

表 1 项目概况

建设项目名称		中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院 2020 年新增 2 台射线装置项目				
建设单位		中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院				
法人代表	李军	联系人	杨科	电话	15902923542	
注册地址		陕西省西安市长安区东长安街 504 号				
项目建设地点		X 射线检测仪位于中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院新区 B1 厂房一层 三维 CT 设备位于中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院老区 201 厂房一层				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)		574.4	环保投资 (万元)	6.4	投资比例 1.11%	
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 (m²)	/
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	/					
项目概述						
<p>一、项目背景</p> <p>1、建设单位简介</p> <p>中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院（原航天五院五〇四所，以下简称“西安分院”）位于西安市长安区，1965 年 6 月 29 日正式建所，主要从事空间飞行器有效载荷及电子系统与设备、飞行器测控以及相应电子学的研究，技术力量雄厚，专业配套齐全，基础设施先进。经过 50 年的发展与积累，西安分院为我国航天事业、国防建设和国民经济建设做出了重大贡献。</p> <p>2、项目由来</p> <p>根据研究发展需要，中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院拟购置 1 台 X 射线检测仪和 1 台三维 CT 设备对工件进行无损检测，2 台射线装置均具备“断层扫描、立体成像”的功能特征，根据《射线装置分类》（环境保护部、国家卫生和计</p>						

划生育委员会公告 2017 年第 66 号），属于 II 类射线装置。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修订）和《建设项目环境保护管理条例》（国务院令 第 682 号），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》（环境保护部令第 44 号）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）—191、核技术利用建设项目”中“制备 PET 用放射性药物的；医疗使用 I 类放射源的；使用 II 类、III 类放射源的；生产、使用 II 类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）；在野外进行放射性同位素示踪试验的”，应编制环境影响报告表。

中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院于 2020 年 10 月委托我公司编制该项目环境影响报告表。接受委托后，我公司随即组织技术人员开展资料收集、现场踏勘等工作，按照《辐射环境保护管理导则-和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《中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院 2020 年新增 2 台射线装置项目环境影响报告表》。

二、项目概况

1、建设规模

该项目拟购置的 2 台设备具体参数见表 1-1 所示。

表 1-1 设备情况表

设备名称	设备型号	数量 (台)	最大管电 压 (kV)	最大管电 流 (mA)	位置	产品备 注
X 射线检测 仪	FXT-160.51 Cougar/Cheetah	1	160	1	新区 B1 楼一 层	自屏蔽 的实时 成像系 统
三维 CT 设 备	v tome x s 240	1	240	3	老区 201 厂房 一层	

2、工业制度及劳动定员

(1) 劳动定员

根据建设单位提供的资料，FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线检测仪拟配备 2 名工作人员，每次固定 1 人操作。v|tome|x s 240 三维 CT 设备拟配备 2~3 名工作人员，每次固定 1 人操作。本项目所有操作人员均为西安分院现有工作人员。

(2) 工作制度

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

设备名称	照射时间 (h/d)	周工作天数 (d)	年工作天数 (d)	运行时间 (h/a)
X 射线检测仪	1	5	242	242
三维 CT 设备	2	1	48	96

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，系核技术在工业领域的运用。根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，属于鼓励类中“三十一、科技服务业—6、分析、试验、测试以及相关技术咨询与研发服务，智能产品整体方案、人机工程设计、系统仿真等设计服务”项目，符合国家产业政策。

本项目主要用于工件的无损检测，建成后可提升中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院的无损检测技术水平，便于后续的研发生产。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远大于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）规定的辐射防护“实践正当性”。

四、项目选址及周边环境关系

1、地理位置

本项目新增 1 台 FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线检测仪和 1 台 v|tome|x s 240 三维 CT 设备，其中 FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线检测仪位于中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院新区 B1 厂房一层，v|tome|x s 240 三维 CT 设备位于中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院老区 201 厂房一层，地理位置见图 1-1。

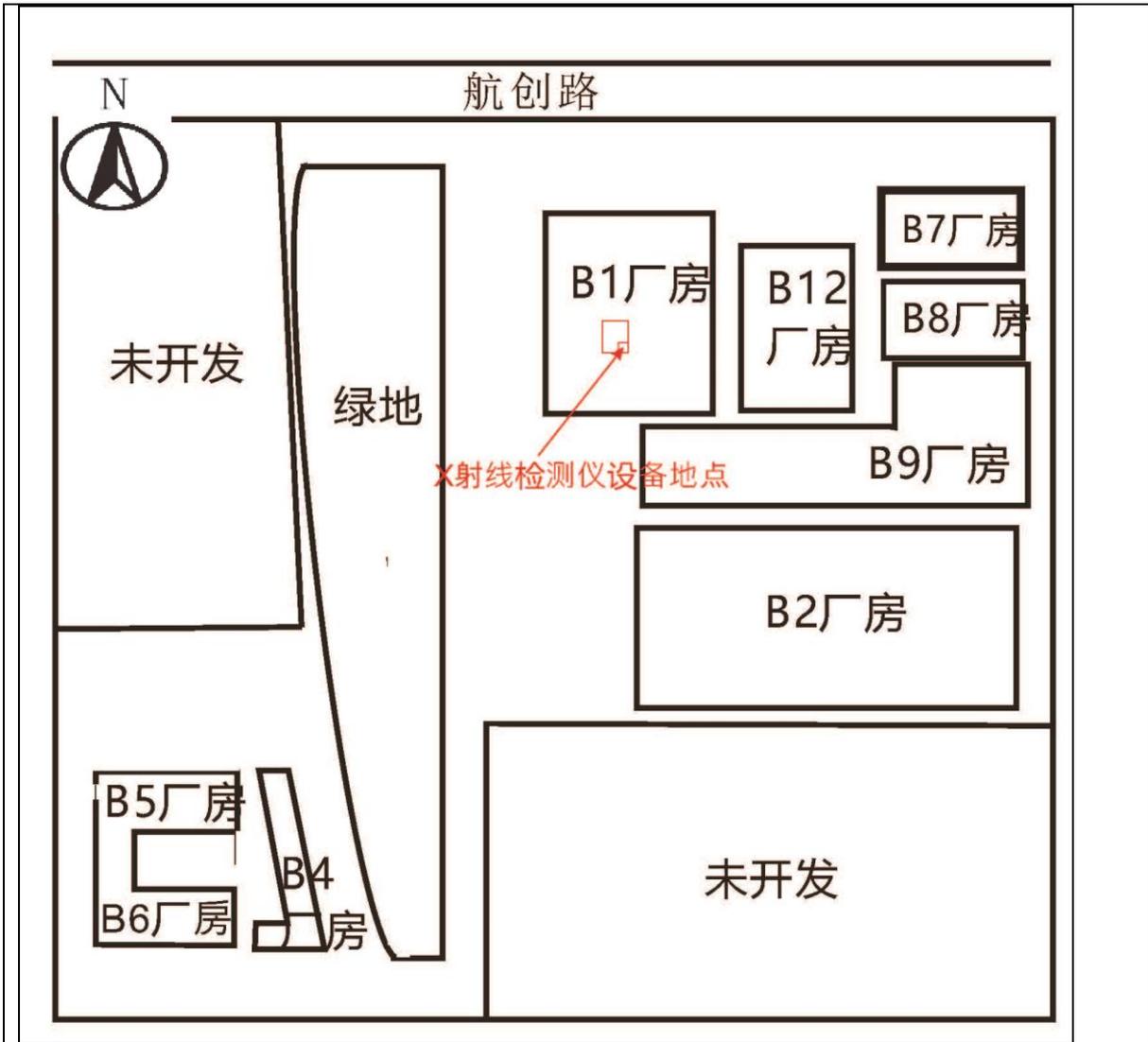


图 1-2 X 射线检测仪所在厂房周边环境关系图

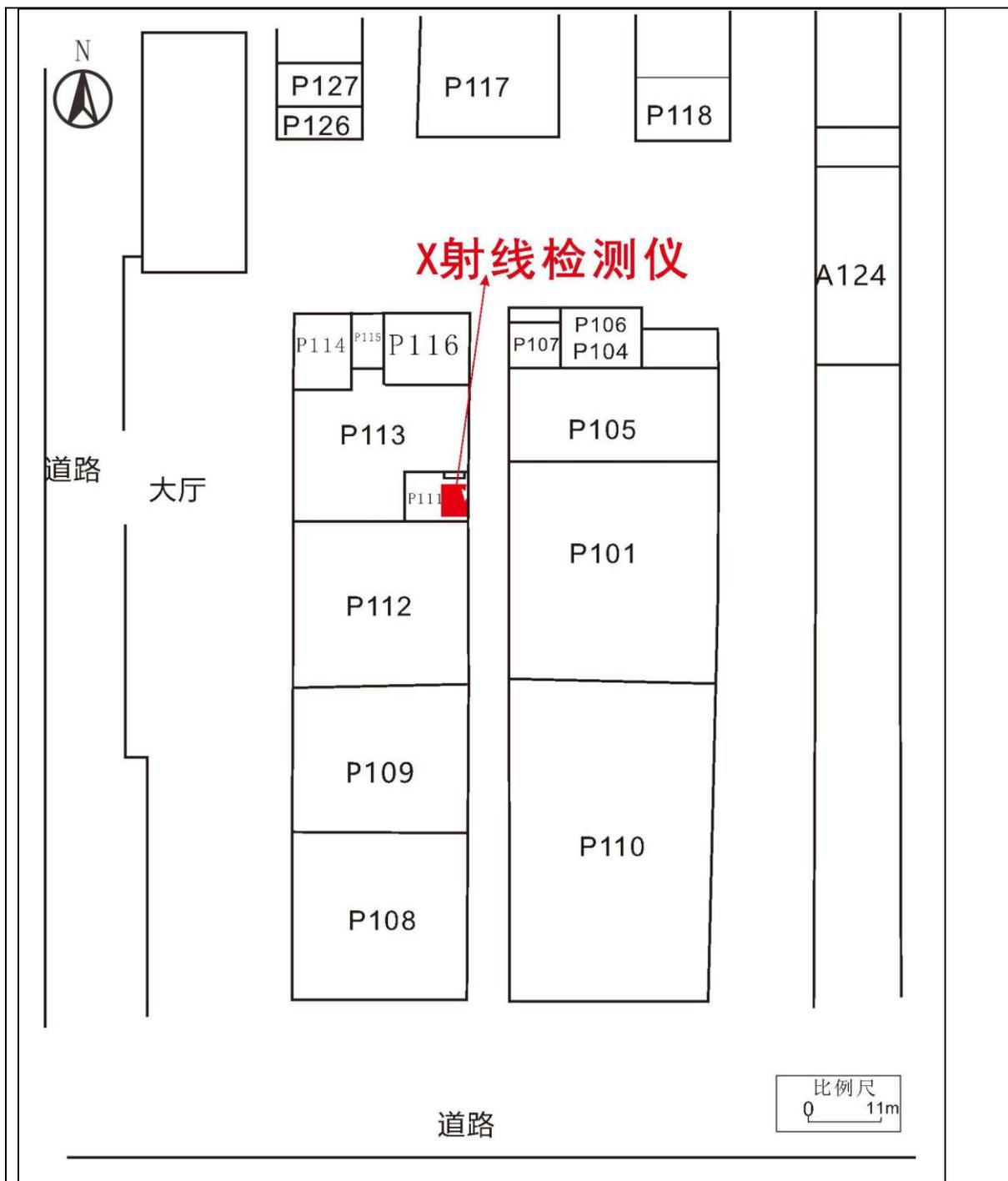


图 1-3 X 射线检测仪位置及周边环境关系示意图

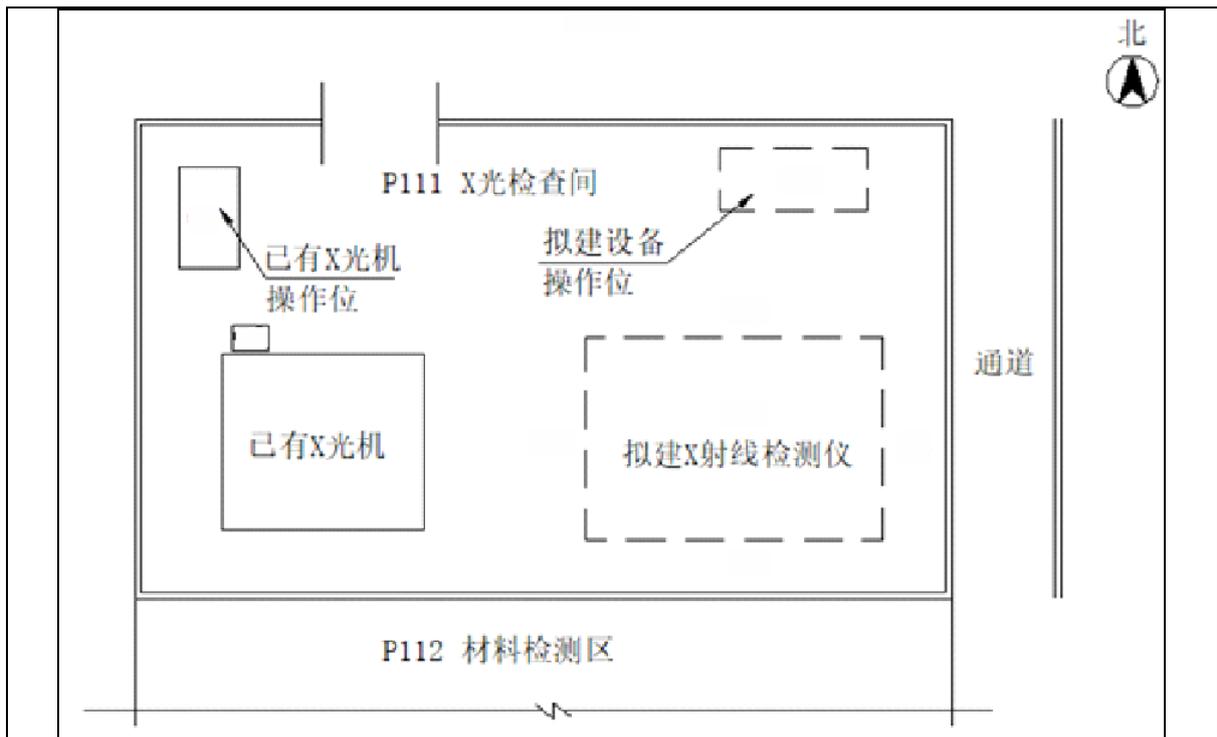


图 1-4 P111 X 光检查间平面布置示意图

(2) 三维 CT 设备

本项目三维 CT 设备位于西安市长安区西长安街西安分院老区 201 厂房，厂房的四周均为道路和绿地区域。设备所在厂房位置见图 1-5。该设备位于 201 厂房 1 层的某生产线车间，该车间位于 201 厂房的东南角，车间北侧为通道、测试大厅，西侧为大厅和车间，南侧为隔离带和道路，东侧为道路。设备楼上对应位置为某生产线车间。地下无建筑物，为土层。设备所在车间及周边环境关系见图 1-6。

三维 CT 设备位于某生产线车间的西南角，设备的北侧为 E 区，南侧为隔离带，东侧为工位，西侧为 C 区。详见图 1-7。

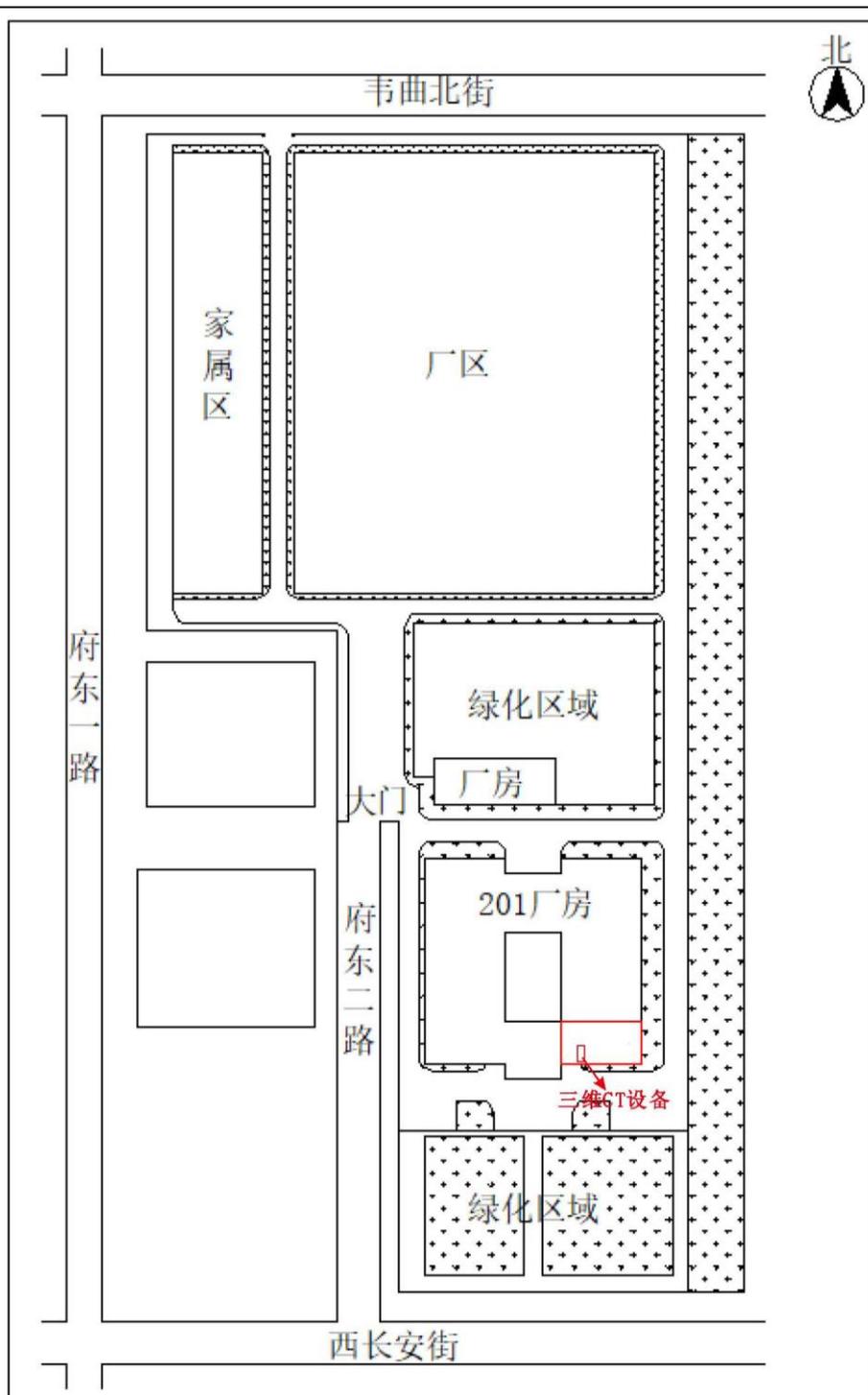


图 1-5 三维 CT 设备所在厂房周边环境关系图

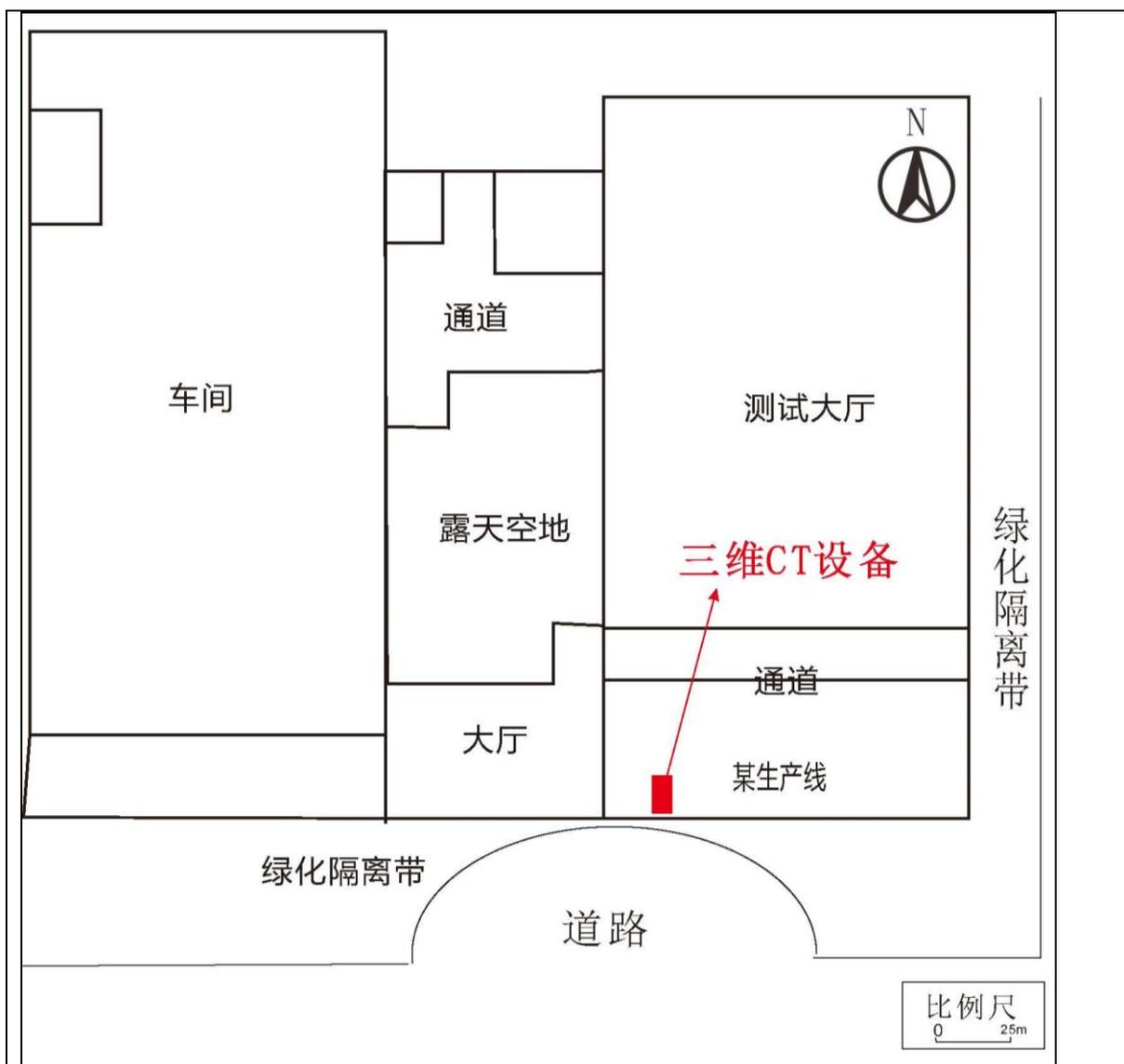


图 1-6 三维 CT 设备所在车间及周边环境关系图

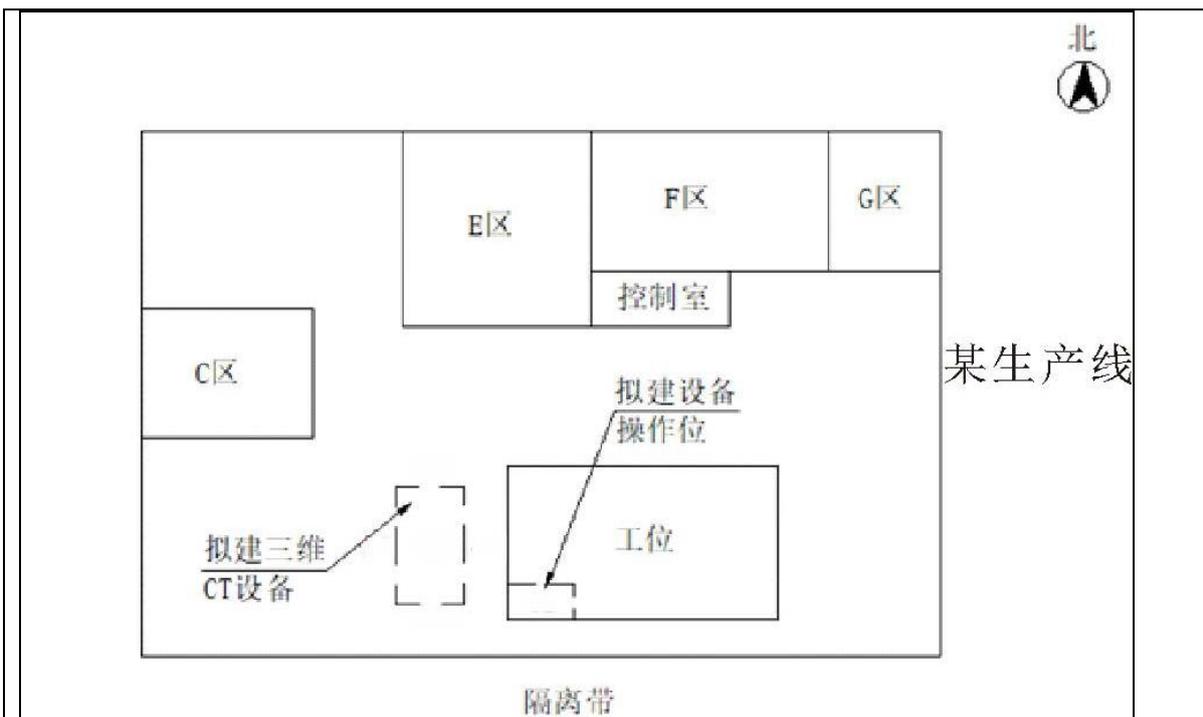


图 1-7 拟建三维 CT 设备所在位置示意图

五、现有核技术利用项目回顾

1、中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院现有核技术利用项目

(1) 环保手续履行情况

2013年西安分院取得由西安市环境保护局出具的关于6枚V类放射源和4台III类射线装置核技术应用项目环境影响登记表的批复（市环批复〔2013〕366号），2016年取得由西安市环境保护局出具的验收批复（市环批复〔2016〕158号）。2016年新增1台ERESCO42MF4型便捷式定向工业X射线探伤机和1台Y.Cheetah型X射线检测仪，属于II类射线装置，该项目于2017年1月12日取得由陕西省环境保护厅出具的环评批复（陕环批复〔2017〕31号），并于2017年12月9日组织相关专家完成自主验收。2018年新增1台III类射线装置YXLON X射线检测仪，已填写环境影响登记表（备案号：20186101160002393）。

(2) 现有辐射安全许可证

中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求申领了辐射安全许可证，许可证编号为陕环辐证〔00169〕，有效期至2023年12月10日。种类和范围：使用V类放射源，使用II类、III类射线装置。许可项目有V类Cs-137放射源6枚，III类射线装置5台，II类射线装置2台，辐射安全许可证台账明细见表1-3和1-4所示。

表 1-3 现有辐射安全许可证核准的放射源一览表

核素	类别	活度	编码	数量	活动种类	场所
¹³⁷ Cs	V类	3.7×10 ⁴ Bq	US98CSD72215	6 枚	使用	真空实验室

表 1-4 现有辐射安全许可证核准的射线装置一览表

序号	射线装置名称	射线装置类别	活动种类	场所	备注
1	X 射线检测仪 Y.Cougar SMT	III类	使用	整机集成及调试车间	/
2	X 射线检测仪 YCOUNGAR.SMT	III类	使用	可靠性验证中心	已停用
3	X 射线检测仪 160PCBLANALYS	III类	使用	热处理间	已停用
4	断层扫描检测仪 Y.cheetah	III类	使用	整机集成及调试车间	/
5	X 射线检测仪 Y.cheetah	II类	使用	202 厂房工装库	/
6	X 射线检测仪 CWJ-130P	III类	使用	一体化管壳间	已停用
7	便捷式 X 射线探伤机 ERESO42MF4	II类	使用	整机集成及调试车间	损坏

2、辐射安全管理现状

(1) 辐射防护管理机构

中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院已成立了辐射安全与环境保护管理小组，组长为分院主管领导，成员由相关科室负责人组成。

(2) 规章制度建设及落实情况

中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院目前已制定了一系列辐射环境管理规章制度，包括《X 射线检测系统辐射防护与安全管理制度》、《X 射线检测系统操作规程》、《X 射线检测系统检修维护制度》、《X 射线检测系统岗位职责》等辐射设备操作规程、辐射防护管理制度，确保辐射作业中的安全防护。

(3) 工作人员培训情况

目前，中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院在岗辐射工作人员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。

(4) 个人剂量检测及职业健康检查情况

中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院为现有辐射工作人员配备了个人剂量计，并委托有资质单位承担辐射工作人员个人剂量检测工作，每季度检测 1 次。根据兵器工业卫生研究所职业卫生技术服务中心出具的职业性外照射个人剂量监测报告，2019 年 7 月至 2020 年 7 月期间，中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院放射工作人员个人剂量当量为 0.042~0.171mSv，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，检测数据由环保监督科存档。

现有辐射工作人员于 2018~2019 年在临潼 714 医院进行职业健康体检，体检结果显示“适宜从事辐射工作”。

(5) 工作场所及辐射环境监测情况

中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院配备有 X- γ 辐射巡测仪，委托有资质单位对辐射工作场所每年进行 1 次定期监测。

根据北京市化工职业病防治院出具的 2019 年中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院辐射场所检测报告（监测报告编号：F19047），中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院现有 6 枚放射源周围及其关注点的 X、 γ 辐射剂量率为 0.09~0.09 μ Sv/h，3 台在用的射线装置（另外 4 台停用或损坏未检测）周围及其关注点的 X、 γ 辐射剂量率为 0.10~0.11 μ Sv/h，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

六、评价目的

(1) 通过对西安分院拟新增射线装置基础资料收集、分析及对拟建场所辐射环境水平的监测，了解项目所在区域辐射环境背景情况。

(2) 通过对西安分院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) 满足国家和地方环境保护部门对项目环境管理规定的要求，为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《电力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、分析仪等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	X 射线检测仪	II 类	1 台	FXT-160.51 Cougar/Cheetah	160	1	无损检测	新区 B1 楼一层	/
2	三维 CT 设备	II 类	1 台	v tome x s 240	240	3	无损检测	老区 201 厂房一层	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院 682 号令，2017 年 10 月 1 日；</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价分类管理目录》及其修改单，生态环境部第 1 号令，2018 年 4 月 28 日；</p> <p>(6) 《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>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院 449 号令，2005 年 12 月 1 日实行；国务院令第 709 号修订，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》，生态环境部关于废止、修改部分规章的决定，部令第 7 号，2019 年 8 月 22 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（2019 年修正）》，2019 年 11 月 6 日发布；</p> <p>(11) 《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 号文。</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）及第 1 号修改单；</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) 中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院 2020 年新增 2 台射线装置项目环境影响评价委托书；</p> <p>(2) 《中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院 2020 年新增 2 台射线装置项目辐射环境现状监测报告》（报告编号：XAZC-JC-2020-250），西安志诚辐射环境检测有限公司，2020 年 10 月 29 日；</p> <p>(3) 辐射安全许可证（证书编号：陕环辐证〔00169〕）；</p> <p>(4) 《关于成立西安分院辐射安全与环境保护管理领导小组的通知》；</p> <p>(5) 《关于中国航天科技集团公司第五研究院西安分院工业 X 射线探伤项目环境影响报告表的批复》（陕环批复〔2017〕31 号）；</p> <p>(6) 《关于中国航天科技集团公司第五研究院西安分院重新申请辐射安全许可证的批复》（市环批复〔2016〕207 号）。</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“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）”的要求，确定本项目评价范围为以射线装置实体屏蔽铅房为边界外 50m 的区域。

X 射线检测仪的评价范围图见图 7-1，三维 CT 设备的评价范围图见图 7-2。

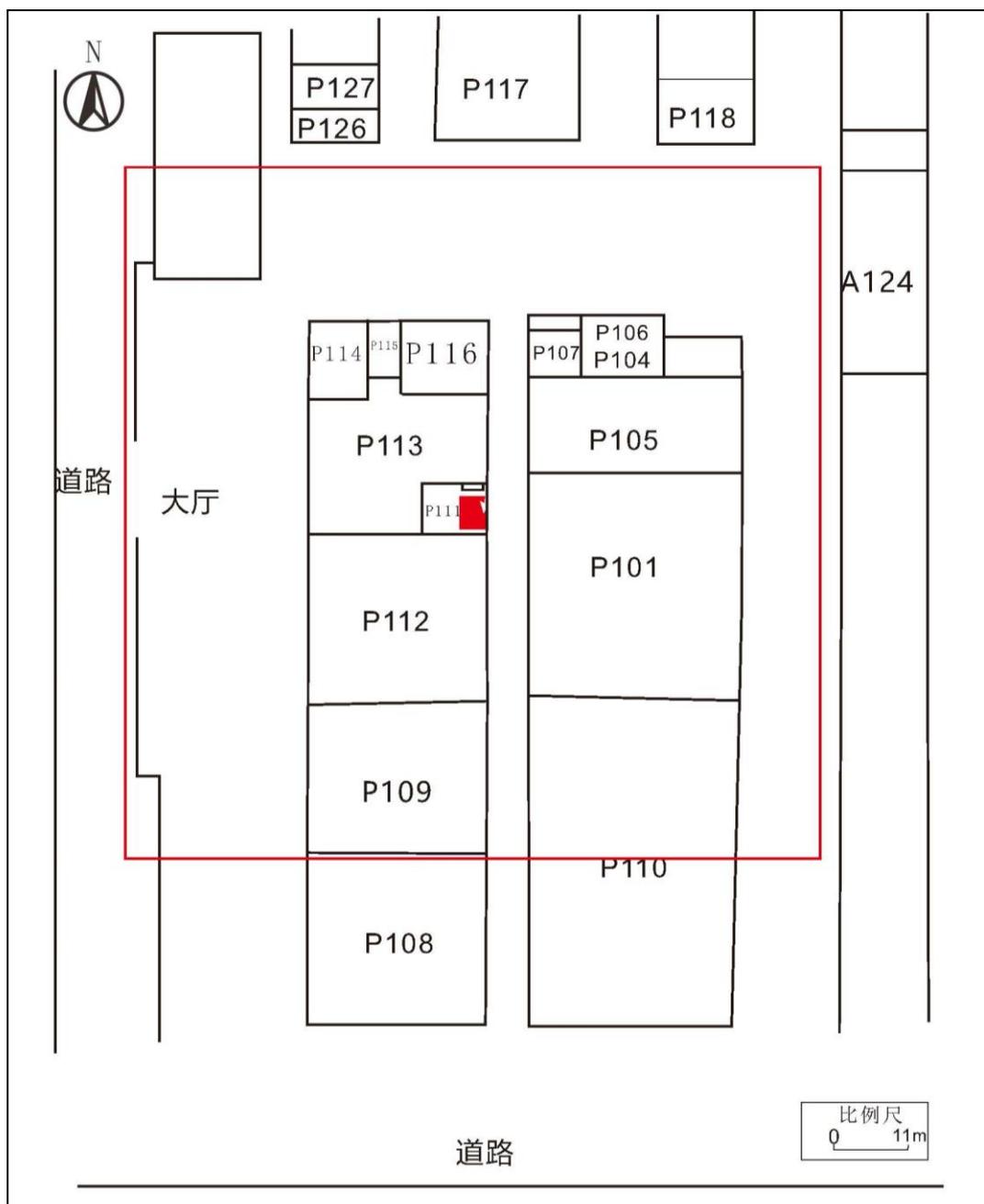


图 7-1 X 射线检测仪评价范围图

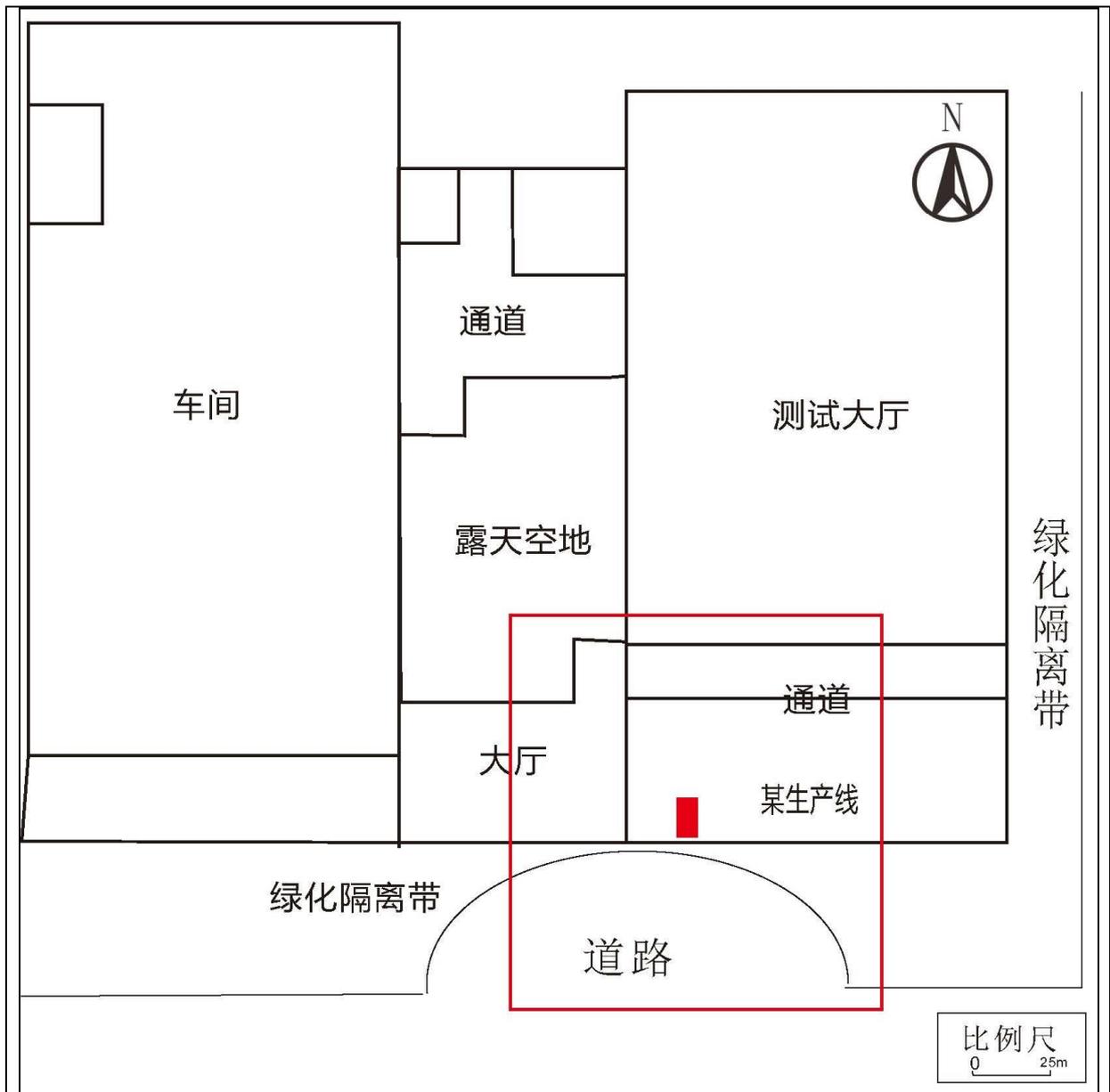


图 7-2 三维 CT 设备评价范围图

保护目标

中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院 2020 年新增 2 台射线装置项目环境保护目标主要是 2 台设备的操作人员及周围的公众。本项目环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 主要环境保护目标一览表

序号	工作场所	保护目标	人数	相对方位	距离(m)	剂量约束值(mSv/a)
1	FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线检测仪	X 射线检测仪操作人员	2	北侧操作台	0.8	5.0
2		公众人员	6	西侧和北侧 P113	2~10	0.25
3			3	北侧 P114、P115、P116、P107	10~20	
4			1	西侧已有设备操作人员	1~2	
5			4	南侧 P112、P109	2~20	
6			18	东侧 P105、P101	4~15	
7			1	东南侧 P110	15~40	
8	v tome x s 240 三维 CT 设备	三维 CT 设备操作人员	2~3	操作台	0.5	5.0
9		公众人员	1	北侧 E 区、通道、测试大厅	2.5~50	0.25
10			13	西侧 C 区、车间	3~10	
11			临时路过，没有固定人群	西侧大厅	10~50	
12			8	东侧工位	2.5~10	
13			临时路过，没有固定人群	东侧道路	40~50	
14			临时路过，没有固定人群	南侧隔离带、道路	3~50	
15	15	楼上某车间	6~20			

备注:本项目 X 射线检测仪楼上位置放置储物柜,无工作人员,故不计入保护目标。

评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

1、标准相关内容摘要

标准附录 B 剂量限值 and 表面污染控制水平

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

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

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；

c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；

d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估算值不应超过下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv；

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

c) 眼晶体的年当量剂量，15mSv；

d) 皮肤的年当量剂量，50mSv。

二、环评要求年剂量管理约束值

综合考虑西安分院核技术利用项目的现状，并着眼于长期发展，为其它辐射设施和实践活动留有余地，本次评价分别对职业照射和公众照射的年受照剂量约束值分别进行了设定：

(1) 取职业照射年有效剂量限值的 1/4，作为放射性工作人员的年受照剂量约束值，即 5mSv/a；

(2) 取公众照射年有效剂量限值的 1/4，作为周围公众的年受照剂量约束值，即 0.25mSv/a。

三、《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ 117-2015）相关内容

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 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

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。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理位置和场所位置

X 射线检测仪位于西安市东长安街西安分院新区 B1 厂房 1 层 P111 X 光检查间内，三维 CT 设备位于西安市西长安街西安分院老区 201 厂房 1 层某生产线车间，设备具体位置见图 1-3 和图 1-6。

二、环境质量现状监测

中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院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质量进行现状监测，监测时间为 2020 年 10 月 29 日，监测单位按照《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）、《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）等有关要求进行监测。监测报告详见附件。

1、监测因子

X、 γ 辐射剂量率。

2、监测点位

① 东长安街新区 B1 厂房 1 层 P111 X 光检查间 FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线检测仪拟建操作台、设备处、设备四周 0.3m 处及已有 X 光机操作位、操作台，拟建设备场所楼上。

② 西长安街老区 201 厂房 1 层 v|tome|x s 240 三维 CT 设备拟建操作台、设备处设备四周 0.3m 处及拟建场所楼上。

监测点位布设情况详见图 8-1 和 8-2。

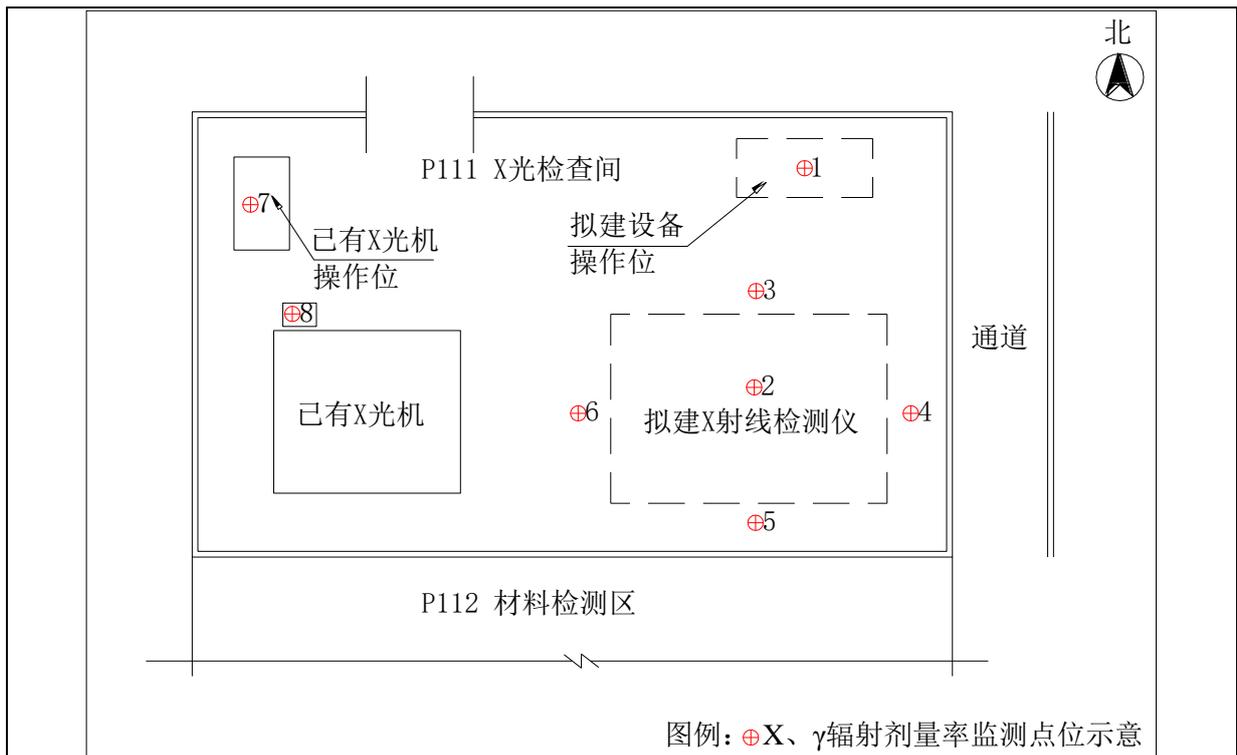


图 8-1 X 射线检测仪拟建场所监测点位示意图

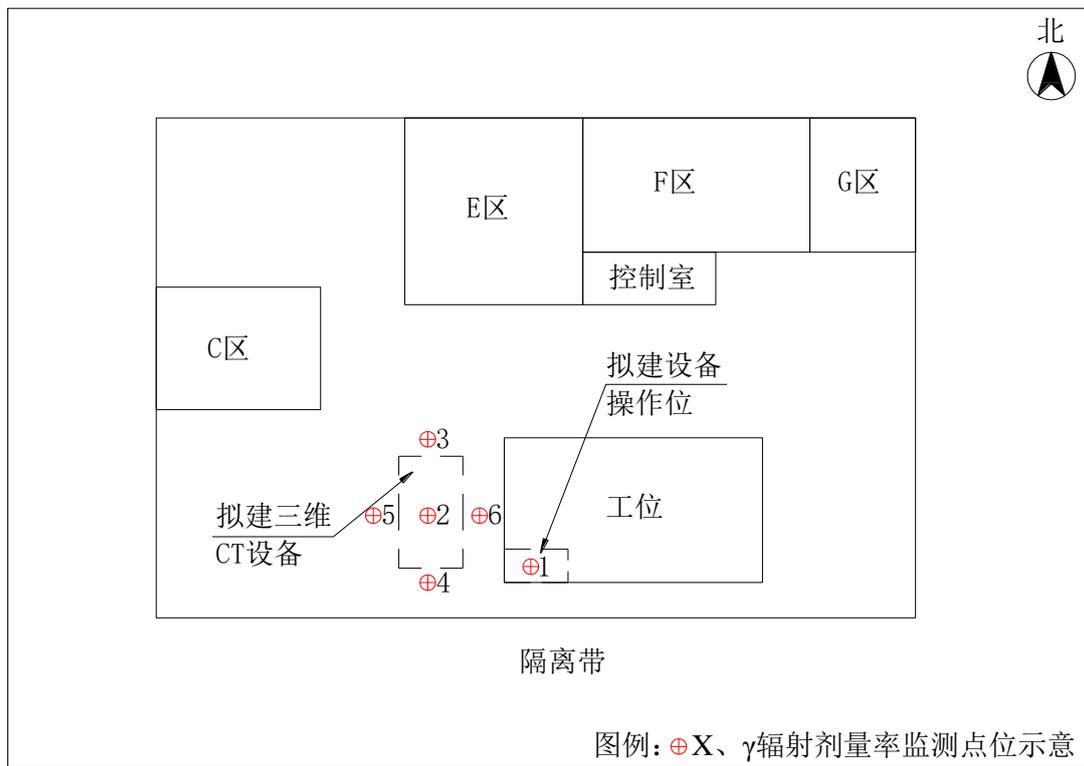


图 8-2 三维 CT 设备拟建场所监测点位示意图

3、监测概况

(1) 监测日期

2020年10月29日。

(2) 监测仪器

监测仪器为便携式辐射检测仪，参数详见表 8-1。

表 8-1 监测仪器设备一览表

仪器名称	便携式辐射检测仪
仪器型号	AT1123
仪器编号	XAZC-YQ-034
测量范围	50nSv/h~10Sv/h
检定单位	上海市计量测试技术研究院
检定证书	2020H21-20-2789366001
检定/校准有效期	2020.10.13~2021.10.12

4、监测结果

辐射环境质量现状监测结果见表 8-2 和表 8-3。

表 8-2 X 射线检测仪拟建场所 X、 γ 辐射剂量率现状监测结果

监测点位	点位描述	X、 γ 辐射剂量率 (nSv/h)	
		测值范围	均值
1	拟建设备操作台	102~104	103
2	拟建设备处	100~102	101
3	拟建设备北侧 0.3m 处	98~100	99
4	拟建设备东侧 0.3m 处	97~99	97
5	拟建设备南侧 0.3m 处	96~98	97
6	拟建设备西侧 0.3m 处	96~98	97
7	已有 X 光机操作位	96~99	98
8	已有 X 光机操作台	97~99	98
—	拟建设备楼上 (某生产区)	102~104	103

表 8-3 三维 CT 设备拟建场所 X、 γ 辐射剂量率现状监测结果

监测点位	点位描述	X、 γ 辐射剂量率 (nSv/h)	
		测值范围	均值
1	拟建设备操作台	91~94	93
2	拟建设备处	90~92	91
3	拟建设备北侧 0.3m 处	89~91	90
4	拟建设备南侧 0.3m 处	91~94	93
5	拟建设备西侧 0.3m 处	91~93	92
6	拟建设备东侧 0.3m 处	92~94	93
—	拟建设备楼上 (某生产线)	96~98	97

由表 8-2 和 8-3 监测结果表明，X 射线检测仪拟建场所各监测点位 X、 γ 辐射剂量率测量值范围为 96~104nSv/h，拟建场所楼上某生产区 X、 γ 辐射剂量率测量值范围为 102~104nSv/h；三维 CT 设备拟建场所各监测点位 X、 γ 辐射剂量率测量值范围为 89~94nSv/h，拟建场所楼上 X、 γ 辐射剂量率测量值范围为 96~98nSv/h。X、 γ 射线在空

气中辐射权重因子为 1,周围剂量当量率 Sv/h 与空气比释动能率 Gy/h 转换后数值一致。参照《陕西省环境天然贯穿辐射水平调查研究》表 5 中：“西安市道路 γ 辐射剂量率范围为 $52.0\sim 121.0\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}$,西安市室内 γ 辐射剂量率范围为 $79.0\sim 130.0\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ ”。经比较,本项目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

本项目主要利用 FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线检测仪和 v|tome|x s 240 三维 CT 设备在工作时发出的 X 射线对工件进行无损检测。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），属于 II 类射线装置。

1、工作原理

本项目 2 台设备是利用 X 射线对物件进行透射的检测装置，利用 X 射线成像技术对工件进行无损检测和三维立体成像。在被测工件无损伤状态下，X 射线管发出 X 射线，由电气控制系统通过手动或者自动控制机械扫描装置完成工件全方位扫描方式透射，平板探测器采集衰减射线信息，在图象出路系统中运用特定算法以二维灰度图象和三维立体图象形式将工件内部信息直观地通过专业显示器显示出来。通过对图象的观测分析和软件计算分析，用来检查零部件内部情况，帮助人员正常分辨工件内部结构组成、有无缺陷、材料类别以及装配状况等。

设备主要由 X 射线管和高压电源组成，其核心部分是 X 射线管。X 射线管由阴极和阳极组成，阴极通常是装在聚焦杯中的钨灯丝。阳极靶则根据应用的需要，由不同的材料制成各种形状，一般用高原子序数的难熔金属（如钨、铂、金、钼等）制成。当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接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，这些高速电子到达靶面被靶所突然阻挡从而产生 X 射线。典型的 X 射线管结构图见图 9-1。

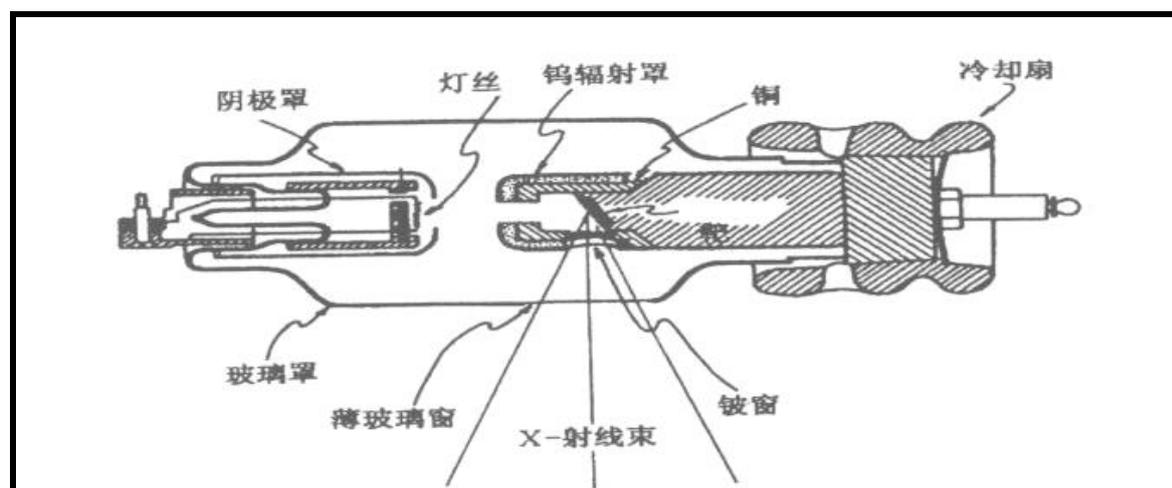


图 9-1 典型的 X 射线管结构图

2、设备简介

① FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线检测仪

FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线检测仪是新一代的无损检测设备，以实时成像的技术取代传统的拍片方式。该检测系统将光电转换技术和计算机数字图像处理技术相结合，通过 X 射线机产生的 X 射线透过被检测物体后衰减规律，利用 X 射线束穿过被检工件被吸收、散射、透射特性，一旦工件局部区域存在缺陷或结构差异，将使不同部位透射强度不同，再利用图像增强方法把由探测器接受到透射线强度分布图像转换为视频图像，经计算机数字化图像处理，将检测图像直接显示在显示器屏幕上，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，从而达到无损检测目的。

X 射线仪（本项目型号为 FXT-160.51 Cougar/Cheetah）主要组成部分包括 X 射线管、平板探测器、X 射线防护机柜、高压发生器，广泛应用于电子产品、通讯产品、航天及航空、安全及医疗产品等领域，可以实现高速 2D 检测和三维断层扫描，主要应用于失效分析、研究和开发、过程与质量控制、大批量的产品质量检测。FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线检测仪能够灵活的满足用户新增的检测要求，有多种配置供用户选择，多样化的功能模块可以满足客户将来的需求，用户只要根据其特点的检测需求，选择不同的模块，就能在已有的设备基础上能够获得定制化的解决方案。



图 9-2 FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线检测仪

② v|tome|x s 240 三维 CT 设备

v|tome|x s 240 三维 CT 设备是将穿过零件的 X 射线经图象增强器、电荷耦合器件摄像系统以及计算机转换成一幅数字图象，这种图象是动态可调的，电压，电流等参数实时可调，同时计算机可对动态图象进行积分降噪、对比度增强等处理，以得到最佳的静态图象。在 X 射线无损检测过程中，由于被检工件内部结构密度不同，其对射线的阻挡能力不一样，物质密度越大，射线强度减弱越大。而当工件内部存在空焊等缺陷时，射线穿过有缺陷的路径比没有缺陷的路径所透过的物质密度要小得多，其强度减弱较小，及透过的射线强度较大，透射 X 射线被 X 射线相机所接受，X 射线相机把不可见的 X 射线检测信息转换为电子图象变成视频图象信号传输至控制室，在监视器上实时显示，可迅速对工件空焊的缺陷进行辨别。

本项目 v|tome|x s 240 高精度型工业 CT 检测装置的 X 射线束固定水平方向布置，可实现从小块样品到大直径金属样品三维微观结构的扫描，在不破坏金属样品状态的情况下三维数字化直观描述金属样品的内部结构，如孔隙度分布、密度分布、夹杂分布及大小、裂缝、孔洞等，并能为所检测样品进行三维尺寸测量，为产品研发、制造提供可靠数据。



图 9-3 v|tome|x s 240 三维 CT 设备

3、工作流程及产污环节分析

(1) FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线检测仪

本项目 X 射线检测仪自带铅房屏蔽，以减少射线装置运行时产生的 X 射线对周

边环境的辐射影响。

具体操作流程如下：

- ① 操作人员对铅房进行检查，以查明设备内是否存在引起 X 射线装置破损的物体，确保射线装置处于正常的工作状态；
- ② 接通电源，进行预热操作，热机操作程序完成后，进入待工作状态；
- ③ 操作人员将待检测的工件放置于铅房内，关闭铅房防护门；
- ④ 根据工件材质、厚度、待检部位、检查性质等因素调节设置相应的管电压、管电流参数；
- ⑤ 工件在 X 射线照射下进行无损检测，获得工件的实时检测图像，进行图像判定；
- ⑥ 检测结束后，由操作人员将工件取出，完成一个工作流程。

FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线检测仪工艺操作流程图如图 9-4 所示。

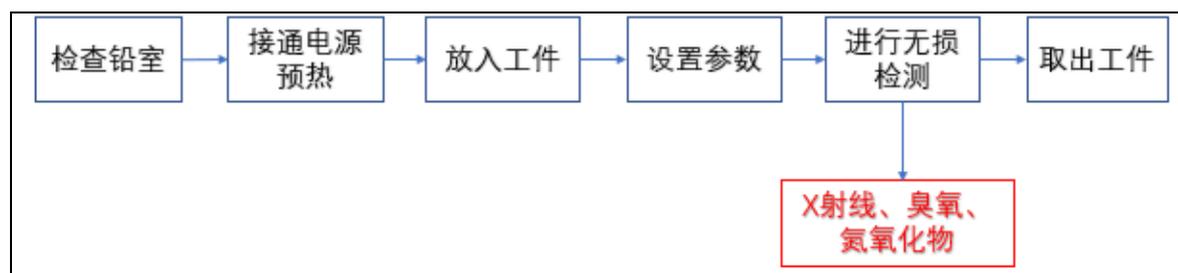


图 9-4 X 射线检测仪工作流程及产污环节

(2) v|tome|x s 240 三维 CT 设备

本项目三维 CT 设备自带屏蔽铅房，待检工件可以通过防护门放入铅房内进行检测，防护门带有铅玻璃，操作人员可以清晰安全的看到铅房内部情况。

操作流程：

- ① 调整操作位置。根据操作员的身高调整 X 射线检测系统的操作位置；
- ② 接通系统，将主开关转到位置“ION”，钥匙插到钥匙开关并转到“On(开)”；
- ③ 启动 X 射线控制软件，初始化 X 射线管，预热 X 射线管进入待工作状态；
- ④ 打开防护门，放入工件然后关闭防护门；
- ⑤ 定位工件，将工件移到放射区域内，接通 X 射线，进行断层扫描；
- ⑥ 检测结束后关断 X 射线，取出工件，关闭系统电脑，系统停止运转。

v|tome|x s 240 三维 CT 设备工艺操作流程图及产污环节如图 9-5 所示。

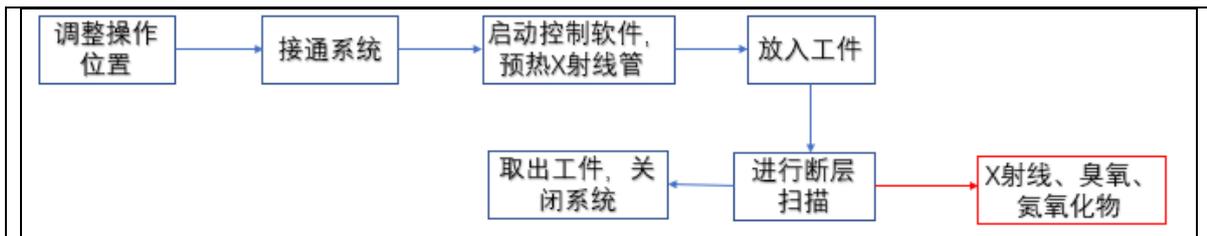


图 9-5 三维 CT 设备工作流程及产污环节

污染源项描述

1、污染源项

(1) X 射线

由 X 射线检测系统的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。本项目使用的 2 台射线装置只有在开机并处于出线状态时(曝光状态)才会发出 X 射线。因此，在开机曝光期间，X 射线成为主要污染因子。

(2) O₃ 和 NO_x

当电压为 0.6kV 以上时，X 射线能使空气电离，本项目拟购置的 2 台射线装置的管电压分别为 160kV 和 240kV，运行时产生的 X 射线会使空气电离产生少量 O₃ 和 NO_x。

本项目 2 台射线装置均采用实时成像系统，不产生废显（定）影液和废胶片。

2、污染途径

(1) 正常工况下主要放射性污染物及污染途径

由 X 射线装置工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失，故机器在开机工作时产生的主要放射性污染物为 X 射线，污染途径为外照射。

(2) 事故工况下主要放射性污染物及污染途径

X 射线装置只有在开机曝光时才产生 X 射线，因此，X 射线辐射事故多为开机误照射事故，主要有：

① X 照射装置在出束工作时因门-机联锁装置失灵导致防护门未能完全关闭，致使 X 射线泄露到防护门外，给周围工作人员造成不必要的照射；

② 设备在调试、检修时发生误照射。设备在调试或检修过程中，责任者脱离岗位，不注意防护或他人误开机使人员受到照射；

③ 操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

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

(1) FXT-160.51 Cougar/CheetahX 射线检测仪

① 布局合理性分析

本项目 X 射线检测仪位于中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院新区 B1 厂房 1 层 P111 X 光检查间东南角，设备北侧为操作台，西侧为已有 X 光机操作位置，南侧为 P112 室，东侧为通道，设备楼上对应位置为某生产区。X 射线检测仪自带铅房屏蔽，主射线水平向上照射，铅房顶部无工作人员，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 工作场所分区

控制区：将 X 射线检测仪屏蔽铅房内的所有区域划为控制区。建设单位应在防护门的进出口及其他适当位置处设立警告标志。非本项目工作人员不得进入控制区，设备运行前，任何人员不得进入控制区。

监督区：将 X 射线检测仪实体屏蔽体外 1m 区域范围内以及操作台划分为监督区，采用黄色警戒线划出监督区的边界，设立表明监督区的标牌，设备工作过程中，除辐射工作人员外，其他人员应尽量远离监督区。

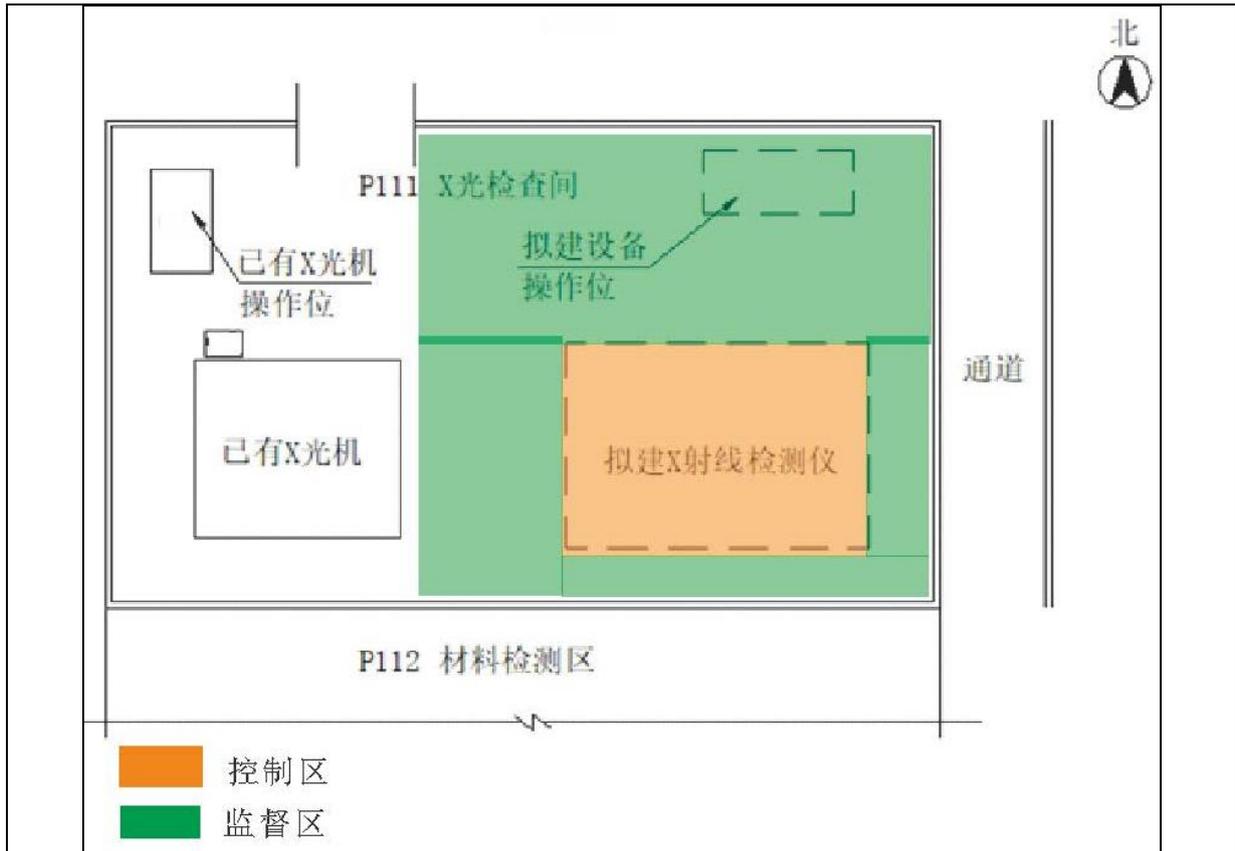


图 10-1 X 射线检测仪分区示意图

(2) v|tome|x s 240 三维 CT 设备

① 布局合理性分析

v|tome|x s 240 三维 CT 设备位于西长安街老区 201 厂房 1 层某生产线的西南角，设备北侧为 E 区，南侧为隔离带，东侧为本项目操作位及其他工位，西侧为 C 区。设备工作时主射线向北侧照射，避开了本项目的操作位置和人员较密集的工位，满足《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 工作场所分区

控制区：将三维 CT 设备屏蔽铅房内的所有区域划为控制区。建设单位应在防护门的进出口及其他适当位置处设立警告标志。非本项目工作人员不得进入控制区，设备运行前，任何人员不得进入控制区。

监督区：将三维 CT 设备实体屏蔽体外 1m 区域范围内以及操作台划分为监督区，采用黄色警戒线划出监督区的边界，设立表明监督区的标牌，设备工作过程中，除辐射工作人员外，其他人员应尽量远离监督区。

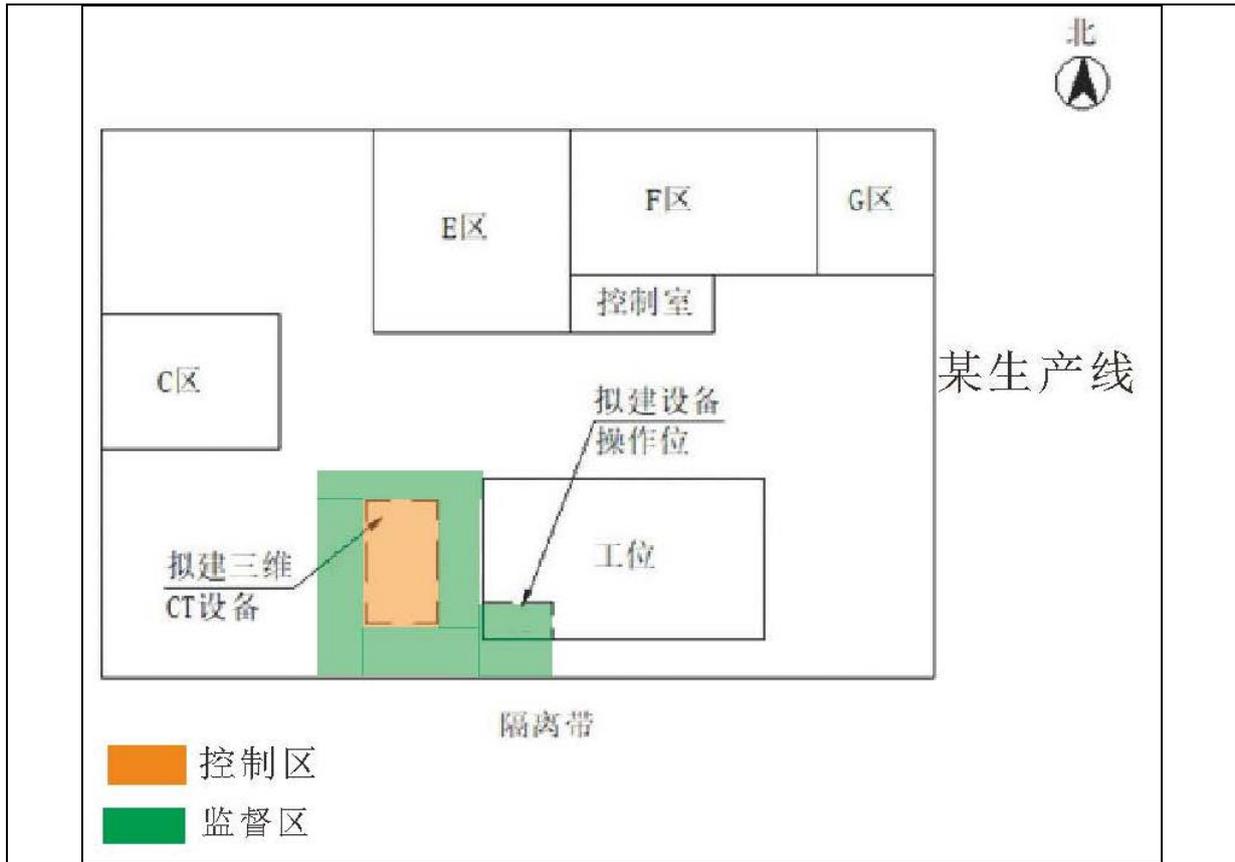


图 10-2 三维 CT 设备工作场所分区示意图

3、辐射防护屏蔽设计

(1) FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线检测仪

FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线检测仪自带铅房屏蔽，铅房外尺寸约为 1650mm（长）×1400mm（宽）×2050mm（高），铅房采用铅板、铅玻璃对 X 射线进行屏蔽，定义观察窗所在位置为装置前侧。根据设计单位提供的资料，设备各方向屏蔽材料见表 10-1。本项目 X 射线检测仪装置工件门设计安装有门机联锁装置，只有在工件门完全关闭时装置才能出束照射。屏蔽示意图见图 10-3。

表 10-1 X 射线检测仪各方向屏蔽材料

方向	屏蔽材料及厚度	铅当量（mm）
前侧	5.2mm 铅	5.2
前侧工作台（辐射屏蔽柜内）	5.2mm 铅	5.2
辐射防护玻璃（防护门）	5.0mm 铅	5.0
左面	5.2mm 铅	5.2
背壁	5.2mm 铅	5.2
右面	5.2mm 铅	5.2
顶部	5.2mm 铅	5.2
底部	5.2mm 铅	5.2

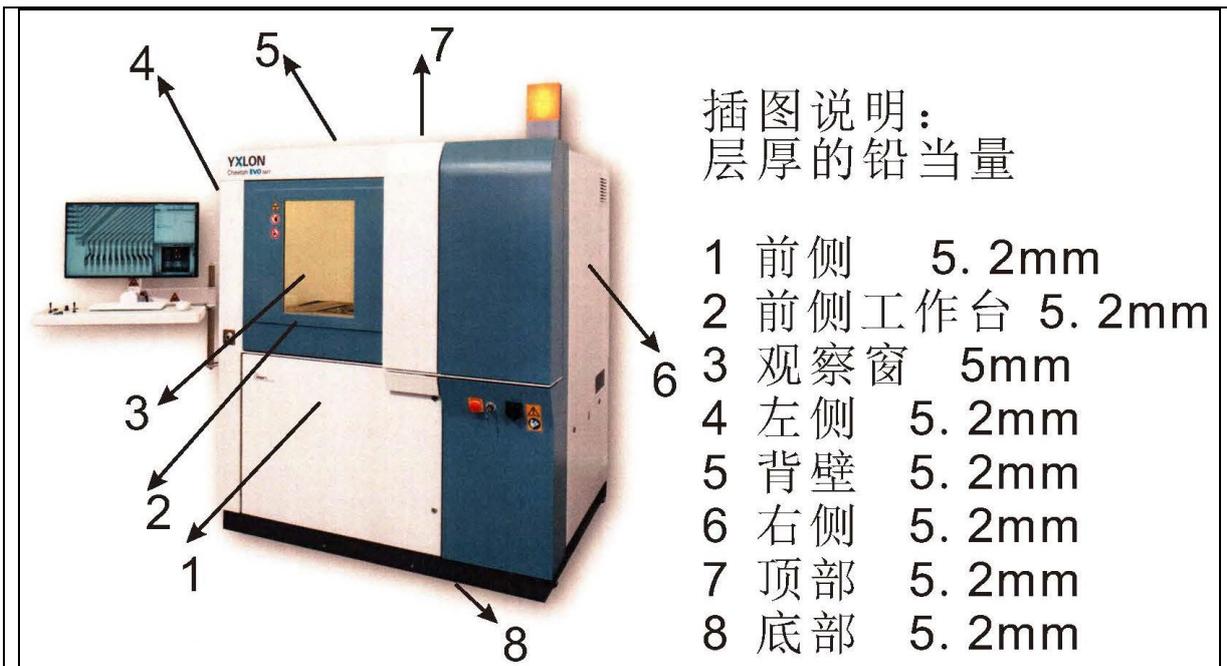


图 10-3 X 射线检测仪辐射屏蔽示意图

(2) v|tome|x s 240 三维 CT 设备

v|tome|x s 240 三维 CT 设备自带铅房屏蔽,铅房外尺寸约为 2170mm(长)×1500mm (宽)×1690mm (高),铅房采用铅板、钢板和铅玻璃对 X 射线进行屏蔽,定义观察窗所在位置为装置前侧。根据设计单位提供的资料,设备各方向屏蔽材料见表 10-2。本项目三维 CT 设备装置工件门设计安装有门机联锁装置,只有在工件门完全关闭时装置才能出束照射。各方向距离辐射源距离如图 10-4 所示。

表 10-2 三维 CT 设备各方向屏蔽材料

方向	屏蔽材料及厚度	铅当量 (mm)
前侧	9mm 钢+8.5mm 铅+9mm 钢	9.86
观察窗 (防护门)	10.4mm 铅	10.4
后侧	9mm 钢+8.5mm 铅+9mm 钢	9.86
左侧	14mm 钢+14mm 铅+14mm 钢	16.16
右侧	9mm 钢+8.5mm 铅+9mm 钢	9.86
顶部	8mm 钢+8.5mm 铅+8mm 钢	9.82
底部	8mm 钢+7~9mm 铅+8mm 钢	8.32~10.32

备注:根据《X 射线和 γ 射线防护手册》表 11.A 各种建筑材料在窄束 X 射线时的铅当量可知 2cm 钢板在 250kV 工作电压时的铅当量为 1.5mm,采用内插法得到 16mm 的钢板在 240kV 工作电压时的铅当量约为 1.32mm.; 18mm 的钢板在 240kV 工作电压时的铅当量约为 1.36mm.; 28mm 的钢板在 240kV 工作电压时的铅当量约为 2.16mm。

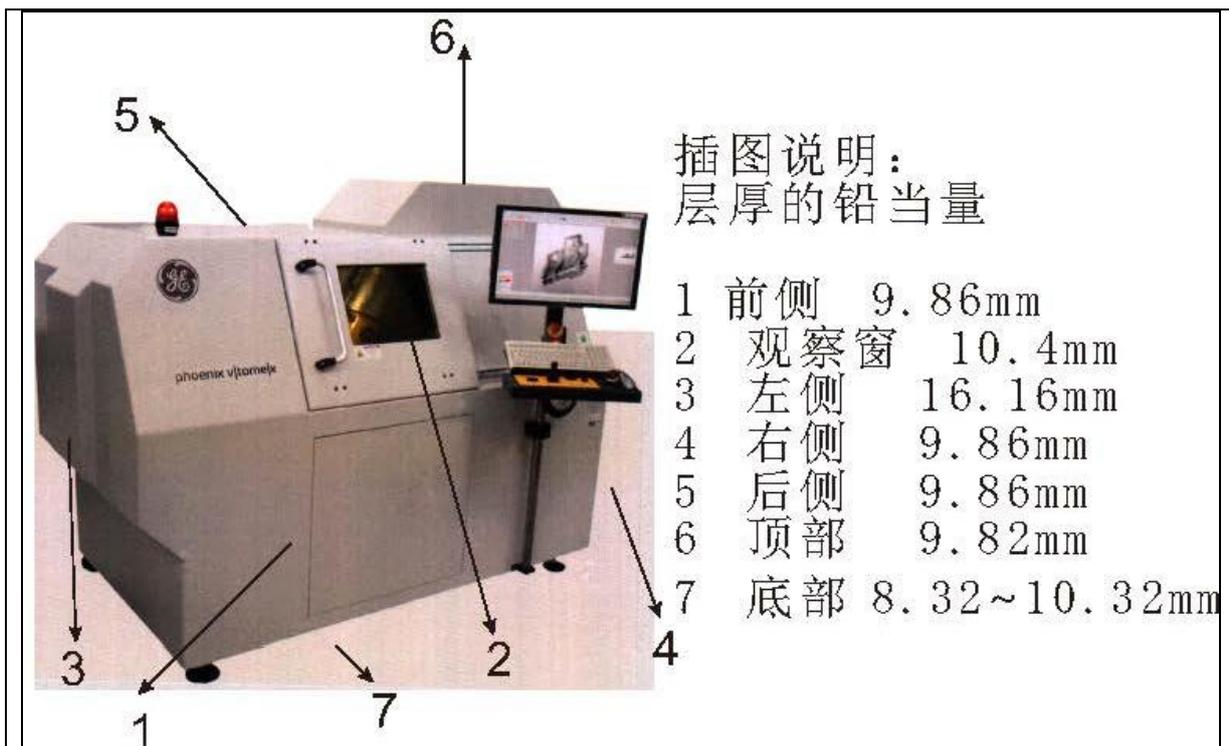


图 10-4 三维 CT 设备辐射屏蔽示意图

4、辐射安全措施

(1) FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线检测仪

根据建设单位提供的资料，X 射线检测仪设备自身已具备的辐射安全装置见表 10-3，同时为了避免有致命危险的情形或财产损失，该设备上张贴有多种指示牌。

表 10-3 X 射线检测仪自身的辐射安全装置

安全装置	位置	功能
警告灯	见下图 1	接通 X 射线时，警告灯闪烁
通风装置	见下图 2	对 X 射线检测系统进行通风
主开关	见下图 6	开启及关断能源供应，由此开启及停止系统
钥匙开关	见下图 7	开启及关断能源供应，由此开启及停止系统
紧急停机	见下图 8	可立即关断能源供应，由此停止系统
门机联锁	见下图 4、9、10	装载门及保养门打开时 X 射线辐射装置切断，操控台无法工作
视窗	见下图 11	便于观察检测工件状态
操控台	见下图 12	接通 X 射线时，操控台上的显示器亮灯
电离辐射警示标识	装载门左侧视窗旁	警示

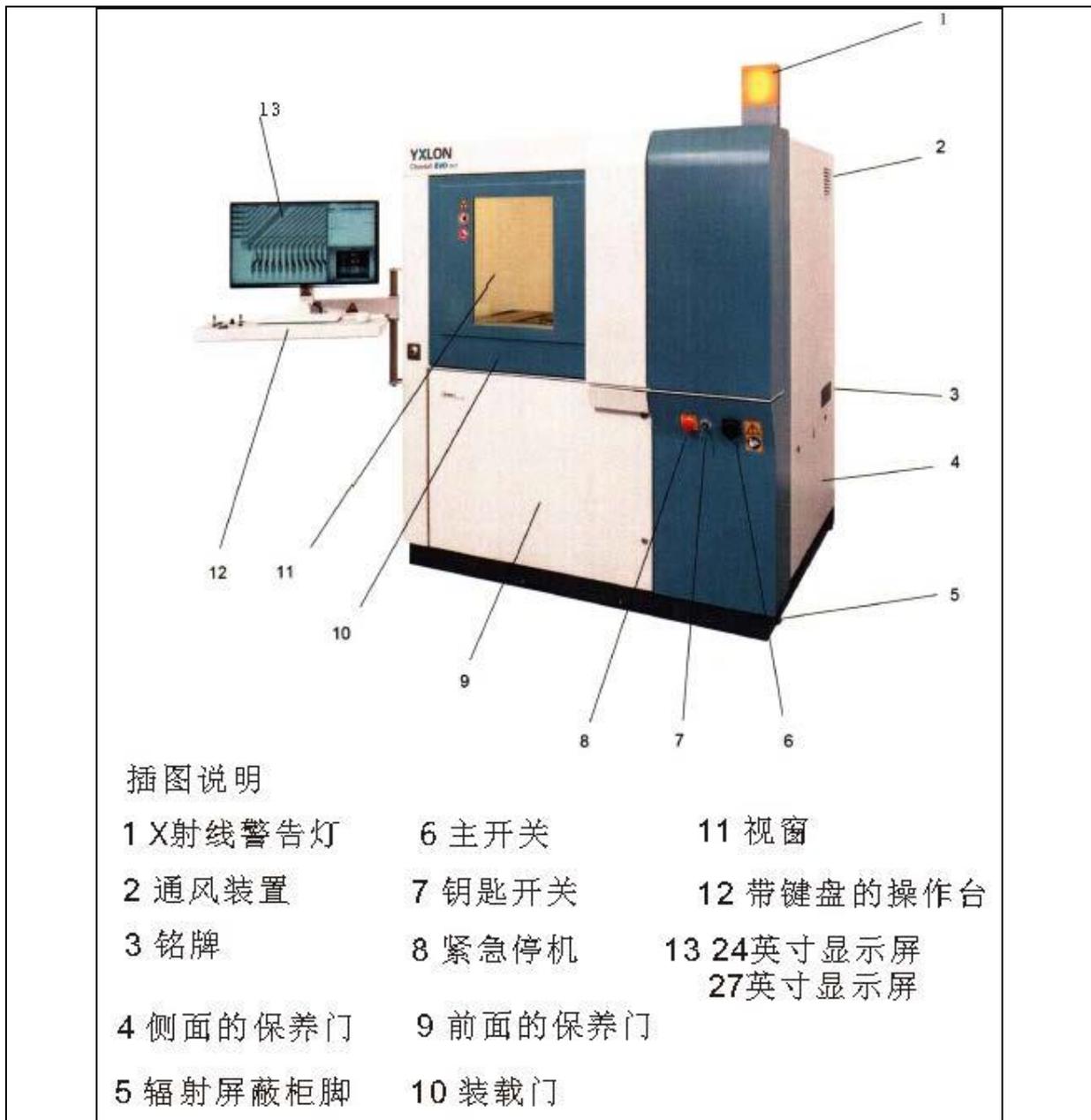


图 10-5 X 射线检测仪自身安全装置示意图

(2) v|tome|x s 240 三维 CT 设备

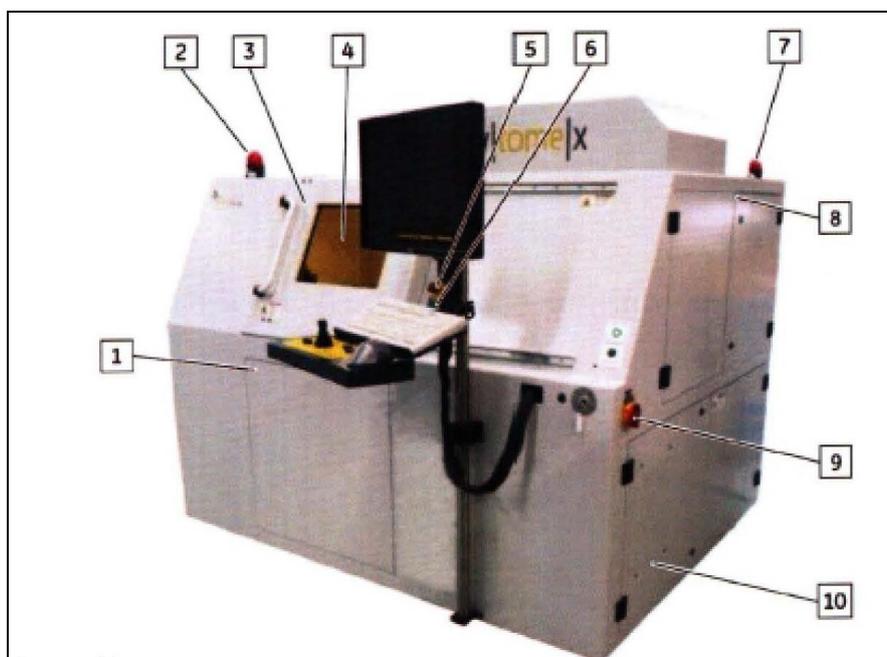
根据建设单位提供的资料，三维 CT 设备自身采取的辐射安全装置见表 10-4，同时为了避免有致命危险的情形或财产损失，该设备上张贴有多种指示牌。

表 10-4 三维 CT 设备自身的辐射安全装置

安全装置	位置	功能
安全开关	见下图 1、3、8	运行中开门会中断高电压发生器的主供电，无法再生成 X 射线，另外还会停止试样操作器
警示灯	见下图 2、6、7	接通 X 射线时，警示灯闪烁
铅玻璃	见下图 4	便于观察检测工件状态
急停按钮	见下图 5	可立即关断能源供应，由此停止系统。试样操作器的移动和 X 射线的生成会被立即中断

续表 10-4 三维 CT 设备自身的辐射安全装置

主开关(带紧急停机功能)	见下图 9	主要将系统与供电网络相连,可立即关断能源供应,由此停止系统并触发急停
熔断器	见下图 10	过载时,熔断器会自动关断电路
电离辐射警示标识	见装载门及操控台旁	警示
通风装置	见设备背壁上方	对三维 CT 设备进行通风



插图说明

- | | |
|-------------|---------------|
| 1 前部维护门安全开关 | 6 前部警示灯 (控制台) |
| 2 左前警示灯 | 7 右后警示灯 |
| 3 推拉门安全开关 | 8 右上维护门安全开关 |
| 4 含铅玻璃板 | 9 主开关 |
| 5 急停按钮 | 10 熔断器 |

图 10-6 三维 CT 设备自身安全装置示意图

(3) 辐射安全管理措施

为了更好地进行射线装置的辐射安全防护工作,本项目还应采取如下安全及防护措施:

- ① 作业场所张贴操作规程、相关规章制度,操作人员严格按照操作规程进行操作。
- ② 对射线装置防护门、门-机联锁装置等安全设施进行经常性的检查、维护,防止安全装置带故障运行。
- ③ 使用 X-γ 辐射剂量率监测仪器,定期按照监测计划对铅房表面、周围区域以及操作位置处辐射剂量率进行监测,做好监测记录,存档备查。

④ 放射性操作人员应配备个人剂量计，定期送有资质单位进行监测（每季度送检 1 次），随时掌握受照剂量，使作业人员接受到的辐射附加剂量能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）标准要求。

三废的治理

本项目产生的 X 射线能量较低（最大为 240kV），检测过程中可产生微量 O₃ 和 NO_x，臭氧在常温下很快转化成氧气，对现场探伤工作人员影响很小。NO_x 的产额约为 O₃ 的一半，且工作场所 NO₂ 容许浓度限值大于 O₃ 的容许浓度，因此在 O₃ 浓度可以满足标准要求时，NO_x 的浓度也可以满足标准要求。

本项目的 2 台射线装置自带通风设施，在运行过程中持续通风，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。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目 X 射线检测仪和三维 CT 设备自带屏蔽铅房，无需对现有厂房进行改造，仅需将设备运输进厂后在拟建厂房内指定位置安装即可，安装过程持续时间较短，且安装方式简单，安装过程中不会产生废气、废水、噪声、固体废物等污染物，对外环境影响小。

运行阶段对环境的影响

本项目拟购置的 2 台射线装置通过设备自带的铅防护外壳对 X 射线进行屏蔽。

X 射线检测仪装置从机器正前方（操作面）来看射线逸出口距防护铅房各个方向的距离示意图见图 11-1。

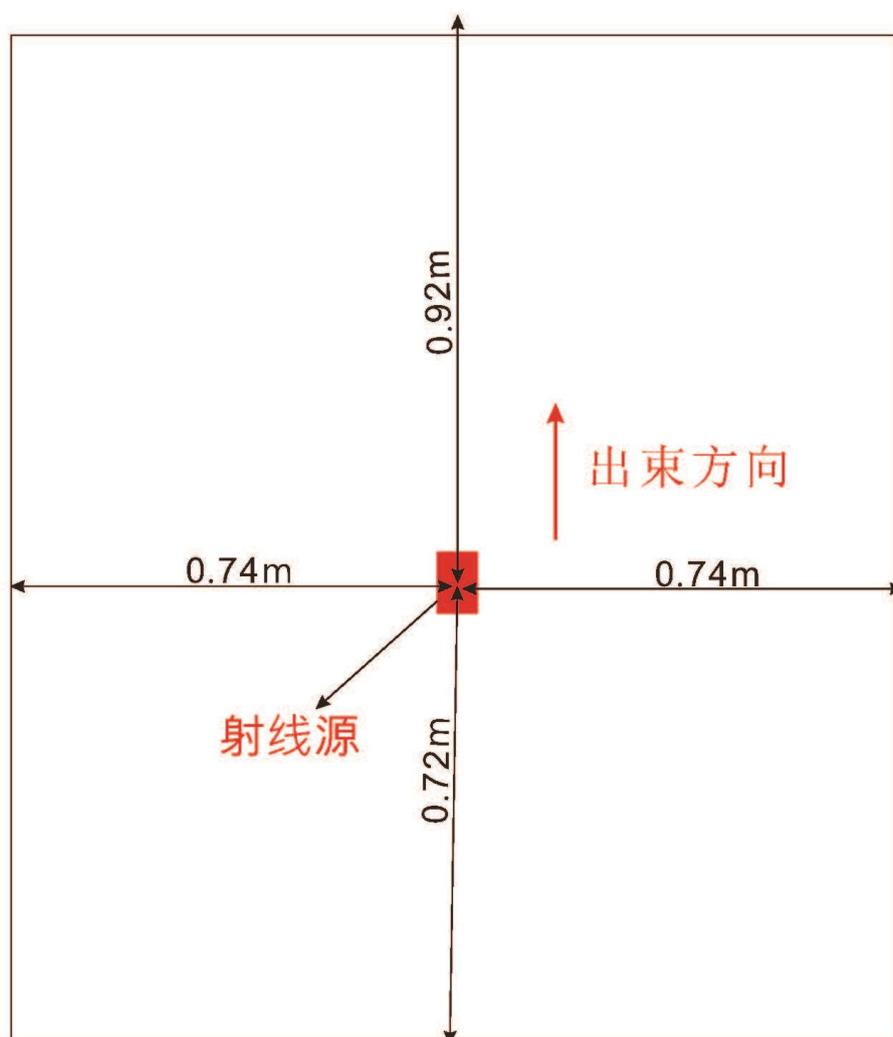


图 11-1 X 射线检测仪射线逸出方向主视图

三维 CT 设备从机器正前方（操作面）来看射线逸出口距离防护铅房各个方向示意图见图 11-2。

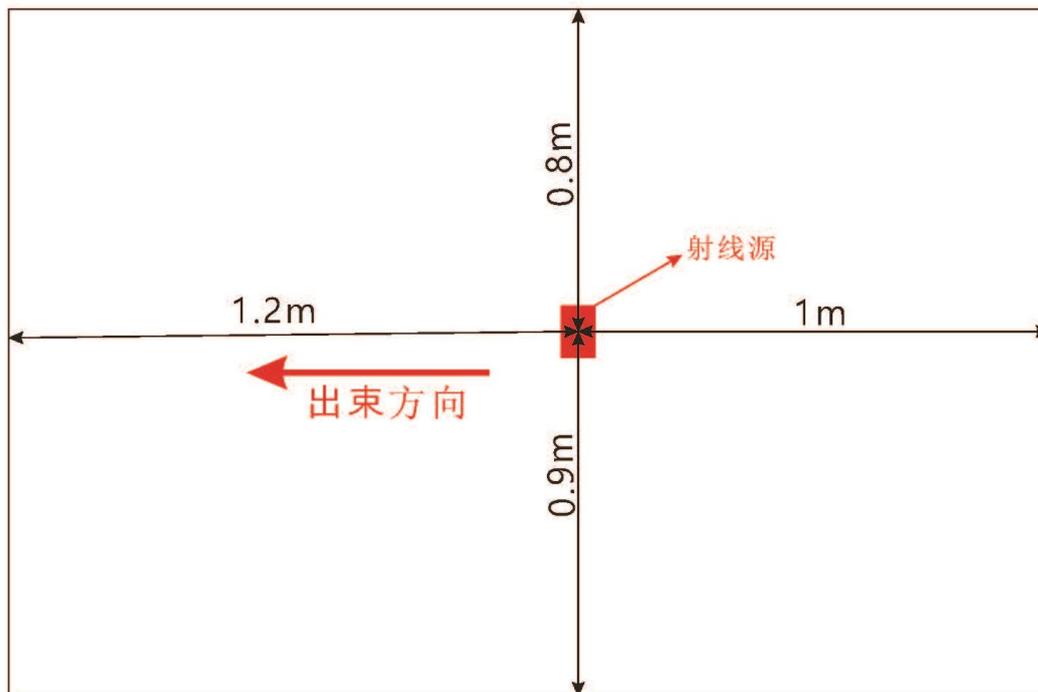


图 11-2 三维 CT 设备射线逸出方向主视图

一、辐射防护屏蔽能力分析

本项目 X 射线检测仪和三维 CT 设备均通过铅板及铅玻璃对 X 射线进行防护, 根据建设单位所提供的数据, X 射线检测仪年曝光时间约为 242h, 三维 CT 设备年曝光时间约为 96h。X 射线检测仪设备工作时主射线水平向上照射, 三维 CT 设备工作时主射线水平向左侧照射, 本次评价以设备满功率运行时对设备四周、顶部及工件门辐射环境影响进行预测, 预测计算模式采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 中的计算公式。

1、理论预测模式

计算模式参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014), 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。本项目铅房相当于探伤室, 因此主要对铅房的屏蔽性能及周边关注点进行预测。

(1) 剂量率参考控制水平

① 确定铅房各方向外关注点的导出剂量率参考控制水平

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 ——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——探伤装置向关注点方向照射的使用因子，取 U=1；

T——人员在相应关注点驻留的居留因子；

t——探伤装置周照射时间，单位为 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“mA·min”值），mA·min/周；

60——小时与分钟的换算系数；

I——X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）。

② 关注点最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ：

$$\dot{H}_{c,max}=2.5\mu\text{Sv/h} \quad \text{公式(3)}$$

③ 关注点剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

\dot{H}_c 为上述①中的 $\dot{H}_{c,d}$ 和②中的 $\dot{H}_{c,max}$ 二者的较小值。

(2) 有用线束的屏蔽

① 关注点达到剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 时，屏蔽设计所需的屏蔽透射因子 B 按下式计算，对估算出的屏蔽透射因子 B，查附录 B.1 的曲线得出相应的屏蔽物质厚度 X：

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

式中：B——屏蔽所需透射因子；

\dot{H}_c ——剂量率控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

I——X 射线探伤装置在最高管电压下的最大管电流，mA；

H_0 ——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 。

② 对给定的屏蔽物质厚度 X，由附录 B.1 曲线查出相应的屏蔽透射因子 B。关注点的剂量率按公式(5)计算：

$$\dot{H}=I \cdot H_0 B/R^2 \quad \text{公式(5)}$$

式中：I——X 射线装置在最高管电压下的最大管电流 mA；

H_0 ——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——屏蔽透射因子，X 为屏蔽体厚度；

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）。

(3) 屏蔽厚度 X 与屏蔽透射因子 B 的相互计算

对于估算出的屏蔽透射因子 B，所需的屏蔽物质厚度 X 按下式计算：

$$X = -TVL \cdot \lg B \quad \text{公式(6)}$$

式中：B——达到剂量率参考控制水平 H_c 时所需的屏蔽透射因子；

TVL——屏蔽物质的什值层厚度，mm。本项目参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）附录 B 表 B.2。

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——屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同单位；

TVL——屏蔽物质的什值层厚度，mm。

(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：

$$B = \dot{H}_c \cdot R^2 / H_L \quad \text{公式(8)}$$

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

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

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

② 在给定屏蔽物质厚度 X 时，相应的屏蔽透射因子 B 按公式(3)计算，然后按公式(5)计算泄漏辐射在关注点的剂量率 \dot{H} ：

$$\dot{H} = H_L \cdot B / R^2 \quad \text{公式(9)}$$

式中： \dot{H} ——关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

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

B——屏蔽透射因子；

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m。

③ 散射辐射屏蔽物质的透射因子 B 按下式计算：

$$B = \dot{H}_c \cdot R_s^2 / (I \cdot H_0) \cdot R_0^2 / (F \cdot a) \quad \text{公式(10)}$$

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

R_s ——散射体至关注点的距离， m ；

R_0 ——辐射源点至探伤工件的距离， m ；

I ——X 射线探伤装置在最高管电压下的最大管电流， mA ；

H_0 ——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 —— R_0 处的辐射野面积， m^2 ；

a ——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。

④ 关注点的散射辐射剂量率

在给定屏蔽物质厚度 X 时，相应的屏蔽透射因子 B ，按《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中表 2 并查表 B.1 的相应值，确定 90° 散射辐射的 TVL，然后按公式(3)计算。关注点的散射辐射剂量 \dot{H} ：

$$\dot{H}=I\cdot H_0\cdot B/R_s^2\cdot(F\cdot a/R_0^2) \quad \text{公式(11)}$$

式中： \dot{H} ——关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

I ——X 射线探伤装置在最高管电压下的最大管电流， mA ，；

H_0 ——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 ——屏蔽透射因子；

F —— R_0 处的辐射野面积， m^2 ；

a ——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；

R_s ——散射体至关注点的距离， m ；

R_0 ——辐射源点至探伤工件的距离， m 。

⑤ 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（HVL）。

⑥ 年有效剂量可按下式计算：

$$P_{\text{年}}=H\cdot U\cdot T\cdot t \quad \text{公式(12)}$$

式中： $P_{\text{年}}$ ——一年有效剂量， mSv/a ；

U——探伤装置向关注点方向照射的使用因子；

T——人员在相应关注点驻留的居留因子；

t——年工作时间，h。

二、防护能力估算

1、设备各点位剂量参考控制水平

根据建设单位提供资料，X射线检测仪检测工作时间为每周5h。X射线检测仪铅房各点位剂量参考控制水平见表11-1。三维CT设备检测工作时间为每周2h。三维CT设备铅房各点位剂量参考控制水平见表11-2。

表 11-1 X射线检测仪铅房各点位剂量参考控制水平

点位	T	U	R (m)	剂量率参考控制 ($\mu\text{Sv/h}$)	需屏蔽的辐射源
前侧	1	1	0.82	2.5	泄露辐射、散射辐射
防护门铅玻璃视窗	1	1	0.82	2.5	泄露辐射、散射辐射
背壁	1/4	1	0.83	2.5	泄露辐射、散射辐射
左侧	1/4	1	1.04	2.5	泄露辐射、散射辐射
右侧	1/4	1	1.04	2.5	泄露辐射、散射辐射
顶部	1/16	1	1.22	100	有用线束

表 11-2 三维CT设备铅房各点位剂量参考控制水平

点位	T	U	R (m)	剂量率参考控制 ($\mu\text{Sv/h}$)	需屏蔽的辐射源
前侧	1	1	1.05	2.5	泄露辐射、散射辐射
背面	1	1	1.05	2.5	泄露辐射、散射辐射
防护门铅玻璃视窗	1	1	1.05	2.5	泄露辐射、散射辐射
右侧	1	1	1.3	2.5	泄露辐射、散射辐射
顶部	1/4	1	1.1	100	泄露辐射、散射辐射
左侧	1/4	1	1.5	2.5	有用线束

2、设备屏蔽厚度计算结果

(1) X射线检测仪屏蔽厚度估算结果

估算结果见表11-3。

表 11-3 X射线检测仪屏蔽外壳厚度估算结果

点位	有用线束屏蔽所需厚度 (mm)			实际设计厚度 (mm)	评价
顶部	4.5			5.2	满足
点位	泄露辐射屏蔽所需 厚度 (mm)	散射辐射屏蔽所需 厚度 (mm)	复合厚度 (mm)	实际设计厚度 (mm)	评价
前侧	4.45	4.14	4.87	5.2	满足
防护门铅玻璃视窗	4.45	4.14	4.87	5	满足
背壁	4.43	4.13	4.85	5.2	满足
左侧	4.16	3.95	4.58	5.2	满足

右侧	4.16	3.95	4.58	5.2	满足
----	------	------	------	-----	----

(2) 三维 CT 设备屏蔽外壳厚度估算结果

估算结果见表 11-4。

表 11-4 三维 CT 设备屏蔽外壳厚度估算结果

点位	有用线束屏蔽所需厚度 (mm)			实际设计厚度 (mm)	评价
左侧	12.6			16.16	满足
点位	泄露辐射屏蔽所需厚度 (mm)	散射辐射屏蔽所需厚度 (mm)	复合厚度 (mm)	实际设计厚度 (mm)	评价
前侧	9.45	6.07	9.45	9.86	满足
背面	9.45	6.07	9.45	10.86	满足
防护门铅玻璃视窗	9.45	6.07	9.45	10.4	满足
右侧	8.92	5.81	8.69	9.86	满足
顶部	4.69	3.77	4.69	9.82	满足

3、X 射线检测仪各关注点预测结果

根据建设单位提供的资料，X 射线检测仪拟安装位置背壁、东侧与墙体有一定距离，西侧与已有 X 光机设备有一定距离，均超过 30cm。因此仅对设备屏蔽铅房四周及防护门铅玻璃视窗外 30cm 处以及楼上某生产区的关注点进行预测。

(1) 主射线所致屏蔽墙外剂量率

主射线所致关注点辐射剂量率利用公式(5)计算得表 11-5。

表 11-5 有用线束所致关注点辐射剂量率

点位描述	设计厚度 (mmPb)	I (mA)	H_0 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$	B	R(m)	H ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价
顶部	5.2	1	1.722×10^6	1.2×10^{-5}	1.22	13.88	100	满足

(2) 射线装置所致屏蔽墙外剂量率统计及分析

计算结果得表 11-6。

表 11-6 射线装置所致屏蔽墙外剂量率

点位	屏蔽设计厚度 (mmPb)	R(m)	泄露辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	总辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价结果
前侧	5.2	0.82	0.718	0.196	0.914	2.5	满足
防护门铅玻璃视窗	5	0.82	0.997	0.317	1.314	2.5	满足
背壁	5.2	0.83	0.701	0.192	0.892	2.5	满足
左侧	5.2	1.04	0.446	0.122	0.568	2.5	满足
右侧	5.2	1.04	0.446	0.122	0.568	2.5	满足

根据表 11-5 和表 11-6 的理论预测结果可知，FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线仪满功率运行时，铅房四周屏蔽体及防护门铅玻璃视窗表面 30cm 处的辐射剂量率为

0.568~1.314 μ Sv/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 2.5 μ Sv/h”的要求。铅房顶部 30cm 处的辐射剂量率为 13.88 μ Sv/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”的要求。

4、三维 CT 设备各关注点预测结果

根据建设单位提供的资料，三维 CT 设备拟安装位置四周与墙体有一定距离，均超过 30cm。因此仅对设备屏蔽铅房的四周及防护门铅玻璃视窗外 30cm 处的关注点进行预测。

(1) 主射线所致屏蔽墙外剂量率

主射线所致关注点辐射剂量率利用公式(5)计算得表 11-7。

表 11-7 有用线束所致关注点辐射剂量率

点位描述	设计厚度 (mmPb)	I (mA)	$H_0 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$	B	R(m)	H ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价
左侧	16.16	3	9.9×10^5	$<10^{-6}$	1.5	1.32	2.5	满足

(2) 射线装置所致屏蔽墙外剂量率统计及分析

计算结果得表 11-8。

表 11-8 射线装置所致屏蔽墙外剂量率

点位	屏蔽设计厚度 (mmPb)	R(m)	泄露辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	总辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价结果
前侧	9.86	1.05	1.805	0.005	1.810	2.5	满足
背面	9.86	1.05	1.805	0.005	1.810	2.5	满足
防护门铅玻璃视窗	10.4	1.05	1.176	0.002	1.178	2.5	满足
右侧	9.86	1.3	1.178	0.003	1.181	2.5	满足
顶部	9.82	1.1	1.698	0.005	1.703	100	满足

根据表 11-7 和表 11-8 的理论预测结果可知，三维 CT 设备满功率运行时，铅房四周屏蔽体及防护门铅玻璃视窗表面 30cm 处的辐射剂量率为 1.178~1.810 μ Sv/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 2.5 μ Sv/h”的要求。铅房顶部 30cm 处的辐射剂量率为 1.703 μ Sv/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”的要求。

5、辐射工作人员和公众剂量估算及评价

(1) X 射线检测仪辐射操作人员 and 公众剂量估算

根据建设单位提供资料，X 射线检测仪全年工作时间为 242h。设备屏蔽铅房四周主要是本项目操作人员检测或维修时可达到的区域，本项目操作人员主要在设备前侧、操作位、防护门铅玻璃视窗处活动，检修及监测时到达设备背壁、左侧和右侧，极少数情况下在顶部维修。设备右侧有已装设备的操作人员活动。

年附加有效剂量按照公式(12)计算，辐射工作人员及公众的年附加有效剂量率计算结果见表 11-9。

表 11-9 人员年有效剂量率

点位	H (μSv/h)	U	T	T(h)	P _年 (mSv/a)	剂量约束限值 (mSv/a)	关注对象	评价结果
前侧	0.914	1	1	242	0.221	5	操作人员	满足
铅玻璃	1.314		1		0.318	5	操作人员	满足
背壁	0.892		1/4		0.054	5	操作人员	满足
左侧	0.568		1/4		0.034	5	操作人员	满足
右侧	0.568		1/4		0.034	5	操作人员	满足
						0.25	公众	满足

① 辐射工作人员年附加有效剂量

根据表 11-7 估算结果可以看出，本项目周边职业工作人员年受照射剂量最大为 0.318mSv/a，该设备操作人员从现有人员中调配，根据兵器工业卫生研究所职业卫生技术服务中心出具的职业性外照射个人剂量监测报告，2019 年 7 月至 2020 年 7 月期间，中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院放射工作人员个人剂量当量为 0.042~0.171mSv/a，故本项目职业工作人员累计年受照射剂量最大为 0.489mSv/a，远低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的年剂量约束限值要求（职业人员 20mSv）及本次评价所取的年剂量约束值（职业人员 5.0mSv）。

② 公众年有效剂量

公众人员因该项目可能导致累积年受照射剂量最大为 0.034mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的年剂量约束限值要求（公众人员 1mSv）及本次评价所取的年剂量约束值（公众人员 0.25mSv）。

可见本项目建成运行后对工作人员及公众的影响较小。

(2) 三维 CT 设备辐射操作人员 and 公众剂量估算

根据建设单位提供资料，三维 CT 设备全年工作时间为 96h。设备屏蔽铅房四周

主要是本项目操作人员检测或维修时可达到的区域，本项目操作人员主要在设备前侧、操作位、防护门铅玻璃视窗处活动，检修及监测时到达设备背壁、左侧和右侧，极少数情况下在顶部维修。设备左侧 E 区、前侧 C 区和背壁工位处有公众人员活动。

年附加有效剂量按照公式(12)计算，辐射工作人员及公众的年附加有效剂量率计算结果见表 11-10。

表 11-10 人员年有效剂量率

点位	H (μSv/h)	U	T	T(h)	P _年 (mSv/a)	剂量约束限值 (mSv/a)	关注对象	评价结果
前侧	1.810	1	1	96	0.174	5	操作人员	满足
			1/4		0.043	0.25	公众	满足
背面	1.810		1		0.174	5	操作人员	满足
			1			0.25	公众	满足
铅玻璃	1.178		1		0.113	5	操作人员	满足
右侧	1.181		1		0.113	5	操作人员	满足
左侧	1.32		1/4		0.032	5	操作人员	满足
						0.25	公众	满足

① 辐射工作人员年附加有效剂量

根据表 11-8 估算结果可以看出，本项目周边职业工作人员年受照射剂量最大为 0.174mSv/a，该设备操作人员从现有人员中调配，根据兵器工业卫生研究所职业卫生技术服务中心出具的职业性外照射个人剂量监测报告，2019 年 7 月至 2020 年 7 月期间，中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院放射工作人员个人剂量当量为 0.042~0.171mSv/a，故本项目职业工作人员累计年受照射剂量最大为 0.345mSv/a，远低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的年剂量约束限值要求（职业人员 20mSv）及本次评价所取的年剂量约束值（职业人员 5.0mSv）。

② 公众年有效剂量

公众人员因该项目可能导致累积年受照射剂量范围为 0.032~0.174mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的年剂量约束限值要求（公众人员 1mSv）及本次评价所取的年剂量约束值（公众人员 0.25mSv）。

可见本项目建成运行后对工作人员及公众的影响较小。

三、废气环境影响分析

根据《X 射线工作场所臭氧氮氧化物浓度监测》（郝海鹰、刘容、王玉海编著）及《X 射线工作场所空气中臭氧氮氧化物浓度调查》（张大薇编著）资料显示，探伤室射线装置工作场所 O₃ 浓度范围为 0.026~0.090mg/m³、NO_x 浓度范围为 0.019~

0.061mg/m³。

根据建设单位提供的资料，2 台射线装置自带通风设施，工作期间通风设施同步启动，持续通风，满足铅房内通排风需求及《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。

项目运行后，铅房内产生的少量臭氧和氮氧化物通过轴流风机和外界空气对流，因此，本项目射线装置产生的 O₃、NO_x 对人员和周围环境影响较小。

事故影响分析

1、事故工况

本项目 2 台射线装置可能发生的辐射事故主要为防护门安全联锁发生故障，导致在防护门未关到位的情况下射线发生器出束，X 射线泄露使操作人员受到不必要的照射，这种辐射事故发生的可能性极低，但建设单位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

本次环评假设射线装置出现以上事故对观察窗处工作人员产生误照射，根据设备实际情况，主要考虑受到泄露和散射剂量。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。

则在距离靶源 1m 处受到 20mSv 和 50mSv 受到泄露和散射剂量的时间估算见表 11-11、11-12 和表 11-13、11-14。

表 11-11 FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线检测仪在最大管电压 160kV 工作条件下不同距离、不同接触时间的泄露有效剂量（单位：mSv）

时间 \ 距离	1m	1.5m	2m	2.5m	3m
1min	0.042	0.019	0.010	0.007	0.005
2min	0.083	0.037	0.021	0.013	0.009
3min	0.125	0.056	0.031	0.02	0.014
4min	0.167	0.074	0.042	0.027	0.019
5min	0.208	0.093	0.052	0.033	0.023

表 11-12 FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线检测仪在最大管电压 160kV 工作条件下不同距离、不同接触时间的散射有效剂量（单位：mSv）

时间 \ 距离	1m	1.5m	2m	2.5m	3m
1min	0.574	0.255	0.144	0.092	0.064
2min	1.148	0.510	0.287	0.184	0.128
3min	1.722	0.765	0.431	0.276	0.191
4min	2.296	1.020	0.574	0.367	0.255
5min	2.87	1.276	0.717	0.459	0.319

表 11-13 240 三维 CT 设备在最大管电压 240kV 工作条件下不同距离、不同接触时间的泄露有效剂量 (单位: mSv)

时间 \ 距离	1m	1.5m	2m	2.5m	3m
1min	0.083	0.037	0.021	0.013	0.009
2min	0.167	0.074	0.042	0.027	0.019
3min	0.25	0.111	0.063	0.04	0.028
4min	0.333	0.148	0.083	0.053	0.037
5min	0.417	0.185	0.104	0.067	0.046

表 11-14 240 三维 CT 设备在最大管电压 240kV 工作条件下不同距离、不同接触时间的散射有效剂量 (单位: mSv)

时间 \ 距离	1m	1.5m	2m	2.5m	3m
1min	0.99	0.44	0.248	0.158	0.11
2min	1.98	0.88	0.495	0.317	0.22
3min	2.97	1.32	0.743	0.475	0.33
4min	3.96	1.76	0.99	0.634	0.44
5min	4.95	2.2	1.238	0.792	0.55

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。表 11-15 和表 11-16 分别给出了在不同的距离受到 20mSv 和 50mSv 有效剂量的时间。

表 11-15 在 X 射线机出束口不同距离受到 20mSv 剂量当量的时间

距离 (m)		1	1.5	2	2.5	3
时间 (min)	160kV	514.8	1158.4	2059.4	3217.8	4633.6
	240kV	260.2	585.5	1040.8	1626.3	2341.8

表 11-16 在 X 射线机出束口不同距离受到 50mSv 剂量当量的时间

距离 (m)		1	1.5	2	2.5	3
时间 (min)	160kV	1287.1	2896.0	5148.4	8044.4	11584.0
	240kV	650.5	1463.6	2602.0	4065.7	5854.5

从表 11-13 到表 11-14 可以看出,在最大管电压 160kV 工作条件下的工业 X 射线无损检测过程中,在设备观察窗方向 1m 处停留 514.8min 时所接受的泄露剂量才能达到 20mSv,在设备观察窗方向 1m 处停留 1287.1min 时所接受的泄露剂量才能达到 50mSv;在最大管电压 240kV 工作条件下的 X 射线无损检测工作过程中,在设备观察窗方向 1m 处停留 260.2min 时所接受的泄露剂量才能达到 20mSv,在设备观察窗方向 1m 处停留 650.5min 时所接受的泄露剂量才能达到 50mSv。因此应加强放射工作人员的管理,严格按照相关规程操作,防止辐射事故的发生。

3、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) 为防止人员误留辐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，确保无人员滞留铅房；

(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

<p>辐射安全与环境保护管理机构的设置</p> <p>中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院已成立了以主要领导为组长的辐射安全与环境保护管理领导小组，负责西安分院日常辐射安全监管和协调工作。辐射安全与环境保护管理领导小组主要职责为：</p> <ol style="list-style-type: none">(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、公安部门和卫生部门的监督与检查；(2) 对西安分院的辐射安全与环境保护管理负责；(3) 制定和监督实施西安分院的辐射安全与环境管理制度；(4) 制定西安分院辐射事故应急预案，负责辐射事故应急预案的日常演练和辐射事故处置；(5) 研究审查新建、扩建、改建放射性装置及其防护工作；(6) 每年定期召开环保专题工作会议，研究部署解决辐射安全与环境管理工作中存在的问题；(7) 定期安排辐射安全与环境保护管理专项检查，督促基层单位认真执行辐射安全与环境保护管理，消除各种辐射安全与环境隐患；(8) 发生辐射事故，按职能进行指挥、协调、处理，防止事故蔓延扩大，将放射性伤害和损失降低到最低限度；(9) 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。
<p>辐射安全管理规章制度</p> <p>1、辐射安全管理制度</p> <p>西安分院已制定了一系列辐射安全管理制度和操作规程，通过不断完善相关的辐射安全管理制度和人员培训，确保放射性同位素和射线装置的安全使用及运行。目前已制定制度有：《X 射线探伤布置探测器规则》、《无损检测人员岗位责任制》、《X 射线探伤操作规程》、《X 光探伤安全技术操作规程》、《X 射线突发辐射泄露事故应急预案》、《X 射线检测系统辐射防护与安全管理制度》、《X 射线检测系统操作规程》、《X 射线检测系统检修维护制度》、《X 射线检测系统岗位职责》、《X 射线系统管理制度》、《射线装置工作场所监测制度》、《辐射人员培训制度》、《X 射线监测系统辐射事故应急预案》。</p> <p>针对本项目 2 台射线装置，公司应及时制定新增 X 射线检测仪和三维 CT 设备的操作规范，管理制度和岗位职责，并将新增射线装置纳入应急预案、监测制度、设备管理等制</p>

度中。

2、人员管理培训制度

西安分院已制定《辐射人员培训制度》。目前在岗辐射工作人员共计 39 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 2 台射线装置的操作人员约 4~5 人，均从原工作人员中调配。

本项目建成后运行后，西安分院应组织新从事辐射活动的人员以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习报名并通过考核后方可上岗。

3、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，核技术利用单位应进行辐射安全管理标准化建设。根据建设单位提供资料，西安分院辐射安全管理实际建设情况详见表 12-1；本项目拟采取的辐射安全防护措施详见表 12-2。

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	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
人员管理	辐射防护负责人	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，并对确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，发生异常情况时，能有效处理	有
机构建设	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	
制度建立与执行	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	需针对本项目完善	

续表 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

制度建立与执行	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	需针对本项目完善
	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	需针对本项目完善
	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	需针对本项目完善
	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）	需针对本项目完善
	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	需针对本项目完善
	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	需针对本项目完善
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	需针对本项目完善
	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	需针对本项目完善

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（五）
辐射安全防护措施部分——工业探伤类

项目		具体要求	本项目	
工业 X 射线探伤	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	满足	
		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		
	固定式探伤作业场所	分区	按标准要求划分控制区、监督区	拟设置
			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	满足
		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	满足
		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	设备自带指示灯

**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（五）
辐射安全防护措施部分——工业探伤类**

工业 X 射线探伤	标志及指示灯	探伤室设置门-机联锁装置	满足
	固定式探伤作业场所 辐射安全与连锁	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	本项目装置铅房内人员无法进入，设备自带紧急停机按钮等
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	满足

辐射监测

1、监测仪器配置

根据调查，西安分院目前为原有射线装置配备相应数量的 X·γ 辐射剂量当量率仪，并制定了《射线装置工作场所监测制度》，每年委托有资质单位对辐射工作场所进行 1 次定期监测，每年按时向环保部门提交本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况环境评估报告。公司为现有辐射工作人员配备了个人剂量计，并委托有资质每季度对辐射工作人员进行个人剂量检测，个人剂量检测报告存档。

针对本项目的 2 台射线装置，西安分院拟配备如下监测仪器：

- (1) 2 台射线装置各配备 1 台 JB4000A 型 X·γ 辐射剂量当量率仪用于环境剂量率监测；
- (2) 2 台射线装置工作场所各配备 1 台 RG1100 型个人剂量报警仪。

2、监测计划

本项目投产后，应针对新增的 2 台射线装置定期对设备环境周围进行监测，监测要求如下：

辐射工作场所环境监测：(1) 委托有资质单位进行设备周围环境的监测，监测频次不少于 1 次/年，辐射工作场所环境监测结果应记录并存档。(2) 利用已有的辐射监测仪器定期对设备周围环境进行监测，若发现异常情况，立即采取应急措施，停止辐射工作，查找原因。(3) 将设备周围环境的检测结果纳入本单位辐射安全和防护状况评估报告，在每年的 1 月 31 日前上报当地环保主管部门。

个人剂量监测：(1) 本项目辐射工作人员从已有人员中调配，已配置个人剂量计，应委托有资质单位定期对辐射工作人员进行个人剂量检测，建立个人剂量检测档案。(2) 在每年的辐射安全和防护状况评估报告中，应包含辐射工作人员剂量监测数据及安全评估的内

容。运行期监测计划见表 12-3。

表 12-3 监测计划

监测项目	监测地点		监测周期
X、γ 辐射空气吸收剂量率	工作场所监测点	设备铅房外四周及顶部 0.3m 处；人员操作位、电缆线管道孔及通风口等位置	建设单位定期进行自主监测；每年委托有资质单位监测 1 次
	周边环境监测点	周围人员活动较频繁的区域如其他工区等	

环保投资和竣工验收清单

1、环保投资

本项目总计投资 574.4 万元，其中环保投资 6.4 万元，占总投资的 1.11%，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。环保投资估算见表 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
运营期	辐射防护措施	X 射线	屏蔽铅房、门机连锁、警示灯、电离辐射标志、急停按钮等	计入设备投资
		NO _x 、O ₃	通风系统	
	检测仪器	X 射线	2 台 X-γ 剂量率监测仪、2 台个人剂量报警仪	3.4
环境管理	完善环境管理制度			0.5
环境监测	工作场所定期监测			2.0
	个人剂量定期监测			0.5
总计（万元）				6.4

2、竣工环境保护验收内容及要求

中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院 FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线检测仪和 v|tome|x s 240 三维 CT 设备核技术应用项目竣工环境保护验收清单如表 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		验收方法	效果和环境预期目标
1	辐射环境监测仪器		共配备 2 台 X-γ 辐射剂量率仪对放射性工作场所及其周围环境进行监测、2 台个人剂量报警仪	掌握辐射环境状况、保护人员免受不必要的辐射。
2	射线装置分区管理		分区标识	符合相关环境管理要求
3	辐射安全防护设施	X 射线检测仪	铅房表面 0.3m 处、操作位置	防护门及缝隙、屏蔽墙体表面 30cm 处空气吸收剂量率以及操作位置空气吸收剂量率满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ 117-2015）标准要求
			防护门、缝隙表面	
			门—机连锁、警示灯、急停按钮等装置	
警示标志及操作规程	工作场所醒目处张贴			
4	辐射安全防护设施	三维 CT 设备	铅房表面 0.3m 处、操作位置	防护门及缝隙、屏蔽墙体表面 30cm 处空气吸收剂量率以及操作位置空气吸收剂量率满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ 117-2015）标准要求
			防护门、缝隙表面	

续表 12-5 项目竣工环境保护验收清单（建议）

4	辐射安全 防护设施	三维 CT 设备	门—机联锁、警示灯、急停按钮等装置	正常有效，运行良好
			警示标志及操作规程	工作场所醒目处张贴
5	管理机构		设立以分院主管领导为组长相关科室负责人参加的辐射安全与环境管理领导小组	负责整个项目辐射安全与环境管理工作
6	建立健全规章制度		制定：辐射工作设备操作规程、辐射设备维护、维修制度、辐射防护和安全保卫制度、人员培训制度、辐射人员岗位职责、辐射工作场所监测制度、重大辐射事故应急预案等规章制度	保障项目污染防治设施及射线装置正常运行
7	个人剂量档案及健康档案		为每个放射性人员配备个人剂量计，作业时按要求佩戴，并建立并保持放射性工作人员个人剂量档案和健康档案	确保放射性工作人员安全
8	培训		组织所有放射性工作人员参加有资质单位组织的辐射安全和防护知识培训，经考核合格并取得相应资格，并经过所从事专业技术培训并取得从业资格后方可上岗	提高辐射工作人员业务技能，规范操作

辐射事故应急

1、辐射事故应急工作情况

中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院已编制并下发了《辐射事故应急预案》，公司已成立以主要领导为组长的辐射事故应急工作领导小组。

应急预案中明确规定了应急组织体系及职责、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。

根据现场调查，中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院未发生过辐射事故，为提升事故应急响应处理能力，进行了辐射事故应急演练，取得良好效果。

2、本项目辐射事故应急措施

本项目新增 1 台 X 射线检测仪和 1 台三维 CT 设备，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《陕西省放射性污染防治条例》以及《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的〈陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表〉的通知》（陕环办发〔2018〕29 号）中对于辐射事故应急预案的要求，将本次新增设备纳入现有应急预案，进一步完善以下几点：

(1) 针对新增射线装置完善事故类型和危害程度、应急处置基本原则，补充其预防与

预警流程、信息报告程序和应急处置措施，补充设备运行过程中的应急物资和装备保障。

(2) 针对新增射线装置，进一步完善信息报告程序、应急处置措施和应急物资保障等部分。

(3) 明确本项目应急救援各成员的职责，辐射防护领导小组和应急救援指挥部应定期开会，总结公司辐射防护管理方面的经验并不断改进相关管理规章制度。

(4) 应急预案完善后应及时备案，运行期定期进行应急演练并总结演练结果。

表 13 结论与建议

结论

1、项目概况

为满足高端产品无损检测及新技术研发等需求，中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院拟在新区 B1 厂房一层新增 1 台 FXT-160.51 Cougar/Cheetah 型 X 射线检测仪（160kV/1mA），在老区 201 厂房一层新增 1 台 v|tome|x s 240 型三维 CT 设备（240kV/3mA）进行无损检测。项目总投资 574.4 万元，其中环保投资 6.4 万元，占总投资的 1.11%。

本项目主要用于工件的无损检测，建成后可提升中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院的无损检测技术水准，便于后续的研发生产。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远大于可能引起的辐射危害，符合 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定的辐射防护“实践正当性”。

2、辐射环境影响

(1) X 射线检测仪满功率运行时，铅房四周屏蔽体及防护门铅玻璃视窗表面 30cm 处的剂量率为 0.568 ~ 1.314 μ Sv/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 2.5 μ Sv/h”的要求。铅房顶部 30cm 处的剂量率为 13.88 μ Sv/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”的要求。

(2) 三维 CT 设备满功率运行时，铅房四周屏蔽体及防护门铅玻璃视窗表面 30cm 处的剂量率为 1.178 ~ 1.810 μ Sv/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 2.5 μ Sv/h”的要求。铅房顶部 30cm 处的剂量率为 1.703 μ Sv/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”的要求。

(3) 满功率运行时，X 射线检测仪周边职业工作人员累计年受照剂量为 0.318mSv，该设备操作人员从现有人员中调配，由近一年职业性外照射个人剂量监测报告，本项目职业工作人员累计年受照射剂量最大为 0.489mSv/a。公众受照剂量最高为

0.034mSv/a，满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ 117-2015）中“人员在关注点的周剂量参考控制水平，对放射工作人员不大于 100 μ Sv/周，对公众不大于 5 μ Sv/周”的控制要求。

(4) 满功率运行时，三维 CT 设备辐射工作人员周边职业工作人员累计年受照射剂量最大为 0.174mSv/a，该设备操作人员从现有人员中调配，由近一年职业性外照射个人剂量监测报告，本项目职业工作人员累计年受照射剂量最大为 0.345mSv/a。公众受照剂量最高为 0.174mSv/a，满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ 117-2015）中“人员在关注点的周剂量参考控制水平，对放射工作人员不大于 100 μ Sv/周，对公众不大于 5 μ Sv/周”的控制要求。

3、辐射安全管理

中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院已成立了以主要领导为组长的辐射安全与环境保护管理领导小组，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环保部第 3 号令）和《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》（国家环保部第 18 号令），制定和完善相应内容，建立符合本公司实际情况的、可行的辐射安全管理制度，并在日常工作中落实。

3、可行性分析结论

中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院根据检验需要，拟购置 1 台 FXT-160.51 Cougar/Cheetah X 射线检测仪和 1 台 v|tome|x s 240 三维 CT 设备对工件进行无损检测，本项目只要切实落实本报告表中提出的污染防治措施和建议，严格按照国家有关辐射防护规定执行，严格执行相关规章制度、应急预案，则该项目对放射性工作人员和公众产生的辐射影响就可以控制在国家标准允许的范围之内，从辐射环境保护角度看，本项目建设可行。

建议与承诺

(1) 项目应严格按照设计及本项目提出的防护措施进行施工，建设过程中应严把质量，防止墙体和防护门因施工质量原因泄漏射线。

(2) 竣工后应及时办理验收手续，验收合格后方可正式投入使用，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；

(3) 运行期加强人员培训，加强安全连锁系统等辐射防护设施和设备的检查维护，

确保各种安全防护设施的正常使用；

(4) 定期对本项目辐射工作人员的个人剂量进行检测，对新增工作场所进行环境辐射水平监测；

(5) 进一步完善辐射事故应急预案，定期进行辐射事故应急演练；

(6) 每年1月31日前向陕西省生态环境厅提交本单位上一年度的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况环境评估报告；

(7) 根据陕环办发〔2018〕29号文件要求，进一步完善辐射安全管理标准化建设。

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