

核技术利用项目

宁波甬安检测技术有限公司

室内探伤项目

环境影响报告表

（报批稿）



宁波甬安检测技术有限公司

2024 年 1 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

宁波甬安检测技术有限公司

室内探伤项目

环境影响报告表



建设单位名称：宁波甬安检测技术有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：宁波市镇海后施彩炼路 18 号

邮政编码：

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	10
表 3 非密封放射性物质	10
表 4 射线装置	10
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	12
表 6 评价依据	13
表 7 保护目标与评价标准	16
表 8 环境质量和辐射现状	24
表 9 项目工程分析与源项	27
表 10 辐射安全与防护	48
表 11 环境影响分析.....	60
表 12 辐射安全管理	83
表 13 结论与建议	88
表 14 审批	93

表 1 项目基本情况

建设项目名称		宁波甬安检测技术有限公司室内探伤项目			
建设单位		宁波甬安检测技术有限公司			
法人代表			联系人		联系电话
注册地址		宁波市镇海后施彩炼路 18 号			
项目建设地点		浙江省宁波市镇海区蛟川街道炼化路（东至现状管廊带，西至现状企业，南至规划道路）			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		1000	项目环保投资（万元）	130	投资比例（环保投资/总投资） 13%
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其它（迁建）			占地面积(m ²) /
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
		☒ 使用	☐ I类（医疗使用） ☒ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类		
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类		
		☒ 使用	☒ II类 ☐ III类		
	其他	/			

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位简介

宁波甬安检测技术有限公司（统一社会信用代码：91330211756268517U，以下简称“企业”）曾用名为宁波市镇海甬安无损检测工程有限公司，成立于 2003 年 12 月 04 日，经营范围：特种设备、金属材料及其产品、金属结构件的无损检测和理化检测及相关技术服务。

企业目前持有有效的《辐射安全许可证》（浙环辐证[B0002]），有效期至 2028 年 1 月 12 日；使用种类和范围：使用II类放射源；使用II类射线装置。许可内容包含：⁷⁵Se 42 枚，¹⁹²Ir 6 枚，14 台 X 射线探伤机。企业现有辐射项目相关环保手续情况见表 1-1。

表 1-1 企业现有辐射项目相关环保手续一览表

时间	项目名称	环评批复	验收批复
2007 年	宁波市镇海甬安无损检测工程有限公司移动式 X、γ 射线探伤机建设项目环境影响报告表	浙环辐[2007]168 号	浙环辐验[2015]29 号
2013 年	宁波市镇海甬安无损检测工程有限公司移动式 X、γ 射线室内和现场探伤扩建项目环境影响报告表	浙环辐[2013]3 号	2017 年 11 月自主验收
2023 年	宁波甬安检测技术有限公司 γ 射线探伤及放射源暂存间扩建应用项目辐射安全分析材料	/	/

1.1.2 项目建设目的和任务由来

企业现有探伤室及配套房间、现有放射源暂存库位于镇海石化建安工程股份有限公司的现有厂房内，均为租赁相关建筑，现有探伤室及配套房间、现有放射源暂存库的位置详见附图 2。镇海石化建安工程股份有限公司拟于浙江省宁波市镇海区蛟川街道炼化路（东至现状管廊带，西至现状企业，南至规划道路）扩建综合厂房，综合厂房的主体工程环评《镇海石化建安工程股份有限公司高效节能装备制造项目环境影响报告表》于 2023 年 4 月获得宁波市生态环境局镇海分局的环评批复：镇环许[2023]33 号。综合厂房的不动产权登记证明、建设用地规划许可证、租赁合同分别见附件 3、附件 4、附件 5，镇海石化建安工程股份有限公司综合厂房目前在建。

建设单位拟租赁镇海石化建安工程股份有限公司位于浙江省宁波市镇海区蛟川街道炼化路（东至现状管廊带，西至现状企业，南至规划道路）的部分综合厂房，拟新建 1 间探伤机房（含 1 间配套储源室，储源室内有 2 个源箱）及操作间、自动洗片室、评片室等辅助用房作为辐射工作场所，综合厂房的平面布置与本项目探伤机房的位置详见附图 3。建设单位拟购置 1 台 6MeV 电子直线加速器、拟购置 1 台 CR 实时成像系统、1 台 DR 实时成像系统（与已许可在用的 1 台 450kV X 射线探伤机配套使用），利用企业已许可的 1 枚活度为 $3.7 \times 10^{12} \text{Bq}$ 的 ^{192}Ir 放射源、1 枚活度为 $3.7 \times 10^{12} \text{Bq}$ 的 ^{75}Se 放射源开展室内探伤作业。本项目探伤机房配置这三类探伤装置，可以满足不同工件以及客户不同的探伤需求。

对照《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（原环境保护部国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号）、《关于发布放射源分类办法的公告》（原国家环保总局公告 2005 年第 62 号），工业探伤用加速器、X 射线探伤机属于 II 类射线装置， ^{192}Ir 、 ^{75}Se

属于II类放射源。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目——使用II类放射源、使用II类射线装置”，环境影响评价文件形式应为编制环境影响报告表。

为此，宁波甬安检测技术有限公司委托卫康环保科技（浙江）有限公司开展“宁波甬安检测技术有限公司室内探伤项目”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现场勘察、资料收集等工作，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。

1.1.3 项目建设内容和规模

本项目位于浙江省宁波市镇海区蛟川街道炼化路（东至现状管廊带，西至现状企业，南至规划道路），拟新建1间探伤机房（含1间配套储源室，储源室内有1只铅箱）及操作间、自动洗片室、评片室等辅助用房作为辐射工作场所，拟购置1台电子直线加速器（加速器最大能量为6MeV，主束方向由北朝南，X射线束中心轴线上距靶1m处最大空气吸收剂量率不超过15Gy/min，型号未定）；拟购置1台CR实时成像系统、1台DR实时成像系统配套已许可的1台450kV X射线探伤机（管电压450kV，管电流10mA，主束方向由北朝南）进行室内探伤；利用已许可的1枚最大出厂活度为 3.7×10^{12} Bq的 ^{192}Ir 放射源、1枚最大出厂活度为 3.7×10^{12} Bq的 ^{75}Se 放射源进行室内探伤。

放射源的购入存储和废放射源的存储依托于企业现有放射源暂存库。CR实时成像系统、DR实时成像系统探伤为实时成像，无需拍片，电子直线加速器探伤与 γ 射线探伤机探伤作业流程中洗片及阅片产生的危险废物暂存于公司现有危废暂存间；现有放射源暂存库与依托的现有危废暂存间的位置见附图3。

1.1.4 劳动定员及工作制度

（1）劳动定员：本项目拟配置9名辐射工作人员，均为本项目专职辐射工作人员，不兼任其他辐射岗位的工作，辐射工作人员拟从现有辐射工作人员调剂。

（2）工作制度：本项目9名辐射工作人员分为二组二班制，每组4名辐射工作人员，1名机动工作人员，每班工作8小时，每年工作300天。

1.2 相关规划符合性、产业政策符合性、实践正当性分析

1.2.1 区域总体规划和土地利用规划符合性分析

本项目位于浙江省宁波市镇海区蛟川街道炼化路（东至现状管廊带，西至现状企业，

南至规划道路)。项目符合《宁波市镇海区国土空间总体规划(2020-2035)》及规划环评和《宁波石化经济技术开发区总体规划(2020-2035)》的相关要求;根据《建设用地规划许可证》(地字第330211202200026),本项目用地为工业用地,符合土地利用规划。

1.2.2 产业政策符合性分析

本项目属于核技术在工业领域内的运用,根据中华人民共和国国家发展和改革委员会第7号令《产业结构调整指导目录(2024年本)》相关规定,本项目不属于限制类、淘汰类项目,符合国家当前的产业政策。

1.2.3 实践正当性分析

本项目探伤机房配置1台电子直线加速器、1台CR实时成像系统、1台DR实时成像系统与 γ 射线探伤机,可以满足不同工件以及客户不同的探伤需求。同时可依托现有已许可的X射线探伤、 γ 射线探伤机进行探伤作业,为减少危废产生量,提高阅片质量,并购置DR、CR实时成像系统与X射线机连接,另外新购1台6MeV电子直线加速器用于无损探伤,电子直线加速器无损探伤由于射线能量比 γ 和X射线探伤机能量高,可以对大型部件和厚的金属材料进行探伤,相对 γ 射线探伤来说,具有焦点小、能量可调、操作方便,射线照相所需时间更短,分辨率更高,与 γ 放射源探伤相比更为经济,解决了大厚度钢板(40mm-380mm)在无损检测上的需求,广泛用于锅炉、化工、铸造等行业的无损检测领域。本项目产生的经济收益与社会效益足以弥补其可能引起的辐射危害,该核技术应用实践具有正当性,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中“实践的正当性”原则。

1.2.4“三线一单”符合性分析

根据《关于实施“三线一单”生态环境分区管控的指导意见(试行)》(环环评〔2021〕108号),建设项目环评应论证是否符合生态环境准入清单,对不符合的项目依法不予审批。项目“三线一单”符合性如下:

(1) 生态保护红线

本项目位于浙江省宁波市镇海区蛟川街道炼化路(东至现状管廊带,西至现状企业,南至规划道路),对照《宁波市生态保护红线划定方案》,与生态保护红线图对比,本项目不在生态保护红线范围内,因此,本项目不涉及生态保护红线。

(2) 环境质量底线

根据环境质量现状监测结果,本项目拟建场址周围环境 γ 辐射剂量率处于当地正常

本底范围。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，能维持周边环境质量现状，满足该区域环境质量功能要求，因此本项目符合环境质量底线要求。

(3) 资源利用上线

本项目运营过程中主要消耗一定量的电能，消耗量相对区域资源利用总量较少，且项目不使用高耗能、低效率的设备，符合资源利用上线的要求。

(4) 生态环境准入清单

根据《宁波市“三线一单”生态环境分区管控方案》，本项目所在地属于宁波石化经济技术开发区产业集聚重点管控单元（ZH33021120007）。

表1-1 本项目所在管控单元分类准入清单

序号	内容	符合性分析	是否符合
1	空间布局约束 重点准入片：禁止新建、扩建不符合园区发展规划及当地主导（特色）产业的其他三类工业建设项目；新建二类、三类工业项目污染物排放水平需达到同行业国内先进水平。调整优化产业结构，鼓励发展绿色石化等园区主导产业，限制新建皮革、毛皮、羽毛（绒）制品（仅含制革、毛皮鞣制），纸浆、溶解浆、纤维浆等制造，造纸（含废纸造纸），水泥制造，炼铁、球团、烧结，炼钢，黑色金属铸造等三类工业项目。除向区域集中供热的热电联产项目外，禁止新建、扩建使用高污染燃料锅炉项目。集中供热范围内，原则上禁止新建、扩建蒸汽锅炉（导热油锅炉除外）。鼓励采用余热回收装置。新扩建燃气锅炉 NO_x 排放要求达到 50mg/m³，鼓励达到 30mg/m³ 的要求。 优化准入片：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；新建二类、三类工业项目污染物排放水平需达到同行业国内先进水平。优化产业结构，鼓励发展新材料、生物医药、节能环保、高端装备制造等产业。除主导产业配套项目外，限制新建不符合园区定位和主导产业的其他三类工业项目。现有不符合园区主导产业的三类工业企业，允许实施不增加主要污染物排放的改扩建项目。禁止新建、扩建非自身配套的电镀、喷漆、酸洗、磷化等项目。	本项目为核技术利用项目，为工业企业提供无损检测的服务，满足该区“空间布局约束”	是
2	污染物排放管控 重点准入片：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。印染、电镀行业水污染物指标实行同行业减量替代。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。强化氮氧化物排放浓度及总量管控，石化行业新建、扩建加热炉氮氧化物浓度年均值低于 50mg/m³。推进工业园区（工业企业）“污水零直排区”建设，所有企业实现雨污分流。现有石化、化工等企业应按照相关行业整治要求等限期开展提标升级改造，加强对纳管企业总氮、盐分、重金属和其他有毒有害污染物的管控，强化企业污染治理设施运行	本项目合理可行、符合相关规范要求的“三废”处理措施，对环境的影响很小，不涉及污染物排放总量。	是

		维护管理。加强土壤和地下水污染防治与修复。 优化准入片：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。新建工业项目污染物排放水平要达到同行业国内先进水平。新改扩建排放 VOCs 的项目，加强源头控制，使用低（无）VOCs 含量的涂料、油墨、胶黏剂等，配套安装高效的收集处理措施。推进工业园区（工业企业）“污水零直排区”建设，所有企业实现雨污分流。加强区域内石化、化工、电镀等重点涉水污染企业整治，实施工业企业废水深度处理，推进中水回用，加强对纳管企业总氮、盐分、重金属和其他有毒有害污染物的管控，强化企业污染治理设施运行维护管理。加强土壤和地下水污染防治与修复。现有石化、化工等企业应按照相关行业整治要求等限期开展提标升级改造。		
3	环境 风险 防控	定期评估沿江河海工业企业、工业集聚区环境与健康风险，落实防控措施。强化工业企业环境风险防范设施建设和监管。涉化企业按规定编制环境突发事件应急预案，重点加强事故废水应急池建设，以及应急物资的储备和应急演练。化工园区建立大气环境风险防控体系，建立常态化的企业隐患排查整治监管机制，制定园区应急预案，构建区域联动一体的应急响应体系，实行联防联控。建立土壤污染隐患排查和定期监测制度，开展园区及周边土壤和地下水环境风险点位布设，根据园区产业特点，制定“常规+特征”污染物监测指标体系，定期组织园区及周边土壤和地下水环境风险监测。应在工业用地与居民区之间设置一定宽度的环境隔离带。	企业已制定《辐射事故应急预案》并定期演练。本项目位于浙江省宁波市镇海区蛟川街道炼化路（东至现状管廊带，西至现状企业，南至规划道路），本项目评价范围内无居民区。	是
4	资源 开发 效率 要求	落实最严格水资源管理制度，实施“分质供水、优水优用”，推进大工业供水和中水回用。推进重点行业企业清洁生产改造，提高工业水循环利用率，减少新鲜水的消耗。落实煤炭消费减量替代要求，提高能源使用效率。	本项目使用清洁能源，运行过程推进清洁生产理念，节约资源，提高能源有效利用。	是

综上所述，本项目不涉及生态保护红线、符合环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单的要求，本项目的建设符合“三线一单”的要求。

1.3 项目地理位置、项目周边环境概况、选址合理性及布局合理性分析

1.3.1 项目地理位置

宁波甬安检测技术有限公司租赁的综合厂房位于浙江省宁波市镇海区蛟川街道炼化路（东至现状管廊带，西至现状企业，南至规划道路）；综合厂房东侧为中国石化镇海炼化分公司；综合厂房南侧为空地，规划为工业用地；综合厂房西侧为空地，规划为工业用地；综合厂房北侧为镇海石化建安工程股份有限公司现有厂房。项目地理位置图见附图 1，项目周边环境关系图见附图 3。

1.3.2 项目周边环境概况

本项目位于浙江省宁波市镇海区蛟川街道炼化路（东至现状管廊带，西至现状企业，南至规划道路）的综合厂房内北侧，项目周边情况详见下表。

表1-2 探伤机房（含配套储源室）工作场所四周环境概况

序号	名称	方位	距探伤机房边界最近距离（m）
1	室外道路	东侧	2
2	镇海石化建安工程股份有限公司生产车间、规划工业用地	南侧	紧邻
3	镇海石化建安工程股份有限公司生产车间、规划工业用地	西侧	紧邻
4	操作间、北侧温控室等其他工作房间	北侧	紧邻
5	自动洗片室、评片室等辅助用房、镇海石化建安工程股份有限公司生产车间	北侧	紧邻
6	镇海石化建安工程股份有限公司重型二厂房	北侧	33
7	不上人屋面	上方	紧邻

注：1、为便于描述，探伤机房东侧偏北以东侧进行描述。

2、探伤机房要借助工具检修钢梯才能通向屋顶，检修钢梯平时处于上锁状态，企业承诺检修时须告知探伤机房操作人员停机后上屋顶平台，其他时间均无人上屋顶，承诺书见附件 12。

本项目拟建探伤机房实体边界外 50m 评价范围无现有核技术利用项目，本项目拟建探伤机房实体边界外 50m 评价范围主要为镇海石化建安工程股份有限公司内部建筑及道路，本项目保护目标主要为辐射工作人员、机房周围的其他工作人员和公众人员。本项目地理位置见附图 1，周边环境关系图见附图 3。

1.3.3 选址合理性分析

本项目位于浙江省宁波市镇海区蛟川街道炼化路（东至现状管廊带，西至现状企业，南至规划道路）的综合厂房内北侧，根据《建设用地规划许可证》（地字第 330211202200026），本项目用地为工业用地，周围无环境制约因素。本项目拟建探伤机房实体边界外 50m 评价范围主要为镇海石化建安工程股份有限公司内部建筑及道路，不涉及生态保护红线，无居民区、医院、幼儿园等敏感建筑。项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的防护治理措施后对周围环境辐射影响是可接受的，故本项目探伤机房的选址是合理的。

1.3.4 布局合理性分析

本项目探伤机房（含配套储源室）东侧为室外道路，南侧为镇海石化建安工程股份有限公司生产车间，西侧为镇海石化建安工程股份有限公司生产车间，北侧为镇海石化建安工程股份有限公司生产车间、操作间等辅助用房、镇海石化建安工程股份有限公司重型二厂房，楼下为土层，楼上为不上人屋面。本项目探伤机房所在综合厂房平面布局图见附图 4。

本项目探伤机房与操作间分离，电子直线加速器主射方向为由北朝南，机房设置迷道且设有人员防护门。X 射线探伤机主射不朝操作间， γ 射线探伤机拟配置准直器，其有用线束方向不朝向操作间，符合《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求。

综上所述，本项目探伤机房的平面布置是合理的。

1.4 原有核技术利用情况

1.4.1 企业原有项目许可情况

宁波甬安检测技术有限公司已取得《辐射安全许可证》，证书编号：浙环辐证[B0002]（见附件 6）；发证日期：2023 年 01 月 13 日，有效期至 2028 年 01 月 12 日；许可的种类和范围：使用Ⅱ类放射源；使用Ⅱ类射线装置。宁波甬安检测技术有限公司原有已许可的放射源、射线装置情况见表 1-3。

表 1-3 现有放射源、射线装置一览表

序号	名称	规格型号	数量	技术参数	类别	使用场所	环评情况	验收情况
1	⁷⁵ Se	/	10	3.7×10 ¹² Bq	Ⅱ	现场探伤、室内探伤	浙环辐[2007]168 号、浙环辐[2013]3 号	浙环辐验[2015]29 号
			7	3.7×10 ¹² Bq	Ⅱ			2017 年 11 月自主验收
			25	3.7×10 ¹² Bq	Ⅱ		2023 年辐射安全分析材料	/
2	¹⁹² Ir	/	4	3.7×10 ¹² Bq	Ⅱ	现场探伤、室内探伤	浙环辐[2007]168 号、浙环辐[2013]3 号	浙环辐验[2015]29 号
				3.7×10 ¹² Bq	Ⅱ			
			2	3.7×10 ¹² Bq	Ⅱ		2023 年辐射安全分析材料	/
3	X 射线探伤机	RT-2305T	1	230kV、5mA	Ⅱ	现场探伤、室内探伤	浙环辐[2007]168 号、浙环辐[2013]3 号	浙环辐验[2015]29 号
4	X 射线探伤机	RT-2504D	1	250kV、5mA	Ⅱ	现场探伤、室内探伤	浙环辐[2007]168 号、浙环辐[2013]3 号	浙环辐验[2015]29 号
5	X 射线探伤机	RT-2505D	1	250kV、5mA	Ⅱ	现场探伤、室内探伤	浙环辐[2007]168 号、浙环辐[2013]3 号	浙环辐验[2015]29 号
6	X 射线探伤机	2504 DH	1	250kV、5mA	Ⅱ	现场探伤、室内探伤	浙环辐[2007]168 号、浙环辐[2013]3 号	浙环辐验[2015]29 号
7	X 射线探伤机	RD-300 LGP	1	300kV、5mA	Ⅱ	现场探伤、室内探伤	浙环辐[2007]168 号、浙环辐[2013]3 号	浙环辐验[2015]29 号
8	X 射线探伤机	RT-3005D	1	300kV、5mA	Ⅱ	现场探伤、室内探伤	浙环辐[2007]168 号、浙环辐[2013]3 号	浙环辐验[2015]29 号
9	X 射线探伤机	RT-300 5DH	1	300kV、5mA	Ⅱ	现场探伤、室内探伤	浙环辐[2007]168 号、浙环辐[2013]3 号	浙环辐验[2015]29 号
10	X 射线探伤机	ISOVO LTTIT AN/Neo 450	1	450kV、10mA	Ⅱ	现场探伤、室内探伤	浙环辐[2007]168 号、浙环辐[2013]3 号	浙环辐验[2015]29 号

1.4.2 原有核技术利用项目管理情况

(1) 宁波甬安检测技术有限公司已成立了辐射组织机构，全面负责公司的辐射活动管理。公司根据现有核技术利用项目不断地制定和完善相关辐射规章制度，最新的辐射规章制度见附件 9，公司建立了辐射工作人员个人剂量管理档案、职业健康检查档案、危险废物台账、探伤机使用台账等。

(2) 宁波甬安检测技术有限公司已组织现有辐射工作人员进行辐射安全防护培训并考核合格，辐射安全防护培训证书均在有效期内；2023 年已组织现有辐射工作人员在镇海炼化医院进行了职业健康检查，结论均为“可从事放射工作”或“可继续原放射工作”。

(3) 辐射工作期间，要求辐射工作人员佩戴个人剂量计，建立个人剂量档案并终生存档保存，个人剂量计每三个月送检一次。宁波甬安检测技术有限公司开展了辐射工作人员剂量监测，由结果可以看出：2022 年第 4 季度~2023 年第 3 季度宁波甬安检测技术有限公司现有辐射工作人员单季度个人剂量和年个人剂量均满足年剂量管理约束值和 GB18871-2002 的“剂量限值”的要求。

(4) 宁波甬安检测技术有限公司现有辐射工作场所设置有电离辐射警示牌、报警装置和显示“预备”和“照射”状态的指示灯等辐射安全防护措施。根据不同项目实际情况划分辐射防护控制区和监督区，采取分区管理，进行积极、有效的管控。

(5) “三废”处理

企业现有核技术利用项目运行过程中无放射性废气、放射性废水产生，“三废”污染物主要为废旧放射源、探伤洗片和评片过程中产生的废显（定）影液、废胶片及臭氧和氮氧化物等。目前企业已与浙江省科学器材进出口有限责任公司签订了放射性同位素转让及退役源协议，废旧放射源均按国家相关法律规定及时进行收贮，详见附件15；公司已与宁波大地环保有限公司签订了危废委托处置协议（见附件13），危废集中收集后统一交由有资质单位进行处理，2023年共处理实验室废液（含废显定影液、洗片废水）1.01吨，危废转移联单见附件14。现有探伤室和现有放射源暂存库已设置机械排风系统，少量的臭氧和氮氧化物通过风管引至室外，影响较小。

(6) 宁波甬安检测技术有限公司每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所进行年度监测，根据建设单位提供的监测报告，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，宁波甬安检测技术有限公司现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展核技术利用项目的辐射安全防护要求。根据企业提供的资料，企业已按要求编写了辐射安全与防护状况评估报告，每年定期上报至发证机关。

(7) 宁波甬安检测技术有限公司已制定《辐射事故应急预案》并定期进行演练。经与企业核实，自核技术利用项目开展以来，未发生过辐射事故。

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
1	⁷⁵ Se	3.7×10 ¹² Bq×1 枚	II	使用	工业探伤	综合厂房 探伤机房	企业现有放射源暂存库	利用已许可放射源，临时贮存在探 伤机房储源室
2	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹² Bq×1 枚	II	使用	工业探伤	综合厂房 探伤机房	企业现有放射源暂存库	利用已许可放射源，临时贮存在探 伤机房储源室

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》（GB 18871-2002）

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	装置名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量 (MeV)	活动 种类	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	电子直线 加速器	II类	1 台	型号未定	电子	6	使用	距靶 1m 处最大空气吸收剂 量率为 9×10 ⁸ μGy/h	工业探伤	综合厂房 探伤机房	拟购

(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	X 射线探伤机	Ⅱ类	1 台	450-M2/10	450	10	工业探伤	综合厂房 探伤机房	利用已许可在用的 X 射线探伤机

(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
废靶	固态	/	/	/	/	/	/	如有废靶产生，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），应对废靶外表面进行辐射剂量率监测，符合解控水平后由设备厂家回收利用。
废放射源	固态	⁷⁵ Se	年产生 1 枚，10~15 个月更换一次				临时暂存于企业现有放射源暂存库	及时由放射源生产单位回收处理
	固态	¹⁹² Ir	年产生 1 枚，7~11 个月更换一次				临时暂存于企业现有放射源暂存库	及时由放射源生产单位回收处理
报废的 γ 射线探伤机	固态	/	超过 10 年安全使用期限的 γ 射线探伤机，拟报废				临时暂存于企业现有放射源暂存库	由 γ 射线探伤机生产单位回收处理。
废显（定）影液	液态	/	/	约 5.8kg	约 70kg	/	专用容器收集 后暂存于现有 危废暂存间	委托有资质单位处理
废胶片	固态	/	/	约 2.3kg	约 28kg	/		
洗片废液	液态	/	/	约 14.6kg	约 175kg	/		
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	少量	/	臭氧半衰期一般为 20~30 分钟，经通排风系统排入大气中。

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

2、含有放射性的废弃物要标明其排放浓度、年排放总量，单位分别为 Bq/L（kg、m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法（2014 年修订）》（中华人民共和国主席令第 9 号，2015 年 1 月 1 日起施行）； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法（2018 年修订）》（中华人民共和国主席令第 24 号，2018 年 12 月 29 日起施行）； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令第 6 号，2003 年 10 月 1 日起施行）； (4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法（2020 年修订）》，主席令第四十三号，2020 年 9 月 1 日起施行； (5) 《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）； (6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（中华人民共和国生态环境部令第 16 号），自 2021 年 1 月 1 日起施行； (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 709 号修订，2019 年 3 月 2 日）； (8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021 年修正本）》（生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行）； (9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行）； (10) 《关于发布射线装置分类的公告》（原环境保护部国家卫生和计划生育委员会 2017 年第 66 号，自 2017 年 12 月 5 日起施行）； (11) 《关于发布放射源分类办法的公告》（原国家环保总局公告 2005 年第 62 号，自 2005 年 12 月 28 日起施行）； (12) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第 9 号，2019 年 11 月 1 日施行； (13) 《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 10 月 24 日施行； (14) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019 年第 39 号，2019 年 10 月 25 日施行；
------	---

	(15) 《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，2019 年 12 月 24 日施行； (16) 《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）； (17) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中华人民共和国国家发展和改革委员会第 7 号令，2024 年 2 月 1 日起施行； (18) 《关于印发〈关于 γ 射线探伤装置的辐射安全要求〉的通知》，环发〔2007〕8 号，原国家环境保护总局，2007 年 1 月 15 日起施行； (19) 《关于做好放射性废物（源）收贮工作的通知》，环办辐射函〔2017〕609 号，原环境保护部办公厅，2017 年 4 月 21 日起施行； (20) 《放射性物品运输安全管理条例》，国务院令第 562 号，2010 年 1 月 1 日起施行； (21) 《放射性废物安全管理条例》，国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行； (22) 《放射性物品运输安全许可管理办法（2021 年修改）》，生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行； (23) 《放射性物品道路运输管理规定（2016 年修改）》，交通运输部令 2016 年第 71 号，2016 年 9 月 2 日起施行； (24) 《放射性废物分类》，原环境保护部、工业和信息化部与国防科工局公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行； (25) 《关于实施“三线一单”生态环境分区管控的指导意见（试行）》，环环评〔2021〕108 号，生态环境部办公厅，2021 年 11 月 19 日印发； (26) 《危险废物转移管理办法》，生态环境部令第 23 号，2022 年 1 月 1 日起施行。 (27) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》（2021 年省政府令第 388 号修订），2021 年 2 月 10 日施行； (28) 《浙江省辐射环境管理办法》（2021 年省政府令第 388 号修订），2021 年 2 月 10 日施行； (29) 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（2023 年本）》的通知，浙环发〔2023〕33 号，浙江
--	--

	省生态环境厅，2023 年 9 月 9 日起实施； (30) 《浙江省生态环境保护条例》，浙江省人民代表大会常务委员会第 71 号公告，自 2022 年 8 月 1 日施行。
技术标准	(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)； (2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)； (3) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-85)； (4) 《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T30371-2013)； (5) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)； (6) 《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)； (7)《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》(GBZ 114-2006)； (8) 《γ 射线探伤机》(GB/T 14058-2023)； (9) 《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597-2023)； (10) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)； (11) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)； (12) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)。
其他	(1) 委托书； (2) 建设单位提供的其他资料。

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》（HJ 10.1-2016）的规定：“放射源和射线装置的评价范围，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）”，结合本项目的辐射污染特点（探伤机房内使用II类射线装置、II类放射源），本项目评价范围取拟建探伤机房（含储源室）实体边界外 50m 范围内区域，评价范围详见附图 3。

7.2 保护目标

根据现场调查分析可知，本项目拟建探伤机房（含储源室）实体边界外 50m 评价范围无现有核技术利用项目，本项目拟建探伤机房（含储源室）实体边界外 50m 评价范围主要为镇海石化建安工程股份有限公司内部建筑及道路，本项目保护目标主要为辐射工作人员、机房周围的其他工作人员和公众人员。

表 7-1 本项目评价范围内环境保护目标情况一览表

环境保护目标		规模	方位	最近距离（m）	剂量约束值（mSv/a）
辐射工作人员	加速器操作间、其他探伤装置操作间、评片室、自动洗片室、储片室	9 人	探伤机房北侧	紧邻	5
公众人员	室外道路	50 人次/天	探伤机房东侧	2	0.1
	镇海石化建安工程股份有限公司生产车间（综合厂房）	50 人	探伤机房南侧、西侧、北侧	紧邻	
	配电间	2 人次/天	探伤机房北侧	紧邻	
	温控室	2 人	探伤机房北侧	紧邻	
	厕所	50 人次/天	探伤机房北侧	紧邻	
	超声波操作间	5 人	探伤机房北侧	紧邻	
	烘片室	2 人次/天	探伤机房北侧	紧邻	
	工具间	2 人	探伤机房北侧	紧邻	
	检测室	2 人	探伤机房北侧	紧邻	
	仪器仪表间	5 人	探伤机房北侧	紧邻	
	镇海石化建安工程股份有限公司重型二厂房	50 人	探伤机房北侧	30	

注：探伤机房地下为土层，屋顶平台射线装置运行时无人到达，不作为环境保护目标。

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。

(1) 剂量限值

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：

①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；

②任何一年中的有效剂量，50mSv。

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：

①年有效剂量，1mSv。

(2) 分区

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

6.4.1 控制区

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

6.4.2 监督区

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

7.3.2 《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T30371-2013)

本标准适用于能量为 15MeV 以下的无损检测用电子直线加速器工程，包括胶片 X 射线照相、计算机 X 射线成像(CR)、数字 X 射线实时成像、数字 X 射线照相(DR)及工业计算机 X 射线层析扫描(CT)等。

5.3.7.1 泄漏剂量

在 X 射线束前向准直器 $\pm 1/2$ 准直器锥角到 $\pm 180^\circ$ 的范围内，距靶 1m 处泄漏剂量率与 X 射线束中心轴线上剂量率的百分比应小于 0.1%。

8 射线无损检测建筑物工程

8.1.3 辐射防护安全要求

8.1.3.1 辐射屏蔽材料采用混凝土时，其强度等级不应低于 C25，密度不应低于 2350kg/m^3 。

8.1.3.2 辐射屏蔽室的结构及预埋件、穿越防护墙线缆及管道应满足所有设备安装、运行、检修和维护的要求，且不能影响辐射防护效果。

8.1.3.3 辐射屏蔽室外围的辐射剂量水平应符合 GB18871-2002 的职业照射剂量限值要求；在工程设计时辐射防护设计的剂量规定为：职业照射个人年有效剂量限值为 5mSv ；公众成员个人年有效剂量限值为 0.1mSv 。

8.1.3.4 屏蔽门与墙体搭接合理，间隙与搭接比值不小于 $1/10$ 。

8.1.3.5 辐射屏蔽室应设有功能齐全、性能可靠的安全联锁系统和监视系统、紧急停机开关等装置；装备多个射线源装置时，应能联锁切换。

8.1.3.6 辐射屏蔽室迷道入口处应设置显示加速器运行状态的灯光信号和其他警示标志。

8.1.3.7 剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备。

8.1.3.8 其他物理因素安全要求见附录 B。

B3 有害其他职业接触限值

按照 GB2.1-2019，有害气体职业接触限值如下：

臭氧，最高容许浓度： 0.3mg/m^3 ；

氮氧化物的时间加权平均容许浓度为 5mg/m^3 。

7.3.3 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）

本标准适用于 500kV 以下工业 X 射线探伤装置的探伤室。

3.2 需要屏蔽的辐射

3.2.1 相应有用线束的整个墙面均考虑有用线束屏蔽，不需考虑进入有用线束区的散射辐射。

3.2.2 散射辐射考虑以 0° 入射探伤工件的 90° 散射辐射。

3.2.3 当可能存在泄漏辐射和散射辐射的复合作用时，通常分别估算泄漏辐射和各项散射辐射，当它们的屏蔽厚度相差一个半值层厚度（TVL）或更大时，采用其中较厚的屏蔽，当相差不足一个 TVL 时，则在较厚的屏蔽上增加一个半值层厚度（HVL）。

3.3 其他要求

3.3.1 探伤室一般应设有人员门和单独的工件门。对于探伤可人工搬运的小型工件探伤室。可以仅设人员门。探伤室人员门宜采用迷路的形式。

3.3.2 探伤装置的操作间应置于探伤室外，操作间和人员门应避开有用线束照射的方向。

3.3.3 屏蔽设计中，应考虑缝隙、管孔和薄弱环节的屏蔽。

3.3.4 当探伤室使用多台 X 射线探伤装置时，按最高管电压与相应该管电压下的常用最大管电流设计屏蔽。

3.3.5 应考虑探伤室结构、建筑费用及所占空间，常用的材料为混凝土、铅和钢板等。

7.3.4 《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）

本标准规定了 X 射线和 γ 射线探伤的放射防护要求。

本标准适用于使用 600kV 及以下的 X 射线探伤机和 γ 射线探伤机进行的探伤工作（包括固定式探伤和移动式探伤），工业 CT 探伤和非探伤目的同辐射源范围的无损检测参考使用。

本标准不适用于加速器和中子探伤机进行的工业探伤工作。

5.2.3 放射源的贮存和领用

5.2.3.1 使用单位应设立专用的放射源（或带源的探伤机）的贮存库。

5.2.3.2 移动式探伤工作间歇临时贮存含源容器或放射源、控制源，应在专用的贮存设施内贮存。现场存储设施包括可上锁的房间、专用存储箱或存储坑等。应具有与使用单位主要基地的存储设施相同级别的防护。临时贮存完毕，应进行巡测，确保存储安全。

5.2.3.3 放射源贮存设施应达到如下要求

a)严格控制对周围人员的照射、防止放射源被盗或损坏，并能防止非授权人员采取任何损伤自己或公众的行动，贮存设施门口应设置电离辐射警告标志；

b)应能在常规环境条件下使用，结构上防火，远离腐蚀性和爆炸性等危险因素；

c)在公众能接近的距外表面最近处，其屏蔽应能使该处周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h 或者审管部门批准的控制水平；

d)贮存设施的门应保持在锁紧状态，实行双人双锁管理；

e)定期检查物品清单，确认探伤源、源容器和控制源的存放地点。

5.2.3.4 放射源的储存应符合 GA1002 的相关要求。

5.2.3.5 使用单位应制定放射源领用及交还制度，建立领用台帐，明确放射源的流向，并有专人负责。

5.2.3.6 领用、交还含放射源的源容器时，应对离源容器外表面一定距离处的周围剂量当量率进行测量，确认放射源在源容器内。含放射源的源容器应按规定位置存放，领用和交还都应有详细的登记。

5.2.4 放射源的运输和移动

5.2.4.1 放射源的货运运输要求按 GB11806 的规定执行，应满足 A 类与 B 类运输货包要求。在运输过程中，源窗应处于关闭状态，并有专门的锁定装置。

5.2.4.2 含源装置应置于储存设施内运输，只有在合适的源容器内正确锁紧并取出钥匙后方能移动。

5.2.4.3 在不涉及公用道路的厂区内移动时，应使用小型车辆或手推车，使含源装置处于人员监视之下。

5.2.5 废旧放射源的处理

使用单位应与生产销售单位签订废旧放射源返回协议，当放射源需报废时，应按照协议规定将废旧放射源返回生产单位或原出口方。放射源的购买及报废手续应遵照相应审管部门的具体规定，相关文件记录应归档保存。

6.1 探伤室放射防护要求

6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全，操作间应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探伤室门的防护性能应不小于同侧墙的防护性能。X 射线探伤室的屏蔽计算方法参见 GBZ/T250。

6.1.2 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。

6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：

a)关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于 $100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，对公众场所，其值应不大于 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

b)屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

6.1.4 探伤室顶的辐射屏蔽应满足：

a)探伤室上方已建、拟建建筑物或探伤室旁邻近建筑物在自辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时，探伤室顶的辐射屏蔽要求同 6.1.3；

b)对没有人员到达的探伤室顶,探伤室顶外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平通常可取 $100\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.5 探伤室应设置门-机联锁装置,应在门(包括人员进出门和探伤工件进出门)关闭后才能进行探伤作业。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。在探伤过程中,防护门被意外打开时,应能立刻停止出束或回源。探伤室内有多台探伤装置时,每台装置均应与防护门联锁。

6.1.6 探伤室门口和内部应同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置,并与探伤机联锁。“预备”信号应持续足够长的时间,以确保探伤室内人员安全离开。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别,并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。在醒目的位置处应有对“照射”和“预备”信号意义的说明。

6.1.7 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置,在操作间的操作台应有专用的监视器,可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。

6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。

6.1.9 探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳,确保出现紧急事故时,能立即停止照射。按钮或拉绳的安装,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。按钮或拉绳应带有标签,标明使用方法。

6.1.10 探伤室应设置机械通风装置,排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。

6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。

6.2 探伤室探伤操作的放射防护要求

6.2.1 对正常使用的探伤室应检查探伤室防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。

6.2.2 探伤工作人员在进入探伤室时,除佩戴常规个人剂量计外,还应携带个人剂量报警仪和便携式 X- γ 剂量率仪。当剂量率达到设定的报警阈值报警时,探伤工作人员应立即退出探伤室,同时防止其他人进入探伤室,并立即向辐射防护负责人报告。

6.2.3 应定期测量探伤室外周围区域的剂量率水平,包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。测量值应与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时,应终止探伤工作并向辐射防护负责人报告。

6.2.4 交接班或当班使用便携式 X- γ 剂量率仪前，应检查是否能正常工作。如发现便携式 X- γ 剂量率仪不能正常工作，则不应开始探伤工作。

6.2.5 探伤工作人员应正确使用配备的辐射防护装置，如准直器和附加屏蔽，把潜在的辐射降到最低。

6.2.6 在每一次照射前，操作人员都应该确认探伤室内部没有人员驻留并关闭防护门。只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开始探伤工作。

6.2.7 开展探伤室设计时未预计到的工作，如工件过大等特殊原因必须开门探伤的，应遵循本标准第 7.1 条～第 7.4 条的要求。

6.3 探伤设施的退役

当工业探伤设施不再使用，应实施退役程序。包括以下内容：

a)有使用价值的 γ 放射源可在获得监管机构批准后转移到另一个已获使用许可的机构，或者按照本标准第 5.2.5 条中废旧放射源的处理要求执行。

b)掺入贫铀的屏蔽装置应与 γ 射线源一样对待。

c)X 射线发生器应处置至无法使用，或经监管机构批准后，转移给其他已获许可机构。

d)包含低活度 γ 射线源的管道爬行器，应按照相关要求执行。

e)当所有辐射源从现场移走后，使用单位按监管机构要求办理相关手续。

f)清除所有电离辐射警告标志和安全告知。

g)对退役场所及相关物品进行全面的辐射监测，以确认现场没有留下放射源，并确认污染状况。

7.3.5 项目管理目标

(1) 剂量约束限值

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）与《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T30371-2013），确定本项目剂量约束限值：职业人员年有效剂量不超过 **5mSv**，公众年有效剂量不超过 **0.1mSv**。

(2) 工作场所辐射剂量率控制水平

表 7-2 本项目辐射工作场所的辐射剂量率控制水平

工作场所		关注点	辐射剂量率控制水平	依据
探伤机房	X 射线探伤机	探伤机房四周墙外、防护门外 30cm 处	2.5μSv/h	根据《工业探伤放射防护标准》 （GBZ117-2022）
		顶棚 30cm 处	100μSv/h	
	γ 射线探伤机	探伤机房四周墙外、防护门外 30cm 处	2.5μSv/h	根据《工业探伤放射防护标准》 （GBZ117-2022）
		顶棚 30cm 处	100μSv/h	
	电子直线加速器	探伤机房四周墙外、防护门外 30cm 处	2.5μSv/h	参考《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》 （HJ785-2016）
		顶棚 30cm 处	100μSv/h	参考《放射治疗辐射安全与防护要求》 （HJ1198-2021）
	储源室	储源室四周墙外、防护门外 30cm 处	2.5μSv/h	根据《工业探伤放射防护标准》 （GBZ117-2022）
		顶棚 30cm 处	2.5μSv/h	
		储源箱表面外 30cm 处	2.5μSv/h	
注：储源室实体屏蔽围成的内部区域为控制区，属于公众不可达区域。基于辐射安全管理，本报告从严处理，将储源室内储源箱表面外30cm处周围剂量当量率控制限值按2.5μSv/h进行管理。				

(3) 臭氧与氮氧化物浓度限值

根据《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》(GB2.1-2019) 及第1号修改单，臭氧职业接触限值：最高容许浓度：0.3mg/m³；氮氧化物的时间加权平均容许浓度为5mg/m³。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

本项目位于浙江省宁波市镇海区蛟川街道炼化路（东至现状管廊带，西至现状企业，南至规划道路）的综合厂房内北侧。本项目探伤机房东侧为室外道路，南侧为镇海石化建安工程股份有限公司生产车间，西侧为镇海石化建安工程股份有限公司生产车间，北侧为镇海石化建安工程股份有限公司生产车间、操作间等辅助用房、镇海石化建安工程股份有限公司重型二厂房，楼下为土层，楼上为不上人屋面。本项目拟建探伤机房实体边界外 50m 评价范围无现有核技术利用项目，本项目拟建探伤机房实体边界外 50m 评价范围主要为镇海石化建安工程股份有限公司内部建筑及道路，本项目保护目标主要为辐射工作人员、机房周围的其他工作人员和公众人员。本项目地理位置见附图 1，周边环境关系图见附图 3。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

8.2.1 环境现状评价对象

探伤机房拟建场址及周边。

8.2.2 监测因子

γ 辐射空气吸收剂量率。

8.2.3 监测点位

根据项目的平面布置、项目情况和周围环境情况布设监测点，监测点位见图 8-1。



图 8-1 探伤机房拟建场址及周围 γ 辐射剂量率监测布点图

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：浙江亿达检测技术有限公司。
- (2) 监测日期：2022 年 11 月 22 日。
- (3) 监测方式：现场检测。
- (4) 监测依据：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。
- (5) 监测频次：依据标准予以确定。
- (6) 监测工况：探伤机房未建成，设备未安装。
- (7) 天气环境条件：天气：阴；温度：18℃；相对湿度：83%。
- (8) 监测报告编号：浙亿检（环）字 HJ 2022 第 0208 号。
- (9) 监测设备

表 8-1 监测设备

检测仪器	X、 γ 辐射周围剂量当量率仪
仪器型号	6150 AD 6/H (内置探头：6150 AD-b/H 外置探头：6150 AD 6/H)
仪器编号	167510+165455
生产厂家	Automess
量 程	内置探头：0.05 μ Sv/h~99.99 μ Sv/h 外置探头：0.01 μ Sv/h~10mSv/h
能量范围	内置探头：20keV-7MeV $\leq\pm 30\%$ 外置探头：60keV-1.3MeV $\leq\pm 30\%$
检定证书编号	2022H21-20-3813605002
检定证书有效期	2022 年 02 月 18 日至 2023 年 02 月 17 日
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心
校准因子 C_f	1.09
探测限	≥ 10 nSv/h

8.3.2 质量保证措施

- (1) 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；
- (2) 监测方法采用国家有关部门颁发的标准，监测人员经考核并持合格证书上岗；
- (3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用；
- (4) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；
- (5) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录；
- (6) 监测报告严格实行三级审核制度，经过校核、审核，最后由技术负责人审定。

8.3.3 监测结果

本项目辐射环境现状各监测点位的监测结果见表 8-2。

表 8-2 辐射环境现状监测布点及结果一览表

检测点编号	检测点位描述	γ 辐射空气吸收剂量率(nGy/h)	
		平均值	标准差
1#	探伤机房拟建址（室外）	77	1
2#	探伤机房拟建址东侧（室外）	85	1
3#	探伤机房拟建址南侧（室外）	78	2
4#	探伤机房拟建址西侧（室外）	83	3
5#	探伤机房拟建址北侧（室外）	76	1
6#	重型二厂房（室内）	85	2

注：1、本次测量时，测量时仪器探头垂直向下，距地面的参考高度为 1m，仪器读数稳定后，以 10s 为间隔读取 10 个数据；

2、本次检测设备测量读数的空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照 JJG393，使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取 1.20Sv/Gy；

3、 γ 辐射空气吸收剂量率均已扣除宇宙射线响应值 30nGy/h，本样品中建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，6#点位取 0.9，1~5#点位取 1。6#点为室内，1~5#点为室外。

8.4 环境现状调查结果的评价

由表 8-2 监测结果可知，本项目拟建场所各监测点位室内 γ 辐射空气吸收剂量率为 85nGy/h，室外 γ 辐射空气吸收剂量率在 76nGy/h~85nGy/h 之间。根据《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知：浙江省宁波市室内的 γ 辐射空气吸收剂量率在 80nGy/h~194nGy/h 之间，宁波市道路的 γ 辐射空气吸收剂量率在 81nGy/h~86nGy/h 之间，可见项目所在地的 γ 辐射本底水平在正常波动范围内。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 建设阶段工程分析

9.1.1 建设阶段工艺流程及产污环节

本项目施工期涉及到综合厂房内探伤机房及配套用房的施工建设、装修装饰以及设备调试阶段，施工期工艺流程及产污环节如下：

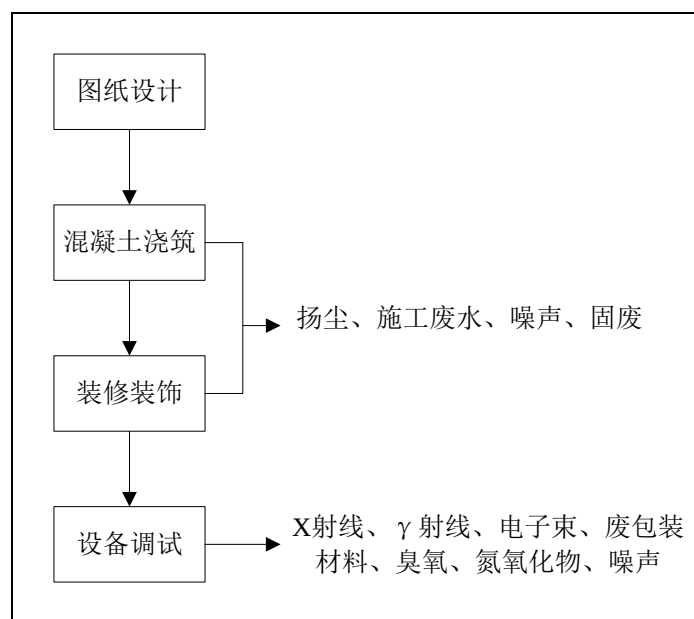


图 9-1 建设阶段工艺流程及产污环节图

本项目施工期污染物主要包括：

（1）扬尘

由于本项目施工期大气污染物主要为扬尘。建设单位应加强施工场地管理，施工采取湿法作业，尽量降低建筑粉尘对周围环境的影响，现场堆积建筑原料或建筑垃圾应采取一定的遮盖措施，避免风力扬尘。

（2）噪声

施工设备应考虑选择低噪声设备，施工过程防止机械噪声的超标。设备调试阶段，噪声主要是设备运行过程中产生的噪声以及排风系统风机产生的噪声，工作场所使用的通排风系统均为低噪声节能排风机，其噪声值低于 60dB(A)。

（3）废水

施工期产生的废水主要为施工废水和施工人员的生活污水，生活污水产量较小，可依托建设单位化粪池等生活污水处理设施处理后纳入市政污水管网，不得随意排放。

（4）固废

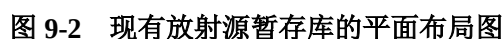
(5) X 射线、 γ 射线、电子束、臭氧、氮氧化物

本项目调试阶段会产生 X 射线、 γ 射线、电子束，同时会产生少量的臭氧和氮氧化物。调试阶段在已经做好辐射防护的机房内进行，张贴电离辐射警告标志，避免无关人员靠近，经墙体的屏蔽及距离衰减后对环境的影响可以接受的。

本项目建设阶段施工期污染源项主要为扬尘、噪声、废水、固废；调试期污染源项主要为 X 射线、 γ 射线、电子束、臭氧、氮氧化物。

9.2.1 现有放射源暂存库工程分析

现有放射源暂存库位于镇海石化建安工程股份有限公司北侧，放射源暂存库内设 12 个源坑，每个源坑存放 1 只铅箱。放射源暂存库平面布置图见图 9-2，铅箱的平面和立面图见如图 9-3。



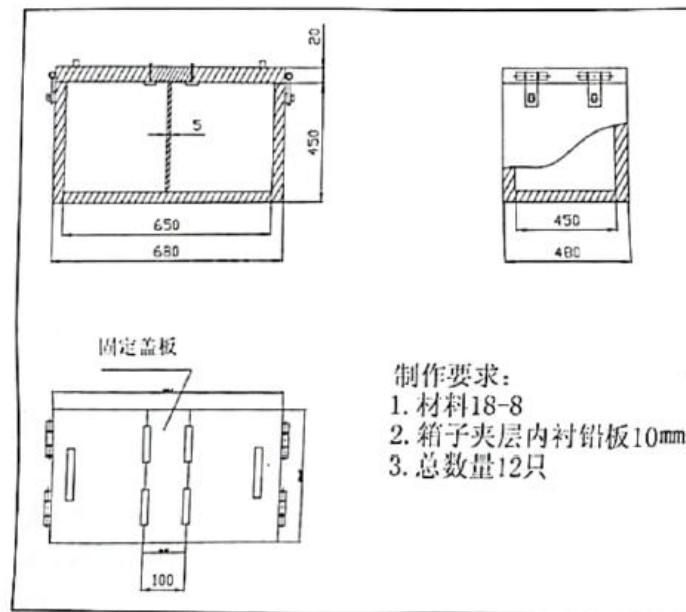


图 9-3 铅箱的平面布局图

(2) 现有放射源暂存库放射源使用情况

现有放射源暂存库放射源使用情况见表 9-1。

表 9-1 现有放射源暂存库放射源使用情况

序号	核素名称	类别	数量	活度 (Bq)	出厂日期	标号	编码	储存场所	工作场所
1	^{75}Se	II	1 枚	2.59E+12	20220221	VC21453	0322SE000362	现有放射源暂存库	探伤室或探伤现场
2	^{75}Se	II	1 枚	2.66E+12	20220411	VC21332	0322SE001812		
3	^{75}Se	II	1 枚	2.66E+12	20220411	VC21373	0322SE001802		
4	^{192}Ir	II	1 枚	3.70E+12	20220530	S21384	0322IR008742		
5	^{75}Se	II	1 枚	3.70E+12	20220529	VC21143	0322SE002902		
6	^{75}Se	II	1 枚	3.70E+12	20220529	VC21141	0322SE002892		
7	^{192}Ir	II	1 枚	3.70E+12	20220721	S21363	0322IR012162		
8	^{75}Se	II	1 枚	2.04E+12	20220822	VC21248	0322SE004252		
9	^{75}Se	II	1 枚	2.04E+12	20220822	VC21534	0322SE004262		
10	^{192}Ir	II	1 枚	3.37E+12	20220922	S21340	0322IR014922		

11	^{75}Se	II	1 枚	3.52E+12	20221107	VC21506	0322SE004832		
12	^{75}Se	II	1 枚	3.52E+12	20221107	VC21505	0322SE004822		
13	^{75}Se	II	1 枚	3.52E+12	20221107	VC21507	0322SE004842		
14	^{75}Se	II	1 枚	3.33E+12	20221209	3031YG	0322SE005452		
15	^{75}Se	II	1 枚	3.33E+12	20221209	VC21529	0322SE005462		
16	^{75}Se	II	1 枚	3.52E+12	20221230	VC21326	0322SE005832		
17	^{75}Se	II	1 枚	3.52E+12	20221230	VC21330	0322SE005872		
18	^{192}Ir	II	1 枚	3.41E+12	20221230	S22191	0322IR019732		
19	^{75}Se	II	1 枚	3.52E+12	20221230	VC21328	0322SE005852		
20	^{75}Se	II	1 枚	3.52E+12	20221230	VC21329	0322SE005862		
21	^{75}Se	II	1 枚	3.52E+12	20221230	VC21327	0322SE005842		

(3) 现有放射源暂存库工艺流程

放射源暂存库实行双人双锁，探伤前放射源存取由放射源暂存库管理员填写《放射源出入库登记表》进行登记，转交给安全员，安全员在登记表签字确认。放射源暂存库管理人员（至少2名）进入放射源暂存库，其中一名管理人员打开一个储源坑（箱）的铅盖，取出其中 γ 探伤机，放入事先准备好的铅箱中，然后用便携式X- γ 剂量率仪进行检测，确认探伤机内有源，合上储源坑的铅盖，把铅箱搬运至放射源专用运输车上，同时记录检测值。探伤工作结束后，含源主机返回放射源暂存库，保管人员对铅箱再次进行检测，并与出库时的检测值对比，确保放射源的存在及处于最佳的屏蔽位置，并做好检测的记录，填写《放射源出入库登记表》，详细记录工程名称（地点），归还人、归还日期及时间，并建立计算机管理档案。

现有放射源暂存库工作及产污流程见图9-4。

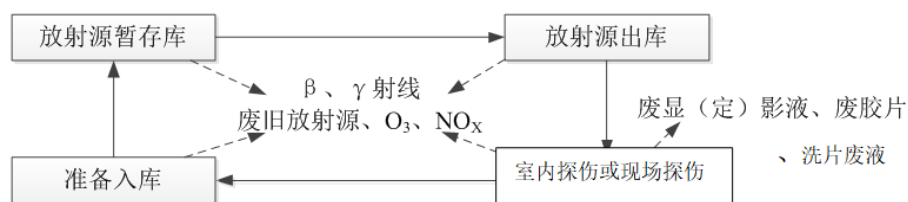


图 9-4 现有放射源暂存库工作及产污流程示意图

(4) 现有放射源暂存库人员管理情况及工作班制

现有放射源暂存库配置 2 名专职管理员，均持有辐射安全与防护培训合格证书，持证上岗。现有放射源暂存库工作人员年工作 300 天，每天工作 8h。

(5) 现有放射源暂存库辐射防护及“三废”治理措施

现有 1#探伤室及放射源暂存库辐射防护及“三废”治理措施情况见表 9-2。

表 9-2 现有放射源暂存库辐射防护及“三废”治理措施情况

四侧墙体、顶棚	西、北侧墙体为 300mm 混凝土，东、南侧墙体为 600mm 混凝土；顶棚为钢结构+300mm 混凝土混合结构
门体防护	普通防盗门，双人双锁。
储源坑	12 个贮源坑，设计尺寸为 0.68m（长）×0.45m（宽）×0.45m（高）。
铅箱尺寸及屏蔽	设计尺寸为 0.68m（长）×0.45m（宽）×0.45m（高）；铅箱六面采用 10mm 厚铅板，中间用 5mm 厚铅板隔开。
通风设施	放射源暂存库里的少量的臭氧和氮氧化物经放射源暂存库的西南侧通风口排到室外
“三废”处理措施	目前公司已与浙江省科学器材进出口有限责任公司签订了放射性同位素转让及退役源协议。放射源暂存库少量的臭氧和氮氧化物通过自然排风至室外。

(6) 现有核技术利用项目达标排放情况

根据2022年2月24日对现有放射源暂存库和现有探伤室的辐射质量现状监测结果（监测报告编号：DQ（2022）检字第FS0224030号；放射源暂存库监测工况：17枚放射源在放射源暂存库源坑中；探伤室监测工况：采用29.9Ci的¹⁹²Ir（放射源编码0321IR015152）γ射线探伤机在18mm厚的直径150mm的圆柱形钢结构工件内照射）。

现有放射源暂存库周围辐射剂量率为（158~481）nGy/h范围内，能满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中对于放射源贮存设施“在公众能接近的距外表面最近处，其屏蔽应能使该处周围剂量当量率小于 2.5 μSv/h 或者审管部门批准的控制水平”的要求；现有探伤室周围辐射剂量率为（67~173）nGy/h范围内，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“探伤室墙和入口门的关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于2.5μSv/h”的要求。

根据2014年建设项目竣工环境保护验收监测表：浙辐监（YS）字2014第055号，运输车辆后部表面的辐射剂量率为2.16μGy/h，运输车辆后部2m处的辐射剂量率为0.58μGy/h，满足《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）中“在常规运输条件下，运输工具外表面上任一点的辐射水平应不超过2mSv/h，在距运输工具外表面2m处的辐射水平应不超过0.1mSv/h。”的要求。现场探伤作业区划分的控制区最大辐射剂量率为3.33μGy/h，划分的监督区最大辐射剂量率为0.32μGy/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的相关要求。

(7) 现有核技术利用项目与现有标准比对情况

现有探伤室与 GBZ117-2022 标准比对结果见表 9-3，现有移动探伤作业与浙环发〔2022〕30 号标准比对结果见表 9-4。另外建设单位加强作业活动的数字化管理工作，规范使用移动探伤放射源在线监管系统，实现作业活动的全流程闭环管理。建设单位现有移动 γ 探伤机都已经安装有 GPS，实现了数字化管理。建设单位应加强终端的日常管理和维护，确保数据上传有效。

表9-3 现有探伤室与GBZ117-2022标准比对结果

序号	标准要求的措施	现有探伤室实际情况及整改内容
1	探伤室应设置门-机联锁装置，应在门（包括人员进出门和探伤工件进出门）关闭后才能进行探伤作业。门-机联锁装置的设置应方便探伤室内的人员在紧急情况下离开探伤室。在探伤过程中，防护门被意外打开时，应能立刻停止出束或回源。探伤室内有多台探伤装置时，每台装置均应与防护门联锁。	工件门和工作人员出入门均安装了门-机联锁装置。探伤室内有多台探伤装置时，每台装置均应与防护门联锁。联锁装置可以实现防护门被意外打开时，应能立刻停止出束或回源。
2	探伤室门口和内部应同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与探伤机联锁。“预备”信号应持续足够长的时间，以确保探伤室内人员安全离开。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。在醒目的位置处应有对“照射”和“预备”信号意义的说明。	探伤室门口和内部设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与探伤机联锁。但是没有照射”和“预备”信号意义的说明，应在醒目的位置处增“照射”和“预备”信号意义的说明。
3	探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置，在控制室的操作台应有专用的监视器，可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。	探伤室内和探伤室出入口设有视频监控探头，并在控制内设监控显示器。
4	探伤室防护门上应有符合 GB 18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。	工件门和工作人员出入门、储源室及储源坑均张贴有电离辐射警告标志和中文警示说明
5	探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。按钮或拉绳的安装，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。按钮或拉绳应带有标签，标明使用方法。	探伤室内四侧墙体均各设有 1 个急停按钮，可以满足人员在任何位置时都不需要穿过主射线就能够使用，并标明使用方法。
6	探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。	探伤室已设械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区，排风系统风量为 7360m ³ /h，每小时有效通风换气次数不小于 3 次。
7	探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。	探伤室内已设置固定式辐射探测报警探头，数值显示在控制室内，并与防护门联锁。
8	红外报警装置	储源室内已设有红外报警装置
9	源库应实行双人双锁，源库设计应考虑“防火、防盗、防潮、防爆、防泄漏”等措施。	储源室实行双人双锁，储源室有“防火、防盗、防潮、防爆、防泄漏”等措施。
10	其他措施	室内开门装置
		已在工件防护门旁设有开门装置

表9-4 现有移动探伤作业与浙环发〔2022〕30号标准比对结果

序号	标准要求的措施	现有移动探伤实际情况
1	浙江省生态环境主管部门颁发辐射安全许可证的作业单位（以下简称“本省单位”）应设立由单位法定代表人、辐射安全负责人、项目负责人、现场安全员、操作人员以及放射源贮存库管理员分级负责的辐射安全管理体系，制定单位辐射安全管理制度，培植单位核安全文化。	该公司已建立由单位法定负责人、辐射安全负责人、项目负责人、现场安全员、操作人员以及放射源贮存库管理员分级负责的辐射安全管理体系，制定单位辐射安全管理制度，培植单位核安全文化。
2	现场安全员负责作业场所的划分与控制、作业场所限制区域的人员管理、作业场所辐射剂量水平监测、含放射源 γ 射线探伤机（以下简称“探伤机”）的领取、归还以及确认放射源是否返回探伤机等安全相关工作，并做好相关记录。	该公司每个 γ 射线移动探伤作业场所拟配备1名现场安全员，主要负责作业场所的划分与控制、作业场所限制区域的人员管理、作业场所辐射剂量水平监测等安全相关工作，并承担探伤装置的领取、归还以及确认放射源是否返回探伤装置等工作，同时做好相关记录。
3	放射源贮存库管理员负责放射源贮存库的值守、巡查、监护、钥匙保管，做好探伤机的出入库登记，定期清点记录放射源情况等工作。	现有放射源库已安排2名工作人员专职负责放射源库的值守、巡查、监护、钥匙保管，做好探伤机的出入库登记，定期清点记录放射源情况等工作。
4	辐射安全负责人、项目负责人、现场安全员、操作人员和放射源贮存库管理员必须通过相应的核技术利用辐射安全与防护考核。	建设单位辐射安全负责人、作业项目点负责人、现场安全员和操作人员等上岗前，均已按照法规要求参加与操作人员等同的辐射安全与防护培训，考核合格后上岗。
5	作业单位应每月对探伤机及配件进行检查、维护，每3个月对探伤机的性能进行全面检查、维护，发现问题及时维修，并做好记录。	该公司已制定相应的设备维修制度，制度中明确：每个月对探伤装置的配件进行检查、维护，每3个月对探伤装置的性能进行全面检查、维护，发现问题及时维修，并做好记录。
6	作业委托单位应选择辐射安全管理水平良好的作业单位，与作业单位签订职责明确的责任书，明确专人负责，提供能满足作业要求的工作场所，配合落实放射源贮存库等。作业场所和放射源贮存库不符合辐射安全管理要求的，作业单位不得接受委托开展作业。	公司承诺与委托单位签订职责明确的责任书，作业场所和放射源贮存库不符合辐射安全管理要求的，不接受委托开展作业。
7	本省单位进行跨设区市作业的，应在作业实施前10日内向移入地设区市生态环境主管部门报告。作业活动结束后20日内向移入地设区市生态环境主管部门报告注销。需变更作业点的，应在完成原异地使用报告注销手续后，重新办理报告手续，放射源可不返回本单位注册地。需延长作业时间的，可直接办理报告延期手续。	公司已落实放射源异地作业备案登记制度。
8	本省单位送贮废旧放射源的，应当在废旧放射源送贮活动完成之日起20日内，向注册地生态环境主管部门办理备案手续。	公司在废旧放射源送贮活动完成之日起20日内，向宁波市生态环境主管部门办理备案手续。
9	作业单位应确保每台探伤机至少有2名操作人员和1名现场安全员同时在场。同一作业点，同一单位有多台探伤机使用的，现场安全员配备须满足辐射安全管控要求。操作人员以及现场安全员应配备个人剂量报警仪和个人剂量计，并持有标注照片、姓名、培训类别和所属单位等的人员信息牌。每个作业点配备至少1台辐射监测仪以及必要的个人防护和应急用品。	公司每台 γ 射线探伤机已配备2名辐射操作人员和1名现场安全员同时在场，探伤作业时，操作人员以及现场安全员应配备个人剂量报警仪和个人剂量计，并佩戴标注照片、姓名、培训类别和所属单位等人员信息牌。每个作业点已配备至少1台X- γ 剂量率仪以及必要的个人防护和应急用品。

9.2.2 本项目工程分析

9.2.2.1 电子直线加速器

(1) 电子直线加速器设备组成

本项目电子直线加速器型号未定，故本项目设备按同类型直线加速器来介绍。电子直线加速器主要包括射线机头、一体式操作台、水冷机组、安全联锁报警系统。

①射线机头

分体式射线单元是加速器主机的核心组件。单元内装有驻波加速管、微波功率源、微波功率传输系统、波导供气系统、水冷回路系统、射线准直及屏蔽装置、激光定位装置、剂量测量探头、电子枪与磁控管的直流灯丝电源、AFC 采样电路、微波测量器件、钛泵电源等。



图 9-5 同类型射线机头示意图

②一体式操作台

操作台即人机界面，可根据客户的要求进行定制，并可依据接口协议，将操作台功能整合至客户的系统中。



图 9-6 控制器示意图



图 9-7 显示器示意图

③水冷机组

水冷机柜是加速器系统中重要的配套设备。它主要是通过水冷机柜内冷却水的不断循环，将加速器中的加速管、靶、波导窗、磁控管、环流器、负载等部件工作时产生的热量带走，使其内部保持恒定的工作温度，以保证加速器的正常工作。水冷机柜控制系统使用与加速器控制系统相同的可编程控制器，采用基于现场总线技术实现与主机的数据交换，完成加速器控制系统对水冷机柜的控制。



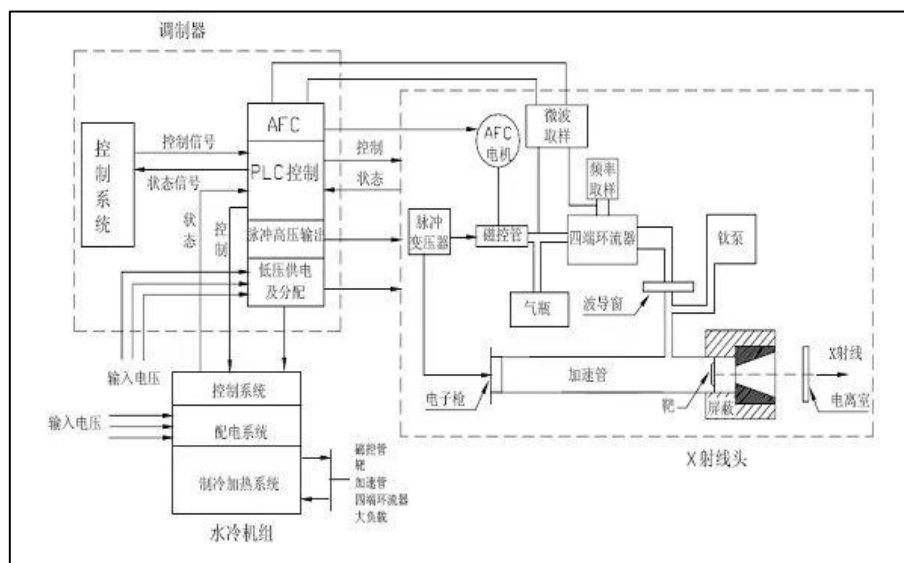
图 9-8 水冷机柜示意图

为放射性安全，探伤机房出入口及重要位置都必须安装安全联锁。

本项目电子直线加速器参数见表 9-5。

设备	项目	参数值
电子直线加速器	型号	未定
	数量（台）	1 台
	加速粒子类型	电子
	射线装置类别	II
	最大能量	6MeV
	距靶 1m 处最大辐射剂量率	$9 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$
	X 射线泄漏率	$\leq 0.1\%$
	源轴距 SAD	1m
	射线束最大发射角	垂直与水平方向：30°

本项目探伤机房内拟用6MeV 电子直线加速器探伤，距靶1m 处最大辐射剂量率为 $9 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ ，主射束方向为由北朝南。设备原理示意图见图9-9。



(4) 工艺流程及产污环节

电子直线加速器工艺流程及产污环节图见图 9-10。

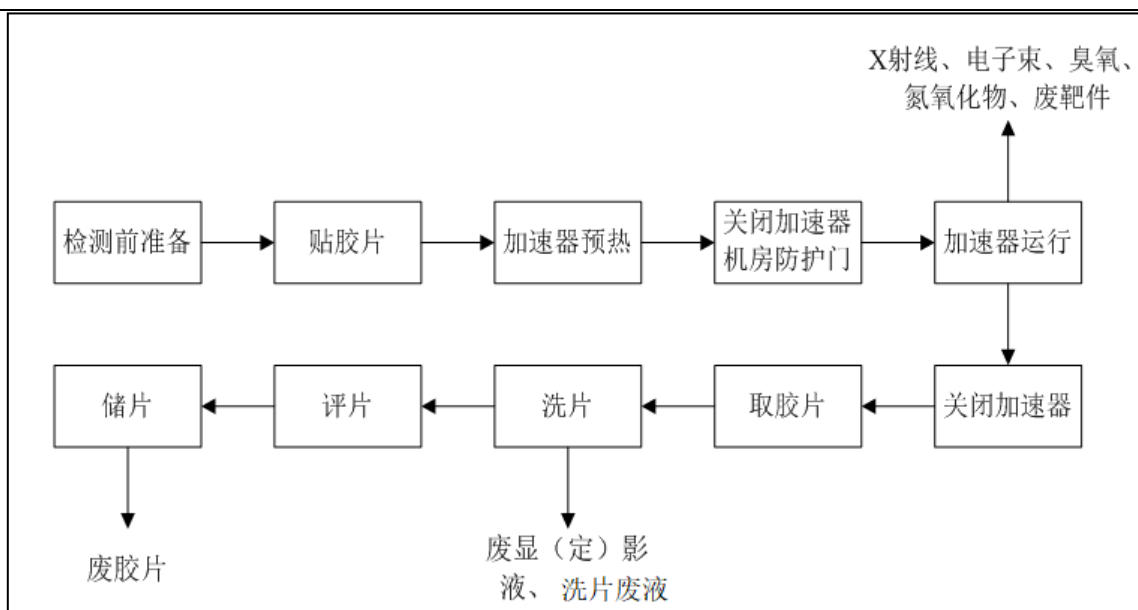


图 9-10 电子直线加速器工艺流程及产污环节图

①准备阶段：打开直线加速器稳压电源，使稳压电源输出交流 220V 正常；打开恒温水机，把恒温水机电源开关旋转至“本地”；在工件上贴好胶片。

②预热阶段：把加速器控制柜开关除“电子枪”以外，全部闭合，打开加速器控制电脑，点击加速器控制软件，进入控制界面，点击“加低压”，加速器系统进入预热阶段。

③关闭探伤机房防护门：待“热毕”灯亮后，将加速器控制柜安全联锁钥匙旋转至“开”，关闭探伤机房防护门，闭合加速器控制柜“电子枪”开关，此时直线加速器不出束；

④点击“加高压”，加速器系统开始运行，开始进行探伤工作。

⑤关闭加速器：点击“断高压”，点击“断低压”，退出控制界面，关闭恒温水机，把恒温水机电源开关旋转至“远程”，关闭加速器稳压电源。

⑥取胶片、洗片、评片、储片：将胶片从工件上取下并送往自动洗片室进行洗片，工作人员对洗片后的胶片在评片室进行评判，最终送入储片室储藏。

9.2.2.2DR-X 射线探伤机、CR-X 射线探伤机

(1) 设备组成

本项目 DR-X 射线探伤机由 DR（直接数字化 X 射线摄影系统）和 X 射线探伤机连接组成，CR-X 射线探伤机由 CR（计算机 X 线摄影系统）和 X 射线探伤机连接组成。

①DR

DR，即直接数字化 X 射线摄影系统，采用平板探测器的影像直接转换技术的数字放射摄影，是真正意义上的直接数字化 X 射线摄影系统。

②CR

CR（Computed Radiography），计算机 X 线摄影系统。CR 的数字化，是通过一个可反复读取的成像板（IP 板）来替代胶片和增感屏。曝光后，IP 板上生成潜影，将 IP 板放入 CR 扫描仪，用激光束对 IP 板进行扫描，读取信息，经模/数转换后生成数字影像。

③X 射线探伤机

X射线探伤机主要由X射线管头组装体、控制箱及连接电缆组成。X射线管由阴极和阳极组成。阴极通常是装在聚焦杯中的钨灯丝，阳极靶则根据应用的需要，由不同的材料制成各种形状，一般用高原子序数的难熔金属（如钨、铂、金、钼等）制成。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。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。典型的X射线管结构图见图9-11。

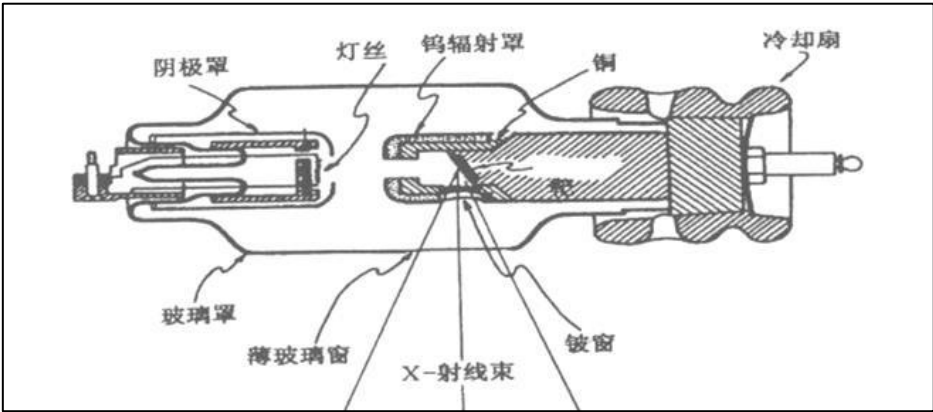


图 9-11 典型的 X 射线管结构图

(2) 设备参数

本项目 X 射线探伤机参数见表 9-6。

表 9-6 本项目设备参数一览表

设备	项目	参数值
X 射线探伤机	数量（台）	1 台
	射线类型	X 射线
	射线装置类别	II
	最大管电压	450kV
	最大管电流	10mA

(3) 工作原理

X射线探伤机是利用X射线对物件进行透射拍片的检测装置。当X射线在穿过裂缝时其衰减明显减少，在DR或CR上产生一个较黑的图像显示裂缝所在的位置，X射线探

伤机就据此实现探伤目的。

(4) 工艺流程及产污环节

探伤工艺流程及产污环节见图9-12。

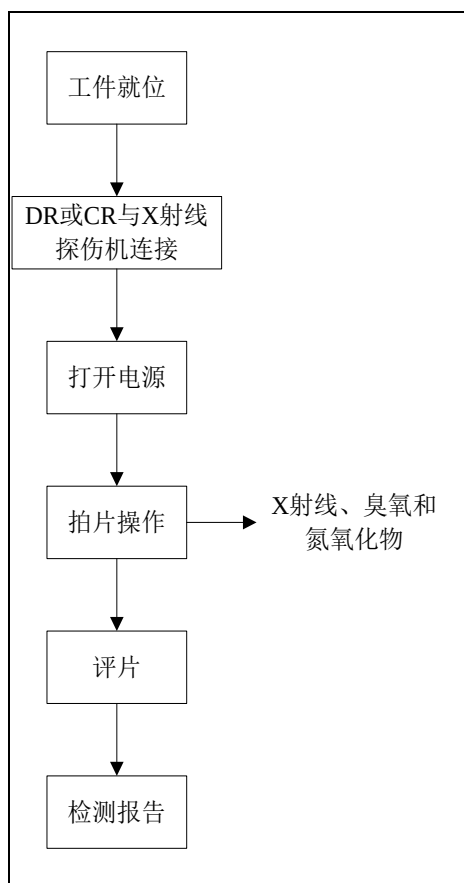


图 9-12 X 射线探伤机探伤工艺流程及产污环节示意图

将需要进行射线探伤的工件用平板推车送入探伤机房内，设置适当位置，将 DR 或 CR 与 X 射线探伤机连接，检查无误，工作人员撤离探伤机房，并将工件防护门、人员防护门关闭，然后根据探伤工件材质厚度、待检部位、检查性质等因素调节相应管电压、管电流和曝光时间等，检查无误即进行曝光，根据图像的灰度对检测结果进行缺陷等级评定，完毕后关闭电源。待全部曝光完成后，打开工件防护门将探伤工件送出探伤机房外，完成一次探伤。

9.2.3 γ 射线探伤机

9.2.3.1 设备组成

手提式 γ 射线探伤机的结构比较简单，主要由加长输源导管、源屏蔽容器（贮源容器）、遥控控制线及摇把组成。源屏蔽容器是探伤机的主体，用作放射源贮存和运输的屏蔽容器，其最外层为钢包壳，内部是贫铀屏蔽层，当放射源贮存在正确的位置时，容

器外表面的辐射水平远小于允许值。容器钢壳与贫铀之间充以泡沫塑料，减少贫铀的韧致辐射。屏蔽容器的一端有联锁装置，用来连接控制缆；另一端通过管接头和输源管连接。放射源存储于源屏蔽容器内，并设计有多项安全锁定位置，只有将输源管及控制缆与屏蔽容器正确、可靠连接，并打开安全锁后，才可以将放射源送出容器，缺少任何一个环节，放射源均无法送出，保证放射源的安全使用。

源屏蔽容器（贮源容器）外部结构组成见图 9-13，一套完整的 γ 射线探伤机外型见图 9-14。



图 9-13 源屏蔽容器（贮源容器）外部结构组成图

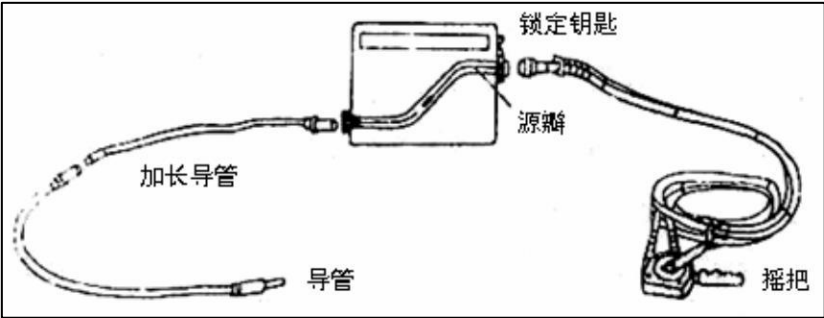


图 9-14 γ 射线探伤机典型结构示意图

9.2.3.2设备参数

本项目放射源参数见表 9-7。

表 9-7 本项目放射源参数一览表

名称	项目	参数值
^{75}Se	数量（枚）	1
	射线类型	γ 射线
	放射源类别	II
	活度（Bq）	3.7×10^{12}
	周围剂量当量率常数（ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$ ）	0.072
^{192}Ir	数量（枚）	1
	射线类型	γ 射线
	放射源类别	II
	活度（Bq）	3.7×10^{12}
	周围剂量当量率常数（ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$ ）	0.17

9.2.3.3工作原理

γ 射线探伤机在工作过程中,通过 ^{192}Ir 、 ^{75}Se 产生的 γ 射线对受检工件进行照射,当射线在穿过裂缝时其衰减明显减少,胶片接受的辐射增大,在显影后的胶片上产生一个较黑的图象,显示裂缝所在位置, γ 探伤机据此实现探伤目的。

9.2.3.4 工艺流程及产污环节

(1) 放射源购入及运输

公司领取《辐射安全许可证》后,按《辐射安全许可证》许可的种类和范围,向放射源生产厂家购置放射源,并由运输单位将放射源运至现有放射源暂存库内储存,放射源运输途中的辐射安全责任由运输单位承担。放射源运到现有放射源暂存库后,放射源暂存库安全员按购货清单逐项核实后,记载放射性同位素的核素名称、出厂时间和活度、标号、编码、来源等,然后放射源入库。放射源使用一定时间后,将实施报废,废旧放射源由放射源生产单位回收处置。

(2) 换源操作

经与建设单位核实,建设单位厂区内不涉及任何换源工作。当使用的放射源活度下降至不能满足无损检测需求时,需要更换放射源,换源流程如下:

①放射源使用单位按照《辐射安全许可证》许可的种类和范围,向浙江省生态环境厅申请购买新源,并按要求填报《放射性同位素转让审批表》,经其批准同意后方可开展购源工作。

②获取浙江省生态环境厅的批准后,放射源使用单位委托有资质的运输单位将源容器运输至放射源生产单位,在生产单位厂区内由生产单位完成装源工作。

③放射源生产单位委托有资质的运输单位将装有新源的 γ 射线探伤机运输至放射源使用单位,同时将装有废源的 γ 射线探伤机运回放射源生产单位,在放射源生产单位厂区内由生产单位完成倒源工作。放射源使用单位在废源收贮的活动完成之日起20日内向浙江省生态环境厅备案。

根据《关于印发〈关于 γ 射线探伤装置的辐射安全要求〉的通知》(环发〔2007〕8号文)规定,探伤装置装源(包括更换放射源)应由放射源生产单位进行操作,并承担安全责任,放射源生产单位也可委托有能力的单位进行装源操作。生产、销售、使用探伤装置单位不得自行进行装源操作,放射源活度不得超过该探伤装置设计的最大额定装源活度。

建设单位不得自行进行倒源操作,本项目所有放射源退役和换源的工作必须由放射

源生产单位负责，其中倒源的安全责任由放射源生产单位负责，运输过程中的安全责任由运输单位负责。目前，宁波甬安检测技术有限公司已委托浙江省科学器材进出口有限责任公司负责承担放射源运输，该单位具备中华人民共和国道路运输经营许可证，证号：浙交运管许可杭字（330101200129）号，经营范围：经营性危险货物运输资质（第7类）（剧毒化学品除外）。

（3）放射源存取

①现有放射源暂存库存取

现有放射源暂存库实行双人双锁，探伤前放射源存取由放射源暂存库管理员填写《放射源出入库登记表》进行登记，转交给安全员，安全员在登记表签字确认。放射源暂存库管理人员（至少2名）进入放射源暂存库，其中一名管理人员打开一个储源坑的铅盖，取出其中放射源，放入事先准备好的铅箱中，然后用便携式X- γ 剂量率仪进行检测，确认探伤机内有源，合上储源坑的铅盖，把铅箱搬运至放射源专用运输车上，同时记录检测值，将放射源运送至探伤机房的储源室中临时贮存。待放射源在探伤机房内使用至退役时，将退役放射源运送至现有放射源暂存库，填写《放射源出入库登记表》，详细记录归还人、归还日期，并建立计算机管理档案，废旧放射源由放射源生产单位回收处置。

②放射源运输

自现有放射源暂存库至探伤机房储源室的放射源运输用专用的机动车辆（设置放射性标志、固定源罐装置或保险箱）运输，由专人押运。押运人员携带防护用品、应急预案、监测仪器等，全程监护 γ 射线探伤装置。起运前、运输途中及到达目的地后，用监测仪器分别测量有无泄漏超标情况，确定无泄漏超标才准启程、装卸。

③储源室存取

探伤机房的储源室由本项目辐射工作人员进行双人双锁管理， γ 射线探伤机的领取和储存均要填写《放射源出入库登记表》，详细记录操作事项、领用时间、归还时间，并建立计算机管理档案。

④ γ 射线探伤机室内探伤

当需要对工件进行探伤时，探伤操作人员在工件需检测的部位贴好感光胶片，将探伤机固定在工作位置，把控制部件和输源管连接好，开启探伤机闭锁装置后，探伤操作人员退出探伤机房，关闭探伤机房防护门，操作控制器驱动放射源至曝光位进行曝光检测。待检测结束后，操作控制器再将放射源收回至探伤机贮源位，放射源回位时安全锁

自动关闭。确认放射源回到贮源位后，探伤操作人员携带辐射巡测仪、个人剂量报警仪并佩戴个人剂量计进入探伤机房，将探伤机归还至储源室，并取下胶片，洗片、读片，判断设备质量。本项目 γ 射线探伤工作流程及产污环节示意图 9-15。

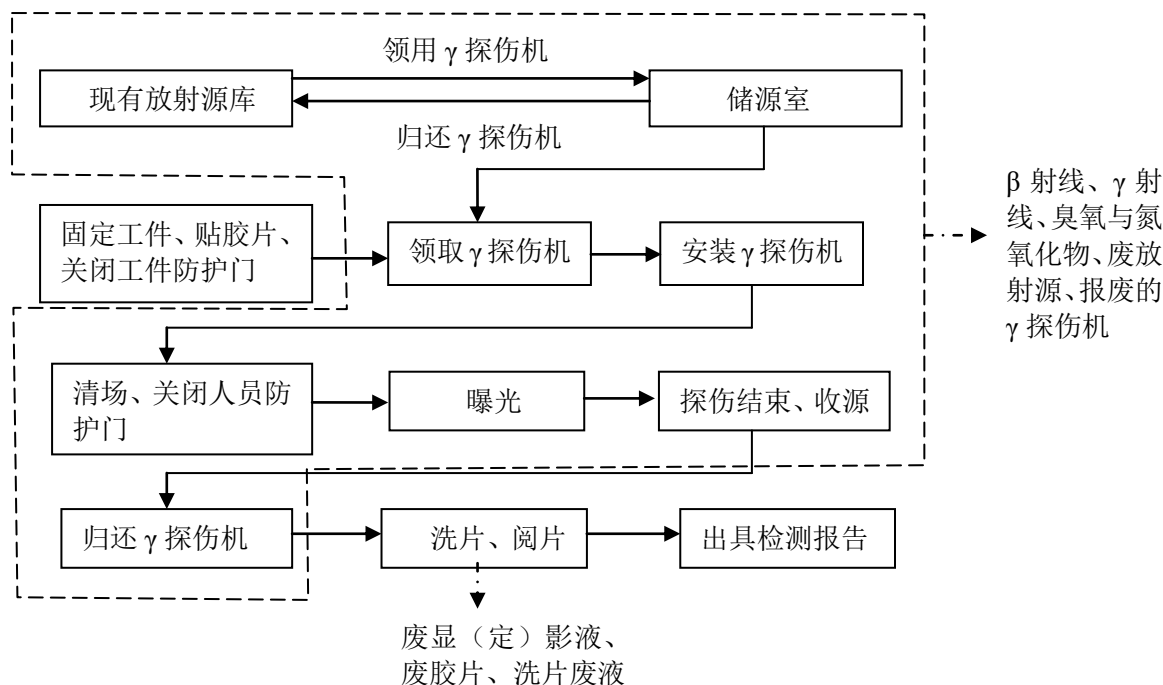


图 9-15 探伤机房 γ 射线探伤工作流程及产污环节示意图

探伤工作流程如下：

A、将被探伤工件通过工件防护门运至探伤机房内固定，并在检测部位贴上感光胶片，关闭工件防护门；

B、探伤工作开始前，探伤操作人员从储源室领取探伤装置，探伤操作人员检查探伤装置的安全锁、联锁装置、输源管、驱动装置等的性能；

C、将 γ 射线探伤机放置在合适的位置，连接好控制部件和输源管，开启探伤机闭锁装置；

D、检查探伤机房内人员滞留情况，确定无人后探伤操作人员通过迷道人员防护门离开探伤机房，并关闭迷道人员防护门；

E、探伤操作人员通过电动出源装置驱动放射源至曝光位进行无损检测；

F、达到预定照射时间和曝光量后通过电动收源装置将放射源收回探伤机贮源容器内，确认放射源回到贮源位后，探伤操作人员携带辐射巡测仪、个人剂量报警仪进入探伤机房，取下胶片，曝光结束；

G、探伤操作人员将探伤装置归还至储源室；

H、探伤操作人员在暗室内对探伤胶片进行洗片，在评片室内读片，判断工件焊接

9.2.4 物流流向路径与辐射工作人员路径

本项目物流流向路径与辐射工作人员路径图见图 9-16。

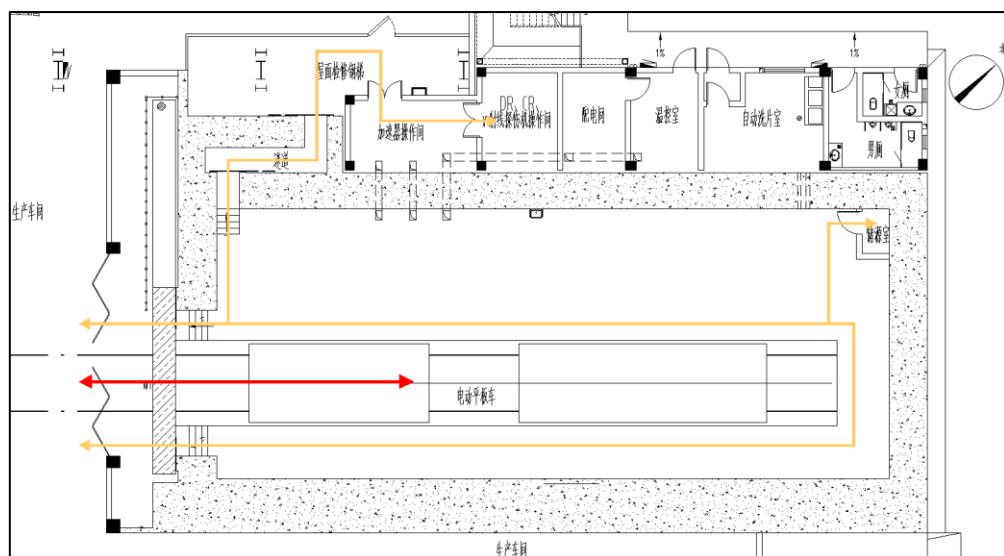


图 9-16 物流路径与辐射工作人员路径图

公司探伤对象主要为客户的各类压力容器、大型储罐等设备，材质主要为钢。¹⁹²Ir- γ 射线探伤机的探伤工件厚度一般为（20~100）mm，⁷⁵Se- γ 射线探伤机的探伤工件厚度一般为（10~40）mm。电子直线加速器作为一种高能X射线检测仪器，具有能量高、穿透能力强、拍片速度快、安全性能高等特点，解决了大厚度钢板(40mm-380mm)在无损检测上的需求。而DR与CR-X射线探伤机不用拍照，可以实时成像。

9.2.6 辐射工作人员配置及工作负荷

根据建设单位提供的资料，每年电子直线加速器每年拍片最大 1500 张，单次拍片

探伤出束时间为 10min，则电子直线加速器年出束时间最大为 75h；DR 与 CR-X 射线探伤机为实时成像，年探伤工件 6000 个，探伤出束时间最大为 30min，则 X 射线探伤机年出束时间最大为 3000h； γ 射线探伤机每年拍片最大 2000 张，单次拍片出束时间为 5min，则 γ 射线探伤机年探伤出束时间最大为 166.67h。

9.3 污染源项描述

9.3.1 正常工况下放射性污染源分析

9.3.1.1 放射性污染源项分析

（1）电子直线加速器

本项目电子直线加速器因 X 射线能量最大为 6MV，小于 10MV，故不考虑感生放射性与中子。

①X 射线

探伤时直线加速器运行时电子轰击靶物质产生韧致辐射（X 射线）。

A、有用线束

本项目 6MeV 电子直线加速器主射束由北朝南照射，最大输出 X 射线辐射剂量率为 $9 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ 。

B、泄漏辐射

本项目加速器运行产生的 X 射线泄漏辐射进入外环境，加速器泄漏率为 0.1%。

C、散射辐射

本项目加速器运行产生的 X 射线经工件等散射辐射进入外环境，入射 X 射线辐射剂量率为 $9 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ 。

②电子束

加速器运行产生的高能电子束贯穿能力较弱，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束也能得到有效屏蔽。

③废靶件

探伤过程如有废靶产生，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），应对废靶外表面进行辐射剂量率监测，符合解控水平后由设备厂家回收。

（2）CR/DR-X 射线探伤机

由射线装置的工作原理可知，X射线随射线机的开、关而产生和消失。射线装置只有在开机并处于出束状态（曝光状态）时，才会发出X射线，对周围环境产生辐射影响。

因此，在开机曝光期间，X射线是CR/DR-X射线探伤机的主要污染因子。

(3) γ 射线探伤机

① β 射线、 γ 射线

β 射线可以忽略。 ^{192}Ir 、 ^{75}Se 衰变时发射的 γ 射线， γ 射线具有较强贯穿能力，因此 γ 射线探伤机的污染因子是 γ 射线；放射源贮存过程中有小部分穿过储源室屏蔽体(包括铅箱、屏蔽墙、顶棚等)泄漏到工作场所及周围环境中，对周围的工作人员和公众产生 γ 射线外照射。

②废放射源

公司使用的放射源到一定时间后，不能满足无损检测要求，将退役成为废旧放射源。根据企业提供的资料， ^{192}Ir 7~11 个月更换一次， ^{75}Se 10~15 个月更换一次。企业已与供源单位签订废旧放射源回收协议。

9.3.1.2 非放射性污染源项分析

(1) 臭氧和氮氧化物

本项目废气为电离辐射产生的 O_3 、 NO_x 等废气，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录 B，空气在辐射照射下产生臭氧(O_3)和氮氧化物(NO_x)等有害气体。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，所以主要考虑臭氧的产生。根据报告表 11 计算，探伤机房运行过程中臭氧浓度为 $3.87 \times 10^{-3} \text{mg/m}^3$ 。

(2) 废水

直线加速器自带冷却水循环系统，其使用的冷却水为纯净水，不会在管壁结垢也不会腐蚀设备，循环使用不外排（需定时补充纯净水）。

(3) 危险废物

探伤作业完成后，需对拍摄的底片进行显（定）影，在此过程产生的一定数量的废显（定）影液与废胶片。废显（定）影液与废胶片属于《国家危险废物名录（2021 年版）》中感光材料废物，危废代码为 HW16：900-019-16，并无放射性。本项目年拍片约 3500 张，按洗 1000 张片用 20L 显（定）影液，经估算项目工作过程中每年产生的废显（定）影液约 70L，每年拍片产生废胶片约 35 张（废片率按 1%计算，约 0.35kg），完好的胶片由企业定期建档备查，根据企业提供的资料，胶片存档 7 年，存档期满后，20%给有需要的客户，80%作为危险废物，则废胶片合计年产生约 2835 张，约 28kg，该部分危险废物定期委托有相关资质单位处理。本项目暗室洗片过程中会产生洗片废

液，参考同企业现有的实际产污经验值（50L/1000 张），本项目洗片废液年产生量约 175kg。该部分废水含较高浓度的 AgBr、显（定）影剂及强氧化物，参考废显（定）影液作为危险废物进行管理。

项目危险固体废物分析汇总表见表 9-8。

表 9-8 项目危险废物分析结果汇总表

序号	危废名称	危废类别	危险废物代码	产生量 (t/a)	产生工序及装置	形态	主要成分	有害成分	产废周期	危险特性	污染防治措施
1	废显（定）影液	HW16	900-01 9-16	0.07	胶片冲洗	液态	显（定）影液	显（定）影液	每天	T	贮存： 密闭置于包装桶内，分类、分区存放于现有危废暂存间。 处置： 委托有资质单位处置
2	废胶片	HW16	900-01 9-16	0.028	胶片冲洗、存档	固态	废胶片	废胶片	每天	T	
3	洗片废液	HW16	900-01 9-16	0.175	洗片	液态	AgBr、显（定）影剂等	AgBr、显（定）影剂等	每天	T	

9.3.2 运行期事故工况污染源项

本项目探伤时存在着风险和潜在危害以及事故隐患，可能出现概率较大或后果较严重的误照射辐射事故。

9.3.2.1 电子直线加速器、X 射线探伤机

- （1）联锁装置失效，探伤时人员误入受到意外照射；
- （2）操作人员出现误操作，对探伤工作人员和现场周围公众造成照射；
- （3）检修人员在设备未断电的情况下进行检修，电子直线加速器、X 射线探伤机因误操作或其他原因开机出束，造成误照射。

9.3.2.2 γ 射线探伤机

- （1）联锁装置失效，探伤时人员误入受到意外照射；
- （2）操作人员出现误操作，对探伤工作人员和现场周围公众造成照射；
- （3）管理不善导致放射源损坏或丢失，导致接触放射源的人员受到超剂量照射；
- （4） γ 射线探伤时由于机器设备原因出现卡源而导致操作人员受到超剂量照射。

事故工况下污染源项同正常工况。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 辐射工作场所布局合理性分析

本项目辐射工作场所的六面情况（东、南、西、北、上、下）如表 10-1 所示。

表 10-1 各辐射工作场布局一览表

所在区域	辐射工作场所	东侧	南侧	西侧	北侧	上层	下层
探伤机房	探伤机房（内含储源室）	室外道路	生产车间	生产车间	操作间、辅助用房	不上人屋面	土层

本项目探伤机房与操作间分离，电子直线加速器主射方向为由北朝南，机房设置迷道且设有人员防护门。X 射线探伤机主射不朝操作间， γ 射线探伤机拟配置准直器，其有用线束不朝向操作间，符合《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求。工件防护门位于探伤机房的西侧，最大工件尺寸小于门洞，由平板车运至机房内。

综上所述，本项目探伤机房平面布置是合理的。

10.1.2分区原则及区域划分

建设单位拟按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求，把工作场所分为控制区、监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。本项目两区划分及场所布局见图 10-2。

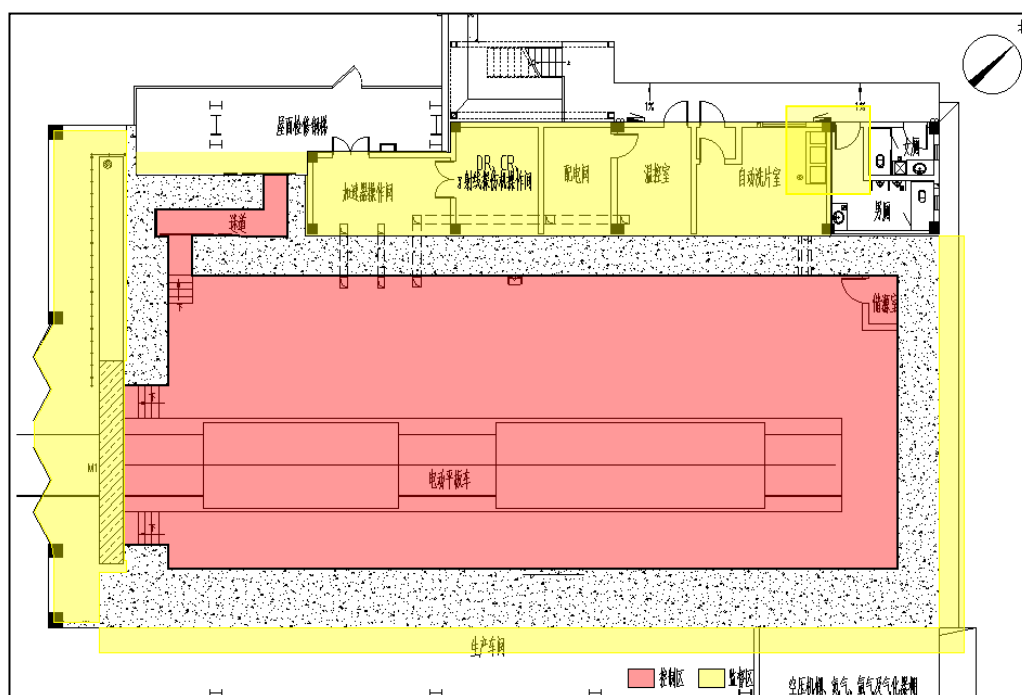


图 10-1 本项目辐射工作场所控制区和监督区划分示意图

表 10-2 本项目各辐射工作场所分区表

工作场所	控制区	监督区
探伤机房	探伤机房（含储源室）	探伤机房四周屏蔽体外 1m 区域、操作间等 1~3 层辅助房间

控制区：将探伤机房内区域划分为控制区，在控制区的进出口及适当位置处设置醒目的电离辐射警告标志和显示“预备”和“照射”状态的指示灯。制定放射安全防护管理制度，严格限制无关人员进出控制区，在正常工作过程中，区内不得有人员滞留。

监督区：将探伤机房四周屏蔽体外 1m 区域、操作间等 1~3 层辅助房间划为监督区，对该区不采取专门防护手段安全措施，但要定期检测其辐射剂量率。

10.1.3 探伤机房屏蔽防护设施

探伤机房由机房和迷道组成。本项目机房与操作间分离；机房北侧为L型迷道，迷道口设有防护门。探伤机房的屏蔽防护设计详见表 10-3。

表 10-3 探伤机房辐射防护屏蔽设计参数表

场所名称	墙体		屏蔽材料及厚度
探伤机房 （长 29860mm× 宽 12000mm×高 13300mm）	机房南侧墙体（加速器主射方向）		2400mm 混凝土
	机房北侧墙体	迷道内墙	1600mm 混凝土
		迷道外墙	1400mm 混凝土
	机房东侧墙体		1700mm 混凝土
	机房西侧墙体		1700mm 混凝土
	顶棚		900mm 混凝土
	工件防护门（1 扇）		180mm 铅板+250mm 硫酸钡防护砂浆
	人员防护门（2 扇）		25mmPb
	迷道（L 型）	迷道宽度	1000mm
		迷道高度	2200mm
防护门宽度		1600mm	
防护门高度		2600mm	
储源室 （长 2000mm× 宽 1200mm×高 2200m）	东侧墙体		1700mm
	南侧墙体		240mm
	西侧墙体		240mm
	北侧墙体		1600mm
	顶棚		200mm
	防护门		5mmPb
	铅箱（1 只）	六面屏蔽防护	10mmPb
通风设施	探伤机房（含储源室）设 1 套机械排风设施，设计风机风量为 31000m ³ /h，排风管道 1 根，通风管道风管在顶棚采用“S”型穿墙。排风口位于探伤机房东侧，排气口位于探伤机房顶棚室外。		
线管穿墙	探伤机房电缆及冷凝管拟在非主射方向采用“U”型的方式穿墙。		
注：混凝土密度不低于 2.35g/cm ³ ，铅板密度不低于 11.34g/cm ³ 。			

10.1.4 探伤机房辐射安全防护措施

10.1.4.1 探伤装置固有安全属性

探伤装置固有安全属性的要求见表 10-4。

表 10-4 探伤装置固有安全属性基本要求

装置名称	设备技术要求	
X 射线探伤机	X 射线管头组装体	X 射线探伤机在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 100 cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应符合《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）5.1.1 款表 1 的要求，在随机文件中应有这些指标的说明。其他放射防护性能应符合 GB/T 26837 的要求。
	控制台	a) 设置有高压接通时的外部报警或指示装置；b) 操作间控制台上拟设开机、停机和紧急制动等操作按钮。
电子直线加速器	设备	本项目电子直线加速器拟购于正规厂家，加速器的稳定性、可靠性能满足使用要求。
	控制台	a) 设置钥匙开关与密码；b) 应设置有高压接通时的外部报警或指示装置；c) 设置紧急停机开关，控制按钮拟采用安全电压，如有紧急情况，按下紧急制动按钮，关闭设备高压；d) 多处控制时，各控制点应互锁，确保控制点唯一有效。
γ 射线探伤机	放射源容器及传输导管	本项目 γ 射线探伤机为便携式（P），当源容器装载最大活度值的密封源并处于锁定状态且装配好保护盖（若有）时，源容器外表面一定距离处的周围剂量当量率应不超过《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）5.2.1 款表 2 规定的控制值，随机文件中应有该指标的说明。放射源容器表面剂量率、安全锁、联锁装置、源托、输源管、控制缆等配件、源辨位置指示系统、遥控装置、标志和标识与放射源编码卡等其他放射防护性能应符合 GB/T 14058 的要求。

10.1.4.2 探伤机房辐射安全防护措施

本项目共建 1 间探伤机房，主要开展 X、γ 射线室内探伤活动。根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）、《关于印发〈关于 γ 射线探伤装置的辐射安全要求〉的通知》（环发〔2007〕8 号文）及《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA 1002-2012）等标准要求，本项目探伤机房投入使用前，拟具备以下辐射安全和防护措施：

（1）探伤机房辐射安全防护措施

①本项目探伤机房操作间拟避开有用线束照射的方向且与探伤机房分开，新建探伤机房的屏蔽墙厚度已充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素，屏蔽设计方案见表 10-3。

②本项目探伤机房（含储源室）按 GB18871 的管理要求进行两区划分与两区管理。

③探伤机房的工件防护门和人员防护门与墙体之间的搭接合理，间隙与搭接比值小于 1/10。工件防护门和人员防护门均拟安装门-机联锁装置，防护门与所有探伤装置联锁，只有在门关闭后探伤机才能进行透照检查。门-机联锁装置的设置应方便探伤机房内部的人员在紧急情况下离开探伤机房，同时要确保门机联锁可以切断加速器和 X 射线机的高压，切实避免误照射的情况发生。

④探伤机房的门口和内部拟同时按照显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置。“预备”信号应持续足够长的时间，以确保探伤机房内人员安全离开。“预备”信号

和“照射”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别，醒目处拟设对“照射”和“预备”信号意义的说明。探伤机房工件门和工作人员出入口的照射状态指示装置拟与所有探伤装置联锁。

⑤直线加速器、 γ 射线探伤机与X射线探伤机三把钥匙串联，直线加速器关机按钮串联在高压线路，要确保关机操作已切断高压。

⑥辐射工作人员进入探伤机房必须佩戴个人剂量报警仪和携带便携式辐射检测报警仪，为保证个人剂量报警仪和便携式辐射检测报警仪正常工作，应定期对报警仪高剂量的响应的验证，比如个人报警仪设定阈值，靠近现有的 γ 射线探伤机，验证是否可以正常工作。

⑦探伤机房内和探伤机房出入口拟安装监视装置，在操作间的操作台拟设专用的监视器，可监视探伤机房内人员的活动和探伤设备的运行情况。

⑧探伤机房工件防护门和人员防护门均拟设置符合 GB18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明，灯箱应醒目显示“禁止入内”。

⑨拟在机房迷道防护门内侧及工件防护门附近拟设标识明显的紧急开门开关，确保异常情况时人员能从探伤机房内迅速开门离开；拟在操作间、机房内墙面及迷道内墙面处分别安装紧急停机按钮，当遇到意外情况，切断设备电源，停止出束或回源。紧急停机按钮、复位按钮及紧急开门开关处应设置有明显标识。在紧急停机后，只有通过再次复位后才能重新启动。

⑩探伤机房内拟安装 1 套固定式场所辐射探测报警装置，在探伤机房内设置固定式辐射剂量监测仪探头，该监测系统能够显示机房内实时剂量，并有报警功能，其显示单元设置在操作间，并与防护门联锁。

⑪应配置便携式辐射检测报警仪，该报警仪应与防护门钥匙、探伤装置的安全锁钥匙串结一起。

⑫本项目电缆、风管、冷凝管采用镀锌钢管的形式，电缆及冷凝管拟在非主射方向采用“U”型的方式穿墙，风管在顶棚采用“S”型穿墙。本项目探伤机房拟采用动力排风装置，探伤机房尺寸为 29.86m*12m*13.3m，风机风量为 31000m³/h，通风次数大于 6 次/h。机房内排风口拟设置于机房东侧，管道布设于机房吊顶，最终连接至屋顶排风井排出。冷凝管道穿墙剖面图见图 10-2，电缆沟剖面图见图 10-3，通风管道穿墙剖面图见图 10-4。

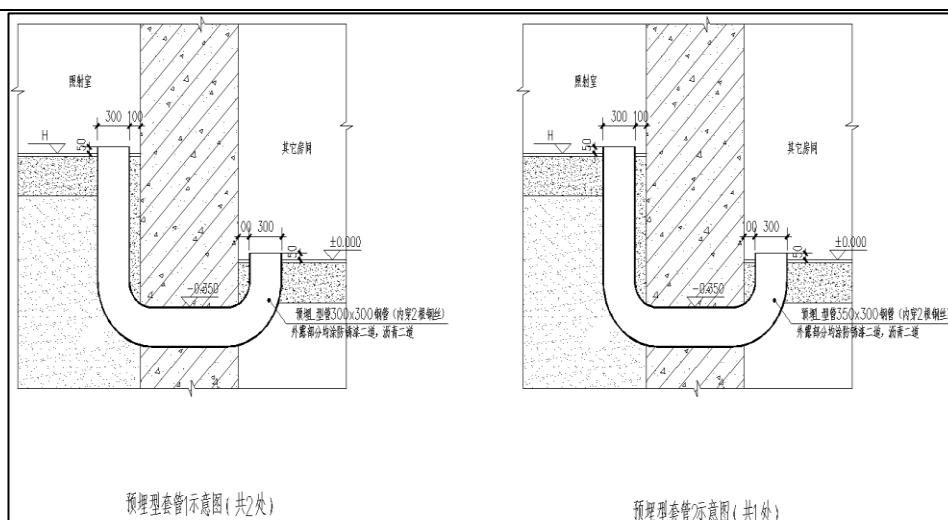


图 10-2 冷凝管道穿墙剖面图

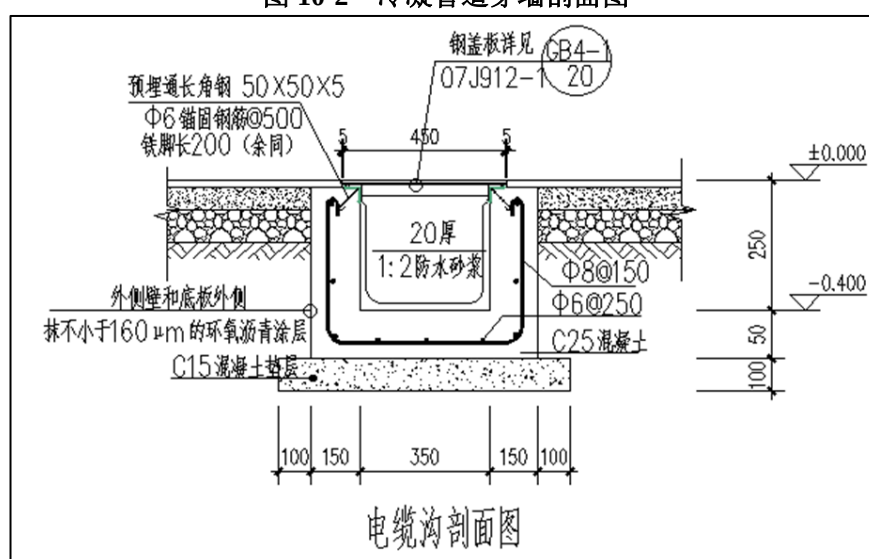


图 10-3 电缆沟穿墙剖面图

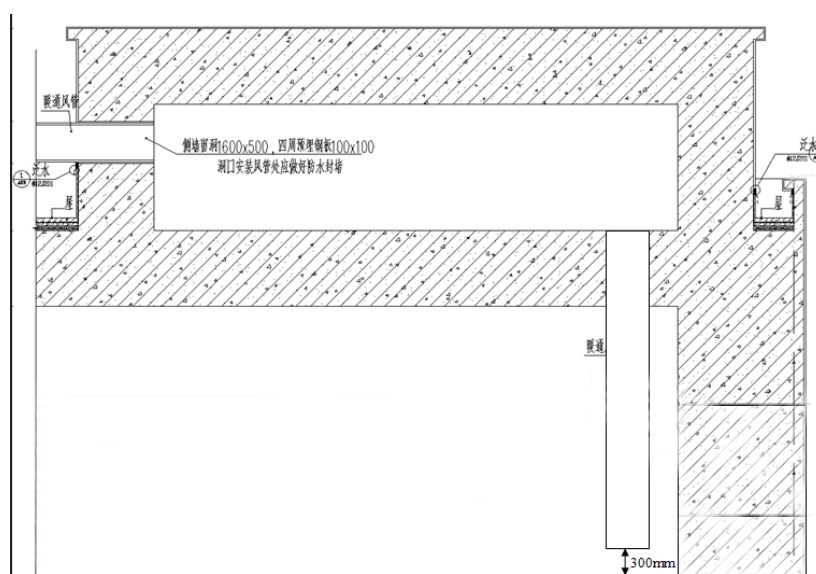


图 10-4 通风管道穿墙剖面图

⑬ 探伤机房的各项安全措施必须定期检查，并做好记录。

⑭ γ 探伤机的安全使用期限为 10 年，禁止使用超过 10 年的探伤装置。

⑮放射源应单独存放，不得与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放。应由专人保管，并做好贮存、领取、使用、归还情况的登记，登记资料至少保存 1 年。含放射源装置暂停使用期间，应存放在储源室内。应每天核对放射源存放情况。应建立放射源防盗、防抢、防破坏及技术防范系统发生故障等状态下的应急处置预案，并每年开展一次针对性的应急演练。

⑯探伤机房拟设置紧急照明或独立通道照明系统。

(2) 安全操作放射防护措施

①本项目新建探伤机房的安全操作放射防护措施

本项目新建探伤机房的安全操作放射防护措施见表10-5。

表10-5 本项目探伤机房的安全操作放射防护措施

措施类别	措施内容	备注
建设单位放射防护措施	a、建设单位对探伤机房放射防护安全应负主体责任； b、建设单位已建立放射防护管理组织，已明确放射防护管理人员及其职责，已建立和实施放射防护管理制度和措施，并制定辐射事故应急预案，相关辐射管理制度在操作间上墙。 c、为辐射工作人员配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪，按GBZ128的要求进行个人剂量监测，按GBZ98的要求进行职业健康监护；组织辐射工作人员参加放射防护培训获得合格成绩单，取得符合GB/T 9445要求的无损探伤人员资格方可上岗。	满足《工业探伤放射防护标准》 (GBZ 117-2022) 的第4款：使用单位放射防护要求。
室内探伤前检查项目	X射线探伤机： a、探伤机外观是否完好；电缆是否有断裂、扭曲以及破损；螺栓等连接件是否连接良好。 b、安全联锁是否正常工作；报警设备和警示灯是否正常运行。 c、机房内安装的固定辐射检测仪是否正常。 γ 射线探伤机： a、检查源容器和源传输管的照射末端是否损伤或者有异常； b、检查螺母和螺丝的紧密程度、螺纹和弹簧是否有损伤； c、确认放射源锁紧装置工作正常； d、检查控制软管末端是否有磨损、损坏（磨损标准由厂家提供），与控制导管是否有效连接； e、安全联锁是否工作正常； f、报警设备和警示灯运行是否正常； g、检查源容器和源传输导管是否连接牢固； h、检查源传输导管和控制导管是否有毛刺、破损、扭结； i、检查警告标签和源的标志内容是否清晰； j、测量源容器表面一定距离处的周围剂量当量率是否符合5.2.1.1 的要求，并确认放射源处于屏蔽状态。	满足《工业探伤放射防护标准》 (GBZ 117-2022) 的第5.1.2款要求。 满足《工业探伤放射防护标准》 (GBZ 117-2022) 的第5.2.1.2款要求。
探伤机房操作	a、本项目拟配置9支个人剂量计、9台个人剂量报警仪与1台便携式X- γ 剂量率仪；探伤机房操作人员应该同时获得X射线	满足《工业探伤放

	操作和γ射线操作的辐射安全防护培训合格证书方能上岗；工作人员进入探伤机房操作时，须佩戴个人剂量计、携带个人剂量报警仪与便携式X-γ剂量率仪，当剂量率达到设定的报警阈值报警时，探伤工作人员应立即退出探伤机房，同时防止其他人进入探伤机房，并立即向辐射防护负责人报告。交接班或当班使用便携式 X-γ剂量率仪前，应检查是否能正常工作。如发现便携式 X-γ剂量率仪不能正常工作，则不应开始探伤工作。 b、在每一次照射前，拟检查探伤机房防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施是否正常；操作人员都应确认探伤机房内部没有人员驻留并关闭防护门。只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开始探伤工作。 c、探伤工作人员应正确使用配备的准直器等辐射防护装置，把潜在的辐射降到最低。直线加速器X射线机头旋转机构应保证X射线机头与辐射屏蔽室主射束方向夹角限制在不大于$\pm 90^\circ$的范围内，X射线机头升降机构应有上下限位及钢丝绳防脱槽装置，运动装置应在每个运行方向设行程限位器、缓冲器或端部止挡机构。 d、探伤机房工作人员应定期测量探伤机房外周围区域的剂量率水平，包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。测量结果超标或异常应终止探伤工作并向辐射防护负责人报告。 e、各项辐射环境管理规章制度拟张贴于操作间墙上，拟建立探伤装置使用台账及相关危险废物管理台账。	射防护标准》 （GBZ 117-2022） 的第6.2款要求。
探伤机维护	X射线探伤机： a、公司拟对探伤机的设备维护负责，每年至少维护一次。设备维护应由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行。 b、设备维护包括探伤机的彻底检查和所有零部件的详细检测。 c、当设备有故障或损坏需更换零部件时，应保证所更换的零部件为合格产品； d、公司拟做好设备维护记录。	满足《工业探伤放射防护标准》 （GBZ 117-2022） 的第5.1.3款要求。
	γ射线探伤机： a、应定期对γ射线探伤机中涉及放射防护的部件进行检查维护，发现问题及时维修。维修γ射线探伤机时，应由厂家专业人员将放射源倒入换源器后进行。使用单位人员不应单独对探伤机进行维修。 b、应经常对γ射线探伤机的控制组件包括摇柄、源传输导管进行润滑擦洗，齿轮应经常添加润滑剂，并对源传输导管接头进行擦洗，避免灰尘和砂粒。	满足《工业探伤放射防护标准》 （GBZ 117-2022） 的第5.2.2款要求。

10.1.4.3X射线探伤机贮存间的管理

本项目 X 射线探伤机贮存于探伤机房的设备架。

- （1）探伤机房拟进行两区划分，无关人员无法进入。
- （2）探伤机房拟设置视频监控、防护门上拟设置电离辐射警告标志等防护措施。
- （3）X 射线探伤机的领取与归还手续由专人负责，并拟建立 X 射线探伤机台账。

10.1.4.4 储源室安全防护措施

本项目放射源贮存于企业已有放射源暂存库内，在需进行 γ 射线室内探伤时，暂存于本项目探伤机房内新建的储源室内，已有放射源暂存库已按相关要求设置及管理，本项目不再赘述，本项目新建储源室安全防护措施如下：

（1）储源室满足“防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏”的基本要求，暂存间内地面均用水泥硬化处理；放射源暂存库内无易燃、易爆、腐蚀性物品。

（2）储源室防护门设置电离辐射警告标志；

（3）储源室拟安装防盗门，储源室内及门口设置监控录像设备，且录像保存时间在30天以上，并与值班室联网；设置红外线报警装置，并与当地公安“110”联网；

（4）储源室由专人负责管理，实行双人双锁；

（5）公司已制定放射源的领用、交还和登记制度，放射源台账和定期清点检查制度。辐射工作人员在贮存、领用、使用、交还放射源时进行登记，放射源暂存库负责人进行检查，做到账物相符；

（6）领用含放射源的源容器或照射容器或连同源与容器的探伤装置时，放射源暂存库负责人对源容器外表面一定距离处的周围剂量当量率进行测量，确认放射源在源容器中。工作完毕交还时，储源室负责人再对离源容器外表面一定距离处的周围剂量当量率进行测量，确认放射源在其中，并将放射源及其容器放回原铅箱内存放，并登记放射源的领用和交还台账。

10.1.4.5 放射源的运输和移动管理

（1）目前公司已与浙江省科学器材进出口有限责任公司签订了 γ 射线探伤机委托运输协议。该单位具备中华人民共和国道路运输经营许可证，证号：浙交运管许可杭字（330101200129）号，经营范围：经营性危险货物运输资质（第7类）（剧毒化学品除外）。由浙江省科学器材进出口有限责任公司承担新进放射源与退役放射源的运输责任。

（2）放射源从放射源暂存库运至探伤机房时，放射源的货运运输要求按GB11806的规定执行，应满足A类与B类运输货包要求。在运输过程中，源窗应处于关闭状态，并有专门的锁定装置，放射源移动时，应使用小型车辆或手推车，使含源装置处于人员监视之下。

（3）放射源从储源室至探伤机房移动时，含源装置应置于储存设施内运输，只有在合适的源容器内正确锁紧并取出钥匙后方能移动。

10.1.4.6 废旧放射源的处置及换源

(1) 目前公司已与浙江省科学器材进出口有限责任公司签订了放射性同位素转让及退役源协议，当放射源需报废时，应按照协议规定将废旧放射源返回放射源生产单位。

(2) 在废旧放射源转让活动完成之日起 20 日内，公司拟将 1 份《放射性同位素转让审批表》报送浙江省生态环境厅备案。

(3) 废旧放射源由储源室运至现有放射源暂存库的储源坑内临时贮存，应及时通知源的销售单位专车取走。

(4) 严禁将废旧放射源非法转让，随意丢弃。

(5) 探伤装置装源（包括更换放射源）由放射源生产单位在生产厂家内进行操作，并承担其安全责任，放射源活度不得超过该探伤装置设计的最大额定装源活度。

10.1.4.7 危险废物环境管理措施

本项目危险废物主要为探伤洗片和评片过程中产生的废显（定）影液、废胶片，根据《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）和《危险废物转移管理办法》（生态环境部令第 23 号）等规定，为降低危险废物对环境的影响程度，建设单位针对危险废物的贮存、转移和处置等环节拟采取如下环境管理措施：

(1) 危废的贮存

本项目危险废物暂存依托于企业现有危废暂存间，建筑面积约 3m²，位于现有探伤机房西侧。现有危废暂存间相关照片见图 10-5。



危废暂存间内



危废暂存间防盗门

图 10-5 现有危废暂存间相关照片

现有危废暂存间严格按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）的相关要求进行比对，已采取基础防渗、防火、防雨、防晒、防扬散措施，配备照明设施等防治环境污染措施，门上已设置危废标识并上锁管理。同时，现有危废暂存间为本项目预

留空间约 1m²，可储存量约为 0.5t，本项目危险废物产生量约为 0.27t，贮存期限一般不超过 1 年，可以满足贮存的空间要求。

根据《建设项目危险废物环境影响评价指南》要求，本次评价明确危险废物贮存场所（设施）的名称、位置、占地面积、贮存方式、贮存容积、贮存周期等内容，见表 10-6。

表 10-6 现有危废暂存间基本情况表

序号	贮存场所 (设施)名称	危险废物 名称	危险废物 类别	危险废物 代码	位置	占地 面积	贮存 方式	贮存 能力	贮存 周期
1	现有危废 暂存间	废显（定） 影液、洗 片废水	HW16	900-019-16	现有探 伤机房 西侧	本项 目 1m ²	专用防 渗容器	0.5t	一年
2		废胶片	HW16	900-019-16			袋装 堆放		一年

现有危废暂存间的日常管理已做到：①专人管理，其他人员未经允许不得入内。②危险废物贮存前做好统一包装（液体桶装、固体袋装），防止渗漏，同时配备计量称重设备进行称重，危废包装容器粘贴符合规定的标签，注明危险废物名称、来源、数量、主要成分和性质。③危险废物分类分区贮存，不同类危险废物间应有明显间隔，严禁不相容、具有反应性的危险废物混合贮存。④建立危险废物管理台账，台账记录危险废物的名称、来源、数量、特性和包装容器的类别、入库日期、废物出库日期及接收单位名称。

（2）危废的转移

对于厂内运输，本项目危废从本项目辅助房间运输到现有危废暂存间，应由专人负责，专用容器或废物袋收集转移，避免可能引起的散落、滴漏。对于厂外运输，危废由有资质单位定期到厂内收集并运输转移，采用专用车辆。危废转移过程中应严格执行转移联单管理制度，危险废物电子转移联单数据应当在信息系统中至少保存十年。

（3）危废的委托处置

公司已与宁波大地环保有限公司签订了危废委托处置协议，危废集中收集后统一交由有宁波大地环保有限公司定期处理。

10.2三废的治理

（1）废气处理措施

X 射线、γ 射线会使周围空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物。其中臭氧产额大于氮氧化物，且辐射场所氮氧化物容许浓度比臭氧容许浓度高，因此本节主要考虑探伤

机房内臭氧的产生和排放影响。

本项目电缆、风管、冷凝管采用镀锌钢管的形式，电缆及冷凝管拟在非主射方向采用“U”型的方式穿墙，风管在顶棚采用“S”型穿墙。本项目探伤机房拟采用动力排风装置，探伤机房尺寸为 29.86m*12m*13.3m，风机风量为 31000m³/h，通风次数大于 6 次/h。机房内排风口拟设置于机房东侧，管道布设于机房吊顶，最终连接至屋顶排风井排出。

本项目探伤机房的管线管道未破坏探伤机房整体防护效果，满足辐射防护的要求。室内臭氧通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小。另外，企业应需确保工作中通风设施的完好和有效运行，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设备产生危害。

(2) 废水处理措施

本项目直线加速器冷却水循环使用，不外排。

(3) 固废处理措施

公司已与宁波大地环保有限公司签订了危废委托处置协议，危废集中收集后统一交由有宁波大地环保有限公司定期处理。超过安全使用期限的报废 γ 射线探伤机应委托探伤机生产单位进行回收处理。

(4) 射线装置报废辐射安全管理要求

本项目后期投入使用后，对拟报废的射线装置，企业应按照《浙江省辐射环境管理办法（2021 年修正）》中第十八条要求，对射线装置内的高压射线管进行拆解，并报颁发辐射安全许可证的生态环境部门核销，不得随意处置或丢弃。

10.3 环保措施及环保投资估算

本项目总投资1000万元，环保投资130万元，占总投资的13%。项目环保投资估算见表10-7。

表10-7 辐射安全防护和环保设施(措施)投资一览表

项目	辐射安全防护和环保设施(措施)	投资金额(万元)
辐射屏蔽措施	探伤机房由四面墙体、顶棚、1扇工件防护门以及2扇人员防护门组成,墙体主体材料为混凝土防护材料,防护门为铅或铅与硫酸钡防护砂浆。	100
安全防护措施	门-机连锁 2 套, 钥匙开关 1 套	1
	工作状态指示灯(门灯连锁)和声音报警器 2 套	0.5
	紧急开门开关 2 套	1
	紧急停机按钮 6 个	0.5
	灭火器材和火警报警装置	1
	机房内设紧急照明或独立通道照明系统	1
监测仪器及 警示装置	1 台 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪	3
	个人剂量报警仪 9 台	2
	个人剂量计 9 支	0.5
	视频监控系统 2 套	2
	固定式剂量率监测装置 1 套、便携式辐射检测报警仪 1 台	3
	电离辐射警告标志、监督区、控制区标识若干	0.5
废气处理措施	通排风系统 1 套	5
废水处理措施	加速器自带冷却水循环系统,冷却水循环使用不外排	/
固废处理措施	废靶由设备厂家回收利用,废旧放射源由厂家回收,废显(定)影液、废胶片委托有资质单位处置	6
辐射工作人员管 理与应急管理	辐射工作人员及应急人员的组织培训、职业健康检查与个人剂量监测	1
	应急和救助的资金、物资准备	2
合计		130

表 11 环境影响分析

11.1建设阶段对环境的影响

11.1.1建设阶段对环境的影响

本项目施工期涉及到综合厂房内探伤机房及操作间等配套用房的施工建设和装饰装修，通过对施工时段的控制以及施工现场严格管理等手段，可使本项目施工期环境影响的范围和强度进一步减小。

施工期污染物主要为废水、噪声、扬尘及固体废弃物等。

(1) 装修扬尘

施工时产生少量的建筑扬尘，可进行现场洒水来抑制并设置围护设施，采取措施后，对周围环境的影响很小。

(2) 废水

项目施工期施工人员产生的生活污水，依托建设单位生活污水临时处理设施进行处理。污水产生量很少，对环境影响很小。

(3) 固废

本项目固废主要为装修垃圾和建筑工人产生的生活垃圾。装修垃圾由施工方统一清运至住建部门指定堆放点。装修垃圾应及时清运，清运过程中应进行加盖防护，并适时清理运输路线，避免泥土撒落造成环境影响。在施工场地出入口设置临时收集桶，施工期产生的生活垃圾经统一收集后依托环卫部门定期清运。

通过严格执行国家环保法律法规以及当地政府的管理规定，科学管理、文明施工，本项目施工期产生的固体废物对周围环境影响较小。

(4) 噪声

针对本项目而言，施工期噪声污染防治措施具体有：

①合理安排施工机械安放位置，施工机械应尽可能放置于场界外造成影响最小的地点，并优先选用低噪声设备，以减少施工噪声。

②对高噪声设备采取隔声、隔振或消声措施，如在声源周围设置掩蔽物、加隔振垫、安装消声器等，可降低噪声源强 30~50dB(A)。

③日常应注意对施工设备的维修、保养，使各种施工机械保持良好的运行状态。经采取上述有效措施后，可大大降低本项目施工过程中噪声对周围声环境的影响。

11.1.2 设备安装与调试期影响分析

本环评要求射线装置的安装与调试应请设备厂家专业人员进行，建设单位不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，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，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近，防止辐射事故的发生。

由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可以接受的。设备安装完成后，建设单位需及时回收包装材料及其它固体废物作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 探伤机房辐射环境影响分析

11.2.1.1 预测工况确定

(1) 探伤装置剂量率比对

本项目探伤机房拟配置 1 台 X 射线探伤机与 DR、CT 配套使用，最高电压为 450kV；配置 1 台 6MeV 的电子直线加速器与 2 台 γ 射线探伤机（每枚放射源最大出厂活度均为 3.7×10^{12} Bq）进行探伤作业。所有探伤装置在探伤机房作业范围基本相同（见图 11-1 和图 11-2）。

根据有用线束剂量率计算公式，各探伤装置对探伤机房周围的剂量率跟加速器 1m 处的剂量率或 $A\Gamma$ （活度 $\times$ 周围剂量当量率常数）或 $I\delta_x$ （X 射线机管电流 $\times$ X 射线探伤机的发射率常数）成正比，以探伤机房关注点 A 为例，探伤机房屏蔽有效厚度 d 为 2400mm 混凝土，距离 r 为 9.7m，关注点 A 各探伤装置的周围剂量当量率对比情况见表 11-1。

表 11-1 探伤机房关注点 A 各探伤装置的周围剂量当量率对比情况

探伤装置	A/δ_x	Γ/I	屏蔽体厚度		屏蔽透射比 B_x	屏蔽后周围剂量当量率 H ($\mu\text{Sv/h}$)
			有效厚度 d (mm)	HVL 或 TVL (mm)		
电子直线加速器	$9 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$		2400mm 混凝土	TVL ₁ : 37mm; TVL: 33mm①	7.05×10^{-8}	0.68
^{192}Ir - γ 射线探伤机	100Ci	$0.17 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$		HVL: 50mm②	3.56×10^{-15}	2.38×10^{-11}
^{75}Se - γ 射线探伤机	100Ci	$0.072 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$		HVL: 30mm②	8.33×10^{-25}	2.35×10^{-21}
450kVX 射线探伤机	$52.93 \text{ mGy m}^2/(\text{mA min})$	5mA		TVL: 120mm ③	1.00×10^{-20}	1.69×10^{-18}

注：①数值来源于《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T30371-2013)附录 C 中图 C.1;

②数值来源于《工业探伤放射防护标准》(GBZ117-2022)中附录 A。

③数值来源于《辐射防护导论》(方杰主编)P103 页, 图 3.2;

(2) 探伤装置预测工况确定

由表 11-1 可知：对于 X 射线，本报告选取电子直线加速器作为探伤机房的评价对象进行理论计算，如探伤机房能够满足电子直线加速器的辐射防护要求，也能够满足 X 射线探伤机的辐射防护要求。对于 γ 射线， ^{192}Ir - γ 射线探伤机的射线能量最大，穿透性最强。因此，本报告选取 ^{192}Ir - γ 射线探伤机作为评价对象进行理论计算，探伤机房能够满足 ^{192}Ir - γ 射线探伤机的辐射防护要求，其也能够满足 ^{75}Se - γ 射线探伤机的辐射防护要求。

11.2.1.2 关注点的设置

本项目探伤机房预测背景为电子直线加速器与 ^{192}Ir - γ 射线探伤机独立运行时对探伤机房周围的辐射环境影响。

本项目探伤机房内拟用 6MeV 电子直线加速器，距靶 1m 处最大辐射剂量率为 $9 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ ，主射束方向为由北朝南（水平方向，无仰角）。南侧墙体以有用线束照射进行估算，而对东侧墙体、西侧墙体、北侧墙体、防护门、顶棚则以泄漏辐射和散射辐射（非有用线束）照射进行估算，探伤机房无地下层，地面可以不进行关注点的相关计算。

根据建设单位提供的资料，探伤机房内三种探伤装置的移动范围基本一致，预测点位示意图分别见图 11-1 和图 11-2。

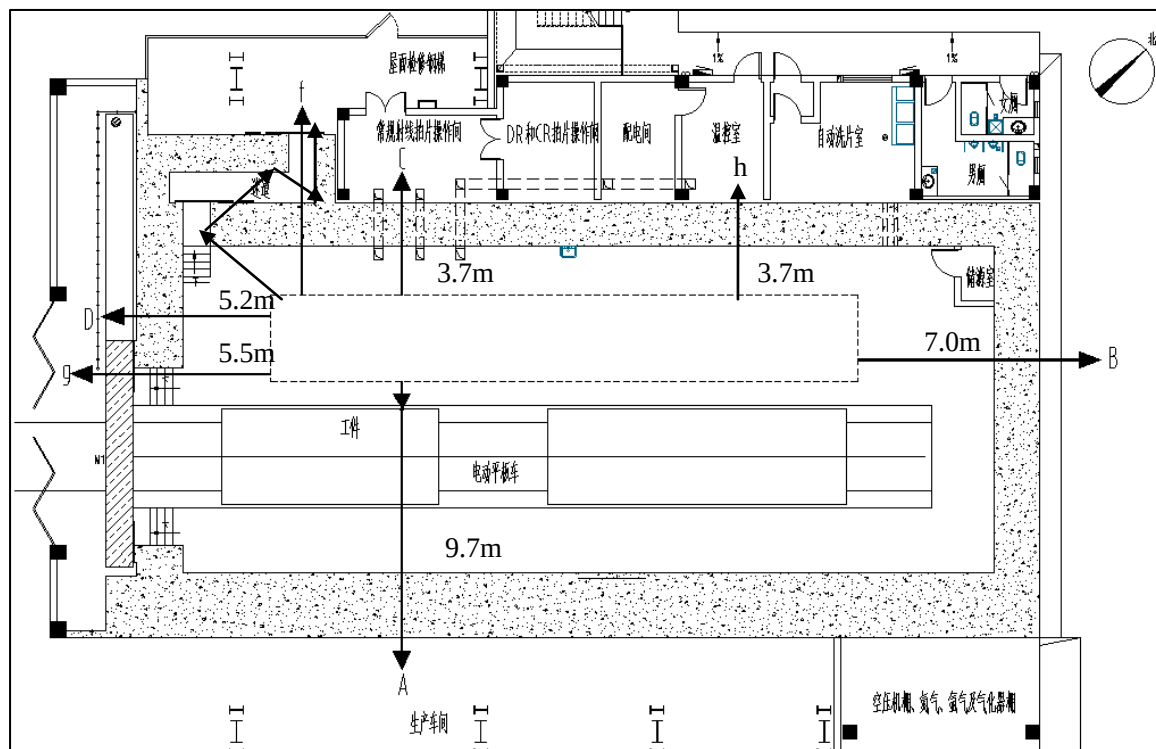


图11-1 探伤机房平面关注点示意图

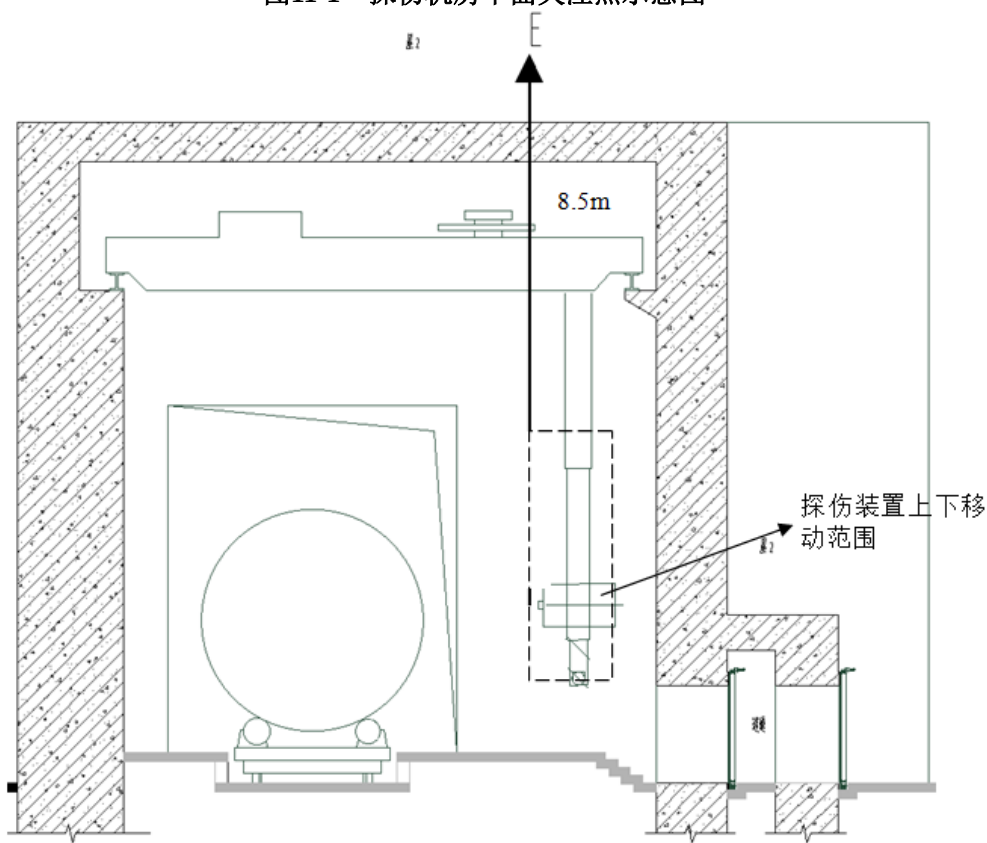


图11-2 探伤机房剖面关注点示意图

11.2.1.3 计算公式的选取

(1) γ 射线探伤机直射剂量率计算公式

因各预测点位与放射源使用位置之间的距离比放射源本身的几何尺寸大 5 倍以上，故可将放射源视为点源。 γ 射线辐射影响预测采用《辐射防护导论》（方杰主编）P76 页式（3.10）中 γ 点源空气比释动能率计算公式，无屏蔽体情况下参考点的空气比释动能率 $\dot{K}$ ：

$$\dot{K} = \frac{A \cdot \Gamma_k}{r^2} \dots \dots \dots (11-1)$$

式中：

$\dot{K}$ ：无屏蔽防护时参考点的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A：放射性活度，Bq；

Γ_k ：空气比释动能率常数，根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）

附录 A 表 A.1：对于 ^{192}Ir ， $\Gamma_k=0.17\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ；

r：参考点距离放射源的距离，m。

探伤作业时，有屏蔽体情况下参考点的空气比释动能率 K：

$$K = \frac{\dot{K}}{N} \dots \dots \dots (11-2)$$

式中：

K：有屏蔽体情况下参考点的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{K}$ ：无屏蔽防护时参考点的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

N：减弱倍数，根据公式 $N=2^{(d/\text{HVL})}$ 计算获取，式中 d：屏蔽层厚度，mm；HVL：不同材料的半值层厚度，mm。根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中附录 A 表 A.2，放射源 ^{192}Ir 在混凝土中的半值层厚度为 50mm，在铅中的半值层厚度为 3mm。

(2) 直线加速器透射计算公式

透射计算公式采用《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T30371-2013）附录 C 中公式 C.1 的推导公式：

$$H = \frac{D_o \times B_x \times T}{1.67 \times 10^{-5} \times d^2} \quad (\text{式}11-3)$$

$$B = 10^{-(X_e + \text{TVL} - \text{TVL}_1) / \text{TVL}} \quad (\text{式} 11-4)$$

式中：

H: 计算点剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

$\dot{D}_0$: 射线束中心轴上距靶1米处的空气比释动能率, $\text{mGy m}^2/\text{min}$; 本项目6MeV 电子直线加速器为 $15000\text{mGy m}^2/\text{min}$ ($9.0 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$)。

B: X 射线屏蔽穿透比, 按式11-4计算;

d: X 射线源与参考点间的距离, m;

T: 参考点的居留因子, 计算中保守取1;

n: 十分之一值层的数目;

X_e : 第 i 种屏蔽体厚度, cm;

TVL_1 : 第一什值层厚度, cm;

TVL: 平衡什值层厚度, cm;

注: 1.67×10^{-5} 为换算系数。

(3) 直线加速器漏射计算公式

参考《辐射防护导论》(方杰主编, 原子能出版社, 1991) P72, 漏射线剂量率计算公式如下:

$$\dot{D} = \frac{\dot{D}_0 f}{r^2} \prod_{i=1}^n 10^{-d_i / \text{TVL}_i} \quad (\text{式11-5})$$

式中:

$\dot{D}$: 计算点剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

$\dot{D}_0$: 射线束中心轴上距靶1米处的空气比释动能率, $\mu\text{Gy/h}$; 本项目6MeV 电子直线加速器为 $9 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ 。

f: 加速器泄漏率; 本项目加速器泄漏率为0.1%。

r: 计算点到源点的距离, m;

d_i : 第 i 种屏蔽体的厚度, mm;

TVL_i : 第 i 种屏蔽体的十分之一值层厚度, mm。

(4) 散射计算公式

散射计算公式根据《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T30371-2013)附录 C 附录 C 中迷道散射 X 射线计算公式 C.4推导:

$$H_m = H_0 \cdot \frac{(a_1 \cdot A_1) \cdot (a_2 \cdot A_2) \Lambda (a_n \cdot A_n)}{(d_1 \cdot d_2 \Lambda d_n)^2} \bullet B \quad (\text{式11-6})$$

式中：

H_m ：计算点散射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ 。

H_0 ：对于 γ 辐射源，数值上由 $A\Gamma_k$ 确定，其中 A 是放射源活度， Γ_k 是周围剂量当量率常数。对于放射源 ^{192}Ir ， $A=3.7\times 10^{12}\text{Bq}$ ， $\Gamma_k=0.17\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ，则 $H_0=629000\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}$ 。对于直线加速器，射线束中心轴上距靶1米处的空气比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ 。本项目6MeV电子直线加速器为 $9\times 10^8\mu\text{Gy/h}$ 。

a_1 ：X射线第一次散射系数；本项目保守取 1×10^{-2} 。

a_2 和 a_n ：分别为X射线第二次散射系数和第 n 次散射系数（ $n>2$ ），对于迷道第二次以上散射的散射系数均取值 2×10^{-2} 。

A_1 ：X射线第一次散射的散射面积， m^2 ；准直器散射可忽略；本项目射线束最大发射角为 30° ，工件相对靶点距离最近为1m，根据三角函数及圆的面积公式求得：探伤机房工件散射面积为 0.23m^2 。

A_2 和 A_n ：分别为X射线第二次和第 n 次的散射面积（ $n>2$ ）， m^2 。对于迷道第二次以上的散射的散射面积取散射宽度或迷道宽度与高度的乘积。

d_1 ：X射线第一次散射的散射距离， m ；

d_2 和 d_n ：分别为X射线第二次和第 n 次的散射距离（ $n>2$ ）， m ；

j ：指第 j 个散射过程；

本项目探伤机房迷道散射次数 $j=3$ ， $d_1=5.9\text{m}$ ， $d_{r1}=3.1\text{m}$ ， $d_{r2}=2.2\text{m}$ ， $d_{r3}=2.5\text{m}$ ； $A_1=A_2=A_3=2.2\text{m}^2$ 。

B ：X射线屏蔽穿透比，按式11-4计算；

散射射线能量估算，采用《辐射防护手册第一分册》354页，康普顿散射定律：

$$E_s = \frac{E_\lambda}{1 + \frac{E_\lambda}{0.511} (1 - \cos\theta)} \quad (\text{式11-7})$$

式中：

E_s ：散射线能量， MeV ；

E_λ ：入射线能量， MeV ；

θ ：散射线与入射线方向之间的夹角。

（5）天空反散射计算公式

根据NCRP-151号报告，计算公式为：

$$H = \frac{(2.5 \times 10^{-2} D_{10} \cdot \Omega^{1.3})}{(d_i \cdot d_s)^2} \cdot B_{xs} \quad (\text{式 11-8})$$

式中:

H 为在距离 X 射线辐射源 d_s 处地面, 天空反散射的 X 射线周围剂量当量率 (Sv/h);

D_{10} 为距靶 1m 处的剂量率, 探伤机房加速器漏射剂量率为 $900 \times 0.001 \text{ Gy/h}$; 对于 γ 射线探伤机, 由前述计算可知: $D_{10} = 629000 \mu\text{Sv/h} = 0.629 \text{ Sv/h}$;

B_{xs} 为 X 射线顶棚的屏蔽透射比; 计算方法同公式 11-4。

Ω 为由 X 射线源与屏蔽墙对向的立体角 (Sr);

d_i 为在顶棚上方 2m 处离靶的垂直距离 (m), 本项目探伤机房取 10.3m;

d_s 为 X 射线源至 P 点的距离 (m), 本项目探伤机房为 25m;

$$\Omega = 4 \text{tg}^{-1} \frac{a \cdot b}{c \cdot d} \quad (\text{式 11-9})$$

式中:

a: 源到机房边缘最近距离 (南北方向, m), 本项目探伤机房为 1.8m;

b: 源到机房边缘最近距离 (东西方向, m), 本项目探伤机房为 5m;

c: 源到顶棚表面中心的距离 (m), 本项目探伤机房为 8.3m;

d: 源到顶棚边缘的距离 (m), 且 $d = (a^2 + b^2 + c^2)^{1/2}$, 本项目为 9.9m。

则可计算出: $\Omega = 0.44 \text{ Sr}$ 。

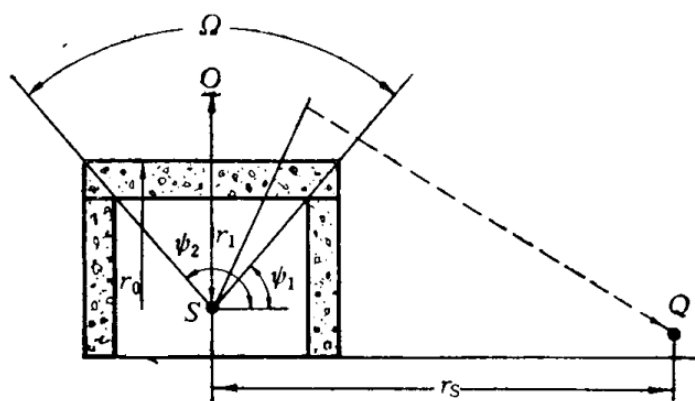


图 11-4 天空散射计算示意图

11.2.1.3 计算参数的选取

表 11-2 探伤装置参数

电子直线加速器	
型号	型号未定
加速器最大能量	6MeV
输出剂量	线束中心轴上距靶 1 米处 X 射线剂量率为 $9 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$
射线束张角	30°
加速器泄漏率	0.1%
^{192}Ir 射线探伤机	
活度	100Ci
最大射线能量	0.612MeV

表 11-3 屏蔽计算 TVL 值或 HVL 值

电子直线加速器				
X 射线能量（MeV）	TVL ₁ 值		TVL 值	
	混凝土（cm）	铅（cm）	混凝土（cm）	铅（cm）
6（主射线）	37	/	33	5.6
6（漏射线）	34	/	29	5.6
0.5（散射线）	/	/	12	1.2
¹⁹² Iry 射线探伤机				
γ 射线能量（MeV）	HVL 值			
0.612	混凝土（mm）		铅（mm）	
	50		3	

注：1、直线加速器混凝土什值层取值于 NCRP Report No. 151；铅的什值层取值于《辐射防护导论》图 3.24。

2、¹⁹²Iry射线探伤机半值层数值来源于《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中附录A表A.2。

3、散射能量保守均按 90 度计算取值，根据式 11-8，加速器散射能量为 0.5MeV。

表 11-4 探伤机房直线加速器散射的几何参数

位置 \ 参数	相对靶点的距离 (m)	射线束面积 (m ²)
探伤机房待测工件	1.0	0.23

11.2.1.4 探伤机房四周辐射剂量率水平预测

本项目探伤机直线加速器运行时关注点位辐射剂量率水平预测参数及结果见表 11-5， ^{192}Ir 射线探伤机运行时关注点位辐射剂量率水平预测参数及结果见表 11-6。

表 11-5 本项目探伤机房直线加速器运行时关注点辐射剂量率计算结果

关注点	描述	射线类型	离源点距离/ 源点到散射 点距离+散 射点到计算 点距离（m）	屏蔽物有效 厚度（cm）	B	计算值（μGy/h）	
A	探伤机房南 侧墙外 30cm 处,生产车间	主射	9.7	240 cm 砼	7.05×10^{-8}	0.68	
B	探伤机房东 侧墙外 30cm 处,室外道路	漏射	7.0	170 cm 砼	2.04×10^{-6}	0.04	0.04
		散射	1.0+7.1	170 cm 砼	6.81×10^{-15}	2.80×10^{-1} 0	
C	探伤机房北 侧墙外 30cm 处,操作间	漏射	3.7	160 cm 砼	4.52×10^{-6}	0.30	0.30
		工件散射	1.0+4.7	160 cm 砼	4.64×10^{-14}	4.35×10^{-9}	
D	探伤机房西 侧墙外 30cm 处,生产车间	漏射	5.2	170 cm 砼	2.04×10^{-6}	0.07	0.07
		工件散射	1.0+5.3	170 cm 砼	6.81×10^{-15}	1.22×10^{-9}	
E	探伤机房顶 棚上 30cm 处,不上人屋 面	漏射	8.5 ^①	90 cm 砼	1.17×10^{-3}	14.60	14.6
		工件散射	1.0+10.0	90 cm 砼	3.16×10^{-8}	6.54×10^{-5}	
f	探伤机房人 员防护门外 30cm 处,生 产车间	漏射	6.3	混凝土 160cm 铅 25mm	4.52×10^{-6}	0.10	0.04
		迷道散射	/	铅 50mm	6.81×10^{-5}	2.58×10^{-4}	
g	探伤机房工 件防护门外 30cm 处,生 产车间	漏射	5.5	硫酸钡 ^② 25cm 铅 180mm	1.93×10^{-5}	1.09	1.09
		工件散射	1.0+5.5	硫酸钡 ^② 25cm 铅 180mm	4.64×10^{-19}	6.35×10^{-1} 4	
h	北侧温控室 等其他工作 房间	漏射	3.7	160 cm 砼	4.52×10^{-6}	0.30	0.30
		工件散射	1.0+4.7	160 cm 砼	4.64×10^{-14}	4.35×10^{-9}	
天空反散射			$1.37\times10^{-4}\mu\text{Sv/h}<\text{控制值}$ （天空反散射关注点剂量率控制水平为 0.1mSv/1000h/1（居留因子）*1000=0.1μSv/h）				

注：①探伤机房净高 13.3m，顶棚 0.9m 混凝土，靶点离地最大为 6m，故 1 号机房漏射路径长为 8.5m。

②根据《放射卫生学》P141，可以采用密度比 ($d_{\text{混凝土}} = d_{\text{材料}} * (\rho_{\text{材料}} / \rho_{\text{混凝土}})$) 换算成混凝土的厚度，本项目混凝土密度不低于 $2.35 \text{g}/\text{cm}^3$ ，硫酸钡密度不低于 $3.8 \text{g}/\text{cm}^3$ ，25cm 硫酸钡折算成 40cm 混凝土。

由表11-5预测结果可知：本项目加速器运行过程中机房四侧墙体、防护门周围辐射剂量率最大为 $1.09 \mu\text{Gy/h}$ ，满足参考《电子直线加速器工业CT辐射安全技术规范》（HJ785-2016）中“附录A所包含的工作场所以及周边环境的屏蔽体（墙）表面大于或等于30cm处任何监测点的周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的要求；顶棚辐射剂量率最大为 $14.6 \mu\text{Gy/h}$ ，满足参考《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

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

由表11-6预测结果可知：当探伤机房内仅开启一台活度为 $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$ 的 ^{192}Ir -- γ 射线探伤机进行探伤时，探伤机房各侧屏蔽墙体和工件门辐射剂量率均满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“探伤室墙和入口门的关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；对不需要人员到达的探伤室顶外30cm处的剂量率参考控制水平不大于 $100\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

11.2.1.5 探伤机房各类管道线路屏蔽效果分析

本项目电缆、风管、冷凝管采用镀锌钢管的形式，电缆及冷凝管拟在非主射方向采用“U”型的方式穿墙，风管在顶棚采用“S”型穿墙。根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189 页的实例证明，本项目所有射线均需经过三次以上散射才能经管道散射至探伤机房墙外，经过管道的多重反射、吸收和削减后辐射能量急剧下降，射线通过管道外漏可忽略不计。因此，本项目各类电缆线、X、 γ 射线探伤机的控制缆线和排风等管道的布置方式不会破坏墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

表 11-6 本项目探伤机房 $^{192}\text{Ir}\gamma$ 射线探伤机运行时关注点辐射剂量率计算结果

关注点位	A（Bq）	Γ_k $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	r（m）	无屏蔽体时参 考点的空气比 释动能率K （ $\mu\text{Sv/h}$ ）	防护材料及 厚度 d	半值层厚度 HVL（mm）	减弱倍数 N	有屏蔽体时参 考点的空气比 释动能率 K （ $\mu\text{Sv/h}$ ）	控制限值 K*（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	评价 结果
A 探伤机房南侧 墙外 30cm 处	3.70×10^{12}	0.17	9.7	6685	240cm 砼	50mm	2.81×10^{14}	2.38×10^{-11}	2.5	符合要求
B 探伤机房东侧 墙外 30cm 处	3.70×10^{12}	0.17	7.0	12837	170 cm 砼	50mm	1.72×10^{10}	7.46×10^{-7}	2.5	符合要求
C 探伤机房北侧 墙外 30cm 处	3.70×10^{12}	0.17	3.7	45946	160cm 砼	50mm	4.29×10^9	1.07×10^{-5}	2.5	符合要求
D 探伤机房西侧 墙外 30cm 处	3.70×10^{12}	0.17	5.2	23262	170cm 砼	50mm 砼	1.72×10^{10}	1.35×10^{-6}	2.5	符合要求
E 探伤机房顶棚 上 30cm 处	3.70×10^{12}	0.17	8.5	8706	90cm 砼	50mm 砼	2.62×10^5	0.03	100	符合要求
f 探伤机房人员防 护门外 30cm 处	3.70×10^{12}	0.17	6.3	15848	混凝土 160cm 铅 25mm	50mm 砼 /3mm 铅	1.38×10^{12}	3.70×10^{-8}	2.5	符合要求
			迷道散射		铅 50mm	3mm 铅	1.04×10^5			
g 探伤机房工件防 护门外 30cm 处	3.70×10^{12}	0.17	5.5	20793	硫酸钡 25cm 铅 180mm	50mm 砼 /3mm 铅	2.01×10^{18}	1.03×10^{-14}	2.5	符合要求
h 北侧温控室等其 他工作房间	3.70×10^{12}	0.17	3.7	45946	160cm 砼	50mm	4.29×10^9	1.07×10^{-5}	2.5	符合要求
天空反散射	$2.57\times10^{-9}\mu\text{Sv/h}<\text{控制值}$ （天空反散射关注点剂量率控制水平为 0.1mSv/1000h/1（居留因子）*1000=0.1 $\mu\text{Sv/h}$ ）									符合要求
注：①探伤机房净高 13.3m，顶棚 0.9m 混凝土，靶点离地最大为 6m，故 1 号机房漏射路径长为 8.5m。										
②根据《放射卫生学》P141，可以采用密度比（d 混凝土=d 材料*（ ρ 材料/ ρ 混凝土））换算成混凝土的厚度，本项目混凝土密度不低于 2.35g/cm ³ ，硫酸钡密度不低于 3.8g/cm ³ 。25cm 硫酸钡折算成 40cm 混凝土。										

11.2.2 储源室辐射环境影响分析

11.2.2.1 放射源在探伤机内屏蔽状态下辐射环境影响分析

本项目拟配备的 γ 射线探伤机为P类（手提式）探伤机。当放射源处于探伤机源容器内时，根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）表1，P类探伤机离源容器表面5cm处最大周围当量剂量率为0.5mSv/h，探伤机离源容器表面100cm处最大周围当量剂量率为0.02mSv/h。

而周围当量剂量率与距离平方成反比，因此根据式11-10可计算得出距离探伤机不同位置处的辐射水平，具体计算结果见表11-7。

$$K_1 = K_0 R_0^2 / R_1^2 \dots\dots\dots \text{（式 11-10）}$$

式中：

K_1 ：距探伤机外表面 R_m 处的周围当量剂量率， Sv h^{-1} ；

K_0 ：距离探伤机外表面1m处的周围当量剂量率， Sv h^{-1} ；

R_0 ：探伤机表面外1m处与放射源之间的距离，m；

R_1 ：参考点与放射源之间的距离，m。

表 11-7 距探伤机外表面不同距离处的辐射水平估算结果（ m Sv h^{-1} ）

探伤机外表面（m）	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0	3.0
周围剂量当量率	0.22	0.09	0.06	0.03	0.02	0.01	0.009	0.005	0.0025

通过表中计算结果可以看出，工作人员在探伤机房内移动探伤机或进行其他活动的过程中近距离接触 γ 射线探伤机将受到一定的外照射。因此，实际工作过程中工作人员应注意控制与探伤机的接触时间，在探伤机房内进行工件调运以及胶片贴、取等其他工作时还应注意与探伤机保持一定的距离。

11.2.2.2 储源室的辐射环境影响分析

（1）储源室屏蔽能力分析

根据建设单位提供资料，本项目利用企业已有的1台 ^{192}Ir 探伤机和1台 ^{75}Se 探伤机在本项目探伤机房内探伤， ^{192}Ir 探伤机和 ^{75}Se 探伤机为手提式， ^{192}Ir 探伤机和 ^{75}Se 探伤机平时贮存于企业已有放射源暂存库，在本项目探伤机房探伤时，临时贮存于本项目探伤机房储源室内。企业已有放射源暂存库周围剂量当量率已在《宁波甬安检测技术有限公司 γ 射线探伤及放射源暂存间扩建应用项目辐射安全分析材料》中进行分析，本项目不再赘述。本项目储源室位于探伤机房内北侧，储源室内存放1只铅箱。铅箱尺寸为0.68m(长)*0.45m(宽)*0.45m(深)，铅箱四周、顶部和底部采用10mm厚铅板，中间用

5mm 厚铅板隔开，一个铅箱可存放 2 台 γ 射线探伤机。故该储源室最多可存放 2 台 γ 射线探伤机，能满足企业本项目探伤机房 γ 射线探伤机的临时存放要求。本次评价按储源室最大储存 2 台含源探伤机进行评价。

(2) 辐射屏蔽防护性能预测

①预测模式

根据空气比释动能率与距离的平方成反比的关系式及《辐射防护导论》（方杰主编）P96页公式（3.45），可推导出：

$$K = \frac{K_0}{N} \cdot \frac{r_0^2}{r^2} \dots\dots\dots (11-11)$$

式中：

K：源箱外或储源室外r（m）处的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

K_0 ：源箱外表面30cm处周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

r_0 ：距照射容器外距离或源到源箱外表面 30cm 的距离，m；

N：减弱倍数，根据公式 $N=2^{(d/\text{HVL})}$ 计算获取，式中d：屏蔽层厚度，mm；HVL：不同材料的半值层厚度，mm。

②主要预测参数

表 11-8 γ 射线的半值层厚度 单位：mm

放射源	混凝土	铅
^{192}Ir	50	3
^{75}Se	30	1

③源箱外30cm辐射剂量率的计算

^{192}Ir - γ 射线探伤机的射线能量最大，穿透性最强，且半值层最大。因此，本报告选取 ^{192}Ir - γ 射线探伤机作为评价对象进行理论计算。源箱外30cm辐射剂量率的计算根据式 11-9。

表 11-9 储源室内源箱外 30cm 辐射剂量率的计算结果

关注点位	探伤机	源强 K_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	R_0/R_1 (m)	减弱倍数 N	剂量率 贡献值 ($\mu\text{Sv/h}$)	关注点 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
源箱外 30cm	^{192}Ir - γ 射线 探伤机	0.5	0.05/0.5	10.08	0.496	0.50
	^{75}Se - γ 射线 探伤机	0.5	0.05/0.5	1024	4.88×10^{-3}	

因此，本项目储源室源箱贮存 1 台 ^{192}Ir - γ 射线探伤机与 1 台 ^{75}Se - γ 射线探伤机时，源箱外空气比释动能率最大为 $0.50\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中对于放射源贮存设施“在公众能接近的距外表面最近处，其屏蔽应能使该处周围剂量

当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 或者审管部门批准的控制水平”的要求。

④储源室周围辐射剂量率的计算

A、储源室预测点位

储源室预测点位图见图 11-5。

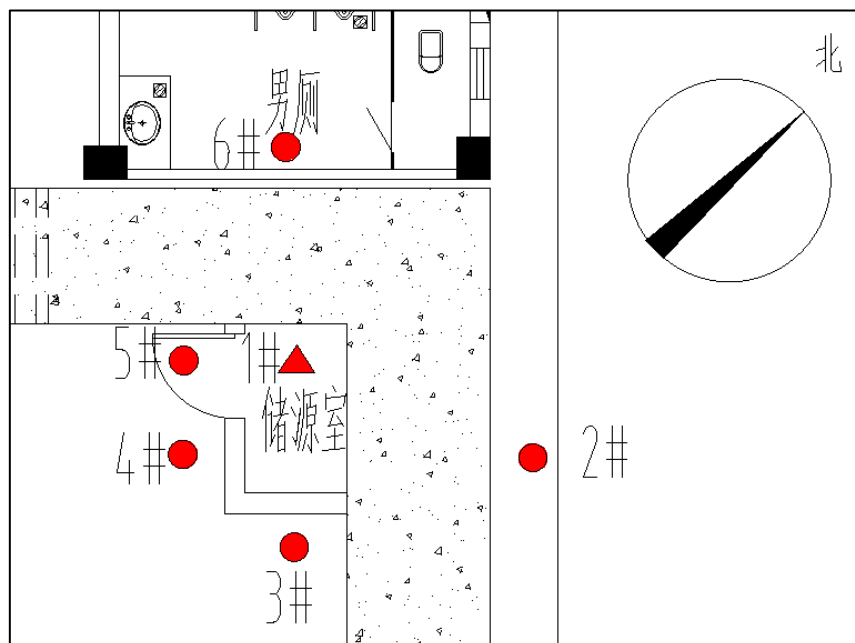


图 11-5 储源室关注点位图

B、预测结果

储源室周围辐射剂量率的计算结果见表 11-10。

表 11-10 储源室周围辐射剂量率的计算结果

关注点 位	K_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽材 料及厚 度	减弱 倍数	r_0 (m)	r (m)	K ($\mu\text{Sv/h}$)	控制限值 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价 结果
1#储源 室顶棚	0.50	200mm 混凝土	16	0.5	2.2	1.61×10^{-3}	2.5	符合
2#储源 室东侧 墙外		1700mm 混凝土	1.72×10^{10}	0.5	2.0	1.82×10^{-12}	2.5	符合
3#储源 室南侧 墙外		240mm 混凝土	27.9	0.5	1.4	2.29×10^{-3}	2.5	符合
4#储源 室西侧 墙外		240mm 混凝土	27.9	0.5	1.2	3.11×10^{-3}	2.5	符合
5#储源 室西侧 防护门 外		5mm 铅	3.2	0.5	1.2	2.71×10^{-3}	2.5	符合
6#储源 室北侧		1600mm 混凝土	4.30×10^9	0.5	1.9	8.05×10^{-12}	2.5	符合

墙外								
注：K ₀ 取距源 0.5m 处 2 台 γ 射线探伤机的源箱外总辐射剂量率，保守全按 ¹⁹² Ir 的什值层来计算储源室外的辐射剂量率。								
因此，储源室储存 2 台 γ 射线探伤机时，其周围周围剂量当量率最大为 3.11×10⁻³μSv/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中对于放射源贮存设施“在公众能接近的距外表面最近处，其屏蔽应能使该处周围剂量当量率小于 2.5 μSv/h 或者审管部门批准的控制水平”的要求。 11.2.3 有效剂量估算 （1）计算公式 按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）—2000 年报告附录 A，X-γ 射线产生的外照射人均年有效剂量按下列公式计算： $H_{E-r}=D_r\times t\times T\times 10^{-3} \quad (\text{式 11-12})$ 式中： H_{E-r}：外照射人均年有效剂量，mSv； D_r：周围剂量当量率，μSv/h； t：照射时间，h； T：居留因子。本项目的居留因子选取根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 A.1。 近似 1Gy=1Sv。 （2）工作负荷 本项目9名辐射工作人员分为二组二班制，每组4名辐射工作人员，其中2名辐射工作人员负责储源室放射源管理，2名负责探伤操作工作；其余1名为机动工作人员，每班工作8小时，每年工作300天。其中电子直线加速器年出束时间最大为75h，DR-X 射线探伤机与 CR-射线探伤机年探伤工件6000个，年出束时间最大为3000h，γ 射线探伤机年探伤时间最大为166.67h。 （3）辐射工作人员有效剂量计算 本项目辐射工作人员所在操作室周围 50m 范围内无现有核技术利用项目，因此辐射工作人员不考虑现有核技术利用项目的叠加影响。 A、现有放射源暂存库管理人员 本项目放射源暂存库管理人员为企业现有放射源暂存库管理人员，本项目不新增放射源，放射源暂存库管理人员工作内容基本不变，放射源暂存库管理人员有效剂量已在								

《宁波甬安检测技术有限公司 γ 射线探伤及放射源暂存间扩建应用项目辐射安全分析材料》中进行分析，本项目不再赘述。

B、储源室辐射工作人员

a、现有放射源暂存库取源与还源

辐射工作人员在现有放射源暂存库内打开储源坑（取源与还源共约2min/次，2个放射源年取源与还源最多4次，年受照时间约为0.14h，周围剂量当量率保守取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ），将探伤机从储源坑拿出放到铅箱内或从铅箱内取出放到储源坑（取源与还源共约0.5min/次，2个放射源年取源与还源最多4次，年受照时间为0.034h，周围剂量当量率保守按源容器表面外5cm处周围剂量当量率控制值取 0.5mSv/h ），将铅箱放至专用运输车辆装车或从专用运输车卸下（取源与还源共约4min/次，2个放射源年取源与还源最多4次，年受照时间为0.27h，周围剂量当量率保守按源容器表面外1m处周围剂量当量率控制值取 0.02mSv/h ）。该环节辐射工作人员年附加有效剂量为 0.025mSv/a 。

b、运输：从现有放射源暂存库运送到探伤机房储源室由公司辐射工作人员采用专用车辆进行运送（取源与还源共约30min/次，2个放射源年取源与还源最多4次，年受照时间为2h，周围剂量当量率保守按源容器表面外1m处周围剂量当量率控制值取 0.02mSv/h ）。该环节辐射工作人员年附加有效剂量为 0.04mSv/a 。

c、储源室的取源与还源

辐射工作人员在储源室内打开源箱（取源与还源共约2min/次，2个放射源年取源与还源最多300次，年受照时间约为10h，周围剂量当量率保守取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ），将探伤机从源箱拿出放到铅箱内或从铅箱内取出放到源箱（取源与还源共约0.5min/次，2个放射源年取源与还源最多300次，年受照时间为2.5h，周围剂量当量率保守按源容器表面外5cm处周围剂量当量率控制值取 0.5mSv/h ），将铅箱移至探伤机房探伤地点或从探伤地点移至储源室（共约2min/次，2个放射源最多300次，年受照时间为10h，周围剂量当量率保守按源容器表面外1m处周围剂量当量率控制值取 0.02mSv/h ）。该环节辐射工作人员年附加有效剂量为 1.48mSv/a 。

d、操作间

加速器运行时操作间辐射剂量率为 $0.30\mu\text{Gy/h}$ ，加速器每年出束时间最大为75h，居留因子取1，该环节辐射工作人员年附加有效剂量为 0.023mSv/a 。操作间的辐射剂量率为 $1.07\times 10^{-5}\mu\text{Gy/h}$ ， γ 射线探伤机年探伤时间最大为166.67h，居留因子取1，该环节单名辐射工作人员年附加有效剂量为 $1.78\times 10^{-6}\text{mSv/a}$ 。本项目X射线探伤机最大管电压为

450kV，最大管电流10mA，出束能量较小，机房屏蔽厚度较大，X射线探伤机对操作间的影响可忽略。

综上所述，本项目储源室工作人员单名辐射工作人员的有效剂量叠加结果为： $(0.025\text{mSv/a} + 0.04\text{mSv/a} + 1.48\text{mSv/a} + 0.023\text{mSv/a} + 1.78 \times 10^{-6}\text{mSv/a}) / 2 = 0.78\text{mSv/a}$ 。

C、探伤装置辐射工作人员

a、操作间

加速器运行时操作间辐射剂量率为 $0.30\mu\text{Gy/h}$ ，加速器每年出束时间最大为75h，居留因子取1，该环节辐射工作人员年附加有效剂量为 0.023mSv/a 。操作间的辐射剂量率为 $1.07 \times 10^{-5}\mu\text{Gy/h}$ ， γ 射线探伤机年探伤时间最大为166.67h，居留因子取1，该环节单名辐射工作人员年附加有效剂量为 $1.78 \times 10^{-6}\text{mSv/a}$ 。本项目X射线探伤机最大管电压为450kV，最大管电流10mA，出束能量较小，机房屏蔽厚度较大，X射线探伤机对操作间的影响可忽略。

b、 γ 射线探伤机移动与安装

近距离移动探伤机和安装、收回输源导管一般不超过5min，每年最多操作300次，则辐射工作人员年受照时间为25h，取辐射工作人员处于离探伤机100cm处，周围剂量当量率保守按源容器表面外1m处周围剂量当量率控制值取 0.02mSv/h 。该环节辐射工作人员年附加有效剂量为 0.5mSv/a 。

c、储源室的影响

辐射工作人员在安装胶片及安装、收回输源导管时会受到储源室的辐射影响，电子直线加速器探伤进件和安装胶片一般不超过5min，一年最多300次；近距离移动探伤机和安装、收回输源导管一般不超过5min，每年最多操作300次；则辐射工作人员年受照时间共为50h，储源室西侧防护门外剂量率为 $2.71 \times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}$ ，该环节辐射工作人员年附加有效剂量为 $1.36 \times 10^{-4}\text{mSv/a}$ 。

综上所述，本项目探伤装置单名辐射工作人员的有效剂量叠加结果为： $(0.023\text{mSv/a} + 1.78 \times 10^{-6}\text{mSv/a} + 0.5\text{mSv/a} + 1.36 \times 10^{-4}\text{mSv/a}) / 2 = 0.26\text{mSv/a}$ 。

(4) 公众人员有效剂量计算

本项目与现有探伤室存在评价范围的重叠，因此重叠区域内（本项目北侧现有厂房，该区域距本项目最近距离约30m，距现有探伤室约10m）公众人员考虑现有探伤室的叠加影响。根据检测报告（DQ(2022)检字第FS0224020号），现有探伤室南侧墙体及防护门外表面30cm处最大剂量率为 144nGy/h ，根据建设单位提供的资料，现有探伤室年

出束时间约为 1200h。

本项目 X 射线探伤机最大管电压为 450kV，最大管电流 10mA，出束能量较小，机房屏蔽厚度较大，X 射线探伤机对公众人员的影响可忽略。本项目储源室、 γ 射线探伤机运行时对于公众人员可到达处辐射剂量率很小，对公众人员的影响可忽略。因此，本项目主要考虑电子直线加速器运行时对公众人员的影响。

表 11-11 公众人员受照剂量计算参数及计算结果一览表

公众人员	居留因子	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年受照时间 (h/a)	年受照总剂量 (mSv/a)
探伤机房东侧室外道路 公众人员	1/16	0.04	75	1.88×10^{-4}
探伤机房南侧生产车间 公众人员	1	0.68	75	0.05
探伤机房西侧生产车间 公众人员	1	0.07	75	5.25×10^{-3}
探伤机房北侧检测室、温控室等 1~3 层辅房、综合厂房等公众人员	1	0.30	75	0.02
探伤机房北侧重型二厂房等 公众人员（现有探伤室影响）	1	$0.144/10^2$ *	1200	1.76×10^{-3}
探伤机房北侧重型二厂房等 公众人员（本项目影响）	1	$0.30/30^2$ *	75	

注：*代表剂量率根据与距离的平方成反比得出。

本项目9名辐射工作人员从现有辐射工作人员调配，专门从事本项目辐射工作，不兼任其他岗位工作，因此不叠加现有辐射工作人员的个人剂量。

由估算结果可见，本项目单名辐射工作人员的最大年附加有效剂量为0.78mSv/a，小于本次评价项目剂量约束值（职业人员 $\leq 5.0\text{mSv/a}$ ），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的工作人员所接受的职业照射水平不应超过20mSv/a的剂量限值要求。

本项目所致公众最大受照年有效剂量为0.05mSv，满足本项目公众人员年剂量约束值不超过0.1mSv的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过1mSv/a”的剂量限值要求。

11.3“三废”环境影响分析

11.3.1 大气环境影响分析

（1）臭氧和氮氧化物影响分析

本项目 X 射线探伤机、 γ 射线探伤机、加速器运行时，会和空气发生作用产生 O_3 、

NO_x 等废气，X 射线探伤机、γ 射线探伤机时产生的 O₃、NO_x 等废气较小，本项目只进行定性分析，不进行定量分析。由于加速器 X 射线模式下产生的臭氧影响较小，故本项目仅估算在电子直线加速器在运行期间电子束模式情况下产生的臭氧浓度，本项目臭氧的产生浓度参照《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）附录 E 的计算公式进行估算。

$$C_{O_3} = 2.79 \times \frac{Id}{V} \times (1 - e^{-\frac{v}{V}t}) \quad (\text{式 11-13})$$

式中：

C_{O3}：机房中臭氧浓度，mg/m³；

I：电子束流强度，mA；本项目探伤机房取保守 0.1mA；

d：电子束在空气中的径迹长度，cm；本项目为 100cm；

V：机房体积，m³；本项目探伤机房约为 4766m³；

v：排气速率，m³/s；本项目探伤机房为 8.61m³/s；

t：辐照时间，s；单次最长出束时间保守取 600s。

由上式计本项目直线加速器运行时臭氧的浓度为见表 11-12。

表 11-12 探伤机房内臭氧浓度预测

序号	机房名称	机房容 积 m ³	电子束流 强度 mA	电子束在空气 中的径迹长度 cm	排气速率 m ³ /s	探伤结束后机房 内的臭氧浓度 mg/m ³
1	探伤机房	4766	0.1	100	8.61	3.87×10 ⁻³

根据计算结果可知本项目运行中探伤机房内最高臭氧浓度为 3.87×10⁻³mg/m³，可满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中“臭氧最高容许浓度 0.3mg/m³”，满足标准要求；

加速器运行过程中会产生多种氮氧化物，其中以 NO₂ 为主，其产额约为 O₃ 的一半，NO₂ 的时间加权平均容许浓度（5mg/m³）远大于 O₃ 的限值。因而探伤机房内氮氧化物浓度低于《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中“氮氧化物的时间加权平均容许浓度 5mg/m³”，满足标准要求。

11.3.2 水环境影响分析

加速器自带冷却水循环系统，其使用的冷却水为纯净水，不会在管壁结垢也不会腐蚀设备，循环使用不外排（需定时补充纯净水）。

11.3.3 固体废物影响分析

探伤过程如有加速器废靶产生，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），应对废靶外表面进行辐射剂量率监测，符合解控水平后由设备厂家回收。企业产生的废

旧放射源由放射源生产厂家回收，超过安全使用期限的报废 γ 射线探伤机应委托探伤机生产单位进行回收处理。

探伤作业完成后产生的废显（定）影液、洗片废液与废胶片，暂存于现有危废暂存间，委托宁波大地化工环保有限公司集中收集与处置，不得随意排放或废弃，采取该措施后不会对周围环境或人类健康造成危害。

11.4 辐射事故影响分析

11.4.1 事故类型

本项目探伤过程存在着风险和潜在危害以及事故隐患，可能出现概率较大或后果较严重的误照射辐射事故如下：

11.4.1.1 电子直线加速器、X 射线探伤机

（1）联锁装置失效，探伤时人员误入受到意外照射；

（2）操作人员出现误操作，对探伤工作人员和现场周围公众造成照射；

（3）检修人员在设备未断电的情况下进行检修，电子直线加速器、X 射线探伤机因误操作或其他原因开机出束，造成误照射。

11.4.1.2 γ 射线探伤机

（1）联锁装置失效，探伤时人员误入受到意外照射；

（2）操作人员出现误操作，对探伤工作人员和现场周围公众造成照射；

（3）管理不善导致放射源损坏或丢失，导致接触放射源的人员受到超剂量照射；

（4） γ 射线探伤时由于机器设备原因出现卡源而导致操作人员受到超剂量照射。

事故工况下污染源项同正常工况。

11.4.2 风险防范措施

11.4.2.1 电子直线加速器、X 射线探伤机

（1）为避免误照射事故发生，建设单位应该加强管理，制定详细完整的安全操作规程，每次探伤作业均严格执行操作规程，职业人员应该在确保机房内无人停留后，方可出束探伤。

（2）为防止人员误入或误留机房造成辐射事故，本项目机房内设置了独立的多重联锁装置、警示装置、监控装置、急停按钮、辐射监测装置等多项安全防护措施，机房防护门出入口设计有电离辐射警告标志等。建设单位应定期对安全联锁装置、报警装置、急停按钮等进行检查，确保其正常运行。

（3）为防止操作人员违规操作或误操作，建设单位应提前对操作人员进行技术培

训，确保其掌握本项目射线装置的操作流程和技术方法。在项目投运后，建设单位将加强管理，提高操作人员安全意识，禁止未经培训的操作人员操作射线装置。

(4) 定期对工业 X 射线探伤工作场所的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，制定各项管理制度并严格按照要求执行，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。设备维修时由厂家维修人员进行维修，维修时切断电源，防止探伤机发生异常出束。

11.4.2.2 γ 射线探伤机

(1) 为避免误照射事故发生，建设单位应该加强管理，制定详细完整的安全操作规程，每次探伤作业均严格执行操作规程，职业人员应该在确保机房内无人停留后，方可出束探伤。

(2) 为防止人员误入或误留机房造成辐射事故，本项目机房内设置了独立的多重联锁装置、警示装置、监控装置、辐射监测装置等多项安全防护措施，机房防护门出入口设计有电离辐射警告标志等。建设单位应定期对安全联锁装置、报警装置等进行检查，确保其正常运行。

(3) 为防止操作人员违规操作或误操作，建设单位应提前对操作人员进行技术培训，确保其掌握本项目 γ 射线探伤机的操作流程和技术方法。在项目投运后，建设单位将加强管理，提高操作人员安全意识，禁止未经培训的操作人员操作 γ 射线探伤机。

(4) 建设单位不得自行进行倒源操作，所有换源工作必须由放射源生产单位负责，其中倒源的安全责任由放射源生产单位负责。

(5) 探伤机工作状态下，“卡源”或“源掉出”发生，回源装置失效，工作人员手动回源。一旦发生此类故障，应关闭探伤机房防护门，立即封锁并保护好现场，严禁无关人员进入辐射区。同时，现场的工作人员第一时间联系放射源生产单位，在专业人员的指导下严格按照生产单位提供的操作规程处理卡源故障。处理卡源故障的工作人员应穿戴好个人防护用品（铅衣、铅手套、铅眼镜等），佩戴个人剂量计和剂量报警仪，利用长柄夹等辅助工具进行操作。如公司不具备能力处理卡源故障，应在放射源生产单位工作人员到场前务必封锁并保护好现场，严禁无关人员靠近，待处理完卡源故障后，确保放射源已经安全收回至探伤机内后方可消除警戒状态。在处理完故障后，尽快对处理卡源故障的工作人员个人剂量计进行应急剂量监测，并按规定格式记入个人剂量档案中。一旦发现个人剂量超标现象，及时采取相应的措施。建设单位应定期检查，维修设备，杜绝此类事故发生。

(6) 对 γ 射线室内探伤制定操作规程，明确 γ 射线机操作流程及操作过程中应采取的具体防护措施，并建立完善的《射线装置使用登记制度》和《放射源使用登记制度》，加强对射线装置和放射源的监管和维护。

当发生或发现辐射事故后，当事人应立即向单位的辐射安全负责人报告。建设单位应立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。

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

12.1.1 机构设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关规定，使用Ⅱ类射线装置的工作单位，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，并以文件形式明确管理人员职责。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。

宁波甬安检测技术有限公司已经成立了辐射组织机构，并明确了领导小组及各成员的职责。小组成员大部分为本科以上学历，其人员设置满足辐射安全与环境保护管理工作要求。

辐射安全和防护管理领导小组的主要职责是：负责起草、制定及修订企业辐射防护和环境保护的相关规章制度；负责对企业辐射项目的立项、建设、辐射设备引进及防护设施配置进行论证和监管；负责协调和监督各相关部门贯彻落实企业辐射和防护管理制度及日常管理工作。

本项目建成后，企业的部门、人员均会有一定调整，要求企业根据人事变动情况及时调整，明确人员职责，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并应以文件形式明确各成员管理职责。

12.1.2 辐射人员管理

（1）现有辐射工作人员辐射安全管理现状见前文表 1 章节中 1.4.2 章节，此处不赘述。

对现有辐射工作人员，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。原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部培训平台报名并参加考核，及时完成复训工作。

（2）本项目辐射工作人员管理

①所有辐射工作人员应根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告2019年第57号）的要求参加生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习相关知识，经考核合格后方可上岗，并按要求及时参加复训。

②所有辐射工作人员应配备个人剂量计，定期送检有资质单位（常规监测周期一般为1个月，最长不应超过3个月），并建立个人剂量档案。专门针对辐射工作人员开展正确佩戴个人剂量计专项培训会议，且每次培训会议均应进行签到考核。

③所有辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，在岗期间每一年或两年委托相关资质单位对辐射工作人员进行职业健康检查，建立完整的职业健康档案。

④所有辐射工作人员的辐射安全和防护考核成绩报告单、个人剂量检测档案、职业健康档案记录三个文件上的人员信息应统一。同时，按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十三条规定，个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满75周岁，或者停止辐射工作30年。按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第四十一条规定，职业健康监护档案应长期保存。

12.1.3 辐射安全和防护状况年度评估报告

建设单位核技术利用项目正式开展后，应对开展的核技术利用项目辐射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辐射安全和防护状况年度评估报告。

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 原有辐射防护工作管理制度情况

宁波甬安检测技术有限公司已制定了一系列的辐射工作管理制度，其中包括《辐射防护与安全保卫制度》、《辐射工作人员的教育培训管理》、《辐射工作人员健康管理》、《自行检查与年度监测方案》、《放射性同位素订购、运输及退役处理制度》、《放射源库管理》、《辐射设备管理》、《辐射防护年度评估制度》、《辐射台账管理制度》、《加速器操作规程》、《X、γ射线机操作规程》等。各辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理等方面运行较好。

12.2.2 本项目应补充的辐射防护工作管理制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用射线装置的单位，应有“健全的操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射应急措施”。

企业本次项目包括：Ⅱ类射线装置、Ⅱ类放射源。企业应根据本项目建设内容，结

合辐射工作人员变更情况，尽快建立健全和落实相应的规章制度和操作规程，加强对辐射工作人员的安全防护培训和意识教育。

应完善和补充的制度主要内容如下：

（1）操作规程：针对本项目新增的CR、DR制定相应的操作规程（加速器已制订操作规程），明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及操作程序等，重点是工作时必须佩戴个人剂量计和剂量报警仪，避免事故发生。

（2）岗位职责：明确本项目辐射管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位责任，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。

（3）设备维修制度：根据本项目新增的电子直线加速器、CR、DR更新企业设备维护保养制度，补充完善监测仪器维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保本项目新增设备的安全装置、安全联锁、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

（4）事故应急预案：根据本项目建设内容完善辐射事故应急预案。

12.3 辐射监测

12.3.1 现有项目监测情况

根据公司现有辐射工作场所的验收监测和年度监测，监测结果均满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求，公司现有辐射工作人员均按要求进行了个人剂量监测与职业健康体检，均符合相关要求。

12.3.2 本项目辐射监测要求

12.3.2.1 监测仪器和防护设备

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警仪、辐射剂量巡测仪等仪器。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，建设单位拟配备 1 台便携式 X-γ剂量率仪和 9 台个人剂量报警仪，所有辐射工作人员均已配备 1 支个人剂量计。

12.3.2.2 个人剂量监测

公司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（常规监测周期一般为 1 个月，最长不应超过 3 个月）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。

12.3.2.3 探伤工作场所辐射监测

根据辐射管理要求，公司应针对本项目具体情况制定如下监测方案：

（1）正式使用前监测：委托有相关监测资质的监测单位对核技术应用场所的辐射防护设施进行全面的验收监测，做出辐射安全状况的评价。

（2）常规监测：日常使用过程中对控制区、监督区边界及使用场所周边关注点进行监测。

（3）每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的监测，对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。参考《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条规定，年度监测周期为 1 次/年。

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）等标准要求，本项目辐射工作场所监测计划见表 12-1。

表12-1 本项目探伤机房工作场所年度监测和日常监测计划一览表

监测类别	工作场所	监测项目	监测频次	监测点位	监测类型
年度监测	探伤机房	周围剂量当量率	1次/年	工作场所监测点：机房四侧屏蔽墙体及防护门外30cm处；操作间内人员操作位、电缆线管道孔及通风口等位置； 周边环境监测点：机房顶棚外30cm处、综合厂房内部机房四周50m内区域、室外道路等区域。	委托监测
日常监测	探伤机房	周围剂量当量率	1次/季度		自行监测
验收监测	探伤机房	周围剂量当量率	验收期间监测1次		委托监测
输源管监测	/	周围剂量当量率	1次/年	应定期用辐射剂量巡测仪对放射源传输管道进行检测，如辐射剂量率明显异常，应将放射源送回生产厂家进一步检验。	自行监测
废靶监测	/	周围剂量当量率	废靶回收前	废靶外表面	自行监测
个人剂量检测	/	个人剂量当量	不超过3个月	所有辐射工作人员	委托监测

12.4 环保竣工验收

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。

12.5 辐射事故应急

12.5.1 应急预案制定要求

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条的规定，辐射事故应急预案主要内容应包括：

- （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。
- （5）生态环境、卫生和公安部门的联系部门和电话。
- （6）编写事故总结报告，上报生态环境部门归档。

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，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。

12.5.2 建设单位应急预案制定情况

建设单位已制定了《辐射事故应急预案》，成立了应急准备与响应领导小组。《辐射事故应急预案》与《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条的规定相比对，基本符合要求。本项目投入运行后，公司应做好以下工作：

（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。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）公司应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）公司应将本单位的应急预案报所在地生态环境部门备案，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 辐射安全与防护分析结论

(1) 项目概况

本项目位于浙江省宁波市镇海区蛟川街道炼化路(东至现状管廊带,西至现状企业,南至规划道路),本项目拟新建 1 间探伤机房(含 1 间配套储源室)及操作间、自动洗片室、评片室等辅助用房作为辐射工作场所,拟购置 1 台 6MeV 电子直线加速器、拟购置 1 台 CR 实时成像系统、1 台 DR 实时成像系统(与已许可在用的 1 台 450kV X 射线探伤机配套使用),利用已有的 1 枚活度为 $3.7 \times 10^{12} \text{Bq}$ 的 ^{192}Ir 放射源、1 枚活度为 $3.7 \times 10^{12} \text{Bq}$ 的 ^{75}Se 放射源、1 台 X 射线探伤机(管电压 450kV,管电流 10mA)进行室内探伤。

(2) 项目位置

本项目位于浙江省宁波市镇海区蛟川街道炼化路(东至现状管廊带,西至现状企业,南至规划道路)的综合厂房内北侧,本项目拟建探伤机房实体边界外 50m 评价范围无现有核技术利用项目,本项目拟建探伤机房实体边界外 50m 评价范围主要为镇海石化建安工程股份有限公司内部建筑及道路,本项目保护目标主要为辐射工作人员、机房周围的其他工作人员和公众人员。本项目地理位置见附图 1,周边环境关系图见附图 3。

(3) 项目分区及布局

建设单位拟将探伤机房内区域划分为控制区,在控制区的进出口及适当位置处设置醒目的电离辐射警告标志和显示“预备”和“照射”状态的指示灯。制定放射安全防护管理制度,严格限制无关人员进出控制区,在正常工作过程中,区内不得有无关人员进入。将探伤机房相邻的辅助用房以及防护门外 1m 处划为监督区,对该区不采取专门防护手段安全措施,但要定期检测其辐射剂量率。在正常工作过程中,监督区内不得有无关人员滞留。

由上述可知,本项目分区符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的规定。

(4) 辐射安全防护措施结论

本项目探伤机房设计有相应的辐射安全装置和保护措施,主要有:探伤机房由混凝土浇筑的探伤室和迷道组成,探伤机房与操作间分离,机房北侧为 L 型迷道,迷道口

设有防护门；机房内拟设置独立的多重联锁装置、警示装置、监控装置、急停按钮、固定式辐射监测装置等多项安全防护措施，机房防护门出入口拟设计电离辐射警告标志等安全管理措施。建设单位拟配备 1 台便携式 X- γ 剂量率仪和 9 台个人剂量报警仪，所有辐射工作人员均配备 1 支个人剂量计。

在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

(5) 辐射安全管理结论

建设单位已成立辐射安全防护管理机构，负责辐射安全与环境保护管理工作。建设单位应根据实际情况及本报告要求，尽快完善相应的辐射管理制度和操作规程，以适应当前环保的管理要求；建设单位拟对新增辐射工作人员进行职业健康监护和个人剂量监测，并建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。宁波甬安检测技术有限公司在完善相应的辐射管理制度和操作规程后，能够具备从事辐射活动的能力。

13.1.2 环境影响分析结论

13.1.2.1 辐射环境影响分析结论

(1) 污染因子

本项目探伤机房工作场所的主要污染因子为X射线、电子束、 β 射线、 γ 射线、臭氧、氮氧化物、废靶件、废放射源、废显（定）影液、洗片废液和废胶片。

(2) 辐射剂量率结论

本项目加速器运行过程中机房四侧墙体、防护门周围辐射剂量率最大为 $1.09\mu\text{Gy/h}$ ，满足参考《电子直线加速器工业CT辐射安全技术规范》（HJ785-2016）中“附录A所包含的工作场所以及周边环境的屏蔽体（墙）表面大于或等于30cm处任何监测点的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求；顶棚辐射剂量率最大为 $14.6\mu\text{Gy/h}$ ，满足参考《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30 cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100\mu\text{Sv/h}$ 加以控制”的要求。

由表11-6预测结果可知：当探伤机房内仅开启一台活度为 $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$ 的 ^{192}Ir -- γ 射线探伤机进行探伤时，探伤机房各侧屏蔽墙体和工件门辐射剂量率均满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“探伤室墙和入口门的关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；对不需要人员到达的探伤室顶外30cm处的剂量率参考控制水平不大于 $100\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

储源室储存 2 台 γ 射线探伤机时，其周围空气比释动能率最大为 $3.11 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中对于放射源贮存设施“在公众能接近的距外表面最近处，其屏蔽应能使该处周围剂量当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 或者审管部门批准的控制水平”的要求。

（3）保护目标剂量

根据人员有效剂量估算结果，本项目各辐射工作场所所致辐射工作人员与公众成员的年有效剂量小于本次评价项目年剂量约束值（职业人员 $\leq 5.0\text{mSv/a}$ 、公众成员 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ ），同时满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“剂量限值”要求。

13.1.2.2“三废”环境影响分析结论

（1）大气环境影响分析结论

本项目探伤机房设置有机机械排风系统，经预测本项目运行中探伤机房内最高臭氧浓度为 $3.87 \times 10^{-3} \text{mg/m}^3$ ，可满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中“臭氧最高容许浓度 0.3mg/m^3 ”，满足标准要求；

设备运行过程中会产生多种氮氧化物，其中以 NO_2 为主，其产额约为 O_3 的一半， NO_2 的时间加权平均容许浓度（ 5mg/m^3 ）远大于 O_3 的限值。因而探伤机房内氮氧化物浓度低于《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中“氮氧化物的时间加权平均容许浓度 5mg/m^3 ”，满足标准要求。

（2）水环境影响分析结论

加速器自带冷却水循环系统，其使用的冷却水为纯净水，不会在管壁结垢也不会腐蚀设备，循环使用不外排（需定时补充纯净水）。

（3）固体废物影响分析结论

探伤过程如有加速器废靶产生，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），应对废靶外表面进行辐射剂量率监测，符合解控水平后由设备厂家回收。企业产生的废旧放射源由放射源生产厂家回收，超过安全使用期限的报废 γ 射线探伤机应委托探伤机生产单位进行回收处理。

探伤作业完成后产生的废显（定）影液、洗片废液与废胶片，暂存于现有危废暂存间，委托宁波大地化工环保有限公司集中收集与处置，不得随意排放或废弃，采取该措施后不会对周围环境或人类健康造成危害。

13.1.3可行性分析结论

(1) 产业政策符合性分析结论

本项目属于核技术在工业领域内的运用,根据中华人民共和国国家发展和改革委员会第7号令《产业结构调整指导目录(2024年本)》相关规定,本项目不属于限制类、淘汰类项目,符合国家当前的产业政策。

(2) 实践正当性分析结论

本项目探伤过程中,对射线装置、放射源的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施,对射线装置、放射源的安全管理将建立相应的规章制度。因此,在正确使用和管理射线装置、放射源的情况下,可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的经济收益与社会效益足以弥补其可能引起的辐射危害,该核技术应用实践具有正当性,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中“实践的正当性”原则。

(3) 选址合理性分析

本项目位于浙江省宁波市镇海区蛟川街道炼化路(东至现状管廊带,西至现状企业,南至规划道路)的综合厂房内北侧,本项目用地为工业用地,周围无环境制约因素。本项目拟建探伤机房实体边界外50m评价范围主要为镇海石化建安工程股份有限公司内部建筑及道路,不涉及国家级生态保护红线,无居民区、生态保护目标等敏感点,无医院、幼儿园等敏感建筑。项目运营过程产生的电离辐射,经采取一定的防护治理措施后对周围环境辐射影响是可接受的,故本项目探伤机房的选址是合理的。

(4) “三线一单”符合性分析

根据《宁波市“三线一单”生态环境分区管控方案》,本项目所在区域涉及宁波石化经济技术开发区产业集聚重点管控单元(ZH33021120007),不涉及生态保护红线,本项目建设符合《宁波市“三线一单”生态环境分区管控方案》的要求。

(5) 项目可行性

综上所述,本项目选址合理,符合国家产业政策和“三线一单”的要求,具有实践正当性,该项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后,建设单位将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施,其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求,从辐射环境保护角度论证,该项目的建设 and 运行是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

建设单位应加强辐射安全教育培训，提高辐射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)建设单位在本项目报批后，承诺及时向生态环境部门重新申请辐射安全许可证。

(2)建设单位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》（国环规环评[2017]4号），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，编制竣工验收报告。

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