

合肥离子医学中心工程项目

竣工环境保护验收监测报告

建设单位：合肥离子医学中心

编制单位：中国原子能科学研究院

2022年12月



建设单位法人代表:



(签章)

编制单位法人代表: 薛小刚

薛小刚 (Signature)

项目负责人: 高楠

报告编写人: 王春霖

建设单位: 合肥离子医学中心 (盖章)

电话: 0551-62921329

传真: 0551-65613779

邮编: 230088

地址: 合肥市高新区望江西路 860 号

编制单位: 中国原子能科学研究院 (盖章)

电话: 010-69359908

传真: 010-69358270

邮编: 102413

地址: 北京市房山区新镇

目 录

1	项目概况.....	1
1.1	基本情况.....	1
1.2	项目建设情况.....	2
1.3	环评报告编制情况.....	2
1.4	开工建设情况.....	3
1.5	辐射安全许可证办理情况.....	3
1.6	验收开展情况.....	3
2	验收依据.....	4
2.1	建设项目环境保护相关法律、法规和规章制度.....	4
2.2	建设项目竣工环境保护验收技术规范.....	4
2.3	建设项目环境影响报告书及其审批部门审批决定.....	5
2.4	其他相关文件.....	5
3	项目建设情况.....	6
3.1	地理位置及平面布置.....	6
3.2	建设内容.....	12
3.3	源项情况.....	13
3.3.1	瞬发辐射源.....	15
3.3.2	中子天空反散射.....	19
3.3.3	感生放射性.....	21
3.3.4	臭氧等有害气体的产生.....	22
3.4	工艺设备与工艺分析.....	23
3.4.1	质子治疗系统组成.....	23
3.5	项目变动情况.....	31
4	辐射安全与防护设施/措施.....	32
4.1	场所布局与屏蔽.....	32
4.1.1	场所分区.....	32
4.1.2	屏蔽.....	35
4.2	安全联锁系统.....	42
4.2.1	系统设计准则.....	42
4.2.2	系统结构.....	43
4.2.3	系统组成.....	43
4.2.4	安全联锁逻辑.....	59
4.3	辐射监测.....	60
4.3.1	场所和环境辐射监测系统组成.....	60
4.4	防护用品.....	73
4.5	通风系统.....	73
4.6	放射性三废的治理.....	78
4.6.1	放射性废气.....	78
4.6.2	放射性废水.....	78

4.6.3	放射性固体废物	81
4.7	辐射安全管理措施	84
4.7.1	辐射安全防护管理机构	84
4.7.2	辐射管理规章制度	85
4.7.3	人员培训	86
4.7.4	个人剂量监测及职业健康体检	91
4.7.5	辐射监测	92
4.7.6	辐射事故应急管理	92
4.8	定位用 X 射线管	93
4.8.1	屏蔽防护	93
4.8.2	安全联锁措施	94
4.9	环保设施投资及“三同时”落实情况	96
4.10	监管部门的监督检查及落实情况	98
4.11	年度评估报告	100
5	环境影响报告书主要结论与建议及其审批部门审批决定	101
5.1	环境影响报告书主要结论与建议	101
5.1.1	合肥离子医学中心工程项目环境影响报告书（辐射部分）主要结论与建议	101
5.1.2	关于《合肥离子医学中心工程项目环境影响报告书》重大变动	102
5.2	审批部门审批决定	103
5.2.1	合肥离子医学中心工程项目环境影响评价报告书审批部门审批决定	103
5.2.2	关于《合肥离子医学中心工程项目环境影响报告书》重大变动审批部门审批决定	105
5.3	审批意见落实情况	105
6	验收执行标准	108
6.1	剂量约束值	108
6.2	剂量率控制水平	108
7	验收监测内容	109
7.1	验收监测工况要求	109
7.2	监测点位	110
8	质量保证与质量控制	118
8.1	监测分析方法	118
8.1.1	监测方法	118
8.1.2	监测依据	118
8.2	监测仪器	119
8.3	验收监测质量控制和保证	121
9	验收监测结果	122
9.1	运行工况	122
9.2	监测结果	122
9.2.1	质子治疗系统正常运行时辐射防护监测结果	122
9.2.2	质子治疗系统停机 8 小时后辐射防护监测结果	127
9.2.3	质子治疗系统停机后各工作场所典型维修点位辐射防护监测结果	132

9.2.4 质子治疗系统周围环境辐射防护监测结果	134
9.2.5 水土样品检测结果	135
9.3 工作人员受照剂量计算	137
9.3.1 工作人员受照剂量汇总	138
9.4 公众受照剂量计算	139
9.4.1 公众受照剂量汇总	140
10 验收监测结论	141
10.1 辐射防护设施/措施运行情况	141
10.2 放射性污染物排放监测结果及结论	141
11 建设项目竣工环境保护“三同时”验收登记表	146
附件 1 合肥离子医学中心工程项目环境影响报告书审批意见	149
附件 2 关于合肥离子医学中心工程项目重大变动环境影响报告书审批意见	152
附件 3 辐射安全许可证	154
附件 4 2022 前三季度辐射工作人员个人剂量监测报告	158
附件 5 合肥离子医学中心质子治疗区监测方案	176
附件 6 合肥离子医学中心辐射事故应急预案	185
附件 7 验收监测报告	199
附件 8 水土样品检测报告	224
附件 9 辐射工作人员辐射安全与防护考核合格成绩单及证书	229
附件 10 20220512 辐射安全监督检查汇报	249
附件 11 20220713 辐射安全监督检查汇报	258
附件 12 2021 年下半年合肥离子医学中心监督性监测报告（质子治疗系统部分）	271
附件 13 医用电子直线加速器、医用 X 射线诊断设备质量控制及机房防护检测监测报告	280
附件 14 合肥离子医学中心《2021 年度辐射安全与防护评估报告》	298
附件 15 质子中心平面布局图（地下一层、一层、夹层、二层）	313
附件 16 2022 年辐射事故应急联合应急演练总结报告	317

表目录

表 3-1 环境影响报告书及其批复中建设内容与实际建设内容一览表	13
表 3-2 质子治疗系统设备情况	13
表 3-3 质子治疗系统主要技术指标	14
表 3-4 定位用 X 射线管主要技术参数	14
表 3-5 质子治疗系统束流损失参数	16
表 3-6 250MeV 质子与 Cu 厚靶和人体组织作用的中子辐射源项在混凝土屏蔽体中的衰减长度	17
表 3-7 屏蔽体为 Fe 时，250MeV 质子与铜靶作产生的中子源项在铁屏蔽体中的衰减长度	18
表 3-8 屏蔽体为混凝土时，165MeV 质子与铁靶作用产生的中子辐射源项和衰减长度	19
表 3-9 固定束治疗室天空反散射计算参数和计算结果	20
表 3-10 旋转束治疗室天空反散射计算参数和计算结果	20
表 3-11 天空散射对公众所致的受照剂量	20
表 3-12 空气活化产生的主要放射性核素	21
表 3-13 冷却水中产生的主要感生放射性核素及其参数	22
表 4-1 各区域安全联锁设施数量表	44
表 4-2 质子区固定辐射监测系统组成	61
表 4-3 质子区移动式辐射监测系统组成	61
表 4-4 质子治疗区工作场所监测点位布设详情	64
表 4-5 环境介质取样监测计划	69
表 4-6 配备的防护用品	73
表 4-7 质子治疗区通风系统参数	74
表 4-8 冷却水感生放射性核素排放限值	81
表 4-9 辐射工作人员情况表	88
表 4-10 “三同时”验收内容及要求情况表	96
表 4-11 主要存在问题及落实情况表（2022 年 5 月 12 日监督检查）	98
表 4-12 主要存在问题及落实情况表（2022 年 7 月 13 日监督检查）	99
表 5-1 审批意见落实情况一览表	106
表 8-1 监测设备及主要技术性能指标	119
表 9-1 质子治疗系统正常运行时辐射防护监测结果（1）	122
表 9-2 质子治疗系统正常运行时辐射防护监测结果（2）	123
表 9-3 质子治疗系统正常运行时辐射防护监测结果（3）	124
表 9-4 质子治疗系统正常运行时辐射防护监测结果（4）	125
表 9-5 质子治疗系统停机 8 小时后辐射防护监测结果（1）	127
表 9-6 质子治疗系统停机 8 小时后辐射防护监测结果（2）	128
表 9-7 质子治疗系统停机 8 小时后辐射防护监测结果（3）	129
表 9-8 质子治疗系统停机 8 小时后辐射防护监测结果（4）	130
表 9-9 质子治疗系统停机后各工作场所典型维修点位辐射防护监测结果（1）	132
表 9-10 质子治疗系统停机后各工作场所典型维修点位辐射防护监测结果（2）	133
表 9-11 质子治疗系统周围环境辐射防护监测结果	134
表 9-12 水土样品检测结果	135
表 9-13 质子治疗区工作人员年受照剂量计算结果	138

表 9-14 工作人员受照剂量汇总	138
表 9-15 质子治疗区周围公众所受直接照射剂量计算结果.....	139
表 9-16 公众受照剂量汇总	140

图目录

图 3-1 地理位置示意图	7
图 3-2 项目周围环境图	8
图 3-3 项目总平面布局图	9
图 3-4 质子预处理及治疗区平面布局图.....	10
图 3-5 质子预处理及治疗区剖面图	11
图 3-6 质子治疗系统主要束流损失点位.....	16
图 3-7 ProBeam 质子治疗系统结构组成示意图.....	23
图 3-8 质子治疗系统布局图	24
图 3-9 回旋加速器示意图	25
图 3-10 能量选择系统示意图	26
图 3-11 束流传输系统示意图.....	26
图 3-12 固定束治疗室（左）和旋转束治疗室（右）示意图.....	27
图 3-13 380°旋转机架治疗室示意图.....	27
图 3-14 固定束治疗室 X 射线管位置示意图.....	28
图 3-15 旋转束治疗室 X 射线管位置示意图.....	28
图 3-16 束流闸示意图	29
图 4-1 质子治疗区辐射工作场所分区示意图.....	33
图 4-2 控制区标识现场照片	34
图 4-3 监督区标识现场照片.....	34
图 4-4 质子治疗区域最终屏蔽设计图（平面）	37
图 4-5 质子治疗区域最终屏蔽设计图（剖面）	38
图 4-6 回旋加速器大厅迷道平面示意图.....	39
图 4-7 高能输运线隧道迷道平面示意图.....	39
图 4-8 固定束治疗室（研究室）迷道平面图.....	40
图 4-9 旋转束治疗室迷道平面图.....	41
图 4-10 安全联锁系统结构图	43
图 4-11 各区域安全联锁监视页面.....	45
图 4-12 主控室钥匙面板照片	46
图 4-13 门磁系统（控制室）现场照片.....	47
图 4-14 门磁系统（治疗室、研究室）现场照片.....	47
图 4-15 清场搜索按钮现场照片	51
图 4-16 主控室清场搜索监控页面	52
图 4-17 清场搜索路径图	53
图 4-18 急停按钮	54
图 4-19 加速器大厅及治疗室（研究室）门口指示灯.....	55
图 4-20 加速器大厅内部指示灯	55
图 4-21 主控室内部指示灯	55
图 4-22 治疗室（研究室）内部指示灯.....	55
图 4-23 状态监控页面	59
图 4-24 质子区监测单元组成示意图	62
图 4-25 区域监测系统监控页面	62
图 4-26 区域监测系统数据曲线	63
图 4-27 区域辐射监测仪及剂量报警装置.....	64

图 4-28 质子治疗区工作场所和环境监测点位图（1）	65
图 4-29 质子治疗区工作场所和环境监测点位图（2）	66
图 4-30 移动监测设备照片	68
图 4-31 个人剂量监测——个人剂量计实物照片	71
图 4-32 个人剂量监测——个人剂量报警仪实物照片	72
图 4-33 防护用品实物照片（铅衣、铅手套等）	73
图 4-34 质子治疗区通风系统管道走向图	75
图 4-35 质子治疗区通风系统二层总排风口位置图	76
图 4-36 质子区排风口现场照片	77
图 4-37 暂存池现场照片（1）	79
图 4-38 暂存池现场照片（2）	80
图 4-39 放射性固体废物储存间	83
图 4-40 中心设立辐射安全与防护管理机构的通知	84
图 4-41 规章制度上墙	86
图 4-42 工作人员培训实况图	87
图 4-43 工作人员职业健康检查表和健康监护档案照片	91
图 4-44 应急演练现场照片	92
图 4-45 治疗室内设置的定位机控制台（观察室）隔断设置示意图	93
图 4-46 治疗室内设置的定位机控制台（观察室）隔断设置现场照片	94
图 4-47 定位系统操作台上的急停按钮	95
图 7-1 质子治疗系统正常运行时一层点位	110
图 7-2 质子治疗系统正常运行时 M 层点位	111
图 7-3 质子治疗系统正常运行时二层点位	112
图 7-4 质子治疗系统停机 8 小时后一层点位	113
图 7-5 质子治疗系统停机 8 小时后 M 层点位	114
图 7-6 质子治疗系统停机 8 小时后二层点位	115
图 7-7 质子治疗系统停机后各工作场所典型维修点位	116
图 7-8 土壤及地表水取样点	117

1 项目概况

1.1 基本情况

根据世界卫生组织 2020 年发布的《全球癌症报告》显示，恶性肿瘤在我国人员死亡原因的排名中已经跃居第一。恶性肿瘤（癌症）是常见病、多发病，已成为危害人类健康的头号杀手。随着世界各国治癌技术研究和开发的快速发展，质子治疗肿瘤技术具有质子布拉格峰效应带来的深度截止效应和更加精准的宽度方向控制，比传统放疗技术具有更为理想的肿瘤局控率和较少的副作用，在国际上被誉为 21 世纪最理想的放疗手段之一。临床结果显示，相对于其他放射治疗方法，尤其对于有重要组织器官包绕的肿瘤，质子治疗显示出较大的优势：精确度高、治愈率高、副作用小。

质子治疗系统是当前国际上肿瘤放射治疗最现实和最先进的主流装备，目前我国多地都在筹建质子治疗中心。为加快战略性新兴产业发展，推动创新转型升级，发展合肥市大健康产业以及促进高端医疗装备国产化和本地产业化，同时为落实 2015 年 9 月合肥市市委市政府关于合肥质子重离子治疗中心项目专题会议纪要精神，经过中科院合肥物质科学研究院、合肥高新技术产业开发区、合肥市产业投资控股集团有限公司等部门集体协商，决定建设合肥离子医学中心。

合肥离子医学中心有限公司与中科院合肥物质科学研究院合作，推进合肥质子重离子医疗中心项目建设，以国际尖端肿瘤放射治疗技术-质子重离子放射治疗技术为主要研究方向，积极与世界一流粒子中心接轨，着重就质子治疗技术的基本原理、治疗装置、剂量计算方法和相关技术进行深入研究，并逐步参与临床应用，以民生工程迅速提升城市医疗卫生和科研等软实力，提高合肥市乃至安徽省的高端医疗水平，为合肥打造世界级的长三角城市群副中心城市、为践行“大湖名城、创新高地”建设开创新局面。项目建成后，预计每年将治愈肿瘤患者逾千名，带来显著的社会效益。

合肥离子医学中心位于合肥市高新区燕子河路与长宁大道交口东南角，总占地约 123 亩，其中 70 亩建设一栋地上三层的质子治疗中心（地下一层，地上

三层），预留 53 亩未来发展用地。质子治疗中心总建筑面积约 3 万平方米。主要建设内容包括：质子治疗、门诊及接待、配套医技、医护及行政办公、设备及功能用房等，主要设备包括：1 套 ProBeam 质子治疗系统（含三间旋转束治疗室、一间固定束治疗室及一间固定束研究室）、2 台直线加速器、1 台模拟定位机和 1 台 CT。本次验收主要针对 1 套 ProBeam 质子治疗系统（含三间旋转束治疗室、一间固定束治疗室及一间固定束研究室）。

1.2 项目建设情况

项目名称：合肥离子医学中心工程项目

建设性质：新建

建设单位：合肥离子医学中心

建设地点：本项目位于安徽省合肥市高新区燕子河路与长宁大道交口东南角，北至燕子河路，西至长宁大道，东侧隔河道为规划中科院合肥肿瘤医院用地（现状为空地），南侧地块为本项目二期预留用地（现状为空地）。。

投资情况：项目总投资概算 14.99 亿元，实际总投资 14.99 亿元；其中环保投资概算 1200 万元，环保实际投资 1150 万元，占总投资 0.77%。

1.3 环评报告编制情况

合肥离子医学中心工程项目于 2016 年 3 月 11 日取得合肥市发展和改革委员会发改社会【2016】173 号文同意立项。2016 年 5 月 5 日，中国原子能科学研究院（以下简称“原子能院”）（放射性部分环评单位）和安徽锦程安环科技发展有限公司（非放射性部分环评单位）受建设单位委托，承担《合肥离子医学中心工程项目环境影响报告书》的编制工作，并于当年 12 月份报环境保护行政主管部门审批并于 2017 年 6 月 2 日取得原安徽省环境保护厅的批复，批复文号为皖环审[2017]668 号，批文见附件 1。2017 年 6 月底该项目正式开工建设。后根据质子设备配套治疗等需求，合肥离子医学中心将质子加速器机房部分屏蔽墙加厚，2 台直线加速器最大能量均增至 15MeV，属于《建设项目环境

保护管理条例》第十二条规定的重大变动。合肥离子医学中心在 2018 年 8 月委托中国原子能科学研究院开展环评重大变动报告编制工作，于 2018 年 11 月 17 日取得原安徽省环境保护厅的批复，批复文号为皖环审[2018]1530 号，批文见附件 2。

1.4 开工建设情况

该项目开工日期为 2017 年 6 月底，竣工日期为 2019 年 12 月。

1.5 辐射安全许可证办理情况

合肥离子医学中心（以下简称“中心”）于 2019 年 10 月 10 日取得安徽省生态环境厅核发的辐射安全许可证（皖环辐证[01890]），在向生态环境部提交了辐射安全许可证变更材料后，通过技术评审、现场检查，2021 年 11 月 4 日取得生态环境部核发的辐射安全许可证（国环辐证[00517]），后因变更法人信息于 2022 年 3 月 29 日取得生态环境部换发的辐射安全许可证（国环辐证[00517]）。变更后的辐射安全许可证见附件 3。

1.6 验收开展情况

2020 年 3 月及 2021 年 9 月分别完成了直线加速器、质子治疗系统一阶段及非放射性部分的竣工环境保护验收。2022 年 8 月，建设单位开始启动该项目质子治疗系统竣工环保验收工作的招投标工作，2022 年 9 月 26 日最终确定由中国原子能科学研究院承担质子治疗系统竣工环保验收工作。原子能院接到中标通知书后，立刻组织项目组开展本项目质子治疗系统竣工环保验收工作；在熟悉相关资料和现场踏勘的基础上，于 2022 年 11 月中旬编制完成了竣工环保验收现场监测方案，同时进行了水土样品的检测；在中心的协调下，原子能院于 2022 年 12 月 5 日委托中国建材检验认证集团安徽有限公司进行现场验收监测工作；在完成验收监测工作后，编制完成了本项目的竣工环保验收监测报告。

2 验收依据

2.1 建设项目环境保护相关法律、法规和规章制度

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月 1 日实施）；
- (2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日）；
- (3) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日）；
- (4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 709 号令，2019 年 3 月 2 日）；
- (5) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令 20 号，2021 年 1 月 4 日）；
- (6) 关于发布《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的公告（国环规环评[2017]4 号）；
- (7) 关于发布《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》的公告（生态环境部 2018 年第 9 号公告，2018 年 5 月 16 日）。

2.2 建设项目竣工环境保护验收技术规范

- (1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- (2) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）；
- (3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；
- (4) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；
- (5) 《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)；
- (6) 《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/T 201.5-2015);

(7) 《电离辐射工作场所监测的一般规定》(EJ 381-1989);

(8) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019);

(9) 《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/T 201.5-2015);

(10) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020);

(11) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002);

(12) 《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》(GBZ2.1-2019);

(13) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-1985);

(14) 《低、中水平放射性固体废物包安全标准》(GB12711-2018)。

2.3 建设项目环境影响报告书及其审批部门审批决定

(1) 《合肥离子医学中心工程项目环境影响报告书》，2020 年 6 月;

(2) 《合肥离子医学中心有限公司关于<合肥离子医学中心工程项目环境影响报告书>重大变动》，2018 年 10 月;

(3) 《安徽省环保厅生态环境局关于合肥离子医学中心工程项目环境影响报告书审批意见的函》(皖环审[2017]668 号，2017 年 6 月 2 日);

(4) 《安徽省环保厅生态环境局关于合肥离子医学中心工程项目重大变动环境影响报告书审批意见的函》(皖环审[2018]1530 号，2018 年 11 月 17 日)。

2.4 其他相关文件

建设单位提供的工程设计资料等。

3 项目建设情况

3.1 地理位置及平面布置

本项目位于安徽省合肥市高新区燕子河路与长宁大道交口东南角，北至燕子河路，西至长宁大道，东侧隔河道为规划中科院合肥肿瘤医院用地（现状为空地），南侧地块为本项目二期预留用地（现状为空地）。项目总占地面积约 123 亩，设置床位 46 张。其中，质子治疗中心占地 70 亩，总建筑面积约 3 万平方米，为一栋地下一层、地上三层建筑，包括主楼区域和质子楼区域两部分。主楼区域为地下一层、地上三层，地面以上高度为 22.2m。质子楼区域为地下一层、地上二层，地面以上高度为 12.75m。

质子治疗区位于质子治疗中心东南侧，其地下一层为主要为回旋加速器基坑、旋转机架坑；一层为回旋加速器大厅、束流输运线隧道、固定束治疗室、固定束研究室、旋转束治疗室、放射性部件储存间、走廊等；二层主要质子治疗系统的设备间，包括电源室、电机水暖室、服务器机房、储存间等区域。该区域北侧、南侧和东侧均为楼外绿化带和道路，西侧为走廊，走廊外为等候区、研究实验室、医生办公室等区域。

项目地理位置见图 3-1，周围环境图见图 3-2，总平面布局图见图 3-3；质子预治疗及治疗区的平面布局图见图 3-4，质子预治疗及治疗区的剖面图见图 3-5。

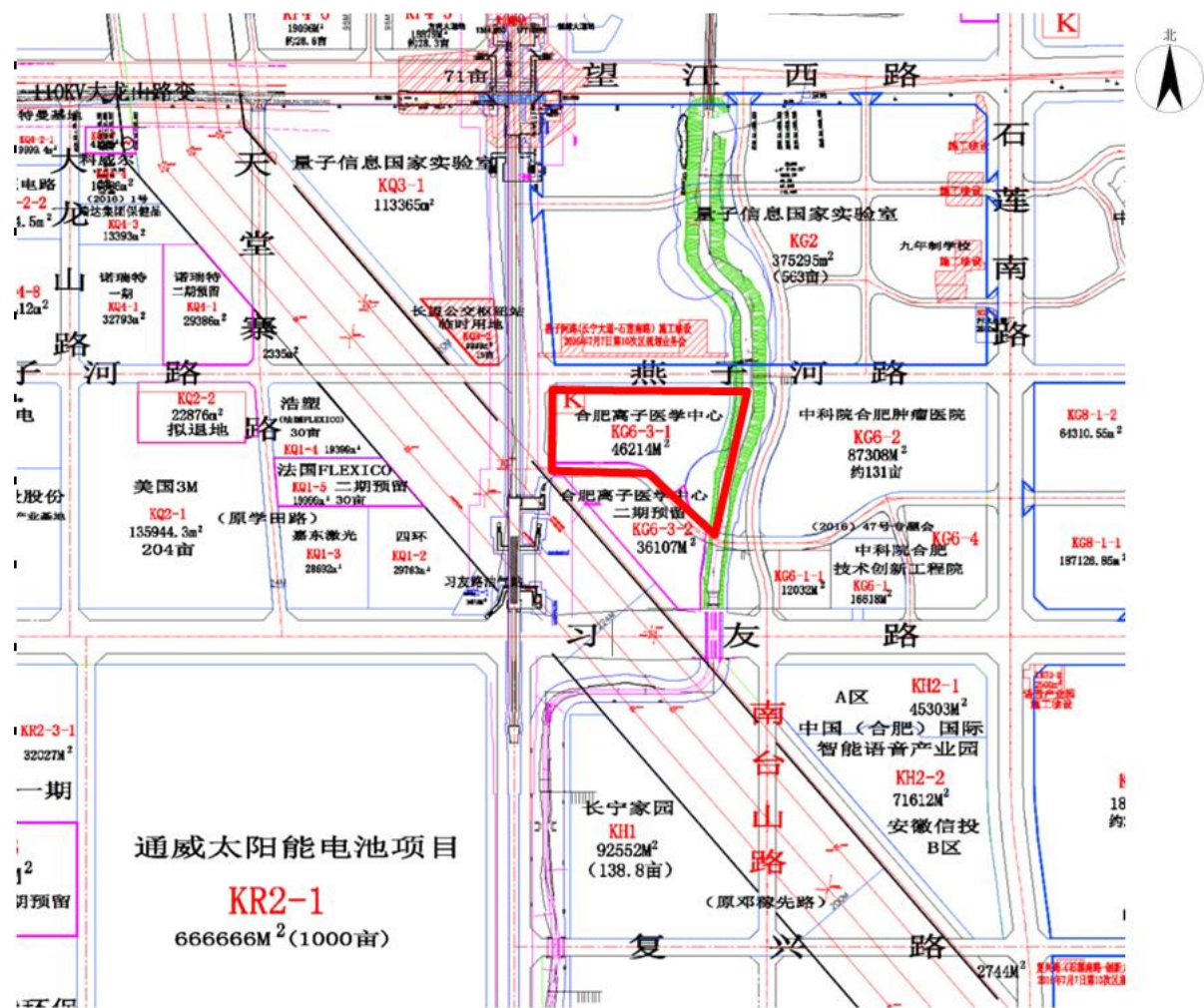


图 3-1 地理位置示意图



图 3-2 项目周围环境图

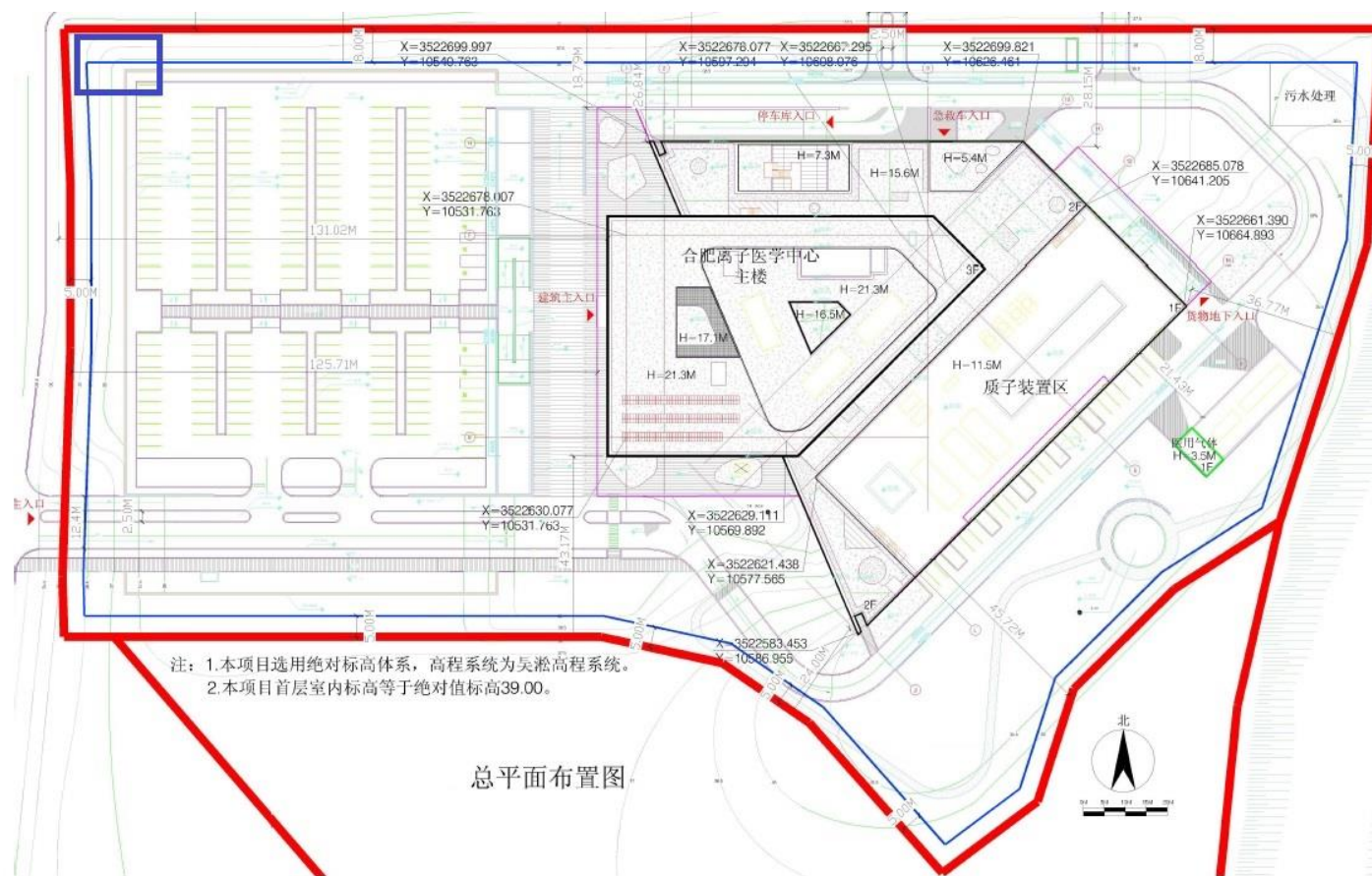


图 3-3 项目总平面布局图

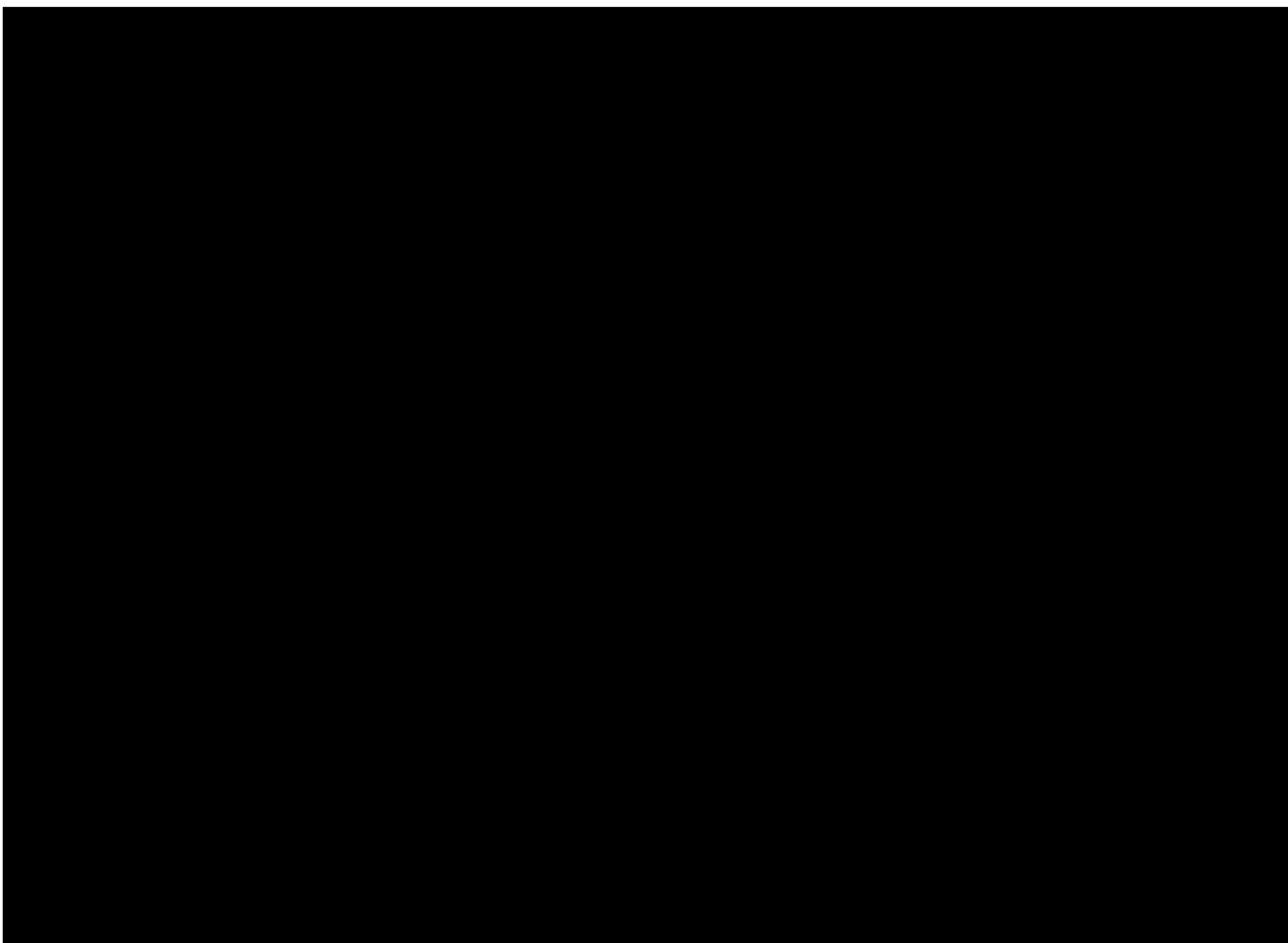


图 3-4 质子预治疗及治疗区平面布局图

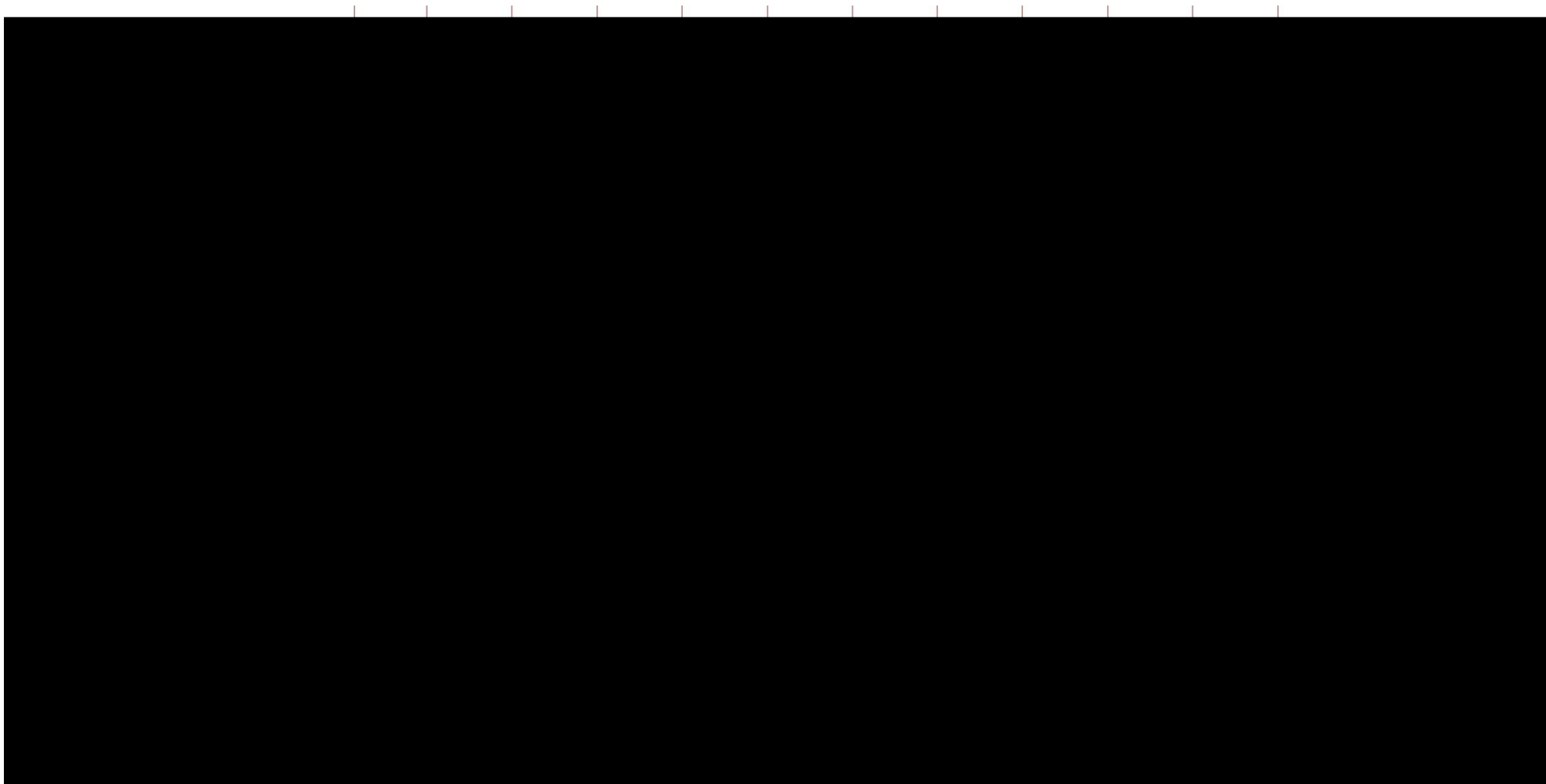


图 3-5 质子预治疗及治疗区剖面图

3.2 建设内容

建设单位在质子治疗中心南侧质子楼新增一套 Varian（瓦里安）公司生产的 ProBeam 质子治疗系统，用于质子治疗，主要涉及一台回旋加速器、三间旋转束治疗室、一间固定束治疗室及一间固定束研究室，该质子治疗系统能量范围为 70~250MeV，流强范围为 3.0~800nA，属于 I 类射线装置。主要建设过程如下：

2016 年 3 月 11 日，合肥离子医学中心建设项目取得合肥市发展和改革委员会发改社会【2016】173 号文同意立项。

2017 年 6 月 2 日，该项目环评取得安徽省生态环境厅的批复，批复文号为皖环审[2017]668 号；由于项目的应用需求，调整 2 台直线加速器设备及其屏蔽设计以及质子治疗区域部分墙体的屏蔽设计，调整工作场所及环境监测点；2018 年 11 月 17 日，重大变动说明取得安徽省生态环境厅的批复，批复文号为皖环审[2018]1530 号。

2017 年 6 月底，项目开工建设；2019 年 12 月，项目竣工完成。

2019 年 10 月 10 日，取得安徽省生态环境厅核发的辐射安全许可证（皖环辐证[01890]）；2021 年 11 月 4 日，取得生态环境部核发的辐射安全许可证（国环辐证[00517]）；后因变更法人信息，2022 年 3 月 29 日，取得生态环境部换发的辐射安全许可证（国环辐证[00517]）。

2020 年 3 月，中心委托中国建材检验认证集团安徽有限公司完成竣工环境保护验收（直线加速器）。

2021 年 9 月，中心委托中国建材检验认证集团安徽有限公司完成竣工环境保护验收（非放射性部分）。

2022 年 6 月，中心委托中国建材检验认证集团安徽有限公司完成竣工环境保护验收（质子治疗系统一阶段）。

2022 年 9 月 26 日，中心委托原子能院开展质子治疗系统竣工环保验收监测

工作。

2022 年 11 月中旬，原子能院编制完成了该项目的竣工环保验收现场监测方案，同时进行了水土样品的检测。

2022 年 12 月 5 日，原子能院委托中国建材检验认证集团安徽有限公司进行现场验收监测工作。

本项目环评批复和实际建设情况见表 3-1。

表 3-1 环境影响报告书及其批复中建设内容与实际建设内容一览表

环境影响报告书/批复中的建设内容	实际建设内容	备注
拟在合肥市高新区燕子河路与长宁大道交口东南角建设质子治疗中心，总投资约 12.7 亿元。其中中心大楼地下一层，地上三层，建筑面积 31905 平方米。楼内建设 1 间质子机房，使用最大 X 射线能量为 250MV 的质子加速器 1 台，为 I 类射线装置；建设 2 间加速器机房，使用最大 X 射线能量为 10MV 的直线加速器 2 台，为 II 类射线装置；使用 CT 机和模拟定位机各 1 台，为 III 类射线装置。	楼内已建设 1 间质子机房，使用最大 X 射线能量为 250MV 的质子加速器 1 台；建设 2 间加速器机房，使用最大 X 射线能量为 15MV 的直线加速器 2 台；使用 CT 机和模拟定位机各 1 台。	由于项目的应用需求，调整 2 台直线加速器设备及其屏蔽设计，X 射线最高能量从 10MV 调整为 15MV 的设备；质子治疗区域的部分墙体屏蔽设计由原来的 2.0m 调整为 2.8m，工作场所固定式辐射监测布点由原来的 24 个调整为 14 个，新增 1 个环境监测点，其他建设内容不变。已做重大变动说明，并取得批复（直线加速器、CT 机及模拟定位机已进行验收，故本报告只针对质子治疗系统进行分析）。

3.3 源项情况

本项目使用的 Varian 公司生产的一套 ProBeam 质子治疗系统，ProBeam 质子治疗系统基本情况见表 3-2，主要技术指标情况见表 3-3。

表 3-2 质子治疗系统设备情况

装置名称	规格型号	主要参数（能量范围，流强范围）	生产厂家	数量	类别
质子治疗系统	ProBeam	70~250MeV， 3.0~800nA	VPT 德国 (Varian Medical System particle Therapy GmbH)	1	I

表 3-3 质子治疗系统主要技术指标

指标	数值/方案
加速器主体	质子回旋加速器
引出能量	250 MeV
治疗能量范围	70MeV~250 MeV
流强范围	3.0nA~800nA

质子治疗系统配套使用的定位核查系统 X 射线管，按照质子治疗系统配备 4 间治疗室，每间治疗室 X 射线管的使用数量为 2 台，另外备用 2 台，中心配套使用 X 射线管 10 台（用 8 台，备 2 台），X 射线管主要技术参数见表 3-4。

表 3-4 定位用 X 射线管主要技术参数

装置名称	规格型号	生产厂家	技术参数
定位用 X 射线管	GS-20712	Varex Imaging Corporation	

在使用过程中主要产生的放射性污染源项如下。

3.3.1 瞬发辐射源

3.3.1.1 瞬发辐射场分析

质子治疗系统在质子束流形成、加速、能量选择、传输和引出等过程中，都会发生束流的损失。损失的质子撞击在加速器的结构部件，如磁铁、导向板、准直器、狭缝、束流闸等物质上，会与部件材料中的原子核发生核反应即高能质子入射到原子核内与该核内的核子发生级联碰撞、交换能量、打出能量很高的级联中子，在激发核退激过程中又会释放出能量较低的蒸发中子，并伴随 γ 射线的发射，级联中子和蒸发中子由于慢化会变成热中子。加速器的瞬发辐射源主要是初级的入射粒子，即质子，以及电磁级联、强子级联辐射后产生的各种次级粒子，但光子和带电粒子经过屏蔽材料时大都被吸收，只有一小部分对屏蔽外的剂量场有贡献，所以瞬发辐射的外辐射场主要是中子辐射。高能质子核反应产生的次级中子，其成分包括由核内级联产生的高能中子和复合核退激出射的蒸发中子两部分，高能中子能量可达到被加速的质子能量，约 250MeV。高能中子的穿透能力很强，因此，对质子加速器治疗系统瞬发辐射场起决定性作用的是高能中子，其他瞬发辐射如 γ 射线等，其对屏蔽体外剂量的贡献与中子相比可以忽略。

3.3.1.2 各环节束流损失分析

根据 Varian 质子治疗系统辐射防护设计资料和本项目环评文件，ProBeam 质子治疗系统主要的束流损失点位分布在回旋加速器、能量选择系统的降能器、准直器、能量狭缝以及治疗室终端，同时，为便于后续进行辐射屏蔽复核计算，将回旋加速器处的环形均匀束流平均分配集中到四个磁铁叶片上。

根据本项目环评文件，质子治疗系统的束流损失参数如表 3-5 所示，束流损失点位如图 3-6 所示。

3.3.1.3 中子辐射源项估算

3.3.1.3.1 中子辐射场分布特点

根据对质子治疗系统瞬时辐射场的分析结果，其瞬发辐射场起决定性作用的是高能中子。中子产额、能谱和角分布与质子的能量和流强有密切关系，还受靶核性质的影响。高能质子核反应产生的瞬发中子有两个主要特点：

(1) 从角度分析看，前向的中子产额较高，其中 0° - 30° 方向的中子产额相差不大， 60° - 90° 方向中子产额相对变化较大。

(2) 从能谱看，几乎各方向都有一部分高能中子尤其是前方，其能量最高与质子束的能量相当。

3.3.1.3.2 中子辐射源项

本次分析给出不同能量质子与 Cu 靶和人体组织作用产生的中子辐射源项。

(1) 250MeV 质子与 Cu 靶作用的中子辐射源项在混凝土屏蔽体中的衰减长度

当质子能量 250MeV，屏蔽体为混凝土时，本次安全分析计算采用《放射性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》中附录 E.2：250MeV 质子与 Cu 厚靶和人体组织作用产生的中子辐射源项在混凝土屏蔽体中的衰减长度，如表 3-6 所示。

表 3-6 250MeV 质子与 Cu 厚靶和人体组织作用的中子辐射源项在混凝土屏蔽体中的衰减长度

出射中子与入射 质子之间的夹角 θ	Cu		人体组织	
	$H_{\text{混凝土}}(\theta),$ $\text{Sv}\cdot\text{m}^2$	$\lambda_{\text{混凝土}}(\theta), \text{g}/\text{cm}^2$	$H_{\text{混凝土}}(\theta),$ $\text{Sv}\cdot\text{m}^2$	$\lambda_{\text{混凝土}}(\theta),$ g/cm^2
0~10	7.0E-15	110.0	3.9E-15	95.0
10~20	5.6E-15	108.0	3.6E-15	93.0
20~30	4.7E-15	106.0	2.5E-15	92.0
30~40	3.5E-15	100.0	1.8E-15	83.0
40~50	2.5E-15	97.0	9.3E-16	80.0
50~60	1.8E-15	91.0	7.1E-16	75.0
60~70	1.1E-15	82.0	6.0E-16	67.0
70~80	7.1E-16	72.0	5.1E-16	59.0
80~90	5.7E-16	63.0	3.0E-16	52.0

(2) 250MeV 质子与 Cu 厚靶作用的中子源项在铁屏蔽体中的衰减长度

当质子能量 250MeV，屏蔽体为铁时，分析计算采用文献《Shielding Analysis of Proton Therapy Accelerators: A Demonstration Using Monte Carlo-Generated Source Terms and Attenuation Lengths》给出的屏蔽体为 Fe 时，250MeV 质子与铜靶（靶的尺寸大于质子射程又不考虑吸收）作用产生的中子源项在铁屏蔽体中的衰减长度，如表 3-7。

表 3-7 屏蔽体为 Fe 时，250MeV 质子与铜靶作产生的中子源项在铁屏蔽体中的衰减长度

出射中子与入射质子之间的夹角 θ	$\lambda_{\text{铁}}(\theta)$, g/cm ²
0~10	177
10~20	172
20~30	168
30~40	160
40~50	153
50~60	150
60~70	145
70~80	141
80~90	139
90~100	141.1
100~110	139.0
110~120	137.0
120~130	134.9
130~140	132.8
140~150	130.7
150~160	128.7
160~170	126.6
170~180	124.6

(3) 165MeV 质子与铁靶作用产生的中子源项在混凝土屏蔽体中的衰减长度

文献《Double differential distributions and attenuation in concrete for neutrons produced by 100-400MeV protons on iron and tissue targets》给出了当屏蔽体为混凝土时，不同能量质子（100MeV、150MeV、200MeV 和 250MeV）与铁靶和人体组织作用时的中子辐射源项和衰减长度，当质子能量 165MeV，屏蔽体为混凝土时，计算采用该文献所列 150MeV 和 200MeV 质子与铁靶和人体组织作用的数据为基础，利用内插法计算得出了 165MeV 质子与铁靶作用所产生的中子辐射源项和衰减长度，具体见表 3-8。

表 3-8 屏蔽体为混凝土时，165MeV 质子与铁靶作用产生的中子辐射源项和衰减长度

出射中子与入射质子之间的夹角 θ	Fe	
	$H_{\text{混凝土}}(\theta)$, $\text{Sv}\cdot\text{m}^2$	$\lambda_{\text{混凝土}}(\theta)$, g/cm^2
0~10	4.39E-15	93.8
10~20	3.38E-15	91.4
20~30	2.59E-15	92.1
30~40	1.55E-15	87.4
40~50	1.04E-15	81.9
50~60	7.56E-16	74.8
60~70	5.48E-16	70.4
70~80	4.25E-16	64.4
80~90	2.63E-16	58.4
90~100	1.98E-16	52.9
100~110	1.15E-16	50.3
110~120	6.70E-16	47.8
120~130	8.04E-17	45.7
130~140	6.40E-17	42.0
140~150	5.46E-17	39.7
150~160	5.31E-17	36.6
160~170	4.89E-17	34.7
170~180	4.36E-17	30.5

3.3.2 中子天空反散射

穿过屏蔽墙射向天空的各种辐射，由于空气的散射作用，将有部分又回到地面。天空反散射几乎完全由中子引起。透过屏蔽墙的快中子以及少量残存的高能中子在空气中不能被有效地阻止，在空气中发生一次次散射，低能中子被散射回地面。这些中子就是天空散射辐射的来源。天空散射随加速器开机产生，加速器停机便立刻消失。其对公众的剂量贡献取决于屏蔽体的厚度。

质子治疗系统产生的中子，经过较厚的加速器大厅顶墙、治疗室顶墙以及整个建筑物多层顶板的阻挡，中子的能量和强度都将有很大程度的减小。本项目质子治疗系统的回旋加速器大厅屋顶的设计厚度为 2.9m 混凝土（回旋加速器区域）和 4m 混凝土（能量选择系统区域），属于厚屏蔽，可不考虑天空反散射的影响。因此主要考虑固定束治疗室和旋转束治疗室天空反散射影响。

固定束治疗室和旋转束治疗室天空反散射的计算参数和计算结果见表 3-9 和表 3-10。

表 3-9 固定束治疗室天空反散射计算参数和计算结果

参数	取值	来源
Φ_0 , n/cm ² ·s	3.02E+04	能量 250MeV, 损失流强为 1.90E+10p/s 的质子束流与人体组织作用的中子产生率约为 0.2n/p, 可计算得中子发射率为 3.80E+09。
Ω , sr	2.96	a 取值 5.8m, b 取值 5.35m, c 取值 5m, d 取值 6.8m
B_{ns} , Sv·cm ²	2.00E-17 ¹⁾	屋顶厚度为 2.4, 由《辐射防护手册》第一分册 P417 图 8.16 查得
H, m	8.0	图纸测量得出
D_s , Sv/h	8.41E-12	——

注：1) 根据文献《天空反照》(原子核物理评论, 郑华智, 1985 年 02 期), 对质子加速器, 天空反照剂量起决定性作用的是 0.1~10MeV 的中子, B_{ns} 取值保守取《辐射防护手册》第一分册 P417 图 8.16 中平均能量为“13.6MeV”中子对应的透射比曲线。

表 3-10 旋转束治疗室天空反散射计算参数和计算结果

参数	取值	来源
Φ_0 , n/cm ² ·s	3.02E+04	能量 250MeV, 损失流强为 1.90E+10p/s 的质子束流与人体组织作用的中子产生率约为 0.2n/p, 可计算得中子发射率为 3.80E+09。
Ω , sr	1.24	a 取值 6.1m, b 取值 5.5m, c 取值 10.2, d 取值 10.5m
B_{ns} , Sv·cm ²	5.00E-18	屋顶厚度为 2.6, 由《辐射防护手册》第一分册 P417 图 8.16 查得
H, m	12.8	图纸测量得出
D_s , Sv/h	3.44E-13	——

保守假设质子治疗系统年出束时间为 500h, 公众居留因子取 1/16, 则可计算出天空反散射对最近距离处的公众所造成的辐射剂量, 具体见表 3-11。

表 3-11 天空散射对公众所致的受照剂量

D_s , Sv/h	t, h	居留因子	受照剂量, mSv

由此可以看出, 天空散射对最近距离处公众所致的最大受照剂量为 2.6E-07mSv/a, 可忽略不计。

3.3.3 感生放射性

质子治疗系统的感生放射性主要是质子束流与加速器部件相互作用产生的感生放射性和质子束流损失产生的次级中子引起的感生放射性。感生放射性强度取决于加速离子的能量、种类、流强、加速器运行时间、被照材料性质等因素。

质子治疗系统产生的感生放射性对周围环境辐射影响较小，主要是加速器停机后，需要进入加速器大厅进行检查、维护维修的工作人员造成辐射影响。因此，主要考虑质子治疗系统结构部件、空气、冷却水等部位的感生放射性。

3.3.3.1 空气的感生放射性

加速器运行期间有次级中子出射的场所，中子与空气中的 N、O、H 等通过热中子俘获、 $(n, 2n)$ 、 (γ, n) 反应和散裂反应等产生 ^3H 、 ^7Be 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{11}C 和 ^{41}Ar 等放射性核素，结合核素的半衰期以及产生率，主要考虑 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar ，具体见表 3-12。

表 3-12 空气活化产生的主要放射性核素

放射性核素	半衰期	放射性核素	半衰期
^{11}C	20.39min	^{13}N	9.96min
^{15}O	2.05min	^{41}Ar	1.83h

本项目质子治疗系统会产生空气感生放射性的场所主要有回旋加速器大厅、4 个治疗室和 1 个研究室终端。有束流损失的地方才会导致空气的活化，产生空气感生放射性的区域主要是回旋加速器大厅。

3.3.3.2 冷却水的感生放射性

ProBeam 质子治疗系统有三个相互独立的主冷却回路，主冷却回路由次冷却系统冷却。主冷却回路直接冷却 ProBeam 质子治疗系统，主冷却回路的热量通过换热器传送到次冷却系统。三个主冷却回路中只有一个主冷却回路用于冷却位于辐射区域（回旋加速器、能量选择系统、部分束流传输系统和所有束流线上的磁铁）的 ProBeam 质子治疗系统组件，只有在该主冷却回路中的水会在束流操作的过程中被活化，其余两个主冷却回路用于冷却位于辐射区域以外的装置（如电柜、磁铁电源、高频放大器等）。

质子治疗系统中，用于冷却磁铁、狭缝、热交换器等器件的冷却水，在由束流损失产生的中子辐射场的照射下会被活化。高能中子与冷却水中的氧发生散裂反应，产生 ^3H 、 ^7Be 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 等放射性核素，各放射性核素的参数见表 3-13。

表 3-13 冷却水中产生的主要感生放射性核素及其参数

核素	半衰期 $T_{1/2}$	衰变常数, s^{-1}	生成核反应	反应截面 σ_i , barns
^3H	12.3a	1.78E-09	$^{16}\text{O}(\text{N},\text{X})^3\text{H}$	6.00E-03
^7Be	53.1d	1.51E-07	$^{16}\text{O}(\text{N},\text{X})^7\text{Be}$	2.00E-03
^{11}C	20.39min	5.67E-04	$^{16}\text{O}(\text{N},\text{X})^{11}\text{C}$	3.50E-03
^{13}N	9.96min	1.16E-03	$^{16}\text{O}(\text{N},\text{X})^{13}\text{N}$	7.00E-04
^{15}O	2.05min	5.67E-03	$^{16}\text{O}(\text{N},\text{X})^{15}\text{O}$	1.40E-02

注：表中所列的反应截面是在 CSISRS 数据库中查得，数据库中给出的反应截面与能量有关。考虑到计算的保守性，本次评价选用各核反应中最大的反应截面作为计算依据。

3.3.3.3 加速器结构部件的感生放射性

加速器结构部件的感生放射性主要是粒子直接与结构材料相互作用产生。质子加速器产生感生放射性的主要部位是束流损失较大的部位，如束流管、偏转磁铁等，其主要材料为铁、不锈钢、铜、铝和铝合金以及各种烃类。相关实验研究表明，加速器关机后所被活化部件中的核素主要是 ^{54}Mn 、 ^{51}Cr 、 ^{52}Mn 和 ^{60}Co 等半衰期较长的核素。

ProBeam 质子治疗系统的预估使用寿命为 20 年，除了大组件（如机架）外，各部分小组件的使用寿命低于 20 年并定期维护更换。质子治疗系统产生感生放射性的主要部位是束流损失较大的部位，如束流管、偏转磁铁等，大部分产生感生放射性部件的更换周期不大于 2 年。

3.3.4 臭氧等有害气体的产生

O_3 和 NO_2 是当光子能量低于 (γ, n) 反应的阈能时，光子对空气的辐照而产生，同时其产生量与带电粒子的质量密切相关，是电子加速器环境影响评价中需要考虑的因素。对质子治疗系统而言，其辐射场主要为中子辐射，光子产额很小。且质子的质量比电子的质量高 3 个量级。因此，对质子治疗系统，其 O_3 和 NO_2 产生量很小，可以不用考虑。

3.4 工艺设备与工艺分析

3.4.1 质子治疗系统组成

ProBeam 质子治疗系统主要由回旋加速器、能量选择系统、束流传输系统和治疗系统组成。质子在回旋加速器中加速到 250MeV 后引出，引出流强最大为 800nA，引入能量选择系统。通过调节能量选择系统中降能器的厚度，在输出端得到 70~250MeV 连续可调不同能量的质子束流。束流传输系统用于将能量选择器引出的质子传输到各治疗室/研究室内。装置结构组成示意图如图 3-7 所示，本项目质子治疗系统布局图如图 3-8 所示。

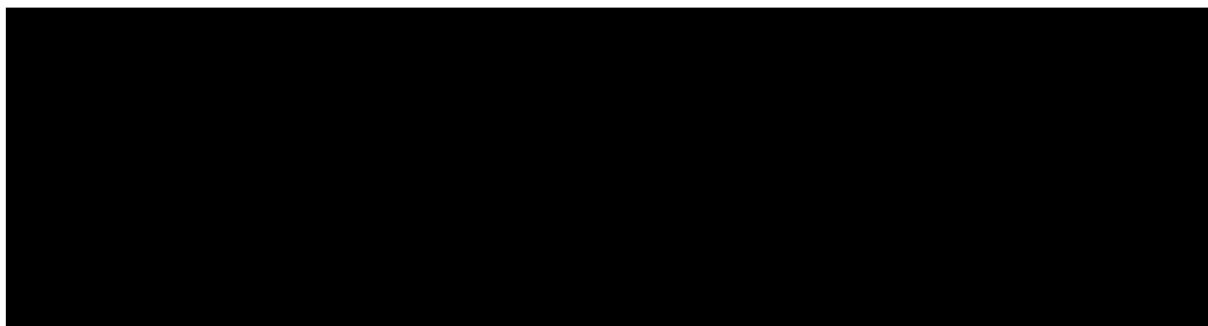


图 3-7 ProBeam 质子治疗系统结构组成示意图

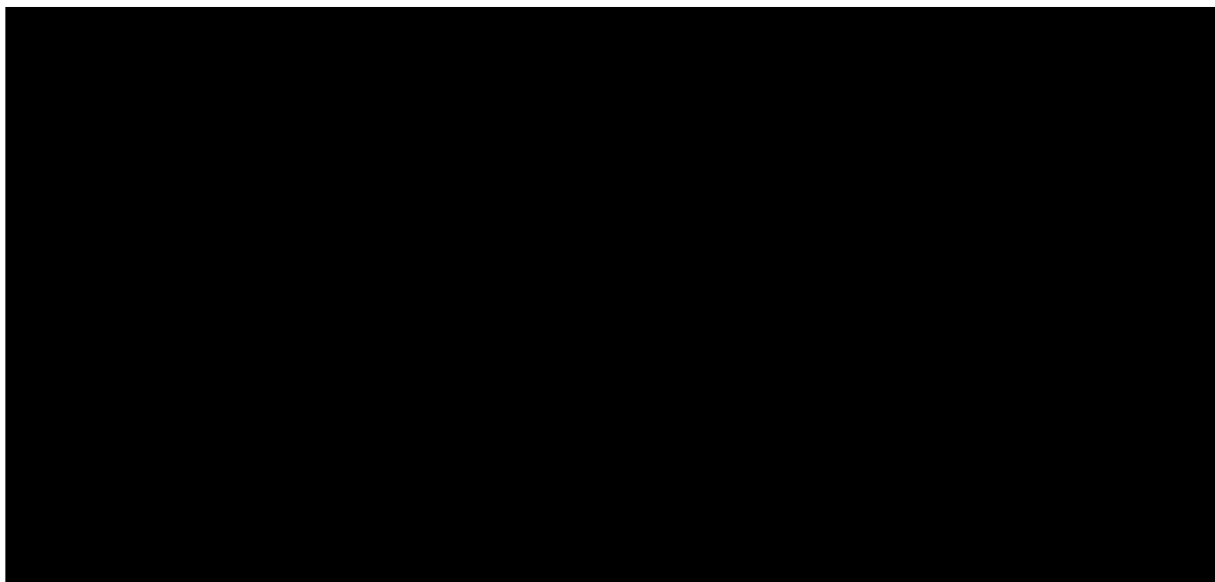


图 3-8 质子治疗系统布局图

3.4.2 质子治疗系统工作原理

ProBeam 质子治疗系统中质子通过回旋加速器、能量选择器、束流传输线，最后到达治疗室终端，经历质子加速、引出、能量选择和治疗过程。各部分详细的工作原理如下：

（1）回旋加速器

回旋加速器是质子治疗系统的核心，主要包括级盖、轭铁、超导线圈、射频 D 形盒、凸起、凹槽组件、线圈低温恒温器等部件，如图 3-9 所示。位于加速器中央的阴极源作为质子源。加速段由动态电磁环境模拟器和磁轭形成的四个共振器组成。在两个实心磁极中间安装有两个 D 形真空盒，盒内抽真空。质子在 D 形盒内旋转，每次通过 D 形真空盒间隙时，因间隙上的高频电压而获得加速，能量增加，旋转半径也随之增加。当质子多次通过高频间隙，能量不断增加，一直加速到最高能量 250MeV 时也对应旋转到最外面一圈。利用静电导偏转电极使加速器的质子发生偏转，并在聚焦棒的作用下，通过引出通道将质子束流引出。

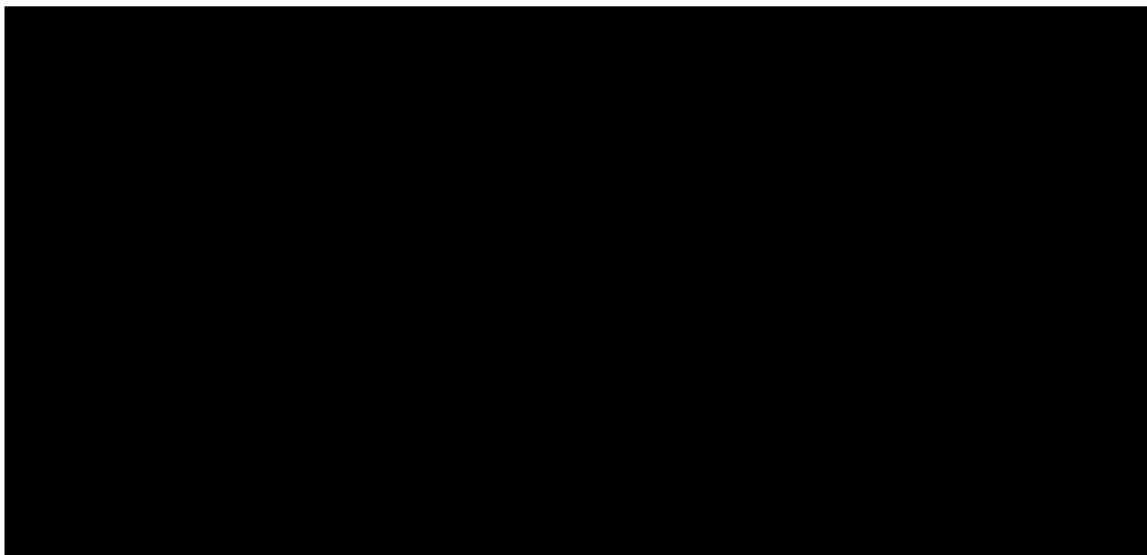


图 3-9 回旋加速器示意图

(2) 能量选择系统

质子治疗时要根据肿瘤本身深度和厚度选用不同能量的质子，由于回旋加速器引出的质子能量是固定的，因此在回旋加速器和治疗室之间设置一个能量选择系统（Energy Selection System, ESS），主要包括偏转磁极、能量狭缝、散度孔径、降能器等部件，如图 3-10 所示。该系统由降能器、准直器、光阑以及离子光学用的各种磁铁和测量元件组成。

降能器材质一般为石墨、Be 和 Al，当质子通过降能器时，降能器厚度越大质子能量降低越多，因此使用不同厚度的降能器即可得到不同程度能量的降低。当回旋加速器引出的能量为 250MeV 的质子进入能量选择系统，通过调节降能器的不同厚度，就可在临床输出端得到能量为 70~240MeV 之间连续可调的不同能量的质子束流。



图 3-10 能量选择系统示意图

(3) 束流传输系统

束流传输系统（BTS）主要包括束流闸、偏转磁极、转换磁极等部件，用于将加速器产生的质子束流聚集成型的同时将其引导输送到患者治疗部位附近。沿束流传输线管道放置四级磁铁、偏转磁铁、导向磁铁、束流测量设备和真空设备。四级磁铁用于对质子束流进行聚焦，偏转磁铁用于改变束流的方向，导向磁铁用于纠正质子束流在系统安装时产生的偏离。束流传输系统示意图如图 3-11 所示。

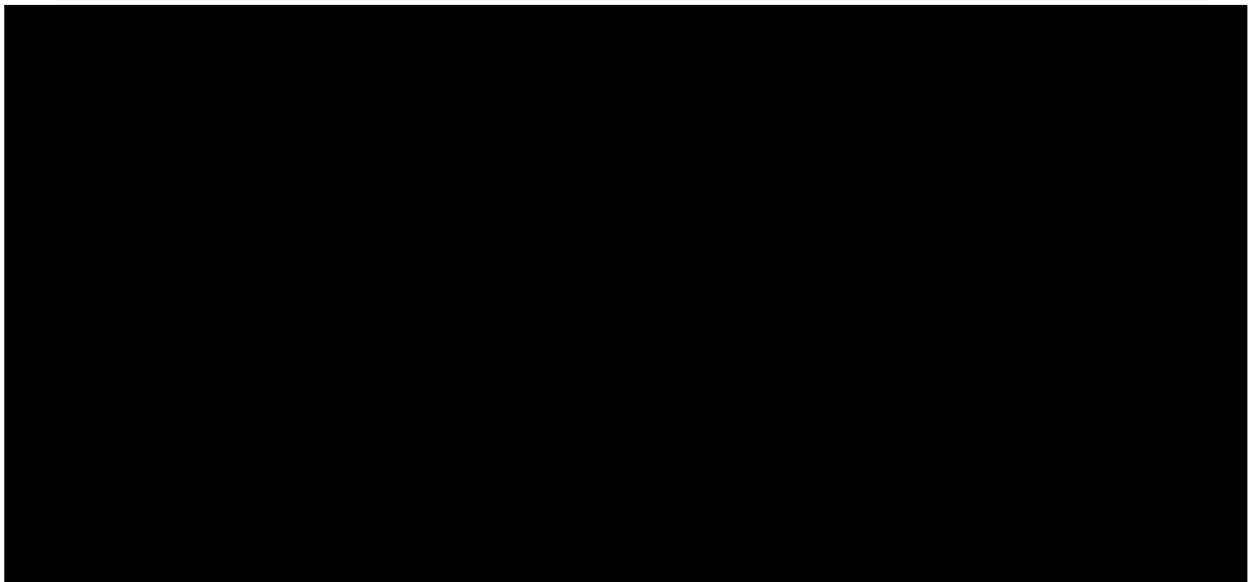


图 3-11 束流传输系统示意图

(4) 治疗终端

质子治疗终端为治疗病人的场所（本项目含一间开展研究场所），主要包

括机架、扫描喷嘴、X 光源、平板、治疗台、凹室、室内监控、操作手柄等部件，本项目包括固定束治疗室和旋转束治疗室，示意图如图 3-12 所示。旋转机架治疗室内含有 380°旋转机架，如图 3-13 所示。ProBeam 旋转机架是一个包含束流传输系统末端及扫描治疗头的钢结构，旋转机架能够环绕卧姿患者进行转动，按照所需角度投照射束，实现 380°（±190°）旋转。每个治疗室在照射时间上相互错开，即同一时刻只能向一个治疗室提供束流。

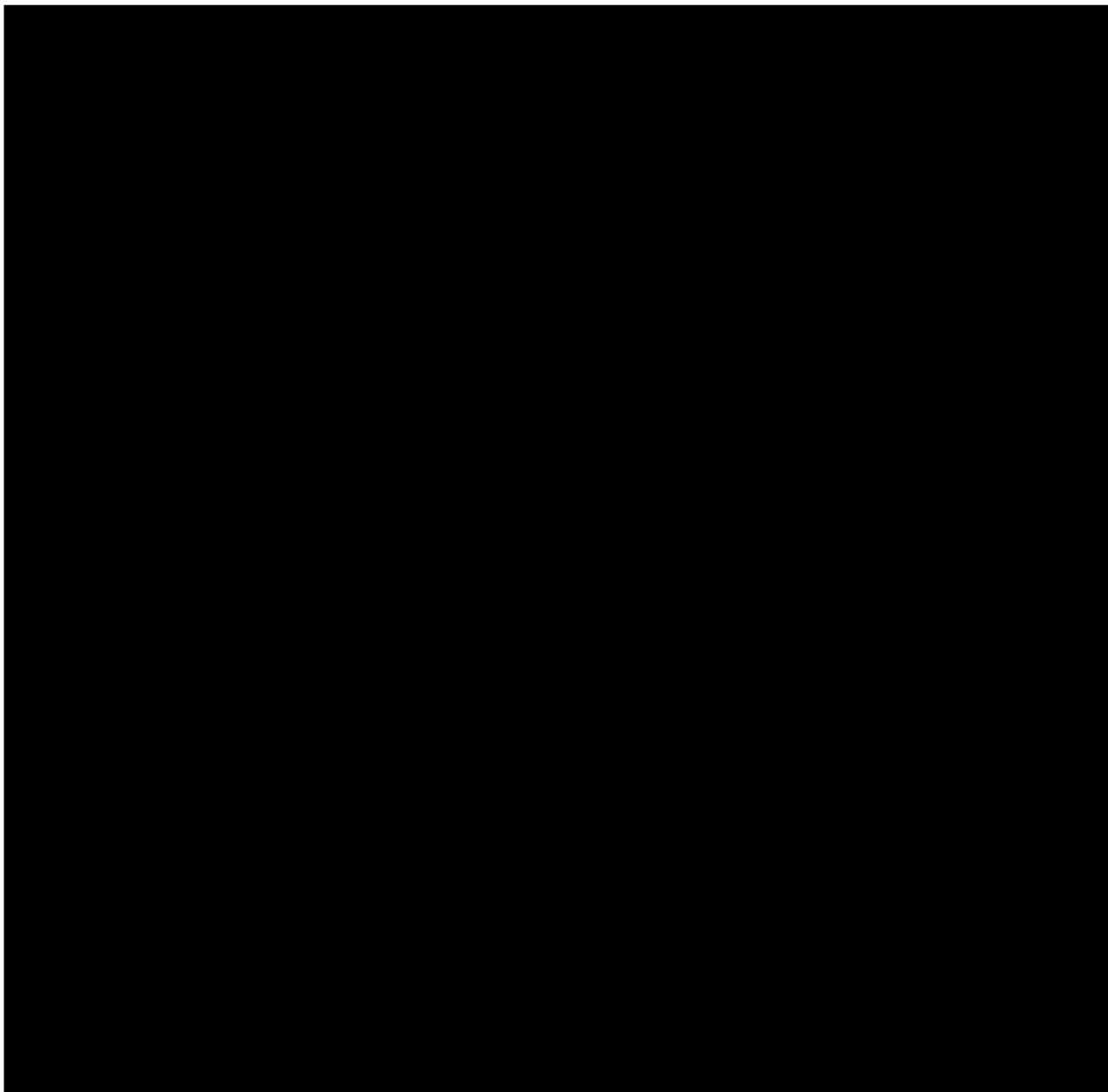


图 3-13 380°旋转机架治疗室示意图

(5) 定位用 X 射线管

每间治疗室内均设有一套治疗定位核查系统，用于病人治疗前的定位。治

疗定位核查系统由定位用 X 射线管、接收器 and 高压发生器组成。每个 X 射线管的
最大管电压为 150kV，最大管电流为 320mA。由高压发生器提供高压电源到
X 射线管上，X 射线管发出 X 射线到接收器上形成图像，最后在治疗控制系统
内进行图像处理，使其满足放疗中图像使用的要求。每间治疗室设有 2 个 X 射
线管，用于从不同角度对病人进行定位。固定束治疗室的 X 射线管安装在治疗
床的上方和下方，如图 3-14；旋转束治疗室的 X 射线管安装在旋转机架上，可
随机架同时转动，如图 3-15。

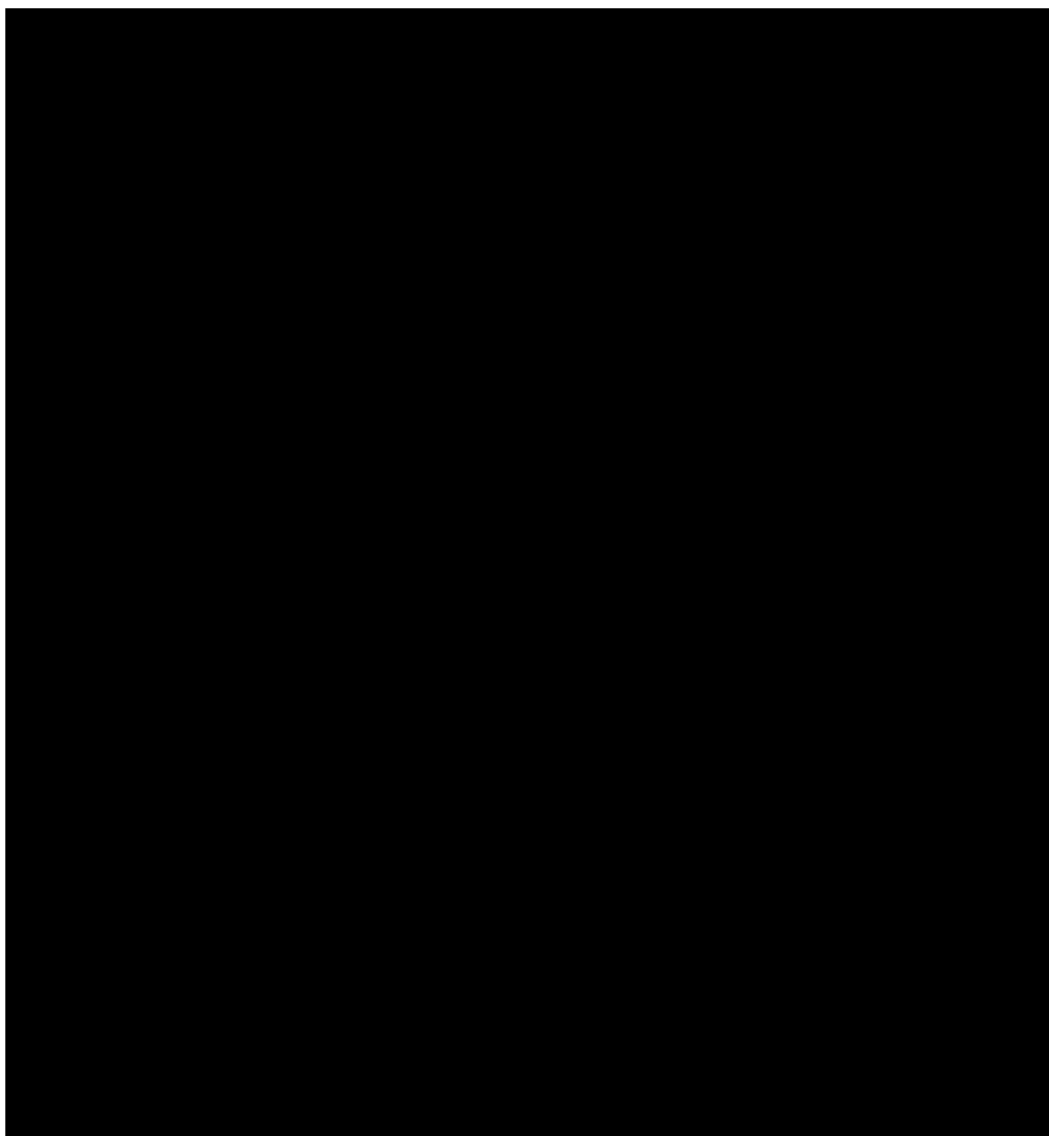


图 3-15 旋转束治疗室 X 射线管位置示意图

(6) 束流闸

在能量选择系统的降能器前方有个束流闸，称作中央束流闸（central beam
stopper），材料为石墨，用于阻挡从回旋加速器引出的束流；在每间治疗室前

的束流输运线上各有 1 个束流闸，称作局部束流闸（local beam stopper），材料为钨，距离等中心点约 12m，其作用是为阻挡束流提供冗余的安全措施。束流闸的位置如图 3-16 所示，所有的束流闸均由安全联锁系统控制。当治疗室没有治疗任务时，降能器的中央束流闸关闭，阻断束流进入治疗室；当需要治疗时，治疗控制系统即打开束流闸，允许束流通过；当一个治疗室在供束状态时，其余治疗室前方的局部束流闸处于关闭状态，同时高能束线向其余治疗室供束的偏转磁铁被联锁控制，无法加电工作。每个治疗室在照射时间上相互错开，即同一时刻只能向一个治疗室提供束流。

以下是束流闸打开束流通道的必要条件：

- 请求束流；
- 房间已被巡检过；
- 所有的电磁铁已经被设定至某一个具体的治疗室。

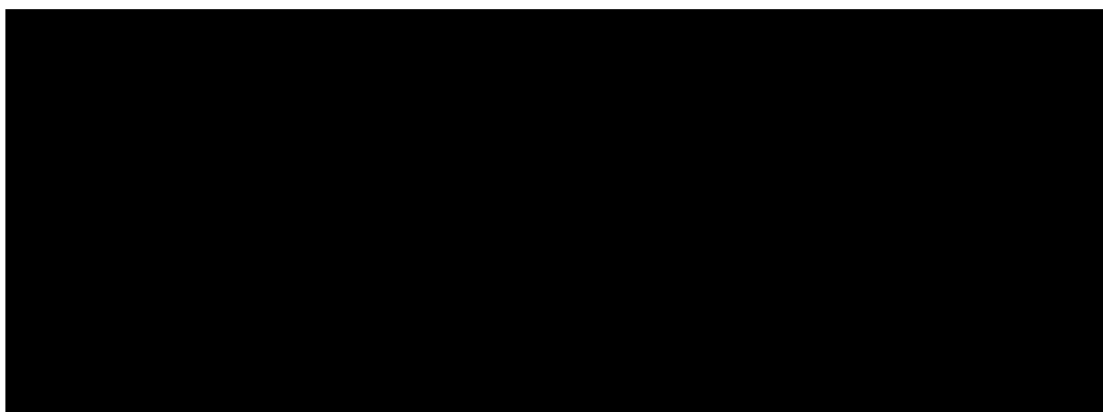


图 3-16 束流闸示意图

3.4.3 质子治疗系统治疗流程

ProBeam 质子治疗系统采用目前国际上先进的笔形束扫描方法进行治疗，治疗流程如下：

（1）患者诊断、模拟定位，获取用于治疗的医学影像

患者入院后经过医生严格诊断，判断该患者是否适合接受质子治疗。若适合接受质子治疗，放射治疗师会和医生充分沟通后，并根据患者实际情况，由放射治疗师来决定采用何种体位、固定装置来制模，对患者进行体位固定，保持体位与治疗时相比基本不变。制模完成后会对患者进行 CT 与 MRI 图像扫

描，获取用于治疗的医学影像。

（2）制定治疗计划

医生在患者医学影像图中进行肿瘤轮廓勾画、区域分割等操作。物理师据此制定治疗计划和各种治疗参数，如照射次数、照射方向、照射剂量等。利用治疗计划系统软件对治疗计划进行进一步优化，生成治疗数据和文件，最终得出一个完整的治疗计划方案。治疗数据和文件通过肿瘤信息系统（OIS）生成用于照射的束流参数文件，保存在数据库内。

（3）质量认证（QA）

治疗计划方案制定完成后，在正式进行治疗前，必须再进行方案的质量认证。

（4）照射前定位核查系统扫描

操作人员对患者身份进行验证后，将患者按照治疗体位进行摆位，放射治疗师在治疗室内，将定位核查系统展开至扫描位置，在不出束的情况下控制机架转动，确认定位核查系统扫描过程中机器与患者不会发生碰撞，确保患者安全。放射治疗师离开治疗室前确认治疗室内除患者外无其他人员，放射治疗师方可离开治疗室，进入控制室控制定位核查系统出束。放射治疗师在控制室根据患者设置合适的定位核查系统扫描参数，操作定位核查系统对患者进行扫描，扫描过程中治疗师会通过监控关注患者状况。得到患者定位核查系统图像后与患者定位图像配准，治疗系统会根据配准后的图像得到患者本次治疗时体位与治疗计划体位之间的误差值，系统会通过治疗床的移动对误差进行修正。误差修正后，开始照射。

（5）患者照射

操作人员操作治疗计划系统和 ACS 系统根据病人 ID 调取束流参数文件并核验其正确性，开始照射，照射过程中放射治疗师会实时通过监控观察治疗室内患者有无异常。治疗计划系统在照射过程中会记录病人实际照射剂量数据。照射完成后，治疗计划系统保存实际照射剂量数据文件。

3.5 项目变动情况

经现场调查，本项目建设内容与环评及重大变动说明一致。

4 辐射安全与防护设施/措施

4.1 场所布局与屏蔽

本项目质子治疗系统位于合肥离子医学中心质子治疗中心：

- (1) 地下一层为主要为回旋加速器基坑、旋转机架坑；
- (2) 一层为回旋加速器大厅、束流输运线隧道、固定束治疗室、固定束研究室、旋转束治疗室、放射性部件储存间、走廊等；
- (3) 二层主要质子治疗系统的设备间，包括电源室、电机水暖室、服务器机房、储存间等区域。该区域北侧、南侧和东侧均为楼外绿化带和道路，西侧为走廊，走廊外为等候区、研究实验室、医生办公室等区域。

4.1.1 场所分区

为便于辐射防护管理和职业照射控制，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，中心将质子治疗区辐射工作场所分为控制区和监督区。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

质子治疗区辐射工作场所分区情况具体如下：

- (1) 控制区：回旋加速器大厅、高能输运线隧道和三间旋转束治疗室、一间固定束治疗室及一间固定束研究室；
- (2) 监督区：控制室、治疗室外走廊、设备维修间等。

现场在分为控制区及监督区的工作场所张贴了中文警示标识，并在控制区工作场所张贴电离辐射警告标识。如图 4-2~图 4-3 所示。

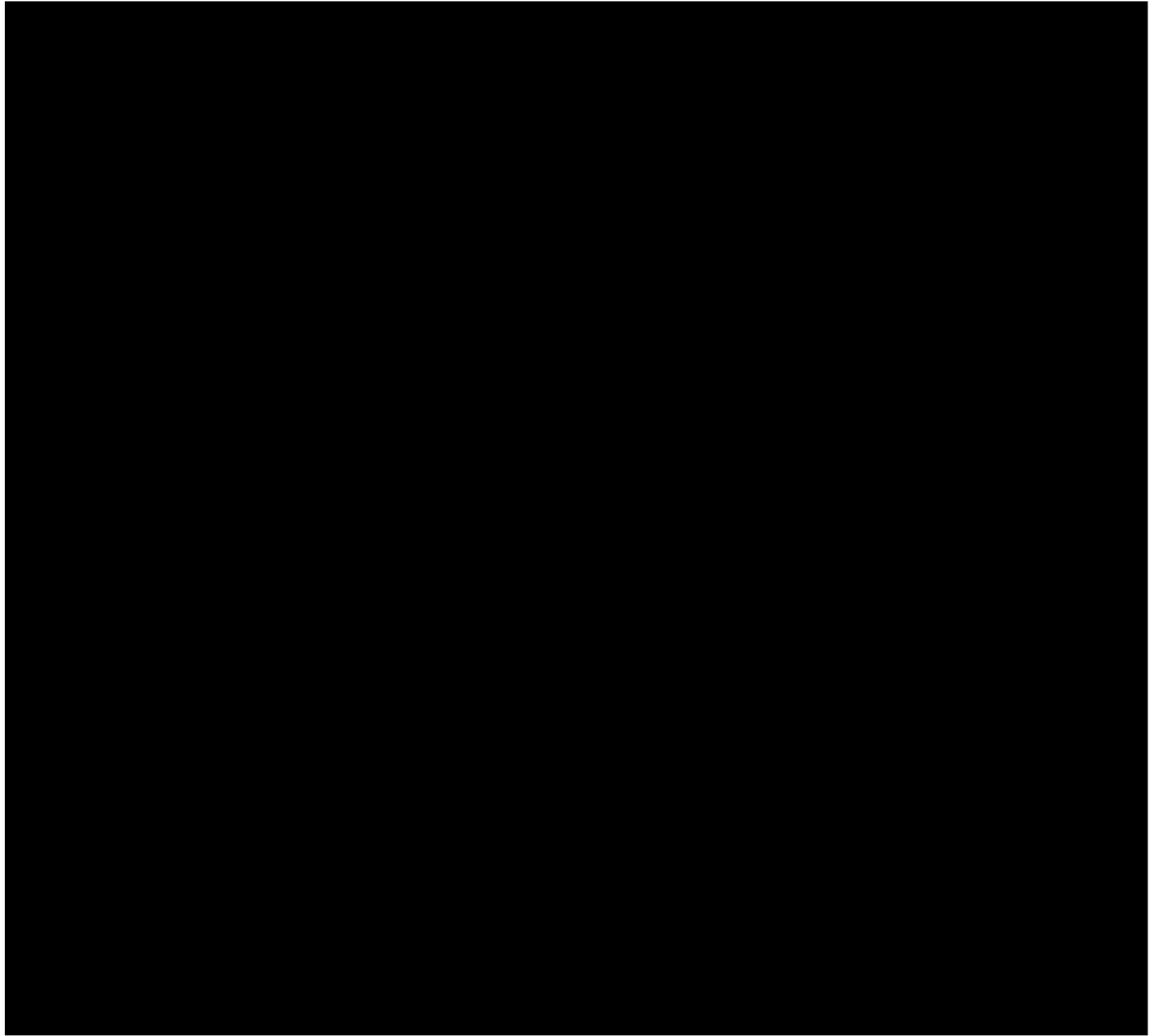


图 4-1 质子治疗区辐射工作场所分区示意图

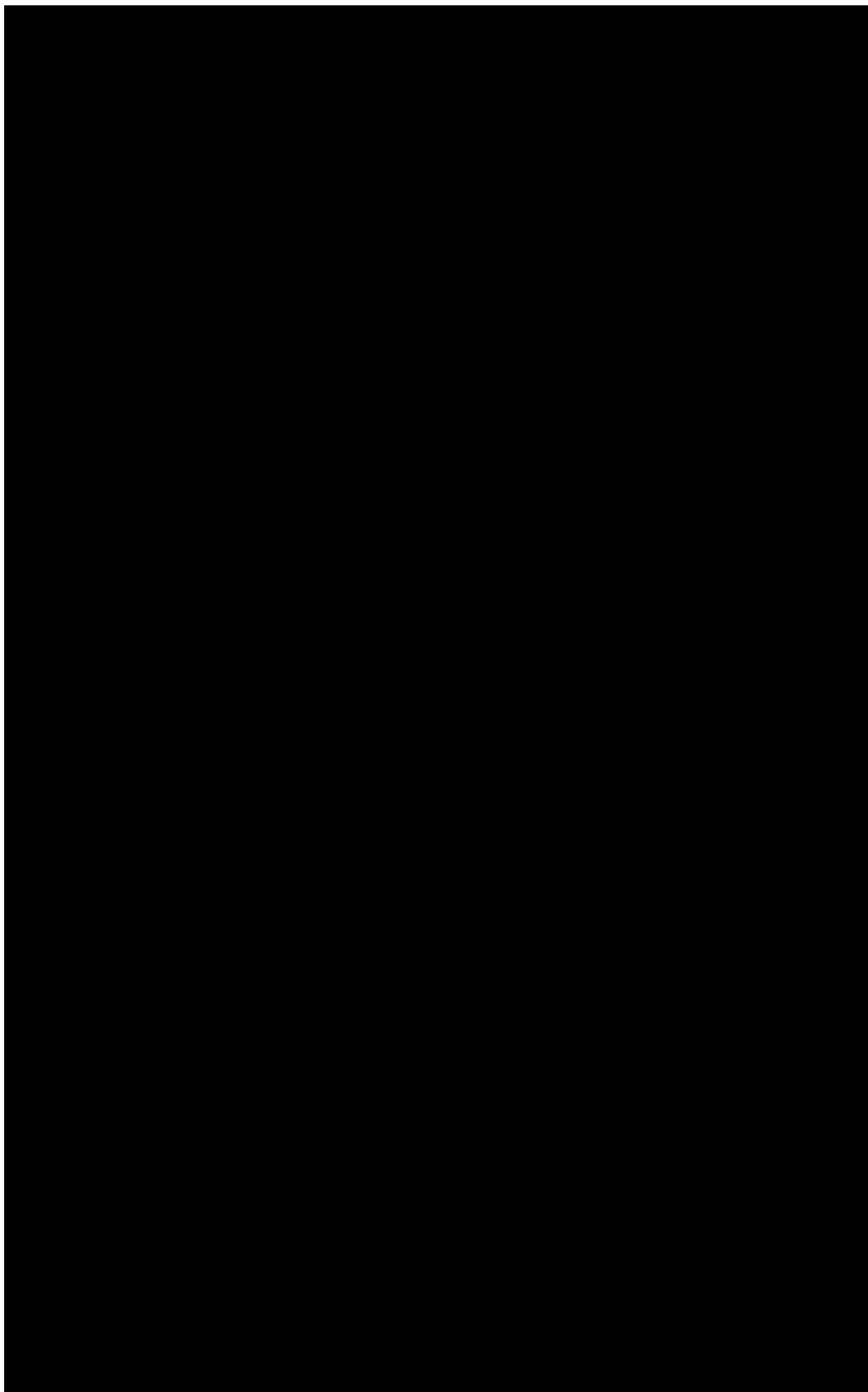


图 4-3 监督区标识现场照片

4.1.2 屏蔽

本项目辐射工作场所为加速器大厅及三间旋转束治疗室、一间固定束治疗室及一间固定束研究室，其辐射屏蔽主要为加速器大厅和 5 间治疗室（研究室）。

中心在ProBeam质子治疗系统厂家瓦里安医疗推荐的结构布置和建筑布局的基础方案和基本要求的基礎上，综合考虑了质子治疗系统的工作负荷、束流使用因子、装置布局、建筑结构布局以及生态环境主管部门和卫生部门的相关要求等因素，对中心质子治疗系统机房的辐射屏蔽进行了设计和建造。

4.1.2.1 辐射防护屏蔽设计

中心ProBeam质子治疗系统机房辐射屏蔽材料选择混凝土（密度为 2.35g/cm^3 ）作为主屏蔽材料，在进行屏蔽设计时针对不同区域的剂量率控制限值，主要考虑以下方面进行优化：

参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），本项目辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平按照下述规定确定：

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

1）使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由以下周剂量参考控制水平（ $\dot{H}_c$ ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$):

机房外辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

机房外非辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

2）按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$): 人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；

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

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

(3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶, 机房顶外表面 30 cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv/h}$ 加以控制。

4.1.2.2 加速器大厅及各治疗室(研究室)屏蔽设计

合肥离子医学中心质子治疗系统的加速器大厅及各治疗室(研究室)的屏蔽设计见图 4-4~图 4-5。

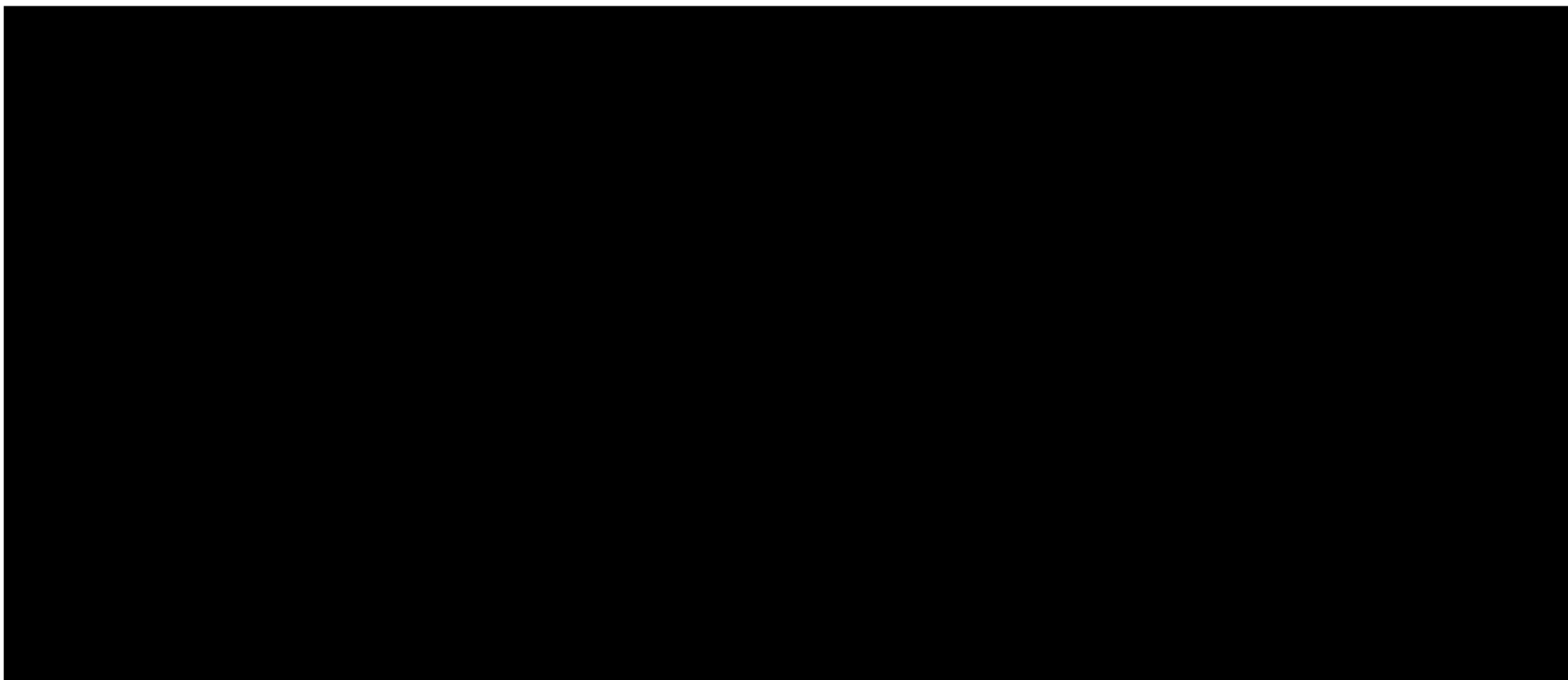


图 4-4 质子治疗区域最终屏蔽设计图（平面）

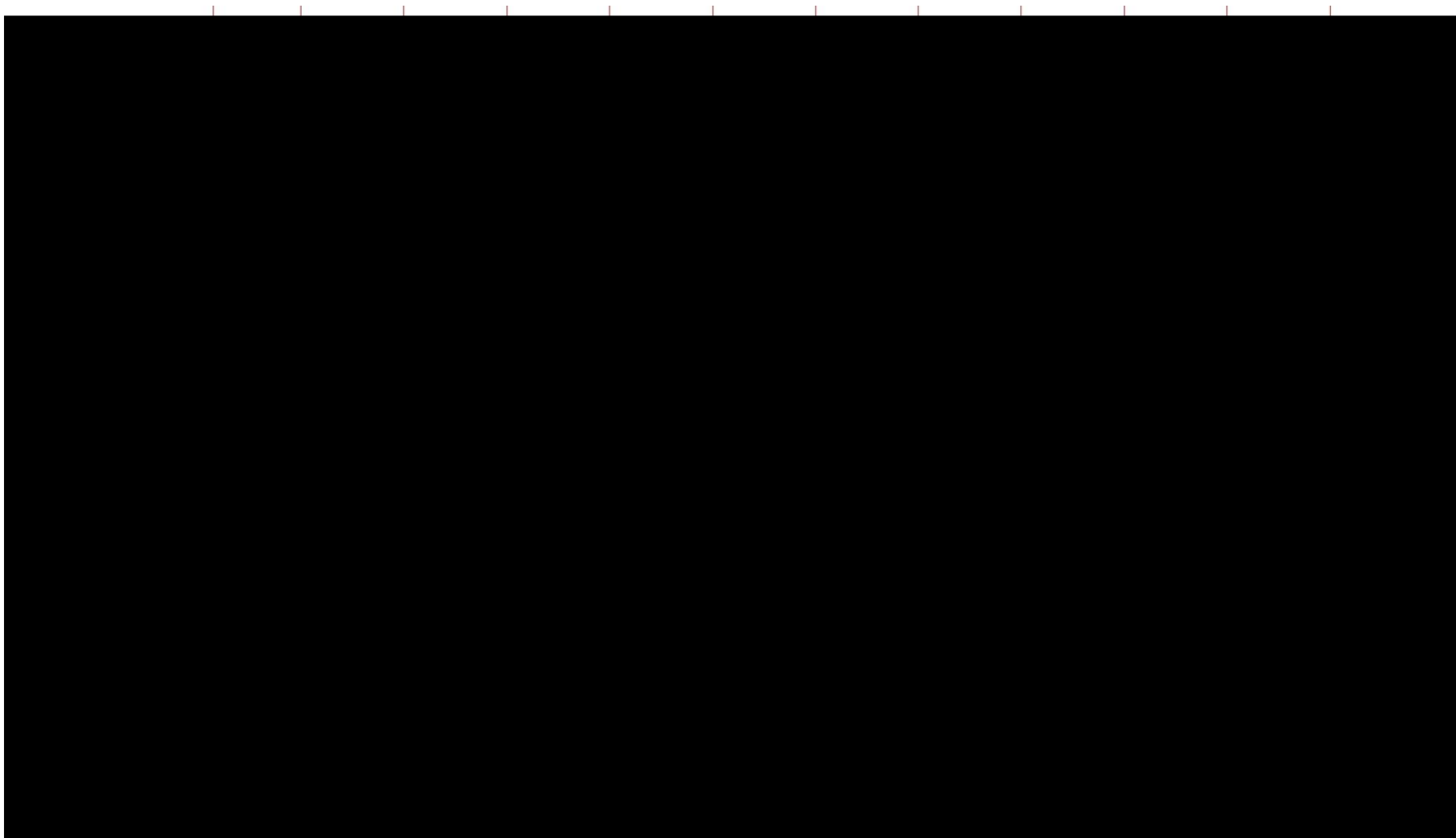
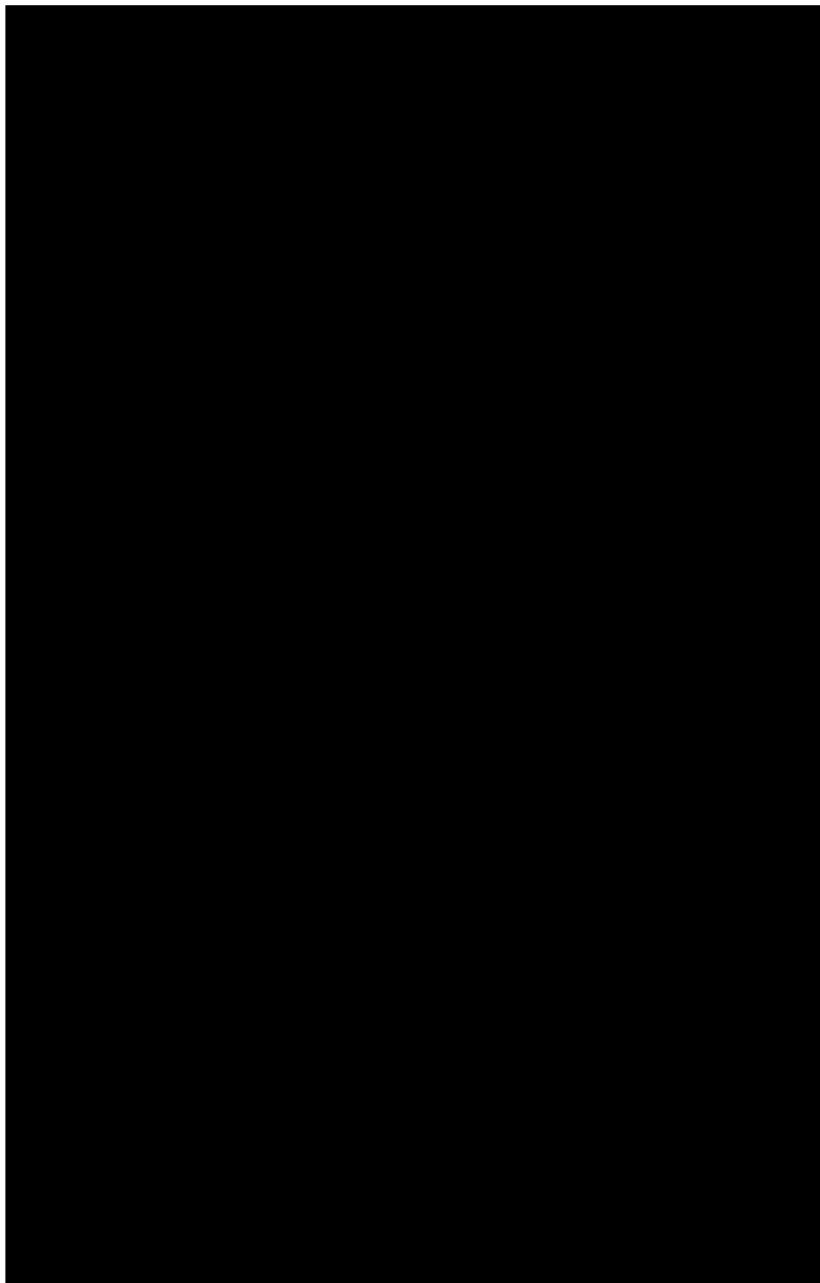


图 4-5 质子治疗区域最终屏蔽设计图（剖面）

4.1.2.3 迷道的设计

质子治疗系统在加速器大厅、高能输运线隧道以及各治疗室终端均设计了迷宫，为工作人员出入辐射区域所用，共 7 处迷道。各区域迷道平面图见图 4-6~图 4-9。



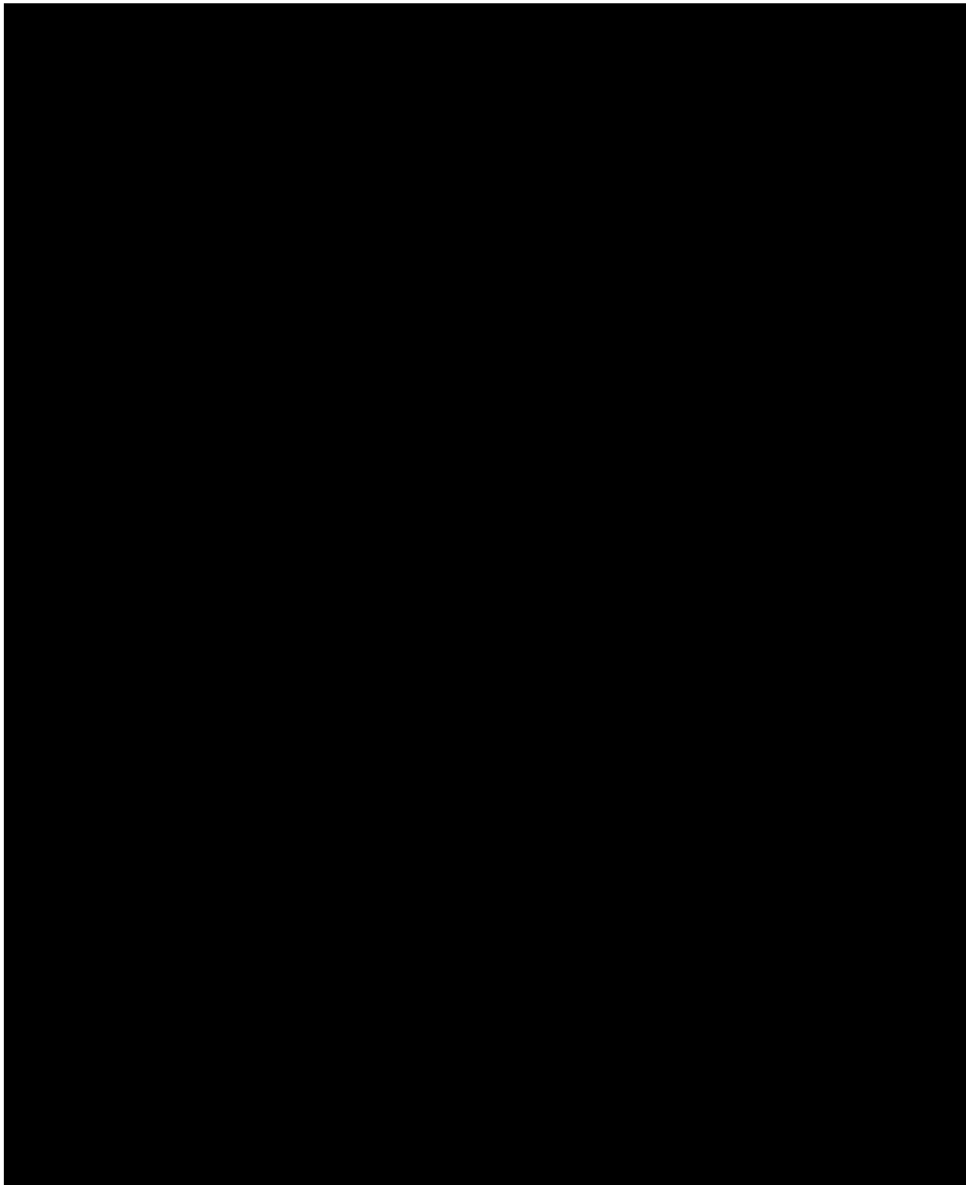


图 4-8 固定束治疗室（研究室）迷道平面图

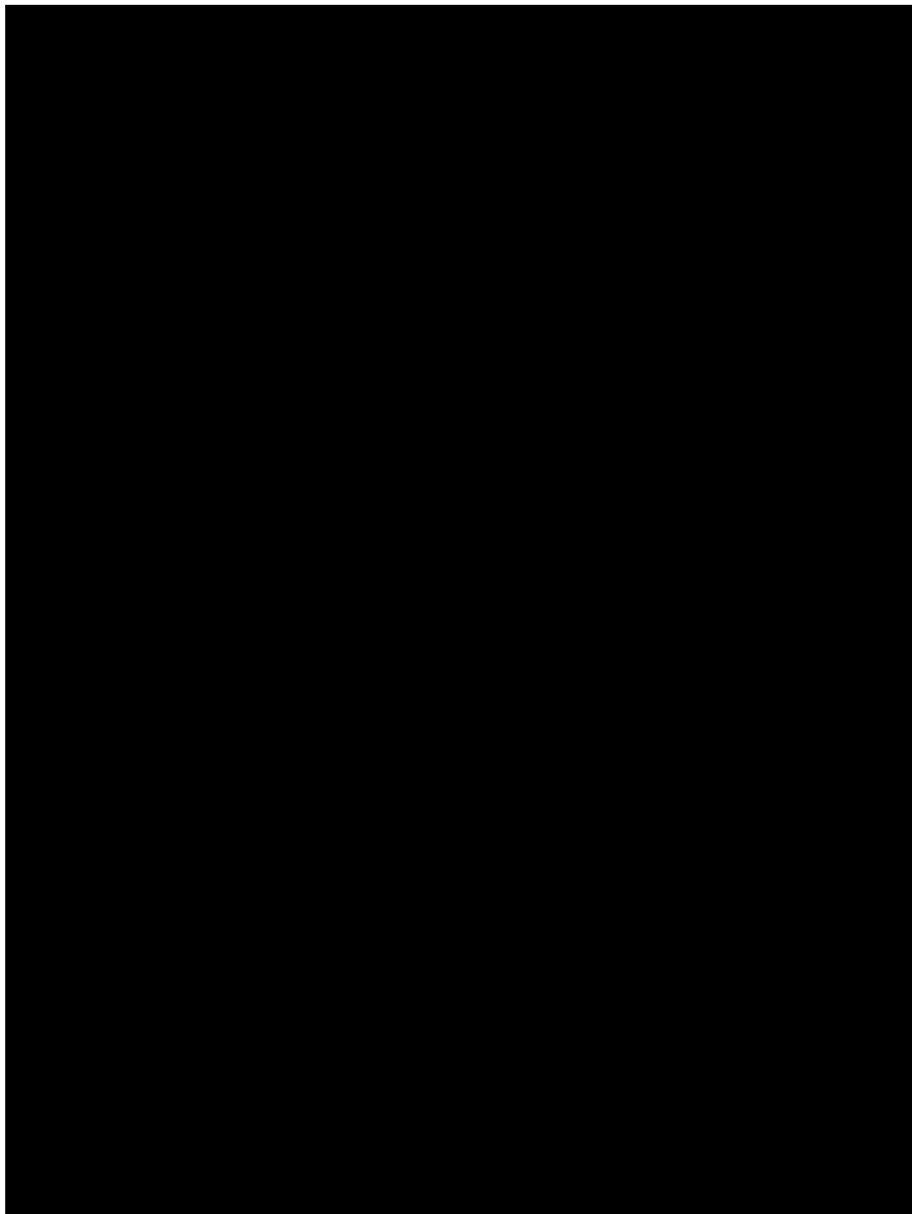


图 4-9 旋转束治疗室迷道平面图

(4) 小结

加速器大厅、各治疗室（研究室）屏蔽措施的实际情况与环评一致。

4.2 安全联锁系统

为防止人员误操作造成公众及工作人员意外照射事件，ProBeam 质子治疗系统设计了一套辐射安全联锁系统，通过钥匙控制、门磁系统、清场搜索、紧急保护装置、状态监控和辐射安全管理等一系列技术安全和组织安全措施，来防止人员误入以及保障误入情况下的人员安全，保证质子治疗系统安全、平稳、顺畅运行。

根据国家标准 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》，为了便于辐射防护管理和职业照射控制，将质子治疗辐射工作场所分为控制区和监督区，其中控制区受辐射安全联锁系统控制。

瓦里安 ProBeam 质子治疗系统的控制区包括：回旋加速器大厅、束流传输线隧道、三间旋转束治疗室、一间固定束治疗室及一间固定束研究室；在回旋加速器区域和束流传输线区域内通过栅栏门来连通和分隔子区域，以便于日常检修和清场搜索建立联锁。当加速器运行时，回旋加速器区域和束流传输线区域禁止人员进入；当加速器停机时，通过门禁控制系统控制人员出入这些区域。

4.2.1 系统设计准则

ProBeam 质子治疗系统安全联锁系统的设计遵循“失效安全”、“纵深防御”和“最优切断”原则，整个系统“冗余”设计，重要场所多重“冗余”；“急停”按钮和巡查“复位”按钮显目、易识别、容易到达；重要部位设置监控装置，辐射区域设置机器运行前警告和语音提示装置，控制台设置电子显示屏，用于显示辐射区域内的联锁装置工作状况。

（1）系统采用“失效安全”的电路和组件，安全设备或设备电源所产生的任何类型的故障都必须停止束流以确保安全。为了加强可靠性，急停按钮等关键设备均采用“冗余技术”。

（2）分区联锁：根据装置的布局和运行模式，利用实体屏蔽将装置所在区域分割为控制区和监督区，在控制区内设置联锁分区。

（3）最优切断：联锁系统尽可能地切断前级控制或机器的最初始的运行功能（如离子源的高压等），更好的保证后级区域的辐射安全。

（4）安全联锁系统的硬件（包括监测、控制执行和报警）与加速器主控制系统相对独立。

4.2.2 系统结构

安全联锁系统由主控计算机、主控制器和其他用于监控装置不同区域的子控制器组成，安全联锁系统结构图见图 4-10。这些控制器均为可编程逻辑控制器（PLC），输入输出模块的信号直接与安全组件和系统联锁硬线连接。输入模块主要负责将搜索按钮、急停按钮、门磁开关、钥匙面板等安全组件的状态发送给控制器。输出模块主要负责将控制器的控制信号发送给相应的加速器安全设备，以及警铃警灯等输出设备。位于主控室的主控计算机通过高级总线与安全联锁系统主控制器通讯，获取安全联锁系统的现场实时状态。

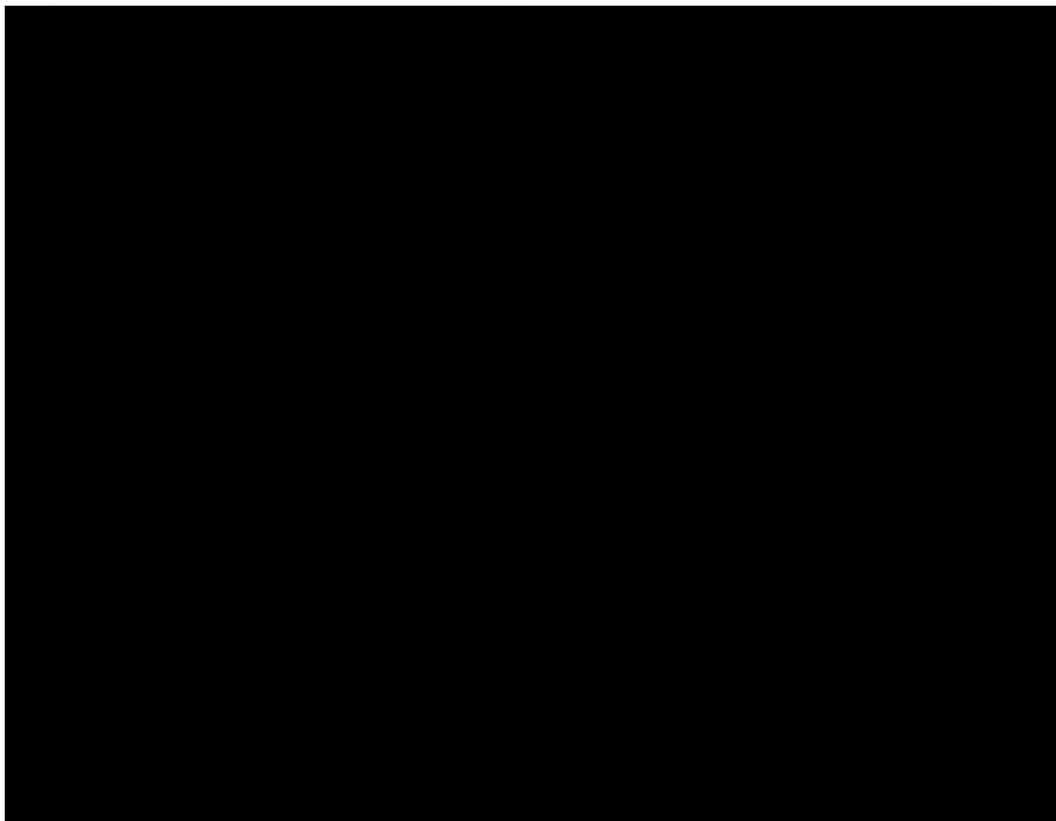


图 4-10 安全联锁系统结构图

4.2.3 系统组成

安全联锁系统主要组成包括钥匙控制、门磁系统、清场搜索、紧急保护装置和状态监控五个部分。各区域安全联锁监视页面如图 4-11 所示。

表 4-1 各区域安全联锁设施数量表

位置	安全联锁设施	数量	
回旋加速器大厅+束流输运线	清场搜索按钮		
	急停按钮		
	声光报警指示灯		
	监控摄像		
旋转束治疗室	清场搜索按钮		
	急停按钮		
	声光报警指示灯		
	监控摄像		
固定束治疗室	清场搜索按钮		
	急停按钮		
	声光报警指示灯		
	监控摄像		
固定束研究室	清场搜索按钮		
	急停按钮		
	声光报警指示灯		
	监控摄像		



图 4-11 各区域安全联锁监视页面

4.2.3.1 钥匙控制

回旋加速器大厅控制室设有一个控制面板，控制面板上设有一个带主控钥匙的转换开关。主控钥匙转换开关有“blocked”和“released”两种转换状态，主控钥匙旋转至“blocked”状态，将无法给出束信号，在所有清场搜索按钮以及门磁系统都建好联锁后，只有当主控制钥匙转到“released”的状态，才能最终给出允许开机信号。主控制钥匙未归位时，回旋加速器无法出束。

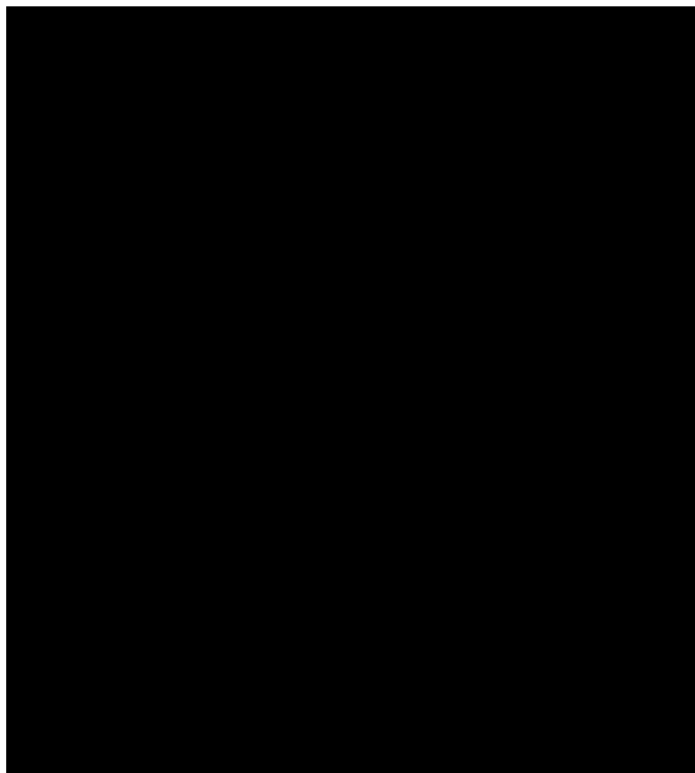


图 4-12 主控室钥匙面板照片

4.2.3.2 门磁系统

门磁系统包括门禁卡和门机联锁如图 4-13 所示，设置在回旋加速器大厅和各治疗室（研究室）出入口处。用于控制加速器的束流输出。人员进入加速器大厅和各治疗室（研究室）内需刷门禁卡；门机联锁的作用是保证防护门一旦离开固有位置则会自动启动联锁系统，切断装置出束。

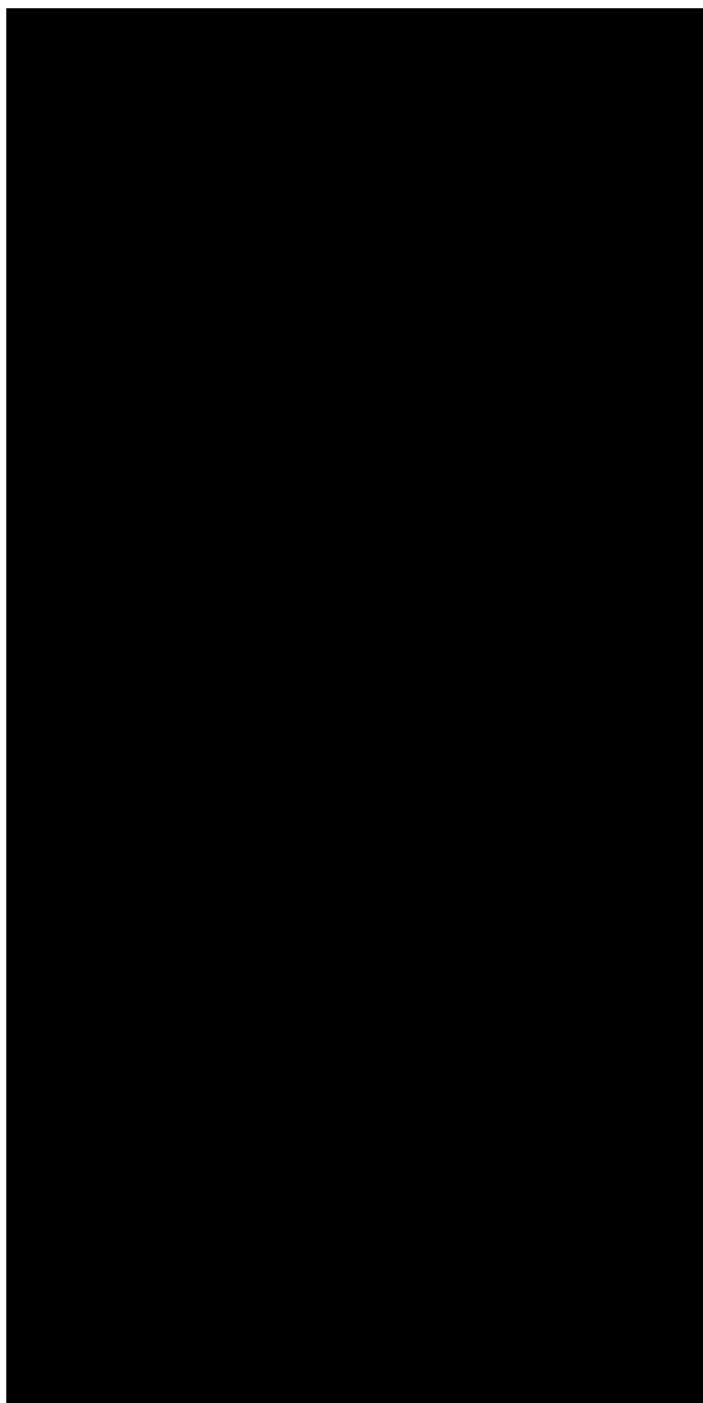


图 4-14 门磁系统（治疗室、研究室）现场照片

一、进入加速器大厅的流程

工作人员进入回旋加速器大厅的流程如下：

（1）当工作人员需要进入加速器大厅工作时，由加速器大厅负责人按照加速器正常操作程序停止该区域的束流。

（2）由专门的辐射防护人员在回旋加速器控制室内将主控钥匙旋转至

“blocked”状态，并拔下该钥匙，交给该名工作人员。

(3) 欲进入人员将主控钥匙随身携带，刷门禁卡进入加速器大厅内。

(4) 工作人员在工作结束后，进行“清场搜索”并确认加速器大厅内无人停留后，在规定的时间内通过关门按钮关闭门离开，完成清场搜索程序。

(5) 工作人员离开加速器大厅并确认出入口的门关闭后，回到加速器大厅控制室内将主控钥匙插回，并旋转至“released”状态，方可允许加速器开机结束。

二、进入治疗室（研究室）流程

工作人员进入治疗室（研究室）的流程如下：

(1) 当工作人员需要进入治疗室（研究室）时，需经过现场负责人的批准；

(2) 通过治疗室（研究室）的控制软件，关闭加速器射频、束流闸，将治疗室束流切断；

(3) 束流切断后，待治疗室（研究室）内剂量率水平降至满足辐射工作许可条件的值后方可进入；

(4) 工作人员结束工作后，进行“清场搜索”并确认治疗室（研究室）内无人停留后方可关门离开。

4.2.3.3 清场搜索

清场搜索是在开机前执行一套特定的安全搜索程序完成清场和建立联锁，联锁完成信号作为开机的必要前提条件，从而确保在开机前无人员滞留在里面。清场搜索按钮分布于加速器大厅和各治疗室内部四周沿的墙壁上。加速器区域和治疗区域的清场搜索流程示意图见图 4-17，清场搜索按钮如图 4-15 所示，具体流程简要描述如下：

(1) 加速器大厅清场搜索：

每次加速器开机前，由专门的辐射防护人员对加速器区域和治疗区域进行清场；并且需要先完成加速器区域部分的清场搜索工作。

每次加速器开机前，瓦里安工程师按流程完成加速器与束流线区域的清场工作。清场人员需要从最深处区域开始搜索，沿途通知人员离场，按一定的搜索

顺序逐个按下清场按钮，并关闭所有区域的门，若违反规定清场顺序则系统认为此次清场无效，需重新清场。

对于加速器区域，每个子区域和整个大区域都有搜索时间窗口限制。搜索超时则认为该次搜索无效，需重新清场搜索。

所有清场按钮被按下后联锁系统将自动开启警铃警灯；

对于加速器大厅，清场人员确认所有清场按钮全部按下后，将主控钥匙插回并旋转至“Beam Released”状态，此时安全联锁系统会给加速器控制系统发送允许开机的信号。

(2) 机架区清场搜索

在确认加速器与束流线区域的清场工作完成以后，可进行将要使用的治疗室的机架区的清场，瓦里安工程师完成机架区域的清场搜索工作和确认，进入机架区需经过治疗室，如果机架区未完成清场搜索建立联锁，该治疗室不能出束。在中心医务人员提出该治疗室束流准备需求时，瓦里安工程师收到系统任务后，首先确认该机架区是否完成清场搜索并建立联锁，如果未完成，则瓦里安工程师需要进入机架区完成清场搜索并建立联锁，之后给中心束流请求人员信息，随后由中心人员进行该治疗室清场搜索。

治疗室通往机架区域中间的隔门设有门锁，从治疗室进入机架区时需使用钥匙开启与锁闭，从机架区到治疗室使用门锁旋钮直接开启与锁闭。隔门钥匙由中心辐射安全管理小组管理，登记后发放给经授权的瓦里安人员。一般情况下，该门只有瓦里安工程师进行治疗室机架区域清场搜索工作需要进入，因此只有经中心授权的瓦里安清场搜索人员方可进入。

关于旋转机架治疗室机架区域的清场搜索工作，瓦里安工程师会按要求检查该区域的安全联锁状态，若处于未清场状态，按照要求进行清场搜索：

按要求检查机架区域所有机柜内无杂物，机柜门关闭，机架上应无任何工具或者杂物。基坑位置无阻碍机架旋转的任何障碍物。开始清场搜索时需要先将位于机架后方，与治疗室同一水平位置的铁栅栏门关闭，再依次按下位于基坑内的旋转机架右侧墙壁清场按钮（BM2.AB001）、旋转机架前滚轮墙壁清场按钮（BM2.AB002）和 PPS 机柜上的清场按钮（BM2.AB003），观察指示灯与蜂鸣器

状态，再关闭基坑入口处的铁栅栏门（BM2.DP001,BM2.DP002）完成基坑部分的清场搜索。

再次检查旋转机架顶层和水平层的安全状态，拉起吊桥或者关闭机架水平层入口处的铁门。按下基坑入口处铁门外的巡检按钮(GSR.GF1.AB001)，关闭治疗室通往服务区域的隔门（GSR.GF1.DR001,002,011,012），完成机架区域的清场工作。瓦里安需要通过主控室的人员防护软件确认清场巡检结果无误后，确认机架区域清场完成。

关于固定治疗室的机架区，清场搜索流程类似，瓦里安工程师确认机架区域的清场状态，若未清场依次按下机架区域 2 区域的黑色巡检按钮(FSR.GF2.AB001)，关闭治疗室通往机架区域右侧的隔门(FTR.GF2.DR001,002)，完成机架区域 2 的清场。关闭治疗室通往机架区域中间的隔门（FTR.GF1.DR001,011），按下机架区域 1 的确认按钮(FTR.GF1.AB001),关闭治疗区域通往机架区域的最左侧的隔门（FTR.GF1.DR002,012）完成机架区域 1 的清场。并且通过人员防护软件系统确认清场状态。

（3）治疗室清场搜索

治疗室的清场由中心工作人员按要求完成。在中心工作人员收到瓦里安的治疗室可进行清场搜索的确认后开始此项工作，按顺序按下治疗床旁边的黑色按钮(GF.AB001)，再关闭治疗室入口的屏蔽门(GF.DR001,002,011,012)，治疗室门口的区域清场灯亮起，并且在人员防护系统里确认该治疗室的安全状态后，该治疗室完成清场工作。

对于治疗区域有搜索时间窗口限制。搜索超时则认为该次搜索无效，需重新清场搜索。

1) 每个区域的未巡检，巡检及故障均由不同颜色的状态指示灯指示，为工程师提供可视化的巡检及安全联锁状态；

2) 所有的门，格栅均配备有安全联锁触控点，一旦任何闯入，均会导致无法出束；

3) 整个技术区域外侧门都安装有门禁系统，瓦里安技术人员和中心授权人员通过刷卡进入，外部人员无法进入技术区域。

4) 治疗室通往机架区域中间的隔门设有门锁，从治疗室进入机架区时需使用钥匙开启与锁闭，从机架区到治疗室使用门锁旋钮直接开启与锁闭。隔门钥匙由中心辐射安全管理小组管理，登记后发放给经授权的瓦里安人员。一般情况下，该门只有瓦里安工程师进行治疗室机架区域清场搜索工作需要进入，因此只有经中心授权的瓦里安清场搜索人员方可进入。

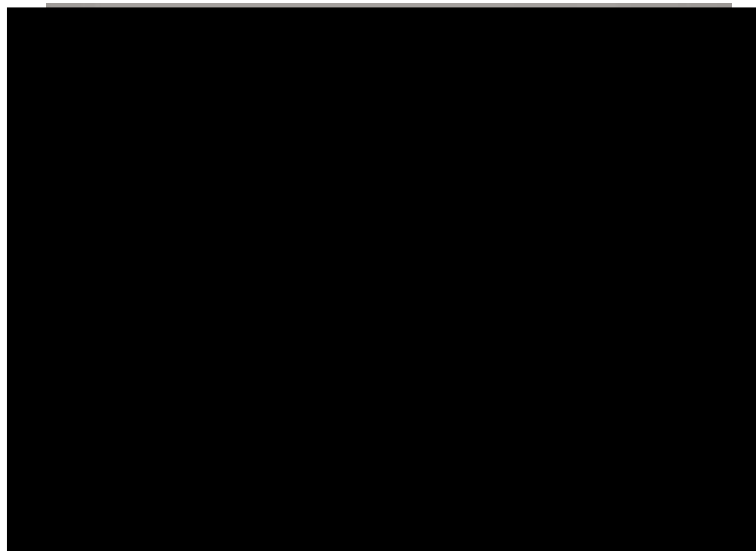


图 4-15 清场搜索按钮现场照片

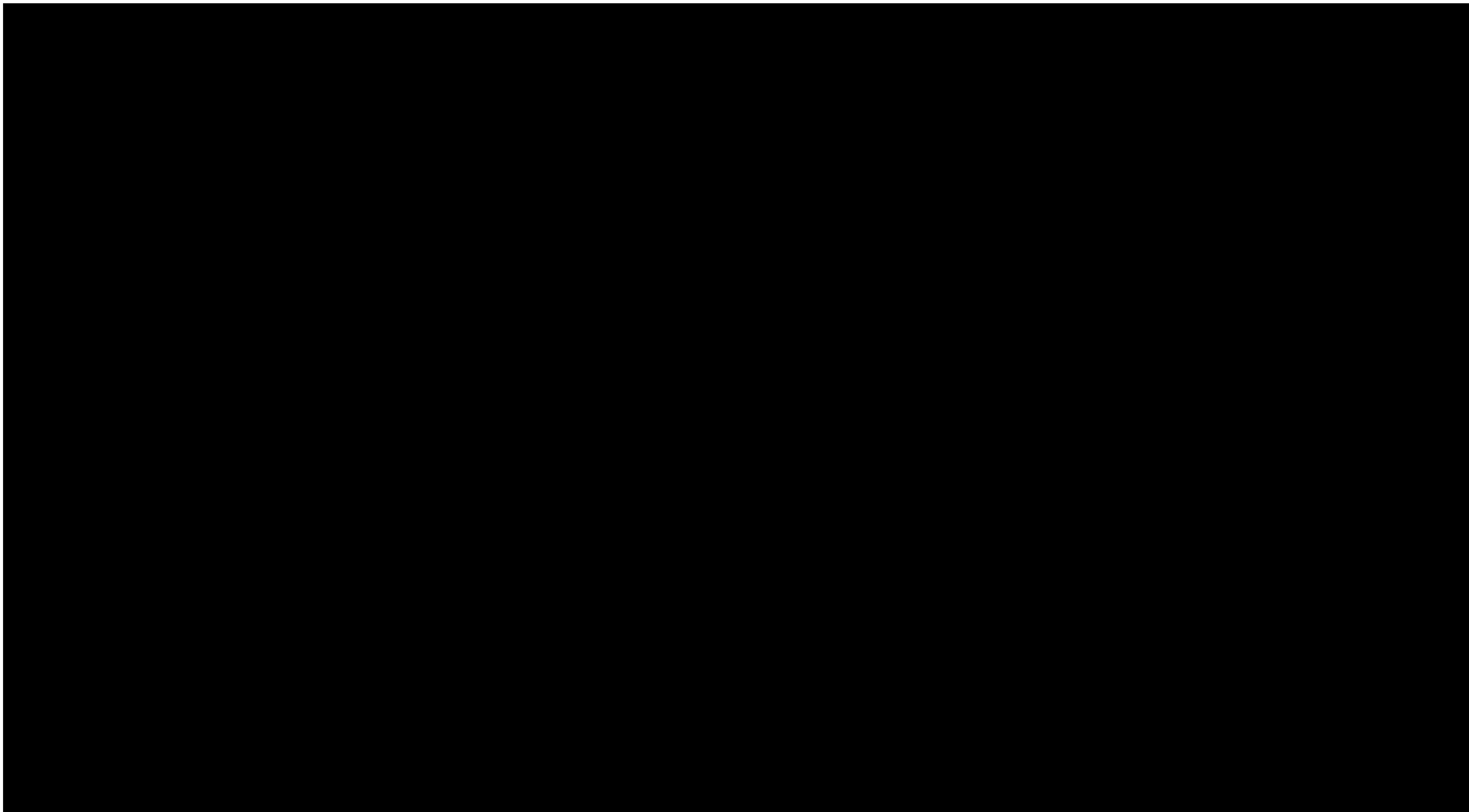


图 4-16 主控室清场搜索监控页面

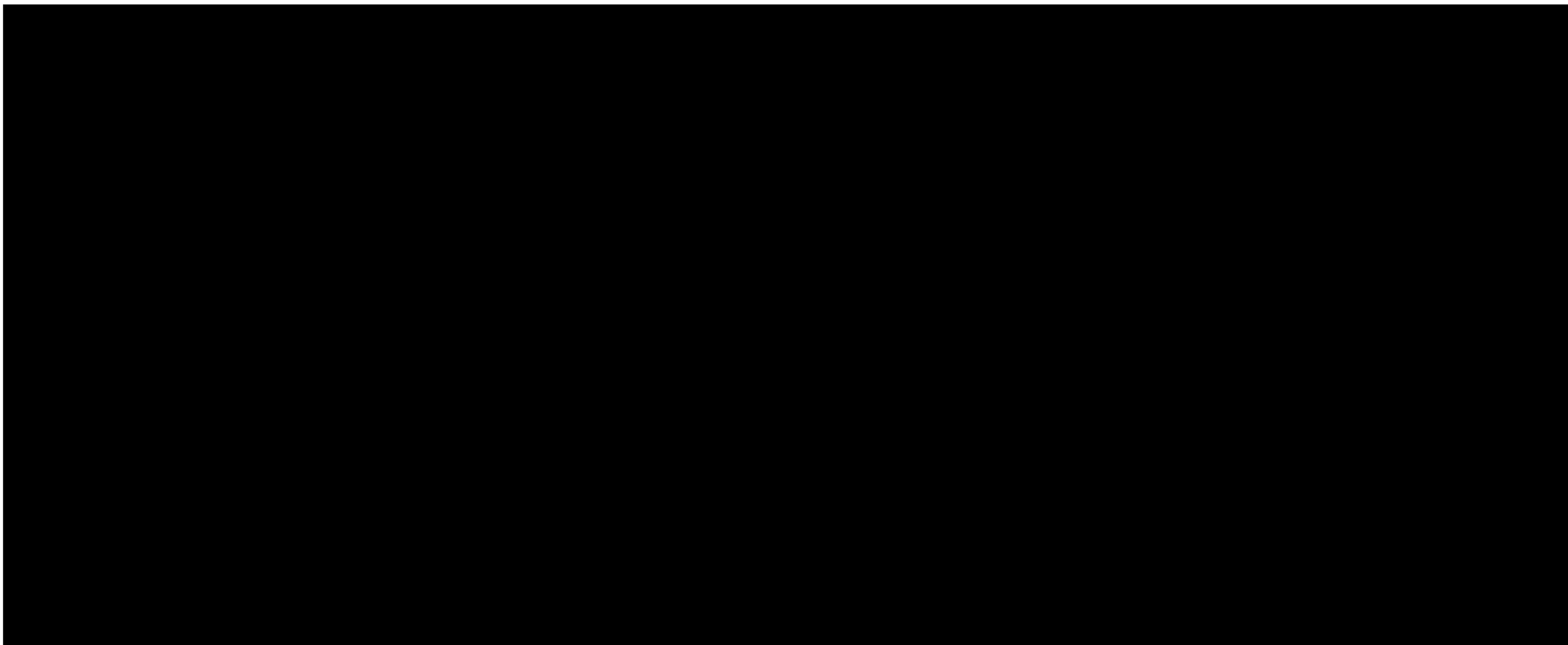


图 4-17 清场搜索路径图

4.2.3.4 紧急保护装置

4.2.3.4.1 紧急停机按钮

加速器大厅和各治疗室（研究室）内均安装若干个紧急停机按钮如图 4-18 所示，若装置开机后仍有人员滞留在这些区域内，可按下该区域的紧急停机按钮切断加速器运行。待确认该区域内没有工作人员并按下“清场”确认按钮，并将急停按钮恢复后可重新进行开机操作。所有应急按钮开关均设有自锁机构，按下后不会自动恢复，必须释放紧急按钮开关后才能恢复供电。

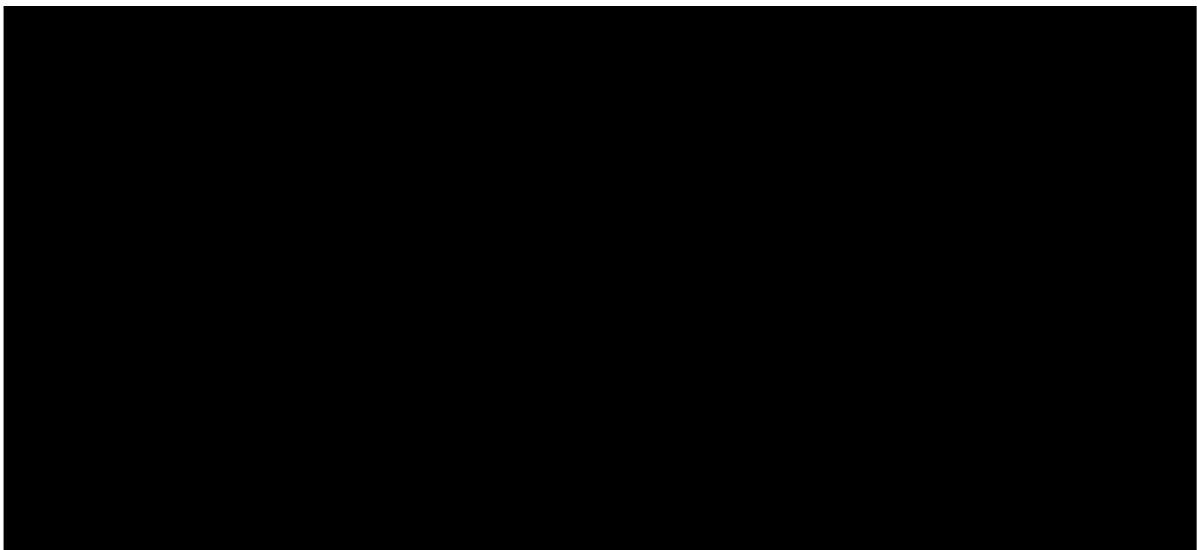
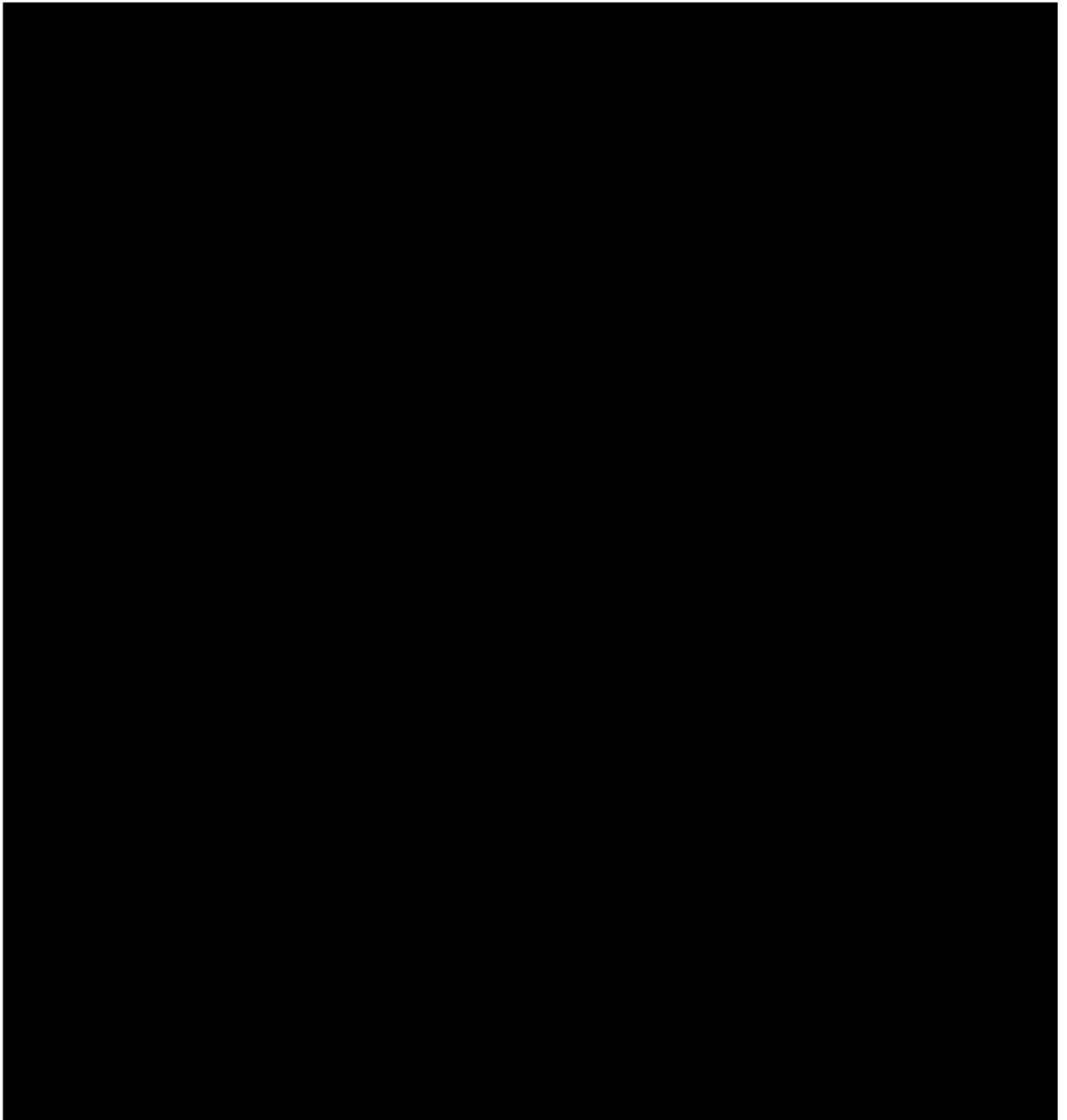


图 4-18 急停按钮

4.2.3.4.2 声光报警指示灯

回旋加速大厅、输运线隧道入口和内部四周沿途一定距离处以及各治疗室（研究室）入口处，安装有声光报警指示灯，如图 4-19~图 4-22 所示。



(1) 加速器、束流线、机架区域（图 4-20）

警铃：表明该区域正在清场搜索，正在建立安全联锁，工作人员应离场退出。

警灯：该区域辐射安全联锁系统的警示灯有绿色、红色三种颜色，依据不同颜色的指示灯状态，反应出该区域处在不同的工作模式之下。

绿色常亮：表明该区域联锁已经解除，处于联锁解除状态，可正常出入；

红色和绿色常亮：表明急停按钮被按下；

红色闪烁：表明该区域正在建立联锁过程中；

红色常亮：表明整个加速器区域安全联锁已经，严禁建立人员进入。

(2) 主控室（图 4-21）

该区域辐射安全联锁系统的警示灯有绿色、黄色、红色、蓝色四种颜色，依据不同颜色的指示灯状态，反应出该区域处在不同的工作模式之下。

绿色常亮：表明该区域联锁已经解除，处于安全维修状态，可正常出入；

黄色常亮：表明辐射控制区已建立联锁，确认里面没有人；

蓝色常亮：表明束流处于可用状态；

红色常亮：表明整个加速器区域安全联锁已经，严禁建立人员进入。

绿色和红色常亮：表明急停按钮被按下。

(3) 治疗室（图 4-22）

治疗室区域辐射安全联锁系统的警示灯有绿色、黄色两种颜色，依据不同颜色的指示灯状态，反应出该区域处在不同的工作模式之下。

绿色常亮：表明该区域联锁已经解除，处于安全状态，可正常出入；

绿色常亮、黄色常亮：表明急停按钮被按下；

黄色闪烁：表明该区域正在清场搜索；

黄色常亮：表明该治疗室区域安全联锁已经建立，严禁人员进入。

(4) 治疗室门口（图 4-19）

治疗室区域辐射安全联锁系统的警示灯有绿色、黄色和红色三种颜色，依据不同颜色的指示灯状态，反应出该区域处在不同的工作模式之下。

绿色常亮：表明该区域联锁已经解除，处于安全状态，可正常出入；

绿色常亮、黄色常亮：表明急停按钮被按下；

黄色闪烁：表明该区域正在清场搜索；

黄色常亮：表明该治疗室区域安全联锁已经建立，严禁人员进入。

红色常亮：表明束流处于可用状态，束流闸处于开启状态。

4.2.3.4.3 束流中断系统

在回旋加速器正常运行情况下因某种原因中断束流时，系统会根据“使辐射和活化最小”的原则停止束流，以“最快返回正常态”的原则选用停束器。在检测到错误状况时停机，主要根据需要的反应时间选用某个安全系统断开束流。

束流中断部件的设计是冗余的，主要包括离子源、静电快偏转板、射频系统

等。回旋加速器的束流中断系统通过以下部件的制动器实现操作：

（1）离子源（IS）

在回旋加速器的中心区域，离子源能够产生质子。当离子源的电源被关闭，将停止注入自由质子进入回旋加速器，从而无法引出束流。

（2）垂直偏转板（VD）

在加速器的内部区域，垂直偏转板以最低质点能量偏转射线。若垂直偏转板之间没有电压，在质子尚未被加速到 250MeV 时，在回旋加速器的第一个转弯处停止束流，使回旋加速器不必要的活化降到最低。

（3）射频系统（RF）

在加速器内，射频系统使粒子加速。当射频系统能量被中止，高频放大器中射频输出衰减 60dB，从而阻止了回旋加速器中质子的加速，束流无法引出。

每个制动器都具有自动防故障装置，用于释放“启动/关闭束流”信号和反馈人员保护系统（PPS）的安全束流控制单元的监控信号。决定启用哪个制动器的主要因素是束流的开关转换功能和制动器要求的反应时间。

4.2.3.4.4 束流电流监测

（1）相位狭缝

为了防止束流电流过高，对回旋加速器中的相位狭缝进行监控，一旦探测到相位狭缝位置错误，束流会立刻中断。

（2）束流电流测量

为了防止束流电流（病人照射期间的剂量率）过高，对回旋加速器出口的引出束流进行监测。在回旋加速器和降能器中间设置了充足的监测系统，能够确保束流电流不超过扫描喷嘴系统内电离室的测量范围。

束流电流监测主要用于在发生束流电流错误的情况下，尽可能快的记下反应时间和剂量率，根据二者的乘积决定患者在治疗故障停机期间接受的额外剂量值。

4.2.3.4.5 束流监测

（1）束流闸

为了防止极端情况，即回旋加速器的停束器均失效，在束流传输线上安装了束流闸，其安装位置图如图 3-20 所示。

只有当所有的安全联锁条件都满足时，束流闸才会提起，允许束流通过。正常运行时，束流闸上不会监测有束流。一旦束流闸上监测有束流电流，就会触发联锁中断束流。

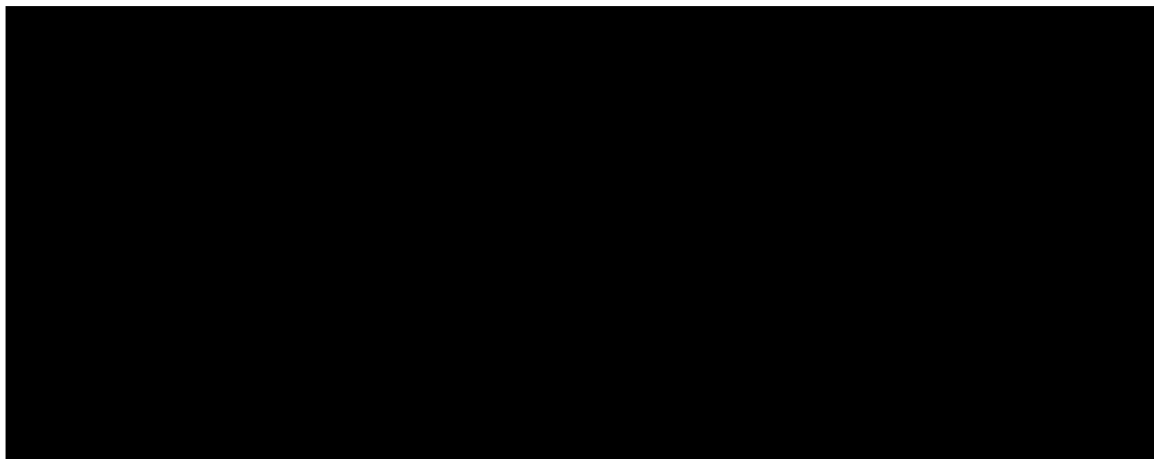


图 3-20 质子治疗系统束流闸安装点位图

（2）束流分配

在每各束流传输区域内均设有两个偏转磁铁，使束流偏转至进入选定的治疗室（研究室）。偏转磁铁电源的开关由安全联锁系统的控制器监控。

（3）束流传输线设备

为防止错误的束斑和束流损失，所有可移动的、能够阻断束流的输运线设备（如束斑监控器、真空窗等），在“治疗”模式下，都由安全联锁系统监控。在照射期间，任何一个设备的位置不正确，都会导致束流的中断。

4.2.3.5 状态监测

状态监控包括 LED 显示屏和摄像头，摄像头安装在各治疗室（研究室），LED 显示屏安装在控制室，用于确保在监控室能掌握各治疗室（研究室）的现场实时状态，控制室设置有电视监控系统和双向对讲机，能有效工作。

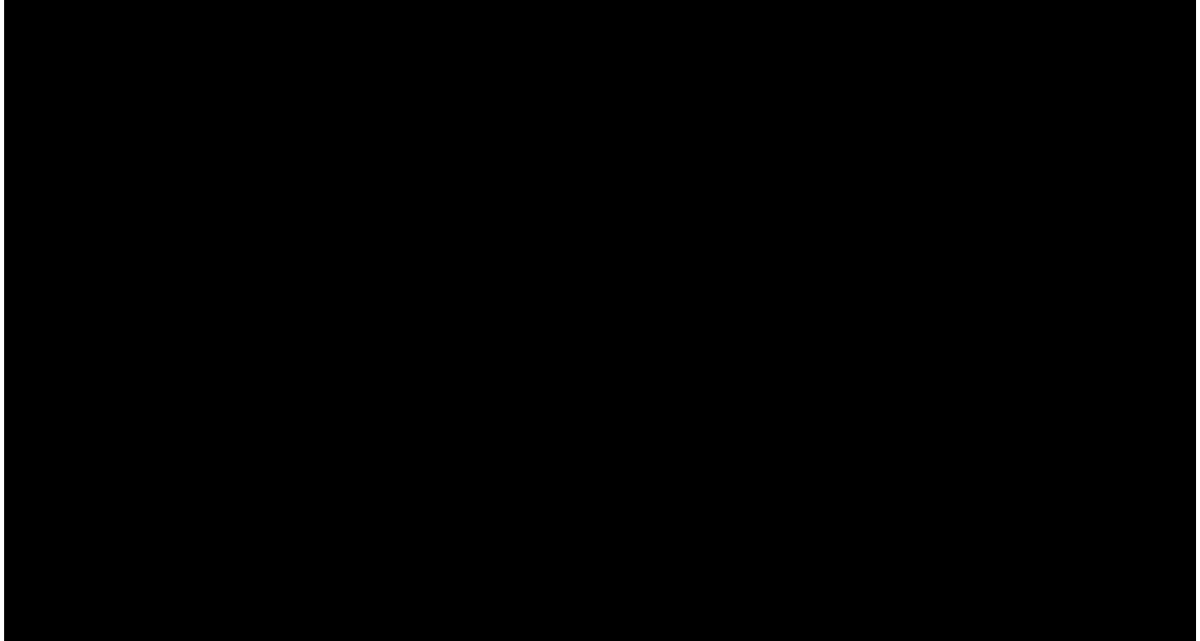


图 4-23 状态监控页面

4.2.4 安全联锁逻辑

质子治疗系统安全联锁系统允许开机的逻辑如下：

- （1）各控制区内清场按钮按一定顺序全部按下；
- （2）各控制区内急停按钮全部复位；
- （3）回旋加速器大厅钥匙面板上的主控钥匙归位并旋转至“Beam Released”

的状态；

- （4）控制区出入口的门全部处于关闭状态。

辐射安全联锁系统与束流监测等系统的联锁关系如下：

- （1）光束监测系统

扫描喷嘴中的电离室系统监视每个点的束电流、光斑位置和光束宽度，并根据监视器单元传送每个点电荷，以确保每个光电的精确照射。电离室系统以高压操作以确保电荷收集。通过电极上的单独触点测量实际施加的高压，并由扫描控制系统监测。对于每个点，处理期间传递的质子电荷通过两个完全独立的传输电

离室记录。将测量值与治疗计划值实时比较。当达到每个点的规定监测单元时，光束将切换到下一个点。通过多个离子化室同时验证光束位置和光束宽度。如果测量参数和预期参数之间存在任何偏差，扫描控制系统会中断光束。

（2）扫描控制系统

为了实现扫描系统的快速监视和操作，使用了一个特殊的微处理器控制单元（扫描控制系统）。扫描控制系统用于控制扫描磁铁，执行计算，监测单元传送、光束特性和光斑位置以及产生互锁信号。

所有关键参数如电离电荷、电子束电流、光束位置、气压和温度都由独立设备冗余监控。如果检测到有任何不一致，则通过触发 **ProBeam** 的光束关闭机制产生快速互锁并关闭质子束。扫描控制系统的所有互锁列举如下：电荷超过转换限制值、电流超标、偏差超标、束流位置 X/Y 超标、束流宽度 X/Y 超标、实际点位超时、扫描磁铁电流 I_x/I_y 超标、高电压超标、喷嘴真空超标、气压/温度超标、剂量率超标。

4.3 辐射监测

本项目辐射监测总体包括工作场所监测、环境监测和个人剂量监测。其中：

（1）工作场所监测采用固定式在线区域辐射监测、移动式巡测和委托第三方有资质单位监测相结合的方式；

（2）环境监测采用固定式在线区域辐射监测、移动式巡测和环境介质取样分析相结合的方式；

（3）个人剂量监测采取累积式个人剂量监测计监测为主，个人剂量报警仪为辅的方式进行。

4.3.1 场所和环境辐射监测系统组成

为保证公众和工作人员的生命安全，做到预防在先、发现在早，杜绝辐射事故的发生，中心根据国家相关法规标准要求，为质子治疗系统设计配备了一套完整的辐射监测系统，该套辐射监测系统分为场所辐射监测和环境辐射监测。其中

场所辐射监测系统包括固定式辐射监测系统和移动式辐射监测系统，固定式辐射监测系统用于质子治疗区运行和停机维护时进行辐射剂量监测，移动式辐射监测系统用于质子区停机维护和日常巡检时进行辐射剂量监测；此外对于环境监测，中心在质子中心的西南侧设置 1 个固定环境辐射监测点，主要监测院区辐射剂量率，确保公众人身安全。

质子区固定式和移动式辐射监测系统组成如表 4-2 和表 4-3 所示。

表 4-2 质子区固定辐射监测系统组成

序号	组成部分		作用
1	监测单元	γ 探测器	探测 γ 射线
2		中子探测器	探测中子
3		数据处理单元	采集单元连续地从探测单元获取数据，经过处理后显示辐射值。测量结果被保存在非易失性的内存中，连续与预报警、报警阈值进行比较。
4		报警装置	当监测数值超过阈值时，施行声、光警报
5	控制端	控制器	进行数据采集、存储和处理
6		显示器	
7	辅助零件		用于固定、安装和连接等

表 4-3 质子区移动式辐射监测系统组成

序号	组成部分		作用
1	监测单元	γ 探测器	探测 γ 射线
2		中子探测器	探测中子
3		数据处理单元	采集单元连续地从探测单元获取数据，经过处理后显示辐射值。测量结果被保存在非易失性的内存中，连续与预报警、报警阈值进行比较
4		报警装置	当监测数值超过阈值时，施行声、光警报
5	小推车		固定探测器及配件，进行移动监测
6	电缆线盘		就近接 220V 电源，电缆长度 ≥ 30 米
7	电源模块		50AH 锂电池包，供无 220V 电源区域使用，同时供电路保护和电源接入情况的指示
8	上位机软件		进行数据的采集、存储和处理等

每个监测点的监测单元组成示意图如图 4-24 质子区监测单元组成示意图所示，部分监测单元无中子探测器。

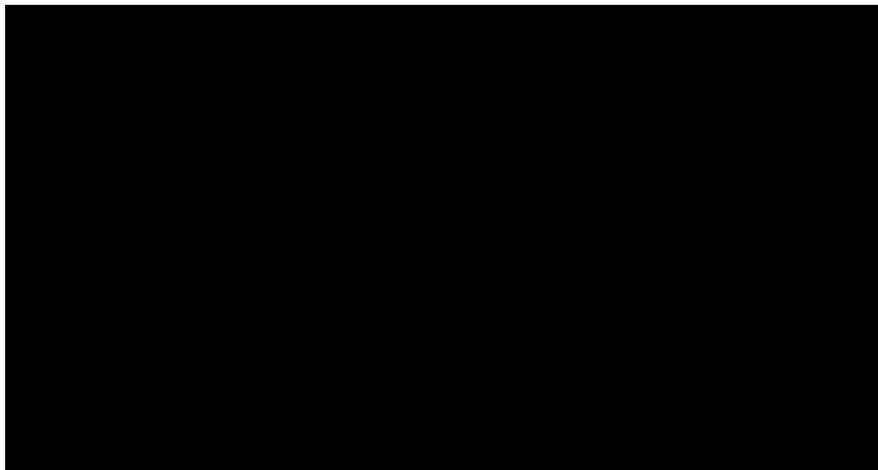


图 4-24 质子区监测单元组成示意图

ProBeam 质子治疗系统建立了上述在线辐射剂量监测系统，可对中心现场的辐射剂量进行实时监测、数据筛选及上传等功能。当所测区域及环境超过预设的报警阈值时，系统在就地和控制室发出报警信号，提醒现场工作人员采取措施，最终保证现场工作人员、病患以及周边公众的辐射安全和环境安全。

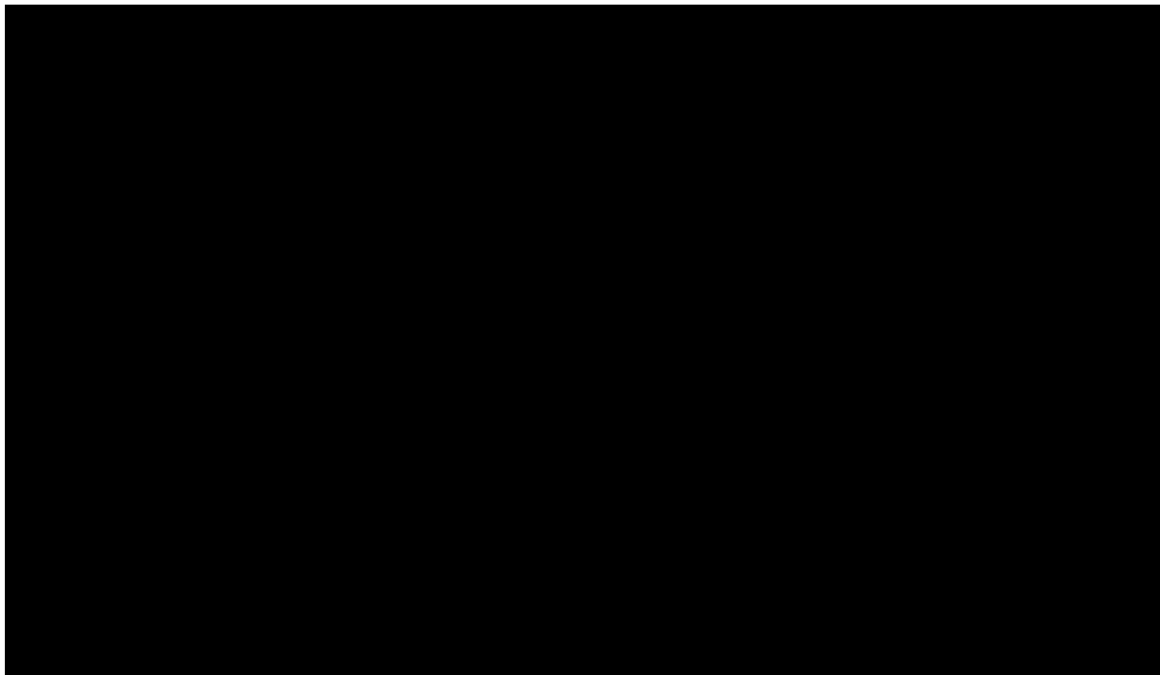


图 4-25 区域监测系统监控页面

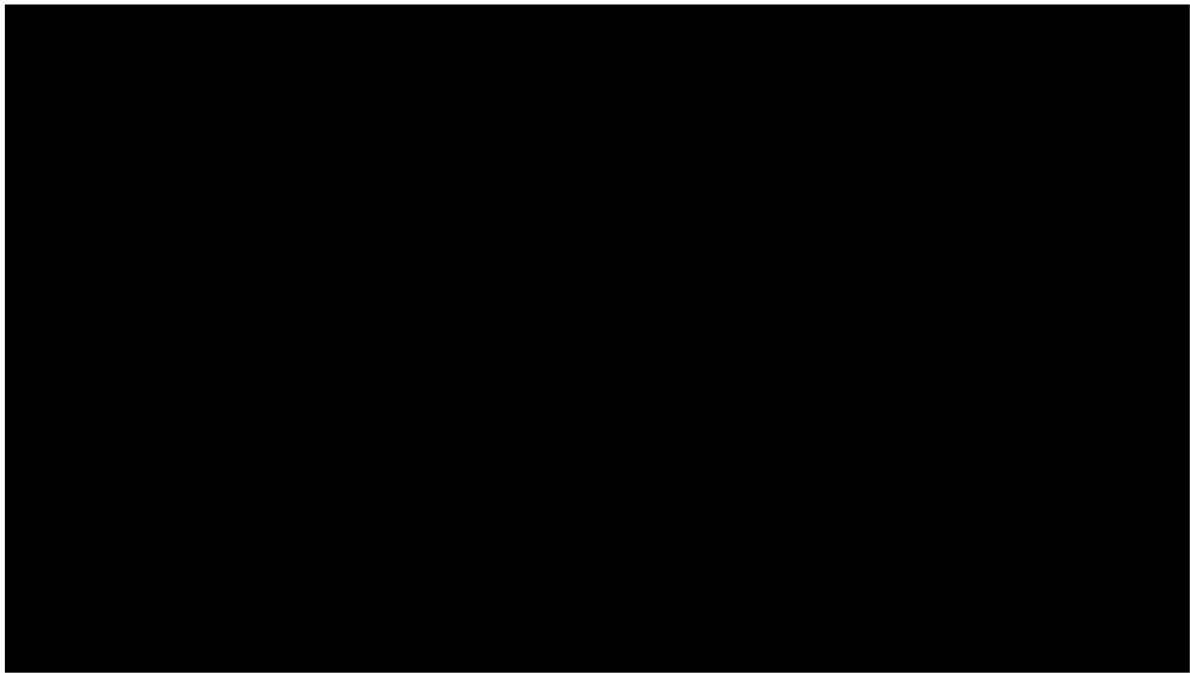


图 4-26 区域监测系统数据曲线

4.3.1.1 工作场所监测

质子治疗区工作场所监测采用固定式在线区域辐射监测、移动式巡测和委托第三方有资质单位监测相结合的方式。

4.3.1.1.1 固定式辐射监测系统

中心以环评阶段辐射工作场所固定式辐射监测点的布置对重点区域进行监测为原则对监测布点进行了优化设计，通过专家咨询论证确定适当减少质子区域辐射工作场所监测布点，增加 1 个环境监测点。因此，质子区域工作场所固定式辐射监测点位由原环评阶段提出的 24 个监测点调整为 14 个监测点，在院区内辐射工作场所以外靠近质子区新增 1 个环境监测点，该调整在中心“关于《合肥离子医学中心工程项目环境影响报告书》重大变动”的环评报告中进行了评价，并取得了安徽省生态环境厅的批复。质子治疗区域工作场所固定监测点位调整变化后的监测点位见表 4-4，现场区域监测仪见图 4-27，布点示意图见图 4-28~图 4-29。

表 4-4 质子治疗区工作场所监测点位布设详情

序号	关注点	对应位置	布点类型	备注
1	H3	加速器迷道中	γ 探测器	一层
2	6	研究室控制室	中子探测器、 γ 探测器	
3	12	固定室控制室	中子探测器、 γ 探测器	
4	18	旋转室 1 控制室	中子探测器、 γ 探测器	
5	19	旋转室 2 控制室	中子探测器、 γ 探测器	
6	25	旋转室 3 控制室	中子探测器、 γ 探测器	
7	7	固定室迷道口	γ 探测器	
8	H2	旋转室 1 迷道口	γ 探测器	
9	H2	旋转室 2 迷道口	γ 探测器	
10	H2	旋转室 3 迷道口	γ 探测器	
11	H1	输运线迷道口	γ 探测器	
12	/	放废间	γ 探测器	
13	U1	电源室	γ 探测器	二层
14	U8'	储存间	γ 探测器	
15	EN	院区外围（质子中心的西南侧）	中子探测器、 γ 探测器	环境监测

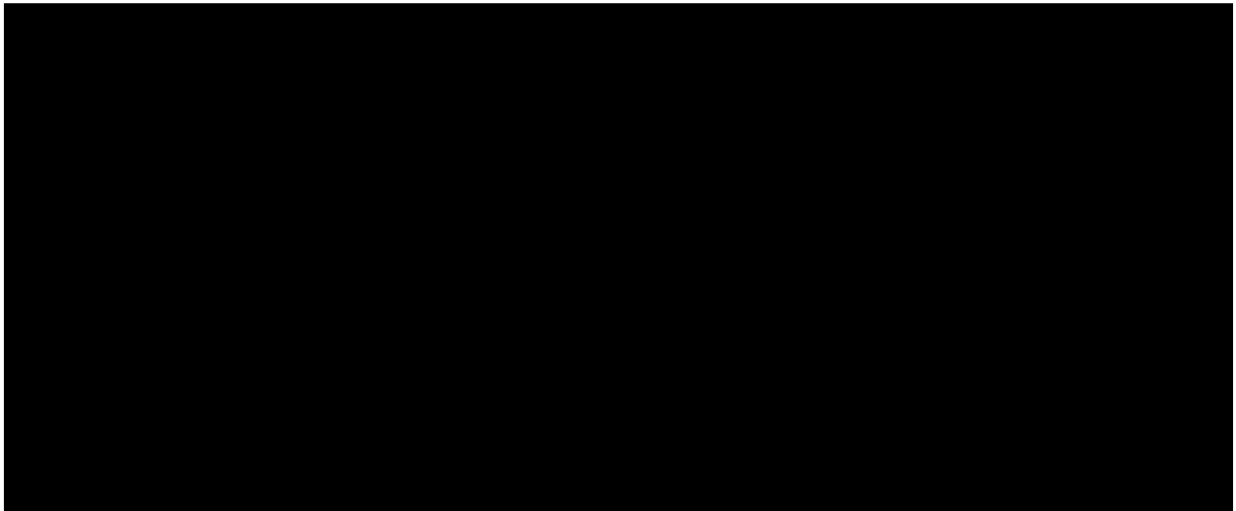
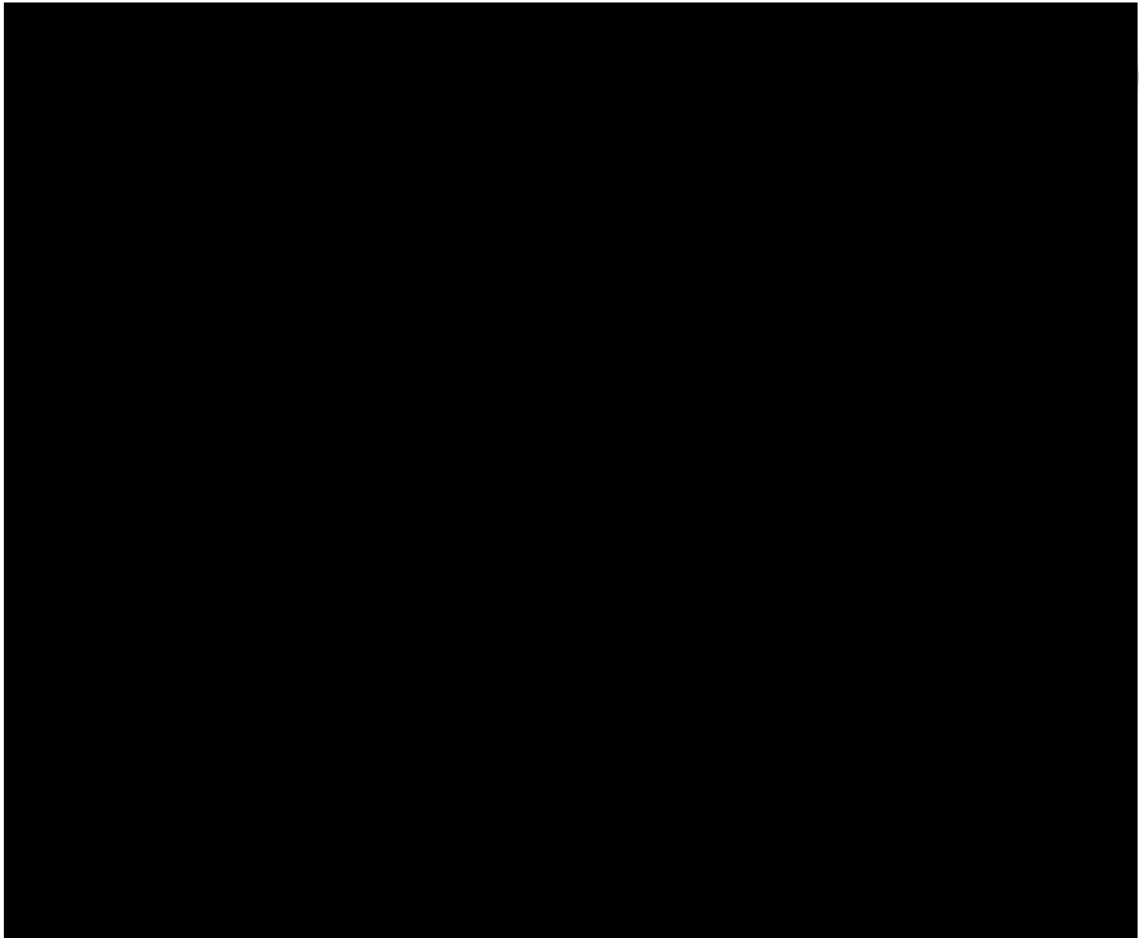
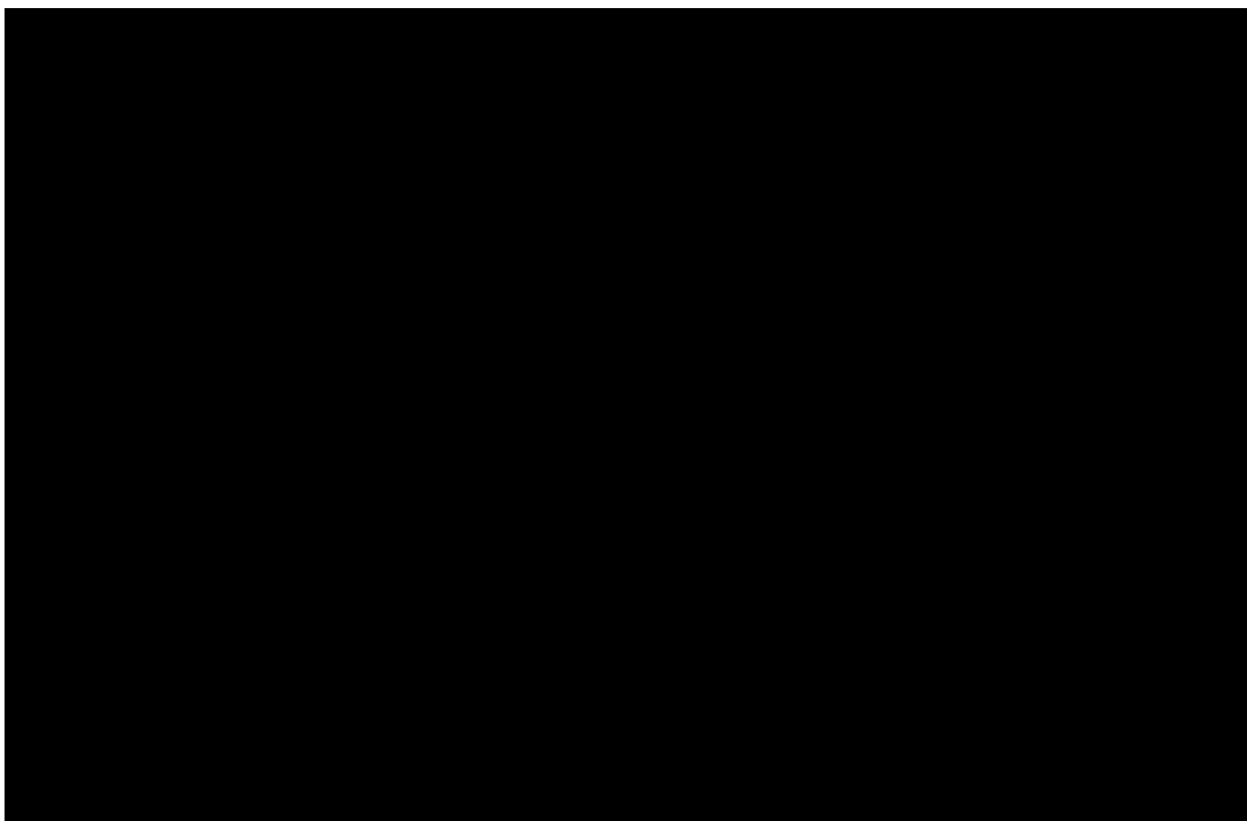


图 4-27 区域辐射监测仪及剂量报警装置



一层监测点布点图（图中：▲ 中子和 γ 探测器；● γ 探测器）

图 4-28 质子治疗区工作场所和环境监测点位图（1）



夹层（二层）监测点布点图

图中：▲ 中子和 γ 探测器；● γ 探测器。

图 4-29 质子治疗区工作场所和环境监测点位图（2）

4.3.1.1.2 移动式辐射监测系统

中心质子区的移动式辐射监测系统与固定式辐射监测系统间区别是可通过小推车随意移动到待监测点，其余硬件和上位机软件功能同固定式辐射监测系统相同。为保证质子系统的正常维护和日常巡检等需求，中心配备了 2 套移动式辐射监测系统（图 4-30）。主要用于：

（1）质子治疗系统运行期间，为设置固定监测点的位置或关心的热点位置进行辐射剂量的监测；

（2）质子系统停机后，对加速器大厅、治疗室设备区进行移动式监测，确保维护人员和进入辐射区的工作人员的身体健康；

（3）在系统运行期间，可做监测点探测器的对比，固定监测点故障时备用；

（4）实施日常管理，定期进行巡检工作，包括周检、月检和年检等，巡测包括范围有：回旋加速器区域、治疗室周围、辐射监督区边界、放射性污染物贮存室周围、重点关注点位，以及各辐射工作场所周围环境辐射剂量率；

（5）在质子区固定监测点的探测器每年定期送检校核时的临时替代监测。



图 4-30 移动监测设备照片

4.3.1.1.3 委托监测

中心每年还将委托有资质的单位进行运行期间的年度监测。

4.3.1.2 环境监测

环境监测采用固定式在线区域辐射监测、巡测和环境介质取样分析相结合的方式进行。

4.3.1.2.1 固定式辐射监测系统

固定式环境辐射监测利用在院区内（质子中心的西南侧）设置 1 个固定环境辐射监测点进行，作为环境监测的代表位置，该监测点位设一台γ探测器和一台中子探测器。具体点位如图 4-28 所示。

4.3.1.2.2 巡测

采用移动式辐射监测系统和便携式辐射监测仪表定期对中心各辐射工作场所周围环境辐射剂量率进行监测，仪表照片见图 4-30。

4.3.1.2.3 环境介质取样分析

环境介质取样分析委托有资质的单位进行，主要采用对环境介质样品（空气、水、土壤等）进行伽玛能谱分析等方法。定期对周围环境土壤、气溶胶取样，进行核素分析。并将数据收集整理，与不同时期的测量数据进行比对，存档。具体监测计划见表 4-5。

表 4-5 环境介质取样监测计划

监测对象	监测内容	监测周期	采样点位
土壤	³ H、 ⁷ Be 核素分析	1 次/年	本项目东、南、西、北四侧
冷却水	³ H、 ⁷ Be 核素分析	每次排放前监测	冷却水暂存池
地表水	³ H、 ⁷ Be 核素分析	1 次/年	离本项目最近的河流（燕子河）

4.3.1.3 个人剂量监测

质子治疗区辐射工作人员个人剂量监测采取累积式个人剂量计监测为主，个人剂量报警仪为辅的方式进行。质子治疗区配备的个人剂量计和个人剂量报警仪均需具有监测 X- γ 和中子的功能。

个人剂量计用于对放射性工作人员和相关医护人员的常规个人剂量监测，中心为每名放射性工作人员配备了个人剂量计，进入辐射工作场所必须佩戴个人剂量计，个人剂量计每季度委托有资质的单位监测一次，并建立辐射工作人员个人剂量档案，长期进行信息跟踪、监控。

个人剂量报警仪用于工作人员进入加速器大厅、治疗室（研究室）等辐射区内部维护、检修或应急时使用，报警仪能够实时显示工作人员该次工作的受照剂量和场所的剂量率水平，能够进行实施剂量预警。中心为进入辐射区内工作的人员建立档案，每次在辐射区内的工作结束后，记录工作人员的工作时间和该次工作期间的受照剂量，统一汇总在该工作人员个人剂量档案中。



图 4-31 个人剂量监测——个人剂量计实物照片



图 4-32 个人剂量监测——个人剂量报警仪实物照片

4.4 防护用品

中心配备的防护用品见下表。现场配备的防护用品实物图见图 4-33。

表 4-6 配备的防护用品

序号	防护用品名称	防护用品状态	数量
1	个人剂量计	正常	50
2	铅衣	正常	4
3	铅帽子	正常	4
4	铅手套	正常	4
5	铅眼镜	正常	4
6	铅围裙	正常	4
7	铅围脖	正常	1
8	铅裤衩	正常	2



图 4-33 防护用品实物照片（铅衣、铅手套等）

4.5 通风系统

考虑到质子治疗系统运行过程中，会产生少量感生放射性气体，质子治疗区的回旋加速器大厅和各治疗室（研究室）均设计和建设了通风系统，各区域通风系统参数见表 4-7。

表 4-7 质子治疗区通风系统参数

区域名称		通风方式	气流走向	体积, m ³	排风量, m ³ /h	换气次数
回旋加速器大厅		空调机送风+ 排风机排风	顶送风底 排风	1840	6120	3.3
固定束治 疗（研 究）室	治疗区	空调机送风+ 排风机排风	顶送风底 排风	150	1350	9
	设备区	由治疗区送风	顶送风底 排风	222	1350	6.1
旋转束治 疗室	治疗区	空调机送风+ 排风机排风	顶送风底 排风	94	1350	14.4
	设备区	由治疗区供风	顶送风底 排风	2033	1350	0.7

各区域气流走向和排风管道设置如图 4-34 所示。质子治疗区仅设一个总排风口，位于束流输运线隧道末端处的二层储存间的屋顶，排风高度约为 12.75m。排风口照片如图 4-36 所示，各区域的排风管道汇总至输运线隧道内，最终由该排风口排入环境。其中：回旋加速器大厅与输运线隧道连通，大厅内空气直接流通到输运线隧道内；各治疗室（研究室）的排风管道穿过与输运线隧道相连的屏蔽墙体，引入至输运线隧道内。

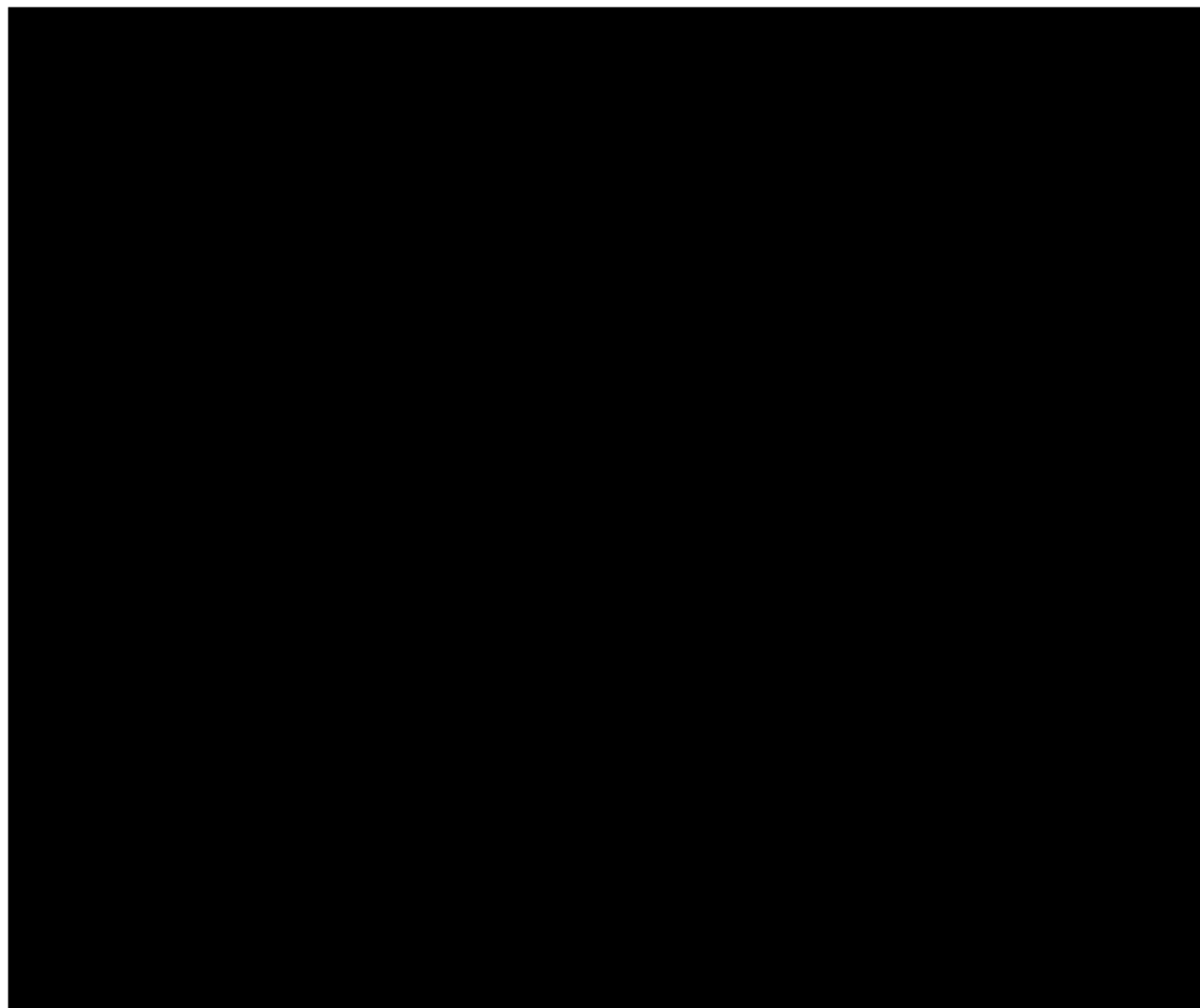


图 4-34 质子治疗区通风系统管道走向图

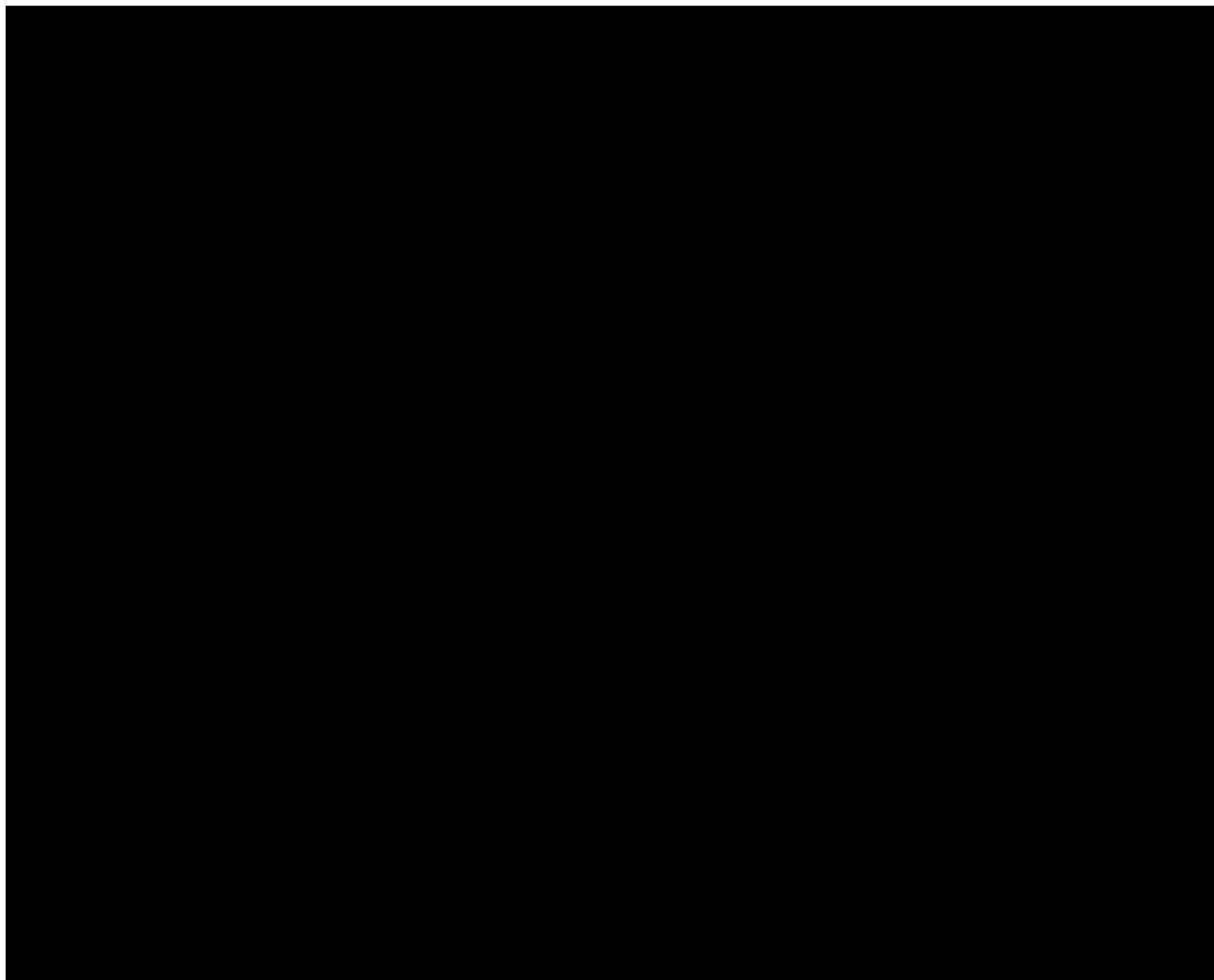


图 4-35 质子治疗区通风系统二层总排风口位置图

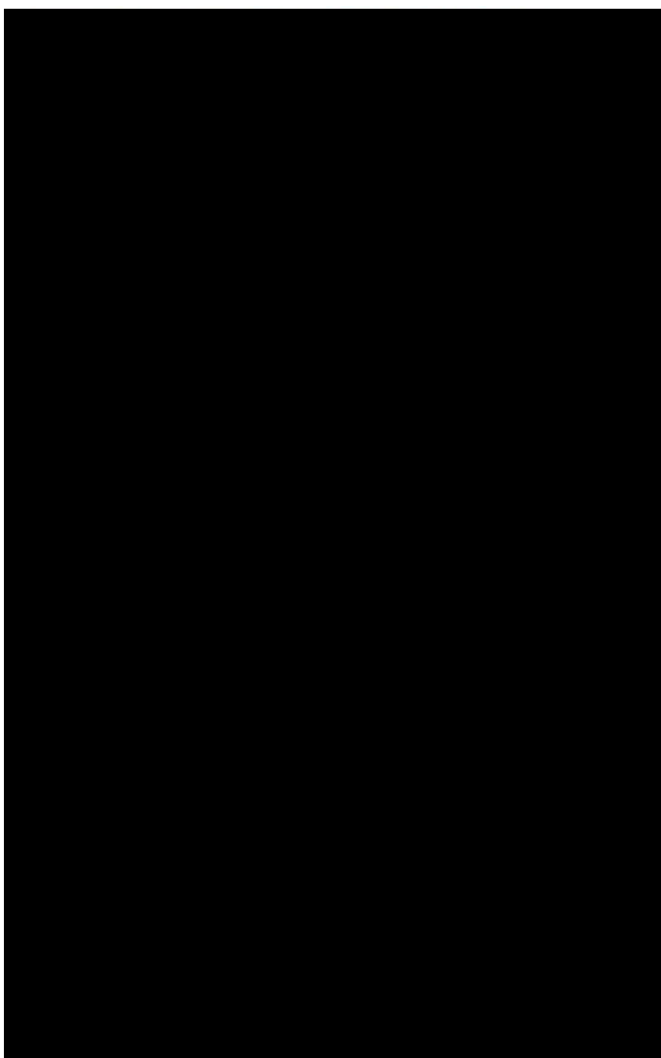


图 4-36 质子区排风口现场照片

4.6 放射性三废的治理

4.6.1 放射性废气

(1) 废气来源

质子治疗系统运行过程中将会产生感生放射性气体，其主要放射性核素为 ^{13}N （ $T_{1/2}[^{13}\text{N}]=9.965\text{min}$ ）、 ^{15}O （ $T_{1/2}[^{15}\text{O}]=2.037\text{min}$ ）、 ^{11}C （ $T_{1/2}[^{11}\text{C}]=20.39\text{min}$ ）和 ^{41}Ar （ $T_{1/2}[^{41}\text{Ar}]=1.8\text{h}$ ）。

(2) 废气处理措施

质子治疗系统运行产生的空气感生放射性核素均为短半衰期核素，经过一段时间后可自行衰变至较低水平。质子治疗系统各区域均设有排风管道，装置运行过程中通风系统保持开启。感生放射性气体经各区域排风管道排入输运线隧道，最终由输运线隧道末端处二层屋顶的排风口排入环境。

4.6.2 放射性废水

本项目产生的放射性废水主要是活化的冷却水。质子治疗系统所用冷却水为去离子水，去离子水在使用过程中，由于 ^{16}O 散裂反应可能形成的放射性核素中除 ^7Be 、 ^3H 外，其余核素的半衰期都很短，放置一段时间就基本可以衰变。

质子治疗系统正常运行期间，冷却水闭路循环不排放，只在设备相关部位检修时才需要排放。根据分析，可能被活化的主要是回旋加速器冷却水环路，该环路冷却水流经的所有区域均设有地面排水管。第三旋转束治疗室底板下西北角设有 1 个冷却水暂存池，采用防水衬砌混凝土，尺寸（长×宽×深）为 $1.5\text{m}\times 1.5\text{m}\times 3\text{m}$ ，有效容积为 5.6m^3 （见图 4-38），更换下来的冷却水经地面排水管排往冷却水暂存池内暂存。暂存一定时间后，短半衰期核素 ^{15}O 、 ^{13}N 和 ^{11}C 等将迅速衰变，浓度也很快降低，因此只需考虑半衰期较长的 ^3H 和 ^7Be 。

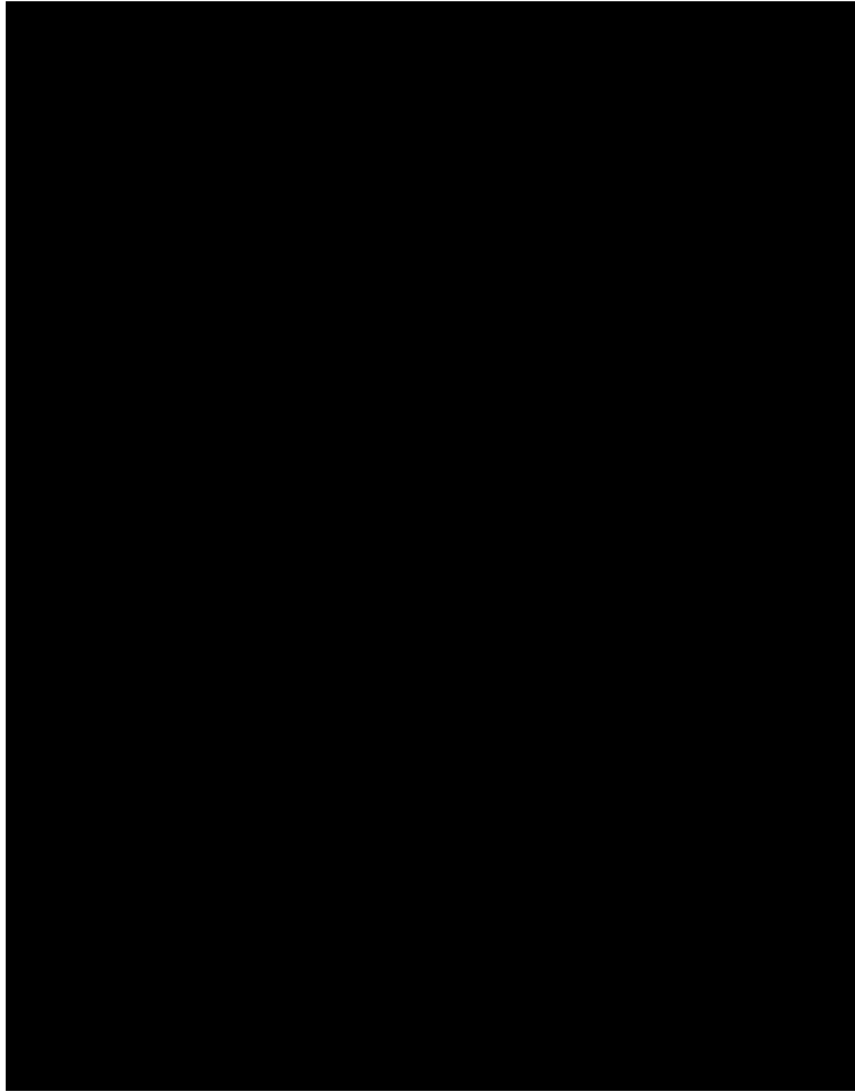


图 4-37 暂存池现场照片（1）

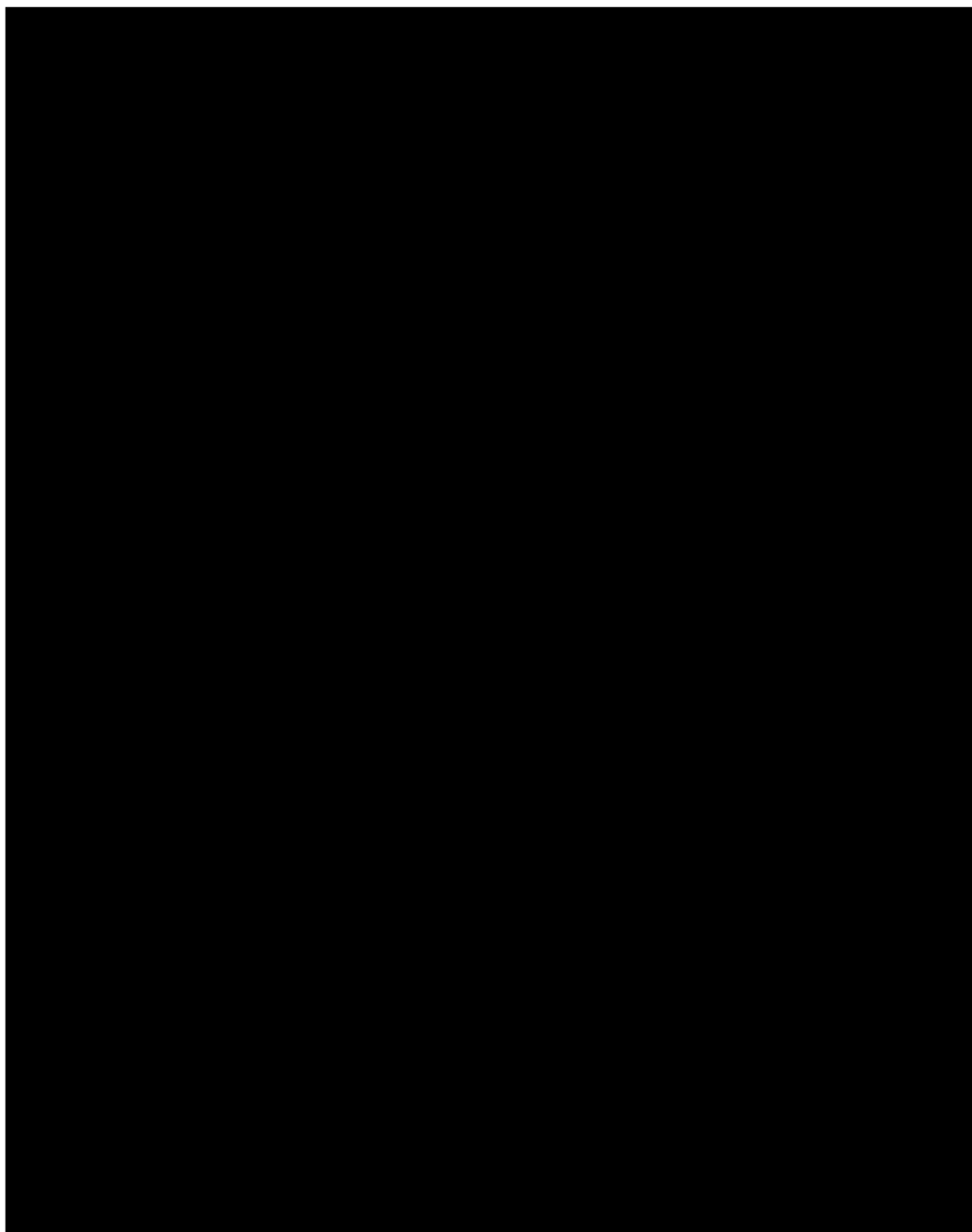


图 4-38 暂存池现场照片（2）

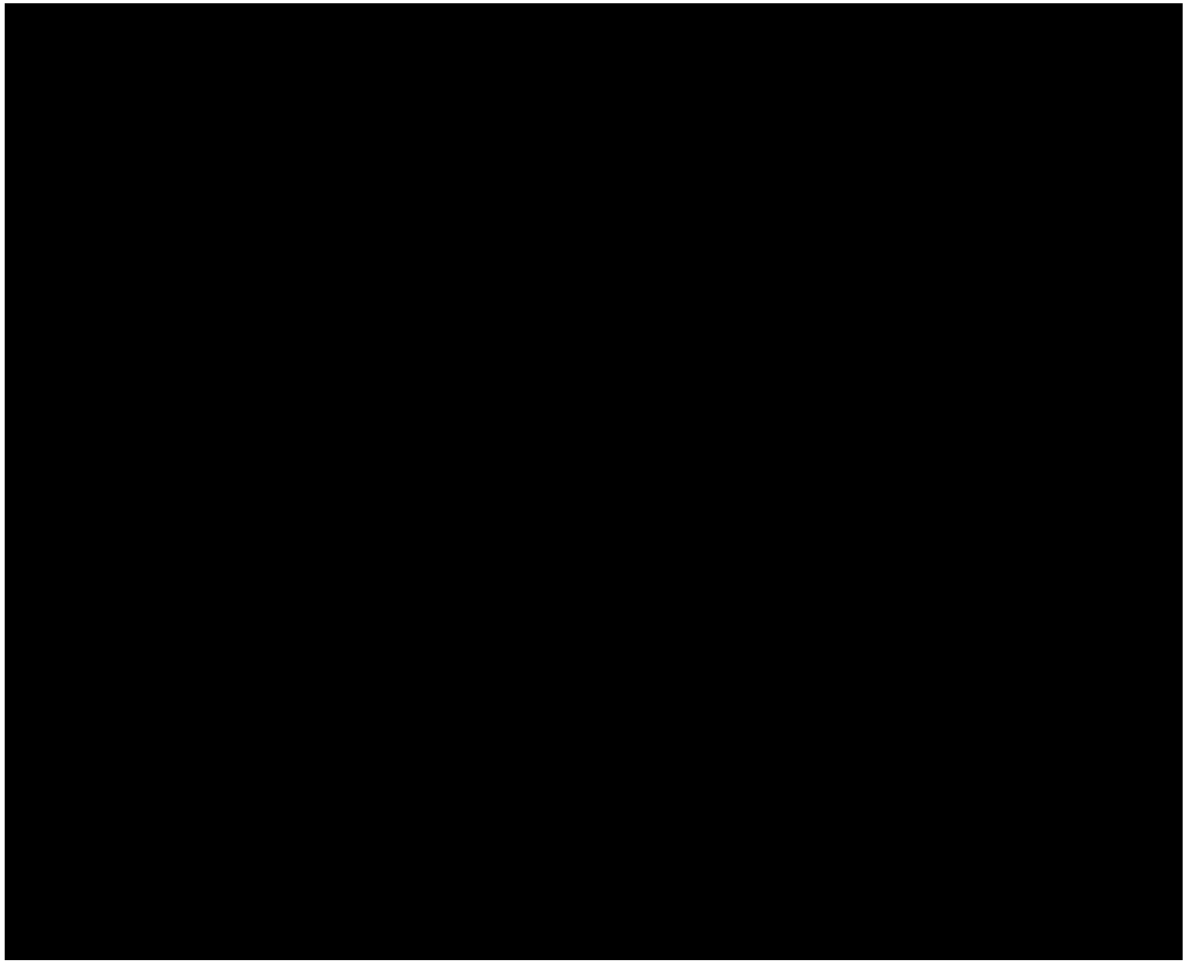


图 3-25 冷却水暂存池位置图

暂存池内的冷却水在排放前必须进行取样测量，满足国家相关规定的排放标准（《污水综合排放标准》（GB8978-1996）第一类污染物最高允许排放浓度标准要求（总 β 放射性浓度不大于 10Bq/L），并经审管部门批准后，方可排入医院污水管。根据 GB18871-2002，计算了冷却水中 ^3H 和 ^7Be 的单次排放限值 $1\text{ALI}_{\min}$ 和单月排放限值 $10\text{ALI}_{\min}$ ，具体见表 4-8。

表 4-8 冷却水感生放射性核素排放限值

核素	单次排放限值 $1\text{ALI}_{\min}$ (Bq)	单月排放限值 $10\text{ALI}_{\min}$ (Bq)
^3H	4.76E+08	4.76E+09
^7Be	3.85E+08	3.85E+09

4.6.3 放射性固体废物

质子治疗系统主要的结构部件包括弯转磁铁、真空管壁及束流闸等，主要材料是铁和铜，在装置的使用寿命期间，这些结构部件会被活化，参考同类加速器

运行情况，预计每年放射性固体废物产生量小于 1m^3 。

对于高于豁免水平的结构部件，需对拆卸下来的部件加强管理，进行辐射水平监测、登记，暂存在专用的贮存装置内。本项目在一层质子治疗区西侧设有放射性部件储存间，如图 4-39 所示。拆除的活化的结构部件经包装后集中暂存在该储存间，最终将委托有资质的单位统一处理。

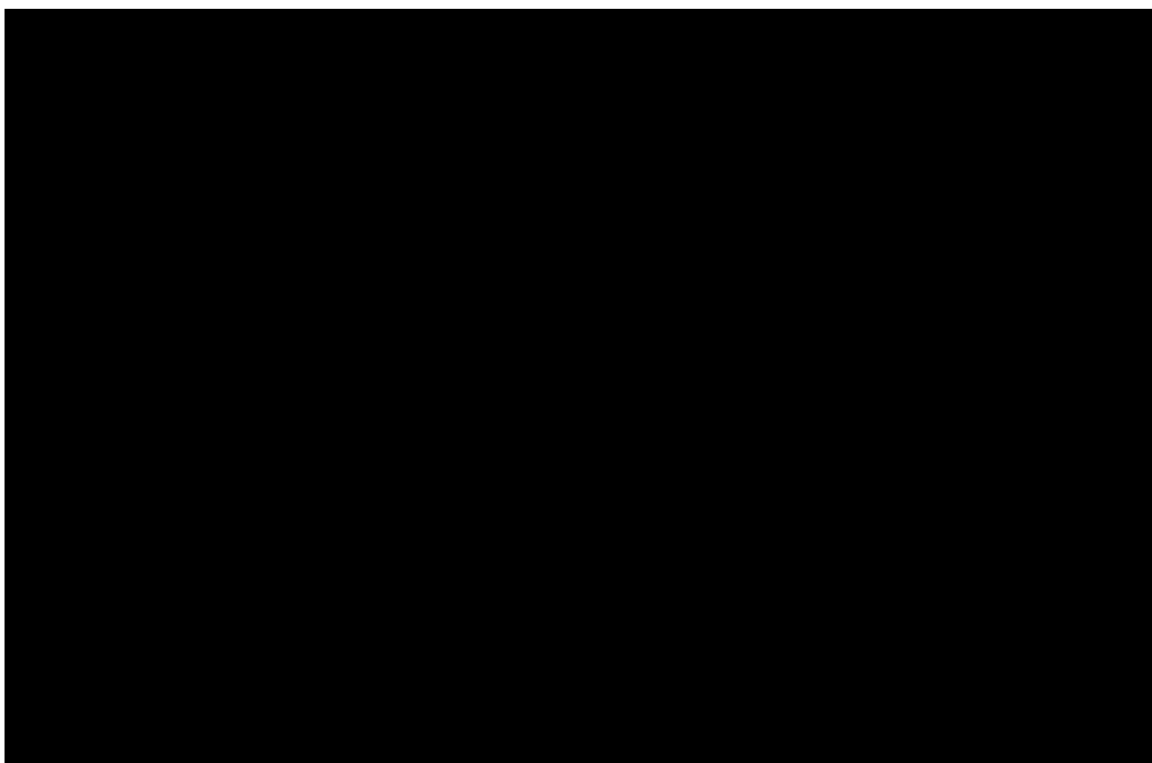


图 3-26 放射性部件储存间位置示意图

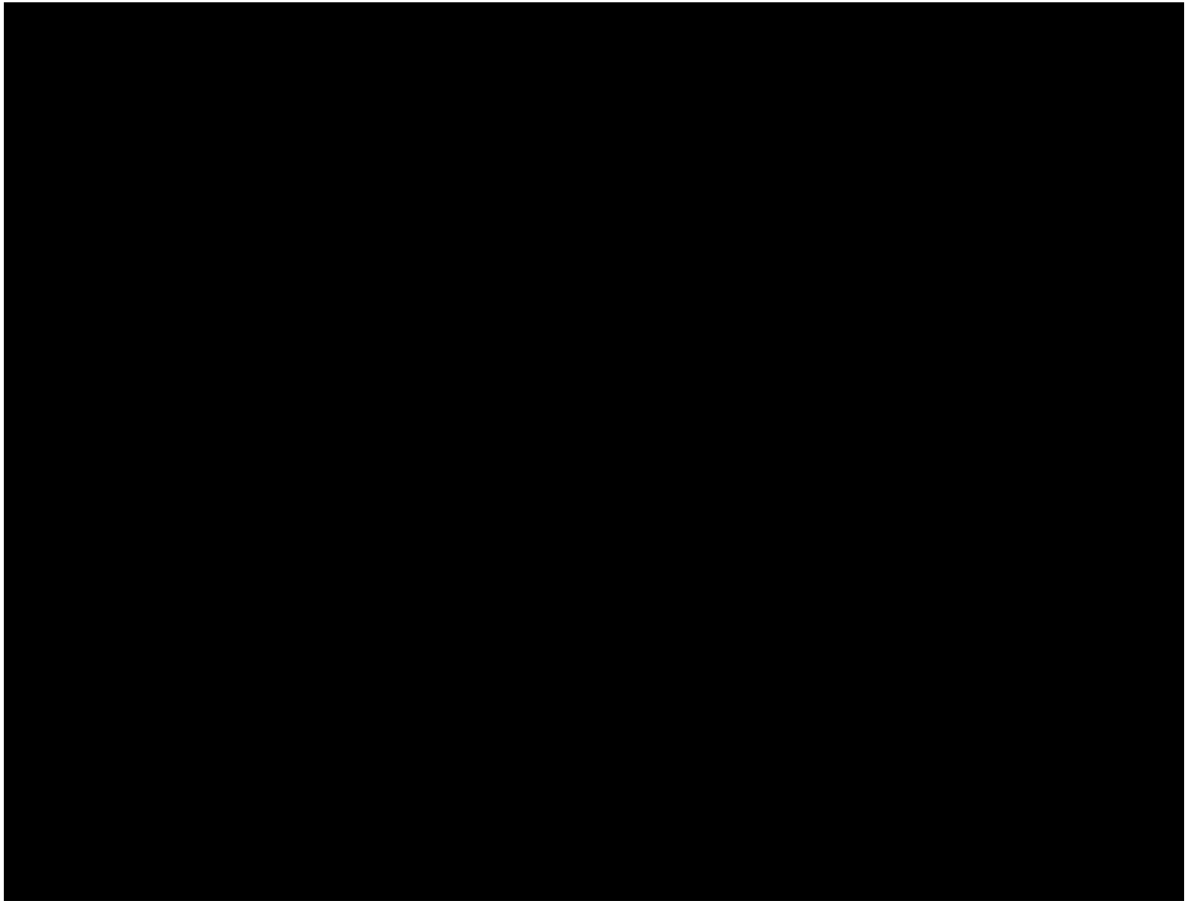


图 4-39 放射性固体废物储存间

4.7 辐射安全管理措施

4.7.1 辐射安全防护管理机构

中心设有健全的辐射安全与防护管理机构，组长由中心副主任担任，全面负责辐射安全与防护管理工作；小组成员由技术设备部、临床物理技术科、医学工程装备部、医学医疗部等部门的负责人组成，具体承担辐射安全与防护管理的日常工作。

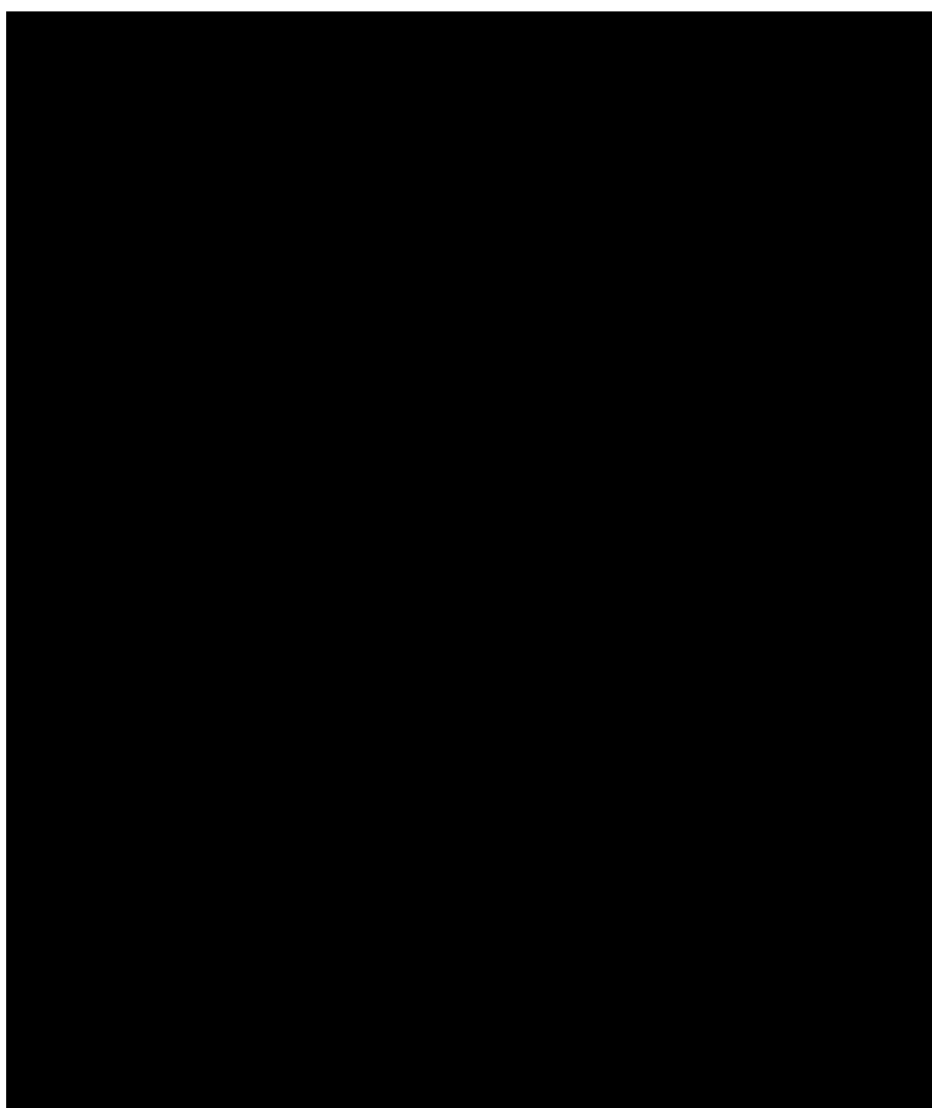


图 4-40 中心设立辐射安全与防护管理机构的通知

4.7.2 辐射管理规章制度

为加强辐射安全管理，中心已经制定并建立以下辐射安全和防护管理制度，主要包括：

- (1) 《关于成立合肥离子医学中心辐射安全与防护管理机构的通知》
- (2) 《合肥离子医学中心辐射防护管理制度》
- (3) 《合肥离子医学中心辐射工作人员个人剂量监测和职业健康管理制度》
- (4) 《合肥离子医学中心辐射工作人员培训和考核管理制度》
- (5) 《合肥离子医学中心射线装置使用台账管理制度》
- (6) 《合肥离子医学中心射线装置安全保卫制度》
- (7) 《合肥离子医学中心放射性废物管理制度》
- (8) 《合肥离子医学中心质子治疗系统工作人员岗位职责》
- (9) 《合肥离子医学中心质子治疗系统辐射防护和安全保卫管理细则》
- (10) 《合肥离子医学中心质子治疗系统运行操作规程》
- (11) 《合肥离子医学中心质子治疗系统清场搜索管理及安全联锁操作规》
- (12) 《合肥离子医学中心质子治疗系统维护维修管理制度》
- (13) 《合肥离子医学中心质子治疗系统外来人员进出控制区管理办法》
- (14) 《合肥离子医学中心质子治疗区监测方案》
- (15) 《合肥离子医学中心辐射事故应急预案》

中心在日常管理运行中，能严格按照上述制定的规章制度，运行至今未发生过辐射安全事故。规章制度已上墙，现场图见图 4-41。

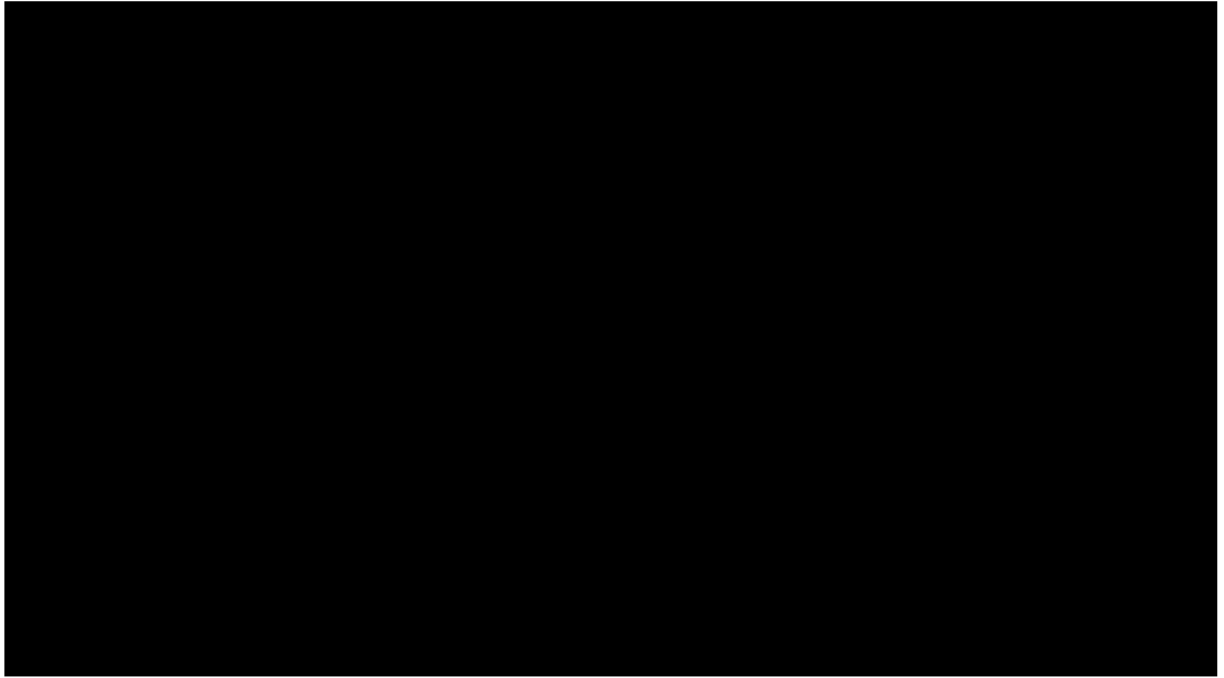


图 4-41 规章制度上墙

4.7.3 人员培训

本项目的辐射工作人员主要为辐射安全与防护负责人以及从事质子治疗的工作人员，共 40 人，均通过生态环境部认可的辐射安全与防护考核。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（中华人民共和国环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行），申请者应对从事辐射工作的人员进行辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，并进行考核，合格后方可上岗。

其次根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部办公厅 2019 年 12 月 24 日印发）规定：

（1）自 2020 年 1 月 1 日起，各级生态环境部门不再对从事辐射安全培训的单位进行评估和推荐，不再要求从事放射性同位素与射线装置生产、销售、使用等辐射活动的人员参加以上单位组织的辐射安全培训。有相关培训需求的人员可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习相关知识。

（2）自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安

全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部培训平台报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。

（3）生态环境部门将通过培训平台定期发布考核计划，参加考核的人员可以通过相关渠道进行报名。

中心制定了辐射工作人员培训和考核计划，从事放射性操作的工作人员、新上岗及调入的工作人员在上岗前必须根据其工作内容参加相应类别的辐射安全与防护考核，取得合格成绩单后才能上岗。在成绩有效期过期前再次考核，现有辐射工作人员在合格成绩单过期前参与考核，考核不合格的人员，不得从事辐射工作。本项目辐射工作人员辐射安全与防护考核合格成绩单及证书见附件 9

2022 年初至今，公司已组织的内部培训包括核安全文化、辐射防护知识与安全管理制度、全国安全生产电视电话会议精神培训等，培训现场照片如下。

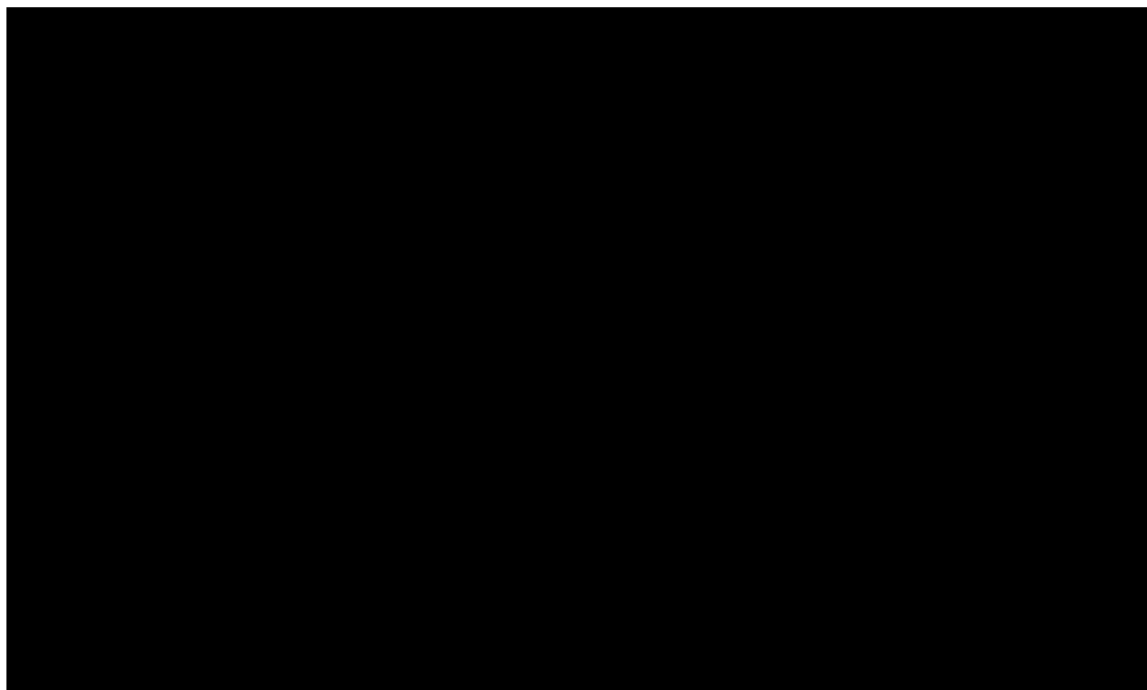
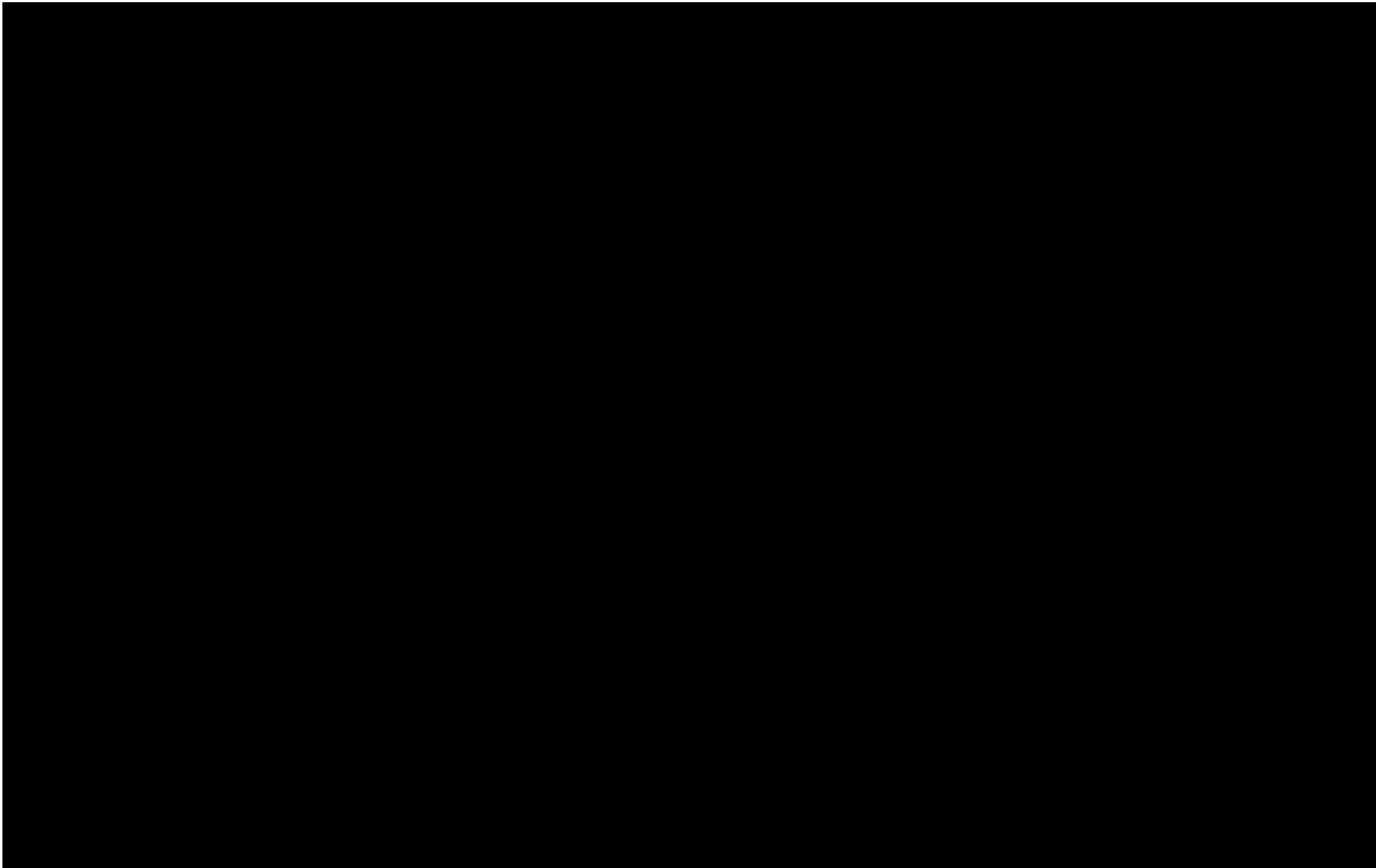
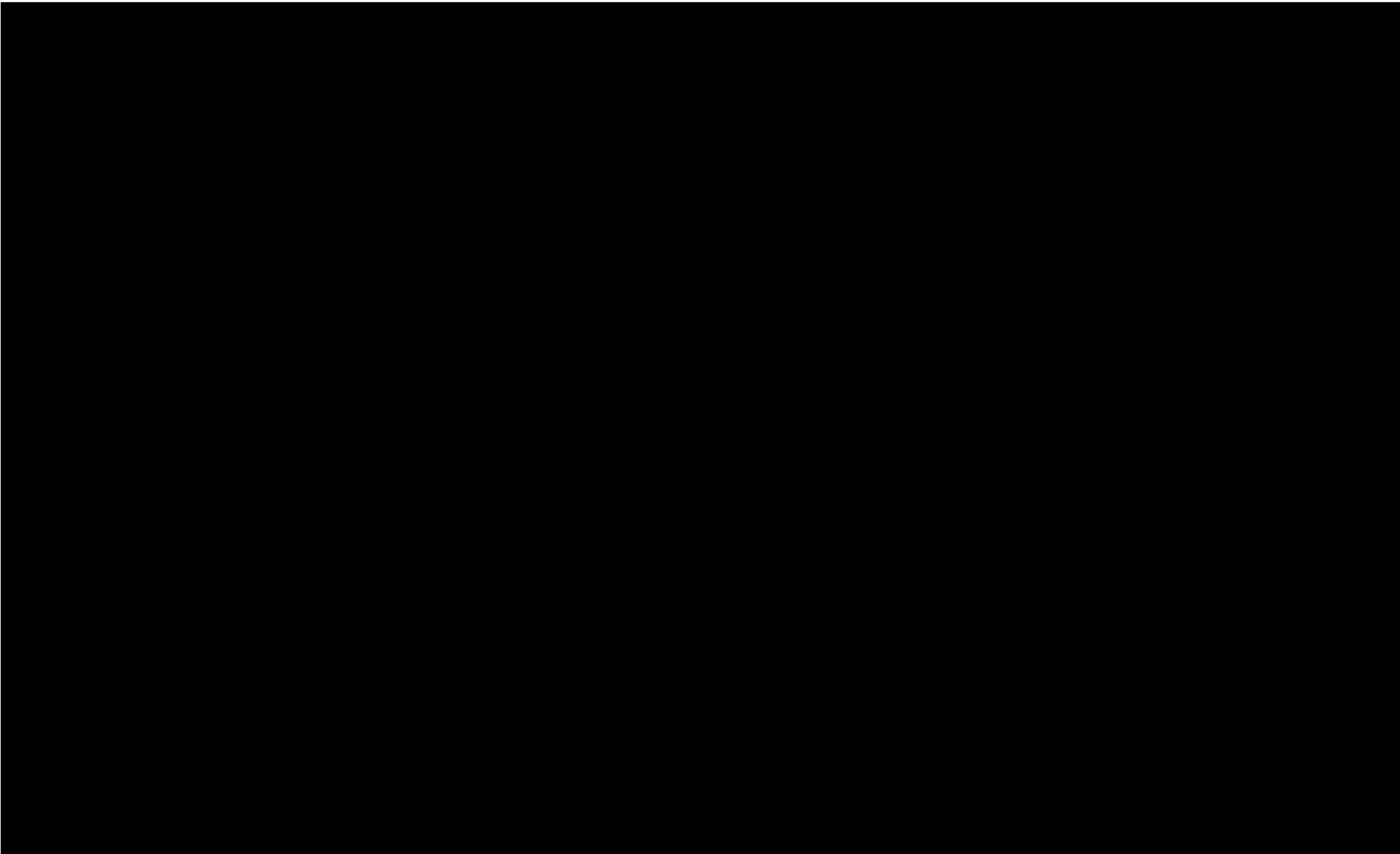
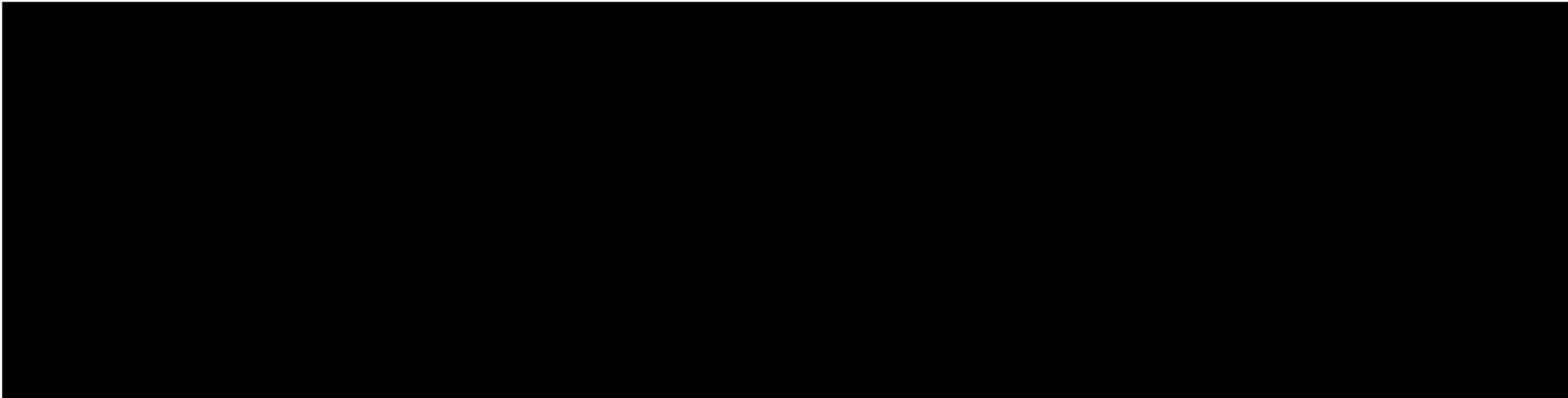


图 4-42 工作人员培训实况图







4.7.4 个人剂量监测及职业健康体检

中心为其辐射工作人员配备了个人剂量计，进入辐射工作场所必须佩戴个人剂量计，个人剂量计每季度委托有资质的单位监测一次，并建立辐射工作人员个人剂量档案，长期进行信息跟踪、监控。根据中心最新 2022 年前三季度的辐射工作人员个人剂量监测报告（见附件 4），本项目辐射工作人员年最大受照剂量为 0.05mSv/a。

此外，进入辐射区域内接触到活化水平较高的部件的工作人员须佩戴直读式个人剂量报警仪，报警仪能够实时显示工作人员该次工作的受照剂量和场所的剂量率水平。中心为进入辐射区内工作的人员建立档案，每次在辐射区内的工作结束后，记录工作人员的工作时间和该次工作期间的受照剂量，作为下次进入辐射区工作时制定工作方案的依据。

放射工作人员职业健康检查分为：上岗前职业健康检查、在岗期间定期职业健康检查、离岗时职业健康检查、应急照射或事故照射的健康检查、医学随访观察。

在岗期间定期职业健康检查的周期定为 2 年。未经上岗前职业健康检查人员不得上岗，未经离岗时的健康检查人员不得离岗。

职业健康检查结果报告分为三种：职业健康检查总结报告、职业健康检查个体结论报告、职业健康监护评价报告。其中职业健康检查个体结论报告一式两份，一份给劳动者本人，一份公司留存。

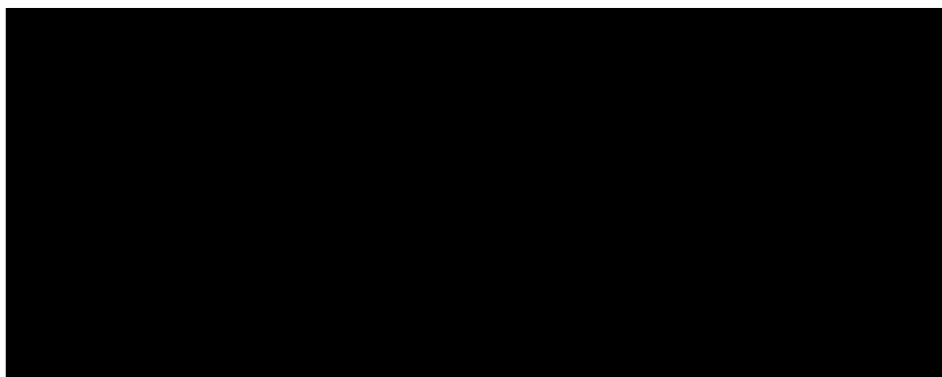


图 4-43 工作人员职业健康检查表和健康监护档案照片

4.7.5 辐射监测

中心制定了《合肥离子医学中心质子治疗区辐射监测方案》，并配备了辐射监测仪表。使用质子治疗系统期间的监测主要有自行监测和委托检测，详见附件 5。

4.7.6 辐射事故应急管理

中心已制定较为完善的辐射事故应急预案《合肥离子医学中心辐射事故应急预案》，建立了应急组织体系，并规定了应急组织体系的职责任务以及相关应急措施，并定期组织开展应急演练，确保在发生辐射事故时，能有序、迅速地采取正确的处理措施，缓解事故后果，控制辐射事故的发展，将事故对人员、财产和环境的损失减少到最低限度。

2022 年 12 月 9 日，中心开展了每年一次的辐射事故应急预案培训及应急演练。模拟了运维组成员滞留 5 号治疗舱受到误照射的事故场景，现场照片见图 4-44，中心应急预案详见附件 6，本次应急演练总结报告见附件 16。

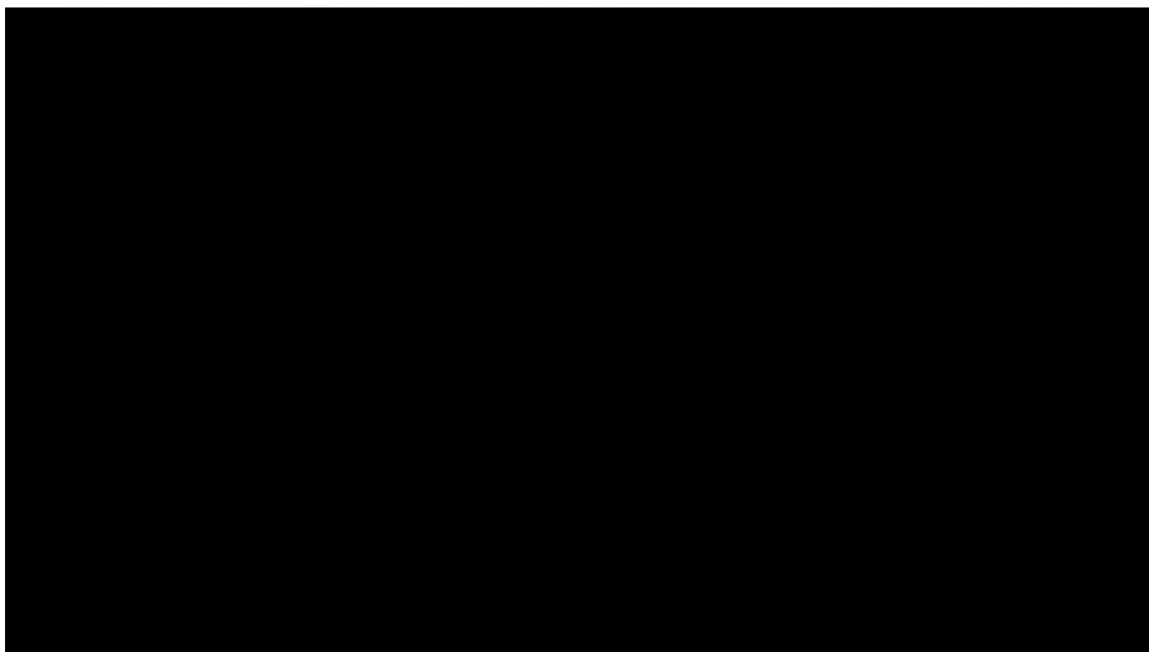


图 4-44 应急演练现场照片

4.8 定位用 X 射线管

定位用 X 射线管运行时产生的辐射污染物主要是 X 射线，为了减少 X 射线对人员、环境的辐射影响，对其主要采取屏蔽防护和辐射安全联锁等措施。

4.8.1 屏蔽防护

为屏蔽定位用 X 射线管在运行中产生的 X 射线，利用治疗室原有的屏蔽主体墙（屏蔽墙主要为了屏蔽质子治疗情况的辐射剂量）来屏蔽 X 射线，防止对治疗室外工作人员带来辐射；本项目的 X 射线控制台在质子治疗机房内核机房外控制室都可以控制出束，按照本项目 X 射线管操作规程，X 射线操控需在治疗室外的控制室进行。

而治疗室内定位机控制台（观察室）设置有隔断，见图 3-31 和图 3-32。按照国家职业卫生标准《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T180-2006）的要求，对在面向射线方向设置了屏蔽，由墙体和观察窗组成，在墙体部分加 3mm 铅板，观察窗选用 3cm 铅玻璃，均超过 2.5mmPd 的标准要求，以确保定位工作时操作人员的辐射剂量安全。

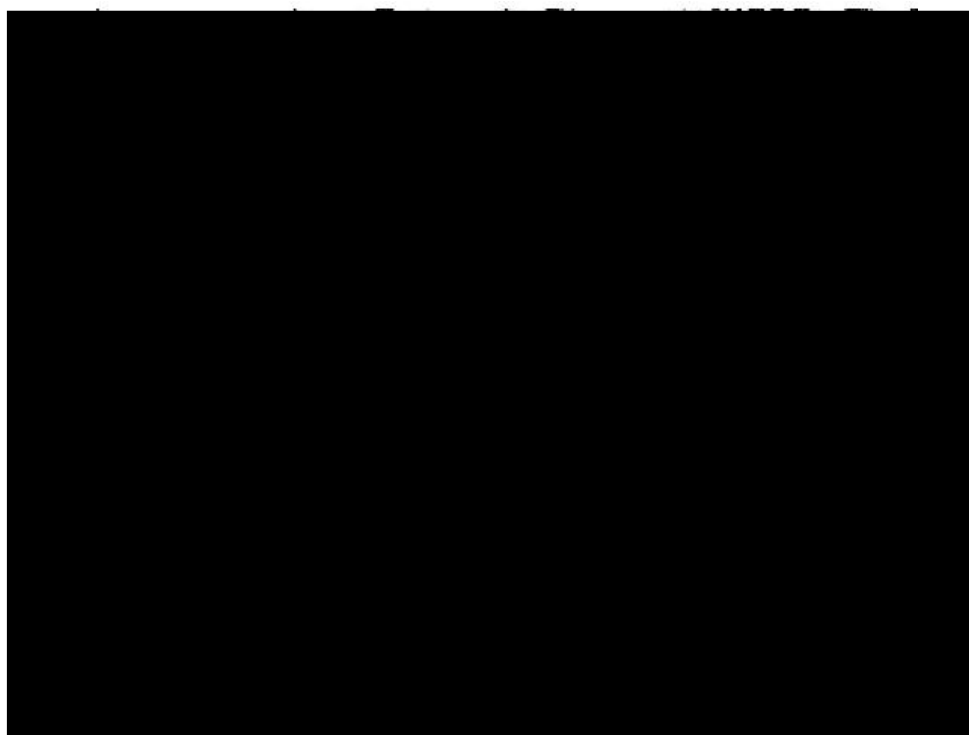


图 4-45 治疗室内设置的定位机控制台（观察室）隔断设置示意图

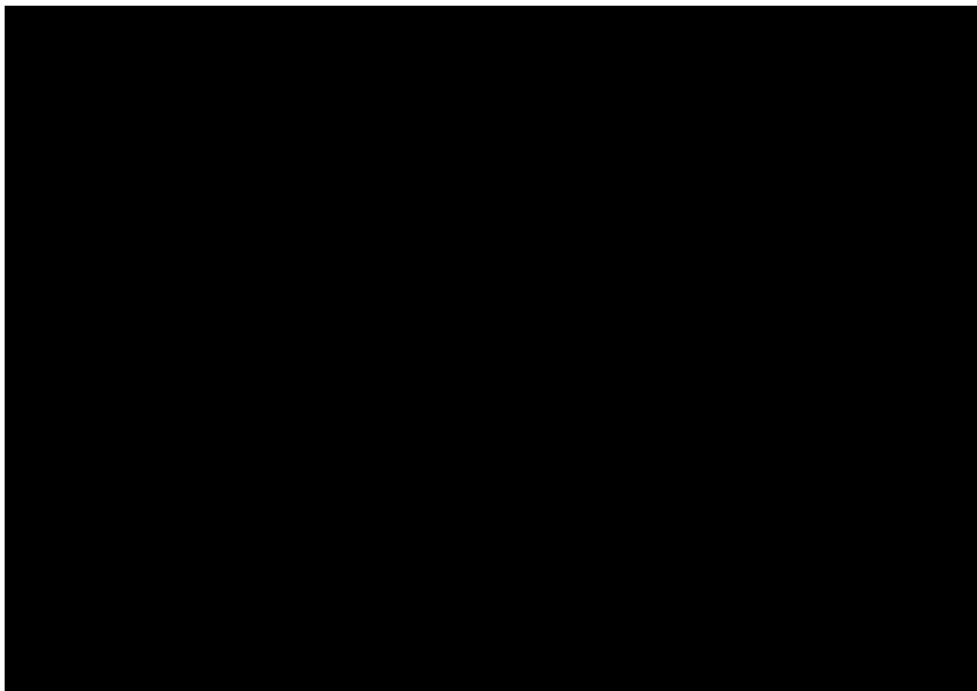


图 4-46 治疗室内设置的定位机控制台（观察室）隔断设置现场照片

4.8.2 安全联锁措施

（1）门灯联锁

如果在治疗室（研究室）外进行定位操作时，必须将治疗室（研究室）搜索清场并建立定位联锁后才可以开始进行定位开机，此时治疗室（研究室）门口工作状态指示灯为黄色，治疗室（研究室）门关闭。如果治疗室（研究室）门被打开，则定位机禁止曝光，指示灯切换为绿色。

（2）急停装置

按下治疗室内任何急停按钮、治疗室（研究室）门外控制间内急停按钮以及定位系统操作台上的急停按钮时，定位系统断电保护，禁止出束曝光。

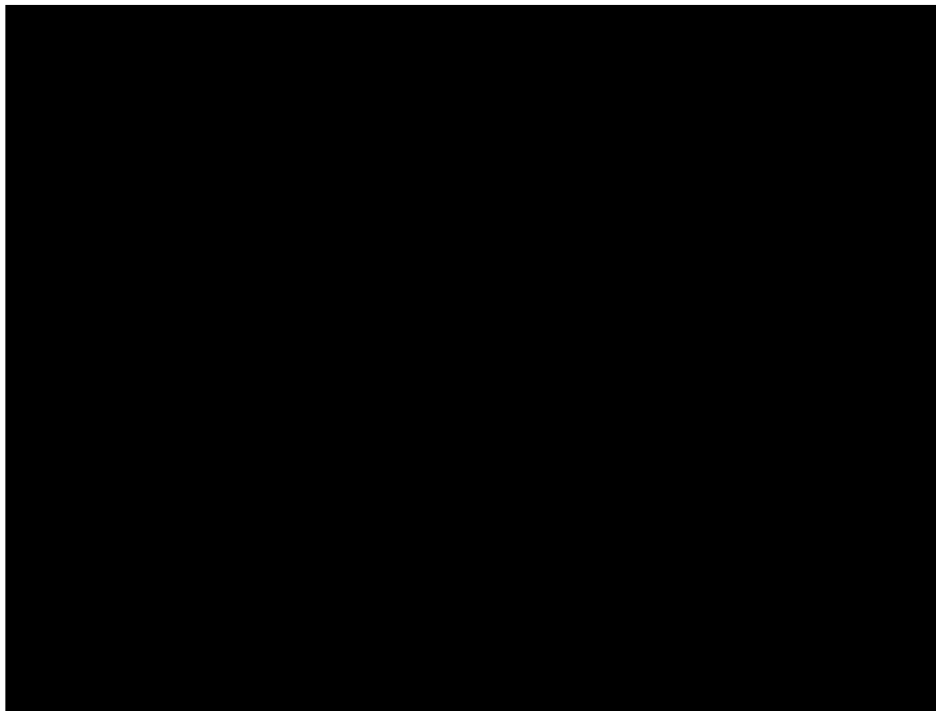


图 4-47 定位系统操作台上的急停按钮

(3) 警告标识

治疗室（研究室）门口上设置明显的电离辐射警告标识。

4.9 环保设施投资及“三同时”落实情况

本项目辐射防护管理、辐射安全和防护措施、人员管理、监测仪器和防护用品严格按照“三同时”的要求进行建设管理。

表 4-10 “三同时”验收内容及要求情况表

项目		“三同时”验收内容及要求	验收情况
辐射防护管理	辐射安全管理机构	成立的辐射安全管理领导小组，满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中的相关要求	中心设有健全的辐射安全与防护管理机构，组长由中心副主任担任，全面负责辐射安全与防护管理工作；小组成员由技术设备部、临床物理技术科、医学工程装备部、医学医疗部等部门的负责人组成，具体承担辐射安全与防护管理的日常工作。
	辐射安全管理制度	按环评要求制定相关制度，内容全面，具有可操作性。不断更新完善，严格落实并进行记录。	中心结合实际情况制订了辐射事故应急预案、射线装置操作规程、辐射工作人员岗位职责等辐射安全管理规章制度。
辐射安全和防护措施	辐射工作场所屏蔽体外剂量率水平	1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由以下周剂量参考控制水平 ($\dot{H}_c$) 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$): 机房外辐射工作人员: $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$; 机房外非辐射工作人员: $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$。 2) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$): 人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$; 人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$。 (2) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量 250	根据监测结果可知符合相关要求

		μSv 加以控制。 (3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶, 机房顶外表面 30 cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv/h}$ 加以控制。	
	辐射安全防护措施(联锁装置、警示标志、工作指示灯等)	机房防护门应与设备联锁; 机房相关位置(如机房入口处上方等)应安装醒目的照射指示灯和辐射标志; 工作制度、操作规程等张贴上墙。	均已落实
人员管理	辐射防护与安全培训和考核	所有辐射工作人员参加辐射安全与防护培训, 考核合格后上岗。	本项目的辐射工作人员共 40 人, 均通过生态环境部认可的辐射安全与防护考核。中心制定了辐射工作人员培训和考核计划, 从事放射性操作的工作人员、新上岗及调入的工作人员在上岗前必须根据其工作内容参加相应类别的辐射安全与防护考核, 取得合格成绩单后才能上岗。在成绩有效期过期前再次考核, 现有辐射工作人员在合格成绩单过期前参与考核, 考核不合格的人员, 不得从事辐射工作。
	个人剂量监测及体检	建立个人剂量档案和职业病健康档案, 辐射工作人员的年受照剂量不超过 5mSv 。	中心为辐射工作人员配备了个人剂量计, 辐射工作人员, 进入辐射工作场所必须佩戴个人剂量计, 个人剂量计每季度委托有资质的单位监测一次, 并建立辐射工作人员个人剂量档案, 长期进行信息跟踪、监控。根据中心最新 2022 年前三季度的辐射工作人员个人剂量监测报告, 本项目辐射工作人员年最大受照剂量为 0.05mSv/a 。同时中心为辐射工作人员建立了职业病健康档案, 定期进行职业健康检查。
监测仪器和防护用品	监测仪器	便携式中子辐射巡测仪、便携式 X- γ 辐射巡测仪、便携式表面污染监测仪、手足衣物污染监测仪、个人剂量计和直读式个人剂量报警仪	中心已配置固定、便携型 X- γ 探测器和中子测量仪等辐射监测设备, 辐射工作人员已配备个人剂量报警仪。
	防护用品	为辐射工作人员配备工作	中心配有防护铅服、铅手套

		服、口罩、手套、鞋套等工作用品。	等个人防护用品。
--	--	------------------	----------

4.10 监管部门的监督检查及落实情况

2022年5月12日及2022年7月13日生态环境部华东核与辐射安全监督站对中心进行辐射安全例行监督检查，监督检查期间提出的问题和落实情况见下表，辐射安全监督检查汇报见附件10、附件11。

表 4-11 主要存在问题及落实情况表（2022年5月12日监督检查）

存在的主要问题及整改要求	落实情况
1. 合肥离子医学中心回旋加速器竣工环保验收尚未完成。应尽快完成竣工环保验收工作。	根据中心目前工作进展，预计今年12月质子治疗系统整体交付后开展竣工环保验收。前期中心已开展竣工环保验收招标工作，因投标报名单位数量不满足规定要求，未选定中标单位。现中心已与安徽省生态环境厅及安徽省辐射环境监督站达成初步共识，拟邀请安徽省辐射环境监督站协助进行中心质子治疗系统竣工环保验收工作。待确认竣工环保验收服务单位，若距离质子治疗系统整体交付时间较长，中心将与验收服务单位协商进行分阶段验收。总之，中心承诺在质子系统整体交付后立即开展竣工环保验收工作。
2. 合肥离子医学中心辐射安全领导小组未能提供相关工作记录，未定期研究辐射安全工作。合肥离子医学中心应进一步落实主体责任，辐射安全领导小组应定期听取辐射安全工作汇报，部署辐射安全相关工作，确保辐射安全。	中心已发文【合离子医学(2022) 4号】《关于调整合肥离子医学中心辐射安全与防护管理机构的通知》，调整辐射安全与防护管理领导小组及工作小组成员，并明确每季度召开工作例会。
3. 检查发现瓦里安若干工作人员个人剂量牌佩戴位置不规范。	已向瓦里安人员宣贯剂量牌佩戴位置规范，并在中心辐射工作人员内自查无佩戴不规范情况，未来会将此项列入日常辐射安全管理检查范围。
4. 全国核技术利用辐射安全申报系统内，辐射工作人员个人剂量监测检测机构应录入全称。	已完成系统录入名称整改。
5. 全国核技术利用辐射安全申报系统内，辐射工作人员变更需及时更新。	已按最新辐射工作人员名单更新。

表 4-12 主要存在问题及落实情况表（2022 年 7 月 13 日监督检查）

存在的主要问题及整改要求	落实情况
1.上次检查问题部分完成整改。合肥离子医学中心已经完成回旋加速器3号治疗室和5号治疗室的监测工作，正在编制竣工验收报告。应尽快完成回旋加速器竣工环保验收工作。	中心已完成质子治疗系统竣工环境保护验收监测报告，于 2022 年 8 月 2 日组织召开了合肥离子医学中心工程质子治疗系统项目竣工环境保护验收（一阶段）会议，邀请专家与各参建方代表组成验收工作组，进行验收报告评审、资料核查与现场检查，最终通过本次环保验收。本次项目验收的范围为质子治疗系统回旋加速器、三号旋转束治疗室及五号旋转束治疗室。2022 年 8 月 9 日起在合肥离子医学中心官网进行竣工环保验收公示，网址 http://www.himc.org.cn/news/show/id/423.html 。 中心在系统全面调试完毕后，会继续进行其余各治疗仓室周围剂量当量率监测，完成质子治疗系统整体竣工环境保护验收工作。
2.合肥离子医学中心回旋加速器大厅、束流传输通道没有视频监控。应在回旋加速器大厅、束流传输通道等控制区设置视频监控。	中心已完成回旋加速器大厅、束流传输通道等控制区视频监控加装工作。
3.合肥离子医学中心放射性废物库堆放大量无放射性的加速器备品配件。应尽快对放射性废物库进行清理，确保放射性废物单独存放。	质子治疗系统现阶段产生的活化部件体量有限，经包装后集中暂存在回旋加速器大厅迷道中的活化部件存储柜内。前期放射性部件储存间空置，暂借瓦里安用于加速器备品配件存放。现放射性部件储存间内无关物品已全部清空，只用于放射性废物存放。
4.直线加速器区域增加急停按钮文字标识、疏散指示标识。	已完成整改。
5.部分治疗室工作状态指示灯联锁有误。	已完成调试并移交中心的治疗室内全部联锁均检查无误。部分治疗室尚未移交，设备供应商未完成安全联锁系统全部调试，故出现联锁错误。待剩余治疗室完成调试移交中心前，中心会对安全联锁系统进行检查验收。
6.涉及环保手续等相关资料应在注册核安全工程师处留有备案。	已要求相关部门发送电子版文件资料留档。

4.11 年度评估报告

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，中心定期开展辐射安全状况检查，基于实际运行情况，完成辐射安全年度评估报告，并按时向全国核技术利用申报系统备案。年度评估报告应当包括射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容。合肥离子医学中心于 2022 年 1 月提交了 2021 年年度评估报告（见附件 14）。评估报告中的监督性监测报告及个人剂量监测报告见附件 12、附件 13 及附件 4

5 环境影响报告书主要结论与建议及其审批部门审批决定

5.1 环境影响报告书主要结论与建议

5.1.1 合肥离子医学中心工程项目环境影响报告书（辐射部分）主要结论与建议

（1）建设项目概况：合肥离子医学中心有限公司拟在合肥市高新区新建合肥离子医学中心。项目总占地面积 46338m²，建筑面积 31905m²。项目总投资为 12.7 亿元，环保投资 477 万元。

项目拟配置一套质子治疗系统、2 台电子直线加速器、1 台 CT 机和 1 台模拟定位机等射线装置。合肥离子医学中心有限公司申请环境保护行政主管部门核发“辐射安全许可证”的活动种类和范围为：医疗使用 I 类、II 类、III 类射线装置。

（2）实践的正当性：质子治疗肿瘤技术具有质子布拉格峰效应带来的深度截止效应和更加精准的宽度方向控制，比传统放疗技术具有更为理想的肿瘤局控率和较少的副作用，在国际上被誉为 21 世纪最理想的放疗手段之一。质子治疗系统是当前国际上肿瘤放射治疗最现实和最先进的主流装备。项目拟配备的电子直线加速器、CT 机和模拟定位机等射线装置也是放射诊疗常用的设备。

本项目拟配置的质子治疗加速器等放疗设备设计建造完善的辐射防护与安全设施来尽量降低对工作人员和公众的辐射影响。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，是很小的，本项目对患者和社会所带来的利益（主要是患者的健康有利）是大于可能引起的辐射危害的。因此，本项目核技术应用实施活动是正当的。

（3）辐射环境现状：项目拟建厂址区域环境 γ 辐射剂量水平、地表水、土壤和中的天然放射性核素含量等均属当地天然本底正常水平。

（4）环境影响评价结论：通过理论预测，质子治疗系统运行所致工作人员

职业照射剂量最大为 1.2 mSv/a，所致公众照射的有效剂量最大为 8.33E-02mSv/a；直线加速器运行时所致工作人员职业照射剂量最大为 2.71E-02mSv/a，所致公众照射的有效剂量最大为 3.34E-02mSv/a，均低于本次评价确定的 5mSv/a 的职业照射剂量约束值和 0.1mSv/a 的公众照射剂量约束值。

(5) 辐射事故影响评价结论：质子治疗系统安装调试过程中，可能发生的故事包括误入治疗室、误入加速器大厅、通风系统故障和冷却水泄漏。以“误入治疗室”为作为假想事故，估算得误入人员的受照剂量为 0.3Gy。此类事故将威胁到误入人员的人身安全，但不会对周围环境造成影响。通过加强管理，严格遵守各种规章制度和操作规程，采取有效的事故预防措施，制定事故应急方案等，可有效防止事故的发生，减小和缓解事故的影响。

(6) 对中心单位从事本项目活动能力的分析评价表明，在按照项目设计方案以及本次环评所提出的各项要求实施完善后，项目单位满足中华人民共和国环境保护部令第 3 号《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关条款之规定，具备从事所申请的核技术应用活动（使用 I 类、II 类、III 类射线装置）的能力。

(7) 结论：综上所述，本项目在落实本报告书中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能力，本项目的建设对环境和影响符合环境保护的要求，故从环境影响的角度考虑，本项目的建设是可行的。

5.1.2 关于《合肥离子医学中心工程项目环境影响报告书》重大变动

(1) 实践的正当性：根据《合肥离子医学中心项目环境影响报告书》环评批复可知，合肥离子医学中心有限公司拟在合肥市高新区燕子河路与长宁大道交口东南角建设质子治疗中心，项目总投资为 12.7 亿元。其中中心大楼地下一层，地上三层，建筑面积 31905m²。楼内建设 1 间质子机房，使用质子加速器最大能量为 250MeV 1 台，建设 2 间加速器机房，使用最大 X 射线能量为 10MV 直线加速器 2 台，使用 1 台 CT 机和 1 台模拟定位机等射线装置。

由于项目的应用需求，现调整 2 台直线加速器设备及其屏蔽设计，X 射线

最高能量从 10MV 调整为 15MV 的设备；质子治理区域的部分墙体屏蔽设计由原来的 2.0m 调整为 2.8m，工作场所固定式辐射监测布点由原来的 24 个调整为 14 个，新增 1 个环境监测点，其他建设内容不变。经分析评价，变动后的设计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，是很小的，且其对患者和社会所带来的利益（主要是患者的健康有利）是大于可能引起的辐射危害的。因此，本项目核技术应用实施活动是正当的。

（2）辐射防护屏蔽：通过理论计算可知，变动后的直线加速器机房屏蔽体外各关注点的剂量率均低于其剂量率控制水平，因此，加速器机房的屏蔽设计是可行的。

（3）环境影响评价结论：通过理论预测，直线加速器正常运行期间，控制室工作人员的年受照剂量最高为 $1.74\text{E-}03\text{mSv}$ ，摆位医生年受照剂量为 0.81mSv/a ，低于工作人员的剂量约束值 5mSv 。加速器机房防护门外走廊处的公众年受照剂量最高， $6.23\text{E-}02\text{mSv}$ ，低于公众的剂量约束值 0.1mSv 。

通过计算，可知变动后加速器正常运行时，加速度机房臭氧和氮氧化物的饱和浓度均低于《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ2.1-2007）中规定的浓度限值。

综上所述，变动后的直线加速器机房在落实本报告中辐射屏蔽措施、原环评有的各项污染防治措施和管理措施后，其加速器正常运行期间对环境的影响符合环境保护的要求，故从环境影响的角度考虑，变动后加速器的运行是可行的。

5.2 审批部门审批决定

5.2.1 合肥离子医学中心工程项目环境影响评价报告书审批部门审批决定

一、建设内容：你院拟在合肥市高新区燕子河路与长宁大道交口东南角建设质子治疗中心，总投资约 12.7 亿元。其中中心大楼地下一层，地上三层，建筑面积 31905 平方米。楼内建设 1 间质子机房，使用最大 X 射线能量为 250MV

的质子加速器 1 台，为 I 类射线装置；建设 2 间加速器机房，使用最大 X 射线能量为 10MV 的直线加速器 2 台，为 II 类射线装置；使用 CT 机和模拟定位机各 1 台，为 III 类射线装置。你公司建设合肥离子医学中心工程项目符合辐射实践正当化的原则，对周边环境、公众和辐射工作人员的剂量水平均符合国家规定的标准，我厅同意该项目建设。

二、该项目为我省首台质子加速器，机房设计如有变化，聘请专业人员评价对辐射安全与防护效果的影响。

三、加强施工期环境管理，合理组织施工，机房混凝土应连续浇筑，密度不低于环评文件要求，保证建筑质量严格控制施工场地、施工机械和车辆运输扬尘及噪声等对环境的影响，施工现场应按照《安徽省建筑工程施工扬尘污染防治规定》实行围挡封闭，减少地表裸露面，设置洒水降尘设施，安排专人定时洒水降尘。

四、你公司应将核安全文化理念贯彻在科室建设全过程，明确负责辐射安全管理的科室和人员，开展辐射工作人员培训和核安全文化素养培养。

五、严格落实《报告书》提出的水污染防治措施。项目实行雨污分流，检验科检验废水经中和处理后与院区其他污水一起进入污水处理站处理达标后排入市政污水管网，进入经开区污水处理厂。污水排放执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)表 2 预处理标准。规范设置排污口。

六、加强大气污染防治。落实污水处理站废气防治措施，产生的废气经除臭装置处理达标后排放，污水处理站周边大气污染物最高允许浓度执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)相关限值要求；严格落实食堂油烟、柴油发电机的污染控制措施，规范设置各类排气筒。

七、选用低噪声设备，合理布设高噪声设备，采取减振、隔声、消声等措施，控制噪声影响。

八、医疗废物和污水处理系统污泥的管理，应严格执行《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2001)及《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)规定。

九、工程施工和运营过程中，应建立畅通的公众参与平台，满足公众合理的环境保护要求，定期发布环境信息并主动接受社会监督。

十、请在质子加速器使用前，向环保部申请核发辐射安全许可证。

5.2.2 关于《合肥离子医学中心工程项目环境影响报告书》重大变动审批部门审批决定

一、项目变动内容。项目位于合肥市高新区燕子河路与长宁大道交口东南角，项目环境影响报告书我厅以皖环函[2017] 668 号予以批复。你公司考虑质子设备配套治疗等需求，将质子加速器机房部分屏蔽墙加厚，辐射监测点位变动，2 台直线加速器最大能量均增至 15MV。属于《建设项目环境保护管理条例》第十二条规定重大变动。我厅在本项目受理公示(8 月 15-29 日)及审批前公示(11 月 7 日至 12 日)期间，均未收到任何意见反馈。

经评价，项目建设内容变动后，对周边环境和公众及工作人员的影响仍满足国家规定的标准，我厅同意项目变动。

二、请继续按皖环函[2017] 668 号批复，落实相关污染防治和辐射安全措施，并在直线加速器机房监测点位增加中子指标。

5.3 审批意见落实情况

本项目属于新建项目，通过现场检查与环评影响报告书及其批复内容对比分析，本项目的环保工程与主体工程同时设计、同时施工、同时投入生产使用，满足三同时的要求，落实的环境影响评价报告提出的各项污染防治措施。审批意见落实情况一览表见表 5-1。

表 5-1 审批意见落实情况一览表

序号	审批意见	落实情况
1	该项目为我省首台质子加速器，机房设计如有变化，聘请专业人员评价对辐射安全与防护效果的影响。	已落实，在对质子治疗系统的屏蔽及监测点位进行变动时，委托了中国原子能科学研究院进行了重大变动说明，本次监测结果表明，质子治疗系统周围环境辐射水平符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的规定限值，在正常使用情况下，放射工作人员和周围公众所受的辐射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。
2	加强施工期环境管理，合理组织施工，机房混凝土应连续浇筑，密度不低于环评文件要求，保证建筑质量严格控制施工场地、施工机械和车辆运输扬尘及噪声等对环境的影响，施工现场应按照《安徽省建筑工程施工扬尘污染防治规定》实行围挡封闭，减少地表裸露面，设置洒水降尘设施，安排专人定时洒水降尘。	已落实，本项目暂未收到周边群众投诉，未对周边环境产生影响。中心已于 2019 年 12 月完成了《合肥离子医学中心工程项目合肥离子医学中心主楼、医用气体》竣工验收工作，根据验收结果，施工现场质量保证体系和各项质量责任制得到全面落实，保证了建筑质量。
3	你公司应将核安全文化理念贯彻在科室建设全过程，明确负责辐射安全管理的具体科室和人员，开展辐射工作人员培训和核安全文化素养培养。	已落实。公司设立了辐射安全管理机构，并且会对各辐射工作人员进行资质管理及人员培训，定期进行应急演练。
4	严格落实《报告书》提出的水污染防治措施。项目实行雨污分流，检验科检验废水经中和处理后与院区其他污水一起进入污水处理站处理达标后排入市政污水管网，进入经开区污水处理厂。污水排放执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）表 2 预处理标准。规范设置排污口。	已落实，根据合肥离子医学中心工程项目（非放射性部分）竣工环境保护验收结果，本项目满足要求。
5	加强大气污染防治。落实污水处理站废气防治措施，产生的废气经除臭装置处理达标后排放，污水处理站周边大气污染物最高允许浓度执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）相关限值要求；严格落实食堂油烟、柴油发电机的污染控制措施，规范设置各类排气筒。	本项目污水处理站是地理式，将水处理池加盖板密闭起来，排水立管均设置专用通气立管，底层排水单独排放，废气有组织的抽送进入管道定向流动到能阻截、过滤吸附的设备中，经过除臭处理后再排入大气，保证污水处理站排放的废气是安全无害的。本项目污水处理站废气处理采用活性炭吸附除臭处理后由排气筒排放，排气筒高约 15 米。同时在污水处理站四周种植绿化，可起到一定的隔离气味作用。根据合肥离子医学中心工程项目（非放射性部分）竣工环境保护验收结

		果，本项目满足要求。
6	选用低噪声设备，合理布设高噪声设备，采取减振、隔声、消声等措施，控制噪声影响。	已落实，已采用上海沃克通用设备有限公司生产的低噪音风机，根据合肥离子医学中心工程项目（非放射性部分）竣工环境保护验收结果和本项目验收监测结果，合肥离子中心周边噪声满足相关标准要求。
7	医疗废物和污水处理系统污泥的管理，应严格执行《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2001)及《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)规定。	已落实，医疗废物已与安徽浩悦环境科技有限责任公司和安徽浩悦生态科技有限责任公司签订三方处置协议处理。
8	工程施工和运营过程中，应建立畅通的公众参与平台，满足公众合理的环境保护要求，定期发布环境信息并主动接受社会监督。	已落实，中心设有质子咨询平台、投诉箱及意见箱。
9	请在质子加速器使用前，向环保部申请核发辐射安全许可证。	已落实。本项目已取得生态环境部核发的辐射安全许可证（国环辐证[00517]）。
10	请继续按皖环函[2017] 668 号批复，落实相关污染防治和辐射安全措施，并在直线加速器机房监测点位增加中子指标。	已落实。已按皖环函[2017] 668 号批复，落实相关污染防治和辐射安全措施，中心已在年度监测中开展中子测量。

6 验收执行标准

6.1 剂量约束值

(1) 工作人员剂量约束值

依据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）4.9 “从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：a）一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为 5mSv/a 。”，以及本项目环评文件，本项目从事质子治疗系统的辐射工作人员的年剂量约束值取 5mSv/a 。

(2) 公众年剂量约束值

依据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）4.9 “从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：b）公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a 。”，以及本项目环评文件，本项目公众照射的年剂量约束值取 0.1mSv/a 。

6.2 剂量率控制水平

参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），本项目辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平按照下述规定确定：

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

1）使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由以下周剂量参考控制水平（ $\dot{H}_c$ ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

机房外辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

机房外非辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

2) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,\max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；

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

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

(3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30 cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv/h}$ 加以控制。

7 验收监测内容

2022 年 12 月中国建材检验认证集团安徽有限公司对合肥离子医学中心工程项目相关场所进行了辐射监测，2022 年 11 月中旬中国原子能科学研究院辐射监测与评价实验室对合肥离子医学中心工程项目相关场所进行了水土样品检测，监测报告见附件 7，水土样品检测报告见附件 8。监测内容如下：

(1) γ 辐射空气吸收剂量率

(2) 中子剂量当量率

(3) 水中总 α 、总 β 、 ^3H 、 ^7Be 、 ^{22}Na 、 ^{51}Cr 、 ^{54}Mn 活度浓度

(4) 土壤中总 α 、总 β 、 ^7Be 、 ^{22}Na 、 ^{51}Cr 、 ^{54}Mn 活度浓度

7.1 验收监测工况要求

验收监测应当在确保主体工程调试工况稳定、环境保护设施运行正常的情况下进行，如实记录监测时的实际工况。

7.2 监测点位

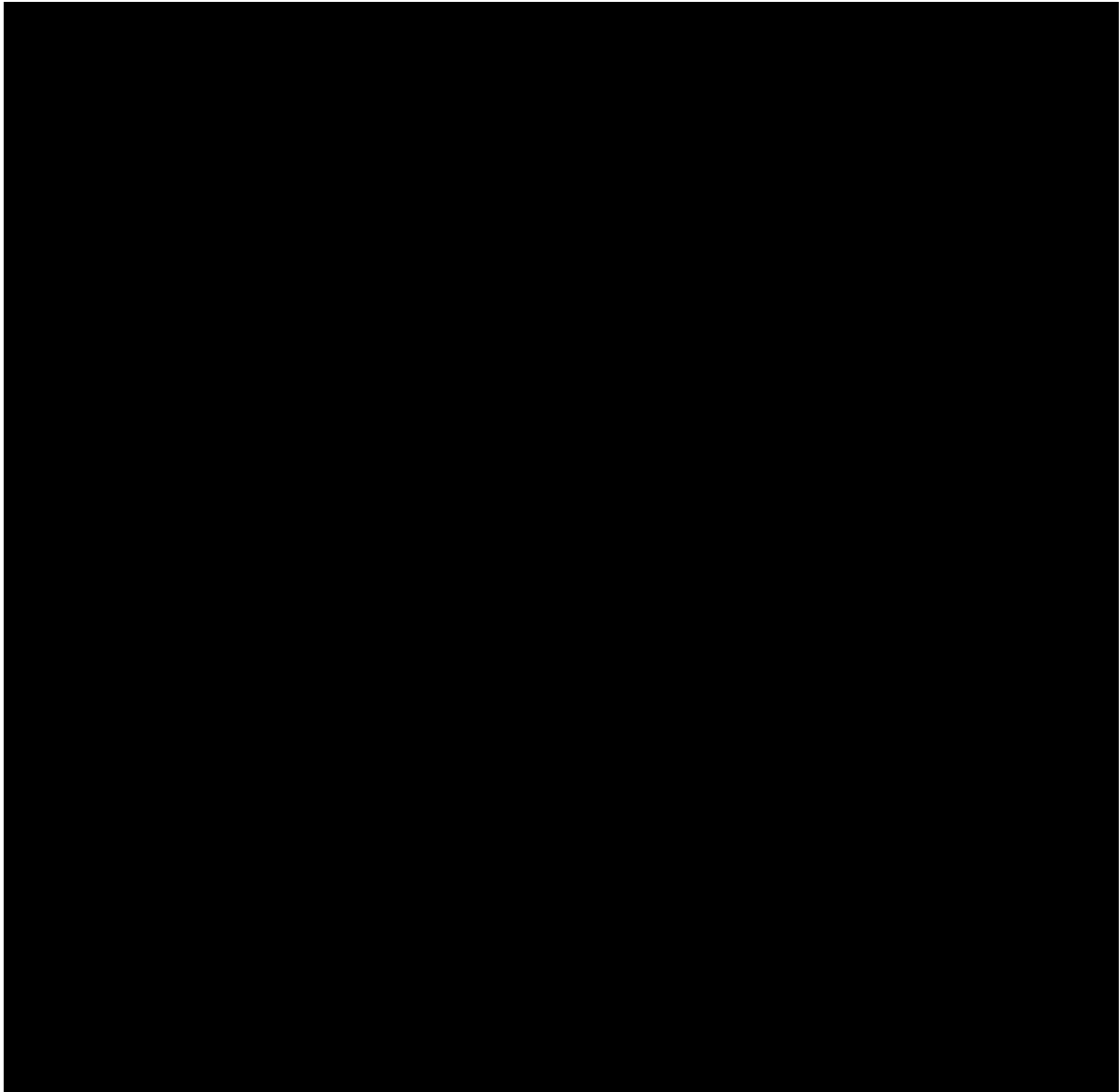


图 7-1 质子治疗系统正常运行时一层点位

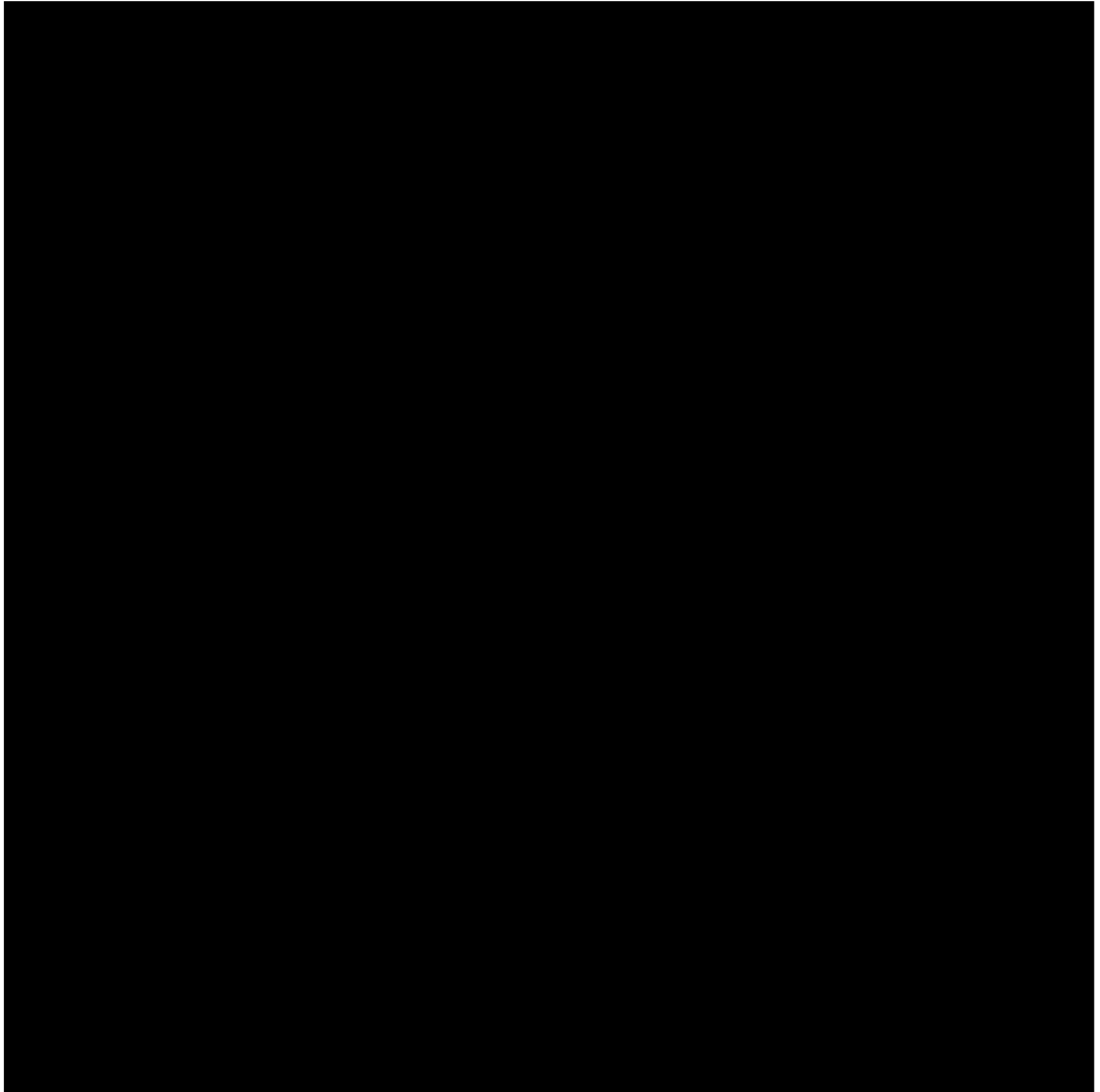


图 7-2 质子治疗系统正常运行时 M 层点位



图 7-3 质子治疗系统正常运行时二层点位

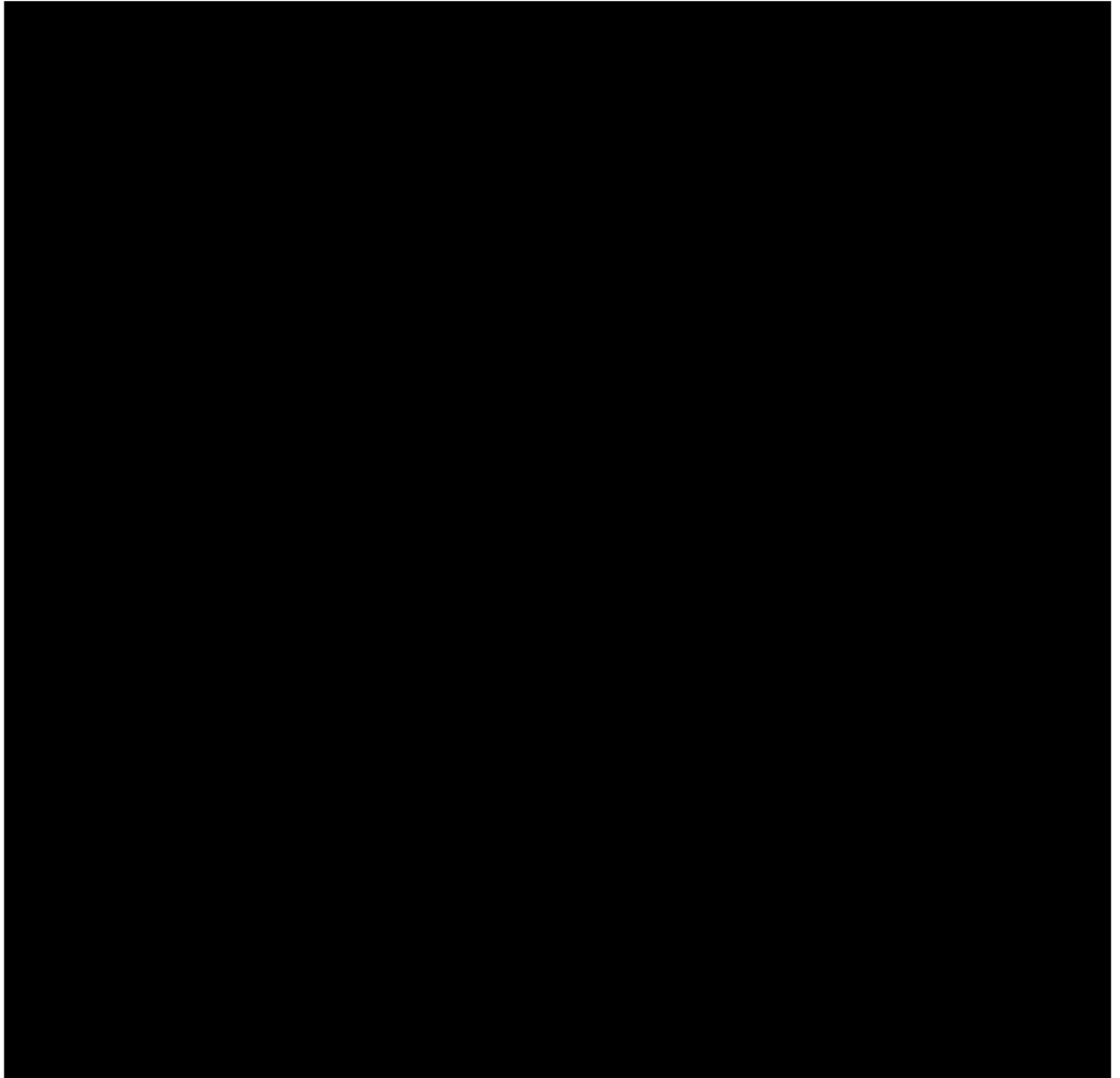


图 7-4 质子治疗系统停机 8 小时后一层点位



图 7-5 质子治疗系统停机 8 小时后 M 层点位



图 7-6 质子治疗系统停机 8 小时后二层点位

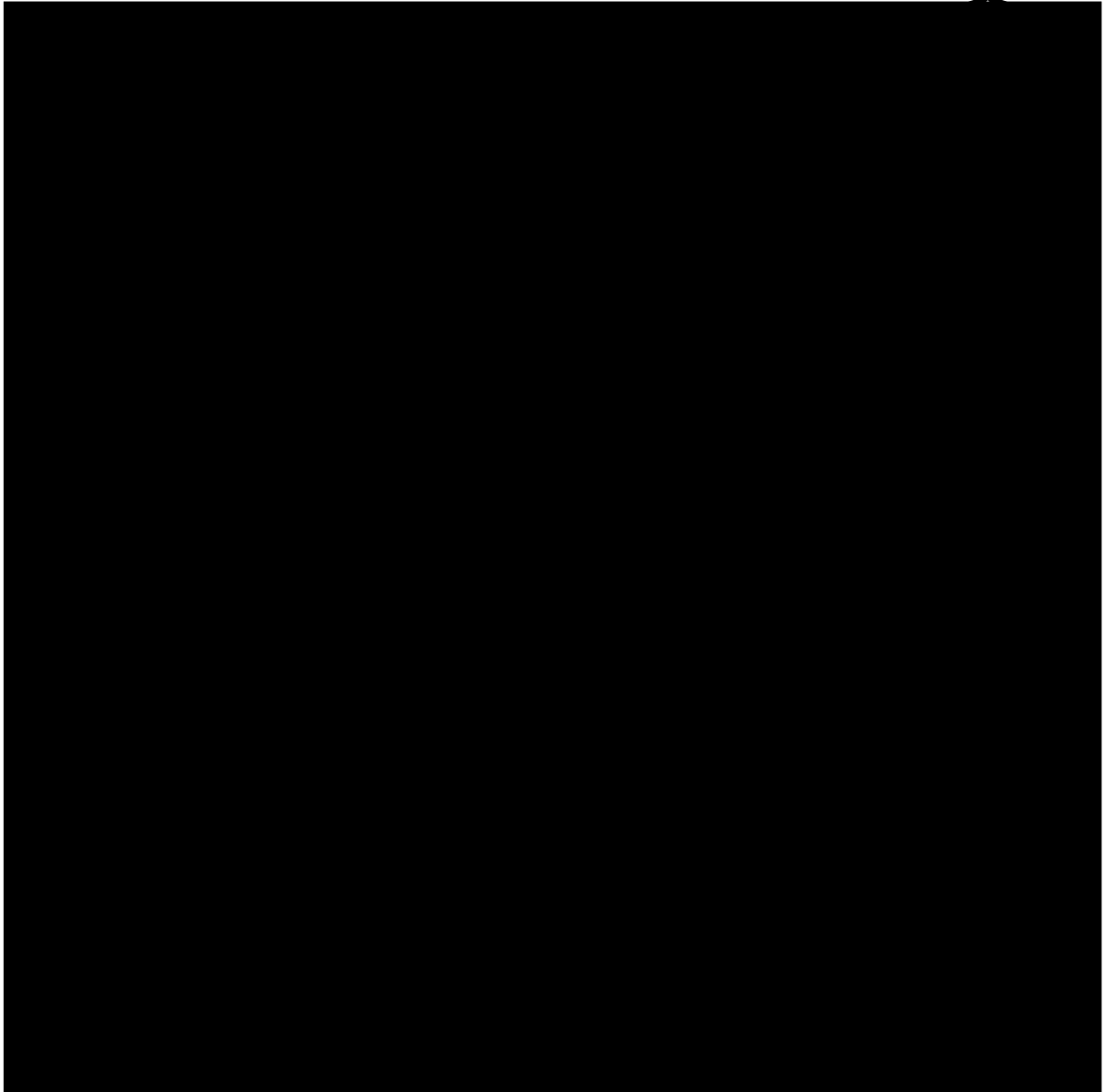


图 7-7 质子治疗系统停机后各工作场所典型维修点位

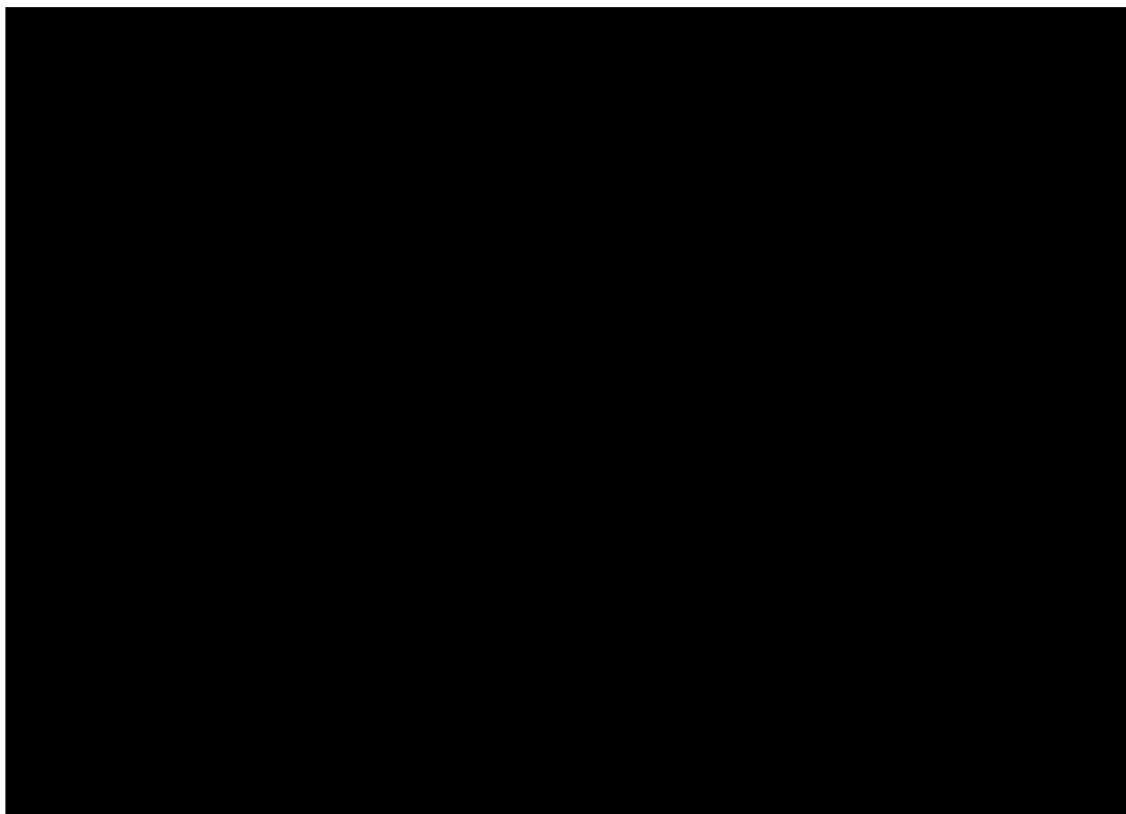


图 7-8 土壤及地表水取样点

8 质量保证与质量控制

8.1 监测分析方法

8.1.1 监测方法

(1) γ 辐射空气吸收剂量率、中子剂量当量率

采用网格均匀布点的方式布设环境地表 γ 辐射空气吸收剂量率、中子剂量当量率监测点位，采用便携式监测仪表，以定点或巡测的测量方式进行。每个监测点位测量 4 次，每次间隔 5 秒钟，监测结果取平均值。

(2) 土壤

分别在指定的点位采集样品，使用土壤采集器，在 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 范围内，采用梅花五点法采集。条件不具备时用蛇型布样采集。每点采 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 的表层土样 1~5 cm，在现场充分混合，去除石头、草根等杂物后取 1kg 装入双层聚乙烯塑料袋内保存。采集的样品主要为表层土壤，每个样品的采样量一般为 3 kg。地表土样品送实验室预处理后采用低本底 α 、 β 测量仪进行总 α 、总 β 活度浓度测量， ^7Be 、 ^{22}Na 、 ^{51}Cr 、 ^{54}Mn 采用高纯锗 γ 能谱仪进行活度浓度测量。

(3) 水

在河流中间取 50L 样品，在实验室处理后，采用低本底 α 、 β 测量仪进行总 α 、总 β 活度浓度测量， ^7Be 、 ^{22}Na 、 ^{51}Cr 、 ^{54}Mn 采用高纯锗 γ 能谱仪进行活度浓度测量。 ^3H 采用 8ml 样品+12ml 闪烁液直接测量。

8.1.2 监测依据

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);

(2) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021);

(1) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021);

(3) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB 5172-85);

- (4)《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；
- (5)《辐射防护仪器中子周围剂量当量（率）仪表》（GB/T 14318-2019）；
- (3)《高纯锗 γ 能谱分析通用方法》（GB/T11713-2015）；
- (4)《水中总 α 放射性的测定 厚源法》（HJ898-2017）；
- (5)《水中总 β 放射性的测定 厚源法》（HJ899-2017）；
- (6)《水中放射性核素的 γ 能谱分析方法》（GB/T 16140-2018）；
- (7)《水中氚的监测方法》（HJ1126-2020）；
- (8)《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》（GB/T 11743-2013）。

8.2 监测仪器

检测单位中国原子能科学研究所和中国建材检验认证集团安徽有限公司具有中国国家认证认可监督管理委员会颁发的检验检测机构资质认定证书（中国原子能科学研究所证书编号：170012184003；中国建材检验认证集团安徽有限公司证书编号：220021289291），所检测项目为通过了计量认证的项目，并在有效期内，保证了监测工作的合法性和有效性。本次监测项目的监测仪器见表 8-1。

表 8-1 监测设备及主要技术性能指标

仪器名称	型号	出厂编号	主要技术性能指标	检定有效日期
X、 γ 剂量率仪	AT1121	ACTC-SB-73-2	不确定度：5.3% ($k=2$) 能量响应范围：15keV-10MeV	2023 年 1 月 16
环境级 X- γ 剂量率仪	FH40G-L10+FHZ672E-10	ACTC-SB-219	不确定度：8.0% ($k=2$) 能量响应范围：40keV-4.4MeV	2023 年 7 月 25
中子周围剂量率仪	FH40G-X+FHT 762 Wendi-2	ACTC-SB-229	不确定度：4.6% ($k=1$) 能量响应范围：0.025eV-5GeV	2023 年 7 月 14 日
高纯锗 γ 谱仪	BE3830P	13490	分辨力：1.6keV 短期稳定性：0%	2023 年 5 月 26 日

			活度：0.32%	
高纯锗探测器	GEM-S7030-LB-C	56-P13718A	能量响应范围：3keV – 3MeV 能量分辨率： 对 1.332 MeV 峰 (^{60}Co)：1.9keV 对 122 keV 峰 (^{57}Co)：0.75 keV 对 5.9keV 峰 (^{55}Fe)：0.45 keV 峰康比：46: 1	2023 年 8 月 29 日
液闪谱仪	Quantulus 1220	2200266	重复性：0.6% 短期稳定性：0.6%	2024 年 10 月 23 日
低本底 α 、 β 测量仪	BH1227	1003	对于 ^{90}Sr - ^{90}Y β 源（活性区 $\Phi 20\text{mm}$ ） 2π 效率比 $\geq 50\%$ 时，本底 $\leq 0.15\text{cm}^2\text{min}^{-1}$ ； 对于 ^{239}Pu α 源（活性区 $\Phi 30\text{mm}$ ） 2π 效率比 $\geq 80\%$ 时，本底 $\leq 0.005\text{cm}^2\text{min}^{-1}$ ； α/β 交叉性能： α 进入 β 道的计数比 $< 3\%$ （对 ^{239}Pu ）； β 进入 α 道的计数比 $< 0.5\%$ （对 ^{90}Sr - ^{90}Y ）； 效率稳定性：仪器通电 24h，各路探测效率变化 $< 10\%$ ；	2024 年 3 月 18 日
低本底 α 、 β 测量仪	BH1227	2020-022	对于 ^{90}Sr - ^{90}Y β 源（活性区 $\Phi 20\text{mm}$ ） 2π 效率比 $\geq 50\%$ 时，本底 $\leq 0.15\text{cm}^2\text{min}^{-1}$ ； 对于 ^{239}Pu α 源（活性区 $\Phi 30\text{mm}$ ） 2π 效率比 $\geq 80\%$ 时，本底 $\leq 0.005\text{cm}^2\text{min}^{-1}$ ； α/β 交叉性能： α 进入 β 道的计数比 $< 3\%$ （对 ^{239}Pu ）； β 进入 α 道的计数比 $< 0.5\%$ （对 ^{90}Sr - ^{90}Y ）； 效率稳定性：仪器通电 24h，各路探测效率变化 $< 10\%$ ；	2023 年 5 月 29 日

8.3 验收监测质量控制和保证

- 1、检测机构通过中国国家认证认可监督管理委员会资质认定；
- 2、合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性；
- 3、监测方法采用国家有关部门颁布的标准，测量操作严格按照标准和本站的作业指导书进行；
- 4、监测仪器定期经计量部门检定校准，合格后方可使用，每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否良好；
- 5、样品采集、运输、保存、实验室分析和数据计算的全过程按照相应规范进行；
- 6、每次监测至少 2 名监测人员；
- 7、由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录；
- 8、测量过程中，测量操作严格按照标准进行。

9 验收监测结果

9.1 运行工况

现场监测时，运行工况：最大质子能量 250MeV，至治疗室（研究室）最大束流强度 4.2nA。至加速器大厅最大束流强度 800nA。

9.2 监测结果

监测结果如下表所示。

9.2.1 质子治疗系统正常运行时辐射防护监测结果

表 9-1 质子治疗系统正常运行时辐射防护监测结果 (1)

[illegible]

表 9-2 质子治疗系统正常运行时辐射防护监测结果 (2)

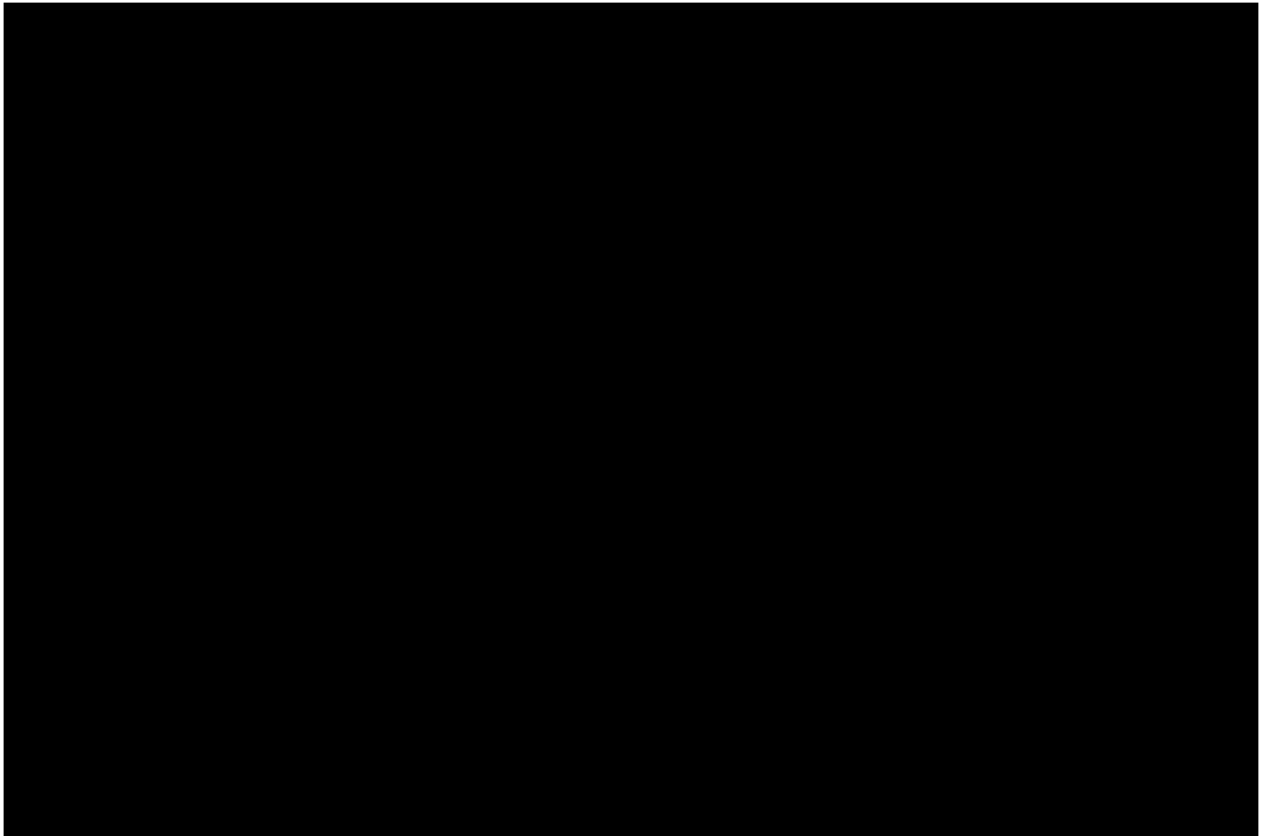
[illegible]

表 9-3 质子治疗系统正常运行时辐射防护监测结果（3）

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000
--	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

表 9-4 质子治疗系统正常运行时辐射防护监测结果 (4)

1. *Journal of Management Studies*, 1997, 34, 1031-1044.



9.2.2 质子治疗系统停机 8 小时后辐射防护监测结果

表 9-5 质子治疗系统停机 8 小时后辐射防护监测结果（1）

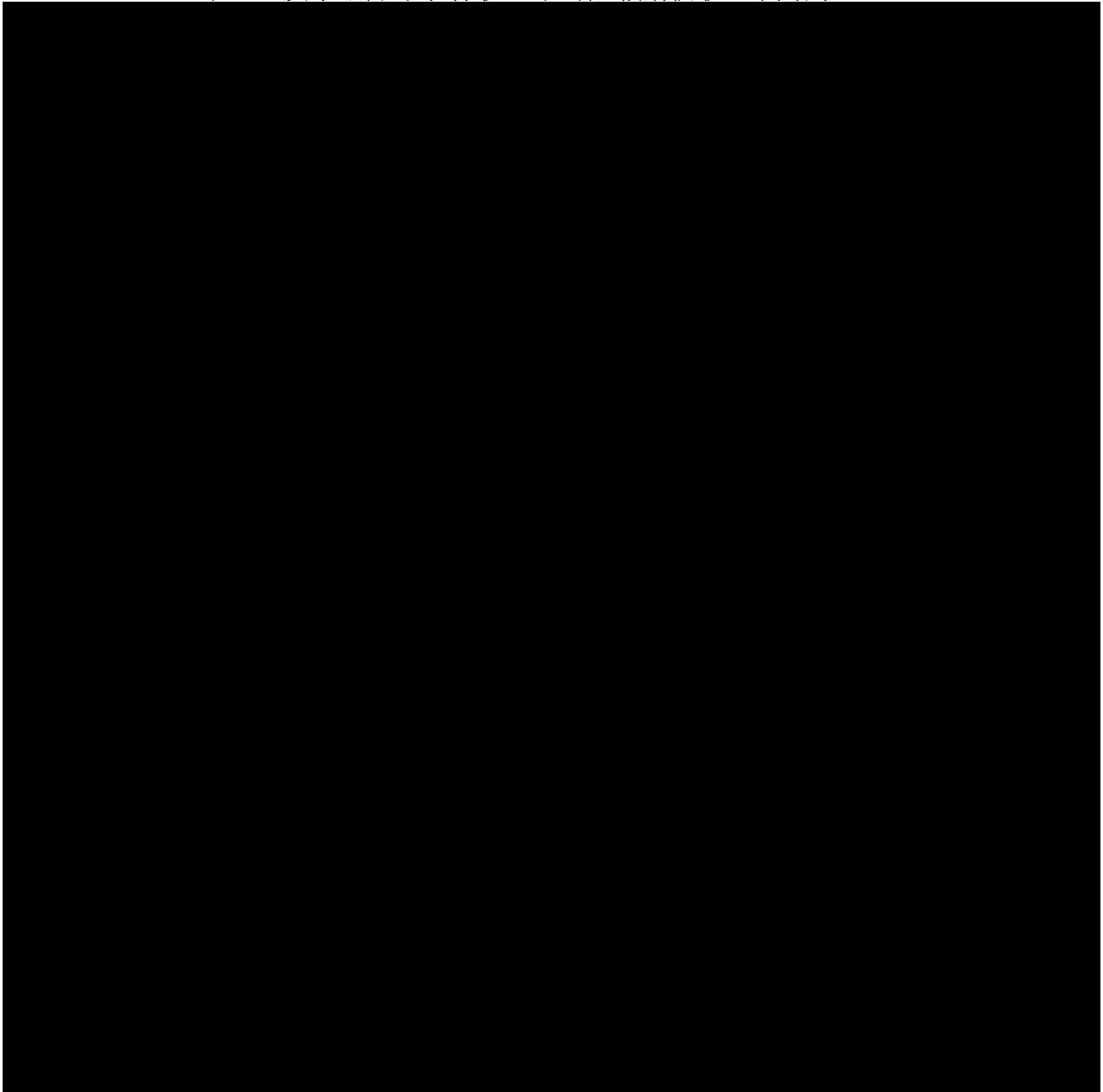


表 9-6 质子治疗系统停机 8 小时后辐射防护监测结果 (2)

The image consists of a single, uniform black rectangle that fills the entire frame. There are no discernible features, patterns, or variations in color or texture.

表 9-7 质子治疗系统停机 8 小时后辐射防护监测结果 (3)

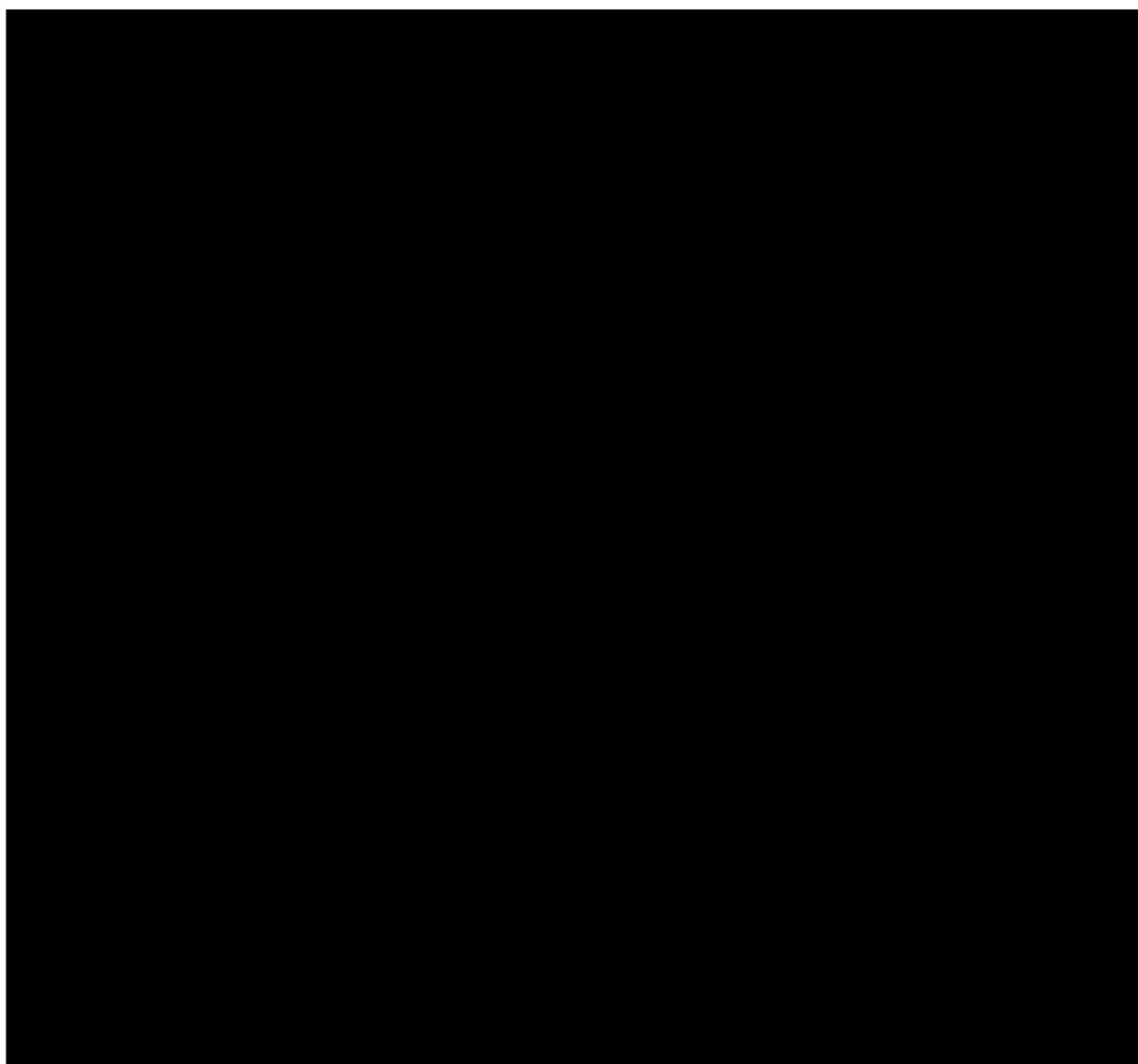
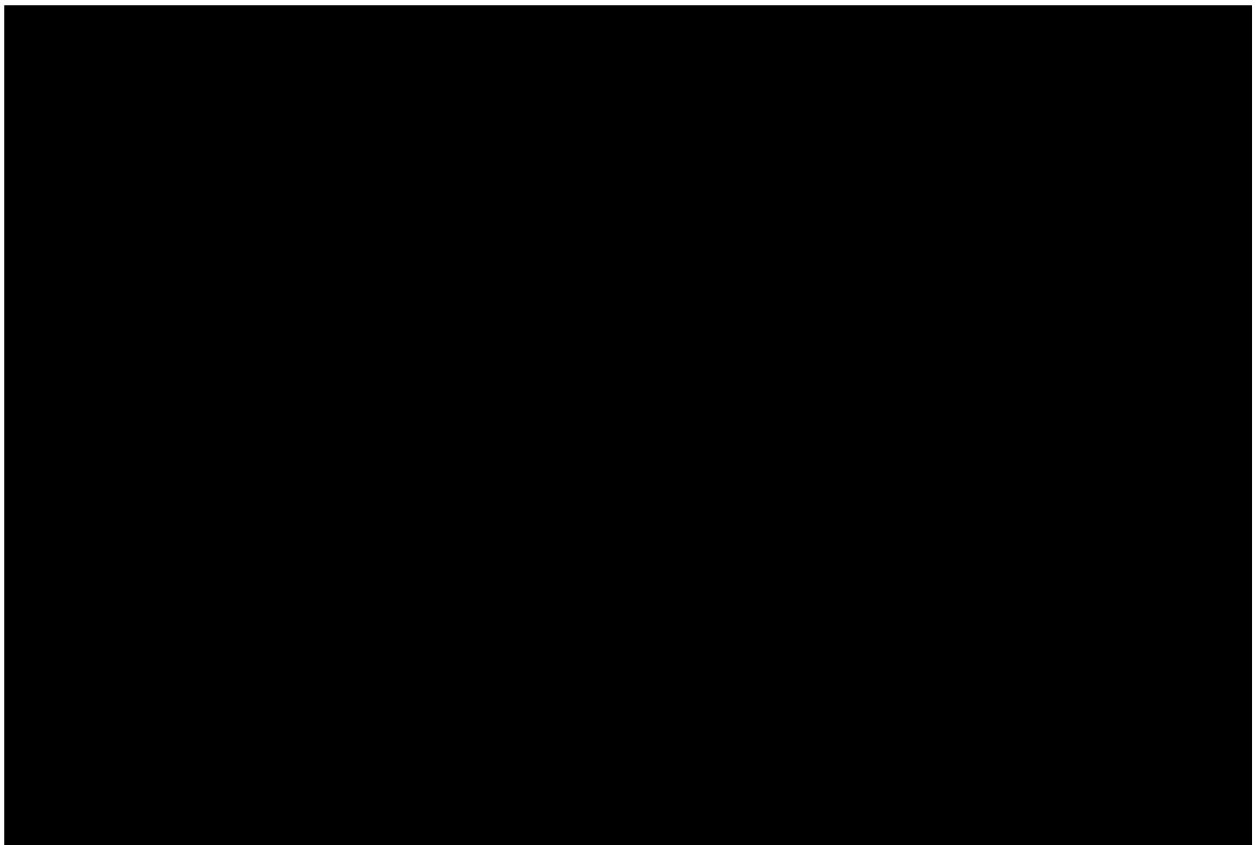


表 9-8 质子治疗系统停机 8 小时后辐射防护监测结果（4）

</									



9.2.3 质子治疗系统停机后各工作场所典型维修点位辐射防护监测结果

表 9-9 质子治疗系统停机后各工作场所典型维修点位辐射防护监测结果（1）

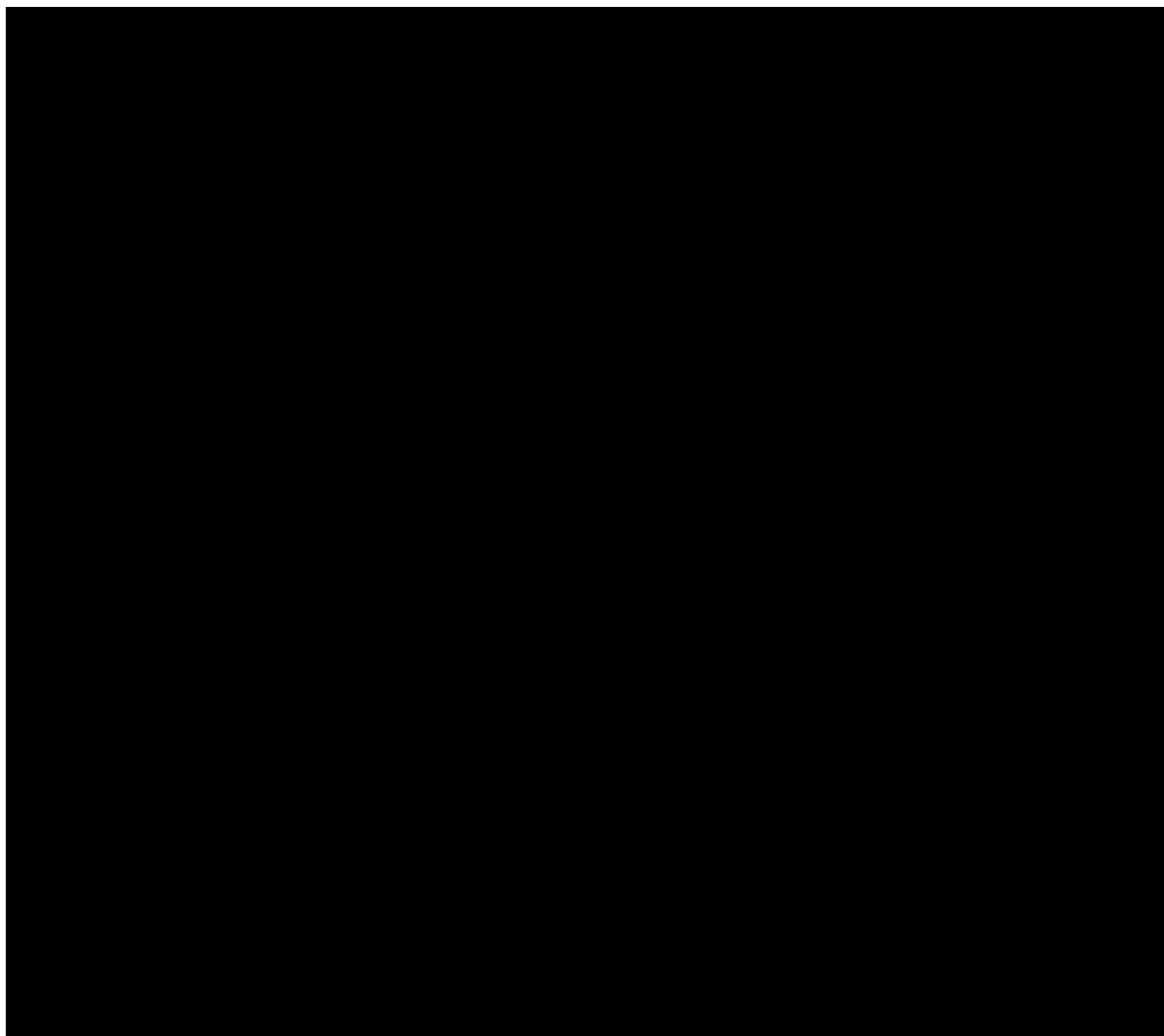


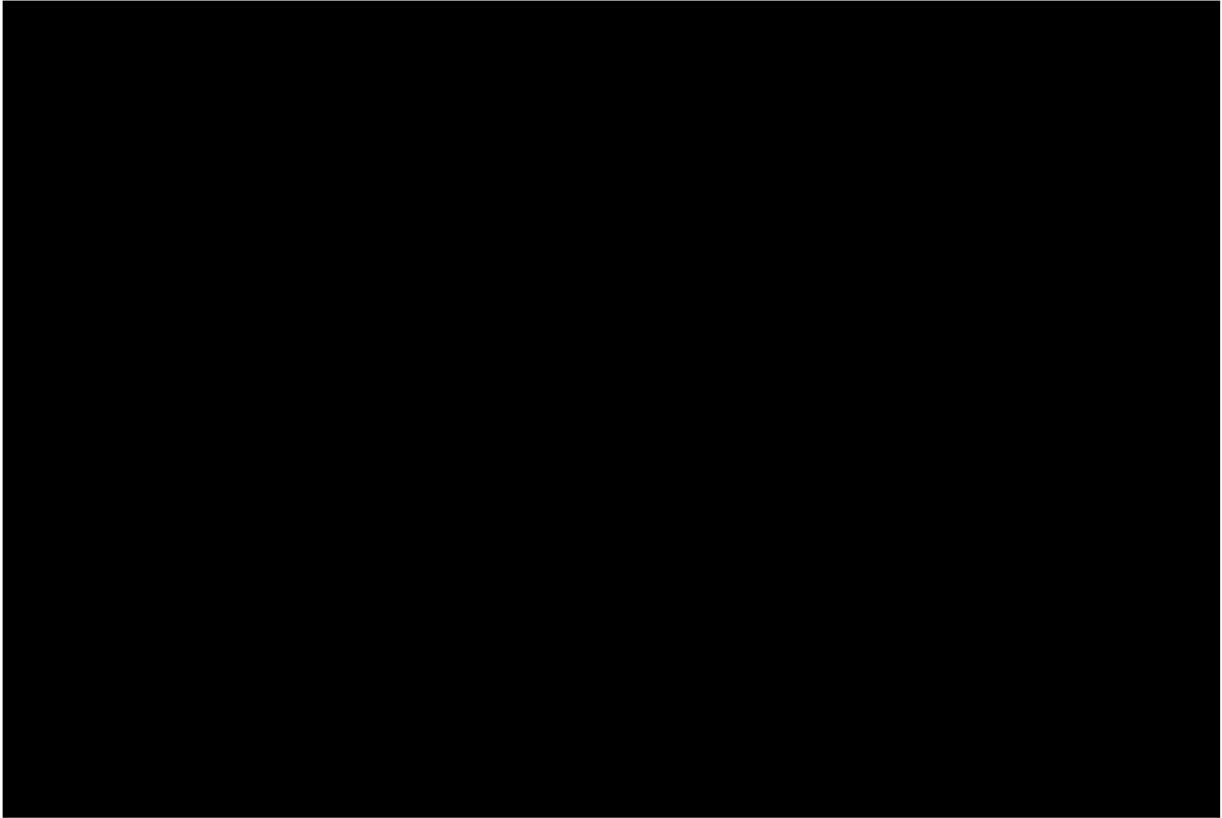
表 9-10 质子治疗系统停机后各工作场所典型维修点位辐射防护监测结果（2）

[Redacted Table Content]	
--------------------------	--

均小于仪表探测限。

9.2.4 质子治疗系统周围环境辐射防护监测结果

表 9-11 质子治疗系统周围环境辐射防护监测结果



9.2.5 水土样品检测结果

表 9-12 水土样品检测结果

1. *Journal of the American Medical Association*, 1997; 277: 1039-1043.



9.3 工作人员受照剂量计算

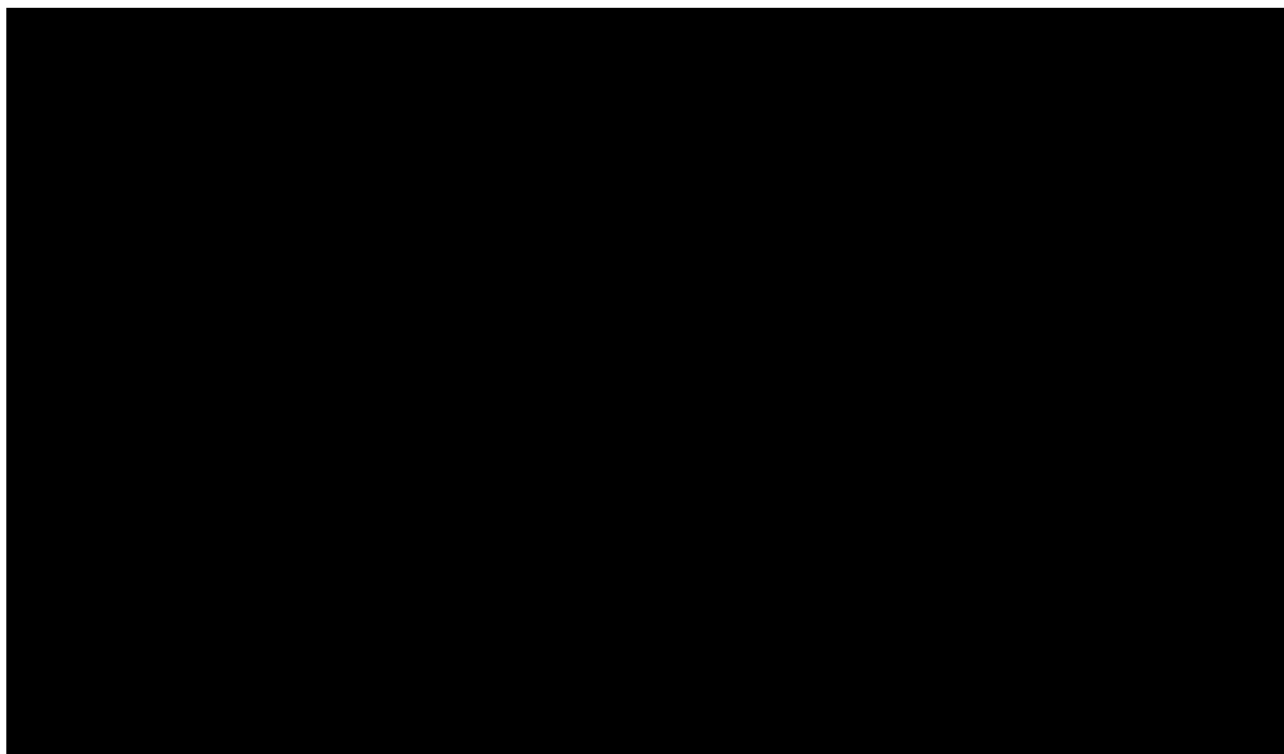
质子治疗系统正常运行期间，对工作人员的辐射影响主要来自加速器开机出束产生的瞬时辐射照射以及进入治疗室受患者、结构部件及舱内空气的感生放射性影响。质子治疗系统的维修维护由生产厂家负责进行，本项目的工作人员不参与该工作。因此仅对质子治疗系统运行期间的中心工作人员的受照剂量进行估算。

本项目质子治疗系统计划三间旋转治疗室用于临床治疗，1 间固定治疗室和 1 间固定束研究室用于科研实验。根据将来的运行情况保守预计：每间旋转束治疗室按每周治疗 5 天，每天满负荷运行的情况下最多治疗 15h，单次治疗时长 30min（包括每个病人均需照射前准备时间，如核对患者信息、摆位和影像、射束请求等），可推算出每个旋转束治疗室每天最多治疗 30 人次。每个病人每次治疗期间平均出束时间保守按 1min 计，则每个旋转束治疗室每天出束时间最多为 0.5h，每年治疗天数按 250d 计，则每间旋转束治疗室每年的出束时间为 125h；1 间固定治疗室和 1 间固定束研究室，保守预计年出束时间约为旋转束治疗室的 1/4，每间按每年的出束时间约 30h，则本项目 3 间旋转束治疗室、1 间固定治疗室和 1 间固定束研究室共计年出束时间为 435h。

此外，考虑到质子治疗系统运行期间，每日、周、月进行的“QA（质量保证）”过程中，系统也会开机出束。根据同类质子项目经验，质子治疗系统每年“QA”过程中的开机出束时间相当于每年治疗病人出束时间的 15%，约 65h。

综上，质子治疗系统年出束时间保守预计约 500h，此外现场监测时，质子治疗系统最大能量及最大束流强度的设置不同于环评批复的设备参数， 所以计算结果将最为保守。

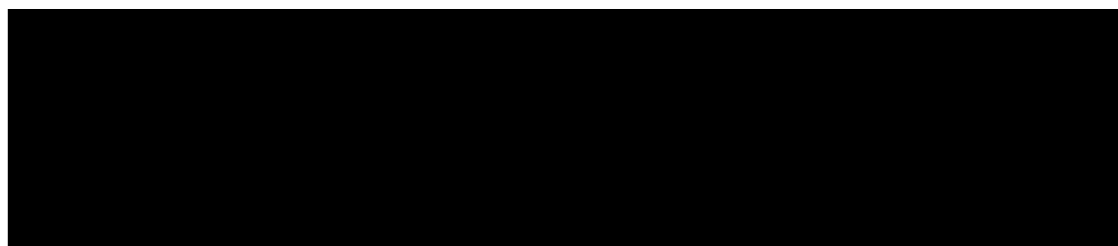
表 9-13 质子治疗区工作人员年受照剂量计算结果

The content of Table 9-13 is redacted with a solid black box.

9.3.1 工作人员受照剂量汇总

本项目工作人员受照剂量汇总如表 9-14 所示。由上述计算结果可知，本项目工作人员所受个人年最大有效剂量为 1.2mSv/a，低于工作人员的剂量约束值 5mSv/a。

表 9-14 工作人员受照剂量汇总

The content of Table 9-14 is redacted with a solid black box.

9.4 公众受照剂量计算



算，居留因子保守取值 1，估算可知本项目所致公众年最大受照剂量为 0.08mSv/a，小于环评报告及其批复中的公众剂量约束值（0.1 mSv/a）。

质子治疗系统正常运行期间，对公众的辐射影响主要来自加速器开机出束产生的瞬时辐射的直接照射、天空反散射以及感生放射性气体的排放造成的空气浸没外照射。

公众所受瞬时辐射照射剂量由下式 4-2 计算

$$H = D \times t \times T \times 1 \qquad (4-2)$$

H 为公众的年受照剂量，μSv/a；

D 为公众所在区域剂量率，μSv/h；

t 为公众年受照时间，h/a。

T 为居留因子。

根据质子治疗区周围公众的可达的区域，以质子治疗区监督区以外的屏蔽体外各关注点的剂量率保守估算质子治疗区周围公众所受直接照射剂量，公众的居留因子取 1/16，质子治疗区周围公众所受直接照射剂量的计算结果如下表 9-15 所示。

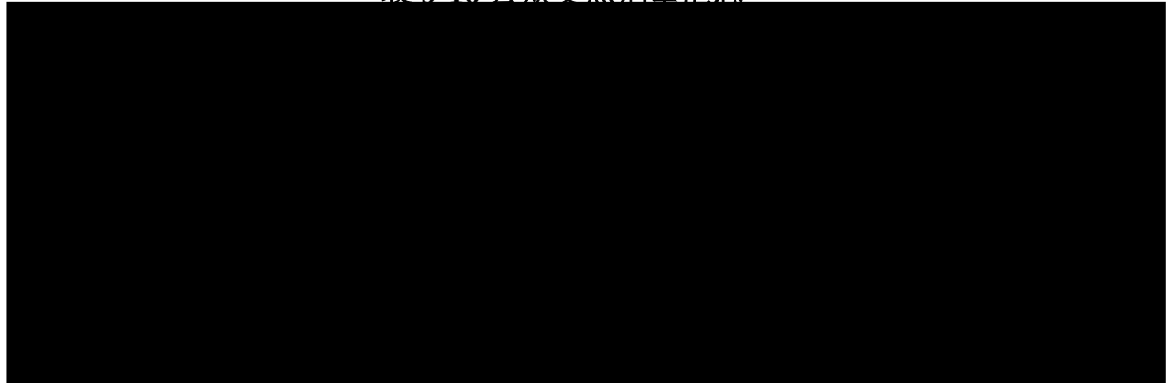
表 9-15 质子治疗区周围公众所受直接照射剂量计算结果

由表 9-15 可见，质子治疗区周围公众所受直接照射剂量最大为 4.4E-03mSv/a。

9.4.1 公众受照剂量汇总

保守假设直接照射、天空反散射以及放射性气体排放三种途径对公众造成的最大剂量在同一处，则该处的公众可能受到的最大个人剂量计算结果见表 9-16

表 9-16 公众受照剂量汇总

The table content is completely redacted with a solid black box.

10 验收监测结论

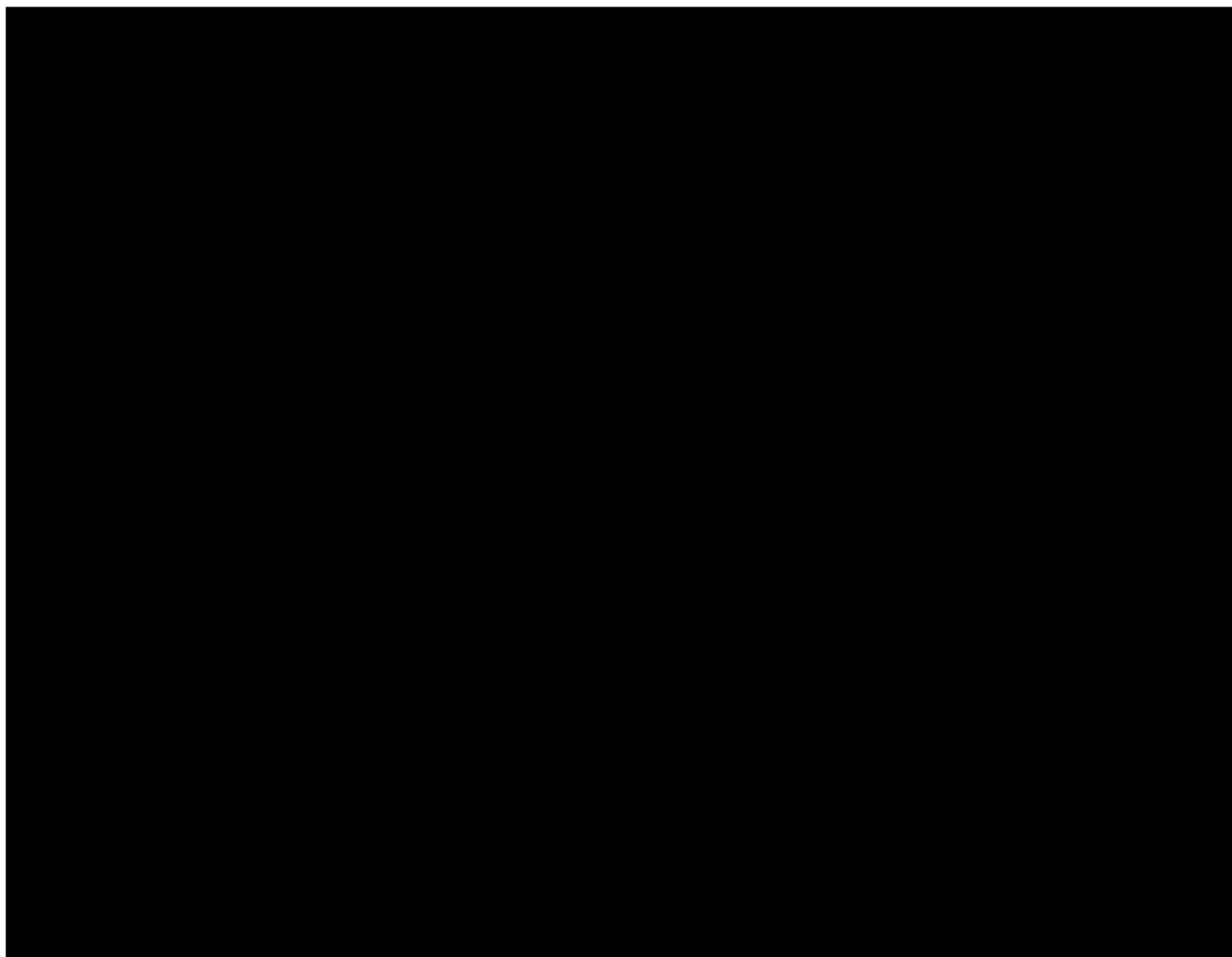
10.1 辐射防护设施/措施运行情况

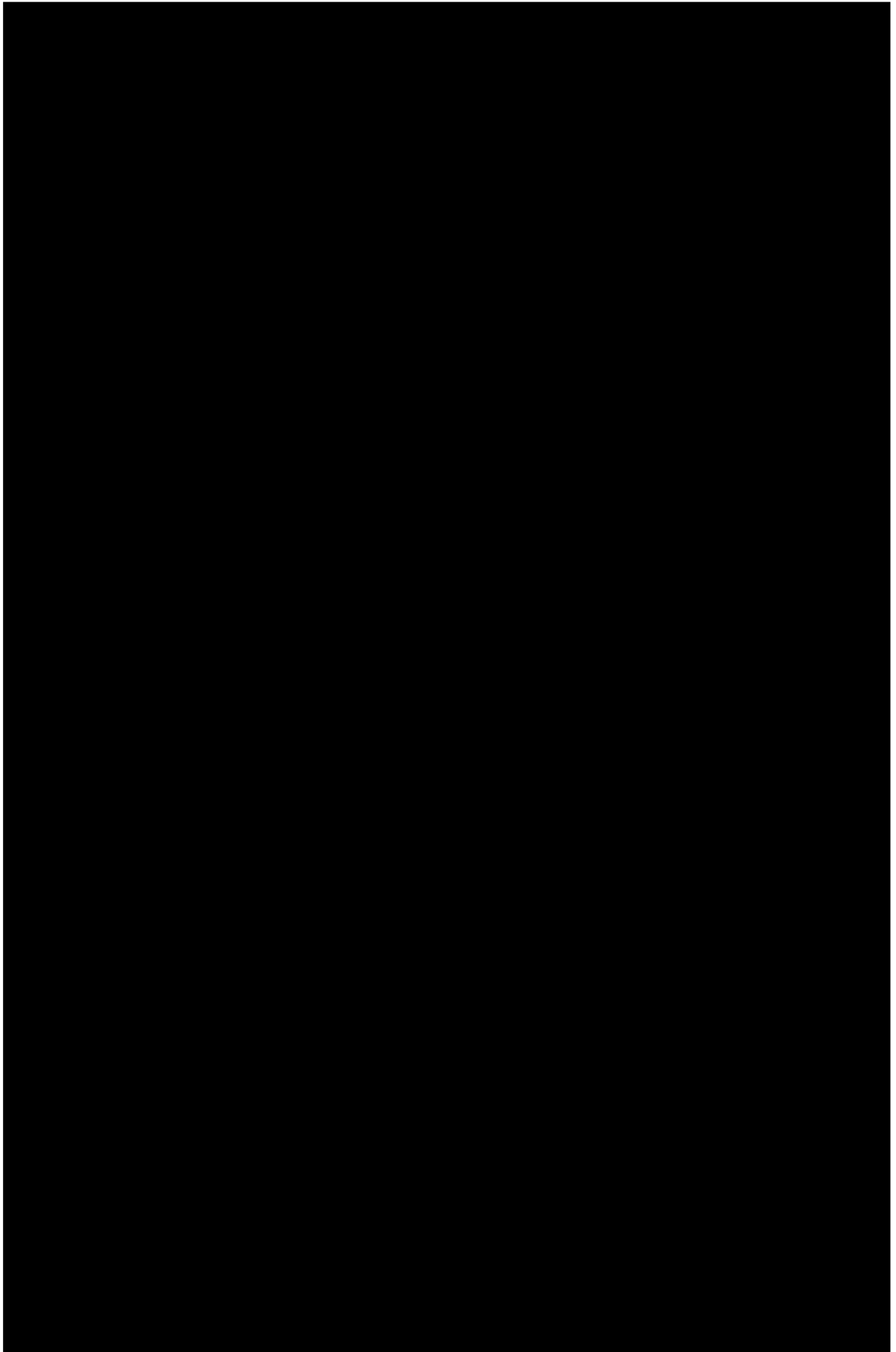
本项目中主要涉及的放射性工作为医生、技师、物理师等辐射工作人员在进行质子治疗时所涉及到的工作。

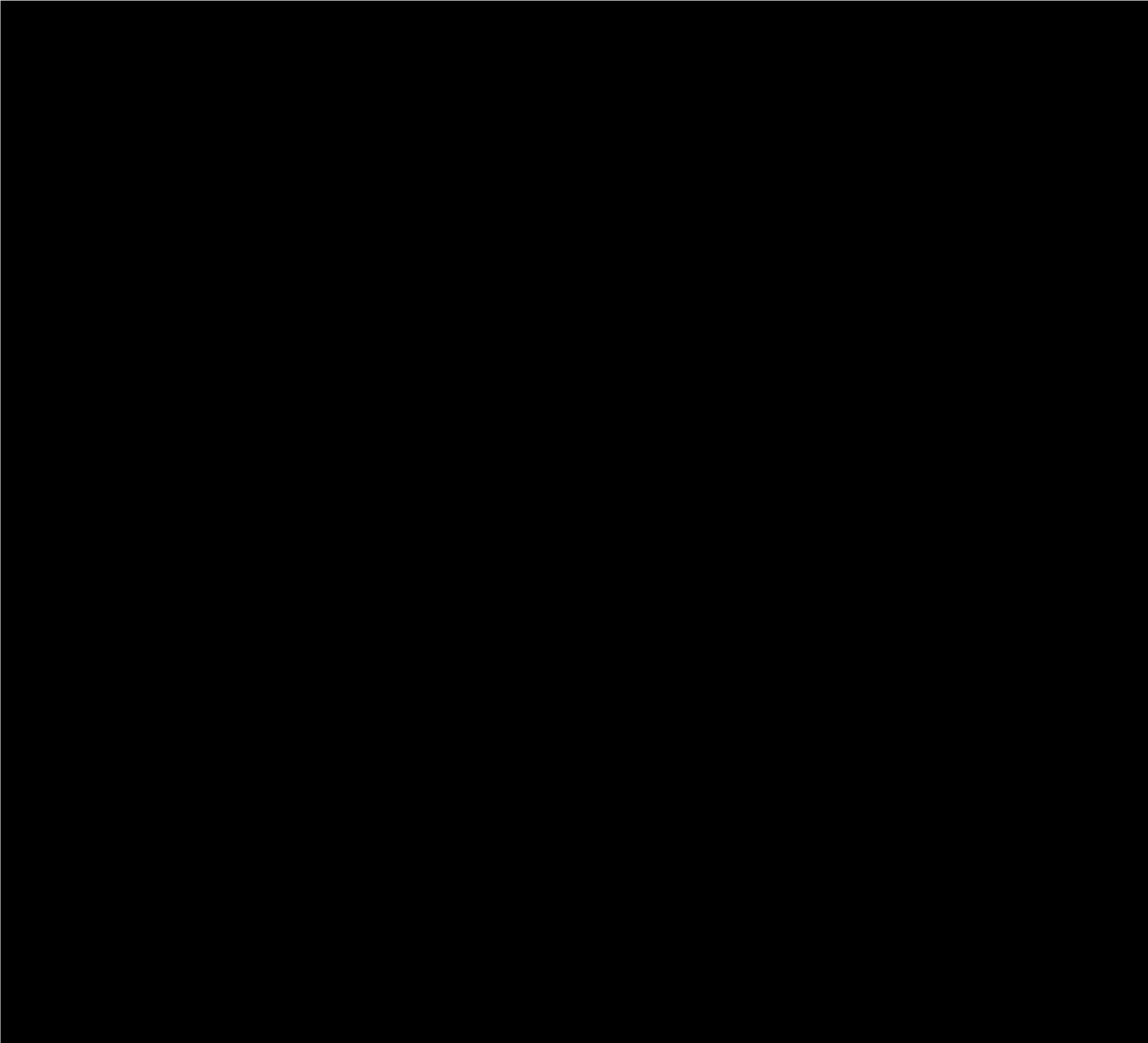
合肥离子医学中心有限公司认真履行了国家环境保护审批和许可手续，严格执行了环保“三同时”制度，其质子治疗系统所在场所落实了环评批复及报告书所规定的各项污染防治和管理措施。

10.2 放射性污染物排放监测结果及结论

(1) 辐射监测结果







（3）放射性三废

1) 放射性废气：

质子治疗系统运行产生的空气感生放射性核素均为短半衰期核素，经过一段时间后可自行衰变至较低水平。质子治疗系统各区域均设有排风管道，装置运行过程中通风系统保持开启。感生放射性气体经各区域排风管道排入输运线隧道，最终由输运线隧道末端处二层屋顶的排风口排入环境。

综上，放射性废气的处置满足环评报告及其批复的管理要求。

2) 放射性固废：

质子治疗系统运行产生的放射性固废主要为质子治疗系统产生的放射性固废，其处置方式如下：

拆除的活化的结构部件及各类放射性固废经包装后集中暂存在该储存间，最终将委托有资质的单位统一处理。产生的放射性固体废物均建立了放射性固废台账，清晰记录暂存、监测、解控和处置的信息。

综上，放射性固废的处置满足环评报告及其批复的管理要求。

3) 放射性废液:

质子治疗系统正常运行期间，冷却水闭路循环不排放，只在设备相关部位检修时才需要排放。

冷却水在排放前必须进行取样测量，满足国家相关规定的排放标准后，并经审管部门批准后，方可排入医院污水管网。

一回路冷却水闭路循环不排放，只在设备相关部位检修时才需要排放，排放至暂存池，暂存池内水排放前必须进行取样测量，满足国家相关规定的排放标准后，并经审管部门批准后，方可排入医院污水管网。桶内水为暂存池满后转运至桶内待排。同样在排放前需进行取样测量，满足国家相关规定的排放标准后排入医院污水管网。

综上，放射性废液的处置满足环评报告及其批复的管理要求。

（4）辐射防护措施

中心已按照环评及环评批复中质子治疗系统辐射工作场所的屏蔽设计进行了建设；相关工作场所进行分区管理并设置明显的电离辐射警示标志；加速器大厅及治疗室（研究室）已安装较为完备安全联锁系统装置；配备固定式在线区域辐射监测（ γ 探测器、中子探测器）、便携式 X- γ 剂量率仪、便携式中子剂量率仪、表面污染监测仪以及个人剂量报警仪，定期对工作场所的辐射水平进行巡测，且每年委托有资质的单位对工作场所及周围环境进行年度监测。

综上，本项目设置的辐射防护措施满足环评报告及其批复中对辐射防护措施的要求。

（5）辐射安全管理

建设单位已成立辐射安全与防护管理机构，并制定一系列辐射安全管理制度，制定较为完善的辐射事故应急预案、项目操作规程、监测方案、放射性废物管理制度，对公司辐射工作人员进行一系列培训，40 名辐射工作人员均通过考核后上岗，为辐射工作人员配备个人剂量计并定期送检，按时向相关生态环境部门上报了年度评估报告。可满足环评报告及其批复中对辐射安全管理的要求。

综上所述，本项目建设过程中环保措施与已批复的环评报告一致，经过现场验收监测，环保措施的环保效果满足环评批复中相关要求。

11 建设项目竣工环境保护“三同时”验收登记表

建设项目竣工环境保护“三同时”验收登记表

填表单位（盖章）：

填表人（签字）：

项目经办人（签字）：

建设项目	项目名称	合肥离子医学中心工程项目	项目代码		建设地点	合肥市高新区燕子河路与长宁大道交口东南角	
	行业类别（分类管理名录）	核技术利用建设项目	建设性质	■新建 □ 改扩建 □ 技术改造		项目厂区中心经度/纬度	
	设计生产能力	使用一套最大质子能量 250MeV，最大束流能量 800nA 的质子治疗系统、两台 10MV 电子直线加速器、CT 机等设备进行诊断、治疗。	实际生产能力	使用一套最大质子能量 250MeV，最大束流能量 800nA 的质子治疗系统、两台 15MV 电子直线加速器、CT 机等设备进行诊断、治疗。	环评单位	中国原子能科学研究院	
	环评文件审批机关	安徽省生态环境厅	审批文号	皖环审[2017]668号、皖环审[2018]1530号	环评文件类型	环境影响报告书	
	开工日期	2017 年 6 月	竣工日期	2019 年 12 月	排污许可证申领时间		
	环保设施设计单位	上海建筑设计研究院有限公司	环保设施施工单位	上海建筑第八工程局有限公司	本工程排污许可证编号		

	验收单位	中国原子能科学研究院					环保设施监测单位		中国原子能科学研 究院	验收监测时工 况	最大质子能量 250MeV，至治 疗室（研究室）最大束流强 度 3.0nA。至加速器大厅最大 束流强度 800nA		
	投资总概算（万 元）												
	实际总投资（万 元）												
	废水治理（万元）		废气治理（万 元）		噪声治理（万 元）		固体废物治理（万元）		绿化及生态 （万元）		其他（万 元）		
	新增废水处理设施 能力						新增废气处理设施能力			年平均工作时			
运营单位						运营单位社会统一信用代码 （或组织机构代码）				验收时间			
污 染 物 排 放 达 标 与 总 量 控 制 （ 工 业 建 设 项 目 详 填 ）	污染物	原有排 放量(1)	本期工程实际 排放浓度(2)	本期工程 允许排放 浓度(3)	本期工程 产生量(4)	本期 工程 自身 削减 量(5)	本期工程 实际排放 量(6)	本期工程 核定排放 总量(7)	本期工程“以新带 老”削减量(8)	全厂实际排 放总量(9)	全厂核定排 放总量(10)	区域平衡 替代削减 量(11)	排放增 减量 (12)
	废水												
	化学需氧量												
	氨氮												
	石油类												
	废气												
	二氧化硫												
	烟尘												
	工业粉尘												
	氮氧化物												
工业固体废物													

	与项目有关的其他特征污染物													