

核技术利用建设项目

中山大学附属第一医院贵州医院二期分子 肿瘤诊疗中心核技术利用项目 环境影响报告表

建设单位名称：贵州医科大学附属医院

建设单位法人代表（签字或盖章）：

通讯地址：贵州医科大学附属医院

邮政编码：550001

电子邮箱：

联系人：李书仁

联系电话：1~ ,

104

编制单位和编制人员情况表

项目编号	9bn50f		
建设项目名称	中山大学附属第一医院贵州医院二期分子肿瘤诊疗中心核技术利用项目		
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）	贵州医科大学附属医院		
统一社会信用代码	1252000042924776XA		
法定代表人（签章）	左右		
主要负责人（签字）	鲁晶		
直接负责的主管人员（签字）	梁东江		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	广西辐卫安环保科技有限公司		
统一社会信用代码	9145010031587495X5		
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
秦家盛	06354543506450272	BH005107	
2 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
秦家盛	全文	BH005107	

建设项目环境影响报告书（表） 编制情况承诺书

本单位 广西辐卫安环保科技有限公司（统一社会信用代码 9145010031587495X5）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 中山大学附属第一医院贵州医院二期分子肿瘤诊疗中心核技术利用项目 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 秦家盛（环境影响评价工程师职业资格证书管理号 06354543506450272，信用编号 BH005107），主要编制人员包括 秦家盛（信用编号 BH005107）（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)：广西辐卫安环保科技有限公司



2025年3月13日

广西辐卫安环保科技有限公司

承诺函

省生态环境厅：

我单位受贵州医科大学附属医院委托编制的《中山大学附属第一医院贵州医院二期分子肿瘤诊疗中心核技术利用项目环境影响报告表》已经按照国家有关法律法规和技术导则、规范要求编制完成，现按照程序将报告表报你厅审批。我单位承诺对所申请报批的报告书(表)内容、数据及提供材料的真实性等负责。该报告书(表)不涉及国家机密、商业秘密、个人隐私以及国家安全、公共安全、经济安全和社会稳定等内容，可对外进行公开(公示)。

特此承诺。

单位(盖章)：广西辐卫安环保科技有限公司

日期：2025 年 3 月 13 日



编制单位承诺书

本单位 广西辐卫安环保科技有限公司（统一社会信用代码 9145010031587495X5）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下列第 1 项相关情况信息真实准确、完整有效。

1. 首次提交基本情况信息
2. 单位名称、住所或者法定代表人（负责人）变更的
3. 出资人、举办单位、业务主管部门或者挂靠单位等变更的
4. 未发生第 3 项所列情形、与《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》第九条规定的符合性发生变更的
5. 编制人员从业单位已变更或者已调离从业单位的
6. 编制人员未发生第 5 项所列情形，全职情况发生变更、不再属于本单位全职人员的

承诺单位(公章):

2025 年 3 月 13 日



编制人员承诺书

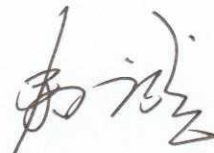
本人秦家盛（身份证件号码45212

L1X）郑重

承诺：本人在广西辐卫安环保科技有限公司单位（统一社会信用代码9145010031587495X5）全职工作，本次在环境影响评价信用平台提交的下列第1项相关情况信息真实准确、完整有效。

1. 首次提交基本情况信息
2. 从业单位变更的
3. 调离从业单位的
4. 建立诚信档案后取得环境影响评价工程师职业资格证书的
5. 被注销后从业单位变更的
6. 被注销后调回原从业单位的
7. 编制单位终止的

承诺人(签字):



2025 年 3 月 13 日



统一社会信用代码
9145010031587495X5 (1-1)



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

名称	广西福丰环保科技有限公司
类型	有限责任公司(自然人投资或控股)
法定代表人	梁振隆
注册资本	伍佰捌拾万圆整
成立日期	2014年09月11日
住所	南宁市国凯大道1

经营范围 环保技术开发；放射诊疗建设项目职业危害放射防护检测、放射卫生防护检测、防护器材和含放射性产品的检测、放射卫生防护检测、医疗机构射线防护装饰安装（以上项目取得资质证书后方可在资质证书规定的范围内开展经营活动）；防护器材的研发、销售；一类医疗器械；环保设备、污水处理设备的销售及安装。（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。）

关
登
记
机
册

2023年02月16日

市场主体应当于每年1月1日至3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。

<http://www.gsxt.gov.cn>

国家企业信用信息公示系统网址:

国家市场监督管理总局监制

本证书由中华人民共和国人事部和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合格，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.: 0004044

仅限用于中山大学附属第一医院贵州医院二期分子肿瘤诊疗中心核技术利用项目



持证人签名:
Signature of the Bearer

秦家盛

管理号: 063545 06450272
File No.:

姓名: 秦家盛
Full Name

性别: 男
Sex

出生年月: 1972年05月
Date of Birth

专业类别:
Professional Type

批准日期: 2006年05月
Approval Date

签发单位盖章:
Issued by

签发日期:
Issued on





南宁市社会保险事业管理中心

社会保险缴费证明

证明编号: 0010000024468809

广西辐卫安环保科技有限公司，单位编号：451550814。该单位秦家盛等1名职工在我中心参加社会保险,已足额缴费,参保情况见附件。

特此证明
!

2025年03月13日

备注
:

- 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。
- 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。

附参保人员名单
:

序号	姓名	个人编号	身份证号	险种	缴费起始时间
1	秦家盛	45159159	4521221511X	企业职工基本养老保险	202412-202502
2	秦家盛	45159159	4521221511X	失业保险	202412-202502
3	秦家盛	45159159	4521221511X	工伤保险	202412-202502

2025年03月13日

承诺函

贵州省生态环境厅：

根据《建设项目环境影响评价政府信息公开指南（试行）》的有关规定，我单位报送的《中山大学附属第一医院贵州医院二期分子肿瘤诊疗中心核技术利用项目环境影响报告表》的所有材料真实无误，承诺对材料的真实性负责；报送的环境影响报告书、表不含涉及国家秘密、商业秘密、个人隐私以及涉及国家安全、公共安全、经济安全和社会稳定的内容。

单位（盖章）：贵州医科大学附属医院

日期：2025年3月13日



中山大学附属第一医院贵州医院二期分子 肿瘤诊疗中心核技术利用项目环境影响评 价委托函

广西辐卫安环保科技有限公司：

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境保护条例》等法律法规的要求，经我单位研究决定，由贵公司承担我单位“中山大学附属第一医院贵州医院二期分子肿瘤诊疗中心核技术利用项目”的环境影响评价工作，编制环境影响报告表。该报告应结合本工程实际情况，严格执行国家有关建设项目环境保护管理的规定，符合环境评价导则及标准。

特此委托！

单位（盖章）：贵州医科大学附属医院

日 期：2025 年 2 月 20



关于办理环境影响报告书（表）审批的 申 请

贵州省生态环境厅：

我医院“中山大学附属第一医院贵州医院二期分子肿瘤诊疗中心核技术利用项目”已委托广西辐卫安环保科技有限公司编制了《中山大学附属第一医院贵州医院二期分子肿瘤诊疗中心核技术利用项目环境影响报告书（表）》，现报你厅审批。

单位（盖章）：贵州医科大学附属医院

日期：2025年3月13日



贵州医科大学附属医院同意环评报告全文公开的有关说明

贵州省生态环境厅：

我单位拟进行中山大学附属第一医院贵州医院二期分子肿瘤诊疗中心核技术利用项目的环境影响评价工作，委托广西辐卫安环保科技有限公司开展环境影响评价工作。依据《环境影响评价法》、环境保护部《环境信息公开办法（试行）》以及《建设项目环境影响评价政府信息公开指南》相关要求，需对环境影响报告表全文进行公开。经我单位审查，报告表全文不包含商业秘密以及其他不适合公开内容，同意对环评报告进行全文公开，特此说明。

单位（盖章）：贵州医科大学附属医院

日期：2025年3月13日



企业环境信用承诺书

为践行绿色发展理念，努力营造诚实守信的社会环境，本企业自愿承诺，坚持守法生产经营，并自觉履行以下环境保护法律义务和社会责任。

一、依法申请办理环境保护行政许可，保证向环保行政机关提供资料合法、真实、准确、有效。

二、严格遵守国家和贵州省有关环境保护法律、法规、规章、标准和政策规定，依法从事生产经营活动。

三、建立企业环境保护责任制度，实施清洁生产，减少污染排放并合法排污，制定突发环境事件预案，依法公开排污信息，自觉接受环境保护行政主管部门的监督检查等环境保护法律、法规、规章规定的义务。

四、自觉接受政府、行业组织、社会公众、新闻舆论的监督，积极履行环境保护社会责任。

五、发生环境保护违法失信行为，除依照《中华人民共和国环境保护法》等有关法律、法规规定接受环保行政机关给予的行政处罚外，自愿接受惩戒和约束，并依法承担赔偿责任和刑事责任。

六、本《企业环境信用承诺书》同意向社会公开。

特此承诺，敬请社会各界予以监督。

承诺单位：（盖章）贵州医科大学附属医院

法定代表人：_____

日期：2025年3月13日



贵州医科大学附属医院

承诺函

贵州省生态环境厅：

由我单位建设的中山大学附属第一医院贵州医院二期分子肿瘤诊疗中心核技术利用项目，现已委托广西辐卫安环保科技有限公司编制《中山大学附属第一医院贵州医院二期分子肿瘤诊疗中心核技术利用项目环境影响报告表》，该编制单位已按照国家有关法律法规和相关技术导则、规范要求完成了报告表编制工作，现按程序将报告表报贵厅审批。我单位承诺对所申请报批的报告表内容、数据及提供材料的真实性等负责。该报告表不涉及国家机密、商业秘密、个人隐私以及国家安全、公共安全、经济安全和社会稳定等内容，可对外进行公开（公示）。

特此承诺。

单位（盖章）：贵州医科大学附属医院

日期：2025年3月13日



贵州医科大学附属医院

委托函

贵州省生态环境厅：

兹我单位委托（姓名）陈振，（身份证号码）3601011，联系电话：1781566，
前来贵厅办理和提交《中山大学附属第一医院贵州医院二期
分子肿瘤诊疗中心核技术利用项目环境影响报告表》申请报
批相关资料手续，请贵厅给予帮助办理为谢。

单位（盖章）：贵州医科大学附属医院

日期：2025年3月13日



目录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	15
表 3 非密封放射性物质	16
表 4 射线装置	19
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	21
表 6 评价依据	25
表 7 保护目标与评价标准	28
表 8 环境质量和辐射现状	29
表 9 项目工程分析与源项	47
表 10 辐射安全与防护	106
表 11 环境影响分析	178
表 12 辐射安全管理	229
表 13 结论与建议	249
表 14 审批	244

表 1 项目基本情况

建设项目名称		中山大学附属第一医院贵州医院二期分子肿瘤诊疗中心核技术利用项目					
建设单位		贵州医科大学附属医院					
法人代表		左石	联系人		联系电话		
注册地址		贵州省贵阳市云岩区贵医街 28 号					
项目建设地点		贵州省贵阳市花溪区清安大道与民安路交叉口西北侧(中山大学附属第一医院贵州医院地块内)					
立项审批部门		贵州省发展和改革委员会		批准文号	黔发改社会（2024）745 号		
建设项目总投资(万元)		56112.48	项目环保投资(万元)	3300	投资比例（环保投资/总投资）	6.0%	
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积(m²)	19711.76	
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类				
		☐ 使用	☐ I类（医疗使用） ☐ II类 ☒ III类 ☐ IV类 ☐ V类				
	非密封放射性物质	☐ 生产	/				
		☐ 销售	/				
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙				
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类				
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类				
		☒ 使用	☒ II类 ☒ III类				
	其他	——					

项目概述

1.1 项目基本情况

1.1.1 建设单位情况

中山大学附属第一医院贵州医院（贵州医科大学附属医院贵安院区）是国家区域医疗中心，是贵州省人民政府与中山大学附属第一医院合作共建的一所公立综合性三级甲等医院，中山大学附属第一医院作为输出医院，贵州医科大学附属医院作为依托医院。中山一院贵州医院（贵医附院贵安院区）是贵州省委、省政府高位推动的重大民生项目，对提升贵州省整体诊疗水平和疑难危重复杂疾病能力，提高优质医疗资源区域辐射能力，减少贵州省人民群众跨省跨区域就医具有重要意义。

医院位于全国第八个国家级新区——贵安新区的核心职能聚集区，具体位于贵安

新区清安大道西 41 号。重点建设肿瘤中心、内分泌代谢中心、血液病中心、耳鼻咽喉中心四个中心。

作为输出医院的中山大学附属第一医院，由广东公医学堂附设公医院发展而来，自创立之初就带有深深的公益烙印。百十年来，数更其名，中山先生“天下为公”的精神却赓续不绝。医院综合实力雄厚，是首批“辅导类”国家医学中心创建单位、国家公立医院高质量发展试点医院、国家建立健全现代医院管理制度试点医院，是全国首批委省共建综合类国家区域医疗中心，并联合牵头建设国家神经区域医疗中心，获国家核辐射紧急医学救援基地、国家人体组织器官移植与医疗大数据中心落户，并入选国家疑难病症诊治能力提升工程（重症医学），是首批国家区域医疗中心建设输出单位，也入选了广东省首批高水平医院建设单位，并被作为广东国际精准医学中心建设依托医院；学科优势突出，拥有 5 个国家重点学科、36 个国家临床重点专科，为中山大学基础医学、临床医学入选“双一流”建设学科和临床医学进入 ESI 全球前 0.5% 做出重要贡献；管理服务卓越，连续四年在国家三级公立医院绩效考核中获评 A++。

作为依托医院的贵州医科大学附属医院，前身是 1941 年成立的国立贵阳医学院附属医院，是全国创建较早的医学院校附属医院之一。经过八十余年发展，贵医附院已成为贵州省综合实力最强、集医教研为一体的大型综合性三级甲等医院，也是贵州省医疗服务、科研创新和人才培养的重要支撑力量。现有职工 5290 余人，其中，卫生技术人员 4550 余人，高级技术职称 990 余人，博士 470 余人，硕博导师 600 余人。医院是全省重点专科、重点学科、诊疗中心数量最多，专业覆盖最广的医疗机构。有国家级重点专科 9 个，省级临床重点专科 31 个，省级临床重点学科 15 个；有国家级及省级诊疗中心 21 个，国家级基地 27 个，省级质控中心 22 个；有国家级科研平台 2 个、部委级科研平台 1 个、省级科研平台 19 个、省级工程研究中心 1 个。拥有专业学位博士学位授权点 1 个，一级学科博士学位授权点 1 个，一级学科硕士学位授权点 3 个，硕士专业学位授权点 2 个，国家级一流专业建设点 4 个，省级一流专业建设点 5 个。中山大学附属第一医院贵州医院（贵州医科大学附属医院贵安院区）位置示意图见图 1-1。

1.1.2 项目由来

为更好的提供医疗卫生服务，中山大学附属第一医院贵州医院拟在预留场地内新建医院二期的分子肿瘤治疗中心，其目的是为广大患者提供全面的医疗放射诊治疗断

服务，给患者带来常规诊治方法所不能及的诊疗效果，具有良好的社会和经济效益。本期核技术利用项目的实施对减轻患者的医疗负担，减少医疗支出，改善病人治疗条件，促进医院科室的全面协调发展，以及提高医院服务质量及服务水平等都具有重大意义。

本项目分子肿瘤治疗中心的场所建设内容包括：

（1）一层：建设 6 个直线加速器机房；1 个射波刀机房及辅助用房；1 个 TOMO 机房及辅助用房；1 个后装机机房及辅助用房；1 个回旋加速器机房及辅助用房；1 个 MR 机房及辅助用房；其他辅助的诊断、办公、值班、档案等用房；

（2）二层：2 个 PET-CT 机房及辅助用房；1 个 PET-MR 机房及辅助用房；1 个乙级非密封放射性物质工作场所（核素 GCP 治疗区及病房）；其他辅助的诊断、办公、值班等用房；

（3）三层：2 个 SPECT-CT 机房及辅助用房；1 个乙级非密封放射性物质工作场所（甲亢/甲癌/甲测治疗区及病房）；其他辅助的诊断、办公、值班等用房。

本项目分子肿瘤治疗中心的核技术利用内容包括：

（1）放射治疗单元涉及放射诊疗设备包括 6 台医用电子直线加速器、1 台射波刀、1 台 TOMO 刀、1 台后装治疗机（含 ^{192}Ir 放射源装置）、2 台 CT 模拟定位机；所涉及的放射诊疗设备见表 1-1。

表 1-1 放射治疗项目所涉及的放射诊疗设备

序号	名称	型号	数量	生产厂家	射线种类	主要参数	拟放置位置
1	医用电子直线加速器	待定	6 台	待定	X 射线 电子线	X 射线能量：6MV（含 6MVFFF）、10MV（含 10MVFFF）； X 射线等中心最大剂量率：2400cGy/min； SSD=100cm； 最大照射野：40cm×40cm； 电子线能量：6~15MeV（5 档）； 机头漏射线率：≤0.1%； 等距地中心高度：1250mm 拟设 CBCT 功能，拟设最大管电压 150kV	分子肿瘤诊疗中心 1 楼 直线加速器 1-6 室
2	射波刀	待定	1 台	待定	X 射线	X 射线能量：6MV 最大剂量率：1000cGy/min 准直器的直径：5mm-60mm 机头漏射线率：≤0.1% 等中心高度：92.1cm	分子肿瘤诊疗中心 1 楼 射波刀治疗室

						定位束管电压拟设 150kV	
3	TOMO	待定	1 台	待定	X 射线	X 射线能量：6MV 最大剂量率：850 cGy/min 机头漏射线率：≤0.1% SSD=85cm 有用线束自带厚度 125mm 铅屏蔽 CT 扫描能量：3.5MV 等中心距地高度：113cm	分子肿瘤诊疗中心 1 楼 TOMO 治疗室
4	后装治疗机	待定	1 台	待定	γ 射线	放射源： ¹⁹² Ir 半衰期：73.827d 平均能量：0.37MeV 最大源活度：3.7×10 ¹¹ Bq (10Ci)	分子肿瘤诊疗中心 1 楼 后装治疗室
5	CT 模拟定位机	待定	2 台	待定	X 射线	待定，设计最大管电压 140kV 最大管电流：1000mA	分子肿瘤诊疗中心 1 楼 CT 模拟定位 1、2 室

(2) 本项目核医学所涉及的放射诊疗设备包括 1 台回旋加速器、2 台 PET/CT、2 台 SPECT/CT、1 台 PET/MR。所涉及的放射诊疗设备见表 1-2。

本项目核医学涉及的非密封放射性同位素包括：¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹⁵O、⁸⁹Zr、⁶⁴Cu、¹²⁴I、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、¹¹³In、⁶⁷Ga、¹²³I、¹³¹I、¹⁷⁷Lu、⁴⁷Sc、⁶⁷Cu、¹⁶¹Tb、²²³Ra、²²⁵Ac、²¹²Pb、²¹¹At、²²⁷Th、²¹³Bi、⁸⁹Sr、¹⁸⁸Re、³²P。涉及的密封放射性同位素：⁶⁸Ge-⁶⁸Ga 发生器、⁹⁹Mo-^{99m}Tc 发生器、⁶⁸Ge 校准源。

本项目所使用正电子核素 ¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹²⁴I、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr 拟来源于回旋加速器自制生产，回旋加速器拟制备药物情况见表 1-4，本项目回旋加速器未投入使用前拟外购获得；其余核素均拟为外购，订购量按医院每次使用量来订购。⁶⁸Ge 为 PET/CT 设备校准源，厂家自带配备。

表 1-2 本项目所涉及的放射诊疗设备

序号	名称	型号	数量	生产厂家	射线种类	主要参数	拟放置位置
1	回旋加速器 (自屏蔽)	待定	1 台	待定	质子、 中子	最大能量： 10MeV 最大束流： 100μA	分子肿瘤诊疗中心 1 楼回旋加速器机房
2	正电子发射断层及 X 射线计算机体层摄影成像系统 (PET/CT)	待定	2 台	待定	X 射线	待定，设计最大管电压：140kV 最大管电流：1000mA	分子肿瘤诊疗中心 2 楼 PET/CT 检查室 1、2

3	PET/MR	待定	1 台	待定	--	拟设 3.0T 超导磁体	分子肿瘤诊疗中心 2 楼 PET/MR 检查室
4	单光子发射计算机断层成像及计算机扫描系统 (SPECT/CT)	待定	2 台	待定	X 射线	待定, 设计最大管电压 140kV 最大管电流: 1000mA	分子肿瘤诊疗中心 3 楼 SPECT/CT 检查室 1、2

表 1-3 核医学拟使用非密封源同位素应用情况一览表

核素名称	半衰期	物理化学性状	辐射类型	射线能量 (MeV)	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年等效最大操作量 (Bq)	使用目的
^{18}F	109.8 min	液态	γ 射线 β 射线	0.511(γ) 0.63(β^+)	3.7×10^{10} (1Ci)	3.70×10^7	9.25×10^9	PET 影像检查
^{11}C	20.39 min	液态	γ 射线 β 射线	0.511(γ) 0.96(β^+)	7.4×10^9 (200mCi)	7.40×10^6	1.85×10^8	PET 影像检查
^{13}N	10min	液态	γ 射线 β 射线	0.511(γ) 1.19(β^+)	7.4×10^9 (200mCi)	7.40×10^6	1.85×10^8	PET 影像检查
^{15}O	2min	液态	γ 射线 β 射线	0.511(γ) 1.72(β^+)	7.4×10^9 (200mCi)	7.40×10^6	1.85×10^8	PET 影像检查
^{89}Zr	78.43h	液态	γ 射线 β 射线	0.511、 0.909(γ) 0.905(β^+)	7.4×10^9 (200mCi)	7.40×10^7	1.85×10^9	PET 影像检查
^{64}Cu	12.7h	液态	γ 射线 β 射线	0.511、 1.346(γ) 0.65(β^+)	7.4×10^9 (200mCi)	7.40×10^6	1.85×10^8	PET 影像检查
^{124}I	4.18d	液态	γ 射线 β 射线	0.511、 0.603、 1.691(γ) 0.9736(β)	7.4×10^9 (200mCi)	7.40×10^7	1.85×10^9	PET 影像检查
^{68}Ge	271d	液态	γ 射线 β 射线	0.365(γ) 0.602(β)	1.85×10^9 (50mCi)	1.85×10^6	3.70×10^6	PET 影像检查
^{68}Ga	68.3 min	液态	γ 射线 β 射线	0.511(γ) 1.9(β^+)	1.85×10^9 (50mCi)	1.85×10^6	4.63×10^8	PET 影像检查
^{99}Mo	2.75d	液态	β 射线	1.215(β) 0.740(γ)	3.70×10^{10} (1Ci)	3.70×10^7	2.22×10^9	淋洗 $^{99\text{m}}\text{Tc}$
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	液态	γ 射线	0.140	3.70×10^{10} (1Ci)	3.70×10^7	7.40×10^9	SPECT 影像检查
^{113}In	100min	液态	γ 射线	0.392	1.48×10^8 (4mCi)	1.48×10^5	3.7×10^7	SPECT 影像检查
^{67}Ga	3.26d	液态	γ 射线	0.093、 0.184、 300	3.70×10^8 (10mCi)	3.70×10^6	9.25×10^8	SPECT 影像检查
^{123}I	13.2h	液态	γ 射线	0.027、 0.159、 0.529	1.48×10^8 (4mCi)	1.48×10^5	3.7×10^7	SPECT 影像检查

¹³¹ I	8.02d	液态	γ射线 β射线	0.365(γ) 0.602(β)	3.70×10 ¹⁰ (1Ci)	3.70×10 ⁹	5.0×10 ¹¹	治疗/检查
¹⁷⁷ Lu	6.73d	液态	γ射线 β射线	0.208(γ) 0.206(β)	7.4×10 ⁹ (200mCi)	7.40×10 ⁸	7.40×10 ¹⁰	肿瘤治疗
⁴⁷ Sc	3.42d	液态	γ射线 β射线	0.159(γ) 0.441(β)	3.7×10 ⁹ (100mCi)	3.70×10 ⁸	3.70×10 ¹⁰	肿瘤治疗
⁶⁷ Cu	61.88h	液态	γ射线 β射线	0.185(γ) 0.575(β)	3.7×10 ⁹ (100mCi)	3.70×10 ⁸	3.70×10 ¹⁰	肿瘤治疗
¹⁶¹ Tb	6.89d	液态	γ射线 β射线	0.074(γ) 0.593(β)	5.55×10 ⁹ (150mCi)	5.55×10 ⁸	5.55×10 ¹⁰	肿瘤治疗
²²³ Ra	11.44d	液态	α射线 γ射线	5.8713(α) 0.2695(γ)	3.7×10 ⁶ (0.1mCi)	3.7×10 ⁷	9.25×10 ⁹	肿瘤治疗
²²⁵ Ac	10d	液态	α射线 γ射线	5.829(α) 0.012(γ)	3.7×10 ⁶ (0.1mCi)	3.7×10 ⁷	9.25×10 ⁹	肿瘤治疗
²¹² Pb	10.6h	液态	α射线 β射线 γ射线	8.78(α) 0.57(β) 0.239(γ)	3.7×10 ⁶ (0.1mCi)	3.7×10 ⁵	9.25×10 ⁷	肿瘤治疗
²¹¹ At	7.2h	液态	α射线 γ射线	5.867(α) 0.079(γ)	3.7×10 ⁶ (0.1mCi)	3.7×10 ⁶	9.25×10 ⁸	肿瘤治疗
²²⁷ Th	18.7d	液态	α射线 γ射线	6.038(α) 0.012(γ)	3.7×10 ⁶ (0.1mCi)	3.7×10 ⁷	9.25×10 ⁹	肿瘤治疗
²¹³ Bi	45.7min	液态	α射线 β射线 γ射线	5.870(α) 1.42(β) 0.440(γ)	3.7×10 ⁶ (0.1mCi)	3.7×10 ⁶	9.25×10 ⁸	肿瘤治疗
⁸⁹ Sr	50.53d	液态	β射线	0.585	1.48×10 ⁸ (4mCi)	1.48×10 ⁷	3.70×10 ⁹	肿瘤治疗
¹⁸⁸ Re	16.98h	液态	γ射线 β射线	2.12(β) 0.155(γ)	1.30×10 ⁹ (35mCi)	1.30×10 ⁸	3.25×10 ¹⁰	肿瘤治疗
³² P	14.26d	液态	β射线	1.71	1.85×10 ⁸ (5mCi)	7.40×10 ⁷	3.70×10 ⁹	肿瘤治疗
注： ⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga 发生器一年用 2 个， ⁹⁹ Mo- ^{99m} Tc 发生器一年用 60 个。								

表 1-4 回旋加速器拟制备药物情况

核素名称	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年操作天数	年最大操作量 (Bq)	活动种类
¹⁸ F	1.11×10 ¹¹ (3Ci)	1.11×10 ⁹	250	5.28×10 ¹¹	生产使用
¹¹ C	2.22×10 ⁹ (600mCi)	2.22×10 ⁷		5.55×10 ⁹	生产使用
¹³ N	2.22×10 ⁹ (600mCi)	2.22×10 ⁷		5.55×10 ⁹	生产使用
¹⁵ O	2.22×10 ⁹ (600mCi)	2.22×10 ⁷		5.55×10 ⁹	生产使用
¹²⁴ I	2.22×10 ⁹ (600mCi)	2.22×10 ⁸		5.55×10 ¹⁰	生产使用
⁸⁹ Zr	2.22×10 ⁹ (600mCi)	2.22×10 ⁸		5.55×10 ¹⁰	生产使用

^{64}Cu	2.22×10^9 (600mCi)	2.22×10^7		5.55×10^9	生产使用
注：回旋加速器生产药量取 PET 检查用药量的 3 倍。					

表 1-5 拟使用密封源应用情况一览表

核素名称	半衰期	物理化学性状	辐射类型	数量	源活度	使用目的	存放地点
^{68}Ge	288d	固体	γ 射线 β 射线	1	$5.5 \times 10^7 \text{Bq}$	PET/CT 校准	2 楼储源室
^{68}Ge	288d	固体	γ 射线 β 射线	1	$3.5 \times 10^6 \text{Bq}$	PET/CT 校准	2 楼储源室

表 1-6 本项目核医学设计工作负荷

核素	单个病人最大用量 (Bq/人·次)	日最大病人量 (人)	年最大病人量 (人)
^{18}F	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	60 人 (3 台 PET 设备检查病人量)	15000
^{11}C	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)		
^{13}N	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)		
^{15}O	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)		
^{68}Ga	$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)		
^{89}Zr	$1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ (5mCi)		
^{64}Cu	$1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ (5mCi)		
^{124}I	$1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ (5mCi)		
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)	60 人 (2 台 SPECT 设备检查病人量)	15000
^{113}In	$1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ (5mCi)		
^{67}Ga	$1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ (5mCi)		
^{123}I	7.4×10^7 (2mCi)		
^{131}I	(甲亢) $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	15 人	1500 (一周两批次)
	(甲癌) $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ (200mCi)	6 人 (住院)	600 (一周两批次)
^{89}Sr	$1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ (4mCi)	1 人	250
^{32}P	$1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ (5mCi)	1 人	250
^{188}Re	35mCi	1 人	250
^{177}Lu	$7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ (200mCi)	1 人 (住院)	100 (一周两次)
^{47}Sc	3.7×10^9 (100mCi)	1 人 (住院)	100 (一周两次)
^{67}Cu	3.7×10^9 (100mCi)	1 人 (住院)	100 (一周两次)
^{161}Tb	5.55×10^9 (150mCi)	1 人 (住院)	100 (一周两次)
^{223}Ra	$3.7 \times 10^6 \text{Bq}$ (0.1mCi)	1 人	250
^{225}Ac	$3.7 \times 10^6 \text{Bq}$ (0.1mCi)	1 人	250
^{212}Pb	$3.7 \times 10^6 \text{Bq}$ (0.1mCi)	1 人	250
^{211}At	$3.7 \times 10^6 \text{Bq}$ (0.1mCi)	1 人	250
^{227}Th	$3.7 \times 10^6 \text{Bq}$ (0.1mCi)	1 人	250
^{213}Bi	$3.7 \times 10^6 \text{Bq}$ (0.1mCi)	1 人	250

1.1.3 评价等级

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》以及《建设项目环境保护管理条例》、《建设项目环境影响评价分类管理名录

（2021 版）》、《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国防科工局 2017 年第 65 号公告）、《关于发布放射源分类办法的公告》、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）等法律法规的规定，本项目属于《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》中“五十五、核与辐射”第 172 条“核技术利用建设项目”中“**制备 PET 用放射性药物的；使用Ⅲ类放射源的；使用Ⅱ类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所**”，本项目应对中山大学附属第一医院贵州医院二期分子肿瘤诊疗中心核技术利用项目进行辐射环境影响评价并编制辐射环境影响报告表。并根据《贵州省省级生态环境部门审批环境影响评价文件的建设项目目录（2024 年本）》（黔环综合〔2024〕56 号），报贵州省生态环境厅审查批准。项目取得环评审批意见后方可开工建设，并依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中的相关规定，医院在项目投入运行前应向贵州省生态环境厅重新申领《辐射安全许可证》。

为了调查医院新建分子肿瘤治疗中心核技术利用建设项目对辐射工作人员、公众和环境造成的影响，从辐射防护的角度论证该项目的可行性，为新建分子肿瘤治疗中心应用单位提供参考建议，建设单位于 2025 年 2 月委托我公司进行中山大学附属第一医院贵州医院二期分子肿瘤诊疗中心核技术利用项目环境影响报告表的编制工作，委托书见附件 1。环评单位接受委托后，立即组织专业技术人员开展资料收集、现场踏勘、资料整理分析、辐射环境现状监测及预测估算等工作，并与医院进行多方交流沟通核实，在进行工程分析的基础上，结合工程的具体情况以及辐射危害特征，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）的要求，编制了本建设项目环境影响报告表。

1.1.4 评价目的

（1）对辐射活动场所周边进行辐射环境现状水平监测，掌握辐射活动场所的辐射环境现状水平；

（2）分析项目运行过程中产生的辐射影响，预测辐射工作人员和公众所受的年有效剂量；

（3）分析本项目是否满足国家和地方生态环境主管部门对核技术利用建设项目环境管理规定的要求，为本项目的辐射环境管理提供科学依据。

1.1.5 项目工程建设内容

项目名称：中山大学附属第一医院贵州医院二期分子肿瘤诊疗中心核技术利用项目

项目性质：新建

建设单位：贵州医科大学附属医院

建设内容：拟在中山大学附属第一医院贵州医院住院楼东北侧空地新建分子肿瘤治疗中心。

项目用房包括：（1）**一层**：建设 6 个直线加速器机房；1 个射波刀机房及辅助用房；1 个 TOMO 机房及辅助用房；1 个后装机机房及辅助用房；1 个回旋加速器机房及辅助用房；1 个 MR 机房及辅助用房；其他辅助的诊断、办公、值班、档案等用房；

（2）**二层**：2 个 PET-CT 机房及辅助用房；1 个 PET-MR 机房及辅助用房；1 个乙级非密封放射性物质工作场所（核素 GCP 治疗区及病房）；其他辅助的诊断、办公、值班等用房；（3）**三层**：2 个 SPECT-CT 机房及辅助用房；1 个乙级非密封放射性物质工作场所（甲亢/甲癌/甲测治疗区及病房）；其他辅助的诊断、办公、值班等用房。占地面积约 19711.76m²。

建设地点：贵州省贵阳市花溪区清安大道与民安路交叉口西北侧(中山大学附属第一医院贵州医院地块内)，住院楼东北侧预留空地（东经 106.49472893°，北纬 26.47856678°）。

（1）本项目分子肿瘤治疗中心的核技术利用内容包括：

1）放射治疗单元涉及放射诊疗设备包括 6 台医用电子直线加速器、1 台射波刀、1 台 TOMO 刀、1 台后装治疗机（含 ¹⁹²Ir 放射源装置）、2 台 CT 模拟定位机

2）本项目核医学所涉及的放射诊疗设备包括 1 台回旋加速器、2 台 PET/CT、2 台 SPECT/CT、1 台 PET/MR。所涉及的放射诊疗设备见表 3-2。

本项目核医学涉及的非密封放射性同位素包括：¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹⁵O、⁸⁹Zr、⁶⁴Cu、¹²⁴I、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、¹¹³In、⁶⁷Ga、¹²³I、¹³¹I、¹⁷⁷Lu、⁴⁷Sc、⁶⁷Cu、¹⁶¹Tb、²²³Ra、²²⁵Ac、²¹²Pb、²¹¹At、²²⁷Th、²¹³Bi、⁸⁹Sr、¹⁸⁸Re、³²P。涉及的密封放射性同位素：⁶⁸Ge-⁶⁸Ga 发生器、⁹⁹Mo-^{99m}Tc 发生器、⁶⁸Ge 校准源。本项目所使用正电子核素 ¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹²⁴I、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr 拟来源于回旋加速器自制生产，回旋加速器拟制备药物情况见表 3-4，本项目回旋加速器未投入使用前拟外购获得；其余核素均拟为外购，订购量按医院每次使用量来订购。⁶⁸Ge 为 PET/CT 设备校准源，厂家自带配备。

表 1-7 本项目的建设内容及规模

名称	建设内容及规模		可能产生的环境问题		备注
			施工期	营运期	
主体工程	放射治疗单元涉及放射诊疗设备包括 6 台医用电子直线加速器、1 台射波刀、1 台 TOMO 刀、1 台后装治疗机（含 192Ir 放射源装置）、2 台 CT 模拟定位机；本项目核医学所涉及的放射诊疗设备包括 1 台回旋加速器、2 台 PET/CT、2 台 SPECT/CT、1 台 PET/MR。所涉及的放射诊疗设备见表 3-2。 本项目核医学涉及的非密封放射性同位素包括： ¹⁸ F、 ¹¹ C、 ¹³ N、 ¹⁵ O、 ⁸⁹ Zr、 ⁶⁴ Cu、 ¹²⁴ I、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc、 ¹¹³ In、 ⁶⁷ Ga、 ¹²³ I、 ¹³¹ I、 ¹⁷⁷ Lu、 ⁴⁷ Sc、 ⁶⁷ Cu、 ¹⁶¹ Tb、 ²²³ Ra、 ²²⁵ Ac、 ²¹² Pb、 ²¹¹ At、 ²²⁷ Th、 ²¹³ Bi、 ⁸⁹ Sr、 ¹⁸⁸ Re、 ³² P。涉及的密封放射性同位素： ⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga 发生器、 ⁹⁹ Mo- ^{99m} Tc 发生器、 ⁶⁸ Ge 校准源。本项目所使用正电子核素 ¹⁸ F、 ¹¹ C、 ¹³ N、 ¹²⁴ I、 ⁶⁴ Cu、 ⁸⁹ Zr 拟来源于回旋加速器自制生产，回旋加速器拟制备药物情况见表 3-4，本项目回旋加速器未投入使用前拟外购获得；其余核素均拟为外购，订购量按医院每次使用量来订购。 ⁶⁸ Ge 为 PET/CT 设备校准源，厂家自带配备。		施工废水、扬尘、施工机械噪声、建筑垃圾等；安装调试过程中的γ射线、β射线、臭氧、氮氧化物。	γ射线、β射线、X 射线、β表面污染、臭氧、氮氧化物、放射性固体废物、放射性废水、放射性废气。	新建
公用工程	依托主体工程建设的配电、供电、通讯系统及医院拟建的污水处理系统等。		/	/	依托
办公生活设施	医生生活办公区、卫生间、更衣室等			生活废水、生活垃圾	新建
环保工程	固体废物	分子肿瘤治疗中心场所设置一间固废间	施工机械噪声、固体废弃物、扬尘等	放射性固体废物	新建
	噪声	施工设备噪声	施工机械噪声	/	新建
		运行期设备噪声	/	选取低噪设备	新增
	废水	施工废水和生活污水	施工废水	/	新建
		放射性废水衰变池：在分子肿瘤治疗中心西侧修建 1 组并联槽式长半衰期池，长半衰期衰变池主要用于收集核医学科核素治疗区域产生的放射性废液，拟设计为 4 级衰变池进行放射性衰变贮存处理，长半衰期衰变池的可蓄水的容积为 1200m ³ 用于贮存衰变核医学场所产生的放射性废水。	施工机械噪声、固体废弃物、扬尘等	放射性废水	新建
	废气	粉尘	施工扬尘等	/	/
放射性废气		/	放射性废气	新建	

(2) 本项目分子肿瘤治疗中心辐射工作人员及工作负荷情况：

因本项目分子肿瘤治疗中心为医院新增项目，处于项目筹备阶段，医院为分子肿瘤治疗中心拟配备医护作人员 58 人；配备的工作人员在上岗前必须参加过辐射安全与防护知识培训，并通过考核，持证上岗（部分上岗证见附件 9）；委托有资质的单位对相关放射工作人员开展个人剂量监测工作（部分个人剂量计监测报告见附件 12），工作人员工作期间按 GBZ128-2019 的要求佩戴个人剂量计，每 3 个月为一个周期，一年监测 4 个周期；按照国家相关法律规定，放射工作人员必须进行岗前、岗中、离岗、紧急职业健康检查。建立辐射工作人员辐射安全防护培训、个人剂量监测及职业健康监测档案。

（3）工作制度

本项目分子肿瘤治疗中心实行 8 小时工作制，每周工作 5 天，年工作 250 天。

1.2 项目地理位置及选址合理性分析

1.2.1 项目地理位置

本项目分子肿瘤治疗中心位于贵州医科大学附属医院住院楼东北侧。医院地理位置见图 1-1。



图 1-1 医院地理位置图



图 1-2 项目分子肿瘤治疗中心分布卫星图

1.2.2 医院周边环境关系

医院东侧为城市道路及晚安花语墅小区，北侧为城市道路及融创云湖十里小区，西侧为星月大道及在建小区，南侧为清安大道及荒地。

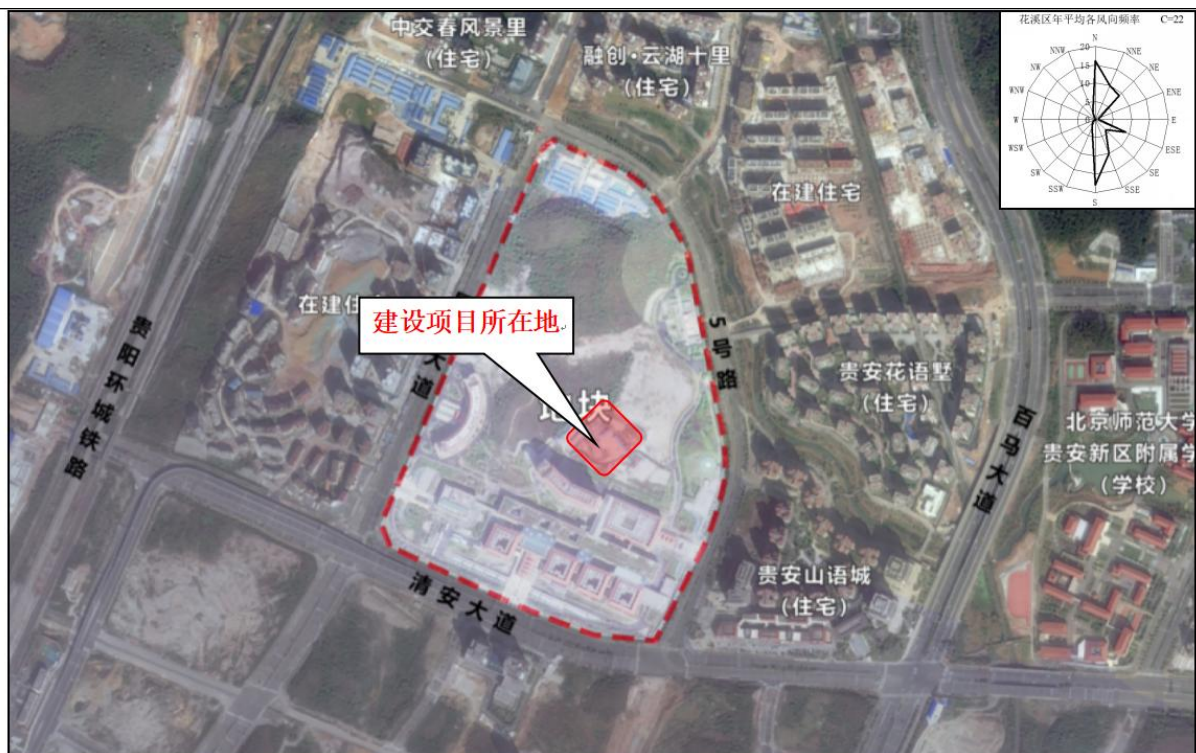


图 1-3 医院外环境图

1.2.3 新建分子肿瘤治疗中心周边环境关系

医院总平面布置图及分子肿瘤治疗中心相对位置详见图 1-4。



图 1-4 医院总平面布置图及分子肿瘤治疗中心相对位置

项目分子肿瘤治疗中心外 50m 范围内的环境情况见图 1-5。



图 1-5 项目分子肿瘤治疗中心外 50m 范围内的环境情况

1.2.4 选址合理性和布局合理性分析

(1) 选址及合理性分析

经调查，本次评价范围 50m 以内无自然保护区、文物保护区、风景名胜区、森林公园、饮用水水源保护区等环境敏感点和生态敏感点，本项目分子肿瘤治疗中心所在

四周 50 米评价范围内无环境敏感目标；项目位于医院内部，周围没有项目建设的制约因素，本项目通过采取相应有效治理和屏蔽措施后对周围敏感点无影响，对周围环境影响较小，因此选址是合理的。

分子肿瘤治疗中心场所不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，且与非放射性工作场所有明确的分界隔离，排风口位于感染楼楼顶，且远离了周边高层建筑，项目位置没有项目建设的制约因素，且本项目的核医学辐射工作场所按照相关规范要求建有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对周围环境影响较小，拟建的分子肿瘤治疗中心所在区域位置相对独立，而且设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。因此本项目选址满足 HJ1188-2021 的要求。经调查，项目评价范围（边界 50m 内）无自然保护区、文物保护区、风景名胜区、森林公园、饮用水水源保护区、集中居民区等环境敏感点和生态敏感点，项目位于医院内部，周围没有项目建设的制约因素，且本项目的各个辐射工作场所均按照相关规范要求建有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对周围环境影响较小，因此本项目选址是合理的。

表1-5 本项目分子肿瘤治疗中心相邻周边情况

场所名称	周边环境（50m 范围）			
	东侧	南侧	西侧	北侧
分子肿瘤治疗中心	医院预留空地	医院住院楼	山坡	医院预留空地

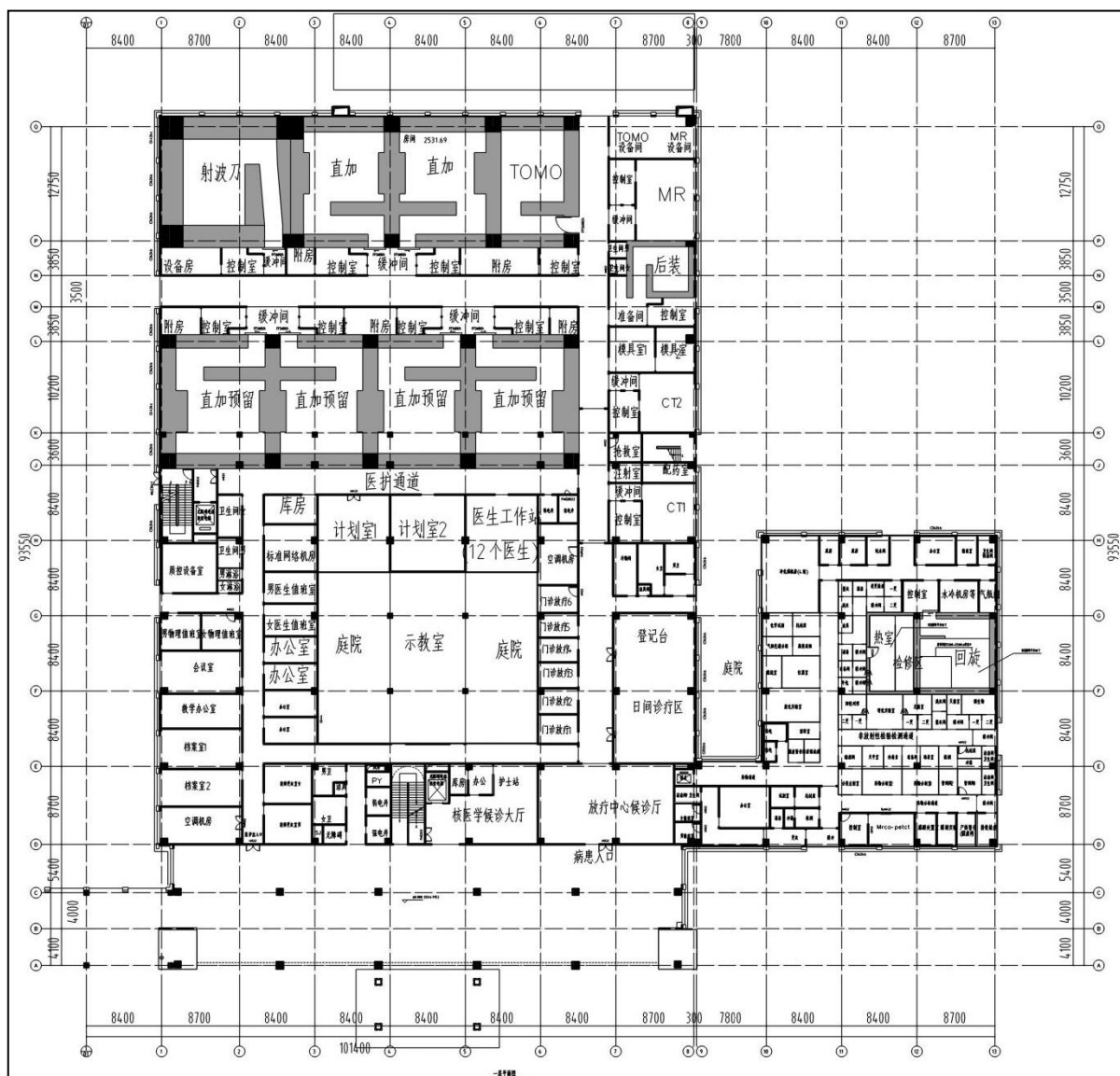
（2）平面布局合理性分析

经调查，本项目辐射工作场所所在区域位置相对独立，工作区域专人管理，除需治疗的患者和医院医生、护士外，医院无关人员不得入内，并且在进入辐射区域的时候需经过严格身份确认，这样不但减少了无关公众受照射的概率，同时，也降低了其他工作人员受照射的概率。同时，辐射工作场所均采取了有效的屏蔽措施，防护设计参数均达到了相关技术规范对辐射工作场所的辐射防护要求，并且辐射工作场所均按规范要求设置电离辐射警告标志，合理划分控制区，监督区，且无关人员不得进入。由于辐射工作场所周围有常驻人员，考虑到可能会造成的影响，本报告通过对辐射工作场所防护进行理论计算，结果显示在进行治疗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，病人通道和医务人员通道独立、单向，不会产生交叉污染，对外环境造成辐射影响很小，因此，项目平面布局是合理的。

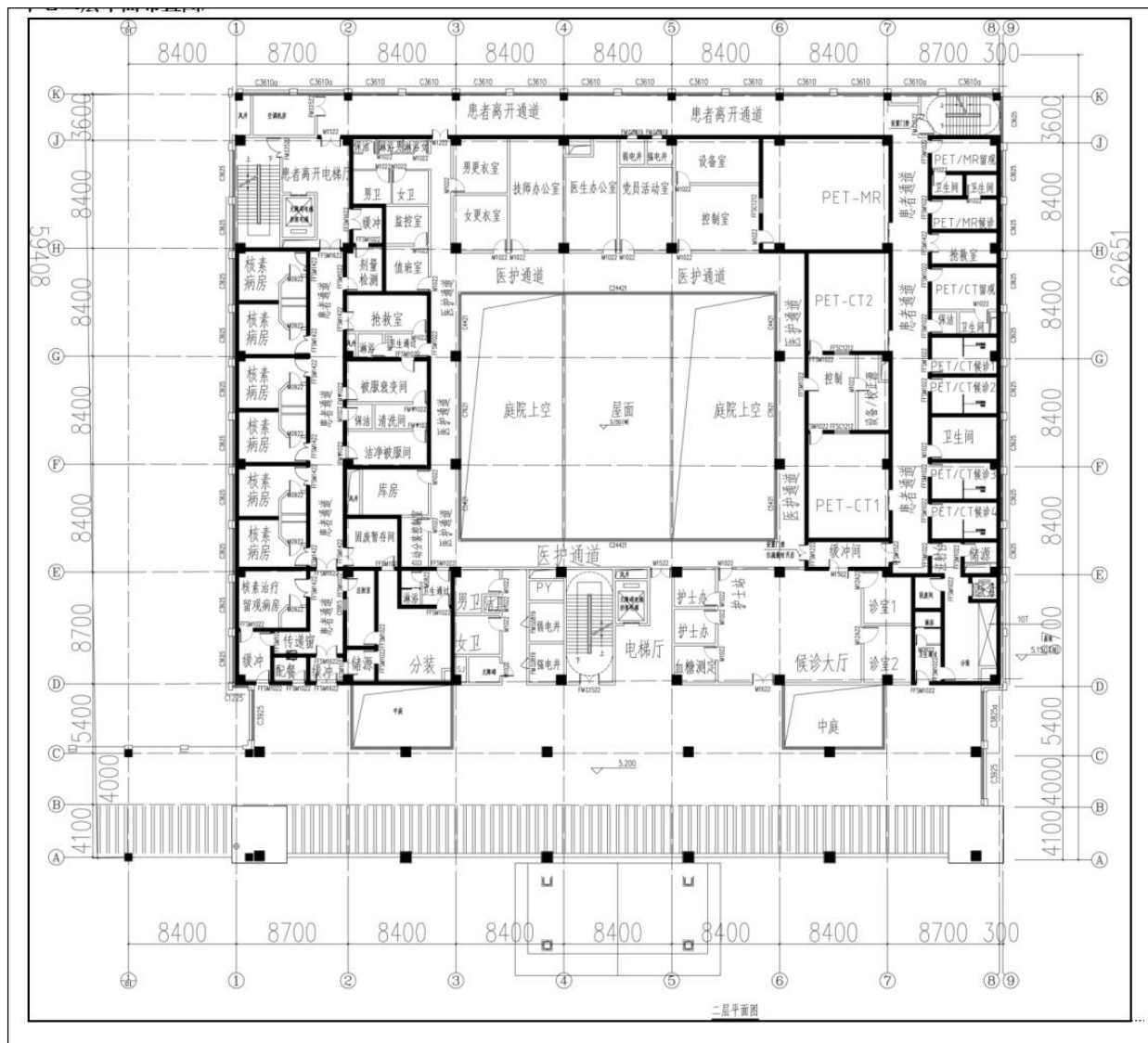
(2) 核技术利用项目所在建筑与院内环境情况

分子肿瘤治疗中心四周相邻情况：东侧 0-50 米范围内为医院预留空地；南侧 20-50 米范围内为医院住院楼；西侧 0-50 米范围内为医院内山坡，20-50 米院内道路与空地；北侧 0-50 米范围内为医院预留空地。

本项目分子肿瘤治疗中心平面布置图见图 1-6。



一层平面布置图



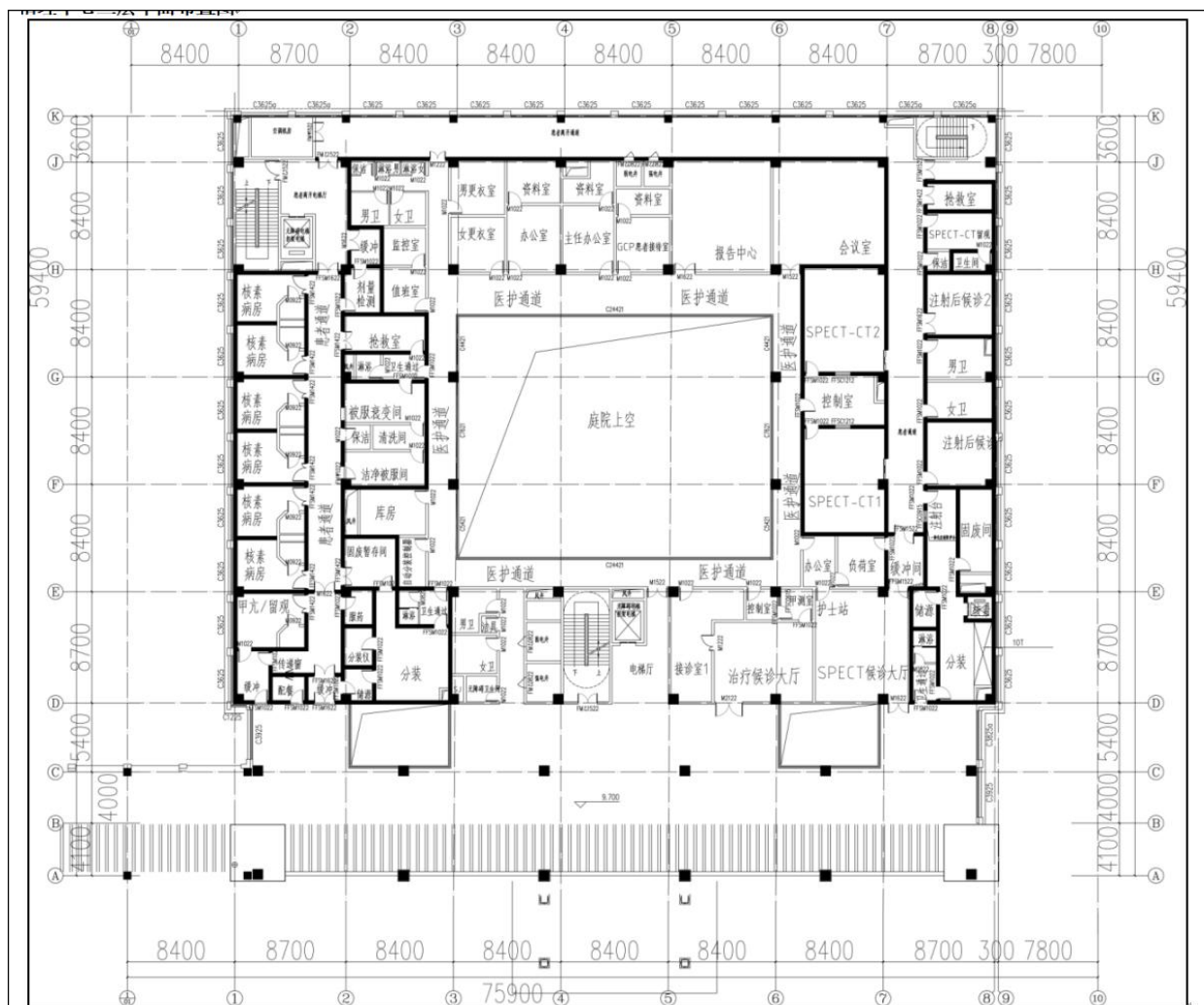


图 1-6 本项目分子肿瘤治疗中心平面布置图

1.3 产业符合性分析

贵州医科大学附属医院本次新建的核医学科用于分子肿瘤治疗中心治疗条件，提高医院服务质量及服务水平，满足广大患者就医的需要，属于《产业结构调整指导目录（2024 年修订本）》“第一类 鼓励类”中第六项“核能”中第 4 条“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”，属于国家鼓励类产业。

1.4 医院核技术应用项目概况

1.4.1 原有核技术项目回顾

贵州医科大学附属医院申领了辐射安全许可证，证书编号为黔环辐证[00039]，使用种类和范围为：使用 I 类、V 类放射源;使用 II 类、III 类射线装，使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。发证机关为贵州省生态环境厅，有效期至 2029 年 2 月 28 日，辐射安全许可详见附件 5。贵州医科大学附属医院在用的核技术项

目见表 1-6。

表1-6 贵州医科大学附属医院在用的核技术项目情况

(一)放射源						
序号	核素	类别	总活度(贝可)/活度(贝可)×枚数			活动种类
1	Sr-90(Y-90)	V类	7.4E+8*2			使用
2	Na-22	V类	3.7E+6			使用
3	Co-60	I类	2.33E+14			使用
非密封放射性物质						
序号	工 作 场 所 名 称	场所等级	核素	日等效最大操作量(贝可)	年最大用量(贝可)	活动种类
1	PET-CT中心	乙级	Zr-89	7.4E+7	1.48E+11	使用
2	核医学科一楼低活性室	乙级	Sr-89	4.44E+7	1.48E+10	使用
3	核医学科一楼低活性室	乙级	P-32	7.4E+7	7.4E+9	使用
4	回旋加速器中心	乙级	N-13	7.4E+7	7.4E+10	生产
5	PET-CT中心	乙级	N-13	3.7E+7	3.7E+10	使用
6	核医学科一楼低活性室	乙级	Mo-99(Te-99m)	5.55E+7	1.11E+13	使用
7	核医学科一楼低活性室	乙级	In-111	3.7E+7	3.7E+9	使用
8	核医学科二楼高活性室	乙级	I-131	3.7E+9	5.55E+12	使用
9	核医学科一楼低活性室	乙级	H-3	1.85E+6	5.55E+9	使用
10	回旋加速器中心	乙级	F-18	6.179E+8	1.554E+13	生产
11	PET-CT中心	乙级	F-18	3.7E+7	9.25E+12	使用
12	PET-CT中心	乙级	Cu-64	7.4E+7	1.48E+12	使用
13	回旋加速器中心	乙级	C-11	3.7E+8	7.4E+12	生产
14	PET-CT中心	乙级	C-11	7.4E+7	1.48E+12	使用
(三)射线装置						
序号	装置名称			类别	装置数量	活动种类
1	制备正电子发射计算机断层显像装置(PET)放射性药物的加速器			Ⅱ 类	1	使用
2	移动式数字摄影X线系统			Ⅲ类	2	使用
3	移动式C形臂X射线机			Ⅲ类	2	使用
4	移动X射线机			Ⅲ类	6	使用
5	医用诊断X射线装置			Ⅲ类	2	使用
6	医用诊断X射线装置			Ⅲ类	2	使用
7	医用诊断X射线装置			Ⅲ类	1	使用
8	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置			Ⅲ类	1	使用
9	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置			Ⅲ类	1	使用
10	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置			Ⅲ类	6	使用
11	数字胃肠机			Ⅲ类	2	使用
12	数字胃肠机			Ⅲ类	1	使用
13	数字乳腺钼靶机			Ⅲ类	1	使用
14	数字乳腺钼靶机			Ⅲ类	2	使用
15	生物学X射线辐照仪			Ⅲ类	1	使用

16	肯密度仪	Ⅲ类	2	使用
17	骨密度仪	Ⅲ类	1	使用
18	DSA数字血管减影	Ⅱ类	2	使用
19	DR	Ⅲ类	2	使用
20	DR	Ⅲ类	1	使用
21	DR	Ⅲ类	1	使用
22	C臂X射线机	Ⅲ类	2	使用
23	CT	Ⅲ类	1	使用
24	CT	Ⅲ类	1	使用
25	CT	Ⅲ类	3	使用
26	CT	Ⅲ类	3	使用
27	CT	Ⅲ类	1	使用
28	DR	Ⅲ类	2	使用

1.4.2 医院环评手续完成情况

贵州医科大学附属医院遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号令）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正）、《建设项目分类管理名录》（2021 年版）、《关于发布<射线装置分类>的公告》（公告 2017 年第 66 号）等国家辐射环境管理相关法律法规的规定；均已履行完成环保手续，并办理了辐射安全许可证（黔环辐证[00039]）。

1.4.3 医院辐射安全管理现状

医院遵守《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、落实以及档案管理等方面运行良好，运行正常，医院现有设备辐射工作场所屏蔽防护措施有效，能满足屏蔽防护要求；根据人员年度剂量报告，辐射工作人员剂量不超标，表明医院辐射工作辐射防护措施有效，无需整改。

（1）贵州医科大学附属医院履行了《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》等相关辐射防护法律、法规，并接受了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、落实以及档案管理等方面运行良好。

（2）医院已制定了《贵州医科大学附属医院辐射事故应急预案》、《贵州医科大学附属医院放射工作人员培训计划》、《贵州医科大学附属医院放射工作人员健康管理制度》、《贵州医科大学附属医院放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理与报

警制度》、《贵州医科大学附属医院辐射安全管理规定》、《贵州医科大学附属医院辐射工作场所辐射水平监测方案》、《贵州医科大学附属医院个人剂量异常值研判机制》、《核素治疗及防护管理要求》、《医用放射性废物卫生防护管理制度》等制度和规程，并按照规章制度执行，无放射事故发生。

（3）医院从事辐射工作的工作人员定期参加了生态环境部门组织的上岗培训，且均持证上岗，辐射工作人员接受辐射防护安全知识和法律法规教育，提高守法和自我防护意识。对于可能新增的辐射工作人员，环评要求：根据生态环境部《关于做好2020年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有关事项的通知》（环办辐射函〔2019〕853号）和《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（2019年，第57号）精神，医院应尽快组织新增工作人员和原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员到生态环境部培训平台报名并参加考核。

（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。根据2023~2024年的个人剂量监测报告，医院辐射工作人员因辐射工作岗位所致外照射个人累积剂量均小于5mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于年平均剂量约束值5mSv/a。对于可能新增的辐射工作人员，环评要求对新上岗工作人员应做好上岗前的健康体检，体检合格才能上岗，且至少每两年为辐射工作人员进行一次职业健康检查，建立职业健康监护档案。

（5）医院现有的11个辐射工作场所设置有电离辐射警示牌和工作指示灯。

（6）医院已提交了单位辐射安全与防护年度评估报告，医院现有辐射相关设备使用情况均满足管理要求医院已办理环评并运行的射线装置已依照法律法规要求完善了相应手续。

（7）根据调查，医院自使用射线设备至今未发生过辐射事故。

（8）本项目的辐射工作人员将依托现有辐射工作人员，并在之后的工作中根据需要逐步新增工作人员。

由现场调查情况可知，医院已采取相应的辐射防护措施，医院辐射防护措施以及管理制度满足目前辐射防护要求。

1.4.4 相关操作人员培训和职业健康检查纪录

根据医院提供资料，原有从事辐射工作人员均已具备相应的从业职业，并且均通

过国家组织的辐射安全与防护培训开始并获得上岗证书，部分辐射工作人员证书见附件 9，辐射工作人员的个人剂量报告见附件 10，辐射工作人员均未出现剂量超标的情况。说明医院现有的辐射设备的运行和使用良好。

1.5 实践的正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的社会危害时，该实践才是正当的。本项目的建设有利于提高周边的医疗水平，更好的服务周边群众，具有明显的经济效益和社会效益，项目建成运行后，将为贵阳市贵安新区及周边地区提供一个更加优越的就医环境，同时将提高医院的整体医疗服务水平，吸引更多的就诊人员，医院在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。各屏蔽和防护措施符合要求，对环境的影响也在可接受范围内。符合《电离辐射防护与辐射源基本标准》（GB18871-2002）中实践的内容：“源的生产和辐射或放射性物质在医学、工业、农业或教学与科研中的应用，包括与涉及或可能涉及辐射或放射性物质照射的应用有关的各种活动”，并且“在考虑了社会、经济和其他因素之后，其对照射个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害”。符合“实践正当性”的要求。

1.6 项目人员安排情况

本项目拟配备医护工作人员共 58 人。本项目拟配备医护工作人员须按照根据生态环境部《关于做好 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有关事项的通知》（环办辐射函〔2019〕853 号）和《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（2019 年，第 57 号）精神，组织培训机考核，通过核技术利用辐射安全与防护考核并取得了成绩单，确保做到持证上岗。

后若有新进的从事辐射工作的辐射工作人员须按照根据生态环境部《关于做好 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有关事项的通知》（环办辐射函〔2019〕853 号）和《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（2019 年，第 57 号）精神，组织培训机考核，通过核技术利用辐射安全与防护考核并取得了成绩单，确保做到持证上岗，在上岗前必须取得辐射安全与防护知识培训合格证书；此外，已有培训证书的，在证书过期前应及时参加复训并通过考核。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液态，低毒	生产	1.11×10 ¹¹	1.11×10 ⁹	1.64×10 ⁹	生产 PET 显像用药物	简单操作	一楼回旋加速器制药区	热室密闭手套箱内
2	¹¹ C	液态，低毒	生产	2.22×10 ⁹	2.22×10 ⁷		生产 PET 显像用药物	简单操作		热室密闭手套箱内
3	¹³ N	液态，低毒	生产	2.22×10 ⁹	2.22×10 ⁷		生产 PET 显像用药物	简单操作		热室密闭手套箱内
4	¹⁵ O	液态，低毒	生产	2.22×10 ⁹	2.22×10 ⁷		生产 PET 显像用药物	简单操作		热室密闭手套箱内
5	¹²⁴ I	液态，低毒	生产	2.22×10 ⁹	2.22×10 ⁸		生产 PET 显像用药物	简单操作		热室密闭手套箱内
6	⁸⁹ Zr	液态，低毒	生产	2.22×10 ⁹	2.22×10 ⁸		生产 PET 显像用药物	简单操作		热室密闭手套箱内
7	⁶⁴ Cu	液态，低毒	生产	2.22×10 ⁹	2.22×10 ⁷		生产 PET 显像用药物	简单操作		热室密闭手套箱内
非密封放射性核素日等效最大操作量合计：1.64E+09Bq，属乙级非密封放射性物质工作场所。										
8	¹⁸ F	液态，低毒	使用	3.70×10 ¹⁰	3.70×10 ⁷	2.18×10 ⁸	生产 PET 显像用药物	简单操作	二楼 PET 检查区	暂存在PET 显像注射室通风橱铅罐内
9	¹¹ C	液态，低毒	使用	7.40×10 ⁹	7.40×10 ⁶		生产 PET 显像用	简单操作		暂存在PET 显像注射室通风橱内

		低毒					药物			罐内
10	¹³ N	液态，低毒	使用	7.40×10 ⁹	7.40×10 ⁶		生产 PET 显像用药物	简单操作		暂存在 PET 显像注射室通风橱铅罐内
11	¹⁵ O	液态，低毒	使用	7.40×10 ⁹	7.40×10 ⁶		生产 PET 显像用药物	简单操作		暂存在 PET 显像注射室通风橱铅罐内
12	⁸⁹ Zr	液态，低毒	使用	7.40×10 ⁹	7.40×10 ⁷		生产 PET 显像用药物	简单操作		暂存在 PET 显像注射室通风橱铅罐内
13	⁶⁴ Cu	液态，低毒	使用	7.40×10 ⁹	7.40×10 ⁶		生产 PET 显像用药物	简单操作		暂存在 PET 显像注射室通风橱铅罐内
14	¹²⁴ I	液态，中毒	使用	7.40×10 ⁹	7.40×10 ⁷		生产 PET 显像用药物	简单操作		暂存在 PET 显像注射室通风橱铅罐内
15	⁶⁸ Ge	液态，中毒	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁶		生产 PET 显像用药物	简单操作		暂存在 PET 显像注射室通风橱铅罐内
16	⁶⁸ Ga	液态，中毒	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁶		生产 PET 显像用药物	简单操作		暂存在 PET 显像注射室通风橱铅罐内
非密封放射性核素日等效最大操作量合计：2.18E+08Bq，属乙级非密封放射性物质工作场所。										
17	⁹⁹ Mo	液态，中毒	使用	3.70×10 ¹⁰	3.70×10 ⁷		SPECT 显像	简单操作		暂存在 SPECT 给药/注射室通风橱铅罐内
18	^{99m} Tc	液态，中毒	使用	3.70×10 ¹⁰	3.70×10 ⁷	7.80×10 ⁷	SPECT 显像	简单操作	三楼 SPECT/CT 检查区	暂存在 SPECT 给药/注射室通风橱铅罐内
19	¹¹³ In	液态，中毒	使用	1.48×10 ⁸	1.48×10 ⁵		SPECT 显像			暂存在 SPECT 给药/注射室通风橱铅罐内

20	⁶⁷ Ga	液 态， 中毒	使用	3.70×10 ⁸	3.70×10 ⁶		SPECT 显像	简单操作		暂存在 SPECT 给 药/注 射室通风橱 铅罐内
21	¹²³ I	液 态， 中毒	使用	1.48×10 ⁸	1.48×10 ⁵		SPECT 显像	简单操作		暂存在 SPECT 给 药/注 射室通风橱 铅罐内
非密封放射性核素日等效最大操作量合计：7.80E+07Bq，属乙级非密封放射性物质工作场所。										
22	¹³¹ I	液 态， 中毒	使用	3.70×10 ¹⁰	3.70×10 ⁹	3.70×10 ⁹	甲癌治疗	简单操作	三楼 ¹³¹ I 治 疗区	暂存在铅罐内
非密封放射性核素日等效最大操作量合计：3.70E+09Bq，属乙级非密封放射性物质工作场所。										
23	¹⁷⁷ Lu	液 态， 中毒	使用	7.4×10 ⁹	7.40×10 ⁸	2.32×10 ⁹	癌治疗	简单操作	二楼核素治 疗区	暂存在铅罐内
24	⁴⁷ Sc	液 态， 中毒	使用	3.7×10 ⁹	3.70×10 ⁸		癌治疗	简单操作		暂存在铅罐内
25	⁶⁷ Cu	液 态， 中毒	使用	3.7×10 ⁹	3.70×10 ⁸		癌治疗	简单操作		暂存在铅罐内
26	¹⁶¹ Tb	液 态， 中毒	使用	5.55×10 ⁹	5.55×10 ⁸		癌治疗	简单操作		暂存在铅罐内
27	²²³ Ra	液 态， 中毒	使用	3.7×10 ⁶	3.7×10 ⁷		癌治疗	简单操作		暂存在铅罐内
28	²²⁵ Ac	液 态， 中毒	使用	3.7×10 ⁶	3.7×10 ⁷		癌治疗	简单操作		暂存在铅罐内
29	²¹² Pb	液 态， 中毒	使用	3.7×10 ⁶	3.7×10 ⁵		癌治疗	简单操作		暂存在铅罐内

30	²¹¹ At	液 态， 中 毒	使用	3.7×10 ⁶	3.7×10 ⁶		癌治疗	简单操作		暂存在铅罐内
31	²²⁷ Th	液 态， 中 毒	使用	3.7×10 ⁶	3.7×10 ⁷		癌治疗	简单操作		暂存在铅罐内
32	²¹³ Bi	液 态， 中 毒	使用	3.7×10 ⁶	3.7×10 ⁶		癌治疗	简单操作		暂存在铅罐内
33	⁸⁹ Sr	液 态， 中 毒	使用	1.48×10 ⁸	1.48×10 ⁷		癌治疗	简单操作		暂存在铅罐内
34	¹⁸⁸ Re	液 态， 中 毒	使用	1.30×10 ⁹	1.30×10 ⁸		癌治疗	简单操作		暂存在铅罐内
35	³² P	液 态， 中 毒	使用	1.85×10 ⁸	1.85×10 ⁷		癌治疗	简单操作		暂存在铅罐内
非密封放射性核素日等效最大操作量合计：2.32E+09Bq，属乙级非密封放射性物质工作场所。										

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒籽	最大 能量（MeV）	最大电流（mA）/剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	直线加速器	II类	6	待定	X线电子线	10MV、 15MeV	X射线能量：6MV、6MVFFF 及 10MV、10MVFFF，4 档； X射线等中心最大剂量率：2400	放射治疗	分子肿瘤治疗中心一层 加速器机房	/

							cGy/min, SSD=100cm, 最大照射野: 40cm×40cm。 电子线能量: 有 5 档分别是 6, 8, 10, 12, 15MeV, 电子线等中心最大剂量率: 600Gy/min。 机头漏射线率 <0.5%。 等中心离地高度: 1200-1300mm 含有 CBCT 功能, 拟设管电压 40~150kV, 630mA			
2	射波刀	II类	1	待定	X 射线	6MeV	X 射线能量: 6MeV 最大剂量率: 1000cGy/min 准直器的直径: 5mm-60mm 机头漏射线率: ≤0.1%	放 射 治疗	分子肿瘤治疗 中心一层射波 刀治疗室	/
3	TOMO	II类	1	待定	X 射线	6MeV	X 射线能量: 6MeV 最大剂量率: 850 cGy/min 辐射野最大: 11cm x 11.5cm 机头漏射线率: ≤0.5%	放 射 治疗	分子肿瘤治疗 中 心 一 层 TOMO 治 疗 室	/
4	回旋加 速器	II 类	1	待定	质子、 中子	≤10MeV	最大能量: 10MeV 最大束流: 100μA	制 备 PET 用 放 射性 药物	分子肿瘤治疗 中心一层回旋 加速器中心	/

(二)X 射线机: 医疗诊断、介入治疗”

序号	名称	类别	数量 (台)	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	CT 模拟定位机	III类	2	待定	150	1000	模拟定位	分子肿瘤治疗中心一层	
2	SPECT/CT	III类	2	待定	150	1000	放射诊断	分子肿瘤治疗中心三层	

3	PET/CT	Ⅲ类	2	待定	150	1000	放射诊断	分子肿瘤治疗中心二层	
4	PETMR	Ⅲ类	1	待定	150	1000	放射诊断	分子肿瘤治疗中心二层	

(三)中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

序号	名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放量	排放浓度	暂存情况	最终去向
1	回旋加速器运行时产生的臭氧、氮氧化物	气态	/	极低	极少量	极少量	极少量	不暂存	经活性炭过滤后经高于本建筑屋脊高度 3m 的排放口排放
2	回旋加速器废旧真空膜、靶膜、碳膜、碳膜支架、离子源、O 圈、核素传输管等高活性固废	固态	/	/	/	0.3kg	/	暂存于回旋加速器机房内的靶废物暂存箱内	厂家回收或交由城市放射性废物库暂存处理
3	回旋加速器机房内洗靶、装卸靶过程中产生的一次性沾污废物等非高活性固废	固态	/	/	/	0.5kg	/		

序号	名称		状态	核素名称	活度	月排放量	年排放量	排放浓度	暂存情况	最终去向
4	回旋加速器放射性药物制备区	放射性固废	固态	18F、11C、13N、15O、68Ga	/	/	约50kg	/	暂存在回旋加速器放射性药物制备区放射性废物储存间	暂存衰变至少 30 天后，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，清洁解控并作为医疗废物处理
		废锆镓发生器	固态	/	/	/	约 1-2 个	/	置于回旋加速器放射性药物制备区储源室铅废物桶内	供应商回收
5	医用直线加速器废靶		固态	/	/	/	/	/	/	废靶交由设备供应商回收
6	核医学科放射性固废		固态	18F、11C、13N、15O、64Cu、68Ga、89Zr、124I、99mTc、67Ga、111In、 、 、 32P、131I、89Sr、 、188Re、223Ra、213Bi	/	/	约700kg	/	暂存在放射性核素显像诊断区储源/放废室	含 18F、11C、13N、15O、64Cu、68Ga、99mTc、188Re、213Bi 放射性固废暂存衰变至少 30 天，含 89Zr、124I、67Ga、111In、 、 、 32P、89Sr、 、223Ra 放射性固废暂存衰变至少 10 个半衰期，含 131I 放射性固废暂存衰变至少 180 天后，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，清洁解控并作为医疗废物处理
7	核素治疗病区放射		固态	131I、177Lu、	/	/	约549kg	/	暂存在放射	含 177Lu、放射性固废暂存衰变至

序号	名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放量	排放浓度	暂存情况	最终去向
	性固废							性废物暂存间、污物暂存间	少 10 个半衰期，含 131I 放射性固废暂存衰变至少 180 天后，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，清洁解控并作为医疗废物处理
9	125I 粒子植入、住院场所放射性固废	固态	破碎或多余 125I 粒子		/	/	/	/	不暂存
12	感生放射性废气	气态	11C、15O、13N、41Ar		微量	/	/	微量	不暂存
13	放射性废气	气态	131I、18F、11C、13N、15O、64Cu、89Zr、124I、68Ga、99mTc、89Sr、223Ra、等		微量	/	/	微量	不暂存
14	回旋加速器放射性药物制备区放射性废水	液态	18F、11C、13N、15O、68Ga		/	/	约 30m ³	/	衰变池
16	核医学科放射性废水	液态	18F、11C、13N、15O、64Cu、68Ga、89Zr、124I、99mTc、67Ga、111In、	/	/	约 200m ³	总 α <1Bq/L，总 β < 10Bq/L	衰变池	在槽式衰变池中暂存衰变至少 53 天（所含核素半衰期大于 24h 的暂存超过 10 个半衰期）后，监测结果经审管部门认可后排入医院污水处理站处理最终排
17	核素治疗病区放射	液态	131I、177Lu		/	/	约	/	衰变池
									在槽式衰变池中暂存衰变至少 180

序号	名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放量	排放浓度	暂存情况	最终去向
	性废水					475m3			天后，直接排入医院污水处理站 处理最终排入城市污水管网
19	臭氧、氮氧化物	气态	/	/	/	/	/	/	设置通风系统，以保证工作场所 良好通风
20	废 68Ge	固态	68Ge	/	/	/	/	核医学科 PET 储源/放废室 或储存间	由放射源供应商回收
21	废 192Ir 源	固态	192Ir	/	/	/	/	不暂存	由放射源供应商回收

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为mg/L，固体为mg/kg，气态为mg/m³；年排放总量用kg。

2. 含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》（中华人民共和国主席令第九号，2014 年修订，2015 年 1 月 1 日起施行）； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（中华人民共和国主席令 第四十八号，2018 年修改，2018 年 12 月 29 日起施行）； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令 第六号，2003 年，2003 年 10 月 1 日起施行）； (4) 《中华人民共和国职业病防治法》（中华人民共和国主席令 第 24 号 2018 年 12 月 29 日修订） (5) 《建设项目环境保护管理条例》（中华人民共和国国务院令 第 682 号，2017 年修改，2017 年 10 月 1 日起施行）； (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院 第 449 号令，2019 年 3 月 2 日修订版）； (7) 《放射工作人员职业健康管理辦法》，中华人民共和国卫生部令 第 55 号，2007 年 11 月 1 日起施行； (8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正版），生态环境部令 第 20 号，自 2021 年 1 月 4 日起施行； (9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令 部令 第 18 号，2011 年，2011 年 5 月 1 日起施行）； (10) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部部令 第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）； (11) 《关于发布<射线装置分类>的公告》（原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 6 日起实施）； (12) 《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 第 62 号），于 2005 年 12 月 23 日公布并施行； (13) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》（原环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告，公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起实施）； (14) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》
------	---

	（生态环境部 2019 年 第 57 号公告）； （15）《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部 2021 年第 9 号公告）； （16）《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4 号）； （17）《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，2023 年 12 月 27 日国家发展改革委令 第 7 号，2024 年 2 月 1 日起施行； （18）《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（生态环境部辐射源安全监管司，2023 年 9 月 11 日）； （19）《贵州省省级生态环境部门审批环境影响评价文件的建设项目目录（2024 年本）》（黔环综合〔2024〕56 号）； （20）《关于印发<医用同位素中长期发展规划>(2021-2035 年)的通知》（国家原子能机构、科技部、公安部、生态环境部、交通运输部、国家卫生健康委、国家医疗保障局、国家药品监督管理局文件国原发〔2021〕2 号，2021 年 5 月 26 日印发）； （21）《放射性废物安全管理条例》(国务院令第 612 号，2011 年 12 月 20 日发布，2012 年 3 月 1 日施行)； （22）《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函〔2016〕430 号)。
技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则总纲》(HJ2.1-2016) （2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （3）《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），环境保护部； （4）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； （5）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； （6）《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ98-2020）； （7）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （8）《职业性内照射个人监测规范》（GBZ129-2016）； （9）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；

	(10) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)； (11) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)； (12) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)； (13) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)； (14) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)； (15) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.1-2011)； (16) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014)； (17) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) (18) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)； (19) 《后装γ源近距离治疗质量控制检测规范》(WS262-2017)； (20) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019)； (21) 《表面污染测定第 1 部分：β 发射体($E_{pmax}>0.15MeV$)和 α 发射体》(GB/T14056.1-2008)； (22) 生态环境部辐射源安全监管司《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函(2023)20 号)； (23) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)； (24) 《伽玛照相机、单光子发射断层成像设备(SPECT)质量控制检测 规范》(WS523-2019)； (25) 《正电子发射断层成像(PET)设备质量控制检测标准》(WS817-2023)； (26) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范核技术利用》(HJ1326-2023)； (27) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)； (28) 《水质 总α放射性的测定 厚源法》(HJ898-2017)； (29) 《水质 总β放射性的测定 厚源法》(HJ899-2017)；
--	--

	(30) 《空气中碘-131 的取样与测定》 (GB/T14584-1993) 。
其他	(1) 环境影响评价委托书； (2) 《STRUCTURAL SHIELDING DESIGN AND EVALUATION FOR MEGAVOLTAGE X-AND GAMMA-RAY RADIOTHERAPY FACILITIES Y》 (National Council on Radiation Protection and Measurements 2005.12.31) (3) 《Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities》 (National Council on radiation protection and Measurements, 2004. 19) (4) 《辐射防护手册》 (李德平、潘自强主编, 1991.01) (5) 《辐射防护导论》 (方杰主编, 1991.06) (6) 《医用外照射源的辐射防护》 (1984.11) ； (7) UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes》 (UNITED NATIONS, 2000) ； (8) 辐射安全许可证正副本复印件、辐射安全管理制度复印件； (9) 贵州医科大学附属医院辐射工作人员培训证书、剂量检测报告。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中“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”的规定，因此综合考虑，本项目评价范围取各辐射工作场所四侧屏蔽体外周边 50m 的范围。本项目评价范围详见图 7-1。



图 7-1 本项目评价范围示意图

7.2 保护目标

由医院总平面布置及现场调查可得，本项目主要环境保护目标为本项目辐射工作人员、各场所周边偶尔路过或停留的其他非辐射工作人员以及评价范围内的公众。本项目的环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 环境敏感目标一览表

区域	人员类型	位置描述	人流量	辐射剂量约束值
分子肿瘤治疗中心辐射工作人员（控制区）	职业	分子肿瘤治疗中心控制区一层、二层及三层的辐射工作场所	约150人	5mSv/a
分子肿瘤治疗中心辐射工作人员（监督区）	职业	分子肿瘤治疗中心监督区一层、二层及三层的辐射工作场所	约150人	5mSv/a
分子肿瘤治疗中心四周非辐射工作人员、病人及家属	公众	分子肿瘤治疗中心一层、二层、三层及四周区域	固定约200人、流动约20000人	0.1mSv/a

本项目评价范围内环境敏感目标主要为分子肿瘤治疗中心的医护工作者，候诊病人及家属。

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

（1）根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

（一）职业照射剂量限值为：

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。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），剂量约束可取限值的 10%~30%，本次评价从辐射防护最优化原则出发，尽量避免不必要的附加剂量照射，并为其它可能的辐射照射留下余额，本次评价取其 25%，即职业照射约束剂量 5mSv。

（二）公众照射剂量限值为：

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。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），剂量约束可取限值的 10%~30%，本次评价从辐射防护最优化原则出发，尽量避免不必要的附加剂量照射，结合本项目所在地审管部门的要求，本项目放射工作场所周围非放射医务人员及其他公众人员接受的辐射剂量约束值按 GB18871-2002 公众照射剂量限值的十分之一执行，即 0.1mSv/a。

（三）管理目标值

为保证本项目在建成后的运行过程中，使职业人员和公众接受的剂量不超过国家规定的剂量限值，并综合建设单位的经济等因素，建设单位设置了如下的管理目标值：

- a) 放射工作人员：全身：5mSv/a；
- 四肢和皮肤：125mSv/a；
- 眼晶体：20mSv/a。

- b) 公众：0.1mSv/a。

但辐射剂量约束值的使用不应取代最优化要求，剂量管理限值只能作为最优化值的上限。

（2）根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

- 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。

综上所述，甲亢医护人员职业照射的剂量约束值与公众照射的剂量约束值也参考核医学，本项目取不超过 5mSv/a 作为职业照射的剂量约束值；取不超过 0.1mSv/a 作为公众剂量约束值，为考虑人员受照剂量叠加影响后的约束值。

7.3.2 核医学表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中表 B11 的规定，对于工作场所的放射性表面污染，应满足表 7-2 的控制水平。

表 7-2 工作场所放射性表面污控制水平（单位：Bq/cm²）

表面类型	β放射性物质（Bq/cm ² ）
------	-----------------------------

工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	40
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}
1) 该区内的低污染子区除外。		

7.3.3 工作场所辐射剂量率控制水平

(1) 核医学科项目

①根据《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 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h。

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

《生态环境部辐射源安全监管司关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）关于控制区剂量率：《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021，以下称核医学标准）第 6.1.5 节规定，距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h。本条规定的具体含义为：

1.控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2），周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。

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

②根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

12.3.3 距离敷贴器贮源箱表面 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 10μSv/h 和 1μSv/h。

①放射治疗机房（直线加速器、TMO、射波刀和后装机项目）

根据《放射治疗辐射防护与安全要求》（HJ1198-2021）第 6.1 款的要求：

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

（b）放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。使用大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

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

（d）剂量控制应符合以下要求：

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

1）使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子（可依照附录 A 选取），由以下周剂量参考控制水平($\dot{H}_c$)求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：机房外辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；机房外非辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

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

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

b）穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量 $250 \mu\text{Sv}$ 加以控制。

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

②普通放射诊断 III 类射线装置机房

本项目涉及的 CT 模拟定位机、PET/CT（CT 功能部分）、SPECT/CT（CT 功能

部分)等射线装置工作场所辐射剂量率控制水平如下:

根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)第6.3款的要求:

根据“a)具有透视功能的X射线设备在透视条件下检测时,机房周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$;c)具有短时、高剂量率曝光的摄影程序(如DR、CR、屏片摄影)机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ”要求,确定本项目DSA透视状态下,机房的屏蔽墙、防护门及顶棚外30cm处的辐射剂量率控制水平为不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$;摄影状态下,机房的屏蔽墙、防护门及顶棚外30cm处的辐射剂量率控制水平为不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

根据“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、口腔CBCT和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求,确定本评价项目的CT、CT模拟定位机、PET/CT(CT功能部分)、SPECT/CT(CT功能部分)、骨密度仪机房的屏蔽墙、防护门及顶棚外30cm处的辐射剂量率控制水平为不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

③核医学科工作场所

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中第6.1款的要求:

核医学场所屏蔽层设计应适当保守,按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时,除应考虑室内的辐射源外,还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$,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、手套箱、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 $25\mu\text{Sv/h}$;

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(国家核安全局,辐射函[2023]20号)中的要求:

二、关于控制区剂量率

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021，以下称核医学标准）第 6.1.5 节规定，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 μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10 μSv/h。本条规定的具体含义为：

1.控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2），周围剂量当量率应小于 2.5 μSv/h。

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

本次采用《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）以及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（国家核安全局，辐射函[2023]20 号）中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 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 2.5μSv/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 μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10 μSv/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 μSv/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 μSv/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 μSv/h。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002)放射性物质工作场所表面放射性污染的控制水平（表 B11）见表 7-5。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质 (Bq/cm ²)
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 a	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区 监督区	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹
a 该区内的 高污染子区除外				

7.3.4 核医学工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 规定的非密封源工作场所的分级，应按表 7-3 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-3 非密封源工作场所的分级

级别	具体内容
甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

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。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 A，核医学放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 7-4 和表 7-5。

表 7-4 核医学常用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
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表 7-5 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
放射性药品生产	分装、标记（液体）	简单操作	1
	分装、标记（固体）	简单操作	10
核素治疗	^{131}I （液态）	简单操作	1

表 7-6 操作方式与放射源状态修正因子

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

特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001
7.3.5 工作场所辐射管理分区 (1) 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。 6.4.1 控制区 6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。 6.4.2 监督区 6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。 (2) 根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）： 4.3 辐射工作场所分区 4.3.1 应按照 GB18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。 4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。 4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间 以及与控制区相连的其他场所或区域。 4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。 5.2 分区原则 5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。 5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对				

职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

7.3.6 工作场所选址和平面布局

（1）核医学科项目

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

5.1 选址

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

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

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。

5.2 布局

5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；

同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。

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

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

7.3.7 工作场所放射防护要求

（1）核医学科项目

①根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

6.1 屏蔽要求

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

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

6.1.7 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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

6.2 场所安全措施要求

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

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

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

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

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

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

6.3 密闭和通风要求

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

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

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

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

7.3.8 放射性废物处理规定

(1) 放射性废液

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 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。

7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB18871 附录 A 表 A1 的要求。

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。

《生态环境部辐射源安全监管司关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）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 $1\text{ALI}_{\min}$ ，每月排放的废水中碘-

131 总活度不超过 10ALI_{mi} 。

(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。

(2) 放射性固体废物

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

7.2.3 固体放射性废物处理

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

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

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

c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.2.3.2 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 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、其他 α 发射体应小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

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

(3) 放射性废气

①核医学科项目

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

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

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

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

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

《生态环境部辐射源安全监管司关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）关于独立通风要求：

核医学标准第 6.3.4 节规定，手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管道在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。

7.3.9 本次核技术利用项目限值要求汇总

表 7-6 核技术利用项目限值要求汇总

工作场所	人员剂量约束值	周围剂量当量率控制值	工作场所的放射性表面污染			衰变池排放口放射性废液	放射性废气	放射性固废
			位置	控制区	监督区			
核医学科	辐射工作人员职业照射剂量约束值不大于5mSv/a；公众照射剂量约束值不大于0.1mSv/a	控制区内工作人员经常性 停留的场所（人员居留因子≥1/2），周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子＜1/2），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 10μSv/h。放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等屏蔽结构外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h。距离敷贴器贮源箱表面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 10μSv/h和 1μSv/h。	工作台、设备、墙壁、地面	β放射性物质不大于 4×10Bq/cm²	β放射性物质不大于 4Bq/cm²	放射性废液最高允许排放浓度总α不大于 1.0Bq/L，总β不大于 10Bq/L， ¹³¹ I放射性活度浓度不大于 10Bq/L。	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。应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。	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。
			工作服、手套、工作鞋	β放射性物质不大于 4Bq/cm²				
			手、皮肤、内衣、工作袜	β放射性物质不大于 4×10-1Bq/cm²				
			表面污染解控水平	去污使污染水平降低至控制水平的五十分之一，即控制区内表面污染不大于 0.8Bq/cm²				
标准 依据	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、生态环境部辐射源安全监管司关于核医学标准相关条款咨询的复函——辐射函〔2023〕20 号、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）	《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）	《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）	

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

中山大学附属第一医院贵州医院位于贵州省贵阳市花溪区清安大道与民安路交叉口西北侧(中山大学附属第一医院贵州医院地块内)，住院楼东北侧预留空地（东经 106.49472893°，北纬 26.47856678°）。为了解评价项目及周围的环境现状，于 2025 年 3 月到评价项目现场进行资料收集、环境现状调查。

8.1.1 项目地理位置

中山大学附属第一医院贵州医院位于贵州省贵阳市花溪区清安大道与民安路交叉口西北侧(中山大学附属第一医院贵州医院地块内)，本项目拟布置在医院住院楼北侧。本项目医院地理位置见图 1-1。

8.2 环境本底调查及评价

环境现状评价的对象为核医学项目场址周围辐射环境现状。

8.2.1 监测内容及点位

1、辐射环境现状监测目的

对项目场所进行辐射剂量率本底监测，以掌握场址的辐射环境质量现状水平，为现状评价提供基础数据。

2、监测对象：本项目现状评价对象为项目场址的辐射环境现状水平。

3、监测布点原则及监测点布置

依据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）第 5.3 条，本项目涉及应用非密封放射性物质，则环境现状监测因子应选取γ辐射剂量率。由于本项目拟建位置未开展过核技术利用项目，故本项目辐射环境本底监测对象选取了γ辐射监测。根据现场条件，合理布设监测点，监测布点图见图 8-1。根据现场条件，合理布设监测点，监测布点图见图 8-2 所示。

监测报告见附件 13。

4、监测仪器与监测规范

本项目电离辐射监测仪器的参数与规范见表 8-1。

表 8-1 监测仪器与规范

检测仪器	剂量仪
	SCK-200 型多功能辐射监测仪
型号	SCK-200

能量范围	20keV~7MeV
测量范围	1nGy/h~100μGy/h
监测时间	2025 年 3 月 5 日
检定单位	上海市计量测试技术研究院
证书编号	2024H21-20-5681057001-01
环境条件	2025 年 3 月 5 日：温度：5℃ 湿度：78%；

5、质量保证措施

（1）结合现场实际情况及监测点的可到达性，在项目拟建场址内和评价范围内工作人员活动区域、人流量相对较大的区域布设监测点位，充分考虑监测点位的代表性和可重复性，以保证监测结果的科学性和可比性。

（2）依据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）采用即时测量方法进行测量。

（3）监测仪器每年经有资质的计量部门检定或校准，检定合格后方可使用。

（4）每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

（5）本次监测实行全过程的质量控制，严格按照监测机构《质量手册》、《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行，监测人员经考核合格并持有合格证书上岗。

（6）监测报告严格实行三级审核制度，经校核、审核，最后由授权签字人批准。

6、监测结果

于 2025 年 3 月 5 日对该项目开展现状监测，监测结果见表 8-3，监测点位图见图 8-1。

表8-3 贵州医科大学附属医院核医学科周围辐射环境现状监测结果（γ 辐射剂量率）

监测点号	测量位置	γ辐射空气吸收剂量率 (nGy/h)		备注
		平均值	标准差	
γ1#	二期项目地块中部	24	1.7	原野
γ2#	二期项目地块北部	32	1.4	原野
γ3#	二期项目地块东部	27	1.4	原野
γ4#	二期项目地块南部	30	1.5	原野
γ5#	二期项目地块西部	31	1.5	原野
γ6#	二期地块北侧	33	1.2	原野
γ7#	二期地块东侧	33	1.2	道路
γ8#	二期地块南侧	32	1.5	道路

γ 9#	病房楼二楼	46	1.5	室内
γ 10#	医技综合楼二楼	48	1.3	室内



图8-1 贵州医科大学附属医院核医学科 γ 辐射剂量率监测点位图

由表 8-3 的监测结果可知，项目拟建场所周围室内环境 γ 辐射空气吸收剂量率 46~48nGy/h 范围内，室外环境 γ 辐射空气吸收剂量率在 24~33nGy/h 范围内。由《贵州省环境陆地 γ 辐射剂量水平调查》可知，贵阳市室内 γ 辐射剂量率在（3~155.4）nGy/h 之间，室外道路 γ 辐射剂量率在（10.5~83.7）nGy/h 之间，室外原野 γ 辐射剂量率在（25.3~144）nGy/h 之间，故本项目拟建场址及周围环境的天然 γ 辐射剂量率处于辐射环境本底水平，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 直线加速器设备组成、工作原理和工艺流程

1、设备组成和工作原理

医用电子直线加速器是利用微波电磁场加速电子并且具有直线运动轨道的加速装置，它能产生高能 X 射线和电子线，其结构单元为：电子枪、微波系统、束流传输系统、稳频、温控及充气系统、真空系统、高压脉冲调整系统、辐射系统、剂量监测系统、机械系统及控制系统。

医用电子直线加速器的工作原理为：电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，经调制、准直后射向患者病灶；或者通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 射线，X 射线最大能量为电子束的最大能量，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶。因此，医用电子直线加速器既可利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 线束对患者病灶进行照射。高能射线能以电离辐射的形式作用于细胞，杀伤不同种类的肿瘤细胞。利用人体正常组织和肿瘤组织对射线照射的反应不同，可以最佳输出能量对人体肿瘤进行照射治疗。

加速器在常规模式下使用均整器对照射野进行调节以实现良好的剂量分布，在此模式下，通常剂量率不会太高，达到同样的治疗剂量需要延长治疗时间。为了提高单位时间内的输出剂量以缩短治疗时间，加速器可采用 FFF 模式以高剂量率的条件进行治疗。在 FFF 模式下对加速器束流性能可产生积极的影响，如深度剂量变浅、皮肤剂量随射野面积增大而变大的效应不明显、离轴剂量跌落快而野外剂量较小、总散射因子变化较小、剂量率明显提高、治疗时间明显缩短和图像质量高等优势。

本项目直线加速器同时还配备了 CBCT 系统。CBCT 获取数据的投照原理和传统扇形扫描 CT 是不同的，X 线球管以较低的射线量围绕患者做环形 DR（数字式投照），获得的图像数据在计算机中重建后进而获得三维图像。从成像结构看，CBCT 用三维锥形束 X 线扫描代替常规诊断 CT 的二维扇形束扫描；与此相对应，CBCT 采用一种二维面状探测器来代替常规诊断 CT 的线状探测器。CBCT 采用锥形束 X 线扫描可以显著提高 X 线的利用率，只需旋转 360 度即可获取重建所需的全部原始数据，而且用面状探测器采集投影数据可以加速数据的采集速度。本项目加速器所配备的 CBCT

的最大管电压为 150kV，最大管电流为 500mA。

典型医用电子直线加速器组成及内部结构分别见图 9-1 及图 9-2，X 射线和电子束治疗模式结构示意图见图 9-3。

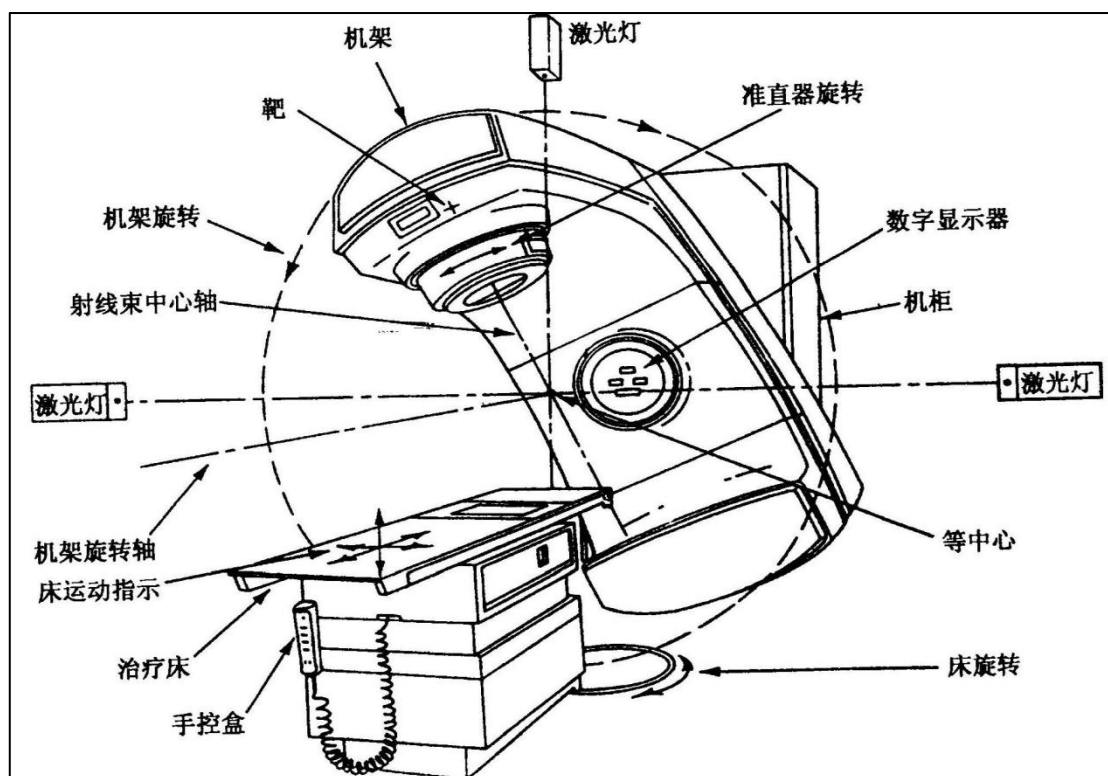


图 9-1 典型医用电子直线加速器结构示意图

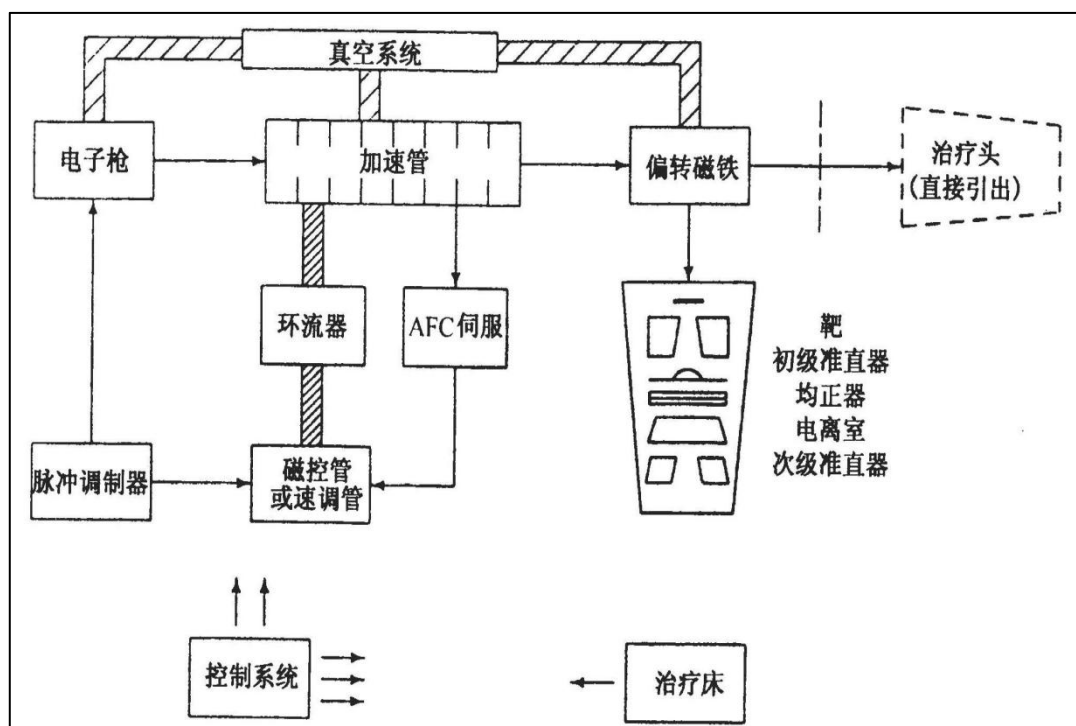


图 9-2 典型医用电子直线加速器内部结构框图

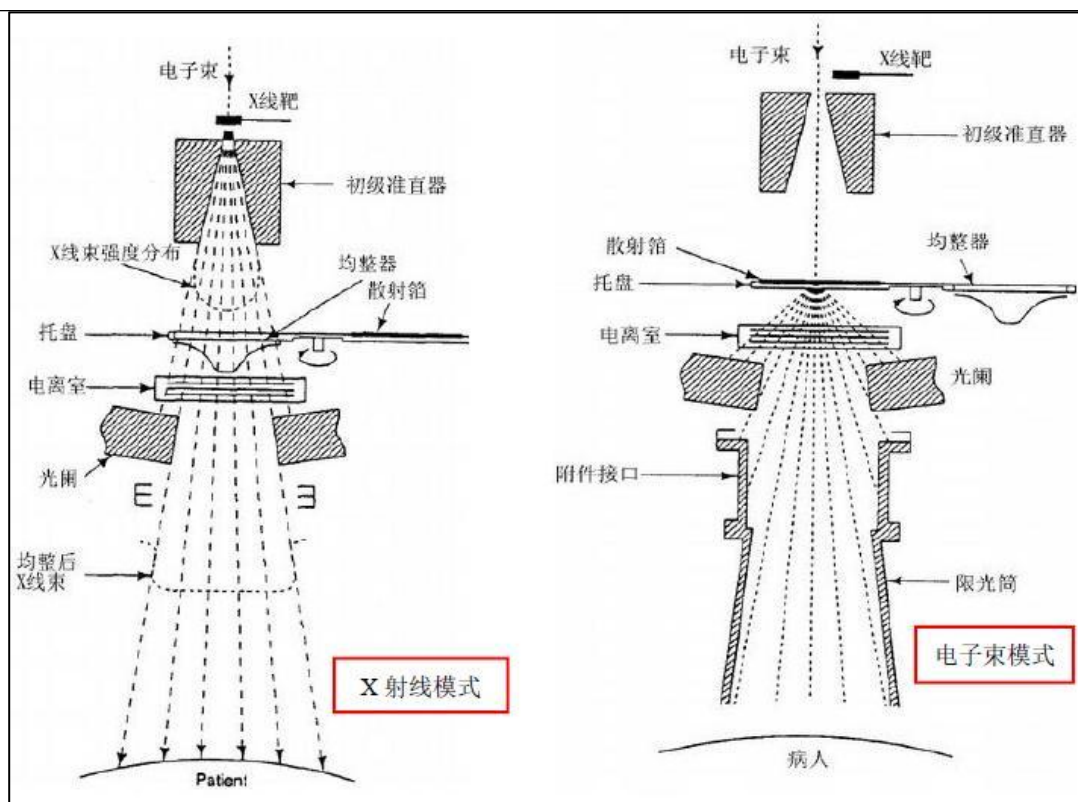


图 9-3X 射线和电子束治疗模式结构示意图

2、技术参数

本项目拟建设 6 台直线加速器用于放射治疗，直线加速器的具体技术参数如下：

生产厂家：待定。

设备型号：待定。

X 射线能量：6MV、6MVFFF 及 10MV、10MVFFF，4 档。

X 射线等中心最大剂量率：2400cGy/min，SSD=100cm，最大照射野：40cm×40cm。

电子线能量：有 5 档分别是 6，8，10，12，15MeV，电子线等中心最大剂量率：600Gy/min。

机头漏射线率<0.5%。

等中心离地高度：1200-1300mm。

含有 CBCT 功能，拟设管电压 40~150kV，630mA。

3、工作流程及产污环节

本项目直线加速器最大 X 射线能量为 10MV，电子线最大能量为 15MeV，所以需考虑中子和感生放射性问题。直线加速器的工艺流程及产污环节如图 9-4 所示。

在应用直线加速器进行治疗之前需要先确定治疗方案，包括确定照射角度和视野，计算照射时间和剂量，再开机进行治疗。具体工艺流程如下：

1) 模拟定位：借助 CT 模拟定位机定位确定肿瘤的位置和范围，主要操作流程为：依据检查单→核对扫描部位→确定扫描条件→曝光。

2) 治疗计划设计阶段：借助计算机治疗计划系统（TPS）进行治疗计划设计，选好能量、照射野大小、治疗剂量与剂量比、楔形滤过板等。

3) 治疗计划的确认：做好患者治疗计划，需要对患者治疗计划进行剂量验证。剂量验证是指将患者治疗计划移植到标准模体上并进行剂量计算，将模体放在医用直线加速器治疗床上，调用治疗计划进行照射，利用电离室对模体的等中心和周围剂量进行测量，然后与模体计划中的计算值相比较得出剂量偏差。

4) 治疗计划的执行：①设置治疗机的物理、几何参数、电子线治疗提前将限束器固定在机头。②医护人员将患者送入治疗室，辐射工作人员进行摆位。③固定治疗体位，肿瘤中心位于等中心点。④除了待治疗患者，其余人员撤出治疗室，关闭防护门。⑤CBCT 图像引导验证治疗位置并校准，加速器出束，进行治疗。⑥治疗完毕，医用直线加速器停止出束，治疗室保持良好通风，使有害气体浓度降低，打开迷路防护门，医护人员进入机房引导患者出治疗室；使用 10MeV 以上高能射线治疗后，医护人员应延迟至少 3min 进入机房。

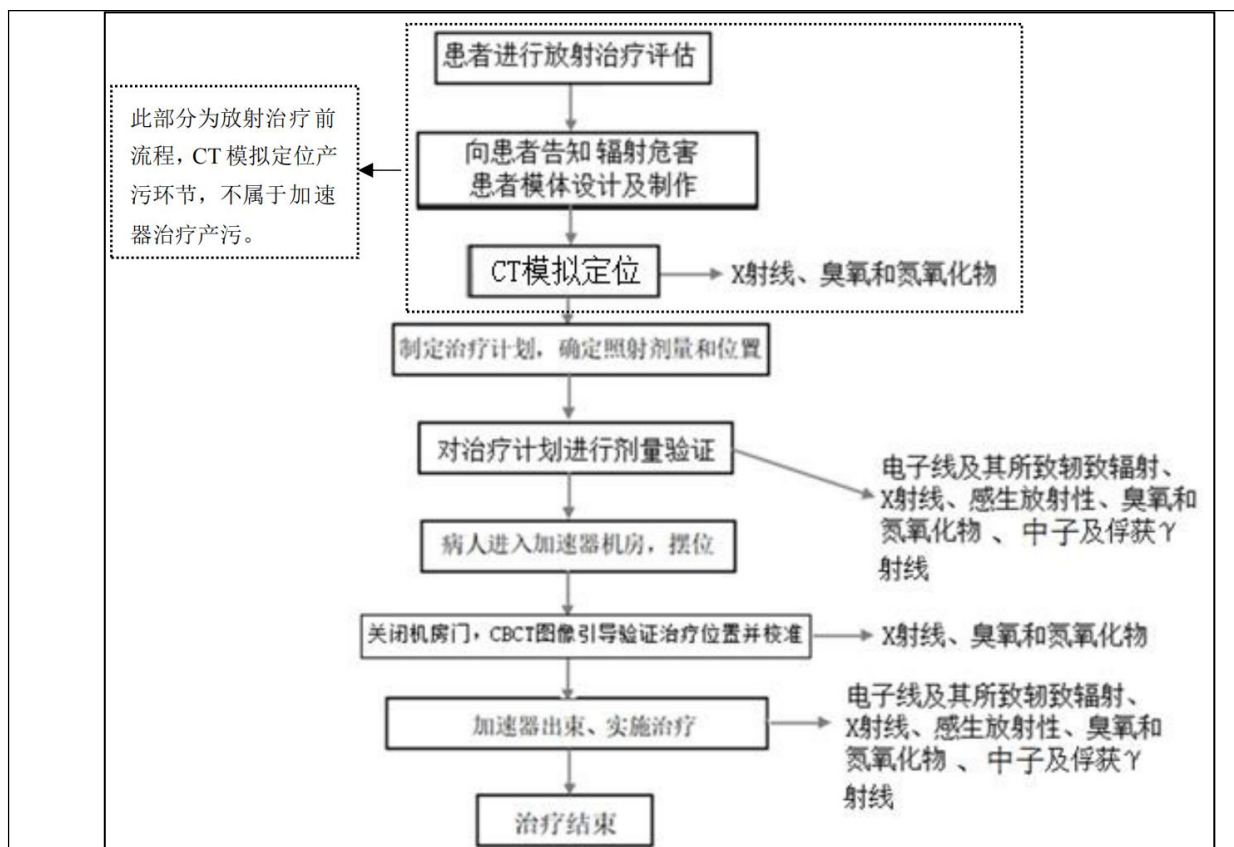


图 9-4 直线加速器工艺流程及产污环节

9.1.2 射波刀设备组成、工作原理和工艺流程

1、射波刀的设备组成和工作原理

射波刀（CyberKnife，国内有称作“赛博刀”）是一种新型的立体定向放射外照射治疗系统，它集影像引导系统和高准确性的治疗系统于一身，将一个 6MVX 射线的轻型电子直线加速器安放在一个有 6 个自由度的机械臂上，利用机械臂的全向投照能力对肿瘤进行精确地、非共面和多中心的放射治疗。射波刀是全球唯一整合最先进的机器人技术和智能影像实时监控、追踪系统的放射治疗系统，尤其擅长对颅内肿瘤进行立体定向放射治疗、对运动器官进行追踪治疗。由于射波刀使用时主射束在水平面 360°旋转，主射束会照射到治疗机房的大部分墙面上，因此治疗机房各侧墙体均按主屏蔽体的要求设计。射波刀结构包括：

（1）电子直线加速器（Linear accelerator）：射波刀使用一个紧凑型、能产生 6MVX 射线的轻型电子直线加速器，电子直线加速器安装在由机器人控制的机械臂上。该电子直线加速器配有 12 个准直器，准直器直径从 5mm 到 60mm。

（2）机器人机械臂（Robot arm）：机器人机械臂头端上安装有电子直线加速器，它带动电子直线加速器围绕患者在前、后、左、右、上、下六度空间自由转动，按照

计算机预设的路线，机械臂可将电子直线加速器调整到最多两百余个位置（或节点），在每个节点处可以从 12 个角度投照射线，因此提供多达三千个方位发出射线。每到一个预设治疗点，机械臂停止运动，电子直线加速器对准靶区投照相应的放射剂量。

（3）治疗床（treatmenttable）：射波刀的治疗床也由机器人控制，可以在六度空间自由移动。

（4）靶区定位（影像）追踪系统（targetlocalizationsystem）：与传统放射外科使用立体定向架固定患者头部以确保射线精确投照不同，射波刀使用人体骨骼结构作为参考框架，颅内病灶与颅骨之间产生固定的对应关系。靶区定位（影像）追踪系统是利用天花板上安装的两组诊断 X 射线球管和安装于地板平面下的影像探测器组成。两组 X 射线球管发出的低能 X 线相互垂直，交叉穿过头颅（或患者肿瘤的治疗部位），影像探测器获得颅骨的数字图像，并将影像资料传输到数据处理系统（imageprocessingsystem，IPS），计算机与事先 CT 扫描获得的颅骨数字重建图像（DDR）相比较，首先确定颅骨的精确位置，然后得出治疗靶目标（病灶）的精确位置。靶区定位追踪系统使用 4 套计算机软件，治疗颅内病变时，使用 6 维颅骨追踪软件：治疗脊髓、脊柱及其周围肿瘤时，使用 X-sight-Spine（脊柱追踪软件）；治疗部分周围型肺癌时，使用 X-sight-Lung（肺部追踪软件）；治疗随呼吸运动的肿瘤时或需要埋置金标时，使用金标追踪和呼吸追踪系统。

（5）治疗计划系统：治疗计划系统由计算机工作站和 Multiplan 治疗计划软件组成。病人治疗前，先作 CT 和 MRI 定位，将定位影像传输到计算机内。医生先勾画出计划治疗的肿瘤和重要器官，然后设置中心点，最后选择准直器并给出肿瘤和重要器官的剂量要求，计算机能自动设计一个满足设定条件、适形满意、剂量分布均匀、照射范围与肿瘤形状几乎吻合的治疗计划。根据治疗的需要，医生可设计单次治疗，也可设计分次治疗。射波刀治疗计划系统不仅具有常规的正向治疗计划，而且还有任意形状逆向治疗计划。正向治疗计划是医生根据病灶的大小和形状，选择相应的准直器和照射方式逐步设计出一个和病灶形状几乎一样的照射形状，然后给出周边剂量和中心剂量。逆向治疗计划是医生先勾画出计划照射的靶区以及给出靶区和重要器官的剂量要求，计算机自动设计一个满足设定条件的治疗计划。

（6）呼吸追踪系统：当治疗肺部肿瘤或受呼吸运动影响的肿瘤（肝癌、胰腺肿瘤

等）时，肿瘤随着病人的呼吸而上下左右运动。治疗这些体部肿瘤前，需向肿瘤内或周围放置金标（由黄金制成，长 5mm，直径 0.8mm 的圆柱体称为金标），金标放置 5~7 天后才能实施射波刀治疗。呼吸追踪是让病人穿上胸前戴有发红光二极管的背心，呼吸追踪时，通过追踪金标的位置获得肿瘤的精确位置，同时计算机根据呼吸节律，自动微调机器人机械臂，让射线始终精确瞄准病灶。

（7）计算机网络集成与控制系统：射波刀拥有一个计算机工作站（SGI），SGI 计算机通过网络控制机器人机械臂、控制电子直线加速器何时投照射线、治疗床的移动和治疗靶区位置的追踪。此外，治疗时获得的骨骼图像与定位图像的自动比对均在 SGI 计算机掌控下自动进行。

射波刀外形结构见图 9-5，其射线治疗示意图见图 9-6。

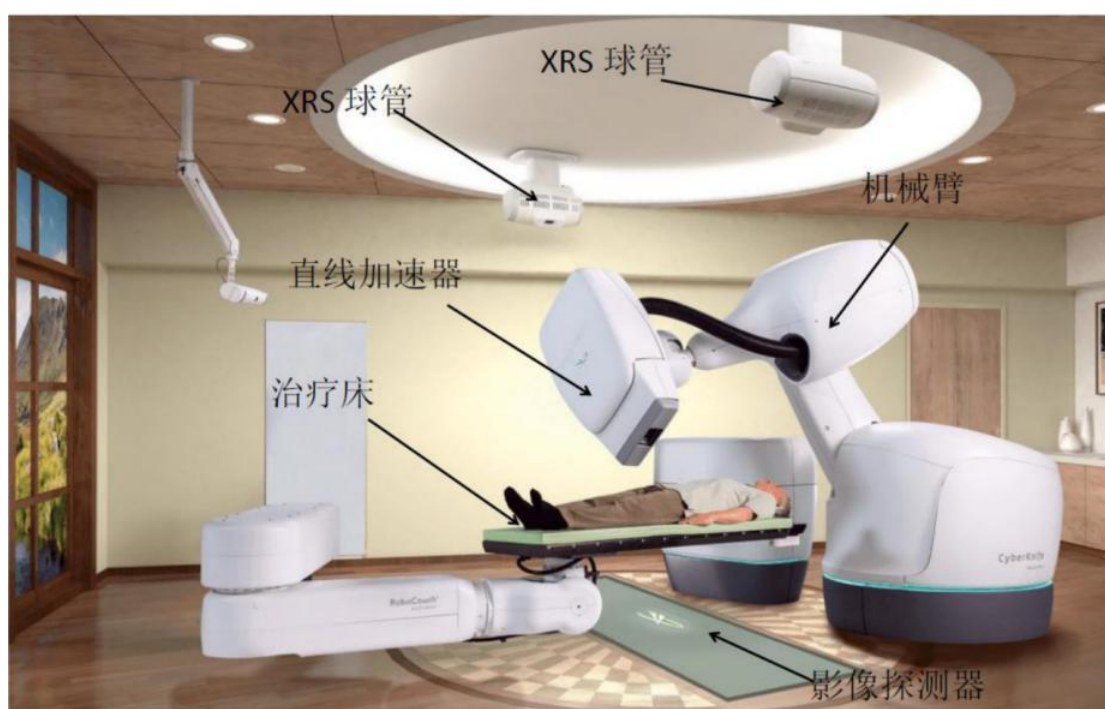


图 9-5 射波刀外形结构示意图

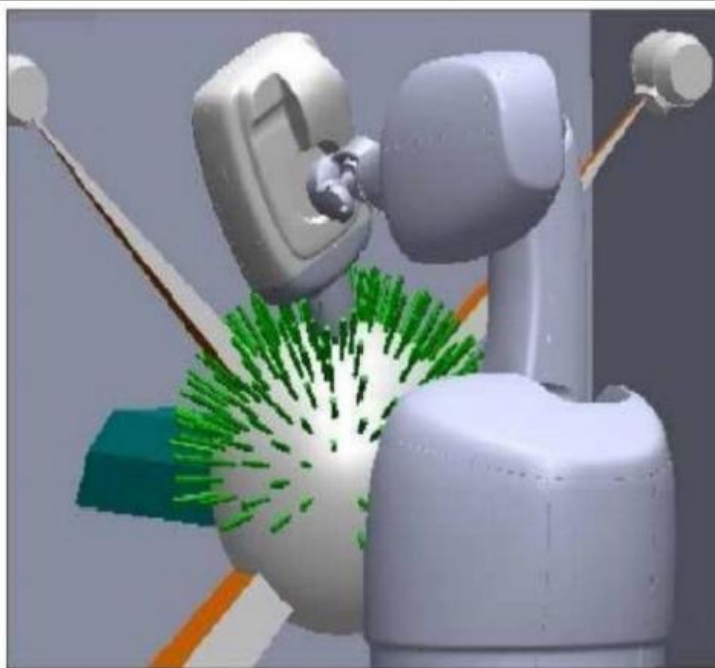


图 9-6 射波刀出束治疗示意图

2、技术参数

治疗模式：X 射线照射。

最大 X 射线能量：6MV。

最大输出剂量率：1000（SAD800mm）。

最大射野：00mm×115mm。

等中心距地高度：0.92m。

射线泄漏率：≤0.1%。

X 射线管球：数量：2 个，最大管电压 150kV、最大管电流：1000mA。

等中心平面射野直径：等中心平面射野直径 5、7.5、10、12.5、15、20、25、30、35、40、50 和 60（mm）。

3、工作流程及产污环节

（1）定位扫描：通过定位 CT 对病变部位进行扫描，用于确定肿瘤的精确位置。

（2）治疗计划：根据之前定位 CT 图像等，主治医师勾画靶区，选择合适的追踪模式，选择准直器的大小、射线强度、靶区范围、剂量分布、治疗剂量和其它参数，计算机能自动设计一个满足设定条件、适形满意、剂量分布均匀、照射范围与肿瘤形状几乎吻合的治疗计划。治疗计划设计完毕，将治疗计划保存并传输到射波刀主控计算机。

(3) 靶区定位：患者平卧并固定在治疗床上，其余人员撤离治疗室，关闭大门。影像系统采集靶区的实时影像，并与治疗计划系统的治疗影像进行比对，找到靶区方位误差。工作人员通过电脑操作，移动治疗床，使实时影像与治疗影像完拟合。此时计算机获得了患者病灶的初步方位。

(4) 射线治疗：机械臂将电子直线加速器旋转到初始坐标位，然后按照程序将加速器围绕着患者旋转到预定节点。电子直线加速器每到一个节点，机械臂停止运动，此时靶区定位追踪系统立刻获得新的靶区影像，计算机确认目前的靶区影像与治疗开始时影像完全一致。如果病人靶区有轻微的移动，靶区定位追踪系统立刻计算出移动造成的偏差，并将此偏差传输到机器人机械臂，机械臂微调加速器的方位或射线的入射角度，最后加速器将所需的剂量精确投射到病灶内。如果患者的移动超过计算机自动调整的范围，治疗会紧急暂停（E-stop）。加速器每到一个预定节点，将重复上述影像实时验证步骤。在治疗过程中，X射线球管每10秒钟发射一次，靶区影像追踪系统获取一次影像信息。从摄像到调整数据只需要几秒钟，射波刀基本上做到了在治疗过程中实时跟踪治疗靶区。根据病情需要，射波刀可将单次治疗变成多次分割治疗。

(5) 治疗结束：加速器完成治疗，机器人回到停车位。工作人员打开防护门，护理人员将病人送出治疗室。

射波刀在治疗应用中，采用非等中心且从不同方向，以上千个小的圆形照射野（直径一般为1.5cm）照射肿瘤部位，主射束会照射到治疗室机房的大部分墙面上。射波刀治疗工作一般流程见图9-7。

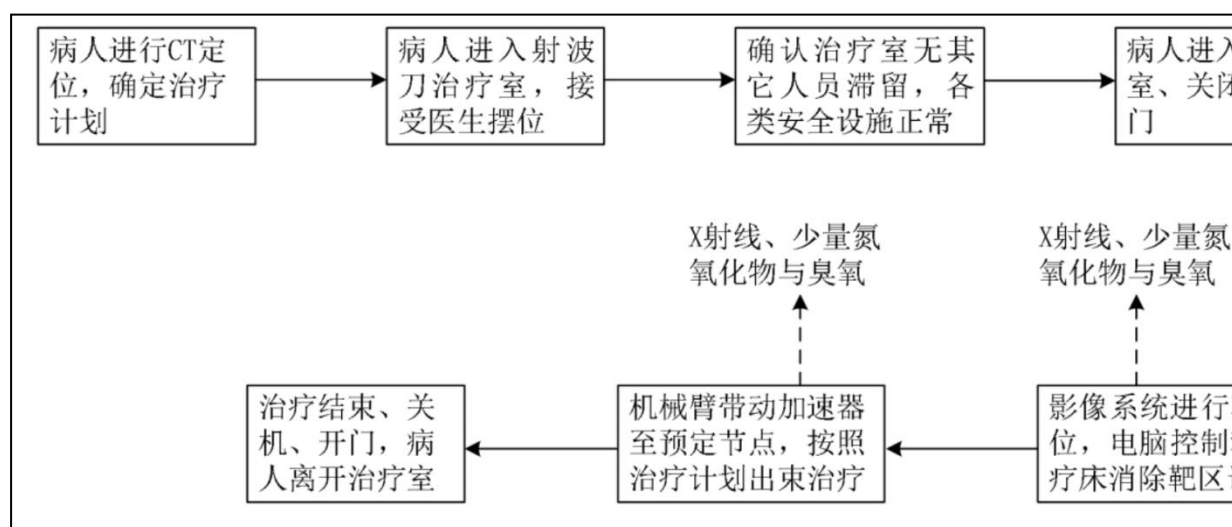


图 9-7 射波刀工作流程及产物环节示意图

9.1.3TOMO 设备组成、工作原理和工艺流程

1、设备组成和工作原理

TOMO 即螺旋断层放射治疗系统（TomoTherapy），将现代诊断螺旋 CT 和医用直线加速器进行有机结合，构成同时具有螺旋 CT 影像扫描功能及调强放射治疗功能的一体化高端放疗设备。简单理解，就是把直线加速器放在 CT 的滑环机架上，使用扇形 X 光束实施照射。

（1）设备组成

TOMO 主要由下列 4 大部件构成：螺旋断层治疗主机、机架和治疗床、数据库硬件和计算机集群、治疗计划系统工作站、操作台等。TOMO 机架内包含一台 6MV 的医用直线加速器，产生 6MV 的 X 射线用于放射治疗和 3.5MV 的 X 射线用于 CT 扫描成像，射线能量为一个加速器产生，不会同时发射 2 种不同能量的 X 射线。在加速器射线出口处，安装了二元气动多叶光栅（MLC），主要功能是对射线强度进行调制。在加速器对面还安装了 CT 探测器用于采集穿过病人的 X 射线信号，可以重建病人的 CT 图像和剂量信息等。TOMO 采用 85cm 大孔径 CT 滑环机架，机头安装在滑环上，等中心精度高达 0.1mm。治疗床在治疗时可以伴随机架旋转而连续运动，从而支撑病人进行 CT 扫描和螺旋治疗。加速器对面设置有 15.2cm 厚的铅挡块，用于屏蔽加速器发射的主射线。

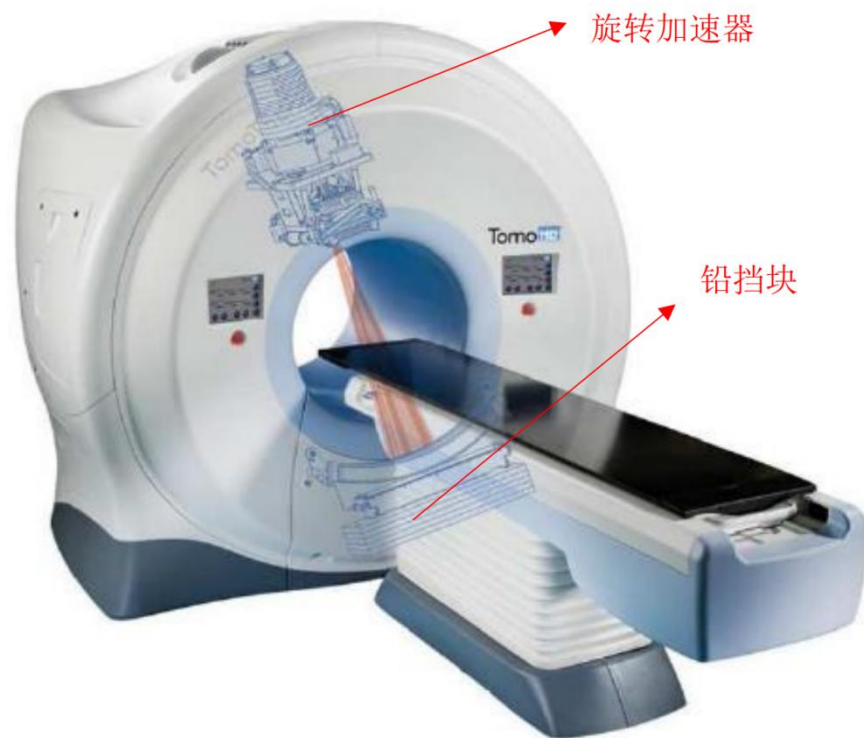


图 9-8TOMO 外观图

(2) 工作原理

TOMO 将 6MV 直线加速器安装在螺旋 CT 滑环机架上，加速管沿机架径向安装使机架能够 360° 旋转。它可产生 6MV 的扇形束 X 射线，经射线出口处的 64 片 0.625cm 宽的二元开/关式多叶准直器调制，从而实现 360° 螺旋断层调强放射治疗；也可产生 3.5MV 的扇形束 X 射线，经螺旋扫描而重建出兆伏级的三维 CT 图像（即 MVCT），在治疗开始前进行 MVCT 成像扫描，重建出患者的三维影像，与计划 CT 或 X 射线模拟定位影像进行比较，从三维方向上修正摆位误差，从而实现图像引导下的 IMRT 治疗。

2、技术参数

X 射线能量：6MeV。

最大剂量率：850cGy/min。

辐射野最大：11cm×11.5cm。

机头漏射线率：≤0.5%。

3、工作流程及产污环节

TOMO 工艺流程与产污环节与医用直线加速器治疗类似，TOMO 使用 X 射线进行螺旋放疗，无电子线治疗模式；TOMO 的图像引导系统为加速器产生的 MV 级 X 射线，穿透人体，在对面的 CT 探测器形成 MV 级图像引导放射治疗。

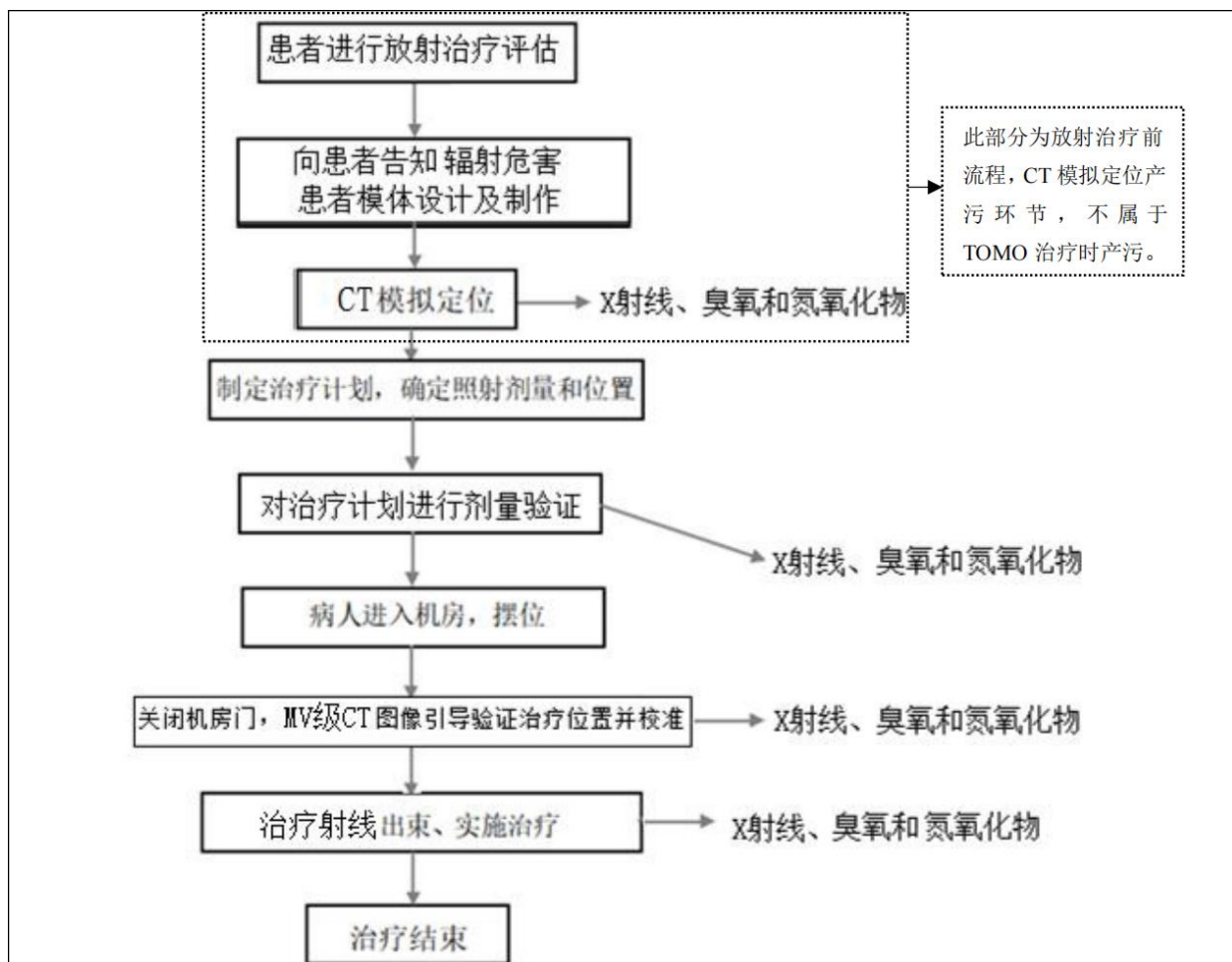


图 9-9TOMO 放射治疗工艺流程及产污环节

9.1.4 后装机设备组成、工作原理和工艺流程

1、设备组成和工作原理

(1) 系统组成

后装治疗机主要由放射源、施源器、贮源器、传输系统、控制系统、安全系统、治疗计划系统组成。施源器是直径为毫米级的管状物，管内可装球形的真源和假源，并有气动通道；传输系统由分度头连接多个输源管，通过分度头引导控制，将放射源经不同的输源管送到施源器；控制系统由计算机控制按治疗计划实施放射治疗，治疗完毕自动将放射源回收收到贮源器内；安全系统主要包括各种联锁系统、报警系统；治疗计划系统主要由计算机和治疗计划系统软件组成。

后装机是肿瘤内照射治疗设备，是集放射物理、微型放射源、影像技术、机电工程及计算机控制技术于一体的产品，它采用高剂量近距离后装治疗，通过腔内、管内、插植、术中、敷贴等手段，可以对人体的宫颈、宫体、直肠、膀胱、乳腺、食

道、鼻咽、支气管、前列腺、脑部等体内肿瘤和皮肤浅表面肿瘤进行安全有效的治疗。



图 9-10 后装机示意图

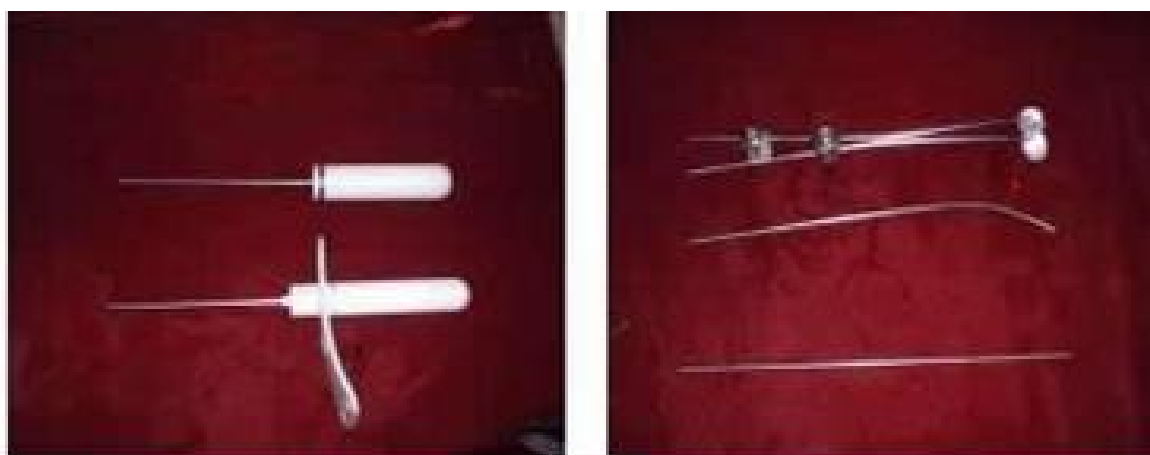


图 9-11 后装机施源器示意图

(2) 工作原理

后装治疗采用后装技术首先将不带放射源的施源器置于患者病灶部位，然后在安全防护条件下遥控放射源通过传输系统到达施源器内，按照治疗计划系统预先精确规划的治疗方案，使 γ 放射源在人体自然腔管道或组织间驻留，对肿瘤组织局部实施近距离大剂量照射，利用 γ 射线的生物效应，达到最大程度杀灭肿瘤组织和保护正常组织的目的，实现近距离放射治疗。

后装机治疗时则由传输管道连接贮源器，将源输送到预置于病员体内的施源器，按治疗计划由电脑自动控制进行照射治疗，照射完毕即自动将放射源收回到贮源器内。

2、技术参数

放射源： ^{192}Ir 。

半衰期：73.827d。

平均能量：0.37MeV。

最大源活度： $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ （10Ci）。

后装机使用的 ^{192}Ir 放射源，其半衰期短，每次使用同一源治疗的时间将会延长，在治疗时需按天计算放射性的衰变，几个月之后治疗的时间可能太长，一般3个月更换1枚，废放射源由放射源生产厂家负责调换、运输、处置，医院负责日常安全管理。

3、工作流程及产污环节

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

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

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

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

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

（6）照射完毕后，技术人员在操作间内查看机房内置的固定式剂量监测报警仪读数，确定回源后进入机房，协助病人离开机房，治疗结束。

后装机治疗实施一般工作流程及产污环节示意图见图9-12。

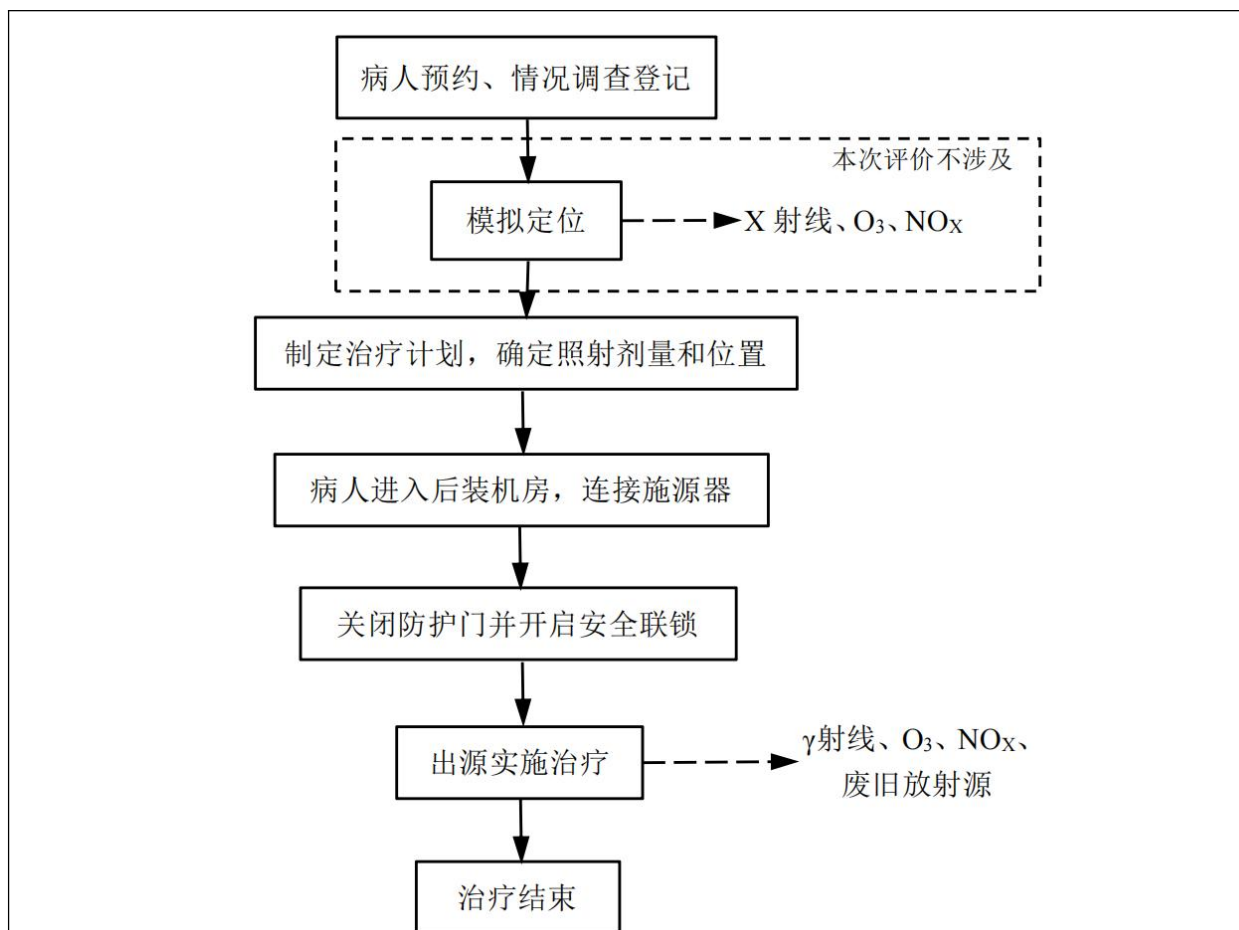


图 9-12 后装机工作流程及产污环节示意图

9.1.5 回旋加速器设备组成、工作原理和工艺流程

1、设备组成和工作原理

回旋加速器系统工作时，离子源产生需要被加速的离子（质子/氘离子/氦离子），注入加速器中心区，在中心区俘获后，引入磁铁系统，在磁场的作用下做回旋运动，同时受到射频电场作用实现共振加速。随着能量的不断增大，回旋半径不断增大，最终达到引出半径，从而被引出，引出的粒子能量可达到几十兆电子伏特（MeV）。引出的粒子束流传输至靶室内，与其路运动径上的靶核碰撞，通过核反应（如 $^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$ ）产生 ^{18}F 等放射性核素。

回旋加速器输出的能量可通过束流引出点调节，束流能量范围为 2MeV~10MeV，束流强度最大为 500μA。粒子束流损失主要包括加速器内部损失、束流引出点损失、准直器损失三个部分。其中加速器内部可损失绝大部分束流，以 H-粒子能量为例，初始束流能量约为 30keV~270keV，在加速器内部损失束流强度约为 8mA；束流引出点、准直器的束流强度损失相对较小，为μA 级别，剩余的束流均作用于靶体上，用于

产生放射性核素。

本项目回旋加速器主体重约 45t，在未打开机盖的情况下，其外观尺寸为直径 3.5m×高 3.5m，加速器主体外观见图 9-14。

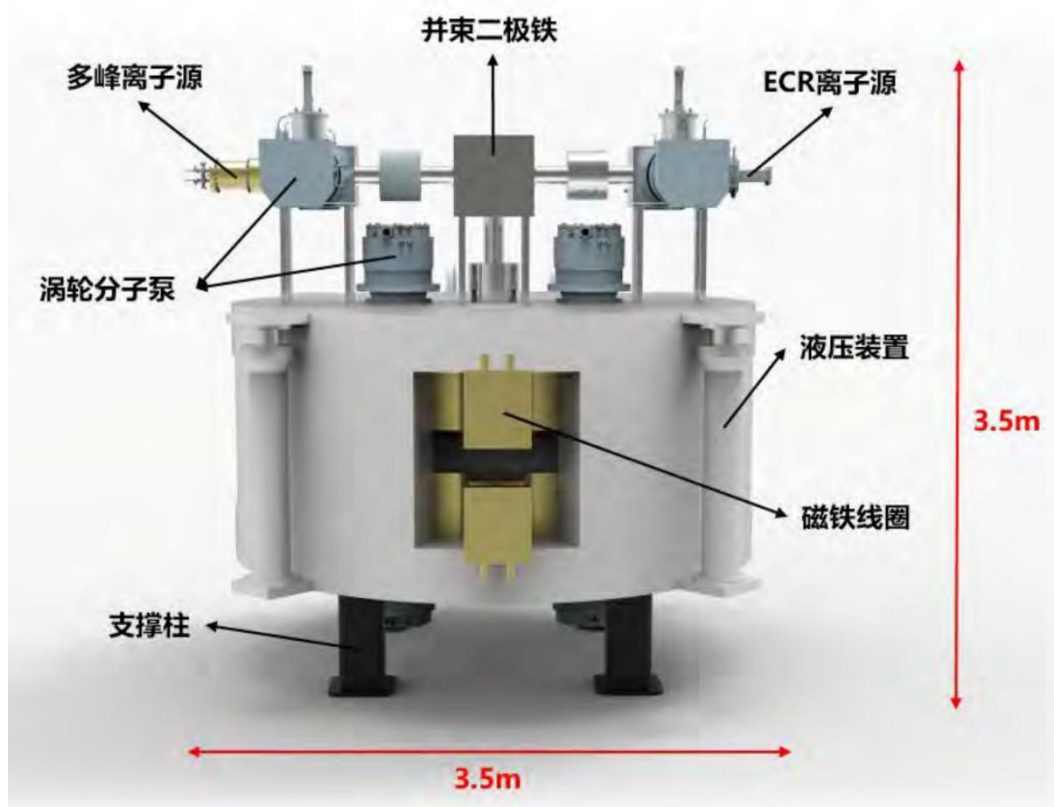


图 9-13 10MeV 回旋加速器示意图

回旋加速器系统主要组成包括：磁铁系统、高频系统、真空系统、水冷系统、中心区、引出系统、屏蔽系统等，各组成部分及其功能如下：

回旋加速器系统主要组成包括：磁铁系统、高频系统、真空系统、水冷系统、中心区、引出系统、屏蔽系统等，各组成部分及其功能如下：

离子源系统：由离子源、离子源电源、被电离的气体组成。常规加速器一般只能引出质子，本项目离子源系统可产生质子、氘离子、氦离子三种粒子。其中质子、氘离子由多峰离子源工作产生，氦离子由 ECR 离子源工作产生。

注入系统：将产生的离子注入加速器。

中心区：主要功能是将注入的离子引入加速器中，并使其得到有效的加速。

磁铁系统：由磁铁、励磁线圈以及磁铁电源构成，主要用于提供离子做回旋运动的轴向磁场。

高频系统：由高频谐振腔、高频功率源、同轴传输线、耦合器等组成，其主要作

用是提供粒子加速所需要的电场。

真空系统：为产生的高速粒子运动提供真空环境。

引出系统：主要作用是将已加速到额定能量的粒子引出，往往要求具有较高的引出效率，对于加速负离子的回旋加速器往往采用剥离引出。引出的质子束流最大能量为 10MeV，最大强度为 500 μ A；引出氖离子束流最大能量为 8MeV，最大强度为 50 μ A；引出氦离子束流最大能量为 10MeV，最大强度为 50e μ A。

水冷系统：主要作用是将加速器工作过程中产生的热量带走，回旋加速器运行过程中会产生较大的热量，特别是高频功率绝大多数是以热量的形式耗散掉，一般高达 10kW 左右，所以需要水冷将热量带走以保证整个加速器的正常工作。

回旋加速器主体内部结构示意图见图 9-14。

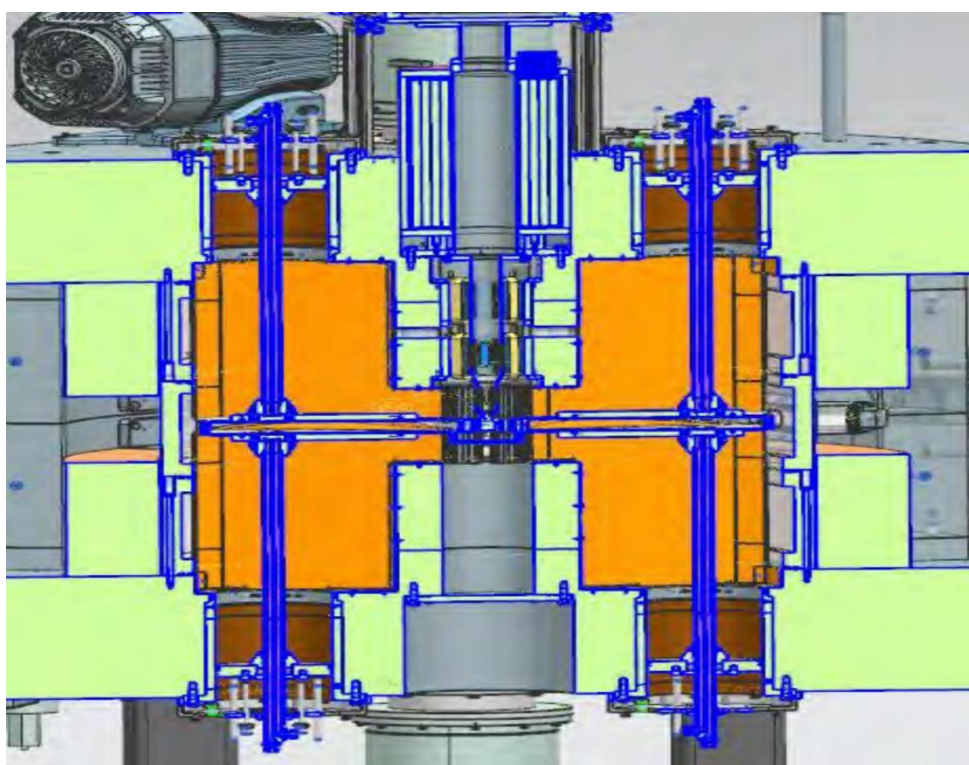


图 9-14 10MeV 回旋加速器内部结构示意图

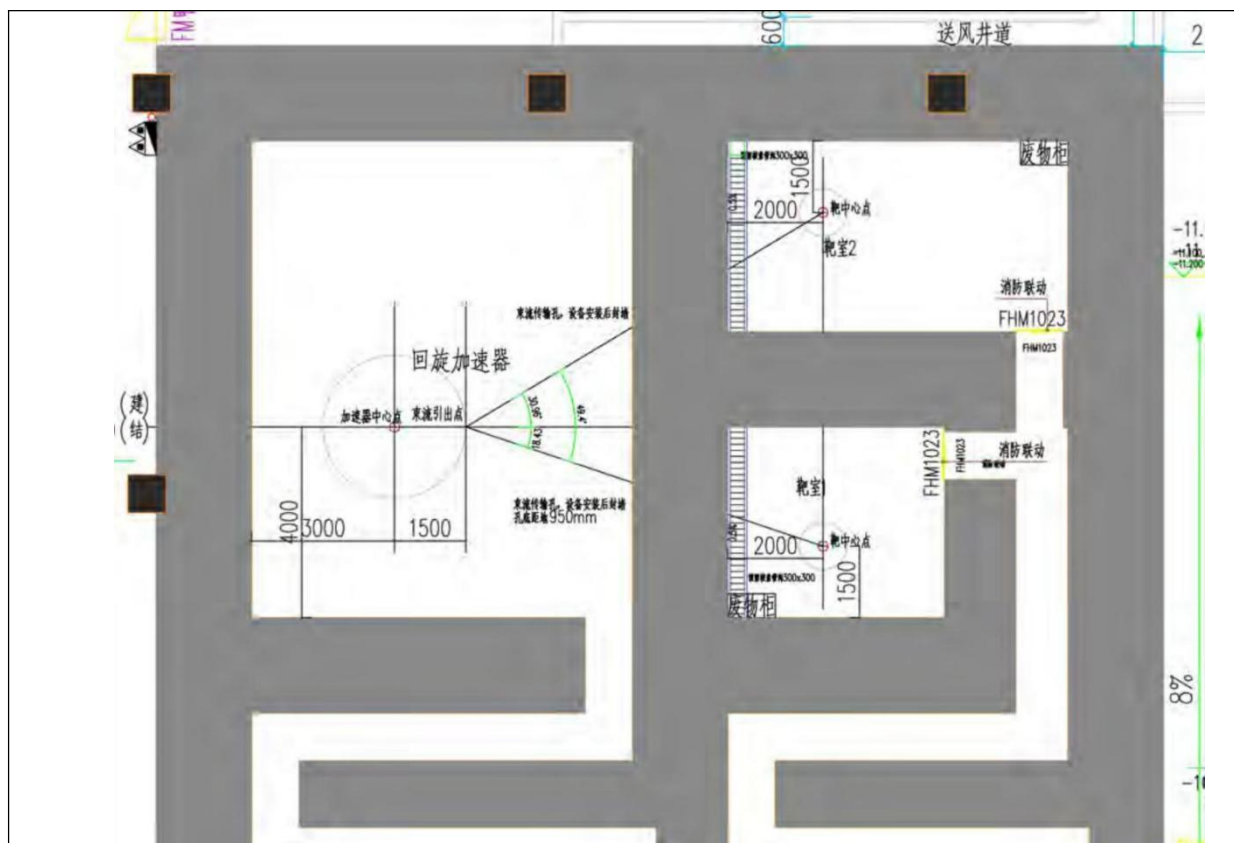


图 9-15 回旋加速器束流打靶位置示意图

2、技术参数

回旋加速器药物制备场所位于分子肿瘤治疗中心北侧，拟配置 1 台 10MeV 回旋加速器，及其配套靶室、药物合成、质检等相关用房。

3、工作流程及产污环节

对于本项目 10MeV 回旋加速器的靶体，根据医院规划生产的核素种类，分为固体靶、液体靶、气态靶三种。液态靶和气态靶均由工作人员在加速器控制室电脑端控制添加及更换，由专用管道传输至靶室内，完成打靶后通过高压气体吹进负一层的核素制备间热室内进行纯化。对于固态靶，本项目规划配置全自动固体靶系统，主要由电镀装置、溶解传输装置、跑兔单元、辐照装置、分离纯化装置五部分组成，固体靶的制作由工作人员在全质控实验室（非放场所）层流通风柜内完成，制靶电镀过程产生的槽渣及酸性废气需进行适当处置；制备完成后将靶托放在核素制备间热室内的溶解装置，而后启动全自动程序，跑兔通过溶解的收发装置传送到靶室内，完成打靶后再次传送回溶解装置进行核素溶解，溶解完成后的核素液体被传送到纯化装置进行核素的分离纯化工作。使用后的靶托可能存在活化情况，需收集存放一段时间后方可继续使用。

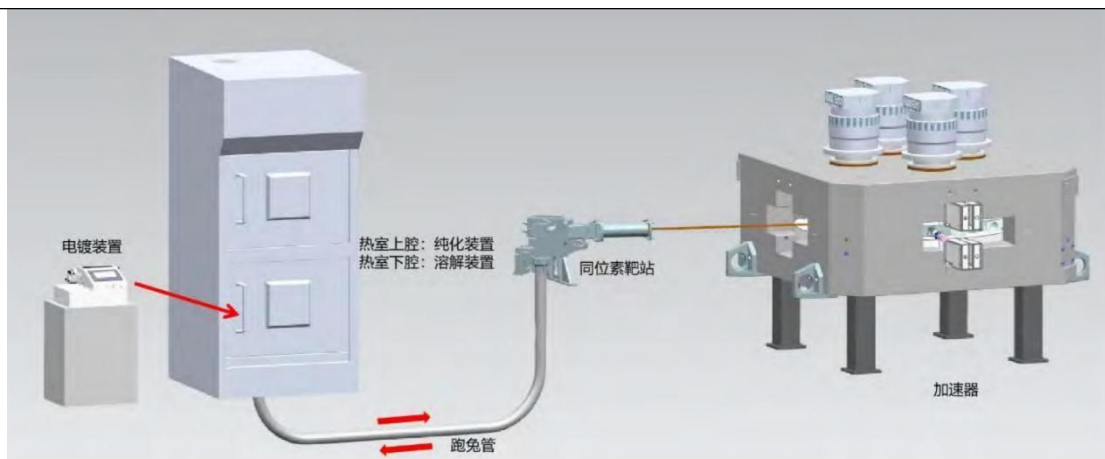


图 9-16 全自动固体靶系统工作示意图

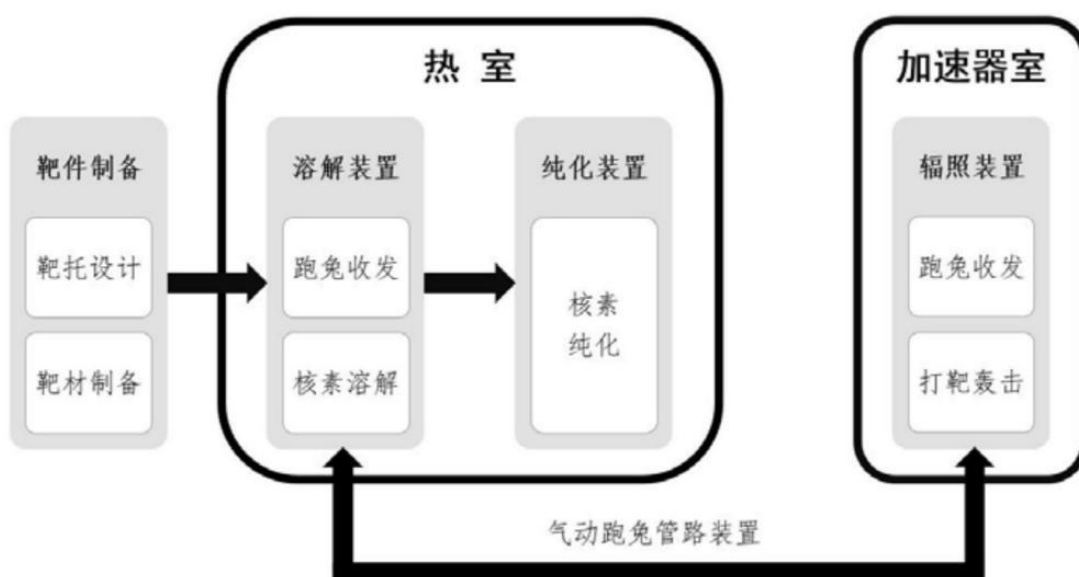


图 9-17 全自动固体靶工作原理简图

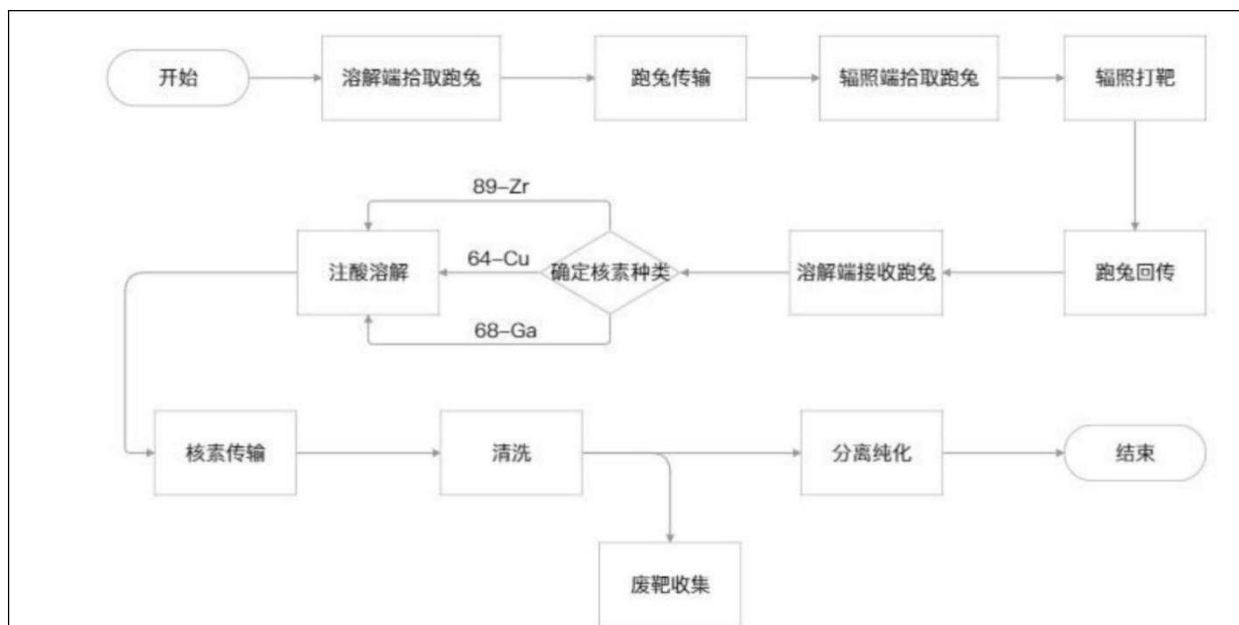


图 9-18 全自动固体靶功能流程图

经过纯化后的放射性药物，取微量至放射质检间开展质检，并对每批药物取样留存，经质检合格后根据需要的量将药物分装至安培瓶中，经铅罐屏蔽后，再由外包间传递窗传递，置于专用机器人腔内，经回旋加速器主机室西南侧专用机器人电梯（兼患者梯）将药物运送至地上对应核医学工作场所使用。留取的样品按照放射性固体废物衰变周期完成衰变后，再转移至全质控实验室进行药物质控等非放质检。

表 3-11 回旋加速器各核素制备的相关参数一览表

核素	束流种类	靶材	靶材物理状态	核反应	打靶能量/MeV	打靶流强/ μ A	打靶时间/h	EOB 产额/Ci ^注
^{18}F	质子	H_2^{18}O	液体	$^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$	20	200	2	30
^{11}C	质子	$^{14}\text{N}_2$	气体	$^{14}\text{N}(\text{p},\alpha)^{11}\text{C}$	20	100	0.5	3
^{13}N	质子	H_2^{16}O	液体	$^{16}\text{O}(\text{p},\alpha)^{13}\text{N}$	20	100	0.5	0.5
^{64}Cu	质子	^{64}Ni	固体	$^{64}\text{Ni}(\text{p},\text{n})^{64}\text{Cu}$	12	100	6	2
^{68}Ga	质子	^{68}Zn	固体	$^{68}\text{Zn}(\text{p},\text{n})^{68}\text{Ga}$	13	100	1	5
^{89}Zr	质子	^{89}Y	固体	$^{89}\text{Y}(\text{p},\text{n})^{89}\text{Zr}$	13.5	100	3	0.1
^{124}I	质子	^{125}Te	固体	$^{125}\text{Te}(\text{p},2\text{n})^{124}\text{I}$	30	100	10	1.2

注：上表中最后一列为建议流强下与打靶时间下的核素 EOB 产额，实际产额需根据用户实际打靶流强和打靶时间确定。

根据各核医学工作场所提前预定的药物种类及数量，本回旋加速器药物制备场所

对应制备药物。放射性药物的制备总体上包括打靶前物料准备、回旋加速器打靶、药物合成、药物质控、药物分装、配送等 6 个环节。以 F-18 为例，制备放射性药品 ^{18}F -FDG 的具体工艺流程如下：

（1）打靶前物料准备

回旋加速器在每次正式制备前均进行预处理，使用 $^{16}\text{O}\text{-H}_2\text{O}$ 清洗靶、用纯氦吹干药物传递管道，然后在 F-18 靶体内装入 O-18 重氧水，工作人员在加速器控制室通过电脑控制，使用高压气体将靶体通过管道运输、装载于加速器束流出口，期间工作人员无需进入靶室内开展工作。

（2）回旋加速器打靶

辐射工作人员在控制室内通过视频监控画面确认无误后，打开回旋加速器，选择 F-18 核素及相关参数开始打靶，在加速粒子达到最高阈能时引出轰击 O-18 重氧水，通过 $^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$ 核反应，在 F-18 靶体内生成 F-18 核素，将制备的核素通过专用聚醚酮树脂管，在氦气推动下输送至设定的 F-18 药物合成热室，再利用专用洗涤液及氦气对专用树脂管进行洗涤、吹干，回旋加速器关机。

回旋加速器在生产 F-18 的过程中，辐射工作人员在位于邻室的控制室内，通过计算机操作来进行控制。轰击过程中若有参数偏差，回旋加速器将自动停止工作。自动生产 F-18 过程的时间可以根据 F-18 产量的需要预先设定。

（3）药物合成

根据所需放射性药物提前配制试剂放置于合成热室内，回旋加速器打靶产生的 F-18 核素传送至对应合成热室的化学合成器内，在经活度测量、装载 QMA 柱、加淋洗溶液、无水乙醇除水、开展氟化取代反应、水解反应等一系列流程后，完成 ^{18}F -FDG 药品的合成。药品的合成存在一定的合成效率（即转化率），在采用不同合成热室的条件下其合成效率也不一样。

整个 ^{18}F -FDG 合成过程是在密闭并且屏蔽的合成热室内自动完成，化学合成器由计算机自动控制，不需人工介入。任何一个环节不符合要求，计算机将自动停止合成工作。

^{18}F -FDG 合成原理流程图见图 3-6。

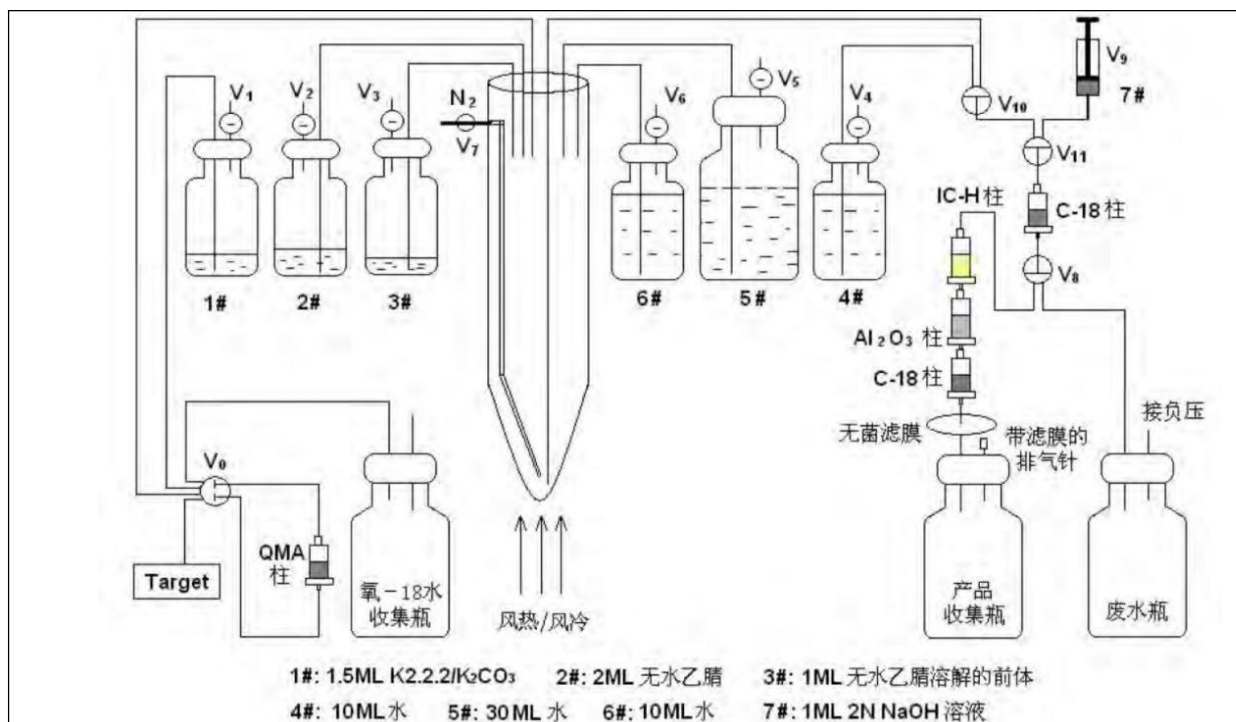


图 9-19¹⁸F-FDG 合成原理流程图

（4）药物质控

合成后的 ¹⁸F-FDG 药物经由屏蔽的专用管路自动传送到分装热室内的无菌真空收集瓶内，收集瓶被预先放置在 ¹⁸F-FDG 药品分装防护装置内。辐射工作人员观察收集瓶内产品的澄明度，打开分装热室手孔用 1ml 移液枪抽取约 0.01ml，拔下移液枪头，用毛细管从注射器顶端吸取少量液体，点在薄层硅胶板底端 1cm 处，完成点板操作；再取少量产品，点在 PH 试纸上检测产品的 PH 值；将薄层硅胶板放入方形药物屏蔽盒内，并带入放射质检间内，在放射质检间层流通风柜中取出薄层硅胶板，并放于展开剂中，待展开完成，将薄层硅胶板晾干，放到薄层色谱扫描仪上进行扫描。此外，对于每批药物还需提取少量样品，经屏蔽后转入留样间留存。

（5）药物分装

辐射工作人员打开分装热室手孔，在分装热室内根据需从药物收集瓶内利用无菌器皿抽取一定活度的 ¹⁸F-FDG 装入到 10ml 或 30ml 的无菌西林瓶内，经压盖密封后放入铅罐内，从热室的物料口取出铅罐，通过外包间东侧传递窗传出。分装热室的内部是负压洁净百级的环境，并且具有良好的辐射屏蔽能力，分装人员通过打开分装热室的正面手孔门伸入双手，透过铅玻璃防护视窗来进行操作。

（6）配送

辐射工作人员在外包间打开传递窗，取出铅罐后，放入专用机器人腔内，设置目

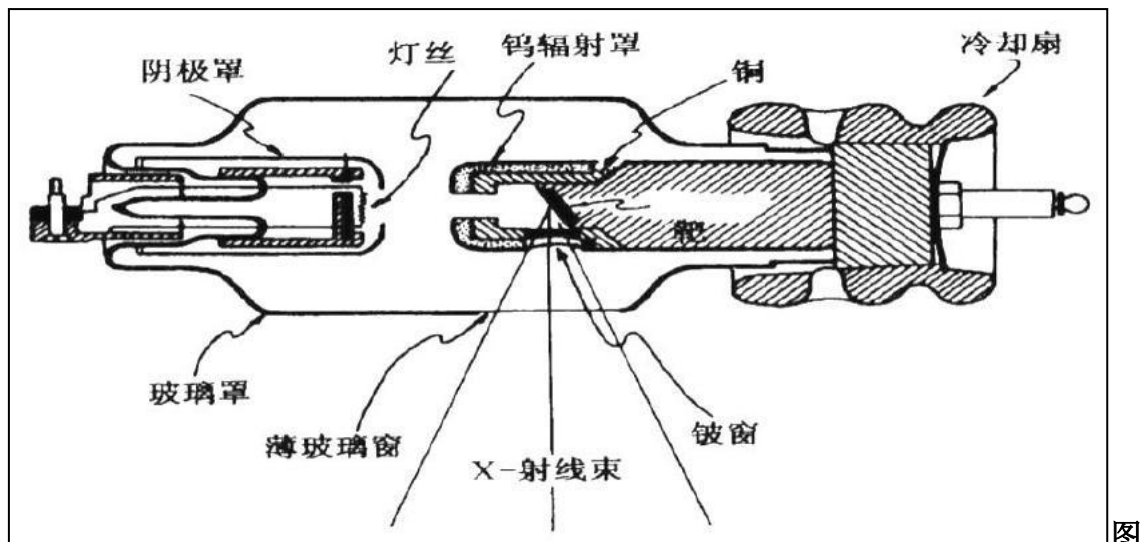
的地点，机器人沿回旋加速器主机室西南侧专用机器人电梯（兼患者梯）将药物运送至地上对应核医学工作场所使用。

9.1.6CT 模拟定位机设备组成、工作原理和工艺流程

1、设备组成和工作原理

模拟定位 CT 就是以 CT 为基础的模拟定位系统，CT 模拟定位系统由一台 CT 扫描机、一套虚拟定位及计划系统和一套三维（或四维）移动激光射野模拟系统三部分组成。三大部分通过数据传输系统在线连接。CT 扫描机是利用 X 射线对人体的某一部分按一定的层面厚度进行扫描，由于人体不同组织对 X 射线的吸收不同，检测器接收到的射线就有了差异。将所接收的这种有差异的剩余射线，转变为数字信息后由计算机进行处理，输出到显示屏上显示出人体的断面成像，能形象地模拟人体被扫描层面横断面的组织大体结构。

模拟定位 CT 中产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成，X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，高速电子轰击靶体从而产生 X 射线。典型 X 射线管结构详见 9-13。



图

9-20 典型 X 射线管结构图

2、技术参数

本项目拟建设 2 台模拟定位 CT 用于模拟定位，具体技术参数如下：

最大管电压：140kV。

最大管电流： $\geq 600\text{mA}$ 。

3、工作流程及产污环节

(1) 工作流程

CT 模拟定位的全过程包括体位确定、固定，建立原始坐标系，图像采集、传输、重建，靶区勾画和确定，射野选择和布置，射野等中心确定和并将原始坐标系原点移至等中心等一系列步骤。具体工艺流程如下：

①校准并移动激光灯，使得左右上三个激光灯所发射的激光线交于一点。

②在平面 CT 床上，将患者按放射治疗时要求的体位进行摆位和体位固定，尽量将靶区位置摆在接近等中心处。

③体位固定后，通过 CT 两侧墙的激光十字线和顶墙的激光十字线在皮肤上放置 CT 易于识别的参考固定 mark 点。

④按治疗计划的要求对相应部位进行增强扫描。扫描结束后，通过网络信息系统直接传送所有 CT 图像到治疗模拟计划工作站。

⑤利用所有 CT 层面自动勾画体表轮廓，然后逐层勾画靶区周围重要器官的轮廓和靶区轮廓，靶区包括肉眼肿瘤和亚临床病灶。

⑥利用 sim 软件计算照射等中心点和三个 mark 相交点之间的 Δ 值。

⑦将患者按原体位回到 CT 床上，按照该 Δ 值的参数要求移动激光灯，然后再标记这 3 条体位标记线，以便放射治疗的执行。

⑧放射治疗医生和物理师根据肿瘤和周围重要脏器之间在三维空间的相互关系设计合理的照射野。通过与 X 射线模拟定位验证片以及照射野影像监测片进行对比，全面了解照射野的合理性和准确性。

⑨将定位、勾画和布野的结果发送剂量计划系统进行剂量计算，对靶区出现剂量不均或周围脏器出现受量过高时，进行相应的调整。

⑩验证患者皮肤表面照射野等中心参考点标记与实际靶区中心和计划靶区中心的重复精度。

CT 模拟定位机工艺流程及产污环节如图 9-21 所示。

(2) 产污环节

由图 9-21 可知：使用 CT 模拟定位机对患者病变位置进行模拟定位时，因 CT 系统

曝光而产生 X 射线；X 射线使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。

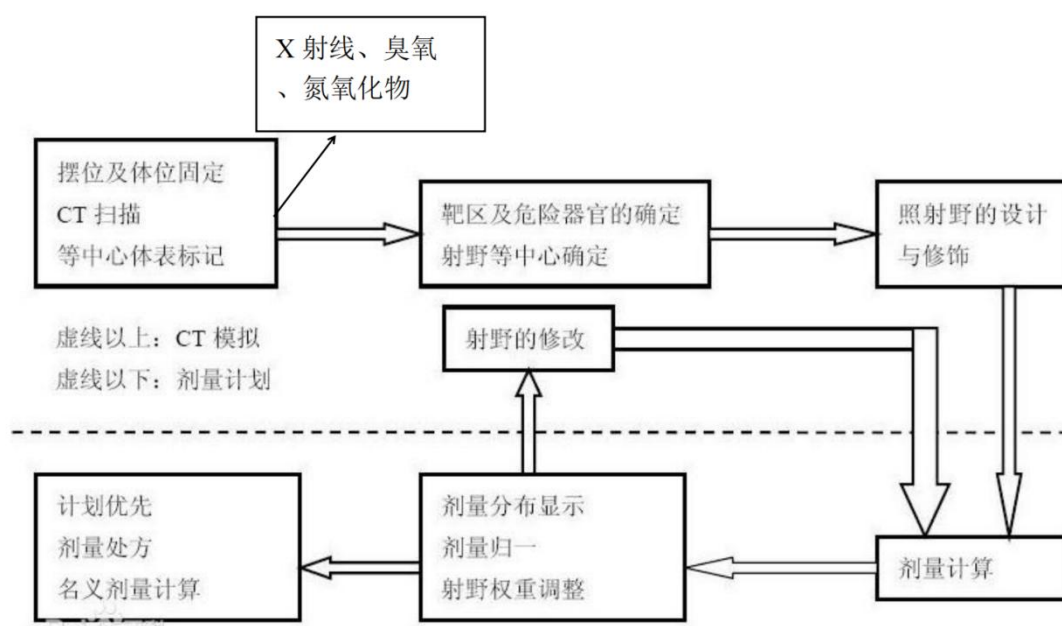


图 9-21CT 模拟定位机工艺流程及产污环节图

9.1.7PET/CT 和 PET/MR 设备组成、工作原理和工艺流程

1、设备组成和工作原理

(1) 设备组成

PET 是正电子发射计算机断层成像的英文 PositronEmissionTomography 的缩写，是反映病变基因、分子、代谢及功能状态的显像设备，利用正电子核素标记葡萄糖等人体代谢物作为显像剂，通过病灶对显像剂的摄取来反映其代谢变化，从而为进行临床提供疾病的生物代谢信息诊断。PET 扫描系统主要由扫描仪（scanner）、显像（imagingtable）、电子橱（electronicscabinet）、操作工作站（operator，sworkstation，OWS）、分析工作站（analysisworkstation，AWS）和影像硬拷贝等组成。PET 扫描仪的外形为一个柱状的支架（gantry），扫描视野位于支架的中央，由探测器、射线屏蔽装置等组成。

PET/CT 由正电子发射断层成像（PET）和 X 射线断层成像扫描（CT）组成，使用同一个检查床和 PET 图像与 CT 图像融合对位工作站，同时具有 PET 与 CT 功能，同时利用 PET 和 CT 进行临床疾病的诊断。

PET/MR 同时具有 PET 和 MRI 的检查功能，MRI 显示人体内部器官的精确结构图像，PET 显示人体的代谢活动情况，对疾病进行定性和定位诊断。MR 是磁共振成像的英文（baimagneticresonanceimaging）的缩写，利用射频电磁波进行临床疾病的诊断对

人体进行检查。由于核医学技术的特点，PET 在精度方面和定位方面有一定的限制。PET-CT 和 PET-MR 是在 PET 与 CT、MR 设备同机组合的基础上进行图像融合，融合后的图像既有精细的解剖结构又有丰富的生理、生化功能信息，能为确定和查找病灶的精确位置以及定量、定性诊断提供依据，并可利用 X 射线和射频电磁波对核医学图像进行衰减校正。

PET/MR 为正电子发射计算机断层成像（PET）和核磁共振成像（MRI）组合而成的一体化大型功能代谢与分子影像诊断设备，同时具有 PET 和 MR 的临床诊断功能。

一般情况 PET/CT 装置和 PET/MR 装置均会各配套有一套用于检测装置性能稳定性、图像信息的准确性的校准源，由于目前建设单位未选定 PET/CT 和 PET/MR 的品牌，而不同生产厂商生产设备的校准源配置方案不一致，建设单位存在购买意向的四家生产厂家生产的设备的校准源配置情况详见表 9.2-7。

表 9.2-7 本次 PET-CT 和 PET/MR 的校准源配置情况

序号	核素名称	放射性活度（Bq）及枚数	用途	类别	半衰期
1	⁶⁸ Ge	5.55E+08Bq（棒源）×4 枚	PET/CT、PET/MR 校准源	V类	288d
2	⁶⁸ Ge	1.11E+08Bq（模型源）×1 枚	PET/CT、PET/MR 校准源	V类	

(2) PET-CT 和 PET-MR 工作原理

PET 的工作原理是将 ¹⁸F、⁶⁸Ga 等放射性药物作为示踪剂注射到人体后，对受检者进行 PET 扫描成像。其临床显像过程为：将发射正电子的放射性核素（如 ¹⁸F 等）标记到能够参与人体组织血流或代谢过程的化合物（如脂肪酸、脱氧葡萄糖、氨基酸、核苷等）上，将标有带正电子放射性核素的化合物注射到受检者体内，让受检者在 PET 的有效视野范围内进行 PET 显像。放射核素发射出的正电子在体内与组织中的负电子结合发生湮灭辐射，产生两个能量相等（511keV）、方向相反的γ光子。由于两个光子在体内的路径不同，到达两个探测器的时间也有一定差别，如果在规定的时间内，探头系统探测到两个互成 180 度的光子时，即为一个符合事件，探测器便分别送出一个时间脉冲，脉冲处理器将脉冲变为方波，符合电路对其进行数据分类后，送入工作站进行图像重建。便得到人体各部位横断面、冠状断面和矢状断面的影像。

CT 依据 X 射线穿过人体不同组织吸收程度的不同，反映人体各部密度分布的信息，因而在荧光屏上显示出不同密度的阴影，再根据阴影浓淡的对比，结合临床表

现、化验结果等进行临床诊断。

PET/CT 同时具有 PET 和 CT 的检查功能，CT 显示人体内部器官的断层图像，PET 显示人体的代谢活动情况，对疾病进行定性和定位诊断。本项目使用的正电子核素为 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{64}Cu 、 ^{15}O 、 ^{89}Zr 七种，其中 ^{68}Ga 为外购核素，其他均由回旋加速器自制。

这些正电子核素有如下特点：

- ①是人体生命组成的基本元素，它们本身及其标记化合物的代谢过程反映了人体生理、生化功能的变化；
- ②半衰期短，适合于快速动态研究；
- ③湮没辐射产生的 γ 光子互成 180° ，可提供良好的空间定位。正电子成像一般不需要机械准直器而采用电子准直，可大大提高探测灵敏度，改善空间分辨率。

PET 系统的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。

CT 是计算机 X 射线断层扫描的英文 ComputedTomography 的缩写，原理是利用人体不同组织对 X 射线的吸收与透过率的不同，在荧光屏上显示出不同密度的阴影，再根据阴影浓淡的对比，结合临床表现、化验结果等进行临床诊断。CT 主要由 X 射线管、探测器、扫描架、计算机系统和辅助设备系统 5 部分组成。

2、技术参数

本项目拟新增的 2 台 PET-CT 额定管电压 140kV，额定管电流 800mA；本项目拟新增的 1 台 PET-MR 额定管电压 140kV，额定管电流 800mA。本项目使用的正电子核素为 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{64}Cu 、 ^{15}O 、 ^{89}Zr 七种，其中 ^{68}Ga 为外购核素，其他均由回旋加速器自制。

表 9.2-8PET 显像项目拟使用核素的放射性属性参数一览表

核素种类	半衰期	衰变类型	主要射线和能量 (MeV)	状态	毒性级别
^{18}F	109.8min	β^+ 、EC	γ : 0.511 (194%)	液态	低毒
^{11}C	20.39min	β^+ 、EC	γ : 0.511 (200%)	液态	低毒
^{13}N	10min	β^+ 、EC	γ : 0.511	液态	低毒
^{15}O	2.04min	β^+ 、EC	β :0.735、 γ : 0.511	液态	低毒
^{68}Ga	68min	β^+ 、EC	β :1.90、 γ : 0.511	液态	低毒
^{64}Cu	12.7h	β^+ 、 β^- 、EC	β :0.650、 γ : 0.511	液态	低毒
^{89}Zr	78.41h	β^+ 、EC	β :0.395、 γ : 0.909	液态	中毒

124I	4.18d	β^+ 、EC	β : 3.16、 γ : 0.602	液态	中毒
------	-------	---------------	----------------------------------	----	----

3、工作流程及产污环节

①放射性药物分装及运输：本项目 PET/CT 核素显使用正电子核素为 ¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹⁵O、⁶⁴Cu、¹⁵O、⁸⁹Zr 七种，其中 ⁶⁸Ga 为外购核素，其他均由回旋加速器自制。医院根据患者预约情况，提前做好药物订购计划，由厂家通过专用的运输工具将放射性药物送往 2 层核医学科储源室储存，分装医护人员采用自动分装仪分装放射性药物。

②注射：核医学科注射护士核对放射性药物名称、活度以及患者名字，在注射窗口对患者实施注射。注射完毕后的一次注射器，放入专用放射性废物铅桶内。

③患者注射后候诊：患者在注射完放射性药物后前往注射后休息室内等候（一般注射 ¹⁸F-FDG 后需等待约 45min），待药物充分代谢后，进入 PET/CT 扫描室进行扫描。扫描完成后，病人离开扫描室在留观室留观后离开核医学场所。工作流程及产污环节分析见图 9-22。

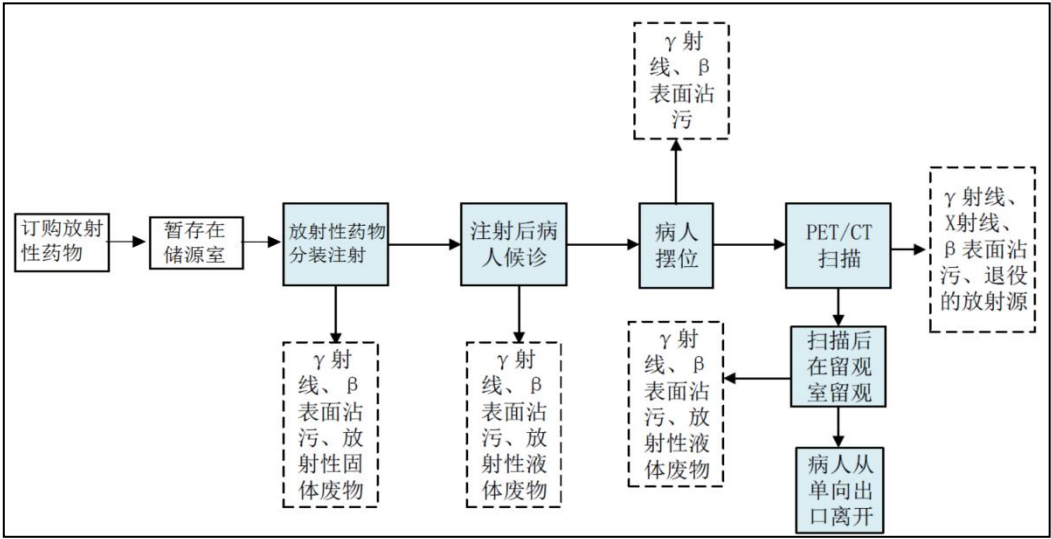


图 9-22PET/CT 工作流程及产污环节流程图

4）人员配备情况、工作负荷以及正电子核素使用量情况

本项目 PET 显像诊断区域拟配备辐射工作人员 4 人，年工作 250 天，2 名核医学医师负责设备操作、患者摆位和扫描，2 名护士负责正电子药物注射和药物转运。

PET 显像诊断区域年工作时间 250 天，日均就诊患者 40 例（一般以 ¹⁸F 患者为准，其他核素患者增加时则相应减少 ¹⁸F 患者预约量，其他核素集中在一个时间段，

每周开展一到两次）。PET 显像诊断区域正电子放射性药物使用情况详见表 9.2-9。

表 9.2-9PET 显像项目使用核素情况一览表

序号	核素名称	用途	单人最大用量（Bq）	日最大诊疗人数（人）	日实际最大操作量（Bq）	年诊疗人数（人）	年最大用量（Bq）
1	¹¹ C	PET 显像 诊断	3.70E+08	2	7.40E+08	200	7.40E+10
2	¹³ N		3.70E+08	2	7.40E+08	200	7.40E+10
3	¹⁵ O		3.70E+08	2	7.40E+08	100	3.70E+10
4	¹⁸ F		3.70E+08	40	1.48E+10	10000	3.7E+12
5	⁶⁴ Cu		3.70E+08	2	7.40E+08	200	7.40E+10
6	⁶⁸ Ga		3.70E+08	10	3.70E+09	1000	3.70E+11
7	⁸⁹ Zr		1.48E+08	2	2.96E+08	100	1.48E+10
8	¹²⁴ I		1.85E+08	2	3.70E+08	200	3.70E+10

PET/CT 和 PET/MR 显像患者最大为 40 人次/天（10000 人次/年），其中 PET/CT 显像患者 30 人次/天（7500 人次/年），PET/MR 显像患者 10 人次/天（2500 人次/年）。药物分装时间约 1min/人（0.67h/d，166.7h/a），药物注射时间约 1min/人（0.67h/d，166.7h/a），摆位时间约 30s/人（0.333h/d，83.33h/a），患者 PET/CT 扫描时间约 15min/人（7.5h/d，1875h/a），CT 扫描时间约 10s/人（0.083h/d，20.83h/a）。PET/MR 显像患者扫描时间约 30min/人（5h/d，1250h/a）。回旋加速器放射线药物制备区药物转运 10min/天，则日最大操作时间为 0.17h（41.7h/a）。

9.1.8SPECT/CT 设备组成、工作原理和工艺流程

1、设备组成和工作原理

（1）设备组成及工作原理

SPECT/CT 的全称是单光子发射计算机断层扫描仪（Single-PhotoEmissionComputedTomography），其使用放射性药物进行诊断的基本原理是：受检者注射或口服含 ^{99m}Tc、¹³¹I 等标记药物，放射性药物在人体内代谢，在特定的器官或组织发射出光子（γ射线），穿过组织器官后到达 SPECT 探测器。SPECT 使用低能准直器对γ射线进行准直，通过闪烁体将γ射线能力转换为光信号，再通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大，得到的测量值代表在该投影线上的放射性大小，再利用计算机从投影求解断层图形。其主要的功能特点是：除了显示脏器形态结构外，更重要的是可观察到脏器血流灌注、功能和代谢的变化。临床主要应用于骨骼显像、甲状腺显像、肾动态显像等。

SPECT/CT 主要由三部分组成，即探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备。探头部分主要由准直器、晶体、光导、光电倍增管、模拟定位计算电路组成。SPECT/CT 自身带有一个 CT 球管，同时获得 CT 解剖图像，与核素扫描获得的功能影像，进行图像融合，从而得到功能-解剖图像，有利于对疾病作出全面、准确的判断。

2、技术参数

本项目拟新增的 2 台 SPECT/CT 的额定管电压 140kV，额定管电流 800mA。

本次项目使用放射性核素 ^{99m}Tc 、 ^{67}Ga 、 ^{111}In 、进行 SPECT/CT 显像检查。本项目 ^{99m}Tc 、 ^{67}Ga 、 ^{111}In 、药物为外购单支成品药物的形式送达，核医学科内无需人工分装。

SPECT 显像项目拟使用核素的放射性属性参数见表 9.2-10。

表 9.2-10SPECT 显像项目拟使用核素的放射性属性参数一览表

核素种类	半衰期	衰变类型	主要射线和能量 (MeV)	状态	毒性级别
^{99m}Tc	6.02h	同质异能跃迁	γ : 0.141	液态	低毒
^{67}Ga	3.26d	EC	γ : 0.300	液态	中毒
^{111}In	2.80d	EC	γ : 0.245	液态	中毒
	5.25d	β^-	β :0.346、 γ : 0.081	液态	低毒
	3.04d	EC	γ : 0.167	液态	低毒

3、工作流程及产污环节

本次项目使用放射性核素 ^{99m}Tc 、 ^{67}Ga 、 ^{111}In 、进行 SPECT/CT 显像检查。本项目 ^{99m}Tc 、 ^{67}Ga 、 ^{111}In 、药物为外购单支成品药物的形式送达，核医学科内无需人工分装。

①药物订购：本次项目使用放射性核素 ^{99m}Tc 和 ^{131}I 进行 SPECT/CT 显像检查。本项目 ^{99m}Tc 为外购单支成品药物的形式送达，核医学科内无需人工分装， ^{131}I 采用自动分装仪分装药物。工作人员根据预约检查的人数，提前向供药单位订购放射性药物，供药单位将药物送至核医学科，核医学科安排专人接收放射性药物，核对放射性药物名称、活度，检查药品包装和外观质量等，办理交接手续并存档，然后将药物暂存在储源室中。

②药物活度测量：注射或给药前，工作人员在手套箱防护条件下对放射性药物进行活度检测。

③注射或口服： ^{99m}Tc 放射性药物注射器外套铅屏蔽套，在注射屏蔽窗口为患者注射。注射完毕后的一次性注射器，放入专用放射性废物铅桶内。患者在注射完放射性药物后前往注射后休息室内候诊，候诊完成后进入 SPECT/CT 机房接受扫描，扫描结束后进入留观室留观或直接从出口离开核医学科工作场所； ^{131}I 显像使用放射性药物在注射窗口服药后，直接离开核医学场所，隔 2~3 天回核医学科进行 SPECT/CT 显像检查。SPECT/CT 工作流程图见图 9-23。

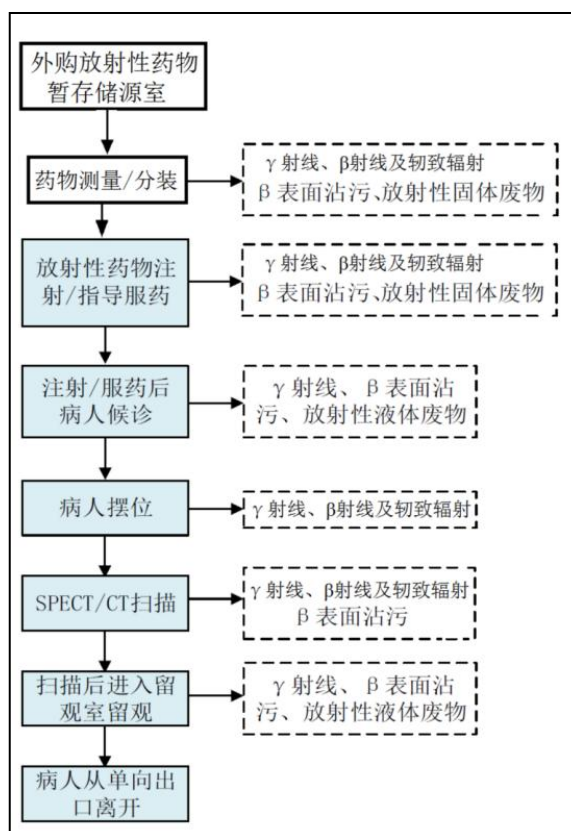


图 9-23 SPECT/CT 工作流程产污环节流程图

根据治疗要求，甲癌 ^{131}I 治疗患者离院前需进行 SPECT 显像扫描，故根据医院统筹安排，上述患者需穿戴防护用品并在核医学科辐射工作人员护送下分批、错时进入核医学科 SPECT/CT 机房进行 SPECT 显像扫描，不候诊和留观，扫描结束后由辐射工作人员经规划路线返回甲癌治疗病房或输注专用病房。如当日安排了甲癌 ^{131}I 治疗患者、 ^{99m}Tc 模拟输注手术后患者进行 SPECT 显像扫描，则相应减少 ^{99m}Tc 患者预约量。本项目 SPECT 显像扫描日最大人次控制为 30 人次/天。甲癌患者离院前患者进行 SPECT、PET 显像扫描的流程图详见图 9.2-7。

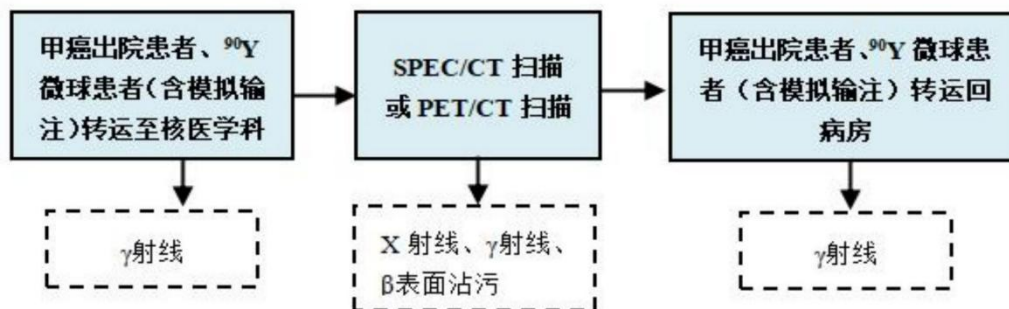


图 9.2-7 甲癌患者 SPECT、PET 显像流程图

4) 人员配备情况、工作负荷以及核素使用情况

本项目 SPECT 显像诊断区域拟配备辐射工作人员 4 人，年工作 250 天，2 名核医学医师负责设备操作、患者摆位和扫描，2 名护士负责药物注射。

SPECT 显像诊断区域年工作时间 250 天，日均就诊患者 30 例（一般以 ^{99m}Tc 患者为准，其他核素患者增加时则相应减少 ^{99m}Tc 患者预约量，其他核素集中在一个时间段，每周开展一到两次）。SPECT 显像诊断区域核素使用情况详见表 9.2-11。

SPECT/CT 显像检查最大为 30 人次/天（7500 人次/年），药物注射时间约 1min/人（0.5h/d，125h/a），摆位时间约 30s/人（0.25h/d，62.5h/a），患者 SPECT/CT 扫描时间约 20min/人（10h/d，2500h/a），CT 扫描时间约 10s/人（0.083h/d，20.83h/a）。甲癌出院前患者摆位时间约 30s/人（0.058h/d，7h/a），甲癌患者 SPECT/CT 扫描时间约 20min/人（2.33h/d，280h/a）。

9.1.9 钼-锝发生器设备组成、工作原理和工艺流程

回旋加速器药物制备场所除利用回旋加速器生产放射性药物外，考虑回旋加速器制备 ^{99m}Tc 的产量较低（打靶 6h 制备 4Ci），本项目拟外购钼锝发生器淋洗制备部分 ^{99m}Tc 药物。

目前最常用的钼锝发生器属于裂变 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 色层发生器，基本部件包括钼酸锆柱、淋洗系统和用于保护工作人员的辐射屏蔽套。

^{99m}Tc 由钼酸锆柱内 ^{99}Mo 不断衰变产生，并被钼酸锆柱吸附，利用钼酸锆柱亲和 ^{99}Mo 但对 ^{99m}Tc 吸附能力较低的特性，加入适当的淋洗剂（生理盐水）时，便可将衰变后的子体核素 ^{99m}Tc 洗脱。为了使用方便，一套钼锝发生器除基本部件外，常附加子体核素（ ^{99m}Tc ）溶液接收瓶（即负压瓶）和一定量的淋洗剂（生理盐水）。由于母体核素的不断衰变就不断地产生子体核素，因而核素发生器可以反复淋洗制得子体核

素。钼锝发生器的内部结构及实体见图 9-23。



图 9-23 钼锝发生器的内部结构及实体图

本项目拟使用的钼锝发生器由已取得相应辐射安全许可的专业生产厂家提供，钼锝发生器有 300mCi、500mCi、800mCi、1000mCi 等不同规格，在实际采购时根据患者预约情况确定。

9.1.10 锗-镓（ ^{68}Ge - ^{68}Ga ）发生器制备放射性药物 ^{68}Ga

1、工作原理

本项目拟购置锗镓（ ^{68}Ge - ^{68}Ga ）发生器在 ^{68}Ga 制备间密闭手套箱内进行淋洗、分装、标记得到的 ^{68}Ga 药物用于 PET 显像诊断和动物 PET 显像实验。锗镓发生器是一种由母体核素 ^{68}Ge 衰变制备 ^{68}Ga 正电子显像药物的装置，其属于色谱柱型发生器，吸附柱对母体核素 ^{68}Ge 有很强的亲和力，子体核素 ^{68}Ga 则几乎不被吸附。用盐酸溶液淋洗吸附柱，则仅有 ^{68}Ga 被洗出。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。

锗镓发生器的具体工作原理为： ^{68}Ge 离子吸附在色层柱上， ^{68}Ge 离子衰变后产生 ^{68}Ga 离子， ^{68}Ga 离子与 ^{68}Ge 离子化学性质不同，使用时每隔数小时用 0.05~0.15mol/L 的 HCl 溶液淋洗即可得到含有 ^{68}Ga 离子的淋洗液，而 ^{68}Ge 仍留在发生器内，一般情况下，发生器每隔 4 小时可淋洗一次。

本项目锗镓发生器规格为 400mCi，根据医院提供资料， ^{68}Ga 的淋洗效率大约为 75%，则单次最大淋洗出 ^{68}Ga 的活度为 300mCi，但伴随 ^{68}Ge 母体的衰变，每次淋洗量会有所递减。发生器的预期质保时间取决于使用频率，洗脱的体积等因素，根据厂家提供的数据，发生器的合理质保期为 12 个月。实际工作中，医院根据使用情况，一般 6~12 个月更换一次，废旧锗镓发生器由厂家回收。

2、工作流程及产污环节

①淋洗、标记：根据预约患者用药需求，由工作人员将发生器装入淋洗专用密闭手套箱内，设定淋洗程序，淋洗柜自动定量淋洗出 ^{68}Ga 标记的溶液。

②标记、质控：标记完成后，操作人员分装少量药物，传送至全检质控室进行质控操作。

③包装、转运：放射性物质质控合格后，在 ^{68}Ga 制备间内的分装手套箱中进行分装，分装药物分装过程采用计算机全自动化控制，将放射性药物按照所需药物自动分装到无菌瓶中。工作人员通过机械手将密封好的无菌瓶装入铅罐内，并盖上钨合金罐盖子。经升降装置将铅罐下降至分装手套箱底部柜体，再取出。放射性药物自动分装时间约 10min/批次。

^{68}Ga 放射性药物淋洗、标记、分装流程及产污环节详见图 9.2-4。

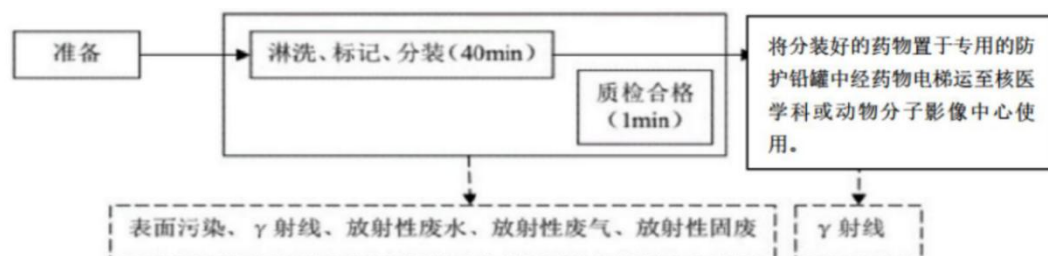


图 9.2-4 ^{68}Ga 放射性药物淋洗、标记、分装流程及产污示意图

锗镓发生器每日淋洗 1 次，淋洗时间约 10min (0.17h/d, 51h/a)，标记时间约 10min (0.17h/d, 51h/a)， ^{68}Ga 药物每次分装时间约为 1min/次，每日分装最大 2 次，则分装时间 0.033h/d (8.33h/a)。

9.1.10 ^{131}I 甲癌治疗、甲亢治疗项目

1、 ^{131}I 甲癌治疗

(1) 工作原理

甲癌治疗的原理在于甲状腺细胞对碘化物具有特殊的亲和力，口服一定量的 ^{131}I

后，能被甲状腺大量吸收，具有损害作用的放射性 ^{131}I 能种入甲状腺组织中， ^{131}I 在衰变为 ^{131}Xe 时，能放射出最大能量为 0.605MeV 的 β 射线（占 99%）和能量为 0.364MeV 的 γ 射线（占 1%），前者的有效射程仅有 0.5~2 毫米，能选择性地破坏甲状腺腺泡上皮而不影响邻近组织，甲状腺组织能受到长时间的集中照射，其腺体被破坏后逐渐坏死，代之以无功能的结缔组织，从而达到彻底清除甲状腺组织的目的。

（2）工作流程及产污环节

甲癌治疗的工作流程及产污环节如下：

①预约登记：门诊接诊患者，询问患者病史级临床表现，对患者进行相关辅助检查（一般为甲功五项、甲状腺超声、甲状腺吸碘率、肝肾功能等），医生根据检查结果做出判断并制定相应的治疗方案，告知患者治疗前注意事项与诊疗过程的辐射危害，医生根据患者病情确定使用核素的剂量。

②药物预定及接收：工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间送药品，经确认无误完成相关交接、登记手续后，将 ^{131}I 药物放于储源室，本项目 ^{131}I 药品为药罐装载货包形式的外购药物。

③分装、给药：开展甲癌治疗时，工作人员在上班前将药罐放在分装柜自动分碘仪内。接受 ^{131}I 诊疗的患者进入 ^{131}I 服药室，医护人员在通过电脑控制系统遥控操作自动分碘仪自动分装药物，并通过视频、语音系统指导患者在 ^{131}I 服药室服药。

④住院治疗：根据医生指导，甲癌患者服药后进入核素病房住院观察。甲癌患者按照要求住院结束前，经检测体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，按照医护人员指引，自专用患者电梯（兼机器人电梯）下至一层，听从指引沿患者走廊进入对应 SPECT 检查室接受出院前检查，检查完毕后即可离开控制区并办理出院手续。由于甲癌患者在一层停留时间很短且已满足出院要求，对环境产生的影响几乎可以忽略不计，本项目不考虑甲癌患者出院前检查的辐射影响。

甲癌治疗项目工作流程与产污环节见图 9-17。

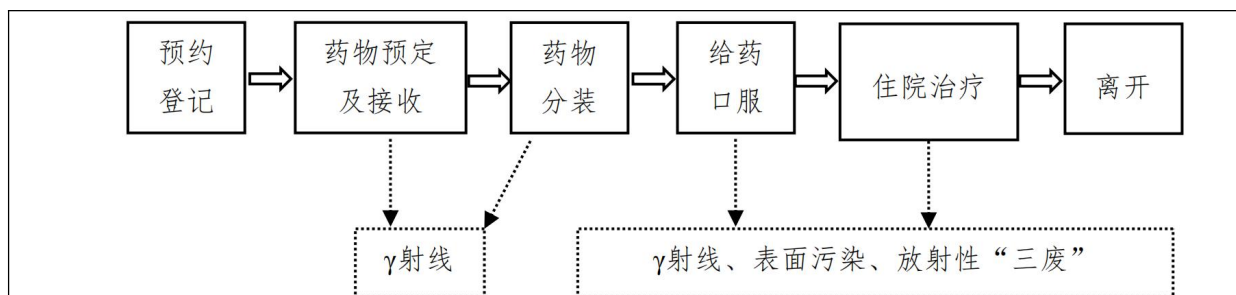


图 9-16 甲亢治疗的工艺流程及产污环节示意图

2、 ^{131}I 甲亢治疗

(1) 工作原理

甲亢治疗是利用甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}I 的功能，口服一定量的 ^{131}I 后，可被甲状腺组织大量摄取。 ^{131}I 衰变过程中，主要释放 β 射线。 β 射线可选择性地破坏甲状腺组织而不影响邻近组织。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分泌，达到类似于甲状腺全切除的目的。

(2) 工作流程及产污环节

①预约患者：门诊接诊患者，询问患者病史级临床表现，对患者进行相关辅助检查（一般为甲功五项、甲状腺超声、甲状腺吸碘率、肝肾功能等），医生根据检查结果做出判断并制定相应的治疗方案，告知患者治疗前注意事项与诊疗过程的辐射危害，医生根据患者病情确定使用核素的剂量。

②订药：工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间送药品，经确认无误完成相关交接、登记手续后，将 ^{131}I 药物放于储源室，本项目 ^{131}I 药品为药罐装载货包形式的外购药物。

③分装、给药：开展甲亢治疗时，工作人员在上班前将药罐放在分装柜自动分碘仪内。接受 ^{131}I 诊疗的患者进入 ^{131}I 服药室，医护人员在通过电脑控制系统遥控操作自动分碘仪自动分装药物，并通过视频、语音系统指导患者在 ^{131}I 服药室服药。

④留观：根据医生指导，甲亢患者服药短暂留观无异常后即可离开核医学科。甲亢治疗项目工作流程与产污环节见图 9-17。

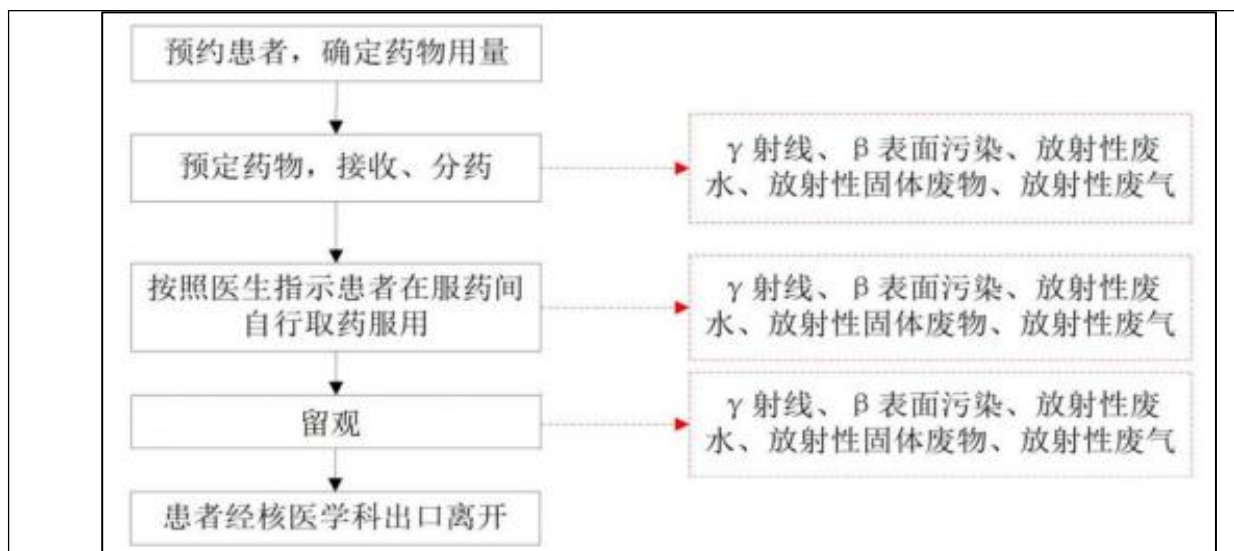


图 9-17 甲亢治疗工作流程及产污环节示意图

9.1.11 骨转移癌核素治疗

1、治疗原理

骨转移癌核素治疗主要使用的放射性核素为 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 、 ^{223}Ra 、 ^{213}Bi 。

1) 治疗原理

^{89}Sr 治疗骨转移癌工作原理： ^{89}Sr 在元素周期表上是位于 Ca 之后的 IIA 族金属元素，进入体内几乎与 Ca 一样参与骨的矿物营养物质代谢并在骨中浓集，是一种亲骨性核素。 ^{89}Sr 发射 β 射线， β 粒子的最大能量为 1.488MeV，物理半衰期为 50.5d，在骨组织内的射程约为 6.7mm。利用其发射的 β 射线杀死肿瘤细胞，并起到镇痛治疗的作用。 ^{89}Sr 静脉注射后浓集于骨内，一般在注射后 10d， ^{89}Sr 在骨肿瘤部位的浓集达到高峰，然后缓慢下降。在病灶中 ^{89}Sr 的浓集能保持较长时间，注射后 90d，其骨转移灶的 ^{89}Sr 的滞留量仍可达 20%~80%。而正常骨组织注射 ^{89}Sr 后一天即达峰值，然后很快减少，骨转移灶的浓集量是正常骨的 2-25 倍，由此对病灶就有足够的照射剂量，而对病灶以外的正常骨组织照射很少，不致引起不可逆的骨髓损伤。 ^{89}Sr 还可降低碱性磷酸酶和前列腺素（PEG）水平，有利于减轻骨质溶解，修复骨质，达到止痛和降低血钙的作用。用于治疗的 $^{89}\text{SrCl}_2$ 是直接进行静脉注射，一般用量 2.5mCi-4.0mCi/人，每份用于治疗的放射性液体由供应商事先分装，预约病人后发货，治疗时不需再分装，可门诊治疗骨转移癌。

治疗骨转移癌工作原理：趋骨性极低，与骨组织不具备自然亲和力，但其与乙二

胺四亚甲基膦酸（EDTMP）螯合后可形成新的复合物，从而能获得较高的趋骨性。发射β和γ射线，β粒子的最大能量为 0.702MeV，物理半衰期为 46.28h，在骨组织内的平均射程约为 0.83mm。经静脉注入机体后能迅速与含羟基磷灰石的骨组织紧密结合，使得骨转移灶中恶性肿瘤细胞能持续暴露于较高辐射剂量的β射线，达到局部控制或治疗的目的。

¹⁸⁸Re 发射的β射线能量为 2.12MeV，在软组织中的射程为 3mm，对周围组织损伤小，半衰期为 16.9h。同时还发射能量为 155keV 的γ射线，适宜于显像以及追踪其在组织内的分布变化。本项目使用的 ¹⁸⁸Re 用于治疗恶性肿瘤骨转移。

²²³Ra(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 43 微米)，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。对工作人员和患者周围公众外照射影响轻，一般用于开展骨转移癌治疗。

²¹³Bi 治疗骨转移癌工作原理：α粒子和β粒子具有较短的射程和较高的细胞毒性，可清除微小的、弥漫的以及术后残余的肿瘤，同时最大限度减少对健康组织的损害。α发射体核素凭借更高的能量和更短的射程、更高的传能线密度，可以给目标肿瘤组织更高的损伤效果，并降低对周围健康组织的损害，因此靶向α治疗可以通过较低的给药剂量实现更好的疗效。²¹³Bi 是最早用于靶向α治疗的放射性核素之一，其衰变过程产生 1 个α粒子和 2 个β粒子。²¹³Bi 半衰期较短 45.6min，本项目使用 ²¹³Bi 用于治疗恶性肿瘤骨转移。

2、源项分析

骨转移癌核素治疗拟使用核素的放射性属性参数见表 9.2-14。

表 9.2-14 骨转移癌核素治疗拟使用核素的放射性属性参数一览表

核素种类	半衰期	衰变类型	主要射线和能量 (MeV)	状态	毒性级别
⁸⁹ Sr	50.9d	β ⁻	β: 0.585	液态	中毒
	46.28h	β ⁻	β: 0.694、γ: 0.103	液态	中毒
¹⁸⁸ Re	16.98h	β ⁻	β: 2.12	液态	中毒
²²³ Ra	11.43d	α	α: 5.87	液态	极毒
²¹³ Bi	45.6min	α、β ⁻	α: 5.87、γ: β: 1.420、0.440	液态	高毒

3、工作流程及产污环节

骨转移癌核素治疗工作流程：患者确诊后预约登记，根据病情确定放射性核素种类（⁸⁹Sr、¹⁸⁸Re、²²³Ra、²¹³Bi）及用量，按照约定时间（早上 8 点至 8 点 30 分为骨转移癌治疗时间）到负一层甲亢给药室（与甲亢治疗不同时开展，避开 SPECT 诊断患者注射时间）。本项目骨转移癌治疗放射性药物均为外购单支成品药物的形式送达，核医学科内无需人工分装。

护士通过静脉注射方式给药，给药注射时使用注射器防护套，给药完成并在留观室留观，经医生确认后，患者自行离开。通过预约、时间管控，能够实现避免骨转移癌治疗患者与其它显像诊断患者的交叉，同时避免骨转移癌治疗患者受到其它核素不必要的照射，骨转移癌工作流程及产污环节见图 9.2-9。

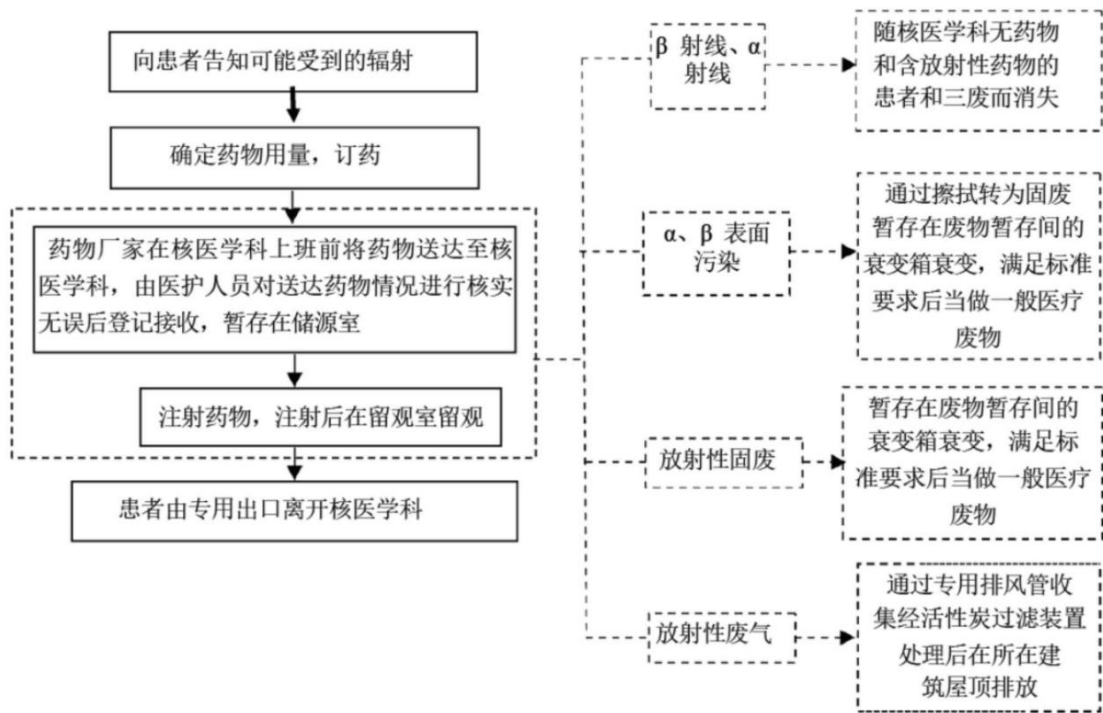


图 9.2-9 骨转移癌工作流程及产污环节

4、人员配备情况、工作负荷以及核素使用情况

骨转移癌治疗辐射工作人员为 SPECT 显像诊断区域辐射工作人员，主要为 2 名护士负责骨转移癌放射性药物接收、准备和注射。⁸⁹Sr、治疗预计每周最多开展 2 天，¹⁸⁸Re、²²³Ra、²¹³Bi 治疗预计每周最多开展 1 天，一天最多集中使用两种核素。本项目骨转移癌核素治疗使用核素相关情况见表 9.2-15。

表 9.2-15 骨转移癌核素治疗拟使用核素相关情况一览表

序号	核素名称	单次最大给药量 (Bq)	日最大诊疗人次 (人)	日最大操作量 (Bq)	年最大诊疗人次 (人)	年最大操作量 (Bq)	来源
1	89Sr	148	5	7.40E+08	500	7.4E+10	骨转移癌治疗
2		370	5	1.85E+09	500	1.85E+11	骨转移癌治疗
3	188Re	148	5	7.40E+08	250	3.70E+10	骨转移癌治疗
4	223Ra	7.4	3	2.22E+07	150	1.11E+09	骨转移癌治疗
5	213B	37	2	7.40E+07	100	3.70E+09	骨转移癌治疗

骨转移癌患者日均最大为 6 人次/天（1500 人次/年），药物注射时间约 1min/人（0.1h/d，25h/a）。

9.1.12¹⁷⁷Lu 住院治疗

¹⁷⁷Lu 主要发射 β 射线，组织内平均射程 2mm，目前临床常用前列腺癌的治疗。除β射线之外，¹⁷⁷Lu 还发射 γ 射线，可用于治疗后 SPECT 显像，定性及定量的评估放射性药物在体内的分布情况。

¹⁷⁷Lu 半衰期为 6.73 天，¹⁷⁷Lu 是一种治疗性核素，由于其β-粒子能量相对较低，在组织中的平均射程为 670μm，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。一般用于开展前列腺癌治疗、神经内分泌癌治疗。

1、源项分析

核素治疗病区拟使用核素的放射性属性参数见表 9.2-20。

表 9.2-20 核素治疗病区拟使用核素的放射性属性一览表

核素种类	半衰期	衰变类型	主要射线和能量 (MeV)	状态	毒性级别
¹⁷⁷ Lu	6.73d	β ⁻	β: 0.206、γ: 0.208	液态	中毒

2、工作流程及产污环节

¹⁷⁷Lu 核素治疗流程：

1) 诊疗规划

使用核素 ¹⁷⁷Lu 开展前列腺癌、神经内分泌癌治疗，¹⁷⁷Lu 患者通常会接受 4 个周期治疗，每个周期间隔（8±1）周，单人最大药量 7.40E+09Bq，单日最多治疗 2 人，计划每月最后一周给药 2 批次（与 ¹³¹I 甲癌治疗不同时开展），年治疗最多不超过 48 人次，年最大用量为 3.552E+11Bq。

2) 工作流程

订药：工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单核素治疗病区储源室内，本项目 ^{177}Lu 药品为按人员分装好的单支成品药物。

注射给药： ^{177}Lu 为外购带屏蔽容器的单支成品药物，无需分装。 ^{177}Lu 患者只在 ^{177}Lu 治疗病房住院，护士通过转运铅罐（药物放在里面）在分装给药室南侧防护门进入患者通道，转移到 ^{177}Lu 治疗病房为患者注射，患者注射前已经埋置留置针，注射时只需将注射器通过三通阀与输液泵连接，输液时间设置 30min 内完成，上述工作做好后护士原路返回分装给药室。输液完毕后，向注射器内注入少量生理盐水冲洗完毕后，卸下注射器测量残余放射性并记录（注射器上的少量放射性废液体量较小，一般与耗材一起以放射性固体废物进行处理）。

注射后治疗： ^{177}Lu 患者在 ^{177}Lu 治疗病房住院治疗（1 间病房最多住院 2 人），在住院期间，限制住院患者不能随意在病房外走动，而在用餐期间，医护人员按患者顺序叫号叫一个患者从病房出来走到患者入口门内取餐，拿完餐回到其病房里后再让下一个患者出来取餐。

^{177}Lu 患者出院:参考《 ^{177}Lu -Dotatac 治疗的放射防护评估》(中国辐射卫生, 2021 年 12 月 30 卷第 6 期)、《 ^{177}Lu -Dotatac 治疗神经内分泌瘤患者对环境辐射安全的研究进展》(同位素, 2022 年 2 月第 35 卷第 2 期), ^{177}Lu 患者出院要求按距患者体表 1m 处的周围剂量当量率低于 $13\mu\text{Sv/h}$ 要求, 在实际临床治疗中, 医生根据患者具体情况并结合患者在指定地进行体表 1m 处的周围剂量当量率测量数据,适当参考距患者体表 1m 处的周围剂量当量率低于 $13\mu\text{Sv/h}$ 要求来判断 ^{177}Lu 患者是否符合出院条件。

^{177}Lu 和 ^{131}I 不同时开展治疗, 因此不会发生 ^{177}Lu 患者与 ^{131}I 患者相互影响问题。 ^{177}Lu 核素治疗流程及产污环节图见图 9.2-14。

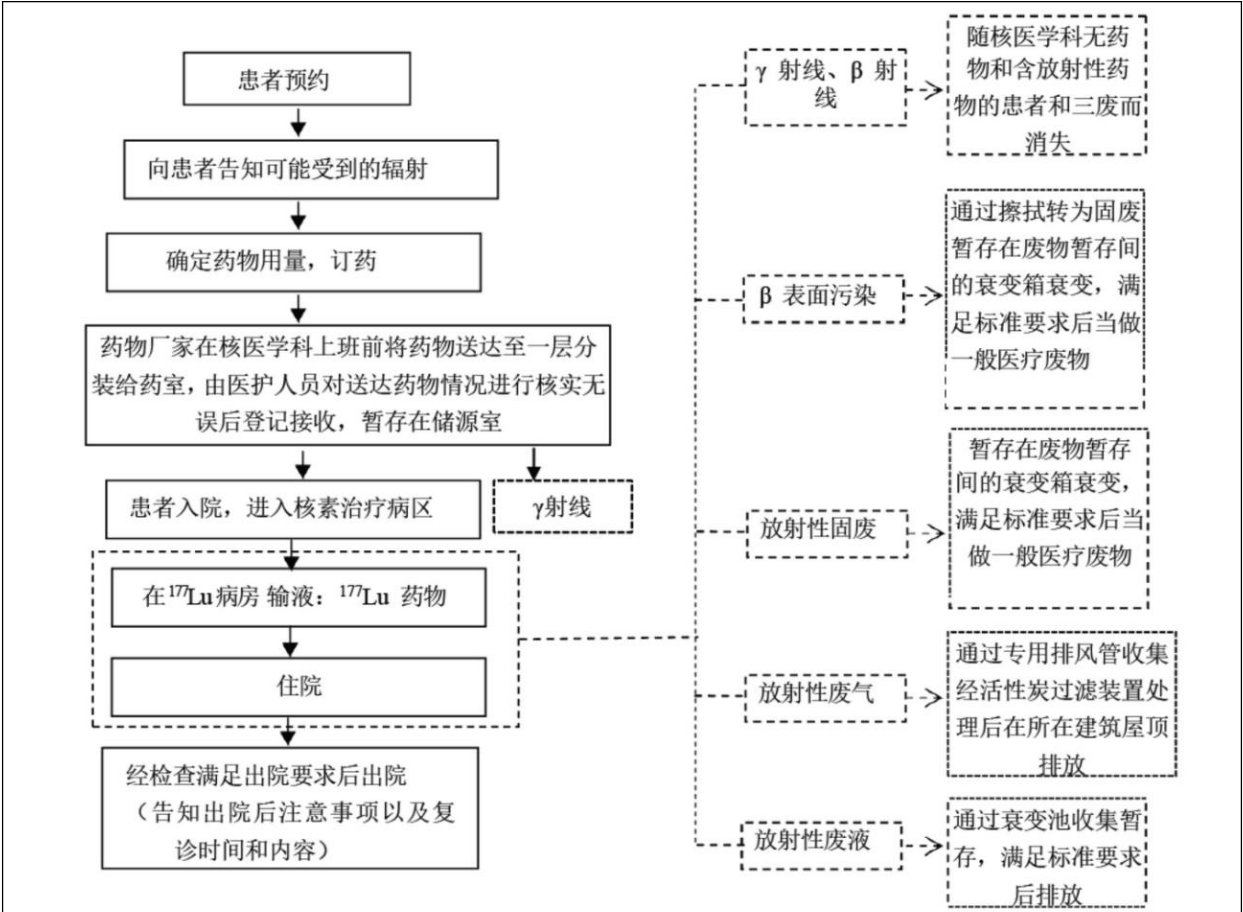


图 9.2-14 ¹⁷⁷Lu 核素治疗流程及产污环节图

¹⁷⁷Lu 治疗预计每月最多开展一周，¹⁷⁷Lu 治疗药物均为厂家按单人用量分装好后送至医院，取药时间为 5min/天（0.083h/d，2h/a），医生取药后直接为患者静脉注射，药物注射时间约 10min/人（0.33h/d，8h/a），需近距离观察患者 10min/人（0.33h/d，8h/a）。

本项目核素治疗病区使用核素相关情况见表 9.2-21。

表 9.2-21 核素治疗病区使用核素相关情况

序号	核素名称	单次最大给药量（MBq）	日最大治疗人次（人）	日实际最大操作量（Bq）	年最大治疗人次（人）	年最大用量（Bq）	用途
1	¹⁷⁷ Lu	7400	2	1.48E+10	48	3.552E+11	前列腺癌、神经内分泌癌治疗

9.1.13¹²⁵I 粒子植入

1、¹²⁵I 粒子植入工作原理

1) 工作原理

放射性 ¹²⁵I 粒子源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。

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、工作流程及产污环节

①病人经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者与介入科预约登记，以确定植入时间。

②物理人员根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划，提出需要的放射性 125I 粒子源的用量，该过程通常在电脑上完成。

③治疗计划制定后，建设单位相关人员根据提供的放射性 125I 粒子源的用量和植入时间，提前订购 125I 粒子源。

④放射性 125I 粒子源由厂家送至医院核素治疗病区碘-125 存放间门口，由医院的专人负责接收、确认并登记后放入碘-125 存放间。

⑤术前由核素治疗病区护士在碘-125 存放间进行粒子源质控（活度抽检）、消毒，并负责将装有 125I 粒子的弹夹装入已消毒灭菌的插植器内，将 125I 粒子置于防护箱内转运至计植入 DSA 机房。

⑥按照预定的治疗计划由介入室辐射工作人员在引导设备（DSA）的影像引导下进行

125I 粒子植入（植入过程中工作人员穿戴防护用品），确保植入位置的准确。

⑦125I 粒子植入完成后，在 DSA 的影像引导下确定植入 125I 粒子的数量，确认后患者穿戴个人防护用品在介入室工作人员的陪同下，送入的珠澳转化医学中心 5 层 125I 粒子病房休息。对于植入 125I 粒子源术后的患者，工作人员为其在植入部位穿戴相应的防护用品。

125I 粒子植入工作流程及产污环节图详见图 9.2-15。

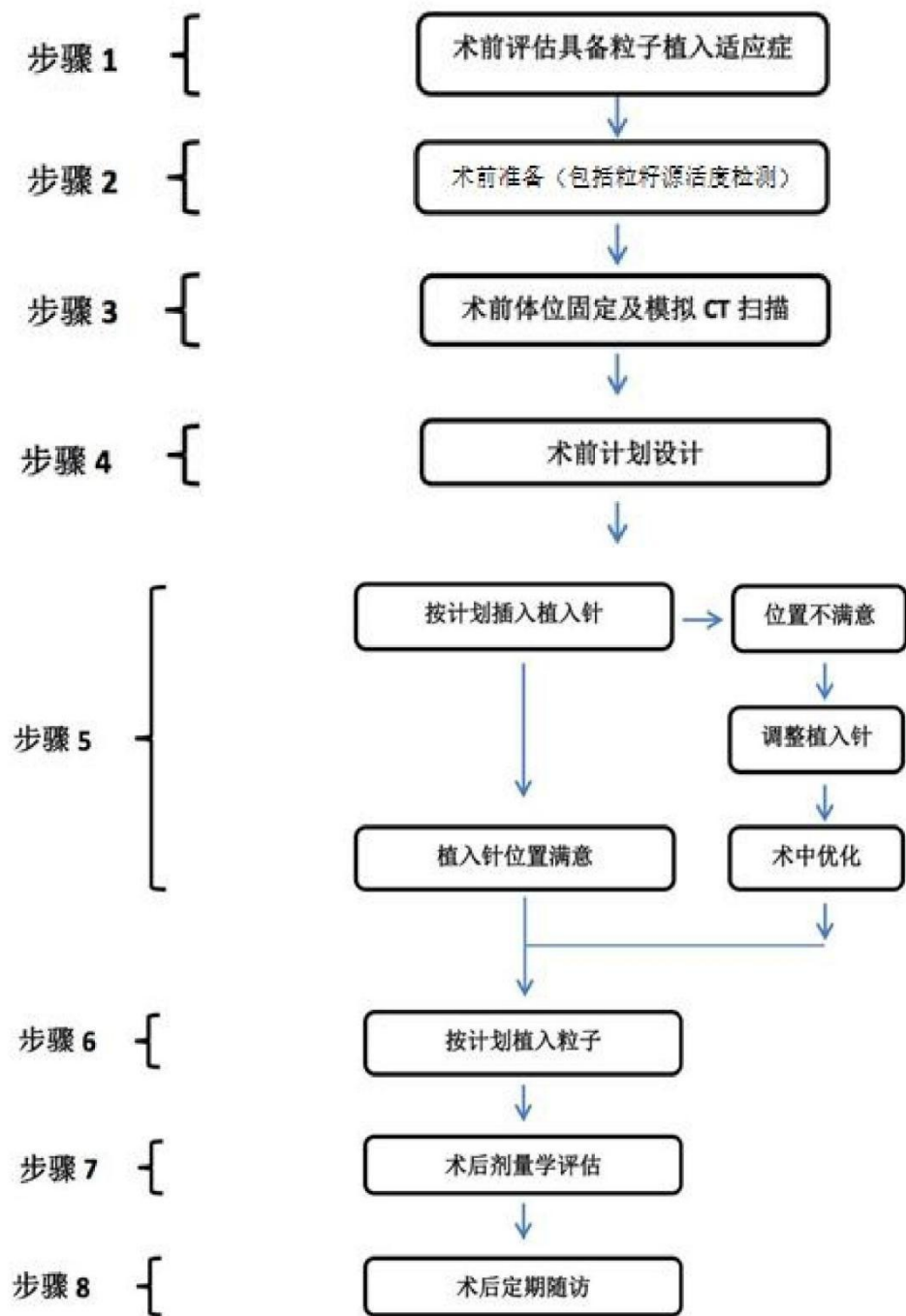


图 9.2-15¹²⁵I 粒子植入工作流程及产污环节图

3、¹²⁵I 粒子植入核素使用量

¹²⁵I 粒子植入使用核素相关情况见表 9.2-22。

表 9.2-22¹²⁵I 粒子植入使用核素相关情况

核素名称	单次最大给药量	日最大诊疗人次 (人)	日实际最大操作量	年最大诊疗人次 (人)	年最大用量 (Bq)	用途
------	---------	-------------	----------	-------------	------------	----

	(MBq)		(Bq)			
¹²⁵ I 粒子	3700	1	3.7E+09	100	3.7E+11	恶性肿瘤治疗

4、¹²⁵I 粒子植入工作负荷

根据医院提供资料，本项目由核素治疗病区护士负责粒子质检、消毒和转运，植入场所介入医生、护士负责植入手术，并由介入科护士负责植入后患者转运。

¹²⁵I 粒子植入患者 1 人次/天，2 天/周，100 人次/年，粒子质控（活度抽检）、消毒时间约 20min/人次（0.33h/d，33.3h/a）。粒子植入时间约 40min/人次（0.67h/d，66.7h/a），植入过程 DSA 进行透视时间 40min/人次（0.67h/d，66.7h/a），曝光时间约 30s/人（0.0083h/d，0.83h/a）。粒子植入患者由 DSA 机房转运至粒子专用病房住院约 10min/人次（0.167h/d，16.7h/a）。

9.1.14³²P 敷贴治疗

1、敷贴治疗原理

³²P 敷贴治疗：将一定剂量的放射性核素 ³²P 均匀吸附在滤纸或银箔上制成具有适应病患形态、大小的敷贴治疗装置，由于核素放出的β射线有较强的电离能力，较弱的穿透能力，在组织内的射程仅几毫米，将其作为一种外照射源紧帖于病变部位，通过 ³²P 的β射线能量较高，组织内射程短，注射的局部产生电离辐射生物效应，使增生的毛细血管封闭、纤维化达到治疗目的。

2、辐射源项分析

³²P：发射纯β射线，半衰期 14.3d，最大能量 1.71MeV，³²P 释放的β射线对浆膜及粘膜表面的病变组织产生强有力的辐射作用，使其纤维增厚，局部微小血管及淋巴管闭塞，病变组织产生渗出液的能力降低甚至完全停止；其释放的β射线能直接杀死浮游的癌细胞及粘膜上的微小病灶，从而消除癌性积液的形成。

敷贴项目使用核素放射性属性参数表 9.2-16。

表 9.2-16 敷贴治疗使用的核素放射性属性参数一览表

序号	核素名称	状态	半衰期	毒性组别	衰变方式	主要射线和能量 (MeV)
2	³² P	液态	14.3d	中毒	β-	β: 1.71

3、工作流程

订药：由于 ³²P 敷贴器需要在使用前进行制作，医院需根据预约情况提前向供药

商订药。³²P 药物状态为液态，密封于内层有机玻璃、外层铅的铅罐中以单个货包的形式在约定的时间由药物供应单位运送至 PET 显像区。PET 区域辐射工作人员负责接收药物，采取必要的防护措施，经确认无误并完成相关交接、登记手续后，暂存在 PET 储源/放废室。

⁹⁰Sr-敷贴源为外购成品敷贴源，属于使用 V 类放射源。由于 ⁹⁰Sr 半衰期为 28.5a，使用过程中只需半年进行一次衰变校正。本项目所用的 ⁹⁰Sr-敷贴源封装严密，从有生产、销售资质的正规厂家购买，装于内层有机玻璃、外层铅的铅罐中，并配置保险箱，不使用时贮存在储源/放废室的保险箱中，严格按照放射源进行管理，使用时工作人员需戴有机玻璃眼镜或面罩将敷贴源从保险箱取出送至敷贴治疗室实施治疗。

作 ³²P 敷贴器：³²P 药物装于内层有机玻璃、外层铅的铅罐中，每次送药后，工作人员将铅罐从储源/放废室取出，放到分装注射室有机玻璃手套箱中后，依次打开铅罐盖和有机玻璃盖，然后直接在铅罐中用水将 ³²P 药物配比成比活度为 $1.11 \times 10^8 \text{Bq/ml}$ 的治疗浓度，盖好盖子后将铅罐放回储源室，在后续 ³²P 敷贴器制作中直接按照病变形状面积随时取药，在有机玻璃手套箱中进行制作 ³²P 敷贴器。³²P 敷贴器制作方法如下：①采用优质滤纸按病变形状要求剪成规格大小及形状不同的纸片，作为 ³²P 溶液的支持物，滤纸上画有格子；②用生理盐水分别将不同大小与形状的滤纸做一次吸水试验以确定滴加 ³²P 溶液的毫升数；③将铅罐从储源室取出，在分装给药室的有机玻璃手套箱中进行 ³²P 敷贴器的制作，装有 ³²P 溶液的铅罐只有放到手套箱中才允许被打开；④用 1ml 注射器吸取预先计算好的混有色剂的 ³²P 溶液，按每张滤纸的吸水量分格滴加 ³²P 溶液，通过颜色的深浅来调整 ³²P 活度的分布均匀性；⑤调整色剂均匀分布后，用优质塑料薄膜与胶布等套封，保证其密封性。在胶布上注明敷贴器的名称、制作日期、放射性活度等，经检测表面无放射性污染后即可使用。

治疗：工作人员提前了解患者瘤、痣、疤痕疙瘩等需要治疗部位的形状和情况，进而确定采用的敷贴治疗方案，根据病人预约情况安排治疗。治疗前，医生先根据敷贴治疗的适应症和禁忌症，对具有正当理由的患者开具敷贴治疗申请单，并预约登记，医生根据病情制定治疗方案：

³²P 敷贴：治疗时，辐射工作人员提前制成 ³²P 敷贴器，送至敷贴治疗室，治疗人员将敷贴器摆放至治疗部位后，在不接触患者皮肤的面用 3mm 厚的橡皮泥覆盖屏蔽。治疗结束后工作人员收回敷贴器，患者离开敷贴治疗工作场所，禁止患者将敷贴器带

出敷贴治疗室，治疗期间不产生放射性废液。工作人员清点敷贴器，将使用后的废敷贴器放入装有专用塑料袋的放射性废物桶中，及时转送至废物暂存间进行衰变处理，暂存超过 10 个半衰期后经监测达标后按一般医疗废物处理，并做好记录。 ^{32}P 敷贴治疗的工作流程详见图 9.2-10。

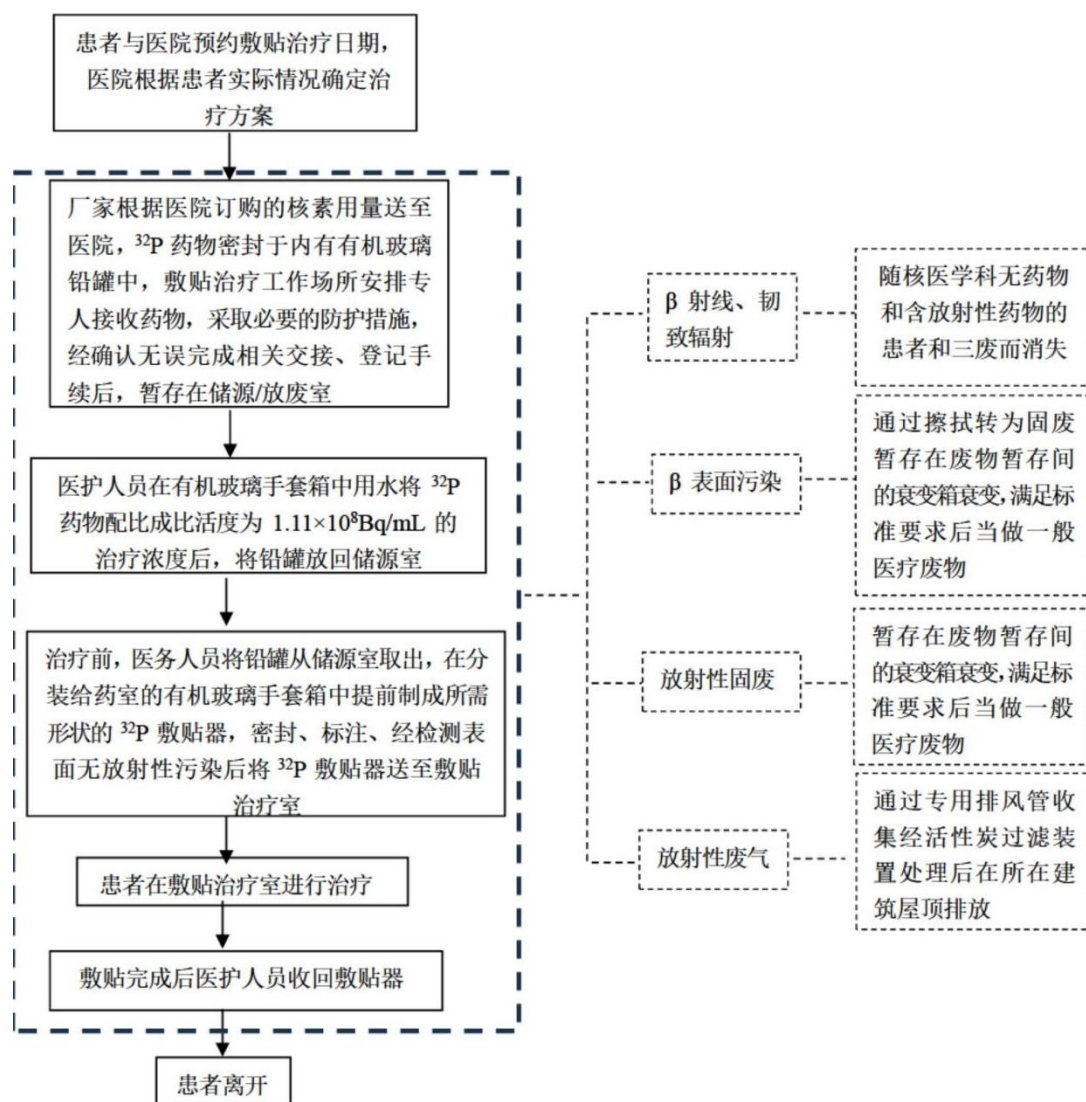


图 9.2-10 ^{32}P 敷贴治疗的工作流程

4、人员配备情况、工作负荷以及核素使用情况

本项目敷贴治疗项目拟配备 1 名辐射工作人员，主要负责敷贴器制作和指导协助患者进行敷贴治疗。

本项目拟使用 ^{32}P 开展敷贴治疗项目，计划每年工作 100 天，每周工作 2 天，每日最多治疗 20 人 (^{32}P 和 ^{90}Sr 各 10 人)， ^{32}P 敷贴器单人最大使用活度为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ， ^{90}Sr -敷贴源初始最大活度为 $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

根据医院提供资料， ^{32}P 敷贴器制备时间和治疗时间均约 10min/人次 (1.67b/d, 166.7ba); ^{90}Sr -放射源敷贴平均治疗时间约 30min/人次 (5h/d, 500ba)。本项目敷贴治疗使用核素的基本情况及使用量见表 9.2-17。

9.2.1 医用射线装置正常工况

1、医用直线加速器

①X 射线

由加速器的工作原理可知，电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物质相互作用时将产生高能 X 射线。这种 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。

②电子线

加速器产生高能电子线，随机器的开、关而产生和消失，其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。

③中子

根据《辐射防护手册辐射源与屏蔽》（第一分册）可知，绝大多数天然核素的反应阈能在 10MeV 以上，当射线的能量超过阈能时，由于 (X, n) 光-核反应会产生中子，光-核反应产生的中子、中子俘获 γ 射线以及中子与加速器结构材料和空气发生的 (n, γ) 反应产生感生放射性核素。直线加速器钨靶发生光核反应的阈值为 8.0MeV。本项目拟使用的电子直线加速器发射的 X 射线能量最高为 10MV，发射的电子线能量最高为 15MeV，因此本次评价需考虑中子辐射影响。

④感生放射性物质

当直线加速器工作在 10MeV 以上时，无论是 X 射线状态还是电子束状态，都会产生光核反应，从而产生感生放射性。主要包括两方面：1) 加速器机头结构材料的固态感生放射性核素。加速器运行期间，由于设备有足够的结构屏蔽，由部件产生的感生放射性核素不会危害到屏蔽体外的人员。2) 气态感生放射性核素。15MeV 加速器运行时产生中子，中子可与空气作用产生放射性核素。电子能量超过反应阈能时，与空气中的 C、O、N、Ar 等相互作用，可诱发气载感生放射性核素 ^{11}C 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{41}Ar 。一般在正常通风情况下，感生放射性气体不会对辐射工作人员和病人造成明显的危害。

⑤臭氧、氮氧化物、含铅废气

加速器在运行过程中，射线作用于空气以及次级辐射等因素，可产生少量臭氧、氮氧化物，通过排风系统排入大气。进行直线加速器放射治疗前还需根据患者治疗部位制

定个体化铅挡块用于保护靶区临近重要器官。铅模制作过程会产生含铅废气。

⑥放射性固体废物

加速器靶物质经长期照射后，也可积累一定数量的感生放射性核素，因此，退役的靶为放射性固体废物。

2、射波刀

①X 射线

根据射波刀的工作原理可知，本项目射波刀产生的 X 射线能量最高为 6MV，X 射线是随射线装置的开、关而产生、消失。只有在开机并出线的状态时，才会有 X 射线的产生，不产生放射性气体、废水及废物。因此，在开机出束期间，X 射线是该项目的主要污染因子。

②臭氧、氮氧化物

本项目射波刀在工作时，空气在 X 射线作用下产生少量臭氧和氮氧化物。

3、TOMO

X 射线：TOMO 仅有 X 射线治疗，出束工作时，产生 X 射线，运行时产生的 X 射线随 TOMO 的开、关而产生和消失。

放射性固体废物：TOMO 的靶物质经长期照射后，也可积累一定数量的感生放射性核素，因此，更换或退役的废靶件为放射性固体废物。

其他非放射性污染源：医用直线加速器在运行过程中，射线作用于空气以及次级辐射等因素，可产生少量臭氧、氮氧化物，通过排风系统排入大气，臭氧在常温常压下稳定性较差，可自行分解为氧气。

4、后装治疗机

后装治疗机使用的放射源为点状米粒大，密封型，外有不锈钢包壳，且在正常使用情况下，不会产生放射性“三废”。在正常治疗条件下，后装机 ^{192}Ir 放射源发出的平均能量为 370keV 的 γ 射线，有小部分穿过治疗室屏蔽体（包括屏蔽墙、顶棚）及迷路防护门泄漏到工作场所及周围环境中，对周围的工作人员和公众产生 γ 外照射。

由于放射性衰变，随着放射性活度的降低，密封源在一定时间以后将无法继续满足放射治疗要求，需要更换新的放射源。而旧的放射源依然具有一定的放射性强度，依然存在对环境保护和人类健康的不利影响可能性，因此对于废旧放射源需要妥善处理。

因 γ 射线与空气中的氧发生电离作用，后装治疗机出束时将产生少量臭氧，通过机房

通风系统可排出室外。

5、CT 模拟定位机

CT 模拟定位机正常工作状况下产生 X 射线。X 射线在开机时产生，关机时消失。本项目 CT 模拟定位机 X 射线能量较低，与空气相互作用会产生少量的臭氧（O₃）及氮氧化物，经机房排气装置及自然通风排出机房外。

9.2.2 医用射线装置事故工况

（1）医用直线加速器、TOMO、射波刀和 CT 模拟定位机

对于医用直线加速器、TOMO 等射线装置的使用，只有当设备开机时才会产生 X 射线等危害因素，最大可能的事故主要有三种：

①射线装置在不停机，防护屏蔽又达不到要求情况下，给周围活动人员及辐射工作人员造成额外的照射；

②安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行射线装置，则可能造成误照射事故；

③人员未全部撤离机房，射线装置运行给公众、辐射工作人员造成额外的照射。

（2）后装治疗机

①在源密封壳破损，源活性物质泄露；

②治疗过程中，发生卡源事故；

③后装治疗机可能出现安全联锁失效、人员误入治疗室的情况，还可能发生放射源阻丝、源位异常等故障；

④将含源治疗装置卖给非法用户；

⑤设备检修时，工作人员误将治疗机的屏蔽装置打开或卸下放射源，都会对维修人员产生很强的辐射照射；

⑥因工作人员操作不当或出现设备故障，在设备安装、更换放射源时，发生放射源由设备或容器中滑落出来，造成安装或操作人员受到强辐射照射。

9.2.3 回旋加速器

（1）正常工况

本项目回旋加速器生产正电子核素过程中产生的主要污染物有中子、γ射线及β表面污染、放射性废气、放射性废水及放射性固废。药物合成、分装、质控、转运过程中产生的主要污染物有γ射线及β表面污染、放射性废气、放射性废水及放射性固废。

①中子

回旋加速器用高能质子轰击靶发生核反应，在产生正电子核素的同时，也产生中子，因此，中子辐射是回旋加速器生产过程的主要污染物。

② γ 射线

回旋加速器用高能质子轰击靶，发生核反应，产生 β^+ 电子以及 γ 射线，快速运动的正电子通过物质时，与核外电子和原子核相互作用产生电子损失、韧致辐射和弹性散射，伴随产生 0.511MeV 的 γ 湮灭辐射。在正电子药物的合成、分装、质控包装、转运等过程中，药物也会对局部环境产生 γ 射线外照射，因此， γ 射线是回旋加速器生产过程以及正电子药物合成、分装、质控、包装、转运过程中的主要污染物。

③ β 表面污染

本项目制备的放射性药物为 β 辐射体，在药物的制备、分装、质检环节，可能会散落药物，对工作台、设备、墙壁、地面等产生放射性沾污，造成局部 β 放射性表面污染。

④放射性废液

回旋加速器的生产运行过程中，内循环系统冷却水在回旋加速器内受照射后产生放射性核素，主要是 ^{15}O （半衰期 $T_{1/2}=2.0\text{min}$ ）、 ^{13}N （半衰期 $T_{1/2}=10.0\text{min}$ ）、 ^{11}C （半衰期 $T_{1/2}=20.39\text{min}$ ），半衰期均较短，且冷却水沿闭合回路在自屏蔽体内循环使用，因此这一过程不会对水造成放射性污染。

正常情况下正电子药物合成、分装、质控过程中不产生放射性废液，核素传输过程中以及合成过程中的极少量废液均收集在安瓿瓶内，贮存在合成热室内进行衰变，待活度满足清洁解控水平后作为一般废物处理。正电子药物合成、分装、质控过程中若事故状况下发生洒落，采用干法去污，首先是用吸水纸擦拭，然后用酒精棉球反复擦拭直至检测数据合格，擦使用的吸水纸、酒精棉球等作为放射性固废收集在热室铅制废物桶内贮存衰变，待活度满足清洁解控水平后作为一般废物处理。

⑤放射性固体废物

放射性固体废物主要有以下几种：a、主要指加速器维修更换产生的高活性固废，如碳膜支架、靶膜和离子源等；b、在放射性药物的生产过程中产生极少量的沾污放射性核素的硅胶、树脂、氧化铝、滤膜及过滤柱等；c、通风系统中置换下的废活性炭；d、加速器药物分装产生的废注射器、棉签、试管等；e、放射性废液固化产生的放射性固

废。

⑥放射性废气

回旋加速器机房内的空气受中子照射后生成放射性活化气体，主要核素有 ^{11}C （半衰期 20.39min）、 ^{13}N （半衰期 10min）、 ^{15}O （半衰期 2.0min）和 ^{41}Ar （半衰期 110min）等，其中关键核素为 ^{41}Ar 。由于空气中可以生成 ^{41}Ar 的 ^{40}Ar 只占 1.3%，加上产生 ^{41}Ar 的活化反应截面很小（ 4×10^{-4} 靶），所以 ^{41}Ar 的生成率极低。

本项目回旋加速器生产正电子核素为自动生产，停机后，工作人员无需进入回旋加速器机房内进行操作。回旋加速器运行后生产正电子核素进入热室合成分装操作过程，在化学合成时会产生少量放射性气体，整个过程在密封的化学合成模块内进行，化学合成模块安装在“带有屏蔽”和“独立排风管道”的合成分装热室内。

本项目回旋加速器机房和加速器药物合成分装模块均设有独立的通风系统，通风系统设置活性炭过滤装置，排放口高出本栋建筑屋顶 3m。

⑦非放射性废气

回旋加速器机房内空气在射线强辐射下，吸收辐射能量并通过电离产生臭氧（ O_3 ）和氮氧化物（ NO_x ），它们是具有刺激作用的有害气体。回旋加速器机房设置独立的通风系统，通风系统设置活性炭过滤装置，排放口高出本栋建筑屋顶 3m。

综上，本项目回旋加速器药物生产、合成、分装、质检以及转运过程产生的污染物主要是：中子、 γ 射线、 β 表面污染、放射性固废、放射性废气、放射性废液。

（2）事故工况

①人员在防护门关闭前尚未撤离回旋加速器机房，加速器运行可能产生误照射。在回旋加速器机房防护门内与控制室设置有紧急停机按钮，机房内靠近防护门处设置紧急开门按钮，只要未撤离人员了解该按钮的作用，可避免此类事故的发生。因此，在加速器机房内应设置此按钮醒目的指示和说明，便于在紧急情况下使用。

②安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的回旋加速器机房内。因此，工作人员应每天检查安全联锁装置，且工作人员必须严格按照加速器操作程序进行操作，防止事故的发生。开机前依照清场巡查路线进行清场，依次按下 1#-8#清场巡查按钮，确认无人员滞留情况下，关闭防护门，开启设备。当发生事故时立即按下紧急按钮停止运行，减少事故的影响。

③回旋加速器装置失灵、损坏、调试和操作失误等，导致放射性核素或药物因意外

停留在传输管道中，合成系统管道堵塞或泄漏等情况下，可能导致工作人员误照射或放射性核素污染相关工作场所。

④熔靶事故在核素制备过程中，靶处于高压状态，且粒子轰击靶会产生高温，当靶的冷却系统异常时，可能导致靶被打穿，使得靶水进入真空系统，靶物质冷凝在真空管壁上，造成污染。发生此类事故时，可关闭回旋加速器机房防护门 24h，利用 ^{18}F 等药物半衰期较短的特点，进行自然衰变后再进行处理。

⑤冷却水系统管道破裂等致使冷却水流出，污染地面、设备等，对人员产生外照射等影响。发生此类事故时，可关闭回旋加速器机房防护门 24h，利用 ^{18}F 及其他核素半衰期较短的特点，进行自然衰变后再进行处理。长半衰期核素污染地面时，用吸水纸吸附液体，再清洗，清洗液体少时用吸水纸吸附，作为放射性固体处理；液体量太大时，经专用管道排入放射性废液衰变池暂存衰变处理，最终与其他放射性废水一起排出。

9.2.4 放射性药物合成、分装、质控、包装、转运过程事故工况

①在操作放射性同位素的过程中，因容器破碎、药物泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。

②放射性药物丢失或被盗，造成放射性事故；放射性药物在转移过程中由于操作人员违反操作规定或误操作引起意外泄漏而造成放射性表面污染。

③因受到爆炸、火灾等各种自然或人为灾害的破坏，可能会导致放射性药物包容破损、放射性液体泄漏，若处置不当，会对人员和环境造成危害。

④放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

⑤锞镓发生器暂存过程中丢失，会对人员和环境造成危害。

⑥放射性废物管理不善，包括：放射性废水未经足够的时间衰变即进行排放，使排放超出规定的限值，可能对环境或人体造成一定的危害；放射性固体废物未经足够的时间衰变，存放时间过短，即进行擅自处理，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

⑦工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成附加照射剂量。

9.2.5 非密封放射性物质工作场所

1、核医学科工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 非密封源工作场所的分级规定以及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 A 关于放射性核素操作方式修正因子的选取规定，本项目核医学科工作场所日等效最大操作量计

算结果见表 9.2-19。

表 9.2-19 本项目核医学科工作场所日等效最大操作量

核素名称	日实际最大操作量 (Bq)	毒性组别因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	总日等效最大操作量 (Bq)	工作场所分级	场所
¹⁸ F	1.11×10^{11}	0.01	1	1.11×10^9	1.64×10^9	乙级	一楼回旋加速器制药区
¹¹ C	2.22×10^9	0.01	1	2.22×10^7			
¹³ N	2.22×10^9	0.01	1	2.22×10^7			
¹⁵ O	2.22×10^9	0.01	1	2.22×10^7			
¹²⁴ I	2.22×10^9	0.1	1	2.22×10^8			
⁸⁹ Zr	2.22×10^9	0.1	1	2.22×10^8			
⁶⁴ Cu	2.22×10^9	0.01	1	2.22×10^7			
¹⁸ F	3.70×10^{10}	0.01	10	3.70×10^7	2.18×10^8	乙级	二楼 PET 检查区
¹¹ C	7.40×10^9	0.01	10	7.40×10^6			
¹³ N	7.40×10^9	0.01	10	7.40×10^6			
¹⁵ O	7.40×10^9	0.01	10	7.40×10^6			
⁸⁹ Zr	7.40×10^9	0.1	10	7.40×10^7			
⁶⁴ Cu	7.40×10^9	0.01	10	7.40×10^6			
¹²⁴ I	7.40×10^9	0.1	10	7.40×10^7			
⁶⁸ Ge	1.85×10^9	0.1	100	1.85×10^6			
⁶⁸ Ga	1.85×10^9	0.01	10	1.85×10^6			
⁹⁹ Mo	3.70×10^{10}	0.1	100	3.70×10^7	7.80×10^7	乙级	三楼 SPECT/CT 检查区
^{99m} Tc	3.70×10^{10}	0.01	10	3.70×10^7			
¹¹³ In	1.48×10^8	0.01	10	1.48×10^5			
⁶⁷ Ga	3.70×10^8	0.1	10	3.70×10^6			
¹²³ I	1.48×10^8	0.01	10	1.48×10^5			
¹³¹ I	3.70×10^{10}	0.1	1	3.70×10^9	3.70×10^9	乙级	三楼 ¹³¹ I 治疗区
¹⁷⁷ Lu	7.4×10^9	0.1	1	7.40×10^8	2.32×10^9	乙级	二楼核素治疗区
⁴⁷ Sc	3.7×10^9	0.1	1	3.70×10^8			
⁶⁷ Cu	3.7×10^9	0.1	1	3.70×10^8			

¹⁶¹ Tb	5.55×10 ⁹	0.1	1	5.55×10 ⁸			
²²³ Ra	3.7×10 ⁶	10	1	3.7×10 ⁷			
²²⁵ Ac	3.7×10 ⁶	10	1	3.7×10 ⁷			
²¹² Pb	3.7×10 ⁶	0.1	1	3.7×10 ⁵			
²¹¹ At	3.7×10 ⁶	1	1	3.7×10 ⁶			
²²⁷ Th	3.7×10 ⁶	10	1	3.7×10 ⁷			
²¹³ Bi	3.7×10 ⁶	1	1	3.7×10 ⁶			
⁸⁹ Sr	1.48×10 ⁸	0.1	1	1.48×10 ⁷			
¹⁸⁸ Re	1.30×10 ⁹	0.1	1	1.30×10 ⁸			
³² P	1.85×10 ⁸	0.1	1	1.85×10 ⁷			

本项目核医学科为独立的辐射工作场所，日等效最大操作量为 1.17E+09Bq，在 2.0E+07~4.0E+09Bq 之间，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

2、工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）对核医学工作场所具体分类办法，日操作最大量放射性核素的加权活度等于计划的日操作最大活度与该核素毒性权重因子的积除以操作性质修正因子所得的商，核算见表 9.2-20。

表 9.2-20 本项目核医学科工作场所放射性核素加权活度

核素名称	日最大操作活度 (Bq)	毒性权重因子	操作性质修正因子	加权活度 (Bq)
18F	4.44E+10	1	100	4.44E+08
18F	1.48E+10	1	1	1.48E+10
11C	7.40E+08	1	1	7.40E+08
13N	7.40E+08	1	1	7.40E+08
15O	7.40E+08	1	1	7.40E+08
64Cu	7.40E+08	1	1	7.40E+08
89Zr	2.96E+08	100	1	2.96E+10
124I	3.70E+08	100	1	3.70E+10
68Ga	3.7E+09	1	1	3.7E+09
68Ga	3.7E+09	1	100	3.7E+07

99mTc	2.78E+10	1	1	2.78E+10
99mTc	6.0E+08	1	1	6.0E+08
67Ga	1.85E+09	1	1	1.85E+09
111In	9.25E+08	1	1	9.25E+08
	3.70E+09	0.01	1	3.70E+09
	1.85E+09	1	1	1.85E+09
32P	1.85E+09	100	1	1.85E+09
131I	3.70E+09	100	1	3.70E+09
131I	1.85E+08	100	1	1.85E+08
89Sr	7.40E+08	100	1	7.40E+08
	1.85E+09	100	1	1.85E+09
188Re	7.40E+08	100	1	7.40E+08
223Ra	2.22E+07	100	1	2.22E+07

本项目负一层核医学工作场所的总加权活度为 $1.344 \times 10^5 \text{MBq}$ ，大于 50000MBq ，因此该工作场所属于I类核医学工作场所。

9.2.6 使用非密封放射性物质工作场所的污染源项描述

本项目使用非密封放射性物质的工作场所主要包括核医学科、核素治疗病区、动物分子影像中心、 ^{125}I 粒子植入工作场所，其污染源项如下：

1、正常工况

(1) 工作人员在进行放射性药物的分装、注射等操作过程中，会受到放射性药物的外照射，主要污染因子为 γ 射线。

(2) 接受核素诊疗的病人注射或服用放射性药物后，短时间内人体便是一个辐射（源），对周围的环境可能造成外照射影响，主要污染因子为 γ 射线。

(3) 进行 PET/CT 及 SPECT/CT 扫描时，将有来自受诊病人身体中的放射性药物的 γ 射线和射线装置发射的 X 射线，经过机房的屏蔽，射线可能仍有一定的泄漏，环境影响途径为外照射。

(4) 表面污染：工作人员在操作非密封放射性药物时，不可避免的会引起工作台、地面等放射性沾污，造成 α 、 β 放射性表面污染。

(5) 放射性固体废物：主要为放射性药物操作中沾染核素的注射器、针头、手套、药棉、纱布、吸水纸、一次性纸杯、废活性炭等。动物实验过程产生动物尸体、动

物排泄物、解剖过程产生的固体污染物。

（6）放射性废水：患者注射或服用放射性药物后，所产生的排泄物、呕吐物及冲洗水等含有放射性核素，另外，清洗去污可产生放射性废液。动物实验药物分装、注射、实验过程以及动物暂养过程清洗去污可产生放射性废液。

（7）放射性废气：放射性药物的分装操作过程中，放射性药品会发生微量挥发，产生放射性气体及气溶胶。甲癌患者等住院期间产生放射性气溶胶。

（8）动物注射放射性药物后，短时间内动物便是一个辐射（源），对周围的环境可能造成 γ 外照射。

2、事故工况

（1）由于误操作，导致发生较大放射性剂量给药的情况。

（2）由于管理不善，发生放射性物品失窃，造成放射性污染事故。

（3）操作放射性药物时发生容器破碎、药物泼洒等意外事件，可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。泼洒的药物挥发将产生少量放射性废气，擦除污染物将产生少量的放射性固体废物。

（4）密闭手套箱通风失效，造成放射性废气弥散到室内空气中。

（5）工作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。

（6）放射性固废或放射性废水未达到解控水平或排放标准即进行处理。

3、使用密封源的污染源项描述

本项目核医学辐射工作场所使用的 ^{68}Ge 放射源、 ^{22}Na 放射源和 ^{90}Sr -放射源均为 V 类密封源，使用过程中可能产生以下影响：

（1）正常工况：由于放射源是密封源，源活性物质也不会泄露，因此在正常情况下， γ 射线将是对人体产生主要影响的外照射，而无放射性废水和放射性废气排放。 ^{68}Ge 放射源、 ^{22}Na 放射源和 ^{90}Sr -放射源使用到一定年限后会产生报废的放射源，废放射源由放射源供应商回收。

（2）事故工况：

①放射源丢失或被盜，屏蔽罐被打开，对公众产生外照射。

②外力撞击导致放射源跌落裸露时，使工作人员或公众受到外照射。

4、使用 III 类射线装置的污染源项描述

（1）正常工况

使用 PET/CT、SPECT/CT、小动物 PET/CT 以及小动物 SPECT/CT（CT 功能部分）和骨密度仪等 III 类射线装置在采取隔室操作的情况下，且在设备安全和防护硬件及措施到位的正常情况下，射线装置机房外的工作人员及公众基本上不会受到 X 射线的照射。

同时，射线装置运行过程中，在 X 射线辐射源的照射下，空气吸收辐射能量并通过电离离子的作用可产生臭氧和氮氧化物。臭氧和氮氧化物均属具有刺激性作用的非放射性有害气体。上述射线装置机房均拟设置机械排风装置，可最大限度降低有害气体的浓度。

（2）事故工况

①在使用上述射线装置进行放射诊断时，人员误入机房引起误照射；

②工作人员或病人家属在防护门关闭前尚未撤离上述射线装置机房，X 射线装置运行可能产生误照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

通过对污染源分析可知，本项目产生的主要污染物为 γ 射线、X射线、 β 射线和表面沾污等。同时病人治疗和诊断过程中还会产生放射性废水、放射性气体和放射性固体废物。针对这些污染物，建设单位在设计阶段均制定了相应的污染防治措施。

10.1.1 工作场所选址与布局

1、工作场所布局

本项目辐射工作场所的平面布局见表10-1所示：

表10-1 各个辐射工作场所周围环境状况一览表

场所名称	周边环境（50m 范围）			
	东侧	南侧	西侧	北侧
分子肿瘤治疗中心	医院预留空地	医院住院楼	山坡	医院预留空地

10.1.2 辐射工作场所分区

（1）分区依据和原则

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）核医学科辐射工作场所应按照（GB18871-2002）的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。核医学工作场所的控制区主要包括放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。核医学工作场所的监督区主要包括显像设备控制室、卫生通过间以及控制区相连的其他场所或区域。

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

控制区：把需要或可能需要专门防护手段或安全措施的限定区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防或限制潜在照射或潜在照射的范围。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。

监督区：未被确定为控制区、通常不需采取专门防护手段和安全措施但要不断检查其职业照射条件的任何区域。

(2) 区域划分情况

结合以上原则与现场实际，本次环评对控制区和监督区的划分见表 10-2，本项目核医学科分区见图 10-1。

表 10-2 项目控制区和监督区的划分情况

工作场所	标准要求	控制区	监督区	符合情况
核医学科	根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021） 4.3.1 应按照 GB18871 的要求经核医工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。 4.3.2 工作场所的控制区主要包括放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。 4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括显像设备控制室、卫生通过间以及控制区相连的其他场所或区域。 4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。			建设完成后复合

对于控制区，医院拟采取一系列的放射卫生防护与安全措施，设置防护门的门机安全联锁装置，严格限制人员进入控制区，保障在正常治疗的工作过程中，无关人员不得在该区内滞留，同时拟在控制区的入口处设立醒目的电离辐射警告标志、工作状态指示灯以保障该区的辐射安全。

监督区通过辐射危险警示标志提醒人员尽量避开该区域，并委托有资质的单位定期对监督区进行监测、检查，如果发现异常立即进行整改，整改完成后可继续使用。

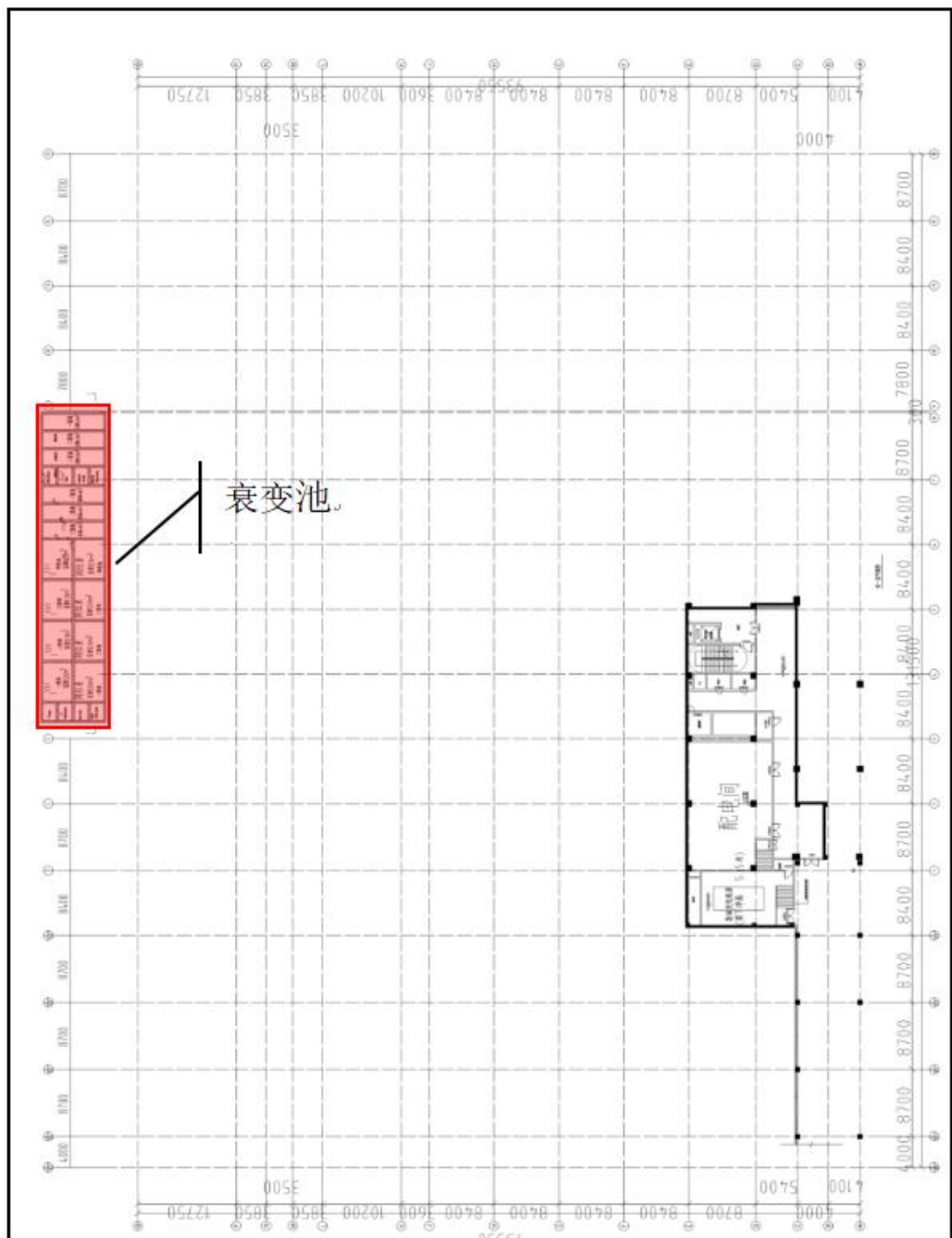






图 10-1 本项目分子肿瘤诊疗中心分区示意图

10.1.3 工作场所分级

本项目涉及的非密封放射性物质工作场所分级：依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的放射性同位素工作场所放射性核素日等效最大操作计算方法和建设单位提供的放射性同位素最大日操作量，可以计算出核素的日等效最大操作量。非密封源工作场所的分级判据如表 10-3。根据日等效最大操作量得出工作场所属于乙级非密封源工作场所。详见表 10-3。

表 10-3 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 $\sim 2 \times 10^7$

日等效最大操作量计算方法如下：
日等效最大操作量=（计划的日操作最大活度×核素毒性组别修正因子）/操作方式修正因子

放射性同位素的日等效最大操作量根据其毒性组别、操作方式、放射源状态和实际日最大操作量确定。毒性组别和操作方式与放射源状态修正因子见表 10-4、表 10-5。

表 10-4 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

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 A，核医学放射性核素的操作方式有关的修正因子分别见表 10-5。

表 10-5 核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子

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

按照表 10-4、表 10-5，放射性同位素日等效最大操作量修正因子列入表 10-6 中。根据本项目非密封放射性物质工作场所使用放射性同位素的毒性组别、操作方式、日等效最大操作量及《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）的要求确定出本项目非密封放射性物质工作场所级别。具体见表 10-6。

表 10-6 核医学科工作场所分级

核素名称	日实际最大操作量	毒性组别	毒性组别修正因子	操作方式	操作因子	日等效最大操作量	工作场所分级
------	----------	------	----------	------	------	----------	--------

	(Bq)					(Bq)	
¹³¹ I	1.1E+10	中毒	0.1	简单操作	1	1.1E+09	乙级

由表 10-6 可知，本项目实施后，非密封放射性物质工作场所日等效最大操作量在 $2\times10^7\sim4\times10^9\text{Bq}$ 之间。按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 规定，非密封放射性物质工作场所均属于乙级非密封放射性物质工作场所。

10.2 屏蔽防护

10.2.1 直线加速器、射波刀、TOMO 机房屏蔽核算方法

根据院方提供的设计图，在屏蔽核算中，以设备最高能量 X 射线有用线束、泄漏辐射和患者散射辐射进行屏蔽核算，只要能达到屏蔽 X 射线初始束、泄漏辐射及患者散射辐射墙体厚度就能完全满足对散射 X 射线、电子束防护要求。本评价报告书在辐射屏蔽核算时，不进行诸物理量之间的转换系数修正，即 $1\text{Gy}=1\text{Sv}$ ；各屏蔽关注点防护厚度核算采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范：第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中屏蔽墙的计算公式，具体如下：

（1）使用什值层屏蔽计算方法

①有效屏蔽厚度

当 X 射线束以 θ 角斜射入厚度为 X （cm）的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 X_e （cm）见式（4-1）：

$$X = X_e \cdot \cos\theta \dots\dots\dots (4-1)$$

②屏蔽厚度 X （cm）与屏蔽透射因子 B 的相应关系

对于估算出的屏蔽透射因子 B ，按式（4-2）估算所需的有效屏蔽厚度 X_e （cm），再按式（4-1）估算所需屏蔽厚度 X （cm）。

$$X_e = TVL_e \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL_e) \dots\dots\dots (4-2)$$

TVL_1 和 TVL_e 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。详见表 4-7。

（2）不同辐射的屏蔽估算方法

（a）有用线束和泄漏辐射的屏蔽和剂量估算

关注点达到剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时，设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按式(4-3)计算：

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_o} \cdot \frac{R^2}{f} \dots\dots\dots (4-3)$$

式中：

$\dot{H}_c$ ——剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_o$ ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

R ——辐射源点(靶点)至关注点的距离，m；

f ——对有用束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率。

(b) 患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算

关注点达到剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时，设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按式(4-4)计算：

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2}{\dot{H}_o \cdot a_{ph} \cdot (F/400)} \dots\dots\dots (4-4)$$

式中：

$\dot{H}_c$ ——剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_o$ ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R_s ——患者(位于等中心点)至关注点的距离，m；

a_{ph} ——患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m(关注点方向)处的剂量比例，又称 400cm² 面积上的散射因子；

F ——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²。

(c) 主屏蔽墙宽度

宽束辐射的有用束对应的机房屏蔽为主屏蔽区，其范围应略大于有用束在机房屏蔽墙（或顶）的投影区，其计算公式见式（4-5），示意图见图 4-5。

$$W = 2[(a + SAD + X) \cdot \tan\theta + 0.3] \dots\dots\dots (4-5)$$

式中：

W ——主屏蔽墙宽度，cm；

SAD ——源轴距取 100，cm；

a ——等中心点至墙的距离，cm；

X ——主屏蔽墙内凸 $X=X_2$ ，外凸 $X=X_1+X_2$ ，cm；

θ ——治疗束的最大张角（相对轴线）。

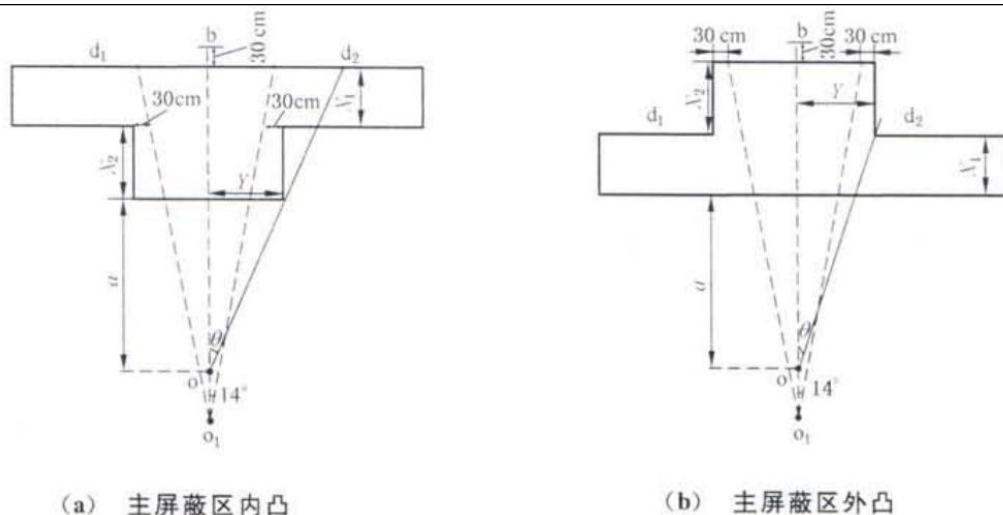


图 4-5 加速器机房主屏蔽区宽度计算示意图

(d) 加速器 ($\leq 10\text{MV}$) 机房的迷路散射辐射屏蔽与剂量估算 (主射束不向迷路)

①入口处的散射辐射剂量率按式 (4-6) 计算

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \quad (4-6)$$

式中:

$\dot{H}_g$ ——入口处的散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

α_{ph} ——患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m (关注点方向) 处的剂量比例, 又称 400cm^2 面积上的散射因子; 通常取 45° 散射角的值。

$\dot{H}_0$ ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;

F ——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 ;

R_1 ——散射体中心点 (有用线束在屏蔽墙上的投影点) 与墙上散射点的距离, m ;

R_2 ——墙上散射点与关注点的距离, 该式 $R_2 = R_{2a} + R_{2b}$, m ;

α_2 ——混凝土墙入射的患者散射辐射的散射因子, 通常取入射角 45° , 散射角 0° 。

A ——墙上的散射面积, m^2 。

②入口门屏蔽

防护门需要的屏蔽透射因子 B 按式 (4-7) 计算

$$B = \frac{\dot{H}_c - \dot{H}_{0g}}{\dot{H}_g} \quad (4-7)$$

防护门的铅屏蔽厚度 X 按式 (4-8) 计算

$$X=TVL \cdot \log B^{-1} \dots\dots\dots (4-8)$$

式中给定铅的散射辐射是 TVL 值为 0.5cm。

(e) 直线加速器机房的屏蔽核算参数如下：

- (1) 源项的技术参数：X 射线最大额定能量 10MV；10MV X 射线等中心最大剂量率为 24Gy/min；在核算中设 1 Gy=1 Sv；
- (2) 源皮距 SSD=1m，等中心处最大照射野为 40cm×40cm；
- (3) 核算屏蔽关注点距墙体外侧表面距离为 0.3m；
- (4) 有用线束、泄漏辐射、患者 30°散射辐射在屏蔽材料中的什值层：

表 4-7 各类辐射在屏蔽材料中的什值层

什值层 (TVL)	主射束		漏射线 (90°)		30°散射线
	TVL ₁ (cm)	TVL _e (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL _e (cm)	TVL (cm)
6MV	37	33	34	29	26
10MV	41	37	35	31	28

(5) X 射线患者受照面积 400cm² 的散射因子

表 4-8 患者受照面积 400cm² 的散射因子

散射角	20°	30°	45°	60°	90°
散射因子 (6MV)	6.73×10^{-3}	2.77×10^{-3}	1.39×10^{-3}	8.24×10^{-4}	4.26×10^{-4}
散射因子 (10MV)	5.79×10^{-3}	3.18×10^{-3}	1.35×10^{-3}	7.46×10^{-4}	3.81×10^{-4}

(f) 射波刀机房的屏蔽核算参数如下：

本项目射波刀属于机械臂加速器，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011)中相关内容及本项目设备情况，本项目机房屏蔽计算全部按 6MVX 射线工况下的有用束(U<0.05)核算，不考虑中子和感生放射性的防护问题。有用束计算参照前文直线加速器计算方法式 4-1 至式 4-3，入口门的散射辐射参考前文式 4-6 至式 4-8。

(1) 根据射波刀机房的图纸及厂家提供的相关参数，本项目射波刀含直线加速器 X 射线能量为 6MV，距靶 0.8m 处最大辐射剂量率为 1000cGy/min，泄漏辐射比率小于 10⁻³。

(2) 核算屏蔽关注点距墙体外侧表面距离为 30cm。

(h) TOMO 机房的屏蔽核算参数如下：

参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子医用电子直线加速器放射治疗机房》GBZ12-2011 附录 D2 的相关要求，可忽略患者散射辐射，按屏蔽泄漏辐射考虑机房屏蔽，对有用线束穿过铅屏蔽块后直接投射的区域，也按屏蔽泄漏辐射考虑。泄漏辐射计算参照前文直线加速器计算方法式 4-1 至式 4-3，入口门的散射辐射参考前文式 4-6 至式 4-8。

(1) 源项的技术参数：TOMO 最大额定能量 6MV X 射线；6MV X 射线等中心最大剂量率为 850cGy/min（医院提供），在核算中设 1 Gy=1 Sv；TOMO 自带铅屏蔽厚度为 12.5cm，对于 6MV 在铅屏蔽材料下的半值层为 $TVL_{\text{铅}}=5.7\text{cm}$ （NCRP REPORT No.151）。TOMO 自带 3.5MV CT 辐射影响低于 6MV 治疗能量及剂量率，治疗出束时的辐射影响远大于 X 射线管。TOMO 机房屏蔽若能满足直线加速器的使用要求也能满足 X 射线管的使用要求，故本项目选取 TOMO 设备 6MV X 射线对机房屏蔽进行分析评价。

(2) 自屏蔽结构宽度核算，厂家的实际设计值长 88.9cm，宽度 22.86cm，厚度 12.5cm。超出部分作为自屏蔽体宽度的安全余量。自屏蔽装置宽度对加速器主射束最大射束张角起到类似常规主屏蔽墙的作用，所以在 TOMO 不需要设计主屏蔽墙。

(3) 核算屏蔽关注点距墙体外侧表面距离为 30cm。

加速器、射波刀、TOMO 机房屏蔽核算结果及评价

根据以上公式及参数取值，计算机房所需屏蔽厚度及机房外周围剂量当量率结果见表 4-9～表 4-10。

表 10-9 直线加速器机房各关注点屏蔽核算结果（10MV 高剂量率 2400cGy/min）

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	根据剂量率计算所需屏蔽厚度($\geq\text{cm}$)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度 计算剂量率结果($\mu\text{Sv/h}$)	结论
直线加速器 1 室	A1(射波刀机房)	西南墙主屏蔽区	$R=8.64\text{m}$, $F=2$	2.5	270 混凝土	329 混凝土	0.03	设计可行
	B1(射波刀机房)	西南墙次屏蔽区	$R=8.49\text{m}$, $\cos\theta=0.858$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	128 混凝土	235 混凝土	漏射: <0.01 散射: <0.01	设计可行
	C1(直加机房)	东南墙主屏蔽区	$R=8.15\text{m}$, $F=2$	2.5	272 混凝土	300 混凝土	0.22	设计可行
	D1(直加机房)	东南墙次屏蔽区	$R=7.57\text{m}$, $\cos\theta=0.858$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	130 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	E1(空地)	西北墙侧屏蔽墙	$R=6.60\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	141 混凝土	170 混凝土	0.15	设计可行
	F1(控制室)	迷路外墙	$R=8.70\text{m}$, $\cos\theta=0.989$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	132 混凝土	150 混凝土	0.33	设计可行
	G1(设备附房)	迷路外墙	$R=8.94\text{m}$, $\cos\theta=0.962$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	128 混凝土	150 混凝土	0.42	设计可行
	H1(屋面)	室顶主屏蔽区	$R=7.05\text{m}$, $F=2$	2.5	277 混凝土	300 混凝土	0.29	设计可行
	I1(屋面)	室顶次屏蔽区	$R=7.89\text{m}$, $\cos\theta=0.767$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	115 混凝土	170 混凝土	漏射: <0.01 散射: <0.01	设计可行
	K1(入口缓冲间)	迷道内墙	$R=8.98\text{m}$, $\cos\theta=0.958$, $f=10^{-3}$	0.5	139 混凝土	150 混凝土	0.12	设计可行
		机房门	$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.35\times 10^{-3}$, $a_2=5.1\times 10^{-3}$, $R_1=6.35\text{m}$, $R_{2a}=6.29\text{m}$, $R_{2b}=2.85\text{m}$, $TVL_{\text{散射}}=5\text{mm}$, $TVL_{\text{漏射线}}$	1.33	12.7mmPb 铅板	18mmPb 铅板	漏射: 0.06 散射: 0.06	设计可行

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	根据剂量率计算所需屏蔽厚度($\geq\text{cm}$)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度 计算剂量率结果($\mu\text{Sv/h}$)	结论
			$=57\text{mm}$, $F=2$					
直线加速器 2 室	A2(直加机房)	西南墙 主屏蔽区	$R=8.15\text{m}$, $F=2$	2.5	272 混凝土	300 混凝土	0.22	设计可行
	B2(直加机房)	西南墙 次屏蔽区	$R=7.57\text{m}$, $\cos\theta=0.858$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	130 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	C2(TOMO 机房)	东南墙 主屏蔽区	$R=8.15\text{m}$, $F=2$	2.5	272 混凝土	300 混凝土	0.22	设计可行
	D2(TOMO 机房)	东南墙 次屏蔽区	$R=8.33\text{m}$, $\cos\theta=0.858$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	128 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.02	设计可行
	E2(空地)	西北墙 侧屏蔽墙	$R=6.60\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	141 混凝土	170 混凝土	0.15	设计可行
	F2(控制室)	迷路外墙+ 迷路内墙	$R=8.60\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	134 混凝土	外墙 150 混凝土+ 内墙 150 混凝土	<0.01	设计可行
	G2(设备附房)	迷路外墙	$R=8.90\text{m}$, $\cos\theta=0.966$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	129 混凝土	150 混凝土	0.44	设计可行
	H2(屋面)	室顶 主屏蔽区	$R=7.05\text{m}$, $F=2$	2.5	277 混凝土	300 混凝土	0.29	设计可行
	I2(屋面)	室顶 次屏蔽区	$R=7.89\text{m}$, $\cos\theta=0.767$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	115 混凝土	170 混凝土	漏射: <0.01 散射: <0.01	设计可行
	K2(入口缓)	迷道内墙	$R=8.98\text{m}$, $\cos\theta=0.958$, $f=10^{-3}$	0.5	139 混凝土	150 混凝土	0.12	设计可行

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	根据剂量率计算所需屏蔽厚度($\geq\text{cm}$)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度 计算剂量率结果($\mu\text{Sv/h}$)	结论
	冲间)	机房门	$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.35\times 10^{-3}$, $a_2=5.1\times 10^{-3}$, $R_1=6.64\text{m}$, $R_{2a}=6.92\text{m}$, $R_{2b}=2.85\text{m}$, $TVL_{\text{散射}}=5\text{mm}$, $TVL_{\text{漏射}}=57\text{mm}$, $F=2$	1.33	12.4mmPb 铅板	18mmPb 铅板	漏射: 0.06 散射: 0.05	设计可行
直线加速器 3 室	A3(空地)	西南墙 主屏蔽区	$R=8.30\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	B3(空地)	西南墙 次屏蔽区	$R=8.42\text{m}$, $\cos\theta=0.868$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	129 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	C3(直加机房)	东南墙 主屏蔽区	$R=8.30\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	D3(直加机房)	东南墙 次屏蔽区	$R=7.67\text{m}$, $\cos\theta=0.868$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	132 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	E3(医护通道)	西北墙 侧屏蔽墙	$R=6.70\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	0.67	158 混凝土	170 混凝土	0.14	设计可行
	F3(控制室)	迷路外墙+ 迷路内墙	$R=8.85\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	133 混凝土	外墙 150 混凝土+ 内墙 150 混凝土	<0.01	设计可行
	G3(设备附房)	迷路外墙	$R=9.37\text{m}$, $\cos\theta=0.945$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	124 混凝土	150 混凝土	0.31	设计可行
	H3(屋面)	室顶 主屏蔽区	$R=7.05\text{m}$, $F=2$	2.5	277 混凝土	300 混凝土	0.29	设计可行
	I3(患者出口通道)	室顶 次屏蔽区	$R=4.88\text{m}$, $\cos\theta=0.862$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	1.33	146 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.04 散射: 0.07	设计可行

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	根据剂量率计算所需屏蔽厚度($\geq\text{cm}$)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度 计算剂量率结果($\mu\text{Sv/h}$)	结论
	K3(入口缓冲间)	迷道内墙	$R=9.25\text{m}$, $\cos\theta=0.957$, $f=10^{-3}$	0.5	138 混凝土	300 混凝土	0.11	设计可行
		机房门	$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.35\times 10^{-3}$, $a_2=5.1\times 10^{-3}$, $R_1=7.12\text{m}$, $R_{2a}=7.53\text{m}$, $R_{2b}=2.85\text{m}$, $TVL_{\text{散射}}=5\text{mm}$, $TVL_{\text{漏射线}}=57\text{mm}$, $F=2$	1.33	11.6mmPb 铅板	18mmPb 铅板	漏射: 0.05 散射: 0.03	设计可行
直线加速器 4 室	A4(直加机房)	西南墙 主屏蔽区	$R=8.25\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	B4(直加机房)	西南墙 次屏蔽区	$R=7.64\text{m}$, $\cos\theta=0.864$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	131 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	C4(直加机房)	东南墙 主屏蔽区	$R=8.25\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	D4(直加机房)	东南墙 次屏蔽区	$R=7.64\text{m}$, $\cos\theta=0.864$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	131 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	E4(医护通道)	西北墙 侧屏蔽墙	$R=6.70\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	0.67	158 混凝土	170 混凝土	0.14	设计可行
	F4(控制室)	迷路外墙+ 迷路内墙	$R=8.85\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	133 混凝土	外墙 150 混凝土+ 内墙 150 混凝土	<0.01	设计可行
	G4 (设备附房)	迷路外墙	$R=8.98\text{m}$, $\cos\theta=0.986$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	124 混凝土	150 混凝土	0.54	设计可行
	H4(屋面)	室顶 主屏蔽区	$R=7.05\text{m}$, $F=2$	2.5	277 混凝土	300 混凝土	0.29	设计可行

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	根据剂量率计算所需屏蔽厚度($\geq\text{cm}$)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度 计算剂量率结果($\mu\text{Sv/h}$)	结论
	I4(患者出口通道)	室顶 次屏蔽区	$R=4.88\text{m}$, $\cos\theta=0.862$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	1.33	146 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.04 散射: 0.07	设计可行
	K4(入口缓冲间)	迷道内墙	$R=9.24\text{m}$, $\cos\theta=0.958$, $f=10^{-3}$	0.5	139 混凝土	300 混凝土	0.12	设计可行
		机房门	$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.35\times 10^{-3}$, $a_2=5.1\times 10^{-3}$, $R_1=6.61\text{m}$, $R_{2a}=6.43\text{m}$, $R_{2b}=2.85\text{m}$, $TVL_{\text{散射线}}=5\text{mm}$, $TVL_{\text{漏射线}}=57\text{mm}$, $F=2$	1.33	12.4mmPb 铅板	18mmPb 铅板	漏射: 0.06 散射: 0.05	设计可行
直线加速器 5 室	A5(直加机房)	西南墙 主屏蔽区	$R=8.25\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	B5(直加机房)	西南墙 次屏蔽区	$R=7.64\text{m}$, $\cos\theta=0.864$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	131 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	C5(直加机房)	东南墙 主屏蔽区	$R=8.25\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	D5(直加机房)	东南墙 次屏蔽区	$R=7.64\text{m}$, $\cos\theta=0.864$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	131 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	E5(医护通道)	西北墙 侧屏蔽墙	$R=6.70\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	0.67	158 混凝土	170 混凝土	0.14	设计可行
	F5(控制室)	迷路外墙+ 迷路内墙	$R=8.85\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	133 混凝土	外墙 150 混凝土+ 内墙 150 混凝土	<0.01	设计可行
	G5 (设备附房)	迷路外墙	$R=8.98\text{m}$, $\cos\theta=0.986$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	124 混凝土	150 混凝土	0.54	设计可行
	H5(屋面)	室顶	$R=7.05\text{m}$, $F=2$	2.5	277 混凝土	300 混凝土	0.29	设计可行

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	根据剂量率计算所需屏蔽厚度($\geq\text{cm}$)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度 计算剂量率结果($\mu\text{Sv/h}$)	结论
		主屏蔽区						
	I5(患者出口通道)	室顶 次屏蔽区	$R=4.88\text{m}$, $\cos\theta=0.862$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	1.33	146 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.04 散射: 0.07	设计可行
	K5(入口缓冲间)	迷道内墙	$R=9.24\text{m}$, $\cos\theta=0.958$, $f=10^{-3}$	0.5	139 混凝土	150 混凝土	0.12	设计可行
		机房门	$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.35\times 10^{-3}$, $a_2=5.1\times 10^{-3}$, $R_1=6.61\text{m}$, $R_{2a}=6.43\text{m}$, $R_{2b}=2.85\text{m}$, $TVL_{\text{散射线}}=5\text{mm}$, $TVL_{\text{漏射线}}=57\text{mm}$, $F=2$	1.33	12.4mmPb 铅板	18mmPb 铅板	漏射: 0.06 散射: 0.05	设计可行
直线加速器 6 室	A6(直加机房)	西南墙 主屏蔽区	$R=8.25\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	B6(直加机房)	西南墙 次屏蔽区	$R=7.64\text{m}$, $\cos\theta=0.864$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	131 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	C6(通道)	东南墙 主屏蔽区	$R=8.25\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	D6(通道)	东南墙 次屏蔽区	$R=8.39\text{m}$, $\cos\theta=0.864$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	0.67	143 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.02	设计可行
	E6(医护通道)	西北墙 侧屏蔽墙	$R=6.70\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	0.67	158 混凝土	170 混凝土	0.14	设计可行
	F6(控制室)	迷路外墙+ 迷路内墙	$R=8.85\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	133 混凝土	外墙 150 混凝土+ 内墙 150 混凝土	<0.01	设计可行

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平(μSv/h)	根据剂量率计算所需屏蔽厚度(≥cm)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度 计算剂量率结果(μSv/h)	结论
	G6(设备附房)	迷路外墙	$R=9.33\text{m}$, $\cos\theta=0.949$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	125 混凝土	150 混凝土	0.33	设计可行
	H6(屋面)	室顶 主屏蔽区	$R=7.05\text{m}$, $F=2$	2.5	277 混凝土	300 混凝土	0.29	设计可行
	I6(患者出口通道)	室顶 次屏蔽区	$R=4.88\text{m}$, $\cos\theta=0.862$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	1.33	146 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.04 散射: 0.07	设计可行
	K6(入口缓冲间)	迷道内墙	$R=9.24\text{m}$, $\cos\theta=0.958$, $f=10^{-3}$	0.5	139 混凝土	150 混凝土	0.11	设计可行
		机房门	$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.35\times 10^{-3}$, $a_2=5.1\times 10^{-3}$, $R_1=7.07\text{m}$, $R_{2a}=7.39\text{m}$, $R_{2b}=2.85\text{m}$, $TVL_{\text{散射线}}=5\text{mm}$, $TVL_{\text{漏射线}}=57\text{mm}$, $F=2$	1.33	11.7mmPb 铅板	18mmPb 铅板	漏射: 0.05 散射: 0.04	设计可行

注：1、混凝土密度 $\rho\geq 2.35\text{t/m}^3$ ；2、 $F=2$ 为安全保护因子。3、设计厚度大于核算厚度 1 个 TVL 厚度则评价设计偏厚

表 10-13 TOMO 机房各关注点屏蔽核算结果

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	根据剂量率计算所 需屏蔽厚度($\geq\text{cm}$)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度 计算剂量率结 果($\mu\text{Sv/h}$)	结论
TOMO 治疗室	A8(空地)	西北墙	$R=4.40\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	96 混凝土	150 混凝土	0.02	设计可行
	B8(直加机 房)	西南墙	$R=5.50\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	91 混凝土	170 混凝土	<0.01	设计可行
	C8(设备附 房)	东南墙	$R=11.10\text{m}$, $\cos\theta=0.973$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	71 混凝土	150 混凝土	<0.01	设计可行
	D8(控制室)	迷路外墙+迷 路内墙	$R=10.83\text{m}$, $\cos\theta=0.997$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	73 混凝土	150 混凝土 +150 混凝土	<0.01	设计可行
	E8(通道)	东北墙	$R=5.50\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	1.6	96 混凝土	170 混凝土	<0.01	设计可行
	F8(屋面)	顶墙	$R=6.17\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	88 混凝土	170 混凝土	<0.01	设计可行
	K8(入口通 道)	迷道内墙	$R=9.21\text{m}$, $\cos\theta=0.863$, $f=10^{-3}$	0.5	77 混凝土	150 混凝土	<0.01	设计可行
		机房门	$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.39\times 10^{-3}$, $a_2=6.4\times 10^{-3}$, $R_1=8.69\text{m}$, $R_2=8.15\text{m}$, $TVL_{\text{散射线}}=5\text{mm}$, $F=2$	1.6	4.7mmPb 铅板	10mmPb 铅板	0.07	设计可行

注：1、混凝土密度 $\rho\geq 2.35\text{t/m}^3$ ；2、 $F=2$ 为安全保护因子。

由表 4-9 至 4-10 可知，分别选取了 X 射线的最大能量与相应的最大等中心剂量率进行屏蔽核算，极限工作模式下，放射治疗机房各核算点的剂量率均小于国家标准中的参考控制水平，表明放射治疗机房拟设计的屏蔽厚度在确保施工质量的情况下，预期其屏蔽效果良好。

根据放射治疗机房平面布局，考虑到相邻的两台设备同时运行时机房屏蔽墙外关注点剂量叠加的影响。本项目机房外关注点叠加估算结果详见表 4-

表 4- 相邻机房外剂量率叠加估算结果

机房	可能叠加的关注点	叠加后剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	关注点剂量率控制值($\mu\text{Sv/h}$)	结论
射波刀与直加机房 1	A7+E1	$0.03+0.15=0.18$	≤ 2.5	符合
	K7+G1	$0.04+0.42=0.46$	≤ 2.5	符合
直加机房 1 与直加机房 2	E1+E2	$0.15+0.15=0.30$	≤ 2.5	符合
	K1+K2	$0.12+0.11=0.23$	≤ 1.33	符合
直加机房 2 与 TOMO 机房	E2+A8	$0.15+0.02=0.17$	≤ 2.5	符合
	G2+C8	$0.44+0.01=0.45$	≤ 2.5	符合
直加机房 3 与直加机房 4	E3+E4	$0.14+0.14=0.28$	≤ 0.67	符合
	K3+K4	$0.08+0.11=0.19$	≤ 1.33	符合
直加机房 4 与直加机房 5	E4+E5	$0.14+0.14=0.28$	≤ 0.67	符合
	G4+G5	$0.54+0.54=1.08$	≤ 2.5	符合
直加机房 5 与直加机房 6	E5+E6	$0.14+0.14=0.28$	≤ 0.67	符合
	K5+K6	$0.11+0.09=0.20$	≤ 1.33	符合

由表 4-9 可知，机房外相邻屏蔽体关注点剂量率叠加结果小于参考控制值。

(3) 直加机房主屏蔽体投影区计算宽度

主屏蔽体投影区计算宽度计算结果见表 4-11。

表 4-11 主屏蔽墙投影区宽度计算结果

机房	屏蔽防护墙	参 数	计算所需宽度 ($\geq \text{cm}$)	设计最小宽度 (cm)	评价
直线加速器 1 室	西南主屏蔽墙	$a=385\text{cm}$, $X=65\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	334 (半宽 167)	460 (半宽 230)	设计可行
	东北主屏蔽墙	$a=385\text{cm}$, $X=300\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	452 (半宽 226)	460 (半宽 230)	设计可行

	室顶	$a=375\text{cm}$, $X=130\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	312 (半宽 156)	460 (半宽 230)	设计可行
直线加速器 2 室	西南主屏蔽墙	$a=385\text{cm}$, $X=300\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	452 (半宽 226)	460 (半宽 230)	设计可行
	东北主屏蔽墙	$a=385\text{cm}$, $X=130\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	366 (半宽 183)	460 (半宽 230)	设计可行
	室顶	$a=375\text{cm}$, $X=130\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	312 (半宽 156)	460 (半宽 230)	设计可行
直线加速器 3 室	西南主屏蔽墙	$a=400\text{cm}$, $X=130\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	374 (半宽 187)	460 (半宽 230)	设计可行
	东北主屏蔽墙	$a=400\text{cm}$, $X=300\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	458 (半宽 229)	460 (半宽 230)	设计可行
	室顶	$a=375\text{cm}$, 前 $X=130\text{cm}$, 后 300cm , $\theta=14^\circ$	354 (前半宽 156 后半宽 198)	460 (半宽 230)	设计可行
直线加速器 4 室	西南主屏蔽墙	$a=395\text{cm}$, $X=300\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	456 (半宽 228)	460 (半宽 230)	设计可行
	东北主屏蔽墙	$a=395\text{cm}$, $X=300\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	456 (半宽 228)	460 (半宽 230)	设计可行
	室顶	$a=375\text{cm}$, 前 $X=130\text{cm}$, 后 300cm , $\theta=14^\circ$	354 (前半宽 156 后半宽 198)	460 (半宽 230)	设计可行
直线加速器 5 室	西南主屏蔽墙	$a=395\text{cm}$, $X=300\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	456 (半宽 228)	460 (半宽 230)	设计可行
	东北主屏蔽墙	$a=395\text{cm}$, $X=300\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	456 (半宽 228)	460 (半宽 230)	设计可行
	室顶	$a=375\text{cm}$, 前 $X=130\text{cm}$, 后 300cm , $\theta=14^\circ$	354 (前半宽 156 后半宽 198)	460 (半宽 230)	设计可行
直线加速器 6 室	西南主屏蔽墙	$a=395\text{cm}$, $X=300\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	456 (半宽 228)	460 (半宽 230)	设计可行
	东北主屏蔽墙	$a=395\text{cm}$, $X=130\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	372 (半宽 186)	460 (半宽 230)	设计可行
	室顶	$a=375\text{cm}$, 前 $X=130\text{cm}$, 后 300cm , $\theta=14^\circ$	354 (前半宽 156 后半宽 198)	460 (半宽 230)	设计可行

4.2.3 后装机房设计参数及屏蔽核算结果评价

一、后装机房设计参数

(1) 后装治疗机房各屏蔽墙厚度及屏蔽设施设计参数见下表:

表 4-14 后装机房屏蔽设计

功能房间名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度(cm)	机房尺寸参数
后装机房	东北墙	70 混凝土	治疗室面积 $5.0\text{m}\times 4.0\text{m}$, 约 20m^2 (不含迷路), 机房内从地面至顶棚屏蔽体内表面高度为 6.3m ; 迷路长 5.7m , 内径宽 1.5m , 迷路
	东南墙	70 混凝土	
	西北墙	70 混凝土	

	西南墙	70 混凝土（外迷路墙）	外入口宽度 1.5m，内入口宽度为 2.0m，空间容积约为 180m ³ （含迷路）。
		70 混凝土（内迷路墙）	
	顶棚	70 混凝土	
	防护门	10mmPb	

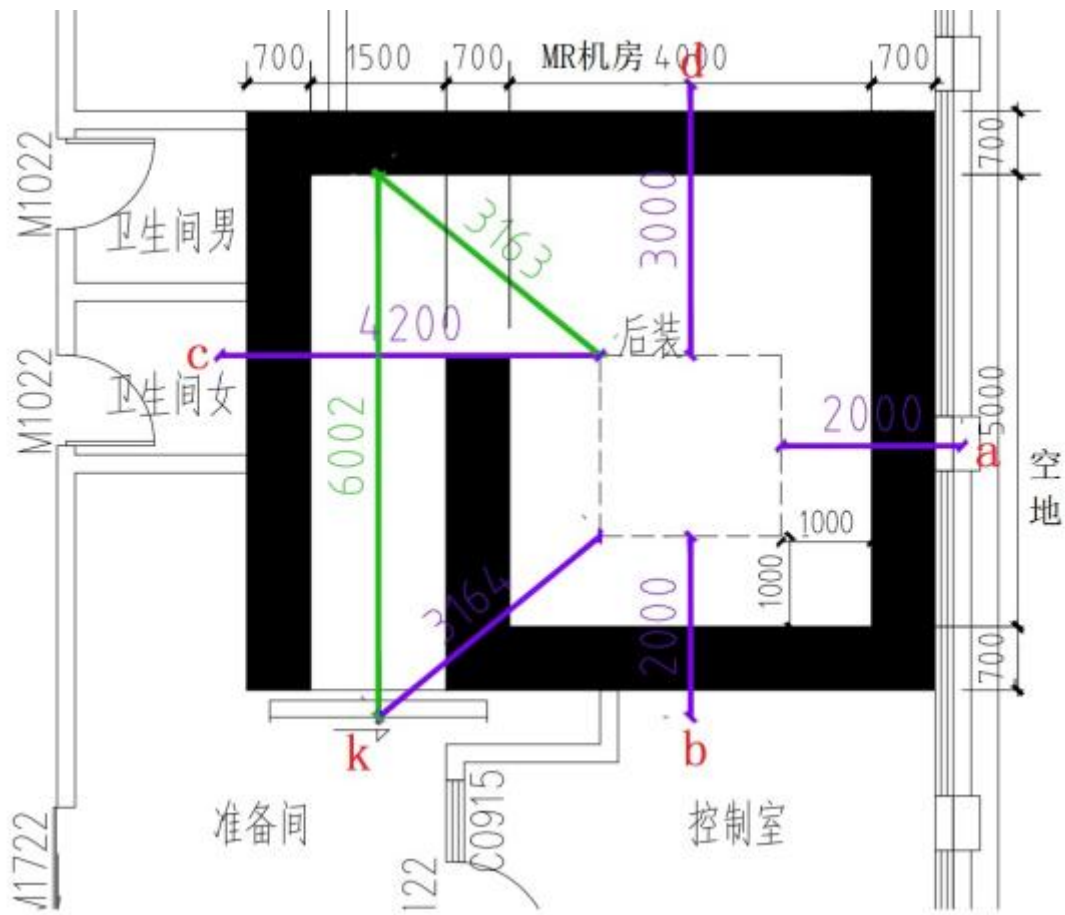


图 4-10 后装机房平面布点图

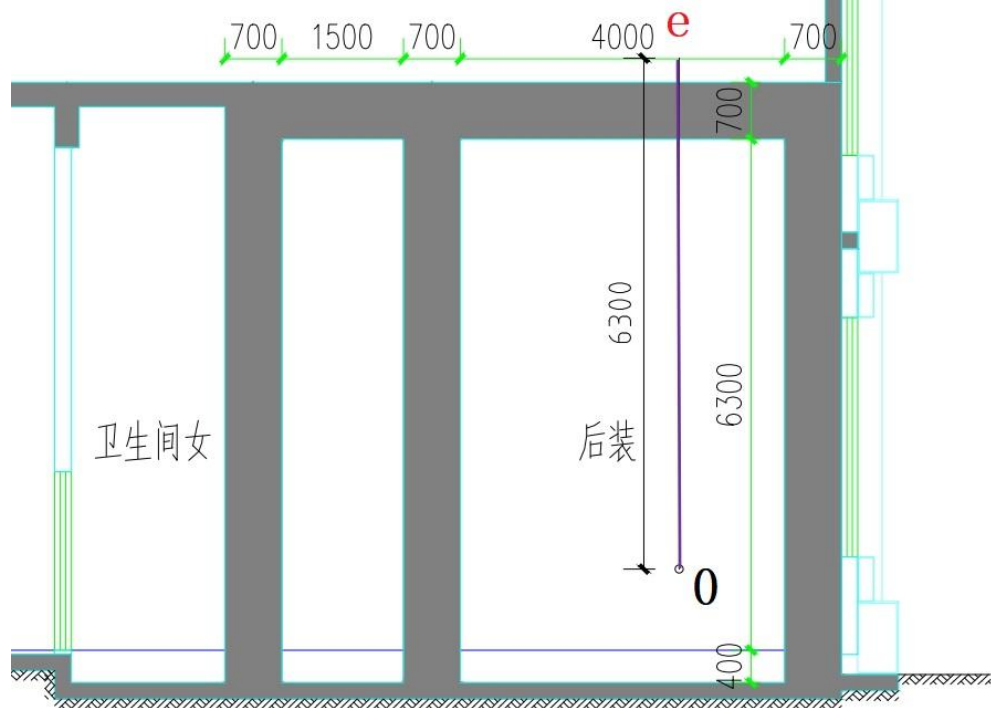


图 4-11 后装机房剖面布点图

二、后装机房屏蔽核算

(1) 根据后装机房的图纸及相关参数，并参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）进行了验证核算。具体核算方法如下：

(a) 初级辐射的屏蔽计算

放射源发射的 γ 射线（初级辐射）直接对墙体和室顶的照射，计算公式如下：

$$X = TVL \times \log \frac{A \cdot K_r}{\dot{H}_c \cdot R^2} \dots\dots\dots (4-13)$$

式中：X—屏蔽厚度，mm；

TVL—十分之一值层，mm。

A—放射源的预期最大放射性活度，GBq；

K_r —放射源 γ 射线的比释动能率常数， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{GBq})$ ；

$\dot{H}_c$ —剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R—放射源至屏蔽关注点的距离，m；

(b) 散射辐射的屏蔽计算

放射源散射至机房入口处的散射辐射剂量率采用式（4-14）计算：

$$\dot{H}_g = \frac{A \cdot K_r \cdot S_w \cdot a_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \dots\dots\dots (4-14)$$

式中： $\dot{H}_g$ —入口处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A —放射源的预期最大放射性活度，GBq；

K_r —放射源 γ 射线的比释动能率常数， $\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{GBq})$ ；

S_w —迷路内口墙的散射面积， m^2 ；

a_w —散射体的散射因子，本报告中取 3.39×10^{-2} (45° 入射， 0° 反散射角)；

R_1 —辐射源至散射体中心点的距离，m；

R_2 —散射体中心点至计算点的距离，m。

（c）防护门的屏蔽计算

按式（4-15）估算防护门的铅屏蔽厚度：

$$X = TVL \times \log \frac{\dot{H}_g}{\dot{H}_c - \dot{H}_{og}} \dots\dots\dots (4-15)$$

（2）后装机房的屏蔽核算参数：

1、 ^{192}Ir 放射源参数：最大活度为 370GBq(10Ci)，比释动能率常数 K_r 为 $0.111\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{GBq})$ ，距源 1m 处的空气比释动能率为 41.07mGy/h 。

2、 ^{192}Ir 放射源 γ 射线能量为 0.37MeV，对混凝土 TVL=152mm；在机房入口处的散射辐射能量约为 0.2MeV，对铅的 TVL=5mm。

2、考虑到后装机是一个可在治疗室内移动的治疗装置，按照放射源可能到达四周墙体的内侧面最近距离为 1.0m，距屏蔽体外 30cm 进行保守计算。

三、后装机房屏蔽核算结果及评价

根据以上公式及参数取值，计算机房所需屏蔽厚度及机房外周围剂量当量率结果见表 4-15。

表 4-15 后装治疗机房各参考点辐射剂量率核算结果

关注点	屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	计算所需混凝土厚度 (mm)	屏蔽墙设计厚度 (mm)	根据设计厚度计算剂量率结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价
a（空地）	东北墙	$R=2.0\text{m}$, $F=2$	2.5	595	700 混凝土	0.25	设计可行
b（控制室）	东南墙	$R=2.0\text{m}$, $F=2$	2.5	595	700 混凝土	0.25	设计可行

c (卫生间)	西南墙	$R=4.2\text{m}$, $F=2$	2.5	497	700 混凝土	0.06	设计可行
d (MR 机房)	西北墙	$R=3.0\text{m}$, $F=2$	1.0	602	700 混凝土	0.11	设计可行
e (屋面)	顶棚	$R=6.3\text{m}$, $F=2$	2.5	444	700 混凝土	0.03	设计可行
k (准备间)	迷路内墙	$R=3.16\text{m}$, $\cos\theta=0.775$	0.5	461	700 混凝土	<0.01	设计可行
	机房门	$S_w=13.86\text{m}^2$ $R_1=3.16\text{m}$, $R_2=6.0\text{m}$, $F=2$	2.5	8.16mmPb	10mmPb	0.54	设计可行

注：1、混凝土密度 $\rho\geq 2.35\text{t/m}^3$ ；2、 $F=2$ 为安全保护因子。

由表 4-15 可知，后装机房各核算点的剂量率均小于国家标准中的参考控制水平，表明后装机房拟设计的屏蔽厚度在确保施工质量的情况下，预期其屏蔽效果良好。

表 4-16 放射治疗模拟定位机房屏蔽防护设计检查表

机房	屏蔽体	设计方案	等效铅当量(mmPb)	GBZ130-2020 标准要求	评价
CT 模拟定位机房 1、2	四周墙体	24cm 实心砖+2mmPb 防护涂料	4	$\geq 2.5\text{mmPb}$	设计可行
	防护门	内衬 4mmPb 铅板	4		设计可行
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4		设计可行
	顶棚	20cm 混凝土+1mmPb 防护涂料	3.5		设计可行

注：实心砖密度 $\geq 1.65\text{t/m}^3$ ，混凝土密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ，硫酸钡密度 $\geq 3.2\text{t/m}^3$ ；等效铅当量的核算参照标准 GBZ 130-2020 附录 C 和辐射防护手册第三分册《辐射安全》。

核医学

(1) 屏蔽计算方法

保守起见，所有核素工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。符合瞬时剂量率目标要求的屏蔽厚度 X 的计算，公式如下：

$$X = TVL \times \lg\left(\frac{A \times \Gamma}{\dot{H}_p \times r^2}\right) \dots\dots\dots (4-16)$$

式中：

X — 屏蔽厚度，mm；

TVL — 十分之一值层，mm；

A — 放射源的预期最大放射性活度，MBq；

Γ — 放射源 1 米处比释动能率常数, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}$;

$\dot{H}_p$ — 参考点处剂量率控制目标值, $\mu\text{Sv/h}$;

r — 放射源至屏蔽关注点的距离, m 。

回旋加速器屏蔽室外的剂量率可采用生产厂家提供的泄漏辐射剂量等高线, 采用近似方法估算, 计算公式如下:

$$\dot{H}_R = \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \cdot (\dot{H}_n \times 10^{-X/TVL_n} + \dot{H}_r \times 10^{-X/TVL_r}) \dots\dots\dots (4-17)$$

式中: $\dot{H}_R$ ——回旋加速器室外关注点剂量率, 单位为微希沃特每小时 ($\mu\text{Sv/h}$)

r_0 ——参考点距靶心的距离, 单位为米 (m);

R ——屏蔽墙外关注点距靶心的距离, 单位为米 (m);

$\dot{H}_n$ ——参考点 r_0 处的中子剂量率, 单位为微希沃特每小时 ($\mu\text{Sv/h}$), 查生产厂家提供的泄漏辐射剂量等高线;

X ——屏蔽墙厚度, 单位为厘米 (cm);

TVL_n ——中子射线的十分之一减弱层厚度, 单位为厘米 (cm);

$\dot{H}_r$ ——参考点 r_0 处的 γ 射线剂量率, 单位为微希沃特每小时 ($\mu\text{Sv/h}$), 查生产厂家提供的泄漏辐射剂量等高线;

TVL_r —— γ 射线的十分之一减弱层厚度, 单位为厘米 (cm)。对 11MeV 回旋加速器泄漏辐射 γ 射线的能量约为 8MeV, 中子的能量约为 5MeV, 相应不同屏蔽材料的 TVL 值见表 4-30。

(2) 屏蔽计算参数

a) 点源原则

严格来讲点源的定义是参考点到源的距离要大于源线度 5 倍以上, 可实际上并不是理想点源状态, 计算中将患者视为“点源”, 本报告书给出的计算结果均使用点源公式。计算时四周屏蔽墙参考点位置在墙外 0.3m 处, 人体高度假定为 1.0m, 屋顶参考点位置在楼板地面上方 0.3m 处, 楼下参考点位置在楼下人员可达处 1.7m 处。

b) PET/CT 机房、SPECT/CT 机房还需考虑 CT 屏蔽防护: 依据《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 第 6.2.1 条的要求: “CT 机房屏蔽防护不低于 2.5mm 铅当量”。

c)二楼 PET 检查区 PET/CT 检查室 1-2、PET/MR 检查室、分装室、抢救室、患者通

道按 1 名注射 ^{18}F 受检者（370MBq）进行计算；PET/CT 候诊室 1-4、PET/MR 候诊室按 2 名注射 ^{18}F 受检者（370MBq）进行计算；PET/CT、PET/MR 留观室按 2 名注射 ^{18}F 受检者进行核算（370MBq 的 ^{18}F -FDG 分别经过 50min、70min 衰减，总量 $270\text{MBq}+238\text{MBq}=508\text{MBq}$ ）；本区域核素使用量最大为 ^{18}F ，故使用 ^{18}F 核素进行屏蔽计算，放射性核素 ^{18}F 在 1m 处的剂量常数为 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{MBq}$ ，根据院方提供的数据，PET/CT 影像检查受检者每人每次最大给药活度 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ （10mCi），二楼 ^{18}F 分装柜单次最大操作量为 $1.11\times 10^{10}\text{Bq}$ （300mCi）。分装、合成热室单次操作 $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ （1Ci）。

d) 二楼核素治疗区注射室、核素病房 1-6、核素治疗留观病房、抢救室、病房通道按 1 名注射 ^{177}Lu 患者（7400MBq）进行计算，本区域核素使用量最大为 ^{177}Lu ，故使用 ^{177}Lu 核素进行屏蔽计算。放射性核素 ^{177}Lu 的 γ 空气比释动能率常数为： $1.32\times 10^{-18}\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{Bq}\cdot\text{s})$ （参照《辐射安全手册》表 6.2），1m 处的剂量常数为 $4.752\times 10^{-3}\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{MBq}$ 。估算在距其 100cm 处参考点的空气比释动能率约为 $35.2\mu\text{Gy}/\text{h}$ ，计算时取 $1\text{Gy}=1\text{Sv}$ 。

e) 三楼 SPECT/CT 检查区 SPECT/CT 检查室 1-2、抢救室、患者通道按 1 名注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 受检者（925MBq）进行计算；注射后候检室按最多同时容留 10 名注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 受检者进行计算；SPECT/CT 留观室按最多同时容留 5 名注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 受检者进行计算；本区域核素使用量最大为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，故使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素进行屏蔽计算，放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在 1m 处的剂量常数为 $0.0303\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{MBq}$ ，根据院方提供的数据，SPECT/CT 影像检查受检者最大给药活度为 925MBq（25mCi），分装柜单次最大操作量为 $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ （1Ci）。

f) 三楼核素治疗区服药室、核素病房 1-6、抢救室、病房通道按 1 名 ^{131}I 甲亢患者（7400MBq）进行计算，甲亢留观室按最多同时容留 3 名 ^{131}I 甲亢患者（370MBq）进行计算。放射性核素 ^{131}I 在 1m 处的剂量常数为 $0.0595\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{MBq}$ ，根据院方提供的数据，甲亢患者每人每次最大给药活度 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ （10mCi）、甲亢患者每人每次最大给药活度 $7.4\times 10^9\text{Bq}$ （200mCi），分装柜单次最大操作量为 $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ （1000mCi）。

g) 回旋加速器泄露辐射不同屏蔽材料的 TVL 取值见表 4-31。放射性核素的 TVL 取值见表 4-32。

表 4-31 回旋加速器泄露辐射不同屏蔽材料的 TVL 值

材料名称	混凝土 (2.35g/cm ³)	铅 (11.3g/cm ³)	聚乙烯 (0.97g/cm ³)
------	---------------------------------	----------------------------	---------------------------------

TVL_r (8MeV)	38cm	5cm	80cm
TVL_n (5MeV)	43cm	47.8cm	24cm

表 4-32 放射性核素的 TVL 值

屏蔽材料	混凝土 (2.35g/cm³)	铅 (11.3g/cm³)	实心砖 (1.65g/cm³)	硫酸钡材料 (3.2g/cm³)
¹⁸ F 的 TVL 值	17.6cm	1.66cm	26.3cm	--
¹³¹ I 的 TVL 值	17cm	1.1cm	24cm	9.5cm
^{99m} Tc 的 TVL 值	11cm	0.1cm	16cm	--
¹⁷⁷ Lu 的 TVL 值	15cm	0.57cm	--	--

注：1.本评价报告中的屏蔽材料密度要求不低于表格中的数值。

2.对混凝土、铅、实心砖的 TVL 值参照 GBZ120-2020 表 I.1，¹³¹I 对于硫酸钡材料的 TVL 值参考《辐射安全手册》图 6.4 重晶石混凝土插值法取值。

3.¹⁷⁷Lu 的 TVL 值参考《辐射安全手册》图 6.4 的能量 0.208MeV 插值法取值。

• 辐射安全手册

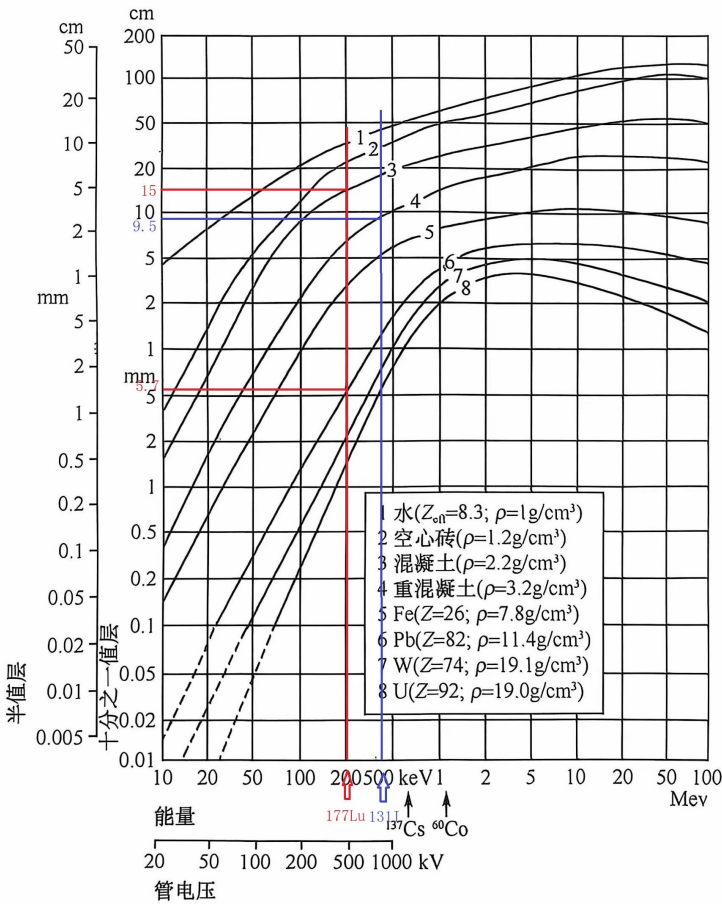


图 6.4 屏蔽材料的平均半值层和十分之一值层

图 4-28 屏蔽材料的平均半值层和十分之一值层

h) 由于回旋加速器本身带自屏蔽, 本报告书根据建设单位提供的资料, 1 米处最大剂量率如表 4-33 所示, 保守考虑, 本报告对 10MeV 回旋加速器屏蔽体外的 γ 射线平均能量均取 8MeV, 对回旋加速器屏蔽体外的中子平均能量均取 5MeV, 计算回旋加速器机房防护墙及顶棚的屏蔽厚度。

表 4-33 回旋加速器自屏蔽体表面 1m 处的最大剂量率

方位	中子辐射剂量率	γ 辐射剂量率	总辐射剂量率
回旋加速器自屏蔽体后面 1m 处	15.9	14.1	30.0
回旋加速器自屏蔽体正面 1m 处	6.7	34.6	41.3
回旋加速器自屏蔽体左面 1m 处	30.3	42.5	72.8
回旋加速器自屏蔽体右面 1m 处	112.7	55.9	168.6
回旋加速器自屏蔽体顶面 1m 处	14.4	16.5	30.9

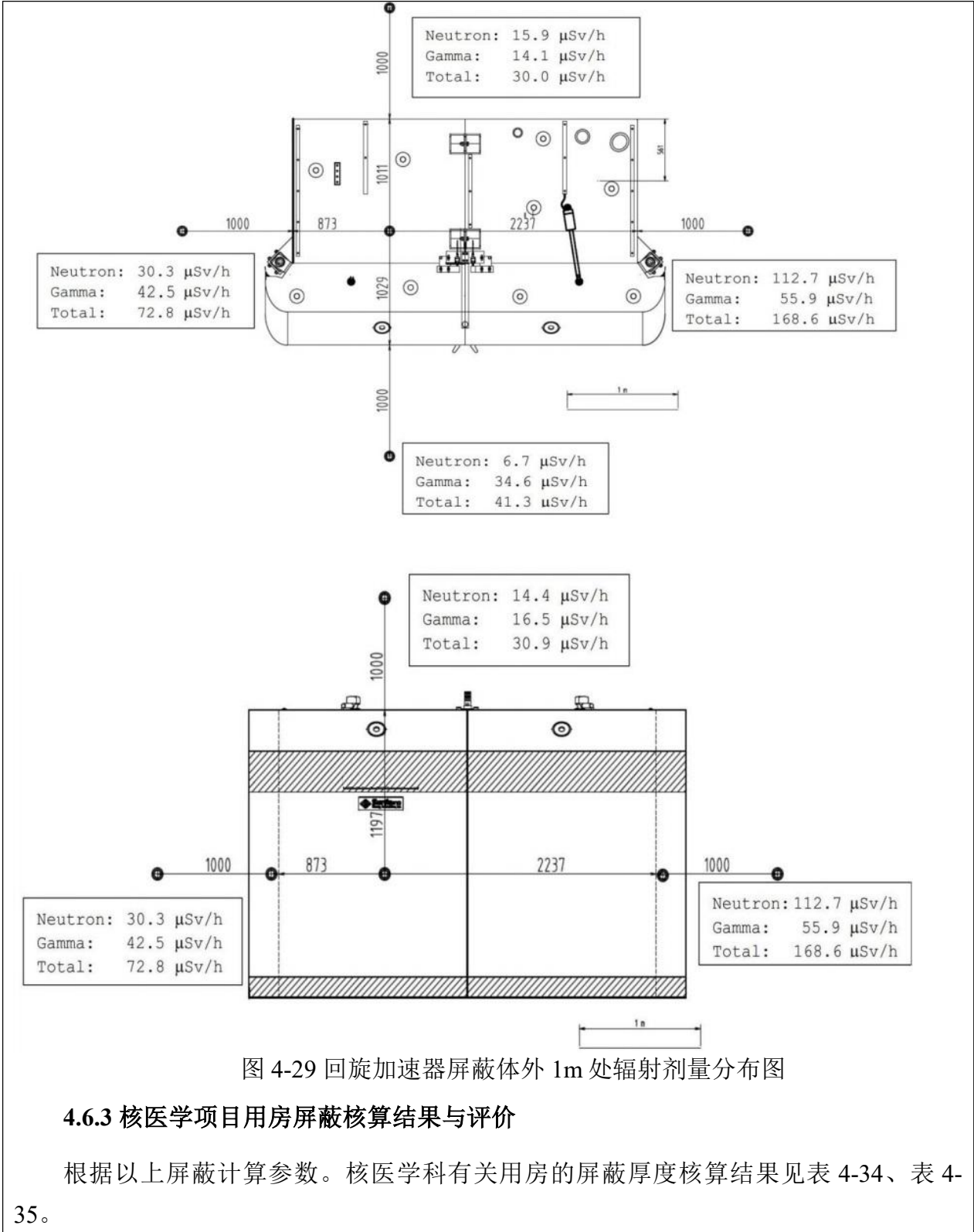
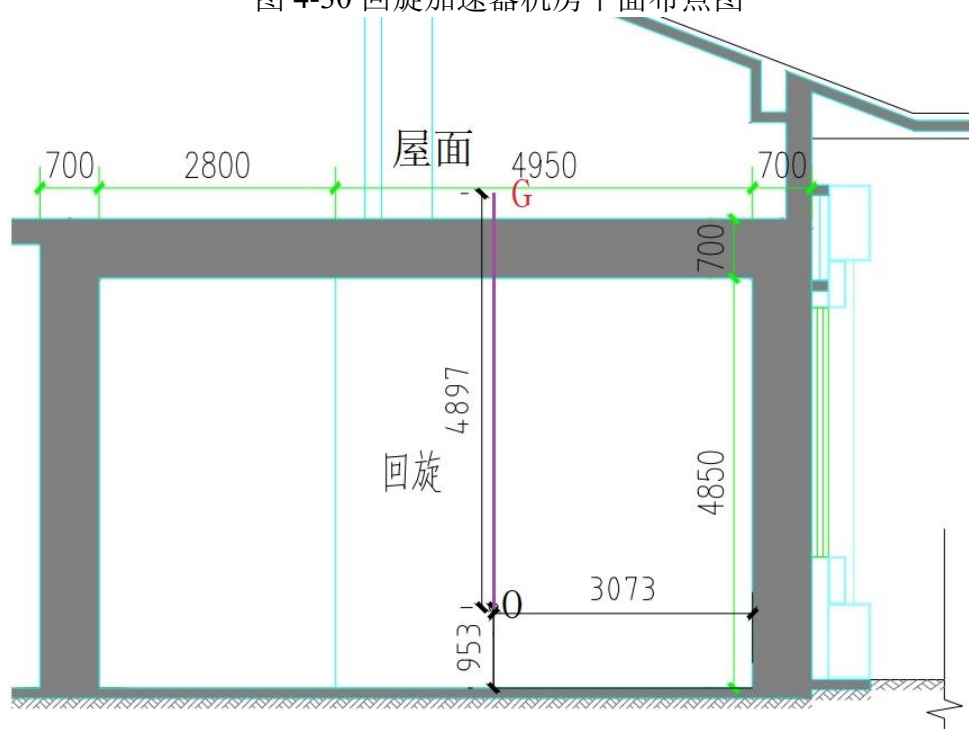
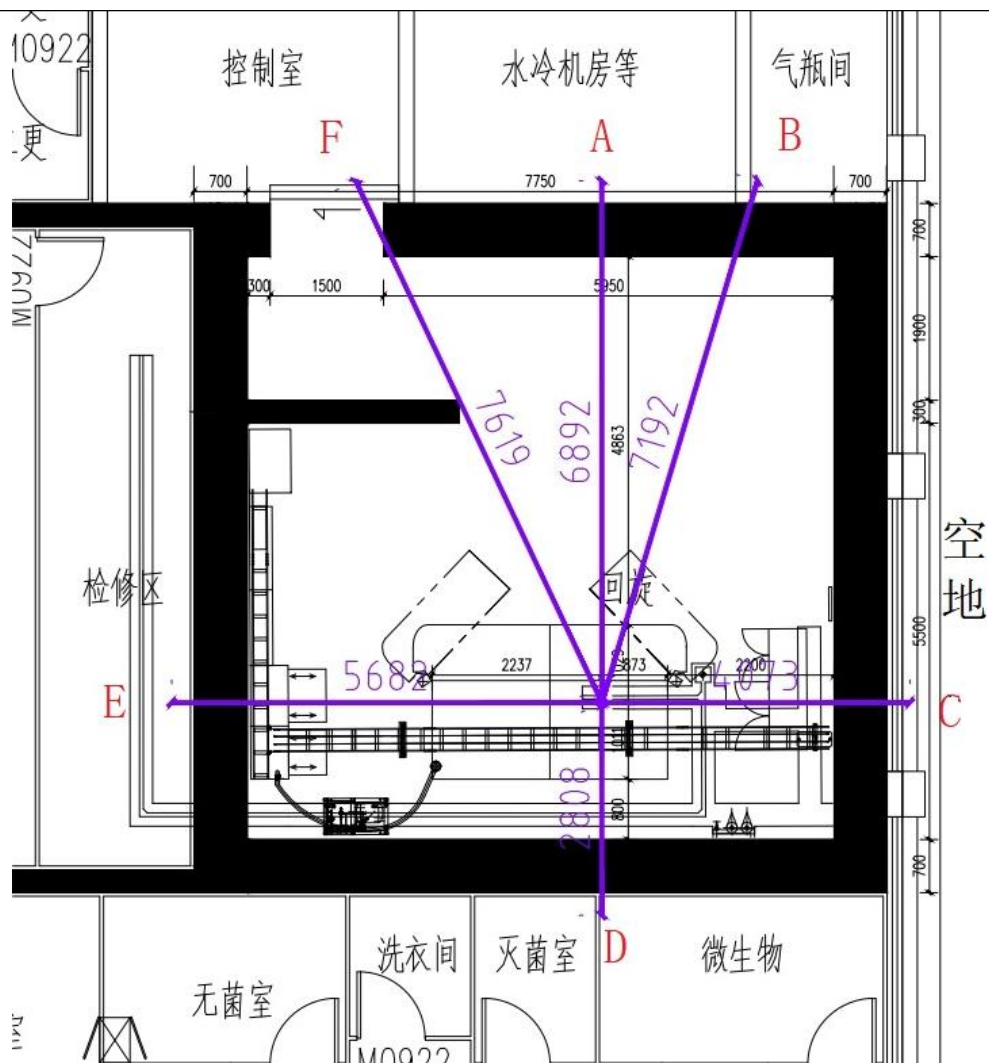


图 4-29 回旋加速器屏蔽体外 1m 处辐射剂量分布图

4.6.3 核医学项目用房屏蔽核算结果与评价

根据以上屏蔽计算参数。核医学科有关用房的屏蔽厚度核算结果见表 4-34、表 4-35。



防护关注点	剂量率控制值 (μ Sv/h)	屏蔽墙外关注点距靶心的距离 R (m)	参考点距靶心的距离 r0 (m)	核算厚度 (cm) *	设计厚度 (cm)	根据设计厚度核算剂量率结果 (μ Sv/h)		评价意见
屏蔽墙 A	γ 射线 ≤ 1.25	6.89	2.03	γ 射线: $\geq 14\text{cm}$ 混凝土	70cm 混凝土	γ 射线: 0.04	总: 0.05	设计可行
	中子 ≤ 1.25			中子: ——		中子: 0.01		
屏蔽墙 B	γ 射线 ≤ 1.25	7.19	2.03	γ 射线: $\geq 13\text{cm}$ 混凝土	70cm 混凝土	γ 射线: 0.04	总: 0.05	设计可行
	中子 ≤ 1.25			中子: ——		中子: 0.01		
屏蔽墙 C	γ 射线 ≤ 1.25	4.07	1.87	γ 射线: $\geq 30\text{cm}$ 混凝土	70cm 混凝土	γ 射线: 0.13	总: 0.28	设计可行
	中子 ≤ 1.25			中子: $\geq 33\text{cm}$ 混凝土		中子: 0.15		
屏蔽墙 D	γ 射线 ≤ 1.25	2.81	2.01	γ 射线: $\geq 29\text{cm}$ 混凝土	70cm 混凝土	γ 射线: 0.10	总: 0.29	设计可行
	中子 ≤ 1.25			中子: $\geq 35\text{cm}$ 混凝土		中子: 0.19		
屏蔽墙 E	γ 射线 ≤ 1.25	5.68	3.22	γ 射线: $\geq 44\text{cm}$ 混凝土	70cm 混凝土	γ 射线: 0.26	总: 1.11	设计可行
	中子 ≤ 1.25			中子: $\geq 63\text{cm}$ 混凝土		中子: 0.85		
顶面墙 G	γ 射线 ≤ 1.25	4.90	2.20	γ 射线: $\geq 16\text{cm}$ 混凝土	70cm 混凝土	γ 射线: 0.05	总: 0.12	设计可行
	中子 ≤ 1.25			中子: $\geq 16\text{cm}$ 混凝土		中子: 0.07		
防护门 F	γ 射线 ≤ 1.25	7.62	2.03	γ 射线: $\geq 14.7\text{mmPb}$	22mmPb+12cm 含硼聚乙烯	γ 射线: 0.89	总: 1.04	设计可行
	中子 ≤ 1.25			——		中子: 0.15		

注: 1. “——”表示屏蔽体计算点处剂量率小于剂量率控制值, 可不做屏蔽要求; 2. γ 射线与中子核算厚度取大值, 不用累加防护厚度。

注: 1. “——”表示屏蔽体计算点处剂量率小于剂量率控制值, 可不作屏蔽要求; 2. γ 射线与中子核算厚度取大值, 不用累加防护厚度。

表 4-35 核医学科有关用房的屏蔽核算

屏蔽体		剂量 控制值 ($\mu\text{ Sv/h}$)	核算 核素	核算参数		核算厚度		医院屏蔽设计防护厚度		根据拟采用厚度 核算剂量率 结果($\mu\text{Sv/h}$)	评价意见
二楼 PET 检查区											
PET/CT 检查室 1、2 (370 MBq)	顶棚	2.5	CT	140kV	$\geq 22\text{cm}$ 混凝土	综合取大值： $\geq 22\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	< 0.01	设计可行		
			^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{ Sv/h}$, r=3.8m	$\geq 2.9\text{cm}$ 混凝土			0.07			
	地板	0.5	CT	140kV	$\geq 22\text{cm}$ 混凝土	综合取大值： $\geq 22\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	< 0.01	设计可行		
			^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{ Sv/h}$, r=4.5m	$\geq 12.6\text{cm}$ 混凝土			0.05			
	四面墙体	2.5	CT	140kV	$\geq 22\text{cm}$ 混凝土	综合取大值： $\geq 22\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	< 0.01	设计可行		
			^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{ Sv/h}$, r=2.5m	$\geq 9.3\text{cm}$ 混凝土			0.23			
	观察窗	2.5	CT	140kV	$\geq 2.5\text{mmPb}$ 铅玻璃	综合取大值： $\geq 6.2\text{mmPb}$ 铅玻璃	14mmPb 铅玻璃	< 0.01	设计可行		
			^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{ Sv/h}$, r=3.0m	$\geq 8.8\text{mmPb}$ 铅玻璃			0.84			
	防护门 (2 扇)	2.5	CT	140kV	$\geq 2.5\text{mmPb}$ 铅板	综合取大值： $\geq 6.2\text{mmPb}$ 铅板	14mmPb 铅板	< 0.01	设计可行		
			^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{ Sv/h}$, r=3.0m	$\geq 8.8\text{mmPb}$ 铅板			0.84			
分装室（370 MBq）	顶棚	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{ Sv/h}$, r=3.8m	$\geq 2.9\text{cm}$ 混凝土		30cm 混凝土	0.07	设计可行		
	地板	0.5	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{ Sv/h}$, r=4.5m	$\geq 12.6\text{cm}$ 混凝土		30cm 混凝土	0.05	设计可行		
	东南墙体 (大厅)	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{ Sv/h}$, r=1.5m	$\geq 17.1\text{cm}$ 混凝土		30cm 混凝土	0.46	设计可行		
	其余三面 墙体	10	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{ Sv/h}$, r=1.5m	$\geq 6.5\text{cm}$ 混凝土		30cm 混凝土	0.46	设计可行		
	防护门 (临患者 通道)	10	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{ Sv/h}$, r=1.5m	$\geq 6.2\text{mmPb}$ 铅板		9mmPb 铅板	6.75	设计可行		
	防护门 (临卫生	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{ Sv/h}$, r=2.0m	$\geq 12\text{mmPb}$ 铅板		14mmPb 铅板	1.90	设计可行		

屏蔽体		剂量 控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	核算 核素	核算参数	核算厚度	医院屏蔽设计防护厚度	根据拟采用厚度 核算剂量率 结果($\mu\text{Sv/h}$)	评价意见
	通过间)							
	注射台	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{Sv/h}$, $r=0.5\text{m}$	$\geq 34\text{mmPb}$	40mmPb	1.13	设计可行
PET/CT 注射后 候诊室 14、 PET/MR 候诊室 (740 MBq)	顶棚	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=106\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 8.2\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.14	设计可行
	地板	0.5	^{18}F	$\dot{H}_0=106\mu\text{Sv/h}$, $r=4.5\text{m}$	$\geq 18\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.10	设计可行
	四周墙体	10	^{18}F	$\dot{H}_0=106\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 11.8\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.93	设计可行
	防护门	10	^{18}F	$\dot{H}_0=106\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 11.2\text{mmPb}$ 铅板	13mmPb 铅板	7.76	设计可行
PET/CT 留观 室、PET/MR 留 观室 (508MBq)	顶棚	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=72.6\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 5.3\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.10	设计可行
	地板	0.5	^{18}F	$\dot{H}_0=72.6\mu\text{Sv/h}$, $r=4.5\text{m}$	$\geq 15\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.07	设计可行
	四周墙体	10	^{18}F	$\dot{H}_0=72.6\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 9\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.64	设计可行
	临楼梯间 墙体	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=72.6\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 11.7\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.64	设计可行
	防护门	10	^{18}F	$\dot{H}_0=72.6\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 8.4\text{mmPb}$ 铅板	12mmPb 铅板	6.11	设计可行
抢救室 (370 MBq)	顶棚	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 2.9\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.07	设计可行
	地板	0.5	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{Sv/h}$, $r=4.5\text{m}$	$\geq 12.6\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.05	设计可行
	四周墙体	10	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 6.5\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.46	设计可行
	防护门	10	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 6.2\text{mmPb}$ 铅板	9mmPb 铅板	6.75	设计可行
患者通道	顶棚	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 2.9\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.07	设计可行
	地板	0.5	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{Sv/h}$, $r=4.5\text{m}$	$\geq 12.6\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.05	设计可行
	墙体 (临 监督区)	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 17.1\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.46	设计可行
	防护门	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{Sv/h}$, $r=2.0\text{m}$	$\geq 12\text{mmPb}$ 铅板	14mmPb 铅板	1.90	设计可行

屏蔽体		剂量 控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	核算 核素	核算参数	核算厚度	医院屏蔽设计防护厚度	根据拟采用厚 度核算剂量率 结果($\mu\text{Sv/h}$)	评价意见
二楼核素治疗区								
分装室 (7400MBq)	顶棚	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	——	30cm 混凝土	0.02	设计可行
	地板	0.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=4.5\text{m}$	$\geq 8.1\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.02	设计可行
	西南墙体 (注射室)	10	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 2.9\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.16	设计可行
	其余墙体	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 11.9\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.16	设计可行
	防护门 (临卫生 通过间)	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 4.5\text{mmPb}$ 铅板	7mmPb 铅板	0.93	设计可行
	防护门 (临注射 室、固废 暂存间)	10	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 1\text{mmPb}$ 铅板	5mmPb 铅板	1.56	设计可行
注射室 (7400MBq)	顶棚	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	——	30cm 混凝土	0.02	设计可行
	地板	0.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=4.5\text{m}$	$\geq 8.1\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.02	设计可行
	四周墙体	10	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 2.9\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.16	设计可行
	防护门	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 4\text{mmPb}$ 铅板	7mmPb 铅板	0.62	设计可行
	注射台	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=0.5\text{m}$	$\geq 10\text{mmPb}$	15mmPb	0.33	设计可行
核素病房 1-6、 核素治疗留观 病房 (7400MBq)	顶棚	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	——	30cm 混凝土	0.02	设计可行
	地板	0.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=4.5\text{m}$	$\geq 8.1\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.02	设计可行
	四周墙体	10	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 2.9\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.16	设计可行
	临楼梯间 墙体	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 11.9\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.16	设计可行

屏蔽体		剂量 控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	核算 核素	核算参数	核算厚度	医院屏蔽设计防护厚度	根据拟采用厚度 核算剂量率 结果($\mu\text{Sv/h}$)	评价意见	
	防护门	10	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=2.0\text{m}$	——	5mmPb 铅板	1.17	设计可行	
抢救室 (7400MBq)	顶棚	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	——	30cm 混凝土	0.02	设计可行	
	地板	0.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=4.5\text{m}$	$\geq 8.1\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.02	设计可行	
	临医生通道、 临值班室墙体	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 11.9\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.16	设计可行	
	其余墙体	10	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 11.9\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.16	设计可行	
	临患者通道 防护门	10	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 1.1\text{mmPb}$ 铅板	5mmPb 铅板	2.07	设计可行	
	卫生通过 间防护门	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 4.5\text{mmPb}$ 铅板	7mmPb 铅板	0.93	设计可行	
	病房通道 (7400MBq)	顶棚	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	——	30cm 混凝土	0.02	设计可行
地板		0.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=4.5\text{m}$	$\geq 8.1\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.02	设计可行	
防护门		2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\mu\text{Sv/h}$, $r=2.0\text{m}$	$\geq 3.1\text{mmPb}$ 铅板	7mmPb 铅板	0.52	设计可行	
三楼 SPECT/CT 检查区									
SPECT/CT 检查室 1、2 (925 MBq)	顶棚	2.5	CT	140kV	$\geq 22\text{cm}$ 混凝土	综合取大值： $\geq 22\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	< 0.01	设计可行
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=28\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	——			< 0.01	
	地板	2.5	CT	140kV	$\geq 22\text{cm}$ 混凝土	综合取大值： $\geq 22\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	< 0.01	设计可行
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=28\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	——			< 0.01	
	四面墙体	2.5	CT	140kV	$\geq 22\text{cm}$ 混凝土	综合取大值： $\geq 22\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	< 0.01	设计可行
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=28\mu\text{Sv/h}$, $r=2.5\text{m}$	$\geq 2.8\text{cm}$ 混凝土			< 0.01	
	观察窗	2.5	CT	140kV	$\geq 2.5\text{mmPb}$ 铅玻璃	综合取大值： $\geq 2.5\text{mmPb}$ 铅玻璃	4mmPb 铅玻璃	< 0.01	设计可行
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=28\mu\text{Sv/h}$, $r=3.0\text{m}$	$\geq 0.1\text{mmPb}$ 铅玻璃			< 0.01	

屏蔽体		剂量 控制值 (μ Sv/h)	核算 核素	核算参数	核算厚度		医院屏蔽设计防护厚度	根据拟采用厚度 核算剂量率 结果(μSv/h)	评价意见
	防护门 (2扇)	2.5	CT	140kV	≥2.5mmPb 铅板	综合取大值： ≥2.5mmPb 铅板	4mmPb 铅板	<0.01	设计可行
			^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=3.0m	≥0.1mmPb 铅板			<0.01	
分装室（925 MBq）	顶棚	2.5	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=3.8m	——		30cm 混凝土	<0.01	设计可行
	地板	2.5	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=3.8m	——		30cm 混凝土	<0.01	设计可行
	东南墙体 (大厅)	2.5	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=1.5m	≥7.7cm 混凝土		30cm 混凝土	0.02	设计可行
	其余三面 墙体	10	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=1.5m	≥1.0cm 混凝土		30cm 混凝土	0.02	设计可行
	防护门 (临患者 通道)	10	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=1.5m	≥0.1mmPb 铅板		3mmPb 铅板	0.01	设计可行
	防护门 (临卫生 通过间)	2.5	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=2.0m	≥0.5mmPb 铅板		3mmPb 铅板	<0.01	设计可行
	注射台	2.5	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=0.5m	≥1.7mmPb 铅板		10mmPb 铅板	<0.01	设计可行
抢救室（925 MBq）	顶棚	2.5	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=3.8m	——		30cm 混凝土	<0.01	设计可行
	地板	2.5	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=3.8m	——		30cm 混凝土	<0.01	设计可行
	临楼梯间 墙体	2.5	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=1.5m	≥7.7cm 混凝土		30cm 混凝土	0.02	设计可行
	其余墙体	10	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=1.5m	≥1.0cm 混凝土		30cm 混凝土	0.02	设计可行
	防护门	10	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=2m	≥0.5mmPb 铅板		3mmPb 铅板	<0.01	设计可行

屏蔽体		剂量 控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	核算 核素	核算参数	核算厚度	医院屏蔽设计防护厚度	根据拟采用厚 度核算剂量率 结果($\mu\text{Sv/h}$)	评价意见
注射后侯检室 1、2 (9250MBq)	顶棚	2.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=280\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 9.8\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.04	设计可行
	地板	2.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=280\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 9.8\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.04	设计可行
	其余墙体	10	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=280\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 12\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.23	设计可行
	防护门	10	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=280\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 1.1\text{mmPb}$ 铅板	3mmPb 铅板	0.12	设计可行
SPECT 留观室 (4625MBq)	顶棚	2.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=140\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 6.5\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.02	设计可行
	地板	2.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=140\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 6.5\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.02	设计可行
	其余墙体	10	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=140\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 8.7\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.12	设计可行
	防护门	10	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=140\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 0.8\text{mmPb}$ 铅板	3mmPb 铅板	0.06	设计可行
患者通道 (925MBq)	顶棚	2.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=28\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	——	30cm 混凝土	<0.01	设计可行
	地板	2.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=28\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	——	30cm 混凝土	<0.01	设计可行
	墙体（临 监督区）	2.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=28\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 7.7\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.02	设计可行
	防护门	2.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=28\mu\text{Sv/h}$, $r=2.0\text{m}$	$\geq 0.5\text{mmPb}$ 铅板	3mmPb 铅板	<0.01	设计可行
三楼核素治疗区								
服药室（7400 MBq）	顶棚	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 18.5\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.52	设计可行
	地板	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 18.5\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.52	设计可行

屏蔽体		剂量 控制值 (μ Sv/h)	核算 核素	核算参数	核算厚度	医院屏蔽设计防护厚度	根据拟采用厚 度核算剂量率 结果(μ Sv/h)	评价意见
	四周墙体	10	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 22\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	3.36	设计可行
	防护门	10	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 14.2\text{mmPb}$ 铅板	17mmPb 铅板	5.57	设计可行
甲亢留观室 (1110 MBq)	顶棚	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=66 \mu \text{ Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 4.5\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.08	设计可行
	地板	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=66 \mu \text{ Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 4.5\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.08	设计可行
	四周墙体	10	^{131}I	$\dot{H}_0=66 \mu \text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 8\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.50	设计可行
	防护门	10	^{131}I	$\dot{H}_0=66 \mu \text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 5.2\text{mmPb}$ 铅板	9mmPb 铅板	4.46	设计可行
核素病房 1-6 (7400 MBq)	顶棚	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 18.5\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.52	设计可行
	地板	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 18.5\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.52	设计可行
	临楼梯间 墙体	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 30\text{cm}$ 混凝土+1.2cm 硫酸钡	30cm 混凝土+3cm 硫酸钡材料	1.62	设计可行
	其余墙体	10	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 22\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	3.36	设计可行
	防护门	10	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=2\text{m}$	$\geq 11.5\text{mmPb}$ 铅板	15mmPb 铅板	4.76	设计可行
抢救室 (7400 MBq)	顶棚	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 18.2\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.50	设计可行
	地板	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 18.2\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.50	设计可行
	临医生通 道、临值	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 30\text{cm}$ 混凝土+1.2cm 硫酸钡材料	30cm 混凝土+3cm 硫酸钡材料	1.62	设计可行

屏蔽体		剂量 控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	核算 核素	核算参数	核算厚度	医院屏蔽设计防护厚度	根据拟采用厚 度核算剂量率 结果($\mu\text{Sv/h}$)	评价意见
	班室墙体							
	其余墙体	10	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\ \mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 22\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	3.36	设计可行
	临患者通 道防护门	10	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\ \mu\text{Sv/h}$, $r=2\text{m}$	$\geq 11.5\text{mmPb}$ 铅板	15mmPb 铅板	4.76	设计可行
	卫生通过 间防护门	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\ \mu\text{Sv/h}$, $r=2\text{m}$	$\geq 18\text{mmPb}$ 铅板	20mmPb 铅板	1.67	设计可行
病房通道 (7400 MBq)	顶棚	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\ \mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 18.2\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.50	设计可行
	地板	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\ \mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 18.2\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.50	设计可行
	入口防护 门	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\ \mu\text{Sv/h}$, $r=2.5\text{m}$	$\geq 16\text{mmPb}$ 铅板	18mmPb 铅板	1.63	设计可行
	出口防护 门	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\ \mu\text{Sv/h}$, $r=2.5\text{m}$	$\geq 16\text{mmPb}$ 铅板	18mmPb 铅板	1.63	设计可行
	病房隔离 防护门	10	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\ \mu\text{Sv/h}$, $r=2.0\text{m}$	$\geq 11.5\text{mmPb}$ 铅板	15mmPb 铅板	4.76	设计可行
热室 (37000MBq)	合成柜	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=5291\ \mu\text{Sv/h}$, $r=0.5\text{m}$	$\geq 65\text{mmPb}$	70mmPb	1.28	设计可行
	分装柜	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=5291\ \mu\text{Sv/h}$, $r=0.5\text{m}$	$\geq 65\text{mmPb}$	70mmPb	1.28	设计可行
^{18}F 分装柜 (11100MBq)	柜体	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=1587\ \mu\text{Sv/h}$, $r=0.5\text{m}$	$\geq 57\text{mmPb}$	60mmPb	1.54	设计可行
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装柜 (37000MBq)	柜体	2.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=1121\ \mu\text{Sv/h}$, $r=0.5\text{m}$	$\geq 3.3\text{mmPb}$	20mmPb	<0.01	设计可行
^{131}I 分装柜 (37000MBq)	柜体	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=2202\ \mu\text{Sv/h}$, $r=0.5\text{m}$	$\geq 39\text{mmPb}$	45mmPb	0.71	设计可行

屏蔽体		剂量 控制值 (μ Sv/h)	核算 核素	核算参数	核算厚度	医院屏蔽设计防护厚度	根据拟采用厚 度核算剂量率 结果(μ Sv/h)	评价意见
^{177}Lu 分装柜 (7400MBq)	柜体	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, $r=0.5\text{m}$	$\geq 10\text{mmPb}$	15mmPb	0.33	设计可行
注：1.以上核算材料实心砖密度 $\geq 1.65\text{g/cm}^3$ ；混凝土密度 $\geq 2.35\text{g/cm}^3$ ；硫酸钡防护材料密度 $\geq 3.2\text{g/cm}^3$ ；铅密度 $\geq 11.3\text{g/cm}^3$ 。 2.表中“——”表示屏蔽体计算点处剂量率小于剂量率控制值，可不做屏蔽要求。 3.相邻用房之间的共用墙体按防护量较大者做防护。								

综合上述核算结果可知，核医学各功能用房屏蔽设计厚度均不低于理论核算厚度。

表 4-36 核医学科其他用房的防护设计防护评价

屏蔽体		医院拟采取的防护厚度	备注	评价意见
三楼核素治疗区				
三楼核素治疗 ¹³¹ I分装室	顶棚	30cm 混凝土	四楼分装室操作 ¹³¹ I 均在分装柜内进行，分装柜具有屏蔽作用，放射源在分装室内的运输均在防护铅罐内，正常情况下不会存在放射源裸露在分装室的情况，因此对于四楼分装室的屏蔽结构设计厚度满足要求。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	7mmPb 铅板		设计可行
储源室	顶棚	30cm 混凝土	存储放射源时均储存在防护容器内，实践发现这些专用防护容器外的泄漏辐射剂量水平较低，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb 铅板		设计可行
固废暂存间/被服间	顶棚	30cm 混凝土	存储固体废物时均储存在铅废物桶内，实践发现这些专用防护容器外的泄漏辐射剂量水平较低，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb 铅板		设计可行
剂量检测室	顶棚	30cm 混凝土	患者剂量检测时，人体辐射剂量水平，已接近出院活度，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb 铅板		设计可行
二楼核素治疗区				
储源室	顶棚	30cm 混凝土	存储放射源时均储存在防护容器内，实践发现这些专用防护容器外的泄漏辐射剂量水平较低，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb 铅板		设计可行
固废暂存间/被服间	顶棚	30cm 混凝土	存储固体废物时均储存在铅废物桶内，实践发现这些专用防护容器外的泄漏辐射剂量水平较低，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb 铅板		设计可行
剂量检测室	顶棚	30cm 混凝土	患者剂量检测时，人体辐射剂量水平，已接近出院活度，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb 铅板		设计可行
三楼 SPECT 检查区				
储源室	顶棚	30cm 混凝土	存储放射源时均储存在防护容器内，实践发	设计可行

	地板	30cm 混凝土	现这些专用防护容器外的泄漏辐射剂量水平较低，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	3mmPb 铅板		设计可行
固废间	顶棚	30cm 混凝土	存储固体废物时均储存在铅废物桶内，实践发现这些专用防护容器外的泄漏辐射剂量水平较低，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	3mmPb 铅板		设计可行
二楼 PET 检查区				
储源室	顶棚	30cm 混凝土	存储放射源时均储存在防护容器内，实践发现这些专用防护容器外的泄漏辐射剂量水平较低，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb 铅板		设计可行
固废间	顶棚	30cm 混凝土	存储固体废物时均储存在铅废物桶内，实践发现这些专用防护容器外的泄漏辐射剂量水平较低，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb 铅板		设计可行
一楼回旋加速器制药区				
一楼分装合成热室	顶棚	30cm 混凝土	热室内放射源操作均在分装合成柜内进行，分装合成柜均有屏蔽作用，药物的在热室里面的运输均在防护铅罐内，正常情况不会存在放射源裸露在热室的情况。分装柜具有屏蔽作用，因此对热室的屏蔽结构设计厚度满足要求。	设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb		设计可行
固废间	顶棚	30cm 混凝土	存储固体废物时均储存在铅废物桶内，实践发现这些专用防护容器外的泄漏辐射剂量水平较低，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb 铅板		设计可行

（4）防护门屏蔽设计

6 间直线加速器机房均设计安装电动平开门，屏蔽设计均为 150mm 含硼聚乙烯（5%）+16mmPb。TOMO 机房设计安装电动平开门，屏蔽设计为 10mmPb。射波刀机房设计安装电动平开门，屏蔽设计为 6mmPb。考虑防护门与墙的搭接，减小“门-墙”间隙，防护门宽于门洞的部分大于“门-墙”间隙的十倍。直线加速器、TOMO、射波刀机房的电动防护门均与加速器装置联锁，一旦防护门被打开，联锁装置将立即

切断加速器治疗机的出束开关，使加速器立即停止出束。后装治疗机房拟设电动平开防护门，屏蔽设计为 10mmPb，防护门拟采用门-机（放射源）联锁装置，防护门打开或没有关严时，不能出源，开门则源收入贮源罐。放射治疗防护门框上方拟设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，拟设置声、光报警装置。在治疗室防护门内、外均拟设置紧急开门装置，防护门拟设置红外线感应防夹装置。

（5）直线加速器、射波刀、TOMO固有安全功能

本项目拟购买符合相关要求的设备，拟购设备自身采取多种固有安全防护措施：

①加速器均由专用钥匙控制，只有通过专用钥匙才能使加速器出射线。钥匙由专人保管。放疗技术人员离开控制室进入机房时，拔出专用钥匙，随身携带，以防他人误操作而发出射线。

②加速器使用计算机控制系统的软件和硬件控制程序设置加密措施，未经允许不得存取或修改；用于监视联锁或作为测量线路、控制线路一部分的计算机一旦发生故障，将终止照射。

③拟购买的加速器具有独立的双道剂量监测系统。双道剂量监测系统显示清晰易读，其剂量监测值能用来计算受照射体积内某一参考点的剂量；若电源故障或器件失灵造成照射中断或终止时，此时双道剂量监测系统的剂量监测计数以可读的方式存储起来，并至少保持 20min。此外，双道剂量监测系统的每道剂量监测系统都能独立地终止照射，其联锁装置能确保在两次照射之间或照射前，对没有造成终止照射的剂量监测系统验证其终止照射的能力。

④拟购买的加速器配置两个辐射探测器，能够监测辐射束的不同部分，并在均整度测量的规定深度上，当吸收剂量分布畸变超过 10%或辐射探测器吸收剂量分布探测信号指示变化大于 10%时，在增加的吸收剂量达到 0.25Gy 之前照射终止。

⑤拟购买的加速器配置有一个剂量率监测系统，并在治疗控制台上显示其读数（每秒或每分钟的剂量监测计数）。从该读数能计算出治疗体积内某一参考点的吸收剂量率。此外，在任何故障维修状态下，如果加速器在正常治疗距离处吸收剂量率超出最大规定值又不大于该值两倍时值两倍还高的吸收剂量率能终止照射。

⑥拟购买的加速器配置一个递增式控制计时器，能与照射的启动和停止同步；并能在照射中断或终止后保持其读数；照射终止后，在启动下次照射之前能复位回零；为防止剂量监测系统失效，当预选的时间达到时，终止照射；递增式控制计时器独立

于任何其他控制照射终止系统或子系统，能确保其正常运作。

项目拟采取多重防护与安全措施（即纵深防御），按照纵深防御原则设置相适应的多层防护与安全措施，根据冗余性、多元性、独立性的辐射安全要求进行安全联锁系统等辐射防护安全设施设计，以减少由于某个联锁失效或在某个联锁失效期间产生辐射。

⑦本项目拟配备的TOMO滑环机架上加速器束流发生装置的对侧安装了一个束流减器，也被称作加速器的自带屏蔽体，该屏蔽体是由两块 $1460 \times 680 \times 208\text{mm}$ 的金属板组成，金属板材料为密度为 7.8g/cm^3 的不锈钢板，其上表面距等中心 1268mm ，距辐射源 2703mm 。束流衰减器有两个功能，一是将射线的强度减弱，在束流衰减器后的主射束任一侧射线漏射的强度低于等中心剂量率的 0.2% ，其他区域辐射剂量率小于等于等中心剂量率的 0.1% ，二是起到系统配重的作用，在加速器旋转时可以保持系统的动态平衡。

（6）其他辐射安全与防护措施

为保障直线加速器、射波刀、TOMO以及后装机的安全运行，除放射治疗机房实体屏蔽外，本项目放射治疗机房还将采取以下的辐射安全与防护措施：

1）实时摄像监视和对讲系统

拟在 6 间直线加速器机房治疗室东北墙角、东南墙角各拟设置 1 个监控摄像头，在西墙、迷道与治疗室连接处、迷道入口各设置 1 个监控摄像头（共 5 个）；在 TOMO 机房治疗室西北角、西南角、东南角以及迷道与治疗室连接处各设置 1 个监控摄像头（共 4 个）；在射波刀机房治疗室西南角、东南角、北墙中部、迷道与治疗室连接处各设置 1 个监控摄像头（共 4 个）；在后装机房治疗室西北角、东南角和迷道与治疗室连接处各设置 1 个监控摄像头（共 3 个）。在治疗室和控制室拟各设置 1 套对讲装置，可实现双向交流，便于控制室操作人员观察治疗室内人员停留等情况和与治疗室内人员交流。

2）紧急停机按钮

拟在 6 间直线加速器治疗室内东墙上拟各设置 2 个紧急停机按钮，在控制室及治疗室西、南、北墙、迷道内拟各设置 1 个紧急停机按钮（每台直线加速器共设置 7 个）；在射波刀治疗室东、南、西、北墙以及迷道内、控制室拟各设置 1 个紧急停机按钮（共设置 6 个）；在 TOMO MR 屏蔽室东、南、西、北墙、设备上以及迷道内、

控制室拟各设置 1 个紧急停机按钮（共设置 7 个）；在后装机控制室及治疗室内东、西、南、北墙、迷道内拟共设置 6 个紧急停机按钮。在设备机头各设置 1 个紧急停机按钮，按下急停按钮设备立即停止出束。急停按钮有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。在后装治疗机设备上设置 1 个紧急停机按钮，在紧急情况下按下急停按钮可使源退回贮源罐内。

3) 固定式剂量监测报警装置

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）中“6.2.2 质子/重离子加速器 大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近”的要求，本项目拟在各放射治疗机房迷道的内入口处设置 1 个固定式在线辐射剂量率监测探头，实时监测到的辐射剂量率水平显示单元拟设置在控制室内，并具有灯光闪烁报警功能，以便工作人员及时了解治疗室内的辐射水平和设备的工作情况。建设单位拟为放射治疗机房配备的固定式剂量监测报警装置能量响应范围涵盖 20keV~10MV，测量范围涵盖 50nSv/h~99.9 μ Sv/h。

4) 电动防护门门机（源）联锁、手动开门装置、开关门控制系统

各放射治疗机房入口处设置防护门及迷路，直线加速器、TOMO、射波刀机房防护门与加速器联锁，即防护门打开时不能出束，出束状态下开门停止出束。后装治疗室入口防护门设置了门-源联锁装置，防护门打开或没有关严时，不能出源，开门则源收入贮源罐。各机房防护门外拟设置红外线防夹传感器，在门体关闭时如检测到障碍物时，门体自动打开，直至障碍物消除后门体才自动关闭。防护门设有电源储备器，在断电的情况下打开防护门。机房迷路内墙靠近防护门处拟设置 1 个紧急开门按钮，确保一旦有患者家属或无关人员误关在机房内时能及时开门离开；控制室内拟设置 1 个具备开、关门功能的控制系统。防护门外拟设置工作状态指示灯及电离辐射警告标志，安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动。

5) 辐射安全警示设施

本项目在各放射治疗机房防护门拟设置醒目的电离辐射警示牌、工作状态指示灯和“工作中”的文字提醒，当设备出束工作时，门头的指示灯和文字亮，显示红色。工作状态指示灯与加速器设备或后装放射源出束（源）联锁，关门绿灯亮，出束时红

灯亮。后装治疗机贮源容器外表面设置电离辐射标志和中文警示说明。

6) 后装机操作系统设置有自检系统, 包括机器自检、复位自检和通道自检。进行治疗前, 先进行自检和模拟治疗, 确保放射源通道通畅, 再进行治疗。治疗过程中, 若出现故障或意外情况, 利用设备自带安全系统, 放射源能够自动回到贮存位置。自动回源装置功能失效时, 设备有手动回源的应急处理措施。后装治疗室拟配备储源铅罐 (30mmPb)、长柄镊子等应急设备, 并在合适的地方张贴应急指示。

7) 个人防护用品

各放射治疗机房拟分别配备个人剂量报警仪 1 台 (共计 6 台), 配备便携式 X- γ 辐射剂量率监测仪和中子辐射监测仪各 1 台 (共用)。医院辐射工作人员进入放射治疗机房前, 在控制室内通过控制台、安装在机房内的固定式监测设备等方式确定设备已停止出束后方能进入放射治疗机房, 进入放射治疗机房时佩戴个人剂量报警仪、个人剂量计等。个人剂量计每季度定期送检, 建立剂量监测档案。

8) 医院定期对门机 (源) 联锁、剂量监测系统、辐射安全与防护装置进行定期检查, 发现异常时及时维修, 确保各辐射安全与防护措施运行正常。

9) 医院直线加速器、射波刀、TOMO 以及后装机实施治疗期间, 配备两名及以上的操作人员协同操作, 认真做好当班记录, 严格执行交接班制度, 密切注视控制台仪器及患者状况, 发现异常及时处理, 操作人员不得擅自离开岗位。

10) 后装机倒源工作由厂家完成, 放射源倒源方案由厂家制定。每次倒源前, 医院先确认辐射监测与报警仪器的有效性。倒源时对机房周围和含源设备表面进行辐射监测, 做好安装和更换的放射源清点并记录; 倒源结束后对后装机、后装机机房与周围环境进行辐射监测。

(7) 机房通风系统

本项目放疗中心放射治疗机房均设计了新风、排风系统。1 号、2 号直线加速器机房拟在治疗室东北角、西北角吊顶高度处各设置 1 个进风口, 拟在机房东南角、西南角距地面 300mm 高度处各设置 1 个排风口, 3 号直线加速器机房拟在治疗室东南角、西南角吊顶高度处各设置 1 个进风口, 拟在机房东北角、西北角距地面 300mm 高度处各设置 1 个排风口, 3 间加速器机房排风系统排风量均为 2020m³/h, 进风系统风量均为 1616m³/h。TOMO 机房、射波刀机房、后装机房均拟在治疗室东北角、西北角吊顶高度处各设置 1 个进风口, 拟在机房东南角、西南角距地面 300mm 高度处各设置 1

个排风口，排风系统排风量分别为 1600m³/h、2200m³/h、800m³/h，进风系统风量均为 1280m³/h、1800m³/h、640m³/h。本项目放射治疗机房均设计采取上进风下排风的强制排风方式，排风量大于进风量，使机房内保持负压，防止有害气体通过门缝等位置向外泄露。

表 10.2-4 放疗中心机房新、排风参数

机房名称	新风量 m ³ /h	排风量 m ³ /h	机房容积/m ³	换气次数/h
1 号~6 号加速器机房	1616	2020	432	各 4.8 次
TOMO 机房	1280	1600	369	4.4 次
射波刀机房	1800	2200	445	4.9 次
后装机房	640	800	148	5.4 次

由表 10.2-4 可知，本项目放射治疗机房，每小时换气次数均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中对放射治疗机房通风换气次数不小于 4 次/h 的要求。

为了尽可能不减弱对屏蔽体的屏蔽效果，放疗中心放射治疗机房新风管和排风管均设计在机房防护门上方墙体采取 S 型矩形套管穿越墙体，穿墙风管和进出口处风管外由内而外均采用 8mmPb 或 5mmPb 铅皮包裹进行屏蔽补偿，各机房具体补偿措施见表 10.2-5。废气收集后经机房排风管道经放疗中心排风井至本建筑（珠澳转化医学研究院，19F，H=75m）屋顶南侧和西侧高于屋顶 3m 外排，排气口周边无人员停留，排气口位置远离门、窗或人流较大的过道等位置，排气口设置满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中相关要求，能有效减少放疗机房废气对周边环境的影响。

1 号~6 号加速器机房、TOMO 机房、射波刀机房风管管径均为 32cm，后装机房风管管径为 25cm，风管穿墙大样图做法详见附图“直线加速器暖通风管留洞做法”、“赛博刀风管留洞做法”、“后装机暖通留洞做法”和“MRI-LINAC 暖通风管留洞做法”。

（8）电缆管线、物料检测、冷凝水管等管线穿墙设计

根据医院提供的设计方案，本项目 1#-3#加速器机房、TOMO 机房、射波刀机房、后装机房预留管线穿墙类型、穿墙位置以及管道尺寸、穿墙方式等具体情况汇总详见表 10.2-5。本项目放射治疗机房穿墙孔洞设计平面图、剖面图分别见附图 28 和附图 29。

表10.2-5 本项目放疗中心各放射治疗机房预留孔洞穿墙设计情况一览表

放射治疗机房名称	管道类型	预留孔洞穿墙设计位置	孔洞尺寸	孔洞穿墙方式及屏蔽补充措施	示意图
1#加速器机房	通风管	机房西侧防护门上方墙体	矩形钢套管，500mm×320mm	S型穿墙，采用内外报包 8mmPb 铅皮包裹进行屏蔽补偿	见直线加速器暖通风管留洞做法
	冷凝管	机房西北侧	钢套管，管径 100mm	内高外低 30°斜穿	见直线加速器冷凝管留洞做法
	冷媒管	冷凝管南侧	钢套管，管径 200mm	内高外低 30°斜穿	见直线加速器冷媒管留洞做法
	报警设备	吊顶内预留	2套不锈钢管，管径 100mm，上下布置间距 300mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法
	医气	吊顶内预留，上下三根布置间距 300mm	镀锌钢管，管径分别为 15mm、20mm、10mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法
	强电、弱电	吊顶内预留	钢套管，强电管径 150mm，弱电管径 100mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法
	消防	吊顶内预留	钢套管，管径 50mm	30°斜穿	见电气迷路至直线加速器留洞做法
	辐射检测用	机房西南侧，水平 45 度斜穿，控制室内距地 1.2m，迷路内距地 0.3m	镀锌钢管，管径 80mm	水平 3°斜穿	无
	电缆沟	机房西侧	450mm×235mm	U型穿越，出口处采用 5mmPb 铅盖板进行屏蔽补偿	见直线加速器 235 深电缆沟穿墙示意图
2#加速器机房	通风管	机房西侧防护门上方墙体	矩形钢套管，500mm×320mm	S型穿墙，采用内外报包 8mmPb 铅皮包裹进行屏蔽补偿	见直线加速器暖通风管留洞做法
	冷凝管	机房西北侧	钢套管，管径 100mm	内高外低 30°斜穿	见直线加速器暖通风管留洞做法
	冷媒管	冷凝管南侧	钢套管，管径 200mm	内高外低 30°斜穿	见直线加速器暖通风管留洞做法
	报警设备	吊顶内预留	2套不锈钢管，管径 100mm，上下布置间距 300mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法
	医气	吊顶内预留，上下三根布置间距 300mm	镀锌钢管，管径分别为 15mm、20mm、10mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法
	强电、弱电	吊顶内预留	钢套管，强电管径 150mm，弱电管径 100mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法
	消防	吊顶内预留	钢套管，管径 50mm	30°斜穿	见电气迷路至直线加速器留洞做法

	辐射检测用	机房西侧，水平 45 度斜穿，控制室内距地 1.2m，迷路内距地 0.3m	镀锌钢管，管径 80mm	水平 45°斜穿	无
	电缆沟	防护门北侧	450mm×235mm	U 型穿越，出口处采用 5mmPb 铅盖板进行屏蔽补偿	见直线加速器 235 深电缆沟穿墙示意图
	通风管	机房西侧防护门上方墙体	矩形钢套管，500mm×320mm	S 型穿墙，采用内外报包 8mmPb 铅皮包裹进行屏蔽补偿	见直线加速器暖通风管留洞做法
	报警设备	吊顶内预留	2 套不锈钢管，管径 100mm，上下布置间距 300mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法
	强电、弱电	吊顶内预留	钢套管，强电管径 150mm，弱电管径 100mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法
	消防	吊顶内预留	钢套管，管径 50mm	30°斜穿	见电气迷路至直线加速器留洞做法
	冷凝管	机房西侧	钢套管，管径 100mm	内高外低 30°斜穿	见直线加速器暖通冷凝管留洞做法
	冷媒管	冷凝管南侧	钢套管，管径 200mm	内高外低 30°斜穿	见直线加速器暖通冷媒管留洞做法
	医气	吊顶内预留，上下三根布置间距 300mm	镀锌钢管，管径分别为 15mm、20mm、10mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法
	辐射检测用	机房西侧，水平 45 度斜穿，控制室内距地 1.2m，迷路内距地 0.3m	镀锌钢管，管径 80mm	水平 45°斜穿	无
	电缆沟	防护门南北侧	450mm×235mm	U 型穿越，出口处采用 5mmPb 铅盖板进行屏蔽补偿	见直线加速器 235 深电缆沟穿墙示意图
	通风管	机房西侧防护门上方墙体	矩形钢套管，500mm×320mm	S 型穿墙，采用内外报包 8mmPb 铅皮包裹进行屏蔽补偿	见直线加速器暖通风管留洞做法
	报警设备	吊顶内预留	2 套不锈钢管，管径 100mm，上下布置间距 300mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法
	强电、弱电	吊顶内预留	钢套管，强电管径 150mm，弱电管径 100mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法
	消防	吊顶内预留	钢套管，管径 50mm	30°斜穿	见电气迷路至直线加速器留洞做法
	冷凝管	机房西侧	钢套管，管径 100mm	内高外低 30°斜穿	见直线加速器暖通冷凝管留洞做法
	冷媒管	冷凝管南侧	钢套管，管径 200mm	内高外低 30°斜穿	见直线加速器暖通冷媒管留洞做法
	医气	吊顶内预留，上下三根布置间距 300mm	镀锌钢管，管径分别为 15mm、20mm、10mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法

	辐射检测用	机房西侧，水平 45 度斜穿，控制室内距地 1.2m，迷路内距地 0.3m	镀锌钢管，管径 80mm	水平 45°斜穿	无
	电缆沟	防护门南北侧	450mm×235mm	U 型穿越，出口处采用 5mmPb 铅盖板进行屏蔽补偿	见直线加速器 235 深电缆沟穿墙示意图
5#加速器机房	通风管	机房西侧防护门上 方墙体	矩形钢套管，500mm×320mm	S 型穿墙，采用内外报包 8mmPb 铅皮包裹进行屏蔽补偿	见直线加速器暖通风管留洞做法
	报警设备	吊顶内预留	2 套不锈钢管，管径 100mm，上下布置间距 300mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法
	强电、弱电	吊顶内预留	钢套管，强电管径 150mm，弱电管径 100mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法
	消防	吊顶内预留	钢套管，管径 50mm	30°斜穿	见电气迷路至直线加速器留洞做法
	冷凝管	机房西侧	钢套管，管径 100mm	内高外低 30°斜穿	见直线加速器暖通冷凝管留洞做法
	冷媒管	冷凝管南侧	钢套管，管径 200mm	内高外低 30°斜穿	见直线加速器暖通冷媒管留洞做法
	医气	吊顶内预留，上下三根布置间距 300mm	镀锌钢管，管径分别为 15mm、20mm、10mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法
	辐射检测用	机房西侧，水平 45 度斜穿，控制室内距地 1.2m，迷路内距地 0.3m	镀锌钢管，管径 80mm	水平 45°斜穿	无
	电缆沟	防护门南北侧	450mm×235mm	U 型穿越，出口处采用 5mmPb 铅盖板进行屏蔽补偿	见直线加速器 235 深电缆沟穿墙示意图
6#加速器机房	通风管	机房西侧防护门上 方墙体	矩形钢套管，500mm×320mm	S 型穿墙，采用内外报包 8mmPb 铅皮包裹进行屏蔽补偿	见直线加速器暖通风管留洞做法
	报警设备	吊顶内预留	2 套不锈钢管，管径 100mm，上下布置间距 300mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法
	强电、弱电	吊顶内预留	钢套管，强电管径 150mm，弱电管径 100mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法
	消防	吊顶内预留	钢套管，管径 50mm	30°斜穿	见电气迷路至直线加速器留洞做法
	冷凝管	机房西侧	钢套管，管径 100mm	内高外低 30°斜穿	见直线加速器暖通冷凝管留洞做法
	冷媒管	冷凝管南侧	钢套管，管径 200mm	内高外低 30°斜穿	见直线加速器暖通冷媒管留洞做法
	医气	吊顶内预留，上下三根布置间距 300mm	镀锌钢管，管径分别为 15mm、20mm、10mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法

YOMO 器机 房	辐射检测用	机房西侧，水平 45 度斜穿，控制室内距地 1.2m，迷路内距地 0.3m	镀锌钢管，管径 80mm	水平 45°斜穿	无
	电缆沟	防护门南北侧	450mm×235mm	U 型穿越，出口处采用 5mmPb 铅盖板进行屏蔽补偿	见直线加速器 235 深电缆沟穿墙示意图
	通风管	机房西南侧防护门上方墙体	矩形钢套管，500mm×320mm	S 型穿墙，采用内外包 5mmPb 铅皮包裹进行屏蔽补偿	见 MR-linac 暖通风管留洞做法
	报警设备	吊顶内预留	2 套不锈钢管，管径 100mm，上下布置间距 300mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法
	消防	吊顶内预留	钢套管，管径 50mm	30°斜穿	见电气迷路至直线加速器留洞做法
	200 管径电气	南侧墙体吊顶内上方预留	管径 200mm，U 型不锈钢套管	U 型穿越	见 MR-linac 电气 U 型留洞做法
	弱电、强电	吊顶内预留，各 2 套	管径 100mm，不锈钢管	30°斜穿	见 MR-linac 电气其他留洞做法
	250 管径电气	南侧墙体吊顶内上方预留	管径 250mm，U 型不锈钢套管	U 型穿越	见 MR-linac 电气 U 型留洞做法
	失超管	顶棚墙体预留	管径 350mm，壁厚 2mm	S 型穿越顶板	见 MR-linac 失超管穿顶板做法
	通风管	机房西南侧防护门上方墙体	矩形钢套管，500mm×320mm	S 型穿墙，采用内外包 5mmPb 铅皮包裹进行屏蔽补偿	见 MR-linac 暖通风管留洞做法
	物理测试管	机房西南侧，水平 45 度斜穿，低端位于迷路内，距地 600mm 处，高端位于控制室内	镀锌钢管，管径 100mm	水平 45 度斜穿	无
	设备用电缆管	机房西南侧，4 根并排布设	管径 150mm，管间距 50mm，管顶皮距地面完成面 150mm，管底皮距穿线坑 100mm	U 型穿越	见电气地下线缆留洞做法
	风管冷媒管	设备用电缆管北侧	管径 200mm	内高外低 30°斜穿	见赛博刀风管冷媒管留洞做法
	风管冷凝管	风管冷媒管北侧	管径 100mm	内高外低 30°斜穿	见赛博刀风管冷凝管留洞做法
	报警设备	吊顶内预留	2 套不锈钢管，管径 100mm，上下布置间距 300mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法
射波 刀（赛 博刀）机 房	消防、弱电、强电插座照明	吊顶内预留	钢套管，消防管径 50mm，其余 100mm	30°斜穿	见电气迷路至直线加速器留洞做法
	设备用电缆管	吊顶内预留，水平 30 度斜穿，内高外低	钢套管，管径 200mm	30°斜穿	见电气控制室至迷路留洞做法
	电缆沟	机房西南侧	宽 600mm，长 1000mm，深 400mm	U 型穿越，出口处采用 5mmPb 铅盖板进行屏蔽补偿	见直线加速器 400 深电缆沟穿墙示意图

后装 机 房	通风管	机房东南侧防护门 上方墙体	钢套管， 450mm×250mm	S 型穿墙，采用内 外包 5mmPb 铅皮 包裹进行屏蔽补偿	见 MR-linac 暖通风 管留洞做法
	电缆沟	机房西南侧	200mm*200mm	U 型穿越，出口处 采用 5mmPb 铅盖 板进行屏蔽补偿	见后装机电缆沟穿 墙大样图
	辐射检测用	机房西南侧，水平 45 度斜穿，控制室 内距地 1.2m，迷路 内距地 0.3m	镀锌钢管，管径 80mm	外高内低 30°斜穿	见后装机辐射检测 管穿墙示意图
	消防	吊顶内预留	钢套管，管径 50mm	30°斜穿	见电气迷路至直线 加速器留洞做法
	强电、弱电	吊顶内预留	钢套管，强电管径 150mm，弱电管径 100mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷 路留洞做法
	报警设备	吊顶内预留	2 套不锈钢管，管 径 100mm，上下布 置间距 300mm	外高内低 30°斜穿	见电气控制室至迷 路留洞做法
	冷媒管	机房东南侧	钢套管，管径 200mm	30°斜穿	见后装机暖通冷媒 管留洞做法
	冷凝管	冷媒管西侧	钢套管，管径 100mm	30°斜穿	见后装机暖通冷凝 管留洞做法

由表 10.2-5 和附图 28、29 可知，本项目 6 间直线加速器机房、TOMO、射波刀以及后装治疗机机房进风管道和排风管道均在防护门上方墙体采用 S 型方式穿墙，且穿墙处管道两端 30cm 位置及管道穿墙口周围墙位置内外包 5mmPb 或 8mmPb 铅皮，对穿墙部位进行屏蔽补充。6 间直线加速器机房、TOMO、射波刀通风穿墙管径为 320mm，后装治疗机房通风穿墙管径为 250mm，1 号-3 号加速器机房、射波刀机房、后装机房电缆沟均设计采用“U”形方式穿迷路外墙至控制室，且控制室出口处采用 5mmPb 铅盖板进行屏蔽补偿；本项目放射治疗机房物理检测及冷凝水等管线均预留穿墙孔，穿墙均按内高外低呈 30°斜穿迷路外墙至控制室；泄压口内高外低呈 45°斜穿迷路外墙并设计 5mmPb 作为屏蔽补偿措施。机房内射线不会直接照向各预留管线孔，本项目放疗机房各管线通过 S 型、U 型或 30°斜穿、45°斜穿方式的设计穿越屏蔽墙，有效增加了射线的散射次数和衰减，且较大孔洞均设计了屏蔽补偿措施，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。

TOMO 机房顶棚预留失超管孔洞，失超管设计为管径为 35cm 壁厚 2mm 不锈钢管，通过 S 型穿出 TOMO 机房室顶，失超管在室顶夹层封闭空间往东北侧墙外伸出，失超管排放口位于澳转化医学研究院一层东北角室外，排口（具体位置见附图 29）周边主要建筑配套的各种风机房、风井、室外机位和山体，无人员逗留，因此经失超管外排废气对公众影响可忽略。

综上所述，本项目放射治疗机房穿墙管线设计满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）等的相关要求。

（10）辐射防护措施符合性分析

本项目拟建直线加速器、射波刀、TOMO以及后装机机房辐射防护措施合理性分析采用《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）进行分析，辐射防护措施符合性分析见表 10.2-6、表 10.2-7。CT模拟定位机与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）符合性分析见表 10.2-8。

表 10.2-6 本项目拟建放射治疗机房辐射防护措施符合性分析表

《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）		本项目方案	评价
布局要求	6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	本项目放射治疗机房位于医院住院楼北侧，放射治疗机房及辅助设施同时进行了设计，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	符合
	6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。	本项目对放射治疗工作场所进行了分区管理，划分了控制区与监督区。将治疗室及迷路划为控制区，并在控制区入口设置电离辐射警告标志及工作状态指示灯，避免人员误闯入或误照射；将其他相邻的，不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的控制室、设备间、患者准备区、铅模制作室、设备用房、模具间设为监督区。	符合
	6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。	本项目 1-6 号直线加速器有用线束方向为北墙、南墙、顶棚和地面，墙体均按主射线进行设计、施工，其余方向的防护屏蔽满足漏射线及散射线的屏蔽要求。TOMO、射波刀以及后装治疗机房各侧屏蔽体防护厚度均满足屏蔽要求。	符合
	6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。	本项目 1-6 号直线加速器、TOMO、射波刀以及后装治疗机的控制室均与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备等凡是可以与治疗设备分离的，均设置于治疗机房外。	符合
	6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。	本项目加速器有用线束均避开了控制室和其他居留因子较大的用室。	符合

	6.1.6 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗 手术室可不设迷路； γ 刀治疗设备的治疗机房，根据 场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治 疗机房均应设置迷路。	本项目放射治疗机房均设计了迷路。	符合
空间通 风 要求	6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确 保放射治疗设备的临床应用需要。	本项目加速器治疗室面积在 $56-65.7\text{m}^2$ ，后装治疗 机房治疗室面积为 24m^2 ，能够 满足放射治疗设备临 床需要。	符合
	6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应 设在放射治疗机房上部，排风 口应设在治疗机房下 部，进风口与排风 口位置应对角设置，以确保室内 空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。	项目放射治疗机房拟设置强制排风系统，进风口设 在机房上部，排风口设在机房下部均距地面 30cm，进风口与排风口位置 对角设置,确保室内空气充分 交换；1 号、3 号机房通风换气次数约为 4.8 次 /h，2 号机房通风换气次数约为 5.1 次 /h，TOMO 机 房通风换气次数约为 4.4 次 /h，射波刀机房通风换 气次数约为 4.9 次/h，后装机机房通风换气次数约 为 5.4 次/h，均大于 4 次/h。	符合
屏蔽要 求	6.3.3 屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能 和经济因素，符合最优化要求，新建机房一般选用 普通混凝土。	本项目放射治疗机房墙体均采用现浇混凝土，密度 为 $2.35\text{m}^3/\text{g}$ 。	符合
安全装 置和警 示标志 要求	6.4.1 监测报警装置：含放射源的放射治疗 机房内应 安装固定式剂量监测报警装 置，应确保其报警功能 正常。	本项目放射治疗机房迷道的内入口处均 拟设置固 定式剂量监测设备，并定期检 查有效性，确保其报 警功能正常。	符合
	6.4.2 连锁装置：放射治疗设备都应安装门 机连锁装 置或设施，治疗机房应有从室 内开启治疗机房门的 装置，防护门应有 防挤压功能。	本项目放射治疗机房入口处拟设置防护门 及迷路，防护门与加速器（放射源）联 锁，即防护门打开时 加速器（放射源） 不能出束（源）；防护门设有防 夹人装 置，即当有人进出防护门时，防护门自动 停 止关门动作；防护门外设置工作状态 指示灯及电离 辐射警告标志，工作状态 指示灯与加速器（放射源） 连锁，出束 （源）时灯亮。各放射治疗机房迷路内 墙靠近防护门处拟设置 1 个紧急开门按 钮，确保一 旦有患者家属或无关人员 误关在机房内时能及时 开门离开。	符合
	6.4.3 标志 医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所 设置醒目 的警告标志： a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离 辐射 警告标志； b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他 适当位置，设有电离辐射警告标志 和工作状态指示 灯。	医院在放射治疗机房入口处拟设置电离 辐射警告 标志及工作状态指示灯。	符合

	6.4.4 急停开关 6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。	本项目拟在6间直线加速器治疗室内东墙上拟各设置2个紧急停机按钮，在控制室及治疗室西、南、北墙、迷道内拟各设置1个紧急停机按钮（每台直线加速器共设置7个）；在射波刀治疗室东、南、西、北墙以及迷道内、控制室拟各设置1个紧急停机按钮（共设置6个）；在TOMO屏蔽室东、南、西、北墙、设备上以及迷道内、控制室拟各设置1个紧急停机按钮（共设置7个）；在后装机控制室及治疗室内东、西、南、北墙、迷道内拟共设置6个紧急停机按钮。设备或后装机设备上均拟设置1个紧急停机按钮，按下急停按钮放射治疗设备（放射源）立即停止出束（源）。	符合
安全装置和警示标志要求	6.4.6 视频监控、对讲交流系统 控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。	本项目拟在6间直线加速器机房治疗室东北墙角、东南墙角各拟设置1个监控摄像头，在西墙、迷道与治疗室连接处、迷道入口各设置1个监控摄像头（共5个）；在TOMO机房治疗室西北角、西南角、东南角以及迷道与治疗室连接处各设置1个监控摄像头（共4个）；在射波刀机房治疗室西南角、东南角、北墙中部、迷道与治疗室连接处各设置1个监控摄像头（共4个）；在后装机房治疗室西北角、东南角和迷道与治疗室连接处各设置1个监控摄像头（共3个）。治疗室和控制室各设置1个对讲装置，便于控制室操作人员观察治疗室内人员停留等情况和与治疗室内人员交流。	符合
表 10.2-7 本项目拟建放射治疗机房辐射防护措施符合性分析表			
	《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）	本项目方案	评价
选址、布局合理性	5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	项目放射治疗机房均位于医院住院楼北侧，不属于民居、写字楼和商住两用的建筑，周围50m范围内均为院内用地及院外山体。	符合
	5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。	本项目放射治疗机房位于医院住院楼北侧，周围无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，无人员流动性大的商业活动区域。	符合
屏蔽要求	6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。	本项目放射治疗机房按最大能量（最大装源活度）、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。	符合

	6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。	本项目放射治疗机房均采用混凝土材料，密度为 $2.35\text{g}/\text{m}^3$ 。	符合
	6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。	本项目放射治疗机房电缆沟采用 U 型穿越屏蔽墙体，铅板防护层上设有可移动盖板、下方为钢板底板。通风管道采用 S 型矩形套方式穿越屏蔽墙体，并采用内外包 8mmPb 或 5mmPb 铅皮进行防护屏蔽补偿，具体补偿措施见表 10.2-5。门宽于门洞的部分大于门墙间缝隙 10 倍以上。	符合
安全装置和警示标志要求	6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等： a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明； b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯； c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。 6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。	本项目放射治疗机房入口设置电离辐射警告标志及工作状态指示灯，在后装治疗机贮源容器外表面设置电离辐射标志和中文警示说明；在 6 间直线加速器机房治疗室东北墙角、东南墙角各拟设置 1 个监控摄像头，在西墙、迷道与治疗室连接处、迷道入口各设置 1 个监控摄像头（共 5 个）；在核磁加速器机房治疗室西北角、西南角、东南角以及迷道与治疗室连接处各设置 1 个监控摄像头（共 4 个）；在射波刀机房治疗室西南角、东南角、北墙中部、迷道与治疗室连接处各设置 1 个监控摄像头（共 4 个）；在后装机房治疗室西北角、东南角和迷道与治疗室连接处各设置 1 个监控摄像头（共 3 个）。在控制室侧设置监控装置显示屏，便于控制室工作人员观察加速器机房内情况。治疗室和控制室各设置 1 个对讲装置，便于控制室操作人员观察治疗室内人员停留等情况和与治疗室内人员交流。 本项目拟在各放射治疗机房迷道的内入口处设置 1 个固定式在线辐射剂量率监测探头，实时监测到的辐射剂量率水平显示单元拟设置在控制室内，并具有灯光闪烁报警功能。	符合

安全装置和警示标志要求	6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施： a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门—机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施； b) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能； c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发； d) 安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；	本项目各放射治疗机房防护门均拟设置门机（源）联锁，防护门未关闭，加速器（放射源）无法出束（源）；出束/出源状态下开门停止出束/出源，后装机放射源回到治疗设备的安全位置。 后装治疗机设有断电自动回源装置。 本项目拟在6间直线加速器治疗室内东墙上拟各设置2个紧急停机按钮，在控制室及治疗室西、南、北墙、迷道内拟各设置1个紧急停机按钮（每台直线加速器共设置7个）；在射波刀治疗室东、南、西、北墙以及迷道内、控制室拟各设置1个紧急停机按钮（共设置6个）；在TOMO MR屏蔽室东、南、西、北墙、设备上以及迷道内、控制室拟各设置1个紧急停机按钮（共设置7个）；在后装机控制室及治疗室内东、西、南、北墙、迷道内拟共设置6个紧急停机按钮。设备或后装机设备上均拟设置1个紧急停机按钮，按下急停按钮放射治疗设备（放射源）立即停止出束（源）。 各紧急停机按钮均设置醒目标识及文字显示，可以使区域内的人员从各个方向观察到并便于触发；	符合
		加速器及后装机安全联锁触发后须人工通过控制台操作才能重新进行放射治疗活动；要求安装调试及维修情况下，须通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后现场进行联锁恢复及功能测试。各放射治疗机房防护门均设有防夹人装置，即当有人进出防护门时，防护门自动停止关门动作。	
	6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。	后装机房拟配备30mmPb储源铅罐1个，配备长柄镊子、钳子等应急工具。	符合
	7.1 医疗机构应对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。	辐射工作人员每天开展放射治疗工作前对辐射工作场所的安全联锁系统进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。	符合
	7.2 治疗期间，应有两名及以上人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守。	治疗期间，两名及以上人员协调操作认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室有工作人员值守。	符合

操作的 辐射安全与 防护要求	7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入含放射源或质子/重离子装置的治疗室前须携带个人剂量报警仪。	任何人员未经授权或允许不得进入控制区，工作人员在确认治疗机房内束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室内。进入放射治疗室前携带个人剂量报警仪。	符合
	7.4 应加强放射源倒装活动的辐射安全管理，倒装工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行；应制定放射源倒装活动方案，对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置、倒源屏蔽体搭建进行确认；倒装放射源时应应对倒装热室周围和含源设备表面进行辐射监测，关注倒源屏蔽体的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况，做好安装和更换的放射源清点并记录；倒源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。	后装机倒源工作由厂家完成，放射源倒源方案由厂家制定。每次倒源前，医院先确认辐射监测与报警仪器的有效性。倒源时对机房周围和含源设备表面进行辐射监测，做好安装和更换的放射源清点并记录；倒源结束后对后装机、后装机机房与周围环境进行辐射监测。	符合
表 10.2-8 CT 模拟定位机机房辐射防护措施与标准符合性分析对照表			
《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）		本项目情况	是否符合要求
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。	CT 模拟定位机房拟设置观察窗和监控装置，设置的位置便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。		符合
6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	CT 模拟定位机房均严禁堆放与设备诊断工作无关的杂物。		符合
6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	CT 模拟定位机房设置动力通风装置，可以保持良好的通风。		符合
6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。	CT 模拟定位机机房门外拟设置电离辐射警告标志；机房门上方拟有醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；在患者候诊区设置放射防护注意事项告知栏。		符合
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。	CT 模拟定位机房平开门均拟设置自动闭门装置，推拉式机房门拟设曝光时关闭机房门的管理措施；机房上方的工作状态指示灯能与机房门有效关联。电动推拉门拟设置防夹装置。		符合
6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。	CT 模拟定位机根据机房的布局来安放，利于操作者观察受检者。		符合
CT 机：机房内最小有效使用面积 30m ² ，机房内最小单边长度 4.5m；	CT 模拟定位机房大小：7.15m×6.67m（47.7m ² ）		符合
CT 机房：有用线束方向、非有用线束方向铅当量 2.5mmPb；	四周墙体：24cm 实心砖+20mm 硫酸钡防护涂料（不小于 3.74mmPb）；顶棚：22cm 混凝土+10mm 硫酸钡防护涂料（不小于 3.46mmPb）；底板为土层；防护门、观察窗：4mmPb		符合

综上所述，本项目放疗中心各放射治疗机房、CT 模拟定位机房均按相关标准要求进行了设计，辐射防护措施符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的相关要求。

（11）放疗中心放射性三废的治理

①废气

本项目放疗中心直线加速器、TOMO、射波刀、后装机等运行过程中会产生少量的感生放射性气体以及臭氧、氮氧化物等非放射性气体，各加速器机房、后装治疗机房和模拟定位机房均拟设置强制通风系统，放射治疗机房治疗室新风口和排风口对角设置，新风口位于天花处、排风口位于距地面 30cm 处；设计风量保证机房内每小时通风换气次数不小 4 次，可确保室内空气充分交换；本项目铅模制作会产生含铅废气，铅模制作均在密封的通风柜中进行，通风柜设置独立的排风管道，排风量为 150m³/h，每分钟可换气达 6.25 次。本项目放疗中心各机房产生的少量感生放射性废气、臭氧、氮氧化物、含铅废气，废气收集后经放疗中心排风井至本建筑屋顶高于屋顶 3m 外排，排气口外临空，其下方为无人员居留，对周边公众影响可忽略。本项目废气排风口布置示意图详见附图 30。

②废液

本项目直线加速器、TOMO、射波刀等设备冷却水均是在封闭的系统中循环利用，不外排，因此不产生放射性废液。后装机和模拟定位机房也不产生放射性废液。

③固体废物

加速器更换金属靶件时，会产生废靶件，废靶件属于放射性固体废物。废靶件由加速器供应商储存在专用屏蔽容器中回收，不在医院内存储；后装治疗机配置的 192Ir 放射源使用一定期限后，放射源衰变至其活度不能满足放射治疗需要时，将更换放射源，从而产生退役的废 192Ir 放射源，本项目退役的废源拟由设备厂家负责收储，不在医院暂存；CT 模拟定位机不产生放射性固废。

10.3 核医学辐射工作场所

10.3.1 工作场所分区、分级和分类管理

10.3.1.1 工作场所布局合理性分析

本项目拟建的核医学辐射工作场所包括回旋加速器放射性药物制备区、核医学科、

动物分子 影像中心、核素治疗病区、 ^{125}I 粒子植入和手术室、 ^{125}I 粒子植入和 输注患者病房。

(1) 回旋加速器放射性药物制备区布局情况

珠澳转化医学中心及珠澳转化医学研究院负二层回旋加速器放射性药物制备区开展的项目包 括制备正电子放射性药物，周围环境：其北侧为放疗中心；东侧、南侧为土层；西侧与冷冻电镜 实验室相邻；其上层为珠澳转化医学中心及珠澳转化医学研究院负一层核医学科，下层为土层。

回旋加速器放射性药物制备区由南至北为：卫生通过区（一更、二更、淋浴、缓冲）、放 射性药物生产区（回旋加速器机房及控制室、热室及控制室、 ^{68}Ga 制备间、储源间）、放射 性物质控区（全检质控室），其他质控区（阳性对照室、无菌检测室）、放射性废物贮存 室、核素专用电梯及其他功能区（脱包物料储存、洗衣间、更衣间、消毒间、洁具间、回旋 配电间、1 层气瓶间、设备间、缓冲区等）。

回旋加速器放射性药物制备区衰变池：衰变池计划采用混凝土结构，位于珠澳转化医学中心 及珠澳转化医学研究院负二层回旋加速器放射性药物制备区东侧，其西侧为回旋加速器放射性药 物制备区，其余三侧为土层。上方为检修清掏夹层。下方为土层。

(2) 核医学科布局情况

珠澳转化医学中心及珠澳转化医学研究院负一层核医学科开展的项目包括 PET、SPECT 显像、 甲亢治疗、骨转移癌治疗、骨密度扫描、敷贴治疗，周围环境：其北侧为动物分子影像中心；东 侧、南侧为土层；西侧为消防水池、物资库等；其上层为室外绿地，下层为土层。

核医学科 PET 显像区由西至东为：受检者用药前停留区（候诊大厅、过道、准备室、诊 室）、PET 显像区放射性核素操作区（分装/注射室、储源/固废室、卫生通过区）、PET 显像 区受检者用药后停留区（PET 注射后休息室及卫生间、VIP 注射后休息室（兼抢救室）及卫 生间、用药后受检者通道、PET 留观室）、PET 显像区核素显像检查区（PET/CT 机房、PET/MR 机房及其控制室）及其他设备间等辅助用房。

SPECT 显像区由西至东为：受检者用药前停留区（卫生间、过道）、甲功室、甲 亢、骨 转移癌治疗用房（甲亢服药室/骨转移癌治疗室、甲亢治疗留观室）、SPECT 显 像区放射性核 素操作区（分装给药/注射室、储源/固废室、卫生通过区）、SPECT 显

像区受检者用药后停留区（运动平板/抢救室、SPECT 注射后休息室及卫生间、SPECT 留观室、用药后受检者通道）、SPECT 显像区核素显像检查区（SPECT/CT 机房及其控制室）、其他功能区（洁具间、病史采集室、卫生通过间、办公室）。

核医学科衰变池：衰变池计划采用混凝土结构，位于珠澳转化医学中心及珠澳转化医学研究院负二层回旋加速器放射性药物制备区南侧，其北侧为回旋加速器放射性药物制备区，其余三侧为土层。上方为检修清掏夹层。下方为土层。

用药后受检者/患者出口：核医学科 PET、SPECT 用药后受检者出口位于该区域东南侧。受检者通过核医学科东南角检查患者离院专用电梯至地上一层出口直接离开至室外道路，其周围均为室外空地；核医学科甲亢用药后患者出口位于该区域西侧，患者乘坐专用电梯至地上一层，经地上一层核素治疗病区南侧出口离开至室外道路，其北侧为珠澳转化医学中心，其余三侧均为室外空地。

4) 核素治疗病区布局情况

珠澳转化医学中心一层核素治疗病区开展的项目包括甲癌治疗及 ^{177}Lu 核素治疗，周围环境：其北侧、西侧、南侧均为室外道路；东侧为地上一层电梯厅等；其上层为放射科、介入科等，下层为消防水池、物资库及污物处置中心等。

核素治疗病区由东至西为：受检者用药前停留区（核素病人候诊区、护士办、诊室、患者过道）、留观病房、放射性核素操作区（卫生通过区、碘-125 存放间、储源室、分装室、放射性固废暂存间）、抢救室、 ^{177}Lu 患者用药后停留区（ ^{177}Lu 病房（双人间）及卫生间、甲癌患者用药后停留区（甲癌病房 1-5（1-2 为双人间，3-5 为单人间）及卫生间、用药后患者通道、放射性检测区、配餐间、水房）、其他辅助用房（办公室、被服库房、铅衣存放更衣室、注射/采血/治疗室、洁具间 1、储藏间、洁具间 2、污物暂存间等）。

核素治疗病区衰变池：衰变池计划采用混凝土结构，位于珠澳转化医学中心及珠澳转化医学研究院负二层西侧，其西侧、南侧为土层，北侧为物资库加人防，东侧为冷冻站。上方为检修清掏夹层。下方为土层。

用药后患者出口：核素治疗病区患者出口位于该区域西侧，患者经西侧核素治疗患者专用出口离开至室外道路，其东侧为珠澳转化医学中心，其余三侧均为室外空地。

(6) ^{125}I 粒子植入项目所在工作场所布局情况

^{125}I 粒子植入项目涉及的场所包括：医院分子肿瘤治疗中心 2 层核医学科。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）对于核医学科的具体平面布局要求，同时根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）对于X 射线机房的布局要求，对本项目设计情况进行对照分析，具体情况见表 10.3-1 和表 10.3-2。

表 10.3-1 本项目核医学辐射工作场所平面布局设计与标准对照情况

《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ1188-2021)	本项目情况	符合性 分析
5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治 疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置； 同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计 各功能区域的布局，控制区应相对集中， 高活室集中在一端，防止交叉污染。 尽量减小放射性药物、放射性废物的存放 范围，限制给药后患者的活动空间。	本项目核医学辐射工作场所均集中布置在珠澳转化医 学中心及珠澳转化医学研究院，其中回旋加速器放射性 药物制备区工作场所在负二层东南侧，核医学科（门诊 治疗及显像诊断）工作场所在负一层南侧，核素治疗病 区辐射工作场所在地上 一层，住院治疗场所和门诊诊断 场所分开布置。 核医学科场所按照诊疗流程设计相应功能用房的布 局，使得患者就诊路径比较合理。控制区集中设置，核 医学科高活室均集中在一端，防止交叉污染。 储源室及废物暂存间面积已尽可能减小，拟设置注射后 候诊室、放射性药物治疗病房等专门给药后休息场所， 同时设计门禁，可以有效限制给药后患者的活动空间。	符合
5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立 的工作人员、患者、放射性药物和放射 性废物路径。工作人员通道和患者通道 分开，减少给药后患者对其他人员的照 射。注射放射性药物后患者与注射放射 性药物前患者不交叉，人员与放射性药 物通道不交叉，放射性药物和放射性废 物运送通道应尽可能短捷。	本项目核医学科甲亢、骨转移癌治疗、SPECT 核素显像 通过预约治疗的时间管理方式和人员管控，保证不同患者 不同时进行治疗或注射，不相互交叉。 甲亢治疗以及 ^{177}Lu 治疗的通过时间和人员管控，不在同一天开展治疗，保 证工作人员和患者， 甲亢患者和 ^{177}Lu 治疗患者不交叉，其他诊疗项目均有独立的工作人员通道和患者通 道。 药物运输路线采用医院上班前送达及临时管控措施， 废物路线在非工作时间从废物暂存间转移出核医学场 所，相对独立，且放射性药物和放射性废物运送通道较 为短捷。 拟设置的路线使得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，便于 放射性污染的清理、清洗等工作的开展。	符合

5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	本项目核医学辐射工作场所入口均拟设置门锁权限控制系统（门禁）、出口拟设置单向门，控制无关人员随意进入控制区和限制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。 为集中管理服药后患者，减小其对其他未服药患者的影响，控制区内设置 PET 注射后候诊室、SPECT 注射后候诊室及放射性药物治疗病房，以上功能用房内均设有给药后患者的专用卫生间。控制区的出入口（分装给药室出入口、给药室出入口、患者出入口）均拟设立缓冲区，各分装给药室内配有医护人员使用的防护用品、表污检测仪，设置去污用房（淋浴间）。	符合
--	--	----

表 10.3-2 本项目核医学辐射工作场所的 X 射线装置机房平面布局设计与标准对照情况

放射诊断放射防护要求 (GBZ130-2020)	本项目情况	符合性分析
6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	PET/CT、SPECT/CT 有用线束不朝向照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	符合
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。	墙体、顶棚、地板、防护门、观察窗均采取了相应的屏蔽防护措施，考虑了邻室（含楼上）及周围场所的人员防护与安全。	符合
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。	PET/CT、SPECT/CT 机房均设有单独的机房，机房最小使用面积及最小单边长均满足设备的布局要求。	符合
CT 机：机房内最小有效使用面积 30m ² ，机房内最小单边长度 4.5m；	PET/CT 机房大小：9.3m×5.0m（46.5m ² ）； SPECT/CT 机房大小：8.0m×5.17m（41.36m ² ）；	符合

本项目核医学科工作场所的辐射区和非辐射区通过墙体和防护门分隔，辐射区也基本按照辐射强度和污染程度由高到低分开的原则进行布置。住院治疗场所和门诊诊断场所分开布置，通过时间和人员管控保证工作人员、用药前患者、用药后患者、药物、废物等路线相对独立，相关配套功能房间齐全，能够保证诊疗工作程序沿相关功能房间单向展开，能够满足医务人员及患者均具有独立的出入口和流动路线，同时核医学科工作场所控制区入口设置卫生通过间或缓冲区，能够有效防止交叉污染，避免公众、工作人员受到不必要的外照射，因此本项目核医学科工作场所布局满足《核医学辐射

防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）关于布局的要求，布局合理。

10.3.1.2 分区管理

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防护工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，对于使用非密封放射性物质的核医学项目工作场所，应进行分区管理。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，严格按区管理，避免人员误闯或误照，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

回旋加速器放射性药物制备区、核医学科、动物实验分子影像中心、核素治疗病区以及和¹²⁵I 粒子植入工作场所和住院病房辐射分区管理示意图见附图31至附图36所示。放射性废水衰变池分区管理示意图见附图37。

（1）医院拟将回旋加速器放射性药物制备区的回旋加速器机房、热室、热室控制室、⁶⁸Ga 制备间、储源室、全检质控室、放射性废弃物存储间、走道（十万级净化）、洁具间以及核素转运专用电梯、放射性废水衰变池等划为控制区；将一更、二更、缓冲间、更衣间、消毒间、洗衣间、脱包物料贮存间、回旋加速器控制室、配电室、设备间以及与控制区相连的其他场所或区域划为监督区。

（2）医院拟将核医学科 PET 显像区的分装注射室、敷贴治疗室、储源/放废室、PET 注射后休息室及卫生间、VIP 注射后休息室（兼抢救室）（兼抢救室）及卫生间、PET 留观室、PET 显像患者走廊、PET/MR 机房、PET/CT 机房、洁具间、核素专用电梯及电梯厅划为控制区；将 SPECT 显像区分装给药注射室、储源/放废室、甲亢服药/骨转移癌注射室、甲亢/骨转移癌患者留观室、平板运动兼抢救室、SPECT 注射后休息室及卫生间、SPECT/CT 机房、SPECT 留观室、患者走廊、放射性废水衰变池、患者专用电梯划为控制区；将卫生通过间（更衣、淋浴）、缓冲区（更衣、淋浴）、控制廊、PET/CT 设备间、PET/MR 设备间、准备间、接诊室、办公室、医卫、病史采集以及与控制区相连的其他场所或区域划为监督区。

（3）医院拟将动物分子影像中心的小动物 PET/CT 机房、放废储存间、储源室、洁具间、过道、放射性废水衰变池划为控制区；将卫生通过间（更衣、淋浴）、控制室以及与控制区相连的其他场所或区域划为监督区。

（4）医院拟将核素治疗病区分装给药室、放废储存间、储源室、碘-125 存放间、抢

本项目拟采取的分区管理措施如下：

①控制区内采取专门的防护和安全措施，如放射性功能房间设置铅防护门，PET/CT 机房、SPECT/CT 机房与控制室墙体上安装铅玻璃等；

②控制区进出口设置门禁，限制无关人员进出控制区；

本项目核医学辐射工作场所拟配备的辐射防护设备及用品详见表 10-8。

[illegible]

表 10-9 核医学辐拟配备监测设备一览表

仪器名称	数量	来源
个人剂量报警仪		拟外购
β 污染检查仪		拟外购
活度计		拟外购

本项目个人防护用品数量和防护铅当量均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求，可以满足医院拟开展核技术利用项目运行的要求。除此以外，通过制度规范辐射工作人员的操作，包括放射性核素的管理、使用，放射性污染物的处理和患者的活动限制等。

（3）辐射安全与防护合理性分析

核医学科工作场所拟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》（HJ 1188-2021）的符合情况见表 10-11，与《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）符合情况见表 10-12，与《核技术利用监督检查技术程序》（2020 年版）对照分析见表 10-13。

10.3 三废的治理

10.3.1 核医学三废的治理

10.3.1.1 放射性废液

(1) 衰变池选址

衰变池：拟设于核医学科东南侧空地，周围无建设衰变池处理系统的不利因素，该区域属于人员较少居留或经过位置，因此从辐射防护考虑，选址基本合理。

图 10-4 衰变池位置图

本项目各核医学场所的排水管道均布置于地下土层中，对于少部分外露管道将采取 10mmPb 当量铅皮进行管道包裹，确保管道外表面 0.3m 处辐射剂量率低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，并标识管道走向标志，尽量减少对公众的辐射影响。本项目衰变池埋于地下区域，池体四周采用 30cm 混凝土，顶部为 30cm 混凝土，基本对外环境无影响。环评要求衰变池区域纳为控制区管理，设置围栏，入口处张贴电离辐射警示标志，无关人员禁止进入，衰变池位置图，项目场所放射性废水收集路线见图 10-4。

(2) 衰变池设计

本项目核医学科放射性废液主要含有 ^{131}I ，本项目设计有 1 组槽式衰变池。用药患者在核医学期间产生放射性废液，辐射工作人员去污、应急洗消、场所清洁时也会产生一定量含放射性核素的放射性废液，本项目核医学科产生的含放射性核素的废水经过废水管道收集之后排放至衰变池进行衰变，在衰变池上方设置有检测箱，检测箱设有专用检测口。排放前在放射性检测口抽样检测合格后排放至医院污水处理站消毒处理，最终排放至市政管网。衰变池为自动化并联式设计，采用钢筋混凝土建筑，做专门的防腐防渗处理。

本项目共设置 1 组槽式衰变池，衰变池前设置有收集过滤污泥池。核素治疗区衰变池由 4 格并联池体总有效容积为 1200m^3 。每个衰变池设有单独阀门或水泵设施。衰变池体为混凝土池体，内表面进行专业的耐酸碱腐蚀和防渗处理，确保池体坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑。池体外壁厚为 30cm 的混凝土，池体顶棚为 30cm 混凝土，地板为 30cm 混凝土，同时通过控制系统、液位计（具有液位报警功能）监视衰变池水位情况，在衰变池上方设置有检测箱，检测箱设有专用检测口，便于平时抽样检查，衰变池表面还设置有检修口，便于检修管道与控制系统等部件，确保衰变池系统安全运

行。

放射性废水处理工作流程为：废水重力自流至收集过滤污泥池，当过滤后的放射性污水达到一定的水位时液位传感器将信息反馈到控制器上，放射性废水通过泵进入衰变池第 1 格小池，当第 1 格小池废水到达控制液位时关闭第 1 格进水阀门并打开第 2 格进水阀门，放射性废水流入第 2 格小池，当第 2 格小池到达控制液位时关闭第二格进水阀门并打开第 3 格进水阀门，放射性废水流入第 3 格小池，当第 3 格小池到达控制液位时关闭第 3 格进水阀门并打开第 4 格进水阀门，放射性废水流入第 4 格小池，以此类推，如此循环。当最后 1 格小池即将排满时（通过设置控制液位），通过水泵抽取第 1 格衰变池的放射性废水进行检测，达到排放标准后，将该小格的放射性废水一次性排至医院污水处理站进一步处理后排至市政管网。

衰变池平面和剖面设计示意图见图 10-5 至 10-9。

图 10-5 衰变池设备间平面图

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本次评价内容为医院拟开展的核技术利用项目运行期对环境的辐射影响，本项目涉及的放射源、非密封性放射性物质使用的辐射工作场所主体工程建设过程的影响主要为非辐射类影响，具体防护屏蔽方面的工程量较少，项目建设阶段主要的污染因子有：噪声、废水、固体废弃物和扬尘，无辐射影响，亦无放射性废气、废水及固体废弃物产生。

11.1.1 主体及装修施工的环境影响

(1) 声环境影响分析

该项目施工期的噪声主要来自施工机械运作及屏蔽体涂刷等阶段，但该评价项目的建设工程，影响期短暂，对周围环境影响小。因此，合理安排施工时间，夜间禁止高噪声机械作业，对周围的影响不大。为尽量减少施工期噪声影响，项目建设和施工单位采取以下噪声防治措施：

①合理安排施工时间：首先，制订施工计划时，应尽可能避免大量高噪声设备同时施工，夜间禁止高噪声施工作业。

②合理布局施工现场，以避免局部声级过高，钢制模板在使用、拆卸、装卸等过程中，应尽可能地轻拿轻放，以免模板相互碰撞产生噪声。

③降低设备声级：设备选型上尽量采用低噪声设备，如以液压机械代替燃油机械，振捣器采用高频振捣器等。动力机械设备应进行定期的维修、养护，以保证其在正常工况下工作。闲置不用的设备应立即关闭。

④降低人为噪音：按规定操作机械设备，减少碰撞噪音。同时要尽量少用哨子、钟、笛等指挥作业，而代以现代化设备。

⑤对高噪声设备采取隔声、隔振或消声措施，如在声源周围设置掩蔽物、加隔振垫、安装消声器等

(2) 环境空气影响分析

施工期，扬尘来自于材料搬运、装卸等施工活动，由于扬尘源多且分散，属于无组织排放。受施工方式、设备、气候等因素制约，产生的随机性和波动性大。但土建工程结束后即可恢复。

(3) 水环境影响分析

本工程施工污水主要来自施工人员的生活污水和少量施工废水，其中施工废水主要包括砂石料加工水。医院配套建设有生活、卫生设施、污水处理站和排水管网，施工人员的生活污水和施工废水经过沉淀澄清后将通过配套建设的生活、卫生设施排入医院污水处理站处理后排入市政管网。

（4）固体废物影响分析

施工期间固体废物主要为建筑垃圾。施工过程中的建筑垃圾和生活垃圾必须集中处理，严禁随意堆放和倾倒。生活垃圾应置于医院内部垃圾收集箱内。施工建筑垃圾委托有资质的渣土运输公司处置，运垃圾的专用车每次装完垃圾后，用苫布盖好，避免途中遗洒和运输过程中造成扬尘。可以使工程建设产生的垃圾处于可控制状态。

综上所述，本工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。

施工单位应严格执行有关规定的污染防治措施，并加强监管，对建设期的声环境、空气环境、水环境和固体废物等进行防治，采取降噪、防尘措施，合理安排工作时间，避免夜间施工，尽可能对周围环境的影响降到最小。

11.1.2 设备安装调试的环境影响

本项目设备的安装由厂家专业人员进行，医院方不得自行拆卸、安装设备（设备仅是分装柜、活度剂、表污、辐射仪等），安装期间操作人员必须持证上岗并采取足够的个人防护措施。

本项目使用的设备的安装均在核医学科内具备防护措施的房间内完成，在设备安装阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中医院应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近。人员离开时房间必须上锁并派人看守。由于设备的安装均在核医学科内具备防护措施的房间内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响较小。

11.2 核医学科运行阶段对环境的影响。

11.2.1 二、直线加速器、射波刀、TOMO 机房屏蔽核算方法

根据院方提供的设计图，在屏蔽核算中，以设备最高能量 X 射线有用线束、泄漏辐射和患者散射辐射进行屏蔽核算，只要能达到屏蔽 X 射线初始束、泄漏辐射及患者散射辐射墙体厚度就能完全满足对散射 X 射线、电子束防护要求。本评价报告书在辐射屏蔽核算时，不进行诸物理量之间的转换系数修正，即 $1\text{Gy}=1\text{Sv}$ ；各屏蔽关注点防

护厚度核算采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范：第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中屏蔽墙的计算公式，具体如下：

（1）使用什值层屏蔽计算方法

①有效屏蔽厚度

当 X 射线束以 θ 角斜射入厚度为 X（cm）的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 X_e （cm）见式（4-1）：

$$X = X_e \cdot \cos\theta \dots\dots\dots (4-1)$$

②屏蔽厚度 X（cm）与屏蔽透射因子 B 的相应关系

对于估算出的屏蔽透射因子 B，按式（4-2）估算所需的有效屏蔽厚度 X_e （cm），再按式（4-1）估算所需屏蔽厚度 X（cm）。

$$X_e = TVL_e \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL_e) \dots\dots\dots (4-2)$$

TVL_1 和 TVL_e 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。详见表 4-7。

（2）不同辐射的屏蔽估算方法

（a）有用线束和泄漏辐射的屏蔽和剂量估算

关注点达到剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时，设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按式(4-3)计算：

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_o} \cdot \frac{R^2}{f} \dots\dots\dots (4-3)$$

式中：

$\dot{H}_c$ ——剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_o$ ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

R ——辐射源点(靶点)至关注点的距离，m；

f ——对有用束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率。

（b）患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算

关注点达到剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时，设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按式(4-4)计算：

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2}{\dot{H}_o \cdot a_{ph} \cdot (F/400)} \dots\dots\dots (4-4)$$

式中：

$\dot{H}_c$ ——剂量率参考控制水平， $\mu\text{ Sv/h}$ ；

$\dot{H}_0$ ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{ Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R_s ——患者(位于等中心点)至关注点的距离，m；

a_{ph} ——患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m(关注点方向)处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子；

F ——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 。

(c) 主屏蔽墙宽度

宽束辐射的有用束对应的机房屏蔽为主屏蔽区，其范围应略大于有用束在机房屏蔽墙（或顶）的投影区，其计算公式见式（4-5），示意图见图 4-5。

$$W = 2[(a + SAD + X) \cdot \tan \theta + 0.3] \dots\dots\dots (4-5)$$

式中：

W ——主屏蔽墙宽度，cm；

SAD ——源轴距取 100，cm；

a ——等中心点至墙的距离，cm；

X ——主屏蔽墙内凸 $X=X_2$ ，外凸 $X=X_1+X_2$ ，cm；

θ ——治疗束的最大张角（相对轴线）。

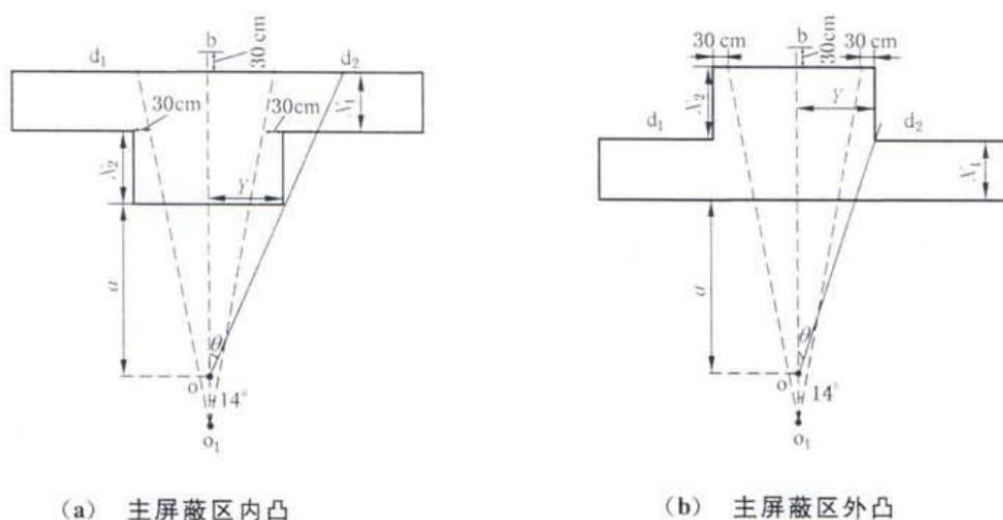


图 4-5 加速器机房主屏蔽区宽度计算示意图

(d) 加速器 (≤10MV) 机房的迷路散射辐射屏蔽与剂量估算 (主射束不向迷路)

①入口处的散射辐射剂量率按式 (4-6) 计算

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \dots\dots\dots (4-6)$$

式中:

$\dot{H}_g$ ——入口处的散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

α_{ph} ——患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m(关注点方向)处的剂量比例, 又称 400cm^2 面积上的散射因子; 通常取 45° 散射角的值。

$\dot{H}_0$ ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$;

F ——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 ;

R_1 ——散射体中心点 (有用线束在屏蔽墙上的投影点) 与墙上散射点的距离, m;

R_2 ——墙上散射点与关注点的距离, 该式 $R_2=R_{2a}+R_{2b}$, m;

α_2 ——混凝土墙入射的患者散射辐射的散射因子, 通常取入射角 45° , 散射角 0° 。

A ——墙上的散射面积, m^2 。

②入口门屏蔽

防护门需要的屏蔽透射因子 B 按式 (4-7) 计算

$$B = \frac{\dot{H}_C - \dot{H}_{0g}}{\dot{H}_g} \dots\dots\dots (4-7)$$

防护门的铅屏蔽厚度 X 按式 (4-8) 计算

$$X = TVL \cdot \log B^{-1} \dots\dots\dots (4-8)$$

式中给定铅的散射辐射是 TVL 值为 0.5cm 。

(e) 直线加速器机房的屏蔽核算参数如下:

(1) 源项的技术参数: X 射线最大额定能量 10MV; 10MV X 射线等中心最大剂量率为 24Gy/min ; 在核算中设 $1\text{Gy}=1\text{Sv}$;

(2) 源皮距 $\text{SSD}=1\text{m}$, 等中心处最大照射野为 $40\text{cm}\times 40\text{cm}$;

(3) 核算屏蔽关注点距墙体外侧表面距离为 0.3m ;

(4) 有用线束、泄漏辐射、患者 30° 散射辐射在屏蔽材料中的什值层:

表 4-7 各类辐射在屏蔽材料中的什值层

什值层 (TVL)	主射束		漏射线 (90°)		30°散射线
	TVL ₁ (cm)	TVL _e (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL _e (cm)	TVL (cm)
6MV	37	33	34	29	26
10MV	41	37	35	31	28

(5) X射线患者受照面积 400cm²的散射因子

表 4-8 患者受照面积 400cm²的散射因子

散射角	20°	30°	45°	60°	90°
散射因子 (6MV)	6.73×10^{-3}	2.77×10^{-3}	1.39×10^{-3}	8.24×10^{-4}	4.26×10^{-4}
散射因子 (10MV)	5.79×10^{-3}	3.18×10^{-3}	1.35×10^{-3}	7.46×10^{-4}	3.81×10^{-4}

(f) 射波刀机房的屏蔽核算参数如下：

本项目射波刀属于机械臂加速器，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011)中相关内容及本项目设备情况，本项目机房屏蔽计算全部按 6MVX 射线工况下的有用束(U<0.05)核算，不考虑中子和感生放射性的防护问题。有用束计算参照前文直线加速器计算方法式 4-1 至式 4-3，入口门的散射辐射参考前文式 4-6 至式 4-8。

(3) 根据射波刀机房的图纸及厂家提供的相关参数，本项目射波刀含直线加速器 X 射线能量为 6MV，距靶 0.8m 处最大辐射剂量率为 1000cGy/min，泄漏辐射比率小于 10⁻³。

(4) 核算屏蔽关注点距墙体外侧表面距离为30cm。

(h) TOMO 机房的屏蔽核算参数如下：

参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子医用电子直线加速器放射治疗机房》GBZIT 201.2-2011 附录 D2 的相关要求，可忽略患者散射辐射，按屏蔽泄漏辐射考虑机房屏蔽，对有用线束穿过铅屏蔽块后直接投射的区域，也按屏蔽泄漏辐射考虑。泄漏辐射计算参照前文直线加速器计算方法式 4-1 至式 4-3，入口门的散射辐射参考前文式 4-6 至式 4-8。

(2) 源项的技术参数：TOMO 最大额定能量 6MV X 射线；6MV X 射线等中心最大剂量率为 850cGy/min（医院提供），在核算中设 1 Gy=1 Sv；TOMO 自带铅屏蔽厚

度为 12.5cm，对于 6MV 在铅屏蔽材料下的什值层为 $TVL_{\text{铅}}=5.7\text{cm}$ （NCRP REPORT No.151）。TOMO 自带 3.5MV CT 辐射影响低于 6MV 治疗能量及剂量率，治疗出束时的辐射影响远大于 X 射线管。TOMO 机房屏蔽若能满足直线加速器的使用要求也能满足 X 射线管的使用要求，故本项目选取 TOMO 设备 6MV X 射线对机房屏蔽进行分析评价。

（2）自屏蔽结构宽度核算，厂家的实际设计值长 88.9cm，宽度 22.86cm，厚度 12.5cm。超出部分作为自屏蔽体宽度的安全余量。自屏蔽装置宽度对加速器主射束最大射束张角起到类似常规主屏蔽墙的作用，所以在 TOMO 不需要设计主屏蔽墙。

（3）核算屏蔽关注点距墙体外侧表面距离为 30cm。

三、加速器、射波刀、TOMO 机房屏蔽核算结果及评价

根据以上公式及参数取值，计算机房所需屏蔽厚度及机房外周围剂量当量率结果见表 4-9～表 4-10。

表 4-9 直线加速器机房各关注点屏蔽核算结果（10MV 高剂量率 2400cGy/min）

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	根据剂量率计算所 需屏蔽厚度($\geq\text{cm}$)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度计 算剂量率结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	结论
直线加速器 1 室	A1(射波刀 机房)	西南墙 主屏蔽区	$R=8.64\text{m}$, $F=2$	2.5	270 混凝土	329 混凝土	0.03	设计可行
	B1(射波刀 机房)	西南墙 次屏蔽区	$R=8.49\text{m}$, $\cos\theta=0.858$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	128 混凝土	235 混凝土	漏射: <0.01 散射: <0.01	设计可行
	C1(直加机 房)	东南墙 主屏蔽区	$R=8.15\text{m}$, $F=2$	2.5	272 混凝土	300 混凝土	0.22	设计可行
	D1(直加机 房)	东南墙 次屏蔽区	$R=7.57\text{m}$, $\cos\theta=0.858$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	130 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	E1(空地)	西北墙 侧屏蔽墙	$R=6.60\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	141 混凝土	170 混凝土	0.15	设计可行
	F1(控制 室)	迷路外墙	$R=8.70\text{m}$, $\cos\theta=0.989$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	132 混凝土	150 混凝土	0.33	设计可行
	G1(设备附 房)	迷路外墙	$R=8.94\text{m}$, $\cos\theta=0.962$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	128 混凝土	150 混凝土	0.42	设计可行
	H1(屋面)	室顶 主屏蔽区	$R=7.05\text{m}$, $F=2$	2.5	277 混凝土	300 混凝土	0.29	设计可行
	I1(屋面)	室顶 次屏蔽区	$R=7.89\text{m}$, $\cos\theta=0.767$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	115 混凝土	170 混凝土	漏射: <0.01 散射: <0.01	设计可行
	K1(入口缓 冲间)	迷道内墙	$R=8.98\text{m}$, $\cos\theta=0.958$, $f=10^{-3}$	0.5	139 混凝土	150 混凝土	0.12	设计可行
		机房门	$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.35\times 10^{-3}$, $a_2=5.1\times 10^{-3}$, $R_1=6.35\text{m}$, $R_{2a}=6.29\text{m}$, $R_{2b}=2.85\text{m}$, $TVL_{\text{散射线}}=5\text{mm}$, $TVL_{\text{漏射线}}=57\text{mm}$, $F=2$	1.33	12.7mmPb 铅板	18mmPb 铅板	漏射: 0.06 散射: 0.06	设计可行
直线加速	A2(直加机 房)	西南墙 主屏蔽区	$R=8.15\text{m}$, $F=2$	2.5	272 混凝土	300 混凝土	0.22	设计可行

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平(μSv/h)	根据剂量率计算所 需屏蔽厚度(≥cm)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度计 算剂量率结果 (μSv/h)	结论
器 2 室	B2(直加机房)	西南墙 次屏蔽区	$R=7.57\text{m}$, $\cos\theta=0.858$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times10^{-3}$, $F=2$	2.5	130 混凝土	170 混凝土	漏射：0.01 散射：0.03	设计可行
	C2(TOMO 机房)	东南墙 主屏蔽区	$R=8.15\text{m}$, $F=2$	2.5	272 混凝土	300 混凝土	0.22	设计可行
	D2(TOMO 机房)	东南墙 次屏蔽区	$R=8.33\text{m}$, $\cos\theta=0.858$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times10^{-3}$, $F=2$	2.5	128 混凝土	170 混凝土	漏射：0.01 散射：0.02	设计可行
	E2(空地)	西北墙 侧屏蔽墙	$R=6.60\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	141 混凝土	170 混凝土	0.15	设计可行
	F2(控制 室)	迷路外墙+ 迷路内墙	$R=8.60\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	134 混凝土	外墙 150 混凝土+ 内墙 150 混凝土	<0.01	设计可行
	G2(设备附 房)	迷路外墙	$R=8.90\text{m}$, $\cos\theta=0.966$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	129 混凝土	150 混凝土	0.44	设计可行
	H2(屋面)	室顶 主屏蔽区	$R=7.05\text{m}$, $F=2$	2.5	277 混凝土	300 混凝土	0.29	设计可行
	I2(屋面)	室顶 次屏蔽区	$R=7.89\text{m}$, $\cos\theta=0.767$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times10^{-3}$, $F=2$	2.5	115 混凝土	170 混凝土	漏射：<0.01 散射：<0.01	设计可行
	K2(入口缓 冲间)	迷道内墙	$R=8.98\text{m}$, $\cos\theta=0.958$, $f=10^{-3}$	0.5	139 混凝土	150 混凝土	0.12	设计可行
机房门		$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.35\times10^{-3}$, $a_2=5.1\times10^{-3}$, $R_1=6.64\text{m}$, $R_{2a}=6.92\text{m}$, $R_{2b}=2.85\text{m}$, $TVL_{\text{散射线}}=5\text{mm}$, $TVL_{\text{漏射线}}=57\text{mm}$, $F=2$	1.33	12.4mmPb 铅板	18mmPb 铅板	漏射：0.06 散射：0.05	设计可行	
直线加速 器 3 室	A3(空地)	西南墙 主屏蔽区	$R=8.30\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	B3(空地)	西南墙 次屏蔽区	$R=8.42\text{m}$, $\cos\theta=0.868$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times10^{-3}$, $F=2$	2.5	129 混凝土	170 混凝土	漏射：0.01 散射：0.03	设计可行

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平(μSv/h)	根据剂量率计算所需屏蔽厚度(≥cm)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度计 算剂量率结果 (μSv/h)	结论
	C3(直加机房)	东南墙 主屏蔽区	$R=8.30\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	D3(直加机房)	东南墙 次屏蔽区	$R=7.67\text{m}$, $\cos\theta=0.868$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times10^{-3}$, $F=2$	2.5	132 混凝土	170 混凝土	漏射：0.01 散射：0.03	设计可行
	E3(医护通道)	西北墙 侧屏蔽墙	$R=6.70\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	0.67	158 混凝土	170 混凝土	0.14	设计可行
	F3(控制室)	迷路外墙+ 迷路内墙	$R=8.85\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	133 混凝土	外墙 150 混凝土+ 内墙 150 混凝土	<0.01	设计可行
	G3(设备附房)	迷路外墙	$R=9.37\text{m}$, $\cos\theta=0.945$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	124 混凝土	150 混凝土	0.31	设计可行
	H3(屋面)	室顶 主屏蔽区	$R=7.05\text{m}$, $F=2$	2.5	277 混凝土	300 混凝土	0.29	设计可行
	I3(患者出口通道)	室顶 次屏蔽区	$R=4.88\text{m}$, $\cos\theta=0.862$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times10^{-3}$, $F=2$	1.33	146 混凝土	170 混凝土	漏射：0.04 散射：0.07	设计可行
	K3(入口缓冲间)	迷道内墙	$R=9.25\text{m}$, $\cos\theta=0.957$, $f=10^{-3}$	0.5	138 混凝土	300 混凝土	0.11	设计可行
机房门		$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.35\times10^{-3}$, $a_2=5.1\times10^{-3}$, $R_1=7.12\text{m}$, $R_{2a}=7.53\text{m}$, $R_{2b}=2.85\text{m}$, $TVL_{\text{散射线}}=5\text{mm}$, $TVL_{\text{漏射线}}=57\text{mm}$, $F=2$	1.33	11.6mmPb 铅板	18mmPb 铅板	漏射：0.05 散射：0.03	设计可行	
直线加速器 4 室	A4(直加机房)	西南墙 主屏蔽区	$R=8.25\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	B4(直加机房)	西南墙 次屏蔽区	$R=7.64\text{m}$, $\cos\theta=0.864$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times10^{-3}$, $F=2$	2.5	131 混凝土	170 混凝土	漏射：0.01 散射：0.03	设计可行
	C4(直加机房)	东南墙 主屏蔽区	$R=8.25\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	根据剂量率计算所 需屏蔽厚度($\geq\text{cm}$)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度计 算剂量率结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	结论
	D4(直加机房)	东南墙 次屏蔽区	$R=7.64\text{m}$, $\cos\theta=0.864$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	131 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	E4(医护通道)	西北墙 侧屏蔽墙	$R=6.70\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	0.67	158 混凝土	170 混凝土	0.14	设计可行
	F4(控制室)	迷路外墙+ 迷路内墙	$R=8.85\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	133 混凝土	外墙 150 混凝土+ 内墙 150 混凝土	<0.01	设计可行
	G4 (设备附房)	迷路外墙	$R=8.98\text{m}$, $\cos\theta=0.986$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	124 混凝土	150 混凝土	0.54	设计可行
	H4(屋面)	室顶 主屏蔽区	$R=7.05\text{m}$, $F=2$	2.5	277 混凝土	300 混凝土	0.29	设计可行
	I4(患者出口通道)	室顶 次屏蔽区	$R=4.88\text{m}$, $\cos\theta=0.862$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	1.33	146 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.04 散射: 0.07	设计可行
	K4(入口缓冲间)	迷道内墙	$R=9.24\text{m}$, $\cos\theta=0.958$, $f=10^{-3}$	0.5	139 混凝土	300 混凝土	0.12	设计可行
		机房门	$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.35\times 10^{-3}$, $a_2=5.1\times 10^{-3}$, $R_1=6.61\text{m}$, $R_{2a}=6.43\text{m}$, $R_{2b}=2.85\text{m}$, $TVL_{\text{散射}}=5\text{mm}$, $TVL_{\text{漏射}}=57\text{mm}$, $F=2$	1.33	12.4mmPb 铅板	18mmPb 铅板	漏射: 0.06 散射: 0.05	设计可行
直线加速器 5 室	A5(直加机房)	西南墙 主屏蔽区	$R=8.25\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	B5(直加机房)	西南墙 次屏蔽区	$R=7.64\text{m}$, $\cos\theta=0.864$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	131 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	C5(直加机房)	东南墙 主屏蔽区	$R=8.25\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	D5(直加机房)	东南墙 次屏蔽区	$R=7.64\text{m}$, $\cos\theta=0.864$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	131 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	根据剂量率计算所 需屏蔽厚度($\geq\text{cm}$)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度计 算剂量率结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	结论
	E5(医护通道)	西北墙 侧屏蔽墙	$R=6.70\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	0.67	158 混凝土	170 混凝土	0.14	设计可行
	F5(控制室)	迷路外墙+ 迷路内墙	$R=8.85\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	133 混凝土	外墙 150 混凝土+ 内墙 150 混凝土	<0.01	设计可行
	G5 (设备 附房)	迷路外墙	$R=8.98\text{m}$, $\cos\theta=0.986$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	124 混凝土	150 混凝土	0.54	设计可行
	H5(屋面)	室顶 主屏蔽区	$R=7.05\text{m}$, $F=2$	2.5	277 混凝土	300 混凝土	0.29	设计可行
	I5(患者出 口通道)	室顶 次屏蔽区	$R=4.88\text{m}$, $\cos\theta=0.862$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	1.33	146 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.04 散射: 0.07	设计可行
	K5(入口缓 冲间)	迷道内墙	$R=9.24\text{m}$, $\cos\theta=0.958$, $f=10^{-3}$	0.5	139 混凝土	150 混凝土	0.12	设计可行
		机房门	$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.35\times 10^{-3}$, $a_2=5.1\times 10^{-3}$, $R_1=6.61\text{m}$, $R_{2a}=6.43\text{m}$, $R_{2b}=2.85\text{m}$, $TVL_{\text{散射线}}=5\text{mm}$, $TVL_{\text{漏射线}}=57\text{mm}$, $F=2$	1.33	12.4mmPb 铅板	18mmPb 铅板	漏射: 0.06 散射: 0.05	设计可行
直线加速 器 6 室	A6(直加机 房)	西南墙 主屏蔽区	$R=8.25\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	B6(直加机 房)	西南墙 次屏蔽区	$R=7.64\text{m}$, $\cos\theta=0.864$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	131 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	C6(通道)	东南墙 主屏蔽区	$R=8.25\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	D6(通道)	东南墙 次屏蔽区	$R=8.39\text{m}$, $\cos\theta=0.864$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	0.67	143 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.02	设计可行
	E6(医护通 道)	西北墙 侧屏蔽墙	$R=6.70\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	0.67	158 混凝土	170 混凝土	0.14	设计可行

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	根据剂量率计算所 需屏蔽厚度($\geq\text{cm}$)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度计 算剂量率结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	结论
	F6(控制室)	迷路外墙+迷路内墙	$R=8.85\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	133 混凝土	外墙 150 混凝土+内墙 150 混凝土	<0.01	设计可行
	G6(设备附房)	迷路外墙	$R=9.33\text{m}$, $\cos\theta=0.949$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	125 混凝土	150 混凝土	0.33	设计可行
	H6(屋面)	室顶主屏蔽区	$R=7.05\text{m}$, $F=2$	2.5	277 混凝土	300 混凝土	0.29	设计可行
	I6(患者出口通道)	室顶次屏蔽区	$R=4.88\text{m}$, $\cos\theta=0.862$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	1.33	146 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.04 散射: 0.07	设计可行
	K6(入口缓冲间)	迷道内墙	$R=9.24\text{m}$, $\cos\theta=0.958$, $f=10^{-3}$	0.5	139 混凝土	150 混凝土	0.11	设计可行
		机房门	$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.35\times 10^{-3}$, $a_2=5.1\times 10^{-3}$, $R_1=7.07\text{m}$, $R_{2a}=7.39\text{m}$, $R_{2b}=2.85\text{m}$, $TVL_{\text{散射线}}=5\text{mm}$, $TVL_{\text{漏射线}}=57\text{mm}$, $F=2$	1.33	11.7mmPb 铅板	18mmPb 铅板	漏射: 0.05 散射: 0.04	设计可行

注： 1、混凝土密度 $\rho\geq 2.35\text{t/m}^3$ ； 2、 $F=2$ 为安全保护因子。 3、设计厚度大于核算厚度 1 个 TVL 厚度则评价设计偏厚

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平(μSv/h)	根据剂量率计算所 需屏蔽厚度(≥cm)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度计 算剂量率结果 (μSv/h)	结论
TOMO 治 疗室	A8(空地)	西北墙	$R=4.40\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	96 混凝土	150 混凝土	0.02	设计可行
	B8(直加机 房)	西南墙	$R=5.50\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	91 混凝土	170 混凝土	<0.01	设计可行
	C8(设备附 房)	东南墙	$R=11.10\text{m}$, $\cos\theta=0.973$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	71 混凝土	150 混凝土	<0.01	设计可行
	D8(控制室)	迷路外墙+迷 路内墙	$R=10.83\text{m}$, $\cos\theta=0.997$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	73 混凝土	150 混凝土 +150 混凝土	<0.01	设计可行
	E8(通道)	东北墙	$R=5.50\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	1.6	96 混凝土	170 混凝土	<0.01	设计可行
	F8(屋面)	顶墙	$R=6.17\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	88 混凝土	170 混凝土	<0.01	设计可行
	K8(入口通 道)	迷道内墙	$R=9.21\text{m}$, $\cos\theta=0.863$, $f=10^{-3}$	0.5	77 混凝土	150 混凝土	<0.01	设计可行
机房门		$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.39\times 10^{-3}$, $a_2=6.4\times 10^{-3}$, $R_1=8.69\text{m}$, $R_2=8.15\text{m}$, $TVL_{\text{散射线}}=5\text{mm}$, $F=2$	1.6	4.7mmPb 铅板	10mmPb 铅板	0.07	设计可行	

注：1、混凝土密度 $\rho\geq 2.35\text{t/m}^3$ ；2、 $F=2$ 为安全保护因子。

注：1、混凝土密度 $\rho \geq 2.35 \text{ t/m}^3$ ；2、 $F=2$ 为安全保护因子。

表 4-9 直线加速器机房各关注点屏蔽核算结果（10MV 高剂量率 2400cGy/min）

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	根据剂量率计算所 需屏蔽厚度($\geq\text{cm}$)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度 计算剂量率结 果($\mu\text{Sv/h}$)	结论
直线加速 器 1 室	A1(射波刀 机房)	西南墙 主屏蔽区	$R=8.64\text{m}$, $F=2$	2.5	270 混凝土	329 混凝土	0.03	设计可行
	B1(射波刀 机房)	西南墙 次屏蔽区	$R=8.49\text{m}$, $\cos\theta=0.858$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	128 混凝土	235 混凝土	漏射: <0.01 散射: <0.01	设计可行
	C1(直加机 房)	东南墙 主屏蔽区	$R=8.15\text{m}$, $F=2$	2.5	272 混凝土	300 混凝土	0.22	设计可行
	D1(直加机 房)	东南墙 次屏蔽区	$R=7.57\text{m}$, $\cos\theta=0.858$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	130 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	E1(空地)	西北墙 侧屏蔽墙	$R=6.60\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	141 混凝土	170 混凝土	0.15	设计可行
	F1(控制 室)	迷路外墙	$R=8.70\text{m}$, $\cos\theta=0.989$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	132 混凝土	150 混凝土	0.33	设计可行
	G1(设备附 房)	迷路外墙	$R=8.94\text{m}$, $\cos\theta=0.962$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	128 混凝土	150 混凝土	0.42	设计可行
	H1(屋面)	室顶 主屏蔽区	$R=7.05\text{m}$, $F=2$	2.5	277 混凝土	300 混凝土	0.29	设计可行
	I1(屋面)	室顶 次屏蔽区	$R=7.89\text{m}$, $\cos\theta=0.767$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	115 混凝土	170 混凝土	漏射: <0.01 散射: <0.01	设计可行
	K1(入口缓	迷道内墙	$R=8.98\text{m}$, $\cos\theta=0.958$, $f=10^{-3}$	0.5	139 混凝土	150 混凝土	0.12	设计可行

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	根据剂量率计算所需屏蔽厚度($\geq\text{cm}$)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度 计算剂量率结果($\mu\text{Sv/h}$)	结论
	冲间)	机房门	$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.35\times 10^{-3}$, $a_2=5.1\times 10^{-3}$, $R_1=6.35\text{m}$, $R_{2a}=6.29\text{m}$, $R_{2b}=2.85\text{m}$, $TVL_{\text{散射}}=5\text{mm}$, $TVL_{\text{漏射线}}=57\text{mm}$, $F=2$	1.33	12.7mmPb 铅板	18mmPb 铅板	漏射: 0.06 散射: 0.06	设计可行
直线加速器 2 室	A2(直加机房)	西南墙 主屏蔽区	$R=8.15\text{m}$, $F=2$	2.5	272 混凝土	300 混凝土	0.22	设计可行
	B2(直加机房)	西南墙 次屏蔽区	$R=7.57\text{m}$, $\cos\theta=0.858$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	130 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	C2(TOMO 机房)	东南墙 主屏蔽区	$R=8.15\text{m}$, $F=2$	2.5	272 混凝土	300 混凝土	0.22	设计可行
	D2(TOMO 机房)	东南墙 次屏蔽区	$R=8.33\text{m}$, $\cos\theta=0.858$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	128 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.02	设计可行
	E2(空地)	西北墙 侧屏蔽墙	$R=6.60\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	141 混凝土	170 混凝土	0.15	设计可行
	F2(控制室)	迷路外墙+ 迷路内墙	$R=8.60\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	134 混凝土	外墙 150 混凝土+ 内墙 150 混凝土	<0.01	设计可行
	G2(设备附房)	迷路外墙	$R=8.90\text{m}$, $\cos\theta=0.966$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	129 混凝土	150 混凝土	0.44	设计可行
	H2(屋面)	室顶 主屏蔽区	$R=7.05\text{m}$, $F=2$	2.5	277 混凝土	300 混凝土	0.29	设计可行
	I2(屋面)	室顶 次屏蔽区	$R=7.89\text{m}$, $\cos\theta=0.767$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	115 混凝土	170 混凝土	漏射: <0.01 散射: <0.01	设计可行
	K2(入口缓	迷道内墙	$R=8.98\text{m}$, $\cos\theta=0.958$, $f=10^{-3}$	0.5	139 混凝土	150 混凝土	0.12	设计可行

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	根据剂量率计算所需屏蔽厚度($\geq\text{cm}$)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度 计算剂量率结果($\mu\text{Sv/h}$)	结论
	冲间)	机房门	$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.35\times 10^{-3}$, $a_2=5.1\times 10^{-3}$, $R_1=6.64\text{m}$, $R_{2a}=6.92\text{m}$, $R_{2b}=2.85\text{m}$, $TVL_{\text{散射}}=5\text{mm}$, $TVL_{\text{漏射线}}=57\text{mm}$, $F=2$	1.33	12.4mmPb 铅板	18mmPb 铅板	漏射: 0.06 散射: 0.05	设计可行
直线加速器 3 室	A3(空地)	西南墙 主屏蔽区	$R=8.30\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	B3(空地)	西南墙 次屏蔽区	$R=8.42\text{m}$, $\cos\theta=0.868$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	129 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	C3(直加机房)	东南墙 主屏蔽区	$R=8.30\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	D3(直加机房)	东南墙 次屏蔽区	$R=7.67\text{m}$, $\cos\theta=0.868$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	132 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	E3(医护通道)	西北墙 侧屏蔽墙	$R=6.70\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	0.67	158 混凝土	170 混凝土	0.14	设计可行
	F3(控制室)	迷路外墙+ 迷路内墙	$R=8.85\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	133 混凝土	外墙 150 混凝土+ 内墙 150 混凝土	<0.01	设计可行
	G3(设备附房)	迷路外墙	$R=9.37\text{m}$, $\cos\theta=0.945$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	124 混凝土	150 混凝土	0.31	设计可行
	H3(屋面)	室顶 主屏蔽区	$R=7.05\text{m}$, $F=2$	2.5	277 混凝土	300 混凝土	0.29	设计可行
	I3(患者出口通道)	室顶 次屏蔽区	$R=4.88\text{m}$, $\cos\theta=0.862$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	1.33	146 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.04 散射: 0.07	设计可行

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	根据剂量率计算所需屏蔽厚度($\geq\text{cm}$)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度 计算剂量率结果($\mu\text{Sv/h}$)	结论
	K3(入口缓冲间)	迷道内墙	$R=9.25\text{m}$, $\cos\theta=0.957$, $f=10^{-3}$	0.5	138 混凝土	300 混凝土	0.11	设计可行
		机房门	$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.35\times 10^{-3}$, $a_2=5.1\times 10^{-3}$, $R_1=7.12\text{m}$, $R_{2a}=7.53\text{m}$, $R_{2b}=2.85\text{m}$, $TVL_{\text{散射线}}=5\text{mm}$, $TVL_{\text{漏射线}}=57\text{mm}$, $F=2$	1.33	11.6mmPb 铅板	18mmPb 铅板	漏射: 0.05 散射: 0.03	设计可行
直线加速器 4 室	A4(直加机房)	西南墙 主屏蔽区	$R=8.25\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	B4(直加机房)	西南墙 次屏蔽区	$R=7.64\text{m}$, $\cos\theta=0.864$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	131 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	C4(直加机房)	东南墙 主屏蔽区	$R=8.25\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	D4(直加机房)	东南墙 次屏蔽区	$R=7.64\text{m}$, $\cos\theta=0.864$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	131 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	E4(医护通道)	西北墙 侧屏蔽墙	$R=6.70\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	0.67	158 混凝土	170 混凝土	0.14	设计可行
	F4(控制室)	迷路外墙+ 迷路内墙	$R=8.85\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	133 混凝土	外墙 150 混凝土+ 内墙 150 混凝土	<0.01	设计可行
	G4 (设备附房)	迷路外墙	$R=8.98\text{m}$, $\cos\theta=0.986$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	124 混凝土	150 混凝土	0.54	设计可行
	H4(屋面)	室顶 主屏蔽区	$R=7.05\text{m}$, $F=2$	2.5	277 混凝土	300 混凝土	0.29	设计可行

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	根据剂量率计算所需屏蔽厚度($\geq\text{cm}$)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度 计算剂量率结果($\mu\text{Sv/h}$)	结论
	I4(患者出口通道)	室顶 次屏蔽区	$R=4.88\text{m}$, $\cos\theta=0.862$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	1.33	146 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.04 散射: 0.07	设计可行
	K4(入口缓冲间)	迷道内墙	$R=9.24\text{m}$, $\cos\theta=0.958$, $f=10^{-3}$	0.5	139 混凝土	300 混凝土	0.12	设计可行
		机房门	$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.35\times 10^{-3}$, $a_2=5.1\times 10^{-3}$, $R_1=6.61\text{m}$, $R_{2a}=6.43\text{m}$, $R_{2b}=2.85\text{m}$, $TVL_{\text{散射线}}=5\text{mm}$, $TVL_{\text{漏射线}}=57\text{mm}$, $F=2$	1.33	12.4mmPb 铅板	18mmPb 铅板	漏射: 0.06 散射: 0.05	设计可行
直线加速器 5 室	A5(直加机房)	西南墙 主屏蔽区	$R=8.25\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	B5(直加机房)	西南墙 次屏蔽区	$R=7.64\text{m}$, $\cos\theta=0.864$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	131 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	C5(直加机房)	东南墙 主屏蔽区	$R=8.25\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	D5(直加机房)	东南墙 次屏蔽区	$R=7.64\text{m}$, $\cos\theta=0.864$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	131 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	E5(医护通道)	西北墙 侧屏蔽墙	$R=6.70\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	0.67	158 混凝土	170 混凝土	0.14	设计可行
	F5(控制室)	迷路外墙+ 迷路内墙	$R=8.85\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	133 混凝土	外墙 150 混凝土+ 内墙 150 混凝土	<0.01	设计可行
	G5 (设备附房)	迷路外墙	$R=8.98\text{m}$, $\cos\theta=0.986$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	124 混凝土	150 混凝土	0.54	设计可行

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	根据剂量率计算所需屏蔽厚度($\geq\text{cm}$)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度 计算剂量率结果($\mu\text{Sv/h}$)	结论
	H5(屋面)	室顶 主屏蔽区	$R=7.05\text{m}$, $F=2$	2.5	277 混凝土	300 混凝土	0.29	设计可行
	I5(患者出口通道)	室顶 次屏蔽区	$R=4.88\text{m}$, $\cos\theta=0.862$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	1.33	146 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.04 散射: 0.07	设计可行
	K5(入口缓冲间)	迷道内墙	$R=9.24\text{m}$, $\cos\theta=0.958$, $f=10^{-3}$	0.5	139 混凝土	150 混凝土	0.12	设计可行
		机房门	$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.35\times 10^{-3}$, $a_2=5.1\times 10^{-3}$, $R_1=6.61\text{m}$, $R_{2a}=6.43\text{m}$, $R_{2b}=2.85\text{m}$, $TVL_{\text{散射线}}=5\text{mm}$, $TVL_{\text{漏射线}}=57\text{mm}$, $F=2$	1.33	12.4mmPb 铅板	18mmPb 铅板	漏射: 0.06 散射: 0.05	设计可行
直线加速器 6 室	A6(直加机房)	西南墙 主屏蔽区	$R=8.25\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	B6(直加机房)	西南墙 次屏蔽区	$R=7.64\text{m}$, $\cos\theta=0.864$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	2.5	131 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.03	设计可行
	C6(通道)	东南墙 主屏蔽区	$R=8.25\text{m}$, $F=2$	2.5	271 混凝土	300 混凝土	0.21	设计可行
	D6(通道)	东南墙 次屏蔽区	$R=8.39\text{m}$, $\cos\theta=0.864$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	0.67	143 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.01 散射: 0.02	设计可行
	E6(医护通道)	西北墙 侧屏蔽墙	$R=6.70\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	0.67	158 混凝土	170 混凝土	0.14	设计可行
	F6(控制室)	迷路外墙+ 迷路内墙	$R=8.85\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	133 混凝土	外墙 150 混凝土+ 内墙 150 混凝土	<0.01	设计可行

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平(μSv/h)	根据剂量率计算所 需屏蔽厚度(≥cm)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度 计算剂量率结果(μSv/h)	结论
	G6(设备附房)	迷路外墙	$R=9.33\text{m}$, $\cos\theta=0.949$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	125 混凝土	150 混凝土	0.33	设计可行
	H6(屋面)	室顶 主屏蔽区	$R=7.05\text{m}$, $F=2$	2.5	277 混凝土	300 混凝土	0.29	设计可行
	I6(患者出口通道)	室顶 次屏蔽区	$R=4.88\text{m}$, $\cos\theta=0.862$, $f=10^{-3}$, $a_{\text{ph}}=3.18\times 10^{-3}$, $F=2$	1.33	146 混凝土	170 混凝土	漏射: 0.04 散射: 0.07	设计可行
	K6(入口缓冲间)	迷道内墙	$R=9.24\text{m}$, $\cos\theta=0.958$, $f=10^{-3}$	0.5	139 混凝土	150 混凝土	0.11	设计可行
		机房门	$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.35\times 10^{-3}$, $a_2=5.1\times 10^{-3}$, $R_1=7.07\text{m}$, $R_{2a}=7.39\text{m}$, $R_{2b}=2.85\text{m}$, $TVL_{\text{散射线}}=5\text{mm}$, $TVL_{\text{漏射线}}=57\text{mm}$, $F=2$	1.33	11.7mmPb 铅板	18mmPb 铅板	漏射: 0.05 散射: 0.04	设计可行
注: 1、混凝土密度 $\rho\geq 2.35\text{t/m}^3$; 2、 $F=2$ 为安全保护因子。3、设计厚度大于核算厚度 1 个 TVL 厚度则评价设计偏厚								

表 4-13 射波刀机房各关注点屏蔽核算结果

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	根据剂量率计算所需屏蔽厚度($\geq\text{cm}$)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度 计算剂量率结果($\mu\text{Sv/h}$)	结论
射波刀治疗室	A7(空地)	西北墙	$R=9.0\text{m}$, $F=2$	2.5	195 混凝土	250 混凝土	0.03	设计可行
	B7(空地)	西南墙	$R=6.25\text{m}$, $F=2$	2.5	205 混凝土	250 混凝土	0.05	设计可行
	C7(设备房)	东南墙	$R=6.20\text{m}$, $F=2$	2.5	205 混凝土	250 混凝土	0.05	设计可行
	D7(控制室)	东南墙	$R=6.28\text{m}$, $\cos\theta=0.987$, $F=2$	2.5	202 混凝土	250 混凝土	0.04	设计可行

	E7(直加机房)	迷路外墙 +迷路内 墙	$R=10.30\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	191 混凝土	455 混凝土 (内墙+外墙)	<0.01	设计可行
	F7(屋面)	顶墙	$R=6.38\text{m}$, $F=2$	2.5	204 混凝土	250 混凝土	0.05	设计可行
	K7(入口缓冲 间)	迷道内墙	$R=9.09\text{m}$, $\cos\theta=0.738$	0.5	153 混凝土	220 混凝土	<0.01	设计可行
		机房门	$A=18.9\text{m}$, $R_1=8.56\text{m}$, $R_2=12.4\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.39\times 10^{-3}$, $a_2=6.4\times 10^{-3}$, $TVL_{\text{散射线}}=5\text{mm}$, $F=2$	2.5	2.3mmPb 铅板	10mmPb 铅板	0.04	设计可行
注： 1、混凝土密度 $\rho\geq 2.35\text{t/m}^3$ ； 2、 $F=2$ 为安全保护因子。								

表 4-13 TOMO 机房各关注点屏蔽核算结果

关注点		屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率 控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	根据剂量率计算所需屏蔽厚度($\geq\text{cm}$)	屏蔽设计厚度 混凝土(cm)	根据设计厚度 计算剂量率结果($\mu\text{Sv/h}$)	结论
TOMO 治疗室	A8(空地)	西北墙	$R=4.40\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	96 混凝土	150 混凝土	0.02	设计可行
	B8(直加机房)	西南墙	$R=5.50\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	91 混凝土	170 混凝土	<0.01	设计可行
	C8(设备附房)	东南墙	$R=11.10\text{m}$, $\cos\theta=0.973$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	71 混凝土	150 混凝土	<0.01	设计可行

	D8(控制室)	迷路外墙+迷路内墙	$R=10.83\text{m}$, $\cos\theta=0.997$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	73 混凝土	150 混凝土 +150 混凝土	<0.01	设计可行
	E8(通道)	东北墙	$R=5.50\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	1.6	96 混凝土	170 混凝土	<0.01	设计可行
	F8(屋面)	顶墙	$R=6.17\text{m}$, $f=10^{-3}$, $F=2$	2.5	88 混凝土	170 混凝土	<0.01	设计可行
	K8(入口通道)	迷道内墙	$R=9.21\text{m}$, $\cos\theta=0.863$, $f=10^{-3}$	0.5	77 混凝土	150 混凝土	<0.01	设计可行
		机房门	$A=19.08\text{m}$, $a_{\text{ph}}=1.39\times 10^{-3}$, $a_2=6.4\times 10^{-3}$, $R_1=8.69\text{m}$, $R_2=8.15\text{m}$, $TVL_{\text{散射线}}=5\text{mm}$, $F=2$	1.6	4.7mmPb 铅板	10mmPb 铅板	0.07	设计可行
注：1、混凝土密度 $\rho\geq 2.35\text{t/m}^3$ ；2、 $F=2$ 为安全保护因子。								

由表 4-9 至 4-10 可知，分别选取了 X 射线的最大能量与相应的最大等中心剂量率进行屏蔽核算，极限工作模式下，放射治疗机房各核算点的剂量率均小于国家标准中的参考控制水平，表明放射治疗机房拟设计的屏蔽厚度在确保施工质量的情况下，预期其屏蔽效果良好。

根据放射治疗机房平面布局，考虑到相邻的两台设备同时运行时机房屏蔽墙外关注点剂量叠加的影响。本项目机房外关注点叠加估算结果详见表 4-

表 4- 相邻机房外剂量率叠加估算结果

机房	可能叠加的关注点	叠加后剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	关注点剂量率 控制值($\mu\text{Sv/h}$)	结论
射波刀与直加机房 1	A7+E1	$0.03+0.15=0.18$	≤ 2.5	符合
	K7+G1	$0.04+0.42=0.46$	≤ 2.5	符合
直加机房 1 与直加机房 2	E1+E2	$0.15+0.15=0.30$	≤ 2.5	符合
	K1+K2	$0.12+0.11=0.23$	≤ 1.33	符合
直加机房 2 与 TOMO 机 房	E2+A8	$0.15+0.02=0.17$	≤ 2.5	符合
	G2+C8	$0.44+0.01=0.45$	≤ 2.5	符合
直加机房 3 与直加机房 4	E3+E4	$0.14+0.14=0.28$	≤ 0.67	符合
	K3+K4	$0.08+0.11=0.19$	≤ 1.33	符合
直加机房 4 与直加机房 5	E4+E5	$0.14+0.14=0.28$	≤ 0.67	符合
	G4+G5	$0.54+0.54=1.08$	≤ 2.5	符合
直加机房 5 与直加机房 6	E5+E6	$0.14+0.14=0.28$	≤ 0.67	符合
	K5+K6	$0.11+0.09=0.20$	≤ 1.33	符合

由表 4-9 可知，机房外相邻屏蔽体关注点剂量率叠加结果小于参考控制值。

(3) 直加机房主屏蔽体投影区计算宽度

主屏蔽体投影区计算宽度计算结果见表 4-11。

表 4-11 主屏蔽墙投影区宽度计算结果

机房	屏蔽防护墙	参 数	计算所需宽度 ($\geq \text{cm}$)	设计最小宽度 (cm)	评价
直线加速器 1 室	西南主屏蔽 墙	$a=385\text{cm}$, $X=65\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	334 (半宽 167)	460 (半宽 230)	设计 可行
	东北主屏蔽 墙	$a=385\text{cm}$, $X=300\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	452 (半宽 226)	460 (半宽 230)	设计 可行

机房	屏蔽防护墙	参 数	计算所需宽度 (≥cm)	设计最小宽度 (cm)	评价
	室顶	$a=375\text{cm}$, $X=130\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	312 (半宽 156)	460 (半宽 230)	设计 可行
直线加 速器 2 室	西南主屏蔽 墙	$a=385\text{cm}$, $X=300\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	452 (半宽 226)	460 (半宽 230)	设计 可行
	东北主屏蔽 墙	$a=385\text{cm}$, $X=130\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	366 (半宽 183)	460 (半宽 230)	设计 可行
	室顶	$a=375\text{cm}$, $X=130\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	312 (半宽 156)	460 (半宽 230)	设计 可行
直线加 速器 3 室	西南主屏蔽 墙	$a=400\text{cm}$, $X=130\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	374 (半宽 187)	460 (半宽 230)	设计 可行
	东北主屏蔽 墙	$a=400\text{cm}$, $X=300\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	458 (半宽 229)	460 (半宽 230)	设计 可行
	室顶	$a=375\text{cm}$, 前 $X=130\text{cm}$, 后 300cm , $\theta=14^\circ$	354 (前半宽 156 后半宽 198)	460 (半宽 230)	设计 可行
直线加 速器 4 室	西南主屏蔽 墙	$a=395\text{cm}$, $X=300\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	456 (半宽 228)	460 (半宽 230)	设计 可行
	东北主屏蔽 墙	$a=395\text{cm}$, $X=300\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	456 (半宽 228)	460 (半宽 230)	设计 可行
	室顶	$a=375\text{cm}$, 前 $X=130\text{cm}$, 后 300cm , $\theta=14^\circ$	354 (前半宽 156 后半宽 198)	460 (半宽 230)	设计 可行
直线加 速器 5 室	西南主屏蔽 墙	$a=395\text{cm}$, $X=300\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	456 (半宽 228)	460 (半宽 230)	设计 可行
	东北主屏蔽 墙	$a=395\text{cm}$, $X=300\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	456 (半宽 228)	460 (半宽 230)	设计 可行
	室顶	$a=375\text{cm}$, 前 $X=130\text{cm}$, 后 300cm , $\theta=14^\circ$	354 (前半宽 156 后半宽 198)	460 (半宽 230)	设计 可行
直线加 速器 6 室	西南主屏蔽 墙	$a=395\text{cm}$, $X=300\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	456 (半宽 228)	460 (半宽 230)	设计 可行
	东北主屏蔽 墙	$a=395\text{cm}$, $X=130\text{cm}$, $\theta=14^\circ$	372 (半宽 186)	460 (半宽 230)	设计 可行
	室顶	$a=375\text{cm}$, 前 $X=130\text{cm}$, 后 300cm , $\theta=14^\circ$	354 (前半宽 156 后半宽 198)	460 (半宽 230)	设计 可行

4.2.3 后装机房设计参数及屏蔽核算结果评价

一、后装机房设计参数

(1) 后装治疗机房各屏蔽墙厚度及屏蔽设施设计参数见下表:

表 4-14 后装机房屏蔽设计

功能房间 名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度(cm)	机房尺寸参数
后装机房	东北墙	70 混凝土	治疗室面积 5.0m×4.0m,

	东南墙	70 混凝土	约 20m ² （不含迷路）， 机房内从地面至顶棚屏蔽 体内表面高度为 6.3m； 迷路长 5.7m，内径宽 1.5m，迷路外入口宽度 1.5m，内入口宽度为 2.0m，空间容积约为 180m ³ （含迷路）。
	西北墙	70 混凝土	
	西南墙	70 混凝土（外迷路墙）	
		70 混凝土（内迷路墙）	
	顶棚	70 混凝土	
	防护门	10mmPb	

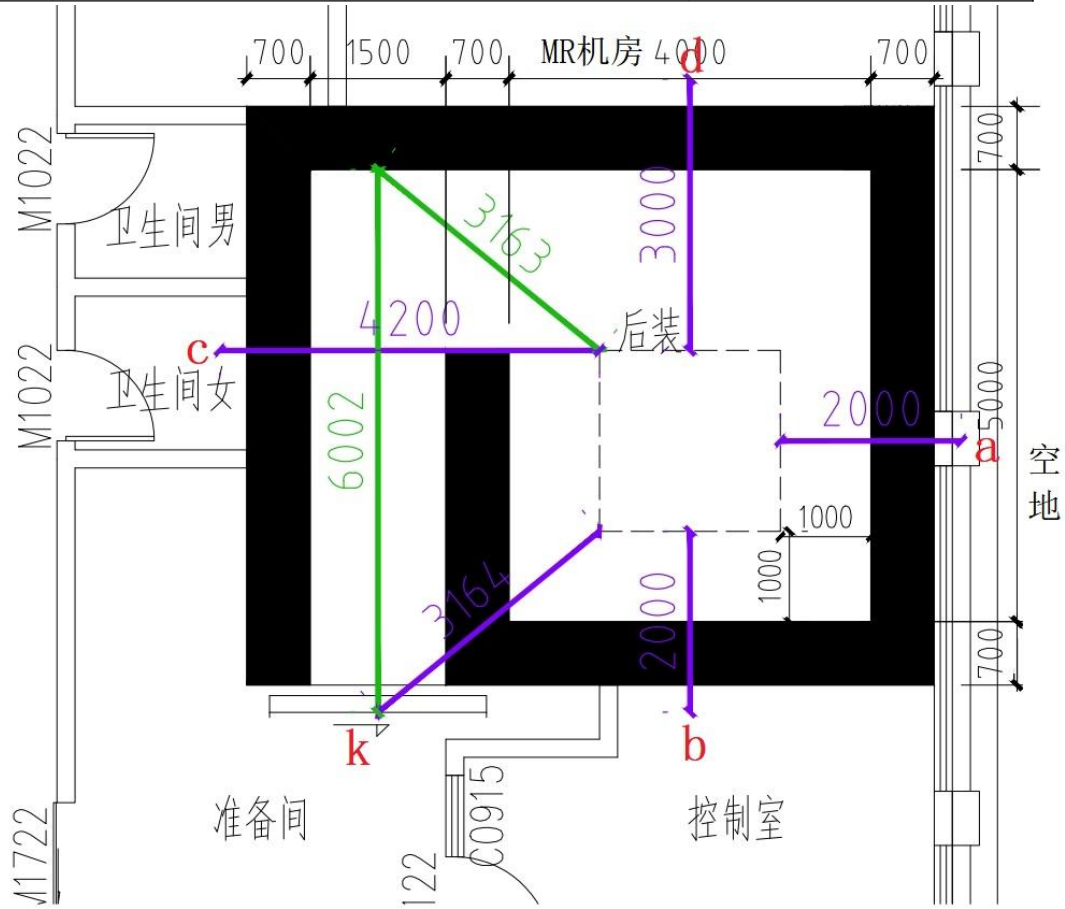


图 4-10 后装机房平面布点图

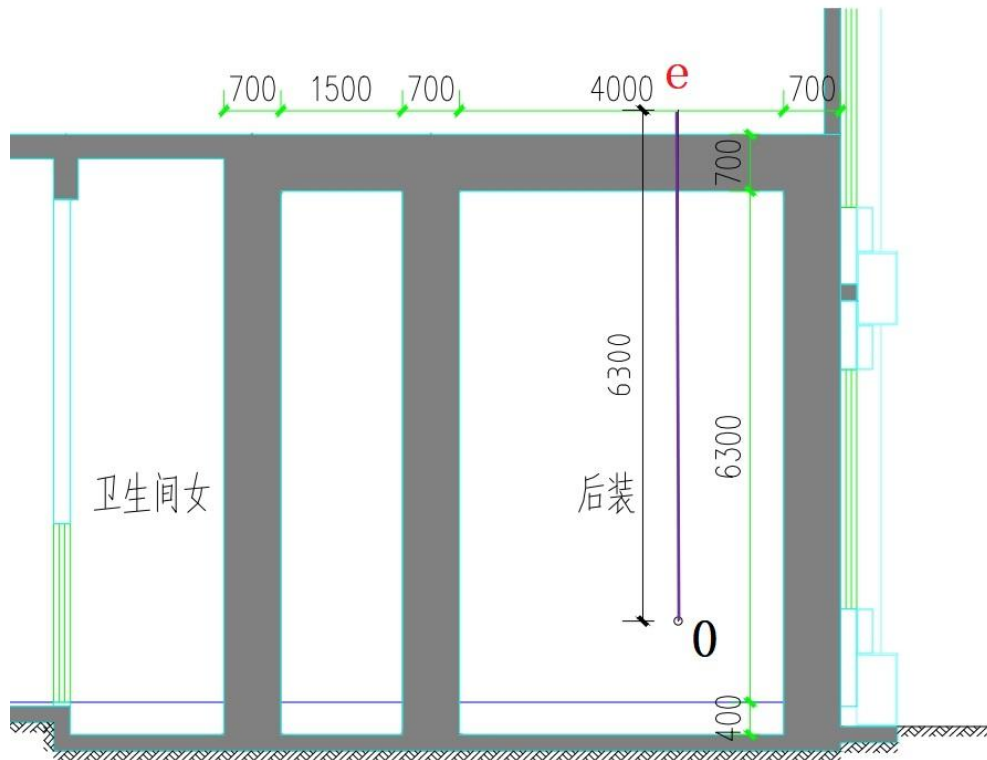


图 4-11 后装机房剖面布点图

二、后装机房屏蔽核算

(1) 根据后装机房的图纸及相关参数，并参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）进行了验证核算。具体核算方法如下：

(b) 初级辐射的屏蔽计算

放射源发射的 γ 射线（初级辐射）直接对墙体和室顶的照射，计算公式如下：

$$X = TVL \times \log \frac{A \cdot K_r}{\dot{H}_c \cdot R^2} \dots\dots\dots (4-13)$$

式中：X—屏蔽厚度，mm；

TVL—十分之一值层，mm。

A—放射源的预期最大放射性活度，GBq；

K_r —放射源 γ 射线的比释动能率常数， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{GBq})$ ；

$\dot{H}_c$ —剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R—放射源至屏蔽关注点的距离，m；

(b) 散射辐射的屏蔽计算

放射源散射至机房入口处的散射辐射剂量率采用式（4-14）计算：

$$\dot{H}_g = \frac{A \cdot K_r \cdot S_w \cdot a_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \dots\dots\dots (4-14)$$

式中： $\dot{H}_g$ —入口处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A —放射源的预期最大放射性活度，GBq；

K_r —放射源 γ 射线的比释动能率常数， $\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{GBq})$ ；

S_w —迷路内口墙的散射面积， m^2 ；

a_w —散射体的散射因子，本报告中取 3.39×10^{-2} (45° 入射， 0° 反散射角)；

R_1 —辐射源至散射体中心点的距离，m；

R_2 —散射体中心点至计算点的距离，m。

（c）防护门的屏蔽计算

按式（4-15）估算防护门的铅屏蔽厚度：

$$X = TVL \times \log \frac{\dot{H}_g}{\dot{H}_c - \dot{H}_{og}} \dots\dots\dots (4-15)$$

15)

（2）后装机房的屏蔽核算参数：

1、 ^{192}Ir 放射源参数：最大活度为 370GBq(10Ci)，比释动能率常数 K_r 为 $0.111\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{GBq})$ ，距源 1m 处的空气比释动能率为 41.07mGy/h 。

2、 ^{192}Ir 放射源 γ 射线能量为 0.37MeV ，对混凝土 $\text{TVL}=152\text{mm}$ ；在机房入口处的散射辐射能量约为 0.2MeV ，对铅的 $\text{TVL}=5\text{mm}$ 。

3、考虑到后装机是一个可在治疗室内移动的治疗装置，按照放射源可能到达四周墙体的内侧面最近距离为 1.0m，距屏蔽体外 30cm 进行保守计算。

三、后装机房屏蔽核算结果及评价

根据以上公式及参数取值，计算机房所需屏蔽厚度及机房外周围剂量当量率结果见表 4-15。

表 4-15 后装治疗机房各参考点辐射剂量率核算结果

关注点	屏蔽防护体	参 数	周围剂量当量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	计算所需混凝土厚度 (mm)	屏蔽墙设计厚度 (mm)	根据设计厚度计算剂量率结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价
a (空地)	东北墙	$R=2.0\text{m}$, $F=2$	2.5	595	700 混凝土	0.25	设计可行
b (控制室)	东南墙	$R=2.0\text{m}$, $F=2$	2.5	595	700 混凝土	0.25	设计可行
c (卫生间)	西南墙	$R=4.2\text{m}$, $F=2$	2.5	497	700 混凝土	0.06	设计可行
d (MR 机房)	西北墙	$R=3.0\text{m}$, $F=2$	1.0	602	700 混凝土	0.11	设计可行
e (屋面)	顶棚	$R=6.3\text{m}$, $F=2$	2.5	444	700 混凝土	0.03	设计可行
k (准备间)	迷路内墙	$R=3.16\text{m}$, $\cos\theta=0.775$	0.5	461	700 混凝土	<0.01	设计可行
	机房门	$S_w=13.86\text{m}^2$ $R_1=3.16\text{m}$, $R_2=6.0\text{m}$, $F=2$	2.5	8.16mmPb	10mmPb	0.54	设计可行
注：1、混凝土密度 $\rho\geq 2.35\text{t/m}^3$ ；2、 $F=2$ 为安全保护因子。							

由表 4-15 可知，后装机房各核算点的剂量率均小于国家标准中的参考控制水平，表明后装机房拟设计的屏蔽厚度在确保施工质量的情况下，预期其屏蔽效果良好。

表 4-16 放射治疗模拟定位机房屏蔽防护设计检查表

机房	屏蔽体	设计方案	等效铅当量(mmPb)	GBZ130-2020 标准要求	评价
CT 模拟定位机房 1、2	四周墙体	24cm 实心砖+2mmPb 防护涂料	4	≥2.5mmPb	设计可行
	防护门	内衬 4mmPb 铅板	4		设计可行
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4		设计可行
	顶棚	20cm 混凝土+1mmPb 防护涂料	3.5		设计可行
注：实心砖密度≥1.65t/m³，混凝土密度≥2.35t/m³，硫酸钡密度≥3.2t/m³；等效铅当量的核算参照标准 GBZ 130-2020 附录 C 和辐射防护手册第三分册《辐射安全》。					

核医学

(1) 屏蔽计算方法

保守起见，所有核素工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。符合瞬时剂量率目标要求的屏蔽厚度 X 的计算，公式如下：

$$X = TVL \times \lg\left(\frac{A \times \Gamma}{\dot{H}_p \times r^2}\right) \dots\dots\dots (4-16)$$

式中：

X — 屏蔽厚度，mm；

TVL — 十分之一值层，mm；

A — 放射源的预期最大放射性活度，MBq；

Γ — 放射源 1 米处比释动能率常数， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1}$ ；

$\dot{H}_p$ — 参考点处剂量率控制目标值， $\mu\text{Sv/h}$ ；

r — 放射源至屏蔽关注点的距离，m。

回旋加速器屏蔽室外的剂量率可采用生产厂家提供的泄漏辐射剂量等高线，采用近似方法估算，计算公式如下：

$$\dot{H}_R = \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \cdot (\dot{H}_n \times 10^{-X/TVL_n} + \dot{H}_r \times 10^{-X/TVL_r}) \dots\dots\dots (4-17)$$

式中： $\dot{H}_R$ ——回旋加速器室外关注点剂量率，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）

r_0 ——参考点距靶心的距离，单位为米（m）；

R ——屏蔽墙外关注点距靶心的距离，单位为米（m）；

$\dot{H}_n$ ——参考点 r_0 处的中子剂量率，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ），查生产厂家提供的泄漏辐射剂量等高线；

X ——屏蔽墙厚度，单位为厘米（cm）；

TVL_n ——中子射线的十分之一减弱层厚度，单位为厘米（cm）；

$\dot{H}_r$ ——参考点 r_0 处的 γ 射线剂量率，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ），查生产厂家提供的泄漏辐射剂量等高线；

TVL_r —— γ 射线的十分之一减弱层厚度，单位为厘米（cm）。对 11MeV 回旋加速器泄漏辐射 γ 射线的能量约为 8MeV，中子的能量约为 5MeV，相应不同屏蔽材料的 TVL 值见表 4-30。

（3）屏蔽计算参数

a) 点源原则

严格来讲点源的定义是参考点到源的距离要大于源线度 5 倍以上，可实际上并不是理想点源状态，计算中将患者视为“点源”，本报告书给出的计算结果均使用点源公式。计算时四周屏蔽墙参考点位置在墙外 0.3m 处，人体高度假定为 1.0m，屋顶参考点位置在楼板地面上方 0.3m 处，楼下参考点位置在楼下人员可达处 1.7m 处。

b) PET/CT 机房、SPECT/CT 机房还需考虑 CT 屏蔽防护：依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）第 6.2.1 条的要求：“CT 机房屏蔽防护不低于 2.5mm 铅当量”。

c) 二楼 PET 检查区 PET/CT 检查室 1-2、PET/MR 检查室、分装室、抢救室、患者通道按 1 名注射 ^{18}F 受检者（370MBq）进行计算；PET/CT 候诊室 1-4、PET/MR 候诊室按 2 名注射 ^{18}F 受检者（370MBq）进行计算；PET/CT、PET/MR 留观室按 2 名注射 ^{18}F 受检者进行核算（370MBq 的 ^{18}F -FDG 分别经过 50min、70min 衰减，总量 270MBq+238MBq=508MBq）；本区域核素使用量最大为 ^{18}F ，故使用 ^{18}F 核素进行屏蔽计算，放射性核素 ^{18}F 在 1m 处的剂量常数为 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{MBq}$ ，根据院方提供的数据，PET/CT 影像检查受检者每人每次最大给药活度 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ （10mCi），二楼 ^{18}F 分装柜单次最大操作量为 $1.11\times 10^{10}\text{Bq}$ （300mCi）。分装、合成热室单次操作 $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ （1Ci）。

d) 二楼核素治疗区注射室、核素病房 1-6、核素治疗留观病房、抢救室、病房通道按 1 名注射 ^{177}Lu 患者（7400MBq）进行计算，本区域核素使用量最大为 ^{177}Lu ，故使用 ^{177}Lu 核素进行屏蔽计算。放射性核素 ^{177}Lu 的 γ 空气比释动能率常数为： $1.32\times 10^{-18}\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{Bq}\cdot\text{s})$ （参照《辐射安全手册》表 6.2），1m 处的剂量常数为 $4.752\times 10^{-3}\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{MBq}$ 。估算在距其 100cm 处参考点的空气比释动能率约为

35.2μGy/h，计算时取 1Gy=1Sv。

e) 三楼 SPECT/CT 检查区 SPECT/CT 检查室 1-2、抢救室、患者通道按 1 名注^{99m}Tc 受检者（925MBq）进行计算；注射后候检室按最多同时容留 10 名注^{99m}Tc 受检者进行计算；SPECT/CT 留观室按最多同时容留 5 名注^{99m}Tc 受检者进行计算；本区域核素使用量最大为^{99m}Tc，故使用^{99m}Tc 核素进行屏蔽计算，放射性核素^{99m}Tc 在 1m 处的剂量常数为 0.0303μSv·m²/h·MBq，根据院方提供的数据，SPECT/CT 影像检查受检者最大给药活度为 925MBq（25mCi），分装柜单次最大操作量为 3.7×10¹⁰Bq（1Ci）。

f) 三楼核素治疗区服药室、核素病房 1-6、抢救室、病房通道按 1 名¹³¹I 甲癌患者（7400MBq）进行计算，甲亢留观室按最多同时容留 3 名¹³¹I 甲亢患者（370MBq）进行计算。放射性核素¹³¹I 在 1m 处的剂量常数为 0.0595μSv·m²/h·MBq，根据院方提供的数据，甲亢患者每人每次最大给药活度 3.7×10⁸Bq（10mCi）、甲癌患者每人每次最大给药活度 7.4×10⁹Bq（200mCi），分装柜单次最大操作量为 3.7×10¹⁰Bq（1000mCi）。

g) 回旋加速器泄露辐射不同屏蔽材料的 TVL 取值见表 4-31。放射性核素的 TVL 取值见表 4-32。

表 4-31 回旋加速器泄露辐射不同屏蔽材料的 TVL 值

材料名称	混凝土 (2.35g/cm ³)	铅 (11.3g/cm ³)	聚乙烯 (0.97g/cm ³)
<i>TVL_r</i> (8MeV)	38cm	5cm	80cm
<i>TVL_n</i> (5MeV)	43cm	47.8cm	24cm

表 4-32 放射性核素的 TVL 值

屏蔽材料	混凝土 (2.35g/cm ³)	铅 (11.3g/cm ³)	实心砖 (1.65g/cm ³)	硫酸钡材料 (3.2g/cm ³)
¹⁸ F 的 TVL 值	17.6cm	1.66cm	26.3cm	--
¹³¹ I 的 TVL 值	17cm	1.1cm	24cm	9.5cm
^{99m} Tc 的 TVL 值	11cm	0.1cm	16cm	--
¹⁷⁷ Lu 的 TVL 值	15cm	0.57cm	--	--

注：1.本评价报告中的屏蔽材料密度要求不低于表格中的数值。
2.对混凝土、铅、实心砖的 *TVL* 值参照 GBZ120-2020 表 I.1，¹³¹I 对于硫酸钡材料的 *TVL* 值参考《辐射安全手册》图 6.4 重晶石混凝土插值法取值。
3.¹⁷⁷Lu 的 *TVL* 值参考《辐射安全手册》图 6.4 的能量 0.208MeV 插值法取值。

• 辐射安全手册

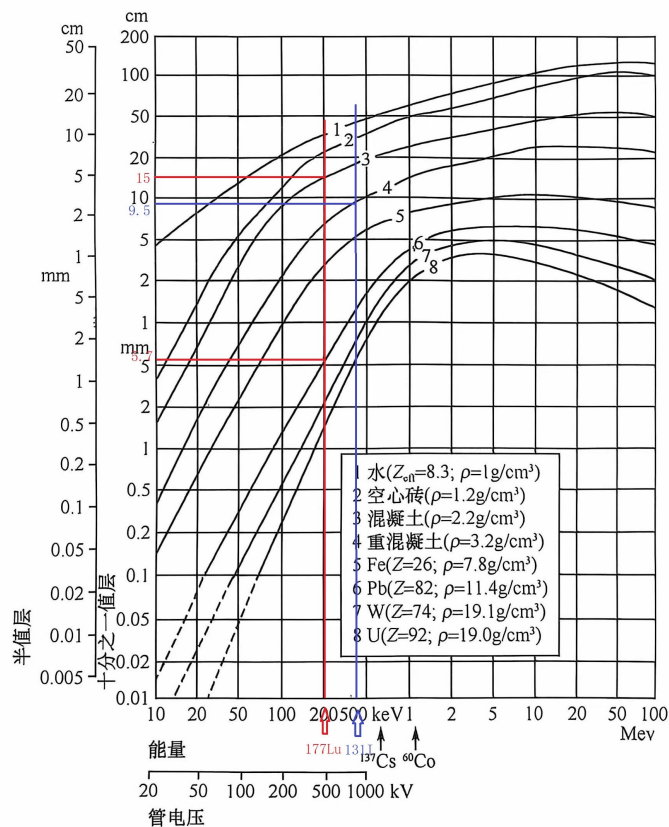


图 6.4 屏蔽材料的平均半值层和十分之一值层

图 4-28 屏蔽材料的平均半值层和十分之一值层

h) 由于回旋加速器本身带自屏蔽，本报告书根据建设单位提供的资料，1 米处最大剂量率如表 4-33 所示，保守考虑，本报告书对 10MeV 回旋加速器屏蔽体外的 γ 射线平均能量均取 8MeV，对回旋加速器屏蔽体外的中子平均能量均取 5MeV，计算回旋加速器机房防护墙及顶棚的屏蔽厚度。

表 4-33 回旋加速器自屏蔽体表面 1m 处的最大剂量率

方位	中子辐射剂量率	γ 辐射剂量率	总辐射剂量率
回旋加速器自屏蔽体后面 1m 处	15.9	14.1	30.0
回旋加速器自屏蔽体正面 1m 处	6.7	34.6	41.3
回旋加速器自屏蔽体左面 1m 处	30.3	42.5	72.8

回旋加速器自屏蔽体右面 1m 处	112.7	55.9	168.6
回旋加速器自屏蔽体顶面 1m 处	14.4	16.5	30.9

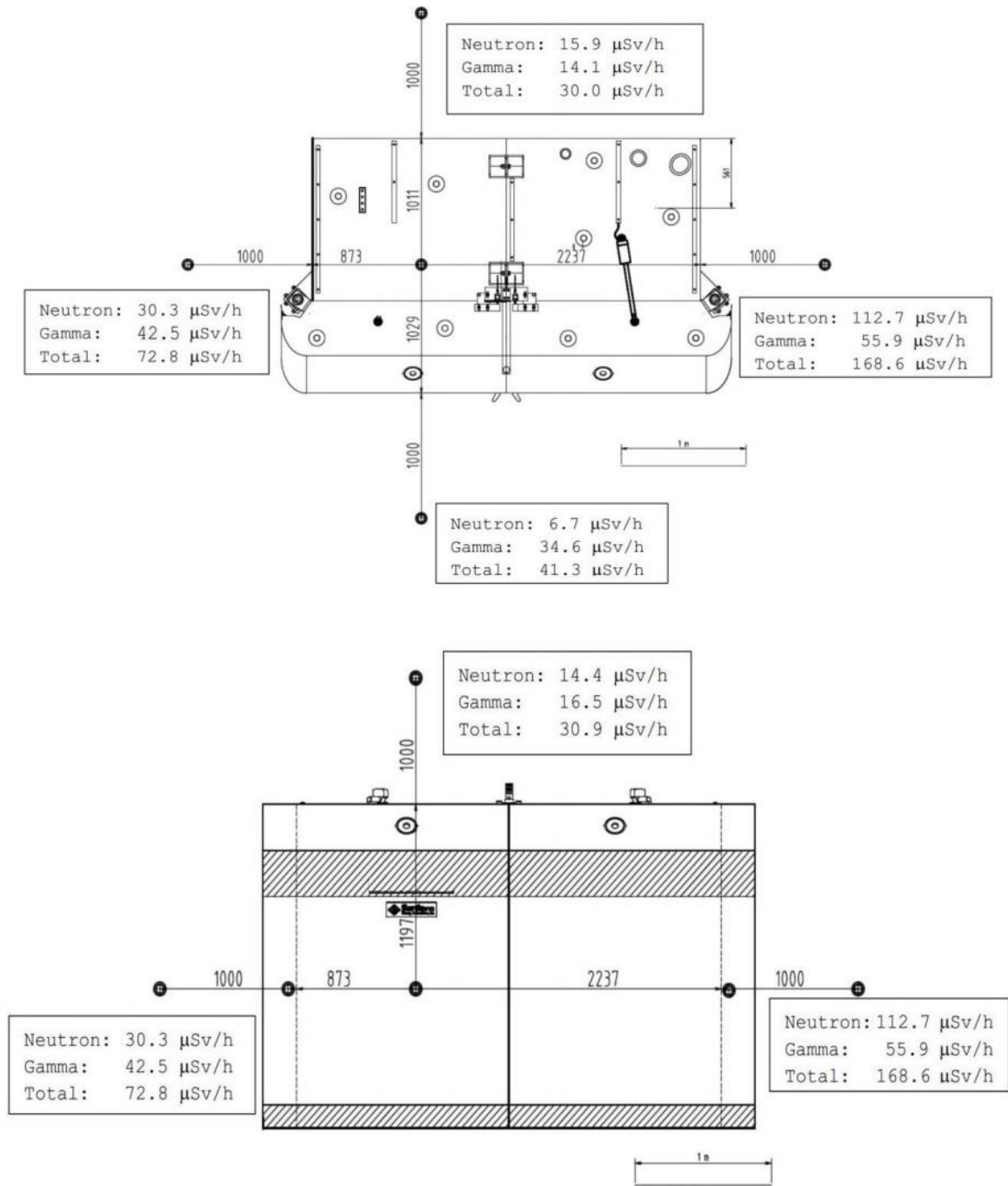


图 4-29 回旋加速器屏蔽体外 1m 处辐射剂量分布图

4.6.3 核医学项目用房屏蔽核算结果与评价

根据以上屏蔽计算参数。核医学科有关用房的屏蔽厚度核算结果见表 4-34、表 4-35。

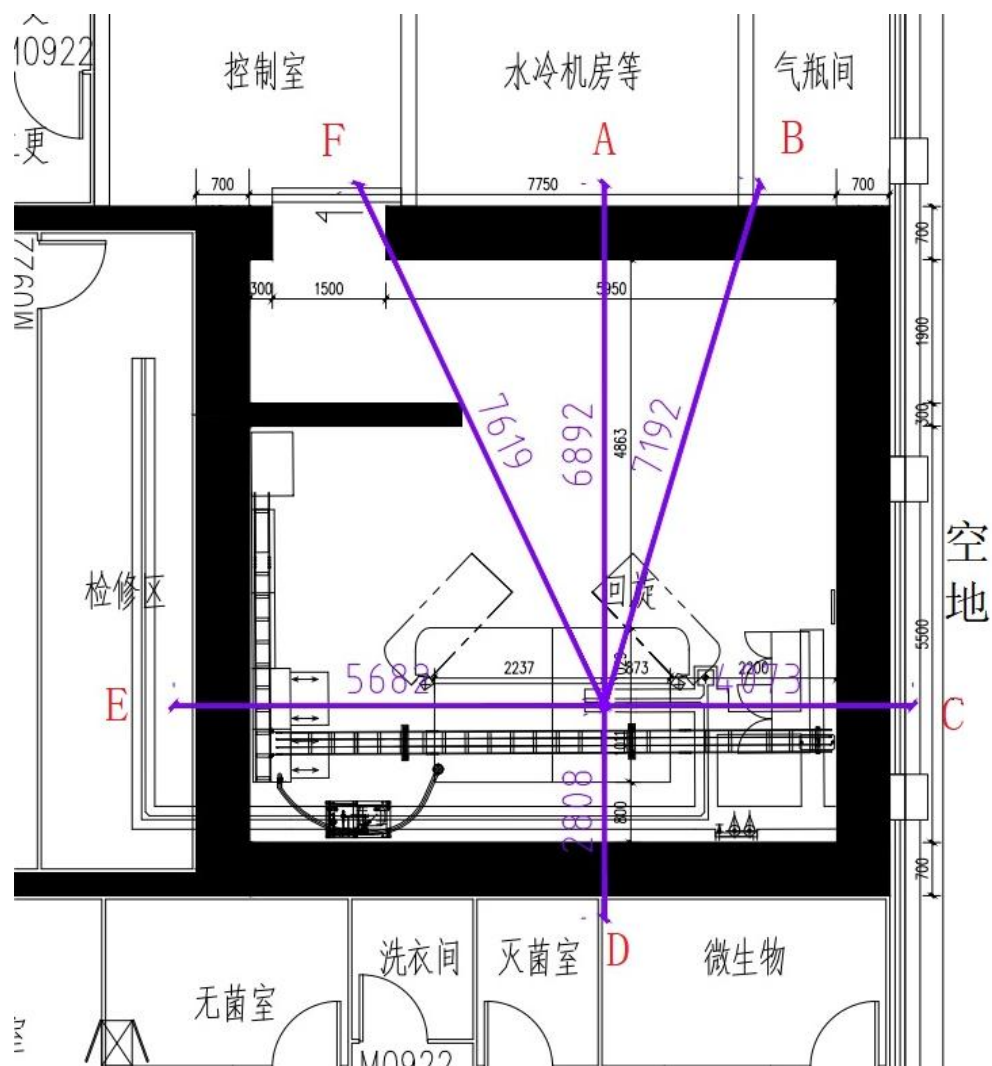


图 4-30 回旋加速器机房平面布点图

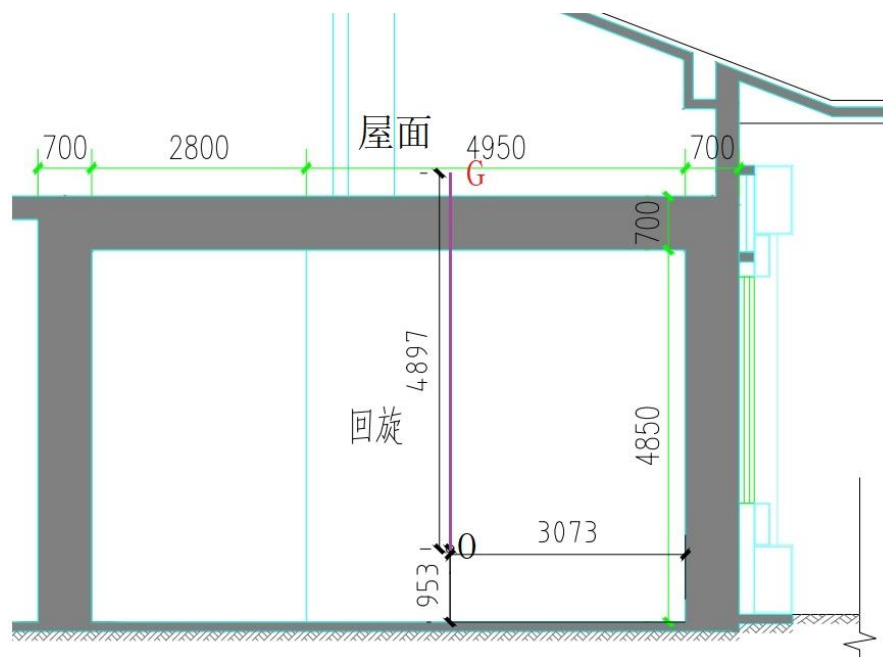


图 4-31 回旋加速器机房剖面布点图

表 4-34 回旋加速器机房屏蔽核算

防护关注点	剂量率控制值 (μ Sv/h)	屏蔽墙外关注点距靶心的距离 R (m)	参考点距靶心的距离 r0 (m)	核算厚度 (cm) *	设计厚度 (cm)	根据设计厚度核算剂量率结果 (μ Sv/h)		评价意见
屏蔽墙 A	γ 射线 ≤ 1.25	6.89	2.03	γ 射线: $\geq 14\text{cm}$ 混凝土	70cm 混凝土	γ 射线: 0.04	总: 0.05	设计可行
	中子 ≤ 1.25			中子: ——		中子: 0.01		
屏蔽墙 B	γ 射线 ≤ 1.25	7.19	2.03	γ 射线: $\geq 13\text{cm}$ 混凝土	70cm 混凝土	γ 射线: 0.04	总: 0.05	设计可行
	中子 ≤ 1.25			中子: ——		中子: 0.01		
屏蔽墙 C	γ 射线 ≤ 1.25	4.07	1.87	γ 射线: $\geq 30\text{cm}$ 混凝土	70cm 混凝土	γ 射线: 0.13	总: 0.28	设计可行
	中子 ≤ 1.25			中子: $\geq 33\text{cm}$ 混凝土		中子: 0.15		
屏蔽墙 D	γ 射线 ≤ 1.25	2.81	2.01	γ 射线: $\geq 29\text{cm}$ 混凝土	70cm 混凝土	γ 射线: 0.10	总: 0.29	设计可行
	中子 ≤ 1.25			中子: $\geq 35\text{cm}$ 混凝土		中子: 0.19		
屏蔽墙 E	γ 射线 ≤ 1.25	5.68	3.22	γ 射线: $\geq 44\text{cm}$ 混凝土	70cm 混凝土	γ 射线: 0.26	总: 1.11	设计可行
	中子 ≤ 1.25			中子: $\geq 63\text{cm}$ 混凝土		中子: 0.85		
顶面墙 G	γ 射线 ≤ 1.25	4.90	2.20	γ 射线: $\geq 16\text{cm}$ 混凝土	70cm 混凝土	γ 射线: 0.05	总: 0.12	设计可行
	中子 ≤ 1.25			中子: $\geq 16\text{cm}$ 混凝土		中子: 0.07		
防护门 F	γ 射线 ≤ 1.25	7.62	2.03	γ 射线: $\geq 14.7\text{mmPb}$	22mmPb+12cm 含硼聚乙烯	γ 射线: 0.89	总: 1.04	设计可行
	中子 ≤ 1.25			——		中子: 0.15		

注: 1. “——”表示屏蔽体计算点处剂量率小于剂量率控制值, 可不作屏蔽要求; 2. γ 射线与中子核算厚度取大值, 不用累加防护厚度。

表 4-35 核医学科有关用房的屏蔽核算

屏蔽体		剂量 控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	核算 核素	核算参数	核算厚度	医院屏蔽设计防护厚度	根据拟采用厚 度核算剂量率 结果($\mu\text{Sv/h}$)	评价意见
二楼 PET 检查区								
PET/CT 检查室 1、2 (370 MBq)	顶棚	2.5	CT	140kV	$\geq 22\text{cm}$ 混凝土	综合取大值： $\geq 22\text{cm}$ 混凝土	< 0.01	设计可行
			^{18}F	$\dot{H}_0 = 52.9 \mu\text{Sv/h}$, $r = 3.8\text{m}$	$\geq 2.9\text{cm}$ 混凝土		0.07	
	地板	0.5	CT	140kV	$\geq 22\text{cm}$ 混凝土	综合取大值： $\geq 22\text{cm}$ 混凝土	< 0.01	设计可行
			^{18}F	$\dot{H}_0 = 52.9 \mu\text{Sv/h}$, $r = 4.5\text{m}$	$\geq 12.6\text{cm}$ 混凝土		0.05	
	四面墙体	2.5	CT	140kV	$\geq 22\text{cm}$ 混凝土	综合取大值： $\geq 22\text{cm}$ 混凝土	< 0.01	设计可行
			^{18}F	$\dot{H}_0 = 52.9 \mu\text{Sv/h}$, $r = 2.5\text{m}$	$\geq 9.3\text{cm}$ 混凝土		0.23	
	观察窗	2.5	CT	140kV	$\geq 2.5\text{mmPb}$ 铅玻璃	综合取大值： $\geq 6.2\text{mmPb}$ 铅玻璃	< 0.01	设计可行
			^{18}F	$\dot{H}_0 = 52.9 \mu\text{Sv/h}$, $r = 3.0\text{m}$	$\geq 8.8\text{mmPb}$ 铅玻璃		0.84	
	防护门 (2 扇)	2.5	CT	140kV	$\geq 2.5\text{mmPb}$ 铅板	综合取大值： $\geq 6.2\text{mmPb}$ 铅板	< 0.01	设计可行
			^{18}F	$\dot{H}_0 = 52.9 \mu\text{Sv/h}$, $r = 3.0\text{m}$	$\geq 8.8\text{mmPb}$ 铅板		0.84	
分装室 (370 MBq)	顶棚	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0 = 52.9 \mu\text{Sv/h}$, $r = 3.8\text{m}$	$\geq 2.9\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.07	设计可行
	地板	0.5	^{18}F	$\dot{H}_0 = 52.9 \mu\text{Sv/h}$, $r = 4.5\text{m}$	$\geq 12.6\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.05	设计可行
	东南墙体 (大厅)	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0 = 52.9 \mu\text{Sv/h}$, $r = 1.5\text{m}$	$\geq 17.1\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.46	设计可行
	其余三面 墙体	10	^{18}F	$\dot{H}_0 = 52.9 \mu\text{Sv/h}$, $r = 1.5\text{m}$	$\geq 6.5\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.46	设计可行
	防护门 (临患者 通道)	10	^{18}F	$\dot{H}_0 = 52.9 \mu\text{Sv/h}$, $r = 1.5\text{m}$	$\geq 6.2\text{mmPb}$ 铅板	9mmPb 铅板	6.75	设计可行
	防护门 (临卫生	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0 = 52.9 \mu\text{Sv/h}$, $r = 2.0\text{m}$	$\geq 12\text{mmPb}$ 铅板	14mmPb 铅板	1.90	设计可行

屏蔽体		剂量 控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	核算 核素	核算参数	核算厚度	医院屏蔽设计防护厚度	根据拟采用厚度 核算剂量率 结果($\mu\text{Sv/h}$)	评价意见
	通过间)							
	注射台	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{Sv/h}$, $r=0.5\text{m}$	$\geq 34\text{mmPb}$	40mmPb	1.13	设计可行
PET/CT 注射后 候诊室 14、 PET/MR 候诊室 (740 MBq)	顶棚	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=106\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 8.2\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.14	设计可行
	地板	0.5	^{18}F	$\dot{H}_0=106\mu\text{Sv/h}$, $r=4.5\text{m}$	$\geq 18\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.10	设计可行
	四周墙体	10	^{18}F	$\dot{H}_0=106\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 11.8\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.93	设计可行
	防护门	10	^{18}F	$\dot{H}_0=106\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 11.2\text{mmPb}$ 铅板	13mmPb 铅板	7.76	设计可行
PET/CT 留观 室、PET/MR 留 观室 (508MBq)	顶棚	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=72.6\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 5.3\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.10	设计可行
	地板	0.5	^{18}F	$\dot{H}_0=72.6\mu\text{Sv/h}$, $r=4.5\text{m}$	$\geq 15\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.07	设计可行
	四周墙体	10	^{18}F	$\dot{H}_0=72.6\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 9\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.64	设计可行
	临楼梯间 墙体	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=72.6\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 11.7\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.64	设计可行
	防护门	10	^{18}F	$\dot{H}_0=72.6\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 8.4\text{mmPb}$ 铅板	12mmPb 铅板	6.11	设计可行
抢救室 (370 MBq)	顶棚	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 2.9\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.07	设计可行
	地板	0.5	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{Sv/h}$, $r=4.5\text{m}$	$\geq 12.6\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.05	设计可行
	四周墙体	10	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 6.5\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.46	设计可行
	防护门	10	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 6.2\text{mmPb}$ 铅板	9mmPb 铅板	6.75	设计可行
患者通道	顶棚	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 2.9\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.07	设计可行
	地板	0.5	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{Sv/h}$, $r=4.5\text{m}$	$\geq 12.6\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.05	设计可行
	墙体 (临 监督区)	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 17.1\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.46	设计可行
	防护门	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=52.9\mu\text{Sv/h}$, $r=2.0\text{m}$	$\geq 12\text{mmPb}$ 铅板	14mmPb 铅板	1.90	设计可行

屏蔽体		剂量 控制值 ($\mu\text{ Sv/h}$)	核算 核素	核算参数	核算厚度	医院屏蔽设计防护厚度	根据拟采用厚 度核算剂量率 结果($\mu\text{ Sv/h}$)	评价意见
二楼核素治疗区								
分装室 (7400MBq)	顶棚	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	——	30cm 混凝土	0.02	设计可行
	地板	0.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, $r=4.5\text{m}$	$\geq 8.1\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.02	设计可行
	西南墙体 (注射室)	10	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 2.9\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.16	设计可行
	其余墙体	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 11.9\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.16	设计可行
	防护门 (临卫生 通过间)	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 4.5\text{mmPb}$ 铅板	7mmPb 铅板	0.93	设计可行
	防护门 (临注射 室、固废 暂存间)	10	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 1\text{mmPb}$ 铅板	5mmPb 铅板	1.56	设计可行
注射室 (7400MBq)	顶棚	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	——	30cm 混凝土	0.02	设计可行
	地板	0.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, $r=4.5\text{m}$	$\geq 8.1\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.02	设计可行
	四周墙体	10	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 2.9\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.16	设计可行
	防护门	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 4\text{mmPb}$ 铅板	7mmPb 铅板	0.62	设计可行
	注射台	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, $r=0.5\text{m}$	$\geq 10\text{mmPb}$	15mmPb	0.33	设计可行
核素病房 1-6、 核素治疗留观 病房 (7400MBq)	顶棚	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	——	30cm 混凝土	0.02	设计可行
	地板	0.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, $r=4.5\text{m}$	$\geq 8.1\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.02	设计可行
	四周墙体	10	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 2.9\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.16	设计可行
	临楼梯间 墙体	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 11.9\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.16	设计可行

屏蔽体		剂量 控制值 (μ Sv/h)	核算 核素	核算参数	核算厚度	医院屏蔽设计防护厚度	根据拟采用厚度 核算剂量率 结果(μSv/h)	评价意见	
	防护门	10	¹⁷⁷ Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, r=2.0m	——	5mmPb 铅板	1.17	设计可行	
抢救室 (7400MBq)	顶棚	2.5	¹⁷⁷ Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, r=3.8m	——	30cm 混凝土	0.02	设计可行	
	地板	0.5	¹⁷⁷ Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, r=4.5m	≥8.1cm 混凝土	30cm 混凝土	0.02	设计可行	
	临医生通道、 临值班室墙体	2.5	¹⁷⁷ Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, r=1.5m	≥11.9cm 混凝土	30cm 混凝土	0.16	设计可行	
	其余墙体	10	¹⁷⁷ Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, r=1.5m	≥11.9cm 混凝土	30cm 混凝土	0.16	设计可行	
	临患者通道 防护门	10	¹⁷⁷ Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, r=1.5m	≥1.1mmPb 铅板	5mmPb 铅板	2.07	设计可行	
	卫生通过 间防护门	2.5	¹⁷⁷ Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, r=1.5m	≥4.5mmPb 铅板	7mmPb 铅板	0.93	设计可行	
	病房通道 (7400MBq)	顶棚	2.5	¹⁷⁷ Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, r=3.8m	——	30cm 混凝土	0.02	设计可行
地板		0.5	¹⁷⁷ Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, r=4.5m	≥8.1cm 混凝土	30cm 混凝土	0.02	设计可行	
防护门		2.5	¹⁷⁷ Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, r=2.0m	≥3.1mmPb 铅板	7mmPb 铅板	0.52	设计可行	
三楼 SPECT/CT 检查区									
SPECT/CT 检查室 1、2 (925 MBq)	顶棚	2.5	CT	140kV	≥22cm 混凝土	综合取大值： ≥22cm 混凝土	30cm 混凝土	<0.01	设计可行
			^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\ \mu\text{ Sv/h}$, r=3.8m	——			<0.01	
	地板	2.5	CT	140kV	≥22cm 混凝土	综合取大值： ≥22cm 混凝土	30cm 混凝土	<0.01	设计可行
			^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\ \mu\text{ Sv/h}$, r=3.8m	——			<0.01	
	四面墙体	2.5	CT	140kV	≥22cm 混凝土	综合取大值： ≥22cm 混凝土	30cm 混凝土	<0.01	设计可行
			^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\ \mu\text{ Sv/h}$, r=2.5m	≥2.8cm 混凝土			<0.01	
	观察窗	2.5	CT	140kV	≥2.5mmPb 铅玻璃	综合取大值： ≥2.5mmPb 铅玻璃	4mmPb 铅玻璃	<0.01	设计可行
			^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\ \mu\text{ Sv/h}$, r=3.0m	≥0.1mmPb 铅玻璃			<0.01	

屏蔽体		剂量 控制值 (μ Sv/h)	核算 核素	核算参数	核算厚度		医院屏蔽设计防护厚度	根据拟采用厚度 核算剂量率 结果(μSv/h)	评价意见
	防护门 (2扇)	2.5	CT	140kV	≥2.5mmPb 铅板	综合取大值： ≥2.5mmPb 铅板	4mmPb 铅板	<0.01	设计可行
			^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=3.0m	≥0.1mmPb 铅板			<0.01	
分装室（925 MBq）	顶棚	2.5	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=3.8m	——		30cm 混凝土	<0.01	设计可行
	地板	2.5	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=3.8m	——		30cm 混凝土	<0.01	设计可行
	东南墙体 (大厅)	2.5	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=1.5m	≥7.7cm 混凝土		30cm 混凝土	0.02	设计可行
	其余三面 墙体	10	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=1.5m	≥1.0cm 混凝土		30cm 混凝土	0.02	设计可行
	防护门 (临患者 通道)	10	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=1.5m	≥0.1mmPb 铅板		3mmPb 铅板	0.01	设计可行
	防护门 (临卫生 通过间)	2.5	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=2.0m	≥0.5mmPb 铅板		3mmPb 铅板	<0.01	设计可行
	注射台	2.5	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=0.5m	≥1.7mmPb 铅板		10mmPb 铅板	<0.01	设计可行
抢救室（925 MBq）	顶棚	2.5	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=3.8m	——		30cm 混凝土	<0.01	设计可行
	地板	2.5	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=3.8m	——		30cm 混凝土	<0.01	设计可行
	临楼梯间 墙体	2.5	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=1.5m	≥7.7cm 混凝土		30cm 混凝土	0.02	设计可行
	其余墙体	10	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=1.5m	≥1.0cm 混凝土		30cm 混凝土	0.02	设计可行
	防护门	10	^{99m} Tc	$\dot{H}_0=28\text{ }\mu\text{ Sv/h}$, r=2m	≥0.5mmPb 铅板		3mmPb 铅板	<0.01	设计可行

屏蔽体		剂量 控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	核算 核素	核算参数	核算厚度	医院屏蔽设计防护厚度	根据拟采用厚 度核算剂量率 结果($\mu\text{Sv/h}$)	评价意见
注射后侯检室 1、2 (9250MBq)	顶棚	2.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=280\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 9.8\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.04	设计可行
	地板	2.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=280\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 9.8\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.04	设计可行
	其余墙体	10	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=280\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 12\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.23	设计可行
	防护门	10	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=280\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 1.1\text{mmPb}$ 铅板	3mmPb 铅板	0.12	设计可行
SPECT 留观室 (4625MBq)	顶棚	2.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=140\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 6.5\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.02	设计可行
	地板	2.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=140\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 6.5\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.02	设计可行
	其余墙体	10	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=140\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 8.7\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.12	设计可行
	防护门	10	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=140\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 0.8\text{mmPb}$ 铅板	3mmPb 铅板	0.06	设计可行
患者通道 (925MBq)	顶棚	2.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=28\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	——	30cm 混凝土	<0.01	设计可行
	地板	2.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=28\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	——	30cm 混凝土	<0.01	设计可行
	墙体（临 监督区）	2.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=28\mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 7.7\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.02	设计可行
	防护门	2.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=28\mu\text{Sv/h}$, $r=2.0\text{m}$	$\geq 0.5\text{mmPb}$ 铅板	3mmPb 铅板	<0.01	设计可行
三楼核素治疗区								
服药室（7400 MBq）	顶棚	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 18.5\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.52	设计可行
	地板	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 18.5\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.52	设计可行

屏蔽体		剂量 控制值 (μ Sv/h)	核算 核素	核算参数	核算厚度	医院屏蔽设计防护厚度	根据拟采用厚 度核算剂量率 结果(μ Sv/h)	评价意见
	四周墙体	10	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 22\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	3.36	设计可行
	防护门	10	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 14.2\text{mmPb}$ 铅板	17mmPb 铅板	5.57	设计可行
甲亢留观室 (1110 MBq)	顶棚	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=66 \mu \text{ Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 4.5\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.08	设计可行
	地板	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=66 \mu \text{ Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 4.5\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.08	设计可行
	四周墙体	10	^{131}I	$\dot{H}_0=66 \mu \text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 8\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.50	设计可行
	防护门	10	^{131}I	$\dot{H}_0=66 \mu \text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 5.2\text{mmPb}$ 铅板	9mmPb 铅板	4.46	设计可行
核素病房 1-6 (7400 MBq)	顶棚	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 18.5\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.52	设计可行
	地板	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 18.5\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.52	设计可行
	临楼梯间 墙体	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 30\text{cm}$ 混凝土+1.2cm 硫酸钡	30cm 混凝土+3cm 硫酸钡材料	1.62	设计可行
	其余墙体	10	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 22\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	3.36	设计可行
	防护门	10	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=2\text{m}$	$\geq 11.5\text{mmPb}$ 铅板	15mmPb 铅板	4.76	设计可行
抢救室 (7400 MBq)	顶棚	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 18.2\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.50	设计可行
	地板	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 18.2\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.50	设计可行
	临医生通 道、临值	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3 \mu \text{ Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 30\text{cm}$ 混凝土+1.2cm 硫酸钡材料	30cm 混凝土+3cm 硫酸钡材料	1.62	设计可行

屏蔽体		剂量 控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	核算 核素	核算参数	核算厚度	医院屏蔽设计防护厚度	根据拟采用厚 度核算剂量率 结果($\mu\text{Sv/h}$)	评价意见
	班室墙体							
	其余墙体	10	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\ \mu\text{Sv/h}$, $r=1.5\text{m}$	$\geq 22\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	3.36	设计可行
	临患者通 道防护门	10	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\ \mu\text{Sv/h}$, $r=2\text{m}$	$\geq 11.5\text{mmPb}$ 铅板	15mmPb 铅板	4.76	设计可行
	卫生通过 间防护门	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\ \mu\text{Sv/h}$, $r=2\text{m}$	$\geq 18\text{mmPb}$ 铅板	20mmPb 铅板	1.67	设计可行
病房通道 (7400 MBq)	顶棚	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\ \mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 18.2\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.50	设计可行
	地板	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\ \mu\text{Sv/h}$, $r=3.8\text{m}$	$\geq 18.2\text{cm}$ 混凝土	30cm 混凝土	0.50	设计可行
	入口防护 门	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\ \mu\text{Sv/h}$, $r=2.5\text{m}$	$\geq 16\text{mmPb}$ 铅板	18mmPb 铅板	1.63	设计可行
	出口防护 门	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\ \mu\text{Sv/h}$, $r=2.5\text{m}$	$\geq 16\text{mmPb}$ 铅板	18mmPb 铅板	1.63	设计可行
	病房隔离 防护门	10	^{131}I	$\dot{H}_0=440.3\ \mu\text{Sv/h}$, $r=2.0\text{m}$	$\geq 11.5\text{mmPb}$ 铅板	15mmPb 铅板	4.76	设计可行
热室 (37000MBq)	合成柜	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=5291\ \mu\text{Sv/h}$, $r=0.5\text{m}$	$\geq 65\text{mmPb}$	70mmPb	1.28	设计可行
	分装柜	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=5291\ \mu\text{Sv/h}$, $r=0.5\text{m}$	$\geq 65\text{mmPb}$	70mmPb	1.28	设计可行
^{18}F 分装柜 (11100MBq)	柜体	2.5	^{18}F	$\dot{H}_0=1587\ \mu\text{Sv/h}$, $r=0.5\text{m}$	$\geq 57\text{mmPb}$	60mmPb	1.54	设计可行
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装柜 (37000MBq)	柜体	2.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$\dot{H}_0=1121\ \mu\text{Sv/h}$, $r=0.5\text{m}$	$\geq 3.3\text{mmPb}$	20mmPb	<0.01	设计可行
^{131}I 分装柜 (37000MBq)	柜体	2.5	^{131}I	$\dot{H}_0=2202\ \mu\text{Sv/h}$, $r=0.5\text{m}$	$\geq 39\text{mmPb}$	45mmPb	0.71	设计可行

屏蔽体		剂量 控制值 (μ Sv/h)	核算 核素	核算参数	核算厚度	医院屏蔽设计防护厚度	根据拟采用厚 度核算剂量率 结果(μ Sv/h)	评价意见
^{177}Lu 分装柜 (7400MBq)	柜体	2.5	^{177}Lu	$\dot{H}_0=35.2\ \mu\text{ Sv/h}$, $r=0.5\text{m}$	$\geq 10\text{mmPb}$	15mmPb	0.33	设计可行
注：1.以上核算材料实心砖密度 $\geq 1.65\text{g/cm}^3$ ；混凝土密度 $\geq 2.35\text{g/cm}^3$ ；硫酸钡防护材料密度 $\geq 3.2\text{g/cm}^3$ ；铅密度 $\geq 11.3\text{g/cm}^3$ 。 2.表中“——”表示屏蔽体计算点处剂量率小于剂量率控制值，可不做屏蔽要求。 3.相邻用房之间的共用墙体按防护量较大者做防护。								

综合上述核算结果可知，核医学各功能用房屏蔽设计厚度均不低于理论核算厚度。

表 4-36 核医学科其他用房的防护设计防护评价

屏蔽体		医院拟采取的防护厚度	备注	评价意见
三楼核素治疗区				
三楼核素治疗 ¹³¹ I分装室	顶棚	30cm 混凝土	四楼分装室操作 ¹³¹ I 均在分装柜内进行，分装柜具有屏蔽作用，放射源在分装室内的运输均在防护铅罐内，正常情况下不会存在放射源裸露在分装室的情况，因此对于四楼分装室的屏蔽结构设计厚度满足要求。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	7mmPb 铅板		设计可行
储源室	顶棚	30cm 混凝土	存储放射源时均储存在防护容器内，实践发现这些专用防护容器外的泄漏辐射剂量水平较低，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb 铅板		设计可行
固废暂存间/被服间	顶棚	30cm 混凝土	存储固体废物时均储存在铅废物桶内，实践发现这些专用防护容器外的泄漏辐射剂量水平较低，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb 铅板		设计可行
剂量检测室	顶棚	30cm 混凝土	患者剂量检测时，人体辐射剂量水平，已接近出院活度，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb 铅板		设计可行
二楼核素治疗区				
储源室	顶棚	30cm 混凝土	存储放射源时均储存在防护容器内，实践发现这些专用防护容器外的泄漏辐射剂量水平较低，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb 铅板		设计可行
固废暂存间/被服间	顶棚	30cm 混凝土	存储固体废物时均储存在铅废物桶内，实践发现这些专用防护容器外的泄漏辐射剂量水平较低，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb 铅板		设计可行
剂量检测室	顶棚	30cm 混凝土	患者剂量检测时，人体辐射剂量水平，已接近出院活度，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb 铅板		设计可行
三楼 SPECT 检查区				
储源室	顶棚	30cm 混凝土	存储放射源时均储存在防护容器内，实践发	设计可行

屏蔽体		医院拟采取的防护厚度	备注	评价意见
	地板	30cm 混凝土	现这些专用防护容器外的泄漏辐射剂量水平较低，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	3mmPb 铅板		设计可行
固废间	顶棚	30cm 混凝土	存储固体废物时均储存在铅废物桶内，实践发现这些专用防护容器外的泄漏辐射剂量水平较低，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	3mmPb 铅板		设计可行
二楼 PET 检查区				
储源室	顶棚	30cm 混凝土	存储放射源时均储存在防护容器内，实践发现这些专用防护容器外的泄漏辐射剂量水平较低，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb 铅板		设计可行
固废间	顶棚	30cm 混凝土	存储固体废物时均储存在铅废物桶内，实践发现这些专用防护容器外的泄漏辐射剂量水平较低，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb 铅板		设计可行
一楼回旋加速器制药区				
一楼分装合成热室	顶棚	30cm 混凝土	热室内放射源操作均在分装合成柜内进行，分装合成柜均有屏蔽作用，药物的在热室里面的运输均在防护铅罐内，正常情况不会存在放射源裸露在热室的情况。分装柜具有屏蔽作用，因此对热室的屏蔽结构设计厚度满足要求。	设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb		设计可行
固废间	顶棚	30cm 混凝土	存储固体废物时均储存在铅废物桶内，实践发现这些专用防护容器外的泄漏辐射剂量水平较低，故不再进行屏蔽核算。	设计可行
	地板	30cm 混凝土		设计可行
	四面墙体	30cm 混凝土		设计可行
	防护门	5mmPb 铅板		设计可行

11.4 事故影响分析

11.4.1 核医学科可能的辐射事故

根据污染源分析，跟项目核医学科可能存在的最大潜在辐射事故包括：

① 放射性药物因操作不慎可能洒落在操作台面、地面上，使操作台面、地面受污染；

② 放射性药物丢失、被盗，散落的放射性药物对周围活动人员产生照射；

③ 工作场所发生火灾、爆炸等造成放射性药物泄露；

屏蔽体	医院拟采取的防护厚度	备注	评价意见
④ 放射性药物使用过程中产生的放射性废物如果管理不善，随处堆放、散落，将造成周围环境的放射性污染，并且会扩散到空气中进入人体而造成内照射。			
11.4.2 辐射事故等级分析			
按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 449 号）第四十条 对于事故的分级原则，现将本项目的风险因子、潜在危害及可能发生的事故等级列于表 11-8。			
表 11-8 辐射事故等级划分表			
事故等级	危害结果		
特别重大辐射事故	放射性同位素失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。		
重大辐射事故	放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以上（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。		
较大辐射事故	放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。		
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。		

11.4.3 最大可能性事故分析

1、放射性药物洒漏或遗失

假设放射性核素分装过程中导致放射性药物试剂瓶或铅罐打翻或破碎，或放射性药物分装过程中放射性药物泄漏或丢失，选取常用的 ¹³¹I 核素为例。¹³¹I 核素日最大操作量为 1.1E+10Bq。

本次预测事故情况假设 ¹³¹I 试剂瓶丢失，丢失时装有 1.1E+10Bq 的 ¹³¹I 核素；假设受照人员未采取任何屏蔽措施，近距离接触取 0.1m，事故持续时间为 2h。¹³¹I 携带人员受照剂量约为 1308mSv，事故持续时间内已受到超过年剂量限值的照射，考虑的整个事故持续周期 2h 内，急性放射病发病率均在 1%之下，事故持续周期内可造成人员超剂量照射而导致一般辐射事故。计算过程未考虑 ¹³¹I 的衰变，计算结果偏保守。

3、放射源丢失、被盗

假设医院使用的V类放射源 ⁹⁰Sr-敷贴器源丢失或被盗，造成人员受照剂量超过年剂量限值，根据《贵州省生态环境厅辐射事故应急预案》中规定：V类放射源丢失、被盗，属于一般辐射事故。

屏蔽体	医院拟采取的防护厚度	备注	评价意见
11.4.4 核医学科辐射事故应急措施 发生辐射事故时，应立即启动应急预案，采取的应急处理措施如下： （1）由于操作不慎，有少量液态药物溅洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边缘向中心擦抹，直到擦干污染区。最后用表面污染监测仪监测污染区，如果β表面污染大于$4\text{Bq}/\text{cm}^2$，表明该污染区未达到控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区β表面污染小于$4\text{Bq}/\text{cm}^2$为止。 （2）因不慎造成放射性药物大面积污染地面或台面是，应先用吸收滤纸将其吸干，以防扩散，并立即标记污染范围，注明放射性核素名称、日期。根据污染程度及时报告上级领导和有关部门。 （3）若发生放射性药物丢失、被盗，应第一时间将事故情况通报有关部门（生态环境、公安、卫生等），并启动单位辐射应急预案；分析确定丢失、被盗事故的具体时间及原因，向有关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗放射性药物。在查找过程中携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射；对放射性药物丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，根据辐射剂量率大小划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场。 （4）放射性废物处置或管理不当造成污染时，立即划定警戒区，并设置放射性污染标识，限制无关人员靠近，由专业人员处理，经监测满足解控要求后再解除警戒。 医院对于辐射事故应进行记录：包括事故发生的时间和地点，所有涉及的事故责任人和受害者名单；对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果；所做的任何医学检查及结果；采取的任何纠正措施；事故的可能原因；为防止类似事件再次发生所采取的措施。 11.4.5 核医学科辐射事故防范措施 （1）定期开展安全装置与设施检查，保证检查室机房电动推拉防护门门灯联锁装置有效。制定并落实操作规范，工作人员定期培训。 （2）做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。			

屏蔽体	医院拟采取的防护厚度	备注	评价意见
(3) 制定并落实核医学科辐射防护制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。应设置防盗门、防盗窗及报警装置等设施，做好防盗工作。 (4) 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，配备必要的防护用品，减少药物操作和运输过程中洒漏事故发生。 (5) 加强工作人员自身防护安全意识，定期组织培训，使工作人员明确配备的防护用品（铅衣、铅手套、铅围裙、铅颈套、铅眼镜等）及存放位置。 (6) 做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。 (7) 加强对有药患者的管理，在不影响诊断的情况下，合理安排其服药量，并对出院的有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公共场所去活动，并避免与家人近距离密切接触。 (8) 放射性性固体废物衰变箱外应标注内含核素种类、封存时间。医院应加强放射性废水和固废排放处理管理，按照本环评要求的衰变时间停留衰变，处理前进行监测，达到解控水平后方可进行进一步处理。			

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，遵照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中关于“营运管理”的要求，建设单位需制定相应的辐射安全管理制度。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护总局令第 31 号，2006 年 3 月 1 日施行，2021 年 1 月 4 日经生态环境令第 20 号修订）第十六条要求：“使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。辐射安全管理机构成员和辐射工作人员均需参加辐射安全与防护培训并取得培训合格证”。

贵州医科大学附属医院已成立辐射安全防护管理工作领导小组，落实了机构的成员及其职责，并通过此机构进一步建立辐射安全责任书，落实安全责任，制订辐射防护措施等。加强辐射安全管理，制定放射诊疗设备的相关操作规程、辐射防护安全制度和放射事故应急处理预案，并负责组织开展放射事件的应急处理救援工作。

12.1.1 辐射安全与环境保护管理机构

按照国务院令第 449 号《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与防护管理办法》及环境保护主管部门的要求。医院成立了放射防护与辐射安全管理小组（见附件 6）。领导小组下设办公室在设备科，负责对辐射防护相关工作进行控制和管理。

职责：

负责按照相关的法律法规和行业法规，领导全院辐射安全工作，组织贯彻落实相关的政策法规，指导相关业务部门，按标准要求，规范执业行为，切实维护从业人员

和患者的就医安全。

(1) 研究部署全院核与辐射安全管理工作，负责医院辐射防护安全检查、监督、协调和指导等工作，负责协调处理辐射事故突发事件。

(2) 负责建立核与辐射安全管理的相关制度及应急预案等，并组织实施。

(3) 负责监督、落实医院核与辐射安全各项规章制度，避免辐射事故的发生。

(4) 定期对辐射安全与防护工作进行督查，对于在工作上出现“不履职”“软作为”“慢作为”“不作为”等情况的，一经查实，按医院纪委相关纪律要求从严处理。

12.1.2 放射工作人员及培训

医院拟在项目建成前按《放射诊疗管理规定》第七条规定的人员要求配置相关的工作人员，人员在医院内进行调配和培训，不新增工作人员。

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中第十六条第二款的要求，从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中第二十八条的要求，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当对直接从事生产、销售、使用活动的工作人员进行安全和防护知识教育培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。

根据生态环境部《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（2019年，第57号）的相关要求，自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部培训平台报名并参加考核。2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效；自行考核结果有效期五年，有效期届满的，应当由核技术利用单位组织再培训和考核。

本环评要求所有辐射工作人员需在上岗前进行培训并且取得培训合格证才能上岗，医院禁止无证操作，并计划每五年组织一次复训。未取得培训合格证的放射工作人员需按照生态环境部（公告2019年第57号）和生态环境部（公告2021年第9号）的要求，在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习相关知识，通过培训平台报名并参加考核，考核合格后再持证上岗。医院按照生态环境部《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（公告2021年第9号）的要求计，划每五年组织一次复训。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第449号)、《放射性

同位素与射线装置安全许可管理办法（2021 修订）》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环境保护部令第 18 号)中的有关要求，使用放射性同位素的单位要健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、放射性同位素使用登记制度、设备台账登记制度、人员培训计划、监测方案等；有完善的辐射事故应急方案；产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放可行的处理方案；使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位，还应制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划。

医院已根据相关标准要求制定了

等相关的辐射防护管理制度。医院还应根据相关条例、办法以及本报告的要求在今后运行中结合实际工作不断完善，使其具有较强的针对性和可操作性，现对各项制度提出相应的建议如下：

操作规程：明确核医学场所辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及具体操作步骤。重点是：①确保开展辐射工作时所有辐射屏蔽措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；②从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

辐射防护和安全保卫制度：根据核医学辐射工作场所操作的具体情况制定相应的辐射防护和安全保卫制度。重点是：①定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪保持良好工作状态；②工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护，建立健康监护档案，并终身保存。

台账登记制度：建立非密封放射性物质的台账管理制度，放射性同位素的交接制度，重点是：核医学科使用的放射性同位素的使用情况等由专人负责登记、专人形成台帐、每月核对，确保使用情况与登记相符。

人员培训计划：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。相关辐射工作人员应及时学习最新的国家政策法规及标准，熟练掌握放射性防护知识、最新的操作技术。根据中华人民共和国环境保护部 18 号令，取得辐射安全培训合格证书的人员，应当每五年接受一次再培训，并按照《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号，2020 年 1 月 1 日施行）的要求参与贵州省生态环境厅组织的辐射安全与防护知识的考核。

监测方案：明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报环境保护行政主管部门。为了确保乙级非密封放射性物质工作场所的辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：①配备辐射巡测仪以及 α 、 β 表面沾污仪，用于辐射工作场所定期自行检测；②为本项目各辐射工作场所均配备 1 台个人剂量报警仪，定期开展放射性监测工作；③辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量、职业健康检查档案；④委托有资质监测单位对本项目的各辐射工作场所的安全和防护状况进行年度检测，每年 1 月 31 日前在全国辐射安全申报系统向生态环境部提交上一年度的评估报告，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

岗位职责：明确各辐射工作场所操作人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

核医学科防交叉管理制度：核医学科为了防止不同治疗需求的病人之间交叉影响，医院应制定错峰诊疗的时间管理制度规避核医学科交叉污染。

质量保证大纲和质量控制检测计划：明确各放射设备的质量控制检测项目，制定质量保证大纲，医院拟为核医学场所配备 1 台表面活度计，发现设备不能满足质控要求时，应及时委托设备厂家进行维修、调试。

综上所述，医院在落实上述制度后，能够确保医院核医学场所的安全使用，满足国家相关的管理及技术层面要求。

12.3 辐射监测

12.3.1 辐射监测及个人剂量监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，需建立辐射剂量监测制度，包括工环境监测、作场所监测和个人剂量监测。

本项目核医学科属于乙级非密封放射性物质工作场所，根据国家环境保护部令第3号《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警仪、辐射剂量巡测仪、表面污染监测仪等仪器，用于对辐射工作场所周围的辐射水平进行巡测。

医院应定期请有资质的单位对辐射工作场所和周围环境的辐射水平进行监测，包括仪器设备防护性能的检测，每年1~2次；医院定期对辐射场所周围辐射水平进行监测，并对监测结果进行记录，定期对放射性废水、放射性固体废物、放射性废气进行核素分析和总 β 放射性活度；本项目辐射工作人员均应佩戴个人剂量计监测累积剂量，核医学场所核素操作人员在穿戴防护用品的情况下铅衣内外分别进行个人剂量监测，定期（不少于1次/季度）送有资质部门进行个人剂量测量，并建立个人剂量档案，辐射环境监测计划及方案要求见表12-1。同时医院应定期安排辐射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康档案。落实以上措施后，医院安全措施能够满足辐射安全的要求。

表 12-1 监测计划及方案要求一览表

监测对象	具体内容	监测频率		监测项目	采样布点
对放射工作人员	佩戴个人剂量计，个人剂量监测	3个月为一周期，一年监测四次		X- γ 累积剂量	/
工作场所和周围环境	核医学科控制区内、辐射工作人员活动区，辐射工作场所屏蔽体外30cm处（包括场所周边）	自主监测	每月一次	X- γ 辐射剂量率	机房四周屏蔽体外、防护门外等
		委托监测	每年一次	X- γ 辐射剂量率	核医学科四周屏蔽体外、防护门外等
				β 表面污染	人员易接触的工作台、分装柜或通风橱表面、注射口台面、地面、墙面等
	工作结束后辐射工作人员的衣物表面、鞋子表面及底部、手等部位	自主监测	每次工作结束后	β 表面污染	人员易接触的工作台、分装柜或通风橱表面、注射口台面、地面、墙面、工作人员的衣物表面、鞋子表面及底部、手等部位等

放射性废物	核医学科放射性废水	委托监测	排放前	总 β 放射性活度、 ^{131}I 活度浓度	排出口或抽样口
	核医学科放射性固体废物	委托监测	处理前	X- γ 辐射剂量率、 β 表面污染	固废间或贮存容器外表面
	核医学科放射性废气	委托监测	活性炭更换前后	总 β 放射性活度、 ^{131}I 活度浓度	放射性药物使用场所中与排出口
防护性能	放射性设备性能的自主稳定性和质量控制检测	每年一次；设备初次投入使用、大修及更换关键组件时	质量控制性能及防护检测	/	防护性能

12.3.2 竣工环境保护验收

贵州医科大学附属医院核技术利用新建项目，在通过审批取得辐射安全许可证后，设施投入使用后应立即自主组织验收，验收合格后方可投入使用。验收内容见表 12-2。

表 12-2 环境保护验收项目一览表

项目	“三同时”验收内容	验收要求
防护措施	核医学科废水：放射性废水单独收集，经衰变池处理后排入医院污水处理站。医院在核医学科东南侧设置 1 套衰变池废水处理系统，用于收集处理核医学科产生的放射性废水。衰变池为 4 格槽式衰变池，为混凝土结构。 排水管道外裸露的部分应采取 10mmPb 当量铅皮进行包裹，确保排水管道外表面 0.3m 处的辐射剂量率低于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。	核医学科治疗区（碘）衰变池污水处理系统满足衰变贮存时间超过 180 天，并经监测满足要求后经环保部门同意排入医院污水处理设施，并设置取样口，排放口废水中总 β 放射性活度 $\leq 10\text{Bq/L}$ ，并设置取样口。
	核医学科废气：排风系统。废气通过管道在核医学科 1 所在楼的屋顶高出感染楼屋脊的排放口排放，通风柜 1 风速不小于 1 m/s，且设置活性炭过滤装置。	安装到位、运行良好，减少放射性废气以及臭氧、氮氧化物对工作人员的影响。
	核医学科固废：源当活度达不到使用要求后，由厂家更换后回收；其他放射性废物则储存在相应的固废间的铅废物桶中，达到标准要求的衰变时间后，经检测达到清洁解控水平后，由环保主管部门批准后，方可作为普通废物处理，废物桶的配置数量为 6 个，且固废间内配置铅废物桶，容量及数量满足核医学科产生的量及贮存衰变时间的要求。确保废物桶表面 30cm 处剂量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ 。	不会产生二次污染，并设废物处置台账。

		屏蔽措施：核医学科具体防护屏蔽措施参见前文表 10-7 核医学科各功能用房拟采取的辐射防护屏蔽设计方案	满足 HJ1188-2021、GB18871-2002 要求，辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv。
安全措施		核医学科严格分区管理，各区之间通过门禁系统进行分隔，限制人员流通	满足 HJ1188-2021 要求
		各个房间外均张贴警示标志，放射性废物桶张贴电离辐射标志	按要求张贴
		岗位职责和操作规程等工作制度在合适处张贴上墙	按要求张贴
个人防护		拟配置的新增辐射工作人员，均计划参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规培训考核，考核合格后上岗。	辐射工作人员均取得辐射安全与防护知识考核合格证；并进行岗前职业健康体检，体检合格。
		拟购置辐射防护仪、剂量报警仪和表面沾污仪	按要求送检，并确保运行正常
		辐射工作人员均佩戴个人剂量计，开展个人剂量监测	按 GBZ128-2019 要求佩戴/送检
		配置铅橡胶防护服、铅橡胶颈套、铅橡胶围裙、铅橡胶帽、铅防护眼镜、等防护用品	核医学防护用品的配置满足表 10-9 的要求按要求配置/佩戴
管理措施	管理结构	按要求建立医院辐射安全管理领导小组，辐射安全和防护负责人需参加辐射安全与防护知识考核。	以文件的形式成立辐射安全与环境保护管理机构，且辐射安全负责人取得考核合格证。
	管理制度	相关的辐射防护管理制度。	根据要求制定

12.4 辐射事故应急

为了避免避免辐射事故，在发生辐射事故后能作出快速反应、减少危害程度、保护辐射工作人员和公众人员的身心健康，建设单位已制定《放射性事故应急处理预案》。预案中确定辐射事故应急处理领导小组，组织开展辐射事件的应急处理救援工作，并对放射安全与防护、辐射事故应急措施、辐射事故调查处理等做出规定。医院还应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）第四十条、国家环保总局《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）及《突发环境事件信息报告办法》（环保部令第 17 号）的有关规定，对可能发生的辐射事故，不断修订和完善本单位的应急方案，做好应急准备，放射防护应急处理预案包括了以下内容。

（1）设置辐射事故应急组织机构，应急组织机构成员全面负责全院的辐射事故应急工作，规定各成员相应的职责，做到分工明确、职责分明。

(2) 也包括：应急救援机构和职责分工；辐射事故分级及处置方案；辐射事故调查、报告和处理程序；应急和救助的装备、资金、物资配备；应急人员的组织、培训；应急演习计划；发生辐射事故时，则防止公众进入警戒区，及时将事故情况上报使用地环境保护行政主管部门，人员伤亡情况上报卫生行政主管部门，被盗情况上报公安机关。通过以上措施来有效防范和处置突发事件，将事故发生的概率和事故危害控制到最低程度。

(3) 该预案规定的应急处理措施能尽可能缩短工作人员和公众受照射的时间，使事故危害降到最低，该预案须具备对射线装置及非密封放射性物质工作场所辐射事故的应急处理能力，具有可操作性。

(4) 一旦发生辐射事故，医院立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，由辐射事故应急小组上报当地生态环境行政主管部门，同时上报应急和公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。并及时组织专业技术人员排除事故。配合各相关部门做好辐射事故调查工作，不得隐瞒事故的真实情况。

12.5 从事辐射活动能力评估结论

根据《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》使用射线装置及放射性同位素的单位应具备的条件，对建设方建设本项目应具备的能力进行分析并提出完善措施。贵州医科大学附属医院辐射防护所采取的技术措施和管理措施进行对照分析见表 12-3。

表 12-3 建设单位能力分析

号 序	应具备的条件	规定要求	拟落实情况	投入运行后的要求
场所的安全和防护				
1	放射性诊疗项目的屏蔽设计	放射性诊疗项目机房建筑（包括辐射防护墙、门）的防护厚度应充分考虑 X、 γ 射线直射、散射、漏射效应。	委托了具备建筑工程设计资质的单位进行设计，机房的防护厚度满足要求。	定期对各机房和场所周围环境开展辐射监测，保持屏蔽措施的有效性，避免出现射线泄漏。

2	警示标识	放射性诊疗项目机房防护门外及与其他公共场所相连接处应设置固定的电离辐射警示标志和工作状态指示灯，控制区边界应设置明显可见的警示标志。	本项目各辐射工作场所防护门外拟设置有辐射警示标志和工作状态指示灯。	运营时严格按照计划执行，定期维护，确保辐射安全。
3	档案记录	应建立设备运行、维修、辐射环境监测记录、个人剂量管理及维修记录制度，并存档备查。	建设方对辐射工作人员拟建立个人剂量档案，并定期对其进行个人辐射剂量监测；医院拟建立设备运行、维修档案。	医院应及时更新并妥善保存相关档案。
4	评估报告	使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向生态环境部提交上一年度的评估报告。	医院拟在项目正式运行后于每1月31日前通过全国辐射安全申报系统一向生态环境部提交。	医院须将本项目的辐射安全与防评评估状况，并于每年年度1月31日前通过全国辐射安全申报系统向生态环境部提交上一年度的评估报告。
5	辐射监测方案	应建立放射性诊疗项目的日常辐射监测方案。	医院拟建立辐射监测方案	医院应落实好日常辐射监测计划
人员安全和防护				
1	管理人员要求	使乙级非密封放射性物质工作场所的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有大专以上学历的技术人员专职或兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	医院拟成立辐射安全防护管理机构，负责有关正常工作条件的保障及解决放射实践中出现的各种防护问题，在本项目投入营运前确定辐射管理职责。	确保有符合要求的辐射安全与环境保护工作管理人员，开展这方面的工作。
2	操作人员要求	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	本项目辐射工作人员均为新增，医院应尽快安排新增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考核，并取得考核合格证书。	对于取得了合格证书满五年的人员，应按照《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》的要求安排复训及考核。
3	个人剂量管理	每名核医学科与介入工作人员应配备个人剂量计（佩戴2个，铅衣内、铅衣外各1个）。个人剂量计应并编号定人配戴，定期送交有资质的检测部门进行测量，并建立个人剂量档案	本项目医院拟为每个辐射工作人员购买个人剂量计，并指导其正确佩戴，个人剂量计每90天送检一次，数据归档。	个人剂量计应编号定人并正确配戴，建设单位应每个季度定期送检，并对检测结果及时分析，对检测结果存在超过个人剂量管理限值的情况及时上报查明原因，及时解决。
环保制度、应急报告与处理、废物处理				

1	废物处理 方案	应具有确保项目产生固体废物、废气达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	建设方拟对项目运用过程中产生的废气采用排气管、风机强制排出，对于放射性气体的排放，在排风口处设置过滤装置；核医学科放射性废水采用槽式排放的方式处理；放射性固体废物在核医学场所内 固废间衰变暂存处理，达到清洁解控水平后按医疗废物处理。	建设方须严格按照设计要求以及配套的设施进行施工和配备
2	辐射防护 安全管理 制度	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	环评报告已要求医院应根据科室具体情况制定有人员培训制度、操作规程、岗位职责管理制度、辐射防护安全保卫制度，结合医院实际情况制定辐射事故应急预案等。	警示标志张贴规范，今后不断完善各项规章制度和操作规程，所有制度应张贴上墙等。
3	辐射事 故应急 预案	有完善的辐射事故应急措施。	医院拟制定辐射损伤处置流程和规范，该规范包括：指挥体系、辐射事件应急处置的原则、医院辐射事故应急处理程序。	做好应急和救助的装备、资金、物资准备。

通过对照国家有关要求对本项目从事辐射活动能力的逐项分析，贵州医科大学附属医院 已经基本具备了使用本次评价的核技术利用项目的综合能力。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

本项目拟在中山大学附属第一医院贵州医院住院楼东北侧空地新建分子肿瘤治疗中心。本项目分子肿瘤治疗中心的核技术利用内容包括：

放射治疗单元涉及放射诊疗设备包括6台医用电子直线加速器、1台射波刀、1台 TOMO刀、1台后装治疗机（含¹⁹²Ir放射源装置）、2台CT模拟定位机。

本项目核医学所涉及的放射诊疗设备包括 1 台回旋加速器、2 台 PET/CT、2 台 SPECT/CT、1 台 PET/MR。

本项目核医学涉及的非密封放射性同位素包括：¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹⁵O、⁸⁹Zr、⁶⁴Cu、¹²⁴I、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、¹¹³In、⁶⁷Ga、¹²³I、¹³¹I、¹⁷⁷Lu、⁴⁷Sc、⁶⁷Cu、¹⁶¹Tb、²²³Ra、²²⁵Ac、²¹²Pb、²¹¹At、²²⁷Th、²¹³Bi、⁸⁹Sr、¹⁸⁸Re、³²P。涉及的密封放射性同位素：⁶⁸Ge-⁶⁸Ga 发生器、⁹⁹Mo-^{99m}Tc 发生器、⁶⁸Ge 校准源。本项目所使用正电子核素 ¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹²⁴I、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr 拟来源于回旋加速器自制生产，， 本项目回旋加速器未投入使用前拟外购获得；其余核素均拟为外购，订购量按医院每次使用量来订购。⁶⁸Ge 为 PET/CT 设备校准源，厂家自带配备。

13.1.2 实践的正当性分析

本项目的建设对保障群众健康、拯救生命有着十分重要的作用。项目营运以后，能够使新的放射诊疗技术得以更广泛的应用，提高医院放射诊疗及服务水平，使患者得到更好的治疗效果和诊疗环境，具有明显的社会效益，同时将吸引更多的就诊人员，医院在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。

在实践过程中医院采取了相应的辐射防护措施，在患者得到诊疗预期效果的同时，对周围环境、工作人员、公众的辐射影响满足国家辐射防护安全标准的要求，因此，本项目的实施对受照个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”的原则与要求。

13.1.3 产业政策符合性

本项目属于《国家发展改革委关于修改<产业结构调整指导目录(2024年本)>的决定》“鼓励类”中第六项“核能”中第5条“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”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

13.1.4 选址合理性分析

本项目位于贵州省贵阳市花溪区清安大道与民安路交叉口西北侧(中山大学附属第一医院贵州医院地块内)，项目在中山大学附属第一医院贵州医院住院楼东北侧空地新建分子肿瘤治疗中心，用地为医院建设用地。经调查，本次评价范围 50m 以内无自然保护区、文物保护区、风景名胜区、森林公园、饮用水水源保护区、集中居民区等环境敏感点和态敏感点，项目位于医院内部，周围没有项目建设的制约因素，且本项目的各个辐射工作场所均按照相关规范要求建有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对周围环境影响较小。

本项目各辐射工作场所所在区域位置相对独立，工作区域专人管理，除需诊断和医院医生、护士外，医院无关人员不得入内，并且在进入辐射区域的时候需经过严格身份确认，这样不但减少了无关公众受照射的概率，同时，也降低了其他工作人员受照射的概率。同时，各辐射工作场所均采取了有效的屏蔽措施，防护设计参数均达到了相关技术规范对辐射工作场所的辐射防护要求，并且各辐射工作场所均按规范要求设置电离辐射警告标志，合理划分控制区，监督区，且无关人员不得进入。但由于各辐射工作场所周围有常驻人员，考虑到可能会造成的影响，本报告通过对各辐射工作场所防护进行理论计算，结果显示在进行治疗或诊断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，对外环境造成辐射影响很小。

综合分析，本项目选址相对合理。

13.1.5 辐射事故风险与防范

13.1.5.1 辐射防护结论

本项目核医学科各屏蔽防护墙及防护门的屏蔽防护设计，室内表面及装备结构设计均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的相关要求。

13.1.5.2 放射性三废的治理和结论

（1）核医学科

①核医学放射性废气

核医学科工作场所设置了独立通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体均进行过滤净化；操作放射性药物所用的分装柜手套箱等装置均设置了专用的排风装置风速不小于 1m/s，废气经专用管道引至屋顶 3m 处排放，端口处加装活性炭过滤装置，排放口高于楼顶 3m。经处理后，核医学科产生的放射性废气可达到环境主管部门的要求排放。

②核医学放射性废水

核医学科拟建 4 组独立的并联槽式衰变池，衰变池为地下结构。核医学科产生的放射性废水，经专用管道排入衰变池。衰变池为 4 格槽式衰变池，为混凝土结构，总容积约 1200m³，能够满足放射性废水单池关闭后存放时间容积要求。衰变池的放射性废水需贮存期满后，总 β 活度浓度、碘-131 活度浓度监测结果满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中排放限值要求，并经审管部门认可后排入医院污水处理站集中处理，对水环境影响较小。

③核医学放射性固体废物

核医学科配置足够数量的固废收集桶，并设置 1 间固废间、1 间清洁间，用于暂存衰变核医学科产生的放射性固体废物。放射性固体废物处置措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。废弃的放射源由放射源供应单位回收或送交放射性废物库统一处理，不会对周围环境产生污染。

13.1.6 辐射环境影响分析结论

根据本报告表 9、表 10、表 11 对本次核技术利用项目运行过程中，对周边环境及人员的辐射影响分析可知，在正常情况下，辐射工作场所周围辐射剂量率水平满足相关标准的要求，在运行工程中对周围环境中的工作人员和公众的辐射影响均能满足本报告提出的剂量约束值的要求，即工作人员有效剂量控制值不超过 5mSv/a，公众有效剂量控制值不超过 0.10mSv/a，同时满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

13.1.7 辐射安全管理结论

医院已成立专门的辐射安全防护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。医院须根据相关法律、法规、条例及本环评报告提出的要求，制定辐射安全管理制度。对于本项目原未参加或新增的辐射工作人员，医院应及时安排其参加生态环境部辐射安全与防护培训平台或医院自行组织的培训，然后报名参与并通过辐射安全和防护专业

知识及相关法律法规的考核；并委托有资质的单位对本项目辐射工作人员进行个人剂量监测及职业健康检查，建立完整的个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

13.2 结论

综上所述，中山大学附属第一医院贵州医院二期分子肿瘤诊疗中心核技术利用项目在落实本报告提出的各项污染防治、辐射安全防护措施和辐射安全管理制度后，运营期对周围环境产生的辐射影响符合环境保护的要求，对辐射工作人员及周围公众造成的影响满足国家辐射防护标准的要求。因此，从辐射安全和环境保护角度分析，本项目的建设是可行的。

13.3 建议与承诺

13.3.1 建议

（1）医院要严格执行辐射污染防治与辐射环境管理的法律法规；认真落实各项污染防治措施和要求，认真落实岗位辐射防护制度和岗位责任制制度，落实培训计划及应急监测计划等各项规章制度。

（2）根据医院管理架构和管理模式及人员配备情况，进一步细化和完善各项辐射安全管理规章制度及辐射事故应急预案。

（3）医院对从事放射性医疗及放射治疗的工作人员要经常进行辐射防护知识的教育，并形成长效机制，提高辐射防护意识，提高自我防护意识，定期检查和评估工作人员的个人剂量，建立个人剂量档案。

（4）医院应加强施工中的监理及管理，确保按设计要求进行施工。

（5）医院在取得本次环评报告批复文件后，按要求做好工作场所的防护，工作场所达到使用标准后，医院应当按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定的许可证申请程序，申请领取《辐射安全许可证》。

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