

核技术利用建设项目

洋山海关大型集装箱检查系统（II类射线

装置：安全检查用加速器）

环境影响报告表

（报批稿）

中华人民共和国洋山海关

2026年3月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

洋山海关大型集装箱检查系统（Ⅱ类射线装置：安全检查用加速器）

环境影响报告表

建设单位名称：中华人民共和国洋山海关

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：上海市浦东新区临港大道 12 号

邮政编码：201304

联系人：

电子邮箱：

联系电话：

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	7
表 3 非密封放射性物质	7
表 4 射线装置	8
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	9
表 6 评价依据	10
表 7 保护目标与评价标准	12
表 8 环境质量和辐射现状	19
表 9 项目工程分析与源项	22
表 10 辐射安全与防护	31
表 11 环境影响分析	43
表 12 辐射安全管理	58
表 13 结论与建议	63
表 14 审批	68

表 1 项目基本情况

建设项目名称		洋山海关大型集装箱检查系统（II类射线装置：安全检查用加速器）			
建设单位		中华人民共和国洋山海关			
法人代表	邱亚冰	联系人	谢俊	联系电话	13501970382
注册地址		上海市浦东新区临港大道 12 号			
项目建设地点		浙江省舟山市嵊泗县洋山深水港区四期码头			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		688	项目环保投资（万元）	28	投资比例（环保投资/总投资） 4.1%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积（m ² ） 13803
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	/			
	<h3>1.1 项目概述</h3> <h4>1.1.1 建设单位概况</h4> <p>中华人民共和国上海海关是国家设在上海口岸的进出境监督管理机关，隶属中华人民共和国海关总署。现设有各类机构 51 个，其中含办公室、法规处、综合业务处等内设职能处室 18 个，上海浦东国际机场海关、上海浦东海关、洋山海关等隶属海关 29 个，政工办、监察室、离退休干部办公室等其他机构 3 个，缉私局 1 个。</p> <p>中华人民共和国洋山海关隶属于中华人民共和国上海海关，机构级别为正处级，注册地址为上海市浦东新区临港大道 12 号，统一社会信用代码为 11310000MB2F31701M，主要承担临港新片区先行启动区（含洋山特殊综合保税区）各项海关业务。</p> <p>洋山深水港区四期工程位于浙江省舟山市小洋山岛链最西端，已建成 2 个 7 万吨级和 5 个 5 万吨级集装箱泊位，码头岸线长 2350m；1 个工作船泊位，岸线长 350m。陆域总面积 223.16 万 m²，其中堆场面积 101.92 万 m²。近期设计年通过能力为 400 万 TEU，</p>				

其中国际航线吞吐量为 320 万 TEU, 内支线为 80 万 TEU, 为全自动化集装箱码头。2012 年 6 月, 原环境保护部以《关于上海国际航运中心洋山深水港区四期工程环境影响报告书的批复》(环审[2012]153 号) 对本工程环评报告予以批复; 2014 年 6 月, 交通运输部天津水运工程科学研究所编制完成了《上海国际航运中心洋山深水港区四期工程项目环评补充报告》并于 2014 年 7 月上报原环境保护部。工程于 2014 年 12 月开工, 2016 年 10 月水域工程完工, 2017 年 12 月全部建成, 2018 年 9 月完成验收。

1.1.2 项目由来

为了进一步提高海关监管和服务水平, 提高查验的准确性, 充分运用海关系统先进卡口及监管设备, 深化完善智能化通关监管系统, 提高通关效率、有效打击走私犯罪, 需在洋山深水港区四期码头安装一套 TC-SCAN RMG6000C-AGV 大型集装箱/车辆安全检查系统, 用于货物查验。

对照《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), TC-SCAN RMG6000C-AGV 大型集装箱/车辆安全检查系统属于安全检查用加速器, 属于 II 类射线装置。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》(生态环境部令第 16 号), 本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—使用 II 类射线装置”, 应编制环境影响报告表。

本项目位于浙江省舟山市嵊泗县洋山深水港区四期码头, 根据《关于进一步深化环境影响评价改革的通知》(环环评[2024]65 号)、《浙江省生态环境厅关于发布〈省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2024 年本)〉的通知》(浙环发[2024]67 号)、《舟山市生态环境局关于优化建设项目环境影响评价文件分级审批的通知》(舟环发[2025]4 号)等相关文件, 本项目将由舟山市生态环境局嵊泗分局负责审批。

为此, 中华人民共和国洋山海关委托杭州旭辐检测技术有限公司开展“洋山海关大型集装箱检查系统(II 类射线装置: 安全检查用加速器)”的环境影响评价工作。在接受委托后, 评价单位组织相关技术人员进行了资料收集、现场勘察等工作, 并结合项目特点, 按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016) 中环境影响报告表的内容和格式, 编制了本项目的环境影响报告表, 为项目建设和日常环境管理提供依据。

1.1.3 建设内容及规模

本项目拟购置 1 套 TC-SCAN RMG6000C-AGV 大型集装箱/车辆安全检查系统，该检查系统采用被动模式，即被检物体移动，扫描系统静止。扫描系统安装在固定的平台上，被检集装箱装载在 AGV（Automated Guided Vehicle（无人引导车））上，AGV 自动穿行通过检测设备，系统自动扫描检测图像。

检查系统将设置专用运行区域，初期拟布置于堆场 24 的海侧区域，后续根据自动化码头业务需求及海侧车道特点，检查系统将按需转场至堆场 4、堆场 6、堆场 10、堆场 12、堆场 16、堆场 18、堆场 20、堆场 26、堆场 28 等 9 个堆场的海侧区域以及空箱立体库区域开展检查作业。为此，需在上述区域预先规划并建设标准化的检查系统部署点位。项目建成后，检查系统将根据海关查验指令和码头作业调度，在上述已批准的专用设备运行区域内，于相应预设点位开展检查作业。

检查系统具体参数详见表 1.1-1。

表 1.1-1 本项目检查系统具体参数

项目	指标及参数
设备名称	TC-SCAN RMG6000C-AGV 大型集装箱/车辆安全检查系统
数量	1 套
类别	II类
射线源	交替双能电子加速器
加速粒子	电子
最大能量	6/3MeV 交替双能
额定电流	0.36mA
张角（竖直方向）	52.1°
物质识别	区分有机物、无机物
射线束中心轴距靶 1 米处剂量率	6MeV: 28.8Gy/h; 3MeV: 14.4Gy/h
扫描速度	1m/s
工作场所	洋山深水港区四期码头
用途	安全检查

1.2 项目选址及周边环境保护目标

1.2.1 地理位置

本项目位于浙江省舟山市嵊泗县洋山深水港区四期码头内，码头四周均为海域。地理位置见附图 1，周围环境概况见附图 2。

1.2.2 项目周围环境概况

检查系统位于浙江省舟山市嵊泗县洋山深水港区四期码头，堆场区域东侧为堆场，南侧为内部道路，西侧为堆场，北侧为堆场；空箱立体库东侧为停车场，南侧为海域，西侧为内部道路，北侧为通行车道。洋山深水港区四期码头总平面布局图见附图 4。

1.2.3 选址合理性分析

本项目位于浙江省舟山市嵊泗县洋山深水港区四期码头，100m 评价范围无居民点、学校等环境敏感点。本项目建成后运行过程中产生的电离辐射，通过采取屏蔽和安全防护措施后，对周围环境与公众的辐射影响是可接受的。因此，本项目的选址合理。

1.3 产业政策符合性分析

本项目属于国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中第一类鼓励类—第六项“核能”中第 4 条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”项，属于国家鼓励类产业，符合国家现行产业政策。

1.4 实践正当性分析

本项目利用 X 射线对集装箱内是否含有夹带违禁物品进行检查。该设备具有穿透性能优越、探测灵敏度高、图像质量优良等特点，非常适合集装箱安全检查，可部分替代人工查验工作，大大提高了查验准确性和查验效率，所带来的经济、社会效益远大于屏蔽防护的投入代价。实践过程中采取了可行的满足辐射安全防护要求的措施，同时加强对核技术利用建设项目运行过程的管理，在得到预期查验效果的同时，对周围环境、职业人员、公众的辐射影响满足国家辐射防护安全标准的要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”的要求。

1.5 与《嵊泗县生态环境分区管控动态更新方案》相符性分析

1.5.1 生态保护红线符合性分析

根据《嵊泗县国土空间总体规划（2021-2035 年）》县域三条线控制图，本项目位于城镇开发边界范围内，不涉及生态保护红线，符合生态保护红线的要求。

1.5.2 环境质量底线符合性分析

本项目运营期会产生少量臭氧和氮氧化物，对周围大气环境的影响较小。因此，本项目建设不会导致周围大气环境质量下降，符合大气环境质量底线要求。

本项目运营期生活污水依托码头生活污水处理设施处理后回用，不会导致周围地表水环境质量下降，符合水环境质量底线的要求。

本项目不会导致土壤环境质量下降，符合土壤环境风险管控底线的要求。

此外，本项目拟建场所各监测点位的 γ 辐射剂量率低于天然辐射本底水平。综上所述，在落实本环评提出的各项污染防治措施后，不会对周围环境产生不良影响。因此，本项目建设符合环境质量底线要求。

1.5.3 资源利用上线符合性分析

本项目运营期使用电能，不涉及煤等能源使用，不会突破区域能源利用上线。

本项目用水量较少，不会突破区域水资源利用上线。

本项目在浙江省舟山市嵊泗县洋山深水港区四期码头内实施，不会突破区域土地资源消耗上限。

因此，本项目符合资源利用上线的要求。

1.5.4 环境管控单元准入清单符合性分析

根据《嵊泗县生态环境分区管控动态更新方案》，本工程所在地属于重点管控单元（浙江省舟山市嵊泗洋山重点管控单元 ZH33092220103）。本项目为核技术利用项目，不属于二类、三类工业项目，不涉及工业污染物总量排放，项目符合相关管控单元准入清单要求。

表 1.5-1 本项目所在管控单元生态环境准入清单

管控单元	内容		符合性分析	是否符合
浙江省舟山市 嵊泗洋山重点 管控单元 ZH33092220103	空间 布局 约束	除经批准专门用于三类工业集聚的开发区（工业区）外，禁止新建、扩建三类工业项目，鼓励对三类工业项目进行淘汰和提升改造。合理规划布局居住、医疗卫生、文化教育等功能区块，与工业区块、工业企业之间设置防护绿地、生活绿地等隔离带。	本项目属于核技术利用项目，不属于工业项目。	符合
	污染 物排 放管 控	严格实施污染物总量控制制度，根据区域环境质量改善目标，削减污染物排放总量。新建二类、三类工业项目污染物排放水平要达到同行业国内先进水平，推动企业绿色低碳技术改造。新建、改建、扩建高耗能、高排放项目须符合生态环境保护法律法规和相关法定规划，强化“两高”行业排污许可证管理，推进减污降碳协同控制。加快落实污水处理厂建设及提升改造项目，深化工业园区（工业企业）“污水零直排区”建设，所有企业实现雨污分流。加强土壤和地下水污染防治与修复。重点行业按照规范要求开展建设项目碳排放评价。	本项目为核技术利用项目，不涉及工业污染物总量排放；本项目不属于工业项目，不属于高耗能、高排放项目；本项目不涉及废水。	符合
	环境 风险 管控	定期评估沿江河湖库工业企业、工业集聚区环境和健康风险。强化工业集聚区企业环境风险防范设施设备建设和正常运行监管，加强重点环境风险管控企业应急预案制定，建立常态化的企业隐	本项目为核技术利用项目，产生的污染因子主要	符合

		患排查整治监管机制，加强风险防控体系建设。	为 X 射线、臭氧和氮氧化物，本项目实施过程中严格落实应急预案，加强风险防控体系建设。	
	资源开发效率要求	推进工业集聚区生态化改造，强化企业清洁生产改造，推进节水型企业、节水型工业园区建设，落实煤炭消费减量替代要求，提高资源能源利用效率。	本项目不涉及此项。	符合

1.6“三区三线”符合性分析

本项目位于洋山深水港区四期码头，根据《嵊泗县国土空间总体规划（2021-2035年）》县域三条线控制图，本项目位于城镇开发边界范围内，不涉及生态保护红线和永久基本农田，因此本项目建设符合“三区三线”要求。

1.7 原有核技术利用项目许可情况

本项目为建设单位首次开展核技术利用项目，无原有核技术利用项目。

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
	以下空白							

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
	以下空白									

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	装置名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	TC-SCAN RMG6000C-AGV 大型集装箱/车辆 安全检查系统	II 类	1 台	RMG6000C-AGV	电子	6/3MeV 交替 双能	射线束中心轴距靶 1 米处剂量率： 6MeV: 28.8Gy/h; 3MeV: 14.4Gy/h	安全检 查	洋山深水港区四期 码头	拟购, 本 次评价

(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
	以下空白								

(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	
	以下空白												

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	少量	不暂存	排入大气环境中

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

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

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法(2014年修订)》，2015年1月1日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法(2018年修订)》，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》，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) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例(2019年修改)》，国务院令第709号，2019年3月2日起施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2021年1月4日经生态环境部令第20号修改并实施；</p> <p>(7) 《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，2011年5月1日起施行；</p> <p>(8) 《关于发布射线装置分类的公告》，原环境保护部、国家卫生计生委公告2017年第66号，2017年12月5日起施行；</p> <p>(9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021版)》，生态环境部令第16号，自2021年1月1日起施行；</p> <p>(10) 《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》，原国家环境保护总局环发[2006]145号，2006年9月26日起施行；</p> <p>(11) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告2019年第57号，2020年1月1日起施行；</p> <p>(12) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》，生态环境部公告2021年第9号，自2021年3月15日起施行；</p> <p>(13) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》，2021年2月10日修订；</p> <p>(14) 《浙江省生态环境保护条例》，2022年8月1日起施行；</p> <p>(15) 《浙江省辐射环境管理办法》，2021年2月10日修订；</p> <p>(16) 《关于印发浙江省辐射事故应急预案的通知》，浙政办发[2018]92号，浙江省人民政府办公厅，2018年9月28日起施行；</p>
------	---

	<p>(17) 《关于发布<省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单>(2024年本)的通知》，浙环发[2024]67号，2025年2月2日起实施；</p> <p>(18) 《舟山市生态环境局关于优化建设项目环境影响评价文件分级审批的通知》，舟环发[2025]4号，2025年2月2日起实施；</p> <p>(19) 《嵊泗县生态环境分区管控动态更新方案》，嵊政函[2024]51号，2024年8月2日；</p> <p>(20) 《关于印发<核技术利用建设项目重大变动清单(试行)>的通知》，环办辐射函[2025]313号，2025年8月29日。</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) 《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》(GBZ143-2015)；</p> <p>(4) 《辐射型货物和(或)车辆检查系统》(GB/T19211-2015)；</p> <p>(5) 《海关辐射型货物和(或)车辆检查系统第1部分：通用要求》(HS/T67.1-2021)；</p> <p>(6) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(7) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>(8) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)。</p>
<p style="text-align: center;">其 他</p>	<p>(1) 环评委托书；</p> <p>(2) 建设单位提供的其他相关技术资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）对核技术利用建设项目环境影响报告书项目评价范围的相关规定：“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（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）”，本项目堆场区设备运行区域无实体屏蔽墙，空箱立体库区设备运行区两侧设置混凝土墙，根据后续计算可知，最大控制区和监督区范围分别为 17m、68m。因此本项目辐射环境评价范围确定为靶点外 100m 区域。

7.2 保护目标

根据本项目周边环境情况调查，本项目位于浙江省舟山市嵊泗县洋山深水港区四期码头，100m 评价范围内的环境保护目标情况见表 7.2-1。

表 7.2-1 本项目环境保护目标一览表

检查系统所在区域	方位	场所名称	功能	与靶点的最近距离	与控制区、监督区的最近距离	人员属性	估计人数(人)	备注	辐射剂量约束值
堆场区	西北侧	控制室	辐射工作人员工作场所	距堆场 24 处检查系统靶点约 673m； 距堆场 28 处检查系统靶点约 562m	距堆场 28 处检查系统控制区约 545m、监督区约 494m	职业人员	2 人	全居留	5mSv/a
		控制室		距检查系统靶点约 1690m	距控制区约 1684m、监督区约 1666m				
空箱立体库区	东侧	停车场	港外集卡停车	距检查系统靶点约 72m	距控制区约 67m、紧邻监督区	公众	流动人员	偶然居留	0.1mSv/a
	西南侧	水手间 1	码头工作人员办公场所/	距检查系统靶点约 72m	距控制区约 65m、监督区约 48m		115 人	全居留	
	西侧	内部道路		距检查系统靶点约 30m	距控制区约 25m、紧邻监督区		流动人员	偶然居留	
	西北侧	机修车间		距检查系统靶点约 52m	距控制区约 45m、监督区约 28m		72 人	全居留	
	北侧	通行车		/	距检查系统		距控制区约	流动人	

	道		靶点约 8.6m	1.4m、监督区约 0.4m	员	留
	空箱堆放区控制室	空箱堆放区人员工作场所	距检查系统靶点约 28m	距控制区约 20.8m、监督区约 19.8m	2 人	全居留

7.3 评价标准

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

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

4.3.2 剂量限制和潜在照射危险限制

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

附录 B

B1.1 职业照射

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv。

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv。

B1.2 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv。

根据辐射防护最优化原则，应尽量降低人员受照剂量。本报告表对于辐射工作人员取年有效剂量限值的 1/4 作为年有效剂量约束值，本项目职业工作人员的照射年剂量约束值取 5mSv/a；公众人员采用年剂量限值的 1/10，即 0.1mSv/a 作为年剂量管理约束值。

4.3.3 防护与安全的最优化

4.3.3.1 对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）。

6.4 辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

7.3.2 《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》（GBZ143-2015）

本标准规定了货物/车辆辐射检查系统（以下简称检查系统）的辐射水平控制、安全设施、操作、监测与检查等放射防护要求。

本标准适用于采用下列类型的辐射对货物、运输车辆、货运列车进行扫描成像的检查系统：

- 加速器（最大电子能量小于 10MeV）产生的 X 射线；
- 密封放射源释放的 γ 射线；
- （D,D）和（D,T）反应产生的快中子。

本标准不适用于采用 X 射线机的检查系统、背散射式的检查系统及计算机断层扫描检查系统。

5 辐射工作场所的分区及安全标志

5.1 辐射工作场所的分区

检查系统的辐射工作场所按以下方法进行分区：

a) 对无司机驾驶的货运车辆或货物的检查系统，应将辐射源室及周围剂量当量率大于 $40\mu\text{Sv/h}$ 的区域划定为控制区。控制区以外的周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的区域划定为监督区；

b) 对有司机驾驶的货运车辆的检查系统，应将辐射源室及有用线束区两侧距中心轴不小于 1m 的区域划定为控制区。控制区以外的周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的区域划定为监督区；

c) 对有司机驾驶的货运列车的检查系统, 应将辐射源室及有用线束区两侧距中心轴不小于 10m 的区域划定为控制区。控制区以外的周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的区域划定为监督区;

d) 与辐射源安装在同一辆车上系统控制室划定为监督区。

5.2 辐射安全标志

在辐射源箱体上、辐射工作场所边界应设置电离辐射警告标志。电离辐射警告标志应符合 GB18871-2002 中附录 F 相关要求。

6 辐射水平控制要求

6.1 个人剂量

检查系统工作人员职业照射和公众照射的剂量限值应符合 GB18871 的要求, 并制定年剂量管理目标值。

6.2 辐射源箱的泄漏辐射水平

6.2.1 加速器辐射源箱

无建筑物屏蔽的移动式检查系统中的加速器辐射源箱, 加速器泄漏率应不大于 2×10^{-5} ; 其他情况下应不大于 1×10^{-3} 。

6.3 场所辐射水平

6.3.1 边界周围剂量当量率

检查系统监督区边界处的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

6.3.2 驾驶员位置一次通过周围剂量当量

对于有司机驾驶的货运车辆或列车的检查系统, 驾驶员位置一次通过的周围剂量当量应不大于 $0.1\mu\text{Sv}$ 。

6.3.3 控制室周围剂量当量率

检查系统控制室内的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 操作人员操作位置的周围剂量当量率应不大于 $1.0\mu\text{Sv/h}$ 。

7 辐射安全设施要求

7.1 安全连锁装置

7.1.1 出束控制开关

在检查系统操作台上应装有出束控制开关。只有当出束控制开关处于工作位置时, 射线才能产生或出束。

7.1.2 门联锁

所有辐射源室门、进入控制区的门及辐射源箱体外防护盖板等应设置联锁装置，与辐射源安装在同一辆车上的系统控制室的门也应设置联锁装置。上述任一门或盖板打开时，射线不能产生或出束。

7.1.3 紧急停束装置

在检查系统操作台、辐射源箱体等处应设置标识清晰的紧急停束装置，例如急停按钮、急停拉线开关等，可在紧急情况下立即中断辐射源的工作。当任一紧急停束装置被触发时，检查系统应立即停止出束，并只有通过就地复位才可重新启动辐射源。

7.1.4 加速器输出剂量联锁

X 射线检查系统的加速器输出剂量超出预定值时，加速器应能自动停止出束。

7.2 其他安全装置

7.2.1 声光报警安全装置

检查系统工作场所应设有声光报警安全装置以指示检查系统所处的状态，至少应包括出束及待机状态。当检查系统出束时，红色警灯闪烁，警铃示警。

7.2.2 监视装置

检查系统辐射工作场所应设置监视用摄像装置，以观察辐射工作场所内人员驻留情况和设备运行状态。

7.2.3 语音广播设备

在检查系统操作台上应设置语音广播设备，在辐射工作场所内设置扬声器，用于提醒现场人员注意和撤离辐射工作场所。

7.2.4 辐射监测仪表

根据检查系统特点，配备以下合适的辐射监测仪表：

- a) 个人剂量报警仪和剂量率巡检仪；
- b) 在 X 射线检查系统的加速器出束口处应配置辐射剂量监测仪表实时监测输出剂量，并在检查系统操作台上显示输出剂量率；
- c) γ 射线检查系统的辐射源箱应配备剂量报警装置，当放射源泄漏导致剂量超出报警阈值时能实时报警。

7.6 其他要求

辐射源室内应有良好的通风，以保证臭氧的浓度低于 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。根据可能产生的

臭氧浓度和工作需要确定通风系统的排风速率。

8 操作要求

8.1 一般要求

8.1.1 除非工作需要，工作人员应停留在监督区之外。

8.1.2 每天检查系统运行前，操作人员应按照表 A.1 的相关要求进行检查，确认其处于正常状态。

8.1.3 每次检查系统出束前，操作人员确认控制区内无人后，方可开启辐射源出束。

8.1.4 进入辐射工作场所时，操作人员应确认辐射源处于未出束状态，并携带个人剂量报警仪。

8.1.5 检查系统运行过程中，操作人员应通过监视器观察辐射工作场所内的情况，发现异常情况立即停止出束，防止事故发生。

8.1.6 检查系统发生故障或使用紧急停束装置紧急停机后，在未查明原因和维修结束前，禁止重新启动辐射源。

8.1.7 检查系统结束一天工作后，操作人员应取下出束控制开关钥匙交安全管理人员妥善保管，并做好安全记录。

8.2 安装调试和维修时的要求

8.2.1 检查系统的安装调试和维修人员，除应接受放射防护培训且考核合格外，还应经过设备厂家的专业技术培训合格后，方可进行相关的安装、调试和维修工作。

8.2.2 在设备调试和维修过程中，如果需要解除安全联锁，应先获得安全管理人员批准，并设置醒目的警示牌。工作结束后，操作人员应先恢复安全联锁并确认检查系统正常后才能使用。

9 辐射防护监测与检查

9.1 监测项目和方法

9.1.1 监测项目和周期见附录 A。评价指标按第 6 章、第 7 章相关内容执行。

9.1.2 监测方法见附录 B。辐射监测仪器应依法检定或校准，并在其有效时间内使用。在使用过程中，应记录仪器使用状况。

9.2 验收监测和检查

9.2.1 检查系统出厂前，生产单位应按附录 A 中的验收监测和检查要求，对设备的辐射防护性能进行全面的型式试验，确认与辐射防护和安全有关的设计要求得到满足

后方可出厂。

9.2.2 检查系统运营单位在产品正式使用前，应按国家有关法规规定委托具有相应资质的机构按附录 A 中的要求，进行验收监测和检查，并经审管部门验收合格后方可投入正式运行。

9.3 常规监测和检查

检查系统在正常运行中，运营单位应按附录 A 中的要求定期进行常规监测和安全检查，及时排除隐患，杜绝事故的发生。

表 A.1 辐射防护监测和检查的内容与周期一览表

序号	类别	监测和检查内容	对应的本文件条款	监测与检查周期	监测与检查主体
1	出厂验收监测和检查	辐射源箱的泄漏辐射水平	6.2	设备出厂前	生产单位
2	验收监测和检查	场所辐射水平	6.3	设备运营前的监测和检查	运营单位委托有资质的机构
		辐射安全设施	7		
3	常规监测和检查	出束控制开关	7.1	每天	运营单位
		门连锁	7.1	每天	
		紧急停束装置	7.1	每天	
		监视、声光报警安全装置	7.2	每天	
		辐射监测仪表	7.2	每天	
		其他安全设施	7.3、7.4、7.5、7.6	适时	
		边界周围剂量当量率	6.3.1	1a	运营单位委托有资质的机构
		控制室周围剂量当量率	6.3.3	1a	

7.3.3 本项目管理目标

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》（GBZ143-2015）等评价标准，确定本项目的管理目标。

1) 辐射剂量管理约束值：

辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv；

公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

2) 周围剂量率控制限值：

对无司机驾驶的货运车辆或货物的检查系统，应将辐射源室及周围剂量当量率大于 40 μ Sv/h 的区域划定为控制区。控制区以外的周围剂量当量率大于 2.5 μ Sv/h 的区域划定为监督区。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

本项目位于浙江省舟山市嵊泗县洋山深水港区四期码头内，码头四周均为海域。地理位置见附图 1，周围环境概况见附图 2。

检查系统位于洋山深水港区四期码头，堆场区域东侧为堆场，南侧为内部道路，西侧为堆场，北侧为堆场；空箱立体库东侧为停车场，南侧为海域，西侧为内部道路，北侧为通行车道。洋山深水港区四期码头总平面布局图见附图 4。

8.2 辐射环境现状

8.2.1 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

1、环境现状评价的对象

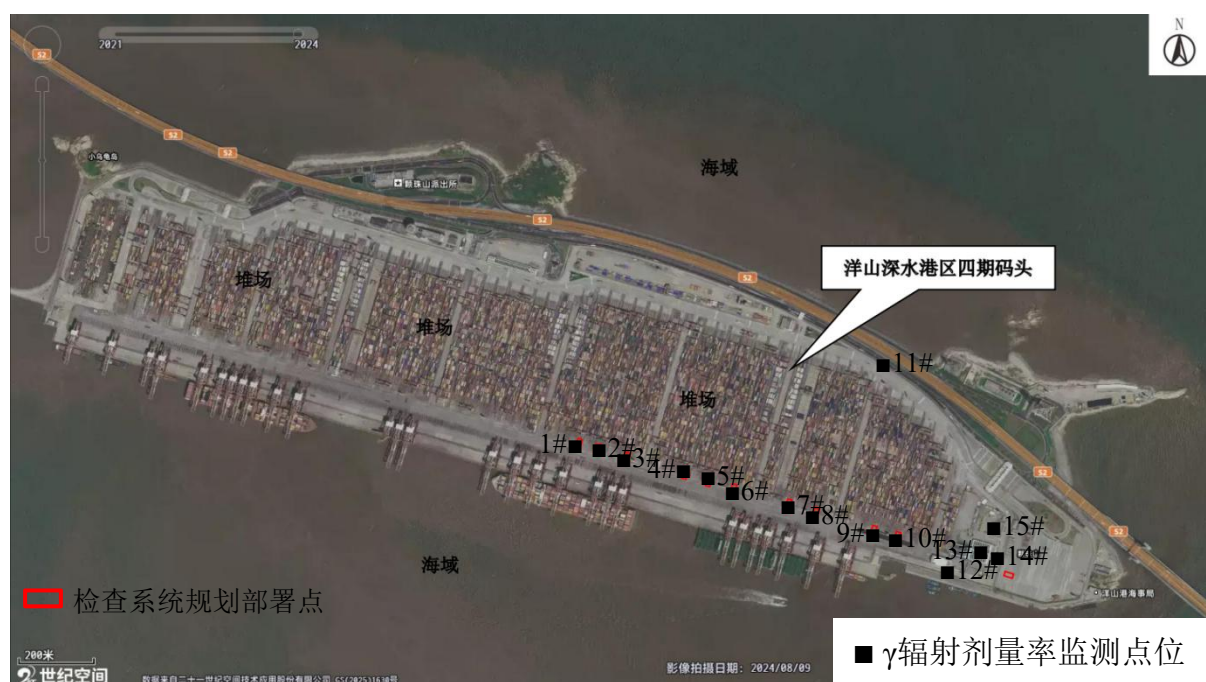
本项目周边场所环境辐射现状水平。

2、监测因子

γ 辐射剂量率。

3、监测点位

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）中 5.1.1“测量点位应依据测量目的布设，并结合源和照射途径以及人群分布和人为活动情况仔细选择”。根据上述布点原则，结合本项目情况，本次共布点 15 个，具体监测点位详见图 8.2-1。



8.2.2 监测方案、质量保证措施和监测结果

1、监测方案

- (1) 监测单位：杭州旭辐检测技术有限公司
- (2) 监测日期：2026年1月8日
- (3) 监测方式：现场监测
- (4) 监测条件：环境温度：0~8℃，环境湿度：42~54%，天气：晴
- (5) 监测频次：依据 HJ 1157-2021 标准予以确定。
- (6) 监测工况：辐射环境本底。
- (7) 监测依据

依据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）的要求和方法进行现场监测。

(8) 监测仪器

表 8.2-1 监测仪器相关信息

仪器名称	环境监测用 X、γ辐射空气比释动能率仪
仪器型号	JC-5000
仪器编号	JC70-09-2019
能量响应	48keV~3Mev
量程	1nGy/h~200μGy/h, 1nSv/h~200μSv/h
检定（校准）机构	上海市计量测试技术研究院
检定（校准）证书编号	2025H21-20-6169558001
有效期	2025年10月17日-2026年10月16日

2、质量保证措施

①结合现场实际情况及监测点的可到达性，在项目拟建场址内和项目周围工作人员活动区域布设监测点位，充分考虑监测点位的代表性和可重复性，以保证监测结果的科学性和可比性。

②监测仪器每年经有资质的计量部门校准，校准合格后方可使用。

③每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

④本次监测委托杭州旭辐检测技术有限公司开展，监测实行全过程的质量控制，严格按照公司《质量手册》《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行，监测人员经考核合格并持有合格证书上岗。

⑤监测报告严格实行三级审核制度，经校核、审核，最后由授权签字人批准。

3、监测结果

本项目辐射工作场所周围的 γ 辐射剂量率背景水平检测结果见表 8.2-2，环境本底检测报告见附件 2。

表 8.2-2 监测结果一览表

检测点位号	检测点位描述	检测结果 (nGy/h)		备注
		平均值	标准差	
1#	堆场 28	31	3	室外
2#	堆场 26	43	2	室外
3#	堆场 24	39	2	室外
4#	堆场 20	39	2	室外
5#	堆场 18	48	2	室外
6#	堆场 16	47	3	室外
7#	堆场 12	48	3	室外
8#	堆场 10	40	2	室外
9#	堆场 6	36	2	室外
10#	堆场 4	40	2	室外
11#	纬三路	42	2	室外
12#	电池更换站 1 南侧道路	37	2	室外
13#	机修车间	46	2	室内
14#	空箱立体库西侧道路	48	2	室外
15#	流机棚	55	3	室外

注：1、测量时探头距离地面约 1m；

2、每个检测点测量 10 个数据取平均值，以上检测结果均已对宇宙射线的响应值修正；

3、环境 γ 辐射空气吸收剂量率=读数平均值 \times 校准因子 k_1 \times 仪器检验源效率因子 k_2 -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 为 0.99，仪器使用 ^{137}Cs 进行校准，效率因子 k_2 取 1， k_3 楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，仪器对宇宙射线的响应值为 15nGy/h；

4、室内检测点为平房， k_3 取 0.9。

4、辐射环境现状评价

由表 8.2-2 可知，本项目室内监测点位的 γ 辐射剂量率范围为 46nGy/h，室外监测点位的 γ 辐射剂量率范围为 31~55nGy/h。根据《浙江省环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，舟山市建筑物室内 γ 辐射剂量率在 80~203nGy/h 之间，舟山市道路上 γ 辐射剂量率在 64~116nGy/h 之间。本项目拟建场所及周围各监测点位 γ 辐射剂量率低于天然辐射本底水平。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

本项目于浙江省舟山市嵊泗县洋山深水港区四期码头内实施洋山海关大型集装箱检查系统（II类射线装置：安全检查用加速器），施工期主要建设内容为检查系统首次安装和调试（即堆场 24 的海侧区域的安装和调试）、检查系统拆卸、检查系统重新安装和调试，具体工作流程及产污情况如下：

9.1.1 检查系统首次安装和调试（即堆场 24 的海侧区域的安装和调试）工作流程

施工准备与地基施工：在新堆场（堆场 24 海侧）选定位置后，按照设备制造商提供的图纸进行场地清理，预埋用于固定导轨和设备的螺栓，并敷设供电、网络、接地等管线。

设备吊装：检查系统以 20 尺集装箱形态运抵现场（收拢状态），使用集装箱专用吊具（如龙门吊、正面吊或岸桥）将箱体吊起，精确落放至预设的作业位置。

外部接口连接：连接外部电源插头、连接网线插头（工业级以太网接口，用于数据传输至海关监控中心）。

设备展开与自检：接通电源后，启动箱内液压/电动系统，将探测器臂、扫描通道等部件从箱体内展开至工作姿态。系统运行自检程序，确认各运动部件、传感器、射线源状态正常。

调试：无货物情况下运行扫描，检查机械运转是否平稳；使用标准测试体模进行扫描，验证图像质量、双能物质识别（LAG）算法的准确性。

海关验收：海关关员到场，确认设备唯一标识、功能完整性，并验收图像数据能否正常接入海关监管网络。

9.1.2 检查系统拆卸工作流程

停机与系统收拢：完成当日查验任务后，按照操作规程关闭系统；启动收拢程序，将探测器臂、扫描通道等部件收回，恢复至运输状态。

摘除外部接口：断开外部电源插头（确认断电后操作）；断开网线插头；将接口盖板关闭，做好防水防尘保护。

集装箱吊具连接：AGV 或吊装设备驶入作业区；吊具与顶部的标准角件连接锁定；吊装至 AGV 运载平台；将设备平稳吊起，落放在 AGV 的承载平台上，并锁紧；AGV 转运至新堆场；AGV 按照预设路径，将设备运输至目标堆场指定位置。

9.1.3 检查系统重新安装和调试工作流程

新堆场场地确认：确认新堆场的供电接口、网络接口位置与 AGV 通道满足要求（通常在设备抵达前已完成）。

AGV 卸车与吊装就位：AGV 到达目标位置后，使用集装箱吊具将设备从 AGV 上吊起，精确落放至新堆场的预设作业位置。

外部接口重新连接：重新连接电源插头和网线插头。

设备展开与恢复：启动箱内系统，将探测器臂等部件再次展开至工作姿态；系统运行自检。

调试：使用标准测试体模进行扫描，将图像与首次安装时的基准图像进行比对，确认图像质量和物质识别功能无衰减。

海关快速核验：海关关员到场，对设备进行快速核验，重点确认设备标识未变、功能正常、数据接入正常。

9.1.4 施工期污染物

施工期污染物主要包括：

废气：主要为清理地面杂物、平整场地时产生的粉尘，设备调试阶段产生的臭氧和氮氧化物。

废水：主要为施工人员的生活污水。

噪声：各类施工机械施工及 AGV 运输产生的噪声。

固体废物：主要为建筑垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。

辐射：设备调试阶段产生的 X 射线。

9.2 工艺设备和工艺分析

9.2.1 设备组成

本项目使用的 TC-SCAN RMG6000C-AGV 大型集装箱/车辆安全检查系统采用 X 射线辐射成像技术，得到物体内部不同密度物质的分布图像，从而可以区分出货物中是否掺杂有错报、违禁、危险品等，达到货物查危的目的。系统外观效果图如图 9.2-1 所示。



图 9.2-1 系统外观效果图

该系统采用最高能量 6/3MeV 的直线加速器作为射线源，主要由加速器子系统、探测器子系统、图像与数据管理子系统、扫描控制子系统、机械子系统、辐射防护设施等部分组成。

1、加速器子系统

主要由加速器、前准直器、加速器舱和安全联锁装置等部分组成，其主要功能是受控产生 X 射线脉冲。加速器是产生高能电子束的装置，当高能电子束与靶物质相互作用时，会产生韧致辐射，即产生 X 射线，加速器产生的高能 X 射线经准直器成形后，变成一扇形束穿过被检测的物体，X 射线垂直方向张角为 52.1° ，同时射线也被物体吸收，这样在被检测物体后面就形成了一个反映物体质量厚度变化的具有一定强弱分布的新的射线束。

2、探测器子系统

包括阵列探测器、前端电路、探测器电源装置等几部分。阵列探测器的主要功能是接收加速器发出的、经被检测物体后面形成的反映物体质量厚度变化并具有一定强弱分布的新的射线束，前端电路将射线束的强弱变转换成探测器输出电流脉冲的强弱变化。将透过集装箱的 X 射线转换成模拟电信号，并发送到图像与数据管理子系统。

3、图像与数据管理子系统

主要是集图像存储、检索、处理与元数据管理于一体的核心系统。实现信息自动化采集，可同时显示图像、车辆信息。采用关联技术同时传输和保存图像和相关信息，支持图像数据的结构化组织、高效存取和安全备份。

4、扫描控制子系统

扫描控制子系统主要由机械控制模块、安全联锁装置、电源控制模块、扫描控制单

元、辐射剂量监测单元、CCTV、广播系统、声光报警装置等组成，用来保证和控制整个系统的运行。扫描控制子系统可让操作员同时通过多角度摄像监控设备对系统工作场地进行实时监控，并提供对整个系统安全联锁装置的控制。

5、机械子系统

机械主体设计为通道式悬臂门型框架。存储或运输状态为收拢状态，工作时通过回转机及电动缸等控制设备展开。探测器安装于悬臂内，同时安装必要的安全连锁等装置。

6、辐射防护设施

辐射防护设施包括加速器及探测器周围、扫描通道墙及相关屏蔽设施和用以保证人员安全的辐射防护安全联锁装置。

9.2.2 工作原理

采用 X 射线辐射成像技术，得到物体内部不同密度物质的分布图像，从而可以区分出货物中是否掺杂有违禁、危险品等，达到货物查验的目的。

TC-SCAN RMG6000C-AGV 大型集装箱/车辆检查系统的射线源电子加速器是产生高能电子束的装置，当高能电子束与靶物质相互作用时，会产生韧致辐射，即产生 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量。加速器产生的高能 X 射线经准直器成形后，变成一扇形束，穿过被检测的物体，同时射线也被物体吸收，这样在被检测物体后面就形成了一个反应物体质量厚度变化的具有一定强弱分布的新的射线束；探测器将射线束的强弱变化转换成探测器输出电流脉冲的强弱变化；图像获取分系统将所采集到的模拟信号转换为数字信号，数字信号经过预处理后，传送到运行检查分系统组合成扫描图像。

RMG6000C 组合移动式集装箱/车辆检查系统采用交替双能（6/3MeV）驻波电子加速器，它可以按照预先设定的频率交替射出高能（6MeV）和低能（3MeV）的 X 射线。

当高能和低能 X 射线穿透相同物质时，因为不同的等效质量衰减率，在扫描图像中得到的灰度值是不一样的。高、低能量 X 射线对应的被检物质图像灰度值之比取决于物质的等效原子序数，等效原子序数越高，该比值越高，所以通过这种相对应的关系和特殊的双能算法对衰减后的高能 X 射线信号和低能 X 射线信号进行处理，可以获得被扫描物质的等效原子序数所在的范围，从而将有机物、无机物等不同材料区分开来，进行物质识别。

由于采用了交替双能成像技术，系统仅需进行一次扫描，就能够同时生成高能、低

能灰度图像和物质识别的彩色图像，从而提高了对被检物质的识别能力和检查系统的查验效率。

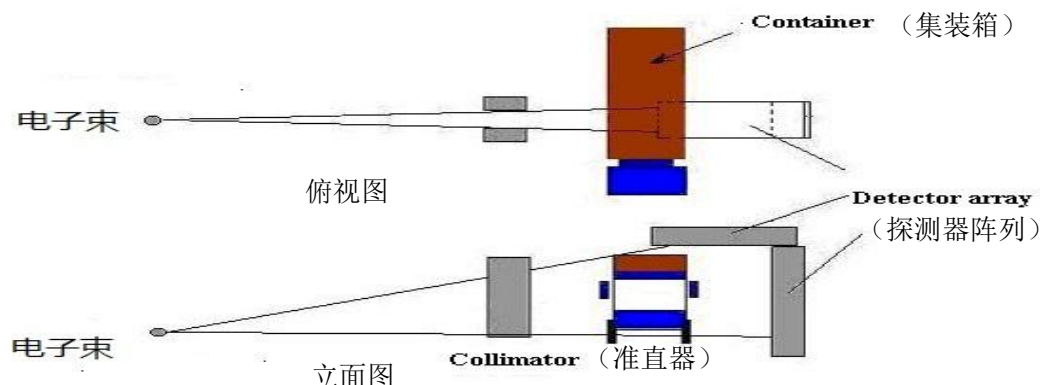


图 9.2-2 TC-SCAN RMG6000C-AGV 高能电子束成像子系统原理

9.2.3 工作流程及产污环节

TC-SCAN RMG6000C-AGV 大型集装箱/车辆安全检查系统为被动扫描模式，检查时被检物体移动，扫描系统静止，被检集装箱装载在 AGV（无人引导车）上，AGV 自动穿行通过检测设备。检查过程中辐射工作场所内无人员停留，设备操作人员位于控制室内进行加速器的控制。具体工作流程如下：

- (1) 系统上电，加速器完成预热，系统进入就绪状态，此时绿色警示灯亮。
 - (2) AGV 装载被检集装箱驶入扫描通道，光幕 1、雷达 1 同时触发判定被检车辆驶入，流程开始，此时加速器处于待机状态，黄色警示灯亮起。
 - (3) AGV 装载被检集装箱以设定速度向前行驶，被检集装箱同时触发到光幕 2、雷达 2，系统开始出束，红色警示灯亮起、警铃报警。
 - (4) 加速器产生 X 射线，射线穿过被检集装箱；高灵敏度探测器阵列接收 X 射线强弱信号，并生成一系列的数字图像信号；当整个扫描过程结束时，扫描图像会被自动保存到系统中，图像检查站可以获得被检集装箱/车辆的扫描图像。
 - (5) 被检集装箱离开光幕 3、雷达 3 后，系统停止出束，红色警示灯灭，蜂鸣器关闭。
 - (6) 系统进入待机状态，等待检查下一车辆，绿色警示灯亮。
 - (7) 工作人员适时对图像进行判图，给出检查结论。
- 传感器布局图见图 9.2-3，工作流程及产污环节见图 9.2-4。

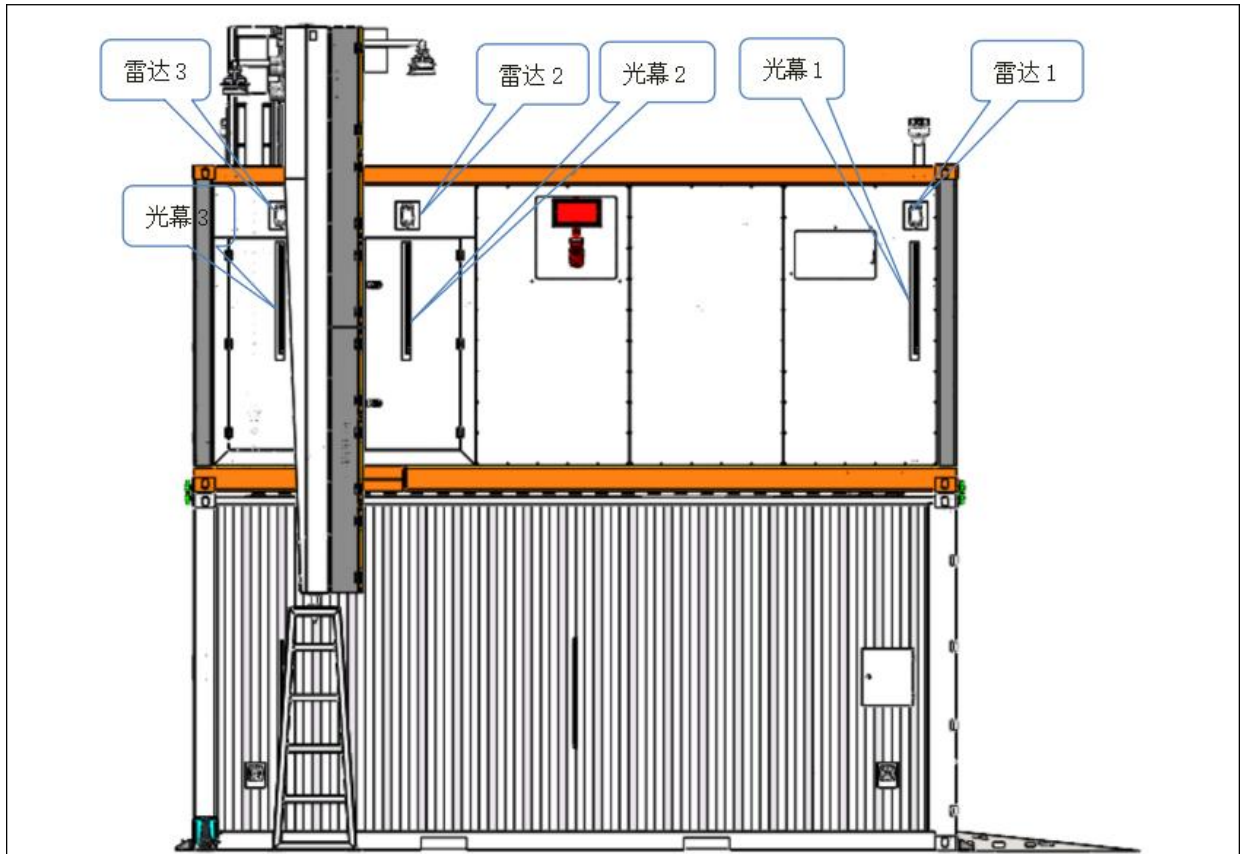


图 9.2-3 传感器布局图

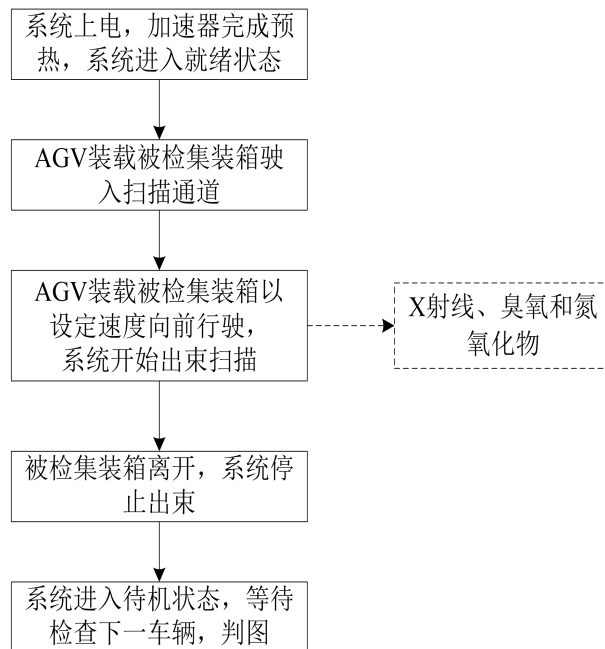


图 9.2-4 检查系统工作流程图

9.2.4 系统工作负荷

本项目为固定式设备，自动运行，且无需人员进行引导。项目拟安排 2 名辐射工作

人员，均为系统操作员，2名辐射工作人员拟从其他岗位调配。

根据建设单位提供的资料，本项目该检查系统全年运作，一天工作8个小时，单次扫描时间为25秒，每小时检查40辆AGV装载被检集装箱，则1年中加速器出束时间最多为 $8\text{h/d} \times 40\text{辆/h} \times 365\text{d/a} \times 25\text{s/辆} = 2920000\text{s} \approx 811.1\text{h}$ 。

9.2.5 人流、物流路径规划

(1) 人流路径规划：本项目辐射工作人员活动区域在控制室及设备运行区域，辐射工作人员进入设备运行区域时检查系统不出束，并佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。洋山深水港区四期码头整体实行封闭式管理，所有人员进出港区均需经授权门禁系统识别，具体见附图9。设备调试、维修、检修、保养均由设备厂家负责，相关工作人员进入作业区域前，须通过门禁系统登记身份信息，佩戴个人剂量计、个人剂量报警仪，并携带辐射剂量率检测仪。

(2) 物流路径规划：①设备安装于堆场区时，集装箱通过AGV运输至检查系统处进行查验，由南往北行驶，最终由轨道吊吊运至集装箱堆放区；②设备安装于空箱立体库区时，AGV装载空箱从西侧进入通过检测设备后，卸箱完毕后，空车原路返回；AGV没有装载箱体通过检测设备时，系统不检测。

9.3 污染源项描述

9.3.1 X射线

由加速器的工作原理可知，X射线是随机器的开、关而产生和消失的。本项目使用的加速器只有在开机并处于出束扫描时才会发出X射线，因此，在出束对被检集装箱进行照射期间，X射线成为污染环境的主要污染因子。根据厂家资料，本项目的检查系统加速器在距靶1m的等中心处的X射线辐射剂量率最大为28.8Gy/h。

检查系统在运行状态下产生的X射线可以分为三类：①主射线，在X射线准直角范围内的X射线；②泄漏射线，准直角范围以外的X射线；③散射线，由X射线的初级辐射照射到物体表面散射产生的射线。

根据《辐射防护手册》（第三分册）表4.4，钨（W）发生光致反应（ γ, n ）的阈值为8.0MeV，项目采用的电子直线加速器最大能量为6MeV，低于钨靶发生（ γ, n ）反应的阈值，所以可以不考虑中子贯穿辐射和感生放射性。

本项目加速器非主束方向泄漏率不大于 3×10^{-6} ，其中后向泄漏率不大于 1×10^{-5} ；同

时也满足《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》（GBZ 143-2015）中“无建筑物屏蔽的移动式检查系统中的加速器辐射源箱，加速器泄漏率应不大于 2×10^{-5} ；其他情况下应不大于 1×10^{-3} ”的要求。

9.3.2“三废”

本项目运行期无放射性“三废”产生，主要非放射性“三废”如下：

1、废气

加速装置在开机状态下，空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，臭氧在环境中大概经 50 分钟自动分解，氮氧化物产量约为臭氧的 1/2，经自然分解后对环境影响较小。

2、废水

本项目运营期废水主要为工作人员的生活污水，本项目拟配置辐射工作人员 2 人，每年工作 365 天。生活用水按每人每天 50L 计，生活污水排放系数按 0.80 计，则生活污水产生量为 $0.08\text{m}^3/\text{d}$ ， $29.2\text{m}^3/\text{a}$ 。本项目运营期生活污水依托码头生活污水处理设施处理后回用。

3、噪声

本项目检查系统工作时会产生运行噪声，同时会开启警报器进行报警，因此会产生设备运行的噪声，噪声值约为 70dB（A）。

4、固体废物

本项目运营期不产生危险废物，运营期固废主要为工作人员的生活垃圾，本项目拟配置辐射工作人员 2 人，每年工作 365 天。生活垃圾每天产生量约 0.5kg/人，生活垃圾产生量为 $1.0\text{kg}/\text{d}$ 、 $0.365\text{t}/\text{a}$ 。

9.3.3 事故工况源项

（1）运行出束期间有人员滞留或误入控制区和监督区范围内，造成被 X 射线误照射。

（2）安全联锁装置或报警系统发生故障的情况下，有人误入正在运行的加速器扫描通道，工作人员无法阻止其进入或无法立即终止加速器工作，导致误入人员受到超剂量照射。

（3）调试、维修、检修期间，由于工作人员误操作，加速器舱内加速器发生意外出束，造成被 X 射线误照射。

(4) 检查系统拆卸过程中, 因电源插头未拔除或现场人员误认为设备已完全断电, 导致加速器意外启动并产生 X 射线, 导致现场工作人员可能遭受意外照射。

(5) 检查系统跌落、剧烈碰撞或倾覆, 导致箱体内部射线屏蔽层破损或移位或出束窗破损 X 射线向非设计方向出束, 导致设备重新投用后周围剂量率超标。

(6) 搬迁后辐射安全参数偏离, 导致射线束方向偏移, 导致设备重新投用后周围剂量率超标。

事故工况下的污染因子和污染途径与正常工况下基本相同, 主要为 X 射线对辐射工作人员及周围公众造成外照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局

本项目共安装一套 TC-SCAN RMG6000C-AGV 大型集装箱/车辆安全检查系统，初期拟布置于堆场 24 的海侧区域，后续根据自动化码头业务需求及海侧车道特点，检查系统将按需转场至堆场 4、堆场 6、堆场 10、堆场 12、堆场 16、堆场 18、堆场 20、堆场 26、堆场 28 等 9 个堆场的海侧区域以及空箱立体库区域开展检查作业。位于堆场的海侧区域时，扫描系统主束方向朝西，设备运行区域北侧、东侧、西侧均为堆场，南侧为内部道路。检查系统安装于空箱立体库区域时，扫描系统主束方向朝南，设备运行区域东侧为停车场，南侧为空箱堆放区，西侧为内部道路，北侧为通行车道。

检查系统工作时，设备操作人员位于控制室内；洋山深水港区四期码头整体实行封闭式管理，所有人员进出港区均需经授权门禁系统识别，有效防止人员误入控制区和监督区。从便于辐射管理的角度来看，本项目工作场所布局是合理的。

10.1.2 辐射防护分区管理

(1) 分区依据

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，结合《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》（GBZ143-2015）中对于辐射工作场所的分区要求，在地面区域将本项目检查系统辐射工作场所划分为控制区和监督区。

(2) 本项目分区管理情况

本项目属于无司机驾驶的货运车辆或货物的检查系统，应将辐射源室及周围剂量当量率大于 $40\mu\text{Sv/h}$ 的区域划定为控制区；控制区以外的周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的区域划定为监督区，控制室划定为监督区。

根据后续计算结果，堆场区将射线束正前方距离靶点 17m 的区域、射线束后方距离靶点 5m 及两侧距离靶点各 5m 的区域划定为控制区，射线束正前方距离靶点 68m 的区域、射线束后方距离靶点 18m 及两侧距离靶点各 18m 的区域划定为监督区；空箱立体库区本环评将射线束正前方距离靶点 9m 的区域、射线束后方混凝土墙以内的区域划定为控制区，射线束正前方距离靶点 34m 的区域、射线束后方混凝土墙以外 1m 的区域、两侧整个 C-D 通道区域划定为监督区。

本项目辐射工作场所分区情况见图 10.1-2 和图 10.1-3。

(3) 本项目“两区”管控要求

由于本项目检查系统部署于自动化码头堆场内，设备运行区域为开放式环境，为保障 AGV 正常通行，无法设置实体围栏或永久性物理屏障。因此，控制区与监督区的管理将采取“无实体围挡、区域状态管控、程序化准入”的非传统模式，具体措施如下：

①控制区防护手段与安全措施

a.在控制区边界地面及其他适当位置处设立醒目的、符合图 10.1-1 规定的电离辐射警告标志；

b.虽然无物理围栏，但通往控制区的所有通道入口（如堆场通道口）设置授权门禁，仅允许佩戴个人剂量计的辐射工作人员通过身份核验后进入；

c.每次出束前，辐射工作人员须通过视频监控系统对控制区进行远程清场确认，必要时配合现场巡检，确保控制区内无任何人员滞留后方可启动出束程序；

d.定期对控制区边界划定、联锁装置有效性、人员出入记录进行审查，根据剂量监测数据和作业变化，动态优化管控措施。

②监督防护手段与安全措施

a.在监督区边界地面设置黄色/绿色警示标线，并标注“辐射监督区”字样，对进入该区域的人员起到警示与告知作用；

b.在通往监督区的主要通道口设置监督区标牌，防止无关人员进入；

c.对监督区进行巡查，检查边界标识的完好性、辐射水平是否在预期范围内，并记录巡查结果；

d.根据设备转场后不同堆场的实际剂量率测量结果，动态调整监督区边界，确保其覆盖可能受影响的区域，同时避免过度扩大影响范围；

e.定期审查监督区的条件，根据检查系统运行状态、AGV 调度计划及人员流动情况，动态判断是否需加强防护措施或调整边界范围。

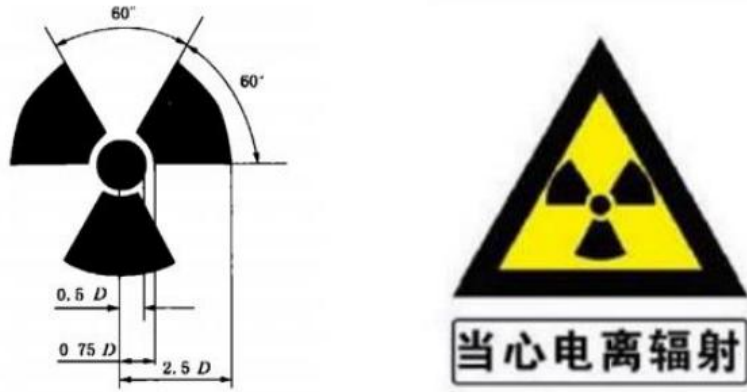


图 10.1-1 电离辐射的标志（左）与电离辐射警告标志（右）

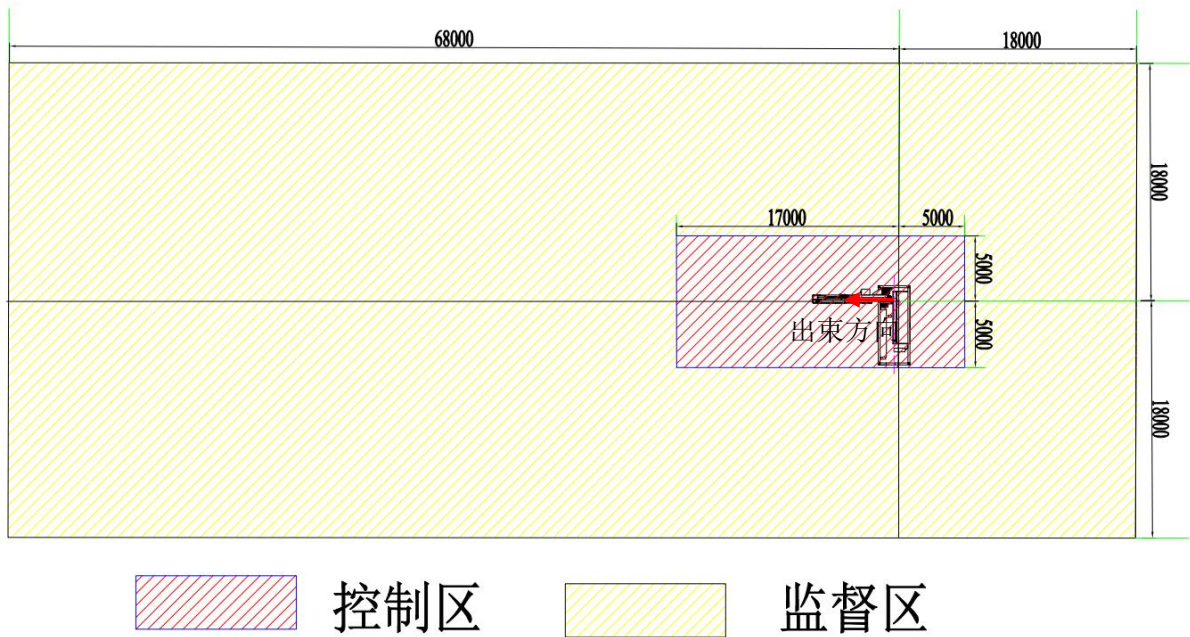


图 10.1-2 分区管理图（堆场区）

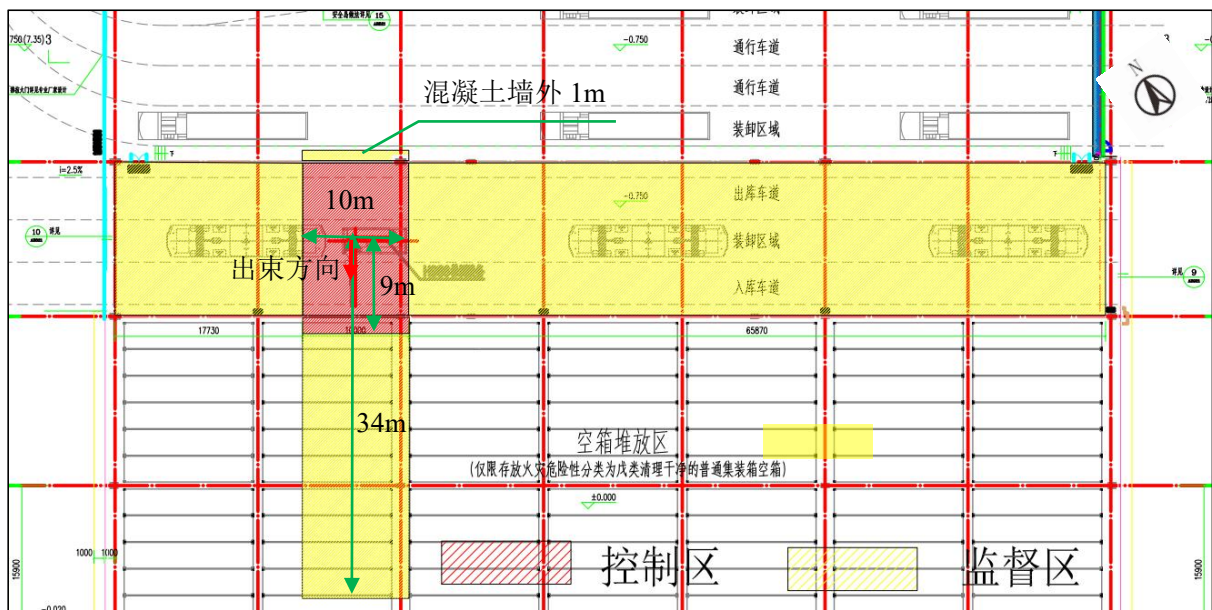


图 10.1-3 分区管理图（空箱立体库区）

10.1.3 辐射防护屏蔽设计

TC-SCAN RMG6000C-AGV 大型集装箱/车辆安全检查系统自带屏蔽防护，各方向的屏蔽材料及厚度如下：

(1) 加速器容器：前壁采用 145mm 钨合金，后壁采用 145mm 钨合金，两侧采用 150mm 钨合金，上下采用 135 钨合金。

(2) 准直器：准直器铅屏蔽厚度为 220mm。

(3) 探测器垂直臂按照高度从下往上分级屏蔽：

第一级：采用 20mm 钢夹 180mm 铅，宽 100mm，高 1575mm。

第二级：采用 20mm 钢夹 100mm 铅，宽 100mm，高 2702mm。

(4) 探测器水平臂屏蔽：采用 20mm 钢夹 50mm 铅，宽 100mm，长 3295mm。

检查系统自身辐射屏蔽设计见图 10.1-4。

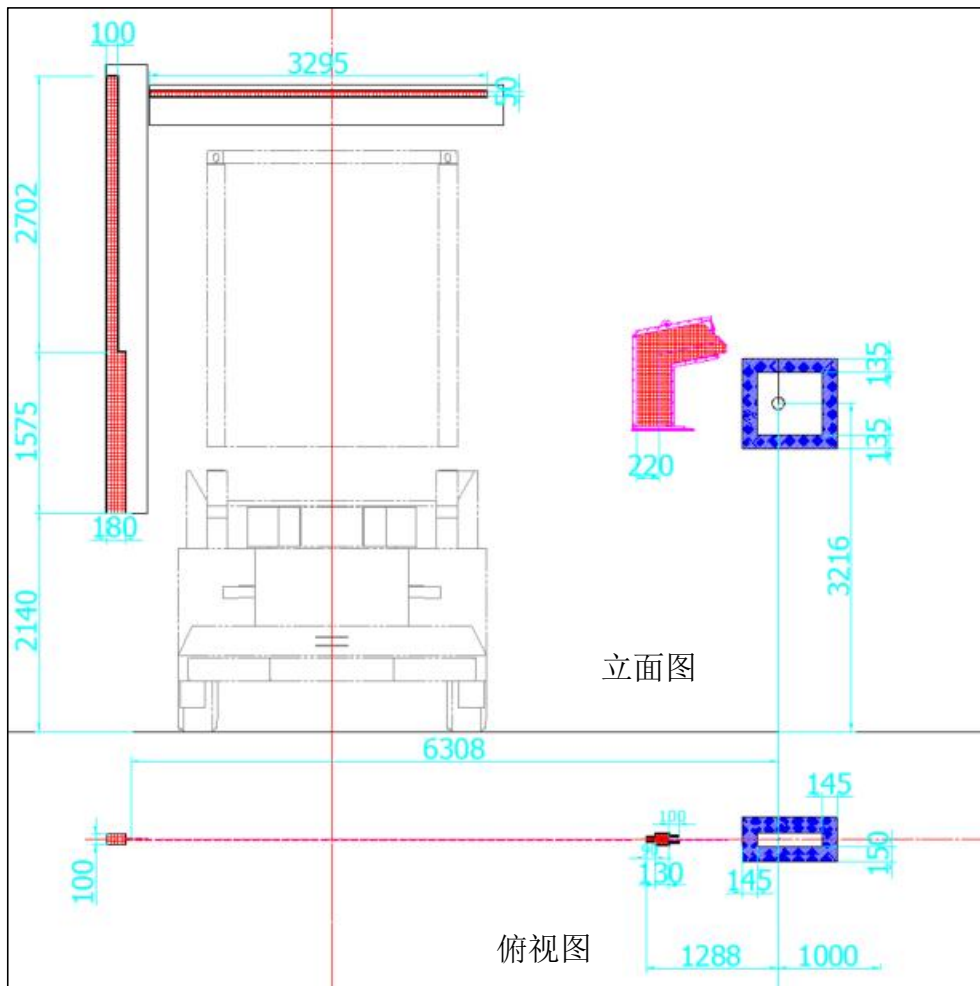


图 10.1-4 检查系统自带屏蔽措施图（蓝色材质：钨合金；红色材质：铅）

检测系统安装于空箱立体库区域时，两侧设置混凝土墙进行屏蔽，具体如下：

(1) 立体库探测器侧（C 轴）：探测器侧通道墙采用 200mm 厚度混凝土，高度为

8500mm，长度为 93600mm；

(2) 立体库加速器侧（D 轴）：加速器侧通道墙采用 450mm 厚度混凝土，高度为 8500mm，长度为 93600mm。

10.1.4 场所辐射安全和防护措施

1、安全联锁

检查系统的辐射安全设计遵循故障安全原则，设置多重安全装置，并注意采用多样性的部件，以保证当某一部件或系统发生故障时，检查系统均能建立起一种安全状态。

检查系统在辐射防护区内设置了比较完善的安全联锁与警示设施。安全联锁设施可控制加速器的出束或停束。只有在所有安全联锁设施都处于正常工作状态时射线装置才可以出束，任意一个安全联锁设施不正常，射线装置不能出束或立即停止出束。系统的辐射安全设计遵循故障安全原则，设置冗余、多重的安全装置，并注意采用多样性的部件，以保证当某一部件或系统发生故障时，安检系统均能建立起一种安全状态。

系统安全联锁逻辑图参见图 10.1-5。

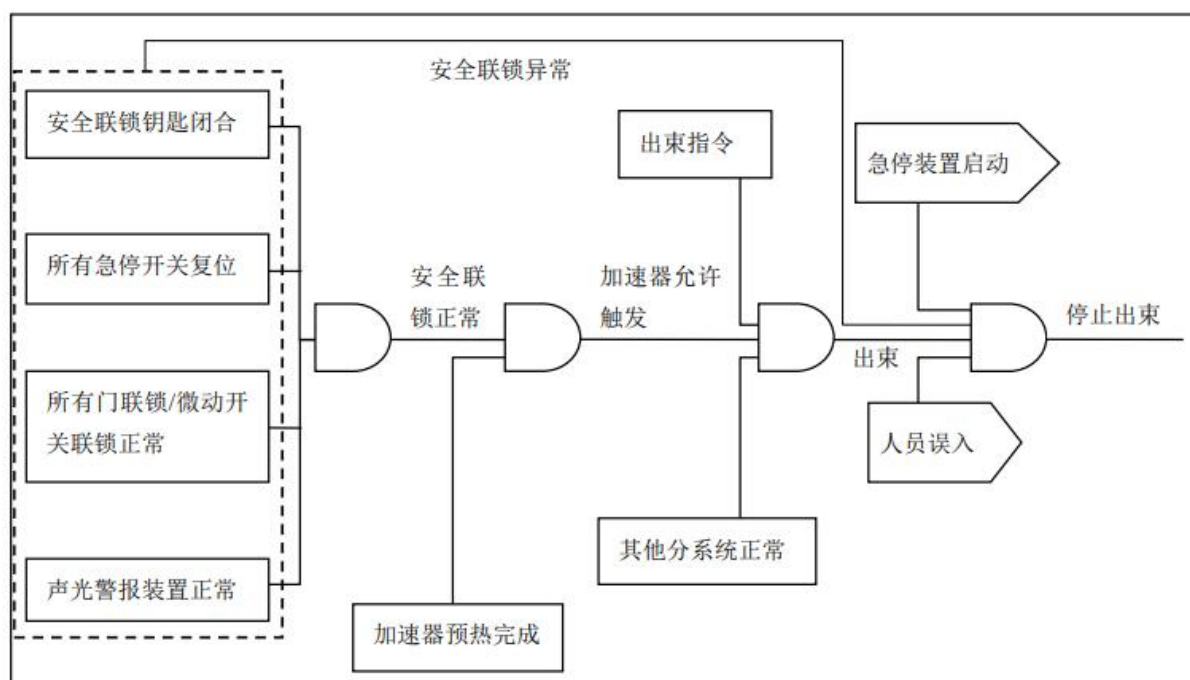


图 10.1-5 本项目检查系统安全联锁逻辑图

2、安全设施

①安全联锁开关：控制台安装采用钥匙控制的安全联锁开关。只有将安全联锁开关钥匙拨至闭合位置后，加速器才允许出束。

②门联锁：在加速器舱舱门、固定底舱舱门上等处安装有门联锁装置（门限位开关），只有当这些门联锁装置闭合时，加速器才允许出束。任一联锁门或面板限位开关动作，

加速器不能出束或立即停止出束，且门限位开关恢复后加速器不能恢复出束。

③急停设施：在远端控制室内操作台上、加速器调制解调器上、固定底舱箱体外侧安装有急停按钮。当紧急情况发生时，触发任何急停按钮，加速器立即停止出束。

④加速器输出剂量联锁：检查系统的加速器输出剂量超出预定值时，加速器应能自动停止出束。

⑤警示设备：在设备舱箱体前后两端各安装一组绿、红、黄三色出束警灯和警铃。当系统上电时，绿色警灯亮；当加速器准备出束时，黄色警灯亮；当加速器出束时，红色警灯亮、警铃响。

⑥监视和通讯设备：在设备舱箱体及设备横梁上设有数量一定的摄像装置，相应的监视器装在系统控制室操作台上，以保证人员随时监视整个辐射防护区内的情况。系统控制室操作台设有麦克风，在设备舱箱体两端安装有扬声器。

⑦辐射剂量仪表：系统配备 2 台个人剂量报警仪和一台环境 X、 γ 剂量率仪；检查系统的加速器出束口处配置辐射剂量监测仪表实时监测输出剂量，可在检查系统操作台上显示输出剂量率。

⑧警示标志：在加速器舱门、固定底舱四周、立体库入口及消防门上设有电离辐射警告标志牌。

辐射安全和防护设施见图 10.1-6 至图 10.1-10。

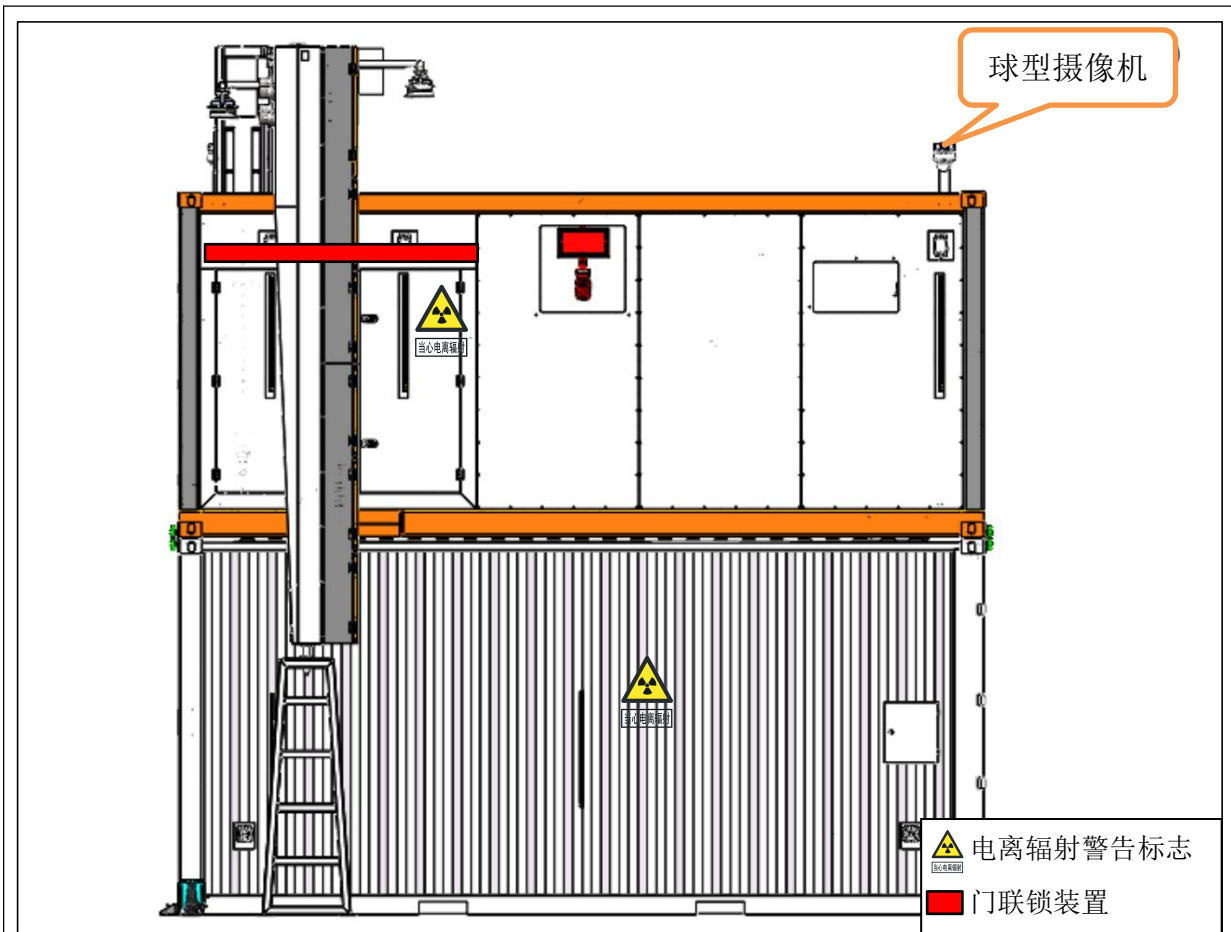


图 10.1-6 本项目辐射安全和防护设施图（侧面 1）

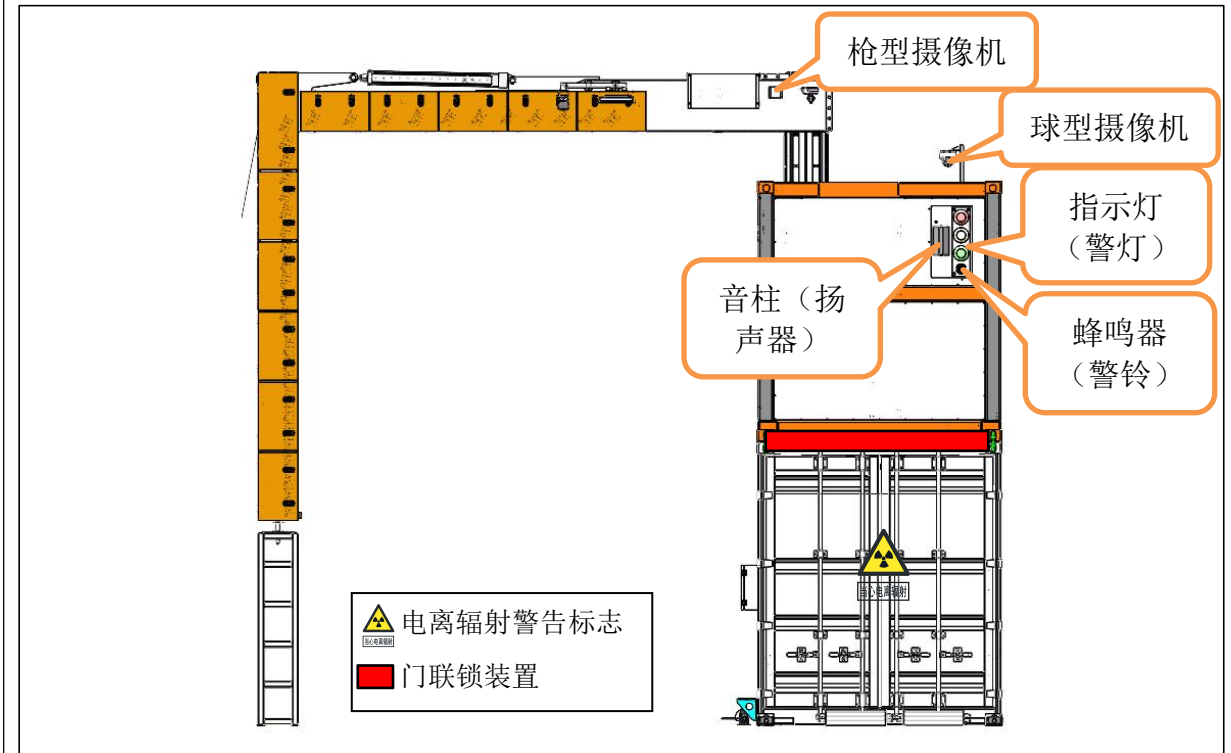


图 10.1-7 本项目辐射安全和防护设施图（立面 1）



图 10.1-8 本项目辐射安全和防护设施图（侧面 1）

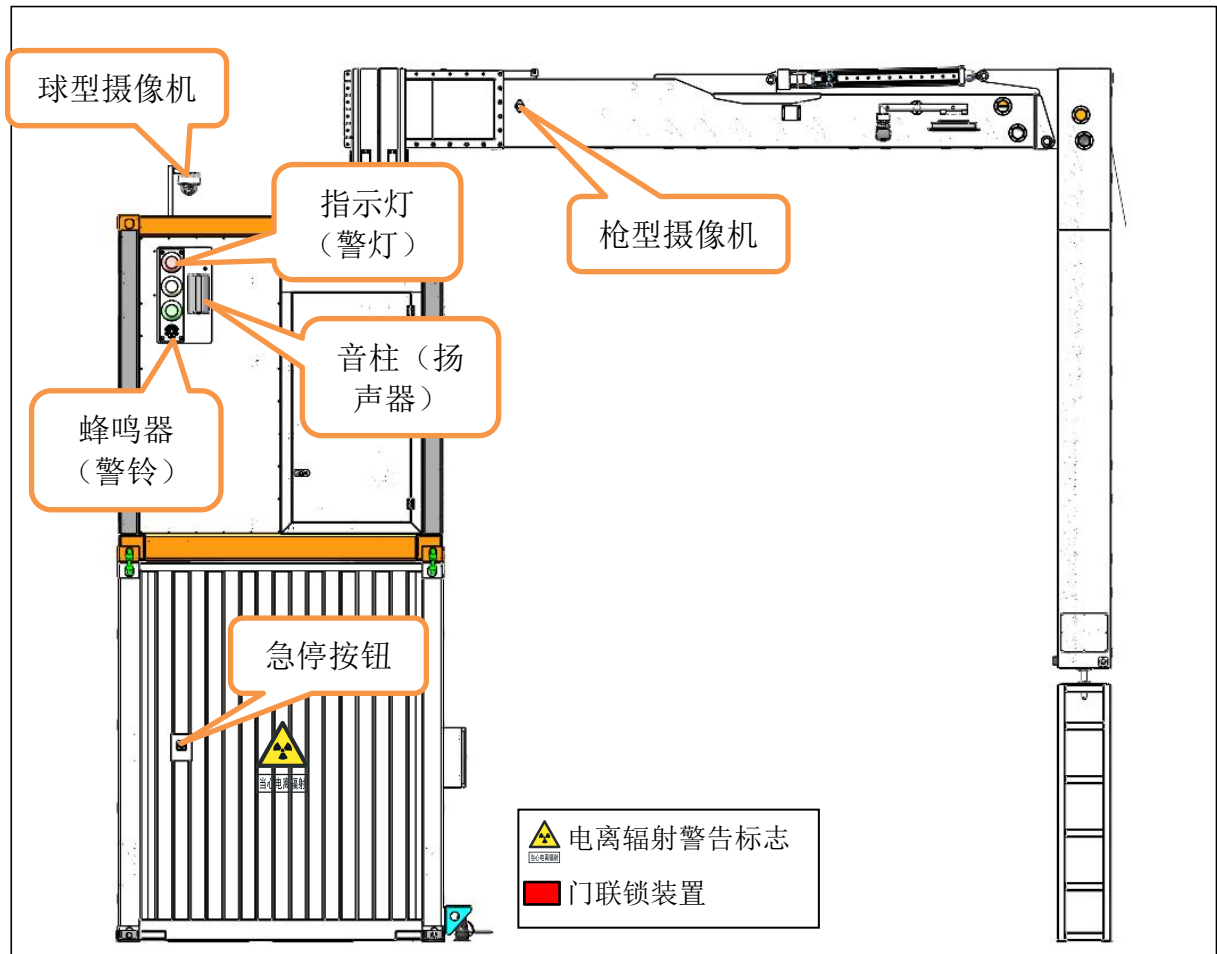


图 10.1-9 本项目辐射安全和防护设施图（立面 2）

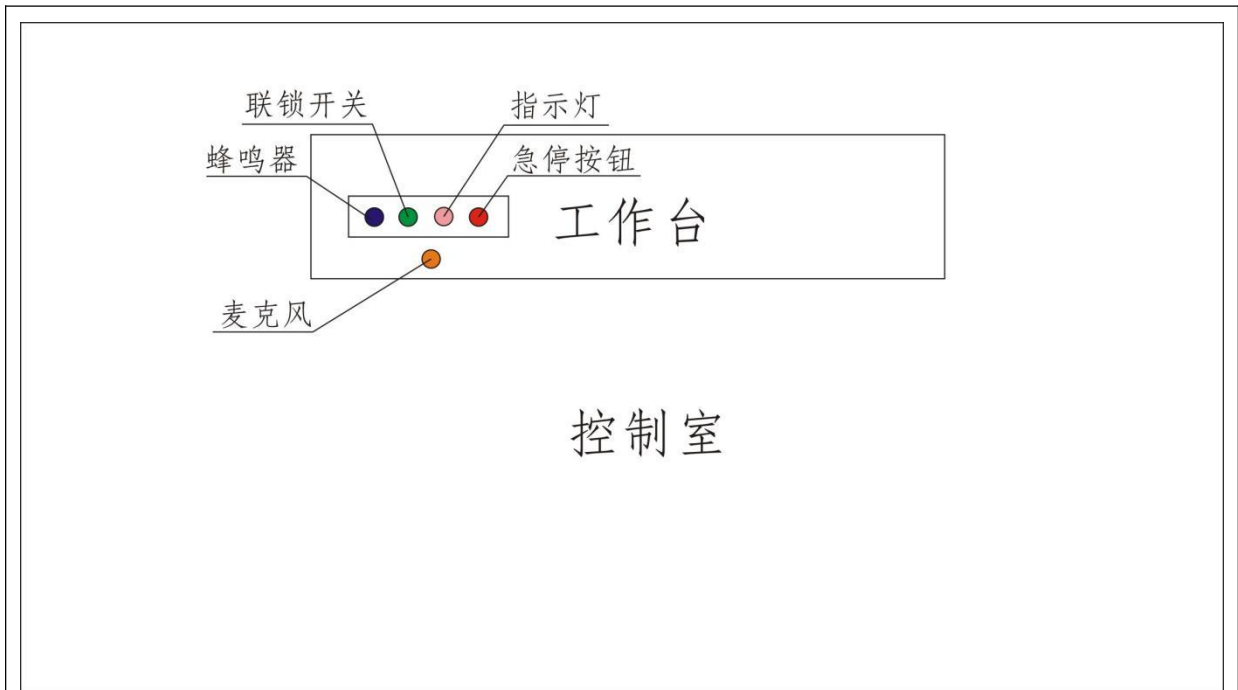


图 10.1-10 本项目控制室辐射安全和防护设施示意图

10.1.5 人员防护措施要求

(1) 工作人员进入监督区域时应佩戴常规个人剂量计（配备 3 台个人剂量计），同时配备个人剂量报警仪（配备 2 台个人剂量报警仪）。当辐射水平达到设定的报警水平时剂量仪报警，辐射工作人员应立即离开工作区域，同时阻止其他人进入工作区域，并立即向辐射防护负责人报告。

(2) 应定期测量周围区域的辐射水平或环境的周围剂量当量率，包括操作人员工作位置和周围毗邻区域人员居留处。

(3) 使用剂量仪前，应检查剂量仪是否正常工作。定期检修设备，有使用寿命的必须按期更换，防止因设备故障而发生辐射事故。

10.1.6 其他安全措施

(1) 安全操作一般要求

- ①除非工作需要，工作人员应停留在监督区之外。
- ②每天检查系统运行前，操作人员应按照相关要求进行检查，确认其处于正常状态。
- ③每次检查系统出束前，操作人员确认控制区内无人后，方可开启加速器出束。
- ④进入辐射工作场所前，操作人员应确认检查系统处于未出束状态，并携带个人剂量报警仪。

⑤检查系统运行过程中，操作人员应通过监视器观察辐射工作场所内的情况，发现异常情况立即停止出束，防止事故发生。

⑥检查系统发生故障或使用紧急停束装置紧急停机后，在未查明原因和维修结束前，禁止重新启动检查系统。

⑦检查系统结束一天工作后，操作人员应取下出束控制开关钥匙交安全管理人员妥善保管，并做好安全记录。检查系统停止运行时，控制室负责人应取走主控钥匙并妥善保管。未经许可不得使用控制室钥匙。

(2) 安装调试、维修、检修、保养时的要求

设备调试、维修、检修、保养均由设备厂家负责，具体要求如下：

①在设备调试、维修、检修、保养过程中，如果需要解除安全联锁，应先获得安全管理人员批准，并设置醒目的警示牌。调试、维修、检修、保养工作结束后，操作人员应先恢复安全联锁并确认检查系统正常后才能使用。

②检查系统调试、维修、检修、保养时，应保证先关停加速器，拔下主控钥匙，并由现场调试和检修人员带走，在调试、维修、检修、保养工作结束后，再将该钥匙交给控制室操作人员。

③检修人员在检修加速器、探测器等部件时，除佩戴个人剂量计外，还必须携带剂量报警仪和辐射剂量率检测仪。

④调试、维修、检修、保养结束后，辐射工作人员应对加速器输出剂量进行校正，当超出预定值时，加速器应能自动停止出束，并进行重新调试。

调试、维修、检修、保养阶段工作场所区域出入口控制车辆以及公众进入，具体采取包括设置醒目的警示牌、视频监控确保没有无关人员及车辆进出等安全措施，保证调试、维修、检修、保养过程中不出现无关人员在工作区的情况。按照调试、维修、检修、保养流程和要求，加速器的主控钥匙由现场维修人员带走，维修过程中设备不会通电，不会出现人员在现场维修设备时，加速器开机出束的情况；需要进行开机出束时，必须由现场维修人员带钥匙至控制室操作，并且会对工作场所进行清场，确保无人才进行开机调试，该过程不会出现人员误照射的情况。

10.1.7 辐射防护措施一览表

本项目辐射防护措施情况见表 10.1-1。

表 10.1-1 本项目辐射防护措施一览表

序号	类别	辐射防护措施
1	分区管理	堆场区将射线束正前方距离靶点 17m 的区域、射线束后方距离靶点 5m 及两侧距离靶点各 5m 的区域划定为控制区，射线束正前方距离靶点 68m 的区域、射线束后方距离靶点 18m 及两侧距离靶点各 18m 的区域划定为监督区；空箱立体库区本环评将射线束正前方距离靶点 9m 的区域、射线束后方混凝土

		墙以内的区域划定为控制区，射线束正前方距离靶点 34m 的区域、射线束后方混凝土墙以外 1m 的区域、两侧整个 C-D 通道区域划定为监督区。
2	辐射防护屏蔽	TC-SCAN RMG6000C-AGV 大型集装箱/车辆安全检查系统自带屏蔽防护，检测系统安装于空箱立体库区域时，两侧设置混凝土墙进行屏蔽。
3	辐射安全和防护措施	<p>①安全联锁开关：控制台安装采用钥匙控制的安全联锁开关。只有将安全联锁开关钥匙拨至闭合位置后，加速器才允许出束。</p> <p>②门联锁：在加速器舱舱门、固定底舱舱门上等处安装有门联锁装置（门限位开关），只有当这些门联锁装置闭合时，加速器才允许出束。任一联锁门或面板限位开关动作，加速器不能出束或立即停止出束，且门限位开关恢复后加速器不能恢复出束。</p> <p>③急停设施：在远端控制室内操作台上、加速器调制解调器上、固定底舱箱体外侧安装有急停按钮。当紧急情况发生时，触发任何急停按钮，加速器立即停止出束。</p> <p>④加速器输出剂量联锁：检查系统的加速器输出剂量超出预定值时，加速器应能自动停止出束。</p> <p>⑤警示设备：在设备舱箱体前后两端各安装一组绿、红、黄三色出束警灯和警铃。当系统上电时，绿色警灯亮；当加速器准备出束时，黄色警灯亮；当加速器出束时，红色警灯亮、警铃响。</p> <p>⑥监视和通讯设备：在设备舱箱体及设备横梁上设有一定数量的摄像装置，相应的监视器装在系统控制室操作台上，以保证人员随时监视整个辐射防护区内的情况。系统控制室操作台设有麦克风，在设备舱箱体两端安装有扬声器。</p> <p>⑦辐射剂量仪表：系统配备 2 台个人剂量报警仪和一台环境 X、γ剂量率仪；检查系统的加速器出束口处配置辐射剂量监测仪表实时监测输出剂量，可在检查系统操作台上显示输出剂量率。</p> <p>⑧警示标志：在加速器舱门、固定底舱四周、立体库入口及消防门上设有电离辐射警告标志牌。</p>
4	人员防护措施	<p>①工作人员进入监督区域时应佩戴常规个人剂量计（配备 3 台个人剂量计），同时配备个人剂量报警仪（配备 2 台个人剂量报警仪）。当辐射水平达到设定的报警水平时剂量仪报警，辐射工作人员应立即离开工作区域，同时阻止其他人进入工作区域，并立即向辐射防护负责人报告。</p> <p>②应定期测量周围区域的辐射水平或环境的周围剂量当量率，包括操作人员工作位置和周围毗邻区域人员居留处。</p> <p>③使用剂量仪前，应检查剂量仪是否正常工作。定期检修设备，有使用寿命的必须按期更换，防止因设备故障而发生辐射事故。</p>

10.2“三废”的治理

1、废气

加速装置在开机状态下，空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，臭氧在环境中大概经 50 分钟自动分解，氮氧化物产量约为臭氧的 1/2，经自然分解后对环境影响较小。

2、废水

本项目运营期废水主要为工作人员的生活污水，生活污水依托码头生活污水处理设施处理后回用。

3、噪声

本项目检查系统工作时会产生运行噪声，同时会开启警报器进行报警，因此会产生设备运行的噪声，噪声值约为 70dB（A）。本项目位于浙江省舟山市嵊泗县洋山深水港区四期码头内，不涉及医院、学校、机关、科研单位、住宅等需要保持安静的建筑物，经过距离衰减后，对周围声环境影响较小。

4、固体废物

本项目运营期不产生危险废物，运营期固废主要为工作人员的生活垃圾，生活垃圾环卫清运。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 安装（包括首次安装和重新安装）及拆卸施工阶段

本项目安装（包括首次安装和重新安装）及拆卸工程量较小，施工期较短，施工期对环境的影响，本次评价仅作简要分析。

（1）大气：本项目在安装和拆卸检查系统过程中会产生少量地面扬尘，由于工程量不大，因此只要采取一定的措施即可很大程度地降低施工期的废气污染。

（2）废水：施工期间，施工人员生活污水依托码头生活污水处理设施处理后回用。

（3）噪声：各类施工机械在施工及 AGV 运输过程中会产生噪声，但由于施工量小，对周围环境影响较小。

（4）固体废物：整个施工过程中产生少量建筑垃圾，企业应妥善收集后处理处置。施工人员生活垃圾经收集后交环卫部门清运。

11.1.2 设备调试阶段

待本项目的检查系统购置到位后，需调试后才能使用。调试期对于环境主要影响为电离辐射、微量的臭氧及氮氧化物。本项目检查系统的调试要求在本项目辐射防护工程完成后，由设备厂家安排的专业人员进行，建设单位不得自行调试设备。在设备调试阶段，建设单位应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，禁止无关人员靠近。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 X 射线对周围环境的影响

1、控制区和监督区的估算

检查系统初期拟布置于堆场 24 的海侧区域，该位置作为设备首次安装调试及初始运行的场所。根据自动化码头业务需求及海侧车道特点，检查系统将按需转场至堆场 4、堆场 6、堆场 10、堆场 12、堆场 16、堆场 18、堆场 20、堆场 26、堆场 28 等 9 个堆场的海侧区域以及空箱立体库区域开展检查作业。本项目涉及的各堆场海侧区域在场地布局、硬化条件、周边环境、作业方式等方面硬件设施基本相同，辐射工作场所的几何特征和环境条件参数一致。因此，各堆场区域的控制区与监督区范围亦相同。

基于上述情况，为简化评价工作并确保评价结果的代表性，本次环评选取以下 2

个典型场所进行控制区和监督区范围计算：堆场 24 海侧区域——作为堆场区的代表；空箱立体库区域——作为独立作业区域的代表。

(1) 透射（主射线）

根据《Radiation Protection Design Guidelines for 0.1-100MeV Particle Accelerator Facilities》（NCRP Report No.51），透射辐射剂量率参考该报告中的相关公式（P50 中公式（2））进行预测计算。同时参考 GBZ/T201.1 的 4.8.3，屏蔽计算中 $\mu\text{Gy/h}$ 可视为 $\mu\text{Sv/h}$ 。

透射辐射剂量率计算公式为：

$$H_{I,d,X} = \frac{D_{I_0} B_X T}{(1.67 \times 10^{-5}) d^2} \dots\dots\dots(\text{式 11-1})$$

式中：

$H_{I,d,X}$ ——计算参考点剂量当量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；根据《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》（GBZ143-2015），对无司机驾驶的货运车辆或货物的检查系统，应将辐射源室及周围剂量当量率大于 $40\mu\text{Sv/h}$ 的区域划定为控制区；控制区以外的周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的区域划定为监督区；

D_{I_0} ——距源 1m 处的吸收剂量率， $\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{min}$ ；根据厂家资料，本项目的检查系统加速器在距靶 1m 的等中心处的 X 射线辐射剂量率最大为 28.8Gy/h （ 480mGy/min ）；

T ——参考点的居留因子，本项目保守取 1；

d ——X 射线源与参考点之间的距离，m；

1.67×10^{-5} ——为单位换算系数；

B_X ——X 射线在屏蔽层中的透射比，按式 11-2 和式 11-3 计算。

根据《Radiation Protection Design Guidelines for 0.1-100MeV Particle Accelerator Facilities》（NCRP Report No.51）（P51 中公式（5）和公式（6）），屏蔽穿透比的计算公式具体如下：

$$B_X = 10^{-n} \dots\dots\dots(\text{式 11-2})$$

$$n = \frac{S - T_1}{T_e} + 1 \dots\dots\dots(\text{式 11-3})$$

式中：

S ——屏蔽体厚度（cm）；探测器垂直臂屏蔽体第一级采用 20mm 钢夹 180mm 铅、

宽 100mm、高 1575mm，离地高度为 2.14m，则第一级屏蔽高度为 3.715m，此高度区域无人员，故探测器垂直臂屏蔽体厚度按 18cm 铅和 2cm 钢考虑，空箱立体库区域的混凝土厚度按 20cm 考虑；

T_l ——在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层（cm）；

T_e ——平衡十分之一值层，该值近似于常数（cm）；

n ——为十分之一值层的个数。

T_l 和 T_e 根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 表 A.2 和表 A.3 进行取值，本项目入射电子能量为 6.0MeV，保守取 7.5MeV 条件下的值，具体见表 11.2-1。

根据式 11-2 和式 11-3 可计算得到透射方向的屏蔽透射比，具体见表 11.2-1。

表 11.2-1 屏蔽透射比

检查系统所在区域	屏蔽材料	S (cm)	T_l (cm)	T_e (cm)	B_x	
堆场 24 海侧区域	铅	18	5.6	5.7	0.001	0.0004
	钢	2	10.3	10.3	0.639	
空箱立体库区域	铅	18	5.6	5.7	0.001	0.0001
	钢	2	10.3	10.3	0.639	
	混凝土	20	36.8	36.8	0.286	

根据式 11-1 可知，本项目透射方向控制区和监督区的边界范围估算结果见表 11.2-2。

表 11.2-2 透射方向控制区与监督区边界范围估算结果表

检查系统所在区域	控制区范围 (m)	监督区范围 (m)
堆场 24 海侧区域	16.95	67.81
空箱立体库区域	8.48	33.91

根据上表，本环评将堆场区射线束正前方距离靶点 17m 的区域划定为控制区，射线束正前方距离靶点 68m 的区域划定为监督区；空箱立体库区将射线束正前方距离靶点 9m 的区域划定为控制区，射线束正前方距离靶点 34m 的区域划定为监督区。

(2) 非透射方向

① 散射

根据《Radiation Protection Design Guidelines for 0.1-100MeV Particle Accelerator Facilities》（NCRP Report No.51），散射辐射剂量率参考该报告中的相关公式（P54 中公式（8））进行预测计算。同时参考 GBZ/T201.1 的 4.8.3，屏蔽计算中 $\mu\text{Gy/h}$ 可视为 $\mu\text{Sv/h}$ 。

散射辐射剂量率计算公式：

$$H_{I,d,X} = \frac{D_{I_0} \alpha_X A B_{Xr} \times T}{(1.67 \times 10^{-5}) d_i^2 d_r^2} \dots\dots\dots (式 11-4)$$

式中：

$H_{I,d,X}$ ——计算参考点剂量当量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；根据《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》（GBZ143-2015），对无司机驾驶的货运车辆或货物的检查系统，应将辐射源室及周围剂量当量率大于 $40\mu\text{Sv/h}$ 的区域划定为控制区；控制区以外的周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的区域划定为监督区；

D_{I_0} ——距源 1m 处的吸收剂量率， $\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{min}$ ；根据厂家资料，本项目的检查系统加速器在距靶 1m 的等中心处的 X 射线辐射剂量率最大为 28.8Gy/h （ 480mGy/min ）；

α_X ——散射因子，参考《辐射防护导论》中图 6.4，反射系数保守取值，对于铅取 5×10^{-3} （准直器、探测器）、对于铁取 5×10^{-3} （集装箱）（垂直入射，散射角为 60° ）进行计算；

A ——散射面积， m^2 ；为射线束流宽度和散射物体的高度乘积，准直器散射面积为 0.018m^2 、探测器散射面积为 0.0963m^2 、集装箱散射面积为 0.045m^2 ；

T ——参考点的居留因子，本项目保守取 1；

d_i ——辐射源点（靶点）至散射物体的距离， m ；辐射源点（靶点）至准直器的距离约为 1.2m ，辐射源点（靶点）至探测器的距离约为 6.3m ，辐射源点（靶点）至集装箱的距离约为 3.1m ；

d_r ——散射体至关注点的距离， m ；

B_{Xr} ——X 射线在屏蔽层中的透射比，同 B_X ，按式 11-2 和式 11-3 计算。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 表 A.4，入射电子能量为 6.0MeV 的侧向等效能量保守取 4.6MeV ； T_l 和 T_e 根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 表 A.2 和表 A.3 进行取值，保守取 5.0MeV 条件下的值，具体见表 11.2-3。

根据式 11-2 和式 11-3 可计算得到散射方向的屏蔽透射比，具体见表 11.2-3。

表 11.2-3 屏蔽透射比

散射物体	屏蔽材料	S (cm)	T_l (cm)	T_e (cm)	B_x	
准直器	铅	22	5.3	5.5	0.0001	
探测器	铅	10	5.3	5.5	0.0140	0.0087
	钢	2	9.7	9.7	0.6220	

集装箱	铁	0.2	9.7	9.7	0.9536
/	混凝土	45	32.5	32.5	0.0412

检查系统安装于空箱立体库区域时，两侧设置混凝土墙，非透射方向混凝土墙厚度为 450mm，故计算混凝土墙侧的控制区和监督区边界时需考虑其屏蔽效果。根据式 11-4 可知，不同散射物体的控制区和监督区的边界范围估算结果见表 11.2-4。

表 11.2-4 散射方向控制区与监督区边界范围估算结果表

检查系统所在区域		散射物体	散射体至关注点的距离		本环评取值（取最不利情形）	
			控制区（m）	监督区（m）	控制区范围（m）	监督区范围（m）
堆场 24 海侧区域		准直器	0.07	0.27	4.35	17.39
		探测器	0.28	1.10		
		集装箱	4.01	16.02		
空箱立体库区域	非混凝土墙侧	准直器	0.07	0.27	4.35	17.39
		探测器	0.28	1.10		
		集装箱	4.01	16.02		
	混凝土墙侧	准直器	0.01	0.05	0.88	3.53
		探测器	0.06	0.22		
		集装箱	0.81	3.25		

②漏射

根据《辐射防护手册》（第一分册）中 10.4 电子加速器屏蔽章节，漏射辐射剂量率按下式计算：

$$H = \frac{\dot{H}_0 \times f}{R^2} \times B \dots\dots\dots (式 11-5)$$

式中：

\dot{H} ——计算参考点剂量当量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；根据《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》（GBZ143-2015），对无司机驾驶的货运车辆或货物的检查系统，应将辐射源室及周围剂量当量率大于 $40\mu\text{Sv/h}$ 的区域划定为控制区；控制区以外的周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的区域划定为监督区；

\dot{H}_0 ——源项剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；根据厂家资料，本项目的检查系统加速器在距靶 1m 的等中心处的 X 射线辐射剂量率最大为 28.8Gy/h ($2.88 \times 10^7 \mu\text{Gy/h}$)；

f ——加速器泄漏率；本环评泄漏率取值为 1×10^{-5} ；

R ——源点至关注点的距离，m；

B ——屏蔽穿透比，同 B_x ，按式 11-2 和式 11-3 计算。

T_l 和 T_e 根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 表 A.2 和表 A.3 进行取值，本项目入射电子能量为 6.0MeV，保守取 7.5MeV 条件下的值，具体见表 11.2-5。

根据式 11-2 和式 11-3 可计算得到漏射方向的屏蔽透射比，具体见表 11.2-5。

表 11.2-5 屏蔽透射比

漏射方向	屏蔽材料	S (cm)	T_l (cm)	T_e (cm)	B_x
加速器容器前壁和后壁	钨合金 145mm，等效铅当量为 218mm	21.8	5.6	5.7	1.44E-04
加速器容器两侧	钨合金 150mm，等效铅当量为 225mm	22.5	5.6	5.7	1.08E-04

根据式 11-5 可知，本项目漏射方向控制区和监督区的边界范围估算结果见表 11.2-6。

表 11.2-6 漏射方向控制区与监督区边界范围估算结果表

射线类型	漏射方向	控制区范围 (m)	监督区范围 (m)
漏射	加速器容器前壁和后壁	0.03	0.13
	加速器容器两侧	0.03	0.11

③非透射方向控制区和监督区的边界范围

根据表 11.2-4 和表 11.2-6，非透射方向控制区和监督区的边界范围见表 11.2-7。

表 11.2-7 非透射方向控制区与监督区边界范围估算结果表

检查系统所在区域		非透射方向	控制区范围 (m)			监督区范围 (m)		
			散射	漏射	合计	散射	漏射	合计
堆场 24 海侧区域		加速器容器后壁	4.35	0.03	4.38	17.39	0.13	17.52
		加速器容器两侧	4.35	0.03	4.38	17.39	0.11	17.50
空箱立体库区域	非混凝土墙侧	加速器容器两侧	4.35	0.03	4.38	17.39	0.11	17.50
	混凝土墙侧	加速器容器后壁	0.88	0.03	0.91	3.53	0.13	3.66

根据上表，本环评将堆场区射线束后方距离靶点 5m、两侧距离靶点各 5m 的区域划定为控制区，射线束后方距离靶点 18m、两侧距离靶点各 18m 的区域划定为监督区；空箱立体库区射线束后方靶点与混凝土墙体的距离为 7.2m，故本环评将射线束后方混凝土墙以内的区域、两侧距离靶点各 5m 的区域划定为控制区，射线束后方混凝土墙以外 1m 的区域、两侧整个 C-D 通道区域划定为监督区。

(3) 小结

堆场区将射线束正前方距离靶点 17m 的区域、射线束后方距离靶点 5m 及两侧距离靶点各 5m 的区域划定为控制区，射线束正前方距离靶点 68m 的区域、射线束后方距离靶点 18m 及两侧距离靶点各 18m 的区域划定为监督区。

空箱立体库区本环评将射线束正前方距离靶点 9m 的区域、射线束后方混凝土墙以内的区域划定为控制区，射线束正前方距离靶点 34m 的区域、射线束后方混凝土墙以外 1m 的区域、两侧整个 C-D 通道区域划定为监督区。

11.2.2 人员受照剂量估算

1、辐射工作人员、公众年有效剂量估算

(1) 计算模式

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）-2000 年报告附录 A，辐射工作人员受照剂量计算公式如下：

$$E = H \times t \times U \times T \times 10^{-3} \dots\dots\dots (式 11-6)$$

式中：

E ——年有效剂量，mSv/a；

H ——关注点处周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t ——年照射时间，h/a；

T ——居留因子；

U ——使用因子，本项目均取 1。

(2) 关注点处周围剂量当量率计算

1) 关注点选取

检查系统初期拟布置于堆场 24 的海侧区域，该位置作为设备首次安装调试及初始运行的场所。根据自动化码头业务需求及海侧车道特点，检查系统将按需转场至堆场 4、堆场 6、堆场 10、堆场 12、堆场 16、堆场 18、堆场 20、堆场 26、堆场 28 等 9 个堆场的海侧区域以及空箱立体库区域开展检查作业。本项目涉及各堆场海侧区域在场地布局、硬化条件、周边环境、作业方式等方面硬件设施基本相同，辐射工作场所的几何特征和环境条件参数一致。因此，各堆场区域的控制区与监督区范围相同，但不同堆场与操作人员所在的控制室之间的相对距离存在差异。

为简化评价工作并确保评价结果的代表性，本次环评选取以下 2 个典型场所进行年有效剂量计算：堆场 28 海侧区域——作为堆场区的代表（检查系统与控制室的距离最

小，该工况下控制室人员所受辐射剂量贡献最大)；空箱立体库区域——作为独立作业区域的代表。

各关注点分布情况见表 11.2-8 和图 11.2-1。

此外，本项目计划在空箱立体库区域规划并建设标准化的检查系统部署点位，两侧设置混凝土墙，各关注点分布情况见表 11.2-8 和图 11.2-2。

表 11.2-8 关注点情况一览表

检查系统所在区域	编号	关注点名称	关注点位置	受照类型	居留情况	辐射类型
堆场海侧区域	1A	控制室	距堆场 28 处检查系统靶点约 562m	辐射工作人员	全居留	散射、漏射
空箱立体库区域	2A	控制室	距检查系统靶点约 1690m	辐射工作人员	全居留	散射、漏射
	2B	通行车道	距检查系统靶点约 8.6m	公众	偶然居留	
	2C	机修车间	距检查系统靶点约 52m	公众	全居留	
	2D	水手间 1	距检查系统靶点约 72m	公众	全居留	
	2E	停车场	距检查系统靶点约 72m	公众	偶然居留	
	2F	空箱堆放区控制室	距检查系统靶点约 28m	公众	全居留	
	2G	北侧混凝土墙体处门 1	距检查系统靶点约 22m	公众	偶然居留	
	2H	北侧混凝土墙体处门 2	距检查系统靶点约 69m	公众	偶然居留	
	2I	内部道路	距检查系统靶点约 30m	公众	偶然居留	

注：虚线的箭头只表示方向示意，虚线的距离未按实际距离比例，以标注距离为准。
堆场 4 和堆场 28 均为规划部署点位，根据业务需求确定安装点。

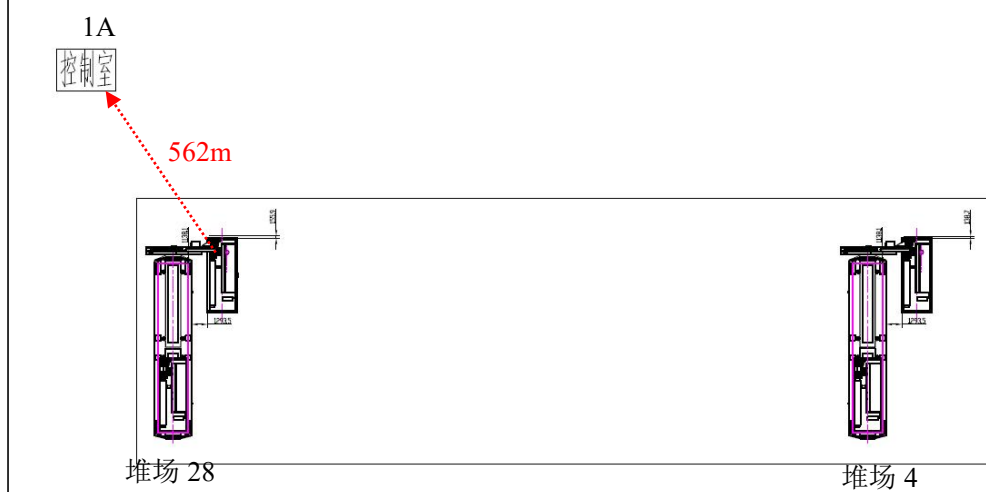


图 11.2-1 堆场区关注点分布图

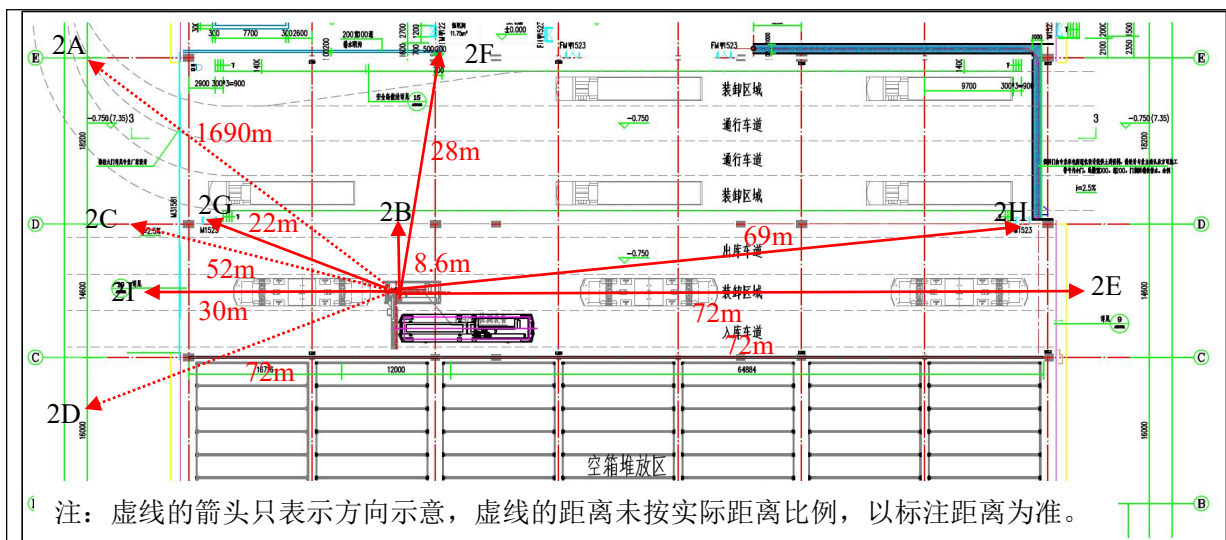


图 11.2-2 空箱立体库区关注点分布图

(2) 关注点处周围剂量当量率计算结果

① 散射

根据式 11-4 可计算得到关注点处散射剂量当量率，具体见表 11.2-9。

表 11.2-9 关注点处散射剂量当量率

场所	编号	关注点位置	射线类型	屏蔽材料	T	d_i (m)	d_r (m)	B_{Xr}	$H_{I,d,X}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	
堆场海侧区域	1A	控制室	准直器散射	铅 22cm	1	1.2	561	0.0001	5.78E-07	2.09E-03
			探测器散射	铅 10cm+ 钢 2cm	1	6.3	558	0.0087	9.86E-06	
			集装箱散射	铁 0.2cm	1	3.1	559	0.9536	2.08E-03	
空箱立体库区域	2A	控制室	准直器散射	铅 22cm	1	1.2	1689	0.0001	6.37E-08	2.28E-04
			探测器散射	铅 10cm+ 钢 2cm	1	6.3	1692	0.0087	1.07E-06	
			集装箱散射	铁 0.2cm	1	3.1	1693	0.9536	2.27E-04	
	2B	通行车道	准直器散射	铅 22cm+ 混凝土 45cm	1/16	1.2	9.6	4.12E-06	5.09E-06	1.39E-02
			探测器散射	铅 10cm+ 钢 2cm+混凝土 45cm	1/16	6.3	14.4	3.59E-04	3.82E-05	
			集装箱散射	铁 0.2cm+ 混凝土 45cm	1/16	3.1	11	3.93E-02	1.38E-02	
	2C	机修车间	准直器散射	铅 22cm	1	1.2	51.8	0.0001	6.78E-05	2.29E-01
			探测器散射	铅 10cm+ 钢 2cm	1	6.3	53.7	0.0087	1.06E-03	
			集装箱散射	铁 0.2cm	1	3.1	53.4	0.9536	2.28E-01	
2D	水手间 1	准直器散射	铅 22cm	1	1.2	71.5	0.0001	3.56E-05	1.26E-01	
		探测器	铅 10cm+	1	6.3	70.5	0.0087	6.17E-04		

		散射	钢 2cm						
		集装箱 散射	铁 0.2cm	1	3.1	72.0	0.9536	1.25E-01	
		2E	停车场	准直器 散射	铅 22cm	1/16	1.2	72.0	0.0001
		探测器 散射	铅 10cm+ 钢 2cm	1/16	6.3	73.4	0.0087	3.56E-05	1.21E-02
		集装箱 散射	铁 0.2cm	1/16	3.1	58.1	0.9536	1.20E-02	
2F	空箱堆 放区控 制室	准直器 散射	铅 22cm+ 混凝土 45cm	1	1.2	29.0	4.12E-06	8.92E-06	2.99E-02
		探测器 散射	铅 10cm+ 钢 2cm+混 凝土 45cm	1	6.3	35.0	3.59E-04	1.03E-04	
		集装箱 散射	铁 0.2cm+ 混凝土 45cm	1	3.1	30.0	3.93E-02	2.98E-02	
2G	北侧混 凝土墙 体处门 1	准直器 散射	铅 22cm	1/16	1.2	22.0	0.0001	2.35E-05	7.51E-02
		探测器 散射	铅 10cm+ 钢 2cm	1/16	6.3	24.7	0.0087	3.14E-04	
		集装箱 散射	铁 0.2cm	1/16	3.1	23.3	0.9536	7.48E-02	
2H	北侧混 凝土墙 体处门 2	准直器 散射	铅 22cm	1/16	1.2	69.0	0.0001	2.39E-06	1.35E-02
		探测器 散射	铅 10cm+ 钢 2cm	1/16	6.3	70.0	0.0087	3.91E-05	
		集装箱 散射	铁 0.2cm	1/16	3.1	54.9	0.9536	1.35E-02	
2I	内部道 路	准直器 散射	铅 22cm	1/16	1.2	30	0.0001	1.26E-05	4.25E-02
		探测器 散射	铅 10cm+ 钢 2cm	1/16	6.3	30	0.0087	2.13E-04	
		集装箱 散射	铁 0.2cm	1/16	3.1	31	0.9536	4.22E-02	

②漏射

根据式 11-5 可计算得到关注点处漏射剂量当量率，具体见表 11.2-10。

表 11.2-10 关注点处漏射剂量当量率

场所	编号	关注点位置	屏蔽材料	R (m)	B_{Xr}	$H_{I,d,X}$ ($\mu\text{Sv/h}$)
堆场 海侧 区域	1A	控制室	钨合金 145mm, 等效 铅当量为 218mm	562	1.44E-04	1.31E-07
空箱 立体 库区 区域	2A	控制室	钨合金 150mm, 等效 铅当量为 225mm	1690	1.08E-04	1.09E-08
	2B	通行车道	钨合金 145mm, 等效 铅当量为 218mm	8.6	1.44E-04	5.61E-04
	2C	机修车间	钨合金 150mm, 等效 铅当量为 225mm	52	1.08E-04	1.15E-05
	2D	水手间 1	钨合金 150mm, 等效 铅当量为 225mm	72	1.08E-04	6.00E-06
	2E	停车场	钨合金 150mm, 等效	72	1.08E-04	6.00E-06

			铅当量为 225mm			
2F	空箱堆放区控制室	钨合金 145mm, 等效铅当量为 218mm	28	1.44E-04	5.29E-05	
2G	北侧混凝土墙体处门 1	钨合金 145mm, 等效铅当量为 218mm	22	1.44E-04	8.57E-05	
2H	北侧混凝土墙体处门 2	钨合金 145mm, 等效铅当量为 218mm	69	1.44E-04	8.71E-06	
2I	内部道路	钨合金 150mm, 等效铅当量为 225mm	30	1.08E-04	3.46E-05	

③汇总

根据表 11.2-9 和表 11.2-10 计算得到各关注点的辐射剂量当量率, 具体见表 11.2-11。

表 11.2-11 关注点处漏射剂量当量率

场所	编号	关注点位置	$H_{l,d,x}$ ($\mu\text{Sv/h}$)		
			散射	漏射	合计
堆场海侧区域	1A	控制室	2.09E-03	1.31E-07	2.09E-03
空箱立体库区域	2A	控制室	2.28E-04	1.09E-08	2.28E-04
	2B	通行车道	1.39E-02	5.61E-04	1.45E-02
	2C	机修车间	2.29E-01	1.15E-05	2.29E-01
	2D	水手间 1	1.26E-01	6.00E-06	1.26E-01
	2E	停车场	1.21E-02	6.00E-06	1.21E-02
	2F	空箱堆放区控制室	2.99E-02	5.29E-05	2.99E-02
	2G	北侧混凝土墙体处门 1	7.51E-02	8.57E-05	7.52E-02
	2H	北侧混凝土墙体处门 2	1.35E-02	8.71E-06	1.35E-02
	2I	内部道路	4.25E-02	3.46E-05	4.25E-02

由上表可知, 各关注点的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

(3) 年照射时间

根据建设单位提供的资料, 本项目该检查系统全年运作, 一天工作 8 个小时, 1 年中加速器出束时间约为 811.1h。本项目配备 2 名辐射工作人员轮班进行操作, 则单名辐射工作人员年照射时间为 405.55h。

机修车间、水手间 1、空箱堆放区控制室的单名工作人员年照射时间约为 400h, 其他区域单名公众最大年照射时间约为 400h。

(4) 年有效剂量估算

根据式 11-6 计算得到辐射工作人员和公众的年有效剂量, 具体见表 11.2-12。

表 11.2-12 辐射工作人员和公众的年有效剂量

场所	编号	关注点位置	$H_{I,d,X}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	t (h)	T	年有效剂量 (mSv/a)
堆场 海侧 区域	1A	控制室	2.09E-03	405.5	1	8.48E-04
空箱 立体 库区 域	2A	控制室	2.28E-04	405.5	1	9.25E-05
	2B	通行车道	1.45E-02	400	0.06	3.62E-04
	2C	机修车间	2.29E-01	400	1	9.16E-02
	2D	水手间 1	1.26E-01	400	1	5.04E-02
	2E	停车场	1.21E-02	400	0.06	3.03E-04
	2F	空箱堆放区 控制室	2.99E-02	400	1	1.20E-02
	2G	北侧混凝土 墙体处门 1	7.52E-02	400	0.06	1.88E-03
	2H	北侧混凝土 墙体处门 2	1.35E-02	400	0.06	3.38E-04
	2I	内部道路	4.25E-02	400	0.06	1.06E-03

上述估算表明，本项目运行后辐射工作人员的最大年有效剂量为 8.48E-04mSv，周围公众的最大年有效剂量为 9.16E-02mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中约束的剂量限值要求。

11.3 非放射性污染环境影响分析

1、臭氧及氮氧化物

电子加速器开机运行时，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）。氮氧化物的产率约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，同时国家对空气中臭氧浓度的标准严于氮氧化物。因此，本报告在考虑有害气体的影响时，仅考虑臭氧的影响。

本次评价参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 B 中推荐的预测模式进行有害性气体的产生和排放计算。根据该标准 B.4 条款，在辐照加工中，只有仅用 X 射线的厂房，需要考虑 X 射线产生的臭氧。而电子束和 X 射线同时使用的厂房，只计算电子束产生臭氧就足够了。结合本项目加速器利用电子束实现辐照加工的工作原理，本次评价仅计算电子束产生的臭氧。

平行电子束所致 O₃ 的产生率可以用以下公式进行保守的计算：

$$P = 45 dIG \dots\dots\dots (式 11-7)$$

式中：

P ——单位时间电子束产生 O_3 的质量，mg/h；

I ——电子束流的强度，mA；本项目束流强度按照 0.36mA 计算；

d ——电子在空气中的行程，cm；本项目取 100cm；

G ——空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O_3 分子数，保守值可取为 10。

经计算可知： $P=16200\text{mg/h}$ （0.162kg/h）。

本项目无实体屏蔽，场所为露天开放式，可看作无限大的空间。场所由自然通风及 AGV 进出带动空气流动交换，臭氧浓度可以满足《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》（GBZ143-2015）中“辐射源室内应有良好的通风，以保证臭氧的浓度低于 0.3mg/m^3 ”的要求。

2、废水

本项目运营期废水主要为工作人员的生活污水，生活污水依托码头生活污水处理设施处理后回用。

3、噪声

本项目检查系统工作时会产生运行噪声，同时会开启警报器进行报警，因此会产生设备运行的噪声，噪声值约为 70dB（A）。本项目位于浙江省舟山市嵊泗县洋山深水港区四期码头内，不涉及医院、学校、机关、科研单位、住宅等需要保持安静的建筑物，经过距离衰减后，对周围声环境影响较小。

4、固体废物

本项目运营期不产生危险废物，运营期固废主要为工作人员的生活垃圾，生活垃圾环卫清运，不会对周围环境造成二次污染。

11.4 事故影响分析

11.4.1 辐射事故

本项目检查系统使用过程中可能发生的事故主要有以下情况：

（1）运行出束期间有人员滞留或误入控制区和监督区范围内，造成被 X 射线误照射。

（2）安全联锁装置或报警系统发生故障的情况下，有人误入正在运行的加速器扫描通道，工作人员无法阻止其进入或无法立即终止加速器工作，导致误入人员受到超剂量照射。

（3）调试、维修、检修期间，由于工作人员误操作，加速器舱内加速器发生意外

出束，造成被 X 射线误照射。

(4) 检查系统拆卸过程中，因电源插头未拔除或现场人员误认为设备已完全断电，导致加速器意外启动并产生 X 射线，导致现场工作人员可能遭受意外照射。

(5) 检查系统跌落、剧烈碰撞或倾覆，导致箱体内部射线屏蔽层破损或移位或出束窗破损 X 射线向非设计方向出束，导致设备重新投用后周围剂量率超标。

(6) 搬迁后辐射安全参数偏离，导致射线束方向偏移，导致设备重新投用后周围剂量率超标。

11.4.2 事故影响防范措施

针对以上辐射事故，本评价提出以下预防措施以避免辐射事故发生：

(1) 定期认真地对安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，制定完善的辐射安全规章管理制度并有专人监督核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

(2) 操作人员须严格按操作规程进行作业，不得擅自改变操作程序，确保安全。

(3) 在系统每次开机扫描前，工作人员应检查联锁装置，确保扫描通道内无人员逗留方可开始操作。

(4) 系统操作人员应随时通过视频监控系统查看扫描通道内情况。

(5) 工作时必须随身携带个人剂量报警仪，不允许在没有剂量仪监控的情况下进入查验场地内，以免超剂量事故的发生。

(6) 制定事故应急预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

11.4.3 应急处置预案

针对以上可能发生的事风险，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等有关规定，应制定辐射事故应急方案，并定期进行演练，及时进行整改，同时还应配置必要的应急装备、器材以及应急资金。

一旦发生辐射事故，应按以下基本原则进行处理：

(1) 当发生辐射后，应立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

(2) 当发生上述意外人员受照事件后，应迅速将受照人员撤离现场，并估算人员受照剂量。如受照人员未携带个人剂量计，则可根据人员所在部位，照射条件，初步估算人员受照剂量。根据初步剂量估算结果确定受照人员是否要进行医学观察及治疗。

(3) 一旦发现有其他无关人员误入，操作人员应立即利用最近的紧急停止开关切断设备电源。误入人员应在最短的时间内撤离现场，尽量缩短受照时间。同时，事故第一发现者应及时向辐射安全管理领导小组及上级领导报告。辐射安全管理领导小组在接到事故报告后，应以最快的速度组织应急救援工作，迅速封闭事故现场，禁止无关人员进入该区域，严禁任何人擅自移动和取走现场物件（紧急救援需要除外）。

(4) 对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查和救治，并在第一时间将事故情况通报当地生态环境主管部门、卫生等主管部门。

(5) 迅速查明和分析发生事故的原因，制订事故处理方案，尽快排除故障。若不能自行排除故障，则应上报当地生态环境主管部门并通知进行现场警戒和守卫，及时组织专业技术人员排除事故。

一旦发生辐射事故，当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告。建设单位应立即启动应急预案，采取有效的事故处理措施，防止事故恶化。应急预案中应明确向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生行政部门报告的值班电话，事故发生后的2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地人民政府生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

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：设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或至少有 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。

12.1.1 机构设置情况

建设单位为首次开展核技术利用项目，应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的要求成立辐射安全与环境保护管理机构，负责全司辐射安全与环境保护监督管理工作，保障放射工作人员、社会公众的健康与安全。

12.1.2 辐射工作人员管理

1、个人剂量监测

本项目配备辐射工作人员 2 名，建设单位为辐射工作人员配置个人剂量计。个人剂量计常规监测周期一般为 1 个月，最长不应超过 3 个月送检，并建立个人剂量档案，加强档案管理。按照《放射工作人员职业健康管理办法》第二十七条规定，放射工作单位应当为放射工作人员建立并终生保存职业健康监护档案。

2、辐射工作人员培训

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》的要求，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，应当在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fjush.mec.gov.cn>）报名并参加考核，考核合格者可取得核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单，报告单全国有效，有效期 5 年。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。

本项目辐射工作人员上岗前，应参加辐射安全与防护培训，取得辐射安全培训合格证书，持证上岗。

3、辐射工作人员职业健康体检

辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作。上岗后辐射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年，必要时可增加临时性检查。辐射工作人员脱离放射工作岗位时，放射工作单位应当对其进行离岗前的职业健康检查。

本项目辐射工作人员在上岗前，建设单位应组织其进行岗前职业健康检查，并建立个人健康档案，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作。

12.1.3 年度评估情况

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中第十二条规定，建设单位应对本单位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日前向原发证机关提交上一年度的评估报告，并在全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn/rsmsreq/login.jsp>）进行网上申报。

安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容：

- （一）辐射安全和防护设施的运行与维护情况；
- （二）辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；
- （三）辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；
- （四）射线装置台账；
- （五）场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；
- （六）辐射事故及应急响应情况；
- （七）核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况；
- （八）存在的安全隐患及其整改情况；
- （九）其他有关法律、法规规定的落实情况。

年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定，生产、销售射线装置的单位应有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护措施、台帐管理制度、培训计划和监测方案、辐射事故应急措施。

操作规程：明确操作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤，明确加速器的操作步骤，工作人员佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪或检测仪器，避免事故发生。

岗位职责：明确管理人员、操作人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

辐射防护措施：制定辐射防护措施，重点是对 TC-SCAN RMG6000C-AGV 大型集装箱/车辆安全检查系统的管理、使用等均要落实到个人。

台帐管理制度：全面、准确、动态掌握单位内所有射线装置的状态（包括序号（唯一标识）、装置唯一编码/出厂编号、装置名称（含型号、规格）、类别、生产厂家/供应商、购进日期、使用地点、主要技术参数、辐射工作人员信息、维护/检定/校准记录索引、变动记录，确保可追溯性，满足监管要求，保障辐射安全。

培训计划：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，内外结合，加强对培训档案的管理，做到有据可查。

监测方案：明确监测频次和监测项目，主要包括个人剂量监测和工作场所监测，监测方式由企业自主监测与有资质单位开展的年度监测。监测结果妥善保存，定期上报生态环境主管部门。

辐射事故应急措施：明确应急组织体系与职责、应急响应程序、应急保障、后期处置等内容，确保在发生辐射事故时，能够迅速、有效、有序地采取行动，控制事态，减轻事故后果，保障人员、公众和环境安全，并按规定报告。

12.3 辐射监测

12.3.1 辐射工作人员个人剂量监测

建设单位应严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理规定，为辐射工作人员配备个人剂量计。同时，应根据每年的工作人员的变化增加个人剂量计，并进行个人剂量监测（1季度1次）和职业健康检查（不少于1次/2年），建立个人剂量监测档案和职业健康监护档案，并为工作人员保存职业照射记录。

建设单位须建立辐射工作人员个人剂量监测档案，包括姓名、工作单位、监测周期、监测结果等信息，个人剂量监测档案应保存。

12.3.2 辐射工作场所监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的规定，建设单位将委托有资质单位定期对辐射工作场所及周围环境进行辐射环境监测，并建立监测技术档案，以确保辐射工作人员和公众的辐射安全。针对本项目运行后的监测，建设单位制定了辐射监测计划（表 12.3-1），并将每次监测结果记录存档备查。

表12.3-1 工作场所监测计划一览表

监测类别	工作场所	监测因子	监测频度	监测设备	监测范围	周围剂量当量率水平	超标后处理方案	监测方法
年度监测	工作场所	周围剂量当量	1次/年	按照国家规定进行计量检定	工作场所周围环境	检查系统监督区边界处的周	及时查找原因，进行整改直至	按照行业监测方法

日常监测		率	1次/季度	按照国家规定进行计量检定		围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h	监测符合要求	即时测量
验收监测			安装调试正常后	按照国家规定进行计量检定				按照行业监测方法
个人剂量监测		个人剂量当量	1次/季度	个人剂量计, 委托有资质单位监测	所有辐射工作人员	每年不超过 5mSv	调查原因, 规范管理	按照行业监测方法

根据《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, 可以委托有相关资质的环境监测机构进行监测。

12.3.3 环保措施竣工验收

建设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设施验收技术规范 核技术利用》(HJ1326-2023)的相关要求, 对配套建设的环境保护设施进行验收, 自行或委托有能力的技术机构编制验收报告, 并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测(调查)报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组, 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。

12.4 辐射事故应急

12.4.1 应急预案制定要求

为了加强对辐射装置安全管理, 确保仪器设备的安全应用, 保障公众健康, 保护环境, 建设单位根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的规定, 制定《辐射事故应急预案》。建设单位应定期开展辐射事故应急演练, 并对演练结果进行总结, 及时对辐射事故应急预案进行完善和修订。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中第四十一条的规定, 结合建设单位的实际情况和事故工况分析, 须建立的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(具体人员和联系电话);

(2) 应急人员的组织、培训以及应急装备、资金、物资准备；

(3) 辐射事故分级与应急响应措施；

(4) 辐射事故的调查、报告和处理程序。

12.4.2 辐射事故上报要求

发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要的防范措施并在 2 小时内填报《辐射事故初始报告表》。对于发生的误照射事故，应首先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行政部门报告，当发生人为破坏行为时，应及时向公安部门报备。

12.4.3 培训演习计划

(1) 制定辐射事故应急培训计划方案，每年对与辐射事故应急有关的人员实施培训和演练，以验证该预案的有效性。每年应至少演练 1 次，演练内容包括放射事故应急处理预案的可操作性、针对性、完整性，演习报告存盘。可提出将每年用于辐射应急工作的（包括应急装备、应急技术支持、培训及演习等）支出，纳入部门预算。

(2) 根据实际情况定期组织修订放射事故应急预案，使其不断完善健全。

(3) 将本单位的应急预案报所在地生态环境主管部门备案，开展隐患排查并及时消除隐患，防止发生事故。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

为了进一步提高海关监管和服务水平，提高查验的准确性，充分运用海关系统先进卡口及监管设备，深化完善智能化通关监管系统，提高通关效率、有效打击走私犯罪，需在洋山深水港区四期码头安装一套 TC-SCAN RMG6000C-AGV 大型集装箱/车辆安全检查系统，用于货物查验。

13.1.2 辐射安全与防护分析结论

1、辐射安全防护措施结论

(1) 本项目拟采用符合标准规范要求的实体屏蔽，其屏蔽防护性能可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》（GBZ143-2015）的要求。

(2) 本项目辐照工作场所实行分区管理，拟设置安全连锁、门连锁、急停设施、加速器输出剂量连锁、警示设备、监视和通讯设备、警示标志等辐射安全设施。

2、辐射安全管理结论

建设单位拟成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，明确管理人员的职责，并将加强监督管理。建设单位拟制定包括《辐射事故应急预案》在内的一系列管理制度，并适时进行修订、完善。建设单位应根据本单位核技术应用项目开展的情况，不断对各项管理制度进行调整、补充和完善，并在以后的实际工作中严格落实执行。

建设单位为本项目辐射工作人员配备齐全监测仪器，定期将个人剂量计送检有资质的检测单位并定期组织辐射工作人员进行职业健康体检。同时，做好档案保管工作，辐射工作人员个人剂量档案、职业健康监护档案需终生保存。

13.1.3 环境影响分析结论

1、电离辐射

(1) 控制区和监督区

堆场区将射线束正前方距离靶点 17m 的区域、射线束后方距离靶点 5m 及两侧距离靶点各 5m 的区域划定为控制区，射线束正前方距离靶点 68m 的区域、射线束后方距离靶点 18m 及两侧距离靶点各 18m 的区域划定为监督区。

空箱立体库区本环评将射线束正前方距离靶点 9m 的区域、射线束后方混凝土墙以

内的区域划定为控制区，射线束正前方距离靶点 34m 的区域、射线束后方混凝土墙以外 1m 的区域、两侧整个 C-D 通道区域划定为监督区。

(2) 辐射工作人员和公众年有效剂量

本项目运行后辐射工作人员的最大年有效剂量为 $8.48E-04mSv$ ，周围公众的最大年有效剂量为 $9.16E-02mSv$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中约束的剂量限值要求。

2、三废

(1) 臭氧及氮氧化物

加速装置在开机状态下，空气在 X 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，臭氧在环境中大概经 50 分钟自动分解，氮氧化物产量约为臭氧的 1/2，经自然分解后对环境影响较小。

(2) 废水

本项目运营期废水主要为工作人员的生活污水，生活污水依托码头生活污水处理设施处理后回用。

(3) 噪声

本项目检查系统工作时会产生运行噪声，同时会开启警报器进行报警，因此会产生设备运行的噪声，噪声值约为 70dB (A)。本项目位于浙江省舟山市嵊泗县洋山深水港区四期码头内，不涉及医院、学校、机关、科研单位、住宅等需要保持安静的建筑物，经过距离衰减后，对周围声环境影响较小。

(4) 固体废物

本项目运营期不产生危险废物，运营期固废主要为工作人员的生活垃圾，生活垃圾环卫清运，不会对周围环境造成二次污染。

13.1.3 可行性分析结论

1、产业政策符合性分析

本项目属于国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中第一类鼓励类—第六项“核能”中第 4 条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”项，属于国家鼓励类产业，符合国家现行产业政策。

2、实践的正当性

本项目利用 X 射线对集装箱内是否含有夹带违禁物品进行检查。该设备具有穿透性能优越、探测灵敏度高、图像质量优良等特点，非常适合集装箱安全检查，可部分替代人工查验工作，大大提高了查验准确性和查验效率，所带来的经济、社会效益远大于屏蔽防护的投入代价。实践过程中采取了可行的满足辐射安全防护要求的措施，同时加强对核技术利用建设项目运行过程的管理，在得到预期查验效果的同时，对周围环境、职业人员、公众的辐射影响满足国家辐射防护安全标准的要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”的要求。

3、选址合理性

本项目位于洋山深水港区四期码头，100m 评价范围内无居民点、学校等环境敏感点。本项目建成后运行过程中产生的电离辐射，通过采取屏蔽和安全防护措施后，对周围环境与公众的辐射影响是可接受的。因此，本项目的选址合理。

4、《嵊泗县生态环境分区管控动态更新方案》符合性分析

（1）生态保护红线符合性分析

根据《嵊泗县国土空间总体规划（2021-2035 年）》县域三条线控制图，本项目位于城镇开发边界范围内，不涉及生态保护红线，符合生态保护红线的要求。

（2）环境质量底线符合性分析

本项目运营期会产生少量臭氧和氮氧化物，对周围大气环境的影响较小。因此，本项目建设不会导致周围大气环境质量下降，符合大气环境质量底线要求。

本项目运营期生活污水依托码头生活污水处理设施处理后回用，不会导致周围地表水环境质量下降，符合水环境质量底线的要求。

本项目不会导致土壤环境质量下降，符合土壤环境风险管控底线的要求。

此外，本项目拟建场所各监测点位的 γ 辐射剂量率低于天然辐射本底水平。综上所述，在落实本环评提出的各项污染防治措施后，不会对周围环境产生不良影响。因此，本项目建设符合环境质量底线要求。

（3）资源利用上线符合性分析

本项目运营期使用电能，不涉及煤等能源使用，不会突破区域能源利用上线。

本项目用水量较少，不会突破区域水资源利用上线。

本项目在浙江省舟山市嵊泗县洋山深水港区四期码头内实施，不会突破区域土地资源消耗上限。

因此，本项目符合资源利用上线的要求。

(4) 环境管控单元准入清单符合性分析

根据《嵊泗县生态环境分区管控动态更新方案》，本工程所在地属于重点管控单元（浙江省舟山市嵊泗洋山重点管控单元 ZH33092220103）。本项目为核技术利用项目，不属于二类、三类工业项目，不涉及工业污染物总量排放，项目符合相关管控单元准入清单要求。

5、“三区三线”符合性分析

本项目位于洋山深水港区四期码头，根据《嵊泗县国土空间总体规划（2021-2035年）》县域三条线控制图，本项目位于城镇开发边界范围内，不涉及生态保护红线和永久基本农田，因此本项目建设符合洋山镇“三区三线”要求。

6、项目可行性结论

综上所述，本项目选址符合国家相关法律法规。建设单位在落实本报告提出的各项污染防治措施后，其安全管理措施满足从事相应辐射活动的要求，辐射工作人员年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》（GBZ143-2015）的要求，因此本项目运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

- 1、应结合工作实际情况对辐射安全管理制度进行不断修改和完善；
- 2、每年定期开展辐射事故应急演练，并对演练结果进行总结，及时对辐射事故应急预案进行完善和修订；
- 3、应加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施自觉性，杜绝放射性事故的发生。

13.2.2 承诺

- 1、承诺将根据本评价报告和生态环境主管部门的要求落实相应的污染防治措施和管理要求。
- 2、环评报批并建成后，应及时向生态环境主管部门申领辐射安全许可证。
- 3、承诺在本项目正式运行前根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，在规

定的验收期限内（一般不超过 3 个月），对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告。

4、承诺严格执行辐射监测计划，发现隐患及时整改；对门~机联锁装置、警示灯联锁装置等防护设施进行经常性检查，发现防护设施故障或失灵应立即维护、修复。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：

经办人

公章
年 月 日

审批意见：

经办人

公章
年 月 日