

表 1 项目基本情况

建设项目名称	宝鸡钛业股份有限公司检测、检验中心及科研中试平台项目—新增电子直线加速器和 X 射线探伤机核技术利用项目				
建设单位	宝鸡钛业股份有限公司				
法人代表	王文生	联系人	田辉	联系电话	13892438746
注册地址	陕西省宝鸡市高新开发区高新大道 88 号				
项目建设地点	陕西省宝鸡市渭滨区宝钛工业园				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）	1645	项目环保投资（万元）	92.2	投资比例（环保投资/总投资）	5.6%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积（m ² ）	699
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		
其它	/				
<p>项目概述</p> <p>一、建设单位概况</p> <p>1、建设单位简介</p> <p>宝鸡钛业股份有限公司是 1999 年 7 月宝钛集团有限公司作为主发起方设立的股份有限公司。公司目前已建立起“海绵钛、熔铸、锻造、板材、带材、无缝管、焊管、棒丝材、铸造、原料处理”十大生产系统，形成 30000t 钛铸锭和 20000t 钛加工材生产能力，是我国钛及钛合金生产、科研基地。</p> <p>2、项目由来</p> <p>为满足高端产品无损检测、理化检测及新技术研发等需求，宝鸡钛业股份有限公司拟建设“宝鸡钛业股份有限公司检测、检验中心及科研中试平台建设项目”。该项目拟在宝钛装备制造（宝鸡）有限公司北跨厂房新建 1 座加速器透照室，新增 1 台 6MeV 电</p>					

子直线加速器；在规划检测检验中心厂房西北角新建 1 座 X 射线透照室，新增 4 台 X 射线探伤机（450kV/45mA、320kV/10mA、250kV/5mA、200kV/5mA）进行无损检测。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《建设项目环境保护管理条例》，本项目需进行环境影响评价。本项目加速器及 X 射线探伤机属于 II 类射线装置，依据《建设项目环境影响评价分类管理名录》及其修改单，本项目属于“五十、核与辐射—191、核技术利用建设项目（不含在已许可场所增加并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）”中“生产、使用 II 类射线装置的”项目，应编制环境影响报告表。

宝鸡钛业股份有限公司于 2019 年 11 月委托我公司对本项目开展环境影响评价工作。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、数据核算等工作，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）的要求，编制完成了《宝鸡钛业股份有限公司检测、检验中心及科研中试平台项目—新增电子直线加速器和 X 射线探伤机核技术利用项目环境影响报告表》。

二、项目概况

1、建设规模

宝鸡钛业股份有限公司拟在宝钛装备制造（宝鸡）有限公司北跨厂房东角建设 1 座加速器透照室及辅助用房，新增 1 台 6MeV 电子直线加速器；在规划检测检验中心厂房西北角建设 1 座 X 射线透照室及辅助用房，新增 4 台 X 射线探伤机。宝鸡钛业股份有限公司与宝钛装备制造（宝鸡）有限公司同属于宝钛集团有限公司的子公司，已对本项目进行协调沟通，同意加速器透照室在宝钛装备制造（宝鸡）有限公司北跨厂房东角进行建设。射线装置情况见表 1-1。

表 1-1 射线装置情况表

设备类型	具体参数		工作场所
6MeV 射线 加速器	能量/MeV	6	宝钛装备制造（宝鸡）有限公司北跨厂房东角加速器透照室
	X 射线束空气吸收剂量率/cGy/min@1m	≥1000	
	X 射线束焦点尺寸/mm	≤2	
	X 射线束均匀度	>62%	
	X 射线束不对称度	≤±5%	
	泄露剂量	≤0.1%	
	照射视野尺寸	由锥角≥30°的圆锥形准直器限定	

续表 1-1 射线装置情况表

设备类型	具体参数		工作场所
X 射线探伤机	最大管电压/管电流	450kV/45mA	规划检测检验中心厂房西北角 X 射线透照室
	曝光类型	定向	
X 射线探伤机	最大管电压/管电流	320kV/10mA	
	曝光类型	定向	
X 射线探伤机	最大管电压/管电流	250kV/5mA	
	曝光类型	定向	
X 射线探伤机	最大管电压/管电流	200kV/5mA	
	曝光类型	定向	

2、工作制度及劳动定员

根据建设单位提供的资料，本项目加速器透照室辐射工作人员3人，X射线透照室辐射工作人员3人，均从现有人员中调配，工作人员均已进行辐射安全培训并取得合格证书，配备了个人剂量计，进行了职业健康体检，建立了个人剂量档案和健康档案。

根据建设单位提供的资料，项目建成后，加速器年工作300d，出束时长3h/d，年出束时长900h；4台X射线机不同时使用，预计年工作天数300d，分两班，每班最多出束时长5h/d，年出束时长3000h。

三、产业政策符合性及实践正当性分析

本项目利用射线装置进行无损检测，系核技术利用项目在工业领域内的运用。根据《产业结构调整指导目录（2019年本）》，属于鼓励类中“三十一、科技服务业—1、工业设计、气象、生物、新材料、新能源、节能、环保、测绘、海洋等专业技术服务，标准化服务、计量测试、质量认证和检验检测服务、科技普及”项目，符合国家产业政策。

项目建成后可提升宝鸡钛业股份有限公司的无损检测技术水准，提高整体装备水平和产品质量。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）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

四、项目选址及周边环境关系

(1) 地理位置

项目位于陕西省宝鸡市渭滨区宝钛工业园，地理位置与交通图见图 1-1。

(2) 周边环境关系

加速器透照室位于宝钛装备制造（宝鸡）有限公司北跨厂房东角，厂房北侧隔道

路为原料厂房，南侧隔道路为锅炉房，东侧为堆料场、西侧为预留用地。加速器透照室东侧为控制室、暗室等辅助用房，南侧为钻床、铣床工位，西侧为钢材库、材料库，北侧隔道路为原料厂房。加速器透照室上方无建筑，地下为土层。

X 射线透照室位于规划检测检验中心厂房西北角，东侧为检测检验中心堆料区、管材涡流自动检测区等，南侧为控制室、暗室等辅助用房，西侧隔道路为钛带厂房，北侧隔道路为钛带循环泵站，X 射线透照室上方无建筑，地下为土层。

加速器透照室、X 射线透照室位置及周边环境关系示意图见图 1-2，加速器透照室周边环境关系见图 1-3，平面布置见图 1-4，X 射线透照室平面布置及周边环境关系见图 1-5。



图 1-1 地理位置与交通图



图 1-2 加速器透照室、X 射线透照室位置及周边环境关系示意图



图 1-3 加速器透照室周边环境关系图

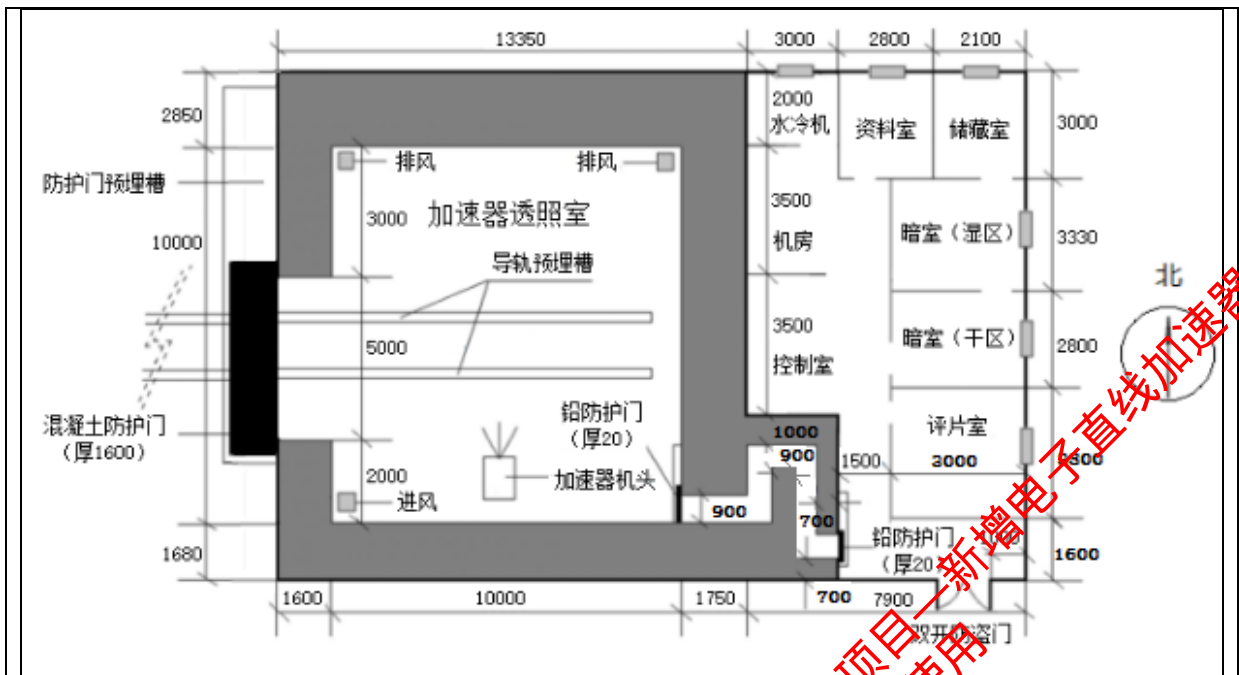


图 1-4 加速器透照室平面布置示意图

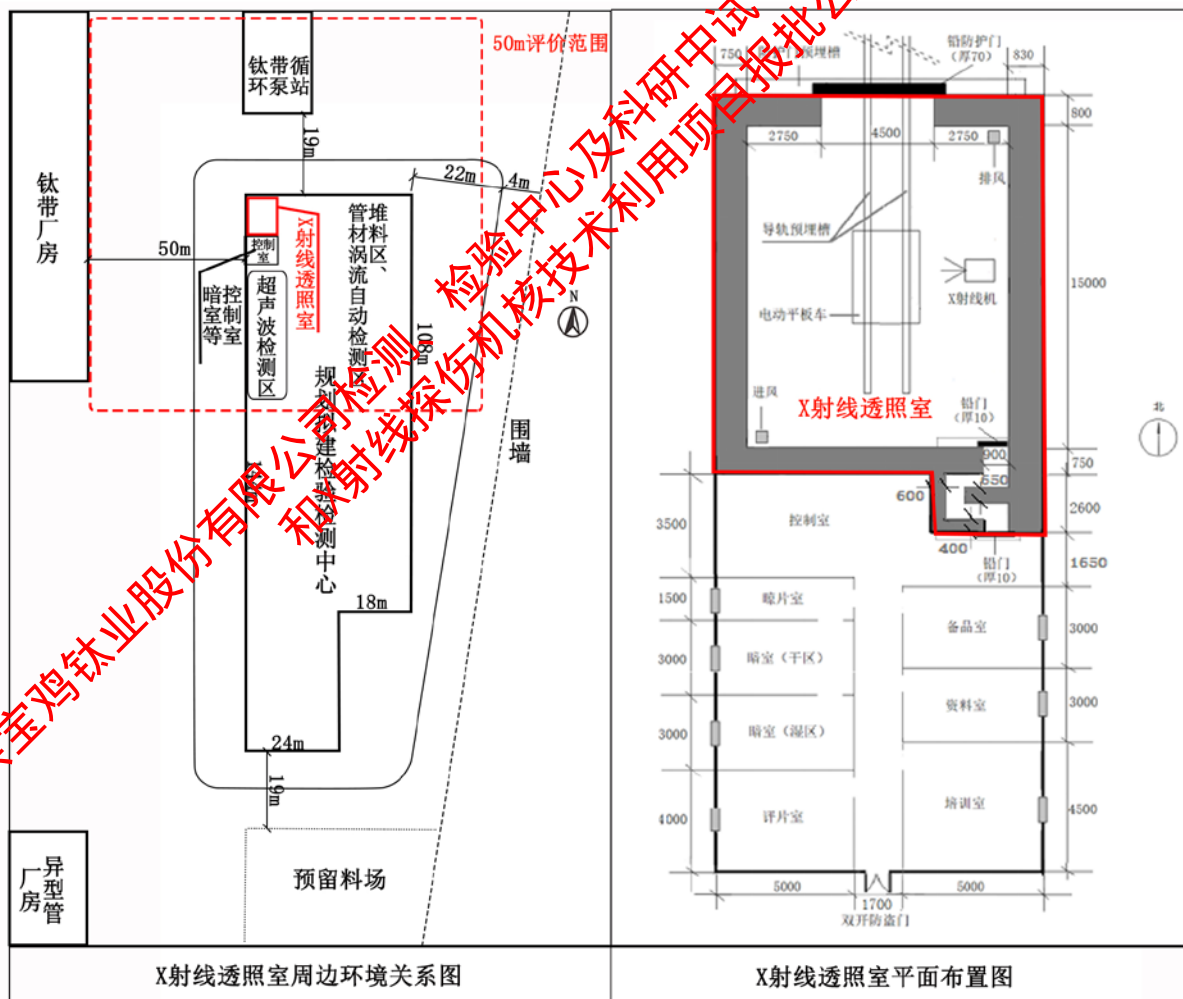


图 1-5 X射线透照室周边环境关系及平面布置图

五、现有核技术利用项目情况

1、环保手续履行情况

宝鸡钛业股份有限公司隶属于宝钛集团有限公司，其辐射环境安全纳入宝钛集团有限公司管理。以下对宝钛集团有限公司的现有核技术利用情况进行说明：

2006年宝钛集团有限公司委托核工业二〇三研究所对“工业 X 探伤、核仪表应用项目”进行了环境影响评价，陕西省生态环境厅于 2007 年 5 月对该项目进行了环评批复（陕环批复〔2007〕330 号），2012 年 5 月对该项目的验收报告进行了批复（陕环批复〔2012〕247 号）。

2019 年宝钛集团有限公司委托西安海蓝环保科技有限公司对“金属复合材生产线扩能建设项目（一）新增 X 射线装置核技术利用项目”进行了环境影响评价，该项目新增 2 台射线探伤机，已取得《陕西省生态环境厅关于宝钛集团有限公司新增 X 射线装置项目环境影响报告表的批复》（陕环批复〔2019〕420 号），项目正在建设中。

2、辐射安全许可证

2020 年 8 月 1 日，宝钛集团有限公司取得变更后的辐射安全许可证，许可证编号为陕环辐证〔10017〕，许可证种类和范围为使用 II 类射线装置，使用 IV 类放射源，有效期至 2025 年 7 月 31 日。

宝钛集团有限公司辐射安全许可证台账明细见表 1-2。

表 1-2 宝钛集团有限公司辐射安全许可证台账明细

放射源							
序号	核素	出厂日期	比活度 (Bq/g)	编码	类别	用途	场所
1	²⁴¹ Am	20041201	3.7E+9	0104AM223234	IV	测厚仪	宝鸡市渭滨区 钛城路 1 号钛 带材料公司四 车间
2	²⁴¹ Am	20041201	3.7E+9	0104AM223224	IV	测厚仪	
射线装置							
序号	装置名称	规格型号	类别	场所		活动种类	
1	工业探伤机	XXG2505	II 类	宝鸡市钛城路 1 号质量部： 铸件站探伤室		使用	
2	工业探伤机	XYD-225	II 类	宝鸡市钛城路 1 号质量部： 铸件站探伤室		使用	
3	工业探伤机	XXQ2005	II 类	宝鸡市钛城路 1 号质量部： 铸件站探伤室		使用	
4	工业探伤机	EV0-200D	II 类	宝鸡市钛城路 1 号质量部： 复合板站探伤室		使用	

续表 1-2 宝钛集团有限公司辐射安全许可证台账明细

射线装置					
序号	装置名称	规格型号	类别	场所	活动种类
5	工业探伤机	XXGH2505	II类	宝鸡市钛城路1号宝钛特种金属有限公司：宝钛特种金属探伤室	使用
6	工业探伤机	XXGH2505	II类	宝鸡市钛城路1号宝钛特种金属有限公司：宝钛特种金属探伤室	使用
7	工业探伤机	XXGHZ3505	II类	宝鸡市钛城路1号宝钛特种金属有限公司：宝钛特种金属探伤室	使用
8	工业探伤机	MXR451/26	II类	宝鸡市钛城路1号质量部：铸件站探伤室	使用
9	工业探伤机	Y.TU450D10	II类	宝鸡市钛城路1号质量部：铸件站探伤室	使用
10	工业探伤机	XXG3005C	II类	宝鸡市钛城路1号质量部：复合板站探伤室	使用

3、辐射安全管理现状

宝鸡钛业股份有限公司隶属于宝钛集团有限公司，其辐射环境安全纳入宝钛集团有限公司管理。根据《宝钛集团有限公司2019年辐射安全年度评估报告》，对宝钛集团有限公司的辐射安全管理现状进行说明。

(1) 辐射防护管理机构

宝钛集团有限公司环境保护委员会，委员会主任为公司总经理；辐射管理工作是环境保护工作的内容之一，并成立了辐射管理工作监督管理小组，组长为主管生产的副总经理，成员有各辐射工作单位的行政一把手和公司环保管理人员组成。辐射安全防护管理机构办公室设在生产安全环保部。

(2) 规章制度建设及落实情况

公司目前已制定了一系列辐射环境管理规章制度，包括辐射设备操作规程、辐射防护管理制度等。公司已编制并下发了《宝钛集团有限公司辐射事故应急预案》，确保辐射作业中的安全防护。

(3) 工作人员培训情况

目前，宝钛集团有限公司在岗辐射工作人员21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。

(4) 个人剂量检测及职业健康检查情况

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。根据陕西新高科辐射技术有限公司出具的职业性外照射个人剂量监测报告，2019 年 10 月至 2020 年 1 月期间，检测人员个人剂量当量为 0.01~0.17mSv，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 年在延安大学咸阳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

公司现有 1 台 X- γ 辐射巡测仪，并制定了《宝钛集团有限公司辐射环境监测方案》，委托有资质单位对辐射工作场所每年进行 1 次定期监测。后期应根据使用放射源及射线装置的厂区数量适当增加监测仪器。

根据陕西源平环保科技有限公司出具的 2019 年宝钛集团有限公司工业 X 射线工作场所放射防护检测报告（监测报告编号：陕源检字〔2019〕第 320 号，见附件），宝钛集团有限公司现有探伤室周围及其关注点的 X、 γ 辐射剂量率为 0.104~0.549 μ Sv/h，结果符合《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）；现有密封源仪表外表面 1m 处 γ 辐射剂量率为 0.185~0.404 μ Sv/h，0.05m 处为 0.685~1.295 μ Sv/h，符合《含密封源仪表的放射卫生防护要求》（GBZ 135-2009）；源库周围及其关注点的 X、 γ 辐射剂量率为 0.187~0.226 μ Sv/h，贮源箱外表面 1m 处的 γ 辐射剂量率为 0.206~0.274 μ Sv/h，0.05m 处为 0.216~0.255 μ Sv/h，符合《油气田测井用密封型放射源卫生防护标准》（GBZ 142-2002）

公司可按时向陕西省生态环境厅提交 2019 年度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。

六、评价目的

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

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

(4) 满足国家和地方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。

仅供宝鸡钛业股份有限公司检测、检验中心及科研中试平台项目—新增电子直线加速器
和X射线探伤机核技术利用项目报批公示使用

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

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

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	6MeV 电子直线加速器	II	1 台	/	电子	6	6×10^2	无损检测	宝钛装备制造(宝鸡)有限公司北跨厂房东北角加速器透照室	新增
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	X 射线探伤机	II 类	1	/	450	45	无损检测	规划检测检验中心 厂房西北角 X 射线 透照室	新增
2	X 射线探伤机	II 类	1	/	320	10	无损检测		新增
3	X 射线探伤机	II 类	1	/	250	5	无损检测		新增
4	X 射线探伤机	II 类	1	/	200	5	无损检测		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)	最大管电流 (mA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
废显(定)影液	液体	/	/	/	230L	/	专用容器分类收集, 暂存在暗室内	定期送交陕西新天地固体废物综合处置有限公司处置
废胶片	固体	/	/	/	23kg	/		
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。

2. 含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度 (Bq/L 或 Bq/kg, 或 Bq/m³) 和活度 (Bq)。

表 6 评价依据

<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;</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》, 2018 年 12 月 29 日;</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》, 2003 年 10 月 1 日;</p> <p>(4) 《建设项目环境影响评价分类管理目录》及其修改单, 生态环境保护部第 1 号令, 2018 年 4 月 28 日;</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》, 国务院令 449 号, 2005 年 12 月 1 日实行, 国务院令 709 号修订, 2019 年 3 月 2 日起实施;</p> <p>(6) 《关于修改<放射性同位素与射线装置安全许可管理办法>的决定》, 环保部令 47 号, 2017 年 12 月 20 日;</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》, 环境保护部 18 号令, 2011 年 5 月 1 日;</p> <p>(8) 《关于发布<射线装置分类>的公告》, 环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号, 2017 年 12 月 6 日;</p> <p>(9) 《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>(10) 《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) 《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T30371-2013);</p> <p>(3) 《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》(HJ785-2016);</p> <p>(4) 《无损检测用电子直线加速器》(GB/T20129-2015);</p> <p>(5) 《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ 117-2015);</p> <p>(6) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014);</p> <p>(7) 《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2001) 及其修改单;</p> <p>(8) 《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>(9) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分: 化学有害因素》(GBZ2.1-2007)。</p>
<p>其他</p>	<p>项目委托书及相关资料</p>

表 7 保护目标及评价标准

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”的要求,确定本项目评价范围为射线装置实体屏蔽墙为边界半径 50m 范围内的区域,评价范围图见图 1-3、1-5。

保护目标

根据加速器透照室及 X 射线透照室周边环境关系图(见图 1-3、1-5)项目环境保护目标主要为辐射工作人员、透照室周边其他工作人员及公众。详见表 7-1。

表 7-1 本项目主要环境保护目标

工作场所	保护对象	人数	相对方位	相对透照距离(m)	剂量约束值(mSv/a)
加速器透照室	辐射工作人员	3 人	东侧控制室、暗室等	2m	5
	公众	约 15 人	南侧钻床、铣床工作区等	2~50m	0.1
		约 5 人	西侧钢材库等	2~50m	
		约 5 人	北侧原料厂房等	2~50m	
流动人员		东侧、北侧道路, 东侧堆料场等	8~50m		
X 射线透照室	辐射工作人员	3 人	东侧控制室、暗室、评片室等	1m	5
	公众	约 2 人	北侧钛带循环泵站	19~50m	
		约 5 人	南侧超声波检测区等	15~50m	
		约 10 人	东侧堆料区、管材涡流检测区等	1~42m	
流动人员		北、西、东侧道路及绿化区	1~50m		

评价标准

一、职业人员和公众的辐射剂量约束值

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)

附录 B 剂量限值:

应对任何工作人员的职业水平进行控制,使之不超过下述限值:由审管部门决定的连续 5 年的平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均),20mSv。

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值:年有效剂量,1mSv。

2、《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T30371-2013)

8.1.3.3 辐射屏蔽室外围的辐射剂量水平应符合 GB18871-2002 的职业照射剂量限值要求(见附录 A);在工程设计时辐射防护设计的剂量规定为:职业照射个人年有效剂量限值为 5mSv;公众成员个人年有效剂量限值为 0.1mSv。

综上,本项目职业照射年有效剂量管理约束值按照 5mSv/a 执行;公众照射年有效剂量约束值对 6MeV 电子直线加速器按照 GB/T30371-2013 执行,即 0.1mSv/a;对 X 射线探伤机按照 GB18871-2002 的 1/4 执行,即 0.25mSv/a。

二、《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T30371-2013)

8.1.3 辐射防护安全要求

8.1.3.1 辐射屏蔽材料采用混凝土时,其强度等级应不低于 C25,密度不应低于 2350kg/m³。

8.1.3.2 辐射屏蔽室的结构及预埋件、穿越防护墙线缆及管道应满足所有设备安装、运行、检修和维修的要求,且不能影响辐射防护效果。

8.1.3.4 屏蔽门与墙体搭接合理,间隙与搭接比值不小于 1/10。

8.1.3.5 辐射屏蔽室应设有功能齐全、性能可靠的安全连锁系统和视频监控、紧急停机开关等装置;装备多个射线源装置时,应能连锁切换。

8.1.3.6 辐射屏蔽室迷道入口处应设置显示加速器装置运行状态的灯光信号和其他警示标志。

8.1.3.7 剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备。

8.1.4.3.1 辐射屏蔽室应根据 GBZ2.1-2007 规定的工作场所的臭氧和氮氧化物等有害气体接触限值(见附录 B.3),结合加速器装置最大能量、最大剂量输出工况进行通

风设计。

B.3 有害气体接触限值

按照 GBZ2.1-2007, 有害气体职业接触限值如下:

- a) 臭氧, 最高容许浓度: $0.3\text{mg}/\text{m}^3$;
- b) 二氧化氮, 时间加权平均容许浓度 $5\text{mg}/\text{m}^3$; 短时间接触容许浓度 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

三、《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》(HJ785-2016)

4.2.1 辐射工作场所的分区

按照 GB18871-2002 的规定, 加速器工业 CT 辐射工作场所分为:

- a) 控制区: 检测室防护门以内区域;
- b) 监督区: 控制室、设备机房、检测工件装卸区域及其他辅助房等区域。

4.2.2 警示标志及设备工作状态标识

在检测室工件及人员入口处, 应设置电离辐射警示标志, 以及加速器工作状态指示装置。电离辐射警示标志及中文警示说明等, 应符合 GB18871-2002 附录 F 中的图 F.1 和图 F.2 要求。

4.3.2 附录 A 所包含的工作场所以及周围环境的屏蔽体(墙)表面大于或等于 30cm 处任何监测点的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

5.2.6 加速器系统应与检测室防护门、紧急停机按钮、射线源开关钥匙等实现安全联锁。只有满足检测室防护门关闭、紧急停机按钮复位、射线源开关钥匙合上等联锁条件, 且加速器系统、工业 CT 设备均准备就绪, 工业 CT 控制系统向加速器系统发出出束允许信号后, 方可启动加速器出束进行 CT 扫描检测。

5.2.7 在加速器系统出束前, 应有不少于 10 秒的声、光预警信号, 声、光预警信号结束后加速器系统方可加高压出束; 出束后应持续发出声、光信号, 直至停束为止。在出束过程中, 5.2.6 的联锁条件一旦不满足, 系统应立刻自动切断高压停止出束, 并发出警示信号。

5.2.8 加速器系统和工业 CT 控制系统的操作控制程序应设置密码, 未经单位辐射安全管理人员允许不得修改。

6.2 加速器工业 CT 工作场所应合理布置, 检测室与控制室及其他辅助用房应分开, 控制室等人员活动频繁的区域, 应避开有用线束的照射方向。

6.3 通往检测室的导线、导管设计宜采用“U”或“Z”等方式的设计, 确需穿越

防护墙的，应不得影响其辐射屏蔽防护效果。

6.6 检测室所有入口处的防护门应与加速器工业 CT 联锁。在防护门开启时，加速器不能高压出束。加速器出束状态下防护门被开启，加速器应自动切断高压停止出束，通过控制台的复位操作后，方可再一次加高压出束；检测室人员入口应设置迷道，有用线束朝向应尽量避免开工件出入口、控制室和迷道。检测室迷道防护门内侧应安设标识明显的紧急开门开关，确保异常情况时人员能从检测室内迅速开门离开。

6.7 检测室、迷道、加速器机头及工业 CT 操作台上应安装紧急停机按钮，检测室墙面、迷道内等处应安装检查复位按钮。紧急停机按钮，复位按钮及紧急开门开关处应设置有明显标识。在紧急停机后，只有通过再次复位后才能重新启动加速器。

6.9 检测室应设置固定式剂量监测装置，对加速器的出束状态进行监测。

6.10 检测室内应有监视装置，其摄像头的安装应保证检测室内，特别是加速器有用线束区域内可视，并在控制室内设置专用监视器，必要时在检测室与控制室之间安设通讯设备。

7.1.1 加速器工业 CT 操作人员和专（兼）职管理人员应经过辐射防护安全培训以及专业技术培训，并经考核合格。操作人员还应符合 GB9445 中射线照相检测人员的身体健康条件，并接受工业 CT 无损检测专业培训。

7.1.2 操作人员应按附录 D 要求，定期检查加速器工业 CT 的安全联锁、紧急停机按钮、射线源开关钥匙、通风换气装置以及剂量监测与警示标志及装置等，确认其处于正常状态。

7.1.3 进入检测室前，操作人员应确认加速器已处于停束状态，并应拔出射线源开关钥匙方可进入。

7.1.4 每次加速器出束之前，操作人员应巡查检测室及迷道，确认检测室及迷道内无人且防护门关闭后方可开启加速器出束。一旦发现设备异常，应立刻关闭射线束并停机检查，在未查明原因和维修结束前，加速器不得投入工作使用。

7.1.5 加速器工业 CT 操作、安装调试和检修维护人员在工作过程中，应按要求配戴个人剂量计，进行加速器设备的调试和维修时，工作人员除了按要求配戴个人剂量计外，还应按要求携带个人剂量报警仪。

7.1.6 加速器工业 CT 每天工作结束后，作好安全记录，并由使用单位的辐射安全管理人员或委托相关责任人保管好射线源开关钥匙。

8.1.2 加速器工业 CT 正式投入使用后，使用单位应按照附录 D 中常规监测的内容和方法，定期对设备进行常规检测和安全检查，及时排除隐患，杜绝事故的发生。

8.3.1 加速器工业 CT 操作、安装调试和检修维护人员应按 7.1.5 的规定配置 X、 γ 个人剂量计进行常规个人剂量监测，并按国家规定建立个人剂量档案。

四、《工业 X 射线探伤放射防护要求》(GBZ117-2015)

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。

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

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

仅供宝鸡钛业股份有限公司检测、检验中心X射线探伤机核技术应用项目-新增电子直线加速器

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1、项目地理和场所位置

项目位于宝鸡市渭滨区宝钛工业园，地理位置见图 1-1；加速器透照室位于宝钛装备制造（宝鸡）有限公司北跨厂房东角，X 射线机透照室位于规划检测检验中心厂房西北角，具体位置见图 1-2。

2、辐射环境质量现状

建设单位委托西安志诚辐射环境检测有限公司于 2020 年 7 月 10 日对拟建项目地及周围环境进行了辐射环境现状监测，监测报告编号 XAZC-JC-2020-140（见附件）。

(1) 监测因子：X、 γ 辐射剂量率

(2) 监测仪器

表 8-1 监测仪器一览表

监测仪器	环境监测用 X、 γ 辐射空气吸收剂量率仪		
型号规格	FD-3013H	仪器编号	XAZC-YQ-003
检出限	0.01 μ Sv/h~200 μ Sv/h	检定单位	上海市计量测试技术研究院
检定证书编号	2019H21-20-1916676001	检定有效期	2019.7.29~2020.7.28

(3) 监测点位

在加速器透照室拟建场所和 X 射线透照室拟建场所按网格法均匀布点。拟建项目地辐射环境监测点位具体见图 8-1。

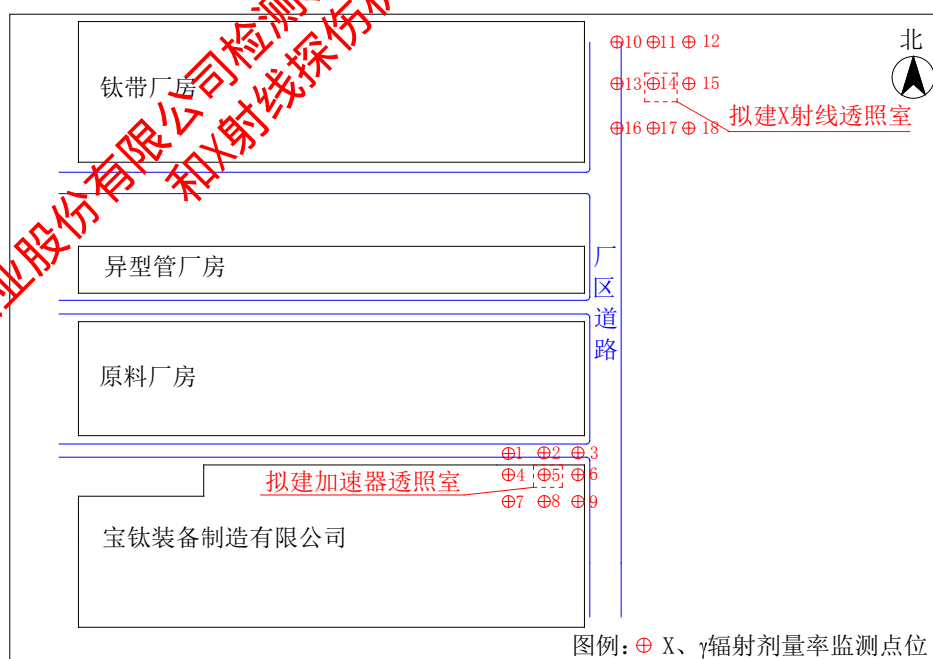


图 8-1 项目 X、 γ 辐射剂量率监测点位示意图

(4) 监测结果质量保证

① 监测人员持证上岗；

② 严格按照《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93) 进行监测；

③ 监测结果经三级审核，保证监测数据的准确。

(5) 监测结果

监测结果见表 8-2。

表 8-2 项目 X、 γ 辐射剂量率监测结果

监测点位	点位描述	X、 γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	
		测值范围	均值
1	拟建加速器透照室 1#点位	0.06~0.10	0.07
2	拟建加速器透照室 2#点位	0.06~0.08	0.07
3	拟建加速器透照室 3#点位	0.06~0.08	0.07
4	拟建加速器透照室 4#点位	0.06~0.08	0.07
5	拟建加速器透照室 5#点位	0.06~0.08	0.07
6	拟建加速器透照室 6#点位	0.05~0.07	0.06
7	拟建加速器透照室 7#点位	0.06~0.08	0.06
8	拟建加速器透照室 8#点位	0.06~0.09	0.07
9	拟建加速器透照室 9#点位	0.06~0.08	0.07
10	拟建 X 射线透照室 1#点位	0.10~0.12	0.12
11	拟建 X 射线透照室 2#点位	0.10~0.12	0.11
12	拟建 X 射线透照室 3#点位	0.10~0.12	0.11
13	拟建 X 射线透照室 4#点位	0.10~0.13	0.12
14	拟建 X 射线透照室 5#点位	0.10~0.12	0.11
15	拟建 X 射线透照室 6#点位	0.10~0.12	0.11
16	拟建 X 射线透照室 7#点位	0.10~0.12	0.11
17	拟建 X 射线透照室 8#点位	0.10~0.12	0.12
18	拟建 X 射线透照室 9#点位	0.10~0.13	0.12

注：本报告仅对本次监测结果负责，未扣除仪器对宇宙射线响应值。

经现场监测，拟建加速器透照室各监测点位 X、 γ 辐射剂量率测量值范围为 0.05~0.10 $\mu\text{Gy/h}$ ；X 射线透照室各监测点位 X、 γ 辐射剂量率测量值范围为 0.10~0.13 $\mu\text{Gy/h}$ 。

参照《陕西省环境天然贯穿辐射水平调查研究》中表 5 陕西省原野、道路、建筑物室内 γ 辐射（空气吸收）剂量率和天然 γ 辐射所致人均年有效剂量当量，宝鸡地区原野 γ 辐射剂量率范围为 41.0~120.0nGy/h，平均值为 61.0nGy/h；宝鸡地区道路 γ 辐射剂量率范围为 37.0~146.0nGy/h，平均值为 67.0nGy/h；宝鸡地区室内 γ 辐射剂量率范围为 64.0~140.0nGy/h，平均值为 99.0nGy/h。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 项目工程分析和源项

工程设备和工艺分析

一、放射性污染源

本项目主要利用 1 台直线加速器、4 台 X 射线机在工作时发出的 X 射线对产品进行无损检测。根据《关于发布<射线装置分类>的公告》，加速器和 X 射线探伤机属于 II 类射线装置，事故时可以使受到照射的人员产生较严重放射损伤，其安全与防护要求较高。

二、工艺原理及产污环节

1、电子直线加速器

(1) 工艺原理及组成

本项目采用 6MeV 电子直线加速器作为 X 射线源，通过直线加速器产生的韧致辐射 X 射线对待检测工件进行照射，通过射线透射摄片，从软片上显示出材料、零件及焊缝的内部缺陷。即主要利用 X 射线管产生的 X 射线透射被检测时在被测工件的缺陷部位和其他部位射线减弱的程度不同的原理。

根据建设单位提供的资料，本项目 6MeV 无损检测用驻波电子直线加速器是由 X 射线头、调制器、控制系统、温控水冷机柜、稳压电源、安全连锁报警系统、区域（环境）监视系统、电动轨道控制系统等组成。各子系统之间结构关系如图 9-1。

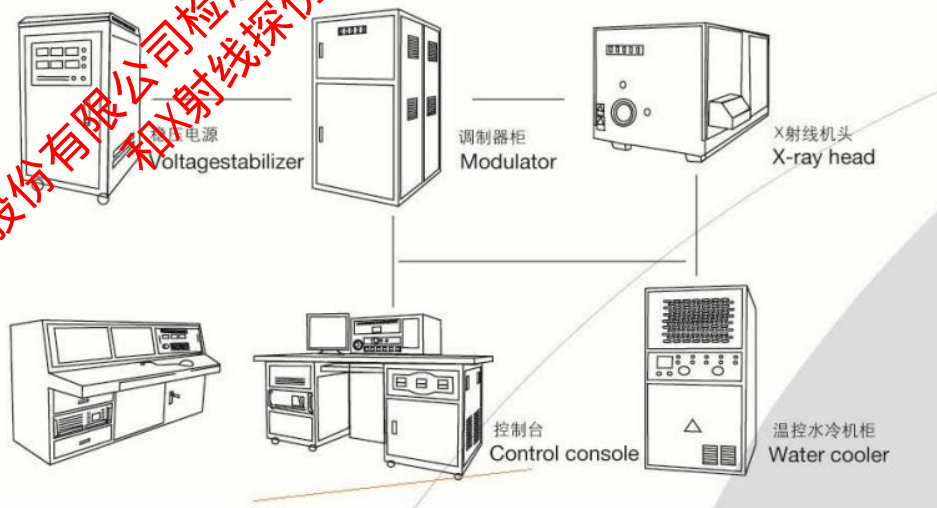


图9-1 项目电子直线加速器组成结构

X 射线头是加速器的主体部分，用于产生高能 X 射线，机头内装有驻波加速管、微波功率源、部分水冷系统、射线准直及屏蔽装置、激光定位装置、剂量测量探头、

电子枪与磁控管的直流灯丝电源、调制器的脉冲变压器等。

控制（台）系统作为加速器控制和人员操作的部件，主要包括台架、控制箱和控制器柜，控制箱面板上有控制加速器运行的操作按钮、加速器运行状态和故障指示灯、剂量显示仪表等，操作界面左侧为两台显示器，分别显示加速器运行状态和照射室的监控视频。

电子直线加速器的控制器、照射机头、调制器、专用起重机等均设置有足够的紧急按钮；安装时与所有防护门进行安全连锁，并与照射室预留的紧急逃逸保护开关进行安全连锁。安全连锁机构主要用于保障探伤辐射工作人员的安全以及设备本身的安全，防止 X 射线误照射和触电事故的发生。

区域（环境）监视系统主要完成对曝光室的监视，通过摄像头观察各个部位，以保证出束过程中无人员滞留在曝光室内，起到一定的辐射安全保护作用。

加速器的运载通过专用电动轨道进行，可实现一定范围内的上下左右的升降运动。

(2) 辐射源项分析

直线加速器产生辐射可分为瞬时辐射和缓发辐射两种。瞬时辐射包括初级辐射和次级辐射。初级辐射是指被加速的带电粒子（如电子），次级辐射指带电粒子与靶材料或加速器结构材料相互作用产生的 X 射线和中子等。瞬发辐射在加速器开机时产生、停机后即消失；缓发辐射主要是加速器产生中子与周围物质相互作用产生的感生放射性，加速器停机后仍然存在。当 X 射线能量 $> 10\text{MeV}$ ，有可能由于发生 (γ, n) 反应产生中子，本项目 X 射线能量为 6MeV ，不会产生中子、光核反应和感生放射性。因此，不考虑加速器结构材料、冷却水和空气的感生放射性、中子的防护问题。

电子直线加速器的初级辐射为电子束，其贯穿本领较弱，容易屏蔽，能量非常集中，在运动中受到靶材料阻挡后，即发生韧致辐射产生 X 射线，X 射线的最大能量相当于入射电子的最大能量。

本项目直线加速器主要利用韧致辐射产生的 X 射线对工件进行照射，以实现工件的无损检测。由于加速器产生的 X 射线具有较强的贯穿能力，所以在屏蔽设计中以防护 X 射线为主。对于加速器运行过程中产生的电子，其贯穿能力较弱，在物质中射程较短，在通过一定厚度的混凝土或铅材料屏蔽 X 射线的同时已完全屏蔽加速器产生的电子，故无需考虑电子防护问题。

(3) 操作流程及产污环节

本项目直线加速器检测系统操作流程如下：

- ① 开机预热，在控制台检测操作界面上设置检测方式以及相关参数；
- ② 打开工件入口防护门，将工件吊装传送至检测工作位置，关闭检测室防护门；
- ③ 检查工件入口防护门、迷道防护门关闭情况，在确认所有防护门已关闭情况下，提示控制室操作人员启动加速器出束；
- ④ 曝光完成后系统自动停止加速器出束，打开防护门、将工件传送单元传送到装卸工位，取下胶片，进行分析；
- ⑤ 所有待建工件检测完成后，关闭电源锁和加速器电源。

本项目 6MeV 直线加速器检测系统的产污环节为加速器出束过程，产生的污染物为 X 射线、臭氧、氮氧化物、废胶片、废显（定）影液。产污环节见图 9-2。

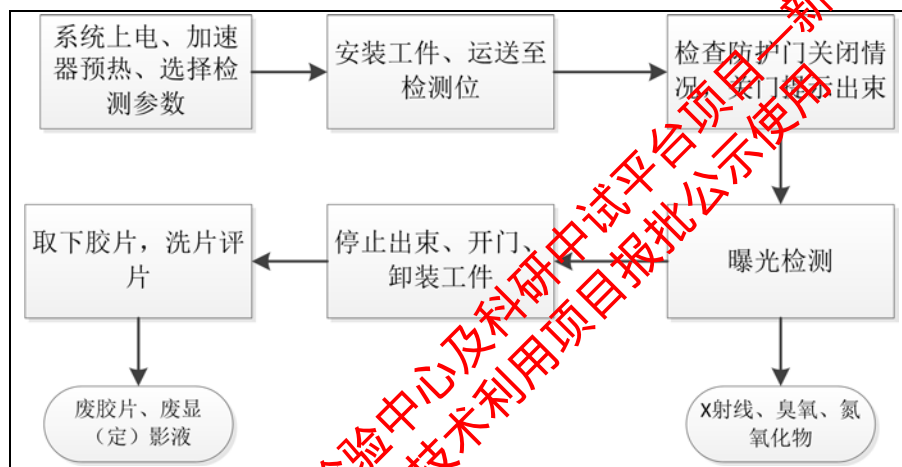


图9-2 加速器检测系统产污环节图

2、X 射线探伤机

(1) 工艺原理及组成

X 射线探伤机主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由阴极和阳极组成。阴极通常是装在聚焦杯中的钨灯丝，阳极靶则根据应用的需要，由不同的材料制成各种形状，一般用高原子序数的难熔金属（如钨、铂、金、钽等）制成。

当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接射向嵌在金属阳极中的靶体，高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速到很高的速度，这些高速电子轰击靶物质，与靶物质作用产生韧致辐射，释放出 X 射线，X 射线探伤所利用的就是其释放出的 X 射线。典型的 X 射线管结构图见图 9-3。

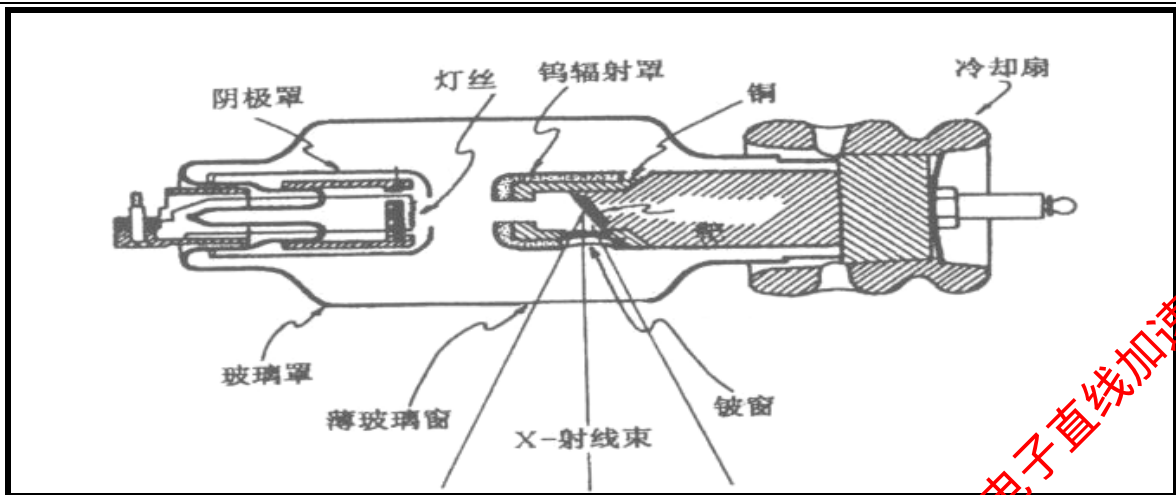


图 9-3 典型的 X 射线管结构图

X 射线探伤机是利用 X 射线对物件进行透射拍片的无损检测装置，它利用射线透过物体时，会发生吸收和散射这一特性，通过测量材料中因缺陷存在影响射线的吸收来探测缺陷的。当 X 射线照射胶片或其他检测器时，与普通光线一样，能使胶片或其他检测器感光，接收射线越多的部位颜色越深。根据底片或检测器上有缺陷部位与无缺陷部位的黑度图像不一样，就可判断出缺陷的种类、数量、大小等。

探伤机根据曝光类型可分为定向探伤机和周向探伤机，本项目 4 台 X 射线探伤机为定向探伤机。

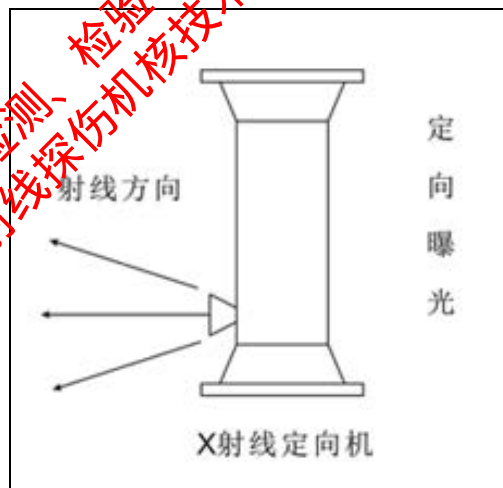


图 9-4 定向探伤机

(2) 工作流程及产污环节

项目 4 台 X 射线探伤机安装于同一座透照室内，不同时工作。

工作流程为：将工件运送至透照室内，置于 X 射线发生器射线出束口附近，在工件的另一侧贴上胶片；将控制器与 X 射线发生器用连接电缆连接好，确认各连接电缆连接正确，接通电源、开机；根据检测工件的材料厚度设定曝光参数，（曝光所要使

用的管电压值和曝光时间值)启动曝光操作;曝光结束,取回胶片,洗片,根据胶片分析工件或容器焊缝是否有缺陷。

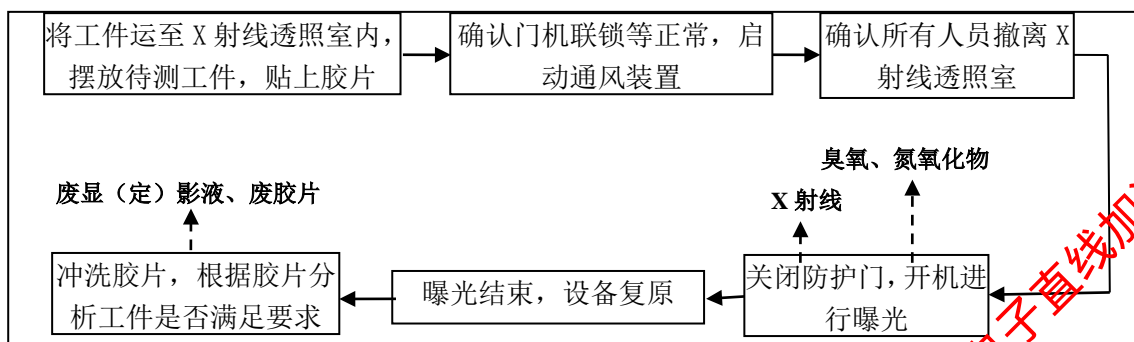


图 9-5 X 射线探伤机工作流程及产污环节图

三、正常工况的污染途径

电子直线加速器、X射线探伤机产生的韧致辐射X射线,主要通过透射、漏射、散射后等途径对工作场所及其周围环境产生辐射影响;空气在加速器产生的X射线强辐射作用下,吸收能量并通过电离作用产生O₃和NO_x等有害气体,可能对透照室内外环境产生影响。

四、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:

- ① 开机检测时,门机联锁或报警系统失效,辐射工作人员或公众误入加速器透照室、X射线透照室内造成误照射。
- ② 人员未及时撤离透照室,加速器、X射线探伤机运行产生误照射。
- ③ 门机联锁失效使防护门未完全关闭的情况下射线装置出束,防护门处泄露X射线对辐射工作人员及公众造成额外照射。

污染源项描述

1、X射线

本项目电子直线加速器X射线的最大能量为6MeV,不产生感生放射性和中子,初级辐射产生的电子束贯穿能力较弱,在通过一定厚度的混凝土或铅材料屏蔽X射线的同时已完全屏蔽加速器产生的电子,因此电子直线加速器主要污染因子为韧致辐射产生的X射线,该射线随加速器出束开关而产生和消失。

X射线探伤机主要污染因子为开机曝光期间产生的X射线,随X射线探伤机的开、关而产生和消失,辐射途径为外照射。

2、O₃、NO_x

当电压为0.6kV以上时，X射线能使空气电离，产生一定量的O₃、NO_x。输出的X射线束流强度越强，O₃和NO_x的产额越高。其中O₃的毒性最大，产额最高，不仅对人体产生危害，同时能使加速器内部材料加速老化。本项目加速器透照室和X射线透照室拟安装机械通排风系统，在开机状态下持续通风，在良好通风条件下，O₃和NO_x很快弥散在大气环境中，O₃在自然环境下分解成氧气。

3、废显（定）影液、废胶片

本项目加速器、4台X射线机拍片后洗片产生的废显（定）影液、废胶片为危险废物，属于《国家危险废物名录》中“HW16感光材料废物”。根据建设单位提供的资料，本项目开展后废显（定）影液预计产生量为230L/a，废胶片产生量预计为23kg/a，废显（定）影液、废胶片使用专用容器收集，暂存于暗室内，最终交由陕西新天地固体废物综合处置有限公司处置。

仅供宝鸡钛业股份有限公司检测、检验中心及科研中试平台项目一新增电子直线加速器
和X射线探伤机核技术应用项目报批公示使用

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) 加速器透照室

① 布局合理性分析

加速器透照室位于宝钛装备制造（宝鸡）有限公司北跨厂房东角，位置较为独立，周边人员活动相对较少。控制室位于透照室东侧，迷道位于东南角，加速器向北照射，避开控制室、南侧人员活动相对较多的钻床、铣床工作区和迷道入口，布局较为合理，符合《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ785-2016）中“加速器工业 CT 工作场所应合理布置，检测室与控制室及其辅助用房应分开，控制室等人员活动频繁的区域，应避开有用线束的照射方向”的要求。

② 工作场所分区

控制区：将加速器透照室防护门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，安装工作状态警示灯。非本项目工作人员不得进入控制区，加速器运行前，任何人员均应撤出控制区，运行时严禁人员进入。

监督区：将加速器透照室北、西、南墙外 1m 范围和控制室划分为监督区，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，加速器工作过程中，除辐射工作人员外，其他人员应尽量远离监督区。

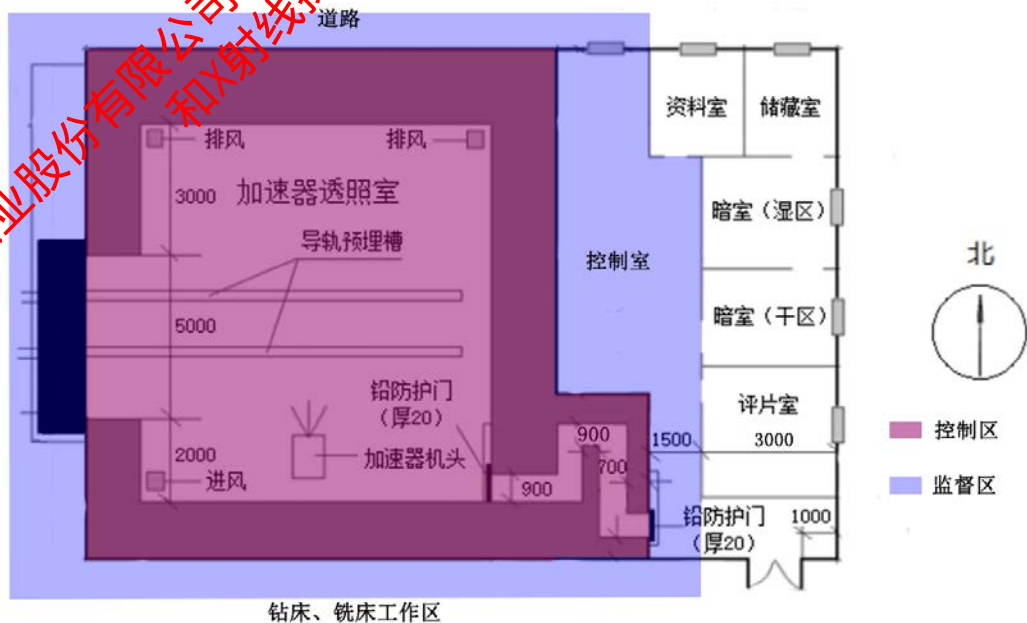


图 10-1 加速器透照室分区示意图

(2) X 射线透照室

① 布局合理性分析

X 射线透照室位于规划检验检测中心厂房西北角，位置较独立，周边各方向人员活动较少。控制室位于透照室南侧，X 射线探伤机主要向下照射，避开控制室及迷道方向，布局较为合理，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免有用线束照射的方向”的要求。

② 工作场所分区

控制区：将 X 射线透照室防护门内的所有区域划分为控制区。建设单位应在防护门进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合规定的警告标志，防护门上方安装工作状态警示灯，设备正常工作时，警示灯亮，告诫无关人员远离透照室。

监督区：将 X 射线透照室北墙、西墙、东墙外 1m 范围和控制室划分为监督区，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，探伤机工作过程中，除辐射工作人员外，其他人员应尽量远离监督区。

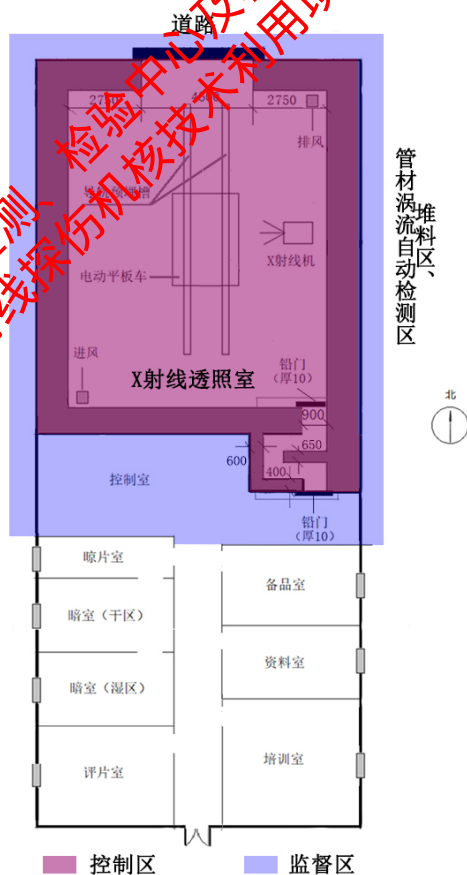


图 10-2 X 射线透照室分区示意图

2、透照室辐射屏蔽设计

根据建设单位提供的资料，加速器透照室及 X 射线透照室的屏蔽设计参数见表 10-1、10-2。加速器透照室屏蔽设计图见 10-3、X 射线透照室屏蔽设计图见图 10-4。

表 10-1 加速器透照室屏蔽设计参数

场所	项目	现状规模
加速器透照室	内部净尺寸	10m 长×10m 宽×8m 高，迷道宽 0.9m×高 3.6m
	北墙	2850mm 混凝土
	南墙	1680mm 混凝土
	东墙	1750mm 混凝土
	西墙	1600mm 混凝土
	屋顶	1200mm 混凝土
	工件防护门	1600mm 混凝土
	迷道内侧防护门	20mmPb
	迷道外侧防护门	20mmPb
	迷道墙	700~1000mm 混凝土

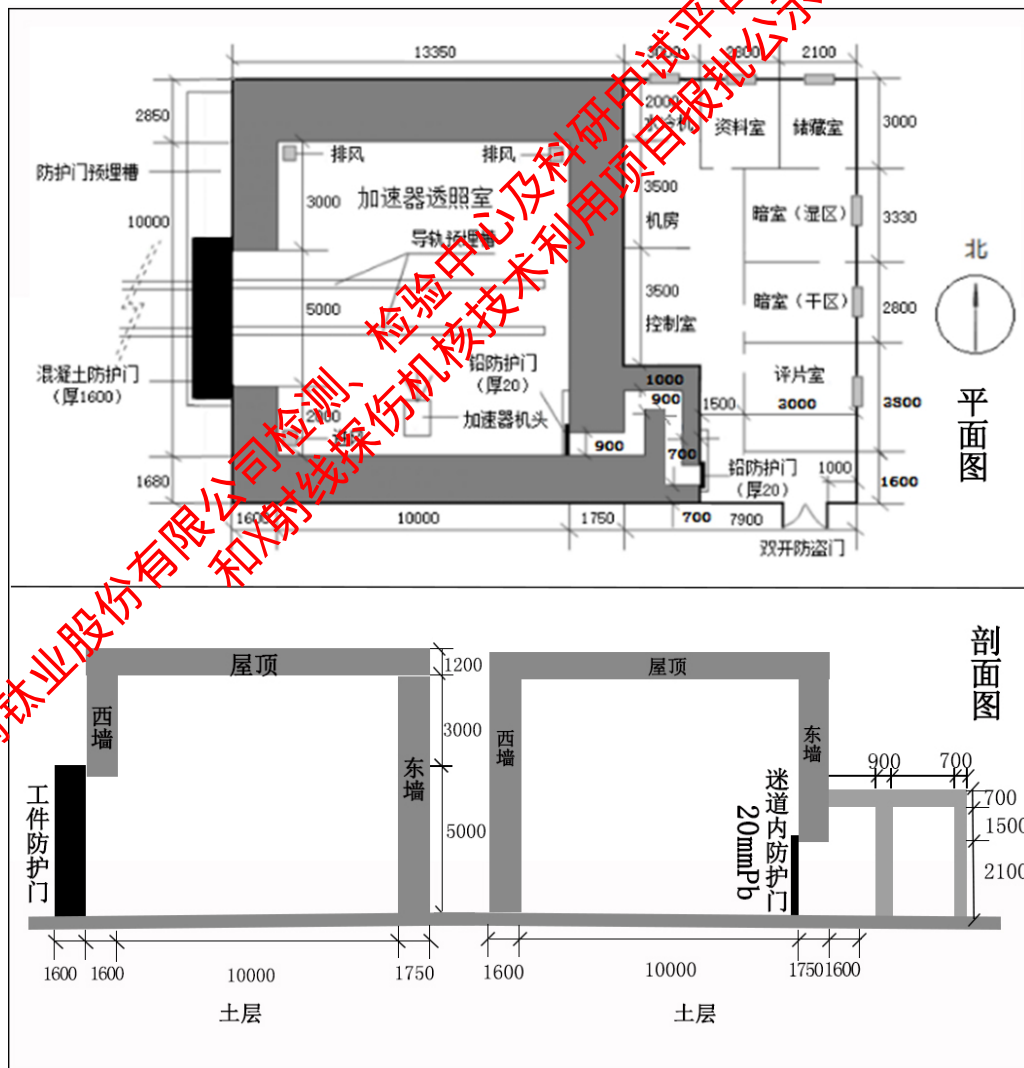


图 10-3 加速器透照室屏蔽设计示意图

表 10-2 X 射线透照室屏蔽设计参数

场所	项目	屏蔽设计
X 射线透照室	透照室内净尺寸	长 15m×宽 10m×高 8m，迷道宽 0.9m×高 3.6m
	东墙	830mm 混凝土
	南墙	750mm 混凝土
	西墙	750mm 混凝土
	北墙	800mm 混凝土
	屋顶	460mm 混凝土
	北侧工件防护门	70mmPb
	迷道内侧防护门	10mmPb
	迷道外侧防护门	10mmPb
	迷道墙	400~650mm 混凝土

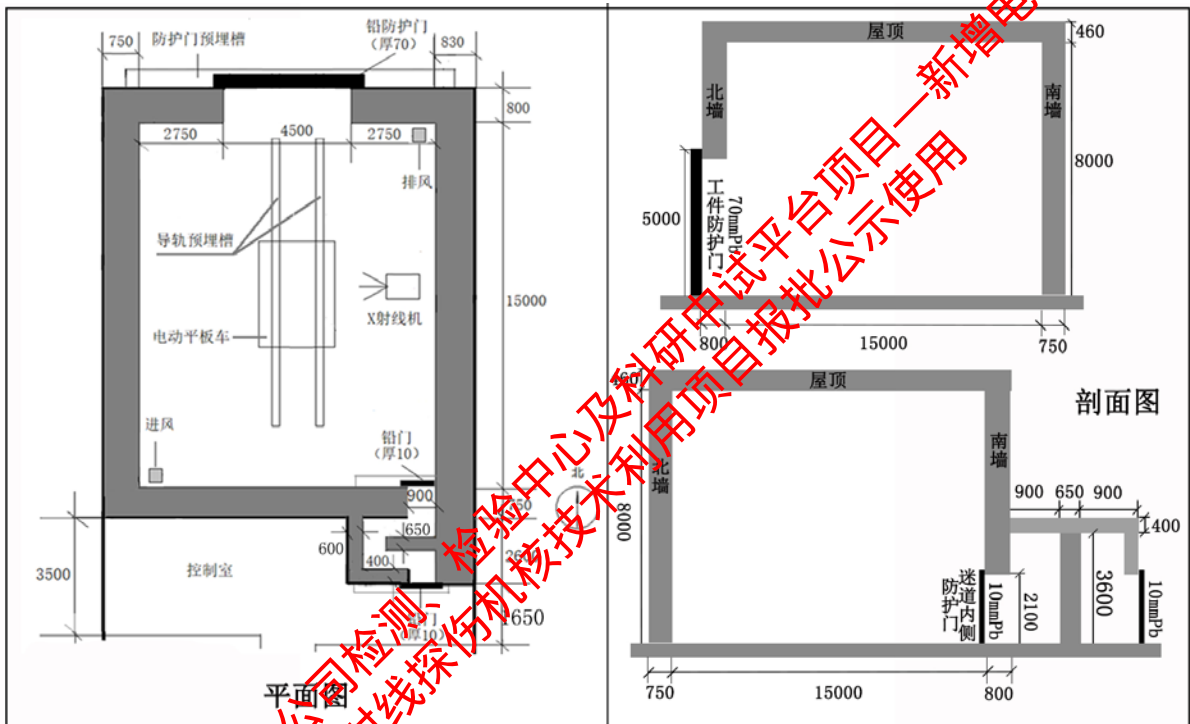


图 10-4 X 射线透照室屏蔽设计示意图

3、辐射安全措施

(1) 加速器透照室

加速器透照室除实体屏蔽外，拟采取的其他辐射安全措施如下：

① 加速器透照室迷道防护门、工件进出门外设置电离辐射警示标志，安装加速器工作状态指示装置，并张贴警示灯说明。

② 加速器与防护门进行门-机连锁，并与紧急停机按钮、射线源开关钥匙等实现安全连锁。只有满足透照室防护门关闭、紧急停机按钮复位、射线源开关钥匙合上等连锁条件后，方可启动加速器出束。

③ 控制台上设置工作状态指示灯及急停按钮，操作控制程序应设置密码，未经单

位相关辐射安全管理人员允许不得修改。

④ 加速器透照室内、工件防护门、迷道防护门外应各设置 1 处闪光式或旋转式红色警告灯及音响警告装置，在加速器系统出束前，应有不少于 10s 的声、光预警信号，声、光预警信号结束后加速器系统方可加高压出束；出束后应持续发出声、光信号，直至停束为止。

⑤ 加速器透照室各面墙及迷道内应各安装 1 个紧急停机按钮或安装拉线式紧急停机装置，在透照室墙面、迷道内侧安装检测复位按钮，紧急停机按钮、复位按钮、紧急开门开关处应设置明显标识，在紧急停机后只有通过再次复位后才能重新启动加速器。

⑥ 加速器透照室内设置固定式剂量监测装置，数据显示装置安装在控制台上，并具有报警装置，对加速器的出束状态进行监测。

⑦ 加速器透照室内设置监视装置，并在控制室内设置专业监视器，加速器透照室与控制室之间安设通讯设备。

⑧ 加速器透照室的导线、导管采用“U”或“Z”等方式设计。

⑨ 加速器透照室内拟安装通风系统，每小时有效通风次数不小于 3 次，排风量约 2400m³/h，可确保室内外空气满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2007）要求。

⑩ 加速器辐射工作人员在工作过程中，应按要求配戴个人剂量计，在进行加速器调试和维修时，应携带个人剂量报警仪。

(2) X 射线透照室

X 射线透照室拟采取的防护措施如下：

① 探伤机控制台设置有高压接通时的外部报警或指示装置，设有钥匙开关和紧急停机按钮，设置辐射警告等标识，只有在打开钥匙开关后 X 射线管才能出束。

② X 射线透照室工件防护门、迷道防护门设置门-机联锁装置，并保证在门关闭后 X 射线装置才能进行探伤作业。门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，透照室内外醒目位置设置清晰的信号意义说明。

③ X 射线透照室工件防护门、迷道防护门上设置电离辐射警示标志和警示说明。

④ 透照室内各面墙应各安装 1 个紧急停机按钮，或安装紧急停机拉绳，按钮或拉

绳带有标签，标明使用方法。

⑤ X 射线透照室内设置机械通风装置，通风量不小于 $3600\text{m}^3/\text{h}$ ，每小时有效通风换气次数不小于 3 次。排风管道外口避免朝向人员活动密集区。

⑥ 辐射工作人员进入透照室时应配备个人剂量计、个人剂量报警仪。

4、安全管理措施

① 制定加速器、X 射线探伤机操作规范及管理辦法，加速器操作规范应符合《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ785-2016）中相关要求，加强辐射工作人员培训，提高安全防护意识。

② 定期对加速器透照室和 X 射线透照室的辐射安全防护设施进行检查，确保其安全防护性能。

③ 加速器及探伤机辐射工作人员应佩戴个人剂量计，进入 X 射线透照室的辐射工作人员及加速器维修人员应佩戴个人剂量报警仪，个人剂量计应定期送检，建立监测档案。

④ 宝钛集团有限公司目前已配备 1 台 X、 γ 辐射巡测仪，运行后应针对本项目新增 1 台 X、 γ 辐射巡测仪，定期对本次新增加速器透照室、X 射线透照室进行巡测，并建立监测档案。每年委托有资质单位对新增透照室进行不少于 1 次辐射工作场所环境监测，监测结果纳入本年度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，于次年 1 月 31 日前向陕西省生态环境厅提交。

三废的治理

本项目不产生放射性“三废”，产生的非放射性废物主要包括 O₃、NO_x、废显（定）影液、废胶片。

1、O₃、NO_x

加速器及 X 射线探伤机使用过程中产生一定量的 O₃、NO_x，加速器透照室内拟设置通风装置，通风量约为 2400m³/h，使室内 O₃、NO_x 浓度满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2007）标准要求。X 射线透照室内设置机械通风装置，排风量约 3600m³/h，每小时有效通风换气次数不小于 3 次，满足《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）规定。

2、废显（定）影液、废胶片

本项目加速器、X 射线探伤机拍片后洗片，将产生废显（定）影液约 230L/a，废胶片约 23kg/a，废显（定）影液、废胶片集中收集于专用容器内，容器上张贴危险废物标识，暂存于暗室内，最终送交陕西新天地固体废物综合处置有限公司处置，危废处置协议见附件。

仅供宝鸡钛业股份有限公司检测、检验中心及科研中试平台项目—新增电子直线加速器
和X射线探伤机核技术应用项目报告使用

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目加速器透照室、X 射线透照室均为新建，施工期对环境的影响主要为施工扬尘、噪声、固废及施工人员生活污水。施工期通过围挡等可有效避免对周边的扬尘影响。项目周边主要为厂房，距离居民区较远，施工期噪声影响较小。施工期生活废水可依托厂区现有污水处理设施处理，建筑垃圾由建设单位施工结束后统一运至建筑垃圾填埋场处置。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

一、辐射防护屏蔽能力分析

1、参数设置

(1) 电子直线加速器

本项目电子直线加速器最大能量为 6MeV，主射线束中心轴上距靶 1m 处额定剂量率为 $6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ ，泄露剂量比率为主射束强度的 0.1%。加速器靠南墙安装，根据建设单位提供的资料，机头活动范围可确保照射方向固定向北，不会对东西侧面形成有用线束。加速器年出束时间为 900h，周工作时间为 18h。根据加速器透照室总平面布置图，透照室各屏蔽面外关注点的 T、U 因子、与辐射源的距离等见表 11-1。

表 11-1 电子直线加速器透照室参数选取

序号	屏蔽射线	各关注点	周工作时间 t (h)	使用因子 U	居留因子 T	辐射源与关注 点距离 R (m)
1	有用线束	北墙外 0.3m	18	1	1/4	10.15
2	泄露	南墙外 0.3m	18	1	1	4.98
3	泄露	东墙外 0.3m	18	1	1	7.05
4	泄露	工件防护门外 0.3m	18	1	1	8.5
5	泄露	西墙外 0.3m	18	1	1	6.9
6	泄露	屋顶外 0.3m	18	1	1/16	7.5
7	泄露	迷道内侧门外 0.3m	18	1	1	5.42
8	泄露+散射	迷道外侧门外 0.3m	18	1	1	10.2 (泄露)

注：1、U 使用因子保守取 1。

2、居留因子参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中附录 A 表 A.1，北墙外道路保守取 1/4，南墙、西墙外工区取 1，东墙外控制室、迷道门外取 1，屋顶外取 1/16。

(2) X 射线探伤机

根据建设单位提供的资料，本项目 4 台 X 射线探伤机安装于同一 X 射线透照室内，不同时使用。450kV、320kV 探伤机属于固定式探伤机，靠透照室东侧安装，照射方向向下，少数情况下向西；250kV、200kV 探伤机属于便携式探伤机，使用位置不固定。

探伤工件主要为铸件，小型工件由辐射工作人员安放，大型工件用叉车、吊车等运送、吊装，工件最大尺寸为 3m×2m，探伤机最大穿透厚度为 80~150mm。

根据建设单位提供的资料，对以下 2 种使用情况进行估算：① 450kV 探伤机与 320kV 探伤机位置固定，照射方向相同，对 450kV 探伤机工作时所需屏蔽厚度进行估算。当透照室满足 450kV 探伤机屏蔽要求时，也能够满足 320kV 探伤机屏蔽需求。② 250kV 探伤机和 200kV 探伤机使用位置不固定，照射方向不固定，对 250kV 探伤机所需屏蔽进行估算，当屏蔽满足 250kV 探伤机时，也能够满足 200kV 探伤机。

综合考虑透照室内导轨位置及工件的安装空间，对 450kV 探伤机所需屏蔽进行估算时，与东墙外关注点距离取 2.75m(北墙东段长度)+墙厚+0.3m，与西墙距离为 7.25m+墙厚+0.3m，与南北墙距离取 5m+墙厚+0.3m；对 250kV 探伤机估算时，与各屏蔽墙的距离取 2m+墙厚+0.3m。

450kV 探伤机有用线束输出量引用 ICRP Publication 39 附录图 3 中管电压 500kV 的数据 50mGy·m²/(mA·min)，250kV 探伤机引用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中 0.5mm 铜滤过条件下的输出量 16.5mGy·m²/(mA·min)，周出束时间以 60h 计，各关注点的距离、T、U 因子见表 11-2。

表 11-2 X 射线探伤机及透照室参数选取

序号	设备	屏蔽射线	关注点	使用因子 U	居留因子 T	辐射源与关注点距离 R (m)
1	450kV 探伤机	泄露+散射	东墙外 0.3m	1	1/4	3.88
2		泄露+散射	南墙外 0.3m	1	1	6.05
3		有用线束	西墙外 0.3m	1	1/16	8.3
4		泄露+散射	北墙外 0.3m	1	1/4	6.1
5		泄露+散射	屋顶外 0.3m	1	1/16	7.26
6		泄露+散射	工件防护门外 0.3m	1	1/4	6.9
7		泄露+散射	迷道内侧防护门外 0.3m	1	1	5.3
8		泄露+散射	迷道外侧防护门外 0.3m	1	1	8.3 (泄露)
9	250kV 探伤机	有用线束	东墙外 0.3m	1	1/4	3.13
10		有用线束	南墙外 0.3m	1	1	3.05
11		有用线束	西墙外 0.3m	1	1/16	3.05
12		有用线束	北墙外 0.3m	1	1/4	3.1
13		泄露+散射	屋顶外 0.3m	1	1/16	7.26
14		有用线束	工件防护门外 0.3m	1	1/4	3.9
15		泄露+散射	迷道内侧防护门外 0.3m	1	1	5.3
16		泄露+散射	迷道外侧防护门外 0.3m	1	1	8.3 (泄露)

注：T 居留因子参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T 250-2014) 中附录 A 表 A.1，东墙外堆料区、工件防护门外通道、北墙外通道取 1/4，西墙外绿化区、屋顶取 1/16。

2、屏蔽墙体厚度复核

(1) 电子直线加速器

依据《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ 785-2016）相关要求，本次采用以下公式进行屏蔽体厚度核算：

① 有用线束主屏蔽墙估算以及泄露辐射屏蔽估算。

$$B = (H_c \times R^2) / (H_0 \times f \times n) \quad \text{公式 (11-1)}$$

式中： B —屏蔽透射因子

H_c —距离加速器辐射源 R_m 处，确定的剂量当量率控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 —加速器有用线束中心轴距靶 1m 处常用的最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R —辐射源点至关注点的距离，m；

f —对有用束取 1，对泄露辐射为泄露辐射比率；

n —安全系数。

② 估算出的屏蔽厚度计算公式为：

$$X = [TVL_e \times \log B^{-1} + (TVL_l + TVL_e)] \quad \text{公式 (11-2)}$$

式中： TVL_l —第一个什值层厚度，cm；

TVL_e —平衡什值层厚度，cm。

③ 屏蔽体厚度核算结果

根据以上公式，对加速器透照室各屏蔽面所需厚度进行核算，根据《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ785-2016），在计算屏蔽厚度时，考虑 2 倍安全系数，估算结果见表 11-3。

根据 NCRP No.151，对 6MV 的 X 射线，铅的 TVL_l 和 TVL_e 均为 57mm。主射线束对混凝土的 TVL_l 为 370mm， TVL_e 为 330mm；泄露辐射的 TVL_l 为 340mm， TVL_e 为 290mm，散射辐射的 TVL_l 和 TVL_e 均为 260mm。

表 11-3 6MeV 直线加速器透照室屏蔽厚度理论估算结果

屏蔽面	剂量率参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	R (辐射源点-关注点, m)	屏蔽透射因子 B	估算防护厚度	设计防护厚度	符合性
北墙	1.11	10.15	1.18×10^{-7}	2357mm 混凝土	2850mm 混凝土	符合
南墙	0.28	4.98	2.52×10^{-6}	1570mm 混凝土	1680mm 混凝土	符合
东墙	2.0	7.05	6.62×10^{-5}	1234mm 混凝土	1750mm 混凝土	符合
工件防护门	0.28	8.5	9.19×10^{-6}	1436mm 混凝土	1600mm 混凝土	符合
西墙	0.28	6.9	9.19×10^{-6}	1488mm 混凝土	1600mm 混凝土	符合
屋顶	10	7.5	2.80×10^{-4}	1016mm 混凝土	1200mm 混凝土	符合
迷道外侧门	2.5	10.2	5.15×10^{-1}	16.42mmPb	20mmPb	符合

注：1、剂量率参考控制水平 H_c 参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）相关公式进行计算，见公式 11-3~11-5，屋顶一般无人逗留，取 $10\mu\text{Sv/h}$ ；

2、迷道主要考虑泄露辐射经 20mmPb 内侧防护门、900mm 混凝土迷道内墙屏蔽后所需的外侧防护门厚度。散射辐射经迷道内侧防护门屏蔽及迷道多次散射后，到达迷道外侧防护门的射线能量已大幅降低，约 $1.9 \times 10^{-7}\text{Gy/h}$ ，故不予考虑。

由上表可知，在保守取值的情况下，加速器透照室北墙需 2357mm 混凝土，设计厚度 2850mm；南墙需 1570mm 混凝土，设计厚度 1680mm；东墙需 1234mm 混凝土，设计厚度 1750mm；西墙需 1488mm 混凝土，设计厚度 1600mm；屋顶需 1016mm 混凝土，设计厚度 1200mm；工件防护门需 1436mm 混凝土，设计厚度 1600mm；迷道外侧防护门需 16.42mmPb，设计 20mmPb，综上所述，加速器透照室各屏蔽面的设计厚度满足防护要求。

(2) X 射线探伤机

依据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）：

① 探伤室辐射屏蔽的剂量参考控制水平

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

1) 相应 H_c 的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$) 按以下公式计算。

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad \text{公式 (11-3)}$$

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

公众 $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ ；

U 为探伤装置向关注点方向照射的使用因子；

T 为人员在相应关注点驻留的居留因子；

t 为探伤装置周照射时间，单位为 h/周。

t 按以下公式计算：

$$t=W/(60 \cdot I) \quad \text{公式 (11-4)}$$

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 射线探伤装置在最大管电压下的常用最大管电流，mA。

2) 关注点最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$ ：

$$H_{c,max}=2.5\mu\text{Sv/h} \quad \text{公式 (11-5)}$$

3) 关注点剂量率参考控制水平

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

4) 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向公式（11-3）。

B 除 A 的条件外，应考虑下列情况：

a 穿过探伤室顶的辐射与室顶上方空气作用产生的散射辐射对探伤室外地面附近公众的照射。该项辐射和穿出探伤室墙的透射辐射在相应关注点的剂量率总和，应按（11-4）的剂量率参考控制水平 H_c （ $\mu\text{Sv/h}$ ）加以控制。

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

② 有用线束屏蔽估算

有用线束屏蔽物质的透射因子 B 按下式计算：

$$B=\dot{H}_c \cdot R^2/(I \cdot H_0) \quad \text{公式 (11-6)}$$

式中：B—为屏蔽所需透射因子；

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

R—为辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

I—为 X 射线探伤装置在最高管电压下的最大管电流，mA；

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

对于估算处的屏蔽透射因子 B，所需屏蔽物质厚度 X 按下式计算：

$$X = -TVL \cdot \lg B \quad \text{公式 (11-7)}$$

式中：TVL—为屏蔽物质的什值层厚度，mm；

B—达到剂量率参考控制水平 H_c 时所需的屏蔽透射因子。

③ 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：

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

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

R 为辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

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

2) 散射辐射屏蔽物质的透射因子 B 按下式计算：

$$B = \dot{H}_C \cdot R_s^2 / (I \cdot H_0) \cdot R_0^3 / (F \cdot a) \quad \text{公式 (11-9)}$$

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

R_s 为散射体至关注点的距离，m；

R_0 为辐射源点至探伤工件的距离，m；

I 为 X 射线探伤装置在最高管电压下的最大管电流，mA；

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

F 为 R_0 处的辐射野面积， m^2 ；

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

3) 泄露辐射和散射辐射的复合作用

分别估算泄露辐射和散射辐射，当它们的屏蔽厚度相差一个什值层厚度或更大时，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)。

④ 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：

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

式中：X 为屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同单位；

TVL 为屏蔽物质的什值层厚度，mm。

⑤ 屏蔽核算结果

根据以上公式，估算 450kV、250kV 探伤机工作时各屏蔽面所需的屏蔽厚度，估算结果见表 11-4。

表 11-4 X 射线透照室屏蔽厚度理论估算结果

射线装置	屏蔽面		H _c (μSv/h)	屏蔽透射因子 B	估算防护厚度 (mm)		设计防护厚度 (mm)	符合性
450kV 探伤机	东墙 (混凝土)	泄露	0.33	1.00×10 ⁻³	330	574	830	符合
		散射		1.86×10 ⁻⁵	574			
	南墙 (混凝土)	泄露	1.67	1.22×10 ⁻²	211	465	750	符合
		散射		2.26×10 ⁻⁵	465			
	西墙 (混凝土)		1.33	6.80×10 ⁻⁷	679		750	符合
	北墙 (混凝土)	泄露	0.33	2.48×10 ⁻³	287	534	800	符合
		散射		4.59×10 ⁻⁶	534			
	屋顶 (混凝土)	泄露	2.5	2.64×10 ⁻²	174	432	460	符合
散射		4.88×10 ⁻⁵		432				
工件防护门 (铅)	泄露	0.33	3.17×10 ⁻³	24	30	70	符合	
	散射		5.88×10 ⁻⁶	30				
迷道外侧防护门 (铅)		1.67	5.30×10 ⁻³	6.60		10	符合	
250kV 探伤机	东墙 (混凝土)		0.33	6.60×10 ⁻³	557		830	符合
	南墙 (混凝土)		1.67	3.13×10 ⁻⁶	496		750	符合
	西墙 (混凝土)		1.33	2.11×10 ⁻⁶	505		750	符合
	北墙 (混凝土)		0.33	6.47×10 ⁻⁷	558		800	符合
	屋顶 (混凝土)	泄露	2.5	2.64×10 ⁻²	143	248	460	符合
		散射		1.33×10 ⁻³	248			
	工件防护门 (铅)		0.33	1.02×10 ⁻⁶	18		70	符合
迷道外侧防护门 (铅)		1.67	7.94×10 ⁻¹	0.14		10	符合	

注：1、公式 (11-4) 中 $R_0 \approx F \cdot a$ 值根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 附表 B.4.2 取 50；

2、TVL：参照 ICRP Publication 33 表 3，管电压为 450kV 的 X 射线有用射束在铅中的半值层取 9.3mm，在混凝土中取 110mm；散射辐射取 300kV 的 X 射线对应的铅半值层 5.7mm，混凝土半值层 100mm。管电压为 250kV 的 X 射线有用射束在铅中的半值层取 2.9mm，在混凝土中取 90mm；散射辐射取 200kV 的 X 射线对应的铅半值层 1.4mm，混凝土半值层 86mm。

4、X 射线透照室屋顶的剂量率参考控制水平保守取 2.5μSv/h。

迷道主要考虑工件散射辐射经迷道内侧防护门屏蔽及迷道多次散射后所需的外侧防护门厚度，迷道多次散射过程仅考虑距离增加（总散射距离约 12.3m），不考虑每次散射的散射因子，多次散射后射线能量取 250kV，对应的铅半值层取 2.9mm。泄露辐射经迷道内防护门、迷道内墙屏蔽后剂量率极低，约 $1.16 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，故本次不予考虑。

由表 11-4 可知，450kV 探伤机工作时，X 射线透照室东墙需 574mm 混凝土，设计厚度 830mm；南墙需 465mm 混凝土，设计厚度 750mm；西墙需 679mm 混凝土，设计厚度 750mm；北墙需 534mm 混凝土，设计厚度 800mm；屋顶需 432mm 混凝土，设计厚度 460mm；工件防护门需 30mmPb，设计厚度 70mmPb；迷道外侧防护门需 6.60mmPb，

设计厚度 10mmPb，X 射线透照室的设计厚度满足防护要求。

320kV 探伤机工作时，X 射线透照室东墙需 557mm 混凝土，设计厚度 830mm；南墙需 496mm 混凝土，设计厚度 750mm；西墙需 505mm 混凝土，设计厚度 750mm；北墙需 558mm 混凝土，设计厚度 800mm；屋顶需 248mm 混凝土，设计厚度 460mm；工件防护门需 18mmPb，设计厚度 70mmPb；迷道外侧防护门需 0.14mmPb，设计厚度 10mmPb，X 射线透照室的设计厚度满足防护要求。

3、关注点剂量率估算

(1) 电子直线加速器

根据《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T30371-2013)附录 C、NCRP49 和 51 号报告,本次加速器透照室屏蔽墙体表面 30cm 处辐射剂量率采用如下公式进行计算:

① 屏蔽层表面辐射剂量率计算

X 射线屏蔽体表面辐射剂量率为:

$$H_t = \frac{H_0 \times B}{d^2} = \frac{H_0}{d^2} \left(\frac{2 - TVL_1}{TVL_c} + 1 \right) \quad (\text{公式 11-11})$$

式中: H_t —计算点处剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;
 H_0 —距辐射源 1m 处的剂量率, $\text{m}^2 \cdot \text{Sv/h}$;
 B —屏蔽透射因子,无量纲;
 d —X 射线源与计算点间的距离, m;
 X —屏蔽墙体或者防护门屏蔽厚度, cm;
 TVL_1 —屏蔽材料第一个什值层厚度, cm;
 TVL_c —屏蔽材料平衡什值层厚度, cm;

② 迷道入口处散射剂量率的计算方法

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录 A, 3MeV 以上的 X 射线散射一次后的能量均为 0.5MeV, 对于初级 X 射线, 散射系数 α_1 取值 5×10^{-3} , 对于一次散射后的 X 射线散射系数取值为 2×10^{-3} 。第一次散射的散射面积为散射宽度与高度的乘积, 之后的散射面积均为迷道宽度与高度的乘积。

散射线计算公式如下:

$$H_s = \frac{\dot{H}_0 \times (\alpha_1 \times S_1) \times (\alpha_2 \times S_2)^{j-1}}{(d_1 \times d_{r1} \times d_{r2} \Lambda d_{rj})^2} \quad (\text{公式 11-12})$$

式中：H_s—计算处的辐射剂量率，μSv/h；

H₀—距源 1m 处的吸收剂量率，m² · Sv/h；

α₁：X 射线发生第一次散射的散射因子，无量纲；

S₁：X 射线发生第一次散射的散射面积，m²；

α₂, α_{j-1}：0.5MeV 能量 X 射线的散射因子，无量纲；

d₁：第一次散射时，辐射源与散射点的距离，m；

d_{r1}, d_{r2}, ...d_{rj} 两次反射之间的距离，m，j 为散射次数；

隧道防护门外侧的辐射剂量率为：

$$H_m = H_0 / B \quad (\text{公式 11-13})$$

式中：H_m：屏蔽门外侧辐射剂量率，μSv/h；

H₀：屏蔽门内侧辐射剂量率，μSv/h；

③ 天空散射剂量率的计算方法

$$D_{xs} = \frac{2.5 \times 10^{-4} \times \dot{H}_0 \times B_{xs} \times \Omega^{1.3}}{d_s^2 \times x^2} \quad (\text{公式 11-14})$$

式中：D_{xs}—计算点的 X 射线天空散射剂量率，μSv/h；

B_{xs}—屋顶屏蔽墙体对 X 射线的减弱系数；

Ω—X 射线源与屋顶之间包含的立体角，Sr；

d_s—X 射线源与屋顶外 2m 处距离，m；

x—计算点距 X 射线源的水平距离（m，本项目取 20）；

射线源与屋顶之间包含的立体角可由下式进行计算：

$$\Omega = 4 \arctan(a \cdot b / c \cdot d) \quad (\text{公式 11-15})$$

式中：a：透照室屋顶长度的一半，m；

b：透照室屋顶宽度的一半，m；

c：射线源到屋顶表面中心的距离，m；

d：射线源到屋顶边缘的距离，m。

④ 关注点剂量率估算结果

根据以上公式对加速器透照室各关注点和天空散射的剂量率进行估算，加速器透照

室各关注点示意图见图 11-1，估算结果见表 11-5、11-6。

表 11-5 加速器透照室各关注点剂量率

序号	关注点	距离 R (m)	TVL _L /TVL _e (mm)	H 剂量率 (μSv/h)
1	北墙外 0.3m	10.15	370/330	0.018
2	南墙外 0.3m	4.98	340/290	0.058
3	东墙外 0.3m	7.05	340/290	0.017
4	工件防护门外 0.3m	8.5	340/290	0.038
5	西墙外 0.3m	6.9	340/290	0.057
6	屋顶外 0.3m	7.5	340/290	1.146
7	迷道外侧门外 0.3m	10.2 (泄露)	57/57	1.146
		d1:6.76; dr1:3.58; dr2:3.86; dr3:1.4		4×10^{-2}
				1.163

由表 11-5 可知，电子直线加速器正常运行的情况下，加速器透照室各屏蔽面外关注点的剂量率为 0.017~1.163μSv/h，满足《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》(HJ785-2016) 中“工作场所以及周边环境的屏蔽体(墙)表面大于或等于 30cm 处任何监测点的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h”的要求。说明加速器透照室自身屏蔽可以满足加速器正常运行时的防护需求。



图 11-1 加速器透照室关注点示意图

表 11-6 加速器透照室天空散射剂量率

射线装置	H_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	屋顶屏蔽厚度 (mm)	B_{xs}	立体角 Ω	距离 X (m)	天空散射辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
6MeV 电子直线加速器	6×10^6	1200	1.08×10^{-4}	1.51	20	0.082

由表 11-6 可知，在 6MeV 电子直线加速器正常运行情况下，距离加速器透照室中心水平 20m 处的天空散射剂量率为 $0.082\mu\text{Sv/h}$ ，剂量率较低。加速器透照室位于宝鸡装备制造（宝鸡）有限公司厂房内，受天空散射影响的主要是厂房北侧道路区域。该区域为流动公众人员，停留时间较短，受天空散射影响较小。

(2) X 射线透照室

X 射线透照室关注点示意图见图 11-2，450kV/45mA、250kV/50mA 探伤机工作时各关注点的剂量率估算结果见表 11-7。

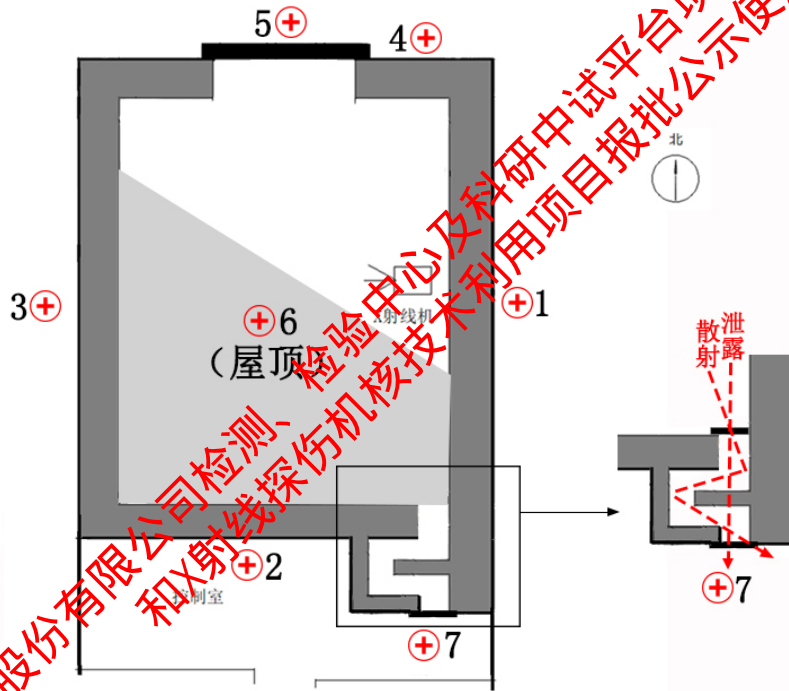


图 11-2 X 射线透照室关注点示意图

表 11-7 X 射线透照室各关注点剂量率估算结果

射线装置	序号	关注点	距离 R (m)	屏蔽厚度 (mm)	H 剂量率 (μSv/h)		
450kV 探伤机	1	东墙外 0.3m	泄露	3.88	830	4.26×10^{-4}	0.001
			散射			8.99×10^{-4}	
	2	南墙外 0.3m	泄露	6.05	750	9.34×10^{-4}	0.003
			散射			2.33×10^{-3}	
	3	西墙外 0.3m	8.3	750	0.298		
	4	北墙外 0.3m	泄露	6.1	800	3.23×10^{-4}	0.001
			散射			7.26×10^{-4}	
5	工件防护门外 0.3m	泄露	6.9	70	1.40×10^{-4}	1.40×10^{-4}	
		散射			2.97×10^{-4}		
6	屋顶外 0.3m	泄露	7.26	460	6.24×10^{-3}	1.293	
		散射			1.293		
7	迷道防护门外 0.3m	泄露	8.3	10	6.33×10^{-7}	0.112	
		散射	12.3		0.112		
250kV 探伤机	1	东墙外 0.3m	3.13	830	3.03×10^{-4}		
	2	南墙外 0.3m	3.05	750	2.47×10^{-3}		
	3	西墙外 0.3m	3.05	750	2.47×10^{-3}		
	4	北墙外 0.3m	3.1	800	6.65×10^{-4}		
	5	工件防护门外 0.3m	3.9	70	2.37×10^{-19}		
	6	屋顶外 0.3m	泄露	7.26	460	7.34×10^{-4}	9.15×10^{-3}
			散射			8.41×10^{-3}	
7	迷道防护门外 0.3m	泄露	8.3	10	4.93×10^{-10}	1.73×10^{-8}	
		散射	12.3		1.68×10^{-8}		

由表 11-7 可知，在 450kV 探伤机工作时，透照室四周墙体、工件防护门及迷道防护门外各关注点的剂量率为 $1.40 \times 10^{-4} \sim 0.298 \mu\text{Sv/h}$ ，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 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的要求。透照室屋顶外关注点的剂量率为 $1.293 \mu\text{Sv/h}$ ，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 $100 \mu\text{Sv/h}$ ”要求。

250kV 探伤机工作时，透照室四周墙体、工件防护门及迷道防护门外各关注点的剂量率为 $2.37 \times 10^{-19} \sim 2.47 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，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 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的要求。透照室屋顶外关注点的剂量率为 $9.15 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，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 $100 \mu\text{Sv/h}$ ”要求。

4、个人剂量估算结果

年有效剂量可按下式计算：

$$P_{\text{年}}=H \cdot U \cdot T \cdot t \quad (\text{公式 11-16})$$

式中： $P_{\text{年}}$ 为年有效剂量，mSv/a；

t 为年工作时间，h。

(1) 加速器透照室

根据以上公式估算电子直线加速器正常工作的情况下公众及职业人员受到的年附加有效剂量率，估算结果见表 11-8。

表 11-8 加速器透照室外公众及职业人员年有效剂量估算结果

关注人群	位置	关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	t (h)	T	年有效剂量 (mSv/a)	标准限值 (mSv/a)	
职业人员	东侧控制室	0.017	900	1	0.015	5	
	迷道外侧防护门外	1.163	900	1	1.047		
公众	南侧钻床、铣床工区	0.058	900	1	0.052	0.1	
	北侧道路	泄露辐射	0.018	900	1		0.004
		天空散射	0.082	900	1		0.018
	西侧钢材库	0.057	900	1	0.051		
	工件防护门外	0.038	900	1	0.034		

由表 11-8 可知：正常运行的情况下，加速器透照室周边辐射工作人员年有效剂量为 0.015~1.047mSv，公众年有效剂量为 0.004~0.052mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T30371-2013)中规定的管理限值及本次评价提出的要求(辐射工作人员<5mSv/a，公众<0.1mSv/a)。

(2) X 射线透照室

① 周有效剂量

由上文可知，450kV 探伤机工作时各关注点的剂量最大，以此对 X 射线透照室周边公众及职业人员受到的周有效剂量进行估算。估算结果见表 11-9。

表 11-9 X 射线透照室公众及职业人员周有效剂量估算结果

关注人群	位置	$H_{450\text{kV}}$ 关注点总剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	T	t 周 (h)	周有效剂量 ($\mu\text{Sv/周}$)	
					估算结果	标准限值
职业人员	南侧控制室	0.003	1	60	0.196	100
	迷道外侧防护门外	0.112	1	60	6.715	
公众	东侧堆料区	0.001	1/4	60	0.020	5
	北侧道路	0.001	1/4	60	0.016	
	西侧绿化道路区	0.298	1/16	60	1.117	
	工件防护门外	1.41×10^{-4}	1/4	60	0.002	

X 射线透照室辐射工作人员周有效剂量为 0.196~6.715 μ Sv/周，公众的周有效剂量为 0.002~1.117 μ Sv/周，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。

② 年有效剂量

以 450kV 探伤机工作时各关注点的剂量对 X 射线透照室周边公众及职业人员受到的周有效剂量进行估算。估算结果见表 11-10。

表 11-10 X 射线透照室公众及职业人员年有效剂量估算结果

关注人群	位置	H _{450kV} 关注点总剂量率 (μ Sv/h)	T	T 年 (h)	年有效剂量 (mSv/a)	
					估算结果	标准限值
职业人员	南侧控制室	0.003	1	3000	9.80×10^{-3}	5
	迷道外侧防护门外	0.112	1	3000	0.336	
公众	东侧堆料区	0.001	1/4	3000	9.95×10^{-4}	0.25
	北侧道路	0.001	1/4	3000	7.86×10^{-4}	
	西侧绿化道路区	0.298	1/16	3000	5.58×10^{-2}	
	工件防护门外	1.41×10^{-4}	1/4	3000	1.05×10^{-4}	

由表 11-10 可知，X 射线透照室辐射工作人员年有效剂量为 $9.80 \times 10^{-3} \sim 0.336$ mSv，公众年有效剂量为 $1.05 \times 10^{-4} \sim 5.58 \times 10^{-2}$ mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及本次评价提出的剂量限值要求（辐射工作人员 < 5 mSv/a，公众 < 0.25 mSv/a）。

(3) 剂量叠加

根据建设单位提供的资料，本项目加速器透照室及 X 射线透照室的辐射工作人员从现有人员中调配，主要在本项目 2 个工作场所进行操作，根据工作量安排，可能在 2 个透照室进行轮换，但不再从事其他放射工作场所的操作。综上，辐射工作人员在本项目 2 个工作场所受到的年有效剂量叠加最大值为 $1.047 + 0.336 = 1.383$ mSv，仍满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的年剂量约束限值要求及本次环评提出的控制限值（职业工作人员 < 5 mSv/a）。

5、小结

(1) 根据核算，电子直线加速器透照室和 X 射线透照室各屏蔽面设计厚度均大于估算所需防护厚度，可以达到防护要求；

(2) 根据估算，电子直线加速器正常运行的情况下，加速器透照室各屏蔽面外关注点的剂量率为 0.017~1.163 μ Sv/h，满足《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》

(HJ785-2016)中“工作场所以及周边环境的屏蔽体(墙)表面大于或等于30cm处任何监测点的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。距离加速器透照室中心水平20m处的天空散射剂量率为 $0.082\mu\text{Sv/h}$,对北侧道路区域的公众影响较小。

(3)根据估算,450kV探伤机工作时X射线透照室外各关注点的剂量当量最大,透照室四周墙体、工件防护门及迷道防护门外各关注点的剂量率为 $1.40\times 10^{-4}\sim 0.298\mu\text{Sv/h}$,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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。透照室屋顶外关注点的剂量率为 $1.293\mu\text{Sv/h}$,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 $100\mu\text{Sv/h}$ ”要求。

(4)正常运行的情况下,加速器透照室周边辐射工作人员年有效剂量为 $0.015\sim 1.047\text{mSv}$,公众年有效剂量为 $0.004\sim 0.052\text{mSv}$,满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》(GB/T30371-2013)中规定的管理限值及本次评价提出的要求(辐射工作人员 $< 5\text{mSv/a}$,公众 $< 0.1\text{mSv/a}$)。

(5)正常运行的情况下,X射线透照室辐射工作人员周有效剂量为 $0.196\sim 6.715\mu\text{Sv/周}$,公众的周有效剂量为 $0.002\sim 0.117\mu\text{Sv/周}$,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 $100\mu\text{Sv/周}$,对公众不大于 $5\mu\text{Sv/周}$ ”的控制要求。

X射线透照室辐射工作人员年有效剂量为 $9.80\times 10^{-3}\sim 0.336\text{mSv}$,公众年有效剂量为 $1.05\times 10^{-4}\sim 1.58\times 10^{-2}\text{mSv}$,满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)及本次评价提出的剂量限值要求(辐射工作人员 $< 5\text{mSv/a}$,公众 $< 0.25\text{mSv/a}$)。

(6)辐射工作人员在本项目2个工作场所受到的年有效剂量叠加最大值为 1.383mSv ,满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的年剂量约束限值要求及本次环评提出的控制限值(辐射工作人员 $< 5\text{mSv/a}$)。

二、非放射性污染物环境影响分析

1、O₃、NO_x

(1) O₃影响分析

在考虑通风情况下，加速器透照室内空气中臭氧的平衡浓度Q (mg/m³) 为：

$$Q=Q_0 \cdot T/V \quad (\text{公式11-17})$$

式中：

Q₀—臭氧的辐射化学产额，mg/h；

T—有效清洗时间，h；

V—加速器透照室的体积，本项目为800m³。

臭氧的辐射化学产额Q₀ (mg/h) 为：

$$Q_0=0.39 \cdot D_0 \cdot S \cdot R \cdot G \quad (\text{公式11-18})$$

式中：

D₀—距靶1m处的最大剂量率，本项目取600G/h；

S—照射野面积，本项目取0.04m²；

R—靶距透照室墙的距离，本项目取3m；

G—每吸收100eV辐射能量产生的臭氧分子数，一般为6~10，本次保守估算取10。

有效清洗时间T (h) 为：

$$T=T_v \cdot T_d/(T_v+T_d) \quad (\text{公式11-19})$$

式中：

T_v—换气一次所需的时间，h；

T_d—臭氧有效分解时间，0.83h。

本项目加速器透照室内拟设置通风设施，每小时有效通风次数不小于3次，排风量约2400m³/h，根据以上公式计算得加速器透照室内空气中臭氧的平衡浓度为0.083mg/m³，低于《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2007) 中O₃最高容许浓度0.3mg/m³。

X射线探伤机能量相对较低，透照室内拟安装机械排风设施，工作期间每小时有效通风次数不少于3次，排风量约3600m³/h，可以满足工作状态下X射线透照室内通风换气要求和《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，对环境影响较小。

(2) NO_x影响分析

X射线电离空气产生多种氮氧化物中以NO₂为主，其产额约为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。

本项目加速器透照室及X射线透照室均安装通排风设施，通排风量和通风换气次数可以满足臭氧的浓度限值需求，因此也可以满足氮氧化物的浓度限值要求，对室内外环境影响较小。

2、废显（定）影液、废胶片

本项目X射线探伤机拍片后洗片产生的废显（定）影液为危险废物，属于《国家危险废物名录》（2016版）中“HW16感光材料废物”。根据建设单位提供的资料，本项目运行后废显（定）影液产生量约为230L/a，废胶片产生量约为23kg/a，废显（定）影液、废胶片使用专用容器收集，暂存于暗室内，最终送至陕西新天地固体废物综合处置有限公司处置。

仅供宝鸡钛业股份有限公司检测、检验中心及科研中试平台项目—新增电子直线加速器
和X射线探伤机核技术应用项目报批公示使用

事故影响分析

1、事故分析

本项目中，射线装置运行期间，如安全联锁装置出现故障，防护门未完全关闭就出束，将会对工作人员造成误照射。因而，工作人员在进行操作前，需检查安全联锁装置是否正常。

设备因短路或其他原因造成火灾事故也可能使设备处于失控状态，因而对环境造成不利影响，发生此类事故应立即启动事故应急预案，并及时上报监管部门。

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年接受的年平均有效剂量不应超过20mSv，任何一年接受有效剂量不应超过50mSv。

假设在加速器、X射线机以最大能量工作的条件下，误入加速器透照室在出束口1m处受到有用线束照射，根据公式（11-11），接受20mSv和50mSv有效剂量的时间为0.12s、0.3s；根据距离衰减公式 $X=X_0 (R_0/R)^2$ （式中： X_0 为距X射线管固定距离 R_0 米处的剂量率； R 为距X射线管焦点的距离； X 为距X射线管固定距离 R 米处的剂量率），在450kV X射线探伤机出束口1m处受到20mSv和50mSv有效剂量的时间为0.53s、1.33s。因此应加强联锁装置的维护检查和辐射工作人员的管理，防止辐射事故的发生。

2、事故防范措施建议

(1) 定期认真地对设备的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，制定各项管理制度并严格按照要求执行，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生；

(2) 公司需制定严格的操作规范，运行期必须按操作规程执行，并做好个人的防护，并将操作规程张贴在辐射工作人员可看到的显眼位置；

(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

宝鸡钛业股份有限公司隶属于宝钛集团有限公司，其辐射环境安全纳入宝钛集团有限公司管理。

根据调查，宝钛集团有限公司已成立了环境保护委员会，委员会主任为公司总经理；辐射管理工作是环境保护工作的内容之一，并成立了辐射管理工作监督管理小组，组长为主管生产的副总经理，成员有各辐射工作单位的行政一把手和公司环保管理人员组成。辐射安全防护管理机构办公室设在生产安全环保部。

生产安全环保部的主要职责为：

- (1) 贯彻执行公司辐射安全防护管理机构的决定、指示和会议精神；
- (2) 组织开展辐射安全宣传教育及培训工作；
- (3) 审查新建、改建、扩建项目的辐射评价，参加项目过程检查和竣工验收；
- (4) 组织开展检查及有利于保证安全的其他活动；
- (5) 统计、分析、上报辐射相关数据信息；
- (6) 督查辐射安全工作，及时提出整改措施建议；
- (7) 办理环境保护委员会交办的其他事项。

辐射安全管理规章制度

1、辐射安全管理制度

宝钛集团有限公司目前已制定了一系列辐射环境管理规章制度，如下：

- (1) 操作规范：《宝钛集团有限公司 X 射线探伤安全技术操作规程》；
- (2) 管理制度：《宝钛集团有限公司辐射防护管理办法》、《宝钛集团有限公司辐射工作人员剂量管理制度》、《宝钛集团有限公司辐射工作安全保卫制度》、《宝钛集团有限公司辐射工作人员职业健康管理制》、《宝钛集团有限公司辐射岗位安全责任制》、《宝钛集团有限公司辐射设备的使用及安全防护设施维护与维修制度》、《宝钛集团有限公司辐射防护管理控制程序》、《宝钛集团有限公司辐射工作人员剂量管理制度》、《宝钛集团有限公司辐射作业设备操作规程》；
- (3) 监测制度：《宝钛集团有限公司辐射环境监测方案》；
- (4) 应急预案：《宝钛集团有限公司辐射事故应急预案》；
- (5) 培训制度：《宝钛集团有限公司辐射人员培训管理制度》。

针对本项目，公司应及时制定新增加速器、X射线探伤机的操作规范及加速器透照室、X射线透照室管理制度，并将新增射线装置纳入应急预案、监测制度、设备管理等制度中。

2、人员管理培训制度

宝钛集团有限公司已制定《宝钛集团有限公司辐射人员培训管理制度》。目前，宝钛集团有限公司在岗辐射工作人员共计 21 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。本项目辐射工作人员约 6 人，均从原工作人员中调配。

本项目建成后运行后，若新增辐射工作人员，宝鸡钛业股份有限公司应组织新增人员参加相应的辐射防护知识培训及相关法律法规的培训，培训合格后方能上岗。

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，宝鸡钛业股份有限公司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
		年初工作规划和年终工作总结时，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
		建立辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责	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

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

管理内容	管理要求	有/无
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
	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周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案	有
应急管理	建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度，定期对监测仪器设备进行检定，并建立检定档案	有
	结合本单位实际，制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行辐射事故应急演练	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 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	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	拟配备	
	控制台设有X射线管电压及高压接通或断开状态的显示装置		
	控制台设置有高压接通时的外部报警或指示装置		
	控制台或X射线管头组装体上设置探伤室门联锁接口		
	控制台设有钥匙开关，只有在打开钥匙开关后，X射线管才能出束		
	控制台设有紧急停机开关		
固定式探伤作业场所	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	拟配备

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

项目		具体要求	本项目
工业 X 射线探伤	固定式探伤作业场所	探伤室防护门上设置电离辐射警示标志和中文警示说明	拟配备
		探伤室门口和内部同时设置显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，照射状态指示装置与 X 射线探伤装置联锁	
		探伤室内、外醒目位置处设置清晰的“预备”和“照射”信号意义说明	
	辐射安全与连锁	探伤室设置门-机联锁装置	拟配备
		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	拟配备
无损检测用电子直线加速器	*通风	机房内设置通风装置。	拟设置
	*标志及指示灯	机房迷道入口处设置电离辐射警示标志。	拟设置
		机房出入口和控制台上设置工作状态指示灯。	拟设置
		机房内适当位置设置闪光式或旋转式红色警告灯及音响警告装置。	拟设置
	*防护性能	X 射线束能量大于 10MeV 时，机房墙壁、门的中子屏蔽防护符合标准要求。	本项目不涉及
	*辐射安全与连锁	机房设置门-机联锁装置，只有门关闭后才能实施照射。	拟设置
		机房设置视频监控装置。	拟设置
		设置固定式辐射监测系统，数据显示装置安装在控制台上，并具有报警装置。	拟设置
		机房内适当位置设置紧急停机或紧急断束开关，并设醒目的标志。	拟设置
	*放射性废物管理	更换的靶及含感生放射性的部件，应存放在具有屏蔽防护措施的专用场所或容器内，外设有电离辐射警示标志，由专人负责登记保管。	本项目不涉及
		废弃的靶及含感生放射性的部件应按国家放射性废物有关规定进行处理或处置，并保存处理(置)记录或证明材料	本项目不涉及
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	个人剂量计已配备，其余拟配备

辐射监测

宝鸡钛业股份有限公司隶属于宝钛集团有限公司，根据调查，宝钛集团有限公司目前已配备 1 台 X-γ 辐射巡测仪，并制定了《宝钛集团有限公司辐射环境监测方案》，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。

本项目投产后，应针对本项目新增 1 台 X-γ 辐射巡测仪，定期对加速器透照室和

X 射线透照室进行监测，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加速器透照室和 X 射线透照室监测，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) 利用企业已有的辐射监测仪器定期对加速器透照室和 X 射线透照室进行监测，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) 将加速器透照室和 X 射线透照室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 本项目运行期监测计划（建议）

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	加速器透照室、X 射线透照室防护门及门缝四周；控制室内人员操作位、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	加速器透照室、X 射线透照室屏蔽墙体外、人员可达屋顶、周围人员活动较频繁的区域（如道路、其他工区等）	

环保投资和竣工验收清单

1、环保投资

本项目总投资 1645 万元，其中环保投资 92.2 万元，占总投资的 5.6%，主要用于环保设施、辐射安全防护用品建设，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	透照室主体	69.2
		NO _x 、O ₃	排风系统	3.0
		废显（定）影液、废胶片	委托有资质单位处置	5.0
	个人防护用品	X 射线	个人剂量报警仪、X-γ 剂量率监测仪	12.0
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
总投资（万元）				92.2

2、项目竣工环保验收内容及要求

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

表 12-5 项目竣工环境保护验收清单（建议）

序号	验收项目	采取措施	效果和环境预期目标
1	辐射防护设施验收	加速器透照室及 X 射线透照室墙体、屋顶、防护门满足防护技术要求；	加速器透照室、X 射线透照室周边各关注点剂量满足《《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ785-2016）》、《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）要求； 对工作人员、公众所致有效剂量低于相应人员年剂量限值，工作人员 5mSv/a，加速器透照室周边公众 0.1mSv/a，X 射线透照室周边公众 0.25mSv/a）
2	安全设施	门机联锁装置、监视设备、透照室和控制室分别设置急停开关、透照室入口处安装醒目的照射指示灯及辐射标志、透照室内设置紧急开门按钮等	满足《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》（GB/T30371-2013）、《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ785-2016）、《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）等要求，避免辐射事故的发生
3	通风设施	加速器透照室和 X 射线透照室内安装通风设施	加速器透照室通风系统排风量应满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2007）要求；X 射线透照室内安装机械通风装置，确保通风换气次数不小于 3 次/h
4	辐射监测	对工作人员、公众活动区域辐射水平进行监测； 工作人员按要求佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；配备监测仪器	避免对环境造成辐射污染，保护职业人员、公众免受不必要的辐射
5	档案管理	定期对工作场所进行监测；定期对个人剂量进行检测；定期安排工作人员进行体检	建立监测档案、个人剂量档案和健康档案
6	管理机构	成立辐射安全管理机构，落实相关管理职责	成立辐射安全管理机构文件，确立辐射安全责任人
7	建立健全规章制度	相关《岗位职责》、《操作规程》、《辐射安全制度》、《辐射事故应急制度》等	根据标准化建设要求不断补充完善相关规章制度和应急预案，并张贴上墙
8	培训及人员配备	制定培训计划，辐射工作人员按要求参加辐射安全和防护知识培训	提高辐射工作人员的技术水平，取得培训合格证后方可上岗

辐射事故应急

1、辐射事故应急工作情况

宝钛集团有限公司已于 2019 年 1 月编制并下发了《宝钛集团有限公司辐射事故应急预案》，将宝鸡钛业股份有限公司纳入其中管理。公司已成立辐射事故应急领导小组，组长为主管生产的副总经理。

应急预案中明确规定了应急组织体系及职责、应急人员培训和应急物资准备可能发生的辐射事故及危害程度分析、辐射事故应急响应措施、辐射事故报告和处理程序等具体制度。

根据宝钛集团有限公司 2019 年度辐射安全评估报告，2019 年度辐射工作正常，未发生辐射事故，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情况

本项目建成后，应进一步完善以下几点：

- (1) 宝鸡钛业股份有限公司需按照辐射防护及本项目需求，进一步完善应急预案，并定期进行演练；
- (2) 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改进一些管理规章制度。
- (3) 明确辐射防护领导小组和应急救援指挥部各成员的职责。

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，宝鸡钛业股份有限公司拟建设“宝鸡钛业股份有限公司检测、检验中心及科研中试平台建设项目”。该项目拟在宝钛装备制造（宝鸡）有限公司北跨厂房新建 1 座加速器透照室，新增 1 台 6MeV 电子直线加速器；在规划检测检验中心厂房西北角新建 1 座 X 射线透照室，新增 4 台 X 射线探伤机（450kV/45mA、320kV/10mA、250kV/5mA、200kV/5mA）进行无损检测。

本项目主要用于铸件产品和科研项目所需的无损检测，其对宝鸡钛业股份有限公司和社会所带来的利益远大于其可能产生的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

2、辐射环境影响

(1) 根据核算，电子直线加速器透照室和 X 射线透照室各屏蔽面设计厚度均大于估算所需防护厚度，可以达到防护要求；

(2) 根据估算，电子直线加速器正常运行的情况下，加速器透照室各屏蔽面外关注点的剂量率为 0.017~1.163 μ Sv/h，满足《电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范》（HJ785-2016）中“工作场所以及周边环境的屏蔽体（墙）表面大于或等于 30cm 处任何监测点的周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h”的要求。距离加速器透照室中心水平 20m 处的天空散射剂量率为 0.062 μ Sv/h，对北侧道路区域的公众影响较小。

(3) 根据估算，450kV 探伤机工作时 X 射线透照室外各关注点的剂量当量最大，透照室四周墙体、工作防护门及迷道防护门外各关注点的剂量率为 $1.40 \times 10^{-4} \sim 0.298 \mu\text{Sv/h}$ ，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。透照室屋顶外关注点的剂量率为 1.293 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”要求。

(4) 正常运行的情况下，加速器透照室周边辐射工作人员年有效剂量为 0.015~1.047mSv，公众年有效剂量为 0.004~0.052mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《无损检测用电子直线加速器工程通用规范》

(GB/T30371-2013)中规定的管理限值及本次评价提出的要求(辐射工作人员 $<5\text{mSv/a}$, 公众 $<0.1\text{mSv/a}$)。

(5) 正常运行的情况下, X射线透照室辐射工作人员周有效剂量为 $0.196\sim 6.715\mu\text{Sv/周}$, 公众的周有效剂量为 $0.002\sim 1.117\mu\text{Sv/周}$, 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 $100\mu\text{Sv/周}$, 对公众不大于 $5\mu\text{Sv/周}$ ”的控制要求。

X射线透照室辐射工作人员年有效剂量为 $9.80\times 10^{-3}\sim 0.336\text{mSv}$, 公众年有效剂量为 $1.05\times 10^{-4}\sim 5.58\times 10^{-2}\text{mSv}$, 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)及本次评价提出的剂量限值要求(辐射工作人员 $<5\text{mSv/a}$, 公众 $<0.25\text{mSv/a}$)。

(6) 辐射工作人员在本项目 2 个工作场所受到的年有效剂量叠加最大值为 1.383mSv , 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的年剂量约束限值要求及本次环评提出的控制限值(辐射工作人员 $<5\text{mSv/a}$)。

3、辐射安全管理

宝鸡钛业股份有限公司隶属于宝钛集团有限公司, 辐射环境安全纳入其统一管理, 宝钛集团有限公司已成立了环境保护委员会和辐射管理工作监督管理小组, 制定了一系列辐射安全管理制度、人员培训制度、辐射监测制度及辐射事故应急预案, 用于指导、规范生产作业过程中的辐射安全。公司严格按照规章制度执行, 可有效避免人为事故的发生, 保证辐射安全。针对本项目新增 5 台射线装置, 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、项目环境可行性结论

宝鸡钛业股份有限公司拟新建 1 座电子直线加速器透照室、1 座 X 射线透照室, 新增 1 台 6MeV 电子直线加速器、4 台 X 射线机进行无损检测, 本项目在落实报告中提出的防护措施后, 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。

建议与承诺

(1) 项目竣工后办理验收手续，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；

(2) 运行期加强人员培训，加强安全联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；

(3) 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；

(4) 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；

(5) 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。

(6) 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。

仅供宝鸡钛业股份有限公司检测、检验中心及科研中试平台项目—新增电子直线加速器
和X射线探伤机核技术应用项目报批公示使用

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

仅供宝鸡钛业股份有限公司检测、检验中心及科研中试平台项目—新增电子直线加速器
和X射线探伤机核技术应用项目报批公示使用

经办人

公章

年 月 日

审批意见：

仅供宝鸡钛业股份有限公司检测、检验中心及科研中试平台项目—新增电子直线加速器
和X射线探伤机核技术利用项目报批公示使用

经办人

公章
年 月 日