

核技术利用建设项目

国家管网集团工程技术创新有限公司
新建使用II类射线装置
(数字 X 射线检测平台) 项目
环境影响报告表

(报批稿)

国家管网集团工程技术创新有限公司

2026年9月



核技术利用建设项目

国家管网集团工程技术创新有限公司
新建使用II类射线装置
(数字 X 射线检测平台) 项目
环境影响报告表

建设单位名称：国家管网集团工程技术创新有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：桑广世

通讯地址：天津经济技术开发区 MSD-H3 座 8-19 层、MSD-H1 座 9 层

邮政编码：300457

联系人：赵岩

电子邮箱：zhaoyan10@pipechina.com.cn

联系电话：18902075513

编制单位和编制人员情况表

项目编号	f4me8m		
建设项目名称	国家管网集团工程技术创新有限公司新建使用Ⅱ类射线装置(数字X射线检测平台)项目		
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称(盖章)	国家管网集团工程技术创新有限公司		
统一社会信用代码	91120118MA07F0T422		
法定代表人(签章)	桑广世		
主要负责人(签字)	薛岩		
直接负责的主管人员(签字)	赵岩		
二、编制单位情况			
单位名称(盖章)	天津环科源环保科技有限公司		
统一社会信用代码	91120116MA05J6E784		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
王宁	2013035120350000003512120018	BH004237	王宁
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
高姗	评价依据、保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析	BH066303	高姗
王宁	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物、辐射安全管理、结论与建议	BH004237	王宁

本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、环境保护部批准颁发。它表明持证人通过国家统一组织的考试,取得环境影响评价工程师的职业资格。

This is to certify that the bearer of the Certificate has passed national examination organized by the Chinese government departments and has obtained qualifications for Environmental Impact Assessment Engineer.



Ministry of Human Resources and Social Security
The People's Republic of China



HP 00013965



持证人签名:

Signature of the Bearer:

管理号:

File No. 20130351295606003512120018

姓名:

Full Name 王宁

性别:

Sex 男

出生年月:

Date of Birth

专业类别:

Professional Type

批准日期:

Approval Date 2013年6月26日

签发单位盖章:

Issued by

签发日期: 2013年6月26日

Issued on



仅限国家管网集团工程技术创新有限公司新建使用(数字X射线检测平台)项目使用



统一社会信用代码

91120116MA05J6E784

营业执照

(副本)



扫描二维码登录“电子营业执照”系统，了解更多登记、备案、许可、监管信息

名称 天津环科源环保科技有限公司

类型 有限责任公司

法定代表人 张寿生

经营范围 节能环保技术开发、技术咨询、技术转让；环境科学软件、环境信息管理系统开发；环境影响评价咨询服务；环境风险评估和应急调查咨询服务；污染场地调查、风险评估与修复治理咨询服务；竣工环保验收服务；环境管理服务；清洁生产咨询服务；环保尽职调查咨询服务；节能评估咨询服务；环境检测服务；绿色低碳发展与环境保护政策、法规、标准、规划相关研究咨询；温室气体排放清单编制与排放量核算服务。（依法须经批准的项目，经相关部门批准后方可开展经营活动）

注册资本 叁佰叁拾陆万柒仟柒佰元人民币

成立日期 二〇一六年三月十六日

住所 天津经济技术开发区第四大街80号天大科技园A2-705室

登记机关

2025 年 09 月 11 日



天津市社会保险参保证明 (单位职工)

单位名称: 天津环科源环保科技有限公司
组织机构代码: MA05J6E78

校验码: WMA05J6E7820260831162435
查询日期: 202601至202608

序号	姓名	社会保障号码	险种	参保情况		本单位实际缴费月数
				起始年月	终止年月	
1	王宁	120102198303183214	基本养老保险	202601	202608	8
			失业保险	202601	202608	8
			工伤保险	202601	202608	8
2	高姗	152960199805084723	基本养老保险	202601	202608	8
			失业保险	202601	202608	8
			工伤保险	202601	202608	8

1.如需鉴定真伪,请在打印后3个月内登录<http://hrss.tj.gov.cn>,进入“证明验证真伪”,录入校验码进行甄别。
2.为保证信息安全,请妥善保管缴费证明。

打印日期:2026年08月31日

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	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	21
表 9 项目工程分析与源项	26
表 10 辐射安全与防护	35
表 11 环境影响分析	46
表 12 辐射安全管理	88
表 13 结论与建议	97
表 14 审批	101

表 1 项目基本情况

建设项目名称		国家管网集团工程技术创新有限公司新建使用Ⅱ类射线装置（数字 X 射线检测平台）项目			
建设单位		国家管网集团工程技术创新有限公司			
法人代表		桑广世	联系人	赵岩	联系电话 18902075513
注册地址		天津经济技术开发区 MSD-H3 座 8-19 层、MSD-H1 座 9 层			
项目建设地点		天津经济技术开发区海云街 80 号通用标准厂区 15 号厂房内的数字射线检测区			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		800	项目环保投资（万元）	217	投资比例（环保投资/总投资） 27.13
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积（m ² ） 45.8
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	/			
	项目概述 1. 建设单位情况 国家管网集团工程技术创新有限公司于 2021 年组建成立，是国家石油天然气管网集团有限公司为进一步完善工程建设产业链，提高管网工程技术管理水平而设立的全资子公司。 国家管网集团工程技术创新有限公司租赁天津泰达科技工业园有限公司的场地，该场地位于天津经济技术开发区海云街 80 号通用标准厂区的 15 号厂房，并对租赁厂房进行重新布局、装修，建设“国家管网集团工程技术创新有限公司‘管道工程技术与装备重点实验室（一期）’和‘油气及新能源储运材料重点实验室（一				

期)’建设项目”，主要开展油气管道材料研发、材料检测等实验研发工作。

厂区主体工程项目于 2026 年 8 月取得了天津经济技术开发区生态环境局对《国家管网集团工程技术创新有限公司“管道工程技术与装备重点实验室（一期）”和“油气及新能源储运材料重点实验室（一期）”建设项目环境影响报告表》的批复（津开环评〔2026〕62 号）。

2. 项目由来

国家管网集团工程技术创新有限公司在开展油气管道材料研发、材料检测等实验研发工作的过程中，需要对油气管道环焊缝进行 RT 检测、DR 检测、CL 检测等 X 射线检测，并对相关工艺进行开发调试、工艺评定、新技术开发及实验测试，因此拟新购 3 台 X 射线探伤机（II 类射线装置），搭建数字 X 射线检测平台。

根据原环保部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号《关于发布<射线装置分类>的公告》规定，本项目数字 X 射线检测平台属于 II 类射线装置。根据生态环境部令第 16 号《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目属于“五十五、核与辐射——172、核技术利用建设项目”中“生产、使用 II 类射线装置的”，应编制环境影响报告表。

3. 建设规模

建设单位拟在厂房 1 层西南侧新建 1 处数字射线检测区（内含 2 个检测室，东检测室为工艺检测室，西检测室为 CL 检测室）及配套用房（包含暗室、评片室），总占地面积约 45.8m²，其中数字射线检测区长为 7.4m，宽为 3.4m，占地面积为 25.16m²；配套用房占地面积为 20.64m²，暗室长为 2.8m，宽为 2.4m，评片室长为 5.8m，宽为 2.4m。在数字射线检测区内安装使用 3 台 X 射线探伤机，用于对油气管道环焊缝进行无损检测，本项目检测的工件均为实验件。射线装置具体情况见下表。

表 1-1 数字 X 射线检测平台情况表

序号	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	出束
1	X 射线探伤机	II 类	1	MXR-451HP/11	450	3	用于油气管道环焊缝	数字射线检测区工艺检测室	定向

2	X 射线探伤机	Ⅱ类	1	PXS EVO 300P	300	2.5	无损检测		周向
3	X 射线探伤机	Ⅱ类	1	PXS EVO 300DS	300	3		数字射线检测区 CL 检测室	定向

本项目检测的实验件为碳钢材质，检测试块管径约 100-1422mm，长度约 500-1500mm，壁厚约 6-40mm，重量约 15-1700kg。3 台 X 射线探伤机对应检测工件尺寸匹配性及必要性如下表所示。

表 1-2 3 台 X 射线探伤机对应检测工件尺寸匹配性及必要性表

射线机	工件尺寸 φ	工件规格 L	用途说明	必要性
MXR-451HP/11	100-1422mm	500-1500mm	结合《承压设备无损检测 第 11 部分：射线数字成像检测》（NB/T 47013.11-2023）实现双壁双影大壁厚透照	该类实验件用于模拟现场动火抢修条件下，双壁厚加介质的能量透照场景
PXS EVO 300P	1219-1422mm	1000-1500mm	针对标准规范要求的光源内置单臂透照，配合管道外部爬行器实现管道环焊缝源在內的射线检测	该类实验件用于大管径长输管线 X 射线检测工艺实验或工艺评定
PXS EVO 300DS	500-1422mm	1000-1500mm	针对工件局部缺陷区域配合转台和移动机构实现 3D 切片 CL 线性轨迹射线检测扫描	机械装置携带轻便的射线机，围绕该类实验件局部区域进行高精度扫描的应用场景

4. 项目选址及周边环境情况

本项目选址于天津经济技术开发区海云街 80 号通用标准厂区 15 号厂房内的数字射线检测区，中心坐标为东经 117°44′05.913″，北纬 39°04′54.597″，国家管网集团工程技术创新有限公司建设项目地理位置见附图 1。厂房四至范围：南侧紧邻海云街，东侧为融通大厦，北侧为海云街通用厂区的 C10 号厂房，西侧为 C14 号厂房，楼群之间均有 6m 宽的混凝土道路相隔。

国家管网集团工程技术创新有限公司总平面布置及本次环评所涉及射线装置位置见附图 2，15 号厂房为 2 层钢混结构，无地下结构，设有局部夹层，数字射线检测区位于一层。建设项目周边环境及核技术利用项目周围 50m 范围内环保目标分布见附图 3、附图 4、附图 5。

拟建数字射线检测区位于厂房 1 层西南侧，东侧为无损检测区，南侧为暗室、评片室，西侧为备件区，北侧为自动焊接区，上方为厂房二层过道。



图 1-1 拟建数字射线检测区位置及周边环境图

拟建数字射线检测区所在厂房 1 层高度为 4.7m，检测室外部高度最低处为 3316mm，最高处为 4360mm，检测室顶部设计有工件吊装装置、吊装紧固底座、通风排风设施、电动门轨道与大功率电机等机电传动设施。检测室顶部临空，未设计检修上人通道、爬梯及安全防护栏杆，顶部结构设计荷载无法满足人员行走、作业承重要求，无安全登高作业条件，日常运维阶段人员无法抵达顶部，属于人员不可达区域。

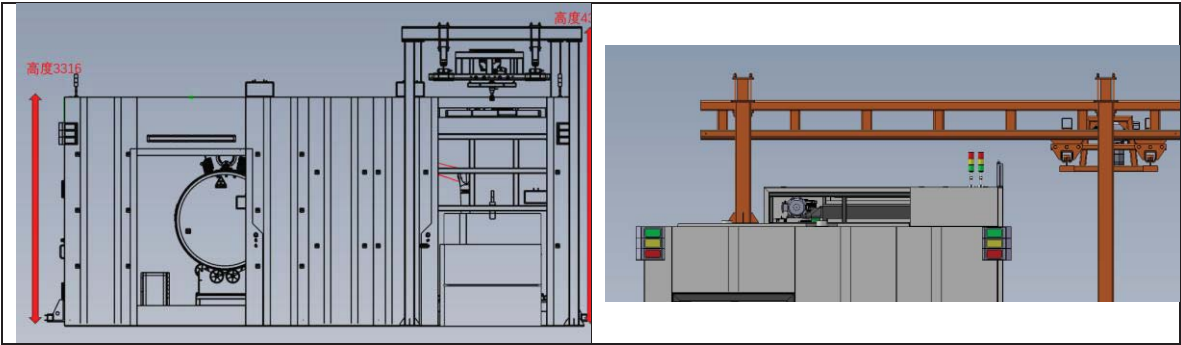


图 1-2 拟建铅房外部高度及顶部设计示意图

5. 劳动定员及工作量

本项目拟配置 5 名辐射工作人员（其中 1 名辐射安全管理人员同时参与探伤工作，4 名直接从事辐射工作的操作人员），实行单班工作制，每班工作 8 小时，每周工作 5 天，年工作最多 200 天。

数字 X 射线检测平台每天最多检测的实验件数量为 10 个，其中大件 2 个，单个大件最大出束时间为 38min；小件 8 个，单个小件最大出束时间为 28min。合计每天

出束时间最长为 5h；每周最多工作 5 天，周最大出束时间约为 25h；年最多工作 40 周，年最大出束时间约为 1000h。3 台 X 射线机会根据实验件种类、规格和探伤需求进行选择，检测过程存在 300kV 周向和定向 X 射线探伤机同时使用的情况，450kV 定向 X 射线探伤机单独使用。

本项目拟配备的数字 X 射线检测平台有自动训机功能，当间歇时间小于 24h 时短暂预热 25min；间歇时间大于 24h、不超过 1 周时预热 48min；间歇时间超过 1 周时长时间预热 1h25min。保守考虑，按每天进行 1 次短暂预热计，则训机周出束时间为 6.25h，训机年出束时间为 250h。数字 X 射线检测平台照射时间如下表所示。

表 1-3 数字 X 射线检测平台照射时间表

设备名称	X 射线探伤机
设备型号	MXR-451HP/11 PXS EVO 300P PXS EVO 300DS
检测每个工件最长出束时间（min）	38
日检测工件最长出束时间（h）	5
日训机最长出束时间（h）	1.25
日累计最长出束时间（h）	6.25
周累计最长出束时间（h）	31.25
年累计最长出束时间（h）	1250

综上所述，周出束时间最长为 31.25h，年出束时间最长为 1250h。

X 射线探伤机最大工作电压为 450kV、300kV，最大工作电流为 3mA、2.5mA，日常检测实验件时，设备并非一直处于最大工作状态，保守考虑，本评价按最大工作电压、最大工作电流计算。

6. 产业政策符合性分析

依据《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令第 7 号修改，自 2024 年 2 月 1 日起施行），本项目所在厂区主体工程主要为管道工程技术与装备实验室及油气及新能源储运材料重点实验室，本项目用于油气管道环焊缝检测，均不属于上述目录中的鼓励类、限制类和淘汰类项目，属于国家允许建设的项目，符合产业政策。同时，本项目不属于《市场准入负面清单（2025 年版）》中禁止的事项。综上，本项目符合国家和天津市的相关产业政策。

7. 用地符合性分析

本项目位于天津经济技术开发区海云街 80 号通用标准厂区的 15 号厂房内，根据其房屋租赁合同，用地性质为工业用地。本项目用于工业探伤，不改变用地性质，因此本项目选址合理，并且铅房屏蔽边界外 50m 内无学校、医院、居民区等类型环境敏感点。

8. 实践正当性分析

本项目实施后，3 台设备灵活使用，根据被检实验件的规格大小及实验用途进行选择，3 台设备检测实验件的管径及长度范围不同。450kV 定向 X 射线探伤机能够检测范围最广，主要用于大能量透照场景；300kV 周向 X 射线探伤机主要检测管径大、长度长的实验件；300kV 定向 X 射线探伤机主要用于 CL 线性轨迹射线检测扫描。3 台设备分别模拟不同的应用场景，全面确保油气管道环焊缝的质量。

本项目的实施可更加严格地把控油气管道环焊缝的质量，对实验件质量的保障起到重要作用，通过参数的检测与调试，进一步评定油气管道工艺、开发新技术，项目建设具有明显的经济效益。虽然在使用工程中，射线装置的应用可能会对周围环境、工作人员及周围公众造成一定辐射影响，但是本项目数字射线检测区周围剂量关注点处的周围剂量当量率、人员受照剂量均可满足相关限值要求，建设单位在按照国家、地方相关辐射防护要求下正确使用和管理射线装置，可将上述辐射影响降至尽可能小。

因此，从利益、代价方面分析，本项目的建设和运行对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，本项目的建成具有显著的社会和经济效益，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

9. 原有核技术利用项目情况

本项目建设前国家管网集团工程技术创新有限公司无原有核技术利用项目，为辐射安全许可证新申请单位。

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	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	MXR-451HP/11	450	3	用于油气管 道环焊缝无 损检测	数字射线检测区工 艺检测室	定向
2	X 射线探伤机	II类	1	PXS EVO 300P	300	2.5			周向
3	X 射线探伤机	II类	1	PXS EVO 300DS	300	3		数字射线检测区 CL 检测室	定向

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物

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
O ₃	气态	/	/	少量	少量	少量	/	经通风系统排入大气环境
NO _x	气态	/	/	少量	少量	少量	/	
清洗废水 (内含废显影液、废定影液)	液态	/	/	5L	60L	/	暂存在危废暂存间的废液桶内	定期交由有资质的单位进行处置
废胶片	固态	/	/	5 张	60 张	/	暂存在危废暂存间的收纳箱内	

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	(1)《中华人民共和国生态环境法典》(2026 年 3 月 12 日第十四届全国人民代表大会第四次会议通过,2026 年 8 月 15 日起施行); (2)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2005 年 9 月 14 日国务院令 449 号发布,2019 年 3 月 2 日第 709 号国务院令第二次修订并实施); (3)国务院令 682 号《国务院关于修改<建设项目环境保护管理条例>的决定》(2017 年 10 月 1 日); (4)原国家环保总局(国家环境保护总局令 31 号)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2006 年 1 月 18 日国家环境保护总局令 31 号公布,2021 年 1 月 4 日生态环境部令 20 号修改); (5)原国家环保总局(环发〔2006〕145 号)《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》(2006 年 9 月 26 日); (6)原环保部令 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(2011 年 5 月 1 日); (7)原环保部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号《关于发布<射线装置分类>的公告》(2017 年 12 月 5 日); (8)《国家危险废物名录(2025 版)》(2024 年 11 月 26 日生态环境部令 36 号公布,自 2025 年 1 月 1 日起施行); (9)生态环境部令 9 号《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》(自 2019 年 11 月 1 日起施行); (10)生态环境部令 16 号《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》(2021 年 1 月 1 日); (11)《天津市生态环境保护条例》(2019 年 1 月 18 日通过,自 2019 年 3 月 1 日起施行)。
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》(HJ 10.1-2016); (2)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002); (3)《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022); (4)《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597-2023);

	(5) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021); (6) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021); (7) 《职业性外照射个人剂量监测规范》(GBZ 128-2019); (8) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 及第 1 号修改单; (9) 《无损检测仪器 500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》(GB 22448-2025); (10) 《危险废物收集 贮存 运输技术规范》(HJ 2025-2012); (11) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ 1326-2023)。
其他	(1) 《2025 年天津市生态环境状况公报》(天津市生态环境局发布); (2) 中国核与辐射安全管理体系 (第三层级)《II类非医用 X 线装置监督检查技术程序》(NNSA/HQ-08-JD-IP-024, 2020 年发布); (3) 李德平, 潘自强. 《辐射防护手册》(第三分册), 1990; (4) 唐旭兴, 梁维华, 田金池. 《天津市环境天然贯穿辐射水平调查研究》, 辐射防护, 第 13 卷第 3 期, 1993; (5) 郑钧正、卢正福、李隆德译. 《国际放射防护委员会第 33 号出版物医用外照射源的辐射防护》(ICRP33) [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1984 年 11 月; (6) 国际原子能机构. 《IAEA No.47》, 2006; (7) 建设单位委托进行环境影响评价的技术咨询合同及其提供的相关资料。

表 7 保护目标与评价标准

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）中“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场地实体屏蔽物边界外 50m 的范围”。因此，本项目评价范围为数字 X 射线检测平台屏蔽边界外 50m 的范围。 本项目评价范围如下图所示。
--

图 7-1 本项目评价范围图

保护目标分布见附图 3、附图 4、附图 5。

表 7-1 环境保护目标分布情况表

序号	环保目标名称	方位	距离（m）	人数（人）	性质
1	操作台工作人员	东北侧	紧邻	1-5	辐射工作人员
2	暗室工作人员	南侧	1.2	1-5	辐射工作人员
3	评片室工作人员	南侧	1.2	1-5	辐射工作人员
4	无损检测区工作人员	东侧	2	2	公众
5	模拟服役环境试验区工作人员	东侧	30	1	公众
6	自动焊接区工作人员	东北侧	6	1	公众
7	常规力学性能试验区工作人员	东北侧	30	1	公众
8	手工焊接区工作人员	东北侧	16	2	公众
9	化学分析区工作人员	东北侧	33	1	公众
10	备件区工作人员	西侧	3	2	公众
11	休息室（夹层）工作人员	西北侧	20	1	公众
12	培训室（夹层）工作人员	西侧	10	25	公众
13	软件国产化实验室（二层）工作人员	东侧	9	2	公众
14	非金属试验区（二层）工作人员	东侧	22	1	公众
15	机房（二层）工作人员	东北侧	20	1	公众
16	试样存放区（二层）工作人员	东北侧	30	1	公众
17	办公室（二层）工作人员	西侧	12	3	公众
18	C10 号厂房工作人员	北侧	39	5	公众
19	C11 号厂房工作人员	东北侧	48	5	公众
20	C14 号厂房工作人员	西侧	28	5	公众
21	道路途经人员	/	50m 范围内	5-10	公众

注：1.表中方位以数字射线检测区为参照点，表中距离为数字射线检测区屏蔽边界距环境保护目标的最近直线距离。

评价标准

（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

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。

辐射防护要求

第 4.3.1 款：实践的正当性

第 4.3.2 款：剂量限值和潜在照射危险限值

第 4.3.3 款：防护与安全的最优化

第 4.3.4 款：剂量约束和潜在照射危险约束

附录 B

B1.1 职业照射的剂量限值

应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，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 公众照射的剂量限值

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；

b) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv；

将 0.1mSv/a 作为 II 类射线装置周围公众的剂量约束值。放射性职业工作人员的剂量约束值为 2mSv/a。

(2) 《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)

4 使用单位放射防护要求

4.1 开展工业探伤工作的使用单位对放射防护安全应负主体责任。

4.2 应建立放射防护管理组织，明确放射防护管理人员及其职责，建立和实施放射防护管理制度和措施。

4.3 应对从事探伤工作的人员按 GBZ 128 的要求进行个人剂量监测，按 GBZ 98 的要求进行职业健康监护。

4.4 探伤工作人员正式工作前应取得符合 GB/T 9445 要求的无损探伤人员资格。

4.5 应配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪。

4.6 应制定辐射事故应急预案。

5.1 X 射线探伤机

5.1.1 X 射线探伤机在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应符合表 7-2 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。

表 7-2 X 射线管头组装体漏射线所致周围剂量当量率控制值

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

5.1.2 工作前检查项目应包括：

- a) 探伤机外观是否完好；
- b) 电缆是否有断裂、扭曲以及破损；
- c) 液体制冷设备是否有渗漏；
- d) 安全联锁是否正常工作；
- e) 报警设备和警示灯是否正常运行；
- f) 螺栓等连接件是否连接良好；
- g) 机房内安装的固定辐射检测仪是否正常。

5.1.3 X 射线探伤机的维护应符合下列要求：

- a) 使用单位应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) 应做好设备维护记录。

6 固定式探伤的放射防护要求

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，操作室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/T 250。

6.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB 18871 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 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

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“预备”和“照射”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。

6.1.8 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。

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：

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。

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。

8 放射防护检测

8.3 探伤室放射防护检测

8.3.1 检测条件

检测条件应符合如下要求：

a) X 射线探伤机应在额定工作条件下、探伤机置于与测试点可能的最近位置，

如使用周向式探伤机应使装置处于周向照射状态；主屏蔽的检测应在没有探伤工件时进行，副屏蔽的检测应在有探伤工件时进行。

8.3.2 辐射水平巡测

探伤室的放射防护检测，特别是验收检测时应首先进行周围辐射水平的巡测，用便携式 X- γ 剂量率仪巡测探伤室墙壁外 30cm 处的辐射水平，以发现可能出现的高辐射水平区。巡测时应注意：

- a) 巡测范围应根据探伤室设计特点、照射方向及建造中可能出现的问题决定，并关注天空反散射对周围的剂量影响；
- b) 无固定照射方向的探伤室在有用线束照射四面屏蔽墙时，应巡测墙上不同位置及门、门四周的辐射水平；探伤室四面屏蔽墙外及楼上如有人员活动的可能，应巡测墙上不同位置及门外 30cm 门四周的辐射水平。
- c) 设有窗户的探伤室，应特别注意巡测窗外不同距离处的辐射水平。

8.3.3 辐射水平定点检测

一般情况下应检测以下各点：

- a) 通过巡测发现的辐射水平异常高的位置；
- b) 探伤室门外 30cm 离地面高度为 1m 处，门的左、中、右侧 3 个点和门缝四周各 1 个点；
- c) 探伤室墙外或邻室墙外 30cm 离地面高度为 1m 处，每个墙面至少测 3 个点；
- d) 人员可能到达的探伤室屋顶或探伤室上层（方）外 30cm 处，至少包括主射线束到达范围的 5 个检测点；
- e) 人员经常活动的位置；
- f) 每次探伤结束后，检测探伤室的入口，以确保探伤机已经停止工作。

8.3.4 检测周期

探伤室建成后应进行验收检测；投入使用后每年至少进行 1 次常规检测。当 γ 射线探伤放射源的活度增加时，或者 X 射线探伤机额定电压增大时，应重新测量上述辐射水平，并根据测量结果对防护措施或设施做出合适的改进。

8.3.5 结果评价

探伤室周围辐射水平应符合本标准第 6.1.3 条和第 6.1.4 条的要求。

8.5 放射工作人员个人监测

8.5.1 射线探伤作业人员（包括维修人员），应按照 GBZ 128 的相关要求进行外照射个人监测。

8.5.2 对作业人员进行涉源应急处理时还应进行应急监测，并按规定格式记入个人剂量档案中。

（3）《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及第 1 号修改单

3.1.1：探伤室墙和入口门外周围剂量当量率（以下简称剂量率）和每周周围剂量当量（以下简称周剂量）应满足下列要求：

a) 周剂量参考控制水平和导出剂量率参考控制水平（ $\dot{H}_{c,d}$ ）：

人员在关注点的周剂量参考控制水平 H_c 如下：

职业工作人员： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$

公众： $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$

b) 关注点最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\max}$ ：

$$\dot{H}_{c,\max} = 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$$

c) 关注点剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ：

$\dot{H}_c$ 为上述 a) 中的 $\dot{H}_{c,d}$ 和 b) 中的 $\dot{H}_{c,\max}$ 二者的较小者。

3.1.2 探伤室顶的剂量率参考控制水平应满足下列要求：

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，距探伤室顶外表面 30cm 处和（或）在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，辐射屏蔽的剂量参考控制水平同 3.1.1。

b) 除 3.1.2 a) 的条件外，应考虑下列情况：

1) 穿过探伤空顶的辐射与室顶上方空气作用产生的散射辐射对探伤室外地面附近公众的照射。该项辐射和穿出探伤室墙的透射辐射在相应关注点的剂量率总和，应按 3.1.1c) 的剂量率参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 加以控制。

2) 对不需要人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平通常可取为 $100 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

（4）剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），职业工作人员所受职业照射的剂量限值为连续 5 年内平均年有效剂量不超过 20mSv，关键组公众

成员的年有效剂量限值为 1mSv，根据辐射防护最优化原则并结合本项目特点，为确保放射性职业工作人员和公众成员的安全，本项目将 2mSv/a 作为放射性职业工作人员的年剂量约束值，将 0.1mSv/a 作为公众成员的年剂量约束值。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状 1. 项目地理和场所位置 本项目选址位于天津经济技术开发区，经济技术开发区为滨海新区五个功能区之一，总规划面积 403km²，滨海新区地处于华北平原北部，位于山东半岛与辽东半岛交汇点上、海河流域下游、天津市中心区的东面，渤海湾顶端，濒临渤海，北与河北省丰南县为邻，南与河北省黄骅市为界，地理坐标位于 N38°40′至 39°00′，E117°20′至 118°00′。滨海新区拥有海岸线 153km，陆域面 2270km²，海域面积 3000km²。 本项目选址于天津经济技术开发区海云街 80 号通用标准厂区 15 号厂房内的数字射线检测区，中心坐标为东经 117°44′05.913″，北纬 39°04′54.597″，厂房四至范围：南侧紧邻海云街，东侧为融通大厦，北侧为海云街通用厂区的 C10 号厂房，西侧为 C14 号厂房，楼群之间均有 6m 宽的混凝土道路相隔。 拟建数字射线检测区位于 15 号厂房 1 层西南侧，该厂房为 2 层钢混结构，无地下结构，设有局部夹层，拟建数字射线检测区东侧为无损检测区，南侧为暗室、评片室，西侧为备件区，北侧为自动焊接区，上方为厂房二层过道。 2. 自然环境简况 (1) 气候气象 天津经济技术开发区所在滨海新区属于暖温带季风性大陆气候，四季分明，春季短而少雨干燥，蒸发量大，盛行西南风，夏季高温多雨，盛行南风，秋季短，冷暖适中，盛行西南风，冬季受蒙古-西伯利亚高压控制，盛行西北风，寒冷。常年主导风向为西南，平均风速 3.4m/s；平均气温 11.7℃，年均温差 30.7℃，极端最高气温 40.3℃，极端最低气温-20.3℃，无霜期 206 天；全年平均降水量为 584.8mm，主要集中于夏季，约占全年降水量的 76%，最大日降水量为 240.3mm，年蒸发量为 1469.1mm，是降水量的 2.4 倍，蒸发量以 5 月最大，为 184.6mm，12 月最小 28.5mm；年平均干燥度为 1.9。 (2) 地质地貌 天津经济技术开发区所在滨海新区地貌属于滨海冲积平原，西北高，东南低，海拔高度 1~3m，地面坡度小于 1/10000；主要地貌类型有滨海平原、泻湖和海涂。

海河、蓟运河、永定新河、潮白河、独流减河等主要河流均从滨海新区入海，区内还有北大港、北塘、营城、黄港、钱圈等水库以及大面积的盐田和众多的坑塘，因此水域面积大和地势低平成为本区主要地貌特征。

滨海新区跨越了沧县隆起、黄骅拗陷两个地质构造单元，区内包括：沧东断裂、海河断裂等壳断裂、汉沽断裂等盖层断裂以及其他一般性断裂。滨海新区地质构造属于新华夏构造体系的黄骅凹陷带，而且孕育着以海河断裂为代表的构造带，断裂两侧地质有明显的落差，对两侧建设造成一定影响。地表主要是第四纪河相和海相沉积物，故形成承载力仅 $6-8\text{t/m}^2$ 的松软地质基础。

（3）水文特征

天津经济技术开发区所在滨海新区地处海河流域下游，境内自然河流与人工河道纵横交织，水系较为发达。区内有一级河道 8 条，二级河道 14 条，其它排水河道 2 条，水库 7 座。一级河道总长度约 160km，二级河道长度约 21km。水库 7 座，其中大型水库 1 座，北大港水库，水面面积 149km^2 。中型水库 6 座，包括营城水库、黄港水库、北塘水库、官港水库、钱圈水库、沙井子水库，水面总面积 48.8km^2 。

滨海新区浅层地下水水位埋深较浅，一般为 0~2m，主要补给源自大气降水，水力坡度小、径流缓慢，主要化学类型为氯化钠或氯化钠镁型水，约占整个滨海新区面积的 83%，为咸水水化学类型；深层地下水埋藏较深，主要靠侧向径流和越流补给，呈现由北向南或由东北向西南的水平水化学分带规律。

（4）土壤和植被

天津经济技术开发区所在滨海新区土壤在长期的海退和河流泥沙不断沉积的过程中，经过人为改造而逐渐形成。全区土壤可分为盐化潮土、盐化湿潮土和滨海盐土三个亚类。滨海新区土壤盐碱化是由于土壤及地下水中的盐分主要来自海水，土壤积盐过程先于成土过程；不同盐碱度的土壤和不同矿化度的地下水，平行于海岸呈连续的带状分布，或不连续的带状分布；频繁的季节性积盐和脱盐交替过程；越趋向海岸，土壤含盐越重。滨海地区土壤平均含盐量在 4%~7%左右，pH 值在 8 以上，含盐量大于 0.1%的盐渍化土壤面积约为 195890hm^2 ，约占滨海新区总面积的 86.3%。

3. 社会环境简况

天津经济技术开发区所在滨海新区位于天津东部沿海，面积 2270km^2 ，海岸线

153km，常住人口 263.52 万。地处环渤海经济带和京津冀城市群的交汇点，距首都北京 120km，内陆腹地广阔，辐射西北、华北、东北 12 个省市，是亚欧大陆桥最近的东部起点；拥有世界吞吐量第五的综合性港口，通达全球 400 多个港湾，是东、中亚内陆国家重要的出海口；拥有北方最大的航空货运机场，连接国内外 30 多个世界名城；四通八达的立体交通和信息通讯网络，使之成为连接国内外、联系南北方、沟通东西部的重要枢纽。滨海新区下辖 21 个街镇，分别是塘沽街道、新北街道、杭州道街道、新河街道、大沽街道、北塘街道、胡家园街道、新城镇、汉沽街道、寨上街道、茶淀街道、杨家泊镇、大港街道、海滨街道、古林街道、太平镇、小王庄镇、中塘镇、泰达街道、新港街道、新村街道；辖 5 个功能区，分别是开发区、保税区、高新区、东疆保税港区、生态城等五个经济功能区。

4. 场所辐射环境现状调查

4.1 监测方案

2026 年 3 月 11 日委托天津星通浩海科技有限公司对数字 X 射线检测平台选址及周围环境进行放射性背景值监测。数字 X 射线检测平台选址处目前为空厂房，对数字 X 射线检测平台拟放置位置及其东、西、南、北侧、评价范围内环境保护目标布点进行辐射剂量率本底监测。监测布点见监测报告附图。检测报告见附件 7。

4.2 监测方法

《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）和《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）。

4.3 质量保证措施

- （1）依照环评导则、技术规范合理进行监测点位的布设。
- （2）监测单位经 CMA 认证，监测人员经考核并持有证书上岗。
- （3）监测所用仪器经计量部门检定合格，且工作状态良好。
- （4）所有监测记录及分析结果均经过三级审核。

4.4 监测结果

- （1）监测项目

环境 γ 辐射剂量率。

- （2）监测仪器名称及型号

环境监测用 X、 γ 辐射空气比释动能率仪、探头 BG9512P、BG7030。

(3) 监测仪器性能指标

探测类型：X、 γ ；能量范围：25keV~3MeV；测量范围：10nGy/h~200 μ Gy/h。

(4) 监测仪器检定有效期

有效期至 2026 年 10 月 16 日。

(5) 监测结果

数字 X 射线检测平台选址及周围环境 γ 辐射剂量率测量结果见下表。

表 8-1 数字 X 射线检测平台选址及周围环境 γ 辐射剂量率监测结果

序号	检测点位置	检测结果(nGy/h)
1	拟建数字射线检测区东侧	54
2	拟建数字射线检测区南侧	58
3	拟建数字射线检测区西侧	58
4	拟建数字射线检测区北侧	62
5	拟建数字射线检测区内部东检测室中心	55
6	拟建数字射线检测区内部西检测室中心	56
7	拟建数字射线检测区内部铅门处	55
8	拟建数字射线检测区北侧东铅门处	71
9	拟建数字射线检测区北侧西铅门处	54
10	拟放置操作台位置	67
11	拟建暗室中心	58
12	拟建评片室中心	60
13	无损检测区	52
14	模拟服役环境试验区	66
15	自动焊接区	70
16	常规力学性能试验区	73
17	手工焊接区	65
18	化学分析区	57
19	备件区	65
20	休息室（夹层）	83
21	培训室（夹层）	83
22	软件国产化实验室（二层）	43
23	非金属试验区（二层）	44
24	机房（二层）	47
25	试样存放区（二层）	44

26	办公室（二层）	49
27	厂区内南侧道路	39
28	厂区内西侧道路	54
29	厂区内北侧道路	47
注：表内检测数据均未扣除宇宙射线响应值。		

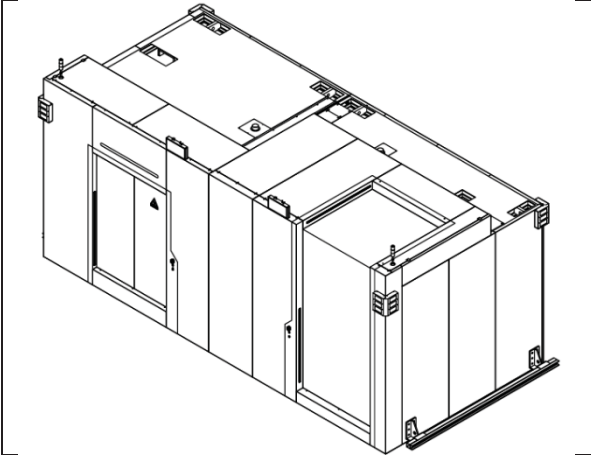
4.5 对环境现状调查结果的评价

根据《天津市环境天然贯穿辐射水平调查研究》，天津市原野 γ 辐射剂量率范围为（36.0~99.7）nGy/h，天津市室内 γ 辐射剂量率范围为（48.0~140.47）nGy/h。根据《2025 年天津市生态环境状况公报》（天津市生态环境局发布）：2025 年，天津市辐射环境质量总体良好。其中，全市环境电离辐射水平处于本底涨落范围内，各大气辐射环境自动监测站的实时连续空气吸收剂量率年均值范围为（58.9~73.3）nGy/h，与 1989 年天津市环境天然辐射剂量调查结果（36.0~99.7）nGy/h 处于同一水平。

数字 X 射线检测平台选址及周围各监测点 γ 辐射剂量率辐射水平在（43~83）nGy/h 范围内。

本项目数字 X 射线检测平台选址及周围各监测点的 γ 辐射剂量率处于天津市本底水平之内。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析	
1. 设备组成	
	
数字射线检测区铅房	MXR-451HP/11 型号 X 射线探伤机
	
PXS EVO 300P 型号 X 射线探伤机	PXS EVO 300DS 型号 X 射线探伤机
图 9-1 数字射线检测区铅房及 X 射线探伤机示意图	
本项目 3 台 X 射线探伤机放置于数字射线检测区 X 射线屏蔽铅房，该铅房包括通风换气设施、光幕防夹装置、声光电一体化报警灯设施、一体化智能提升装置（负载 1.5t）等。 铅房内放置 1 套机械系统，包含 1 个 KUKA 工业机器人，最大臂展 2700mm；1 个高精度协作机器人，最大臂展 2000mm；1 个高精度电动转台，负载$\geq 1.5\text{t}$。另外，该系统还包含 1 套运动控制程序管理软件，实现平台系统整体的机械控制、光源探测器设备的参数设置、采集等功能；1 套图像分析软件、1 套平板探测器、1 台计算机系统等。	
2. 工作原理	

X射线探伤机分为实时成像和胶片成像系统两种形式，本项目所用X射线探伤机均能够采用实时成像和胶片成像系统，根据实验需求进行选择。

X射线装置是利用X射线能够穿透金属材料，并由于材料对射线的吸收和散射作用不同，从而使检测器感光不一样，在底片或屏幕上形成黑度不同的影像，据此来判断材料内部缺陷情况的一种检验方法。当强度均匀的X射线束透照射物体时，如果物体局部区域存在缺陷或结构存在差异，它将改变物体对射线的衰减，使得不同部位透射射线强度不同，采用检测器检测透射射线强度，就可以判断物体内部的缺陷和物质分布等。

X射线管是工业用X射线探伤装置的主要功能设备，由X射线管和高压电源组成。X射线管是用来产生X射线的射线源，分为阴极和阳极。X射线管是玻璃外壳的真空二极管，它的阴极主要为发射电子的灯丝（钨丝），通电时，钨丝在白炽状态下释放出自由电子。电子在阳极高电压作用下不断加速，撞击阳极而产生X射线。高压发生器的作用是把输入的交流电变成X射线管所需的直流电压，并为X射线管灯丝提供加热电压。典型X射线管结构见图9-2。

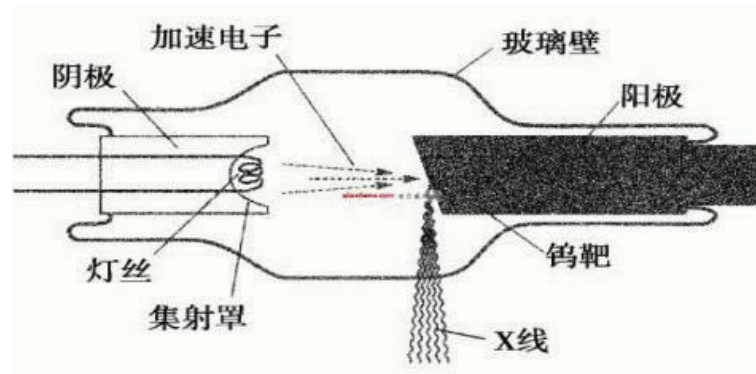


图 9-2 典型 X 射线管结构图

3. 工艺流程

3.1 训机工作流程

数字X射线检测平台初次使用或长时间未启动时，都需要先进行训机操作以提高射线管真空度，如果真空度不良，会烧掉阳极或击穿射线管，导致故障，甚至报废。

首先，检查数字检测设备的状态，按照管电压、管电流逐级升高进行设置并开机出束，直到达到最大管电压和最大管电流并稳定工作后，训机结束。训机工作在数字射线检测区进行，该过程会产生X射线、少量O₃和NO_x。训机过程工艺流程及

产污节点如图所示。

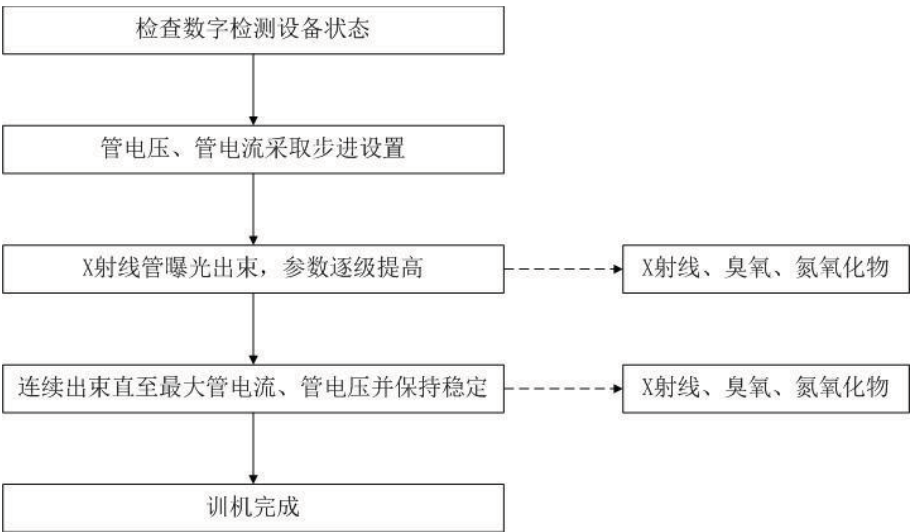


图 9-3 训机工艺流程及产污环节示意图

3.2 探伤工作流程

电脑实时成像探伤工作流程介绍如下：

（1）探伤前，辐射工作人员打开铅防护门，大规格实验件由机械传送或吊装装置送入数字射线检测区内，具体步骤如下：操作人员发送取件指令，AGV 运输小车从货架上取实验件，运到数字射线检测区门口指定位置，AGV 小车停下后，辐射工作人员通过数字射线检测区顶部自带的吊装装置，利用吊装工具将工件吊起，通过吊装控制装置，直接将实验件落位到待检工位上；小规格实验件由人工搬至数字射线检测区转台上。

（2）根据探伤计划选择合适的射线管，每台 X 射线管对应一个固定的铝合金夹持装置，通过铝合金夹持装置与铆接结构固定在机械定制化的机械装置末端。

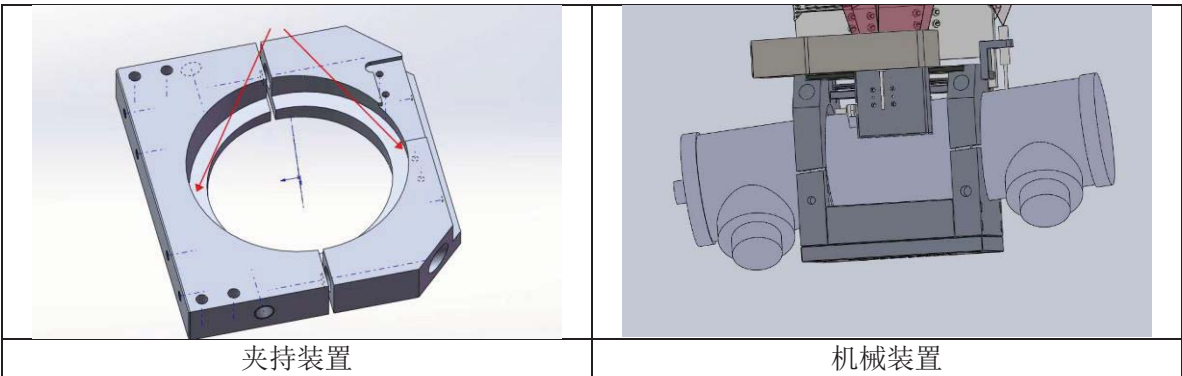


图 9-4 夹持装置和机械装置示意图

（3）前期准备工作完成并检查无误后，辐射工作人员离开数字射线检测区，关

闭防护门。辐射工作人员在操作台上通过软件操控机械装置移动，对准待检部位。此时 X 射线管处于断电状态。

（4）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，调节降噪模式，调节视野选择，直至图像最清晰为止，按光栏水平、上下调整按钮，选择合适光栏，检查无误即进行探伤，X 射线管透过被检测物体后衰减，由图像增强器接收并转换成数字信号，将检测图像直接显示在显示器屏幕上。

（5）完成一次探伤检测后，工作人员通过转台控制按钮来调整实验件的探伤位置，重复探伤操作直至完成整个实验件的探伤；

（6）通过检测系统对图象进行处理、缺陷长度测量及储存，对探伤实验件进行分析和判断，检测完成后关机。

（7）辐射工作人员打开铅防护门，取出工件，大规格实验件由 AGV 运输小车送回货架指定位置，小规格实验件由辐射工作人员取出后放置到货架指定位置，完成一轮探伤。

（8）再放入下一次准备检测的实验件，当探伤工作结束，检查全部完成后，关闭电脑、数字射线检测区电源和总电源。

电脑实时成像探伤过程工艺流程及产污节点如图所示。

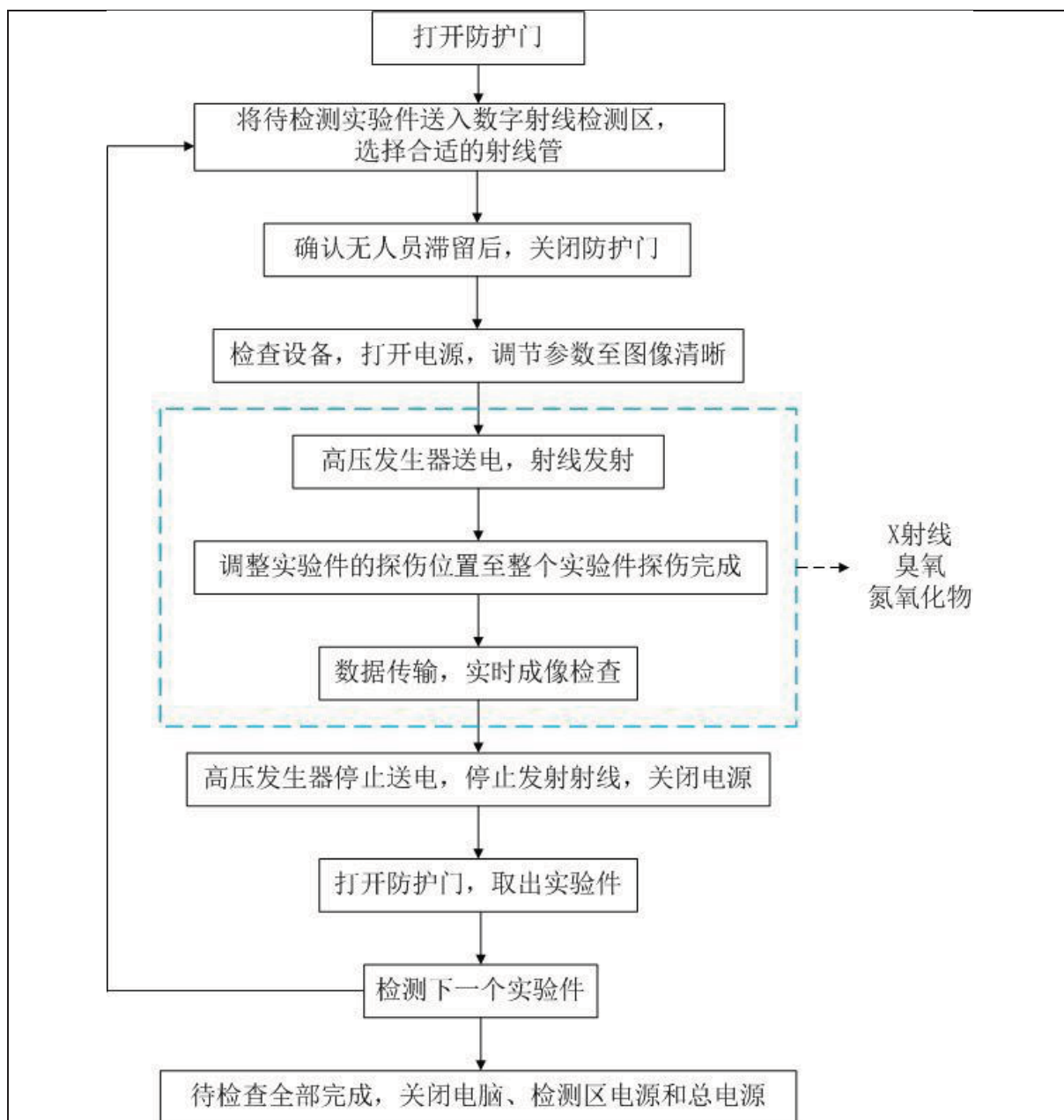


图 9-5 电脑实时成像探伤工艺流程及产污环节示意图

胶片成像探伤工作流程介绍如下：

(1) 探伤前，辐射工作人员打开铅防护门，大规格实验件由机械传送或吊装装置送入数字射线检测区内，具体步骤如下：操作人员发送取件指令，AGV 运输小车从货架上取实验件，运到数字射线检测区门口指定位置，AGV 小车停下后，辐射工作人员通过数字射线检测区顶部自带的吊装装置，利用吊装工具将工件吊起，通过吊装控制装置，直接将实验件落位到待检工位上；小规格实验件由人工搬至数字射线检测区转台上。

(2) 根据探伤计划选择合适的射线管，每台 X 射线管对应一个固定的铝合金夹

持装置，通过铝合金夹持装置与铆接结构固定在机械定制化的机械装置末端。

(3) 辐射工作人员进行探伤前准备裁片、标志、定位、贴片、接电缆等工作，前期准备工作完成并检查无误后，辐射工作人员离开数字射线检测区，关闭防护门。辐射工作人员在操作台上通过软件操控机械装置移动，对准待检部位。此时 X 射线管处于断电状态。

(4) 辐射工作人员到达操作台，通过摄像头拍摄影像确认探伤室无人后，插入开关钥匙并接通 X 射线管电源，根据探伤实验件的性质设定曝光时间等参数，核对无误后准备开始出束。

(5) 曝光结束后，关闭 X 射线管的电源，开启防护门。辐射工作人员进入数字射线检测区，取下已曝光的底片，并做好标记。调整工件的位置及摆放角度，使 X 射线管出束位置对准下一个需要探伤拍片的部位，贴好新的胶片，辐射工作人员离开探伤室，关闭防护门，重复上述拍片操作，根据拍摄部位的形状厚度长宽等设定相关参数。

(6) 所有部位都拍摄完成后，关闭 X 射线管的电源，辐射工作人员打开铅防护门，取出工件，大规格实验件由 AGV 运输小车送回货架指定位置，小规格实验件由辐射工作人员取出后放置到货架指定位置，结束探伤工作。

(7) 辐射工作人员将胶片送至暗室冲洗，冲洗后在评片室进行评片、审片、存档，冲洗过程中会产生清洗废水、废胶片。

胶片成像探伤过程工艺流程及产污节点如图所示。

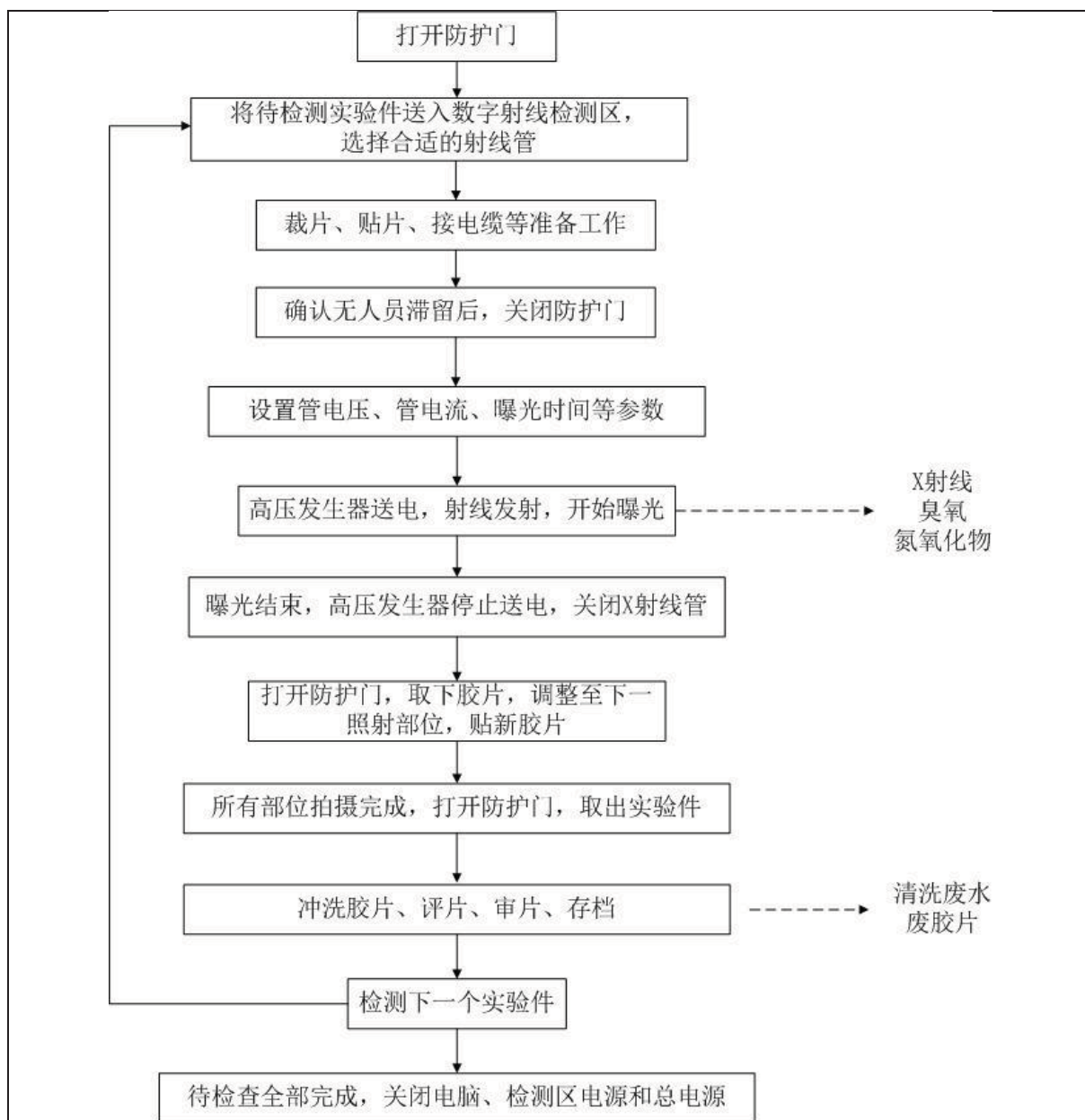


图 9-6 胶片成像探伤工艺流程及产污环节示意图

其中洗片、评片工艺流程如下：

（1）洗片：洗片过程主要由显影、定影、冲洗和烘干四部分组成，均在自动洗片机内完成。按洗片机操作说明将显影液、定影液注入洗片机，关闭照明，开启专用红光灯，将胶片放到洗片机进片口，启动洗片机，等待洗片完成。显影、定影过程需定期更换显影液、定影液，更换时会产生废显影液、废定影液；冲洗过程会产生清洗废水。

（2）评片：洗片完成后进行人工评片、审片、存档。在评片室的操作台上，用观片灯进行评片，依据对应标准进行记录。该过程会产生废胶片。

洗片、评片工艺流程及产污节点如图所示。

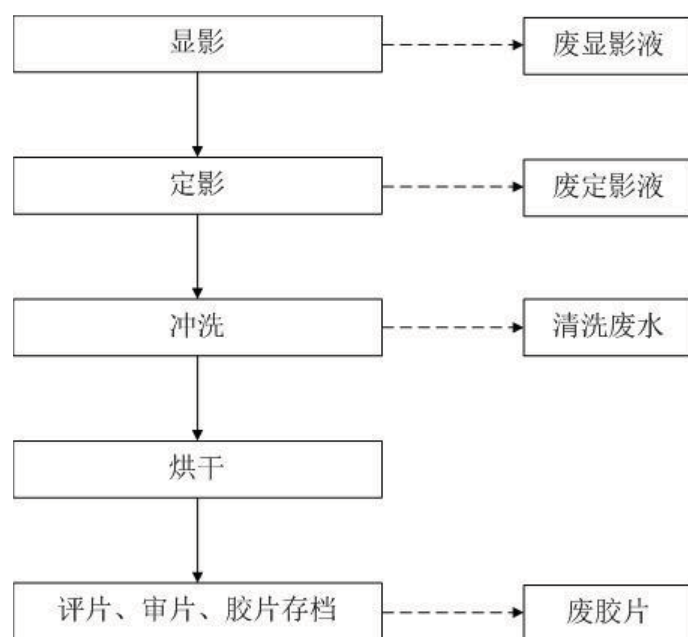


图 9-7 洗片、评片工艺流程及产污环节示意图

污染源项描述

1. 污染源分析

污染源来自开机时产生的 X 射线。射线装置释放 X 射线是瞬时辐射，即 X 射线只有在开机并处于出束状态下才会产生 X 射线，一旦切断电源，便不会再有 X 射线产生。

本项目数字 X 射线检测平台采用数码成像和胶片成像 2 种方式，胶片成像使用显（定）影液冲洗胶片。因此，本项目主要污染因子为射线装置运行过程中产生的 X 射线，X 射线与空气作用会产生极微量的臭氧和氮氧化物，胶片成像过程会产生清洗废水（内含废显影液、废定影液）及废胶片。

2. 正常工况污染途径

（1）X 射线

X 射线探伤机在加电工作时产生 X 射线。正常工况下的污染途经包括：X 射线探伤机发射的初级 X 射线（有用线束）、初级 X 射线照射在被照工件上产生的散射射线以及 X 射线探伤机的漏射射线，这些 X 射线穿过屏蔽材料可能对辐射工作人员及周围公众产生外照射危害。

（2）O₃ 和 NO_x

X 射线探伤机在照射过程中，除对周边环境产生辐射影响外，还会电离空气产生

少量 O_3 和 NO_x 。

（3）清洗废水（内含废显影液、废定影液）和废胶片

胶片冲洗过程会产生清洗废水（内含废显影液、废定影液），主要成分为苯二酚、亚硫酸钠，并含重金属银（含银浓度 $>10\text{mg/L}$ ），属感光材料废物，废胶片亦属感光材料废物，其余胶片储存 5 年后转为废胶片。根据《国家危险废物名录》（2025 年版），以上均为危险废物（HW16 感光材料废物，废物代码 900-019-16），无放射性。

本项目正常运行情况下，每天最多进行 5 次胶片成像，每次出束曝光使用 4-6 张胶片，年工作 200 天，按最大量计算，每年冲洗胶片为 6000 张，其中废片产生量最大约占 1%，则废胶片年产生量约 60 张（5 张/月 $\times$ 12 月 = 60 张）。根据建设单位提供资料，每张胶片厚度约 0.25mm，重量约 11g，则每年产生的废胶片量约 660g。本项目胶片储存 5 年后转为废胶片，因此 5 年后每年的废胶片量约为 6000 张，重约 66kg。

根据建设单位提供资料，每冲洗一张胶片，产生清洗废水（内含废显影液、废定影液）综合平均约为 0.01L，则年产生量约 60L，重量约 63kg。

3. 事故工况污染途径

本项目使用射线装置属 II 类射线装置，可能发生的事故工况主要有以下三种：

（1）在门-机联锁装置发生故障、联锁失效的情况下，防护门尚未完全关闭时工作人员即开启 X 射线探伤机出束，致使 X 射线泄漏到屏蔽体外面，给辐射工作人员和周围公众造成不必要照射。

（2）在数字射线检测区检测室内尚有辐射工作人员或设备检修人员时，辐射工作人员开启 X 射线探伤机出束，致使检测室内人员受到超剂量照射。

（3）探伤室屏蔽结构劳损，导致防护屏蔽能力下降，X 射线探伤机出束对周围的辐射工作人员和公众造成超剂量照射。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1. 工作场所布局与分区

1.1 工作场所布局

建设单位拟建数字射线检测区位于厂房 1 层西南侧，该厂房为 2 层钢混结构，无地下结构，设有局部夹层，数字射线检测区位于一层。

数字射线检测区及周围平面布局见图 10-1。



图 10-1 数字射线检测区控制区监督区划分图

本项目数字射线检测区东西向布置，工件门位于检测室北侧，X 射线探伤机的放置位置充分考虑了周围辐射安全，有用线束方向为定向 X 射线探伤机自右向左（自东向西），周向 X 射线探伤机为东西向 360°，操作台位于数字射线检测区东北侧，有用线束的照射方向避开了操作台，布局基本合理。

1.2 工作场所分区

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中有关辐射工作场所分区的规定如下：

- 1) 控制区：需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域，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；
- 2) 监督区：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的区域。

结合上述定义以及本项目实际情形，本项目工作场所的控制区和监督区划分见

具体见图 10-1。

表 10-1 本项目工作场所控制区和监督区的划分

分区	控制区	监督区
区域划分	数字射线检测区屏蔽边界内区域	操作台及数字射线检测区屏蔽边界外与墙体隔断构成的区域
管理要求	控制区内禁止无关人员进入；检修维护人员在进行检修工作时须取下操作台上的开关钥匙，确保探伤机关机，以避免不必要的照射；控制区的进出口及其他适当位置设置醒目的电离辐射警告标志。	监督区张贴电离辐射警告标志，无关人员禁止长时间停留，定期检测监督区的辐射剂量率。

2. 辐射防护屏蔽设计

本项目数字 X 射线检测平台内含 2 个检测室，工艺检测室内部尺寸为长度 2.9m，宽度 2.8m，高度 2.7m；CL 检测室内部尺寸为长度 3.9m，宽度 2.8m，高度 2.7m。2 个检测室中间连通，设置铅防护门，数字 X 射线检测平台整体采用铅钢结构进行屏蔽，防护门的屏蔽效果不低于同侧防护墙的屏蔽效果，辐射防护屏蔽设计情况见下表。

表 10-2 数字 X 射线检测平台辐射防护屏蔽设计情况

屏蔽位置	东侧屏蔽	南侧屏蔽	西侧屏蔽	北侧屏蔽	顶部屏蔽	底部屏蔽
工艺检测室	2mm 钢 +45mm 铅 +2mm 钢	2mm 钢 +40mm 铅 +2mm 钢	2mm 钢 +60mm 铅 +2mm 钢	2mm 钢 +60mm 铅 +2mm 钢	2mm 钢 +30mm 铅 +2mm 钢	2mm 钢 +35mm 铅 +2mm 钢
CL 检测室	2mm 钢 +60mm 铅 +2mm 钢	2mm 钢 +28mm 铅 +2mm 钢	2mm 钢 +36mm 铅 +2mm 钢	2mm 钢 +28mm 铅 +2mm 钢	2mm 钢 +18mm 铅 +2mm 钢	2mm 钢 +20mm 铅 +2mm 钢
防护门 （工艺检测室）	2mm 钢+60mm 铅+2mm 钢 门洞：宽 1.6m×高 2.2m；门体：宽 1.77m×高 2.37m；防护门上下左右各覆盖门洞 85mm；门缝宽度 3.5mm，搭接宽度不小于 10 倍门缝宽度					
防护门 （CL 检测室）	2mm 钢+28mm 铅+2mm 钢 门洞：宽 1.6m×高 2.6m；门体：宽 1.74m×高 2.74m；防护门上下左右各覆盖门洞 70mm；门缝宽度 3.5mm，搭接宽度不小于 10 倍门缝宽度					
防护门（2 个检测室中间隔断门）	2mm 钢+60mm 铅+2mm 钢 门洞：宽 1.25m×高 2.1m；门体：宽 1.42m×高 2.27m；防护门上下左右各覆盖门洞 85mm；门缝宽度 3.5mm，搭接宽度不小于 10 倍门缝宽度					
注：1、工艺检测室西侧屏蔽墙与 CL 检测室东侧屏蔽墙为共用墙体； 2、铅的密度为 11.3t/m ³ ，钢的密度为 7.9t/m ³ 。						

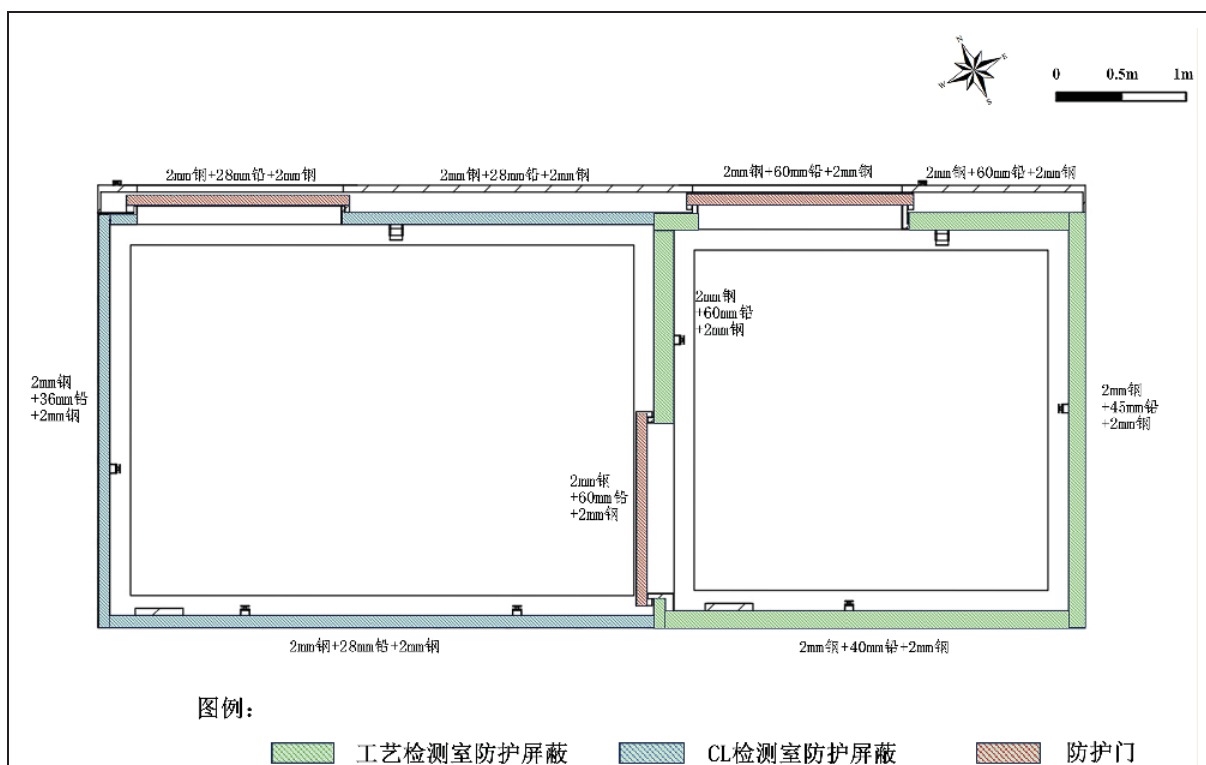


图 10-2 辐射防护屏蔽设计图

本项目防护门均采用电动平开门模式，门缝采用拼接结构进行屏蔽遮挡。门缝重叠部分如下图所示。

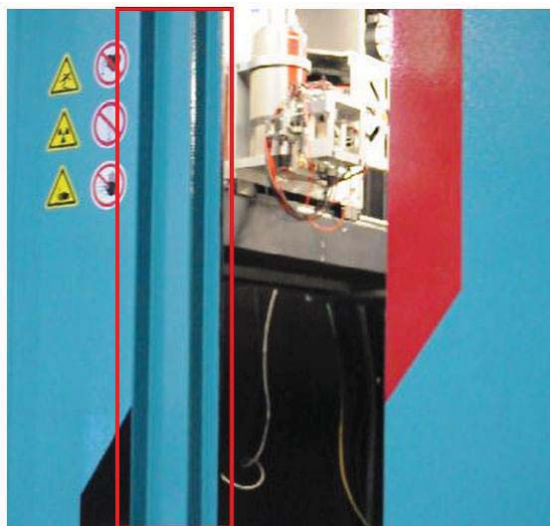


图 10-3 门缝重叠部分示意图

排风孔与管线孔均采用铅板合金的迷宫结构设计，确保射线无泄漏。如下图所示。

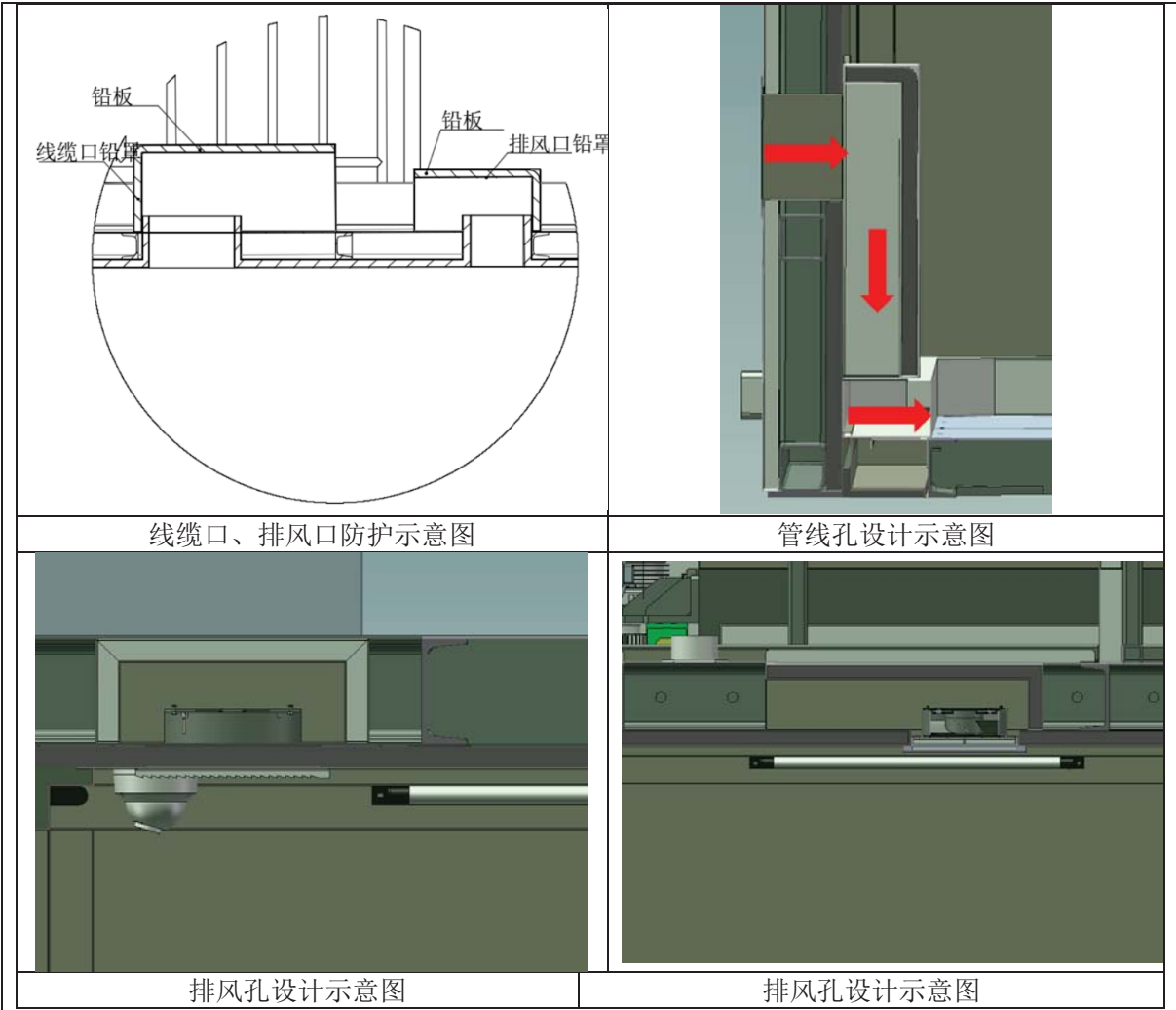


图 10-4 排风孔与管线孔设计示意图

3. 辐射安全与防护措施

为确保辐射安全，保障数字 X 射线检测平台安全运行，建设单位拟根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）为本项目设置相应的辐射安全装置和保护措施。

3.1 设备放射防护措施

数字 X 射线检测平台在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率小于 5mSv/h。

3.2 设备检测与维护措施

对数字 X 射线检测平台的设备维护负责，每年至少维护一次。设备维护由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行；设备维护包括数字 X 射线检测平台的彻底检查和所有零部件的详细检测；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；做好设备维护记录。

3.3 放射防护措施

(1) 数字 X 射线检测平台的位置摆放充分注意周围的辐射安全，操作台避开有用线束照射的方向，位于数字射线检测区屏蔽边界东北侧。屏蔽厚度充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。

(2) 对工作场所实行分区管理，将数字射线检测区屏蔽边界内区域划为控制区，操作台及数字射线检测区屏蔽边界外与墙体隔断构成的区域划为监督区。

(3) 数字 X 射线检测平台拟设置门-机联锁装置，在门关闭后才能进行探伤作业。在探伤过程中，防护门被意外打开时，应能立刻停止出束，并在关门复位后不能自动开始 X 射线照射。本项目 3 台射线装置均与防护门联锁。

(4) 根据《工业探伤放射防护标准》(GB Z117-2022) 的要求，检测室顶部拟设置显示“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”信号和“照射”信号有明显的区别，并且与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。在醒目的位置处拟设置对“预备”和“照射”信号意义的说明。

(5) 防护门上拟设置符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。

(6) 操作台拟设置钥匙控制，拟设置紧急停机按钮，确保出现紧急事故时，能立即停止照射；检测室内拟安装 8 个紧急停机按钮，四侧屏蔽体每侧设置 1 个；屏蔽体外防护门处设置 2 个紧急停机按钮，工艺检测室及 CL 检测室各设置 1 个。紧急停机按钮带有标明使用方法的标签，紧急停机按钮的设置确保出现紧急事故时，能立即停止照射。

(7) 检测室内部、外部拟设置 4 个紧急开门开关，工艺检测室及 CL 检测室防护门内、外各设置 1 个，方便内部的人员在紧急情况下离开检测室。

(8) 检测室设置机械通风装置，可对检测室内部进行换风，检测室内部有效容积为 51.41m^3 ，拟安装排口风量不小于 $160\text{m}^3/\text{h}$ 的机械通风装置，如下图所示。铅房内满足每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求。气体排放至主厂房，厂房设有机机械排风系统排放至大气中。排风管道外口避免朝向人员活动密集区。

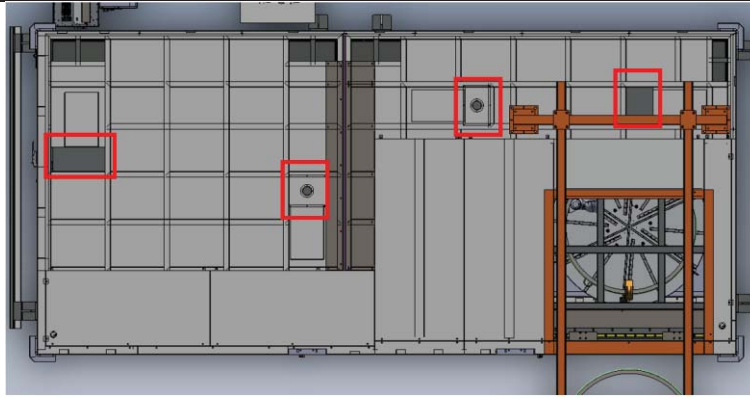


图 10-5 机械通风装置位置图

(9) 检测室内设有监控设施，共设置 8 个摄像头，工艺检测室及 CL 检测室各 4 个，摄像头对角设置确保无死角，在操作台能观察到检测室内人员的活动和探伤设备的运行情况。

(10) 拟配置 2 套固定式场所辐射探测报警装置，探头设置于检测室内防护门附近，主机设置于铅房北侧屏蔽面，当检测室内的辐射水平高于仪器设定的阈值 ($2.5\mu\text{Sv/h}$) 时，系统自动报警。

(11) 数字射线检测区四周有三侧建有墙体隔断，仅开放北侧来料区域。北侧来料区域在作业时，通过警戒线与警戒标牌，再配合铅房顶部声光报警器与 LED 屏幕，阻断非辐射工作人员进出，起到隔离作用。

(12) 数字 X 射线检测平台所有防护门均采用电机电动控制，在设备运行上电过程中，操作人员可以通过铅房外部开门按钮进行开、关门。当辐射工作人员下班或设备处于闲置状态时，将对铅房进行断电处理。断电后电机处于抱闸状态，铅房防护门无法打开。同时，数字 X 射线检测平台上电与断电均通过独立的配电柜执行，配电柜主控门由独立的开关钥匙保护，辐射工作人员通过保管配电柜操作钥匙，实现整套系统开关门的关闭与打开动作，从而保障内部 X 射线探伤机等资产的防盗安全。

本项目 X 射线探伤机与防护门的联锁逻辑关系如下：

机 1 为 300kV 定向 X 射线探伤机，机 2 为 300kV 周向 X 射线探伤机，机 3 为 450kV 定向 X 射线探伤机；门 1 为 CL 检测室防护门，门 2 为工艺检测室防护门，门 3 为中间隔断门。

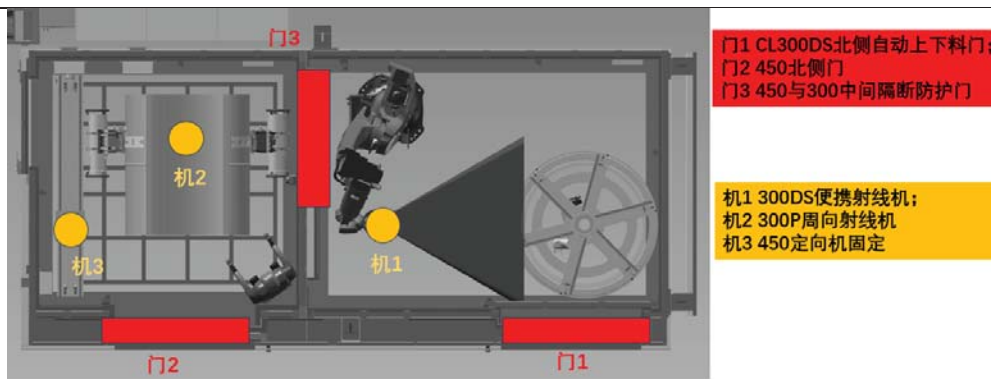


图 10-6 X 射线探伤机与防护门示意图

①当机 1 工作时，门 1、门 3 关闭，机 1 与门 1、门 3 互锁信号相关联；门 2 可以打开也可以关闭，机 2 可以同步工作，机 3 不能同步工作；

②当机 2 工作时，门 2、门 3 关闭，机 2 与门 2、门 3 互锁信号相关联；门 1 可以打开也可以关闭，机 1 可以同步工作，机 3 不能同步工作；

③当机 3 工作时，门 1、门 2、门 3 必须关闭，机 3 与所有门互锁信号相关联，机 1、机 2 无法同步工作。

本项目辐射安全联锁逻辑如下：

①操作台设置有钥匙开关，只有在打开钥匙开关后，X 射线管才能出束；钥匙只能在停机时才能拔出；

②防护门安装有门-机联锁装置，门未关闭或按下紧急开门按钮，X 射线管无法进行工作或立即停止照射；

③设备在运行过程中按下紧急停机按钮，设备立即停止照射，如果紧急停机按钮未被复位，设备将无法正常运行，紧急停机按钮复位后设备需手动重新开启；

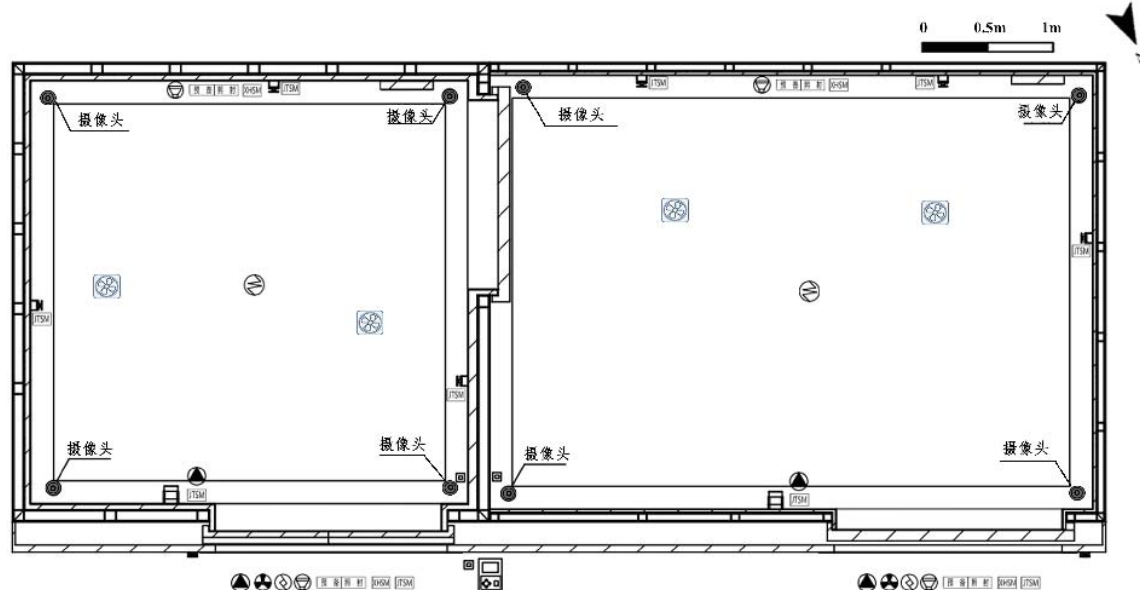
④检测室顶部拟设置显示工作状态的警示灯和声音提示装置，通电后发出警示和声音提醒，提示无关人员离开。状态指示灯与探伤机联锁。

辐射安全联锁装置逻辑关系如下图所示。



图 10-7 辐射安全联锁装置逻辑关系图

本项目辐射防护措施设置情况如下图所示。



图例：

- [预备/照射] “预备”、“照射”指示灯 [蜂鸣器] “预备”、“照射”蜂鸣信号器 [HSM] “照射”和“预备”信号说明 [摄像头] 摄像头
 [辐射标志] 电离辐射警告标志和中文警示说明 [主机] 固定式场所辐射探测报警装置主机 [探头] 固定式场所辐射探测报警装置探头
 [门机联锁] 门-机联锁 [急停按钮] 紧急停机按钮 [TSM] 紧急按钮标签说明 [开门开关] 紧急开门开关 [机械通风] 机械通风装置 [照明器] 白炽灯照明器

图 10-8 辐射防护措施位置示意图

3.4 操作的放射防护措施

①在使用 X 射线探伤机前，先检查防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。

②辐射工作人员在进入检测室时，除佩戴常规个人剂量计外，还要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，辐射工作人员立即退出检测室，同时防止其他人进入检测室，并立即向辐射防护负责人报告。

③拟定期测量检测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。

④交接班或当班使用便携式 X-γ 剂量率仪前，拟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，则不开始探伤工作。

⑤在每一次照射前，操作人员应确认关闭防护门。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。

3.5 探伤设施的退役

当工业探伤设施不再使用，拟实施退役程序。包括以下内容：

①X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。

②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。

③清除所有电离辐射警告标志和安全告知。

在落实以上辐射安全措施后，本项目能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中固定式探伤的相关辐射防护要求。

4. 辐射防护与环保投资

辐射防护与环保投资主要包括：屏蔽防护措施、辐射安全防护措施、配备的便携式 X-γ 剂量率仪、个人剂量报警仪、个人剂量计以及固定式场所辐射探测报警装置、电离辐射警告标志、固体废物处置等，本项目辐射防护与环保投资总计约 217 万元，约占总投资的 27.13%，环保投资明细如下表所示。

表 10-3 环保投资明细表

序号	项目	数量	价格（万元）	备注
1	屏蔽防护措施	1	200	铅屏蔽、防护门等
2	辐射安全防护措施	1	2	门机联锁、紧急停机按钮，“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置、屏蔽外壳内设置紧急停机按钮等
3	固定式场所辐射探测报警装置	2	4	/
4	便携式 X-γ 剂量率仪	2	4	/
5	个人剂量报警仪	2	0.4	/
6	个人剂量计	5	0.5	/
7	排风装置	1	1	/
8	固体废物处置	/	5	危险废物收集、暂存装置等
9	其他	/	0.1	电离辐射警告标志等
合计		/	217	/

三废的治理

本项目的主要污染因子为射线装置使用过程中产生 X 射线，项目运行过程中不产生放射性废气、废水及固体废物。

本项目数字 X 射线检测平台采用数码成像和胶片成像 2 种方式，胶片成像使用显（定）影液冲洗胶片。因此，本项目主要污染因子为射线装置运行过程中产生的 X 射线，X 射线与空气作用会产生极微量的臭氧和氮氧化物，胶片成像过程会产生清洗废水（内含废显影液、废定影液）及废胶片。

1. 废气处置

项目运行过程中 X 射线会电离空气产生少量 O_3 和 NO_x ，本项目检测室设有机械通风装置，可将产生的少量有害气体排放至厂房内，厂房设有机械排风系统排放至大气中。排风管道外口避免朝向人员活动密集区。在排风系统正常运行时，本项目产生的臭氧和氮氧化物气体不会对环境产生显著影响。

2. 危险废物处置

清洗废水、废胶片均为危险废物（HW16 感光材料废物，废物代码 900-019-16），无放射性。清洗废水暂存在危废暂存间的废液桶内，废胶片暂存在危废暂存间的收纳箱内。以上危险废物分类收集，暂存于主体工程的危废暂存间内，定期交由有资质单位处置。

本项目依托主体工程危废暂存间，其面积为 $4.7m^2$ ，每年可暂存危险废物 12t/a，根据主体工程环评报告预测，主体工程危险废物产生量共约 9.686t/a，本项目危险废物产生量最大约 129kg/a，主体工程危险暂存间暂存能力能够满足本项目危险废物暂存需求。危废暂存间位置见附图 3。

主体工程环评报告已依据《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）、《危险废物收集贮存运输技术规范》（HJ2025-2012）及相关法律法规，对危险废物暂存场地提出了安全措施要求：

①危险废物暂存间应根据危险废物的形态、物理化学性质、包装形式和污染物迁移途径，采取必要的防风、防晒、防雨、防漏、防渗、防腐以及其他环境污染防治措施，不应露天堆放危险废物。

②贮存设施应根据危险废物的类别、数量、形态、物理化学性质和污染防治等要求设置必要的贮存分区，避免不相容的危险废物接触、混合。

③贮存设施或贮存分区内地面、墙面裙脚、堵截泄漏的围堰、接触危险废物的隔板 and 墙体等应采用坚固的材料建造，表面无裂缝。

④贮存设施地面与裙脚应采取表面防渗措施；表面防渗材料应与所接触的物料

或污染物相容，可采用抗渗混凝土、高密度聚乙烯膜、钠基膨润土防水毯或其他防渗性能等效的材料。贮存的危险废物直接接触地面的，还应进行基础防渗，防渗层为至少 1m 厚黏土层（渗透系数不大于 10^{-7}cm/s ），或至少 2mm 厚高密度聚乙烯膜等人工防渗材料（渗透系数不大于 10^{-10}cm/s ），或其他防渗性能等效的材料。

⑤同一贮存设施宜采用相同的防渗、防腐工艺（包括防渗、防腐结构或材料），防渗、防腐材料应覆盖所有可能与废物及其渗滤液、泄漏液等接触的构筑物表面；采用不同防渗、防腐工艺应分别建设贮存分区。

⑥贮存设施应采取技术和管理措施防止无关人员进入。

⑦危险废物存入贮存设施前应对危险废物类别和特性与危险废物标签等危险废物识别标志的一致性进行核验，不一致的或类别、特性不明的不应存入。

⑧贮存设施运行期间，应按国家有关标准和规定建立危险废物管理台账并保存。贮存设施所有者或运营者应建立贮存设施环境管理制度、管理人员岗位职责制度、设施运行操作制度、人员岗位培训制度等。贮存设施所有者或运营者应建立贮存设施全部档案，包括设计、施工、验收、运行、监测和环境应急等，应按国家有关档案管理的法律法规进行整理和归档。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响 本项目的建设主要为对数字射线检测区的简单建造、内部装修、设备安装等，建设阶段不存在辐射环境影响，建设阶段产生的污染物主要包括施工扬尘、废水、固体废物及噪声。 施工扬尘主要来源于房间建造、内部装修、施工垃圾的清理及堆放等。为保护好大气环境质量，降低施工扬尘对周围大气环境的影响，施工过程中应根据《天津市建设工程施工现场防治扬尘管理暂行办法》《天津市建设工程文明施工管理规定》等相关要求做好施工期的污染防治工作。具体措施包括但不限于以下内容：施工现场设立施工环境保护宣传牌；施工现场设立适当高度的围挡；施工产生的废弃物应当随产随清等。施工扬尘的影响仅局限在施工现场附近区域，施工结束后即可消除影响。 施工人员产生的少量生活污水依托厂区内现有的公共卫生间排放，进入市政污水管网，不会对周围水环境产生不良影响。 装修产生的建筑垃圾、人员产生的少量生活垃圾集中收集堆放，交当地城市管理部门统一清运处置。 施工期噪声来源于装修、设备安装等。本项目施工过程中选用低噪声、低振动的施工设备，采取合理的施工时间，文明操作，避免夜间施工等措施，可有效减少噪声污染，且该噪声间歇性排放，施工期较短，随施工的结束而终止。 通过以上措施，本项目建设阶段产生的扬尘、生活污水、固体废物及噪声对周围环境影响较小。
运行阶段对环境的影响 本项目运行阶段主要环境影响为 X 射线探伤机工作时发射的 X 射线在穿透屏蔽防护设施后对周围环境产生的外照射影响。 1. 辐射环境影响分析 本项目使用 3 台 X 射线探伤机，分别为 1 台 MXR-451HP/11 型定向式 X 射线探伤机，最大管电压 450kV、最大管电流 3mA；1 台 PXS EVO 300DS 型定向式 X 射线探伤机，最大管电压 300kV、最大管电流 3mA；1 台 PXS EVO 300P 型周向式 X 射线探伤机，最大管电压 300kV、最大管电流 2.5mA。本项目管电压为 450kV 的 X 射线

探伤机单独使用，管电压 300kV 的 X 射线探伤机存在同时使用情况。保守考虑，管电压 300kV 的 2 台 X 射线探伤机按照同时使用进行辐射环境影响预测与分析，X 射线探伤机工作期间，辐射工作人员禁止位于暗室和评片室开展工作。

本项目定向 X 射线探伤机自右向左（自东向西）照射，周向 X 射线探伤机照射方向为东西向 360°。450kV 定向 X 射线探伤机线束辐射角为 40°，300kV 定向 X 射线探伤机线束辐射角为 60°，300kV 周向 X 射线探伤机线束辐射角为 38°×360°。工作状态下，450kV 及 300kV 定向 X 射线探伤机只能在空间内上、下移动，不会存在前后左右平移；300kV 周向 X 射线探伤机固定不动。3 台 X 射线探伤机的照射范围如下图所示。

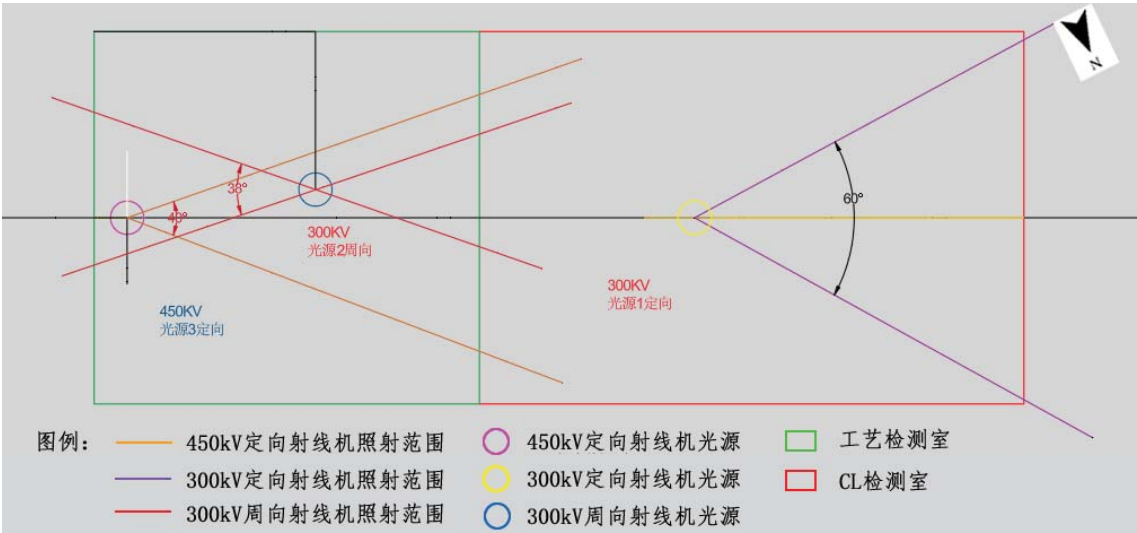


图 11-1 3 台 X 射线探伤机的照射范围图

1.1 预测模式

《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中要求“X 射线探伤室的屏蔽计算方法参见 GBZ/T 250”。因此报告中涉及到工业的周围剂量当量率计算参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及第 1 号修改单中的公式。

本项目定向 X 射线探伤机有用线束方向均为自右向左（自东向西），周向 X 射线探伤机有用线束方向为东西向 360°，主射方向考虑有用线束的影响，其余方向考虑漏射线、散射线的影响。

（1）有用线束

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及第 1 号修改单，有用线束在关注点处的剂量率 $\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）按公式（11-1）计算：

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

式中：

$\dot{H}$ ——关注点处的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

I ——在最高管电压下的常用最大管电流， mA ，本项目最高管电压为 450kV，常用最大管电流为 3mA；

H_0 ——距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ 。本项目 450kV 射线机过滤板为 5mm 铍（Be），查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录表 B.1 和《国际放射防护委员会第 33 号出版物 医用外照射源的辐射防护》（ICRP33）均无 5mm 铍对应的距辐射源点（靶点）1m 处输出量。根据设备厂家提供的数据，距辐射源点（靶点）1m 处输出量为 1800 $\mu\text{Gy/s}$ ，计算可知，本项目距辐射源点（靶点）1m 处输出量为 6480000 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ 。

本项目 300kV 射线机过滤板为 0.8mm 铍（Be）+4mm 铝（Al），根据设备厂家提供的数据，距辐射源点（靶点）1m 处输出量为 20.9 $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ，计算可知，本项目距辐射源点（靶点）1m 处输出量为 1254000 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ 。

B —屏蔽透射因子；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为 m。

对于给定的屏蔽物质厚度 X ，相应的辐射屏蔽透射因子 B 按（11-2）计算：

$$B = \prod_{i=1}^n 10^{-X_i / TVL_i} \quad (\text{公式 11-2})$$

式中：

X —第 i 种屏蔽体的厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL_i —第 i 种屏蔽体的什值层厚度，mm。本项目计算仅涉及 1 种屏蔽体。查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及第 1 号修改单附录 B 表 B.2、《国际放射防护委员会第 33 号出版物 医用外照射源的辐射防护》（ICRP33），主射时最高管电压为 450kV，保守考虑，按照管电压 500kV 的什值层厚度 TVL 进行计算，具体取值见下表。

表 11-1 本评价屏蔽体的什值层厚度取值一览表

屏蔽材料	管电压（kV）	什值层厚度 TVL（mm）
铅	200	1.4

	300	5.7
	400	8.2
	500	10.3

(2) 散射

散射在关注点处造成的辐射剂量当量率计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad (\text{公式 11-3})$$

式中：

$\dot{H}$ ——散射线在剂量关注点处造成的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

I ——在最高管电压下的常用最大管电流，mA，本项目 3 台 X 射线探伤机最高管电压分别为 450kV、300kV、300kV，常用最大管电流为 3mA、3mA、2.5mA；

R_0 ——辐射源点（靶点）至被检测体的距离，单位为m。根据设备厂家提供资料， R_0 为 0.42m，其透照布局示意图如下；

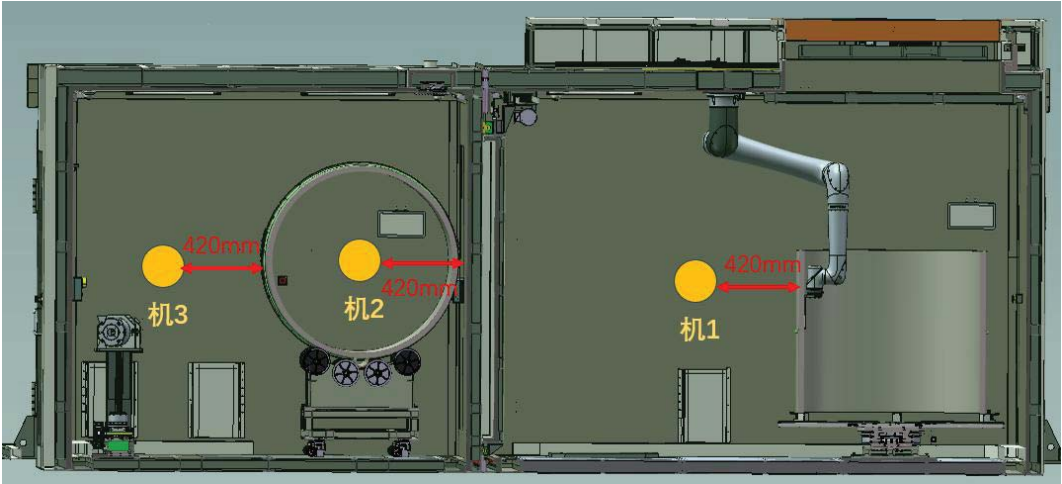


图 11-2 0.42m 透照布局示意图

F —— R_0 处的辐射野面积，单位为 m^2 。根据设备厂家提供资料计算，本项目 450kV 射线机 R_0 处射线装置的 $F = \pi \times (\tan 20^\circ \times 0.42)^2 = 0.0734\text{m}^2$ ； 本项目 300kV 定向射线机 R_0 处射线装置的 $F = \pi \times (\tan 30^\circ \times 0.42)^2 = 0.1848\text{m}^2$ ； 本项目 300kV 周向射线机 R_0 处射线装置的 $F = 2\pi \times 0.42 \times (0.42 \times \tan 19^\circ \times 2) = 0.7632\text{m}^2$ ；

R_s ——散射体至关注点的距离，单位为 m；

α ——散射因子，入射辐射被单位面积(1m^2) 散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量当量率与该面积上的入射辐射剂量当量率的比。与散射物质有关，在未获得相应

物质 α 值时，可以水的 α 值保守估算。

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 及第 1 号修改单 B.4.2, α 因子的值取为: $\alpha_w \cdot 10000/400 = 1.9E-3 \cdot 10000/400 = 0.0475$, $R_0^2 / F \cdot \alpha$ 因子的值分别为 50.60、20.10、4.87;

B—屏蔽透射因子, X 射线 90° 散射辐射的最高能量低于入射 X 射线的最高能量。根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 及第 1 号修改单表 2 “X 射线 90° 散射辐射最高能量相应的 kV 值”, 入射 450kV 射线对应的 90° 散射能量为 300kV, 入射 300kV 射线对应的 90° 散射能量为 200kV, 根据表 11-2 查 300kV、200kV 对应的什值层计算 B。

(3) 泄漏

本项目 X 射线探伤机除有用线束方向外, 其他方向均需考虑泄漏辐射影响。泄漏射线剂量估算公式如下:

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \cdot B}{R^2} \quad (\text{公式 11-4})$$

式中:

$\dot{H}$ —泄漏辐射在关注点的剂量率, 单位为 $\mu\text{Sv/h}$;

$\dot{H}_L$ —距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率, 单位为 $\mu\text{Sv/h}$ 。根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 及第 1 号修改单表 1 查询可知, 450kV、300kV 管电压, 射线装置的泄漏辐射剂量率为 $5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$;

B—屏蔽透射因子;

R—辐射源点(靶点)至关注点的距离, 单位为 m;

(4) 关注点的周有效剂量估算

$$H = \dot{H} \cdot U \cdot t \cdot T \quad (\text{公式 11-5})$$

式中:

$\dot{H}$ ——主射线、散射线、漏射线在剂量关注点处造成的周围剂量当量率, $\mu\text{Sv/h}$;

t ——周出束时间, h/周;

U ——射线使用因子, 本项目取值 $U=1$;

T ——居留因子, 不同场所与环境条件下的居留因子取值如下表。

表 11-2 居留因子 T

场所	居留因子 (T)		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	控制室、暗室、办公室、邻近建筑物中的驻留区
部分居留	1/4	1/2~1/5	走廊、休息室、杂物间
偶然居留	1/16	1/8~1/40	厕所、楼梯、人行道

(5) 关注点的年有效剂量估算

$$H = \dot{H} \cdot U \cdot t \cdot T \cdot 10^{-3} \quad (\text{公式 11-6})$$

式中:

$\dot{H}$ ——主射线、散射线、漏射线在剂量关注点处造成的周围剂量当量率, $\mu\text{Sv/h}$;

t ——年出束时间, h/a;

U ——射线使用因子, 同公式 11-5;

T ——居留因子, 同公式 11-5。

1.2 剂量关注点

根据 X 射线束的朝向和数字 X 射线检测平台屏蔽边界周围环境特征, 本次选取拟放置数字 X 射线检测平台位置屏蔽边界外四周 0.3m 处及顶部外 0.3m 处、操作台位置与数字 X 射线检测平台紧邻的有代表性的辐射工作人员和公众居留处作为剂量关注点, 共设置 34 个关注点。

剂量关注点位布置情况、周边环境及墙体屏蔽材料厚度见下表。剂量关注点的具体位置见附图 3、附图 4、附图 5、附图 6。

表 11-3 450kV 定向 X 射线探伤机剂量关注点布置情况、屏蔽体材料及厚度

序号	剂量关注点	位置特征	射线束	射线能量 (kV)	屏蔽材料及厚度
辐射工作人员					
1	拟建工艺检测室东侧屏蔽体外 0.3m	屏蔽体外表面	散射	300	2mm 钢 +45mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	450	
2	拟建工艺检测室南侧屏蔽体外 0.3m	屏蔽体外表面	散射	300	2mm 钢 +40mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	450	

32	拟建 CL 检测室西侧屏蔽体外 0.3m	屏蔽体外表面	有用线束	450	4mm 钢 +96mm 铅 +4mm 钢
5	拟建工艺检测室北侧屏蔽体外 0.3m	屏蔽体外表面	散射	300	2mm 钢 +60mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	450	
6	拟建工艺检测室北侧防护门外 0.3m	防护门表面	散射	300	60mm 铅
			泄漏	450	
7	拟建 CL 检测室北侧防护门外 0.3m	防护门表面	散射	300	28mm 铅
			泄漏	450	
8	操作台	固定工位	散射	300	2mm 钢 +60mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	450	
9	暗室	固定工位	散射	300	2mm 钢 +40mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	450	
10	评片室	固定工位	散射	300	2mm 钢 +40mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	450	
公众					
11	拟建工艺检测室顶部屏蔽体外 0.3m	人员不可达	散射	300	2mm 钢 +30mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	450	
12	无损检测区	固定工位	散射	300	2mm 钢 +45mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	450	
13	模拟服役环境试验区	固定工位	散射	300	2mm 钢 +45mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	450	
14	自动焊接区	固定工位	散射	300	2mm 钢 +60mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	450	
15	常规力学性能试验区	固定工位	散射	300	2mm 钢 +60mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	450	
16	手工焊接区	固定工位	散射	300	2mm 钢 +60mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	450	
17	化学分析区	固定工位	散射	300	2mm 钢 +60mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	450	
18	备件区	固定工位	有用线束	450	4mm 钢 +96mm 铅 +4mm 钢
19	休息室（夹层）	固定工位	有用线束	450	4mm 钢 +96mm 铅 +4mm 钢

20	培训室（夹层）	固定工位	有用线束	450	4mm 钢 +96mm 铅 +4mm 钢
21	软件国产化实验室（二层）	固定工位	散射	300	2mm 钢 +45mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	450	
22	非金属试验区（二层）	固定工位	散射	300	2mm 钢 +45mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	450	
23	机房（二层）	固定工位	散射	300	2mm 钢 +60mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	450	
24	试样存放区（二层）	固定工位	散射	300	2mm 钢 +60mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	450	
25	办公室（二层）	固定工位	有用线束	450	4mm 钢 +96mm 铅 +4mm 钢
26	厂区内南侧道路	厂区道路	散射	300	2mm 钢 +40mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	450	
27	厂区内西侧道路	厂区道路	有用线束	450	4mm 钢 +96mm 铅 +4mm 钢
28	厂区内北侧道路	厂区道路	散射	300	2mm 钢 +60mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	450	

表 11-4 300kV 定向 X 射线探伤机剂量关注点布置情况、屏蔽体材料及厚度

序号	剂量关注点	位置特征	射线束	射线能量 (kV)	屏蔽材料及厚度
辐射工作人员					
29	拟建 CL 检测室东侧屏蔽体外 0.3m	屏蔽体表面	散射	200	2mm 钢 +60mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	300	
30	拟建 CL 检测室东侧防护门外 0.3m	防护门表面	散射	200	60mm 铅
			泄漏	300	
31	拟建 CL 检测室南侧屏蔽体外 0.3m	屏蔽体表面	散射	200	2mm 钢 +28mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	300	
32	拟建 CL 检测室西侧屏蔽体外 0.3m	屏蔽体表面	有用线束	300	2mm 钢 +36mm 铅 +2mm 钢
33	拟建 CL 检测室北侧屏蔽体外 0.3m	屏蔽体表面	散射	200	2mm 钢 +28mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	300	
6	拟建工艺检测室北侧防护门外 0.3m	防护门表面	散射	200	60mm 铅

			泄漏	300	
7	拟建 CL 检测室北侧防护门外 0.3m	防护门表面	散射	200	28mm 铅
			泄漏	300	
8	操作台	固定工位	散射	200	2mm 钢 +28mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	300	
9	暗室	固定工位	散射	200	2mm 钢 +28mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	300	
10	评片室	固定工位	散射	200	2mm 钢 +28mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	300	
公众					
34	拟建 CL 检测室顶部屏蔽体外 0.3m	人员不可达	散射	200	2mm 钢 +18mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	300	
12	无损检测区	固定工位	散射	200	4mm 钢 +105mm 铅 +4mm 钢
			泄漏	300	
13	模拟服役环境试验区	固定工位	散射	200	4mm 钢 +105mm 铅 +4mm 钢
			泄漏	300	
14	自动焊接区	固定工位	散射	200	2mm 钢 +28mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	300	
15	常规力学性能试验区	固定工位	散射	200	2mm 钢 +28mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	300	
16	手工焊接区	固定工位	散射	200	2mm 钢 +28mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	300	
17	化学分析区	固定工位	散射	200	2mm 钢 +28mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	300	
18	备件区	固定工位	有用线束	300	2mm 钢 +36mm 铅 +2mm 钢
19	休息室（夹层）	固定工位	有用线束	300	2mm 钢 +36mm 铅 +2mm 钢
20	培训室（夹层）	固定工位	有用线束	300	2mm 钢 +36mm 铅 +2mm 钢
21	软件国产化实验室（二层）	固定工位	散射	200	4mm 钢 +105mm 铅 +4mm 钢
			泄漏	300	
22	非金属试验区（二层）	固定工位	散射	200	4mm 钢

			泄漏	300	+105mm 铅 +4mm 钢
23	机房（二层）	固定工位	散射	200	2mm 钢 +28mm 铅
			泄漏	300	+2mm 钢
24	试样存放区（二层）	固定工位	散射	200	2mm 钢 +28mm 铅
			泄漏	300	+2mm 钢
25	办公室（二层）	固定工位	有用线束	300	2mm 钢 +36mm 铅 +2mm 钢
26	厂区内南侧道路	厂区道路	散射	200	2mm 钢 +28mm 铅
			泄漏	300	+2mm 钢
27	厂区内西侧道路	厂区道路	有用线束	300	2mm 钢 +36mm 铅 +2mm 钢
28	厂区内北侧道路	厂区道路	散射	200	2mm 钢 +28mm 铅
			泄漏	300	+2mm 钢

表 11-5 300kV 周向 X 射线探伤机剂量关注点布置情况、屏蔽体材料及厚度

序号	剂量关注点	位置特征	射线束	射线能量 (kV)	屏蔽材料及厚度
辐射工作人员					
1	拟建工艺检测室东侧屏蔽体外 0.3m	屏蔽体外表面	有用线束	300	2mm 钢 +45mm 铅 +2mm 钢
2	拟建工艺检测室南侧屏蔽体外 0.3m	屏蔽体外表面	散射	200	2mm 钢 +40mm 铅
			泄漏	300	+2mm 钢
3	拟建工艺检测室西侧屏蔽体外 0.3m	屏蔽体外表面	有用线束	300	2mm 钢 +60mm 铅 +2mm 钢
4	拟建工艺检测室西侧防护门外 0.3m	防护门表面	有用线束	300	60mm 铅
5	拟建工艺检测室北侧屏蔽体外 0.3m	屏蔽体外表面	散射	200	2mm 钢 +60mm 铅
			泄漏	300	+2mm 钢
6	拟建工艺检测室北侧防护门外 0.3m	防护门表面	散射	200	60mm 铅
			泄漏	300	
7	拟建 CL 检测室北侧防护门外 0.3m	防护门表面	散射	200	28mm 铅
			泄漏	300	
8	操作台	固定工位	散射	200	2mm 钢 +60mm 铅
			泄漏	300	+2mm 钢
9	暗室	固定工位	散射	200	2mm 钢

			泄漏	300	+40mm 铅 +2mm 钢
10	评片室	固定工位	散射	200	2mm 钢 +40mm 铅
			泄漏	300	+2mm 钢
公众					
11	拟建工艺检测室顶部屏蔽体外 0.3m	人员不可达	散射	200	2mm 钢 +30mm 铅
			泄漏	300	+2mm 钢
12	无损检测区	固定工位	有用线束	300	2mm 钢 +45mm 铅 +2mm 钢
13	模拟服役环境试验区	固定工位	有用线束	300	2mm 钢 +45mm 铅 +2mm 钢
14	自动焊接区	固定工位	散射	200	2mm 钢 +60mm 铅
			泄漏	300	+2mm 钢
15	常规力学性能试验区	固定工位	散射	200	2mm 钢 +60mm 铅
			泄漏	300	+2mm 钢
16	手工焊接区	固定工位	散射	200	2mm 钢 +60mm 铅
			泄漏	300	+2mm 钢
17	化学分析区	固定工位	散射	200	2mm 钢 +60mm 铅
			泄漏	300	+2mm 钢
18	备件区	固定工位	有用线束	300	4mm 钢 +96mm 铅 +4mm 钢
19	休息室（夹层）	固定工位	有用线束	300	4mm 钢 +96mm 铅 +4mm 钢
20	培训室（夹层）	固定工位	有用线束	300	4mm 钢 +96mm 铅 +4mm 钢
21	软件国产化实验室（二层）	固定工位	有用线束	300	2mm 钢 +45mm 铅 +2mm 钢
22	非金属试验区（二层）	固定工位	有用线束	300	2mm 钢 +45mm 铅 +2mm 钢
23	机房（二层）	固定工位	散射	200	2mm 钢 +60mm 铅
			泄漏	300	+2mm 钢
24	试样存放区（二层）	固定工位	散射	200	2mm 钢 +28mm 铅
			泄漏	300	+2mm 钢

25	办公室（二层）	固定工位	有用线束	300	4mm 钢 +96mm 铅 +4mm 钢
26	厂区内南侧道路	厂区道路	散射	200	2mm 钢 +40mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	300	
27	厂区内西侧道路	厂区道路	有用线束	300	4mm 钢 +96mm 铅 +4mm 钢
28	厂区内北侧道路	厂区道路	散射	200	2mm 钢 +60mm 铅 +2mm 钢
			泄漏	300	

1.3 预测参数

拟建数字 X 射线检测平台的参数及工作负荷见下表。

表 11-6 数字 X 射线检测平台的工作参数及工作负荷

名称及型号		450kV 定向 X 射线探伤机	300kV 定向 X 射线 探伤机	300kV 周向 X 射线 探伤机
工作 参数	过滤板材料及厚度	5mm Be	0.8mm Be+4mm Al	0.8mm Be+4mm Al
	照射方向	定向，由东向西	定向，由东向西	周向，360°
	最大工作电压	450kV	300kV	300kV
	最大工作电流	3mA	3mA	2.5mA
工作 负荷	每个工件最大出束时间	38min		
	每天最多检测工件数	10 个		
	每天出束最长时间	6.25h		
	每周最大工作天数	5 天		
	每周最大照射时间	31.25h		
	每年工作周数	40 周		
	全年最大照射时间	1250h		

1.4 计算结果

本节计算拟建 3 台 X 射线探伤机对关注点的影响，并计算 2 台 300kV 探伤机同时使用时对关注点的叠加影响，预测结果如下。

1.4.1 拟建 3 台 X 射线探伤机有用线束周围剂量当量率计算

1、450kV 定向 X 射线探伤机

450kV 定向 X 射线探伤机的照射方向为由东向西，线束圆锥角为 40°，有用线束关注点为 32#、18#、19#、20#、25#、27#关注点。

表 11-7 450kV 定向 X 射线探伤机有用线束辐射影响预测结果

点位	I mA	H_0 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$	X-铅 mm	TVL-铅 mm	B	R m	$\dot{H}$ $\mu\text{Sv/h}$
辐射工作人员							
32	3	6480000	96	10.3	4.78×10^{-10}	7.01	1.89×10^{-4}
公众							
18	3	6480000	96	10.3	4.78×10^{-10}	11.77	6.71×10^{-5}
19	3	6480000	96	10.3	4.78×10^{-10}	20.13	2.29×10^{-5}
20	3	6480000	96	10.3	4.78×10^{-10}	11.23	7.37×10^{-5}
25	3	6480000	96	10.3	4.78×10^{-10}	12.04	6.41×10^{-5}
27	3	6480000	96	10.3	4.78×10^{-10}	25	1.49×10^{-5}

从上表中预测结果可知，450kV 定向 X 射线探伤机有用线束关注点的最大辐射剂量率为 $1.89\times 10^{-4}\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射

防护标准》（GBZ 117-2022）中规定的要求：“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”。

2、300kV 定向 X 射线探伤机

300kV 定向 X 射线探伤机的照射方向为由东向西，线束圆锥角为 60° ，有用线束关注点为 32#、18#、19#、20#、25#、27#关注点。

表 11-8 300kV 定向 X 射线探伤机有用线束辐射影响预测结果

点位	I mA	H_0 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$	X-铅 mm	TVL-铅 mm	B	R m	$\dot{H}$ $\mu\text{Sv/h}$
辐射工作人员							
32	3	1254000	36	5.7	4.83×10^{-7}	3.67	1.35×10^{-1}
公众							
18	3	1254000	36	5.7	4.83×10^{-7}	8.33	2.62×10^{-2}
19	3	1254000	36	5.7	4.83×10^{-7}	18.88	5.10×10^{-3}
20	3	1254000	36	5.7	4.83×10^{-7}	8.47	2.53×10^{-2}
25	3	1254000	36	5.7	4.83×10^{-7}	9.95	1.84×10^{-2}
27	3	1254000	36	5.7	4.83×10^{-7}	21.56	3.91×10^{-3}

从上表中预测结果可知，300kV 定向 X 射线探伤机有用线束关注点的最大辐射剂量率为 $1.35\times 10^{-1}\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中规定的要求：“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”。

3、300kV 周向 X 射线探伤机

300kV 周向 X 射线探伤机的照射方向为周向 360°，线束圆锥角为 38°，有用线束关注点为 1#、3#、4#、12#、13#、18#、19#、20#、21#、22#、25#、27#关注点。

表 11-9 300kV 周向 X 射线探伤机有用线束辐射影响预测结果

点位	I mA	H ₀ μSv·m ² /(mA·h)	X-铅 mm	TVL-铅 mm	B	R m	$\dot{H}$ μSv/h
辐射工作人员							
1	2.5	1254000	45	5.7	1.27×10 ⁻⁸	2.24	7.96×10 ⁻³
3	2.5	1254000	60	5.7	2.98×10 ⁻¹¹	1.52	4.04×10 ⁻⁵
4	2.5	1254000	60	5.7	2.98×10 ⁻¹¹	1.66	3.39×10 ⁻⁵
公众							
12	2.5	1254000	60	5.7	2.98×10 ⁻¹¹	3.80	6.64×10 ⁻⁶
13	2.5	1254000	60	5.7	2.98×10 ⁻¹¹	30.29	1.02×10 ⁻⁷
18	2.5	1254000	96	5.7	1.44×10 ⁻¹⁷	10.36	4.20×10 ⁻¹³
19	2.5	1254000	96	5.7	1.44×10 ⁻¹⁷	19.74	1.16×10 ⁻¹³
20	2.5	1254000	96	5.7	1.44×10 ⁻¹⁷	10.04	4.47×10 ⁻¹³
21	2.5	1254000	45	5.7	1.27×10 ⁻⁸	8.68	5.30×10 ⁻⁴
22	2.5	1254000	45	5.7	1.27×10 ⁻⁸	22.59	7.83×10 ⁻⁵

25	2.5	1254000	96	5.7	1.44×10^{-17}	11.32	3.52×10^{-13}
27	2.5	1254000	96	5.7	1.44×10^{-17}	23.59	8.10×10^{-14}

从上表中预测结果可知，300kV 周向 X 射线探伤机有用线束关注点的最大辐射剂量率为 $7.96 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中规定的要求：“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”。

1.4.2 拟建 3 台 X 射线探伤机散射和泄漏周围剂量当量率计算

1、450kV 定向 X 射线探伤机

（1）散射辐射环境影响预测

计算参数及结果如下。

表 11-10 450kV 定向 X 射线探伤机散射辐射影响预测结果

点位	I mA	H_0 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$	X-铅 mm	TVL-铅 mm	B	$\frac{F \cdot \alpha}{R_0^2}$	R _s m	$\dot{H}$ $\mu\text{Sv/h}$
1	3	6480000	45	5.7	1.27×10^{-8}	0.02	1.24	3.18×10^{-3}
2	3	6480000	40	5.7	9.60×10^{-8}	0.02	2.17	7.84×10^{-3}
5	3	6480000	60	5.7	2.98×10^{-11}	0.02	1.45	5.44×10^{-6}
6	3	6480000	60	5.7	2.98×10^{-11}	0.02	1.66	4.15×10^{-6}
7	3	6480000	28	5.7	1.22×10^{-5}	0.02	5.41	1.61×10^{-1}
8	3	6480000	60	5.7	2.98×10^{-11}	0.02	2.34	2.09×10^{-6}

9	3	6480000	40	5.7	9.60×10^{-8}	0.02	4.80	1.60×10^{-3}
10	3	6480000	40	5.7	9.60×10^{-8}	0.02	2.91	4.36×10^{-3}
11	3	6480000	30	5.7	5.46×10^{-6}	0.02	1.30	1.24
12	3	6480000	45	5.7	1.27×10^{-8}	0.02	2.81	6.20×10^{-4}
13	3	6480000	45	5.7	1.27×10^{-8}	0.02	29.3	5.70×10^{-6}
14	3	6480000	60	5.7	2.98×10^{-11}	0.02	7.20	2.21×10^{-7}
15	3	6480000	60	5.7	2.98×10^{-11}	0.02	33.07	1.05×10^{-8}
16	3	6480000	60	5.7	2.98×10^{-11}	0.02	22.13	2.34×10^{-8}
17	3	6480000	60	5.7	2.98×10^{-11}	0.02	35.87	8.89×10^{-9}
21	3	6480000	45	5.7	1.27×10^{-8}	0.02	8.16	7.35×10^{-5}
22	3	6480000	45	5.7	1.27×10^{-8}	0.02	21.64	1.05×10^{-5}
23	3	6480000	60	5.7	2.98×10^{-11}	0.02	19.27	3.08×10^{-8}
24	3	6480000	60	5.7	2.98×10^{-11}	0.02	27.08	1.56×10^{-8}
26	3	6480000	40	5.7	9.60×10^{-8}	0.02	10	3.69×10^{-4}
28	3	6480000	60	5.7	2.98×10^{-11}	0.02	36	8.82×10^{-9}

(2) 泄漏辐射环境影响预测

计算参数及结果如下。

表 11-11 450kV 定向 X 射线探伤机泄漏辐射影响预测结果

点位	$\dot{H}_L$ $\mu\text{Sv/h}$	X-铅 mm	TVL-铅 mm	B	R m	$\dot{H}$ $\mu\text{Sv/h}$
1	5×10^3	45	9.25	1.37×10^{-5}	0.82	1.02×10^{-1}
2	5×10^3	40	9.25	4.74×10^{-5}	2.17	5.03×10^{-2}
5	5×10^3	60	9.25	3.26×10^{-7}	1.45	7.76×10^{-4}
6	5×10^3	60	9.25	3.26×10^{-7}	1.66	5.92×10^{-4}
7	5×10^3	28	9.25	9.40×10^{-4}	5.41	1.61×10^{-1}
8	5×10^3	60	9.25	3.26×10^{-7}	1.92	4.42×10^{-4}
9	5×10^3	40	9.25	4.74×10^{-5}	4.80	1.03×10^{-2}
10	5×10^3	40	9.25	4.74×10^{-5}	2.91	2.80×10^{-2}
11	5×10^3	30	9.25	5.71×10^{-4}	1.30	1.69
12	5×10^3	45	9.25	1.37×10^{-5}	2.39	1.19×10^{-2}
13	5×10^3	45	9.25	1.37×10^{-5}	28.88	8.18×10^{-5}
14	5×10^3	60	9.25	3.26×10^{-7}	7.20	3.15×10^{-5}

15	5×10^3	60	9.25	3.26×10^{-7}	33.07	1.49×10^{-6}
16	5×10^3	60	9.25	3.26×10^{-7}	22.13	3.33×10^{-6}
17	5×10^3	60	9.25	3.26×10^{-7}	35.87	1.27×10^{-6}
21	5×10^3	45	9.25	1.37×10^{-5}	8.16	1.03×10^{-3}
22	5×10^3	45	9.25	1.37×10^{-5}	21.64	1.46×10^{-4}
23	5×10^3	60	9.25	3.26×10^{-7}	19.27	4.39×10^{-6}
24	5×10^3	60	9.25	3.26×10^{-7}	27.08	2.22×10^{-6}
26	5×10^3	40	9.25	4.74×10^{-5}	10	2.37×10^{-3}
28	5×10^3	60	9.25	3.26×10^{-7}	36	1.26×10^{-6}

(3) 散射和泄漏叠加后的辐射环境影响预测

综合考虑散射和泄漏两方面的影响，450kV 定向 X 射线探伤机周围关注点的辐射环境影响预测结果见下表。

表 11-12 叠加后 450kV 定向 X 射线探伤机周围关注点的周围剂量当量率

点位	名称	$\dot{H}$ (散射) $\mu\text{Sv/h}$	$\dot{H}$ (泄漏) $\mu\text{Sv/h}$	$\dot{H}$ (叠加后) $\mu\text{Sv/h}$
辐射工作人员				
1	拟建工艺检测室东侧屏蔽体外 0.3m	3.18×10^{-3}	1.02×10^{-1}	1.05×10^{-1}
2	拟建工艺检测室南侧屏蔽体外 0.3m	7.84×10^{-3}	5.03×10^{-2}	5.81×10^{-2}

5	拟建工艺检测室北侧屏蔽体外 0.3m	5.44×10^{-6}	7.76×10^{-4}	7.81×10^{-4}
6	拟建工艺检测室北侧防护门外 0.3m	4.15×10^{-6}	5.92×10^{-4}	5.96×10^{-4}
7	拟建 CL 检测室北侧防护门外 0.3m	1.61×10^{-1}	1.61×10^{-1}	3.22×10^{-1}
8	操作台	2.09×10^{-6}	4.42×10^{-4}	4.44×10^{-4}
9	暗室	1.60×10^{-3}	1.03×10^{-2}	1.19×10^{-2}
10	评片室	4.36×10^{-3}	2.80×10^{-2}	3.24×10^{-2}
公众				
11	拟建工艺检测室顶部屏蔽体外 0.3m	1.24	1.69	2.93
12	无损检测区	6.20×10^{-4}	1.19×10^{-2}	1.25×10^{-2}
13	模拟服役环境试验区	5.70×10^{-6}	8.18×10^{-5}	8.75×10^{-5}
14	自动焊接区	2.21×10^{-7}	3.15×10^{-5}	3.17×10^{-5}
15	常规力学性能试验区	1.05×10^{-8}	1.49×10^{-6}	1.50×10^{-6}
16	手工焊接区	2.34×10^{-8}	3.33×10^{-6}	3.35×10^{-6}
17	化学分析区	8.89×10^{-9}	1.27×10^{-6}	1.28×10^{-6}
21	软件国产化实验室（二层）	7.35×10^{-5}	1.03×10^{-3}	1.10×10^{-3}

22	非金属试验区（二层）	1.05×10^{-5}	1.46×10^{-4}	1.57×10^{-4}
23	机房（二层）	3.08×10^{-8}	4.39×10^{-6}	4.42×10^{-6}
24	试样存放区（二层）	1.56×10^{-8}	2.22×10^{-6}	2.24×10^{-6}
26	厂区内南侧道路	3.69×10^{-4}	2.37×10^{-3}	2.74×10^{-3}
28	厂区内北侧道路	8.82×10^{-9}	1.26×10^{-6}	1.27×10^{-6}

从上表中预测结果可知：本项目 450kV 定向 X 射线探伤机单独运行状态下，屏蔽体外表面四周 0.3m 处及周围典型关注点的最大辐射剂量率约为 $3.22 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中规定的要求：“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”。

顶部屏蔽体外 0.3m 处辐射剂量率约为 $2.93 \mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中规定的要求：“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 $100 \mu\text{Sv/h}$ ”。

2、300kV 定向 X 射线探伤机

（1）散射辐射环境影响预测

计算参数及结果如下。

表 11-13 300kV 定向 X 射线探伤机散射辐射影响预测结果

点位	I mA	H_0 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$	X-铅 mm	TVL-铅 mm	B	$\frac{F \cdot \alpha}{R_0^2}$	R _s m	$\dot{H}$ $\mu\text{Sv/h}$
29	3	1254000	60	1.4	1.39×10^{-43}	0.05	1.68	9.22×10^{-39}

30	3	1254000	60	1.4	1.39×10^{-43}	0.05	1.67	9.33×10^{-39}
31	3	1254000	28	1.4	1.00×10^{-20}	0.05	1.96	4.87×10^{-16}
33	3	1254000	28	1.4	1.00×10^{-20}	0.05	1.69	6.55×10^{-16}
6	3	1254000	60	1.4	1.39×10^{-43}	0.05	2.23	5.23×10^{-39}
7	3	1254000	28	1.4	1.00×10^{-20}	0.05	1.89	5.24×10^{-16}
8	3	1254000	28	1.4	1.00×10^{-20}	0.05	5.38	6.47×10^{-17}
9	3	1254000	28	1.4	1.00×10^{-20}	0.05	2.71	2.55×10^{-16}
10	3	1254000	28	1.4	1.00×10^{-20}	0.05	2.68	2.61×10^{-16}
34	3	1254000	18	1.4	5.46×10^{-6}	0.05	1.30	1.54×10^{-8}
12	3	1254000	105	1.4	1.00×10^{-75}	0.05	6.25	4.79×10^{-72}
13	3	1254000	105	1.4	1.00×10^{-75}	0.05	30.71	1.98×10^{-73}
14	3	1254000	28	1.4	1.00×10^{-20}	0.05	9.27	2.18×10^{-17}
15	3	1254000	28	1.4	1.00×10^{-20}	0.05	36.48	1.41×10^{-18}
16	3	1254000	28	1.4	1.00×10^{-20}	0.05	22.53	3.69×10^{-18}
17	3	1254000	28	1.4	1.00×10^{-20}	0.05	38.90	1.24×10^{-18}

21	3	1254000	105	1.4	1.00×10^{-75}	0.05	9.74	1.97×10^{-72}
22	3	1254000	105	1.4	1.00×10^{-75}	0.05	24.50	3.12×10^{-73}
23	3	1254000	28	1.4	1.00×10^{-20}	0.05	20.12	4.62×10^{-18}
24	3	1254000	28	1.4	1.00×10^{-20}	0.05	29.84	2.10×10^{-18}
26	3	1254000	28	1.4	1.00×10^{-20}	0.05	9.76	1.97×10^{-17}
28	3	1254000	28	1.4	1.00×10^{-20}	0.05	36.22	1.43×10^{-18}

(2) 泄漏辐射环境影响预测

计算参数及结果如下。

表 11-14 300kV 定向 X 射线探伤机泄漏辐射影响预测结果

点位	$\dot{H}_L$ $\mu\text{Sv/h}$	X-铅 mm	TVL-铅 mm	B	R m	$\dot{H}$ $\mu\text{Sv/h}$
29	5×10^3	60	5.7	2.98×10^{-11}	1.26	9.39×10^{-8}
30	5×10^3	60	5.7	2.98×10^{-11}	1.25	9.54×10^{-8}
31	5×10^3	28	5.7	1.22×10^{-5}	1.96	1.59×10^{-2}
33	5×10^3	28	5.7	1.22×10^{-5}	1.69	2.14×10^{-2}
6	5×10^3	60	5.7	2.98×10^{-11}	2.23	3.00×10^{-8}
7	5×10^3	28	5.7	1.22×10^{-5}	1.89	1.71×10^{-2}

8	5×10^3	28	5.7	1.22×10^{-5}	5.06	2.38×10^{-3}
9	5×10^3	28	5.7	1.22×10^{-5}	2.71	8.31×10^{-3}
10	5×10^3	28	5.7	1.22×10^{-5}	2.68	8.49×10^{-3}
34	5×10^3	18	5.7	6.95×10^{-4}	1.30	2.06
12	5×10^3	105	5.7	3.79×10^{-19}	5.83	5.58×10^{-17}
13	5×10^3	105	5.7	3.79×10^{-19}	30.29	2.07×10^{-18}
14	5×10^3	28	5.7	1.22×10^{-5}	9.27	7.10×10^{-4}
15	5×10^3	28	5.7	1.22×10^{-5}	36.48	4.58×10^{-5}
16	5×10^3	28	5.7	1.22×10^{-5}	22.53	1.20×10^{-4}
17	5×10^3	28	5.7	1.22×10^{-5}	38.90	4.03×10^{-5}
21	5×10^3	105	5.7	3.79×10^{-19}	9.74	2.00×10^{-17}
22	5×10^3	105	5.7	3.79×10^{-19}	24.50	3.16×10^{-18}
23	5×10^3	28	5.7	1.22×10^{-5}	20.12	1.51×10^{-4}
24	5×10^3	28	5.7	1.22×10^{-5}	29.84	6.85×10^{-5}
26	5×10^3	28	5.7	1.22×10^{-5}	9.76	6.40×10^{-4}

28	5×10 ³	28	5.7	1.22×10 ⁻⁵	36.22	4.65×10 ⁻⁵
(3) 散射和泄漏叠加后的辐射环境影响预测						
综合考虑散射和泄漏两方面的影响，300kV 定向 X 射线探伤机周围关注点的辐射环境影响预测结果见下表。						
表 11-15 叠加后 300kV 定向 X 射线探伤机周围关注点的周围剂量当量率						
点位	名称	$\dot{H}$ （散射） μSv/h	$\dot{H}$ （泄漏） μSv/h	$\dot{H}$ （叠加后） μSv/h		
辐射工作人员						
29	拟建 CL 检测室东侧屏蔽体外 0.3m	9.22×10 ⁻³⁹	9.39×10 ⁻⁸	9.39×10 ⁻⁸		
30	拟建 CL 检测室东侧防护门外 0.3m	9.33×10 ⁻³⁹	9.54×10 ⁻⁸	9.54×10 ⁻⁸		
31	拟建 CL 检测室南侧屏蔽体外 0.3m	4.87×10 ⁻¹⁶	1.59×10 ⁻²	1.59×10 ⁻²		
33	拟建 CL 检测室北侧屏蔽体外 0.3m	6.55×10 ⁻¹⁶	2.14×10 ⁻²	2.14×10 ⁻²		
6	拟建工艺检测室北侧防护门外 0.3m	5.23×10 ⁻³⁹	3.00×10 ⁻⁸	3.00×10 ⁻⁸		
7	拟建 CL 检测室北侧防护门外 0.3m	5.24×10 ⁻¹⁶	1.71×10 ⁻²	1.71×10 ⁻²		
8	操作台	6.47×10 ⁻¹⁷	2.38×10 ⁻³	2.38×10 ⁻³		
9	暗室	2.55×10 ⁻¹⁶	8.31×10 ⁻³	8.31×10 ⁻³		
10	评片室	2.61×10 ⁻¹⁶	8.49×10 ⁻³	8.49×10 ⁻³		
公众						

34	拟建 CL 检测室顶部屏蔽体外 0.3m	1.54×10^{-8}	2.06	2.06
12	无损检测区	4.79×10^{-72}	5.58×10^{-17}	5.58×10^{-17}
13	模拟服役环境试验区	1.98×10^{-73}	2.07×10^{-18}	2.07×10^{-18}
14	自动焊接区	2.18×10^{-17}	7.10×10^{-4}	7.10×10^{-4}
15	常规力学性能试验区	1.41×10^{-18}	4.58×10^{-5}	4.58×10^{-5}
16	手工焊接区	3.69×10^{-18}	1.20×10^{-4}	1.20×10^{-4}
17	化学分析区	1.24×10^{-18}	4.03×10^{-5}	4.03×10^{-5}
21	软件国产化实验室（二层）	1.97×10^{-72}	2.00×10^{-17}	2.00×10^{-17}
22	非金属试验区（二层）	3.12×10^{-73}	3.16×10^{-18}	3.16×10^{-18}
23	机房（二层）	4.62×10^{-18}	1.51×10^{-4}	1.51×10^{-4}
24	试样存放区（二层）	2.10×10^{-18}	6.85×10^{-5}	6.85×10^{-5}
26	厂区内南侧道路	1.97×10^{-17}	6.40×10^{-4}	6.40×10^{-4}
28	厂区内北侧道路	1.43×10^{-18}	4.65×10^{-5}	4.65×10^{-5}

从上表中预测结果可知：本项目 300kV 定向 X 射线探伤机单独运行状态下，屏蔽体外表面四周 0.3m 处及周围典型关注点的最大辐射剂量率约为 $2.14 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中规定的要求：“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”。

顶部屏蔽体外 0.3m 处辐射剂量率约为 2.06 μ Sv/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中规定的要求：“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 μ Sv/h”。

3、300kV 周向 X 射线探伤机

（1）散射辐射环境影响预测

计算参数及结果如下。

表 11-16 300kV 周向 X 射线探伤机散射辐射影响预测结果

点位	I mA	H ₀ μ Sv·m ² /(mA·h)	X-铅 mm	TVL-铅 mm	B	$\frac{F \cdot \alpha}{R_0^2}$	R _s m	$\dot{H}$ μ Sv/h
2	2.5	1254000	40	1.4	2.68×10^{-29}	0.21	1.86	4.99×10^{-24}
5	2.5	1254000	60	1.4	1.39×10^{-43}	0.21	1.76	2.89×10^{-38}
6	2.5	1254000	60	1.4	1.39×10^{-43}	0.21	1.98	2.28×10^{-38}
7	2.5	1254000	28	1.4	1.00×10^{-20}	0.21	4.17	3.71×10^{-16}
8	2.5	1254000	60	1.4	1.39×10^{-43}	0.21	3.58	6.99×10^{-39}
9	2.5	1254000	40	1.4	2.68×10^{-29}	0.21	3.54	1.38×10^{-24}
10	2.5	1254000	40	1.4	2.68×10^{-29}	0.21	2.91	2.04×10^{-24}
11	2.5	1254000	30	1.4	3.73×10^{-22}	0.21	1.30	1.42×10^{-16}
14	2.5	1254000	60	1.4	1.39×10^{-43}	0.21	8.12	1.36×10^{-39}

15	2.5	1254000	60	1.4	1.39×10^{-43}	0.21	34.52	7.52×10^{-41}
16	2.5	1254000	60	1.4	1.39×10^{-43}	0.21	22.16	1.82×10^{-40}
17	2.5	1254000	60	1.4	1.39×10^{-43}	0.21	37.23	6.46×10^{-41}
23	2.5	1254000	60	1.4	1.39×10^{-43}	0.21	19.75	2.30×10^{-40}
24	2.5	1254000	60	1.4	1.39×10^{-43}	0.21	28.33	1.12×10^{-40}
26	2.5	1254000	40	1.4	2.68×10^{-29}	0.21	9.67	1.85×10^{-25}
28	2.5	1254000	60	1.4	1.39×10^{-43}	0.21	36.31	6.79×10^{-41}

(2) 泄漏辐射环境影响预测

计算参数及结果如下。

表 11-17 300kV 周向 X 射线探伤机泄漏辐射影响预测结果

点位	$\dot{H}_L$ $\mu\text{Sv/h}$	X-铅 mm	TVL-铅 mm	B	R m	$\dot{H}$ $\mu\text{Sv/h}$
2	5×10^3	40	5.7	9.60×10^{-8}	1.86	1.39×10^{-4}
5	5×10^3	60	5.7	2.98×10^{-11}	1.76	4.81×10^{-8}
6	5×10^3	60	5.7	2.98×10^{-11}	1.98	3.80×10^{-8}
7	5×10^3	28	5.7	1.22×10^{-5}	4.17	3.51×10^{-3}
8	5×10^3	60	5.7	2.98×10^{-11}	3.24	1.42×10^{-8}

9	5×10^3	40	5.7	9.60×10^{-8}	3.54	3.83×10^{-5}
10	5×10^3	40	5.7	9.60×10^{-8}	2.91	5.67×10^{-5}
11	5×10^3	30	5.7	5.46×10^{-6}	1.30	1.62×10^{-2}
14	5×10^3	60	5.7	2.98×10^{-11}	8.12	2.26×10^{-9}
15	5×10^3	60	5.7	2.98×10^{-11}	34.52	1.25×10^{-10}
16	5×10^3	60	5.7	2.98×10^{-11}	22.16	3.30×10^{-10}
17	5×10^3	60	5.7	2.98×10^{-11}	37.23	1.07×10^{-10}
23	5×10^3	60	5.7	2.98×10^{-11}	19.75	3.82×10^{-10}
24	5×10^3	60	5.7	2.98×10^{-11}	28.33	1.86×10^{-10}
26	5×10^3	40	5.7	9.60×10^{-8}	9.67	5.13×10^{-6}
28	5×10^3	60	5.7	2.98×10^{-11}	36.31	1.13×10^{-10}

(3) 散射和泄漏叠加后的辐射环境影响预测

综合考虑散射和泄漏两方面的影响，300kV 周向 X 射线探伤机周围关注点的辐射环境影响预测结果见下表。

表 11-18 叠加后 300kV 周向 X 射线探伤机周围关注点的周围剂量当量率

点位	名称	$\dot{H}$ (散射) $\mu\text{Sv/h}$	$\dot{H}$ (泄漏) $\mu\text{Sv/h}$	$\dot{H}$ (叠加后) $\mu\text{Sv/h}$
辐射工作人员				

2	拟建工艺检测室南侧屏蔽体外 0.3m	4.99×10^{-24}	1.39×10^{-4}	1.39×10^{-4}
5	拟建工艺检测室北侧屏蔽体外 0.3m	2.89×10^{-38}	4.81×10^{-8}	4.81×10^{-8}
6	拟建工艺检测室北侧防护门外 0.3m	2.28×10^{-38}	3.80×10^{-8}	3.80×10^{-8}
7	拟建 CL 检测室北侧防护门外 0.3m	3.71×10^{-16}	3.51×10^{-3}	3.51×10^{-3}
8	操作台	6.99×10^{-39}	1.42×10^{-8}	1.42×10^{-8}
9	暗室	1.38×10^{-24}	3.83×10^{-5}	3.83×10^{-5}
10	评片室	2.04×10^{-24}	5.67×10^{-5}	5.67×10^{-5}
公众				
11	拟建工艺检测室顶部屏蔽体外 0.3m	1.42×10^{-16}	1.62×10^{-2}	1.62×10^{-2}
14	自动焊接区	1.36×10^{-39}	2.26×10^{-9}	2.26×10^{-9}
15	常规力学性能试验区	7.52×10^{-41}	1.25×10^{-10}	1.25×10^{-10}
16	手工焊接区	1.82×10^{-40}	3.30×10^{-10}	3.30×10^{-10}
17	化学分析区	6.46×10^{-41}	1.07×10^{-10}	1.07×10^{-10}
23	机房（二层）	2.30×10^{-40}	3.82×10^{-10}	3.82×10^{-10}
24	试样存放区（二层）	1.12×10^{-40}	1.86×10^{-10}	1.86×10^{-10}

26	厂区内南侧道路	1.85×10^{-25}	5.13×10^{-6}	5.13×10^{-6}
28	厂区内北侧道路	6.79×10^{-41}	1.13×10^{-10}	1.13×10^{-10}

从上表中预测结果可知：本项目 300kV 周向 X 射线探伤机单独运行状态下，屏蔽体外表面四周 0.3m 处及周围典型关注点的最大辐射剂量率约为 $3.51 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中规定的要求：“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”。

顶部屏蔽体外 0.3m 处辐射剂量率约为 $1.62 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中规定的要求：“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 $100 \mu\text{Sv/h}$ ”。

1.4.3 管电压 300kV 定向和周向 X 射线探伤机同时使用时周围剂量当量率计算

300kV 定向 X 射线探伤机和 300kV 周向 X 射线探伤机同时使用，工艺检测室、CL 检测室内均无辐射工作人员，因此关注点 3#、4#、29#、30#不再计算剂量当量率叠加值。综合考虑 300kV 定向 X 射线探伤机和 300kV 周向 X 射线探伤机同时使用的影响，周围关注点的辐射环境影响预测结果见下表。

表 11-19 两台设备同时使用时对本项目关注点处的周围剂量当量率叠加值

点位	名称	$\dot{H}$ （300kV 定向 X 射线探伤机） $\mu\text{Sv/h}$	$\dot{H}$ （300kV 周向 X 射线探伤机） $\mu\text{Sv/h}$	$\dot{H}$ （叠加后） $\mu\text{Sv/h}$
辐射工作人员				
1	拟建工艺检测室东侧屏蔽体外 0.3m	3.48×10^{-6}	7.96×10^{-3}	7.96×10^{-3}
2	拟建工艺检测室南侧屏蔽体外 0.3m	9.32×10^{-5}	1.39×10^{-4}	2.32×10^{-4}
5	拟建工艺检测室北侧屏蔽体外 0.3m	3.69×10^{-8}	4.81×10^{-8}	8.50×10^{-8}

31	拟建 CL 检测室南侧屏蔽体外 0.3m	1.59×10^{-2}	1.16×10^{-2}	2.75×10^{-2}
32	拟建 CL 检测室西侧屏蔽体外 0.3m	1.35×10^{-1}	4.80×10^{-2}	1.83×10^{-1}
33	拟建 CL 检测室北侧屏蔽体外 0.3m	2.14×10^{-2}	1.19×10^{-2}	3.33×10^{-2}
6	拟建工艺检测室北侧防护门外 0.3m	3.00×10^{-8}	3.80×10^{-8}	6.80×10^{-8}
7	拟建 CL 检测室北侧防护门外 0.3m	1.71×10^{-2}	3.51×10^{-3}	2.06×10^{-2}
8	操作台	2.38×10^{-3}	1.42×10^{-8}	2.38×10^{-3}
9	暗室	8.31×10^{-3}	3.83×10^{-5}	8.35×10^{-3}
10	评片室	8.49×10^{-3}	5.67×10^{-5}	8.55×10^{-3}
公众				
11	拟建工艺检测室顶部屏蔽体外 0.3m	9.45×10^{-3}	1.62×10^{-2}	2.57×10^{-2}
34	拟建 CL 检测室顶部屏蔽体外 0.3m	2.06	9.63×10^{-1}	3.02
12	无损检测区	5.58×10^{-17}	6.64×10^{-6}	6.46×10^{-6}
13	模拟服役环境试验区	2.07×10^{-18}	1.02×10^{-7}	1.02×10^{-7}
14	自动焊接区	7.10×10^{-4}	2.26×10^{-9}	7.10×10^{-4}
15	常规力学性能试验区	4.58×10^{-5}	1.25×10^{-10}	4.58×10^{-5}

16	手工焊接区	1.20×10^{-4}	3.30×10^{-10}	1.20×10^{-4}
17	化学分析区	4.03×10^{-5}	1.07×10^{-10}	4.03×10^{-5}
18	备件区	2.62×10^{-2}	4.20×10^{-13}	2.62×10^{-2}
19	休息室（夹层）	5.10×10^{-3}	1.16×10^{-13}	5.10×10^{-3}
20	培训室（夹层）	2.53×10^{-2}	4.47×10^{-13}	2.53×10^{-2}
21	软件国产化实验室（二层）	2.00×10^{-17}	5.30×10^{-4}	5.30×10^{-4}
22	非金属试验区（二层）	3.16×10^{-18}	7.83×10^{-5}	7.83×10^{-5}
23	机房（二层）	1.51×10^{-4}	3.82×10^{-10}	1.51×10^{-4}
24	试样存放区（二层）	6.85×10^{-5}	1.86×10^{-10}	6.85×10^{-5}
25	办公室（二层）	1.84×10^{-2}	3.52×10^{-13}	1.84×10^{-2}
26	厂区内南侧道路	6.40×10^{-4}	5.13×10^{-6}	6.45×10^{-4}
27	厂区内西侧道路	3.91×10^{-3}	8.10×10^{-14}	3.91×10^{-3}
28	厂区内北侧道路	4.65×10^{-5}	1.13×10^{-10}	4.65×10^{-5}

从上表中预测结果可知：本项目 300kV 定向 X 射线探伤机和 300kV 周向 X 射线探伤机同时运行时，屏蔽体外 0.3m 及周围典型关注点的最大辐射剂量率约为 $1.83 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中规定的要求：“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”。

顶部屏蔽体外 0.3m 辐射剂量率约为 $3.02\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中规定的要求：“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 $100\mu\text{Sv/h}$ ”。

1.4.4 剂量计算

(1) 周剂量

本项目周出束时间最长为 31.25h，拟配置 5 名辐射工作人员，本次评价按照最不利影响计，取各关注点 450kV 定向 X 射线探伤机单独运行与 300kV 定向 X 射线探伤机和 300kV 周向 X 射线探伤机同时运行 2 种情况下较大的辐射剂量率进行计算。保守考虑，每名辐射工作人员周最长受照射时间按照 12.5h 计。本项目各关注点辐射工作人员和公众周剂量计算结果见下表。

表 11-20 拟建数字射线检测区周围关注点的周剂量计算结果

点位	名称	$\dot{H}$ μSv/h	使用因子 U	居留因子 T h/a	周工作时间 t h	周剂量 H μSv/周	限值 μSv/周
辐射工作人员							
1	拟建工艺检测室东侧屏蔽体外 0.3m	1.05×10^{-1}	1	1/4	12.5	3.28×10^{-1}	100
2	拟建工艺检测室南侧屏蔽体外 0.3m	5.81×10^{-2}	1	1/4	12.5	1.82×10^{-1}	100
3	拟建工艺检测室西侧屏蔽体外 0.3m	4.04×10^{-5}	1	1/4	12.5	1.26×10^{-4}	100
4	拟建工艺检测室西侧防护门外 0.3m	3.39×10^{-5}	1	1/4	12.5	1.06×10^{-4}	100
5	拟建工艺检测室北侧屏蔽体外 0.3m	7.81×10^{-4}	1	1/4	12.5	2.44×10^{-3}	100
29	拟建 CL 检测室东侧屏蔽体外 0.3m	9.39×10^{-8}	1	1/4	12.5	2.93×10^{-7}	100
30	拟建 CL 检测室东侧防护门外 0.3m	9.54×10^{-8}	1	1/4	12.5	2.98×10^{-7}	100
31	拟建 CL 检测室南侧屏蔽体外 0.3m	2.75×10^{-2}	1	1/4	12.5	8.59×10^{-2}	100
32	拟建 CL 检测室西侧屏蔽体外 0.3m	1.83×10^{-1}	1	1/4	12.5	5.72×10^{-1}	100
33	拟建 CL 检测室北侧屏蔽体外 0.3m	3.33×10^{-2}	1	1/4	12.5	1.04×10^{-1}	100
6	拟建工艺检测室北侧防护门外 0.3m	5.96×10^{-4}	1	1/4	12.5	1.86×10^{-3}	100
7	拟建 CL 检测室北侧防护门外 0.3m	3.22×10^{-1}	1	1/4	12.5	1.01	100
8	操作台	4.44×10^{-4}	1	1	12.5	5.55×10^{-3}	100
9	暗室	1.19×10^{-2}	1	1	12.5	1.49×10^{-1}	100
10	评片室	3.24×10^{-2}	1	1	12.5	4.05×10^{-1}	100

公众							
11	拟建工艺检测室顶部屏蔽体外 0.3m	2.93	/	/	/	/	/
34	拟建 CL 检测室顶部屏蔽体外 0.3m	3.02	/	/	/	/	/
12	无损检测区	1.25×10^{-2}	1	1	31.25	3.91×10^{-1}	5
13	模拟服役环境试验区	8.75×10^{-5}	1	1	31.25	2.73×10^{-3}	5
14	自动焊接区	7.10×10^{-4}	1	1	31.25	2.22×10^{-2}	5
15	常规力学性能试验区	4.58×10^{-5}	1	1	31.25	1.43×10^{-3}	5
16	手工焊接区	1.20×10^{-4}	1	1	31.25	3.75×10^{-3}	5
17	化学分析区	4.03×10^{-5}	1	1	31.25	1.26×10^{-3}	5
18	备件区	2.62×10^{-2}	1	1	31.25	8.19×10^{-1}	5
19	休息室（夹层）	5.10×10^{-3}	1	1	31.25	1.59×10^{-1}	5
20	培训室（夹层）	2.53×10^{-2}	1	1	31.25	7.91×10^{-1}	5
21	软件国产化实验室（二层）	1.10×10^{-3}	1	1	31.25	3.44×10^{-2}	5
22	非金属试验区（二层）	1.57×10^{-4}	1	1	31.25	4.91×10^{-3}	5
23	机房（二层）	1.51×10^{-4}	1	1	31.25	4.72×10^{-3}	5
24	试样存放区（二层）	6.85×10^{-5}	1	1	31.25	2.14×10^{-3}	5
25	办公室（二层）	1.84×10^{-2}	1	1	31.25	5.75×10^{-1}	5
26	厂区内南侧道路	2.74×10^{-3}	1	1/4	31.25	2.14×10^{-2}	5
27	厂区内西侧道路	3.91×10^{-3}	1	1/4	31.25	3.05×10^{-2}	5
28	厂区内北侧道路	4.65×10^{-5}	1	1/4	31.25	3.63×10^{-4}	5

从上表中预测结果可以看出，本项目周围关注点辐射工作人员周剂量最大值 $1.01 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ，公众周剂量最大值为 $8.19 \times 10^{-1} \mu\text{Sv}/\text{周}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中的要求：“人员在关注点的周剂量参考控制水平，对职业人员不大于 $100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ，对公众不大于 $5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ”，也满足本项目管理目标限值的要求“职业人员周剂量不超过 $100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ，公众周剂量不超过 $5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ”。

(2) 年剂量

本项目年出束时间最长为 1250h，拟配置 5 名辐射工作人员，本次评价按照最不利影响计，取各关注点 450kV 定向 X 射线探伤机单独运行与 300kV 定向 X 射线探伤机和 300kV 周向 X 射线探伤机同时运行 2 种情况下较大的辐射剂量率进行计算。保守考虑，每名辐射工作人员年最长受照射时间按照 500h 计。本项目各关注点辐射工作人员和公众年剂量计算结果见下表。

表 11-21 拟建数字射线检测区周围关注点的年剂量计算结果

点 位	名称	$\dot{H}$ $\mu\text{Sv/h}$	使用因子 U	居留因子 T h/a	年工作时间 t h	年剂量 H mSv/a	限值 mSv/a
辐射工作人员							
1	拟建工艺检测室东 侧屏蔽体外 0.3m	1.05×10^{-1}	1	1/4	500	1.31×10^{-2}	2.0
2	拟建工艺检测室南 侧屏蔽体外 0.3m	5.81×10^{-2}	1	1/4	500	7.26×10^{-3}	2.0
3	拟建工艺检测室西 侧屏蔽体外 0.3m	4.04×10^{-5}	1	1/4	500	5.05×10^{-6}	2.0
4	拟建工艺检测室西 侧防护门外 0.3m	3.39×10^{-5}	1	1/4	500	4.24×10^{-6}	2.0
5	拟建工艺检测室北 侧屏蔽体外 0.3m	7.81×10^{-4}	1	1/4	500	9.76×10^{-5}	2.0
29	拟建 CL 检测室东 侧屏蔽体外 0.3m	9.39×10^{-8}	1	1/4	500	1.17×10^{-8}	2.0
30	拟建 CL 检测室东 侧防护门外 0.3m	9.54×10^{-8}	1	1/4	500	1.19×10^{-8}	2.0
31	拟建 CL 检测室南 侧屏蔽体外 0.3m	2.75×10^{-2}	1	1/4	500	3.44×10^{-3}	2.0
32	拟建 CL 检测室西 侧屏蔽体外 0.3m	1.83×10^{-1}	1	1/4	500	2.29×10^{-2}	2.0
33	拟建 CL 检测室北 侧屏蔽体外 0.3m	3.33×10^{-2}	1	1/4	500	4.16×10^{-3}	2.0
6	拟建工艺检测室北 侧防护门外 0.3m	5.96×10^{-4}	1	1/4	500	7.45×10^{-5}	2.0
7	拟建 CL 检测室北 侧防护门外 0.3m	3.22×10^{-1}	1	1/4	500	4.03×10^{-2}	2.0
8	操作台	4.44×10^{-4}	1	1	500	2.22×10^{-4}	2.0
9	暗室	1.19×10^{-2}	1	1	500	5.95×10^{-3}	2.0
10	评片室	3.24×10^{-2}	1	1	500	1.62×10^{-2}	2.0
公众							

11	拟建工艺检测室顶部屏蔽体外 0.3m	2.93	/	/	/	/	/
34	拟建 CL 检测室顶部屏蔽体外 0.3m	3.02	/	/	/	/	/
12	无损检测区	1.25×10^{-2}	1	1	1250	1.56×10^{-2}	0.1
13	模拟服役环境试验区	8.75×10^{-5}	1	1	1250	1.09×10^{-4}	0.1
14	自动焊接区	7.10×10^{-4}	1	1	1250	8.88×10^{-4}	0.1
15	常规力学性能试验区	4.58×10^{-5}	1	1	1250	5.73×10^{-5}	0.1
16	手工焊接区	1.20×10^{-4}	1	1	1250	1.50×10^{-4}	0.1
17	化学分析区	4.03×10^{-5}	1	1	1250	5.04×10^{-5}	0.1
18	备件区	2.62×10^{-2}	1	1	1250	3.28×10^{-2}	0.1
19	休息室（夹层）	5.10×10^{-3}	1	1	1250	6.38×10^{-3}	0.1
20	培训室（夹层）	2.53×10^{-2}	1	1	1250	3.16×10^{-2}	0.1
21	软件国产化实验室（二层）	1.10×10^{-3}	1	1	1250	1.38×10^{-3}	0.1
22	非金属试验区（二层）	1.57×10^{-4}	1	1	1250	1.96×10^{-4}	0.1
23	机房（二层）	1.51×10^{-4}	1	1	1250	1.89×10^{-4}	0.1
24	试样存放区（二层）	6.85×10^{-5}	1	1	1250	8.56×10^{-5}	0.1
25	办公室（二层）	1.84×10^{-2}	1	1	1250	2.30×10^{-2}	0.1
26	厂区内南侧道路	2.74×10^{-3}	1	1/4	1250	8.56×10^{-4}	0.1
27	厂区内西侧道路	3.91×10^{-3}	1	1/4	1250	1.22×10^{-3}	0.1
28	厂区内北侧道路	4.65×10^{-5}	1	1/4	1250	1.45×10^{-5}	0.1

从上表中预测结果可以看出，本项目数字 X 射线检测平台周围辐射工作人员年剂量最大值为 $4.03 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，公众年剂量最大值为 $3.28 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的职业照射剂量限值 20mSv/a 、公众照射剂量限值 1mSv/a ，也满足本项目管理目标限值的要求“职业人员年剂量不超过 2.0mSv/a ，公众年剂量不超过 0.1mSv/a ”。

1.5 小结

在现有设计条件下，本项目数字 X 射线检测平台周围辐射工作人员周剂量最大值 $1.01\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，公众周剂量最大值为 $8.19\times 10^{-1}\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中的要求：“人员在关注点的周剂量参考控制水平，对职业人员不大于 $100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，对公众不大于 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ”，也满足本项目管理目标限值的要求“职业人员周剂量不超过 $100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，公众周剂量不超过 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ”。本项目数字 X 射线检测平台周围辐射工作人员年剂量最大值为 $4.03\times 10^{-2}\text{mSv}/\text{a}$ ，公众年剂量最大值为 $3.28\times 10^{-2}\text{mSv}/\text{a}$ ，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的职业照射剂量限值 $20\text{mSv}/\text{a}$ 、公众照射剂量限值 $1\text{mSv}/\text{a}$ ，也满足本项目管理目标限值的要求“职业人员年剂量不超过 $2.0\text{mSv}/\text{a}$ ，公众年剂量不超过 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ ”。

综上所述，本项目数字 X 射线检测平台周围的剂量当量率、辐射工作人员及公众成员所接受的周剂量、年有效剂量均不大于本报告提出的评价标准，满足国家有关要求。

2. 其他三废环境影响分析

2.1 大气环境影响分析

本项目 X 射线探伤机运行过程中的 X 射线会电离空气产生少量 O_3 和 NO_x ，机械通风装置风量不小于 $160\text{m}^3/\text{h}$ （铅房内部有效容积为 51.41m^3 ），每小时有效通风换气次数不小于 3 次，可将产生的少量有害气体通过排气筒直接排出至车间外的环境空气中，不会累积， O_3 产生量较少且在常温下不断转化为氧气，对周围环境影响较小。

2.2 废水影响分析

本项目不新增员工，从厂区现有员工内调配，生活污水经总排口排入市政污水管网最终排至北塘污水处理厂进一步处理。相应污染物总量已通过厂区主体环境影响评价报告进行申请，本项目不再重新申请。

2.3 固体废物环境影响分析

本项目利用 X 射线探伤机开展固定式探伤时会产生清洗废水（内含废显影液、废定影液）、废胶片。清洗废水主要成分为苯二酚、亚硫酸钠，并含重金属银（含银浓度 $>10\text{mg}/\text{L}$ ），属感光材料废物，废胶片亦属感光材料废物。根据《国家危险废物名录》（2025 版），以上废物均为危险废物（HW16 感光材料废物，废物代码 900-019-16），无放射性。清洗废水暂存在危废暂存间的废液桶内，废胶片暂存在危废暂存间

的收纳箱内，定期交有资质单位进行处置，具有明确的处理处置去向，对周围环境影响较小。

事故影响分析

1. 可能发生的辐射事故

本项目使用 X 射线探伤机时可能发生的事故工况主要有以下三种：

（1）在门-机联锁失效的情况下，X 射线装置在对实验件进行照射时，防护门未完全关闭，致使 X 射线泄漏到屏蔽体外面，给辐射工作人员和周围公众造成不必要照射。

（2）数字 X 射线检测平台屏蔽结构劳损，导致防护屏蔽能力下降，X 射线探伤机出束对周围的辐射工作人员和公众造成超剂量照射。

（3）在防护门关闭状态下且检测室内尚有辐射工作人员或设备检修人员时，操作台辐射工作人员未对探伤室内情况进行检查即开启 X 射线探伤机出束，致使探伤室内人员受到超剂量照射。

2. 辐射事故应急及预防措施

2.1 辐射事故应急措施

2.1.1 辐射事故应急处理程序

国家根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，将辐射事故分为：特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

一旦发生辐射事故，即时启动辐射事故处理应急方案。发生辐射事故时，当事人应即刻报告辐射事故应急处理小组组长，组长随即通知辐射事故应急处理小组有关成员采取应急相应救助措施。如发生一般辐射事故和较大辐射事故应立即报告上级生态环境主管部门、卫生行政主管部门及公安部门；如发生特别重大、重大辐射事故应在事故发生后两小时内报告国务院，并同时逐级上报生态环境主管部门、卫生行政主管部门及公安部门。

（1）辐射事故发生后，辐射工作人员应立即停止探伤工作、关上 X 射线探伤设备，并及时上报辐射安全领导小组。

（2）辐射安全领导小组根据辐射事故情况迅速制定事故处理方案。

（3）事故处理必须在组长的领导下，在有经验的辐射工作人员的参与下进行。

未得到防护检测人员的允许不得进入事故区。

(4) 指导在现场执行任务的工作人员佩戴防护用具及个人剂量报警仪。对严重剂量事故，应尽可能记下现场辐射强度和有关情况。并对现场重复测量，估算当事人所受剂量，根据受照剂量情况决定是否进行医学处理或治疗。

(5) 各种事故处理以后，必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生原因，从中吸取经验教训，采取措施防止类似事故再次发生。总之，为减少事故发生，须加强管理力度，提高职业人员的技术水平，严格按规范操作，减少故障发生，提高单位应急能力，从而确保系统安全。

2.1.2 事故调查和处理程序

(1) 成立事故调查小组。

(2) 调查组要遵循实事求是的原则对事故的发生时间、地点、起因、过程和人员伤害情况及财产损失情况进行细致的调查分析，并认真做好调查记录，记录要妥善保管。

(3) 调查小组向公司应急救援领导小组汇报事故调查报告书方面的工作，同时，协助卫生行政部门、公安部门进行事故调查、处理等各方面的相关事宜。

2.1.3 事故处理措施

对于发生误照射事故时，对受误照人员进行剂量估算，必要时进行医学处理。

综上所述，项目经采取以上防范措施，严格按照相关法律法规的要求进行管理，定期演习辐射事故应急方案，对发现的问题及时整改，可使项目环境风险影响降至最低。

2.1.4 应急演练措施

建设单位应急小组每年应按《辐射事故应急预案》等文件要求组织一次应急演练，应急演练类型可分为桌面推演及事故模拟，针对可能发生的辐射事故进行推演，总结演练经验，并保存应急演练记录。辐射事故应急演练能够有效检验《辐射事故应急预案》的科学性、实用性和可操作性，同时也能够提高辐射工作人员在发生辐射事故时的应急响应、自救互救和协调配合能力。

2.2 事故预防措施

(1) 增强辐射工作人员的安全意识，加强辐射工作人员的辐射安全知识和操作培训。

(2) 建立健全放射性管理规章制度(辐射工作人员健康管理,操作规程、应急事故预案、事故报告和处理等),运行中严格执行操作规程和各项安全注意事项。

(3) 重视对个人剂量的检测和工作场所的检测,及时发现可能存在的泄漏和超剂量辐射事故。探伤工作时,辐射工作人员佩戴常规个人剂量计外,辐射工作场所配备 2 台个人剂量报警仪。当辐射水平达到设定的报警水平时,个人剂量报警仪报警;拟在数字射线检测区配置固定式场所辐射探测报警装置,报警阈值设置为 $2.5\mu\text{Sv/h}$,当探测到的辐射水平高于仪器设定的阈值时,报警信号自动启动并持续。

(4) 定期检查设备的安全联锁装置,确保其正常运行。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。

(5) 为加强探伤工作场所的管理,限制无关人员受到不必要的照射,建设单位拟对项目场所划定控制区和监督区,进行分区管理。结合现场实际,建设单位拟以数字射线检测区屏蔽边界内区域作为控制区,将操作台及数字射线检测区屏蔽边界外与墙体隔断构成的区域作为监督区管理。建设单位对控制区和监督区的管理要求为:控制区内禁止外来无关人员进入,辐射工作人员在进行日常工作时尽量不要在控制区内停留,以减小不必要的照射,在设备表面设置醒目的电离辐射警告标志;监督区不采取专门的防护手段安全措施,但要定期检测其辐射剂量,并在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。

(6) 加强辐射职业人员上岗前培训,根据实际情况建立健全辐射安全管理机构、规章制度和操作规程,并对辐射职业人员做好培训。

(7) 建立完善的辐射事故应急措施。不断增强应急处理能力,责任到人,将事故和危害降到最低限度。

(8) 检修维护人员进行检修工作时须取下操作台的开关钥匙,确保设备关机,以避免不必要的照射。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

1. 辐射安全领导小组

国家管网集团工程技术创新有限公司拟成立辐射安全领导小组，领导小组全面负责公司辐射安全与环境保护管理工作。领导小组各成员的责任分工明确，具体见下表。辐射防护负责人拟参加核技术利用辐射安全与防护考核、取得考核合格证书后上岗。

表 12-1 辐射安全与环境保护管理领导小组

领导小组岗位	专（兼）职	主要职责
组长	专职	第一负责人，辐射安全工作负总责
主管	专职	负责全公司射线装置的辐射安全防护工作的指导、监督、检查和管理
辐射防护负责人	专职	制定并采取防护措施，负责制定射线装置操作维护规程，督促各有关部门采取有效的防护措施，并对辐射工作人员建立健康档案，负责辐射防护的培训、咨询及技术指导

2. 辐射工作人员持证情况

企业拟配备 5 名辐射工作人员，从事辐射工作的人员拟参加核技术利用辐射安全与防护考核，取得考核合格证书后上岗。本项目辐射工作人员参加核技术利用辐射安全与防护考核专业类别应为 X 射线探伤。

辐射安全管理规章制度

按照国务院令第 449 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2005 年 9 月 14 日发布，2019 年 3 月 2 日第二次修订并实施）、原国家环保总局（总局令第 31 号）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日国家环境保护总局令第 31 号公布，2021 年 1 月 4 日生态环境部令第 20 号修改）等相关要求，公司拟建立健全射线装置的使用、操作及管理规章制度，主要包括：

（1）《辐射安全与环境保护管理机构》；

（2）《操作规程》；

（3）《辐射安全和防护设施的维护与维修制度（包括机构人员、维护维修内容与频度）》；

- (4)《场所及环境监测方案》；
- (5)《监测仪表使用管理制度》；
- (6)《辐射工作人员培训/再培训管理制度》；
- (7)《辐射工作人员个人剂量管理制度》；
- (8)《辐射事故应急预案》；
- (9)《岗位职责》；
- (10)《辐射防护和安全保卫制度》；
- (11)《职业健康监护档案管理制度》；
- (12)《设备检修维护制度》。

建设单位制定并完善以上各项制度后，可以从操作人员岗位责任、辐射防护和安全保卫、设备检修、放射设备的使用等方面分别作出明确要求和规定，将能够更好地保障从事辐射工作的人员和公众的健康与安全，同时保护生态环境。

综上所述，建设单位制定的辐射安全管理制度具备可行性，在严格落实后能够满足单位辐射设备使用的需要，能够保障单位辐射安全。

辐射监测

1.个人剂量监测

企业拟为辐射工作人员配备 5 个个人剂量计和 2 台个人剂量报警仪。个人剂量计拟定期送交有资质的检测部门进行检测，并建立个人剂量监测档案，个人剂量监测周期最长不应超过 3 个月。当发现个人剂量监测结果异常时及时上报。企业拟安排放射性操作人员定期参加职业健康体检，建立个人职业健康档案。

2.常规监测

企业拟配备 2 台便携式 X- γ 剂量率仪，定期对辐射工作场所和周围环境的辐射水平进行自行监测，包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处，并对监测结果进行记录，建立监测记录档案。测量值应当与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时，应终止辐射工作并向辐射防护负责人报告。企业自有监测设备应定期送有资质单位进行检定，应做到每年 1 次。

3.防护监测

企业拟委托有检测资质的监测机构每年对 X 射线探伤机周围及周围环境辐射水平进行监测一次。

(1) 监测项目

环境 γ 辐射剂量率。

(2) 监测设备及方法

① 监测设备：辐射监测仪；

② 监测方法：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021) 和《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)。

(3) 监测布点

数字射线检测区屏蔽边界外 30cm 离地面高度为 1m 处，每个屏蔽面至少测 3 个点；铅防护门外 30cm 离地面高度为 1m 处，门的左、中、右侧 3 个点和门缝四周各 1 个点；辐射工作人员操作位处、评价范围内人员经常活动的环境保护目标处。

辐射事故应急

1. 辐射事故应急机构

为了加强对射线装置的安全和防护的监督管理，促进核技术利用项目的安全应用，保障人体健康，保护环境，国家管网集团工程技术创新有限公司拟成立辐射事故应急机构，由辐射安全与环境保护管理领导小组担任，并配备辐射防护、环境监测等应急物资，每年定期开展应急培训和演练，以提高辐射事故应急处置能力。

2. 辐射事故应急预案

建设单位拟制定《辐射事故应急预案》，发生辐射事故时，立即向辐射安全与环境保护管理领导小组报告，辐射安全与环境保护管理领导小组接到辐射事故报告后，应当立即派人赶赴现场，进行现场调查，采取有效措施，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。应急小组应对受照情况作出初步判断，造成或可能造成人员超剂量照射的，立即采取暂时隔离和应急救援措施，还应同时向当地卫生行政主管部门报告。

辐射事故应急预案内容应包括下列内容：

- (1) 应急组织机构和职责分工；
- (2) 辐射事故类型与应急响应程序；
- (3) 辐射事故现场处置方案；
- (4) 辐射事故应急保障措施；

(5) 辐射事故调查、报告和处理程序；

(6) 应急培训及应急演练计划。

辐射工作场所应放置《辐射事故应急预案》，配备工具箱、便携式 X-γ 剂量率仪、个人剂量报警仪等，建设单位拟定期对辐射工作人员进行事故应急培训，每年至少进行一次辐射事故应急演练和培训。

从事辐射活动能力评价

1. 与《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》符合情况

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006年1月18日国家环境保护总局令第31号公布，2021年1月4日生态环境部令第20号修改）第十六条规定，使用放射性同位素（包括放射源）、射线装置的单位申请领取许可证，应当具备八个条件。本项目与《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》符合性分析见下表。

表 12-2 本项目与《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》符合性分析

应具备条件	落实情况	是否符合
（一）使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	拟成立专门的“辐射安全管理小组”，并明确职责。	建设单位按承诺落实后符合
（二）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。	辐射工作人员拟进行辐射安全与防护知识培训和考核，持证上岗。	建设单位按承诺落实后符合
（三）使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	本项目不涉及放射性同位素方面的内容。	不涉及
（四）放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射要求的安全措施。	拟制定相应的操作规程。防护门外拟设置电离辐射警告标志、中文警示说明，射线装置与防护门能有效联动。	建设单位按承诺落实后符合
（五）配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量监测报警、辐射监测等仪器。	拟配备个人剂量计、个人剂量报警仪和便携式 X-γ 剂量率仪。	建设单位按承诺落实后符合
（六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	拟制定健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、人员培训计划、设备检修维护制度和监测方案。	建设单位按承诺落实后符合

(七) 有完善的辐射事故应急措施。	拟制定辐射事故应急预案。	建设单位按承诺落实后符合
(八) 产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案；使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位，还应当配备质量控制检测设备，制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划，至少有一名医用物理人员负责质量保证与质量控制检测工作。	本项目运行过程中不产生放射性废气、废液、固体废物。 不属于使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位。	不涉及

以上分析表明，建设单位在全面完成上述规定的条件后，其从事辐射活动能力基本满足法律法规的要求。

2. 与原环境保护部令第 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》符合情况

原环保部 2011 年第 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对使用射线装置和放射性同位素的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与“18 号令”要求的对照情况见下表。

表 12-3 本项目与“18 号令”要求的的安全和防护能力符合性分析

序号	环境保护部令第 18 号要求应具备条件	落实情况	是否符合
1	第五条 生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。射线装置的生产调试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	防护门外拟设置电离辐射警告标志、中文警示说明；拟设置工作状态指示灯；防护门拟设置门机连锁；操作台上拟设置钥匙控制和紧急停机按钮；拟设置紧急停机按钮和紧急开门开关，防止人员受到意外照射。	建设单位按承诺落实后符合
2	第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	建设单位拟每年委托有资质单位对辐射工作场所进行辐射监测，并出具监测报告；拟配置便携式 X-γ 剂量率仪，定期对辐射环境进行自行监测，做好记录，并妥善保存。	建设单位按承诺落实后符合

3	第十二条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	拟依法对本单位射线装置的安全和防护进行年度评估，并于每年1月31日前报发证机关。	建设单位按承诺落实后符合
4	第十七条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。	建设单位拟安排从事管理和辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识培训和考核，合格后持证上岗。	建设单位按承诺落实后符合
5	第二十三条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	建设单位拟为从事放射性操作的人员建立个人健康档案，每季度送检个人剂量计一次，每年对从事放射性操作的人员至少进行一次健康体检。	建设单位按承诺落实后符合

综上所述，建设单位承诺按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求采取辐射安全和防护管理措施，可满足管理办法的要求。

3. 与核与辐射安全管理体系（第三层级）《II类非医用 X 线装置监督检查技术程序》（NNSA/HQ-08-JD-IP-024）对照情况

本项目与核与辐射安全管理体系（第三层级）《II类非医用 X 线装置监督检查技术程序》（NNSA/HQ-08-JD-IP-024）要求的对照结果见下表。

表 12-4 与《II类非医用 X 线装置监督检查技术程序》对照情况

项目	序号	项目	建设单位情况	是否符合
辐射安全防护设施与运行	1	入口处电离辐射警告标志	防护门上拟设置电离辐射警告标志和中文警示说明。	建设单位按承诺落实后符合
	2	入口处机器工作状态显示	防护门外拟设置工作状态指示灯。	
	3	隔室操作	本项目拟采用铅钢结构进行屏蔽防护，操作台位于数字射线检测区东北侧，独立设置，辐射工作人员隔室操作。	
	4	迷道	数字射线检测区（内含 2 个检测室）较小，不单独设置人员通道，因此不设置迷道。	
	5	设置防护门	拟设置铅防护门。	

	6		控制台有钥匙控制	操作台拟设置钥匙控制。	
	7		门机联锁系统	拟设置门机联锁系统。	
	8		照射室内监控设施	检测室内拟设置监控设施。	
	9		通风设施	检测室顶部拟设置通风设施。	
	10		照射室内紧急停机按钮	检测室内拟设置紧急停机按钮。	
	11		控制台上紧急停机按钮	操作台上拟设置紧急停机按钮。	
	12		出口处紧急开门开关	防护门出口处拟设置紧急开门开关。	
	13		准备出束声光提示	拟设置准备出束声光提示。	
	14	C 监测 设备	配备便携式辐射监测仪	拟配备。	建设单位按承诺落实 后符合
	15		配备个人剂量报警仪	拟配备。	
	16		配备个人剂量计	拟配备。	
	17	D 应急 物资	灭火器材	拟配备。	建设单位按承诺落实 后符合
管理制度及执行情况	1	A 综合	制定辐射安全管理规定	拟制定。	建设单位按承诺落实 后符合
	2		制定操作规程	拟制定。	
	4		制定辐射安全和防护设施维护维修制度	拟制定。	
	5	B 监测	制定监测方案	拟制定。	
			制定监测仪表使用与校验管理制度	拟制定。	
	6	C 人员	制定辐射工作人员培训/再培训管理制度	拟制定。	
	7		制定辐射工作人员个人剂量管理制度	拟制定。	
	8	D 应急	制定辐射事故应急预案	拟制定。	

综上所述，本项目在落实各项安全防护设施和辐射安全管理制度后，符合核与辐射安全管理体系（第三层级）《Ⅱ类非医用 X 线装置监督检查技术程序》（NNSA/HQ-08-JD-IP-024）的相关要求。

核技术应用项目环保手续履行

根据国家相关法律法规及行政主管部门要求，核技术应用项目环保手续包括环境影响评价、辐射安全许可证办理及竣工环保验收三个部分，具体流程如图 12-1 所

示。

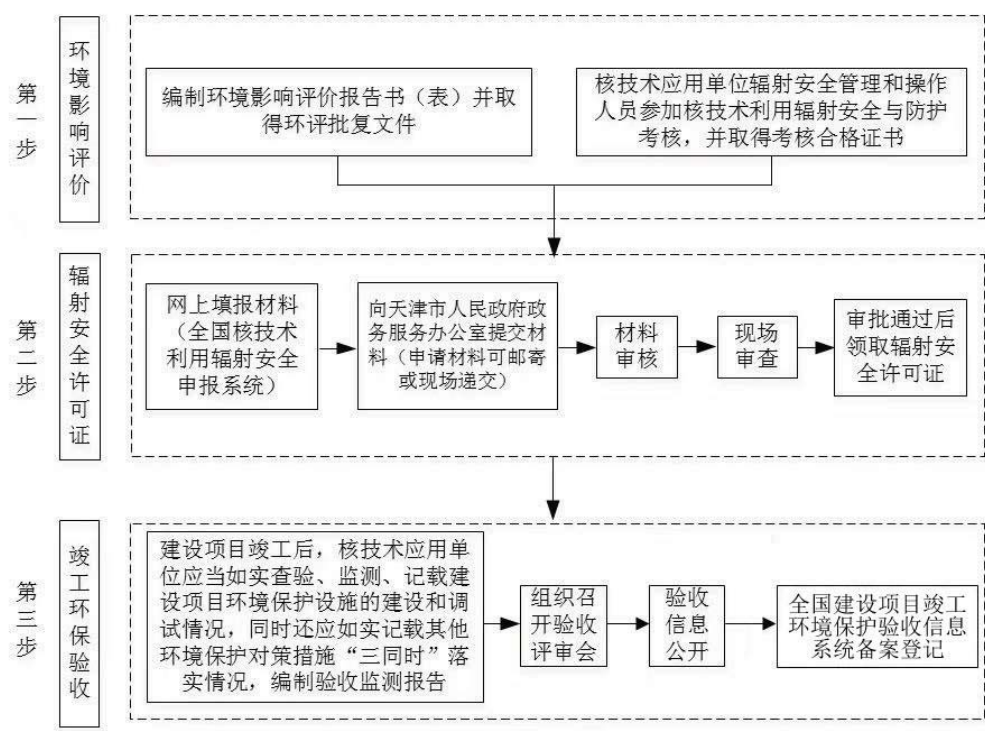


图 12-1 核技术应用项目环保手续办理流程图

建设单位在履行本项目环评手续、取得《辐射安全许可证》后方可开展辐射工作。本项目竣工后，建设单位还应按照《建设项目环境保护管理条例》要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收监测报告。

本项目竣工环境保护验收建议内容列于下表，供本项目建设单位参考。

表 12-5 核技术利用项目竣工环保验收主要内容

序号	验收内容	验收要求
1	剂量限值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和环评报告建议，公众、职业照射剂量约束值执行 0.1mSv/a 和 2mSv/a。根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022），关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 2.5μSv/h。
2	电离辐射标志和中文警示	防护门上有电离辐射警告标识和中文警示说明，设有工作状态指示灯。
3	屏蔽设计	辐射工作场所的建设和布局与环评报告表描述内容一致。屏蔽材料和防护门的屏蔽能力满足辐射防护的要求。
4	辐射安全设施	采用实体屏蔽，安装门-机联锁开关等。
5	辐射监测	制定满足管理要求的辐射监测制度；监测记录存档；配备便携式 X-γ 剂量率仪、个人剂量报警仪、个人剂量计；辐射工作人员进行个人剂量监测，并建立健康档案。

6	规章制度	制定的辐射安全管理制度和操作规程满足要求，且得到落实。
7	人员培训	所有从事放射性工作的人员必须参加核技术利用辐射安全与防护考核，并取得考核合格证书，考核不合格者不得上岗。
8	应急预案	辐射事故应急预案符合工作实际，明确处理组织机构及职责、处理原则信息传递程序和技术方案等，配备必要的应急器材、设备。

表 13 结论与建议

结论

1. 项目概况

国家管网集团工程技术创新有限公司在开展油气管道材料研发、材料检测等实验研发工作的过程中，需要对油气管道环焊缝进行 RT 检测、DR 检测、CL 检测等 X 射线检测，并对相关工艺进行开发调试、工艺评定、新技术开发及实验测试，因此拟新购 3 台 X 射线探伤机（II类射线装置），搭建数字 X 射线检测平台。

2. 实践的正当性

本项目实施后，3 台设备灵活使用，根据被检实验件的规格大小及实验用途进行选择，3 台设备检测实验件的管径及长度范围不同。450kV 定向 X 射线探伤机能够检测范围最广，主要用于大能量透照场景；300kV 周向 X 射线探伤机主要检测管径大、长度长的实验件；300kV 定向 X 射线探伤机主要用于 CL 线性轨迹射线检测扫描。3 台设备分别模拟不同的应用场景，全面确保油气管道环焊缝的质量。

本项目的实施可更加严格地把控油气管道环焊缝的质量，对实验件质量的保障起到重要作用，通过参数的检测与调试，进一步评定油气管道工艺、开发新技术，项目建设具有明显的经济效益。虽然在使用工程中，射线装置的应用可能会对周围环境、工作人员及周围公众造成一定辐射影响，但是本项目数字射线检测区周围剂量关注点处的周围剂量当量率、人员受照剂量均可满足相关限值要求，建设单位在按照国家、地方相关辐射防护要求下正确使用和管理射线装置，可将上述辐射影响降至尽可能小。

因此，从利益、代价方面分析，本项目的建设和运行对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，本项目的建成具有显著的社会和经济效益，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

3. 选址、布局的合理性

本项目拟建数字射线检测区位于厂房 1 层西南侧，充分考虑了周围场所的防护与安全、以及实验件运输的便利性，为相对独立的区域，有用线束的照射方向避开了操作台。因而从辐射环境保护方面论证，该项目选址是可行的。综上，从辐射环境保护方面论证，本项目的选址和布局是合理可行的。

4. 辐射安全与防护分析结论

本项目数字 X 射线检测平台和防护门的屏蔽防护设施达到所需的屏蔽能力，防护设置充分保证周围的安全。拟设置工作状态指示灯，并与设备联锁，防护门上拟设置电离辐射警告标志和中文警示说明，检测室内拟设置紧急停机按钮和紧急开门开关，拟配置固定式场所辐射探测报警装置及“预备”状态的指示灯和声音提示装置。操作台拟设置钥匙控制和紧急停机按钮，辐射工作人员拟配备 5 个人剂量计，拟配备 2 台个人剂量报警仪和 2 台便携式辐射监测仪。在落实各项辐射安全防护措施后，能够有效控制辐射安全。

5. 环境影响分析结论

根据预测，本项目数字射线检测区周围剂量关注点处的周围剂量当量率、职业人员周剂量当量、公众人员周剂量当量可满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)中的规定，即“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 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；对不需要人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 的剂量率参考控制水平取 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ ”。

数字射线检测区周围职业人员年剂量当量预测值、公众年剂量当量预测值可满足本报告提出的职业工作人员辐射剂量约束值 $2\text{mSv}/\text{a}$ 和公众辐射剂量约束值 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ 的要求，也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中的规定，即职业照射水平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） $20\text{mSv}/\text{a}$ ，实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的年有效剂量不应超过 $1\text{mSv}/\text{a}$ 。

6. 辐射安全管理

建设单位拟成立辐射安全管理小组，拟制定辐射安全管理规章制度，拟制定辐射事故应急预案。辐射工作人员拟参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核；拟配备便携式 X- γ 剂量率仪、个人剂量报警仪等仪器设备，并制定辐射监测计划。

7. 结论

综上所述，本项目在充分落实本报告提出的污染防治措施和管理制度后，建设单位将具备从事相应辐射工作的技术能力和安全防护措施，其运行对周围环境产生

的辐射影响能符合环境保护的要求，故从辐射环保角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

建议：

（1）建设单位使用的设备检修维护后，应对设备的防护性能和设备性能进行检测，检测合格后方可继续使用；

（2）建设单位应定期按法律法规的规定更新相关规章制度。

承诺：

（1）建设单位将组织辐射工作人员参加核技术利用辐射安全与防护考核，确保所有辐射工作人员按要求持证上岗；

（2）建设单位将配备与辐射工作相适应的监测仪器，严格落实监测计划；

（3）建设单位将自觉接受各级生态环境行政主管部门的监督检查；

（4）申领《辐射安全许可证》后，建设单位将按照《建设项目环境保护管理条例》要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告。

附图和附件

附图 1 建设项目地理位置图

附图 2 建设项目周边环境及厂区总平面布置图

附图 3 C15 号厂房（一层）平面布局及环境保护目标图

附图 4 C15 号厂房（夹层）平面布局及环境保护目标图

附图 5 C15 号厂房（二层）平面布局及环境保护目标图

附图 6 数字射线检测区剂量关注点位示意图

附图 7 辐射防护屏蔽设计图

附图 8 辐射安全防护措施示意图

附件 1 建设单位营业执照

附件 2 租赁合同

附件 3 建设单位承诺书

附件 4 X 射线探伤机工作参数证明

附件 5 主体工程环评批复

附件 6 选址处辐射环境现状监测报告

附件 7 会议纪要

附件 8 修改索引

附件 9 专家复核意见

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：	
公 章 经办人： 年 月 日	
审批意见：	
公 章 经办人 年 月 日	

天津市滨海新区行政区划图

项目位置

图例

天津滨海高新技术产业开发区
华苑科技园

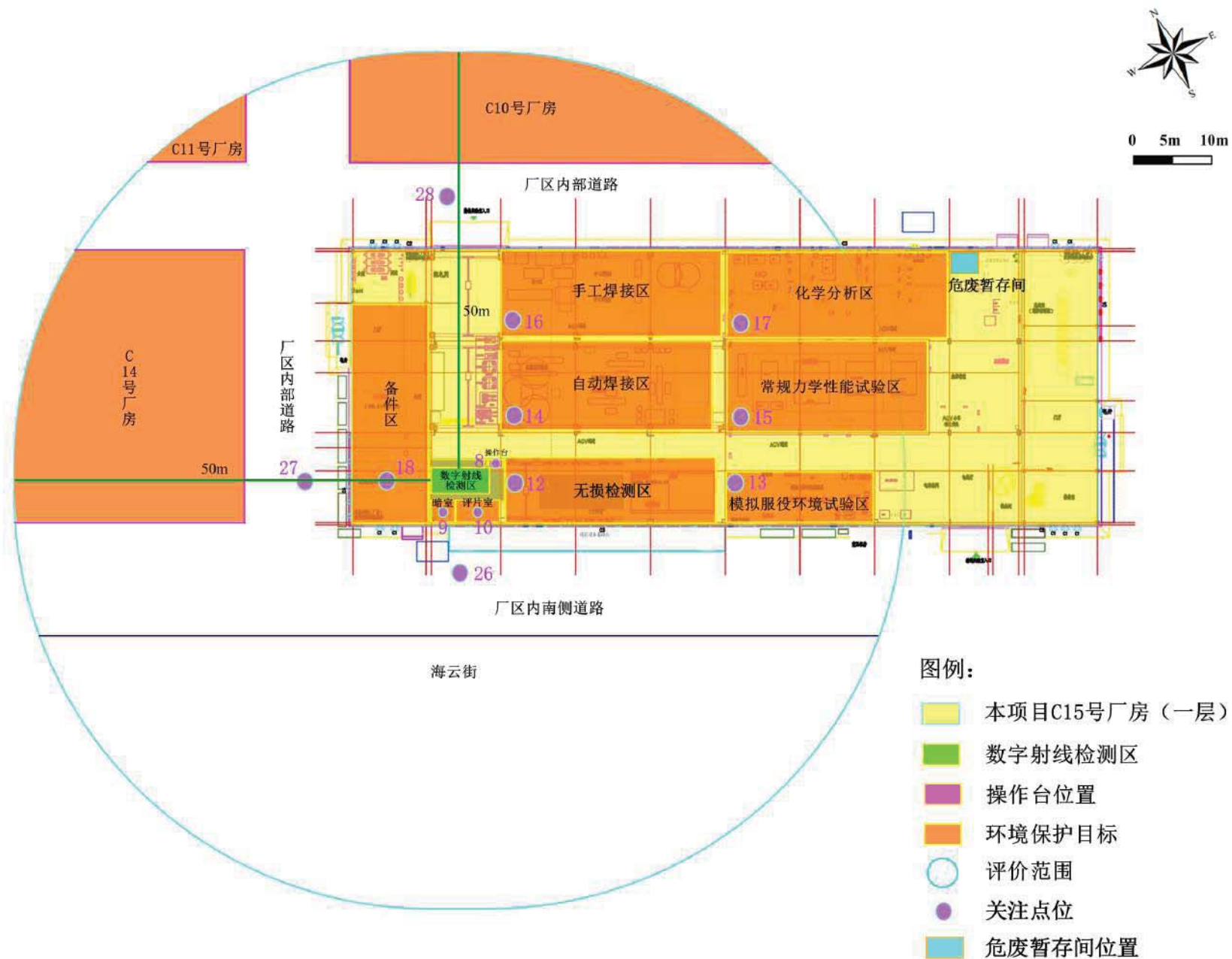
比例尺 1:28000

审图号：津滨S（2021）001

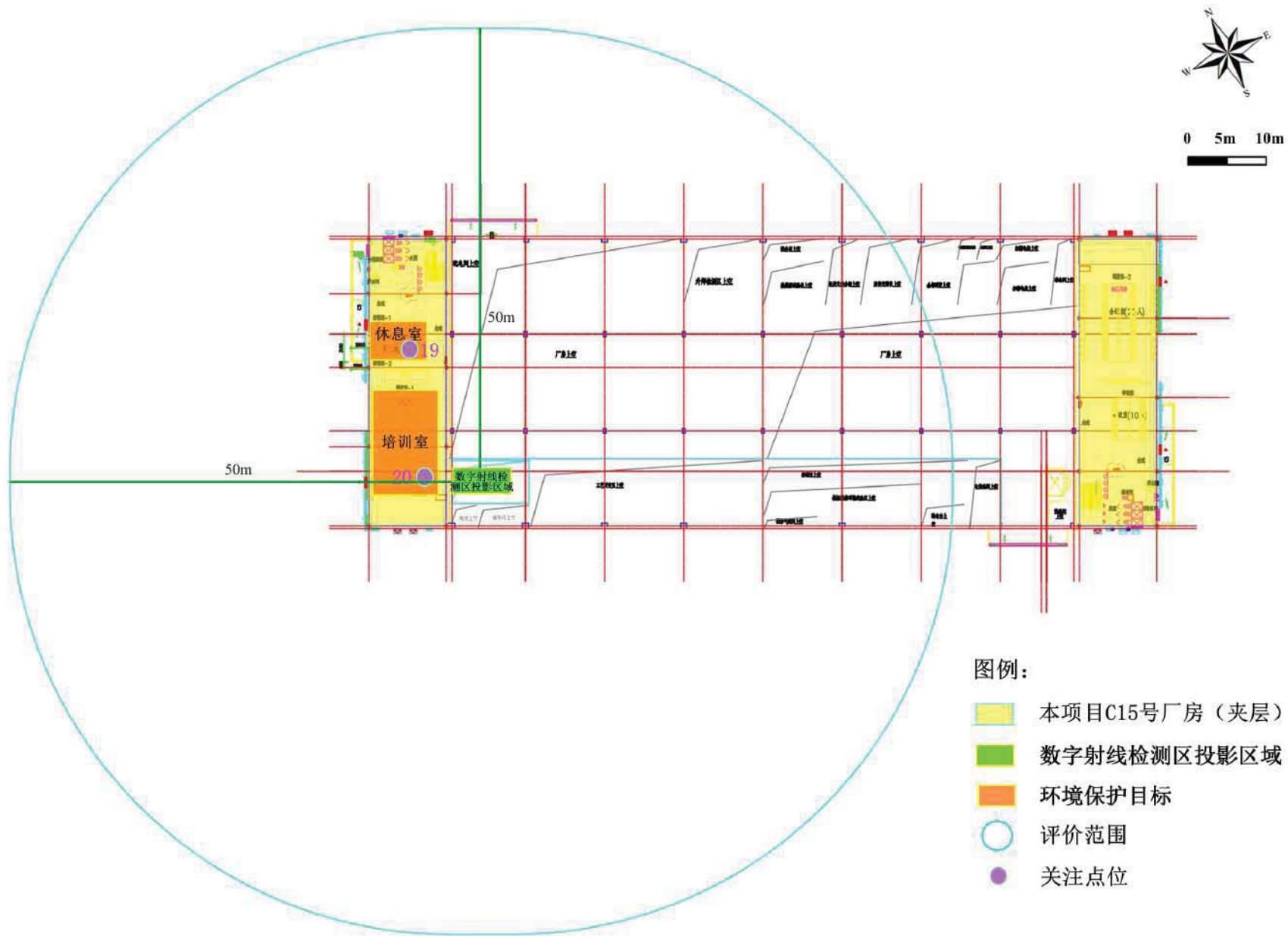
附图1 建设项目地理位置图



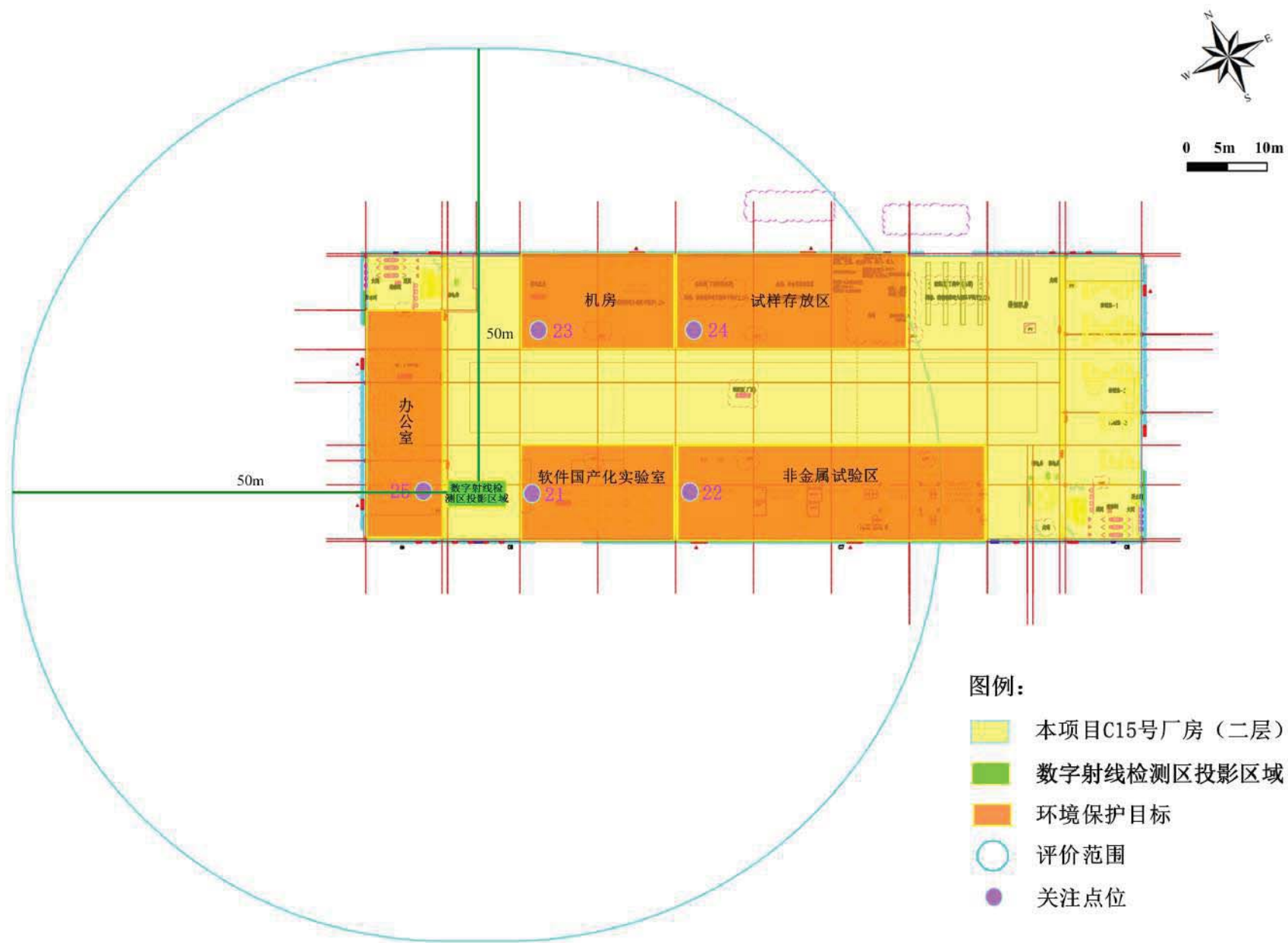
附图2 建设项目周边环境及厂区总平面布置图



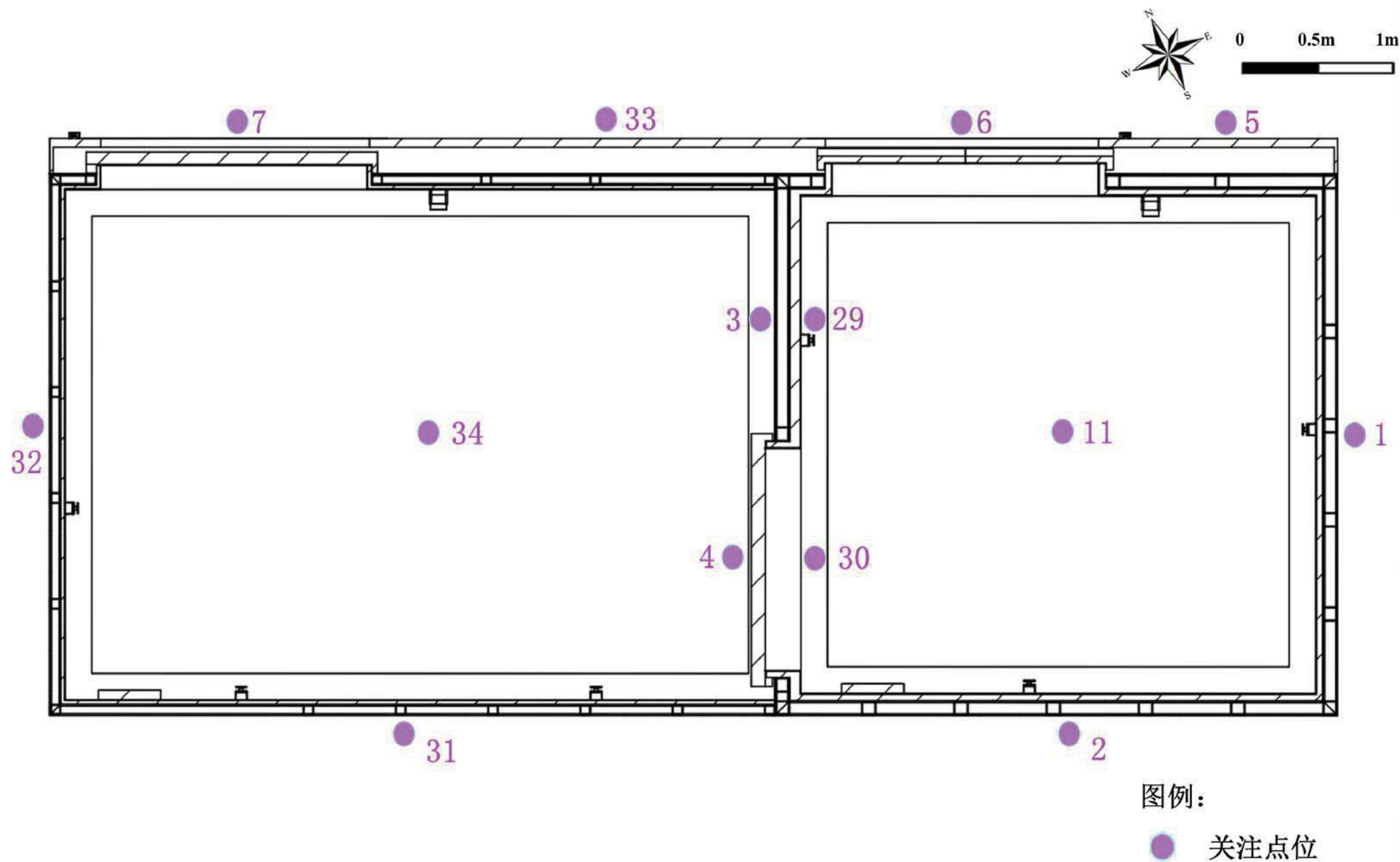
附图3 C15号厂房（一层）平面布局及环境保护目标图



附图4 C15号厂房（夹层）平面布局及环境保护目标图



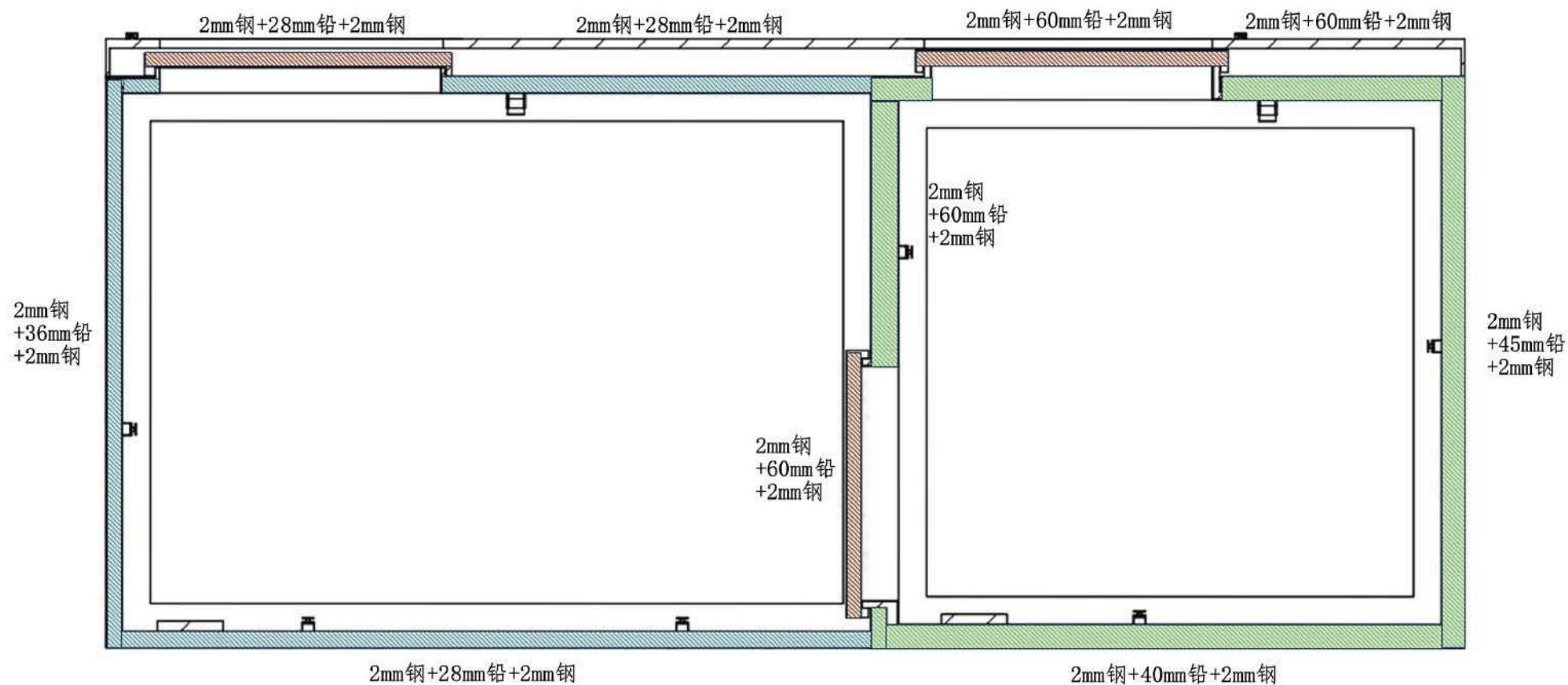
附图5 C15号厂房（二层）平面布局及环境保护目标图



附图6 数字射线检测区剂量关注点位示意图



0 0.5m 1m



图例:



工艺检测室防护屏蔽

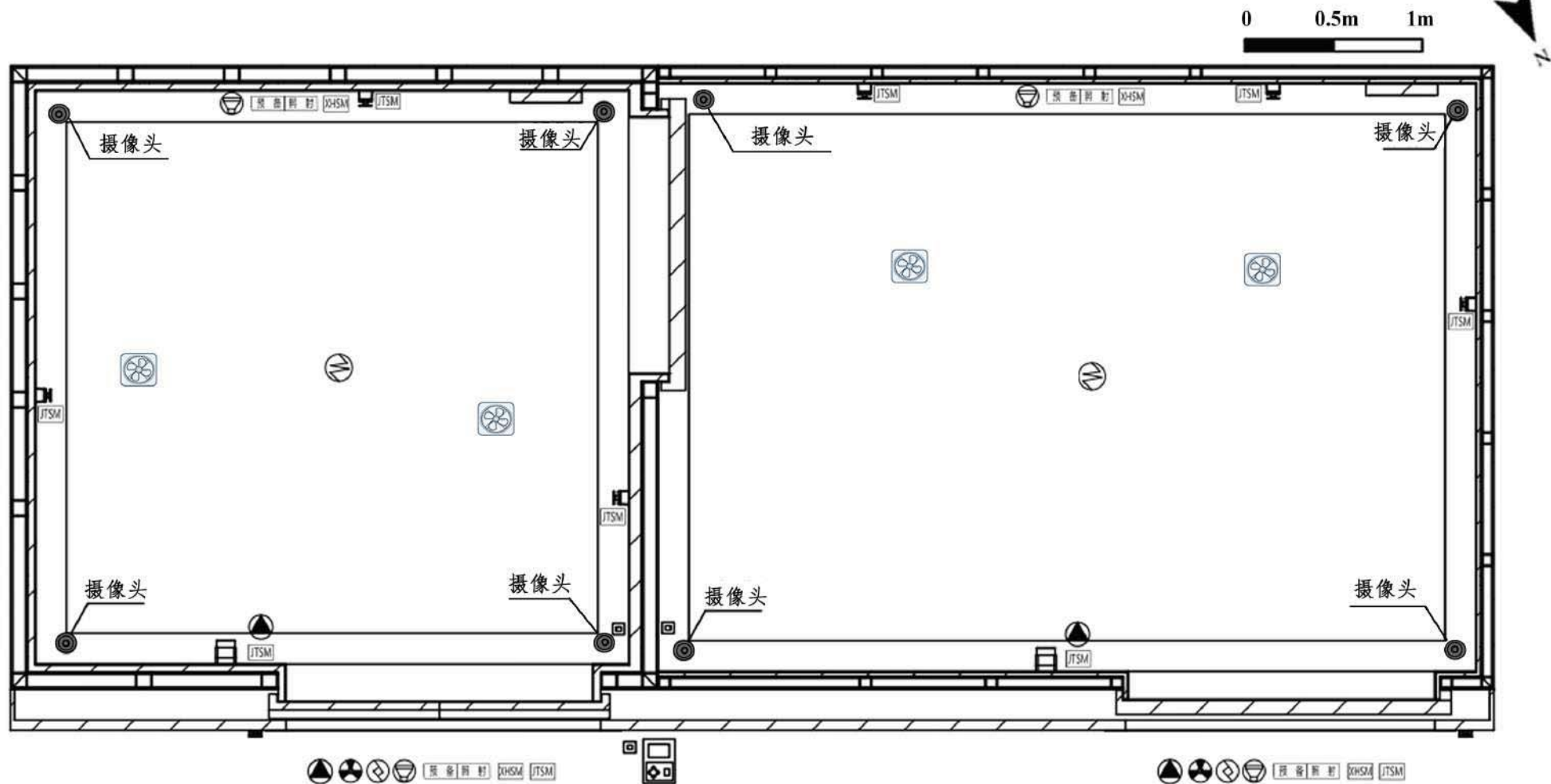


CL检测室防护屏蔽



防护门

附图7 辐射防护屏蔽设计图



图例：

- | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
| “预备”、“照射”指示灯 | “预备”、“照射”蜂鸣信号器 | “照射”和“预备”信号说明 | 摄像头 |
| 电离辐射警告标志和中文警示说明 | 固定式场所辐射探测报警装置主机 | 固定式场所辐射探测报警装置探头 | |
| 门-机联锁 | 紧急停机按钮 | JTSM 紧停按钮标签说明 | 紧急开门开关 |
| | | 机械通风装置 | 白炽灯照明器 |

附图8 辐射安全防护措施示意图