

编号：BG-ZFFB24220178

核技术利用建设项目

软X射线三维成像装置建设项目

环境影响报告表

故宫博物院

2025年12月

编号：BG-ZFFB24220178

核技术利用建设项目

软X射线三维成像装置建设项目
环境影响报告表



核技术利用建设项目

软X射线三维成像装置建设项目 环境影响报告表



建设单位名称：故宫博物院

建设单位法人代表（签名或签章）：王旭东

通讯地址：北京市东城区景山前街4号

邮政编码：100010

电子邮箱：duanpeiquan@outlook.com



联系人：段佩权

联系电话：010-85007294

目 录

| | |
|--------------------------|----|
| 表 1 项目基本情况 | 1 |
| 表 2 放射源 | 11 |
| 表 3 非密封放射性物质 | 11 |
| 表 4 射线装置 | 12 |
| 表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） | 13 |
| 表 6 评价依据 | 14 |
| 表 7 保护目标与评价标准 | 17 |
| 表 8 环境质量和辐射现状 | 24 |
| 表 9 项目工程分析与源项 | 29 |
| 表 10 辐射安全与防护 | 35 |
| 表 11 环境影响分析 | 43 |
| 表 12 辐射安全管理 | 52 |
| 表 13 结论与建议 | 61 |
| 表 14 审批 | 64 |

表 1 项目基本情况

| | | | | | |
|--|--------------|--|---|------------------------|--------------|
| 建设项目名称 | | 软 X 射线三维成像装置建设项目 | | | |
| 建设单位 | | 故宫博物院 | | | |
| 法人代表 | 王旭东 | 联系人 | 段佩权 | 联系电话 | 010-85007294 |
| 注册地址 | | 北京市东城区景山前街 4 号 | | | |
| 项目建设地点 | | 北京市东城区景山前街 4 号故宫博物院西侧文物保护综合业务用房地下一层软 X 射线三维成像实验室 | | | |
| 立项审批部门 | | / | | 批准文号 | / |
| 建设项目总投资 (万元) | 580 | 项目环保投资 (万元) | 40 | 投资比例(环保 投资/总投资) | 6.9% |
| 项目性质 | | <input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它 | | 占地面积 (m ²) | 14.4 |
| 应用 类型 | 放射源 | <input type="checkbox"/> 销售 | <input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类 | | |
| | | <input type="checkbox"/> 使用 | <input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类 | | |
| | 非密封放 射性物质 | <input type="checkbox"/> 生产 | <input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物 | | |
| | | <input type="checkbox"/> 销售 | / | | |
| | | <input type="checkbox"/> 使用 | <input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙 | | |
| | 射线装置 | <input type="checkbox"/> 生产 | <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 | | |
| | | <input type="checkbox"/> 销售 | <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 | | |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> 使用 | <input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 | | |
| 其他 | / | | | | |
| <p>1.1 建设单位概况</p> <p>故宫博物院位于中国北京市东城区景山前街 4 号，是一座集古代建筑群、宫廷收藏、历代文化艺术为一体的大型综合性博物馆。全院占地面积约 72 万平方米，拥有宫殿建筑近千座，是世界上现存规模最大、保存最完整的木质结构古建筑群之一。故宫博物院馆藏文物体系完备，截至 2022 年末，共有藏品总数 1917657 件（套），珍贵文物数 927745 件（套），藏品涵盖绘画、法书、碑帖、铜器、金银器等 25 大类。故宫博物院的研究内容广泛，包括各类文物的收藏、保护、展示和研究；古籍文献的整理保护与研究；国家非物质文化遗产的发掘、整理、保护与研究；古建筑保护、修缮与研究；博物馆数字化建设与研究；文化遗产保护与博物馆学的研究；文物科技保护的研究等。同时，还开展对外展览、公共教育、文物修复、国际学术交流、文化产品研发等方面工作。</p> <p>故宫博物院为已取得《辐射安全许可证》单位。</p> | | | | | |

1.2 核技术利用及辐射安全管理现状

1.2.1 核技术利用现状情况

故宫博物院现持有北京市生态环境局颁发的《辐射安全许可证》，证书编号：京环辐证[A0052]，有效期至2029年1月10日，许可种类和范围为：使用II类、III类射线装置，辐射安全许可证正副本详见附件2。

故宫博物院目前已许可使用的射线装置见表1-1。

表 1-1 现有已许可的射线装置明细表

| 序号 | 射线装置名称 | 类别 | 数量 | 场所 | 活动种类 |
|----|--------------|------|----|---------------------|------|
| 1 | X射线探伤机 | II类 | 1 | X射线成像室 | 使用 |
| 2 | X射线CT装置 | II类 | 1 | 文物断层扫描实验室 | 使用 |
| 3 | X射线衍射仪 | III类 | 1 | 分析仪器实验室1 | 使用 |
| 4 | X射线荧光能谱仪 | III类 | 3 | 分析仪器实验室2、X射线荧光扫描成像室 | 使用 |
| 5 | X射线荧光能谱仪（移动） | III类 | 1 | 分析仪器实验室3 | 使用 |
| 6 | 扫描电子显微镜 | III类 | 2 | 分析仪器实验室1 | 使用 |

1.2.2 近几年履行环保审批情况

故宫博物院于2021年11月18日完成《故宫博物院放射源场所变更建设项目》环境影响登记表备案，备案号：202111010100000207。近5年未办理过辐射类环境影响报告表（书）类环评项目。

1.2.3 辐射安全管理情况

1.2.3.1 辐射管理机构

为了保证射线装置的安全使用和有效管理，保障工作人员的健康与安全，故宫博物院已成立辐射安全与环境保护管理小组，并安排有专人负责辐射安全与环境保护管理工作。辐射安全与环境保护管理小组成员名单见表1-2。

表 1-2 故宫博物院辐射安全与环境保护管理小组成员名单

| 人员类别 | 姓名 | 职务或职称 | 专业 | 工作部门 | 专/兼职 |
|---------|-----|-------|-------|-------|------|
| 负责人 | 罗先良 | 副院长 | 安全 | 院办 | 兼职 |
| 辐射防护负责人 | 曲亮 | 研究馆员 | 科学技术史 | 文保标准部 | 兼职 |

| | | | | | |
|---------|-----|-------|----------|-------|----|
| 辐射防护负责人 | 雷勇 | 研究馆员 | 文物保护 | 文保科技部 | 兼职 |
| 成员 | 刘建宇 | 研究馆员 | 科学技术史 | 文保标准部 | 兼职 |
| 成员 | 关明 | 副研究馆员 | 分析化学 | 文保标准部 | 兼职 |
| 成员 | 康葆强 | 研究馆员 | 文物保护 | 文保科技部 | 兼职 |
| 成员 | 邹非池 | 馆员 | 文物保护 | 文保标准部 | 兼职 |
| 成员 | 段鸿莺 | 研究馆员 | 分析化学 | 古建部 | 兼职 |
| 成员 | 马燕莹 | 副研究馆员 | 文物保护 | 文保标准部 | 兼职 |
| 成员 | 李广华 | 副研究馆员 | 考古及博物馆学 | 文保标准部 | 兼职 |
| 成员 | 李合 | 研究馆员 | 材料学 | 文保科技部 | 兼职 |
| 成员 | 刘瀚文 | 副研究馆员 | 材料学 | 文保标准部 | 兼职 |
| 成员 | 段佩权 | 副研究馆员 | 核物理 | 文保标准部 | 兼职 |
| 成员 | 任萌 | 副研究馆员 | 科技考古 | 文保科技部 | 兼职 |
| 成员 | 胡志康 | 馆员 | 矿物学 | 文保标准部 | 兼职 |
| 成员 | 李根 | 副研究馆员 | 材料科学与工程 | 文保科技部 | 兼职 |
| 成员 | 常晶晶 | 馆员 | 材料工程 | 文保标准部 | 兼职 |
| 成员 | 丁银忠 | 研究馆员 | 材料学 | 文保科技部 | 兼职 |
| 成员 | 李媛 | 研究馆员 | 分析化学 | 文保科技部 | 兼职 |
| 成员 | 张雪雁 | 副研究馆员 | 核物理 | 文保标准部 | 专职 |
| 成员 | 高寒 | 馆员 | 材料学 | 文保标准部 | 兼职 |
| 成员 | 陈垚 | 馆员 | 光学 | 文保标准部 | 兼职 |
| 成员 | 黄婧 | 馆员 | 计算机软件与理论 | 文保标准部 | 兼职 |

1.2.3.2 现有辐射安全管理制度

故宫博物院结合实际情况，已制定了一套完善的辐射安全管理制度和操作规程，包括辐射安全岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、射线装置操作规程、射线装置检修维护制度、射线装置台账管理制度、辐射工作人员剂量监测和健康管理制度、辐射安全培训考核制度、辐射工作场所监测方案、辐射事故应急预案等，并将严格按照规章制度执行。

1.2.3.3 辐射工作人员培训

建设单位现有辐射工作人员 21 人，均通过了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，持证上岗。

1.2.3.4 个人剂量监测

故宫博物院所有从事辐射工作的人员均佩戴 TLD 个人剂量计，每季度监测 1 次，建设单位按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令第 18 号）要求建立个人剂量档案。故宫博物院现有辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托北京市疾病预防控制中心承担，监测频度为每季度检测一次。2024 年度故宫博物院辐射工作人员的年度剂量检测报告（见附件 7）表明，建设单位现有辐射工作人员 21 人，该年度个人剂量最大值为 0.170mSv（本项目拟配备的 2 名辐射工作人员年度个人剂量最大值为 0.136mSv），年度个人剂量最大值均未超过本单位年剂量管理目标值（2mSv），满足辐射安全管理要求。

故宫博物院设置专人负责个人剂量监测管理工作。发现个人剂量监测结果异常的，将及时调查原因，并将有关情况及时报告医院辐射安全防护领导小组。

1.2.3.5 辐射防护监测设备

建设单位配备了与辐射类型相适应的 X/γ 辐射监测仪、个人剂量报警仪等，确保了辐射工作人员及区域环境安全。

1.2.3.6 工作场所及辐射环境监测

故宫博物院已制定辐射工作场所监测制度和自行监测记录档案，监测方案内容含有工作场所辐射水平监测和环境辐射水平监测，监测方案中包括实施部门、监测项目、点位及频次等，并妥善保存，接受生态环境行政主管部门的监督检查。监测记录记载监测数据、测量条件、测量方法和仪器、测量时间和测量人员等信息，监测记录随本单位辐射安全和防护年度评估报告一并提交北京市生态环境局。目前，故宫博物院使用射线装置共 9 台。根据浙江建安检测研究院 2024 年 11 月 25 日及 2025 年 1 月 20 日出具的建设单位 8 个 X 射线检测系统工作场所的例行监测报告（1 台扫描电子显微镜损坏正在维修，无法开机运行监测），在用射线装置运行时，工作场所周围辐射水平最大值为 0.127μSv/h（未扣除本底值 0.099~0.110μSv/h），检测结果与环境本底值接近，满足相关标准要求的控制水平 2.5μSv/h。

1.2.3.7 辐射事故应急管理

故宫博物院依据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，制定了关于本单位辐射项目的辐射事故应急预案，以保证本单位一旦发生辐射意外事件时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理放射事故，保护工作人员和公众的健康与安全，同时在预案中进一步明确规定本单位有关意外放射事件处理的组织机构及其职责、事故报告、信息发布和应急处理程序等内容，能够满

足医院实际辐射工作的需要。发生辐射事故时，单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。建设单位将每年至少组织一次应急演练。

为规划和加强放射突发事件应急处理能力，同时最大程度地降低放射事件可能造成的后果，保障辐射工作人员的生命安全，故宫博物院于 2024 年 9 月 24 日，组织保卫处、文保科技部、文物保护标准化研究所等相关科室人员参加以人员意外遭受射线装置意外照射为故事背景的辐射事件应急预案演练。建设单位根据《辐射事故应急预案》，指定演练计划并有序实施，参与演练人员均较好地履行各自的职责，圆满完成既定任务，达到了演练预期的效果。

1.2.3.8 其他

2024 年度，故宫博物院较圆满地完成了各项辐射安全防护工作，依据法律法规对本单位射线装置的安全和防护状况进行了年度评估，并如实上报了年度评估报告。

1.3 建设项目规模、目的和任务由来

1.3.1 本项目背景

在对文物保护修复和研究过程中需要对文物的伤况进行全面完整的了解，然而有些文物的劣变情况是发生在本体内部的、肉眼难以识别观察到，因此需要借助科学的手段去探查其内部的伤况及结构，以便修复师和科研人员能更全面地了解文物的特征，从而找到有针对性的科学保护修复办法。由于文物具有唯一性和不可再生性，而且大多质地十分脆弱，为防止在检测过程中产生再次损伤，一般会选择无损手段进行检测分析。由于不同物质的密度和结构不同，对 X 射线的吸收程度也不同，因此针对不同材质的文物可以适配不同的 X 射线能量范围，从而可以有针对性地提高不同材质文物的成像准确度和清晰度。

因此，故宫博物院申请建设软 X 射线三维成像装置，为文物的制作工艺技术研究、保存状况研究提供科学依据。

1.3.2 本项目基本情况

故宫博物院拟在北京市东城区景山前街 4 号故宫博物院西侧文物保护综合业务用房地下一层预留软 X 射线三维成像实验室机房内新增使用 1 台 XTomo-S 型软 X 射线三维成像装置，用于文物无损检测，设备自带铅屏蔽。该设备每次曝光时间不超过 30min，每天出束

时间最大 5h，年最大出束时间 1200h（每年工作 240 天）。拟为本项目配备 2 名辐射工作人员，在项目建成后同时负责“X 射线 CT 装置(Y.CT Modular)”与本项目射线装置的操作工作，工作总时长和总剂量不超过年辐射剂量规定，2 名辐射工作人员均为故宫博物院现有辐射工作人员。

本项目拟建射线装置基本情况见表 1-3。

表 1-3 本项目射线装置基本情况表

| 序号 | 名称/型号 | 生产厂家 | 最大管电压 (kV) | 最大管电流 (mA) | 照射方向 | 使用场所 |
|----|-----------------------|------------------|------------|------------|--------------|-------------------------------------|
| 1 | XTomo-S 型软 X 射线三维成像装置 | 锐影检测科技 (济南) 有限公司 | 160 | 1 | 向东 (160° 锥束) | 故宫博物院内西侧文物保护综合业务用房地下一层软 X 射线三维成像实验室 |

1.3.3 目的和任务由来

本项目新增使用 1 台 XTomo-S 型软 X 射线三维成像装置，用于文物无损检测，该设备属于工业用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置，对照原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会《关于发布<射线装置分类>的公告》(公告 2017 年第 66 号)，本项目新增的一台软 X 射线三维成像装置属于 II 类射线装置。设备厂家辐射安全许可证见附件 10。

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》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2019 年修订，国务院令 第 709 号)、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021 年修订，生态环境部部令 第 20 号)、《建设项目环境影响评价分类管理名录》(2021 年版)等国家辐射环境管理相关法律法规的要求，该项目应依法编制环境影响报告表。

故宫博物院委托中辐环境科技有限公司对故宫博物院软 X 射线三维成像装置建设项目进行环境影响评价 (附件 1)，中辐环境科技有限公司接受委托后，及时组织了技术人员现场调查与监测，充分收集了相关资料，依照《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)，编制完成了该项目的环境影响报告表。

待项目批复后，建设单位应按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关要求，向生态环境主管部门重新申领辐射安全许可证增项业务。

1.3.4 本项目产业政策符合性及实践正当性

本项目属于使用 II 类射线装置，依据《产业结构调整指导目录 (2024 年本)》“第一类 鼓励类”“十四、机械”第 1 条中的“工业 CT 无损检测设备”类别，属于鼓励类产业，符合国家

产业政策。

本项目不属于《北京市新增产业的禁止和限制目录（2022年版）》中禁止和限制项目。因此，本项目的建设符合国家及地方产业政策要求。本项目的建设可以满足建设单位无损检测要求，该设备有自带具备防护功能的铅屏蔽，运行产生的辐射影响很小，对职业人员、公众以及环境带来的不利影响，远低于其使用对社会带来的利益，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的原则与要求。

1.4 选址及布局合理性分析

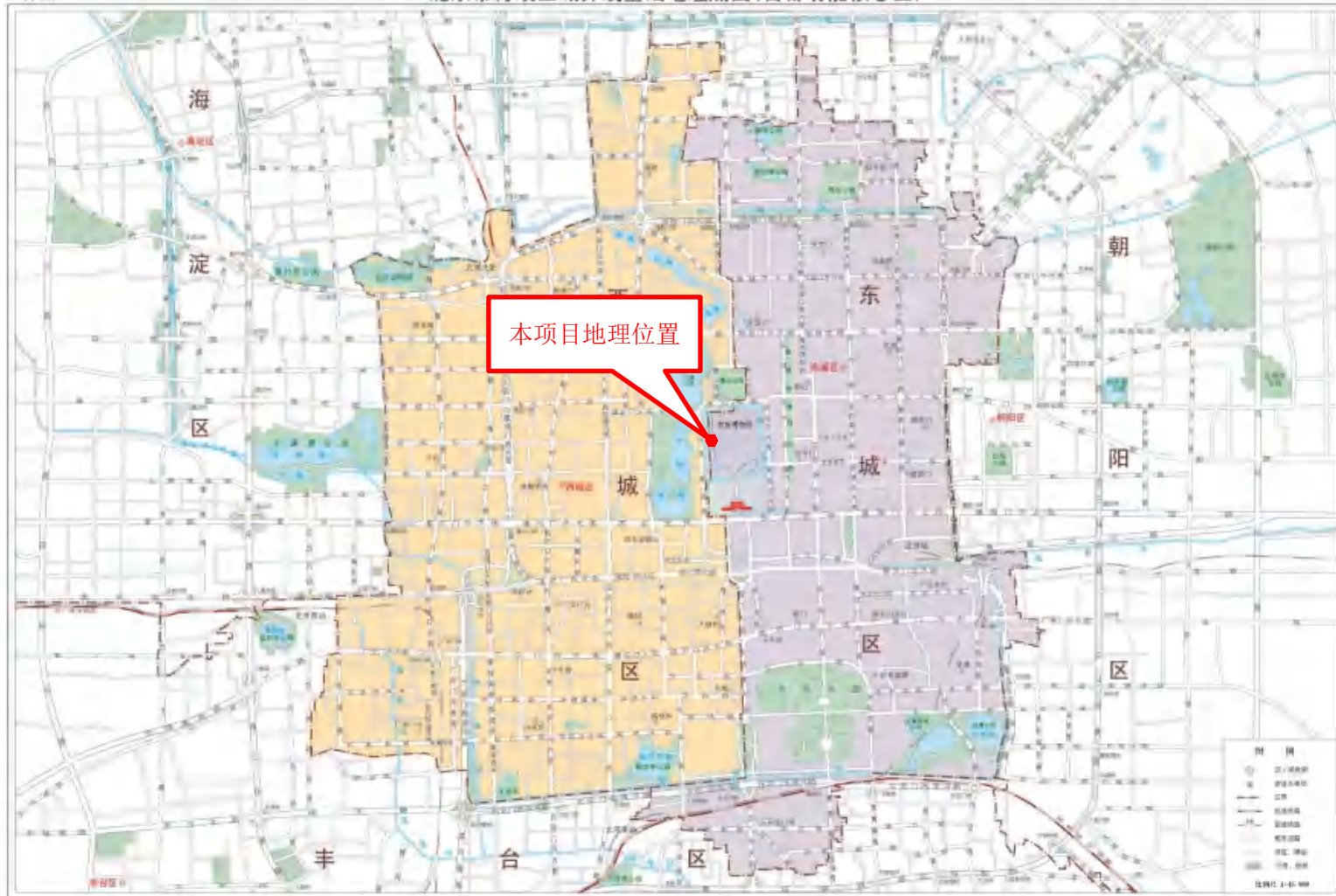
故宫博物院文物保护综合业务用房工程位于故宫西河沿区域，北邻城隍庙，南邻中国第一历史档案馆，西邻城墙，东邻寿康宫、寿安宫区域，呈长方形，该建筑于2013年开工建设，是经过国家文物局、北京市文物局及北京市规划委员会等部门批准建设（见附件3）的一座集文物研究、实验、办公与科技交流等功能为一体的综合性设施。

拟建项目机房位于故宫博物院西侧文物保护综合业务用房（地上一层地下一层砖混结构）地下一层软X射线三维成像实验室，机房正上方为有机质文物保护实验室，无地下层，本项目50m评价范围内除本建筑外，其他建筑均为本单位科研、办公用房，无居住、教育等建筑物。项目所在区域地质条件稳定，没有影响软X射线三维成像装置稳定运行和安全使用的制约因素，工作场所较为独立，拟建项目选址合理。

本项目地理位置图见图1-1，拟建项目与院区整体布局位置关系示意图见图1-2，拟建辐射工作场所周围关系示意图见图1-3，拟建场所现状情况见图1-4。

样图1

北京市行政区域界线基础地理底图(首都功能核心区)



审图号:京S(2024)032号

北京市规划和自然资源委员会
北京市民政局

图 1-1 本项目地理位置示意图

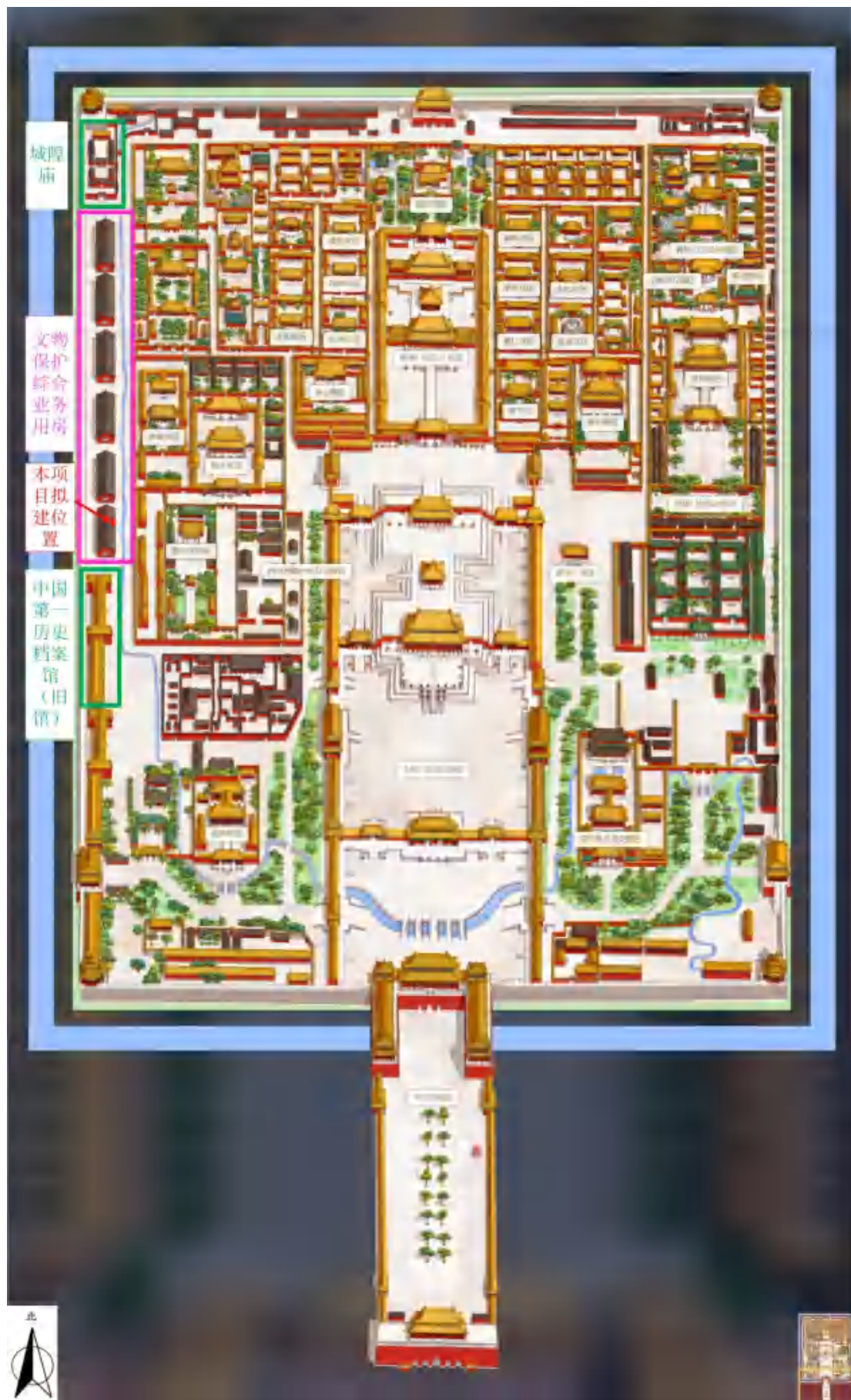


图 1-2 拟建项目与院区整体布局位置关系示意图

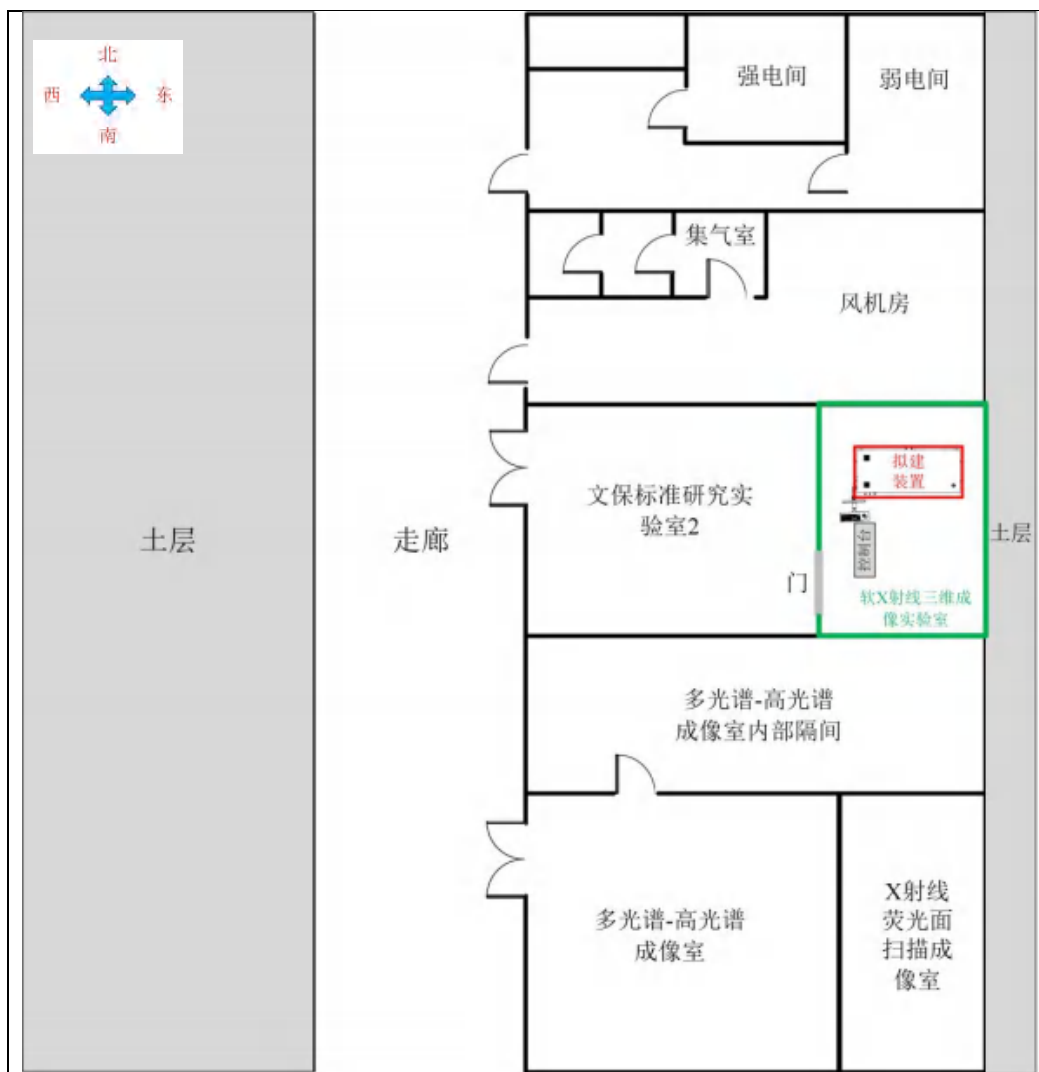


图 1-3 本项目拟建辐射工作场所周边关系示意图



图 1-4 本项目拟建场所（机房）现状情况图

表 2 放射源

| 序号 | 核素名称 | 总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数 | 类别 | 活动种类 | 用途 | 使用场所 | 贮存方式与地点 | 备注 |
|----|------|----------------------------|----|------|----|------|---------|----|
| 无 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

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

表 3 非密封放射性物质

| 序号 | 核素名称 | 理化性质 | 活动种类 | 实际日最大 操作量 (Bq) | 日等效最大操 作量 (Bq) | 年最大用量 (Bq) | 用途 | 操作方式 | 使用场所 | 贮存方式与地点 |
|----|------|------|------|-------------------|-------------------|---------------|----|------|------|---------|
| 无 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

| 序号 | 装置名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 加速 粒籽 | 最大射线能量 | 活动 种类 | 额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h) | 用途 | 工作场所 | 备注 |
|----|------|----|----|----|----------|--------|----------|---------------------------|----|------|----|
| / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

| 序号 | 装置名称 | 类别 | 数量 | 型号 | 最大管电压 (kV) | 最大管电流 (mA) | 用途 | 工作场所 | 备注 |
|----|--------------|-----|-----|---------|---------------|---------------|------|-------------------------------------|------|
| 1 | 软 X 射线三维成像装置 | II类 | 1 台 | XTomo-S | 160 | 1 | 无损检测 | 故宫博物院内西侧文物保护综合业务用房地下一层软 X 射线三维成像实验室 | 新增使用 |

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

| 名称 | 状态 | 核素名称 | 排放口浓度 | 月排放量 | 年排放总量 | 暂存情况 | 最终去向 |
|---------|----|------|-------|------|-------|------|--------|
| 臭氧及氮氧化物 | 气态 | / | / | 少量 | 少量 | / | 通风排入大气 |
| / | / | / | / | / | / | / | / |
| / | / | / | / | / | / | / | / |
| / | / | / | / | / | / | / | / |
| / | / | / | / | / | / | / | / |

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

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

表 6 评价依据

| | |
|------------------|---|
| 法 规 文 件 | <p>(1)《中华人民共和国环境保护法》(中华人民共和国主席令第 9 号, 2015 年 1 月 1 日起施行);</p> <p>(2)《中华人民共和国环境影响评价法》(中华人民共和国主席令第 24 号 2018 年修订, 2018 年 12 月 29 日起施行);</p> <p>(3)《中华人民共和国放射性污染防治法》(中华人民共和国主席令第 6 号, 2003 年 10 月 1 日起施行);</p> <p>(4)《建设项目环境保护管理条例》(国务院令第 682 号, 2017 年 10 月 1 日起施行);</p> <p>(5)《建设项目环境影响评价分类管理名录》(生态环境部令第 16 号, 2021 年 1 月 1 日起施行);</p> <p>(6)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第 449 号, 2005 年 12 月 1 日起施行, 2014 年 7 月 29 日第一次修订, 2019 年 3 月 2 日第二次修订);</p> <p>(7)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2006 年 1 月 18 日, 国家环境保护总局令第 31 号公布, 2008 年 12 月 6 日经环境保护部令第 3 号修改, 2017 年 12 月 20 日经环境保护部令第 47 号修改, 2019 年 8 月 22 日经生态环境部令第 7 号修改, 2021 年 1 月 4 日经生态环境部令第 20 号修改);</p> <p>(8)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环境保护部令第 18 号, 2011 年 5 月 1 日起施行);</p> <p>(9)《关于发布〈射线装置分类〉的公告》(环境保护部 国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号, 2017 年 12 月 5 日起施行);</p> <p>(10)《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 9 月 20 日公布, 2019 年 11 月 1 日起施行);</p> <p>(11)《产业结构调整指导目录(2024 年本)》(2023 年 12 月 27 日中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号公布, 自 2024 年 2 月 1 日起施行);</p> <p>(12)《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》(国家环保总局, 环发〔2006〕145 号);</p> |
|------------------|---|

| | |
|--|---|
| | <p>(13) 生态环境部《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9月；</p> <p>(14)《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(2019年12月23日生态环境部发布，自2020年1月1日起实施)；</p> <p>(15)《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》(国环规环评〔2017〕4号)，自2017年11月20日起施行；</p> <p>(16)《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法(试行)》，北京市环境保护局，京环发〔2011〕347号；</p> <p>(17)《北京市环境保护局办公室关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》，北京市环境保护局，京环办〔2018〕24号；</p> <p>(18)《北京市新增产业的禁止和限制目录(2022版)》，北京市人民政府办公厅，京政办发〔2022〕5号,2022年2月14日起施行；</p> <p>(19)《核技术利用辐射安全考核专业分类参考目录(2021年版)》，生态环境部令第9号，2021年3月15日起施行。</p> |
| <p style="text-align: center;">技 术 标 准</p> | <p>(1)《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)；</p> <p>(2)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(3)《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(4)《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>(5)《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)；</p> <p>(6)《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)；</p> <p>(7)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>(8)《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB8999-2021)；</p> <p>(9)《工业射线探伤辐射安全和防护分级管理要求》(DB11/T1033-2025)；</p> <p>(10)《放射工作人员健康要求及监护规范》(GBZ98-2020)；</p> <p>(11)《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)。</p> |

| | |
|----|--|
| 其他 | <p>(1) 环境影响评价工作委托合同；</p> <p>(2) 《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年 7 月第一版）；</p> <p>(3) 建设单位提供的其它相关技术资料。</p> |
|----|--|

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目拟使用的软 X 射线三维成像装置为II类射线装置，依据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)中“1.5 评价范围和保护目标：放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”，确定本项目评价范围为：拟新增软 X 射线三维成像装置自屏蔽体为界，半径 50m 范围内的区域。本项目评价范围见图 7-1 所示。



图 7-1 本项目评价范围示意图

7.2 保护目标

本次拟新增的自屏蔽式软 X 射线三维成像装置位于北京市东城区景山前街 4 号故宫博物院西侧文物保护综合业务用房地下一层软 X 射线三维成像实验室，文物保护综合业务用房东侧为故宫博物院建筑 1、建筑 2 及永康右门北侧建筑（均为院内办公场所），南侧为中国第一历史档案馆（旧馆），西侧为围墙、院外道路及筒子河，北侧为院内道路。

拟建装置布置于软 X 射线三维成像实验室内北侧区域，实验室东侧为土层；南

侧紧邻区域为多光谱-高光谱成像室内部隔间（现用作库房），之外为多光谱-高光谱成像室及 X 射线荧光面扫描成像室，X 射线荧光面扫描成像室内布置有一台 X 射线荧光能谱仪，属Ⅲ类射线装置；西侧为文保标准研究实验室 2，之外为走廊及土层；北侧紧邻房间为风机房，之外为集气室、强电间和弱电间；楼上紧邻区域为有机质文物保护实验室，楼下为土层。

根据项目特点及周边毗邻关系，确定本工程环境保护目标主要为本单位从事本项目软 X 射线三维成像装置控制工作的职业人员及拟建自屏蔽装置屏蔽体外 50m 范围内的其他工作人员和周围公众。

本项目环境保护目标具体情况见表 7-1，本项目拟建软 X 射线三维成像装置周围毗邻关系示意图见图 7-2~图 7-3。

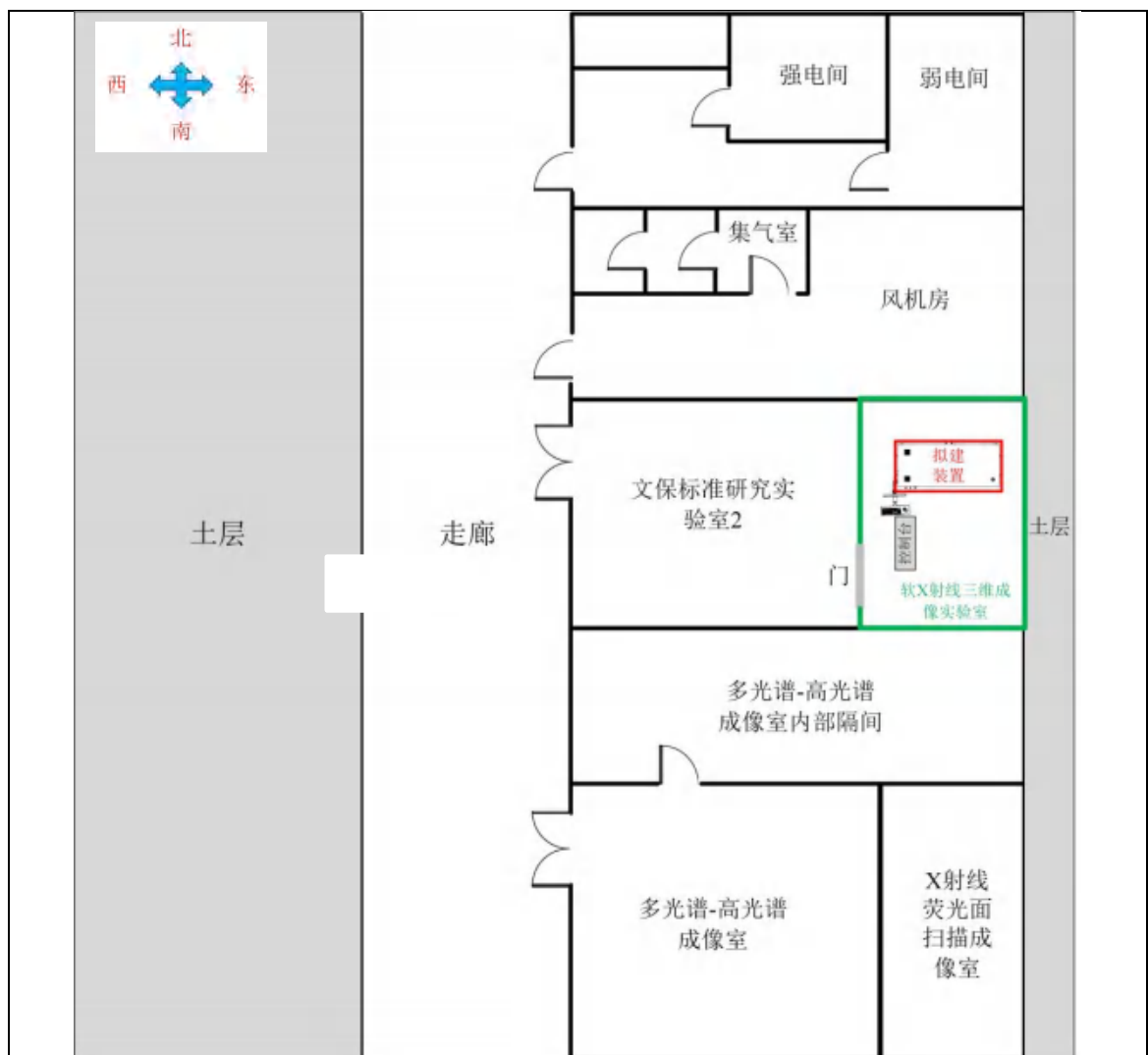


图 7-2 本项目拟建射线装置四周毗邻关系示意图

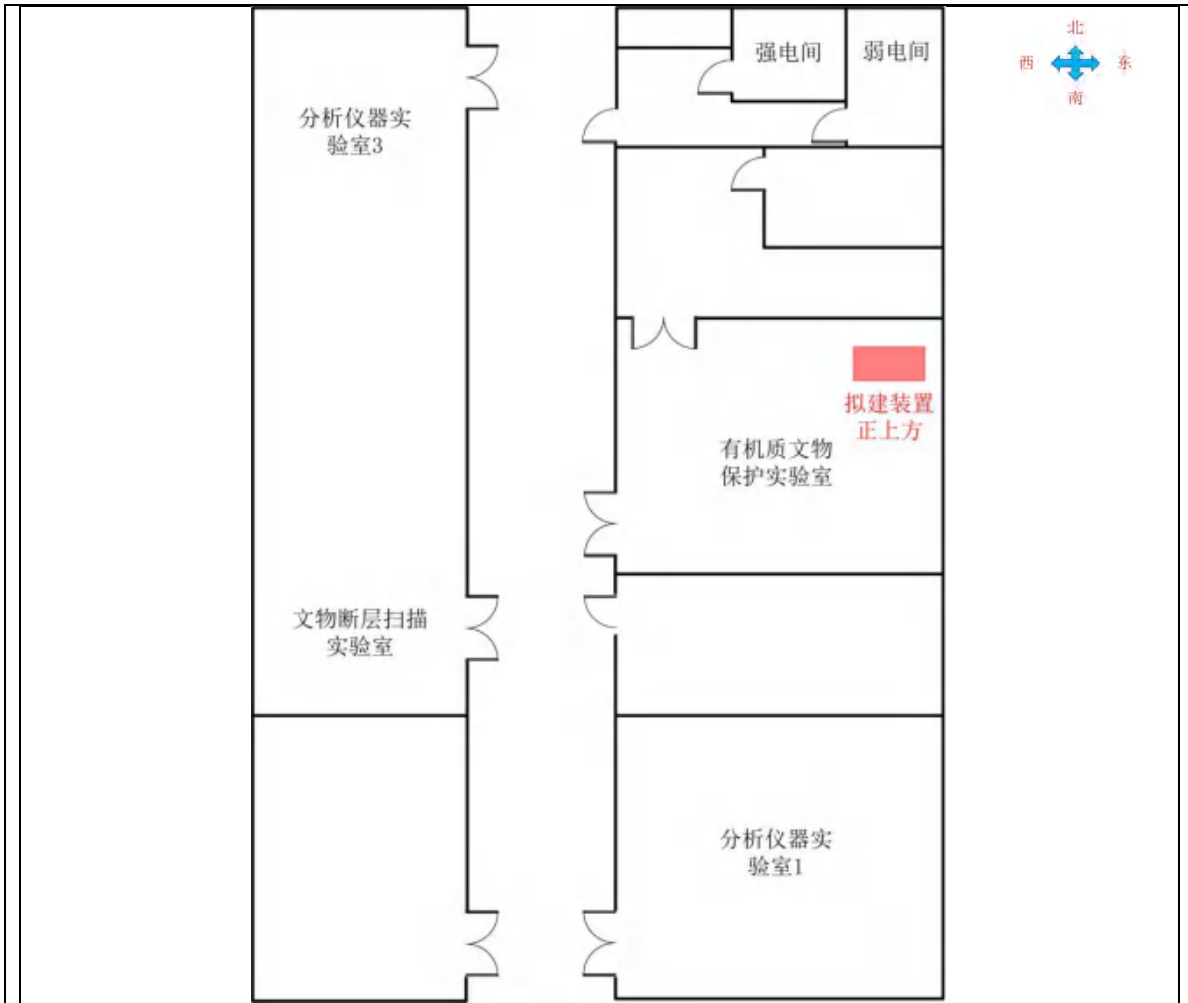


图 7-3 文物保护综合业务用房地上一层平面布局示意图（拟建装置上方）

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

| 场所 | 场所名称 | 保护目标 | | | 相对位置关系 | | 年有效剂量控制水平 |
|---------------|--|----------------|-------|------|----------|----|-----------|
| | | 名称 | 规模人数 | 人员类别 | 最近距离 (m) | 方位 | |
| 文物保护综合业务用房建筑内 | 软 X 射线三维成像实验室机房 | 本项目辐射工作人员 | 2 | 职业人员 | 0~2.9m | 南侧 | ≤2mSv/a |
| | 地下一层 X 射线荧光面扫描成像室 | 射线装置使用场所辐射工作人员 | 4 | | 约 6.5m | 南侧 | |
| | 地上一层分析仪器实验室 1 | 辐射工作人员 | >10 人 | | 约 13m | 南侧 | |
| | 地下一层多光谱-高光谱成像室、多光谱-高光谱成像室内部隔间、排风机房、电梯间、楼梯间 | 公众 | 流动 | 公众人员 | 约 2.9m | 南侧 | ≤0.1mSv/a |
| | 地下一层文保标准研究实验室 2 | 公众 | >10 人 | | 约 0.7m | 西侧 | |

| | | | | | | | |
|---------------|----------------|----|-------|--|---------|-----|-----|
| | 地下一层西侧走廊 | 公众 | 流动 | | 约 7m | 西侧 | |
| | 地下一层风机房、集气室 | 公众 | 流动 | | 约 1m | 北侧 | |
| | 地下一层弱电间、强电间 | 公众 | 流动 | | 约 8.4m | | |
| | 地下一层公用实验室、楼梯间 | 公众 | >20 人 | | 约 20.8m | | |
| | 地下一层文物照相室 | 公众 | >2 人 | | 约 33.6m | | |
| | 地下一层文物防震实验室 | 公众 | >2 人 | | 约 42m | | |
| | 地下一层样品储藏室 | 公众 | 流动 | | 约 50m | | |
| | 地上一层有机质文物保护实验室 | 公众 | >10 人 | | / | 正上方 | |
| 文物保护综合业务用房建筑外 | 空地 | 公众 | 流动 | | 约 1m | 东侧 | |
| | 建筑 1 | 公众 | >10 人 | | 约 23m | | |
| | 空地 | 公众 | 流动 | | 约 33m | | |
| | 建筑 2 | 公众 | >10 人 | | 约 41.5m | | |
| | 空地 | 公众 | 流动 | | 约 36m | 南侧 | |
| | 中国第一历史档案馆（旧馆） | 公众 | >50 人 | | 约 44m | | |
| | 空地、院外道路 | 公众 | 流动 | | 约 11.5m | | 西侧 |
| | 永康右门北侧建筑 | 公众 | >10 人 | | 约 50m | | 东北侧 |

注：“最近距离”指对应场所与拟建自屏蔽射线装置屏蔽体的相对距离。

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的剂量限值列于表 7-2。

表 7-2 个人剂量限值（GB18871-2002）

| 辐射工作人员 | 公众关键人群组成员 |
|--|--|
| 连续五年平均有效剂量 20mSv，且任何一年有效剂量 50mSv | 年有效剂量 1mSv；但连续五年平均值不超过 1mSv 时，某一单一年可为 5mSv |
| 眼晶体的当量剂量 150mSv/a 四肢或皮肤的当量剂量 500mSv/a | 眼晶体的当量剂 15mSv/a 皮肤的当量剂量 50mSv/a |

7.3.2 剂量约束值

拟为本项目配备的 2 名工作人员均来自故宫博物院现有辐射工作人员，且在本项目投运后同时参与文物保护综合业务用房内其他射线装置控制工作，要求本项目

辐射工作人员的职业照射取 2mSv/a 作为年剂量约束值，公众取 0.1mSv/a 作为年受照剂量约束值。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，单位应该进行调查并报生态环境部门备案。

7.3.3 剂量率控制水平

本项目拟建软 X 射线三维成像实验室机房正上方为有人员办公的有机质文物保护实验室，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022），要求在满足上述年剂量约束值的同时，还需满足本项目软 X 射线三维成像装置自屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h 的要求。

7.3.4 工业 X 射线探伤辐射安全与防护要求

本项目软 X 射线三维成像装置参照《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的相关规范进行安全管理及屏蔽防护，具体要求如下：

X 射线探伤机在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应符合表 7-3 的要求。

表 7-3 X 射线管头组装体漏射线所致周围剂量当量率控制值

| 管电压 kV | 漏射线所致周围剂量当量率 mSv/h |
|-----------|-----------------------|
| <150 | <1 |
| 150~200 | <2.5 |
| >200 | <5 |

7.3.5 工业射线探伤辐射安全和防护分级管理要求

根据《工业射线探伤辐射安全和防护分级管理要求》（DB11/T 1033-2025），本项目属于“X 射线固定式探伤”，除通用管理要求外还需满足五级管理要求：

6.1.2 探伤室及安全措施

6.1.2.1 屏蔽设计应充分考虑有用线束照射的方向和范围、装置的工作负荷及周围环境情况。在进行屏蔽设计时对公众的剂量约束值应不高于 0.1mSv/a，探伤室屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h。

6.1.2.2 应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB18871 的要求。典型固定式探伤场所的辐射场所可分为：

a) 控制区：探伤室和迷道：

b) 监督区：控制室以及与控制区毗邻的通风间、设备间等区域。

6.1.2.3 应安装门-机联锁安全装置。联锁安全装置应具有以下功能：人员和探伤工件出入口防护门开启时装置不能启动照射，在照射过程中安全门一旦开启装置自动停止照射，重新启动被中止的照射只能通过控制台进行。

6.1.2.4 控制台应采用钥匙控制，并与探伤装置启动关联。

6.1.2.5 在探伤室内墙面、迷道内等处应安装检查复位按钮。在紧急停机后，只有通过再次复位后才能重新启动探伤装置。

6.1.2.6 控制台、探伤室内及出入口处安装紧急停机按钮或拉绳，并配有清晰的标识和说明，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。探伤室内安装的紧急停机按钮或拉绳，应使人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。

6.1.2.7 门-机联锁装置的设置应方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室。使用电动门的探伤室，人员通道门内侧应设置紧急开门开关，并配有清晰的标识和说明。

6.1.2.8 探伤室人员出入口门外和被检物体出入口门外醒目位置应安装电离辐射警告标志和工作状态指示灯。探伤作业开始前，应有声音警示，探伤过程中指示灯应醒目显示禁止入内的标识。

6.1.2.9 同一探伤室内每次只能启动 1 台射线探伤装置进行探伤作业。如果多台设备共用一个场所，应采取电路控制等措施，确保只能同时使用 1 台探伤装置。

6.1.2.10 在核设施内的固定探伤场所的安全与防护设施应综合考虑核设施安全。

6.1.3 辐射监测

6.1.3.1 探伤装置的泄漏辐射监测应满足 GBZ117 的要求。

6.1.3.2 探伤室应配备便携式辐射监测仪。

6.1.3.3 探伤室周围辐射水平的监测应采取定点监测和巡测相结合的方式，其中，定点监测一般应至少包括以下各点：

a) 通过巡测，发现的辐射水平异常高的位置；

b) 探伤室门外 30cm 离地面高度为 1m 处，测门的左、中、右侧 3 个点和门缝四周：

c) 探伤室墙外或邻室墙外 30cm 离地面高度为 1m 处，每个墙面至少测 3 个点；

d) 人员可能到达的探伤室屋顶或探伤室上层外 30cm 处，至少包括主射束到达范围的 5 个监测点；

e) 人员经常活动的位置。

6.1.3.4 探伤室建成后建设单位应对其进行验收监测，不具备验收监测能力的可委托有资质的机构进行验收监测，投入使用后每年至少进行 1 次常规监测。

6.1.4 安全检查和维护

6.1.4.1 每次工作前，射线探伤作业人员应检查安全联锁装置的性能及警示信号的状态，确认探伤室内无人且门已关闭、所有安全装置起作用后才能启动照射。

6.1.4.2 辐射防护人员应定期检查探伤室安全门-机联锁装置以及工作状态指示灯等安全措施，当探伤室有多台探伤装置时，每台装置在使用时均应联锁。

6.1.4.3 辐射安全和防护负责人应至少每半年组织一次对联锁安全装置和紧急停机按钮的安全检查，发现问题应及时组织检修和维护，并做好记录。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

8.1.1 地理位置

故宫博物院位于北京市东城区景山前街 4 号，单位东侧为北池子大街，南侧为天安门，西侧为南长街，北侧为景山前街。

8.1.1 场所位置

本项目拟建软 X 射线三维成像实验室机房位于故宫博物院内西侧文物保护综合业务用房地下一层东侧区域，新增软 X 射线三维成像装置位于机房内北侧区域，新增设备南侧为本项目控制台。软 X 射线三维成像实验室机房东侧为土层；南侧紧邻区域为多光谱-高光谱成像室内部隔间（现用作库房），之外为多光谱-高光谱成像室及 X 射线荧光面扫描成像室；西侧为文保标准研究实验室 2，之外为走廊及土层；北侧紧邻区域为风机房，之外为集气室、强电间和弱电间；楼上紧邻区域为有机质文物保护实验室，地下为土层。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

1.环境现状评价对象：拟建辐射项目区域及周边环境。

2.监测因子： γ 辐射剂量率。

3.监测布点原则

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）相关要求，结合项目辐射源特点、项目场所布局及周围环境特征，识别照射途径和关键受照人群，制定监测布点原则。监测点位示意图见图 8-1~8-3。

- (1) 在项目拟建机房及周围布点监测；
- (2) 在受项目运行影响且与机房相邻区域布点监测；
- (3) 在评价范围内环保目标处布点监测。

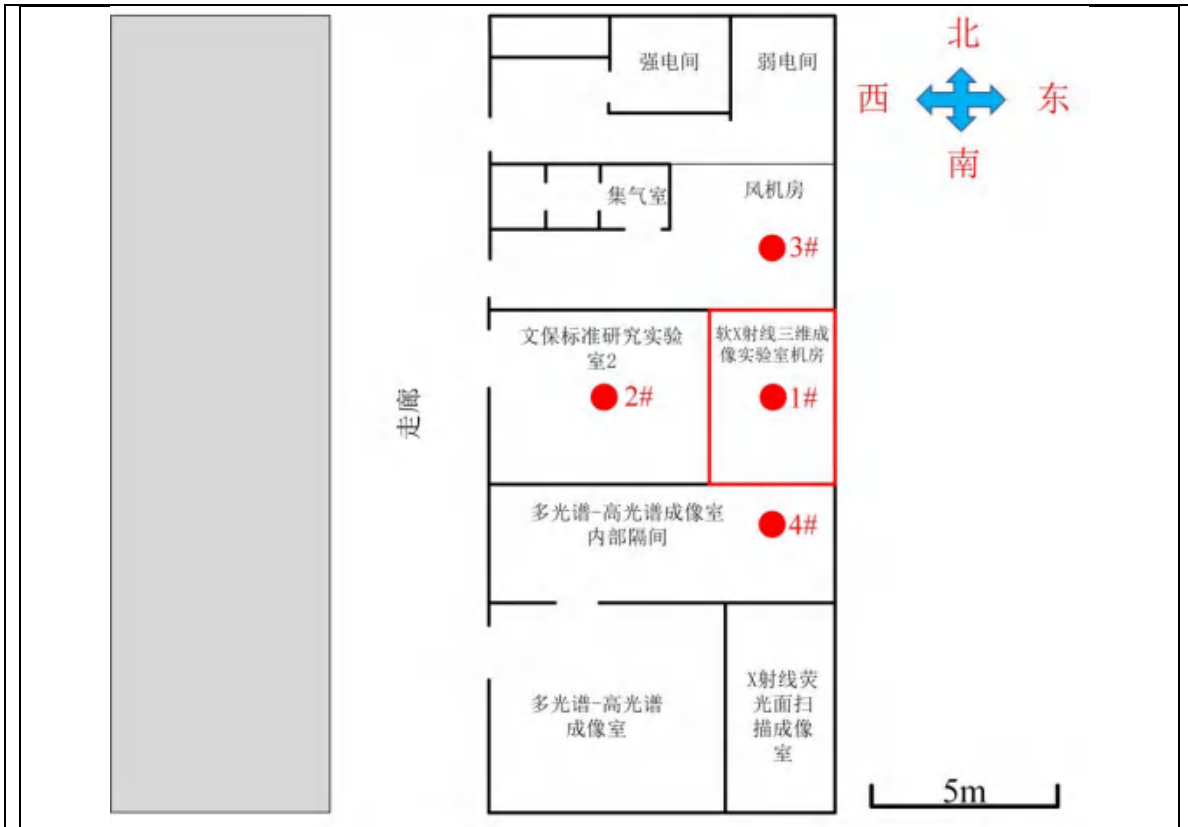


图 8-1 本项目拟建辐射工作场所周围监测点位布置示意图 1

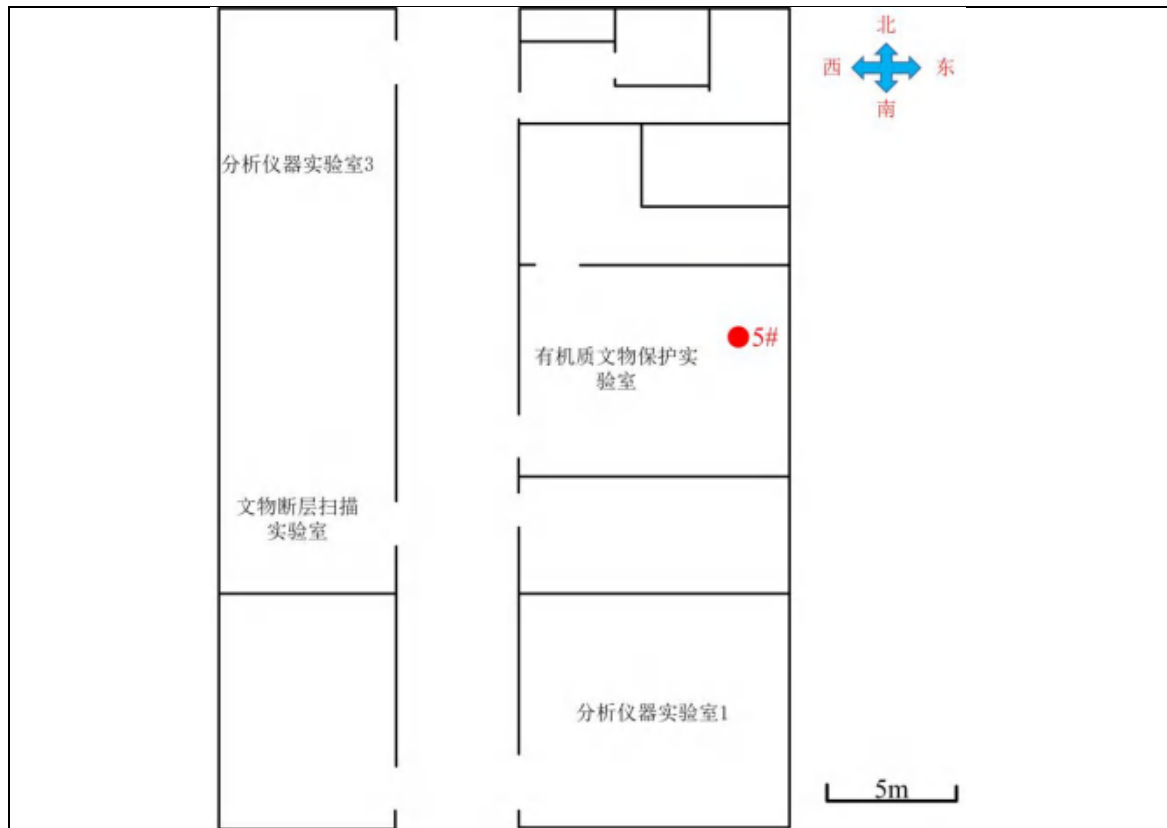


图 8-2 本项目拟建辐射工作场所周围监测点位布置示意图 2

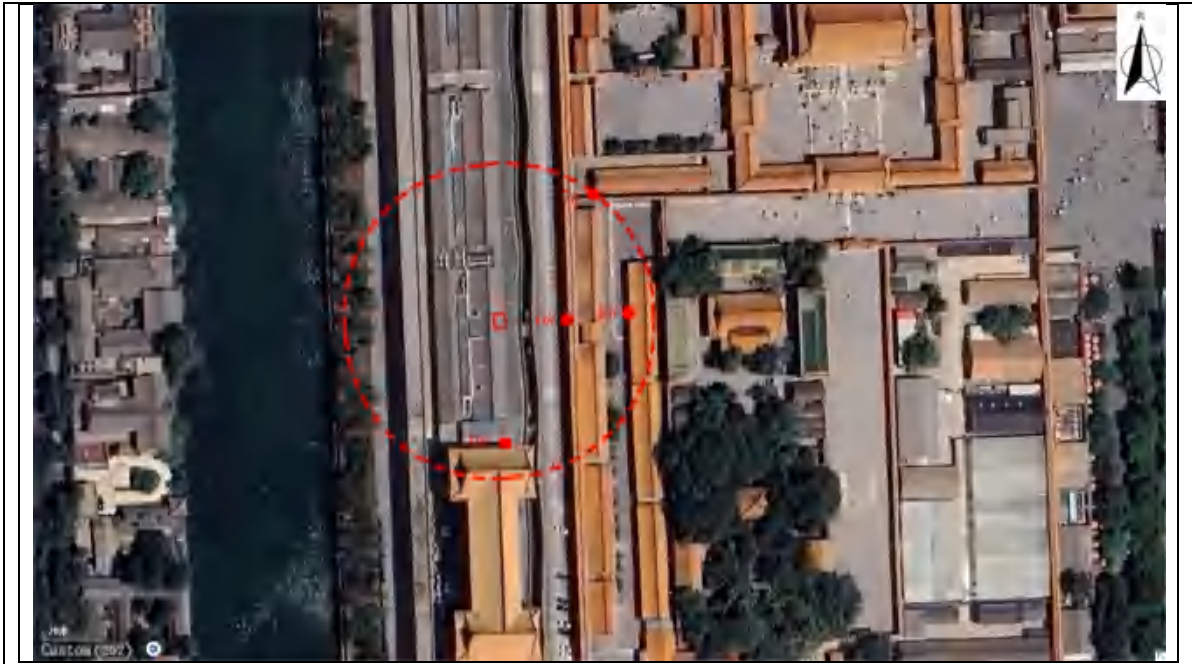


图 8-3 本项目拟建辐射工作场所周围监测点位布置示意图 3

8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

8.3.1 监测方案

- 1.监测单位：浙江建安检测研究院有限公司
- 2.监测日期：2024 年 12 月 2 日
- 3.监测方式：现场定点检测，监测仪器离地 1m
- 4.监测依据：HJ 1157-2021 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》
- 5.监测频次：每个监测点测量 10 个数据
- 6.监测工况：本项目监测期间拟建装置南侧 X 射线荧光面扫描成像室内 X 射线荧光能谱仪未运行，本次为辐射环境本底监测
- 7.天气环境条件：温度 28°C，环境湿度 35%，晴
- 8.监测设备：

表 8-2 便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪参数表

| | |
|------|--|
| 仪器名称 | 便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪 |
| 仪器型号 | 6150AD6/H+6150AD-b/H |
| 仪器编号 | 05038417 |
| 量程 | 模拟量程：10nSv/h~100mSv/h 数字量程：1nSv/h~99.9 μ Sv/h |
| 能量范围 | 38keV~7MeV |

| | |
|-------|-------------------------|
| 校准单位 | 上海市计量测试技术研究院，华东国家计量测试中心 |
| 校准证书 | 2024H21-20-5396818002 |
| 校准有效期 | 2024年7月30日~2025年7月29日 |

8.3.2 质量保证措施

根据《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB 8999-2021)、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)和《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)中有关辐射环境监测质量保证一般程序和实验室的质量体系文件(包括质量手册、程序文件、作业指导书)实行全过程质量控制,保证此次监测结果科学、有效。辐射环境监测质量保证主要内容有:

- 1.监测机构已取得 CMA 资质认证,证书编号 221112050970。
- 2.监测前制定了详细的监测方案及实施细则。
- 3.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。
- 4.监测所用仪器已通过计量部门校准、检定合格,且在校准、检定有效使用期内使用。监测仪器与所测对象在量程、响应时间等方面相符合,以保证获得准确的测量结果。测量实行全过程质量控制,严格按照《质量手册》和《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行。
- 5.监测方法采用国家有关部门颁布的标准,监测人员经考核并持有合格证书上岗。
- 6.每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。
- 7.现场监测严格按照规定的监测点位、方法、记录内容等进行,按照统计学原则处理异常数据和监测数据。
- 8.建立完整的文件资料。仪器校准说明书、监测方案、监测布点图、测量原始数据、统计处理程序等全部保留,以备复查。
- 9.监测报告严格实行三级审核制度,经过校对、审核,签发。

8.3.3 监测结果

表 8-3 项目拟建场地及周围辐射剂量率监测结果

| 检测点编号 | 检测点位置 | 检测结果 (nGy/h) | 备注 |
|-------|---------------------|--------------|----|
| 1# | 拟建射线装置位置 | 70±3.4 | 室内 |
| 2# | 拟建射线装置西侧(文保标准研究实验室) | 56±2.1 | 室内 |

| | | | |
|----|--------------------------|--------|----|
| 3# | 拟建射线装置北侧（风机房） | 71±1.3 | 室内 |
| 4# | 拟建射线装置南侧（多光谱-高光谱成像室内部隔间） | 54±1.7 | 室内 |
| 5# | 拟建射线装置正上方（有机质文物保护实验室） | 63±2.7 | 室内 |
| 6# | 吉云楼西侧建筑 1 西侧 | 47±2.5 | 道路 |
| 7# | 永康右门北侧建筑西南侧 | 50±1.6 | 道路 |
| 8# | 吉云楼西侧建筑 2 西侧 | 48±3.1 | 道路 |
| 9# | 中国第一历史档案馆（旧馆）北侧 | 50±1.2 | 道路 |

注：1、测量时探头距离地面约 1m；

2、每个监测点测量 10 个数据取平均值，以上监测结果均已扣除仪器对宇宙射线的响应值；

3、环境 γ 辐射空气吸收剂量率=仪器读数平均值 \times 仪器校准因子 k_1 \times 仪器检验源效率因子 k_2 \div 空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子 k_3 \times 测量点宇宙射线响应值 D_c ，校准因子 k_1 为 0.99，仪器使用 ^{137}Cs 进行校准，效率因子 k_2 取 1，换算系数为 1.20Sv/Gy， k_3 楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，测量点宇宙射线的响应值为 23.0nGy/h；

8.5 环境现状评价

由表 8-3 可知，本项目拟建场址周围的 γ 辐射剂量率在 47nGy/h~71nGy/h 之间（室内在 54nGy/h~71nGy/h 之间，道路在 47nGy/h~50nGy/h），检测结果在《中国环境天然放射性水平》中北京市东城区室内及室外道路辐射空气吸收剂量率正常范围内（室内 49.6nGy/h~100.8nGy/h，道路 28.4nGy/h~51.9nGy/h）。本项目拟选工作场所及场所周边辐射剂量率处于该调查水平正常区间内，建设项目场所环境辐射剂量率处于当地天然辐射正常水平。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工艺设备和工艺分析

9.1.1 建设阶段工程分析

本项目各工作场所系故宫博物院文物保护综合业务用房部分房间场地，经现场勘查，项目各工作场所所在房间建筑主体已完成建设，施工期不涉及土建施工；项目拟新增射线装置采用外购设备零件组装方式，施工期不涉及零配件生产线设备建设，施工期主要为场地清理、设备零件组装、整机调试，施工期可能的污染因素主要为施工过程中产生的噪声、施工人员产生的生活废水、固体废物等常规环境要素，不产生辐射影响。建设阶段工艺流程及产污环节示意图见图 9-1。

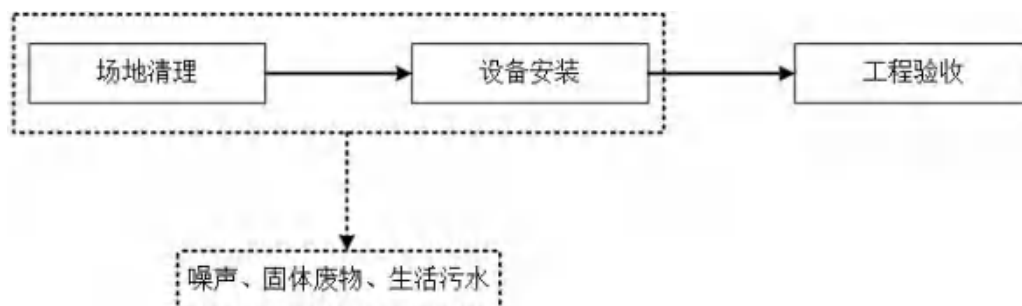


图 9-1 建设阶段工艺流程及产污环节

9.1.2 运行阶段工程分析

9.1.2.1 设备组成

本项目拟建软 X 射线三维成像装置由射线装置（X 射线管、控制系统、高压、冷却系统）、探测系统、机械扫描系统、数据采集传输系统、图像处理系统、辐射安全防护系统和自屏蔽铅房等子系统组成，本项目射线装置拟采用锐影检测科技（济南）有限公司自生产的 XTomo-S 型射线装置，最大管电压为 160kV，管电流 1mA，装置运行时，射线源出束方向固定不变（西侧→东侧），射线辐射角 160°锥束；根据厂家提供材料，距球管 1m 处剂量率 2.055E+5 μ Sv/h。

设备基本信息见表 9-1，拟建装置外观示意图见图 9-2，设备系统组成示意图见图 9-3。

表 9-1 设备技术参数

| 性能 | 技术参数 | 取值依据 |
|------|---------|---------|
| 设备型号 | XTomo-S | 设备参数一览表 |

| | | |
|----------------------|-------------------|--------------------|
| 设备最大管电压 | 160kV | (建设单位提供, 见附件 9) |
| 设备最大管电流 | 1mA | |
| 设备最大功率 | 50W | |
| 射线辐射角 | 160° 锥束 | |
| 设备外观尺寸 (m) | 2.315×0.985×1.930 | |
| 距离焦点 1m 处的最大泄漏辐射剂量率 | <2.5mSv/h | |
| 辐射源点过滤后 1m 处 X 射线输出量 | 2.055E+5μSv/h | |



图 9-2 软 X 射线三维成像装置外观参考示意图

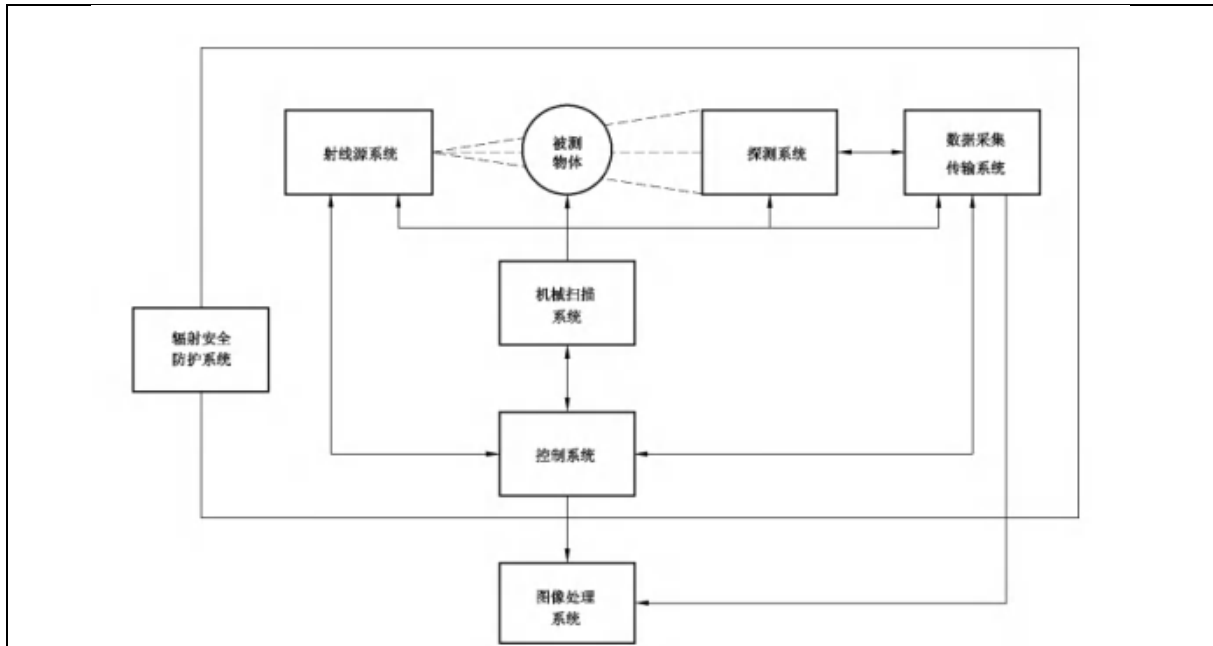


图 9-3 装置系统组成示意图

9.1.2.2 工作原理

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

软 X 射线三维成像装置工作原理：工作原理为高压电产生电场，电子在电场内高速运动撞击钨靶产生 X 射线。X 射线穿透工件后，在成像板上成像。X 射线产生在密闭的高真空射线管内产生，通过窗口定向辐射出 X 射线。

本设备机械扫描系统采用锥束扫描，锥束扫描的扫描范围与射线源到被测物体转轴的距离，射线源与探测器的距离和探测器的尺寸等扫描参数有关。

X 射线穿过检测样品后被平板探测器所接收，平板探测器把不可见的 X 射线图像转换为可视图象，再经计算机处理将可视图象转换为数字图像，处理后的图像显示在显示器屏幕上，显示的图像能提供检测样品内部的缺陷性质、大小、位置等信息，从而达到检测的目的。

拟建软 X 射线三维成像装置具有自屏蔽设计，设置传递样品门和观察窗，工作人员仅在设备启动前、关闭后将手臂伸入设备拿取、摆放样品，正常运行期间人员不进

入设备内。设备近旁设控制台，工作人员同室操作。

9.1.2.3 操作流程及产污环节

该设备是利用 X 射线对工件进行三维无损检测，其工艺流程简述如下：

- (1) 根据检测任务申请单，软 X 射线三维成像实验室工作人员接收检测工件，工件运至软 X 射线三维成像实验室；
- (2) 经具备放射性操作资质的作业人员确认，登记准备射线装置；
- (3) 检测设备状态，佩戴个人剂量计、个人剂量报警仪，并检查门机连锁、急停按钮、通风等装置工作是否正常；
- (4) 开始准备工作，连接图像接受器，以确认射线源是否运行异常。在设备初次使用或长期未使用时进行训机；
- (5) 放置样品，关闭样品门，设定透照参数，按照工艺设置参数，确认参数无误后开机，开机过程人员不得离开设备控制台；
- (6) 开机出束，X 射线从射线发生器窗口射出，照射于被检测位置，仪器成像，完成一次作业；
- (7) 作业完成后，关闭电源，打开防护门，取出检测样品，作业人员整理现场；
- (8) 设备使用完毕，确认后签字，整理保管。

本项目工艺流程及产污环节示意图如图 9-4 所示。

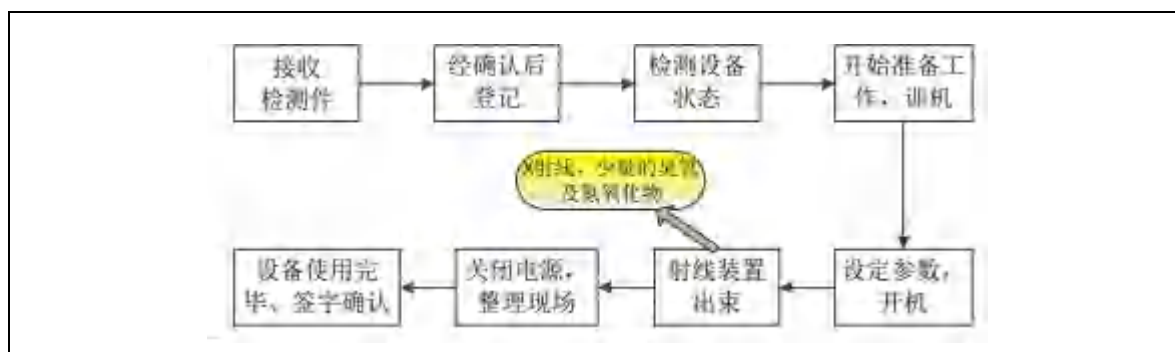


图 9-4 软 X 射线三维成像实验室工艺流程及产污环节示意图

由图 9-4 可知，本项目软 X 射线三维成像装置运行中产生的主要污染物为扫描工作过程中产生的 X 射线、少量的臭氧及氮氧化物。

9.1.2.4 人员配置及工作负荷

本项目使用 1 台软 X 射线三维成像装置用于工件无损检测，拟为本项目配备 2 名工作人员，2 人共同操作设备，新增设备拟配置工作人员依托故宫博物院原有辐射工作人员。软 X 射线三维成像装置每天最多检测 10 个工件，每次检定不超过 30 分

钟，每年工作 240 天，即 X 射线检测标准装置每年出束时间最长约 1200h。

9.2 污染源项描述

9.2.1 建设阶段的污染源项

本项目辐射工作场所在建设阶段不产生放射性废物、放射性废水和放射性气体，本项目各工作场所所在房间建筑主体已完成建设，施工期不涉及土建施工；项目拟新增射线装置采用外购设备零件组装方式，施工期不涉及零配件生产线设备建设，施工期主要为场地清理、设备零件组装、整机调试，产生的影响主要是施工时产生的噪声、废水、固体废物等环境影响。

本项目工程量较小，没有大型机械设备进入施工场地，施工场地安排有序，施工人员较少，施工期噪声主要为突发性、冲击性、不连续的噪声，施工期短，合理安排施工秩序，施工时间，本项目对周围敏感点的影响在可接受的范围内。随着施工期的结束，这些影响也随即结束。

(1) 噪声

本项目产生噪声影响的主要是施工机械噪声、设备运输及现场处理等噪声。施工期噪声对周围环境有一定的影响，但影响时间较短，随着施工的结束而结束。

(2) 废水

施工期会产生少量施工人员生活污水。

(3) 固体废物

固体废物主要为本工程建设过程中产生的少量建筑材料、设备包装材料以及施工人员的生活垃圾。

9.2.2 运行阶段的污染源项

9.2.2.1 正常工况

(1) X射线

X射线检测标准装置运行过程中，由X射线管组件释放出的X射线通常分为两类：一类为有用线束（又称初级辐射），是直接由X射线管出射口发出能使受检部位成像的一种辐射束；另一类为非有用线束（又称次级辐射），包括有用线束照射到工件或其他物体时的散射辐射和球管源组件泄漏辐射。有用线束水平朝向东侧，能量相对较高，剂量较大，为提高成像分辨率，拟建设备最大辐照角度约160度，有用线束涉及装置东

侧、上下侧及南北侧等五个方向。而泄漏辐射的剂量相对较小。

由软X射线三维成像装置的工作原理可知，X射线是随装置的开机、关机而产生、消失。软X射线三维成像装置在关机状态下不产生X射线，只有在开机并处于曝光状态时才会发出X射线。由于X射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。在进行无损检测时，X射线经透射、反射，对软X射线三维成像实验室机房及周围环境产生辐射影响。因此，在开机期间X射线成为污染环境的主要因子。

(2) 废气

本项目在工作时不产生放射性气体，X射线辐解空气组分会产生极少量的臭氧和氮氧化合物。

(3) 废水

本项目在工作时不产生放射性废水。

(4) 固体废物

本项目运行过程中不会产生放射性固体废物。

9.2.2.2 事故工况

(1) 射线装置发生控制系统或电器系统等故障，安全连锁失效，铅防护门未完全关闭的情况下射线装置出束，对工作人员及公众造成额外的照射。

(2) 维修检测时，装置出束，门机连锁失效，维修人员肢体误入控制区内造成超剂量照射。

异常运行或事故状态下主要辐射源同正常运行状态。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目辐射安全设施

10.1.1 辐射屏蔽设计

本项目射线装置拟安装于故宫博物院文物保护综合业务用房地下一层软 X 射线三维成像实验室机房内，软 X 射线三维成像实验室机房东侧墙体为 400mm 混凝土，南侧墙体为 300mm 混凝土，西侧墙体为 250mm 实心砖，北侧墙体为 150mm 混凝土，顶板为 300mm 混凝土（混凝土密度不低于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，实心砖密度不小于 $1.6\text{g}/\text{cm}^3$ ），整个软 X 射线三维成像装置自屏蔽体为六面组合式拼装结构，设备自屏蔽措施见表 10-1，设备自屏蔽结构示意图见图 10-1。

表 10-1 设备自屏蔽防护设计一览表

| 名称 | 长×宽×高 (m) | 屏蔽体 | 自屏蔽材料厚度 | | |
|------------------|-------------------|---|---------|--|--|
| 软 X 射线三维 成像装置 | 2.315×0.985×1.930 | 正面（主照面/侧照面） | 9mm 铅板 | | |
| | | 背面（主照面/侧照面） | 9mm 铅板 | | |
| | | 左侧（背照面） | 6mm 铅板 | | |
| | | 右侧（主照面） | 9mm 铅板 | | |
| | | 自屏蔽体顶板（主照面/侧照面） | 9mm 铅板 | | |
| | | 自屏蔽体底板（主照面/侧照面） | 9mm 铅板 | | |
| | | 维修门（左侧） | 6mm 铅板 | | |
| | | 防护门（正面、背面） | 9mm 铅板 | | |
| | | 铅玻璃观察窗等效铅当量为 9mmPb | | | |
| | | 通风口及线缆穿孔处均采用迷宫铅罩屏蔽，排风扇防护罩铅板厚度为 9mm、线孔防护罩铅板厚度为 9mm | | | |

注：左侧维修门及正面、背面防护门与 X 射线高压互锁，门缝处采取搭接。设备管线开口垂直有用线束照射方向，开口处屏蔽补偿铅板延长至完全覆盖管线孔。设备屏蔽设计参数一览表见附件 9，铅密度不低于 $11.3\text{g}/\text{cm}^3$ 。

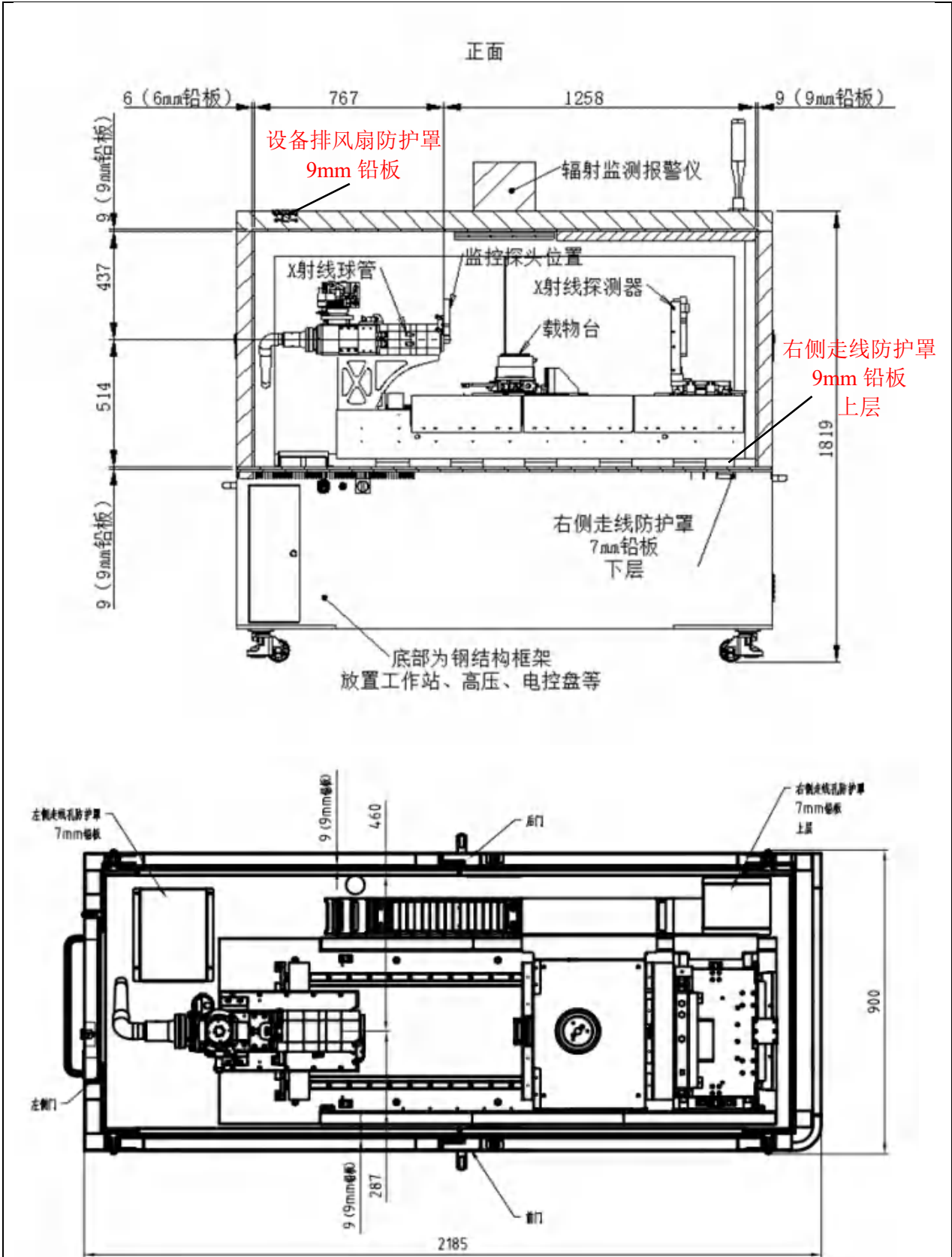


图 10-1 本项目射线装置自屏蔽设施结构示意图（主视图/俯视图）

10.1.2 辐射防护分区管理

(1) 分区依据和原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防护工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证）和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区，放射性工作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的区域。采用适当的手段划出监督区的边界；在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；定期审查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

(2) 本项目分区管理情况

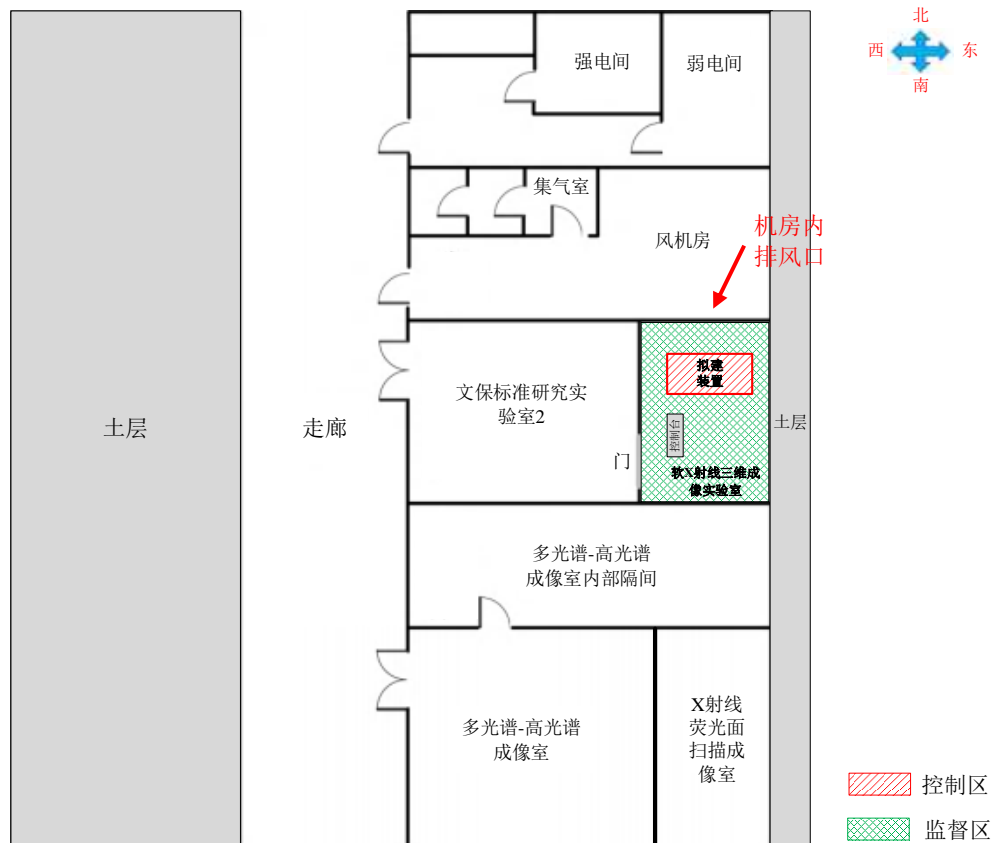


图 10-2 本项目辐射工作场所两区划分图

为了便于实际运行中的管理，结合本项目实际建设内容，将拟建软 X 射线三维成像装置自屏蔽体内的区域划为控制区。将软 X 射线三维成像实验室机房内的其他区域划为监督区。建设单位应定期检查监督区，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或者是需要更改监督区的边界。辐射工作场所分区示意图见图 10-2。

10.1.3 辐射安全防护措施及设施

根据建设单位提供的资料，本项目软 X 射线三维成像装置拟采取的辐射防护设施主要包括：

(1) 门机联锁：软 X 射线三维成像装置设置门机联锁装置，在防护门关闭后装置才能进行作业。防护门打开后立即停止 X 射线照射，关上门才能再次开启 X 射线照射。

(2) 电离辐射警告标志：软 X 射线三维成像装置屏蔽体外和软 X 射线三维成像装置实验室进出口设置电离辐射警告标识和中文警示说明，无关人员不得靠近。

(3) 工作状态指示灯及声光报警：本项目软 X 射线三维成像装置上方安装有工作状态指示灯，指示灯颜色对应设备工作状态：绿色对应设备通电、橙色对应门连锁完成、红色对应设备出束，装置工作期间指示灯常亮，配备声音提示装置。

(4) 急停开关：本项目软 X 射线三维成像装置正面右下方外面板设置 1 处急停开关，按下开关，装置高压电源立即被切断，停止出束。

(5) 钥匙控制：为防止非操作人员误操作设备，本项目软 X 射线三维成像实验室入口处设置开关，仅本项目辐射工作人员可通过钥匙进入实验室。软 X 射线三维成像装置外面板设置 1 处钥匙开关，位于设备正面右下方，钥匙由工作人员保管，钥匙拔出，设备无法出束。

(6) 视频监控：软 X 射线三维成像装置内拟安装 1 个全景摄像头，位于装置自屏蔽体内侧 X 射线球管上方，控制台上设置显示屏，工作人员在控制台上可实现全景监控软 X 射线三维成像装置内的情况，防止出现误照射情况。

(7) 通风系统：软 X 射线三维成像装置内设置有机机械排风系统；软 X 射线三维成像机房内设置有机机械排风系统，排风口位于机房内北侧区域，设计通风换气次数不低于 3 次/h。

(8) 定向出束：本项目软 X 射线三维成像装置在软 X 射线三维成像实验室机房内固定使用，主射束固定向东照射，不可随意更改出束方向。

(9) 便携式仪表：拟为本项目配备 2 台个人剂量计和 1 台个人剂量报警仪，均来自

建设单位现有设备；新增 1 套固定式 X-γ 辐射剂量率监测装置，主机安装于设备顶部，配备 1 个监测探头，位于设备屏蔽体外。

本项目门机联锁控制逻辑图见图 10-3，软 X 射线三维成像实验室机房内安全设施分布示意图见图 10-4。

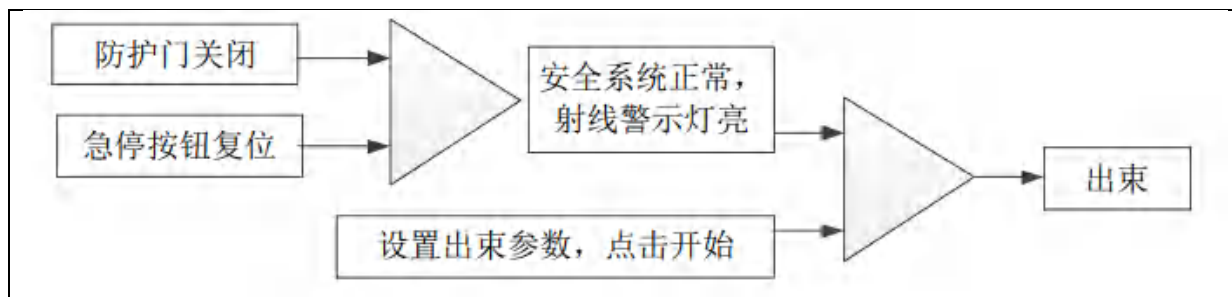


图 10-3 门机联锁控制逻辑图

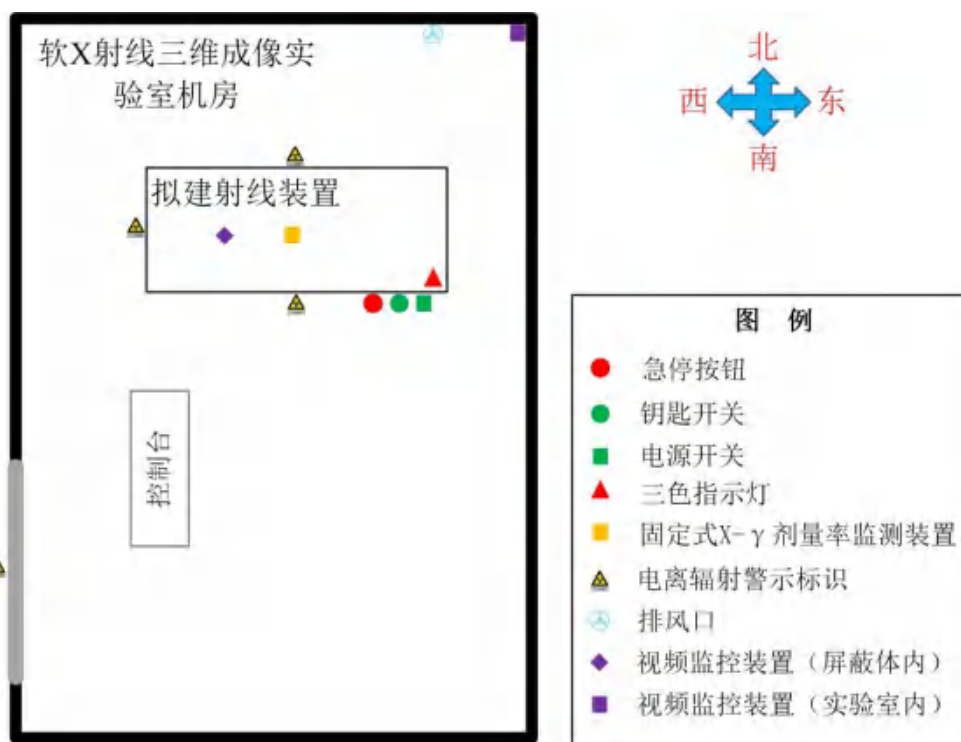


图 10-4 机房内安全设施分布示意图

10.1.4 设备使用过程中工作人员的辐射防护措施

(1) 拟建项目 2 名操作人员均已参加过相关辐射安全培训并通过考核，考核证书见附件 6，今后若有新增辐射工作人员，上岗前必须在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台上进行培训并报名参加考核，考核合格后才能上岗。其他人员不得操作设备。

(2) 操作设备时，在设备出束之前，要检查工作区域内的所有安全设施及安全联锁的工作情况，检查区域报警器工作是否正常，保证所有人员的安全。

(3) 操作设备时，操作人员必须严格执行设备的操作规程进行工作。

(4) 设备发生故障而紧急停机后，在未查明原因和维修结束前，不得重新启动检查系统。

(5) 工作人员从事工作时，需规范佩戴个人剂量计。

(6) 本项目共有 2 名辐射工作人员，负责本项目辐照装置的运行，建设单位拟为本项目配备 2 枚个人剂量计及 1 台个人剂量报警仪，个人剂量报警仪与个人剂量计均来自建设单位现有，2 名工作人员同时从事其他辐射相关工作，本环评要求拟建项目运行后本项目从业人员在工作中必须严格遵守监测制度，工作期间须全程佩戴个人剂量计，进入实验室须携带个人剂量报警仪。

10.1.5 其他防护措施

本项目软 X 射线三维成像装置通风口及线缆穿孔处均采用迷宫铅罩屏蔽，穿孔处垂直设备有用线束照射方向，铅防护罩加长完全遮盖管线开口，管线穿屏蔽体处采取多次弯折，避免射线直穿，增加泄漏射线的散射次数，从而保证不减弱屏蔽体的屏蔽效果。

10.2 本项目法规符合性分析

依据《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》规定，现对故宫博物院从事本项目辐射活动能力评价列于表 10-4 和表 10-5。

10.2.1 与《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求的满足情况

表 10-4 项目执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求对照表

| 序号 | 许可管理办法要求 | 本项目落实情况 | 符合情况 |
|----|--|--|-------|
| 1 | 应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作 | 已成立辐射安全领导小组，设有专职管理人员负责辐射安全与环境保护管理工作 | 符合 |
| 2 | 从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核 | 本项目拟配置 2 名辐射工作人员从事辐射工作，均已通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训并考核合格 | 符合 |
| 3 | 使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体防卫要求的放射源暂存库或设备 | 本项目不涉及 | - |
| 4 | 放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射要求的安全措施 | 设备自屏蔽体配有门机联锁装置、工作状态指示灯，屏蔽体外和工作场所出入口处设置电离辐射警告标识以及中文警示说明 | 近期符合 |
| 5 | 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，包括个人剂量监测报警、辐射监测等仪器 | 本项目拟新增 1 套固定式 X-γ 辐射剂量率监测装置，1 台个人剂量监测报警仪依托现有 | 落实后符合 |

| | | | |
|---|---|--|-------|
| 6 | 有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。 | 建设单位拟根据本项目建设内容，完善现有的规章制度、操作规程、岗位职责及辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等 | 落实后符合 |
| 7 | 有完善的辐射事故应急措施 | 建设单位应根据本项目内容，进一步制定和完善《辐射应急预案》 | 近期符合 |
| 8 | 产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案 | 本项目不涉及 | - |

以上分析可知，故宫博物院从事本项目辐射活动的技术能力基本符合相应法律法规的要求。

10.2.2 与《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的满足情况

表 10-5 汇总列出了本项目对照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对使用放射性同位素和射线装置单位承诺的对应检查情况。

表 10-5 项目与《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对照检查表

| 序号 | 安全和防护管理办法要求 | 本项目落实情况 | 是否符合 |
|----|--|--|-------|
| 1 | 第五条 生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其出口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号 | 设备自屏蔽体配有门机联锁装置、工作状态指示灯，屏蔽体外和工作场所出入口处设置电离辐射警告标识以及中文警示说明 | 落实后符合 |
| 2 | 第七条 放射性同位素被放射性污染的物品应当单独存放，不得与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放，并指定专人负责保管 | 本项目不涉及放射性同位素 | - |
| 3 | 第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测 | 故宫博物院每年委托有资质单位进行 1 次辐射工作场所和环境辐射水平监测，监测数据记录存档。本项目实施后，仍每年委托有资质单位进行 1 次辐射工作场所和环境辐射水平监测。 | 符合 |
| 4 | 第十二条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告 | 故宫博物院每年 1 月 31 日前向“全国核技术利用辐射安全申报系统”提交上一年度的辐射安全与防护状况年度评估报告 | 符合 |
| 5 | 第十七条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗 | 故宫博物院现有辐射工作人员均已通过辐射安全与防护考核，并取得了合格证书；本项目拟配备的 2 名辐射工作人员均已通过辐射安全与防护考核 | 符合 |
| 6 | 第二十三条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规 | 已为所有从事辐射工作的人员配备个人剂量计，并委托有资 | 符合 |

| | | | |
|---|---|-------------------------|----|
| | 以及国家环境保护和职业卫生标准,对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测;发现个人剂量监测结果异常的,应当立即核实和调查,并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关 | 质单位进行个人剂量监测(每季度1次) | |
| 7 | 第二十四条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位,不具备个人剂量监测能力的,应当委托具备条件的机构进行个人剂量监测 | 拟委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测 | 符合 |

故宫博物院承诺将按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求采取辐射安全和防护管理措施,在落实上述各项措施后可满足管理办法要求。

10.3 三废的治理

10.3.1 废水治理措施

本项目不产生放射性废水,辐射工作人员产生的生活污水依托故宫博物院文物保护综合业务用房已有的环保设施进行处理。

10.3.2 废气治理措施

在软 X 射线三维成像装置进行无损检测的过程中,会使空气电离从而产生少量的臭氧及氮氧化物,通过软 X 射线三维成像实验室机房内现有机排风装置排出,室内排风口位于机房内北侧区域,设计通风换气次数不低于 3 次/h,对周围环境及辐射工作人员不会产生明显影响。

10.3.3 固废处理措施

本项目不产生危险废物及放射性废物,辐射工作人员产生的生活垃圾依托已有的环保设施进行处理,集中回收并交由环卫部门统一处理,不外排。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目施工活动对环境的影响主要是场地清理及设备安装、调试过程对周边环境造成的影响，主要有声环境、水环境和固体废物的影响，不涉及辐射影响。

本工程在施工期的环境影响是短暂的，会随着施工期的结束而消失。施工单位应严格执行有关规定的污染防治措施，并加强监管，对建设期的声环境、水环境和固体废物等进行防治，合理安排工作时间，采取降噪措施，使本项目施工对周围环境的影响降到可合理达到的尽可能低。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 辐射环境影响分析

本项目拟建软X射线三维成像装置布置于软X射线三维成像实验室机房北侧距墙体1m处，装置X射线管最大管电压160kV，最大管电流1mA，主射线定向照射（自西向东）。本设备常用工作条件为100kV/100uA，本次评价时拟选取X射线检测标准装置在最大管电压及最大管电流的工况下进行预测计算。本项目运行后，单个样品检测时间约不超过30min，日检测数量不超过10个，日最长出束时间不超过5h，年工作240天，年总出束时间最多1200h。本项目拟配备的2名辐射工作人员来自故宫博物院现有辐射工作人员，同时参与院内其他射线装置控制工作，计算时考虑剂量叠加影响。本项目拟建射线装置工作时球管固定，离地约1.2m。计算模式参考《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中的计算公式。

根据建设单位提供的资料，本项目软X射线三维成像装置靶点固定，在屏蔽计算时，保守考虑取设备靶点到设备屏蔽体外30cm处（装置底部人员无法到达）为估算点。本项目定向水平向东照射，区别于出束张角在40°左右的射线装置（仅有1个主照面），本项目射线装置出束张角160°，有用线束照射范围涉及5个主照面。因此，本次环评增设了3个主照面关注点（装置底部除外）。参考《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）“3.2.1按有用线束考虑屏蔽的面，不需要考虑进入有用线束区的散射辐射。”因此，设备东侧、北侧、南侧、顶部考虑有用线束的辐射影响，设备西侧考虑泄漏辐射、散射线束的辐射影响。本项目关注点示意图见图11-1、图11-2。

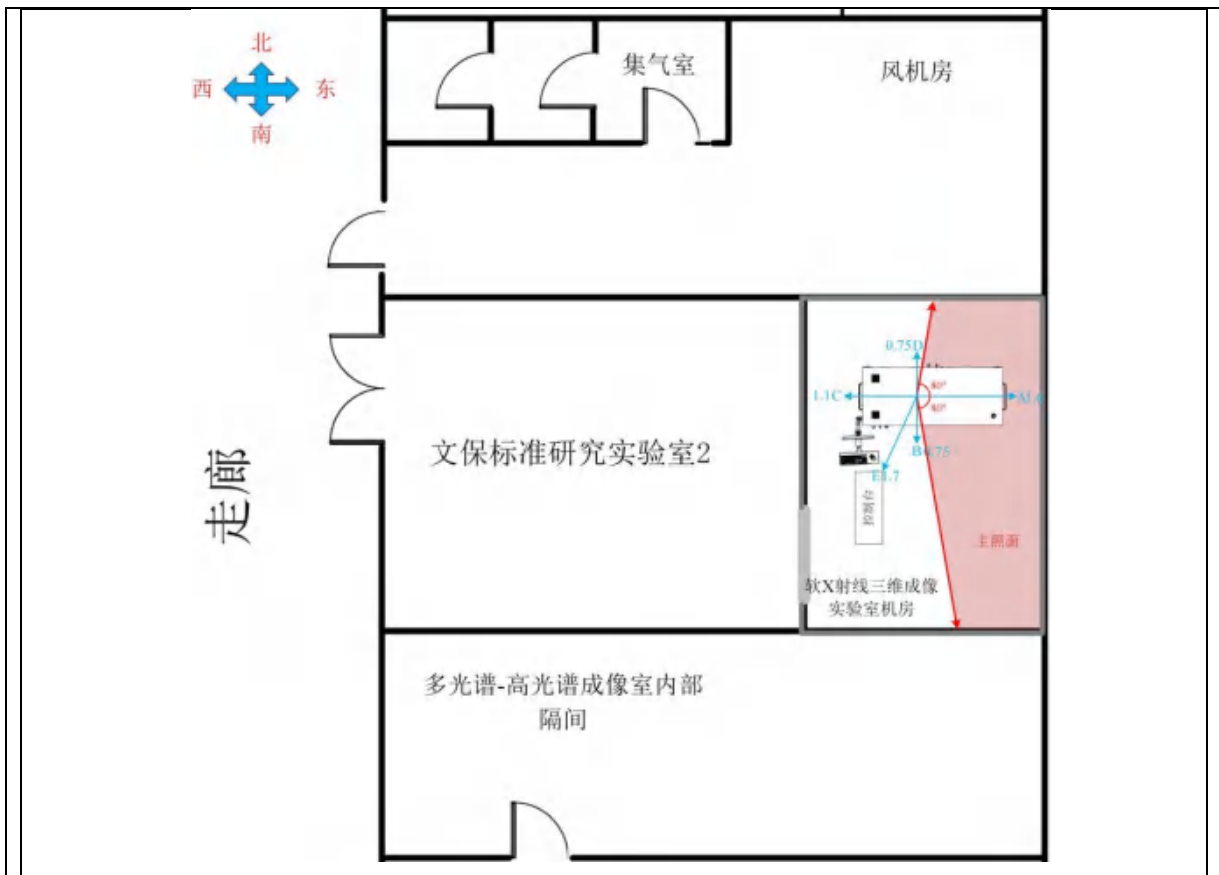


图 11-1 本项目关注点分布示意图 1

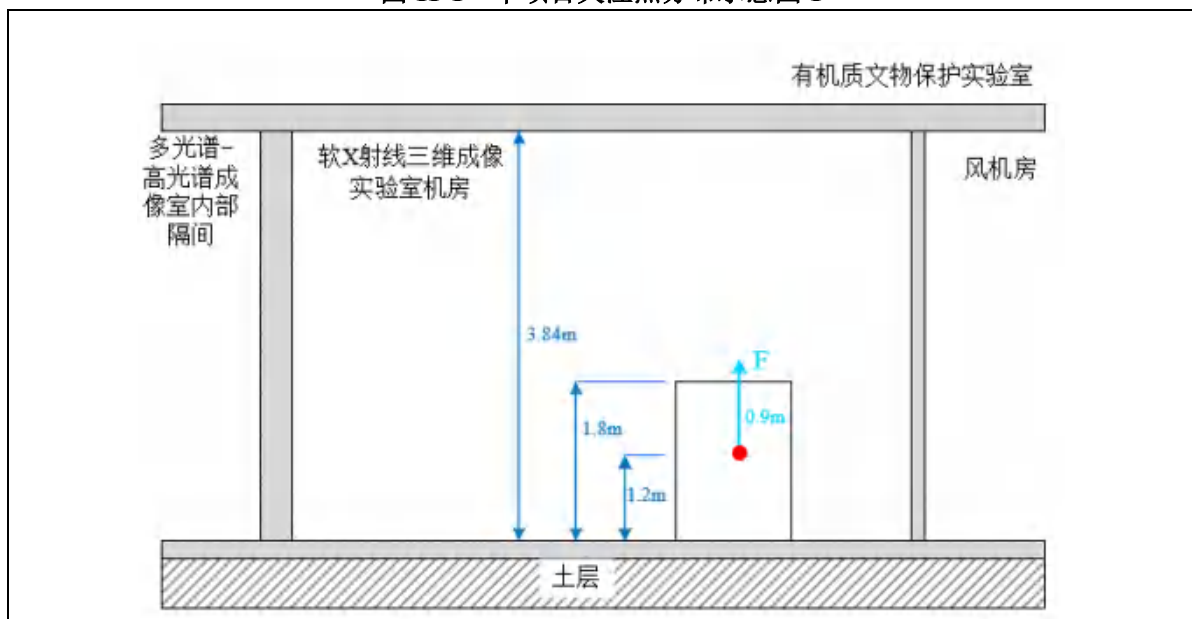


图 11-2 本项目关注点分布示意图 2

11.2.2理论计算

11.2.2.1有用射束方向屏蔽效果预测公式

对于给定的屏蔽物质厚度时，屏蔽体外关注点的剂量率计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{H_0 \cdot B}{R^2} \quad (\text{式11-1})$$

式中：

\dot{H} : 屏蔽体外关注点的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

H_0 : 距辐射源点1m处的剂量率, 根据建设单位提供的资料, 本项目拟建软X射线三维成像装置取 $2.055\text{E}+05\mu\text{Sv/h}$;

R : 辐射源点(靶点)至关注点的距离, 单位为m;

B : 屏蔽透射因子, 取值参考《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014)中的表B.2, 得到相应管电压下(本报告保守按160kV管电压取值)屏蔽材料的TVL值, 然后按公式(11-2)计算得出:

$$B = 10^{-X/TVL} \quad (\text{式11-2})$$

式中:

X : 屏蔽物质厚度, 与 TVL 取相同的单位, 单位为 mm;

TVL : 什值层厚度, 单位为 mm。

11.2.2.2非有用射束方向屏蔽效果预测公式

非有用线束方向预测计算模式参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014)中非有用线束屏蔽估算的计算公式:

(1) 泄漏辐射

$$\dot{H} = \frac{H_L \cdot B}{R^2} \quad (\text{式 11-3})$$

式中:

\dot{H} : 关注点处剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

H_L : 距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率, 单位为 $\mu\text{Sv/h}$, 取值见《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)表 1, 本项目保守取值 $2.5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ 。

B : 屏蔽透射因子, 取值参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014)中的表 B.2 得到 TVL, 再按公式(11-2)计算得出;

R : 辐射源点(靶点)至关注点的距离, 单位为 m。

(2) 散射辐射

$$\dot{H} = \frac{H_0 \cdot B}{R^2} \cdot \frac{F \cdot a}{R_0^2} \quad (\text{式 11-4})$$

式中:

\dot{H} : 关注点处剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

R : 散射体至关注点的距离, 单位为 m

B : 屏蔽透射因子;

H_0 : 距辐射源点(靶点) 1m处剂量率, 根据建设单位提供的资料, 本项目拟建软 X射线三维成像装置取 $2.055E+05\mu\text{Sv/h}$;

R_0 : 辐射源点(靶点)至探伤件的距离, 单位为 m, 此处取值为 0.6m;

F : R_0 处的辐射野面积, m^2 , 此处 F 取值为 0.04m^2 ;

α : 散射因子, 入射辐射被单位面积 (1m^2) 散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。与散射物质有关, 在未获得相应物质的 α 值时, 可以用水的 α 值保守估计, 参照 GBZ/T250-2014 附录 B 表 B.3, 此处取 0.0475。

11.2.2.3理论计算结果

表 11-1 有用线束方向屏蔽效果预测表

| 关注点 | 软 X 射线三维成像装置 东侧 A | 软 X 射线三维成像装置 南侧 B | 软 X 射线三维成像装置 北侧 D | 软 X 射线三维成像装置 顶部 F | 软 X 射线三维成像装置 控制台 E |
|-----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 屏蔽材料及厚度 ^② | 9mm 铅板 | 9mm 铅板 /9mmPb 铅玻璃 | 9mm 铅板 | 9mm 铅板 | 9mm 铅板 |
| 等效厚度 (mmPb) | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| H_0 ($\mu\text{Sv/h}$) | 2.055E+05 | | | | |
| TVL (mm) ^① | 1.05 | | | | |
| B | 2.68E-09 | 2.68E-09 | 2.68E-09 | 2.68E-09 | 2.68E-09 |
| R (m) | 1.6 | 0.75 | 0.75 | 0.9 | 1.7 |
| \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) | 2.15E-04 | 9.80E-04 | 9.80E-04 | 6.81E-04 | 1.91E-04 |
| 剂量率参考控制水平($\mu\text{Sv/h}$) | 2.5 | | | | |
| 评价结论 | 满足 | 满足 | 满足 | 满足 | 满足 |

注:

①参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 表 B.2 中 X 射线束在不同管电压下在铅中的什值层厚度, 利用 matlab 中的 spline 函数插值得到 160kV 管电压下铅的什值层厚度;

②保守考虑忽略射线斜穿屏蔽材料对屏蔽厚度产生的影响。

表 11-2 泄漏射线屏蔽体外关注点辐射剂量率估算表

| 关注点 | X 等效屏蔽 体厚度 | TVL (mm) | B | \dot{H}_L ^① ($\mu\text{Sv/h}$) | R (m) | \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) |
|----------------------|---------------|-------------|----------|--|------------|-----------------------------------|
| 软 X 射线三维 成像装置西侧 C | 6mmPb | 1.05 | 1.93E-06 | 2500 | 1.1 | 3.99E-03 |

注: ①取值见《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 表 1。

表 11-3 散射射线屏蔽体外关注点辐射剂量率估算表

| 关注点 | X 等效屏蔽体厚度 | TVL (mm) | B | \dot{H}_L ($\mu\text{Sv/h}$) | R (m) | \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) |
|------------------|-----------|----------|----------|----------------------------------|-------|--------------------------------|
| 软 X 射线三维成像装置西侧 C | 6mmPb | 0.96 | 5.62E-07 | 2.055E+05 | 1.1 | 5.04E-04 |

注：①根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 表 2，原始 X 射线最高能量 $150 \leq kV \leq 200$ 时，X 射线 90° 散射辐射的最高能量为 150kV；

②150kV 管电压下铅的 TVL 值见《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 表 B.2。

表 11-4 非有用线束方向屏蔽效果预测表

| 关注点 | 泄漏剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) | 散射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) | 非有用线束方向总剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) |
|------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 软 X 射线三维成像装置西侧 C | 3.99E-03 | 5.04E-04 | 4.49E-03 |

根据以上计算结果，软 X 射线三维成像装置周围剂量当量率最大值为 $4.49\text{E-}03\mu\text{Sv/h}$ （软 X 射线三维成像装置西侧屏蔽体外 30cm 处），操作台的附加剂量率为 $1.91\text{E-}04\mu\text{Sv/h}$ ，均能够满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022) 中“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。根据剂量率与距离的平方反比原则及评价范围内固有建筑物的屏蔽可知，在软 X 射线三维成像装置周围 50m 评价范围内的工作人员、楼内工作人员等公众长居留场所的附加剂量率远小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

11.2.2.4 叠加影响分析

本项目软 X 射线三维成像实验室机房 50m 评价范围内安装有 2 台 III 类射线装置：南侧 X 射线荧光面扫描成像室内安装有一台 X 射线荧光能谱仪(相对位置关系见图 7-2)，上方分析仪器实验室 1 内安装有 1 台扫描电子显微镜（相对位置关系见图 7-3）。根据浙江建安检测研究院 2024 年 11 月 25 日出具的建设单位辐射工作场所剂量检测报告（附件 8），上述 2 台射线装置运行状态下屏蔽体外 30cm 处（扫描电子显微镜屏蔽体外 5cm 处）及工作人员操作位辐射剂量率监测结果最大值为 $0.114\mu\text{Sv/h}$ （未扣除本底值），远小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平。根据表 11-1~表 11-3 本项目射线装置屏蔽体外各关注点处的理论预测结果，本项目建成后正常运行状态下对 50m 评价范围内的工作人员、楼内工作人员等公众长居留场所的附加剂量率远小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

考虑剂量率与距离的平方反比原则和文物保护综合业务用房内建筑物墙体的固有屏蔽效果，上述 2 台 III 类射线装置正常运行状态下对本项目各关注点处的附加剂量可以忽略不计。

11.2.2.5 人员剂量估算

(1) 居留因子的选取

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中的要求, 不同场所条件下的居留因子取值见表 11-6。

表 11-6 不同场所的居留因子

| 场所 | 居留因子 T | 停留位置 |
|------|----------|-----------------------|
| 全居留 | 1 | 控制室、暗室、办公室、邻近建筑物中的驻留区 |
| 部分居留 | 1/2~1/5 | 走廊、休息室、杂物间 |
| 偶然居留 | 1/8~1/40 | 厕所、楼梯、人行道 |

(2) 剂量估算

按照联合国原子辐射效应科学委员会 (UNSCEAR) --2000 年报告附录 A, X 射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下列公式计算:

$$H_{E,r} = H \times t \times 10^{-3} (\text{mSv/a}) \quad (\text{式 11-5})$$

式中:

$H_{E,r}$: X 射线外照射人均年有效剂量当量, mSv/a;

H : 关注点的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

t : X 射线照射时间, h/a;

根据建设单位提供的资料, 本项目拟设置 2 名辐射工作人员, 2 人共同操作设备。软 X 射线三维成像装置每天最多检测 10 个工件, 每次检测需要 30 分钟, 每年工作 240 天, 即软 X 射线三维成像装置每年出束时间最长约 1200h。

根据表 11-1 与表 11-4 中各关注点的辐射剂量率贡献值, 结合本项目软 X 射线三维成像装置年累计出束时间, 并考虑相关的居留因子计算了辐射工作人员和公众的年剂量, 具体见表 11-7。

表 11-7 主要位置辐射工作人员和公众的年剂量估算值

| 关注点 | 距源点距离 (m) | 关注点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) | 居留因子 (T) | 出束时间 (h) | 年剂量估算值 (mSv/a) | 关注人群 |
|------------------|-----------|-------------------------------|----------|----------|----------------|--------|
| 软 X 射线三维成像装置东侧 A | 1.6 | 2.15E-04 | 1 | 1200 | 2.58E-04 | 辐射工作人员 |
| 软 X 射线三维成像装置南侧 B | 0.75 | 9.80E-04 | 1 | | 1.18E-03 | |
| 软 X 射线三维成像装置西侧 C | 1.1 | 4.49E-03 | 1 | | 5.39E-03 | |
| 软 X 射线三维成像装置北侧 D | 0.75 | 9.80E-04 | 1 | | 1.18E-03 | |

| | | | | | | |
|--------------------|------|----------|-----|--|----------|----|
| 软 X 射线三维成像装置控制台 E | 1.7 | 1.91E-04 | 1 | | 2.29E-04 | |
| 软 X 射线三维成像实验室机房北侧 | 1.9 | 1.53E-04 | 1/8 | | 2.29E-05 | 公众 |
| 软 X 射线三维成像实验室机房南侧 | 3.95 | 3.53E-05 | 1 | | 4.24E-05 | |
| 软 X 射线三维成像实验室机房西侧 | 1.8 | 1.68E-03 | 1 | | 2.01E-03 | |
| 软 X 射线三维成像实验室机房正上方 | 3.24 | 5.25E-05 | 1 | | 6.30E-05 | |

注：软 X 射线三维成像实验室机房东侧为人员不可到达的土层，机房其余三侧及正上方辐射剂量率通过平方反比原则计算得出，保守忽略机房各侧墙体的屏蔽效果。实际中由于机房四周固有建筑的屏蔽作用，在软 X 射线三维成像装置周围 50m 评价范围内的工作人员、楼内工作人员等公众长居留场所的年剂量估算值远小于上表结果。

由表 11-7 可知，本项目软 X 射线三维成像装置建成投运后周围辐射工作人员最大年剂量为 5.39E-03mSv/a，公众最大年剂量为 2.01E-03mSv/a。

根据本项目建设单位实际情况，本次拟为本项目配备的 2 名职业工作人员同时为本项目评价范围内其他辐射工作场所辐射工作人员，存在交叉作业，保守考虑将 2 名职业工作人员 2024 年度的个人有效剂量叠加本项目辐射工作人员的年剂量估算值得到的职业人员的最大年剂量见表 11-8。

表 11-8 拟建项目辐射工作人员叠加年剂量监测值后年剂量预测结果

| 序号 | 姓名 | 2024 年度个人年有效剂量 (mSv/a) | 本项目辐射工作人员个人剂量预测值 (mSv/a) | 叠加后的年附加剂量预测值 (mSv/a) |
|----|-----|------------------------|--------------------------|----------------------|
| 1 | 张雪雁 | 1.36E-01 | 5.39E-03 | 1.41E-01 |
| 2 | 高寒 | 1.36E-01 | 5.39E-03 | 1.41E-01 |

综上，辐射工作人员最大年剂量为 0.141mSv/a，公众最大年剂量为 2.01E-03mSv/a；均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中相应“剂量限值”的要求和本次评价提出的剂量约束值(辐射工作人员 2mSv/a，公众 0.1mSv/a)的要求。

11.2.3 其它污染物对环境的影响分析

本项目软 X 射线三维成像装置在运行过程中会产生少量臭氧和氮氧化物，根据《X 射线工作场所臭氧氮氧化物浓度监测》(郝海鹰、刘容、王玉海等)，对 84 个 X 射线工作场所在正常通风状态下工作 1h 后工作场所空气中臭氧及氮氧化物浓度检测结果

可知，X 射线装置工作场所 O₃ 浓度均值为 0.061mg/m³、NO_x 浓度均值为 0.033mg/m³，低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中规定的二级标准限值（O₃：200μg/m³；NO_x：250μg/m³）。本项目软 X 射线三维成像装置内设机械排风系统，设计通风换气次数不低于 3 次/h，软 X 射线三维成像实验室机房内的少量臭氧及氮氧化物通过排风装置经排风井排向外环境，经自然分解和稀释，对大气环境的影响符合国家标准的要求。

11.3 事故影响分析

11.3.1 事故等级判断依据

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条对于事故的分级原则，将项目的环境风险因子、潜在危害及可能发生的事故等级列于下表。

表 11-9 本项目环境风险因子、潜在危害及可能发生的事故等级

| 射线装置 | 环境风险因子 | 危害结果 | 事故等级 |
|----------------------|--------|--|----------|
| 软 X 射线 三维成像 装置 | X 射线 | 射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射 | 一般辐射事故 |
| | | 射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾 | 较大辐射事故 |
| | | 射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾 | 重大辐射事故 |
| | | 射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡 | 特别重大辐射事故 |

根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，结合下文对本项目的辐射事故等级的判定，本项目辐射事故等级为一般辐射事故，主要表现为射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

11.3.2 事故类型

可能发生的辐射事故：

（1）安装调试检修阶段，可能由于设备参数设置不当、误操作、设备尚未具备正常运行的条件，或者人员未进行恰当的防护造成在场人员误照射。

（2）由于软X射线三维成像装置门机联锁装置和闭门装置出现故障，在屏蔽门没有关闭的情况下出束，或进行检测工作期间，无关人员误入机房引起误照射。

（3）由于外界碰撞或屏蔽体老化致使软X射线三维成像装置屏蔽效果降低，导致在使用设备期间对周边人员造成附加剂量照射。

11.3.3 事故情况下影响分析

本项目可能发生的辐射事故主要是在射线装置出束过程中人员在机房内受到的误

照射。假设本项目射线装置自屏蔽结构失常，1名工作人员或其他人员（如维修人员）在软X射线三维成像实验室机房内被误照射，此时软X射线三维成像装置以最大参数运行（160kV，1mA），误入人员位于装置主射束方向距装置源点1m处，从个人剂量报警仪示警到误入人员主动按下急停按钮的整个误照射过程为60S。根据前文式11-1、式11-5，无屏蔽时屏蔽透射因子B取1，居留因子T取1，计算得误入人员的受照剂量为3.425mSv，从计算结果可知，该事故剂量不会对人员的健康造成严重影响，但存在事故风险。

11.3.4 辐射事故预防措施

（1）每次使用前应检查设备的安全联锁装置、紧急开关、信号警示装置等安全设施，当辐射安全防护设施出现故障或失效时，应立即停止软X射线三维成像装置的运行并及时通知厂家维修，严禁设备带故障运行。

（2）日常工作过程中要关注辐射监测剂量率仪的显示值，当监测的辐射水平高于仪器设定的阈值时，应立即停止设备运行，及时进行检修。

（2）制定安全管理制度和安全操作规程，严格按照操作规程进行作业，确保安全，设备检修工作人员应经过生产厂家的指导，维修人员应佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，在确保设备电源关闭状态下进入软X射线三维成像实验室机房内进行检修、维护工作。

（3）加强辐射工作人员的辐射安全教育和培训，确保辐射工作人员具备良好的辐射安全文化素质和专业知识；制定详细的安全管理制度和安全操作规程，严格按照操作规程进行作业，确保安全。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第一款的相关规定，使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有1名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。

故宫博物院现已成立专门的安全与防护管理机构，辐射安全工作的最高管理机构为辐射安全管理工作小组，由副院长担任辐射安全管理工作小组负责人，全面负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员管理职责。具体内容如下：

表 12-1 辐射安全管理工作小组成员

| | 姓名 | 性别 | 专业 | 职务或职称 | 工作部门 | 专/兼职 |
|---------|-----|----|---------|-------|-------|------|
| 负责人 | 罗先良 | 男 | 安全 | 副院长 | 院办 | 兼职 |
| 辐射防护负责人 | 曲亮 | 男 | 科学技术史 | 研究馆员 | 文保标准部 | 兼职 |
| | 雷勇 | 男 | 文物保护 | 研究馆员 | 文保科技部 | 兼职 |
| 成员 | 刘建宇 | 男 | 科学技术史 | 研究馆员 | 文保标准部 | 兼职 |
| | 关明 | 女 | 分析化学 | 副研究馆员 | 文保标准部 | 兼职 |
| | 康葆强 | 男 | 文物保护 | 研究馆员 | 文保科技部 | 兼职 |
| | 邹非池 | 男 | 文物保护 | 馆员 | 文保标准部 | 兼职 |
| | 段鸿莺 | 女 | 分析化学 | 研究馆员 | 古建部 | 兼职 |
| | 马燕莹 | 女 | 文物保护 | 副研究馆员 | 文保标准部 | 兼职 |
| | 李广华 | 女 | 考古及博物馆学 | 副研究馆员 | 文保标准部 | 兼职 |
| | 李合 | 男 | 材料学 | 研究馆员 | 文保科技部 | 兼职 |
| | 刘瀚文 | 男 | 材料学 | 副研究馆员 | 文保标准部 | 兼职 |
| | 段佩权 | 男 | 核物理 | 副研究馆员 | 文保标准部 | 兼职 |

| | | | | | | |
|--|-----|---|----------|-------|-------|----|
| | 任萌 | 女 | 科技考古 | 副研究馆员 | 文保科技部 | 兼职 |
| | 胡志康 | 男 | 矿物学 | 馆员 | 文保标准部 | 兼职 |
| | 李根 | 男 | 材料科学与工程 | 副研究馆员 | 文保科技部 | 兼职 |
| | 常晶晶 | 女 | 材料工程 | 馆员 | 文保标准部 | 兼职 |
| | 丁银忠 | 男 | 材料学 | 研究馆员 | 文保科技部 | 兼职 |
| | 李媛 | 女 | 分析化学 | 研究馆员 | 文保科技部 | 兼职 |
| | 张雪雁 | 女 | 核物理 | 副研究馆员 | 文保标准部 | 专职 |
| | 高寒 | 男 | 材料学 | 馆员 | 文保标准部 | 兼职 |
| | 陈垚 | 男 | 光学 | 馆员 | 文保标准部 | 兼职 |
| | 黄婧 | 女 | 计算机软件与理论 | 馆员 | 文保标准部 | 兼职 |

注：以上人员工作调整变动后，由新上任的人员接替其工作。

辐射安全工作小组的主要职责：

- ①负责辐射安全和防护机构及人员的监督和管理工作的；
- ②负责贯彻执行国家法规及上级单位辐射防护的有关规定，负责有关法规的教育、落实、指导、监督、检查，接受有关部门的辐射防护监督管理，负责制定、修订《故宫博物院辐射安全管理制度》；
- ③负责制定故宫博物院辐射安全培训计划，组织故宫博物院辐射防护知识的年度培训和考核，建立培训档案，完善培训记录；
- ④负责制订辐射事故的预防措施和应急方案，进行辐射事故的调查、分析和处理；
- ⑤负责组织对故宫博物院的辐射安全和防护状况进行评估。

12.2 辐射工作人员

建设单位拟为本项目配置2名工作人员，均为现有辐射工作人员，分别于2025年10月与2022年9月参加了生态环境部组织的辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核（X射线探伤类），持证上岗，成绩单均处于有效期内。

根据生态环境部《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（2019年，第57号）的相关要求，自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及

原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核（考核合格后，成绩有效期为五年）。

本环评要求故宫博物院在辐射人员成绩报告单到期之前，及时组织工作人员参加核技术利用辐射安全与防护的再培训与再考核。

本项目辐射工作人员同时参与故宫博物院文物保护综合业务用房内其他射线装置控制工作，故宫博物院为本项目 2 名工作人员配备了个人剂量计，且个人剂量计定期送检，并建立了个人剂量档案，根据建设单位提供的最近 1 年的个人剂量检测报告，本项目 2 名辐射工作人员年度个人剂量检测值均在正常范围内。

12.3 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生产、销售、使用放射性同位素、射线装置的单位应有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等；有完善的辐射事故应急措施。

为规范管理建设单位的辐射工作，有效预防和控制可能发生的射线辐射事故，强化辐射事故危害意识和责任意识，故宫博物院制定了一系列辐射安全管理制度，具体包括《台帐管理》、《新、改、扩建项目环保审批、验收规定》、《辐射防护与安全保卫制度》、《设备检修维护制度》、《辐射工作人员剂量监测和健康管理制度》、《辐射安全检查 and 年度评估》、《辐射安全培训考核制度》、《辐射安全岗位职责》、《设备操作规程》、《监测方案》以及《辐射安全事故应急预案》。

建设单位制定的上述辐射安全管理制度较全面，易施行，可操作性强。另外，建设单位应针对本项目制定或完善相应的制度和规程，如《软 X 射线三维成像实验室安全操作规程》、《软 X 射线三维成像实验室管理岗位职责》、《软 X 射线三维成像实验室监测方案》和《辐射安全事故应急预案》等。制度中明确操作、维修、应急过程中应采取足够的防护措施降低工作人员的辐射影响，在设备投入运行后，根据标准要求及实际情况对日常检修（管理）及记录相关制度进行细化完善，如能做到严格按照制度管理故宫博物院的核技术利用项目，可以实现安全和规范管理，一旦发生辐射事故时，可以实现迅速和有效的应对，满足《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》等法律法规的要求。

12.4 年度评估

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用放射性同位素

与射线装置的单位，应当对本单位放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。年度评估报告应当包括：放射性同位素与射线装置台账、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。年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

建设单位已按要求进行了辐射安全与防护状况评估，编制《辐射安全和防护状况年度评估报告》，并上报至发证机关。本项目运行后，建设单位应将本项目纳入现有评估体系。

12.5 辐射监测

12.5.1 辐射监测要求

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定，使用放射性同位素和射线装置的单位应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测，以确保辐射从业人员的职业健康，控制射线装置的照射，保障环境安全，规范辐射工作防护管理。

12.5.2 个人剂量监测及职业健康检查

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第 29 条的要求，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定，对直接从事生产、销售、使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为 1 次/季（每季度将个人剂量片送往有资质的检测机构进行检测）。

故宫博物院已开展拟建项目相关工作人员个人剂量监测和职业健康检查工作，已建立个人剂量档案和职业健康监护档案。为加强个人剂量监测和职业健康检查管理工作，本环评提出以下要求：

（1）监测周期

按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）第 4.3 节要求，常规监测的

周期应综合考虑放射工作人员的工作性质、所受剂量的大小、剂量变化程度及剂量计的性能等诸多因素。常规监测周期一般为 1 个月，最长不得超过 3 个月。

(2) 剂量计佩戴

按照《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019) 第 5.3 节要求,对于比较均匀的辐射场,当辐射主要来自前方时,剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置,一般在左胸前或锁骨对应的领口位置;当辐射主要来自人体背面时,剂量计应佩戴在背部中间。

(3) 记录一般要求

按照《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019) 第 8.1.1 节要求,准许工作人员查询本人职业照射记录;职业健康管理人員查询相关职业照射记录及有关资料。

(4) 档案

建设单位已按照《放射工作人员健康要求及监护规范》(GBZ98-2020) 要求为本项目工作人员开展工作人员职业健康监护档案管理。

12.5.3 工作场所和辐射环境监测

(1) 监测内容:

射线装置工作场所监测因子: X- γ 剂量率。

(2) 监测布点及数据管理:

监测布点应与验收监测布点一致,对设备周围(含门缝、窗边缝、线缆出口、通风口等位置)及工作场所四周屏蔽体外 30cm 处、楼上、操作位,以及其他关注处点开展 X- γ 辐射周围剂量当量率监测,监测数据应记录完善全面,记录检测设备名称和型号,以及射线装置工作束技术参数,检测和校核人员等信息,并将数据实时汇总,建立好监测数据台账以便核查。监测点位见表 12-2,监测点位示意图见图 12-1。

表 12-2 软 X 射线三维成像装置辐射剂量率监测点位

| 场所 | 测点编号 | 测点位置 | 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$) |
|--------------|------|-----------------|--------------------------|
| 软 X 射线三维成像装置 | 1 | 软 X 射线三维成像装置东侧 | |
| | 2 | 软 X 射线三维成像装置南侧 | |
| | 3 | 软 X 射线三维成像装置西侧 | |
| | 4 | 软 X 射线三维成像装置北侧 | |
| | 5 | 软 X 射线三维成像装置正上方 | |
| | 6 | 软 X 射线三维成像装置控制台 | |

| | | | |
|--|----|---------------------------------------|--|
| | 7 | 软 X 射线三维成像实验室机房南侧 (多光谱-高光谱成像室内部隔间) | |
| | 8 | 软 X 射线三维成像实验室机房西侧 (文保标准研究实验室 2) | |
| | 9 | 软 X 射线三维成像实验室机房北侧 (风机房) | |
| | 10 | 软 X 射线三维成像实验室机房正上方 (有机质文物保护实验室) | |

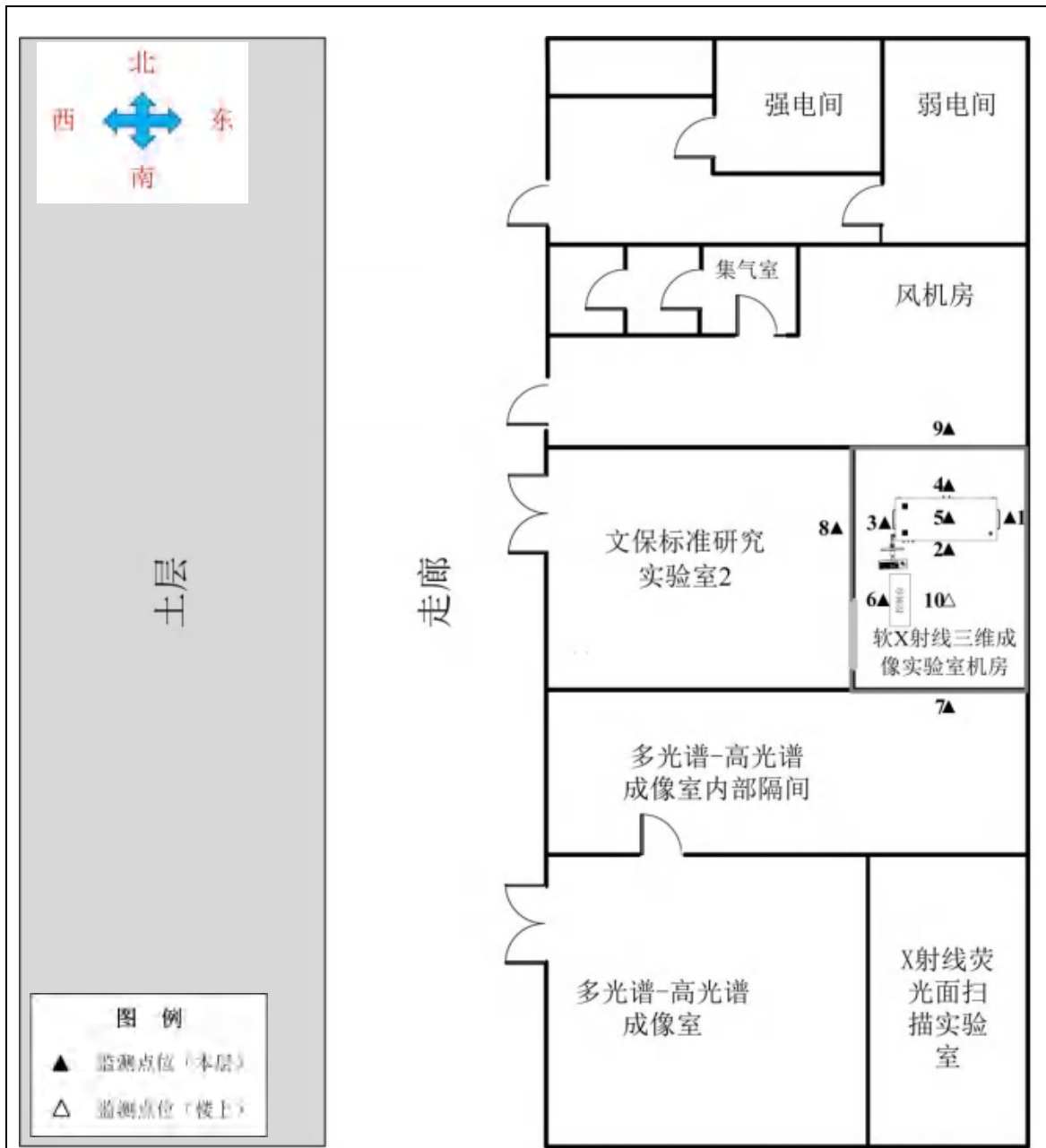


图 12-1 新增软 X 射线三维成像装置监测布点示意图

(3) 监测频度:

对于 X- γ 剂量率应自行配备监测设备 (利用现有), 监测频次可参考表 12-3 开

展。

另外建设单位需委托有监测资质的单位在项目投运前开展验收监测，并在投运后每年定期开展年度监测，监测报告附到年度评估报告中，于每年1月31日前将评估结果上传至全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mec.gov.cn>）。

（4）监测范围：

射线装置工作场所主要监测屏蔽体外以及软 X 射线三维成像实验室机房楼上区域 X- γ 辐射周围剂量当量率。

（5）监测设备：

X- γ 辐射剂量率仪。

（6）质量保证：

委托有资质监测单位进行监测，监测仪器必须在检定有效期内，监测工作人员必须持证上岗；监测中若出现辐射超标问题，应及时向建设单位提出，并提出整改意见，在建设单位整改完成后，进行复检，直至符合要求，提供满足要求的监测报告。故宫博物院自主监测时，所用仪器须按国家规定进行剂量检定，检测时须按《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）和《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）制定检测方案及实施细则执行。

12.5.4 辐射监测计划

建设单位拟为本项目新增 1 套固定式 X- γ 辐射剂量率监测装置（主机安装于设备正面顶部，探头位于屏蔽体外表面）、1 台个人剂量监测报警仪，2 台个人剂量计依托现有。根据以上分析，建设单位可参考表 12-3 开展监测。

表 12-3 辐射监测计划

| 监测方式 | 监测项目 | 监测频度 | 监测范围 | 剂量控制水平 |
|------|---------------------|----------------------|--------------------------|------------------------|
| 验收监测 | X- γ 周围剂量当量率 | 试运行后 3 个月内委托有资质的单位监测 | 软 X 射线三维成像装置四周、控制台及邻近区域。 | 不大于 2.5 μ Sv/h |
| 自行监测 | X- γ 周围剂量当量率 | 定期监测，每季度至少一次 | 同上 | |
| 委托监测 | X- γ 周围剂量当量率 | 每年一次，委托有资质的单位监测 | 同上 | |
| | 职业性外照射个人剂量 | 每个季度送有资质的单位监测 | 辐射工作人员 | 辐射工作人员单季度不超过 0.5mSv |

12.5.5 竣工环境保护验收监测

建设单位应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》（生态环境部公告2018年第9号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行自主验收，自行或委托有能力的技术机构开展竣工验收监测，编制验收报告，并组织专家采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作，建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

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。

本项目污染防治措施“三同时”验收一览表见表12-4。

表12-4 项目竣工环境保护验收内容建议表

| 验收内容 | 验收要求 |
|-------------|---|
| 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剂量约束值执行2mSv/a；公众剂量约束值执行0.1mSv/a。 |
| 剂量率控制水平 | 装置自屏蔽体外表面30cm处的剂量率不大于2.5μSv/h。 |
| 电离辐射标志和中文警示 | 机房外和设备表面贴有电离辐射警告标志和中文警示。 |
| 布局与屏蔽设计 | 辐射工作场所建设和布局与环评报告表描述内容一致。机房防护门的屏蔽能力满足辐射防护的要求。 |
| 辐射安全设施 | 新购设备设置动力排风装置；检测室门外及设备外设置电离辐射警告标志，工作状态指示灯和工件门有效联动；设急停按钮、钥匙开关。 |
| 监测仪器 | 本项目拟新增1套固定式X-γ辐射剂量率监测装置，1台个人剂量监测报警仪及2台个人剂量计依托现有。 |
| 规章制度 | 已经进一步完善各项安全管理制度、操作规程、辐射工作人员培训计划等。辐射安全管理制度和操作规程得到宣贯和落实。 |
| 人员考核 | 辐射工作人员进行个人剂量监测，建立健康档案；辐射工作人员拟参加生态环境部培训平台报名并考核合格。 |
| 应急预案 | 辐射事故应急预案符合工作实际，应急预案明确了应急处理组织机构及职责、处理原则、信息传递、处理程序和处理技术方案等。配备必要的应急器材、设备。针对使用射线装置过程中可能存在的风险，建立应急预案，落实必要的应急装备。进行过辐射事故（件）应急演练。 |

12.6 辐射事故应急预案

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置

《安全和防护管理办法》有关规定，建设单位应制定辐射事故应急预案。辐射事故应急预案应当包括下列内容：

- 1.应急机构和职责分工。
- 2.应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备。
- 3.辐射事故分级与应急响应措施。
- 4.辐射事故调查、报告和处理程序。

故宫博物院现已制定《辐射事故应急处理预案》，本项目运行之前，故宫博物院应强化应急预案的可操作性，完善应急响应程序，在预案中应补充应急人员的培训以及应急的装备、资金、物资准备情况等内容，同时建设单位应定期、具有针对性地对可能发生的辐射事故进行演习和辐射安全的法律法规知识的培训，演习内容包括辐射事故应急处理预案的可操作性、针对性、完整性，相关演习和培训记录存档，还得完善事故的调查、报告和处理程序等内容。在预案的实施中，应根据国家发布新的相关法规内容，并结合故宫博物院实际情况及时对预案做补充修改，使之更能符合实际需要。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 工程项目概况

故宫博物院本次拟新增 1 台软 X 射线三维成像装置（最大管电压 160kV，最大管电流 1mA，II 类射线装置），建设地点位于北京市东城区景山前街 4 号故宫博物院西侧文物保护综合业务用房地下一层软 X 射线三维成像实验室，计划利用预留 X 射线检测实验用房；拟使用射线装置自带屏蔽设计。拟为本项目配备 2 名辐射工作人员，全部为现有辐射工作岗位人员。

13.1.2 实践正当性分析

本项目的建设可以满足建设单位无损检测要求，该设备有自带具备防护功能的铅屏蔽，运行产生的辐射影响很小，在落实辐射安全与防护管理措施后，对职业人员、公众以及环境带来的不利影响，远低于其使用对社会带来的利益，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的原则与要求。

13.1.3 选址合理性

拟建项目机房位于故宫博物院西侧文物保护综合业务用房地下一层软 X 射线三维成像实验室，机房正上方为有机质文物保护实验室，无地下层，本项目 50m 评价范围内除本建筑外，其他建筑均为科研、办公用房，无居住、教育等建筑物。项目所在区域地质条件稳定，没有影响软 X 射线三维成像装置稳定运行和安全使用的制约因素，工作场所较为独立，拟建项目选址合理。

13.1.4 辐射防护屏蔽能力分析

项目工作场所控制区、监督区划分，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）分区管理的原则，工作场所分区合理。为确保辐射安全，保障软 X 射线三维成像装置安全运行，射线装置安装有相应的辐射安全装置和保护措施，本项目的辐射防护措施和设施设计均符合《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的屏蔽防护要求，落实“表 10 辐射安全与防护”中的相应措施后，本项目辐射安全措施能够满足辐射安全防护要求。

13.1.5 辐射环境评价

（1）根据估算结果可知，辐射工作人员和公众的年受照剂量均低于相应剂量约束限值（2mSv/a、0.1mSv/a），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-

2002)中关于“剂量限值”的要求。

(2) 本项目设备正常运行(使用)情况下,不产生放射性废气、放射性废水和放射性固废,仅在设备开机过程中,产生少量的臭氧及氮氧化物等有害气体,通过机房通风设施的空气对流、扩散作用稀释,对大气环境影响较小。

(3) 建设单位已建立辐射安全与环境保护管理小组,负责辐射安全管理和监督及环境保护工作,并制定了一系列辐射安全管理规章制度。后续应根据本项目的特点,对现有制度进行补充和完善,建立健全并制定有针对性的管理制度,以保证辐射相关工作安全有序开展。建设单位已对现有辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测,并建立了个人职业健康监护档案和个人剂量检测档案,能够满足本项目要求。

13.1.6 结论

综上所述,故宫博物院软 X 射线三维成像装置建设项目在落实本报告提出的各项污染防治措施,按照辐射防护设计进行施工,落实辐射安全防护措施和辐射安全管理制度后,运营期对周围环境产生的辐射影响符合环境保护的要求,对辐射工作人员及周围公众造成的影响满足国家辐射防护标准的要求。因此,从辐射安全和环境保护角度分析,该项目的建设是可行的。

13.2 建议和承诺

13.2.1 建议

(1) 认真学习贯彻国家相关的环保法律、法规,加强核与辐射安全知识宣传,不断提高遵守法律的自觉性和安全文化素养,切实做好各项环保工作。

(2) 根据实际工作情况不断完善操作规程、管理制度以及应急响应方案。

13.2.2 承诺

为保护环境,保障人员健康,建设单位承诺:

(1) 项目严格按照本次报批的设备类型、数量、场所建设,建成后按要求申领辐射安全许可证,项目竣工后,按照国家相关法律法规尽快自主组织竣工环境保护验收。

(2) 接受生态环境主管部门的监督检查。

(3) 注意培训证书的时效性,对持有核技术利用辐射安全与防护合格证即将到期的辐射工作人员,以及未来可能新增的辐射工作人员需提前组织参加培训与考核工作,考核合格后上岗。

(4) 按要求每年向发证机关提交本单位辐射安全和防护年度评估报告。

(5) 在辐射项目运行中决不容许违规操作和弄虚作假等现象发生，如若发现相关现象接受相关处理。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，单位进行调查并报生态环境部门备案。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人：

公章

年 月 日

审批意见：

经办人：

公章

年 月 日