

核技术利用建设项目
广西医科大学附属肿瘤医院核医学科
扩建建设项目
环境影响报告表
(公示稿)

建设单位(盖章): 广西医科大学附属肿瘤医院



二〇二五年十一月

生态环境部监制

打印编号: 1762331957000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	4n3m 35		
建设项目名称	广西医科大学附属肿瘤医院核医学科扩建建设项目		
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)	广西医科大学附属肿瘤医院		
统一社会信用代码	12450000498500669T		
法定代表人 (签章)	唐勇		
主要负责人 (签字)	康平		
直接负责的主管人员 (签字)	康平		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	广西力恩环境科技有限公司		
统一社会信用代码	91450100315930624A		
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
龙水贵	07354543507450097	BH 001485	龙水贵
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
梁凤	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、废弃物 (重点是放射性废弃物)、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论与建议	BH 064425	梁凤

建设项目环境影响报告书（表） 编制情况承诺书

本单位 广西力恩环境科技有限公司（统一社会信用代码 91450100315930624A）郑重承诺：本单位符合《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》第九条第一款规定，无该条第三款所列情形，不属于（属于/不属于）该条第二款所列单位；本次在环境影响评价信用平台提交的由本单位主持编制的 广西医科大学附属肿瘤医院核医学科扩建建设项目 环境影响报告书（表）基本情况信息真实准确、完整有效，不涉及国家秘密；该项目环境影响报告书（表）的编制主持人为 龙水贵（环境影响评价工程师职业资格证书管理号 07354543507450097，信用编号 BH001485），主要编制人员包括 梁凤（信用编号 BH064425）（依次全部列出）等 1 人，上述人员均为本单位全职人员；本单位和上述编制人员未被列入《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》规定的限期整改名单、环境影响评价失信“黑名单”。

承诺单位(公章)：广西力恩环境科技有限公司

2025年 11 月 5 日





营业执照

统一社会信用代码

91450100315930624A (2-2)



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。

(副本)

名称 广西力恩环境科技有限公司

注册资本 贰佰万圆整

类型 有限责任公司(自然人投资或控股)

成立日期 2014年10月08日

法定代表人 李春妮

住所 广西-东盟经济技术开发区安平路27号1号
科技研发办公楼第二层211-3室

经营范围

许可项目：安全评价业务；地质灾害危险性评估；建设工程设计；建设工程监理；建设工程质量检测；建设工程质量检测；建筑劳务分包。
(依法须经批准的项目，经相关部门批准后方可开展经营活动，具体经营项目以相关部门批准文件或许可证件为准)
一般项目：技术服务、技术开发、技术咨询、技术交流、技术转让、技术推广；地质灾害治理服务；环境应急治理服务；环境保护监测；环保咨询服务；水土流失防治服务；节能管理服务；水污染治理；大气污染防治；土壤污染治理与修复服务；社会稳定性风险评估；信息技术咨询服务；农业科学研究和试验发展；土壤环境污染防治服务；大气环境污染防治服务；农业面源和重金属污染防治技术服务；企业管理咨询；社会经济咨询服务；第二类医疗器械销售；第一类医疗器械销售；肥料销售；农副产品销售；农业机械销售；化工产品销售(不含许可类化工产品)；水利相关咨询服务。(除依法须经批准的项目外，凭营业执照依法自主开展经营活动)

登记机关

· 2025 年 10 月 10 日

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

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

国家市场监督管理总局监制

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

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



Ministry of Personnel
The People's Republic of China



State Environmental Protection Administration
The People's Republic of China

编号:
No.: 0006135



持证人签名:
Signature of the Bearer

龙水贵

管理号:
File No.: 07354543507450097

姓名: 龙水贵
Full Name
性别: 男
Sex
出生年月: 1967年06月
Date of Birth
专业类别: /
Professional Type
批准日期: 2007年05月
Approval Date

签发单位盖章:
Issued by

签发日期: 2007年11月26日
Issued on



您可以使用手机扫描二维码或访问人社网站<https://www.gx12333.net/form/> 验证此单据真伪，验证号码5ac79412af9247e4b41255a396c0f213



南宁市市本级社会保险事业管理中心 社会保险缴费证明

龙水贵，个人编号：453125004734,居民身份证号码：510102196706288532在我中心(局)参保情况：

单位编号	单位名称	参保险种	起始年月	截止年月	是否足额缴费
451641331	广西力恩环境科技有限公司	企业职工基本养老保险	202506	202510	已实缴
451641331	广西力恩环境科技有限公司	失业保险	202506	202510	已实缴
451641331	广西力恩环境科技有限公司	工伤保险	202506	202510	已实缴

特此证明！

日期

2025-10-17

社保机构盖章

说明：

- 1、本证明由参保单位或个人通过经办窗口、网上大厅、自主一体机打印，所盖公章为电子印章，可通过扫描二维码查验真伪。
- 2、本证明涉及个人信息，因个人保管不当或向第三方泄露引起的一切后果由本人自行承担。
- 3、本证明的信息仅供参考，不作为待遇计发的依据。本证明自打印之日起三个月内有效。

您可以使用手机扫描二维码或访问人社网站<https://www.gx12333.net/form/>验证此单据真伪，验证码fb0f875a75d946128417b5728052a627



南宁市市本级社会保险事业管理中心 社会保险缴费证明

梁风，个人编号：451143191167,居民身份证号码：450921199507300025在我中心(局)参保情况：

单位编号	单位名称	参保险种	起始年月	截止年月	是否足额缴费
451641331	广西力恩环境科技有限公司	企业职工基本养老保险	202506	202510	已实缴
451641331	广西力恩环境科技有限公司	失业保险	202506	202510	已实缴
451641331	广西力恩环境科技有限公司	工伤保险	202506	202510	已实缴

特此证明！

日期 2025-10-17

社保机构盖章

说明：

- 1、本证明由参保单位或个人通过经办窗口、网上大厅、自助一体机打印，所盖公章为电子印章，可通过扫描二维码查验真伪。
- 2、本证明涉及个人信息，因个人保管不当或向第三方泄露引起的一切后果由本人自行承担。
- 3、本证明的信息仅供参考，不作为待遇计发的依据。本证明自打印之日起三个月内有效。

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	28
表 3 非密封放射性物质	28
表 4 射线装置	30
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	30
表 6 评价依据	33
表 7 保护目标与评价标准	36
表 8 环境质量和辐射现状	48
表 9 项目工程分析与源项	62
表 10 辐射安全与防护	115
表 11 环境影响分析	171
表 12 辐射安全管理	239
表 13 结论与建议	249
表 14 审批	256

附件：

附件1 环评委托书

附件2 广西壮族自治区环境保护厅关于广西壮族自治区肿瘤医院2014年核医学科改扩建放射药品生产及使用核技术应用项目环境影响报告表的批复

附件3 广西壮族自治区环境保护厅关于广西壮族自治区肿瘤医院2016年新建核医学科回旋加速器生产放射性同位素核技术应用项目环境影响报告表的批复

附件4 南宁市政务服务局关于广西医科大学附属肿瘤医院钇[90Y]微球注射液建设项目环境影响报告表的批复

附件5 自治区环境保护厅关于广西壮族自治区肿瘤医院迁建核医学科放射药品核技术应用项目环境影响报告表的批复

附件6 广西壮族自治区环境保护厅关于广西壮族自治区肿瘤医院核医学科2016年新建核医学科回旋加速器生产放射性同位素项目(第一阶段)建设项目竣工环境保护验收申请的批复

附件7 广西壮族自治区环境保护厅关于广西壮族自治区肿瘤医院迁建核医学科放射药品应用等项目竣工环境保护验收申请的批复

附件8 辐射安全许可证

附件9 辐射安全与防护管理机构

附件10 辐射事故应急预案

附件11 广西医科大学附属肿瘤医院个人剂量检测报告（摘录）

附件12 广西医科大学附属肿瘤医院2024年度核技术应用项目场所辐射环境监测报告（摘录）

附件13 广西医科大学附属肿瘤医院改建核医学治疗场所应用项目环境现状监测报告

附件14 广西医科大学附属肿瘤医院核医学科扩建建设项目环境现状监测报告

附件15 项目备案证明

附件16 广西辐卫安环保科技有限公司检定证书

附件17 广西居里安检测技术有限公司检定证书

附件18 广西壮族自治区肿瘤医院2014年核医学科改扩建放射药品生产及使用项目竣工环境保护验收组验收意见

附件19 广西壮族自治区肿瘤医院2016年新建核医学科回旋加速器生产放射性同位素项目（终验）竣工环境保护验收组验收意见

附件20 广西医科大学附属肿瘤医院核医学科放射性衰变池废水排放记录（2023.12.18~2025.09.28）

表 1 项目基本情况

建设项目名称		广西医科大学附属肿瘤医院核医学科扩建建设项目			
建设单位		广西医科大学附属肿瘤医院			
法人代表			联系人		联系电话
注册地址		南宁市河堤路 71 号			
项目建设地点		南宁市河堤路 71 号广西医科大学附属肿瘤医院 101 号楼一楼 PET/CT 中心、102 号楼一楼 ECT 工作区和核素治疗区、103 号楼一楼粒籽病房			
立项审批部门		青秀区发展改革局		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		100	项目环保投资（万元）	27	投资比例（环保投资/总投资）
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积（m ² ）	不新增用地
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
	其他	/			

1.1.医院概况

广西医科大学附属肿瘤医院（广西壮族自治区肿瘤医院、广西壮族自治区肿瘤防治研究所、广西壮族自治区癌症中心、广西医科大学肿瘤医学院），是广西唯一一家集医疗、科研、教学、预防保健、社区服务与康复为一体的省级肿瘤防治研究机构和国家三级甲等肿瘤医院，是国家住院医师规范化培训基地、国家临床药物试验基地和“一带一路”国际肿瘤防治联合培训基地，是广西医科大学硕士和博士授权点、临床医学博士后科研流动站单位、广西临床医学人才小高地基地之一，是广西肿瘤防治研究中心、肿瘤人才培训中心和肿瘤医学信息中心。肿瘤学是国家重点学科(培育)、肿瘤专业是国家临床重点专科，广西抗癌协会挂靠在本院。

医院分为青秀院区、五象院区。青秀院区编制床位900张，最大开放床位1311张，有27个临床科室和18个医技科室，涵盖肿瘤诊疗所需的全部专科。五象院区一期编制床位1000张。医院对多病种专科实行按病种分病区精细化管理，亚专科体系完备，其中放疗有五个病区、化疗有四个科室，拥有手术、放疗、化疗、介入、生物治疗等治疗手段和综合序贯的治疗体系，设有全区首个甲状腺专科病区，是区内肿瘤性疾病诊疗专科和诊疗手段最完备的医院。

拥有国内先进的PET/CT（GE Discovery PET/CT 710）和住友回旋加速器各1台，广西唯一的锥光束乳腺CT（CBBCT）1台，包括TOMO在内的医用电子直线加速器5台，大孔径定位CT 1台，全套放疗定位系统1套，逆向调强放疗计划系统17套，联影320排CT2台、160排CT3台，GE128排、西门子64排CT各1台，3.0T、1.5T核磁共振共6台，一站式肿瘤诊治DSA 3台等各种先进诊治设备。2024年2月，国家卫生健康委发布《关于2023年甲类大型医用设备配置许可结果的通告》，肿瘤医院获得多室质子放射治疗系统准予许可，是广西首家且唯一获该项甲类大型医用设备配置许可的单位。

1.2.项目概况

为满足医院治疗需求，医院拟在青秀院区开展广西医科大学附属肿瘤医院核医学科扩建建设项目。工作场所为101号楼一楼PET/CT中心、102号楼一楼ECT工作区和核素治疗区、103号楼一楼粒籽病房。PET/CT中心、ECT工作区为现有辐射工作场所，粒籽病房为在建辐射工作场所，核素治疗区为新建辐射工作场所。本项目建设内容包括PET/CT显像诊断项目、 ^{125}I 粒子植入治疗项目、甲癌、甲亢治疗项目、前列腺癌治疗项目、骨转移瘤治疗项目、 ^{90}Sr （ ^{90}Y ）敷贴治疗项目。

（1）PET/CT显像诊断项目

本项目计划依托PET/CT中心利用 ^{68}Ga 药物开展PET/CT显像诊断项目。在热室房间新增一套热室，并在热室内安装锗镓发生器、自动分装仪用于 ^{68}Ga 的淋洗制备、分装，依托中心的注射室、注射后候诊室、VIP注射后候诊室、PET/CT机房、留观室等场所，进行 ^{68}Ga 药物注射、注射后患者的候诊、PET/CT显像诊断和留观。

医院现有PET/CT中心于2014年11月10日取得《广西壮族自治区环境保护厅关于广西壮族自治区肿瘤医院2014年核医学科改扩建放射药品生产及使用核技术应用项目环境影响报告表的批复》（桂环审〔2014〕200号），并于2018年10月开展自主验收，委托广西壮族自治区辐射监督管理站编制了《广西壮族自治区肿瘤医院2014年核医学科改扩建放射药品生产及使用项目竣工环境保护验收报告》；医院于2016年8月30日取得《广西壮族自治区环境保护厅关于广西壮族自治区肿瘤医院2016年新建核医学科回旋加速器生产放射性同位素核技术应用项目环境影响报告表的批复》（桂环审〔2016〕107号），并于2017年11月15日取得《广西壮族自治区环境保护厅关于广西壮族自治区肿瘤医院核医学科2016年新建核医学科回旋加速器生产放射性同位素项目（第一阶段）建设项目竣工环境保护验收申请的批复》（桂环函〔2017〕194号），于2018年11月开展该项目终验的自主验收，委托广西壮族自治区辐射监督管理站编制了《广西壮族自治区肿瘤医院2016年新建核医学科回旋加速器生产放射性同位素项目（终验）竣工环境保护验收报告》。PET/CT中心内已获得辐射安全许可的核技术利用项目包括利用回旋加速器生产 ^{18}F 、 ^{13}N 、 ^{11}C 等非密封放射性物质，利用 ^{18}F 、 ^{13}N 、 ^{11}C 核素开展PET/CT显像诊断，目前 ^{18}F 的生产和诊断项目处于正常运行中， ^{13}N 、 ^{11}C 的生产和诊断项目从2024年至今均未开展。

（2） ^{125}I 粒子植入治疗项目

本项目拟利用新建核素治疗区储源室、现有PET/CT中心的PET/CT机房和在建粒籽病房开展 ^{125}I 粒子植入治疗项目。本项目改造102号楼东侧办公室新建核素治疗区，其中 ^{125}I 粒子储存在新建核素治疗区储源室，在核素治疗区分装室进行粒子质控、消毒、装弹，再转移到现有PET/CT中心内的PET/CT机房开展 ^{125}I 粒子植入手术，利用103号楼一楼的在建粒籽病房作为植入后患者住院场所。

在建粒籽病房原为普通双人病房，医院于2025年2月10日取得《南宁市政务服务中心关于广西医科大学附属肿瘤医院钇[^{90}Y]微球注射液建设项目环境影响报告表的批复》（南政务（生态）环审〔2025〕14号），该项目将103号楼一楼原普通双人病房改为粒籽病房，作为 ^{90}Y 微球注射患者留观场所，留观废水排入102号楼南侧新建5格衰变池中。该项目 ^{90}Y 微球注

射液的使用已纳入医院辐射安全许可项目，但该项目仍在建设当中，目前未正式开展。根据辐射安全许可证（见附件8）， ^{90}Y 微球注射液手术场所为109号楼四楼介入手术室，分装场所为核医学科分装室（即102号楼一楼药物配置及注射室），贮存场所为院内核医学科储源室（即102号楼一楼药物配置及注射室）。本项目 ^{125}I 粒子植入患者不与 ^{90}Y 微球注射患者混住，通过合理规划治疗时间，可保证粒籽病房满足 ^{125}I 粒子植入患者住院需求和 ^{90}Y 微球注射患者留观需求。

（3）甲癌、甲亢治疗项目

本项目拟利用102号楼一楼内东侧办公室进行重新设计和布局，新建核素治疗区，原有办公室改造为核素病房、甲亢留观室、污洗/固废间、服药间、储源室、分装室、甲测室、敷贴治疗室等辐射用房及其他配套辅助用房，其中甲测室为甲癌、甲亢治疗前患者进行甲测的场所， ^{131}I 药物储存在储源室，在分装室分装，在服药间交由患者服用。服药后甲亢患者在甲亢留观室留观后离开医院。服药后甲癌患者进入核素病房住院，满足出院要求出院一段时间后需前往现有ECT工作区的SPECT/CT机房进行碘扫，复查摄碘情况。

现有ECT工作区于2012年9月24日取得《自治区环境保护厅关于广西壮族自治区肿瘤医院迁建核医学科放射药品核技术应用项目环境影响报告表的批复》（桂环审〔2012〕203号），该项目验收于2014年7月17日取得《广西壮族自治区环境保护厅关于广西壮族自治区肿瘤医院迁建核医学科放射药品应用等项目竣工环境保护验收申请的批复》（桂环验〔2014〕71号）。目前，ECT工作区内许可的核技术利用项目包括 ^{32}P 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Mo}$ （ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）的使用，其中 ^{131}I 应用（甲亢治疗）项目实际已多年未开展，医院计划不再在ECT工作区内开展甲亢治疗项目，仅在本项目建成后利用SPECT/CT对出院后复诊的甲癌患者开展碘扫。 ^{32}P 、 ^{89}Sr 治疗肿瘤项目从2024年至今均未开展。

（4）前列腺癌治疗项目

本项目拟在新建核素治疗区利用放射性核素 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 开展前列腺癌治疗项目。 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 药物储存在储源室，在分装室抽药，在服药间对患者进行注射，其中注射 ^{225}Ac 、 ^{211}At 药物后患者直接离开医院，注射 ^{177}Lu 药物后患者前往核素病房住院。

（5）骨转移瘤治疗项目

本项目拟在新建核素治疗区利用放射性核素 ^{223}Ra 开展前骨转移瘤治疗项目。 ^{223}Ra 药物储存在储源室，在分装室抽药，在服药间对患者进行注射，注射后患者直接离开医院。

（6） ^{90}Sr （ ^{90}Y ）敷贴治疗项目

本项目拟在新建核素治疗区利用 ^{90}Sr (^{90}Y) 敷贴器 (V 类放射源) 开展 ^{90}Sr (^{90}Y) 敷贴治疗项目。 ^{90}Sr (^{90}Y) 敷贴器储存、使用均在敷贴治疗室内, 储存时采用铅保险箱保存。

本项目各子项目所用非密封放射性物质、射线装置、放射源见下表:

表 1.2-1 本项目各子项目所用非密封放射性物质、射线装置、放射源汇总情况

项目名称	非密封放射性物质			射线装置		年最大就诊人·次
	核素名称	单人最大用药量（Bq）	日最大操作量（Bq）	名称	类别	
PET/CT 显像诊断项目	⁶⁸ Ge（ ⁶⁸ Ga）	/	2.96×10 ⁹	/	/	/
	⁶⁸ Ga	1.85×10 ⁸	7.4×10 ⁸	PET/CT	III	400
¹²⁵ I 粒子植入治疗项目	¹²⁵ I 粒子	2.96×10 ⁹	1.78×10 ¹⁰	PET/CT	III	600
甲癌、甲亢治疗项目	¹³¹ I	9.25×10 ⁹ （甲癌）	2.22×10 ¹⁰	SPECT/CT	III	600（甲癌）
		5.55×10 ⁸ （甲亢）		/	/	1250（甲亢）
前列腺癌治疗项目	¹⁷⁷ Lu	7.40×10 ⁹	7.40×10 ⁹	/	/	50
	²²⁵ Ac	2.22×10 ⁷	2.22×10 ⁷	/	/	100
	²¹¹ At	1.00×10 ⁹	1.00×10 ⁹	/	/	100
骨转移瘤治疗项目	²²³ Ra	4.5×10 ⁶	4.5×10 ⁶	/	/	100
项目名称	放射源					年最大就诊人·次
	核素名称	总活度（Bq）/活度（Bq）×枚数		类别		
⁹⁰ Sr（ ⁹⁰ Y）敷贴治疗项目	⁹⁰ Sr（ ⁹⁰ Y）	1.48×10 ⁸ ×1 枚		V		7500

本项目涉及的非密封放射性物质及放射源、射线装置的各项参数情况详见表 2~表 4 章节。

本项目不新增辐射工作人员, 均依托核医学科现有人员开展。

1.3.目的和任务的由来

拟建项目在运行过程中可能对环境产生一定的辐射影响。为保护环境, 保障公众的环境权益, 根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规对伴有辐射建设项目环境管理的规定, 及依据《建设项目环境影响评价分类管理名录》(2021年版), 项目主要为核技术利用建设项目, 项目属于名录中的“五十五、核与辐射”中的“172、核技术利用建设项目”中的“制备PET用放射性药物的; 医疗使用 I 类放射源的; 使用 II 类、III类放射源的; 生产、使用 II 类射线装置的; 乙、丙级非密封放射性物质工作场所 (医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外); 在野外进行放射性同位素示踪试验的; 以上项目的改、扩建 (不含在已许可场所增加不超出已许可活动种类和不高于已许可范围等级的核素或射线装置的)”类别, 应编制环境影响报告表。受建设单位委托, 我公司对广西医科大学附属肿瘤医院核医学科扩建建设项目进行环境影响评价。

在收集资料、现场调查、辐射环境现状检测以及理论分析等基础上，我公司按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）规定的建设项目辐射环境影响报告表的内容和格式，编制完成了《广西医科大学附属肿瘤医院核医学科扩建建设项目环境影响报告表》。

1.4.医院现有核技术利用项目

1.4.1.现有辐射安全许可证许可情况

医院现有最新的辐射安全许可证（桂环辐证[A0165]）（附件 8）许可种类和范围：使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；生产、使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。辐射安全许可证许可项目详见表 1.4-1。

表 1.4-1 青秀院区现有辐射安全许可证许可项目一览表

放射源						
序号	辐射活动场所名称	核素	单枚放射源活度（Bq）	枚数	类别	活动种类
1	院内放疗科：放疗中心后装室	^{192}Ir	3.70E+11	1	Ⅲ类	使用
2	院内核医学科：101 号楼一楼 PET/CT 中心	^{68}Ge	4.63E+7	2	V类	使用
3		^{68}Ge	9.25E+7	1	V类	使用
非密封放射性物质						
序号	辐射活动场所名称	核素	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	场所等级	活动种类
1	院内核医学科：101 号楼一楼 PET/CT 中心	^{11}C	3.70E+6	1.15E+12	乙级	生产、使用
2		^{13}N	3.70E+6	1.15E+12		
3		^{18}F	9.25E+7	2.31E+13		
4	院内核医学科：102 号楼一楼核医学科 ECT 室	^{32}P	7.4E+8	7.40E+10	乙级	使用
5		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.85E+7	8.88E+11		
6		^{89}Sr	1.85E+8	3.70E+10		
7		^{131}I	1.85E+9	2.22E+11		
8		^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	1.85E+7	8.88E+11		
9	院内介入中心：109 号楼 4 楼介入手术室 2	^{90}Y 微球注射液（抗癌药）	1.2E+8	1.2E+12	乙级	使用
射线装置						
序号	辐射活动场所名称	装置名称	规格型号	台数（台）	类别	活动种类
10	院内放疗科：101 号楼一楼加三室	医用直线加速器	Clinac6E X	1	Ⅱ类	使用
11	院内放疗科：放疗中心一楼 CT 模拟定位机室	CT 模拟定位机	Light Speed RT	1	Ⅲ类	使用
12	院内放疗科：放疗中心一楼加二室	医用电子直线加速器	Synergy	1	Ⅱ类	使用

13	院内放疗科：放疗中心一楼加五室	医用电子直线加速器	Versa HD	1	II类	使用
14	院内放疗科：放疗中心一楼加一室	医用电子直线加速器	Precise	1	II类	使用
15	院内放疗科：医院放疗技术中心	TOMO	普及型 TomoH 型	1	II类	使用
16	院内放射科：105 号楼 5 楼胃肠外科仓库(存放)	数字化移动式摄影 X 射线机(移动 DR)	OptimaXR220amx	1	III类	使用
17	院内放射科：108 号楼一楼 CT 检查室(1)	X 射线计算机断层摄影装置(CT 机)	SOMATOM Sensation64	1	III类	使用
18	院内放射科：108 号楼一楼 CT 检查室(2)	全身 X 射线计算机断层扫描系统(CT)	Discovery CT750 HD	1	III类	使用
19	院内放射科：109 号楼一楼 DR 拍片室	医用诊断 X 线系统(DR)	Definium6000	1	III类	使用
20	院内放射科：109 号楼一楼胃肠造影室	诊断 X 射线机(胃肠机)	Mx/Axiom IconosR200	1	III类	使用
21	院内核医学科：101 号楼 PET/CT 中心	正电子发射及断层扫描系统	Discovery PET/CT710	1	III类	使用
22	院内核医学科：101 号楼一楼 PET/CT 中心	医用回旋加速器	HM-10MC	1	II类	使用
23	院内核医学科：102 号楼一楼核医学科 ECT 室	数字化伽马照相机	Discovery VH	1	III类	使用
24	院内介入中心：109 号楼 4 楼介入手术室 2	医用血管造影 X 射线系统(DSA)	AllURaXperFD20	1	II类	使用

注：1、辐射安全许可证中“放射源”第 1 项“ ^{192}Ir ”辐射活动场所名称登记为“院内放疗科：放疗中心一楼加五室”，经与医院核实，此处场所名称错误，应为“院内放疗科：放疗中心后装室”。
2、根据辐射安全许可证“（二）非密封放射性物质”第 9 项“ ^{90}Y 微球注射液（抗癌药）”备注， ^{90}Y 微球注射液分装场所为核医学科分装室（即 102 号楼一楼药物配置及注射室），贮存场所为院内核医学科储源室（即 102 号楼一楼药物配置及注射室）。

1.4.2.现有辐射安全管理情况

在历年运行过程中，医院严格遵守了《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关放射性法律、法规，配合各级环保部门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理方面运行良好。

（1）医院制定了辐射防护和安全管理相关规章制度，其中包括《操作规程》、《射线装置使用登记制度》、《安全与防护设施检查与维护制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射源安全管理制度》等规章制度，并严格按照规章制度执行。

（2）为加强对辐射安全和防护管理工作，医院成立了放射防护领导小组，明确辐射防护责任，并加强了对射线装置与放射性同位素的监督和管理。

(3)医院定期组织辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，接受辐射防护安全知识和法律法规教育，并持证上岗。

(4) 辐射工作期间，辐射工作人员佩戴个人剂量计，接受剂量监测，建立剂量健康档案并存档。医院近年来委托了有资质的单位对辐射工作人员开展个人剂量监测工作。

(5) 医院放射性工作场所均设置有电离辐射警示牌和工作指示灯。

(6) 医院近年来委托广西壮族自治区辐射环境监督管理站对医院辐射工作场所开展辐射监测，并按照规定每年向生态部门提交年度安全评估报告。

1.5.拟建项目依托的现有工程回顾

本项目工作场所中PET/CT中心、ECT工作区为现有工程，已取得环评和验收批复或开展自主验收，原普通病房改造为粒籽病房的环评目前已取得环评批复，但未建成和使用。项目依托工程的环评、验收手续办理情况见表1.5-1。

表 1.5-1 本项目依托工程的环评、验收手续办理情况

序号	本项目依托的工程	依托工程项目名称	环评审批部门	环评批复文号和时间	验收批复文号和验收时间
1	PET/CT中心	广西壮族自治区肿瘤医院2014年核医学科改扩建放射药品生产及使用核技术应用项目	广西壮族自治区环境保护厅	桂环审〔2014〕200号，2014年11月10日	自主验收，2018年10月
2		广西壮族自治区肿瘤医院2016年新建核医学科回旋加速器生产放射性同位素核技术应用项目	广西壮族自治区环境保护厅	桂环审〔2016〕107号，2016年8月30日	第一阶段：桂环函〔2017〕194号，2017年11月15日；终验：自主验收，2018年11月
3	ECT工作区	广西壮族自治区肿瘤医院迁建核医学科放射药品应用项目	广西壮族自治区环境保护厅	桂环审〔2012〕203号，2012年9月24日	桂环验〔2014〕71号，2014年7月17日
4	粒籽病房	广西医科大学附属肿瘤医院钇[90Y]微球注射液建设项目	南宁市政务服务中心	南政务（生态）环审〔2025〕14号，2025年2月10日	在建

现有项目的核技术利用情况详见表1.4-1和附件8 辐射安全许可证，医院委托广西壮族自治区辐射环境监督管理站对医院开展的2024年度核技术应用项目场所辐射环境监测结果显示，本项目涉及的现有场所PET/CT中心现有项目中，¹⁸F的产生、使用均正常运行，项目运行所致辐射影响均未超过相关要求，¹¹C、¹³N的产生、使用从2024年至今均未开展；ECT工作区现有项目中，^{99m}Tc、⁹⁹Mo的使用均正常运行（⁹⁹Mo为制备^{99m}Tc的钼铊发生器母体），项目运行所致辐射影响均未超过相关要求，¹³¹I治疗项目、⁸⁹SrCl、³²P治疗肿瘤项目从2024

年至今均未开展。 ^{90}Y 微球注射液的使用虽已纳入医院辐射安全许可证中，但该项目仍在建设当中，目前未正式开展。

本项目建成后，依托PET/CT中心中各场所开展显像诊断、依托ECT工作区的SPECT/CT机房为患者进行碘扫和利用在建粒籽病房接收 ^{125}I 粒子植入患者均不改变工作场所原有功能，可直接依托工作场所开展本项目。

1.6.周边保护目标关系及场址选址等情况

1.6.1.拟建项目所在建筑物外环境关系

广西医科大学附属肿瘤医院位于南宁市河堤路71号，医院地理位置图见图1.6-1。项目工作场所包括101号楼一楼PET/CT中心、102号楼一楼ECT工作区和核素治疗区、103号楼一楼粒籽病房。本项目评价范围为PET/CT机房、ECT工作区、核素治疗区和粒籽病房边界往外50m范围内，项目总平面布置及评价范围内周围环境详见图1.6-2。

表 1.6-1 评价范围内项目所在建筑物外环境关系情况表

建筑名称	周边环境				
	东侧	南侧	西侧	北侧	其他方向
101 号楼	紧邻 102 号楼	17m 处江北大道	紧邻 109 号楼； 23m 处 108 号楼	9m处106号楼	东北侧10m处105号楼； 东北侧21m处110号楼； 西北侧 5m 处 107 号楼； 西北侧 28m 处广西医科大学 第一附属医院 7 号楼
102 号楼	9m 处 103 号楼； 24m 处为广西医科大学第一附属医院 东盟楼	8m 处江北大道	紧邻 101 号楼	12m 处 110 号楼； 21m 处 105 号楼	西北侧 37m 处 106 号楼
103 号楼	10m 处广西医科大学第一附属医院东盟楼	31m 处江北大道	6m 处 110 号楼； 9m 处 102 号楼	紧邻 105 号楼； 27m 处广西医科大学第一附属医院 16 号楼	东北侧 12m 处广西医科大学第一附属医院 1 号楼



图1.6-1 项目地理位置图

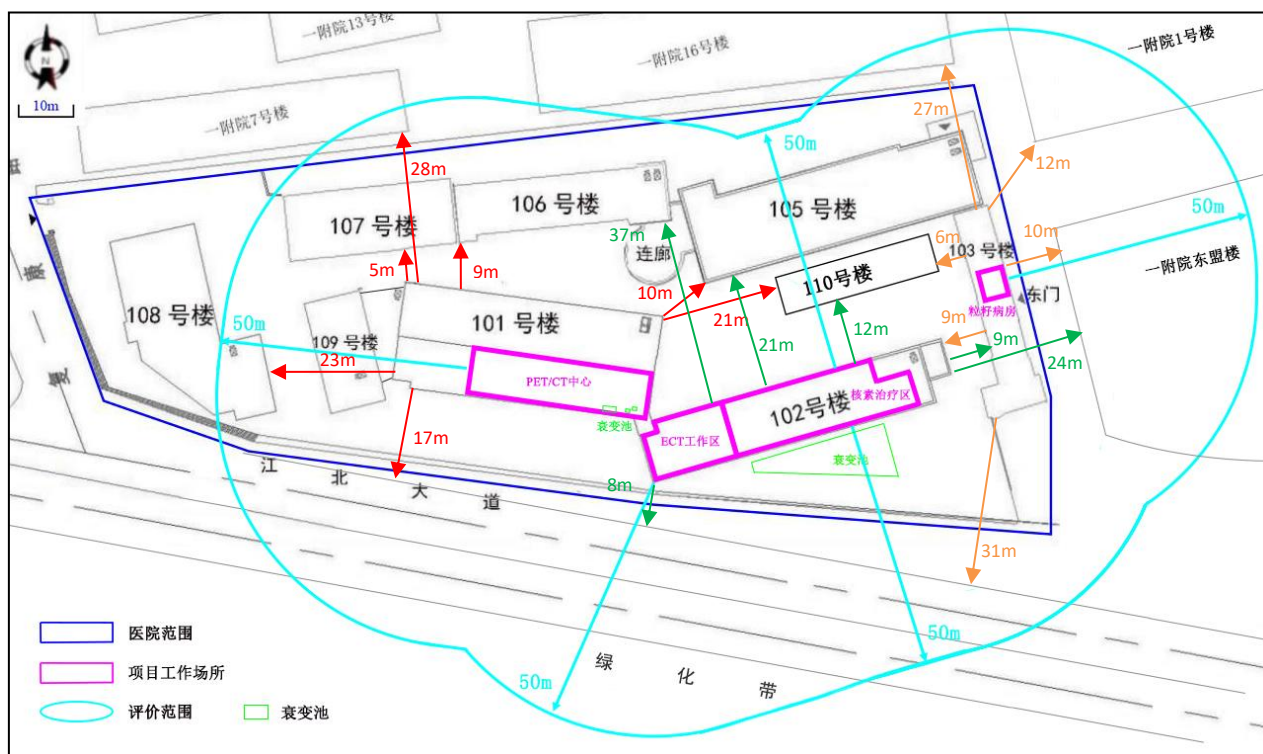


图1.6-2 项目评价范围图

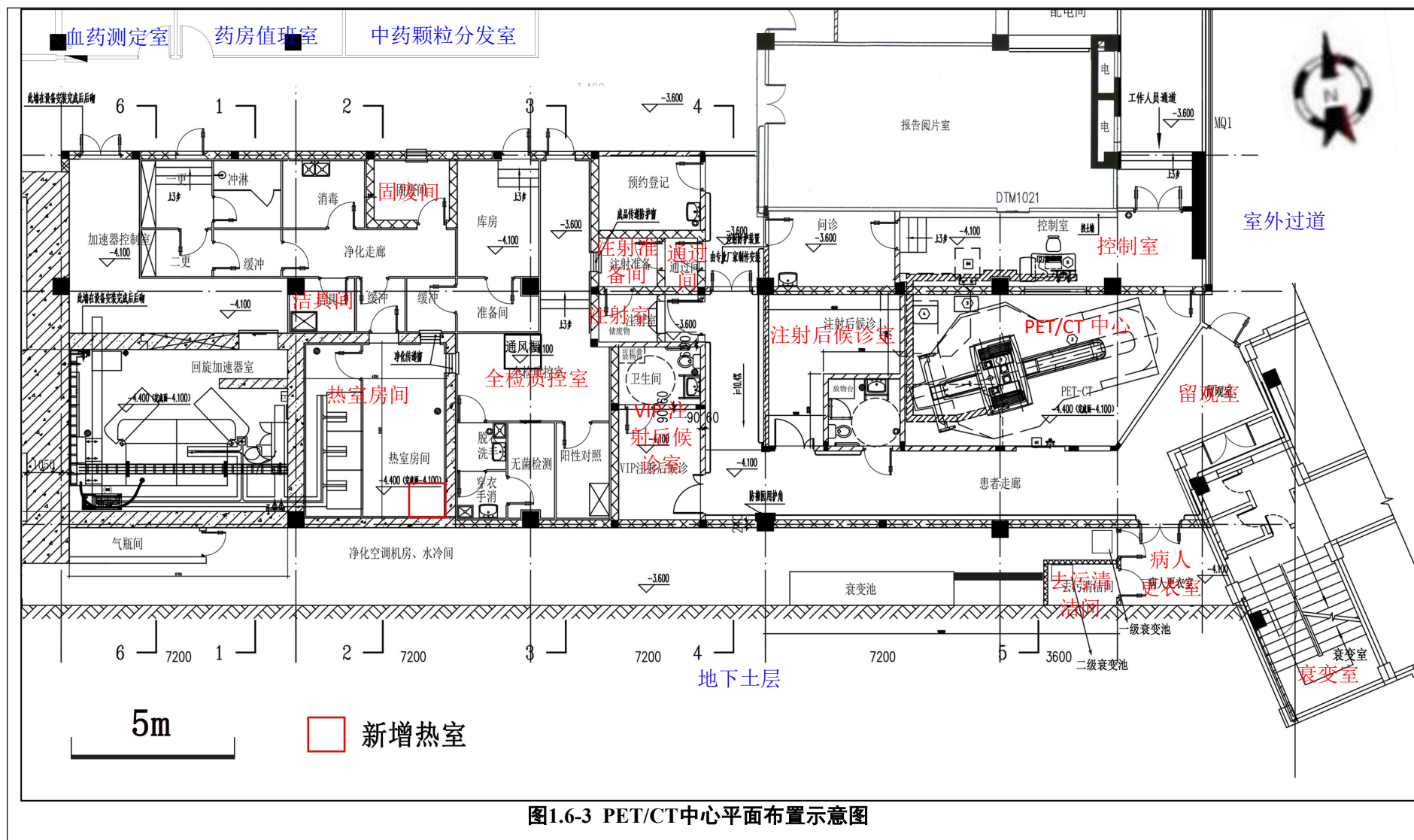
1.6.1.拟建项目依托的场所及其周围环境关系

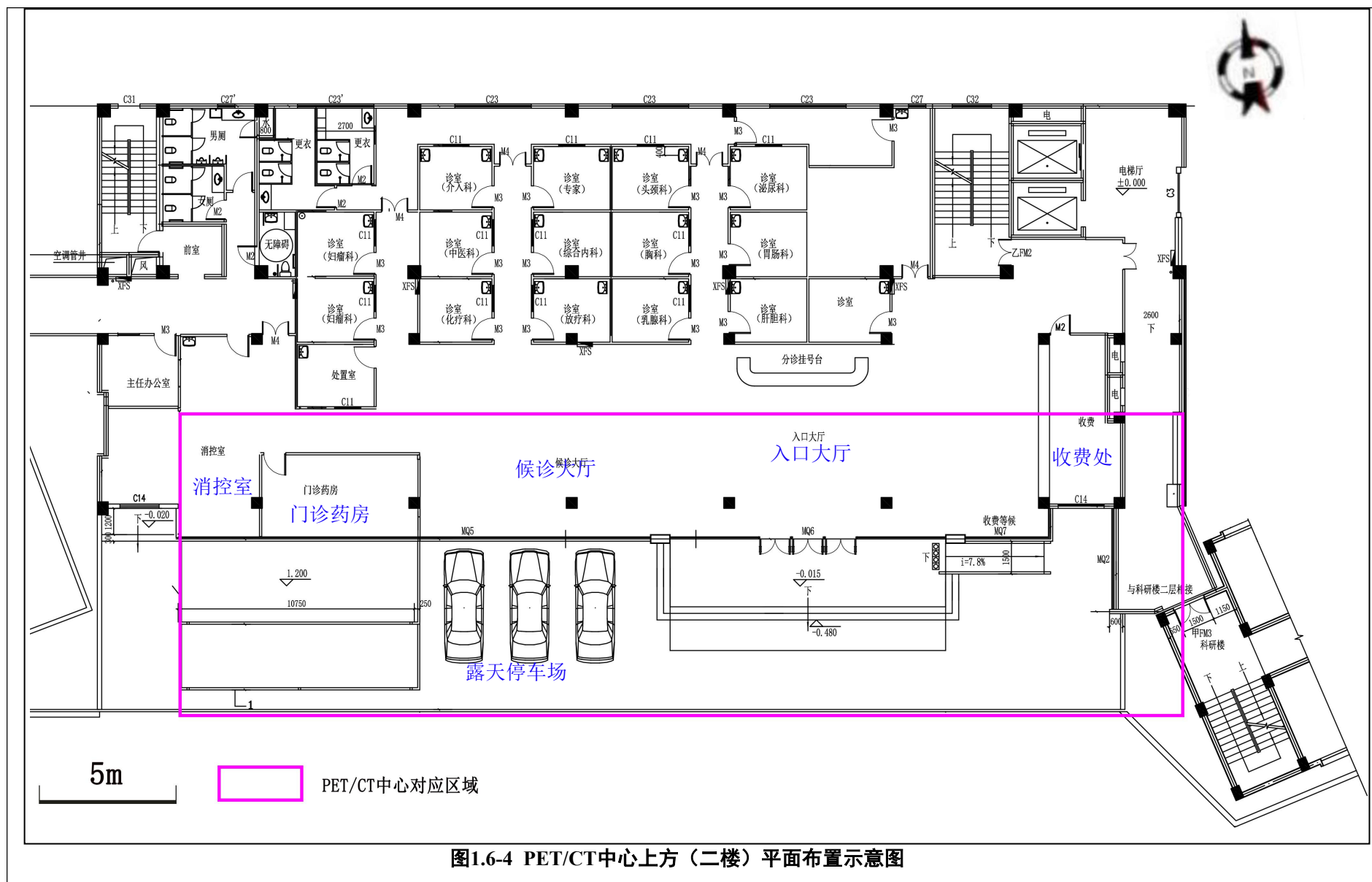
拟建项目依托现有101号楼一楼PET/CT中心进行扩建，依托在建粒籽病房接收 ^{125}I 粒子植入术后患者，利用102号楼一楼东侧办公室新建辐射工作场所核素治疗区。各场所周围环境关系详见表1.6-2，各场所及其上方平面布置图见图1.6-3~图1.6-11，项目工作场所及周边

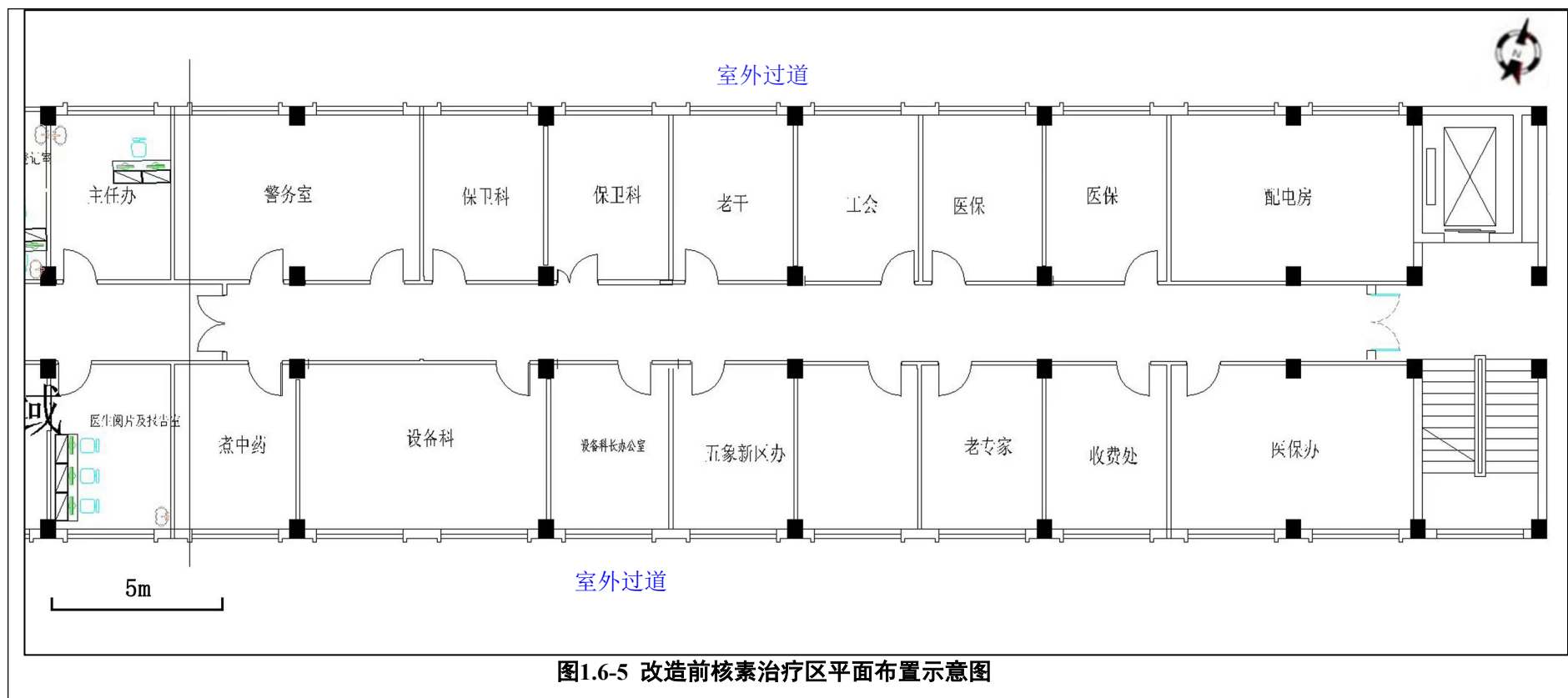
环境现状见图1.6-12。

表 1.6-2 拟建项目依托的场所及其周围环境关系情况表

工作场所	周边环境					
	东侧	南侧	西侧	北侧	楼上	楼下
PET/CT 中心	室外过道	地下土层	放疗中心直线加三室	药剂科血药测定室、药房值班室、中药颗粒分发室、大厅、电梯间等	消控室、门诊药房、入口大厅、候诊大厅、露天停车场、收费处等	地下土层
ECT工作区	主任办公室、医生阅片及报告室（将改造为缓冲室、测量/配餐区、污洗间、固废间）	室外过道	PET/CT 中心	室外过道	会议室、男/女更衣室、处置室、医生值班室、主任办公室、功能房（现已搬空）、楼梯间	地下土层
核素治疗区	配电房、楼梯间	室外过道、新建衰变池	预约登记处（将改造为室内通道）、问诊室、控制室	室外过道	双人病房、抢救室（现已搬空）	地下土层
粒籽病房	室外过道	普通病房（正在改造为男值班室）	走廊	配电间	放疗病房	地下土层







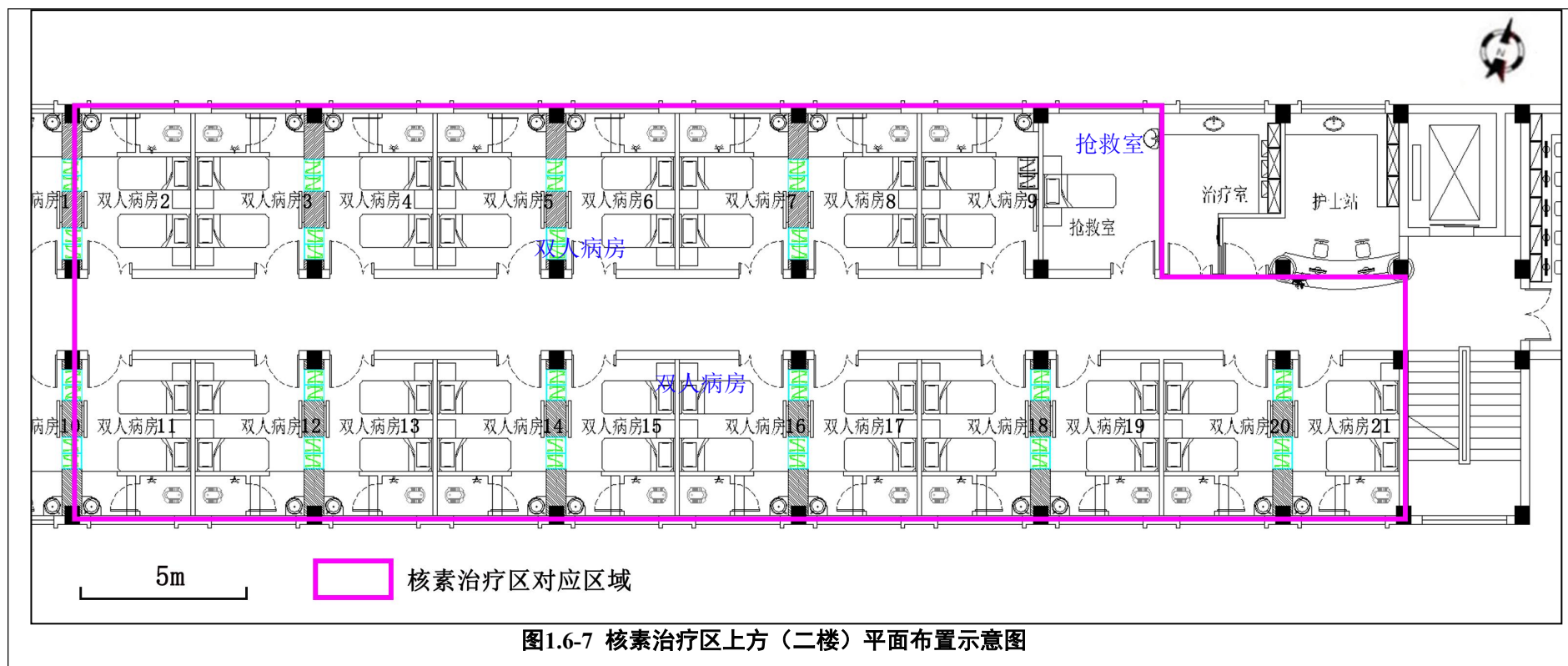


图1.6-7 核素治疗区上方（二楼）平面布置示意图

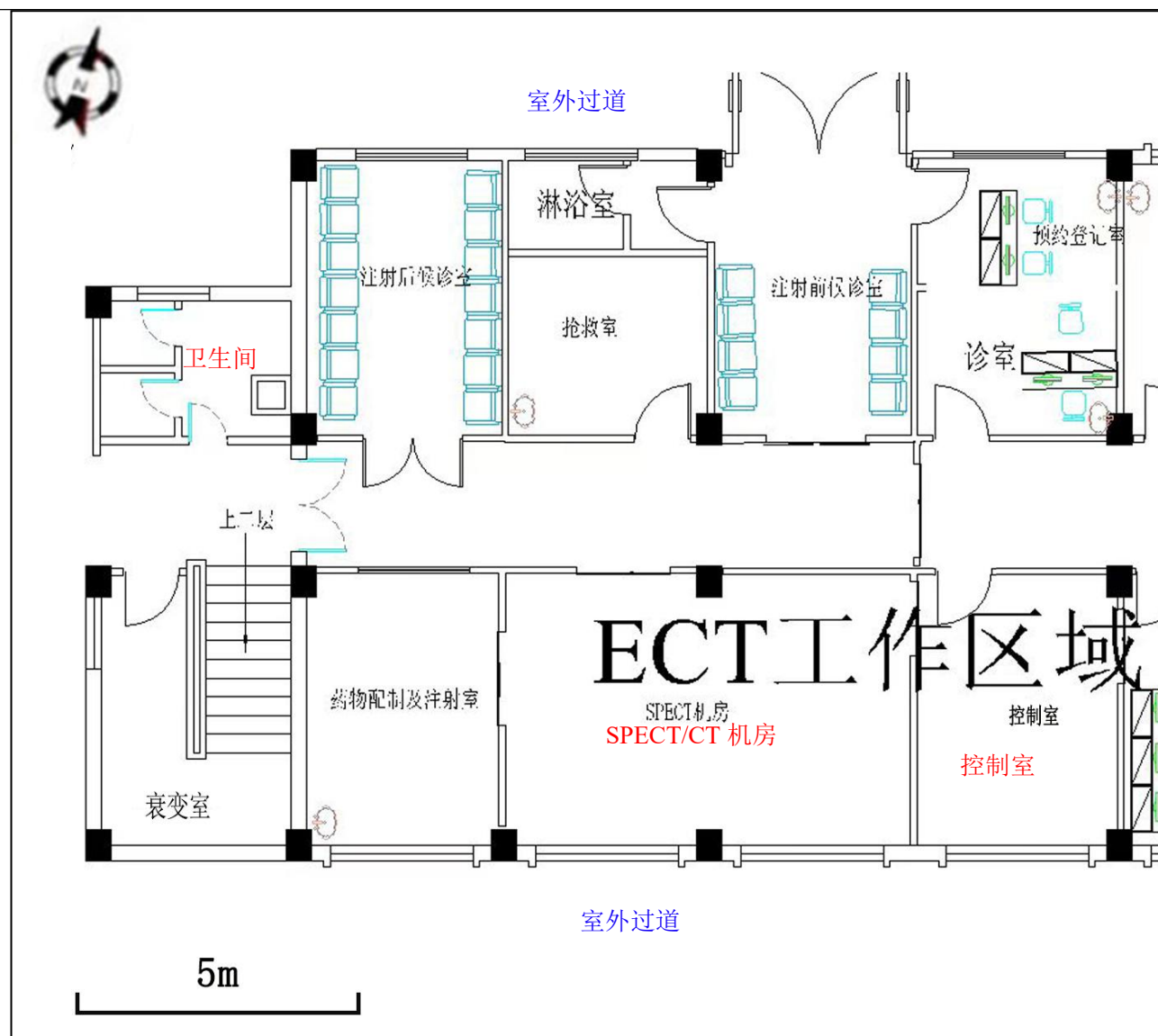


图1.6-8 ECT工作区平面布置示意图

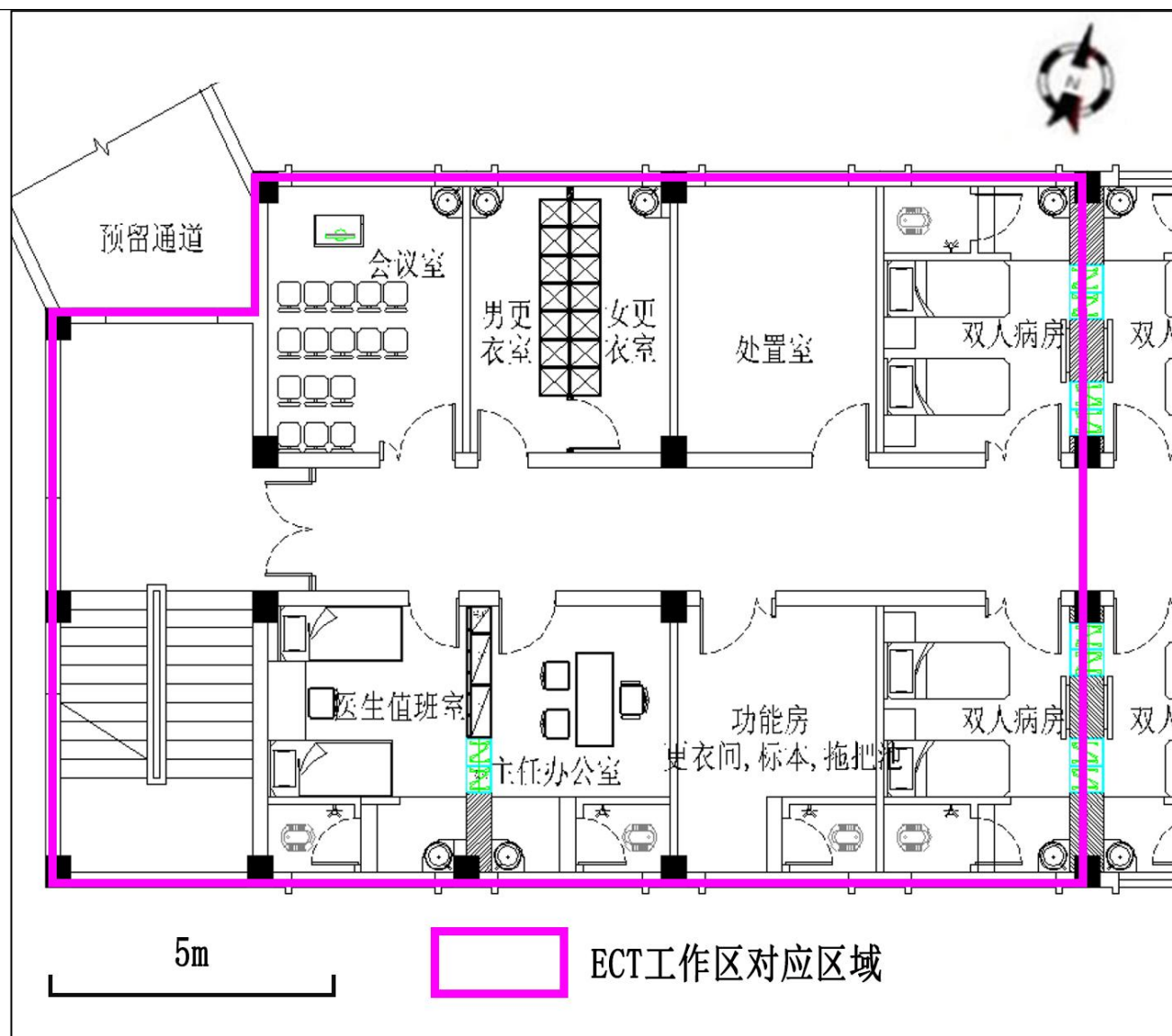


图1.6-9 ECT工作区上方（二楼）平面布置示意图

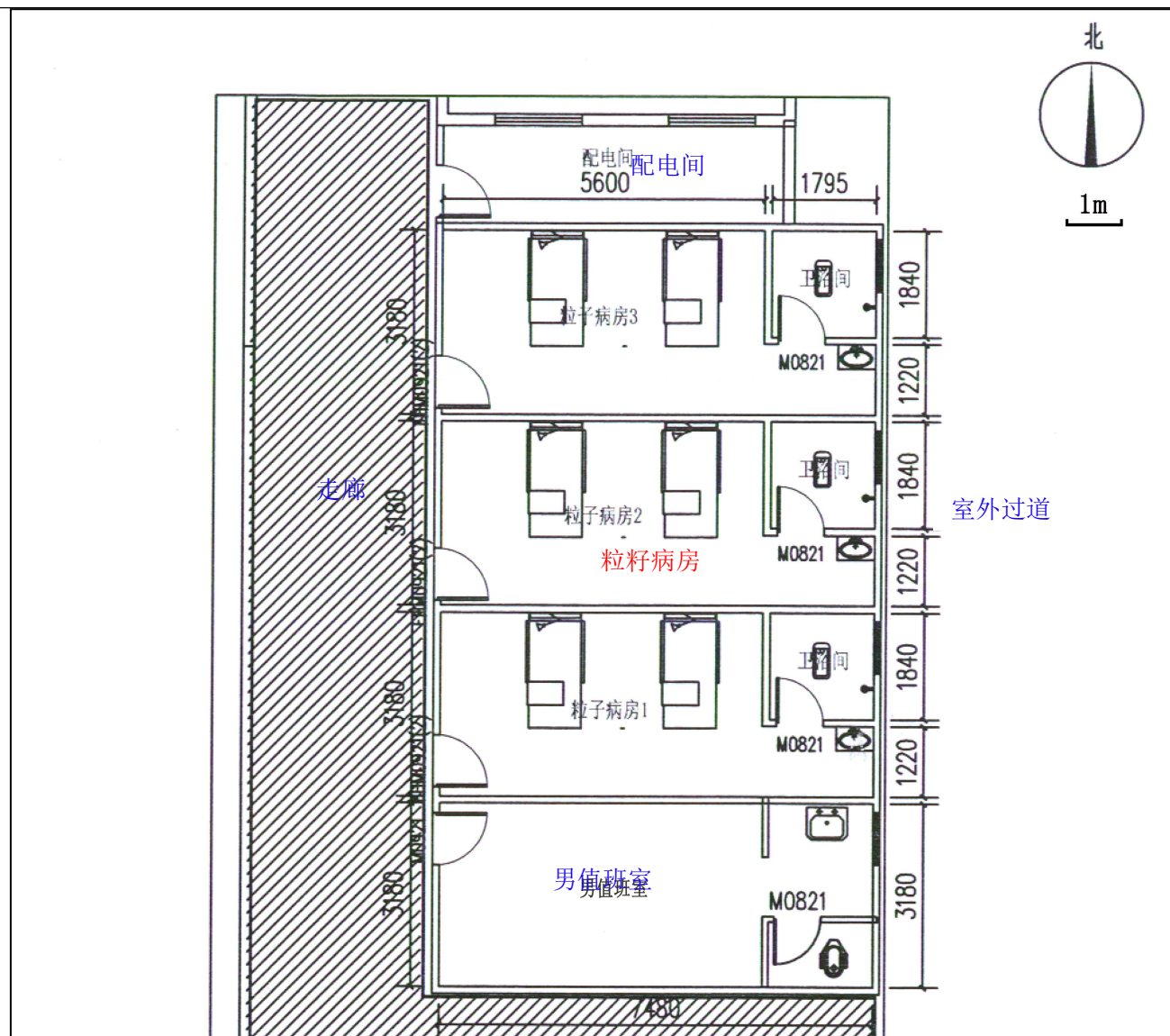


图1.6-10 粒籽病房平面布置示意图

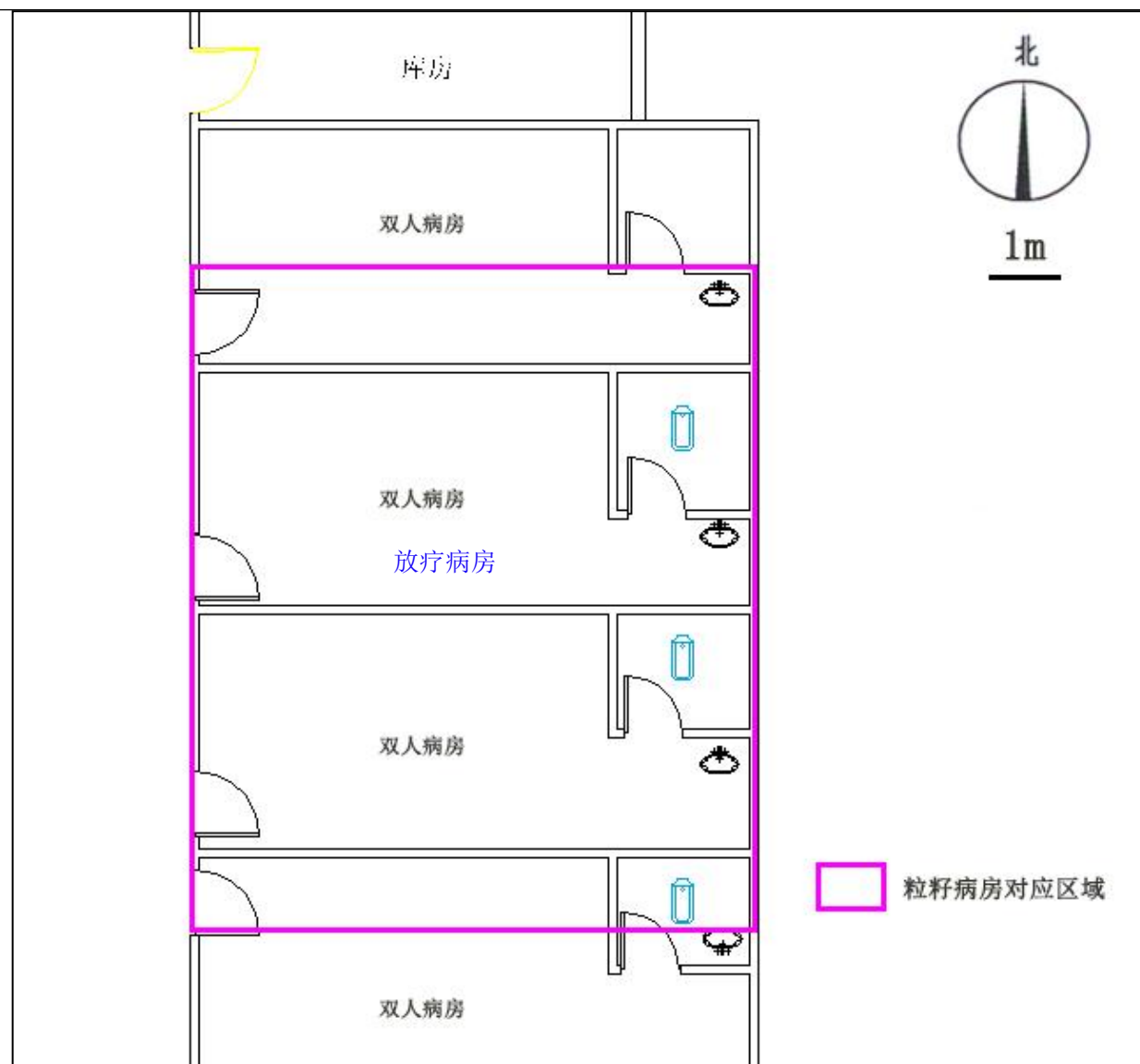


图1.6-11 籽病房上方（二楼）平面布置示意图



101 号楼（102 号楼西面）



101 号楼北面（106 号楼）



101 号楼西面



101 号楼东面



101 号楼二楼门诊部大厅



101 号楼门诊部门前



医院南侧江北大道



101 号楼一楼 PET/CT 中心



PET/CT 机房



PET/CT 机房控制室



热室房间



102 号楼西侧楼梯间衰变室





图1.6-12 项目工作场所及周边环境现状

1.6.2.周边保护目标

本项目主要保护目标为项目辐射工作人员、评价范围内其他医护人员及逗留或经过的公众成员。

1.6.3.选址合理性分析

本项目工作场所包括101号楼一楼PET/CT中心、102号楼一楼ECT工作区和核素治

疗区、103号楼一楼粒籽病房。

本项目工作场所边界外50m范围内主要为医院内部建筑及院内道路、一附院建筑、江北大道，无居民区、学校等敏感目标。此外，项目使用具有辐射防护能力的合成柜、分装柜、注射台，设置防护铅门及防护墙体，在门口设置电离辐射警告标志，将工作场所实施分区管理，无关人员不得进入控制区。项目运行过程中产生的电离辐射，经过屏蔽防护和距离衰减后，对周围工作人员和公众所致的辐射剂量符合剂量约束限值的要求。通过以上场所独立、划分区域等措施，本项目不会产生交叉污染。

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第5.1关于“选址”规定：“5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。” 本项目PET/CT中心集中于101号楼一楼东南一端，核素治疗区位于102号楼一楼东侧，粒籽病房位于103号楼一楼北面一端，位置相对独立，所在区域无人长期居留，与周围建筑有一定距离，同时设置有相应的物理隔离和单独的人员、物流通道，且不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。因此，项目选址能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中选址的要求。

1.7.产业政策符合性分析

本项目符合《产业结构调整指导目录》（2024年本）第一类 鼓励类中“六、核能4. 核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”、“十三、医药 4. 高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”的规定，本项目符合国家产业政策。

1.8.项目人员配备及岗位设置

项目依托核医学科现有工作人员29人，行政岗1人，辐射工作人员28人，不新增工作人员。本项目辐射工作人员配置情况见表1.8-1。

表 1.8-1 项目辐射工作人员配备及岗位设置情况表

项目名称	环节	单次所需人数	姓名	备注
------	----	--------	----	----

⁶⁸ Ga淋洗制备、质控、分装	遥控操作	1（核医学物理师、化学师）	杨鸿宇、何正中、李宁、廖光星、李峰		轮流值班
	取药、院内转运	1（核医学物理师、化学师）	杨鸿宇、何正中、李宁、廖光星、李峰		轮流值班
PET/CT影像诊断	注射	1（护士）	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸		轮流值班
	摆位	1（技师）	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权涅		轮流值班
	隔室操作	1（技师）	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权涅		轮流值班
	影像诊断（隔室）	1（医生）	审核	廖海、肖国有、杨志、韦琳琳、柴华	轮流值班
		1（医生）	写片	甘美舍、仇冰清、蒲维维、刘子雅、张实来、丘文明、舒麟凯、孙博	轮流值班
¹²⁵ I粒子植入治疗	¹²⁵ I粒子接收	1（核医学物理师、化学师）	杨鸿宇、何正中、李宁、廖光星、李峰		轮流值班
	¹²⁵ I粒子质控、消毒、装入插植器	1（核医学物理师、化学师）	杨鸿宇、何正中、李宁、廖光星、李峰		轮流值班
	¹²⁵ I粒子院内转运	1（技师）	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权涅		轮流值班
	¹²⁵ I粒子植入	1（医生）	穿刺	廖海、肖国有、杨志、甘美舍	轮流值班
		1（医生）	助手	韦琳琳、柴华、仇冰清、蒲维维、刘子雅、张实来、丘文明、舒麟凯、孙博	轮流值班
		1（护士）	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸		轮流值班
	PET/CT隔室操作	1（技师）	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权涅		轮流值班
	患者转运	1（护士）	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸		轮流值班
	患者护理	1（护士）	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸		轮流值班
	甲测	1（技师）	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权涅		轮流值班
甲癌、甲亢治疗	¹³¹ I药物接收	1（医生、技师、护士、物理师、化学师）	廖海、肖国有、杨志、韦琳琳、柴华、杨鸿宇、何正中、李宁、廖光星、李峰等辐射工作人员共28人		轮流值班
	药物分装、给药	1（医生）	廖海、肖国有、杨志、韦琳琳、柴华、甘美舍、仇冰清、蒲维维、刘子雅、张实来、丘文明、舒麟凯、孙博		轮流值班
	甲癌患者护理	1（护理）	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸		轮流值班
	甲癌患者护理	1（护理）	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸		轮流值班
前列腺治疗（ ¹⁷⁷ Lu注射）	药物接收	1（核医学物理师、化学师）	杨鸿宇、何正中、李宁、廖光星、李峰		轮流值班
	抽药、注射	1（护理）	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸		轮流值班

	患者护理	1（护理）	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸	轮流值班
前列腺治疗（ ^{225}Ac 、 ^{211}At 注射）、骨转移瘤治疗（ ^{223}Ra 注射）	药物接收	1（（核医学物理师、化学师））	杨鸿宇、何正中、李宁、廖光星、李峰	轮流值班
	抽药、注射	1（护理）	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸	轮流值班
^{90}Sr （ ^{90}Y ）敷贴治疗	操作	1（技师）	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权涅	轮流值班

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	⁶⁸ Ga	4.63×10 ⁷ ×2 枚	V	使用	刻度/校准源	101 号楼一楼 PET/CT 中心 PET/CT 机房	102 号楼衰变室	原有
2	⁶⁸ Ga	9.25×10 ⁷ ×1 枚	V	使用	刻度/校准源	101 号楼一楼 PET/CT 中心 PET/CT 机房	101 号楼一楼 PET/CT 机头内	原有
3	⁹⁰ Sr (⁹⁰ Y)	1.48×10 ⁸ ×1 枚	V	使用	敷贴治疗	102 号楼一楼敷贴治疗室	102 号楼一楼核素治疗区敷 贴治疗室内铅保险箱暂存	新增

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种 类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作 量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方 式	使用场所	贮存方式与 地点	备注
1	¹⁸ F	液态，半衰期 109.8min，低毒	生产、 使用	9.25×10 ¹⁰	9.25×10 ⁷	2.31×10 ¹³	PET/CT 显像诊 断	很简单 操作	101 号楼一 楼 PET/CT 中心	暂存于 101 号楼一楼合 成热室	原有
2	^{99m} Tc	液态，半衰期 6.02h，低毒	使用	1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ⁷	8.88×10 ¹¹	SPECT/CT 显 像诊断	很简单 操作	102 号楼一 楼 ECT 工作 区	暂存于 102 号楼一楼药 物配置及注 射室分装柜	原有
3	⁹⁹ Mo (^{99m} Tc)	液态，半衰期 65.94h，中毒	使用	1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ⁷	8.88×10 ¹¹	淋洗制备 ^{99m} Tc	很简单 操作	102 号楼一 楼 ECT 工作 区	暂存于 102 号楼一楼药 物配置及注 射室分装柜 的铅罐中	原有
4	⁶⁸ Ga (⁶⁸ Ga)	液态，半衰期 270.95d，中毒	贮存	2.96×10 ⁹	2.96×10 ⁶	2.96×10 ⁹	淋洗制备 ⁶⁸ Ga， 发生器一年一 换	贮存	101 号楼一 楼热室房间 南侧新增热 室	位于 101 号 楼一楼热室 房间的新增 热室中锗镓 发生器内部	新增

5	^{68}Ga	液态，半衰期68.3min，低毒	生产	2.96×10^9	2.96×10^6	2.96×10^{11}	PET/CT 显像诊断	很简单操作	101 号楼一楼热室房间东南侧新增热室	位于 101 号楼一楼热室房间的新增热室中	新增
			使用	7.4×10^8	7.4×10^6	7.4×10^{10}	PET/CT 显像诊断	很简单操作	101 号楼一楼注射室、PET/CT 机房	在含防护套的注射器中暂存于新增热室	新增
10	^{90}Y 微球注射液	液态，半衰期，2.67d，中毒	使用	1.2×10^{10}	1.2×10^8	1.2×10^{12}	肝癌治疗	很简单操作	102 号楼一楼药物配置及注射室	暂存于 109 号楼四楼介入科储源室	在建
				1×10^{10}	1×10^8	1×10^{12}			109 号楼四楼手术室2		
				5×10^9	5×10^7	5×10^{11}			103 号楼一楼粒籽病房 1		
				5×10^9	5×10^7	5×10^{11}			103 号楼一楼粒籽病房 2		
				5×10^9	5×10^7	5×10^{11}			103 号楼一楼粒籽病房 3		
11	^{125}I 粒子	固态，半衰期59.4d，中毒	使用	1.78×10^{10}	1.78×10^7	1.78×10^{12}	^{125}I 粒子植入治疗	很简单操作	101 号楼一楼 PET/CT 机房	暂存于 102 号楼一楼核素治疗区储源室保险箱中	新增
12	^{131}I	液态，半衰期8.02d，中毒	使用	2.22×10^{10}	2.22×10^9	5.55×10^{12}	甲亢、甲亢治疗（口服药）	简单操作	102 号楼一楼服药间	暂存于 102 号楼一楼核素治疗区储源室铅罐中	新增

13	^{177}Lu	液态，半衰期 6.73d，中毒	使用	7.40×10^9	7.40×10^8	3.70×10^{11}	前列腺癌治疗（注射）	简单操作	102号楼一楼服药间	暂存于 102 号楼一楼核素治疗区储源室铅罐中	新增
14	^{225}Ac	液态，半衰期 10.0d，极毒	使用	2.22×10^7	2.22×10^7	2.22×10^9	前列腺癌治疗（注射）	很简单操作	102号楼一楼服药间	暂存于 102 号楼一楼核素治疗区储源室塑料容器中	新增
15	^{211}At	液态，半衰期 7.22h，高毒	使用	1.00×10^9	1.00×10^8	1.00×10^{11}	前列腺癌治疗（注射）	很简单操作	102号楼一楼服药间	暂存于 102 号楼一楼核素治疗区储源室塑料容器中	新增
16	^{223}Ra	液态，半衰期 11.44d，极毒	使用	4.5×10^6	4.5×10^6	4.5×10^8	骨转移瘤治疗（注射）	很简单操作	102号楼一楼核素病房	暂存于 102 号楼一楼核素治疗区储源室塑料容器中	新增

注：1、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）；

2、本项目使用的 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 均为辐射影响很小的 α 放射性核素，且均为放射性药物供应单位提供的单只成品，医院不进行分装，药物从医院接收至使用前的整个过程中实际上是处于封闭状态的，因此其操作方式应为“很简单操作”。

表 4 射线装置

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	正电子发射及断层扫描系统 (PET/CT)	III	1	Discovery 710	140	715	PET/CT 显像诊断、 ^{125}I 粒子植入辅助设备	101 号楼一楼 PET/CT 机房	原有
2	数字化伽马照相机 (SPECT/CT)	III	1	Discovery VH	140	2.5	SPECT/CT 显像诊断	102 号楼一楼 SPECT/CT 机房	原有

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
废旧发生器	固态	^{68}Ge	/	/	5kg	/	/	更换后由发生器供应单位回收
废一次性手套	固态	^{68}Ga	/	0.167kg	2kg	/	废一次性手套收集后就近运至 101 号楼一楼现有固废间进行衰变。	暂存时间超过 30 天后，作为普通医疗废物处理。
剩余 ^{68}Ga 、废真空瓶（ ^{68}Ga 装在真空瓶内）	固态	^{68}Ga	/	1.667kg	20kg	/	剩余 ^{68}Ga 装回真空瓶中，先暂存于新增热室，暂存超过 24 小时后运至 101 号楼一楼现有固废间进行衰变。	在固废间暂存时间超过 30 天后，作为普通医疗废物处理。
废薄层板、废毛细管、吸水纸、废酒精棉球等	固态	^{68}Ga	/	0.833kg	10kg	/	收集至全检质控室衰变桶后运至 101 号楼一楼现有固废间进行衰变。	在固废间暂存时间超过 30 天后，作为普通医疗废物处理。
废针筒、废棉签、废一次性手套、可能沾染放射性核素的垃圾等	固态	^{68}Ga	/	5kg	60kg	/	放射性固废收集至各场所衰变桶后放置至 102 号楼一楼西侧楼梯间处衰变室衰变。	暂存时间超过 30 天后，作为普通医疗废物处理。
抽检的 ^{125}I 粒子	固态	^{125}I 粒子	/	0.058kg	0.7kg	/	装回原容器后暂存于储源室	由 ^{125}I 粒子供应单位回收
随植入患者尿液排出的废 ^{125}I 粒子	固态	^{125}I 粒子	/	/	/	/	立即回收粒子至粒籽病房卫生间内具有辐射防护功能的收集桶中	由 ^{125}I 粒子供应单位回收
废药瓶、废针筒、废棉签、废一次性手套、患者住院垃圾等	固态	^{177}Lu	/	6.667kg	80kg	/	放射性固废收集至各场所衰变桶后放置至 102 号楼一楼核素治疗区的固废间衰变。	暂存时间超过 68 天后，作为普通医疗废物处理。
废药瓶、废针筒、废棉签、废一次性手套等	固态	^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At	/	2.5kg	30kg	/	放射性固废收集至各场所衰变桶后放置至 102 号楼一楼核素治疗区的固废间衰变。	暂存时间超过 115 天后，作为普通医疗废物处理。
废药瓶、废一次性手套、甲测室垃圾、废一次性纸杯、甲癌患者住院垃圾、甲亢患者留	固态	^{131}I	/	89.75kg	1077kg	/	放射性固废收集至各场所衰变桶后放置至 102 号楼一楼核素治疗区的固废间衰变。	暂存时间超过 180 天后，作为普通医疗废物处理。

观垃圾等								
吸附放射性废气的废活性炭	固态	^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{131}I	/	8.333kg	100kg	/	各楼放射性废气排气系统固废运至该楼衰变室	含 ^{68}Ga 的废活性炭暂存时间应超过 30 天，含 ^{177}Lu 的废活性炭暂存时间应超过 68 天，含 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 的废活性炭暂存时间应超过 115 天，作为普通医疗废物处理。
废旧 ^{90}Sr (^{90}Y) 放射源	固态	^{90}Sr (^{90}Y)	/	/	5kg (仅在敷贴器报废当年产生)	/	暂存于配套铅保险箱内	交由放射源供应单位回收
废一次性手套、废吸水纸、废酒精棉球、破碎容器等事故应急处理垃圾	固态	^{68}Ga 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{131}I	/	/	1.5kg	/	PET/CT 中心产生的放射性固废运至同楼层固废间或 102 号楼一楼西侧废物间 (衰变室) 衰变；ECT 工作区产生放射性固废运至 102 号楼一楼西侧废物间 (衰变室) 衰变；核素治疗区产生放射性固废运至核素治疗区内固废间衰变	含 ^{68}Ga 的放射性固废暂存时间应超过 30 天，含 ^{177}Lu 的放射性固废暂存时间应超过 68 天，含 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 的放射性固废暂存时间应超过 115 天，作为普通医疗废物处理。
含放射性核素的废水	液态	^{90}Y (粒籽病房在建项目)、 ^{131}I 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{177}Lu	/	22.508m ³	270.100m ³	/	/	排至医院 102 号楼南侧新建衰变池处理，待储存超过 180 天后，排入医院污水处理站。
		^{18}F (PET/CT 现有项目)、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (ECT 工作区现有和在建项目)、 ^{90}Y (在建项目)、 ^{68}Ga	/	12.617m ³	151.400m ³	/	/	排至医院 101 号楼南侧现有衰变池处理，待衰变至 ^{90}Y 的放射性活度浓度不超过 1000Bq/g 后，排入医院污水处理站。

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（中华人民共和国主席令第九号，于 2014 年 4 月 24 日修订，自 2015 年 1 月 1 日起施行）；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修订版，2018 年 12 月 29 日起实施）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令第六号，2003 年发布，2003 年 10 月 1 日起施行）；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订版，2017 年 7 月 16 日发布实施）；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修改版，2019 年 3 月 2 日发布实施）；</p> <p>(6) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（国家发展改革委令第 7 号，2024 年 2 月 1 日施行）；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修改版，2021 年 1 月 4 日起实施）；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第 18 号，2011 年 4 月 18 日发布，2011 年 5 月 1 日起施行）。</p> <p>(9) 《关于发布<射线装置分类>的公告》（原环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 6 日施行）；</p> <p>(10) 《关于发布<放射源分类办法>的公告》（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日起施行）；</p> <p>(11) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（中华人民共和国生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）。</p> <p>(12) 《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），2006 年 9 月 26 日，国家环保总局。</p> <p>(13) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4 号），2017 年 11 月 20 日；</p> <p>(14) 关于发布《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》的公告（生态环境部公告 2018 年第 9 号，2018 年 5 月 15 日）。</p>
------	---

	<p>(15) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ 1326—2023) (中华人民共和国生态环境部, 2024 年 2 月 1 日起施行)。</p>
技术标准	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016);</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</p> <p>(3) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020);</p> <p>(4) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020);</p> <p>(5) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021);</p> <p>(6) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021);</p> <p>(7) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019);</p> <p>(8) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002);</p> <p>(9) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)。</p>
其他	<p>附件 1 环评委托书</p> <p>附件 2 《广西壮族自治区环境保护厅关于广西壮族自治区肿瘤医院 2014 年核医学科改扩建放射药品生产及使用核技术应用项目环境影响报告表的批复》(广西壮族自治区环境保护厅, 桂环审〔2014〕200 号, 2014 年 11 月 10 日)</p> <p>附件 3 《广西壮族自治区环境保护厅关于广西壮族自治区肿瘤医院 2016 年新建核医学科回旋加速器生产放射性同位素核技术应用项目环境影响报告表的批复》(广西壮族自治区环境保护厅, 桂环审〔2016〕107 号, 2016 年 8 月 30 日)</p> <p>附件 4 南宁市政务服务中心关于广西医科大学附属肿瘤医院钇[90Y]微球注射液建设项目环境影响报告表的批复(南宁市政务服务中心, 南政务(生态)环审〔2025〕14 号, 2025 年 2 月 10 日)</p> <p>附件 5 自治区环境保护厅关于广西壮族自治区肿瘤医院迁建核医学科放射药品核技术应用项目环境影响报告表的批复 (广西壮族自治区环境保护厅, 桂环审〔2012〕203 号, 2012 年 9 月 24 日)</p> <p>附件 6 广西壮族自治区环境保护厅关于广西壮族自治区肿瘤医院核医学科 2016 年新建核医学科回旋加速器生产放射性同位素项目(第一阶段)建设项目竣工环境保护验收申请的批复 (广西壮族自治区环境保护厅, 桂环函〔2017〕194 号, 2017 年 11 月 15 日)</p>

	<p>附件 7 广西壮族自治区环境保护厅关于广西壮族自治区肿瘤医院迁建核医学科放射药品应用等项目竣工环境保护验收申请的批复（广西壮族自治区环境保护厅，桂环验〔2014〕71 号，2014 年 7 月 17 日）</p> <p>附件 8 辐射安全许可证</p> <p>附件 9 辐射安全与防护管理机构</p> <p>附件 10 辐射事故应急预案</p> <p>附件 11 广西医科大学附属肿瘤医院个人剂量检测报告（摘录）</p> <p>附件 12 广西医科大学附属肿瘤医院 2024 年度核技术应用项目场所辐射环境监测（摘录）</p> <p>附件 13 广西医科大学附属肿瘤医院改建核医学治疗场所应用项目环境现状监测报告</p> <p>附件 14 广西医科大学附属肿瘤医院核医学科扩建建设项目环境现状监测报告</p> <p>附件 15 项目备案证明</p> <p>附件 16 广西辐卫安环保科技有限公司检定证书</p> <p>附件 17 广西居里安检测技术有限公司检定证书</p> <p>附件 18 广西壮族自治区肿瘤医院 2014 年核医学科改扩建放射药品生产及使用项目竣工环境保护验收组验收意见</p> <p>附件 19 广西壮族自治区肿瘤医院 2016 年新建核医学科回旋加速器生产放射性同位素项目（终验）竣工环境保护验收组验收意见</p> <p>附件 20 广西医科大学附属肿瘤医院核医学科放射性衰变池废水排放记录（2023.12.18~2025.09.28）</p>
--	---

表 7 保护目标与评价标准

7.1.评价范围

根据本项目的特点，结合《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）的相关规定：“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”。

本项目核技术利用类型为使用 V 类放射源、使用乙级非密封放射性物质工作场所、使用 III 类射线装置，因此本次评价范围为本项目工作场所 101 号楼一楼 PET/CT 中心、102 号楼一楼 ECT 工作区和核素治疗区、103 号楼一楼粒籽病房实体屏蔽边界外 50m 的区域，本项目工作场所 50m 评价范围内环境状况具体详见前文表 1.6-1、表 1.6-2、图 1.6-2。

7.2.环境保护目标

本项目保护目标为评价范围内活动的职业人员和公众成员。其中，职业人员指利用本项目放射性药物进行放射治疗工作的辐射工作人员，公众成员为评价范围内的非本项目医护人员、其他就诊患者及偶然经过的其他公众成员。本项目评价范围内保护目标详见表 7.2-1 和图 7.2-1。

表 7.2-1 项目环境保护目标一览表

保护对象		规模（人）	方位、距离	年剂量管理约束值
职业人员	淋洗生成 ^{68}Ga 、开展 PET/CT 显像诊断项目的核医学科辐射工作人员	28	PET/CT 中心内	5mSv
	开展甲癌、甲亢治疗项目的核医学科辐射工作人员	28	核素治疗区内、ECT 工作区内	
	开展前列腺治疗（ ^{177}Lu 注射）项目的核医学科辐射工作人员	9	核素治疗区内	
	开展前列腺治疗（ ^{225}Ac 、 ^{211}At 注射）项目、骨转移瘤治疗（ ^{223}Ra 注射）项目的核医学科辐射工作人员	9	核素治疗区内	
	^{90}Sr （ ^{90}Y ）敷贴治疗项目的核医学科辐射工作人员	6	核素治疗区内	
	开展 ^{125}I 粒子植入治疗项目的核医学科辐射工作人员	28	PET/CT 中心、核素治疗区、粒籽病房内	
公众成员	101 号楼一楼内与本项目无关的医护人员、患者及其家属	20~80	PET/CT 中心内及其北侧、西侧	0.1mSv

101 号楼二楼门诊部大厅、门前露天停车场、收费处停留人员	100~200	PET/CT 中心上方
102 号楼一楼内与本项目无关的医护人员、患者及其家属	100~200	PET/CT 中心东侧紧邻
102 号楼二楼双人病房（已搬空，计划改造为预约登记处等就诊前期相关手续办理场所）停留人员	50~100	ECT 工作区、核素治疗区上方
103 号楼一楼粒籽病房内 ^{90}Y 微球注射治疗项目的医护人员、患者	2~8	^{90}Y 微球注射患者留观的粒籽病房内
103 号一楼粒籽病房外区域与本项目无关的医护人员、患者及其家属	20~50	粒籽病房北侧、南侧、西侧
103 号楼二楼放疗病房内医护人员、患者及其家属	100~200	粒籽病房上方
105 号楼一楼内与本项目无关的医护人员、患者及其家属	100~200	PET/CT 中心东北侧 19m
106 号楼一楼内与本项目无关的医护人员、患者及其家属	100~200	PET/CT 中心北侧 19m
107 号楼一楼内与本项目无关的医护人员、患者及其家属	100~200	PET/CT 中心西北侧 19m
108 号楼一楼内与本项目无关的医护人员、患者及其家属	30~80	PET/CT 中心西侧 35m
109 号楼一楼内与本项目无关的医护人员、患者及其家属	50~100	PET/CT 中心西侧 15m
110 号楼一楼内与本项目无关的医护人员、患者及其家属	50~100	PET/CT 中心东北侧 36m
广西医科大学第一附属医院 7 号楼一楼内与本项目无关的医护人员、患者及其家属	3~5	PET/CT 中心西北侧 40m
广西医科大学第一附属医院 16 号楼一楼内与本项目无关的医护人员、患者及其家属	3~5	PET/CT 中心北侧 44m
广西医科大学第一附属医院东盟楼一楼内与本项目无关的医护人员、患者及其家属	200~300	核素治疗区东侧 33m
广西医科大学第一附属医院 1 号楼一楼内与本项目无关的医护人员、患者及其家属	30~50	粒籽病房东北侧 24m
医院内室外通道、医院外的流动人员	若干	PET/CT 中心、ECT 工作区、核素治疗区、粒籽病房边界外 50m 范围内

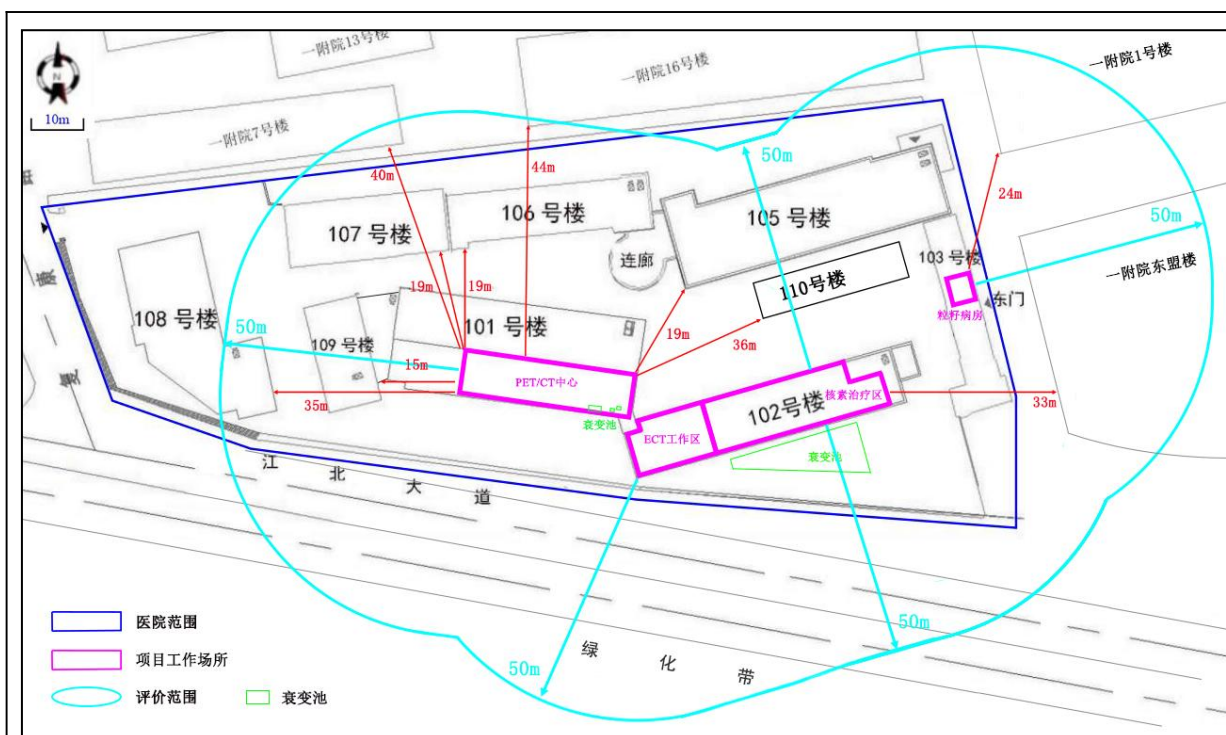


图7.2-1 项目与评价范围内保护目标距离示意图

7.3.评价标准

7.3.1.年有效剂量限值及年剂量管理约束值要求

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

4.3.2.1 关于剂量限制的规定：应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准6.2.2规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录B（标准的附录B）中规定的相应剂量限值，不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

- a) 由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；
- b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；
- c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；
- d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

B1.2 关于公众照射剂量限值的规定，实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

- a) 年有效剂量，1mSv；

b) 特殊情况下, 如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv, 则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv;

c) 眼晶体的年当量剂量, 15mSv;

d) 皮肤的年当量剂量, 50mSv。

《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021):

4.4.2 剂量约束值的要求:

4.4.2.1 一般情况下, 职业照射的剂量约束值不超过5mSv/a;

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a。

综上确定本次评价项目年剂量管理约束值要求为职业照射不超过5mSv/a, 公众照射不超过0.1mSv/a。

7.3.2.辐射工作场所的分级

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002):

附录 C 中对非密封源工作场所分级原则及计算方法规定如下:

(1) 非密封源工作场所分级原则

表 7.3-1 非密封源工作场所的分级

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

(2) 放射性核素的日等效操作量的计算

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性组别修正因子}}{\text{操作方式有关的修正因子}}$$

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

表 7.3-2 放射性核素毒性组别修正因子

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

《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021):

附录 A 核医学常用放射性核素的毒性与操作方式修正因子

附录 A 表 A.1 给出了核医学常用放射性核素毒性组别修正因子（详见表 7.3-3），表 A.2 给出了核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子（详见表 7.3-4）。

表 7.3-3 核医学常用放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	常用核素名称	毒性组别修正因子
高毒	^{90}Sr	1
中毒	^{22}Na 、 ^{32}P 、 ^{63}Ni 、 ^{67}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{90}Y 、 ^{99}Mo 、 ^{111}In 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{153}Sm	0.1
低毒	^3H 、 ^{11}C 、 ^{11}CO 、 $^{11}\text{CO}_2$ 、 ^{14}CO 、 $^{14}\text{CO}_2$ 、 ^{18}F 、 ^{51}Cr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{111\text{m}}\text{In}$ 、 ^{123}I 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe 、 ^{201}Tl	0.01

表 7.3-4 核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子

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

7.3.3.工作场所辐射剂量率控制水平

《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

6.2 X 射线设备机房屏蔽

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

表 7.3-5 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	铅当量 mm
CT 机房（不含头颅移动 CT）	2.5

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足上表的要求。

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）：

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，宜不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ；同时在该场所及周围的公众和放射医护人员应满足个人剂

量限值要求。

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

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

根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号），本条规定的具体含义为：1、控制区内医护人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ），周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。2、控制区内医护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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

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

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

本次评价根据以上 GBZ120-2020、HJ1188-2021 及辐射函〔2023〕20 号文件，选择相对较小的控制水平作为本项目核医学辐射工作场所防护设计的控制水平：在核医学控制区外人员可达处距屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ；放射性药物合成和分装的箱体、注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面 5cm 的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ；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外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

7.3.4.非密封放射性物质工作表面沾污控制

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

6.2.3 职业人员体表、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 GB18871-2002 附录 B 中表 B11 所规定的限制要求。工作场所的表面污染控制水平详见表 7.3-6。

表 7.3-6 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位：Bq/cm²

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

注：1) 该区内的污染子区除外。

附录 B2.2 工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 B11 中所列设备类的控制水平的五分之一以下时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

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

7.3.5.放射源贮源箱表面辐射剂量率控制水平

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）：

12.3 敷贴器贮源箱的放射防护要求

12.3.3 距离贮源箱表面 5cm 和 100cm 处因泄漏辐射所致的周围剂量当量率分别不应超过 10 μSv/h 和 1 μSv/h。

7.3.6.放射性“三废”的管理要求

7.3.6.1.放射性固体废物管理要求

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20kg。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。

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm²、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：

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的

10 倍；

c) 含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天。

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于4Bq/cm²、其他 α 发射体应小于0.4Bq/cm²。

本次评价放射性固废控制要求为：放射性废物每袋重量不超过20kg。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；含⁶⁸Ga ($T_{1/2}=68.3\text{min}$)的放射性固废暂存时间应超过30天，含¹⁷⁷Lu ($T_{1/2}=6.73\text{d}$)的放射性固废暂存时间应超过68天，含²²⁵Ac ($T_{1/2}=10.0\text{d}$)、²¹¹At ($T_{1/2}=7.22\text{d}$)、²²³Ra ($T_{1/2}=11.44\text{d}$)的放射性固废暂存时间应超过115天，含¹³¹I的放射性固废暂存时间应超过180天，放射性固废在满足暂存时间要求后经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于0.08Bq/cm²、 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。

7.3.6.2.放射性废液管理要求

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

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

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

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

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

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

的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

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

根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）中的要求：

一、关于槽式衰变池中含碘-131放射性废水排放含碘-131放射性废水可按照下列任意一种方式进行排放：

（一）根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第8.6.2条规定，经监管部门确认单次排入普通下水道的废水中碘-131活度不超过1ALImin（9E+5贝可），每月排放的废水中碘-131总活度不超过10ALImin（9E+6贝可）。

（二）暂存180天后，衰变池废水可以直接排放。

（三）暂存不满180天但监测结果表明碘-131活度浓度已降至不高于10贝可/升水平，也可直接排放。

医院应做好相关排放记录。

根据本项目放射性废水排放情况（见表9.2-3），结合《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》（HJ1188-2021）和《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号），确定本次评价放射性废水控制要求为：PET/CT中心衰变池属于槽式衰变池，该衰变池中的放射性废水（含¹⁸F、^{99m}Tc、⁹⁰Y、⁶⁸Ga）暂存时间应超过30天后直接排放至医院污水处理站处理，或监测结果经审管部门认可，放射性废液总排放口总α不大于1Bq/L、总β不大于10Bq/L后也可排至医院污水处理站处理；核素治疗区南侧衰变池属于槽式衰变池，该衰变池中的放射性废水（含¹⁷⁷Lu、²²⁵Ac、²¹¹At、²²³Ra、¹³¹I、⁹⁰Y）暂存时间超过180天后直接排放至医院污水处理站处理，或监测结果经审管部门认可，放射性废液总排放口总α不大于1Bq/L、总β不大于10Bq/L、碘-131的放射性活度浓度不大于10Bq/L后也可排至医院污水处理站处理。

7.3.6.3.放射性废气管理要求

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

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

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

7.3.7.放射防护措施要求

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）：

6 操作中的放射防护要求

6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备

6.1.1 个人防护用品及去污用品

开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为医护人员配备合适的防护用品和去污用品（见附录 K），其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。当使用的 ^{99m}Tc 活度大于 800MBq 时，防护用品的铅当量应不小于 0.5mmPb，个人防护用品及去污用品具体配置见附录 K；对操作 ^{68}Ga 、 ^{18}F 等正电子放射性药物和 ^{131}I 的场所，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。

6.1.2 辅助用品根据工作内容及实际需要，合理选择使用移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、分装柜或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品。防护通风柜的典型屏蔽厚度参见附录 I。

《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X 射线设备机房布局

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

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

6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求。

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

表 7.3-7 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

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

6.4 X 射线设备工作场所防护

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

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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

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

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

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

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4（本报告中表 7.3-9）基本种类要求的医护人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

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

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

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 7.3-8 介入放射学操作个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	医护人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套	/

	选配：铅橡胶帽子	选配：移动铅防护屏风	选配：铅橡胶帽子	
注 1：“/”表示不做要求。 注 2:各类个人防护用品和辅助防护设施,指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品,特别是非铅介入防护手套。				

表 8 环境质量和辐射现状

8.1.项目地理位置和场所位置

广西医科大学附属肿瘤医院位于南宁市河堤路71号，本项目工作场所包括101号楼一楼PET/CT中心、102号楼一楼ECT工作区和核素治疗区、103号楼粒籽病房，其中PET/CT中心、ECT工作区为现有辐射工作场所，已开展辐射相关工作；核素治疗区原为工作人员办公室，粒籽病房原为一般患者住院病房，目前均未开展辐射相关工作。

医院地理位置图见图1.6-1，医院总平面布置图及项目位置见图1.6-2~图1.6-7。

8.2.环境现状评价的对象

环境现状评价的对象分为两部分，一部分是现有核技术利用项目的工作场所辐射监测，另一部分是在建项目和本项目场所及周围辐射环境。

8.3.环境现状辐射监测

8.3.1.现有项目环境辐射监测

本项目涉及的现有辐射工作场所为101号楼一楼PET/CT中心、ECT工作区，粒籽病房为在建项目，未开展核技术利用项目，未纳入医院现有辐射安全许可证许可项目中，其环境辐射现状见本章节8.3.2。根据医院最新的辐射安全许可证（见附件8）许可项目，PET/CT中心、ECT工作区现有核技术利用项目见表8.3-1。

表 8.3-1 PET/CT 中心、ECT 工作区现有核技术利用项目

密封放射源应用项目						
序号	辐射活动场所名称	核素	单枚放射源活度 (Bq)	枚数	类别	状态
1	101 号楼一楼	^{68}Ge	4.63E+7	2	V类	使用
2	PET/CT 中心	^{68}Ge	9.25E+7	1	V类	使用
非密封放射性物质工作场所						
序号	辐射活动场所名称	核素	日等效最大操作 量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	类别	状态
1	101 号楼一楼 PET/CT 中心	^{11}C	3.70E+6	1.15E+12	乙级	生产、使用
2		^{13}N	3.70E+6	1.15E+12		
3		^{18}F	9.25E+7	2.31E+13		
4	102 号楼一楼核医 学科 ECT 室	^{32}P	7.4E+8	7.40E+10	乙级	使用
5		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.85E+7	8.88E+11		
6		^{89}Sr	1.85E+8	3.70E+10		
7		^{131}I	1.85E+9	2.22E+11		
8		^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	1.85E+7	8.88E+11		
射线装置						
序号	辐射活动场所名称	装置名称	技术参数(最大)	数量	类别	状态
1	101 号楼一楼 PET/CT 中心	正电子发射及断层 扫描系统 (PET/CT)	140kV/715mA	1	III	使用
2	102 号楼一楼核医	数字化伽马照相机	140kV/2.5mA	1	III	使用

	学科 ECT 室	(SPECT/CT)				
--	----------	------------	--	--	--	--

根据上表中PET/CT中心现有的核技术利用项目可知，PET/CT运行会产生X射线，放射源会产生 γ 射线、 β 射线，放射性核素药物会产生 γ 射线、 β 射线、 β 表面污染。本环评需了解现有项目运行时其工作场所及其周边辐射剂量率、 β 表面污染是否符合相关标准。PET/CT中心生产、使用的各项核素中 ^{18}F 用量远大于 ^{11}C 、 ^{13}N 用量且 ^{11}C 、 ^{13}N 标记物生产和诊断项目从2024年至今未开展，因此以 ^{18}F 为表征说明PET/CT中心运行时的环境辐射是否达标。

ECT工作区内许可的核技术利用项目包括 ^{32}P 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 、 ^{99}Mo （ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）的使用，其中 ^{131}I 应用项目实际已多年未开展，医院计划不再在ECT工作区内开展甲亢治疗项目，仅在本项目建成后利用SPECT/CT对出院后复诊的甲癌患者开展碘扫。 ^{32}P 、 ^{89}Sr 治疗肿瘤项目从2024年至今均未开展。此外， ^{90}Y 微球注射液建设项目需利用ECT工作区药物配置及注射室储存、分装 ^{90}Y 微球注射液。 ^{90}Y 微球注射液建设项目的使用虽已纳入医院辐射安全许可证中，但该项目仍在建设当中，目前未正式开展。因此以 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为表征说明ECT工作区运行时环境辐射是否达标。

本环评引用广西医科大学辐射肿瘤医院委托广西壮族自治区辐射环境监督管理站于2024年12月4日~12月5日对医院开展的2024年度核技术应用项目场所辐射环境监测的部分监测数据对PET/CT中心环境辐射现状进行评价，监测报告文号为桂辐（委托）字[2024]第346号。该监测开展之日至今，PET/CT中心、ECT工作区均未新增放射源、放射性核素和射线装置，现有放射源、放射性核素和射线装置利用情况不变，因此引用该监测报告可行。

此外，委托广西辐卫安环保科技有限公司于2025年4月11日补充监测PET/CT中心衰变池辐射现状。

8.3.1.1.引用监测

（1）监测仪器、监测依据

本环评引用的监测数据所使用的监测仪器和监测依据见表8.3-2~表8.3-4。

表 8.3-2 本项目引用数据所使用的监测仪器和监测依据（1）

监测项目	X- γ 辐射剂量率
仪器名称	X- γ 辐射剂量率仪
仪器型号	FH40G-X+FHZ672E-10
出厂编号	031562+11311
生产厂家	Thermo公司
能量响应	40keV~4.4MeV
量程	1nSv/h~100 μ Sv/h
检定/校准证书及发布日期	检定证书编号：DLj12024-05445（中国计量科学研究院），检定日期2024年5月11日有效期至2025年5月10日。

监测依据	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。	
表 8.3-3 本项目引用数据所使用的监测仪器和监测依据（2）		
监测项目	X- γ 辐射剂量率	
仪器名称	X- γ 辐射剂量率仪	
仪器型号	AT1123	
出厂编号	56391	57509
生产厂家	ATOMTEX公司	ATOMTEX公司
能量响应	15keV~10MeV	15keV~10MeV
量程	50nSv/h~10Sv/h	50nSv/h~10Sv/h
检定/校准证书及发布日期	检定证书编号： 2024H21-20-5340070002（上海市计量测试技术研究院/华东国家计量测试中心），有效期：2024年7月2日~2025年7月1日。	检定证书编号： 2024H21-20-5461403006（上海市计量测试技术研究院/华东国家计量测试中心），有效期：2024年8月29日~2025年8月28日。
监测依据	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。	
表 8.3-4 本项目引用数据所使用的监测仪器和监测依据（3）		
监测项目	β 表面污染	
仪器名称	β 表面污染测量仪	
仪器型号	CoMo-170	
出厂编号	9199	
生产厂家	SEA公司	
探测效率	α 探测效率 $\geq 18\%$ （ ^{241}Am 源），探测范围0~2500cps； β 探测效率 $\geq 23\%$ （ ^{60}Co 源），探测范围0~20000cps。	
检定/校准证书及发布日期	证书编号：DLhd2024-05354（中国计量科学研究院），有效期2024年9月4日~2025年9月3日。	
监测依据	《表面污染测定 第1部分： β 发射体（ $E_{\text{pmax}} > 0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》GB/T14056.1-2008）。	
(2) 质量保证措施		
①监测人员经考核合格并持有合格证书上岗		
②监测前制定监测方案，合理布设监测点位，选择监测点位时充分考虑使监测结果具有代表性，以保证监测结果的科学性和可比性；		
③监测所用仪器经国家法定计量检定部门检定合格，每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；		
④经常参加上级技术部门及同类单位组织的仪器比对；通过仪器的期间核查或绘制质量控制图等质控手段保证仪器设备的正常运行；		
⑤监测实行全过程的质量控制，严格按照监测单位《质量手册》和《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定实行；		
⑥包括异常数据在内的所有监测结果按统计学要求进行处理；		
⑦建立完整的现状监测资料档案，资料内容包括仪器的校准说明书、监测方案、监测布点图、测量原始数据、统计处理程序及结果等，以备复查；		

⑧监测报告严格按相关技术规范编制，报告编制人需为持监测上岗合格证人员、监测报告经由授权签字人审核，最后授权签字人签发，报告审核与签发人不能为同一人。

(3) 监测结果

引用监测结果见,表8.3-5~表8.3-8:

表 8.3-5 青秀院区 ^{18}F 标记物合成到注射等过程中周围环境辐射剂量率监测结果

序号	状态	点位描述	γ 辐射剂量率（单位： nSv/h）	备注
1	合成状态	合成柜上联外30cm	110	合成1.23Ci 药品
2		合成柜铅玻璃观察窗表面5cm	500	
3		合成柜下联外30cm	120	
4		热室操作位	79.5	
5		合成柜上联表面5cm	105	
6	贮存状态	分装柜下联表面5cm	251	1.23Ci药品贮存于分装柜
7		分装柜下联外30cm	225	
8	分装过程	分装柜上联前方30cm	307	分装柜内自动分装出 6.86mCi药品
9		分装柜铅玻璃观察窗表面5cm	278	
10		医生腹部位置	209	
11		分装柜上联侧30cm	229	
12	药品转移	转移铅罐表面5cm	1.88×10^4	转移6.86mCi
13		距转移铅罐30cm	1.29×10^4	
14		距转移铅罐1m	2.72×10^3	
15		转移窗口防护门表面5cm	1.77×10^3	
16		转移窗口防护门外30cm	644	
17	质控过程	硅胶板表面5cm	2.67×10^3	/
18		分装柜前方30cm	79.7	/
19		分装柜侧面30cm	79.4	/
20	固体废物	固体废物桶侧面5cm	138	合成热室
21		固体废物桶侧面30cm	81.6	
22		固体废物桶上表面5cm	144	
23		固体废物桶上方30cm	77.5	
合成区域环境本底			74.9	/
24	注射过程	医生腹部位置	210	注射6.86mCi 药品
25		注射台上方铅玻璃观察窗外30cm	1.44×10^3	
26		注射室北侧墙外30cm（通过间）	1.05×10^3	
27		病人通道入口防护门外30cm	397	
28		病人通道入口防护门外1m	265	
29	注射后候诊	注射后休息室防护门外30cm	75.4	注射6.86mCi 药品的病人候诊
30		注射后休息室墙外30cm（卫生间）	1.26×10^3	
31		注射后休息室墙外30cm（病人通道）	126	
32		注射后休息室墙外30cm（PET/CT问诊室）	246	
33		注射后休息室墙外30cm（PET/CT检查室）	454	
34		注射后休息室上方（大厅）	83.5	
35	PET/CT扫描过程	控制室出入机房防护门左缝	92.2	扫描过程（病人注射 6.86mCi）， PET/CT正常
36		控制室出入机房防护门右缝	92.7	
37		控制室出入机房防护门外30cm	91.2	
38		控制室铅玻璃观察窗左缝	170	

39	控制室铅玻璃观察窗右缝	276	开机运行 (120kV)。
40	控制室铅玻璃观察窗外30cm	199	
41	控制室操作位	92.0	
42	机房北侧墙外30cm（PET/CT）操作	92.2	
43	受检人员出入机房防护门左缝	92.0	
44	受检人员出入机房防护门右缝	91.6	
45	受检人员出入机房防护门外30cm	91.1	
46	机房西侧墙外30cm（卫生间）	91.9	
47	机房南侧墙外30cm（病人通道）	92.1	
48	机房东侧墙外30cm（观留区）	92.1	
49	PET/CT中心病人通道出口防护门外 30cm	91.4	
50	机房上方（大厅）	91.3	
区域环境本底		91.0	

表 8.3-6 青秀院区核医学科使用 ^{99m}Tc 开展 SPECT 检查项目应用场所辐射剂量率监测结果

序号	状态	点位	γ 辐射剂量率（单位：nSv/h）	备注
1	贮存	分装柜右联正面外30cm	96.1	贮存400mCi药品
2		分装柜右联西侧外30cm	96.1	
3		分装柜右联铅玻璃观察窗表面外30cm	96.3	
4		分装柜右联腹部位置	96.0	
5		分装室东侧墙外30cm（SPECT/CT机房）	96.0	
6	分装过程	分装柜右联腹部位置	96.0	分装25mCi裸放
7		分装柜右联西侧外30cm	96.1	
8		分装柜右联铅玻璃观察窗表面外30cm	96.1	
9		分装柜右联正面外30cm	96.0	
10		分装室东侧墙外30cm（SPECT/CT机房）	96.2	
11	转移	转移防护套表面5cm	96.2	转移25mCi药品
12		转移防护套外30cm	96.4	
13	注射	床边注射车铅玻璃观察窗表面外30cm	497	注射25mCi药品
14		床边注射车腹部位置外30cm	1.2×10 ³	
15	扫描	控制室出入机房防护门外30cm	95.1	病人注射25mCi药品后扫描，SPECT正常开机运行（120kV）。
16		控制室铅玻璃观察窗外30cm	94.2	
17		控制室操作位	95.0	
18		病人出入机房防护门外30cm	93.7	
19		注射室出入机房防护门外30cm	94.8	
20		机房墙外30cm（控制室）	95.1	
21		机房墙外30cm（候诊通道）	93.8	
22		机房正上方	93.9	
23		候诊通道东侧防护门外30cm（注射盐水操作位）	93.9	
24	固体废物桶	固体废物桶上30cm	106	/
25		固体废物桶侧面外30cm	95.4	
区域环境本底			93.0	/

表 8.3-7 青秀院区核医学科 PET/CT 中心业务用房 β 表面污染监测结果

序号	点位	β 表面污染 (Bq/cm ²)
1	热室中央地面	<0.10
2	注射室内中夹地面	<0.10
3	注射台表面	<0.10

4	病人通道地面	<0.10
5	PET/CT扫描室地面	<0.10
6	PET/CT控制室地面	<0.10

注：本次测量污染源效率依据《表面污染测定 第1部分：β发射体($E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$)和α发射体》(GB/T14056.1-2008)保守取0.5，测量最低探测限为0.10Bq/cm²。

表 8.3-8 青秀院区核医学科 ECT 工作区业务用房 β 表面污染监测结果

序号	点位	β 表面污染 (Bq/cm ²)
1	分装室地面	<0.11
2	分装室内洗手池表面	<0.11
3	SPECT检查室地面	<0.11
4	注射车台面	<0.11
5	SPECT控制室地面	<0.11
6	SPECT检查候诊室地面	<0.11
7	病人通道地面	<0.11
8	医生办公室地面	<0.11
9	登记室地面	<0.11

注：本次测量污染源效率依据《表面污染测定 第1部分：β发射体($E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$)和α发射体》(GB/T14056.1-2008)保守取0.5，测量最低探测限为0.11Bq/cm²。

(3) 监测结果分析

①PET/CT中心

根据表8.3-5中监测数据可知，注射室、注射后休息室、PET/CT机房等房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率均小于2.5 μ Sv/h，符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5 μ Sv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于10 μ Sv/h”的要求；¹⁸F合成柜、分装柜等设备外表面30cm处人员操作位、非正对人员操作位表面的周围剂量当量率均小于2.5 μ Sv/h，符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中“放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于2.5 μ Sv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于25 μ Sv/h”的要求；热室房间内固体废物桶外表面30cm处的周围剂量当量率小于2.5 μ Sv/h，符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中“固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施,以保证其外表面30cm处的周围剂量当量率小于2.5 μ Sv/h”的要求。

根据表8.3-7中监测数据可知，热室、注射室、注射台、病人通道、PET/CT扫描室和控制室地面的β表面污染均<0.10Bq/cm²，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中“核医学科应用场所各监测点β表面污染控制：控制区40Bq/cm²，

监督区 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ”的要求。

②ECT工作区

根据表8.3-6中监测数据可知，SPECT/CT机房防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率均小于 $2.5\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于 $2.5\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ ”的要求； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装柜外表面30cm处人员操作位、非正对人员操作位表面的周围剂量当量率均小于 $2.5\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ ”的要求；ECT工作区固体废物桶外表面30cm处的周围剂量当量率小于 $2.5\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ ，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施,以保证其外表面30cm处的周围剂量当量率小于 $2.5\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ ”的要求。

根据表8.3-8中监测数据可知，分装室及其室内洗手池、注射车、SPECT检查候诊室、SPECT检查室和控制室、病人通道、医生办公室、登记室地面的 β 表面污染均 $<0.11\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“核医学科应用场所各监测点 β 表面污染控制：控制区 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，监督区 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ”的要求。

综上所述，本项目涉及的PET/CT中心、ECT工作区等现有工作场所正常开展现有核技术利用项目时，场所及其周边辐射剂量率符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求， β 表面污染符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中相关要求。

8.3.1.2.补充监测

（1）监测布点

PET/CT中心衰变池补充监测点设置情况如表8.3-9，监测布点图见图8.3-1。

表 8.3-9 PET/CT 中心衰变池补充监测点设置情况

序号	监测点位	监测因子	监测频次
γ_1	一级衰变池上方 30cm	γ 辐射空气吸收剂量率	监测一次
γ_2	二级衰变池上方 30cm		
γ_3	三级衰变池侧面 30cm		
γ_4	三级衰变池旁过道		
γ_5	放射性废水输送管道		

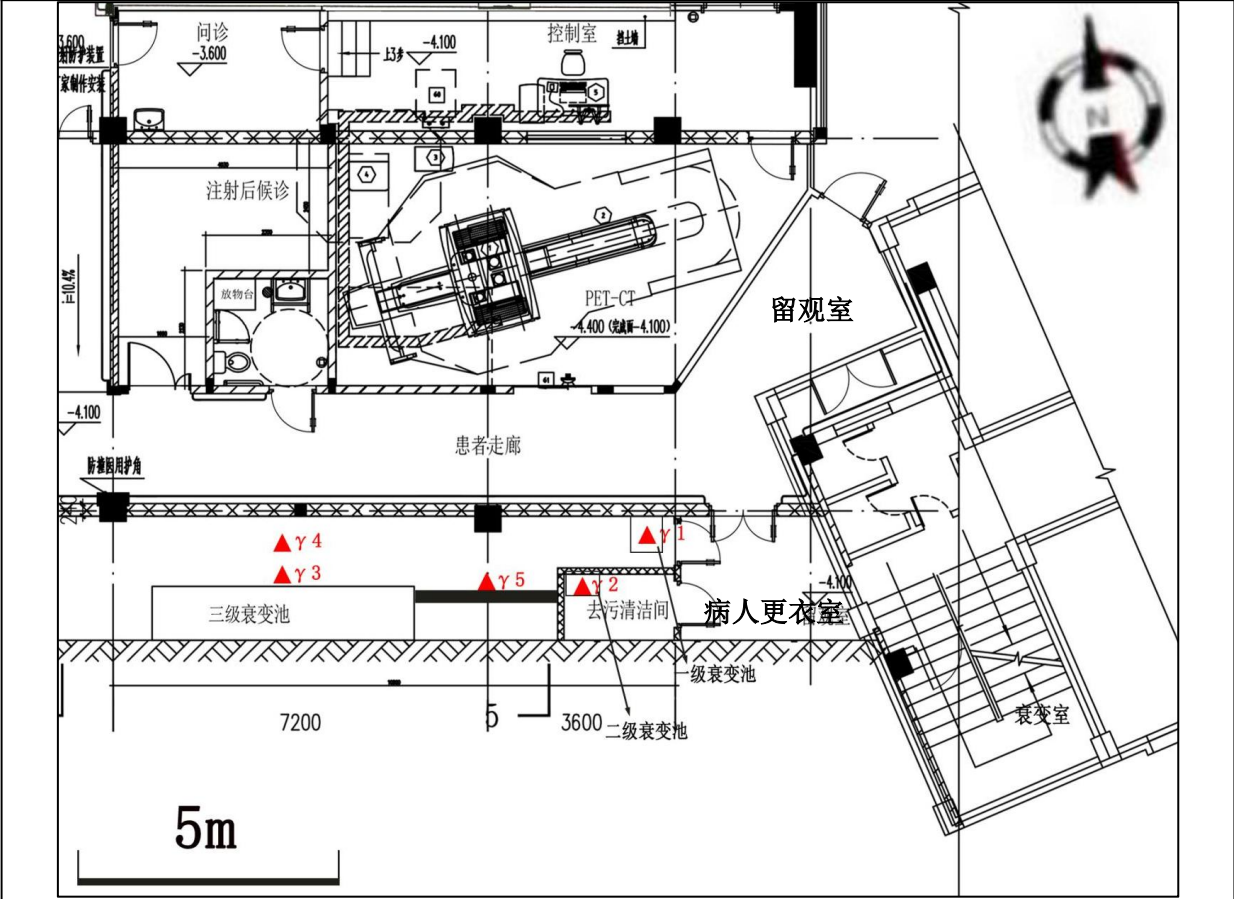


图8.3-1 PET/CT中心衰变池补充监测点位图

(2) 监测仪器、监测依据

PET/CT中心衰变池补充监测所用监测仪器和监测依据见表8.3-10。

表 8.3-10 广西辐卫安环保科技有限公司所用仪器及监测依据

监测项目	X- γ 辐射剂量率
仪器名称	多功能辐射监测仪
仪器型号	SCK-200+SCK-2002
出厂编号	21002+21001
生产厂家	上海钴景环境科技有限公司
能量响应	20keV~7MeV
量程	1nGyh~100μGyh
检定证书编号 及检定单位	2024H21-20-568105700-01（上海市计量测试技术研究院）
检定证书有效 期	2024年12月26日~2025年12月25日
监测依据	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。

(3) 质量保证措施

同8.3.1.1（2）质量保证措施。

(4) 监测结果

衰变池补充监测结果见表8.3-11：

表 8.3-11 衰变池辐射现状补充监测结果

点号	监测点位	环境 γ 辐射剂量率 (nGy/h)	标准差 (nGy/h)	备注
----	------	-----------------------	----------------	----

γ_1	一级衰变池上方 30cm	335	3.3	室内
γ_2	二级衰变池上方 30cm	95	1.7	室内
γ_3	三级衰变池侧面 30cm	78	1.5	室内
γ_4	三级衰变池旁过道	67	2.2	室内
γ_5	放射性废水输送管道	57	1.7	室内
室内测值范围		57~335	/	/
注：监测结果未扣除仪器对宇宙射线的响应值。				

根据表8.3-9中的监测数据可知，PET/CT中心衰变池周围辐射剂量率范围在57~335nGy/h。此次监测仪器以 ^{137}Cs 为校准源（见附件16），则根据HJ1157，Sv/Gy换算系数取1.20，即PET/CT中心衰变池周围辐射剂量率范围在68.4~402nSv/h之间，均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中“在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面0.3m处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“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外表面30cm处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

8.3.1.3.小结

综上所述，本项目涉及的PET/CT中心、ECT工作区正常开展现有核技术利用项目时，工作场所及其周边辐射剂量率符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求，衰变池周围辐射剂量率符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关要求， β 表面污染符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中相关要求。

8.3.2.场所及周边环境现状辐射监测

本项目核素治疗区原为普通的工作人员办公室，粒籽病房原为一般患者住院病房，目前均未开展辐射相关工作，因此场所中未产生辐射污染。本环评需了解核素治疗区、粒籽病房及本项目评价范围内周边环境辐射剂量率本底值。

广西居里安检测技术有限公司于2024年12月19日对医院开展的广西医科大学附属肿瘤医院改建核医学治疗场所应用项目（该项目与本项目名称不同，但实际为同一项目）环境现状监测，广西辐卫安环保科技有限公司于2025年3月3日补充监测本项目50m评价范围内过道、建筑室内的辐射剂量率。以上监测开展时，核素治疗区、粒籽病房仍未开展辐射相关工作，且至今未新增放射源、放射性核素和射线装置，现有放射源、放射性核素和射线装置利用情况不变，使用以上监测报告数据评价本项目场所及周边环境辐射现状合理。

（1）监测因子、监测频次

监测因子为 γ 辐射空气吸收剂量率，监测一次。

(2) 监测仪器、监测依据

广西居里安检测技术有限公司监测所用仪器及监测依据见表8.3-12，广西辐卫安环保科技有限公司所用仪器及监测依据见上文表8.3-10。

表 8.3-12 广西居里安检测技术有限公司监测所用仪器及监测依据

监测项目	X- γ 辐射剂量率
仪器名称	X、 γ 辐射剂量当量率仪
仪器型号	GHZ 2100A
出厂编号	JLA-084
生产厂家	杭州湘亭科技有限公司
能量响应	35keV~7MeV
量程	10nGyh~100 μ Gyh
检定证书编号及检定单位	检字第[2024]-L0559（中国辐射防护研究院放射性计量站）
检定证书有效期	2024年7月30日~2025年7月29日。
监测依据	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。

(3) 监测点位

环境现状监测点位见表8.3-13，广西居里安检测技术有限公司所监测部分的监测点位见图8.3-2~图8.3-4，广西辐卫安环保科技有限公司所监测部分的监测点位见图8.3-5。

表 8.3-13 环境现状监测点位

监测单位	序号	监测点位
广西居里安检测技术有限公司	1	拟建敷贴治疗室
	2	拟建分装室
	3	拟建服药间
	4	拟建留观室
	5	拟建抢救室
	6	拟建核素病房（北侧）
	7	拟建核素病房（南侧）
	8	拟建固废间
	9	拟建核素病房通道
	10	拟建治疗场所入口
	11	拟建衰变池处
	12	拟建粒籽病房通道
	13	拟建粒籽病房
	14	拟建治疗场所北侧
	15	103号楼东侧通道
	16	105号楼北侧通道
	17	101号楼北侧通道
	18	建设单位南侧江北大道
	19	102号楼2层
	20	103号楼2层
广西辐卫安环保科技有限公司	γ 1	110号楼一楼室内环境
	γ 2	105号楼一楼室内环境
	γ 3	106号楼一楼室内环境
	γ 4	107号楼一楼室内环境

$\gamma 5$	109号楼一楼室内环境
$\gamma 6$	108号楼一楼室内环境
$\gamma 7$	一附院东盟楼一楼室内环境
$\gamma 8$	一附院1号楼一楼室内环境
$\gamma 9$	一附院16号楼一楼室内环境
$\gamma 10$	一附院7号楼一楼室内环境
$\gamma 11$	106号楼北侧过道
$\gamma 12$	109号楼西侧过道

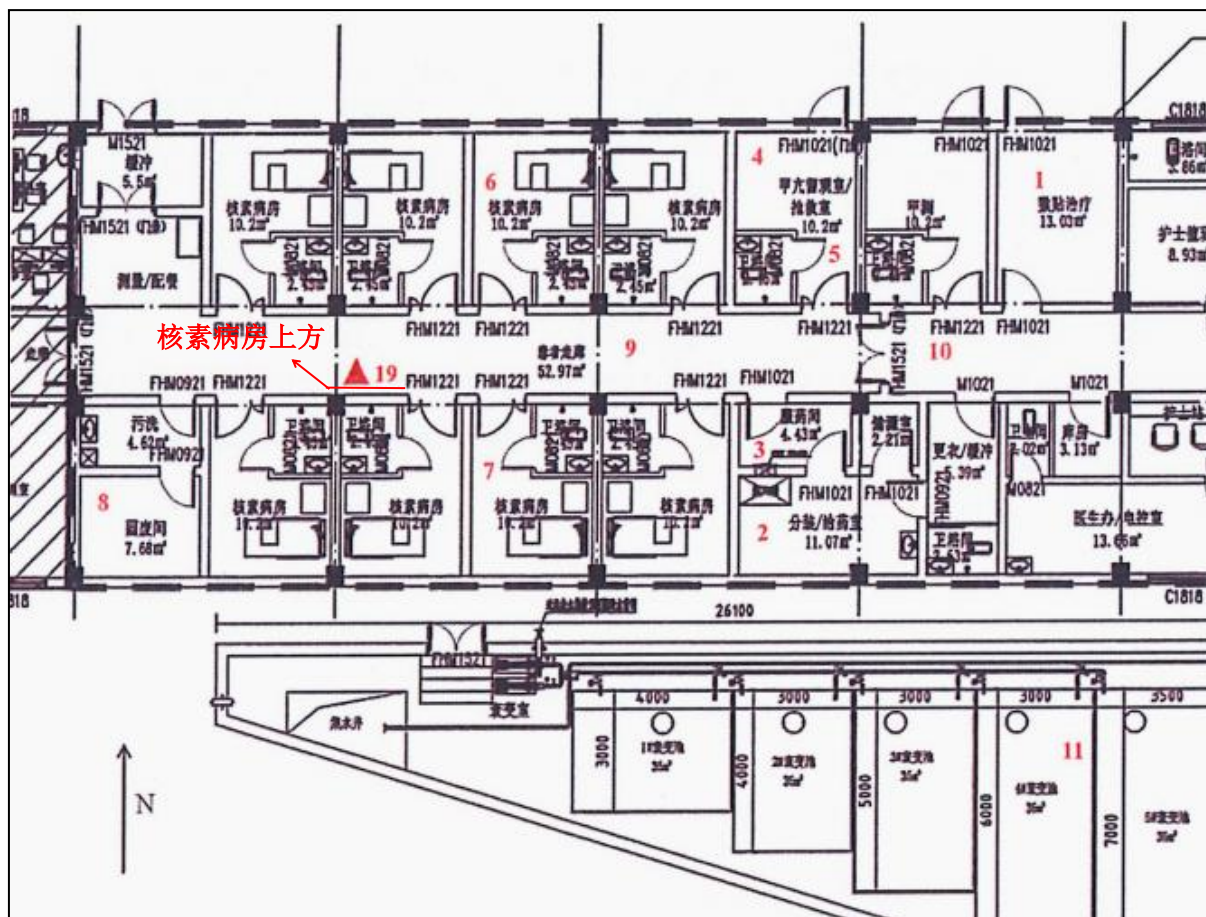


图8.3-2 广西医科大学附属肿瘤医院改建核医学治疗场所应用项目监测点位图（1）

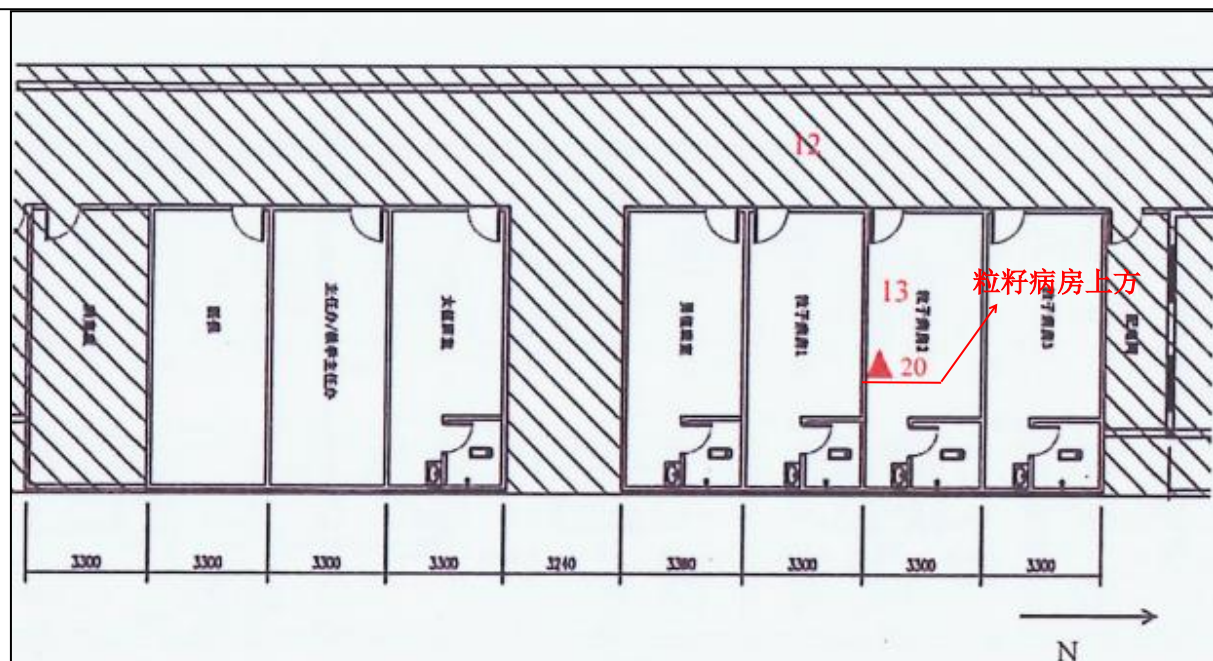


图8.3-3 广西医科大学附属肿瘤医院改建核医学治疗场所应用项目监测点位图（2）

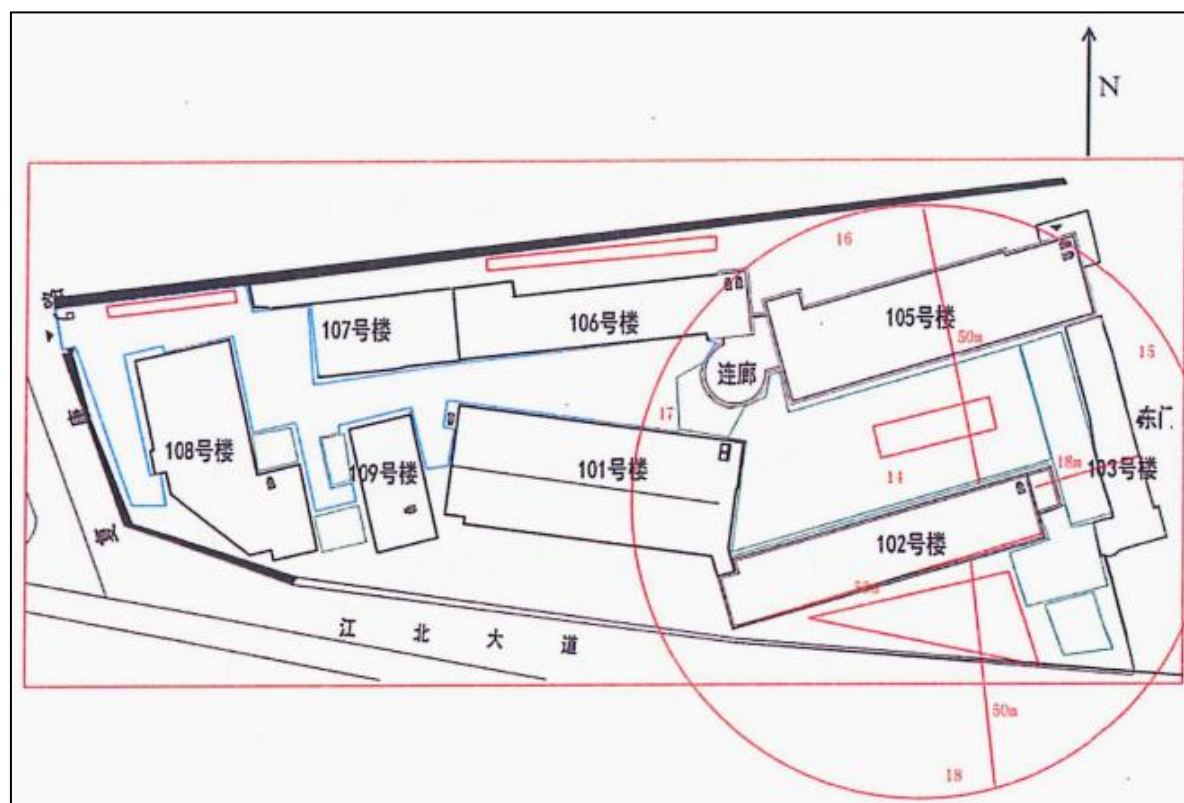


图8.3-4 广西医科大学附属肿瘤医院改建核医学治疗场所应用项目监测点位图（3）

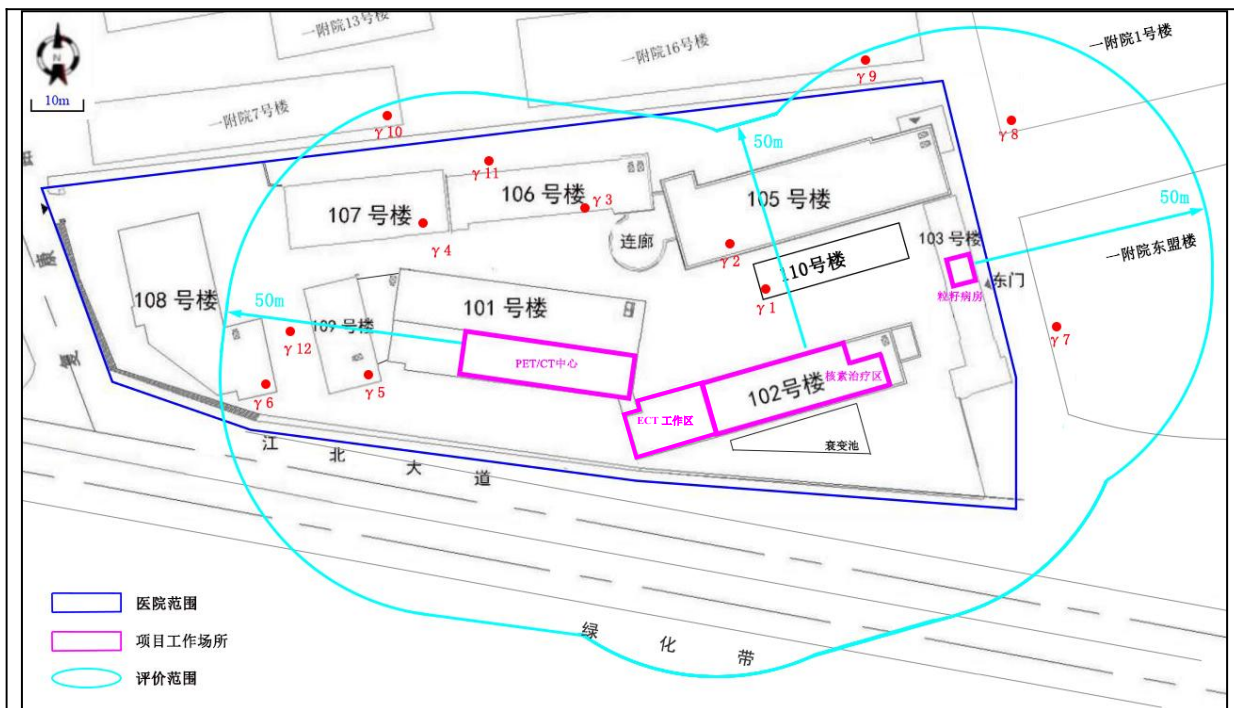


图8.3-5 广西医科大学附属肿瘤医院核医学科扩建建设项目补充监测点位图

(4) 监测结果

广西居里安检测技术有限公司的监测数据见表8.3-14，广西辐卫安环保科技有限公司的监测数据见表8.3-15。

表 8.3-14 广西居里安检测技术有限公司所做监测的监测结果

点号	监测点位	环境 γ 辐射剂量率 (nGy/h)	标准差 (nGy/h)	备注
1	拟建敷贴治疗室	51.1	0.48	室内
2	拟建分装室	44.4	0.40	室内
3	拟建服药间	47.6	0.43	室内
4	拟建留观室	53.2	0.46	室内
5	拟建抢救室	50.9	0.54	室内
6	拟建核素病房（北侧）	56.7	0.28	室内
7	拟建核素病房（南侧）	52.1	0.46	室内
8	拟建固废间	56.5	0.45	室内
9	拟建核素病房通道	69.4	1.17	室内
10	拟建治疗场所入口	44.2	0.32	室内
11	拟建衰变池处	32.5	0.67	室外
12	拟建粒籽病房通道	39.7	0.35	室内
13	拟建粒籽病房	52.3	0.22	室内
14	拟建治疗场所北侧	43.6	0.57	室外
15	103号楼东侧通道	53.3	0.75	室外
16	105号楼北侧通道	50.6	0.81	室外
17	101号楼北侧通道	43.9	0.55	室外
18	建设单位南侧江北大道	52.2	0.41	室外
19	102号楼2层	47.8	0.65	室内
20	103号楼2层	50.2	0.79	室内
室内测值范围		39.7~69.4	/	/
室外测值范围		32.5~53.3	/	/

注：1、监测结果已扣除宇宙射线响应值；

2、参照HJ1157-2021，环境 γ 辐射剂量率与周围剂量当量率换算系数取1.2Sv/Gy。

表 8.3-15 广西辐卫安环保科技有限公司所做监测的监测结果

点号	监测点位	环境 γ 辐射剂量率 (nGy/h)	标准差 (nGy/h)	备注
γ_1	110号楼一楼室内环境	57	1.7	室内
γ_2	105号楼一楼室内环境	66	1.7	室内
γ_3	106号楼一楼室内环境	56	1.6	室内
γ_4	107号楼一楼室内环境	60	1.8	室内
γ_5	109号楼一楼室内环境	58	1.7	室内
γ_6	108号楼一楼室内环境	57	2.0	室内
γ_7	一附院东盟楼一楼室内环境	37	1.4	室内
γ_8	一附院1号楼一楼室内环境	57	1.3	室内
γ_9	一附院16号楼一楼室内环境	34	1.7	室内
γ_{10}	一附院7号楼一楼室内环境	60	1.4	室内
γ_{11}	106号楼北侧过道	44	1.3	室外
γ_{12}	109号楼西侧过道	56	1.5	室外
室内测值范围		34~66	/	/
室外测值范围		44~56	/	/

注：监测结果均已扣除仪器对宇宙射线的响应值。

(5) 监测结果分析

根据表8.3-12、表8.3-13中的监测数据可知，本项目核素治疗区、粒籽病房及本项目50m评价范围内，室内环境辐射剂量率在34nGy/h~69.4nGy/h之间，室外环境辐射剂量率在32.5nGy/h~56nGy/h之间。根据《中国环境天然放射性水平》可知，广西原野 γ 辐射空气吸收剂量率在10.7nGy/h~238.7nGy/h范围，室内 γ 辐射剂量率范围在11.0nGy/h~304.3nGy/h内，则本项目核素治疗区、粒籽病房及本项目50m评价范围内各监测点 γ 辐射空气吸收剂量率仍然在该范围内，辐射环境质量状况未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1.工程设备和工艺分析

9.1.1.运营期工艺分析

9.1.1.1.放射性核素 ^{68}Ga 的淋洗制备和分装

(1) 锗镓发生器工作原理

锗镓发生器是一种从半衰期较长的母体核素 ^{68}Ge 中分离出来半衰期较短的放射性子体核素 ^{68}Ga 的装置。

锗镓发生器属于色谱柱型发生器，采用 TiO_2 作吸附剂， TiO_2 对母体核素 ^{68}Ge 有很强的亲和力，子体核素 ^{68}Ga 则几乎不被吸附。当用淋洗液淋洗锗镓发生器的吸附柱时， ^{68}Ga 以 $^{68}\text{Ga}^{3+}$ 的形式洗脱出来，而母体核素 ^{68}Ge 仍留在放射性核素发生器内，整个过程称为“挤奶”。由于母体核素的不断衰变就不断地产生子体核素，因而核素发生器可以反复淋洗制得子体核素。

(2) 操作流程

^{68}Ga 的淋洗制备和分装操作流程和产污节点见图9.1-1。

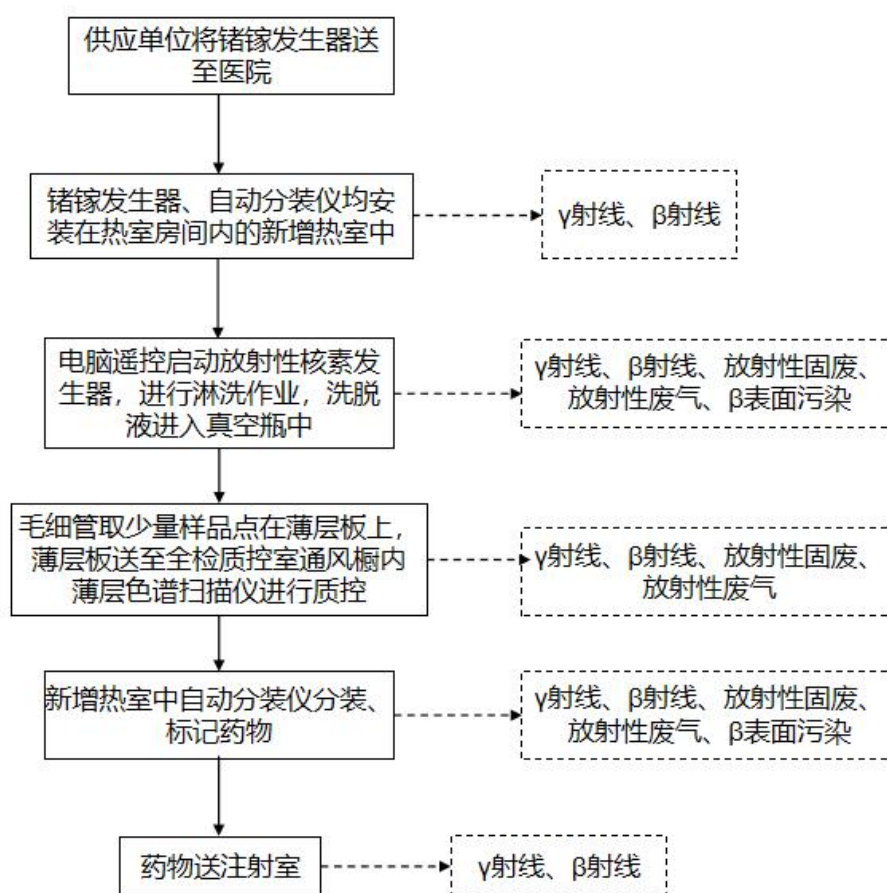


图9.1-1 ^{68}Ga 的淋洗制备和分装操作流程和产污节点图

具体操作流程如下：

①医院将在PET/CT中心热室房间新增一套热室，外购的锗镓发生器由厂商送至热室房间，与自动分装仪一起安装在新增热室内。锗镓发生器、自动分装仪安装后即固定在该热室中，后续使用时不需移动。

②医院根据病人预约情况，提前使用锗镓发生器淋洗生成 ^{68}Ga 。工作人员通过热室房间内东侧电脑启动锗镓发生器，使用淋洗液淋洗发生器的吸附柱， ^{68}Ga 以 $^{68}\text{Ga}^{3+}$ 的形式洗脱出来，形成洗脱液。

③工作人员通过新增热室的手孔以毛细管吸取极少量 ^{68}Ga 洗脱液后点在薄层板上，转移薄层板到全检质控室南侧的通风橱中，利用该通风橱内的薄层色谱扫描仪检测淋洗生成的 ^{68}Ga 质量是否符合要求。根据医院提供资料，吸取的 ^{68}Ga 洗脱液量极少，样品活度一般不大于 $10\mu\text{Ci}$ ($3.7\times 10^5\text{Bq}$)。质控所使用的薄层板、毛细管均为一次性器材。

④工作人员通过热室前的操控面板操作热室中的正电子药物全自动分装仪完成 ^{68}Ga 的药物分装、稀释、活度测量等全过程，所需用量的 ^{68}Ga 药物被分装至含防护套的注射器中。正电子药物全自动分装仪主要由核素分装仪、中心控制系统、活度计通信和打印机四部分组成。洗脱液通过泵吸注入自动分装仪中，医生利用放置在外部的笔记本控制电脑，输入相关患者信息后，能够将 ^{68}Ga 进行稀释处理、定量分配、在线活度测量和样品体积配比的全部工作，并按指定活度或体积分别装至注射器内，满足每个病人所需要的单支剂量活度。当分装结束后，系统自动将分装信息存入数据库，便于操作者调阅或查询，并选择打印分装结果的标签，用于病人注射时的查对。

本项目放射性核素 ^{68}Ga 的淋洗制备和分装全程操控机器进行，不需人工操作，因此避免了医护人员在药物分装过程中受到不必要的剂量照射，同时也保证了药物分装的准确度。典型的正电子药物全自动分装仪见图9.1-2，本项目新增热室位置见图9.1-3，新增热室具备手孔，参考图9.1-3中现有带手孔的分装热室样式。



图9.1-2 典型的正电子药物全自动分装



图9.1-3 本项目新增热室位置

④注射工作人员将含防护套的注射器存放在防护罐内，运至注射室使用。

^{68}Ga 淋洗、分装全程由自动一体化设备完成，不需人工操作，因此无器具和医护人员的清洗废水等放射性废水产生，仅有废一次性手套、原本装有洗脱液的废真空瓶和表面污染产生。由于拟采用的锗镓发生器淋洗生成的 ^{68}Ga 量（ $2.96 \times 10^9 \text{Bq}$ ）大于本项目新增PET/CT显像诊断的 ^{68}Ga 操作量（ $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$ ），则分装后还将产生剩余 ^{68}Ga ，属于放射性固废。发生器一年一换，因此还会产生废旧发生器。根据以上工艺流程分析，本项目 ^{68}Ga 淋洗、分装过程中产生的污染物见下表9.1-1。

表 9.1-1 ^{68}Ga 淋洗、分装污染物

序号	类别	污染物名称	污染来源
1	辐射	γ 射线、 β 射线	^{68}Ge 、 ^{68}Ga
2		β 表面污染	^{68}Ga
3	放射性固废	废一次性手套	^{68}Ga 分装、质控
4		废弃 ^{68}Ga （存于原真空瓶内）	^{68}Ga 分装（剩余部分）
5		废薄层板、废毛细管、废吸水纸、酒精棉球等	^{68}Ga 质控及质控后清洁
6	放射性废气	^{68}Ga 挥发废气	^{68}Ga 淋洗、分装
7	放射性废水	热室工作人员清洗废水	拿取装有 ^{68}Ga 的

（3）路线规划

①锗镓发生器路线

新增锗镓发生器将从PET/CT中心库房北侧出入口进入，经准备间、缓冲间从热室

房间北侧传递窗运至热室房间内，运输过程中均采取铅箱防护。

②⁶⁸Ga药物路线

淋洗制备⁶⁸Ga后，医护人员将沾取了样品的薄层板从新增热室取出，通过热室房间东侧传递窗送至全检质控室，在全检质控室南侧通风橱进行质控。医护人员将注射所需⁶⁸Ga药物经全检质控室北侧走廊传递窗运至注射准备室，然后送入注射室。

③医护人员路线

医护人员从PET/CT中心西北侧出入口进入，依次经过一更、二更、缓冲、净化走廊、缓冲，从热室房间北面防护门处进入热室房间内；医护人员从PET/CT中心库房东侧走廊可进入全检质控室，可在全检质控室南侧更衣洗手、穿衣手消间进行清洁、消毒。

④放射性固废路线

淋洗制备、分装⁶⁸Ga药物时产生的放射性固废从热室房间北侧防护门经缓冲间、净化走廊运至固废间。⁶⁸Ga质控所产生的放射性固废从全检质控室西侧传递窗至热室房间，从热室房间北侧防护门经缓冲间、净化走廊运至固废间。

锗镓发生器路线、⁶⁸Ga药物路线、医护人员路线、放射性固废路线见图9.1-9，医护人员通过门禁系统和对讲系统对放射性药物、放射性固废的转移进行调度，同时通过监控系统确认转移情况，错开转移时间，使医护人员路线和放射性药物、放射性固废路线在时间上不存在交叉。需特别注意的是，全检质控室内产生的放射性固废单次产生量很少，因此不需频繁利用全检质控室西侧传递窗进行转移（两次转移间至少间隔一周），而放射性固废需经过传递窗时必须避开放射性药物转移时段，并在完成转移后使用酒精棉球等清洁用品彻底清洁传递窗，直至自行监测设备显示传递窗处表面污染水平符合要求。通过采取这些措施，可确保全检质控室放射性固废和放射性药物转移路线在时间上不重叠，且不会污染放射性药物路线。

（4）放射性药物使用情况

本项目仅利用⁶⁸Ge作为母体淋洗制备⁶⁸Ga，锗镓发生器每周最多淋洗2次，仅在周一至周五期间开展，当天所需药物一次生成，全年最多淋洗100次。⁶⁸Ge使用情况见表9.1-2。

表 9.1-2 ⁶⁸Ge 使用情况一览表

核素	日最大操作量 (Bq)	每年最多淋洗次数 (次)	年最大操作量 (Bq)	用途	备注
⁶⁸ Ge	2.96×10 ⁹	100	2.96×10 ⁹	锗镓发生器母体	一年一换
⁶⁸ Ga	2.96×10 ⁹	100	2.96×10 ¹¹	锗镓发生器生成的子体，用于PET/CT显像诊断	淋洗生成的 ⁶⁸ Ga未被全部使用，使用情况见表9.1-5。

(5) 工程设备

^{68}Ga 淋洗制备和分装过程中使用的工程设备见表9.1-3。

表 9.1-3 ^{68}Ga 淋洗制备和分装过程中使用的工程设备

序号	设备名称	型号/参数	用途	所在位置	备注
1	锗镓发生器	最大淋洗量80mCi	淋洗制备 ^{68}Ga	新增热室内	新增
2	热室	正面防护能力50mmPb, 侧面防护能力40mmPb, 手孔防护能力30mmPb	辐射防护屏蔽	热室房间南侧	新增
3	通风橱	正面防护能力50mmPb, 侧面防护能力40mmPb, 手孔防护能力30mmPb	辐射防护屏蔽	全检质控室南侧	现有
4	薄层色谱扫描仪	/	^{68}Ga 质控	全检质控室南侧 通风橱内	现有
5	自动分装仪	/	放射性药物质 控、分装、标记	新增热室内	新增
6	防护套	20mmPb	辐射防护屏蔽	/	新增
7	防护罐	40mmPb	辐射防护屏蔽	/	新增
8	铅衣、铅防护眼 镜、铅手套等	0.5mmPb	工作人员防护用 品	/	依托 现有
9	便携式多功能射 线监测仪	IA-V2	自行监测周围剂 量率、表面污染	PET/CT 中心	依托 现有
10	便携式数字化个 人剂量监测及报 警仪	/	个人剂量监测与 报警	PET/CT 中心	依托 现有
11	热释光个人剂量 计	/	用于个人累积剂 量监测	核医学科	依托 现有

9.1.1.2.PET/CT 扫描显像

(1) 工作原理

PET是正电子发射计算机断层扫描显像装置，对患者注射短命核素 ^{68}Ga 正电子核素示踪剂，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，由体外探测示踪剂引发正电子湮灭产生的一对0.511MeV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；PET/CT则是将PET和CT（计算机体层显像）有机结合在一起，使用同一个检查床和同一个图像处理工作站，将PET图像和CT图像融合，可精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息，同时反映病灶的病理生理变化和形态结构，提高诊断的准确性。

(2) 工作流程

本项目使用 ^{68}Ga 进行PET/CT显像检查。医院根据与病人预约情况提前使用锗镓发

生器制取 ^{68}Ga 核素（制取流程见本章9.1.2.1）。患者在预约登记室预约后，凭预约单在注射室窗口注射药物，病人注射后在PET/CT休息室等待，待药物在体内代谢达到平衡后，进入PET/CT机房进行扫描。PET/CT扫描显像工作流程和产污节点见图9.1-4。

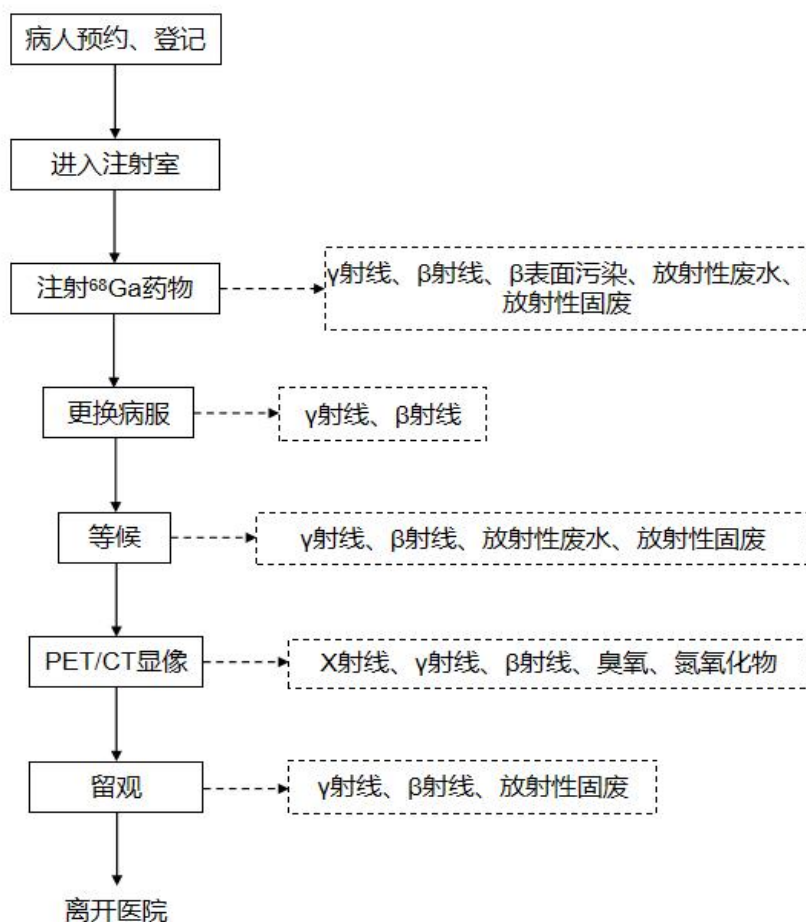


图9.1-4 PET/CT扫描显像工作流程和产污节点图

具体工作流程和产污节点如下：

①根据医生指导意见，需要接受全身或脏器显像检查的人员提前预约登记，确定用药量。医院通过锗镓发生器进行淋洗制备、分装 ^{68}Ga 药物。 ^{68}Ga 制取、分装的流程及产污情况见上文描述，在此不再分析。

②受检者按约定时间在预约登记处进行登记、准备。

③ ^{68}Ga 药物通过注射器转运盒运至注射室备用。

④准备好的受检者进入注射室，注射医护人员穿戴好个人防护用品从注射器转运盒内取用相应病人的标记药物，通过注射窗口为受检者注射药物，注射时间平均约3min/人。

⑤注射了放射性药物的受检者先到病人更衣室更换医院提供的衣服，然后进入注射

后候诊室等候或VIP注射后候诊室（ ^{68}Ga 半衰期较短，应尽快进行显像，候诊时间一般为5~10min），等待对讲系统中的医生指示。

⑥注射药物的受检者从注射后候诊室直接进入PET/CT机房检查，医护人员配合受检患者摆好位后进入操作间进行隔室操作，摆位时间平均约0.5min/人·次，CT最少需曝光2次（一次定位曝光，一次诊断级曝光），如出现定位不准或扫描结果不清晰等情况，可能需增加曝光次数，曝光次数一般在5次/人·次以下，每次曝光平均时间约10~15s/次。

⑦检查完成后，受检者在留观室（留观室未设卫生间）留观5~10min，然后从PET/CT中心东侧出入口离开。

根据以上工艺流程分析，本项目利用 ^{68}Ga 开展显像诊断过程中产生的污染物见下表9.1-4。

表 9.1-4 PET/CT 显像诊断项目污染物

序号	类别	污染物名称	污染来源
1	辐射	γ 射线、 β 射线	^{68}Ga
2		X射线	CT机
3	表面污染	β 表面污染	^{68}Ga 药物注射
4	放射性废水	清洗废水	注射医护人员清洁手部及其他可能沾染核素的部位
5		注射后候诊废水	注射后患者候诊
6	放射性固废	废针筒、废棉签、废一次性手套等	^{68}Ga 药物注射
8		注射后候诊室垃圾	可能沾染注射后患者候诊体液中放射性核素
9		留观室垃圾	可能沾染留观患者体液中放射性核素
10	一般废气	臭氧、氮氧化物	X射线致空气电离产生

（3）路线规划

① ^{68}Ga 药物路线

淋洗制备、分装 ^{68}Ga 药物后，医护人员将其从新增热室取出，通过热室房间东侧传递窗送至全检质控室，将药物经全检质控室北侧走廊传递窗运至注射准备室，然后送入注射室。

②患者路线

PET/CT受检者从预约登记处出来后，通过防护门进入控制区内走廊，到达注射室旁，在注射窗口处接受 ^{68}Ga 药物注射，注射完成后沿患者走廊至PET/CT东南角的病人更衣室更换衣物，再沿走廊向西至注射后候诊室或VIP注射后候诊室候诊。受检者候诊期间如需上厕所，VIP注射后候诊室内受检者可直接从房间内进入北侧专用卫生间，注射后候诊室内受检者则需从候诊室南侧出入口出来，再从该出入口的东侧出入口进入注射后候诊室专用卫生间。受检者接到候诊室对讲系统中医护人员指示可以进行检查后，

沿患者走廊向东经PET/CT机房南侧防护门进入机房接受检查。检查完毕后，受检者从机房南侧出入口至患者走廊，再从患者走廊南侧出入口进入病人更衣室更换原来的衣物，然后至到患者走廊东侧尽头留观室处留观。留观结束后从PET/CT中心东侧出入口离开。

③医护人员路线

医护人员通过工作人员专用通道从PET/CT控制室北侧出入口进入控制室，向西经过问诊室、患者走廊、通过间到达注射准备室，向南进入注射室。注射室内设洗手槽，医护人员在为患者注射后直接在注射室内进行清洁。

④放射性固废路线

注射时产生的放射性固废经注射准备间、通过间到走廊中，沿走廊向南再向东至101号楼与102号楼交界处，通过交界处出入口进入102号楼楼梯间，通过楼梯送至一楼衰变室。注射后候诊时产生的可能沾染放射性核素的垃圾沿走廊向东运至101号楼与102号楼交界处，通过交界处出入口进入102号楼楼梯间，通过楼梯送至一楼衰变室。

^{68}Ga 药物路线、患者路线、医护人员路线、放射性固废路线见图9.1-9，医护人员通过门禁系统和对讲系统对患者、放射性药物、放射性固废的转移进行调度，同时通过监控系统确认转移情况，错开转移时间，使放射性药物路线和放射性固废路线、患者路线和放射性固废路线、患者路线和放射性固废路线在时间上不存在交叉。

（4）放射性药物使用情况

本项目仅利用 ^{68}Ga 开展PET/CT显像诊断，每周最多开展2天，仅在周一至周五开展，每天最多开展4人·次，预计全年注射 ^{68}Ga 标记药物进行显像诊断的病人最多为400人·次。 ^{68}Ga 使用情况见表9.1-5。

表 9.1-5 ^{68}Ga 使用情况一览表

核素	单人最大用量 (Bq)	每日最多人次 (人·次)	日最大操作量 (Bq)	每年最多人次 (人·次)	年最大操作量 (Bq)	用途
^{68}Ga	1.85×10^8	4	7.40×10^8	400	7.40×10^{10}	PET/CT 显像诊断

（5）工程设备

PET/CT显像诊断项目开展过程中使用的工程设备见表9.1-6。

表 9.1-6 PET/CT 显像诊断项目开展过程中使用的工程设备

序号	设备名称	型号/参数	用途	所在位置	类别	备注
1	专用注射台	50mmPb	辐射防护屏蔽	注射室	/	依托现有
2	PET/CT	Discovery 710	PET/CT 显像诊断	PET/CT 机	III类射	依托现

		(140kV/715mA)		房	线装置	有
3	铅衣、铅帽、铅手套等	0.5mmPb	工作人员防护用品	/	/	依托现有
4	便携式多功能射线监测仪	IA-V2	自行监测周围剂量率、表面污染	PET/CT 中心	/	依托现有
5	便携式数字化个人剂量监测及报警仪	/	个人剂量监测与报警	PET/CT 中心	/	依托现有
6	热释光个人剂量计	/	用于个人累积剂量监测	核医学科	/	依托现有

9.1.1.3. ¹²⁵I 粒子植入治疗

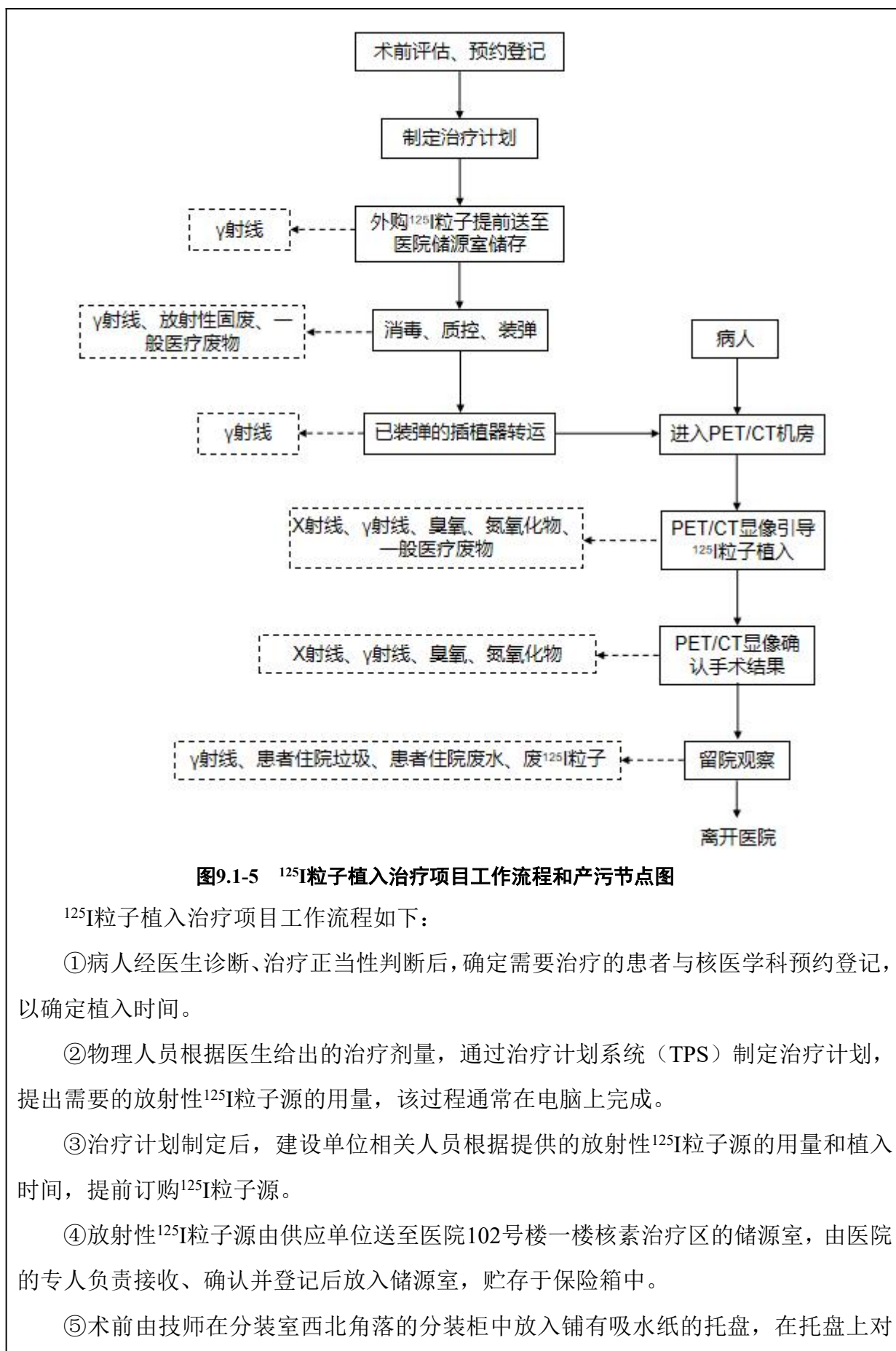
(1) 工作原理

放射性¹²⁵I粒子植入治疗主要由粒子植入系统、植入防护系统和辅助设备组成。¹²⁵I粒子植入系统包括植入针、粒子防护植入器、植入器弹夹、植入器防护弹夹座、粒子专用镊、粒子植入模板、粒子消毒盒等。植入防护系统包括粒子分装防护台、操作者用铅防护衣、铅防护眼镜、铅防护帽、铅防护手套、铅护围脖、患者防护巾、射线监测仪等。辅助设备包括用于治疗计划设计及准确定位的计算机三维治疗计划系统和质量验证系统以及引导系统等，本项目依托PET/CT作为辅助设备。

放射性¹²⁵I粒子（籽源）植入治疗恶性肿瘤，是一种先进的微创治疗方法，是属于近距离体内放射治疗的一种，具有安全、可靠、适应症广、操作简便等优点。低能量的放射籽源的临床功效源于被激发的离子流与所在组织器官的相互作用从而对肿瘤部位进行近距离照射。DNA是放射线对细胞作用的关键靶，射线照射导致DNA链断裂，使肿瘤细胞失去繁殖能力。

(2) 工作流程

¹²⁵I粒子植入治疗工作流程和产污节点见图9.1-5。



^{125}I 粒子进行抽检、测活，确认 ^{125}I 粒子活度合格后将 ^{125}I 粒子装入弹夹，将装有 ^{125}I 粒子的弹夹装入已消毒灭菌的插植器内，将 ^{125}I 粒子置于防护箱内转运至PET/CT机房。用于抽检的 ^{125}I 粒子不再使用，作为放射性固废处理，装回到原 ^{125}I 粒子储存容器中，暂时存放在储源室内，待药物供应单位回收。

⑥ ^{125}I 粒子植入手术在PET/CT机房内进行。按照预定的治疗计划由辐射工作人员在PET/CT的显像引导下进行 ^{125}I 粒子植入（植入过程中医护人员穿戴防护用品），确保植入位置的准确。具体为：在CT机引导下进行穿刺，核对 ^{125}I 放射性粒子数量、表面活性，检查穿刺针、导针是否通畅。根据预先制定的治疗计划确定穿刺点，让病人选择合适的体位，在CT扫描后进行穿刺，穿刺针进针距离达到治疗计划要求的深度后，再次进行CT扫描确定进针方向、距离无误后，使用导针导入粒子。 ^{125}I 粒子植入完成后，在PET/CT的显像下确定植入 ^{125}I 粒子的数量、部位、分布情况是否符合治疗计划，是否需要二次植入粒子或补充外照射。手术平均时间为100min，期间可能需多次操作CT扫描确定方位，具体次数视手术难易程度而定，一般不超过10次，每次CT扫描时间为10~15s。

⑦确认无误后患者穿戴个人防护用品在辐射工作人员的陪同下，送入103号楼一楼粒籽病房（该病房为双人病房，共有3间）住院观察，一般住院3天后可出院。对于植入 ^{125}I 粒子源术后的患者，医护人员为其在植入部位穿戴相应的防护用品。住院期间由核医学科护士为患者送餐，并每日进入病房巡视患者状况。患者住院期间禁止离开病房。

^{125}I 粒子为固态，不会因接触残留在物体表面，不会进入到患者体液中，因此 ^{125}I 粒子质控操作器具、植入手术器具、患者排泄物和生活垃圾等不会含有或沾染放射性核素。

根据以上工艺流程分析，本项目 ^{125}I 粒子植入治疗过程中产生的污染物见下表9.1-7。

表 9.1-7 ^{125}I 粒子植入治疗项目污染物

序号	类别	污染物名称	污染来源
1	辐射	γ 射线	^{125}I 粒子
2		X射线	CT机
3	放射性固废	^{125}I 粒子	^{125}I 粒子抽检、粒子植入患者住院期间随尿液排出
4	一般废气	臭氧、氮氧化物	X射线致空气电离产生
5	一般医疗废物	废纱布、废一次性手套、工作台面铺料（铺料为双层，一层吸水纸，一层防水材料）、抹布、去污用品、医护人员口罩、手术服等	^{125}I 粒子植入手术
6		植入患者住院垃圾	
7	一般医疗废水	植入患者住院废水	^{125}I 粒子植入患者患者住院

（3）路线规划

① ^{125}I 粒子路线

装有¹²⁵I粒子的铅罐从甲亢留观室北侧出入口进入，通过患者走廊进入服药间，经分装室送至储源室内暂存。

手术当天由技师从储源室取出¹²⁵I粒子，在分装室的分装柜处对¹²⁵I粒子进行质控、消毒、装弹，将装有¹²⁵I粒子的弹夹装入已消毒灭菌的插植器内，将¹²⁵I粒子置于防护箱内，经服药间、患者走廊、甲亢留观室，从甲亢留观室北侧出入口离开102号楼，向西至101号楼一楼东侧出入口，经患者走廊从PET/CT机房南侧出入口进入机房。

②患者路线

患者按照预定日期至101号楼一层预约登记处登记，根据医护人员指示经走廊至PET/CT机房南侧出入口，进入PET/CT机房。

手术结束后，在医生指示下穿戴个人防护用品，在护士陪同下从PET/CT机房南侧出入口进入患者走廊，从101号楼东侧出入口离开101号楼，向东至103号楼一楼粒籽病房处。

③医护人员

技师从102号楼一楼东侧出入口进入核素治疗区，从走廊向西走，可至缓冲/更衣室进行更衣，从缓冲/更衣室西侧出入口进入分装室，可通过分装室东北侧出入口进入储源室取出¹²⁵I粒子，再到分装室进行¹²⁵I粒子质控、消毒、装弹。装弹完成后，技师携带用铅防护箱防护的已装弹插植器经服药间、患者走廊，从甲亢留观室北面出入口离开102号楼，沿102号楼北侧向西至101号楼一楼东侧出入口，进入PET/CT中心后从PET/CT机房南侧出入口进入机房，将插植器送达PET/CT机房后沿原路离开PET/CT中心。

开展¹²⁵I粒子植入手术时，医护人员从工作人员通道经PET/CT控制室北面出入口进入控制室，操作PET/CT的工作人员在控制室内进行操作，负责手术的医护人员则经控制室东南侧出入口进出PET/CT机房。

植入手术结束后，护士陪同患者从PET/CT机房南侧出入口进入患者走廊，从101号楼东侧出入口离开101号楼，向东至103号楼一楼粒籽病房处。植入患者住院期间，护士每日至103号楼粒籽病房内巡视。

④放射性固废路线

用于抽检、质控的¹²⁵I粒子放回原储存容器中后，暂存于储源室中，当天内尽快由¹²⁵I粒子供应单位从医院回收，经分装室、服药间、走廊至甲亢留观室，从甲亢留观室北侧出入口离开。¹²⁵I粒子为固态，一般不产生沾染该核素的放射性固废，如植入患者体内

的¹²⁵I粒子随患者尿液排出，则产生废¹²⁵I粒子，暂存于粒籽病房专用卫生间内具备辐射屏蔽能力的收集桶中，转移时从专用卫生间南面防护门运出，从粒籽病房西侧出入口离开病房，交由粒子供应单位处置。

¹²⁵I粒子路线、患者路线、医护人员路线、放射性固废路线见图9.1-10~图9.1-13。医护人员通过门禁系统和对讲系统对患者、放射性药物、放射性固废的转移进行调度，同时通过监控系统确认转移情况，错开转移时间，使放射性药物路线和患者路线、患者路线和放射性固废路线在时间上不存在交叉。

(4) 放射性药物使用情况

本项目依托103号楼的3间双人粒籽病房作为¹²⁵I粒子植入患者住院场所，粒籽病房在广西医科大学附属肿瘤医院钇[⁹⁰Y]微球注射液建设项目中已作为⁹⁰Y微球注射患者留观场所，⁹⁰Y微球注射患者每日最多4人·次，每次住院2h~6h，每三天开展一次，每周最多8人·次。本项目¹²⁵I粒子植入患者不与⁹⁰Y微球注射患者混住，为避免出现粒籽病房不足以容纳患者住院的状况，¹²⁵I粒子植入手术预计每日最多开展6次，每周最多12人次（¹²⁵I粒子植入手术和⁹⁰Y微球注射手术周一至周日均可开展，以一年50周计算）。本项目开展¹²⁵I粒子植入治疗项目时的¹²⁵I粒子使用情况见表9.1-8。

表 9.1-8 ¹²⁵I 粒子使用情况一览表

核素	单人最大用量 (Bq)	每日最多人次 (人·次)	日最大操作量 (Bq)	每年最多人次 (人·次)	年最大操作量 (Bq)	用途
¹²⁵ I粒子	2.96×10^9	6	1.78×10^{10}	600	1.78×10^{12}	¹²⁵ I粒子植入治疗

(4) 工程设备

¹²⁵I粒子植入治疗项目开展过程中使用的工程设备见表9.1-9。

表 9.1-9 ¹²⁵I 粒子植入治疗项目开展过程中使用的工程设备

序号	设备名称	型号/参数	用途	所在位置	类别	备注
1	PET/CT	Discovery 710 (140kV/715mA)	为 ¹²⁵ I 粒子植入定位植入部位的辅助设备	PET/CT 机房	III类射线装置	依托现有
2	插植器	/	植入手术	PET/CT 机房	/	新增
3	保险箱	/	贮存 ¹²⁵ I 粒子	核素治疗区储源室	/	由供应单位提供
4	插植器防护箱	至少2mmPb	转运已装入 ¹²⁵ I 粒子的插植器	核素治疗区分装室	/	新增
5	铅衣、铅帽、铅手套等	0.5mmPb	工作人员防护用品	/	/	新增
	铅衣	0.5mmPb	植入患者防护用品	/	/	新增

6	便携式多功能射线监测仪	IA-V2	自行监测周围剂量率	PET/CT 中心	/	依托现有
7	便携式数字化个人剂量监测及报警仪	/	个人剂量监测与报警	PET/CT 中心	/	依托现有
8	热释光个人剂量计	/	用于个人累积剂量监测	PET/CT 中心	/	依托现有
9	放射性固废收集桶	2mmPb	用于收集、暂存植入患者住院期间随尿液排出的 ^{125}I 粒子	粒籽病房专用卫生间内	/	新增

9.1.1.4. 甲癌、甲亢治疗 (^{131}I)

(1) 工作原理

① 甲测原理

碘进入人体内后，首先被甲状腺摄取，用于TH的合成。极小部分存在于血液及组织中的碘化物参与机体代谢的其他过程。甲状腺中被浓聚的碘主要存在于甲状腺滤泡细胞中，在T₃、T₄的代谢和分泌过程中，甲状腺也向血液分泌少量的碘（以各种形式存在），其分泌速度视腺体贮碘量、甲状腺功能状态等因素而定。用 ^{131}I 作示踪物，测定碘在体内的移动速度和量，可间接评价甲状腺的功能状态，特别能反映甲状腺对无机碘的浓聚能力。口服放射性碘后，用盖格（Geiger）计数管或闪烁计数管测定甲状腺部位的计数率，计算出摄碘率，并从以下3个方面来推测甲状腺的功能：1）甲状腺摄碘的速度及最大摄碘率；2）放射性碘从尿中的排出量；3）血浆蛋白结合碘量。甲状腺具有高度浓聚碘的能力。患者进行甲癌/甲亢治疗前，需先至甲测室进行甲测，以便医生了解患者病情并制定合适的治疗计划。

② 甲癌治疗原理

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，使肿瘤组织区域聚集大量的放射性核素，并滞留一定时间，放射性核素在衰变过程中发射 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。

③ 甲亢治疗原理

甲亢治疗是利用甲状腺具有强大的聚碘功能，口服一定量的 ^{131}I 后，可被甲状腺组织大量摄取。 ^{131}I 在衰变过程中，可释放 β 射线和 γ 射线。 β 射线可选择性的破坏甲状腺组织而不影响邻近组织（如甲状旁腺）。甲状腺组织被破坏后逐渐坏死，并纤维化，

从而减少甲状腺激素的合成和分泌，达到类似与甲状腺全切除的目的。

(3) 工作流程

甲癌、甲亢治疗工作流程和产污节点见图9.1-6。

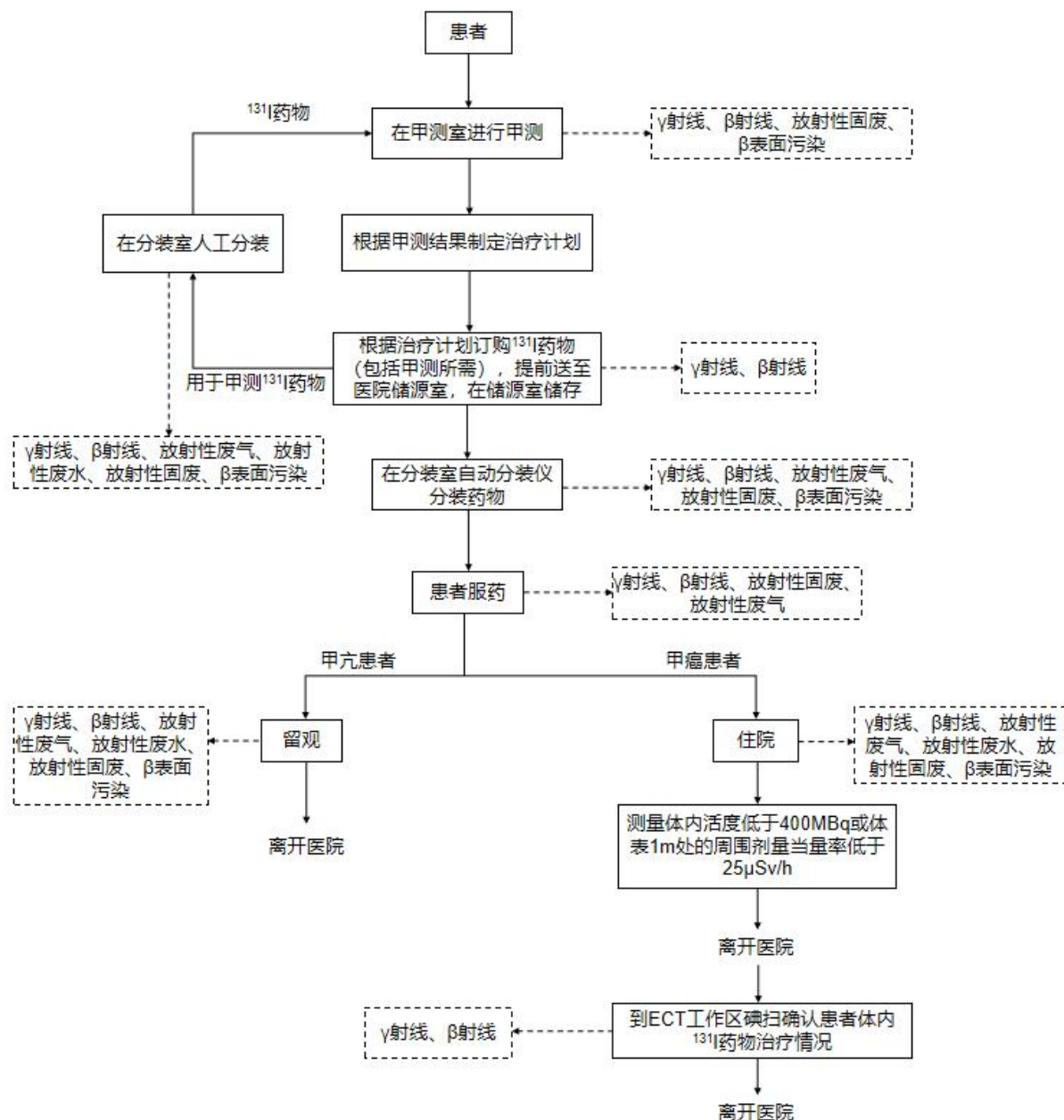


图9.1-6 甲癌、甲亢治疗工作流程和产污节点图

具体流程如下：

①门诊接诊甲癌、甲亢患者，询问患者病史及临床表现，对患者进行相关甲测（患者先在服药间服用药物，然后至甲测室进行甲测），医生根据检查结果做出判断并制定相应的治疗方案。甲测服用 $^{131}\text{I-NaI}$ 量很小，医院每日用于甲测的药量一般小于 $1\mu\text{Ci}$ ($3.7 \times 10^4\text{Bq}$)，与甲癌、甲亢治疗服用量的影响相比，其辐射影响可忽略不计，满足《电

离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录A的表A1 作为申报豁免基础的豁免水平：放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度中 ^{131}I 的豁免活度（ $1\text{E}+06\text{Bq}$ ），因此本环评不做具体分析。

②医院根据病人预约情况预定采购放射性药物，在约定的时间内由放射性药物供应单位负责将放射性药物运送至核医学科改造后的储源室，核医学科安排专人接收，经确认无误完成相关交接手续，铅罐暂存在储源室中。

③预约治疗当天，患者按约定时间到达核素治疗区，在候诊区候诊，接到对讲系统处医生指示后，患者沿走廊通过门禁进入控制区，通过病人走廊到达服药间，将一次性纸杯放到指定位置，然后等待。

④医护人员提前把储源室铅罐中 ^{131}I 药物装进自动分装仪中，医护人员通过遥控自动分装仪在分装室西北角落的分装柜中对药物进行分装，不需人工操作。分装好的药物注入放在指定位置的一次性纸杯中，患者服药。

⑤由于甲癌患者服药剂量较大，从某种程度上讲，服药患者相当于一个流动的放射源，在一段时间内，对近距离接触的公众可能产生 γ 外照射，并且患者排泄物也可能对环境产生一定的影响。因此，甲癌患者通常采用住院治疗，住院时间3天，达到出院标准后方可出院。甲癌患者在服用放射性药物后需进入核素病房住院，每间病房可入住1名患者。住院期间，护士每日通过病房内的人机可视化对讲系统查看患者情况，不需进入病房巡视。甲癌患者服用 ^{131}I 后禁止外出，仅允许在病房内部自由活动。医护人员通过安装在病房的摄像头和对讲装置进行查房，患者通过呼叫系统按照医护人员的呼叫，按顺序在取餐窗口取餐。

甲亢患者在服用放射性药物 ^{131}I 后通过病人走廊至甲亢留观室留观（10~20min），然后离开医院。

⑥甲癌患者住院满3天后，需经过在核素治疗区测量/配餐区内一侧墙体上设置的固定式辐射剂量率监测仪检测，医生语音指导患者站在指定地标进行测量，测量得体表1m处的周围剂量当量率低于 $25\mu\text{Sv/h}$ 或体内放射性活度低于 400MBq 后，医生方会通过控制面板确认打开测量/配餐区与缓冲区之间的门禁，患者从缓冲区北侧出口离开。

⑦离开医院的甲癌患者按规定时间（具体时间不定，以医生实际安排为准）到医院ECT工作区SPECT/CT机房进行碘扫，观察甲癌残留灶基转移灶的摄碘情况，以评估治疗效果。碘扫结束后患者直接离开医院。

根据以上工艺流程分析，本项目甲癌、甲亢治疗过程中产生的污染物见下表9.1-10。

表 9.1-10 甲癌、甲亢治疗项目污染物

序号	类别	污染物名称	污染来源
1	辐射	γ 射线、 β 射线	^{131}I
2		X射线	CT机（碘扫）
3		β 表面污染	^{131}I 药物分装、甲测、甲亢患者留观、甲癌患者住院
4	放射性固废	废药瓶等、一次性手套等	^{131}I 药物分装
		甲测室垃圾	可能沾染甲测所用 ^{131}I 药物
5		废一次性纸杯	甲癌、甲亢患者服药
6		留观室垃圾	可能沾染留观患者体液中放射性核素
7		甲癌患者住院垃圾	可能沾染住院患者体液中放射性核素
8	放射性废气	^{131}I 挥发废气	^{131}I 药物分装、服药后患者呼出
9	放射性废水	^{131}I 药物（甲测）分装人员清洁废水	分装人员清洁手部及其他可能沾染核素的部位
10		甲癌患者住院废水	甲癌患者住院
11		甲亢患者留观废水	甲亢患者留观

（4）路线规划

① ^{131}I 药物路线

装有 ^{131}I 药物的铅罐从甲亢留观室北侧出入口进入，通过患者走廊进入服药间，经分装室送至储源室内暂存。

使用前，医护人员从储源室将其取出，在分装室内分装柜分装，通过分装室北侧给药窗给药。

②患者路线

1) 甲癌患者：患者从102号楼一楼东侧出入口进入，至候诊区候诊，根据对讲系统的医护人员指示前往服药间服用甲测所需药物，再至甲测室进行甲测，然后可直接从甲测室北面出口离开。预约治疗当天，甲癌患者从102号楼一楼东侧出入口进入，至候诊区候诊，根据医护人员指示前往服药间服药，然后前往医护人员指定核素病房内住院。住院期间，甲癌患者需就餐时，根据病房内对讲系统指示，从患者走廊到达核素治疗区西侧测量/配餐区传递窗处取餐，其余时间均在核素病房内活动。住院期满后，甲癌患者到核素治疗区西侧测量/配餐区进行测量，经检测符合出院要求后从测量/配餐区北侧出口进入缓冲区，从缓冲区北面出口离开。在与医生约定时间，患者需回到医院进行碘扫，从ECT工作区北侧出入口进入，经注射前候诊室、走廊进入SPECT/CT机房，碘扫结束后，患者从SPECT/CT机房北侧出入口离开，沿走廊向西离开。

2) 甲亢患者：患者从102号楼一楼东侧出入口进入，至候诊区候诊，根据对讲系统的医护人员指示前往服药间服用甲测所需药物，再至甲测室进行甲测，然后可直接从甲

测室北面出口离开。预约治疗当天，甲亢患者从102号楼一楼东侧出入口进入，至候诊区候诊，根据医护人员指示前往服药间服药，然后进入甲亢留观室留观，留观结束后直接从甲亢留观室北侧出入口离开。留观期间患者如需上厕所，可直接进入甲亢留观室内部西南角的专用卫生间。

③医护人员路线

1) 甲癌/甲亢治疗项目¹³¹I药物分装：医护人员从102号楼一楼东侧出入口进入，向西可至护士值班室、医生办公室等办公区、甲测室、缓冲/更衣室。分装¹³¹I药物时，医护人员从缓冲/更衣室西侧出入口进入分装室，从分装室东北侧出入口进入储源室取出¹³¹I药物后，到分装室西北侧分装柜处将药物装入自动分装仪。

2) 甲癌治疗项目患者住院护理、患者碘扫：甲癌患者住院期间，正常情况下护士可在护士站通过人机可视化对讲系统查看各病房中患者的情况，不需进入病房巡视。为甲癌患者送餐时，医护人员提前从缓冲区北面出入口进入，通过缓冲区南面传递窗将准备好的食物传递到测量/配餐区的窗前台面，不与患者接触。碘扫时，医护人员从ECT工作区北侧出入口进入，经注射前候诊室、预约登记室、诊室、走廊至SPECT/CT机房控制室，通过控制室与机房间的对讲系统对患者进行摆位指导，不需进入机房。

⑤放射性固废路线

1) 甲癌治疗项目：甲测室、服药间、核素病房的放射性固废从走廊向西经污洗间运至固废间进行衰变。

2) 甲亢治疗项目：甲测室、甲亢留观室、服药间的放射性固废从走廊向西经污洗间运至固废间进行衰变。

¹³¹I路线、患者路线、医护人员路线、放射性固废路线见图9.1-14~图9.1-16。医护人员通过门禁系统和对讲系统对患者、放射性药物、放射性固废的转移进行调度，同时通过监控系统确认转移情况，错开转移时间，使放射性药物路线和放射性固废路线、患者路线和放射性固废路线、患者路线和放射性固废路线在时间上不存在交叉。

(5) 放射性药物使用情况

根据医院提供的资料，本项目甲癌患者和¹⁷⁷Lu注射患者（见9.1.1.5章节）均需住院3天，且仅在周一至周五开展服药/注射治疗。医院计划每日最多收治3名甲癌患者（当日总用药量不得超过日最大操作量，因此每位患者用药量不能都达到单人最大用药量，具体用药量分配按实际情况考虑）、1名¹⁷⁷Lu注射患者，则核素治疗区的8间核素病房

以每周为一轮恰好可以满足14名患者住院3天，结合医院实际情况，医院计划每周最多接收12名甲癌患者、1名¹⁷⁷Lu注射患者住院。

甲亢患者每日最多人次为5人·次，仅在周一至周五开展，年最多人次为1250人·次。

本项目¹³¹I甲癌、甲亢治疗使用核素情况见表9.1-11。

表 9.1-11 ¹³¹I 甲癌、甲亢治疗使用核素情况一览表

核素	单人最大用量 (Bq)	每日最多人 次 (人·次)	日最大操作 量 (Bq)	每年最多人 次 (人·次)	年最大操作 量 (Bq)	用途
¹³¹ I	9.25×10 ⁹ (甲癌)	3	2.22×10 ¹⁰	600	5.55×10 ¹²	甲癌、甲 亢治疗
	5.55×10 ⁸ (甲亢)	5		1250		

(4) 工程设备

¹³¹I甲癌、甲亢治疗项目中使用的工程设备见表9.1-12。

表 9.1-12 ¹³¹I 甲癌、甲亢治疗项目中使用的工程设备

序号	设备名称	型号/参数	用途	所在位置	备注
1	分装柜	正面屏蔽能力50mmPb、侧面屏蔽能力40mmPb、手孔屏蔽能力30mmPb	辐射防护屏蔽	核素治疗区分装室	新增
2	自动分装仪	/	¹³¹ I 药物分装	核素治疗区分装室分装柜中	新增
3	铅罐	/	¹³¹ I 药物储存	储源室	由供应单位提供
4	铅衣、铅帽、铅手套等	0.5mmPb	工作人员防护用品	/	新增
5	表面沾污仪	/	自行监测场所表面污染	核素治疗区	新增
6	巡测仪	/	自行监测场所周围剂量率	核素治疗区	新增
7	个人剂量报警仪	/	个人剂量监测与报警	核素治疗区	新增
8	热释光个人剂量计	/	用于个人累积剂量监测	核医学科	依托现有

9.1.1.5.前列腺癌治疗 (¹⁷⁷Lu、²²⁵Ac、²¹¹At)、骨转移瘤治疗 (²²³Ra)

(1) 工作原理

①¹⁷⁷Lu治疗前列腺癌

¹⁷⁷Lu是一种治疗性核素，性质优良，可以标记较小肽类，靶向性较高，半衰期为6.73d，有充分时间结合受体，适合运输。¹⁷⁷Lu同时发射β及γ射线，β射线能量为0.2058MeV，在组织中的平均射程为2mm，在对病灶发生辐射作用时对骨髓抑制较轻，比其他治疗核素更安全。同时其较低能量的γ射线，可减少对医护人员的辐射。

②²²⁵Ac治疗前列腺癌

^{225}Ac (α 放射性核素) 在内照射时具有极强的细胞毒性, 对肿瘤细胞具有较强的杀灭作用, 而其短射程对正常组织影响较小 (α 粒子的射程仅 $47\ \mu\text{m}$), 半衰期 10d , 衰变时产生 5.73MeV 的 α 射线, 此外, 也有较低几率产生 0.0997MeV 的 γ 射线。

③ ^{211}At 治疗前列腺癌

^{211}At 半衰期 7.22h , 平均每衰变一次发射一个 α 粒子和 6.3 个俄歇电子, 是一种新型的 α 射线的靶向同位素治疗药物。就放射治疗而言, 它的 α 粒子在组织中射程短 ($55\sim 80\ \mu\text{m}$), 仅相当于 $6\sim 8$ 个细胞范围。 ^{211}At 对周围正常组织损伤很小, 是鳞状上皮细胞癌目前首选的肿瘤标志物, 灵敏度可达 60% , 特异性可达 95% , 它对非小细胞肺癌的早期诊断、疗效监测和预后判断均有重要意义。

④ ^{223}Ra 治疗骨转移瘤

^{223}Ra 是一种放射性核素, 物理半衰期为 11.44d , 能发射 α 射线, 同时还能发射 β 射线和 γ 射线。其中 α 射线占 95.3% (最大能量 5.8713MeV), α 粒子在组织中射程仅 $43\ \mu\text{m}$ 。

^{223}Ra 在内照射时具有极强的细胞毒性, 对肿瘤细胞具有较强的杀灭作用, 而其短射程对正常组织影响较小, 并能够模拟钙的作用, 并与羟基磷灰石形成复合物以加快一些部位骨质更新, 例如骨转移灶部位。这种强有力的药物的 α 粒子的穿透范围短, 不会伤害附近的健康组织和关键的骨髓。对医护人员和患者周围公众外照射影响轻。

(2) 工作流程

本项目拟利用放射性核素 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 开展前列腺癌治疗, 利用放射性核素 ^{223}Ra 开展骨转移瘤治疗, 均属于注射治疗。前列腺癌治疗项目、骨转移瘤治疗项目工作流程和产污节点见图 9.1-7。

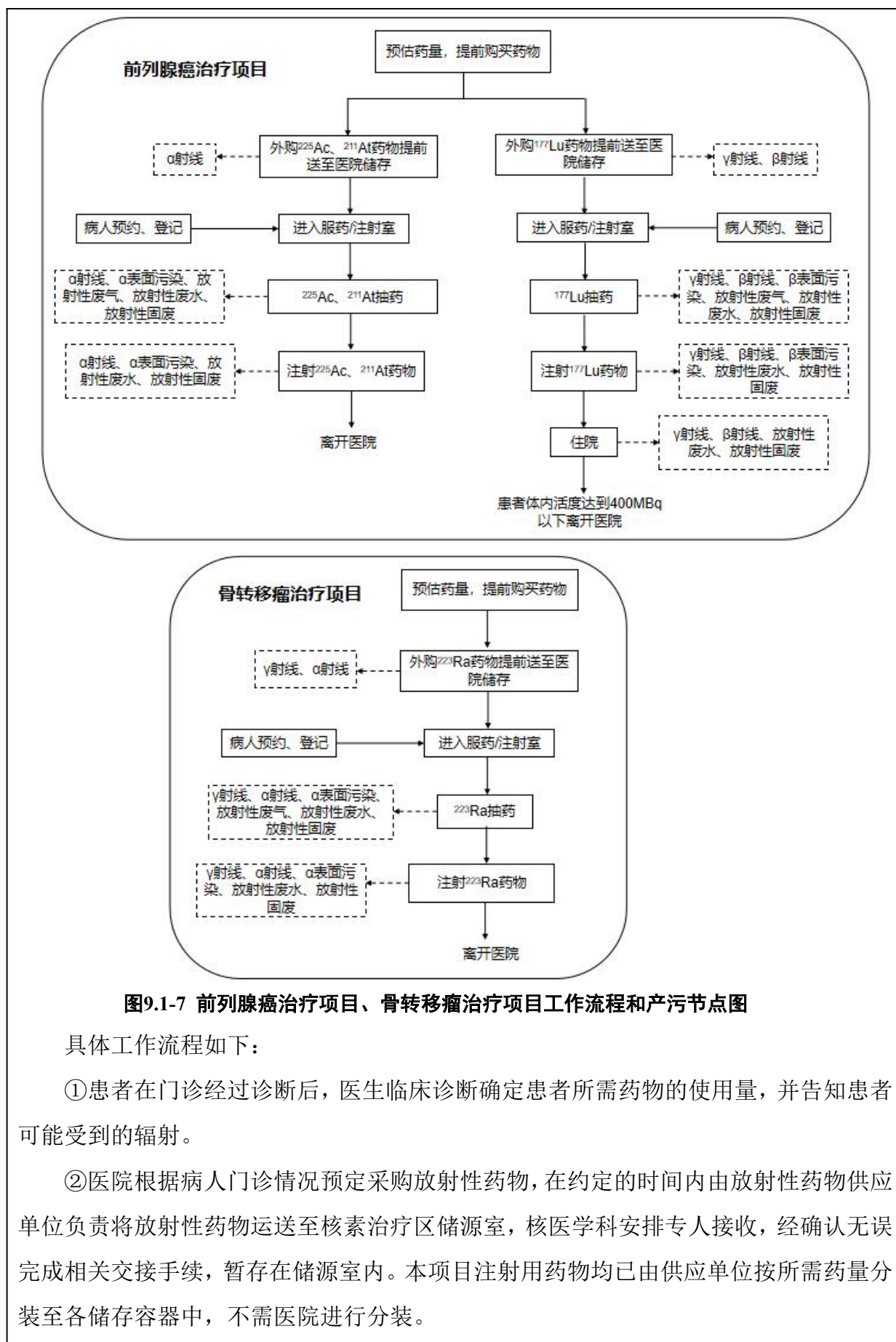


图9.1-7 前列腺癌治疗项目、骨转移瘤治疗项目工作流程和产污节点图

具体工作流程如下：

①患者在门诊经过诊断后，医生临床诊断确定患者所需药物的使用量，并告知患者可能受到的辐射。

②医院根据病人门诊情况预定采购放射性药物，在约定的时间内由放射性药物供应单位负责将放射性药物运送至核素治疗区储源室，核医学科安排专人接收，经确认无误完成相关交接手续，暂存在储源室内。本项目注射用药物均已由供应单位按所需药量分装至各储存容器中，不需医院进行分装。

③患者通过患者走廊进入服药间接受放射性药物注射，医护人员从储源室取出含已分装放射性药物的容器，使用注射器从容器中抽取药液，抽药过程均在分装室西北角落的分装柜处进行。

④医护人员在服药间为患者进行静脉注射，注射时间约0.5min/人·次。

⑤注射 $^{225}\text{Ac}/^{211}\text{At}/^{223}\text{Ra}$ 药物的患者向北至甲亢留观室，直接从甲亢留观室北侧出入口离开医院，不需留观。

注射 ^{177}Lu 药物的患者需至核素病房住院观察3天。住院期间，护士每日通过病房内的人机可视化对讲系统查看患者情况，不需进入病房巡视。住院期间患者禁止外出，患者仅允许在病房内部自由活动。医护人员通过安装在病房的摄像头和对讲装置进行查房，患者通过呼叫系统按照医护人员的呼叫，按顺序在取餐窗口取餐。

⑥注射 ^{177}Lu 药物的患者住院满3天后，到达核素治疗区西侧测量/配餐区处，需经过在测量/配餐区内一侧墙体上设置的固定式辐射剂量率监测仪检测，医生语音指导患者站在指定地标进行测量，参考甲癌患者出院标准， ^{177}Lu 药物注射患者出院时体表1m处的周围剂量当量率低于 $25\mu\text{Sv/h}$ 或体内放射性活度低于 400MBq 后，医生方会通过控制面板确认打开测量/配餐区与缓冲区之间的门禁。患者从缓冲区北侧出口离开。

根据以上工艺流程分析，本目前列腺癌治疗、骨转移瘤治疗过程中产生的污染物见下表9.1-13。

表 9.1-13 列腺癌治疗、骨转移瘤治疗项目污染物

序号	类别	污染物名称	污染来源
1	辐射	γ 射线	^{177}Lu 、 ^{223}Ra
2		β 射线	^{177}Lu
3		α 射线	^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra
4	表面污染	β 表面污染	^{177}Lu 抽药、注射
5		α 表面污染	^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 抽药、注射
6	放射性固废	废药瓶	^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 抽药
7		废针筒、废棉签、废一次性手套等	^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 注射
8		^{177}Lu 注射患者住院垃圾	可能沾染住院患者体液中放射性核素 ^{177}Lu
9	放射性废气	^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 挥发废气	^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 抽药
10	放射性废水	^{177}Lu 注射患者住院废水	^{177}Lu 注射患者住院
11		^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 抽药、注射人员清洁废水	抽药、注射人员清洁手部及其他可能沾染核素的部位

(3) 路线规划

①药物路线

^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 药物从甲亢留观室北侧出入口进入，通过患者走廊进入服药间，经分装室送至储源室内暂存。

使用前，医护人员从储源室将其取出，经分装室运至服药间。

②患者路线

1) 前列腺癌治疗(^{177}Lu 注射)项目：预约治疗当天，患者从102号楼一楼东侧出入口进入，至候诊区候诊，根据医护人员指示前往服药间接受注射，然后前往医护人员指定核素病房内住院。住院期间，患者需就餐时，根据病房内对讲系统指示，从患者走廊到达核素治疗区西侧测量/配餐区传递窗处取餐，其余时间均在核素病房内活动。住院期满后，患者到核素治疗区西侧测量/配餐区进行测量，经检测符合出院要求后从测量/配餐区北侧出口进入缓冲区，然后从缓冲区北面出口离开。

2) 前列腺癌治疗(^{225}Ac 、 ^{211}At 注射)项目、骨转移瘤治疗(^{223}Ra 注射)项目：预约治疗当天，患者从102号楼一楼东侧出入口进入，至候诊区候诊，根据医护人员指示前往服药间接受注射，注射结束后直接从甲亢留观室北侧出入口离开。

③医护人员路线

1) 前列腺癌治疗(^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 注射)项目、骨转移瘤治疗(^{223}Ra 注射)项目：医护人员从102号楼一楼东侧出入口进入，至护士值班室、医生办公室等办公区，再从走廊向西走，可至缓冲/更衣室进行更衣，从缓冲/更衣室西侧出入口进入分装室，从分装室东北侧出入口可进入储源室取药，回到分装室内进行抽药操作，从分装室西北侧出入口进入服药间为患者进行注射。为患者进行注射后的医护人员返回分装室，在分装室内东侧洗手台进行清洁。

2) 前列腺癌治疗(^{177}Lu 注射)项目：患者住院期间，正常情况下护士可在护士站通过人机可视化对讲系统查看各病房中患者的情况，不需进入病房巡视。为患者送餐时，医护人员提前从缓冲区北面出入口进入，通过缓冲区南面传递窗将准备好的食物传递到测量/配餐区的窗前台面，不与患者接触。

④放射性固废路线

分装室、服药间的放射性固废从走廊向西经污洗间运至固废间进行衰变。

^{177}Lu 药物路线、患者路线、医护人员路线、放射性固废路线见图9.1-17， ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 药物路线、患者路线、医护人员路线、放射性固废路线见图9.1-18。医护人员通过门禁系统和对讲系统对患者、放射性药物、放射性固废的转移进行调度，同时通过监控

系统确认转移情况，错开转移时间，使放射性药物路线和放射性固废路线、患者路线和放射性固废路线、患者路线和放射性固废路线在时间上不存在交叉。

(4) 放射性药物使用情况

^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 等药物注射治疗仅在周一至周五开展，其中 ^{177}Lu 注射治疗每日最多人次为1人·次，每周最多人次为1人·次，每年最多人次为50人·次。其余放射性药物注射治疗周一至周五期间可开展2天，每日最多人次均为1人·次，每年最多人次为100人·次。本项目放射性注射药物使用情况见表9.1-14。

表 9.1-14 放射性注射药物使用情况一览表

核素	单人最大用量 (Bq)	每日最多人次 (人·次)	日最大操作量 (Bq)	每年最多人次 (人·次)	年最大操作量 (Bq)	用途
^{177}Lu	7.40×10^9	1	7.40×10^9	50	3.70×10^{10}	前列腺癌治疗
^{225}Ac	2.22×10^7	1	2.22×10^7	100	2.22×10^9	
^{211}At	1.00×10^9	1	1.00×10^9	100	1.00×10^{11}	
^{223}Ra	4.5×10^6	1	4.5×10^6	100	4.5×10^8	骨转移瘤治疗

(5) 工程设备

前列腺癌、骨转移瘤治疗项目中使用的工程设备见表9.1-15。

表 9.1-15 前列腺癌、骨转移瘤治疗项目中使用的工程设备

序号	设备名称	型号/参数	用途	所在位置	备注
1	分装柜	正面屏蔽能力50mmPb、侧面屏蔽能力40mmPb、手孔屏蔽能力30mmPb	抽药	核素治疗区分装室	新增
2	塑料罐	/	用于储存 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 药物	核素治疗区储源室	由供应单位提供
3	铅罐	/	用于储存 ^{177}Lu 药物	核素治疗区储源室	由供应单位提供
4	铅衣、铅帽、铅手套等	0.5mmPb	工作人员防护用品	/	新增
5	表面沾污仪	/	自行监测场所表面污染	核素治疗区	新增
6	巡测仪	/	自行监测场所周围剂量率	核素治疗区	新增
7	个人剂量报警仪	/	个人剂量监测与报警	核素治疗区	新增
8	热释光个人剂量计	/	用于个人累积剂量监测	核医学科	依托现有

9.1.1.6. ^{90}Sr (^{90}Y) 敷贴治疗

(1) 工作原理

当患者患有血管瘤、痣、疤痕疙瘩、酒渣鼻、毛细血管扩张、神经性皮炎、局限性

慢性湿疹、局限性皮肤瘙痒和某些皮肤癌等症时，通过 ^{90}Sr (^{90}Y) 放射源敷贴照射，让敷贴器充分接近病变皮肤，核素在衰变过程中释放的纯 β 射线作用于增生组织细胞，可以降低细胞分裂速度，延长核分裂周期，闭塞毛细血管及止痒和镇痛等作用而达到诊疗目的。本项目使用的 ^{90}Sr (^{90}Y) 敷贴源为外购成品密封源，属于使用V类放射源。

(2) 工作流程

^{90}Sr (^{90}Y) 敷贴治疗流程和产污节点见图9.1-8。

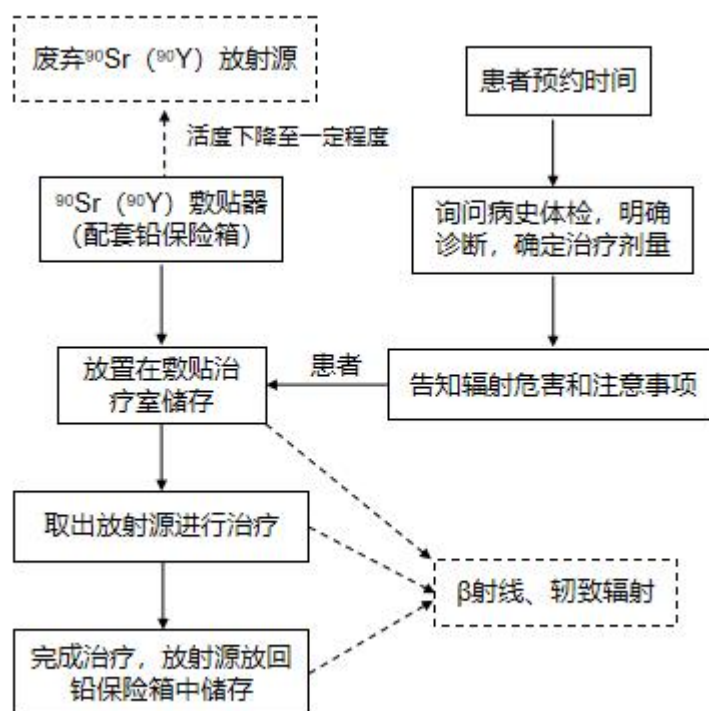


图9.1-8 ^{90}Sr (^{90}Y) 敷贴治疗流程和产污节点图

具体工作流程如下：

①供应单位将 ^{90}Sr (^{90}Y) 敷贴器送至医院敷贴治疗室，敷贴器配套具有防辐射能力的铅保险箱，医院安排专人接收并负责管理。

②患者按照预约时间就诊，医生向患者询问病史，了解病情，根据病人病变的大小，厚薄及部位的不同，确定每次照射时间，确定治疗方案。

③开始治疗前，医生应向患者告知辐射危害和注意事项。

④患者在敷贴治疗室接受治疗，辐射工作人员首先用橡皮圈在疤痕疙瘩附近固定遮盖，凸出疤痕位置，然后按下敷贴器。

⑤治疗过程均由专业医护人员操作，治疗完毕，将敷贴源放入保险箱内并上锁，保险箱直接存放在敷贴治疗室。治疗结束后，患者可直接离开医院。

根据放射源特性， ^{90}Sr (^{90}Y) 敷贴治疗主要污染物为放射源在使用和存放过程中持续产生的 β 射线； β 粒子穿过周围物质时产生轫致辐射（本质为X射线）。 ^{90}Sr (^{90}Y) 敷贴器经一段时间的使用后，其活度会降低至不适宜用于治疗，此时将产生废旧放射源。

（3）路线规划

①放射源路线

供应单位将配备铅保险箱的 ^{90}Sr (^{90}Y) 敷贴器运至医院，从敷贴治疗室北侧出入口进入敷贴治疗室。

②患者路线

患者从102号楼一楼东侧出入口进入，至候诊区候诊，根据医护人员指示前往敷贴治疗室进行治疗，治疗结束后直接从敷贴治疗室北侧出入口离开。

③医护人员路线

医护人员从102号楼一楼东侧出入口进入，至护士值班室、医生办公室等办公区。敷贴治疗前，医护人员从敷贴治疗室南侧出入口进入该室内。敷贴治疗项目医护人员可到护士值班室、医生办公室配套卫生间进行清洁。

④固废路线

本项目利用放射源进行敷贴治疗，治疗时无放射性固废产生。废弃放射源由敷贴器供应单位回收，从敷贴治疗室北侧出入口运走。

敷贴治疗项目的放射源路线、患者路线、医护人员路线、废弃放射源路线见图9.1-19。供应单位将敷贴器运至敷贴治疗室后，直至放射源废弃前不需再进行放射源的运输，因此放射源路线、患者路线、医护人员路线不存在交叉。

（4）放射源使用情况

根据医院提供的资料，本项目使用1枚V类放射源进行 ^{90}Sr (^{90}Y) 敷贴治疗，放射源活度为 $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ ，每日治疗约30人·次，平均每次3min。

（5）工程设备

敷贴治疗项目中使用的工程设备见表9.1-16。

表 9.1-16 敷贴治疗项目中使用的工程设备

序号	设备名称	型号/参数	用途	所在位置	备注
1	有机玻璃防护面罩	/	医护人员辐射防护屏蔽	核素治疗区敷贴治疗室	新增
2	橡皮泥或橡胶板	/	遮盖患者非治疗区域	核素治疗区敷贴治疗室	新增
3	铅保险箱	/	用于存放 ^{90}Sr (^{90}Y) 敷贴器	核素治疗区敷贴治疗室	新增

4	巡测仪	/	自行监测场所周围剂量率	核素治疗区	新增
5	个人剂量报警仪	/	个人剂量监测与报警	核素治疗区	新增
6	热释光个人剂量计	/	用于个人累积剂量监测	核医学科	依托现有

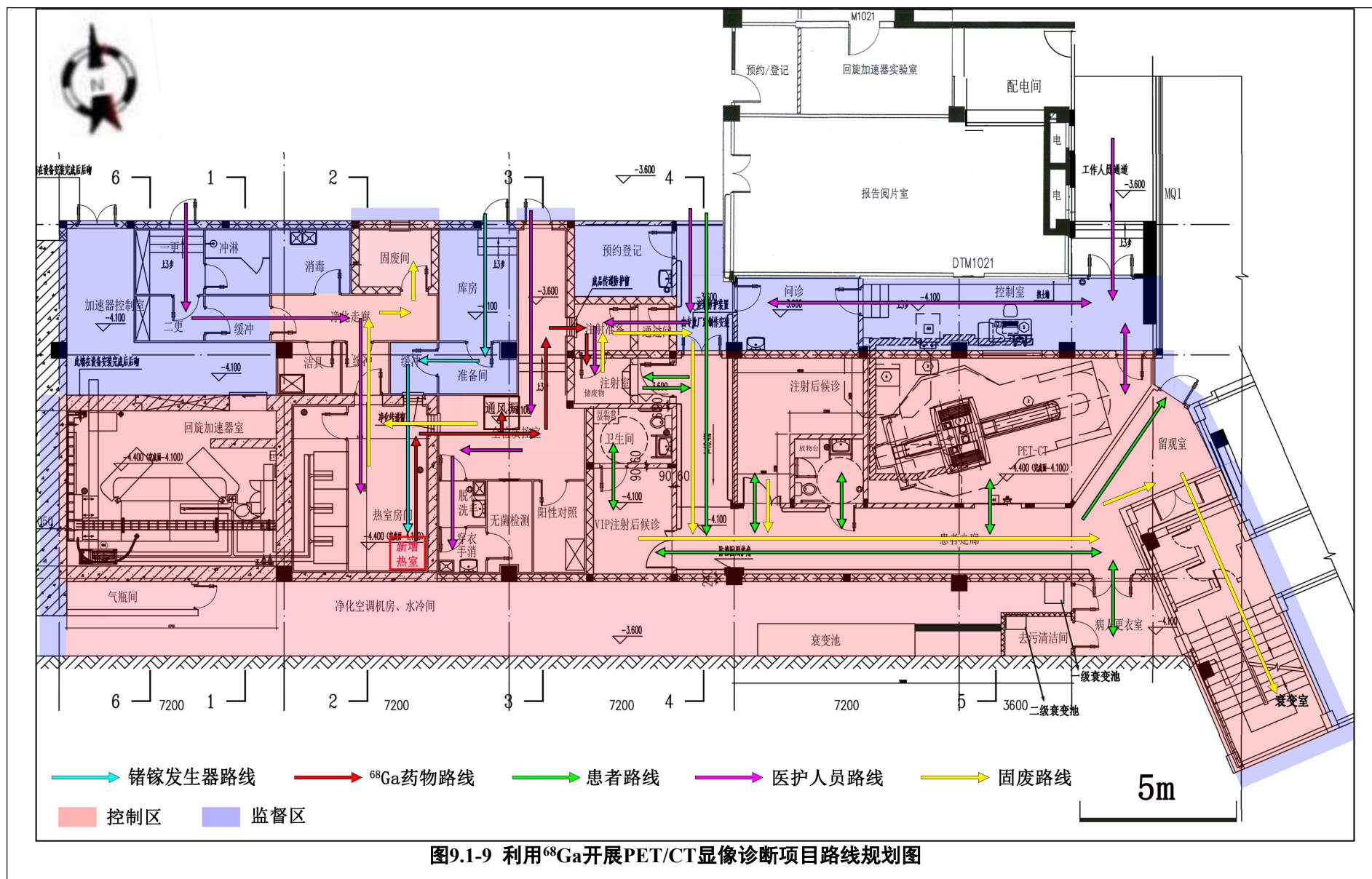
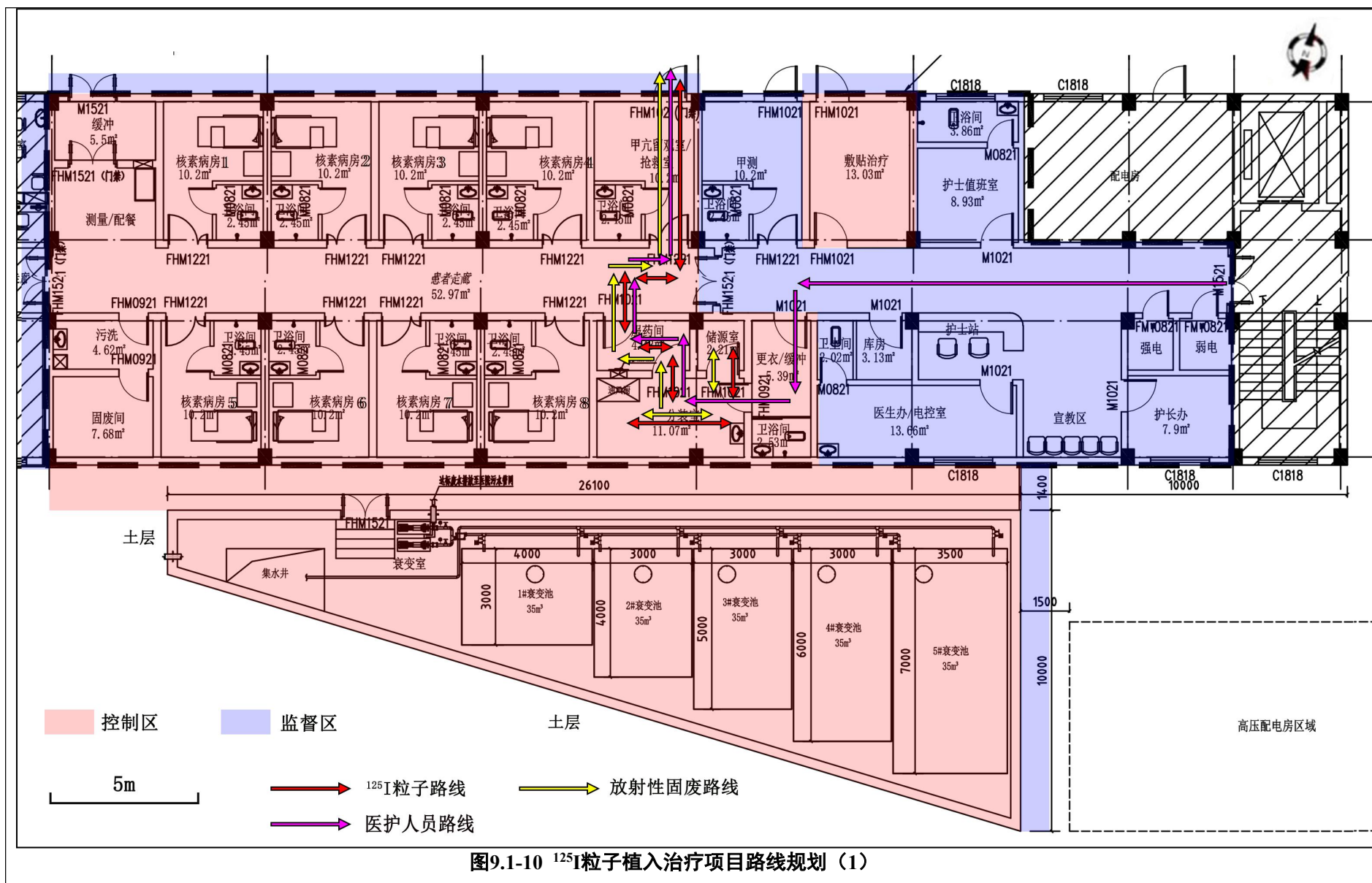
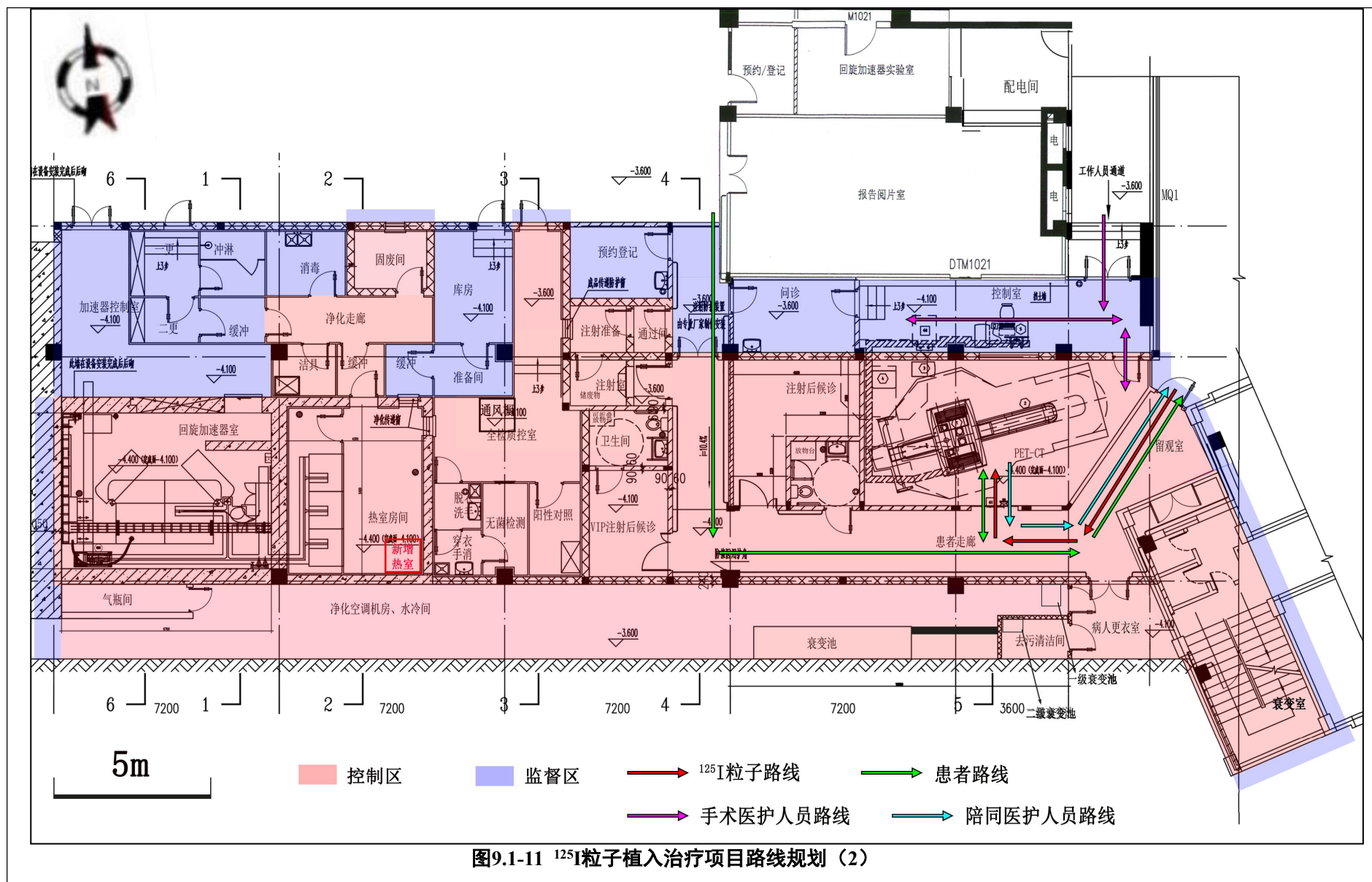


图9.1-9 利用⁶⁸Ga开展PET/CT显像诊断项目路线规划图





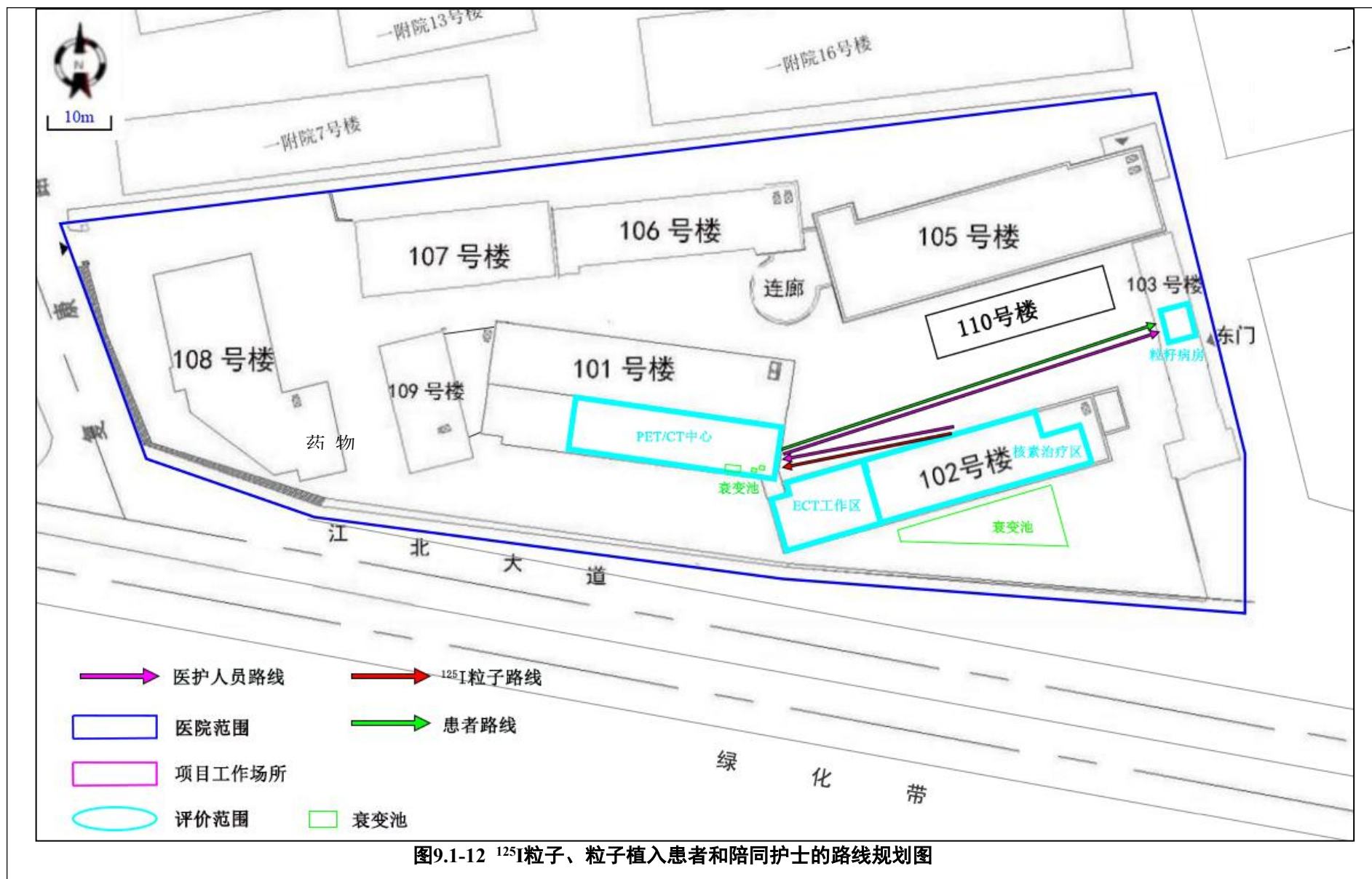


图9.1-12 ^{125}I 粒子、粒子植入患者和陪同护士的路线规划图

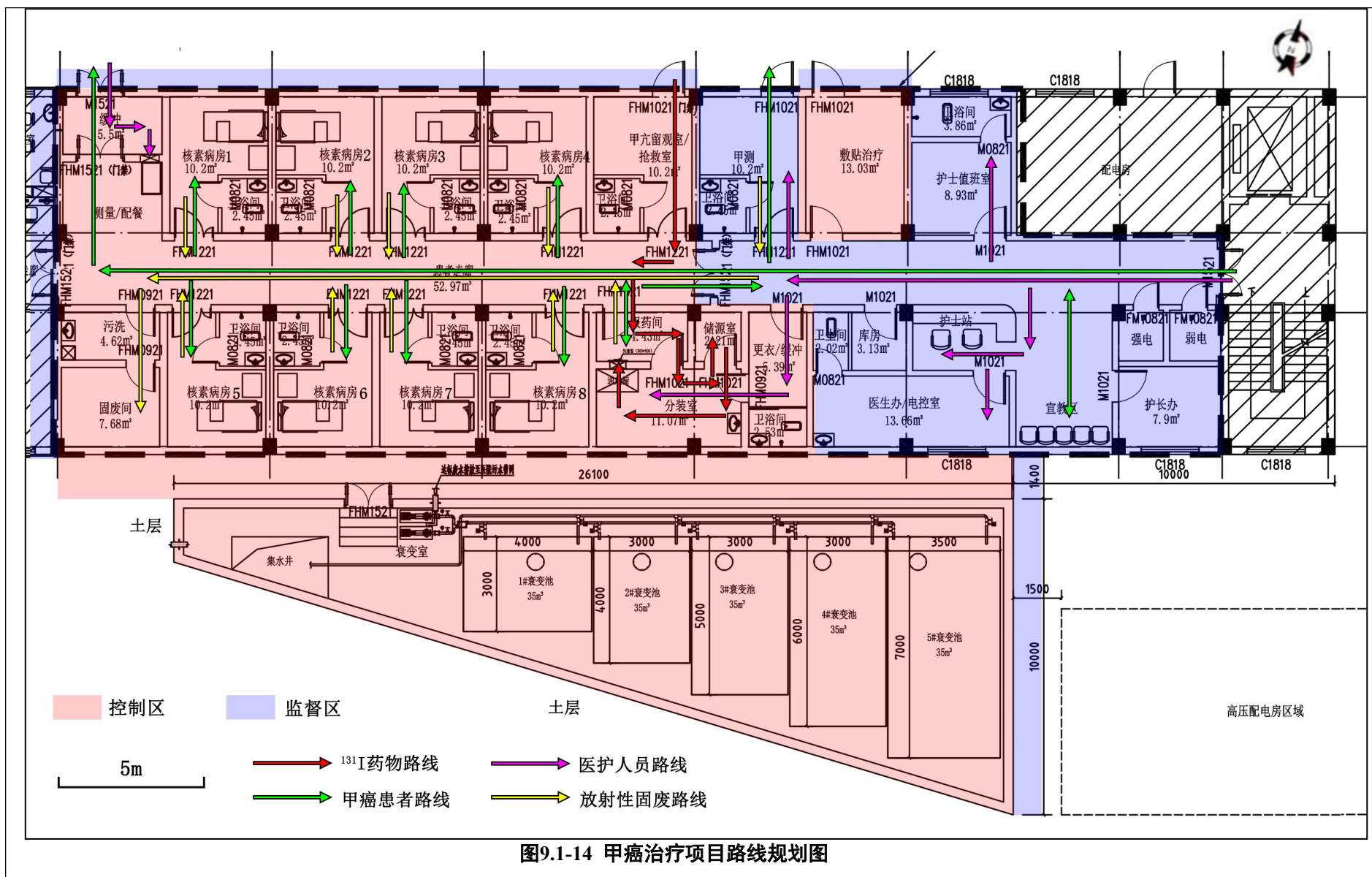


图9.1-14 甲癌治疗项目路线规划图

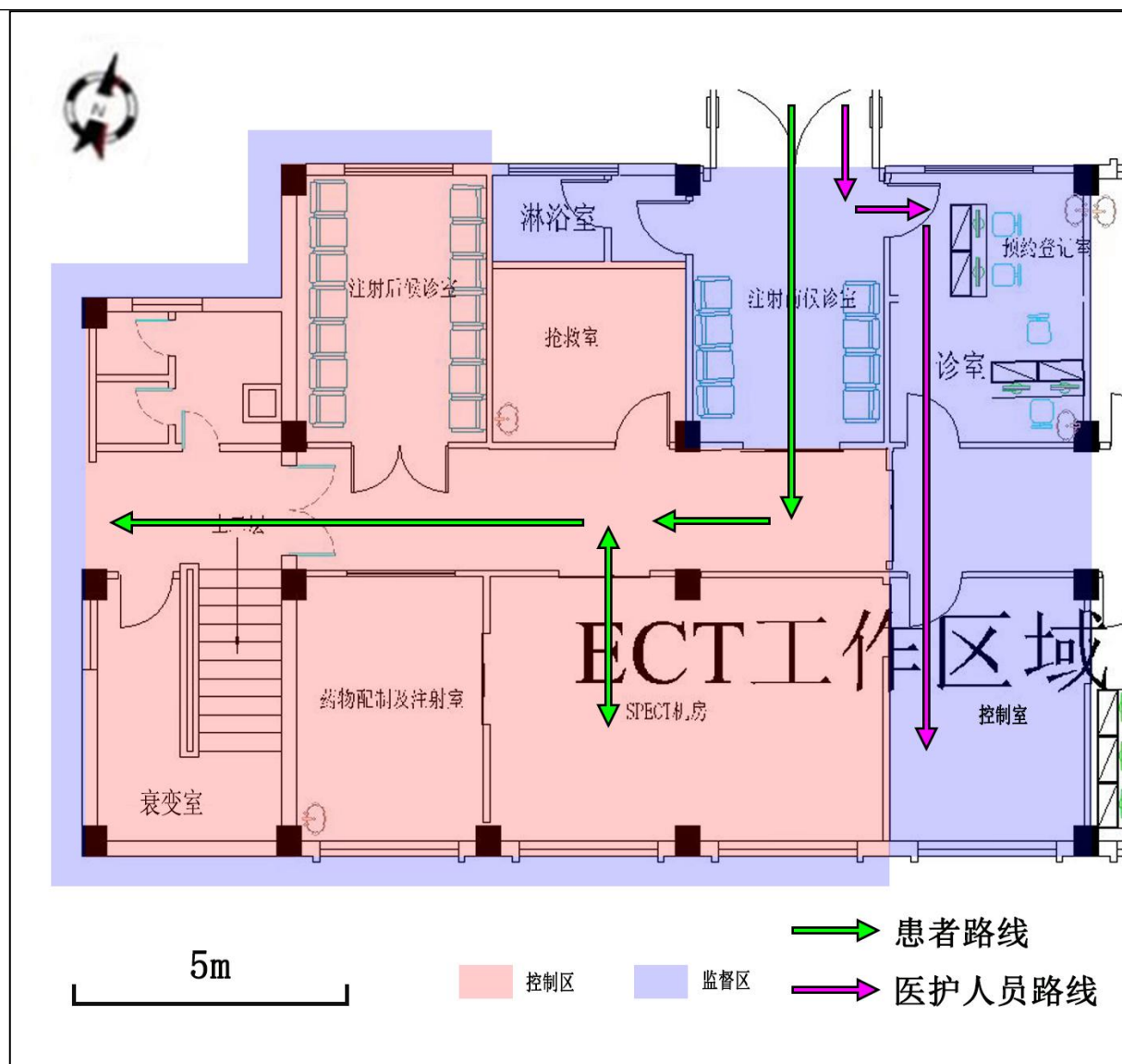
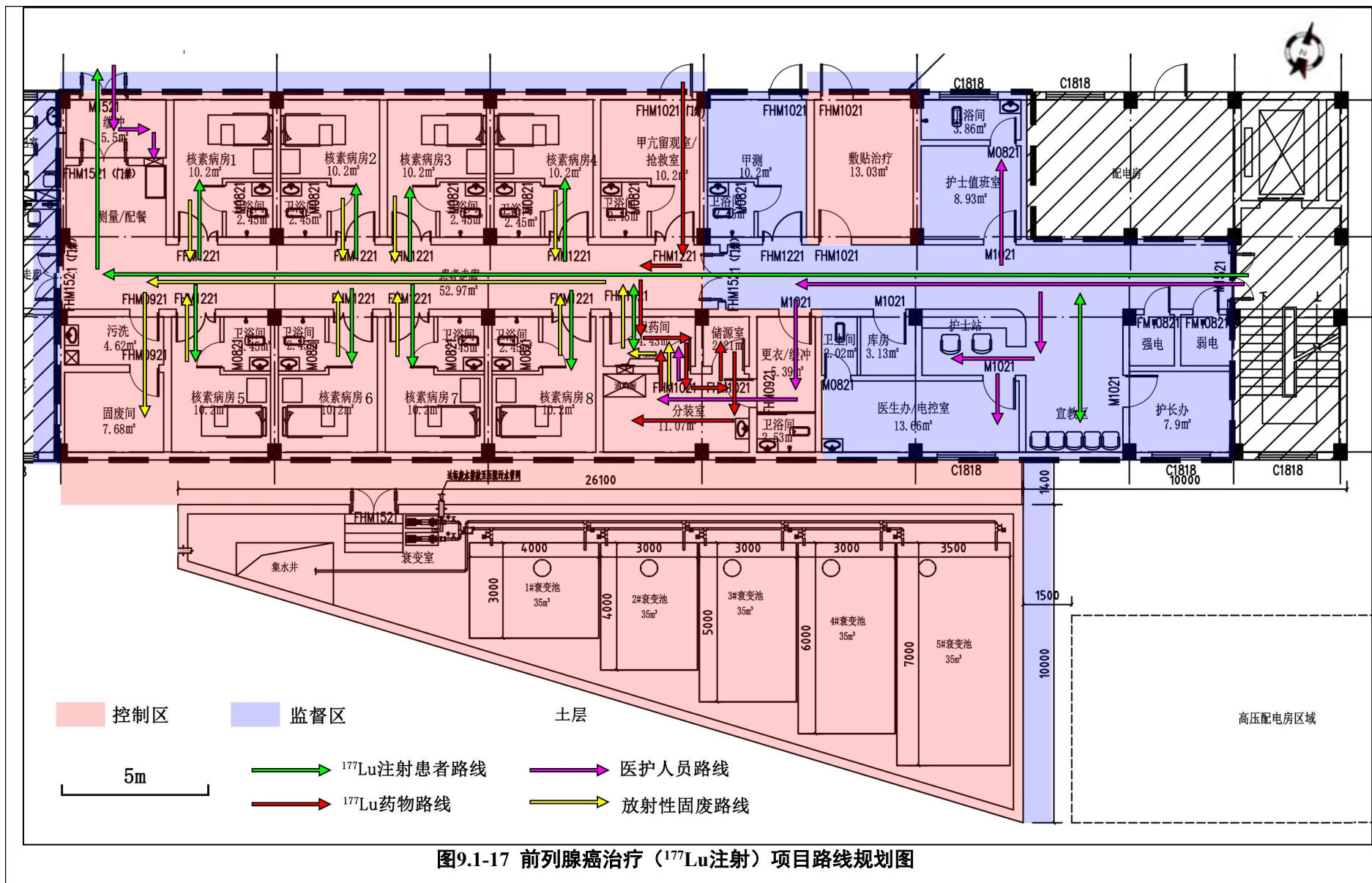


图9.1-15 甲癌患者碘扫路线规划图



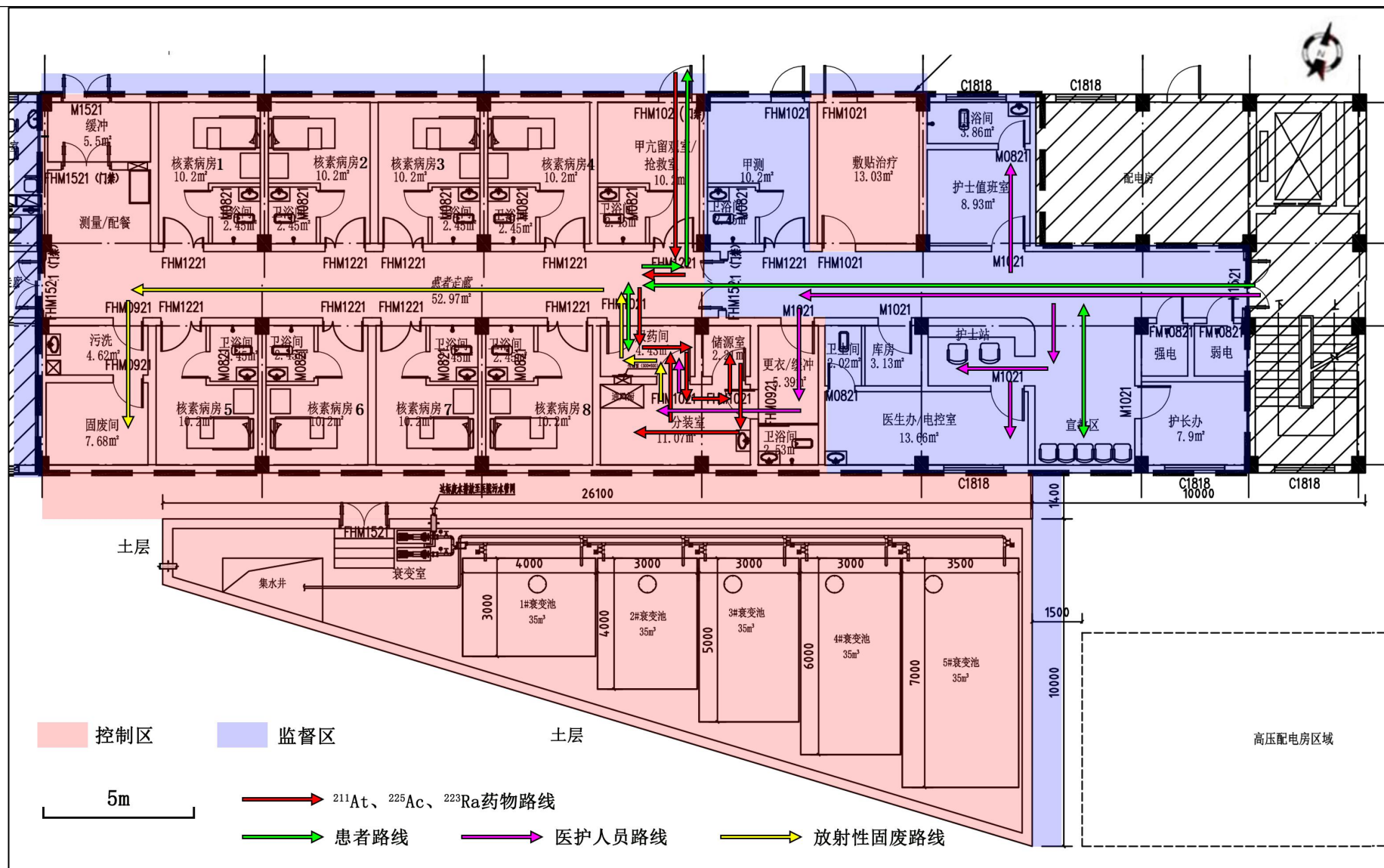
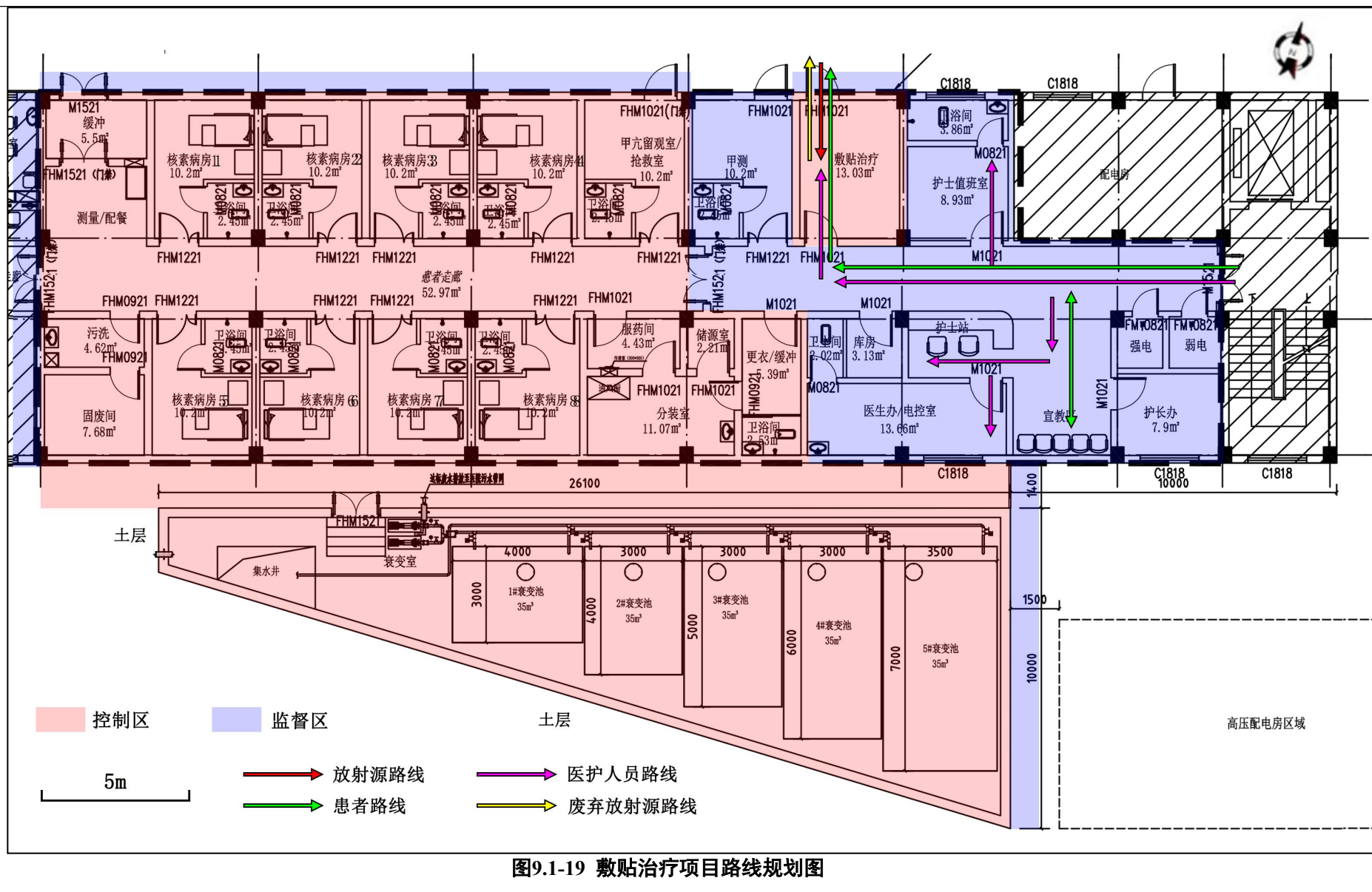


图9.1-18 前列腺癌治疗（ ^{225}Ac 、 ^{211}At 注射）项目、骨转移瘤治疗（ ^{223}Ra 注射）项目路线规划图



9.2.污染源项描述

9.2.1.正常工况下的污染源项描述

9.2.1.1.放射性污染

(1) 辐射

①射线装置辐射

本项目在使用PET/CT、SPECT/CT进行扫描时和使用PET/CT引导粒子植入手术时，会产生X射线。射线装置不开机状态不产生辐射。

②非密封放射性物质辐射

本项目拟使用放射性核素衰变方式、主要射线和能量见表9.2-1。 ^{68}Ge 、 ^{68}Ga 、 ^{125}I 粒子、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 等放射性药物在淋洗、分装、转运、注射、扫描、留观、服药、住院等过程中产生 γ 射线、 β 射线（其中 ^{125}I 粒子仅产生 γ 射线）， ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 等药物还会产生 α 射线；放射性药物在分装、质控、注射、服药过程中可能会发生药物撒落事故，对工作台、设备、墙壁、地面等产生放射性沾污，造成局部 α 表面污染、 β 放射性表面污染。

表 9.2-1 放射性核素特性一览表

核素名称	状态	毒性组别	半衰期	衰变方式	α/β 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)
^{68}Ge	固态	中毒	270.95d	EC	/	0.107
^{68}Ga	液态	低毒	68.3min	β^+ 、EC	1.9 (+)	0.511
^{125}I 粒子	固态	中毒	59.4d	EC	/	0.027、0.028、0.031、0.036
^{131}I	液态	中毒	8.02d	β^-	0.602	0.284、0.365、0.637
^{177}Lu	液态	中毒	6.73d	β^-	0.2058	0.2084
^{225}Ac	液态	极毒	10.0d	α	5.73	0.0997
^{211}At	液态	高毒	7.214h	α 、EC	5.98	0.785
^{223}Ra	液态	极毒	11.44d	α	5.8713 (α)、0.4270 (β)	0.0117、0.0838、0.2695

注：1、 α 表示 α 衰变， β 表示 β 负衰变， β^+ 表示 β 正衰变，EC表示轨道电子俘获。
2、放射性核素 ^{68}Ga 、 ^{125}I 粒子、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 半衰期、衰变方式、 α/β 最大能量、光子能量取自《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录H， ^{68}Ge 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 半衰期、衰变方式、 α/β 最大能量、光子能量取自《辐射安全手册》（ ^{68}Ge 的光子能量、 ^{211}At 的 α/β 最大能量和光子能量均查询自NNDC美国国家核物理数据中心网站）。

③放射源辐射

本项目拟增设一台 ^{90}Sr （ ^{90}Y ）敷贴器，规格为 $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ ，属于V类放射源，其特性见表9.2-2。该放射源在贮存、使用过程中会产生 β 辐射。

表 9.2-2 放射源特性一览表

核素名称	半衰期	衰变方式	射线种类与能量 (MeV)
^{90}Sr （ ^{90}Y ）	^{90}Sr : 28.79a ^{90}Y : 64.1h	β	^{90}Sr : 0.546 (β 射线) ^{90}Y : 2.284 (β 射线)

注： ^{90}Sr 、 ^{90}Y 半衰期、衰变方式、射线种类与能量均取自《辐射安全手册》。

④轫致辐射

^{90}Sr (^{90}Y) 放射源中放射性核素衰变过程中产生 β 射线在空气及人体组织中射程较短， β 射线的穿透能力虽小，但容易被人体组织皮肤层吸收，造成皮肤黏膜、眼晶体损害。 β 射线与物质作用时，有一部分会以轫致辐射形式辐射出来。轫致辐射的强度与 β 射线能量成正比，而穿透能力大于 β 射线，因此本项目还需考虑 ^{90}Sr (^{90}Y) 放射源发出的 β 射线所产生轫致辐射的外照射影响。

(2) 放射性废水

项目放射性废水主要来源于质控、分装、抽药等人工操作液态放射性药物的人员清洁手部及其他可能沾染放射性核素的部位，注射/给药后患者候诊、留观、住院时排泄，辐射工作场所清洁等。

当容器倾倒、破损造成放射性药物泄漏事故时，医护人员第一时间使用吸水纸和酒精棉球反复擦拭，直至现场检测仪器显示场所表面污染符合要求。事故废水均由吸水纸、酒精棉球等清洁用品吸附后作为放射性固废进行处理，因此不考虑其作为放射性废水排入衰变池处理。

①PET/CT中心：

根据医院提供的PET/CT中心衰变池废水统计数据（见附件20），PET/CT中心现有衰变池2024年全年共排放废水45次，每次排放量为 2.88m^3 （即为第三级衰变池中单格小衰变池容积），即全年共排放废水 129.6m^3 ，日平均废水量约为 $0.355\text{m}^3/\text{d}$ ，则PET/CT中心现有 ^{18}F 应用项目和ECT工作区现有 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 应用项目产生的放射性废水量为 $0.355\text{m}^3/\text{d}$ ， $129.6\text{m}^3/\text{a}$ 。

本项目放射性废水主要包括热室工作人员清洁废水、注射人员清洁废水、注射后候诊废水、场所清洁废水和可能产生的事故废水。核素 ^{68}Ga 采用自动分装仪分装、不需人工操作，因此无分装人员清洗废水。这两种核素半衰期较短，受检后患者留观时间不长，因此未特设留观室专用卫生间，不考虑留观废水。

1) 热室工作人员清洁废水

本项目利用 ^{68}Ga 开展显像诊断项目，每年开展100天，开展当天需进行一次 ^{68}Ga 淋洗、质控、分装，操作结束后热室工作人员需清洁手部及其他可能沾染放射性核素的部位需用水约 $6\text{L}/\text{人}\cdot\text{次}$ ，则每日产生废水 $0.006\text{m}^3/\text{d}$ ，每年产生废水 $0.600\text{m}^3/\text{a}$ 。

2) 注射人员清洁废水

新增的(^{68}Ga) PET/CT显像诊断项目, 每日最多开展4人·次/天, 每年开展100天。负责注射 ^{68}Ga 的医护人员在对患者进行注射后在注射室内洗手槽处清洁手部及其他可能沾染放射性核素的部位需用水约6L/人·次, 则每日产生废水 $0.024\text{m}^3/\text{d}$, 每年产生废水 $2.400\text{m}^3/\text{a}$ 。

2) 注射后候诊废水

注射 ^{68}Ga 后患者在进行显像诊断前需候诊, 在此期间可能产生一定量含放射性核素的排泄物和冲洗水。 ^{68}Ga 半衰期不长, 因此医护人员会根据诊断时间合理安排患者进行注射, 候诊时间不会过长, 分别约为5~10min、10~20min, 则在此期间候诊患者产生的排泄物及冲洗水较少, 仅考虑一次产生的排泄物及冲洗水量, 每次产生量约为8L, 则每日产生废水 $0.032\text{m}^3/\text{d}$, 每年产生废水 $3.200\text{m}^3/\text{a}$ 。

3) 场所清洁废水

^{68}Ga 为液态药物, 分装、注射过程中可能不慎发生少量滴、漏, 经现场配备的表面污染检测仪器超出控制标准后, 需进行清洁去污直至表面污染水平满足控制标准要求。清洁完毕后, 清洁用具需到去污清洁间/洁具间进行清洁, 清洗出的废水含放射性核素, 属于放射性废水。为减少患者受到额外的辐射影响, 医院一般将使用同一种放射性核素开展的诊疗项目安排在同一时间段, 在集中使用后统一清洁一次, 则本项目运行后将新增含 ^{68}Ga 的场所清洁废水, 每天最多产生一次, 每次产生量约为100L, 则每日产生废水 $0.100\text{m}^3/\text{d}$, 每年产生废水 $10.000\text{m}^3/\text{a}$ 。

②ECT工作区:

根据医院提供的PET/CT中心衰变池废水统计数据(见附件20), PET/CT中心现有 ^{18}F 应用项目和ECT工作区现有 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 应用项目产生的放射性废水量为 $0.355\text{m}^3/\text{d}$, $129.6\text{m}^3/\text{a}$ (分析同上)。

广西医科大学附属肿瘤医院钇[^{90}Y]微球注射液建设项目正在建设当中, 该项目运行后, 需利用ECT工作区的药物配置及注射室储存、分装 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物和 ^{90}Y 微球注射液。 ^{90}Y 微球注射项目的前期检验项目 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 导管注射手术所需的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物需在ECT工作区的药物配置及注射室进行分装, 可与ECT工作区现有 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 应用项目所需药物统一分装, 因此不产生额外的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物分装人员清洁废水; $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 导管注射手术不在ECT工作区进行, 术后患者需由医护人员送至ECT工作区SPECT/CT机房进行扫描, 医院会提前做好时间安排以便于术后患者直接进行扫描, 不需候诊, 因此在建项目运行后ECT工作区不

新增 ^{99m}Tc 注射手术人员清洁废水、术后患者候诊废水。在建项目运行后，ECT工作区仅新增一定量 ^{90}Y 微球注射液分装人员清洁废水和分装后场所清洁废水。

本项目仅利用ECT工作区的SPECT/CT机房对复诊的甲癌患者进行碘扫，患者碘扫完毕后立即离开医院，碘扫过程中不产生放射性废水。

1) ^{90}Y 微球注射液分装人员清洁废水

^{90}Y 微球注射液每年最多分装100次，每天最多分装一次，分装人员利用药物配置及注射室内洗手槽清洁手部及其他可能沾染放射性核素的部位需用水约6L/人·次，则每日产生废水0.006m³/d，每年产生废水0.600m³/a。

2) 场所清洁废水

^{90}Y 微球注射液为液态药物，分装过程中可能不慎发生少量滴、漏，经现场配备的表面污染检测仪器超出控制标准后，需进行清洁去污直至表面污染水平满足控制标准要求。清洁完毕后，清洁用具需到同楼层西侧卫生间进行清洁（清洗时禁止非清洁人员出入），清洗出的废水含放射性核素，属于放射性废水。为减少患者受到额外的辐射影响，医院一般将使用同一种放射性核素开展的诊疗项目安排在同一时间段，在集中使用后统一清洁一次。在建项目运行后将新增含 ^{90}Y 的场所清洁废水，每天最多产生一次，每次产生量约为50L，则每日产生废水0.050m³/d，每年产生废水5.000m³/a。

③核素治疗区：

放射性废水主要包括负责注射 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 的医护人员清洁废水、甲亢患者服药后留观废水、甲癌患者住院废水、注射 ^{177}Lu 患者住院废水、场所清洗废水。甲癌、甲亢治疗所需 ^{131}I 采用自动分装仪进行分装，不需人工操作，但甲测所需 ^{131}I 用量极小，无法采用分装仪分装，仍需人工操作，因此有一定分装人员清洁废水产生。 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 等 α 放射性核素辐射能量很弱，可被人体皮肤所阻隔，因此注射后患者可直接离开医院，不需留观，无留观废水产生。

1) 分装人员清洁废水

每天仅需人工分装甲测所需的 ^{131}I 一次，甲测仅在周一至周五进行，则每年最多开展250天。

负责分装的医护人员在分装室分装完毕后利用分装室洗手槽处清洁手部及其他可能沾染放射性核素的部位需用水约6L/人·次，则每日产生废水0.006m³/d，每年产生废水1.500m³/a。

2) 注射人员清洁废水

本项目运行后， ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 药物注射次数最多分别为1人·次/天、1人·次/天、1人·次/天、1人·次/天，仅在周一至周五开展注射治疗，其中 ^{177}Lu 注射治疗每年最多开展50天，其余每年最多开展100天。负责注射的医护人员在对患者进行注射后返回分装室洗手槽处清洁手部及其他可能沾染放射性核素的部位需用水约6L/人·次，则每日产生废水分别为 $0.006\text{m}^3/\text{d}$ 、 $0.006\text{m}^3/\text{d}$ 、 $0.006\text{m}^3/\text{d}$ 、 $0.006\text{m}^3/\text{d}$ ，每年产生废水分别为 $0.300\text{m}^3/\text{a}$ 、 $0.600\text{m}^3/\text{a}$ 、 $0.600\text{m}^3/\text{a}$ 、 $0.600\text{m}^3/\text{a}$ 。

3) 留观废水

核素治疗区甲亢患者服药后需在甲亢留观室内留观一段时间，留观期间可能产生少量含放射性核素的排泄物及其冲洗水。甲亢治疗每天最多开展5人·次，仅在周一至周五开展，每年开展250天。留观时间一般在10~20min，留观时间较短，废水产生量较少，仅考虑一次产生的排泄物及冲洗水量，每次产生量约为8L，则每日产生废水 $0.040\text{m}^3/\text{d}$ ，每年产生废水 $10.000\text{m}^3/\text{a}$ 。

4) 住院废水

甲癌治疗每年最多600人·次，服药后需住院3天。 ^{177}Lu 注射治疗每年最多50人·次，每次服药后需住院3天。住院患者每日产生的排泄物及其冲洗水量约为100L/（人·d），则每日产生废水分别为 $0.493\text{m}^3/\text{d}$ （平均）、 $0.100\text{m}^3/\text{d}$ ，每年产生废水分别为 $180.000\text{m}^3/\text{a}$ 、 $15.000\text{m}^3/\text{a}$ 。

5) 场所清洗废水

^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 均为液态药物， ^{131}I 分装和患者服用， ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 药物抽药、注射过程中可能不慎发生少量滴、漏，服用 ^{131}I 后患者留观或住院、注射 ^{177}Lu 后患者住院时，病房、甲亢留观室内可能沾染放射性核素，经现场配备的表面污染检测仪器超出控制标准后，需进行清洁去污直至表面污染水平满足控制标准要求。清洁完毕后，清洁用具需到污洗间进行清洁，清洗出的废水含放射性核素，属于放射性废水。为减少患者受到额外的辐射影响，医院一般将使用同一种放射性核素开展的诊疗项目安排在同一时间段，在集中使用后统一清洁一次。

核素治疗区集中开展 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 应用治疗项目后需清洗一次（这三种放射性核素均属于 α 核素，辐射影响很小，人体皮肤或一张纸即可阻隔其射线，可考虑统一安排在同一时段内开展治疗），则本项目运行后将新增含 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 的场所清

洁废水，每天最多产生一次，每次产生量约为100L，则每日产生废水0.100m³/d，每年产生废水10.000m³/a。

¹³¹I药物分装、给药仅在周一至周五产生，每天开展¹³¹I药物相关工作后需清洗一次工作场所，每年最多开展250天，则¹³¹I药物分装、给药、甲亢留观涉及场所清洁废水每次产生量约为100L，则每日产生废水0.100m³/d，每年产生废水25.000m³/a；核素病房每年最多收治甲癌患者600人·次，患者出院后需清洁一次所住病房，单间病房每次清洁废水产生量约为20L，则含¹³¹I的病房清洁废水每年产生量约为12.000m³/a。

¹⁷⁷Lu药物注射仅在周一至周五产生，每天开展¹⁷⁷Lu药物相关工作后需清洗一次工作场所，每年最多开展50天，则¹⁷⁷Lu药物注射工作涉及场所清洁废水每次产生量约为70L，则每日产生废水0.070m³/d，每年产生废水3.500m³/a；核素病房每年最多收治¹⁷⁷Lu注射后患者50人·次，患者出院后需清洁一次所住病房，单间病房每次清洁废水产生量约为20L，则病房清洁废水每年产生量约为1.000m³/a。

④粒籽病房：

粒籽病房仅作为⁹⁰Y微球注射患者留观场所和¹²⁵I粒子植入患者的住院场所，不涉及药物的储存、分装、注射等操作，因此无事故废水产生。粒籽病房放射性废水主要来源于⁹⁰Y微球注射患者留观废水、留观后场所清洗废水。¹²⁵I粒子属于固体，因此粒子植入患者住院废水及其出院后场所清洁废水中不含放射性物质，不需进行衰变处理。⁹⁰Y微球注射患者和¹²⁵I粒子植入患者不会安排在同一间病房内，则医院可在每间粒籽病房的排水管道设置阀门，当¹²⁵I粒子植入患者入住时，调节阀门使粒子植入患者住院废水及其出院后场所清洁废水通往处理一般医疗废水的化粪池、污水处理站，当⁹⁰Y微球注射患者留观时，则调节阀门使⁹⁰Y微球注射患者留观废水、留观后场所清洗废水通往102号楼南侧衰变池。

1) 留观废水

根据已取得批复的《广西医科大学附属肿瘤医院钇[⁹⁰Y]微球注射液建设项目环境影响报告表》，⁹⁰Y微球注射患者留观废水量为0.020m³/d，2.000m³/a。

2) 场所清洗废水

为减少患者受到额外的辐射影响，医院一般将使用同一种放射性核素开展的诊疗项目安排在同一时间段，在集中使用后统一清洁一次，即⁹⁰Y微球注射患者留观结束后需对所在病房及其卫生间进行一次清洗，粒籽病房均为双人病房，则⁹⁰Y微球注射患者留

观结束后需清洗单间病房：每日最多2次，每周最多4次，每年最多200次。单间粒籽病房每次清洁废水产生量约为40L，则病房清洁废水每日产生量约为0.080m³/d，每年产生量约为8.000m³/a。

以上放射性废水计算结果见表9.2-3，其中PET/CT中心、ECT工作区放射性废水进入101号楼南面现有衰变池，核素治疗区、粒籽病房放射性废水进入102号楼南面新建衰变池。

表 9.2-3 本项目放射性废水统计表

产生场所		废水	涉及核素名称	废水量		现有/新增	合计		去向
				m ³ /d	m ³ /a		平均m ³ /d	m ³ /a	
PET/CT中心	脱衣洗手间	热室工作人员清洁废水	⁶⁸ Ga	0.006	0.600	新增	0.415	151.400	101号楼一楼东南面现有衰变池
	注射室	注射人员清洁废水	⁶⁸ Ga	0.024	2.400	新增			
	注射后候诊室卫生间	注射后候诊废水	⁶⁸ Ga	0.032	3.200	新增			
	热室、注射室、注射后候诊室及其卫生间	场所清洁废水	⁶⁸ Ga	0.100	10.000	新增			
ECT工作区	药物配置及注射室	分装人员清洁废水	⁹⁰ Y	0.006	0.600	(在建项目)新增			
	药物配置及注射室	场所清洁废水、注射人员清洁废水、	⁹⁰ Y	0.050	5.000	(在建项目)新增			
PET/CT中心	热室、脱衣洗手间、注射室、注射后候诊室卫生间	热室工作人员清洁废水、注射人员清洁废水、注射后候诊废水、场所清洁废水	¹⁸ F	0.355	129.600	现有	0.740	270.100	102号楼一
ECT工作区	药物配置及注射室、注射后候诊室及西侧卫生间	分装人员清洁废水、注射人员清洁废水、注射后候诊废水、场所清洁废水	^{99m} Tc						
核素治疗区	分装室	分装人员清洁废水	¹³¹ I (甲测)	0.006	1.500	新增			
			¹⁷⁷ Lu	0.006	0.300	新增			
	分装室	注射人员清洁废水	²²⁵ Ac	0.006	0.600	新增			
			²¹¹ At	0.006	0.600	新增			

柜内进行，分装完成后立即通过分装柜北面窗口交由患者服用，分装至服药过程时间较短，一般不超过5min，在较短时间内因挥发而产生的放射性废气产生量很小，服用 ^{131}I 药物后患者呼出气体中也含少量放射性废气。 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 药物均为外购的单只成品，无需分装，仅需在注射前使用注射器从储药容器中抽取药液，抽药操作为使用注射器针头从药瓶中抽取药液，此过程无放射性废气产生； ^{125}I 粒子为固态，治疗过程中不会挥发。

因此本项目仅在 ^{68}Ga 药物淋洗制备、质控、分装阶段， ^{131}I 药物分装阶段、服用 ^{131}I 药物后产生少量放射性废气。

（4）放射性固体废物

① ^{68}Ga 淋洗制备、质控和分装：装淋洗液的废真空瓶、拿取真空瓶时佩戴的一次性手套、分装后剩余 ^{68}Ga 、质控废物等，每次淋洗制备产生的废一次性手套约为20g，剩余 ^{68}Ga 装在真空瓶内暂存于新增热室中，存放超过24小时后作为含 ^{68}Ga 的放射性固废处理，每次产生量约为200g，质控时产生的废薄层板、废毛细管、废吸水纸、废酒精棉球等垃圾，每次产生量约100g；锗镓发生器每年更换时产生的废旧发生器，每次产生量约为5kg。分装后剩余的 ^{68}Ga 暂存于原容器中

②：注射 ^{68}Ga 药物时产生的废一次性手套、废棉签、废针筒等，每次产生量约50g；注射后患者候诊时产生的可能沾染放射性核素的垃圾；检查后患者留观时产生的可能沾染放射性核素的垃圾。候诊、留观时间较短，垃圾产生量不大，均按每人每次50g计算。

③ ^{125}I 粒子植入治疗： ^{125}I 粒子为固态，抽检、质控和手术过程中基本不产生沾染核素的固废，此治疗过程的放射性固废主要为抽检的 ^{125}I 粒子，约为2g/次，回收于原粒子储存容器中，暂存于分装柜中。 ^{125}I 粒子植入患者住院期间， ^{125}I 粒子可能随着患者尿液排出体外，需在粒籽病房卫生间内设置专用的尿液暂存容器，先将患者尿液收集至尿液暂存容器中，确认尿液中含有 ^{125}I 粒子后回收粒子至具有辐射防护功能的收集桶中，再交由粒子供应单位回收，这种情况较少发生且发生时间不定，即便发生，废 ^{125}I 粒子产生量也难以确定，但 ^{125}I 粒子本身质量很小，根据医院经验随尿液排出的粒子也很少。

④核素治疗： ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 药物抽药、注射操作时产生的废药瓶、废一次性手套、废棉签、废针筒等放射性固废； ^{131}I 药物分装时产生的废药瓶（医院一般按每天所需药量采购，因此每天均会产生废药瓶）、废一次性手套等；甲测时产生的可能沾染放射性核素的垃圾；甲癌/甲亢患者服药时使用的一次性纸杯等；甲亢患者留观

时产生的可能沾染放射性核素的垃圾；甲癌患者、 ^{177}Lu 注射后患者住院期间产生的可能沾染放射性核素的垃圾。住院患者产生的垃圾均按 $0.5\text{kg}/(\text{人}\cdot\text{日})$ 计算。

⑥放射性废气处理装置：放射性废气处理装置中的活性炭在吸附放射性废气后作为放射性固废处理。预计本项目废活性炭产生量约为 100kg/a 。

⑦ ^{90}Sr (^{90}Y) 敷贴治疗： ^{90}Sr (^{90}Y) 敷贴器使用年限一般为20年，超期后 ^{90}Sr (^{90}Y) 敷贴器活度降低至不适宜用于治疗时作为废旧放射源处理，废旧 ^{90}Sr (^{90}Y) 敷贴器暂存于配套的铅保险箱中，交由设备供应单位回收。此项放射性固废仅在报废当年产生，其余年份不产生。

⑧事故处理固废：因储存 ^{68}Ga 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 等液态放射性药物的容器破损而发生泄露事故时，首先需使用吸水纸、酒精棉球等物品吸干泄漏液体、反复擦拭污染区域，在此过程中产生废一次性手套、废吸水纸、废酒精棉球和破碎容器等放射性固废，产生量按 $500\text{g}/\text{次}$ 计算。事故发生频率较低，按照PET/CT中心、ECT工作区和核素治疗区各场所均每年最多发生一次考虑粒籽病房无液态放射性药物储存，不会发生药物泄漏事故，因此无事故处理固废产生。

本项目放射性固废来源、产生量和去向统计结果见表9.2-4，其中各放射性废物均以最大产生量的情况进行计算。

表 9.2-4 本项目放射性固废统计表

来源	产生地点	固废名称	每次产生量 (g/次)	每天最多产生次数 (次)	日产生量 (kg/d)	年产生量 (kg/a)	去向
^{68}Ga 淋洗制备、质控、分装	PET/CT中心热室房间	废一次性手套等	20	1	0.02	2	运至同楼层固废间衰变
	PET/CT中心新增热室	剩余 ^{68}Ga （存于真空瓶内）	200	1	0.2	20	
	PET/CT中心全检质控室	废薄层板、废毛细管、废吸水纸、废酒精棉球等	100	1	0.1	10	
	PET/CT中心热室房间	废旧发生器	/	/	/	5	由设备供应单位回收
注射 ^{68}Ga 药物	PET/CT中心注射室	废一次性手套、废棉签、废针筒等	50	4	0.2	20	运至102号楼一楼西侧废物间（衰变室）衰变
注射 ^{68}Ga 后患者候诊	PET/CT中心注射后	可能沾染放射性核素的	50	4	0.2	20	

	候诊室	垃圾					
^{68}Ga 注射后患者留观	PET/CT中心留观室	可能沾染放射性核素的垃圾	50	4	0.2	20	
^{125}I 粒子抽检、测活	核素治疗区分装室	抽检的 ^{125}I 粒子	2	1	0.002	0.7	由药物供应单位回收
^{125}I 粒子植入患者排尿	粒籽病房	废 ^{125}I 粒子	难以定量				由药物供应单位回收
^{177}Lu 药物抽药、注射	核素治疗区服药间	废药瓶、废一次性手套、废棉签、废针筒等	100	1	0.1	5	运至核素治疗区内固废间衰变
^{177}Lu 注射患者住院	核素治疗区核素病房	可能沾染放射性核素的垃圾	/	/	0.5	75	
^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 药物抽药、注射	核素治疗区服药间	废药瓶、废一次性手套、废棉签、废针筒等	100	3	0.3	30	
^{131}I 药物分装	核素治疗区分装室	废药瓶、废一次性手套等	50	1	0.05	12.5	
甲测室垃圾	甲测室	可能沾染放射性核素的垃圾	50	8	0.4	100	
口服 ^{131}I 药物	核素治疗区服药间	废一次性纸杯	10	8	0.08	2	
甲癌患者住院	核素治疗区核素病房	可能沾染放射性核素的垃圾	/	/	/	900	
甲亢患者留观	核素治疗区甲亢留观室	可能沾染放射性核素的垃圾	50	5	0.25	62.5	
吸附放射性废气	放射性废气吸附装置	废活性炭	/	/	/	100	各楼放射性废气排气系统固废运至该楼衰变室
^{90}Sr (^{90}Y) 敷贴器	核素治疗区敷贴治疗室	废旧 ^{90}Sr (^{90}Y) 放射源	/	/	/	5	暂存于配套的铅保险箱中, 交由设备供应单位回收。
液态放射性药物泄漏事故应急处理	PET/CT中心	废一次性手套、废吸水纸、废酒精棉球、破碎容器等	/	/	/	0.5	运至同楼层固废间或102号楼一楼西侧废物间

							(衰变室)衰变
	ECT工作区	废一次性手套、废吸水纸、废酒精棉球、破碎容器等	/	/	/	0.5	运至102号楼一楼西侧废物间(衰变室)衰变
	核素治疗区	废一次性手套、废吸水纸、废酒精棉球、破碎容器等	/	/	/	0.5	运至核素治疗区内固废间衰变

注：1) 医院一般按照日用量采购 ^{125}I 粒子，每批 ^{125}I 粒子仅需抽检一次，植入手术周一至周日均可开展，每年工作时间按50周计算，则抽检、测活次数为 $7 \times 50 \text{周} = 350 \text{次/年}$ ；
2) 废旧 ^{90}Sr (^{90}Y) 放射源仅在敷贴器报废当年产生，其余年份不产生。
3) PET/CT中心泄漏事故如发生在热室房间，则事故处理固废需运往同楼层固废间，如发生在全检质控室、注射室等区域，则事故处理固废需运往102号楼一楼西侧废物间(衰变室)。

按照《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)要求，放射性固废运至固废间/废物间进行衰变后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

9.2.1.2.非放射性污染

(1) 废气

射线装置机房内的空气在X射线、 γ 射线、 β 射线以及韧致辐射作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过排风装置排入大气，臭氧半衰期50分钟，常温下可自行分解为氧气。

(2) 废水

主要是医护人员产生的生活污水，本项目辐射工作人员均为医院已有医护人员，不新增生活污水，医院现有污水处理系统满足本项目废水处理需求，处理达标后排入城市污水管网。

需特别注意的是，当 ^{125}I 粒子注入患者住院时，卫生间内应设置尿液暂时储存容器，待确认患者尿液中不含 ^{125}I 粒子后可将尿液倒到便池，属于非放射性废水。

(3) 固体废物

医护人员产生的一般生活垃圾、医疗固体废弃物(包括 ^{125}I 粒子植入治疗项目产生的不沾染放射性核素的固体废物)。一般生活垃圾收集后，将交由城市环卫部门处理；医疗废物收集后，交由有资质单位处理。

9.2.2.非正常工况下的污染源项描述

- (1) 由于管理不善, 放射源、放射性药物被盗、丢失;
- (2) 核素转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄漏, 造成台面、地面辐射污染;
- (3) 由于储存放射性药物的容器被打翻、破碎而引起的放射性药物意外泄漏, 造成台面、地面辐射污染;
- (4) 消毒、质控、装弹等操作时不慎将¹²⁵I粒子撒落在地;
- (5) 敷贴源破损导致其内部放射性物质泄漏到外部环境中;
- (6) 医护人员未按要求穿戴个人防护用品等, 造成额外附加照射剂量;
- (7) 人员在工作状态误入射线装置工作场所, 由X射线直接或散射照射对人体造成潜在的照射伤害。医护人员或病人家属还未全部撤离辐照室, 外面人员启动设备, 造成有关人员被误照;
- (8) PET/CT、SPECT/CT控制系统出现故障, 照射不能停止, 患者受到计划外照射;
- (9) 检修时, 误开机时, 维修人员受到潜在的照射伤害。

根据以上事故情形, 在非正常工况下可能产生的放射性污染如下:

表 9.2-5 非正常工况放射性污染源项一览表

序号	事故情形	污染物类别	污染物名称	污染来源
1	(1)	辐射	γ射线/β射线/α辐射/韧致辐射	放射源、放射性药物
2	(2)	辐射	γ射线/β射线/α辐射/韧致辐射	放射源、放射性药物
3			β表面污染/α表面污染	液态放射性药物泄漏
4		放射性固废	废一次性手套、废吸水纸、废酒精棉球等	泄漏事故应急处理
5		放射性废水	事故废水	事故发生场所清洁
6	(3)	辐射	γ射线/β射线/α辐射/韧致辐射	放射源、放射性药物
7			β表面污染/α表面污染	液态放射性药物泄漏
8		放射性固废	废一次性手套、废吸水纸、废酒精棉球、破碎容器等	泄漏事故应急处理
9		放射性废水	事故废水	事故发生场所清洁
10	(4)	辐射	γ射线	¹²⁵ I 粒子
11		放射性固废	γ射线	废 ¹²⁵ I 粒子
12	(5)	辐射	β射线/韧致辐射	⁹⁰ Sr (⁹⁰ Y) 放射源
13		放射性固废	破损 ⁹⁰ Sr (⁹⁰ Y) 放射源	破损 ⁹⁰ Sr (⁹⁰ Y) 放射源
14	(6)	辐射	γ射线/β射线/α辐射/韧致辐射	放射源、放射性药物
15	(7)	辐射	X 射线	PET/CT 或 SPECT/CT
16			γ射线、β射线	患者体内放射性药物
17	(8)	辐射	X 射线	故障 PET/CT 或 SPECT/CT
18	(9)	辐射	X 射线	PET/CT、SPECT/CT

9.3.辐射工作人员工作负荷

本项目辐射工作人员在开展各诊疗项目时的工作负荷见表9.3-1。

表 9.3-1 辐射工作人员工作负荷一览表

项目名称	关注阶段	辐射工作人员	轮次(人)	每次操作时间(min)	每年最多操作次数(次/a)	每年每人最多操作次数(次/a)	总年照射时间(h/a)	每人最大年照射时间(h/a)
⁶⁸ Ga淋洗制备、分装	淋洗制备	杨鸿宇、何正中、李宁、廖光星、李峰	5	2	100	20	3.33	0.67
	质控样品转移	杨鸿宇、何正中、李宁、廖光星、李峰	5	0.5	100	20	0.83	0.17
	质控	杨鸿宇、何正中、李宁、廖光星、李峰	5	2	100	20	3.33	0.67
	分装	杨鸿宇、何正中、李宁、廖光星、李峰	5	5	100	20	8.33	1.67
	分装后药物转移	杨鸿宇、何正中、李宁、廖光星、李峰	5	1	400	80	6.67	1.33
PET/CT显像诊断	注射	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸	4	3	400	100	20.00	5.00
	摆位	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权渥	6	0.5	400	67	3.33	0.56
	PET/CT曝光	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权渥	6	1.25	400	67	8.33	1.40
	控制室操作	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权渥	6	20	400	67	133.33	22.33
¹²⁵ I粒子植入治疗项目	¹²⁵ I粒子植入	穿刺	廖海、肖国有、杨志、甘美舍	4	100	600	150	1000.00
		助手	韦琳琳、柴华、仇冰清、蒲维维、刘子雅、张实来、丘文明、舒麟凯、孙博	9	100	600	67	1000.00
			韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸	4	100	600	150	1000.00
	PET/CT曝光	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权渥	6	2.5	1000	17	41.67	0.71
	控制室操作	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权渥	6	100	600	100	1000.00	166.67
	植入患者转运	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸	4	5	600	150	50.00	12.50

	植入患者护理	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸	4	6	600	150	60.00	15.00
甲癌、甲亢治疗	药物分装、给药	廖海、肖国有、杨志、韦琳琳、柴华、甘美舍、仇冰清、蒲维维、刘子雅、张实来、丘文明、舒麟凯、孙博	13	5	250	20	20.83	1.67
	SPECT/CT曝光	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权渥	6	1.25	600	100	12.5	2.08
	碘扫时控制室操作	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权渥	6	20	600	100	200.00	33.33
	碘扫影像诊断	廖海、肖国有、杨志、韦琳琳、柴华	5	20	600	120	200.00	40.00
前列腺癌治疗 (^{177}Lu 注射)项目	抽药	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸	4	1	50	13	0.83	0.22
	注射	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸	4	3	50	13	2.50	0.65
前列腺癌治疗 ($^{225}\text{Ac}/^{211}\text{At}$ 注射)项目、骨转移瘤治疗 (^{223}Ra 注射)项目	抽药	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸	4	1	750	188	12.50	3.13
	注射	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸	4	3	750	188	37.50	9.40
^{90}Sr (^{90}Y)敷贴治疗	操作	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权渥	5	3	7500	1500	375.00	75.00

9.4.原有项目可能存在的问题或不足

根据现场调查情况，本环评要求医院加强ECT工作区人员管控，尤其在本项目建设并运行后，需利用ECT工作区对甲癌患者进行碘扫，医院工作人员应合理规划，使ECT工作区内现有诊疗项目与碘扫的开展时间彼此错开，项目开展时禁止与该项目无关人员出入ECT工作区，以避免医护人员、患者受到额外辐射影响。

表 10 辐射安全与防护

10.1.项目安全设施

10.1.1.工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录非密封源工作场所的分级规定，放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。由《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）可知，根据前文分析，本评价项目的核医学科使用的各放射性核素的毒性组别修正因子、操作方式修正因子、日实际操作量和日等效操作量见下表。

表 10.1-1 本项目非密封放射性物质工作场所等级情况一览表

场所	核素名称	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	日等效最大操作量合计（Bq）	分级
PET/CT 中心	⁶⁸ Ge（ ⁶⁸ Ga）	0.1（中毒）	100（贮存）	2.96×10 ⁹	2.96×10 ⁶	1.236×10 ⁸	乙级
	⁶⁸ Ga	0.01（低毒）	10（很简单操作，液态）	2.96×10 ⁹ （生产）	2.96×10 ⁶ （生产）		
	¹²⁵ I 粒子	0.1（中毒）	100（很简单操作，固态）	1.78×10 ¹⁰	1.78×10 ⁷		
	原有许可核素 ¹¹ C、 ¹³ N、 ¹⁸ F				9.99×10 ⁷		
ECT 工作区	原有许可核素 ⁸⁹ Sr、 ^{99m} Tc、 ³² P、 ¹³¹ I、 ⁹⁹ Mo（ ^{99m} Tc），本项目利用 ¹³¹ I现有许可量开展碘扫				3.33×10 ⁹	3.45×10 ⁹	乙级
	⁹⁰ Y微球注射液	0.1（中毒）	10（很简单操作，液态）	1.2×10 ¹⁰	1.2×10 ⁸		
核素治疗区	¹³¹ I	0.1（中毒）	1（简单操作）	2.22×10 ¹⁰	2.22×10 ⁹	2.387×10 ⁹	乙级
	¹²⁵ I 粒子	0.1（中毒）	100（很简单操作，固态）	1.78×10 ¹⁰	1.78×10 ⁷		
	¹⁷⁷ Lu	0.1（中毒）	1（简单操作）	2.22×10 ⁷	2.22×10 ⁷		
	²²⁵ Ac	10（极毒）	10（很简单操作，液态）	1.00×10 ⁹	1.00×10 ⁸		
	²¹¹ At	1（高毒）	10（很简单操作，液态）	4.5×10 ⁶	4.5×10 ⁶		
	²²³ Ra	10（极毒）	10（很简单操作，液态）	2.22×10 ⁷	2.22×10 ⁷		
粒籽病房	¹²⁵ I 粒子	0.1（中毒）	100（很简单操作，固态）	1.78×10 ¹⁰	1.78×10 ⁷	1.03×10 ⁸	乙级
	已通过环评审批、正在申请许可的核素 ⁹⁰ Y				1.0×10 ⁸		

注：1、⁹⁰Y 微球注射液建设项目尚未正式开展，该项目运行后，将利用 ECT 工作区药物配置及注射室储存、分装 ⁹⁰Y 微球注射液，因此 ECT 工作区各核素日等效最大操作量之和需计入 ⁹⁰Y 微球注射液的日等效最大操作量；

2、本项目使用的 ²²³Ra、²²⁵Ac、²¹¹At 均为辐射影响很小的α放射性核素，且均为放射性药物供应单

位提供的单只成品，医院不进行分装，使用前则直接以注射器抽取储存容器中的药液即可，药物从医院接收至使用前的整个过程中实际上是处于封闭状态的，因此其操作方式应为“很简单操作”。3、3间粒籽病房中收治2名 ^{125}I 粒子植入患者（日等效最大操作量 $2 \times 2.96 \times 10^6 \text{Bq}$ ）、4名 ^{90}Y 微球注射患者（日等效最大操作量 $4 \times 2.5 \times 10^7 \text{Bq}$ ）时，日等效最大操作量之和最大，为 $1.03 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

由表10.1-1可知，本项目非密封放射性物质工作场所日等效最大操作量均在《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录C的乙级非密封放射性物质工作场所日等效最大操作量范围 $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ 内，均属于乙级非密封源工作场所。

10.1.2.项目工作场所选址与布局

10.1.2.1.项目选址与布局

本项目工作场所包括PET/CT中心、ECT工作区、核素治疗区、粒籽病房，其中PET/CT中心、ECT工作区为现有辐射工作场所，粒籽病房已办理相关环评手续，但未建成和投入使用，核素治疗区为新建辐射工作场所。PET/CT中心、ECT工作区、核素治疗区、粒籽病房的平面布置见图1.6-3~图1.6-12。

（1）PET/CT中心

PET/CT中心集中设置在101号楼一楼东南区域，属于相对独立的场所，热室房间、全检质控室、注射室、注射后候诊室、PET/CT机房等高活功能房间集中布置，防止了交叉污染，减小了放射性药物、放射性废物的存放范围；场所严格划分控制区，并在控制区出入口设置防护门和警示标识，禁止无关人员出入；场所设置实体墙隔离（包括地板、天花板），避免了与相邻区域人员的交叉污染。

PET/CT中心设置注射前候诊室、注射后候诊室、留观室，注射/给药前后患者分区候诊，并通过单向门禁和受控门禁限制给药后患者的活动空间，避免患者收到不必要的外照射。

PET/CT中心中，热室房间出入口前设置洁具间、缓冲间、准备间，全检质控室内设置脱衣洗手、穿衣手消间、无菌检测间等，注射室出入口前设通过间、注射准备间，这些房间作为卫生缓冲区，离开控制区前在卫生缓冲区进行洗手、消毒、更衣等去污工作，避免将污染扩散到控制区外。

PET/CT中心内为注射后候诊患者设置专门的卫生间（PET/CT中心应用的放射性核素半衰期较短，经注射后候诊、诊断后，需留观时间较短，因此不特设卫生间），为清洗辐射工作场所清洁工具设置去污清洁间，含放射性物质的排泄物及冲洗水、辐射工作场所清洁用具的清洗废水均排入中心东南角落的放射性废水衰变池处理。

（2）ECT工作区

ECT工作区集中设置在102号楼一楼西侧区域，属于相对独立的场所，药物配置及注射室、注射后候诊室、SPECT/CT机房等高活功能房间集中布置，防止了交叉污染，减小了放射性药物、放射性废物的存放范围；场所严格划分控制区，并在控制区出入口设置防护门和警示标识，禁止无关人员出入；场所设置实体墙隔离（包括地板、天花板），避免了与相邻区域人员的交叉污染。

ECT工作区设置注射前候诊室、注射后候诊室（ECT工作区使用的放射性药物发出的射线能量较低，因此不特设留观区），注射前后患者分区候诊，并通过单向门禁和受控门禁限制给药后患者的活动空间，避免患者受到不必要的外照射。

医院通过加强ECT工作区人员管控，利用药物配置及注射室洗手槽进行洗手、消毒等去污工作时严禁患者或其他与项目无关人员进入，并在完成人员去污工作后立即清洁可能污染的场所，避免将污染扩散到控制区外。

ECT工作区西北侧区域即为注射后候诊患者专用卫生间、清洗辐射工作场所清洁工具的场所，含放射性物质的排泄物及冲洗水、辐射工作场所清洁用具的清洗废水均排入PET/CT中心东南角落的放射性废水衰变池处理。

（3）核素治疗区

核素治疗区位于102号楼一楼东侧，属于相对独立的场所，储源室、分装室、服药间、核素病房、甲亢留观室等高活功能房间集中布置，防止了交叉污染，减小了放射性药物、放射性废物的存放范围；场所严格划分控制区，并在控制区出入口设置防护门和警示标识，禁止无关人员出入；场所设置实体墙隔离（包括地板、天花板），避免了与相邻区域人员的交叉污染。

核素治疗区设置一般候诊室、核素病房、甲亢留观室，并通过单向门禁和受控门禁限制给药后患者的活动空间，使注射/给药前后患者行动路线互不重叠，避免患者收到不必要的外照射。

在核素治疗区中设置了缓冲/更衣室作为卫生缓冲区，医护人员离开控制区前在缓冲/更衣室进行洗手、消毒、更衣等去污工作，避免将污染扩散到控制区外。

核素治疗区南侧拟新建一座衰变池，核素治疗区的放射性废水均排入该衰变池处理。

（4）粒籽病房

粒籽病房位于103号楼一楼，属于相对独立场所，3间粒籽病房集中布置，设为控制

区，病房门口设置防护门和警示标识，禁止无关人员出入；场所设置实体墙隔离（包括地板、天花板），避免了与相邻区域人员的交叉污染。

本项目在粒籽病房开展的¹²⁵I粒子植入项目无放射性废水产生，在建中的⁹⁰Y微球注射项目产生的患者留观废水属于放射性废水，医院粒籽病房内排污管道设置阀门，可通过调控阀门将¹²⁵I粒子植入项目产生的一般医疗废水、⁹⁰Y微球注射项目产生的放射性废水分别排往医院医疗废水处理系统、102号楼南面新建衰变池。

综上所述，PET/CT中心、ECT工作区、核素治疗区、粒籽病房均设置在相对独立场所，各辐射功能用房规划合理，将高活功能房间划分为控制区，并设置防护门和警示标识；PET/CT中心、核素治疗区内均设置卫生缓冲间，ECT工作区因空间有限无法设置卫生通过间，医院将通过实行严格的人员管控以避免污染扩散到控制区外；PET/CT中心、ECT工作区的放射性废水排往101号楼一楼东南面现有衰变池处理，核素治疗区、粒籽病房放射性废水排入102号楼南面新建衰变池，各场所放射性废水均可进行衰变处理。PET/CT中心、ECT工作区、核素治疗区、粒籽病房选址和布局合理。

本项目工作场所选址和布局与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的符合情况见表10.1-2，工作场所平面布局与《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）规定的符合情况见表10.1-3。

表 10.1-2 项目工作场所选址和布局与 HJ1188-2021 符合情况对照表

序号	HJ1188-2021选址和布局要求	项目工作场所选址和平面布局	相符性
1	核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道	本项目PET/CT中心集中于101号楼一楼东南一端，ECT工作区和核素治疗区位于102号楼一楼，粒籽病房位于103号楼一楼北面一端，位置相对独立，所在区域无人长期居留，与周围建筑有一定距离，同时设置有相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。	符合
2	核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离	项目PET/CT中心、ECT工作区、核素治疗区、粒籽病房均不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。	符合
3	核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑	PET/CT中心排风口设置在101号楼东南侧楼顶处，核素治疗区排风口设置在102号楼南侧偏西方位楼顶处，两个排风口的位置均远离西面的109号楼、北面的106号楼、105号楼和110号楼、东面的103号楼等高层建筑，而南面即为江北大道，因此项目工作场所排风口的位置均远离周边高层建筑。	符合
4	核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作	本项目工作场所布局相对集中，高活功能房间集中布置，住院治疗区域和	符合

	场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局,控制区应相对集中,高活室集中在一端,防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围,限制给药后患者的活动空间。	门诊诊断场所分开布置,防止了交叉污染,减小了放射性药物、放射性废物的存放范围。	
5	核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开,减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉,人员与放射性药物通道不交叉,放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。	工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径,通过门禁系统、监控系统和对讲系统指示人员行动,避免各路径在时间上存在交叉,放射性药物和放射性废物路径按最短路径规划,减少运输时间。	符合
6	核医学工作场所宜采取合适的措施,控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动,避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区,为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	现有工作场所和新建工作场所控制区的出入口设立卫生缓冲区,设置门禁系统和警示标识避免无关人员出入控制区,注射后候诊室、核素病房等为给药后患者提供专用卫生间。	符合

表 10.1-3 项目工作场所平面布局与 GBZ120-2020 符合情况对照表

序号	GBZ120-2020放射防护要求	项目工作场所平面布局	相符性
1	在医疗机构内部区域选择核医学场址,应充分考虑周围场所的安全,不应邻接产科、儿科、食堂等部门,这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置,宜有单独出、入口,出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。	建设项目未邻接产科、儿科、食堂等部门,设计单独的出入口,出入口已远离人群稠密区域。	符合
2	核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则: a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小; b) 在核医学诊疗工作区域,控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施,限制患者或患者的随意流动,保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射; c) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间,进行污染检测。	a) 高活区低活区分开设置,患者由高活区流动到低活区,风流走向从低活区流向高活区,从本质上已降低了工作场所的外照射水平和污染发生的可能; b) 工作场所控制区的入口和出口已设计门锁权限控制和单向门等安全措施,限制患者的随意流动,保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射; c) PET/CT中心的热室房间北侧出口处设置缓冲间,注射室北侧出口处设置注射准备间、通过间,核素治疗区分装室东侧出入口处设置缓冲/更衣室,且热室房内、注射室、分装室等场所均配备辐射自行监测设备。	符合
3	对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药室、病房(使用非密封源治疗患者)或给药后留观区、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需要设置清洁用品储存场所、员工	已按要求设计有相关的功能用房,包括储源室、废物间、更衣/缓冲间、分装室、服药间、患者留观专用卫生间、污洗区、留观/抢救室等功能场所,并已设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污	符合

	休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房。	淋浴间、抢救室等辅助用房。	
4	通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或患者）的活动，给药后患者或患者与注射放射性药物前患者或患者不交叉，给药后患者或患者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。	建设项目工作场所的布局设计已避免注射/植入/服药后患者与注射/植入/服药前患者的交叉，注射/植入/服药后患者与工作人员的交叉，人员与放射性药物的交叉；已设置废物间，其位置方便放射性废物的收集、运输以及处理。	符合

综上所述，项目工作场所选址和布局符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关要求，选址和布局合理。

10.1.3.工作场所分区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定，医院将辐射工作场所分为控制区和监督区进行监督管理。

（1）控制区：当处于诊疗状态时，区内无关人员不得滞留，以辐射安全警示装置控制及严格的管理制度保障此区的辐射安全。放射源和放射性药物、¹²⁵I粒子植入后患者、放射性固废转移路径设为临时控制区。

（2）监督区：在该区内需要对职业照射条件进行监督和评价。监督区入口处设置醒目的电离辐射警示标识。无实体边界的监督区以控制区边界外30cm为监督区范围，可通过在监督区边界处地面张贴警示标志提醒公众远离。人流、物流路径等临时控制区边界外1.5m设为临时监督区范围，负责转移或陪同的工作人员主动提醒路径沿途公众保持距离。

本项目各工作场所PET/CT中心、ECT工作区、核素治疗区、粒籽病房及放射性药物、患者转移时的控制区、监督区划分结果详见下表10.1-4和图10.1-1~图10.1-4。

表 10.1-4 控制区、监督区划分

工作场所	控制区范围	监督区范围	备注
PET/CT 中心	回旋加速器机房、热室房间、固废间、洁具间、缓冲间、净化走廊、全检质控室、PET/CT 机房、PET/CT 休息室（注射后候诊室）、注射准备间、注射室、VIP 休息室及卫生间、病人通道（患者走廊）、去污清洁间、留观室、衰变池、废物间	医生更衣准备区、消毒间、库房、准备间、预约登记室、PET/CT 问诊室、控制室及其他控制区边界外 30cm 范围内的无实体边界区域等	本项目不使用回旋加速器及其控制室。
ECT 工作区	注射后候诊室、抢救室、药物配置及注射室、SPECT/CT 机房、患者走廊、废物间（衰变室）、西侧卫生	预约登记室、诊室、注射前候诊室、控制室、淋浴室及其他与控制区相邻的室外区域	本项目仅使用 SPECT/CT

	间等区域		机房及其控制室。
核素治疗区	缓冲/取餐区、污洗间、固废间、服药间、储源室、分装室、核素病房、甲亢留观/抢救室、敷贴治疗室、缓冲/更衣室、患者走廊、衰变池、核素治疗区与衰变池间室外通道	护士办、护士站、护士值班室、医生办、库房、宣教区（候诊区）、甲测室、楼上双人病房（预计改造为预约登记处等）及其他控制区边界外 30cm 范围内的无实体边界区域等	/
粒籽病房	粒籽病房	男值班室、配电间及粒籽病房东、西两侧墙体外 30cm 范围内的无实体边界区域等	/
人流、物流路径	放射性药物、术后患者以及放射性固废转移过程中，转移路径设为临时控制区。	放射性药物、术后患者以及放射性固废转移过程中，与临时控制区相邻的区域环境，以转移路径两侧 1.5m 为范围。	/

本项目将高辐射和可能发生高污染的区域划分为控制区，将控制区外较低辐射的区域划分为监督区。医院设置了药物运输通道、患者通道、医护人员通道、放射性固废运输通道，并进行时间控制，将放射性药物、术后患者以及放射性固废转移通道设置为临时控制区，通过时间控制，保证运源及术后患者单独使用通道，同时设置门禁系统，控制给药后患者单向流动，负责转移药物、放射性固废或陪同植入患者的工作人员应时刻注意沿途情况，主动提醒路径附近公众与药物、放射性固废、患者保持1.5m以上距离，避免医院内公众受到额外的辐射影响。

综上，在采取上述空间和时间控制措施后，本项目布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关要求。

10.1.4.辐射防护与安全措施

10.1.4.1.建筑辐射屏蔽防护设计

本项目依托、在建和新建的辐射工作场所的建筑屏蔽情况见表10.1-5，各工作场所辐射屏蔽设计图见图10.1-5~图10.1-19。

表 10.1-5 本项目依托、在建和新建的辐射工作场所辐射防护屏蔽参数

工作场所	房间名称	屏蔽体	拟采取的屏蔽措施	备注
PET/CT中心	热室房间	防护墙	东、南、北面墙体 300mm 厚的混凝土，西面墙体 500mm 厚的混凝土	依托原有。实心砖密度 $\geq 1.65\text{g/cm}^3$ ，混凝土密度 $\geq 2.35\text{g/cm}^3$ ，铅密度 $\geq 11.3\text{g/cm}^3$ 。
		天花板	12cm 厚的混凝土+6mmPb 铅板	
		地板	地下土层	
		防护门	北面防护门为 10mmPb 铅防护门	
		传递窗	北面、东面传递窗均为 20mmPb 铅防护窗	
	新增热室		正面屏蔽 50mmPb、其余五面屏蔽 40mmPb、活度计电离室屏蔽 40mm Pb、操作手孔屏蔽 30mm Pb	
	全检质控室及其相连走廊	防护墙	走廊北面墙体、东面墙体为 24cm 实心砖+6mmPb 铅板，西面为彩钢板墙板；全检质控室北面墙体（准备间）、南面墙体为彩钢板	

			墙板，西面墙体为 300mm 厚的混凝土，东面墙体为 24cm 实心砖+6mmPb 铅板	
		天花板	120mm 混凝土	
		地板	地下土层	
		防护门	均无特殊防护	
		传递窗	传递窗均为 20mmPb 铅防护窗	
		通风橱	正面屏蔽 50mmPb、其余五面屏蔽 40mmPb、操作手孔屏蔽 30mmPb	
	固废间	防护墙	四面墙体为 24cm 实心砖+6mmPb 铅板	
		天花板	12cm 厚的混凝土+6mmPb 铅板	
		地板	地下土层	
		防护门	南面防护门为 8mmPb 的铅防护门	
		传递窗	8mmPb 铅防护窗	
	注射准备室	防护墙	四面墙体为 24cm 实心砖+6mmPb 铅板	
		天花板	12cm 厚的混凝土+6mmPb 铅板	
		地板	地下土层	
		防护门	东、南面防护门均为 8mmPb 的铅防护门	
		传递窗	20mmPb 铅防护窗	
	注射室	防护墙	南面墙体为 15cm 实心砖+8mmPb 铅板，东、西、北面墙体为 24cm 实心砖+6mmPb 铅板	
		天花板	12cm 厚的混凝土+6mmPb 铅板	
		地板	地下土层	
		防护门	北面防护门、注射窗东面防护门均为 8mmPb 的铅防护门	
		专用注射台	整体防护能力 50mmPb	
	注射后候诊室	防护墙	南、北面墙体 24cm 实心砖+6mmPb 铅板，东、西面墙体为 15cm 实心砖+8mmPb 铅板，专用卫生间西面、北面墙体为 15cm 实心砖+8mmPb 铅板	
		天花板	12cm 厚的混凝土+6mmPb 铅板	
		地板	地下土层	
		防护门	南面 2 个防护门（其中靠近东侧门为专用卫生间防护门）均为 8mmPb 的铅防护门	
	VIP 注射后候诊室	防护墙	南、西面墙体为 240mm 实心砖+6mmPb 铅板，东、北面墙体为 150mm 实心砖+8mmPb 铅板，专用卫生间南面墙体为 15cm 实心砖+8mmPb 铅板	
		天花板	120mm 厚的混凝土+6mmPb 铅板	
		地板	地下土层	
		防护门	西面防护门、专用卫生间门为 8mmPb 的铅防护门	
	PET/CT 机房	最小有效面积	$6.5\text{m} \times 4.7\text{m} = 30.55\text{m}^2$	
		防护墙	东、西面墙体为 150mm 实心砖+8mmPb 铅板，南、北面墙体为 240mm 实心砖+6mmPb 铅板	
		天花板	120mm 厚的混凝土+6mmPb 铅板	
		地板	地下土层	
		防护门	北面、南面防护门均为 8mmPb 的铅防护门	
		观察窗	8mmPb 的铅玻璃	

	留观室	防护墙	西北面、东面、南面墙体为 150mm 实心砖+8mmPb 铅板	
		天花板	120mm 厚的混凝土+6mmPb 铅板	
		地板	地下土层	
		防护门	东北面、南面防护门均为 8mmPb 的铅防护门	
	病人更衣室	防护墙	四面墙体 240mm 实心砖+6mmPb 铅板	
		天花板	120mm 厚的混凝土+6mmPb 铅板	
		地板	地下土层	
		防护门	北面、西面（2 个）防护门为 8mmPb 的铅防护门	
	用药后患者走廊	防护墙	240mm 实心砖+6mmPb 铅板	
		天花板	120mm 厚的混凝土+6mmPb 铅板	
		地板	地下土层	
		防护门	东面防护门为 8mmPb 的铅防护门	
	废物间（102 号楼楼梯间）	防护墙	四面墙体 240mm 实心砖	
		天花板	120mm 厚的混凝土+6mmPb 铅板	
		地板	地下土层	
		防护门	北面防护门为 4mmPb 的铅防护门	
ECT 工作区	SPECT/CT 机房	最小有效面积	$6.5\text{m} \times 4.7\text{m} = 30.55\text{m}^2$	依托原有。 实心砖密度 $\geq 1.65\text{g/cm}^3$ ， 混凝土密度 $\geq 2.35\text{g/cm}^3$ ， 铅密度 $\geq 11.3\text{g/cm}^3$ 。
		防护墙	320mm 厚的实心砖	
		天花板	120mm 混凝土+2mmPb 防护材料	
		地板	地下土层	
		防护门	西面、北面有 8mmPb 的铅防护门	
		观察窗	8mmPb 的铅玻璃窗	
核素治疗区	核素病房 1~4	防护墙	北面墙体（控制区外墙）为 240mm 实心砖+14mmPb 防护涂料，东、西、南面墙体（控制区内墙）为 200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料，专用卫生间北面、东/西面（靠病房内一侧）墙体为 8mmPb 硫酸钡水泥	新建。实心砖密度 $\geq 1.65\text{g/cm}^3$ ， 混凝土密度 $\geq 2.35\text{g/cm}^3$ ， 铅密度 $\geq 11.3\text{g/cm}^3$ 。 防护涂料屏蔽能力均以 ^{131}I 考虑。
		天花板	120mm 混凝土+16mmPb 防护涂料	
		地板	地下土层	
		防护门	南面为 15mmPb 的铅防护门，专用卫生间防护门为 15mmPb 的铅防护门	
	核素病房 5~8	防护墙	南面墙体（控制区外墙）为 240mm 实心砖+14mmPb 防护涂料，东、西、北面墙体（控制区内墙）为 200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料，专用卫生间南面、东/西面（靠病房内一侧）墙体为 8mmPb 硫酸钡水泥	
		天花板	120mm 混凝土+16mmPb 防护涂料	
		地板	地下土层	
		铅防护门	北面为 15mmPb 的铅防护门，专用卫生间防护门为 15mmPb 的铅防护门	
	缓冲区	防护墙	西、北面墙体为 240mm 实心砖+6mmPb 防护涂料，东、南面墙体为 200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料	
		天花板	120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料	
		地板	地下土层	
		防护门	15mmPb 的铅防护门	
	测量/配餐	防护墙	西面墙体为 240mm 实心砖+6mmPb 防护涂料，东、北面墙体为 200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料，无南	

			面墙体	
		天花板	120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料	
		地板	地下土层	
		防护门	15mmPb 的铅防护门	
		传递窗	20mmPb 的铅防护窗	
	甲亢留观室/抢救室	防护墙	北面墙体为 240mm 实心砖+6mmPb 防护涂料，东、西、南面墙体为 200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料，专用卫生间北、东面墙体 8mmPb 硫酸钡水泥	
		天花板	120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料	
		地板	地下土层	
		防护门	北面、南面为 15mmPb 的铅防护门，专用卫生间防护门 15mmPb 铅防护门	
	甲测室	防护墙	北面墙体为 240mm 实心砖，东面、南面墙体为 200mm 实心砖，西面墙体为 200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料，专用卫生间北、东面墙体 120mm 混凝土	
		天花板	120mm 混凝土	
		地板	地下土层	
		防护门	北面、南面 2mmPb 铅防护门，专用卫生间防护门 2mmPb 铅防护门	
	敷贴治疗室	防护墙	北面墙体为 240mm 实心砖，东、西、南面墙体为 200mm 实心砖	
		天花板	120mm 混凝土	
		地板	地下土层	
		防护门	北面、南面 2mmPb 铅防护门	
	污洗间	四面墙体	四面墙体均为 200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料	
		天花板	120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料	
		地板	地下土层	
		防护门	15mmPb 的铅防护门	
	固废间	防护墙	南面墙体为 240mm 实心砖+6mmPb 防护涂料，东、西、北面墙体为 200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料	
		天花板	120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料	
		地板	地下土层	
		防护门	15mmPb 的铅防护门	
	分装室	防护墙	南面墙体为 240mm 实心砖+6mmPb 防护涂料，东、西、北面墙体为 200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料	
		天花板	120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料	
		地板	地下土层	
		防护门	15mmPb 的铅防护门	
		给药窗	40mmPb 的铅防护窗	
		分装柜	正面屏蔽 50mmPb、其余五面屏蔽 40mm Pb、活度计电离室屏蔽 40mmPb、操作手孔屏蔽 30mm Pb	
	服药间	防护墙	200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料	
		天花板	120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料	
		地板	地下土层	
		防护门	15mmPb 的铅防护门	
	储源室	防护墙	200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料	
		天花板	120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料	
		地板	地下土层	

	患者走廊	铅防护门	15mmPb 的铅防护门	
		防护墙	西面墙体 200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料	
		天花板	120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料	
		地板	地下土层	
		防护门	西面、东面为 15mmPb 的铅防护门	
粒籽病房	3 间双人间	防护墙	病房四面墙体 120mm 实心砖，专用卫生间西面、南面墙体 120mm 实心砖	已办理环评手续，在建。 实心砖密度 \geq 1.65g/cm ³ ， 混凝土密度 \geq 2.35g/cm ³ ， 铅密度 \geq
		天花板	120mm 混凝土	
		地板	地下土层	
		防护门	西面为 2mmPb 的铅防护门，专用卫生间防护门为 2mmPb 的铅防护门	

10.1.4.2.个人防护用品和其他辐射防护设备

医院严格规定相关辐射工作人员在辐射工作中做好个人的放射防护，并配备相应的防护用品和检测设备以达到辐射防护的目的。本项目工作场所工作人员及患者（或受检者）的原有防护用品因使用年限问题部分存在老化，改建后拟增配工作人员及患者（或受检者）的防护用品，现有和拟增配情况见表10.1-6、表10.1-7。

表 10.1-6 本项目已配备个人防护用品和拟新增个人防护用品一览表

项目	名称	规格	原有数量	拟增数量	合计
PET/CT 显像诊断	铅橡胶衣	0.5mmPb	3	2	5
	铅橡胶围裙	0.5mmPb	1	2	3
	铅橡胶围脖	0.5mmPb	1	2	3
	铅橡胶帽	0.5mmPb	1	2	3
	铅玻璃眼镜	0.5mmPb	1	2	3
	三角裤	0.5mmPb	0	2	2
	铅橡胶手套	0.025mmPb	1	2	3
	放射性污染防护服	/	待耗尽即购买	待耗尽即购买	待耗尽即购买
核素治疗项目	铅橡胶衣	0.5mmPb	0	5	5
	铅橡胶围裙	0.5mmPb	0	5	5
	铅橡胶围脖	0.5mmPb	0	5	5
	铅橡胶帽	0.5mmPb	0	5	5
	铅玻璃眼镜	0.5mmPb	0	5	5
	三角裤	0.5mmPb	0	5	5
	铅橡胶手套	0.025mmPb	0	5	5
	放射性污染防护服	/	0	待耗尽即购买	待耗尽即购买
	远距离操作工具	/	0	1	1
	有机玻璃面罩	/	0	1	1
	橡皮泥或橡胶板	/	0	1（橡皮泥待耗尽即购买，橡胶板）	1（橡皮泥待耗尽即购买，橡胶板）
	有机玻璃屏风	/	0	1	1
¹²⁵ I 粒子植入治疗项目	铅橡胶衣	0.5mmPb	0	4	4
	铅橡胶围裙	0.5mmPb	0	4	4
	铅橡胶围脖	0.5mmPb	0	4	4

	三角裤	0.5mmPb	0	4	4
	移动铅屏风	2.0mmPb	0	3	3

表 10.1-7 本项目现有和拟新增的其他辐射防护设备一览表

现有的其他辐射防护设备			
项目	名称	数量	备注
PET/CT 中心	热释光个人剂量计	20	/
	便携式数字化个人剂量 监测及报警仪	4	/
	便携式多功能射线监测 仪	3	IA-V2
	多通道 X-γ剂量率监测仪 (4 个探头)	1	WF-100-4B
新增的其他辐射防护设备			
项目	名称	数量	备注
核素治 疗项目	碘-131自动给药系统	1	/
	床旁铅防护屏	3	20mmPb
	一体化注射防护台	1	20mmPb
	脚踏放射性废物箱	10	20mmPb
	紧急泄漏除污工具组	待耗尽即购买	一次性防水手套、口罩、去污剂、吸水 纸、塑料袋、酒精、一次性镊子等
	区域辐射剂量监测系统	2	/
	移动式铅衣架	2	/
	放射性废物暂存柜	1	20mmPb
	放射性纸杯废物箱	5	20mmPb
	铅罐	1	由供应单位提供
	铅罐	1	由供应单位提供
	塑料罐	3	/
	过滤式口罩	待耗尽即购买	/
	计时器	1	/
	注射泵	2	20mmPb
	带屏蔽注射器	3	20mmPb
	碘-131体内活度测量系统	1	/
	碘-131全身动态辐射显像 系统	1	/
	活度计	2	/
	巡测仪	2	/
	个人剂量报警仪	10	/
	表面沾污仪	2	/
¹²⁵ I粒子 植入治 疗项目	粒籽植入治疗计划系统	1	/
	长柄镊子	6	/
	粒籽植入枪	1	/
	保险箱	3	由供应单位提供
	放射性固废收集桶	3	2mmPb
	转运防护箱	1	2mmPb
	巡测仪	1	探测光子能量下限低于27keV
	活度计	1	/

在依照上表补充医院的个人防护用品及其他辐射防护设备后，本项目现有和拟新增

个人防护用品及其他辐射防护设备可满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关要求。

10.1.4.3.门禁系统

患者进出控制区处均需安装门禁系统，只允许患者单向通行（只进不出或只出不进），控制无关人员进入辐射工作场所和给药后病人的随意走动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。

根据现场调查，现有工作场所PET/CT中心已在全检质控室入口处、一更入口处、回旋加速器控制室入口处、固废间和库房门均设置门禁，PET/CT机房南侧受检者进出口、与核医学相通门设置门禁装置。现有ECT工作区已在药物配置及注射室北侧进出口、SSPECT/CT机房北侧进出口设置门禁装置。

在建粒籽病房拟在3间病房门口设置门禁。新建核素病房区拟在普通走廊通往控制区患者走廊出入口、测量/配餐区通往缓冲区出入口、甲测室通往室外出口、甲亢留观室通往室外出入口、西侧缓冲区通往ECT工作区出入口设置门禁。102号楼南侧衰变室（室内新建衰变池）入口处长期上锁，衰变室与核素治疗区之间的室外通道出入口处设置铁门并长期上锁，钥匙均由专人保管。

本项目各工作场所门禁系统设置情况见图10.1-20~图10.1-23。

10.1.4.4.监控系统

根据现场调查，现有工作场所PET/CT中心在回旋加速器机房、热室房间、洁净走廊和全检质控室安装监控摄像头，显示器放置于回旋加速器控制室内；在VIP注射后候诊室东北角室顶（1个，可观察VIP注射后候诊室内受检者状况）、注射后候诊室东南角室顶（1个，可观察注射后候诊室内受检者状况）、PET/CT机房东南角室顶（1个，可观察受检者状况）、南侧受检者入口处（1个，观察受检者入口处情况）、患者西通道东墙上正对注射室位置室顶（1个，观察注射位情况）、患者走廊西南角拐角处（1个，观察西面患者走廊情况）、留观区入口处（2个，分别观察留观区内受检者状况和受检者南走廊情况）均安装有摄像头，显示器设在PET/CT控制室。现有ECT工作区已在SPECT/CT机房内东北角室顶（1个，可观察受检者状况）、北侧受检者入口处（1个，观察受检者入口处情况）安装摄像头，监控系统设置在SPECT控制室。

粒籽病房应在病房外走廊设置至少1个监控摄像头，以观察病房进出人员情况，显示器设置在核素治疗区的护士值班室。

新建核素治疗区应在分装室、储源室内分别设置1个摄像头以观察放射性药物储存和分装情况，在甲测室、服药间、甲亢留观室、敷贴治疗室内分别设置1个摄像头以观察患者在甲测、敷贴治疗、服药/注射、留观时的状况，在固废间、南面新建衰变池房间内分别设置1个摄像头以观察放射性固废、放射性废水储存情况，以防放射性废物泄漏事故发生，此外还应在控制区进出口（各1个）、患者走廊（至少1个）、测量/配餐区（1个）设置摄像头以观察控制区进出口情况和控制区内患者活动情况。

本项目各工作场所监控系统设置情况见图10.1-20~图10.1-23。

10.1.4.5.对讲系统

根据现场调查，现有PET/CT中心的预约登记室安装有可视电话与受检者沟通，可视电话联系方分别设置在注射前候诊室、VIP注射后候诊室、注射后候诊室、南面患者走廊、留观室，用于与患者、家属沟通检查相关注意事项、引导受检者进入机房和交代检查后注意事项。PET/CT控制室安装有呼叫系统与受检者和医护人员沟通，受检者用药后停留区及医护人员办公区设置有紧急呼叫装置，紧急呼叫系统安装位置分别为在医生问诊室、注射室内外、注射后候诊室及其卫生间内、VIP注射后候诊室及其卫生间内、预约登记室、留观室、南面患者走廊。此外，注射室内注射窗口与注射位安装有对讲装置用于注射人员核实受检者信息；PET/CT控制室与PET/CT机房之间设置有对讲装置用于操作人员指导受检者摆位及其他必要的沟通。现有ECT工作区的预约登记室安装有可视电话与受检者沟通，可视电话联系方分别设置在注射前候诊室、注射后候诊室，SPECT控制室安装有呼叫系统与受检者和医护人员沟通，紧急呼叫系统安装位置为问诊室、注射后候诊室。SPECT控制室与SPECT/CT机房之间设置有对讲装置用于操作人员指导受检者摆位及其他必要的沟通。

在建粒籽病房计划将在病房内安装可视化对讲系统，便于医护人员了解患者身体状况。粒籽病房内还安装紧急呼叫系统，可接通核素治疗区医生办公室、护士值班室呼叫系统。

新建核素治疗区拟在护士站、护士值班室、医生办公室和给药前候诊区安装可视电话，用于与家属、患者沟通核素治疗前注意事项、引导患者前往指定场所接受治疗。核素病房内安装可视化对讲系统，便于医护人员通过系统了解患者状况，避免医护人员与患者的近距离接触。服药间和分装室传递窗两侧均设置对讲系统，便于医护人员与患者沟通与服药/注射相关的注意事项。医生办公室、护士值班室设置呼叫系统，紧急呼叫

系统安装位置分别为核素病房及其卫生间、测量/配餐区、甲亢留观室/抢救室及其卫生间、患者走廊。

本项目各工作场所对讲系统设置情况见图10.1-20~图10.1-23。

10.1.4.6.放射性固体废物收集措施

医院目前已在101号楼一层中部设置1间固废间，作为回旋加速器机房及热室房间等药物合成区域的放射性固废衰变室，主要废物为含放射性药物的真空瓶、废一次性手套等。本项目淋洗制备 ^{68}Ga 时产生的废真空瓶依托该固废间进行衰变。热室房间内设有1个放射性固废收集桶，辐射屏蔽能力为30mmPb，热室房间内产生的放射性固废收集于固废收集桶中，装满后运至固废间进行衰变，固废间四面墙体为240mm实心砖+6mmPb铅板，铅防护门辐射屏蔽能力为8mmPb，传递窗辐射屏蔽能力8mmPb。放射性固废衰变至达到清洁解控水平，按一般医疗固体废物处理。

医院目前已在102号楼一层西侧楼梯间处设置1间废物间，作为储存PET/CT中心的注射室、注射后候诊室、留观室和ECT工作区的药物配置及注射室、注射后候诊室产生的放射性固废的衰变室，主要废物为废一次性手套、一次性注射器、废棉签及其他可能沾有放射性物质的固体废物。本项目注射 ^{68}Ga 产生的放射性固废依托该废物间进行衰变。101号楼一层注射室内设有1个放射性固废收集桶，辐射屏蔽能力为30mmPb，本项目注射 ^{68}Ga 药物产生的放射性固废依托现有固废收集桶，随收集桶内固废运至废物间进行衰变。废物间铅防护门辐射屏蔽能力为4mmPb，防护门上设有“当心电离辐射”警示标志，以防人员误入。放射性固废衰变至达到清洁解控水平，按一般医疗固体废物处理。

本项目新建核素治疗区内设有1间固废间，该固废间主要用于收集核素治疗区产生的放射性固废进行衰变。核素治疗区的服药间、分装室、核素病房、甲测室、甲亢留观室内均应设置专门的放射性固废收集桶，辐射屏蔽能力为20mmPb，统一运往固废间进行衰变处理。该固废间应在防护门上方设置“当心电离辐射”警示标志，以防人员误入。放射性固废衰变至达到清洁解控水平，按一般医疗固体废物处理。

本项目 ^{125}I 粒子植入患者住院期间，将在患者入住的病房的专用卫生间内设置1个尿液临时收集桶和1个2mmPb放射性固废收集桶，患者尿液先暂存于尿液临时收集桶中，如发现尿液中含 ^{125}I 粒子，则将废粒子收集至放射性固废收集桶中，最终交由粒子供应单位处理。



PET/CT控制室观察窗、工作台、制度上墙



PET/CT受检人员出入机房防护门



控制室出入机房防护门



热室房间内放射性固废收集桶



热室房间



注射器防护套



<p>注射器防护罐</p>	<p>热室房间铅防护门、铅防护窗口</p>
	
<p>常见的铅罐样式</p>	<p>常见的铅防护箱样式</p>
	
<p>101号楼一层注射室内放射性固废收集桶</p>	<p>101号楼一层注射室注射台</p>

10.1.4.7.注射放射性药物的辐射安全防护措施

- （1）医护人员在注射前应佩戴相应的铅防护帽、铅防护眼镜、铅围脖、铅防护服、一次性口罩、一次性手套等。
- （2）注射放射性药物必须在专门场所进行，注射场所与问诊室、值班室、候诊室等一般工作地点分开，四面墙体、天花板、地板等均应采取相应辐射屏蔽措施，注射场所内墙面、地面、工作台台面等拟采用平整光滑设计，室内地面铺设防渗塑胶地板，能够保证地面与墙壁衔接处无接触，易于清洗、去污。
- （3）注射前要仔细核对患者的姓名、性别、年龄、床号、住院号、检查项目、放射性药物名称、注射剂量，详细向患者交代检查方法及注意事项。
- （4）注射结束后，工作人员应及时清洁手部和其他可能沾染放射性核素的部位，将废针筒、废棉签、废一次性手套等沾染放射性核素的放射性固废收集至注射室内的具有辐射防护能力的放射性固废收集桶，放射性固废运至衰变室衰变至达到清洁解控水平后作为一般医疗废物处理。
- （5）注射后，医护人员应使用表面污染检测仪器监测注射场所内墙面、地面和工

作台表面污染水平，如表面污染水平超出控制标准，将进行清洗去污直至表面污染水平满足控制标准要求。

(6) 注射过程中出现意外情况，可能会造成放射性药品泄漏，进而可能对地面、墙面造成表面污染；一般采取干法去污措施，首先使用吸水纸擦拭，然后用酒精棉球反复擦拭直至检测合格，擦拭用的吸水纸、酒精棉球等作为放射性固废处理。

10.1.4.8. ^{125}I 粒子植入治疗项目辐射安全与防护措施

(1) 储源、装枪和植入操作中工作人员的放射防护措施

①在实施治疗前，医院相关人员将制定详细可行的实施计划，并准备好所需治疗设备，尽可能缩短操作时间。

②根据治疗计划，按需向放射性药物供应单位订购 ^{125}I 粒子。供应单位送来的粒子源装在铅罐内，暂存于102号楼一层新建储源室中。医院拟建立粒子源出入库登记制度，详细记录日期时间、入库活度/数量、送货人、接收人、出库活度/数量、去往场所、出库经手人、接收人等信息。

③工作人员操作前要穿戴好防护用品。主要操作人员应穿铅防护衣，戴铅手套、铅玻璃眼镜盒铅围脖等。防护衣厚度为0.5mm铅当量。对性腺敏感器官，可考虑再穿含0.5mm铅当量防护的三角裤或三角巾。工作人员应在植入防护箱内进行装枪操作，放射性粒子出库后，要立即装入带有屏蔽的植入装置内，余下粒子放入铅罐内，抽查总数的10%活度，偏差 $>5\%$ 时及时上报科主任，多余粒子一般交还给放射性粒子供应单位。消毒粒子时使用有屏蔽作用的专用消毒盒。

④ ^{125}I 粒子源装枪操作应在植入防护箱内进行，分装过程中使用长柄镊子，轻拿轻放，避免损伤或刺破粒子源，禁止直接用手拿取粒子源。在整个工作期间，应快速完成必要的操作程序，所有无关人员尽可能远离放射源。操作结束后常规对粒子源分装操作室台面和地面进行辐射监测。

⑤在操作过程中，如粒子源破损引起泄漏而发生污染，应封闭工作场所，将源密封在屏蔽容器中，控制人员走动，以避免放射性污染扩散，并进行场所去污和人员应急处理。

(2) 植入中和植入后的放射防护措施

①手术后需要尽快对靶区正、侧位进行X射线拍片，确认植入个数。手术结束后对手术区域进行检测，清点手术器具，排除遗漏的可能。配备辐射检测仪器，每次进行粒

子源操作后，对工作场所的工作台、地面以及操作人员的衣物进行辐射水平检测，确认无粒子源遗漏在工作场所。拿出手术室的辅料等均应进行检测，防止粒子源粘连带出手术室。

②住院的患者植入部位应穿戴铅当量的铅背心、围脖或腹带，在医护人员陪同下转移到指定病房住院观察，不得随意走动。

③患者入住专用病房后，病房被划定为临时控制区，防护门启用其门禁系统，并在防护门上悬挂电离放射警告标志，病房内设置有呼叫系统。

④病房除医护人员外，其他无关人员不得入内，医护人员查房，家属成员如需长时间陪护应与患者保持1m以上的距离；医护人员在进行查房等医疗护理工作时，穿戴科室配备的铅防护用品（防护衣厚度不应小于0.25mm铅当量）。

⑤专用病房设置有专门的浴室和厕所，配备有长柄镊子和粒籽源储存容器（1个），用于回收病人体外粒籽源；肺部或气管植入粒籽源患者，在住院期间应戴口罩，以避免粒籽源咳出丢失在周围环境中，如发现粒籽源咳出，应报告主管医生并采取相应的应急措施。

⑥医院建立专门的宣教制度，告知患者植入粒籽源后的防护措施，包括粒籽源的回收、探视和长时间接触的要求，避免拥抱儿童、探视和接触的距离要求。

⑦住院期间需要在医院其他科室检查或治疗时，为了保证公众的放射安全，负责治疗科室应告知患者穿戴防护用品。

⑧在医院建立的防护检测制度中，明确规定对出入物品需要使用放射监测仪进行检测，保证带出病房的物品无粒籽源存在；被污染物品按放射性废物处理。

⑨对于植入粒籽源出院患者应建立登记制度，信息卡内容应包括：患者姓名、住址、电话、年龄、身份证、植入部位、医院及电话、植入粒：籽源个数、植入时间、出院粒籽源数量、检查日期等。

⑩植入粒籽源患者出院时，医生应给患者提供一张信息卡，其内容应包括患者姓名、出生年月、照片，植入粒籽源位置、时间、活度、个数以及治疗医院电话等。

10.1.4.9.甲癌、甲亢治疗辐射安全防护措施

（1）治疗前要求

①治疗前应完成各项辅助检查，妊娠期和哺乳期妇女，计划6个月内妊娠者禁止进行¹³¹I治疗。

②低碘饮食：治疗前2~4周嘱患者低碘饮食（碘摄入量 $<50\mu\text{g/d}$ ），禁食海带、紫菜及海鲜等高碘食物，暂停服用胺碘酮等含碘类药物。停药甲状腺激素：DTC患者应停药左旋甲状腺素（L-T₄）2~4周，使TSH $>30\text{mIU/L}$ ，再行¹³¹I治疗。重组人促甲状腺激素（rhTSH）刺激：对于体质较为虚弱或合并其他疾病者，可使用rhTSH辅助¹³¹I治疗。

③服药前应空腹2~3小时。

（2）¹³¹I贮存、分装、给药和服用时的防护措施

①¹³¹I药物均为医院向放射性药物供应单位采购而来，由供应单位送至医院，医院使用铅罐贮存¹³¹I后放置于储源室内。医院应安排专人管理¹³¹I，建立放射性物质台帐，及时登记，确保帐务相符。定期对贮存场所进行辐射水平监测并记录，贮存场所设置门锁及警告标志、警示语句，无关人员不会进入。

②分装室内涉及放射性核素操作设备的表面、工作台台面等拟采用平整光滑设计，室内地面铺设防渗塑胶地板、在墙面施工至少离地50cm，能够保证地面与墙壁衔接处无接触，易于清洗、去污。

③患者根据医生指示将一次性纸杯放到指定位置等待。本项目药物采用自动分装仪进行药物分装，自动分装设备设置在具有通风和防护功能的分装柜内（只开2个供手伸入操作的窗口，设计有排风系统，操作过程始终处于负压状态），医护人员遥控自动分装仪进行药物分装后通过给药窗传递药物，操作人员配备防护用品。分装结束后应使用表面污染检测仪器监测分装室内墙面、地面和工作台表面污染水平，如表面污染水平超出控制标准，将进行清洗去污直至表面污染水平满足控制标准要求。

④¹³¹I分装好后，患者小心拿取药杯，服尽杯内药液并自行倒半杯水到药杯中，再次饮尽，使用过的空杯应放入服药间内的铅防护桶内。

⑤服用¹³¹I后，注意2小时内禁食，可饮水。

⑥甲亢患者服药后需在留观室留观10~20min，留观期间只能使用留观室内卫生间，不得离开留观室。留观结束后可直接离开医院，服药后1~2周内禁食高碘食物。

⑦甲癌患者服药后根据医生指示前往指定核素病房内住院观察，住院具体要求见本章节10.1.5.10。

10.1.4.10.住院患者辐射安全防护措施

¹²⁵I粒子植入术后患者、注射¹⁷⁷Lu后的前列腺癌患者、服药后的甲癌患者因体内带有较多放射线，会产生放射性排泄物，为减少对他人辐射影响及周围环境辐射污染，

需要短期住院进行辐射安全隔离。

(1) 注射 ^{177}Lu 后的前列腺癌患者、服药后的甲癌患者住院时排泄物（包括尿液、大便、汗液等）、唾液、痰液及呕吐物一定要排入马桶内并及时冲洗干净，垃圾按规定分类放置。 ^{125}I 粒子植入术后患者住院时，病房厕所内应设置尿液暂存容器，必须先将尿液收集至该容器中，确认尿液中无 ^{125}I 粒子后方可排入马桶，如发现 ^{125}I 粒子，须由工作人员立即收集后作为放射性固废处理，不得随意丢弃。

(2) 住院病员的饮食由医院统一配餐，甲癌患者的食物中不能含有高碘，饭菜由配餐员提前一天与病员预订并在用餐时间送到病区。院外送进的食物，需经医师或护士同意后方可食用。住院病员取餐应听从传呼系统的医护人员指示前往。

(3) 病员住院隔离期间尽量在病房内活动，禁止随意离开病房，避免长时间与其他人近距离接触。原则上不允许探视和陪护，特殊情况需要探陪者，必须征得主管医生同意。家属宜远离患者1.5~2米，一次接触时间不长于30分钟。

(4) 患者出院后，应使用表面污染检测仪器对患者住院期间产生的垃圾进行检测，如表面污染水平超出控制标准，则应作为放射性固废进行处理。

(5) 患者出院后，应尽快对病房内墙面、地面、床铺、卫生间等各处进行清洁，使用表面污染检测仪器监测，确保表面污染水平满足控制标准。

10.1.4.11.敷贴治疗辐射安全防护措施

(1) 敷贴治疗应设置专用敷贴治疗室，室内墙面、地面和工作台应铺设以去除污染的铺料。

(2) 医院应使用满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关要求的贮源箱用于贮存 ^{90}Sr （ ^{90}Y ）敷贴器，贮源箱存放于敷贴治疗室。贮源箱的外表面拟标有放射性核素名称、最大容许装载放射性活度和牢固、醒目的电离辐射警告标识。贮源箱的屏蔽层结构须分内外两层。内层为铝或有机玻璃等低原子序数材料，其厚度须大于 β 辐射在相应材料中的最大射程。外层为适当厚度的铅、铸铁等重金属材料。并具有防火、防盗的性能。贮源箱必须能锁于固定物体上，防止失盗。距离贮源箱表面5cm和100cm处的泄露辐射所致的周围剂量当量率分别不得超过 $10\ \mu\text{Sv/h}$ 和 $1\ \mu\text{Sv/h}$ 。

(3) 敷贴治疗时采用预约方式，每次治疗室内仅进入一位患者。实施敷贴治疗前，详细登记治疗日期、使用敷贴源的编号、辐射类型、活度、照射部位与面积，并发给具有患者姓名、性别、年龄、住址、诊断和照射次数等项目的治疗卡。

(4) 每次治疗前, 先收回患者的治疗卡, 再给予实施敷贴治疗。实施治疗时, 在病变皮肤上覆盖一张玻璃纸或塑料薄膜后, 应用不小于3mm厚的橡皮泥或橡胶板等屏蔽周围的正常组织。对颜面部部位的病变, 屏蔽其周围正常皮肤; 对其他部位的病变, 则在病变周围露出正常皮肤不大于0.5cm。使用时敷贴器需紧密贴在病变部位。

(5) 敷贴治疗中, 医务人员拟佩戴有机玻璃眼镜、有机玻璃面罩等防护用品, 并尽量使用远距离操作工具。

(6) 医院应在放射源贮存场所内设置视频监控系统, 配备灭火器材。放射源的存放场所不得堆放易燃、易爆、腐蚀性等物品。

(7) 制定放射源台账、定期清点制度, 建立领取、使用、归还制度, 建立安全状态检查、剂量测量制度。

(8) 敷贴器按相关要求定期进行衰变校正及检测, 以调整照射剂量。

10.1.5.辐射防护措施符合性

本项目拟使用工作场所采取的安全防护措施和设施与《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中的相关要求对照情况见表10.1-8。

表 10.1-8 采取的安全防护措施和设施与《核医学辐射防护与安全要求》符合情况对照表

序号	HJ1188-2021放射防护要求	项目拟采取的安全防护措施和设施	相符性
1	核医学工作场所应合理布局, 住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置; 同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局, 控制区应相对集中, 高活室集中在一端, 防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围, 限制给药后患者的活动空间。	本项目布局符合工作流程, 辐射工作场所与辅助用房分开布置, 便于集中管理控制区, 放射性药物、放射性废物存放位置合理, 便于药物、废物运输。 核素治疗区设置门禁、防护门, 限制服药后患者活动区域。	符合
2	核医学工作场所应设立相对独立的医护人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。医护人员通道和患者通道分开, 减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉, 人员与放射性药物通道不交叉, 放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。	本项目各工作场所均设立了相对独立的医护人员、患者、放射性药物和放射性废物路径, 各路径不重叠或分时段活动、时间上不重叠; 放射性药物均在开诊前运达储源室暂存, 且放射性药物转移货包均有足够的防护包装; 废物均在无就诊病人时转移到废物间, 即药物、废物通道在时间上与人员不交叉。	符合
3	核医学工作场所宜采取合适的措施, 控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动, 避免医护人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区, 为医护人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	本项目控制区出入口设有门禁, 无关人员不得随意进出控制区; 在医生出入控制区处设置了更衣室, 为医护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; 控制区内注射后候诊室、甲亢留观室设有给药后患者的专用卫生间 (PET/CT中心使用核素半衰期较短, 留观时间不长, 不设卫生间)。	符合
4	放射性物质贮存在专门场所内, 并应有适当	本项目除 ⁶⁸ Ga外, 其余放射性物质均按需	符合

	屏蔽。	购买， ^{68}Ga 使用前暂存于封闭且具备防辐射功能的分装热室中，其余放射性物质使用前均暂存于102号楼一层新建储源室中，各存放场所均有适当屏蔽。	
5	核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。	核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污。	符合
6	应为从事放射性药物操作的医护人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。	从事放射性药物操作的医护人员配备有铅衣、铅围脖、一次性工作服、手套、无机玻璃面罩等，注射器均含配套防护套，PET/CT中心的注射室设置注射台、双人的粒籽病房中设置铅屏风，核素治疗区缓冲区设传递窗、分装室设给药窗，减少医护人员与患者的直接接触。	符合
7	操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。	在医生出入控制区处设置了更衣室，并配备表面污染监测仪器，制定了监测制度，从控制区离开的人员和物品均进行表面污染监测。	符合
8	放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。	本项目使用的药物为自行制备或按需求订购，使用前暂存于相应场所中，均配备具有一定辐射屏蔽能力的设施。工作场所定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质建立了台账，并及时登记，确保账物相符。	符合
9	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、分装柜等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、分装柜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。	本项目 ^{68}Ga 药物淋洗制备是通过电脑操控发生器在封闭的具有防辐射能力的热室内作业， ^{68}Ga 药物分装是通过面板操控自动分装仪在热室内分装， ^{68}Ga 质控是在封闭的通风橱中进行， ^{131}I 药物分装是通过自动分装仪在密闭及负压的分装柜中进行，以上操作不需人工操作；热室、通风橱、分装柜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，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。	符合
10	分装柜应有足够的通风能力，分装柜、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。	热室、通风橱、分装柜设计通风能力不少于 0.5m/s ，热室、分装柜排气口接入专门的放射性废气排气管道，管道排气口最终设置在高于本建筑物屋顶处。	符合

综上所述，本项目拟采取的安全防护措施和设施满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

10.2.三废的治理

10.2.1.废水治理措施

10.2.1.1.放射性废水（液）

（1） ^{68}Ga 生产、应用（PET/CT显像诊断）项目放射性废水

①处理设施

101号楼PET/CT中心东南角落现有一衰变池，专用于处理PET/CT中心、ECT工作区放射性废水。该衰变池分为三级，总容积为 16.44m^3 ，由5个小衰变池构成，第一级衰变池（化粪池）位于去污清洁间北侧地下（长宽高为 $2.0\text{m} \times 1.3\text{m} \times 1.5\text{m}$ ，容积为 3.9m^3 ），第二级衰变池（集水坑）位于去污清洁间内地下（长宽高为 $2.0\text{m} \times 1.3\text{m} \times 1.5\text{m}$ ，容积为 3.9m^3 ），第三级衰变池为槽式衰变池，用于对废水进行衰变，由3个并列的小衰变池组成（单池长宽高为 $2.0\text{m} \times 1.2\text{m} \times 1.2\text{m}$ ，3个小衰变池容积共计 8.64m^3 ），衰变池内胆为5mm厚不锈钢板，外120mm实心砖，内胆与砖之间浇灌120mm厚防护砂浆。放射性废水先依次流经第一级衰变池、第二级衰变池，再由污水提升泵引入第三级衰变池的1#小衰变池，此时电动阀打开，废水流入1#小衰变池，其内置液位计检测到废水达到预设高液位时发出处理信号，此时关闭1#小衰变池电动阀并开始计时，同时开启2#小衰变池体进水电动阀，后续放射性废水排入2#小衰变池，当2#小衰变池内置液位计检测到废水达到预设高液位时发出处理信号，此时关闭2#小衰变池电动阀并开始计时，同时开启3#小衰变池体进水电动阀，后续放射性废水排入3#小衰变池，依此类推。当衰变池中废水储存时间计时满足衰变周期后将开启封闭衰变池的出水泵，将衰变后的废水排入排水井，由排水井排至医院污水处理站。排水井处设置取样口，便于出水监测的取样。

PET/CT中心衰变池容积完全可满足PET/CT中心内日常的放射性废水贮存要求，同时还留有一定余量，可应对事故应急时的清洗需要，衰变池体为不锈钢内胆+防护砂浆+实心砖构成，防酸、防碱、防腐蚀，内壁光滑且不易泄漏；衰变池分为三级，第一级衰变池为化粪池，第二级衰变池为集水坑，第三级衰变池为3个并联小衰变池，第三级衰变池出水处设排水井，便于取水采样进行水质检测。PET/CT中心衰变池设计和建设符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“7.3.2.1 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。7.3.2.2 含碘-131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”的要求。

	
<p>衰变池控制系统</p>	<p>衰变池工作流程图</p>
	
<p>第一级衰变池</p>	<p>第二级衰变池（去污清洁间地下）</p>
	
<p>第三级衰变池</p>	<p>放射性废水管道</p>

②处理方案

本项目 ^{68}Ga 生产、应用（PET/CT 显像诊断）项目放射性废水将依托 PET/CT 中心东南侧衰变池进行处理。PET/CT 中心中洁具间、注射室、全检质控室的脱衣洗手间、

穿衣手消间、注射后候诊室卫生间、VIP 注射后候诊室卫生间的洗手槽、便池、清洗槽等处产生的废水（注射室通过间洗手槽设置具备防辐射功能的放射性废水临时储存容器，收集废水后倒入注射室洗手槽）沿排水管道向 PET/CT 中心南侧汇集后流向 PET/CT 中心东南方向，ECT 工作区中注射后候诊室西侧卫生间、药物配置及注射室、抢救室内的洗手槽、便池、清洗槽等处产生的废水沿排水管道向 ECT 工作区走廊方向汇集后流向 ECT 工作区西侧方向，这两股废水一起汇集在 PET/CT 中心衰变池第一级衰变池（化粪池）处，然后向西北方向流经去污清洁间地下的第二级衰变池，同时去污清洁间处清洗槽的废水也在此处与上述废水汇集，然后所有废水一起向西北排入第三级衰变池。经衰变处理后的废水从第三级衰变池西侧排往医院一般医疗废水处理站。PET/CT 中心、ECT 工作区放射性废水排水走向见图 10.2-5。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“7.3.3.1 a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；b）所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天）”，本项目核素治疗区新建衰变池废水中含 ^{18}F ($T_{1/2}=109.8\text{min}$)、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ($T_{1/2}=6.02\text{d}$)、 ^{90}Y ($T_{1/2}=2.67\text{d}$)、 ^{68}Ga ($T_{1/2}=68.3\text{min}$) 等放射性核素，应至少贮存 30 天。

③预期效果

本项目在 PET/CT 中心新增 ^{68}Ga 生产、应用（PET/CT 显像诊断）项目， ^{68}Ga 生产、应用（PET/CT 显像诊断）项目开展时产生的放射性废水将排入 PET/CT 中心现有衰变池（位于 101 号楼一楼东南角落处）进行处理。该衰变池目前需处理的放射性废水包括 PET/CT 中心现有开展的 ^{18}F 应用项目的放射性废水和 ECT 工作区现有开展的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 应用项目放射性废水，此外，在建中的广西医科大学附属肿瘤医院钇[^{90}Y]微球注射液建设项目运行后，将新增 ^{90}Y 微球注射液分装人员清洁废水和分装后场所清洁废水，也将排入该衰变池。根据表 9.2-3 统计结果，排入该衰变池的现有项目、在建项目和新增项目放射性废水日平均产生量约为 $0.415\text{m}^3/\text{d}$ 。PET/CT 中心衰变池总容积 16.44m^3 ，放射性废水依次流过第一级衰变池、第二级衰变池，再进入第三级衰变池的 1#小衰变池，填满 1#小衰变池即封存起来，后续废水继续流入 2#小衰变池，以此类推，经计算可知，第三级衰变池的 1 格小衰变池填满约需 $2.88/0.415 \approx 7$ 天，则第 7 天产生的放射性废水贮存满 30 天时，整个 PET/CT 中心衰变池中总废水量约为 $(7+30) \text{天} \times 0.415 = 15.355\text{m}^3 < 16.44\text{m}^3$ ，此时衰变池可满足放射性废水存储；如发生泄漏事故，事故废水基本被吸

水纸、酒精棉球等清洁用品吸附后作为放射性固废处理，不进入衰变池，不影响衰变池正常运行。30 天后第三级衰变池的 1#小衰变池中废水可解控排放，现有 PET/CT 中心衰变池的容量仍可满足现有、在建和新建项目的放射性废水衰变处理。该衰变池中废水储存超过 30 天后可解控排放，作为一般医疗废水排至医院污水处理站处理。衰变池出水排水井处设取样口，以便衰变池出水监测时取样。出水应满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中“放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L”的要求。

(2) 核素治疗区放射性废水

①处理设施

核素治疗区南侧新建一座5格衰变池，新建的废水衰变系统整体采用槽式循环运作，由五格并联的容积相同的小衰变池组成，每格衰变池有效容积不小于 35m^3 ，总容积不小于 175m^3 。衰变池材料为混凝土浇筑，并设有防渗、防腐蚀隔层。衰变池性能满足 HJ1188-2021相关要求。衰变池外部由顶板和四周墙面均为300mm混凝土构成的衰变室包围。

核素治疗区、粒籽病房内产生的放射性废水经过污水提升器引入到多功能降解槽，从降解槽提升泵至1#衰变池，此时电动阀打开，废水流入1#衰变池，其内置液位计检测到废水达到预设定高液位时发出处理信号，此时关闭1#衰变池电动阀并开始计时，同时开启2#衰变池体进水电动阀，后续放射性废水排入2#衰变池，当2#衰变池内置液位计检测到废水达到预设定高液位时发出处理信号，此时关闭2#衰变池电动阀并开始计时，同时开启3#衰变池体进水电动阀，后续放射性废水排入3#衰变池，依此类推。当衰变池中废水储存时间计时满足衰变周期后将开启封闭衰变池的出水泵，将衰变后的废水排入检查井，由检查井排至医院污水处理站。检查井处设置取样口，便于出水监测的取样。

新建衰变池容积完全可满足核素治疗区、粒籽病房内的放射性废水贮存要求，衰变池体为混凝土浇筑并设防腐防渗隔层，内壁光滑且不易泄漏，外部由顶板和四面墙体均为300mm混凝土的衰变室包围，底部也进行防酸、防碱、防腐蚀、防渗处理；核素治疗区衰变池为槽式废液衰变池，池体分为5格小衰变池，可交替贮存、衰变和排放废液；衰变池出水处设检查井，便于取水采样进行水质检测。衰变池设计符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“7.3.2.1 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。

7.3.2.2 含碘-131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”的要求。

②处理方案

核素治疗区、粒籽病房产生的放射性废水均排至此新建衰变池进行处理。每间粒籽病房排水管道入口处均设置阀门， ^{125}I 粒子植入患者不与 ^{90}Y 微球注射患者同住一间病房，则通过调节阀门开关可使 ^{125}I 粒子植入患者住院废水（本项目）、 ^{90}Y 微球注射患者留观废水（在建项目）分别排往医院一般医疗废水处理站、102 号楼南侧新建衰变池。粒籽病房卫生间的便池、洗手槽处产生的放射性废水沿管道向西在 103 号楼西侧汇集后流往南侧方向，再向西与核素治疗区的放射性废水汇合于新建衰变池集水井的北侧；核素治疗区中核素病房卫生间、甲测室卫生间、甲亢留观室/抢救室卫生间、分装室、更衣/缓冲间配套卫浴间的洗手槽、清洗槽、便池等处产生的废水沿排水管道向走廊汇集后一起流向西侧方向，汇集至核素治疗区最西侧处再流向南侧方向，流经污洗间下方后与污洗间产生的废水一起向南汇到 102 号楼南侧过道，再向东方向与粒籽病房产生的废水汇合，向南流入新建衰变池的集水井。集水井中废水向东流向 5 格衰变池，经衰变处理后从衰变池的西侧排往医院医疗废水处理站。核素治疗区、粒籽病房的放射性废水排水路径见图 10.2-7。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“7.3.3.1 b）所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天）”，本项目核素治疗区新建衰变池废水中含 ^{177}Lu （ $T_{1/2}=6.73\text{d}$ ）、 ^{225}Ac （ $T_{1/2}=10.0\text{d}$ ）、 ^{211}At （ $T_{1/2}=7.22\text{h}$ ）、 ^{223}Ra （ $T_{1/2}=11.44\text{d}$ ）、 ^{131}I （ $T_{1/2}=8.02\text{d}$ ）、 ^{90}Y （ $T_{1/2}=2.67\text{d}$ ）等放射性核素，应至少贮存 180 天。

③预期效果

本项目在核素治疗区开展（ ^{131}I ）甲癌、甲亢治疗项目、（ ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At ）前列腺癌治疗项目、（ ^{223}Ra ）骨转移瘤治疗项目等时产生的、 ^{90}Sr （ ^{90}Y ）敷贴治疗项目，开展这些项目时产生的放射性废水排入 102 号楼南侧新建衰变池。根据已取得批复的

《广西医科大学附属肿瘤医院钇[^{90}Y]微球注射液建设项目环境影响报告表》， ^{90}Y 微球注射患者在粒籽病房内产生的留观废水也排往该衰变池中，则根据表 9.2-3 统计结果，核素治疗区和粒籽病房产生的放射性废水日平均产生量约为 $0.740\text{m}^3/\text{d}$ 。新建衰变池由 5 个小衰变池组成，每个小衰变池容积为 35m^3 ，总容积 175m^3 ，放射性废水填满第一个小衰变池即封存起来，后续废水继续流入第二个小衰变池，以此类推，经计算可知，1 格衰变池填满约需 $35/0.740 \approx 47$ 天，则第 47 天产生的放射性废水贮存满 180 天时，五格衰变池中总废水量约为 $(47+180) \text{天} \times 0.740 = 167.98\text{m}^3 < 175\text{m}^3$ ，此时衰变池可满足放射性废水存储；如发生泄漏事故，事故废水基本被吸水纸、酒精棉球等清洁用品吸附后作为放射性固废处理，不进入衰变池，不影响衰变池正常运行。180 天后第一个小衰变池中废水可解控排放，则新建衰变池可满足粒籽病房、核素治疗区放射性废水衰变需求。新建衰变池中废水储存超过 180 天后可解控排放，作为一般医疗废水排至医院污水处理站处理。衰变池出水检查井处设取样口，以便衰变池出水监测时取样。出水应满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L 、总 β 不大于 10Bq/L 、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L ”的要求。

10.2.1.2.非放射性废水

非放射性废水主要为医务人员产生的生活废水、 ^{125}I 粒子植入患者住院废水（粒籽病房排污管道设置阀门，通过调节阀门开关可使 ^{125}I 粒子植入患者住院废水、 ^{90}Y 微球注射患者留观废水分别排往医院一般医疗废水处理系统、102号楼南侧衰变池），这些废水中不含放射性核素，可直接通过医院内现有排水系统进入医院污水处理站处理，处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）预处理标准后排入城市污水管网。

10.2.2.废气治理措施

10.2.2.1.放射性废气

（1） ^{68}Ga 药物淋洗、分装废气

①处理设施

PET/CT中心现有一套独立的放射性废气排气系统，在淋浴间顶部、消毒间顶部、缓冲间顶部、回旋加速器机房顶部、热室房间底部、热室顶部、全检质控室通风橱顶部、注射窗口前方顶部、通过间顶部、注射后候诊室及其卫生间顶部、PET/CT机房顶部等均设置排风口。回旋加速器机房放射性废气和热室房间、热室内部放射性废气、通风橱

内部放射性废气分别通过一套活性炭过滤装置净化气体进行处理；注射窗口前放射性废气、通过间放射性废气、注射后候诊室及其卫生间放射性废气和PET/CT机房放射性废气分别通过一套活性炭过滤装置净化气体进行处理，以上放射性废气经净化后从专门排气管道引至东南侧楼顶排放，不与淋浴间、消毒间、缓冲间内产生的一般室内排气混合排放。

控制区内均设置排风系统，使排风量大于通风量，拟配风机风速不小于0.5m/s，空气流向为低活区向高活区方向流动，从各房间排风口处汇至排风管道中，经活性炭过滤装置处理后从屋顶排出，排风口高于建筑楼屋顶。项目新风及通风设计满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“7.4.1产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。7.4.2应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过供应单位推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。”

②处理方案

本项目将在⁶⁸Ga药物淋洗、分装的新增热室顶部新设排气口，新增热室内产生的放射性废气从排气口经独立管道引至新增活性炭过滤装置处净化后，接入PET/CT中心原有的药物合成区域排风管道，与其他经活性炭过滤装置净化过的废气汇合。⁶⁸Ga质控的通风橱内产生的放射性废气从其顶部排气口经独立管道引至一套活性炭过滤装置处净化后，与其他经活性炭过滤装置净化过的废气汇合。

控制风机使得热室顶部排气口风速不小于0.5m/s，确保热室内部保持负压状态，热室内部放射性废气被充分抽吸，被抽吸的废气经活性炭净化后引至高于建筑楼屋顶的排放口处排放。控制区内热室房间、回旋加速器机房、注射室窗口外、通过间、注射后候诊室、VIP注射后候诊室、PET/CT机房等控制区排气口处风速不小于0.5m/s，并且确保控制区内排风量大于通风量，控制区内产生的放射性废气被充分抽吸，被抽吸的废气经活性炭净化后引至高于建筑楼屋顶的排放口处排放。处理放射性废气的活性炭过滤装置由医院安排专人负责定期检查、更换。

PET/CT中心排风系统示意图见图10.2-11。

③预期效果

项目建成后的新增放射性废气被充分收集、处理后排放，排放符合《核医学辐射防

护与安全要求》（HJ 1188-2021）要求。

（2）核素治疗区放射性废气

①处理设施

新建核素治疗区的控制区内，除敷贴治疗室外，更衣室、储源室、分装室、服药间、甲亢留观/抢救室及其卫生间、核素病房及其卫生间、缓冲区、测量/配餐区、污洗间、固废间顶部均设置排风口，分装室内的分装柜顶部也设置一排风口。分装柜顶部排风口连接一独立排气管道向南延伸至核素治疗区南侧外部，管道中废气经一活性炭过滤装置净化后排往核素治疗区西南侧排风井处；各用房顶部排风口连接管道通往走廊，并经由走廊天花板处的排气管道汇集各场所内产生的放射性废气，走廊排气管道从核素治疗区西侧天花板向南延伸，经污洗间、固废间并汇合两者排风口收集的废气后，与从东侧延伸过来的分装柜废气排气管道在排风井处汇聚，排风井处设置一活性炭过滤装置，经该装置净化的废气通过延伸至102号楼屋顶的排风口排放。

控制区内均设置排风系统，使排风量大于通风量，拟配风机风速不小于0.5m/s，空气流向为低活区向高活区方向流动，从各房间排风口处汇至排风管道中，经活性炭过滤装置处理后从屋顶排出，排风口高于建筑楼屋顶。项目新风及通风设计满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“7.4.1产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。7.4.2应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过供应单位推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。”

②处理方案

控制风机使得分装柜顶部排气口风速不小于0.5m/s，确保分装柜内部保持负压状态，使分装柜内产生的¹³¹I药物分装废气被充分收集后引至活性炭过滤装置处净化，再排至排风井处与其他股废气汇合，一起经活性炭过滤装置再度净化后从高于屋顶排放口排出。更衣室、储源室、分装室、服药间、甲亢留观/抢救室及其卫生间、核素病房及其卫生间、缓冲区、测量/配餐区、污洗间、固废间等控制区内场所也分别设置排风口用于收集可能存在的放射性废气，控制风机使得各排气口处风速不小于0.5m/s，并且确保控制区内排风量大于通风量，控制区内产生的放射性废气被充分收集。各股废气在风机牵引下汇聚至排风井处经活性炭过滤装置净化后从高于屋顶排放口排出。

核素治疗区通风系统示意图见图10.2-12。

③预期效果

项目建成后的新增放射性废气被充分收集、处理后排放，排放符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）要求。

10.2.2.2.非放射性废气

本项目运行时会产生少量的臭氧和氮氧化物等非放射性气体。本项目涉及的射线装置机房均安装了动力排风装置保持良好的通风，以降低臭氧和氮氧化物浓度。因此，设备运行时对机房周围的大气环境影响很小，项目运行产生的臭氧和氮氧化物通过动力排风装置稀释后对人体危害较小。

10.2.3.固体废物治理措施

10.2.3.1.放射性固体废物

本项目放射性固废包括： ^{68}Ga 淋洗制备、分装时产生的废一次性手套、剩余 ^{68}Ga 洗脱液及废真空瓶； ^{68}Ga 质控产生的废薄层板、废毛细管、废吸水纸、废酒精棉球等；废旧锝发生器；沾染 ^{68}Ga 的废一次性手套、废棉签、废针筒等；沾染 ^{68}Ga 的注射后候诊、留观垃圾；用于抽检的废弃 ^{125}I 粒子、随患者尿液排出的 ^{125}I 粒子； ^{131}I 药物分装产生的废药瓶、废一次性手套等；服用 ^{131}I 药物时产生的非一次性纸杯； $^{177}\text{Lu}/^{225}\text{Ac}/^{211}\text{At}/^{223}\text{Ra}$ 药物抽药、注射时产生废药瓶；沾染 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 的废一次性手套、废棉签、废针筒等；沾染 ^{131}I 的留观垃圾；沾染 ^{131}I 、 ^{177}Lu 的住院垃圾；吸附放射性废气的废活性炭；废旧 ^{90}Sr （ ^{90}Y ）放射源；吸附泄漏放射性物质的废吸水纸、废酒精棉球等事故应急处理垃圾。

废旧发生器、废旧放射源交由各自供应单位回收；废弃 ^{125}I 粒子放回原容器暂存于储源室，交由供应单位回收； ^{68}Ga 淋洗制备、质控、分装产生的垃圾收集后运至101号楼一楼中部的固废间进行衰变；剩余 ^{68}Ga 暂存于真空瓶中，在新增热室内暂存超过24小时后运至101号楼一楼中部的固废间进行衰变。需特别注意的是，全检质控室内产生的放射性固废单次产生量很少，因此不需频繁利用全检质控室西侧传递窗进行转移（两次转移间至少间隔一周），而放射性固废需经过传递窗时必须避开放射性药物转移时段，并在完成转移后使用酒精棉球等清洁用品彻底清洁传递窗，直至自行监测设备显示传递窗处表面污染水平符合要求。通过采取这些措施，可确保全检质控室放射性固废和放射性药物转移路线在时间上不重叠，且不会污染放射性药物路线。PET/CT中心其他含 ^{68}Ga

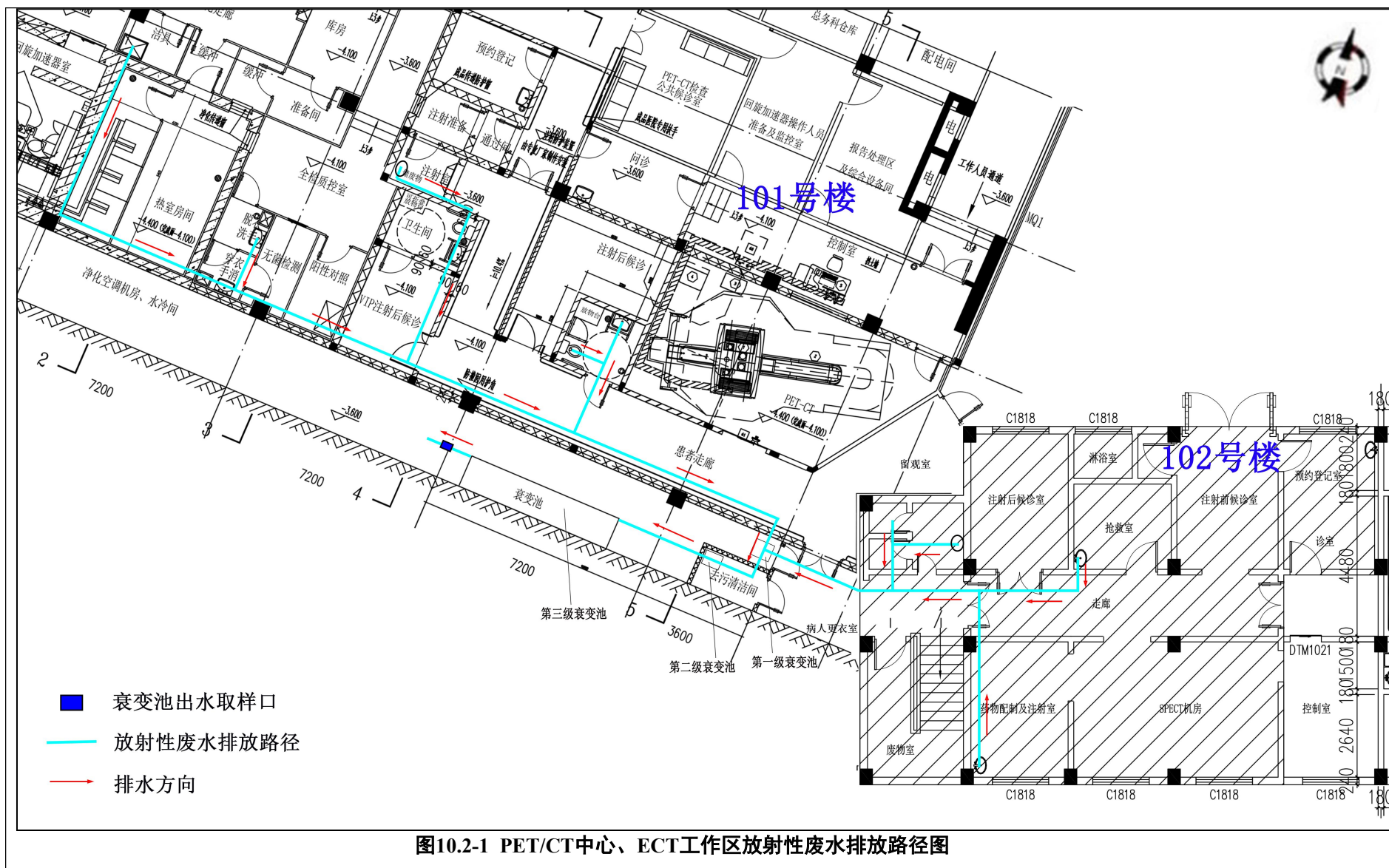
的放射性固废分别收集在各自产生场所的放射性固废收集桶中，然后集中收集至102号楼西侧楼梯间的废物室处进行衰变。核素治疗区其他放射性固废分别收集在各自产生场所的放射性固废收集桶中，然后集中收集至核素治疗区西侧固废间进行衰变。各工作场所用于处理放射性废气的活性炭吸附装置定期更换活性炭，废活性炭作为放射性固废收集起来，就近运至各场所附近衰变室暂存。随患者尿液排出的 ^{125}I 粒子暂存于病房卫生间内设置的放射性固废收集桶中，最终交由粒子供应单位回收。事故应急处理垃圾根据事故发生场所运往相应衰变室进行衰变。

医院已制定完善的放射性固体废物管理和处置制度，在各场所均配备相应的具有辐射防护能力的放射性固废收集桶，收集放射性固体废弃物的专用收集桶均贴上电离辐射标志，每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间，且放射性废物每袋重量不超过20kg，注意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。要求固体放射性废物收集桶外表面30cm处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

参照HJ1188-2021的要求，医院拟采取暂存衰变后清洁解控处置。即在专用贮存衰变桶内存放衰变，含 ^{68}Ga 的放射性固废暂存时间应超过30天，含 ^{177}Lu 的放射性固废暂存时间应超过68天，含 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 的放射性固废暂存时间应超过115天，含 ^{131}I 的放射性固废暂存时间应超过180天，放射性固废在满足暂存时间要求后经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

10.2.3.2.非放射性固体废物

医护人员产生的少量办公、生活垃圾依托医院已有的收集系统进行回收后由当地环卫部门清运。 ^{125}I 粒子植入项目产生的不沾染放射性核素的固废属于一般医疗废物，收集后交由有资质单位处理。



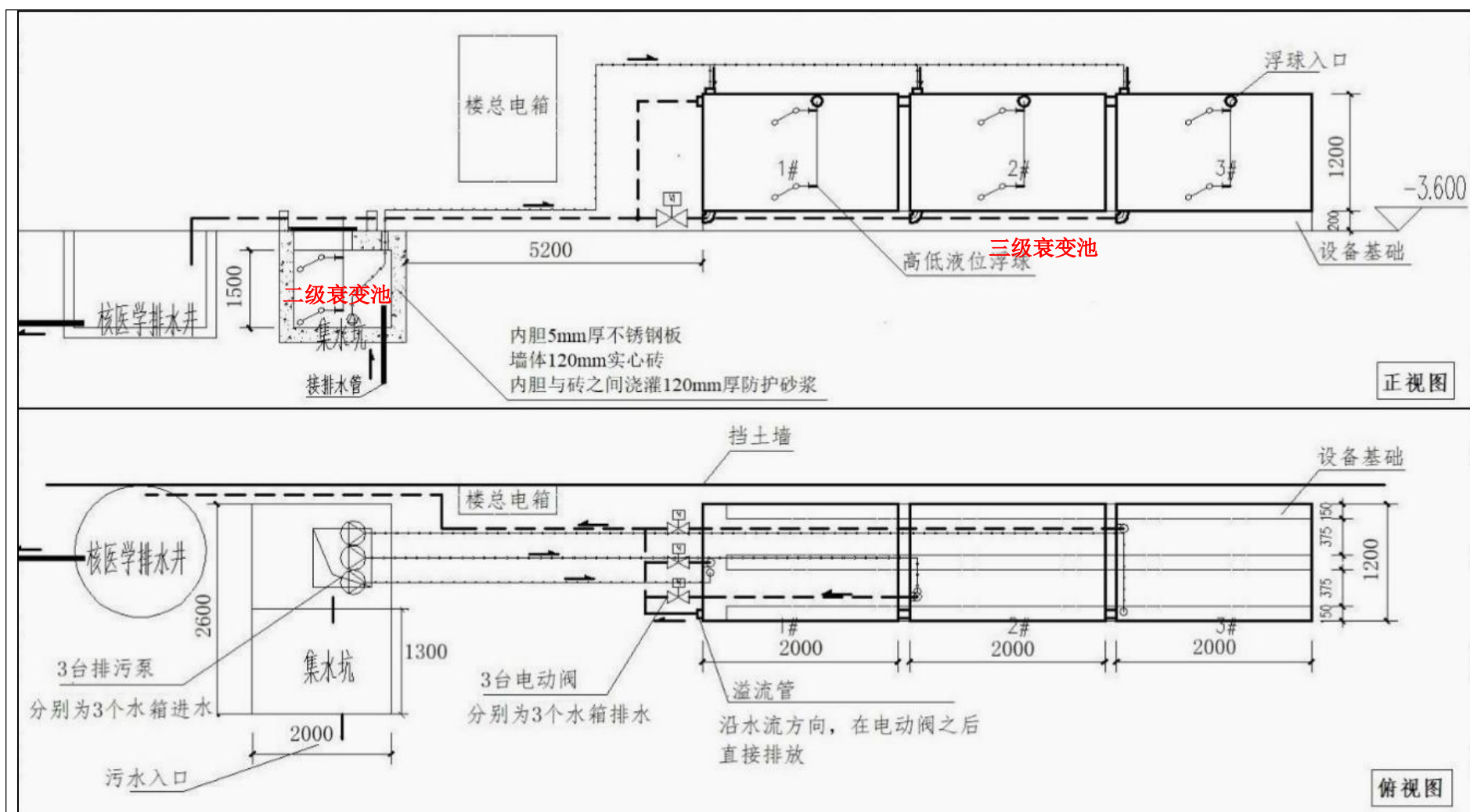


图10.2-2 PET/CT中心衰变池工作流程图（单位：mm）

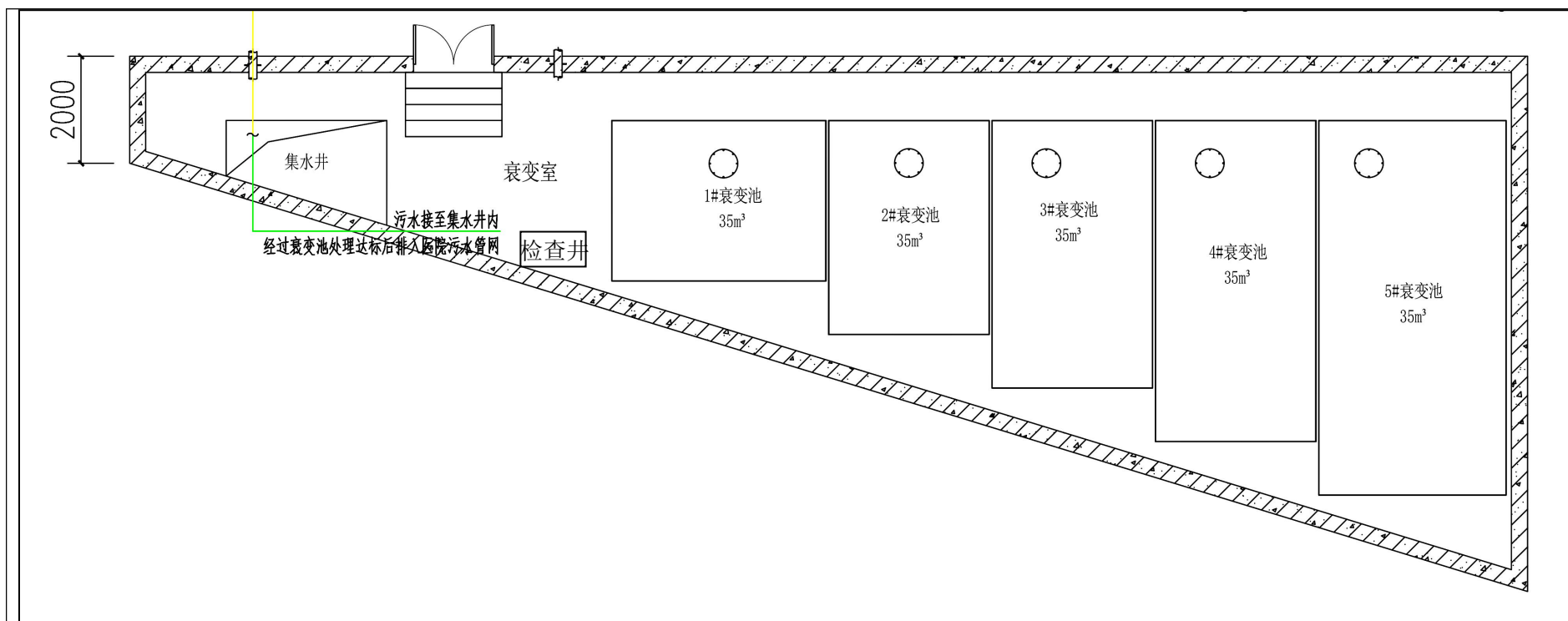


图10.2-4 核素治疗区新建衰变池平面图

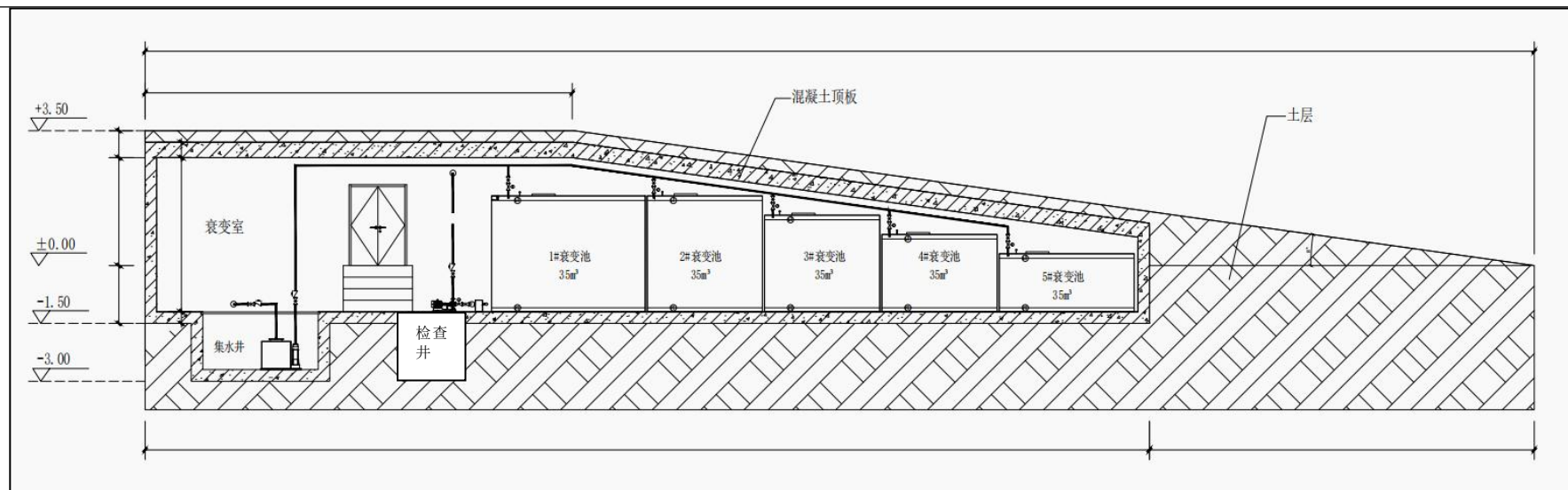
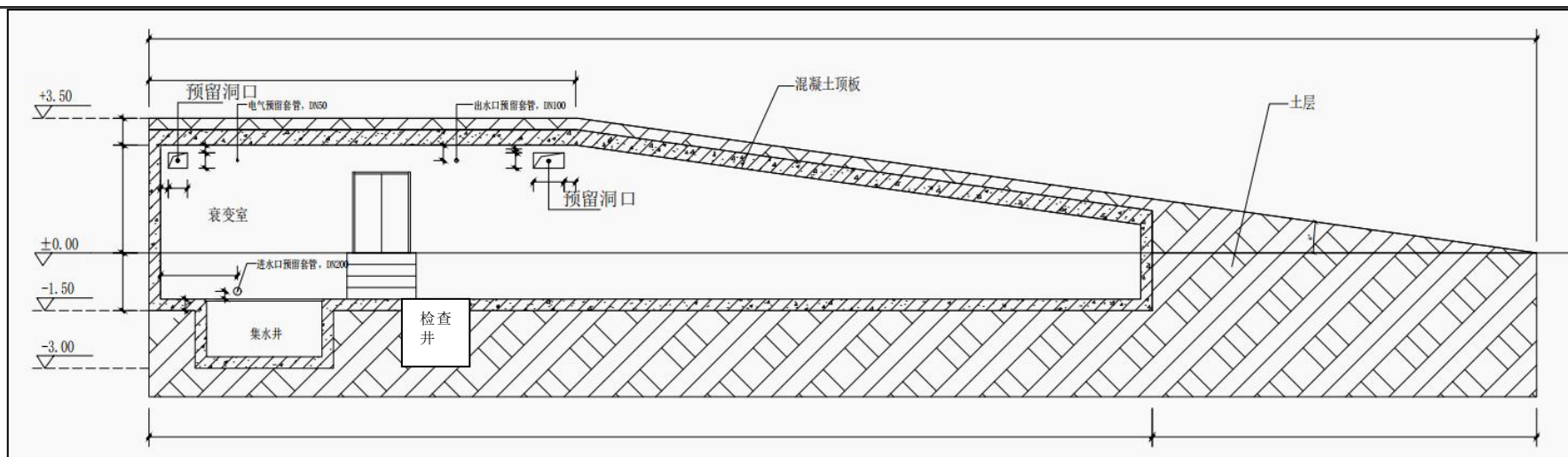


图10.2-5 核素治疗区新建衰变池剖面图 (1:100)

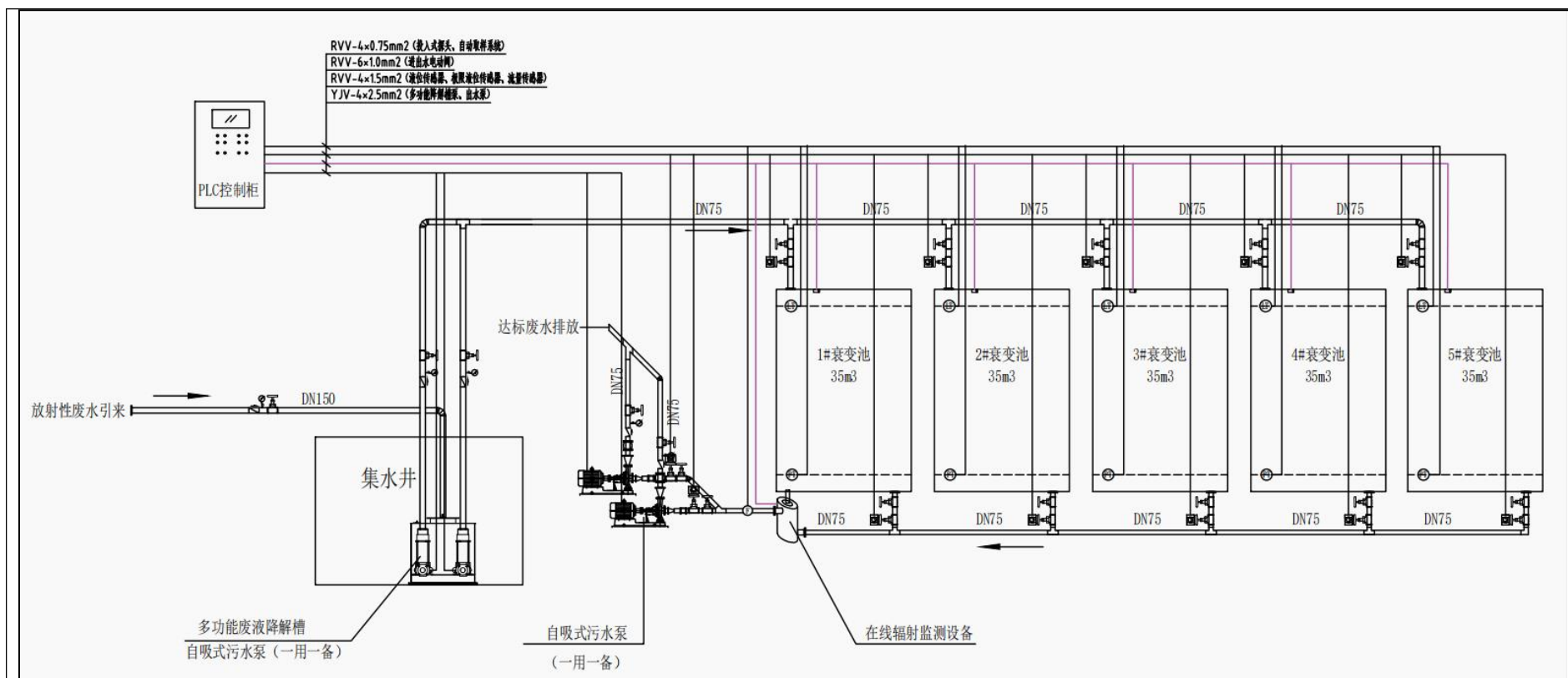


图10.2-6 核素治疗区衰变池工作流程图

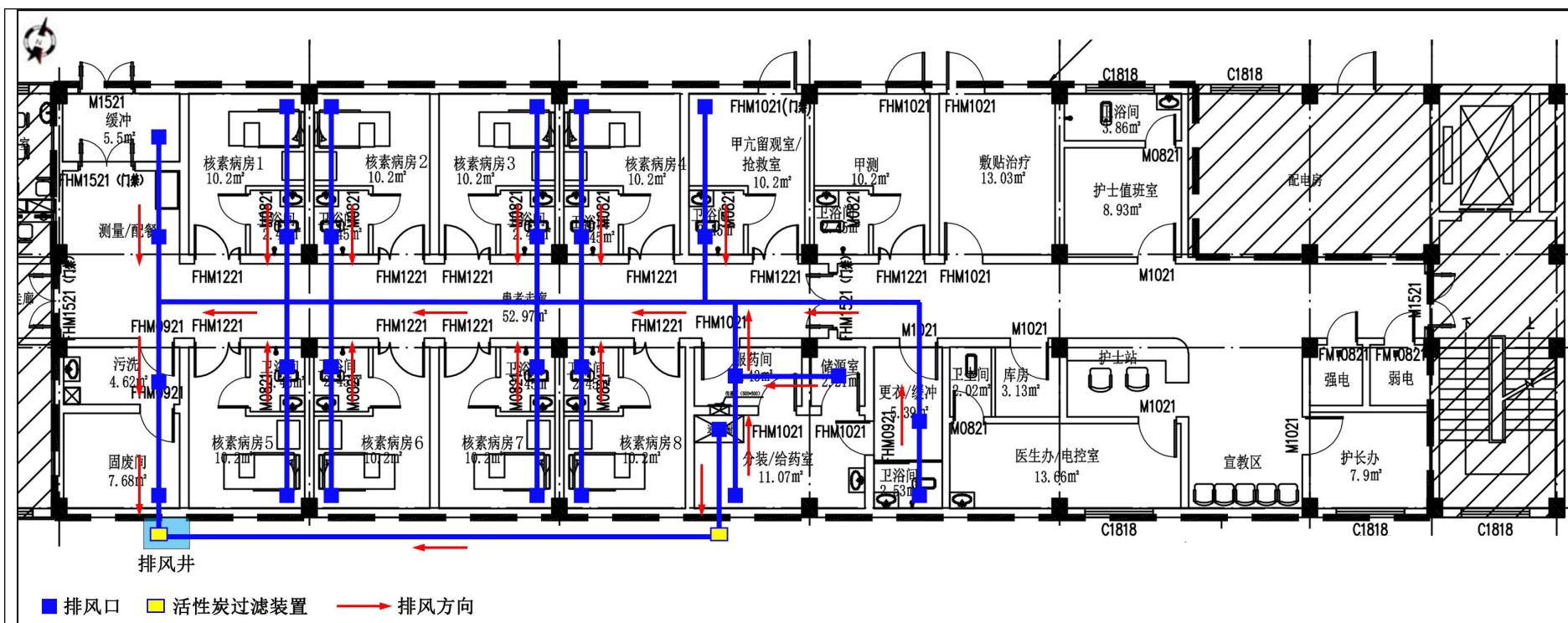


图10.2-8 核素治疗区放射性废气排风系统示意图

10.3.项目环保投资

项目总投资为100万元，其中环保投资为27万元，占总投资的27%，用于辐射安全防护措施的建设，具体详见下表。

表 10.3-1 项目环保投资一览表

序号	防护用品或检测设备	建议数量	投资（万元）	备注
1	个人防护用品（铅橡胶衣、铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽、铅玻璃眼镜、三角裤、铅橡胶手套、放射性污染防护服、远距离操作工具、有机玻璃眼镜、橡皮泥或橡胶板、有机玻璃屏风、移动铅屏风等）	若干	5.0	新增
2	碘-131自动给药系统	1	2.5	新增
3	床旁铅防护屏	3	0.2	新增
4	一体化注射防护台	1	1.0	新增
5	脚踏放射性废物箱	10	0.5	新增
6	紧急泄漏除污工具组	若干	0.5	新增
7	区域辐射剂量监测系统	2	1.0	新增
8	移动式铅衣架	2	0.5	新增
9	放射性废物暂存柜	1	0.2	新增
10	放射性纸杯废物箱	5	0.1	新增
11	转运防护罐	5	1.0	新增
12	过滤式口罩	若干	0.1	新增
13	计时器	1	0.1	新增
14	注射泵	2	0.2	新增
15	带屏蔽注射器	3	0.5	新增
16	碘-131体内活度测量系统	1	2.0	新增
17	碘-131全身动态辐射显像系统	1	2.0	新增
18	活度计	3	1.5	新增
19	巡测仪	3	1.5	新增
20	个人剂量报警仪	10	2.0	新增
21	表面沾污仪	2	1.6	新增
22	粒籽植入治疗计划系统	1	2.5	新增
23	长柄摄子	6	0.1	新增
24	粒籽植入枪	1	0.3	新增
25	铅罐	3	0.1	新增
合计			27	/

表 11 环境影响分析

11.1.建设阶段对环境的影响

根据项目建设内容，确定施工内容不涉及土建，主要为102号楼一楼东侧办公室的装修改造和新建衰变池。

11.1.1.施工期大气环境影响

根据项目工程内容，施工期主要大气污染物为装修过程中产生的粉尘（颗粒物）、油漆废气（挥发性有机物）。施工内容简单，不需动用大型施工机械，施工单位选用环保型油漆进行装修，因此废气产生量不大，对环境影响较小。施工结束后，不再产生粉尘，房间空置一段时间后油漆废气逐渐减少，最终消失，施工期废气不再对周边环境造成影响。

11.1.2.施工期地表水环境影响分析

本项目施工过程中均处于室内，基本无施工废水产生，主要废水来源为施工人员生活污水。施工单位可借用医院厕所，产生的生活污水随医院现有污水管道排至医院污水处理站处理，处理达标后进入市政污水管网，对环境影响较小。

11.1.3.施工期噪声影响分析

施工活动会产生一些施工噪声，本项目施工不涉及土建，不需使用大型施工设备，因此施工噪声值较小，且一般为间歇产生，对环境影响较小。施工单位将合理安排施工时间，避开休息时间，避免影响周边医护人员和病患的正常休息。

11.1.4.施工期固体废物影响分析

施工期间将产生少量建筑垃圾和施工人员生活垃圾。建筑垃圾一般为板材边角料、废钢材、废砖头等，产生量不大，可交由建材公司回收利用，不可随意倾倒到周边环境中。生活垃圾统一收集至医院内一般生活垃圾收集点，交由当地环卫部门处理。

11.1.5.施工期辐射影响分析

改造102号楼一楼东侧办公室时施工人员可能受到西侧ECT工作区内产生辐射的影响。ECT工作区现有核技术利用项目均已办理相关环评、验收手续并纳入辐射安全许可证许可项目中，且医院委托广西壮族自治区辐射监督管理站对医院辐射工作场所开展辐射监测时的监测结果均达标，说明现有项目运行时其辐射剂量率经现有措施屏蔽后至ECT工作区东侧办公室时符合相关标准，且施工人员不会在东侧办公室内长期居留，因此施工人员所处位置的辐射剂量率、施工人员所受有效剂量可符合相关标准要求。

综上所述，本项目施工期污染物产生量较小，在经过妥善处理，对环境的影响不大。

11.2.运行阶段对环境的影响

11.2.1.射线装置对工作场所的辐射影响

本项目利用⁶⁸Ga开展显像诊断、¹²⁵I粒子植入手术均依托原有射线装置PET/CT，PET/CT最大管电压为140kV，最大管电流为715mA。核素治疗区患者出院后需在与医生约定时间到ECT工作区进行一次碘扫，依托ECT工作区原有SPECT/CT进行，SPECT/CT最大管电压为140kV，最大管电流为2.5mA。

(1) 屏蔽防护铅当量计算

①混凝土

屏蔽透射因子可依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C中公式计算。

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (\text{公式11.2-1})$$

$$X = \frac{1}{\alpha \gamma} \ln \left(\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right) \quad (\text{公式11.2-2})$$

式中：B——屏蔽透射因子；

X——屏蔽体等效铅厚度，mmPb；

α、β、γ为铅、混凝土对X射线辐射衰减的有关的拟合参数见表11.2-1。

表 11.2-1 铅、混凝土对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

电压	材料	α	β	γ
140kV（CT）	铅	2.009	3.990	0.3420
	混凝土	0.03360	0.01220	0.5190

根据公式 11.2-1 和公式 11.2-2 计算得 120mm 厚混凝土屏蔽厚度铅当量约为 1.08mmPb。

②实心砖

根据《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表6.14：管电压150kV保守考虑，24cm实心砖折算2mmPb当量，37cm实心砖折算3mmPb当量。本环评按保守考虑采用管电压150kV相关参数计算实心砖折算铅当量，由内插法计算得150mm实心砖折算

1.31mmPb当量，320mm实心砖折算2.62mmPb当量。

(2) CT机房屏蔽防护措施

PET/CT机房、SPECT/CT机房屏蔽措施如下表：

表 11.2-2 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房屏蔽措施

屏蔽体		屏蔽措施	屏蔽防护铅当量 (mm)
PET/CT机房	东、西面墙体	150mm 实心砖+8mmPb 铅板	9.31
	南、北面墙体	240mm 实心砖+6mmPb 铅板	8
	天花板	120mm 厚的混凝土+6mmPb 铅板	7.08
	地板	地下土层	/
	防护门	北面、南面防护门均为8mmPb的铅防护门	8
	观察窗	8mmPb 的铅玻璃	8
SPECT/CT机房	四面墙体	320mm 厚的实心砖	2.62
	天花板	120mm 混凝土+2mmPb 防护材料	3.08
	地板	地下土层	/
	北面、西面防护门	8mmPb 的铅防护门	8
	东面防护门	8mmPb 的铅防护门	8
	观察窗	8mmPb 的铅玻璃	8

注：混凝土密度为2.35g/cm³，铅密度为11.3g/cm³，砖密度为1.65g/cm³。

(3) X射线设备机房防护设施符合性分析

本项目使用PET/CT机房、SPECT/CT机房的防护设施与《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）相符性分析见表11.2-3。

表 11.2-3 本项目使用 X 射线装置设备机房防护设施符合性分析一览表

射线装置	指标	本项目实际情况		GBZ 130-2020要求	是否符合
PET/CT	机房内最小有效使用面积 (m ²)	6.5×4.7=30.55		≥30	是
	机房内最小单边长度 (m)	4.5		≥4.5	是
	机房的屏蔽防护铅当量 (mm)	东、西面墙体	9.31	≥2.5	是
		南、北面墙体	8	≥2.5	是
		天花板	7.08	≥2.5	是
		防护门	8	≥2.5	是
		观察窗	8	≥2.5	是
SPECT/CT	机房内最小有效使用面积 (m ²)	6.5×4.7=30.55		≥30	是
	机房内最小单边长度 (m)	4.7		≥4.5	是
	机房的屏蔽防护铅当量 (mm)	四面墙体	2.62	≥2.5	是
		天花板	3.08	≥2.5	是
		北面、西面防护门	8	≥2.5	是
		东面防护门	8	≥2.5	是
		观察窗	8	≥2.5	是

注：PET/CT机房、SPECT/CT机房下方均为地下土层，不需考虑防护。

根据上表对比结果可知，PET/CT机房有效面积为30.55m²、最小单边长度及墙体、

门窗、天花板防护均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对CT机房的防护要求。SPECT/CT机房有效面积为30.55m²、最小单边长度及墙体、门窗、天花板防护均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对CT机房的防护要求。

参照NCRP Report No.147可知，CT正常运行时其主射线绝大部分均被待检人体及探测器吸收，主要源项为散射线及漏射线，且远小于注射后病人身体输出的剂量率，因此PET/CT机房的屏蔽设计主要考虑机房内注射/服用放射性核素的患者进行防护要求计算。经符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求的防护屏蔽后，CT机发射的X射线的辐射影响将进一步减小，可忽略不计，以下均不再考虑。

11.2.2.本项目非密封放射性物质对工作场所辐射影响分析

11.2.2.1.非密封性物质在运输过程中的辐射影响分析

本项目涉及的非密封放射性物质包括⁶⁸Ge、⁶⁸Ga、¹²⁵I粒子、¹³¹I、¹⁷⁷Lu、²²⁵Ac、²¹¹At、²²³Ra。

⁶⁸Ge随时处于衰变状态，锗镓发生器运输过程中主要辐射影响来自于⁶⁸Ge衰变产生的⁶⁸Ga。本项目锗镓发生器均从正规途径采购，供应单位运输方式不涉及船泊、航空运输，一般不采用独家使用方式运输，则根据《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）5.3 辐射水平限值，货包外表面上任一点的最高辐射水平应不超过2mSv/h。在此情况下，发生器在送至医院后被安装在正面辐射屏蔽能力50mmPb、侧面辐射屏蔽能力40mmPb、手孔屏蔽30mmPb的热室中，⁶⁸Ga在铅中的半值层为0.0164mm，由屏蔽减弱系数计算公式 $K^{-1}=10^{(-x/TVL)}$ 可知锗镓发生器内的⁶⁸Ge衰变产生的⁶⁸Ga至铅防护箱、热室外表面处的剂量率将大大减弱，对外辐射影响将非常小，可忽略不计。

⁶⁸Ga为医院自制自用，⁶⁸Ga药物运输仅为医院内转移，其辐射影响分析见11.2.2.2章节。

¹²⁵I粒子、¹³¹I、¹⁷⁷Lu均需外购，院内转移时的辐射影响分析详见11.2.2.3~11.2.2.5章节。供应单位运输时的辐射影响分析如下：

本项目¹²⁵I粒子、¹³¹I、¹⁷⁷Lu均从正规途径采购，供应单位运输方式不涉及船泊、航空运输，一般不采用独家使用方式运输，则根据《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）5.3 辐射水平限值，货包外表面上任一点的最高辐射水平应不超过2mSv/h。在运输条件符合国家要求的情况下，放射性药物所致辐射对周边环境的影响不大。

11.2.2.2.⁶⁸Ga 对各工作场所的辐射影响分析

根据项目工程分析， ^{68}Ga 的淋洗制备需利用锗镓发生器，涉及核素 ^{68}Ge 、 ^{68}Ga ，但由于色谱柱外表面有 60mmPb 铅防护，且发生器位于合成热室内，该热室正面辐射屏蔽能力 50mmPb、侧面辐射屏蔽能力 40mmPb、手孔辐射屏蔽能力 30mmPb，其对热室外辐射影响很小，可忽略不计，因此主要考虑 ^{68}Ga 的辐射影响。

(1) 相关参数取值

①淋洗阶段：本项目拟采用的锗镓发生器单次 ^{68}Ga 淋洗量为 $2.96 \times 10^9 \text{Bq}$ ，每日最多淋洗一次，工作人员利用热室房间内东侧电脑操控发生器淋洗作业。

②质控阶段：人员用毛细管吸取极少量 ^{68}Ga 洗脱液点在薄层板上，并将薄层板送至全检质控室南侧通风橱内的薄层色谱分析仪进行质控，转移过程中人员与样品相距约 0.3m。吸取的 ^{68}Ga 样品活度一般不大于 $10 \mu\text{Ci}$ ($3.7 \times 10^5 \text{Bq}$)，取 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ 进行计算，质控时人员与通风橱相距约 0.3m（源与通风橱正面相距约 0.525m，则人员与源相距约 0.825m）。人员转移样品、质控时均穿戴 0.5mmPb 防护用品。

③分装阶段：人员不需取出淋洗生成的 ^{68}Ga ，直接通过热室正面前的操作面板操控新增热室内自动分装仪（集分装、标记功能于一体）对药物进行质控、分装、标记，人员与热室距离约为 0.3m（源与热室正面相距约 0.525m，则人员与源相距约 0.825m），穿戴 0.5mmPb 防护用品。此时操作量即为淋洗量 $2.96 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

④热室→注射室转移阶段：药物被分装至配套 20mmPb 防护套的注射器中，人员将其装入 40mmPb 防护罐中运至注射室，转移过程中人员距离防护罐 0.3m，每次转移药量按单人最大用药量 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ 考虑。

⑤注射阶段：注射时，医护人员佩戴 0.5mmPb 的铅衣、铅帽、铅防护眼镜等防护用品，通过整体防护能力 50mmPb 的注射台为患者注射。进行以上操作时，人员需穿戴 0.5mmPb 铅衣进行防护，与注射台相距约 0.3m。

⑥注射后候诊阶段：注射后患者先到病人更衣室更衣，每次室内仅有 1 人（ $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ）。更衣后患者到注射后候诊室或 VIP 注射后候诊室候诊。考虑按最坏影响考虑，一般注射后候诊室最多有 4 人同时候诊（全部为 ^{68}Ga 注射后患者，不与注射其他放射性药物的患者同时候诊），此时候诊室内 ^{68}Ga 总活度为 $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$ ，VIP 注射后候诊室内仅 1 人候诊，候诊室内 ^{68}Ga 总活度为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

⑦显像诊断阶段：每次仅可对 1 位患者进行 PET/CT 显像，医护人员在为患者进行摆位指导时穿戴 0.5mmPb 的铅衣、铅帽等防护用品，人员距离患者约 1m。显像时，人

员在控制室隔室操作。

⑧留观阶段：患者经显像诊断后至留观室留观，按最坏影响考虑，留观室内同时有4人留观，留观室内⁶⁸Ga总活度为 $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$ 。同时估算1人留观时（活度 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ）各屏蔽体外辐射剂量率，用于计算公众受照剂量，不用于评价对工作场所的辐射影响。

预测所需⁶⁸Ga各项参数如下表：

表 11.2-4 预测所需⁶⁸Ga 相关参数一览表

核素	裸源周围剂量当量率常数 $\mu \text{ Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$	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 μ $\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$	TVL (mm)		
			铅	砖	混凝土
⁶⁸ Ga	0.134	0.086	16.6	263	176

注：1、⁶⁸Ga的裸源周围剂量当量率常数、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分别取自《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表H.1、表L.1；

2、⁶⁸Ga什值层参照¹⁸F，取自《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表L.1。

⁶⁸Ga涉及场所采取的屏蔽措施如下表：

表 11.2-5 ⁶⁸Ga 涉及场所采取的屏蔽措施

屏蔽体		屏蔽措施
热室房间	东、南、北面墙体	300mm 厚的混凝土
	西面墙体	500mm 厚的混凝土
	天花板	120mm 混凝土+10mm 厚铅板
	地板	地下土层
	铅防护门	北面 10mmPb 铅防护门
	传递窗	北面、东面均有 20mmPb 铅防护窗
	新增热室	正面屏蔽能力 50mmPb
		侧面屏蔽能力40mmPb
		手孔屏蔽能力30mmPb
全检质控室及其相连走廊	防护墙	走廊北面墙体、东面墙体为 24cm 实心砖+6mmPb 铅板，西面为彩钢板墙板； 全检质控室北面墙体（墙外为准备间）、南面墙体为彩钢板墙板，西面墙体为 300mm 厚的混凝土，东面墙体为 24cm 实心砖+6mmPb 铅板
	天花板	120mm 混凝土
	地板	地下土层
	防护门	均无特殊防护
	传递窗	传递窗均为 20mmPb 铅防护窗
	通风橱	正面屏蔽 50mmPb
		侧面屏蔽 40mmPb
		操作手孔屏蔽 30mmPb
注射室	南面墙体	15cm 实心砖+8mmPb 铅板
	东、西、北面墙体	24cm 实心砖+6mmPb 铅板
	天花板	12cm 厚的混凝土+6mmPb 铅板
	地板	地下土层
	专用注射台	整体防护能力 50mmPb
	防护门	北侧防护门、注射窗东侧防护门均为 8mmPb 的铅防护门
注射后候诊室	南、北面墙体	24cm 实心砖+6mmPb 铅板

	东、西面墙体		15cm 实心砖+8mmPb 铅板
	天花板		12cm 厚的混凝土+6mmPb 铅板
	地板		地下土层
	防护门		8mmPb 的铅防护门
	专用卫生间	西、北面墙体	15cm 实心砖+8mmPb 铅板
		防护门	8mmPb 的铅防护门
VIP注射后候诊室	南、西面墙体		240mm 实心砖+6mmPb 铅板
	东、北面墙体		150mm 实心砖+8mmPb 铅板
	天花板		120mm 厚的混凝土+6mmPb 铅板
	地板		地下土层
	防护门		8mmPb 的铅防护门
	专用卫生间	南面墙体	15cm 实心砖+8mmPb 铅板
		防护门	8mmPb 的铅防护门
PET/CT机房	东、西面墙体		150mm 实心砖+8mmPb 铅板
	南、北面墙体		240mm 实心砖+6mmPb 铅板
	天花板		120mm 厚的混凝土+6mmPb 铅板
	地板		地下土层
	防护门		北面、南面 8mmPb 铅防护门
	观察窗		8mmPb 的铅玻璃
病人更衣室	北、东、西面墙体		240mm 实心砖+6mmPb 铅板
	南面墙体		地下土层
	天花板		120mm 厚的混凝土+6mmPb 铅板
	地板		地下土层
	防护门		北面、西侧（2 个）防护门为 8mmPb 的铅防护门
留观室	西北面、东面、南面墙体		150mm 实心砖+8mmPb 铅板
	天花板		120mm 厚的混凝土+6mmPb 铅板
	地板		地下土层
	防护门		东北面、南面防护门均为 8mmPb 的铅防护门
用药后患者走廊	防护墙		240mm 实心砖+6mmPb 铅板
	天花板		120mm 厚的混凝土+6mmPb 铅板
	地板		地下土层
	防护门		西面、东面防护门为 8mmPb 的铅防护门

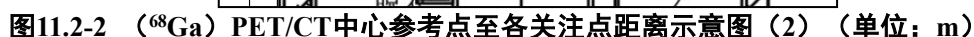
注：1、注射台铅当量为对 ^{18}F 的屏蔽防护铅当量， ^{68}Ga 参照 ^{18}F 考虑直接以此铅当量进行计算。

2、混凝土密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，铅密度为 $11.3\text{g}/\text{cm}^3$ ，砖密度为 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ 。

（2）关注点选取

本项目选取热室房间、全检质控室、注射室、注射后候诊室及其卫生间、VIP注射后候诊室及其卫生间、PET/CT机房、病人更衣室、留观室屏蔽体表面外30cm和楼上30cm，新增热室的正面外30cm、5个侧面外5cm，热室房间内电脑操作位，全检质控室内通风橱的正面外30cm、5个侧面外5cm，质控人员操作位，注射台正对人员操作位表面30cm、非正对人员操作位表面5cm（此处即为注射室东侧墙外5cm处，因此不再于东侧墙外30cm处设置关注点），指导摆位人员位置，控制室操作人员位置作为关注点（注射后候诊室卫生间西侧、北侧墙外30cm仍位于候诊室内，不设关注点；VIP注射后候诊

This schematic diagram illustrates the airflow patterns and velocity measurements within a cleanroom during the preparation phase. The layout includes several functional areas: a buffer zone (缓冲) at the entrance, a preparation room (准备间), a sterilization passage (净化传递窗), a full quality control room (全检质控室), a hot room (热室房间), a脱衣洗手 area, a更衣手消 area, an aseptic detection area (无菌检测), a positive control area (阳性对照), a waste storage area (储废物), a injection preparation area (注射准备), a toilet (卫生间), and a post-injection waiting area (VIP注射后候诊). A north arrow points upwards. Red dots represent reference points (参考点) and blue dots represent focus points (关注点). Red arrows indicate the primary airflow paths, showing a general flow from the entrance through the buffer and preparation rooms towards the hot room and aseptic detection areas. Numerical values along these paths represent air velocity measurements in m/s, such as 5.62, 3.48, 5.475, 4.4, 2.65, 0.825, 3.97, -4.400 (室内), 0.64, 0.575, 1.125, 1.19, 0.64, 1.23, 1.74, 1.23, 0.43, 0.61, 1.9, 2.21, 2.865, 1.45, 1.45, 2.865, 1.45, 3.2, and -4.100. Specific locations are noted as '热室上面5cm、天花板上方30cm' (5cm above the hot room, 30cm above the ceiling) and '天花板上30cm' (30cm above the ceiling).

[illegible]

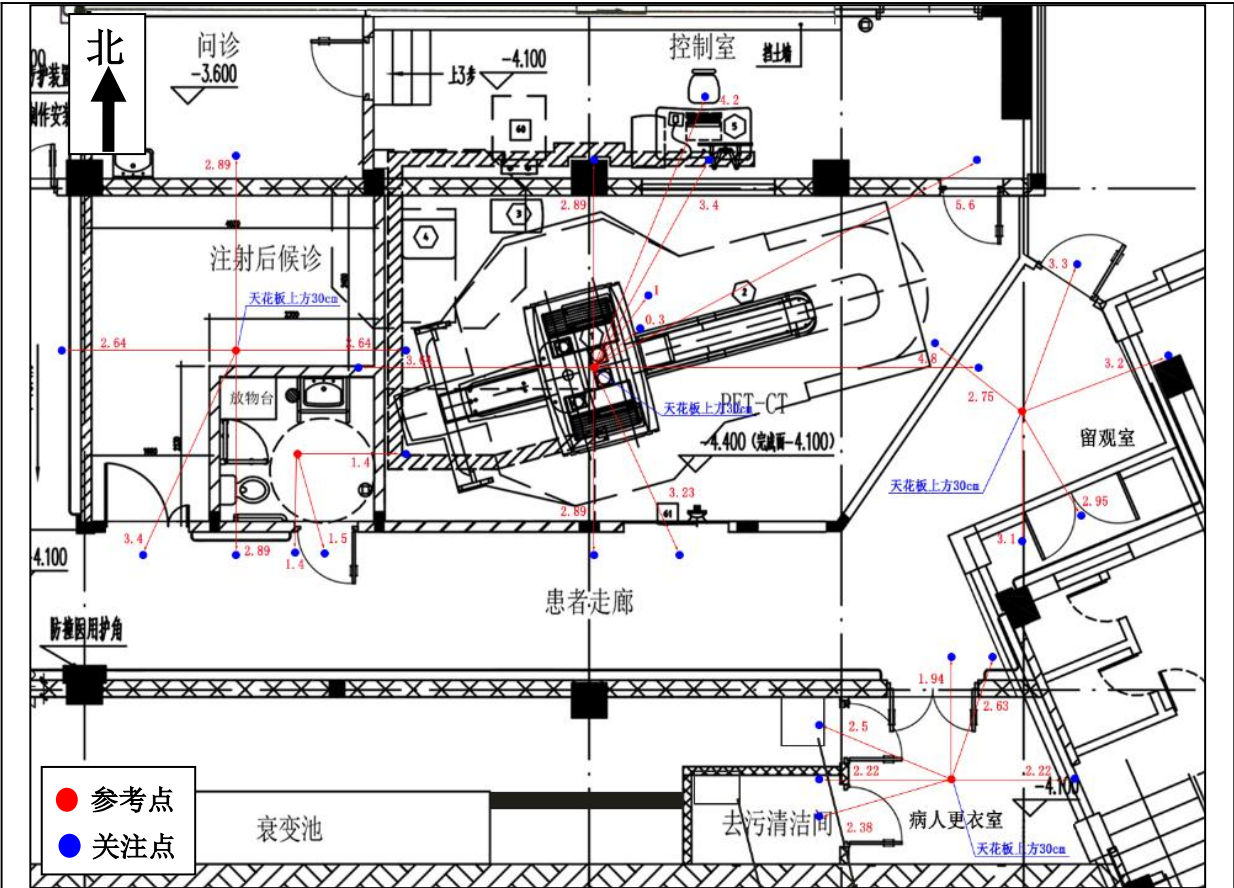


图11.2-3 (⁶⁸Ga) PET/CT中心参考点至各关注点距离示意图 (3) (单位: m)

(3) 理论计算公式

γ点源的剂量率计算公式如下:

$$H_p = A \times \Gamma \times r^{-2} \times 10^{-X/TVL} \quad (\text{公式11.2-4})$$

式中: H_p —屏蔽体外关注点剂量率控制值, 单位为微希沃特每小时 ($\mu\text{Sv/h}$);

x —屏蔽厚度, 单位为毫米 (mm);

A —放射源的最大活度, 单位为兆贝可 (MBq);

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

r —参考点与放射源间的距离, 单位为米 (m);

TVL —γ射线的十分之一值层厚度, 单位为毫米 (mm)。

(4) 估算结果

根据公式11.2-4, 代入相关参数进行计算, 本项目⁶⁸Ga经屏蔽后的剂量率估算结果见表11.2-7。

表 11.2-6 ⁶⁸Ga 经屏蔽后的剂量率估算结果表

关注点	屏蔽措施	源活度 (MBq)	剂量率常数 μ $\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{MBq} \cdot \text{h})$	距离 (m)	屏蔽后的 剂量率
-----	------	--------------	---	-----------	-------------

						($\mu\text{Sv/h}$)
新增热室	正面30cm	50mmPb	2960	0.134	0.825	5.67E-01
	背面5cm	40mmPb	2960	0.134	0.575	4.67E+00
	左面5cm	40mmPb	2960	0.134	0.64	3.77E+00
	右面5cm	40mmPb	2960	0.134	0.64	3.77E+00
	上面5cm	40mmPb	2960	0.134	0.85	2.14E+00
	底面5cm	40mmPb	2960	0.134	1.35	8.47E-01
热室房间	东侧墙外30cm	300mm混凝土+40mmPb热室侧面	2960	0.134	1.19	2.15E-02
	南侧墙外30cm	300mm混凝土+40mmPb热室侧面	2960	0.134	1.125	2.41E-02
	西侧墙外30cm	500mm混凝土+40mmPb热室侧面	2960	0.134	3.97	1.41E-04
	北侧墙外30cm	300mm混凝土+50mmPb热室正面	2960	0.134	5.475	2.54E-04
	天花板外30cm	120mm混凝土+10mm铅板+40mmPb热室侧面	2960	0.134	3.5	6.55E-03
	北侧防护门外30cm	10mmPb铅防护门+50mmPb热室正面	2960	0.134	5.48	3.21E-03
	北侧传递窗外30cm	20mmPb铅传递窗+50mmPb热室正面	2960	0.134	5.475	8.03E-04
	东侧传递窗外30cm	20mmPb铅传递窗+40mmPb热室侧面	2960	0.134	4.4	4.98E-03
发生器操作位		50mmPb	2960	0.134	2.65	5.49E-02
分装操作位		50mmPb热室正面+0.5mmPb铅衣	2960	0.134	0.825	5.29E-01
通风橱	正面30cm	50mmPb	0.37	0.134	0.825	7.09E-05
	背面5cm	40mmPb	0.37	0.134	0.575	5.84E-04
	左面5cm	40mmPb	0.37	0.134	0.64	4.71E-04
	右面5cm	40mmPb	0.37	0.134	0.64	4.71E-04
	上面5cm	40mmPb	0.37	0.134	0.85	2.67E-04
	底面5cm	40mmPb	0.37	0.134	1.35	1.06E-04
全检质控室	东侧墙外30cm	24cm实心砖+6mmPb铅板+40mmPb通风橱侧面	0.37	0.134	3.5	8.38E-07
	南侧墙外30cm	50mmPb通风橱正面	0.37	0.134	2.6	7.13E-06
	西侧墙外30cm	300mm厚的混凝土	0.37	0.134	2.9	1.16E-04
	北侧墙外30cm（准备间）	40mmPb通风橱侧面	0.37	0.134	0.83	2.80E-04
	东北侧墙外30cm（注射室）	24cm实心砖+6mmPb铅板+40mmPb通风橱侧面	0.37	0.134	2.8	1.31E-06
	（走廊）北侧墙外30cm	24cm实心砖+6mmPb铅板+40mmPb通风橱侧面	0.37	0.134	7.32	1.92E-07
	天花板外	12cm厚的混凝土	0.37	0.134	3.5	8.42E-04

	30cm					
	西南侧门外 30cm	50mmPb通风橱正面	0.37	0.134	3.12	4.95E-06
	东南侧门外 30cm	50mmPb通风橱正面	0.37	0.134	3.2	4.71E-06
	(走廊) 北 侧门外 30cm	40mmPb通风橱侧面	0.37	0.134	7.16	3.77E-06
	东北侧传递 窗外30cm (走廊)	40mmPb通风橱侧面 +20mmPb传递窗	0.37	0.134	4.33	6.42E-07
	西侧传递窗 外30cm	40mmPb通风橱侧面 +20mmPb传递窗	0.37	0.134	2.93	1.40E-06
质控样品运输		0.5mmPb铅衣	0.37	0.134	0.3	5.14E-01
质控操作位		50mmPb通风橱正面 +0.5mmPb铅衣	0.37	0.134	0.825	6.61E-05
药物运输		20mmPb注射器防护套 +40mmPb防护罐 +0.5mmPb铅衣	185	0.134	0.3	6.24E-02
注射室	南侧墙外 30cm	15cm实心砖+8mmPb 铅板+50mmPb注射台	185	0.134	1.23	1.41E-03
	西侧墙外 30cm	24cm实心砖+6mmPb 铅板+50mmPb注射台	185	0.134	2.21	2.63E-04
	北侧墙外 30cm	24cm实心砖+6mmPb 铅板+50mmPb注射台	185	0.134	1.23	8.48E-04
	天花板外 30cm	12cm混凝土+6mmPb 铅板+50mmPb注射台	185	0.134	3.5	1.78E-04
	注射窗口外 5cm	50mmPb注射台	185	0.134	0.41	1.43E-01
	北侧铅防护 门外30cm	8mmPb铅防护门 +50mmPb注射台	185	0.134	1.74	2.63E-03
	(注射窗) 东侧铅防护 门外30cm	8mmPb铅防护门 +50mmPb注射台	185	0.134	1.9	2.20E-03
注射操作位		50mmPb注射台 +0.5mmPb铅衣	185	0.134	0.4	1.41E-01
注射后 候诊室	东侧墙外 30cm	15cm实心砖+8mmPb 铅板	740	0.086	2.64	8.09E-01
	南侧墙外 30cm	24cm实心砖+6mmPb 铅板	740	0.086	2.89	4.05E-01
	西侧墙外 30cm	15cm实心砖+8mmPb 铅板	740	0.086	2.64	8.09E-01
	北侧墙外 30cm	24cm实心砖+6mmPb 铅板	740	0.086	2.89	4.05E-01
	天花板外 30cm	12cm厚的混凝土 +6mmPb铅板	740	0.086	3.5	4.70E-01
	南侧铅防护 门外30cm	8mmPb	740	0.086	3.4	1.81E+00
	卫生间南侧 墙外30cm	24cm实心砖+6mmPb 铅板	185	0.086	1.4	4.32E-01

	卫生间东侧墙外30cm	15cm实心砖+8mmPb铅板	185	0.086	1.4	7.19E-01
	卫生间防护门外30cm	8mmPb	185	0.086	1.5	2.33E+00
VIP注射后候诊室	东侧墙外30cm	150mm实心砖+8mmPb铅板	185	0.086	1.45	6.71E-01
	南侧墙外30cm	240mm实心砖+6mmPb铅板	185	0.086	2.865	1.03E-01
	西侧墙外30cm	240mm实心砖+6mmPb铅板	185	0.086	1.45	4.03E-01
	北侧墙外30cm	150mm实心砖+8mmPb铅板	185	0.086	2.865	1.72E-01
	天花板外30cm	12cm厚的混凝土+6mmPb铅板	185	0.086	3.5	1.18E-01
	东侧铅防护门外30cm	8mmPb	185	0.086	3.2	5.12E-01
	卫生间北侧墙外30cm	24cm实心砖+6mmPb铅板	185	0.086	1.23	5.59E-01
	卫生间西侧墙外30cm	240mm实心砖+6mmPb铅板	185	0.086	1.45	4.03E-01
	卫生间东侧墙外30cm	150mm实心砖+8mmPb铅板	185	0.086	1.45	6.71E-01
PET/CT机房	东侧墙外30cm	150mm实心砖+8mmPb铅板	185	0.086	4.8	6.12E-02
	南侧墙外30cm	240mm实心砖+6mmPb铅板	185	0.086	2.89	1.01E-01
	西侧墙外30cm	150mm实心砖+8mmPb铅板	185	0.086	3.64	1.06E-01
	北侧墙外30cm	240mm实心砖+6mmPb铅板	185	0.086	2.89	1.01E-01
	天花板外30cm	12cm厚的混凝土+6mmPb铅板	185	0.086	3.5	1.18E-01
	北侧铅防护门外30cm	8mmPb	185	0.086	5.6	1.67E-01
	南侧铅防护门外30cm	8mmPb	185	0.086	3.23	5.03E-01
	观察窗外30cm	8mmPb	185	0.086	3.4	4.54E-01
	摆位	0.5mmPb铅衣	185	0.086	1	1.48E+01
	PET/CT机房控制室操作位	8mmPb观察窗	185	0.086	4.2	2.97E-01
留观室(4人)	东侧墙外30cm	150mm实心砖+8mmPb铅板	740	0.086	3.2	5.51E-01
	南侧墙外30cm	150mm实心砖+8mmPb铅板	740	0.086	3.1	5.87E-01
	西北侧墙外30cm	150mm实心砖+8mmPb铅板	740	0.086	2.75	7.46E-01
	天花板外30cm	120mm厚的混凝土+6mmPb铅板	740	0.086	3.5	4.70E-01
	东北侧铅防	8mmPb	740	0.086	3.3	1.93E+00

	护门外 30cm					
	南侧铅防护 门外30cm	8mmPb	740	0.086	2.95	2.41E+00
留观室 (1人)	东侧墙外 30cm	150mm实心砖+ 8mmPb铅板	185	0.086	3.2	1.38E-01
	南侧墙外 30cm	150mm实心砖+ 8mmPb铅板	185	0.086	3.1	1.47E-01
	西北侧墙外 30cm	150mm实心砖+ 8mmPb铅板	185	0.086	2.75	1.86E-01
	天花板外 30cm	120mm厚的混凝土 +6mmPb铅板	185	0.086	3.5	1.18E-01
	东北侧铅防 护门外 30cm	8mmPb	185	0.086	3.3	4.82E-01
	南侧铅防护 门外30cm	8mmPb	185	0.086	2.95	6.03E-01
病人更衣室	东侧墙外 30cm	240mm实心砖+ 6mmPb铅板	185	0.086	2.22	1.72E-01
	西侧墙外 30cm	240mm实心砖+ 6mmPb铅板	185	0.086	2.22	1.72E-01
	北侧墙外 30cm	240mm实心砖+ 6mmPb铅板	185	0.086	2.63	1.22E-01
	天花板外 30cm	120mm厚的混凝土 +6mmPb铅板	185	0.086	3.5	1.18E-01
	北侧铅防护 门外30cm	8mmPb	185	0.086	1.94	1.39E+00
	西北侧铅防 护门外 30cm	8mmPb	185	0.086	2.5	8.39E-01
	西南侧铅防 护门外 30cm	8mmPb	185	0.086	2.38	9.26E-01
注：全检质控室及相连走廊部分墙体为彩钢板墙板，未查询到该材质对 ⁶⁸ Ga的什值层参数，因此计算时不考虑此类墙体的辐射屏蔽效果；全检质控室各门均无特殊防护功能，因此计算时不考虑此类门的辐射屏蔽效果。						

由表11.2-7估算结果可知，本项目PET/CT机房、全检质控室、热室房间、注射室、注射后候诊室、病人更衣室、留观室等控制区屏蔽体外计算的辐射剂量率范围值在1.92E-07 μ Sv/h~2.41 μ Sv/h，均小于2.5 μ Sv/h；用于⁶⁸Ga药物分装的热室外表面30cm人员操作位处的辐射剂量率为5.67E-01 μ Sv/h，小于2.5 μ Sv/h；⁶⁸Ga质控的通风橱外表面30cm人员操作位处的辐射剂量率为7.09E-05 μ Sv/h，小于2.5 μ Sv/h；新增热室侧面、通风橱侧面、注射窗非正对人员操作位表面5cm处的辐射剂量率范围值在1.06E-04 μ Sv/h~4.67 μ Sv/h，均小于25 μ Sv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的相关要求。

综上所述，本项目⁶⁸Ga涉及场所的辐射防护措施合理可行。

11.2.2.3. ¹²⁵I 粒子对各工作场所的辐射影响分析

(1) 相关参数取值

①储存阶段：医院从放射性药物供应单位处采购¹²⁵I粒子后，使用专门的密封容器保存于102号楼新建储源室中，医院按每天所需药量采购，因此贮存量按日最大操作量考虑为 1.78×10^{10} Bq。

②质控、消毒、装枪阶段：使用前，医护人员将¹²⁵I粒子从储源室中取出，在分装室完成完成质控、消毒、装枪等操作，这些操作均在植入防护箱中进行，植入防护箱防护能力至少为2mmPb，人员操作距离为0.3m，每次操作量按单人最大用药量考虑为 2.96×10^9 Bq。

③分装室→PET/CT机房转移阶段：人员将已装好¹²⁵I粒子的插植器装入转运防护箱中转移到101号楼一楼PET/CT机房中，其中插植器弹夹铅当量约为0.25mmPb，防护箱防护能力至少为2mmPb，人员与防护箱距离为0.3m。

④植入手术阶段：每次手术仅可治疗1人。手术时，每次由2位医生在PET/CT机房中一人负责穿刺、一人担任助手，1位护士协助，1位技师在控制室操作PET/CT运行，机房内人员均需穿戴铅衣、铅帽、铅防护眼镜等0.5mmPb防护用品，医生与插植器距离为0.3m，护士与插植器距离为1m。

⑤植入患者PET/CT机房→粒籽病房转移阶段：手术后，患者在植入部位穿戴0.5mmPb防护用品，在护士陪同下至核素病房住院观察，患者与护士距离约为0.3m，与公众距离在1.5m以上。

⑥植入患者住院阶段：每间病房有2名患者入住（ 5.92×10^9 Bq），由护士进行送餐、巡视病房等护理工作，护士穿戴0.5mmPb防护用具，与患者距离至少1m。

预测所需¹²⁵I粒子相关参数见下表11.2-8：

表 11.2-7 ¹²⁵I 粒子相关参数一览表

核素	裸源周围剂量当量率常数 μ $\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$	TVL (mm)		
		铅	砖	混凝土
¹²⁵ I	0.0165	0.1	12	7

注：1、¹²⁵I的裸源周围剂量当量率常数取自《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表H.1；
2、铅、砖、混凝土对¹²⁵I的屏蔽什值层取自《辐射安全手册》。

¹²⁵I粒子涉及场所的屏蔽体各项参数如下表11.2-9：

表 11.2-8 ¹²⁵I 粒子涉及场所采取的屏蔽措施

屏蔽体		屏蔽措施
储源室	四面墙体	200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料

	天花板		120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料
	地板		地下土层
	铅防护门		15mmPb 的铅防护门
分装室	南面墙体		240mm 实心砖+6mmPb 防护涂料
	东、西、北面墙体		200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料
	天花板		120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料
	地板		地下土层
	防护门		15mmPb 的铅防护门
	给药窗		40mmPb 的铅防护窗
	分装柜	正面屏蔽 50mmpb	
		侧面屏蔽 40mmpb	
		活度计电离室屏蔽 40mmPb	
操作手孔屏蔽 30mm Pb			
PET/CT机房	东、西面墙体		150mm 实心砖+8mmPb 铅板
	南、北面墙体		240mm 实心砖+6mmPb 铅板
	天花板		120mm 厚的混凝土+6mmPb 铅板
	地板		地下土层
	防护门		北面、南面有 8mmPb 铅防护门
	观察窗		8mmPb 的铅玻璃
粒籽病房	四面墙体		120mm 实心砖
	天花板		120mm 混凝土
	地板		地下土层
	防护门		西面为 2mmPb 的铅防护门
	专用卫生间	西、南面墙体	120mm 实心砖
		防护门	2mmPb 铅防护门

注：1、混凝土密度为2.35g/cm³，铅密度为11.3g/cm³，砖密度为1.65g/cm³。
2、防护涂料屏蔽能力铅当量均以¹³¹I考虑，¹³¹I产生的辐射影响远大于¹²⁵I粒子，相同防护材料对¹²⁵I粒子的防护能力实际应大于该数值，保守考虑可按其数值进行计算。

（2）关注点选取

本项目选取储源室、分装室、PET/CT机房、粒籽病房（粒籽病房内患者可自由活动，分别选取东、南、西、北面墙体以内30cm处作为参考点）及其卫生间屏蔽体表面外30cm和楼上30cm，分装柜的正面外30cm、5个侧面外5cm，分装操作位，内穿刺（距源0.3m处）、助手（距源0.3m处）、协助（距源1m处）位置，PET/CT机房控制室操作人员位置，植入患者转移途中陪同护士位置（距源0.3m）、公众位置（距源1.5m），住院患者周边1m处（粒籽病房中的2名患者视为1个点源）作为关注点（粒籽病房卫生间西侧、南侧、防护门外30cm仍位于病房内，不设关注点）。参考点至各关注点的距离见图11.2-3~图11.2-6。

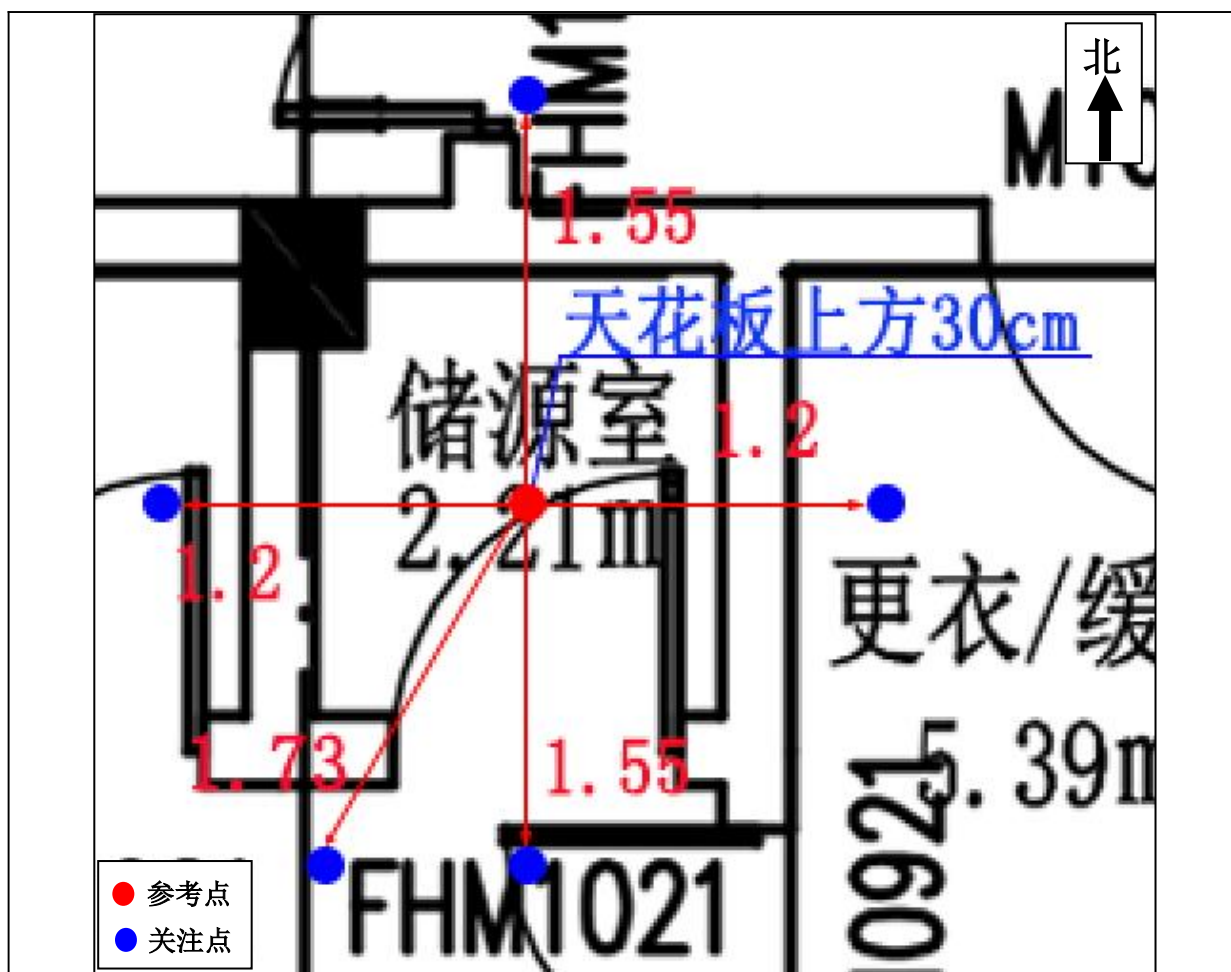


图11.2-4 (^{125}I 粒子) 储源室参考点至各关注点距离示意图 (单位: m)

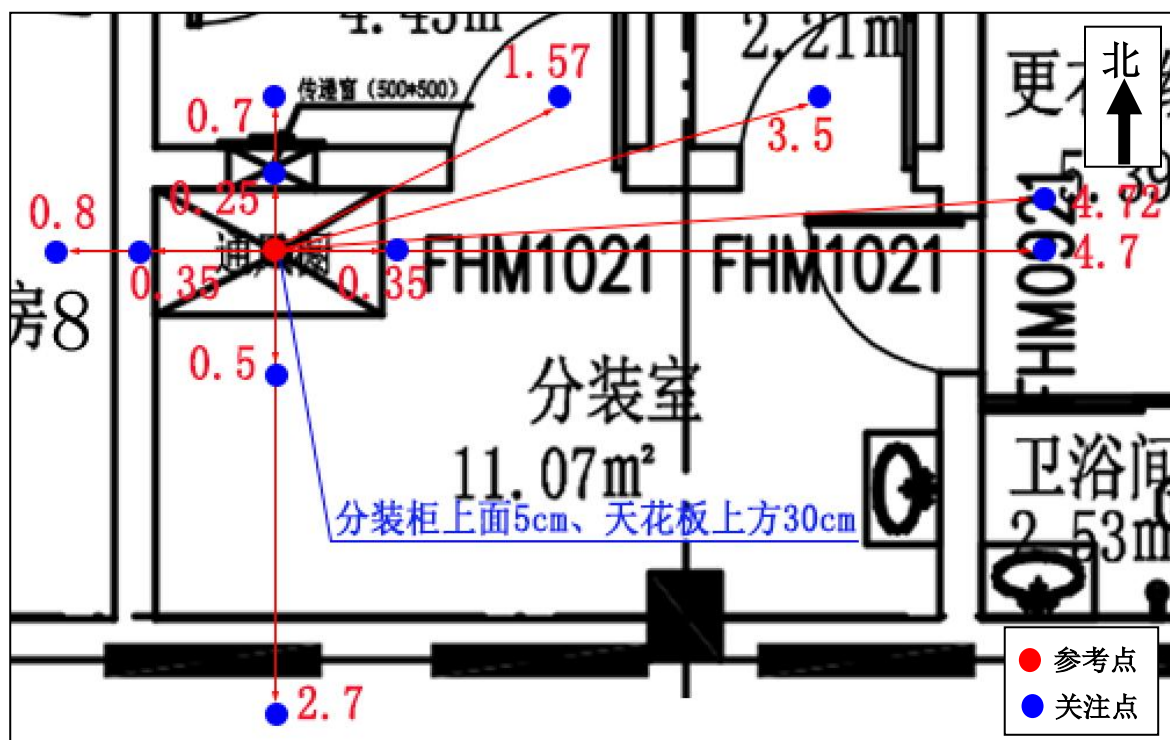


图11.2-5 (^{125}I 粒子) 分装室参考点至各关注点距离示意图 (单位: m)

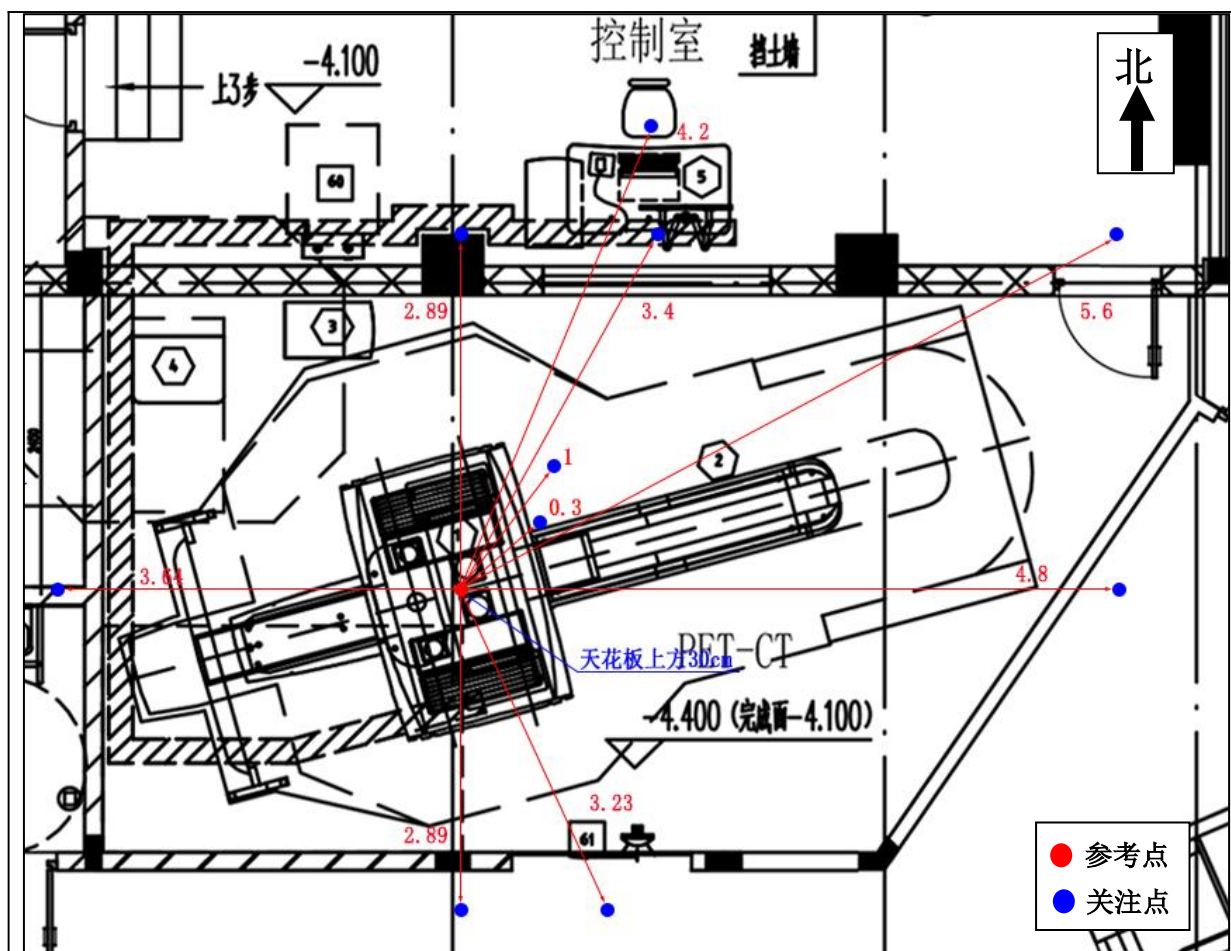


图11.2-6 (^{125}I 粒子) PET/CT机房参考点至各关注点距离示意图 (单位: m)

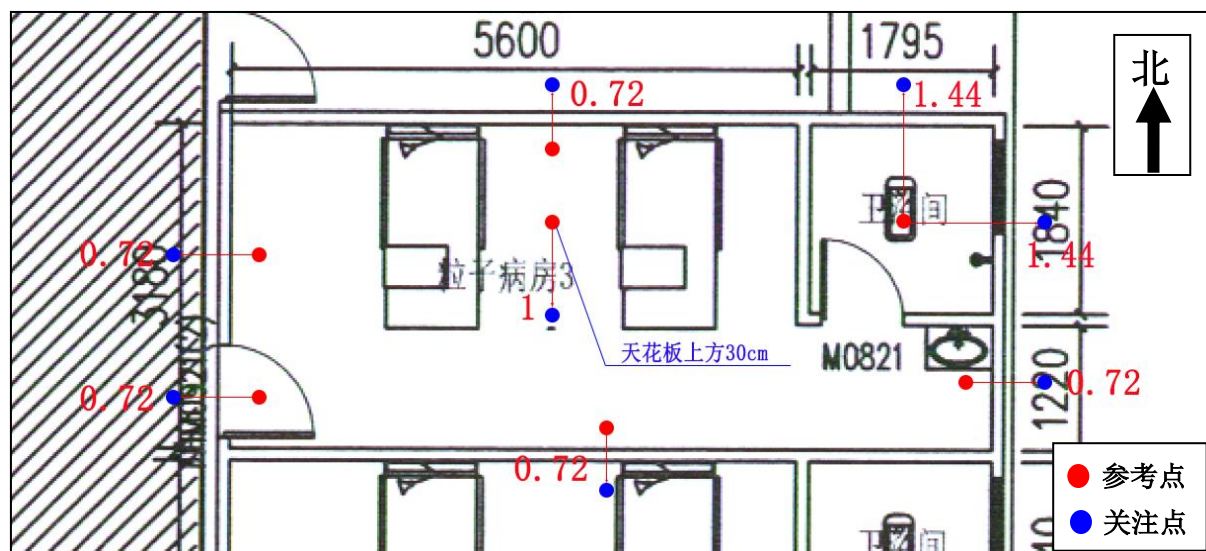


图11.2-7 (^{125}I 粒子) 粒籽病房参考点至各关注点距离示意图 (单位: m)

(3) 估算结果

将以上参数代入公示11.2-4计算, 则本项目 ^{125}I 粒子经屏蔽后的剂量率估算结果见表11.2-10 (储源室外辐射影响需考虑储存的所有放射性药物的影响, 因此不在此单独计算储源室内 ^{125}I 粒子经屏蔽后的剂量率, 分析详见11.2.2.6章节)。

表 11.2-9 ^{125}I 粒子经屏蔽后的剂量率估算结果

关注点		屏蔽措施	源活度 (MBq)	剂量率常数 μ $\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$	距离 (m)	屏蔽后的 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
分装室	东侧墙 外30cm	200mm实心砖+6mmPb 防护涂料+分装柜侧面 40mmPb	1.78×10^4	0.0165	4.72	0.00E+00
	南侧墙 外30cm	240mm实心砖+6mmPb 防护涂料+分装柜正面 50mmPb	1.78×10^4	0.0165	2.7	0.00E+00
	西侧墙 外30cm	200mm实心砖+6mmPb 防护涂料+分装柜侧面 40mmPb	1.78×10^4	0.0165	0.8	0.00E+00
	北侧墙 外30cm	200mm实心砖+6mmPb 防护涂料+分装柜侧面 40mmPb	1.78×10^4	0.0165	0.7	0.00E+00
	天花板 外30cm	120mm混凝土+14mmPb 防护涂料+分装柜侧面 40mmPb	1.78×10^4	0.0165	3.5	0.00E+00
	北侧防 护门(储 源室)外 30cm	15mmPb+分装柜侧面 40mmPb	1.78×10^4	0.0165	3.5	0.00E+00
	北侧防 护门(服 药间)外 30cm	15mmPb+分装柜侧面 40mmPb	1.78×10^4	0.0165	1.57	0.00E+00
	东侧防 护门外 30cm	15mmPb+分装柜侧面 40mmPb	1.78×10^4	0.0165	4.7	0.00E+00
	给药窗 外30cm	40mmPb	1.78×10^4	0.0165	0.7	0.00E+00
分装柜	正面 30cm	50mmPb	1.78×10^4	0.0165	0.5	0.00E+00
	背面5cm	40mmPb	1.78×10^4	0.0165	0.25	0.00E+00
	左面5cm	40mmPb	1.78×10^4	0.0165	0.35	0.00E+00
	右面5cm	40mmPb	1.78×10^4	0.0165	0.35	0.00E+00
	上面5cm	40mmPb	1.78×10^4	0.0165	0.85	0.00E+00
	底面5cm	40mmPb	1.78×10^4	0.0165	1.35	0.00E+00
分装操作位		分装柜正面 50mmPb+0.5mmPb铅衣	1.78×10^4	0.0165	0.5	0.00E+00
^{125}I 粒子运输		0.25mmPb弹夹+2mmPb 转运防护箱	2.96×10^3	0.0165	0.3	1.72E-20
PET/C T机房	东侧墙 外30cm	150mm实心砖+8mmPb 铅板	2.96×10^3	0.0165	4.8	6.70E-93
	南侧墙 外30cm	240mm实心砖+6mmPb 铅板	2.96×10^3	0.0165	2.89	5.85E-80
	西侧墙 外30cm	150mm实心砖+8mmPb 铅板	2.96×10^3	0.0165	3.64	1.17E-92
	北侧墙 外30cm	240mm实心砖+6mmPb 铅板	2.96×10^3	0.0165	2.89	5.85E-80

	天花板 外30cm	120mm厚的混凝土 +6mmPb铅板	2.96×10^3	0.0165	3.5	3.17E-77
	北侧铅 防护门 外30cm	8mmPb	2.96×10^3	0.0165	5.6	1.56E-80
	南侧铅 防护门 外30cm	8mmPb	2.96×10^3	0.0165	3.23	4.68E-80
	观察窗 外30cm	8mmPb	2.96×10^3	0.0165	3.4	4.22E-80
穿刺/助手位		0.25mmPb弹夹 +0.5mmPb铅衣	2.96×10^3	0.0165	0.3	1.72E-05
协助位		0.25mmPb弹夹 +0.5mmPb铅衣	2.96×10^3	0.0165	1	1.54E-06
PET/CT机房控制 室操作位		8mmPb观察窗	2.96×10^3	0.0165	4.2	2.77E-80
植入患者转移时陪 同护士位		0.5mmPb铅衣	2.96×10^3	0.0165	0.3	5.43E-03
植入患者转移时公 众		0.5mmPb铅衣	2.96×10^3	0.0165	1.5	2.17E-04
粒籽病 房	东侧墙 外30cm	120mm实心砖	5.92×10^3	0.0165	0.72	1.88E-8
	南侧墙 外30cm	120mm实心砖	5.92×10^3	0.0165	0.72	1.88E-8
	西侧墙 外30cm	120mm实心砖	5.92×10^3	0.0165	0.72	1.88E-8
	北侧墙 外30cm	120mm实心砖	5.92×10^3	0.0165	0.72	1.88E-8
	天花板 外30cm	120mm厚的混凝土	5.92×10^3	0.0165	3.5	6.33E-17
	西侧铅 防护门 外30cm	2mmPb	5.92×10^3	0.0165	0.72	1.88E-18
	卫生间 北侧墙 外30cm	120mm实心砖	2.96×10^3	0.0165	1.44	2.36E-09
	卫生间 东侧墙 外30cm	120mm实心砖	2.96×10^3	0.0165	1.44	2.36E-09
植入患者护理		0.5mmPb铅衣	5.92×10^3	0.0165	1	9.77E-04

根据以上估算结果， ^{125}I 粒子质控和转运及植入过程中对屏蔽体外表面30cm处的辐射剂量率都非常小，远远低于本次评价控制区外人员可达处距屏蔽体外表面30cm处的周围剂量当量率控制目标值（不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ），可忽略不计。植入患者住院期间粒籽病房各屏蔽体外30cm处辐射剂量率范围在 $1.88\text{E-}18\mu\text{Sv/h}$ ~ $1.88\text{E-}8\mu\text{Sv/h}$ 之间，均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，可满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中的相关要求。

综上所述，本项目 ^{125}I 粒子涉及场所的辐射防护措施合理可行。

11.2.2.4.¹³¹I 对各工作场所的辐射影响分析

(1) 相关参数取值

①储存阶段：医院从放射性药物供应单位处采购¹³¹I后，使用铅罐保存于102号楼新建储源室中，医院按每天所需药量采购，因此贮存量按日最大操作量考虑为 $2.22 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。

②分装阶段：医护人员将¹³¹I从储源室内取出，使用自动分装仪在分装室分装柜处完成¹³¹I药物分装，不需人工操作。分装柜正面防护能力50mmPb、侧面防护能力40mmPb，分装时工作人员与分装柜距离至少0.3m。

③患者服药阶段：已分装好的药物被注入到患者已提前放到指定位置的一次性纸杯中，患者立即服用，每次服药时服药间内仅1名患者等候。本项目利用¹³¹I治疗甲癌、甲亢，其中甲癌患者单人最大用药量为 $9.25 \times 10^9 \text{Bq}$ ，甲亢患者单人最大用药量为 $5.55 \times 10^8 \text{Bq}$ ，每日就诊的甲癌、甲亢患者各自数量不定，其中甲癌患者最多3人·次/天，按最坏影响考虑，则此时源活度按甲癌患者单人最大用药量 $9.25 \times 10^9 \text{Bq}$ 计算。

④甲癌患者住院阶段：甲癌患者服药后需在核素病房住院观察3天，每间核素病房仅住1人（源活度 $9.25 \times 10^9 \text{Bq}$ ）。期间患者尽量不离开病房，就餐时按照对讲系统指示前往取餐区，护士可提前将餐饭放置在配餐区，不与患者近距离接触。护士通过核素病房内的可视化对讲系统了解患者状况，一般不需进入病房内部与患者近距离接触。

⑤甲亢患者留观阶段：甲亢患者服药后需前往留观室留观10~20min，期间不得离开留观室。按最坏影响考虑，以甲亢留观室内5人同时留观计算，则此时留观室内放射源活度为 $2.775 \times 10^9 \text{Bq}$ 。同时估算1人留观时（活度按甲亢患者单人最大用药量 $5.55 \times 10^8 \text{Bq}$ ）各屏蔽体外辐射剂量率，用于计算公众受照剂量，不用于评价对工作场所的辐射影响。

⑥甲癌患者碘扫阶段：甲癌患者在测量/配餐区经测量满足体表1m处的周围剂量当量率低于 $25 \mu\text{Sv/h}$ 或体内放射性活度低于400MBq后出院，需在与医生约定时间进行复诊，到ECT工作区进行一次碘扫。患者体内¹³¹I在出院后仍随时间衰变而活度不断减小，碘扫时患者体内¹³¹I活度将在400MBq以下，但由于复诊时间不定，因此难以计算具体活度，则保守考虑取400MBq进行计算。

预测所需¹³¹I各项参数如下表：

表 11.2-10 预测所需¹³¹I 相关参数一览表

核素	裸源周围剂量当量率常数 $\mu \text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$	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 μ	TVL (mm)		
			铅	砖	混凝土

		$Sv \cdot m^2 / (MBq \cdot h)$			
^{131}I	0.0.0595	0.0583	11	240	170
注： ^{131}I 的裸源周围剂量当量率常数、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、铅、砖、混凝土对 ^{131}I 的什值层厚度取自《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附表H.1。					
^{131}I 涉及场所采取的屏蔽措施如下表：					
表 11.2-11 ^{131}I 涉及场所采取的屏蔽措施					
屏蔽体		拟采取的屏蔽措施			
核素病房 1~4	北面墙体		240mm 实心砖+14mmPb 防护涂料		
	东、西、南面墙体		200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料		
	天花板		120mm 混凝土+16mmPb 防护涂料		
	地板		地下土层		
	铅防护门		15mmPb 的铅防护门		
	专用卫生间	北面、东/西面墙体	8mmPb 硫酸钡水泥		
		防护门	15mmPb 的铅防护门		
核素病房 5~8	南面墙体		240mm 实心砖+14mmPb 防护涂料		
	东、西、北面墙体		200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料		
	天花板		120mm 混凝土+16mmPb 防护涂料		
	地板		地下土层		
	铅防护门		15mmPb 的铅防护门		
	专用卫生间	南面、东/西面墙体	8mmPb 硫酸钡水泥		
		防护门	15mmPb 的铅防护门		
甲亢留观 室	北面墙体		240mm 实心砖+6mmPb 防护涂料		
	东、西、南面墙体		200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料		
	天花板		120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料		
	地板		地下土层		
	铅防护门		15mmPb 的铅防护门		
	专用卫生间	北面、东面墙体	8mmPb 硫酸钡水泥		
		防护门	15mmPb 的铅防护门		
分装室	南面墙体		240mm 实心砖+6mmPb 防护涂料		
	东、西、北面墙体		200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料		
	天花板		120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料		
	地板		地下土层		
	铅防护门		15mmPb 的铅防护门		
	给药窗		40mmPb 的铅防护窗		
	分装柜		正面屏蔽 50mmpb		
			侧面屏蔽 40mmpb		
			操作手孔屏蔽 30mm Pb		
服药间	四面墙体		200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料		
	天花板		120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料		
	地板		地下土层		
	铅防护门		15mmPb 的铅防护门		
储源室	四面墙体		200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料		
	天花板		120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料		
	地板		地下土层		
	铅防护门		15mmPb 的铅防护门		
患者走廊	西面墙体		200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料		
	天花板		120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料		
	地板		地下土层		

	防护门	东面为 15mmPb 的铅防护门
SPECT/ CT 机房	四面墙体	320mm 厚的实心砖
	天花板	120mm 混凝土+2mmPb 防护材料
	地板	地下土层
	防护门	西面、北面有 8mmPb 的铅防护门
	观察窗	8mmPb 的铅玻璃窗
注：1、混凝土密度为 2.35g/cm ³ ，铅密度为 11.3g/cm ³ ，砖密度为 1.65g/cm ³ 。		
2、防护涂料屏蔽能力铅当量均以 ¹³¹ I 考虑。		

（2）关注点选取

本项目选取储源室、分装室、服药间、核素病房及其卫生间、甲亢留观室及其卫生间、SPECT/CT机房屏蔽体表面外30cm和楼上30cm，分装柜的正面外30cm、5个侧面外5cm，分装操作位，SPECT/CT机房控制室操作人员位置作为关注点（核素病房卫生间东/西侧、北/南侧、防护门外30cm仍位于病房/内，不设关注点；甲亢留观室卫生间东侧、北侧、防护门外30cm仍位于甲亢留观室内，不设关注点）。参考点至各关注点的距离见图11.2-7~图11.2-11。

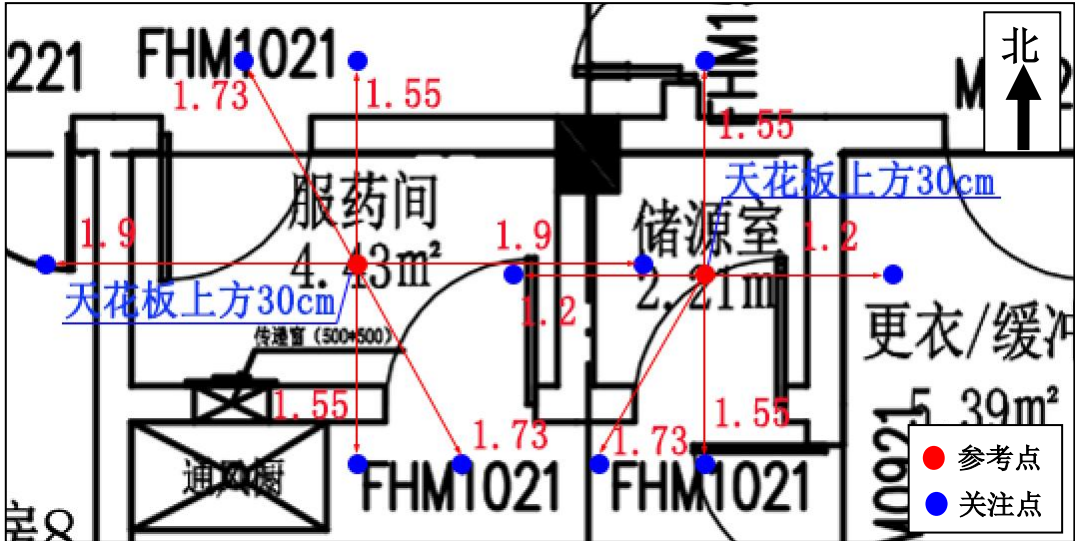


图11.2-8 (¹³¹I) 储源室、服药间参考点至各关注点距离示意图（单位：m）

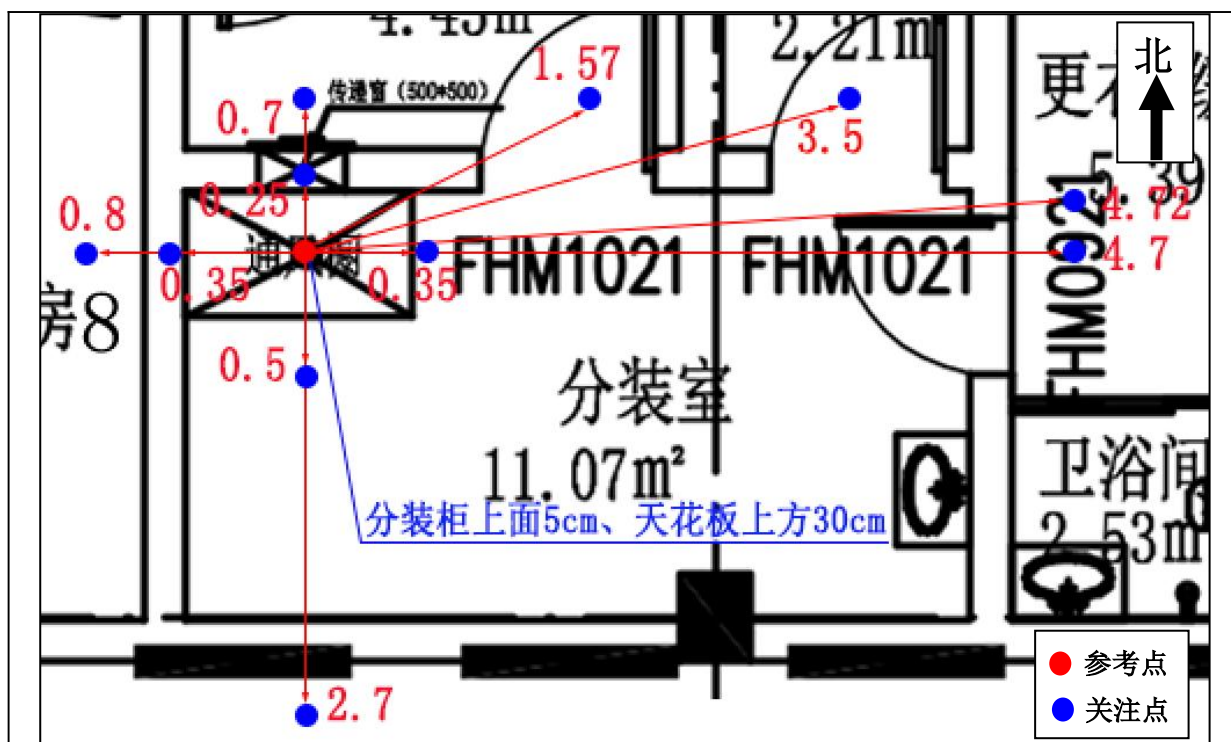


图11.2-9 (^{131}I) 分装室参考点至各关注点距离示意图 (单位: m)

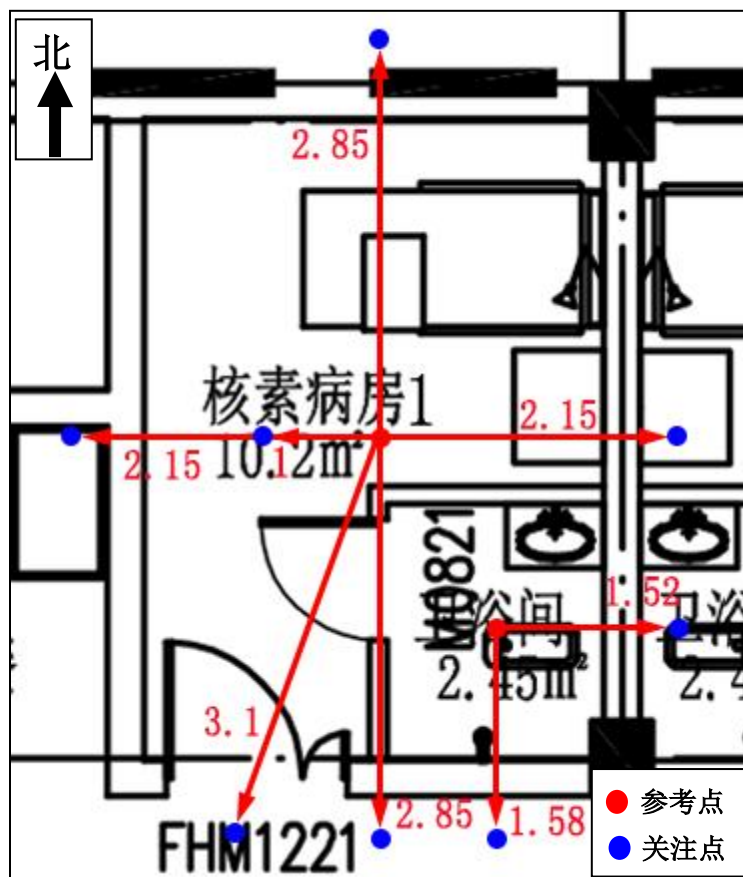


图11.2-10 (^{131}I) 核素病房参考点至各关注点距离示意图 (单位: m)

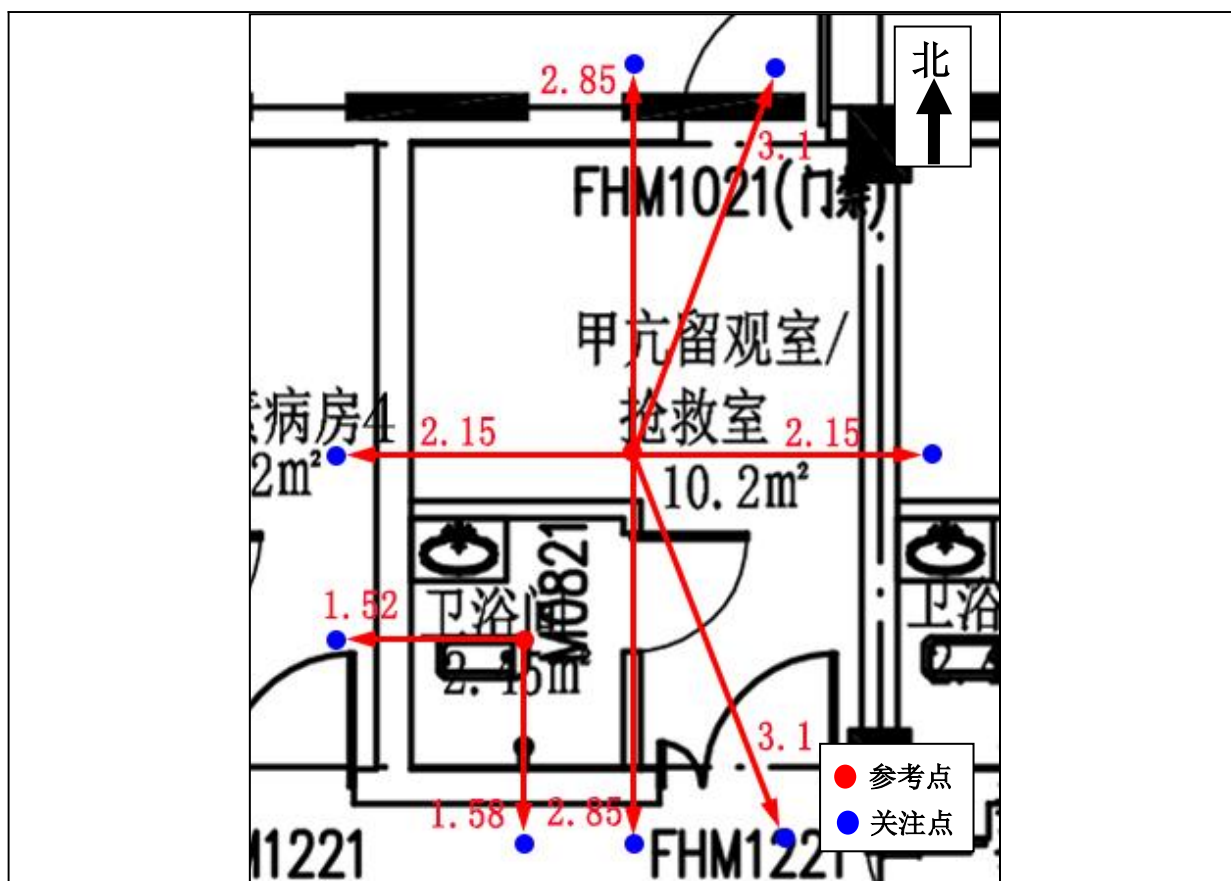


图11.2-11 (^{131}I) 甲亢留观室参考点至各关注点距离示意图 (单位: m)

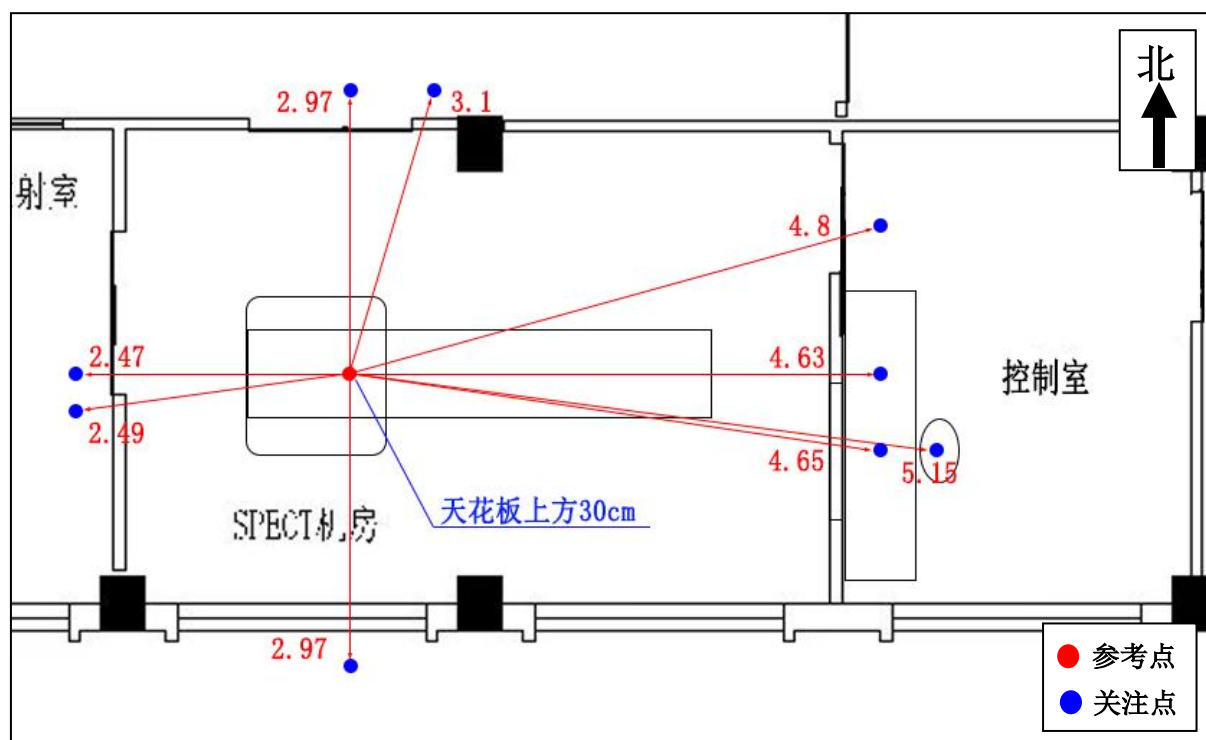


图11.2-12 (^{131}I) SPECT/CT机房参考点至各关注点距离示意图 (单位: m)

(3) 估算结果

根据公式11.2-4, 代入相关参数进行计算, 本项目 ^{131}I 经屏蔽后的剂量率估算结果见

表11.2-13（储源室外辐射影响需考虑储存的所有放射性药物的影响，因此不在此单独计算储源室内¹³¹I经屏蔽后的剂量率，分析详见11.2.2.6章节）。

表 11.2-12 ¹³¹I 经屏蔽后的剂量率估算结果表

关注点		屏蔽措施	源活度 (MBq)	剂量率常数 μ $\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$	距离 (m)	屏蔽后的 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
分装柜	正面30cm	50mmPb	2.22×10^4	0.0595	0.5	1.50E-01
	背面5cm	40mmPb	2.22×10^4	0.0595	0.25	4.88E+00
	左面5cm	40mmPb	2.22×10^4	0.0595	0.35	2.49E+00
	右面5cm	40mmPb	2.22×10^4	0.0595	0.35	2.49E+00
	上面5cm	40mmPb	2.22×10^4	0.0595	0.85	4.22E-01
	底面5cm	40mmPb	2.22×10^4	0.0595	1.35	1.67E-01
分装室	东侧墙外 30cm	200mm实心砖+ 6mmPb防护涂料+分 装柜侧面40mmPb	2.22×10^4	0.0595	4.72	5.72E-04
	南侧墙外 30cm	240mm实心砖+ 6mmPb防护涂料+分 装柜正面50mmPb	2.22×10^4	0.0595	2.7	1.47E-04
	西侧墙外 30cm	200mm实心砖+ 6mmPb防护涂料+分 装柜侧面40mmPb	2.22×10^4	0.0595	0.8	1.99E-02
	北侧墙外 30cm	200mm实心砖+ 6mmPb防护涂料+分 装柜侧面40mmPb	2.22×10^4	0.0595	0.7	2.60E-02
	天花板外 30cm	120mm混凝土 +14mmPb防护涂料+ 分装柜侧面40mmPb	2.22×10^4	0.0595	3.5	2.62E-04
	北侧防护 门（储源 室）外 30cm	15mmPb+分装柜侧 面40mmPb	2.22×10^4	0.0595	3.5	1.08E-03
	北侧防护 门（服药 间）外 30cm	15mmPb+分装柜侧 面40mmPb	2.22×10^4	0.0595	1.57	5.36E-03
	东侧防护 门外30cm	15mmPb+分装柜侧 面40mmPb	2.22×10^4	0.0595	4.7	5.98E-04
	北侧给药 窗外30cm	40mmPb	2.22×10^4	0.0595	0.7	6.23E-01
分装操作位		分装柜正面 50mmPb+0.5mmPb铅 衣	2.22×10^4	0.0595	0.5	1.36E-01
服药间	东侧墙外 30cm	200mm实心砖+	9250	0.0583	1.9	6.24E+00

		6mmPb防护涂料				
	南侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	9250	0.0583	1.55	9.38E+00
	西侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	9250	0.0583	1.9	6.24E+00
	北侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	9250	0.0583	1.55	9.38E+00
	天花板外30cm	120mm混凝土+14mmPb防护涂料	9250	0.0583	3.5	4.63E-01
	北侧防护门外30cm	15mmPb	9250	0.0583	1.73	7.80E+00
	南侧防护门外30cm	15mmPb	9250	0.0583	1.73	7.80E+00
核素病房1~4	东侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	9250	0.0583	2.15	4.87E+00
	南侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	9250	0.0583	2.85	2.77E+00
	西侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	9250	0.0583	2.15	4.87E+00
	北侧墙外30cm	240mm实心砖+14mmPb防护涂料	9250	0.0583	2.85	3.54E-01
	天花板外30cm	120mm混凝土+16mmPb防护涂料	9250	0.0583	3.5	3.05E-01
	南侧铅防护门外30cm	15mmPb	9250	0.0583	3.1	2.43E+00
	卫生间南侧墙体外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	9250	0.0583	1.58	9.02E+00
核素病房5~8	卫生间东/西侧（此病房外一侧）墙体外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	9250	0.0583	1.52	9.75E+00
	东侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	9250	0.0583	2.15	4.87E+00
	南侧墙外30cm	240mm实心砖+14mmPb防护涂料	9250	0.0583	2.85	3.54E-01
	西侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	9250	0.0583	2.15	4.87E+00
	北侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	9250	0.0583	2.85	2.77E+00
	天花板外30cm	120mm混凝土+16mmPb防护涂料	9250	0.0583	3.5	3.05E-01
	北侧铅防护门外30cm	15mmPb	9250	0.0583	3.1	2.43E+00
	卫生间北侧墙体外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	9250	0.0583	1.58	9.02E+00

	卫生间东/西侧（此病房外一侧）墙体外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	9250	0.0583	1.52	9.75E+00
甲亢留观室（5人）	东侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	2775	0.0583	2.15	1.47E+00
	南侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	2775	0.0583	2.85	8.34E-01
	西侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	2775	0.0583	2.15	1.47E+00
	北侧墙外30cm	240mm实心砖+6mmPb防护涂料	2775	0.0583	2.85	5.67E-01
	天花板外30cm	120mm混凝土+14mmPb防护涂料	2775	0.0583	3.5	1.39E-01
	北侧铅防护门外30cm	15mmPb	2775	0.0583	3.1	7.29E-01
	南侧铅防护门外30cm	15mmPb	2775	0.0583	3.1	7.29E-01
	卫生间南侧墙体外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	555	0.0583	1.58	5.43E-01
	卫生间西侧墙体外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	555	0.0583	1.52	5.86E-01
甲亢留观室（1人）	东侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	555	0.0583	2.15	2.92E-01
	南侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	555	0.0583	2.85	1.66E-01
	西侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	555	0.0583	2.15	2.92E-01
	北侧墙外30cm	240mm实心砖+6mmPb防护涂料	555	0.0583	2.85	1.13E-01
	天花板外30cm	120mm混凝土+14mmPb防护涂料	555	0.0583	3.5	2.78E-02
	北侧铅防护门外30cm	15mmPb	555	0.0583	3.1	1.46E-01
	南侧铅防护门外30cm	15mmPb	555	0.0583	3.1	1.46E-01
	卫生间南侧墙体外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	555	0.0583	1.58	5.41E-01
	卫生间西侧墙体外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	555	0.0583	1.52	5.85E-01
SPECT/CT机房	东侧墙外30cm	320mm厚的实心砖	400	0.0583	4.63	5.05E-02

南侧墙外 30cm	320mm厚的实心砖	400	0.0583	2.97	1.23E-01
西侧墙外 30cm	320mm厚的实心砖	400	0.0583	2.49	1.74E-01
北侧墙外 30cm	320mm厚的实心砖	400	0.0583	3.1	1.13E-01
天花板外 30cm	120mm混凝土 +2mmPb防护材料	400	0.0583	3.5	2.47E-01
西侧铅防 护门外 30cm	8mmPb	400	0.0583	2.47	7.16E-01
北侧铅防 护门外 30cm	8mmPb	400	0.0583	2.97	4.95E-01
东侧铅防 护门外 30cm	8mmPb	400	0.0583	4.8	1.90E-01
观察窗外 30cm	8mmPb	400	0.0583	4.65	2.02E-01
SPECT控制室操作位	8mmPb观察窗	400	0.0583	5.15	1.65E-01

根据上表估算数据可知，分装室、甲亢留观室、SPECT/CT机房屏蔽体外计算的辐射剂量率范围在 $1.47\text{E-}04\mu\text{Sv/h}\sim 7.16\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ 之间，均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)要求；服药间、核素病房的天花板上方及核素病房1~4北侧墙外均为监督区，计算得到的辐射剂量率范围在 $3.05\text{E-}01\mu\text{Sv/h}\sim 4.63\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ 之间，均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)要求；服药间、核素病房在控制区内各屏蔽体外的辐射剂量率范围在 $3.54\text{E-}01\mu\text{Sv/h}\sim 9.75\mu\text{Sv/h}$ 之间，均小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ，这些区域为患者走廊、储源室、核素病房、分装室、固废间、污洗间、室外过道，均为医护人员较少停留的场所，因此服药间、核素病房在控制区内的周围剂量当量率满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)要求；分装柜正面30cm处辐射剂量率为 $1.50\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，分装柜5个侧面5cm处辐射剂量率范围在 $1.67\text{E-}01\mu\text{Sv/h}\sim 4.88\mu\text{Sv/h}$ 之间，小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，则分装柜外表面处周围剂量当量率均符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)要求。

由此可知， ^{131}I 涉及场所的辐射防护措施合理可行。

11.2.2.5. ^{177}Lu 对各工作场所的辐射影响分析

(1) 相关参数取值

①储存阶段：医院从放射性药物供应单位处采购 ^{177}Lu 后，使用铅罐保存于102号楼新建储源室中，医院按每天所需药量采购，因此贮存量按日最大操作量考虑为 $7.40\times 10^9\text{Bq}$ 。

②抽药阶段：医护人员将 ^{177}Lu 从储源室内取出，在分装室分装柜处使用注射器抽取药液，注射器配套20mmPb防护套，医护人员需穿戴0.5mmPb铅防护用品操作。 ^{177}Lu 注射治疗每日最多开展一次，因此操作量按日最大操作量 $7.40 \times 10^9 \text{Bq}$ 。分装柜正面防护能力50mmPb、侧面防护能力40mmPb，抽药时工作人员与分装柜距离至少0.3m。

③注射阶段：医护人员在服药间通过20mmPb注射台为患者进行注射，注射室医护人员穿戴0.5mmPb铅防护用品，工作人员与注射台距离0.3m（人员与源距离约0.4m）。注射后患者与注射人员间最近距离约0.8m。

④ ^{177}Lu 注射患者住院阶段：患者注射 ^{177}Lu 药物后需住院观察3天，每间核素病房仅住1人（源活度 $7.40 \times 10^9 \text{Bq}$ ）。期间患者尽量不离开病房，就餐时按照对讲系统指示前往取餐区，护士可提前将餐饭放置在配餐区，不与患者近距离接触。护士通过核素病房内的可视化对讲系统了解患者状况，一般不需进入病房内部与患者近距离接触。

预测所需 ^{177}Lu 各项参数如下表：

表 11.2-13 预测所需 ^{177}Lu 相关参数一览表

核素	裸源周围剂量当量率常数 $\mu \text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$	TVL (mm)		
		铅	砖	混凝土
^{177}Lu	0.00475	11	240	170

注： ^{177}Lu 的裸源周围剂量当量率常数取自《辐射安全手册》表6.2； ^{177}Lu 的辐射影响近似于 ^{131}I ，保守考虑铅、砖、混凝土对 ^{177}Lu 的什值层参考 ^{131}I ，取自《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附表H.1。

^{177}Lu 涉及场所采取的屏蔽措施如下表：

表 11.2-14 ^{177}Lu 涉及场所采取的屏蔽措施

屏蔽体		拟采取的屏蔽措施
核素病房 1~4	北面墙体	240mm 实心砖+14mmPb 防护涂料
	东、西、南面墙体	200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料
	天花板	120mm 混凝土+16mmPb 防护涂料
	地板	地下土层
	铅防护门	15mmPb 的铅防护门
	专用卫生间	北面、东/西面墙体
		8mmPb 硫酸钡水泥 15mmPb 的铅防护门
核素病房 5~8	南面墙体	240mm 实心砖+14mmPb 防护涂料
	东、西、北面墙体	200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料
	天花板	120mm 混凝土+16mmPb 防护涂料
	地板	地下土层
	铅防护门	15mmPb 的铅防护门
	专用卫生间	南面、东/西面墙体
		8mmPb 硫酸钡水泥 15mmPb 的铅防护门
分装室	南面墙体	240mm 实心砖+6mmPb 防护涂料
	东、西、北面墙体	200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料
	天花板	120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料
	地板	地下土层

	铅防护门	15mmPb 的铅防护门
	给药窗	40mmPb 的铅防护窗
	分装柜	正面屏蔽 50mmpb
		侧面屏蔽 40mmpb
		操作手孔屏蔽 30mm Pb
服药间	四面墙体	200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料
	天花板	120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料
	地板	地下土层
	铅防护门	15mmPb 的铅防护门
储源室	四面墙体	200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料
	天花板	120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料
	地板	地下土层
	铅防护门	15mmPb 的铅防护门
患者走廊	西面墙体	200mm 实心砖+6mmPb 防护涂料
	天花板	120mm 混凝土+14mmPb 防护涂料
	地板	地下土层
	防护门	东面为 15mmPb 的铅防护门

注：1、混凝土密度为 2.35g/cm³，铅密度为 11.3g/cm³，砖密度为 1.65g/cm³。
2、防护涂料屏蔽能力铅当量均以 ¹³¹I 考虑，¹³¹I 产生的射线能量近似于 ¹⁷⁷Lu 产生的射线能量，保守考虑可按其数值进行计算。

（2）关注点选取

本项目选取储源室、分装室、服药间、核素病房及其卫生间屏蔽体表面外30cm和楼上30cm，分装柜的正面外30cm、5个侧面外5cm，抽药操作位作为关注点（核素病房卫生间东/西侧、北/南侧、防护门外30cm仍位于病房/内，不设关注点）。分装室、核素病房参考点至各关注点的距离可参考上文图11.2-8~图11.2-9，储源室、服药间参考点至各关注点的距离见图11.2-12。

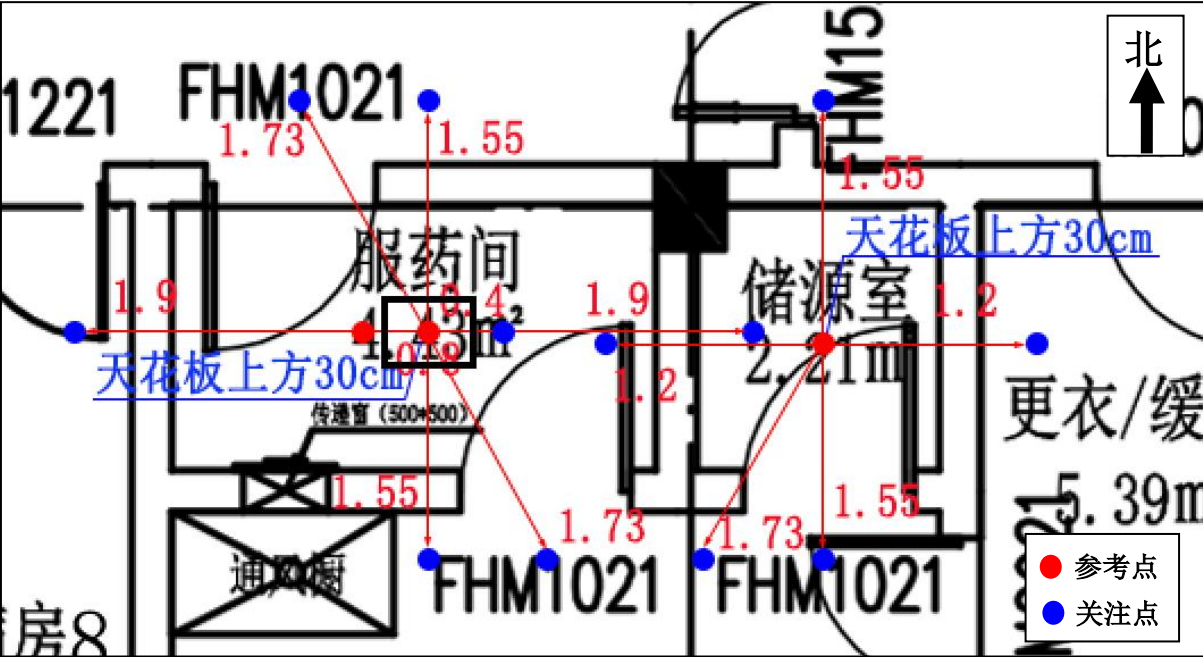


图11.2-13 （¹⁷⁷Lu）储源室、服药间参考点至各关注点距离示意图（单位：m）

(3) 估算结果

根据公式11.2-4，代入相关参数进行计算，本项目 ^{177}Lu 经屏蔽后的剂量率估算结果见表11.2-16（储源室外辐射影响需考虑储存的所有放射性药物的影响，因此不在此单独计算储源室内 ^{177}Lu 经屏蔽后的剂量率，分析详见11.2.2.6章节）。

表 11.2-15 ^{177}Lu 经屏蔽后的剂量率估算结果表

关注点		屏蔽措施	源活度 (MBq)	剂量率常数 μ $\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$	距离 (m)	屏蔽后的 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
分装柜	正面30cm	50mmPb	7400	0.00475	0.5	4.00E-03
	背面5cm	40mmPb	7400	0.00475	0.25	1.30E-01
	左面5cm	40mmPb	7400	0.00475	0.35	6.63E-02
	右面5cm	40mmPb	7400	0.00475	0.35	6.63E-02
	上面5cm	40mmPb	7400	0.00475	0.85	1.12E-02
	底面5cm	40mmPb	7400	0.00475	1.35	4.46E-03
分装室	东侧墙外 30cm	200mm实心砖+ 6mmPb防护涂料+分 装柜侧面40mmPb	7400	0.00475	4.72	1.52E-05
	南侧墙外 30cm	240mm实心砖+ 6mmPb防护涂料+分 装柜正面50mmPb	7400	0.00475	2.7	3.91E-06
	西侧墙外 30cm	200mm实心砖+ 6mmPb防护涂料+分 装柜侧面40mmPb	7400	0.00475	0.8	5.30E-04
	北侧墙外 30cm	200mm实心砖+ 6mmPb防护涂料+分 装柜侧面40mmPb	7400	0.00475	0.7	6.92E-04
	天花板外 30cm	120mm混凝土 +14mmPb防护涂料+ 分装柜侧面40mmPb	7400	0.00475	3.5	6.97E-06
	北侧防护门 (储源室) 外30cm	15mmPb+分装柜侧 面40mmPb	7400	0.00475	3.5	2.87E-05
	北侧防护门 (服药间) 外30cm	15mmPb+分装柜侧 面40mmPb	7400	0.00475	1.57	1.43E-04
	东侧防护门 外30cm	15mmPb+分装柜侧 面40mmPb	7400	0.00475	4.7	1.59E-05
	北侧给药窗 外30cm	40mmPb	7400	0.00475	0.7	1.66E-02
抽药操作位		分装柜正面 50mmPb+0.5mmPb 铅衣	7400	0.00475	0.5	3.61E-03
服药间 (注射 前/后)	东侧墙外 30cm	200mm实心砖+ 6mmPb防护涂料	7400	0.00475	1.9	4.07E-01
	南侧墙外 30cm	200mm实心砖+ 6mmPb防护涂料	7400	0.00475	1.55	6.11E-01
	西侧墙外	200mm实心砖+	7400	0.00475	1.9	4.07E-01

	30cm	6mmPb防护涂料				
	北侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	7400	0.00475	1.55	6.11E-01
	天花板外30cm	120mm混凝土+14mmPb防护涂料	7400	0.00475	3.5	3.02E-02
	北侧防护门外30cm	15mmPb	7400	0.00475	1.73	5.08E-01
	南侧防护门外30cm	15mmPb	7400	0.00475	1.73	5.08E-01
注射台操作位(注射前)		20mmPb注射台+0.5mmPb铅衣	7400	0.00475	0.4	3.01E+00
注射台操作位(注射后)		0.5mmPb铅衣	7400	0.00475	0.8	4.95E+01
核素病房1~4	东侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	7400	0.00475	2.15	3.18E-01
	南侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	7400	0.00475	2.85	1.81E-01
	西侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	7400	0.00475	2.15	3.18E-01
	北侧墙外30cm	240mm实心砖+14mmPb防护涂料	7400	0.00475	2.85	2.31E-02
	天花板外30cm	120mm混凝土+16mmPb防护涂料	7400	0.00475	3.5	1.99E-02
	南侧铅防护门外30cm	15mmPb	7400	0.00475	3.1	1.58E-01
	卫生间南侧墙体外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	7400	0.00475	1.58	5.88E-01
	卫生间东/西侧(此病房外一侧)墙体外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	7400	0.00475	1.52	6.36E-01
核素病房5~8	东侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	7400	0.00475	2.15	3.18E-01
	南侧墙外30cm	240mm实心砖+14mmPb防护涂料	7400	0.00475	2.85	2.31E-02
	西侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	7400	0.00475	2.15	3.18E-01
	北侧墙外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	7400	0.00475	2.85	1.81E-01
	天花板外30cm	120mm混凝土+16mmPb防护涂料	7400	0.00475	3.5	1.99E-02
	北侧铅防护门外30cm	15mmPb	7400	0.00475	3.1	1.58E-01
	卫生间北侧墙体外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	7400	0.00475	1.58	5.88E-01
	卫生间东/西侧(此病房外一侧)墙体外30cm	200mm实心砖+6mmPb防护涂料	7400	0.00475	1.52	6.36E-01
注：未查询到 ¹⁷⁷ Lu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，此值一般略低于裸源周围剂量当量率常数，本环评注射后患者体内 ¹⁷⁷ Lu至各屏蔽体外的辐射剂量率取裸源周围剂量						

当量率常数进行计算。

根据上表估算数据可知，分装室、服药间、核素病房等控制区屏蔽体外计算的辐射剂量率范围值在 $3.91\text{E-}06\mu\text{Sv/h}$ ~ $6.36\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ 之间，均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，则核素治疗区控制区内各房间周围剂量当量率符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)要求。分装柜正面30cm处辐射剂量率为 $4.00\text{E-}03\mu\text{Sv/h}$ ，小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，分装柜5个侧面5cm处辐射剂量率范围在 $4.46\text{E-}03\mu\text{Sv/h}$ ~ $1.30\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ 之间，小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，则分装柜外表面处周围剂量当量率均符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)要求。

由此可知， ^{177}Lu 涉及场所的辐射防护措施合理可行。

此外需注意的是，刚刚注射完毕时患者与注射人员间距离较近，此时患者体内 ^{177}Lu 至注射人员操作位处的辐射剂量率较大（ $4.95\text{E+}01\mu\text{Sv/h}$ ），为尽可能减少注射人员将受到的辐射影响，患者接受注射后应立即离开服药间，前往指定核素病房。

11.2.2.6.非密封放射性物质在储存过程中的影响分析

本项目使用的 ^{125}I 粒子、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 等放射性核素均需外购，采购量一般为当天治疗用量，即各项放射性核素的日最大操作量。药物在治疗当天被提前送至核素治疗区储源室内暂存，其中 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 为发出射线能量散失较快、穿透能力很弱的 α 放射性核素，人类的皮肤或一张纸已能隔阻 α 粒子，本项目采用塑料罐储存这些核素后基本对外界环境无影响，因此在分析非密封放射性物质同时储存在储源室内的辐射影响时主要考虑 ^{125}I 粒子、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 。

^{125}I 粒子、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 供应单位运输方式不涉及船泊、航空运输，一般不采用独家使用方式运输，则根据《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）5.3 辐射水平限值，货包外表面上任一点的最高辐射水平应不超过 2mSv/h ，本环评取每个货包表面剂量率 2mSv/h （ $2000\mu\text{Sv/h}$ ）进行计算。

各货包经屏蔽后辐射剂量率可按以下公式计算：

$$H = \frac{H_0 \times r_0^2}{r^2 \times 10^{X/TVL}} \quad (\text{公式11.2-5})$$

式中：H—屏蔽体外 r m处关注点剂量率控制值，单位为微希沃特每小时($\mu\text{Sv/h}$)；

H_0 —靶点外 r_0 处的剂量率，单位为微希沃特每小时($\mu\text{Sv/h}$)；

r_0 —剂量率为 H_0 时，与靶点间的距离，单位为米（m），此即为源距货包表面的距离，本环评统一取0.05m；

r—关注点与靶点间的距离，单位为米（m）；

X—屏蔽厚度，mm；

TVL— γ 射线的十分之一值层厚度，单位为毫米（mm）。

各货包中源（靶点）至关注点的距离见图 11.2-3、图 11.2-7、图 11.2-12， ^{125}I 粒子、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 则代入公式 11.2-5 计算得核素治疗区储源室在最大负荷情况下， ^{125}I 粒子、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 等非密封放射性物质对储源室外的辐射剂量率计算结果，见表 11.2-16。

表 11.2-16 非密封放射性物质对储源室各屏蔽体的辐射剂量率统计结果表

关注点	墙体/门屏蔽措施	货包内核素	货包表面剂量率 H_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	货包表面距离 r_0 (m)	关注点距离 r (m)	屏蔽后的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽后的剂量率之和 ($\mu\text{Sv/h}$)
储源室	东侧墙外 30cm	^{125}I 粒子	2000	0.05	1.2	6.93E-77	2.90E-01
		^{131}I	2000	0.05	1.2	1.45E-01	
		^{177}Lu	2000	0.05	1.2	1.45E-01	
	南侧墙外 30cm	^{125}I 粒子	2000	0.05	1.73	3.33E-77	1.40E-01
		^{131}I	2000	0.05	1.73	6.98E-02	
		^{177}Lu	2000	0.05	1.73	6.98E-02	
	西侧墙外 30cm	^{125}I 粒子	2000	0.05	1.2	6.93E-77	2.90E-01
		^{131}I	2000	0.05	1.2	1.45E-01	
		^{177}Lu	2000	0.05	1.2	1.45E-01	
	北侧墙外 30cm	^{125}I 粒子	2000	0.05	1.55	4.15E-77	1.74E-01
		^{131}I	2000	0.05	1.55	8.69E-02	
		^{177}Lu	2000	0.05	1.55	8.69E-02	
	天花板外 30cm	^{125}I 粒子	2000	0.05	3.5	3.24E-158	1.38E-02
		^{131}I	2000	0.05	3.5	6.89E-03	
		^{177}Lu	2000	0.05	3.5	6.89E-03	
南侧防护门外 30cm	15mmPb	^{125}I 粒子	2000	0.05	1.55	2.08E-150	1.80E-01
		^{131}I	2000	0.05	1.55	9.01E-02	
		^{177}Lu	2000	0.05	1.55	9.01E-02	

根据上表统计结果可知，当核素治疗区储源室处于最大负荷时，储源室各屏蔽体外 30cm 的辐射剂量率范围在 $1.38\text{E}-02\mu\text{Sv/h} \sim 2.90\text{E}-01\mu\text{Sv/h}$ 之间，均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，则核素治疗区储源室周围剂量当量率符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 要求，储源室防护措施合理，非密封放射性物质在储存过程中对环境的辐射影响较小。

11.2.3. β 放射性表面污染影响分析

β 放射性表面污染的影响主要来自于辐射工作人员操作时，放射性物质溢出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对辐射工作人员和周围公众造成辐射影响。因此为了使本项目 β 放射性表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求，医院应做到

以下防护措施：

(1) 配备表面污染监测仪器，每天工作结束完成后，对操作台、地板、墙壁、个人防护用品及医护人员的手、皮肤、工作袜等进行表面污染检查、清洗、去污等。

(2) 辐射工作人员应经过专业学习并持证上岗，具备相应的技能与防护知识。

(3) 放射性核素操作应在负压的分装柜内操作。

(4) 操作放射性核素应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并辅以吸水性好的材料。

(5) 不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物操作。

(6) 做好就诊患者的管理，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动。

(7) 如 β 放射性表面污染水平超过 GB18871-2002 规定值，医院应暂停开展相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务，同时辐射工作人员的手、皮肤、工作袜等出现污染情况需及时进行去污操作并暂停放射性物质操作，评估其受照剂量，并根据评估结果采取下一步措施，如调整工作或接受治疗等。

11.2.4.放射源对工作场所的辐射影响

本项目拟使用的 ^{90}Sr (^{90}Y) 敷贴器属于 β 源，衰变时发射的 β 射线相对于 X、 γ 射线穿透力较弱，核医学普通应用只要戴上手套和眼罩（或面罩），用镊子或其他夹具操作，手不接触 β 源，就能达到防护要求。

β 粒子穿过周围物质时产生轫致辐射（本质为 X 射线），其穿透能力比 β 粒子强得多，因此应用 β 源时不能忽视对轫致辐射的防护。屏蔽 β 粒子应选用低原子序数的材料以减少轫致辐射，外面用高原子序数的材料屏蔽轫致辐射。

^{90}Sr (^{90}Y) 放射源中 ^{90}Sr 核素与其子体 ^{90}Y 核素的活度相等，而 ^{90}Y 核素衰变的 β 射线能量较高，且用于治疗的几乎全是子体 ^{90}Y 衰变为 ^{90}Zr 过程中发射的 2.284 MeV 的 β 射线，因此本环评主要考虑 ^{90}Y 的影响。

(1) 计算公式

当屏蔽材料的厚度等于或大于 β 粒子在该材料中的最大射程时，即可将 β 粒子完全挡住。

根据《辐射防护手册（第三分册）》（P23式2.6）， β 射线在不同物质中与最大射程对应的防护厚度计算公式：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\rho\max} \quad (\text{公式11.2-6})$$

式中：E_{ρmax}—β射线的最大能量，MeV；

ρ—物质的密度，g/cm³，在标准状态下水、有机玻璃、空气、铅、铝、实心砖、混凝土的密度分别为1.0g/cm³、1.18g/cm³、1.293×10⁻³g/cm³、11.3g/cm³、2.7g/cm³、1.65g/cm³、2.35g/cm³，人体软组织与水相近，则其标况下密度也取1.0g/cm³；

d—与最大射程对应的防护厚度，cm。

轫致辐射在空气中的吸收剂量率计算公式（参考《辐射防护导论》P133式4.20）如下：

$$D = 4.58 \times 10^{-14} AZ (E_b / r)^2 (\mu_{en} / \rho) \quad (\text{公式11.2-7})$$

式中：D—屏蔽层中β粒子产生的轫致辐射在r（m）处空气中吸收剂量率，Gy/h；

A—放射源活度，Bq；

Z—吸收β粒子的屏蔽材料（或靶核）的有效原子序数，由《辐射防护导论》表4.4查得，有机玻璃有效原子序数为5.85，空气有效原子序数为7.36；

E_b—β粒子的平均能量，MeV，根据《辐射防护导论》P132“轫致辐射具有连续能谱，在实际屏蔽计算时，可以假定轫致辐射的平均能量E_b是入射β粒子的最大能量的1/3，即E_b≈E_{max}/3=0.761MeV；

r—放射源到考察点的距离，m；

μ_{en}/ρ—平均能量为E_b的轫致辐射在空气中的质量能量吸收系数，m²/kg，根据《辐射安全手册》P63表3.3，敷贴治疗β粒子的平均能量为0.761MeV，保守取1.0MeV所对应的空气质量能量吸收系数为2.789×10⁻²cm²/g=2.789×10⁻³m²/kg。

（2）屏蔽措施

敷贴治疗室屏蔽措施如下表：

表 11.2-17 敷贴治疗室屏蔽措施

屏蔽体		屏蔽措施
敷贴治疗室	北面墙体	240mm 厚的实心砖
	东、西、南面墙体	200mm 厚的实心砖
	天花板	120mm 混凝土
	地板	地下土层
	防护门	2mmPb 铅防护门
注：混凝土密度为2.35g/cm ³ ，铅密度为11.3g/cm ³ ，砖密度为1.65g/cm ³ 。		

（3）关注点选取

本项目选取敷贴治疗室屏蔽体表面外30cm和楼上30cm，与敷贴器相距30cm、50cm、100cm处作为关注点。参考点至各关注点的距离见图11.2-14。

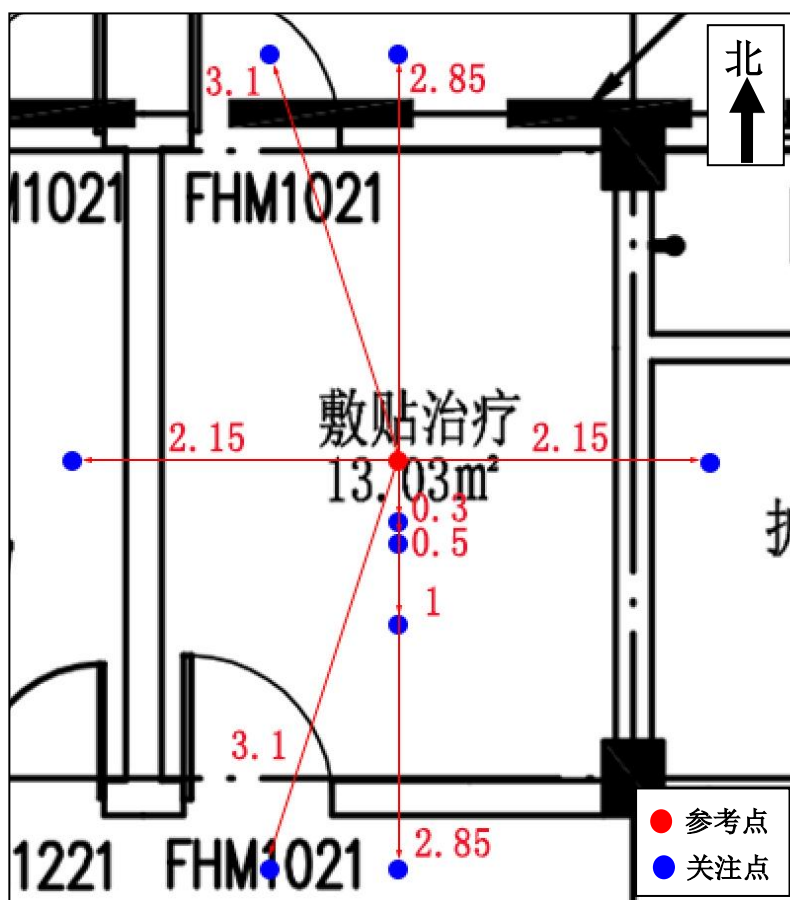


图11.2-14 敷贴治疗室参考点至各关注点距离示意图（单位：m）

（4）估算结果

① β 射线在屏蔽物质中的最大射程对应的防护厚度

代入公式11.2-5， ^{90}Sr (^{90}Y) 的 β 射线在屏蔽物质中的最大射程对应的物质厚度计算结果见表11.2-18。

表 11.2-18 ^{90}Sr (^{90}Y) 核素的 β 射线在屏蔽物质中的最大射程对应的物质厚度

核素	β 射线最大能量 (MeV)	屏蔽物质	屏蔽物质密度 (g/cm ³)	在物质中的最大射程 对应的物质厚度 (cm)
^{90}Sr (^{90}Y)	2.284	水	1.0	1.142
		有机玻璃	1.18	0.968
		空气	1.293×10^{-3}	883.217
		铅	11.3	0.101
		铝	2.7	0.423
		实心砖	1.65	0.692
		混凝土	2.35	0.486
		人体组织	1.0	1.142

由上表可知， ^{90}Sr (^{90}Y) 的 β 射线在有机玻璃中最大射程对应的物质厚度仅有 0.968cm，本项目医护人员在操作敷贴器时佩戴低原子序数材料的有机玻璃面罩（厚度

不应低于1cm)可有效阻挡β粒子的辐射,医护人员的个人辐射防护措施措施合理可行。

^{90}Sr (^{90}Y) 的β射线在实心砖、混凝土、铅中最大射程对应的物质厚度分别为0.692cm、0.486cm、0.101cm,敷贴治疗室北面墙体为240mm实心砖,其余面墙体为200mm实心砖,天花板为120mm混凝土,防护门为2mmPb铅防护门,均已超过相应的防护厚度,因此β射线对医护人员、周边环境的影响很小,可忽略不计,主要需考虑β射线所致韧致辐射的影响。

② β射线所致韧致辐射的影响

根据公式11.2-6计算得到距源 ^{90}Sr (^{90}Y) 裸源不同距离的韧致辐射产生的吸收剂量率结果见表11.2-19。

表 11.2-19 距源 ^{90}Sr (^{90}Y) 裸源不同距离的韧致辐射产生的吸收剂量率结果表

核素	放射源活度A (Bq)	吸收体及其有效原子序数Z		β粒子的平均能量 E_b (MeV)	距离r (m)	μ_{en}/ρ (m^2/kg)	吸收剂量率D ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)
^{90}Sr (^{90}Y)	1.48×10^8	有机玻璃	5.85	0.761	0.3 (人员操作位)	2.789×10^{-3}	7.12E-01
					0.5		2.56E-01
					1		6.40E-02

根据上表估算结果,按敷贴器最大活度计算,在裸源状态下,距离敷贴器0.3m处的吸收剂量率为7.12E-01 $\mu\text{Gy}/\text{h}$ 。敷贴治疗中,医护人员可通过戴有机玻璃眼镜或面罩减少韧致辐射的影响。

敷贴器配置专用的铅保险箱,其屏蔽层结构须分内外两层,内层为铝或有机玻璃等低原子序数材料,外层为适当厚度的铅、铸铁等重金属材料。

本环评按照铅保险箱内层为有机玻璃材料考虑,取有机玻璃有效原子序数计算。β射线所致韧致辐射本质上为X射线,未查询到其对各屏蔽物质的什值层,则代入公式11.2-6~公式11.2-7,计算不考虑墙体、门窗屏蔽的情况下 ^{90}Sr (^{90}Y) 放射源所致韧致辐射至敷贴治疗室外的剂量率估算结果见表11.2-20。

表 11.2-20 不考虑墙体、门窗屏蔽的情况下 ^{90}Sr (^{90}Y) 放射源所致韧致辐射至敷贴治疗室外的剂量率估算结果

关注点		放射源活度A (Bq)	有效原子序数Z	平均能量 E_b (MeV)	μ_{en}/ρ (m^2/kg)	距离 r(m)	辐射剂量率 ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)
敷贴治疗室 (治疗)	东侧墙外30cm	1.48×10^8	7.36	0.761	2.789×10^{-3}	2.15	1.74E-02
	南侧墙外30cm	1.48×10^8	7.36	0.761	2.789×10^{-3}	2.85	9.92E-03
	西侧墙外30cm	1.48×10^8	7.36	0.761	2.789×10^{-3}	2.15	1.74E-02
	北侧墙外30cm	1.48×10^8	7.36	0.761	2.789×10^{-3}	2.85	9.92E-03

敷贴治疗室 (储存)	天花板外 30cm	1.48×10^8	7.36	0.761	2.789×10^{-3}	3.5	6.58E-03
	北侧防护门外30cm	1.48×10^8	7.36	0.761	2.789×10^{-3}	3.1	8.38E-03
	南侧防护门外30cm	1.48×10^8	7.36	0.761	2.789×10^{-3}	3.1	8.38E-03
	东侧墙外 30cm	1.48×10^8	5.85	0.761	2.789×10^{-3}	2.15	1.39E-02
	南侧墙外 30cm	1.48×10^8	5.85	0.761	2.789×10^{-3}	2.85	7.89E-03
	西侧墙外 30cm	1.48×10^8	5.85	0.761	2.789×10^{-3}	2.15	1.39E-02
	北侧墙外 30cm	1.48×10^8	5.85	0.761	2.789×10^{-3}	2.85	7.89E-03
	天花板外 30cm	1.48×10^8	5.85	0.761	2.789×10^{-3}	3.5	5.23E-03
	北侧防护门外30cm	1.48×10^8	5.85	0.761	2.789×10^{-3}	3.1	6.66E-03
	南侧防护门外30cm	1.48×10^8	5.85	0.761	2.789×10^{-3}	3.1	6.66E-03

根据上表计算结果可知，在不考虑敷贴治疗室墙体、门窗的屏蔽作用的情况下，放射源用于治疗时，敷贴治疗室外表面30cm处辐射剂量率范围在6.58E-03μGy/h~1.74E-02μGy/h之间；放射源储存时，敷贴治疗室外表面30cm处辐射剂量率范围在5.23E-03μGy/h~1.39E-02μGy/h之间。由于γ射线、β射线、X射线等常见辐射类型对人体的生物效应与它们所传递的能量大致成正比，1Gy大约等于1Sv，则不考虑敷贴治疗室墙体、门窗的屏蔽作用的情况下，放射源用于治疗时和储存时，敷贴治疗室外表面30cm处辐射剂量率均小于2.5μSv/h。本项目敷贴治疗室北面墙体为240mm实心砖，其余面墙体为200mm实心砖，天花板为120mm混凝土，防护门为2mmPb铅防护门，均对⁹⁰Sr（⁹⁰Y）放射源所致韧致辐射起到一定屏蔽作用，因此⁹⁰Sr（⁹⁰Y）放射源所致韧致辐射至敷贴治疗室外的实际剂量率将小于以上计算结果，完全可符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)要求。

11.2.5.辐射工作人员和公众年有效剂量评价

11.2.5.1.辐射工作人员年有效剂量评价

(1) 计算公式

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

$$H_{E\cdot r} = D_r \times t \times T \times 1 \times 10^{-3} \quad (\text{公式 11.2-8})$$

式中： $H_{E,r}$ ——X- γ 射线外照射人均年剂量，mSv；

D_r ——X- γ 射线空气吸收剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

t ——X- γ 照射时间，h；

T ——居留因子，按照《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）附录 A 中表 A.1 进行取值；

l ——剂量换算系数，Sv/Gy。

（2）现有项目辐射工作人员个人剂量率

本项目依托核医学科现有 28 名辐射工作人员。根据医院最近一年内个人剂量检测结果（2023 年第四季度至 2024 年第三季度核医学科个人剂量检测年度报告详见附件 10），本项目辐射工作人员现有年有效剂量统计结果见下表。

表 11.2-21 本项目辐射工作人员现有年有效剂量统计结果一览表

序号	姓名		现有年有效剂量(mSv/a)
1	医师	肖国有	1.26
2		廖海	1.26*
3		杨志	0.08
4		甘美舍	0.11
5		韦琳琳	0.08
6		柴华	0.08
7		仇冰清	0.08
8		刘子雅	0.09
9		蒲维维	0.31
10		张实来	0.13
11		丘文明	1.26*
12		舒麟凯	1.26*
13		孙博	1.26*
14	技师	罗煜	0.30
15		杨洪	0.08
16		蒙小飞	0.37
17		杨文龙	0.09
18		陆忠军	0.37*
19	核医学物理 师、化学师	卢权涅	0.37*
20		李宁	0.08
21		廖光星	0.08
22		何正中	0.15
23		杨鸿宇	0.09
24	护士	李峰	0.08
25		陆静佳	0.88
26		杨彩娟	0.08
27		韦红娇	0.08
28		方建芸	0.10

注：1、仪器最低探测下限（MDL）为 0.02mSv，未检出的，医护人员的年有效剂量估算时采用检出限进行核算。

2、*表示没有最近一年个人剂量实测数据，按最坏影响考虑，参考同职责者中最高的年度有效剂量进行核算。

(3) 在建项目辐射工作人员年有效剂量

在建的广西医科大学附属肿瘤医院钇[90Y]微球注射液建设项目辐射工作人员与本项目辐射工作人员有一定重合，重合部分的辐射工作人员的该在建项目所致年有效剂量见下表：

表 11.2-22 ⁹⁰Y 微球注射液建设项目辐射工作人员年有效剂量（摘录）

对象	阶段	单人年有效剂量 (mSv/a)	单人年有效剂量之和 (mSv/a)
陆静佳	^{99m} Tc 药物分装、抽取与活度测量	1.31E-50	1.31E-50
杨鸿宇	^{99m} Tc 药物转运	4.15E-10	1.30E-01
	⁹⁰ Y 药物转运	1.30E-01	
蒙小飞	^{99m} Tc 注射后 SPECT/CT 机房内患者摆位	9.68E-02	2.58E-01
	⁹⁰ Y 注射后 SPECT/CT 机房内患者摆位	1.61E-01	
罗煜、杨文龙	^{99m} Tc 注射后 SPECT/CT 扫描	3.93E-06	1.67E-02
	⁹⁰ Y 注射后 SPECT/CT 扫描	1.67E-02	
李宁	⁹⁰ Y 药物分装、抽取、活度测量	8.49E-02	8.49E-02

(4) 本项目医护人员工作负荷

①⁶⁸Ga 淋洗制备、分装：

1) 每日淋洗一次，时间为 2min（淋洗速率 2.5mL/min，使用 5mL 的 0.1mol/L 盐酸进行淋洗）；

2) 每日分装一次，分装时间为 5min；

3) 每日最多质控一次，人员运输样品时间约为 0.5min，质控时间约为 2min；

4) 将已分装好药物转移至注射室需 1min，每天最多 4 次。

②PET/CT显像诊断：PET/CT中心在控制室北面专设一间阅片室，医生可通过此处屏幕查看显像结果、写片、审核，该室与PET/CT机房间之间已间隔控制室，放射性核素和CT机所致辐射经多层墙体阻隔、距离衰减后对该室内医生影响很小，因此不考虑写片、审核医生的受照剂量。

1) 每天最多开展4次，每次注射⁶⁸Ga药物时间约3min；

2) 进行PET/CT显像前，一般情况下工作人员可进行视频和语音隔室指导摆位，大多数患者不需要近距离接触，按1/10患者需要近距离协助摆位，每次摆位时间0.5min；

3) 显像时在控制室操作时间约20min。

③¹²⁵I 粒子植入治疗项目：¹²⁵I 粒子质控、转运过程中其周围辐射剂量率贡献值几乎为 0，因此不考虑其受照剂量。¹²⁵I 粒子植入手术时对周围辐射剂量率极小，但考虑到

受照时间较长，因此计入职业人员受照剂量中。

1) ^{125}I 粒子植入手术每日最多开展 6 次，每周最多 12 人次，每年最多 600 人次，每次手术时间约需 100min；

2) 术后患者在护士陪同下从 PET/CT 机房转移至粒籽病房约需 5min；

3) 术后患者住院期间，一般在送餐、巡视时才会与医护人员有较近距离接触，送餐时、巡视时接触时间分别按 0.5min 计算，每日需送餐 3 次、巡视 1 次，共有 3 间双人粒籽病房，则每日护士与植入患者接触时间约 $3 \times 3 \times 0.5\text{min} + 3 \times 1 \times 0.5\text{min} = 6\text{min}$ 。

④甲癌、甲亢治疗项目： ^{131}I 辐射影响较大，因此患者住院期间护士一般不进入病房巡视，可通过核素病房内的可视化对讲系统了解患者情况。患者就餐时，护士可提前将餐饭放置在配餐区，再通过对讲系统指示患者前往取餐，护士不与患者近距离接触。因此不考虑护士护理阶段受照剂量。

1) ^{131}I 核素治疗仅在周一至周五开展，每年最多开展 250 天。 ^{131}I 药物每日分装一次，分装时间约 5min；

2) 甲癌治疗项目每天最多开展 3 次，每周最多 12 次，每年最多 600 次。患者出院后需回到 ECT 工作区进行一次碘扫（具体时间不定，以医生实际指示为准），显像时在控制室操作时间约 20min，医护人员可通过对讲系统指示患者正确就位，不需进行近距离摆位指导；

⑤ ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 注射治疗项目： ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 等核素对人员辐射影响很小，可忽略不计。 ^{177}Lu 辐射影响较大，因此患者住院期间护士一般不进入病房巡视，可通过核素病房内的可视化对讲系统了解患者情况。患者就餐时，护士可提前将餐饭放置在配餐区，再通过对讲系统指示患者前往取餐，护士不与患者近距离接触。因此不考虑护士护理阶段受照剂量。

1) ^{177}Lu 注射治疗项目每日最多开展 1 次，每周最多开展 1 次，全年最多开展 50 次，在使用前需进行抽药操作，每次抽药用时约 1min；

2) 每次注射 ^{177}Lu 药物时间约 3min。

⑥敷贴治疗：每天最多可治疗 30 次，平均每次治疗时间约 3min。

根据以上参数，计算得本项目辐射工作人员工作负荷如下表 11.2-22：

表 11.2-23 辐射工作人员工作负荷一览表

项目名称	关注阶段	辐射工作人员	轮次 (人)	每次 操作 时间	每年 最多 操作	每年每 人最多 操作次	总年照 射时间 (h/a)	每人 最大 年照
------	------	--------	-----------	----------------	----------------	-------------------	---------------------	----------------

					(min)	次数 (次/a)	数（次 /a）		射时间 (h/a)
⁶⁸ Ga淋洗 制备、分装	淋洗制备	杨鸿宇、何正中、李 宁、廖光星、李峰		5	2	100	20	3.33	0.67
	质控样品转移	杨鸿宇、何正中、李 宁、廖光星、李峰		5	0.5	100	20	0.83	0.17
	质控	杨鸿宇、何正中、李 宁、廖光星、李峰		5	2	100	20	3.33	0.67
	分装	杨鸿宇、何正中、李 宁、廖光星、李峰		5	5	100	20	8.33	1.67
	分装后 药物转 移	杨鸿宇、何正中、李 宁、廖光星、李峰		5	1	400	80	6.67	1.33
PET/CT显 像诊断	注射	韦红娇、杨彩娟、陆 静佳、方建芸		4	3	400	100	20.00	5.00
	摆位	罗煜、杨文龙、陆忠 军、杨洪、蒙小飞、 卢权渥		6	0.5	400	67	3.33	0.56
	控制室 操作	罗煜、杨文龙、陆忠 军、杨洪、蒙小飞、 卢权渥		6	20	400	67	133.33	22.33
¹²⁵ I粒子植 入治疗项 目	¹²⁵ I粒子 植入	穿 刺	廖海、肖国有、 杨志、甘美舍	4	100	600	150	1000.00	250.00
		助 手	韦琳琳、柴华、 仇冰清、蒲维 维、刘子雅、张 实来、丘文明、 舒麟凯、孙博	9	100	600	67	1000.00	111.67
		韦红娇、杨彩娟、陆 静佳、方建芸		4	100	600	150	1000.00	250.00
	控制室 操作	罗煜、杨文龙、陆忠 军、杨洪、蒙小飞、 卢权渥		6	100	600	100	1000.00	166.67
	植入患 者转运	韦红娇、杨彩娟、陆 静佳、方建芸		4	5	600	150	50.00	12.50
	植入患 者护理	韦红娇、杨彩娟、陆 静佳、方建芸		4	6	600	150	60.00	15.00
甲癌、甲亢 治疗	药物分 装、给药	廖海、肖国有、杨志、 韦琳琳、柴华、甘美 舍、仇冰清、蒲维维、 刘子雅、张实来、丘 文明、舒麟凯、孙博		13	5	250	20	20.83	1.67
	碘扫时 控制室 操作	罗煜、杨文龙、陆忠 军、杨洪、蒙小飞、 卢权渥		6	20	600	100	200.00	33.33
	碘扫显 像诊断	廖海、肖国有、杨志、 韦琳琳、柴华		5	20	600	120	200.00	40.00
前列腺癌 治疗	抽药	韦红娇、杨彩娟、陆 静佳、方建芸		4	1	50	13	0.83	0.22

(¹⁷⁷ Lu注射)项目	注射	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸	4	3	50	13	2.50	0.65
⁹⁰ Sr (⁹⁰ Y)敷贴治疗	操作	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权渥	5	3	7500	1500	375.00	75.00

(5) 项目辐射工作人员年有效剂量估算结果

将以上参数代入公式 11.2-8, 计算得本项目辐射工作人员年有效剂量估算结果见下表:

表 11.2-24 本项目辐射工作人员年有效剂量估算结果表

项目名称	关注阶段	辐射工作人员		辐射剂量率(μSv/h)	时间(h)	居留因子	年有效剂量(mSv/a)
⁶⁸ Ga淋洗制备、分装	淋洗制备	杨鸿宇、何正中、李宁、廖光星、李峰		5.49E-02	0.67	1	3.68E-05
	质控样品转移	杨鸿宇、何正中、李宁、廖光星、李峰		5.14E-01	0.17	1	8.74E-05
	质控	杨鸿宇、何正中、李宁、廖光星、李峰		6.61E-05	0.67	1	4.43E-08
	分装	杨鸿宇、何正中、李宁、廖光星、李峰		5.29E-01	1.67	1	8.83E-04
	分装后药物转移	杨鸿宇、何正中、李宁、廖光星、李峰		6.24E-02	1.33	1	8.30E-05
PET/CT显像诊断	注射	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸		1.41E-01	5.00	1	7.05E-04
	摆位	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权渥		1.48E+01	0.56	1	8.29E-03
	控制室操作	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权渥		2.97E-01	22.33	1	6.63E-03
¹²⁵ I粒子植入治疗项目	¹²⁵ I粒子植入	穿刺	廖海、肖国有、杨志、甘美舍	1.72E-05	250.00	1	4.30E-06
		助手	韦琳琳、柴华、仇冰清、蒲维维、刘子雅、张实来、丘文明、舒麟凯、孙博	1.72E-05	111.67	1	1.92E-06
		韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸		1.54E-06	250.00	1	3.85E-07
	控制室操作	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权渥		2.77E-80	166.67	1	4.62E-81
	患者转运	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸		5.43E-03	12.50	1	6.79E-05
	患者护理	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸		9.77E-04	15.00	1	1.47E-05
甲癌、甲亢治疗	药物分装、给药	廖海、肖国有、杨志、韦琳琳、柴华、甘美舍、仇冰清、蒲维维、刘子雅、张实来、丘文明、舒麟凯、孙博		1.36E-01	20.83	1	2.83E-03

	碘扫时控制室操作	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权涅	1.65E-01	33.33	1	5.50E-03
	碘扫显像诊断	廖海、肖国有、杨志、韦琳琳、柴华	1.65E-01	40.00	1	6.60E-03
前列腺癌治疗 (¹⁷⁷ Lu注射)项目	抽药	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸	3.61E-03	0.22	1	7.94E-07
	注射	韦红娇、杨彩娟、陆静佳、方建芸	4.95E+01	0.65	1	3.22E-02
⁹⁰ Sr (⁹⁰ Y)敷贴治疗	操作	罗煜、杨文龙、陆忠军、杨洪、蒙小飞、卢权涅	7.12E-01	75.00	1	5.34E-02

注：敷贴器操作位处剂量率取表 11.2-19 中距 ⁹⁰Sr (⁹⁰Y) 裸源 0.3m 处韧致辐射产生的吸收剂量率。

工作人员现有年有效剂量叠加⁹⁰Y微球注射液建设项目、本项目新增的年有效剂量结果如下：

表 11.2-25 新增本项目后辐射工作人员年有效剂量统计表

姓名	关注阶段	新增的年有效剂量 (mSv/a)		现有年有效剂量 (mSv/a)	⁹⁰ Y 微球注射液建设项目 (mSv/a)	叠加年有效剂量(mSv/a)	约束值 (mSv/a)
		各环节	总和				
肖国有、廖海、杨志、甘美舍、韦琳琳、柴华	¹²⁵ I 粒子植入穿刺位	4.30E-06	7.14E-03	0.08~1.26	/	8.71E-02~1.27	5
	¹³¹ I 药物分装、给药	5.33E-04					
	碘扫显像诊断	6.60E-03					
仇冰清、刘子雅、蒲维维、张实来、丘文明、舒麟凯、孙博	¹²⁵ I 粒子植入助手位	1.92E-06	5.35E-04	0.08~1.26	/	0.80~1.26	5
	¹³¹ I 药物分装、给药	5.33E-04					
罗煜、杨洪、蒙小飞、杨文龙、陆忠军、卢权涅、	PET/CT 显像诊断摆位	8.29E-03	7.38E-02	0.08~0.37	2.58E-01 (蒙小飞)、 1.67E-02 (罗煜、杨文龙)	1.54E-01~4.61E-01	5
	PET/CT 显像诊断控制室操作	6.63E-03					
	碘扫时控制室操作	5.50E-03					
	敷贴器操作	5.34E-02					
李宁、廖光星、何正中、杨鸿宇、李峰	⁶⁸ Ga 淋洗制备	3.68E-05	1.09E-03	0.08~0.15	8.49E-02 (李宁)、 1.30E-01 (杨鸿宇)	8.11E-02~2.21E-01	5
	⁶⁸ Ga 质控样品转移	8.74E-05					
	⁶⁸ Ga 质控	4.43E-08					
	⁶⁸ Ga 分装	8.83E-04					
	⁶⁸ Ga 药物转移	8.30E-05					
陆静佳、杨彩娟、韦红娇、方建芸	⁶⁸ Ga 药物注射	1.41E-01	1.73E-01	0.08~0.88	1.31E-50 (陆静佳)	2.53E-01~1.053	5
	¹²⁵ I 粒子植入手术协助位	3.85E-07					
	植入患者转移	6.79E-05					
	植入患者护理	1.47E-05					

	¹⁷⁷ Lu 抽药	7.94E-07					
	¹⁷⁷ Lu 注射	3.22E-02					

由上表计算结果可知，新增本项目后，辐射工作人员的年有效剂量在0.080mSv/a~1.27mSv/a之间，均未超过《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）职业照射的剂量约束值5mSv/a。

11.2.5.2.公众年有效剂量评价

（1）关注阶段

根据本章节11.2.1~11.2.3各计算结果，如¹²⁵I粒子储存、质控、消毒、装入插植器，装弹后¹²⁵I粒子转移，植入手术中，²²⁵Ac、²¹¹At、²²³Ra药物注射等阶段辐射剂量率很小，其所致公众受照剂量忽略不计。

本环评公众年有效剂量主要关注⁶⁸Ga淋洗制备、注射、注射后候诊、PET/CT显像诊断和留观时，¹²⁵I粒子植入患者转移和住院期间，¹³¹I药物分装、给药、服药，甲亢患者留观期间，甲癌患者住院期间和碘扫，敷贴治疗期间等阶段。

（2）关注点和居留因子选取

关注点选择走廊、室外过道、露天停车场、入口大厅等公众可能到达的地方，不考虑禁止无关人员出入的控制区及其他公众难以到达的区域。如配电间等极少人员到达的区域，居留因子取1/20；露天停车场、门诊部门前空地等较少人员到达的区域居留因子选取1/16；较多人经过、但不长时间停留的室外过道、门诊部入口处、入口大厅、候诊大厅、收费处外居留因子选取1/8；室内走廊、问诊室居留因子选取1/4；SPECT/CT机房、核素病房、留观室、敷贴治疗室、分装室、服药间等辐射用房楼上原为普通病房、医生办公室等，现已搬空，预计改造为预约登记处等就诊前期相关手续办理场所，居留因子选取1/8；值班室、放疗病房等人员长期停留场所，居留因子取1。

（3）公众受照时间

公众受照时间主要参考本章节11.2.4.1（3）分析中各项目操作时间计算。此外，⁶⁸Ga药物注射后患者每人每次更衣时间取5min，则更衣时间最大为5min×4×100/60=33.33h/a，每次候诊时间取10min，显像诊断后留观时间取10min，则注射后候诊、4人同时留观时周边公众受照时间均为10min×100/60=16.67h/a，4人依次留观时受照时间为10min×4×100/60=66.67h/a；¹²⁵I粒子植入患者住院期间，其四周公众受照时间按医院上班时间计算则四周公众受照时间为8h×250=2000h/a，楼上为放疗病房则公众受照时间以全天时间计算为24h×250=6000h/a；甲癌、甲亢患者服药时间取每次0.5min计

算（每日最多8人次）则服药间周边公众受照时间为 $0.5\text{min} \times 8 \times 250/60 = 16.67\text{h/a}$ ，甲亢患者留观时间取20min则5人同时留观时周边公众受照时间为 $20\text{min} \times 250/60 = 83.33\text{h/a}$ ，5人依次留观时公众受照时间为 $20\text{min} \times 5 \times 250/60 = 416.67\text{h/a}$ ，甲癌患者住院期间，其四周和楼上公众受照时间按医院上班时间计算则为2000h/a； ^{177}Lu 药物注射患者住院期间公众受照时间按医院上班时间计算，每周最多收治1人·次，住院3天，则为 $8\text{h} \times 3 \times 50 = 1200\text{h/a}$ ； ^{90}Sr （ ^{90}Y ）敷贴器不使用时，存放在敷贴治疗室，其公众受照时间取医院上班时间计算后扣除治疗时间，即 $2000 - 375 = 1625\text{h/a}$ ；储源室楼上公众受照时间参考甲癌患者住院时核素病房楼上公众受照时间，取2000h/a。

公众受照时间统计结果如下表11.2-25：

表 11.2-26 本项目公众受照时间统计结果

项目名称	关注阶段	公众受照时间（h/a）
^{68}Ga 淋洗制备、分装	^{68}Ga 淋洗制备、分装	11.67
	^{68}Ga 质控	3.33
PET/CT显像诊断	^{68}Ga 药物注射	20.00
	病人更衣	33.33
	注射后候诊	16.67
	显像诊断	133.33
	留观（4人同时留观）	16.67
	留观（4人依次留观）	66.67
^{125}I 粒子植入治疗项目	植入患者术后转移	50.00
	植入患者住院（四周）	2000
	植入患者住院（楼上）	6000
甲癌、甲亢治疗项目	^{131}I 药物分装	312.50
	服药	16.67
	甲亢留观（5人同时留观）	83.33
	甲亢留观（5人依次留观）	416.67
	甲癌患者住院	2000
	碘扫	200.00
前列腺癌治疗（ ^{177}Lu 注射）项目	^{177}Lu 抽药	0.83
	^{177}Lu 注射	2.50
	^{177}Lu 注射患者住院	1200
^{90}Sr （ ^{90}Y ）敷贴治疗	敷贴治疗	375.00
	放射源储存	1625
核素治疗区药物储存	储源室放射性药物以最大储存量储存	2000

（4）公众受照剂量计算结果

将各项参数代入公式11.2-8（按保守考虑，取不考虑敷贴治疗室墙体、门窗的屏蔽作用的情况下敷贴治疗室外剂量率计算结果计算敷贴治疗室外公众受照剂量），计算得本项目对公众年有效剂量贡献值如下表11.2-26：

表 11.2-27 本项目对公众年有效剂量贡献值统计表

关注阶段	关注点	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	时间(h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)	约束值 (mSv/a)
^{68}Ga 淋洗制备、分装	热室房间楼上（露天停车场）	6.55E-03	11.67	1/16	4.78E-06	0.1
^{68}Ga 质控	全检质控室相连走廊北侧（走廊）	3.77E-06	3.33	1/4	3.14E-09	0.1
	全检质控室楼上（候诊大厅）	8.42E-04	3.33	1/8	3.50E-07	0.1
^{68}Ga 药物注射	注射室楼上（入口大厅）	1.78E-04	20	1/8	4.45E-07	0.1
注射后候诊	注射后候诊室北侧（问诊室）	4.05E-01	16.67	1/4	1.69E-03	0.1
	注射后候诊室楼上（门诊部入口）	4.70E-01	16.67	1/8	9.79E-04	0.1
	VIP注射后候诊室楼上（门诊部入口）	1.18E-01	16.67	1/8	2.46E-04	0.1
PET/CT显像诊断	PET/CT机房东侧（室外过道）	6.12E-02	133.33	1/8	1.02E-03	0.1
	PET/CT机房楼上（收费处外）	1.18E-01	133.33	1/8	1.97E-03	0.1
病人更衣室	更衣室楼上（门诊部前空地）	1.18E-01	33.33	1/16	2.46E-04	0.1
留观室（4人同时留观）	留观室东北侧出入口外（室外过道）	1.93E+00	16.67	1/8	4.02E-03	0.1
	留观室楼上（走廊）	4.70E-01	16.67	1/4	1.96E-03	0.1
留观室（4人依次留观）	留观室东北侧出入口外（室外过道）	4.82E-01	66.67	1/8	4.02E-03	0.1
	留观室楼上（走廊）	1.18E-01	66.67	1/4	1.97E-03	0.1
植入患者转移	转移路径两侧	2.17E-04	50	1/8	1.36E-08	0.1
植入患者住院	粒籽病房东侧（室外过道）	1.88E-8	2000	1/8	4.70E-09	0.1
	粒籽病房南侧（男值班室）	1.88E-8	2000	1	3.76E-08	0.1
	粒籽病房西侧（走廊）	1.88E-8	2000	1/8	4.70E-09	0.1
	粒籽病房北侧（配电间）	1.88E-8	2000	1/20	1.88E-09	0.1
	粒籽病房楼上（放疗病房）	5.70E-17	6000	1	3.42E-16	0.1
^{131}I 药物分装、给药	分装室楼上	2.62E-04	312.5	1/8	1.02E-05	0.1
^{131}I 服药	服药间楼上	4.63E-01	16.67	1/8	9.65E-04	0.1
甲亢患者（5人同时留观）	留观室北侧（室外过道）	5.67E-01	83.33	1/8	5.91E-03	0.1
	留观室楼上	1.39E-01	83.33	1/8	1.45E-03	0.1
甲亢患者（5人依次留观）	留观室北侧（室外过道）	1.13E-01	416.67	1/8	5.89E-03	0.1
	留观室楼上	2.78E-02	416.67	1/8	1.45E-03	0.1

甲癌患者住院	核素病房1~4北侧（室外过道）	3.54E-01	2000	1/8	8.85E-02	0.1
	核素病房楼上	3.05E-01	2000	1/8	7.63E-02	0.1
甲癌患者碘扫	SPECT/CT机房楼上	2.47E-01	200	1/8	6.18E-03	0.1
¹⁷⁷ Lu抽药	分装室楼上	6.97E-06	0.83	1/8	7.23E-10	0.1
¹⁷⁷ Lu注射	服药间楼上	3.02E-02	2.50	1/8	9.44E-06	0.1
¹⁷⁷ Lu注射患者住院	核素病房1~4北侧（室外过道）	2.31E-02	1200	1/8	3.47E-03	0.1
	核素病房楼上	1.99E-02	1200	1/8	2.99E-03	0.1
敷贴治疗（治疗）	敷贴治疗室北侧（室外过道）	9.92E-09	375	1/8	4.65E-10	0.1
	敷贴治疗室南侧（走廊）	9.92E-09	375	1/4	9.30E-10	0.1
	敷贴治疗室东侧（护士值班室）	1.74E-08	375	1	6.53E-09	0.1
	敷贴治疗室楼上	6.58E-09	375	1/8	3.08E-10	0.1
敷贴治疗（储存）	敷贴治疗室北侧（室外过道）	7.89E-09	1625	1/8	1.60E-09	0.1
	敷贴治疗室南侧（走廊）	7.89E-09	1625	1/4	3.21E-09	0.1
	敷贴治疗室东侧（护士值班室）	1.39E-08	1625	1	2.26E-08	0.1
	敷贴治疗室楼上	5.23E-09	1625	1/8	1.06E-09	0.1
核素治疗区药物储存	储源室楼上	1.38E-02	2000	1/8	3.45E-03	0.1

根据上表计算结果可知，本项目对公众年有效剂量贡献值在3.42E-16mSv/a~8.85E-02mSv/a之间，均未超过《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）公众照射的剂量约束值0.1mSv/a。

11.2.6.放射性“三废”影响分析

11.2.6.1.放射性废水影响分析

本项目放射性废水产生场所包括 PET/CT 中心、核素治疗区（¹²⁵I 粒子植入患者住院过程中无放射性废水产生，因此本项目放射性废水产生场所不包括粒籽病房），主要来源于注射放射性药物的医护人员清洁、注射后患者候诊、注射/服药后患者留观、注射/服药后患者住院，开展项目后的场所清洁，以及发生事故时地面冲洗。

（1）⁶⁸Ga 生产、应用（PET/CT 显像诊断）项目放射性废水

本项目在 PET/CT 中心新增 ⁶⁸Ga 生产、应用（PET/CT 显像诊断）项目、¹²⁵I 粒子植入手术，¹²⁵I 粒子植入手术不产生放射性废水，⁶⁸Ga 生产、应用（PET/CT 显像诊断）项目开展时产生的放射性废水将排入 PET/CT 中心现有槽式衰变池（位于 101 号楼一楼

东南角落处) 进行处理。该衰变池目前需处理的放射性废水包括 PET/CT 中心现有开展的 ^{18}F 应用项目的放射性废水和 ECT 工作区现有开展的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 应用项目, 此外, 在建中的广西医科大学附属肿瘤医院钇[^{90}Y]微球注射液建设项目运行后, 将新增 ^{90}Y 微球注射液分装人员清洁废水和分装后场所清洁废水, 也将排入该衰变池。根据表 9.2-3 统计结果, 排入该衰变池的现有项目、在建项目和新增项目放射性废水日平均产生量约为 $0.415\text{m}^3/\text{d}$ 。这些放射性废水中含有的放射性核素为 ^{18}F ($T_{1/2}=109.8\text{min}$)、 ^{68}Ga ($T_{1/2}=68.3\text{min}$)、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ($T_{1/2}=6.02\text{h}$)、 ^{90}Y ($T_{1/2}=2.67\text{d}$)。

PET/CT 中心衰变池分为三级, 总容积为 16.44m^3 , 由 5 个小衰变池构成, 第一级衰变池(化粪池)位于去污清洁间北侧地下(长宽高为 $2.0\text{m}\times 1.3\text{m}\times 1.5\text{m}$, 容积为 3.9m^3), 第二级衰变池(集水坑)位于去污清洁间内地下(长宽高为 $2.0\text{m}\times 1.3\text{m}\times 1.5\text{m}$, 容积为 3.9m^3), 第三级衰变池为槽式衰变池, 用于对废水进行衰变, 由 3 个并列的小衰变池组成(单池长宽高为 $2.0\text{m}\times 1.2\text{m}\times 1.2\text{m}$, 容积共计 8.64m^3)。放射性废水先依次流经第一级衰变池、第二级衰变池, 再由污水提升泵引入第三级衰变池的 1#小衰变池, 此时电动阀打开, 废水流入 1#小衰变池, 其内置液位计检测到废水达到预设高液位时发出处理信号, 此时关闭 1#小衰变池电动阀并开始计时, 同时开启 2#小衰变池体进水电动阀, 后续放射性废水排入 2#小衰变池, 当 2#小衰变池内置液位计检测到废水达到预设高液位时发出处理信号, 此时关闭 2#小衰变池电动阀并开始计时, 同时开启 3#小衰变池体进水电动阀, 后续放射性废水排入 3#小衰变池, 依此类推。当衰变池中废水储存时间计时满足衰变周期后将开启封闭衰变池的出水泵, 将衰变后的废水排入排水井, 由排水井排至医院污水处理站。PET/CT 中心衰变池总容积 16.44m^3 , 放射性废水依次流过第一级衰变池、第二级衰变池, 再进入第三级衰变池的 1#小衰变池, 填满 1#小衰变池即封存起来, 后续废水继续流入 2#小衰变池, 以此类推, 经计算可知, 第三级衰变池的 1 格小衰变池填满约需 $2.88/0.415\approx 7$ 天, 则第 7 天产生的放射性废水贮存满 30 天时, 整个 PET/CT 中心衰变池中总废水量约为 $(7+30)\text{天}\times 0.415=15.355\text{m}^3<16.44\text{m}^3$, 此时衰变池可满足放射性废水存储; 如发生泄漏事故, 事故废水基本被吸水纸、酒精棉球等清洁用品吸附后作为放射性固废处理, 不进入衰变池, 不影响衰变池正常运行。30 天后第三级衰变池的 1#小衰变池中废水可解控排放, 现有 PET/CT 中心衰变池的容量仍可满足现有、在建和新建项目的放射性废水衰变处理。该衰变池中废水储存超过 30 天后可解控排放, 作为一般医疗废水排至医院污水处理站处理。衰变池出水

排水井处设取样口，以便衰变池出水监测时取样。出水应满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L”的要求。

PET/CT 中心衰变池中第一级衰变池、第二级衰变池均位于一楼地下，衰变池四周、地下均为土层，顶盖由厚混凝土板构成；第三级衰变池位于一楼地面上，整体构成为 5mm 厚不锈钢板内胆+120mm 厚防护砂浆中层+120mm 实心砖外层，池顶距一楼天花板有一定距离，其地下和紧靠的南面墙外均为地下土层，连接该池的放射性废水输送管道暴露在外，由铅皮包裹。PET/CT 中心衰变池位于净化空调机房、水冷间、去污清洁间，所在位置除维修人员、清洁人员外一般无人到达。楼上对应区域为门诊部门前的室外空间，一般为行人、患者和家属短暂经过，很少有人停留。因此受 PET/CT 中心衰变池中暂存的放射性废水影响的人数较少，且不会长期受影响，项目建成后 PET/CT 中心衰变池运行时对周边辐射影响是可接受的。

（2）核素治疗区放射性废水

本项目在核素治疗区开展（ ^{131}I ）甲癌、甲亢治疗项目、（ ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At ）前列腺癌治疗项目、（ ^{223}Ra ）骨转移瘤治疗项目等时产生的、 ^{90}Sr （ ^{90}Y ）敷贴治疗项目，开展这些项目时产生的放射性废水排入 102 号楼南侧新建衰变池。根据已取得批复的《广西医科大学附属肿瘤医院钇[^{90}Y]微球注射液建设项目环境影响报告表》， ^{90}Y 微球注射患者在粒籽病房内产生的留观废水也排往该衰变池中，则根据表 9.2-3 统计结果，核素治疗区和粒籽病房产生的放射性废水日平均产生量约为 $0.740\text{m}^3/\text{d}$ ，废水中含 ^{177}Lu （ $T_{1/2}=6.73\text{d}$ ）、 ^{225}Ac （ $T_{1/2}=10.0\text{d}$ ）、 ^{211}At （ $T_{1/2}=7.22\text{h}$ ）、 ^{223}Ra （ $T_{1/2}=11.44\text{d}$ ）、 ^{131}I （ $T_{1/2}=8.02\text{d}$ ）、 ^{90}Y （ $T_{1/2}=2.67\text{d}$ ）等放射性核素，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“7.3.3.1 b）所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天）”，则核素治疗区放射性废水应至少贮存 180 天。

新建衰变池由 5 个小衰变池组成，每个小衰变池容积为 35m^3 ，总容积 175m^3 ，放射性废水填满第一个小衰变池即封存起来，后续废水继续流入第二个小衰变池，以此类推，经计算可知，1 格衰变池填满约需 $35/0.740\approx 47$ 天，则第 47 天产生的放射性废水贮存满 180 天时，五格衰变池中总废水量约为 $(47+180)\text{天}\times 0.740=167.98\text{m}^3<175\text{m}^3$ ，此时衰变池可满足放射性废水存储；如发生泄漏事故，事故废水基本被吸水纸、酒精棉

球等清洁用品吸附后作为放射性固废处理，不进入衰变池，不影响衰变池正常运行。180天后第一个小衰变池中废水可解控排放，则新建衰变池可满足粒籽病房、核素治疗区放射性废水衰变需求。新建衰变池中废水储存超过180天后可解控排放，作为一般医疗废水排至医院污水处理站处理。衰变池出水检查井处设取样口，以便衰变池出水监测时取样。出水应满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“放射性废液总排放口总 α 不大于1Bq/L、总 β 不大于10Bq/L、碘-131的放射性活度浓度不大于10Bq/L”的要求。

本项目拟将核素治疗区南面一房间改造为衰变室，四面墙体及顶板均设为300mm厚混凝土结构，底部作防酸、防碱、防腐蚀、防渗处理，新建5格衰变池位于该衰变室内部，衰变池体为混凝土浇筑并设防腐防渗隔层。项目建成后，该衰变室入口长期上锁，钥匙由专人保管，禁止无关人员进入，医院一般可通过衰变室内监控设备查看衰变池运行情况，不发生意外事故则不需进入衰变室内。衰变室西侧、南侧、地下均为土层，北侧室外通道较为狭窄，且在该通道东侧入口处设置铁门并上锁，钥匙由专人保管，一般无人到达，102号楼东南面有出入口，经该出入口可进入衰变室东侧，但实际出入口处已设置大门并上锁，一般无法到达衰变室东侧。衰变室上方原为医院车棚，后续将拆除车棚并将该区域封闭起来不做使用，并张贴警示标志禁止院内人员出入；衰变室上方对应区域位于医院围墙内，院外人员一般无法到达。因此受衰变池中暂存的放射性废水影响的人数较少，且不会长期受影响，项目建成后新建衰变池运行时对周边辐射影响是可接受的。

11.2.6.2.放射性废气影响分析

本项目仅在 ^{68}Ga 药物淋洗、质控、分装阶段和 ^{131}I 药物分装、患者服用 ^{131}I 药物阶段及其服用后呼出产生少量放射性废气。

^{68}Ga 药物淋洗、分装过程在封闭的新增热室内进行，本项目建设时需为淋洗、分装 ^{68}Ga 药物的新增热室顶部设置相应排气口，并将该处排风口连接至热室房间天花板上现有的放射性废气专用排风管道中，该热室内部产生的放射性废气在负压环境下被充分收集通到放射性废气处置装置处，经活性炭吸附后经专用排气通道排放。 ^{68}Ga 质控在封闭的通风橱中进行，通风橱顶部排气口连接专用排风管道，通风橱内部产生的放射性废气在负压环境下被充分收集通到放射性废气处置装置处，经活性炭吸附后经专用排气通道排放。

^{131}I 药物分装过程在分装室的分装柜中进行，分装柜顶部设置有一个排气口，分装

柜整体封闭，仅留两个可伸手到内部的开口，分装时开口关闭，分装柜内部保持负压，放射性废气被抽吸至排气口，通过独立的排风管道排至活性炭吸附装置处，放射性废气经过处理后被引向核素治疗区西南侧排风井，与核素病房、分装室、储源室、服药间等核素治疗区其他房间收集的废气汇合，再经过一个活性炭吸附装置的处理后经专用排风管道排放。

控制区内核素病房、分装室、储源室、服药间等功能用房顶部均设置排风口，排风系统控制排风量大于通风量，使室内空气由低活区向高活区方向流动，从各房间排风口处汇至排风管道中，然后引至核素治疗区西南侧排风井中，经活性炭过滤装置处理后从屋顶排出。

新增热室封闭性能良好且配备引风系统、风速不小于0.5m/s，分装柜、通风橱整体封闭且内部保持负压、风速不小于0.5m/s，控制区内排风系统可控制排风量大于通风量，均可以充分收集放射性废气。收集到的放射性废气经专门的废气通道排至活性炭吸附装置处净化后，从楼顶排气口排放。本项目依托的现有工作场所PET/CT中心、新建工作场所核素治疗区均设置独立的通风系统和活性炭吸附装置，医院将安排专人负责定期检查活性炭吸附装置的有效性并及时更换失效过滤器，更换下来的废活性炭作为放射性固废处理，因此废气排放符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求，对环境的影响较小。

11.2.6.3.放射性固废影响分析

本项目放射性固废包括： ^{68}Ga 淋洗制备、分装时产生的废一次性手套、剩余 ^{68}Ga 洗脱液及废真空瓶； ^{68}Ga 质控产生的废薄层板、废毛细管、废吸水纸、废酒精棉球等；废旧锗镓发生器；沾染 ^{68}Ga 的废一次性手套、废棉签、废针筒等；沾染 ^{68}Ga 的注射后候诊、留观垃圾；用于抽检的废弃 ^{125}I 粒子、随患者尿液排出的 ^{125}I 粒子； ^{131}I 药物分装产生的废药瓶、废一次性手套等；服用 ^{131}I 药物时产生的非一次性纸杯； $^{177}\text{Lu}/^{225}\text{Ac}/^{211}\text{At}/^{223}\text{Ra}$ 药物抽药、注射时产生废药瓶；沾染 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 的废一次性手套、废棉签、废针筒等；沾染 ^{131}I 的留观垃圾；沾染 ^{131}I 、 ^{177}Lu 的住院垃圾；吸附放射性废气的废活性炭；废旧 ^{90}Sr （ ^{90}Y ）放射源；吸附泄漏放射性物质的废吸水纸、废酒精棉球等事故应急处理垃圾。

以上放射性固废中，废旧发生器、废旧放射源交由各自供应单位回收；废弃 ^{125}I 粒子放回原容器暂存于储源室，交由供应单位回收； ^{68}Ga 淋洗制备、质控、分装产生的垃

圾收集后运至101号楼一楼中部的固废间进行衰变；剩余 ^{68}Ga 暂存于真空瓶中，在新增热室内暂存超过24小时后运至101号楼一楼中部的固废间进行衰变。需特别注意的是，全检质控室内产生的放射性固废单次产生量很少，因此不需频繁利用全检质控室西侧传递窗进行转移（两次转移间至少间隔一周），而放射性固废需经过传递窗时必须避开放射性药物转移时段，并在完成转移后使用酒精棉球等清洁用品彻底清洁传递窗，直至自行监测设备显示传递窗处表面污染水平符合要求。通过采取这些措施，可确保全检质控室放射性固废和放射性药物转移路线在时间上不重叠，且不会污染放射性药物路线。PET/CT中心其他含 ^{68}Ga 的放射性固废分别收集在各自产生场所的放射性固废收集桶中，然后集中收集至102号楼西侧楼梯间的废物室处进行衰变。核素治疗区其他放射性固废分别收集在各自产生场所的放射性固废收集桶中，然后集中收集至核素治疗区西侧固废间进行衰变。各工作场所用于处理放射性废气的活性炭吸附装置定期更换活性炭，废活性炭作为放射性固废收集起来，就近运至各场所附近衰变室暂存。随患者尿液排出的 ^{125}I 粒子暂存于病房卫生间内设置的放射性固废收集桶中，最终交由粒子供应单位回收。事故应急处理垃圾根据事故发生场所运往相应衰变室进行衰变。

医院在各场所均配备相应的具有辐射防护能力的放射性固废收集桶，医护人员严格按照医院管理制度，在放射性固体废弃物的专用收集桶应贴上电离辐射标志；放射性废物每袋重量不超过20kg，注意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；每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间。含 ^{68}Ga 的放射性固废暂存时间应超过30天，含 ^{177}Lu 的放射性固废暂存时间应超过68天，含 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 的放射性固废暂存时间应超过115天，含 ^{131}I 的放射性固废暂存时间应超过180天，放射性固废在满足暂存时间要求后经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。在严格按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求执行的情况下，本项目放射性固废排放对环境影响较小。

本项目放射性固废暂存地点包括101号楼一楼中部的现有固废间、102号楼西侧楼梯间的现有废物室、102号楼核素机治疗区新建固废间。101号楼固废间东、南、西、北面分别为消毒区、净化走廊、库房、走廊，其中消毒区、净化走廊、库房等区域与本项目无关人员一般无法到达，本项目医护人员也不会在这些地方长期停留，北面传递窗处应张贴警示标志，提醒公众不要靠近传递窗外30cm范围；固废间地下为土层，楼上为门

诊大厅，对应区域上活动人员不会长期停留。102号楼西侧楼梯间的衰变室北面室外过道较少人停留，南面室外过道极少有人到达，西侧紧挨101号楼患者走廊、留观室，东侧即为ECT工作区，地下为土层，上方为楼梯间，人员不会长期在此停留。102号楼核素治疗区新建固废间北侧为污洗间，南侧为极少有人到达的室外过道，西侧为ECT工作区控制室，东侧为核素病房，地下为土层，上方目前为双人病房，预计将改造为预约登记处等就诊前手续办理场所，人员不会长期停留。

综上所述，本项目的放射性固废衰变场所地下均为土层，四周主要为地下土层、极少人到达区域、较少人到达但不长期停留区域和仅供相关工作人员进入的场所，楼上多为人员不会长期停留的门诊大厅、预约登记处等，总体上受这些衰变室中放射性固废辐射影响的人数较少，且不会长期受影响。

11.2.7.非放射性“三废”影响分析

（1）废气：PET/CT、SPECT/CT 运行时空气在 X 射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧半衰期 50 分钟，常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

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

（3）固体废物：主要是医护人员产生的一般生活垃圾，一般医疗废物（包括 ^{125}I 粒子植入治疗项目产生的不沾染放射性核素的固体废物）分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

11.3.事故影响分析

11.3.1.事故识别

项目涉及现有PET/CT（III类射线装置）、SPECT/CT（III类射线装置），以及新增的 ^{68}Ge 、 ^{68}Ga 、 ^{125}I 粒子、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 等非密封放射性物质、 ^{90}Sr （ ^{90}Y ）（V类）放射源，PET/CT、SPECT/CT为已办理环评手续的现有设备，则本环评主要考虑新增的放射性药物、放射源使用过程中的放射性风险事故。项目在正常营运情况下，放射性药物、放射源的使用对于公众和周围环境是安全的，但如果操作管理不善或发生异常情况时，可能对公众和环境造成辐射危害，可能出现的情况有：

①由于管理不善，放射源、放射性药物被盗、丢失；

②核素转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄漏，造成台

面、地面辐射污染；

③由于储存放射性药物的容器被打翻、破碎而引起的放射性药物意外泄漏，造成台面、地面辐射污染；

④消毒、质控、装弹等操作时不慎将 ^{125}I 粒子撒落在地；

⑤敷贴源破损导致其内部放射性物质泄漏到外部环境中；

⑥医护人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量；

⑦人员在工作状态误入射线装置工作场所，由X射线直接或散射照射对人体造成潜在的照射伤害。医护人员或病人家属还未全部撤离辐照室，外面人员启动设备，造成有关人员被误照；

⑧PET/CT控制系统出现故障，照射不能停止，患者受到计划外照射；

⑨检修时，误开机时，维修人员受到潜在的照射伤害。

11.3.2.后果分析

(1) ①类辐射事故后果

根据上述事故类型，项目 ^{68}Ge 保存在分装热室的锗镓发生器中， ^{68}Ga 半衰期较短，一般不储存， ^{125}I 粒子、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 等药物由供应单位送至医院后放入102号楼新建储源室中药品柜中储存， ^{90}Sr （ ^{90}Y ）由供应单位送至医院后放在铅保险箱中储存于敷贴治疗室内。以上药物、放射源在使用前，医护人员才会取出进行分装或直接取用，热室房间、药物配置及注射室、储源室、敷贴治疗室等场所出入口设置有门禁，日常无关人员无法进入，且药品柜、铅保险箱设置有防盗装置，钥匙由专人保管，实行双人双锁。因此，①类事故发生概率较低，本报告不予核算。

(2) ②～⑤类事故后果

②～⑤类事故发生后，以③放射性药物撒漏事故概率较大，且放射性药物事故活度最大，对人员和周围环境产生的影响最大。项目可能发生放射性药物泄漏事故的工作环节主要考虑为放射性药物 ^{68}Ga 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 的分装/抽药、给药环节， ^{125}I 粒子的质控环节。液态放射性药物撒漏后，医务人员及时清洁处理，直到满足要求为止。固态放射性药物或放射源内部固态放射性物质泄漏，医护人员应及时收集泄漏的放射性物质，且必须确保没有遗漏。

放射性药物 ^{68}Ga 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 药物撒漏、 ^{125}I 粒子或放射源内部固态放射性物质泄漏时，可能导致医护人员出现不明显和不易察觉的病变。事故导致的

辐射照射一般不会达到发生确定性效应剂量阈值，但可能增加随机性效应的发生概率；在极端事故情况下多次撒漏事件，甚至可能导致发生超剂量照射的一般辐射事故。

（3）⑥~⑦类事故后果

医院已制定放射治疗管理制度，并对辐射工作人员进行相关培训、考核，所有人员在考核合格后方可进行辐射相关工作，同时各辐射工作场所均已将场所相关辐射工作制度上墙，PET/CT机房、SPECT/CT机房及其他控制区内辐射用房设置门禁、相关警示标志，因此⑥~⑨类事故概率极低，本报告不予核算。

（4）⑧~⑨类事故后果

医院定期委托专业机构对射线装置各项参数、运行状况进行检测，以确保射线装置正常工作，医院已制定射线装置管理制度并张贴到控制室内，医护人员均已进行相关培训、考核，所有人员在考核合格后方可参与辐射相关工作，因此⑧~⑨类事故发生概率较低。射线装置均设置紧急制动按钮，射线装置运行时控制室内操作人员应时刻关注装置运行状况，做到及时发现故障事故并在第一时间启动紧急制动按钮切断电源。在采取以上措施后患者/患者家属/医护人员/维修人员受到额外照射剂量较少，不会对其造成不可逆的永久性伤害。

11.3.3.事故防范措施

（1）放射医护人员须加强专业知识学习，加强防护知识培训，避免犯常识性错误；加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，保证按照核医学科工作场所的管理要求开展工作。

（2）培养放射医护人员的安全文化素养，提高放射医护人员个人防护意识，在开展工作时正确使用防护用品，佩戴个人剂量计，放射医护人员定期参加辐射安全与防护知识的培训。防护用品不使用时，采用悬挂或平铺方式妥善存放，防止断裂。加强医护人员职业健康体检，发现医护人员不适合参与放射工作应及时停止工作。

（3）加强核医学科管理，严格按《放射性药品管理办法》制订放射性药品的保管制度。每日工作开始前、结束后检查防护门、门禁、门锁、监控等，保证其能正常工作。

（4）严格执行受检者预约制，放射性药物给药前登记受检者基本信息，并在给药前再次核对受检者姓名、性别等基本信息，确认后再行用药。敷贴治疗时采用预约方式，每次治疗室内仅进入一位患者。实施敷贴治疗前，详细登记治疗日期、使用敷贴源的编号、辐射类型、活度、照射部位与面积，并发给具有患者姓名、性别、年龄、住址、诊

断和照射次数等项目的治疗卡，每次治疗前，先收回患者的治疗卡，再给予实施敷贴治疗。

（5）放射医护人员加强操作练习，严格执行操作规程，避免药物泼洒，在操作台面使用吸水纸，防止药物污染操作台面。并在介入手术室内配备应急及去污用品，主要包括下列物品：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂和硫代硫酸钠的水）；刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。

（6）在工作场所明显位置张贴警示标语，禁止任何人在工作场所内吸烟、进食。加强放射医护人员管理和提前与受检者宣贯必要的防护知识。

（7）加强放射医护人员管理，禁止手部有伤仍从事放射性物质操作。

（8）加强放射医护人员管理，严格区分放射性废物和非放射性废物，放射性废物产生后立即全部进入放射废物桶内。

（9）制定相应放射性废物制度，配置专人、专车、定时段运输，做好交接处理，避免事故的发生。

本项目项目落实了以上的各种措施后，能满足（GB18871-2002）中相关规定要求。实际运行中医护人员按规程正确操作，并认真执行各种安全规章制度，可有效减少或避免辐射事故发生。

11.3.4.典型辐射事故应急处置措施

（1）发生少量放射性液体洒落的地面或者操作台时，可立即用吸水纸、纱布等自外而内螺旋形吸水，换用吸水纸或纱布自外而内擦干，在此基础上用温水仔细清洗污染处，检测安全后方可结束。使用过的吸水纸或纱布视为放射性废物。经检测安全后方可结束。用过的纱布视为放射性废物。当发生人员身体、衣物受到表面污染时，受沾污人员应及时去污，防止污染扩散。体表沾污应使用温水加肥皂或者洗涤剂冲洗，配合软毛刷或棉签刷洗。注意操作要轻柔，防止皮肤损伤，去污后经检测合格方能离开。去污处理后建设单位应根据人员受照剂量，判定事故类型和级别，提出控制措施及救治方案，迅速安排受照人员接受医学检查、救治和医学监护。具体处理方法按《核与放射事故干预及医学处理原则》（GBZ113-2006）和《辐射损伤医学处理规范》（卫生部、国防科委文件卫法监发〔2002〕133号）进行。

(2) 当发生放射性药物、放射源被盗、丢失时，应第一时间向医院辐射事故应急小组及向生态环境、公安、卫生健康主管部门报告。

(3) 当发生射线装置故障以致不能停止照射时，应立即启动紧急制动按钮，切断射线装置电源，并安排专业维修人员检查、维修故障设备。

表 12 辐射安全管理

12.1.辐射安全与环境保护管理机构的设置

为做好工作过程中的辐射安全与防护管理工作，防止辐射污染环境，保障公众的健康，减少人为因素导致人员意外照射事故的发生，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》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相应的规定，医院成立了辐射安全与环境保护工作领导小组（具体见附件10），具体负责医院辐射安全管理工作，具体分组及职责如下：

1、环境保护管理机构设置及成员

组长：潘灵辉 唐勇

副组长：阳志军

成员：吴留成 康 平 黄其春 张 宇 姚忠强

杜时兵 张春燕 陈 英 梁世雄 姚德生

赵 昌 付庆国 金观桥 廖 海

秘书：吴留成（兼）

领导小组下设办公室，设在医务科。

2、职责分工

（1）院长办公室

①负责组织医院放射卫生安全和防护管理工作的宣传（包括板报、新闻媒体等）。

②负责组织医院辐射事件的新闻发布和媒体应对。

（2）医务科

①负责组织放射诊疗科室按常规办理放射诊疗项目的申报或变更手续。

②负责组织放射诊疗医护人员参加上级主管部门举办的放射执业资质的相关培训与考核等工作。

③负责组织放射医护人员办理《放射医护人员证》。

④牵头组织各职能部门(设备科、医保保健科、总务科、保卫科等)对相关放射卫生安全与防护管理科室进行定期督查，落实辐射安全管理各项制度，发现问题及时督查整改。

（3）设备科

①对放射诊疗设备出入库进行登记管理，建立放射诊疗设备清单；对废弃的放射诊

疗设备按规定进行报废处理。

②负责办理建设项目环境影响评价、职业病危害放射防护预评价、控评及建设项目竣工和环评验收，负责办理辐射安全许可证，负责办理放射源的转让审批。

③协助上级相关部门对放射诊疗设备、防护设备性能及场所进行年度检测，并按要求建立检测报告档案。

④负责放射诊疗设备电离辐射警告标识设置以及必要的中文文字说明。

⑤按照规章要求完善建立辐射安全管理方面的环保审批、验收等资料的建档，分类集中管理。

（4）药剂科

①协助完成放射性药物验收。

②负责放射性药品转账。

③负责办理放射性药品的转让审批。

（5）医保保健科

①负责组织放射科医护人员参加职业健康检查、开展个人剂量监测及参加放射防护和有关法律知识的培训等，并按要求对放射医护人员建立个人剂量监测、职业健康管理及教育培训档案。

②负责对放射医护人员防护措施的落实情况进行监督、指导。

③配合放射卫生安全与防护管理领导小组开展相关工作。

（6）总务科

①负责医院新建、扩建或改建放射工程建设项目的环评、环保报建施工及验收，并将验收报建资料归档到医院档案室。

②负责对放射性废物的处理进行技术指导。

③负责工作场所电离辐射警告标识的制作、悬挂及更换工作。

（7）保卫科

负责对放射源及放射诊疗设备的安全管理进行监督及定期巡查，做好巡查记录，以便备查；发现问题及隐患要及时报告。对出现放射源丢失、被盗等放射事件，协助公安部门做好调查和现场控制工作。

（8）放射诊疗科室

①认真遵守放射诊疗操作规章和规程，保证放射诊疗质量和安全。

- ②认真遵守医院健康监护规定及认真落实各项放射防护措施。
- ③做好放射性同位素购入审核、使用登记和安全管理工 作，防止发生放射源流失或被 盗等放射事件。
- ④按规定对放射性废物进行规范处 置。
- ⑤配合有关部门开展安全与防护监督检查，并提供必要的资料。
- ⑥协助上级主管部门对本科室的放射诊疗工作场所进行放射防护检测，并建立档案。
- ⑦对放射事件及时进行报告。

12.2.辐射安全管理规章制度

12.2.1.规章制度

12.2.1.1.辐射安全管理制度

医院已制定了一系列制度，包括：《放射工作单位管理制度》《辐射安全管理制度》《放射性核素操作制度》《设备维护维修与检查制度》《安全与防护设施检查及维护制度》《安全保卫管理制度》《放射源管理制度》《非密封性放射性物质管理制度》《射线装置管理制度》《核医学辐射监测制度》《放射医护人员管理制度》《广西医科大学附属肿瘤医院放射医护人员个人剂量监测管理制度》《广西壮族自治区肿瘤医院辐射事故应急预案》《放射性废物处理制度》《人员体表放射性污染处理技术方案》等。以上制度涵盖了放射防护管理、事故处理、辐射安全管理组织及职责等内容，认真执行以上制度能够从管理上保证现有放射诊疗工作的正常运行。目前以上制度均已正式实施，医院工作人员严格按照各项规章制度完成辐射相关工作，有关部门各科室办公室、CT控制室内均已将相关制度上墙。

12.2.1.2.医院年度安全评估报告

医院近年来委托广西壮族自治区辐射环境监督管理站对医院辐射工作场所开展辐射监测，并按照有关规定每年向生态部门提交年度安全评估报告。

目前，医院已委托广西壮族自治区辐射环境监督管理站对医院辐射工作场所开展辐射监测并编制《2024年度核技术应用项目场所辐射环境监测评价报告》，并完成2024年安全评估报告上传全国核技术利用辐射安全申报系统的工作。该报告显示，2024年度医院的医用电子直线加速器全年均以X射线能量6MeV开机运行。监测时，医院现有许可的核技术利用项目中¹³¹I治疗项目、⁸⁹SrCl₂、³²P、¹⁵³Sm等治疗肿瘤项目全年未开展，

^{11}C 、 ^{13}N 标记物生产及诊断项目未开展。广西壮族自治区辐射环境监督管理站对开展的项目进行监测，监测结果显示现有核技术利用项目正常运行时，医院放射源、非密封放射性物质、射线装置应用的各辐射工作场所周围剂量当量率、表面污染均符合《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》（HJ 1198-2021）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）等标准中的相关要求。

12.2.2.医护人员培训

辐射工作人员应当接受有关法律法规、专业技术、安全防护和事故应急响应处理的培训和考核，使其掌握相关的辐射防护知识，熟悉和掌握设备的操控技能。

核医学科现有29名辐射工作人员（其中28名辐射工作人员参与开展本项目），均参加了“核医学”放射工作人员考试并取得合格成绩。

本项目建成后，提出以下要求：

（1）医院应补充 ^{125}I 粒子植入、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 核素治疗、 ^{90}Sr （ ^{90}Y ）敷贴治疗操作规程以及新增项目的医护人员职责、核医学科工作流程以及放射性药品、放射源、放射性废物台账等，并修订医院现有规章制度，使之与医院核技术利用项目相匹配。

（2）环评批复后，需及时向相关部门申请办理辐射安全许可证。

12.2.3.建设项目环保手续、辐射安全许可情况

医院总务科负责按照相关环境影响评价要求、辐射安全管理要求，完成对医院现有放射建设工程项目的环境评价、环保报建施工及验收，并将环评、验收、报建资料和辐射安全许可证归档到医院档案室。

本项目涉及的现有工作场所PET/CT中心、ECT工作区均已取得环评和验收批复或开展自主验收，拟依托的粒籽病房属于在建项目，该项目已取得环评批复，但未建成和使用。项目依托工程的环境评价、验收手续办理情况见表1.5-1。医院现有开展的核技术利用项目均已通过有关部门审批，取得辐射安全许可，辐射安全许可证许可项目详见表1.4-1和附件8。

本项目环境影响评价工作正在开展之中，项目建设完毕后，医院将依照竣工环境保护验收相关规定开展验收工作，按照辐射安全管理规定增补辐射安全许可项目，在完成辐射安全许可手续之前，本项目不会运行。

12.3.辐射监测

12.3.1.现有核技术利用项目

医院每年委托有资质单位对现有核技术利用项目工作场所进行辐射环境监测，各工作场所满足相关标准要求。医院利用配备的便携式辐射监测设备，自行定期对各场所进行例行监测。

医院安排了辐射工作人员参加职业健康体检，建立了职业健康档案。给辐射工作人员配备了个人剂量计，每季度送有资质单位检测，建立了辐射工作人员个人剂量检测档案。

12.3.2 本次核技术利用项目

根据《放射性同位素与射线装置放射安全和防护条例》（2019年修订）的相关要求，必须对放射性同位素与射线装置使用单位进行个人剂量监测、工作场所监测、场所外环境监测、日常防护监测工作以及竣工验收监测。

12.3.1.1.个人剂量监测

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）中要求，对放射医护人员进行个人剂量监测，要求放射医护人员在操作放射性核素及射线装置时佩戴个人剂量计，个人照射累积剂量按每三个月为一监测周期送资质单位检测，如发现异常可加密监测频率。个人剂量显示结果存入医护人员健康档案，终生保存。

12.3.1.2.工作场所内、外环境监测

对于非密封放射性物质工作场所和射线装置工作场所，医院每年应委托有资质的单位实施监测，检测频度为每年不少于一次，且医院应自行对核医学科场所的X- γ 剂量率、 α 、 β 表面污染进行监测（定期进行计量检定），对射线装置机房周围环境进行监测，发现问题及时整改，监测数据连同本年度评估报告于次年1月31日前上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

监测计划见表12.3-1。

表 12.3-1 本项目监测计划一览表

监测对象		监测方案	监测项目	监测频率	监测方式
PET/CT 机房	防护性能	四面墙体外 30cm 处、操作位、观察窗外 30cm、防护门外 30cm 和门缝处、管线孔、楼上等	周围剂量当量率	1 次/年	委托有资质单位监测
				1 次/月	自行监测
SPEC T/CT 机房	防护性能	四面墙体外 30cm 处、操作位、观察窗外 30cm、防护门外 30cm 和门缝处、管线孔、	周围剂量当量率	1 次/年	委托有资质单位监测
				1 次/月	自行监测

		楼上等			
PET/CT 中心、ECT 工作区、核素治疗区、粒籽病房	工作场所	各功能用房四面墙体外 30cm、防护门外 30cm、防护窗外 30cm、楼上 30cm 等	周围剂量当量率	1 次/月	自行监测
				1 次/年	委托有资质单位监测
		PET/CT 中心热室房间、全检质控室、注射室、注射准备室、注射后候诊室、VIP 注射后候诊室、PET/CT 机房、留观室等各功能用房地面、工作台面；ECT 工作区 SPECT/CT 机房；核素治疗区储源室、分装室、服药间、甲亢留观室等各功能用房地面、工作台面	β 表面污染	每次使用结束后	自行监测
				1 次/年	委托有资质单位监测
		核素治疗区核素病房地面、床面	β 表面污染	每次患者出院后	自行监测
				1 次/年	委托有资质单位监测
		核素治疗区储源室、分装室、服药间、甲亢留观室	α 表面污染	每次使用结束后	自行监测
				1 次/年	委托有资质单位监测
	放射源	^{90}Sr (^{90}Y) 放射源贮源箱	贮源箱表面外 5cm、100cm	1 次/年	委托有资质单位监测
	放射性固体废物	固废贮存铅桶外表面、放射性固体废物表面	X- γ 辐射剂量率、 α 、 β 表面污染	排放前	自行监测
辐射工作人员		放射诊断、放射治疗等隔室操作的工作人员在左胸前佩戴 1 个个人辐射剂量计； ^{125}I 粒子植入手术、放射性药物分装、注射等操作的工作人员在铅衣内外各佩戴 1 个个人辐射剂量计	年有效剂量	每季度送检 1 次	委托有资质单位监测
外环境		工作场所周围环境	周围剂量当量率	1 次/年	委托有资质单位监测

12.3.1.3.竣工环保验收

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号），建设单位是建设项目环境保护验收的责任主体，本项目竣工后，建设单位应按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，验收报告分为验收监测(调查)报告、验收意见和其他需要说明的事项等三项内容。

建设单位应如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收监测（调查）报告。建设单位不具备编制验收监测（调查）报告能力的，可以委托有能力的技术机构编制。验收监测（调查）报告编制完成后，建设单位应当根据验收监测（调查）报告结论，逐一检查是否存在验收不合格的情形，提出验收意见。存在问题的，建设单位应当进行整改，整改完成后方可提出验收意见。为提高验收的有效性，在提出验收意见的过程中，建设单位可以组织成立验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式，协助开展验收工作。验收工作组可以由设计单位、施工单位、环境影响报告书（表）编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等组成，代表范围和人数自定。环保设施的验收期限一般不超过3个月。

12.3.2.仪器设备

12.3.2.1.辐射工作场所监测仪器

医院核医学科现已配备有辐射剂量率测量仪和表面污染监测仪对辐射工作场所进行日常监测。医院每年委托有资质单位对放射源、射线装置和非密封放射性物质工作场所进行1次场所辐射水平监测。同时医院不定期对核技术利用工作场所自行监测，并将监测结果存档备案，可均满足相关法律法规和标准要求。

12.3.2.2.个人剂量检测设备

所有辐射工作人员工作时应配备个人剂量计并定期进行检测。

医院为现有辐射工作人配备给人剂量计，要求工作时佩戴，并由资质单位进行检测，根据检测报告，医院外照射个人剂量未出现异常。

核医学科现有和新增辐射监测设备见下表：

表 12.3-2 核医学科现有和新增辐射监测仪器设备一览表

现有辐射监测仪器				
序号	设备名称	数量	型号	备注
1	热释光个人剂量计	20	/	用于个人累积剂量监测。
2	便携式数字化个人剂量监测及报警仪	4	/	个人剂量监测与报警，辐射工作人员随身携带，可设阈值，超过阈值报警。
3	便携式多功能射线监测仪	3	IA-V2	X-γ辐射剂量率、表面污染测量。
4	多通道 X-γ剂量率监测仪（4 个探头）	1	WF-100-4B	辐射实时剂量监测，显示器在控制室内，含 4 个探头，探头安装位置情况为：热室房间内、外各 1 个，控制室、患者走廊墙壁各 1 个。
新增辐射监测仪器				
1	区域辐射剂量监测系统	2	/	备注
2	巡测仪	3	/	X-γ辐射剂量率监测。
3	个人剂量报警仪	10	/	个人剂量监测与报警，辐射工作人员随身携

				带，可设阈值，超过阈值报警。
4	表面沾污仪	2	/	表面污染测量
5	碘-131体内活度测量系统	1	/	设置在核素治疗区取餐/测量区，用于患者体内辐射活度测量
6	碘-131全身动态辐射显像系统	1	/	设置在核素治疗区取餐/测量区，用于患者全身辐射显像

12.4.辐射事故应急

医院制定了辐射事故预防措施及应急处理预案。医院成立了放射事故应急工作领导小组和技术指导小组，组织、开展放射事件的应急处理救援工作，小组成员名单及职责如下：

1、领导小组

负责监督检查辐射安全工作，防止辐射事故的发生；组织应急准备工作，调度人员、设备、物资等，指挥相关成员迅速赶赴现场开展工作；对辐射事故现场进行组织协调，指挥应急救援行动；组织开展辐射事故应急演练等。

组 长：潘灵辉 唐勇

副组长：阳志军

成员：谢寿孟 吴留成 康平 张宇 姚忠强

杜时兵 宋红林 陈英 肖国有 梁世雄 姚德生 黄其春

付庆国 金观桥 赵昌

秘书：吴留成（兼）

领导小组下设办公室，设在医务科。

2、技术指导小组

组织并参与辐射事故医学应急预案的制定及修订；提供辐射事故卫生应急准备和响应建议；组织并参与对辐射防护、医疗救治等相关技术人员的指导与培训；组织并参与指导辐射事故现场放射防护及医学应急救援。

组长：阳志军

副组长：肖国有 吴留成

成员：赵昌 宋红林 付庆国 金观桥 姚忠强

康平 张宇 陈英

秘书：罗璽

3、部门职责与分工

各有关部门应在辐射事故应急处理领导小组的统一领导下，各司其责，密切协作，做好应对辐射事故的应急处理。

(1) 院长办公室

负责组织医院辐射事件的新闻发布和媒体应对，协调医院有关科室应急处理。

(2) 医务科

负责组织应急医疗救援及辐射防护等卫生应急工作。

①负责组建应急救援医疗队，组织对受辐射损伤人员进行现场医疗救助及伤员转送，做好医疗救护信息记录及报告。

②负责组织医务人员参加辐射防护技术培训；主动核实事故性质并向领导小组进行报告；按规定向广西壮族自治区卫生健康委员会、广西疾病预防控制中心报告，并协助上级辐射防护专家开展事故调查和辐射防护工作。

(3) 总务科

负责辐射事故应急物资储备及供应，保证应急物资供应渠道畅通、及时到位；协助环保部门开展现场放射性污染处理，监督诊疗科室对污染废物进行正确处置，及时切断污染环节；按规定向广西壮族自治区生态环境厅上报辐射污染事故。

(4) 设备科

负责辐射事故应急辐射防护用品、防护设备的储备及供应，包括口罩、防护衣等医疗用品等，确保事故应急物资及时到位。

(5) 药剂科

协助放射性药品验收，负责放射性药品转账，负责办理放射性药品及原料的转让审批。

(6) 财务科

负责应急保障经费预算，确保卫生应急所需资金到位。

(7) 保卫科

负责撤离和疏散辐射事故现场人员，封锁和保护事故现场；按规定向辖区派出所（南宁市公安局青秀分局滨湖派出所）报告涉及放射源丢失或被盗事件，并协助事故调查；加强放射源、放射诊疗及放射防护设备的防盗安全检查；负责参与辐射事故的调查和善后处理。

(8) 医保保健科

负责对辐射事故中参与应急医学救援或受辐射损伤的医务人员进行医学随访。

（9）临床科室

门诊、血液肿瘤内科、核医学等科室负责参与辐射事故现场医学救援；定期参加医学救援、辐射防护培训及应急演练，确保及时、科学、安全开展现场医学救援。

（10）放射诊疗科室

认真贯彻落实放射诊疗安全操作规程及技术规范，做好日常质量控制，加强放射安全防护执行力度，提高预防突发事件发生的意识及应对能力；发生辐射事故迅速采取措施控制事故蔓延，及时报告有关部门；配备必要的放射防护用品及设备，核医学科应配备应急箱，应急箱应包括鞋套、手套等防护服、人员去污材料、用于场所去污的材料、警告标识、便携式监测设备及废物带等。

应急预案包括日常管理、辐射射线意外泄漏应急预案、辐射源失窃应急预案、辐射源遗失应急预案等。医院现有应急预案可涵盖本项目新增放射性核素和新增非密封放射性物质工作场所。建设单位在制定的应急预案的基础上，每年组织一次放射事故应急演练，由放射事故应急小组成员及放疗科等辐射相关科室参加，提高了医院事故应急能力。

医院于2020年10月14日正式印发《广西医科大学附属肿瘤医院辐射事故应急预案（修订）》（见附件10），并按照预案组织工作人员组成医院应急处理领导小组、医院应急技术指导小组，有关部门及科室做好辐射事故应急物资和装备准备，包括：个人剂量计、个人防护设备（铅防护服、铅眼镜、铅围脖、防护靴等）、辐射应急监测仪器（表面污染监测仪）等，并及时更新和维护。此外，医院还针对开展核技术应用的实际情况和需要，定期组织开展辐射应急培训与应急演练，对辐射事故应急技术人员和管理人员进行国家有关法规和应急专业知识培训和继续教育，使应急救援人员熟练掌握放射损伤医疗救治、应急处置、放射防护等知识，不断提高应急反应及救援能力，确保在突发辐射事故时能够及时、安全、有效开展卫生应急工作。

表 13 结论与建议

13.1.结论

13.1.1.项目概况

医院拟在青秀院区开展广西医科大学附属肿瘤医院核医学科扩建建设项目，工作场所为广西医科大学附属肿瘤医院101号楼一楼PET/CT中心、102号楼一楼的ECT工作区和核素治疗区、103号楼一楼粒籽病房。PET/CT中心、ECT工作区为现有辐射工作场所，粒籽病房为在建辐射工作场所，核素治疗区为新建辐射工作场所。

项目建设内容包括：

PET/CT 中心：拟在热室房间内新增一台热室，在新增热室中淋洗制备、分装 ^{68}Ga 放射性药物，用于开展显像诊断（PET/CT 机房）；拟利用现有 PET/CT 机房开展 ^{125}I 粒子植入治疗项目。

核素治疗区：拟利用 102 号楼一楼内东侧办公室进行重新设计和布局，新建核素治疗区，原有办、 ^{90}Sr （ ^{90}Y ）公室改造为核素病房、甲亢留观室、污洗/固废间、服药间、储源室、分装室、甲测室、敷贴治疗室等辐射用房及其他配套辅助用房，使用 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 敷贴器等开展核医学治疗。102 号楼南面配套建设一座 5 格衰变池。

粒籽病房：拟利用 103 号楼一楼粒籽病房接收 ^{125}I 粒子植入术后患者住院观察（粒籽病房已作为在建的广西医科大学附属肿瘤医院钇[90Y]微球注射液建设项目的 ^{90}Y 微球注射后患者留观场所， ^{125}I 粒子植入术后患者不与 ^{90}Y 微球注射后留观患者安排在同一间病房内）。

本项目开展后，PET/CT中心、ECT工作区、核素治疗区、粒籽病房的日等效最大操作量分别为 $1.236\times 10^8\text{Bq}$ 、 $3.45\times 10^9\text{Bq}$ 、 $2.387\times 10^9\text{Bq}$ 、 $1.03\times 10^8\text{Bq}$ ，均属于乙级非密封放射性物质工作场所；本项目拟使用的 ^{90}Sr （ ^{90}Y ）敷贴器总活度为 $1.48\times 10^8\text{Bq}$ ，为V类放射源。

13.1.2.产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录》（2024年本）第一类 鼓励类中“六、核能 4. 核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”、“十三、医药 4”的规定，本项目符合国家产业政策。

13.1.3.选址合理性

本项目工作场所包括101号楼一楼PET/CT中心、102号楼一楼ECT工作区和核素治

疗区、103号楼一楼粒籽病房。

本项目工作场所边界外50m范围内主要为医院内部建筑及院内道路、一附院建筑、江北大道，无居民区、学校等敏感目标。此外，项目使用具有辐射防护能力的合成柜、分装柜、注射台，设置防护铅门及防护墙体，在门口设置电离辐射警告标志，将工作场所实施分区管理，无关人员不得进入控制区。项目运行过程中产生的电离辐射，经过屏蔽防护和距离衰减后，对周围工作人员和公众所致的辐射剂量符合剂量约束限值的要求。通过以上场所独立、划分区域等措施，本项目不会产生交叉污染。

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第5.1关于“选址”规定：“5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。”本项目PET/CT中心集中于101号楼一楼东南一端，核素治疗区位于102号楼一楼东侧，粒籽病房位于103号楼一楼北面一端，位置相对独立，所在区域无人长期居留，与周围建筑有一定距离，同时设置有相应的物理隔离和单独的人员、物流通道，且不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。因此，项目选址能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中选址的要求。

13.1.4.辐射安全与防护分析结论

13.1.4.1.工作场所分区

根据前文章节10.1.4工作场所分区，医院将辐射工作场所分为控制区和监督区进行监督管理。

本项目将高辐射和可能发生高污染的区域划定为控制区，医院设置了药物运输通道、患者通道、医护人员通道、放射性固废运输通道，并进行时间控制，将放射性药物、术后患者以及放射性固废转移通道设置为临时控制区；控制区外较低辐射的区域划定为监督区，无实体边界的监督区以控制区边界外30cm为监督区范围，人流、物流路径等临时控制区边界外1.5m设为临时监督区范围。医院通过时间控制，保证运源及术后患者单独使用通道，同时设置门禁系统，控制给药后患者单向流动，负责转移药物、放射性固废或陪同植入患者的工作人员应时刻注意沿途情况，主动提醒路径附近公众与药物、放射性固废、患者保持1.5m以上距离。监督区边界处地面张贴警示标志提醒公众远离。

综上所述，监督区、控制区划分明确、独立，设置合理，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。

13.1.4.2.人员、药物运输通道

本项目辐射工作场所分别设置医护人员通道、患者通道、药物运输通道、放射性固废运输通道，并进行时间控制，将药物运输通道和放射性固废运输通道设置为临时控制区，运源和放射性废物时间和诊疗时间错开，防止人流物流交叉，并控制患者单向流动。

综上，在采取上述空间和时间控制措施后，本项目布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关要求。

13.1.4.3.屏蔽防护

根据预测，本项目辐射工作场所的屏蔽防护设计能够满足辐射防护要求。

13.1.4.4.辐射安全和防护设施

（1）工作场所

本项目PET/CT中心、核素治疗区、粒籽病房等各场所辐射防护设施均符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关要求。在辐射工作场所控制区入口、出口、衰变室门口等设置电离辐射警告标志。警告其他公众人员远离辐射工作场所。

（2）人员安全防护设施

无论辐射工作人员和公众都要尽可能的减少与辐射源的接触时间，降低在辐射场所的停留时间，减少不必要的辐射照射。工作场所内配备通风装置、放射性固体废物桶等辐射防护设施，为从事辐射工作的人员配备个人防护用品。

13.1.4.5.“三废”排放治理措施

（1）废气治理

本项目仅在⁶⁸Ga药物淋洗、质控、分装阶段和¹³¹I药物分装、患者服用¹³¹I药物阶段及其服用后呼出产生少量放射性废气。⁶⁸Ga药物淋洗、分装时所在的热室、⁶⁸Ga质控时所在的通风橱、¹³¹I药物分装时所在的分装柜均保持密闭环境，内部产生的放射性废气经专门通道排至放射性废气处置装置处，经活性炭吸附后经专用排气通道排放，对环境影响较小。

项目运行时会产生少量的臭氧和氮氧化物等非放射性气体，本项目涉及的射线装置机房均安装了动力排风装置保持良好的通风，以降低臭氧和氮氧化物浓度。因此，设备

运行时对机房周围的大气环境影响很小，项目运行产生的臭氧和氮氧化物通过动力排风装置稀释后对人体危害较小。

(2) 废水治理

医院现有及新建衰变池容量可满足本项目放射性废水的衰变处理。放射性废水衰变至满足HJ1188-2021相关要求后排入医院污水处理站处理，达标后排入市政管网，对环境的影响较小。

非放射性废水主要为医务人员、 ^{125}I 粒子植入患者住院产生的生活废水，通过排入医院现有污水处理设施处理，达标后排入市政管网，对环境的影响较小。

(3) 固废治理

本项目放射性固废包括： ^{68}Ga 淋洗制备、分装时产生的废一次性手套、剩余 ^{68}Ga 洗脱液及废真空瓶； ^{68}Ga 质控产生的废薄层板、废毛细管、废吸水纸、废酒精棉球等；废旧锗镓发生器；沾染 ^{68}Ga 的废一次性手套、废棉签、废针筒等；沾染 ^{68}Ga 的注射后候诊、留观垃圾；用于抽检的废弃 ^{125}I 粒子、随患者尿液排出的 ^{125}I 粒子； ^{131}I 药物分装产生的废药瓶、废一次性手套等；服用 ^{131}I 药物时产生的非一次性纸杯； $^{177}\text{Lu}/^{225}\text{Ac}/^{211}\text{At}/^{223}\text{Ra}$ 药物抽药、注射时产生废药瓶；沾染 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{211}At 、 ^{223}Ra 的废一次性手套、废棉签、废针筒等；沾染 ^{131}I 的留观垃圾；沾染 ^{131}I 、 ^{177}Lu 的住院垃圾；吸附放射性废气的废活性炭；废旧 ^{90}Sr （ ^{90}Y ）放射源；吸附泄漏放射性物质的废吸水纸、废酒精棉球等事故应急处理垃圾。

废旧发生器、废旧放射源交由各自供应单位回收；废弃 ^{125}I 粒子放回原容器暂存于储源室，交由供应单位回收； ^{68}Ga 淋洗制备、质控、分装产生的垃圾收集后运至101号楼一楼中部的固废间进行衰变；剩余 ^{68}Ga 暂存于真空瓶中，在新增热室内暂存超过24小时后运至101号楼一楼中部的固废间进行衰变。需特别注意的是，全检质控室内产生的放射性固废单次产生量很少，因此不需频繁利用全检质控室西侧传递窗进行转移（两次转移间至少间隔一周），而放射性固废需经过传递窗时必须避开放射性药物转移时段，并在完成转移后使用酒精棉球等清洁用品彻底清洁传递窗，直至自行监测设备显示传递窗处表面污染水平符合要求。通过采取这些措施，可确保全检质控室放射性固废和放射性药物转移路线在时间上不重叠，且不会污染放射性药物路线。PET/CT中心其他含 ^{68}Ga 的放射性固废分别收集在各自产生场所的放射性固废收集桶中，然后集中收集至102号楼西侧楼梯间的废物室处进行衰变。核素治疗区其他放射性固废分别收集在各自产生场

所的放射性固废收集桶中，然后集中收集至核素治疗区西侧固废间进行衰变。各工作场所用于处理放射性废气的活性炭吸附装置定期更换活性炭，废活性炭作为放射性固废收集起来，就近运至各场所附近衰变室暂存。随患者尿液排出的¹²⁵I粒子暂存于病房卫生间内设置的放射性固废收集桶中，最终交由粒子供应单位回收。事故应急处理垃圾根据事故发生场所运往相应衰变室进行衰变。

含⁶⁸Ga的放射性固废暂存时间应超过30天，含¹⁷⁷Lu的放射性固废暂存时间应超过68天，含²²⁵Ac、²¹¹At、²²³Ra的放射性固废暂存时间应超过115天，含¹³¹I的放射性固废暂存时间应超过180天，放射性固废在满足暂存时间要求后经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于0.8Bq/cm²后，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

医护人员产生的少量办公、生活垃圾依托医院已有的收集系统进行回收后由当地环卫部门清运。医疗废物收集后，交由有资质单位处理。

13.1.4.6.辐射安全管理

根据法律法规要求，医院设置了辐射安全与环境保护管理机构，明确相关人员职责，开展环境保护管理工作。制定了辐射安全管理规章制度及监测方案，配备了监测设备，定期对工作场所及个人剂量进行监测，制定了辐射事故应急预案，并定期演练。

13.1.5.环境影响分析结论

13.1.5.1.环境质量现状

根据引用和补充监测结果显示，在正常开展现有核技术利用项目时，本项目涉及的现有辐射工作场所PET/CT中心各用房周围剂量当量率符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求， β 表面污染符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中相关要求，东南侧衰变池处周围剂量当量率符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关要求；还未开展辐射工作的粒籽病房、拟建核素治疗区处、拟建衰变池处及评价范围内外环境的周围剂量当量率均在《中国环境天然放射性水平》广西室内、室外 γ 辐射剂量率范围之内，辐射环境质量状况未见异常。

13.1.5.2.辐射环境影响

经预测，项目扩建后，项目工作场所内各用房外辐射剂量率均符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求，预计相关辐射工作人员因项目运行而受

到年有效剂量低于职业人员年剂量管理约束值5mSv，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于剂量限制的要求，预计公众成员因为该扩建项目运行而受到附加辐射剂量低于公众成员年剂量管理约束值0.1mSv，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于剂量限制的要求。

13.1.6.综合结论

本项目属于医疗卫生服务设施建设项目，符合国家产业政策。本项目涉及的放射源、放射性同位素和射线装置用于医学诊断和治疗，其利益大于可能引起的辐射危害，符合实践的正当性原则。项目在具有合理的防护设计的基础上，落实报告中提出各项污染防治措施后，该项目对辐射工作人员和公众人员是安全的，对周围环境产生的辐射影响较小，不会引起周围辐射水平的明显变化。因此，从环境保护角度分析，项目建设是可行的。

13.2.建议与承诺

13.2.1.建议

根据项目情况本评价提出以下建议：

- （1）按照辐射安全许可证的许可内容从事辐射工作。
- （2）不断完善辐射安全管理体系，加强辐射安全教育培训，提高职业医护人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝放射性事故的发生。
- （3）做好辐射防护工作档案，对放射医护人员的辐射防护培训、个人剂量检测、健康查体和辐射防护检测等资料要分类保管并长期保存，严格执行辐射监测计划，发现问题及时整改。
- （4）做好职业医护人员的个人剂量监测和健康管理；做好辐射工作人员培训和再培训。按照辐射事故应急预案和报告制度的要求，定期进行熟练演习。
- （5）落实辐射防护设施定期检查制度，如检查机房工作警示灯、辐射警示标记等。

13.2.2.承诺

为保护环境，保障人员健康，医院承承诺：

- （1）按《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》（环保部 18 号令）要求开展个人剂量监测、工作场所监测以及对本单位射线装置的安全和防护状态进行年度评估，并向发证机关及当地生态环境部门提交上一年度的报告。
- （2）接受生态环境部门的监督检查并及时整改检查中发现的问题。

(3) 完善规章制度并保证各种规章制度和操作规程的有效执行。

(4) 按要求开展竣工环境保护验收。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：	
公 章	
经办人	年 月 日

审批意见：	
公 章	
经办人	年 月 日