

表 1 项目基本情况

建设项目名称		X 射线工业 CT 系统核技术利用项目			
建设单位		西安奥云电子科技有限公司			
法人代表		胡静雅	联系人	张勇	联系电话
注册地址		陕西省西安市碑林区太乙路 255 号 03 号门面房			
项目建设地点		陕西省西安市碑林科技产业园 4 号 1 幢 1 单元 10104 室检测室			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)		350	项目环保投资 (万元)	30	投资比例 (环保投资/总投资)
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积 (m <sup>2</sup> )
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 checked="" type="checkbox"/> 销售	<input checked="" 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><b>1、建设单位简介</b></p> <p>西安奥云电子科技有限公司成立于 2016 年，注册资金 200 万元，公司主要经营范围包括：电子产品的研发、技术咨询及技术服务、电子产品、办公设备、计算机软硬件及配件的销售和售后服务、网络综合布线工程的设计、施工。</p> <p>西安奥云电子科技有限公司及本项目建设地址地理位置见图 1-1。</p>					

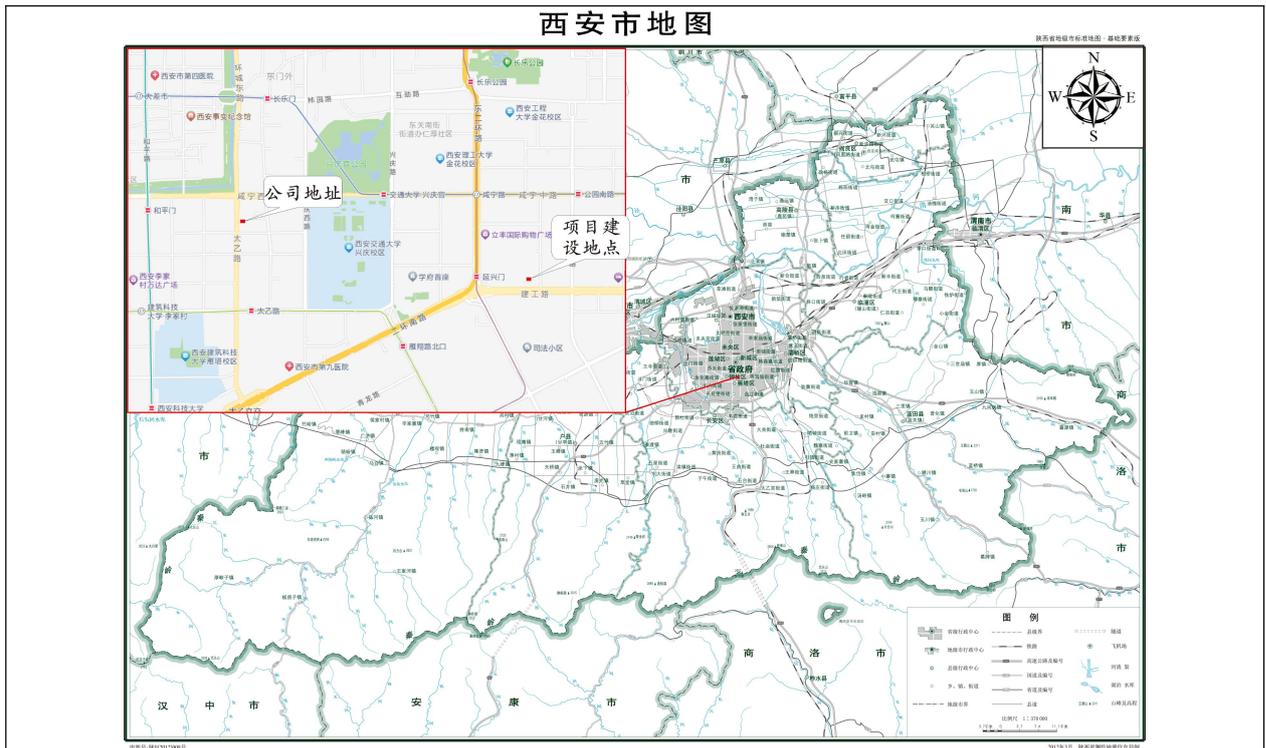


图 1-1 公司及拟建项目地理位置示意图

## 2、项目由来

西安奥云电子科技有限公司为满足业务发展需要，计划将原碑林区太乙路 255 号 03 号门面房检测室内 1 套 AX-2000CT 型微焦点 X 射线工业 CT 系统搬迁至西安市碑林科技产业园 4 号 1 幢 1 单元 10104 室检测室内，并新增 2 套 AX-3000CT 型快速工业 CT 系统。设备主要用于对小型低密度金属材料、复合材料、小型零配件等多种材料及构件的缺陷进行无损检测，以协助公司相关实验及产品销售，公司射线装置年销售量约 3 台。

根据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》《建设项目环境保护管理条例》本项目应进行环境影响评价。

根据《关于发布<射线装置分类>的公告》和部长信箱《射线装置分类中对自屏蔽工业探伤机构理解的回复》，本项目新增的 3 套 X 射线工业 CT 系统为制式产品，此设备屏蔽体与探伤装置主体结构一体设计和制造，但在维修工况时，人员可以进入屏蔽体内，不满足自屏蔽设备的特征，因此将本次项目 3 套 X 射线工业 CT 系统界定为“其他工业 X 射线探伤装置”，按照 II 类射线装置进行管理。

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

西安奥云电子科技有限公司于2023年10月委托西安志诚辐射环境检测有限公司(以下简称我公司)对其开展的X射线工业CT系统核技术利用项目进行环境影响评价。接受委托后,我公司组织相关技术人员对该项目进行了实地踏勘、资料收集、现场监测等工作,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》(HJ 10.1-2016)的基本要求,编制完成了西安奥云电子科技有限公司《X射线工业CT系统核技术利用项目环境影响报告表》。

## 建设项目概况

### 1、项目规模

西安奥云电子科技有限公司拟对碑林科技产业园4号1幢1单元10104室进行改造,建设检测室一间,将原碑林区太乙路255号03号门面房检测室内1套AX-2000CT型微焦点X射线工业CT系统迁入新建检测室内,并新增2套AX-3000CT型快速工业CT系统。所有设备均自带铅屏蔽体,采用实时成像系统。设备技术参数见表1-1。项目组成情况见表1-2所示。

表 1-1 本项目设备参数表

名称	类别	数量	型号	额定电压 (kV)	额定电流 (μA)	备注
微焦点 X 射线工业 CT 系统	II 类	1 套	AX-2000CT	160	500	迁入
快速工业 CT 系统	II 类	2 套	AX-3000CT	300	3000	新增

表 1-2 项目组成一览表

名称		建设项目及规模
主体工程		将原碑林区太乙路255号03号门面房检测室内1套AX-2000CT型微焦点X射线工业CT系统迁入新建检测室内,并新增2套AX-3000CT型快速工业CT系统,包括设备及操作台。
辅助工程	检测室	建筑面积 68 m <sup>2</sup> , 由隔断与周围区域隔开
	屏蔽体	微焦点 X 射线工业 CT 系统自带铅屏蔽体, 外径尺寸 2050mm (长) × 1200mm (宽) × 1780mm (高), 主射线方向设计 6.5mm 铅当量, 其余防护面、防护门、维修门及观察窗铅玻璃设计 5.5mm 铅当量; 快速工业 CT 系统自带铅屏蔽体, 外径尺寸 3374mm (长) × 1972mm (宽) × 2073mm (高), 主射线方向设计 25mm 铅当量, 其余防护面距设计 16mm 铅当量。
	排风	3 套设备顶部均设有排风口, 拟通过排风管道进行汇集, 通过总排风管道排至东北侧墙外; 管道排风口位于 4# 厂房配电室屋后, 无人员活动。本项目 3 套 X 射线工业 CT 系统排风量均为 180m <sup>3</sup> /h, 微焦点 X 射线工业 CT 系统每小时通风次数约 41 次, 快速工业 CT 系统每小时通风次数约 13 次。

续表 1-2 项目组成一览表

名称		建设项目及规模
公用工程	给水、排水	依托碑林科技产业园供排水系统
	供暖	集中供暖
	制冷	空调制冷
环保工程	固体废物	本项目 3 套系统设备均为实时成像设备，不涉及洗片过程，不产生固体废物；工作人员生活垃圾依托公司垃圾桶进行分类收集后，统一纳入园区垃圾清运系统。
	废液	本项目 3 套系统设备均为实时成像设备，不涉及洗片过程，不产生废液；工作人员生活污水依托园区现有污水处理系统进行处理。

## 2、劳动定员及工作制度

根据建设单位提供的资料，本项目拟配备辐射工作人员 6 人，每套 X 射线工业 CT 系统拟配备 2 名辐射工作人员。其中，原有两名辐射工作人员已在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名学习，并已通过考核，随时可上岗，另外 4 名为新增辐射工作人员。

本项目微焦点 X 射线工业 CT 系统每天照射最大次数约为 10 次，每次 12min，则每天最大出束时间约为 2h。每周工作五天，每年工作 50 周，则周工作时间为 10h，年工作时间为 500h。

本项目快速工业 CT 系统每台设备每天照射最大次数约为 8 次，每次 12min，则每天最大出束时间约为 1.6h。每周工作五天，则周工作时间为 8h，每年工作 50 周，年工作时间为 400h。

本项目微焦点 X 射线工业 CT 系统最大样本直径为 400mm，样本最大高度 600mm；快速工业 CT 系统最大样本直径为 600mm，样本最大高度 800mm。

### 项目产业政策符合性

本项目微焦点 X 射线工业 CT 系统、快速工业 CT 系统系核技术利用项目在工业无损检测领域内的运用。根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，属于鼓励类中“十四、机械—1、科学仪器和工业仪表：…工业 CT…”，符合国家产业政策。

### 项目实践正当性分析

本项目在进行无损检测过程中对工作人员及周围环境造成一定的辐射影响。建设单位在开展无损检测过程中对射线装置的使用将严格按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，并对射线装置的安全管理建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管

理射线装置的情况下，该项目对周围环境和人员产生辐射影响可以控制在相关标准允许范围之内。该 X 射线工业 CT 系统核技术利用项目的开展所带来的利益远大于其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的“实践的正当性”原则。

## 项目选址及周边环境关系

### 1、地理位置

项目位于陕西省西安市碑林科技产业园 4 号 1 幢 1 单元 10104 室，地理位置见图 1-1。

### 2、平面布置及周边环境关系

#### (1) 项目拟建地址周边位置关系

该项目位于陕西省西安市碑林科技产业园 4 号 1 幢 1 单元 1 层 10104 室（碑林科技产业园 4 号楼共 7 层），项目拟建地址北侧依次有 4#厂房配电室、4 号楼东北侧及停车场，西侧为停车场及 4 号楼西侧其余部分，南侧依次为停车场、碑林产业园党群活动中心及西安铁路高级技工学校，东侧依次为绿化带及道路、东新城市花园。公司周边位置关系示意图见图 1-2。

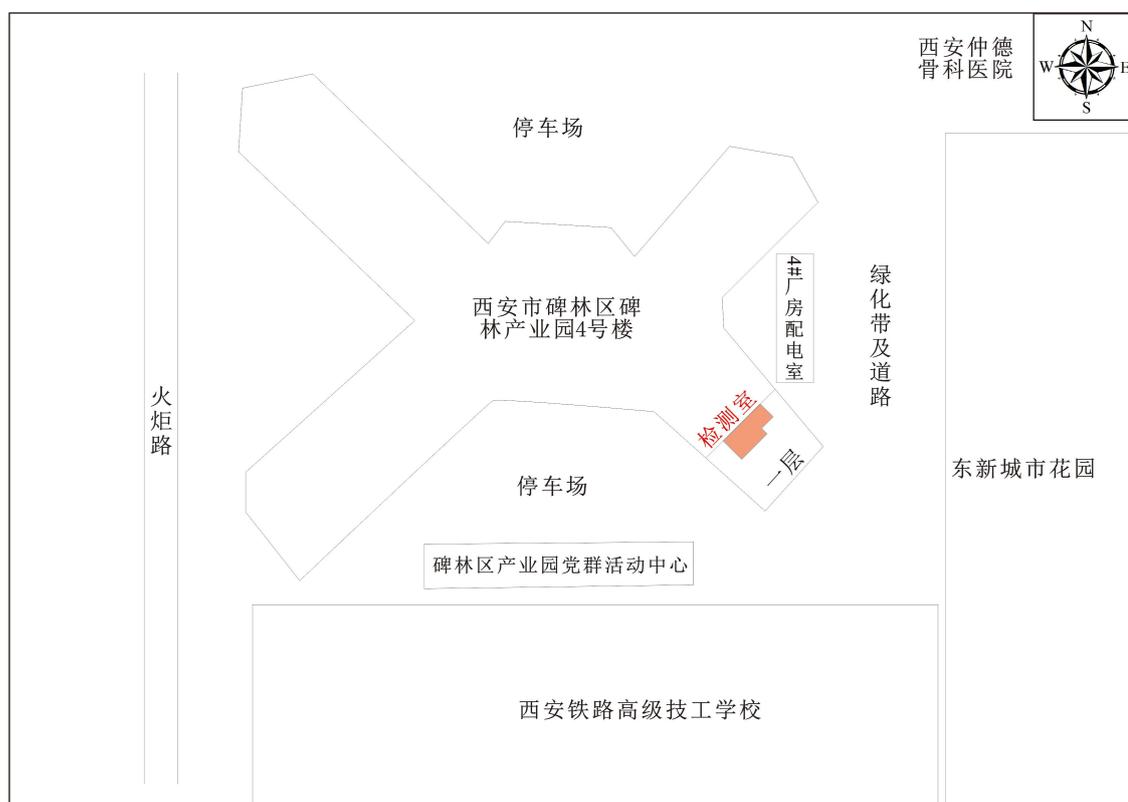


图 1-2 项目拟建地址周边关系示意图

### (2) 检测室周边位置关系

本项目所在地东北侧墙外紧邻 4# 厂房配电室，西北侧隔壁为陕西弘欣医疗科技有限公司库房区域，西南侧检测室进出门外为空地，东南侧为会客休息区、楼梯间及办公室；楼上依次为西安奥云电子科技有限公司办公区隔层、陕西尚志立诚控股集团有限公司、西安福润德电子科技有限公司、西安塑龙熔接设备有限公司、上海科华生物工程股份有限公司、西安必特思维软件有限公司、西安兰特水电测控技术有限责任公司等，楼下为土层。检测室周边位置关系示意图见图 1-3、图 1-4。

### (3) 检测室平面布置

本项目所有设备位于检测室内，检测室尺寸为  $(8 \times 5.5) \text{ m} + (6 \times 4) \text{ m}$  (长  $\times$  宽)，微焦点 X 射线工业 CT 系统外径尺寸 2050mm (长)  $\times$  1200mm (宽)  $\times$  1780mm (高)；快速工业 CT 系统外径尺寸 3374mm (长)  $\times$  1972mm (宽)  $\times$  2073mm (高)。本项目所在检测室平面布置示意图见图 1-5，由图可知，检测室西南侧设有检测室入口，检测室由入口向内依次为微焦点 X 射线工业 CT 系统及 2 套快速工业 CT 系统，操作台布置于检测室东南侧。待本项目 3 台工业 CT 系统安装完毕后，由隔断将检测室区域与会客休息区域分开，防止公众人员误入检测室区域。检测室现状照片见图 1-6。

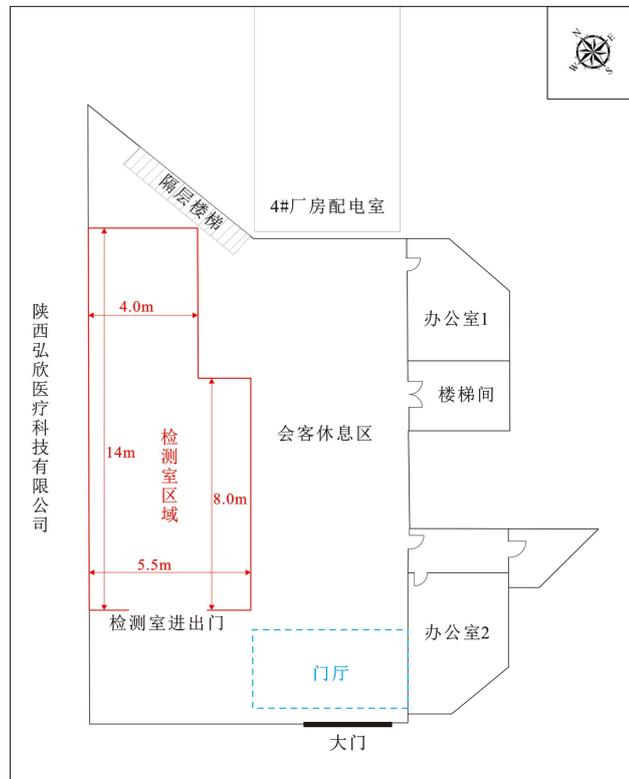


图 1-3 项目所在地平面布置示意图

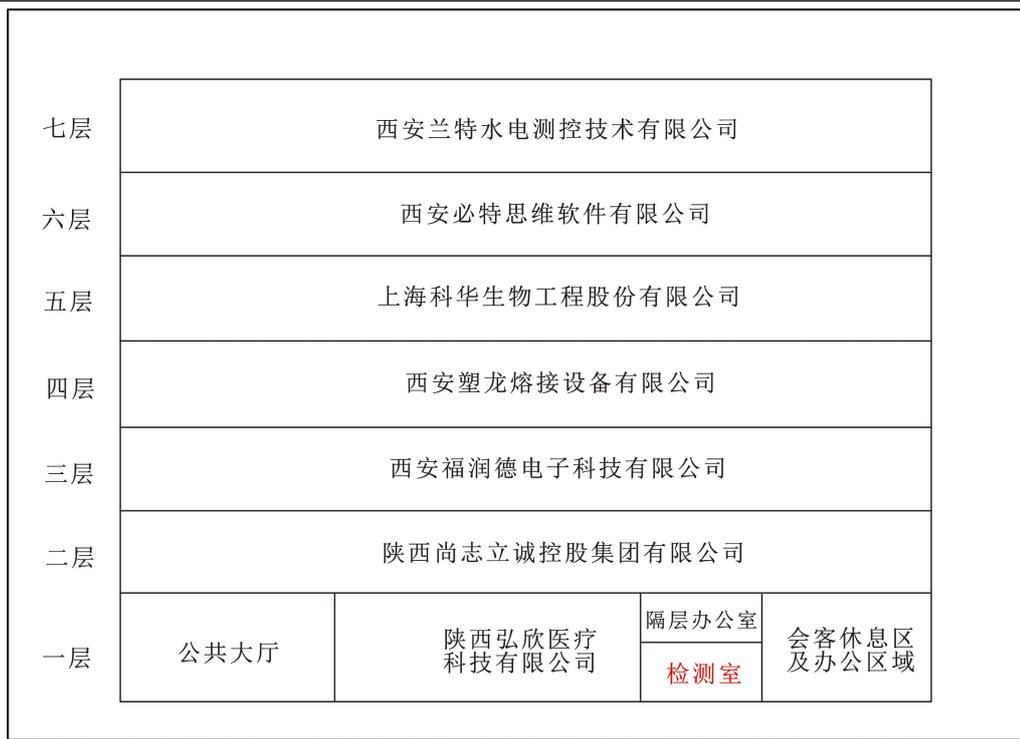


图 1-4 项目所在地（西安市碑林产业园 4 号楼东南侧）垂直方向布局图

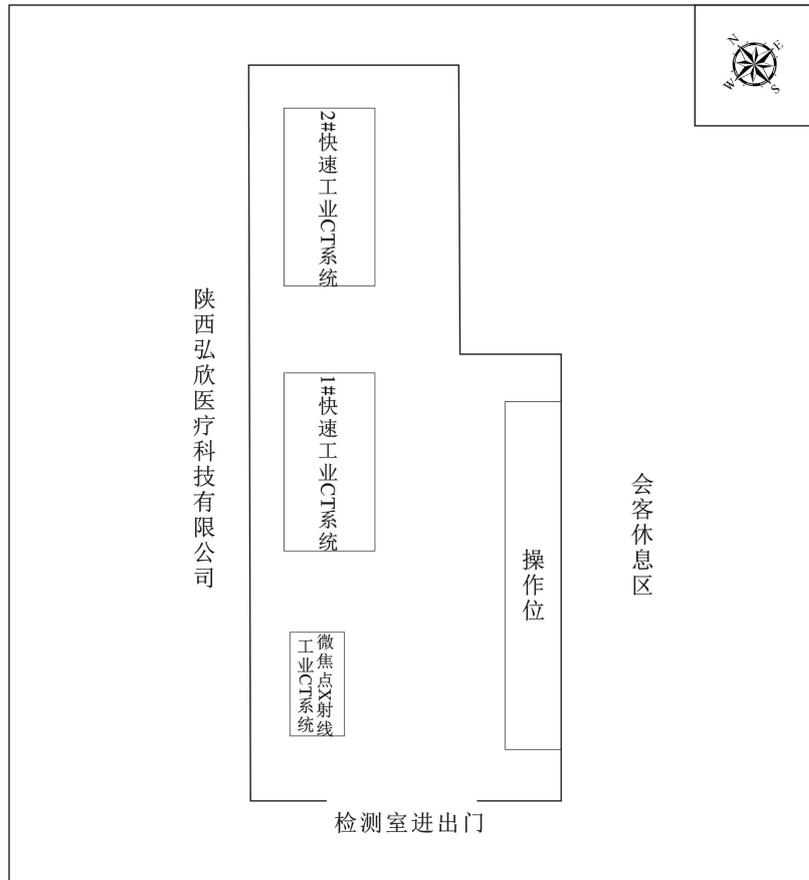


图 1-5 检测室内平面布局图



**图 1-6 检测室现状**

**现有核技术利用项目情况**

**1、环保手续履行情况**

西安奥云电子科技有限公司原有核技术应用项目规模及环评、验收情况如表 1-3 所示。

**表 1-3 西安奥云电子科技有限公司现有项目环保手续履行情况**

序号	射线装置名称	型号	类别	设备参数	环评批复情况	验收情况
1	微焦点 X 射线工业 CT 系统	AX-2000CT	II	最大管电压：160kV 最大管电流：500 $\mu$ A	市环批复（2022）84 号	2022 年 8 月自主验收

**2、辐射安全许可证**

西安奥云电子科技有限公司于 2022 年 10 月 28 日首次取得辐射安全许可证（陕环辐证[A2227]），许可种类和范围为：销售、使用 II 类射线装置，有效期至 2027 年 10 月 27 日。设备明细见表 1-4。

**表 1-4 西安奥云电子科技有限公司设备明细**

序号	装置名称	规格型号	类别	设备参数	场所
1	微焦点 X 射线工业 CT 系统	AX-2000CT	II 类	最大管电压：160kV 最大管电流：500 $\mu$ A	检测室

### 3、辐射安全管理现状

#### (1) 辐射安全与防护管理机构

西安奥云电子科技有限公司已根据国家法律法规要求，结合原陕西省环境保护厅核技术利用单位辐射安全管理标准化建设相关要求，成立了辐射安全与防护管理领导小组，安排专人负责辐射安全管理工作，制定辐射工作安全管理责任书，明确相关管理人员、辐射工作人员职责，指导公司辐射安全管理工作。

#### (2) 规章制度建设及落实情况

西安奥云电子科技有限公司已针对现有射线装置制定了相关辐射环境管理规章制度，主要有《辐射防护和安全管理制度》《辐射工作人员岗位职责》《辐射工作人员个人剂量管理制度》《辐射工作人员培训制度》《辐射作业人员职业健康管理制度》《工业 CT 操作规程》《工业 CT 维护、维修制度》《工作场所监测制度》《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》《辐射应急预案》等规章制度，用于公司辐射安全的管理；建立了辐射安全管理标准化档案，主要包括：《辐射事故现场调查表》《X、 $\gamma$  辐射剂量率检测记录表》《工业 CT 级辐射安全防护设施维护记录表》以及个人培训档案、监测档案等。

西安奥云电子科技有限公司已针对可能发生辐射事故类型，制定了相应的辐射事故应急预案并进行定期演练；依据安全管理标准化文件相关内容，公司已对原有 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。

#### (3) 工作人员培训情况

目前，西安奥云电子科技有限公司在岗辐射工作人员共 2 名，所有人员均已参加核技术利用辐射安全与防护考核，并取得合格证书。

#### (4) 个人剂量检测及职业健康检查情况

西安奥云电子科技有限公司为辐射工作人员配置了个人剂量计，进行个人剂量检测（检测单位为西安志诚辐射环境检测有限公司），并建立个人剂量档案。根据公司 2022 年 10 月至 2023 年 9 月连续一年辐射工作人员个人剂量检测报告（报告编号：XAZC-GJ-2023-099、XAZC-GJ-2023-149、XAZC-GJ-2023-290、XAZC-GJ-2023-357），西安奥云电子科技有限公司辐射工作人员年有效剂量最大值为 0.20mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的职业照射年有效剂量限值要求。

西安奥云电子科技有限公司已委托兵器工业五二一医院对公司辐射工作人员进行年度职业健康检查，并建立了健康档案。根据体检结果，2名人员均未发现疑似放射性疾病或职业禁忌证，可以从事放射性工作。

(5) 工作场所及辐射环境监测情况

西安奥云电子科技有限公司提供的 2023 年度防护检测报告（检测报告编号：XAZC-JC-2023-0287，检测单位：西安志诚辐射环境检测有限公司），监测结果表明：西安奥云电子科技有限公司微焦点 X 射线工业 CT 系统正常工作状态下，其屏蔽体及周边环境周围剂量当量率监测值范围为（0.104~0.122） $\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）标准限值要求。

西安奥云电子科技有限公司已按要求向西安市生态环境局提交了 2022 年度辐射安全年度评估报告。

综上，西安奥云电子科技有限公司现有核技术利用项目不存在环境问题。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式及地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注:放射源包括放射性中子源, 对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度 (n/s)。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式及地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注: 日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机：包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	微焦点 X 射线工业 CT 系统	II 类	1 套	AX-2000CT	160	0.5	材料样本无损检测	检测室	迁入
2	快速工业 CT 系统	II 类	2 套	AX-3000CT	300	3	材料样本无损检测	检测室	新增
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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
该项目运行过程中不产生放射性“三废”	/	/	/	/	/	/	/	/
O <sub>3</sub> 、NO <sub>x</sub>	气态	/	/	/	/	/	/	排入大气，扩散稀释
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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/m<sup>3</sup>；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/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法 规 文 件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订），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 日修正；</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》（修订），国务院令第 682 号修订，2017 年 10 月 1 日实施；</p> <p>(5) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，国家发展和改革委员会令第 7 号，2023 年 12 月 27 日；</p> <p>(6) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 23 日；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理目录》（2021 年版），生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 709 号修订，2019 年 3 月 2 日修订；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 修改），生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日；</p> <p>(10) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部 18 号令，2011 年 5 月 1 日；</p> <p>(11) 《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》，原环境保护部环发〔2008〕13 号，2008 年 4 月 14 日；</p> <p>(12) 《关于发布&lt;射线装置类&gt;的公告》，原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 6 日；</p> <p>(13) 《陕西省放射性污染防治条例（2019 年修正）》，2019 年 11 月 6 日；</p> <p>(14) 《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。</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) 《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）；</p> <p>(3) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及修改单；</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 61-2021）；</p> <p>(6) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>(7) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）</p>
<p>其 他</p>	<p>(1) 西安奥云电子科技有限公司 X 射线工业 CT 系统环境影响评价委托书；</p> <p>(2) AX-2000CT 系列微焦点 X 射线工业 CT 系统使用手册；</p> <p>(3) AX-3000CT 系列快速工业 CT 系统使用手册；</p> <p>(4) 西安奥云电子科技有限公司微焦点 X 射线工业 CT 系统辐射环境现状监测报告（XAZC-JC-2023-0287）；</p> <p>(5) 西安奥云电子科技有限公司 X 射线工业 CT 系统核技术利用项目辐射环境现状监测报告（XAZC-JC-2023-0386）；</p> <p>(6) 西安奥云电子科技有限公司提供的其他资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)中“射线装置应用项目的评价范围通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”要求,确定本项目评价范围为以射线装置屏蔽体为边界,根据本项目实际情况,将 3 套系统设备视为一个整体,取最外侧屏蔽体边界外 50m 范围内的区域,详见图 7-1。

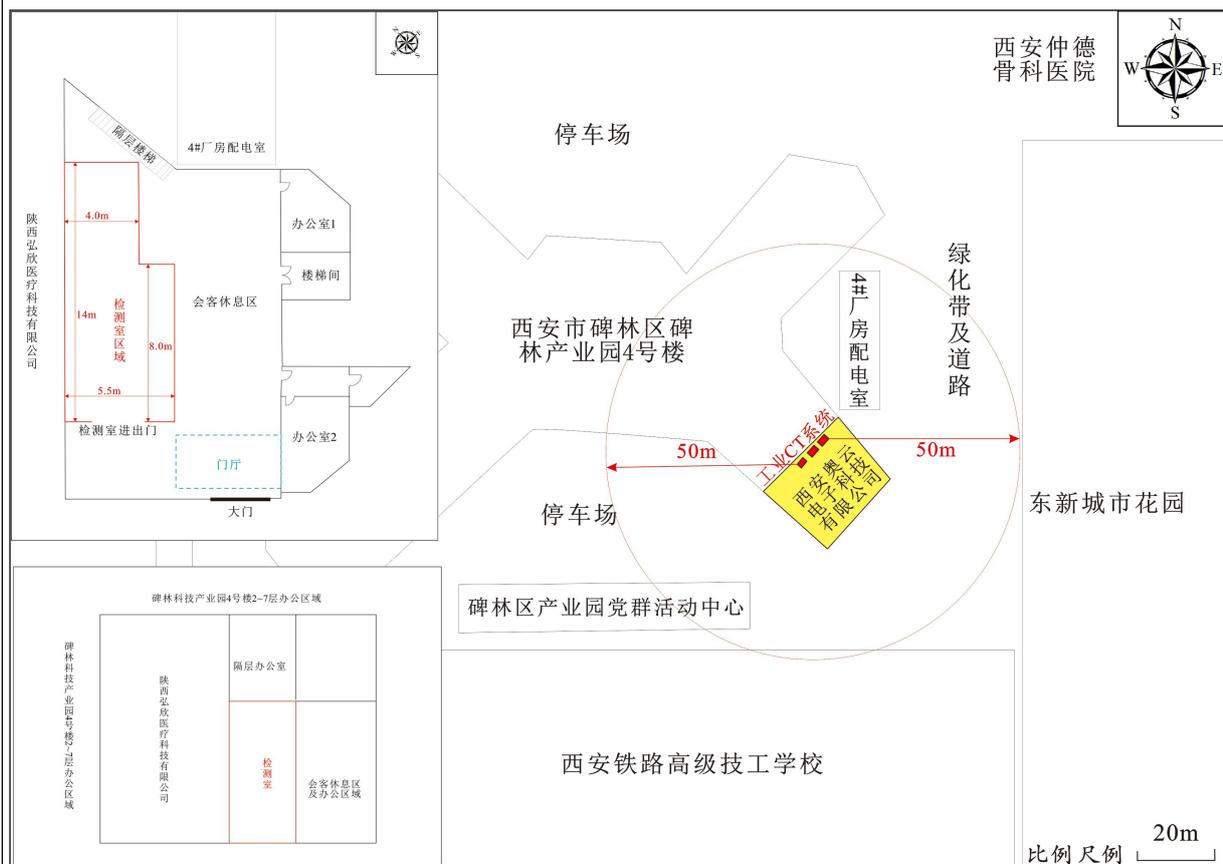


图 7-1 评价范围示意图

## 保护目标

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

表 7-1 X 射线工业 CT 系统主要环境保护目标一览表

序号	类别	保护对象	人数 (人)	相对位置关系		个人年附加剂量约束值 (mSv/a)
				方位	最近距离	
1	职业人员	操作人员	6	E	约 4.0m	5
2	公众人员	会客休息区	流动人员	E	约 4.7m	0.1
		办公室 1	2	E	约 13.5m	
		办公室 2	2	E	约 11.0m	
		楼梯间	流动人员	E	约 9.0m	
		园区道路	流动人员	E	约 23.0m	
		4#厂房配电室	流动人员	N	约 16.5m	
		碑林科技产业园 4 号楼评价范围区域	200~250	NW、上方	约 1.4m	
		南侧停车场	流动人员	SW	约 7.2m	
		碑林区产业园党群活动中心活动室	流动人员	SW	约 38.9m	
		西安铁路高级技工学校空地	流动人员	S	约 49m	
	楼上隔层办公室	2	上方	约 1.5m		

注：表中“距离”均以设备外表面作为起点进行计算。

## 评价标准

### 职业人员和公众的辐射剂量约束值

#### 1、职业照射

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 B 中 B1.1.1 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：a）由审管部门决定的连续 5 年的平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv。”

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）第 4.3.3.1 条“对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）”，结合本项目射线装置的使用情况，综合考虑企业核技术利用项目的现状，并着眼于企业长期发展，为其它辐射设施和实践活动留有余地，本次评价对职业照射人员的年受照剂量约束值按标准剂量限值的 1/4 执行，即 5mSv。

#### 2、公众照射

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：附录 B 中 B1.2.1 剂量限值：“实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：a）年有效剂量，1mSv。”

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）第 4.3.3.1 条，结合本项目射线装置的使用情况，本次评估对公众的年受照剂量约束值按标准剂量限值的 1/10 执行，即 0.1mSv。

### 《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）

该标准适用于使用 600kV 以下的 X 射线探伤机（以下简称 X 射线装置）和 $\gamma$ 射线探伤机的探伤工作（包括固定式探伤和移动探伤），工业 CT 探伤和非探伤目的同辐射源范围的无损检测参考使用。

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

6.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB18871 的要求。

6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：

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

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

6.1.4 探伤室顶的辐射屏蔽应满足：

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

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

6.1.5 探伤室应设置门—机联锁装置，应在门（包括人员进出门和探伤工件进出门）关闭后才能进行探伤作业。门—机联锁装置的设置应方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室。在探伤过程中，防护门被意外打开时，应能立刻停止出束或回源。

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

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

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

6.1.9 探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。按钮或拉绳的安装，应使人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。按钮或拉绳应当带有标签，标明使用方法。

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

6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。

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

6.2.2 探伤工作人员进入探伤室时，除佩戴常规个人剂量计外，还应携带个人剂量报

警仪。当剂量率达到设定的报警阈值报警时，探伤工作人员应立即退出探伤室，同时防止其他人进入探伤室，并立即向辐射防护负责人报告。

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

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

### 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）及其修改单相关内容

本标准规定了工业 X 射线探伤室辐射屏蔽要求。

“本标准适用于 500kV 以下工业 X 射线探伤装置的探伤室。

#### 3 探伤室屏蔽要求

##### 3.1 探伤室辐射屏蔽的剂量参考控制水平

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

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

1) 人员在关注点的周剂量参考控制水平  $H_C$  如下：

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

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

2) 相应  $H_C$  的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$  ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) 按照式 (1) 计算：

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

式中： $H_C$  一周剂量参考控制水平，单位为微希每周 ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ )；

$U$  一探伤装置向关注点方向照射的使用因子；

$T$  一人员在相应关注点驻留的居留因子；

$t$  一探伤装置周照射时间，单位为小时每周 ( $\text{h}/\text{周}$ )。

$T$  按式 (2) 计算：

$$t = W / (60 \cdot I) \quad (2)$$

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）， $\text{mA} \cdot \text{min}/\text{周}$ ；

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）；

b) 关注点最高剂量率参考控制水平  $H_{c,max}$ ：

$$H_{c,max}=2.5\mu\text{Sv/h} \quad (3)$$

c) 关注点剂量率参考控制水平：

$H_c$  为上述 a) 中的  $H_{c,d}$  和 b) 中的  $H_{c,max}$  二者的较小值。

3.1.2 探伤室顶的剂量率参考控制水平应满足下列要求：

a) 探伤室上方已建、拟建建筑物或探伤室旁邻近建筑物在自辐射源点到探伤室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 3.1.1。

b) 除 3.1.2a) 的条件外，应考虑下列情况：

1) 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 3.1.1c) 的剂量率参考控制水平  $H_c$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 加以控制。

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

### 3.2 需要屏蔽的辐射

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

3.2.2 散射辐射考虑以  $0^\circ$  入射探伤工件的  $90^\circ$  散射辐射。

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

### 3.3 其他要求

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

3.3.2 探伤装置的控制室应置于探伤室外，控制室和人员门应避开有用线束照射的方向。

## 4 探伤室辐射屏蔽估算方法

#### 4.1 有用线束

有用线束的屏蔽估算方法如下：

a) 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 按式(3)计算，然后附录 B.1 的曲线查出相应的屏蔽物质厚度 X。

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

式中： $\dot{H}_c$ —按 3.1 确定的剂量率参考控制水平，单位为微希每小时 ( $\mu\text{Sv/h}$ )；

$R$ —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米 (m)；

$I$ —X 射线探伤装置在最高管电压下的最大管电流，单位为毫安 (mA)；

$H_0$ —距离辐射源点（靶点）1m 处输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ，以  $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$  为单位的值乘以  $6 \times 10^4$ ，见附录表 B.1。

b) 在给定屏蔽物质 X 时，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 $\dot{H}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 按式 (4) 计算：

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

式中： $I$ —X 射线探伤装置在最高管电压下的最大管电流，单位为毫安 (mA)；

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

$B$ —屏蔽透射因子；

$R$ —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米 (m)。

#### 4.2 泄漏辐射和散射辐射屏蔽

##### 4.2.1 屏蔽物质厚度 X 与屏蔽透射因子 B 的相应关系

屏蔽厚度 X 与屏蔽透射因子 B 的相互计算如下：

a) 对于给定的屏蔽物质厚度 X，相应的辐射屏蔽透射因子 B 按式 (5) 计算：

$$B = 10^{-X/\text{TVL}} \quad (5)$$

式中： $X$  —屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL—见附录 B 表 B.2。

b) 对于估算出的屏蔽透射因子 B，所需的屏蔽物质厚度 X 按式 (6) 计算：

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

式中：TVL—见附录 B 表 B.2；

$B$ —为达到剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时所需的屏蔽透射因子。

##### 4.2.2 泄漏辐射屏蔽

泄漏辐射屏蔽的估算方法如下：

a) 关注点达到剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时所需的屏蔽透射因子 B 按式 (7) 计算，然后按式 (6) 计算出所需的屏蔽物质厚度 X。

$$B = \dot{H}_c \cdot R^2 / \dot{H}_L \quad (7)$$

式中： $\dot{H}_c$ —按 3.1 确定的剂量率参考控制水平，单位为微希每小时 ( $\mu\text{Sv/h}$ )；

R—辐射源点 (靶点) 至关注点的距离，单位为米 (m)；

$\dot{H}_L$ —距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为微希每小时 ( $\mu\text{Sv/h}$ )，其典型值见表 7-4。

表 7-4 X 射线探伤机的泄露辐射剂量率

X 射线管电压 kV	距靶点 1m 处泄漏辐射剂量率 $\dot{H}_L$ $\mu\text{Sv/h}$
<150	$1 \times 10^3$
$150 \leq kV \leq 200$	$2.5 \times 10^3$
>200	$5 \times 10^3$

b) 在给定屏蔽物质厚度 X 时，相应的屏蔽透射因子 B 按式 (5) 计算，然后按照式 (8) 计算泄漏辐射在关注点的剂量率 $\dot{H}$ 单位为微希每小时 ( $\mu\text{Sv/h}$ )：

$$\dot{H} = \dot{H}_L \cdot B / R^2 \quad (8)$$

式中：B—屏蔽透射因子；

R—辐射源点 (靶点) 至关注点的距离，单位为米 (m)；

$\dot{H}_L$ —距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为微希每小时 ( $\mu\text{Sv/h}$ )。

#### 4.2.3 散射辐射屏蔽

散射辐射屏蔽估算方法如下：

a) 90° 散射辐射的 TVL

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，使用该散射线 X 射线最高能量相应的 X 射线 (见表 7-5) 的什值层 (见附录 B 表 B.2) 计算其在屏蔽物质中的辐射衰减。

表 7-5 X 射线 90° 散射辐射最高能量相应的 kV 值

原始 X 射线 kV	散射辐射 kV
$150 \leq kV \leq 200$	150
$200 < kV \leq 300$	200
$300 < kV \leq 400$	250

注：该表仅用于以什值层计算散射辐射在屏蔽物质中的衰减。

b) 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 按式(9)计算。按表 2 并查附录 B 表 B.2 的相应值, 确定 90° 散射辐射的 TVL, 然后按照式(6)计算出所需的屏蔽物质厚度 X。

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

式中:  $\dot{H}_c$ —按 3.1 确定的剂量率参考控制水平, 单位为微希每小时 ( $\mu\text{Sv/h}$ );

$R_s$ —散射体至关注点的距离, 单位为米 (m);

$R_0$ —辐射源点 (靶点) 至探伤工件的距离, 单位为米 (m);

I—X 射线探伤装置在最高管电压下的最大管电流, 单位为毫安 (mA);

$H_0$ —距辐射源点 (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  $6 \times 10^4$ , 见附录表 B.1;

F— $R_0$  处的辐射野面积, 单位为平方米 ( $\text{m}^2$ );

$\alpha$ —散射因子, 入射辐射被单位面积 ( $1\text{m}^2$ ) 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,  $\alpha$  与散射物质有关, 在未获得相应物质的  $\alpha$  值时, 以水散射体的  $\alpha$  值保守估计, 见附录 B 的 B.4。

c) 在给定屏蔽物质厚度 X 时, 相应的屏蔽透射因子 B, 按表 2 并查附录 B 表 B.1 的相应值, 确定 90° 散射辐射的 TVL, 然后按式(5)计算。关注点的散射辐射剂量率  $\dot{H}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 按式(10)计算:

$$\dot{H} = \frac{(I \cdot H_0 \cdot B)}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad (10)$$

式中: I—X 射线探伤装置在最高管电压下的最大管电流, 单位为毫安 (mA);

$H_0$ —距辐射源点 (靶点) 1m 处输出量,  $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ , 以  $\text{mSv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$  为单位的值乘以  $6 \times 10^4$ , 见附录表 B.1;

B—屏蔽透射因子;

F— $R_0$  处的辐射野面积, 单位为平方米 ( $\text{m}^2$ );

$\alpha$ —散射因子, 入射辐射被单位面积 ( $1\text{m}^2$ ) 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, 与散射物质有关, 在未获得相应物质的  $\alpha$  值时, 可以水的  $\alpha$  值保守估计, 见附录 B 表 B.3;

$R_0$ —辐射源点 (靶点) 至探伤工件的距离, 单位为米 (m);

$R_s$ —散射体至关注点的距离, 单位为米 (m)。”

**表 8 环境质量和辐射现状**

**环境质量和辐射现状**

**1、公司地理位置和项目场所位置**

**(1) 公司地理位置**

西安奥云电子科技有限公司位于西安市碑林区太乙路 255 号 03 号门面房。公司地理位置图见图 1-1。

**(2) 项目场所位置**

本项目位于陕西省西安市碑林科技产业园 4 号 1 幢 1 单元 10104 室，拟建项目场所位置见图 1-2。

**2、环境质量和辐射现状**

本次 X 射线工业 CT 系统核技术利用项目辐射环境质量现状委托西安志诚辐射环境检测有限公司开展监测，监测时间为 2023 年 10 月 11 日，监测报告(XAZC-JC-2023-0386)详见附件。

**(1) 监测因子及监测点位**

(1) 监测因子：X、 $\gamma$ 辐射剂量率。

(2) 监测点位：拟建检测室、会客休息区、办公室 1、办公室 2、楼梯间、拟建检测室上方办公室、陕西弘欣医疗科技有限公司、4#厂房配电室、东侧园区道路、4 号楼南侧停车场及碑林区产业园党群活动中心，共布设 11 个监测点位，见图 8-1、图 8-2。

**(2) 监测使用仪器及监测方法**

监测使用仪器及监测方法见表 8-1。

**表 8-1 监测使用仪器及监测方法一览表**

仪器名称	X、 $\gamma$ 剂量率仪		
仪器型号	HY-1001	仪器编号	XAZC-YQ-042
检定单位	中国辐射防护研究院放射性计量站	检定证书	检字第[2023]-L303
有效期至	2023.6.13~2024.6.12	测量范围	10nGy/h~400 $\mu$ Gy/h
监测方法	《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021） 《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）		

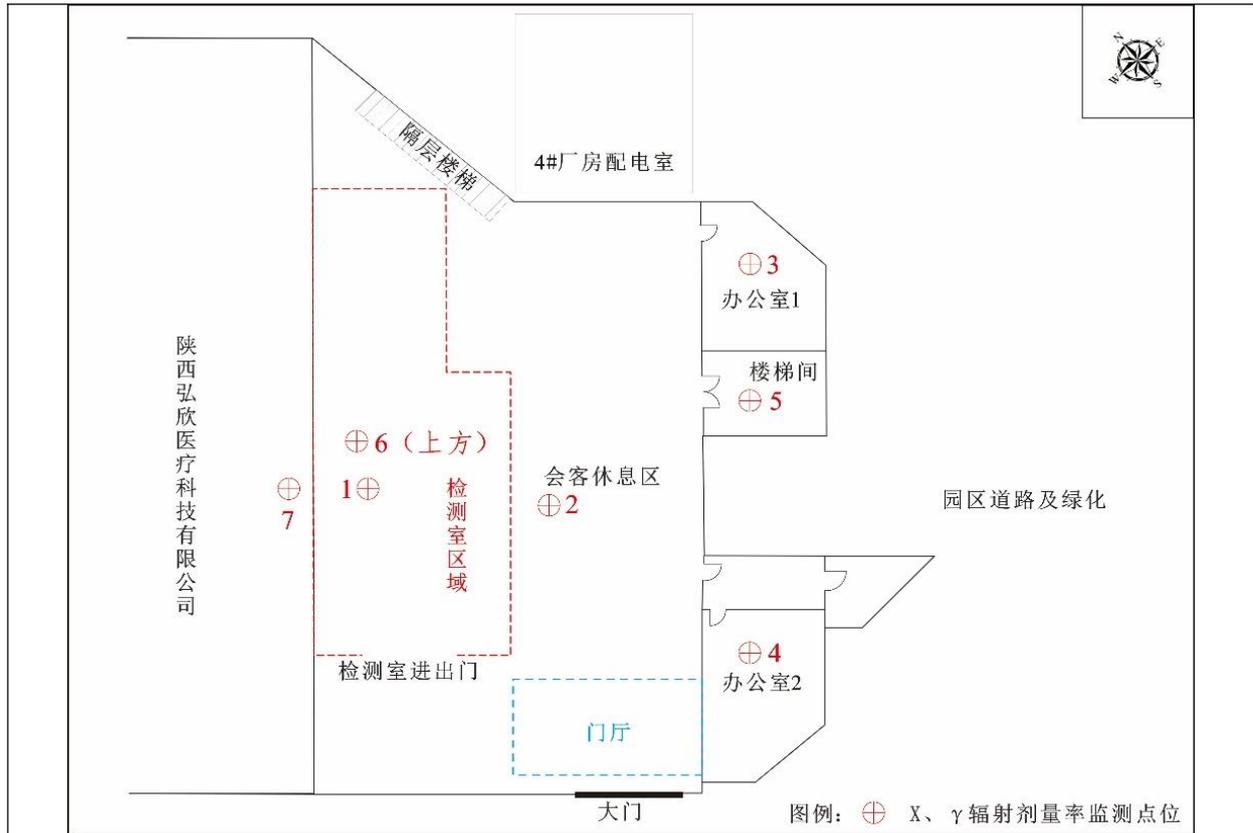


图 8-1 X 射线工业 CT 系统拟建场所监测点位示意图 1



图 8-2 X 射线工业 CT 系统拟建场所监测点位示意图 2

(3) 质量保证措施

监测按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）等监测方法，实施全过程质量控制。

- (1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设具有代表性、科学性和可比性；
- (2) 监测分析方法采用国家有关部门颁布的标准方法，监测人员持证上岗；
- (3) 所用监测仪器全部经过计量部门检定并在有效期内；
- (4) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录；
- (5) 监测数据严格实行审核制度。

#### (4) 环境质量现状监测结果及分析

X、 $\gamma$ 辐射剂量率监测结果见表 8-2。

表 8-2 项目 X、 $\gamma$ 辐射剂量率监测结果

监测 点位	点位描述	X、 $\gamma$ 辐射剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	
		均值	标准偏差
1	拟建检测室	0.104	0.002
2	会客休息区	0.099	0.003
3	办公室 1	0.093	0.003
4	办公室 2	0.096	0.003
5	楼梯间	0.086	0.002
6	拟建检测室上方办公室	0.097	0.003
7	陕西弘欣医疗科技有限公司	0.099	0.003
8	4#厂房配电室	0.073	0.003
9	东侧园区道路	0.069	0.002
10	4 号楼南侧停车场	0.072	0.002
11	碑林区产业园党群活动中心	0.066	0.003

注：本次监测结果已扣除仪器对宇宙射线响应值  $0.022\mu\text{Gy/h}$ 。

经现场监测，X 射线工业 CT 系统核技术利用项目在碑林区产业园 4 号楼内各监测点位 X、 $\gamma$ 辐射剂量率测量值范围为  $(0.086\sim 0.104)\mu\text{Gy/h}$ ，即  $(86\sim 104)\text{nGy/h}$ ，碑林区产业园 4 号楼外各监测点位 X、 $\gamma$ 辐射剂量率测量值范围为  $(0.066\sim 0.073)\mu\text{Gy/h}$ ，即  $(66\sim 73)\text{nGy/h}$ 。

对照《中国环境天然放射性水平》（2015 年 7 月）中“西安市室内 $\gamma$ 辐射剂量率范围

为（79.0~130.0）nGy/h，道路 $\gamma$ 辐射剂量率范围为（52.0~121.0）nGy/h”。经比较，本项目拟建场所及其周围辐射环境现状监测结果属于天然辐射环境本底波动水平。

表 9 项目工程分析及源项

工程设备和工艺分析

1、工程设备

(1) 微焦点 X 射线工业 CT 系统

本项目微焦点 X 射线工业 CT 系统，采用独特的微焦点射线源，利用不同角度的射线透视图像，结合计算机三维数字重构技术，提供样品内部复杂结构的高分辨率三维数字图像，对样品内部的微观结构进行微米尺度上的数字化三维表征。微焦点 X 射线工业 CT 系统主要用于小型低密度金属材料，复合材料，小型零配件等多种材料及构件缺陷的无损检测，将 X 射线断层扫描成像技术整合到三坐标测量系统，实现复杂部件高精度内外尺寸全面测量。

该微焦点 X 射线工业 CT 系统主要由 X 射线源、探测器、精密样品台、图像采集系统、三维图像重建和处理系统等组成。设备外观见图 9-1。



图 9-1 微焦点 X 射线工业 CT 系统外观示意图

根据技术协议，本项目 X 射线源采用开管微焦点射线源，电压范围 20kV~160kV 最大功率为 80W，最小焦点尺寸 2 $\mu$ m，射线源无法移动，射线照射的角度为 40°。数字平板探测器像素尺寸为 139 $\mu$ m，像素数量为 3072 $\times$ 3072，成像范围 427 $\times$ 427mm<sup>2</sup>，成像

效果清晰。样品台为放置待检工件的平台，最大承重 10kg，最大样品直径 400mm，样品最大高度 600mm。

## (2) 快速工业 CT 系统

本项目快速工业 CT 系统采用独特的封闭式微焦点射线源，利用不同角度的射线透视图象，结合计算机三维数字重构技术，提供样品内部复杂结构的高分辨率三维数字图像，对样品内部的微观结构进行微米尺度上的数字化三维表征，以及对构成样品的物质属性进行分析。

快速工业 CT 系统主要由 X 射线源、X 射线成像探测器、精密样品台、图像采集系统、三维图像重建和处理系统等组成。设备外观见图 9-2。



图 9-2 快速工业 CT 系统外观示意图

## 2、工作原理

微焦点 X 射线工业 CT 系统与快速工业 CT 系统均为利用 X 射线对物件进行透射的检测装置,利用 X 射线成像技术对电子器件焊点和内部质量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 射线管发生 X 射线,由电气控制系统通过自动控制机械扫描装置完成工件全方位扫描,平板探测器采集衰减后射线信息,在图像处理系统中运用特定算法以二维灰度图像和三维立体图像形式将工件内部信息直观地通过专业显示器显示出来。通过对图像的观测分析和软件计算分析,用来检查零部件内部情况,帮助质检人员正确分辨工件内部结构组成、有无缺陷、材质类别以及装配状况等。

微焦点 X 射线工业 CT 系统与快速工业 CT 系统中射线装置主要由 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、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,直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。高电压加在 X 射线管的两极之间,使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度,这些高速电子到达靶面被靶所突然阻挡从而产生 X 射线。典型 X 射线管的结构详见图 9-3,微焦点 X 射线检测系统的结构示意图见图 9-4,快速工业 CT 系统的结构示意图见图 9-5。

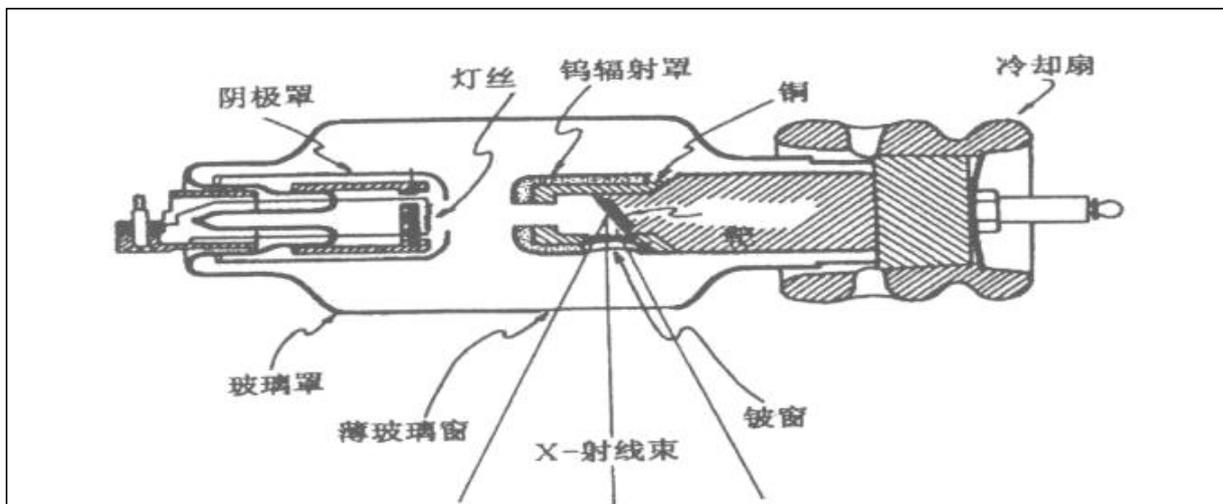


图 9-3 典型 X 射线管的结构

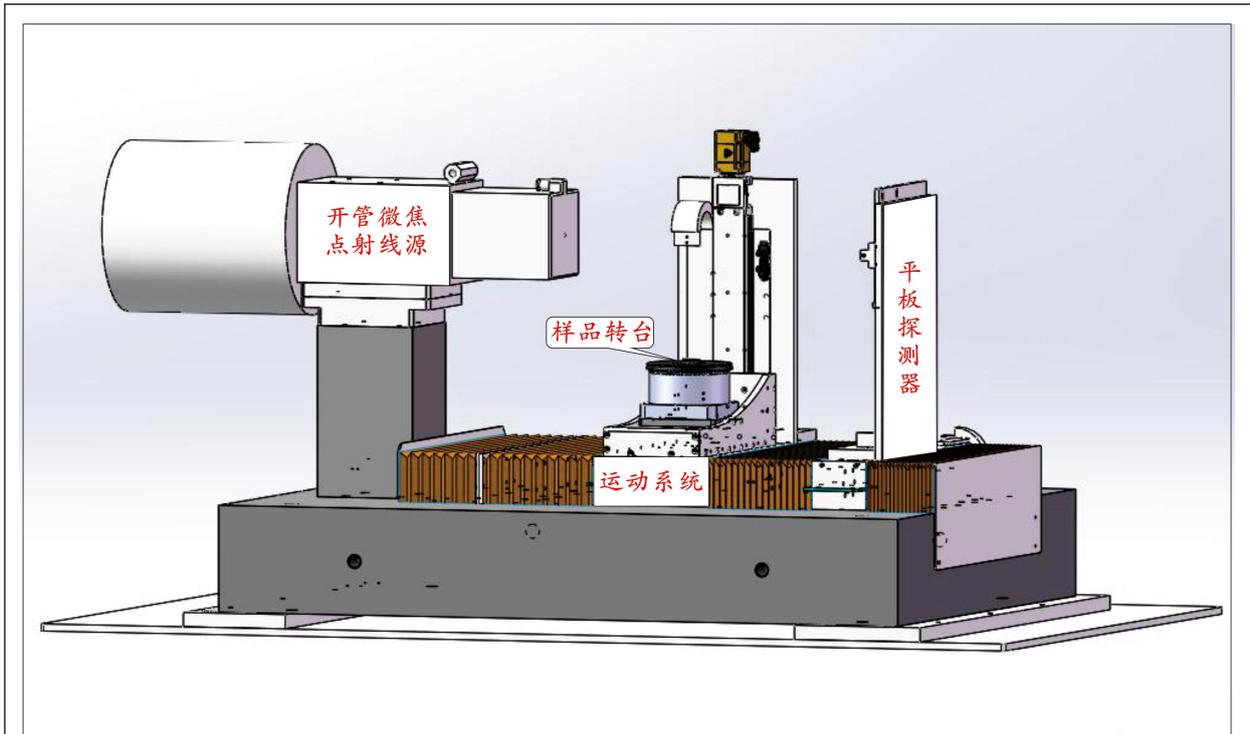


图 9-4 微焦点 X 射线工业 CT 系统结构示意图

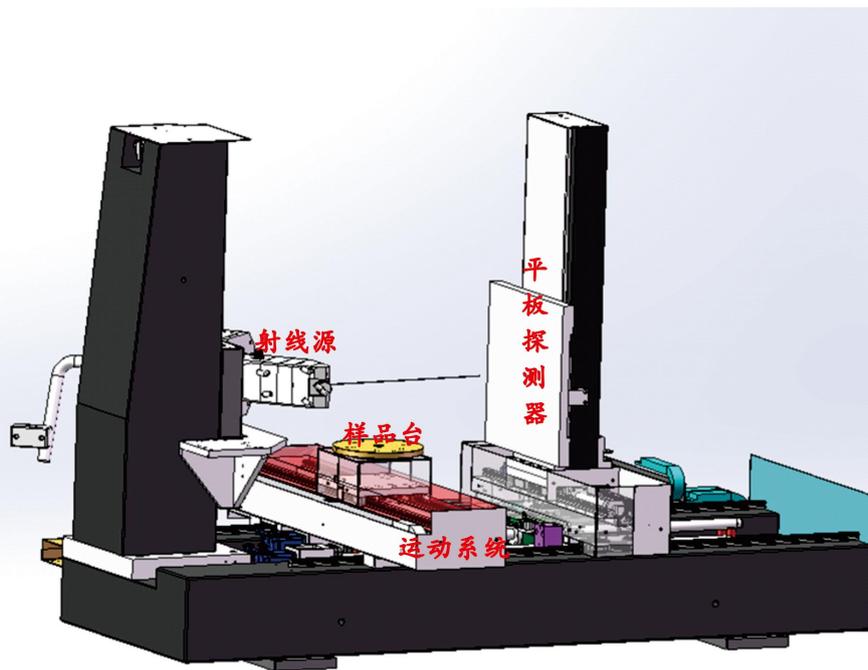


图 9-5 快速工业 CT 系统结构示意图

### 3、操作流程及产污环节

#### (1) 微焦点 X 射线工业 CT 系统操作流程

① 开机：检查铅防护门及维修门是否关闭，设备是否连接正常，打开总电源（红色按钮），10 秒后开启设备（绿色按钮），射线源处于未发射 X 射线状态，等待设备射线管内部真空值达到指定高度（真空度数值 3400），关闭舱门联动上锁，打开电脑扫描软件 AYcontrol 进行检查是否一切正常，运动系统轴归零。

② 每次开机后，在检测前打开电脑扫描软件 AYcontrol 中训管功能，对射线管进行训管，训管至 160kV（包括电压、电流及灯丝），时间 30min，训管期间射线源处于未发射 X 射线状态。

③ 制备样本：将样本固定于托盘台上并确保样本在轴线位置。

④ 训管完毕后，关闭射线管，在射线源处于未发射 X 射线状态，打开舱门将带有样本的托盘放置到仪器内部的载物台卡槽上，关闭舱门后进扫描参数设置。

⑤ 参数设置：在 AYcontrol 软件内进行电压、电流、分辨率、投影数、积分时间、平均帧数及 PGA 通道的设定。

⑥ 扫描：参数设置好后便可以点击 Start 键，设备开始进行扫描，射线源处于发射 X 射线状态。

⑦ 数据重建。

⑧ 关机：确定扫描结束后，关闭射线管，在射线源处于未发射 X 射线状态，打开舱门将样品取出，运动轴归零，关闭软件、关闭电脑，关掉总电源。

#### (2) 快速工业 CT 系统操作流程

① 开机：检查铅防护门及维修门是否关闭，设备是否连接正常，按下启动开关，开关绿灯常亮，仪器上电，拧动钥匙开关，给射线源上电；打开操作服务器，连接设备，连接后检查各部分是否有报错。如果有，清除错误和故障直到一切正常。电脑控制打开射线源，完成开机。

② 制备样品：打开舱门将样本放置到仪器内部的样品台上，关闭舱门后进行扫描参数设置。

③ 参数设置：在 AYcontrol 软件内进行电压、电流、分辨率、投影数、积分时间、平均帧数及 PGA 通道的设定。

④ 扫描：参数设置好后便可以点击 Start 键，设备开始进行扫描，射线源处于发射

X 射线状态。

⑤ 数据重建。

⑥ 关机：确定扫描结束后，在射线源处于未发射 X 射线状态，打开舱门将样品取出，软件控制关闭射线源，拧动钥匙孔开关给射线源断电，将各电机全部回零归零，关闭软件、关闭电脑，关掉总电源。

#### 4、产污环节

(1) 微焦点 X 射线工业 CT 系统产污环节

射线装置工作流程及产污环节图见图 9-6。

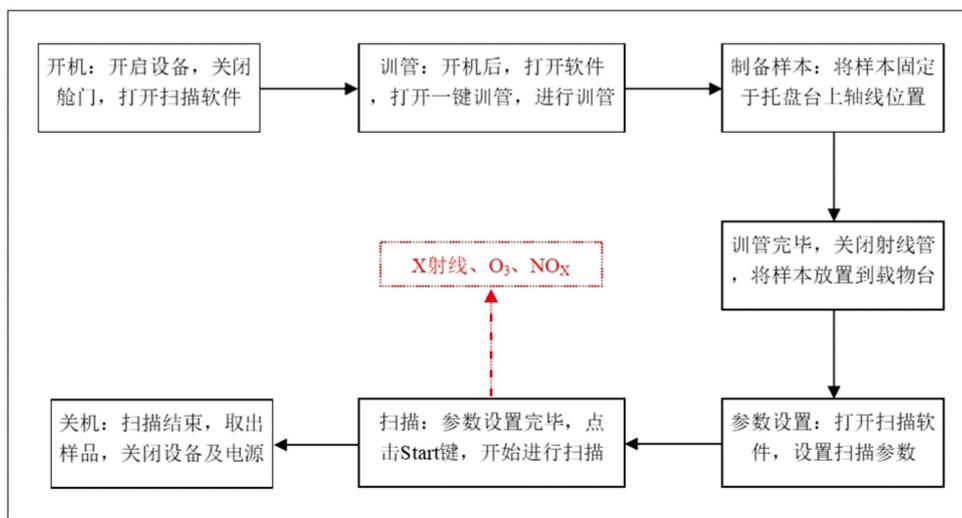


图 9-6 微焦点 X 射线工业 CT 系统工作流程及产污环节图

(2) 快速工业 CT 系统产污环节

射线装置工作流程及产污环节图见图 9-7。

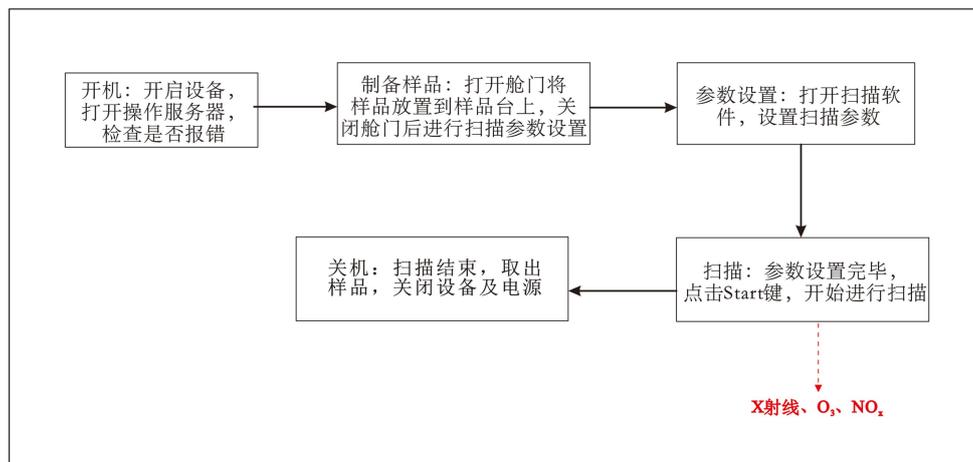


图 9-7 快速工业 CT 系统工作流程及产污环节图

#### 4、正常工况的污染途径

微焦点X射线工业CT系统与快速工业CT系统发出的X射线经透射、散射后造成屏蔽铅室周围辐射水平升高，对工作场所及周围环境产生X射线辐射，会对工作人员和公众产生一定的外照射。

### 5、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：安全联锁装置出现故障，设备屏蔽体维修铅门、防护铅门未完全关闭就出束，造成门外泄漏射线量大大增加，将会对此区域活动人员产生不必要的照射；当门机联锁故障，误打开舱门人员误入工作中的X射线工业CT系统内受到的额外照射；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。

### 污染源项描述

本项目使用的3套X射线工业CT系统，均采用实时成像系统。运行期主要污染源项为X射线、O<sub>3</sub>和NO<sub>x</sub>等有害气体，不产生放射性“三废”。

#### 1、X射线

由X射线机的工作原理可知，X射线是随着X射线工业CT系统射线管的开、关而产生和消失。本项目X射线工业CT系统只有在开机并处于出射线状态时才会发出X射线。因此，在检测期间，X射线成为污染环境的主要污染因子。

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

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

(2) 泄漏射线：除了有用的辐射束外，从辐射源组装体泄漏出的任何其他的辐射。

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

#### 2、废气

当电压为0.6kV以上时，X射线能使空气电离，本项目X射线工业CT系统最大管电压为300kV，运行时将产生少量O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub>。

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) 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），辐射工作场所应分为控制区及监督区，将需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域定为监督区。参照《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022），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。

本项目设备均自带屏蔽体，人员只能伸展手臂放置工件，无法完全进入，根据实际情况，将检测系统屏蔽体的所有区域划分为控制区，检测系统所在检测室划分为监督区，辐射工作场所分区示意图见图 10-1。

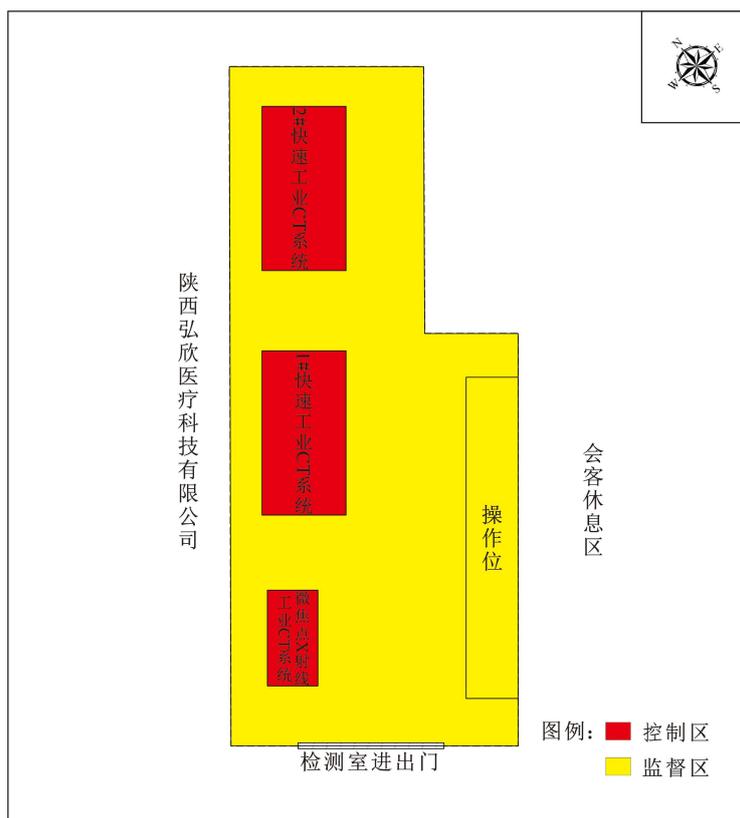


图 10-1 工作场所分区示意图

建设单位应在铅防护门处设立醒目的、符合规定的电离辐射警告标志，在射线装置运行时严禁人员入内；在检测室外设立表明监督区的标识及避免无关人员进入的警示文字。

(2) 布局合理性分析

本项目工业 CT 系统拟安装于检测室内，检测室平面布局图见图 1-5。有用线束向东北方向照射，控制台位于检测系统东南侧，可以避免有用线束照射方向，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）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、辐射防护屏蔽设计

(1) 微焦点 X 射线工业 CT 系统

项目微焦点 X 射线工业 CT 系统六面封闭式结构，东南侧设 1 个防护铅门（舱门），西北侧设 1 个维修门，主射束向东北方向照射。根据建设单位提供的资料，屏蔽体各方向屏蔽参数见表 10-1。铅房尺寸见图 10-2，防护设计示意图见图 10-3。

表 10-1 微焦点 X 射线工业 CT 系统屏蔽体各方向屏蔽参数

序号	位置	设计防护铅当量
1	西南侧面	5.5 mm Pb
2	西北侧面	5.5 mm Pb
3	东北侧面（主照射面）	6.5 mm Pb
4	东南侧面	5.5 mm Pb
5	顶部	5.5 mm Pb
6	底部	5.5 mm Pb
7	铅防护门	5.5 mm Pb
8	维修门	5.5 mm Pb
9	观察窗铅玻璃	5.5 mm Pb
10	微焦点 X 射线工业 CT 系统屏蔽体尺寸	外部尺寸：2050mm×1200mm×1780mm

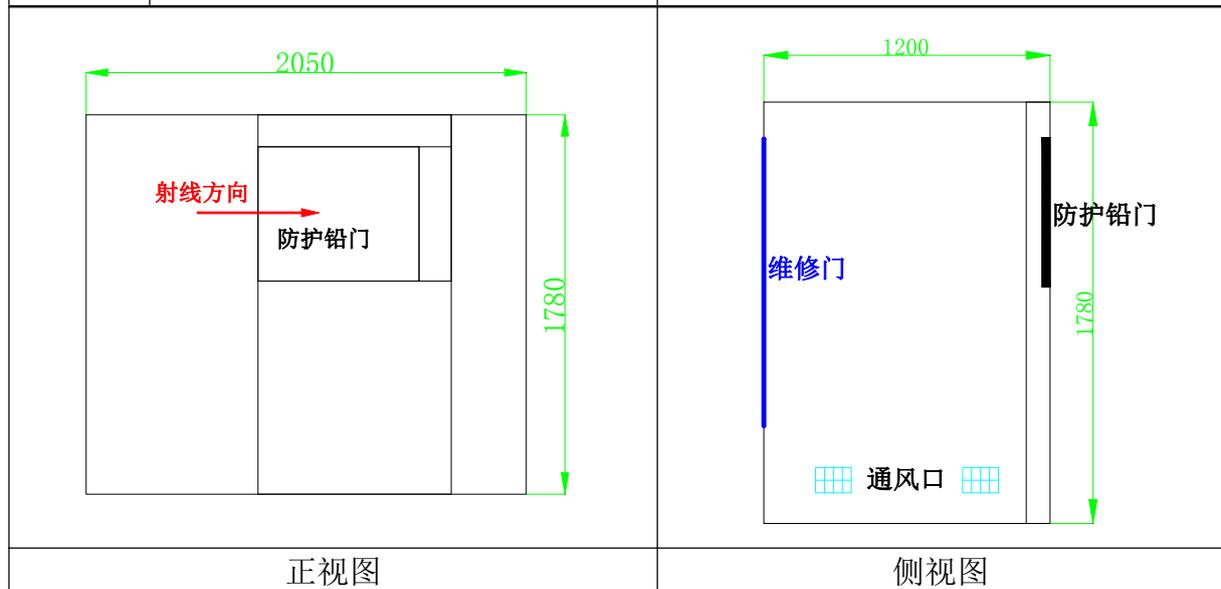


图 10-2 微焦点 X 射线工业 CT 系统屏蔽体尺寸示意图

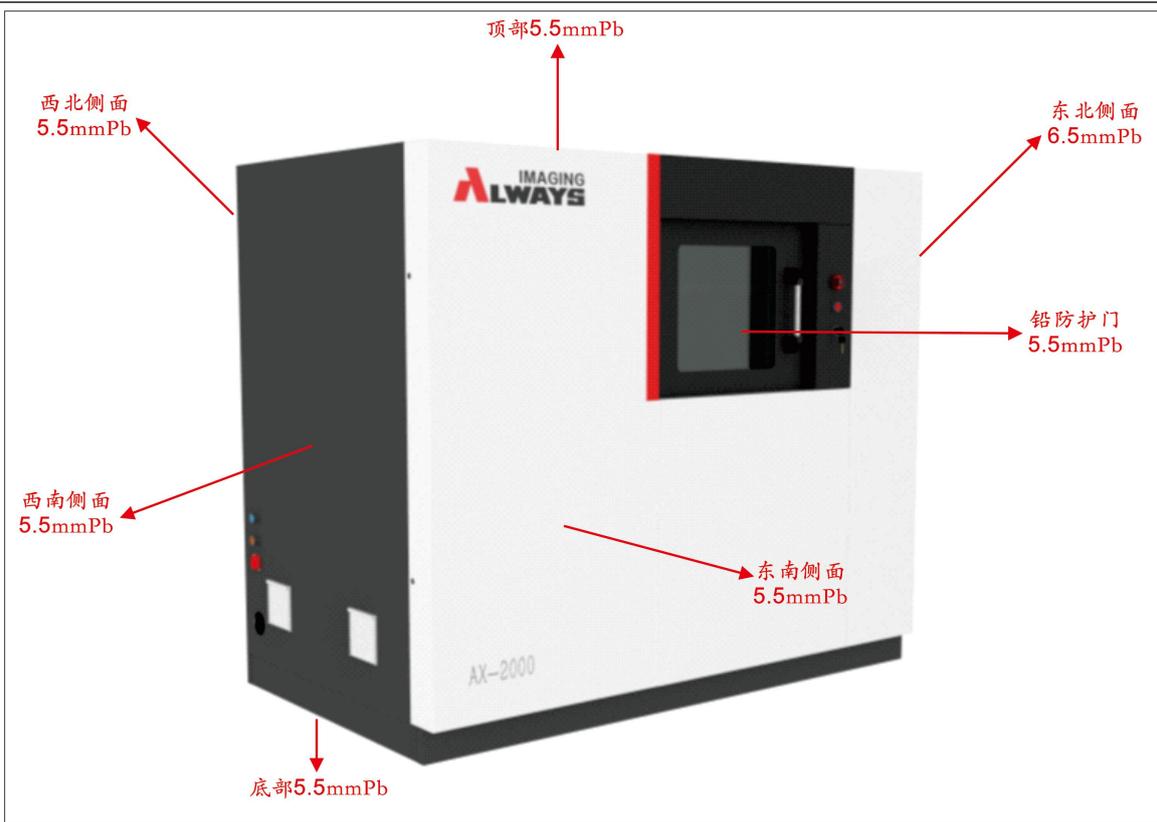


图 10-3 微焦点 X 射线工业 CT 系统防护设计示意图

### (2) 快速工业 CT 系统

项目快速工业 CT 系统六面封闭式结构，东南侧设 1 个防护铅门，西南侧设 1 个维修门，主射束向东北方向照射。根据建设单位提供的资料，屏蔽体各方向屏蔽参数见表 10-2。铅房尺寸见图 10-4，防护设计示意图见图 10-5。

表 10-2 快速工业 CT 系统屏蔽体各方向屏蔽参数

序号	位置	设计防护铅当量
1	东南侧面	16 mm Pb+4.5mm 钢
2	东北侧面（主照射面）	25 mm Pb+4.5mm 钢
3	西北侧面	16 mm Pb+4.5mm 钢
4	西南侧面	16 mm Pb+4.5mm 钢
5	顶部	16 mm Pb+4.5mm 钢
6	底部	16 mm Pb+12mm 钢
7	铅防护门	16 mm Pb+6.5mm 钢
8	维修门	16 mm Pb+7mm 钢
9	快速工业 CT 系统屏蔽体尺寸	外部尺寸：3374mm×1972mm×2073mm

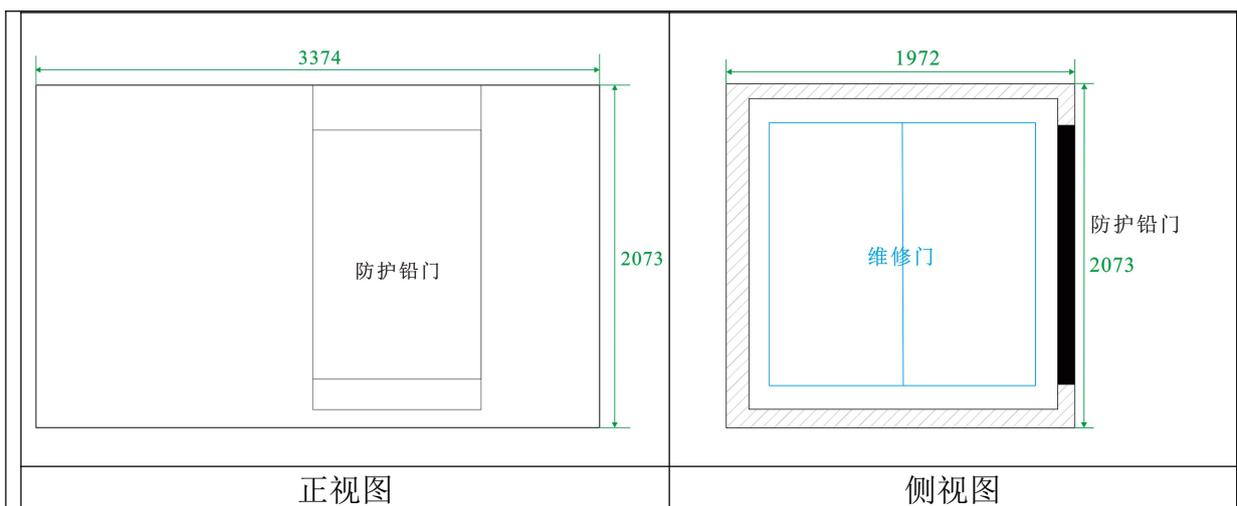


图 10-4 快速工业 CT 系统屏蔽体尺寸示意图

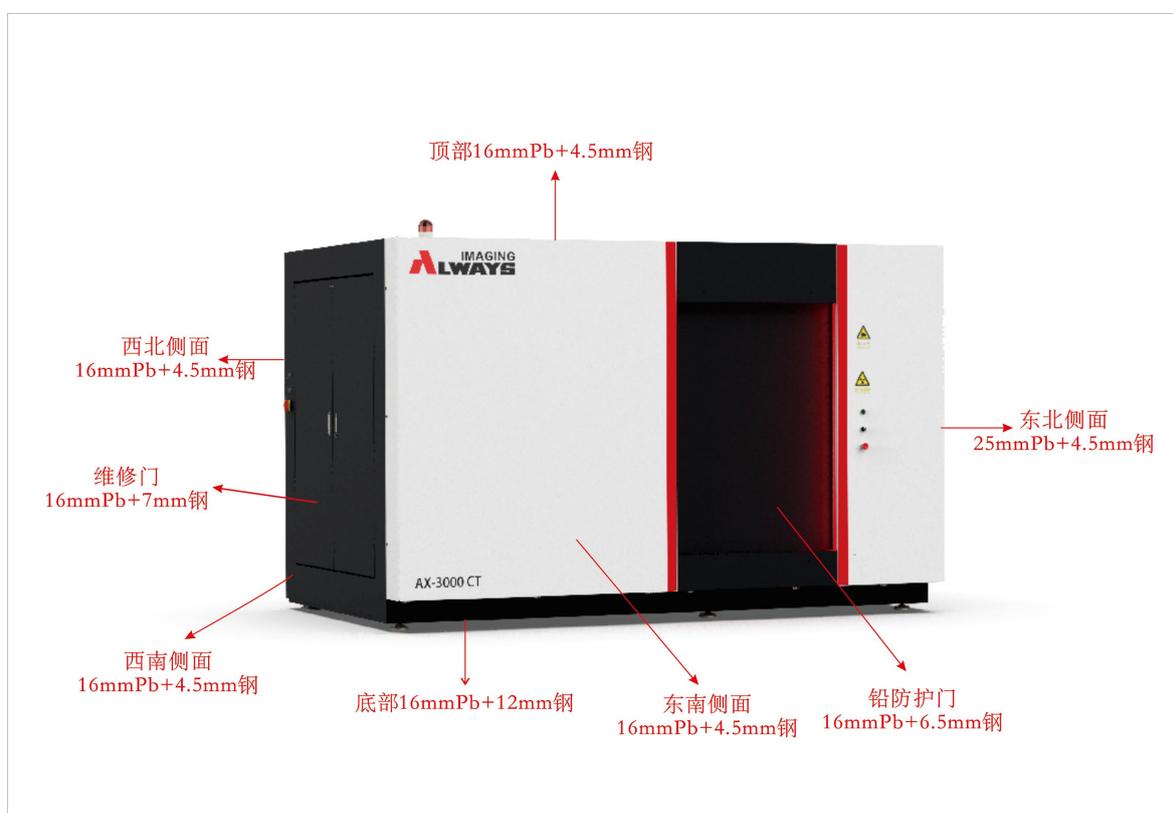


图 10-5 快速工业 CT 系统防护设计示意图

### 3、辐射安全设施与措施

本项目工业 CT 系统为实际探伤作业场所，等同于探伤室，屏蔽体的防护设施执行《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中相关规定。本项目除实体屏蔽外，拟采取的其他辐射安全措施如下，防护设施布置见示意图 10-6~图 10-8。

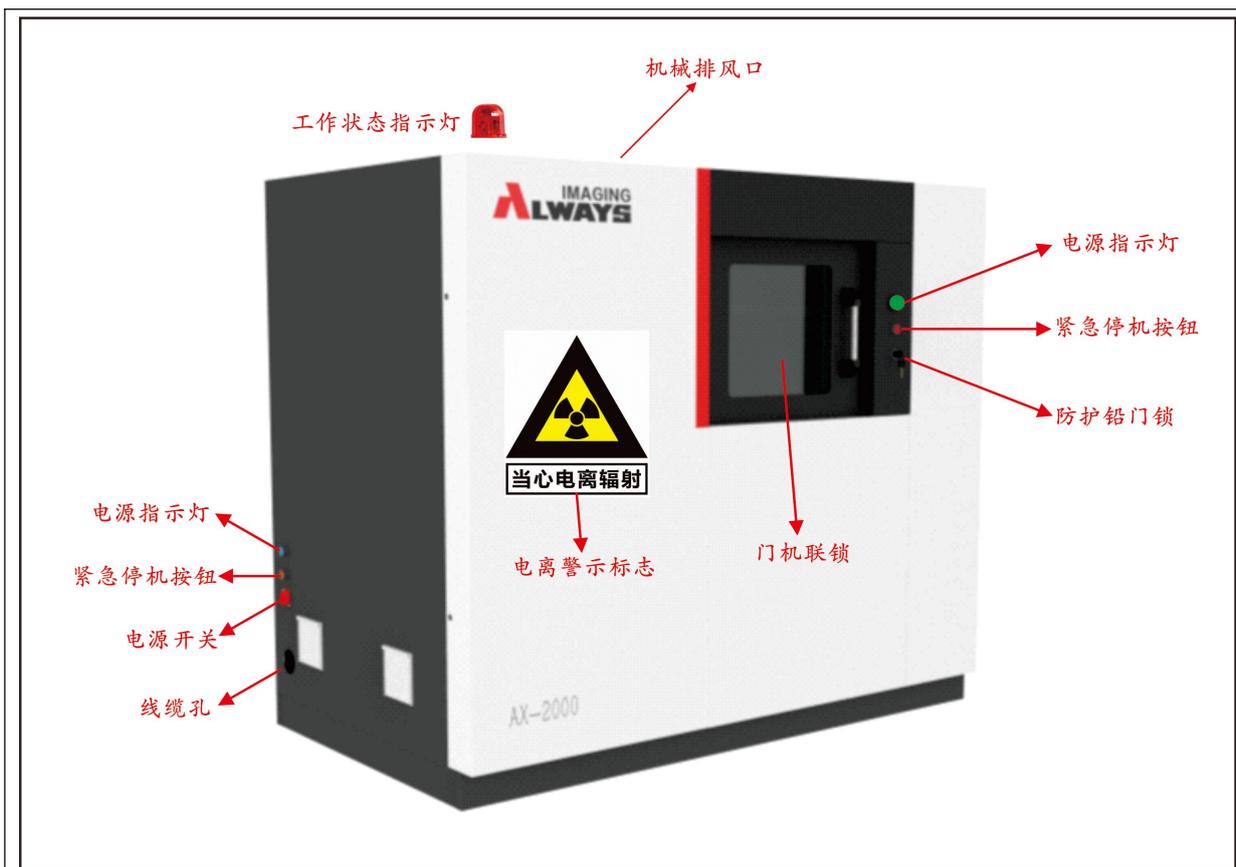


图 10-6 微焦点 X 射线工业 CT 系统防护设施示意图

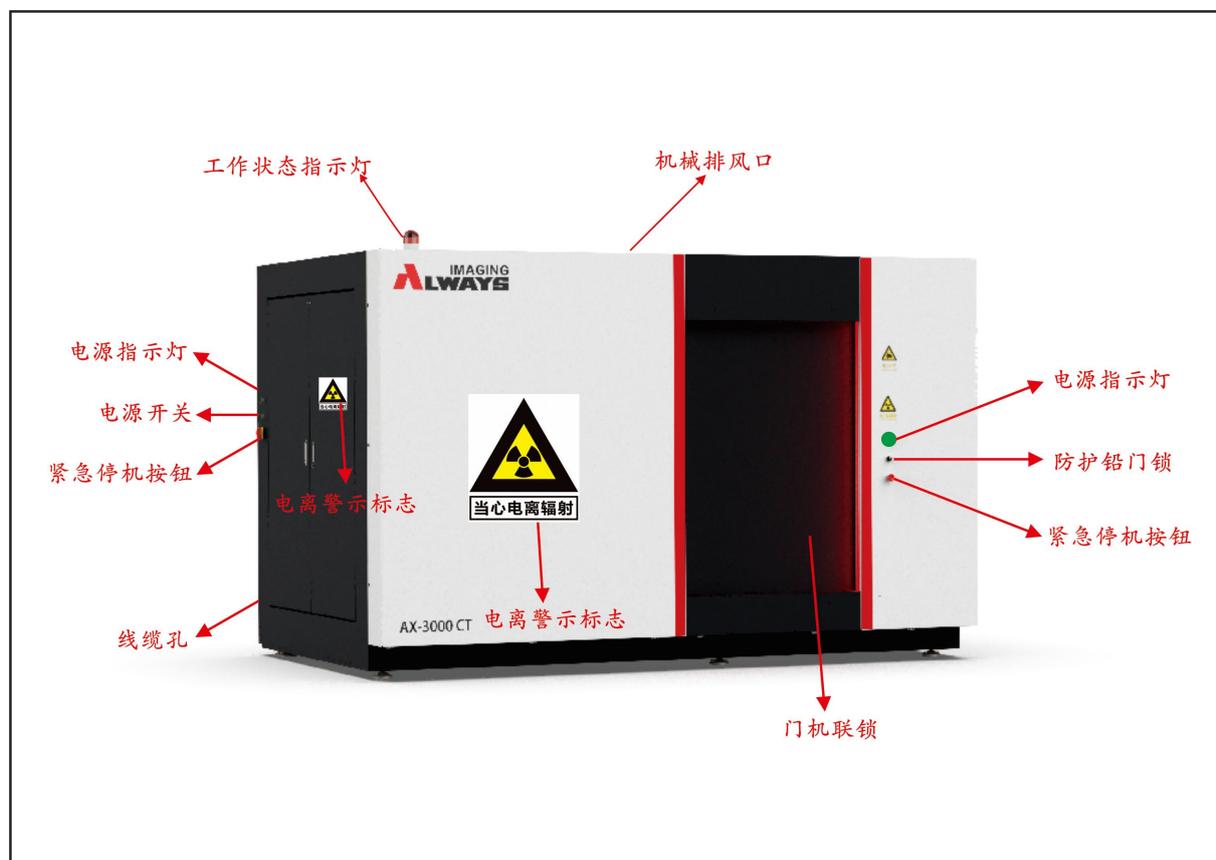
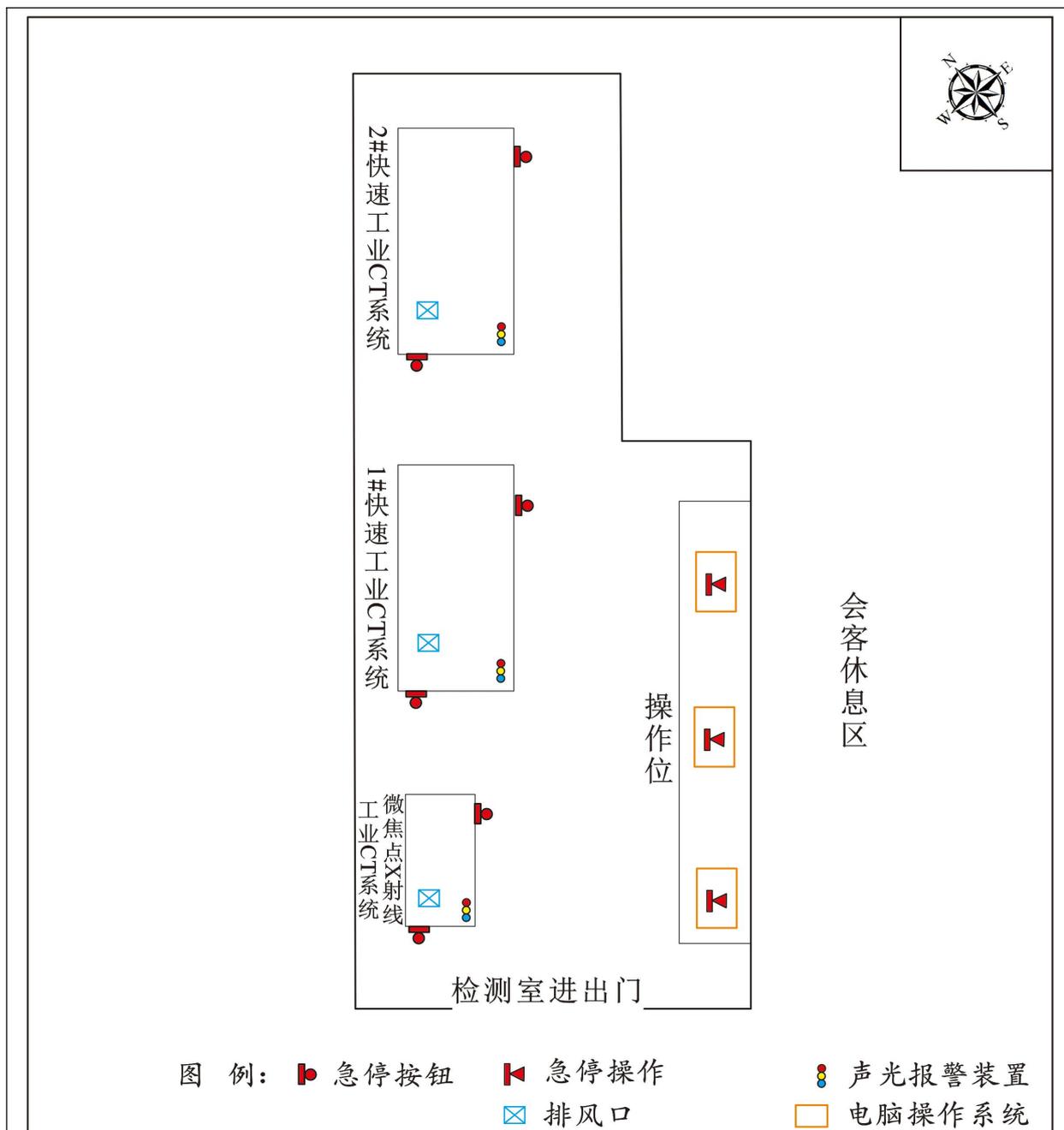


图 10-7 快速工业 CT 系统防护设施示意图



**图 10-8 检测室防护设施示意图**

(1) 门-机联锁：3 台工业 CT 系统铅防护门均与 X 射线源联锁控制，人员在控制台操作，当铅防护门关闭到位后方可发射射线，一旦打开则射线自动停止或无法开启。

(2) 工作状态指示装置：3 台工业 CT 系统顶部均设有显示“照射”状态的指示灯，指示装置与 X 射线探伤机联锁。项目建成后，应在设备外及检测室内醒目位置处标注有清晰的对指示灯信号意义的说明。

(3) 电离辐射警示标识：3 台工业 CT 系统屏蔽体正面和维修门表面张贴电离辐射警示标志及中文警示说明。

(4) 急停按钮：微焦点 X 射线工业 CT 系统铅防护门右侧及屏蔽体侧面各配备 1 个急停开关；快速工业 CT 系统铅防护门右侧及维修门左侧各配备 1 个急停开关。急停开关与 X 射线源进行安全联锁，按下后 X 射线源高压切断不能出束。

(5) 3 台工业 CT 系统均设置铭牌，标明制造厂商、型号及出厂编号、额定管电压电流等。

(6) 控制台：检测系统均配备独立的控制台，控制台电脑软件与工业 CT 系统联锁，可进行扫描参数设置、电源开关、转台移动、急停等各类操作，设有显示器可显示设备工作状态、电源开关状态、高压接通状态及故障报警等。

(7) 监测仪器及个人防护用品：公司为本项目拟配备 6 名辐射工作人员，其中 2 人为原有辐射工作人员，其个人剂量报警仪及个人剂量计已配备。另外 4 名为新增辐射工作人员，本项目拟新增 4 台个人剂量报警仪、4 枚个人剂量计；本项目在建成运行前，新增的 4 名辐射工作人员需参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习，通过考核后方可上岗。本项目依托原有 X- $\gamma$ 辐射剂量率仪开展工作场所的日常监测。辐射工作人员操作过程中应按照规定佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

(8) 公司已制定辐射岗位工作职责、设备操作规程，上岗前对工作人员进行培训，运行时应严格遵守操作规程。

(9) 通风系统：微焦点 X 射线工业 CT 系统设备顶部通风口配有机械排风扇，将设备内废气排出，机械排风扇风量为  $180\text{m}^3/\text{h}$ ，设备体积为  $4.39\text{m}^3$ ，则每小时通风次数约为 41 次。通风口处设有铅板风扇罩，铅当量为  $5.5\text{mm}$ ，可降低射线泄漏水平。

快速工业 CT 系统设备顶部通风口配有机械排风扇，将设备内废气排出，机械排风扇风量为  $180\text{m}^3/\text{h}$ ，设备体积为  $13.8\text{m}^3$ ，则每小时通风次数约为 13 次。排风扇排风路径采用迷道式设计，可降低射线泄露水平。排风扇排风路径是意图见图 10-9。

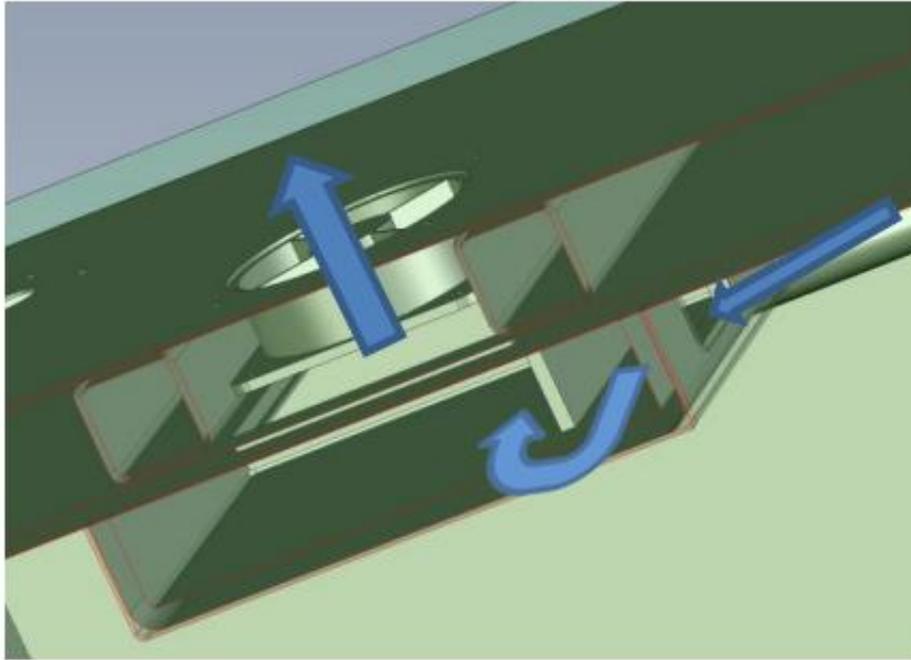


图 10-9 工业 CT 系统排风扇排风路径示意图

(10) 本项目拟新增的 4 名辐射工作人员，上岗前均应先进行体格检查，合格者方可从事放射工作，上岗后根据国家标准的相关规定定期体检，并建立健康档案；公司应确保每名辐射工作人员的个人剂量计每个季度送有资质单位检测 1 次，做到定期送检，专人专戴，并建立个人剂量档案。

(11) 线缆孔：本项目工业 CT 系统的电缆通过铅板屏蔽罩绕行穿过孔位与外部相连接，微焦点 X 射线工业 CT 系统铅板屏蔽罩为 5.5mm 铅当量，快速工业 CT 系统铅板屏蔽罩为 16mm 铅当量。线缆孔设计示意图见图 10-10。

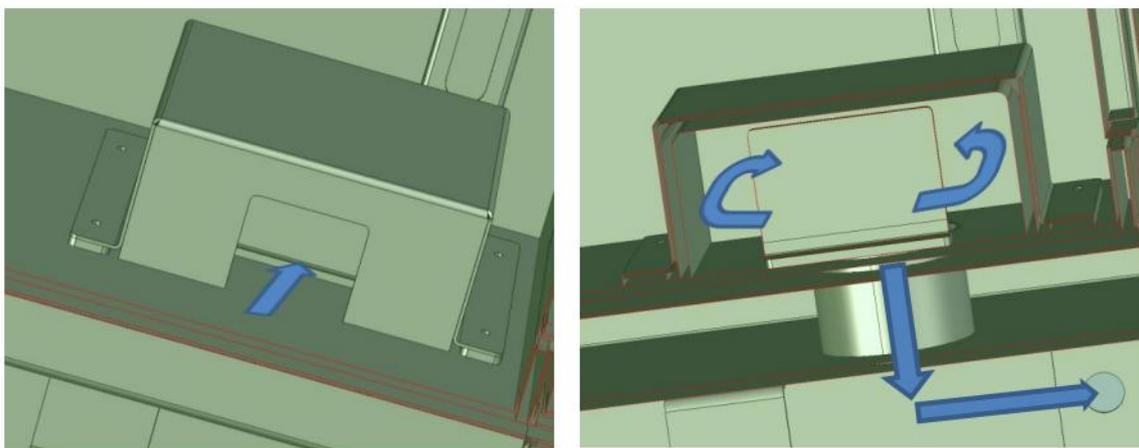


图 10-10 工业 CT 系统线缆孔设计示意图

每年 1 月 31 日前向辐射安全许可证发证机关报送辐射环境年度评估报告。

#### 4、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，西安奥云电子科技有限公司辐射安全管理部分实际建设情况与标准化建设相关要求对照情况见表10-3，须采取的辐射安全防护措施详见表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	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
	直接从事放射工作的作业人员	岗前进行职业健康体检，结果无异常	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	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和负责人	有
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	

续表 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	有/无
制度建立与执行	建立辐射工作人员职业健康体检管理制度，定期对辐射工作人员进行职业健康体检，对体检异常人员及时复查，保证职业人员健康监护档案的连续有效性	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
	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
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	有
	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	
		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连锁接口	
		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	操作室与探伤室分开，并避开有用线束照射的方向

续表 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	固定式探伤作业场所	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
	标志及指示灯	辐射安全与联锁	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
			探伤室设置门-机联锁装置
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	

### 三废的治理

本项目 X 射线工业 CT 系统不产生放射性“三废”，产生的主要废物包括空气电离产生的废气（O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub>）、生活污水、生活垃圾。

#### 1、废气

本项目 3 台设备均自带排风装置，排风扇位于设备顶部。根据建设单位提供资料，本项目 3 套工业 CT 产生的废气拟通过管道进行汇集，通过总排风管道排至东北侧墙外；管道排风口位于 4# 厂房配电室屋后，无人员活动。排风管道示意图见图 10-11。

微焦点 X 射线工业 CT 系统每小时通风次数约为 41 次，快速工业 CT 系统每小时通风次数约为 13 次。可以满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“每小时有效通风换气次数应不小于 3 次”要求，同时满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“排风管道外口避免朝向人员活动密集区”要求。项目产生的 O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub> 较少，O<sub>3</sub> 在一定时间后可分解为氧气，经自然扩散后，对周围环境影响较小。

#### 2、生活污水、生活垃圾

本项目拟配备 6 名辐射工作人员，生活污水依托碑林科技产业园污水处理设施集中处理，生活垃圾依托碑林科技产业园内垃圾桶进行分类收集后，统一纳入当地垃圾清运系统。

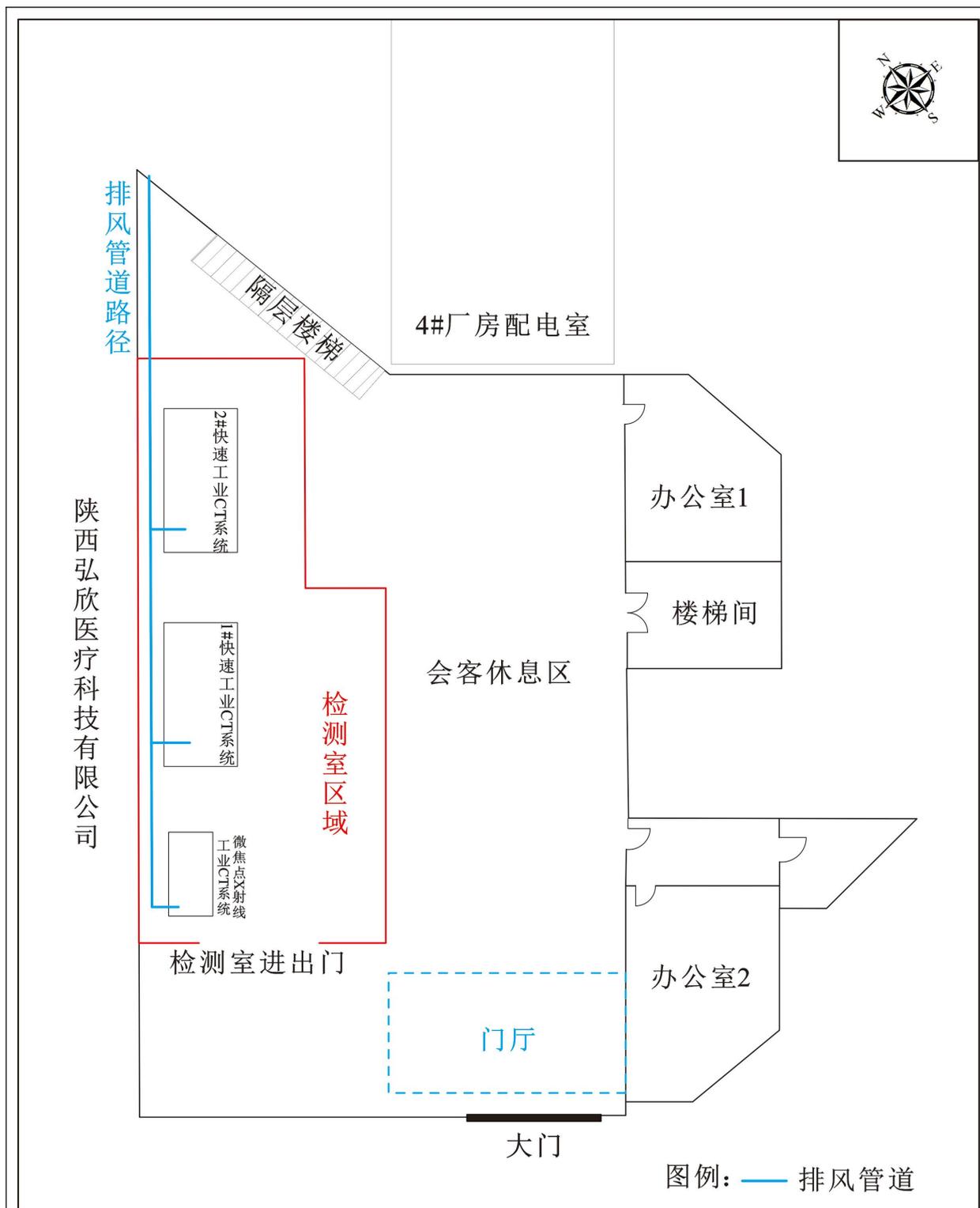


图 10-11 工业 CT 系统排风系统管道路径示意图

表 11 环境影响分析

### 建设阶段对环境的影响

建设期间对环境的影响主要为安装设备过程产生的噪声以及工人生活污水、生活垃圾。

项目施工现场位于公司检测室内，设备为一体式，安装过程方便，施工噪声造成的影响不大。生活垃圾和生活污水产生量较小，生活污水依托碑林科技产业园内公用卫生间，生活垃圾纳入园区现有垃圾清运系统。

综上所述，本项目建设阶段对环境产生影响较小。

### 运行阶段对环境的影响

本次评价的工业 CT 系统自带屏蔽体，安装于碑林科技产业园 4 号 1 幢 1 单元 10104 室检测室内。根据建设单位提供资料，X 射线定向向东北照射，微焦点 X 射线工业 CT 系统最大管电压 160kV，最大管电流为 0.5mA；快速工业 CT 系统最大管电压 300kV，最大管电流为 3mA。

#### 一、辐射防护屏蔽理论估算模式

依据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014），对铅室屏蔽厚度进行理论分析，计算公式如下：

##### “1、屏蔽体辐射屏蔽的剂量参考控制水平

设备四周屏蔽体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) 确定屏蔽体各方向外关注点的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ )。

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad \text{公式 (11-1)}$$

式中： $H_c$  一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  $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ ；

$U$  一射线装置向关注点方向照射的使用因子；

$T$  一人员在相应关注点驻留的居留因子；

$t$  一射线装置周照射时间，单位为 h/周。

(2) 关注点最高剂量率参考控制水平  $H_{c,max}$ ：

$$H_{c,max} = 2.5\mu\text{Sv/h} \quad \text{公式 (11-2)}$$

(3) 关注点剂量率参考控制水平：

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

## 2、设备屏蔽体顶部的剂量率参考控制水平应满足下列要求：

(1) 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（11-1）。

(2) 除(1)的条件外，应考虑下列情况：

① 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，应按公式（11-1）的剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 加以控制。

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

该检测室上方隔层有工作人员长期居留，因此，本次 3 台工业 CT 系统设备铅室顶部辐射屏蔽的剂量参考控制水平按照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中相关规定取  $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

## 3、有用线束屏蔽估算

(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 按公式（11-3）计算，然后由《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B.1 的曲线查出相应的屏蔽物质厚度 X：

$$B = \dot{H}_c \cdot R^2 / (I \cdot H_0) \quad \text{公式 (11-3)}$$

式中：B—为屏蔽所需透射因子；

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

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  $6 \times 10^4$ 。

(2) 对于给定屏蔽物质 X 时，由《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 附录 B.1 曲线查出相应的屏蔽透射因子 B。关注点的剂量  $\dot{H}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 按下式计算：

$$\dot{H} = (I \cdot H_0 \cdot B) / R^2 \quad \text{公式 (11-4)}$$

式中：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， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ；

$B$ —屏蔽透射因子；

$R$ —辐射源点（靶点）至关注点的距离，m。

#### 4、泄漏辐射和散射辐射屏蔽

(1) 屏蔽物质厚度  $X$  与屏蔽透射因子  $B$  的相应关系

屏蔽厚度  $X$  与屏蔽透射因子  $B$  的相互计算如下，然后由《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B 表 B.2 的查出 TVL：

① 对于给定的屏蔽物质厚度  $X$ ，相应的辐射屏蔽透射因子  $B$  按下式计算：

$$B=10^{-X/\text{TVL}} \quad \text{公式 (11-5)}$$

式中： $X$  —屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL—屏蔽物质的什值层厚度。

② 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：

$$X=-\text{TVL} \cdot \lg B \quad \text{公式 (11-6)}$$

式中：TVL—为屏蔽物质的什值层厚度，mm；

$B$ —为达到剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$  时所需的屏蔽透射因子。

(2) 泄漏辐射屏蔽

泄漏辐射屏蔽的估算方法如下：

① 关注点达到剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$  时所需的屏蔽透射因子  $B$  按下式计算，依据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B.1 曲线查出相应的屏蔽透射因子  $B$  所需的屏蔽厚度  $X$ 。

$$B=\dot{H}_c \cdot R^2 / H_L \quad \text{公式 (11-7)}$$

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

$R$ —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 射线管组装体的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ，其典型值见表 11-1。

表 11-1 X 射线探伤机的泄露辐射剂量率

X 射线管电压 (kV)	距离辐射源点（靶点）1m 处泄漏辐射剂量率 $H_L$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )
<150	$1 \times 10^3$
$150 \leq \text{kV} \leq 200$	$2.5 \times 10^3$
>200	$5 \times 10^3$

② 在给定屏蔽物质厚度 X 时，依据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B.1 曲线查出厚度 X 对应的屏蔽透射因子 B，泄漏辐射在关注点的剂量率  $\dot{H}$  按下式计算：

$$\dot{H} = (H_L \cdot B) / R^2 \quad \text{公式 (11-8)}$$

式中：B—屏蔽透射因子；

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 射线管组装体的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ，

其典型值见表 11-1。

### (3) 散射辐射屏蔽

散射辐射屏蔽估算方法如下：

#### ① 90° 散射辐射的 TVL

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，使用该散射线 X 射线最高能量相应的 X 射线（见表 11-2）的 TVL（见《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B 表 B.2）计算其在屏蔽物质中的辐射衰减。

**表 11-2 X 射线 90° 散射辐射最高能量相应的 kV 值**

原始 X 射线 (kV)	散射辐射 (kV)
150≤kV≤200	150
200<kV≤300	200
300<kV≤400	250

② 关注点达到剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$  时所需的屏蔽透射因子 B 按下式计算。按表 11-2 对应的 90° 散射辐射 (kV)，并确定相应的 TVL，然后按照公式 (11-6) 计算出所需的屏蔽物质厚度 X。

$$B = \frac{(\dot{H}_c \cdot R_s^2)}{I \cdot H_0} \cdot \frac{R_0^2}{F \cdot \alpha} \quad \text{公式 (11-9)}$$

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

$R_s$ —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， $\text{m}^2$ ；

$\alpha$ —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，见《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 B 的 B.4；

③ 在给定屏蔽物质厚度 X 时，相应的屏蔽透射因子 B，按表 11-2 对应的 90° 散射辐射（kV），并确定相应的 TVL，然后按公式（11-5）计算。关注点的散射辐射剂量率  $\dot{H}$  按下式计算：

$$\dot{H} = \frac{(I \cdot H_0 \cdot B)}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad \text{公式 (11-10)}$$

式中：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， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ；

B—屏蔽透射因子；

F— $R_0$  处的辐射野面积；

$R_s$ —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；

$\alpha$ —散射因子。

#### (4) 泄漏辐射和散射辐射的复合作用

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中 3.2.3 条款，即“当可能存在泄露辐射和散射辐射的复合作用时，通常分别估算泄露辐射和各项散射辐射，当它们的屏蔽厚度相差一个什值层厚度（TVL）或更大时，采用其中较厚的屏蔽；当相差不足一个 TVL 时，则在较厚的屏蔽上增加一个半值层厚度（HVL）”。

### 5、年有效剂量计算

年有效剂量可按下式计算：

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

式中： $P_{\text{年}}$ —年有效剂量，mSv/a；

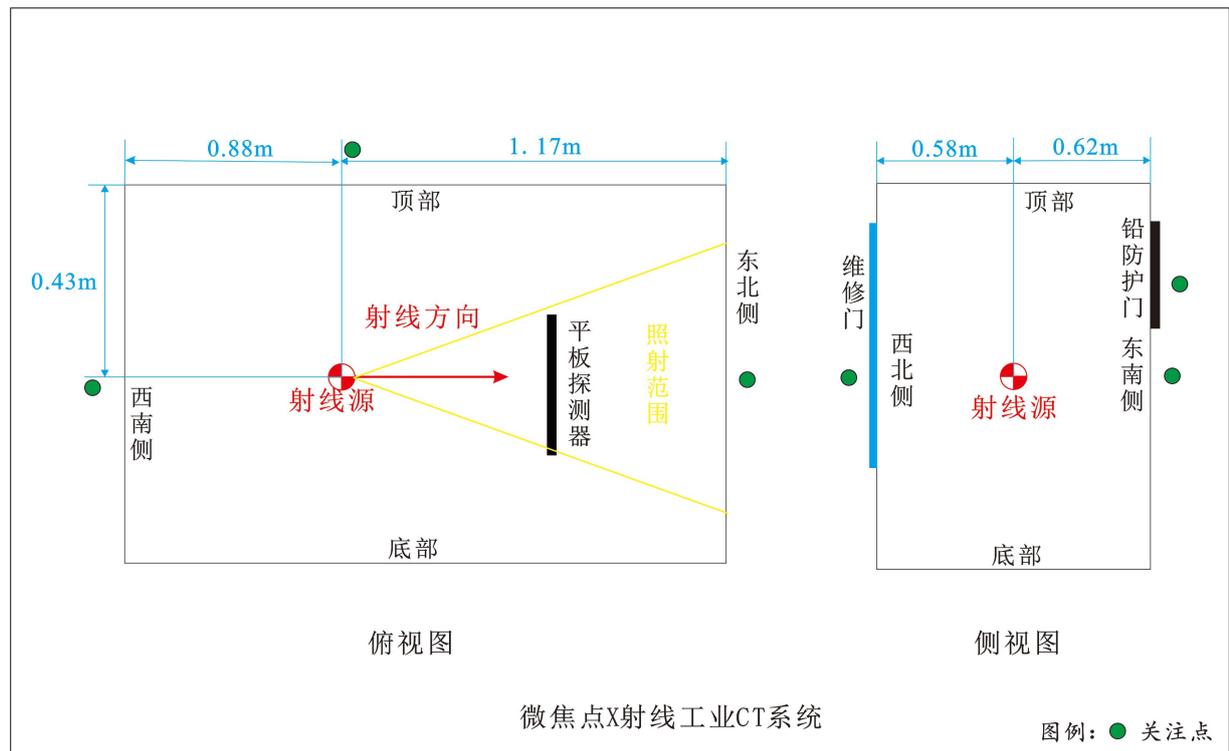
t—年工作时间，h/a。”

## 屏蔽能力分析

### 1、微焦点 X 射线工业 CT 系统

根据建设单位提供的资料，本项目微焦点 X 射线工业 CT 系统安装后，X 射线有用线束定向向东北方向照射，最大管电压为 160kV，最大功率为 80W。微焦点 X 射线工业 CT 系统每天最长照射时间为 2h，每周最长照射时间 10h，年照射 50 周，年最长照射时间 500h。

射线源距各方向屏蔽体距离见图 11-1。



**图 11-1 射线源距各方向屏蔽体距离及屏蔽体外关注点位置示意图**

各关注点的距离 R、T、U 等因子取值见表 11-3，关注点的导出剂量率参考控制水平  $H_{c,d}$  根据公式 (11-1) 进行计算。

**表 11-3 微焦点 X 射线工业 CT 系统屏蔽体参数选取**

序号	方向 (屏蔽体外 30cm 处)	使用因子 U	居留因子 T	周照射时间 t (h/周)	距离 R (m)	关注点的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	关注点剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	需屏蔽的辐射
1	东北侧面	1	1	10	1.47	10	2.5	有用线束
2	铅防护门	1	1	10	0.81	10	2.5	泄漏辐射、散射辐射
3	东南侧面	1	1	10	0.92	10	2.5	泄漏辐射、散射辐射

续表 11-3 微焦点 X 射线工业 CT 系统屏蔽体参数选取

序号	方向（屏蔽体外 30cm 处）	使用因子 U	居留因子 T	周照射时间 t (h/周)	距离 R (m)	关注点的导出剂量率参考控制水平 Hc.d (μSv/h)	关注点剂量率参考控制水平 Hc (μSv/h)	需屏蔽的辐射
4	西南侧面	1	1	10	1.18	10	2.5	泄漏辐射、散射辐射
5	西北侧面（维修铅门）	1	1	10	0.88	10	2.5	泄漏辐射、散射辐射
6	顶部	1	1	10	0.73	10	2.5	泄漏辐射、散射辐射

备注：① 该系统设备底部屏蔽体厚度为 5.5mm 铅当量，下方为地面，地面下方为土层，因此不考虑底部屏蔽厚度；

② 此设备射线源位置固定，关注点最高剂量率参考控制水平  $H_{c,max}=2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目微焦点 X 射线工业 CT 系统为搬迁设备，该设备于 2023 年 8 月 24 日进行年度监测，监测报告（XAZC-JC-2023-0287）。该设备工作场所监测数据见表 11-4，监测点位示意图见图 11-2，图 11-3。

表 11-4 微焦点 X 射线工业 CT 系统工作场所监测数据

监测点位	监测点位描述	周围剂量当量率 (μSv/h)		
		均值	标准偏差	
1	样品进出防护门外表面 30cm 处 (东南侧)	上缝	0.114	0.002
2		下缝	0.109	0.001
3		左缝	0.107	0.001
4		右缝	0.107	0.001
5		中部（观察窗）	0.105	0.001
6	屏蔽体西侧外表面 30cm 处 (东南侧)	北侧	0.107	0.001
7		中部	0.106	0.001
8		南侧	0.107	0.001
9	屏蔽体北侧外表面 30cm 处 (西南侧)	东侧	0.122	0.001
10		西侧	0.121	0.002
11	维修门外表面 30cm 处 (西北侧)	上缝	0.105	0.001
12		下缝	0.105	0.001
13		左缝	0.106	0.002
14		左侧	0.113	0.001
15		中缝	0.104	0.001
16		右侧	0.121	0.001
17		右缝	0.105	0.002

续表 11-4 微焦点 X 射线工业 CT 系统屏蔽外 30cm 处监测数据

监测点位	监测点位描述		周围剂量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	
			均值	标准偏差
18	屏蔽体南侧外表面 30cm 处 (东北侧)	西侧	0.106	0.001
19		东侧	0.104	0.002
20	屏蔽体顶部外表面 30cm 处	北侧	0.109	0.002
21		中部	0.110	0.001
22		南侧	0.109	0.001
23	屏蔽体顶部通风口外 30cm 处		0.107	0.001
24	线缆孔外 30cm 处		0.106	0.001
25	工作人员操作位		0.108	0.001
	工作人员操作位 (本底值)		0.097	0.001
26	大厅		0.110	0.001
27	工位 1		0.107	0.001
28	样品操作位		0.109	0.002

备注：① 表中监测点位屏蔽体方位描述为该设备搬迁之前所在方位；  
 ② 括号内方位为该设备搬迁之后屏蔽体所在方位；  
 ③ 监测结果已校准，未扣除本底值；  
 ④ 监测条件：微焦点 X 射线工业 CT 系统正常工作，管电压 160kV，管电流 450 $\mu\text{A}$ 。

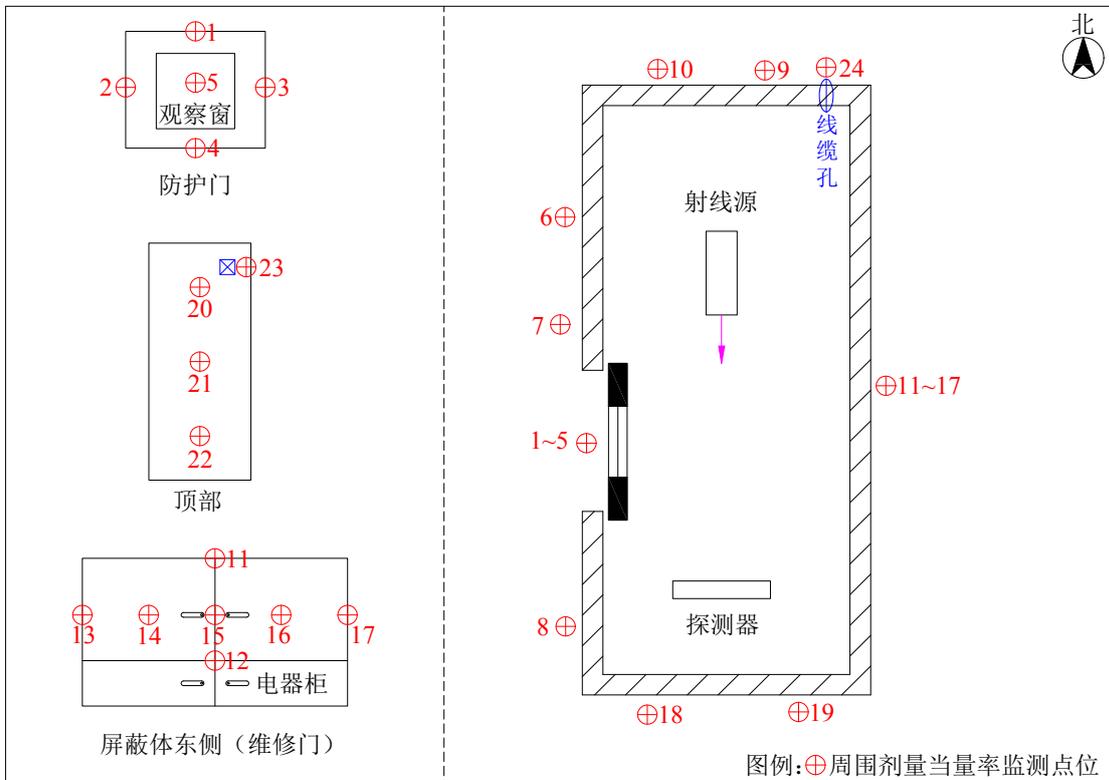


图 11-2 微焦点 X 射线工业 CT 系统工作场所监测点位示意图

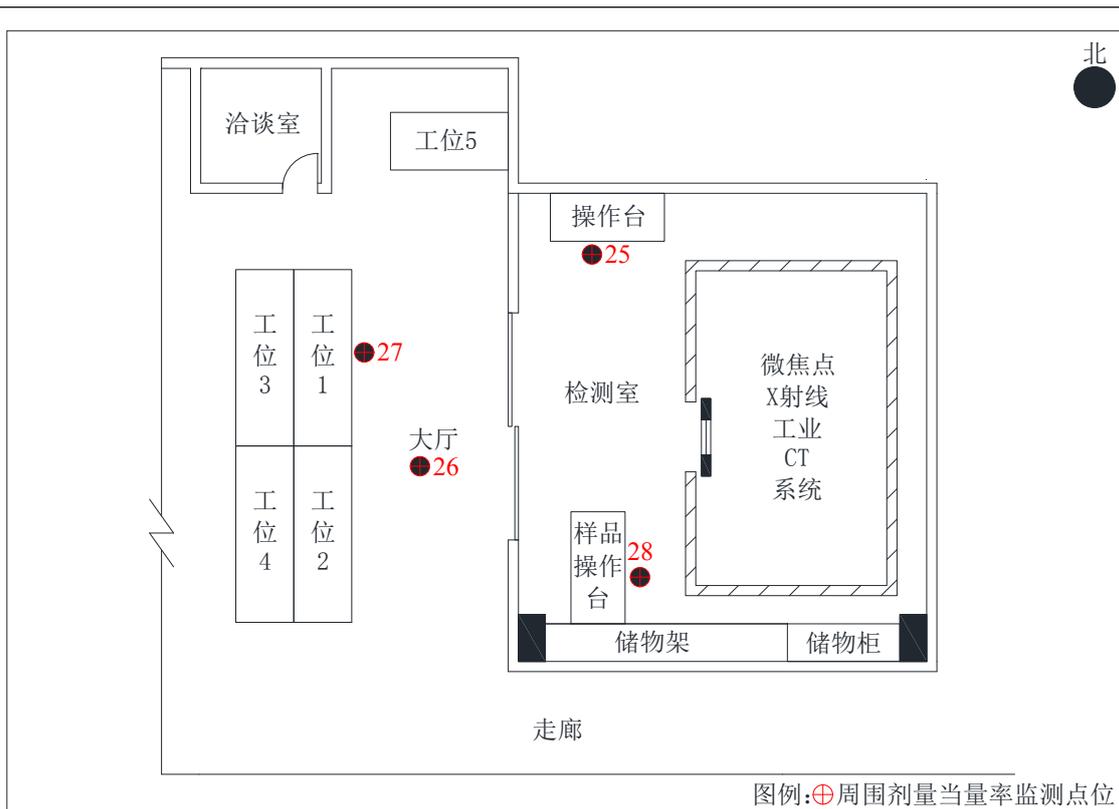


图 11-3 微焦点 X 射线工业 CT 系统周围人员活动区域监测点位示意图

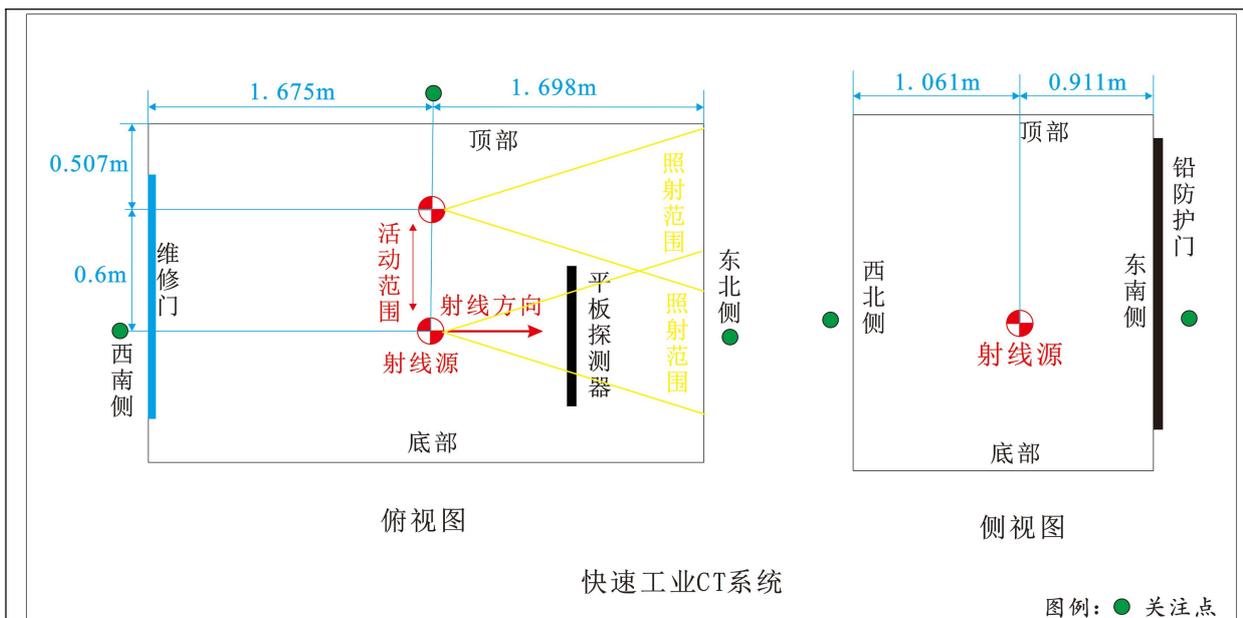
根据现场监测，微焦点 X 射线工业 CT 系统正常工作状态下，防护门外表面 30cm 处及屏蔽体四周外表面 30cm 处各监测点位周围剂量当量率测量值范围为 (0.104~0.122)  $\mu\text{Sv/h}$ 。满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022) 中 6.1.3 条款的要求，即“X 射线探伤室墙和入口门的辐射屏蔽应满足：b) 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”。

## 2、快速工业 CT 系统

### (1) 理论估算参数

根据建设单位提供的资料，本项目快速工业 CT 系统安装后，X 射线有用线束定向向东北方向照射，最大管电压为 300kV，管电流为 3mA。快速工业 CT 系统每台设备每天最长照射时间为 1.6h，每周最长照射时间 8h，年照射 50 周，年最长照射时间 400h。

根据设备厂家资料，快速工业 CT 系统 X 射线距靶原点（靶点）1m 处的输出量取  $11.3\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ；300kV 管电压下泄漏辐射剂量率取  $5\times 10^3\mu\text{Sv/h}$ ；X 射线  $90^\circ$  散射辐射最高能量对应的 kV 值取 200kV，200kV 管电压下铅的 HVL 为 0.42mm，TVL 为 1.4mm。射线源距各方向屏蔽体距离见图 11-4。



**图 11-4 射线源距各方向屏蔽体距离及屏蔽体外关注点位置示意图**

各关注点的距离 R、T、U 等因子取值见表 11-5，关注点的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$  根据公式 (11-1) 进行计算。

**表 11-5 快速工业 CT 系统屏蔽体参数选取**

序号	方向 (屏蔽体外 30cm 处)	使用因子 U	居留因子 T	周照射时间 t (h/周)	距离 R (m)	关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	关注点剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	需屏蔽的辐射
1	东北侧面	1	1	8	2.0	12.5	2.5	有用线束
2	铅防护门	1	1	8	1.3	12.5	2.5	泄漏辐射、散射辐射
3	东南侧面	1	1	8	1.2	12.5	2.5	泄漏辐射、散射辐射
4	西南侧面 (维修铅门)	1	1	8	2.0	12.5	2.5	泄漏辐射、散射辐射
5	西北侧面	1	1	8	1.4	12.5	2.5	泄漏辐射、散射辐射
6	顶部	1	1	8	0.8	12.5	2.5	泄漏辐射、散射辐射

备注：① 该系统设备底部屏蔽体厚度为 16mm 铅当量，下方为地面，地面下方为土层，因此不考虑底部屏蔽厚度；

② 关注点距离 R 取射线源距离该方向屏蔽体最近时的距离；

③ 关注点最高剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,max}=2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

## (2) 快速工业 CT 系统屏蔽厚度估算结果

根据上文公式，估算微焦点 X 射线工业 CT 系统 300kV 条件工作时各屏蔽面所需屏

蔽厚度，本次预测中所取的参数见表 11-6，估算结果见表 11-7。

表 11-6 辐射预测参数取值表

有用线束			泄漏辐射		散射辐射		
$\dot{H}_C$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	I (mA)	$H_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ )	$\dot{H}_C$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$H_L$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$\dot{H}_C$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	I (mA)	$H_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ )
2.5	3	678000	2.5	5000	2.5	3	678000

表 11-7 快速工业 CT 系统屏蔽体防护厚度核算

屏蔽面（屏蔽体外 30cm 处）		$\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	屏蔽透射因子 B	防护厚度 (mm)	设计防护厚度 (mm)	符合性
东北侧面	有用	2.5	$4.92\times 10^{-6}$	22	25mm 铅板 +4.5mm 钢板	符合
铅防护门	泄漏	2.5	$8.45\times 10^{-4}$	10	11.7 16mm 铅板 +6.5mm 钢板	符合
	散射	2.5	$1.04\times 10^{-4}$	5.3		
东南侧面	泄漏	2.5	$7.20\times 10^{-4}$	10.2	11.9 16mm 铅板 +4.5mm 钢板	符合
	散射	2.5	$8.85\times 10^{-5}$	5.7		
西南侧面 (维修铅门)	泄漏	2.5	$2.00\times 10^{-3}$	8	9.7 16mm 铅板+7mm 钢板	符合
	散射	2.5	$2.46\times 10^{-4}$	5.1		
西北侧面	泄漏	2.5	$9.80\times 10^{-4}$	9.5	11.2 16mm 铅板 +4.5mm 钢板	符合
	散射	2.5	$1.20\times 10^{-5}$	5.5		
顶部	泄漏	2.5	$3.20\times 10^{-4}$	12	13.7 16mm 铅板 +4.5mm 钢板	符合
	散射	2.5	$3.93\times 10^{-5}$	6.2		

注：① TVL：根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 B.2，X 射线管电压为 300kV 时，对应铅的什值层厚度为 5.7mm，半值层（HVL）厚度为 1.7mm；

② 公式 9 中，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）附录 B.4.2， $R_0^2/(F\cdot\alpha)$  因子的值保守取 50（200kV~400kV）；

③ X 射线 90° 散射辐射最高能量相应的 kV 值，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中表 2 取 200kV，对应的铅什值层厚度 TVL 为 1.4mm，HVL 为 0.42mm；

④ 有用线束及泄漏射线根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中图 B.1 查询屏蔽透射因子相应的防护厚度；

⑤ 设备屏蔽体防护厚度核算时不考虑被照射工件的厚度；

⑥ 顶部的防护厚度计算忽略中间层对散射辐射的屏蔽作用。

由表 11-7 可知，本项目快速工业 CT 系统屏蔽体各侧面、顶部、铅防护门的设计辐射防护厚度均大于达到剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$  时的屏蔽防护厚度，因此，设备屏蔽体的设计厚度满足防护要求。

### （3）工作场所辐射剂量率估算

本次评价的快速工业 CT 系统自带屏蔽体，按照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中相关公式估算设备屏蔽体外 30cm 处各关注点剂量率，项目屏蔽

体各关注点示意图见图 11-4。屏蔽体各关注点剂量率估算结果见表 11-8：

表 11-8 屏蔽体各关注点剂量率估算结果

关注点 编号	关注点（屏蔽体 外 30cm 处）	屏蔽设计 铅当量 <sup>①</sup>	与辐射源点 距离（m）	最大管电 流（mA）	剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）			总剂量率 （ $\mu\text{Sv/h}$ ）
					有用线束	泄漏	散射	
1	东北侧面	25mmPb	2.0	3	0.763	/	/	0.763
2	铅防护门	16mmPb	1.3	3	/	0.169	$8.97 \times 10^{-8}$	0.169
3	东南侧面	16mmPb	1.2	3	/	0.198	$1.05 \times 10^{-7}$	0.198
4	西南侧面	16mmPb	2.0	3	/	0.071	$3.79 \times 10^{-8}$	0.071
5	西北侧面（维修 铅门）	16mmPb	1.4	3	/	0.145	$7.74 \times 10^{-8}$	0.145
6	顶部	16mmPb	0.8	3	/	0.445	$2.37 \times 10^{-7}$	0.445

注：①由于本项目屏蔽体设计中内壁钢板、外壁钢板的折算铅当量均较小，因此，在本次计算中屏蔽设计铅当量的辐射防护效果，仅按照铅板的铅当量进行计算；

②根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中图 B.1，对于有用线束和泄露射线 25mmPb 的透射因子约为  $1.5 \times 10^{-6}$ 、16mmPb 的透射因子约为  $5.7 \times 10^{-5}$ ；

③关注点剂量率估算时不考虑被照射工件的屏蔽作用。

由表可知，快速工业 CT 系统在最大工作状态下，四周屏蔽体、铅防护门外 30cm 处各关注点剂量率范围为（0.071~0.763） $\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中 6.1.3 条款的要求，即“X 射线探伤室墙和入口门的辐射屏蔽应满足：b）屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”。

设备屏蔽体顶部 30cm 处剂量率为  $0.445\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中 6.1.4 条款的要求，即“探伤室顶的辐射屏蔽应满足：a）探伤室上方已建建筑物，探伤室顶部屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”。

## 辐射工作人员及公众年有效剂量估算

### 1、微焦点 X 射线工业 CT 系统

根据表 11-4 中微焦点 X 射线工业 CT 系统工作时设备外各关注点的剂量率，保守取屏蔽体外 30cm 处最大值估算辐射工作人员年有效剂量，结果见表 11-9。对于公众：屏蔽体外 30cm 处接近辐射环境本底水平，公众均在检测室外活动，考虑距离及检测室墙体的衰减作用基本可以达到辐射环境本底水平，因此不考虑微焦点对公众的辐射剂量影

响。

表 11-9 辐射工作人员年有效剂量估算表

关注点	受照者类型	距辐射源点距离 (m)	剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	居留因子	年受照射时间 (h)	年附加有效剂量 (mSv)
操作位	职业照射	4.00	0.122	1	500	0.061

备注：操作位剂量率取该设备屏蔽体外 30cm 处监测数据最大值（未扣除本底值），监测数据见表 11-4。

## 2、快速工业 CT 系统

根据表 11-8 中快速工业 CT 系统工作时设备外各关注点的剂量率，计算辐射工作人员及公众的年有效剂量，公众取检测室周围临近区域，公众关注点分布见图 11-5，结果见表 11-10，表 11-11。

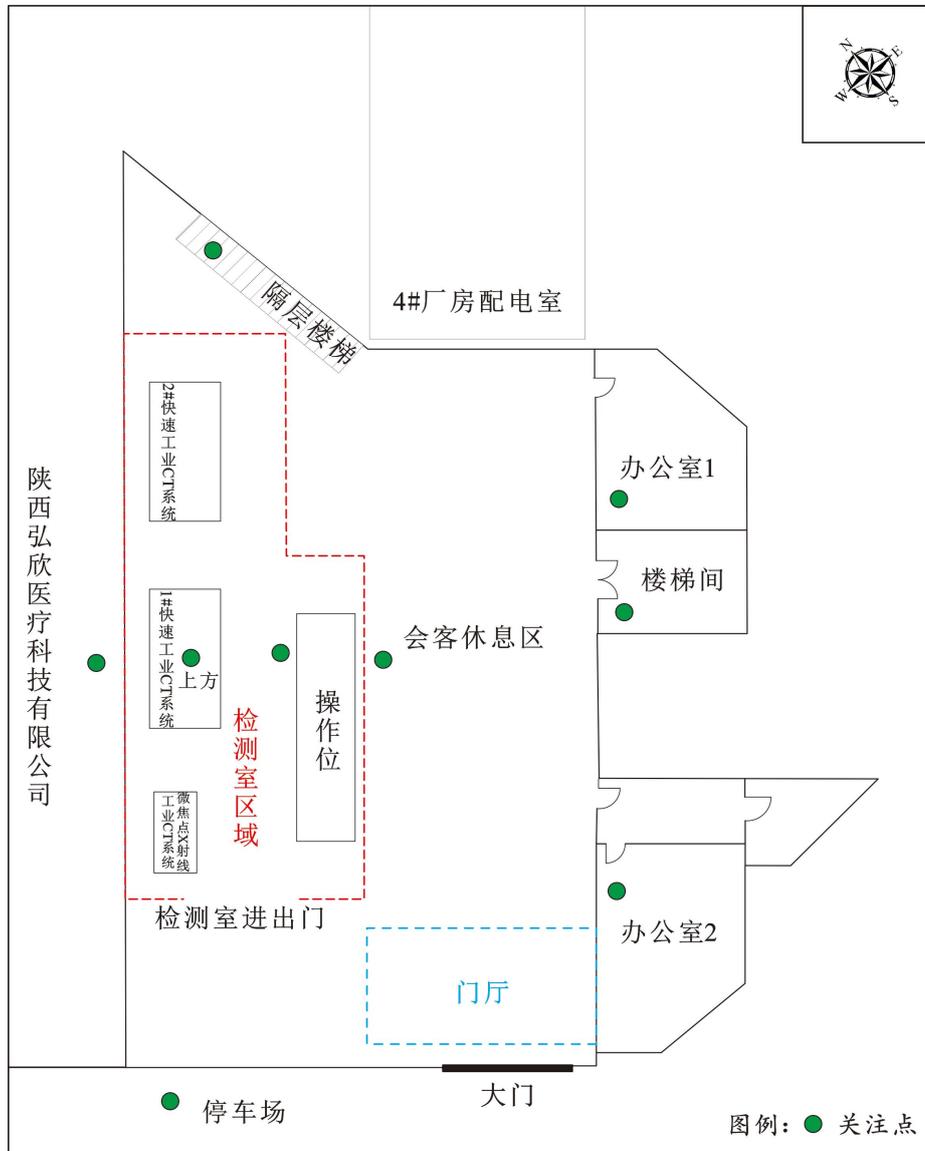


图 11-5 受照剂量计算关注点示意图

**表 11-10 1#快速工业 CT 系统辐射工作人员及公众年有效剂量估算表**

关注点	受照者类型	距辐射源点距离 (m)	剂量率 (μSv/h)				居留因子	年受照射时间 (h)	年附加有效剂量 (mSv)
			有用线束率	泄漏剂量率	散射剂量率	总剂量率			
操作位	职业照射	4.0	/	0.018	9.48×10 <sup>-9</sup>	0.018	1	400	7.12×10 <sup>-3</sup>
会客休息区	公众照射	4.7	/	0.013	6.86×10 <sup>-9</sup>	0.013	0.5	400	2.58×10 <sup>-3</sup>
办公室 1		12.5	/	1.82×10 <sup>-3</sup>	9.70×10 <sup>-10</sup>	1.82×10 <sup>-3</sup>	1	400	7.30×10 <sup>-4</sup>
办公室 2		12.0	/	1.98×10 <sup>-3</sup>	1.05×10 <sup>-9</sup>	1.98×10 <sup>-3</sup>	1	400	7.92×10 <sup>-4</sup>
楼梯间		8.5	/	3.94×10 <sup>-3</sup>	2.10×10 <sup>-9</sup>	3.94×10 <sup>-3</sup>	0.125	400	1.97×10 <sup>-4</sup>
陕西弘欣医疗科技有限公司		1.4	/	0.150	7.96×10 <sup>-8</sup>	0.150	1	400	0.030
隔层办公室		1.6	/	0.119	6.31×10 <sup>-8</sup>	0.119	1	400	0.047
隔层楼梯		11	0.025	/	/	0.025	0.125	400	1.26×10 <sup>-3</sup>
停车场		12.5	/	1.82×10 <sup>-3</sup>	9.70×10 <sup>-10</sup>		0.125	400	9.12×10 <sup>-5</sup>

注：① 本次在公众年有效剂量计算中，忽略检测室屏蔽作用；  
 ② 辐射工作人员及公众处的剂量率估算时不考虑被照射工件的屏蔽作用。

**表 11-11 2#快速工业 CT 系统辐射工作人员及公众年有效剂量估算表**

关注点	受照者类型	距辐射源点距离 (m)	剂量率 (μSv/h)				居留因子	年受照射时间 (h)	年附加有效剂量 (mSv)
			有用线束率	泄漏剂量率	散射剂量率	总剂量率			
操作位	职业照射	4.5	/	0.014	7.48×10 <sup>-9</sup>	0.014	1	400	5.63×10 <sup>-3</sup>
会客休息区	公众照射	3.2	/	0.028	1.48×10 <sup>-8</sup>	0.028	0.5	400	5.57×10 <sup>-3</sup>
办公室 1		10.5	/	2.58×10 <sup>-3</sup>	1.38×10 <sup>-9</sup>	2.58×10 <sup>-3</sup>	1	400	1.03×10 <sup>-3</sup>
办公室 2		14.0	/	1.45×10 <sup>-3</sup>	7.74×10 <sup>-10</sup>	1.45×10 <sup>-3</sup>	1	400	5.82×10 <sup>-4</sup>
楼梯间		8.5	/	3.94×10 <sup>-3</sup>	2.10×10 <sup>-9</sup>	3.94×10 <sup>-3</sup>	0.125	400	1.97×10 <sup>-3</sup>
陕西弘欣医疗科技有限公司		1.38	/	0.150	7.96×10 <sup>-8</sup>	0.150	1	400	0.030
隔层办公室		1.55	/	0.118	6.31×10 <sup>-8</sup>	0.119	1	400	0.047
隔层楼梯		5.5		0.100	/	/	0.125	400	0.005
停车场		18		8.80×10 <sup>-4</sup>	4.68×10 <sup>-10</sup>	8.80×10 <sup>-4</sup>	0.125	400	4.40×10 <sup>-5</sup>

注：① 本次在公众年有效剂量计算中，忽略检测室屏蔽作用；  
 ② 辐射工作人员及公众处的剂量率估算时不考虑被照射工件的屏蔽作用。

本项目 3 套工业 CT 系统拟布置于同一间检测室，存在同时工作的情况，保守估计，辐射工作人员及公众的年有效剂量取 3 套工业 CT 系统年附加有效剂量之和。辐射工作人员及公众的年有效总剂量见表 11-12。

表 11-12 工业 CT 系统辐射工作人员及公众年有效总剂量估算表

关注点	受照者类型	微焦点 X 射线工业 CT 系统年附加有效剂量 (mSv)	1#快速工业 CT 系统年附加有效剂量 (mSv)	2#快速工业 CT 系统年附加有效剂量 (mSv)	年附加有效总剂量 (mSv)
操作位	职业照射	0.061	$7.12 \times 10^{-3}$	$5.63 \times 10^{-3}$	0.074
会客休息区	公众照射	/	$2.58 \times 10^{-3}$	$5.57 \times 10^{-3}$	0.008
办公室 1		/	$7.30 \times 10^{-4}$	$1.03 \times 10^{-3}$	0.002
办公室 2		/	$7.92 \times 10^{-4}$	$5.82 \times 10^{-4}$	0.001
楼梯间		/	$1.97 \times 10^{-4}$	$1.97 \times 10^{-3}$	$3.94 \times 10^{-4}$
陕西弘欣医疗科技有限公司		/	0.030	0.030	0.060
隔层办公室		/	0.047	0.047	0.095
隔层楼梯		/	$1.26 \times 10^{-3}$	0.005	0.006
停车场		/	$9.12 \times 10^{-5}$	$4.40 \times 10^{-5}$	$1.35 \times 10^{-4}$

注：微焦点 X 射线工业 CT 系统工作时设备外各关注点的剂量率监测数据接近辐射环境本底水平，公众均在检测室外活动，考虑距离及检测室墙体的衰减作用基本可以达到辐射环境本底水平，因此不考虑微焦点 X 射线工业 CT 系统对公众的辐射剂量影响。

由表 11-12 可知，本项目运行后，3 套工业 CT 系统对辐射工作人员产生的有效剂量为 0.074mSv/a，对公众有效剂量为 ( $1.35 \times 10^{-4} \sim 0.095$ ) mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 附录 B 剂量限值要求，以及本次环评提出的剂量约束值 (职业工作人员 $\leq 5$ mSv/a，公众 $\leq 0.1$ mSv/a)。

## 事故影响分析

### 1、事故风险因素分析

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 449 号）第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故 4 个等级，详见表 11-13。

表 11-13 辐射事故等级划分表

事故等级	事故情形
特别重大辐射事故	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射源同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡
重大辐射事故	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾
较大辐射事故	III 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以上（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾
一般辐射事故	IV 类、V 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射

本项目运行期可能发生的辐射事故主要为门-机联锁失效导致操作人员或公众在防护铅门处被误照射，发生以上事故时，可能导致职业人员或公众超剂量照射，属于一般辐射事故。

### 2、事故风险评价

本次假设防护门失效人员在铅门外受到误照射，有用线束向东北方向照射，工作人员一般在东南侧防护门附近活动，在事故状态下主要受到泄漏辐射及散射辐射。根据估算，人员在距 X 射线机不同距离时所受的有效剂量估算结果见表 11-14。

表 11-14 事故工况下人员所受剂量估算结果

受照时间 与 X 射线机距离 (m)	设备	0.1 mSv	5 mSv
1.3 (铅防护门处)	快速工业 CT 系统	12.3s	10.3min
0.81 (钱防护门处)	微焦点 X 射线工业 CT 系统	52.5s	43.8min

根据表 11-14 可知，本项目快速工业 CT 系统发生一般辐射安全事故时，误照射 12.3s 可达到 0.1mSv，误照射 10.3min 所受照射剂量可达到职业人员年剂量约束值 5mSv；微焦点 X 射线工业 CT 系统发生一般辐射安全事故时，误照射 52.5s 可达到 0.1mSv，误照射 43.8min 所受照射剂量可达到职业人员年剂量约束值 5mSv

因此在发生该事故后：

- ① 第一时间切断电源，确保工业 CT 系统停止出束；
- ② 立即向单位领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入；
- ③ 对可能受到大剂量照射的人员，及时送医院检查和治疗。

根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145号）及《陕西省放射性污染防治条例》，当发生或发现辐射事故时，公司应当立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，在事故发生后 1h 后向所在地生态环境报告，并在 2h 内填写《辐射事故初始报告表》，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生部门报告。

### **3、辐射事故防范措施建议**

(1) 辐射工作人员须在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台考试并取得合格证明后方可上岗，严格按照操作规程操作，如出现设备不能正常运行或无法停止照射时，应立即切断总电源，强制停止照射；

(2) 为防止门-机联锁失效导致操作人员在铅防护门处受到误照射，每次照射前应进行检查，确保铅防护门关闭，工作人员应按要求佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

(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**

**1、辐射安全管理机构设置**

根据《中华人民共和国环境保护法》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条“使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作”的要求，为了加强射线装置的安全和防护监督管理，以正确应对突发性辐射事故，确保事故发生后能快速有效地进行现场应急处理、处置，维护和保障工作人员和公众的生命和财产安全。

西安奥云电子科技有限公司已成立了以公司主要领导为组长，项目负责人为成员的安全委员会，负责公司日常辐射安全监管和协调工作，并安排专业人员负责该公司辐射安全管理工作，并已根据陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化相关规定，明确了公司决策层、辐射防护负责人、放射性作业人员相关工作职责。公司已成立辐射安全管理机构主要职责为：

- (1) 认真贯彻落实国家法律法规的有关规定；
- (2) 对公司使用的射线装置的安全和防护工作负责，并依法对其造成的放射性危害承担责任；
- (3) 组织制定并落实辐射防护相关管理制度；
- (4) 按照国家有关规定，定期组织对射线装置工作场所和设备进行辐射防护监测和年度评估，发现安全隐患的，及时整改、确保设备正常使用、安全有效；
- (5) 组织对放射性操作人员进行辐射与安全防护培训，进行个人剂量检查、职业健康检查，并建立个人剂量档案和职业健康监护档案；
- (6) 制定辐射事故应急预案并定期组织演练；
- (7) 记录公司发生的辐射事故并及时报告生态环境主管部门等相关管理部门。

**3、人员配备与职能**

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十五条的规定：从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（公告 2019 年第 57 号），辐

射安全与防护培训需求的人员可通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习相关知识。

本项目拟配置辐射工作人员 6 名，本次新增的 4 名辐射工作人员应在国家核技术利用辐射安全与培训平台进行学习并参加考试，取得辐射安全与防护考核合格证书，持证上岗。

### **辐射安全管理规章制度**

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中第十六条第六款的要求，使用射线装置的单位应当具备有健全的操作规程、岗位职责、辐射安全和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等；第七款的要求，使用射线装置的单位有完善的辐射事故应急措施。

根据相关法律法规和《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）要求，西安奥云电子科技有限公司已制定《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》《工业 CT 维护、维修制度》《工业 CT 系统操作规程》《辐射工作人员岗位职责》《辐射工作人员培训制度》《辐射工作人员个人剂量管理制度》《辐射工作人员健康体检管理制度》《工作场所监测制度》《辐射防护和安全管理制度》《辐射事故应急处理预案》等规章制度。

针对本次新增快速工业 CT 系统，公司应补充设备操作规程并严格按照规程操作，对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案，并完善相关辐射安全管理制度。

## 辐射监测

为了保证本项目运行过程的安全，控制和评价辐射危害，设置了相应的辐射剂量监测手段，使工作人员和公众所受照射剂量合理尽可能低。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）和《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中的相关规定，本项目监测内容包括：个人剂量监测、工作场所监测。

### 1、监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第五款，“配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器”。

环评要求：设备检测前，需保证辐射工作人员均配备个人剂量计和个人剂量报警仪；加强检测管理和辐射工作人员职业健康检查管理，保证每名辐射工作人员的个人剂量计每个季度送有资质部门检测一次，做到定期送检，专人专戴；应建立辐射工作人员个人剂量档案；定期组织辐射工作人员体检，建立有辐射工作人员个人健康档案；便携式监测仪器依托公司现有监测仪器。

### 2、监测计划

根据本项目工业 CT 系统工作特点，制定辐射环境监测计划。个人剂量监测和工作场所监测的监测内容、点位布设及监测频次见表 12-1。西安奥云电子科技有限公司应严格执行此监测计划，并保存监测记录。

表 12-1 辐射环境监测计划表

工作场所	监测因子	监测点位/对象	监测频次
工业 CT 系统	周围剂量当量率	设备屏蔽门及缝隙外表面 0.3m 处、屏蔽体四周及顶部外表面 0.3m 处、线缆孔处，周围人员经常活动的位置	年度例行监测：每年由有资质单位监测 1 次
			日常检测：每月至少 1 次
	个人剂量	辐射工作人员的个人剂量计	每季度由有资质单位监测 1 次

## 项目环保投资及竣工环境保护验收

### 1、项目环保投资估算

本项目总投资 350 万元，其中环保投资 30 万元，占总投资的 8.57%，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 12-2。

表 12-2 项目环保投资估算表

类别	污染源	污染防治措施或设施	费用 (万元)
辐射防护措施	X 射线	分区标识、电离辐射警示标识等	0.7
个人防护用品	X 射线	新增个人剂量计 4 枚	0.4
		新增个人剂量报警仪 4 台	1.6
辐射工作人员		新增 4 名辐射工作人员体检、培训	0.8
		检测室围墙建设	8.0
		排风管道建设	5.0
		工作场所定期监测，个人剂量定期监测	3.5
		环评及验收技术服务	10.0
		总投资（万元）	30.0

## 2、竣工环境保护验收内容及要求

根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日），本项目竣工后，企业应及时对项目配套建设的环境保护设施进行自主验收，编制验收监测报告表。项目竣工环保验收清单（建议）见表 12-3，验收合格并取得辐射安全许可证后，方可投入生产或使用。

表 12-3 项目竣工环境保护验收清单（建议）

序号	验收内容	防护措施
1	辐射安全管理	针对新增设备进一步完善操作规程、岗位职责、监测制度、应急预案等，使其满足《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》（陕环办发〔2018〕29 号）等要求，避免辐射事故的发生。
2	剂量限值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），本项目公众年有效剂量约束值取 0.1mSv，职业人员年有效剂量管理约束值取 5 mSv。验收按照以上标准执行。 按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022），铅室外各关注点最高周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。
3	辐射安全防护措施	布局合理，划定控制区及监督区，设置明显的分区标识 项目铅室的建设和布局符合环评报告描述；铅室门-机连锁、标志及指示灯、紧急停机、监控装置等正常有效、运行良好；铅室外设置工作状态指示装置意义说明。
4	辐射监测	定期进行巡测并建立监测档案，每年委托有资质单位检测不少于 1 次
5	培训合格证书	验收时，本项目辐射工作人员应持证上岗，每套工业 CT 应配备有 2 名辐射工作人员
6	职业健康体检	验收时，本项目新增的 4 名辐射工作人员应已进行职业健康体检，并建立健康档案
7	通风	本项目工业 CT 系统铅室自带通排风装置，排风口位于铅室顶部，通过排风管道排至东北侧墙外。
8	个人剂量检测	为本项目新增的 4 名辐射工作人员配备个人剂量计、剂量报警仪，作业时按要求佩戴，定期进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案

## 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条之规定：“生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当根据可能发生的辐射事故的风险，制定本单位的应急方案，做好应急准备”。西安奥云电子科技有限公司应结合单位实际运行情况和本项目的事故工况分析，应制定《辐射事故应急预案》并成立事故应急组织机构，一旦发生事故及时启动应急预案，使事故能得到及时有效的处理。

### 一、辐射应急预案内容

《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应包含的内容都提出了要求，详见表 12-4。

表 12-4 辐射事故应急预案主要内容符合性分析

序号	文件名称	具体条文	条文规定内容
1	《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院 449 号令）	第四十一条	辐射事故应急预案应当包括下列内容：（一）应急机构和职责分工；（二）应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；（三）辐射事故分级与应急响应措施；（四）辐射事故调查、报告和处理程序
2	《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第 18 号令）	第四十三条	辐射事故应急预案应当包括下列内容：（一）应急机构和职责分工；（二）应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；（三）辐射事故分级与应急响应措施；（四）辐射事故的调查、报告和处理程序；（五）辐射事故信息公开、公众宣传方案
3	《陕西省放射性污染防治条例》（2019 年 7 月 31 日修正）	第三十二条	应急预案应当包括下列内容：（一）可能发生的辐射事故及危害程度分析；（二）应急组织指挥体系和职责分工；（三）应急人员培训和应急物资准备；（四）辐射事故应急响应措施；（五）辐射事故报告和处理程序
4	《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）	辐射安全管理部分--应急管理	应急预案应当包括下列内容：（一）可能发生的辐射事故及危害程度分析；（二）应急组织指挥体系和职责分工；（三）应急人员培训和应急物资准备；（四）辐射事故应急响应措施；（五）辐射事故报告和处理程序

西安奥云电子科技有限公司已成立辐射安全与防护管理领导小组作为应急响应机构，针对可能发生的事故类型、环境风险因素，严格按照事故应急处理程序进行事故处理，采取应急处置措施；明确了事故状态下信息报告与联系方式；日常工作中，加强对公司辐射事故应急机构成员的培训，提高领导小组成员应对辐射突发公共事件的知识 and 能力。针对辐射工作人员，加强教育，严格按照操作规程操作，提高核安全文化素养。

公司现已制定《辐射事故应急预案》（见附件），并且不定期组织相关部门开展辐射事故应急演练，根据国家发布的最新法律法规、标准内容，结合公司实际情况，不断对辐射事故应急预案补充修改、完善，提高事故应急处置能力，保证发生辐射事故两小时内将《辐射事故初始报告表》交于西安市生态环境局碑林分局等相关管理部门。

西安奥云电子科技有限公司制定辐射事故应急预案基本可行，在落实上述环评要求的情况下，辐射事故应急领导小组可以应对处置公司可能发生的相关辐射事故。

**表 13 结论与建议**

**结论**

**1、项目概况**

项目名称：X 射线工业 CT 系统核技术利用项目

建设单位：西安奥云电子科技有限公司

建设性质：扩建

建设内容：西安奥云电子科技有限公司拟在陕西省西安市碑林科技产业园 4 号 1 幢 1 单元 10104 室内检测室搬迁入公司原有的 1 套微焦点 X 射线工业 CT 系统，并新增 2 套 AX-3000CT 型快速工业 CT 系统。所有设备均自带屏蔽体，采用实时成像系统。设备主要用于小型低密度金属材料，复合材料，小型零配件等多种材料及构件缺陷的无损检测。

本项目总投资 350 万元，其中环保投资 30 万元，占总投资的 8.57%。

**2、辐射环境影响分析**

(1) 根据搬迁微焦点 X 射线工业 CT 系统的监测报告及拟购快速工业 CT 系统的分析结果，本项目 X 射线工业 CT 系统屏蔽体四周、防护门及顶部的设计厚度均大于估算所需防护厚度，屏蔽设计可以达到防护要求。

(2) 微焦点 X 射线工业 CT 系统在最大工作状态下，四周屏蔽体、铅防护门外 30cm 处各关注点周围剂量当量率测量值范围为 (0.104~0.122)  $\mu\text{Sv/h}$ ；快速工业 CT 系统在最大工作状态下，四周屏蔽体、铅防护门外 30cm 处各关注点剂量率估算结果范围为 (0.071~0.763)  $\mu\text{Sv/h}$ 。监测结果及估算结果均满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022) 中相关要求。

(3) 根据估算结果，本项目对辐射工作人员的有效剂量为 0.074mSv/a，对公众的有效剂量为 (1.35 $\times 10^{-4}$ ~0.095) mSv/a，满足本次环评提出的剂量约束值 (职业工作人员  $\leq 5\text{mSv/a}$ ，公众  $\leq 0.1\text{mSv/a}$ )。

(4) 辐射安全与防护：本项目设备屏蔽体的防护设施按照《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022) 中相关规定执行，拟采取的主要辐射安全措施包括门-机联锁、分区管理、张贴警告标识、设置急停装置等；同时，根据相关法律法规要求成立辐射安全管理领导小组、制定相关辐射安全管理制度。在各项设施、措施正常运行的前提下，可有效防止辐射事故发生。

### 3、辐射安全管理综合能力分析

西安奥云电子科技有限公司已成立了以公司主要领导为组长，项目负责人为成员的辐射安全管理机构；制定了相关辐射安全管理制度、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。公司严格按照规章制度执行，可有效降低人为事故的发生，保证辐射安全。针对本项目新增的工业 CT 系统，应进一步完善相关操作规程、岗位职责、监测制度等规章制度，将其纳入到公司辐射安全管理体系中。

### 4、可行性分析结论

西安奥云电子科技有限公司本次 X 射线工业 CT 系统核技术利用项目符合国家产业政策以及辐射防护实践正当性原则。建设单位在严格落实本次环评提出的辐射防护措施，可以使辐射影响达到合理尽可能低的水平，满足辐射防护最优化原则。项目运行所致工作人员和公众年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，本项目可行。

### 建议与要求

- (1) 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；
- (2) 定期对本项目辐射工作人员的个人剂量进行监测，对设备进行环境辐射水平监测；**建议快速工业 CT 系统设备配备固定式场所辐射探测报警装置；**
- (3) 加强设备屏蔽体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；
- (4) 项目竣工后办理验收手续，验收合格并取得辐射安全许可证后方可投入使用；
- (5) 微焦点 X 射线工业 CT 系统搬迁后对原场所进行退役辐射环境监测；**
- (6) 每年 1 月 31 日前向辐射安全许可证发证机关提交本单位上一年度的辐射安全年度评估报告。

表 14 审批

预审意见:

经办人:

单位公章

年 月 日

下一级环境保护行政主管部门审查意见:

经办人:

单位公章

年 月 日