

检索号	2021-HP-0005
-----	--------------

核技术利用建设项目

浙江省肿瘤医院重离子治疗系统项目

环境影响报告书

(报批稿)

浙江省肿瘤医院

2021 年 6 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

浙江省肿瘤医院重离子治疗系统项目

环境影响报告书

建设单位名称： 浙江省肿瘤医院

建设单位法人代表（签名或签章）： _____

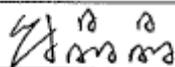
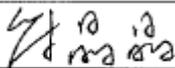
通讯地址： 杭州市拱墅区半山东路 1 号

邮政编码： 214192 联系人： 薛波

电子邮箱： yiwuke@zjcc.org.cn 联系电话： 0571-88122511

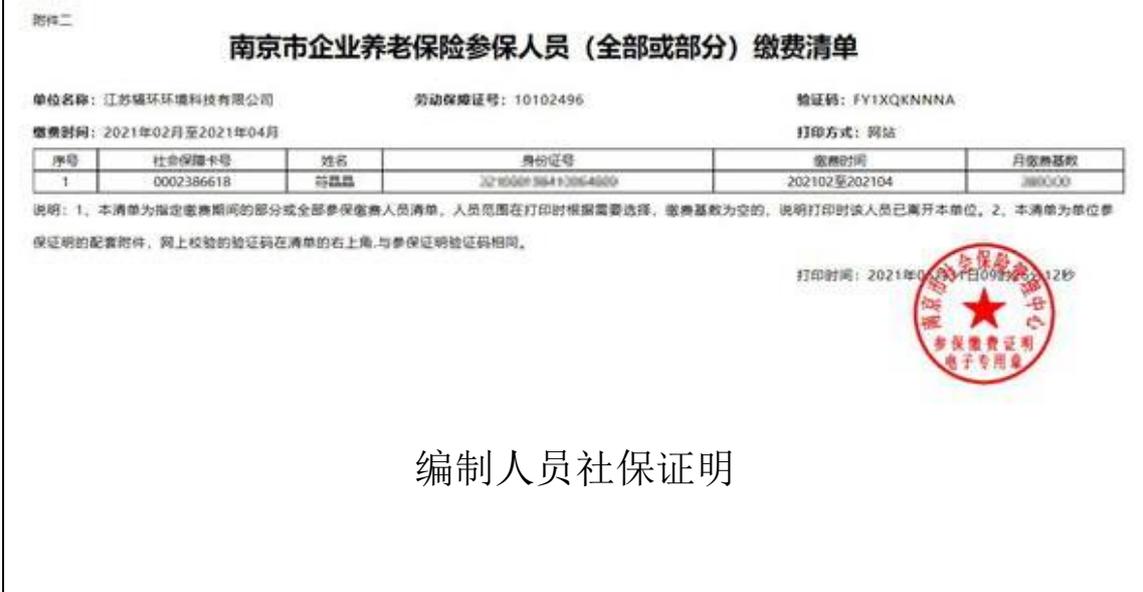
打印编号: 1617759475000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	tcjg3q		
建设项目名称	浙江省肿瘤医院重离子治疗系统项目		
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	报告书		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	浙江省肿瘤医院		
统一社会信用代码	123300004700517425		
法定代表人 (签章)	谭蔚泓		
主要负责人 (签字)	程向东		
直接负责的主管人员 (签字)	朱利明		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	江苏辐环环境科技有限公司		
统一社会信用代码	913201003393926218		
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
符晶晶	2015035320350000003510320304	BH005877	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
符晶晶	全文编制	BH005877	



编制主持人环境影响评价工程师职业资格证书（复印件）



编制人员社保证明

目录

第一章 概述	1
1.1 项目名称、地点	1
1.2 项目概况	1
1.2.1 建设单位概况	1
1.2.2 项目建设背景及意义	1
1.2.3 建设项目性质及土地性质	4
1.2.4 项目建设规模	4
1.2.5 产业政策和规划符合性	7
1.2.6 “三线一单”符合性分析	7
1.2.7 项目周边环境	8
1.2.8 原有核技术利用项目情况	10
1.3 编制依据	12
1.3.1 法律法规	12
1.3.2 技术导则及相关标准	14
1.3.3 与项目有关的文件、资料	14
1.4 评价标准	15
1.4.1 剂量限值	15
1.4.2 剂量约束值	15
1.4.3 辐射剂量率控制水平	16
1.4.4 辐射管理分区	16
1.4.5 放射性废水	16
1.4.6 放射性固体废物	17
1.5 评价范围和保护目标	18
1.5.1 评价范围	18
1.5.2 保护目标	18
第二章 自然环境与社会环境状况	20
2.1 自然环境状况	20
2.1.1 地理位置	20
2.1.2 地形、地貌、地质、地震	20
2.1.3 气象气候	20
2.1.4 水文	20
2.2 社会经济状况	21
2.2.1 地区经济	21
2.2.2 区划人口	21
2.2.3 教育事业	21
2.2.4 卫生事业	21
2.3 环境质量和辐射现状	22
2.3.1 区域环境质量	22
2.3.2 项目拟建址及周围辐射环境质量现状	22
2.4 场址适宜性评价	27

第三章 工程分析与源项.....	28
3.1 项目规模与基本参数.....	28
3.1.1 重离子治疗系统简介.....	28
3.1.2 重离子治疗系统技术指标.....	30
3.2 工程设备与工艺分析.....	31
3.2.1 系统组成.....	31
3.2.2 重离子治疗系统工作原理.....	35
3.2.3 重离子治疗系统主要组成部分相关技术参数、工艺原理.....	35
3.2.4 重离子治疗系统治疗流程及产污环节.....	44
3.2.5 项目定员及年工作时间.....	45
3.2.6 人流物流路径规划.....	46
3.3 污染源项.....	46
3.3.1 施工期污染源.....	46
3.3.2 运行期正常工况污染源.....	46
3.3.3 运行期事故工况污染源.....	63
3.4 废弃物.....	63
第四章 辐射安全与防护.....	64
4.1 场所布局与屏蔽.....	64
4.1.1 场所布局与分区.....	64
4.1.2 场所屏蔽.....	65
4.2 辐射安全与防护措施.....	68
4.2.1 人身安全联锁系统.....	68
4.2.2 其他安全措施.....	75
4.2.3 防护系统需要同其他系统的接口.....	78
4.3 三废的治理.....	78
4.3.1 放射性固体废物处理措施.....	78
4.3.2 放射性废水处理措施.....	80
4.3.3 放射性废气处理措施.....	80
4.4 服务期满后的环境保护措施.....	82
第五章 环境影响分析.....	83
5.1 建设阶段对环境的影响.....	83
5.2 运行阶段对环境的影响.....	85
5.2.1 HIMM 辐射影响分析.....	85
5.2.2 放射性流出物辐射影响分析.....	101
5.3 事故影响分析.....	105
5.3.1 可能发生的风险事件.....	105
5.3.2 假想事故的环境影响.....	107
5.3.3 应急响应.....	107
第六章 辐射安全管理.....	109
6.1 机构与人员.....	109
6.2 辐射安全管理规章制度.....	110
6.3 辐射监测.....	112
6.3.1 工作场所及周围环境监测.....	112
6.3.2 个人剂量和职业健康监测.....	117

6.3.3 流出物监测.....	118
6.3.4 监测仪器.....	118
6.3.5 监测质量保证.....	118
6.4 辐射事故应急.....	119
第七章 利益-代价简要分析.....	120
7.1 利益分析.....	120
7.1.1 社会效益.....	120
7.1.2 经济效益.....	120
7.1.3 环境效益.....	122
7.2 代价分析.....	122
7.2.1 社会代价.....	122
7.2.2 经济代价.....	123
7.2.3 环境代价.....	124
7.3 正当性分析.....	124
第八章 结论与建议.....	125
8.1 结论.....	125
8.1.1 项目工程概况.....	125
8.1.2 辐射安全与防护.....	126
8.1.3 环境影响分析.....	127
8.1.4 辐射安全管理.....	128
8.1.5 公众参与.....	129
8.2 建议和承诺.....	130

附图:

附图1 浙江省肿瘤医院重离子治疗系统项目地理位置示意图

附图2 浙江省肿瘤医院总院半山院区平面布置及周围环境示意图

附图3-1 重离子医学中心大楼负二层平面布置示意图

附图3-2 重离子医学中心大楼负一层平面布置示意图

附图3-3 重离子医学中心大楼一层平面布置示意图

附图3-4 重离子医学中心大楼6.500标高平面布置示意图

附图3-5 重离子医学中心大楼二层平面布置示意图

附图3-6 重离子医学中心大楼9.200标高平面布置示意图

附图3-7 重离子医学中心大楼三层平面布置示意图

附图3-8 重离子医学中心大楼1-1剖面布置示意图

附图4-1 重离子医学中心大楼负二层辐射防护分区示意图

附图4-2 重离子医学中心大楼负一层辐射防护分区示意图

附图4-3 重离子医学中心大楼一层辐射防护分区示意图

附图4-4 重离子医学中心大楼二层辐射防护分区示意图

附图4-5 重离子医学中心大楼三层辐射防护分区示意图

附图4-6 重离子医学中心大楼1-1剖面辐射防护分区示意图

附件：

附件1 项目委托书

附件2 省发展改革委关于浙江省肿瘤医院重离子医学中心大楼项目建议书批复的函

附件3 浙江省肿瘤医院重离子医学中心大楼项目环境影响登记表

附件4 医院目前持有的辐射安全许可证正副本复印件

附件5 医院已许可的核技术利用项目情况一览表

附件6 建设项目环境现状检测报告及检测单位资质

附件7 武威重离子治疗肿瘤中心建设项目（放射性部分一重离子治疗加速器）检测报告

附表：

建设项目环境影响报告书审批基础信息表

第一章 概述

1.1 项目名称、地点

项目名称：浙江省肿瘤医院重离子治疗系统项目

项目建设单位：浙江省肿瘤医院

项目建设地点：本项目建设地理位置处于杭州市拱墅区半山东路1号，位于浙江省肿瘤医院总院半山院区东侧，本项目的地理位置参见附图1。

1.2 项目概况

1.2.1 建设单位概况

浙江省肿瘤医院（以下简称“医院”）始建于1963年10月，是新中国成立最早的四所肿瘤医院之一，集肿瘤预防、医疗、科研、教学、康复于一体，承担着国家肿瘤防治重任，是浙江省唯一的一所集临床、科研、教学及培训为一体的三级甲等肿瘤专科医院。2019年5月，浙江省人民政府与中国科学院签署医学合作协议，医院正式挂牌“中国科学院肿瘤与基础医学研究所、中国科学院大学附属肿瘤医院、中国科学院大学杭州临床医学院”。

浙江省肿瘤医院分为总院半山院区（位于杭州市拱墅区半山东路1号）及机场路院区（位于杭州市机场路30号）两个院区，现有总用地面积69890平方米（其中总院半山院区64993平方米、机场路院区4897平方米），总建筑面积149740.35平方米（其中总院半山院区146949.83平方米，机场路院区2790.52平方米），医院核定床位1500张，实际开放床位1982张，共有38个病区。

1.2.2 项目建设背景及意义

1.2.2.1 项目建设背景

2019年5月8日，浙江省政府与中国科学院签订了医学战略合作框架协议，根据协议，省政府与中国科学院将以浙江省肿瘤医院为依托，共建中国科学院肿瘤与基础医学研究所、中国科学院大学附属肿瘤医院和中国科学院大学杭州临床医学院。同时浙江省肿瘤医院也成功入选国家疑难病症诊治能力提升工程项目储备库及“国家肿瘤区域医疗中心”牵头建设单位，牵头建设国家肿瘤区域医疗中心，打造浙江省肿瘤医学高峰，聚力打造国内领先、国际一流的肿瘤公共研究平台、临床实践平台和成果转化平台。

作为牵头单位，为满足发展的需要，医院决定建设重离子医学中心，包括建设重离子大楼基建建设以及配备一套重离子治疗系统，大力发展重离子技术，为国家肿瘤防治科普的进一步推广和普及、放疗技术水平的不断提高，为重离子治癌研究的发展做出应有的贡献，也为浙江省肿瘤医院建设“五个一流”的世界一流医院的目标奠定坚实的基础。

1.2.2.1 项目建设意义

恶性肿瘤作为一种严重威胁人类生命健康的疾病，具有复杂性、多样化、易转移等难以完全克服的特点，已经成为致死的重要杀手。外科手术、化学治疗和放射治疗是当前恶性肿瘤治疗的三大主要手段。根据国际抗癌联盟（UICC）统计，约70%的肿瘤患者需要通过放射治疗达到根治或姑息治疗的目的，或配合手术前、术后和术中放疗。

以X射线、 γ 射线、电子等轻粒子为主的传统放疗对肿瘤和正常脏器组织都有损伤作用，因而在肿瘤被放射控制的同时，也产生了一定程度的急性和后期放射并发症，特别是对那些立体形态较怪异、又与周围正常组织相交错的肿瘤。由于正常组织的放射耐受量有限，因而照射肿瘤的剂量无法提高，射线射入人体后，剂量主要损失在浅层，随着射程增大而逐渐减小，且到达病灶时其剂量并不立即终止，会对病灶后部的正常组织和器官造成伤害。

随着粒子加速器等相关技术的发展，人们发现重离子拥有倒转深度剂量分布、拓展布拉格峰后沿剂量急剧下降、高传能线密度（LET）、高相对生物效应（RBE）、较小的氧增比、可实时剂量验证、准确投射肿瘤靶区等特点。这些特点使得重离子放射治疗相对于传统放疗有很大的优势，它能够更加准确地攻击肿瘤细胞，且对DNA致死性更加复杂，对肿瘤的杀伤作用更大。重离子束辐射敏感性不依赖细胞周期时相，对DNA损伤的可修复性很小，重离子放疗后癌症的再复发更低，根据目前已有的临床表现看，重离子的优势十分明显，肿瘤患者术后三年存活率、五年存活率均高于常规放疗。

重离子是原子序数大于等于2的中性原子的壳层电子被剥离后形成的带电粒子。在放射治疗中所指的重离子多为碳离子（ $^{12}\text{C}^{6+}$ ）。利用加速器将带电粒子加速至接近光速而形成的放射线可用于肿瘤的治疗。

由于重离子的质量和体积远远大于X射线和电子，其物理特性导致重离子束具有独特的剂量深度分布曲线——Bragg峰，重离子射线穿透生物体的基本过程如下（如

图1.2-1所示)：在重离子进入人体的大部分射程里，较高的初始能量使其穿过组织速度很快，因而损失的能量较小，形成一个相对低剂量的坪区，因此对入射路径上健康的组织损害很小；而在射程的末端，随着能量的损失，离子运动速度减慢，与靶核核外电子碰撞的几率增大，最终在射程末端形成一个陡峭的高剂量能量损失峰，即Bragg峰，其后剂量迅速跌落。

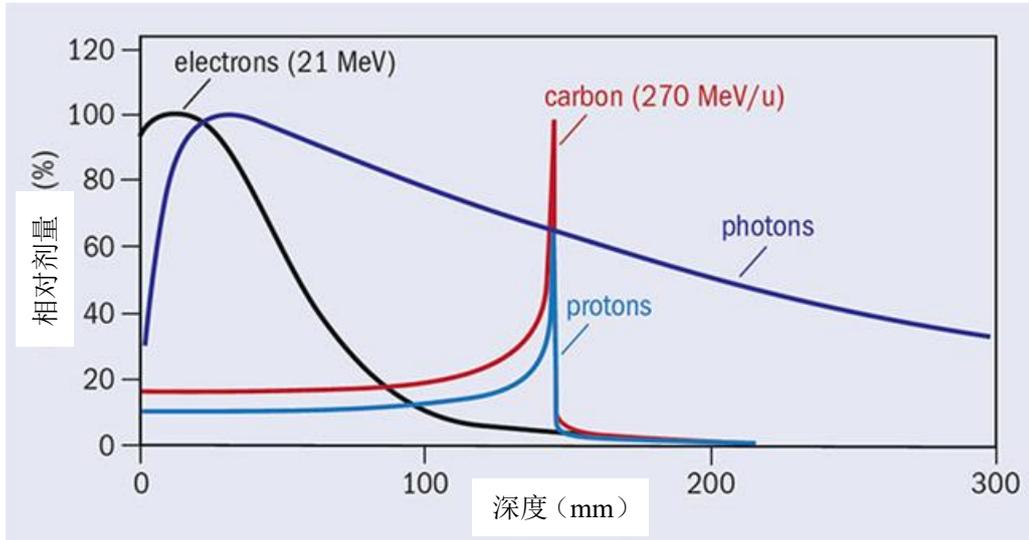


图 1.2-1 光子、电子、质子和碳离子深度剂量分布曲线示意图
(注：photons-光子、electrons-电子、protons-质子、carbon-碳离子)

基于重离子在物理学上特有的Bragg峰特性，在重离子治疗过程中，如果把展宽的Bragg峰（即扩展Bragg峰，Spread-Out Bragg peak, SOBP）（如图1.2-2所示）精确地调整覆盖在肿瘤靶区，使得重离子在靶区的剂量很高，从而可以达到有效杀死肿瘤细胞的同时使肿瘤靶区周围正常组织只受到很少剂量照射的目的。

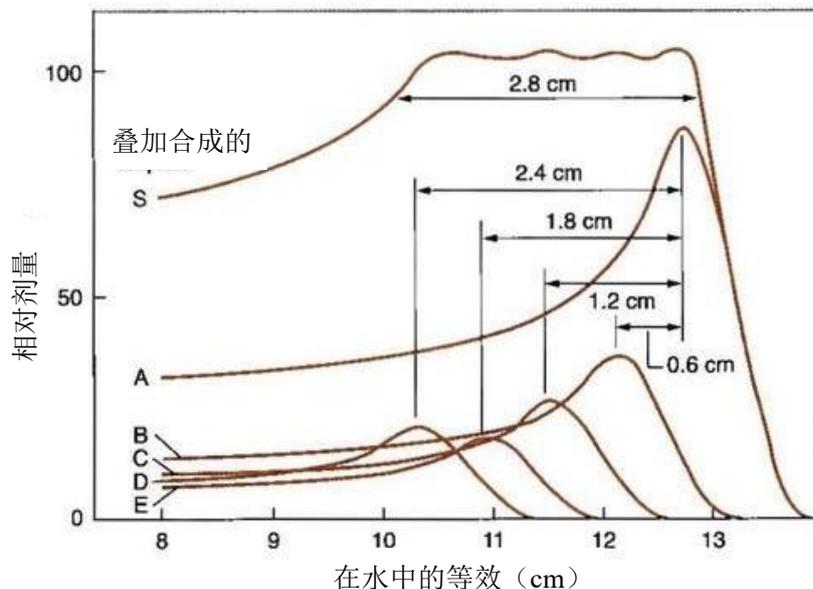


图 1.2-2 扩展布拉格峰的形成原理示意图

重离子治疗作为一种新型的肿瘤放疗技术，在疗效和安全性方面与传统的放疗相比都展现出较大的优越性，是目前世界肿瘤放疗领域最先进和有效的肿瘤治疗方法。中国是继美国、德国、日本之后，世界上第四个掌握重离子治疗肿瘤技术的国家，已经具备重离子临床治疗能力和治疗专用装置生产能力。重离子治疗项目是一个技术比较成熟、市场前景广阔的高科技医疗产业项目，也是一项造福百姓、造福社会的德政惠民工程。

1.2.3 建设项目性质及土地性质

建设项目性质：新建

土地性质：医疗卫生用地

1.2.4 项目建设规模

1.2.4.1 项目概况

浙江省肿瘤医院拟拆除医院半山院区用地范围内中医楼并新增院区东侧用地（现为临时地面停车场），新建一栋重离子医学中心大楼，大楼为地下2层、地上3层（局部三层）结构，主要建设内容包括：重离子医学中心大楼主体建筑工程（主要功能包括一个加速器大厅及其工艺配套、4个治疗室和其他医护及后勤的相关配套用房）、拆除工程、公用工程、室外工程等。项目新增用地面积4057平方米，项目建设不涉及新增床位。拟建建筑总建筑面积为14000平方米，其中地上建筑面积7954平方米，地下6046平方米。

项目总投资约96402万元，项目所需资金由省级财政补助和医院自有资金统筹解决。

《浙江省肿瘤医院重离子医学中心大楼项目建议书》已于二〇二〇年五月由广州市设计院编制完成，浙江省发展和改革委员会于2020年7月16日对浙江省肿瘤医院重离子医学中心大楼项目建议书做了批复，具体见附件2；浙江省肿瘤医院重离子医学中心大楼项目（非辐射类）已履行了环境影响评价手续，该登记表中已对重离子医学中心大楼项目运营期的废水、废气、噪声、生态影响等非放影响和环保措施进行了说明，具体见附件3。

浙江省肿瘤医院重离子医学中心大楼建设项目辐射部分的建设内容包括：在重离子医学中心大楼内配备1套重离子治疗系统，用于肿瘤的放射治疗；配备4套DR引导系统、4台移动CT、2台模拟定位CT，用于肿瘤的定位。

1.2.4.2 项目由来

浙江省肿瘤医院重离子治疗项目属于核技术利用项目，为保护环境和公共利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《建设项目环境保护管理条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，其应办理核技术应用项目环境影响评价手续。

根据《射线装置分类》（2017年修订版），本项目重离子治疗系统属于I类射线装置，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），本项目属于“五十五 核与辐射”“172 核技术利用建设项目”中“使用I类射线装置的”，应编制环境影响报告书。受浙江省肿瘤医院的委托，江苏辐环环境科技有限公司承担该项目的环评工作。我公司通过资料调研、项目工程分析，并在结合现场勘察、现场检测（由浙江国辐环保科技有限公司检测）等工作的基础上，编制了该核技术利用项目环境影响报告书，本报告为针对重离子治疗系统项目开展的辐射环境影响评价。

根据《射线装置分类》（2017年修订版），重离子医学中心大楼内拟配备的4套DR引导系统、4台移动CT、2台模拟定位CT均属于III类射线装置，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），应编制环境影响登记表，项目建成后医院将另行办理建设项目环境影响登记表备案手续，不作为本报告评价对象。

1.2.4.3 射线装置基本情况及主要建设内容

本项目拟使用1套重离子治疗系统(Heavy Ion Medical Machine, 简称HIMM), HIMM主体包括离子源、低能束运线、回旋加速器（后期升级直线注入）、中能束运线、同步加速器（主加速器）、高能束运线和4个治疗终端等。治疗用的粒子是原子序数为6、核子数为12、核外电子全剥离的碳离子（ $^{12}\text{C}^{6+}$ ），具有被动式和主动式两种束流配送方式。4个治疗终端分别是水平治疗终端、水平+垂直治疗终端、水平+45°治疗终端、水平治疗终端（后期升级为Gantry治疗终端，即旋转机架治疗终端）。在治疗终端等中心处的剂量率范围为0.001~1Gy/min。在人体组织中的最大治疗深度约为27cm，可进行全体位照射治疗。

本项目射线装置基本情况见表1.2-1,项目主要建设内容及可能产生的环境问题见表1.2-2。

表1.2-1 项目拟使用的射线装置基本情况表

序号	射线装置名称及型号	数量	类别	束流最大能量 (MeV/u)	流强 (ppp)	工作场所名称	用途	备注
1	重离子治疗系统 (CY-SY-4400)	1	I	400	升级直线注入后, 治疗终端输出最大束流流强为 4.155×10^9	重离子医学中心大楼内加速器大厅、高能线爬升段区、1号治疗室、2号治疗室、3号治疗室、4号治疗室	放射治疗	治疗用的粒子为碳离子 ($^{12}\text{C}^{6+}$)

注: MeV/u---兆电子伏每核子, ppp---每个脉冲的离子数。

表1.2-2 项目主要建设内容及可能产生的环境问题一览表

名称	主要建设内容	可能产生的环境问题	
		施工期	营运期
主体工程	<p>加速器大厅: 位于负二层, 建筑面积约为 1850 平方米, 主要放置重离子加速器装置设备;</p> <p>高能线爬升段区: 位于一层, 建筑面积约为 1010 平方米;</p> <p>治疗室: 共设置四个治疗室, 均位于负二层。其中 1 号治疗室为水平治疗室, 2 号治疗室为水平+垂直治疗室, 3 号治疗室为水平+45 度治疗室, 4 号治疗室为水平治疗室; 1 号~3 号治疗室建筑面积各约 180~200 平方米, 4 号治疗室建筑面积约 340 平方米, 并预留日后 4 号治疗室升级为重离子 Gantry 治疗终端的条件;</p> <p>预留 Gantry 转运大厅: 位于一层, 建筑面积约为 560 平方米;</p> <p>预留 Gantry 设备安装空间: 位于负二层下方, 建筑面积约为 4500 平方米。</p> <p>设备: 拟配备 1 套重离子治疗系统 (HIMM), 型号为 CY-SY-4400, 加速离子为 $^{12}\text{C}^{6+}$, 治疗终端能量为 120 MeV/u~400 MeV/u, 属于 I 类射线装置。</p>	<p>施工扬尘、</p> <p>施工噪声、</p> <p>施工废水、</p> <p>建筑垃圾、</p> <p>生活污水、</p> <p>生活垃圾</p>	<p>中子等瞬时辐射、感生放射性废气、感生放射性废水、感生放射性固废</p>
配套工程	重离子治疗系统控制室、电源间、工艺冷却水泵房、工艺空调用房、高低压配电间等重离子设备附属工艺用房; 依托重离子医学中心大楼。		噪声
辅助工程	影像功能用房 (包括 2 间 CT 机房、1 间 MR 机房及相关附属用房)、患者、医护用房及附属用房、二次等候区、咨询室、卫生间等和其他医护及后勤的相关配套用房。		X 射线、生活污水、办公垃圾
公用工程	供水、供电、排污和通讯等公用设施: 依托医院现有设施。	/	/
环保工程	感生放射性废气处理措施: 加速器大厅、高能线爬升段区、治疗室内均设置机械通风系统, 感生放射性废		感生放射性废气、感生

	<p>气经通风系统排入外环境；</p> <p>感生放射性废水处理措施：加速器大厅内设置 2 个事故收集池，为连续推流式，分 2 级串联工作。正常工况下，工艺水系统管路内冷却水循环使用不外排，事故工况下，管路内泄漏的感生放射性废水经排水地沟、地漏汇集到一级收集池，后通过溢流孔排放到二级收集池，经监测满足要求后排放至医院污水处理系统；</p> <p>感生放射性固废处理措施：高能线爬升段区内设置 1 间放射性固废储存间，感生放射性固废分类收集后暂存于储存间内，处理前对其中含有的主要放射性核素活度浓度或活度进行监测，经监测满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中解控标准的放射性固废作为非放射性废物处理，对于不满足解控要求的固废送有资质单位处理。</p>	放射性废水、感生放射性固废
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------

1.2.5 产业政策和规划符合性

1.2.5.1 产业政策符合性

本项目属于《产业结构调整指导目录（2019年本）》中第六项“核能”中第6条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

1.2.5.2 规划符合性

本项目位于浙江省肿瘤医院现有院区内，不新增用地，用地性质为医疗卫生用地，项目建设符合杭州市主体功能区划及土地利用规划。

1.2.6 “三线一单”符合性分析

根据《关于以改善环境质量为核心加强环境影响评价管理的通知》（环环评[2016]150号），“三线一单”即“生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和环境准入负面清单”，项目建设应强化“三线一单”约束作用。

一、与“生态保护红线”的相符性

本项目建设地理位置处于杭州市拱墅区半山东路1号，位于浙江省肿瘤医院总院半山院区内东侧。根据《杭州市“三线一单”生态环境分区管控方案》，本项目所在地属于拱墅区一般管控单元(ZH33010530001)，对照《浙江省生态保护红线》，本项目拟建址不在生态保护红线范围内。因此，本项目的建设符合生态保护红线的要求。

二、与“环境质量底线”的相符性

根据环境质量现状监测结果，本项目拟建场址及周围环境辐射环境质量现状属于正常本底范围，空气、地表水、土壤中⁷Be、⁴⁰K等核素含量均未见异常。在落实本环评提出的各项污染防治措施后，本项目运行不会对周围环境产生不良影响，能维持周边环境质量现状，满足该区域环境质量功能要求，因此本项目符合环境质量底线要求。

三、与“资源利用上线”的相符性

医院院区内供电由杭州市供电系统10kV双回路供给，目前医院变压器安装容量为18500kVA，本项目供电依托医院供电设施，医院院区变压器安装容量可满足项目供电需求；医院给水由市政给水系统供给，项目给水依托医院现有供水设施，可满足项目供水要求；项目用地为医院用地。整体而言本项目所用资源相对较小，也不占用当地其他自然资源和能源，因此本项目符合资源利用上线的要求。

四、与“环境准入负面清单”的相符性

本项目位于拱墅区一般管控单元，为医院建设项目，不属于工业项目，满足管控措施，不在环境功能区负面清单内，符合环境准入负面清单的要求。

1.2.7 项目周边环境

浙江省肿瘤医院总院半山院区位于杭州市拱墅区半山东路1号，医院东侧靠近杭州半山国家森林公园，东南侧靠近秋石高架路、浙江建设技师学院，南侧靠近杭州市半山实验小学，西侧与田园公寓相邻，北侧与杭州自富汽车修理有限公司相邻。

本项目位于医院半山院区内东侧拟建重离子医学中心大楼内，大楼东侧及东北侧均为院内道路、医院围墙，围墙外为广济支路、杭州半山国家森林公园；东南侧依次为院内道路、医院围墙，围墙外依次为广济路、秋石高架路、浙江建设技师学院（目前已闲置，作为停车场使用）（距重离子医学中心大楼最近约85m）；南侧依次为院内道路、医院围墙，围墙外为广济路、垃圾站、绿化、秋石高架路；西南侧依次为院内空地、医院围墙和医院大门，围墙外南侧为空地、广济路、广济路189-1~189-18号商铺，西侧由北向南依次为医院行政科研楼、田园巷、杭州市半山实验小学（重离子医学中心大楼距小学围墙最近约105m，距教学楼最近约144m）；西侧依次为院内道路、门诊楼及病房楼、院内公园；西北侧依次为院内道路、放射影像楼、信息中心、病房楼，北侧依次为院内道路、放射治疗楼、医院围墙，围

墙外为广济路186-6号简易建筑（原为毕家商务旅馆，现已闲置）。

浙江省肿瘤医院总院半山院区平面布置及周边环境见附图2，项目拟建址及周围环境现状见图1.2-1。



项目拟建址



拟建址东侧围墙外



拟建址东南侧围墙外秋石高架路及浙江建设技师学院



拟建址南侧围墙外



图1.2-1 项目拟建址及周围环境现状图

1.2.8 原有核技术利用项目情况

1.2.8.1 医院原有核技术利用项目许可情况

浙江省肿瘤医院已取得《辐射安全许可证》，证书编号：浙环辐证[A0001]；有效期至2022年3月13日；许可的种类和范围：使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工

作场所。医院目前持有的辐射安全许可证正副本复印件见附件 4，医院已许可的核技术利用项目情况见附件 5。

1.2.8.2 原有核技术利用项目环保手续履行情况

医院原已许可射线装置共 43 台，均已进行履行环境影响评价手续，其中 2 台定位机和 1 台 ERCP 暂未购买安装、未验收，其余 40 台射线装置均已履行环保竣工验收手续；医院原已许可 ^{153}Sm 、 ^{89}Sr 等非密封放射性物质，均已履行环境影响评价手续和环保竣工验收手续；医院原已许可 7 枚密封源，均已履行环境影响评价手续和环保竣工验收手续。

1.2.8.3 原有核技术利用项目管理情况

(1) 医院以内部文件形式成立了放射防护小组，由分管副院长担任组长、副组长，相关科室负责人任成员，并明确了各职能科室和相关科室部门的职责和分工，具体放射防护工作由医务科牵头落实；已制订医院放射性同位素与射线装置安全和防护的各项规章制度、放射防护安全的应急预案等综合管理规章制度，同时，各相关科室根据各自特点，制定了相应的操作规程、岗位职责、应急预案、辐射防护制度、设备检修维护制度、台账管理制度等。

医院制定的辐射安全管理规章制度较完备且具有一定的可行性，医院能够按照规章制度对医院的辐射工作进行管理，辐射工作人员也能够按照各项规章制度开展工作。在日后工作中，医院还应根据相关法规和实际工作情况不断对现有的辐射安全管理规章制度进行补充和完善。

(2) 根据《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》(浙环函[2019]248号)，医疗单位使用医用 II 类、III 类射线装置，生态环境部门和卫生健康部门对辐射工作人员的辐射安全与防护培训或放射诊疗培训互相认可，医院现有辐射工作人员均已参加了辐射安全与防护培训和(或)放射诊疗培训，考核合格后持证上岗，满足医疗机构辐射工作人员培训要求。

(3) 医院已为所有辐射工作人员配备了个人剂量计，定期送有资质部门进行个人剂量监测，建立了个人剂量档案，并对检测结果有异常的人员及时进行了调查，分析原因，采取措施；已定期组织辐射工作人员进行职业健康体检，并建立了辐射工作人员职业健康监护档案。

(4) 医院每年委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，

根据医院提供的资料，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求。

(5) 医院已制定《辐射事故应急预案》，每年均定期开展辐射事故应急演练，并对演练结果进行总结，及时对辐射事故应急预案进行完善和修订。经与医院核实，自核技术利用项目开展以来，未发生过辐射事故。

(6) 医院每年编制有《辐射安全和防护状况年度评估报告》，对现有放射性同位素和射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、放射性同位素和射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况、监测仪器情况等进行了年度总结和评估，并已按要求上报提交。

1.3 编制依据

1.3.1 法律法规

- 《中华人民共和国环境保护法》（修订版），2015年1月1日起施行；
- 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），2018年12月29日起施行；
- 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月1日起施行；
- 《中华人民共和国大气污染防治法》（2018年修正版），2018年10月26日起施行；
- 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》（2018年修正版），2018年12月29日起施行；
- 《建设项目环境保护管理条例》（2017年修订版），2017年10月1日起施行；
- 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019年修正版），国务院令第七09号，2019年3月18日起施行；
- 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），生态环境部令 第20号，2021年1月4日起施行；
- 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，生态环境部令 第16号，2021年1月1日起施行；
- 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令 第18号，2011年5月1日起施行；
- 《医疗废物管理条例》，中华人民共和国国务院 第380号令，2003年6月16日起施行；

- 《放射性废物安全管理条例》，国务院令 第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行；
- 《射线装置分类》(2017 年修订版)，环境保护部 国家卫生计生委公告 2017 年公告第 66 号公布，自 2017 年 12 月 5 日起施行；
- 《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第 29 号，自 2020 年 1 月 1 日起施行；
- 《关于发布<放射性废物分类>的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017 年公告第 65 号公布，自 2018 年 1 月 1 日起施行；
- 《医疗卫生机构医疗废物管理办法》(中华人民共和国卫生部 第 36 号令)，自 2003 年 8 月 14 日起施行；
- 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，国家环境保护总局文件，环发[2006] 145 号文
- 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令 第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行；
- 《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告 2019 年 第 38 号，2019 年 11 月 1 日起施行；
- 《生态环境部关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019 年 第 39 号，2019 年 10 月 25 日生成；
- 《关于做好 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训考核工作有关事项的通知》，环办辐射函[2019]853 号；
- 《关于以改善环境质量为核心加强环境影响评价管理的通知》（环环评[2016]150 号）；
- 《关于规范核技术利用领域辐射安全关键岗位从业人员管理的通知》，国核安发[2015]40 号；
- 《浙江省建设项目环境保护管理办法》（2021 年修正），浙江省人民政府令 第 388 号，2021 年 2 月 10 日起施行；
- 《浙江省辐射环境管理办法》（2021 年修正），浙江省人民政府令 第 388 号，2021 年 2 月 10 日起施行；
- 《浙江省人民政府办公厅关于印发浙江省辐射事故应急预案的通知》，浙政办发[2018]92 号，2018 年 9 月 18 日起施行；

- 《关于发布浙江省生态保护红线的通知》，浙政发[2018]30 号；
- 《杭州市生态环境局关于印发<杭州市“三线一单”生态环境分区管控方案>的通知》，杭环发[2020]56 号。

1.3.2 技术导则及相关标准

- 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）；
- 《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）；
- 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）；
- 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993）；
- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；
- 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）；
- 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第5部分：质子加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.5-2015）
- 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；
- 《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）；
- 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；
- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；
- 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）。

1.3.3 与项目有关的文件、资料

- （1）建设项目环境影响评价委托书（附件 1）；
- （2）省发展改革委关于浙江省肿瘤医院重离子医学中心大楼项目建议书批复的函（附件 2）；
- （3）浙江省肿瘤医院重离子医学中心大楼项目环境影响登记表（附件 3）
- （4）医院目前持有的辐射安全许可证正副本复印件（附件 4）；
- （5）医院已许可的核技术利用项目情况一览表（附件 5）；
- （6）建设项目环境现状检测报告及检测单位资质（附件 6）；
- （7）《浙江省肿瘤医院重离子医学中心大楼项目建议书》，广州市设计院，2020

年 5 月；

(8) 《杭州重离子治疗装置 (HIMM) 辐射防护设计报告》，中科院近代物理研究所；

(9) 武威重离子治疗肿瘤中心建设项目 (放射性部分一重离子治疗加速器) 检测报告 (附件 7)。

1.4 评价标准

1.4.1 剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的规定, 本项目辐射工作人员和公众的年剂量限值见下表。

表 1.4-1 剂量限值

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

1.4.2 剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) “剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30% (即 0.1mSv/a~0.3mSv/a) 的范围之内。” 的规定, 同时结合本项目特点, 本项目剂量约束值管理目标见下表。

表 1.4-2 剂量约束值

适用范围	剂量约束值
职业照射有效剂量	5mSv/a
公众照射有效剂量	0.1mSv/a

1.4.3 辐射剂量率控制水平

本项目重离子治疗系统辐射工作场所上方为屋面冷却塔和屋面绿化等。根据《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)、《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)中相关规定,同时参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第5部分:质子加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.5-2015),本项目辐射工作场所(包括加速器大厅、高能线爬升段区、1号~4号治疗室)屏蔽墙体、防护门、顶外总辐射剂量率(包括 γ 剂量率和中子剂量率)控制水平为:

$$\dot{H}_c \leq 2.5 \mu\text{Sv/h} \quad (\text{人员全居留场所, } T > 1/2)$$

$$\dot{H}_c \leq 10 \mu\text{Sv/h} \quad (\text{人员部分和偶然居留场所, } T \leq 1/2)$$

1.4.4 辐射管理分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002),应将辐射工作场所分为控制区、监督区。

对于需要专门防护手段或安全措施的区域划分为控制区,控制区在设备运行时一般不允许任何人员进入;对于未被设定为控制区,不需要专门防护手段或安全措施但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域,划分为监督区,监督区在设备运行时只允许放射工作人员进入。辐射控制区和辐射监督区以外区域对人员活动不限制。

1.4.5 放射性废水

①参考《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)的要求:

表 1.4-3 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值(日均值)

序号	控制项目	排放标准	预处理标准
22	总 α /(Bq/L)	1	1
23	总 β /(Bq/L)	10	10

②根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中相关规定,满足下列条件的低放废液方可直接排入流量大于10倍排放量的普通下水道:

- a、每月排放的总活度不超过 $10\text{ALI}_{\text{min}}$;
- b、每次排放的活度不超过 1ALI_{min} ,并且每次排放后不少于3倍排放量的水进行冲洗。

1.4.6 放射性固体废物

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

A2.1 符合以下要求的放射性物质，即任何时间段内在进行实践的场所存在的给定核素的总活度或在实践中使用的给定核素的活度浓度不超过表 A1 所给出的或审管部门所规定的豁免水平；

A2.2 表 A1 给出的放射性核素的豁免活度浓度和豁免活度，是根据某些可能还不足以可无限制使用的照射情景和模式、参数推导得出的，仅可作为申报豁免的基础。考虑豁免时，审管部门应根据实际情况逐例审查，某些情况下，也可以要求采用更为严格的豁免水平。

1.4.7 环境质量标准

环境空气质量标准

项目所在区域空气环境属于二类功能区，项目基本污染物执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级标准及其修改单，具体标准限值见表 1.4-4。

表 1.4-4 环境空气质量标准

序号	污染物项目	平均时间	浓度限值	单位
1	二氧化氮 (NO ₂)	年平均	40	μg/m ³
		24 小时平均	80	
		1 小时平均	200	
2	臭氧 (O ₃)	日最大 8 小时平均	160	
		1 小时平均	200	

1.4.8 污染物排放标准

①施工期噪声排放标准

项目施工期场界环境噪声排放限值执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)：

表 1.4-5 建筑施工场界环境噪声排放限值 单位：dB

昼间	夜间
70	55

②运行期废气排放标准

本项目运行期废气主要为空气被电离产生的少量臭氧及氮氧化物，氮氧化物

排放执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)中规定的排放限值。

1.5 评价范围和保护目标

1.5.1 评价范围

本项目为使用I类射线装置，工作场所位于重离子医学中心大楼内，运行期主要环境影响为电离辐射影响，此外，项目运行过程中，将会产生感生放射性废气，感生放射性废气排放也属于辐射环境影响范畴。根据本项目的辐射特点，并结合《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)中规定：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，对于I类射线装置的项目可根据环境影响的范围适当扩大，本项目评价范围确定为重离子治疗系统辐射工作场所（包括加速器大厅、高能线爬升段区、4个治疗室）实体边界外100m范围内的区域。本项目评价范围示意图见附图2。

1.5.2 保护目标

本项目位于浙江省肿瘤医院总院半山院区东侧，评价范围内，项目所在重离子医学中心大楼东侧及东北侧均为院内道路、医院围墙，围墙外为广济支路、杭州半山国家森林公园；东南侧依次为院内道路、医院围墙，围墙外依次为广济路、秋石高架路、浙江建设技师学院（目前已闲置，作为停车场使用）（距重离子医学中心大楼最近约 85m）；南侧依次为院内道路、医院围墙，围墙外为广济路、垃圾站、绿化、秋石高架路；西南侧依次为院内空地、医院围墙，围墙外南侧为广济路、广济路 189-1~189-18 号商铺，围墙外西侧为道路，路西侧由北向南依次为浙江省肿瘤医院研究所、田园巷；西侧依次为院内道路、门诊楼及病房楼、院内公园；西北侧依次为院内道路、放射影像楼、信息中心、病房楼，北侧依次为院内道路、放射治疗楼。

评价范围内环境敏感点为浙江建设技师学院（已闲置，作为停车场使用），环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患及陪同家属、10号行政科研楼内工作人员、浙江建设技师学院内的值守人员、广济路189-1~189-18号商铺内工作人员及顾客、周边道路上的行人、杭州半山国家森林公园内的游客。

本项目环境保护目标分布见表 1.5-1，环境保护目标布局示意图见附图 2。

表 1.5-1 本项目环境保护目标

编号	环境保护目标名称		方位	最近距离	规模及人口分布	保护要求
1	本项目辐射工作人员		西北侧	约0.3m	不少于13人	年有效剂量不超过5mSv/a
2	医院内的其他医护人员	重离子医学中心大楼内	西北侧、楼上	约0.3m	约50人	年有效剂量不超过0.1mSv/a
3		8号门诊楼内	西北侧	约30m	约100人	
4		1号病房楼内		约90m	约600人	
5		6号放射影像楼		约52m	约90人	
6		5号信息中心		约79m	约30人	
7		4号放射治疗楼	北侧	约11m	约110人	
8		院内道路及公园	四周	约0.3m	院内医护人员	
9		病患及陪同家属	院内	四周	约0.3m	
10	公众	10号行政科研楼内工作人员（科研楼内为医院行政办公人员及医院附属浙江省肿瘤医院研究所工作人员）	西侧	约78m	约468人	
11		田园巷、广济路等医院周边道路上的行人	周围	约7m	流动人群	
12		广济路189-1~189-18号商铺内工作人员及顾客	西南侧	约76m	工作人员约100人，顾客为流动人群	
13		杭州半山国家森林公园内的游客	东侧、东北侧	约12m	流动人群	
14		浙江建设技师学院内的值守人员	东侧、东南侧	约85m	约2人	

第二章 自然环境与社会环境状况

2.1 自然环境状况

2.1.1 地理位置

杭州地处长江三角洲南翼，杭州湾西端，钱塘江下游，京杭大运河南端，市区中心地理坐标为北纬 30°16'、东经 120°12'。

本项目位于杭州市拱墅区，拱墅区中心位置约在北纬 30°19'15.02"，东经 120°08'14.06"，位于杭州市市区中部。东南接江干区、下城区，西北与西湖区、余杭区相邻。

2.1.2 地形、地貌、地质、地震

拱墅区东北枕半山，京杭大运河纵贯自南而北而入，地势东北高西南低。平地平均海拔 45 米，境东北多山岭，主要有半山、老虎山、青龙山、元宝山（黄鹤山）等，黄鹤山海拔 319.2 米，为本区最高点，境西地势平坦，河道港渠纵横交错，京杭大运河、宦塘河、古新河流经境内；余杭塘河、胜利河、康桥新河等与京杭大运河沟通；上塘河由南而北折东出境。古今杭城诸路水系汇入流经本区京杭大运河。

拱墅区古代系海湾，半山为海岛，周围泥沙淤积逐成陆地，古有江涨之名。

杭州市抗震设防烈度为 6 度。

2.1.3 气象气候

杭州市属北亚热带的季风气候，四季分明，气候温和湿润，光照充足，雨量充沛，无霜期长。夏季常受西太平洋副热带高压控制，冬季则受西伯利亚冷气团影响。春末夏初有一雨量集中期，夏秋季常有干旱和台风的出现。平均年降水量 1500 毫米左右，3~6 月为梅雨季，7~9 月份为台风雨季。年平均气温为 16°C 左右。无霜期 250 天，最大冻土深度 5 厘米，平均相对湿度为 82%，多年平均风速 1.91 米/秒，常年地面主导风向 SSW（12.33%）。

2.1.4 水文

拱墅区河道港渠纵横交错，京杭大运河、宦塘河、古新河流经境内；余杭塘河、胜利河、康桥新河等与京杭大运河沟通；上塘河由南而北折东出境。古今杭

城诸路水系汇入流经本区京杭大运河。

2.2 社会经济状况

2.2.1 地区经济

拱墅区 2019 年预计实现地区生产总值 650 亿元，按可比价计算增长 8%左右，高于目标任务 1.5 个百分点左右；地方一般公共预算收入 91.2 亿元，增长 8.1%；全社会 R&D 经费支出 6.7 亿元，增长 19.4%，高于目标任务 4.4 个百分点；固定资产投资增长 20%以上；社会消费品零售总额增长 8%左右；节能减排、环境保护、社会事业和民生保障等指标均完成良好。

2.2.2 区划人口

杭州现辖十个城区和三个县(市)，全市面积 16596 平方公里，其中市区面积 3068 平方公里，市区建成区面积 327.45 平方公里；全市户籍人口 666 万，其中市区人口 414 万。

拱墅区总面积约 69.21 平方公里。以境内有拱宸桥、湖墅而得名。现辖半山、康桥、祥符、上塘、米市巷、湖墅、小河、拱宸桥、和睦、大关等 10 个街道，有 97 个社区。2019 年末，全区户籍人口 396799 人，其中男性 195884 人，女性 200915 人。据公安部门统计，全年出生 4635 人，死亡 1688 人，全区人口出生率为 11.68‰，死亡率为 4.25‰，人口自然增长率为 7.43‰。民族以汉族为主，有少数回、满、蒙古、畲、壮、布依、朝鲜、侗、瑶、土家族等。

2.2.3 教育事业

2019 年末，全区共有各级各类学校 123 所，其中高中 3 所，在校学生 1982 人；职高 1 所，在校学生 782 名；初中 17 所，在校学生 14048 名；小学 32 所，在校学生 37169 名；幼儿园 70 所，在园幼儿数 21530 名；特殊教育学校 1 所，其中在校学生 89 人。

2.2.4 卫生事业

全区拥有医疗卫生机构363家，卫计系统所属医疗卫生单位51家，其中：公共卫生单位3家，社区卫生服务中心9家、社区卫生服务站39家；社会办医院22家及门诊部、诊所、卫生站278家，全区医疗机构拥有床位 8321张，每千人拥有

床位14.4张，全区拥有卫生工作人员 11283 人，其中卫生技术人员9261人，每千人拥有卫生技术人员16.1人，其中：执业（助理）医师3500人，注册护（士）师4314人。

2.3 环境质量和辐射现状

2.3.1 区域环境质量

根据《2019年浙江省生态环境状况公报》，2019年，全省单位GDP能耗比上年下降3.2%；水质达到或优于地表水环境质量III类标准的省控断面占91.4%；跨行政区域河流交接断面水质达标率96.6%；县级以上集中式饮用水水源地个数达标率为96.7%；全省近岸海域水体总体呈中度富营养化状态；县级以上城市日空气质量优良天数比例平均为93.1%，PM_{2.5}浓度平均为29微克/立方米，设区城市日空气质量优良天数比例平均为88.6%，PM_{2.5}浓度平均为31微克/立方米；区域环境噪声平均值为54.4分贝，道路交通噪声平均值为67.6分贝；辐射环境质量总体良好，环境电离辐射水平处于本底涨落范围内，环境电磁辐射水平低于国家规定的公众曝露控制限值；全省生态环境状况等级为优。

2.3.2 项目拟建址及周围环境质量现状

受建设单位委托，2020年9月-2021年2月，浙江国辐环保科技有限公司对该项目拟建址及周围环境进行了辐射环境质量现状监测，并出具了检测报告（具体见附件6）。

2.3.2.1 监测目的

了解项目拟建址及周围环境的辐射环境质量现状，为该场所的环境现状评价提供基础数据。

2.3.2.2 监测内容

（1）监测对象和项目

根据国家的规范要求，结合本项目的特点和主要污染因子，监测的对象和项目主要有：

γ 辐射：X-γ 辐射剂量率；

中子：中子剂量当量率

空气：γ 核素分析、总 α 放射性、总 β 放射性、空气中 ¹³¹I、空气中 ³H

地表水： γ 核素分析、 ^3H 、总 α 放射性、总 β 放射性

土壤： γ 核素分析、总 α 放射性、总 β 放射性。

(2) 监测点位

γ 辐射：根据《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001)有关布点原则进行布点，共计布点 12 个，重点调查本项目拟建址及评价范围内 X- γ 辐射剂量率；根据《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T 14583-1993)，各测点离地面高度 1m。现场监测点位见图 2.3-1；

中子：根据《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001)有关布点原则进行布点，共计布点 12 个，测点与 X- γ 辐射剂量率测点相同，重点调查本项目拟建址及评价范围内中子剂量当量率。现场监测点位见图 2.3-1；

空气：项目拟建址（现状中医楼楼顶）；

地表水：项目所在地的地表水主要集中在项目周围的河流和水库，水样监测点位选取为距医院最近（医院南侧约 338m）的上塘河；

土壤：浙江省肿瘤医院及医院东侧公园土壤；



注：△表示 x- γ 辐射剂量率及中子周围剂量当量率检测点位。

图 2.3-1 现场监测点位示意图

2.3.2.3 监测仪器、监测和分析测量方法

本次调查所采用的监测、采样与分析测量方法，均按照国家有关的规定执行，本次调查所使用的主要仪器设备情况、所依据的技术文件见附件 6。

2.3.2.4 质量保证措施

(1) 委托的检测机构已通过计量认证，具备有相应的检测资质和检测能力，其计量认证证书及检测能力证书见附件 6；

(2) 委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；

(3) 委托的检测机构所采用的监测设备等均通过计量部门检定合格，并在检定有效期内；

(4) 所有监测人员均通过专业的技术培训和考核；

(5) 检测报告实行二级审核。

2.3.2.5 监测结果与评价

(1) γ 辐射

本项目拟建址及周围环境 X- γ 辐射剂量率监测结果见表 2.3-1。

表 2.3-1 本项目拟建址及周围环境 X- γ 辐射剂量率监测结果

序号	检测点位	测量结果* (nSv/h)	
		平均值	标准差
△1	拟建址东侧	121	6
△2	拟建址南侧	125	3
△3	拟建址西侧（中医馆）	122	10
△4	拟建址北侧（放射治疗楼南侧）	121	3
△5	拟建址中央（停车场）	118	2
△6	杭州市半山实验小学东北侧	113	6
△7	广济路 189-18 号门口	120	4
△8	广济路 189-9 号门口	122	4
△9	门诊大楼南侧	132	5
△10	行政科研楼东侧	123	2
△11	半山国家森林公园西侧	119	5
△12	浙江建设技师学院西侧	105	3

注：*已扣除宇宙射线响应值。

根据监测结果可知,本项目拟建址及周围环境 X- γ 辐射剂量率在(112~139) nSv/h 范围内,即(112~139) nGy/h 范围内(品质因数近似取 1,近似取 1nSv/h=1nGy/h),处于浙江省环境天然贯穿辐射水平正常涨落范围内。(根据《浙江省环境天然放射性水平调查报告》,杭州市道路上 γ 辐射剂量率的范围为(28~220) nGy/h)

(2) 中子

本项目拟建址及周围环境中子剂量当量率监测结果见表 2.3-2。

表 2.3-2 本项目拟建址及周围环境中子剂量当量率监测结果

序号	检测点位	测量结果 (nSv/h)
$\Delta 1$	拟建址东侧	未检出
$\Delta 2$	拟建址南侧	未检出
$\Delta 3$	拟建址西侧(中医馆)	未检出
$\Delta 4$	拟建址北侧(放射治疗楼南侧)	未检出
$\Delta 5$	拟建址中央(停车场)	未检出
$\Delta 6$	杭州市半山实验小学东北侧	未检出
$\Delta 7$	广济路 189-18 号门口	未检出
$\Delta 8$	广济路 189-9 号门口	未检出
$\Delta 9$	门诊大楼南侧	未检出
$\Delta 10$	行政科研楼东侧	未检出
$\Delta 11$	半山国家森林公园西侧	未检出
$\Delta 12$	浙江建设技师学院西侧	未检出

注:仪器检出限为 1nSv/h。

根据监测结果可知,本项目拟建址及周围环境中子剂量当量率均低于仪器检测限,均为未检出。

(3) 空气

本项目气溶胶中放射性分析结果见表 2.3-3, ^{131}I 分析结果见表 2.3-4, ^3H 分析结果见表 2.3-5。

表 2.3-3 本项目气溶胶中放射性分析结果

样品名称	总 α (mBq·m ⁻³)	总 β (mBq·m ⁻³)	核素含量($\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)									
			^7Be	^{40}K	^{95}Zr	^{54}Mn	^{131}I	^{134}Cs	^{137}Cs	^{60}Co	^{58}Co	^{144}Ce
气溶胶	0.02	0.54	(9.02±0.53) $\times 10^3$	< 71.3	<5.47	<2.70	<4.33	<3.26	<3.38	<2.65	<2.96	<18.1

表 2.3-4 空气中 ^{131}I 分析结果

样品名称	核素含量($\text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$)	测量日期
气碘	<0.22	2020.10.20

表 2.3-5 空气中 ^3H 分析结果

样品名称	核素含量($\text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$)	测量日期
气氚	<12.0	2020.10.16

根据分析结果可知,本项目拟建址气溶胶中总 α 放射性活度浓度为 $0.02\text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$, 总 β 放射性活度浓度为 $0.54\text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$, 气溶胶中 ^7Be 、 ^{40}K 等核素含量以及气碘中 ^{131}I 、气氚中 ^3H 核素含量均未见异常。

2.3.3.4 地表水

本项目地表水中放射性分析结果见表 2.3-6。

表 2.3-6 地表水中放射性分析结果

样品名称	总 α (Bq/L)	总 β (Bq/L)	^3H (Bq/L)	核素含量(mBq/L)										
				^7Be	^{40}K	^{95}Zr	^{65}Zn	^{54}Mn	^{134}Cs	^{137}Cs	^{60}Co	^{58}Co	^{144}Ce	$^{110\text{m}}\text{Ag}$
地表水	0.03	<1.0	<9.34	94.0 ± 7.5	<1.73	<2.76	<1.05	<1.15	<1.23	<1.32	<1.13	<5.78	<1.05	0.03

根据分析结果可知,本项目地表水中总 α 放射性活度浓度为 $<0.03\text{Bq/L}$, 总 β 放射性活度浓度为 0.03Bq/L , 地表水中 ^7Be 、 ^{40}K 等核素含量均未见异常。

2.3.3.4 土壤

本项目土壤中放射性分析结果见表 2.3-7。

表 2.3-7 土壤中放射性分析结果

样品名称	总 α (Bq/kg)	总 β (Bq/kg)	核素含量(Bq/kg)										
			^7Be	^{40}K	^{95}Zr	^{65}Zn	^{134}Cs	^{137}Cs	^{60}Co	^{58}Co	^{144}Ce	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	
省肿瘤医院土壤	384	780	<1.62	448 ± 30	<0.34	<0.48	<0.19	<0.22	<0.22	<0.20	<1.07	<0.27	
肿瘤医院东侧公园土壤	526	698	<1.90	423 ± 29	<0.40	<0.52	<0.22	0.34 ± 0.08	<0.28	<0.22	<1.17	<0.31	

根据分析结果可知,本项目拟建址土壤中总 α 放射性比活度为 384Bq/kg , 总 β 放射性比活度为 780Bq/kg , 土壤中 ^7Be 、 ^{40}K 等核素含量均未见异常。

2.4 场址适宜性评价

本项目位于浙江省肿瘤医院总院半山院区，项目用地为医疗卫生用地，经过以上的自然环境、社会经济状况的调查结果可知，项目所在场址及周边无影响项目安全稳定运行的制约性因素，本项目选址合理；根据本项目的环境现状监测结果可知，本项目拟建址及周围辐射环境现状水平未见异常，辐射剂量率均在环境本底水平范围内，本项目场址适宜性良好。

第三章 工程分析与源项

3.1 项目规模与基本参数

浙江省肿瘤医院拟购置一套重离子治疗系统，该系统将提供能量为 120MeV/u-400MeV/u 的碳离子束，用于肿瘤的放射治疗。

3.1.1 重离子治疗系统简介

产品名称：重离子治疗系统（Heavy Ion Medical Machine, HIMM）

生产厂商：兰州科近泰基新技术有限责任公司

型号规格：CY-SY-4400（回旋注入器+同步加速器+四个治疗室（能量 120MeV/u-400MeV/u））

基本功能：HIMM 提供高能碳离子束用于恶性实体肿瘤的放射治疗（放疗），利用均匀扫描的束流配送模式可实现二维（2D）适形放疗，利用调制扫描的束流配送模式可实现三维适形放疗（3DSS）。

HIMM 是中国科学院近代物理研究所和兰州科近泰基新技术有限责任公司共同研制生产、拥有我国自主知识产权的大型放疗设备。HIMM 由加速器系统和治疗系统组成，加速器系统为治疗系统提供能量为 120MeV/u-400MeV/u 的 $^{12}\text{C}^{6+}$ 束流，在人体组织内最大射程为 270mm；治疗系统通过治疗控制软件控制加速器系统输送治疗所需要的不同能量的 $^{12}\text{C}^{6+}$ 束流，通过治疗头束流配送系统和束流能量调节系统，形成治疗所需的不同深度及不同靶区形状的统一照射野，进行适形照射。

加速器系统根据各部分设备在束流的产生过程起到的不同作用，分为不同的二级子系统，包括离子源及低能传输系统、回旋加速器、中能传输系统、同步加速器、高能传输系统等。

治疗系统包括 1 号治疗室（90°治疗头）、2 号治疗室（0°+90°治疗头）、3 号治疗室（45°+90°治疗头）、4 号治疗室（90°治疗头）（后期升级为重离子 Gantry 治疗终端）、物理计划室及共用部分。每个治疗终端根据需求配备治疗头、图像引导系统、患者支撑系统、呼吸门控、治疗计划系统、激光定位系统、治疗控制系统及治疗室辅助设备。其中调制扫描可实现三维适形放疗（3DSS），均匀扫描可实现二维（2D）适形放疗。1 号、3 号、4 号治疗室配置调制扫描模式，2 号治

疗室配置均匀扫描模式。HIMM 通过图像引导系统实现患者定位功能，在患者治疗前做到靶区中心与等中心在一定精度范围内的重合。

HIMM 主要组成示意图如图 3.1-1 所示：

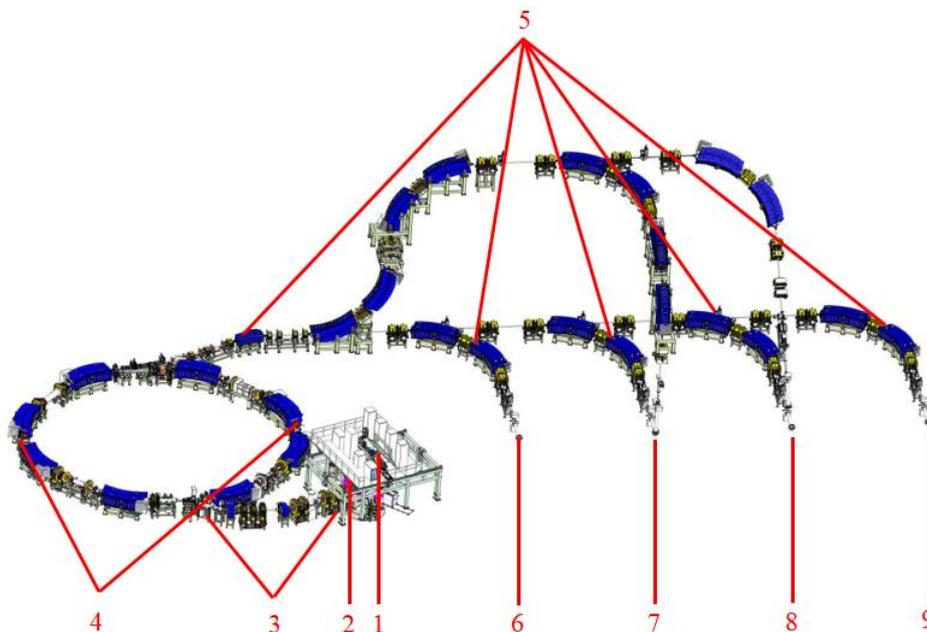


图 3.1-1 HIMM 主要组成示意图

图中：1——离子源及低能传输系统

2——回旋加速器

3——中能传输系统

4——同步加速器

5——高能传输系统

6——1 号治疗室，90°治疗头

7——2 号治疗室，0°和 90°治疗头

8——3 号治疗室，45°和 90°治疗头

9——4 号治疗室，90°治疗头（后期升级为重离子 Gantry 治疗终端）

其中 1-5 部分属于加速器系统，6-9 部分属于治疗系统。

HIMM 装置总体布局如图 3.1-2 所示：

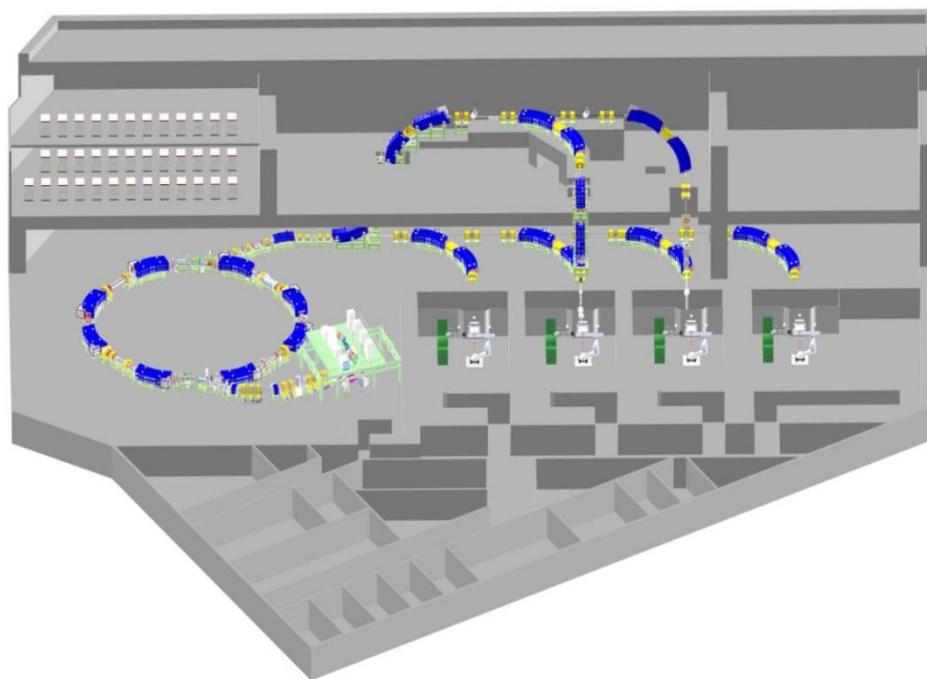


图 3.1-2 HIMM 总体布局图

3.1.2 重离子治疗系统技术指标

升级直线注入后，HIMM稳定运行时，终端粒子数可达 4.155×10^9 ppp。HIMM基本参数如表3.1-1所示。

表 3.1-1 HIMM 基本参数

参数	指标
治疗室个数	4
粒子种类	碳离子 $^{12}\text{C}^{6+}$
加速方式	回旋注入器+同步加速器
治疗头（机架）类型	固定治疗头（机架）
固定治疗头（机架）角度	1号治疗室：90°治疗头 2号治疗室：0°治疗头、90°治疗头 3号治疗室：45°治疗头、90°治疗头 4号治疗室：90°治疗头（后期升级 Gantry 治疗头）
束流配送方式	1号治疗室 90°治疗头：扫描束（调制扫描） 2号治疗室 0°治疗头：扫描束（均匀扫描） 2号治疗室 90°治疗头：扫描束（均匀扫描） 3号治疗室：45°治疗头：扫描束（调制扫描） 3号治疗室：90°治疗头：扫描束（调制扫描） 4号治疗室：90°治疗头：扫描束（调制扫描） Gantry 治疗头：扫描束（调制扫描）
不同治疗室切换时间（s）	≤20

能量切换时间(s)	≤20
束流引出时间 (s)	2
流强范围	$2 \times 10^7 - 4.155 \times 10^9$ ppp
能量范围	120MeV/u~400MeV/u
射程范围	在人体组织中≤270mm
能量调节步长	≈2MeV/u (对应的布拉格峰位 2mm)
能量调节方式	a) 均匀扫描模式下的调能方式: 不连续射程转换, 射程移位器、脊形过滤器 b) 调制扫描模式下的调能方式: 主动变能, 微型脊形过滤器
照射野	200mm×200mm (调制扫描) 200mm×200mm (均匀扫描)
剂量率	均匀扫描模式标称剂量率: 1Gy/min
束斑位置精度	±1mm
虚拟源到设备参考点的距离	虚拟源轴距≥5.4m

注: 90°治疗头即水平治疗头, 0° 治疗头即垂直治疗头。

3.2 工程设备与工艺分析

3.2.1 系统组成

HIMM 主要组成及结构组成见表 3.2-1、3.2-2、3.2-3。

表 3.2-1 HIMM 主要组成

子系统名称	数量
一、加速器系统	
1.1、离子源及低能传输系统	2 套
1.2、回旋加速器	1 套
1.3、中能传输系统	1 套
1.4、同步加速器	1 套
1.5、高能传输系统	1 套
1.6、工艺冷却水系统	1 套
二、治疗系统	
2.1、治疗头	
2.1.1、1 号治疗室 (90°治疗头)	1 套
2.1.2、2 号治疗室 (0°+90°治疗头)	2 套
2.1.3、3 号治疗室 (45°+90°治疗头)	2 套

2.1.4、4号治疗室（90°治疗头）（后期升级 Gantry 治疗头）	1套
2.2、调制方式	
2.2.1、1号、3号、4号治疗室为调制扫描模式；调制扫描可实现三维适形放疗（3DSS）	
2.2.2、2号室为均匀扫描模式，均匀扫描可实现二维（2D）适形放疗	
2.3、图像引导系统	4套
2.4、机械臂治疗床	4套
2.5、固定式激光灯	4套
2.6、ciPlan 治疗计划系统	1套
2.7、RayStation 治疗计划系统	1套（选配）
2.8、QA 工具	1批
2.9、治疗室控制系统	1套
2.10、呼吸门控系统	1套

表 3.2-2 HIMM 产品结构组成

一级子系统	二级子系统	三级子系统	四级子系统
加速器子系统	注入器系统	离子源系统	束诊单元
			真空单元
			磁铁单元
			电源单元
			离子源单元
			高频单元
			控制单元
		注入器	真空单元
			磁铁单元
			束诊单元
			高频单元
			控制单元
			电源单元
		//	控制单元
		中能传输系统	真空单元
			磁铁单元
			束诊单元
			控制单元

	主加速器系统	同步加速器	电源单元
			真空单元
			磁铁单元
			束诊单元
			控制单元
			电源单元
		高能传输系统	高频单元
			真空单元
			磁铁单元
			束诊单元
//	//	控制单元	
//	//	束诊单元	
治疗子系统	治疗终端 1	图像引导系统	束流应用单元
		患者支撑系统	束流应用单元
		呼吸门控系统	提供接口
		治疗头	束流应用单元
		激光定位系统	束流应用单元
		治疗控制系统	治疗终端单元
		治疗室辅助设备	治疗终端单元
		//	束流应用单元
	治疗终端 2	//	束诊单元
		图像引导系统	束流应用单元
		患者支撑系统	束流应用单元
		呼吸门控系统	呼吸门控
		治疗头	束流应用单元
		激光定位系统	束流应用单元
		治疗控制系统	治疗终端单元
		治疗室辅助设备	治疗终端单元
//	束流应用单元		

		//	束诊单元
	治疗终端 3	图像引导系统	束流应用单元
		患者支撑系统	束流应用单元
		呼吸门控系统	提供接口
		治疗头	束流应用单元
		激光定位系统	束流应用单元
		治疗控制系统	治疗终端单元
		治疗室辅助设备	治疗终端单元
		//	束流应用单元
		//	束诊单元
	治疗终端 4	图像引导系统	束流应用单元
		患者支撑系统	束流应用单元
		呼吸门控系统	//
		治疗头	束流应用单元
		激光定位系统	束流应用单元
		治疗控制系统	治疗终端单元
		治疗室辅助设备	治疗终端单元
		//	束流应用单元
		//	束诊单元
	//	//	治疗终端单元
//	//	治疗终端辅助设备单元	
//	//	束流应用单元	
//	//	束诊单元	

表 3.2-3 HIMM 辅助设施组成表

	三级子系统	四级子系统
辅助设施	公共设施系统	低压配电及地线单元
		供气单元
		工艺冷却水系统及统监控单元
	辐射防护系统	辐射监测单元

		安全联锁单元
	//	真空泵室
	//	设备支架

3.2.2 重离子治疗系统工作原理

重离子治疗加速器工作原理简述如下：

①碳离子源的产生：通入离子源腔体中 CO_2 气体分子，与吸收微波能量的热电子碰撞，通过多次电离碰撞过程产生多电荷态离子，在引出过程中利用分析磁铁筛选，得到所需要的 $^{12}\text{C}^{5+}$ 离子束。

②碳离子源的加速：离子源产生的 $^{12}\text{C}^{5+}$ 离子束经低能束运线注入到回旋加速器，在回旋加速器中 $^{12}\text{C}^{5+}$ 离子束被加速到 6.2MeV/u 后被引出；通过中能束运线注入到同步加速器，进入同步加速器的 $^{12}\text{C}^{5+}$ 离子束首先穿过剥离膜，被剥离成为 $^{12}\text{C}^{6+}$ ，然后被加速到终端所需要的能量（ $120\sim 400\text{MeV/u}$ ）后被引出。

③碳离子用于治疗：被引出的高能 $^{12}\text{C}^{6+}$ 通过高能束线传输到治疗终端，通过治疗终端精确定位，将其能量准确沉积到病人肿瘤部位，从而完成治疗。

3.2.3 重离子治疗系统主要组成部分相关技术参数、工艺原理

3.2.3.1 HIMM 加速器系统

HIMM 加速器系统主要由离子源及低能传输系统、回旋加速器、中能传输系统、同步加速器、高能传输系统组成。

(1) 离子源及低能传输系统

离子源及低能传输系统使用的离子源为 ECR (Electron Cyclotron Resonance, 电子回旋共振等离子体) 离子源。等离子体弧腔内的中性气体原子和这些获得微波能量的自由电子碰撞，原子核外的电子获得能量，当高于其电离能时就可能被电离。这些电离的电子又可能被微波共振加热获得能量而继续碰撞别的原子或离子，原子就被逐步电离至较高电荷态，形成高密度 ECR 等离子体。如果在弧腔上加上几十千伏的正高压，等离子体当中的离子会通过电极被引出而形成很强的离子束。

离子源系统引出的离子束为含有多种质荷比的混合态离子束，利用不同能量质荷比离子束在分析系统末端横向相点位置不同的原理，筛选出回旋加速器需要

的 $^{12}\text{C}^{5+}$ 离子束，后经横向发射度匹配系统及纵向发射度匹配系统匹配注入回旋加速器。因回旋加速器的后级同步加速器装置只有在注入期间需要来自其前级系统的 $^{12}\text{C}^{5+}$ 离子束，为了避免中高能 $^{12}\text{C}^{5+}$ 离子束在同步加速器入口大量损失造成设备损伤，在低能传输系统中增加了斩波器，在同步加速器需要束流时使离子束正常注入下级系统，在同步加速器不需要束流时将离子束偏至低能束运系统的法拉第筒。此外，HIMM 回旋加速器系统要求离子源系统为其提供 $^{12}\text{C}^{5+}$ 离子束，而 $^{12}\text{C}^{5+}$ 离子是剥离能为 390eV 的中高电荷态离子，离子源采用高磁场、高频率以及较高功率馈入的模式，可有效产生强流 $^{12}\text{C}^{5+}$ 离子束。设计的离子源注入磁镜比值 $R>3$ ，引出磁镜比 $R\approx 2$ ，微波频率为 13.75GHz~14.5GHz，馈入功率最大不超过 700W。技术上离子源设计结构简单、紧凑，除采用全永磁结构外，在离子源注入端辅以铁轭来增强轴向磁场注入峰值，整个永磁体离子源体积进一步减小，设备更加紧凑。

低能传输系统采用简单、紧凑及实用的设计理念，其全长不超过 3.5 米，按功能其主要由离子源引出离子束的分析与传输、回旋加速器横向的匹配注入、回旋加速器纵向的匹配注入以及与同步加速器注入同步的斩波器的劈束等四部分组成。

离子源及低能传输系统物理参数如表 3.2-4 所示，结构示意如图 3.2-1 所示。

表 3.2-4 离子源低能传输系统物理参数

参数	设计指标
离子源类型	ECR
离子种类	$^{12}\text{C}^{5+}$
束流能量	9.29keV/u
束流强度	50-100eμA
工作频率	14.5GHz
束流发射度 (4RMS)	$75\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$
引出电压	22.32kV
束流占空比	100%
微波功率	<500W

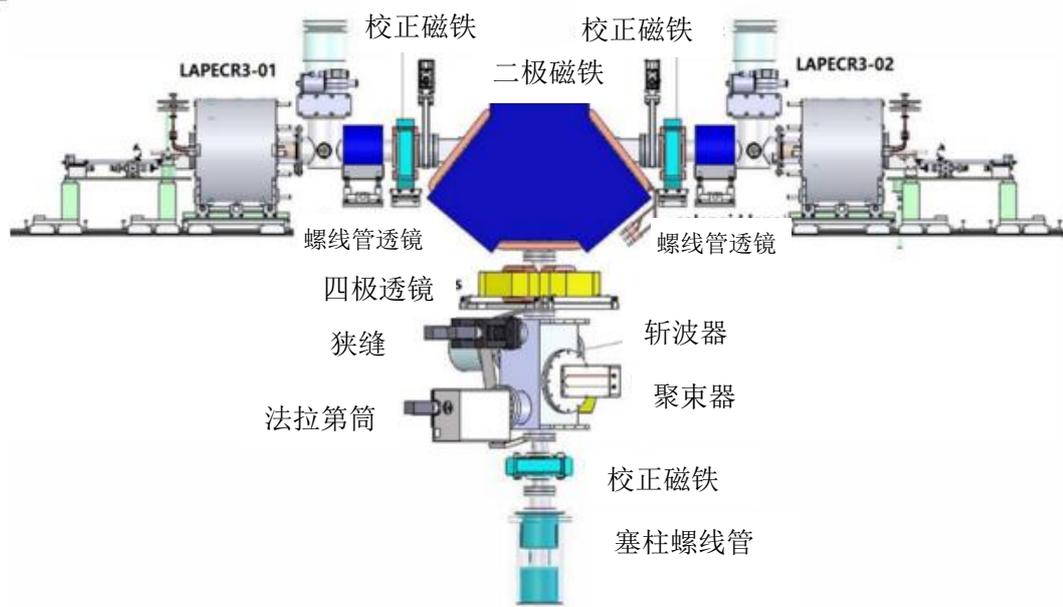


图 3.2-1 离子源及低能传输系统结构示意图

(2) 回旋加速器

回旋加速器作为 HIMM 主加速器——同步加速器的注入器，旨在对束流进行初加速，把从离子源产生并经低能束线输送到回旋加速器中平面的约 9.29keV/u 的低能离子束加速到 6.2MeV/u 的水平。

回旋加速器在加速器总体结构上是直边扇等时性回旋加速器，该加速器仅加速 $^{12}\text{C}^{5+}$ 这一种粒子，其等时性磁场一旦给定就不需要改变，等时性磁场由扇块边缘的形状保证，不需要设计专门的垫补线圈。利用带电粒子在均匀磁场中做圆周运动的原理，把离子源引出的束流 $^{12}\text{C}^{5+}$ 注入到等时场中，通过 D 型盒间的高频高压加速带电粒子，该加速器利用高频电场可将 $^{12}\text{C}^{5+}$ 加速到 6.2MeV/u 以上。通过引出系统将离子束引出到中能传输系统，引出流强大于 5uA。回旋加速器物理参数如表 3.2-5 所示，结构示意如图 3.2-2 所示。

表 3.2-5 回旋加速器物理参数

加速离子种类	$^{12}\text{C}^{5+}$
能量	6.2MeV/u
引出流强	$\geq 5.0\mu\text{A}$
能散	$\leq \pm 1\%$
发射度	$\leq 25\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$
引出半径	75 cm
注入半径	2.7 cm

回旋频率	7.755 MHz
加速谐波数	4
注入能量	111.6 keV ($^{12}\text{C}^{5+}$)
中心磁场	1.212 T

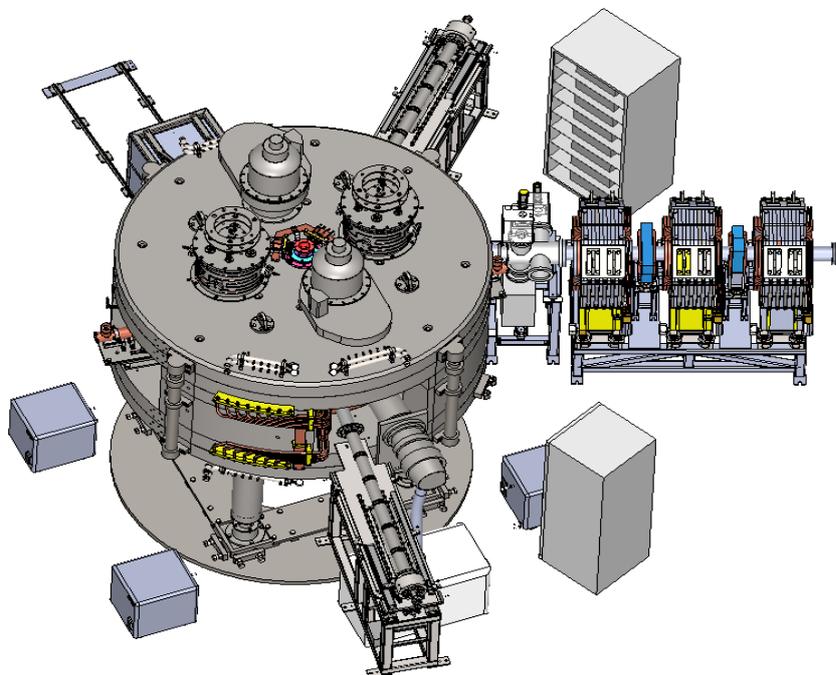


图 3.2-2 回旋加速器结构示意图

(3) 中能传输系统

中能传输系统是利用磁极性交替排列的四极磁铁在水平与垂直方向把束流限定在真空管道内,用分布于四极磁铁之间的二极磁铁把束流导向同步加速器的注入口的束流配送装置。中能传输系统物理参数如表 3.2-6 所示,结构示意图如图 3.2-3 所示。

表 3.2-6 中能传输系统束流参数

离子种类	$^{12}\text{C}^{5+}$
磁刚度	0.90 T·m (对应能量: 6.8MeV/u)
流强	$\geq 5.0\mu\text{A}$
动量分散($\geq 90\%$)	$\leq \pm 5\%$
发射度 ($\pi \text{ mm.mrad}$)	25/25
传输效率	$\geq 95\%$

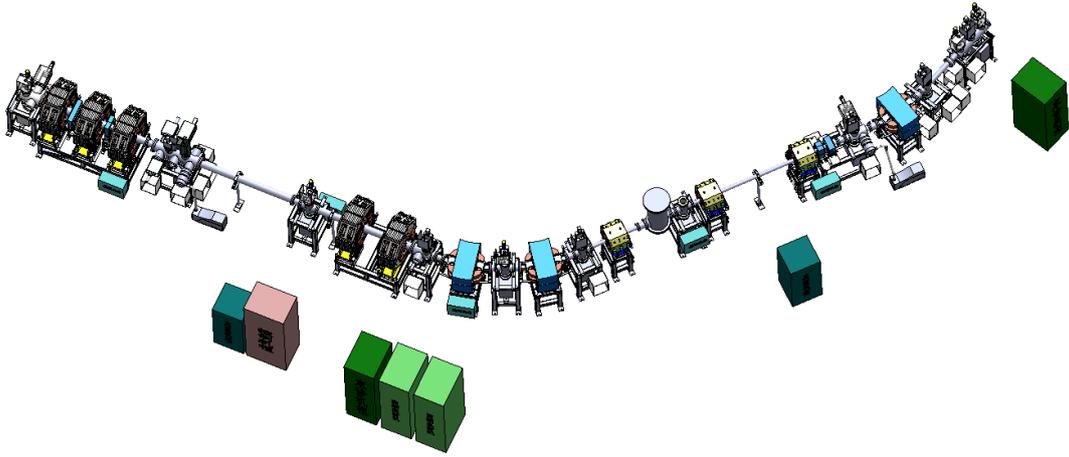


图 3.2-3 中能传输系统结构示意图

(4) 同步加速器

同步加速器是利用高频电场加速带电粒子的环形加速器装置，也是 HIMM 碳离子束的主加速装置，主要用来将从回旋加速器引出并通过中能传输系统传输到同步环的 6.2MeV/u 的碳离子束加速到终端所需的能量并引出至高能传输线。同步加速器包括注入、加速、引出过程。同步加速器经过剥离注入先将碳离子 $^{12}\text{C}^{5+}$ 剥离一个电子变成全裸碳离子 $^{12}\text{C}^{6+}$ ，然后加速碳离子 $^{12}\text{C}^{6+}$ 束到治疗所需能量 120MeV/u - 400MeV/u ，再引出到高能传输系统。

HIMM 同步加速器采用剥离注入方法，即利用凸轨将同步加速器的循环轨道凸起，使注入束流 ($^{12}\text{C}^{5+}$) 轰击碳膜，束流被剥离掉外层电子，得到 $^{12}\text{C}^{6+}$ 粒子。 $^{12}\text{C}^{6+}$ 粒子沿凸轨进入同步加速器循环轨道。随着凸轨高度的降低，束流逐渐填满同步加速器的水平接受度，从而完成束流的注入。同步加速器利用高频电场加速带电粒子，令纵向高频相位为 0，电压逐渐上升，从而将连续束俘获成束团，然后高频频率逐渐增加，同步粒子获得纵向电场作用后，能量得到提升，实现加速。加速过程中，要保证高频频率、同步加速器的磁场上升速度一致。

引出系统采用高频剔除方式，即将同步加速器的工作点设置在 1.66 附近，然后增加六极磁铁的强度使束流横向相空间发生畸变，再利用横向激励作用于束流，使其发射度增大从而引出。

同步加速器主要参数如表 3.2-7 所示，结构示意图如图 3.2-4 所示，同步加速器运行周期示意图如图 3.2-5 所示。

表 3.2-7 同步加速器主要参数

主参数	
磁刚度 (T.m)	0.76-6.34
加速时间 (s)	≤ 2
运行周期 (s)	≤ 8
束流参数	
离子种类	C
最高能量 (MeV/u)	400 ($^{12}\text{C}^{6+}$)
环内注入离子数 (ppp)	$5 \times 10^8 - 2.0 \times 10^9$ (回旋注入器)
终端粒子数 (p/spill)	$2 \times 10^7 - 6 \times 10^8$ (回旋注入器)
终端动量分散 ($\delta P/P$)	$\pm 1.5 \times 10^{-3}$
终端发射度 ($\pi\text{mm.mrad}$)	5-13
注入束参数	
能量 (MeV/u)	6.2
流强 ($e\mu\text{A}$)	≥ 5 ($^{12}\text{C}^{5+}$)
动量分散 ($\delta P/P$)	$\leq \pm 5 \times 10^{-3}$
发射度 ($\pi\text{mm.mrad}$)	≤ 25 (5σ)
磁聚焦结构	
工作点	$Q_x/Q_y = 1.68/1.23$
有效孔径 (mm^2)	140×60 (B 铁), 150×80 (Q 铁)
接受度	
A_h ($\pi\text{mm.mrad}$)	200 ($\Delta P/P = \pm 0.5\%$)
A_v ($\pi\text{mm.mrad}$)	50
$\Delta P/P$ (%)	+1 ~ -1 ($\epsilon_h = 20 \pi\text{mm.mrad}$)
重要分系统	
磁铁	
B 铁场强 (T)	0.18~1.66 ($\rho=4\text{m}$)
Q 铁场强 (T/m)	0.5~7.5
气隙 (mm)	B 铁气隙 74, Q 铁 Bore 直径 140
高频	
频率范围 (MHz)	0.9~7.8
最高电压 (kV)	≥ 3
真空	
真空度 (mbar)	$\leq 5.0 \times 10^{-9}$

磁铁真空壁 (mm)	1 (B 铁真空壁加筋), 3 (Q 铁真空壁不加筋)
电源	
平台纹波	小于 $\pm 1 \times 10^{-5}$ (120~400MeV/u)
跟踪精度	小于 $\pm 1 \times 10^{-4}$ (环)

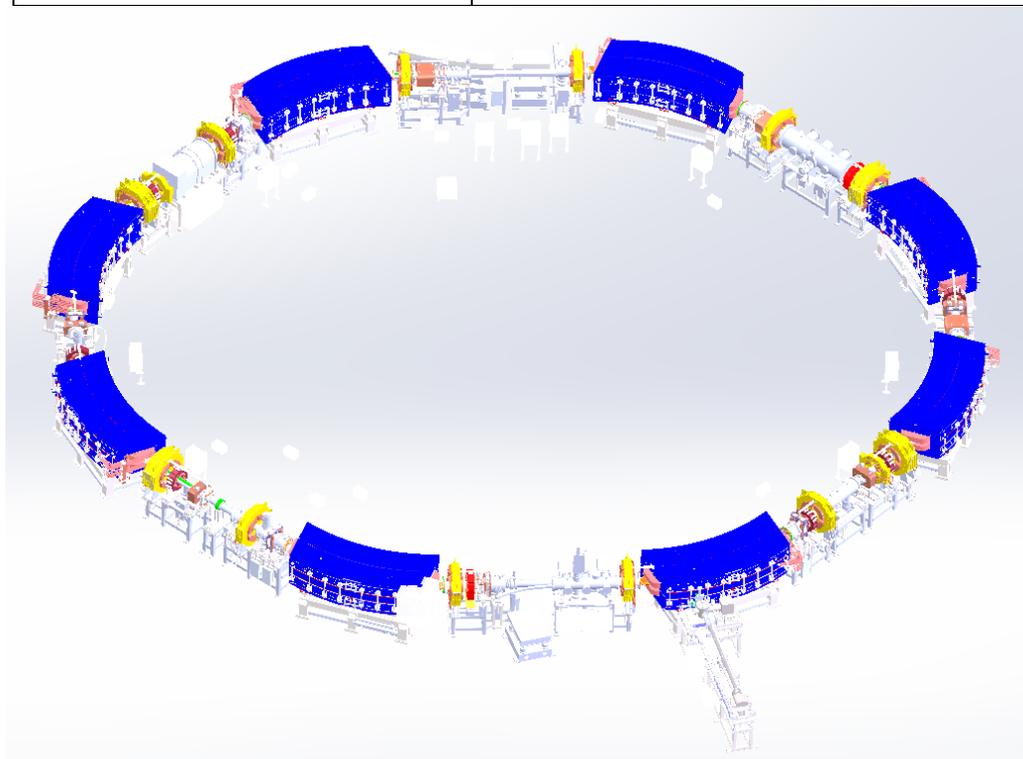


图 3.2-4 同步加速器结构示意图

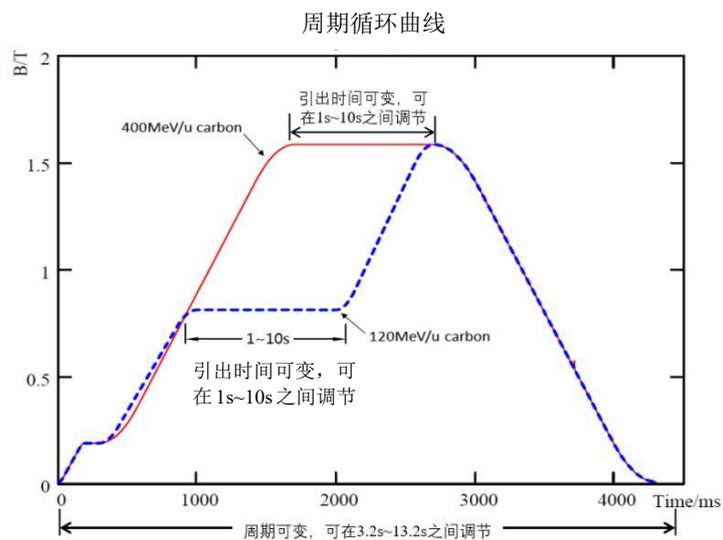


图 3.2-5 同步加速器运行周期示意图 (4.3s 运行周期)

单个运行周期内结构是可变的, 束流进入同步加速器有一个注入、俘获、加速、引出的过程, 依据治疗需求实时调整。图 3.2-5 是上述过程中同步环里的 8 台二极磁铁磁场随时间的变化曲线, 单个周期时间在 3.2~13.2 秒之间可调, 引出

平台时间可变，可在 1~10 秒之间调节，根据终端剂量的需要而不同。而图中只是选取了一种情况，其周期约为 4.3 秒，而此周期对应的平顶引出时间为 1 秒。此图所述为均匀扫描模式二极铁电源波形，单个周期能量固定，引出平台一般设置为 2s；而调制扫描模式采用单周期变能进行治疗，同一周期内引出不同能量碳离子，引出周期可能会增加到 30s 以上。

(5) 高能传输系统

高能传输系统是利用磁极性交替排列的四极磁铁在水平与垂直方向把束流限定在真空管道内，用分布于四极磁铁之间的二极磁铁把束流导向各治疗室的束流配送装置。高能传输系统物理参数如表 3.2-8 所示，结构示意如图 3.2-6 所示。

表 3.2-8 高能传输系统束流参数

项目	指标
离子种类	$^{12}\text{C}^{6+}$
最高磁刚度 (T·m)	6.343 (对应能量: 400MeV/u)
流强 (ppp)	$\leq 6.0 \times 10^8$
动量分散 ($\geq 90\%$)	$\leq \pm 1.5 \times 10^{-3}$
发射度 ($\pi\text{mm.mrad}$)	≤ 7.0
传输效率	$\geq 90\%$

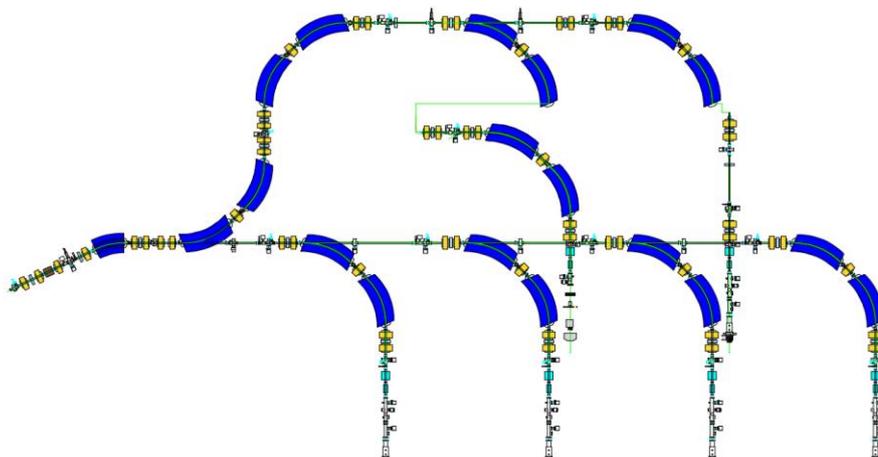


图 3.2-6 高能传输系统结构示意图

3.2.3.2 HIMM 治疗系统

HIMM 治疗系统主要选配被动式束流配送（均匀扫描）和主动式束流配送（调制扫描）两种治疗模式。

被动式束流配送系统（均匀扫描）是对加速器引出的笔形束通过摇摆磁铁使用预定的模式进行连续横向扫描，从而获得均匀的照射野。经横向展宽的离子束

通过脊形过滤器将单能的尖锐 Bragg 峰在纵向进行展宽获得与肿瘤纵向大小一致的展宽 Bragg 峰 (SOBP)。横向上利用多叶光栅将束流截取与 BEV 方向肿瘤的投影外轮廓一致的照射野。为了不伤害肿瘤靶区后方的正常组织,使离子束停止在靶区后沿,还需要在体表增加补偿器。均匀扫描示意图如图 3.2-7 所示。

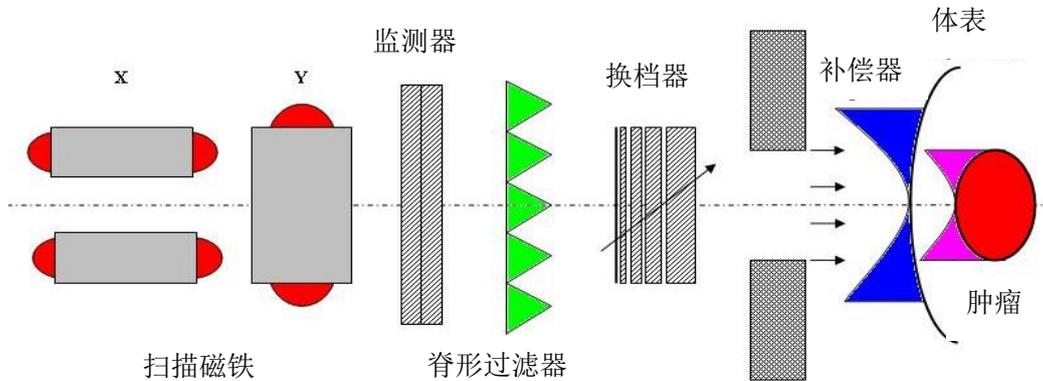


图 3.2-7 均匀扫描示意图

主动式束流配送系统 (调制扫描) 其特点体现在利用笔形束实现对肿瘤靶区的分层逐点照射,横向上束斑的位置可以由扫描磁铁来控制,纵向上可以通过加速器主动变能的方式实现离子束能量的调节,扫描点在横向上和纵向上相互累加达到计划的均匀剂量分布。该束流配送模式不但提高了靶区的适形度,而且不需要专门为患者制作个体化的补偿器和准直器。调制扫描示意图如图 3.2-8 所示。

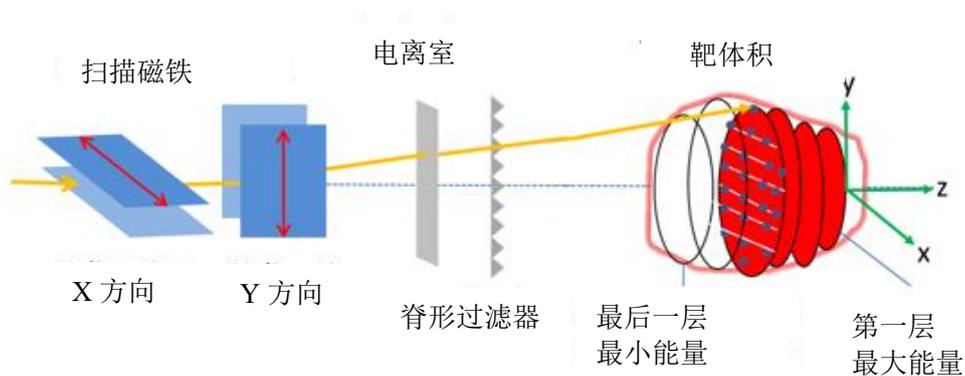


图 3.2-8 调制扫描示意图

束流进入肿瘤中,通常能量由高到低,对应入射深度由深到浅,这样有利于剂量的精确控制。因此最高能量的束流其能量沉积 (布拉格峰区) 在图 3.2-8 中红色线条封闭区域——肿瘤靶区束流纵向 (z 轴) 最右方,即为首层处;当完成这个深度的横向剂量沉积后,束流能量降低,入射深度变小,完成对应深度的横向剂量沉积后再依次降低能量减少入射深度完成该深度处的剂量沉积,直到能量

降到最低、在最小的深度完成最后一层（图 3.2-8 中红色线条封闭区域——肿瘤靶区束流纵向（z 轴）最左方）剂量沉积，即完成整个具有三维分布的实体肿瘤的照射。

3.2.4 重离子治疗系统治疗流程及产污环节

本项目 HIMM 调试完成后，装置即处于正常可用状态，开启离子源，即可提供束流，关闭离子源，则整个装置内无束流。

根据患者需要，治疗束流被输送到其中的一个治疗室（同时只有一个治疗室开展治疗），治疗结束后可切换束流至下个治疗室。

装置的调试、运行、束流切换操作全部在控制室。运行期间，加速器大厅、高能线爬升段区、开展治疗的治疗室内无工作人员滞留；装置需维护、检修等操作时，在停束并进行有效通风后，工作人员才进入相关场所进行操作。

本项目 HIMM 治疗流程叙述如下：

（1）病人确诊需要进行重离子放射治疗，医生向病人告知可能受到的辐射危害；

（2）使用模拟定位机对病灶部位进行准确定位，进行体表标记；

（3）根据定位结果制定病人的治疗方案，确定照射位置和剂量等；

（4）根据肿瘤具体情况，安排病人进入相应治疗室准备（包括摆位、非照射部位的屏蔽防护等），准备好后，除病人外全部人员退出治疗室，关闭治疗室屏蔽门，开启安全连锁；

（5）在控制室内开启图像引导系统，对病灶部位进行确认；

（6）经确认无误后，根据治疗方案，在控制室通过控制系统设置照射参数等，开启 HIMM 离子源，对病人实施放射治疗；

（7）治疗完毕后关闭离子源，病人离开，完成一次放射治疗。

本项目 HIMM 治疗流程及产污环节如图 3.2-9 所示。

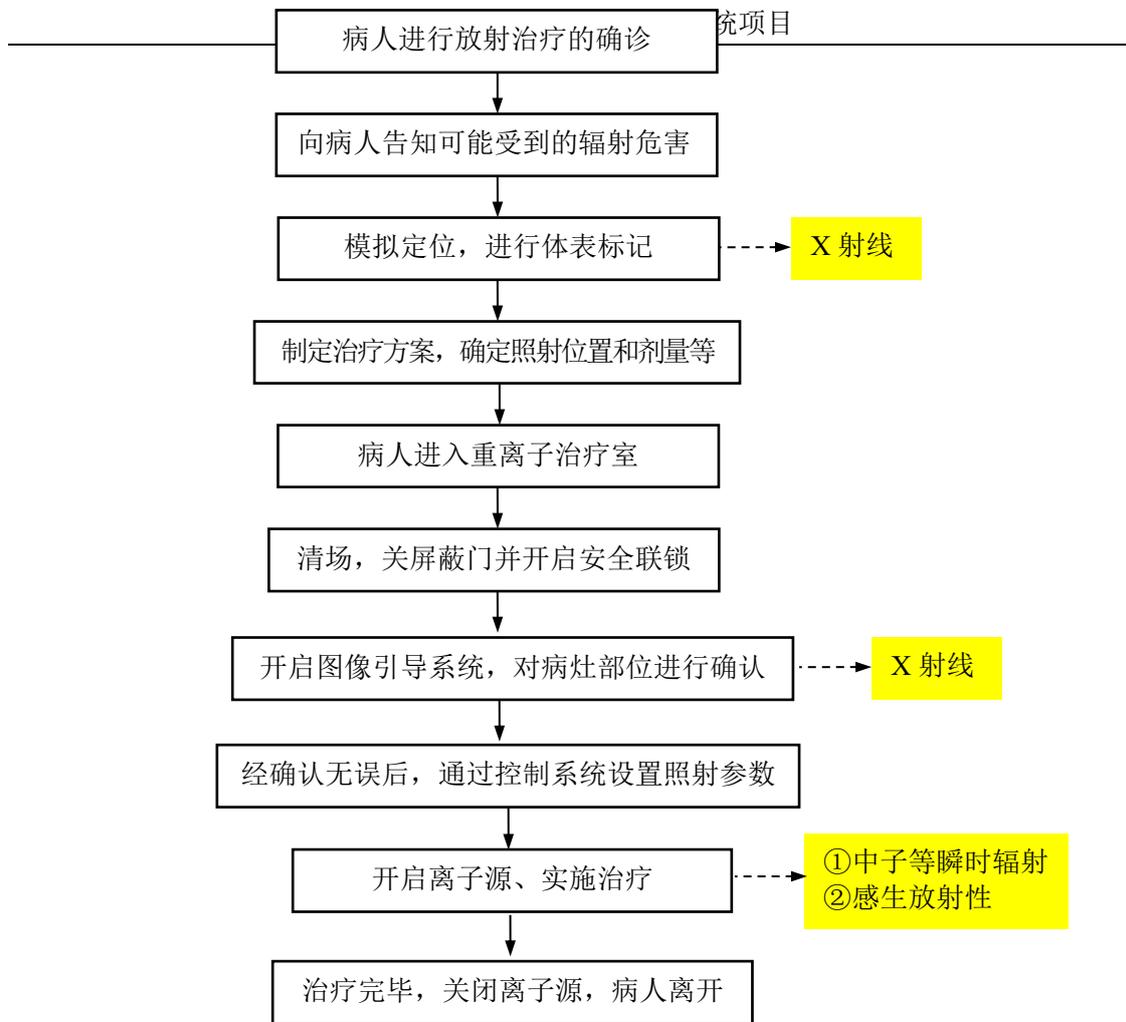


图 3.2-9 HIMM 治疗流程及产污环节示意图

3.2.5 项目定员及年工作时间

医院现有辐射工作人员约 340 人，主要分布在放疗科、介入放射科、放射物理科、核医学科的各个岗位上，包括放射治疗医生、物理师、技术员、工程师，介入放射科医生、技师，核医学科医生、技师等放射工作岗位。本项目所需辐射工作人员包括放射治疗医生、物理师、技师、护理人员等，主要从现有人员中调配，同时将根据需要新增部分辐射工作人员，辐射工作人员配备数量不少于 13 人。

根据医院的治疗计划，本项目保守估计每天最多照射病人 40 人次，每次照射平均时间约 5min，每年工作保守取 250 天，每年最多照射病人 10000 人次，HIMM 年出束照射时间为 833.4h；此外，HIMM 在非治疗期间会进行调试等工作，综合考虑，保守取 HIMM 年出束照射时间为 1000h。

3.2.6 人流物流路径规划

3.2.6.1 人流路径

医护人员：HIMM 的调试、运行、束流切换操作全部在控制室内进行。运行期间，加速器大厅、高能线爬升段区、正在开展放射治疗的治疗室内无工作人员滞留；正常运行工况下，人员不需要也不进入加速器大厅、高能线爬升段区，只有在事故工况下才从加速器大厅或高能线爬升段区入口进入进行相应操作，操作后从原路退出；医护人员从治疗室入口进入进行摆位等操作，操作后从原路退出。

病人：病人从治疗室入口进入室内接受放疗，放疗结束后从原路离开。

3.2.6.1 物流路径

感生放射性废气：经通风系统排入外环境。

感生放射性废水：正常工况下，工艺水系统管路内冷却水循环使用不外排，不产生感生放射性废水；事故工况下，管路内泄漏的感生放射性废水经室内排水地沟、地漏汇集到事故收集池，经监测满足要求后排放至医院污水处理系统。

感生放射性固废：分类收集后暂存在高能线爬升段区内的放射性固废储存间内，放射性固废处理前医院拟对其进行监测，经监测满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中解控标准的放射性固废从加速器大厅出入口送出，作为非放射性废物处理，对于不满足解控要求的固废送有资质单位处理。

3.3 污染源项

3.3.1 施工期污染源

本项目为新建项目，加速器大厅等建设施工时会产生废气、扬尘、噪声、固体废物以及废水等污染物。施工期对环境产生的影响均为暂时的、可逆的，且随着施工期结束，固废及废水在施工期间内妥善处置，施工期产生的扬尘、噪声等方面的影响将随着施工结束会自行消除。

3.3.2 运行期正常工况污染源

一、辐射污染源

(1) HIMM运行会产生瞬时辐射和感生放射性影响。瞬时辐射是指重离子束、重离子与结构材料发生核反应产生的次级中子、 γ 射线等辐射。感生放射性是指重离子、次级中子将加速器结构材料和环境介质（空气、屏蔽体等）中的物

质元素活化成放射性核素形成的辐射影响。

重离子加速器在开机运行状态下，除患者外无人员在加速器大厅、相应治疗室等辐射工作场所内停留，工作人员在控制室内进行控制操作。重离子加速器对外面的辐射影响途径主要是次级中子贯穿辐射外照射影响，以及由通风系统排出的气载感生放射性核素的辐射影响（空气浸没外照射途径）。

重离子加速器在停机状态下，工作人员因检查、检修而进入加速器大厅或治疗室等辐射工作场所时，会受到感生放射性辐射危害。通过通风和延长冷却（衰变）时间可有效降低感生放射性对工作人员的辐射影响。

（2）重离子加速器电磁辐射主要存在于射频加速电场处。回旋加速器高频腔体被回旋主磁铁包裹，同步加速器高频被外围铁皮包裹，屏蔽良好。因此，加速器设施基本没有电磁辐射泄漏影响。

二、非放污染源

（1）与辐射相关的非放射性污染因素方面，HIMM治疗室、加速器大厅等场所的空气在电离辐射作用下可能会产生少量臭氧、氮氧化物等污染空气的有害气体。对于本项目加速器，其次级辐射场主要为中子和少量光子，中子场不会引起空气电离，在光子的作用下，空气中的氧分解成自由基，氧自由基与空气中的氧气作用生成臭氧、氮氧化物等有害气体，因此，臭氧等有害气体的产生主要是空气受光子辐照所致。根据《高等电离辐射防护教程》（夏益华，哈尔滨工程大学出版社）P10公式2.17，带电粒子辐射能量损失率，即韧致辐射产生率与粒子质量的平方成反比，即粒子质量越大，其韧致辐射产生率越小。

对重离子治疗系统而言，C粒子的质量比电子高4-5个量级，因此，与电子加速器相比，重离子加速器运行时所致臭氧、氮氧化物的产生量也很小，可以不用考虑。

同时，根据《三种电子加速器产生的臭氧危害分析》（中国辐射卫生 2020年6月第29卷第3期），常见束流损失情况下，500MeV高能电子直线加速器、6GeV同步加速器运行期间按照1次/h的通风换气次数，产生的饱和臭氧浓度为 $(2.21 \times 10^{-5} \sim 5.89 \times 10^{-3}) \text{mg/m}^3$ 。根据该估算结果可推测，高能电子直线加速器、同步加速器在运行期间，臭氧排放浓度将远低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及其修改单中二级标准限值（1小时平均限值 $200 \mu\text{g/m}^3$ ）。

（2）重离子加速器运行过程中，项目配套的风机、冷却塔等设备将产生噪

声影响；医护人员在工作过程中将产生生活垃圾和生活污水；重离子治疗过程中将产生定位体模、一次性床单等医疗废物，无感生放射性影响。以上将依托项目所在重离子医学中心大楼及院内设施，其环境影响已在《浙江省肿瘤医院重离子医学中心大楼建设项目环境影响登记表》中进行了分析评价，本报告不再对其进行分析评价。

3.3.2.1 瞬时辐射

3.3.2.1.1 束流损失分布

由 HIMM 离子源提供的 C^{5+} 离子束由低能线注入回旋，受回旋加速器主磁场作用，在回旋加速器腔体内做圆周运动，通过加速电场加速到能量 $6.2MeV/u$ ，由引出设备引出到中能传输系统。因此回旋加速器引出的 $^{12}C^{5+}$ 束流经中能传输系统配送到同步加速器注入口， $^{12}C^{5+}$ 经过剥离膜后剥离为 $^{12}C^{6+}$ 注入到同步加速器，在同步加速器内进行粒子加速和累积，束流能量从 $6.2MeV/u$ 加速到终端所需要的能量（ $120MeV/u-400MeV/u$ ），并利用三阶共振方式进行引出，由高能传输系统配送到终端。

注入器根据物理设计后期由回旋注入升级为直线注入器，由 HIMM 离子源提供的 C^{5+} 离子束由低能线注入到直线注入器，经直线注入器加速到 $4MeV/u$ 。其之后过程和回旋注入器后期过程一样。

束流在产生、输运、注入、加速、引出及治疗过程中，会不可避免地出现束流损失，从而产生次级辐射。HIMM 装置的束流损失参数如表 3.3-1、3.3-2 所示。

表 3.3-1 各阶段束流损失参数（回旋注入器）

	束流强度 (ppp)	传输效率	束流损失 (ppp)	能量	损失方式
C5+/回旋	1.00E+12	15%	8.50E+11	6.2MeV/u	集中损失
同步环注入线	5.000E+09	95%	2.500E+08	6.2MeV/u	均匀损失
同步环环口	4.750E+09				
同步环注入后	2.375E+09	50%	2.375E+09	6.2MeV/u	集中损失
同步环全环俘获	1.116E+09	47%	1.259E+09	6.2MeV/u	均匀损失
同步环全环加速	1.005E+09	90%	1.116E+08	120-400MeV/u	均匀损失
慢引出	9.042E+08	90%	1.116E+08	120-400MeV/u	集中损失

高能线	8.137E+08	90%	9.042E+07	120-400MeV/u	均匀损失
终端	8.137E+08		1.017E+08	120-400MeV/u	集中损失

注：①ppp：每个脉冲的离子数；
②回旋注入器脉冲周期(pulse):8s。

表 3.3-2 各阶段束流损失参数（直线注入器）

	束流强度 (ppp)	传输效率	束流损失 (ppp)	能量	损失方式
同步环注入线	2.500E+10	95%	1.250E+09	4 MeV/u	均匀损失
同步环环口	2.375E+10	40%	1.425E+10	4MeV/u	集中损失
同步环注入后	9.500E+09				
同步环全环俘获	5.700E+09	60%	3.800E+09	4MeV/u	均匀损失
同步环全环加速	5.130E+09	90%	5.700E+08	120-400MeV/u	均匀损失
慢引出	4.617E+09	90%	5.700E+08	120-400MeV/u	集中损失
高能线	4.155E+09	90%	4.617E+08	120-400MeV/u	均匀损失
终端	4.155E+09			120-400MeV/u	集中损失

注：该表为直线注入器 30s 脉冲周期(pulse)下的参数，此时每秒的粒子数最大。

3.3.2.1.2 重离子打厚靶的次级中子产额、能谱和角分布

虽然粒子加速器的辐射场是非常复杂的，但对重离子加速器来说，次级中子起着决定性的作用，其它瞬时辐射如 γ 射线等对屏蔽体外剂量当量的贡献与中子相比可以忽略不计，因此，中子辐射场分布是 HIMM 屏蔽结构设计的主要源项。

高能重离子核反应出射的次级中子，其成份包括由核内级联产生的高能中子（前冲分布）和复合核退激出射的蒸发中子（各向同性分布）两部分。

根据中科院近代物理研究所编制的《杭州重离子治疗装置（HIMM）辐射防护设计报告》，对本项目 HIMM 次级中子辐射场源项估算如下：

一、实验方法确定中子辐射场

1998 年，日本的 Kurosawa 等人做了一项实验，他们用 100 和 180MeV/u 的 ^4He ，100、180 和 400MeV/u 的 ^{12}C 轰击不同的厚靶（靶的厚度大于该粒子在靶中的射程），用飞行时间法来测量中子产额、角分布和能量分布。实验表明：

- （1）中子产额近似与入射离子单核能的平方成正比；
- （2）100 和 400MeV/u $^{12}\text{C}+\text{Cu}$ 反应的次级中子具有相似的谱形。

图 3.3-1 为 Kurosawa 给出的 $400\text{MeV/uC}+\text{Cu}$ 反应在出射角为 0° 、 7.5° 、 15° 、 30° 、 60° 及 90° 时中子能谱测量结果。从图中可以看到 $400\text{MeV/uC}+\text{Cu}$ 反应的次级中子谱有以下特征：

(1) 在 0° 方向，中子能谱有明显峰值，峰位中子能量约在入射离子单核能的 Eu 的 $2/3$ 左右；

(2) 中子最高能量可达 Eu 的 2 倍；

(3) 在前向， $E_n > 100\text{MeV}$ 的中子占绝对优势，而 $E_n < 100\text{MeV}$ 中子成分仅占 $1/10$ 左右。因此，在束流方向的屏蔽只是由 $E_n > 100\text{MeV}$ 的中子决定；

(4) 在大角方向，情况正好相反， $E_n < 100\text{MeV}$ 的中子占绝对优势。例如，在 60° 方向， $E_n > 100\text{MeV}$ 的中子成分仅占 2%。因此，在计算侧向屏蔽时应当特别谨慎对待中、低能中子。

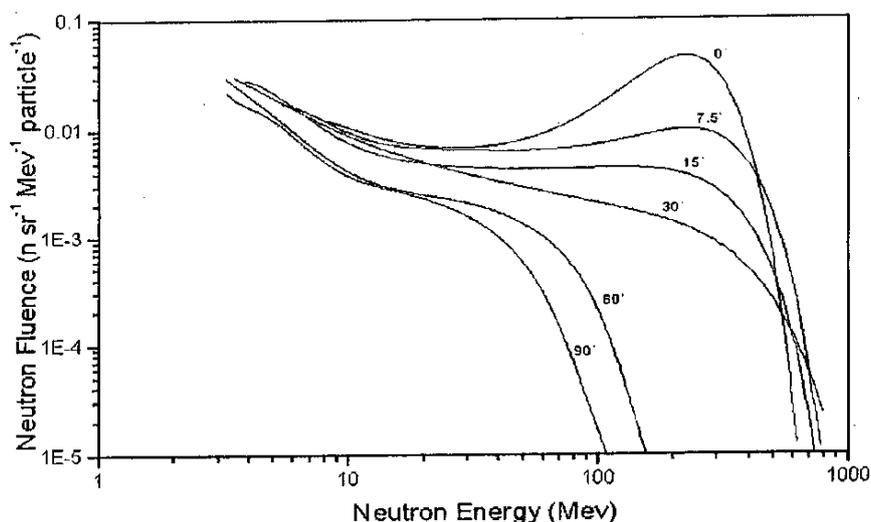


图 3.3-1 $400\text{MeV/u C}+\text{Cu}$ 次级中子分布

表 3.3-3 给出了根据图 3.3-1 积分得到的中子场分布。

表 3.3-3 400MeV/u 的 ^{12}C 与厚 Cu 靶的中子产额 Y (单位: $\text{n sr}^{-1} \text{ particles}^{-1}$)

	0°	30°	60°	90°
$>100\text{MeV}$	$9.33\text{E}+00$	$3.98\text{E}-01$	$2.51\text{E}-03$	$1.32\text{E}-04$
$50 < E_n < 100\text{MeV}$	$9.94\text{E}-01$	$3.35\text{E}-01$	$1.79\text{E}-01$	$1.47\text{E}-01$
$10 < E_n < 50\text{MeV}$	$3.29\text{E}-01$	$2.09\text{E}-01$	$1.48\text{E}-01$	$1.40\text{E}-01$
$<10\text{MeV}$	$3.57\text{E}-02$	$4.54\text{E}-02$	$6.62\text{E}-02$	$7.69\text{E}-02$
总量	$1.03\text{E}+01$	$7.33\text{E}-01$	$1.82\text{E}-01$	$1.47\text{E}-01$

二、蒙卡方法确定中子辐射场

FLUKA 是用于粒子输运和粒子与物质相互作用的综合蒙特卡罗模拟程序，它的应用领域包括：质子和电子加速器的屏蔽、靶设计、热量标定、物质活化、物质活度、探测器设计、ADS、宇宙线，中微子物理和放射性治疗等等。

利用 FLUKA 蒙特卡罗模拟程序，对治癌终端离子打厚靶的次级中子辐射场进行模拟。参数模拟内容包括：厚靶的形状及尺寸，探测器的放置位置。周围辐射场分布的模拟主要为：中高能中子的通量的角分布以及各自的能谱分布。



图 3.3-2 模拟粒子、靶和探测器的安排

计算模型如图 3.3-2 所示，束流选用 ^{12}C 离子束。探测器在离靶中心位置 1 米处，设置成的圆面探测器，变化不同的探测位置可以得到不同角度的面通量分布。

根据实验常用到的靶和重离子治癌的实际情况，我们选择 Cu, H_2O 作为靶体材料。次级中子的产额会随靶的厚度变化而变化，这是由于高能中子在物质传输过程有个增殖因子，因此在选择靶的厚度时，选取比离子射程稍微大一些作为靶的厚度。

蒙特卡罗计算结果如图 3.3-3 至图 3.3-5 所示：

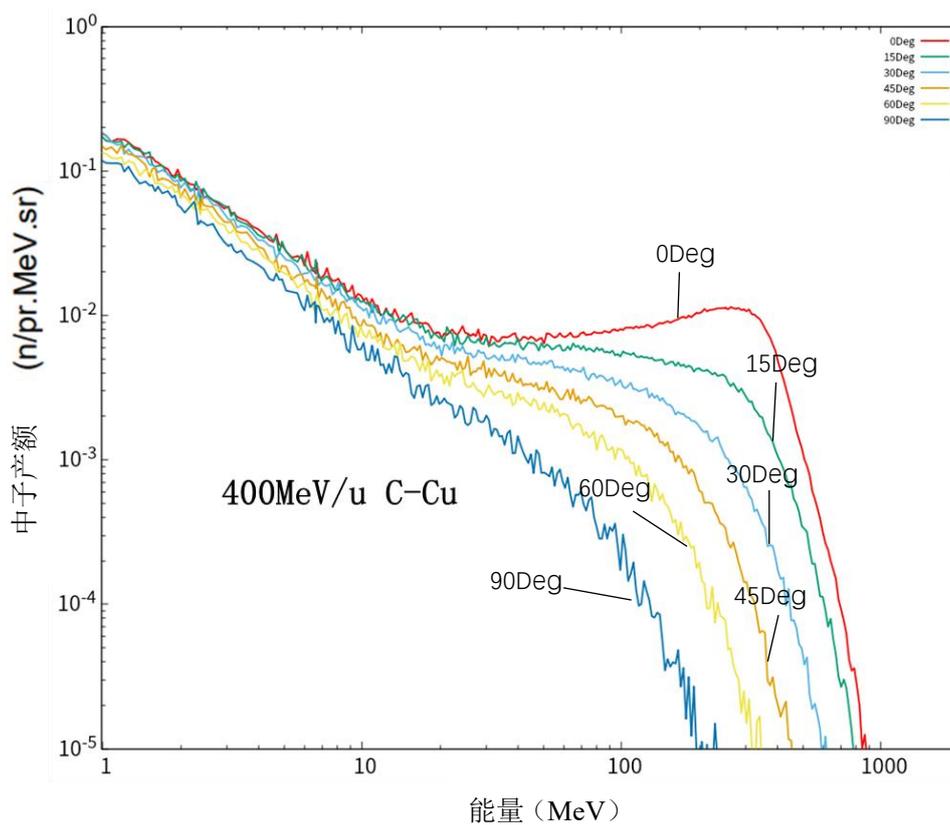


图 3.3-3 400MeV/u C 打 Cu 中子辐射场

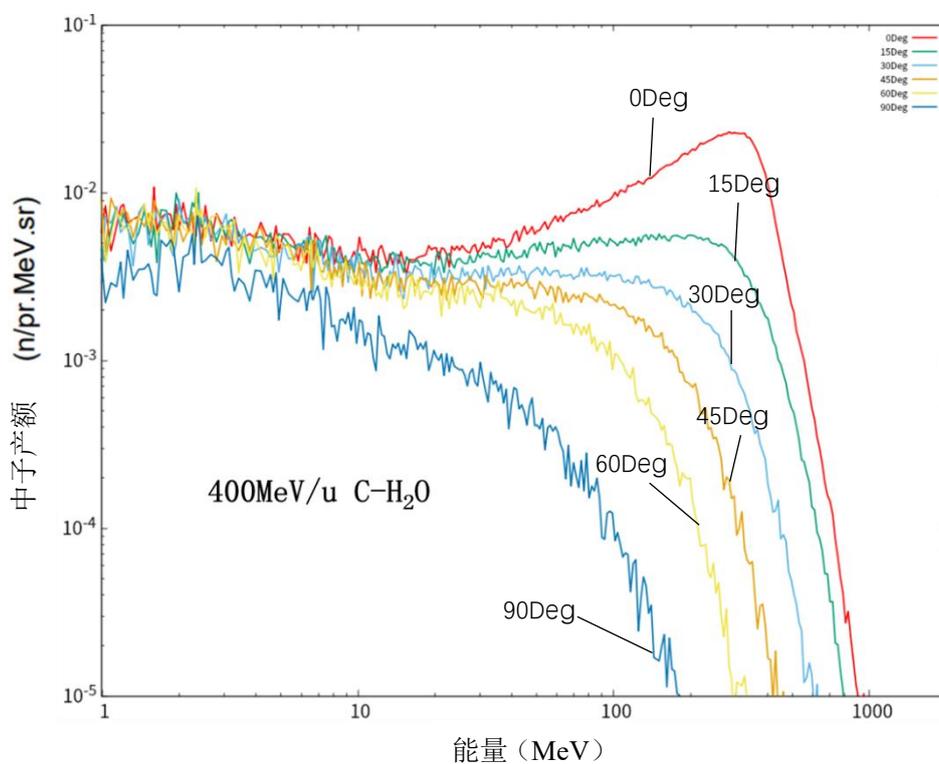


图 3.3-4 400MeV/u C 打 H₂O 中子辐射场

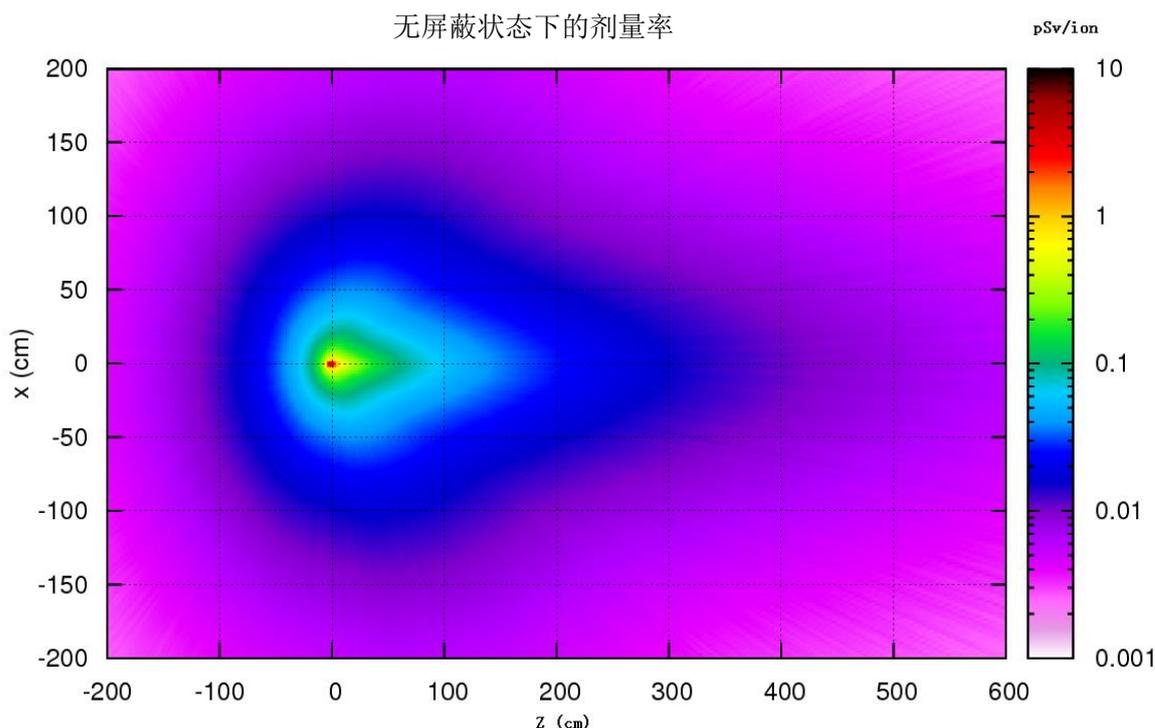


图 3.3-5 400MeV/u C 打厚 Cu 靶周围无屏蔽时周围剂量分布

3.3.2.2 感生放射性

对重离子加速器来说，感生放射性主要是由重离子打靶产生的次级中子引起的。在加速器运行期间，初级粒子或次级粒子与加速器部件、冷却水、加速器室内空气、加速器室内墙壁等相互作用产生感生放射性，其辐射水平取决于加速离子的能量、种类、流强、加速器运行时间、冷却时间和被照材料性质等诸多因素。

3.3.2.2.1 感生放射性分析

一、加速器结构材料的感生放射性

加速器结构材料的感生放射性主要是一些材料受到初级和次级辐射照射发生活化从而产生一些放射性核素，它们发射 γ 或 β 射线。在重离子加速器上，产生的次级中子不论能量如何，都可能使受到中子照射的材料成为感生放射性材料。加速器上可以通过很多种核反应产生感生放射性，例如 (γ, n) 、 $(p, x\gamma)$ 、 (n, xp) 、 (p, pn) 、热中子俘获、散裂或碎裂反应等，从而加速器产生的感生放射性核素的活度和半衰期的范围很宽，但是大多数放射性核素的半衰期比较短。加速器产生的感生放射性核素如表 3.3-4 所示，产生的核素多为丰质子核素，趋向于借正电子发射而衰变。

表 3.3-4 在加速器周围受辐照的材料中通鉴出来的放射性核素一览表

靶材料	放射性核素	半衰期	靶材料	放射性核素	半衰期	
塑料与油	^7Be	53.6d	钢	^{54}Mn	300d	
	^{11}C	20.4min		^{56}Co	77d	
杜拉铝	同上加以下			^{57}Co	270d	
	^{18}F	110min		^{58}Co	72d	
	^{22}Na	2.60a		^{55}Fe	2.94a	
钢	^{24}Na	15.0h	不锈钢	^{59}Fe	45.1d	
	同上加以下			同上加以下		
	^{42}K	12.47h		^{60}Co	5.27a	
	^{43}K	22.4h		^{57}Ni	37h	
	^{44}Sc	3.92h		^{60}Cu	21min	
	$^{44\text{m}}\text{Sc}$	2.44d		铜	同上加以下	
	^{46}Sc	84d			^{65}Ni	2.56h
	^{47}Sc	3.43d			^{61}Cu	3.33h
	^{48}Sc	1.83d			^{62}Cu	9.80min
	^{48}V	16.0d			^{64}Cu	12.82h
	^{51}Cr	27.8d			^{63}Zn	38.3min
	^{52}Mn	5.55d			^{65}Zn	245d
	$^{52\text{m}}\text{Mn}$	21.3min				

在加速器运行期间，由于有足够的结构屏蔽，由部件产生的感生放射性不会危害在屏蔽体外的工作人员。但在加速器停机后，工作人员进入加速器厅或靶室进行换靶、调节实验装置或检修加速器等操作时，则可能受到辐射危害。医用加速器的感生放射性衰变比较快，停机后 5~10min 就可减弱到初始值的一半。因此，对感生放射性的有效防护措施之一是等其衰变。

建造加速器的材料不多，最重要的是铁、铜、铝、铝合金及烃类。虽然如此，但在理论上可能产生放射性核素的数目却是很大的。对各种加速器的实验研究表明，加速器关闭后所观察到的辐射场实际上只有少数放射性核素控制（见表 3.3-5），对 γ 剂量率起主要贡献的主要是 ^{54}Mn 、 ^{48}V 、 ^{51}Cr 、 $^{52\text{m}}\text{Mn}$ 、 ^{52}Mn ，它们的半衰期在 21.3min 至 300d 之间。加速器部件中产生的放射性核素数目很大而且加速器运转又常常很不相同，故总放射性的增长和衰变是时间的一种复杂的函数。加速器辐照的材料产生的剂量率与加速器强度、衰减时间、所考察的核素的宏观产生截面、加速器参数、辐照的粒子谱、衰变产物的自屏蔽、几何条件等因素相关。

表 3.3-5 对 γ 剂量率起主要贡献的核素

放射性核素	半衰期
^{48}V	16.0d
^{51}Cr	27.8d
^{52}Mn	5.55d
$^{52\text{m}}\text{Mn}$	21.3min
^{54}Mn	300d

二、空气的感生放射性

加速器运行期间初级粒子或次级粒子与靶室中空气相互作用产生放射性气体。这种空气中的放射性一般是短寿命的，即使产生的放射性达到不能接受的高水平，放射性衰变和放射性空气的稀释都能非常快地使放射性浓度降低到可接受水平。实际上，只有在非常少的情况下才会使空气的放射性水平达到不可接受的水平。其放射性核素主要通过热中子俘获、 $(n, 2n)$ 、 (γ, n) 、反应和散裂反应而产生。产生的核素主要是 ^3H 、 ^7Be 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar ，它们对人体的危害是 β 、 γ 气体浸没外照射和吸入引起的内照射，其对人体的危害途径如图 3.3-6 所示。对由半衰期比 1min 短的放射性核素（如 ^{14}O 、 ^{19}O 、 ^{10}C 、 ^{16}N 、 ^{17}N 等）产生的感生放射性可以不考虑，因为无论是向外排放还是工作人员进入大厅前，它们都会衰变到可以忽略不计。同样对于半衰期长的核素，因为它们的产生率低，也往往不考虑。因此，一般只需考虑 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 四种放射性核素。表 3.3-6 列出了加速器空气活化产生的主要放射性核素。

表 3.3-6 空气活化产生的放射性核素

放射性核素	半衰期
^3H	12.2a
^7Be	53.6d
^{11}C	20.4min
^{13}N	10min
^{15}O	2.1min
^{41}Ar	1.8h

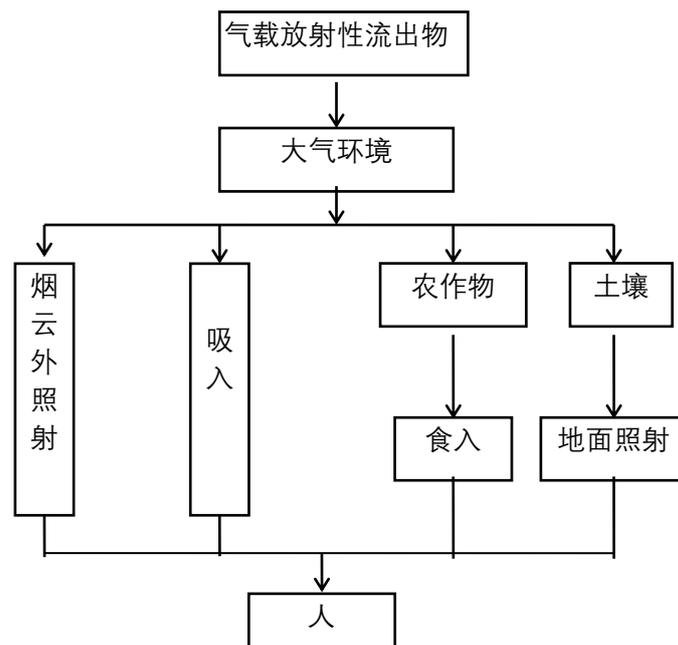


图 3.3-6 气载放射性流出物对人的危害途径

三、冷却水的感生放射性

加速器冷却水是去离子水，因受次级粒子的照射而活化，主要是中子引起水中 ^{16}O 的散裂，其产物见表 3.3-7。其中 ^{15}O 、 ^{11}C 和 ^7Be 为最重要的放射性核素，实验研究表明：

- (1) 辐照后 1~5 小时内主要的短寿命核素是 ^{11}C ；
- (2) 半衰期长于 10 小时的唯一长寿命 γ 射线发射体是 ^7Be ；
- (3) 在几种不同条件下受辐照的水样品中 ^3H 和 ^7Be 的饱和放射性之比在 1.3—5.8 之间。

表 3.3-7 ^{16}O 的散裂产物

放射性核素	半衰期
^{10}C	19s
^{14}O	71s
^{15}O	2.1min
^{13}N	10min
^{11}C	20.4min
^7Be	53.6d
^3H	12.2a

3.3.2.2.2 感生放射性计算

HIMM 在运行期间，装置区空调通风系统处于封闭循环状态，并保持装置区在一定的负压状态，排风换气次数设计为 0.5 次/h。由于只有治疗的时候才会造成较大的环境影响，HIMM 装置每次照射平均时间约 5min。

为了计算整个靶室的空气的放射性总活度，作以下等效考虑：靶室尺寸为 $(8 \times 6 \times 4) \text{ m}^3$ 。在模拟过程中采用 FLUKA 蒙卡程序包，模拟过程中采用的粒子种类为 ^{12}C ，能量为 400MeV/u ，流强最大为 $1.385 \times 10^8 \text{ pps}$ （每秒粒子数，脉冲周期为 30s 时终端最大束流强度为 $4.155 \times 10^9 \text{ ppp}$ ），近似考虑入射粒子全部损失在厚铜靶中，尺寸为 $(10 \times 10 \times 10) \text{ cm}^3$ 。在靶的后面为一个矩形水靶和 $1.9\text{E}+8\text{cm}^3$ 空气靶。

一、加速器结构材料的感生放射性

假设 HIMM 连续运行一个月，铜靶的计算结果表明，刚停止照射后的总感生放射性活度为 $6.11 \times 10^9 \text{ Bq}$ ，平均比活度 $6.11 \times 10^6 \text{ Bq/cm}^3$ ；停止照射 2 小时后的总活度为 $2.85 \times 10^9 \text{ Bq}$ ，平均比活度 $2.85 \times 10^6 \text{ Bq/cm}^3$ 。

停止照射后各元素的比活度见图 3.3-7，停止照射 2h 后各元素的比活度见图 3.3-8。

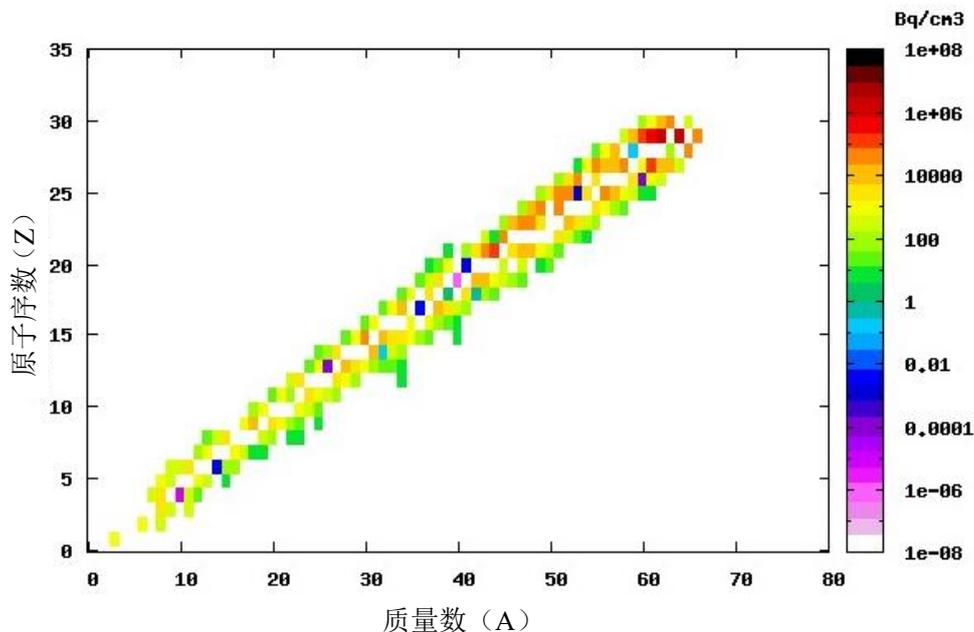


图 3.3-7 停止照射后各元素的比活度

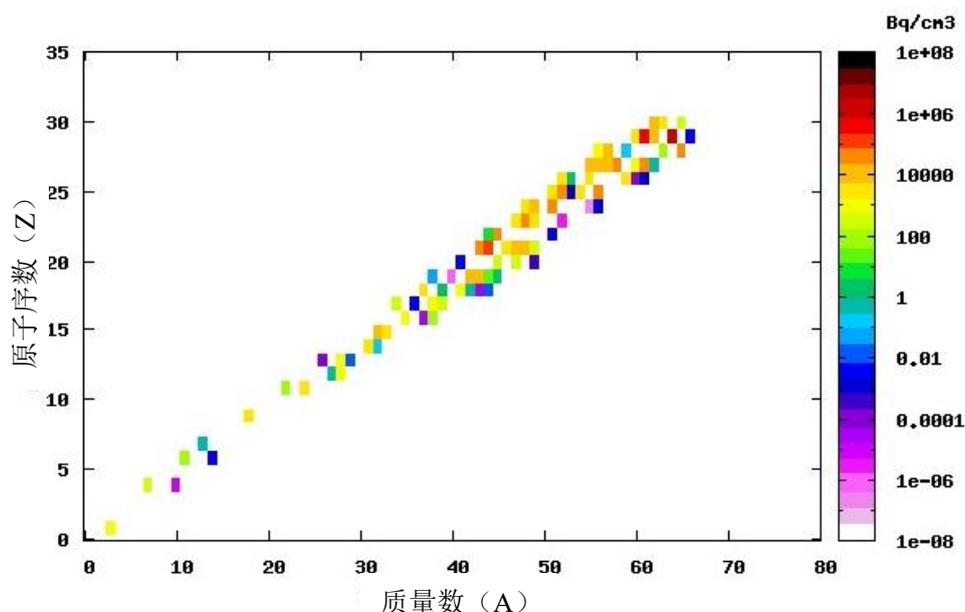


图 3.3-8 停止照射 2 小时后各元素的比活度

二、空气的感生放射性

此部分为治疗室内空气的感生放射性水平估算，治疗室内治疗时束流全部损失，因此活化要比加速器大厅严重，是空气的感生放射性水平最大场所。空气的感生放射性计算结果表明，HIMM 运行 5 分钟后，刚停机时主要核素的总活度为 $3.74 \times 10^5 \text{Bq}$ ，活度浓度为 $1.95 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$ ，停机两小时后，总活度为 921Bq ，活度浓度为 $4.80 \times 10^{-6} \text{Bq/cm}^3$ 。本项目 HIMM 年出束照射时间保守取 1000h，假设每次照射完成后即排放感生放射性废气，则一年累积排放的主要核素总放射性活度为 $4.49 \times 10^9 \text{Bq}$ ，由于空气的感生放射性主要由短寿命核素贡献，因此排放至环境中的空气在短时间内会衰减至很低的水平。

停止照射后各种核素的活度浓度见图 3.3-9，主要核素的活度见表 3.3-8；停止照射 2h 后各种核素的活度浓度见图 3.3-10，主要核素的活度见表 3.3-9。

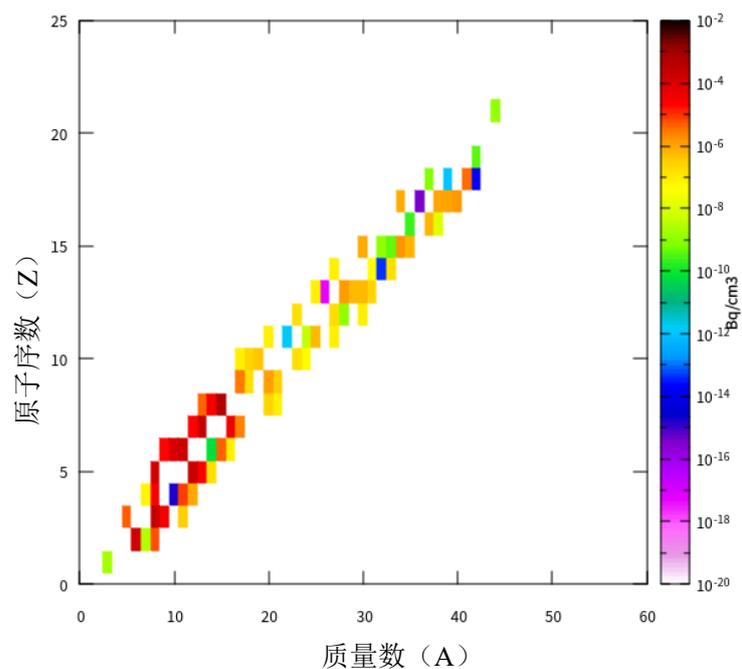


图 3.3-9 停止照射后各种核素的活度浓度

表 3.3-8 停止照射后主要核素的活度

编号	核素种类	活度 (Bq)
1	^{41}Ar	6.66×10^2
2	^{15}O	1.01×10^5
3	^{13}N	4.68×10^4
4	^{12}B	3.66×10^4
5	^{11}C	2.99×10^4
6	^{10}C	1.99×10^4
7	^8Li	4.24×10^4
8	^8B	2.22×10^4
9	^7Be	11.2
10	^6He	2.76×10^4
11	^3H	0.32
12	其它	4.61×10^4
13	总量	3.74×10^5

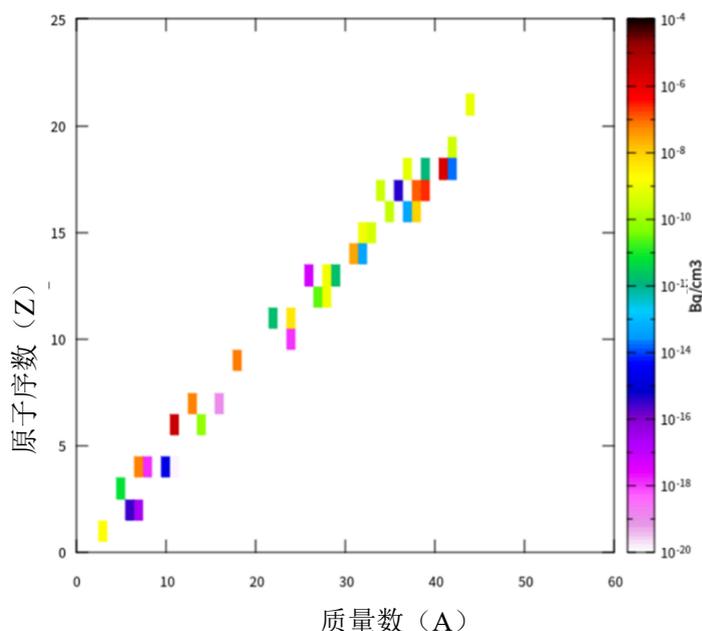


图 3.3-10 停止照射 2h 后各种核素的活度浓度

表 3.3-9 停止照射 2h 后主要核素的活度

编号	核素种类	活度 (Bq)
1	^{41}Ar	312
2	^7Be	11.2
3	^3H	0.32
4	^{11}C	504
5	^{13}N	11.1
6	其它	82.7
7	总量	921

三、冷却水的感生放射性

设备冷却水的活化来自多种中子源，其中最重要的中子源产生在打外靶。打靶产生的中子引起 H_2O 中 ^{16}O 的散裂，产生的最重要的放射性核素为 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{11}C 、 ^7Be 。经过离子交换树脂时， ^7Be 可迅速被吸收。冷却水在不停地循环，计算时采用静态的水靶，最后再归一到总体的水靶中。下面的计算结果是以 10L 水作为水靶，保守假设将最大能量 (400MeV/u) 的所有损失的粒子都损失在 10L 的冷却水里面，假设 HIMM 连续运行一个月，计算的总活度和活度浓度是停止照射后和停止照射 2h 后的结果。

停止照射后各种核素的活度浓度见图 3.3-11，主要核素的活度见表 3.3-10；

停止照射 2h 后各种核素的活度浓度见图 3.3-12，主要核素的活度见表 3.3-11。

冷却水的感生放射性计算结果表明，连续照射一个月停止照射后主要核素的总活度为 $5.54 \times 10^7 \text{Bq}$ ，活度浓度为 $5.54 \times 10^3 \text{Bq/cm}^3$ 。停止照射 2 小时后主要核素的总活度为 $3.18 \times 10^6 \text{Bq}$ ，活度浓度为 $3.18 \times 10^2 \text{Bq/cm}^3$ 。连续照射一个月时 ^7Be 和 ^3H 的总活度为 $2.76 \times 10^6 \text{Bq}$ 和 $1.31 \times 10^5 \text{Bq}$ ，停止照射 2 小时后， ^7Be 和 ^3H 的总活度为 $2.76 \times 10^6 \text{Bq}$ 和 $1.31 \times 10^5 \text{Bq}$ 。

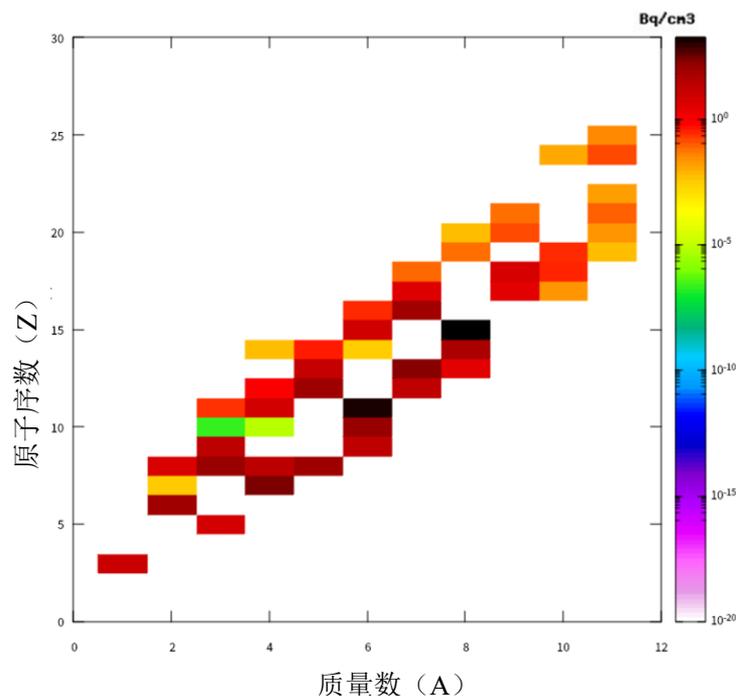


图 3.3-11 停止照射后各种核素的活度浓度

表 3.3-10 停止照射后主要核素的活度

编号	核素种类	活度 (Bq)
1	^{16}N	1.04×10^6
2	^{15}O	2.42×10^7
3	^{14}O	6.51×10^5
4	^{13}B	1.69×10^5
5	^{13}N	2.20×10^6
6	^{12}B	1.28×10^6
7	^{12}N	2.14×10^5
8	^{11}C	1.55×10^7
9	^{10}C	1.71×10^6
10	^9Li	2.46×10^5

11	${}^9\text{C}$	2.34×10^5
12	${}^8\text{Li}$	1.65×10^6
13	${}^8\text{Be}$	2.69×10^5
14	${}^8\text{B}$	1.26×10^6
15	${}^7\text{Be}$	2.76×10^6
16	${}^6\text{He}$	1.18×10^6
17	${}^3\text{H}$	1.31×10^5
18	其它	6.80×10^5
19	总量	5.54×10^7

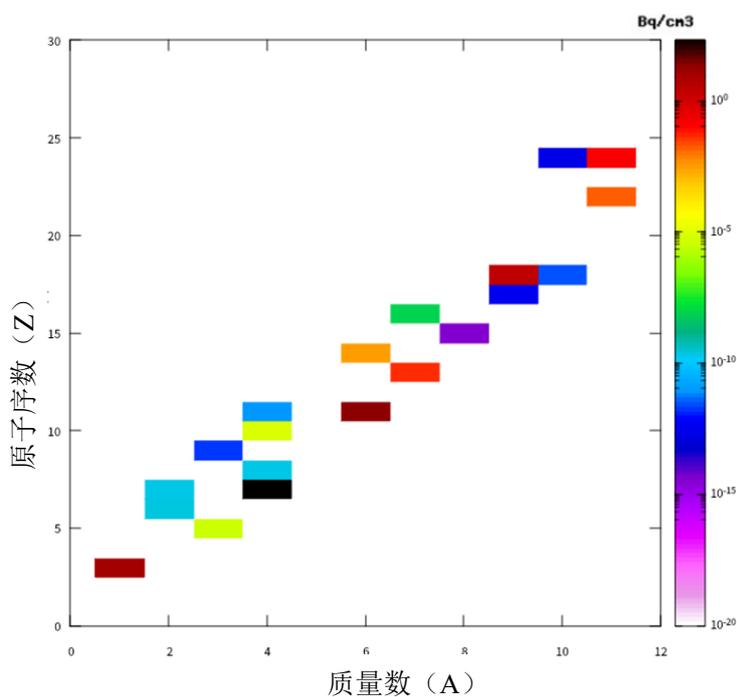


图 3.3-12 停止照射 2 小时后各种核素的活度浓度

表 3.3-11 停止照射 2 小时后主要核素的活度

编号	核素种类	活度 (Bq)
1	${}^{18}\text{F}$	3.23×10^4
2	${}^{11}\text{C}$	2.61×10^5
3	${}^7\text{Be}$	2.76×10^6
4	${}^3\text{H}$	1.31×10^5
5	其它	1.36×10^4
6	总量	3.18×10^6

3.3.3 运行期事故工况污染源

本项目为使用 I 类射线装置，事故工况下产生的污染源与正常工况下基本相同。

3.4 废弃物

HIMM 在运行期间，主要产生感生放射性废气、放射性废水和放射性固体废物，各种含放射性的废弃物的种类、来源、活度浓度、排放总量、排放或处理方式见表 3.4-1。

表 3.4-1 项目运行过程中放射性废弃物年产生量及处理方式等一览表

废物种类	来源	比活度/ 活度浓度	排放总量	排放或处理方式
放射性 废气	初级粒子或次级粒子与靶室中空气相互作用	不大于 1.95×10^{-3} Bq/cm ³	不大于 4.49×10^9 Bq/a	经通风系统，经过滤后排入外环境
放射性 废水	事故工况下产生的冷却水	不大于 5.54×10^3 Bq/cm ³	/	经排水地沟、地漏汇集到两级事故收集池，经监测满足要求后排放至医院污水处理系统
放射性 固体废物	加速器维修维护过程中产生的废弃的被活化加速器结构部件等	不大于 6.11×10^6 Bq/cm ³	/	分类收集后暂存于放射性固废储存间，处理前对其中含有的主要放射性核素活度浓度或活度进行监测，经监测满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中解控标准的放射性固废作为非放射性废物处理，对于不满足解控要求的固废送有资质单位处理。
	加速器维修维护过程中产生的被沾污的废手套、滤纸、纱布等	/	不大于 1kg/a	

第四章 辐射安全与防护

4.1 场所布局与屏蔽

4.1.1 场所布局与分区

本项目位于医院半山院区东侧拟建重离子医学中心大楼内，HIMM 辐射工作场所包括：加速器大厅、高能线爬升段区、1 号治疗室、2 号治疗室、3 号治疗室、4 号治疗室，分布涉及负二层、负一层、地上一层、地上二层，同时配套设置控制室、冷却水泵房、治疗室空调机房等辅房。重离子医学中心大楼各层平面布局见附图 3-1~附图 3-7，大楼剖面见附图 3-8，辐射工作场所周围毗邻关系见附图 2、附图 3-1~附图 3-8。

加速器大厅主要用于放置重离子加速器装置设备，高能线爬升段区主要用于束线爬升，4 间治疗室主要用于病人的放射治疗，各功能部分均相互独立，控制室等辅房均位于 HIMM 机房外部，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）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离。治疗装置辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗装置分离的，应尽可能设置于治疗机房外”的要求，也能满足本项目治疗系统的布局要求，本项目工作场所布局合理。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 6.4.1.1“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”、6.4.2.1“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”，本项目工作场所按其功能拟划分为控制区和监督区，并实施分区管理，控制区包括：加速器大厅、高能线爬升段区、1 号治疗室、2 号治疗室、3 号治疗室、4 号治疗室，系统开机出束期间禁止任何人员进入加速器大厅、高能线爬升段区、正在开展治疗的治疗室；监督区包括：高能线爬升段区和 4 号治疗室屋顶上方、系统控制室、冷却水泵房、治疗室空调机房等辅房，系统开机出束期间禁止非辐射工作人员进入，本项目拟采取的分区措施满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 6.4 的要求。本项目辐射防护分区示意图见附图 4-1~4-6。

4.1.2 场所屏蔽

HIMM 机房屏蔽主体为混凝土，局部使用铁进行增强屏蔽，具体屏蔽设计参数见表 4.1-1、图 4.1-1、附图 3-1~附图 3-8。

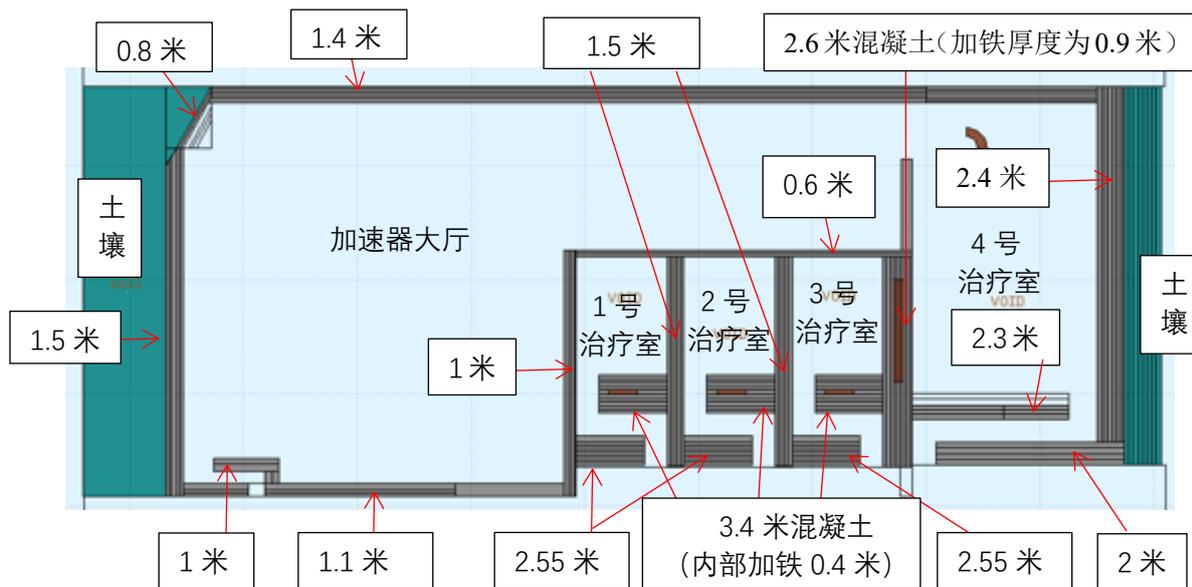
表 4.1-1 本项目机房屏蔽情况一览表

名称	屏蔽区域	材料	屏蔽厚度
加速器大厅	防护门	普通防盗门	未添加特殊材料
	东墙	混凝土	1.4m
	南墙	混凝土	2.4m
	西墙	混凝土	1.1m（迷道墙 1m）
	北墙	混凝土	0.8m、1.5m
	天花板	混凝土	0.8m
	地板	混凝土	1.5m
高能线爬升段区	防护门	普通防盗门	未添加特殊材料
	东墙	混凝土	1.4m
	南墙	混凝土	1m
	西墙	混凝土	1.5m
	北墙	混凝土	0.6m（迷道墙 0.6m）
	天花板	混凝土	0.6m
	地板	混凝土	0.8m
1 号治疗室 （90°治疗头）	防护门	普通防盗门	未添加特殊材料
	东墙	混凝土	0.6m
	南墙	混凝土	1.5m
	西墙	混凝土	2.55m（迷道墙 3.4m，局部内嵌 40cm 铁，长高为 2.5m×4m）
	北墙	混凝土	1m
	天花板	混凝土	0.5m
	地板	混凝土	1.5m
2 号治疗室 （0°+90°治疗头）	防护门	普通防盗门	未添加特殊材料
	东墙	混凝土	0.6m
	南墙	混凝土	1.5m
	西墙	混凝土	2.55m（迷道墙 3.4m，局部内嵌 40cm 铁，长高为 2.5m×4m）
	北墙	混凝土	1.5m
	天花板	混凝土	0.5m

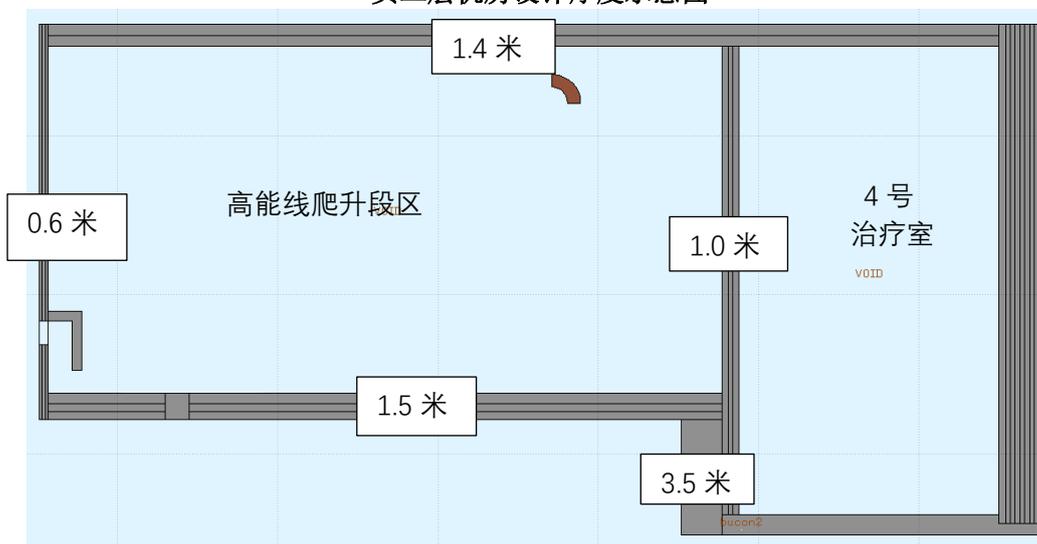
	地板	混凝土	1.5m (局部 1.7m)
3 号治疗室 (45°+90° 治疗头)	防护门	普通防盗门	未添加特殊材料
	东墙	混凝土	0.6m
	南墙	混凝土	混凝土: 2.6m (局部内嵌三层均为 30cm 的铁, 长高 均为 10m×4m)
	西墙	混凝土	2.55m (迷道墙 3.4m, 局部内嵌 40cm 铁, 长高为 2.5m×4m)
	北墙	混凝土	1.5m
	天花板	混凝土	0.5m
	地板	混凝土	1.5m
4 号治疗室 (90°治疗 头)	防护门	普通防盗门	未添加特殊材料
	东墙	混凝土	0.6m
	南墙	混凝土	2.4m
	西墙	混凝土	2m (迷道墙 2.3m)
	北墙	混凝土	混凝土: 2.6m (局部内嵌三层均为 30cm 的铁, 长高 均为 10m×4m)
	天花板	混凝土	3.2m (局部增强屏蔽)
	地板	混凝土	1.5m
4 号治疗室 (升级为 Gantry 治 疗终端)	防护门	普通防盗门	未添加特殊材料
	东墙	混凝土	1.4m
	南墙	混凝土	2.4m
	西墙	混凝土	2m (迷道墙 1.3m)
	北墙	混凝土	西侧部分: 2.6m (局部内嵌三层均为 30cm 的铁, 长 高均为 10m×4m) 东侧部分: 1m
	天花板	混凝土	3.2m (局部增强屏蔽)
	地板	混凝土	1.5m

注: 未注明材质均为混凝土, 混凝土密度为不低于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$, 铁的密度为 $7.9\text{g}/\text{cm}^3$ 。

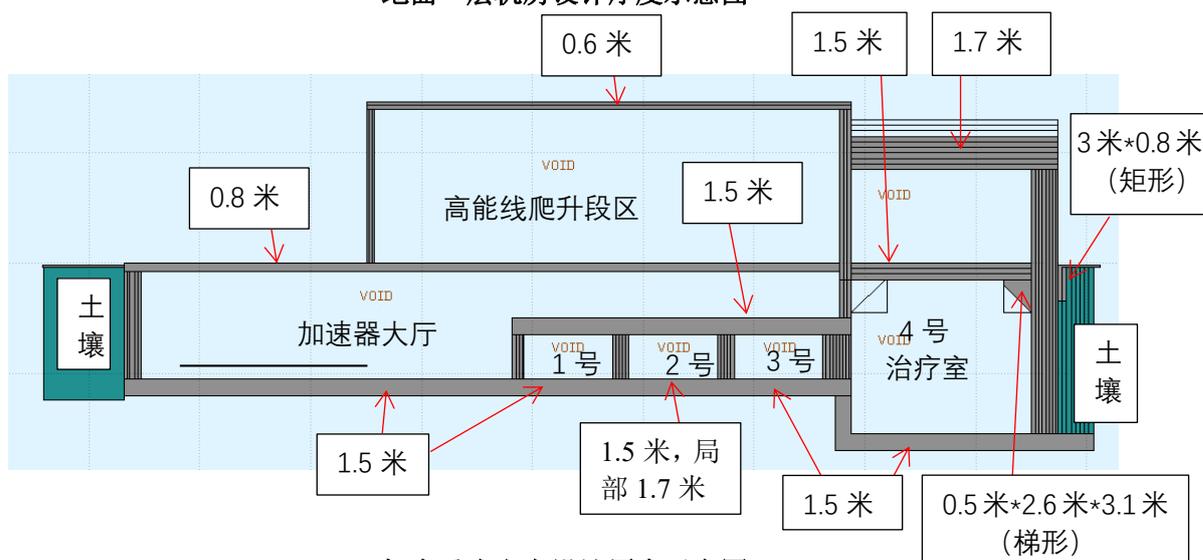
为了避免辐射泄漏过大, 穿过机房屏蔽墙的各种管道和电缆线应弯成 S 形或 U 形, 其开口应避免辐射直射区和工作人员经常停留的地点。



负二层机房设计厚度示意图



地面一层机房设计厚度示意图



机房垂直方向设计厚度示意图

图 4.1-1 HIMM 机房屏蔽设计参数示意图

4.2 辐射安全与防护措施

4.2.1 人身安全联锁系统

HIMM 设置人身安全联锁系统的主要目的是保护工作人员、患者及参观者等免受无故的过量照射。

人身安全联锁系统通过 PLC 控制系统，建立加速器运行状态、人员出入情况及各联锁部件之间的逻辑关系。在加速器运行时，任一可能引起辐射事故的联锁条件改变都将产生一个中断加速器束流的联锁信号，中断所在区域的束流，避免产生误照射。

4.2.1.1 设计准则

人身安全联锁系统的设计准则如下：

(1) 分区联锁：根据 HIMM 运行模式，利用实体屏蔽及“束流闸”（Beam Stopper）将整个加速器辐射区分为控制区和监督区。按工艺要求，在束流上流区域有束流时，可以允许下流无束流区域人员进入工作；利用“束流闸”保证束流不会被送到有人区域。

(2) 实现辐射区门与区域内辐射剂量的双重联锁，即某一区域有束流时，工作人员不能进入该区域；而在某一区域有人时，束流不能被送到相应区域。此外，辐射监测信号也将作为安全联锁信号，当一区域辐射剂量超过所设阈值时即便在无束流的状态也不允许人员进入，保障工作人员安全。

(3) “冗余”设计及独立性：隔离区的每个门都有三重联锁：一为限位开关；二为身份识别卡，可对进入隔离区的人员确认其身份，记录每个进出人员的情况，并接入联锁系统的控制逻辑中；三为钥匙箱，确保在钥匙箱上的钥匙没有全部归还的情况下束流闸不会被打开。采用冗余设计的多套联锁设施相互独立，不会因为一套系统的实效而影响到其它系统的安全性。

(4) 最优切断：联锁系统应尽可能地切断前级控制或是机器的最初始的运行功能，更好的保证在后级区域的辐射安全。

(5) 失效保护：所有的线路、气动装置、电动装置均采用失效保护设计。

4.2.1.2 主要组成部分及功能

HIMM 的人身安全联锁系统主要由 PLC 逻辑控制、剂量（场所、个人）控制、出入控制、人员移动探测及其他安全联锁设施等部分组成。其相互关系示意

图见图 4.2-1。

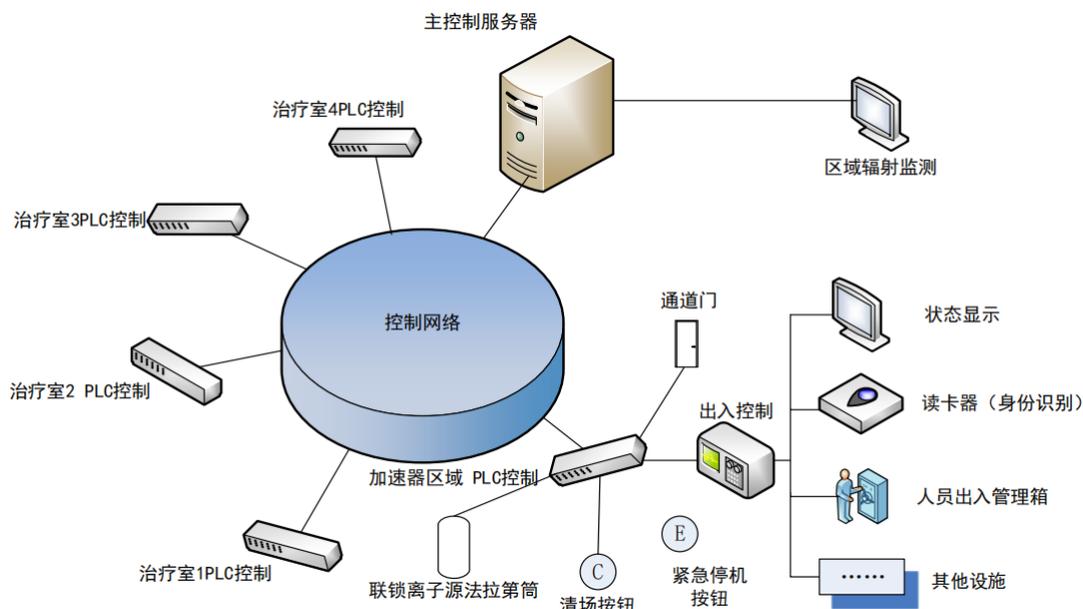


图 4.2-1 HIMM 人身安全联锁系统设施示意图

一、主控制服务器及软件

主控制服务器及其软件是人身安全联锁系统的核心，其将各子系统有机联系起来。它不仅是一个管理平台，同时它还构成了系统信息交换平台，通过对各子系统相关信息的采集和分析来完成系统信息管理工作、实现平台的核心功能，并据此完成对加速器辐射安全做出评价。

二、PLC 逻辑控制

PLC 控制系统是实现联锁逻辑的核心部件。PLC 系统采用成熟的可编程逻辑控制器技术，在一系列可靠的硬件设备基础之上，结合相应的管理及控制软件将加速器束流闸、通道门、区域剂量及紧急停机按钮等设施或信号进行联锁，规定了人身安全联锁各子系统的联锁逻辑关系，并在联锁动作发生时执行这些联锁关系，以此来保障加速器的安全运行及工作人员的人身安全。图 4.2-2 为 HIMM 人身安全联锁系统的主要联锁逻辑。

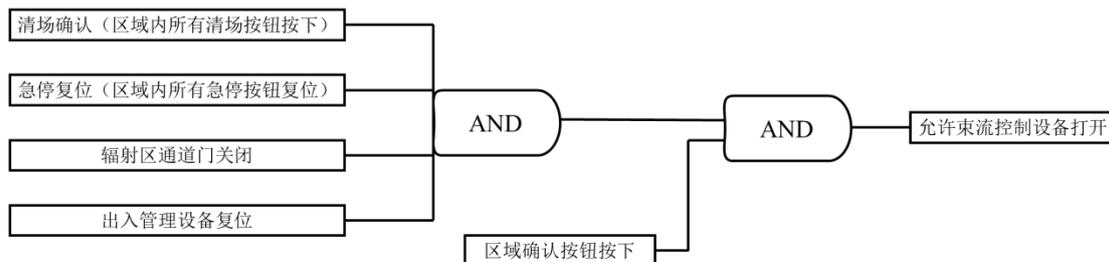


图 4.2-2 人身安全联锁系统主要联锁逻辑

三、剂量联锁

这一部分包括现场剂量联锁与个人剂量联锁。在加速器大厅、高能线爬升段区、各治疗室内主要位置安装剂量探头，并设置剂量联锁，当探测到室内辐射剂量率超过设置阈值（ γ 剂量率、中子剂量率阈值均拟设置为 $10\mu\text{Sv/h}$ ）时，相应房间防护门无法打开。

现场剂量联锁的主要功能一是确保加速器出束过程中，人员不会进入高辐射区，同时保障在加速器停机后，人员不会进入有较高残余放射性的区域；二是在治疗室区域如果突然发生误照，有较大剂量，通过剂量联锁能迅速降下束流闸切断束流。个人剂量联锁可以保障受照剂量超过年剂量限值的工作人员不能进入放射性工作区域。

四、出入控制系统

人员出入管理系统包括人员出入管理箱、个人剂量管理平台两部分，完成对进出加速器区域和个人剂量的统计和管理。

个人剂量是指对从事放射性工作的人员进行的年累计剂量的统计，当个人剂量超限时，不允许进入加速器区域。对进入加速器区域的人员确认其身份，记录每个进出人员的情况，并接入联锁系统的控制逻辑中，PLC 控制系统根据服务器的个人剂量数据进行判断，当某一个人的个人剂量值超限时，不允许进入加速器区域，以保证人员的安全。

个人剂量管理平台可实现工作人员 IC 卡和个人剂量计的自动绑定，每次进入加速器区域累积剂量的自动累加统计，超出安全阈值后禁止进入加速器区域等功能。

人员出入管理箱主要实现对进出加速器区域的人员统计和管理，主要有 IC 读卡器、ARM 处理器、指示灯及按钮等。人员出入管理箱是确保人员安全的重要部件，放置在加速器区域入口，工作人员可以通过刷卡或刷个人剂量计进出加速器区域。服务器和 PLC 相互通信，只有经过授权和累积剂量未超限的人员刷卡（或个人剂量计）后才能够分配开门权限，按下按钮后开门指令会发送至 PLC 内，控制通道门打开。钥匙箱自身的状态可以分为“全部在位”与“未在位”两种，其状态将作为联锁信号接入 PLC 联锁系统。PLC 监测钥匙箱上的钥匙的状态，在钥匙没有全部归还的情况下束流闸不会被打开，确保在辐射区内有人的情况下束流不会进入该区域。

治疗室区域由于医生和患者需要频繁进出治疗室，所以设计一人一卡的人员

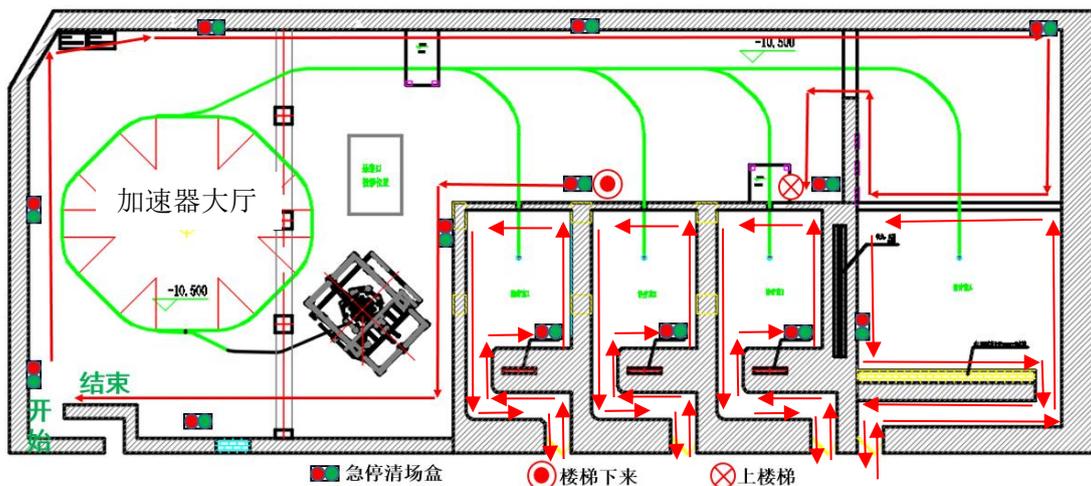
出入控制系统不符合实践需求。治疗室内需要供束时，对治疗室进行巡检后由医护人员在医生控制台采用刷卡启动束流闸的控制方式，且授权钥匙由专人保管。治疗室需要进入时在医生控制台拍下急停按钮，然后等待治疗室内剂量降到管理水平以下后方可进入。

五、“清场”/急停按钮及声光警示

加速器大厅、高能线爬升段区内设有急停清场盒(内设急停按钮、清场按钮)和一一对应的声光报警灯，清场按钮主要功能是实现加速器开机准备前的清场功能，加速器开机前，操作人员进入加速器大厅内按巡检线路按动清场按钮，巡查有无人员误留，完成巡检流程后，加速器才能开启高压；在按下清场按钮后对应声光报警灯将发出声光警示，提醒加速器联锁区域内未离开人员迅速撤离，若在加速器开机之后仍有工作人员在大厅或高能线爬升段区内，可按下场所内设置的紧急停机按钮来切断加速器运行，待确认联锁区域内没有工作人员并压下“清场”确认按钮后可重新进行开机操作。

治疗室内设置急停清场盒(内设急停按钮、清场按钮)，不设置声光报警灯，清场按钮用于治疗室供束前对应区域的清场，治疗室供束前，操作人员进入治疗室按下清场按钮，巡查有无人员误留，完成巡检流程后，治疗室才能供束；若有人滞留治疗室，可按下治疗室内设置的紧急停机按钮切断治疗室束流，待确认联锁区域内没有工作人员并压下“清场”确认按钮后可重新进行开机操作。

加速器大厅、高能线爬升段区及治疗室内共拟设置 15 个急停清场盒，其位置分布及巡检路线如图 4.2-3 所示。



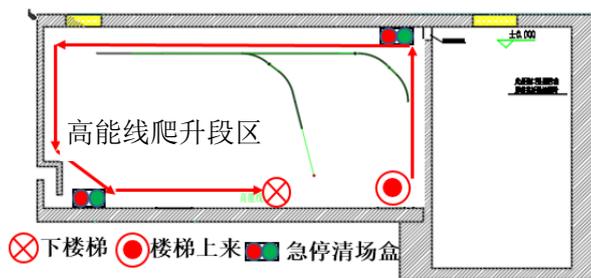


图 4.2-3 急停清场盒位置分布及巡检路线图

六、束流闸

根据“硬件最可靠”这一联锁原则，每个辐射分区前都有一个束流闸，其主要作用是防止误操作，保证有人区域为绝对的封闭区间。束流闸只有当下游的联锁逻辑符合条件时才可打开，束流方可进入下游区域。HIMM 共需束流闸 7 个，其位置分布如图 4.2-4 所示。

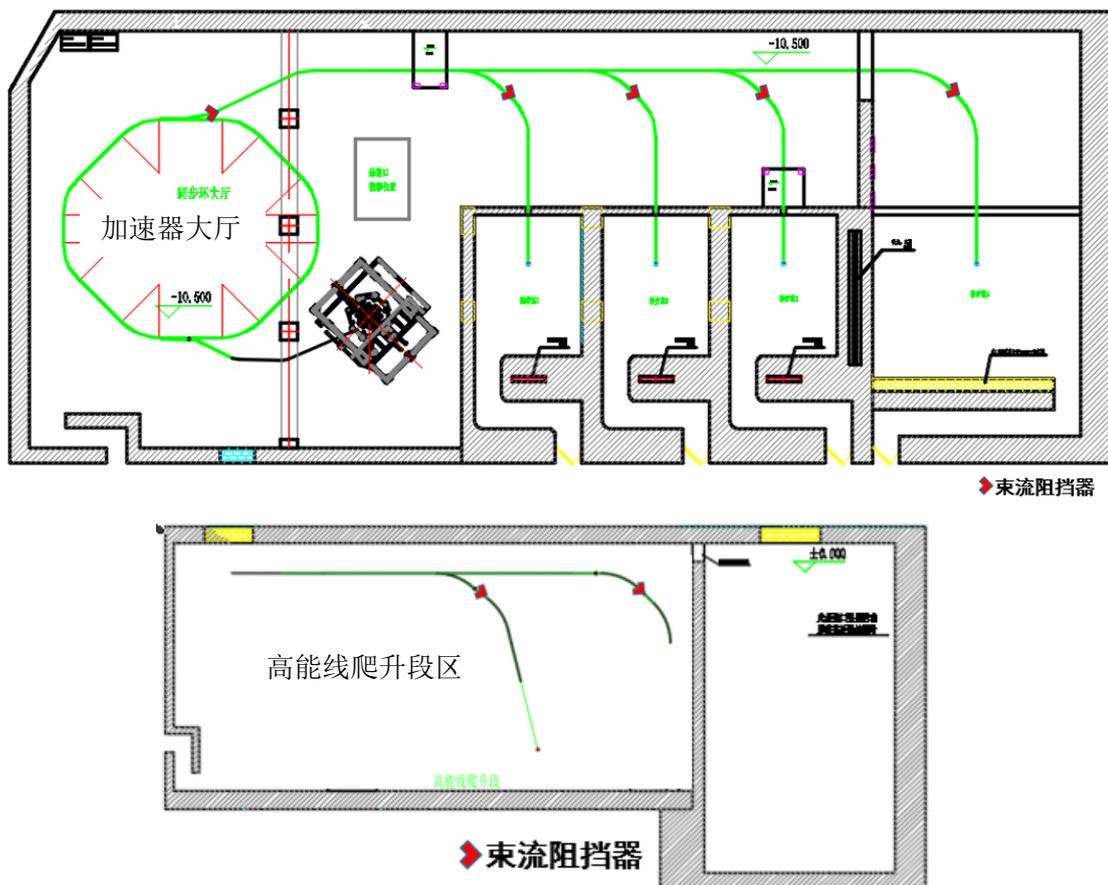


图 4.2-4 HIMM 束流闸位置分布示意图

4.2.1.3 HIMM 安全联锁系统的工作流程

图 4.2-5 给出了 HIMM 安全联锁系统工作流程图。

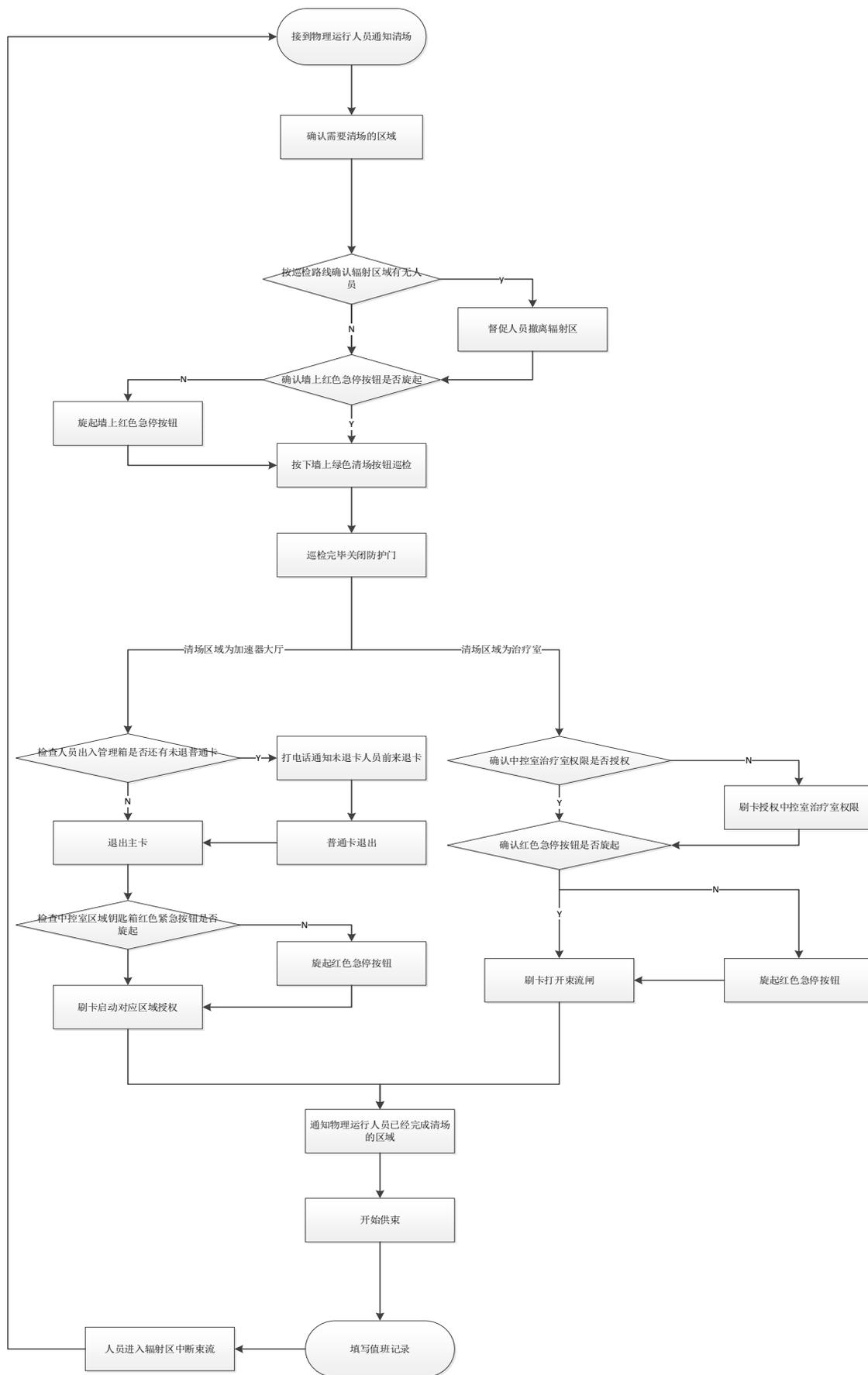


图 4.2-5 HIMM 安全联锁系统工作流程

4.2.1.3 加速器大厅、治疗室出束条件及切断条件

加速器大厅出束的联锁条件包括 11 个急停按钮、11 个清场按钮及 2 个人员出入管理箱和 2 个通道门、1 个区域总钥匙确认按钮。加速器大厅出束前，必须满足大厅内所有急停按钮复位，巡检人员需先确认高能线通道门关闭后按照固定巡检路线按下所有清场按钮后退出加速器大厅，等加速器大厅通道门关闭后，归还人员出入管理箱上所有门禁卡，前往中控室在区域总钥匙箱上刷卡授权按下加速器大厅按钮后，加速器调试人员（物理人员）方可进行开启离子源（ECR）。出束后，除加速器调试人员主动切断束流外，人员也可通过破坏联锁条件切断束流。

- a) 中控室：刷卡按下加速器大厅按钮或按下区域总钥匙箱急停按钮来切断束流。
- b) 加速器大厅：若有人滞留加速器大厅，可通过按下加速器大厅内任意一个急停按钮或从加速器大厅内部开启任意一个通道门来切断束流。

加速器大厅出束联锁逻辑图如下 4.2-6 所示：

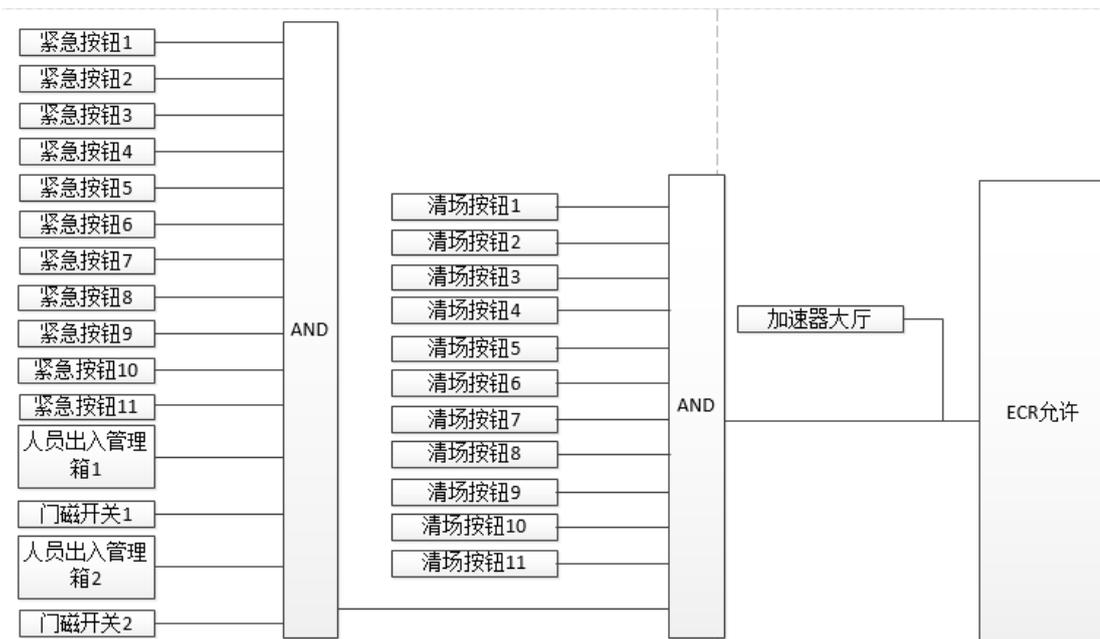


图 4.2-6 加速器大厅出束联锁逻辑图

治疗室出束的联锁条件包括急停按钮、清场按钮、门磁开关、中控室区域总钥匙及治疗室医生控制台确认按钮。治疗室出束的前提条件是加速器大厅首先满足供束条件，然后当医护进入治疗室确认急停按钮复位后，巡检治疗室内无人员滞留后按下清场按钮，退出治疗室，关闭治疗室通道门，最后和中控室确认此治

疗室能否供束。若可以供束，则通知中控室调试人员在区域总钥匙箱刷卡授权对应治疗室允许按钮，医护人员方可在医生控制台刷卡按下治疗室允许，使联锁束流阻挡器离线，此时治疗室方可出束。治疗室出束联锁逻辑图如图 4.2-7 所示：

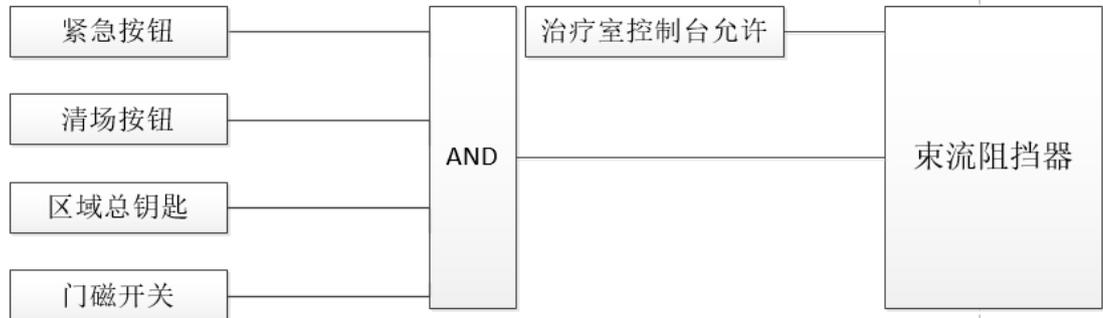


图 4.2-7 治疗室出束联锁逻辑图

出束后，除加速器调试人员或医护人员主动切断束流外，人员也可通过破坏联锁条件切断对应治疗室内束流。

- a) 中控室：刷卡按下对应治疗室停止出束按钮或按下区域总钥匙箱急停按钮来切断束流。
- b) 医生控制台：刷卡按下对应治疗室停止出束按钮来切断束流。
- c) 对应治疗室：若有人员滞留在对应治疗室内，可通过按下室内急停按钮或从内部开启通道门来切断束流。

4.2.2 其他安全措施

4.2.2.1 工作场所的分区和标志

HIMM 工作区划分两个区域：一般工作区和放射性工作区，其中，放射性工作区根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）划分为监督区和控制区。监督区边界设置醒目标志；控制区的辐射场进行在线连续监测，当室内剂量率超过所设阈值（ γ 剂量率、中子剂量率阈值均拟设置为 $10\mu\text{Sv/h}$ ）时，就地给出声、光报警信号。控制区入口设置醒目的电离辐射警告标志，并设安全联锁装置，自动记录进、出该区域的人数，当该区域内有人时无法开机。

4.2.2.2 警报装置

警报装置由辐射标志牌、运行状态显示屏、广播音响等组成。各辐射区通道防护门上均有电离辐射警告标志，加速器大厅入口处及各治疗室入口处均有运行状态显示屏，可直观、明显地显示加速器的工作状态、束流走向和工作模式。加速器大厅、高能线爬升段区、各治疗室内、防护门外主要位置安装剂量探头，在

治疗室入口处、控制室内安装剂量显示屏幕，可以实时显示各区域剂量监测系统监测到的实时剂量率水平，起到一定的警示作用。警报装置位置分布示意图 4.2-8。

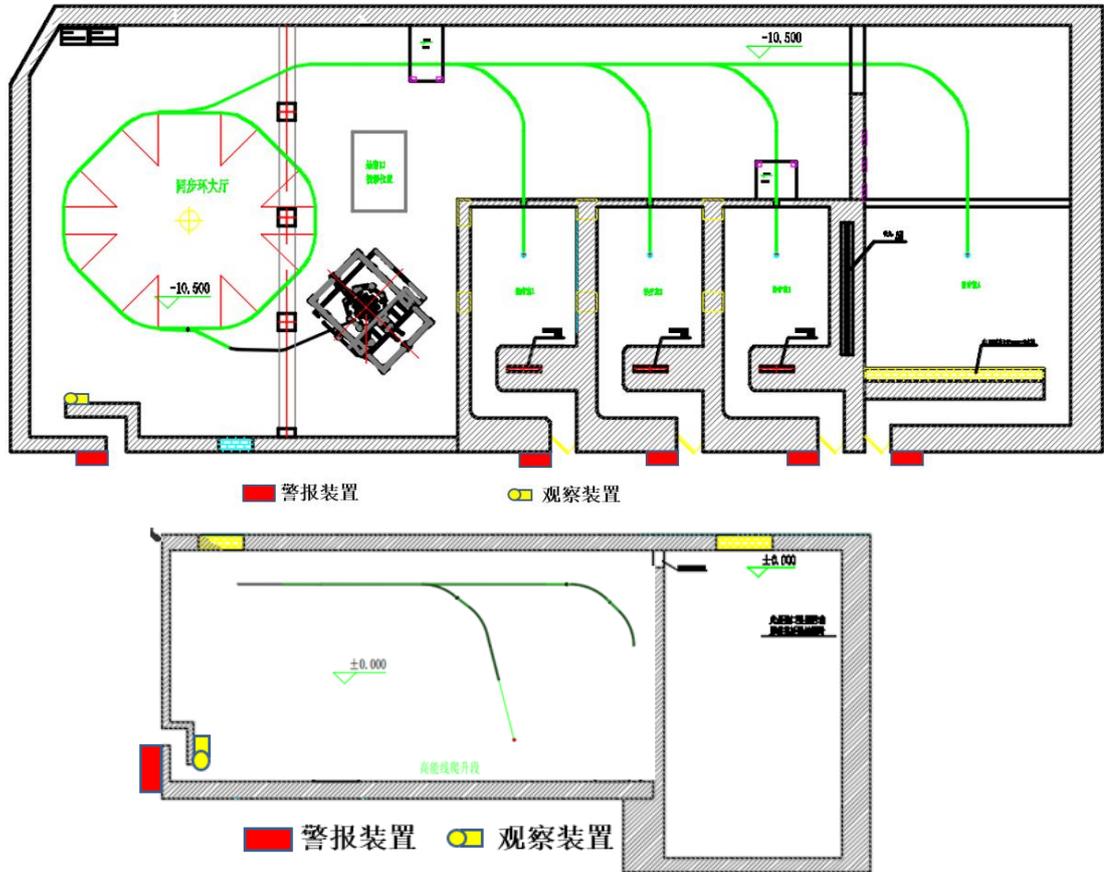


图 4.2-8 警报装置及观察装置位置分布示意图

4.2.2.3 通风系统

HIMM 在运行期间，装置区空调通风系统处于封闭循环状态，并保持装置区在一定的负压状态，排风换气次数设计为 0.5 次/h；当加速器停机后才采取大风量排风，排风次数设计为 5 次/h，正常情况下通风 5 分钟后工作人员才进入。治疗室始终保持负压通风的状态，所有的新风入口均拟安装过滤膜，以去除空气中的气溶胶；排风均拟通过两级过滤后经高位烟囱进行排放。

本项目加速器大厅、高能线爬升段区、4 个治疗室气流组织模式见图 4.2-9。

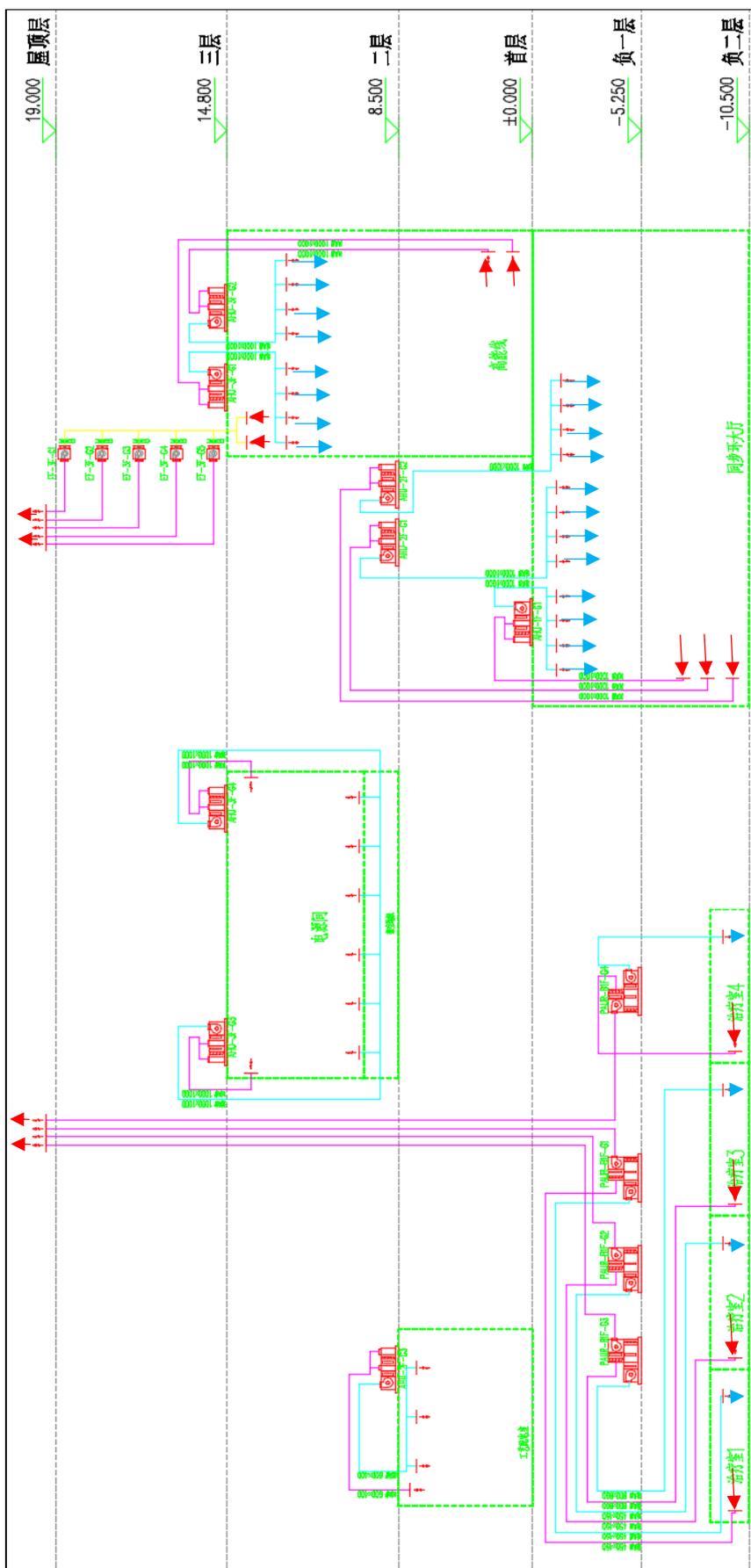


图 4.2-9 本项目气流组织模式示意图

4.2.2.4 观察装置

加速器大厅、高能线爬升段区、各治疗室内主要位置及出入口均拟设置监控探头，利用监控探头监控辐射区内人员滞留状况，观察设备运行状态。观察装置位置分布示意图 4.2-8。

4.2.3 防护系统需要同其他系统的接口

辐射安全与防护系统需要同其他系统的接口如下：

(1) 加速器大厅通风系统：由于加速器运行期间不允许向外排风，且加速器长时间运行后需通风 5 分钟方可允许人员进入，因此通风系统需要与安全联锁系统相互通信。

(2) 束流闸：束流闸是联锁系统的重要设施，应能在接收到联锁信号后迅速动作。束流闸应遵循“失效保护”原则，即束流闸的默认状态应为“降下”，且当其驱动装置发生故障时，束流闸会自动降下。为防止误操作，束流闸状态因与束流触发系统联锁，保障人员人身安全。

(3) 离子源：束流从离子源引出至到同步环为一个辐射区，所以这个辐射区的联锁点应在产生辐射最小的源头离子源。离子源在接收到联锁系统给出的信号后能采取相应措施切断束流。

4.3 三废的治理

4.3.1 放射性固体废物处理措施

本项目 HIMM 运行过程中将产生感生放射性固体废物，主要包括加速器维护维修时产生的废弃的被活化加速器结构部件等、被沾污的废手套、滤纸、纱布等固废。医院拟在高能线爬升段区内西南角设置放射性固废储存间（平面位置见图 4.3-1），感生放射性固废分类收集后暂存于放射性固废储存间，处理前对其中含有的主要放射性核素活度浓度或活度进行监测，经监测满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中解控标准的放射性固废作为非放射性废物处理，对于不满足解控要求的固废送有资质单位处理。

医院拟在放射性固废储存间外醒目处设置电离辐射警告标志，在放射性固废包装外设置标签，标明废物类型、数量、来源、核素种类和存放日期等信息，并配备专门的管理人员，负责放射性固体废物的安全管理。医院拟建立放射性固体

废物台账，对每次放射性固体废物的贮存和处置情况进行记录并存档。

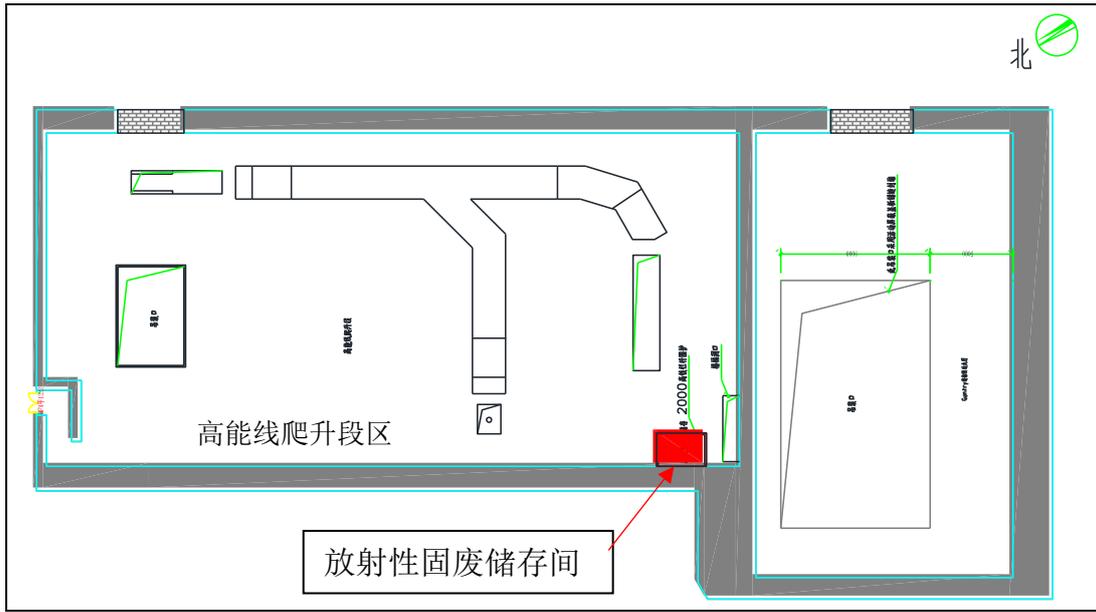


图 4.3-1 放射性固废储存间平面位置示意图

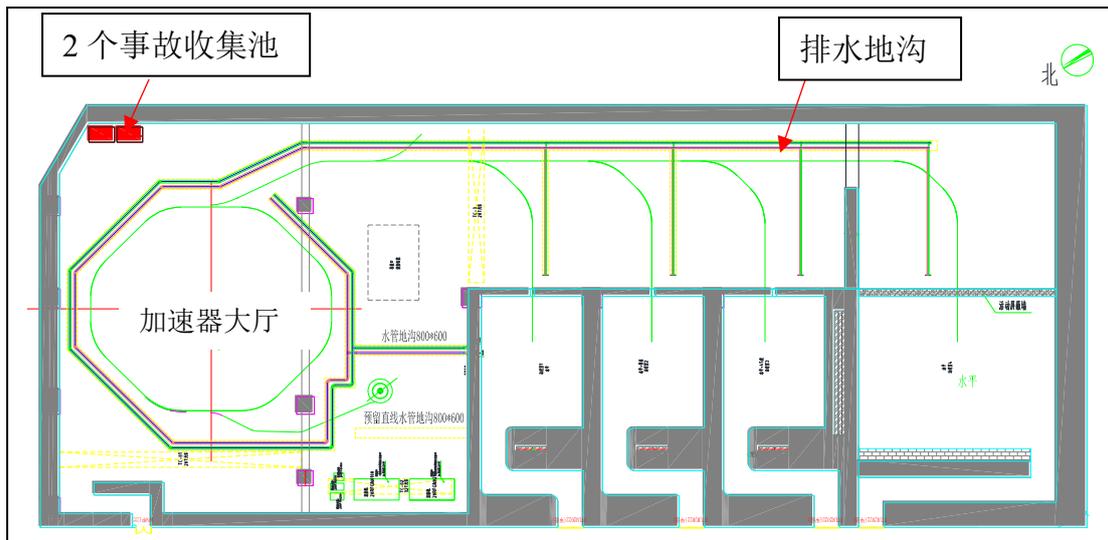


图 4.3-2 放射性废水收集系统平面布置示意图

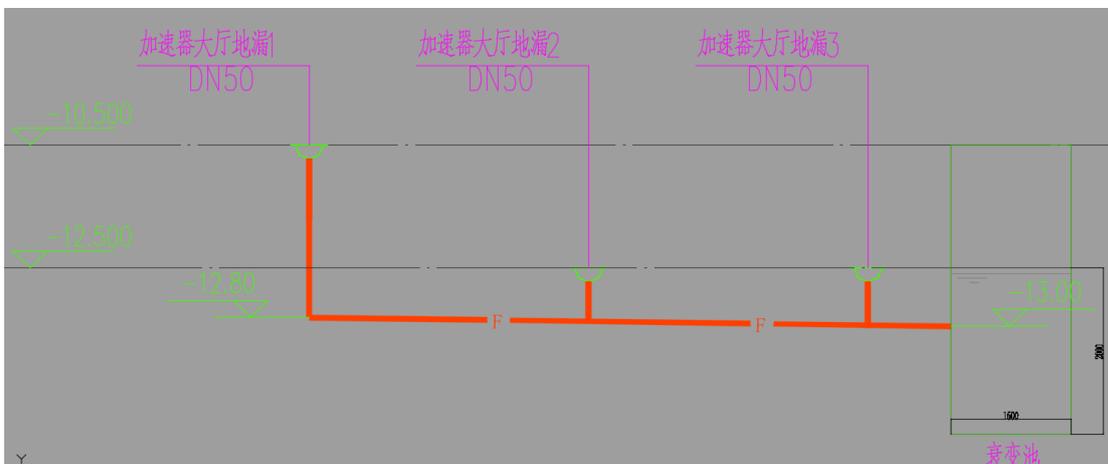


图 4.3-3 放射性废水收集剖面示意图

4.3.2 放射性废水处理措施

HIMM 正常运行工况下，工艺水系统管路内冷却水循环使用不外排，不产生感生放射性废水。事故工况下，若管路泄漏，将产生感生放射性废水。

加速器大厅内拟设置排水地沟和防倒流地漏，大厅内东北角拟设置 2 个事故收集池（平面布置见图 4.3-2），该收集池为连续推流式，分 2 级串联工作，单池有效容积为 6.0m^3 ，池底和池壁拟采用钢筋混凝土结构并做防水防腐处理，池顶拟采用 5mm 厚钢盖板。泄漏的感生放射性废水将按 1% 坡度通过排水地沟、地漏通过自留的方式汇集到一级收集池，通过溢流孔排放到二级收集池，经监测满足要求后通过污水提升装置排放至医院污水处理系统。放射性废水收集系统平面布置示意图 4.3-2，废水收集剖面示意图 4.3-2。

放射区冷却水的总体积为 4.32m^3 ，整个循环水系统为一条主供水管道，分成同步环区域与高能线区域两部分，放射区域即磁铁装置区由 93 条并联支路组成，最大的一条支路设计水循环量为 1.4L/s ，系统设置有防漏水监测系统和水冷监测系统，若循环水系统发生漏水可通过监测系统及时发现，保守假设事故时放射区冷却水全部泄漏至事故收集池，即 4.32m^3 的冷却水全部排放至事故收集池，事故收集池的容量能够满足最大冷却水单元泄漏的收集暂存需求。

根据表 3.3-10、3.3-11 估算结果，排放的冷却水经一定时间暂存后，短半衰期核素的活度将很快降低，需考虑的主要是半衰期较长的 ^3H 和 ^7Be 核素，本项目感生放射性废水在排放前应进行监测，经监测满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）中总 α 不大于 1Bq/L 、总 β 不大于 10Bq/L 要求后，方能按要求排放至医院污水处理系统。

4.3.3 放射性废气处理措施

HIMM 运行过程中将会产生感生放射性气体，其中大部分为短半衰期核素，经过一段时间后可自行衰变至较低水平。一般只需考虑 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 四种放射性核素。根据表 3.3-8 估算结果，HIMM 运行 5 分钟后，刚停机时主要核素的总活度为 $3.74 \times 10^5\text{Bq}$ ，其中 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 核素的活度分别为 $2.99 \times 10^4\text{Bq}$ 、 $4.68 \times 10^4\text{Bq}$ 、 $1.01 \times 10^5\text{Bq}$ 、 $6.66 \times 10^2\text{Bq}$ ；根据表 3.3-9 估算结果，停止照射 2h 后空气中主要核素的总活度为 921Bq ，其中 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{41}Ar 核素的活度分别为 504Bq 、 11.1Bq 、 312Bq ， ^{15}O 活度已衰变到可以忽略不计；根据 GB18871-

2002 表 A1, ^{41}Ar 、 ^{15}O 核素的豁免活度均为 $1 \times 10^9 \text{Bq}$ (未列出 ^{11}C 、 ^{13}N 核素的豁免活度), 本项目产生的感生放射性废气中 ^{41}Ar 、 ^{15}O 核素的活度均小于其豁免活度, ^{41}Ar 、 ^{15}O 核素活度与豁免活度比值之和小于 1, 停止照射 2h 后空气中 ^{11}C 、 ^{13}N 的活度已衰变至较低的水平, 本项目感生放射性废气的排放对环境影响较小。

加速器大厅、高能线爬升段区、4 个治疗室均拟设置独立的空调通风系统:

1、加速器大厅采用一套全空气系统, 空调机组设置于屋面专用空调机房内。空气处理机组采用组合式, 功能段包含新回风混合段、粗效过滤器、中高效过滤器、表冷段、加热段、电加热段、送风段等。

2、高能线爬升段区采用一套全空气系统, 空调机组设置于屋面专用空调机房内。空气处理机组采用组合式, 功能段包含新回风混合段、粗效过滤器、中高效过滤器、表冷段、加热段、电加热段、送风段等。

3、治疗室采用温湿分控空调系统, 新风系统独立设置, 主控治疗室相对湿度, 新风换气次数为 4 次/h, 新风处理机设置于一层专用空调机房内。新风处理机组采用组合式, 功能段包含进风段、粗效过滤器、中高效过滤器、表冷段、加热段、电加热段、送风段等。每个治疗室设置四面出风型多联机室内机, 主控室内温度。

装置区及治疗区设立负压工作环境(或静态封闭)避免放射性物质的扩散。所有放射性区域的排风均需通过初效(G4 过滤器)、中效(F8 过滤器)两级过滤进行过滤后, 在相对集中位置经高位烟囱(高出所在屋面 2m, 离地高度约 22m)在下风向处排放。空调、新风系统均采用初效(G4 过滤器)、中效(F8 过滤器)两级过滤, 尽量降低空气中的气溶胶含量, 从而减少排风中放射性污染物的处理量, 以达到放射性物质减量处理的目的。医院应定期对通风系统的过滤效率进行校核, 及时对过滤装置进行更换, 更换下来的过滤装置应作为放射性废物处理。

通风空调系统按工艺运行、卫生、环保和室内环境要求, 通风空调系统按三种工况运行: 即正常运行工况、清洁通风工况、值班工况。

通风空调工况和工艺运行模式对应表如下:

表 4.3-1 通风空调工况和工艺运行模式对应表

工艺运行模式	装置运行	过渡期运行, 停机时间>0.5h	人员进入
空调通风工况	正常运行	清洁通风	正常运行

装置正常运行模式——为禁入区, 空调通风系统处于封闭循环状态, 并保持

装置区在一定的负压状态，以防止活化空气的泄漏。此模式下，排风换气次数设计为 0.5 次/h。

清洁通风模式（兼事故排风模式）——从加速器停止运行，经适当延时衰减后，采取大风量排风，换气次数设计为 5 次/h，置换装置区中的空气，以满足人员进入的要求。

值班模式——装置停止运行，人员可进入。此时，可根据实际需要，采取正常运行，提高新风比到 0.9~1.5ACH。

4.4 服务期满后的环境保护措施

根据法律法规要求，本项目退役前应办理退役环保手续。

HIMM 退役的辐射防护问题主要是由于感生放射性引起的，加速器产生的感生放射性的特点是短寿命核素较多，研究表明经过几十年后对环境有影响的唯一长寿命核素为 ^{60}Co ，半衰期 5.3 年，其它核素的影响几乎可以忽略不计。而 ^{60}Co 主要存在于受束流直接照射的铜、不锈钢等加速器部件材料中，相对集中形成一个个“热点”。因此对加速器退役的初步设想是首先封存冷却一段时间，然后进行“热点”清除，加速器设备经监测满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中解控标准的作为非放射性废物处理或进行回收利用，对于不满足解控要求的固废送有资质单位处理。

第五章 环境影响分析

5.1 建设阶段对环境的影响

本项目为新建项目，建设施工时对环境可能产生的影响及医院拟采取的治理措施如下：

1、水污染影响及治理措施

施工期产生的废水主要为各种施工机械设备运转的冷却水及洗涤用水和施工现场清洗、建材清洗、混凝土养护、设备水压试验等产生的废水，这部分的废水含有一定的油污和泥沙。另外还有一部分建设期施工人员的生活污水。

其防治措施主要有：

(1) 施工现场搅拌站废水、现制水磨石的污水、电石(碳化钙)的污水须经沉淀后再排入城市污水管道或河流，最好将沉淀水用于工地洒水降尘或采取措施回收利用。上述污水未经处理严禁直接排入城市污水管道或河流中去。

(2) 现场存放油料，必须对库房地面进行防渗处理，如采用防渗混凝土地面、铺油毡等。使用时，要采取措施，防止油料跑、冒、滴、漏，污染水体。

(3) 施工现场 100 人以上的临时食堂，污水排放时可设置简易有效的隔油池，定期掏油和杂物，防止污染。

(4) 工地临时厕所、化粪池应采取防渗漏措施，可采用水冲式厕所，蹲坑上加盖，并有防蝇、灭蝇措施，防止污染水体和环境。

2、大气污染影响及治理措施

施工期的主要大气污染物有废气和粉尘。废气主要来源于施工机械驱动设备（如柴油机等）和运输及施工车辆所排放的废气，排放的主要污染物为 NO_x、CO、烃类物等，此外，还有施工队伍因生活需要使用燃料而排放的废气等；施工期间的粉尘污染主要取决于施工作业方式、材料的堆放以及风力因素，其中受风力因素影响最大。随着风速的增加，施工扬尘产生的污染程度和超标范围也将随之增强或扩大。

主要治理措施有：

(1) 施工现场道路采用焦渣、级配砂石、粉煤灰级配砂石、沥青混凝土或水泥混凝土等，有条件的可利用永久性道路，并指定专人定期洒水清扫，形成制度，防止道路扬尘。

(2) 施工现场垃圾渣土要及时清理出现场。建筑物清理施工垃圾时，要搭设封闭式专用垃圾道，采用容器吊运或永久性垃圾道随结构安装好以供施工使用，严禁随意抛撒。

(3) 袋装水泥、白灰、粉煤灰等易飞扬的细颗粒体材料，应库内存放。若室外临时露天存放时，必须下垫上盖，严密遮盖防止扬尘。

(4) 必须设置围墙或围挡将工地与外界分隔开，并在出入口设置冲洗台和冲洗设施，同时设专人清洗车轮、车帮及清扫出入口卫生，确保车辆不带泥上路，车辆运输时应文明装卸。

(5) 机动车都要安装 PVC 阀，对那些尾气排放超标的车辆要安装净化消声器，确保不冒黑烟。

(6) 工地上的茶炉、大灶、锅炉尽量采用消烟除尘型茶炉、锅炉和消烟节能回风灶，烟尘降至允许排放量为止。

(7) 工地搅拌站除尘是治理的重点，有条件可修建集中搅拌站，由计算机控制进料、搅拌、输送全过程，在进料仓上方安装除尘器，可使水泥、砂、石中的粉尘降至 99% 以上。采用现代化先进设备是解决工地粉尘污染的根本途径。

3、噪声污染影响及治理措施

噪声是施工期的主要污染因子，施工过程中使用的运输车辆及各种施工机械，如挖掘机、推土机、混凝土搅拌机等都是噪声的产生源。由于现场施工机械设备噪声很高，而且实际施工过程中，往往是多种机械同时工作，各种噪声源辐射的相互叠加，噪声级将更高，辐射范围也更大。

为了减轻施工噪声对周围环境的影响，在施工过程中应严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011) 的标准。对建设施工噪声可从以下几个方面加以控制和管理：

(1) 建设中采用低噪声的施工工艺，如用液压打桩代替冲击打桩，用低噪声施工设备代替传统的高噪声设备。

(2) 对一些固定的高噪声设备采用噪声控制措施，如搅拌机、木工机械、线材切割机等设备应放置在远离居民住宅处，并采取一些噪声屏蔽措施。

(3) 加强对施工工地的管理和施工人员的环境意识教育。

(4) 必须加强施工管理，合理安排施工时间，严禁夜间进行强噪声作业。如因工艺特殊情况要求，需在夜间施工而产生环境噪声污染时，按《中华人民共和

国环境噪声污染防治法》的规定，需取得当地人民政府或有关主管部门的证明，并公告附近居民。

4、固废污染影响及治理措施

施工垃圾主要来源于施工所产生的建筑垃圾和施工队伍产生的生活垃圾。施工期间将涉及到土地开挖、管道敷设、材料运输、基础工程、房屋建筑等工程，在此期间将有一定量的废弃建筑材料如砂石、石灰、混凝土、废砖、土石方等；本项目施工前后必然要有大量的施工人员工作和生活在施工现场，其日常生活将产生一定数量的生活垃圾。

对施工现场的建筑垃圾要及时清运、加以利用，防止其因长期堆放而产生扬尘。施工过程中产生的生活垃圾如不及时清运处理，会腐败变质，滋生蚊蝇，产生恶臭，传播疾病，从而对周围环境和作业人员健康带来不利影响。本项目建设期间产生的建筑垃圾严格按照《杭州市建设工程渣土管理办法》中相关规定处置；同时对生活垃圾进行专门分类收集，环卫所定期运往垃圾场进行合理处置，严禁乱堆乱放，防止二次污染。

医院在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在院内局部区域，对周围环境影响较小，对杭州半山国家森林公园等生态环境影响较小。医院已征求杭州市拱墅区半山国家森林公园管理服务中心对本项目建设的意见，其出具的书面意见为“无意见，同意项目建设”。

5.2 运行阶段对环境的影响

5.2.1 HIMM 辐射影响分析

5.2.1.1 场所辐射水平

一、理论估算

1、屏蔽体外辐射水平

高能粒子与物质相互作用的过程较为复杂，采用经验公式计算有其局限性，而蒙特卡罗方法则能模拟质子、重离子、中子和光子等多种粒子与物质的相互作用过程，可为辐射防护和剂量学研究等提供可靠数据。

HIMM 内回旋注入器后期将升级为直线注入器，升级前 8s 脉冲周期下各阶段束流损失参数见表 3.3-1，治疗终端束流强度最大为 $8.137E+08$ ppp，升级后 30s 脉冲周期下各阶段束流损失参数见表 3.3-2，治疗终端束流强度最大可达

4.155E+09ppp, 模拟计算时取升级直线注入器后设计最大能量和流强进行模拟计算。

评估过程中主要考虑了同步加速过程的均匀损失、同步引出的集中损失、高能输运的均匀损失以及治疗终端的集中损失。计算工具采用 FLUKA 程序, 版本是 V2020.0; 粒子种类设置为 $^{12}\text{C}^{6+}$; 同步加速过程损失的粒子能量为 200MeV/u, 同步引出、高能输运及治疗室损失的粒子能量为 400MeV/u; 根据表 3.3-2 可知, 同步加速过程束损流强为 $1.97 \times 10^7 \text{pps}$ ($5.7 \times 10^8 \text{ppp}$ 除以 30s), 同步引出集中损失流强为 $1.97 \times 10^7 \text{pps}$ ($5.7 \times 10^8 \text{ppp}$ 除以 30s), 高能输运线均匀损失流强为 $3.85 \times 10^5 \text{pps/m}$ ($4.617 \times 10^8 \text{ppp}$ 除以 30s 再除以 40m), 治疗终端集中损失流强为 $1.385 \times 10^8 \text{pps}$ ($4.155 \times 10^9 \text{ppp}$ 除以 30s)。

本次计算考虑了以下集中束流损失工况:

(1) 同步加速损失、同步引出损失、高能输运的均匀损失以及 1 号治疗室的水平方向损失;

(2) 2 号治疗室的水平方向损失;

(3) 2 号治疗室的垂直方向损失

(4) 3 号治疗室的水平方向损失;

(5) 4 号治疗室的水平方向损失;

(6) Gantry 治疗室 (4 号治疗室升级后) 向左的束流损失;

(7) Gantry 治疗室 (4 号治疗室升级后) 向右的束流损失;

(8) Gantry 治疗室 (4 号治疗室升级后) 向顶的束流损失;

(9) Gantry 治疗室 (4 号治疗室升级后) 向顶向右侧的束流损失;

(10) Gantry 治疗室 (4 号治疗室升级后) 向顶向左侧的束流损失;

(11) Gantry 治疗室 (4 号治疗室升级后) 向下的束流损失;

(12) 爬升段高能束运线的均匀损失。

图 5.2-1 至图 5.2-12 分别给出了不同束流损失工况下的总辐射剂量率 (包括 γ 射线和中子) 分布图。

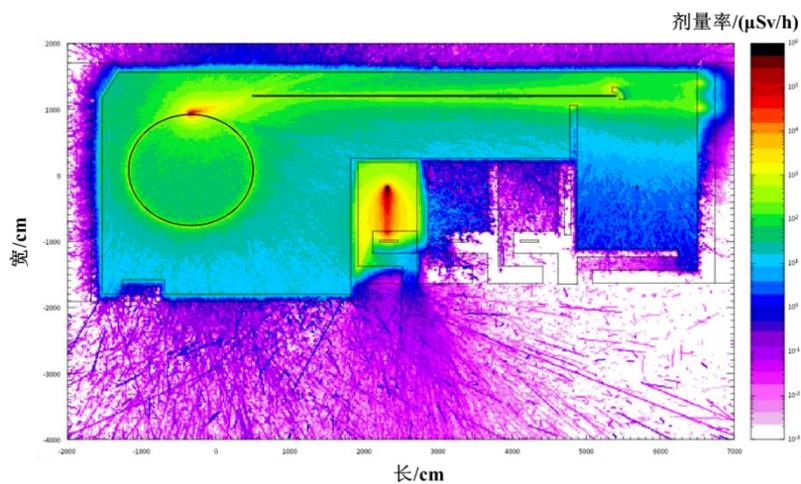


图 5.2-1 同步加速、同步引出、高能输运及 1 号治疗室水平方向同时发生损失的总辐射剂量率分布图

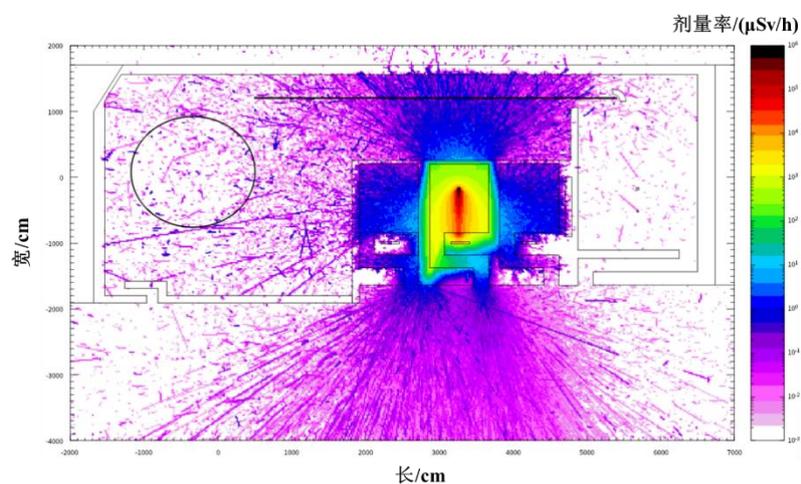


图 5.2-2 2 号治疗室水平方向治疗时的总辐射剂量率分布图

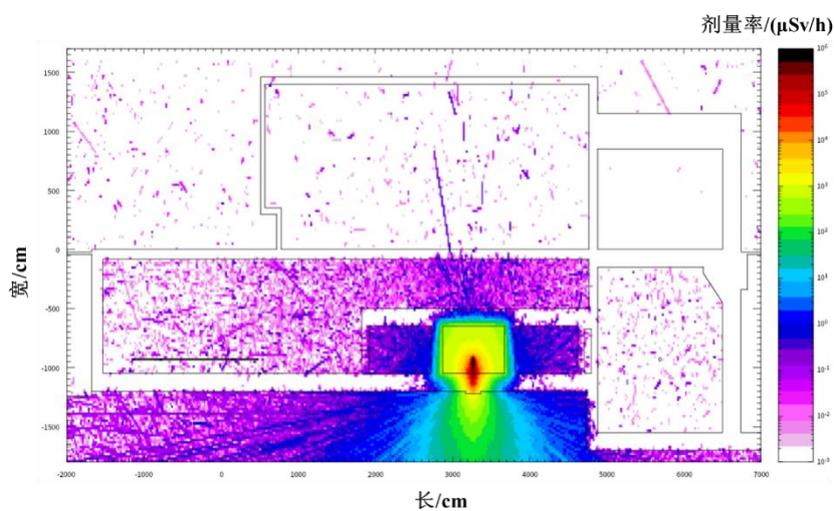


图 5.2-3 2 号治疗室垂直方向治疗时的总辐射剂量率分布图

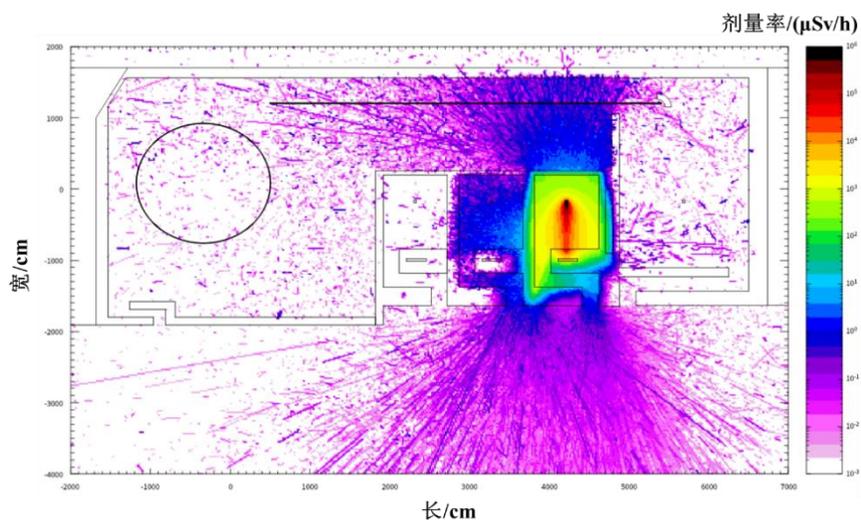


图 5.2-4 3号治疗室水平方向治疗时的总辐射剂量率分布图

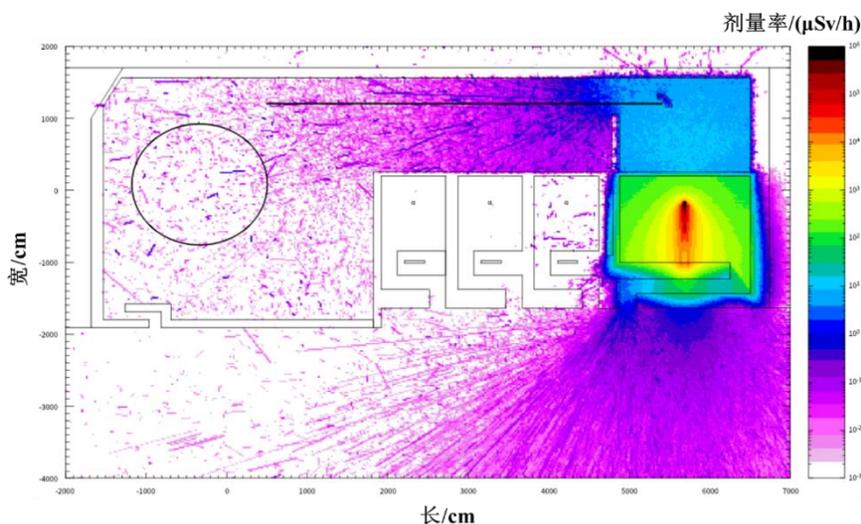


图 5.2-5 4号治疗室水平方向治疗时的总辐射剂量率分布图

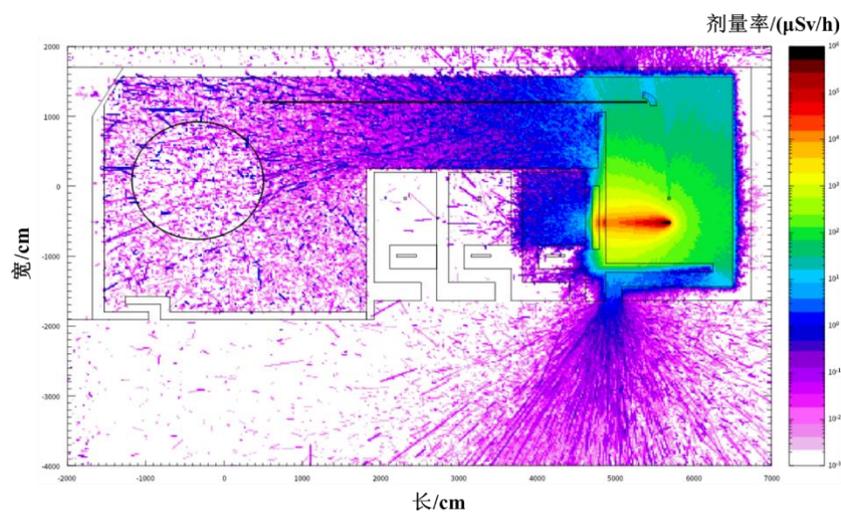


图 5.2-6 Gantry 治疗室左向治疗时的总辐射剂量率分布图

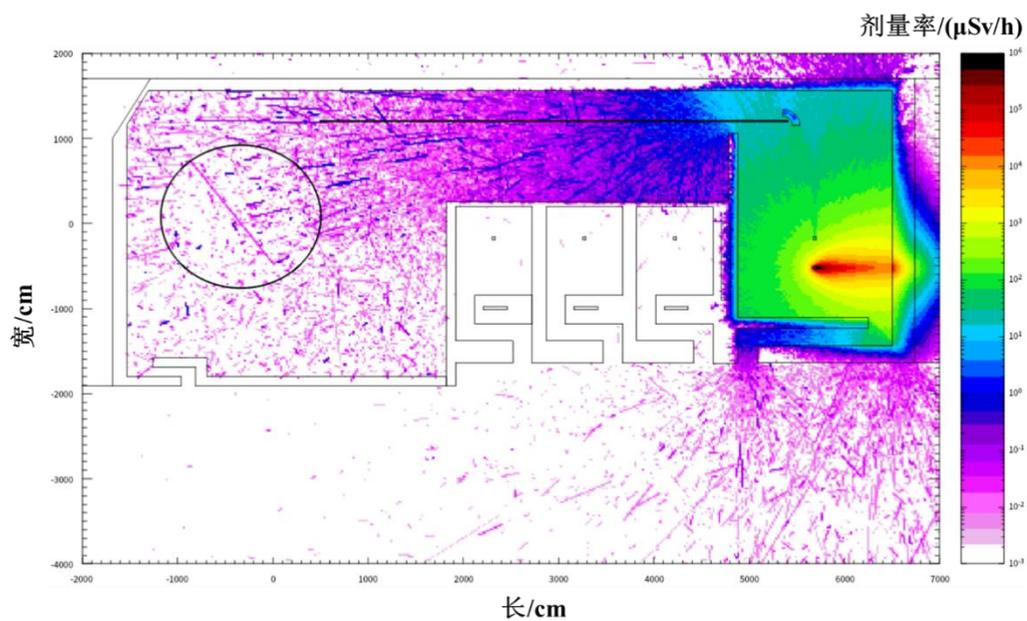


图 5.2-7 Gantry 治疗室右向治疗时的总辐射剂量率分布图

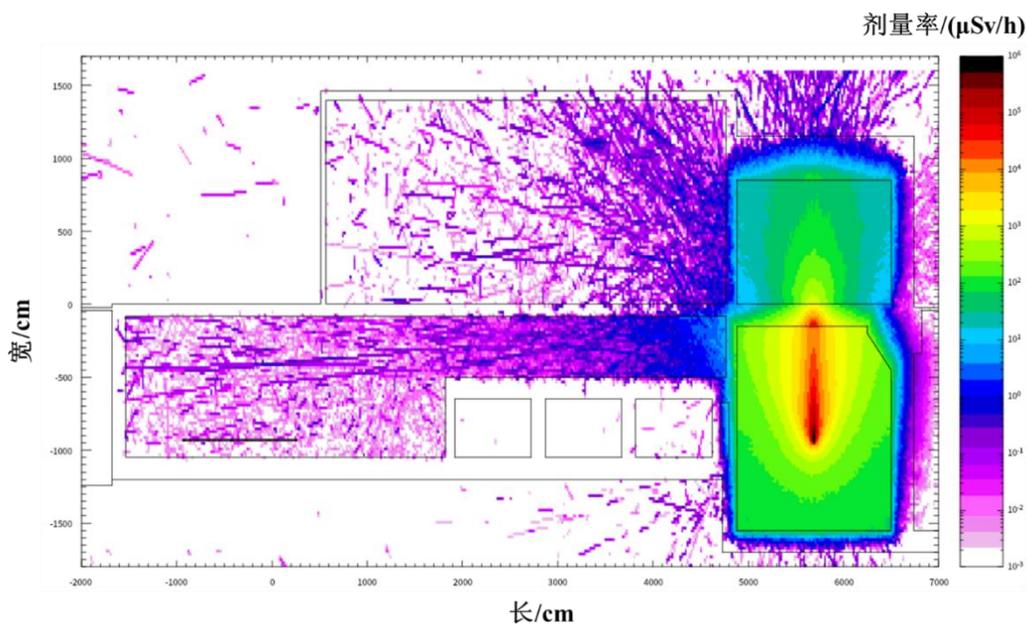


图 5.2-8 Gantry 治疗室顶向治疗时的总辐射剂量率分布图

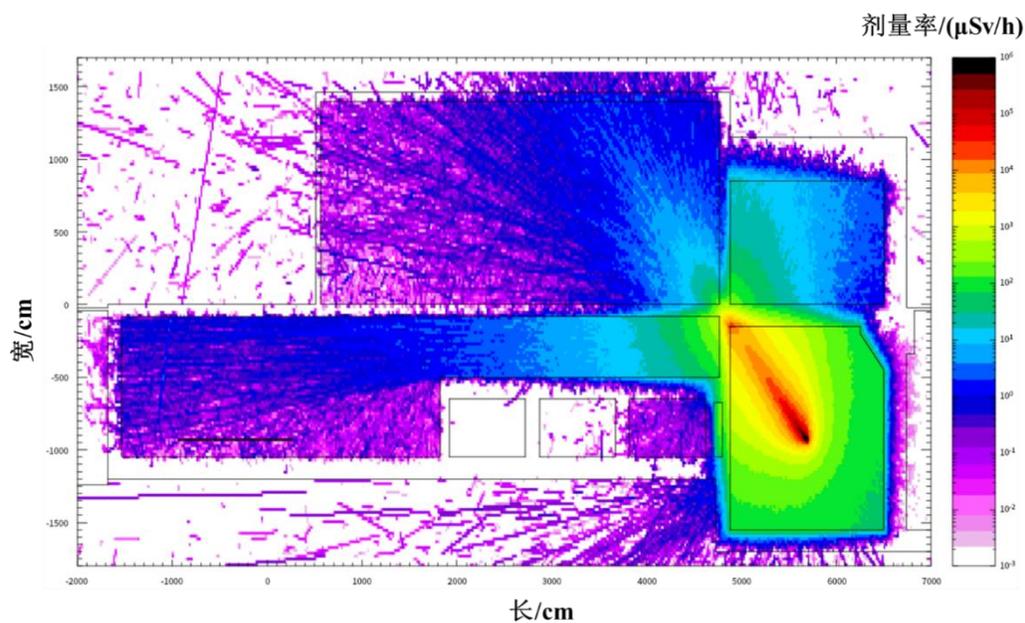


图 5.2-9 Gantry 治疗室顶向左侧治疗时的总辐射剂量率分布图

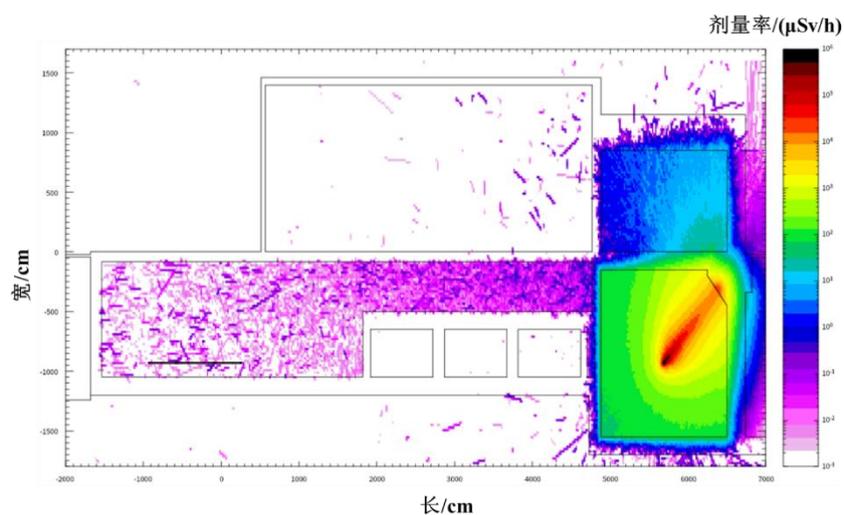


图 5.2-10 Gantry 治疗室顶向右侧治疗时的总辐射剂量率分布图

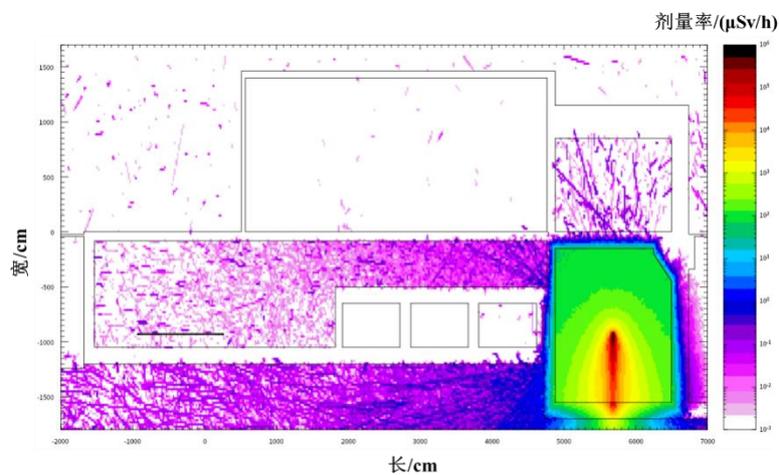


图 5.2-11 Gantry 治疗室下侧治疗时的总辐射剂量率分布图

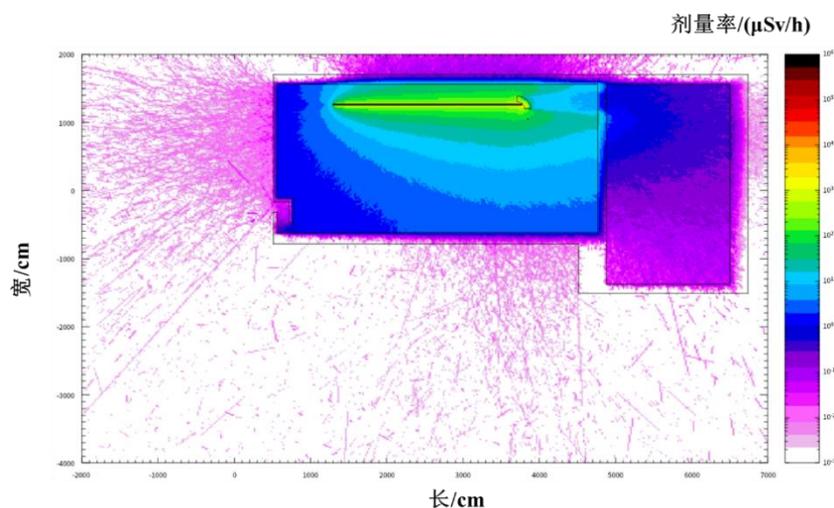


图 5.2-12 爬升段高能束运线损失的总辐射剂量率分布图

本项目辐射工作场所包括加速器大厅、高能线爬升段区、1号治疗室、2号治疗室、3号治疗室、4号治疗室，根据项目布局情况，环评给出了各辐射工作场所外典型参考点的总辐射剂量率估算结果，各参考点的剂量率估算结果都是不同束流损失工况下该位置的最大剂量率，其中迷道入口外剂量率估算结果均为假设无防护门情况，各参考点设置情况见附图 3-1~附图 3-8，参考点包括：各辐射工作场所四周墙体、防护门、顶板外 30cm 人员可居留处，紧贴土壤的屏蔽体外，机房外辐射工作人员或较近公众的典型长居留场所等。束流损失工况及对应参考点的总辐射剂量率估算结果如表 5.2-1 所示，与本项目辐射剂量率控制限值的对照评价结果如表 5.2-2 所示。

表 5.2-1 各束流损失工况下对应参考点的总辐射剂量率水平一览表

束流工况	参考点序号 (上)																	剂量率 (单位: $\mu\text{Sv/h}$) (下)			
	序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	31/31'	32			
同步加速、同步引出、高能输运线、治疗室1水平	剂量率	2.5	0.3	0.25	0.5	0.1	0.9	0.4	0.5	0.45	0.12	0.17	0.8	2.1	1.0	8.0	0.1	0.08			
2号水平	序号	16	17	18	19	30	30'														
	剂量率	2.1	1.0	8.0	8.0	0.18	0.2														
2号垂直	序号	59	60																		
	剂量率	4700	1200																		
3号水平	序号	20	21	22	23	24															
	剂量率	2.1	1.0	0.1	0.08	8.0															
4号水平	序号	25	26	37																	
	剂量率	2.4	0.15	0.1																	
Gantry左向	序号	25	28	29																	
	剂量率	2.0	9.0	7.0																	
Gantry右向	序号	27																			
	剂量率	200																			
Gantry顶向	序号	39	48	53	54	55	56	57	58												
	剂量率	0.01	0.08	2.0	8.1	0.17	≤ 0.1	≤ 0.05	≤ 0.02												
Gantry顶向右侧	序号	38																			
	剂量率	0.1																			
Gantry顶向左侧	序号	36	50																		
	剂量率	0.18	0.2																		
Gantry向下	序号	61																			
	剂量率	3000																			
高能线	序号	33	34	35	39	40	41	42	43	44	45	46	47	49	51	52					
	剂量率	0.02	0.05	0.06	0.05	0.06	0.04	0.1	≤ 0.01	0.05	≤ 0.01										

表 5.2-2 参考点的总辐射剂量率水平估算结果与控制限值的对照评价结果一览表

参考点序号	区域描述	居留因子	剂量率估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制限值 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价结果
1	土层	/	2.5	/	/
2	设备区走廊	1/20	0.3	10	满足要求
3		1/20	0.25	10	满足要求
4	高压细水雾专用设备间	1/40	0.5	10	满足要求
5	治疗区女卫	1/20	0.1	10	满足要求
6	土层	/	0.9	/	/
7			0.4		
8			0.5		
9			0.45		
10			0.12		
11			0.17		
12			0.8		
13	治疗区男卫	1/20	2.1	10	满足要求

参考点序号	区域描述	居留因子	剂量率估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制限值 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价结果
14	治疗区走廊	1/8	1.0	10	满足要求
15	2号治疗室	1/2	8.0	10	满足要求
16	治疗区走廊	1/8	2.1	10	满足要求
17			1.0		
18	3号治疗室	1/2	8.0	10	满足要求
19	1号治疗室	1/2	8.0	10	满足要求
20	治疗区走廊	1/8	2.1	10	满足要求
21			1.0		
22	4号治疗室	1/2	0.1	10	满足要求
23			0.08		
24	2号治疗室	1/2	8.0	10	满足要求
25	治疗区走廊	1/8	2.4 (4号治疗室水平治疗时)	10	满足要求
			2.0 (4号治疗室升级 Gantry 后左向治疗时)		满足要求
26	楼梯间	1/20	0.15	10	满足要求
27	土层	/	200	/	/
28	3号治疗室	1/2	9.0	10	满足要求
29			7.0		
30	治疗控制、护士站	1	0.18	2.5	满足要求
30'			0.2		
31/31'	中央控制室	1	0.1	2.5	满足要求
32	示教室	1/2	0.08	10	满足要求
33	通用变配电间	1/40	0.02	10	满足要求
34			0.05		
35	预留 CT 操作间	1	0.06	2.5	满足要求
36	储藏室	1/20	0.18	10	满足要求
37	走廊	1/5	0.1	10	满足要求
38	室外绿化、道路	1/40	0.1	10	满足要求
39			0.05		
40			0.06		
41			0.04		
42	后勤走廊	1/20	0.1	10	满足要求

参考点序号	区域描述	居留因子	剂量率估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制限值 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价结果
43	楼梯间	1/20	≤ 0.01	10	满足要求
44	模具制作室	1	≤ 0.01	2.5	满足要求
45	医护走廊	1/5	≤ 0.01	10	满足要求
46	病人休息区	1/20	≤ 0.01	10	满足要求
47	后勤走廊	1/20	≤ 0.01	10	满足要求
48	前室	1/5	0.08	10	满足要求
49	Gantry 电源间	1/40	≤ 0.01	10	满足要求
50			0.2	10	满足要求
51	楼梯间	1/20	0.05	10	满足要求
52	屋面绿化	1/20	≤ 0.01	10	满足要求
53	屋面结构	1/40	2.0	10	满足要求
54			8.1	10	满足要求
55	前室	1/5	0.17	10	满足要求
56	办公区走廊	1/5	≤ 0.1	10	满足要求
57	办公用房	1	≤ 0.05	2.5	满足要求
58	办公区走廊	1/5	≤ 0.02	10	满足要求
59	土层	/	4700	/	/
60			1200		
61			3000		

根据表 5.2-2 可知:

(1) 本项目加速器大厅、高能线爬升段区、1 号治疗室、2 号治疗室、3 号治疗室、4 号治疗室外人员全居留场所的总辐射剂量率最大为 $0.2\mu\text{Sv/h}$ (参考点 30', 区域为治疗控制、护士站), 为 2 号治疗室水平方向治疗时产生的辐射影响, 均能够满足本项目辐射剂量率控制目标的要求 ($\dot{H}_c \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ (人员全居留场所, $T > 1/2$));

(2) 本项目加速器大厅、高能线爬升段区、1 号治疗室、2 号治疗室、3 号治疗室、4 号治疗室外人员部分和偶然居留场所的总辐射剂量率最大为 $9.0\mu\text{Sv/h}$ (参考点 28, 区域为 3 号治疗室), 为 4 号治疗室升级 Gantry 后左向治疗产生的辐射影响, 均能够满足本项目辐射剂量率控制目标的要求 ($\dot{H}_c \leq 10\mu\text{Sv/h}$ (人员部分和偶然居留场所, $T \leq 1/2$));

(3) 对于本项目加速器大厅、高能线爬升段区、1 号治疗室、2 号治疗室、

3 号治疗室、4 号治疗室紧贴土壤的屏蔽体，屏蔽体外的辐射剂量率最大为 4700 μ Sv/h（参考点 59，区域为 2 号治疗室地下土层），参考日本 J-PARC（质子加速器研究设施）的相关设计，对于紧贴土壤的屏蔽体，若屏蔽体外剂量率不大于 5mSv/h，可不考虑其对土壤、地下水的活化影响，本项目无需考虑对机房周围土壤、地下水的活化影响。

2、天空反散射

根据表 5.2-2，高能线爬升段区、4 号治疗室顶外 30cm 处辐射剂量率满足本项目辐射剂量率控制目标要求，本项目辐射工作场所屋顶均经过良好屏蔽，天空反散射所致的辐射剂量很小，在辐射影响估算时不予考虑。

二、类比说明

目前，国内尚无已运行的与本项目 HMM 同技术参数、同布局、同屏蔽的重离子治疗系统，本报告引用已运行的同厂家同类型重离子设备的竣工环境保护验收检测数据，对类似重离子设备运行后的辐射影响进行类比说明。

引用项目为武威重离子治疗肿瘤中心建设项目（放射性部分一重离子治疗加速器），该项目已运行的重离子设备最大束流能量为 400MeV/u，治疗终端最大束流强度为 4×10^8 ppp，本项目重离子设备最大束流能量为 400MeV/u，治疗终端最大束流强度为 4.155×10^9 ppp，引用项目与本项目工作场所均由中科院近代物理研究所设计，均经过了良好的屏蔽设计，根据已运行项目的验收检测结果，可大概说明经良好屏蔽设计后的重离子设备的辐射影响。

根据甘肃秦洲核与辐射安全技术有限公司于 2020 年 8 月 7 日出具的武威重离子治疗肿瘤中心建设项目（放射性部分一重离子治疗加速器）检测报告（见附件 7），该项目重离子加速器设备在验收检测工况（束流能量 400MeV/u，束流强度 1600 μ A）下，工作场所周围剂量当量率检测结果见表 5.2-3，中子周围剂量当量率检测结果见表 5.2-4，检测布点图见图 5.2-13。

表 5.2-3 周围剂量当量率检测结果（单位：nSv/h）

序号	点位描述	测值范围	检测结果
1	同步环防护门 a 点	109~118	114 \pm 3
2	同步环防护门 b 点	109~112	110 \pm 1
3	同步环机房 c 点	118~128	123 \pm 3
4	同步环机房 d 点	129~134	132 \pm 1
5	同步环机房 e 点	125~127	126 \pm 1

6		水处理间 f 点	122~128	125±2
7		水处理间 g 点	121~126	123±2
8		h 点	138~149	144±3
9		k 点	181~193	188±4
10		L 点	142~145	143±1
11		m 点	142~144	143±1
12		治疗大厅控制台处	164~166	165±1
13		二楼中央控制室内	134~137	136±1
14		院区东侧	75.8~77.1	76.4±0.4
15		院区西侧	80.8~81.4	81.1±0.2
16		院区南侧	93.7~94.7	94.2±0.4
17		院区北侧	85.1~86.0	85.5±0.3
18		东城嘉园	108~110	109±1
19		清颐佳苑	103~105	104±1

注：检测结果未扣除宇宙射线响应值。

表 5.2-4 中子周围剂量当量率检测结果（单位：nSv/h）

序号	点位描述	检测结果
1	同步环防护门 a 点	<LLD
2	同步环防护门 b 点	<LLD
3	同步环机房 c 点	<LLD
4	同步环机房 d 点	<LLD
5	同步环机房 e 点	<LLD
6	水处理间 f 点	<LLD
7	水处理间 g 点	<LLD
8	h 点	<LLD
9	k 点	<LLD
10	L 点	<LLD
11	m 点	<LLD
12	治疗大厅控制台处	<LLD
13	二楼中央控制室内	<LLD
14	院区东侧	<LLD
15	院区西侧	<LLD
16	院区南侧	<LLD
17	院区北侧	<LLD
18	东城嘉园	<LLD
19	清颐佳苑	<LLD

注：LLD=8.68E-02μSv/h。

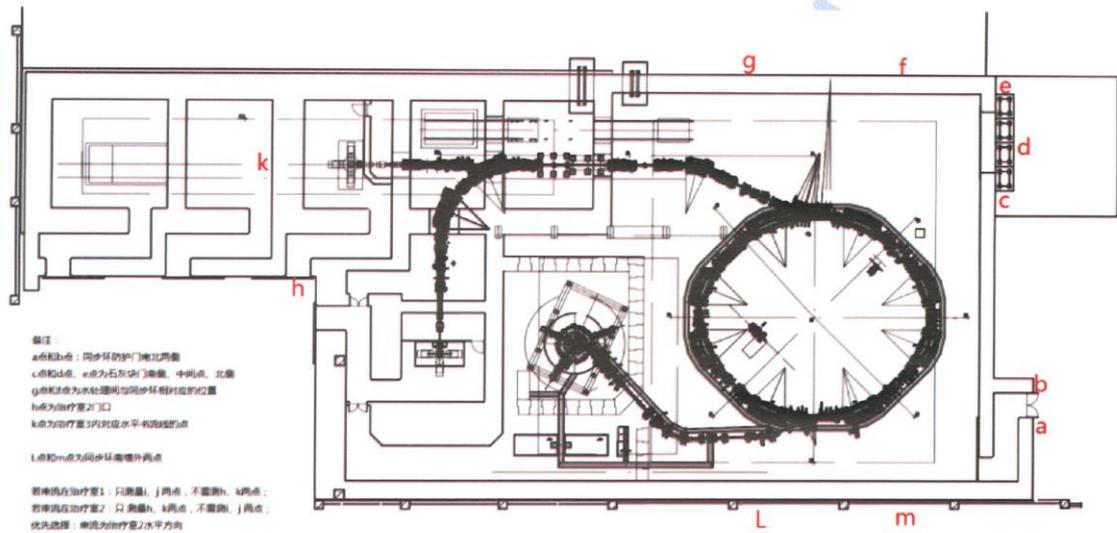


图 5.2-13 武威重离子加速器设备环保竣工验收检测布点图

根据检测结果可知，武威重离子治疗肿瘤中心建设项目（放射性部分—重离子治疗加速器）重离子加速器设备在验收检测工况（束流能量 400MeV/u，束流强度 1600 μ A）下，工作场所周围剂量当量率检测结果为（75.8~193）nSv/h，中子剂量当量率检测结果均为<LLD（LLD=8.68E-02 μ Sv/h）。

根据检测结果可推测，经良好屏蔽设计后的重离子设备在正常运行工况下，对周围环境的辐射影响较小。

5.2.1.2 人员受照剂量

辐射工作人员和公众的年有效剂量可用（式 5.2-1）进行计算：

$$E_{eff} = D \cdot t \cdot T \cdot U \quad \dots\dots \text{（式 5.2-1）}$$

式中： E_{eff} ——人员有效剂量， μ Sv；

D——参考点处的总辐射剂量率， μ Sv/h；

t——年照射时间，单位 h；

T——居留因子，根据 GBZ/T 201.1-2007 附录 A 取值；

U——使用因子，本项目 U 取 1。

根据表 5.2-1 估算结果和式 5.2-1 可估算得出机房外各关注点（人员可居留处）年有效剂量，具体计算参数和计算结果见表 5.2-5。

表 5.2-5 HIMM 机房外各关注点（人员可居留处）年有效剂量估算表

参考点序号	参考点位置	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留场所	居留因子	年照射时间 ^① (h)	年有效剂量估算结果 (mSv)	保护目标
2	加速器大厅迷道门外 30cm	0.3	设备区走廊	1/20	1000	0.02	公众
3	加速器大厅西墙外 30cm	0.25		1/20		0.01	
4		0.5	高压细水雾专用设备间	1/40		0.01	
5		0.1	治疗区女卫	1/20		<0.01	
13	1号治疗室迷道墙外 30cm	2.1	治疗区男卫	1/20	250	0.03	
14	1号治疗室迷道门外 30cm	1.0	治疗区走廊	1/8		0.03	
16	2号治疗室迷道墙外 30cm	2.1				0.07	
17	2号治疗室迷道门外 30cm	1.0				0.03	
20	3号治疗室迷道墙外 30cm	2.1				0.07	
21	3号治疗室迷道门外 30cm	1.0				0.03	
25	4号治疗室迷道门外 30cm	2.4 ^②				0.08	
26	4号治疗室迷道墙外 30cm	0.15				楼梯间	
28 ^③	4号治疗室北墙外 30cm	9.0	3号治疗室	1/2	250	1.13	辐射工作人员
30	2号治疗室西墙外约 4.4m	0.18	治疗控制、护士站	1	1000	0.18	
30'	2号治疗室迷道门外约 4.4m	0.2		1		0.20	
31	1号治疗室西墙外约 6.1m	0.1	中央控制室	1		0.10	
31'	加速器大厅西墙外约 6.1m	0.1	中央控制室	1		0.10	
32	加速器大厅西墙外约 20.9m	0.08	示教室	1/2		0.04	
33	高能线爬升段区西墙外 30cm	0.02	通用变配电间	1/40		<0.01	公众
34		0.05			<0.01		
35		0.06	预留 CT 操作间	1	0.06		
36	Gantry 设备转运大厅北墙外 30cm	0.18	储藏室	1/20	250	<0.01	
37	Gantry 设备转运	0.1	走廊	1/5		<0.01	

		大厅西墙外 30cm					
38		Gantry 设备转运 大厅南墙外 30cm	0.1	室外绿化、 道路	1/40	1000	<0.01
39	Gantry 设备转运 大厅东墙外 30cm	0.05	<0.01				
40	高能线爬升段区	0.06	<0.01				
41	东墙外 30cm	0.04	<0.01				
42		高能线爬升段区 迷道门外 30cm	0.1	后勤走廊	1/20		<0.01
43		高能线爬升段区 北墙外 30cm	≤0.01	楼梯间	1/20		<0.01
44		高能线爬升段区 西北侧 13.8m	≤0.01	模具制作室	1		<0.01
45		高能线爬升段区 西墙外 8m	≤0.01	医护走廊	1/5		<0.01
46		高能线爬升段区 西墙外 4m	≤0.01	病人休息区	1/20		<0.01
47		高能线爬升段区 北墙外 2.8m (加 速器大厅顶外 30cm)	≤0.01	后勤走廊	1/20		<0.01
48		Gantry 设备转运 大厅上空西墙外 30cm	0.08	前室	1/5		0.02
49	二层	高能线爬升段区 上空西墙外 30cm	≤0.01	Gantry 电 源间	1/40	1000	<0.01
50		Gantry 设备转运 大厅上空北墙外 30cm	0.2		1/40	250	<0.01
51		高能线爬升段区 上空北墙外 30cm	0.05	楼梯间	1/20	1000	<0.01
53	9.200 米标 高	4 号治疗室顶外 30cm	2.0	屋面结构	1/40	250	0.01
54			8.1				<0.01
52		高能线爬升段区 顶外 30cm	≤0.01	屋面绿化	1/40	1000	<0.01
55	三层	4 号治疗室顶外 斜上方西侧	0.17	前室	1/5	250	<0.01
56			≤0.1	办公区走廊	1/5		<0.01
57			≤0.05	办公用房	1		0.01
58			≤0.02	办公区走廊	1/5		<0.01

注：①加速器大厅、高能线爬升段区总照射时间最大为 1000h，共 4 个治疗室，每间治疗室照射时间约 250h；估算对全居留场所（中央控制室、护士站及治疗控制）辐射工作人员造成

的年有效剂量时，照射时间保守取总照射时间 1000h；

②点位 25 考虑了 4 号治疗室水平治疗时的剂量率，也考虑了升级 Gantry 后迷道墙减薄 Gantry 左向治疗时的剂量率，理论估算时选取较大剂量率进行估算；

③点位 15、18-19、22-24、28-29 均为一个治疗室对另一个治疗室的辐射剂量关注点，这些点位中剂量率最大的为点位 29，理论估算时选取该点位为代表进行估算。

一、辐射工作人员年有效剂量估算

本项目 HIMM 的维修维护由设备厂商负责，设备厂商已履行环保手续并已取得辐射安全许可证，本项目辐射工作人员不负责设备的维修维护，本报告不考虑 HIMM 修维护过程的辐射影响。

HIMM 正常运行过程中，工作人员不进入加速器大厅、高能线爬升段区，仅进入治疗室开展摆位等工作，本项目辐射工作人员受到的年有效剂量主要包括：

①HIMM 正常运行所致年有效剂量。根据表 5.2-5 估算结果可知，本项目 HIMM 正常运行所致辐射工作人员最大年有效剂量为 1.13mSv。

②进入治疗室进行摆位等工作时，因感生放射性所致年有效剂量。根据武威重离子治疗肿瘤中心同类型同厂家 HIMM 装置运行后的实测结果，治疗结束后 1min 左右，机房内摆位人员工作位置的最大剂量率约为 4 μ Sv/h 左右。保守假设本项目治疗结束后 1min 辐射工作人员即进入机房开展摆位等工作，单次工作时间按 2min 计，每年最多照射病人 10000 人次，则摆位等工作所致辐射工作人员最大年有效剂量为约 1.33mSv。

③治疗后病人因体内残留感生放射性水平，与辐射工作人员近距离接触时所致年有效剂量。根据武威重离子治疗肿瘤中心同类型同厂家 HIMM 装置运行后的实测结果，治疗结束后，患者体表剂量率最大约为 5 μ Sv/h，在治疗结束两小时后恢复至本底水平。保守假设每次治疗后，病人均由辐射工作人员（主要为护理人员）搀扶出机房，单次时间取 2min，每年最多照射病人 10000 人次，则治疗后病人近距离接触所致辐射工作人员最大年有效剂量为约 1.67mSv。

保守叠加以上三部分剂量后，本项目单名辐射工作人员受到的年有效剂量最大为约 4.13mSv，仍能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本项目管理目标（职业人员年有效剂量不超过 5mSv）的剂量限值要求。

二、公众年有效剂量估算

根据表 5.2-5 估算结果可知，本项目 HIMM 正常运行所致周围公众最大年有效剂量为 0.08mSv；根据表 5.2-1 参考点处总辐射剂量率估算结果和附图 3 参考点示意图、表 1.5-1 和附图 2 本项目环境保护目标分布情况可知，经 HIMM 机房

屏蔽和距离的进一步衰减后,本项目对重离子医学中心大楼外公众基本无辐射影响,本项目评价范围内公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和本项目管理目标(公众年有效剂量不超过 0.1mSv)的剂量限值要求。

本项目治疗后病人体内会残留一定的感生放射性水平,感生放射性核素大部分为短半衰期核素,根据类似项目实测结果,在治疗结束两小时后将恢复至本底水平。医护人员在治疗前将告知病人相关的防护注意事项,避免治疗后病人与他人长时间接触,其对公众产生的辐射影响较小,公众的年有效剂量将远低于本项目管理目标的剂量限值要求。

5.2.2 放射性流出物辐射影响分析

5.2.1.1 感生放射性气体

本次评价中仅考虑项目在正常运行工况下放射性气态流出物排放对外界环境的影响。

本项目 HIMM 在正常运行情况下,加速器大厅、高能线爬升段区不进行通风换气,以使加速器大厅、高能线爬升段区空气中产生的感生放射性核素自然衰变消减,不排入外环境;在正常工况下,工作人员也不进入加速器大厅、高能线爬升段区,不会受到空气感生放射性的辐射影响。HIMM 的维修维护由设备生产厂商负责,在事故工况下,本项目辐射工作人员若需要进入加速器大厅内,将先对工作场所进行通风换气以尽量消除感生放射性气体对工作人员的辐射影响;4 间治疗室在正常工况下,将持续通风,在这种情形下,空气中感生放射性核素将通过气载流出物形式排放进入外环境,对公众产生辐射影响。

根据本报告 3.3.2.2 章节,感生放射性废气对人体的危害主要考虑 β 、 γ 气体浸没外照射和吸入引起的内照射,一般只需考虑 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 四种放射性核素的辐射影响。

(1) 感生放射性气体源项

根据本报告 3.3.2.2 章节中感生放射性源项计算可知:HIMM 运行 5 分钟后,刚停机时主要核素的总活度为 $3.74 \times 10^5 \text{Bq}$,活度浓度为 $1.95 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$,假设加速器运行时机房内生成的感生放射性核素由机房通风系统全部排入外环境,保守不考虑核素的放射性衰变,则本项目放射性核素的年平均排放速率保守为

$1.25 \times 10^3 \text{Bq/s}$, 理论估算时保守假设排放的放射性核素均为 ^{11}C 或 ^{13}N 或 ^{15}O 或 ^{41}Ar 。

(2) 感生放射性气体环境影响预测

为了评价该部分气体外排对外环境的辐射影响, 本报告使用《核设施正常工况气载放射性排出物后果评价推荐模式》中简单稀释模式进行预测, 该模式适用于小型核设施或核技术应用实验室。

本项目 HIMM 机房通风系统的排气筒出口拟高出所在建筑物屋顶 2m (排气筒口离地高度 H 约为 22m), 废气排放高度不大于周围最高建筑物 (医院 2 号病房大楼, 高约 59.38m) 高度的 2.5 倍, 且接收点不在释放点所在建筑物表面。根据《核设施正常工况气载放射性排出物后果评价推荐模式》, 选取以下模式估算下风向地面空气中放射性核素浓度。

I. 当 $x \leq 2.5 \sqrt{A_B}$ (x : 下风向距离; A_B : 排放口周围对大气扩散影响最大的建筑物的最大截面积)。对于本项目, 排放口周围对大气扩散影响最大的建筑物为项目西北侧约 125m 处的医院 2 号病房大楼, 其最大截面积约为 7642m^2 , $2.5 \sqrt{A_B}$ 约为 218m, 即当计算点的距离小于或等于 218m 时, 排气筒下风向计算点处地面空气中放射性核素浓度计算模式如下:

$$C_A = \frac{P_p Q_i}{\pi u_a H_B k} \quad \dots\dots \text{(式 5.2-3)}$$

式中:

C_A —下风向 x (m) 距离处的核素的地面空气浓度, Bq/m^3 ;

P_p —一年中风吹向接收点所在扇形方位 p 的时间份额, 无量纲, 参考《核设施正常工况气载放射性排出物后果评价推荐模式的参数》取 0.25;

Q_i —放射性核素 i 的年均排放率, Bq/s , 本项目保守取 $1.25 \times 10^3 \text{Bq/s}$;

u_a —在释放高度上年平均风速, m/s , 参考《核设施正常工况气载放射性排出物后果评价推荐模式的参数》取 2.0m/s ;

H_B —邻近最高建筑物的高度, m , 本项目为 59.38m ;

K —经验常数, m , 取 $K=1\text{m}$ 。

II. 当 $x > 2.5 \sqrt{A_B}$ 时, 即当计算点的距离大于 218m 时, 排气筒下风向计算点处地面空气中放射性核素浓度计算模式为:

$$C_A = \frac{P_p B Q_i}{u_a} \quad \dots\dots \text{(式 5.2-4)}$$

$$B = \frac{12}{\sqrt{2\pi^3}} \times \frac{1}{x \sum Z} \quad \dots\dots \text{(式 5.2-5)}$$

$$\sum Z = \left(\sigma_z^2 + \frac{A_B}{\pi}\right)^{0.5} \quad \dots\dots \text{(式 5.2-6)}$$

式中：

B—在下风距离 x 处的高斯扩散因子， $1 / \text{m}^2$ ；

σ_z —下风向距离为 x 处的垂直扩散参数。

式中其它符号意义同前。

本项目 H 为约 22m，参考《核设施正常工况气载放射性排出物后果评价推荐模式的参数》，当 $H \leq 45\text{m}$ 时，扩散参数 $\sigma_z = 0.06x / (1 + 0.0015x)^{0.5}$

根据以上公式，本项目 HIMM 运行产生的感生放射性气体排入外环境，所致排气筒下风向不同距离处地面空气中的放射性核素活度浓度的计算结果，见表 5.2-6。

表 5.2-6 感生放射性核素地面空气中浓度值 单位：Bq/m³

放射性核素 距排气筒距离(m)	¹¹ C、 ¹³ N、 ¹⁵ O、 ⁴¹ Ar
≤218	0.84
220	0.21
250	0.19
300	0.15
350	0.13
400	1.13×10^{-2}
450	9.88×10^{-3}
500	8.77×10^{-3}
550	7.87×10^{-3}
600	7.09×10^{-3}

(3) 对公众所致剂量估算

由于本项目 HIMM 运行所产生的感生放射性核素 ¹¹C、¹³N、¹⁵O 和 ⁴¹Ar 的半衰期均较短，为 2.1min~1.8h 之间，因此主要考虑空气浸没外照射途径所致公众剂量。

空气浸没外照射剂量按下式估算：

$$D_s^{im}(x) = T \cdot C_s(x) \cdot DRF_{im} \quad \dots\dots \text{(式 5.2-7)}$$

式中：

$D_s^{im}(x)$ —年辐射剂量，Sv/a；

T—年照射时间，s，本次评价保守取值 1000h，即 3.6×10^6 s；

$C_s(x)$ —S 风向、下风距离 x 处扇形段平均地面浓度(Bq/m³)

DRF_{im} —放射性核素的空气浸没外照射剂量转换因子，¹¹C 为 4.89×10^{-14} Sv·m³/(Bq·s)、¹³N 为 4.90×10^{-14} Sv·m³/(Bq·s)、¹⁵O 为 4.91×10^{-14} Sv·m³/(Bq·s)、⁴¹Ar 为 6.50×10^{-14} Sv·m³/(Bq·s)

根据上式可计算出本项目 HIMM 运行所产生的感生放射性核素 ¹¹C、¹³N、¹⁵O 和 ⁴¹Ar 排放进入环境所致公众最大剂量为 1.96×10^{-4} mSv/a，对公众的辐射影响很小。

5.2.1.2 感生放射性废水

HIMM 正常运行工况下，工艺水系统管路内冷却水循环使用不外排，不产生感生放射性废水。事故工况下，若管路泄漏，将产生感生放射性废水。

泄漏的感生放射性废水将按 1%坡度通过排水地沟、地漏通过自留的方式汇集到一级收集池，通过溢流孔排放到二级收集池，经监测满足要求后通过污水提升装置排放至医院污水处理系统。

本项目事故收集池的容量能够满足最大冷却水单元泄漏的收集暂存需求。

根据表 3.3-10、3.3-11 估算结果，排放的冷却水经一定时间暂存后，短半衰期核素的活度将很快降低，需考虑的主要是半衰期较长的 ³H 和 ⁷Be 核素，本项目感生放射性废水在排放前应进行监测，经监测满足《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005) 中总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L 要求后，方能按要求排放至医院污水处理系统。

5.2.1.3 感生放射性固废

本项目 HIMM 运行过程中产生的感生放射性固废分类收集后暂存于放射性固废储存间，处理前对其中含有的主要放射性核素活度浓度或活度进行监测，经监测满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中解控标准的放射性固废作为非放射性废物处理，对于不满足解控要求的固废送有资质单位

处理。

本项目放射性固废按相关法律法规要求收集、暂存、处理后，可避免放射性固废对工作人员和公众造成不必要的照射。

5.3 事故影响分析

5.3.1 可能发生的风险事件

根据本项目 HIMM 的工作原理、工作流程等，得出项目运行期间可能发生的各类辐射事故见表 5.3-1，同时在表 5.3-1 中简要描述了事故的原因、可能导致的后果以及事故的预防减缓措施。

表 5.3-1 HIMM 工作过程中潜在事故（事件）一览表

序号	事故（事件）描述	可能原因	后果	减缓措施	主要预防措施
1	人员误入正在开展治疗的治疗室	①分区管理失效； ②安全连锁装置失效； ③工作人员误操作。	误入人员受到超过年剂量照射，导致急性放射病或死亡发生。	①立即停止出束； ②启动辐射事故应急预案； ③划出警戒线，疏散非事故处理人员； ④进行现场辐射环境监测； ⑤对受误照射人员进行生命体征检查，采取医疗救治措施。	①加强分区管理和巡察力度； ②定期对安全连锁的有效性进行检查； ③加强工作人员的技能培训与考核； ④严格按照安全操作规程进行操作。
2	人员误入正在运行的加速器大厅或高能线爬升段区	①分区管理失效； ②安全连锁装置失效； ③工作人员误操作。	误入人员受到超过年剂量照射。	①立即停止出束； ②启动辐射事故应急预案； ③划出警戒线，疏散非事故处理人员； ④进行现场辐射环境监测； ⑤对受误照射人员进行生命体征检查，采取医疗救治措施。	①加速器大厅和高能线爬升段区为连通设计，两个区域各设置一个出入口，在发生突发事故情况下，便于疏散人员和抢救设备等； ②加强分区管理和巡察力度； ③定期对安全连锁的有效性进行检查； ④加强工作人员的技能培训与考核； ⑤严格按照安全操作规程进行操作。
3	机房通风系统故障	①断电； ②风机故障； ③人员误操作造成停机。	增加工作人员和公众不必要的照射。	①立即停止出束，对通风系统进行检查、维修； ②检查风机，若发生故障，立即维修或更换。	①通风系统设计有在线的触控屏，实时显示运行数据，通风系统出现运行故障时，在线触控屏会发出声光报警信号； ②运维人员每天对通风系统进行维护检查，记录系统运行情况、故障及维护情况； ③设置备用风机和备用电源； ④加强管理和培训。

5.3.2 假想事故的环境影响

对表 5.3-1 所列事故进行分析, 综合考虑事故类型、事故所致辐射影响后果等因素, 通过对 HIMM 机房误入事故进行事故的辐射影响后果预测计算与分析评价, 来反映本项目的辐射事故影响。

(1) 事故情景假设

由于重离子加速器的门-机联锁安全装置失效, 有人员在加速器运行期间误入治疗终端或加速器大厅等辐射工作场所。

(2) 事故后果计算

误入治疗终端的人员可能受到碳离子束流的直接照射, 也可能受到碳离子束流损失产生的次级中子的辐射; 误入加速器大厅、高能线爬升段区的人员可能会受到碳离子束流损失产生的次级中子的辐射。

对受到碳离子束直接照射的误入人员的辐射影响分析如下:

误入人员身体局部(或某器官)受到碳离子束流的照射; 误入人员距治疗终端等中心处 3m, 受照时间按一次最大治疗照射时间 5min 计; 治疗终端等中心处的辐射剂量率按最大 1Gy/min 计(医疗照射时最大剂量率为 1Gy/min); 则误入人员身体局部(或某器官)受到的辐射剂量为约 0.6Gy。

对受到中子辐射的误入人员的辐射影响分析如下:

误入人员处于碳离子束流损失产生的次级中子辐射场中, 身体受到全身照射; 误入人员位于距碳离子束流损失点 0.5m 处; 受照时间按一次治疗照射时间 5min 计; 距碳离子束流损失点 0.5m 处中子场辐射剂量按最大约 0.25Gy/h(根据图 3.3-5 读取并计算得出)计; 则误入人员受到的全身照射剂量为 20.8mGy。

(3) 事故后果评价

本项目若发生误入事故, 人员误入治疗室或误入加速器大厅或误入高能线爬升段区, 则可能受到超剂量照射。

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》的规定, 本项目若发生重离子治疗加速器治疗终端误入的情况, 可导致发生重大辐射事故; 误入加速器大厅或高能线爬升段区, 则可能发生一般辐射事故。

5.3.3 应急响应

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》、《放射性同位素与射线装置安

全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，项目单位应根据可能发生的辐射事故风险，制订完善的辐射事故应急预案。

浙江省肿瘤医院应补充完善现有辐射事故应急预案，主要内容应包括：目的、适用范围、事故分级、组织体系、预警工作、信息报送、应急响应、应急监测、应急通报、应急通信、后期处置和应急保障等。

第六章 辐射安全管理

6.1 机构与人员

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用I类射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；辐射工作人员必须通过辐射防护和安全专业知识及相关法律法规的培训和考核。

医院目前已成立专门的辐射安全管理委员会，并以文件形式明确了管理人员职责。

辐射安全和防护管理领导小组的主要职责是：

(1) 根据国家法律、行业规范、医院概况与发展要求，审核医院辐射安全管理工作计划；

(2) 审核医院辐射安全管理各部门分工职责；审核医院辐射安全管理各项工作制度和流程；

(3) 协调和完善各部门（科室）辐射安全管理工作；

(4) 监督委员会年度工作计划的落实；

(5) 接受卫生健康、生态环境等监管部门的督查，对督查结果进行总结反馈，落实整改及持续改进工作。

医院现有辐射工作人员约340人，主要分布在放疗科、介入放射科、放射物理科、核医学科的各个岗位上，包括放射治疗医生、物理师、技术员、工程师，介入放射科医生、技师，核医学科医生、技师等放射工作岗位。本项目所需辐射工作人员主要从现有人员中调配，同时将根据需要新增部分辐射工作人员。医院应确保本项目辐射工作人员上岗前均已按照法律法规要求参加本项目相关的辐射防护和安全专业知识及相关法律法规的考核，考核合格后上岗。

根据《关于规范核技术利用领域辐射安全关键岗位从业人员管理的通知》，使用I类射线装置单位，应设置辐射安全关键岗位一个，为辐射防护负责人，最少在岗人数1名，浙江省肿瘤医院应配备至少1名注册核安全工程师作为辐射防护负责人。

实际工作过程中，医院应不断加强对辐射工作人员有关专业技能和辐射安全

与防护知识的再学习或教育，进一步提高工作过程中的辐射安全意识。环评建议医院配备部分有相关工作经验的辐射工作人员以老带新，防止出现辐射事故。

6.2 辐射安全管理规章制度

浙江省肿瘤医院已制订医院现有放射性同位素与射线装置安全和防护的各项规章制度、放射防护安全的应急预案等综合管理规章制度，同时，各相关科室根据各自特点，制定了相应的操作规程、岗位职责、应急预案、辐射防护制度、设备检修维护制度、台账管理制度等。

医院制定的辐射安全管理规章制度较完备且具有一定的可行性，医院能够按照规章制度对医院的辐射工作进行管理，辐射工作人员也能够按照各项规章制度开展工作。

浙江省肿瘤医院应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关法律法规要求，针对本项目特点，对现有的辐射安全管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性，现对医院应补充和完善的辐射安全管理制度的重点总结如下：

(1) 重离子治疗系统安全操作规程

补充制定《重离子治疗系统安全操作规程》，应包括加速器系统、治疗系统等项目相关的具体安全操作规程，明确项目辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中应采取的具体防护措施及具体操作步骤，操作人员必须按操作规程进行操作，并做好个人防护，操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置。

(2) 辐射防护和安全保卫制度

根据本项目的具体情况补充完善辐射防护和安全保卫制度，重点是：①定期检查本项目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等保持良好工作状态；②辐射工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护，并建立个人剂量档案；③做好辐射工作场所的安全保卫工作，并定期检查。

(3) 设备检修维护制度

补充完善设备检修维护制度，重点是：明确本项目设备检修维护具体人员，补充本项目相关辐射安全与防护设施以及辐射监测设备维修计划、维修的记录、在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施等，确保辐射安全与防护

设施以及剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

(4) 射线装置使用登记制度

补充完善射线装置使用登记制度，建立本项目射线装置的档案、台账，使用射线装置均应进行登记、检查，做到帐物相符。

(5) 人员培训计划

补充完善人员培训计划，进一步明确培训对象、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。

(6) 岗位职责

补充完善岗位职责，明确设置辐射安全关键岗位一个，应配备至少 1 名注册核安全工程师作为辐射防护负责人，并明确其管理职责；明确本项目管理人员、辐射工作人员、维修维护人员等相关人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

(7) 个人剂量监测方案

补充完善个人剂量监测方案，进一步明确辐射工作人员开展辐射工作时均应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，医院明确个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，医院建立个人累积剂量和职业健康体检档案。

(8) 辐射环境监测方案

补充完善辐射环境监测方案，针对本项目辐射监测需要，补充购置监测设备，明确日常工作的监测项目和监测频次，监测结果应妥善保存并记录档案。此外，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中相关要求，本项目运行后，医院应当编写包括本项目射线装置使用的安全和防护状况年度评估报告，于每年 1 月 31 日前提提交上一年度的评估报告。

(9) 放射性三废管理制度

针对本项目可能产生的感生放射性三废，补充制定放射性三废管理制度，重点是：①应针对感生放射性固废，制定废物档案和出入放射性固废储存间登记与双人双锁管理制度；②明确放射性三废的收集、暂存、处理等应严格按照相关法律法规要求进行。

(10) 质量保证大纲和质量控制检测制度

针对本项目重离子治疗系统制定项目质量保证大纲和质量控制检测制度, 配备质量控制检测设备, 制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划, 至少有一名医用物理人员负责质量保证与质量控制检测工作。

6.3 辐射监测

根据国家相关法律法规要求, 开展辐射工作的单位应当对其工作场所防护以及放射工作人员职业受照情况定期开展自主或者委托监测, 以保障辐射工作的正常开展以及人员的健康和安全。医院拟根据要求制定辐射工作场所及周围环境监测、个人剂量和职业健康监测、流出物监测计划。

6.3.1 工作场所及周围环境监测

HIMM 装置在运行过程中, 束流损失使重离子与物质相互作用, 通过低能、中能核反应以及高能核反应产生中子。由于以上反应机制和带电粒子束流以脉冲形式加速, 加速器周围的辐射具有以下特征: (1) 是一个脉冲辐射场。由于带电粒子束流以脉冲形式加速的, 在其周围形成一个脉冲辐射场。无论是在屏蔽内还是在屏蔽外, 其辐射场的时间结构都与初级束流的时间特性密切相关, 它的特性决定于束流的占空比。(2) 具有能量大于 20MeV 的中子和光子, 产生的中子最高能量可达 800MeV。(3) 周围环境中的杂散辐射剂量中主要贡献是中子, 其次是 γ 射线, 中子在辐射场中的贡献比 γ 射线高一个数量级以上。(4) 是一个瞬发中子、光子以及其他粒子构成的混合辐射场。加速器运行过程中产生的中子和 γ 射线, 是辐射屏蔽的主要对象, 也是加速器对环境造成影响的主要来源。加速器停机后的主要辐射是材料活化后产生的 γ 射线, 能量比较低, 这些感生放射性是工作人员所受辐射的主要来源。

6.3.1.1 监测计划

(1) 医院拟在 HIMM 工作场所设置区域辐射监测系统, 拟在加速器主体建筑周围设置环境辐射监测系统, 对 HIMM 运行过程中产生的 γ 剂量率和中子剂量率进行连续监测;

(2) 医院已配备环境辐射巡测仪, 拟配备 1 台中子剂量率仪 (能量响应范围为 0.025eV~1GeV), 拟定期对 HIMM 工作场所周围环境 γ 剂量率和中子剂量率进行监测, 并记录档案, 监测频次为每季度至少 1 次;

(3) 医院拟定期(不少于1次/年)委托有资质单位对HIMM工作场所周围环境中和 γ 辐射水平进行年度监测。

6.3.1.2 监测要求

(1) 监测点位

γ 剂量率、中子剂量率: HIMM 工作场所四周墙体、防护门、顶板外 30cm 人员可居留处, 系统操作位, 项目周围 100m 范围内辐射工作人员和公众经常活动位置。

(2) 控制要求

总 γ 辐射剂量率和中子剂量率:

- ①对于人员全居留场所($T>1/2$), 总辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$;
- ②对于人员部分和偶然居留场所($T\leq 1/2$), 总辐射剂量率不大于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

(3) 监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

6.3.1.2 辐射监测系统简介

辐射监测系统的主要功能是确定参考点的辐射水平, 测定加速器的工作场所和周围环境中的辐射水平, 保证工作人员和公众的安全, 并为安全联锁系统提供辐射水平信号; 验证屏蔽措施的可靠性, 防治辐射泄漏造成环境污染。

(1) 区域辐射监测系统

在加速器区域辐射剂量监测中, 要求探测器对脉冲辐射场性能良好、能实时监测、同时稳定可靠。中子监测器采用包裹了慢化体的 He-3 中子探测器(宽能中子蕾姆仪), 伽马监测器采用圆柱形电离室作为探测器。根据 HIMM 辐射场的特点, 本项目拟设置工作场所区域辐射监测系统, 其系统结构如图 6.3-1 所示。

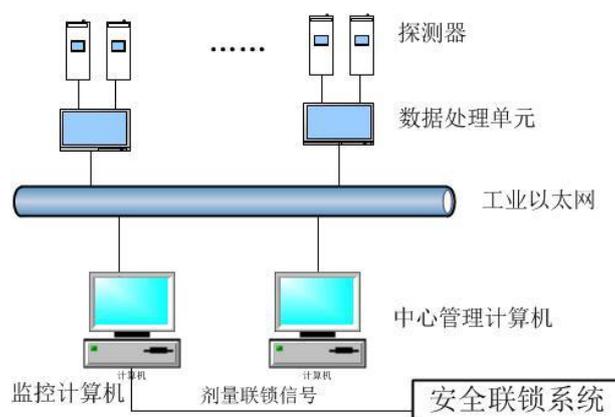


图 6.3-1 HIMM 工作场所辐射监测系统结构

根据加速器的辐射分区及特征拟布置 15 个辐射监测点, 如图 6.3-2 所示。每

个监测点由一台中子探测器和一台 γ 探测器组成。根据各监测点剂量水平和中子能量选择不同灵敏度的辐射探测器。

区域辐射监测系统由探测器、数据采集单元、内部局域网、监控计算机、中心管理计算机与辐射防护数据库组成。探测器用于测量辐射水平；数据采集单元用于采集探测器的输出信号和完成信号的加权处理、剂量率显示、本地报警及通讯；内部局域网是探测器和监控计算机进行通讯的媒介；监控计算机用于完成监测数据的日常分析与管理，监管探测器的工作状态，向辐射安全联锁系统提供剂量报警信号；中心管理计算机用于发布剂量监测数据；辐射防护数据库用于存储剂量数据，存储探测器测得的实时剂量数据，包括剂量率、测量时间、监测点代号、测量辐射类型（ γ /中子）。

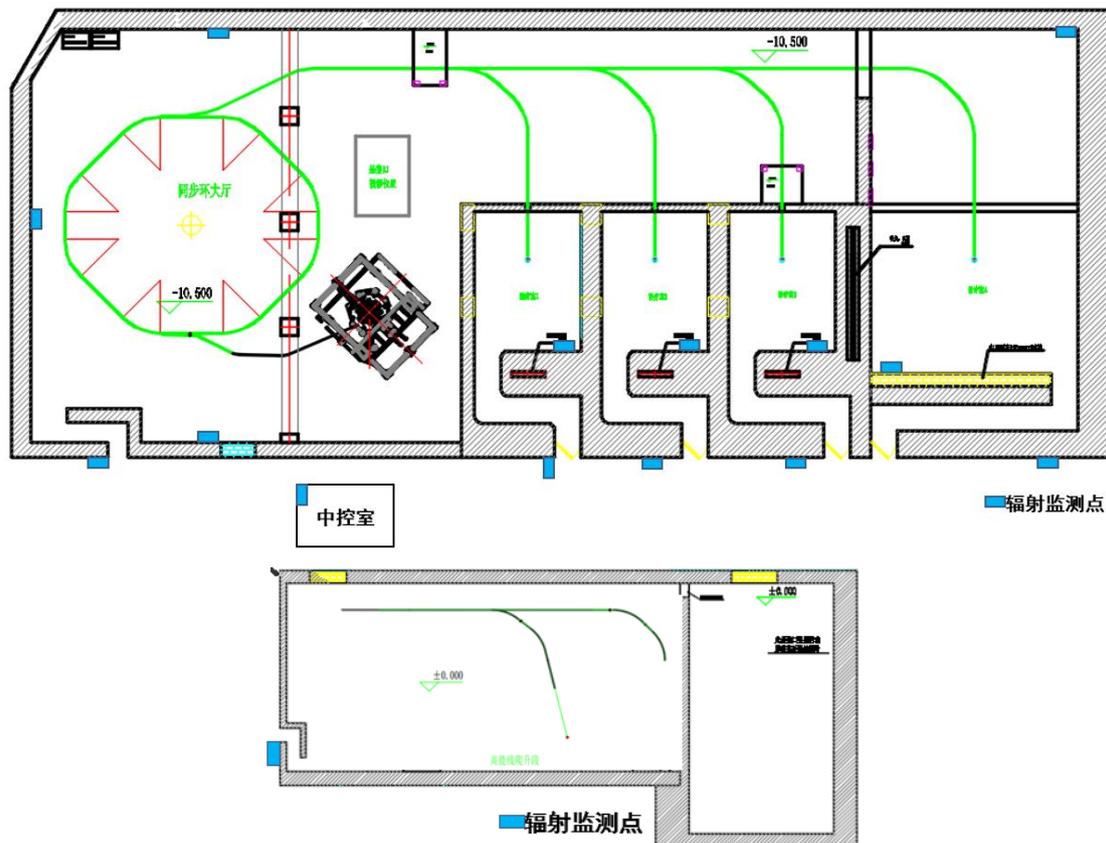


图 6.3-2 区域辐射监测点分布图

区域辐射监测系统软件具有以下功能：

- ①数据保存功能：对监测数据在数据库中长期保存；
- ②数据查询功能：对监测数据以时间区间可查询；
- ③数据统计功能：对各通道的剂量监测数据进行周、月、年的累积剂量、平均剂量率、最大值、最小值等信息的统计报表；

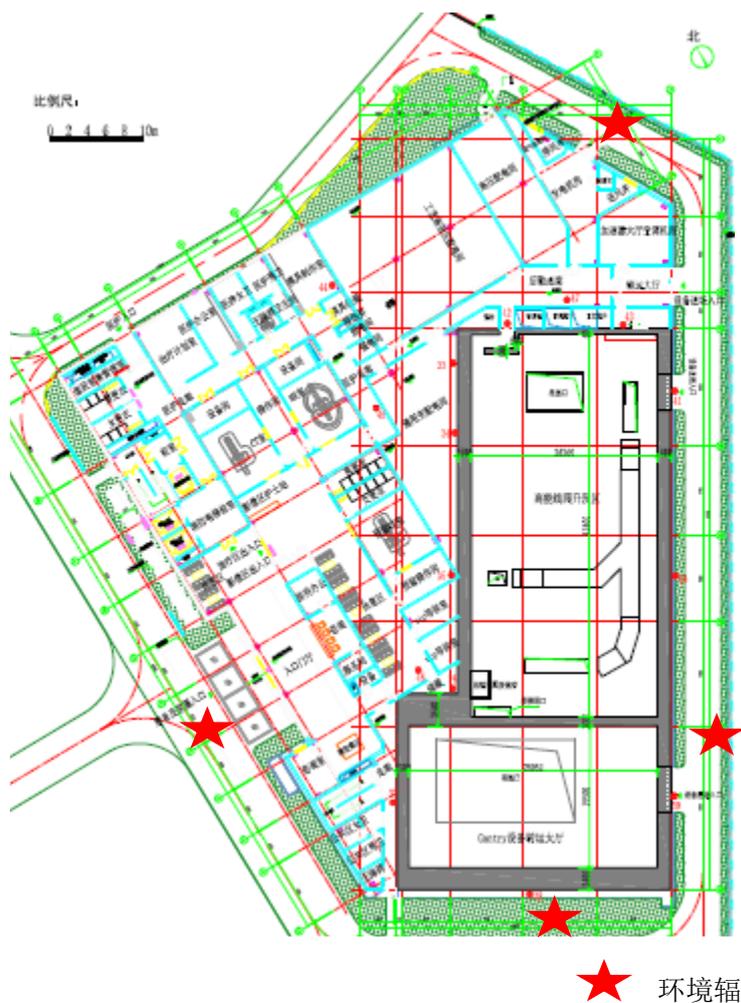
- ④实时显示功能：各通道的剂量实时显示；
- ⑤作图功能：以曲线图形直观地显示各个探测器的剂量率随时间的变化；
- ⑥参数设置：设置各个探测器的刻度系数和报警阈值；
- ⑦报警功能：对超过报警阈值的监测点在显示界面给出颜色提示。

当辐射控制区相关大厅内的探测器超过给定阈值后，系统将向安全联锁系统发出报警信息，信息包括探测器位置编号和大厅编号，由安全联锁系统阻止人员进入相关辐射区。

（2）环境辐射监测系统

环境辐射监测系统用于测量穿过屏蔽后泄漏到环境中的中子、 γ 辐射水平。医院拟在加速器主体建筑周围设置 4 个环境监测站，如图 6.3-3 所示。每个站内设置中子、 γ 探测器各一个，实时测量环境中子、 γ 辐射水平。

环境辐射监测系统的组成如图 6.3-4 所示，系统由若干现场监测子站和一个数据处理服务器组成。现场监测子站的主要任务包括：对环境 γ 辐射剂量率进行连续监测；存储监测数据；通过有线或无线通讯设备向数据处理中心实时传输数据。数据处理服务器的主要任务包括：收集各现场监测子站的监测数据和设备工作状态信息，并对所收取得监测数据进行判别、检查和存储；对采集的监测数据进行统计处理、分析、显示、报表；向上级数据处理中心发送监测数据。现场监测子站主要是由辐射监测仪器、气象仪器、就地二次仪表、数据传输设备及其配套设备等组成。



★ 环境辐射监测点

图 6.3-3 环境辐射监测点分布图

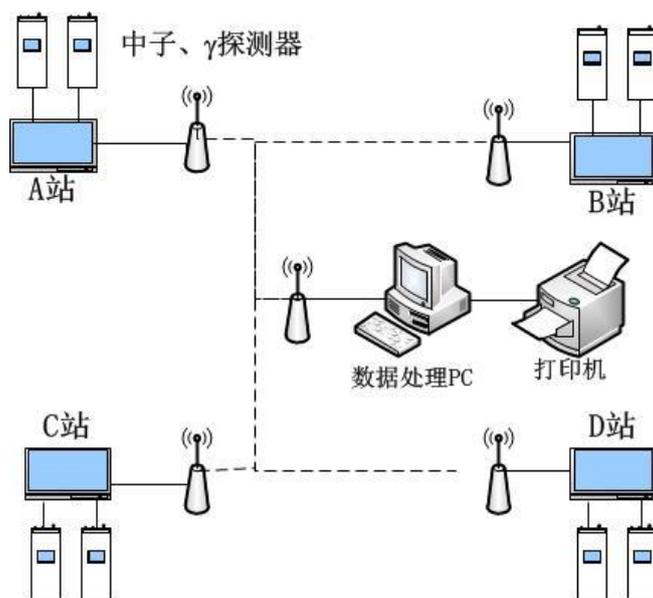


图 6.3-4 环境辐射监测系统组成

辐射监测系统与安全连锁系统的接口包括工作场所辐射监测系统与安全联

锁系统的接口和个人剂量监测系统与安全联锁系统的接口。相关的接口主要由软件完成，包括通讯协议。信息的通信在内部控制网上进行。

当辐射控制区相关大厅内的探测器超过给定阈值后，向安全联锁系统发出报警信息，信息包括探测器位置编号和大厅编号，由安全联锁系统阻止人员进入相关辐射区。

6.3.2 个人剂量和职业健康监测

6.3.2.1 个人剂量监测

个人剂量监测分为两部分，一部分是与出入控制系统相联系的个人剂量监测，也即每次人员从辐射区内出来时自动读取此次在辐射区逗留期间所受剂量。另一部分是辐射工作人员的热释光个人剂量监测，这项监测将委托有资质的机构完成，检测周期为不低于 1 次/三个月。与出入控制系统联系的个人剂量监测系统包括电子式个人剂量计、剂量计读出器、身份磁卡读出器、剂量信息管理系统。进入加速器大厅的人员将电子式个人剂量计佩戴在胸前，它能给出工作人员受照剂量及在控制区内的累计工作时间情况。人员进入时剂量计读出器可对剂量计进行初始化（将剂量计复位到零），储存复位后的剂量计信息，包括身份磁卡号、剂量计号；人员离开时剂量计读出器读取并存储剂量计信息，包括剂量计编号、身份磁卡号、累积剂量、时间等数据信息。身份磁卡读出器用于人员身份的识别。剂量信息管理系统用于个人剂量的数据库管理，剂量计读出器的剂量信息存入个人剂量档案，同时对超过剂量限值的人员向出入控制系统给出信息，当人员进入读卡器检测到某个人员的个人剂量档案的数据超过剂量限值后，向安全联锁系统发出报警信息，信息包括人员身份信息和磁卡号，阻止该人员进入辐射区。

医院应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案，并对职业照射个人监测档案终生保存。辐射工作人员有权查阅和复制本人的个人剂量档案。

6.3.2.2 职业健康监测

按照《放射工作人员健康标准》、《放射工作人员职业健康管理办法》和《放射工作人员职业健康监护技术规范》的相关规定，放射工作人员上岗前，应当进行上岗前职业健康检查，符合放射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作。医院应当组织本项目辐射工作人员定期进行职业健康检查，职业健康检查包

括上岗前、在岗期间、离岗时、受到应急照射或者事故照射时的健康检查，以及职业性放射性疾病患者和受到过量放射工作人员的医学随访观察；辐射工作人员在岗期间职业健康检查周期为 1~2 年，但不得超过 2 年，必要时可适当增加检查次数。医院应对从事辐射工作的工作人员建立并终生保存职业健康监护档案，并有专人负责管理。

6.3.3 流出物监测

通过模拟估算，项目运营期间所产生的感生放射性核素排放进入环境所致公众最大剂量为 $1.96 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ，对公众的辐射影响很小。流出物监测主要考虑感生放射性废水的监测。

监测项目：总 α 、总 β

监测点位：事故收集池排放口

监测频次：感生放射性废水每次排放前

控制要求：总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L

6.3.4 监测仪器

本项目为使用 I 类射线装置，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，其应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。

浙江省肿瘤医院已配备 2 台环境辐射巡测仪，医院拟为本项目配备区域和环境辐射监测系统、1 台中子剂量率仪和至少 4 台个人剂量报警仪，其中中子监测设备的能量响应范围为 $0.025\text{eV} \sim 1\text{GeV}$ ，满足本项目开展所需的监测仪器配置要求。

6.3.5 监测质量保证

①制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门的监测数据与本单位监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

②采用的国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

③制定辐射环境监测管理制度和方案。

此外，医院需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作

场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

6.4 辐射事故应急

浙江省肿瘤医院已成立放射防护委员会作为放射事故应急处理组织，委员会主要负责放射安全和防护工作，确保项目安全运行；已针对现有核技术利用项目制订辐射事故应急预案，其还应针对本项目特点以及可能发生的辐射事故，对现有应急预案进行补充完善，明确本项目辐射事故类型、事故应急响应程序、事故上报、应急终止及后续改进、应急培训演练、应急预案修订等方面内容；同时医院应加强管理，加强职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，积极开展辐射应急演习，发现问题及时解决，并在实际工作中不断完善辐射安全管理制度，尽可能避免辐射事故的发生，还应经常监测辐射工作场所的环境辐射剂量率等，确保辐射工作安全有效运转。

当发生或发现辐射事故后，医院应立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要防范措施，并在规定时间内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和卫生健康主管部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康主管部门报告。

第七章 利益-代价简要分析

7.1 利益分析

7.1.1 社会效益

重离子治癌的优势不仅仅在于疗效高、副作用小、节约了社会医疗总支出，还在于重离子为以神经系统肿瘤、复发性肿瘤等为代表的很多绝境癌症患者提供了生存乃至治愈的可能，大力推广重离子治疗应用，有望多挽救数百万患者的生命。可见，有无重离子，关系学术、技术和经济，更关乎家庭和谐、社会稳定，具有广泛的社会效益。是践行“四个有利于”指示的直接体现。

医用重离子源可直接协同国家战略 ADS 嬗变系统，带动能源、医疗、生物、电子、信息、影像等众多高新科技学科发展乃至变革，贡献国防与国民经济重大基础。尤其在当前复杂多变的国际政治经济格局下，以重离子医疗引领的多维度创新，是全方位打破国际垄断、增强国家实力、提升我国国际竞争力的绝佳助力。

项目影响杭州市各级政府及广大的肿瘤及癌症患者是项目的直接受益者，项目影响区域疾病预防和控制的状况将得到极大的改善，有利于社会与经济的发展，有利于提高项目影响区域人民的生活水平，改善人民的生活环境和区域的投资环境，因此，得到省、市、县、乡镇各级政府的积极支持，当地居民积极的参与项目的实施，项目所在地的社会环境、人文条件适应项目的建设与发展。

该项目社会效益极其显著，有利于繁荣地方经济，取得较大的社会经济效益，有利于扩大就业，促进社会综合事业的发展，有利于提高项目影响区域人民群众的身体健康，改善人民的生活环境，有利于改善当地人文环境，提高文化教育水平和当地人民卫生事业健康水平，有效控制人口增长，使项目影响区域广大群众和四级地方政府直接受益。项目在施工中和运营中对环境带来的一定污染，采取积极有效的措施后是可以得到妥善解决的。项目所在地的社会环境、人文条件适应项目的建设与发展，项目的社会效益良好。

7.1.2 经济效益

(1) 收入分析

重离子中心收费暂定按 27.8 万元/例计算（固定），满负荷床位保守按 800 例/年计算，计算期内第 1 年按 70%比例的床位计算，第 2 年按 80%比例的床位计

算，第3年按90%比例的床位计算，第4年及以后按98%比例的床位计算。

根据以上数据，重离子中心第1年收入为15568万元，第2年收入为17792万元，第3年收入为20016万元，第4年及以后每年收入为21795.2万元。

(2) 成本分析

①年运营费用：当年总收入的15%计算。年运营费用包括的水电费、维修费、不可预见费用（包括医疗风险基金等其它费用）。

②人员工资及福利费：按当年收入的3%计算。

③折旧费：据财务制度规定，项目固定资产折旧采用平均年限法计算，建筑物和公用工程按30年折旧，设备按10年折旧，残值率均为5%。

(3) 税金及附加

①房产税税率：1.2%。

②所得税税率：25%。

③城市维护建设税：7%。

④教育费附加及地方教育附加：5%。

⑤交易印花税：5%。

(4) 经济效益分析结论

依据上述分析数据，看完推断出本项目的经济效益基本情况，详见下表：

表 7.1-1 经济效益分析表 单位：万元

费用	计算期 第1年	计算期 第2年	计算期 第3年	计算期 第4年	计算期 第5年
收入	15568.00	17792.00	20016.00	21795.20	21795.20
年运营费用	2335.20	2668.80	3002.40	3269.30	3269.30
工资福利	467.04	533.76	600.48	653.86	653.86
增值税	0.00	0.00	112.10	1048.60	1985.10
城市维护建设税	0.00	0.00	7.80	73.40	139.00
教育费附加及地方教育附加	0.00	0.00	5.60	52.40	99.30
交易印花税	778.40	889.60	1000.80	1089.80	1089.80
房产税	185.00	185.00	185.00	185.00	185.00
企业所得税	0.00	0.00	3681.20	4019.20	3756.90

折旧	697.60	697.60	697.60	697.60	697.60
净利润	11104.76	12817.24	10723.02	10706.04	9919.34

经测算，项目每年有结余的净利润，项目本身能够维持正常运营。因此，项目财务上是可行的。

7.1.3 环境效益

本项目重离子医学中心大楼采用简洁的几何体块造型手法，整体造型以强烈的雕塑感，打造成本区域的标志性建筑。建筑采用多层次叠台式的造型。建筑形态层层叠叠互相咬合，犹如多层次的空中花园，为患者来此接受治疗后提供舒适、自然的美好环境。

立面设计统一考虑材质和色调，主要采用玻璃、铝板、格栅等材质，结合简洁的体量感设计，体现医疗建筑的现代感和科技感。

院区内绿化景观设计注重生态环境和环境保护，突出以人为本的思想，树立良好的社会形象。总体布局体现内涵丰富的文化底蕴和内涵，处处透露以人为本的风格，设计力求多层次、高品位，从耐看、可评、有趣多方面展开，共同构筑景观架构。尽量保留现有树木，搭配四季皆有景的花草乔灌木，形成高品质兼具观赏性和活动性的园林式工作环境。建筑屋顶部分区域设置屋面绿化，在不同层次上美化医院环境，具有一定的环境效益。

7.2 代价分析

7.2.1 社会代价

社会代价主要考虑三个方面，一是占用一定的土地资源；二是消耗一定量的能源；三是产生一定量的污染物进入周围环境。

本项目的建设地点位于浙江省肿瘤医院总院半山院区，为院内医疗用地，不新增外部用地；项目建成后，由于人员和患者的增加，公共用水、用电、生活污水、医疗废水、废气的排放以及生活垃圾的产生等，都需要付出一定的社会代价。

本项目运行后，主要的环境影响为电离辐射影响、放射性三废排放影响，根据理论估算可知，这些对环境造成的影响均低于国家标准中规定的限值。

7.2.2 经济代价

经济代价主要包括以下三个方面的成本:

(1) 建筑场地成本: 建安工程费用 21834.61 万元, 工程建设其他费 1842.37 万元, 预备费 1183.85 万元;

(2) 设备投资成本;

(3) 环保投资: 包含环保设施、环境管理、环境监测及事故防范措施等费用, 合计投入约 282.0 万元。

项目建设所需资金由省级财政补助和医院自有资金统筹解决, 项目运行后的运行及维护费用从项目年运营收入中支出, 根据“7.1.2 经济效益”章节, 项目每年有结余的净利润, 项目本身能够维持正常运营。

本项目拟采取的污染防治(辐射防护)措施及环保投资估算见表 7.2-1。

表 7.2-1 项目拟采取的污染防治(辐射防护)措施及环保投资一览表*

项目	污染物及其防治(辐射防护)措施		投资(万元)	备注
废水治理	非放射性废水	工作人员生活污水, 依托重离子医学中心大楼及院内设施	/	/
	放射性液态流出物	事故工况下产生的感生放射性冷却水, 经排水地沟、地漏汇集到两级事故收集池, 经监测满足要求后排放至医院污水处理系统	10.0	/
废气治理	非放射性废气	通过各放射性工作场所通风系统, 经过滤后外排至大气环境	60.0	/
	放射性气态流出物			
噪声治理	噪声	选用低噪声设备、建筑墙体隔声、距离衰减等	/	纳入建筑场地成本
固体废物处置	非放射性固体废物	医疗废物及工作人员生活垃圾, 依托重离子医学中心大楼及院内设施	/	/
	放射性固体废物	分类收集后暂存于放射性固废储存间, 处理前对其中含有的主要放射性核素活度浓度或活度进行监测, 经监测满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中解控标准的作为非放射性废物处理, 对于不满足解控要求的送有资质单位处理	10.0	处理费用纳入年度支出
其他辐射防护措施	工作场所屏蔽: 机房严格按照本环评报告中表 4.1-1、图 4.1-1、附图 3-1~附图 3-8 建设		/	纳入建筑场地成本
	辐射工作人员的辐射安全考核、辐射工作场所管理、辐射安全与管理制度的修订完善等管理措施		5.0	/
	辐射工作场所辐射防护分区		/	/

	辐射安全与防护设施：电离辐射警告标志、警报装置、观察装置、连锁系统、“清场”/急停按钮及声光警示等	50.0	/
	工作人员辐射防护用品（包括个人剂量计、工作服及劳保用品等）	2.0	/
辐射监测	辐射监测仪器：中子探测器， γ 探测器等。	100.0	/
	辐射工作场所常规监测	/	纳入年度支出
	辐射环境监测	/	纳入年度支出
环保验收	/	15.0	落实“三同时”制度
风险防范措施	辐射工作场所应急物品：包括应急监测仪器，应急器材，应急警戒、公告用品，应急救护用品和应急通讯工具等	30.0	/
合计	/	282.0	/

注：* 表中环保投资仅为医院辐射工作场所环保设施投资。

7.2.3 环境代价

本项目感生放射性废水经暂存满足要求后作为非放射性废水处理，感生放射性固废经暂存后，根据监测结果作为非放射性固废或送有资质单位处理，对周围区域环境基本不造成影响；环境代价主要为项目运行期间向环境排放的放射性气态流出物。

通过模拟估算，项目运营期间所产生的感生放射性核素排放进入环境所致公众最大剂量为 $1.96 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ，对公众的辐射影响很小。

7.3 正当性分析

本项目拟配置使用一套重离子治疗系统，项目的建设目的是为肿瘤患者提供更优良的治疗手段，减轻患者痛苦，提高肿瘤的治愈率，最终达到治病救人的目的，本项目设计的辐射防护与安全设施能够满足国家相关标准要求，经分析评价，本项目对工作人员和公众的辐射影响完全满足国家相关标准要求，本项目核技术应用实施活动能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的实践正当性要求，即：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辐射危害时，该实践才是正当的。因此，本项目核技术应用实施活动是正当的。

第八章 结论与建议

8.1 结论

8.1.1 项目工程概况

8.1.1.1 建设项目规模

为满足患者的就医需求，浙江省肿瘤医院拟在总院半山院区东侧新建一栋重离子医学中心大楼，在大楼内配备1套重离子治疗系统（简称HIMM），用于肿瘤的放射治疗。该系统型号为CY-SY-4400，加速离子为 $^{12}\text{C}^{6+}$ ，治疗终端能量为120MeV/u~400 MeV/u，属于I类射线装置。

8.1.1.2 工艺流程

加速器系统采用全永磁结构、电子回旋共振（ECR）离子源来提供稳定可靠的 $^{12}\text{C}^{5+}$ 离子束流，以回旋加速器作为注入器，将ECR离子源提供的 $^{12}\text{C}^{5+}$ 离子束能量提高到6.2MeV/u，经中能传输系统传输到同步加速器注入口，通过剥离注入，把束流剥离为 $^{12}\text{C}^{6+}$ 注入到同步加速器，然后将束流能量从6.2MeV/u加速到终端所需要的能量，引出到高能传输系统，由高能传输系统配送到终端。

8.1.1.3 工程设备

HIMM主要由离子源及低能传输系统、回旋加速器、中能传输系统、同步加速器、高能传输系统组成，治疗用的粒子是原子序数为6、核子数为12、核外电子全剥离的碳离子（ $^{12}\text{C}^{6+}$ ），具有被动式和主动式两种束流配送方式。配备4个治疗室，治疗终端分别是水平治疗终端、水平+垂直治疗终端、水平+45°治疗终端及水平治疗终端（后期升级为Gantry治疗终端，即旋转机架治疗终端）。

8.1.1.4 污染源项

HIMM运行会产生瞬时辐射和感生放射性影响。瞬时辐射是指重离子束、重离子与结构材料发生核反应产生的次级中子、 γ 射线等辐射，感生放射性主要是由重离子打靶产生的次级中子引起的。在加速器运行期间，初级粒子或次级粒子与加速器部件、冷却水、加速器室内空气、加速器室内墙壁等相互作用将产生感生放射性。

8.1.2 辐射安全与防护

8.1.2.1 选址、布局合理性评价

本项目位于浙江省肿瘤医院总院半山院区，项目用地为医疗卫生用地，经过以上的自然环境、社会经济状况的调查结果可知，项目所在场址及周边无影响项目安全稳定运行的制约性因素，本项目选址合理。

HIMM 辐射工作场所包括：加速器大厅、高能线爬升段区、1 号治疗室、2 号治疗室、3 号治疗室、4 号治疗室，各功能部分均相互独立，控制室等辅房均位于 HIMM 机房外部，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）中相关要求，也能满足本项目治疗系统的布局要求，项目工作场所布局合理。

本项目工作场所按其功能拟划分为控制区和监督区，并实施分区管理，项目拟采取的分区措施满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中6.4的要求。

8.1.2.2 辐射防护措施评价

HIMM 机房屏蔽主体为混凝土，局部使用铁进行增强屏蔽，根据理论估算可知，本项目采取的辐射防护措施能够满足辐射防护要求。

8.1.2.3 运行期放射性三废的治理和控制

HIMM 运行过程中将产生的感生放射性固体废物分类收集后暂存于放射性固废储存间，处理前对其中含有的主要放射性核素活度浓度或活度进行监测，经监测满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中解控标准的放射性固废作为非放射性废物处理，对于不满足解控要求的固废送有资质单位处理。

HIMM 正常运行工况下，工艺水系统管路内冷却水循环使用不外排，不产生感生放射性废水。事故工况下，若管路泄漏，将产生感生放射性废水。泄漏的感生放射性废水将按 1%坡度通过排水地沟、地漏通过自留的方式汇集到一级收集池，通过溢流孔排放到二级收集池，经监测满足要求后通过污水提升装置排放至医院污水处理系统。

HIMM 运行过程中产生的感生放射性气体，均需通过通风系统初效（G4过滤器）、中效（F8过滤器）两级过滤进行过滤后，在相对集中位置经高位烟囱（高

出所在屋面2m，离地高度约22m）在下风向处排放。

本项目放射性废物收集和处理方法基本合理，放射性废物处置得当，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)等相关法律法规中相关要求。

通过模拟估算，项目运营期间所产生的感生放射性核素排放进入环境所致公众最大剂量为 $1.96 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ，对公众的辐射影响很小。

8.1.2.4 施工期污染防治措施

本项目为新建项目，加速器大厅等建设施工时会产生废气、扬尘、噪声、固体废物以及废水等污染物。医院应采取相应的防治措施，如：对施工现场搅拌站废水等经沉淀后排放或回收利用、设置围墙或围挡将工地与外界分隔开、建设中采用低噪声的施工工艺、对施工现场的建筑垃圾及时清运并加以利用等等，医院在施工阶段经采取相关污染防治措施后，施工期对周围环境影响较小。

施工期对环境产生的影响均为暂时的、可逆的，且随着施工期结束，固废及废水在施工期间内妥善处置，施工期产生的扬尘、噪声等方面的影响将随着施工结束会自行消除。

8.1.2.5 辐射安全措施评价

本项目拟设置人身安全连锁系统，通过PLC控制系统，建立加速器运行状态、人员出入情况及各连锁部件之间的逻辑关系。在加速器运行时，任一可能引起辐射事故的连锁条件改变都将产生一个中断加速器供束的连锁信号，中断所在区域的束流，避免产生误照射；同时拟设置警报装置、通风系统、观察装置等其他辐射安全措施，项目拟设置的辐射安全措施能够满足本项目的辐射安全需要。

8.1.3 环境影响分析

8.1.3.1 辐射环境影响分析

(1) 根据理论预测可知，本项目辐射工作场所外人员全居留场所的总辐射剂量率最大为 $0.2 \mu\text{Sv/h}$ ，人员部分和偶然居留场所的总辐射剂量率最大为 $9.0 \mu\text{Sv/h}$ ，均能够满足本项目辐射剂量率控制目标的要求。

根据理论估算结果可知，医院在做好安全防护措施的情况下，本项目投入运行后辐射工作人员和周围公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和本项目管理目标（职业人员年有效剂量不超过 5mSv ，公众年有效剂量不超过 0.1mSv ）的剂量限值要求。

对于紧贴土壤的屏蔽体，屏蔽体外的辐射剂量率最大为 $4700\mu\text{Sv/h}$ ，参考日本 J-PARC 的相关设计，对于紧贴土壤的屏蔽体，若屏蔽体外剂量率不大于 5mSv/h ，可不考虑其对土壤、地下水的活化影响。

(2) 重离子加速器电磁辐射主要存在于射频加速电场处。回旋加速器高频腔体被回旋主磁铁包裹，同步加速器高频被外围铁皮包裹，屏蔽良好。因此，加速器设施基本没有电磁辐射泄漏影响。

8.1.3.2 非放环境影响分析

(1) 与辐射相关的非放射性污染因素方面，HIMM治疗室、加速器大厅等场所的空气在电离辐射作用下可能会产生少量臭氧、氮氧化物等污染空气的有害气体。对于本项目加速器，其次级辐射场主要为中子和少量光子，中子场不会引起空气电离，在光子的作用下，空气中的氧分解成自由基，氧自由基与空气中的氧气作用生成臭氧、氮氧化物等有害气体。与电子加速器相比，重离子加速器运行时所致臭氧、氮氧化物的产生量很小，可以不用考虑。

(2) 重离子加速器运行过程中，项目配套的风机、冷却塔等设备将产生噪声影响；医护人员在工作过程中将产生生活垃圾和生活污水；重离子治疗过程中将产生定位体模、一次性床单等医疗废物，无感生放射性影响。以上将依托项目所在重离子医学中心大楼及院内设施，其环境影响已在《浙江省肿瘤医院重离子医学中心大楼建设项目环境影响登记表》中进行了分析评价，本报告不再对其进行分析评价。

8.1.4 辐射安全管理

医院目前已成立专门的辐射安全管理委员会，并以文件形式明确了管理人员职责；医院应确保本项目辐射工作人员上岗前均已按照法律法规要求参加本项目相关的辐射防护和安全专业知识及相关法律法规的考核，考核合格后上岗；浙江省肿瘤医院还应配备至少 1 名注册核安全工程师作为辐射防护负责人；医院已针对现有核技术利用项目制定相关的辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，其还应针对本项目对制度进行补充完善，在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各管理制度和应急预案进行补充和完善。

本项目辐射监测主要分为场所、环境、个人剂量监测。场所监测主要包括设置工作场所辐射监测系统，每个监测点设置中子、 γ 探测器各一个；环境监测主

要包括在加速器主体建筑周围设置若干监测站，每个站内设置中子、 γ 探测器各一个，同时医院将定期（不少于 1 次/年）委托有资质单位对本项目辐射工作场所周围环境中的子和 γ 辐射水平进行年度监测；个人剂量监测分为两部分，一部分是与出入控制系统相联系的个人剂量监测，也即每次人员从辐射区内出来时自动读取此次在辐射区逗留期间所受剂量，另一部分是辐射工作人员的热释光个人剂量监测，这项监测将委托有资质的机构完成，检测周期为不低于 1 次/三个月。

本项目辐射安全管理措施经落实后，能够满足项目的辐射安全管理需要。

8.1.5 公众参与

建设单位按照《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令第 4 号）的规定，通过网络公示、项目所在地报纸公示、项目所在地张贴公示等方法开展了公众参与工作，至意见反馈截止日期，未收到与本项目环境影响和环境保护措施有关的建议和意见。

总结论：

综上所述，浙江省肿瘤医院重离子治疗系统项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响完全满足国家相关法律法规、标准要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

8.2 建议和承诺

(1) 项目在建造和运行过程中必须严格落实项目设计及本报告表中提出的安全防护措施和相关管理要求。

(2) 所有设备资料、射线装置台帐和监测资料等均应妥善保管，存档备案。

(3) 项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对医务人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降到最低。

(4) 环境影响评价文件审批完成后，应根据有关规定及时重新申领辐射安全许可证。

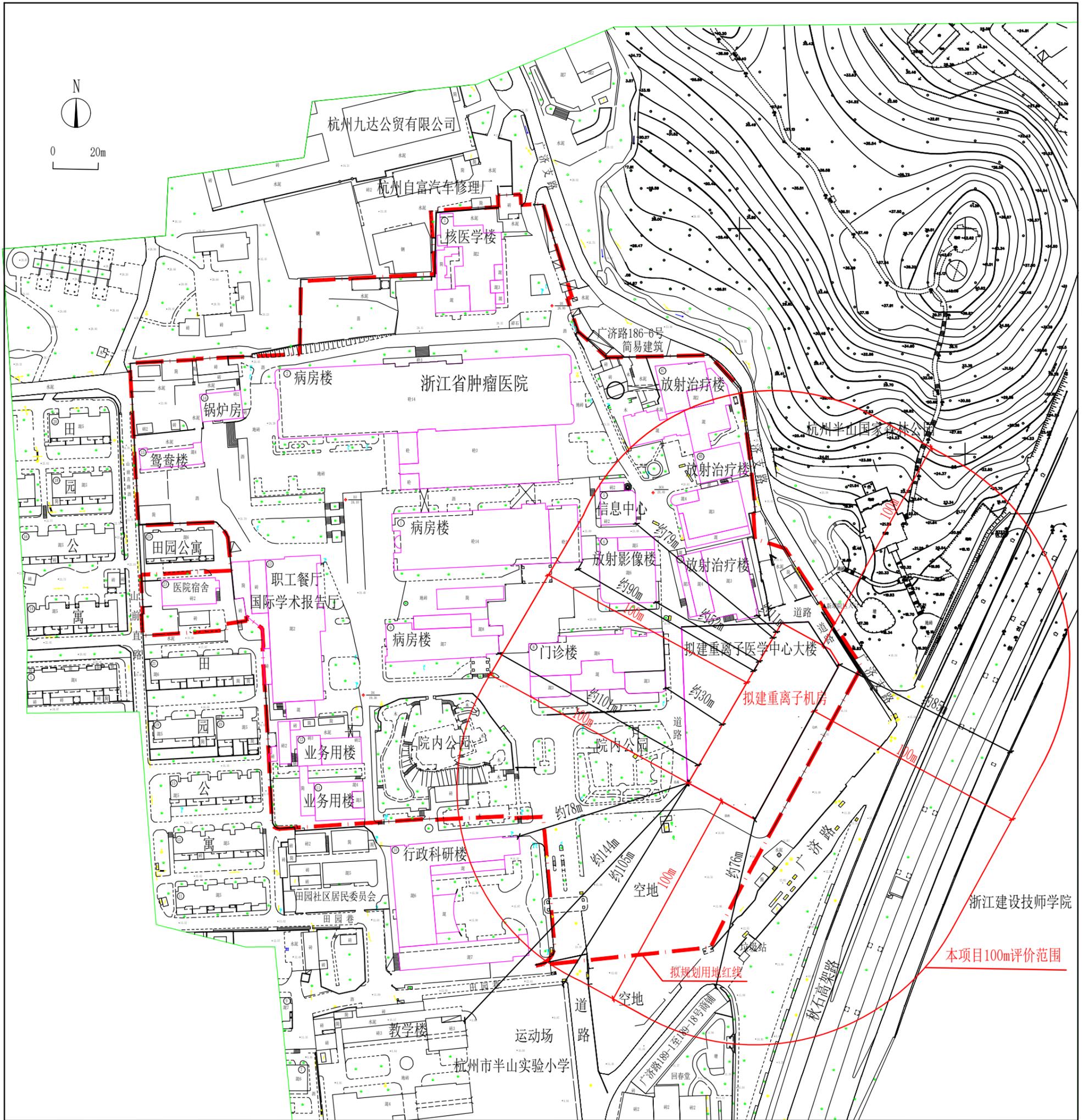
(5) 建设项目竣工后，医院应按照国家生态环境行政主管部门规定的程序 and 标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外，其他环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。

验收期限是指自建设项目环境保护设施竣工之日起至建设单位向社会公开验收报告之日止的时间。



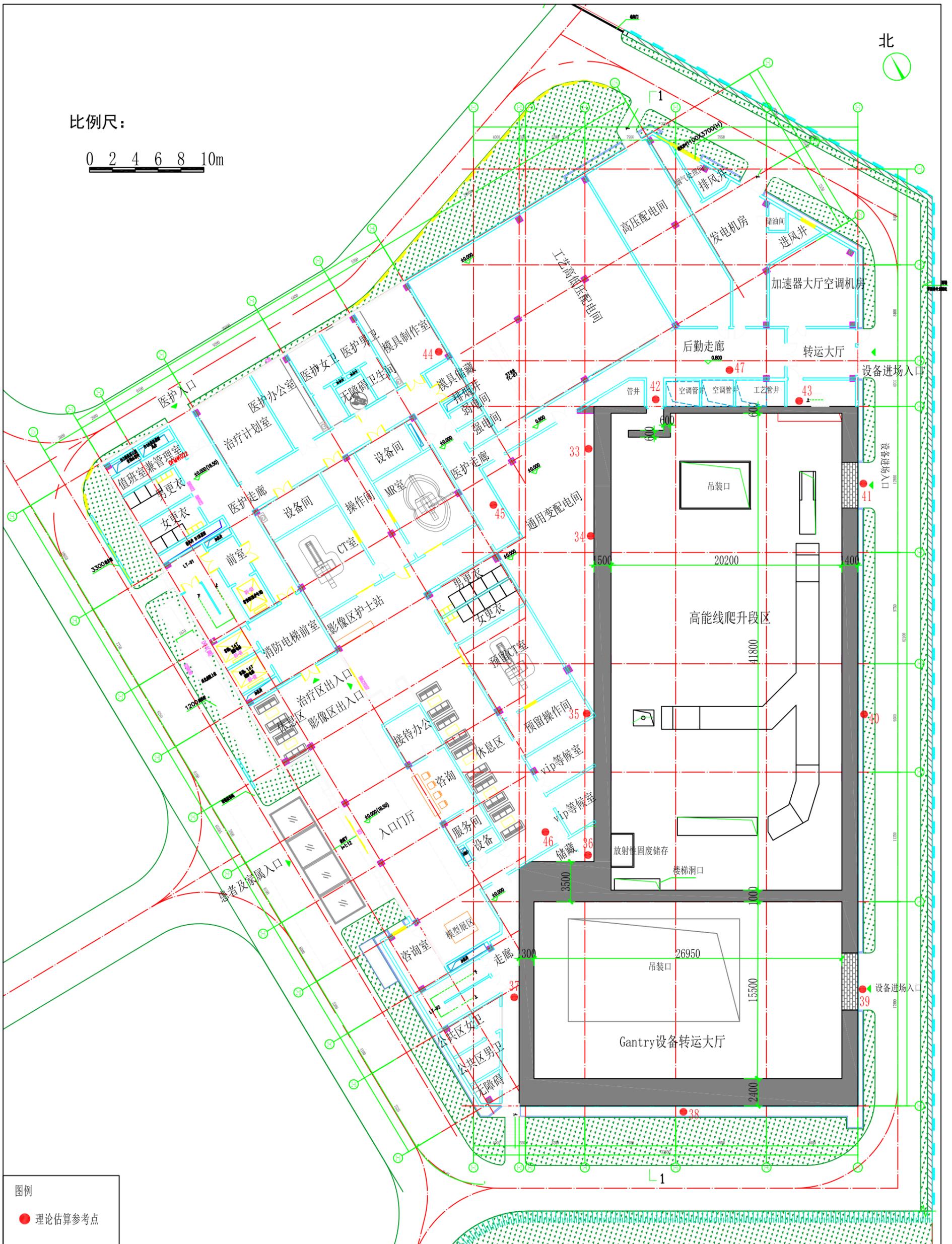
附图 1 浙江省肿瘤医院重离子治疗系统项目地理位置示意图



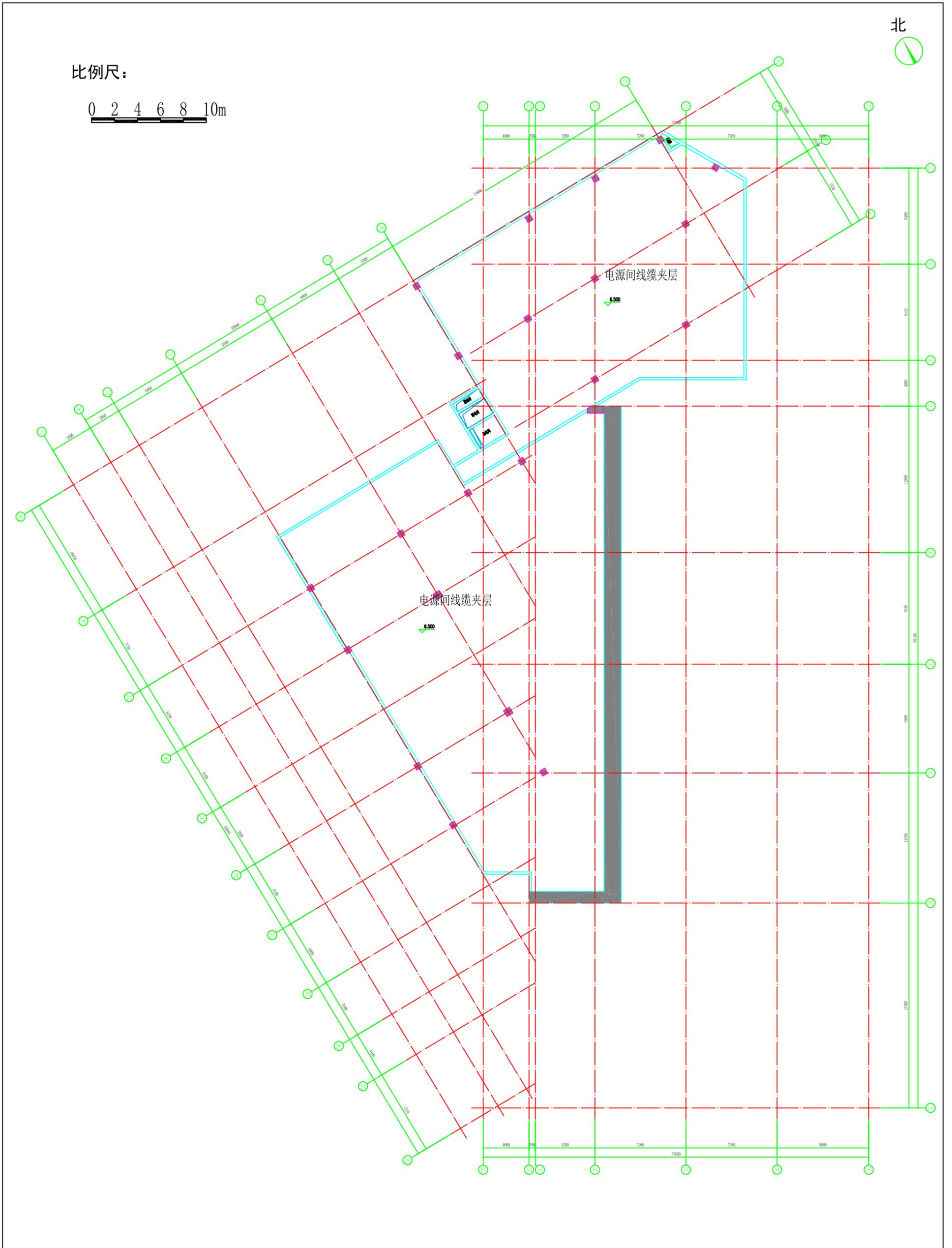
附图2 浙江省肿瘤医院总院半山院区平面布置及周边环境示意图



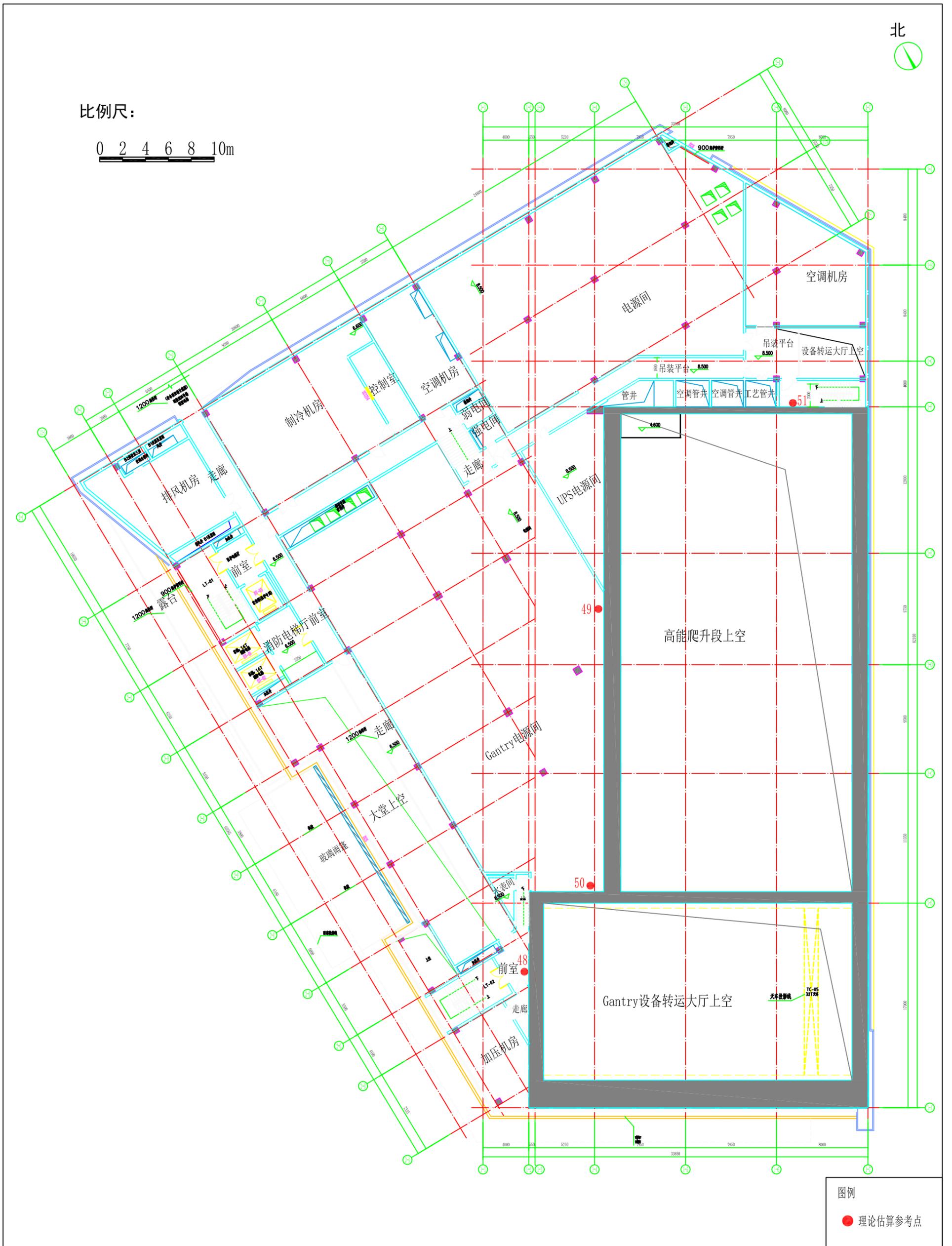
附图3-1 重离子医学中心大楼负二层平面布置示意图



附图3-3 重离子医学中心大楼一层平面布置示意图



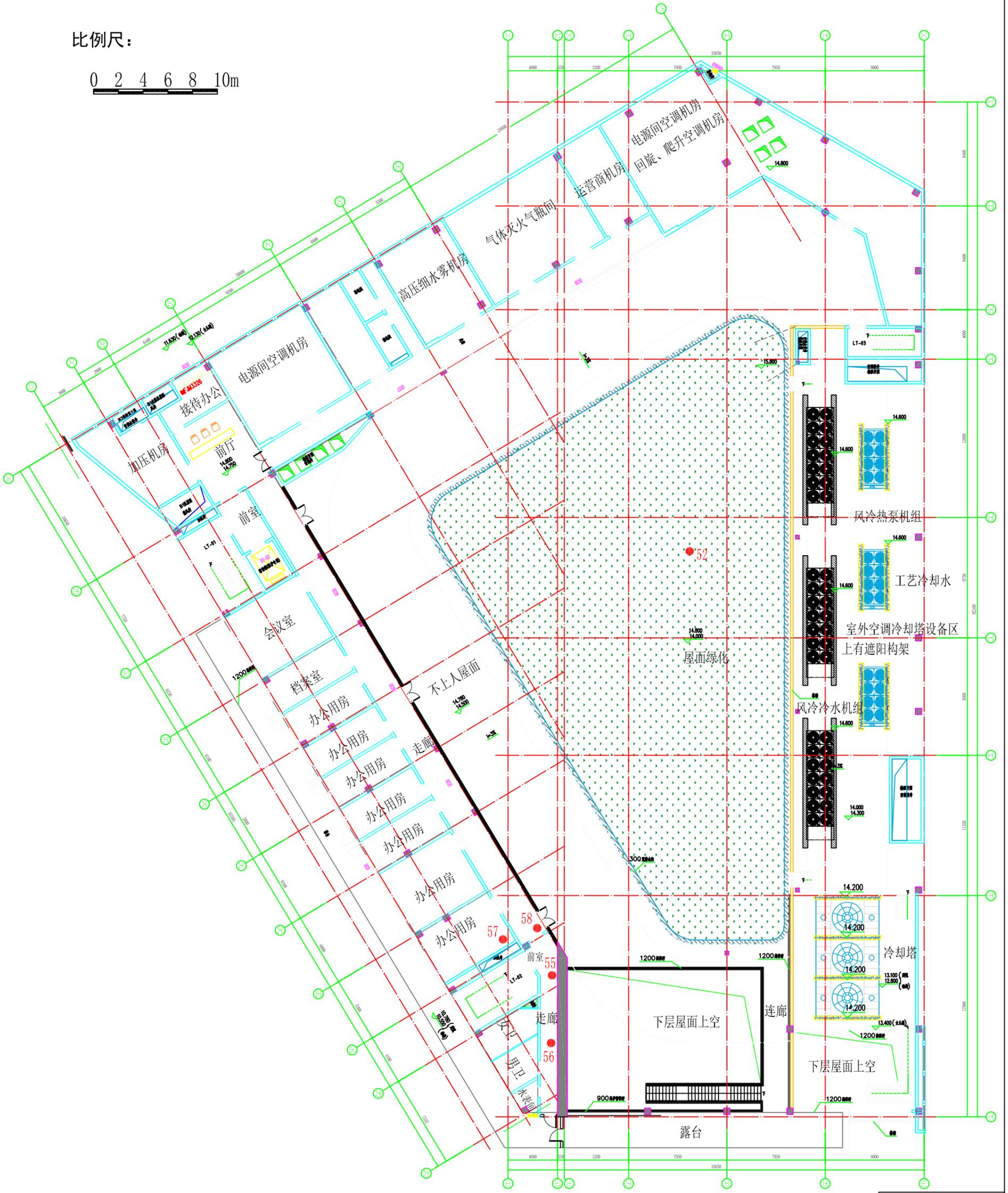
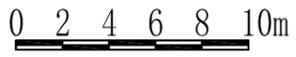
附图3-4 重离子医学中心大楼6.500标高平面布置示意图



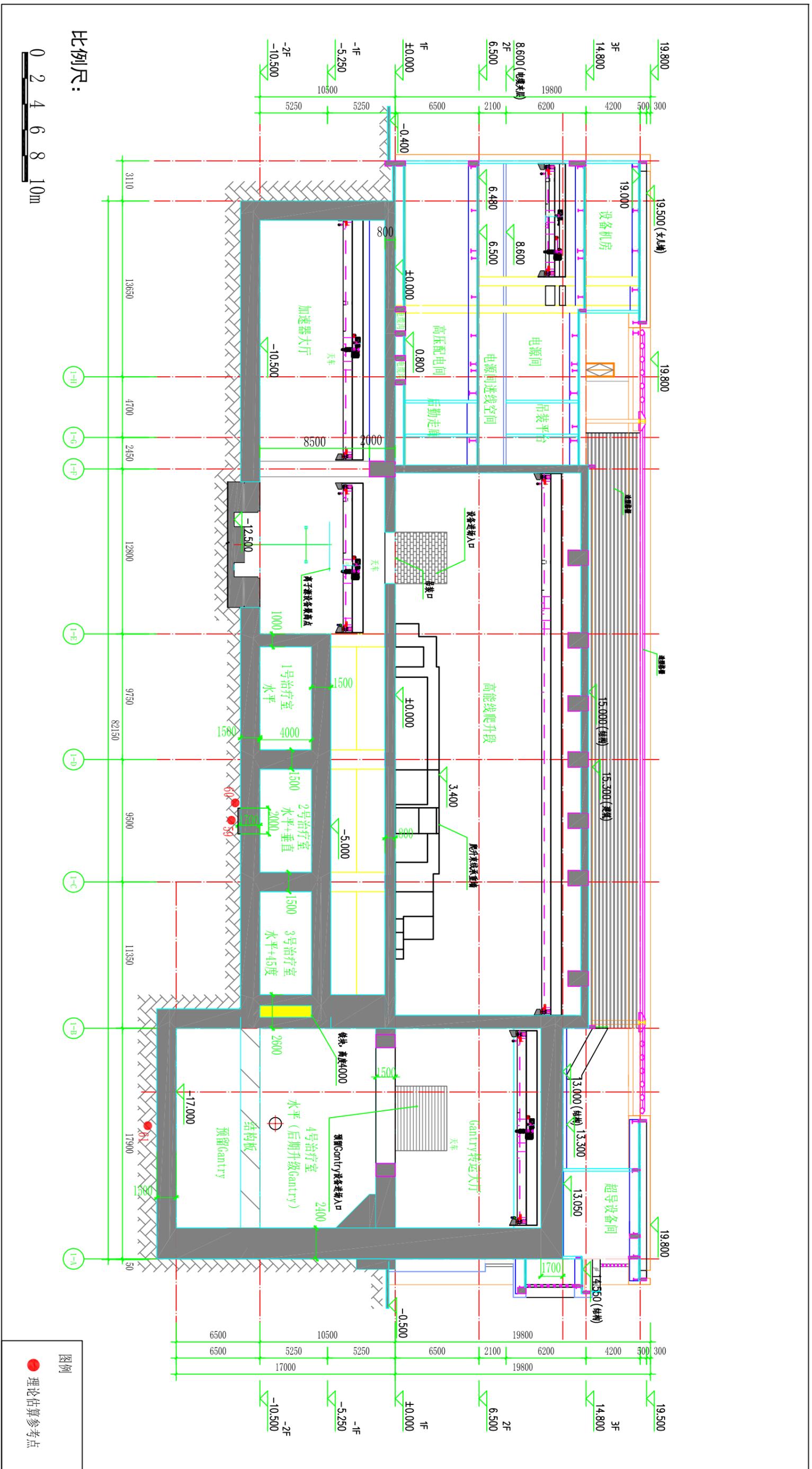
附图3-5 重离子医学中心大楼二层平面布置示意图



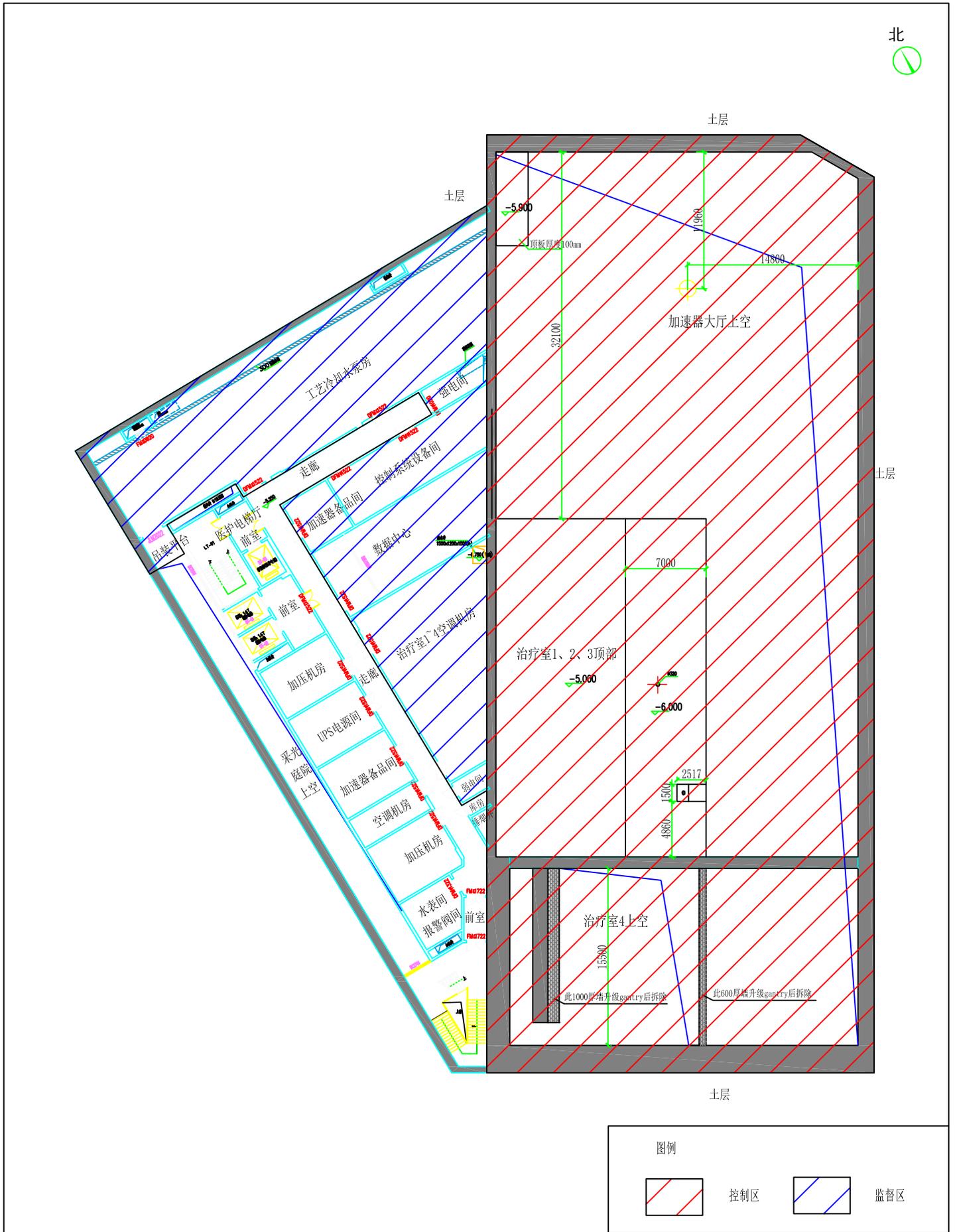
比例尺:



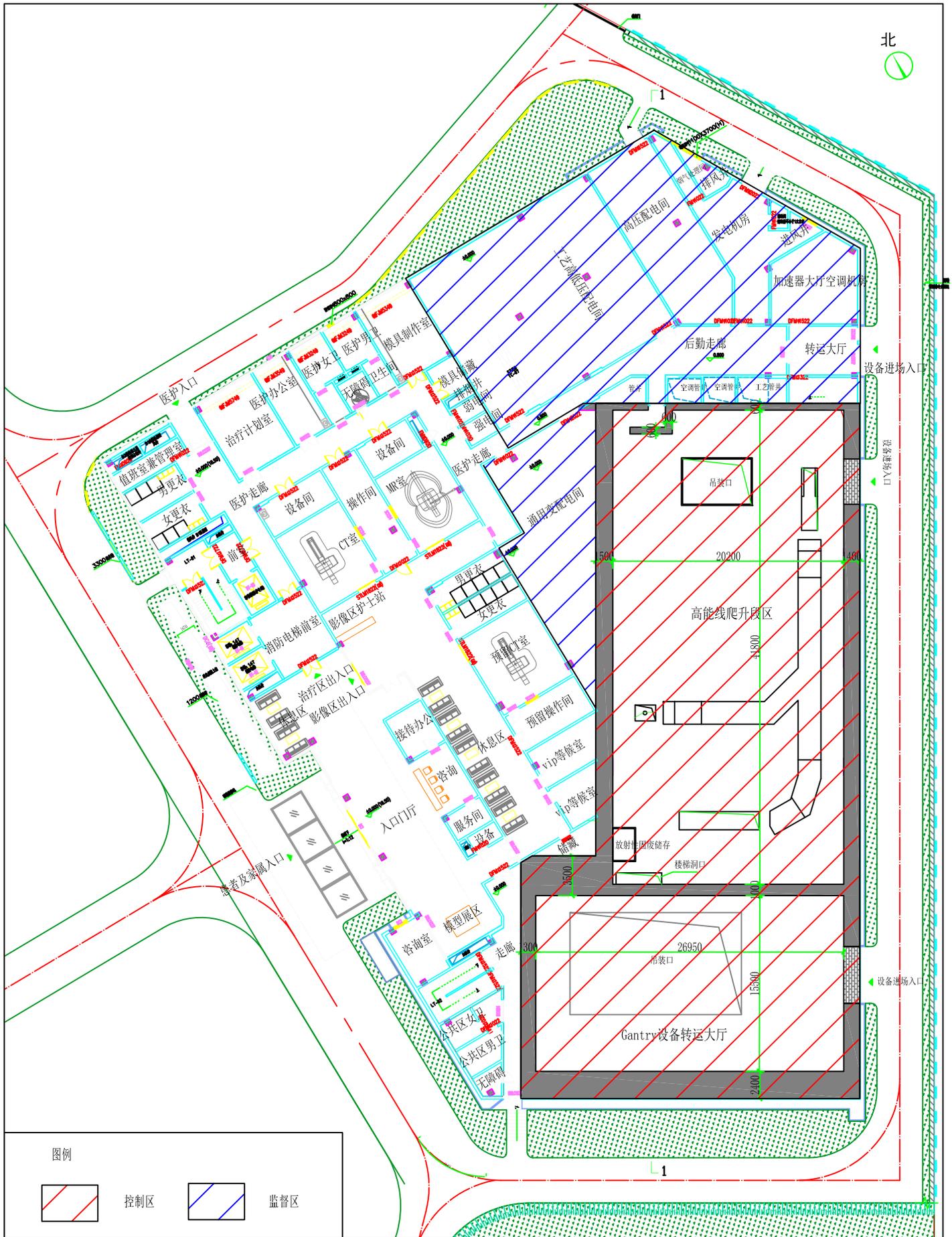
附图3-7 重离子医学中心大楼三层平面布置示意图



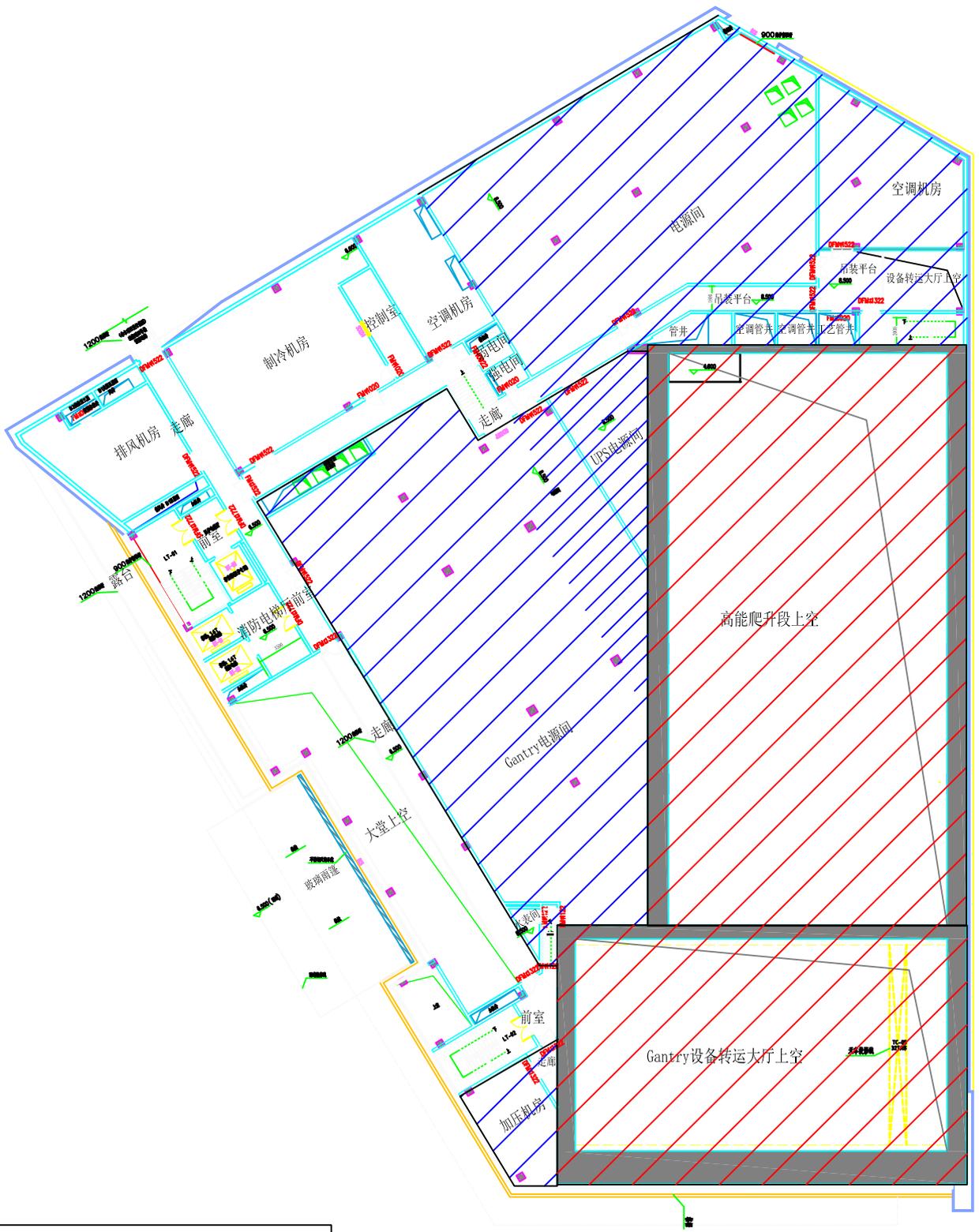
附图3-8 重离子医学中心大楼1-1剖面布置示意图



附图4-2 重离子医学中心大楼负一层辐射防护分区示意图



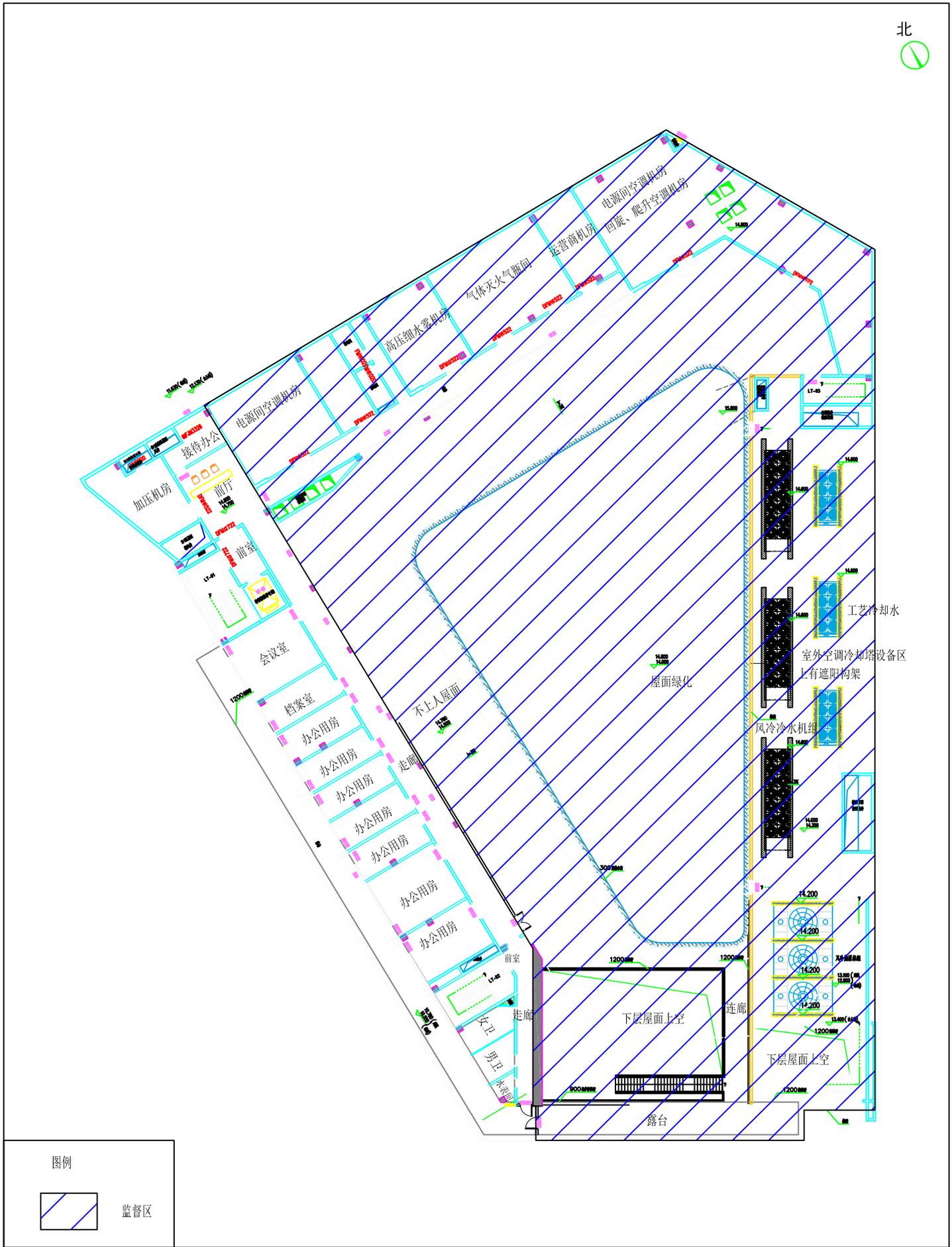
附图4-3 重离子医学中心大楼一层辐射防护分区示意图



图例

	控制区		监督区
-------------------------------------------------------------------------------------	-----	-------------------------------------------------------------------------------------	-----

附图4-4 重离子医学中心大楼二层辐射防护分区示意图



附图4-5 重离子医学中心大楼三层辐射防护分区示意图

委托书

浙江国辐环保科技有限公司、江苏辐环环境科技有限公司：

为提高肿瘤疾病的治疗水平，我院拟建设重离子治疗系统项目。根据法律法规要求，该项目须进行环境影响评价，现特委托浙江国辐环保科技有限公司进行该项目的环境检测工作，江苏辐环环境科技有限公司承担该项目环境影响评价文件编制工作。

中国科学院大学附属肿瘤医院
(浙江省肿瘤医院)

2020年9月28日

浙江省发展和改革委员会文件

浙发改项字〔2020〕129号

省发展改革委关于浙江省肿瘤医院重离子医学中心大楼项目建议书批复的函

省卫生健康委：

你委《关于要求审批浙江省肿瘤医院重离子医学中心大楼项目建议书的函》（浙卫函〔2019〕46号）及相关附件收悉。我委委托浙江省发展规划研究院进行审查评估。根据评估意见（浙规划院咨〔2020〕33号），经研究，我委原则同意由广州市设计院编制的《浙江省肿瘤医院重离子医学中心大楼项目建议书》。现将项目建议书主要内容批复如下。

一、项目建设的必要性

浙江省肿瘤医院作为“国家肿瘤区域医疗中心”牵头建设单

浙江政务服务网
投资在线平台 工程审批系统

位，在疑难危重症诊断与治疗、医学人才培养、临床研究、疾病防控、医院管理等方面均需加快建设步伐。2019年9月，国家卫生健康委员会与浙江省人民政府签订共建国家区域医疗中心合作协议，国家卫生健康委将在甲类大型医用设备配置许可管理方面给予浙江省积极支持，支持中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）配置重离子质子放射治疗系统，建设重离子质子放射治疗中心。项目建设能够填补浙江地区重离子放疗设备的空白，提升医院肿瘤疑难病症诊治能力，增强医院优质医疗资源的供给能力与综合服务能力，满足人民群众健康需求。项目建设是必要的。

二、项目名称

浙江省肿瘤医院重离子医学中心大楼。

三、项目建设单位

浙江省肿瘤医院。

四、项目选址

项目选址于杭州市拱墅区半山东路1号浙江省肿瘤医院半山院区东侧。

五、项目建设内容

项目通过拆除现有中医楼并新增院区东侧用地，建设重离子医学中心大楼及室外附属工程。重离子医学中心大楼内主要包括重离子设备用房及附属工艺用房、医技用房、保障系统等。项目总建筑面积14000平方米，其中：大型医疗设备用房6260平方米

浙江政务服务网
投资在线平台 工程审批系统

(含重离子设备用房与附属工艺用房), 七项设施用房 7740 平方米 (含保障系统、医技、行政管理等功能)。项目新增用地面积 4057 平方米。项目建设不涉及新增床位。

六、总投资及资金来源

项目预计总投资约 27302 万元。项目所需资金由单位自有资金和省财政补助安排。

七、项目工期和招标

项目建设周期约 45 个月, 其中施工期约 18 个月。本项目应在招标投标管理部门指导和监督下, 按有关规定进行招标。

八、其他

下阶段项目建设单位要按照基本建设程序, 进一步细化建设方案, 尽快推进规划选址、土地预审、社会风险审查、评估等项目前期工作, 做好与财政、规划和自然资源、环保、消防等部门衔接, 抓紧启动能耗评估、环境影响评价等, 并编制项目可行性研究报告报我委审批。项目主管部门要及时掌握项目建设管理、计划执行进度等情况。

浙江省发展和改革委员会



附注：投资项目执行唯一代码制度，通过投资项目在线审批监管平台，实现投资项目“平台受理、代码核验、办件归集、信息共享”。请项目业主准确核对项目代码并根据审批许可文件及时更新项目登记的基本信息。

抄送：省政府办公厅、省财政厅、省自然资源厅、省生态环境厅、杭州市人民政府，拱墅区人民政府，浙江省肿瘤医院。

浙江省发展和改革委员会办公室

2020年7月17日印发

项目代码：2019-330105-84-01-058067-000



建设项目环境影响登记表

填报日期：2021-01-15

项目名称	浙江省肿瘤医院重离子医学中心大楼项目		
建设地点	浙江省杭州市拱墅区半山 东路1路	建筑面积(m ²)	14000
建设单位	浙江省肿瘤医院(浙江省 癌症中心)	法定代表人或者 主要负责人	谭蔚泓
联系人	吴荣	联系电话	15068164810
项目投资(万元)	28000	环保投资(万元)	500
拟投入生产运营 日期	2024-12-01		
建设性质	新建		
备案依据	该项目属于《建设项目环境影响评价分类管理名录》中应当填报环境影响登记表的建设项目,属于第108 医院;专科疾病防治院(所、站);妇幼保健院(所、站);急救中心(站)服务;采供血机构服务;基层医疗卫生服务项中住院床位20张以下的(不含20张住院床位的)。		
建设内容及规模	项目通过拆除现有中医楼并新增院区东侧用地,建设重离子医学中心大楼及室外附属工程。重离子医学中心大楼内主要包括重离子设备用房及附属工艺用房、医技用房、保障系统等。项目总建筑面积14000平方米,其中:大型医疗设备用房6260平方米(含重离子设备用房与附属工艺用房),七项设施用房7740平方米(含保障系统、医技、行政管理等功能)。项目新增用地面积4057平方米。项目建设不涉及新增床位。		

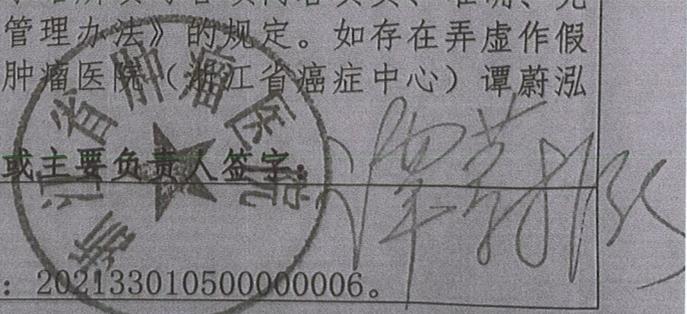
主要环境影响	废气	采取的环保措施及排放去向	有环保措施： 医院污水处理站废气采取除臭除味处理措施后通过废气排放管道排放至高空
	废水 生活污水		生活污水 有环保措施： 生活污水采取化粪池、医院污水处理站处理措施后通过污水管网排放至市政污水管网 地面清洗废水采取化粪池、医院污水处理站处理措施后通过污水管网排放至市政污水管网
	固废		环保措施： 生活垃圾由环卫部门定期清运。医疗废物先在院区指定收集点暂存，然后委托相关资质单位处理。
	噪声		有环保措施： 选用低噪声设备，并注意合理布局。配套的水泵、风机等高噪声设备均设置在专用设备用房内，变压器位于变配电房内，均采用隔声效果较好的门窗，各设备按《隔振设计规范》进行设计和安装，风机进出口均设置软接头，水泵等设备采取隔振处理等。
	生态影响		有环保措施： 加大绿化投入，增加人工植被。

承诺：浙江省肿瘤医院（浙江省癌症中心）谭蔚泓承诺所填写各项内容真实、准确、完整，建设项目符合《建设项目环境影响登记表备案管理办法》的规定。如存在弄虚作假、隐瞒欺骗等情况及由此导致的一切后果由浙江省肿瘤医院（浙江省癌症中心）谭蔚泓承担全部责任。

法定代表人或主要负责人签字：_____

备案回执

该项目环境影响登记表已经完成备案，备案号：202133010500000006。





辐射安全许可证

根据《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》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称：浙江省肿瘤医院

地址：杭州市半山东路1号

法定代表人：谭蔚泓

种类和范围：使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。

证书编号：浙环辐证[A0001]

有效期至：2022年03月13日



发证机关：

浙江省生态环境厅

发证日期：

2020年08月12日



台帐明细登记

(一) 放射源

证书编号:浙环辐证[A0001]

序号	核素	出厂日期	出厂活度 (贝可)	标号	编码	类别	用途	场所	来源/去向	审核人	审核日期
1	Ge-68	20180509	3.5E+6	204 1- 21	US18GE002105	V	刻度/校准源	院内核医学科	来源:美国 去向:	李明清	20181121
2	Ge-68	20180509	1.85E+7	Q8- 817	US18GE002105	V	刻度/校准源	院内核医学科	来源:美国 去向:	李明清	20181121
3	Ir-192	20190211	3.7E+11	D36 R00 53	NL19IR000133	III	后装治疗机	院内放射物理室	来源:荷兰 去向:	李明清	20190304
以下空白											
4	Ir-192	20190523	3.7x10 ¹¹		NL19IR000773	III	后装治疗机	院内放射物理室	来源:荷兰 去向:物至荷兰	沈建富	20190602
5	Ir-192	20190822	3.7x10 ¹¹		NL19IR001953	III	后装治疗机	院内放射物理室	来源:荷兰 去向:物至荷兰	沈建富	20190902
6	Ir-192	20191107	3.7x10 ¹¹		NL19IR003163	III	后装治疗机	院内放射物理室	来源:荷兰 去向:物至荷兰	沈建富	20200106
7	Ir-192	20200326	3.7x10 ¹¹		NL20IR001343	III	后装治疗机	院内放射物理室	来源:荷兰 去向:物至荷兰	沈建富	20200428
8	Ir-192	20200716	3.7x10 ¹¹		NL20IR003173	III	后装治疗机	院内放射物理室	来源:荷兰 去向:	沈建富	20200817

台帐明细登记

(一) 放射源

证书编号:

序号	核素	出厂日期	出厂活度 (贝可)	标号	编码	类别	用途	场所	来源/去向	审核人	审核日期
9	Ge-68	20200922	3.5x10 ⁶		US20GE002715	✓	刻度/校准源	院内核医学科	来源:美国 去向:	沈建富	20201020
10	Ge-68	20200922	1.85x10 ⁷		US20GE002725	✓	刻度/校准源	院内核医学科	来源:美国 去向:	沈建富	20201020
									来源		
									去向		
									来源		
									去向		
									来源		
									去向		
									来源		
									去向		
									来源		
									去向		

台帐明细登记

(三) 射线装置

证书编号浙环辐证[A0001] (00021)

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源/去向		审核人	审核日期
						来源	去向		
1	直线加速器	安科锐TOMO H-0000-0003 (6MeV)	II	使用	4号楼1楼3号机房 (本院)	来源	购入		
2	直线加速器	西门子PRIMUS-H (10MeV)	II	使用	4号楼1楼4号机房 (本院)	来源	购入		
3	直线加速器	VARIAN Trilogy (10MeV)	II	使用	4号楼1楼1号机房 (本院)	来源	购入		
4	直线加速器	医科达Precise (10MeV)	II	使用	4号楼1楼2号机房 (本院)	来源	购入		
5	直线加速器	医科达Precise (10MeV)	II	使用	4号楼1楼5号机房 (本院)	来源	购入		
6	CT定位机	飞利浦Big Bore (150kV/500mA)	III	使用	4号楼3楼模拟机机房 (本院)	来源	购入		
7	CT定位机	GE LightSpeed RT (150kV/500mA)	III	使用	4号楼3楼模拟机机房 (本院)	来源	购入		
8	模拟定位机	东芝LX-40 (150kV/500mA)	III	使用	4号楼模拟机机房 (本院)	来源	购入		

台帐明细登记

(三) 射线装置

证书编号浙环辐证[A0001] (00021)

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源/去向		审核人	审核日期
						来源	去向		
9	CT	西门子 Sensation16 (150kV/500mA)	III	使用	6号楼3楼CT机房 (本院)	来源	购入		
10	数字胃肠机	PHILIPS OMNI DIAGNOST (150kV/500mA)	III	使用	6号楼2楼 (本院)	来源	购入		
11	DSA	GE OEC9800 (150kV/800mA)	II	使用	6号楼4楼 (本院)	来源	购入		
12	DSA	西门子AXIOM FA (150kV/1250mA)	II	使用	6号楼5楼 (本院)	来源	购入		
13	移动式 X 光机	飞利浦 Practix300 (140kV/400mA)	III	使用	病房内移动 (本院)	来源	购入		
14	X光机 (DR)	西门子Aristos Mx (150kV/500mA)	III	使用	6号楼2楼 (本院)	来源	购入		
15	X光诊断机	飞利浦OPTIMUS (150kV/800mA)	III	使用	6号楼2楼 (本院)	来源	购入		
16	X光诊断机	西门子Multix Fusion (150kV/800mA)	III	使用	机场路分院 (杭州市机场路30号)	来源	购入		

台帐明细登记

(三) 射线装置

证书编号 浙环辐证[A0001] (00021)

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源/去向		审核人	审核日期
						来源	去向		
17	直线加速器	医科达Precise (10MeV)	II	使用	4号楼1楼8号机房 (本院)	来源	购入		
						去向			
18	直线加速器	医科达Synergy (10MeV)	II	使用	4号楼1楼9号机房 (本院)	来源	购入		
						去向			
19	直线加速器	VARIAN Clinac23EX (10MeV)	II	使用	4号楼1楼6号机房 (本院)	来源	购入		
						去向			
20	直线加速器	VARIAN Trilogy (10MeV)	II	使用	4号楼1楼7号机房 (本院)	来源	购入		
						去向			
21	CT定位机	瓦里安Acuity (140kV/500mA)	III	使用	4号楼3楼模拟机房	来源	购入		
						去向			
22	CT定位机		III	使用	4号楼模拟机房	来源			
						去向			
23	CT定位机		III	使用	4号楼模拟机房	来源			
						去向			
24	CT	GE Brightspeed Elite (150kV/500mA)	III	使用	6号楼3楼 (本院)	来源			
						去向			

台帐明细登记

(三) 射线装置

证书编号 浙环辐证[A0001] (00021)

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源/去向		审核人	审核日期
						来源	去向		
25	螺旋CT	西门子 Definition Flash (140kV/500mA)	III	使用	6号楼2楼 (本院)	来源	购入		
						去向			
26	数字乳腺机	HOLOGIC Selenia (40kV/400mA)	III	使用	6号楼2楼 (本院)	来源	购入		
						去向			
27	双探头ECT	Philips Forte (140kV/10mA)	III	使用	3号楼1楼 (本院)	来源	购入		
						去向			
28	SPECT	GE Infinia Hawkeye4 (140kV/10mA)	III	使用	3号楼1楼 (本院)	来源	购入		
						去向			
29	DSA	飞利浦Allura Xper FD20C (125kV/1250mA)	II	使用	6号楼5楼 (本院)	来源	购入		
						去向			
30	移动X光机	西门子Mobilett XP Digital (140kV/400mA)	III	使用	病房内移动 (本院)	来源	购入		
						去向			
31	骨密度仪	OSTEOSYS Dexam T (110kV/1.5mA)	III	使用	骨密度仪室 (本院)	来源	购入		
						去向			
32	C臂机	飞利浦BV Endura (110kV/20mA)	III	使用	手术室 (本院)	来源	购入		
						去向			

台帐明细登记

(三) 射线装置

证书编号浙环辐证[A0001] (00021)

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源/去向		审核人	审核日期
						来源	去向		
33	PET-CT	GE PEC/CT 710 (150kV/800mA)	III	使用	3号楼1楼(本院)	来源	购入		
						去向			
34	SPECT/CT	GE Discovery NM/CT 670 (150kV/800mA)	III	使用	3号楼1楼(本院)	来源	购入		
						去向			
35	CT	西门子 Perspective (140kV/500mA)	III	使用	6号楼3楼(本院)	来源	购入		
						去向			
36	CT		III	使用	6号楼3楼(本院)	来源			
						去向			
37	胃肠机	岛津Univision (140kV/500mA)	III	使用	6号楼4楼(本院)	来源	购入		
						去向			
38	数字乳腺机		III	使用	6号楼2楼(本院)	来源			
						去向			
39	移动DR	GE Optima XR220amx (125kV/500mA)	III	使用	病房内移动(本院)	来源	购入		
						去向			
40	CT		III	使用	机场路分院(杭州市机 场路30号)	来源			
						去向			

台帐明细登记

(三) 射线装置

证书编号浙环辐证[A0001] (00021)

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	来源/去向		审核人	审核日期
						来源	去向		
41	数字乳腺机	HOLOGIC Selenis Dimensions (40kV/400mA)	III	使用	机场路分院(杭州市机 场路30号)	来源	购入		
						去向			
42	小动物精确辐照仪	SARRP (250kV/13mA)	III	使用	浙江省放射肿瘤学重点 实验室(本院)	来源	购入		
						去向			
43	ERCP	(150kV/500mA)	III	使用	内镜中心(本院)	来源			
						去向			
						来源			
						去向			
						来源			
						去向			
						来源			
						去向			

医院已许可的核技术利用项目情况

表 1-1 射线装置一览表

序号	装置名称	数量	型号	主要技术指标	工作场所	环评情况	许可情况	验收情况	备注
1	直线加速器	1	ACCURAY(安科锐) Tomo H-0000-0003	6MV- X RAY	4 号楼一层 放射物理室三号机房	浙环建(2001) 152 号	已许可	2003 年验收 (2004 年和 2009 年环评报告显示)	原设备 2014 年 已报废 (2001 年安装)
2	直线加速器	1	西门子 PRIMUS H	10MV- X RAY	4 号楼一层 放射物理室四号机房	浙环建(2004) 58 号		以评代验	/
3	直线加速器	1	瓦里安 Trilogy	10MV- X RAY	4 号楼一层 放射物理室一号机房			浙环辐验 [2009] 61 号	原设备 2014 年 报废, 2016 年 更新
4	直线加速器	1	医科达 Precise	10MV- X RAY	4 号楼一层 放射物理室二号机房	杭环辐评批		以评代验	/
5	直线加速器	1	医科达 Precise	10MV- X RAY	4 号楼一层 放射物理室五号机房			浙环辐验 (2009) 61 号	原设备 2007 年 安装 2019 年报 废, 2019 年更 新
6	CT 定位机	1	PHILIPS BIG Bore	150kV/	4 号楼三层			浙环辐验 (2015) 7	/

序号	装置名称	数量	型号	主要技术指标	工作场所	环评情况	许可情况	验收情况	备注
				500mA	放射物理室机房	(2009) 0105号		号	
7	CT 定位机	1	GE LightSpeed RT	150kV/ 500mA	4号楼三层 放射物理室机房	杭环辐评批 (2008) 0163号			/
8	模拟定位机	1	东芝 LX-40	150kV/ 500mA	4号楼一层 放射物理室机房				/
9	CT	1	西门子 Sensation 16	150kV/ 500mA	6号楼三层 放射科机房				/
10	CT 机	1	GE OptimaCT680Expert	140kV/ 560mA	6号楼二层放射科机 房	浙环建(2004) 58号		浙环辐验(2009) 61号	原为数字胃肠 机, 2005年安 装, 2019年报 废后更换为 CT机
11	DSA	1	GE OEC9800	150kV/ 800mA	6号楼四层放射科机 房				/
12	DSA	1	SIEMENS Axiom Artis FA	150kV/ 1250mA	6号楼五层放射科机 房				/
13	移动式X光 机	1	飞利浦 Practix300	140kV/ 400mA	6号楼一层放射科	杭环辐评批 (2008) 0163号			/
14	X光机 (DR)	1	西门子 Aristos Mx	150kV/ 500mA	6号楼二层放射科机 房				/

序号	装置名称	数量	型号	主要技术指标	工作场所	环评情况	许可情况	验收情况	备注
15	X光诊断机	1	OPTIMUS	150kV/ 800mA	6号楼二层放射科机房	浙环建(2004)58号		浙环辐验(2009)61号	/
16	X光诊断机	1	西门子 Multix Fusion	150kV/ 500mA	机场路30号分院	杭环辐评批(2007)0100号			/
17	直线加速器	1	ELEKTA Precise	10MV- X RAY	4号楼一层 放射物理室八号机房				/
18	直线加速器	1	ELEKTA Synergy	10MV- X RAY	4号楼一层 放射物理室九号机房			浙环辐验(2015)7号	/
19	直线加速器	1	VARIAN Clinac 23EX	10MV- X RAY	4号楼一层 放射物理室六号机房				/
20	直线加速器	1	VARIAN Trilogy	10MV- X RAY	4号楼一层 放射物理室七号机房	杭环辐评批(2009)0105号			/
21	模拟定位机	1	瓦里安 Acuity	140kV/ 500mA	放射物理室			杭环辐辐验(2016)1号	/
22	定位机	1	西门子	待定	放射物理室			未验收	尚未购买
23	定位机	1	西门子	待定	放射物理室			未验收	尚未购买
24	16排CT	1	Brightspeed Elite	150kV/ 500mA	6号楼三层放射科机房	浙环建(2004)58号		浙环辐验(2009)61号	/
25	数字乳腺机	1	HOLOGIC Selenia	40kV /400mA	6号楼二层放射科机房	浙环辐(2011)89号		杭环辐辐验(2015)7号	/

序号	装置名称	数量	型号	主要技术指标	工作场所	环评情况	许可情况	验收情况	备注
26	双探头ECT	1	Philips Forte	140kV/ /10mA	3号楼一层核医学科 机房	浙环辐(2011) 89号		杭环辐验(2015)7 号	/
27	SPECT-CT	1	Infimia Hawkeye4	140kV/ /10mA	3号楼一层核医学科 机房				/
28	DSA	1	飞利浦 Allura Xper FD20C	125kV/ 1250mA	6号楼五层				/
29	移动X光机	1	西门子 Mobilett XP Digital	140kV/ 500mA	病房内移动使用				/
30	螺旋CT	1	西门子 Definition Flash	110kV/ 1.5mA	6号楼二层	浙环辐(2015) 23号		浙环辐验(2016) 36号	/
31	X射线骨密度仪	1	OSTEOSYS Dexxum T	110kV/ 20mA	4号楼1层骨密度仪 室				/
32	C臂机	1	飞利浦 BV Endura	150kV/ 800mA	手术室内移动使用				/
33	PET/CT	1	GE PET/CT 710	150kV/ 800mA	3号楼一层			2018年4月2号自 主验收	/
34	SPECT/CT	1	GE Discovery NM/CT 670	140kV/ 500mA	3号楼一层	浙环辐(2016) 24号			/
35	CT	1	西门子 Perspective	140kV/ 500mA	6号楼三层			浙环辐验(2016) 36号	/
36	CT	1	/	150kV/ 500mA	6号楼四层			2021年1月6日自 主验收	/

序号	装置名称	数量	型号	主要技术指标	工作场所	环评情况	许可情况	验收情况	备注
37	胃肠机	1	岛津 Univision	140kV/ 500mA	6号楼二层	浙环辐(2016) 24号		浙环辐验(2016) 36号	/
38	数字乳腺机	1	/	125kV/ 500mA	6号楼二层			2021年1月6日自 主验收	/
39	移动DR	1	GE Optima XR220amx	125kV/ 500mA	病房内移动使用			浙环辐验(2016) 36号	/
40	CT	1	/	40kV/ 400mA	机场路分院(杭州市 机场路30号)	杭江环辐评批 (2016)004号		/	/
41	数字乳腺机	1	HOLOGIC Selenia Dimensions	40kV/ 400mA	机场路分院(杭州市 机场路30号)			2018年4月2号自 主验收	/
42	小动物精确 辐照仪	1	SARRP	250kV/ 13mA	4号楼二楼	浙环辐 [2017]6号		/	/
43	ERCPC	1	/	150kV/ 500mA	1号楼二楼内镜中 心			未验收	尚未购买

表 1-2 非密封放射性物质一览表

核素	场所等级	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	给药地点	用途	环评情况	许可情况	验收情况
^{153}Sm	乙	9.25×10^8	2.31×10^{12}	核素注射室	骨转移治疗	浙环辐 (2011) 89 号、 浙环辐 (2016) 24 号	已许可	浙环辐验 (2015) 7 号 (浙环辐 (2011) 89 号)、自主验收 (浙环辐 (2016) 24 号)
^{89}Sr	乙	9.25×10^7	2.31×10^{11}					
^{18}F	丙	1.85×10^7	4.63×10^{12}					
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	乙	7.40×10^7	1.85×10^{13}		ECT 诊断			
^{201}Tl	丙	1.85×10^7	4.63×10^{11}					
^{67}Ga	丙	1.85×10^8	4.63×10^{11}		骨转移治疗			
^{188}Re	乙	9.25×10^8	2.31×10^{12}					
^{131}I	乙	3.90×10^9	5.20×10^{12}		^{131}I 分装室			
^{32}P	乙	7.12×10^8	1.78×10^{12}	核素注射室	血液疾病治疗			
^{125}I	丙	8.88×10^6	2.22×10^{10}	放射免疫室	放免分析			
^{125}I 粒子 (放射科)	乙	1.11×10^8	2.66×10^{11}	放射科	植入治疗			
	乙	4.44×10^7	1.33×10^{11}	手术室				

表 1-3 密封源一览表

核素名称	活度 (Bq)	数量	类别	存储方式	环评情况	许可情况	验收情况
^{90}Sr - ^{90}Y	1.5×10^9	1 枚	V 类	放射源配置在敷贴器表层	浙环建 (2004) 58 号	已许可	以评代验
^{192}Ir	3.7×10^{11}	1 枚	III 类	放射源配置在后装机内	浙环建 (2004) 58 号	已许可	杭环辐评批 (2009) 0105 号
^{68}Ge	4.63×10^7	2 枚	V 类	PET-CT 机头	浙环辐 (2016) 24 号	已许可	2018 年 4 月 2 号自主验收

BG06



附件 6

浙江国辐环保科技有限公司

检测 报 告

浙国辐（WT）字 2020 第 283 号

项目名称 重离子治疗系统项目环境现状检测

委托单位 中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）

检测类别 委 托 检 测

编制日期 2021年3月3日

（加盖测试报告专用章）

测试报告专用章



说 明

1. 报告无本单位测试报告专用章、骑缝章及  章无效。
2. 未经本公司批准，不得部分复制报告。全文复制本报告未重新加盖本公司测试报告专用章无效。
3. 报告涂改无效。
4. 对不可复现的检测项目，结果仅对检测当时所代表的时间和空间负责。
5. 对检测报告如有异议，请于报告发出之日起的十五日内以书面形式向本公司提出，逾期不予受理。

单位名称：浙江国辐环保科技有限公司

电话：0571-28869252

单位地址：杭州市文一路 306 号

传真：0571-28869252

电子邮件：zjgfhp@rmtc.org.cn

邮政编码：310012

浙江国辐环保科技有限公司

检 测 报 告

浙国辐 (WT)字 2020 第 283 号

样品名称	气溶胶、气碘、气氚、地表水、土壤		
检测项目	空气中 γ 核素分析、空气中碘-131、空气中氚、空气中总 α 放射性、空气中总 β 放射性、水中 γ 核素分析、水中氚、水中总 α 放射性、水中总 β 放射性、土壤中 γ 核素分析、固体中总 α 放射性、固体中总 β 放射性、X- γ 辐射剂量率、中子剂量当量率		
委托单位名称	中国科学院大学附属肿瘤医院 (浙江省肿瘤医院)		
委托单位地址	杭州市拱墅区半山桥广济路 38 号		
委托单位联系人	薛波	联系方式	18814820875
检测类别	委托检测	检测方式	实验室分析、现场检测
样品来源	<input checked="" type="checkbox"/> 自采 <input type="checkbox"/> 送样		
采样日期	2020.9-2021.2	接样日期	2020.9-2021.2
样品状态	固态、液态、气态	样品个数	水样: 2 个; 气溶胶: 1 个; 气碘: 1 个; 土壤: 2 个
样品量	水样: 5-35L 气溶胶: 约 10824m ³ 气碘: 约 186m ³ 土壤: 约 2kg	分析日期	2020.9-2021.3
检测所依据的技术文件名称及代号	空气中放射性核素的 γ 能谱分析方法 WS/T 184-2017 水中放射性核素的 γ 能谱分析方法 GB/T16140-2018 土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法 GB/T11743-2013 空气中碘-131 的取样与测定 GB/T14584-1993 空气中氚 (HTO) 检测实施细则 GFHB-ZY-XZ30-2016 水中氚的分析方法 HJ 1126-2020 气溶胶、沉降灰中总 α 测量实施细则 GFHB-ZY-XZ17-2016 气溶胶、沉降灰中总 β 测量实施细则 GFHB-ZY-XZ18-2016 水质 总 α 放射性的测定 厚源法 HJ 898-2017 辐射环境监测技术规范 HJ/T 61-2001 水质 总 β 放射性的测定 厚源法 HJ 899-2017 水及固体样品中总 α 测量实施细则 GFHB-ZY-XZ20-2016 水及固体样品中总 β 测量实施细则 GFHB-ZY-XZ22-2016 环境地表 γ 辐射剂量率测定规范 GB/T14583-1993 辐射防护仪器 中子周围剂量当量 (率) 仪 GB/T 14318-2019		
检测结论	/		

浙江国辐环保科技有限公司

检 测 报 告

浙国辐 (WT)字 2020 第 283 号

检测所使用的 主要仪器设备 名称、型号规 格、编号及检定 有效期限	设备名称：低本底 $\alpha\beta$ 计数器 (1) 型号规格：MPC9604 仪器编号：GF-12-1-2016 检定单位：上海市计量测试技术研究院 检定有效期至 2021.3.12	设备名称：低本底 $\alpha\beta$ 计数器 (2) 型号规格：MPC9604 仪器编号：GF-12-2-2019 检定单位：上海市计量测试技术研究院 检定有效期至 2021.5.19
	设备名称：宽能高纯锗 γ 谱仪 (1) 型号规格：GEM-S8530 探头编号：GF-11-1-2016 检定单位：上海市计量测试技术研究院 检定有效期至 2021.3.12	设备名称：宽能高纯锗 γ 谱仪 (2) 型号规格：GMX40-76-LB-B 探头编号：GF-11-4-2019 检定单位：上海市计量测试技术研究院 检定有效期至 2021.7.8
	设备名称：宽能高纯锗 γ 谱仪 (3) 型号规格：GMX40-76-LB-B 探头编号：GF-11-5-2019 检定单位：上海市计量测试技术研究院 检定有效期至 2021.7.8	设备名称：低本底液闪谱仪 型号规格：Quantulus 1220 仪器编号：GF-11-4-2016 校准单位：上海市计量测试技术研究院 校准有效期至 2021.3.12
技术指标	低本底 $\alpha\beta$ 计数器 (1) 相对效率： α 源 (^{241}Am 或 ^{210}Po) $\geq 40\%$ β 源 ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$) $\geq 50\%$ 本底计数率： $\alpha < 0.07\text{cpm}$, $\beta < 0.7\text{cpm}$	低本底 $\alpha\beta$ 计数器 (2) 相对效率： α 源 (^{241}Am 或 ^{210}Po) $\geq 40\%$ β 源 ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$) $\geq 50\%$ 本底计数率： $\alpha < 0.06\text{cpm}$, $\beta < 0.7\text{cpm}$
	宽能高纯锗 γ 谱仪 (1) 相对效率：55%； 能量分辨率：1.71keV (^{60}Co 点源 1.33MeV 峰)； 本底计数率：1.93cps	宽能高纯锗 γ 谱仪 (2) 相对效率：43%； 能量分辨率：1.76keV (^{60}Co 点源 1.33MeV 峰)； 本底计数率：0.96cps
	宽能高纯锗 γ 谱仪 (3) 相对效率：41%； 能量分辨率：1.82keV (^{60}Co 点源 1.33MeV 峰)； 本底计数率：0.96cps	低本底液闪谱仪 H-3：计数效率：18.3% 本底计数率：0.521 min^{-1} 探测限：1.0 Bq/L
检测的 环境条件	环境温度：20~22℃；环境湿度：43~49%	
检测地点	浙江省杭州市余杭区崇贤镇沿山村水洪庙 208 号	
备注	/	

浙江国辐环保科技有限公司

检 测 报 告

浙国辐 (WT)字 2020 第 283 号

检测所使用的主要仪器设备名称、型号规格、编号及检定有效期限	<p>X-γ 辐射剂量当量率仪 仪器名称：辐射防护用 X-γ 辐射剂量当量率仪 仪器型号：FH40G +FHZ672E-10 仪器编号：GF-4-1-2013 校准单位：上海市计量测试技术研究院 校准有效期至 2021.7.27</p> <p>中子剂量当量率 仪器名称：中子剂量当量率仪 型号规格：FH40G+FHT672 仪器编号：GF-4-1-2013 检定单位：中国计量科学研究院 检定有效期至 2020.12.15</p>
技术指标	<p>X-γ 辐射剂量当量率仪 外置探头：10nSv/h~100μSv/h 能量响应：40KeV~4.4MeV 基本误差：<±15%</p> <p>中子剂量当量率仪 能量范围：0.025eV~5GeV 测量范围：1nSv/h~100mSv/h, ²⁵²Cf 灵敏度：≥1cps/(μSv/h), ²⁵²Cf 角度依赖性：所有角度±20%</p>
检测的环境条件	<p>现场检测日期：2020 年 10 月 13 日 天气：晴；温度：16~24℃；湿度：45~59%</p>
检测地点	检测地点位于浙江省肿瘤医院重离子治疗系统项目拟建址及其周边；检测点位示意图见图 1。
备注	/

浙江国辐环保科技有限公司 检测 报 告

浙国辐 (WT)字 2020 第 283 号

表 1 气溶胶中放射性分析结果

样品名称	总 α (mBq·m ⁻³)	总 β (mBq·m ⁻³)	核素含量(μ Bq·m ⁻³)									
			⁷ Be	⁴⁰ K	⁹⁵ Zr	⁵⁴ Mn	¹³¹ I	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co	⁵⁸ Co	¹⁴⁴ Ce
气溶胶	0.02	0.54	(9.02±0.53) × 10 ³	<71.3	<5.47	<2.70	<4.33	<3.26	<3.38	<2.65	<2.96	<18.1

表 2 地表水中放射性分析结果

样品名称	总 α (Bq/L)	总 β (Bq/L)	³ H (Bq/L)	核素含量(mBq/L)										
				⁷ Be	⁴⁰ K	⁹⁵ Zr	⁶⁵ Zn	⁵⁴ Mn	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co	⁵⁸ Co	¹⁴⁴ Ce	^{110m} Ag
地表水	<0.03	0.03	<1.0	<9.34	94.0±7.5	<1.73	<2.76	<1.05	<1.15	<1.23	<1.32	<1.13	<5.78	<1.05

表 3 土壤中放射性分析结果

样品名称	点位名称	总 α (Bq/kg)	总 β (Bq/kg)	核素含量(Bq/kg)									
				⁷ Be	⁴⁰ K	⁹⁵ Zr	⁶⁵ Zn	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co	⁵⁸ Co	¹⁴⁴ Ce	^{110m} Ag
土壤	省肿瘤医院	384	780	<1.62	448±30	<0.34	<0.48	<0.19	<0.22	<0.22	<0.20	<1.07	<0.27
	肿瘤医院东侧公园	526	698	<1.90	423±29	<0.40	<0.52	<0.22	0.34±0.08	<0.28	<0.22	<1.17	<0.31

浙江国辐环保科技有限公司

检测 报 告

浙国辐 (WT) 字 2020 第 283 号

表 4 空气中 I-131 分析结果

样品名称	核素含量(mBq·m ⁻³)	测量日期
气碘	<0.22	2020.10.20

表 5 空气中 ³H 分析结果

样品名称	核素含量(mBq·m ⁻³)	测量日期
气氚	<12.0	2020.10.16

表 6 X-γ 辐射剂量率检测结果

序号	检测点位	测量结果* (nSv/h)	
		平均值	标准差
△1	拟建址东侧	121	6
△2	拟建址南侧	125	3
△3	拟建址西侧 (中医馆)	122	10
△4	拟建址北侧 (放射治疗楼南侧)	121	3
△5	拟建址中央 (停车场)	118	2
△6	杭州市半山实验小学东北侧	113	6
△7	广济路 189-18 号门口	120	4
△8	广济路 189-9 号门口	122	4
△9	门诊大楼南侧	132	5
△10	行政科研楼东侧	123	2
△11	半山国家森林公园西侧	119	5
△12	浙江建设技师学院西侧	105	3

注: *已扣除宇宙射线响应值。

浙江国辐环保科技有限公司

检测 报 告

浙国辐 (WT) 字 2020 第 283 号

表 7 中子剂量当量率检测结果

序号	检测点位	测量结果 (nSv/h)
△1	拟建址东侧	未检出
△2	拟建址南侧	未检出
△3	拟建址西侧 (中医馆)	未检出
△4	拟建址北侧 (放射治疗楼南侧)	未检出
△5	拟建址中央 (停车场)	未检出
△6	杭州市半山实验小学东北侧	未检出
△7	广济路 189-18 号门口	未检出
△8	广济路 189-9 号门口	未检出
△9	门诊大楼南侧	未检出
△10	行政科研楼东侧	未检出
△11	半山国家森林公园西侧	未检出
△12	浙江建设技师学院西侧	未检出

注：仪器检出限为 1nSv/h。

浙江国辐环保科技有限公司 检测 报 告

浙国辐 (WT) 字 2020 第 283 号



注：△表示 x-γ 辐射剂量率及中子周围剂量当量率检测点位。

图 1 现场检测点位示意图

报告编制人 孙海洲 编制日期 2021.3.3

审核人 汪宏峰 审核日期 2021.3.3

签发人 汪宏峰 (汪宏峰) 签发日期 2021.3.3



以下正文空白



检验检测机构 资质认定证书

证书编号：171112050484

名称：浙江国辐环保科技有限公司

地址：杭州市文一路306号浙江环保大厦1201、1202、1203室

经审查，你机构已具备国家有关法律、行政法规规定的基本条件和能力，现予批准，可以向社会出具具有证明作用的数据和结果，特发此证。资质认定包括检验检测机构计量认证。

检验检测能力及授权签字人见证书附表。

你机构对外出具检验检测报告或证书的法律责任由浙江国辐环保科技有限公司承担。

许可使用标志



171112050484

发证日期：2017年03月02日

有效期至：2023年03月01日

发证机关：



本证书由国家认证认可监督管理委员会监制，在中华人民共和国境内有效。



182812050839

检测 报 告

QZHA-XC(2020)第 046 号

项目名称： 武威重离子治疗肿瘤中心建设项目
(放射性部分—重离子治疗加速器)
竣工环境保护验收检测

委托单位： 甘肃重离子医院股份有限公司

检测性质： 委托检测

报告日期： 2020年8月7日



甘肃秦洲核与辐射安全技术有限公司



报告说明

1、本报告适用于甘肃秦洲核与辐射安全技术有限公司电离辐射、电磁辐射等项目的检测报告。

2、报告无甘肃秦洲核与辐射安全技术有限公司“检测专用章”、无骑缝章、无  章、无编制人、审核人、签发人签字无效。

3、本公司接受委托送检的，其检验检测数据、结果仅证明样品所检验检测项目的符合性情况。

4、不可重复性试验、不能进行复检的，不进行复检，委托单位放弃异议权利。

5、如委托单位对本报告检测数据有异议，应于收到本报告之日起十五日内向本公司提出书面申诉，逾期则视为认可检测结果。

6、本《检测报告》全部或部分复制，私自转让、盗用、冒用、涂改或其他任何形式篡改的均属无效。

7、未经我公司同意，不得用于委托范围之外的其他商业用途。

8、*为分包检测结果。

ℳ

名称：甘肃秦洲核与辐射安全技术有限公司

地址：甘肃省兰州市城关区雁东路 102 号 17 楼 A 区 A01

电话：0931-2152858

传真：0931-2152858

网址：www.qznrs.com

邮政编码：730030



检测报告

项目名称	武威重离子治疗肿瘤中心建设项目（放射性部分—重离子治加速器） 竣工环境保护验收检测		
委托单位	甘肃重离子医院股份有限公司		
委托单位地址	武威市凉州区清源镇刘广村		
联系人	陶永晖	联系电话	15101369155
检测类别	辐射工作场所防护	委托编号	QZHA-XC(2020)第 046 号
检测日期	重离子治疗加速器： 2020年6月8日~9日 X射线计算机体层摄影设备、数字化医用X射线摄影装置： 2020年7月31日	检测地点	验收项目工作场所及周围环境
检测因子	周围剂量当量率、中子周围剂量当量（率）	检测人员	李志峰 李宣德 陈琦琳
检测依据	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002） 《环境地表γ辐射剂量率测定规范》（GB/T 14583-1993） 《辐射防护仪器 中子周围剂量当量（率）仪》（GB/T 14318-2019） 《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011） 《X射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ 165-2012） 《医用X射线诊断放射防护要求》（GBZ 130-2013）		
检测结果	详见表 3-1、3-2		
备注	附件：1、重离子加速器装置周围检测布点示意图 2、现场检测照片（部分）		

一、仪器设备

表 1 检测仪器基本信息

序号	仪器名称	仪器型号	仪器编号	仪器参数	校准因子	检定单位/证书编号	有效起止日期
1	多功能辐射测量仪	RU901(探头)/RX102	QZHA-YQ-003	测量范围: 10nSv/h~ 100 μSv/h	1.04	中国计量科学研究院/检定证书编号: DLj12020-01170	2020.03.12 ~ 2021.03.11
2	防护级巡测仪	AT1121	QZHA-YQ-008	测量范围: 0.3mGy/h~ 10mGy/h	0.88	中国计量科学研究院/检定证书编号: DLj12020-05031	2020.07.15 ~ 2021.07.14
2	中子剂量仪	AT1117M	QZHA-YQ-005	测量范围: 0.1 μSv/h~ 10mSv/h	0.868	中国计量科学研究院/检定证书编号: DYjs2019-1023	2019.07.24 ~ 2020.07.23

二、基本信息

表 2 射线装置基本信息¹⁾

序号	装置名称	分类	加速离子	额定参数	装置数量	使用场所
1	重离子治疗加速器	I类	¹² C ⁶⁺ 离子束	能量: 80MeV/u~ 400MeV/u	1	重离子治疗楼
2	X射线计算机体层摄影设备	III类	/	140kV, 800mA	1	重离子治疗楼CT室
3	数字化医用X射线摄影装置	III类	/	150kV, 630mA	3	重离子治疗楼1#、2#治疗室、模拟治疗室1

注: 1) 射线装置基本信息由委托单位提供。

三、检测结果

表 3-1 周围剂量当量率检测结果¹⁾ (nSv/h)

序号	点位描述	测值范围	检测结果
1	控制室操作位处	163~165	164 ±1
2	X射线计算机体层摄影设备(工况: 120kV, 150mA)	观察窗上侧与墙搭接处	162~165
3		观察窗下侧与墙搭接处	161~165
4		观察窗左侧与墙搭接处	136~143
			140 ±3

5		观察窗右侧与墙搭接处	143~151	147 ±3	
6		观察窗表面 0.3m 处	169~173	171 ±2	
7		电缆线口处	171~178	174 ±3	
8		机房东墙外表面 0.3m 处	211~264	241 ±21	
9		机房西墙外表面 0.3m 处	158~166	163 ±3	
10		机房北墙外表面 0.3m 处	217~225	220 ±3	
11		控制室防护门上边门缝处	174~178	176 ±1	
12		控制室防护门下边门缝处	299~431	368 ±54	
13		控制室防护门左侧门缝处	185~211	195 ±10	
14		控制室防护门右侧门缝处	167~172	169 ±2	
15		控制室防护门外表面 0.3m 处	160~172	166 ±5	
16		患者进出防护门上边门缝处	246~343	290 ±42	
17		患者进出防护门下边门缝处	625~1100	780 ±192	
18		患者进出防护门左侧门缝处	152~165	159 ±5	
19		患者进出防护门右侧门缝处	165~170	167 ±2	
20		患者进出防护门中间门缝处	176~183	179 ±3	
21		机房正上方（过道）	213~219	216 ±3	
《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ 165-2012）“5.3 距机房外表面 0.3m 处的空气比释动能率应小于 2.5 μGy/h（约 2500nSv/h）。”					
22		数字化医用 X 射线摄影装置（工况：88kV, 28mAs）	操作位处	137~140	139 ±1
23			2#治疗室防护门上边门缝处	138~148	142 ±4
24			2#治疗室防护门下边门缝处	169~176	173 ±3
25	2#治疗室防护门左边门缝处		145~148	146 ±1	
26	2#治疗室防护门右边门缝处		140~143	141 ±1	
27	2#治疗室防护门外表面 0.3m 处		158~159	158 ±1	

28		2#治疗室南墙外表面 0.3m 处	153~155	154 ± 1
《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ 130-2013) “5.4 在距机房屏蔽体外表面 0.3 米处, 机房的辐射屏蔽防护, 应满足 a) 具有透视功能的 X 射线机在透视条件下检测时, 周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μSv/h。”				
29	重离子加速器 装置(工况: 束 流能量: 400MeV/u, 束流 强度: 1600 μA)	同步环防护门 a 点	109~118	114 ± 3
30		同步环防护门 b 点	109~112	110 ± 1
31		同步环机房 c 点	118~128	123 ± 3
32		同步环机房 d 点	129~134	132 ± 1
33		同步环机房 e 点	125~127	126 ± 1
34		水处理间 f 点	122~128	125 ± 2
35		水处理间 g 点	121~126	123 ± 2
36		h 点	138~149	144 ± 3
37		k 点	181~193	188 ± 4
38		L 点	142~145	143 ± 1
39		m 点	142~144	143 ± 1
40		治疗大厅控制台处	164~166	165 ± 1
41		二楼中央控制室内	134~137	136 ± 1
42		院区东侧	75.8~77.1	76.4 ± 0.4
43		院区西侧	80.8~81.4	81.1 ± 0.2
44		院区南侧	93.7~94.7	94.2 ± 0.4
45		院区北侧	85.1~86.0	85.5 ± 0.3
46		东城嘉园	108~110	109 ± 1
47	清颐佳苑	103~105	104 ± 1	

注: 1) 检测结果未扣除宇宙射线响应值。

表 3-2 中子周围剂量当量（率）检测结果（nSv/h）

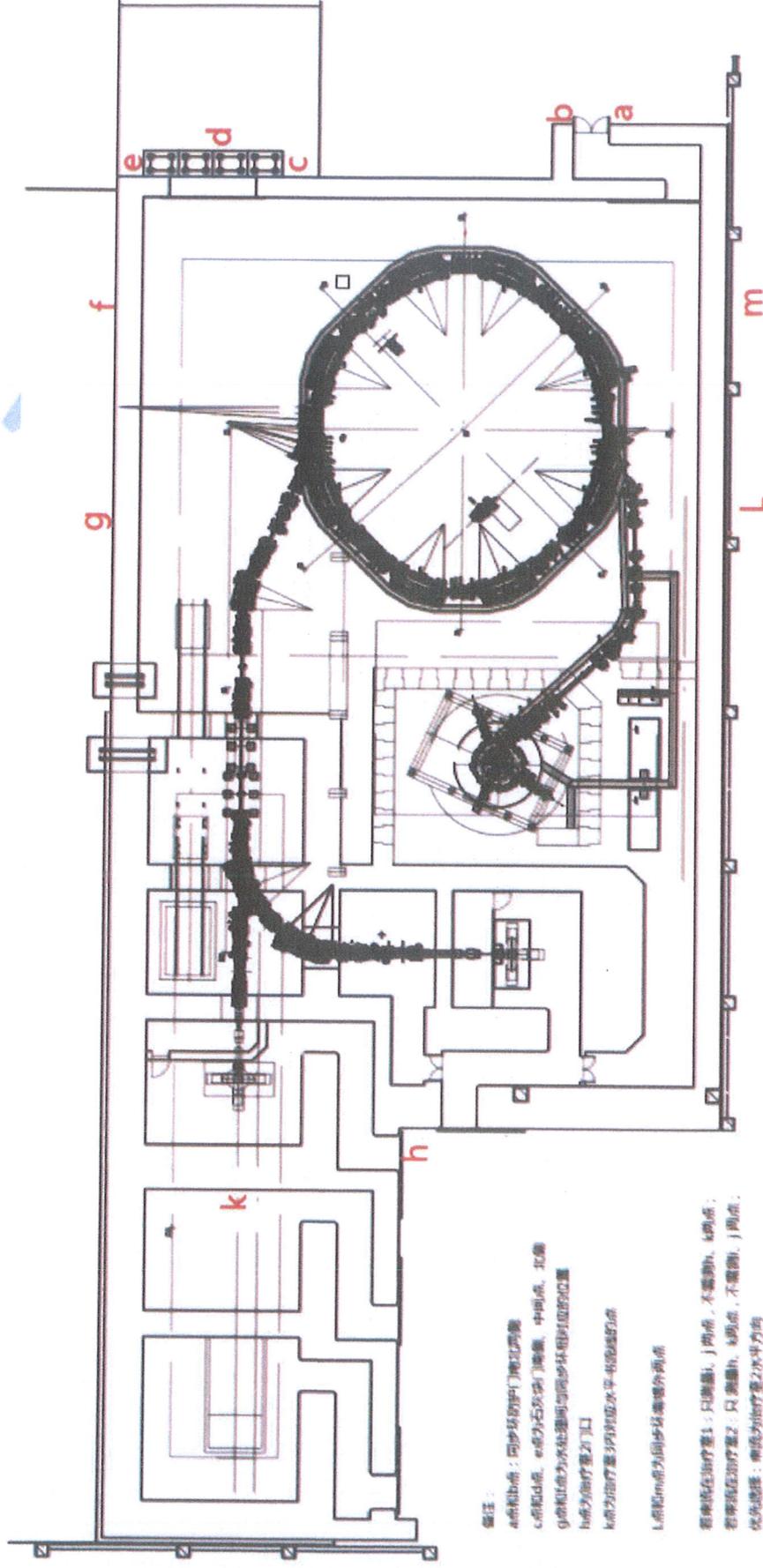
序号	点位描述	测值范围	检测结果
1	同步环防护门 a 点	/	<LLD ²⁾
2	同步环防护门 b 点	/	<LLD ²⁾
3	同步环机房 c 点	/	<LLD ²⁾
4	同步环机房 d 点	/	<LLD ²⁾
5	同步环机房 e 点	/	<LLD ²⁾
6	水处理间 f 点	/	<LLD ²⁾
7	水处理间 g 点	/	<LLD ²⁾
8	h 点	/	<LLD ²⁾
9	k 点	/	<LLD ²⁾
10	L 点	/	<LLD ²⁾
11	m 点	/	<LLD ²⁾
12	治疗大厅控制台处	/	<LLD ²⁾
13	二楼中央控制室内	/	<LLD ²⁾
14	院区东侧	/	<LLD ²⁾
15	院区西侧	/	<LLD ²⁾
16	院区南侧	/	<LLD ²⁾
17	院区北侧	/	<LLD ²⁾
18	东城嘉园	/	<LLD ²⁾
19	清颐佳苑	/	<LLD ²⁾

注：2) LLD = 8.68E-02 μ Sv/h。

(报告正文完)

报告编制人 陈清琳审核人 李宣博签发人 李如峰编制日期 2020.8.7审核日期 2020.8.7签发日期 2020.8.7

附件 1: 重离子加速器装置周围检测布点示意图



附件 2: 现场检测照片 (部分)



二楼中央控制室内检测



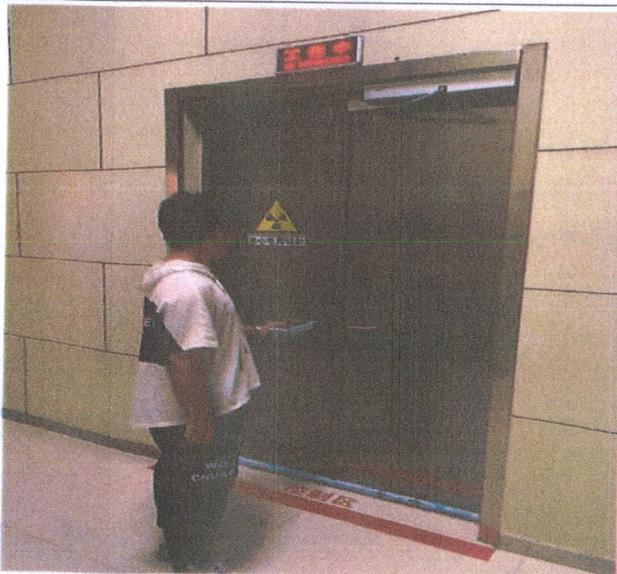
治疗室 2 防护门处检测



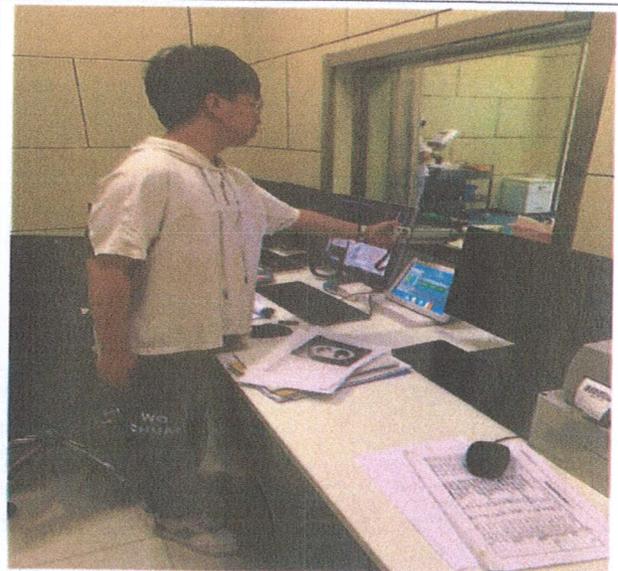
院区北侧检测



院区西侧检测



CT机房患者进出防护门中间门缝处



CT观察窗表面30cm处检测

废气	颗粒物								0.000	0.000	
	挥发性有机物								0.000	0.000	
	铅								0.000	0.000	
	汞								0.000	0.000	
	镉								0.000	0.000	
	铬								0.000	0.000	
	类金属砷								0.000	0.000	
	其他特征污染物								0.000	0.000	

项目涉及法律法规规定的保护区情况	影响及主要措施	名称	级别	主要保护对象(目标)	工程影响情况	是否占用	占用面积(公顷)	生态防护措施			
	生态保护目标	(可增行)						<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建(多选)			
	生态保护红线	(可增行)			核心区、缓冲区、实验区			<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建(多选)			
	自然保护区	(可增行)		/	一级保护区、二级保护区、准保护区			<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建(多选)			
	饮用水水源保护区(地表)	(可增行)		/	一级保护区、二级保护区、准保护区			<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建(多选)			
	饮用水水源保护区(地下)	(可增行)		/	一级保护区、二级保护区、准保护区			<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建(多选)			
	风景名胜区分区	(可增行)		/	核心景区、一般景区			<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建(多选)			
其他	(可增行)						<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建(多选)				

主要原料及燃料信息	主要原料						主要燃料					
	序号	名称	年最大使用量	计量单位	有毒有害物质及含量(%)	序号	名称	灰分(%)	硫分(%)	年最大使用量	计量单位	

大气污染治理与排放信息	有组织排放(主要排放口)	序号(编号)	排放口名称	排气筒高度(米)	污染防治设施工艺			生产设施		污染物排放				
					序号(编号)	名称	污染防治设施处理效率	序号(编号)	名称	污染物种类	排放浓度(毫克/立方米)	排放速率(千克/小时)	排放量(吨/年)	排放标准名称
	无组织排放	序号	无组织排放源名称					污染物种类	排放浓度(毫克/立方米)	排放标准名称				

水污染治理与排放信息(主)	车间或生产设施排放口	序号(编号)	排放口名称	废水类别	污染防治设施工艺			排放去向	污染物排放			
					序号(编号)	名称	污染治理设施处理水量(吨/小时)		污染物种类	排放浓度(毫克/升)	排放量(吨/年)	排放标准名称
	总排放口(同)	序号(编号)	排放口名称	污染防治设施工艺	污染防治设施处理水量(吨/小时)	受纳污水处理厂		受纳污水处理厂排放标准名称	污染物排放			
					名称	编号		污染物种类	排放浓度(毫克/升)	排放量(吨/年)	排放标准名称	

