

表 1 项目基本情况

建设项目名称		陕西方圆高科实业有限公司 10MeV/20kW 电子加速器辐照加工扩建项目			
建设单位		陕西方圆高科实业有限公司			
法人代表	金涛	联系人	张磊	联系电话	13991122092
注册地址		陕西省咸阳市兴平市西吴办纺织三路西侧永昌路南侧			
项目建设地点		咸阳市高新技术产业开发区纺织三路西侧，永昌路南侧的方圆集团厂区加速器车间内			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		1800	项目环保投资（万元）	460	投资比例（环保投资/总投资） 25.56%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积（m ² ）	5200
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其他	/			
	<p>项目概述</p> <p>一、建设单位概况</p> <p>1、建设单位简介</p> <p>陕西方圆高科实业有限公司（原名陕西方圆高科实业股份有限公司）为陕西方圆高科实业集团股份有限公司下属分公司，公司前身为陕西方圆高科实业集团股份有限公司钴 60 辐照公司，主要从事羊毛、羊毛制品的辐照杀虫，医疗药品、药剂、食品等产品的辐照消毒灭菌。近年来，为了适应市场经济发展需求，公司于 2018 年新增 1 台 3MeV 电子加速器用于电缆、电线、热缩材料的辐射改性，2019 年新增 1 台 10MeV 电子加速器用于羊毛、羊毛制品辐射杀虫，医疗用品、中成药、中草药、口服液、食品等产品消毒或灭毒。</p>				

2、项目由来

随着公司对外辐照工作量的增加，现有辐照加工能力已不能满足生产需要。为了适应市场经济发展需求，陕西方圆高科实业有限公司拟在现有厂区电子加速器辐照车间内扩建 1 座 10MeV 电子加速器机房，安装 1 台 10MeV 电子加速器，利用加速器产生的电子束对医疗用品、医药制品、中成药、中草药、口服液、食品等产品消毒或灭菌；同时拟拆除机房附近的收发室。

根据《射线装置分类》（环境保护部 国家卫生和计划生育委员会，公告 2017 第 66 号），本项目拟使用的电子加速器属于“工业辐照用加速器”为 II 类射线装置。依据《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》和《建设项目环境保护管理条例》，本项目需进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），本项目属于“五十五、核与辐射—179、核技术利用建设项目，制备 PET 用放射性药物的；医疗使用 I 类放射源的；使用 II 类、III 类放射源的；生产、使用 II 类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）；在野外进行放射性同位素示踪实验的；以上项目的改、扩建（不含在已许可场所增加不超出已许可活动种类和不高于已许可范围等级的核素或射线装置）”，应编制环境影响报告表。

陕西方圆高科实业有限公司于 2021 年 9 月 22 日委托我公司编制该项目环境影响报告表。接受委托后，我公司随即组织专业人员开展资料收集、现场踏勘、资料整理分析等工作，按照《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，编制完成了《陕西方圆高科实业有限公司 10MeV/20kW 电子加速器辐照加工扩建项目环境影响报告表》。

二、项目概况

1、建设规模

陕西方圆高科实业有限公司计划在电子加速器辐照车间的东南角扩建 1 座电子加速器机房，购置安装 1 台 10MeV 电子加速器，同时拆除拟建加速器机房北侧的收发室。计划购置的电子加速器参数见表 1-1。

表 1-1 该项目计划购置电子加速器参数

名称、型号	DZ-10/20 型电子直线加速器
数量	1 台
加速粒子	电子
最大能量	10MeV

最大束流强度	2mA
类别	II类
平均束功率	20kW
用途	辐照加工

2、工作制度及劳动定员

根据陕西方圆高科实业有限公司提供的资料，本项目工作人员为4人，从公司现有辐射工作人员中调配，年工作300d，每天8h。

三、产业政策符合性及实践正当性分析

1、产业政策符合性

本项目利用电子直线加速器进行辐照加工，系核技术应用项目在工业领域内的应用。根据《产业结构调整指导目录（2019年本）》，本项目属于“第一类 鼓励类”中“六、核能—6、同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业政策。

本项目属于《西部地区鼓励类产业目录（2020年本）》（国家发展和改革委员会发布，2020年11月5日）中“（六）陕西省”的“48、核辐照加工、核辐照产业、放射性同位素生产与研发、轻型辐射屏蔽材料、核级铸件等研发生产”，符合区域发展规划和产业政策。

2、实践正当性

该项目利用电子束进行杀虫、消毒和灭菌，不但效果理想且无残留，对物品包装无特殊要求，不污染环境，辐照后可以立即使用，具有其他灭菌方法无可比拟的优点。该项目加速器安装于带屏蔽的主机室内，工作时产生的X射线经辐照室、主机室墙体屏蔽后，产生的辐射影响可以控制在标准允许范围之内，项目对社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

四、项目地理位置及周边环境关系

1、地理位置

陕西方圆高科实业有限公司位于陕西省咸阳市新兴纺织工业园内。新兴纺织工业园位于咸阳主城区以西，北起咸兴大道，南至西宝高速，东接咸阳高新区，西至卫青路和汉武大道，与兴平西吴国家重点示范镇接壤。工业园区东距西安市25km，西距宝鸡市162km，距西安咸阳国际机场20km，距咸阳火车西站3km，交通十分便利。地理位置见图1-1。



图 1-1 项目地理位置与交通图

2、周边环境关系及平面布置图

本项目建设地点位于咸阳高新技术产业开发区纺织三路西侧，永昌路南侧的方圆集团厂区加速器车间内，项目所在的电子加速器辐照车间北侧为停车场、公司宿办楼和钴 60 辐照中心；东侧为消防泵房、陕西浩洋警用装备有限公司和杜克普服装有限公司；南侧为新纺 110kV 变电站、咸阳新兴纺织工业园消防站；西侧为新兴产业制造基地。项目周边环境关系见图 1-2，其中消防泵房、陕西浩洋警用装备有限公司和杜克普服装有限公司场地为陕西方圆高科实业集团股份有限公司所有。

本次拟建的 10MeV 加速器辐照装置机房位于电子加速器辐照车间的东南角，北侧为收发室（拟拆除），西侧为现有 10MeV 加速器辐照装置、空压机房、发电机房和配电室等辅助房间，西北方向为现有 3MeV 加速器辐照装置、风机室和控制室。电子加速器辐照车间平面布置见图 1-3。

本项目拟建机房一楼为辐照室，辐照室东侧为楼梯；西侧为货品传输链。二楼为主机室及辅助房间，主机室北侧为水冷室外平台、水冷室和平台；南侧为电气室、控制室和楼梯；西侧为过道。拟建加速器机房辐照室平面布置见图 1-4，主机室平面布置见图 1-5，加速器机房立面图见图 1-6。



图 1-2 项目周边环境关系图

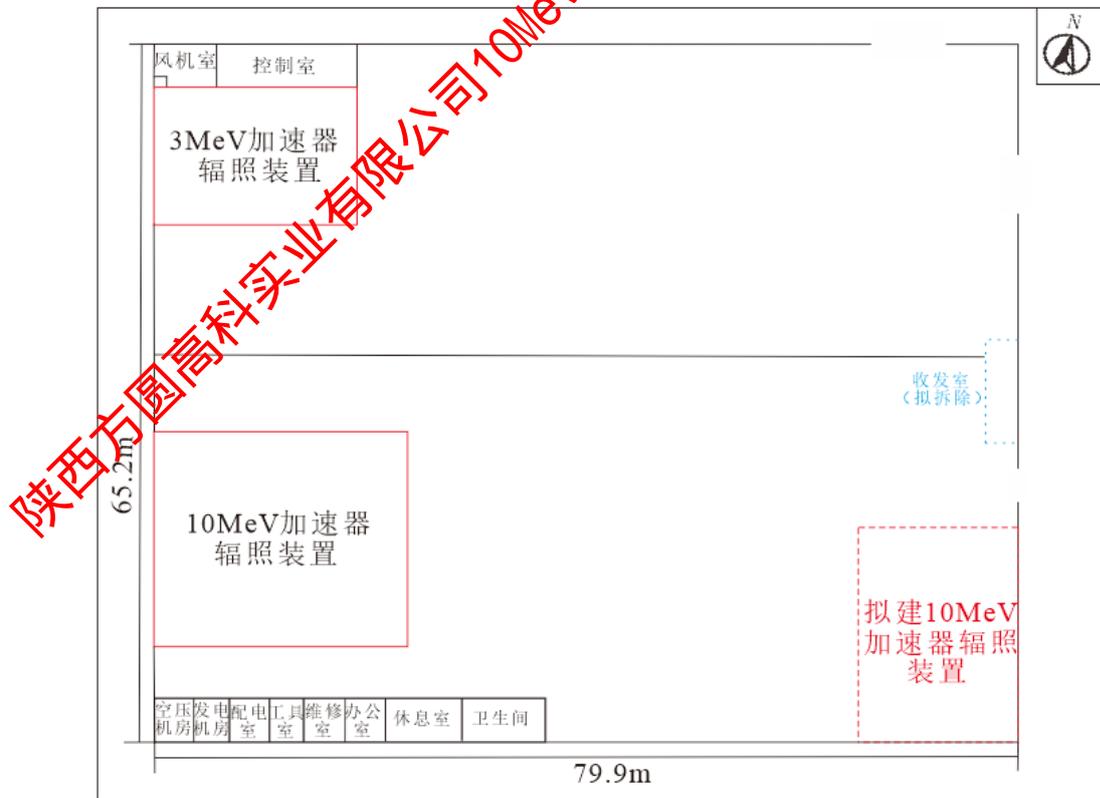


图 1-3 电子加速器辐照车间平面布置图

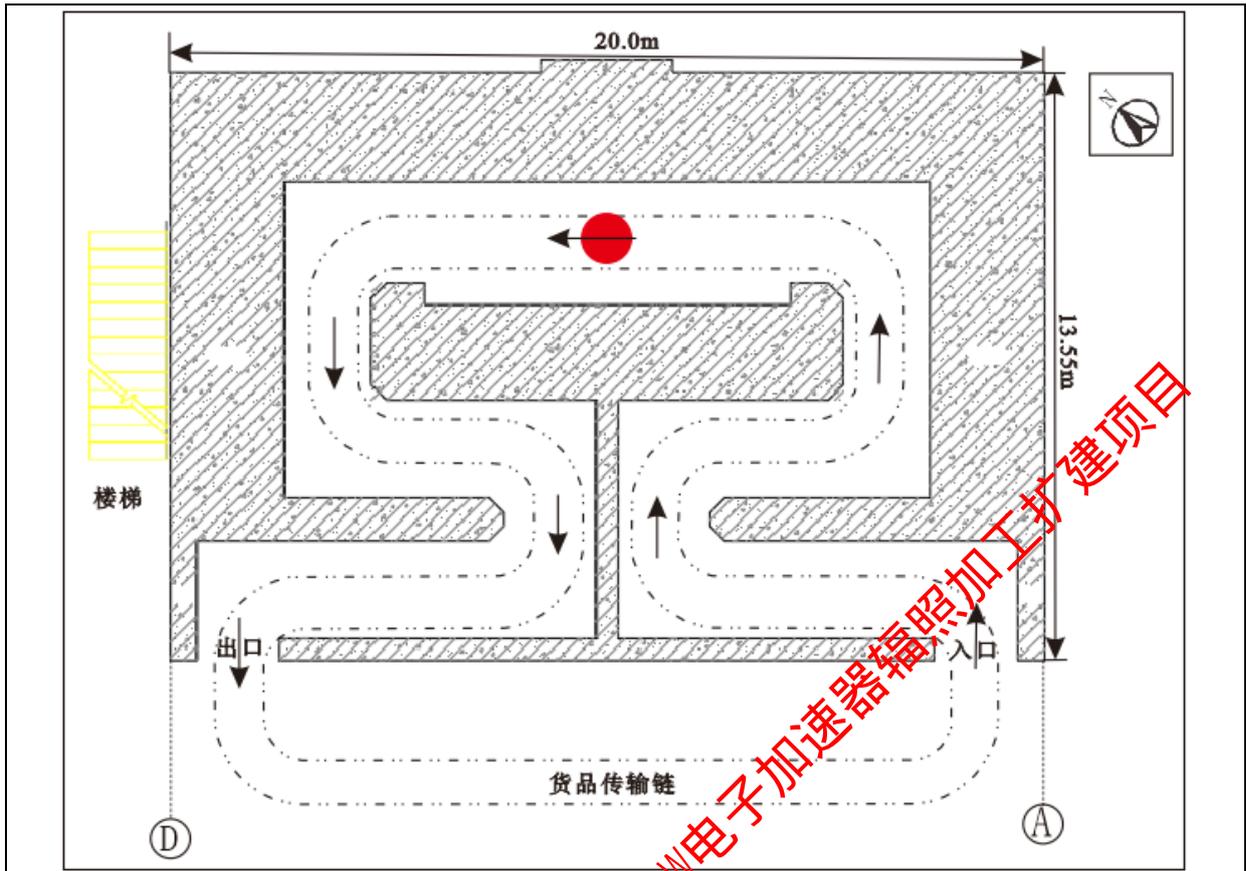


图 1-4 拟建电子加速器机房一楼辐照室平面布置图

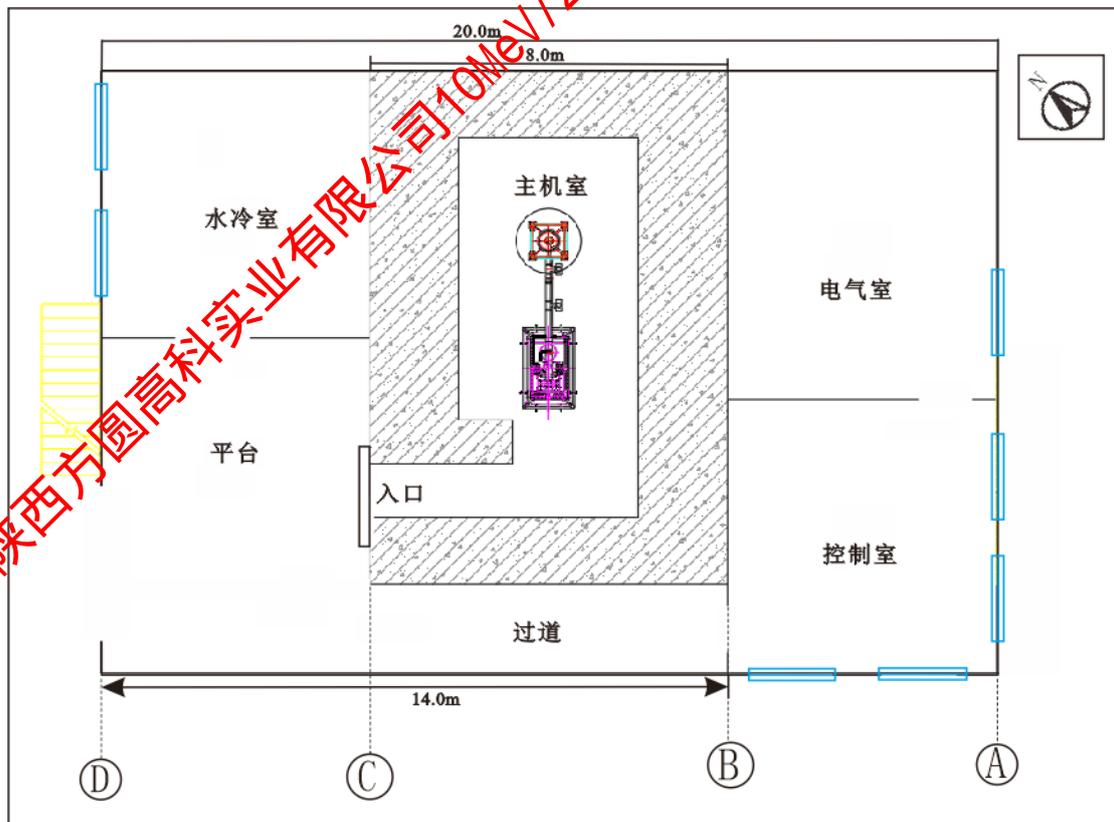


图 1-5 拟建电子加速器机房二楼主机室平面布置图

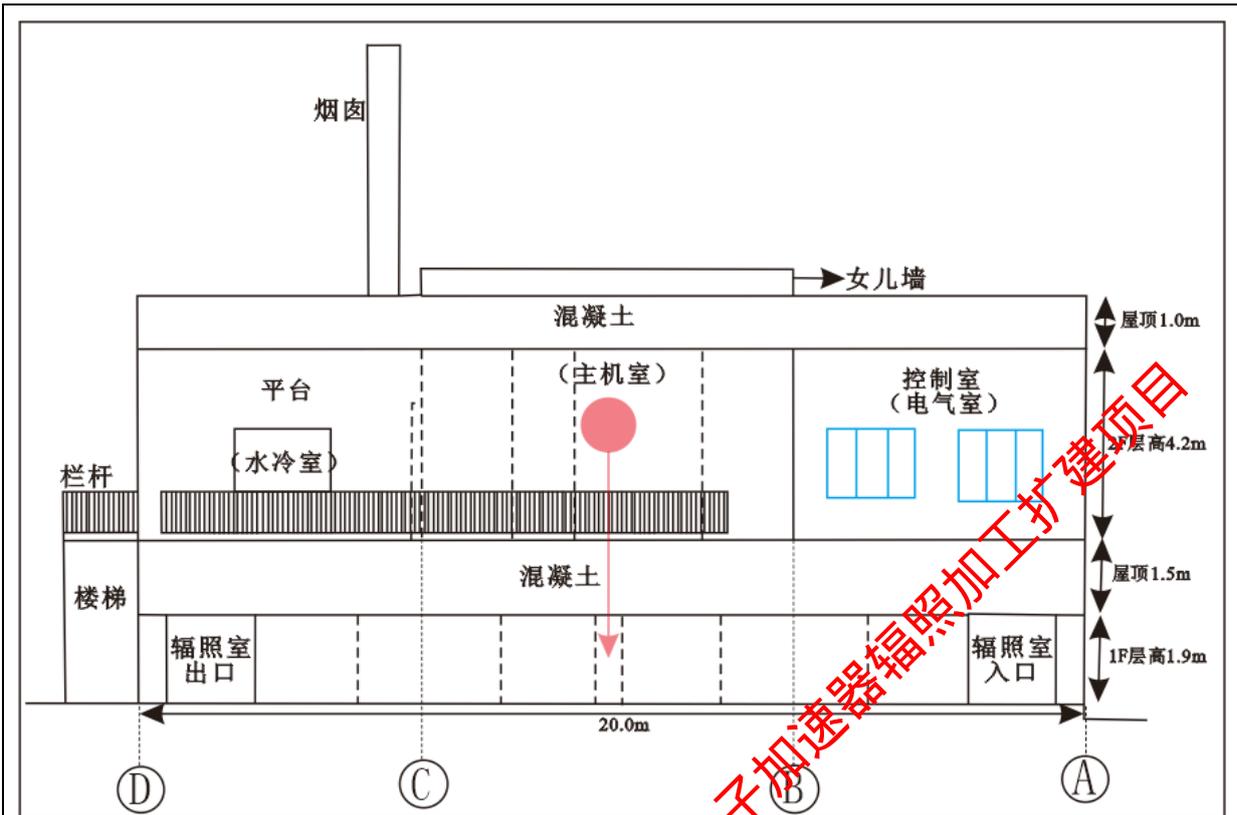


图 1-6 拟建电子加速器机房 A-D 面立面图

五、公司核技术利用项目回顾

1、现有核技术利用项目情况

(1) 环保手续履行情况

根据陕西方圆高科实业有限公司提供的资料，2006 年前陕西方圆高科实业有限公司（原陕西方圆实业集团股份有限公司）在咸阳市人民西路 29 号原有一座装源活度为 $1.11 \times 10^{16} \text{Bq}$ 的 ^{60}Co 辐照装置。2008 年，公司新建成一座装源活度 $7.4 \times 10^{16} \text{Bq}$ 的 ^{60}Co 辐照装置。同年 9 月，该项目取得了环境保护部《关于陕西方圆实业集团股份有限公司 ^{60}Co 辐照中心环境影响报告书的批复》（环审〔2008〕327 号）。根据环审〔2008〕327 号文件要求，公司初始装源活度 $1.11 \times 10^{16} \text{Bq}$ 的 ^{60}Co 辐照装置应实施退役，为此，陕西方圆高科实业有限公司（原陕西方圆实业集团股份有限公司）委托中国原子能科学研究院编制《陕西方圆实业集团股份有限公司钴源辐照装置退役项目环境影响报告表》，2012 年 8 月 10 日，该钴源辐照装置退役项目取得环境保护部批复（环审〔2012〕222 号）。

陕西方圆高科实业有限公司现有 1 座 ^{60}Co 辐照装置和 2 台电子加速器，均已开展环境影响评价，环保手续履行情况见表 1-2，批复详见附件。

表 1-2 现有核技术利用项目环保手续履行情况

序号	项目名称	环评审批	环评批复内容及日期		验收批复内容及日期	
1	陕西方圆实业集团股份公司钴-60辐照中心项目	陕西省生态环境厅（原陕西省环境保护厅）	陕环批复（2008）327号，2008年9月4日	在咸阳市人民西路29号新建1座钴-60辐照装置，装源能力为200万居里	环验（2012）164号，2012年8月1日	在咸阳市人民西路29号新建1座钴-60辐照装置，装源能力为200万居里
2	陕西方圆实业集团股份有限公司钴源辐照装置退役项目	陕西省生态环境厅（原陕西省环境保护厅）	环审（2012）222号，2012年8月10日	将陕西省咸阳市人民西路29号于1976年建造的装源能力为30万居里的钴源装置退役	环验（2016）66号，2016年8月10日	陕西省咸阳市秦都区统一大道西段钴源装置退役，54枚钴-60放射源和1枚 ¹³⁷ Cs转入在咸阳市新纺织工业园纺织三路南段路西侧永昌路新建的-60辐照装置
3	陕西方圆实业集团股份公司钴-60辐照装置搬迁扩建项目	陕西省生态环境厅（原陕西省环境保护厅）	陕环批复（2013）504号，2013年10月8日	在咸阳市新纺织工业园内新建的1座钴-60辐照装置，同时将现有装源能力200万居里的辐照装置搬迁至新建装置中，原厂址退役	陕环批复（2016）699号，2016年12月20日	原辐照装置搬迁至咸阳市新兴纺织园新建场所内，并且装源能力扩建至400万居里
4	陕西方圆高科实业股份有限公司电子加速器辐照加工项目	陕西省生态环境厅（原陕西省环境保护厅）	陕环批复（2017）290号，2017年7月4日	安装10MeV和3MeV电子加速器各1台（均属II类射线装置）	2018年6月5日自主验收	安装1台3MeV电子加速器
					2019年3月15日自主验收	安装1台10MeV电子加速器

(2) 现有辐射安全许可证

陕西方圆高科实业有限公司于2021年9月2日取得更新后的辐射安全许可证，许可证编号为国环辐证（00109），许可证种类和范围为使用I类、II类、III类、IV类、V类放射源；使用II类射线装置。有效期至2026年9月30日，辐射安全许可证台账明细见表1-3。

表 1-3 辐射安全许可证台账明细

放射源						
序号	核素	类别	总活度 (Bq)		活动种类	
1	Cs-137	V类	3.7E+5		使用	
2	Co-60	I类	1.48E+17		使用	
射线装置						
序号	装置名称	规格型号	类别	数量	场所	用途
1	DD3.0MeV/30mA 电子加速器	3.0MeV/90 kW	II类	1	加速器辐照中心：陕西省 咸阳市兴平市西吴办纺织 三路西侧永昌路南侧	工业辐照 用加速器
2	DZ-10/20 电子直 线加速器	DZ- 10MeV/20 kW	II类	1	加速器辐照中心：陕西省 咸阳市兴平市西吴办纺织 三路西侧永昌路南侧	工业辐照 用加速器

2、陕西方圆高科实业有限公司辐射安全与管理现状

(1) 辐射安全管理机构

陕西方圆高科实业有限公司已成立了辐射安全和环境保护管理小组，组长为金涛，组员为罗永强、陈力等共计 9 人，全面负责公司的辐射安全防护管理工作，该领导小组主要负责组织实施各项辐射安全防护制度、监督检查辐射工作人员的医疗保健和身体健康、定期组织辐射工作人员体检并且负责新员工辐射防护知识的培训。

(2) 规章制度建设及落实情况

陕西方圆高科实业有限公司目前已制定了较为完善的规章制度，主要有：《辐射防护与安全保卫管理制度》、《射线装置事故应急预案》、《射线装置辐射监测方案》、《放射源使用管理规定》、《关于放射源定购、贮存、运输、退役的管理规定》、《放射源倒装、装源安全管理制度》、《⁶⁰Co 辐照装置放射防护安全责任制》、《⁶⁰Co 辐照装置检测设备检测、维护制度》、《⁶⁰Co 辐照装置事故应急预案》、《个人剂量监测制度》、《射线装置台账管理制度》、《人员培训考核、资格认定制度》、《射线装置操作人员工作职责》、《设备检修维护制度》等一系列规章制度，以确保辐射作业中的安全防护。

(3) 工作人员培训情况

目前，陕西方圆高科实业有限公司在岗辐射工作人员中金涛等 10 人参加生态环境部组织的中级辐射安全与防护培训班的学习，陈力等 7 人参加陕西省核安全辐射工作单位人员技术培训，薛松等 5 人参加陕西省核安全局组织的初级辐射安全与防护培训班的学习，并取得合格证书，见附件。

(4) 辐射工作场所监测报告

根据西安志诚辐射环境检测有限公司 2021 年 10 月 9 日出具的陕西方圆高科实业有限公司辐照装置工作场所年度监测报告（报告编号：XAZC-JC-2021-683，监测报告见附件），陕西方圆高科实业有限公司内空地（本底值）周围当量剂量率测量值为 0.111 μ Sv/h。

3MeV 电子加速器正常工作状态下：辐照室、主机室屏蔽体（墙体、防护门）外 30cm 处及其周围区域各监测点位周围剂量当量率测值范围为 0.107~0.135 μ Sv/h。10MeV 电子加速器正常工作状态下：辐照室、主机室屏蔽体（墙体、防护门）外 30cm 处及其周围区域各监测点位周围剂量当量率测值范围为 0.111~1.45 μ Sv/h。均满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中的相关要求。

Co-60 辐照装置在降源状态下：贮源井井口外表面 30cm 处周围剂量当量率测值为 0.133 μ Sv/h。辐照室内其余点位周围剂量当量率测值范围为 0.105~0.111 μ Sv/h；辐照装置在正常状态下，辐照室屏蔽体外表面 30cm 处及其周围区域各点位周围剂量当量率测值范围为 0.109~0.162 μ Sv/h。Co-60 辐照装置控制区各点位、监督区各点位及其工作人员工作服、手套、鞋表面的 β 表面的污染测值均低于仪器检出限 0.07Bq/cm²。可以满足《 γ 辐照装置设计建造和使用规范》（GB/T 17568-2019）。

(5) 个人剂量检测报告

陕西方圆高科实业有限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，由专人负责收集个人剂量计，监测频次为 3 个月 1 次。根据陕西方圆高科辐射技术有限公司出具的 2020 年 7 月至 2021 年 4 月 3 个季度的职业性外照射个人剂量监测报告和西安志诚辐射环境检测有限公司出具的 2021 年 4 月至 2021 年 7 月 1 季度的职业性外照射个人剂量监测报告，2020 年 7 月至 2021 年 7 月期间，陕西方圆高科实业有限公司放射工作人员个人剂量当量为 0.04~0.35mSv，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，每季度的个人剂量检测结果和每年度的个人体检报告均存档备案。

(6) 职业健康检查情况

陕西方圆高科实业有限公司安排辐射工作人员每 2 年进行一次健康体检，体检报告存档备案。根据延安大学咸阳医院 2021 年 6 月 7 日出具的职业健康检查结果报告，29 名工作人员“可以从事放射性作业”，同时刘东强和金涛的体检报告为白细胞偏低，复

查后显示可以从事放射性作业，见附件。

七、评价目的

(1) 对陕西方圆高科实业有限公司 10MeV 电子加速器辐照加工核技术利用项目辐照加工作业时产生的辐射环境影响进行预测，分析该项目产生的辐射影响是否满足国家标准相关要求；

(2) 对该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”；

(3) 满足国家和地方环境保护部门对该项目环境管理规定的要求，为该项目的辐射环境管理提供科学依据。

陕西方圆高科实业有限公司10MeV/20kW电子加速器辐照加工扩建项目

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

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

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	DZ-10/20 电子直线加速器	II	1	DZ-10/20	电子	10	20mA	工业辐照	电子加速器辐照车间	增加
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV) / 最大能量 (MeV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	

(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
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	/	通过 15m 的排气筒引至楼顶排入大气
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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 日实施;</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》, 2018 年 12 月 29 日修订;</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》, 2003 年 10 月 1 日实施;</p> <p>(4) 《建设项目环境影响评价分类管理目录(2021 年版)》, 2021 年 1 月 1 日;</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》, 国务院令 682 号, 2017 年 10 月 1 日;</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》, 生态环境部令 7 号, 2019 年 8 月 22 日;</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》, 2019 年 8 月 22 日修订;</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》, 环境保护部令 18 号, 2011 年 5 月 1 日实施;</p> <p>(9) 《关于加强放射性同位素与射线装置辐射安全和防护工作的通知》, 环境保护部环发〔2008〕13 号, 2008 年 4 月 14 日;</p> <p>(10) 《关于发布<射线装置分类>的公告》, 环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号, 2017 年 12 月 6 日;</p> <p>(11) 《陕西省放射性污染防治条例》, 2019 年 11 月 6 日;</p> <p>(12) 《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, 2018 年 6 月 6 日。</p>
<p>技术标准</p>	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002);</p> <p>(2) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018);</p> <p>(3) 《工作场所所有害因素职业接触限值 第 1 部分: 化学有害因素》(GBZ 2.1-2019);</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) 《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ 2.2-2018);</p> <p>(7) 《环境空气质量标准》(GB 3095-2012) 及修改单;</p> <p>(8) 《施工场界扬尘排放限值》(DB 61/1078-2017);</p> <p>(9) 《环境影响评价技术导则 声环境》(HJ 2.4-2009);</p> <p>(10) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008);</p>

	<p>(1) 《声环境质量标准》(GB 3096-2008)。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 陕西方圆高科实业有限公司 10MeV 电子加速器辐照加工核技术利用项目环境影响评价委托书；</p> <p>(2) 陕西方圆高科实业有限公司 10MeV 电子加速器辐照加工核技术利用项目辐射环境现状监测报告(报告编号: XAZC-JC-2021-695, 编制单位: 西安志诚辐射环境检测有限公司);</p> <p>(3) 《DZ-10/20 型工业辐照电子直线加速器防护设计》, 中广核中科海维科技发展有限公司;</p> <p>(4) 《陕西方圆高科实业有限公司电子加速器辐照加工车间设计图》, 中广核中科海维科技发展有限公司;</p> <p>(5) 陕西方圆高科实业有限公司提供的相关技术资料。</p>

陕西方圆高科实业有限公司 10MeV/20kW 电子加速器辐照加工扩建项目

表 7 保护目标及评价标准

评价范围

本项目使用 10MeV 电子加速器，属于 II 类射线装置，根据《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016) 中“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围），对于 I 类放射源或 I 类射线装置的项目可根据环境影响的范围适当扩大”的要求，确定本项目评价范围为加速器机房屏蔽墙外 50m 区域。项目评价范围图如图 7-1 所示。



图 7-1 本项目评价范围示意图

保护目标

本项目主要保护目标为 10MeV 电子加速器工作人员（计划配备 4 名工作人员）及拟建加速器机房所在电子加速器辐照车间及周围公众，本项目所在电子加速器辐照车间 3MeV 和 10MeV 电子加速器机房为二层、其余部分为一层，不涉及楼上或楼下的相关保护目标。本项目环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 主要环境保护目标一览表

序号	工作场所	保护目标名称	规模 (人)	相对加速器机房 位置关系		年有效剂 量控制水 平
				方位	距离 (m)	
1	货品传输链	产品搬运人员	2	西侧	0~3.2	职业人员 ≤5mSv
2	加速器控制室	加速器工作人员	2	加速器机 房二层	/	
3	电气室	加速器工作人员	/			
4	平台		/			
5	过道		流动人员			
6	水冷室		/			
7	现有 10MeV 加 速器辐照装置区		10MeV 加速器 工作人员	9	西侧	44.5~50
8	卫生间	电子加速器辐照 车间工作人员	/	29.5~37.0		
9	休息室		/	37.0~44.5		
10	办公室		1	44.5~47.25		
11	维修室		/	47.25~50		
12	厂区道路		厂区工作人员	临时路过无 固定人员		0~14
13	消防泵房		巡检人员	2	14~25	
14	陕西浩洋警用装 备有限公司	公司工作人员	30	东侧	32~50	
15	杜克普服装有限 公司	公司工作人员	50		32~50	
16	厂区道路	厂区工作人员	临时路过无 固定人员	南侧	0~7	
17	咸阳新兴纺织工 业园消防站	办公楼工作人员	25		14~50	
18	新纺 110KV 变电 站	值班人员	1		7~50	
19	电子加速器辐照 车间	厂区工作人员	18	北侧	0~45.2	
20	厂内道路		临时路过无 固定人员		45.2~50.0	

评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 相关内容

11.4.3.2 剂量约束值通常应在照射剂量限值 10%~30%的范围之内。

标准附录 B 剂量限值和表面污染控制水平:

B1.1.1.1 条规定: 应对任何工作人员的~~职业照射水平~~进行控制, 使之不超过下述限值: 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量 (但不可作任何追溯性平均), 20mSv;

B1.2.1 规定: 实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量~~估算值~~不应超过下述限值: 年有效剂量, 1mSv。

二、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 相关内容

本标准适用于辐射加工用能量不高于 10MeV 的电子束辐照装置和能量不高于 5MeV 的 X 射线辐照装置。

(1) 个人剂量约束

辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量~~限值~~应满足 GB18871 的要求。在电子加速器辐照装置的工程设计中, 辐射防护的剂量约束值规定为: 辐射工作人员个人年有效剂量为 5mSv; 公众成员个人年有效剂量为 0.1mSv。

(2) 辐射屏蔽设计依据

电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处~~及以外区域~~周围剂量当量率不能超过 2.5 μ Sv/h。如果屏蔽体外为社会公众区域, 屏蔽设计必须符合公众成员个人剂量约束值规定。

电子加速器辐照装置的安全设计:

(1) 钥匙控制。加速器的主控钥匙开关必须和主机室门和辐照室门联锁。如从控制台上取出该钥匙, 加速器应自动停机。该钥匙必须与一台有效的便捷式辐照监测报警~~器~~相连。在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用;

(2) 门机连锁。辐照室和主机室的门必须与束流控制和加速器高压联锁。辐照室门或主机室门打开时, 加速器不能开机。加速器运行中门被打开则加速器应自动停机;

(3) 束下装置联锁。电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制必须建立可靠的接口和协议文件。束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时, 加速器应自动停机;

(4) 信号警示装置。在控制区出入口处及内部应设置灯光和音响警示信号，用于开机前对主机室和辐照室内人员的警示。主机室和辐照室出入口设置工作状态指示装置，并与电子加速器辐照装置联锁；

(5) 巡检按钮。主机室和辐照室内应设置“巡检按钮”，并与控制台联锁。加速器开机前，操作人员进入主机室和辐照室按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留；

(6) 防人误入装置。在主机室和辐照室的人员出入口通道内设置三道防人误入的安全联锁装置（一般可采用光电装置），并与加速器的开、停机联锁；

(7) 急停装置。在控制台上和主机室、辐照室内设置紧急停机装置（一般为拉线开关或按钮），使之能在紧急状态下终止加速器的运行。辐照室及其迷道内的急停装置应采用拉线开关并覆盖全部区域。主机室和辐照室内还应设置开门机构，以便人员离开控制区；

(8) 剂量联锁。在辐照室和主机室的迷道内设置固定式辐射监测仪，与辐照室和主机室的出入口门等联锁。当主机室和辐照室内的辐射水平高于仪器设定的阈值时，主机室和辐照室门无法打开；

(9) 通风联锁。主机室、辐照室通风系统与控制系统联锁，加速器停机后，只有达到预先设定的时间后才能开门，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值；

(10) 烟雾报警。辐照室应设置烟雾报警装置，遇到火险时，加速器应立即停机并停止通风。

三、环境质量标准

1、《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）

加速器机房周边臭氧和氮氧化物执行《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中的二级标准。本项目臭氧和氮氧化物的浓度限值见表 7-2。

表 7-2 环境空气污染物基本项目浓度限值

序号	污染物项目	平均时间	浓度限值（二级）	单位
1	臭氧	日最大 8 小时平均	160	μg/m ³
		1 小时平均	200	
2	氮氧化物	年平均	50	
		24 小时平均	100	
		1 小时平均	250	

2、《声环境质量标准》（GB 3096-2008）

根据《声环境质量标准》（GB 3096-2008），“以工业生产、仓储物流为主要功能，

需要防止工业噪声对周围环境产生严重影响的区域执行 3 类声环境功能区要求”。本项目位于新兴纺织工业园区内，故项目执行《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中的 3 类标准。

表 7-3 《声环境质量标准》（GB3096-2008）

声环境功能区类别	标准限值（单位 dB（A））		单位
	昼间	夜间	
3 类	65	55	dB（A）

四、污染物排放标准

1、《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）

由于臭氧目前无可执行的排放标准，参照执行《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）。即臭氧的职业接触限制得到，臭氧的最高容许浓度为 0.3mg/m³。

2、《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）

7.1 排气筒高度除须遵守表列排放速率标准值外，还应高出周围 200m 半径范围的建筑物 5m 以上，不能达到该标准的排气筒，应按其高度对应的表列排放速率标准值严格 50%执行。

7.4 新污染源的排气筒一般不应低于 15m，若某新污染源的排气筒必须低于 15m 时，其排放速率标准值按外推计算结果再严格 50%执行。

氮氧化物的最高允许排放浓度排放速率执行标准见表 7-4。

表 7-4 新污染源大气污染物排放限值

污染物	最高允许排放浓度 mg/m ³	最高允许排放速率 7kg/h	
		排气筒高度 m	二级
氮氧化物	240	15	0.77

3、废水

本项目产生生产废水，不新增劳动定员，不新增生活污水排放。

《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）相关内容

施工期噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）标准。

表 7-5 建筑施工场界环境噪声排放限值 单位：dB(A)

昼间	夜间
70	55

5、《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）相关内容

运行期四周厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3 类标准。

表 7-6 工业企业厂界环境噪声排放限值 单位: dB(A)

时段 厂界外 声环境功能区类别	昼 间	夜 间
0	50	40
1	55	45
2	60	50
3	65	55
4	70	55

6、《施工场界扬尘排放限值》(DB61/198-2017)

施工期扬尘参照执行《施工场界扬尘排放限值》(DB61/198-2017)表 7-7 中浓度限制; 运行期无大气污染物排放。

表 7-7 《施工场界扬尘排放限值》(DB61/198-2017)

序号	污染物	监控点	施工阶段	小时平均浓度限值 (mg/m ³)
1	施工扬尘 (TSP)	周界外浓度最 高点	拆除、土方及地基处理工程	≤0.8
2			基础、主体结构及装饰工程	≤0.7

陕西方圆高科实业有限公司10MeV/20kV电子加速器辐照加工扩建项目

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理位置和场所位置

(1) 项目地理位置

陕西方圆高科实业有限公司位于陕西省咸阳市新兴纺织工业园内。公司地理位置图见图 1-1。

(2) 场所位置

本项目位于咸阳高新技术产业开发区纺织三路西侧，永昌路南侧的方圆集团厂区加速器车间内。项目场所布局见图 1-2。

二、环境质量和辐射现状监测

本项目辐射环境质量现状数据由陕西方圆高科实业有限公司委托西安志诚辐射环境检测有限公司进行监测，监测时间为 2021 年 9 月 28 日和 2021 年 10 月 28 日，监测地点为陕西方圆高科实业有限公司电子加速器辐照车间和公司四周厂界，监测单位按照《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021) 和《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348-2008) 有关要求进行了监测。

1、监测因子

X、 γ 辐射剂量率和等效连续 A 声级。

2、监测点位

监测点位分别布设在陕西方圆高科实业有限公司电子加速器辐照车间东南角项目拟建地四周及拟建地南侧、北侧道路，监测点位布置情况详见图 8-1。

3、监测概况

(1) 监测日期、时间、气象条件及仪器校准情况

本次监测 X、 γ 辐射剂量率和等效连续 A 声级监测时间等参数详见表 8-1。

表 8-1 监测日期、时间、气象条件及仪器校准情况参数

监测因子	监测日期	监测时间	风速 (m/s)	天气	校准读数[dB(A)]	
					校准前	校准后
X、 γ 辐射剂量率	2021.9.28	16:20~16:50	/	阴	/	/
等效连续 A 声级	2021.10.28	昼间 (17:24~18:10)	0.5	多云	93.8	93.8
		昼间 (22:01~22:28)	0.6	多云	93.8	93.8

(2) 监测仪器

监测仪器为环境监测用 X、 γ 辐射空气吸收剂量率仪和多功能声级计 AWA6228 型，参数详见表 8-2。

表 8-2 监测仪器参数

X、 γ 辐射空气吸收剂量率仪	
型号规格	FD-3013H
仪器编号	XAZC-YQ-016
测量范围	0.01 μ Gy/h~200 μ Gy/h
检定单位	上海市计量测试技术研究院
检定证书	2019H21-20-3331352001-04
检定有效期	2021.6.1~2022.5.31
多功能声级计 AWA6228+型	
型号规格	校准器 AWA6021A
仪器编号	XAZC-YQ-021
	XAZC-YQ-022
测量范围	20dB~132dB
检定单位	陕西省计量科学研究院
检定证书	ZS20211243J
	ZS20211241J
检定有效期	2021.6.23~2022.6.22
	2021.6.23~2022.6.22

(3) 质量保证

按照《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021) 和《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348-2008) 的要求，实施监测全过程质量控制，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。所用监测仪器全部经过计量部门检定，并在有效期内。监测数据严格实行三级审核制度。

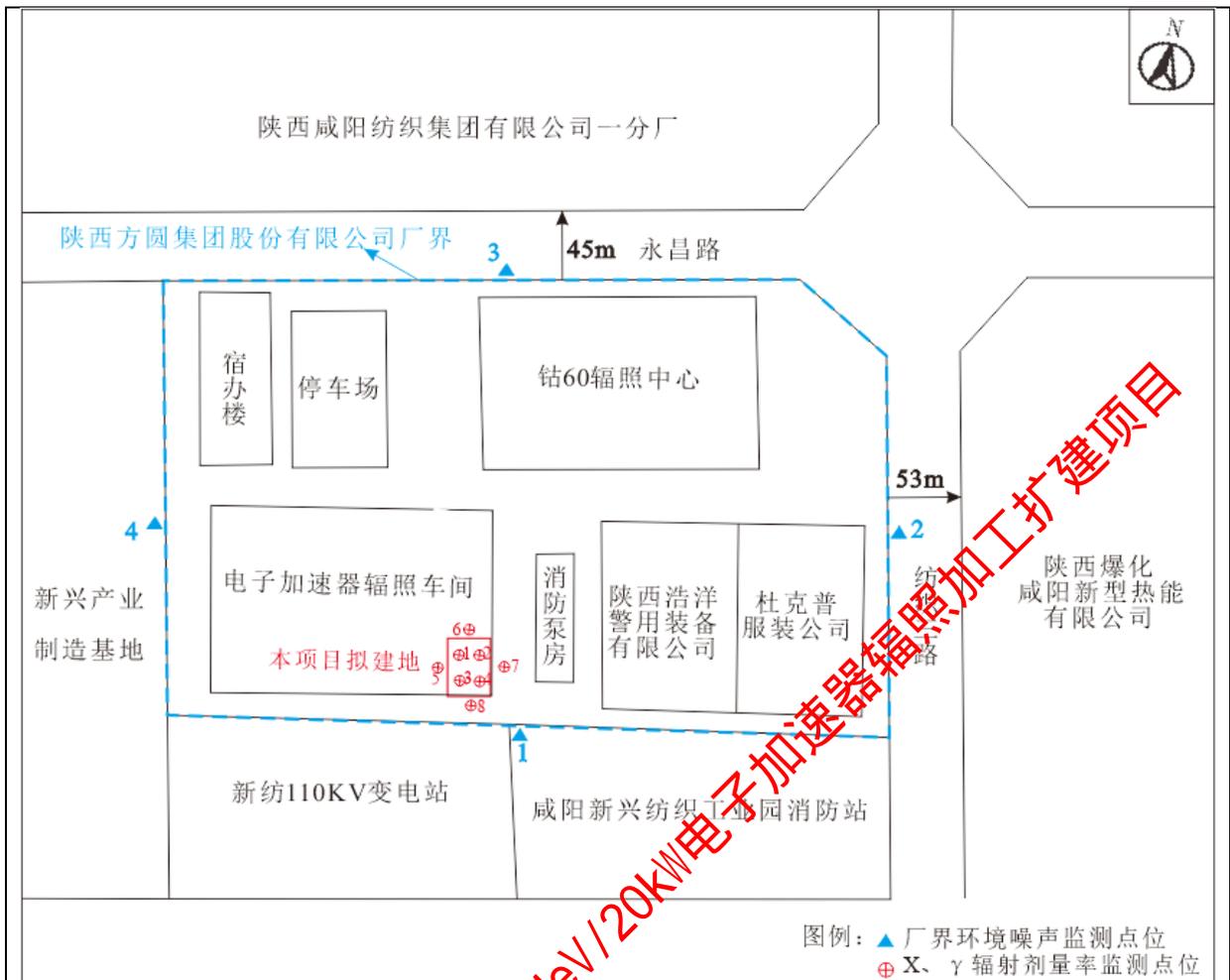


图 8-1 监测点位示意图

4、环境质量现状

项目环境质量现状监测结果见表 8-3，厂界环境噪声监测结果见表 8-4。

表 8-3 环境质量现状监测结果

X、γ 辐射剂量率监测点位			
监测点位	监测点位描述	X、γ 辐射剂量率 (μGy/h)	
		均值	标准偏差
1	项目拟建地 1#点位	0.06	0.01
2	项目拟建地 2#点位	0.07	0.01
3	项目拟建地 3#点位	0.07	0.01
4	项目拟建地 4#点位	0.06	0.01
5	项目拟建地 5#点位	0.06	0.01
6	项目拟建地 6#点位	0.07	0.01
7	项目拟建地东侧道路	0.08	0.01
8	项目拟建地南侧道路	0.08	0.01

表 8-4 厂界环境噪声监测结果

厂界环境噪声监测点位				
监测点位	监测点位描述	Leq 测量值[dB(A)]		监测点位坐标
		昼间	夜间	
1	南厂界外 1m 处	47	49 ^①	E:108°35'35.23790" N:34°17'26.86205"
2	东厂界外 1m 处	56	53	E:108°35'38.67541" N:34°17'29.79745"
3	北厂界外 1m 处	52	50	E:108°35'33.49982" N:34°17'29.97970"
4	西厂界外 1m 处	55	54	E:108°35'30.54510" N:34°17'28.13663"

备注: 1. 东厂界外 53m 处为陕西煤化咸阳新型热能有限公司, 北厂界外 45m 处为咸阳纺织集团有限公司一分厂;
2. 本次监测结果已修约, 本报告仅对本次监测点位及结果负责;
3. 测量值已修正, 其中标注上标测量值均未修正, “①”代表测量值与背景噪声差值<3dB 未修正(背景噪声测量值为 49.1dB(A));

由表 8-3 监测结果表明, 陕西方圆高科实业有限公司 10MeV 电子加速器辐照加工核技术利用项目拟建地南侧、东侧道路 X、γ 辐射剂量率测值均为 0.08μGy/h, 即 80nGy/h; 电子加速器辐照车间内项目拟建地各监测点位 X、γ 辐射剂量率测值范围为 0.06~0.07μGy/h, 即 60~70nGy/h。

参照《陕西省环境天然贯穿辐射水平调查研究环境》: “咸阳市天然贯穿辐射室外剂量率均值为 98.0nGy/h, 天然贯穿辐射室内剂量率均值为 138.0nGy/h”, 本项目拟建场所辐射环境现状监测结果接近天然辐射环境均值水平。

由表 8-4 监测结果表明, 陕西方圆高科实业有限公司四周厂界环境噪声昼间测量值范围为 (47~56) dB (A), 夜间测量范围为 (49~54) dB (A)。符合《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 中 3 类标准限值要求 (昼间 65 dB(A); 夜间 55 dB(A))。

表 9 项目工程分析和源项

工程设备和工艺分析

1、电子加速器组成及工作原理

本项目 10MeV 电子加速器主要由电子枪、加速管、刮束器、扫描盒、输出窗钛膜及其配套设施组成。加速器辐照时，加速器由电子枪发出的电子，在加速管中被加速，通过刮束器进行整束，进入扫描盒，再穿过输出窗的钛膜，对待辐照的物品进行辐照。利用电子束的生物、物理效应，杀灭待辐照物品中的虫、细菌，从而达到杀虫、灭菌的目的。

本项目 DZ-10/20 型电子直线加速器系统简图见图 9-1。

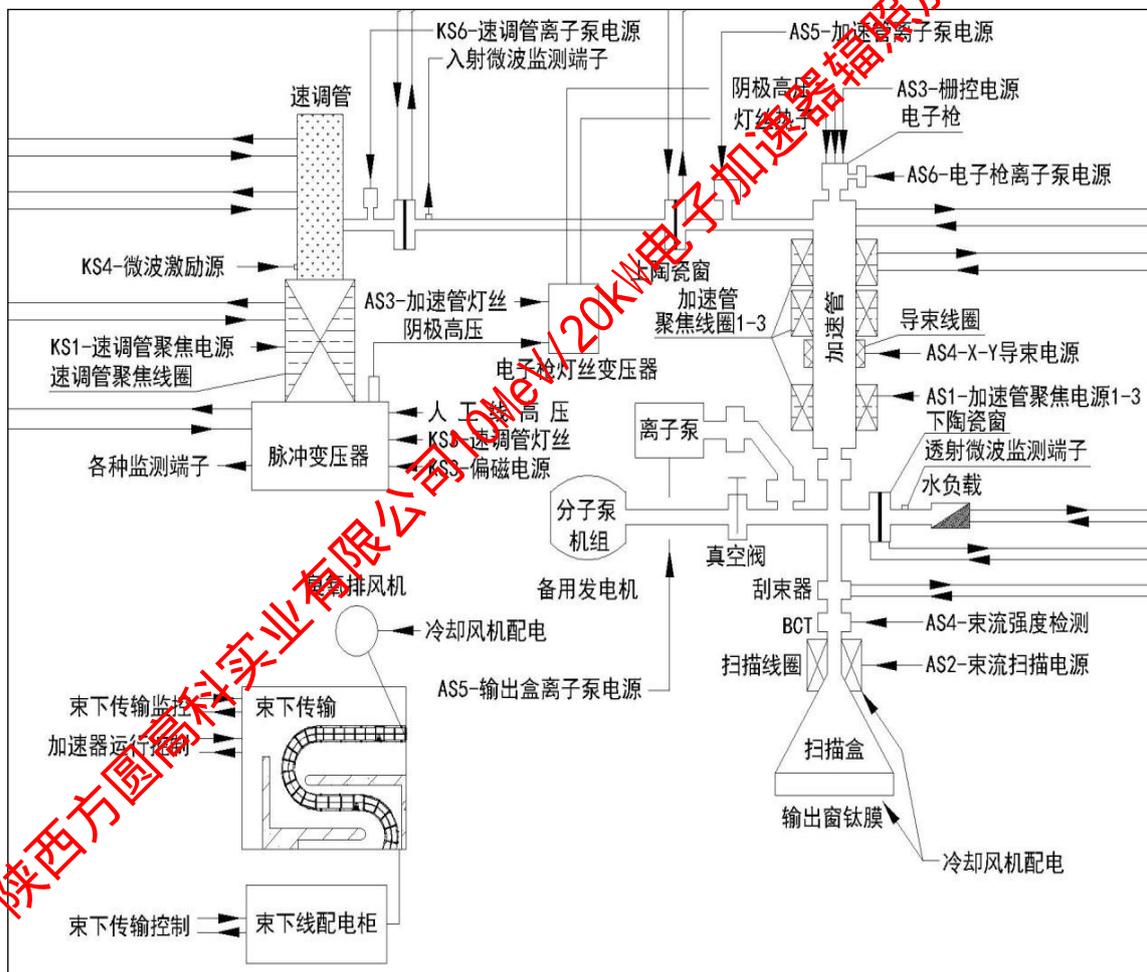


图 9-1 DZ-10/20 型电子直线加速器系统简图

2、污染源分析

本项目加速器机房为两层建筑结构，其中 10MeV 加速器主机位于上层（即建筑物的二层）的主机室内，加速器辐照室位于下层（即建筑物的一层），主机室与辐照室之

间预留有窗口，加速器出束口通过预留窗口达到辐照室照射口位置，电子束朝下照射通过的物品。

(1) 主要污染物

该项目电子加速器利用电子束进行辐照加工，环境污染物包括电子束和电子束作用于加速器结构材料、辐照物品、传送装置部件等材料时产生的韧致辐射（即 X 射线）。电子束和 X 射线是随加速器的开关而产生和消失。

空气在强电离辐射的作用下，会产生少量的臭氧和氮氧化物。加速器输出的直接致电离粒子束流越强，臭氧和氮氧化物的产额越高。其中臭氧的毒性最大，产额最高，不仅对人体产生危害，同时能使橡胶等材料加速老化。加速器主机室和辐照室在良好通风条件下，臭氧和二氧化氮很快弥散在大气环境中，且臭氧不稳定，在自然环境下自行分解成氧气。

(2) 操作流程以及产污环节

待辐照产品通过汽车或叉车运至辐照室外传输装置旁，由工作人员搬运至机械传输装置上，从辐照室入口运送至辐照室内部，在加速器产生的电子束照射下进行杀虫、消毒灭菌。当达到辐照次数后，传送装置将待辐照物品送出辐照室，工作人员将辐照物品翻面后再次进入辐照室进行辐照。辐照完成后，传输装置将辐照物品由辐照室出口送出，由工作人员从传输装置上卸下，随后进行质检，质检合格产品进行外运，不合格产品重新进行辐照。

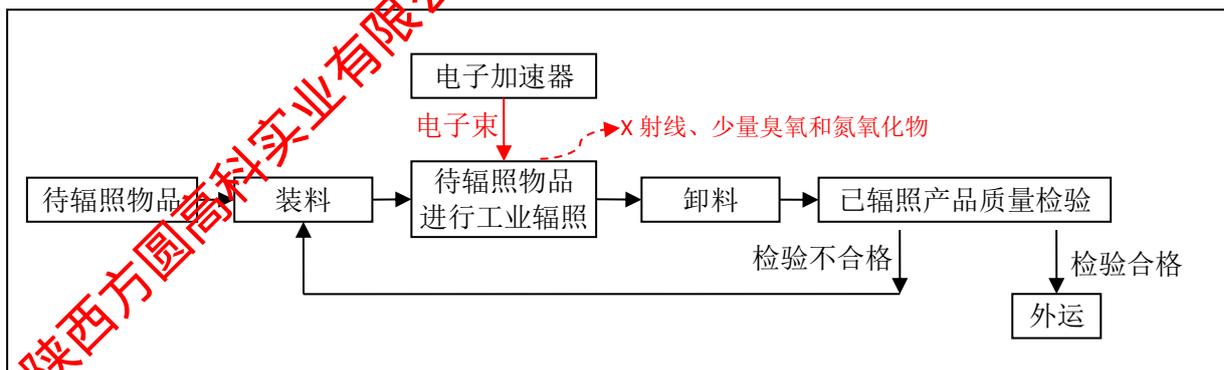


图 9-2 10MeV 电子加速器辐照加工产污环节

污染源项描述

1、施工阶段污染源分析

本项目施工期主要为加速器机房建设以及现有墙体拆除，建筑施工过程中会产生扬尘、噪声、固体废弃物、废水等方面的污染问题。施工阶段对环境的影响如下：

(1) 施工废气

本项目建设期产生的大气污染物主要是土方开挖作业和汽车运输过程中产生大量扬尘以及运输车辆产生的尾气。

(2) 施工废水

本项目主要进行机房及辅助用房建设，基本不产生施工废水。

施工废水主要为施工人员的日常生活污水，主要污染物为COD、BOD₅、氨氮、SS等。施工人员生活污水依托厂区现有设施收集处理，最终排入市政污水管网。

(3) 施工噪声

该项目施工场地的噪声主要为各类高噪声施工机械，主要机械有小型推土机、小型挖掘机、混凝土振捣机、载重车等。

(4) 固体废物

本项目施工期产生的固体废物主要为建筑垃圾及施工人员产生的生活垃圾。

① 建筑垃圾

项目建设过程中不可避免产生废弃钢结构材料、混凝土块和砖块等建筑垃圾，根据建设单位提供的资料，本次项目拆除产生的建筑垃圾为10t。其中可再生利用部分回收出售给废品站，不可再生利用的部分清运到当地建筑垃圾填埋场处置，严禁随意丢弃。

② 生活垃圾

本工程施工人员生活垃圾产生量较少，经厂区现有的生活垃圾桶收集后，定期交由园区环卫部门进行清理、处置。

本项目施工期对环境产生的上述影响均为短期的，项目建成后，影响即自行消除。建设单位和施工单位在施工过程中只要切实落实对施工产生的扬尘、噪声、固体废物的管理和控制措施，施工期的环境影响将得到有效控制，本项目施工期对当地环境质量影响不大。

2、运行阶段污染源分析

该项目运行阶段不产生放射性“三废”，主要污染物为电离辐射、非放射性废气、废水、固体废物、噪声。

(1) 电离辐射

根据电子加速器的工作原理可知，污染因子为加速器运行时产生的电子束和电子束作用于加速器结构材料、辐照物品、传送装置部件等材料时产生的韧致辐射（即X射

线)。由于电子的贯穿能力较弱，能量为10MeV的电子在水中的射程为6.08cm，该项目加速器机房混凝土墙体可以完全屏蔽电子，而X射线具有较强的贯穿能力，因此在开机进行辐照工作期间，X射线为加速器污染环境的主要因子。

(2) 非放射性废气

空气在辐射照射下产生O₃和NO_x等有害气体。

(3) 非放射性废水

该项目运行阶段用水主要包括生产用水（加速器冷却机冷却水）。加速器冷却机冷却水取自园区给水管网，冷却水密封循环使用，使用不外排；该项目配备工作人员4名从现有人员中调配，不新增生活污水。

(4) 非放射性固体废物

本项目工作人员从现有人员中调配，不新增生活垃圾。

(5) 噪声

本项目运营期的噪声主要为通风风机运行噪声、外冷却机产生的噪声。参照《污染源强核算技术指南 汽车制造》（HJ 1097-2020），本项目各机械设备噪声值见表9-1。

表9-1 主要运行期机械设备的噪声声压级 单位：dB（A）

设备运行阶段	设备名称	距噪声源 1m 处声压级 dB(A)
	通风风机	75~90
	外冷却机	75~85

① 通风风机

通风风机的噪声源强75~90 dB(A)，本项目主要采用室内隔声措施控制噪声。由建设单位提供的资料，通风风机位于机房东侧出风口旁的房间内。

② 外冷却机

外冷却机的噪声源强75~85 dB(A)，本项目主要采用室内隔声措施控制，由建设单位提供的本项目平面图可知，外冷却机位于机房二楼的水冷室。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1、项目工作场所布局

电子加速器安装于加速器机房二层的主机室内，加速器出束口通过主机室与辐照室之间的预留窗进入辐照室内。加速器机房东侧为厂区道路、消防泵房、陕西浩洋警用装备有限公司和杜克普服装有限公司；北侧为收发室（拟拆除）；西侧为现有 10MeV 加速器辐照装置、空压机房、发电机房和配电室等辅助房间；西北方向为现有 5MeV 加速器辐照装置、风机室和控制室；南侧为新纺 110kV 变电站、咸阳新兴纺织工业园消防站。

2、项目分区原则及区域划分

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中辐射工作场所的分区：控制区为主机室和辐照室各自出入口以内的区域，监督区为未被划入控制区的电子加速器辐照装置辅助设施区和其他需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

本项目将辐射工作场所进行分区管理，并设置符合国家规定的电离辐射警示标志，实行人货分离。

1) 控制区：辐照室和主机室出入口以内的区域。加速器运行前，任何人员均应撤出控制区范围，辐照装置运行时，严禁人员进入，并设置醒目的电离辐射标志；

2) 监督区：主机室周围的水冷室、电气室、控制室、平台和过道，辐照室西墙外 3.25m 以内的货品传输链区域，在地面张贴醒目的电离辐射标识。

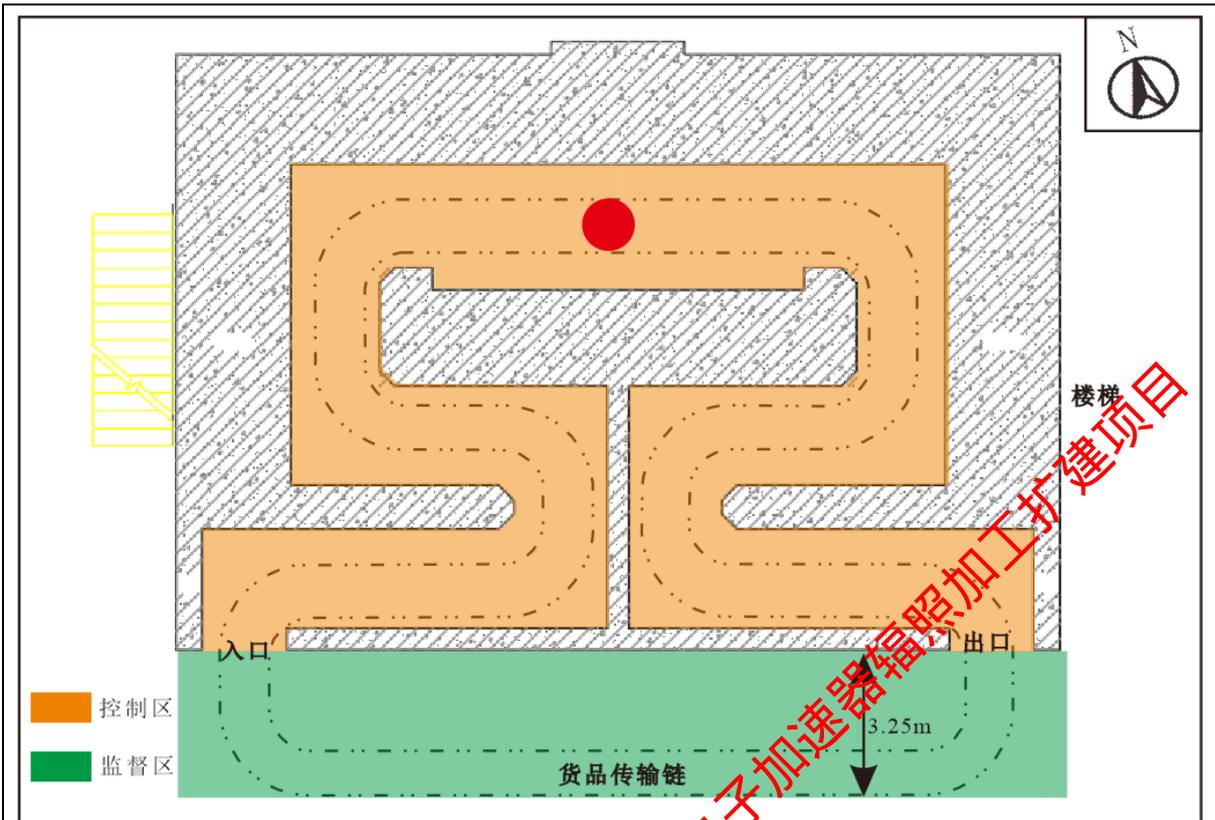


图10-1 辐照室外区示意图

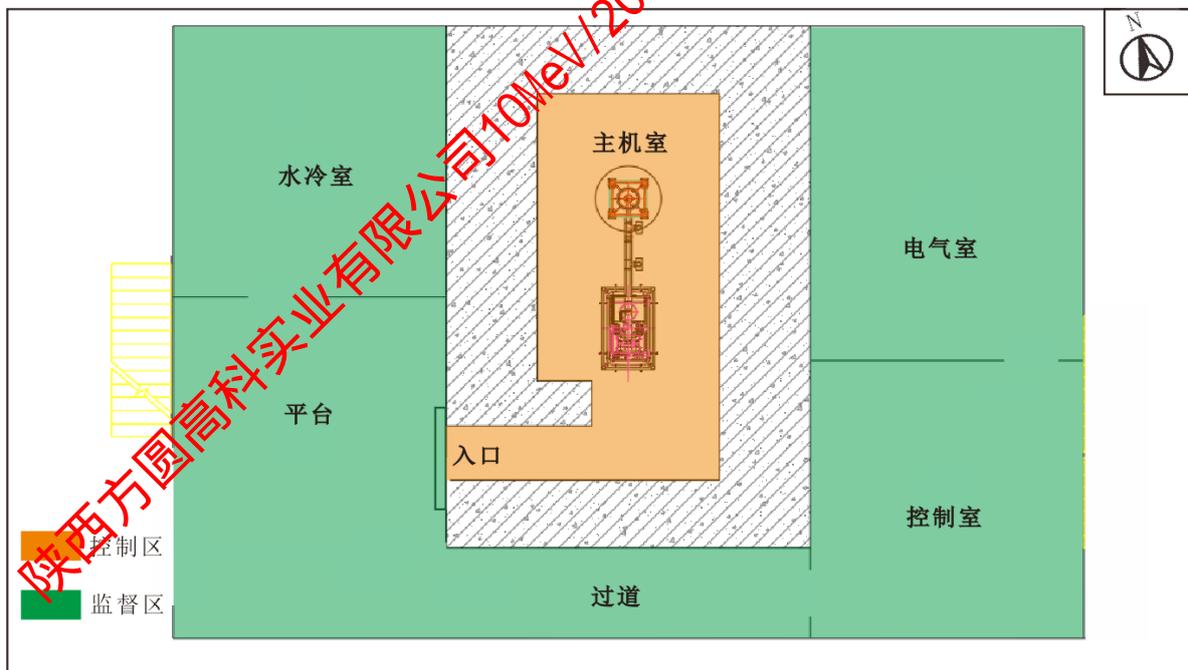


图10-2 主机室分区示意图

3、辐射防护屏蔽设计

根据建设单位提供的设计资料，本项目加速器机房防护设计见表 10-1。辐照室防护设计详见图 10-3，主机室防护设计详见图 10-4，加速器机房屋顶防护设计详见图 10-

5。

表10-1 加速器机房防护设计一览表

项目	工程措施
辐照室屏蔽墙体	北墙: 2.6m 混凝土 南墙: 2.6m 混凝土 东墙: 2.5m 混凝土 西墙: 迷路内墙 1.0m 混凝土 迷路外墙 0.5m 混凝土 屋顶: 1.5m 混凝土
主机室屏蔽墙体	北墙: 2.0m 混凝土 南墙: 2.0m 混凝土 东墙: 1.5m 混凝土 西墙: 1.5m 混凝土 屋顶: 1.0m 混凝土
机房面积	辐照室有效面积: 129.4m ² (含迷道), 层高 1.9m 主机室有效面积: 35.4m ² , 层高 4.2m
迷道	双迷道, 长度 8.7m, 宽度 2m、2.25m、2.1m、2.25m、1.9m
控制室	位于主机室东侧
主机室防护门	主机室防护门为 60mm 铅门 尺寸 1800mm (宽) × 3100 mm (高)
辐照室迷道门	辐照室迷道门为不锈钢门 尺寸 500mm (宽) × 1900 mm (高)

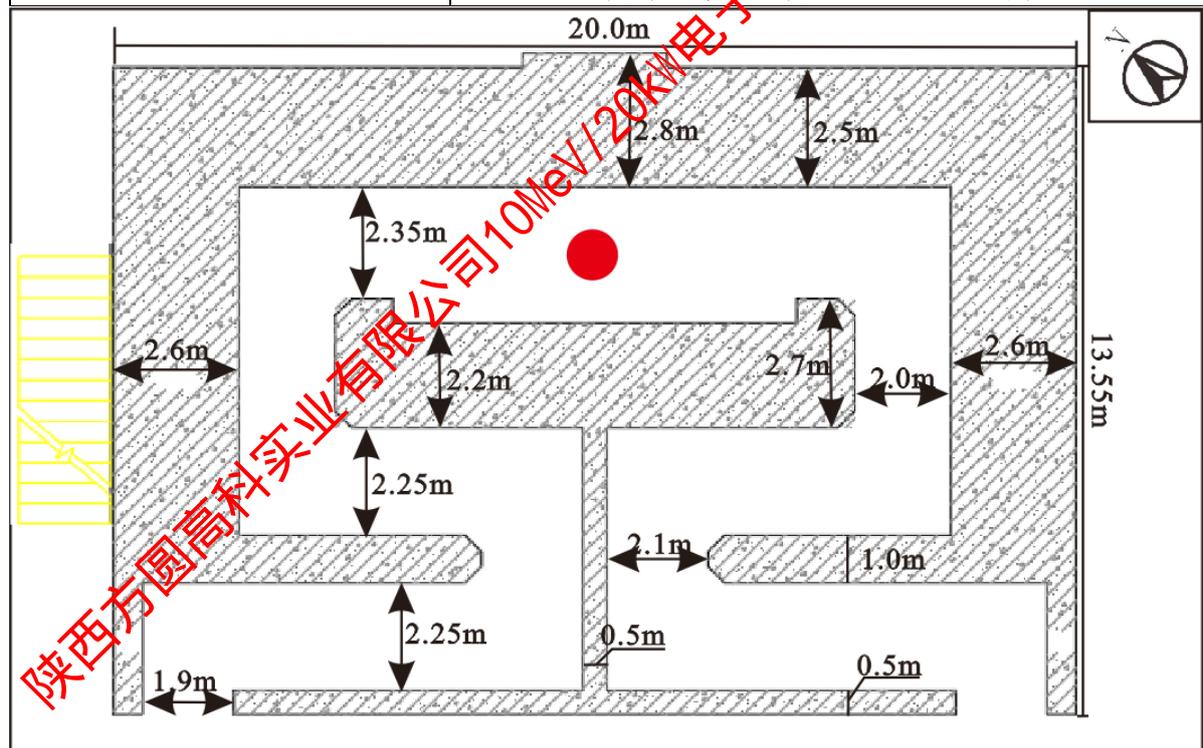


图 10-3 加速器机房一层平面布置示意图

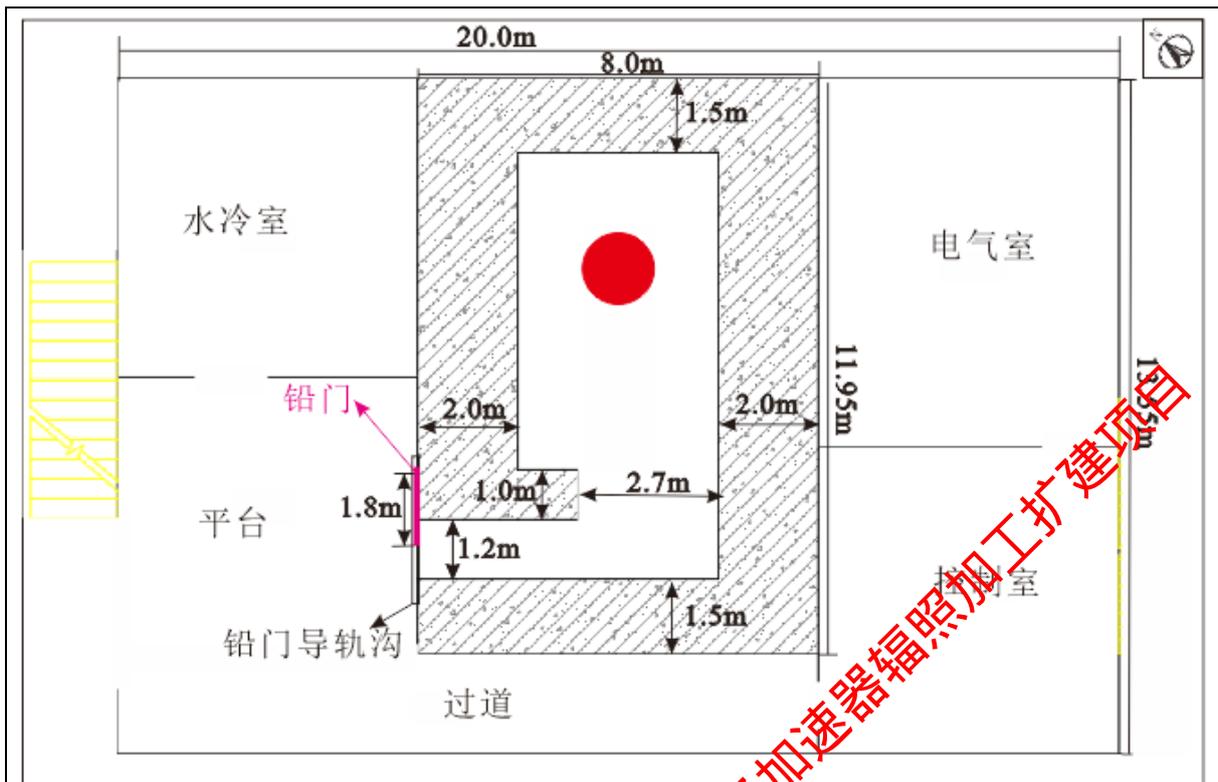


图 10-4 加速器机房二层平面布置示意图

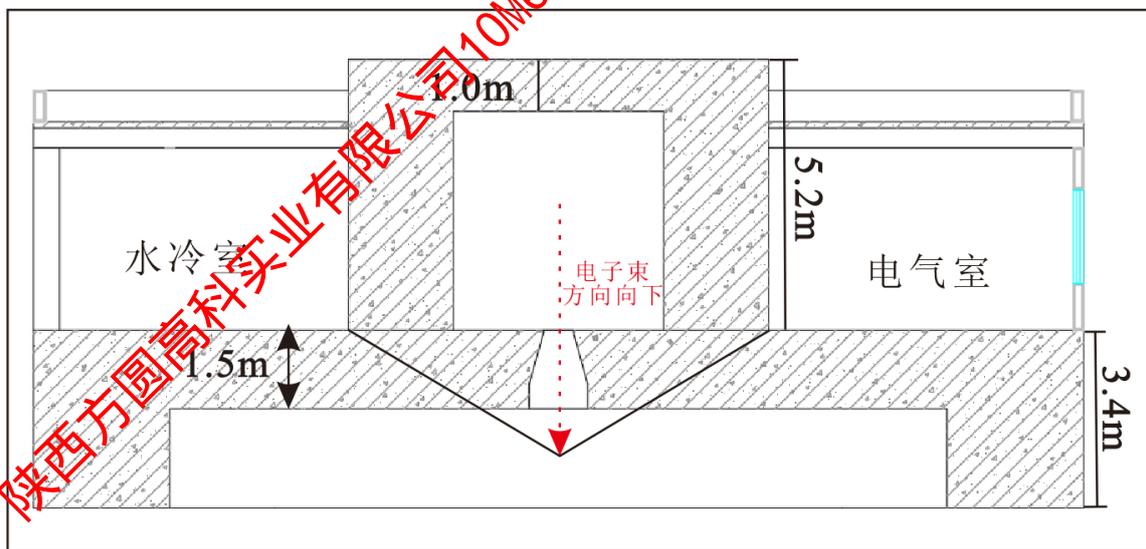


图 10-5 一层辐照室贯穿到二层透射图

4、辐射安全防护措施

中广核中科海维科技发展有限公司提供的本项目辐射安全防护设计与《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)中的相关安全设计要求对照情况见表 10-

2. 加速器机房防护门设计与《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中的相关安全设计要求对照情况见表 10-3。

表10-2 该项目辐射安全防护设施情况

HJ 979-2018 要求	该项目防护设计方案	符合性
<p>钥匙控制：加速器的主控钥匙开关必须和主机室门和辐照室门联锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器应自动停机。该钥匙必须与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连。在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。</p>	<p>钥匙开关：控制台、主机室门口、辐照室迷道口有三把锁。三把锁为同一把钥匙。加速器的主控钥匙开关和主机室门、辐照室门联锁，如从控制台取出钥匙，加速器自动停机。只有运行值班长才能使用该钥匙，钥匙还与便携式辐射监测报警仪相连。开启加速器时，钥匙必须插入控制台上且不能拔出。若需要进入迷道或加速器大厅，则需切断加速器高压，拔出钥匙，再插入门口锁中解锁后才能进入加速器大厅或迷道。</p>	符合
<p>门机联锁：辐照室和主机室的门必须与束流控制和加速器高压联锁。辐照室门或主机室门打开时，加速器不能开机。加速器运行中门被打开则加速器应自动停机。</p>	<p>门机联锁：位于辐照室迷道出入口处，与剂量联锁联动。在辐照室迷道门故障时（未关闭），加速器不能加高压或者出束。加速器停止高压或出束状态时，当发生辐照室防护故障（产生开门动作）时，加速器停止高压或出束。加速器在加高压或者出束状态时，不能打开辐照室迷道门。 主机室铅门没有门禁但通过电路控制也实现联锁功能，主机室铅门打开时装置自动停机。</p>	符合
<p>束下装置联锁：电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制必须建立可靠的接口和协议文件。束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时，加速器应自动停机。</p>	<p>束下装置联锁：当操作人员输入指令后，束下装置才能执行，即偏离束下正常运行状态，此时电脑检测到异常情况，加速器将自动停机。货物偏离轨道会造成板链之间的扭矩变大，扭矩传感器检测到束下扭矩异常，加速器也会自动停机。</p>	符合
<p>信号警示装置：在控制区出入口处及内部应设置灯光和音响警示信号，用于开机前对主机室和辐照室内人员的警示。主机室和辐照室出入口设置工作状态指示装置，并与电子加速器辐照装置联锁。</p>	<p>警示标志：在加速器机房辐照室出入口和内部、主机室门口和内部分别采取安装“辐照危险”字灯、警灯、警铃和三色灯警示标志，并与辐照装置联锁，安装显示加速器工作状态指示灯，告诫无关人员远离此区域。对主机室、辐照室内外人员进行警示。</p>	符合
<p>巡检按钮：主机室和辐照室内应设置“巡检按钮”，并与控制台联锁。加速器开机前，操作人员进入主机室和辐照室按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留。</p>	<p>巡检安全联锁开关：在加速器机房辐照室入口至出口路线上关键位置安装 4 个巡检按钮，主机室内安装 1 个巡检按钮，并与控制台联锁。当巡检人员从入口处进入辐照加工区进行巡视检查时，依次按下巡测安全联锁开关进行巡检，巡检时联锁禁止加速器运行。若辐照加工区无异常情况，主控界面自动进行巡检复位，此时界面中巡检安全绿灯亮，巡检安全联锁箱输出辐照加工允许信号，加速器方可启动工作，否则，必须重新进行安全巡检。若巡检人员不是依次按下急停开关，则在主界面上显示巡检无效。</p>	符合
<p>防人误入装置：在主机室和辐照室的人员出入口通道内设置三道防人误</p>	<p>红外开关：加速器机房辐照室出入口处分别设置 3 个红外开关，主机室入口处设置 3 个红外</p>	符合

入的安全联锁装置(一般采用光电装置),并与加速器的开、停机联锁。	开关。在加速器处于准备或运行状态时,只要有人/动物经过红外开关,都会停止加速器的准备或运行状态,以防人员误入辐照加工区而造成人身伤害。 视频监控系统:在加速器机房辐照室、主机室内安装视频监控系统,对加速器辐照室、主机室进行全方位的监控,使加速器控制室工作人员能够实时掌握各区域的实际情况,观察辐照室、主机室有无人员停留。	
急停装置:在控制台上和主机室、辐照室内设置紧急停机装置(一般为拉线开关或按钮),使之能在紧急状态下终止加速器的运行。辐照室及其迷道内的急停装置应采用拉线开关并覆盖全部区域。主机室和辐照室内还应设置开门装置,以便人员离开控制区。	拉线开关:本项目辐照室安装2个拉线开关,位于迷道检修通道处,主机室安装1个拉线开关,位于主机室入口处。遇紧急情况,拉下拉绳,可切断高压或阻止加速器运行。 急停开关:本项目辐照室安装5个急停开关,主机室安装4个急停开关,控制台有急停联锁。遇紧急情况,按压急停开关,可切断高压或阻止加速器运行,同时可以用辐照室和主机室内部开门按钮开门。	符合
剂量联锁:在辐照室和主机室的迷道内设置固定式辐射监测仪,与辐照室和主机室的出入口门等联锁。当主机室和辐照室内的辐射水平高于仪器设定的阈值时,主机室和辐照室门无法打开。	剂量联锁:辐照室迷道内入口处安装有1个辐照固定报警仪。加速器出束时,高量程辐射剂量率监测仪检测到辐射信号超出设定值后,自动锁住加速器主机室、辐照室迷道门,不能从外部打开。当加速器停束时方可从外部打开。	符合
通风联锁:主机室、辐照室通风系统与控制系统联锁,加速器停机后,只有达到预先设定的时间后才能开门,以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值。	通风联锁:主机室、辐照室通风系统与控制系统联锁,通风系统故障时,加速器不能运行,加速器停机后,只有达到预先设定的时间后,才能停止通风,以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值,工作人员方可进入。	符合
烟雾报警:辐照室应设置烟雾报警装置,遇有火险时,加速器应立即停机并停止通风。	烟雾报警:位于臭氧风机风道内,当迷道发生火灾,由风机抽进风道内触发烟雾报警器,切断加速器高压,使加速器停机。	符合

表10-3 该项目防护门安全防护设计情况

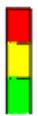
HJ 979-2018 要求	该项目防护设计方案	符合性
设有防护门的加速器装置,门的关闭必须确保门外人员的辐射安全	辐照室经迷道散射至出入口处的剂量率较小,不考虑设置防护门,仅设置不锈钢材质的迷道门用于阻隔人及货物。 主机室设置 60mmPb 当量的防护门,经核算可保证门外人员的辐射安全	符合
加速器门的结构材料最常用的有混凝土、钢和铅。由于铅易变形,通常安装在钢结构上,或夹在两层钢板中间	辐照室设置不锈钢材质的迷道门 主机室设置 60mmPb 当量的防护门,铅板夹在两层钢板之间	符合
门与入口要有足够的搭接,在门的顶部和两边至少重叠 10 倍于门与墙之间的缝隙。门可安装在门洞内侧,以减少边界辐射泄露问题	主机室防护门与墙体之间缝隙不大于 5mm,门洞尺寸为 1250mm(长)×2800mm(高),防护门尺寸为 1800mm(长)×3100mm(高)满足搭接要求,可减少边界辐射泄露问题	符合
门的底部存在辐射漏射,需要根据具	设置深 230mm 的铅门地沟,防止门底部的	符合

体情况进行防护	辐射泄露问题	
重型屏蔽门应有电气、液压，或气动装置驱动，并设置有防止夹人功能	门体为电动平移防护门，同时设置了防止夹人的功能	符合

根据表 10-2 和表 10-3 的对比结果可知，陕西方圆高科实业有限公司电子加速器机房的安全防护措施满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中的相关要求。

加速器机房辐照室辐射安全防护措施具体位置见图 10-6 所示，安全设施明细见表 10-4。

表10-4 辐射安全设施基本情况-辐照室

名称	图标	数量	高度	位置	功能
辐射固定报警仪		1	/	辐照室迷道内入口	检测到辐射信号超出设定值时，禁止入内
字灯		2	2.1m	迷道出入口	字灯亮起警示迷道内部有辐射，禁止入内
预留86盒		6	/	迷道出入口、辐照室内	预备备用
常用插座		2	0.4m	辐照室内	220kV/10A五孔插座，供安装维修工具使用
钥匙开关		2	1.4m	迷道出入口	进入迷道需拔下钥匙
警灯		5	/	迷道出入口、辐照室内	加速器开机，运行时会亮起警示
警铃		3	/	迷道出入口、辐照室内	加速器开机前响30s，提醒仍在迷道内人员立刻按下急停按钮，提醒无关人员远离
摄像头		10	1.8m	迷道内入口、辐照室内	实时监视产品在流水线上运行情况
急停开关		5	1.4m	辐照室内	听到警铃声，仍停留在迷道内人员按下可终止加速器开启
巡检按钮		4	1.4m	辐照室内	开机前工作人员须进入迷道内巡视是否清场，并按下开关，否则无法开启加速器
红外开关		6	/	迷道内出入口	加速器运行时，有人/动物经过红外开关，即会立刻终止加速器
拉线开关		2	1.2m	迷道内出入口	听到警铃声，仍停留在迷道内人员按下可终止加速器开启
三色灯		2	2.1m	迷道出入口	显示加速器工作状态：红色，工作中；黄色，待机中；绿色，关机中

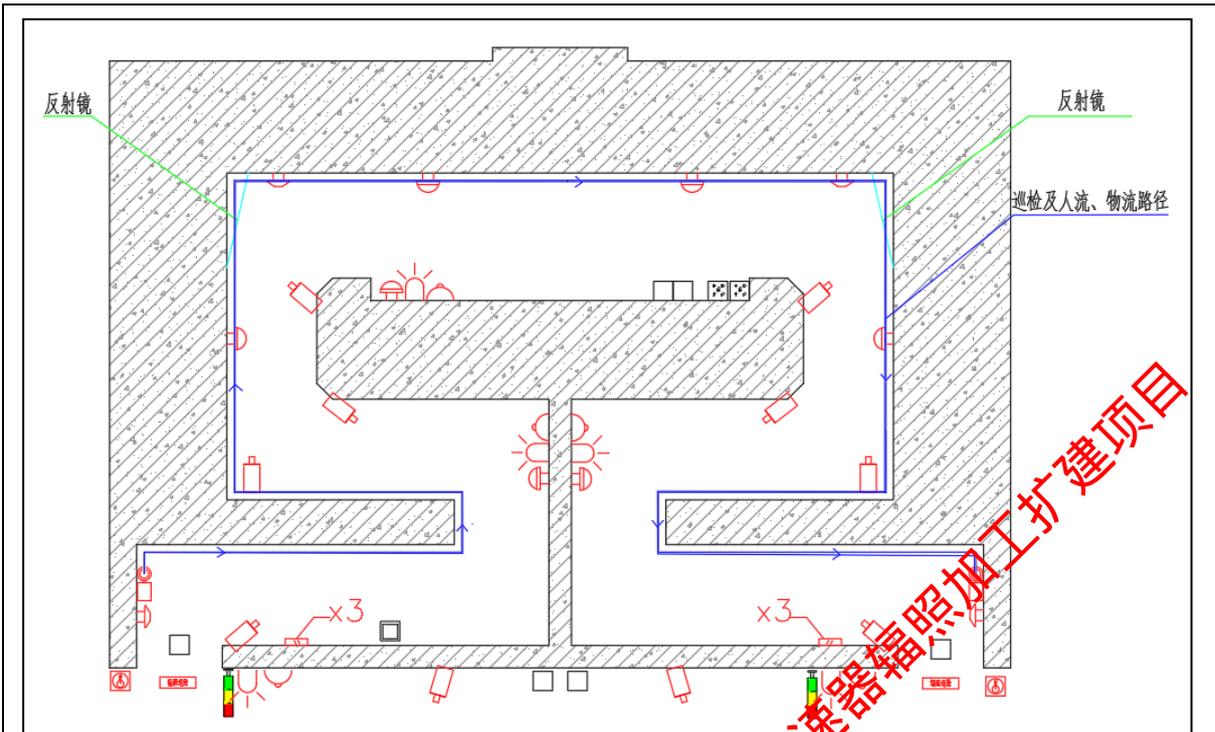


图 10-6 辐照室辐射安全设施及巡检、人流和物流路径图

加速器机房主机室辐射安全防护措施具体位置见图 10-7 所示，安全设施明细见表 10-5。

表10-5 辐射安全设施基本情况-主机室

名称	图标	数量	高度	位置	作用
字灯		1	2.1m	主机室入口	字灯亮起警示迷道内部有辐射，禁止入内
常用插座		1	0.4m	主机室内	380V三相
常用插座		1	0.4m	主机室内	220V/16A三孔插座，供检漏仪使用
常用插座		3	0.4m	主机室内	220V/10A五孔插座，供安装维修工具使用
钥匙开关		1	1.4m	主机室入口	进入迷道拔下钥匙
警灯		2	2m	主机室入口及室内	加速器开机，运行时亮起警示
警铃		2	2m	主机室入口及室内	加速器开机前响30s，提醒仍在迷道内人员立刻按下急停按钮
摄像头		4	2.5m	主机室周围及室内	实时监视主机室周围情况
急停开关		3	1.4m	主机室内	听到警铃声，仍停留在迷道内人员按下可终止加速器开启
巡检按钮		1	1.4m	主机室内	开机前工作人员须进入迷道内巡视是否清场，并按下开关，否则无法开启加速器

红外开关		3	0.4m	主机室内入口	加速器运行时，有人/动物经过红外开关，即会立刻终止加速器
拉线开关		1	1.2m	主机室内入口	听到警铃声，仍停留在迷道内人员按下可终止加速器开启
三色灯		1	2m	主机室入口	显示加速器工作状态：红色，工作中；黄色，待机中；绿色，关机中

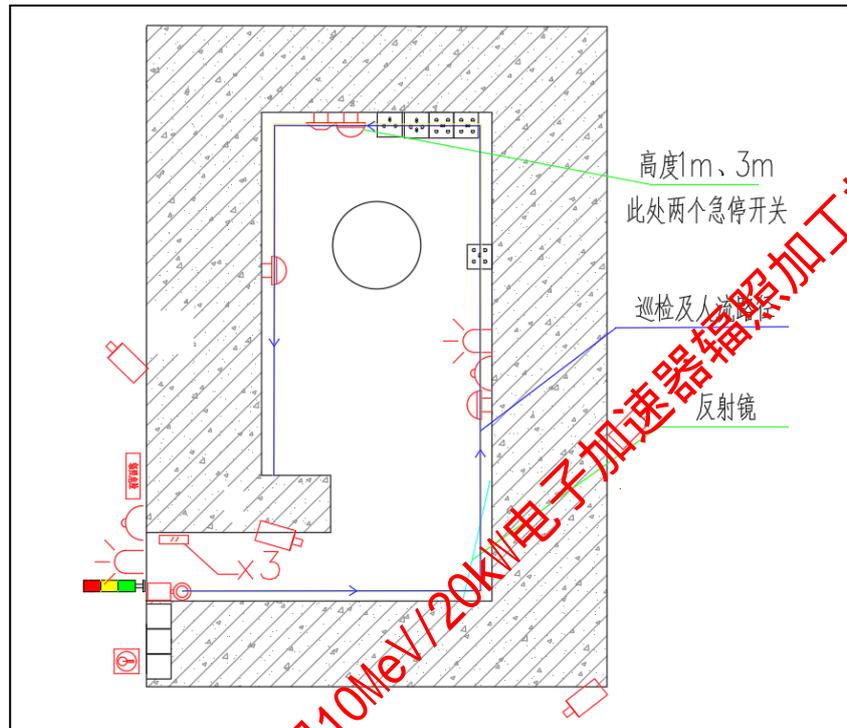


图 10-7 主机室辐射安全设施及巡检、人流路径图

5、安全操作要求

- (1) 每天开启电子加速器进行辐照作业前，必须仔细检查安全连锁装置、监视与警示装置等，确认其处于正常的状态。
- (2) 放射工作人员均应配备个人剂量计，并按要求佩戴。
- (3) 放射工作人员应经过辐射安全与防护培训和加速器专业知识的相关培训，并经考核合格后方可上岗。
- (4) 工作人员应遵守各项操作规程，严格按照操作规程操作。
- (5) 工作期间，严禁工作人员擅自离开岗位，应密切关注加速器工作情况，发现异常及时妥善处置。
- (6) 系统发生故障而紧急停机后，未查明原因和维修结束前，不得重新启动加速器。

- (7) 工作结束后，负责人应取走加速器主控钥匙并妥善保管。
- (8) 加速器机房内、外安装安全防护实施旁张贴中文指示说明。
- (9) 检修人员进入辐照室、主机室和迷道时，佩戴个人剂量计，携带剂量报警仪。
- (10) 调试和维修时，应保证加速器处于未出束状态，必须将主控钥匙交由专人保管，待调试和维修结束后，才能进行出束。
- (11) 调试和维修必须解除安全联锁时，须经负责人同意并通告有关人员。工作结束后，先恢复安全联锁并经确认系统正常后再行使用。
- (12) 定期对加速器工作场所及其周围辐射水平进行监测，发现异常立即报告负责人，并采取有效措施妥善处理。

6、三废的治理

该项目运行期间不产生放射性“三废”，加速器运行时电子束、X射线电离空气产生的少量的臭氧和氮氧化物等有害气体，排风系统风机、外冷却机产生的噪声。

(1) 废气

该项目辐照室设计有通风系统，设计排气筒排风口从辐照室东侧墙外延伸至厂房外，排气筒高度为 15m，加速器排风管走向如图 10-8 所示。排气风机通风量为 21000m³/h，以保证辐照室内产生的臭氧等有害气体浓度满足 GBZ2.1 的规定。

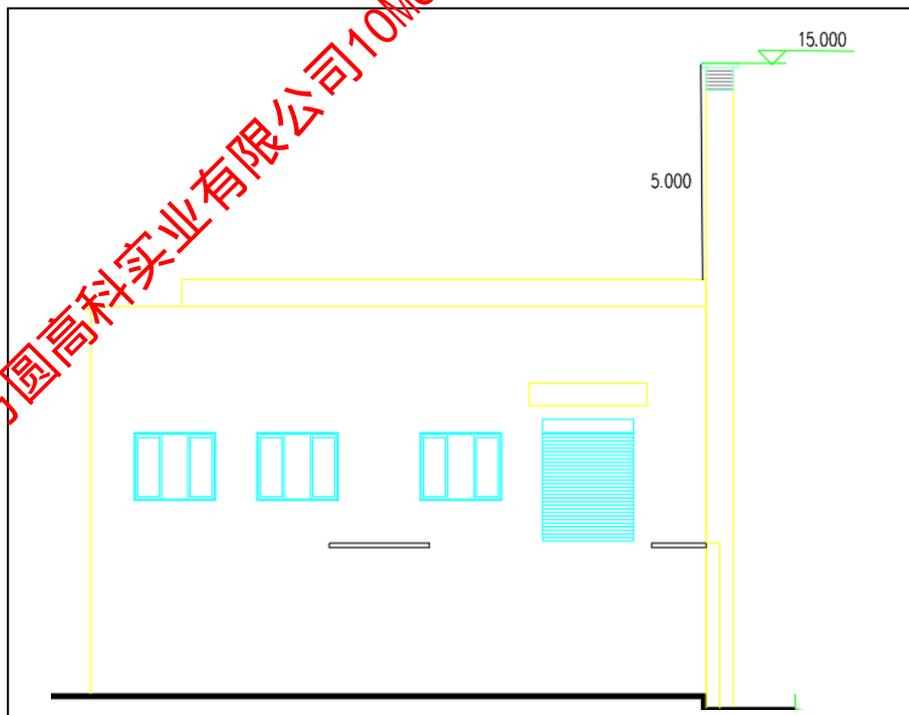


图 10-8 加速器机房侧视图—排烟烟囱立面图

(3) 噪声

该项目运行阶段噪声主要为排风系统风机、外冷却机运行噪声，采用室内隔声、基础减震、消声等措施后，可以满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中3类功能区限值（昼间 65dB(A)、夜间 55dB(A)），对声环境影响小。

陕西方圆高科实业有限公司10MeV/20kW电子加速器辐照加工扩建项目

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

该项目的施工期主要是加速器机房的建设，施工阶段产生的污染主要是施工噪声、扬尘、废水和固体废物。

一、施工废气

1、施工扬尘

施工扬尘主要来源于多种粉尘无组织源：项目建设场地的物料堆存及基坑开挖、回填，建筑材料的装卸、搬运、使用、以及运料车辆的出入等，其产生强度与施工范围、施工方法、土壤湿度、气象条件等诸多因素有关。

本项目在现有车间内东侧进行施工，施工量较小，产生的施工扬尘主要对电子辐照车间产生环境影响。据现场调查，项目场址 100m 范围内无敏感点，施工扬尘对周围环境的影响较小。

为了最大限度地减小施工扬尘对环境的影响，根据《陕西省大气污染防治条例》、《陕西省人民政府关于印发〈陕西省全面改善城市空气质量工作方案〉的通知》、《陕西省城市空气重污染日应急方案（暂行）》、《陕西省建筑施工扬尘治理行动方案》、《建筑施工扬尘治理措施 19 条》等文件中的相关扬尘规定，评价提出以下措施和要求：

- ① 施工工地周围应当设置高度不小于 1.8m 的硬质材料围挡。
- ② 施工建议使用商品混凝土，建筑材料不得随意堆放，应设置专门堆场，且堆场四周应有围挡结构。
- ③ 对施工现场和建筑体分别采取围栏、设置工棚、覆盖遮蔽等措施，阻隔施工扬尘污染。
- ④ 运输建筑材料和设备的车辆严禁超载，运输颗粒物料车辆必须采取加盖篷布等防尘措施，防止物料沿途抛撒导致二次扬尘。

建设单位施工过程中应严格落实围挡等措施，可满足《施工场界扬尘排放限值》（DB61/1078-2017）小时平均浓度限值，使施工扬尘对周围环境的影响降到最低。

2、施工机械废气

运输车辆及施工机械在运行中产生的汽车尾气主要有 CO、NO_x 及总烃等主要污染物。这些废气排放局限于施工现场和运输沿线，为非连续性的污染源，运输车辆及

施工机械在运行中产生的汽车尾气是短期的，随着运输作业的完成，汽车尾气也随之消失，对项目周围环境影响较小。

二、施工废水

根据项目施工期工程分析，项目施工废水主要为施工人员生活污水。施工人员生活污水主要污染物为COD、BOD₅、SS、氨氮等。按平均施工人员20人，厂区不设施工营地，不在厂区内食宿。根据《行业用水定额》（陕西省地方标准 DB61/T943-2020），施工人员生活用水定额参考行政办公的用水定额，按25L/（d·人）计，项目施工期生活污水排放量为0.5m³/d。施工人员生活污水依托厂区现有设施收集处理，最终排入市政污水管网。

本项目主要进行机房及辅助用房建设，基本不产生施工废水。

三、施工噪声

在建筑施工阶段，施工机械和物料运输车辆将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。本项目施工机械设备主要集中在车间内。根据现场勘查，本项目周边100m 范围内无声环境敏感目标，因此经过距离衰减，对周围敏感目标声环境影响较小。且随着施工期的结束，施工噪声的影响随即终止。

为了进一步降低施工期噪声对周围敏感目标的影响，评价要求建设单位采取如下噪声治理措施：

(1) 合理布置施工场地，安排施工方式，在施工总平面布置时，基础减振，以控制环境噪声污染。同时选用低噪声设备，并采取一定的降噪措施；

(2) 严格操作规程，加强施工机械管理，规范建筑物料车辆进出工地高速行驶、鸣笛等，降低人为噪声影响；

(3) 对不同施工阶段，按《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）对施工场界进行噪声控制，通过严格的施工管理，尽可能的使施工场界噪声达到标准限值。

(4) 合理安排施工时间，将容易产生噪声污染尽量安排在白天施工。严格控制作业时间。

五、固体废物

施工期产生的固体废物主要为建筑垃圾及施工人员产生的生活垃圾。

(1) 建筑垃圾

建筑垃圾主要是一些废弃钢结构材料、砖块及混凝土结块等，根据建设单位提供资料，本项目拆除部分基地面积 457m²，拆除部分工程量约 10 吨。拆除工程完成后分类收集堆放于指定地点，其中可再利用部分，例如铝合金窗户、卷帘门等回收出售给废品站，不可再利用的部分，例如砖墙、柱混凝土、基础梁混凝土等清运到园区建筑垃圾填埋场，严禁随意丢弃。

(2) 施工人员产生的生活垃圾

施工期生活垃圾集中收集后，由环卫部门统一处理。

通过上述措施后，项目施工期产生固废均能得到合理妥善处置，处置率 100%，对环境的影响较小。

由于本项目工程量较小，对外界的影响是暂时的，随着施工期的结束，影响也将消失。通过采取相应的污染防治措施后，本项目施工期对外界的影响较小。

运行阶段对环境的影响

该项目运行阶段的污染因子为电子加速器辐照过程中产生的电子束和电子束作用加速器结构材料、辐照产品、传送装置结构材料等产生的 X 射线。由于电子束较易防护，其穿透能力远低于 X 射线，辐照室、主机室混凝土墙体完全可以将电子束屏蔽，因此该项目主要污染因子为加速器运行过程中产生的 X 射线。

该项目加速器机房的屏蔽防护情况依据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中附录 A 中相关内容进行计算。该项目使用电子加速器产生最大能量为 10MeV 的电子束，在辐射屏蔽设计中不需要考虑所产生的中子防护问题。

一、屏蔽防护计算方法

《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中附录 A 电子加速器辐照装置的屏蔽防护计算相关内容如下：

1. 直射 X 射线的屏蔽

单能电子入射到高 Z 厚靶（Z>73）上，在距靶 1m 处的 X 射线发射率 Q 见表 11-1。

表 11-1 X 射线发射率（单位：Gy·m²·mA⁻¹·min⁻¹）

入射电子能量 (MeV)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	7.5	10.0
前向 0°	0.26	3.3	14.0	30.0	63.2	170	450
侧向 90°	0.4	1.6	3.2	4.8	6.5	10.0	13.5

直射 X 射线的屏蔽：X 射线的透射比 B_x 按下式进行计算。

$$B_x = (1 \times 10^{-6}) \left[\frac{H_M d^2}{D_{10} T} \right] \dots\dots(11-1)$$

式中： B_x ——X 射线的屏蔽透射比；

H_M ——参考点最大允许周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)；

d ——X 射线源与参考点之间的距离 (m)；

T ——居留因子，保守取 1；

D_{10} ——距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率 (Gy/h)

$$D_{10} = 60 \cdot Q \cdot I \cdot f_e \dots\dots(11-2)$$

式中： Q ——X 射线发射率 ($\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)；

I ——电子束流强度 (mA)；

f_e ——X 射线发射率修正系数。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录 A 电子加速器辐照装置的屏蔽防护计算 A.2.1 确定 X 射线的透射比 B_x 中得到表 11-1 中给出的数据是电子束打高 Z 靶的数据，通常被辐照的物质很少为高 Z 材料，因此需要对靶进行修正。被辐照的靶材料为“铁、铜”时， 0° 方向的修正系数 f_e 为 0.7， 90° 方向的修正系数 f_e 为 0.5；被辐照的靶材料为“铝、混凝土”时， 0° 方向的修正系数 f_e 为 0.5， 90° 方向的修正系数 f_e 为 0.3。

2、屏蔽厚度的求解

屏蔽厚度的求解：用屏蔽材料的十分之一值层来表示屏蔽厚度。

$$B_x = 10^{-n} \text{ 或 } n = \log_{10}(1/B_x) \dots\dots(11-3)$$

计算屏蔽体厚度，可以保守地估算为：

$$S = T_1 + (n - 1)T_e \dots\dots(11-4)$$

式中： S ——屏蔽体厚度 (cm)；

T_1 ——在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层 (cm)；

T_e ——平衡十分之一值层 (cm)；

n ——十分之一值层的个数。

3、侧向 X 射线的屏蔽

对于电子加速器辐照装置，估算侧向（相对电子束 90° 方向）X 射线的屏蔽时，将等效入射电子能量作为侧向入射电子的能量，再根据直射 X 射线屏蔽的方法进行计

算，见表 11-2。

表 11-2 90°方向电子的相应等效能量（单位：MeV）

入射电子能量	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	7.5	10.0
等效入射电子能量	0.7	1.0	1.3	1.6	1.9	2.5	3.1	4.6	6.0

4、散射辐射的屏蔽

(1) 迷道的计算

防护 X 射线的迷道，保守地估算迷道外入口的剂量率：

$$H_{1,rj} = \frac{D_{10}\alpha_1 A_1 (\alpha_2 A_2)^{j-1}}{(d_1 \cdot d_{r1} \cdot d_{r2} \cdots d_{rj})^2} \quad \dots\dots (11-5)$$

式中： α_1 ——入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数；

α_2 ——从第一次散射体以后的物质散射出来的 0.5MeV 的 X 射线的散射系数；

A_1 ——X 射线入射到第一散射物质的散射面积 (m^2)；

A_2 ——迷道的截面积 (m^2)；

d_1 ——X 射线源与第一散射物质的距离 (m)；

$d_{r1}, d_{r2} \dots d_{rj}$ ——沿着迷道长轴的中心线距离；

j ——指第 j 个散射过程。

(2) 天空反散射的计算

天空反散射的计算根据 NCRP-151 号报告，计算公式为：

$$H = \frac{2.5 \times 10^{-2} (B_{XS} D_{10} \Omega^{1.3})}{(d_i d_s)^2} \quad \dots\dots (11-6)$$

式中： H ——在距离 X 射线辐射源 d_s 处地面，天空反散射的 X 射线周围剂量当量率 (Sv/h)；

B_{XS} ——X 射线屋顶的屏蔽透射比；

d_i ——在屋顶上方 2m 处离靶的垂直距离 (m)；

d_s ——X 射线源至 P 点的距离 (m)，本项目取 20m。

Ω ——由 X 射线源与屏蔽墙对向的立体角 (Sr)，可用公式 (11-7) 计算：

$$\Omega = 4 \arctan \left(\frac{a \cdot b}{c \cdot d} \right) \quad \dots\dots (11-7)$$

式中： a ——机房屋顶长度的一半，m；

b ——机房屋顶宽度的一半，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。

二、加速器机房屏蔽计算

本项目 10MeV 电子加速器电子束流向下，拟建电子加速器机房无地下室，因此不考虑直射 X 射线的屏蔽。辐照室及主机室四面墙体仅考虑侧向（相对电子束 90° 方向）X 射线的屏蔽；辐照室迷道出入口和主机室防护门处考虑散射辐射；加速器机房屋顶应考虑透射的防护，本项目加速器开机时主机室内及其屋顶上方均污染到达，因此对屋顶直射的防护主要考虑一层辐照室 X 射线源透射到二层主机室周围辅助房间的剂量；加速器机房外 20m 处考虑天空反散射剂量。

1、辐照室 X 射线发射率

辐照室外计算点为 X 射线侧向屏蔽，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中附录 A 表 A.1，10MeV 入射电子在距靶 1m 处侧向 90° 的 X 射线发射率为 $13.5\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。保守估算靶材料均按铁进行，90° 方向的修正系数 f_e 为 0.5，该项目电子加速器束流强度最大为 2mA。根据公式（A-2），辐照室距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率为：

$$D_{10}(90^\circ) = 60 \times 13.5 \times 2 \times 0.5\text{Gy/h} = 810\text{Gy/h}$$

依据表 11-2，10MeV 入射电子在侧向屏蔽能量取相应等效能量 6MeV。

2、主机室加速器束流损失所致 X 射线发射率

根据设计单位提供的资料，该项目电子加速器束流损失率为 5%（即电子束流强度为 0.1mA），这部分束流的等效能量按经验值取为总能量的 30%。沿主束侧向漏束的等效能量为 3MeV（10MeV×30%），根据表 11-1，3MeV 入射电子在距靶 1m 处侧向 90° 的 X 射线发射率为 $3.2\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ，保守估算靶材料均按铁进行，90° 方向的修正系数 f_e 为 0.5。

当束流强度为 0.1mA，根据公式（A-2），主机室距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率为：

$$D_{10}(90^\circ) = 60 \times 3.2 \times 0.1 \times 0.5\text{Gy/h} = 9.6\text{Gy/h}$$

依据表 11-2，3MeV 入射电子在侧向屏蔽能量取相应等效能量 1.9MeV。

3、加速器机房屏蔽墙外剂量率估算

(1) 关注点选取

辐照室：屏蔽墙体外 30cm 处的 A、B、C、E 和 H 点；货品传输链 F 点；迷道出

入口 G 和 D 点。辐照室外关注点详见图 11-1。

主机室：屏蔽墙体 30cm 处以及周围关注点 A、B、C、D、F 和 G 点；防护门处 E 点。主机室外关注点详见图 11-2。

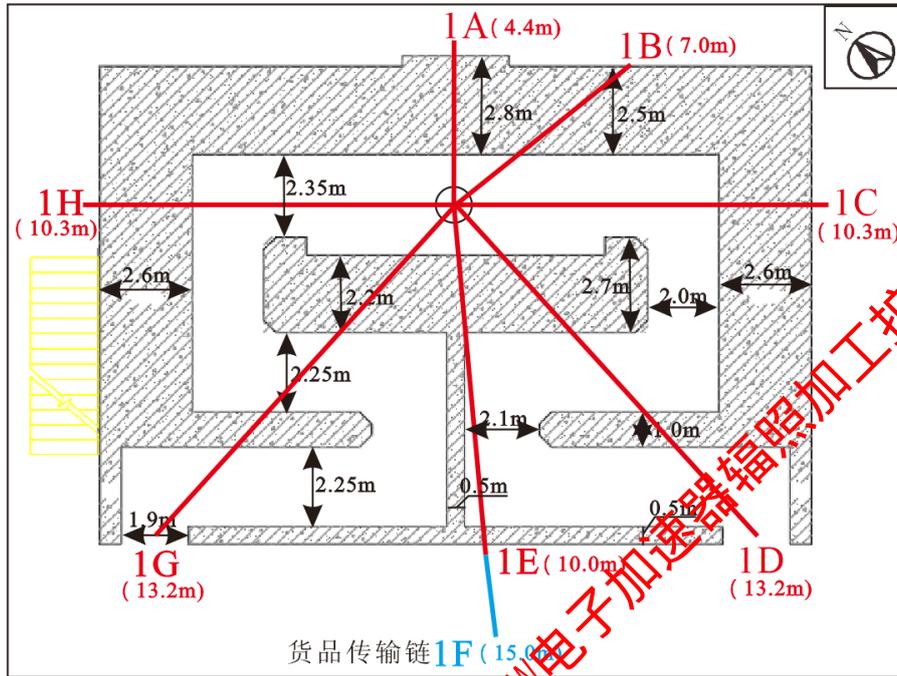


图 11-1 辐照室外关注点示意图

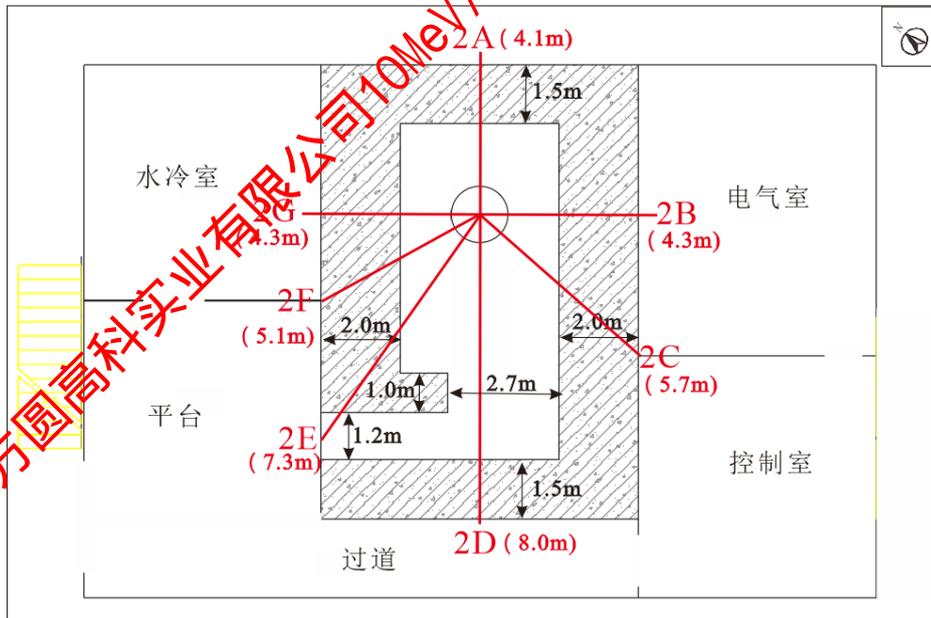


图11-2 主机室外关注点示意图

本次屏蔽设计材料在X射线不同能量下的 T_1 和 T_e 值见表11-3。

表 11-3 防护墙和防护门材料在 X 射线不同能量下的 T₁ 和 T_e (单位: cm)

X射线能量	1.9MeV	6MeV
普通混凝土 (2.35g/cm ³)	22.1/20.1	35.5/35.5
铁 (7.85g/cm ³)	7.7/7.0	—
铅 (11.34g/cm ³)	3.35/4.2	—

(2) 辐照室和主机室各关注点屏蔽厚度及剂量率核算

辐照室和主机室各关注点墙体厚度及剂量率核算结果见表11-4和11-5。

表11-4 辐照室直射辐射屏蔽墙外剂量率估算结果

位置	参考点	距离	D ₁₀ (Gy/h)	H _M (μSv/h)	混凝土墙厚 (cm)		计算H (μSv/h)
					理论值	设计值	
东墙外30cm	1A	4.4m	810	2.5	236	280	0.136
东侧厂内道路	1B	7.0m	810	2.5	221	440	1.67×10 ⁻⁶
南墙外30cm	1C	10.3m	810	2.5	209	260	0.091
迷道门外 30cm	1D	13.2m	810	2.5	202	420	1.72×10 ⁻⁶
西墙外30cm	1E	10.0m	810	2.5	210	270	0.050
西侧货物传输链	1F	15.2m	810	2.5	219	270	0.087
迷道门外 30cm	1G	13.2m	810	2.5	202	420	1.72×10 ⁻⁶
北墙外30cm	1H	10.3m	810	2.5	209	260	0.091

表11-5 主机室直射辐射屏蔽墙外剂量率估算结果

关注点	参考点	距离	D ₁₀ (Gy/h)	H _M (μSv/h)	混凝土墙厚 (cm)		计算H (μSv/h)
					理论值	设计值	
东墙外30cm	2A	4.1m	9.6	2.5	98	150	0.025
南侧电气室	2B	4.3m	3.84	2.5	97	200	7.32×10 ⁻⁵
南侧控制室	2C	5.7m	3.84	2.5	104	265	2.43×10 ⁻⁸
西侧过道	2D	8.0m	3.84	2.5	86	150	0.006
防护门外 30cm	2E	7.3m	3.84	2.5	88	261	2.34×10 ⁻⁸
北侧平台	2F	5.1m	3.84	2.5	94	238	6.70×10 ⁻⁷
北侧水冷室	2G	4.3m	3.84	2.5	97	200	7.32×10 ⁻⁵

根据估算结果可以看出,辐照室和主机室直射辐射屏蔽墙外30cm处周围剂量当量率均远小于2.5μSv/h,可以满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)中要求“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面30cm处及以外区域周围剂量当量率不能超过2.5μSv/h”,该项目设计墙体厚度可以满足防护要求。

4、迷道散射计算

对于迷道散射辐射，选取辐照室迷道口外30cm处G、D关注点的剂量率进行估算，详见表11-6；对于主机室，由于经二次（多次）散射后到达防护门处剂量率远小于一次散射剂量率，因此主要考虑一次散射后到达防护门处的剂量率，详见图11-4。

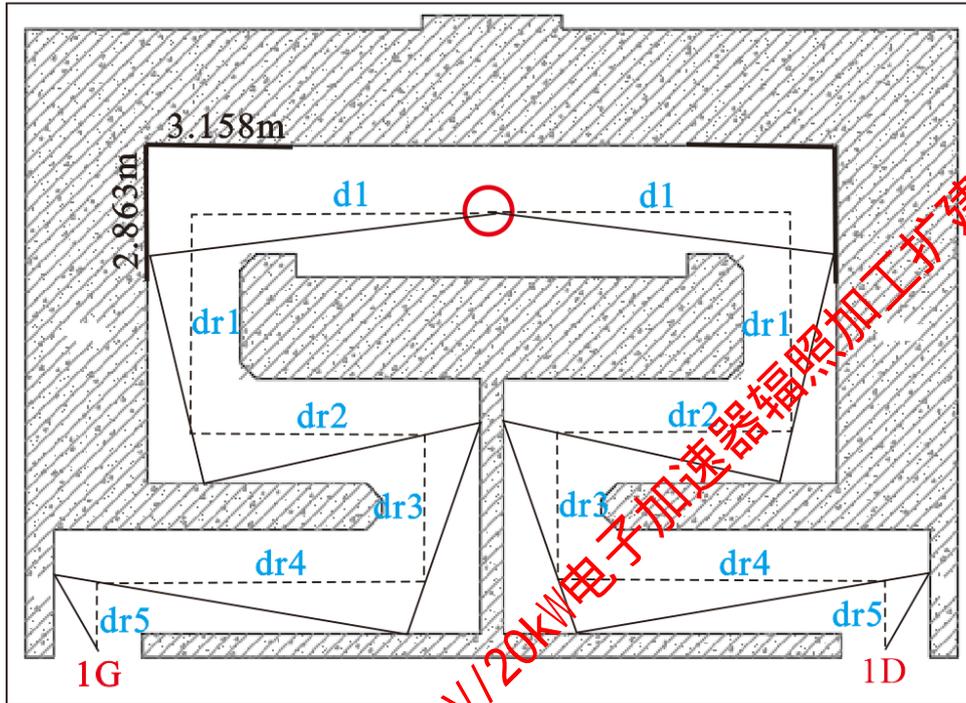


图11-3 辐照室迷道口关注点示意图

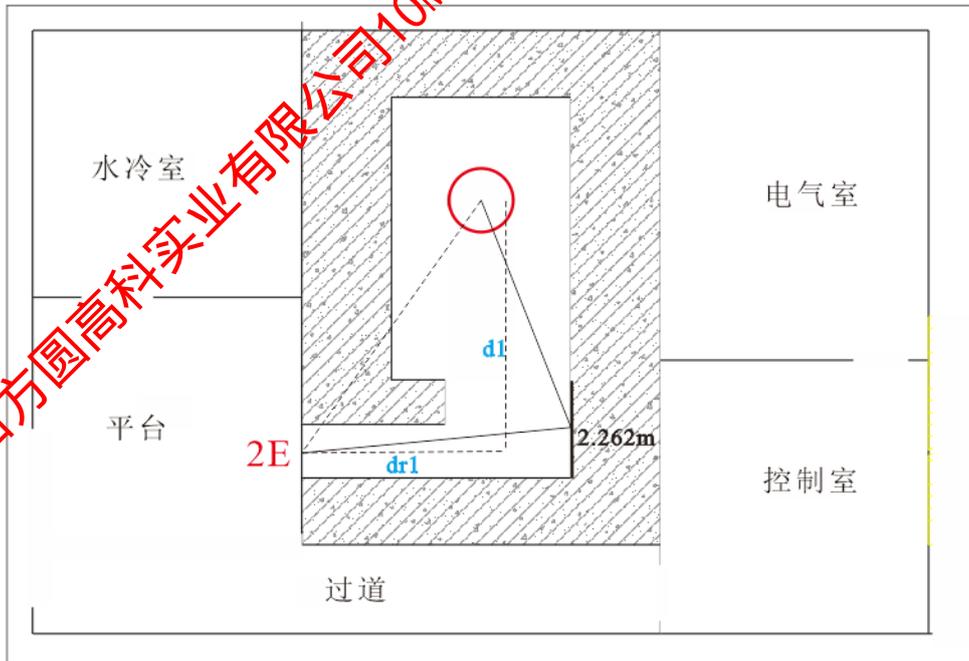


图 11-4 主机室防护门处关注点示意图

根据公式（11-5），对于能量大于3MeV的X射线认为其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 α_2 （假设一次散射后的反射过程一样， $E=0.5\text{MeV}$ ）取值为 2×10^{-2} 。辐照室迷道散射计算的 D_{10} 取值为810Gy/h。

辐照室迷道散射面积：对于G点和H点 A_1 为11.44m²， A_2 为3.8m²， A_3 为4.275m²， A_4 为3.99m²， A_5 为4.275m²。

主机室迷道散射计算的 D_{10} 取值为9.6Gy/h，主机室迷道散射面积：对于2E点， A_1 为9.5m²。机房迷道散射面积估算见表11-6。

表11-6 机房迷道散射面积估算结果

楼层		迷道宽度m	迷道高度m	散射面积m ²	
辐照室	散射面积	A1	2.863+3.158	11.44	
	迷道截面积	A2	2.0	3.8	
		A3	2.25	4.275	
		A4	2.1	3.99	
		A5	2.25	4.275	
主机室	迷道截面积	A1	2.262	4.2	9.5

表11-7 机房迷道散射剂量率估算结果

楼层	参考点	散射次数j	路径 d1,dr1,dr2,dr3,dr4,dr5	散射剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	
一层辐照室周围	1G	5	6.44,4.85,5.12,3.23,7.2,1.69	3.91×10^{-5}	
	1D	5	6.44,4.85,5.12,3.23,7.2,1.69	3.91×10^{-5}	
	G、D点 外5m处	5	6.44,4.85,5.12,3.23,7.2,1.69	5.08×10^{-6}	1.02×10^{-5}
		5	6.44,4.85,5.12,3.23,7.2,1.69	5.08×10^{-6}	
二楼主机室	2E	1	5.73,4.43	7.08×10^2	

由表11-7可知，辐照室迷道入口处散射剂量当量率为 $3.91 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$ ，远小于最大允许周围剂量当量率 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，所以，辐照室迷道的设计是合理的。主机室迷道入口处的周围剂量当量率为 $7.08 \times 10^2 \mu\text{Sv/h}$ ，远大于最大允许周围剂量当量率 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，所以，主机室必须增设防护门。

5、防护门的屏蔽计算

主机室的防护门是60mmPb厚度的铅门，对于能量大于3MeV的X射线认为其散射一次后的能量均为0.5MeV，铅的T1和Te值分别为0.5cm，1.19cm。根据 $B_x = H_M / H_0$ ，计

算防护门处的剂量率。

表11-8 防护门处剂量率估算结果

H_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	H_M ($\mu\text{Sv/h}$)	Bx	n	理论铅防护门 厚 (cm)	设计铅防护门 厚 (cm)	H ($\mu\text{Sv/h}$)
283	2.5	0.009	3	1.76	6.0	0.0017

根据结果得到，防护门处的剂量率满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面30cm处及以外区域周围剂量当量率不能超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。所以防护门厚度符合要求。

6、辐照室屋顶

辐照室屋顶上方主机室在加速器开机时禁止人员进入。根据提供加速器机房剖面图，按直射射线进行防护，辐照室屋顶上方关注点见图11-5，辐射剂量率H估算结果见表11-9。

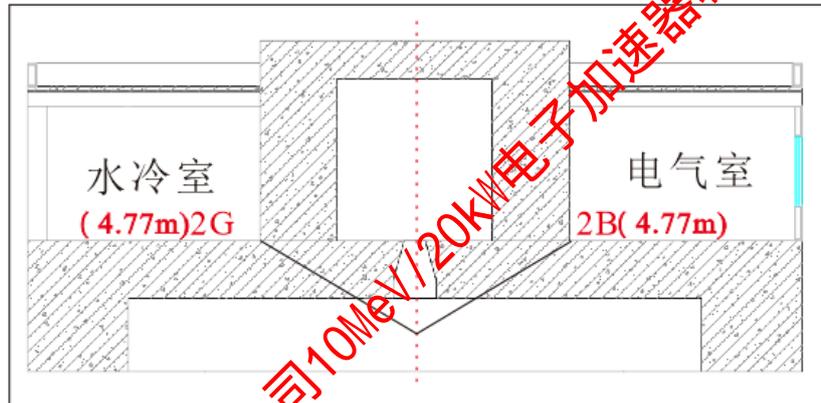


图11-5 辐照室贯穿到二层关注点示意图

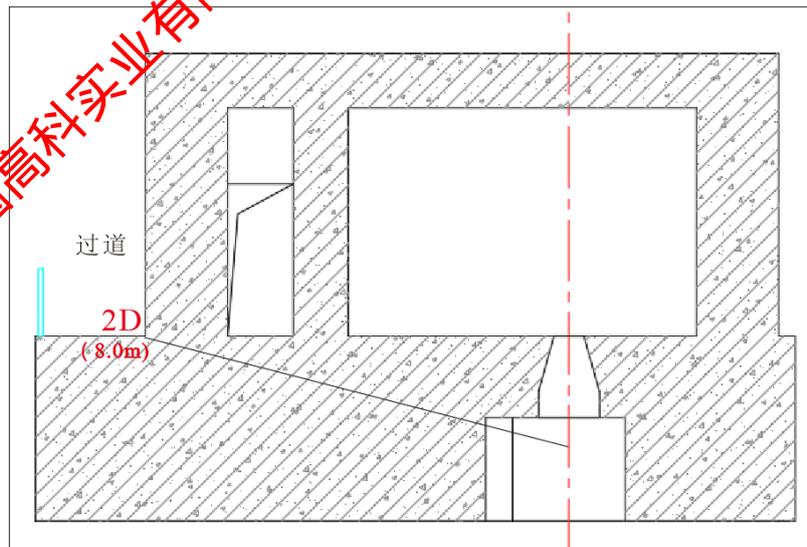


图11-6 加速器机房侧视图

表11-9 辐照室屋顶剂量率估算结果

关注点	参考点	距离	D ₁₀ (Gy/h)	H _M (μSv/h)	混凝土墙厚 (cm)		计算H (μSv/h)	总H (μSv/h)
					理论值	设计值		
北侧 水冷室	2G*	4.77m	810	2.5	239	477	0.492	0.492
	2G	/					2.93×10 ⁻⁵	
北侧 平台	2F*	4.77m	810	2.5	239	477	0.492	0.492
	2F	/					2.68×10 ⁻⁷	
西侧 过道	2D*	8.0m	810	2.5	239	477	4.63×10 ⁻⁷	0.003
	2D	/					0.003	
南侧 电气室	2B*	4.77m	810	2.5	254	279	0.492	0.492
	2B	/					2.93×10 ⁻⁵	
南侧 控制室	2C*	4.77m	810	2.5	254	279	0.025	0.025
	2C	/					9.73×10 ⁻⁹	

备注：*为一层辐照室透射至二层辅助用房剂量率

根据估算结果，辐照室屋顶上方各辅助用房剂量率最大为0.492μSv/h，可以满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中要求“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面30cm处及以外区域周围剂量当量率不能超过2.5μSv/h”，该项目设计辐照室屋顶可以达到防护要求。

7、天空反散射剂量率

加速器产生的辐射源通过屋顶泄露，再经过天空中大气的反散射，返回至加速器周围的地面附近，形成附加的辐射场，对周围公众产生影响。根据公式11-6，该项目X射线天空反散射示意图见图11-7，加速器机房外距加速器出束口20m处天空散射剂量当量率估算结果见表11-11。

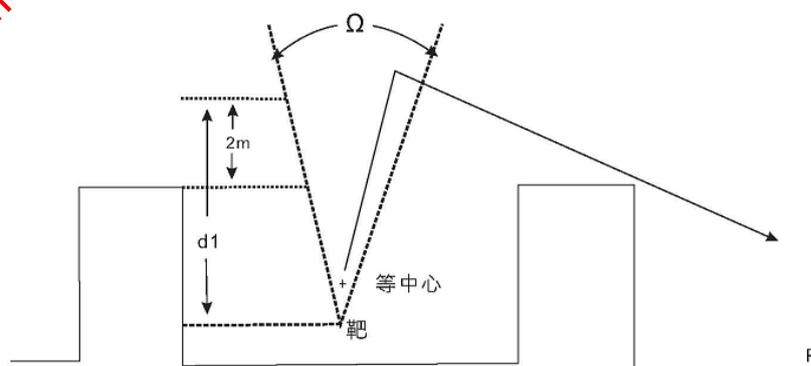


图 11-7 X 射线天空反散射示意图

表11-10 加速器机房天空反散射剂量率核算基础信息表

楼层	a/2 (m)	b/2 (m)	c (m)	d (m)	Ω
一层辐照室	20/2	13/2	9.54	9.55	2.56
二层主机室	8/2	13/2	6.45	7.35	6.27

表11-11 加速器机房天空反散射剂量率估算结果

楼层	D ₁₀ (Gy/h)	Ω	d _i (m)	d _s (m)	屋顶厚度 (m)		H (μSv/h)	
					理论	实际		
一层辐照室	810	2.56	10.6	20	0.99	1.5	0.091	0.0925
二层主机室	9.6	6.27	7.2	20	0.36	1.0	0.0017	

根据估算结果，加速器机房外外距加速器出束口20m处天空散射剂量当量率为0.0925μSv/h，可以满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中要求“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面30cm处及以外区域周围剂量当量率不能超过2.5μSv/h”，该项目设计辐照室屋顶可以达到防护要求。

8、加速器机房类比分析与评价

(1) 陕西方圆高科实业有限公司现有10MeV电子加速器类比数据

陕西方圆高科实业有限公司目前使用10MeV电子加速器最大能量为10MeV，电流为2mA，额定功率为20kW。10MeV加速器机房一层辐照室北、南侧墙体为2.6m厚混凝土，西侧墙墙体为2.5m，东侧墙迷道内墙1m，迷道外墙0.5m，屋顶0.3m厚混凝土；二层主机室北、南侧墙体为1.6m，西侧墙体为1.4m，东侧墙体为1.5m，屋顶为1m厚混凝土。

本项目选择已运行的陕西方圆高科实业有限公司目前使用10MeV电子加速器进行类比分析，比较情况见表11-12。

表11-12 加速器机房类比对象可行性分析

类比条件		现有10MeV加速器机房	评价加速器机房	可类比性
型号		DZ-10/20	DZ-10/20	相同
最大能量10MeV		10	10	相同
电流mA		2	2	相同
额定功率kW		20	20	相同
辐照室	墙体厚度	北、南侧墙体2.6m混凝土 西侧墙体2.5m混凝土	北、南侧墙体2.6m混凝土 东侧墙体2.5m混凝土	相同
	迷道厚度	东侧迷道内墙1m，迷道 外墙0.5m	西侧迷道内墙1m，迷道 外墙0.5m	相同
	屋顶厚度	0.3m混凝土	0.5m混凝土	本项目辐照室屋顶 厚度较厚
主机室	墙体厚度	北、南侧墙体1.6m混凝土	北、南侧墙体2.0m混凝土	本项目主机室西侧

		西侧墙体1.4m混凝土 东侧墙体1.5m混凝土	西侧墙体1.5m混凝土 东侧墙体1.5m混凝土	墙体厚度较厚
	屋顶厚度	1m混凝土	1m混凝土	相同

由上表可知，陕西方圆高科实业有限公司目前使用 10MeV 电子加速器与本次增加 10MeV 电子加速器的最大能量、电流和额定功率均相同；辐照室墙体、迷道厚度相同，屋顶厚度本项目屏蔽设计偏厚；主机室本项目西侧墙体屏蔽设计偏厚，屋顶厚度相同。具有可类比性。

类比建设单位现使用10MeV电子加速器竣工验收监测数据见表11-13。监测时加速器运行工况为电子束能量10MeV、电流2mA、功率20kW。

表 11-13 类比陕西方圆高科实业有限公司天佑 10MeV 电子加速器辐射剂量率监测结果

监测点位	监测点位描述	加速器关机状态		加速器正常运行状态	
		测值范围 ($\mu\text{Gy/h}$)	均值 ($\mu\text{Gy/h}$)	测值范围 ($\mu\text{Gy/h}$)	均值 ($\mu\text{Gy/h}$)
1	辐照室货物入口	0.06~0.10	0.08	0.07~0.11	0.09
2	辐照室货物出口	0.07~0.11	0.09	0.08~0.12	0.10
3	辐照室东墙外表面30cm处 (辐照大厅)	0.06~0.09	0.08	0.07~0.10	0.08
4				0.06~0.10	0.08
5				0.07~0.11	0.09
6	辐照室南墙外表面30cm处 (辐照大厅)	0.06~0.09	0.08	0.08~0.11	0.10
7				0.08~0.11	0.10
8				0.08~0.12	0.11
9	辐照室西墙外表面30cm处 (车间)	0.06~0.10	0.08	0.09~0.15	0.12
10				0.12~0.15	0.14
11				0.08~0.12	0.10
12	辐照室北墙外表面30cm处 (车间)	0.08~0.11	0.09	0.07~0.11	0.09
13				0.07~0.10	0.09
14				0.08~0.12	0.10
15	主机室防护门上缝30cm处	0.07~0.10	0.09	0.10~0.15	0.13
	主机室防护门下缝30cm处			0.29~0.48	0.36
	主机室防护门左缝30cm处			0.35~0.46	0.43
	主机室防护门右缝30cm处			0.39~0.56	0.46
	主机室防护门中部30cm处			0.12~0.16	0.14
16	主机室南墙外30cm处	0.06~0.10	0.09	0.49~0.69	0.58
17	水冷设备间	0.07~0.10	0.09	0.12~0.26	0.18
18	进出口水冷间门	0.06~0.08	0.07	0.09~0.14	0.12
19	主机室东墙外30cm处	0.06~0.10	0.08	0.15~0.32	0.26
20	过道	0.06~0.09	0.07	0.09~0.13	0.11
21	主机室北墙外30cm处	0.06~0.10	0.08	0.25~0.35	0.30
22	线沟	0.06~0.10	0.08	0.31~0.38	0.35
23	机柜室	0.06~0.09	0.08	0.09~0.16	0.13

24	机柜室门	0.07~0.10	0.09	0.08~0.11	0.10
25	控制室人员操作位	0.07~0.11	0.10	0.10~0.13	0.12
26	控制室地面	0.06~0.11	0.10	0.08~0.12	0.11
27	辐照室南侧配电室	0.06~0.10	0.08	0.10~0.13	0.12
28	办公室 (1)	0.06~0.10	0.08	0.08~0.12	0.11
29	办公室 (2)			0.06~0.10	0.09
30	办公室 (3)			0.06~0.10	0.08
31	接待室			0.08~0.11	0.09
32	卫生间			0.07~0.12	0.10
33	辐照室东侧辐照大厅3~10m巡测	0.06~0.08	0.07	0.06~0.11	0.09
34	辐照室西侧道路	0.07~0.11	0.10	0.06~0.09	0.08
35	主机室	0.06~0.12	0.10	—	—

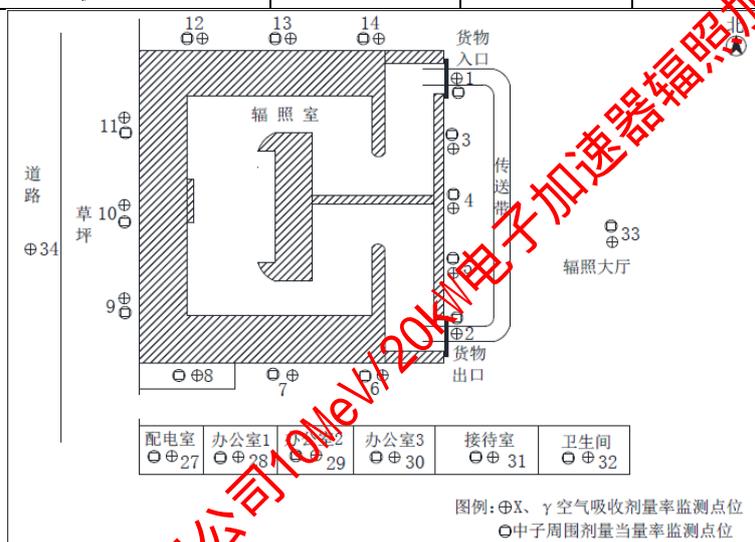


图 11-8 类比电子加速器辐照室监测点位示意图

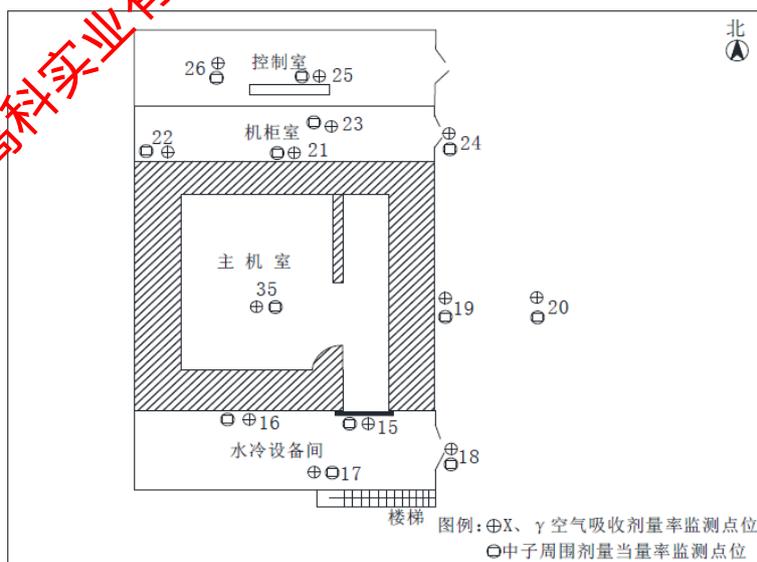


图 11-9 类比电子加速器主机室监测点位示意图

根据类比监测数据可以看出，陕西方圆高科实业有限公司现有10MeV电子加速器停机状态时，加速器机房各监测点位X、γ空气吸收剂量率测量值范围为0.06~0.12μGy/h；10MeV加速器正常工作状态下，电子加速器主机室、辐照室屏蔽体外30cm处各监测点位X、γ空气吸收剂量率测量值范围为0.06~0.69μGy/h。本项目加速器机房中辐照室设计厚度与建设单位现有10MeV电子加速器辐照室屏蔽体厚度相同，主机室设计厚度大于建设单位现有10MeV电子加速器主机室墙体厚度，类比监测工况（电子束能量10MeV、电流2mA、功率20kW）与该项目计划使用电子加速器技术参数（电子束最大能量10MeV、电流2mA、功率20kW）相同，因此本项目运行后，加速器机房屏蔽体外30cm处及其周围工作场所辐射剂量率可以满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外人员可达区域屏蔽体外表面30cm处及以外区域周围剂量当量率不能超过2.5μSv/h”的要求。

8、个人剂量估算

根据建设单位供的资料，本项目运行后，电子加速器每年工作300天，每天工作8小时，年工作时间为2400h。

(1) 职业人员个人剂量

本项目职业人员辐射剂量率计算见表 11-14。

表 11-14 职业人员个人剂量估算结果

位置	职业	辐射剂量率 (μSv/h)	加速器年 工作时间	居留 因子	年受照 剂量 (mSv/a)
辐照室出入口	技术人员	4.08×10 ⁻⁵	2400	1/4	2.45×10 ⁻⁵
控制室		0.029	2400	1	0.070
水冷室		0.492	2400	1/4	0.295
平台		0.492	2400	1/4	0.295
电气室		0.492	2400	1/4	0.295
主机室		0.0017	2400	1/4	0.0010
货品传输链	搬运人员	0.087	2400	1	0.209

备注：①辐照室出入口处人员不停留，搬运人员位于货品传输链位置，故出入口居留因子取 1/4，货品传输链处居留因子取 1；
②本项目职业人员位于二楼控制室内，控制加速器的运行，故居留因子取 1；
③水冷室、平台、电气室和主机室入口处人员偶然居留，居留因子取 1/4。

由表 11-13 得本项目工作人员年受照剂量最大为 0.295mSv。由于本项目工作人员同时还从事其他放射性工作场所的工作，根据陕西新高科辐射技术有限公司和西安志诚辐射环境检测有限公司出具的职业性外照射个人剂量监测报告，2020 年 7 月至 2021 年 7 月期间，陕西方圆高科实业有限公司放射工作人员个人剂量当量为 0.04~

0.35mSv，故本项目职业人员累计年受照剂量最大为 0.645mSv，可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中工作人员年有效剂量限值要求，同时也低于《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中工作人员的个人年有效剂量约束值 5mSv。

(2) 公众个人剂量

公众成员主要为车间 10MeV 加速器辐照工作人员、加速器机房周围工作的非辐射工作人员、厂区内道路过往行人等。公众个人剂量估算结果见表 11-15。

表 11-15 公众个人剂量估算结果

位置	公众	距加速器距离 (m)	辐射剂量率 (μSv/h)	加速器年工作时间	居留因子	年受照剂量 (mSv/a)
现有 10MeV 加速器辐照装置	现有 10MeV 加速器搬运人员	54.3	0.013	2400	1/4	0.0078
卫生间	电子加速器辐照车间工作人员	39.3	0.0033	2400	1/4	0.0020
休息室		46.8	0.0023	2400	1/4	0.0014
办公室		54.3	0.0068	2400	1	0.0163
维修室		57.05	0.0015	2400	1/4	0.00010
东侧厂区道路	厂区工作人员	4.4	0.1356	2400	1/4	0.0813
消防泵房	巡检人员	18.4	0.0020	2400	1/4	0.0012
陕西浩洋警用装备有限公司	公司工作人员	36.4	0.0079	2400	1	0.0190
杜克普服装有限公司	公司工作人员	36.4	0.0079	2400	1	0.0190
南侧厂区道路	厂区工作人员	10.3	0.0905	2400	1/4	0.0543
咸阳新兴纺织工业园消防站	办公楼工作人员	24.7	1.6660E-11	2400	1	3.9985E-11
新纺 110KV 变电站	值班人员	38	0.0139	2400	1	0.0334

备注：①陕西浩洋警用装备有限公司、杜克普服装有限公司、咸阳新兴纺织工业园消防站和新纺 110KV 变电站均有工作人员或值班人员，居留因子取 1；
 ②现有 10MeV 加速器辐照装置区域、卫生间、休息室、维修室、东侧厂区道路、南侧厂区道路为公司现有工作人员工作区域，均可到达，居留因子取 1/4，办公室有值班人员，居留因子取 1；
 ③消防泵房可能有维修人员进行维修，居留因子取 1/4。

根据公众个人剂量估算结果可以看出，该项目对公众产生年有效剂量最大为

0.0813mSv，可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中公众年有效剂量限值要求，同时也低于《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中公众成员的个人年有效剂量约束值 0.1mSv。

9、非辐射环境影响分析

(1) 臭氧

空气在辐射照射下产生臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）等有害气体。首先依据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录B中推荐的方法对运行期臭氧的产生量进行估算，再根据《环境评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）中AERSCREEN模型进行大气环境影响的判定。

平行电子束所致O₃的产生率按下式进行保守估算：

$$P = 45d \cdot I \cdot G \quad \dots\dots (11-8)$$

式中：P——单位时间电子束产生O₃的质量（mg/h）；

I——电子束流强度（mA）；

d——电子在空气中的行程（cm）；

G——空气吸收100eV辐射能量产生的O₃分子数，保守值取10。

该项目电子束流强度为2mA，根据上式该项目O₃的产生量为90000mg/h。

辐照室臭氧的平衡浓度：在加速器正常运行期间，臭氧不断产生，考虑到室内连续通风和臭氧自身的化学分解（有效化学分解时间约为50min），辐照室空气中臭氧的平衡浓度随辐照时间t的变化为：

$$C(t) = \frac{PT_e}{V} (1 - e^{-\frac{t}{T_e}}) \quad \dots\dots (11-9)$$

式中：C——辐照室空气中在t时刻臭氧的浓度（mg/m³）；

P——单位时间电子束产生O₃的质量（mg/h）；

T_e——对臭氧的有效清除时间（h）。

$$T_e = \frac{T_v \times T_d}{T_v + T_d} \quad \dots\dots (11-10)$$

式中：T_v——辐照室换气一次所需时间（h）；

T_d——臭氧的有效化学分解时间（h）。

该项目辐照室内有效体积约245.86m³，通风设施设计通风量21000m³/h，辐照室换气一次所需时间约为0.0117h，T_v << T_d，因而T_e ≈ T_v。当长时间辐照时，辐照室内臭氧

平衡浓度为：

$$C_s = \frac{PT_e}{V} = \frac{90000\text{mg/h} \times 0.0117\text{h}}{245.86\text{m}^3} = 4.28\text{mg/m}^3$$

根据估算结果，当该项目配备通风量为21000m³/h通风设施后，辐照室内臭氧平衡浓度为4.28mg/m³，

加速器长期正常运行期间，室内臭氧达到饱和平衡浓度，通常情况下，该浓度大大高于《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）所规定的工作场所最高容许浓度。因此，当加速器停止运行后，人员不能直接进入辐照室，风机必须继续运行，室内臭氧浓度随时间急剧下降，浓度变化的平衡方程为：

$$dc/dt = -C/T_e \dots\dots (11-11)$$

当 t=0 时，C=C_s

得到浓度随时间的变化公式为：

$$C = C_s e^{-\frac{t}{T_e}} \dots\dots (11-12)$$

由此可得，关闭加速器后风机运行的持续时间公式为：

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s} \dots\dots (11-13)$$

式中：C₀——《工作场所有害因素职业接触限制》（GBZ2.1-2019）规定的 O₃ 的最高容许浓度 0.3mg/ m³；

T——为使室内 O₃ 浓度低于规定的浓度所需时间（h）。

由公式 11-12 计算可得，10MeV 加速器辐照室臭氧达到平衡浓度后，按照设计风量进行计算，10MeV 加速器停机后，经过 0.031h，其辐照室内臭氧浓度可以降低至 0.30mg/m³。因此 10MeV 加速器停机后辐照室应继续通风 0.031h 以上，工作人员才能进入辐照室。

该项目 10MeV 加速器机房辐照室内出束位置下方设置有通风排放口，通过通风装置将臭氧经管道排放至室外。根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）推荐的 AERSCREEN 模型预测结果，项目臭氧排放最大落地浓度为 7.613μg/m³，远小于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中日最大 8 小时平均的二级标准要求 160μg/m³。

(2) 氮氧化物

空气在辐射照射下产生臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）等有害气体。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，本次评价假设氮氧化物的产生量为臭氧的三分之一，即30000mg/h，即0.03kg/h。本项目机房的通风量为21000m³/h，经计算氮氧化物的排放浓度为1.42 mg/m³。满足《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）中“氮氧化物的最高允许排放浓度240mg/m³，最高允许排放速率为0.77kg/h”的要求。

(3) 噪声

本项目需增加1台外冷却机和1台通风机，对于陕西方圆高科实业有限公司，主要噪声源是现有钴-60辐照装置、3MeV和10MeV电子加速器的通风机、外冷却机。本项目声环境影响预测，可采用《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2009）中的工业声环境影响预测计算模式进行。本次声环境影响评价采用模式预测的方式进行。

① 预测方案

本项目预测10MeV电子加速器扩建完成后四周厂界噪声预测值，并绘制噪声预测值等值线图。

② 预测条件

- a 所有产噪设备均在正常工况条件下运行；
- b 考虑声源至预测点的距离衰减，忽略传播中建筑物的阻挡、地面反射以及空气吸收、雨、雪、温度等影响；
- c 室内噪声源考虑声源所在厂房围护结构的隔声作用。

③ 预测模式

a 室外声源

$$L_p(r) = L_p(r_0) - 20\lg(r/r_0) - \Delta L$$

式中： $L_p(r)$ —噪声源在预测点的声压级，dB(A)；

$L_p(r_0)$ —参考位置 r_0 处的声压级，dB(A)；

r_0 —参考位置距声源中心的位置，m；

r —声源中心至预测点的距离，m；

ΔL —各种因素引起的声衰减量（如声屏障，遮挡物，空气吸收，地面吸收等引起的声衰减），dB(A)。

b 室内声源

等效室外点源的声传播衰减公式为：

$$L_p(r) = L_{p0} - TL - 10\lg R + 10\lg S_t - 20\lg \frac{r}{r_0}$$

式中： L_{p0} —室内声源的声压级，dB(A)；

TL—厂房围护结构(墙、窗)的平均隔声量，dB(A)；

R—车间的房间常数， m^2 ；

$R = \frac{S_t \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$ S_t 为车间总面积； $\bar{\alpha}$ 为房间的平均吸声系数；

S—为面对预测点的墙体面积， m^2 ；

r—车间中心距预测点的距离，m；

r_0 —测 L_{p0} 时距设备中心距离，m。

c 总声压级

$$Leq(T) = 10\lg\left(\frac{1}{T}\left[\sum_{i=1}^M t_{out,i} 10^{0.1L_{out,i}} + \sum_{j=1}^N t_{in,j} 10^{0.1L_{in,j}}\right]\right)$$

式中：T 为计算等效声级的时间；

M 为室外声源个数；N 为室内声源个数；

$t_{out,i}$ 为 T 时间内第 i 个室外声源的工作时间；

$t_{in,j}$ 为 T 时间内第 j 个室内声源的工作时间。

t_{out} 和 t_{in} 均按 T 时间内实际工作时间计算。

④ 噪声源确定

本项目噪声源坐标见表 11-15。

表 11-15 噪声源坐标及源强表

序号	名称	声压级 dB(A)	室内/室外	数量	距离 (m)	
1	冷却机	85	室内	1	东厂界	115.4
					南厂界	26.4
					西厂界	90.7
					北厂界	138.2
2	通风机	90	室内	1	东厂界	114.4
					南厂界	24.4
					西厂界	93.4
					北厂界	161.7

⑤ 厂界预测点

选取陕西方圆高科实业有限公司东、南、北、北四个场界，以10m步长进行逐点预测。本项目所有建筑物墙体隔声量取值为20dB(A)。

⑥ 预测结果与评价

按照《环境影响评价技术导则 声环境》(HJ 2.4-2009)的要求，根据源强及声源距预测点距离，计算噪声源在厂界外 1m 处贡献值，现状值为本次现状监测结果(已叠加背景值)。将噪声源在变电站厂界外 1m 处贡献值与现状值叠加计算预测值，预测结果见表 11-15。

表 11-15 厂界噪声预测结果 单位: dB (A)

序号	位置	昼间/夜间 贡献值	现状值		预测值	
			昼间	夜间	昼间	夜间
1	东厂界	20.2	56	53	56.0	53.0
2	南厂界	39.6	47	49	47.7	49.5
3	西厂界	37.2	55	54	55.1	54.1
4	北厂界	25.8	52	50	52.0	50.0

由上表可知，运行期公司东、南、西和北厂界昼间预测值为 47.7~56.0dB(A)，夜间预测值为 49.5~54.1dB(A)，满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348-2008) 3 类标准(昼间 65dB (A)，夜间 55dB (A))。

陕西方圆高科实业有限公司10MeV/20kV电子加速器辐照加工新建项目



图 11-10 噪声源位置及噪声预测等声级线图

(4) 废水

本项目不新增定员，不新增生活污水排放。

加速器冷却机冷却水为循环水，循环使用不外排。

事故影响分析

1、风险源与风险因子

该项目风险源为电子加速器，环境危害因子主要为电子加速器运行中产生的电子束和电子束轰击出口束附近材料产生的X射线。

2、风险事故识别

本项目运行中可能发生的辐射事故如下：

(1) 因设备故障导致辐照室和主机室门机联锁装置失效，主机室防护门未完全关闭即进行辐照工作，造成主机室周围辐射剂量率升高，对影响区域内活动人员产生不必要的照射；人员误入工作中的主机室对其产生的不必要的照射。

(2) 工作人员误开机：辐照室、主机室内有人员滞留，工作人员误开机对滞留人员产生不必要的照射。

(3) 连锁装置、警示灯失效，人员误入辐照室、主机室对其产生的不必要的照射。

3、风险事故分级

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院 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四个等级，详见表 11-16。

表 11-16 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

本项目包括 II 类射线装置，可能发生加速器门机连锁装置失效或人员误入辐照室、主机室情况下，可能会对相关人员造成急性放射性病或局部器官残疾、超剂量照射，可能发生较大辐射事故和一般辐射事故。

4、辐射事故分析影响

依据《射线装置分类办法》，本项目 10MeV 电子加速器为 II 类射线装置，属于中危险射线装置，事故时可以使受照人员产生较严重的放射损伤，大剂量照射甚至可以导致死亡。

当 10MeV 电子加速器处于照射状态时，假如有人员滞留于辐照室、主机室内时，可能会对相关人员造成严重的放射性损伤或超剂量照射。本项目 10MeV 加速器束流侧向（90°）1m 处辐射剂量率取 810Gy/h，主机室漏束 1m 处剂量率取 7.68Gy/h，滞留在辐照室、主机室的人员距离为 1m~5m，停留时间为 1min~5min 时，对滞留在辐照室、主机室的人员发生误照射时，估算的受照射剂量见表 11-17。

表 11-17 10MeV 加速器辐照室、主机室人员误照射受照射剂量估算结果

滞留场所	距辐射源距离	受照剂量（mSv）				
		1min	2min	3min	4min	5min
辐照室	1m	13500	27000	40500	54000	67500

	2m	3375	6750	10125	13500	16875
	3m	1500	3000	4500	6000	7500
	4m	843.75	1687.5	2531.25	3375	4218.75
	5m	540	1080	1620	2160	2700
主机室	1m	64	128	192	256	320
	2m	16	32	48	64	80
	3m	7.1	14.2	21.3	28.4	35.5
	4m	4	8	12	16	20
	5m	2.56	5.12	7.68	10.24	12.8

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)有关规定,工作人员连续5年接受的有效剂量不应超过20mSv,任何一年接受有效剂量不应超过50mSv。表11-18分别给出了在不同的距离受到20mSv和50mSv有效剂量的时间。

表 11-18 距加速器方向 1m 处受到 20mSv、50mSv 剂量率的时间

滞留场所	距加速器1m处受到20mSv所需时间	距加速器1m处受到50mSv所需时间
辐照室	0.09 s	0.222s
主机室	19.2s	46.8s

根据表11-17估算结果可以看出,当加速器处于工作状态,人员误入辐照室、主机室将可能接受到较大剂量的放射性照射,辐照室内距加速器1m处1min内所接受剂量高达13500mSv,主机室内距加速器1m处1min内所接受剂量64mSv。

根据表11-18估算结果可知,辐照室内距加速器1m处停留0.09s所接受的有效剂量就能达到20mSv,停留0.222s所接受的有效剂量就能达到50mSv。主机室内距加速器1m处停留19.2s所接受的有效剂量就能达到20mSv,停留46.8s所接受的有效剂量就能达到50mSv。

5、采取的风险防范措施

针对该项目可能发生的辐射事故,建设单位应采取以下风险防范措施和事故应急措施。

(1) 风险防范措施

为防止项目在运行期间、检修维护期间发生辐射事故,建设单位应做好下列工作:

① 单位领导对辐射安全工作应有足够重视。辐射工作人员应加强安全意识和岗位责任心,并严格按加速器的操作规程执行操作;

② 在操作加速器时要始终注意安全。辐射工作人员必须对该设备具有足够的了解,能够识别任何可能导致危险的故障。如果发生故障或发现存在安全问题,在授权人员修复故障之前,不得使用该设备;

③ 为保证持续安全的操作，应按相关要求对设备进行定期维护；

④ 做好辐射工作人员的防护工作；

⑤ 加速器的钥匙由指定人员进行控制；

⑥ 加速器进行辐照作业期间，应至少有2名辐射工作人员进行值班，严禁操作人员擅离岗位。每次进行辐照前，应检查辐照室、主机室是否有人员停留；定期检查辐射安全联锁、声光报警、剂量监测、视频监控等安全装置或设施，确保其处于正常的工作状态。

(2) 事故应急措施

一旦发生了辐射事故，建设单位应迅速、有效的采取以下应急措施：

① 发现误照射事故时，现场工作人员应立即切断电源，将人员撤出辐照室或主机室，关闭防护门，同时向公司辐射安全管理小组报告。

② 发生射线装置事故时，应立即疏散所有与处理事故无关人员，保护好事故现场，对在事故中可能受到照射的人员及时送到医院进行医学检查和治疗。

③ 事故发生后的2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护主管部门和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应向卫生行政部门报告。④ 分析确定辐射事故的原因，记录发生事故时射线装置工作状态、事故延续时间，以便确定事故时受照个体所接受的剂量。

⑤ 总结事故原因，写出事故报告，采取有效措施避免此类事故再次发生。

表 12 辐射安全管理

1、辐射安全与环境保护管理机构的设置

陕西方圆高科实业有限公司已成立辐射安全与环境安全管理小组，以总经理为组长，副总经理为副组长。组长、副组长和成员的主要职责如下：

(1) 管理小组组长

① 辐射工作安全责任人；

② 批准本单位的辐射安全 and 环境保护工作；

③ 事故应急响应负责人，启动应急响应，指挥控制缓解事故，向当地环境保护主管部门、公安部门、卫生部门报告。

(2) 管理小组副组长职责

协助组长工作，组长不在时替代行使职责。

(3) 辐射安全、环境保护工作管理人员职责

① 本单位辐射安全 and 环境保护工作联系人；

② 建立和管理档案；

③ 编制辐射工作人员培训计划，实施辐射工作人员内部培训，联络外部培训机构；

④ 辐射工作人员健康管理；

⑤ 制定辐射安全、环境保护的规章制度；

⑥ 工作场所和周围环境的监测；

⑦ 辐射防护方案制定和实施；

⑧ 负责组织对辐照装置、辅助设备及安全设施进行维修维护，定期检查设备和安全设施使用情况，使设备和安全设施保持完好状态；

⑨ 组织实施安全保卫工作；

⑩ 辐射防护的年度安全评估。

2、辐射安全管理制度

陕西方圆高科实业有限公司目前已制定了较为完善的规章制度，主要有：《辐射防护与安全保卫管理制度》、《射线装置事故应急预案》、《射线装置辐射监测方案》、《放射源使用管理规定》、《关于放射源定购、贮存、运输、退役的管理规定》、《放射源倒装、装源安全管理制度》、《60Co 辐照装置放射防护安全责任制》、《60Co 辐照装置检测设备检测、维护制度》、《60Co 辐照装置事故应急预案》、《个人剂量

监测制度》、《射线装置台账管理制度》、《人员培训考核、资格认定制度》、《射线装置操作人员工作职责》、《设备检修维护制度》等一系列规章制度，以确保辐射作业中的安全防护。

公司目前针对现有 10MeV 电子加速器制定了《射线装置事故应急预案》、《射线装置辐射监测方案》、《射线装置台账管理制度》、《射线装置操作人员工作职责》、《10MeV/20KW 电子加速器操作规程》等一系列电子加速器相应的管理制度。本次增加的 1 台电子直线加速器与现有加速器型号相同，故可将新建 10MeV 电子加速器机房的管理纳入公司现有日常管理及辐射事故应急预案中，确保辐射防护工作按规章制度进行。

3、人员管理培训制度

陕西方圆高科实业有限公司已制定《人员培训考核、资格认定制度》，现有辐射工作人员 22 人，其中金涛等 10 人参加生态环境部组织的中级辐射安全与防护培训班的学习，陈力等 7 人参加陕西省核安全辐射工作单位人员技术培训，薛松等 5 人参加陕西省核安全局组织的初级辐射安全与防护培训班的学习，并取得合格证书。本项目操作人员从现有操作人员中调配。

4、健康管理

公司已建立了放射工作人员健康体检档案，陕西方圆高科实业有限公司安排辐射工作人员每 2 年进行一次健康体检，根据延安大学咸阳医院 2021 年 6 月 7 日出具的职业健康检查结果报告显示 29 名工作人员“可以从事放射性作业”，同时刘东强和金涛的体检报告为白细胞偏低，复查后显示可以从事放射性作业，见附件。

陕西方圆高科实业有限公司现有放射工作人员培训制度和健康管理制度较为完善，本项目放射工作人员已纳入现有制度管理体系。

5、核技术利用单位辐射安全管理标准化

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和陕环办发〔2018〕29 号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项目表》的相关规定要求，陕西方圆高科实业有限公司对辐射工作人员及辐射工作场所进行科学化，规范化管理。具体管理内容及管理要求见表 12-1 和 12-2。

表 12-1 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表（二）

辐射安全管理部分

管理内容		管理要求	有/ 无
人员管理	决策层	就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作。	有
		年初工作安排和年终工作总结，应包含辐射环境安全管理工作内容。	有
		明确辐射安全管理部门和岗位的辐射安全职责。	有
		提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障。	有
	辐射防护负责人	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求并向员工和公众宣传辐射安全相关知识。	有
		负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告。	有
		建立健全辐射安全管理制度，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，并有完善的巡查及整改记录。	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，发现异常情况后，能有效处理。	有
机构建设	设立辐射环境安全管理机构 and 专（兼）职人员，以正式文件明确辐射安全与环境保护管理机构和负责人。	有	

陕西方圆高科实业有限公司 60MeV/20kV 电子加速器辐照加工建设项目

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

管理内容	管理要求	有/无
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
	建立辐射工作人员个人剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员分析原因并及时报告相关部门，保证个人剂量监测档案的连续有效性。	有
	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），并建立维护与维修工作记录档案（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，制定具有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
	辐射事故应急预案应报所在地县级环境保护行政主管部门备案。应急预案应当包括下列内容：①可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和办理程序。	有

《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》陕环办发（2018）29号文件要求中未对工业加速器的辐射安全防护措施提出要求，本项目按照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）执行。

辐射监测

1、监测仪器配置

(1) 公司本次拟新增 1 台 X- γ 剂量率仪监测仪，用于新建 10MeV 电子加速器机房及其周围环境辐射剂量率的监测；

(2) 现有辐射工作人员已按要求配备个人剂量计，用于监测个人剂量，并且配备 1 台个人剂量报警仪。

(3) 公司本次拟新增 1 台便携式辐射监测报警仪，用于工作人员活动位置辐射水平超出预设报警值时的警示。

(4) 公司本次拟在辐照室内新增 1 台固定式辐射检测仪，用于监测辐照室内剂量率。

2、监测计划

陕西方圆高科实业有限公司应按照表 12-1 制定相应的监测计划，该项目电子加速器安装运行后定期对加速器机房周围辐射水平进行监测。

表 12-1 辐射环境监测计划

序号	监测场所	监测点位	监测项目	监测时间
1	加速器机房主机室周围	主机室墙体和防护门外 30m 处、水冷室、电气室、控制室、线缆口。	辐射剂量率	日常工作过程中定期进行监测。委托有资质单位每年监测一次。
2	加速器机房辐照室周围	辐照室墙体外 30m 处，辐照室出入口处，辐照室西侧货品装卸人员等非放射工作人员活动区域。		
3	加速器机房外天空反散射	加速器出束口 20m 处		
4	加速器机房	放射工作人员	个人剂量	委托有资质单位每三个月检测一次，出具检测报告。
5	加速器机房	排气筒出口	O ₃ 、NO _x	委托有资质单位每年监测一次。
6	厂界噪声	厂界四周厂界	噪声	

环保投资估算

本项目总投资 1800 万元，其中环保投资 460 万元，占总投资的 25.56%，主要用于辐射屏蔽、联锁装置、紧急停机装置、辐射警示标志、照射指示灯、监控对讲设备、通风设施、辐射剂量率监测仪器、个人剂量检测和人员培训等，环保投资一览表见表 12-2。

表 12-2 项目环保投资一览表

序号	项目内容	数量	投资金额（万元）
1	加速器机房建设及配套安全门	1 间	440
2	联锁装置、紧急停机、巡检按钮、红外开关、烟雾报警等装置	1 套	4
3	辐射警示标志、照射指示灯	1 套	2.5
4	监控设备	1 套	2.5
5	排风筒等通风设施	1 套	6
6	噪声污染防治	1 套	2
7	便携式辐射监测报警仪、个人剂量报警仪、固定式辐射监测仪	各 1 台	2
合计			460

竣工环境保护验收内容及要求

项目试运行后，建设单位应严格按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》及时组织开展该项目的竣工验收，委托有资质的监测机构进行竣工环保验收监测。竣工验收清单见表 12-3。

表 12-3 项目竣工环境保护验收清单

序号	验收项目		验收指标
1	辐射防护设施验收	辐照室屏蔽墙体外 30cm 处、辐照室出入口外 30cm 处，主机室屏蔽墙体和防护门外 30cm 处辐射剂量率。控制室、水冷室、电气室和加速器机房周围人员停留、活动区域辐射剂量率。	电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5 μ Sv/h
		工作人员和公众年有效剂量。	该项目对工作人员、公众所致有效剂量低于相应人员年剂量约束值（工作人员 5mSv/a，公众 0.1mSv/a）
2	安全设施	联锁装置、警示标志、声光警示灯、巡检按钮、防人误入装置、急停装置、拉线开关、视频监控系统、通风设施、烟雾报警等。	加速器机房各项安全设施按照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）要求以及报告表中所提及安全设施进行验收。主要有：联锁装置、警示标志、声光警示灯、巡检按钮、防人误入装置、急停装置、拉线开关、视频监控系统、通风设施、烟雾报警等
3	辐射监测	辐射监测仪器、个人剂量报警仪、个人剂量计。	辐射工作人员每人配备 1 个人剂量计；配备 1 台辐射剂量率监测仪器和 1 台个人剂量报警仪；辐照室配备 1 台辐射固定监测设备

4	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
5	管理机构	辐射安全管理机构	成立辐射安全管理机构文件，人员配备到位，职责明确，确立辐射安全责任人
6	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。	建立规章制度、应急预案满足《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号文件要求
7	培训及人员配备	培训计划，辐射安全和防护培训合格证书。	制定有培训计划，辐射防护负责人和辐射工作人员取得辐射安全和防护培训合格证

辐射事故应急

1、辐射事故应急响应机构设置及职责

陕西方圆高科实业有限公司已成立了辐射事故应急救援组织机构，制定了《射线装置应急预案》，规定了辐射事故应急救援组织机构的主要职责、应急响应措施、报告程序等内容。本项目拟建设1座10MeV电子加速器机房，公司现有应急预案可以满足本次增加电子加速器的应急处置需求。

辐射事故应急救援组织机构总指挥为公司总经理，副总指挥为公司副总经理。该机构的职责如下：

- (1) 事故发生后应立即启动本预案，组织有关部门和人员进行放射事故应急处理。负责放射性事故应急处理具体方案的确定和组织实施工作。
- (2) 负责向环保卫生行政部门及时报告事故情况。
- (3) 放射事故中人员受照时，要通过个人剂量计或其他工具、方法迅速估算受照人员的受照剂量。
- (4) 负责迅速安置受照人员就医，组织控制区内人员的撤离工作，并及时控制事故影响，防止事故的扩大蔓延，防止演变成公共卫生事件。

2、辐射事故应急处理程序

辐射事故应急救援组织机构负责辐射事故应急处理组织和实施工作，一旦发生辐射事故，应当立即启动应急方案，迅速采取相应的应急响应措施，并立即向环保、卫生、公安部门报告事故情况。迅速安置受照人员就医，组织辐射事故影响区域内人员撤离，

并及时控制事故影响，防止事故的扩大蔓延。辐射事故处理结束查找事故发生原因，吸取经验教训采取相应措施避免此类事故的再次发生。

3、培训与演习

陕西方圆高科实业有限公司每年一次应急预案培训，使应急人员熟悉和掌握应急预案基本内容，具有完成特定应急任务的基本知识、专业技能和响应能力。每两年进行一次应急演练。

4、现有应急预案执行情况

公司运行至今未发生辐射事故，后续还需加强辐射事故的应急演练工作，继续保持严格的管理。

陕西方圆高科实业有限公司10MeV/20kW电子加速器辐照加工扩建项目

表 13 结论与建议

结论

为了适应市场经济发展需求，陕西方圆高科实业有限公司拟在现有厂区电子加速器辐照车间内扩建 1 座 10MeV 电子加速器机房，安装 1 台 10MeV 电子加速器，利用加速器产生的电子束对医疗用品、医药制品、中成药、中草药、口服液、食品等产品消毒或灭菌；同时拟拆除机房附近的收发室。

1、辐射安全与防护分析结论

陕西方圆高科实业有限公司按照《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》陕环办发〔2018〕29 号文件要求设立了辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，并制定了射线装置管理、操作制度，人员培训制度，辐射环境监测制度以及辐射事故应急预案等一系列规章制度。

陕西方圆高科实业有限公司拟建电子加速器机房安全防护设施满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中“6 电子加速器辐照装置的安全设计”要求。安全严格按照标准要求和报告中提出的防护条件及配套设施进行建设，该项目可以满足辐射安全和防护的要求。

2、环境影响分析结论

根据公司提供加速器机房设计资料，按照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中方法进行估算，该项目加速器机房屏蔽体外剂量当量率范围为 $2.93 \times 10^5 \sim 0.136 \mu\text{Sv/h}$ ，满足标准中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域剂量当量率不能超过 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

该项目 10MeV 电子加速器运行后对工作人员年受照剂量最大为 0.295mSv，累计年有效剂量最大为 0.645mSv，对公众年有效剂量最大为 0.0813mSv，可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中工作人员、公众相应年剂量约束值要求。

3、实践正当性分析

本项目主要利用电子束对产生进行杀虫、消毒和灭菌，不但效果理想且无残留，对物品包装无特殊要求，不污染环境，辐照后可以立即使用，具有其他方法无可比拟的优点。该项目对人员和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

4、项目可行性结论

综上所述，陕西方圆高科实业有限公司 10MeV/20kW 电子加速器辐照加工扩建项目符合辐射防护实践的正当性要求；项目采取辐射防护措施后，能够使其对周边环境的辐射影响降到尽可能低的水平，满足辐射防护最优化原则；项目运行所致工作人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准规定限值要求，符合剂量限值约束原则。从辐射环境保护角度，该项目在落实报告表中提到的污染防治措施和加速器机房防护设计方案中计划采取的辐射安全防护设施后，对环境的影响是可以接受的。

建议与承诺

(1) 放射工作人员按要求佩戴个人剂量计，定期对个人受照剂量进行统计，发现个人剂量异常，及时查明原因并采取措施进行有效处理；

(2) 定期对门机连锁、监控设备、急停装置等安全防护设施进行检查和维护，确保其工作正常；

(3) 定期对加速器机房周围辐射水平进行日常监测并保存记录，发现数据异常及时采取有效措施妥善处理；

(4) 定期组织工作人员进行辐射防护相关知识和操作技能培训，提高工作人员辐射防护意识和技能水平；

(5) 人员发生变动时，及时对新增人员进行培训和职业健康体检，并配备个人剂量计；

(6) 根据国家相关法规要求及工作中发现问题，不断补充完善规章制度、操作规程和辐射事故应急预案。严格按操作规程进行，避免因操作不慎造成的事故的发生，发生事故能及时按照应急预案进行处理，使事故影响降至最低；

(7) 对该项目中电子加速器使用过程的安全和防护状况进行年度评估，报送辐射安全许可证发证机关及当地环保部门；

(8) 项目竣工后办理验收手续，验收合格后方可投入使用。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

陕西方圆高科实业有限公司10MeV/20kW电子加速器辐照加工扩建项目

经办人

公章

年 月 日

审批意见：

陕西方圆高科实业有限公司10MeV/20kW电子加速器辐照加工扩建项目

经办人

公章

年 月 日