

表 1 项目基本情况

建设项目名称		2 台 X 射线探伤设备（含铅房）核技术利用项目			
建设单位		西安航天发动机有限公司			
法人代表	同立军	联系人	杨巧玲	联系电话	13384990325
注册地址		陕西省西安市雁塔区航天基地神舟二路 69 号			
项目建设地点		西安市航天基地神舟二路西安航天发动机有限公司老厂区 116 厂房，航天南路与天和四路十字东南角新厂区 A7 厂房			
立项审批部门		/	批准文号	/	
建设项目总投资（万元）		1010	项目环保投资（万元）	6.5	投资比例（环保投资/总投资）
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积（m ² ）	42
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
<input checked="" type="checkbox"/> 使用		<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
其他	/				
<p>项目概述</p> <p>1、企业简介</p> <p>西安航天发动机有限公司于 1965 年创建于陕西凤县，1994 年迁至西安市航天基地神舟二路 69 号，现有职工 2800 人。建厂 50 年来，公司先后研制生产了长征系列、载人工程等数十种液体火箭发动机，为适应国际航天技术的新发展，研制生产了新型无污染、大推力液体火箭发动机。公司科研生产硕果累累，业绩辉煌，曾荣获“全国五一劳动奖章”、“全国先进集体”、“省级先进企业”、“部级重大贡献先进单位”等 70 多种荣誉称号，为我国航天事业的发展和国防现代化建设做出了杰出贡献。</p> <p>公司目前有 2 个厂区，老厂区位于西安市航天基地神舟二路，新厂区位于航天基地航天南路与天和四路十字东南角。本项目涉及 2 个厂区，地理位置见图 1-1。</p>					

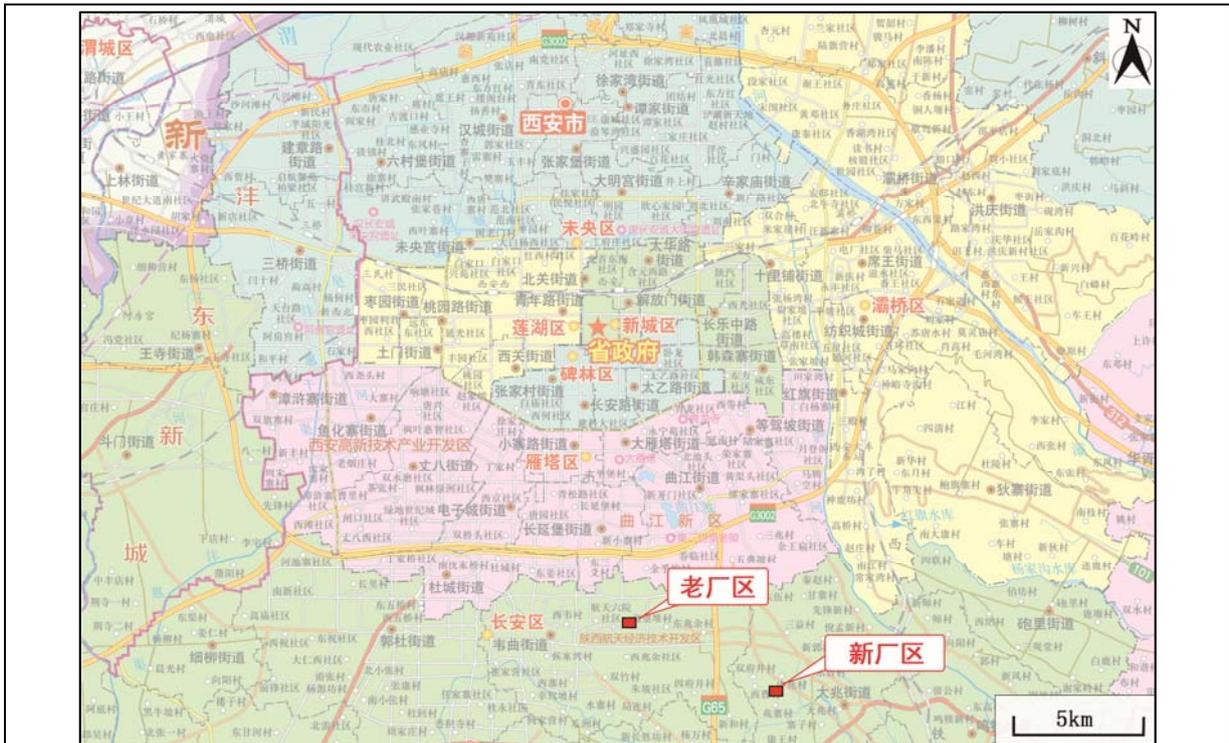


图 1-1 地理位置示意图

2、项目由来

为满足业务发展需要，西安航天发动机有限公司拟在新厂区 A7 厂房新增 1 套焊接棒阳极射线数字成像检测系统，在老厂区 116 厂房新增 1 套 SLM 增材制造产品数字射线自动化检测系统（以下简称“SLM 检测系统”），均用于无损检测。根据《射线装置分类》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号）及《放射装置分类中对自屏蔽工业探伤机理解的回复》（2018 年 2 月 12 日原环保部部长信箱），焊接棒阳极射线数字成像检测系统和 SLM 检测系统虽然自带屏蔽铅房，但设备均设有维修门，人员可以进入铅房内部，因此不属于自屏蔽式 X 射线探伤装置，其使用活动应按照 II 类射线装置进行管理。综上，本项目新增使用 2 台 II 类射线装置。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》和《建设项目环境保护管理条例》，本项目需进行环境影响评价。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—172、核技术利用建设项目”中“……使用 II 类射线装置的……”项目，应编制环境影响报告表。

西安航天发动机有限公司于 2021 年 11 月委托我单位对该项目进行环境影响评价。接受委托后，我单位组织有关技术人员对该项目进行了实地踏勘、资料收集、影响预测，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》（HJ 10.1-2016）的要求，编制完成了《2 台 X 射线探伤设备（含铅房）核技术利

用项目环境影响报告表》。

3、产业政策符合性及实践正当性分析

本项目利用 X 射线进行工件的无损检测，系核技术在工业领域内的运用，属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修改）中“鼓励类”的“三十一、科技服务业—1、工业设计、气象、生物、新材料、新能源、节能、环保、测绘、海洋等专业技术服务，标准化服务、计量测试、质量认证和检验检测服务、科技普及”项目，符合国家产业政策。

本项目射线装置主要用于发动机相关部件的无损检测，有利于提升工件质量，推动发动机部件的研发，助力国家航天事业的发展。在综合考虑社会、经济和其他因素之后，X 射线对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

4、建设规模

(1) 项目概况

西安航天发动机有限公司拟在新厂区 A7 厂房数字射线机安装区新增 1 套焊接棒阳极射线数字成像检测系统，在老厂区 116 厂房新增 1 套 SLM 检测系统进行无损检测，以上设备均属于 II 类射线装置。

根据公司提供的资料，本项目射线装置技术参数详见表 1-1。

表 1-1 射线装置技术参数表

序号	设备名称	型号	使用场所	最大管电压	最大管电流	最大管电压下的管电流
1	焊接棒阳极射线数字成像检测系统	AIS—03	新厂区 A7 厂房数字射线机安装区	300kV	3mA	1.5mA
2	SLM 增材制造产品数字射线自动化检测系统	COMET MXR-320HP/11 型恒压高频 X 射线机	老厂区 116 厂房	320kV	22mA	5.6mA
		YXLON FXE-225.48 型微焦点射线机		225kV	3mA	2.5mA

(2) 工作制度及劳动定员

根据公司提供的资料，每个工作场所拟配备辐射工作人员 3 人，2 个场所共计 6 人，均从现有辐射工作人员中调配。

运行期工作制度如下：

① 焊接棒阳极射线数字成像检测系统每天最多曝光 3h，每周工作 5 天，周曝光 15h，年工作 50 周，年曝光 750h。

② SLM 检测系统每天最多曝光 3h，每周工作 5 天，周曝光 15h，年工作 50 周，年曝光 750h。

5、平面布置及周边环境关系

(1) 焊接棒阳极射线数字成像检测系统

① 周边环境关系

焊接棒阳极射线数字成像检测系统位于新厂区 A7 厂房，新厂区平面布置图见图 1-2，A7 厂房西北侧为 A2 厂房、A9 厂房和绿化区，东北侧为在建厂房、临时项目部，东南侧为车棚、篮球场、西安航天城第八学校（在建）和安置小区（在建），西南侧为 A8 厂房和预留地。

A7 厂房局部平面布置图见图 1-3，本项目焊接棒阳极射线数字成像检测系统位于 A7 厂房西南角，该区域西北侧隔通道为暗室及机械加工区，东北侧为机械加工区，东南侧为室外绿化带，西南侧为评片室 1、X 射线探伤机房，厂房为一层，地下无建筑。



图 1-2 新厂区平面布置示意图

② 平面布置

数字射线安装区设有 3 台数字 X 射线机的安装位置，本次新增的焊接棒阳极射线数字成像检测系统安装于该区域最西侧，东侧预留 2 台数字 X 射线机安装位置。

焊接棒阳极射线数字成像检测系统工件门向南，照射方向向东，控制台位于设备南侧。焊接棒阳极射线数字成像检测系统具体布置情况见图 1-4。

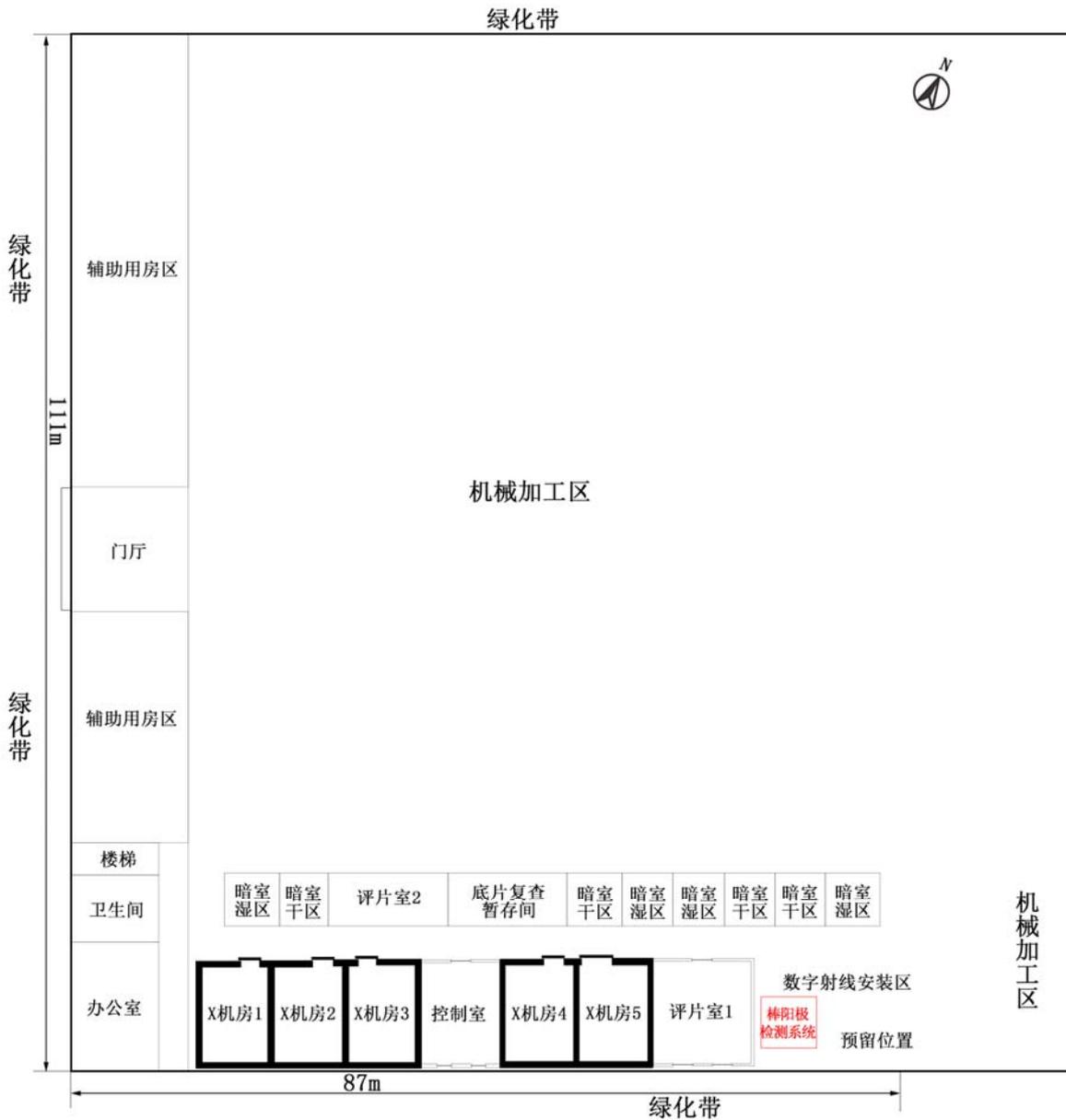


图 1-3 新厂区 A7 厂房局部平面布置示意图

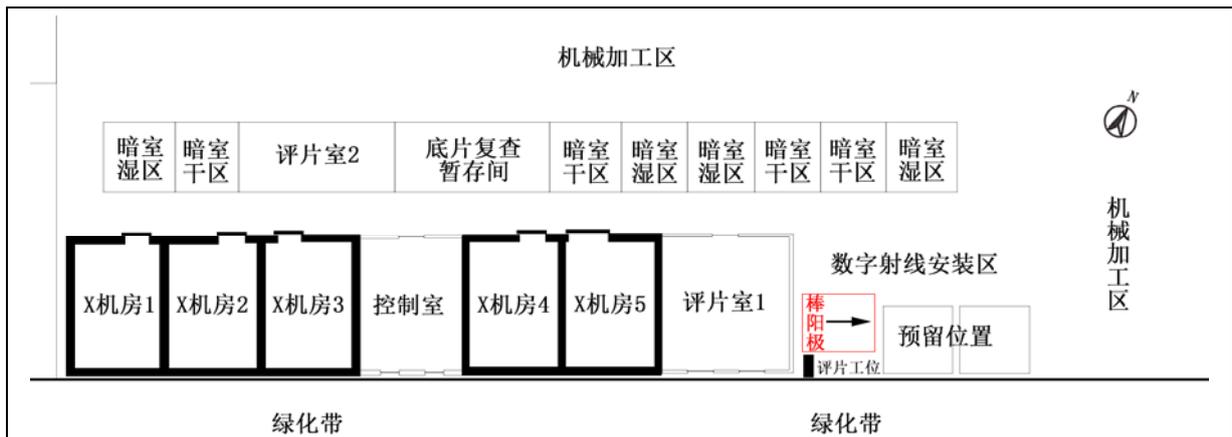


图 1-4 焊接棒阳极射线数字成像检测系统安装情况示意图

(2) SLM 检测系统

① 周边环境关系

神州二路老厂区平面布置图见图 1-5，本项目 SLM 检测系统位于 116 厂房，该厂房北侧为机加厂房、机械分厂，东侧为综合热处理厂房，南侧隔南厂界为西安航天动力研究所厂房，西侧为木模间、闲置办公楼、高压空气站等。

116 厂房的总平面布置图见图 1-6，该厂房东西两端设有 2 层办公区及存储区，其余区域为一层，无地下建筑。SLM 检测系统安装于厂房中部，北侧为生产区、展厅，东侧为生产区、办公区，南侧为支撑钳磨去除区、基板立体库、热处理炉区等，西侧为检验区、成品周转区、原材料存储间以及配套 X 光分析室、洗片室等。

② 平面布置

SLM 检测系统正面向北，照射方向向西，控制台位于北侧，详见图 1-6。



图 1-5 神舟二路厂区平面布置示意图

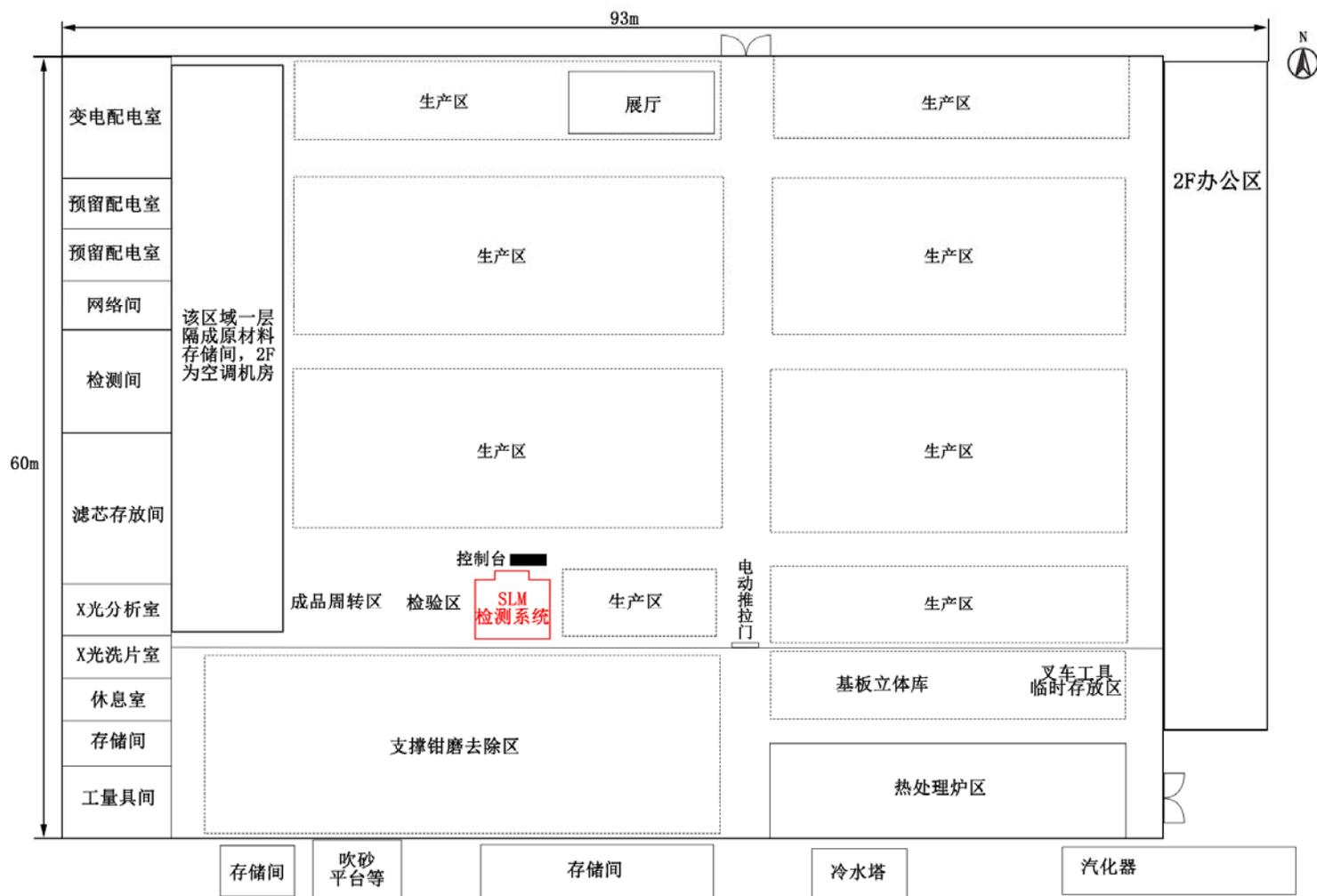


图 1-6 116 厂房平面布置示意图

6、现有核技术利用项目情况

(1) 现有核技术利用项目环保手续履行情况

西安航天发动机有限公司现有核技术利用项目环保手续履行情况见表 1-2。

表 1-2 现有核技术利用项目环保手续履行情况一览表

项目编号	项目名称	环评情况		验收情况	
		环评内容	批复情况	验收内容	批复情况
1	西安航天发动机厂 X 射线探伤机应用	5 台 X 射线探伤机	2008 年 6 月 17 日，陕环批复（2008）361 号	与环评一致	2013 年 1 月 21 日，陕环批复（2013）41 号
2	西安航天发动机厂 X 射线探伤核技术应用项目	9 台射线装置	2012 年 8 月 16 日，陕环批复（2012）554 号	7 台 X 射线探伤机	2014 年 5 月 23 日，陕环批复（2014）248 号
				2 台 X 射线装置	2015 年 8 月 7 日，陕环批复（2015）407 号
3	西安航天发动机厂 X 射线探伤核技术应用项目	3 台射线装置	2015 年 7 月 16 日，陕环批复（2015）318 号	与环评一致	2018 年 5 月 3 日进行了自主验收
4	西安航天发动机厂新增工业 X 射线探伤核技术应用项目	新建 8 座探伤室、新增 10 台 X 射线探伤机	2016 年 8 月 1 日，陕环批复（2016）387 号	2 座探伤室、2 台 X 射线探伤机	2018 年 5 月 3 日进行了自主验收
				4 座探伤室以及 7 台 X 射线探伤机、1 台实时成像检测系统	2021 年 9 月 27 日进行了自主验收
				其余 2 座探伤室已建成，未安装设备	
5	9MeV 工业 CT 核技术应用项目	新建 1 座工业 CT 机房，新增 1 套 9MeV 工业 CT 检测系统	2017 年 8 月 7 日，陕环批复（2017）376 号	与环评一致	2021 年 4 月 23 日进行了自主验收
6	总装导管脉冲焊缝 X 射线数字化检测系统	1 套总装管路脉冲焊缝 X 射线数字化检测系统	2019 年 7 月 4 日，陕环批复（2019）261 号	与环评一致	2019 年 10 月 29 日进行了自主验收
7	微焦点 X 射线机数字化成像检测系统	1 台微焦点 X 射线数字化成像检测系统	2019 年 7 月 4 日，陕环批复（2019）260 号	与环评一致	2020 年 6 月 15 日进行了自主验收

8	管路焊缝 X 射线无损检测系统	1 台管路焊缝 X 射线无损检测系统	2020 年 9 月 6 日，陕环批复（2020）236 号	与环评一致	2021 年 4 月 23 日进行了自主验收
9	铸件微焦点棒阳极 X 射线检测系统核技术利用项目	在原 605# 厂房东探伤室（陕环批复（2015）318 号环评批复；2018 年 5 月自主验收）新增 1 台铸件微焦点棒阳极 X 射线检测系统，于 2021 年进行了自评价			
10	电子束焊缝自动化检测系统核技术利用项目	已取得西安市生态环境局的批复（市环批复（2021）53 号），正在建设			
11	发动机零部件复杂内部结构检测系统	已取得西安市生态环境局的环评批复（市环批复（2022）30 号），正在建设			

综上，西安航天发动机有限公司现有核技术利用项目环评、验收及自评价手续较为完备。

(2) 辐射安全许可证

西安航天发动机有限公司于 2022 年 5 月 20 日取得了更新后的辐射安全许可证（陕环辐证（00093），见附件 2），许可证种类和范围为：使用 II 类射线装置，有效期至 2024 年 12 月 16 日。辐射安全许可证见附件，台账明细见表 1-3。

表 1-3 台账明细登记

序号	装置名称	规格型号	类别	场所
1	450kV 工业 CT 检测系统	IPT04104D	II 类	101# 厂房探伤室
2	XYD1520 型 X 射线探伤机	XYD1520 型		158# 厂房探伤室
3	MG225 型 X 射线探伤机	MG225 型		601# 厂房东探伤室
4	E320X 射线探伤机	E320		
5	CERAM235 便捷式射线探伤机	CERAM235		602# 厂房东探伤室
6	MG325 型 X 射线探伤机	MG325		
7	XYD-225X 射线探伤机	XYD-225		602# 厂房西探伤室
8	E320X 射线探伤机	E320		
9	MG321 型 X 射线探伤机	MG321 型		605# 厂房东探伤室
10	XYD2251013 型 X 射线探伤机	XYD2251013 型		
11	MG325 型 X 射线探伤机	MG325		606# 厂房西探伤室
12	MG325 型 X 射线探伤机	MG325 型		606# 厂房中间探伤室
13	4MeV 工业 CT 检测系统	IPT04106-B2		606# 厂房东探伤室
14	E450X 射线探伤机	E450		606# 厂房中间探伤室
15	实时成像检测	实时成像检测		601# 厂房西探伤室

16	MG226 型 X 射线探伤机	MG226	158#厂房探伤室
17	E320X 射线探伤机	E320	605#厂房东探伤室
18	E320X 射线探伤机	E320	605#厂房西探伤室
19	总装导管脉冲焊缝 X 射线数字化检测系统	MG165	158#厂房
20	微焦点 X 射线数字化成像检测系统	FXE-225.48	601 厂房
21	铸件微焦点棒阳极 X 射线检测系统	R.D880-Part	605 厂房东探伤室
22	管路焊缝 X 射线无损检测系统	XWT-240-RAC	A2 厂房
23	9MeV 工业 CT 检测系统	CD-1800BX	工业 CT 机房
24	X 射线探伤机	MXR-320/26	A2 厂房透射间 2
25	X 射线探伤机	ISOVOLT-320 4.5-10	A2 厂房透射间 2
26	X 射线探伤机	MXR-225/22	A2 厂房透射间 2
27	X 射线探伤机	MXR-320/26AX	A4 厂房透射间 1
28	X 射线探伤机	ISOVOLT-320 4.5-10	A4 厂房透射间 1
29	X 射线探伤机	ISOVOLT-225	A4 厂房透射间 2
30	X 射线探伤机	MXR-320/26AX	A4 厂房透射间 2
31	实时成像检测系统	MXR-320	A4 厂房透射间 3

(3) 辐射安全管理现状

① 辐射防护管理机构

西安航天发动机有限公司已成立以法人为组长的辐射安全与环境保护领导小组（厂设备〔2020〕184号，见附件3），负责日常辐射安全监管和协调工作。辐射安全与环境保护领导小组办公室设在设备动力处动力环保室。

② 规章制度建设及落实情况

西安航天发动机有限公司目前已制定了一系列辐射环境管理规章制度，包括《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》、《涉辐部门辐射安全职责》、《质量处辐射安全防护管理规定》、《射线装置人员培训制度》、《射线检测仪器使用管理规定》、《辐射工作现场监测制度》、《仪器仪表维护、维修管理制度》等；已编制并下发了《质量处射线装置事故应急预案》，以确保辐射作业中的安全防护。

现有制度执行情况较好，运行以来未发生辐射事故或人员剂量超标情况。

③ 工作人员培训情况

西安航天发动机有限公司现有 58 名辐射工作人员，均参加了辐射安全与防护培训班学习和考核，并取得了考试合格证明（见附件 4）。

④ 个人剂量检测及职业健康检查情况

公司现有 19 处辐射工作场所，主要为工业 X 射线探伤机房、工业 CT 机房及各类检测系统铅房，公司已为现有辐射工作场所配备了 31 台个人剂量报警仪，确保每个工作场所至少 1 台；配套 2 套铅衣、铅手套、铅围裙、铅眼镜及铅围脖，用于紧急状况下的安全防护。

辐射工作人员已配备个人剂量计，每季度委托有资质单位进行 1 次个人剂量检测。根据陕西新高科辐射技术有限公司出具的 2021 年 2 月~2022 年 2 月 4 个季度职业性外照射个人剂量监测报告（第 00028-2102-000436 号、第 00028-2103-000900 号、第 00028-2104-001493 号、第 00028-2201-000061 号，见附件 5），辐射工作人员上一年度附加剂量最大值为 0.52mSv，未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的剂量限值，检测报告已存档。

现有辐射工作人员于 2020 年在核工业四一七医院进行了职业健康体检，体检结果及复查结果显示未发现疑似放射性疾病，可以继续从事辐射工作，体检报告已建立健康档案（见附件 6）。

综上，公司辐射工作人员的个人剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的剂量限值，体检结果均显示可以继续从事辐射工作。个人剂量检测档案及职业健康体检档案较完善。

⑤ 工作场所及辐射环境监测情况

公司已配备 2 台 X-γ 辐射剂量率仪，每年检定 1 次。公司已制定《辐射工作现场监测制度》，定期对现有辐射工作场所进行监测，检定报告与监测报告已存档。

公司已委托有资质单位每年进行 1 次辐射工作场所年度监测。根据陕西秦洲核与辐射安全技术有限公司出具的 2021 年西安航天发动机有限公司《使用工业探伤装置核技术利用项目辐射环境监测报告》（QNJC-202107-E081，见附件 7），现有射线装置工作场所周围关注点的 X、γ 辐射剂量率为 0.0487~1.34μSv/h，符合《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）中相关标准限值。

西安航天发动机有限公司已按时向辐射安全许可证发证机关提交了 2021 年度放射性同位素与射线装置应用单位辐射安全年度评估报告。

综上，西安航天发动机有限公司现有核技术利用项目的环保手续较完善，辐射安全管理机构及制度健全，工作人员培训情况、个人剂量检测及职业健康体检的管理较完善。

7、评价目的

(1) 通过对区域辐射环境水平基础资料的收集、分析，了解项目所在区域辐射环境背景情况。

(2) 通过对公司拟新增射线装置产生的辐射环境影响进行预测、分析，确定其对环境的影响程度与影响范围，分析辐射防护措施的效果，提出减少辐射影响的防护措施。

(3) 对项目运行过程中对周围环境可能产生的不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”。

(4) 满足国家和地方生态环境主管部门对该项目环境管理规定的要求，为该项目的辐射环境管理提供科学依据。

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	贮存方式及地点	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	贮存方式及地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	焊接棒阳极射线数字成像检测系统	II类	1套	AHS—03	300kV	3mA	无损检测	新厂区 A7 厂房数字射线机安装区	/
2	SLM 增材制造产品数字射线自动化检测系统	II类	1套	COMET MXR-320HP/11 型恒压高频 X 射线机	320kV	22mA	无损检测	老厂区 116 厂房	/
				YXLON FXE-225.48 型微焦点射线机	225kV	3mA			/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器：包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
废显（定）影液	液态	/	/	/	100kg	/	专用容器收集后暂存于厂区危废库	定期交由陕西新天地固体废物综合处置有限公司处置
该项目运行过程中不产生放射性“三废”	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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，气态单位为 mg/m³；年排放总量用 kg。

2、含有放射性的废弃物要注明，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

<p>法 规 文 件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订），2015 年 1 月 1 日；</p> <p>(2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日；</p> <p>(3) 《中华人民共和国环境影响评价法》（修正），2018 年 10 月 29 日；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（修订），国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日；</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日；</p> <p>(6) 《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修改），国家发展和改革委员会令 2021 年第 49 号令，2021 年 12 月 30 日；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订），国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修订），生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日；</p> <p>(10) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 6 日；</p> <p>(11) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 23 日；</p> <p>(12) 《陕西省放射性污染防治条例》（2019 年修正），2019 年 11 月 6 日；</p> <p>(13) 《关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》，陕环办发〔2018〕29 号。</p>
----------------------------	---

<p>技 术 标 准</p>	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； (2) 《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ 117-2015）； (3) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）； (4) 《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）； (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) 其他适用的环境标准及规范。</p>
<p>其 他</p>	<p>(1) 2 台 X 射线探伤设备（含铅房）核技术利用项目环境影响评价委托书； (2) 西安航天发动机有限公司及设备厂家提供的技术协议、设备说明书等； (3) 西安航天发动机有限公司辐射安全许可证； (4) 《关于调整辐射安全与环境保护领导小组的通知》（厂设备〔2020〕184 号）及其他现有辐射安全防护管理制度； (5) 现有辐射工作人员辐射安全与防护考核成绩报告单； (6) 2021 年 2 月~2022 年 2 月 4 个季度职业性外照射个人剂量监测报告（第 00028-2102-000436 号、第 00028-2103-000900 号、第 00028-2104-001493 号、第 00028-2201-000061 号）； (7) 现有辐射工作人员职业健康检查报告及复查报告； (8) 《使用工业探伤装置核技术利用项目辐射环境监测报告》（QNJC-202107-E081）； (9) 西安航天发动机有限公司 2021 年度放射性同位素与射线装置应用单位辐射安全年度评估报告； (10) 《西安航天发动机有限公司 2 台 X 射线探伤设备（含铅房）及 A7 厂房 5 座探伤室 15 台 X 射线探伤设备核技术利用项目辐射环境现状监测》（XAZC-JC-2022-0019）； (11) 建设单位提供的其他资料。</p>

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“射线装置应用项目的评价范围通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”要求,确定本项目评价范围为以射线装置屏蔽铅房为边界,半径 50m 范围内的区域,详见图 7-1、7-2。

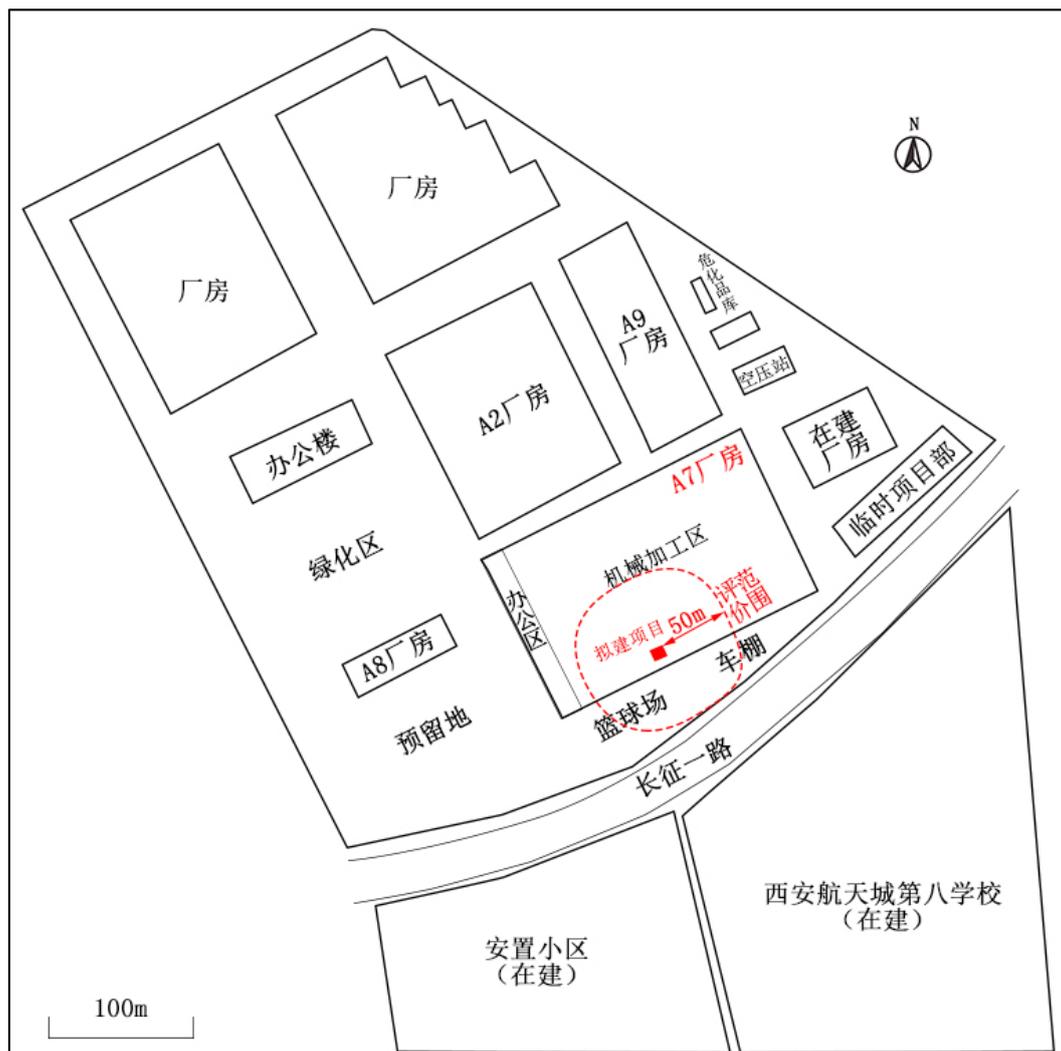


图 7-1 新厂区射线装置评价范围示意图

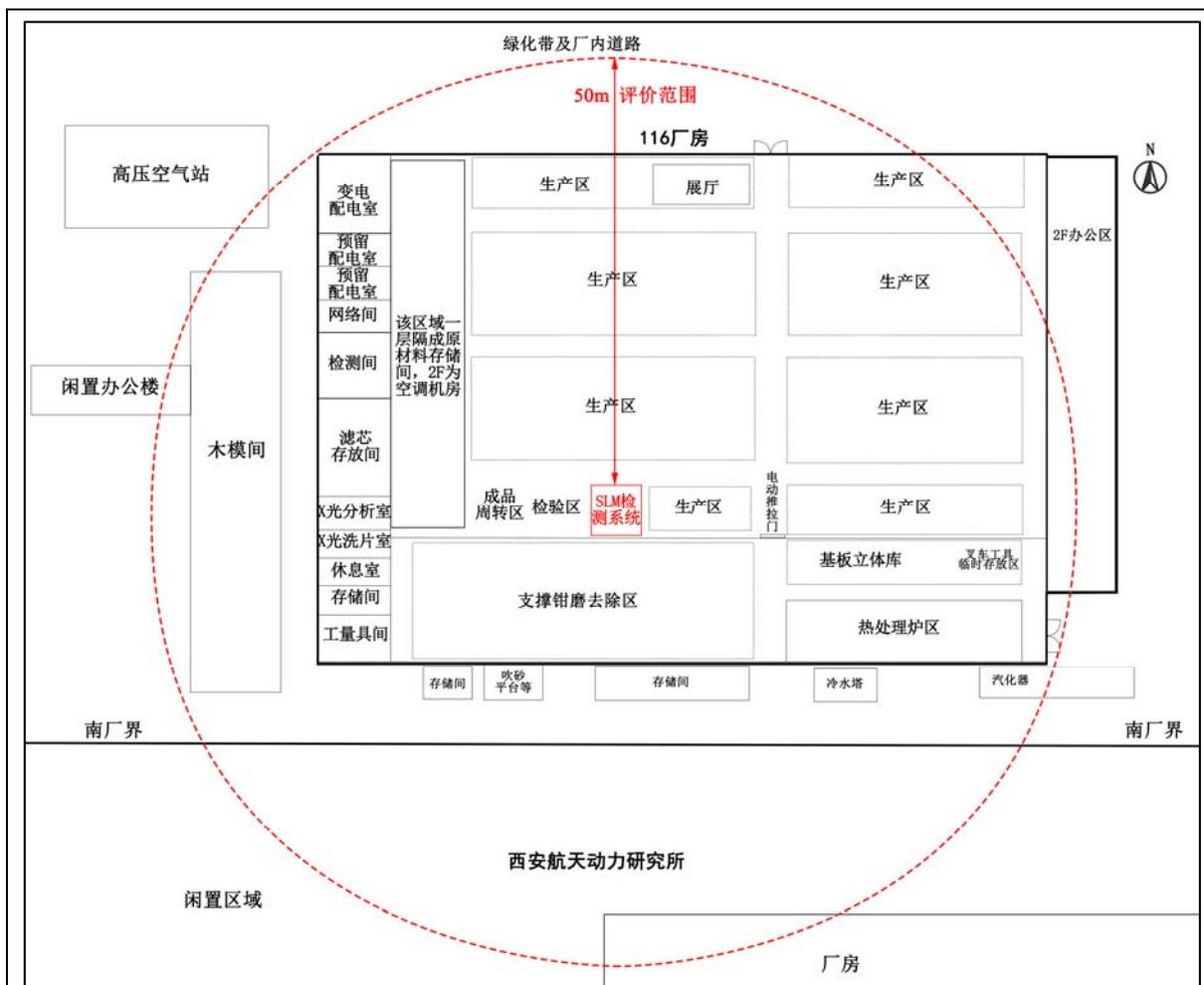


图 7-2 老厂区射线装置评价范围示意图

保护目标

本项目环境保护目标主要为从事射线装置操作的辐射工作人员及周围 50m 区域的公众。环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 主要环境保护目标一览表

工作场所	保护对象	相对位置		与铅房距离	长居留人员规模	个人年剂量约束值
焊接棒阳极射线数字成像检测系统	辐射工作人员	东南侧控制位		1m	3 人	5mSv
	公众	西北侧	暗室、A7 厂房机械加工区、办公区等	约 8.4m~50m	约 20 人	0.1mSv
		东北侧	预留数字射线安装区、A7 厂房机械加工区	50m 范围内	约 20 人	
		西南侧	评片室 1、控制室、X 机房 1~5、办公室	50m 范围内	约 20 人	
西南、东南侧	厂内道路、篮球场、车棚	/	流动人员			

SLM 检测 系统	辐射 工作 人员	北侧控制台		1m	3 人	5mSv
		西侧 X 光分析室、洗片室		25m		
	公众	北侧	生产区	约 3m	约 30 人	0.1mSv
		东侧	生产区、办公区	50m 范围内	约 50 人	
		南侧	116 厂房支撑钳磨去除区、 基板立体库、热处理炉区	1m~16m	约 20 人	
			西安航天动力研究所厂房	约 45m	约 10 人	
		西侧	116 厂房检验区、成品周转 区、材料存储间、办公区等	1m~33m	约 10 人	
			木模间、闲置办公楼	约 38m~50m	约 10 人	
	北、 南、西 侧	展厅、厂内道路、绿化区、 高压空气站等，西安航天动 力研究所闲置区域	/	流动人员		

注：表中距离以各铅房屏蔽体作为起点进行估算。

评价标准

一、职业人员和公众的辐射剂量约束值

1、职业照射

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 B 剂量限值，应对任何工作人员的职业水平进行控制，使之不超过下述限值：由审管部门决定的连续 5 年的平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）第 4.3.3.1 条“对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）”，综合考虑本项目使用情况并为公司的远期发展预留空间，本次评价职业照射人员的年受照剂量约束值设定为 5mSv。

2、公众照射

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

附录 B 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：年有效剂量，1mSv。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）第 4.3.3.1 条要求，综合考虑本项目使用情况并为公司的远期发展预留空间，本次公众照射年有效剂量管理约束值设定为 0.1mSv。

二、《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ 117-2015）

该标准适用于 500kV 以下的工业 X 射线探伤装置的生产和使用。本项目焊接棒阳极射线数字成像检测系统和 SLM 检测系统可参照执行该标准中相关防护安全要求，实际运行时铅房等同于探伤室。

3.1.1 X 射线管头组装体

3.1.1.1 移动式或固定式的 X 射线装置管头组装体应能固定在任何需要的位置上并加以锁紧。

3.1.1.2 X 射线管头应设有限束装置。

3.1.1.3 X 射线管头窗口孔径不得大于额定最大有用线束射出所需尺寸。

3.1.1.4 X 射线管头应具有如下标志：

- a) 制造厂名称或商标；
- b) 型号及出厂编号；
- c) X 射线管的额定管电压、额定管电流；
- d) 焦点的位置；
- e) 出厂日期；
- f) 电离辐射标志。

3.1.2 控制台

3.1.2.1 应设置有 X 射线管电压及高压接通或断开状态的显示，以及管电压、管电流和照射时间选取及设定值显示装置。

3.1.2.2 应设置有高压接通时的外部报警或指示装置。

3.1.2.3 控制台或 X 射线管头组装体上应设置与探伤室防护门联锁的接口，当所有能进入探伤室的门未全部关闭时不能接通 X 射线管管电压；已接通的 X 射线管管电压在任何一个探伤室门开启时能立即切断。

3.1.2.4 应设有钥匙开关，只有在打开控制台钥匙开关后，X 射线管才能出束；钥匙只有在停机或待机状态时才能拔出。

3.1.2.5 应设置紧急停机开关。

3.1.2.6 应设置辐射警告、出束指示和禁止非授权使用的警告等标识。

4.1 防护安全要求：

4.1.1 探伤室的设置应充分考虑周围的辐射安全，操作室应与探伤室分开并尽量避开有用线束照射的方向。

4.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理。一般将探伤室墙壁围成的内部区域划为控制区，与墙壁外部相邻区域划为监督区。

4.1.3 X 射线探伤室墙和入口门的辐射屏蔽应同时满足：

a) 人员在关注点的周剂量参考控制水平，对职业工作人员不大于 $100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，对公众不大于 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

b) 关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

4.1.4 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临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 4.1.3；

b) 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 μ Sv/h。

4.1.5 探伤室应设置门-机联锁装置，并保证在门（包括人员门和货物门）关闭后 X 射线装置才能进行探伤作业。门打开时应立即停止 X 射线照射，关上门不能自动开始 X 射线照射。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。

4.1.6 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。“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。

4.1.7 照射状态指示装置应与 X 射线探伤装置联锁。

4.1.8 探伤室内、外醒目位置处应有清晰的对“预备”和“照射”信号意义的说明。

4.1.9 探伤室防护门上应有电离辐射警告标识和中文警示说明。

4.1.10 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。按钮或拉绳应当带有标签，标明使用方法。

4.1.11 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。

4.2.1 探伤工作人员进入探伤室时除佩戴常规个人剂量计外，还应配备个人剂量报警仪。当辐射水平达到设定的报警水平时，剂量仪报警，探伤工作人员应立即离开探伤室，同时阻止其他人进入探伤室，并立即向辐射防护负责人报告。

4.2.2 应定期测量探伤室外周围区域的辐射水平或环境的周围剂量当量率，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，应终止探伤工作并向辐射防护负责人报告。

4.2.3 交接班或当班使用剂量仪前，应检查剂量仪是否正常工作。如在检查过程中发现剂量仪不能正常工作，则不应开始探伤工作。

4.2.4 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。

4.2.5 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。

三、《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）及其修改单相关内容

所有危险废物产生者和危险废物经营者应建造专用的危险废物贮存设施，也可利用原有构筑物改建成危险废物贮存设施。在常温常压下不水解的、不挥发的固体危险废物可在贮存设施内分别堆放，必须将危险废物装入容器内。禁止将不相容（相互反应）的危险废物在同一容器内混装。装载液体、半固体危险废物的容器内须留足够空间，容器顶部与液体表面之间保留 100mm 以上的空间。盛装危险废物的容器上必须粘贴符合本标准所示的标签。应当使用符合标准的容器盛装危险废物。装载危险废物的容器及材质要满足相应的强度要求。装载危险废物的容器必须完好无损。盛装危险废物的容器材质和衬里要与危险废物相容（不相互反应）。危险废物堆放场所基础必须防渗，防渗层为至少 1m 厚粘土层（渗透系数 $\leq 10^{-7}$ cm/s），或 2mm 厚高密度聚乙烯，或至少 2mm 厚的其他人工材料，渗透系数 $\leq 10^{-10}$ cm/s。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1、项目地理位置和场所位置

项目涉及西安航天发动机有限公司 2 个厂区，其中老厂区位于西安市航天基地神舟二路，新厂区位于航天基地航天南路与天和四路十字东南角。项目地理位置图见图 1-1。项目焊接棒阳极射线数字成像检测系统位于新厂区 A7 厂房，SLM 检测系统位于老厂区 116 厂房，场所位置详见图 1-2、1-5。

2、环境质量现状

本次委托西安志诚辐射环境检测有限公司对拟建场所辐射环境现状进行了监测。

(1) 监测因子、点位

监测因子：X、 γ 辐射剂量率；

监测点位：拟建场所及其周边，见图 8-1。

(2) 监测时间

2021 年 12 月 6 日、2022 年 2 月 9 日。

(3) 监测仪器

表 8-1 监测仪器一览表

监测仪器	环境监测用 X、 γ 辐射空气吸收剂量率仪		
型号规格	NC-HPIC8000	仪器编号	XAZC-YQ-033
检出限	10nGy/h~100mGy/h	检定单位	国防科技工业电离辐射一级计量站
检定证书编号	GFJGJL1005210002915	检定有效期	2021.5.31~2022.5.30

(4) 质量保证措施

① 监测人员持证上岗；

② 严格按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《环境监测用 X、 γ 辐射测量仪 第一部分 剂量率仪型》（EJ/T 984-95）进行监测；

③ 监测结果经三级审核，保证监测数据的准确。

(5) 监测结果

监测结果见表 8-2、8-3。

表 8-2 A7 厂房拟建项目 X、 γ 辐射剂量率监测结果

序号	监测点位	监测点位描述		周围剂量当量率 ($\mu\text{Gy/h}$)		
				均值	标准偏差	
1	22	评片室 1		南侧	0.127	0.001
2	23			北侧	0.129	0.002
3	24			北侧通道	0.130	0.002
4	33	暗室湿区 3		0.125	0.001	
5	34	暗室干区 3		0.125	0.001	
6	35	暗室干区 4		0.125	0.001	
7	36	暗室湿区 4		0.125	0.001	
8	37	胶片检测周转区		0.123	0.001	
9	38	数字射线控制周转区 北侧通道		西侧	0.124	0.001
10	39			中部	0.124	0.001
11	40			东侧	0.124	0.001
12	41	数字射线控制周转区		西侧	0.124	0.001
13	42			中部	0.124	0.001
14	43			东侧	0.123	0.001
15	44	拟建铅房位置		0.125	0.001	
16	45	预留数字射线机房 2		0.124	0.001	
17	46	预留数字射线机房 3		0.124	0.001	

备注：监测结果已校准，未扣除仪器对宇宙射线响应值（ 39nGy/h ）。

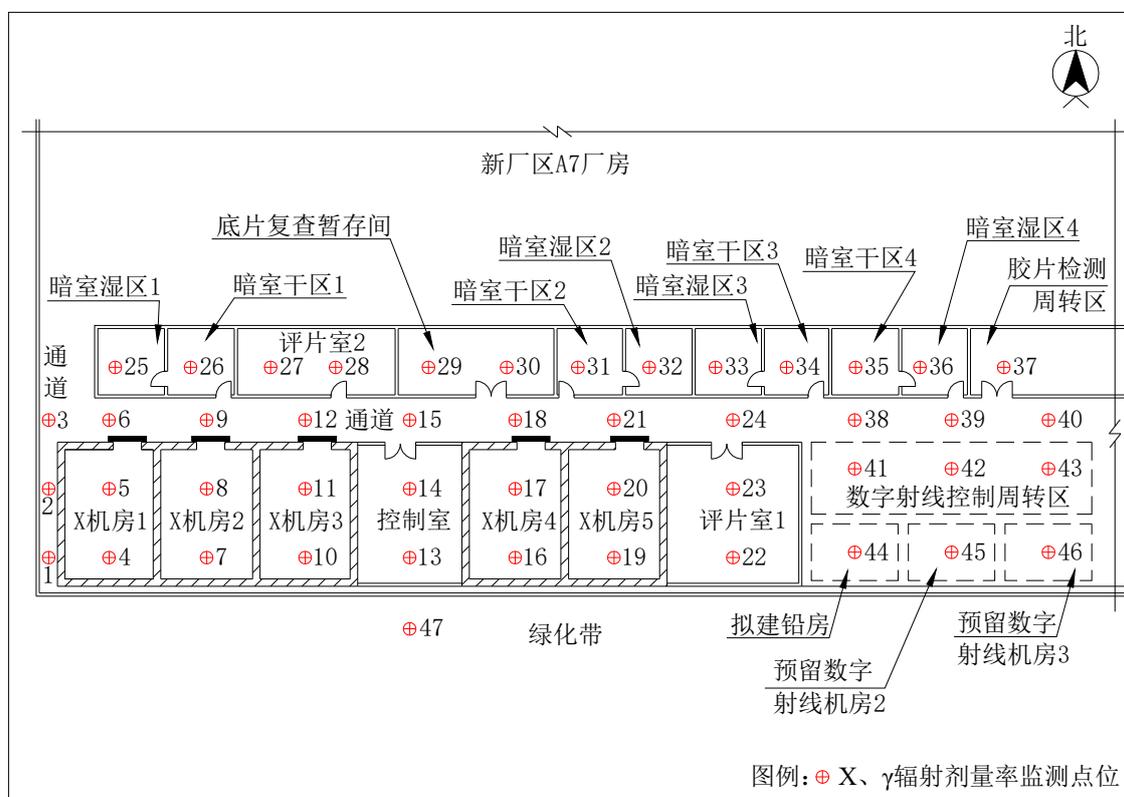


图 8-1 新厂区 A7 厂房现状监测点位示意图

表 8-3 116 厂房拟建项目 X、 γ 辐射剂量率监测结果

监测 点位	监测点位描述	周围剂量当量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	
		均值	标准偏差
1	拟建铅房位置	0.098	0.001
2	拟建铅房东侧	0.098	0.001
3	拟建铅房南侧	0.098	0.001
4	拟建铅房西侧	0.098	0.001
5	拟建铅房北侧	0.098	0.001
6	116#厂房外南侧道路	0.093	0.001

备注：监测结果已校准，未扣除仪器对宇宙射线响应值（39nGy/h）。

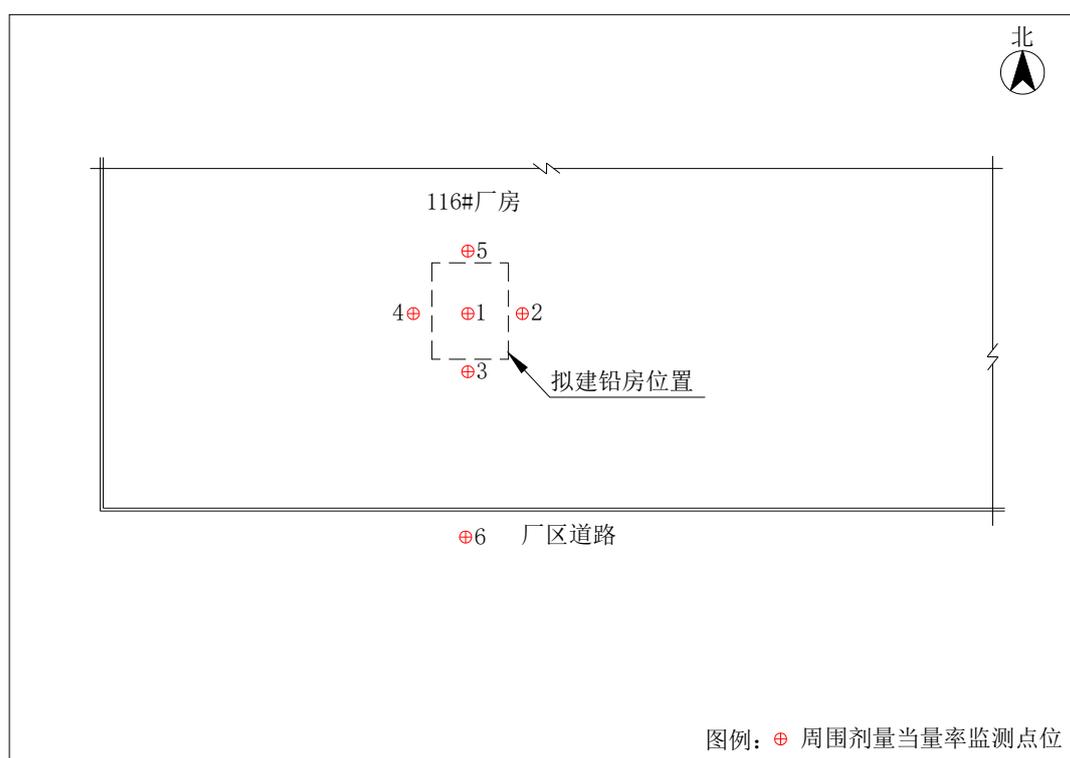


图 8-2 老厂区 116 厂房现状监测点位示意图

(6) 监测结论

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），在测量环境 γ 辐射空气吸收剂量率时，仪器读数中包含探测器对宇宙射线电离成分的响应值，不同类型探测器的宇宙射线响应值差别较大，在监测结果中应予以扣除，不扣除时应注明。

根据表 8-2、8-3，新厂区 A7 厂房拟建项目室内各监测点位 X、 γ 辐射剂量率测量值范围为 0.123~0.130 $\mu\text{Gy/h}$ ；老厂区 116 厂房拟建项目室内各监测点位 X、 γ 辐射剂量率测量值范围为 0.098 $\mu\text{Gy/h}$ ，厂房外南侧道路 X、 γ 辐射剂量率测量值为 0.093 $\mu\text{Gy/h}$ 。

扣除宇宙射线响应值后，新厂区 A7 厂房拟建项目室内各监测点位 X、 γ 辐射剂量率测量值范围为 0.084~0.091 $\mu\text{Gy/h}$ ；老厂区 116 厂房拟建项目室内各监测点位 X、 γ

辐射剂量率测量值范围为 0.059 μ Gy/h，厂房外南侧道路 X、 γ 辐射剂量率测量值为 0.054 μ Gy/h。

对照《中国环境天然放射性水平》（2015 年 7 月），西安市原野 γ 辐射剂量率范围为 50.0~117.0nGy/h，道路 γ 辐射剂量率范围为 52.0~121.0nGy/h，室内 γ 辐射剂量率范围为 79.0~130.0nGy/h。经对比，本工程拟建场所辐射环境现状监测结果属于天然辐射环境本底波动水平。

表 9 项目工程分析及源项

工程设备和工艺分析

1、焊接棒阳极射线数字成像检测系统

(1) 设备组成

根据建设单位提供的技术协议，该检测系统主要用于不锈钢、合金等材料的焊缝的无损检测，主要部件有 X 射线源、成像单元、检测平台、机械运动系统、电柜、智能提升装置、铅房等。具体结构为：铅房内设置 X 射线源、成像单元和检测平台，电柜集成于铅房左立面，智能提升装置架设在铅房的右上部，铅房正面设 1 个单电动铅门（观察铅门）、1 个双电动铅门（上料铅门）和 1 个操作位，右立面设双开维修铅门。设备结构示意图见图 9-1~9-3。

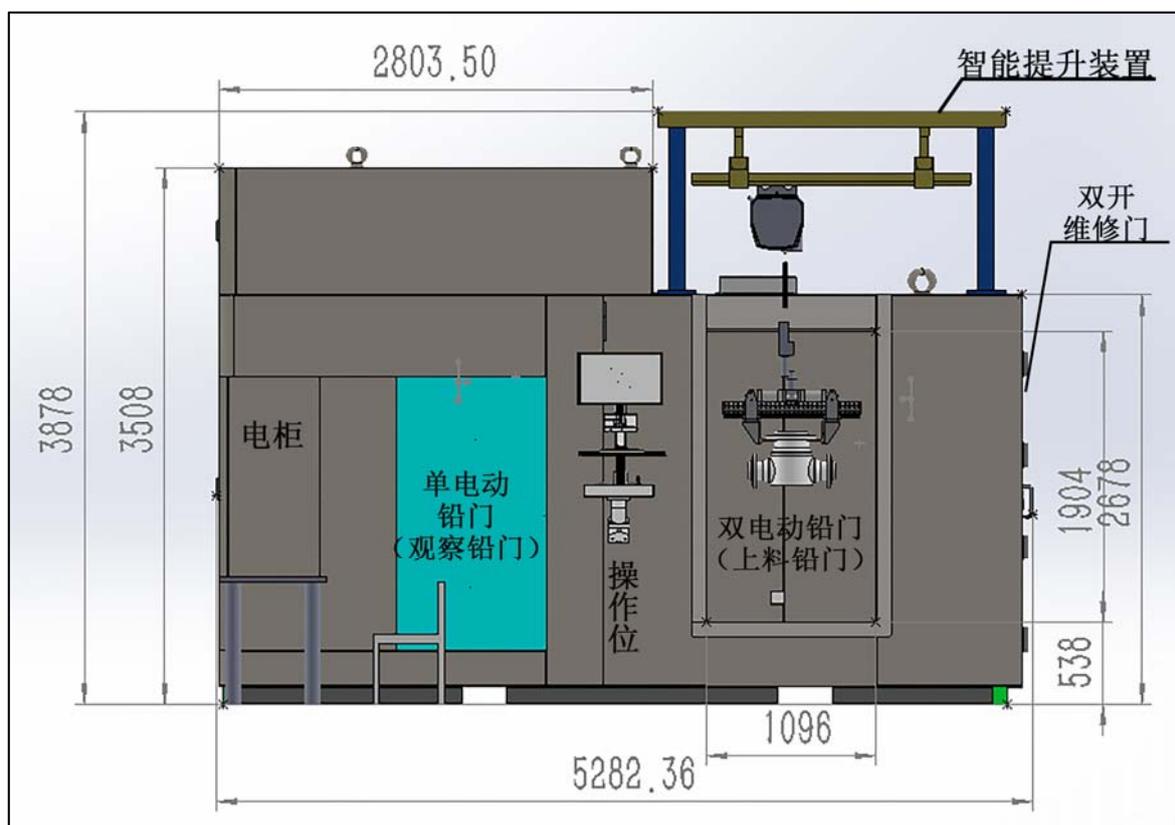


图 9-1 设备正视图（正立面）

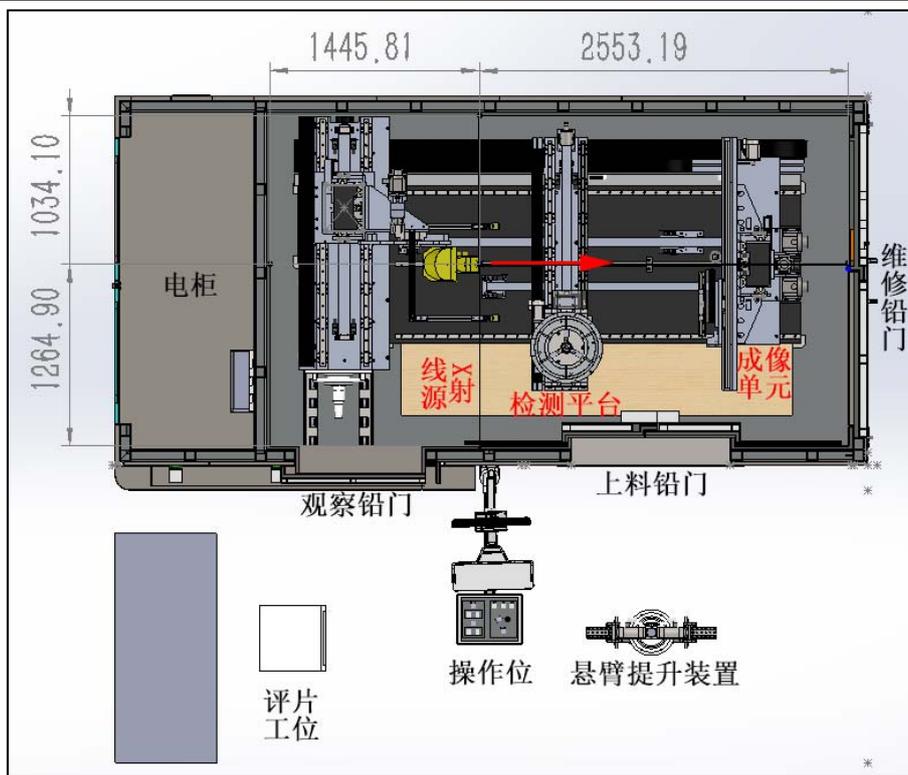


图 9-2 设备俯视图

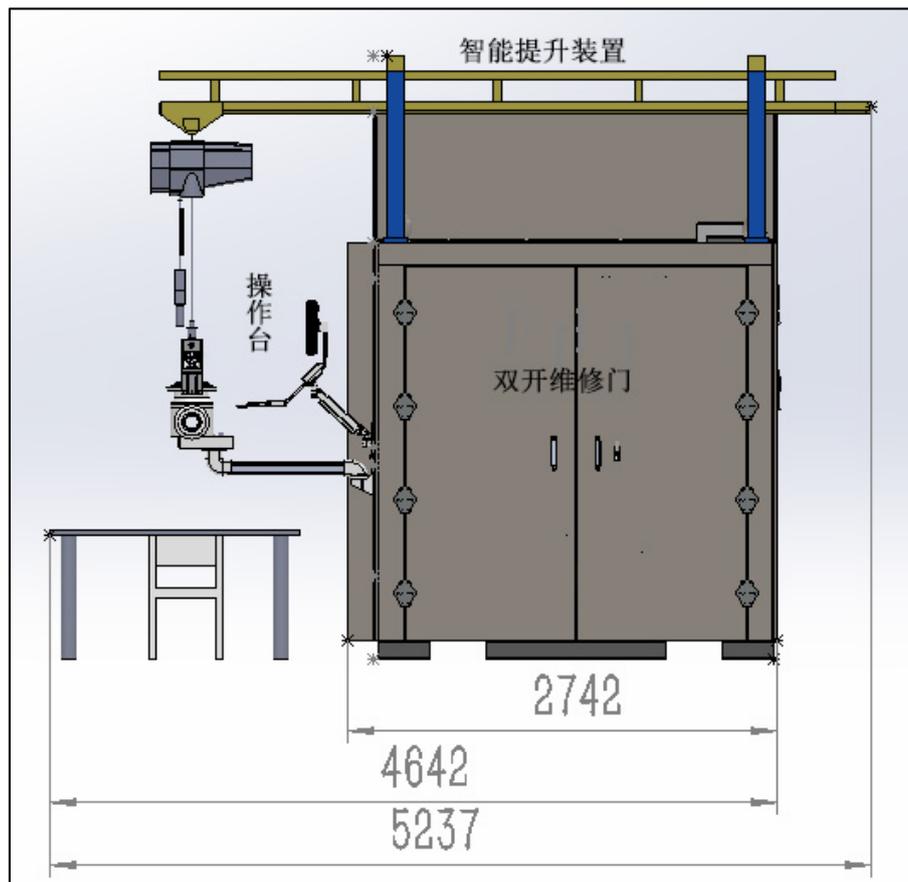


图 9-3 设备侧视图（右立面）

设备智能提升装置采用悬臂形式，配合快速装夹工具和智能辅助上下料系统可实现快速上下料，装夹工具采用带离合的电动或气动夹紧装置，可实现直径不大于 1m 的筒型产品的快速装夹。工件被安放在检测平台后，通过机械运动系统，可进行上下、前后、左右的移动，便于全方位的检测成像。

系统具备自动化检测功能，操作人员输入产品图号后，系统能依据产品类别自动调用工装参数、射线机透照参数、图像处理参数，全自动完成产品检测过程，操作人员仅需等待检测完成后分析检测结果。

根据设备厂家提供的信息，设备 X 射线源能够上下移动和前后移动，无法左右移动，移动范围与有用线束照射范围示意图见图 9-4、9-5。

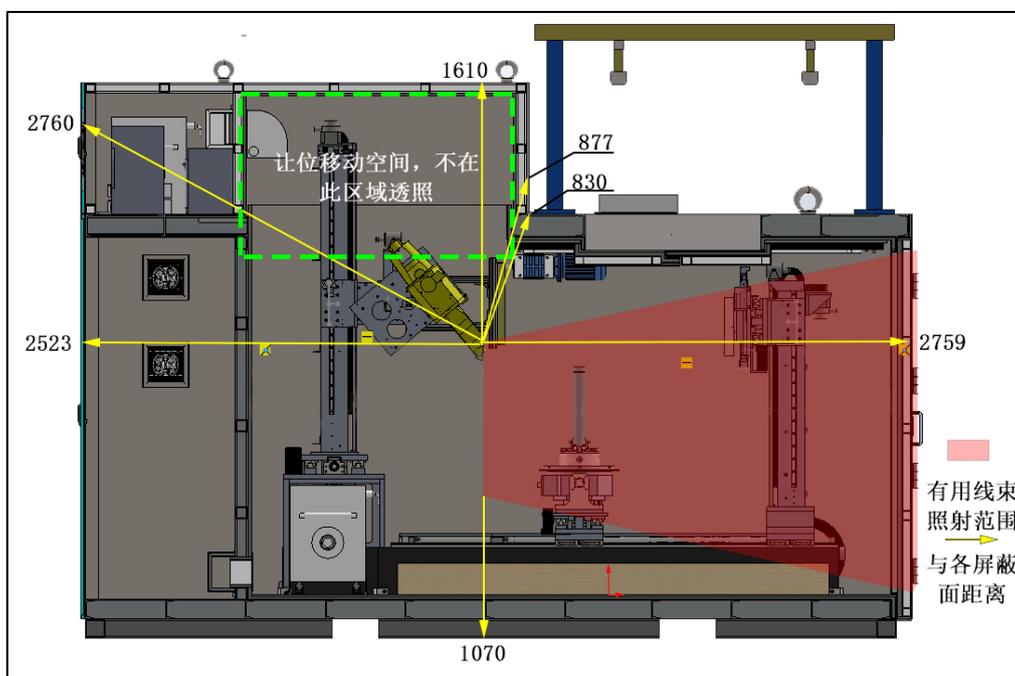


图 9-4 有用线束照射范围示意图（正视图）

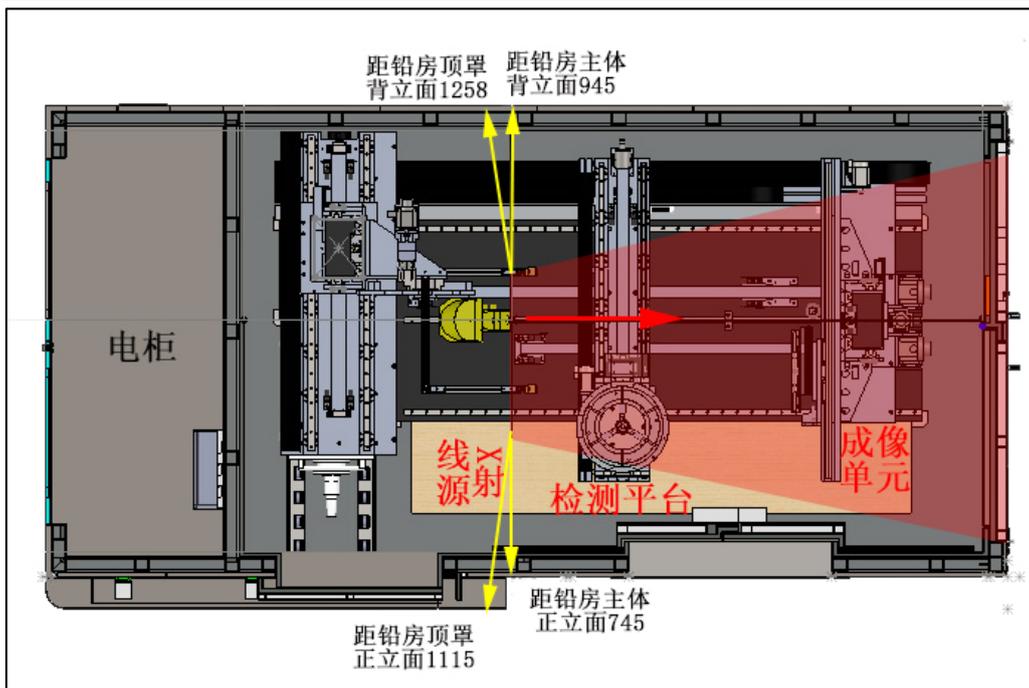


图 9-5 有用线束照射范围示意图（俯视图）

(2) 工作原理

焊接棒阳极射线数字成像检测系统是利用 X 射线能够穿透物质和在物质中有衰减的特性来发现物质缺陷的无损探伤设备，核心组件为 X 射线源。

X 射线源主要由 X 射线管和高压电源组成。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、钽等）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，直接射向嵌在金属阳极中的靶体，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到很高的速度，这些高速电子轰击靶物质，与靶物质作用产生韧致辐射，释放出 X 射线。

焊接棒阳极射线数字成像检测系统利用平板探测系统成像。平板探测系统一般配置在工件背面，能够在曝光过程中采集 X 射线的衰减信息，再在图象出路系统中运用特定算法将工件内部信息直观地显示为图象，最终通过对图象的观测分析和软件计算分析，帮助工作人员分辨工件内部结构组成、有无缺陷、材料类别以及装配状况。

(3) 操作流程及产污环节

焊接棒阳极射线数字成像检测系统主要操作流程为：

① 开机前检查所有限位、电源电压等是否正常，确认无误后开启设备电源和控制台电源。

② 在控制台操作打开观察铅门和上料铅门，用智能提升装置将工件运送至检测平台。

③ 由于检测工件尺寸较大，需通过观察铅门和上料铅门观察并调整射线源与工件位置，确认无误后关闭所有铅门，输入工件图号，系统自动调用参数，曝光检测。

④ 检测完毕后曝光停止，开启观察铅门和上料铅门，智能提升装置将工件运出铅房，准备下一轮检测。

⑤ 检测完毕后关机，工作人员分析检测结果。

该设备工作流程及产污环节图见图 9-9。

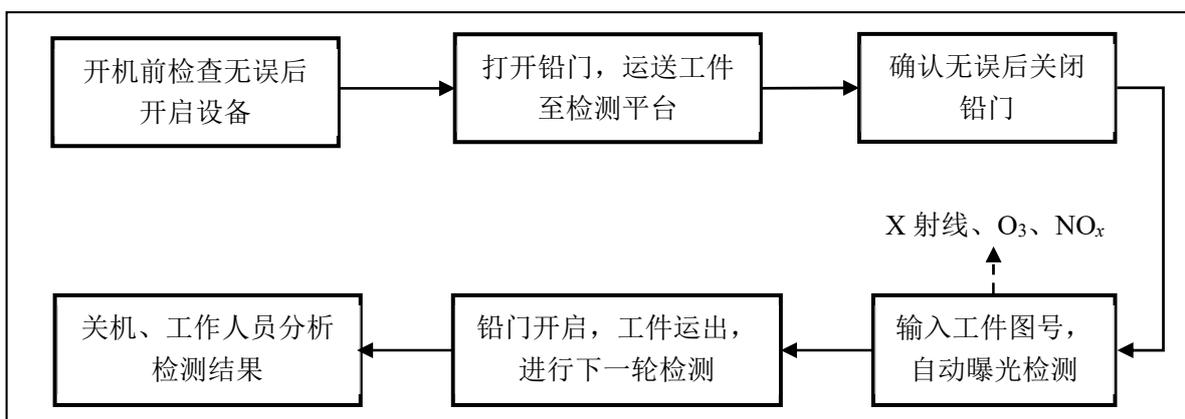


图 9-6 焊接棒阳极射线数字成像检测系统工作流程及产污环节图

2、SLM 检测系统

(1) 设备组成

根据设备厂家提供的资料，SLM 检测系统主要用于重量不大于 30kg、外形尺寸不超过 $\phi 400\text{mm} \times \text{高 } 600\text{mm}$ 的钢、钛、铝等材料的 SLM 增材制造产品的内部检测。该设备主要包括以下组件：1 台恒压高频小焦点射线机、1 台微焦点射线机、2 块探测器、1 套图像采集处理软件、1 台智能识别高清相机及软件、1 套机械运动系统、1 套控制系统、1 套工艺参数设计验证软件和 1 座铅房。

从结构单元区分，以上组件可以组成流水线结构单元、智能识别单元、机械手结构单元、检测平台单元、射线源-探测器结构等 5 部分。流水线结构单元为环形结构，设有 12 个托盘，主要用于工件的传送；智能识别单元对传送来的工件进行识别编号并自动调用程序进行检测；机械手结构单元包括机械手、快换工装夹具及夹具台，可自动调用不同的夹具装夹工件；检测平台单元为工件检测位置，可以与机械手联动完成上下料，与射线源-探测器结构单元共同完成工件的检测；射线源-探测器结构单元

根据不同的射线源及其匹配的成像板又分为 320kV 恒压高频小焦点射线源-探测器结构单元和 225kV 微焦点射线源-探测器结构单元，320kV 系统可进行数字成像及胶片成像，225kV 系统仅进行数字成像。

设备的外观示意图见图 9-7，俯视图见图 9-8。

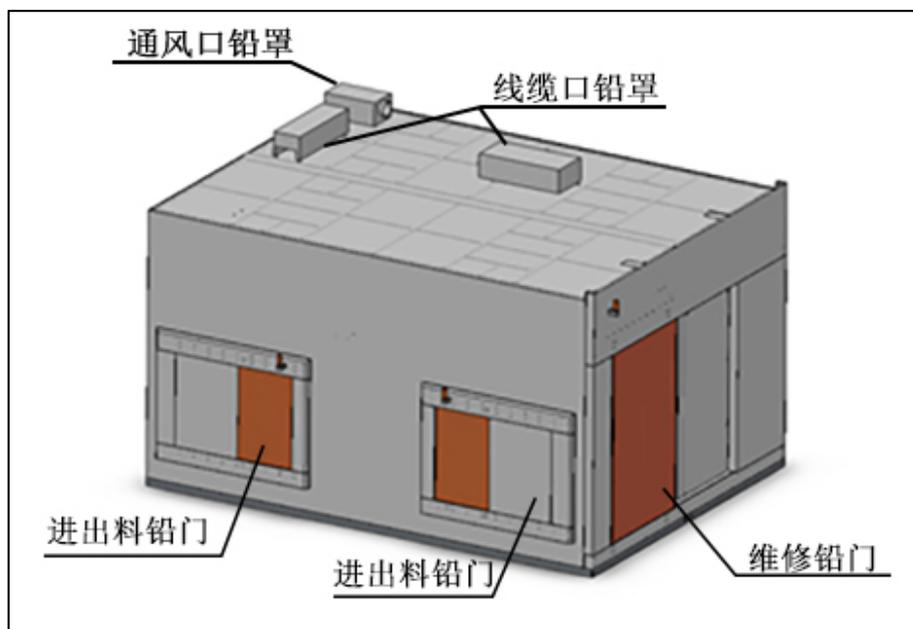


图 9-7 检测系统外观示意图

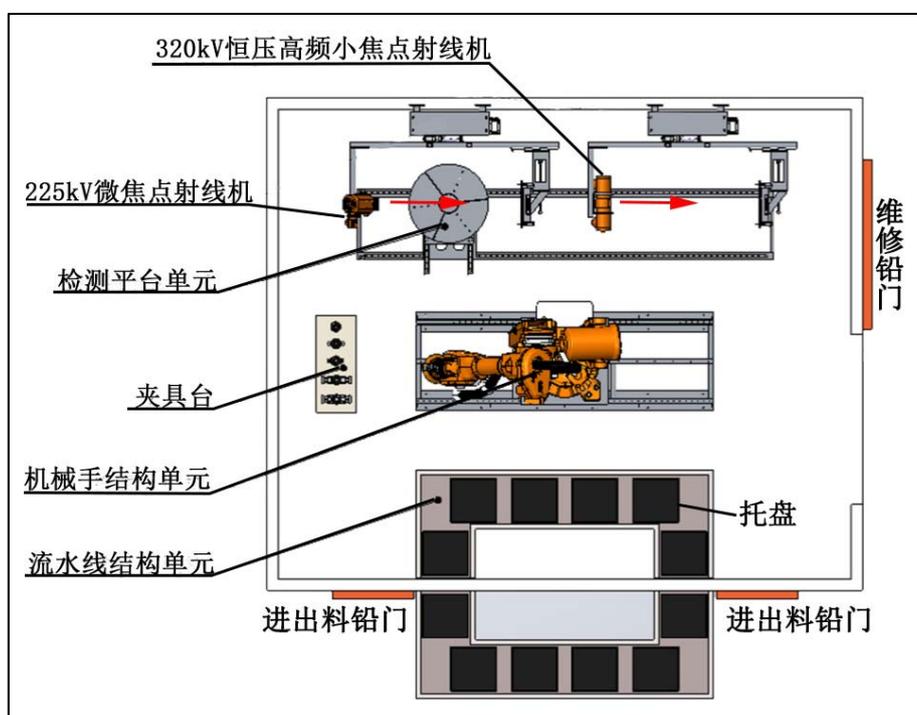


图 9-8 检测系统俯视图

射线源-探测器结构单元由射线管、成像板、立架及 C 型臂组成，见图 9-9。2 个 C 型臂均可上下移动，射线管和成像板可相对横向移动。2 个射线管主要向右立面照射，此外 320kV 射线管可向上偏转 90°，使射线从上往下照射，可向下偏转 30° 调整照射角度；225kV 射线管 C 型臂可上下偏转 30°，从而配合检测平台实现焦距、透照高度、透照角度的精确调节，各射线管只有在距底面 1280mm 以下才能向上偏转，以确保射线不会照射到顶面。射线源管头具备快速拆卸的可调节光栅，光栅上预留两组滤波板的安装卡槽。

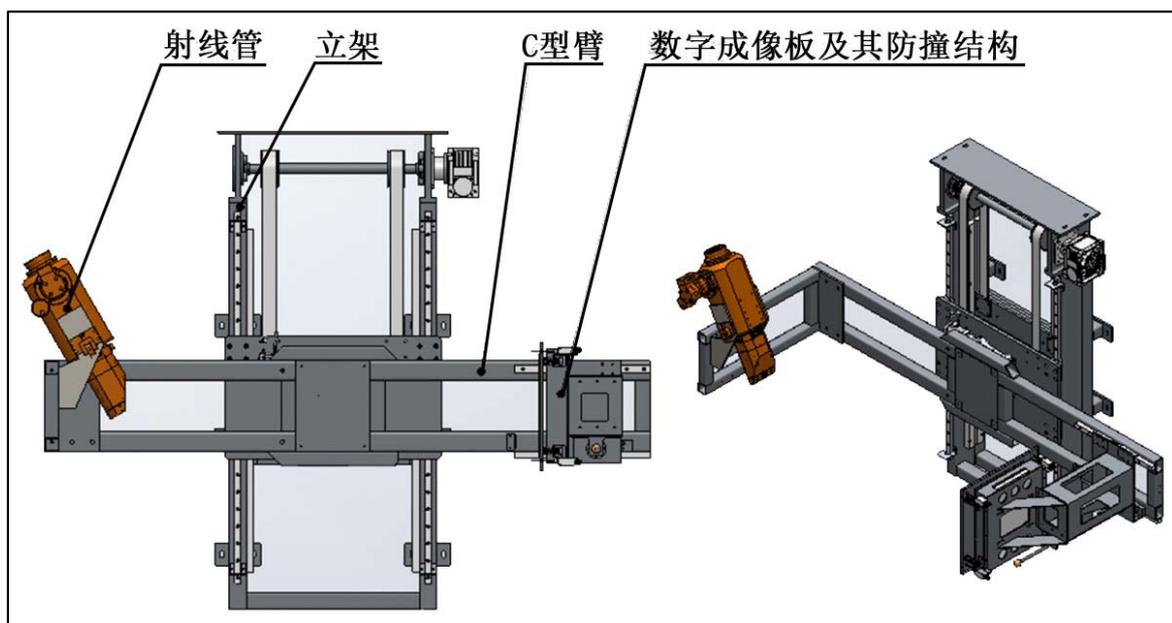


图 9-9 射线源-探测器结构单元示意图

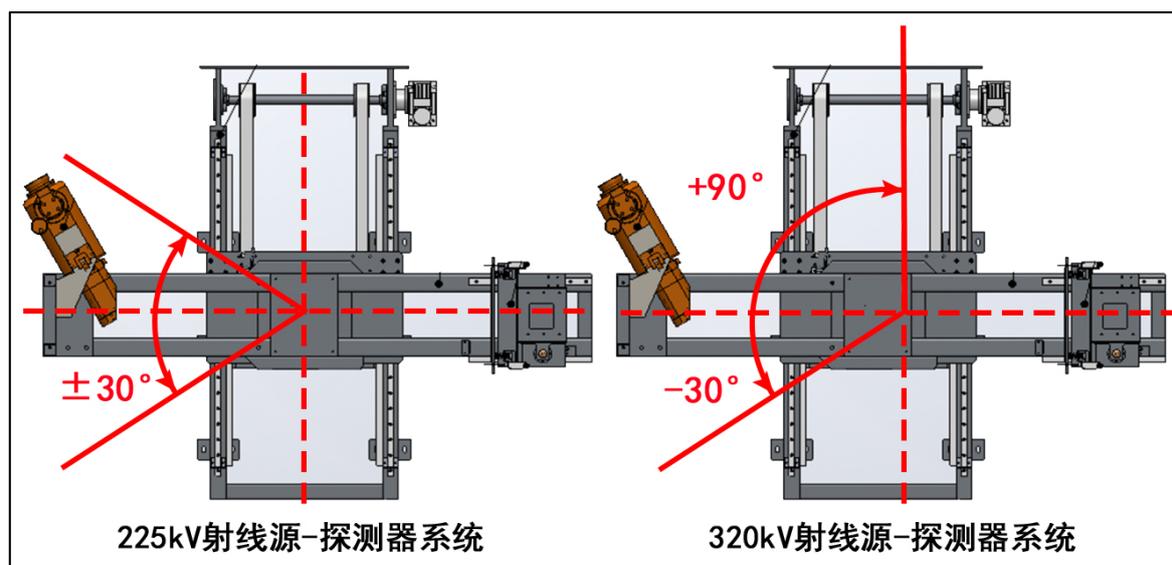


图 9-10 射线源-探测器结构单元活动范围示意图

射线源-探测器结构单元与各屏蔽面的距离与照射范围示意图见图 9-11~9-13。

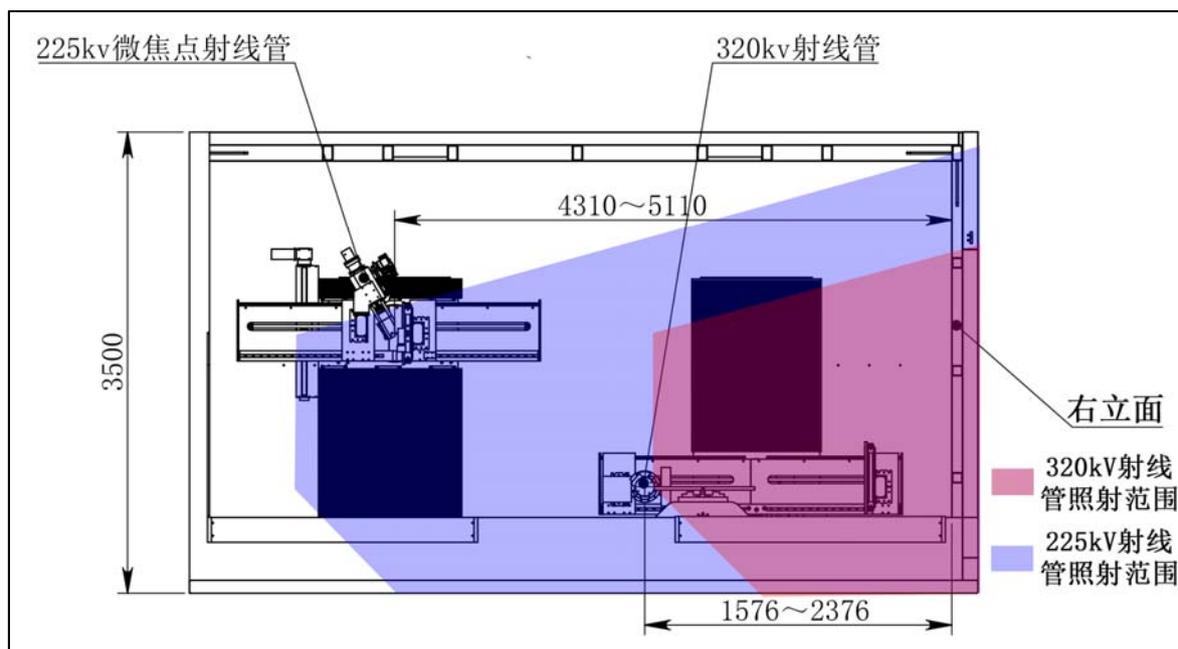


图 9-11 SLM 检测系统射线管活动范围示意图（正视图）

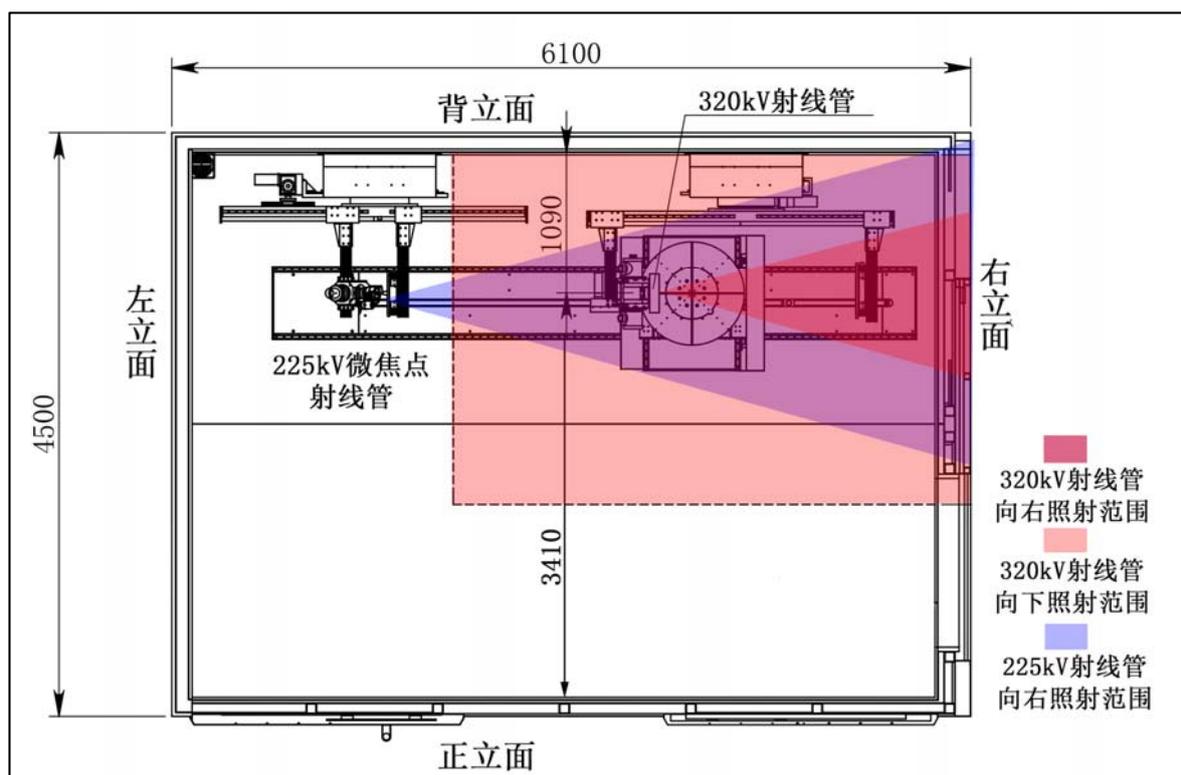


图 9-12 SLM 检测系统射线管活动范围示意图（俯视图）

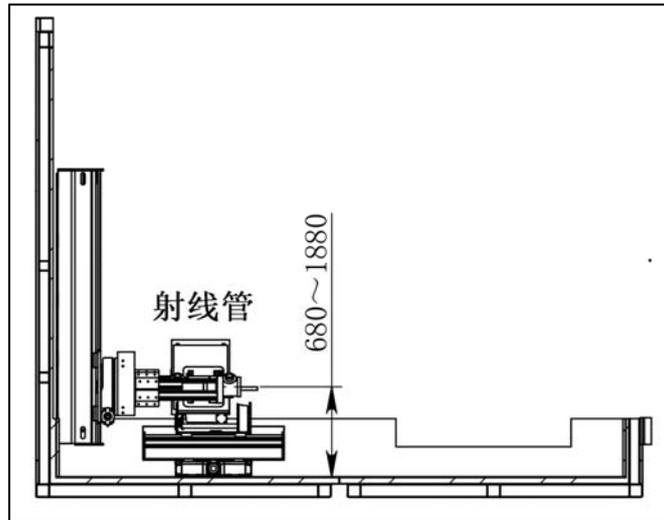


图 9-13 射线源-探测器结构单元示意图（侧视图）

(2) 工作原理

SLM 检测系统属于数字 X 射线检测系统，其基本工作原理与焊接棒阳极射线数字成像检测系统相同，主要区别为设有 2 套射线源-探测器结构。

(3) 操作流程及产污环节

根据技术协议，SLM 检测系统设有全自动化检测和人工检测两种检测模式。全自动化检测时使用平板探测器成像，人工检测时使用胶片成像，实际使用时建设单位根据需要进行选择。

全自动检测主要操作流程为：

- ① 操作人员将工件逐个码放至不同的托盘上，最多可同时放置 12 个托盘；
- ② 流水线运转，每次最多输送 6 个托盘进入铅房，随后关闭进出料铅门；
- ③ 智能识别系统识别工件并调用数据库，机械手每次抓取 1 个托盘或工件，由机械手夹持托盘或工件，或抓取工件放置在检测平台上；
- ④ 根据需要在微焦点射线系统或恒压高频小焦点射线系统中进行 X 光检测；
- ⑤ 检测完毕后，由机械手将托盘或工件转移至输送线上；
- ⑥ 重复以上步骤，直到 6 个托盘内的工件全部检测完成。
- ⑦ 开启铅门，流水线运转，将下一批工件传送进入铅房进行检测。
- ⑧ 重复以上步骤，直至检测完成，关机，工作人员分析结果。

工作流程及产污环节图见图 9-14。

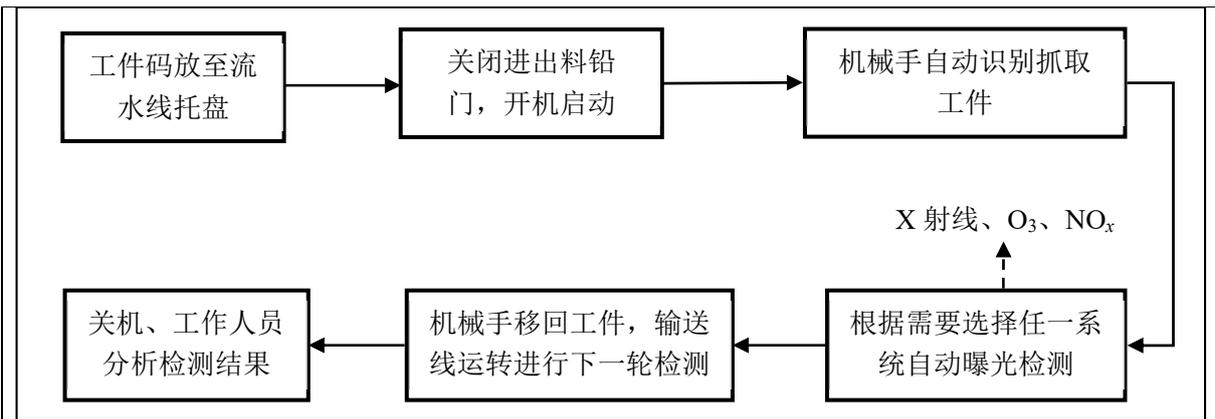


图 9-14 SLM 检测系统全自动检测模式工作流程及产污环节图

人工检测模式仅适用于320kV恒压高频小焦点射线系统，此时不使用流水线及机械手，人工搬运工件，使用胶片成像，主要操作流程为：

- ① 开启维修铅门，操作人员将工件直接放置在检测平台上并张贴胶片；
- ② 检查无误后人员离开铅房，关闭维修铅门；
- ③ 人员在控制台操作，将检测平台移动到320kV射线系统位置，射线管向上偏转，射线由上向下照射；
- ④ 移动射线管和工件，在不同角度照射成像；
- ⑤ 检测完毕，关闭X射线机，打开维修铅门；
- ⑥ 操作人员进入铅房更换工件，进行下一轮检测；
- ⑦ 全部工件检测完成后关机，工作人员分析检测结果。

工作流程及产污环节图见图9-15。

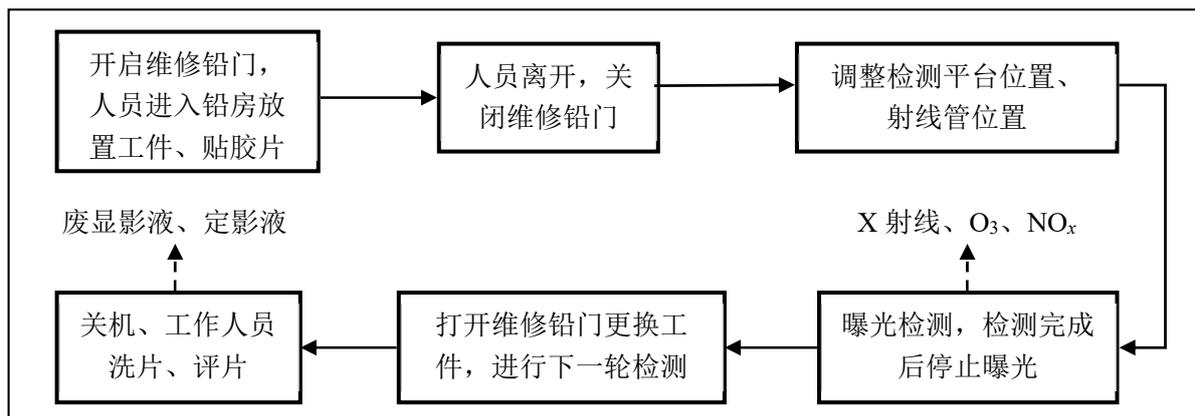


图 9-15 SLM 检测系统人工检测模式工作流程及产污环节图

污染源项描述

1、正常工况

在正常工况下，项目的主要污染源项为 X 射线、O₃ 和 NO_x 等有害气体以及废显（定）影液等，不产生放射性“三废”。

(1) X 射线

由工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因此检测期间，X 射线成为主要污染因子。

X 射线管出束期间产生的 X 射线能量在零和出束管电压之间，为连续能谱分布，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。辐射场中的 X 射线包括有用线束、泄漏射线和散射射线。

① 有用线束：直接由 X 射线管产生的电子通过打靶获得 X 射线并通过辐射窗口照射工件。射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关，靶物质原子序数、加在 X 射线管的管电压、管电流越高，光子束流越强。

② 泄漏射线：除了有用辐射束外，从辐射源组装体中泄漏出的任何其他的辐射。

③ 散射射线：由有用线束及漏射线在各种散射体（检测工件、射线接收装置、地面等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离有关。

正常运行工况下，X 射线经各屏蔽面和铅门屏蔽后在铅房外的剂量率一般低于相关标准值，对周围职业人员及公众的影响较小。

(2) 废气

当电压为 0.6kV 以上时，X 射线能使空气电离，本项目 X 射线机最大管电压范围为 225~320kV，运行时将产生少量 O₃、NO_x。

(3) 废显（定）影液

SLM 检测系统可以使用胶片成像，胶片全部由公司存档，不产生废胶片。洗片过程产生的废显（定）影液属于《国家危险废物名录》（2021 年版）中的“HW16 感光材料废物”，年产生量约 100kg，使用专用容器收集后暂存于厂区危废库，定期送交陕西新天地固体废物综合处置有限公司处置，处置协议见附件 8。

2、事故工况

在门-机连锁失效等事故情况下，人员可能受到不经屏蔽的 X 射线照射，此时剂量率较高，可能导致人员所受剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）等标准要求。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1、辐射工作场所分区及布局合理性分析

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），辐射工作场所应分为控制区及监督区，将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，需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域定为监督区。根据《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ 117-2015），一般将探伤室墙壁围成的内部区域划为控制区，与墙壁外部相邻区域划为监督区。

《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）中要求：探伤室的设置应充分考虑周围的辐射安全，操作室应与探伤室分开并尽量避开有用线束照射的方向。

项目各工作场所的分区及布局如下：

(1) 焊接棒阳极射线数字成像检测系统

① 工作场所分区

根据实际布局情况，将焊接棒阳极射线数字成像检测系统防护铅房内的区域划分为控制区，将铅房外操作位、评片工位以及西侧至评片室 1、南侧至厂房南墙、北侧和东侧外扩 1m 的范围划分为监督区。铅门外应设立醒目的、符合规定的电离辐射警告标志，监督区设立地面警戒线或围栏等标识及警示文字。

分区示意图见图 10-1。

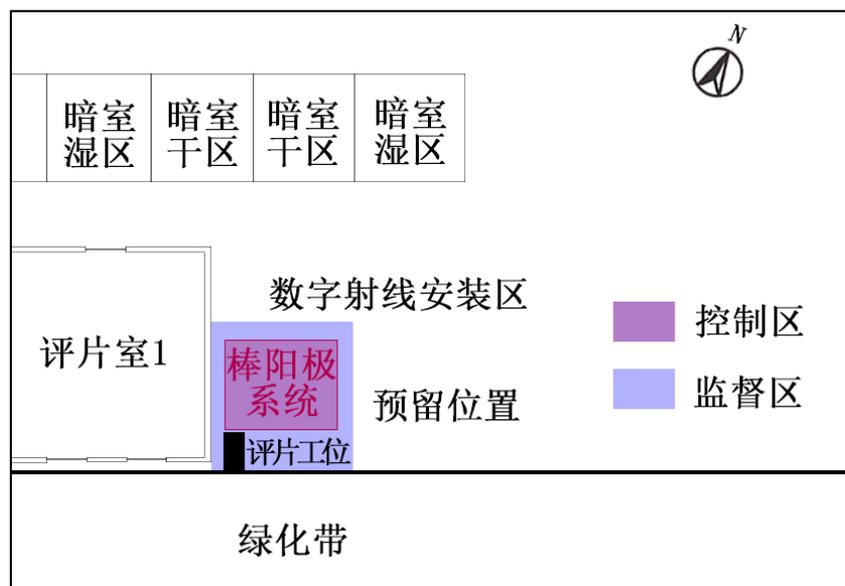


图 10-1 工作场所分区示意图

② 布局合理性分析

由图 1-4 可知，焊接棒阳极射线数字成像检测系统射线向东照射，铅门、操作位及评片工位位于南侧，可以避开射线照射方向，符合《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）中“探伤室的设置应充分考虑周围的辐射安全，操作室应与探伤室分开并尽量避开有用线束照射的方向”的要求。

(2) SLM 检测系统

① 工作场所分区

根据项目布局情况，将 SLM 检测系统防护铅房内的区域划分为控制区，铅房外控制台以及北侧、东侧、西侧外扩 1m 的范围，以及南侧至分隔墙体的范围划分为监督区。铅门外应设立醒目的、符合规定的电离辐射警告标志，监督区设立地面警戒线或围栏等标识及警示文字。分区示意图见图 10-2。

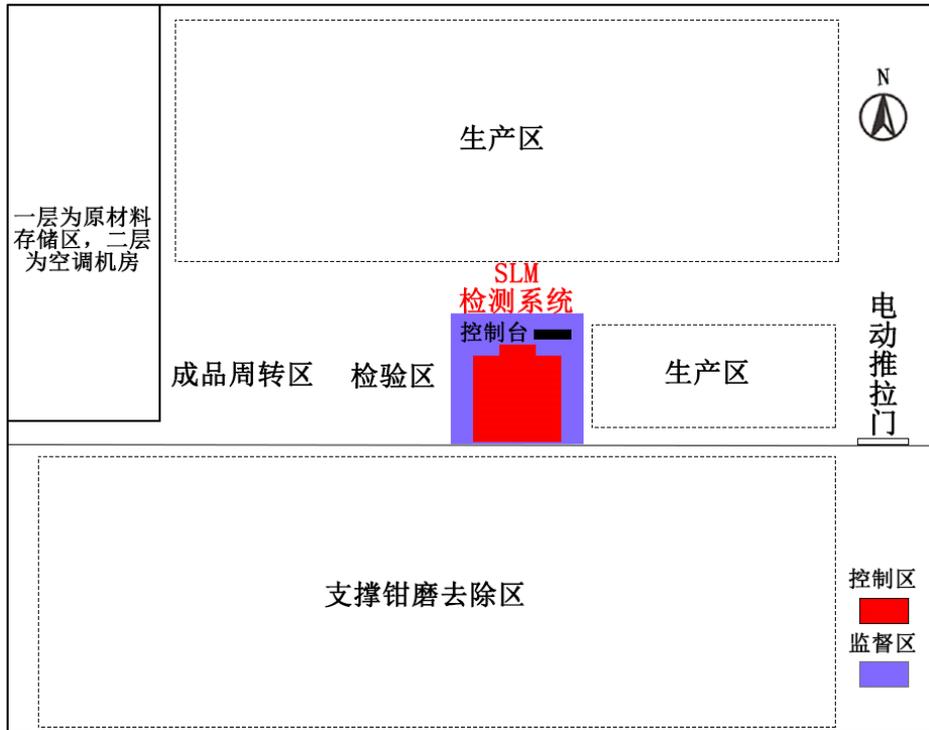


图 10-2 工作场所分区示意图

② 布局合理性分析

SLM 检测系统主要向西和向下照射，控制台位于北侧，可避开有用线束的方向，符合《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）中“探伤室的设置应充分考虑周围的辐射安全，操作室应与探伤室分开并尽量避开有用线束照射的方向”的要求，布局合理。

2、辐射防护设计

(1) 焊接棒阳极射线数字成像检测系统

① 铅房屏蔽设计

该铅房分为铅房主体和铅房顶罩两部分，具体屏蔽设计见表 10-1。

表 10-1 焊接棒阳极射线数字成像检测系统防护铅房主要设计参数

位置		设计防护厚度及材料
铅房主体	正立面	22mm Pb
	左立面	20mm Pb
	右立面	26mm Pb
	背立面	22mm Pb
	顶面	18mm Pb
	底面	18mm Pb
	单电动铅门	22mm Pb
	双电动铅门	22mm Pb
	双开维修铅门	26mm Pb
铅房顶罩	正立面	18mm Pb
	左立面	18mm Pb
	右立面	18mm Pb
	背立面	18mm Pb
	顶面	18mm Pb
铅房尺寸	长 5.282m, 宽 2.742m, 高 2.678m~3.878m	
铅门尺寸	单电动铅门高 1.808m×宽 0.987m, 双电动铅门高 1.904m×宽 1.096m	

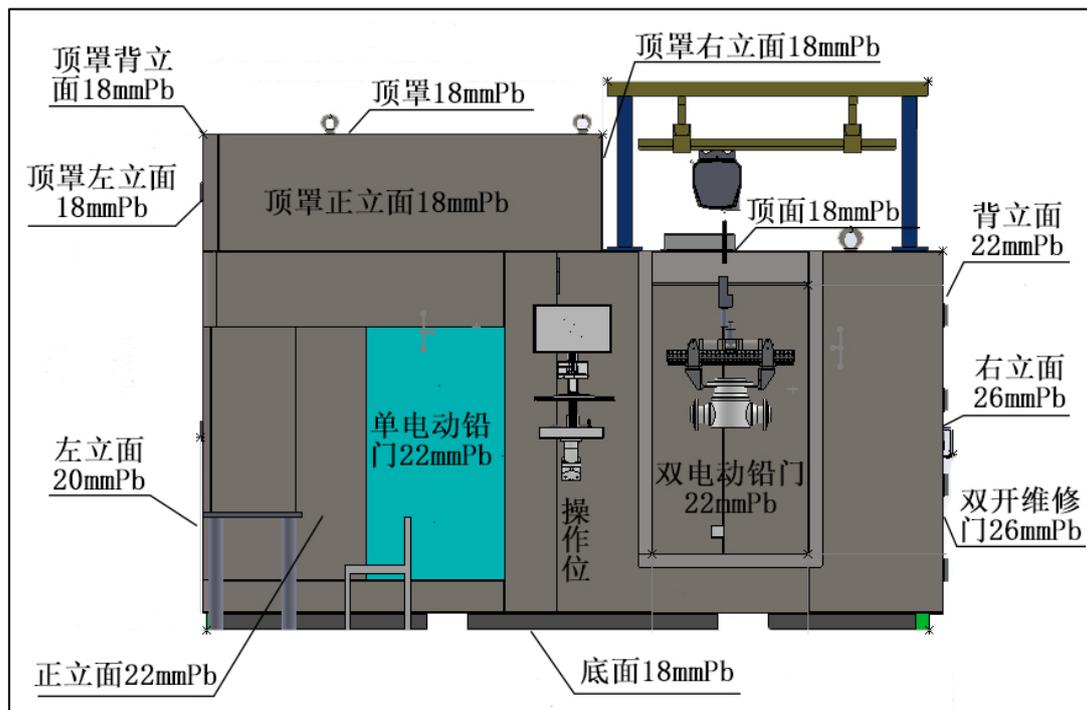


图 10-3 设备屏蔽设计示意图

② 辐射防护措施

该设备拟采取的辐射防护措施见图 10-4。

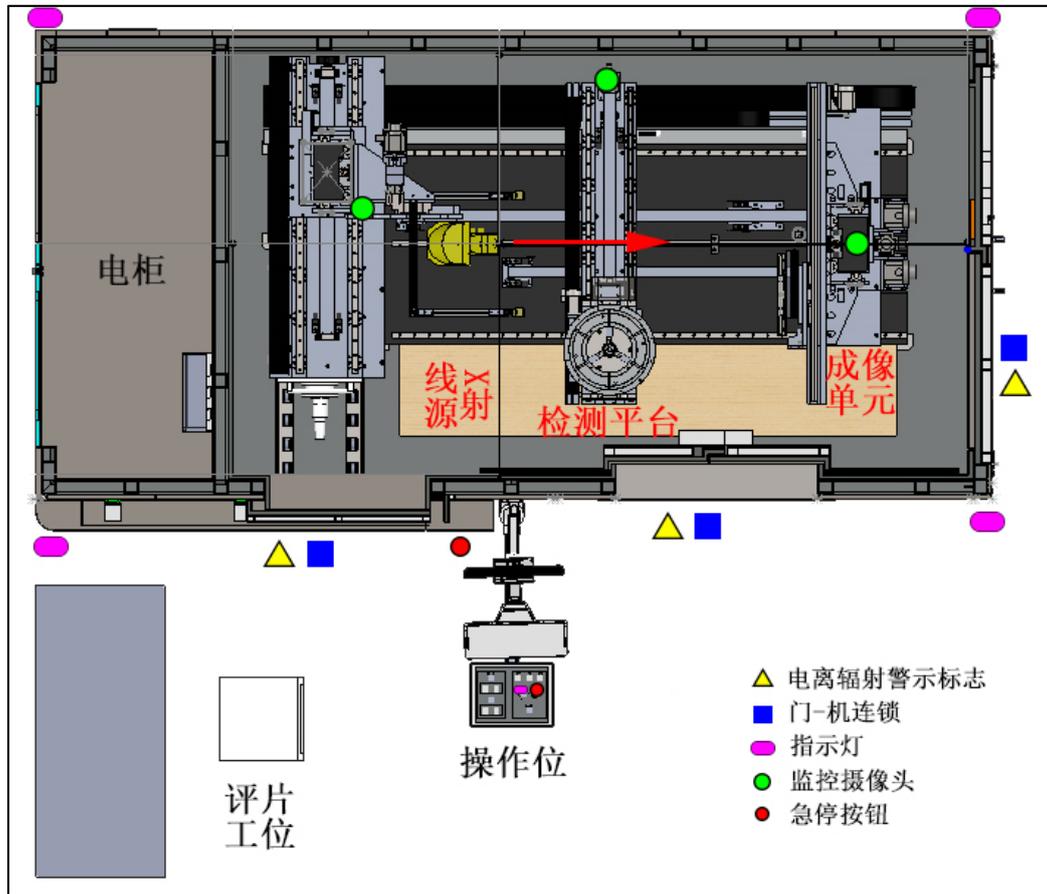


图 10-4 设备辐射防护措施示意图

该设备拟采取的辐射防护如下：

- 所有铅门外均设置电离辐射警告标识和中文警示说明；
- 所有铅门均设置门-机连锁，只有当铅门关闭到位时才能曝光，铅门打开时无法曝光。
- 在铅房顶部四角各设置 1 个工作状态指示灯，用不同颜色指示“预备”和“照射”的工作状态，并伴有声音提示；铅房外张贴“预备”和“照射”信号意义说明。
- 铅房内设置 3 个监控摄像头，方便实时关注检测过程。
- 观察铅门外设 1 个急停按钮，设标签标明使用方法，以便工作人员在紧急状态下使用，按下急停按钮后可立即停止出束。
- 铅房设置机械通风，通风量为 $369\text{m}^3/\text{h}$ ，铅房体积约为 45.17m^3 ，每小时有效通风次数约为 8 次。通风口设于正立面右下角，外部设有与主体屏蔽相同厚度的铅罩，废气排入厂房后通过厂房内的机械通风装置排至楼顶，满足《工业 X 射线探伤放射防

护要求》(GBZ 117-2015)中“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”的要求。

G 铅房防护门的搭接长度应不小于门缝间隙的10倍,避免门缝处的剂量超标。通风、电缆等管道应设置成“Z”型,同时在外部设与主体屏蔽厚度相同的铅罩进行防护,避免通风口、电缆口的剂量超标。

H X射线管头带有铭牌,标明制造厂商、型号及出厂编号、额定管电压电流等信息。

I 设备配有独立的操作台,操作台上设显示器,能够显示高压接通或断开状态,操作台上设有高压接通时的外部报警和指示装置,设有1个急停按钮,操作台与X射线管、铅门等联锁。

J 监测仪器及个人防护用品:公司已有2台X-γ辐射剂量率仪,可用于本项目工作场所的日常监测;该设备拟配备2台个人剂量报警仪,用于工作人员操作时随身携带。

③ 辐射安全设计与相关标准要求对照分析

项目拟采取的辐射安全设计与《工业X射线探伤放射防护要求》(GBZ 117-2015)、《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表》(陕环办发〔2018〕29号)的符合性分析见表10-2。

表 10-2 焊接棒阳极射线数字成像检测系统辐射防护设计对照分析

项目	要求	本项目情况	是否符合
控制台 安全性能	X射线管头应具有制造厂商、型号及出厂编号、额定管电压电流等标志	设备X射线管头自带铭牌,标有相关信息	符合
	控制台设有X射线管电压及高压接通或断开状态的显示装置	操作台设有高压接通或断开状态的显示装置	符合
	控制台设置有高压接通时的外部报警或指示装置	操作台设有高压接通的外部报警和指示装置	符合
	控制台或X射线管头组装体上设置探伤室门联锁接口	操作台及X射线管头上设置防护门联锁接口	符合
	控制台设有钥匙开关,只有在打开钥匙开关后,X射线管才能出束	操作台设有钥匙开关,只有打开开关后方能出束	符合
	控制台设有紧急停机开关	操作台设有急停开关	符合
分区	按标准要求划分控制区、监督区	将铅房内区域划分为控制区,周边相应区域划分为监督区	符合
	控制区:探伤室墙围成的内部区域		
	监督区:探伤室墙壁外部相邻的区域		
布局	操作室与探伤室分开,并避开有用线束照射的方向	操作台与铅房分开,并避开有用线束照射方向	符合

通风	探伤室设置机械通风装置，排风管道外口避开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	铅房内每小时有效通风次数约为8次，通风最终排至楼顶，避开人员密集区	符合
标志及指示灯	探伤室防护门设置电离辐射警示标志和中文警示说明	各铅门外张贴电离辐射警告标识和中文警示说明	符合
	探伤室门口和内部同时设置显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，照射状态指示装置与X射线探伤装置连锁	铅房顶部四角各设置1个工作状态指示灯，用不同颜色指示工作状态，并伴有声音提示，指示灯与X射线管连锁	铅房一般无人进入，符合
	探伤室内、外醒目位置处设置清晰的“预备”和“照射”信号意义说明	铅房外张贴“预备”和“照射”信号意义说明	符合
辐射安全与连锁	探伤室设置门-机连锁装置	铅房门均设置门-机连锁	符合
	探伤室内设置紧急停机按钮或拉绳，并带有标签，标明使用方法	观察铅门外设置1个急停按钮，设标签标明使用方法	铅房一般无人进入，符合
监测设备及个人防护用品	X-γ剂量率监测仪、个人剂量计、个人剂量报警仪等	厂区已有2台X-γ剂量率监测仪；辐射工作人员已配备个人剂量计；配备2台个人剂量报警仪	符合

综上，焊接棒阳极射线数字成像检测系统的辐射防护设计基本满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ 117-2015）、《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表》（陕环办发〔2018〕29 号）中相关要求。

(3) SLM 检测系统

① 辐射屏蔽设计

该设备防护铅房为六面封闭式结构，设 2 个工件进出铅门、1 个维修铅门，主射束向右立面照射。根据公司提供的资料，铅房各面的屏蔽参数见表 10-3。铅房屏蔽设计示意图见图 10-5。

表 10-3 SLM 检测系统防护铅房主要设计参数

序号	位置	设计防护厚度及材料
1	正立面	23mm Pb
2	左立面	23mm Pb
3	右立面	45mm Pb
4	背立面	23mm Pb
5	顶面	23mm Pb
6	底面	45mm Pb
7	进出料铅门 1、2	23mm Pb
8	维修铅门	45mm Pb
9	铅房尺寸	长 6m×宽 4.5m×高 3.5m

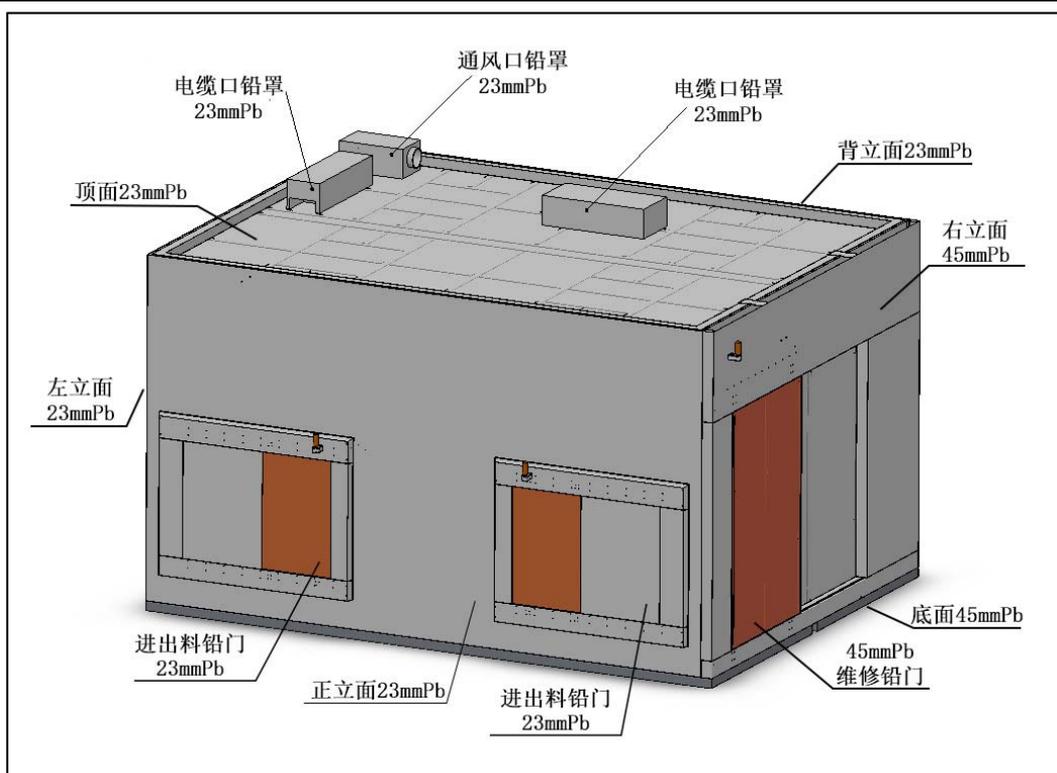


图 10-5 铅房屏蔽设计示意图

② 辐射防护设计

该设备拟采取的辐射防护如下，辐射防护设计图见图 10-6。

A 所有铅门外均设置电离辐射警告标识和中文警示说明；

B 所有铅门均设置门-机连锁，只有当门关闭时才能出射线；门打开时无法出束。

C 进出料铅门及维修铅门外各设置 1 个工作状态指示灯，可用红黄绿三种不同颜色指示工作状态，并伴有声音提示，进出料铅门外各配备 1 个工作牌，可根据工作状态显示“准备”、“曝光”等文字。铅房外张贴“准备”和“曝光”信号意义说明。

D 铅房内设置 4 个监控摄像头，方便实时关注进出料及检测过程。

E 铅房内设 2 个急停按钮、上下料铅门外设 1 个急停按钮，控制台设 1 个急停按钮，以便紧急状态下工作人员使用，按下急停按钮后可立即停止出束。

F 铅房设置有机机械通风，通风量不小于 $567\text{m}^3/\text{h}$ ，铅房体积约为 94.5m^3 ，每小时有效通风次数约为 6 次。排气口位于铅房顶部，外部设有 23mmPb 的铅罩，废气排入厂房后通过厂房内的机械通风装置排至室外，满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ 117-2015）中“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”的要求。

G 铅房防护门的搭接长度应不小于门缝间隙的 10 倍，避免门缝处的剂量超标。

通风、电缆等管道应设置成“Z”型，同时在外部设与主体屏蔽厚度相同的铅罩进行防护，避免通风口、电缆口的剂量超标。

H 2 个 X 射线管头均带有铭牌，标明制造厂商、型号及出厂编号、额定管电压电流等信息。

I 设备配备独立的控制台，控制台上设显示器，能够显示高压接通或断开状态，设有高压接通时的外部报警和指示装置，操作台与 X 射线管、铅门等联锁。控制台上设有钥匙开关，只有在打开钥匙开关后方能曝光出来。

J 监测仪器及个人防护用品：企业已配备 2 台 X-γ 剂量率监测仪，可用于本项目辐射工作场所的日常检测；该设备拟配备 2 台个人剂量报警仪，用于工作人员进出铅房时随身携带。

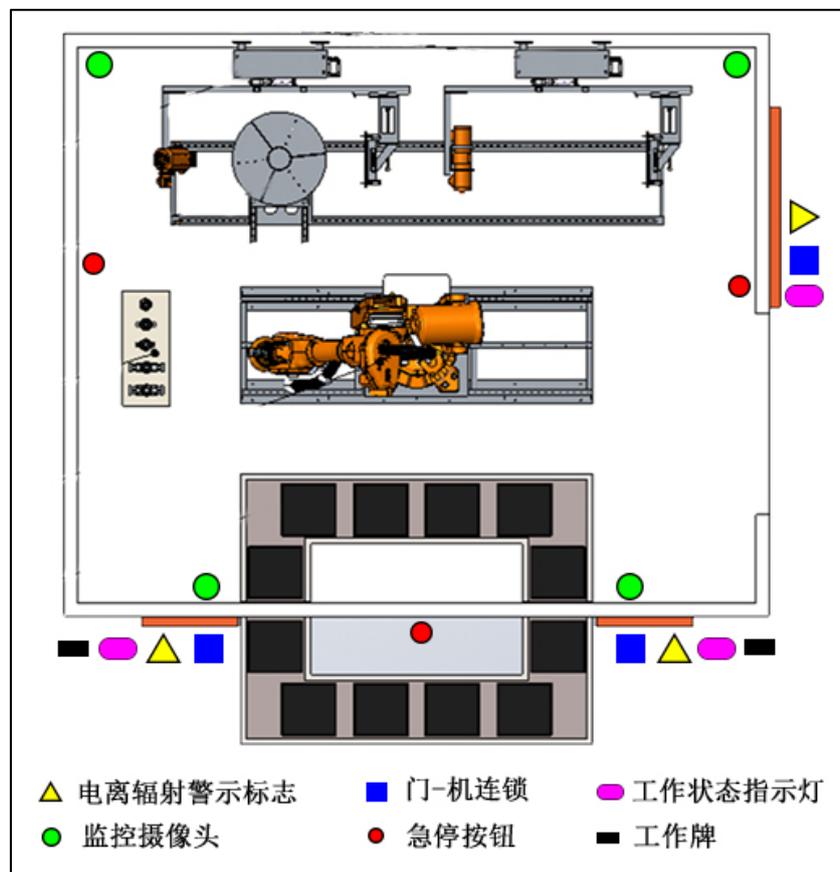


图 10-6 铅房防护设计示意图

③ 辐射安全设计与相关标准要求对照分析

项目拟采取的辐射安全设计与《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ 117-2015)、《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表》(陕环办发〔2018〕29 号)的符合性分析见表 10-4。

表 10-4 SLM 检测系统辐射防护设计对照分析

项目	要求	本项目情况	是否符合
控制台安全性能	X射线管头应具有制造厂商、型号及出厂编号、额定管电压电流等标志	设备 X 射线管头自带铭牌，标有相关信息	符合
	控制台设有X射线管电压及高压接通或断开状态的显示装置	控制台设有高压接通或断开状态的显示装置	符合
	控制台设置有高压接通时的外部报警或指示装置	控制台设有高压接通的外部报警和指示装置	符合
	控制台或X射线管头组装体上设置探伤室门连锁接口	控制台及 X 射线管头上设置防护门连锁接口	符合
	控制台设有钥匙开关，只有在打开钥匙开关后，X射线管才能出束	控制台设有钥匙开关，只有打开开关后方能出束	符合
	控制台设有紧急停机开关	控制台设有急停开关	符合
分区	按标准要求划分控制区、监督区	将铅房内区域划分为控制区，周边相应区域划分为监督区	符合
	控制区：探伤室墙围成的内部区域		
	监督区：探伤室墙壁外部相邻的区域		
布局	操作室与探伤室分开，并避开有用线束照射的方向	控制台与铅房分开，并避开有用线束照射方向	符合
通风	探伤室设置机械通风装置，排风管道外口避开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	铅房内每小时有效通风次数约为 6 次，通风最终排至楼顶，避开人员密集区	符合
标志及指示灯	探伤室防护门设置电离辐射警示标志和中文警示说明	各铅门外张贴电离辐射警告标识和中文警示说明	符合
	探伤室门口和内部同时设置显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，照射状态指示装置与X射线探伤装置连锁	铅门外各设置 1 个工作状态指示灯，用不同颜色指示工作状态，并伴有声音提示，指示灯与 X 射线管连锁	符合
	探伤室内、外醒目位置处设置清晰的“预备”和“照射”信号意义说明	铅房外张贴“准备”和“曝光”信号意义说明	符合
辐射安全与连锁	探伤室设置门-机连锁装置	铅房门均设置门-机连锁	符合
	探伤室内设置紧急停机按钮或拉绳，并带有标签，标明使用方法	铅房内设置 2 个急停按钮，上下料铅门外设 1 个急停按钮，设标签标明使用方法	符合
监测设备及个人防护用品	X-γ剂量率监测仪、个人剂量计、个人剂量报警仪等	厂区已有2台X-γ剂量率监测仪；辐射工作人员已配备个人剂量计；配备2台个人剂量报警仪	符合

综上，SLM 检测系统的辐射防护设计满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ 117-2015）、《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表》（陕环办发〔2018〕29 号）中相关要求。

三废的治理

本项目不产生放射性“三废”，非放射性废物主要为空气电离产生的 O₃、NO_x 以及废显（定）影液等。

(1) O₃、NO_x

本项目焊接棒阳极射线数字成像检测系统铅房的通风量为 369m³/h，每小时有效通风次数约为 8 次，废气排入厂房后通过厂房内的机械通风装置排至室外。SLM 检测系统铅房的通风量不小于 567m³/h，每小时有效通风次数约为 6 次，废气排入厂房后通过厂房内的机械通风装置排至室外。

以上措施满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ 117-2015）中“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”的要求。项目产生的 O₃、NO_x 较少，O₃ 在一定时间后可分解为氧气，经自然扩散后，对周围环境影响不大。

(2) 废显（定）影液

本项目 SLM 检测系统使用胶片成像，洗片时将产生废显（定）影液，年产生量约为 100kg。废显（定）影液属于《国家危险废物名录》（2021 年版）中的“HW16 感光材料废物”，建设单位拟采用专用容器收集后暂存于危废库，定期送交陕西新天地固体废物综合处置有限公司处置，处置协议见附件。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

建设期间主要环境影响为铅房吊装、安装等过程产生的噪声以及施工人员生活污水、生活垃圾。项目施工现场位于车间内，铅房为组合式拼装结构铅房，安装过程较方便，施工噪声造成的影响不大。生活垃圾和生活废水产生量较小，生活污水依托公司现有污水处理设施处理，生活垃圾纳入厂区现有垃圾清运系统。综上所述，本项目建设阶段对环境产生影响较小。

通过以上措施，本项目建设阶段对环境产生的影响较小。

运行阶段对环境的影响

运行期主要环境影响为焊接棒阳极射线数字成像检测系统、SLM 检测系统高压出束时 X 射线对铅房四周屏蔽面、顶面、防护门外各关注点形成的外照射。本次采用理论估算的方法分析外照射环境影响，首先核算各辐射工作场所屏蔽设计是否满足防护需求，再估算运行期各关注点的剂量率及个人年有效剂量。

一、理论估算模式

估算模式参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）。将本项目铅房视为探伤室进行计算。

(1) 确定铅房各方向外关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}c.d$ ($\mu\text{Sv/h}$)。

$$\dot{H}c.d = Hc / (t \cdot U \cdot T) \quad \text{公式 1}$$

式中： $\dot{H}c$ 为周剂量参考控制水平，单位为 $\mu\text{Sv/周}$ ；

U 为射线装置向关注点方向照射的使用因子；

T 为人员在相应关注点驻留的居留因子；

t 为射线装置周照射时间，单位为 h/周 。

关注点剂量率参考控制水平 $\dot{H}c$ 为 $\dot{H}c.d$ 和 $\dot{H}c.max=2.5\mu\text{Sv/h}$ 中的较小值。

(2) 铅房顶部的剂量率参考控制水平应满足下列要求：

① 铅房上方已建、拟建建筑物或铅房旁邻近建筑物在自辐射源点到铅房顶内表面边缘所张立体角区域内时，距铅房顶外表面 30cm 处和（或）在该立体角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(1)。

② 除①的条件外，应考虑下列情况：

a 穿过铅房顶的辐射与室顶上方空气作用产生的散射辐射对铅房外地面附近公

众的照射。该项辐射和穿出铅房屏蔽面的透射辐射在相应关注点的剂量率总和，应按(1)的剂量率参考控制水平 \dot{H}_C ($\mu\text{Sv/h}$) 加以控制。

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

(3) 有用线束的屏蔽

a 关注点满足剂量率参考控制水平 \dot{H}_C 时，所需的屏蔽物质的透射因子 B 按下式计算，然后由《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 附录 B.1 曲线查出相应的屏蔽物质厚度 X ：

$$B = \dot{H}_C \cdot R^2 / I \cdot H_0 \quad \text{公式 2}$$

式中： \dot{H}_C 为剂量率控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R 为辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

I 为 X 射线装置在最高管电压下的最大管电流，mA；

H_0 为距离辐射源点（靶点）1m 处的输出量， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 / (\text{mA}\cdot\text{h})$ ，以 $\text{mSv}\cdot\text{m}^2 / (\text{mA}\cdot\text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 。

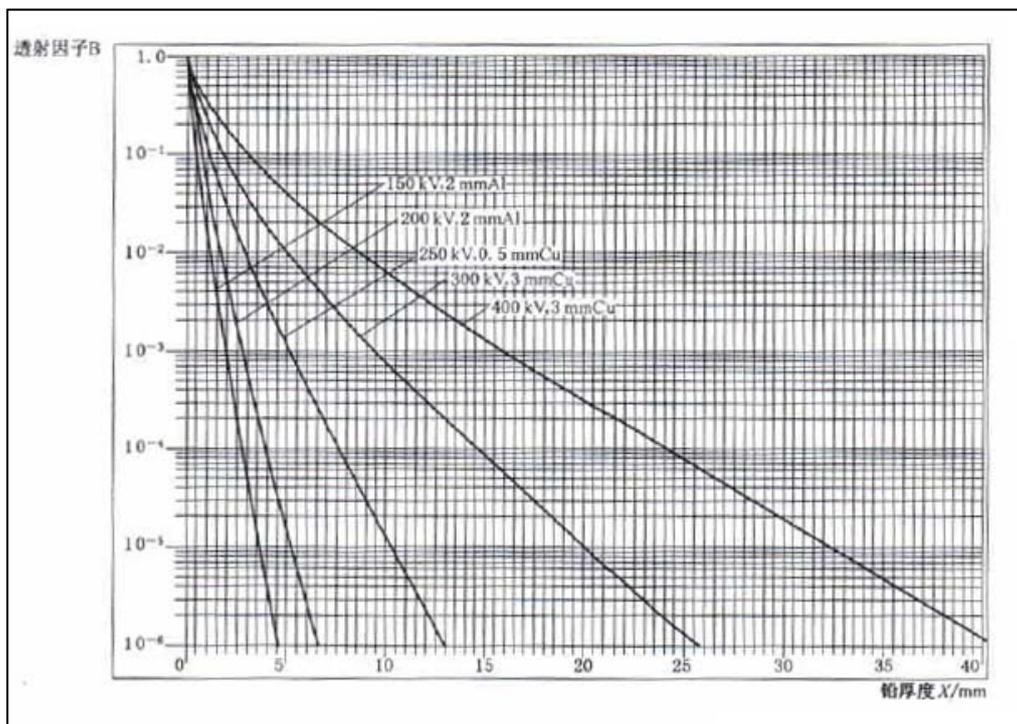


图 11-1 X 射线穿过铅的透射

b 对于给定的屏蔽物质 X ，由《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 附录 B.1 曲线查出相应的屏蔽透射因子 B ，或由公式 3 求出对应的屏蔽透射因

子 B 。再按照公式 4 计算关注点的剂量 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)。

$$X = -TVL \cdot \lg B \quad \text{公式 3}$$

式中: TVL 为屏蔽物质的什值层厚度, mm ;

B 为达到剂量率参考控制水平 \dot{H}_C 时所需的屏蔽透射因子。

$$H = (I \cdot H_0 \cdot B) / R^2 \quad \text{公式 4}$$

式中: I 为 X 射线探伤装置在最高管电压下的最大管电流, mA ;

H_0 为距离辐射源点 (靶点) 1m 处的输出量, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 / (\text{mA}\cdot\text{h})$, 以 $\text{mSv}\cdot\text{m}^2 / (\text{mA}\cdot\text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 ;

B 为屏蔽透射因子;

R 为辐射源点 (靶点) 至关注点的距离, m 。

(4) 泄漏辐射的屏蔽

a 泄漏辐射屏蔽物质所需的透射因子按照以下公式计算, 然后按照公式 3 计算所需的屏蔽物质厚度:

$$B = \dot{H}_C \cdot R^2 / H_L \quad \text{公式 5}$$

式中: \dot{H}_C 为剂量率控制水平, $\mu\text{Sv/h}$;

R 为辐射源点 (靶点) 至关注点的距离, m ;

H_L 为距离辐射源点 (靶点) 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$ 。

b 对于给定的屏蔽物质厚度 X , 相应的辐射屏蔽因子按公式 6 计算, 泄漏辐射的关注点的剂量率 \dot{H} 按公式 7 计算:

$$B = 10^{-X/TVL} \quad \text{公式 6}$$

式中: X 为屏蔽物质厚度, 与 TVL 取相同的单位;

TVL 为屏蔽物质的什值层厚度;

$$\dot{H} = (H_L \cdot B) / R^2 \quad \text{公式 7}$$

式中: B 为屏蔽透射因子;

R 为辐射源点 (靶点) 至关注点的距离, m ;

H_L 为距离辐射源点 (靶点) 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$ 。

(5) 散射辐射的屏蔽

a 关注点达到剂量率参考控制水平时屏蔽设计所需的透射因子 B 按下式计算：

$$B = \dot{H}_C \cdot R_s^2 / I \cdot H_0 \cdot R_0^2 / F \cdot a \quad \text{公式 8}$$

式中： \dot{H}_C 为剂量率控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R_s 为散射体至关注点的距离， m ；

R_0 为辐射源点至探伤工件的距离， m ；

I 为 X 射线探伤装置在最高管电压下的最大管电流；

H_0 为距离辐射源点（靶点） 1m 处的输出量， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 / (\text{mA}\cdot\text{h})$ ；

F 为 R_0 处的辐射野面积， m^2 ；

a 为散射因子，入射辐射被单位面积散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。

b X 射线 90° 散射辐射的最高能量低于 X 射线的最高能量，使用该散射 X 射线最高能量相应的 X 射线的 TVL 计算其在屏蔽物质中的辐射衰减。用公式 8 计算出屏蔽透射因子后再用 90° 散射辐射的 TVL 代入公式 3 计算所需的屏蔽物质厚度 X 。

c 对于给定的屏蔽物质厚度 X ，相应的屏蔽透射因子 B 按公式 6 计算，公式中 TVL 为 X 射线 90° 散射辐射的 TVL。再按照以下公式计算关注点的散射辐射剂量率 \dot{H} ：

$$\dot{H} = \frac{(I \cdot H_0 \cdot B)}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot a}{R_0^2} \quad \text{公式 9}$$

式中： I 为 X 射线探伤装置在最高管电压下的最大管电流， mA ；

H_0 为距离辐射源点（靶点） 1m 处的输出量， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 / (\text{mA}\cdot\text{h})$ ；

B 为屏蔽透射因子；

F 为 R_0 处的辐射野面积；

R_s 为散射体至关注点的距离， m ；

R_0 为辐射源点至探伤工件的距离；

a 为散射因子。

(6) 泄漏辐射和散射辐射的复合作用

分别估算泄漏辐射和散射辐射，当它们的屏蔽厚度相差一个半值层厚度或更大时，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）。

(7) 年有效剂量可按下式计算：

$$P_{\text{年}}=H \cdot U \cdot T \cdot t$$

公式 10

式中： P 年为年有效剂量，mSv/a；

t 为年工作时间，h。

二、焊接棒阳极射线数字成像检测系统

1、理论估算参数

根据设备厂家提供的资料，焊接棒阳极射线数字成像检测系统 X 射线源不在顶罩区域曝光，该区域仅用于工件搬运时让位调整，因此将顶罩作为顶部的一部分，仅考虑泄漏和散射辐射。

焊接棒阳极射线数字成像检测系统的最大管电压为 300kV，最大管电压下的管电流为 1.5mA，每周曝光时间为 15h。参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014），本次有用线束输出量保守取管电压 300kV、3mm 铝过滤条件下的输出量 $20.9\text{mGy} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ ；泄漏辐射剂量率取 $5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ ；X 射线 90° 散射辐射最高能量对应的 kV 值取 200kV；300kV 管电压下铅的半值层为 1.7mm，什值层为 5.7mm。200kV 管电压下铅的什值层为 1.4mm。

各关注点的居留因子、距离及剂量率参考控制水平估算结果见表 11-1。

表 11-1 焊接棒阳极射线数字成像检测系统外各关注点辐射屏蔽参数

点位描述		居留因子 T	距离 R (m)	剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	需屏蔽的辐射源
铅房主体	正立面外 0.3m 处	1	1.045	2.50	泄漏、散射辐射
	左立面外 0.3m 处	1/5	2.823	1.67	泄漏、散射辐射
	右立面外 0.3m 处	1/5	3.059	1.67	有用线束
	背立面外 0.3m 处	1/5	1.245	1.67	泄漏、散射辐射
	顶面外 0.3m 处	1/16	1.130	100	泄漏、散射辐射
	单电动铅门外 0.3m 处	1	1.045	2.50	泄漏、散射辐射
	双电动铅门外 0.3m 处	1	1.045	2.50	泄漏、散射辐射
	双开维修铅门外 0.3m 处	1/5	3.059	1.67	有用线束
铅房顶罩	正立面外 0.3m 处	1/16	1.415	100	泄漏、散射辐射
	左立面外 0.3m 处	1/16	3.060	100	泄漏、散射辐射
	右立面外 0.3m 处	1/16	1.177	100	泄漏、散射辐射
	背立面外 0.3m 处	1/16	1.558	100	泄漏、散射辐射
	顶面外 0.3m 处	1/16	1.910	100	泄漏、散射辐射

注：1、参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 A，铅房主体正立面、单电动铅门、双电动铅门外为操作位，属于全居留，居留因子取 1；左立面、右立面、背立面、双开维修门外均为人员通道，属于部分居留，居留因子取 1/5；顶面一般无人员到达，属偶尔居留，居留因子取 1/16。铅房顶罩区域高度为 2.678m，人员一般不会在顶罩周围居留，因此居留因子取 1/16。

2、顶面和铅房顶罩一般无人到达，剂量率参考控制水平取 $100\mu\text{Sv/h}$ 。

2、铅房屏蔽能力估算

根据公式 2、3、5、8，估算焊接棒阳极射线数字成像检测系统工作时各屏蔽面所需的屏蔽厚度，估算结果见表 11-2。

表 11-2 焊接棒阳极射线数字成像检测系统防护厚度核算结果

屏蔽面		\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	距离 (m)	屏蔽透射 因子 B	估算所需防护厚 度		设计防护 厚度	符合 性	
铅房主体	正立面	泄漏	2.50	1.045	5.46E-04	18.6	18.6mm Pb	22mm Pb	符合
		散射			7.26E-05	5.8			
	左立面	泄漏	1.67	2.823	2.66E-03	14.7	14.7mm Pb	20mm Pb	符合
		散射			3.53E-04	4.8			
	右立面	有用	1.67	3.059	8.29E-06	20.5mm Pb		26mm Pb	符合
	背立面	泄漏	1.67	1.245	5.17E-04	18.7	18.7mm Pb	22mm Pb	符合
		散射			6.87E-05	5.8			
	顶面	泄露	100	1.130	2.55E-02	9.1	10.8mm Pb	18mm Pb	符合
		散射			3.39E-03	3.5			
	单电动 铅门	泄露	2.50	1.045	5.46E-04	18.6	18.6mm Pb	22mm Pb	符合
		散射			7.26E-05	5.8			
	双电动 铅门	泄露	2.50	1.045	5.46E-04	18.6	18.6mm Pb	22mm Pb	符合
		散射			7.26E-05	5.8			
	双开维 修门	有用	1.67	3.059	8.29E-06	20.5mm Pb		26mm Pb	符合
铅房顶罩	正立面	泄漏	100	1.415	4.00E-02	8.0	9.7mm Pb	18mm Pb	符合
		散射			5.32E-03	3.2			
	左立面	泄漏	100	3.060	1.87E-01	4.1	5.8mm Pb	18mm Pb	符合
		散射			2.49E-02	2.2			
	右立面	泄漏	100	1.177	2.77E-02	8.9	10.6mm Pb	18mm Pb	符合
		散射			3.68E-03	3.4			
	背立面	泄漏	100	1.558	4.85E-02	7.5	9.2mm Pb	18mm Pb	符合
		散射			6.45E-03	3.1			
	顶面	泄露	100	1.910	7.30E-02	6.5	8.2mm Pb	18mm Pb	符合
		散射			9.70E-03	2.8			

注：1、参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014），当 X 射线探伤装置圆锥束中心轴和圆锥边界的夹角为 20° 时， Ra^2/Fa 因子的值为 50，本项目参考典型值取 50；

2、根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B.1 曲线，当透射因子为 $8E-06$ 时，对应 300kV 的铅屏蔽厚度为 20.5mm。

由估算结果可知，焊接棒阳极射线数字成像检测系统铅房主体右立面、双开维修门所需的屏蔽厚度为 20.5mm Pb，设计厚度为 26mm Pb；正立面、背立面、单电动铅门、双电动铅门所需的屏蔽厚度为 18.6~18.7mm Pb，设计厚度为 22mm Pb；左立面所需的屏蔽厚度为 14.7mm Pb，设计厚度为 20mm Pb；主体顶面和铅房顶罩所需的屏

蔽厚度为 5.8~10.8mmPb，设计厚度为 18mmPb。铅房的设计厚度可以满足防护要求。

3、场所辐射水平

根据公式 4、6、7、9，估算焊接棒阳极射线数字成像检测系统工作时各关注点的剂量率，估算结果见表 11-3。

表 11-3 焊接棒阳极射线数字成像检测系统外关注点剂量率估算结果

点位描述		屏蔽设计厚度	H ₀ (μSv/h)	屏蔽透射因子		剂量率 (μSv/h)	总剂量率 (μSv/h)
铅房主体	正立面外 0.3m 处	22mm Pb	1254000	泄漏	1.38E-04	6.33E-01	0.63
				散射	1.93E-16	6.65E-12	
	左立面外 0.3m 处	20mm Pb	1254000	泄漏	3.10E-04	1.94E-01	0.19
				散射	5.18E-15	2.45E-11	
	右立面外 0.3m 处	26mm Pb	1254000	有用	1E-06	0.20	
	背立面外 0.3m 处	22mm Pb	1254000	泄漏	1.38E-04	4.46E-01	0.45
				散射	1.93E-16	4.69E-12	
	顶面外 0.3m 处	18mm Pb	1254000	泄漏	6.95E-04	2.72	2.72
				散射	1.39E-13	4.09E-09	
	单电动铅门外 0.3m 处	22mm Pb	1254000	泄漏	1.38E-04	6.33E-01	0.63
散射				1.93E-16	6.65E-12		
双电动铅门外 0.3m 处	22mm Pb	1254000	泄漏	1.38E-04	6.33E-01	0.63	
			散射	1.93E-16	6.65E-12		
双开维修门外 0.3m 处	26mm Pb	1254000	有用	1E-06	0.20		
铅房顶罩	正立面外 0.3m 处	18mm Pb	1254000	泄漏	6.95E-04	1.74	1.74
				散射	1.39E-13	2.61E-09	
	左立面外 0.3m 处	18mm Pb	1254000	泄漏	6.95E-04	3.71E-01	0.37
				散射	1.39E-13	5.58E-10	
	右立面外 0.3m 处	18mm Pb	1254000	泄漏	6.95E-04	2.51	2.51
				散射	1.39E-13	3.77E-09	
	背立面外 0.3m 处	18mm Pb	1254000	泄漏	6.95E-04	1.43	1.43
				散射	1.39E-13	2.15E-09	
	顶面外 0.3m 处	18mm Pb	1254000	泄漏	6.95E-04	9.53E-01	0.95
				散射	1.39E-13	1.43E-09	

注：右立面和双开维修门处的屏蔽透射因子查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B.1 曲线，300kV 管电压下，当铅屏蔽厚度为 26mm 时，对应的屏蔽透射因子约为 1E-06。

由估算结果可知，焊接棒阳极射线数字成像检测系统在最不利工况运行时，铅房主体四周屏蔽面及铅门外等关注点的剂量率范围为 0.19~0.63μSv/h，满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）中“关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 2.5μSv/h”的要求和表 11-9 中估算的剂量率参考控制水平。铅房主体顶面和铅房顶罩各屏蔽面外的剂量率为 0.37~2.72μSv/h，满足《工业 X 射线探伤放射防护要

求》(GBZ117-2015)中“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 μ Sv/h”要求。

4、个人年有效剂量

焊接棒阳极射线数字成像检测系统年曝光时间为 750h。根据表 11-3 中各关注点的剂量率计算辐射工作人员及公众的年有效剂量,结果见表 11-4。

表 11-4 焊接棒阳极射线数字成像检测系统个人年有效剂量估算结果

人群	人员停留位置	居留因子	时间 t (h)	周围剂量当量率 (μ Sv/h)	年有效剂量 (mSv)	
辐射工作人员	控制台(正立面外 1m 处)	1	750	0.23	0.17	
	正立面外 0.3m 处	1	750	0.63	0.47	
	单电动铅门外 0.3m 处	1	750	0.63	0.47	
	双电动铅门外 0.3m 处	1	750	0.63	0.47	
公众	铅房主体	通道(左立面 0.3m 处)	1/5	750	0.19	0.03
		通道(右立面 0.3m 处)	1/5	750	0.20	0.03
		通道(背立面 0.3m 处)	1/5	750	0.45	0.07
		通道(双开维修门 0.3m 处)	1/5	750	0.20	0.03

注:控制台位于正立面外 1m 处,该点的剂量率根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014)进行估算,估算结果为 0.23 μ Sv/h。

由估算结果可知,焊接棒阳极射线数字成像检测系统运行期所致辐射工作人员年有效剂量最大为 0.47mSv/a,再叠加现有工作人员上一年度个人最大年有效剂量 0.52mSv 后为 0.99mSv,仍低于本次设置的辐射工作人员剂量约束值 5mSv/a。公众的年有效剂量为 0.03~0.07mSv/a,低于本次设置的公众人员剂量约束值 0.1mSv/a。

三、SLM 检测系统

1、理论估算参数

根据公司提供的资料,SLM 检测系统各关注点与 X 射线源距离铅房各面的距离见图 9-10~9-12。

SLM 检测系统有 2 个 X 射线源,其中较大的为 COMET MXR-320HP/11 型恒压高频 X 射线机,最大管电压为 320kV,最大管电压下的管电流为 5.6mA,每周曝光时间为 15h。本次对较大的射线源工作状态下的屏蔽防护情况进行预测,当铅房满足该射线源的防护需求时,也能够满足较小的射线源的防护需求。

参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014),本次有用线束输出量保守取管电压 400kV、3mm 铜过滤条件下的输出量 23.5mGy \cdot m²/(mA \cdot min);泄漏辐射剂量率取 5 \times 10³ μ Sv/h;X 射线 90 $^{\circ}$ 散射辐射最高能量对应的 kV 值取 250kV。采

用线性内插法计算可得，320kV 管电压下铅的什值层/半值层厚度为 6.2mm/1.86mm。250kV 管电压下铅的什值层为 2.9mm。

各关注点的居留因子、距离及剂量率参考控制水平估算结果见表 11-5。

表 11-5 SLM 检测系统外各关注点辐射屏蔽参数

点位描述	居留因子 T	距离 R (m)	剂量率参考控制水平 (μSv/h)	需屏蔽的辐射源
正立面外 0.3m 处	1	3.710	2.50	泄漏、散射辐射
左立面外 0.3m 处	1/5	4.024	1.67	泄漏、散射辐射
右立面外 0.3m 处	1	1.876	0.33	有用线束
背立面外 0.3m 处	1/5	1.390	1.67	泄漏、散射辐射
顶面外 0.3m 处	1/16	2.000	100	泄漏、散射辐射
进出料铅门 1 外 0.3m 处	1	3.710	2.50	泄漏、散射辐射
进出料铅门 2 外 0.3m 处	1	3.710	2.50	泄漏、散射辐射
维修铅门外 0.3m 处	1	1.876	0.33	有用线束

注：参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 A，正立面外为操作位，属于全居留，居留因子取 1；左立面、背立面均为人员通道，属于部分居留，居留因子取 1/5；顶面距地面 3.5m，一般无人员到达，属偶尔居留，居留因子取 1/16；进出料铅门外为人员操作位，属于全居留，居留因子取 1；右立面、维修铅门外为检验区工位，属于全居留，居留因子取 1。

2、屏蔽能力估算

根据公式 2、3、5、8，估算 SLM 检测系统工作时各屏蔽面所需的屏蔽厚度，估算结果见表 11-6。

表 11-6 SLM 检测系统防护厚度核算结果

屏蔽面		H _c (μSv/h)	距离 (m)	屏蔽透射因子 B	估算所需防护厚度		设计防护厚度	是否符合
正立面	泄漏	2.50	3.710	6.88E-03	13.4	15.3mm Pb	23mm Pb	符合
	散射			2.18E-04	10.6			
左立面	泄漏	1.67	4.024	5.40E-03	14.1	15.9mm Pb	23mm Pb	符合
	散射			1.71E-04	10.9			
右立面	有用	0.33	1.876	1.49E-07	42mm Pb		45mm Pb	符合
背立面	泄漏	1.67	1.390	6.44E-04	19.8	19.8mm Pb	23mm Pb	符合
	散射			2.04E-05	13.6			
顶面	泄露	100	2.000	8.00E-02	6.8	9.4mm Pb	23mm Pb	符合
	散射			2.53E-03	7.5			
进出料铅门 1	泄露	2.50	3.710	6.88E-03	13.4	15.3mm Pb	23mm Pb	符合
	散射			2.18E-04	10.6			
进出料铅门 2	泄露	2.50	3.710	6.88E-03	13.4	15.3mm Pb	23mm Pb	符合
	散射			2.18E-04	10.6			
维修铅门	有用	0.33	1.876	1.49E-07	42mm Pb		45mm Pb	符合

注：参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014），当 X 射线探伤装置圆锥束中心轴和圆锥边界的夹角为 20°时，R₀²/F·a 因子的值为 50，本项目参考典型值取 50

由估算结果可知，SLM 检测系统铅房主体右立面、维修门所需的屏蔽厚度为 42mmPb，设计厚度为 45mmPb；其余各屏蔽面所需的屏蔽厚度为 9.4~19.8mmPb，设计厚度为 23mmPb。铅房的设计厚度可以满足防护要求。

3、场所辐射水平

根据公式 4、6、7、9，估算 SLM 检测系统工作时各关注点的剂量率，结果见表 11-7。

表 11-7 SLM 检测系统外关注点剂量率估算结果

点位描述	屏蔽设计厚度	H ₀ (μSv/h)	屏蔽透射因子		剂量率 (μSv/h)	总剂量率 (μSv/h)
			泄漏	散射		
正立面外 0.3m 处	23mm Pb	1410000	泄漏	1.95E-04	0.07	0.07
			散射	1.17E-08	1.34E-04	
左立面外 0.3m 处	23mm Pb	1410000	泄漏	1.95E-04	0.06	0.06
			散射	1.17E-08	1.14E-04	
右立面外 0.3m 处	45mm Pb	1410000	有用	5.52E-08	0.12	
背立面外 0.3m 处	23mm Pb	1410000	泄漏	1.95E-04	0.50	0.51
			散射	1.17E-08	9.58E-04	
顶面外 0.3m 处	23mm Pb	1410000	泄漏	1.95E-04	0.24	0.24
			散射	1.17E-08	4.63E-04	
进出料铅门 1 外 0.3m 处	23mm Pb	1410000	泄漏	1.95E-04	0.07	0.07
			散射	1.17E-08	1.34E-04	
进出料铅门 2 外 0.3m 处	23mm Pb	1410000	泄漏	1.95E-04	0.07	0.07
			散射	1.17E-08	1.34E-04	
维修门外 0.3m 处	45mm Pb	1410000	有用	5.52E-08	0.12	

由估算结果可知，SLM 检测系统在最不利工况运行时，铅房四周屏蔽面、铅门等关注点的剂量率范围为 0.06~0.51μSv/h，满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）中“关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 2.5μSv/h”的要求和本次估算的剂量率参考控制水平。顶面的剂量率为 0.24μSv/h，满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）中“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 100μSv/h”要求。

4、个人年有效剂量

根据公司提供的资料，SLM 检测系统年曝光时间为 750h。根据表 11-7 中各关注点的剂量率计算辐射工作人员及公众的年有效剂量，结果见表 11-8。

表 11-8 SLM 检测系统个人年有效剂量估算结果

人群	人员停留位置	居留因子	时间 t (h)	周围剂量当量率 (μSv/h)	年有效剂量 (mSv)
辐射	控制台（正立面外 1m 处）	1	750	0.05	0.04

工作人员	正立面外 0.3m 处	1	750	0.07	0.05
	进出料铅门 1 外 0.3m 处	1	750	0.07	0.05
	双电动铅门外 0.3m 处	1	750	0.07	0.05
公众	通道（左立面 0.3m 处）	1/5	750	0.06	0.01
	检验区（右立面 1m 处）	1	750	0.03	0.02
	通道（背立面 0.3m 处）	1/5	750	0.51	0.08

注：控制台位于正立面外 1m 处，该点的剂量率根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）进行估算，估算结果为 0.05 μ Sv/h；右立面检验区公众最近距离为 1m，该点的剂量率估算结果为 0.03 μ Sv/h。

由估算结果可知，SLM 检测系统运行期所致辐射工作人员年最大有效剂量为 0.05mSv/a，叠加现有工作人员目前个人年有效剂量 0.52mSv 后为 0.57mSv，仍低于本次设置的辐射工作人员剂量约束值 5mSv/a；公众的年有效剂量为 0.01~0.08mSv，低于本次设置的公众人员剂量约束值 0.1mSv/a。

四、非放射性污染物影响分析

(1) O₃、NO_x

本项目各射线装置运行时将产生少量的 O₃、NO_x，根据设计单位提供的资料，焊接棒阳极射线数字成像检测系统铅房的通风量为 369m³/h，每小时有效通风次数约为 8 次，废气排入厂房后通过厂房内的机械通风装置排至室外。SLM 检测系统铅房的通风量不小于 567m³/h，每小时有效通风次数约为 6 次，废气排入厂房后通过厂房内的机械通风装置排至室外。

以上措施满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ 117-2015）中“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”的要求。项目产生的 O₃、NO_x 较少，O₃ 在一定时间后可分解为氧气，经自然扩散后，对周围环境影响不大。

(2) 废显（定）影液

本项目 SLM 检测系统使用胶片成像，洗片时将产生废显（定）影液，年产生量约为 100kg。废显（定）影液属于《国家危险废物名录》（2021 年版）中的“HW16 感光材料废物”，采用专用容器收集后暂存于厂区危废库，定期送交陕西新天地固体废物综合处置有限公司处置，处置协议见附件。

事故影响分析

1、事故工况

项目运行期可能发生的辐射事故主要为门-机连锁失效，人员在铅房内受到不经屏

蔽的X射线，这种辐射事故发生的可能性极低，但公司也应积极采取辐射事故预防措施，防范于未然。

2、事故风险评价

本次假设人员进入焊接棒阳极射线数字成像检测系统、SLM检测系统铅房，距离射线源1m时射线曝光，致使人员受到有用线束的误照射。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）有关规定，工作人员连续5年接受的有效剂量不应超过20mSv，任何一年接受有效剂量不应超过50mSv。

有用线束在距X射线焦点R米处的剂量率与距离衰减公式为：

$$X=X_0 (R_0/R)^2$$

式中： X_0 为距X射线管固定距离 R_0 米处的剂量率；

R 为距X射线管焦点的距离；

X 为距X射线管固定距离 R 米处的剂量率。

各工作场所在距离靶源1m处受到20mSv和50mSv有效剂量的时间估算见表11-9。

表 11-9 在各射线装置出束口 1m 处受到 20mSv、50mSv 剂量当量的时间

工作场所	受照时间	距射线源 1m 处受到 20mSv 所需时间 (s)	距射线源 1m 处受到 50mSv 所需时间 (s)
焊接棒阳极射线数字成像检测系统		38.28	95.69
SLM 检测系统		9.12	22.80

根据以上估算结果，在各设备以最大管电压、管电流工作的条件下，误入铅房在出束口 1m 处受到 20mSv 剂量当量的时间为 9.12~38.28s，受到 50mSv 剂量当量的时间为 22.80~95.69s。因此应加强辐射工作人员的管理，防止辐射事故的发生。

2、事故防范措施建议

(1) 辐射工作人员须严格按照操作规程操作，如出现设备不能正常运行或无法停止照射时，应立即切断总电源，强制停止照射；

(2) 为防止人员误留在铅房内受到误照射，每次照射前应进行检查，确保无人员滞留后方可关闭铅门；

(3) 定期检查辐射安全管理制度落实情况，发现问题及时纠正；如发生辐射事故，应立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要的应急措施。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

西安航天发动机有限公司已成立以法人为组长的辐射安全与环境保护领导小组（厂设备〔2020〕184号，见附件），负责日常辐射安全监管和协调工作。辐射安全与环境保护领导小组办公室设在设备动力处动力环保室。

辐射安全与环境保护领导小组主要职责为：

(1) 认真贯彻执行国家放射性同位素和射线装置的法律法规，接受国家和地方环境保护部门的监督和检查；

(2) 对本公司的射线装置工作负总责，保证无射线事故发生；

(3) 制定本公司的射线装置管理规定；

(4) 研究审查新建、扩建、改建射线装置及其防护工作；

(5) 组织召开环保专题工作会议，研究部署解决工业探伤工作中存在的重大问题；

(6) 定期安排射线装置专项检查，督促基层单位消除各种射线装置隐患；

(7) 发生射线装置事故，按职能进行指挥、协调、处理，防止事故蔓延扩大，将射线伤害和损失降低到最低限度；

(8) 对发生的事故按照“四不放过”原则组织调查处理，落实防范措施。

本项目建成后，公司应对照《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》（陕环办发〔2018〕29号文），进一步完善相关管理要求，详见表 12-1。

表 12-1 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表（二）—辐射安全管理部分

管理内容		管理要求	本项目情况
人员管理	决策层	就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作。	已按规定执行
		年初工作安排和年终工作总结，应包含辐射环境安全管理工作内容。	
		明确辐射安全管理部门和岗位的辐射安全职责。	
		提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障。	
	辐射防护负责人	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求并向员工和公众宣传辐射安全相关知识。	已按规定执行
		负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告。	已按规定执行，项目建成后应纳入管理
		建立健全辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责。	
		建立辐射安全管理档案。	
对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有完善的巡查及整改记录。			

直接从事放射工作的作业人员	岗前进行职业健康体检，结果无异常。	已按规定执行
	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗。	
	了解本岗工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺。	
	熟悉辐射事故应急预案的内容，发现异常情况后，能有效处理。	
机构建设	设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射安全与环境保护管理机构和负责人。	已设置

辐射安全管理规章制度

1、相关制度

西安航天发动机有限公司已针对现有射线装置制定了较为完备的辐射环境管理规章制度，《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》、《涉辐部门辐射安全职责》、《质量处辐射安全防护管理规定》、《射线装置人员培训制度》、《射线检测仪器使用管理规定》、《辐射工作现场监测制度》、《仪器仪表维护、维修管理制度》、《操作人员岗位职责》、《CD-1800BX 工业 CT 机操作规程》、《管路焊缝无损检测系统操作规程》、《微焦点 X 射线数字化检测系统安全操作规程》、《铸件棒阳极数字射线检测系统安全操作规程》、《质量处射线装置事故应急预案》等，以确保辐射作业中的安全防护。

公司已制定的安全管理制度与《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》（陕环办发〔2018〕29 号文）中要求对照情况见表 12-2。

表 12-2 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表（二）—辐射安全管理部分

内容	管理要求	本项目情况
制度建立与执行	建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整	已制定相关制度
	建立放射性同位素与射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立放射性同位素、射线装置台账	已制定相关制度
	建立本单位放射性同位素与射线装置岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案	已制定相关制度
	建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案	已制定相关制度
	建立辐射工作人员剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员及时复查，保证个人剂量监测档案的连续有效性	已制定相关制度
制度建立与执行	建立辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等内容），并建立维护、维修工作记录档案（包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间）	已制定相关制度
	建立辐射环境监测制度，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案	已制定相关制度

续表 12-2 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表（二）—辐射安全管理部分

内容	管理要求	本项目情况
制度建立与执行	建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度，定期对监测仪器设备进行检定，并建立检定档案	已制定相关制度
应急管理	结合本单位实际，制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行辐射事故应急演练 辐射事故应急预案应报所在地县级环境保护行政主管部门备案。应急预案应当包括下列内容：①可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和处理程序	已制定《质量处射线装置事故应急预案》并定期演练

根据调查，现有制度执行情况较好，运行以来未发生辐射事故或人员剂量超标情况。本项目建成后，公司应将新增射线装置、工作场所纳入射线装置管理制度、辐射安全防护设施的维护与维修制度、工作场所检测等制度中，制定新增场所的岗位职责、操作规程，应急预案、操作规程、岗位职责等应张贴上墙，确保辐射防护工作按规章制度进行。

2、人员培训及工作人员个人防护

西安航天发动机有限公司现有 58 名辐射工作人员，均参加了辐射安全与防护培训班学习和考核，并取得了培训合格证明。现有辐射工作人员于 2020 年在核工业四一七医院进行了职业健康体检，体检结果及复查结果显示未发现疑似放射性疾病，可以继续从事辐射工作，体检报告已建立健康档案。

公司已为现有辐射工作场所配备了 31 台个人剂量报警仪，2 套铅衣、铅手套、铅围裙、铅眼镜及铅围脖，用于日常探伤工作中的安全防护，为每名辐射工作人员配备了个人剂量计并定期送检，建立了个人剂量档案。

本项目辐射工作人员为现有人员，项目建成后应按照相关制度继续进行个人剂量检测和健康体检。

辐射监测

1、监测仪器配置

西安航天发动机有限公司已配备 2 台 X-γ 辐射剂量率仪和 31 台个人剂量报警仪，用于现有辐射工作场所的日常监测和剂量报警，现有 X-γ 辐射剂量率仪每年定期进行检定，能够正常使用，本项目建成后可继续利用。

本项目建成后，拟依托现有 X-γ 辐射剂量率仪进行工作场所的日常监测，为焊接

棒阳极射线数字成像检测系统、SLM 检测系统各配备 2 台个人剂量报警仪，用于新增场所的日常检测和剂量报警。

2、监测计划

(1) 个人剂量监测

本项目全部为现有人员，已经按要求配备了个人剂量计，建立了个人剂量档案，本项目运行后应继续委托每季度进行 1 次个人剂量监测。

(2) 年度常规监测

公司已委托有资质单位每年进行 1 次辐射工作场所年度监测，年度监测数据作为本单位辐射安全和防护状况年度评估报告的一部分，于每年 1 月 31 日前上报环保行政主管部门。本项目建成后应纳入年度监测范围。

(3) 辐射工作场所监测计划

本项目投运后，应定期用 X- γ 辐射剂量率仪，按照《辐射工作现场监测制度》规定，定期进行工作场所监测并记录监测结果，建立日常监测结果档案，发现异常时应停止运行并立刻排查。

本项目监测计划见表 12-3 所示。

表 12-3 监测计划

工作场所	监测因子	监测点位/对象	监测频次
焊接棒阳极射线数字成像检测系统	X- γ 辐射空气吸收剂量率	铅房防护门及缝隙外表面 0.3m 处、四周屏蔽面及顶面外 0.3m 处、线缆孔处、工作人员操作位置	年度例行监测：每年由有资质单位监测 1 次 每季度进行 1 次日常监测
	个人剂量	本项目辐射工作人员	每季度由有资质单位监测 1 次（依托现有监测计划）
SLM 检测系统	X- γ 辐射空气吸收剂量率	铅房防护门及缝隙外表面 0.3m 处、四周屏蔽面及顶面外 0.3m 处、线缆孔处、工作人员操作位置	年度例行监测：每年由有资质单位监测 1 次 每季度进行 1 次日常监测
	个人剂量	本项目辐射工作人员	每季度由有资质单位监测 1 次（依托现有监测计划）

3、环保投资

项目总投资为 1010 万元，环保投资为 6.5 万元，占总投资的 0.64%，主要用于环保设施、辐射安全防护设施建设，个人防护用品购置等。环保投资见表 12-4。

表 12-4 项目环保投资估算表

实施时段	类别	污染源	污染防治措施或设施	费用(万元)	资金来源	责任主体
施工期	固体废物	生活垃圾	统一纳入厂区生活垃圾清运系统	—	公司环保资金	施工单位
运营期	辐射防护措施	X 射线	焊接棒阳极射线数字成像检测系统与 SLM 检测系统的铅房主体、门-机连锁、自带的工作状态指示灯、急停装置、控制台等工作场所分区标识、电离辐射警示标识	计入工程投资	公司环保资金	公司
				0.5		
	检测仪器	X 射线	4 台个人剂量报警仪	1		
环境管理	本项目纳入现有环境管理制度			—		
环境监测	工作场所定期监测			4.0		
	个人剂量定期监测			1.0		
总投资(万元)				6.5	—	

4、竣工环境保护验收内容及要求

根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日起实施），本项目竣工后，公司应及时对项目配套建设的环境保护设施进行自主验收，编制验收监测报告。验收合格后，方可投入生产或使用。

本项目竣工环境保护验收清单（建议）见表 12-5。

表 12-5 项目竣工环境保护验收清单（建议）

序号	验收内容	防护措施
1	辐射安全管理	针对新增工作场所进一步完善操作规程、岗位职责等，使其满足《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》（陕环办发（2018）29 号）等要求，避免辐射事故的发生
2	剂量限值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），本项目公众成员个人年剂量约束值取 0.1mSv，辐射工作人员照射年有效剂量管理约束值取 5mSv。参照《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ 117-2015），铅房外各关注点最高周围剂量当量率满足相应标准。
3	辐射安全防护措施	布局合理，划定控制区及监督区，设置明显的分区标识 铅房设置门-机连锁、电离辐射警示标志、工作状态指示灯、紧急停机、监控装置等防护设施，各设施正常有效、运行良好
4	辐射监测	所有新增工作场所应定期进行巡测并建立监测档案，每年委托有资质单位进行 1 次年度检测，监测记录存档；辐射工作人员应配备个人剂量计，定期进行个人剂量监测，并建立健康档案；为新增工作场所配备 4 台个人剂量报警仪，探伤作业时按要求佩戴个人剂量报警仪
5	人员培训	辐射工作人员辐射安全和防护知识培训合格证到期前应及时培训，合格后再上岗
6	职业健康体检	辐射工作人员至少每 2 年进行 1 次职业健康体检，建立职业健康监护档案

辐射事故应急

1、应急管理机构及应急预案

西安航天发动机有限公司已制定了《质量处射线装置事故应急预案》，明确了应急组织机构与职责。应急组织机构包括辐射安全管理小组和现场负责人，辐射安全管理小组由质量处负责组成，现场负责人由质量处从事射线检测工作的班组长组成。

现有应急预案主要针对无损检测过程中发生的辐射事故，明确了事故应急处置措施、应急预案演练和评审、信息报告流程等内容，并附具了公司内应急响应电话与外部相关机构的联系方式。应急预案的现有内容及处置措施同样适用于本项目。

发生辐射事故时，事故单位应当立即启动辐射事故应急方案，采取必要的防范措施，并在 2h 内填写《辐射事故初始报告表》。对于发生的误照射事故，应向当地生态环境主管部门报告；造成或可能造成人员超剂量照射的，还应向当地卫生行政部门报告；如是人为故意破坏引起的事故应向当地公安部门报告。

2、应急预案执行情况

根据现场调查，西安航天发动机有限公司运行至今尚未发生放射性相关事故，未启动过该应急预案。日常运行中，公司每年安排组织一次辐射事故应急演练，2021 年于 6 月 21 日在 602 厂房 X 射线检测机房进行了辐射事故应急处置演练，为提高预防事故应急处理能力奠定了一定基础。

本项目运行后，西安航天发动机有限公司应依据国家相关法律法规、标准，及时对应急预案进行补充修改、完善，使应急预案更具有操作性、可行性。同时加强应急预案演练，提高事故应急处置能力。

表 13 结论与建议

结论

西安航天发动机有限公司拟在新厂区 A7 厂房新增 1 台焊接棒阳极射线数字成像检测系统, 在老厂区 116 厂房新增 1 台 SLM 增材制造产品数字射线自动化检测系统用于无损检测, 新增设备属于 II 类射线装置。项目总投资为 1010 万元, 环保投资为 6.5 万元, 占总投资的 0.64%。

项目主要用于工件的无损检测, 属于《产业结构调整指导目录(2019 年本)》(2021 年修改)中“鼓励类”项目, 符合国家产业政策。项目对受照人员或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害, 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

1、辐射安全与防护结论分析

项目各工作场所拟配备门-机联锁、工作状态指示灯、急停按钮、监控设施、通风系统等安全防护设施。项目拟划分控制区、监督区, 并按照国家相关规定进行分区管理, 以最大程度减少对工作人员、公众辐射影响。根据分析, 项目拟设置的辐射安全与防护设施满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ 117-2015)中相关要求。

2、辐射环境影响

(1) 根据核算, 各铅房四周、防护门及顶面的设计厚度均大于估算所需防护厚度, 铅房的屏蔽设计可以达到防护要求;

(2) 根据估算, 焊接棒阳极射线数字成像检测系统在最不利工况运行时, 铅房主体四周屏蔽面及铅门外等关注点的剂量率范围为 $0.19\sim 0.63\mu\text{Sv/h}$, 铅房主体顶面和铅房顶罩各屏蔽面外的剂量率为 $0.37\sim 2.72\mu\text{Sv/h}$, 满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ117-2015)中标准要求及本次确定的剂量率参考控制水平。

运行所致的辐射工作人员年最大有效剂量为 0.47mSv/a , 叠加现有工作人员目前个人年有效剂量 0.52mSv 后为 0.99mSv , 仍低于本次设置的辐射工作人员剂量约束值 5mSv/a ; 公众的年有效剂量为 $0.03\sim 0.07\text{mSv/a}$, 低于本次设置的公众人员剂量约束值 0.1mSv/a 。

(3) 根据估算, SLM 检测系统在最不利工况运行时, 铅房四周屏蔽面、铅门等关注点的剂量率范围为 $0.06\sim 0.51\mu\text{Sv/h}$, 顶面的剂量率为 $0.24\mu\text{Sv/h}$, 满足《工业 X 射线探

伤放射防护要求》（GBZ117-2015）中标准要求及本次确定的剂量率参考控制水平。

运行所致的辐射工作人员年有效剂量为 0.05mSv/a，叠加现有工作人员目前个人年有效剂量 0.52mSv 后为 0.57mSv，仍低于本次设置的辐射工作人员剂量约束值 5mSv/a；公众的年有效剂量为 0.01~0.08mSv，低于本次设置的公众人员剂量约束值 0.1mSv/a。

3、辐射安全管理

西安航天发动机有限公司已成立了辐射安全与环境保护领导小组，制定了一系列辐射安全管理制度、人员培训制度、辐射监测制度及辐射事故应急预案，用于指导、规范生产作业过程中的辐射安全，本项目建成后应根据《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》（陕环办发〔2018〕29 号）要求进一步完善相关制度。公司严格按照规章制度执行，可有效降低人为事故的发生，保证辐射安全。

4、可行性分析结论

西安航天发动机有限公司 2 台 X 射线探伤设备（含铅房）核技术利用项目符合国家产业政策以及辐射防护实践正当性原则。公司拟对该项目采取有效的辐射防护措施，使辐射影响达到合理尽可能低的水平，满足辐射防护最优化原则。项目运行所致工作人员和公众年有效剂量满足国家相关标准规定限值要求，符合剂量限值约束原则。从辐射环境保护角度，本项目可行。

建议与承诺

- (1) 制定操作规范，加强人员培训，运行期严格遵守辐射防护的各项规定；
- (2) 对照《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知（陕环办发〔2018〕29 号）相关要求，针对新增场所进一步完善辐射安全管理制度；及时修订辐射事故应急预案，定期进行辐射事故应急演练；
- (3) 加强各类防护设施的检查维护，确保其正常使用；
- (4) 项目竣工后办理验收手续，验收合格后方可正式投入使用；
- (5) 每年 1 月 31 日前向发证机关提交本单位上一年度的放射性同位素与射线装置应用单位辐射安全年度评估报告。

表 14 审批

预审意见:

经办人:

单位公章

年 月 日

下一级环境保护行政主管部门审查意见:

经办人:

单位公章

年 月 日