门	*	1.26	10	满足
	墙外 30cm（门诊病区）	^{18}F 患者体内	*	*	200mm 混凝土	*	2.59E-01	2.5	满足
	楼上 30cm（宣教室）	^{18}F 患者体内	*	*	300mm 混凝土	*	2.21E-02	2.5	满足
	楼下离地 1.7m（停车场）	^{18}F 患者体内	*	*	400mm 混凝土	*	9.39E-03	2.5	满足
扫描后留观区	墙体外 30cm（核医学科内）	5 个 ^{18}F 患者体内	*	*	300mm 混凝土	*	3.72E-01	2.5	满足
	门外 30cm（患者通道）	5 个 ^{18}F 患者体内	*	*	25mmPb 铅门	*	1.26E-01	2.5	满足
	楼上 30cm（过道）	5 个 ^{18}F 患者体内	*	*	300mm 混凝土	*	1.11E-01	2.5	满足
	楼下离地 1.7m（停车场）	5 个 ^{18}F 患者体内	*	*	400mm 混凝土	*	4.69E-02	2.5	满足
PET-CT 机	门外 30cm（核医学科内）	^{18}F 患者体内	*	*	25mmPb 铅门	*	3.51E-02	2.5	满足
	墙外 30cm（核医学科内）	^{18}F 患者体内	*	*	300mm 混凝土	*	2.21E-02	2.5	满足
	窗外 30cm（控制室）	^{18}F 患者体内	*	*	25mm 铅当量	*	8.19E-02	2.5	满足

房	楼上 30cm（诊室/过道）	^{18}F 患者体内	*	*	300mm 混凝土	*	2.21E-02	2.5	满足
	楼下离地 1.7m（预留回旋区）	^{18}F 患者体内	*	*	400mm 混凝土	*	7.26E-01	2.5	满足
	机房内（部分患者需要协助摆位的情况）	^{18}F 患者体内	*	*	0.5mmPb 防护用品	*	127	/	/
PET-MRI 机房	门外 30cm（核医学科内）	^{18}F 患者体内	*	*	25mmPb 铅门	*	6.63E-02	2.5	满足
	墙体外 30cm（核医学科内）	^{18}F 患者体内	*	*	250mm 混凝土	*	1.34E-01	2.5	满足
	窗外 30cm（控制室）	^{18}F 患者体内	*	*	25mm 铅当量	*	4.08E-02	2.5	满足
	楼上 30cm（处置/治疗室等）	^{18}F 患者体内	*	*	300mm 混凝土	*	2.21E-02	2.5	满足
	楼下离地 1.7m（停车场）	^{18}F 患者体内	*	*	400mm 混凝土	*	9.38E-03	2.5	满足
	机房内（部分患者需要协助摆位的情况）	^{18}F 患者体内	*	*	0.5mmPb 防护用品	*	127	/	/
放射性废物暂存间 1	门外 30cm（患者通道）	0.225μSv/h	*	*	25mmPb 铅门	*	1.59E-03	10	满足
	墙外 30cm（核医学科内）	0.225μSv/h	*	*	400mm 混凝土	*	5.34E-04	2.5	满足
	楼上 30cm（日间化疗大厅）	0.225μSv/h	*	*	300mm 混凝土	*	1.47E-04	2.5	满足
	楼下离地 1.7m（停车场）	0.225μSv/h	*	*	400mm 混凝土	*	6.21E-05	2.5	满足
储源室	门外 30cm（核医学科医护工作区）	铅罐外	*	*	20mmPb 铅门	*	2.46E-01	2.5	满足
	墙外 30cm（核医学科内）	铅罐外	*	*	200mm 混凝土	*	3.26E-01	2.5	满足
	楼上 30cm（过道）	铅罐外	*	*	300mm 混凝土	*	7.42E-03	2.5	满足
	楼下离地 1.7m（预留回旋区）	铅罐外	*	*	200mm 混凝土	*	4.30E-02	2.5	满足
放射性废物	门外 30cm（储源室）	0.225μSv/h	*	*	25mmPb 铅门	*	4.15E-03	10	满足
	墙外 30cm（核医学科医护工作区）	0.225μSv/h	*	*	400mm 混凝土	*	7.11E-04	2.5	满足
	楼上 30cm（过道）	0.225μSv/h	*	*	300mm 混凝土	*	1.47E-04	2.5	满足
	楼下离地 1.7m	0.225μSv/h	*	*	400mm 混凝土	*	6.21E-05	2.5	满足

暂存间 4	（预留回旋区）								
门诊区入口	门外 30cm（核医学科门厅）	^{18}F 患者体内	*	*	25mmPb 铅门	*	2.41E-01	2.5	满足
门诊区出口	门外 30cm（过道）	^{18}F 患者体内	*	*	25mmPb 铅门	*	2.41E-01	2.5	满足
治疗区									
分装室	甲癌手套箱表面外（分装操作位）	^{131}I 裸源	*	*	50mm 自动分仪自屏蔽/铅罐+50mm 铅当量手套箱	*	5.02E-02（较大者叠加）	2.5	满足
		^{131}I 裸源	*	*	50mm 铅当量手套箱	*			
	^{177}Lu 手套箱表面外（分装操作位）	^{177}Lu 裸源	*	*	50mm 铅当量手套箱+5mmPb 注射器防护套	*			
	甲癌手套箱表面外（非操作位）	^{131}I 裸源	*	*	50mm 铅当量手套箱+50mm 自动分仪自屏蔽	*	4.49E-07	25	满足
	^{177}Lu 手套箱表面外（非操作位）	^{177}Lu 裸源	*	*	50mm 铅当量手套箱	*			
	甲癌指导服药位	^{131}I 裸源	*	*	50mm 铅当量+0.5mm 铅当量防护用品	*	2.82E-03	/	/
	^{177}Lu 注射操作位	^{177}Lu 裸源	*	*	50mm 铅当量+5mmPb 注射器防护套+0.5mm 铅当量防护用品	*			
	门外 30cm（卫生通过）	^{131}I 裸源	*	*	50mm 铅当量手套箱+10mmPb 铅门	*	3.78E-03	2.5	满足
	门外 30cm（卫生通过）	^{177}Lu 裸源	*	*	10mmPb 铅门+5mmPb 注射器防护套	*			

	窗外 30cm（^{131}I 给药区）	^{131}I 裸源	*	*	50mm 铅当量	*	5.02E-02	10	满足
	窗外 30cm（^{177}Lu 给药区）	^{177}Lu 裸源	*	*	50mm 铅当量+ 5mmPb 注射器防护套	*			
	墙外 30cm （核医学科内医护工作区）	^{131}I 裸源	*	*	50mm 铅当量手套箱+ 200mm 混凝土	*	1.21E-02	2.5	满足
	墙外 30cm （核医学科内医护工作区）	^{177}Lu 裸源	*	*	200mm 混凝土+ 5mmPb 注射器防护套	*			
	楼上 30cm （护师站等候室/过道）	^{131}I 裸源	*	*	50mm 铅当量手套箱+ 300mm 混凝土	*	5.01E-04	2.5	满足
	楼上 30cm （护师站等候室、过道）	^{177}Lu 裸源	*	*	300mm 混凝土+ 5mmPb 注射器防护套	*			
	楼下离地 1.7m（停车场）	^{131}I 裸源	*	*	50mm 铅当量手套箱+ 120mm 混凝土	*	1.05E-02	2.5	满足
	楼下离地 1.7m（停车场）	^{177}Lu 裸源	*	*	120mm 混凝土+ 5mmPb 注射器防护套	*			
每间甲癌病房（考剂量叠加后），出院检	门外 30cm（患者通道）	2 个 ^{131}I 患者体内	*	*	15mmPb 铅门	*	2.33	2.5	满足
	墙外 30cm（患者通道或核医学科病区）	2 个 ^{131}I 患者体内	*	*	350mm 混凝土	*	3.72E-01	2.5	满足
	楼上 30cm （日间化疗大厅）	2 个 ^{131}I 患者体内	*	*	300mm 混凝土	*	4.90E-01	2.5	满足
	楼下离地 1.7m（停车场）	2 个 ^{131}I 患者体内	*	*	400mm 混凝土	*	1.98E-01	2.5	满足

测区和仪器室/抢救室剂量同理									
放射性废物暂存间 2	墙外 30cm（核医学科内）	0.225μSv/h	*	*	300mm 混凝土	*	2.29E-03	10	满足
	门外 30cm（患者通道）	0.225μSv/h	*	*	20mmPb 铅门	*	2.02E-03	10	满足
	楼上 30cm（日间化疗大厅）	0.225μSv/h	*	*	300mm 混凝土	*	1.28E-04	2.5	满足
	楼下离地 1.7m（停车场）	0.225μSv/h	*	*	400mm 混凝土	*	5.16E-05	2.5	满足
脏污被服间	墙外 30cm（核医学科内病区）	0.225μSv/h	*	*	250mm 混凝土	*	4.50E-03	10	满足
	门外 30cm（放射性废物暂存间 2）	0.225μSv/h	*	*	20mmPb 铅门	*	2.02E-03	10	满足
	楼上 30cm（日间化疗大厅）	0.225μSv/h	*	*	300mm 混凝土	*	1.28E-04	2.5	满足
	楼下离地 1.7m（停车场）	0.225μSv/h	*	*	400mm 混凝土	*	5.16E-05	2.5	满足
取餐/取	窗外 30cm（核医学科病区或医护工作区）	^{131}I 患者体内	*	*	25mmPb	*	3.40E-01	2.5	满足
	墙外 30cm（核医学科病区或	^{131}I 患者体内	*	*	350mm 混凝土	*	5.57E-01	2.5	满足

被服区	医护工作区）								
	楼上 30cm（过道）	^{131}I 患者体内	*	*	300mm 混凝土	*	2.45E-01	2.5	满足
	楼下离地 1.7m（停车场）	^{131}I 患者体内	*	*	400mm 混凝土	*	9.88E-02	2.5	满足
^{177}Lu 病房	门外 30cm（核医学科内）	^{177}Lu 患者体内	*	*	3mmPb 铅门	*	4.09E-01	2.5	满足
	墙外 30cm（核医学科内）	^{177}Lu 患者体内	*	*	200mm 混凝土	*	5.49E-02	2.5	满足
	楼上 30cm（会议室/就餐室）	^{177}Lu 患者体内	*	*	120mm 混凝土	*	5.17E-02	2.5	满足
	楼下离地 1.7m（停车场）	^{177}Lu 患者体内	*	*	120mm 混凝土	*	8.08E-02	2.5	满足
储源室	墙外 30cm（核医学科医护工作区）	^{131}I 铅罐外	*	*	200mm 混凝土	*	2.75E-02	2.5	满足
		^{177}Lu 铅罐外	*	*		*			
	门外 30cm（分装室）	^{131}I 铅罐外	*	*	10mmPb 铅门	*	5.07E-02	2.5	满足
		^{177}Lu 铅罐外	*	*		*			
	楼上 30cm（等候区）	^{131}I 铅罐外	*	*	300mm 混凝土	*	3.96E-04	2.5	满足
		^{177}Lu 铅罐外	*	*		*			
	离地 1.7m（停车场）	^{131}I 铅罐外	*	*	120mm 混凝土	*	7.09E-03	2.5	满足
		^{177}Lu 铅罐外	*	*		*			
放射性废物暂存间 3	门外 30cm（核医学科医护工作区）	0.225μSv/h	*	*	20mmPb 铅门	*	2.02E-03	2.5	满足
	墙外 30cm（核医学科医护工作区）	0.225μSv/h	*	*	300mm 混凝土	*	3.87E-03	2.5	满足
	楼上 30cm（护师站）	0.225μSv/h	*	*	300mm 混凝土	*	1.47E-03	2.5	满足
	楼下离地 1.7m（停车场）	0.225μSv/h	*	*	200mm 混凝土	*	7.74E-04	2.5	满足
治疗区入	门外 30cm（过道）	^{177}Lu 患者体内	*	*	3mmPb 铅门	*	4.09E-01	2.5	满足

口									
治疗区甲癌病房出口	门外 30cm（过道）	^{131}I 患者体内	*	*	25mmPb 铅门	*	4.09E-02	2.5	满足

注：屏蔽体对储源室内核素产生的γ射线的透射比取透射比值最大参数进行保守考虑，屏蔽体对放射性废物暂存间内核素产生的γ射线的透射比结合核素半衰期与透射比值参数进行保守考虑；放射性废物暂存间内废物袋表面周围剂量当量率参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）“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”，推算处1m处周围剂量当量率为0.225μSv/h，医院将日常利用监测仪器监测放射性废物收集桶外周围剂量当量率，在超出限值时及时更换屏蔽更厚的废物桶或进一步分装原有废物；四周及楼上取屏蔽体外表面0.3m处，楼下取离地1.7m，手套箱人员操作位取外表面30cm处，非操作位取表面30cm处。

3.3 本项目 X 射线辐射影响分析

根据附件7以常用最大工况120kV，350mA进行评价，因设备摆放位置未定，保守按照各方向受主射线影响考虑。根据《辐射防护手册》（第一分册，李德平、潘自强主编）中公式及ICRP第33号报告源强等计算可得屏蔽体外周围剂量当量率（详见ERCP/中C/DSA计算章节），结果如下。

表11-25 本项目PET-CT机房屏蔽体外30cm处周围剂量当量率核算结果

预测点	源强(μGy/h)	距离（m）	屏蔽材料	透射因子	转换系数	周围剂量当量率（μSv/h）
窗外30cm	*	*	25mmPb铅玻璃+0.85mm铅当量设备自带屏蔽	*	*	8.34E-22
墙外30cm	*	*	300mm混凝土+0.85mm铅当量设备自带屏蔽	*	*	4.98E-02
门外30cm	*	*	25mmPb+0.85mm铅当量设备自带屏蔽	*	*	3.57E-22
楼上30cm	*	*	300mm混凝土+0.85mm铅当量设备自带屏蔽	*	*	4.98E-02
楼下离地1.7m	*	*	400mm混凝土+0.85mm铅当量设备自带屏蔽	*	*	2.19E-03

注：*。

表11-26 本项目PET-CT机房屏蔽体外30cm处周围剂量当量率核算结果

预测点	X射线（μSv/h）	γ射线（μSv/h）	周围剂量当量（μSv/h）
窗外30cm	8.34E-22	8.19E-02	8.19E-02
墙外30cm	4.98E-02	2.21E-02	7.19E-02
门外30cm	3.57E-22	3.51E-02	3.51E-02
楼上30cm	4.98E-02	2.21E-02	7.19E-02
楼下离地1.7m	2.19E-03	7.26E-01	7.28E-01

综上所述，本项目核医学科各关注点周围剂量当量率能够满足本项目管理目标。

3.4 本项目韧致辐射影响分析

本项目敷贴源^{90}Sr烧结在陶瓷釉中，再将瓷片装入铝壳内，液压收口后用环氧树脂密封（*，因此可忽略韧致辐射影响）。根据*：

*……（公式 11-15）

式中：D—预测点处的辐射剂量率，μSv/h；

A—β辐射体的活度，MBq；

E_β—β粒子最大能量，MeV；

d—距离源的距离，cm，取 d=100cm；

Z—吸收体的有效原子序数，*；

I—考虑到内韧致辐射贡献的修正因子，*；

μ_{en}—韧致辐射的质能吸收系数，*。

本项目重点考虑辐射源强较大时，在高 Z 材料上产生的韧致辐射，因此主要分析储源室和分装室周围叠加韧致辐射后影响。

表 11-27 储源室内韧致辐射所致周围剂量当量率

核素	β粒子最大能量（MeV）	A MBq	μ_{en}（cm^2/g）	D (μSv/h)	最薄屏蔽透射因子	周围剂量当量率 (μSv/h)	叠加后周围剂量当量率 (μSv/h)
^{18}F	*	*	*	*	*	3.35E-02	0.364
^{32}P	*	*	*	*	*	4.83E-03	
^{177}Lu	*	*	*	*	*	2.11E-03	0.207
^{131}I	*	*	*	*	*	1.53E-01	
^{89}Sr	*	*	*	*	*	7.21E-04	

表 11-26 给药过程韧致辐射所致注射器外辐射剂量率

核素	β粒子最大能量（MeV）	A MBq	μ_{en}（cm^2/g）	D (μSv/h)	最薄屏蔽透射因子	周围剂量当量率 (μSv/h)	叠加后周围剂量当量率 (μSv/h)
^{18}F	*	*	*	*	*	1.67E-03	0.210
^{32}P	*	*	*	*	*	2.41E-03	
^{177}Lu	*	*	*	*	*	2.11E-03	8.36E-02
^{131}I	*	*	*	*	*	3.06E-02	
^{89}Sr	*	*	*	*	*	7.21E-04	

由此可知，考虑韧致辐射后屏蔽体外周围剂量当量率仍满足本项目管理目标。

3.5 年有效剂量分析

3.5.1 辐射影响时间

表 11-28 职业及公众受照射γ射线时间核算表

核素	操作方式		单次操作时（min）	数量	年受照时间(h)
^{32}P	职业	制备	5	年治疗 500 人次	41.7
	公众	每日仅 2 位病人，仅贮存及制备过程可能受韧致辐射影响，预计制备过程受影响时间不超过 41.7h，贮存过程受影响时间预计不超过 250h			
^{18}F	职业	分药	2	年接诊 10000 人次	333
		注射	0.5		83.3
		摆位（预计仅有 1/3 病人需辅助摆位）	0.5		27.8
		显像	10		1.67E+03
		运输	1	每年 250 天	4.17
		清洁	5		20.8
	公众	平均每日在医院停留时间不超过 8h		每年 250 天	每年受影响时间不超过 2000h
^{131}I	职业	分药	2	年治疗 250 人次	8.33
		隔室指挥服药（预计仅有 1/3 病人需隔室指导）	2		2.78
		查房	5		4.17

		（预计仅有 1/5 情况需同室查房）			
		运输	1	每年 50 天	0.833
		清洁	5	每年 250 天	20.8
	公众	平均每日在医院停留时间不超过 8h		每年 250 天	每年受影响时间不超过 2000h
^{177}Lu	职业	分药	2	年治疗 50 人次	1.67
		注射	0.5		0.417
		查房（预计仅有 1/5 情况需同室查房）	5		0.833
		运输	1	每年 50 天	0.833
		清洁	5	每年 150 天	12.5
	公众	平均每日在医院停留时间不超过 8h		每年 150 天	每年受影响时间不超过 1200h
^{89}Sr	职业	分药	2	年治疗 200 人次	6.67
	公众	每周仅 4 位病人，仅贮存及分药过程可能受韧致辐射影响，预计分药过程受影响时间不超过 6.67，贮存过程受影响时间预计不超过 200h			
PET-CT	职业	每人扫描 10min		年接诊 5000 人次	833
	公众	/			833

3.5.2 职业人员年有效剂量

表11-29 不同辐射源叠加累积影响一览表

核素	操作方式	γ射线贡献周围剂量当量率（μSv/h）	韧致辐射贡献周围剂量当量率（μSv/h）	年操作时间（h）	PET-CT 贡献周围剂量年有效剂量（mSv）	年有效剂量（mSv）
门诊区						
^{32}P	制备	/	2.64E-01	41.7	/	1.10E-02
^{18}F	分药	1.03E-01	1.03E+01	333	/	3.46
	注射	1.50E-01	5.17E-01	83.3	/	5.56E-02
	摆位	127	/	27.8	/	3.53
	显像	8.19E-02	/	1.67E+03（共用控制室）	4.16E-02	1.24E-01
	运输	11.4	1.03E+01	4.17	/	9.05E-02
	清洁	100	/	20.8	/	2.08
治疗区						
^{131}I	分药	5.02E-02	4.72E+01	8.33	/	3.94E-01
	指挥服药	2.82E-03	9.44	2.78	/	2.63E-02
	查房	431	/	4.17	/	1.80
	运输	6.97E-01	/	0.833	/	5.81E-04
	清洁	100	/	20.8	/	2.08
^{177}Lu	分药	5.31E-09	2.37	1.67	/	3.96E-03
	注射	4.32E-09	2.37	0.417	/	9.88E-04
	查房	8.79	/	0.833	/	7.32E-03
	运输	1.15E-07	/	0.833	/	9.58E-11
	清洁	100	/	12.5	/	1.25
^{89}Sr	分药	2.22E-01	2.22E-01	6.67	/	2.96E-03

表11-30 平均到每位辐射工作人员的最大年有效剂量一览表

岗位	人数	辐射工作人员年有效剂量（mSv）	
		计算公式	结果
诊断区医护	4	*	9.04E-01
技师	4	*	1.83
治疗区医护	4	*	5.58E-01
清洁人员	4	*	1.35

由上表可知，未考虑核素衰减因素情况下本项目**辐射工作人员**所受的年有效剂量最大为**1.83mSv**。

3.5.3 公众年有效剂量

储源室及分装区域均位于核医学科中心位置，不毗邻公众区域，因此仅考虑毗邻的楼上楼下的叠加影响。

表 11-31 公众区域受辐射源影响分析

保护目标	γ射线影响（mSv）	X射线影响（mSv）	韧致辐射（mSv）	年有效剂量（mSv）
核医学科东侧	*	*	*	9.82E-04
核医学科西侧	*	*	*	2.08E-02
核医学科北侧	*	*	*	2.21E-04
核医学科诊断区楼上	*	*	*	8.86E-02
核医学科诊断区楼上	*	*	*	1.86E-02
核医学科诊断区楼上	*	*	*	2.99E-02
核医学科治疗区楼上*	*	*	*	7.96E-02
核医学科诊断区楼下	*	*	*	2.35E-03
核医学科治疗区楼下	*	*	*	1.36E-02
院区二期医疗综合楼	*	*	*	8.34E-04
院区二期感染楼	*	*	*	1.01E-03

注：考虑甲癌病人住院期间，随着时间推移，体内放射性核素存在衰减，以每日最大剂量率进行核算。

综上所述，经过所有叠加分析后，本项目核医学科辐射工作人员的年有效剂量最大为**1.83mSv**，周围公众的年有效剂量最大为**8.86E-02mSv**。因此综合来看，本项目运行后，核医学科场所相关的辐射工作人员以及周围公众受到的周围剂量当量率、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》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中对周围剂量当量率、职业人员和公众年有

效剂量限值的要求，并满足本项目管理目标值。

3.5.4校准源辐射影响分析

技师还需用校准源对扫描设备进行质控，质控一般每周一次。技师穿戴0.5mmPb的防护用品将装有校准源的铅罐拎至检查床旁，用长柄镊子将校准源放置在检查床上，然后退出机房，在控制室的操作位对设备进行质控；质控结束后进入机房，用长柄镊子将校准源夹至铅罐，并将铅罐放至储源柜中，由于质控用时较短，校准源活度较低，相对核素诊断和治疗过程，其对周围环境的辐射影响较正电子药物可忽略不计。

3.6患者离开医院后对环境的影响

对于本项目非密封性放射物质的出院管理，《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）等标准未作出具体要求。以影响较大的参考核素^{18}F为例，单人实际注射量分别为40mCi，患者出院预计花费1h，则出院后患者体外1m处周围剂量当量率随时间变化见下表。

表11-32 使用参考核素的患者离开院后不同时间段内1m处周围剂量当量率（μSv/h）

^{18}F						
服药后时间	1h	8h	15h	24h	/	
患者1m处剂量率（μSv/h）	2.33E+01	1.64E+00	7.94E-02	1.85E-04	/	
^{131}I						
服药后时间	0d	1d	2d	3d	4d	5d
^{131}I 距离 1m 处剂量率，μSv/h/MBq	*	*	*	*	*	*
200mCi 患者体内剩余药量 MBq	*	*	*	*	*	*
患者 1m 处剂量率，μSv/h	431	63	15	12	12	8

因此医院应对患者离院做出书面指导，短期内禁止到公共场所活动，1天内需尽量避免与家人亲密接触。

3.7大气环境影响分析

3.7.1气态放射性废物

二期核医学门诊区和治疗区在进行液态放射性药物活度操作过程中，若放射性药物液面处于开放状态，空气中可能挥发微量放射性同位素，污染途径为放射性药物在空气中挥发散逸造成人员吸入的内照射。本项目核医学科分装室设有3个专用手套箱，本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（设计通风速率不少于0.5m/s，排放口高于本建筑屋顶），满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“排气口应高于本建筑物屋顶”的要求，能够有效防止气态放射性废物对

周围环境产生的影响，符合放射性工作场所相关要求。同时医院拟在核医学辐射工作场所和手套箱管道在屋顶排放口处设置活性炭过滤吸附装置，对放射性气溶胶进行吸附，降低放射性气溶胶外排浓度，吸附材料应定期更换（半年更换一次）并作为固体放射性废物处理。整个核医学科工作场所均拟设置新风系统及独立的排风系统。

本项目核医学排风风管设计在有辐射防护屏蔽的房间内，对于穿墙后的风管采用屏蔽补偿措施（与墙体屏蔽相当），经过防护措施后，对周围环境的辐射影响较小。

3.7.2臭氧及氮氧化物

PET-CT机房采用机械通排风，通风条件良好，产生的臭氧通过排风管道抽排至大气环境中，经自然分解和稀释对周围大气环境中臭氧浓度影响甚微。

3.8 水环境影响分析

核医学科所有废水经专用排水管道排入不同的衰变池内暂存衰变，污水管采用耐酸防腐材料，且管外径用铅皮包裹。

门诊区衰变池设计有2级并联槽式衰变池，每级衰变池用带孔洞的墙体分隔，以确保承重安全。每级池子可使用容积为42m^3，总容积84m^3。根据表10液态放射性废物分析，拟计划排水周期为35天。门诊区衰变池中液态放射性废物仅包含^{18}F核素（半衰期109.8min），根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放”的要求，本项目门诊区液态放射性废物暂存35天后可直接解控排放。

治疗区甲癌衰变池设计有1个污泥池和4级并联衰变池。每级衰变池用带孔洞的墙体分隔，以确保承重安全。每级池子可使用容积为80m^3，总容积320m^3。根据表10液态放射性废物分析，拟计划排水周期为200天。衰变池中液态放射性废物包含^{131}I核素（半衰期8.02d），根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“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（碘-131核素的暂存超过180天）”的要求以及国家核安全局2023年9月13日发布的《关于核医学标准相关条款咨询的复函》中“含碘-131液态放射性废物暂存180天后，衰变池废水可直接排放”，因此本项目治疗区甲癌衰变池暂存超过180天后废水可直接排放。

治疗区其他衰变池设计有2级并联衰变池，每级衰变池用带孔洞的墙体分隔，以确保承重安全。每级池子可使用容积为88m^3，总容积176m^3。根据表10液态放射性废物分析，拟计划排水周期为510天。治疗区其他衰变池中液态放射性废物包含^{89}Sr核素

（半衰期50.5d）和^{177}Lu核素（6.73d），根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“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）”的要求，本项目治疗区其他衰变池的液态放射性废物暂存510天后可监测结果经确认后，放射性废液总排放口总β不大于10Bq/L，按照GB18871中8.6.2规定方式进行排放。

综上所述，本项目衰变池完全能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）相关要求。医院拟在排放前委托有资质单位进行监测，监测结果经确认后，按照GB18871中8.6.2规定方式进行排放。

本项目衰变池位于地下三层衰变室内，衰变池底部为土层，衰变室四周墙体为400mm混凝土、顶部为400mm混凝土，门体包含20mmPb，门诊区衰变池四周拟设置20mmPb防护；治疗区甲癌衰变池1-4#衰变池西侧、南侧及北侧为400mm混凝土，东侧为20mmPb，5#衰变池南侧为400mm混凝土，其余三侧为20mmPb；治疗区其他衰变池除东侧、南侧及北侧为400mm混凝土，西侧为20mmPb，保守将衰变池作为点源，衰变池的中心至衰变室墙体表面30cm辐射剂量率计算结果见下表。

由于关注点处辐射剂量率与核素的活度A、常数Γ和透射比η有关，门诊区衰变池中核素半衰期较短，暂存到第二天时相对第一天的液态放射性废物中的核素活度较小，因此考虑当天进入衰变池时核素^{18}F的活度（单次核医学诊断项目患者，排泄物内核素活度排泄比率保守按30%进行计算）作为源强进行计算。

治疗区甲癌衰变池选取^{131}I的活度进行计算，甲癌患者保守按核素使用量的90%排入衰变池（数据引自*）。根据放射性核素衰变公式$N = A_0e^{-\lambda t}$计算已趋于平衡时活度。

治疗区其他衰变池中的^{89}Sr为纯β衰变核素，仅需考虑其发射的β粒子的屏蔽，根据前文计算，^{89}Sr发射的β粒子在空气中的射程较短，因此不考虑衰变池中^{89}Sr的β辐射影响。治疗区其他衰变池计算^{177}Lu核素，根据放射性核素衰变公式$N = A_0e^{-\lambda t}$计算已趋于平衡时活度。

表11-33 核医学科衰变室外辐射水平估算结果

核素	衰变池	半衰期	每周排入液态放射性废物衰变系统的核素活度	趋于平衡时活度
^{131}I	甲癌衰变池	8.02d	*	第16周7.34E+10Bq
^{177}Lu	治疗区其他衰变池	6.73d	*	第11周3.25E+09Bq

序号	参考点位置	源强（Bq）	屏蔽材料及厚度	屏蔽距离（m）	透射比	参考点辐射剂量水平（μSv/h）
1	东侧30cm处（停车场）	*	400mm混凝土+20mmPb	*	*	6.40E-03
		*	400mm混凝土	*	*	
		*	400mm混凝土+20mmPb	*	*	
2	南侧30cm处（预留三期）	*	400mm混凝土+20mmPb	*	*	1.73
		*	400mm混凝土	*	*	
		*	400mm混凝土	*	*	
3	西侧30cm处（泵房）	*	400mm混凝土+20mmPb	*	*	1.42
		*	400mm混凝土+20mmPb	*	*	
		*	400mm混凝土	*	*	
4	北侧30cm处（停车场）	*	400mm混凝土+40mmPb	*	*	2.00E-01
		*	400mm混凝土	*	*	
		*	400mm混凝土	*	*	
5	顶部30cm处（停车场）	*	400mm混凝土	*	*	1.69
		*	400mm混凝土	*	*	
		*	400mm混凝土	*	*	
6	北侧西部防护门30cm处（停车场）	*	40mmPb	*	*	1.76E-01
		*	40mmPb	*	*	
		*	40mmPb	*	*	
7	北侧中部防护门30cm处（停车场）	*	40mmPb	*	*	2.10E-01
		*	40mmPb	*	*	
		*	40mmPb	*	*	
8	北侧东部防护门30cm处（停车场）	*	40mmPb	*	*	1.74E-01
		*	40mmPb	*	*	
		*	40mmPb	*	*	

由上表估算结果可知，衰变室周围辐射剂量率最大为1.73μSv/h，满足不大于2.5μSv/h的管理目标限值要求。本项目衰变池拟建址位于负三层，衰变室四周为停车场及各类设备及辅助用房，基本无公众在此逗留，衰变室顶部为停车场，下方为土层，本项目衰变室对周围公众辐射影响很小。

液态放射性废物管道外环境影响分析

本项目核医学科的液态放射性废物排水管道位于负三层的吊顶处（层高4.8m），管道从衰变室顶部进入衰变室。无曝露于地面的放射性废液管道。为降低管道对周围环境的影响，拟在门诊区和治疗区其他废水排水管道外包裹3mm铅，治疗区甲癌液态放射性废物排水管道外包裹5mm铅。

本项目计算液态放射性废物管道对外环境的辐射影响时，参照《辐射防护导论》

P78公式（c）：

*……（公式11-16）

K_α—周围计量当量率，μSv/h；

L—线源长度，本项目门诊区废水横管最长约为22.05m，前列腺癌和骨转移治疗区废水横管最长约为23.45m，甲癌治疗区废水横管最长约为30.65m；

r—参考点至线源的垂直距离，m；

A—线源活度，MBq；

Γ_K—距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为$\mu Sv \cdot m^2 \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}$。

表 11-34 液态放射性废物排水管道表面 30cm 处辐射水平计算结果一览表

核素	A（MBq）	Γ_K（$\mu Sv \cdot m^2 \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}$）	L（m）	r（m）	η	K_α（μSv/h）
^{18}F	*	*	*	*	*	4.89E-01
^{177}Lu	*	*	*	*	*	3.41E-02
^{131}I	*	*	*	*	*	1.17

注：单次核医学诊断和治疗项目患者，单次排泄物内核素活度排泄比率保守按30%进行计算；

本项目核医学科位于负一层，液态放射性废物管道裸露段位于负三层吊顶处，废水管道距负三层地面最近约4.3m，人员无法近距离接触，故考察点设置于一层地面170cm处，线源到考察点的距离取2.6m。

由上表可知，由上表可知，裸露的液态放射性废物专用管道外采用铅皮包覆进行辐射防护，其对周围公众产生的辐射影响较小。

3.9 固体废物环境影响分析

本项目核医学科的门诊区产生的固体放射性废物先暂存在各房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物先装入利器盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，每日工作结束后集中收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在诊断区的放射性废物暂存间1和4的铅废物桶内，含有^{18}F核素的废物暂存时间30天，含有^{32}P核素的废物暂存143天后，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、β表面沾污小于0.8Bq/cm^{2}后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目核医学科的骨转移治疗区产生的固体放射性废物先暂存在房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物先装入利器盒中并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在放射性废物暂存间3的铅废物桶内，暂存506天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、β表面沾污小于0.8Bq/cm^{2}后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目核医学科住院区产生的固体放射性废物先暂存在各房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，病人出院后集中收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在放射性废物暂存间2和3的铅废物桶内，含有^{177}Lu核素的废物暂存68天，含有^{131}I核素的废物暂存181天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、β表面沾污小于0.8Bq/cm^{2}后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目门诊区和治疗区通风系统更换的废活性炭集中收集放置在放射性废物暂存间1的铅废物桶内，根据含有不同核素的活性炭暂存相应日期后，并经监测辐射剂量并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、β表面沾污小于0.8Bq/cm^{2}后，结合HJ 1188—2021的7.2.3.1和7.4.2作为医疗废物处理统一处理。

核医学科场所内使用的 PET-CT 配套使用的校准源随着核素的自然衰变，放射源的活度不断降低，当放射源使用到一定年限后，会产生退役的放射源，退役放射源由原厂家回收处置。

由上述可知，本项目固体放射性废物的处理措施有效可行，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关固体放射性废物处理的要求。本项目固体放射性废物本身沾染的放射性核素活度浓度较低，各房间每天产生的固体放射性废物较少，经过各房间废物铅桶的屏蔽后，废物铅桶外的辐射剂量率满足小于 2.5μSv/h 的要求，对周围环境辐射影响很小。

4、ERCP/中 C/DSA 项目辐射环境影响分析

4.1 防护条件评估

本项目 ERCP/中 C/DSA 手术室或机房设计的屏蔽参数见下表。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录可计算不同管电压下不同材料厚度等同的铅当量。由《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）公式 C.1、C.2 以及附录表 C.2、C.3 可知：

辐射透射因子 B：

*……（公式 11-17）

B——给定材质厚度的屏蔽透射因子；

X——材质厚度（mm）；

α——材质对不同管电压 X 射线衰减的有关的拟合参数；

β——材质对不同管电压 X 射线衰减的有关的拟合参数；

γ——材质对不同管电压 X 射线衰减的有关的拟合参数。

铅当量厚度 X：

*……（（公式 11-18）

B——给定材质厚度的屏蔽透射因子；

X——铅厚度（mm）；

α——铅对不同管电压 X 射线衰减的有关的拟合参数；

β——铅对不同管电压 X 射线衰减的有关的拟合参数；

γ——铅对不同管电压 X 射线衰减的有关的拟合参数。

ERCP/中 C/DSA 项目：

本项目 10 间机房及复合手术室配套的 CT 室均采用相同的屏蔽设计：四周墙体均为 370mm 实心砖墙；楼板及地面均为 260mm 混凝土；所有防护窗均为 15mm 铅玻璃，等效 3mm 铅当量；防护门均内嵌 3mm 铅板。

本项目共拟建设 10 间机房及复合手术室配套的 CT 室，机房的层高均为 5m，10 间机房及复合手术室配套的 CT 室的长、宽及面积情况见下表。

建设单位使用的实心砖密度为*，混凝土密度为*。

表 11-35 本项目 ERCP/中 C 拟建屏蔽设计评价结果表（150kV）

位置	设计厚度	铅当量	屏蔽要求	评价
四周墙体	370mm 实心砖墙	**3.36mm**	单管头 X 射线机（含 C 形臂）DSA 手术室屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向铅当量 2mm，非有用线束方向铅当量 2mm。	满足
楼顶/地面	260mm 混凝土	**3.09mm**		满足
机房防护门	3mm 铅板	**3mm**		满足

观察窗	15mm 铅玻璃	**3mm**	CT 机房（不含头颅移动 CT）CT 模拟定位机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向铅当量 2.5mm，非有用线束方向铅当量 2.5mm。	满足

表 11-36 本项目 DSA 手术室及 CT 室拟建屏蔽设计评价结果表

各导管手术室（125kV）				
位置	设计厚度	铅当量	屏蔽要求	评价
四周墙体	370mm 实心砖墙	**3.82mm**	单管头 X 射线机（含 C 形臂）DSA 手术室屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向铅当量 2mm，非有用线束方向铅当量 2mm。	满足
楼顶/地面	260mm 混凝土	**3.56mm**		满足
机房防护门	3mm 铅板	**3mm**		满足
观察窗	15mm 铅玻璃	**3mm**		满足
复合手术室 CT 室（140kV）				
四周墙体	370mm 实心砖墙	**3.52mm**	CT 机房（不含头颅移动 CT）CT 模拟定位机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向铅当量 2.5mm，非有用线束方向铅当量 2.5mm。	满足
楼顶/地面	260mm 混凝土	**3.26mm**		满足
机房防护门	3mm 铅板	**3mm**		满足
观察窗	15mm 铅玻璃	**3mm**		满足
二期核医学科的 PET-CT 机房 （140kV）				
四周墙体	300mm 混凝土	**3.89mm**	CT机房（不含头颅移动CT）CT模拟定位机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向铅当量2.5mm，非有用线束方向铅当量2.5mm。	满足
楼顶	300mm 混凝土	**3.89mm**		满足
地面	400mm 混凝土	**5.53mm**		满足
机房防护门	25mmPb	**25mm**		满足
观察窗	25mm 铅当量	**25mm**		满足
CT 模拟定位机机房（150kV）				
四周墙体	370mm 实心砖墙	**3.36mm**	CT机房（不含头颅移动CT）CT模拟定位机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向铅当量2.5mm，非有用线束方向铅当量2.5mm。	满足
楼顶/地面	260mm 混凝土	**3.09mm**		满足
机房防护门	3mm 铅板	**3mm**		满足
观察窗	15mm 铅玻璃	**3mm**		满足

由上表可知本项目各机房铅当量满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的要求，各机房屏蔽设计合理。

4.2 辐射种类和计算方法

由 DSA 工作原理可知，DSA 只有在开机并处于出束状态时才会发出 X 射线，故 DSA 在开机期间，X 射线是项目主要污染物，考虑主要使用方式及病人体位，本项目手术室以顶部受到主射线影响，其余方向受到散射线及泄漏射线影响进行评估。

4.3 计算条件

评估参数选取（来源于附件 7）

表11-37 本项目射线装置评价工况一览表

评估工况					
模式	透视	管电压	90kV	管电流	20mA
	摄影		80kV		700mA

根据 ICRP33 号报告 P32 图 2，结合评估工况里的电流参数，根据不同射线装置的滤过参数（见附件 6）可知，射线装置透视时距离机头 1m 处空气比释动能率，见

表 11-38。

表11-38 本项目ERCP/中C/DSA 1m处空气比释动能率一览表

射线装置	模式	评价工况		滤过材料	距靶1m处的发射率（mGy/mA·min）	1m处空气比释动能率
		电压	电流			
西门子 AXIOM Artis U	透视	90kV	20mA	*	*	*
	摄影	80kV	700mA	*	*	*
飞利浦 Azurion 7 M20	透视	90kV	20mA	*	*	*
	摄影	80kV	700mA	*	*	*
万东 CGO-2100	透视	90kV	20mA	*	*	*
	摄影	80kV	700mA	*	*	*
GE Optima IGS 330	透视	90kV	20mA	*	*	*
	摄影	80kV	700mA	*	*	*
飞利浦 Azurion 3 M15	透视	90kV	20mA	*	*	*
	摄影	80kV	700mA	*	*	*
飞利浦 UNIQ FD20	透视	90kV	20mA	*	*	*
	摄影	80kV	700mA	*	*	*
西门子 Artis Q zeego	透视	90kV	20mA	*	*	*
	摄影	80kV	700mA	*	*	*
西门子 Artis Q zen floor	透视	90kV	20mA	*	*	*
	摄影	80kV	700mA	*	*	*
西门子 Artis Q zen ceiling	透视	90kV	20mA	*	*	*
	摄影	80kV	700mA	*	*	*

根据《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“29.204.3 加载状态下的泄漏辐射X射线管组件和X射线源组件在加载状态下的泄漏辐射。当其相当于规定的1h最大输入能量加载条件下以标称X射线管电压运行时，距焦点1m处，在任一100cm^{2}区域范围内平均空气比释动能，应符合下列要求：对于其他各种X射线管组件及X射线源组件，应不超过1.0mGy/h。因此综合考虑，本项目射线装置在1m处泄漏射线的空气比释动能率保守取1.00E+03μGy/h。

屏蔽透射因子

铅及混凝土的透射因子计算公式采用《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的公式C.1，主射线/泄漏射线的相应参数取自NCRP147号表A.1中80kV、90kV对应数值；散射线的相应参数根据NCRP147号表C.1中管电压为70kV、100kV对应的散射线拟合数值计算得到的透射因子，再用插值法获取管电压为80kV和90kV时的不同屏蔽材料对散射线的透射因子。

表 11-39 铅、混凝土不同管电压 X 射线辐射衰减拟合参数

管电压 80kV（主射线/泄漏射线）			
拟合参数	α	β	γ
铅	*	*	*
混凝土	*	*	*
管电压 90kV（主射线/泄漏射线）			
拟合参数	α	β	γ
铅	*	*	*
混凝土	*	*	*
管电压 120kV（主射线/泄漏射线）			
拟合参数	α	β	γ
铅	*	*	*
混凝土	*	*	*
管电压 70kV（散射线）			
铅	*	*	*
混凝土	*	*	*
管电压 100kV（散射线）			
铅	*	*	*
混凝土	*	*	*

表 11-40 80kV 下透射因子一览表

场所	屏蔽方位	实际屏蔽材料及屏蔽厚度	对散射线的透射因子	对主/泄漏射线的透射因子
机房	四周墙体	370mm 实心砖墙	*	*
	楼板	260mm 混凝土	*	*
	地面	260mm 混凝土	*	*
	观察窗	15mm 铅玻璃	*	*
	防护门	3mm 铅板	*	*
防护用品	吊屏/铅帘/铅衣	1.0mm 铅当量	*	*
	铅衣+吊屏/铅帘	0.5mm 铅当量	*	*
设备自带	设备硬件设施	0.85mm 铅当量	*	*

注：*。

表 11-41 90kV 下透射因子一览表

场所	屏蔽方位	实际屏蔽材料及屏蔽厚度	对散射线的透射因子	对主/泄漏射线的透射因子
机房	四周墙体	370mm 实心砖墙	*	*
	楼板	260mm 混凝土	*	*
	地面	260mm 混凝土	*	*
	观察窗	15mm 铅玻璃	*	*
	防护门	3mm 铅板	*	*
防护用品	吊屏/铅帘/铅衣	1.0mm 铅当量	*	*
	铅衣+吊屏/铅帘	0.5mm 铅当量	*	*
设备自带	设备硬件设施	0.85mm 铅当量	*	*

注：*。

散射线能量及转换系数

由于屏蔽体透射因子的取值与射线的能量有关，根据《辐射防护手册》（第一分册，李德平、潘自强主编）P354中可知，射线经过散射后，其能量由公式3推导，单

位为kV。光子散射后的能量E为(θ为散射角)：

*----------（公式11-19）

根据上式计算得出，本项目射线装置在管电压为90kV时，θ=90°时的散射线能量约为77kV，本项目射线装置在管电压为80kV时，θ=90°时的散射线能量约为69kV。

单位转换系数取自《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）表B2，*。

利用因子和居留因子

计算时按照射线装置机头拟放置位置确定到达关注点距离，根据*对于利用因子一律取1。

另根据NCRP147号报告P31的表4.1 医疗场所居留因子建议值对本项目保护目标所在场所的居留因子进行取值。

计算公式

（1）主射线辐射影响计算公式

本项目手术室楼上主要考虑主射线影响。采用《辐射防护手册》（第一分册，李德平、潘自强主编）中10.3对于X射线机的屏蔽计算公式10.8和10.10进行推导：

* ----------（公式 11-20）

式中：

H_{pr}：关注点处的主射线的空气比释动能率，μGy/h；

H_{1m}：距离靶点1m处空气比释动能率，μGy/h，

B：屏蔽透射因子；

r_x：出束点与关注点的距离，见下文。

（2）散射线辐射影响计算公式

散射线在关注点的造成的空气比释动能率计算，可参照《辐射防护手册》（第一分册）公式 10.10 采用以下公式：

*----------（公式11-21）

H_{sr}：关注点处的散射线的空气比释动能率，μGy/h；

H_{1m}：距靶点1m处空气比释动能率，μGy/h；

μ：利用因子，它表示射线被利用的程度，也就是有用射线束指向有关照射点的工作负荷分数，本项目取1；

B：屏蔽透射因子；

α：相对于 400cm^2 散射面积的受照物对入射 X 射线的散射比，*；

s：散射面积，*；

d_0：源与受照体的距离，*；

ds：受照体与关注点的距离，*。

（3）泄漏射线辐射影响参数

泄漏射线对于屏蔽体外关注点的辐射影响计算公式为：

*----------（公式11-22）

式中：

H_{LR}：关注点处的泄漏辐射空气比释动能率，μGy/h；

H_L：距靶点1m处泄漏射线的空气比释动能率，μGy/h；

B：屏蔽透射因子；

r：出束点与关注点的距离，*。

4.4计算结果

本项目ERCP/中C/DSA手术室计算结果见下表。

表11-42 本项目拟建的手术室关注点周围主射线方向剂量率估算结果

预测点	模式	距离（m）	H_{1m}（μGy/h）	B	H_{pr}（μGy/h）	单位转换系数	周围剂量当量率(μSv/h)
ERCP 胰胆治疗手术室楼上 30cm 处（会议室、更衣区、办公室、过道）	透视	*	*	*	*	*	3.61E-03
	摄影	*	*	*	*	*	1.26E-02
中 C 内镜治疗手术室楼上 30cm 处（会议室、更衣区、办公室、过道）	透视	*	*	*	*	*	3.61E-03
	摄影	*	*	*	*	*	1.26E-02
DSA手术室（复合手术室配套）楼上30cm处（预留区域）	透视	*	*	*	*	*	3.61E-03
	摄影	*	*	*	*	*	1.26E-02
导管手术室 1 楼上 30cm 处（楼外）	透视	*	*	*	*	*	3.61E-03
	摄影	*	*	*	*	*	1.26E-02
导管手术室 2 楼上 30cm 处（楼外）	透视	*	*	*	*	*	3.61E-03
	摄影	*	*	*	*	*	1.26E-02
导管手术室 3 楼上 30cm 处（楼外）	透视	*	*	*	*	*	3.61E-03
	摄影	*	*	*	*	*	1.26E-02
导管手术室 4 楼上 30cm 处（楼外）	透视	*	*	*	*	*	3.61E-03
	摄影	*	*	*	*	*	1.26E-02
导管手术室 5 楼上 30cm 处（楼外）	透视	*	*	*	*	*	3.61E-03
	摄影	*	*	*	*	*	1.26E-02
导管手术室 6 楼上 30cm 处（楼外）	透视	*	*	*	*	*	3.61E-03
	摄影	*	*	*	*	*	1.26E-02
导管手术室 7 楼上	透视	*	*	*	*	*	3.61E-03

30cm 处（楼外）	摄影	*	*	*	*	*	1.26E-02

注：机房层高均为 5m，机头离地保守取 0.35m，距离楼顶 30cm 处的距离为：5.0m-0.35m+0.26m+0.3m=5.21m。本项目手术室主射线方向考虑设备硬件设施 0.85mm 铅当量的屏蔽效果，因此透视工况下透射因子为 1.05E-06*6.78E-03=7.12E-09；摄影工况下透射因子为 3.35E-07*2.72E-03=9.11E-10。

表11-43 不同手术条件下手术室非主射线方向周围剂量当量率估算结果（ERCP胰胆治疗手术室）

关注点	预测点	模式	d_0 (m)	ds (m)	散射线							泄漏射线				合计周围剂量当量率μSv/h
					1m处空气比释动能率μGy/h	屏蔽透射因子	利用因子	散射面积 cm^2	散射比	关注点空气比释动能率μGy/h	转换系数	1m处泄漏射线的剂量率μGy/h	屏蔽透射因子	空气比释动能率μGy/h	转换系数	
1	东侧墙外30cm处（医疗街）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.75E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.77E-02
2	南侧墙外30cm处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.66E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.67E-02
3	南侧窗外30cm处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.87E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.94E-01
4	西侧墙外30cm处（过道）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	5.14E-04
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	5.17E-03
5	西侧门外30cm处（过道）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.65E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.69E-01
6	北侧墙外30cm处（麻醉库房/库房）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.66E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.67E-02
7	楼下（等候区）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.46E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.48E-02

注：机头距离楼板的距离为 0.35m，距离楼下地面 170cm 处的距离为：0.35m+0.26m+（5-1.7）m=3.91m。

表11-44 不同手术条件下手术室非主射线方向周围剂量当量率估算结果（中C内镜治疗手术室）

关注点	预测点	模式	d_0 (m)	ds (m)	散射线							泄漏射线				合计周围剂量当量率μSv/h
					1m处空气比释动能率μGy/h	屏蔽透射因子	利用因子	散射面积 cm^2	散射比	关注点空气比释动能率μGy/h	转换系数	1m处泄漏射线的剂量率μGy/h	屏蔽透射因子	空气比释动能率μGy/h	转换系数	
1	东侧墙外30cm处（医疗街）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.75E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.77E-02
2	南侧墙外30cm处（卫生间）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.87E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.87E-02
3	西侧墙外30cm处（过道）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	5.14E-04
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	5.17E-03
4	西侧门外30cm处（走廊）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.65E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.69E-01
5	北侧窗外30cm处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	5.47E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	5.56E-01
6	北侧墙外30cm处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.87E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.87E-02
7	楼下（等候区）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.46E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.48E-02

注：机头距离楼板的距离为 0.35m，距离楼下地面 170cm 处的距离为：0.35m+0.26m+（5-1.7）m=3.91m。

表11-45 不同手术条件下手术室非主射线方向周围剂量当量率估算结果（DSA手术室（复合手术室配套））

关注点	预测点	模式	d_0 (m)	ds (m)	散射线							泄漏射线				合计周围剂量当量率μSv/h
					1m处空气比释动能率μGy/h	屏蔽透射因子	利用因子	散射面积 cm^2	散射比	关注点空气比释动能率μGy/h	转换系数	1m处泄漏射线的剂量率μGy/h	屏蔽透射因子	空气比释动能率μGy/h	转换系数	
1	东侧墙外30cm处（过道）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	7.07E-04
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	7.12E-03
2	南侧门外30cm处（走廊）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.73E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.79E-01
3	南侧墙外30cm处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.08E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.09E-02
4	南侧窗外30cm处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.38E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.42E-01
5	西侧墙外30cm处（CT 室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.06E-04
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.08E-03
6	西侧门外30cm处（CT 室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	9.55E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	9.70E-02
7	北侧门外30cm处（过道）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.38E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.42E-01
8	北侧墙外30cm处（过道）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.14E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.15E-02

9	楼下（等候区）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.46E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.48E-02

注：机头距离楼板的距离为 0.35m，距离楼下地面 170cm 处的距离为：0.35m+0.26m+（5-1.7）m=3.91m。

表11-46 不同手术条件下手术室非主射线方向周围剂量当量率估算结果（导管手术室1）

关注点	预测点	模式	d_0 (m)	ds (m)	散射线							泄漏射线				合计周围剂量当量率μSv/h
					1m处空气比释动能率μGy/h	屏蔽透射因子	利用因子	散射面积 cm^2	散射比	关注点空气比释动能率μGy/h	转换系数	1m处泄漏射线的剂量率μGy/h	屏蔽透射因子	空气比释动能率μGy/h	转换系数	
1	东侧墙外30cm 处（导管手术室 2）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.40E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.41E-02
2	南侧门外30cm 处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.22E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.27E-01
3	南侧墙外30cm 处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.40E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.41E-02
4	南侧窗外30cm 处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.35E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.42E-01
5	西侧墙外30cm 处（办公区）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	7.35E-04
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	7.40E-03
6	北侧墙外30cm 处（走廊）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	7.97E-04
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	8.02E-03
7	北侧门外30cm处	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.35E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.42E-01

	（走道）															
8	北侧墙外30cm处（走道）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.40E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.41E-02
9	北侧墙外30cm处（设备间）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.40E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.41E-02
10	楼下（走道、库房）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.46E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.48E-02

注：机头距离楼板的距离为 0.35m，距离楼下地面 170cm 处的距离为：0.35m+0.26m+（5-1.7）m=3.91m。

表 11-47 不同手术条件下手术室非主射线方向周围剂量当量率估算结果（导管手术室 2）

关注点	预测点	模式	d_0 (m)	ds (m)	散射线							泄漏射线				合计周围剂量当量率μSv/h
					1m处空气比释动能率μGy/h	屏蔽透射因子	利用因子	散射面积 cm^2	散射比	关注点空气比释动能率μGy/h	转换系数	1m处泄漏射线的剂量率μGy/h	屏蔽透射因子	空气比释动能率μGy/h	转换系数	
1	东侧墙外30cm 处（导管手术室 3）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.76E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.77E-02
2	南侧门外30cm 处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.72E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.78E-01
3	南侧墙外30cm 处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.40E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.41E-02
4	南侧窗外30cm 处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.13E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.19E-01
5	西侧墙外	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6.10E-04

	30cm 处（导管手术室 1）	摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6.14E-03
6	北侧墙外 30cm 处（设备间）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.40E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.41E-02
7	北侧门外 30cm处（走道）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.35E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.42E-01
8	楼下（走道、库房）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.46E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.48E-02

注：机头距离楼板的距离为 0.35m，距离楼下地面 170cm 处的距离为：0.35m+0.26m+（5-1.7）m=3.91m。

表 11-48 不同手术条件下手术室非主射线方向周围剂量当量率估算结果（导管手术室 3）

关注点	预测点	模式	d_0 (m)	ds (m)	散射线							泄漏射线				合计周围剂量当量率μSv/h
					1m处空气比释动能率μGy/h	屏蔽透射因子	利用因子	散射面积 cm^2	散射比	关注点空气比释动能率μGy/h	转换系数	1m处泄漏射线的剂量率μGy/h	屏蔽透射因子	空气比释动能率μGy/h	转换系数	
1	东侧墙外 30cm 处（走道）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.65E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.67E-02
2	南侧门外 30cm 处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.54E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.60E-01
3	南侧墙外 30cm 处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.40E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.41E-02
4	南侧窗外 30cm 处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.35E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.42E-01

5	西侧墙外30cm 处（导管手术室 2）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6.81E-04
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6.85E-03
6	北侧门外30cm处（走道）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.59E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.63E-01
7	北侧墙外30cm 处（设备间）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.40E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.41E-02
8	楼下（走道、库房）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.46E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.48E-02

注：机头距离楼板的距离为 0.35m，距离楼下地面 170cm 处的距离为：0.35m+0.26m+（5-1.7）m=3.91m。

表 11-49 不同手术条件下手术室非主射线方向周围剂量当量率估算结果（导管手术室 4）

关注点	预测点	模式	d_0 (m)	ds (m)	散射线							泄漏射线				合计周围剂量当量率μSv/h
					1m处空气比释动能率μGy/h	屏蔽透射因子	利用因子	散射面积 cm^2	散射比	关注点空气比释动能率μGy/h	转换系数	1m处泄漏射线的剂量率μGy/h	屏蔽透射因子	空气比释动能率μGy/h	转换系数	
1	东侧墙外30cm 处（导管手术室 5）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.48E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.49E-02
2	南侧墙外30cm 处（设备间）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.40E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.41E-02
3	南侧门外30cm 处（走道）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.29E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.31E-01
4	西侧墙外	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6.10E-04

	30cm 处（走道）	摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6.14E-03
5	北侧门外 30cm 处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.83E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.86E-01
6	北侧墙外 30cm处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	7.97E-04
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	8.02E-03
7	北侧窗外 30cm 处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.35E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.42E-01
8	楼下（手术室、走道、净化机房）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.46E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.48E-02

注：机头距离楼板的距离为 0.35m，距离楼下地面 170cm 处的距离为：0.35m+0.26m+（5-1.7）m=3.91m。

表 11-50 不同手术条件下手术室非主射线方向周围剂量当量率估算结果（导管手术室 5）

关注点	预测点	模式	d_0 (m)	ds (m)	散射线							泄漏射线				合计周围剂量当量率μSv/h
					1m处空气比释动能率μGy/h	屏蔽透射因子	利用因子	散射面积 cm^2	散射比	关注点空气比释动能率μGy/h	转换系数	1m处泄漏射线的剂量率μGy/h	屏蔽透射因子	空气比释动能率μGy/h	转换系数	
1	东侧墙外 30cm 处（导管手术室 6）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.40E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.41E-02
2	南侧门外 30cm 处（走道）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.20E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.24E-01
3	南侧墙外 30cm 处	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.32E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.33E-02

	（设备间）														
4	西侧墙外 30cm 处（导管手术室 4）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	7.07E-04
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	7.12E-03
5	北侧门外 30cm 处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.12E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.15E-01
6	北侧墙外 30cm处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	7.97E-04
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	8.02E-03
7	北侧窗外 30cm 处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.35E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.42E-01
8	楼下（手术室、走道、净化机房）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.46E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.48E-02

注：机头距离楼板的距离为 0.35m，距离楼下地面 170cm 处的距离为：0.35m+0.26m+（5-1.7）m=3.91m。

表 11-51 不同手术条件下手术室非主射线方向周围剂量当量率估算结果（导管手术室 6）

关注点	预测点	模式	d_0 (m)	ds (m)	散射线							泄漏射线				合计周围剂量当量率μSv/h
					1m处空气比释动能率μGy/h	屏蔽透射因子	利用因子	散射面积 cm^2	散射比	关注点空气比释动能率μGy/h	转换系数	1m处泄漏射线的剂量率μGy/h	屏蔽透射因子	空气比释动能率μGy/h	转换系数	
1	东侧墙外 30cm 处（设备间）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.32E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.33E-02
2	南侧门外 30cm 处（走廊）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.38E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3.42E-01

3	南侧墙外30cm 处（走廊）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.08E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.09E-02
4	西侧墙外30cm 处（导管手术室 4）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6.81E-04
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6.86E-03
5	北侧窗外30cm 处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.70E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.74E-01
6	北侧墙外30cm处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	8.29E-04
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	8.36E-03
7	北侧门外30cm 处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.20E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.24E-01
8	楼下（手术室、走道、净化机房）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.46E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.48E-02

注：机头距离楼板的距离为 0.35m，距离楼下地面 170cm 处的距离为：0.35m+0.26m+（5-1.7）m=3.91m。

表 11-52 不同手术条件下手术室非主射线方向周围剂量当量率估算结果（导管手术室 7）

关注点	预测点	模式	d_0 (m)	ds (m)	散射线							泄漏射线				合计周围剂量当量率μSv/h
					1m处空气比释动能率μGy/h	屏蔽透射因子	利用因子	散射面积 cm^2	散射比	关注点空气比释动能率μGy/h	转换系数	1m处泄漏射线的剂量率μGy/h	屏蔽透射因子	空气比释动能率μGy/h	转换系数	
1	东侧墙外30cm 处（设备间）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.87E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.87E-02
2	南侧门外	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.60E-02

	30cm 处（走廊）	摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.68E-01
3	南侧墙外 30cm 处（走廊）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.20E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.20E-02
4	西侧墙外 30cm 处（导管手术室 4）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6.81E-04
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6.86E-03
5	北侧窗外 30cm 处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.05E-02
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.07E-01
6	北侧墙外 30cm处（控制室）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.40E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.41E-02
7	楼下（手术室、走道、净化机房）	透视	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.46E-03
		摄影	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.48E-02

注：机头距离楼板的距离为 0.35m，距离楼下地面 170cm 处的距离为：0.35m+0.26m+（5-1.7）m=3.91m。

表 11-53 剂量率叠加影响分析

序号	预测点	模式	剂量率（μSv/h）		合计（μSv/h）
1	导管手术室 1~3 楼上（楼外）	透视	导管手术室 1 贡献	*	1.08E-02
			导管手术室 2 贡献	*	
			导管手术室 3 贡献	*	
		摄影	导管手术室 1 贡献	*	3.78E-02
			导管手术室 2 贡献	*	
			导管手术室 3 贡献	*	
2	导管手术室 1~3 楼下（手术室、走道、净化机房）	透视	导管手术室 1 贡献	*	7.38E-03
			导管手术室 2 贡献	*	

			导管手术室 3 贡献	*	
		摄影	导管手术室 1 贡献	*	7.44E-02
			导管手术室 2 贡献	*	
			导管手术室 3 贡献	*	
3	导管手术室 1~3 北侧（走道）	透视	导管手术室 1 贡献	*	1.31E-01
			导管手术室 2 贡献	*	
			导管手术室 3 贡献	*	
		摄影	导管手术室 1 贡献	*	1.33
			导管手术室 2 贡献	*	
			导管手术室 3 贡献	*	
4	导管手术室 1~3 南侧（控制室）	透视	导管手术室 1 贡献	*	1.31E-01
			导管手术室 2 贡献	*	
			导管手术室 3 贡献	*	
		摄影	导管手术室 1 贡献	*	1.33
			导管手术室 2 贡献	*	
			导管手术室 3 贡献	*	

注：由于本项目 ERCP 及中 C 安装于北楼二层；DSA 手术室（复合手术室配套）位于北楼四层；另外 7 台 DSA 安装于北楼五层，且导管手术室 1~6 位于同一区域，导管手术室 1、2、3 及导管手术室 4、5、6 由西向东并排设置且通过控制室相隔，因此本项目以导管手术室 1~3 同时开机时考虑剂量叠加影响，东西两侧仅考虑关注点邻近手术室的剂量，南北两侧及楼上、楼下保守按照 3 间同时开机进行剂量率叠加计算。

根据上表可知，本项目手术室四周墙体、铅防护门、观察窗、楼上、楼下屏蔽条件均能满足辐射屏蔽的要求，即透视和拍片时在设计的防护条件下，屏蔽体外周围剂量当量率均小于2.5μSv/h（《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求）。

表 11-54 手术室内关注点非主射线方向周围剂量当量率估算结果

预测点	模式	d_0 (m)	ds (m)	散射线							泄漏射线				合计周围剂量当量率μSv/h
				1m处空气比释动能率μGy/h	屏蔽透射因子	利用因子	散射面积 cm^2	散射比	关注点空气比释动能率μGy/h	转换系数	1m处泄漏射线的剂量率μGy/h	屏蔽透射因子	空气比释动能率μGy/h	转换系数	
医师位	铅衣内	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4.56E+01
	铅衣外	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.40E+03

护师位	铅衣内	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2.27E+01
	铅衣外	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6.96E+02

注：导管手术室 1~3 及导管手术室 4~6 由西向东并排设置且通过控制室相隔，根据上表手术室周围剂量当量率计算结果，射线装置运行时手术室墙外剂量率较低，因此不考虑相邻手术室对手术室内医师和护师的剂量影响。

4.5辐射工作人员及周围公众年有效剂量预测

4.5.1计算公式

本项目以第一术者位以及第二术者位作为关注点，用以评估本项目辐射工作人员最大年有效剂量。

参考《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）6.2.4可采用下式计算第一术者位以及第二术者位空气比释动能率：

*----------（公式11-23）

H_s：术者位周围剂量当量率，μSv/h；

H_u：铅围裙内周围剂量当量率，μSv/h；

α：系数，有甲状腺屏蔽时，取0.79；

H_0：铅围裙外周围剂量当量率，μSv/h；

β：系数，有甲状腺屏蔽时，取0.051。

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）2000年报告附录A公式计算DSA手术室周围各关注点工作人员和公众受到X射线产生的外照射人均年有效剂量：

*----------（公式11-24）

H_{Er}：X射线外照射人均年有效剂量，mSv/a；

D_r：关注点处空气吸收剂量率，μGy/h；

T：居留因子；

t： 年照射时间，h；

K：有效剂量与吸收剂量转换系数。（上表中已转换为周围剂量当量率，因此不再转换。）

4.5.2 计算结果

辐射工作人员：根据前文统计，心血管内科每名医师最多每年承担 200 场介入相关诊疗工作，每名护师最多每年承担 400 场介入相关诊疗工作，每名技师最多每年承担 400 场介入相关诊疗工作。手术中 10%为复杂手术（透视平均出束 25min），10%为普通手术（透视平均出束 15min），80%为简单手术（透视平均出束 8min），每台手术摄影出束 1min，则每名医师透视时间约为 34.7h，每名护师透视时间为 69.3h，每名医师摄影时间 3.33h，每名护师摄影时间 6.67h。每间手术室每年承担 400 场介入相关诊疗工作，每名技师和周围公众每年透视时间为 69.3h，摄影时间 6.67h。

表11-55 本项目心血管介入辐射工作人员年有效剂量一览表

序号	位置	周围剂量当量率(μSv/h)		居留因子	年照射时间（h）	保护目标	人员年附加有效剂量(mSv/a)
1	医师位	铅衣内	*	*	*	辐射工作人员	3.73
		铅衣外	*	*	*		
		观察窗	*	*	*		
2	护师位	铅衣内	*	*	*	辐射工作人员	3.71
		铅衣外	*	*	*		
		观察窗	*	*	*		
3	技师	透视	*	*	*	辐射工作人员	1.79E-02
		摄影	*	*	*		

周围公众：

表11-56 本项目心血管介入手术室射线装置贡献保护目标年有效剂量一览表

序号	位置	周围剂量当量率(μSv/h)		居留因子	年照射时间（h）	保护目标	人员年附加有效剂量(mSv/a)
1	周围公众	透视	*	*	*	公众	1.79E-02
		摄影	*	*	*		

根据上表可知，本项目投入运行后，本项目二期手术室介入医师年有效剂量最大为 3.73mSv，护师年有效剂量最大为 3.71mSv，操作技师年有效剂量最大为 1.79E-02mSv，均满足职业人员年受照剂量不超过 5mSv 的要求。周围公众年有效剂量最大为 1.79E-02mSv，能够满足公众年受照剂量不超过 0.1mSv 的要求。

事故影响分析

本项目为使用 V 类放射源、II、III射线装置及乙级非密封放射性物质工作场所。在操作过程中，如果不被安全管理或可靠保护，可能对辐射工作人员及公众造成放射性损伤和环境污染。V 类放射源的辐射影响较小，在妥善取用的情况下难以发生辐射事故，建设单位应切实落实放射源使用台账工作。

1.主要事故风险

（1）III类射线装置主要事故风险

1）III类射线装置操作人员违反放射操作规程或误操作，造成意外照射；

2）III类射线装置曝光过程中有人员误留或误入机房内，使其受到照射；

3）III类射线装置机房防护门在未完全关闭情况下出束曝光，致使射线泄漏到机房外，给周围活动的人员造成不必要的照射。

（2）DSA/ERCP/中C主要事故风险

1）射线装置正常工作时，人员未穿戴防护用品停留于手术室内；在介入手术操作过程中，有未穿戴铅衣、配套铅手套和铅防护眼镜等个人防护用品的公众误留机手术室，室内人员位于手术室床旁；

2）DSA/ERCP/中 C 控制系统失灵，发生误照射；若 DSA/ERCP/中 C 控制系统失灵持续拍片，而此时手术室内人员未穿戴铅衣、配套铅手套和铅防护眼镜等个人防护用品，室内人员位于手术室床旁；

3）维修射线装置时，人员受意外照射。设备维护人员在维护DSA及ERCP射线管或测量探测器时，射线管正处于出束状态，维修人员处于机头上方。

（4）医用直线加速器及TOMO主要事故风险

1) 加速器及 TOMO 操作人员违反放射操作规程或误操作，造成意外照射；

2) 加速器及 TOMO 刀机房联锁装置、声光报警系统等失效，治疗过程中工作人员或公众误留或误入治疗机房内，使其受到照射；

3) 加速器及 TOMO 刀机房联锁装置失效，导致防护门在未完全关闭情况下出束治疗，致使射线泄漏到治疗机房外，给周围活动的人员造成不必要的照射。

（5）核医学科主要事故风险

1）核医学科辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射和辐射污染；例如：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，造成

放射性核素泼洒或散逸挥发，操作台面或仪器设备受到放射性沾污；工作人员误操作导致放射性药物的泼洒，使操作台面、生产场所或仪器设备等受到放射性沾污，放射性药物挥发，对工作人员造成外照射，工作人员吸入放射性药物，对人员造成内照射；

2）核医学科由于管理工作不到位导致 ^{18}F、^{131}I 等放射性药物丢失、被盗对公众造成外照射。

3）核医学科场所通风管道因故障导致气态放射性废物挥发，对人员造成内照射。

2.事故处理方法及预防措施

（1）III类射线装置事故处理方法及预防措施

1）辐射工作人员应经常加强培训，按照操作规程操作设备，避免发生误照射。

2）辐射工作人员曝光前应检查机房内是否有人员误留，确保在无其他人员下曝光，并且曝光时辐射工作人员应使用辐射巡测仪进行巡检，发现异常情况应立即停止曝光，并检查排除异常，做好记录。

3）对人员造成额外照射，应及时检测个人剂量计或估算累计受照剂量，并及时就医检查。

（2）DSA/ERCP/中 C 事故处理方法及预防措施

1）当发生误照射时，工作人员应立即按下电源开关或急停开关，切断装置的电源，组织人员保护现场，迅速报告医院管理部门进行事故处理，并上报生态环境部门；

2）对于违反操作规程或误操作等受到超辐射剂量限值的医护人员应暂时调整工作岗位，视情况接受医学检查，同时对其加强辐射防护及安全操作方面的培训；

3）估算人员受照剂量，视情况安排人员接受医学检查或者救治；

4）对发生事故的射线装置或其他设备故障，请有关厂家或相关检测单位进行检测或维修，分析事故发生的原因，并提出改进意见；

5）事故发生后，积极配合环保等管理部门做好事故调查和善后处理工作。

（4）医用直线加速器及 TOMO 事故处理方法及预防措施

1）辐射工作人员应经常检查加速器及 TOMO 刀机房门机联锁装置，确保完好；

2）加速器及 TOMO 工作时辐射工作人员应使用辐射巡测仪进行巡检，发现异常情况应立即停止出束，并检查排出异常，做好记录；

3）对工作人员造成额外照射，应及时检测个人剂量计，剂量超标的人员应及时调岗，并及时就医检查。

（5）核医学科事故处理方法及预防措施

1）核医学科当发生液态放射性药物泼洒导致的表面沾污事故时，应及时去污，如：迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散，使用擦拭纸从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。人员去污时需戴胶皮手套，防止放射性药物粘在人体表面。去污后，废弃手套、擦拭纸、吸附衬垫、药棉等作为固体放射性废物储存在污物间内，十个半衰期后作为普通医疗废物处理；

2）去污结束后，需用表面沾污仪检测污染区，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，控制区的工作台、设备、墙壁、地面需去污β表面污染＜40Bq/cm^2；监督区的工作台、设备、墙壁、地面以及控制区、监督区的工作服、手套、工作鞋需去污β表面污染＜4Bq/cm^2；手、皮肤、内衣、工作袜需去污β表面污染＜0.4Bq/cm^2，如未达到去污控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区β表面污染达到控制标准为止；

3）加强制度管理及增强安全意识，防止 F-18、I-131 等放射性药物丢失、被盗；

4）对工作人员造成额外照射，应及时检测个人剂量计，剂量超标则人员应及时调岗，并及时就医检查；对工作人员吸入放射性药物，对人员造成内照射，工作人员应及时到专业医院就诊检查治疗。

医院应加强辐射安全管理，在项目运行前应制定相关操作规程和辐射安全管理制度，并在实际工作中不断对其完善；医院应定期对本项目核技术利用项目进行检查、维护，发现问题及时维修；定期对工作场所进行检测；根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理与报告制度的通知》（环发<2006>145 号）和《江苏省辐射污染防治条例》之规定，发生辐射事故时，医院应立即启动医院内部的事故应急方案，采取必要防范措施，并在 1 小时内向主管生态环境部门和当地公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，同时向主管卫生健康部门报告。事故发生后医院应积极配合上述部门调查事故原因，并做好后续工作。

医院应加强管理，严格执行安全操作规程。医院应经常对本项目核技术利用项目工作场所周围的环境辐射剂量率等，确保辐射工作安全有效运转。

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》等法律法规要求，建设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；辐射工作人员必须通过辐射防护和安全专业知识及相关法律法规的考核。

苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）已成立相应的辐射安全管理机构，并以文件形式明确各成员管理职责，辐射安全管理机构设有辐射防护负责人。本项目拟配备 96 名辐射工作人员，本项目所有辐射工作人员应在项目运行前自主在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，然后报考全国核技术利用辐射安全与防护考核，DSA 及 ERCP 项目辐射工作人员报考类别为“医用 X 射线诊断与介入放射学”，加速器及 TOMO 刀项目辐射工作人员报考类别为“放射治疗”，核医学科辐射工作人员报考类别为“核医学”，辐射防护负责人报考类别为“辐射安全管理”，须通过考核后方能正式进行上岗。

辐射安全管理规章制度

苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）已开展核技术利用项目，经核对已运行项目验收报告，确认建设单位已根据《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》等法律法规要求制定并下发一系列辐射安全和防护制度，辐射安全管理制度内容与其项目相符，且建设单位已在实际项目运营中进行了落实，并已根据定期演练情况不断完善应急预案等制度。制度包含辐射安全管理操作规程及规章制度，包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、事故应急制度等。

本项目为扩建医用核技术利用项目。医院应将本项目纳入已制定的制度管辖范围内，补充新增项目的相关规章制度，并在实际工作不断对其进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。本报告对各项管理制度制定要点提出如下建议：

岗位职责：明确管理人员、操作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

辐射安全管理机构配置：医院已成立辐射安全与环境保护管理领导小组，负责全院的辐射安全与环境保护管理工作。医院相关科室负责人还应根据本科室实际工作情

况，制定完善本科室管理制度，加强内部的辐射安全管理情况日常监督和检查，将责任落实到个人。

操作规程：本项目核技术利用项目应制定设备的操作规程及治疗过程中应急措施，明确操作人员的权限以及操作时必须采取的防护措施。

放射性核素台帐和使用登记制度：本项目放射源及非密封放射性物质拟建立放射源台帐和使用登记制度，规范放射源台帐和核素使用登记记录，对放射源及非密封放射性物质的使用情况进行登记和跟踪记录。

辐射环境监测方案：医院应结合科室情况制定环境监测方案，并配置相应的辐射监测仪器，定期对工作场所环境辐射水平监测并做好监测记录，定期上报生态环境主管部门。

辐射防护和安全保卫制度：根据项目的具体情况完善辐射防护和安全保卫制度，重点是本项目核技术利用项目运行过程的辐射安全管理。

设备检修维护制度：明确监控设备以及监测仪器在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，剂量报警仪和监测仪器必须保持良好工作状态。

人员培训计划：完善人员培训计划，明确培训对象（辐射负责人、辐射工作人员均应参加培训）、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，严禁无证人员上岗。

辐射事故应急预案：依据《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》的要求，明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员应定期组织培训和应急演练，并制定应急演习计划，确保应急和救助的装备、资金、物资准备等。辐射事故分类与应急响应的措施。当发生事故时，医院应当立即启动辐射事故应急方案，采取有效防范措施，及时制止事故的恶化，并向当地生态环境部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。事故发生后医院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。

职业健康监护：完善人员个人剂量监测方案，在本项目运行前委托有资质单位对辐射工作人员开展个人剂量检测，所有辐射工作人员均配备个人剂量计，并定期按时送检，并建立辐射工作人员个人剂量监测档案。同时对辐射工作人员进行职业健康体检并定期复检，并建立辐射工作人员职业健康监护档案。

辐射监测

1. 监测方案

原有项目：

1）根据检测报告，原有辐射工作场所周围剂量当量率及表面沾污检测结果均满足原环评及批复管理目标要求。未来建设单位应继续请有资质的单位定期对原有核技术利用项目辐射环境进行检测，每年 1～2 次；

2）建设单位已监督辐射工作人员佩戴个人剂量计，并定期（不超过 3 个月）送有资质单位进行监测，业已定期补充完善个人剂量档案，已遵循《江苏省辐射污染防治条例》，“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环境保护、卫生部门调查处理”的要求。

3）建设单位已针对在运行的辐射工作场所定期自行开展辐射监测，制定定期监测制度，监测数据存档，目前监测周期为 1 次/季度。

本项目计划：

1）委托有资质单位定期对本项目核技术利用项目工作场所周围辐射环境进行检测，每年 1～2 次；

2）委托有资质单位对辐射工作人员开展个人剂量监测，个人剂量计定期（不超过 3 个月）送检，并建立个人剂量档案；若发现个人剂量有异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理。

3）本项目核技术利用项目运行状态时，辐射安全管理人员将定期对辐射工作场所周围的辐射水平进行监测，并做好相关记录。若发现辐射异常情况，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。

2. 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等要求，应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器；医院原有辐射工作场所已配有适应在用项目的辐射剂量巡测仪、表面沾污仪和个人剂量报警仪，拟为本项目增配备1台辐射剂量巡测仪、1台表面沾污仪和28台个人剂量报警仪。项目运行后医院应定期对本项目核技术利用项目工作场所周围环境辐射水平监测，并做好监测记录。

医院拟委托有资质的单位对本项目所有辐射工作人员开展个人剂量检测，并计划定期组织职业健康体检，并为所有辐射工作人员建立个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

非密封放射性物质

（1）监测内容：运行前环境本底、运行后X-γ辐射剂量率、β表面沾污、衰变池废水总β、气载放射性核素浓度（建议）。

（2）监测范围：控制区、监督区、楼上和楼下区域及周围关注点、衰变池、通风排口（建议）。

（3）监测点位和数据管理：应根据使用放射性核素种类、数量和操作方式，对核医学工作场所的外照射剂量率水平和表面放射性污染水平进行监测。控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面的γ辐射剂量率。放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等的表面β放射性污染。

射线装置工作场所：

（1）监测内容：本项目运行前环境本底、运行后X-γ辐射剂量率

（2）监测范围：工作场所周围及其楼上

（3）监测点位和数据管理：应监测各机房、手术室屏蔽体外30cm处X射线剂量率；防护门及缝隙处、管线洞口等。委托监测每年至少1次，自行监测建议至少每季度1次，本项目监测数据应当存档。

本项目定期监测点位见下表。

表 12-1 定期监测点位

项目	工作场所		监测项目	监测范围	监测频次	监测设备
自主监测	非密封放射性物质工作场所		β表面沾污	*	*	表面沾污仪
			X-γ辐射剂量率	*	*	X-γ辐射剂量率监测仪
	射线装置工作场所	医用直线加速器、TOMO 刀机房	*	*	*	X-γ辐射剂量率监测仪
		血管造影用 X 射线装置手术室	*	*		
委托监测	非密封放射性物质工作场所		β表面沾污	*	*	表面沾污仪
			X-γ辐射剂量率	*		X-γ辐射剂量率监测仪
	射线装置工作场所		X-γ辐射剂量率	*	*	X-γ辐射剂量率监测仪
	其它		个人剂量	*	*	个人剂量计
			总β	*	*	委托监测
			气载放射性核素浓度	*	*	委托监测

		（建议）			

监测质保：确保执行制定的《监测仪表使用与校验管理制度》，并利用委托监测获得的监测数据进行比对并建立比对档案。监测须采用国家颁布的标准方法或推荐方法并制定辐射环境监测管理制度。

落实以上措施后，本项目所配备的防护用品和监测仪器以及实施的监测方案能够满足相关管理要求。项目投运前，建设单位应当按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护措施进行验收。验收报告编制完成后应依法向社会公示验收报告。

在开始运营本项目后，应密切注意辐射工作人员个人剂量数值，根据累积剂量及时调整工作量，防止个人剂量超标。

辐射事故应急

苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）应针对本项目可能产生的辐射事故情况完善辐射事故应急预案，应急预案内容应包括：

（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）应急演习计划；

（4）辐射事故分级与应急响应措施；

（5）辐射事故调查、报告和处理程序。

苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）应依据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145号文）、《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）及《江苏省辐射污染防治条例》的要求，发生辐射事故或者发生可能引发辐射事故的运行故障时，单位应当立即启动本单位的应急方案，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部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。并在两小时内填写《辐射事故初始报告表》。事故发生后医院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。

医院应加强管理，严格执行安全操作规程。医院应经常监测本项目核技术利用项目工作场所周围的环境辐射剂量率等，发现问题及时排查，确保辐射工作安全设施有效运转。

表 13 结论与建议

结论

1. 实践正当性

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，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。

医院在放射诊断、放射治疗、介入治疗过程中，对放射源、射线装置的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对放射源、射线装置的安全管理在建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理放射源、射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。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。

2.项目产业政策符合性

本项目为新增医用放射源、医用射线装置及使用非密封放射性物质工作场所，属于国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中的“鼓励类”第三十七条“卫生健康”第 1 款“1．医疗服务设施建设：预防保健、卫生应急、卫生监督服务设施建设，医疗卫生服务设施建设，传染病、儿童、精神卫生专科医院和康复医院（中心）、护理院（中心）、安宁疗护中心、全科医疗设施与服务，医养结合设施与服务”，其建设符合国家现行产业政策。

3.选址、布局合理性

苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）本项目为医院二期建设项目的核技术利用部分。从周边外环境关系可知，医院周边均为市政道路，周边无自然保护区等生态环境保护目标，无大的环境制约因素。本项目周围 50m 范围无居民区、学校等环境敏感目标。

医院于 2022 年完成了《苏州市独墅湖医院(暨 DK20060788 号地块)二期项目》的环境影响报告书并取得了苏州工业园区生态环境局关于该项目的批复文件。项目选址合理性已在相关环评报告中进行了论述，本项目建设地点均位于院区内，不额外新增用地，医院整体布局合理，且拟建的辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射通过采取相应的治理措施后对周围环境影响较小，从辐射安全防护角度分

析，本项目选址合理。

本项目辐射工作人员配置情况如下：

表13-1本项目辐射工作人员配置情况一览表

科室	核技术利用项目	辐射工作人员配置
放疗科	CT 模拟定位机	2 名技师
	医用直线加速器	4 名医护
	TOMO 刀	4 名医护
核医学科：门诊区、治疗区		16 名辐射工作人员，其中诊断区医护 4 名、治疗区医护 4 名、技师 4 名、清洁人员 4 名
介入科：ERCP/中 C/DSA，复合手术室 CT		40 名医师，20 名护师，10 名技师

4.辐射安全措施

（1）辐射环境影响分析结论

本项目辐射工作场所建筑均设计了满足防护要求的屏蔽体厚度，对 X 射线、β射线、γ射线、中子起到了有效的屏蔽。本项目运行后，辐射工作人员应按国家有关要求佩戴个人剂量计并建立个人剂量档案，定期进行职业健康体检并建立职业健康档案。建设单位拟为本项目辐射工作人员配备各项防护设施、防护用品和监测设施，且拟制定辐射安全与防护制度，要求规格符合有关法律法规的规定。

在严格落实环评提出的要求后，根据理论计算，本项目辐射工作人员、周围公众及敏感点人员年受照有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）剂量限值和本项目管理目标限值的要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。评价结果表明本项目辐射工作场所的防护性能符合要求。

（2）水环境影响分析

本项目核医学科工作场所辐射工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水以及患者冲洗排便用水。通过独立的废水管道收集来自核医学科中心工作场所的液态放射性废物，进入本项目新建的废水衰变池，进行衰变处理，衰变后的废水排入医疗废水处理站进一步处理后纳入市政污水管网。

（3）固体废物影响分析

本项目产生的放射性废物主要为：核医学科及回旋加速器工作场所辐射工作人员操作过程产生的注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料和更换下的废活性炭。医院拟

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

（4）大气环境影响分析

医用直线加速器、TOMO 刀、DSA、CT 等射线装置开机出束期间产生的 X 射线等与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧、氮氧化物经通风系统抽取后排放大气，产生的臭氧量较少且臭氧极不稳定，再经大气稀释自然扩散后，对周围大气环境影响轻微。

本项目核医学科工作场所运行过程可能会产生少量的放射性气溶胶，该场所拟设置有通排风系统，且设有活性炭过滤装置，产生的少量放射性气溶胶经活性炭过滤后对周围环境影响很小。

5. 辐射环境管理

1) 委托有资质单位每年对本项目核技术利用项目工作场所周围环境辐射水平进行检测。

2) 医院拟为本项目增配 1 台辐射剂量巡测仪、1 台表面沾污仪和 28 台个人剂量报警仪。定期工作场所辐射水平进行检测。

3) 本项目拟配备的辐射工作人员在上岗前参加并通过辐射安全与防护知识考核，必须通过考核后方能正式进行上岗。

4）在本项目运行前，医院委托有资质单位对本项目辐射工作人员开展个人剂量监测，所有辐射工作人员均配备个人剂量计，并定期按时送检，并建立辐射工作人员个人剂量监测档案。

5）在本项目运行前对辐射工作人员进行职业健康体检并定期复检，并建立辐射工作人员职业健康监护档案。

6）医院已成立辐射防护管理机构，并以文件的形式明确各成员管理职责。同时在项目运行前完善相关辐射安全管理制度并严格执行。

综上所述，苏州大学附属第四医院（苏州市独墅湖医院）扩建核技术利用项目符合实践正当化原则，拟采取的辐射安全和防护措施适当，工作人员及公众受到的

年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”及目标管理值的要求。在落实本报告提出的各项污染防治和管理措施后，公司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，其设施运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，项目可行。

建议和承诺

1) 该项目运行后，应严格遵循操作规程，加强对人员的培训，杜绝麻痹大意思想，避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。

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

3）定期进行辐射工作场所的检查及监测，对于监测结果偏高的地点应及时查找原因、排除事故隐患，把辐射影响减少到“可以合理达到的尽可能低的水平”。

4）建设单位在获得本项目环评批复后且建成后根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求申领辐射安全许可证。

5）根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》第十二条 除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外，其他环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。建议建设单位在本项目环境保护设施竣工后 3 个月内进行竣工环保验收。

6）建设单位应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求编制评估报告，每年一月各单位根据上一年度辐射安全改进提升情况进行自评估，自评估报告作为年度评估报告附件，于 1 月 31 日前一并上传至国家核技术利用申报系统。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：   公　　章 经办人 年　　月　　日
审批意见：   公　　章 经办人 年　　月　　日

辐射污染防治措施“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	成立辐射安全管理机构，并以文件形式明确各成员职责。	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》成立安全管理机构。	*
	管理制度：完善操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、事故应急制度等。		*
	辐射工作人员上岗前应通过辐射安全与防护知识考核（每 5 年重新参加考核）。	根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，辐射工作人员应持有考核合格证。	*
	辐射工作人员均佩戴个人剂量计，开展个人剂量监测（常规监测周期一般为一个月，最长不应超过 3 个月。个人剂量档案长期保存）。	根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）辐射工作人员正常开展个人剂量监测，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021 年修正本）》规定为“个人剂量档案和职业健康监护档案应当长期保存”。	*
	职业健康体检：定期组织职业健康体检，并按相关要求建立职业健康监护档案。（两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。）	根据《放射工作人员职业健康管理办法》应定期组织职业健康体检并建立辐射工作人员职业健康监护档案。	*
辐射防护措施	本项目医用直线加速器、TOMO 刀、CT 模拟定位机、DSA、ERCP、中 C、CT、核医学科辐射工作场所建筑均按照要求设计了防护要求的屏蔽体厚度，对 X 射线、β射线、γ射线、中子起到了有效的屏蔽。	辐射工作场所关注点辐射剂量率能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）限值要求。 辐射工作人员及公众年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，也符合本项目目标管理值的要求。（职业人员周有效剂量不超过 100μSv；公众周有效剂量不超过 5μSv。职业人员年有效剂量约束值 5mSv，公众年有效剂量约束值 0.1mSv）。	*
污染防治措施	放射源经自然衰变使其活度逐渐下降，当活度过低而不能满足治疗需要时，放射源将被替换出来成为废放射源。医院将与放射源生产厂家签订退役放射源回收协议，当放射源退役后，将由放射源生产厂家回收处置。医院将与医用直线加速器生产厂家签订废靶回收协议，由厂家更换靶件时带走废靶。	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。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中废物管理要求。	*

	射线装置开机出束期间产生的射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧、氮氧化物。 本项目核医学科工作场所运行过程可能会产生少量的放射性气溶胶。 建设单位将设置通风系统，抽取后排放大气，产生的臭氧量较少且臭氧极不稳定，再经大气稀释自然扩散后，对周围大气环境影响轻微。 场所设置有通排风系统，且设有活性炭过滤装置，产生的少量放射性气溶胶经活性炭过滤后对周围环境影响很小。	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求	*
	本项目产生的放射性废物主要为：核医学科工作场所辐射工作人员操作过程产生的医废（含更换下的废活性炭）及放射性废水。 建设单位已制定放射性废物管理制度，并设计有暂存措施及衰变池。	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）要求。	
辐射安全措施	本项目辐射工作场所按照要求设置各项防护设施、防护用品和监测设施。	能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求。	*
	拟增配 1 台辐射巡测仪、1 台表面沾污仪及 28 台个人剂量报警仪。	根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》满足工作场所日常监测要求。	*

以上措施必须在项目运行前落实。