

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		陕西应用物理化学研究所新增射线装置核技术利用项目			
建设单位		陕西应用物理化学研究所			
法人代表	蒲加顺	联系人	张振宇	联系电话	18629369295
注册地址		西安市雁塔区朱雀路 213 号			
项目建设地点		陕西应用物理化学研究所甲区重点实验室 1 层、药剂楼 1 层；乙区工房			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		6000	项目环保投资（万元）	120	投资比例（环保投资/总投资） 2%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积（m <sup>2</sup> ）	不新增占地
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><b>项目概述</b></p> <p>一、建设单位概况</p> <p>1、建设单位简介</p> <p>陕西应用物理化学研究所，创建于 1968 年，是我国唯一的火工技术专业研究所，承担国家火工专业基础研究、应用研究、火工新技术先期研究、火工新产品和专业仪器设备研发等工作。科研面向海、陆、空、天与国民经济建设，是一所涉及多学科、军民结合、科研、生产、经营一体化的综合性研究所，是国务院学位办确定的“军事化学与烟火技术”硕士学位授权点，设有博士后科研工作站，是全国火工品专业标准化和火工品情报网网长单位，承担全国专业期刊《火工品》的编辑和发行业务，拥有国家级“火工品安全性可靠性国防科技重点实验室”和“国家民用爆破器材质量监督检验中心”，为国防科工委火工品标技委的主任委员和秘书处挂靠单位，建所以来承担各类科研项</p>					

目。

## 2、项目由来

为满足研究所业务发展需要，陕西应用物理化学研究所拟在甲区重点实验室1层、药剂楼1层，乙区2号工房开展无损检测，新增1台450kV工业CT、1台微焦点工业CT、1台240kV微焦点DR设备、1台300kV微焦点DR设备。

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》及其修改单，本项目属于“五十、核与辐射—191、核技术利用建设项目（不含在已许可场所增加不超出已许可活动种类和不高于已许可范围等级的核素或射线装置）—生产、使用Ⅱ类射线装置”，应编制环境影响报告表。

陕西应用物理化学研究所于2019年8月委托我公司编制该项目环境影响报告表。接受委托后，我公司随即组织专业人员开展资料收集、现场踏勘、资料整理分析等工作，按照《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，编制完成了《陕西应用物理化学研究所新增射线装置核技术利用项目环境影响报告表》。

## 二、项目概况

### 1、建设规模

陕西应用物理化学研究所拟在甲区重点实验室1层新增1台450kV工业CT、1台微焦点工业CT，药剂楼1层新增1台240kV微焦点DR设备，乙区2号工房增加1台300kV微焦点DR设备。本项目新增射线装置的显像模式均为实时数字化成像，无需冲洗胶片。

本次新增设备情况详见表1-1。

表 1-1 具体设备情况表

无损检测室	设备名称	设备型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	曝光类型	工作场所	备注
无损检测室 (一)	450kV 工业 CT	COMET, MXT-451HP/11	450	3.3	定向, 向北	甲区重点实验室1层 450kV-CT 探伤室	无
无损检测室 (二)	微焦点工业 CT	WorX XWT-160-TCNF	160	1.0	定向, 向南	甲区重点实验室1层无损检测实验室 (2)	铅房
无损检测室	240kV 微焦点 DR	WorX XWT-240-CT	240	2.0	定向, 向下	甲区药剂楼1层 1-6号房	铅房

(三)	设备						
无损检测室 (四)	300kV 微焦点 DR 设备	WorX XWT-300-CT	300	2.0	定向， 向下	乙区 2 号工房挤塑实验室	铅房

## 2、工作制度及劳动定员

根据建设单位提供的资料，本项目4台设备共4名操作人员，一班制；2名操作人员从研究所现有辐射工作人员中调配，另外新增2名工作人员。

设备年运行时间详见表1-2。

表 1-2 设备年运行时间、运行天数

无损检测室	设备名称	运行时间 (h/a)	年工作天数 (d)
无损检测室（一）	450kV 工业 CT	600	200
无损检测室（二）	微焦点工业 CT	600	200
无损检测室（三）	240kV 微焦点 DR 设备	900	300
无损检测室（四）	300kV 微焦点 DR 设备	900	300

## 三、产业政策符合性及实践正当性分析

本项目利用 X 射线进行无损探伤检测，系核技术应用项目在工业领域内的运用。根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，本项目属于“鼓励类”中“十四、机械—6、工业 CT、三维超声波探伤仪等无损检测设备”，符合国家产业政策。

本项目建设主要用于工件的无损检测，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。

## 四、项目选址及周边环境关系

### (1) 地理位置

项目无损检测室（一）、无损检测室（二）、无损检测室（三）位于甲区，甲区位于西安市雁塔区朱雀路 213 号，地理位置见图 1-1；无损检测室（四）位于乙区，乙区位于西安市长安区关山场专线旁，地理位置见图 1-2。



图 1-1 甲区地理位置与交通图

仅限陕西应用物理研究所新增射线装置技术利用项目公示



图 1-2 乙区地理位置与交通图

(2) 周边环境关系及平面布置图

甲区位于朱雀路以东，青松路以北，无损检测室（一）、无损检测室（二）位于甲区重点实验室（总共 6F）4 层，无损检测室（三）位于甲区药剂楼（6F）1 层，甲区北侧 12m、西侧 53m 为住宅楼；无损检测室在甲区的位置及周边环境关系见图 1-3。

无损检测室（一）北 27m 为海巢海鲜酒楼（4F）和住宅楼（7F），东侧、南侧主要为重点实验室各值班室、实验室等，西侧为朱雀大街；无损检测室（二）北侧、东侧主要为重点实验室各值班室、实验室等，西侧为朱雀大街，南侧为重点实验室的实验室；无损检测室（三）北 36m 为重点实验室，东侧主要为药剂楼的水泵间、厕所、维修间等，南侧为药剂楼实验室及篮球场，西侧为朱雀大街。各无损检测室平面布置见图 1-4~1-6。

无损检测室（四）位于乙区 2 号工房，周围 50m 范围内主要为乙区其他工房，无损检测室（四）周边环境关系见图 1-7。

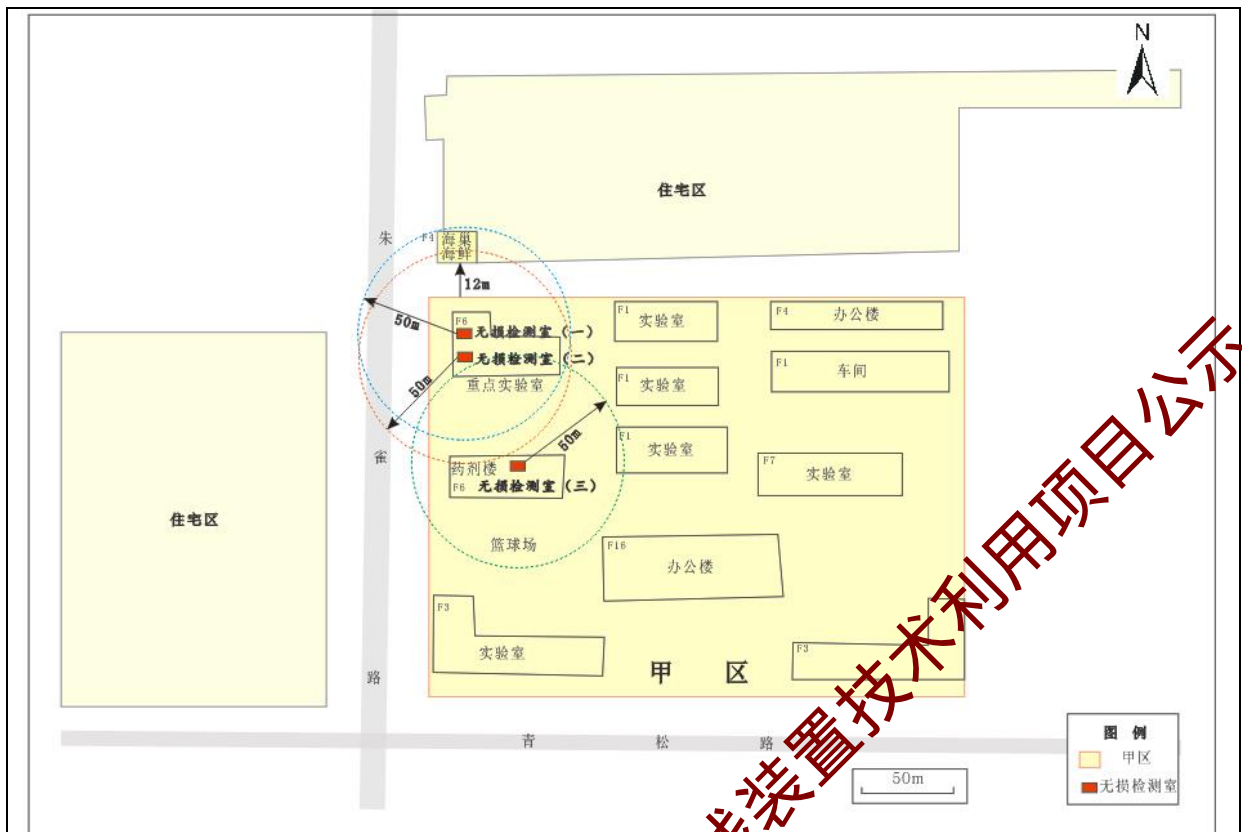


图 1-3 甲区各无损检测室所在位置及周边环境关系图

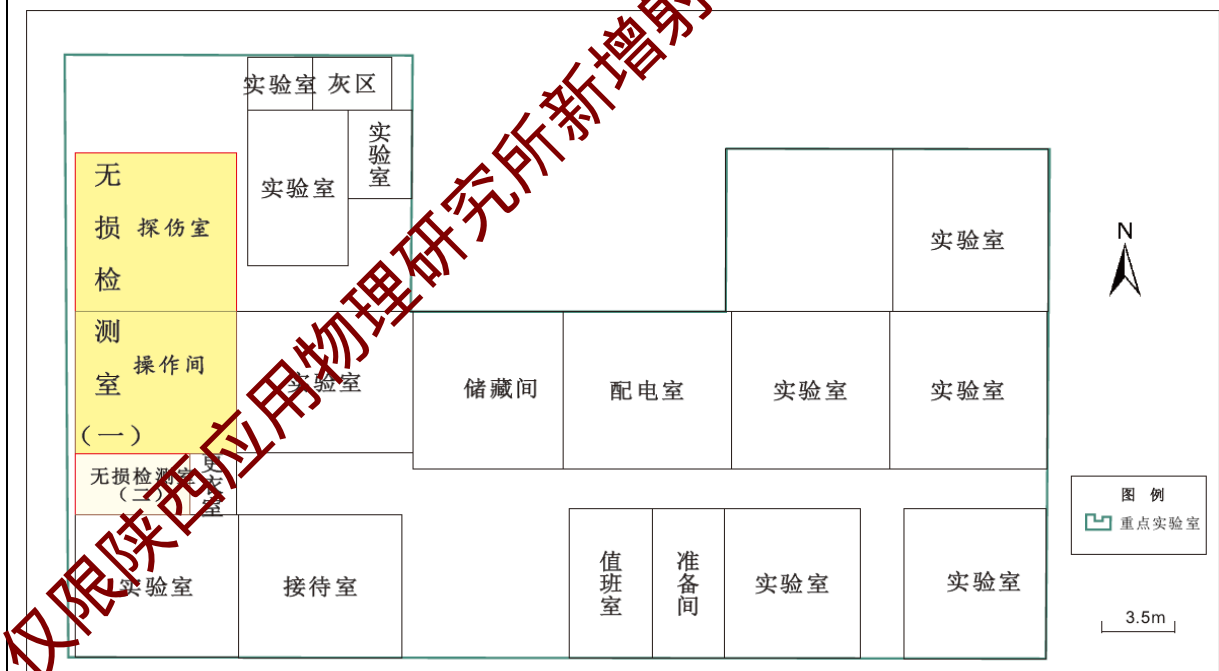


图 1-4 无损检测室（一）平面布置图

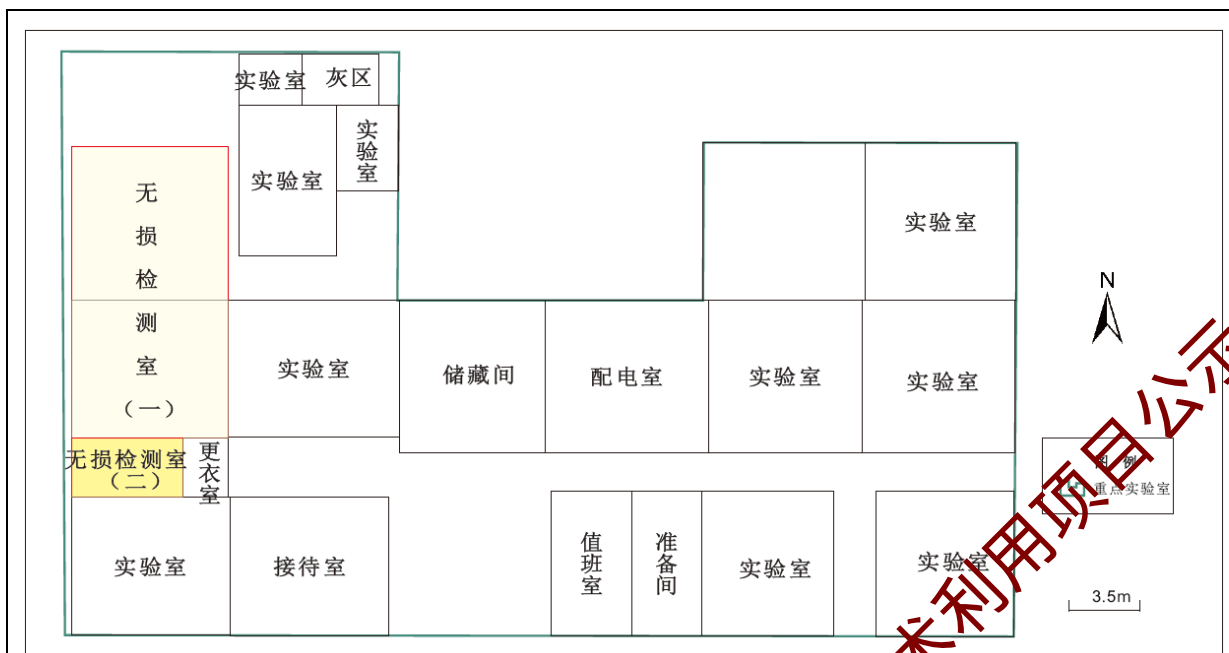


图 1-5 无损检测室（二）平面布置图

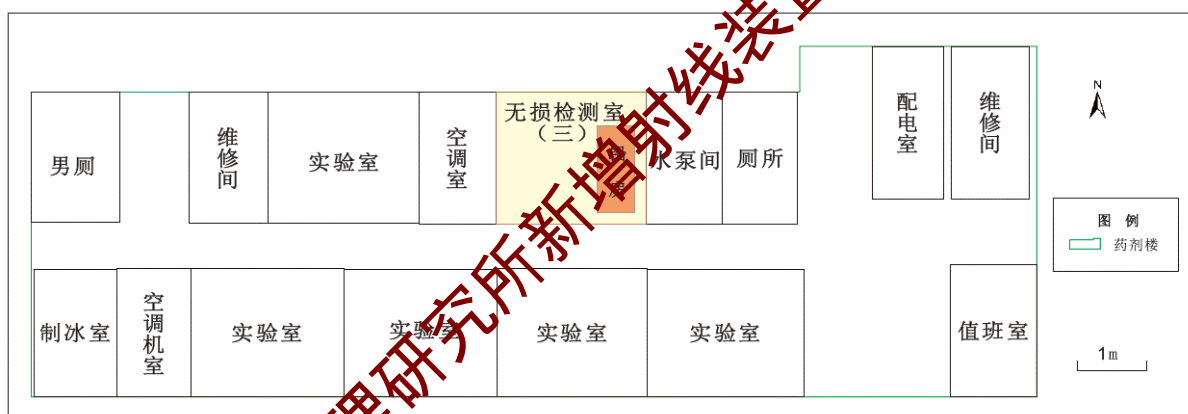


图 1-6 无损检测室（三）平面布置图

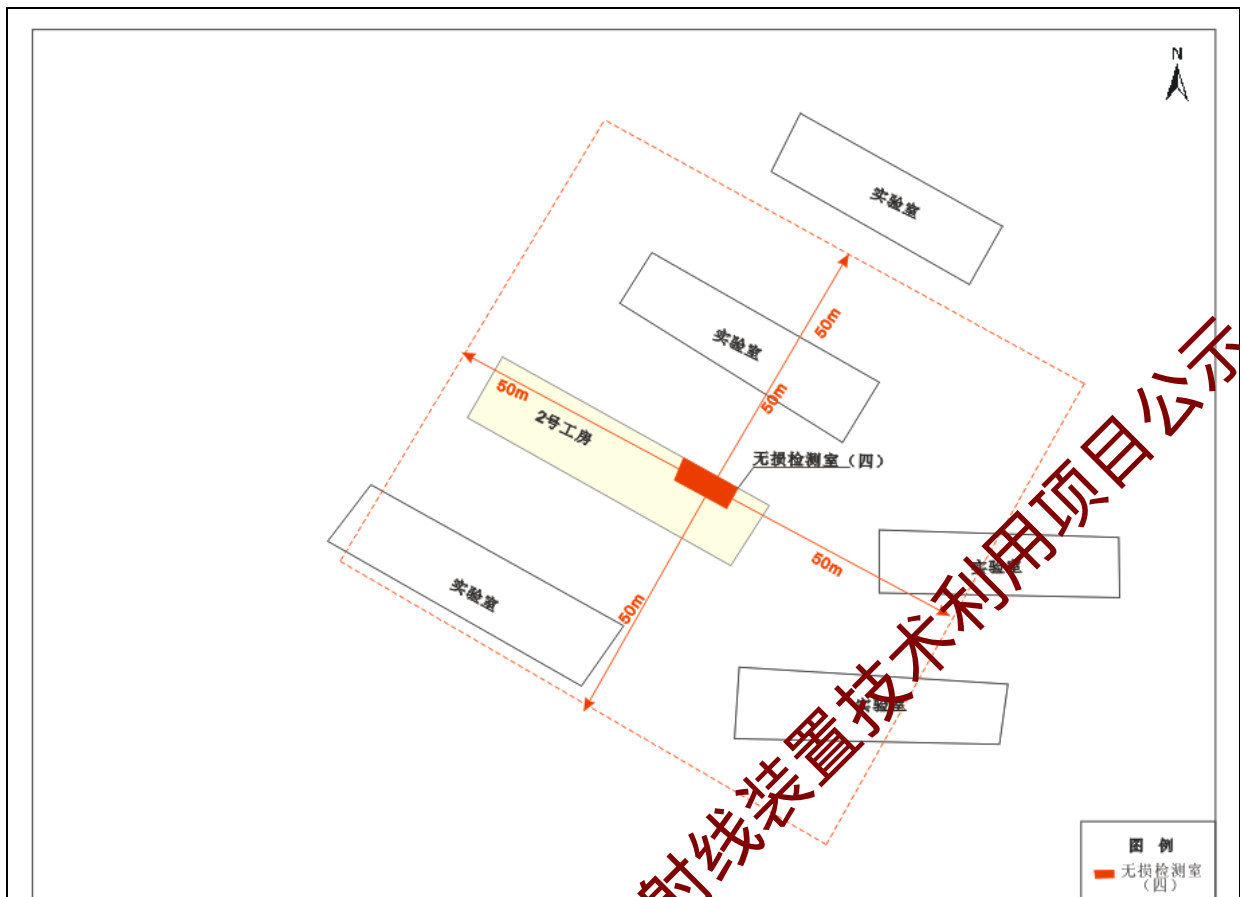


图 1-7 无损检测室(四)周边环境关系示意图



图 1-8 无损检测室(四)平面布置图

## 五、核技术应用项目回顾

### 1、陕西应用物理化学研究所原有核技术利用项目情况

2008年11月，陕西应用物理化学研究所委托陕西椿源辐射咨询服务有限公司对射线装置应用项目进行了环境影响评价，陕西省环境保护厅于2009年3月25日对该项目进行了批复，陕环批复〔2009〕141号；2019年5月委托西安志诚辐射环境检测有限公司对该项目进行了竣工环境保护验收。2019年7月15日，陕西应用物理化学研究所取得辐射安全许可证，许可证编号为陕环辐证〔00144〕，许可证种类和范围为使用II、III类射线装置，有效期至2024年7月10日。

辐射安全许可证台账明细见表1-3。



表 1-3 陕西应用物理化学研究所辐射安全许可证台账明细

射线装置						
序号	装置名称	规格型号	类别	数量	场所	活动种类
1	能量色散谱仪扫描 电子显微镜	VEGATS513	III 类	1	重点实验室	使用
2	X 射线衍射机	D8Advance	III 类	1	电镜楼 X 射线衍射实验室	使用
3	X 射线探伤机	XYG-22510/3	II 类	1	4 号工房 X 射线透照室	使用

2、陕西应用物理化学研究所辐射安全与管理现状

陕西应用物理化学研究所已根据国家法律法规要求，结合《陕西省环境保护厅办公室关于开展核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作的通知》（陕环发〔2015〕80号）相关要求，成立了辐射安全与环境保护管理领导小组，安排专人负责辐射安全管理工作，明确相关管理人员、辐射工作人员职责，指导研究所辐射安全管理工作；已制定了较为完善的规章制度，主要有：《辐射安全管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《射线装置操作人员培训制度》、《射线装置操作人员岗位职责》、《射线装置维护、检修制度》、《辐射工作场所监测制度》、《射线装置操作人员健康管理制度》等；已针对可能发生辐射事故类型，研究所已制定《辐射事故应急预案》并进行定期演练；依据“陕环发〔2015〕80号”文件相关内容，研究所已对原有 X 射线装置的安全性能以及工作场所进行标准化管理，配备相应的辐射安全与防护措施；陕西应用物理化学研究所已配备 1 台辐射监测仪器和 1 台个人剂量报警仪，基本上能够满足研究所原有核技术应用项目规模需要。

仅限陕西应用物理化学研究所新增射线装置技术利用项目公示

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》(GB18871-2002)

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	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) / 最大能量 (MeV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	450kV 工业 CT	II 类	1	COMET, MXT-451HP/11	450kV	3.3	无损检测	甲区重点实验室 1 层 无损检测室 (一)	/
2	微焦点工业 CT	II 类	1	WorX XWT-160-TCNF	160kV	1.0	无损检测	甲区重点实验室 1 层 无损检测室 (二)	铅房
3	240kV 微焦点 DR 设备	II 类	1	WorX XWT-240-CT	240kV	2.0	无损检测	甲区药剂楼 1 层 1-6 号房无损检测室 (三)	铅房
4	300kV 微焦点 DR 设备	II 类	1	WorX XWT-300-CT	300kV	2.0	无损检测	乙区 2 号工房无损检测室 (四)	铅房

(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)	最大管电流 (mA)	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	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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/m<sup>3</sup>；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/m<sup>3</sup>）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》(修订版), 2015 年 1 月 1 日实施;</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》, 2018 年 12 月 29 日修订;</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》, 2003 年 10 月 1 日实施;</p> <p>(4) 《建设项目环境影响评价分类管理目录》, 部令第 44 号, 2017 年 9 月 1 日实施;</p> <p>(5) 《关于修改&lt;建设项目环境影响评价分类管理名录&gt;部分内容的决定》, 生态环境部令第 1 号, 2018 年 4 月 28 日实施;</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》, 2019 年 8 月 29 日修订;</p> <p>(7) 《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 日实施;</p> <p>(8) 《关于加强放射性同位素与射线装置辐射安全和防护工作的通知》, 环境保护部环发〔2008〕13 号, 2008 年 4 月 14 日;</p> <p>(9) 《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, 2017 年 12 月 6 日);</p> <p>(10) 《陕西省放射性污染防治条例》, 2014 年 10 月 1 日实施;</p> <p>(11) 《关于印发新修订的&lt;陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表&gt;的通知》, 陕环办发〔2018〕29 号, 2018 年 6 月 6 日。</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);</p> <p>(2) 《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ 117-2015);</p> <p>(3) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014);</p> <p>(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);</p> <p>(5) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001)。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 《辐射防护导论》;</p> <p>(2) 陕西应用物理化学研究所新增射线装置核技术利用项目环境影响评价委托书。</p>

表 7 保护目标及评价标准

评价范围							
<p>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”的要求,确定本项目评价范围为射线装置实体屏蔽墙为边界,半径 50m 范围内的区域。</p>							
保护目标							
<p>根据无损检测室周边环境关系及平面布置图(见图 1-3~图 1-8),本项目环境保护目标主要为该研究所从事无损检测操作的工作人员、无损检测室周围各实验室、值班室工作人员及其他公众人员。本项目环境保护目标见表 7-1。</p>							
表 7-1 本项目主要环境保护目标							
序号	名称	保护对象	人数	方位	保护目标	相对距离(m)	剂量约束值(mSv/a)
1		放射工作人员	1 人	南	南侧的操作间	0~2.68m	5
2	无损检测室(一)(450kV 工业 CT)	其他工作人员及公众人员	约 5 人	正上方	薄膜制备实验室	0~4.5m	0.25
			流动人口		北侧楼梯、重点实验室北侧通道	0~26m	
			流动人口		海巢海鲜酒楼	26m~50m	
			约 168 人		213 研究所住宅楼	30m~50m	
			约 36 人	东	实验室、配电室、值班室等工作人员	0~50m	
			约 4 人	南	实验室	0~15.2m	
			流动人口	南	重点实验室南侧通道	15.2~50m	
流动人口	西	重点实验室西侧通道、朱雀大街流动人员	0~50m				
3	无损检测室(微焦点工业 CT)	放射工作人员	1 人	北	操作间	0~2.68m	5
			流动人口	正上房	过道	0~4.5m	0.25
4	无损检测室(微焦点工业 CT)	其他工作人员及公众人员	约 7 人	北	重点实验室各实验室及操作间	0~50m	
			约 36 人	东	更衣室、实验室、配电室、值班室等	0~50m	
			约 15 人	南	重点实验室的实验室、药剂楼	0~50m	
			流动人口	西	重点实验室西侧人行道、朱雀大街	0~50m	0.25
5	无损检测室(240kV 微)	放射工作人员	1 人	西	操作台	/	5

6	焦点 DR 设备)	其他工作人员及公众人员	约 2 人	正上方	废水常规处理室、废水贮存室	0~4.5m	0.25
			约 150 人	北	重点实验室工作人员	0~50m	
			约 5 人	东	水泵间、值班室等	0~50m	
			流动人员	南	实验室及南侧篮球场	0~50m	
			约 10 人	西	实验室、维修间等	0~50m	
7	无损检测室 (300kV 微焦点 DR 设备)	放射工作人员	1 人	西	操作台	/	5
其他工作人员及公众人员		约 10 人	四周	2 号工房其他工作人员、其他工房工作人员	0~50m	0.25	

仅限陕西应用物理研究所新增射线装置技术利用项目公示

## 评价标准

### 一、职业人员和公众的辐射剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)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)不超过 20mSv;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 1mSv。

另外,根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)第 11.45.2 款规定:剂量约束值通常应在公众照射剂量的限值 10%~30% (0.1mSv~0.3mSv) 的范围之内,但剂量约束值的使用不应取代最优化要求,剂量约束值只能作为最优化值的上限。

依据“辐射防护安全与最优化原则”,本项目取评价标准限值的四分之一作为剂量约束值,即对公众成员取 0.25mSv/a 作为剂量约束值,工作人员职业照射取 5mSv/a 作为剂量约束值。

### 二、《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ 117-2015)

本标准规定了工业 X 射线探伤装置和探伤作业场所及有关人员的放射卫生防护要求。本标准适用于 500kV 以下的工业 X 射线探伤装置(以下简称 X 射线装置)的生产和使用。

#### 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免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 $\mu$ Sv/周,对公众不大于 5 $\mu$ Sv/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 $\mu$ Sv/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  $100\mu\text{Sv/h}$ 。

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。

仅限陕西应用物理研究所新增射线装置技术利用项目许可

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

项目位于西安市雁塔区、长安区，地理位置详见图 1-1、图 1-2。

(2) 辐射环境质量现状

根据《陕西省 2019 年第 3 季度辐射环境质量季报》，西安市标准型自动站  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率监测值在 74.3~109.9nGy/h，与《陕西省环境伽马辐射剂量水平现状研究》1988 年报告（全省室内为 0.087~0.203 $\mu$ Gy/h，平均值为 0.130 $\mu$ Gy/h，室外为 0.066~0.188 $\mu$ Gy/h，平均值为 0.099 $\mu$ Gy/h）相当，处于正常本底水平。

仅限陕西应用物理研究所新增射线装置技术利用项目

表 9 项目工程分析和源项

工程设备和工艺分析

1、放射性污染源

本项目主要利用 4 台定向 X 射线机在工作时发出的 X 射线对产品进行无损检测。根据环境保护部、国家卫生和计划生育委员会 2017 年第 66 号公告，项目 4 台探伤机均属于 II 类射线装置，事故时可以使受到照射的人员产生较严重放射损伤，其安全与防护要求较高。

2、探伤作业工况

根据研究所提供资料，本项目 4 台探伤机共 4 名操作人员，一班制。450kV 工业 CT、微焦点工业 CT 工作时间约 600h/a（15h/周），实时数字化成像；240kV 微焦点 DR 设备、300kV 微焦点 DR 设备工作时间约 900h/a（15h/周），实时数字化成像。探伤室设有机械通风装置，工作期间进行通风。

3、工作原理

(1) X 射线机工作原理

X 射线探伤机主要由 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、钼、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，高压电压加在 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，X 射线探伤所利用的就是其释放出的 X 射线。典型的 X 射线管结构图见图 9-1。

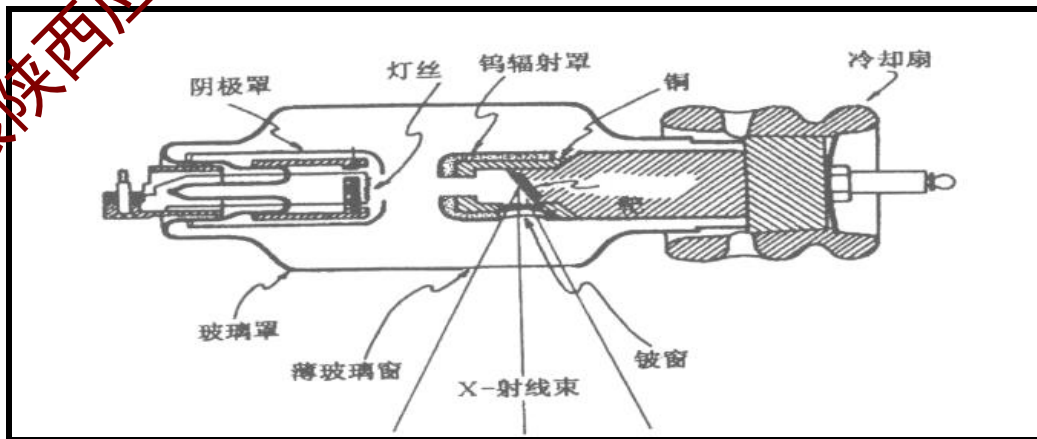


图 9-1 典型的 X 射线管结构图

## (2) X 射线无损检测原理

X 射线管中的电子束轰击阳极靶产生 X 射线，经准直器准直后，窄束 X 射线射向工件进行分层扫描，X 射线与探测器分别位于工件两侧的相对位置，检测时 X 射线束从固定方向对被测工件的断面进行扫描，被测工件可以旋转各个角度，位于对侧相对位置的探测器接收透过断面的 X 射线，然后将这些 X 射线信息转变为电信号，再转化为数字图像，最后由图像显示器用不同等级的灰度等级显示出来。由于被测工件不同部位及缺陷处的原子序数及密度等均会有差异，因此 X 射线在穿过被测工件时的减弱也会不同。工业 CT 可给出工件任一平面层的图像，可以发现平面内任何方向分布的缺陷，具有不重叠、层次分明、对比度高和分辨率高等特点，可准备定位缺陷的位置和性质。

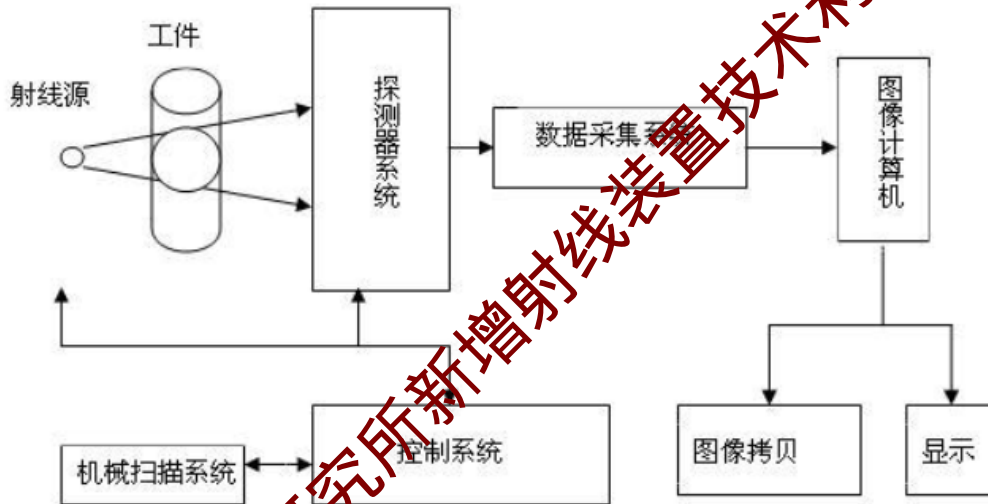


图 9-2 工业 CT 结构示意图

## (3) X 射线数字化成像检测系统

X 射线穿透金属材料后被实时成像系统的图像增强器所接收，图像增强器把不可见的 X 射线检测信息转换为可视图像，称为“光电转换”；就信息量的性质而言，可视图像是模拟量，它不能为计算机所识别，如要输入计算机进行处理，则需将模拟量转换为数字量，进行“模 / 数转换”，再经计算机处理将可视图像转换为数字图像。其方法是用高清晰度电视摄像机摄取可视图像，输入计算机，转换为数字图像，经计算机处理后，在显示器屏幕上显示出材料内部的缺陷性质、大小、位置等信息，按照有关标准对检测结果进行缺陷等级评定，从而达到材料质量检测的目的。

## 4、工作流程及产污环节

### (1) 探伤作业工作流程

- ① 将待测工件送至探伤室（铅房）；使工件处于射线出束口与图像增强器之间。
- ② 确认门机联锁等正常，启动通风装置；确认所有人员撤离探伤室，关闭铅房防护门。
- ③ 确认各连接电缆连接正确，接通电源、开机。
- ④ 根据检测工件的材料厚度设定曝光参数，（曝光所要使用的管电压值和曝光时间值）启动曝光操作。
- ⑤ X射线探伤机持续产生X射线，由控制系统控制工件连续通过射线出束口与图像增强器之间，检测系统显示器实时显示通过工件的检测图像，工作人员根据显示图像判断工件内部是否有缺陷。
- ⑥ 无损检测室（四）设备主要用于长工件进行无损检测，也可用于小工件检测。设备一侧由多部分组成，上面均设有防护盖可以打开，工件放置时，打开防护盖，放好后，盖好防护盖，无损检测完成后，仍然是打开防护盖板取出工件。

#### (2) 探伤作业产污环节

探伤过程中产生的X射线和X射线电离空气产生的O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub>等有害气体，X射线探伤机工作流程及产污环节见图9-3。

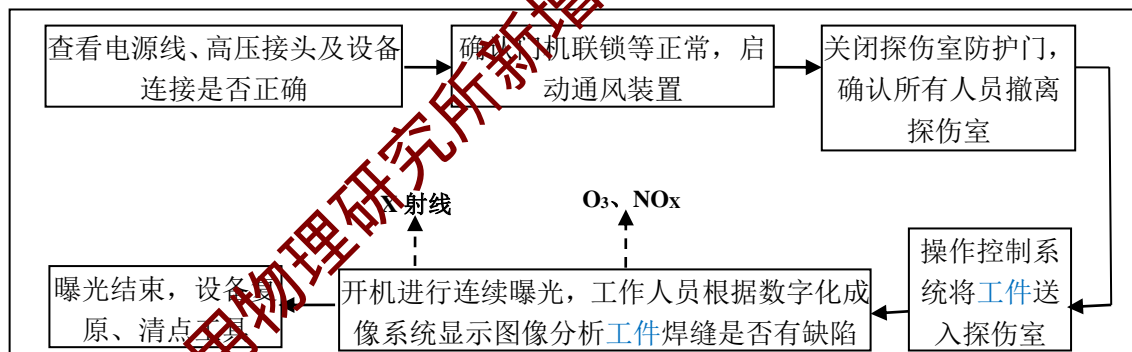


图 9-3 工作流程及产污环节图

#### 5、正常工况的污染途径

射线装置发出的X射线经透射、散射，对作业场所及周围环境产生X射线辐射，穿透探伤室屏蔽体的X射线造成探伤室周围辐射水平升高，工作人员和公众在此区域活动时对其产生一定的外照射。

#### 6、事故工况的污染途径

本项目在运行过程中可能发生的事故有：

开机检测时，门机联锁失效，操作人员或公众误入控制区内造成误照射；或门机联锁失效，防护门未完全关闭的情况下射线装置出束，防护门处泄露X射线对工作人员及公众

造成额外照射；仪器出现故障时的不受控出束，对射线装置周围活动人员产生误照射。

### 污染源项描述

#### 1、X射线

由X射线探伤机的工作原理可知，X射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，X射线探伤机在开机曝光期间，会产生X射线，辐射途径为外照射。

#### 2、O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub>

当电压为0.6kV以上时，X射线能使空气电离，本项目探伤机工作电压为160kV~450kV，运行时产生的X射线会使空气电离产生少量O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub>。根据建设单位提供资料，无损检测室(一)拟安装通排风设施，排风量为2000m<sup>3</sup>/h；无损检测室(二)、无损检测室(三)、无损检测室(四)铅房内部拟设通风换气设施，排风量分别为1500m<sup>3</sup>/h、2000m<sup>3</sup>/h、2000m<sup>3</sup>/h。

#### 3、其他

本项目射线装置为数字化成像检测系统，不使用显定影液，不产生废显(定)影液和废旧胶片等。

仅限陕西应用物理研究所新增射线装置技术利用项目公示

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1、辐射工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002), 应把辐射工作场所分为控制区和监督区, 以便于辐射防护管理和职业照射控制。本次环评中根据国际放射防护委员会第 103 号出版物对控制区和监督区的定义:

控制区: 在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散, 以及在一定程度上预防或限制潜在照射, 要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。

监督区: 未被确定为控制区、通常不需采取专门防护手段和措施但要不断检查其职业照射条件的任何区域。

根据《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ117-2002)“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”要求, 本项目需划定控制区与监督区。根据项目实际布局情况, 无损检测室(一)屏蔽体内所有区域划分为控制区, 周边区域划分为监督区, 辐射工作场所分区示意图见图 10-1~10-4。

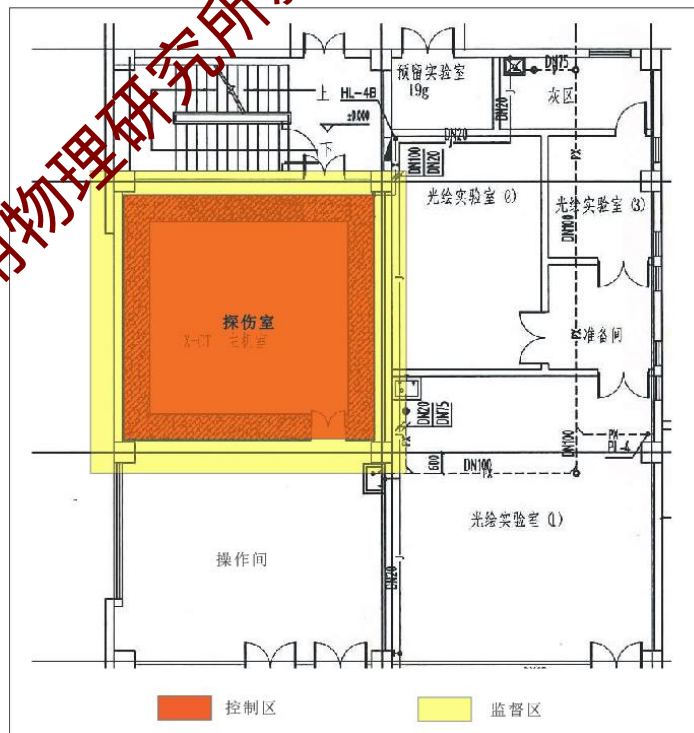


图 10-1 无损检测室(一)辐射工作场所分区示意图

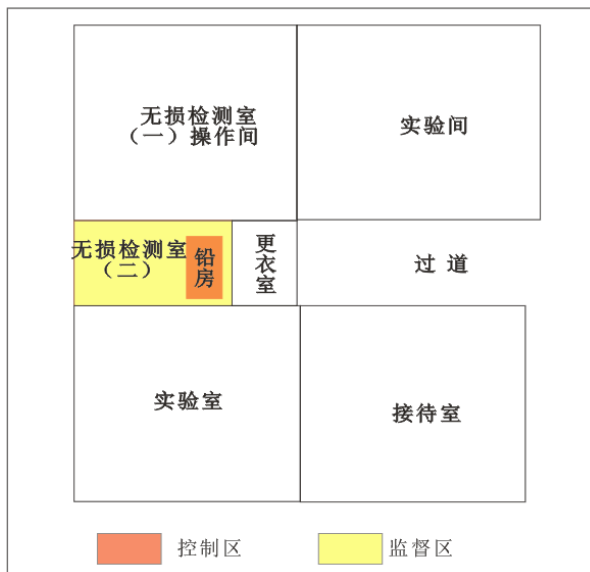


图 10-2 无损检测室（二）辐射工作场所分区示意图



图 10-3 无损检测室（三）辐射工作场所分区示意图

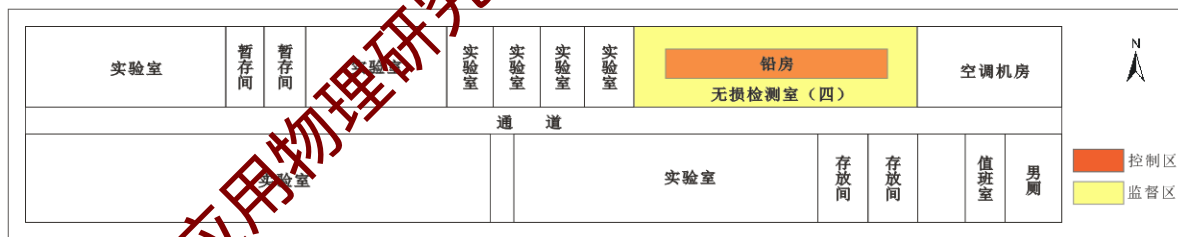


图 10-4 无损检测室（四）辐射工作场所分区示意图

## 2、辐射防护屏蔽设施

本项目射线装置产生的射线为 X 射线，针对射线装置所使用的最大工作状态，陕西应用物理化学研究所已对探伤室进行辐射防护屏蔽设计，各探伤室（铅房）的相关设计参数如下，各探伤室（铅房）屏蔽设计参数见表 10-1 和图 10-5~10-11。其中无损检测室（四）设备由铅房及两侧通道组成，铅房部分防护措施详见表 10-1，两侧通道靠近铅房 1.0m 处防护设施为 14mmPb，1.0~2.0m 处为 6mmPb，末端剩余部分为 4mmPb。



表 10-1 各探伤室（铅房）辐射屏蔽情况

无损检测室	设备参数	出束方向	机房/铅房净尺寸 m (长×宽×高)	墙体及屋顶/铅房 防护设计	防护门/ 窗	
无损检测室（一）	450kV 工业 CT: COMET, MXT-451HP/11; 最大管电压 450kV, 最大管电流 3.3mA	向北	7.285m×7.11m×4.5m	四周墙体为 750mm 钢筋混凝土, 屋顶为 750mm 钢筋混凝土	150mmPb	
无损检测室（二）	微焦点工业 CT: WorX XWT-160-TCNF; 最大管电压 160kV, 最大管电流 1.0mA	向南	2.51m×1.4m×2.02m (铅房)	北	6mmPb	8mmPb
				东	6mmPb	
				南	8mmPb	
				西	6mmPb	
				屋顶	6mmPb	
无损检测室（三）	240kV 微焦点 DR 设备: WorX XWT-240-CT; 最大管电压 240kV, 最大管电流 2.0mA	向下	2.18m×1.9m×2.665m (铅房)	北	13mmPb	13mmPb
				东	12mmPb	
				南	13mmPb	
				西	13mmPb	
				屋顶	11mmPb	
无损检测室（四）	300kV 微焦点 DR 设备: WorX XWT-300-CT; 最大管电压 300kV, 最大管电流 2.0mA	向下	12.2m×2.5m×2.02m (铅房)	北	19mmPb	21mmPb
				东	21mmPb	
				南	21mmPb	
				西	21mmPb	
				屋顶	16mmPb	
				两侧通道	靠近铅房 1.0m 处 14mmPb, 1.0~2.0m 处 6mmPb, 末端剩余部分 4mmPb	

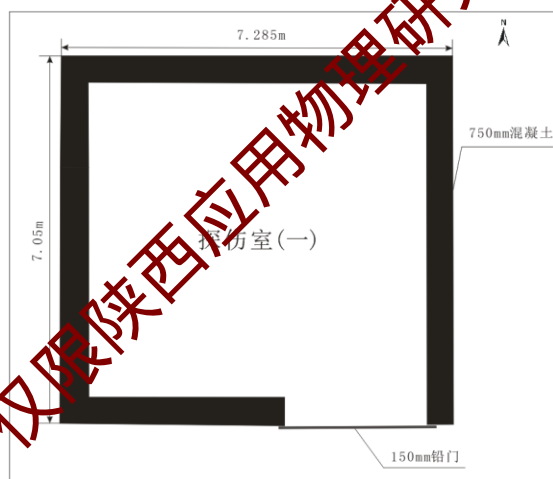


图 10-5 无损检测室（一）平面图

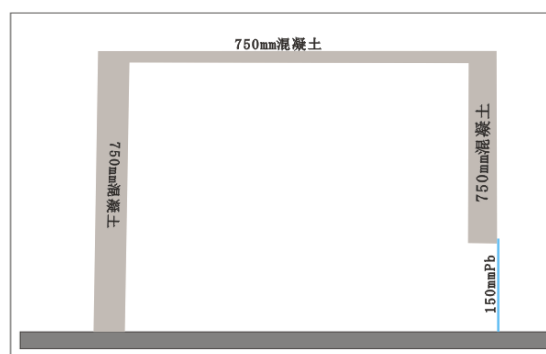


图 10-6 无损检测室（一）立面图

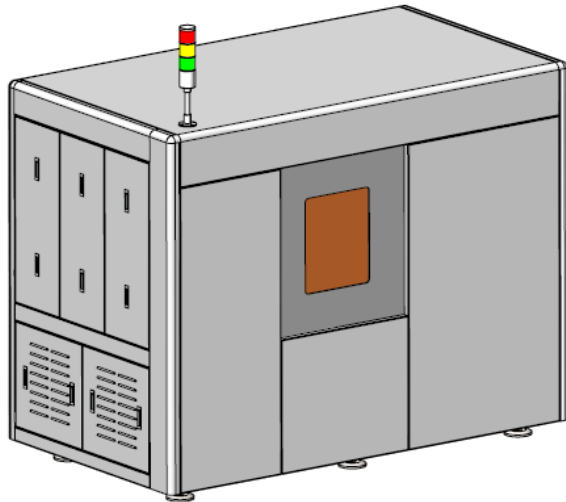


图 10-7 无损检测室（二）铅房外观

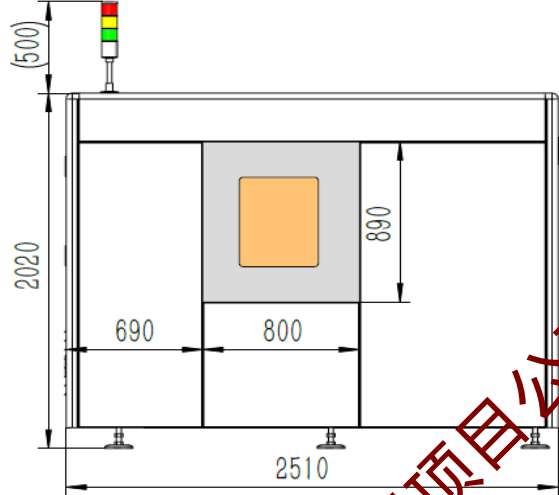


图 10-8 无损检测室（二）铅房立面图

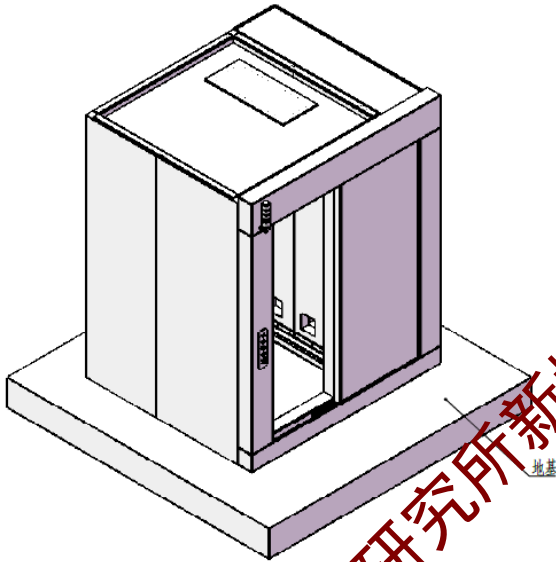


图 10-9 无损检测室（三）铅房外观

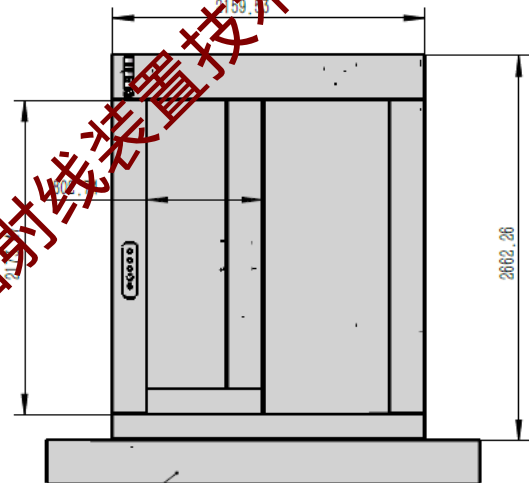


图 10-10 无损检测室（三）铅房立面图

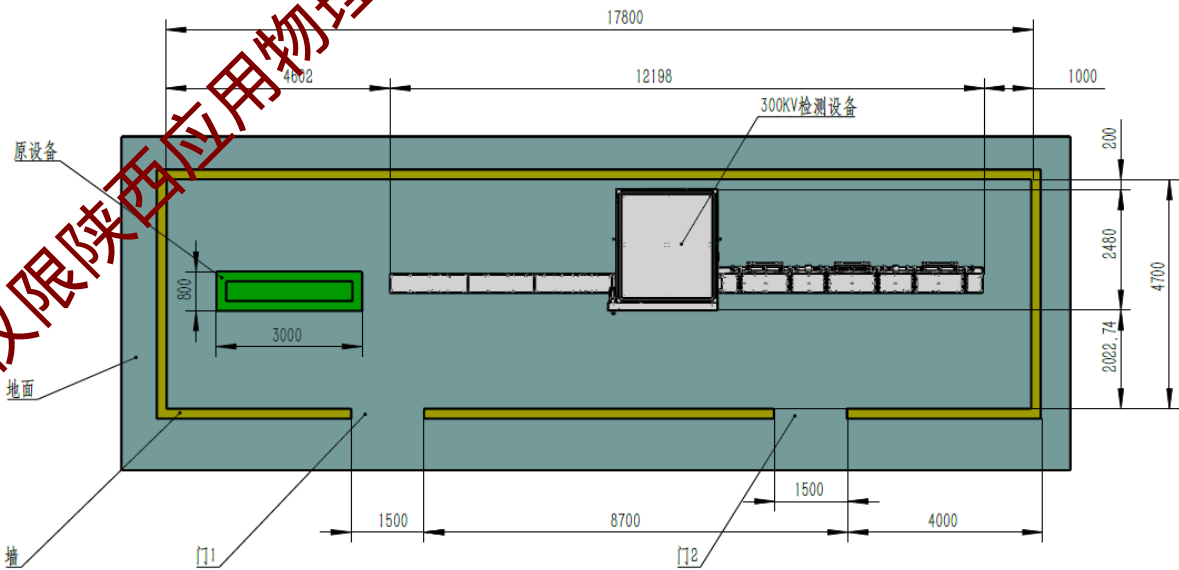


图 10-11 无损检测室（四）平面布置图

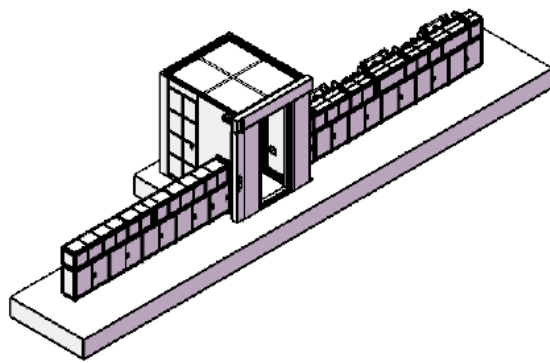


图 10-12 无损检测室（四）外观

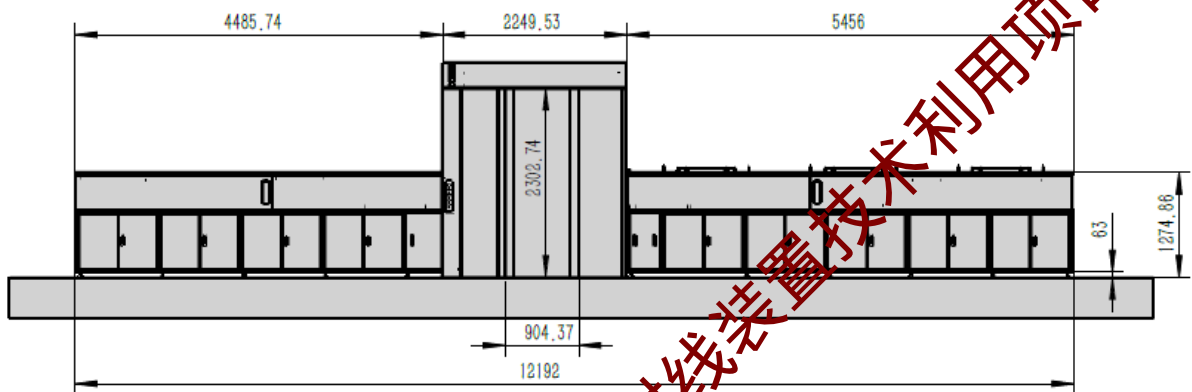


图 10-13 无损检测室（四）立面图

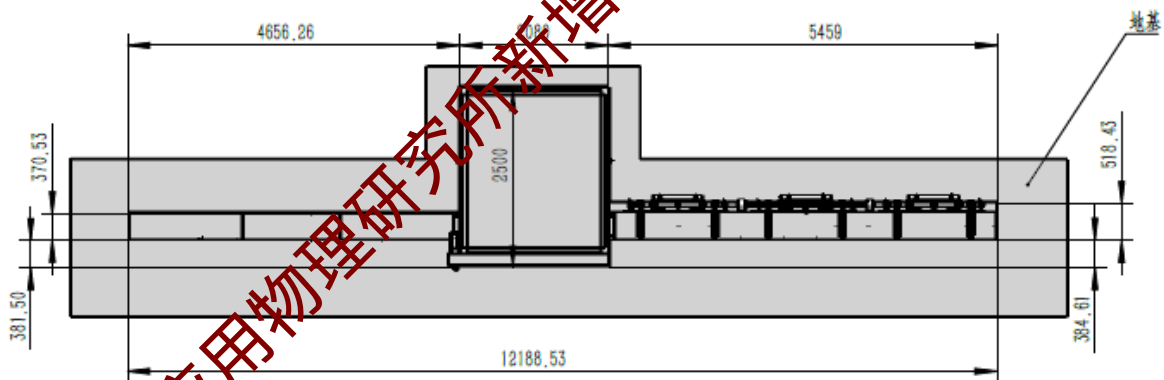


图 10-14 无损检测室（四）俯视图

### 3、辐射安全措施

根据《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015），该项目应采取的辐射安全措施如下：

- (1) 控制台应设置有 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。
- (2) 控制台应设置有高压接通时的外部报警或指示装置。
- (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。

(4) 控制台应设有钥匙开关，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。

(5) 控制台应设置紧急停机开关。

(6) 控制台应设置辐射警告、出束指示和禁止非授权使用的警告等标识。

(7) 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。

(8) 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。

(9) 探伤室应设置门-机联锁装置，并保证在门关闭后 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。

(10) 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。

(11) 照射状态指示装置应与 X 射线探伤装置联锁。

(12) 探伤室（铅房）内外醒目位置应有清晰的对“预备”和“照射”信号意义的说明。

(13) 探伤室（铅房）防护门上应有电离辐射警告标识和中文警示说明。

(14) 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。

(15) 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。

(16) 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并迅速切断探伤机电源，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。个人剂量计定期送交有资质的检测单位进行测量，并建立个人剂量档案。

#### 4、安全管理措施

为了加强该项目的辐射安全管理工作，规范和强化应对辐射事故的能力，陕西应用物理化学研究所成立了辐射安全与环境保护管理领导小组，安排专人负责辐射安全管理工作，防止辐射污染事故发生，保护环境，保障工作人员、公众身体健康。研究所已制定了较为完善的规章制度，主要有：《辐射安全管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《射线装置操作人员培训制度》、《射线装置操作人员岗位职责》、《射线装置维护、检修制度》、《辐射工作场所监测制度》、《射线装置操作人员健康管理制度》、《陕西应用物理化学研究所辐射事故应急预案》等，用于指导、规范生产作业过程中的辐射安全。

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第449号），使用射线装置的单位，应严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定，对直接从事使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案，并对档案中出现问题及时采取有效措施妥善处理。

#### 5、核技术利用单位辐射安全管理标准化建设

根据陕环办发〔2018〕29号关于印发修订的《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，对核技术利用单位辐射安全管理标准化建设提出了要求。根据建设单位提供资料，陕西应用物理化学研究所辐射安全管理部分内容建设情况详见表 10-3；辐射安全防护措施部分建设单位应严格按照文件要求进行标准化建设，详见表 10-4。

表 10-3 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	制度建设情况 (有/无)
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	有
		年初工作安排和年终工作总结时,应包含辐射环境安全管理工作内容	有
		明确涉辐部门和岗位的辐射安全职责	有
		提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障	有
	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	有
		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	有
		建立辐射安全管理制度,跟踪落实各岗位辐射安全职责	有
		建立辐射环境安全管理档案	有
		对辐射工作场所定期巡查,发现安全隐患及时整改,并有巡查及整改记录	有
		岗前进行职业健康体检,结果无异常	有
		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	有
		了解本岗位工作性质,熟悉本岗位辐射安全职责,并承诺保岗位辐射安全做出承诺	有
		熟悉辐射事故应急预案的内容,发生紧急情况时,能有效处理	有
		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环境安全管理机构负责人
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	有	
	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	有	
	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	有	
	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	有	
	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,保证职业人员健康档案的连续有效性	有	
	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)	有	
	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	有	
应急管理	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	有	
	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 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	有	

表 10-4 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表（五）  
辐射安全防护措施部分——工业探伤类

项目		具体要求	
工业 X 射线探伤	控制台安全性	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	
		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	
		控制台设置有高压接通时的外部报警或指示装置	
		控制台或X射线管头组装体上设置探伤室门联锁接口	
		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	
		控制台设有紧急停机开关	
	固定式探伤作业场所	分区	按标准要求划分控制区、监督区
			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	探伤室与操作室分开，并避开有用线束照射的方向
		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
		标志及指示灯	探伤室防护门上设置电离辐射警示标志和中文警示说明
			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射线探伤装置联锁
			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
		辐射安全与连锁	探伤室设置门-机联锁装置
			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
		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

陕西省应用物理研究所新增射线装置技术利用项目公示

### 三废的治理

本项目不产生放射性“三废”，产生的非放射性废物主要包括 O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub>。

本项目各探伤机产生的 X 射线能量较低，探伤过程中产生的 O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub> 较少，各机房内设置机械通风装置，无损检测室（一）排风量为 2000m<sup>3</sup>/h，无损检测室（二）为 1500m<sup>3</sup>/h，无损检测室（三）为 2000m<sup>3</sup>/h，无损检测室（四）为 2000m<sup>3</sup>/h，运行期间通风次数可满足机房通风换气要求。

仅限陕西应用物理研究所新增射线装置技术利用项目公示



表 11 环境影响分析

**11.1 建设阶段对环境的影响**

本项目仅在已有建筑内安装设置，施工期环境影响较小。

**11.2 运行阶段对环境的影响**

**11.2.1 辐射防护屏蔽能力分析**

本项目新增 4 台 X 射线探伤机。由于各无损检测室尺寸、探伤机参数均不同，本次评价对各无损检测室防护能力、年有效附加剂量分别进行估算。

**1、辐射防护屏蔽理论估算模式**

理论估算的方法验证无损检测室屏蔽防护性能，计算模式参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014），该标准适用于 500kV 以下工业 X 射线探伤装置的探伤室防护性能计算。

(1) 探伤室辐射屏蔽的剂量参考控制水平

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：

① 相应  $H_C$  的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{C,d}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 按公式(1)计算。

$$\dot{H}_{C,d} = H_C / (t \cdot U \cdot T) \quad \text{公式(1)}$$

式中： $H_C$  为周剂量参考控制水平，单位为  $\mu\text{Sv/周}$ ，职业工作人员  $H_C \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ，公众  $H_C \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ ；

$U$  为探伤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；

$t$  为探伤装置周照射时间，单位为  $\text{h/周}$ 。

$t$  按公式(2)计算：

$$t = W / (60 \cdot I) \quad \text{公式(2)}$$

式中： $W$ —X 射线探伤的周工作负荷（平均每周 X 射线探伤照射的累积“ $\text{mA} \cdot \text{min}$ ”值）， $\text{mA} \cdot \text{min/周}$ ；

60—小时与分钟的换算系数；

$I$ —X 射线探伤装置在最大管电压下的常用最大管电流， $\text{mA}$ 。

② 关注点最高剂量率参考控制水平  $H_{C,max}$ ：

$$H_{C,max} = 2.5 \mu\text{Sv/h}$$

③ 关注点剂量率参考控制水平

$H_c$  为上述①中的  $H_{c,d}$  和②中的  $H_{c,max}$  二者的较小值。

(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公式(1)。

B 除 A 的条件外，应考虑下列情况：

a 穿过探伤室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(1)的剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$  加以控制。

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  $100\mu\text{Sv/h}$ 。

由于无损检测室（一）屋顶为薄膜制备实验室（224）；无损检测室（二）、无损检测室（三）、无损检测室（四）为铅房，屋顶一般无人员到达；因此无损检测室（一）屋顶的周剂量率参考控制水平为  $5\mu\text{Sv/周}$ ，无损检测室（二）、无损检测室（三）、无损检测室（四）屋顶的周剂量率参考控制水平取  $100\mu\text{Sv/周}$ 。

(3) 有用线束屏蔽估算

有用线束屏蔽物质的透射因子 B 按下式计算：

$$B = \dot{H}_c \cdot R^2 / (I \cdot H_0) \quad (\text{公式 3})$$

式中：B—为屏蔽所需透射因子；

$\dot{H}_c$ —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  $6\times 10^4$ 。

对于估算处的屏蔽透射因子 B，所需屏蔽物质厚度 X 按下式计算：

$$X = -TVL \cdot \lg B \quad \text{公式(4)}$$

式中：TVL—为屏蔽物质的什值层厚度，mm；

B—达到剂量率参考控制水平  $H_c$  时所需的屏蔽透射因子。

(4) 泄漏辐射和散射辐射屏蔽

① 泄漏辐射屏蔽

泄露辐射屏蔽物质的透射因子  $B$  按下式计算：

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

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， $\text{m}$ ；

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

② 散射辐射屏蔽物质的透射因子  $B$  按下式计算：

$$B = \dot{H}_C \cdot R_s^2 / (I \cdot H_0) \cdot R_0^2 / (F \cdot a) \quad \text{公式(6)}$$

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， $\text{m}$ ；

$R_0$  为辐射源点至探伤工件的距离， $\text{m}$ ；

$I$  为 X 射线探伤装置在最高管电压下的最大管电流， $\text{mA}$ ；

$H_0$  为距离辐射源点（靶点） $1\text{m}$  处的输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ （最大管电压为  $200\text{kV}$ ，对应的散射辐射按  $150\text{kV}$  计）；

$F$  为  $R_0$  处的辐射野面积， $\text{m}^2$ ；

$a$  为散射因子，入射辐射被单位面积散射体散射到距其  $1\text{m}$  处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比。本项目 X 射线管电流为  $5\text{mA}$ ，按典型条件来考虑，射线探伤装置圆锥束中心轴和圆锥边界的夹角为  $20$  度， $R_0^2 / (F \cdot a)$  因子的值为  $50$ （ $200\text{kV} \sim 400\text{kV}$ ）。

③ 泄露辐射和散射辐射的复合作用

分别估算泄露辐射和散射辐射，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（ $1TVL$ ）。

(5) 对于给定的屏蔽物质厚度  $X$ ，相应的辐射屏蔽透射因子按下式计算：

$$B = 10^{-X/TVL} \quad \text{公式(7)}$$

式中： $X$  为屏蔽物质厚度，与  $TVL$  取相同单位；

$TVL$  为屏蔽物质的半值层厚度， $\text{mm}$ 。

(6) 年有效剂量可按下式计算：

$$P_{\text{年}}=H \cdot U \cdot T \cdot t \quad \text{公式(8)}$$

式中： $P_{\text{年}}$ 为年有效剂量，mSv/a；

$t$ 为年工作时间。

## 2、理论估算参数

根据建设单位提供资料，4台X射线机工作时间均为每周40h，理论估算时每台X射线机工作时间按40h/周计。

### (1) 无损检测室（一）估算参数

无损检测室（一）的450kV工业CT机X射线曝光类型为定向（主射东方向向北，仅北墙为射线出口方向，因此北墙考虑有用线束屏蔽，屋顶、东墙、南墙、西墙及防护门考虑泄露辐射、散射辐射屏蔽）。探伤室四面墙体及防护门外表在30cm处作为关注点，屋顶（二楼有实验室工作人员）、东西北三面墙体、防护门外30cm处周剂量率控制水平取 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，探伤室南墙体（操作间）外30cm处周剂量率控制水平取 $100\mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

有用线束估算参数：根据建设单位提供资料，本项目450kV工业CT最大管电压为450kV，根据《辐射防护手册（第一分册）辐射源与屏蔽》中图4.4d，恒定电压为450kV的X射线机距离靶1m处的输出量约 $400(\text{mA} \cdot \text{min})$ （按3mm铜过滤条件考虑），根据公式 $1R=8.69E-03\text{Gy}$ ，计算可得距辐射源点（靶点）1m处输出量为 $34.76\text{mGy} \cdot \text{m}^2/(\text{mA} \cdot \text{min})$ 。X射线束在铅和混凝土中的半值厚度参考ICRP Publication 33第78页表3中500kV管电压的半值层厚度，对应的铅的半值层/半值层厚度为10.3mm/3.1mm，混凝土的半值层/半值层厚度为119mm/36mm。

泄露辐射、散射辐射估算参数：450kV工业CT最大管电压为450kV，根据《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表1，距靶点1m处的泄露辐射剂量率 $5 \times 10^3 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ；X射线 $90^\circ$ 散射辐射的最高能量低于入射X射线的最高能量，保守取400kV，则对应的铅的半值层厚度为8.2mm，混凝土的半值层厚度为100mm。

无损检测室（一）屏蔽厚度理论参数见表11-1。

表 11-1 无损检测室（一）X射线机屏蔽厚度理论估算参数

方向	居留因子 <sup>①</sup>	距离 R(m)	关注点剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	需屏蔽的辐射源
东墙	1	5.435	0.33	泄露辐射、散射辐射
南墙	1	3.6	2.5	泄露辐射、散射辐射
西墙	1/4	2.45	1.33	泄露辐射、散射辐射

北墙	1/4	4.05	1.33	有用线束
铅门	1	3.6	2.5	泄露辐射、散射辐射
屋顶	1	3.1	0.33	泄露辐射、散射辐射

注：①根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 A，东侧有实验室工作人员，南侧为放射工作人员区，屋顶为实验室，东侧、南侧及屋顶属于全居留场所，居留因子取 1；北侧楼梯及西侧墙外人行通道，属于部分居留，居留因子取 1/4。②关注点剂量率参考控制水平首先按公式(1)进行计算得出 Hc,d，Hc 取 Hc,d 和 Hc,max 二者的较小值。

(2) 无损检测室（二）（微焦点工业 CT）估算参数

无损检测室（二）的 X 射线曝光类型为定向（向南，仅南墙为射线出口方向，因此铅房南墙考虑有用线束屏蔽，屋顶、北墙、东墙、西墙均考虑泄露辐射、散射辐射屏蔽）。铅房位于无损检测室内，将铅房四面墙体及屋顶表面 30cm 处作为关注点，周剂量率控制水平取 100 $\mu$ Sv/周。

①有用线束估算：无损检测室（二）微焦点工业 CT 最大管电压为 160kV，《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250 -2014）中未给出 160kV 管电压 X 射线对应的什值层/半值层厚度，按最不利情况考虑，参考 200kV 管电压的参数进行估算。X 射线管电压为 200kV 时距辐射源点（靶点）1m 处输出量为 18.9mGy $\cdot$ m<sup>2</sup>/（mA $\cdot$ min）（3mm 铝滤过条件）；规范中仅有 200kV、150kV 的 X 射线在介质中的什值层/半值层厚度，没有 160kV 的，采用《X 射线  $\gamma$  射线防护手册》第 79 页内插法进行估算；200kV、150kV 的 X 射线在铅中的什值层/半值层厚度分别为 1.4mm/0.42mm、0.96mm/0.29mm，用内插法估算 160kV 的 X 射线在铅中的什值层/半值层厚度约为 1.05mm/0.32mm。

②泄露辐射、散射辐射估算参数：根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 1，160kV 的 X 射线距靶点 1m 处的泄漏辐射剂量率 2.5 $\times$ 10<sup>3</sup> $\mu$ Sv/h；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，100~200kV 之间的原始 X 射线使用 150kV 射线对应的什值层/半值层厚度，150kV X 射线混凝土/铅的什值层厚度为 70mm/0.96mm、半值层厚度为 22mm/0.29mm。

无损检测室（二）屏蔽厚度理论参数见表 11-2。

表 11-2 无损检测室（二）铅房 X 射线机屏蔽厚度理论估算参数

方向	居留因子	距离 R (m)	关注点剂量率参考控制水平 ( $\mu$ Sv/h)	需屏蔽的辐射源
东墙	1	0.9	2.5	泄露辐射、散射辐射
南墙	1	1.42	2.5	有用线束
西墙	1	0.9	2.5	泄露辐射、散射辐射
北墙	1	1.09	2.5	泄露辐射、散射辐射
屋顶	1/4	0.75	2.5	泄露辐射、散射辐射

注：①根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 A，铅房四侧及屋顶均性职业人员工作场所，属于全居留，居留因子取 1；铅房屋顶无人，场所属于部分居留，居留因子取 1/4。②关注点剂量率参考控制水平首先按公式(1)进行计算得出 Hc,d，Hc 取 Hc,d 和 Hc,max 二者的较小值。

### (3) 无损检测室（三）（240kV 微焦点 DR 设备）估算参数

无损检测室（三）的 X 射线曝光类型为定向（向下，仅地面方向为射线出口方向，因此铅房屋顶、四周墙体考虑泄露辐射、散射辐射屏蔽）。

无损检测室（三）微焦点 DR 设备最大管电压为 240kV，《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250 -2014）中未给出 240kV 管电压 X 射线对应的什值层/半值层厚度，保守采用 250kV 射线对应的铅什值层/半值层厚度，约 2.9mm/0.86mm；距辐射源点（靶点）1m 处输出量选取 250kV 管电压的参数进行估算，为  $13.9\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ （3mm 铝滤过条件）。根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 1，距靶点 1m 处的泄漏辐射剂量率  $5.0\times 10^3\mu\text{Sv/h}$ ；X 射线  $90^\circ$  散射辐射的最高能量低于入射 X 射线的最高能量，200~300kV 之间的原始 X 射线使用 200kV 射线对应的什值层/半值层厚度，200kV 的 X 射线铅的什值层厚度为 4.4mm、半值层厚度为 0.42mm。

无损检测室（三）屏蔽厚度理论参数见表 11-3。

表 11-3 无损检测室（三）微焦点 X 射线机屏蔽厚度理论估算参数

方向	居留因子	距离 R (m)	关注点剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	需屏蔽的辐射源
东墙	1	1.2	2.5	泄露辐射、散射辐射
南墙	1	1.3	2.5	泄露辐射、散射辐射
西墙	1	1.2	2.5	泄露辐射、散射辐射
北墙		1.3	2.5	泄露辐射、散射辐射
屋顶	1	1.9	2.5	泄露辐射、散射辐射

注：①根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 A，铅房周围为职业工作人员，场所属于全居留，居留因子取 1。②关注点剂量率参考控制水平首先按公式(1)进行计算得出 Hc,d，Hc 取 Hc,d 和 Hc,max 二者的较小值。

### (4) 无损检测室（四）（300kV 微焦点 DR 设备）估算参数

无损检测室（四）的 X 射线曝光类型为定向（向下，仅地面方向为射线出口方向，因此铅房屋顶、四周墙体考虑泄露辐射、散射辐射屏蔽）。

无损检测室（四）微焦点 DR 设备最大管电压为 300kV，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250 -2014）中表 B.2，300kV 管电压 X 射线在铅中的什值层/半值层厚度为 5.7mm/1.7mm，距辐射源点（靶点）1m 处输出量为  $20.9\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ （3mm 铝滤过条件）；根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 1，

距靶点 1m 处的泄漏辐射剂量率  $5.0 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ ; X 射线  $90^\circ$  散射辐射的最高能量低于入射 X 射线的最高能量, 200~300kV 之间的原始 X 射线使用 200kV 射线对应的什值层/半值层厚度, 200kV X 射线铅的什值层厚度为 1.4mm、半值层厚度为 0.42mm。

无损检测室(四)屏蔽厚度理论参数见表 11-4。

表 11-4 无损检测室(四)铅房 X 射线机屏蔽厚度理论估算参数

方向	居留因子	距离 R (m)	关注点剂量率参考控制水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	需屏蔽的辐射源
北墙	1	1.5	2.5	泄露辐射、散射辐射
东墙	1	5.67	2.5	泄露辐射、散射辐射
南墙	1	1.5	2.5	泄露辐射、散射辐射
西墙	1	4.85	2.5	泄露辐射、散射辐射
屋顶	1	1.85	2.5	泄露辐射、散射辐射

注: ①根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014)附录 A, 铅房四面墙体外为辐射工作人员, 屋顶位于无损检测室内, 场所属于全居留, 居留因子取 1。②关注点剂量率参考控制水平首先按公式(1)进行计算得出  $H_{c,d}$ ,  $H_c$  取  $H_{c,d}$  和  $H_{c,m}$  二者的较小值。

### 3、探伤室屏蔽厚度估算结果

根据前述公式及估算参数, 各探伤室防护墙屏蔽所需屏蔽厚度估算结果见表 11-5~表 11-8:

#### (1) 无损检测室(一)

无损检测室(一)墙体、防护门、屋顶厚度计算结果如下:

表 11-5 无损检测室(一)运行时探伤室屏蔽厚度估算结果

位置	混凝土/铅估算厚度				设计防护厚度	符合性
	泄露辐射防护厚度	散射辐射防护厚度	复合结果	有用线束		
东墙	322mm 混凝土	415mm 混凝土	451mm 混凝土	/	750mm 混凝土	符合
南墙	271mm 混凝土	363mm 混凝土	399mm 混凝土	/	750mm 混凝土	符合
西墙	333mm 混凝土	424mm 混凝土	460mm 混凝土	/	750mm 混凝土	符合
北墙	/	/	/	655mm 混凝土	750mm 混凝土	符合
屋顶	381mm 混凝土	464mm 混凝土	500mm 混凝土	/	750mm 混凝土	符合
铅门	23mmPb	30mmPb	33mmPb	/	150mmPb	符合

估算结果表明, 无损检测室(一) 450kV 工业 CT 在最大工作状态下, 探伤室设计墙体、防护门、屋顶厚度可以达到防护要求。

#### (2) 无损检测室(二)

无损检测室（二）墙体四周及屋顶厚度估算结果如下：

表 11-6 无损检测室（二）X 射线机运行时探伤室屏蔽厚度估算结果

位置	混凝土/铅估算厚度				设计防护厚度	符合性
	泄露辐射防护厚度	散射辐射防护厚度	复合结果	有用线束		
东墙	3.3mmPb	3.6mmPb	3.9mmPb	/	6mmPb	符合
南墙	/	/	/	5.28mmPb	8mmPb	符合
西墙	3.3mmPb	3.6mmPb	3.9mmPb	/	6mmPb	符合
北墙	3.1mmPb	3.5mmPb	3.8mmPb	/	6mmPb	符合
屋顶	3.5mmPb	3.8mmPb	4.1mmPb	/	6mmPb	符合

估算结果表明，无损检测室（二）微焦点工业 CT 在最大工作状态下，铅房四周及屋顶厚度可以达到防护要求。

(3) 无损检测室（三）

无损检测室（三）铅房四周及屋顶厚度估算结果如下：

表 11-7 无损检测室（三）X 射线机运行时探伤室屏蔽厚度估算结果

位置	混凝土/铅估算厚度				设计防护厚度	符合性
	泄露辐射防护厚度	散射辐射防护厚度	复合结果	有用线束		
东墙	9.2mmPb	5.6mmPb	9.2mmPb	/	12mmPb	符合
南墙	9.0mmPb	5.5mmPb	9.0mmPb	/	13mmPb	符合
西墙	9.2mmPb	5.6mmPb	9.2mmPb	/	13mmPb	符合
北墙	9.0mmPb	5.5mmPb	9.0mmPb	/	13mmPb	符合
屋顶	8.0mmPb	5.0mmPb	8.0mmPb	/	11mmPb	符合

估算结果表明，无损检测室（三）240kV 微焦点工业 CT 在最大工作状态下，铅房四周及屋顶厚度可以达到防护要求。

(4) 无损检测室（四）

无损检测室（四）铅房四周及屋顶厚度估算结果如下：

表 11-8 无损检测室（四）X 射线机运行时探伤室屏蔽厚度估算结果

位置	混凝土/铅估算厚度				设计防护厚度	符合性
	泄露辐射防护厚度	散射辐射防护厚度	复合结果	有用线束		
东墙	10.3mmPb	4.0mmPb	10.3mmPb	/	21mmPb	符合
南墙	16.9mmPb	5.6mmPb	16.9mmPb	/	21mmPb	符合
西墙	11.0mmPb	4.2mmPb	11.0mmPb	/	21mmPb	符合
北墙	16.9mmPb	5.6mmPb	16.9mmPb	/	19mmPb	符合
屋顶	15.8mmPb	5.3mmPb	15.8mmPb	/	16mmPb	符合

估算结果表明，无损检测室（四）300kV 微焦点工业 DR 设备在最大工作状态下，



铅房四周及屋顶厚度可以达到防护要求；由于 X 射线曝光类型为定向（向下），进入东西两侧通道的射线主要为散射辐射和泄漏辐射，经散射和距离衰减后，剂量率会减小，由表 11-8 东、西墙的估算结果可知，在铅房处所需防护厚度最大为 11mmPb，两侧通道靠近铅房 1.0m 处的防护厚度为 14mmPb，可以满足防护要求。

综上所述，各无损检测室设备在最大工作状态下，无损检测室（一）四周墙体、屋顶、防护铅门及无损检测室（二）、无损检测室（三）、无损检测室（四）的铅房及两侧通道防护厚度均可以达到防护要求。

#### 4、工作场所辐射剂量率估算

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中公式（4）、公式（8）、公式（10）估算各探伤室关注点剂量率，估算结果如下：

表 11-9 无损检测室（一）关注点剂量率估算结果

关注点	屏蔽设计厚度 (mm)	距辐射源点距离 (m)	最大管电流 (mA)	有用线束率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	泄露剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	散射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	总剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
东墙外 0.3m 处	750mm 混凝土	5.435	3.3	/	$8.43 \times 10^{-5}$	$1.47 \times 10^{-4}$	$2.32 \times 10^{-4}$
南墙外 0.3m 处	750mm 混凝土	3.6	3.3	/	$1.92 \times 10^{-4}$	$3.36 \times 10^{-4}$	$5.28 \times 10^{-4}$
西墙外 0.3m 处	750mm 混凝土	2.45	3.3	/	$4.15 \times 10^{-4}$	$7.25 \times 10^{-4}$	$1.14 \times 10^{-3}$
北墙外 0.3m 处	750mm 混凝土	4.05	3.3	0.21	/	/	0.21
屋顶外 0.3m 处	750 混凝土		3.3	/	$2.59 \times 10^{-4}$	$4.53 \times 10^{-4}$	$7.12 \times 10^{-4}$
铅门外 0.3m 处	150mmPb	3.6	3.3	/	$1.06 \times 10^{-12}$	$5.4 \times 10^{-15}$	$1.06 \times 10^{-12}$

由表 11-9 可知，无损检测室（一）X 射线装置在最大工作状态下，四周墙体、防护门各关注点剂量率范围为  $1.06 \times 10^{-12} \sim 0.21 \mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；屋顶的剂量率为  $7.12 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；各关注点满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）中剂量限值要求。

表 11-10 无损检测室（二）各关注点剂量率估算结果

关注点	屏蔽设计厚度 (mm)	距辐射源点距离 (m)	最大管电流 (mA)	有用线束率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	泄露剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	散射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	总剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
东墙（铅房）外 0.3m 处	6mmPb	0.9	1	/	$5.96 \times 10^{-3}$	$7.41 \times 10^{-3}$	$1.34 \times 10^{-2}$

南墙（铅房） 外 0.3m 处	8mmPb	1.42	1	$6.37 \times 10^{-3}$	/	/	$6.37 \times 10^{-3}$
西墙（铅房） 外 0.3m 处	6mmPb	0.9	1	/	$5.96 \times 10^{-3}$	$7.41 \times 10^{-3}$	$1.34 \times 10^{-2}$
北墙（铅房） 外 0.3m 处	6mmPb	1.09	1	/	$4.06 \times 10^{-3}$	$5.05 \times 10^{-3}$	$9.12 \times 10^{-3}$
屋顶（铅房） 外 0.3m 处	6mmPb	0.75	1	/	$8.58 \times 10^{-3}$	$1.07 \times 10^{-2}$	$1.93 \times 10^{-2}$
东墙（无损检测室）外	6mmPb	1.0	1	/	$4.83 \times 10^{-3}$	$6.01 \times 10^{-3}$	$1.08 \times 10^{-2}$
南墙（无损检测室）外	8mmPb	1.22	1	$8.63 \times 10^{-3}$	/	/	$8.63 \times 10^{-3}$
西墙（无损检测室）外	6mmPb	5.20	1	/	$1.79 \times 10^{-4}$	$2.23 \times 10^{-4}$	$4.01 \times 10^{-4}$
北墙（无损检测室）外	6mmPb	0.89	1	/	$6.09 \times 10^{-3}$	$7.58 \times 10^{-3}$	$1.37 \times 10^{-2}$
屋顶（无损检测室）外	6mmPb	2.95	1	/	$5.56 \times 10^{-3}$	$6.90 \times 10^{-4}$	$1.24 \times 10^{-3}$

注：无损检测室（二）东侧为更衣室、屋顶为廊道，属部分居留，居留因子取 1/4；南侧为实验室、北为操作间，属全居留，居留因子取 1；西侧为人行道，属偶尔居留，居留因子取 1/16。

由表 11-10 可知，无损检测室（二）X 射线装置在最大工作状态下，四周墙体、防护门各关注点剂量率范围为  $4.01 \times 10^{-4} \sim 1.93 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，屋顶的剂量率为  $1.24 \times 10^{-3} \sim 1.93 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，各关注点满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）中剂量限值要求。

表 11-11 无损检测室（三）各关注点剂量率估算结果

关注点	屏蔽设计厚度 (mm)	距放射源点距 (m)	最大管电流 (mA)	有用线束率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	泄露剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	散射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	总剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
东墙（铅房） 外 0.3m 处	21mmPb	1.2	2	/	$2.53 \times 10^{-1}$	$6.21 \times 10^{-5}$	0.25
南墙（铅房） 外 0.3m 处	13mmPb	1.3	2	/	$9.73 \times 10^{-2}$	$1.02 \times 10^{-5}$	0.10
西墙（铅房） 外 0.3m 处	13mmPb	1.2	2	/	$1.14 \times 10^{-1}$	$1.20 \times 10^{-5}$	0.11
北墙（铅房） 外 0.3m 处	13mmPb	1.3	2	/	$9.73 \times 10^{-2}$	$1.02 \times 10^{-5}$	0.10
屋顶（铅房） 外 0.3m 处	11mmPb	1.9	2	/	$2.23 \times 10^{-1}$	$1.28 \times 10^{-4}$	0.22
东墙（无损检测室）外	12mmPb	1.9	2	/	$1.01 \times 10^{-1}$	$2.48 \times 10^{-5}$	0.10
南墙（无损检测室）外	13mmPb	2.9	2	/	$1.96 \times 10^{-2}$	$2.05 \times 10^{-6}$	0.02

西墙（无损检测室）外	13mmPb	3.8	2	/	$1.14 \times 10^{-2}$	$1.20 \times 10^{-6}$	0.01
北墙（无损检测室）外	13mmPb	2.8	2	/	$2.10 \times 10^{-2}$	$2.20 \times 10^{-6}$	0.02
屋顶（无损检测室）外	11mmPb	3.4	2	/	$6.96 \times 10^{-2}$	$4.01 \times 10^{-5}$	0.07

注：无损检测室东、西侧分别为水泵间、空调室，南侧为廊道，属部分居留，居留因子取 1/4；北侧为人行道，属偶尔居留，居留因子取 1/16，屋顶为实验室，属全居留，居留因子取 1。

由表 11-11 可知，无损检测室（三）X 射线装置在最大工作状态下，四周墙体、屋顶各关注点剂量率范围为 0.01~0.25 $\mu$ Sv/h，小于 2.5 $\mu$ Sv/h，各关注点满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）中剂量限值要求。

无损检测室（四）东西两侧通道长分别为 5.46m、4.49m，主射线方向垂直向下，折射、散射到通道口的少量射线经多次折射后能量较小，保守按铅房四周关注点进行估算，详见表 11-12。

表 11-12 无损检测室（四）各关注点剂量率估算结果

关注点	屏蔽设计厚度 (mm)	距辐射源点距离 (m)	最大管电流 (mA)	有用线束率 ( $\mu$ Sv/h)	泄露剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	散射剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	总剂量率 ( $\mu$ Sv/h)
东墙(铅房)外 0.3m 处	21mmPb	5.67	2	/	$3.22 \times 10^{-2}$	$1.56 \times 10^{-12}$	0.03
南墙(铅房)外 0.3m 处	21mmPb	1.5	2	/	$4.6 \times 10^{-1}$	$2.23 \times 10^{-11}$	0.46
西墙(铅房)外 0.3m 处	21mmPb	4.85	2	/	$4.40 \times 10^{-2}$	$2.13 \times 10^{-12}$	0.04
北墙(铅房)外 0.3m 处	19mmPb		2	/	1.03	$5.98 \times 10^{-10}$	1.03
屋顶(铅房)外 0.3m 处	16mmPb	1.85	2	/	2.28	$5.46 \times 10^{-8}$	2.28
东墙（无损检测室）外	21mmPb	6.42	2	/	$2.51 \times 10^{-2}$	$1.22 \times 10^{-12}$	0.03
南墙（无损检测室）外	21mmPb	3.97	2	/	$6.56 \times 10^{-2}$	$3.18 \times 10^{-12}$	0.07
西墙（无损检测室）外	21mmPb	9.9	2	/	$1.06 \times 10^{-2}$	$5.12 \times 10^{-13}$	0.01
北墙（无损检测室）外	19mmPb	1.7	2	/	$8.03 \times 10^{-1}$	$4.66 \times 10^{-10}$	0.8
屋顶（无损检测室）外	16mmPb	3.45	2	/	$6.55 \times 10^{-1}$	$1.57 \times 10^{-8}$	0.66

注：同时对铅房外 0.3m 及无损检测室外公众剂量率进行估算，东侧为空调机房、西侧为暂存间，按全居留计，居留因子取 1；南侧为走廊，属部分居留，居留因子取 1/4；北侧为人行道，屋顶无人，属偶尔居留，居留因子取 1/16。

由表 11-12 估算结果可知：探伤机（四）微焦点 DR 设备在最大工作状态时，铅房及无损检测室（四）四周墙体各关注点剂量率范围为 0.01~1.03 $\mu$ Sv/h，小于 2.5 $\mu$ Sv/h，屋顶的剂量率最大值为 2.28 $\mu$ Sv/h，小于 100 $\mu$ Sv/h。各关注点均满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）中剂量限值要求。

综上所述，根据理论估算结果分析，本项目各无损检测室均已采取有效的辐射屏蔽措施，射线装置在最大运行条件下，无损检测室屏蔽能力能够满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）规定要求。

## 二、职业人员及公众年有效剂量率估算

### (1) 无损检测室（一）

由无损检测室（一）关注点剂量率估算结果（见表 11-9）可知，职业人员受到的最大辐射剂量率为  $5.28 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ ，公众受到的最大辐射剂量率为  $2.09 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，根据公式 8 估算无损检测室职业工作人员及公众的年有效剂量率，估算结果见表 11-13。

表 11-13 无损检测室（一）职业人员及公众年有效剂量率估算结果

无损检测室（一）	对象	辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	使用因子 (U)	居留因子	年工作时间 (h)	年附加有效剂量率 (mSv/a)	标准限值
	职业人员	$5.28 \times 10^{-4}$	1		600	$3.17 \times 10^{-4}$	5mSv/a
	公众	$2.09 \times 10^{-1}$	1	1/4	600	0.03	0.25mSv/a

由表 11-13 可知，无损检测室（一）450kV 工业 CT 在最大工作状态下，周边职业工作人员年累计受照射剂量最大值为  $3.17 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ，远低于放射性工作人员剂量控制目标值 5mSv/a；周边公众年累积受照射剂量估算最大值为 0.03mSv/a，低于剂量控制目标值 0.25mSv/a，可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求。

### (2) 无损检测室（二）

由无损检测室（二）关注点剂量率估算结果（见表 11-10）可知，职业人员受到的最大辐射剂量率为  $1.34 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，公众受到的最大辐射剂量率为  $1.37 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，居留因子均为 1，根据公式 8 估算无损检测室职业工作人员及公众的年有效剂量率，估算结果见表 11-14。

表 11-14 无损检测室（二）职业人员及公众年有效剂量率估算结果

无损检测室（二）	对象	辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	使用因子 (U)	居留因子 (T)	年工作时间 (h)	年附加有效剂量率 (mSv/a)	标准限值
	职业人员	$1.34 \times 10^{-2}$	1	1	600	$8.02 \times 10^{-3}$	5mSv/a
	公众	$1.37 \times 10^{-2}$	1	1	600	$8.21 \times 10^{-3}$	0.25mSv/a

由表 11-14 可知，无损检测室（二）微焦点工业 CT 在最大工作状态下，职业工作人员年累计受照射剂量最大值为  $8.02 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，低于放射性工作人员剂量控制目标值  $5 \text{mSv/a}$ ；公众年累积受照射剂量最大值为  $8.21 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，低于放射性工作人员剂量控制目标值  $0.25 \text{mSv/a}$ ，因此职业工作人员及公众年累积受照射剂量均可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求。

### (3) 无损检测室（三）

由无损检测室（三）关注点剂量率估算结果（见表 11-11）可知，职业人员受到的最大辐射剂量率为  $2.53 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，居留因子为 1；公众受到的最大辐射剂量率为  $1.01 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$  时，居留因子为 1/4；公众受到的辐射剂量率为  $6.97 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$  时，居留因子为 1，根据公式 8 估算无损检测室职业工作人员及公众的年有效剂量率，估算结果见表 11-15。

表 11-15 无损检测室（三）职业人员及公众年有效剂量率估算结果

无损检测室（三）	对象		辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	使用因子 (U)	居留因子 (T)	年工作时间 (h)	年附加有效剂量率 (mSv/a)	标准限值
		职业人员		$2.53 \times 10^{-1}$	1	1	900	0.23
公众	东墙（无损检测室）外		$1.01 \times 10^{-1}$	1	1/4	900	0.02	0.25mSv/a
	屋顶（无损检测室）外		$6.97 \times 10^{-2}$	1	1	900	0.06	

由表 11-15 可知，无损检测室（三）300kV 微焦点 DR 设备在最大工作状态下，职业工作人员年累计受照射剂量最大值为  $0.23 \text{mSv/a}$ ，低于放射性工作人员剂量控制目标值  $5 \text{mSv/a}$ ；公众年累积受照射剂量最大值为  $0.06 \text{mSv/a}$ ，低于放射性工作人员剂量控制目标值  $0.25 \text{mSv/a}$ ，因此职业工作人员及公众年累积受照射剂量均可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求。

### (4) 无损检测室（四）

由无损检测室（四）关注点剂量率估算结果（见表 11-12）可知，职业人员受到的最大辐射剂量率为  $0.80 \mu\text{Sv/h}$ ，居留因子为 1；公众受到的最大辐射剂量率为  $0.80 \mu\text{Sv/h}$  时，居留因子为 1/16；根据公式 8 估算无损检测室职业工作人员及公众的年有效剂量率，估算结果见表 11-16。

表 11-16 无损检测室（四）职业人员及公众年有效剂量率估算结果

无损检测室（四）	对象		辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	使用因子 (U)	居留因子 (T)	年工作时间 (h)	年附加有效剂量率 (mSv/a)	标准限值
		职业人员		0.80	1	1	900	0.72
	公众		0.80	1	1/16	900	0.05	0.25mSv/a

由表 11-16 可知，无损检测室（四）300kV 微焦点 DR 设备在最大工作状态下，职业工作人员年累计受照射剂量最大值为 0.72mSv/a，低于放射性工作人员剂量控制目标值 5mSv/a；公众年累计受照射剂量最大值为 0.05mSv/a，低于 0.25mSv/a，因此职业工作人员及公众年累计受照射剂量均可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求。

#### (5) 无损检测室（一）、无损检测室（二）同时工作

无损检测室（一）、无损检测室（二）均位于甲区重点实验室 1 楼，相距 6m，两无损检测室之间为无损检测室（一）操作间，故若 2 个无损检测室同时运行，操作间工作人员所受剂量为两者之和（无损检测室（一）南向辐射、无损检测室（二）北向辐射），根据无损检测室年有效剂量率估算结果，分别见表 11-13、表 11-14，可估算操作间工作人员年有效剂量率之和为  $5.79 \times 10^{-3}$  mSv/a，小于 5mSv/a，运行期间对操作间职业工作人员影响较小。

### 三、非放射性污染物环境影响分析

本项目在探伤过程中会产生少量的 O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub>，根据建设单位提供资料，各探伤室均安装通排风设施，无损检测室（一）排风量约 2000m<sup>3</sup>/h，体积约 233.1m<sup>3</sup>；无损检测室（二）排风量约 1500m<sup>3</sup>/h，体积约 7.1m<sup>3</sup>；无损检测室（三）排风量约 2000m<sup>3</sup>/h，体积约 11.0m<sup>3</sup>；无损检测室（四）排风量约 2000m<sup>3</sup>/h，体积约 79.9m<sup>3</sup>；经理论估算各无损检测室换气次数约 8 次/h、211 次/h、191 次/h、25 次/h；可见在探伤期间的通风次数，满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）中“每小时有效通风换气次数应不小于 3 次”的要求。

### 四、事故影响分析

#### 1、事故分析

本项目射线装置运行期间可能发射的辐射事故包括：安全连锁装置出现故障，机房门/屏蔽门未完全关闭就出束，造成门外泄露射线量大大增加，将会对此区域活动人员产生不必要的照射；人员误入工作中的探伤室受到的额外照射；人员未撤出探伤室即开机进行无损检测，对滞留人员的误照射；设备因短路或其他原因使射线装置处于失控状态，对周围活动人员产生的误照射等。

本次环评假设射线装置出现以上事故从而产生误照射，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。

$$H = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 (9)}$$

根据公式(9)估算各探伤室距离靶源 1m 处受到 20mSv 和 50mSv 有效剂量的时间, 由于人员闯入 X 射线机房, 此时无防护措施, 因此辐射屏蔽透射因子取 1, 估算结果见表 11-17。

**表 11-17 在各射线装置出束口 1m 处受到 20mSv、50mSv 剂量当量的时间**

设备	距靶 1m 处受到 20mSv 所需时间 (s)	距靶 1m 处受到 50mSv 所需时间 (s)
X 射线无损检测室 (一) 450kV/3.3mA 探伤机	13.2	33.0
X 射线无损检测室 (二) 160kV/1.0mA 探伤机	134.8	337.0
X 射线无损检测室 (三) 240kV/2.0mA 探伤机	43.2	108.0
X 射线无损检测室 (四) 300kV/2.0mA 探伤机	28.7	71.8

根据以上估算结果 (表11-17), 在各设备以最大管电压、管电流工作的条件下, 误入机房在出束口1m处受到20mSv剂量当量的时间为13.2s~134.8s, 受到50mSv剂量当量的时间为33.0s~337.0s。因此应加强放射工作人员的管理, 防止辐射事故的发生。

## 2、事故防范措施建议

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

(2) 为防止人员误留照射工作场所受到误照射, 工作人员操作时须携带个人剂量报警仪, 并在每次照射前进行巡查;

(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

陕西应用物理化学研究所成立了辐射安全与环境保护管理领导小组，组长为副所长，领导小组办公室设在安全环保处。

辐射安全与环境保护管理领导小组的主要职责为：

- (1) 组织制定辐射安全与环境保护各项制度并检查各项制度，防护措施落实情况；
- (2) 组织制定辐射安全与环境保护工作计划、培训计划和检测计划等，并督促检查各项计划的实施落实情况；
- (3) 负责对辐射安全与环境保护工作进行督查检测；
- (4) 负责对辐射工作人员个人剂量监测、职业健康检查、工作场所和环境检测等工作的执行和检查；
- (5) 负责与公安、卫生、环保部门的联络与报告。

### 辐射安全管理规章制度

#### 1、辐射安全管理制度

陕西应用物理化学研究所已制定《辐射安全管理制度》、《射线装置维护、检修制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《射线装置操作人员岗位职责》、《射线装置操作人员健康管理制度》、《辐射工作场所监测制度》、《陕西应用物理化学研究所辐射事故应急预案》、《射线装置操作人员培训制度》等制度，用于指导、规范生产作业过程中的辐射安全。

针对本项目，研究所制定设备操作规程，根据不同探伤室的具体情况分别完善相应管理制度、岗位职责；将新建探伤室纳入日常管理及辐射事故应急预案中，确保研究所辐射防护工作按规章制度进行。

#### 2、人员管理培训制度

陕西应用物理化学研究所已制定《射线装置操作人员培训制度》，研究所现有辐射工作人员 8 人，均已参加陕西省核安全辐射工作单位人员技术培训，并取得合格证书。本项目操作人员共 4 人，其中陈慧能、张海东为原有工作人员中，谢占峰和赵丽苏为新增人员，工作人员其辐射安全与防护培训合格证书情况见表 12-1。



表 12-1 本项目工作人员辐射安全与防护培训合格证书情况

序号	姓名	合格证书编号	发证日期
1	陈慧能	陕 11805078G	2018.6.6
2	谢占峰	/	/
3	张海东	170470	2017.3.28
4	赵丽苏	/	/

本项目在建成运行前，陕西应用物理化学研究所应组织新增人员参加陕西省环保厅认可的培训机构组织的辐射防护知识培训及相关法律法规的培训和考核，取得合格证书后方能上岗。职业工作人员合格证书过期后应重新组织培训。

## 辐射监测

### 1、监测仪器配置

(1) 已配置 1 台 FD-3013B 型 X 剂量率仪，用于 X 射线机房及其周围环境辐射剂量率的监测；

(2) 探伤作业人员需按要求佩戴个人剂量计，并配备个人剂量报警仪，用于监测个人剂量和探伤作业过程中人员活动位置辐射水平超出预设报警值时的警示。

### 2、监测计划

(1) 在探伤过程中，定期对探伤室（铅房）四周墙体、防护门外 30cm 处，线缆口及其探伤室（铅房）周围工位、人员经常活动位置辐射剂量率进行监测，监测数据存档；

(2) 委托有资质单位对放射工作人员进行个人剂量监测，每 3 个月将个人剂量计收集送交其检测，并出具检测报告。

## 辐射事故应急

陕西应用物理化学研究所已制定《辐射事故应急预案》，成立了应急救援机构，总指挥为二一三所所长，副总指挥为安全副所长，成员包括党委副书记、各副所长、所办公室主任、科研管理处处长、安全环保处处长等。

应急预案中明确规定了应急组织体系及职责、应急人员培训和应急物资准备、可能发生的辐射事故及危害程度分析、辐射事故应急响应措施、辐射事故报告和处理程序等具体制度。针对本项目，环评要求：(1) 陕西应用物理化学研究所需按照辐射防护及本项目需求，不断完善应急预案，并定期进行演练；(2) 应急救援机构应针对应急演练中发现问题或隐患采取相应措施，避免辐射事故的发生。

仅限陕西应用物理研究所新增射线装置技术利用项目公示

表 13 结论与建议

## 结论

为满足研究所业务发展需要，陕西应用物理化学研究所拟在甲区重点实验室 1 层、药剂楼 1 层，乙区 2 号工房开展无损检测工作，计划新增 1 台 450kV 工业 CT、1 台微焦点工业 CT、1 台 240kV 微焦点 DR 设备、1 台 300kV 微焦点 DR 设备。

### 1、辐射安全管理结论

陕西应用物理化学研究所已成立了辐射安全与环境保护管理领导小组，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。研究所应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。

### 2、辐射防护分析结论

根据理论预测，各无损检测室设备在最大工作状态下，无损检测室（一）四周墙体、屋顶、防护铅门，及无损检测室（二）、无损检测室（三）、无损检测室（四）铅房防护情况均满足防护要求，设计防护厚度能够有效屏蔽其产生的 X 射线，各屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率可以满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）中“剂量限值”相关要求。

### 3、环境影响分析结论

4 个无损检测室 X 射线探伤机在全年正常运行的情况下，职业工作人员年累计受照射剂量最大值为 0.72mSv/a，低于放射性工作人员剂量控制目标值 5mSv/a；公众受照射剂量最大值为 0.06mSv/a，低于剂量控制目标值 0.25mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求。建成后对工作人员及公众的影响较小。

### 4、项目环境可行性结论

本项目主要用于工件的无损检测，因建设单位承担的科研项目需要而建设，通过设备所获利益大于其可能产生的辐射危害，因此符合《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。

项目在采取满足要求的辐射安全与防护条件下，各屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率可以满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）中“剂量限值”相关要求；职业工作人员及公众的年累积受照射剂量可满足《电离辐射防护

与《辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求。

综上所述：陕西应用物理化学研究所拟新增 4 台 X 射线装置进行无损监测，符合辐射防护实践的正当性要求；项目采取辐射防护措施后，能够使其对周边环境的辐射影响降到了尽可能低的水平，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附加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，该项目在严格落实各项辐射防护措施情况下，陕西应用物理化学研究所新增射线装置核技术利用项目，对环境的影响是可以接受的。

### 建议与承诺

- (1) 加强各射线装置工作场所的管理，加强人员培训，严格遵守辐射防护和环境保护的各项规定；
- (2) 加强机房安全联锁系统的检查维护，确保各种安全防护设施的正常使用；
- (3) 加强对各放射性工作场所工作人员的个人剂量监测；
- (4) 定期送 X- $\gamma$  剂量率仪等监测仪器至有资质单位进行检测、校核；
- (5) 不定期的对各放射性工作场所进行环境辐射水平监测；
- (6) 积极采取有效措施预防事故的发生，如发生事故及时向有关部门报告；
- (7) 项目建设和运行过程中，加强内部监督管理，不违规操作，不弄虚作假；
- (8) 根据陕环办发〔2018〕29 号文件要求进行辐射安全管理标准化建设；
- (9) 项目竣工后办理验收手续，验收合格后方可投入使用，如新增其他射线装置或使用其他放射源及时向环保部门申报审批；
- (10) 接受环保等其他部门的管理、监督及指导。
- (11) 新增辐射工作人员，及时参加辐射安全与防护培训并取得培训合格证书。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

仅限陕西应用物理研究所新增射线装置技术利用项目公示

经办人

公章

年 月 日

审批意见：

仅限陕西应用物理研究所新增射线装置技术利用项目公示

经办人

公章

年 月 日