

表 1 项目基本情况

建设项目名称		陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司咸阳辐照加工综合项目			
建设单位		陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司			
法人代表	冯妍	联系人	冯可义	联系电话	13709101234
注册地址		陕西省咸阳市秦都区高新技术开发区永昌路 36 号			
项目建设地点		陕西省咸阳市秦都区高新技术开发区永昌路 36 号			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		2300	项目环保投资（万元）	60	投资比例（环保投资/总投资） 2.61%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积（m ² ）	3088
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>陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司（以下简称“卓一绝公司”）成立于 2020 年 5 月 15 日，注册地位于陕西省咸阳市秦都区高新技术开发区永昌路 36 号，主要从事辐照领域内的技术开发、技术转让、技术咨询、服务工作，开展辐照灭菌、消毒杀虫及保鲜服务。</p> <p>2、项目由来</p> <p>为了适应市场经济发展需求，陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司决定在厂区内建设咸阳辐照加工综合项目，建设 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器械、医药制品、中成药、中草药、口服液、</p>					

食品等产品消毒或灭菌。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》和《建设项目环境保护管理条例》，本项目需进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》及其修改单，本项目属于“五十、核与辐射—191、核技术利用建设项目（不含在已许可场所增加不超出已许可活动种类和不高于已许可范围等级的核素或射线装置）—生产、使用II类射线装置”，应编制环境影响报告表。

陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司于2020年6月1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《陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司咸阳辐照加工综合项目环境影响报告表》。

二、项目概况

1、建设规模

陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司计划在公司内北侧新建1座电子加速器机房，购置安装1台10MeV电子加速器。计划购置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	数量	加速粒子	最大能量	最大束流强度
DZ10/20 型电子加速器	1 台	电子	10MeV	2mA
生产厂家	类别	平均束功率	扫描宽度	用途
原料恒辉技术有限公司	II 类	20kW	800mm	辐照加工

2、工作制度及劳动定员

根据建设单位提供的资料，本项目电子加速器共配置4名操作人员，一班制，总工作人员共10人。设备年运行时间详见表1-2。

表 1-2 设备年运行时间、运行天数

设备名称	运行时间 (h/a)	年工作天数 (d)
DZ10/20 型电子加速器	2400	300

三、产业政策符合性及实践正当性分析

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运用。根据《产业结构调整指导目录（2019年本）》，本项目不属于“淘汰类”、“限制

类”，符合国家产业政策。

该项目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。辐照加工具有其他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，其工作时产生 β 射线、X射线经辐照室、主机室墙体屏蔽，其产生的辐射影响可以控制在标准允许范围之内，该项目对社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《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、项目选址及周边环境关系

(1) 地理位置

陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司位于咸阳市秦都区高新技术开发区永昌路 36 号，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

项目位于咸阳市秦都区高新技术开发区永昌路 36 号华科辐照技术有限公司内部，该项目所用场址是租赁华科辐照技术有限公司的场地，加速器机房南侧为卓一绝公司库房（1 层）、隔库房为卓一绝公司办公楼（3 层），加速器机房东侧为华科辐照技术有

限公司辐照中心（1层）、库房（1层）及办公楼（3层），加速器机房北侧为华科辐照技术有限公司内部道路、永昌路、隔路为规划用地（现状为空地），加速器机房西北侧为华科辐照技术有限公司门卫室（1层），西侧为华科辐照技术有限公司预留用地。加速器机房拟建地周围 50m 范围情况见图 1-2。



图 1-2 项目周边环境关系图

五、项目选址合理性分析

项目位于咸阳市秦都区高新技术开发区永昌路 36 号，项目周围 50m 范围内无居民区、学校、医院等环境敏感目标，因此项目选址合理可行。

六、评价目的

(1) 对陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司咸阳辐照加工综合项目中使用的 1 台 10MeV 电子加速器进行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，为该公司的辐射环境管理提供科学依据。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	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	工业电子直线加速器	II	1	DZ-10/20	电子	10	2.0mA	工业辐照	辐照中心 加速器机房	拟购
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	气态	/	/	少量	少量	/	/	排入大气
氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	/	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》, 部令第 44 号, 2017 年 9 月 1 日实施;</p> <p>(5) 《关于修改<建设项目环境影响评价分类管理名录>部分内容的决定》, 生态环境部令第 1 号, 2018 年 4 月 28 日实施;</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》, 2019 年 8 月 22 日修订;</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》环境保护部令第 18 号, 2011 年 5 月 1 日实施;</p> <p>(8) 《关于加强放射性同位素与射线装置辐射安全和防护工作的通知》, 环境保护部环发〔2008〕13 号, 2008 年 4 月 14 日;</p> <p>(9) 《射线装置分类》(环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号, 2017 年 12 月 6 日);</p> <p>(10) 《陕西省放射性污染防治条例》, 2014 年 10 月 1 日实施;</p> <p>(11) 《关于印发新修订的<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) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB 5172-85);</p> <p>(3) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018);</p> <p>(4) 《工作场所有害因素职业接触限值 化学有害因素》(GBZ 2.1-2007);</p> <p>(5) 《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>(6) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001);</p> <p>(7) 《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ 2.2-2018);</p> <p>(8) 《环境空气质量标准》(GB 3095-2012);</p> <p>(9) 《施工场界扬尘排放限值》(DB 61/1078-2017)。</p>

<p>其他</p>	<p>(1) 陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司咸阳辐照加工综合项目环境影响评价委托书；</p> <p>(2) 陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司咸阳辐照加工综合项目辐射环境现状监测报告（报告编号：XAZC-JC-2020-111，编制单位：西安志诚辐射环境检测有限公司）；</p> <p>(3) 《10MeV 电子加速器辐照加工厂房防护设计》，中凡国际工程设计有限公司；</p> <p>(4) 《陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司电子加速器辐照加工车间设计图》，陕西秦都建筑设计工程有限公司；</p> <p>(5) 陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司提供的相关技术资料。</p>
-----------	--

表 7 保护目标及评价标准

评价范围						
<p>该项目使用 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“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加速器机房屏蔽墙外 50m 区域。</p>						
保护目标						
<p>本项目主要保护目标为 10MeV 电子加速器工作人员（计划配备 10 名工作人员）及项目东侧华科辐照技术有限公司工作人员。本项目环境保护目标见表 7-1。主要环境保护目标位置关系图见图 1-2。</p>						
表 7-1 主要环境保护目标一览表						
序号	活动场所	保护目标		相对位置关系		年有效剂量控制水平
		名称	规模(人数)	方位	距离(m)	
1	加速器控制室	加速器工作人员	4 人	机房上方	/	≤5mSv
2	加速器机房南侧库房及下料区	辐照产品搬运人员	2~6 人	南侧	2~50	≤0.1mSv
3	卓一绝公司	非辐射工作人员	约 6 人	南侧	2~50	
4	华科辐照技术有限公司区域	华科辐照技术有限公司活动人员	约 21 人	东侧	12~50	
5	永昌路	过往行人	临时路过，无固定人员	北侧	25~50	
6	项目西侧未来建设厂区	建设后厂区工作人员	暂无人	西侧	10~50	
7	华科辐照技术有限公司门卫室	门卫	1 人	西北侧	21~33	

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 2.5μSv/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；

(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、非放射性废气控制值

臭氧和氮化物排放标准执行《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中的二级标准，即臭氧的浓度限值一小时平均为 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ ， NO_2 的浓度限值一小时平均为 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 。

臭氧和氮化物的产生标准执行《工作场所有害因素职业接触限制》（GBZ2.1-2019）中的标准，即臭氧的最高容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ， NO_2 的时间加权平均容许浓度为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ，短时间接触容许浓度为 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

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

陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司咸阳辐照加工综合项目位于咸阳市秦都区高新技术开发区永昌路 36 号，永昌路路南。公司地理位置图见图 1-1。

(2) 场所位置

该项目位于卓一绝公司内北侧，项目拟建场址中心坐标为：北纬 34° 17' 40.89"、东经 108° 36' 46.59"。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卓一绝加速器辐照科技有限公司委托西安志诚辐射环境检测有限公司对拟建场所辐射环境质量进行现状监测，监测时间为 2020 年 6 月 4 日，监测地点为卓一绝公司拟建区域、厂区内道路（华科辐照厂房西侧围墙外 1m 处），监测单位按照《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）、《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）、《环境监测用 X、γ 辐射测量仪 第一部分 剂量率仪型》（EJ/T 984-95）等有关要求进行监测。

1、监测因子

X、γ 辐射剂量率。

2、监测点位

监测点位分别布设在卓一绝公司拟建加速器机房、拟建库房、拟建办公楼及厂区内道路（华科辐照厂房西侧围墙外 1m 处），监测点位布设情况详见图 8-1。

3、监测概况

(1) 监测日期

2020 年 6 月 4 日。

(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，参数详见表 8-1。

表 8-1 监测仪器参数

型号规格	FD-3013H	仪器编号	XAZC-YQ-003
测量范围	0.01μGy/h~200μGy/h	检定单位	上海市计量测试技术研究院
检定证书	2019H21-20-1916676001	检定有效期	2019.7.29~2020.7.28

(3) 质量保证

按照《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)、《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T 14583-93)、《环境监测用 X、 γ 辐射测量仪 第一部分 剂量率仪型》(EJ/T 984-95) 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。

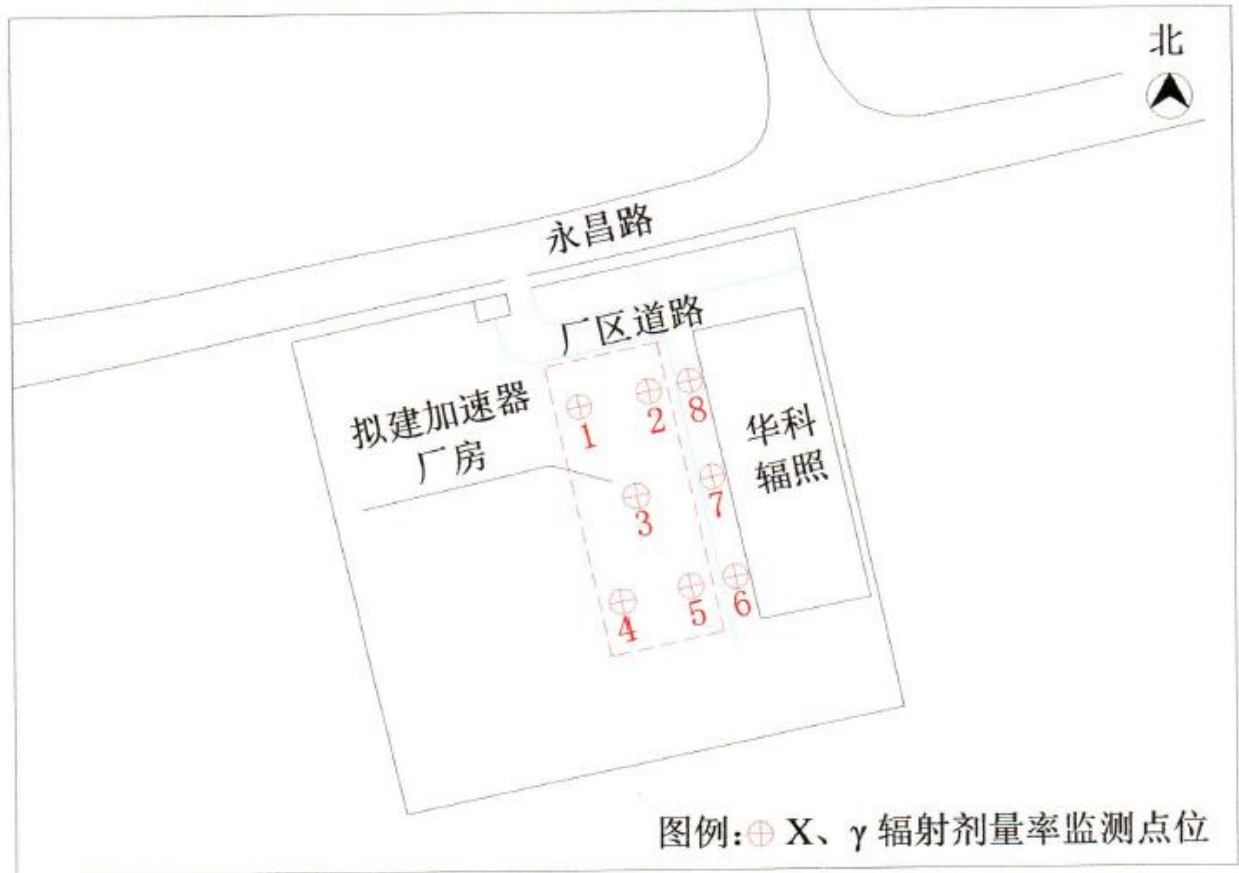


图 8-1 辐射环境监测点位示意图

4、辐射环境质量现状

项目辐射环境质量现状监测结果见表 8-2。

表 8-2 辐射环境质量现状监测结果

监测点位	监测点位描述	X、 γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	
		测值范围	均值
1	拟建加速器厂房 1#点位 (拟建加速器机房)	0.07~0.09	0.08
2	拟建加速器厂房 2#点位 (拟建加速器机房)	0.07~0.09	0.07
3	拟建加速器厂房 3#点位 (拟建库房)	0.08~0.10	0.08
4	拟建加速器厂房 4#点位 (拟建办公楼)	0.08~0.10	0.08
5	拟建加速器厂房 5#点位 (拟建办公楼)	0.08~0.09	0.08

续表 8-2 辐射环境质量现状监测结果

监测 点位	监测点位描述		X、 γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	
			测值范围	均值
6	厂区内道路 (华科辐照厂房西侧围墙外 1m 处)	南部	0.08~0.09	0.08
7		中部	0.07~0.09	0.08
8		北部	0.08~0.10	0.08

注：1、1#~5#监测点位监测时，华科辐照厂房内辐照装置处于非工作状态；

2、6#~8#监测点位监测时，华科辐照厂房内辐照装置处于工作状态。

由表 8-2 监测结果表明，陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司拟建区域辐射环境背景各监测点位 X、 γ 辐射剂量率测值范围为 0.07~0.10 $\mu\text{Gy/h}$ ，即 70~100nGy/h；华科辐照厂房内辐照装置工作状态下，厂区内道路（华科辐照厂房围墙外 1m 处）各监测点 X、 γ 辐射剂量率测值范围为 0.07~0.10 $\mu\text{Gy/h}$ ，即 70~100nGy/h。参照《陕西省环境天然贯穿辐射水平调查研究》中“咸阳市原野 γ 辐射剂量率范围为（48.0~68.0）nGy/h，宇宙射线所致室外剂量率均值为 38.0nGy/h”可知，本项目拟建区域辐射环境现状监测结果基本属于天然辐射环境本底水平。

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

该项目使用 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，杀灭待辐照物品中虫、细菌，从而达到杀虫、灭菌的目的。

该项目中 10MeV 电子加速器系统简图见图 9-1。

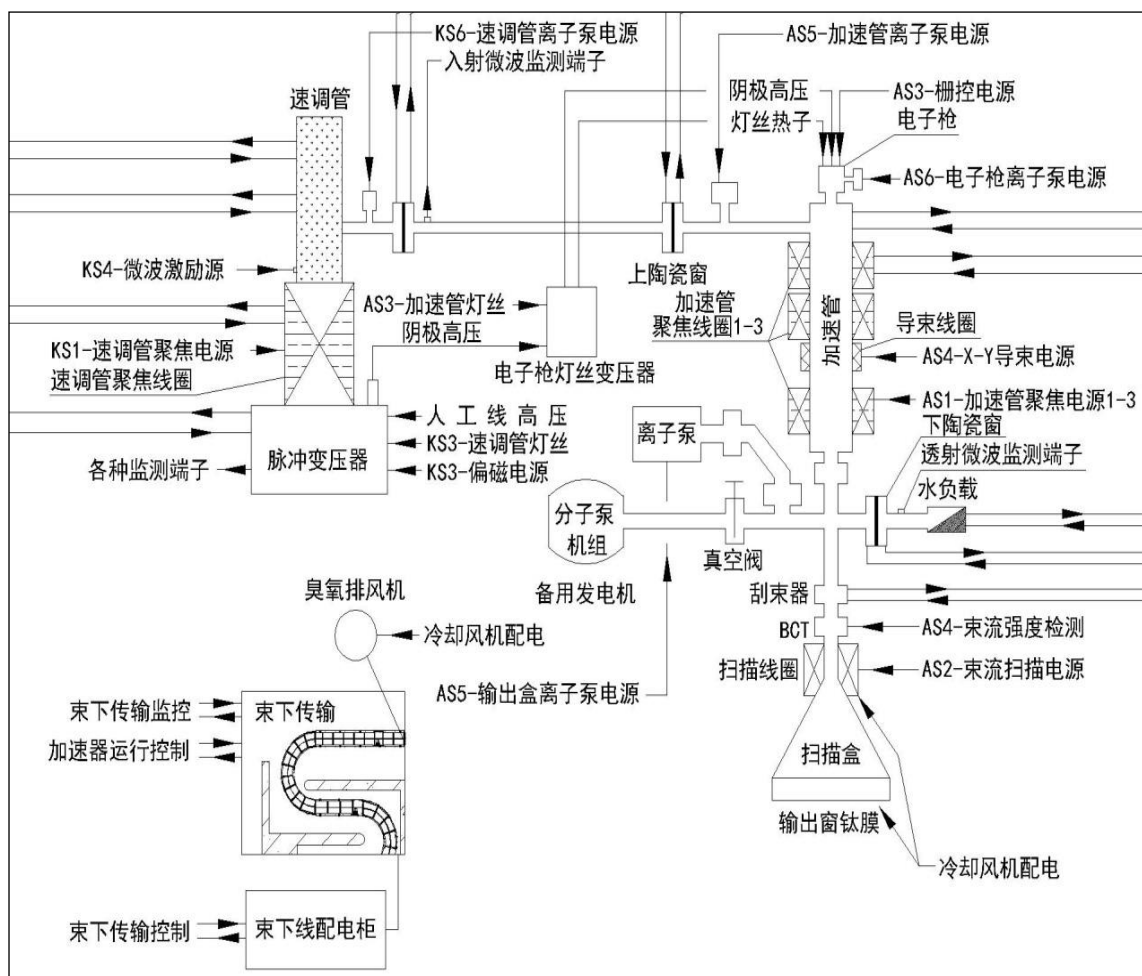


图 9-1 10MeV 电子加速器系统简图

2、污染源分析

该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，影响周围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

需要进行辐照的产品用汽车或叉车运至辐照室外传输装置旁，将待辐照物品放置于传输装置旁，通过传输装置由辐照室入口将待辐照物品运送至辐照室内部，在加速器产生电子束照射下进行杀虫、消毒灭菌。当达到辐照次数，传送装置将待辐照物品送出辐照室出口后，将辐照物品翻面后再次进行辐照。辐照完成后，传输装置将辐照物品由辐照室出口送出，由工人将辐照产品从传输装置上卸下，辐照物品最后进行质检，质检合格产品进行外运，不合格产品重新进行辐照。

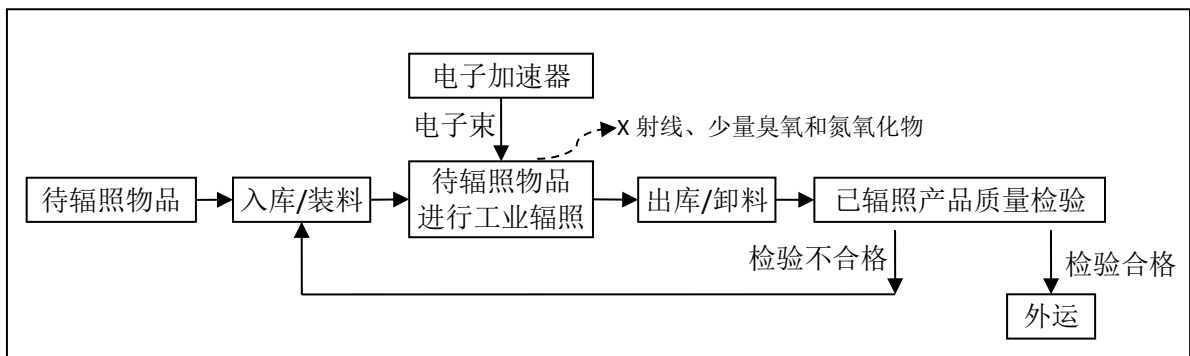


图 9-2 10MeV 电子加速器辐照加工产污环节

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，具体为加速器机房（辐照室、主机室）、控制室、技术室、检测室、备品室、设备间等辅助厂房的建设以及设备的安装和调试。建筑施工过程中的土石方挖掘、建筑材料运输、施工设备装配等行为均会产生扬尘、噪声、弃渣、废水等方面的污染问题，在该时段内将会对周围区域的环境质量产生不利的影响，但施工期的环境影响是可逆的，施工结束即会消失。施工阶段对环境的影响如下：

(1) 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，主要机械有搅拌机、混凝土振捣棒、载重车等，大多为间歇性噪声。常用施工机械设备和车辆及作业期间产生的噪声值约80~95dB(A)。

施工主要机械噪声值见表9-1。

表9-1 施工期主要施工设备噪声源状况

施工机械类型	声源特征	距离噪声源距离(m)	源强 dB(A)
吊车	不稳定源	5m	80
推土机	不稳定源	5m	85
挖掘机	不稳定源	5m	85
装载机	不稳定源	5m	85
混凝土汽车泵	不稳定源	5m	85
振捣机	不稳定源	5m	95
切割机	不稳定源	5m	95
电焊机	不稳定源	5m	85
电钻	不稳定源	5m	95
电锯	不稳定源	5m	95
电刨	不稳定源	5m	85
自卸汽车	不稳定源	5m	80

(2) 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回填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。

(3) 施工废水

施工废水主要为施工人员的日常生活污水和施工过程中产生的少量施工废水。生产废水主要包括土石方阶段排水、结构阶段混凝土养护排水及各种车辆冲洗水，生产废水产生量小，主要污染物为SS，生产废水经沉淀池沉淀后全部回用。

生活污水主要污染物为COD、BOD₅、氨氮、SS等。按平均施工人员20人，根据《行业用水定额》（陕西省地方标准 DB61/T943-2014），施工人员生活用水定额参考行政办公及科研院所的用水定额，按35L/（d·人）计，污水产生系数取0.8，项目施工期生活污水排放量为0.56m³/d。施工人员生活污水排入市政污水管网。

（4）固体废物

本项目建设场地较为平整，挖方可完全用于回填，不外弃。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和砖块等建筑垃圾，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按0.5kg/人·d计，施工人数按20人/d计，生活垃圾产生量约10kg/d，经集中收集后，由环卫部门统一处理。

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，在本项目禁止夜间施工的前提下，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固体、气体和液体废物，主要污染物为电离辐射、非放射性废气。

（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，且以臭氧的毒性最高，因此主要考虑辐照过程中产生的臭氧。

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。主机室南侧为技术室、真空室和控制室，主机室东侧为设备间、备品室和技术室，主机室西侧为装卸平台、备品室、检测室和厕所。辐照室位于加速器机房一层。加速器机房位于公司北侧，加速器机房南侧为一层库房和三层办公楼，加速器机房东侧为华科辐照技术有限公司辐照中心（1层）、库房（1层）及办公楼（3层），加速器机房北侧为永昌路、隔路为规划用地（现状为空地），加速器机房西侧为规划用地（现状为空地）

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：按照 GB18871 的规定，电子加速器辐照装置的工作场所分为控制区，如主机室和辐照室各自出入口以内的区域；监督区，如设备操作室、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。

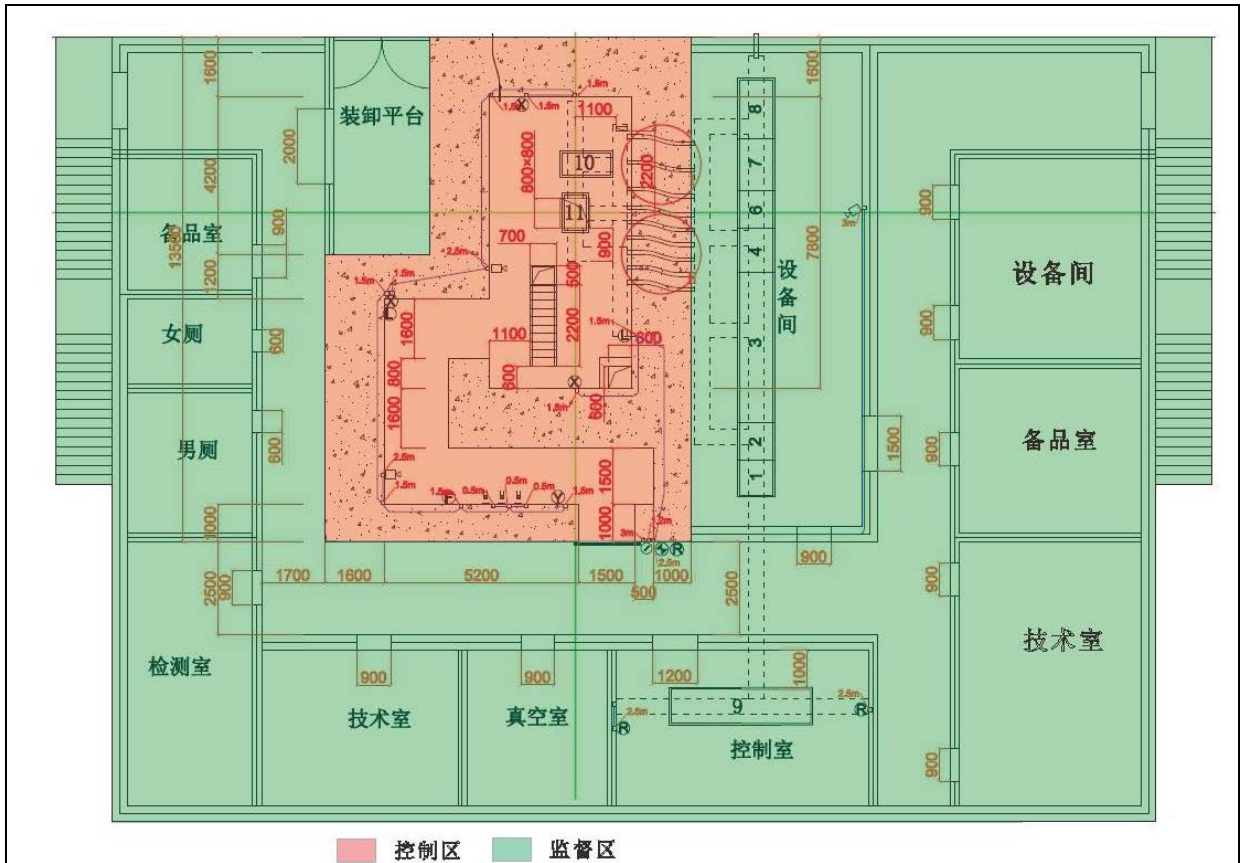


图10-2 辐照区二层分区示意图

3、辐射防护屏蔽设计

根据卓一绝公司提供的资料，辐照室长约 28m、宽约 21m、高约 3.3m。辐照室东、西侧墙壁混凝土厚度均为 2.5m，北侧墙壁混凝土厚度为 2.7m。中间屏蔽体混凝土厚度为 1.6~2.0m，迷道墙体为 1~1.3m 厚混凝土，辐照室屋顶为 1.2m 厚混凝土。辐照室防护设计详见图 10-3。主机室长约 28m、宽约 21m、高约 7.7m。主机室四周墙体为 1.6m 厚混凝土，主机室屋顶为 1.2m 厚混凝土。主机室防护设计详见图 10-4，加速器机房主视图见图 10-5，加速器机房侧视图见图 10-6。

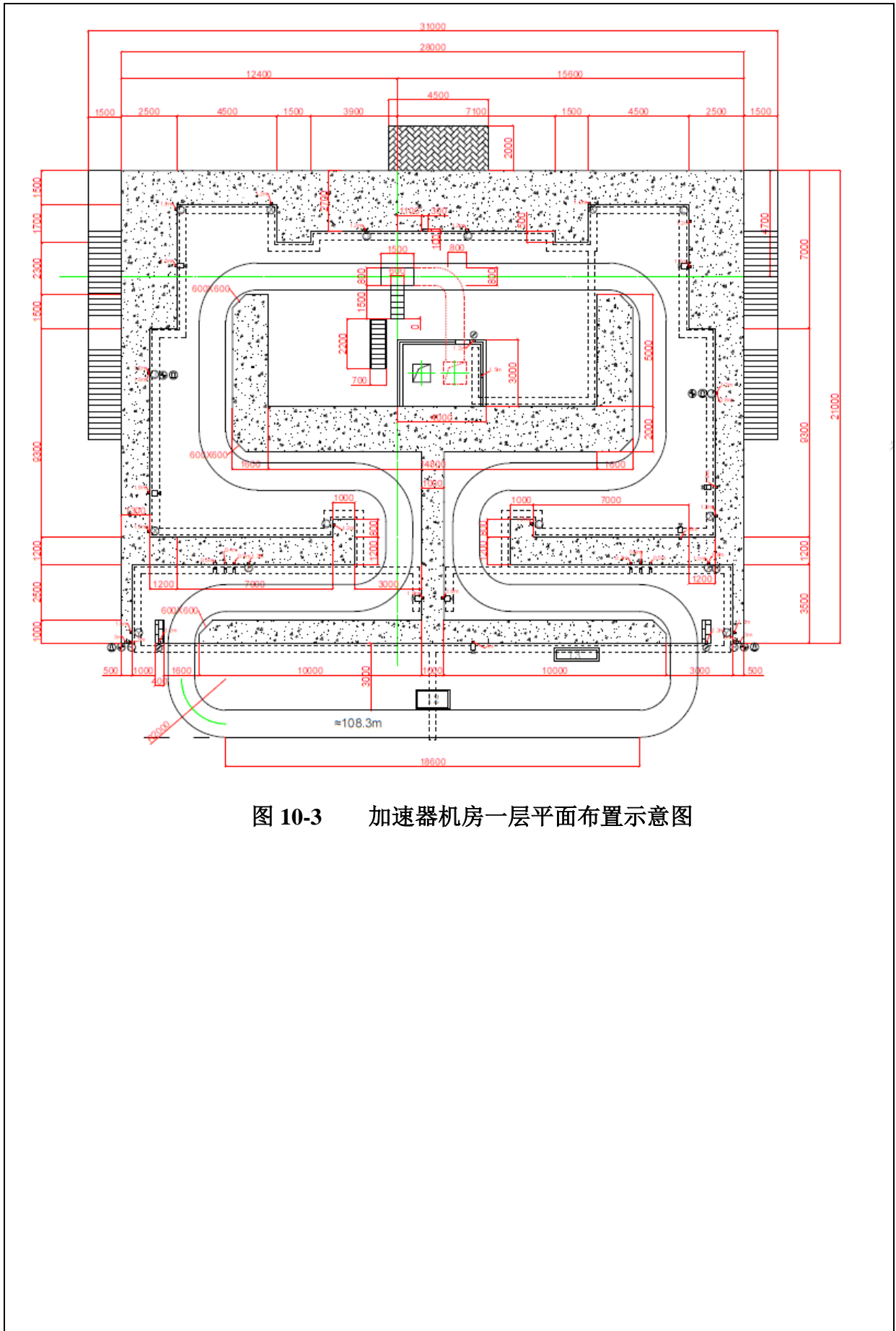


图 10-3 加速器机房一层平面布置示意图

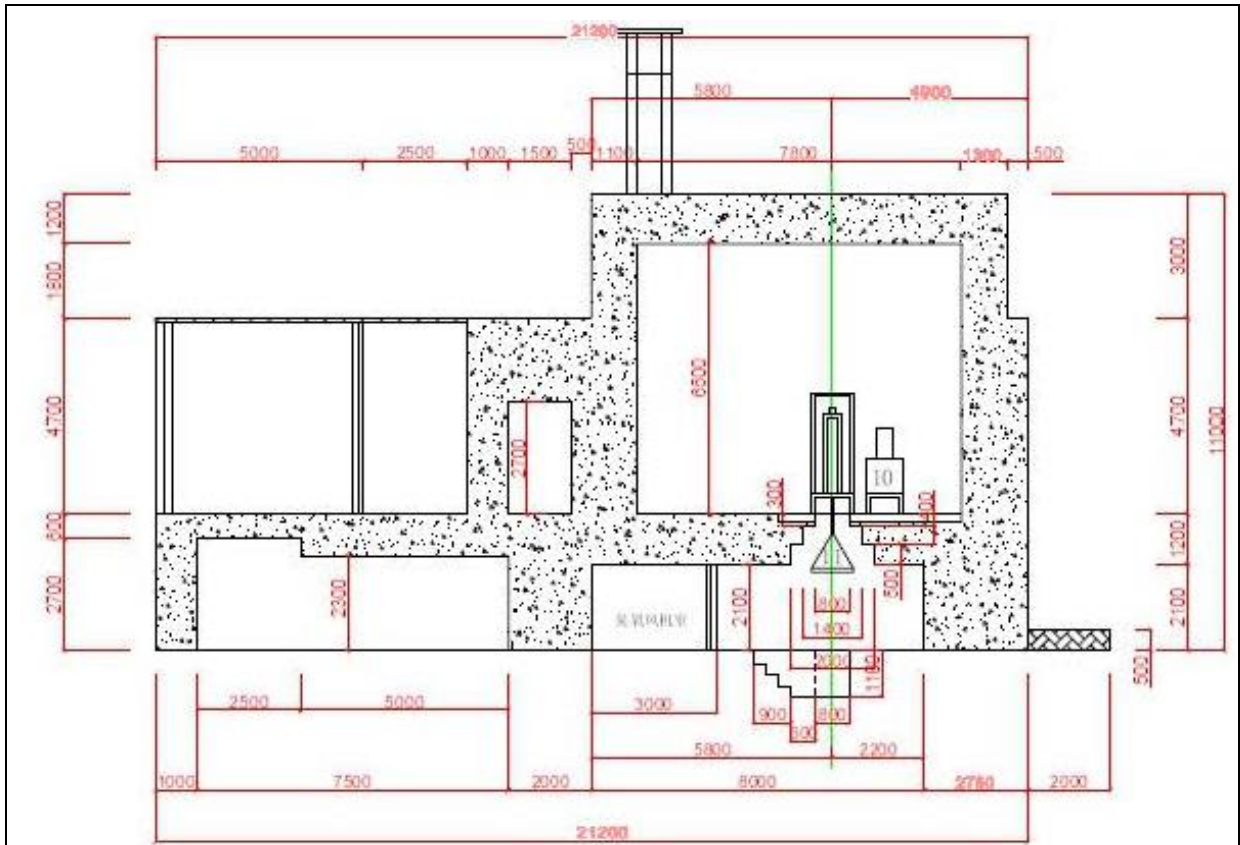


图 10-6 加速器机房侧视图

4、辐射安全防护措施

《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的安全设计要求和中凡国际工程设计有限公司提供的 10MeV 加速器机房防护设计方案中该项目计划采取辐射安全防护设施见表 10-1。

表10-1 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：加速器启动钥匙开关由公司授权控制室负责人专人进行保管，专职负责加速器的开启工作，加速器辐射加工完成后，取走钥匙开关、妥善保存。</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>货物传输系统和加速器束流联锁，一旦辐照系统停止出束。传输系统自动停止。货物传输系统故障，加速器系统自动停止运行</p>	符合
<p>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。</p>	<p>通风系统和控制系统联锁，加速器停机后，只有当室内臭氧等有害气体浓度降低到允许值后才能开门。</p>	符合

续表10-1 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>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>屏蔽门位置开关: 在加速器机房辐照室入口门处、辐照室出口门处, 主机室防护门处安装屏蔽门位置开关, 使其具备门机联锁功能。在有屏蔽门故障(辐照室与主机室未关门)时, 加速器不能加高压或出束。加速器在加高压或出束状态时, 当发生屏蔽门故障(辐照室与主机室产生开门动作)时, 加速器停止高压与出束。加速器在加高压或出束状态时, 不能打开辐照室与主机室门。</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入口门、出口门、主机室防护门张贴电离辐射警示标志, 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。 声光警示装置: 在加速器机房辐照室、主机室内以及屏蔽墙体外人群容易到达位置设置声光警示装置, 加速器出束室, 发出的灯光、音响信号, 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4-8个巡检安全联锁开关, 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。</p>	<p>脚踏开关: 加速器机房辐照室入口门处、辐照室出口门处, 分别设置脚踏开关, 在加速器处于准备或运行状态时, 只要有人踏上脚踏开关, 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。 红外热释开关: 在主机室门内、辐照室出入口门内设置防止人员误入光电联锁装置, 当人员误入时, 红外热释开关向主控台发出故障信号, 自动停止高压和出束。 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。</p>	符合
<p>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。</p>	<p>在加速器辐照室内设置烟雾报警装置, 遇到火灾时, 加速器就会立即停机, 停止通风</p>	符合

续表10-1 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>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。</p>	<p>拉线开关：在加速器机房主机室、辐照室内人员容易达到的位置设置紧急拉线开关，拉动任一拉绳开关，停止加速器高压和出束。 应急按钮：在加速器机房主机室、辐照室内人员容易到达位置设置急停按钮，按动该按钮，停止加速器高压和出束。除此之外，在束下传输线工作区（上、下货区）设置急停按钮，用于在束下传输线出现异常情况时切断束下传输线的电源，终止束下传输线的运行。</p>	<p align="center">符合</p>
<p>剂量连锁：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连锁。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。</p>	<p>剂量监测系统：在加速器机房辐照室防护门附近、主机室防护门附近设置辐射剂量率监测仪（必要时也可在控制室、机柜室设置）设备，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、辐照室防护门，不能从外部打开。当加速器停束时方可从外部打开。</p>	<p align="center">符合</p>

根据该项目加速器机房设计方案计划采取辐射安全防护措施和《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）要求比较，陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司电子加速器机房的安全防护措施满足文件要求。

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，并经过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。

(1) 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。

(2) 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。

该项目辐照室设计有通风系统，设计烟囱排放口高于周围最高建筑 4m，排气烟囱高度大于 15m，排气风机通风量为 12000m³/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（即工作场所空气中臭氧的浓度低于其最高容许浓度 0.3mg/m³），排放至外环境空气中臭氧浓度满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级浓度限值 0.2mg/m³。

表 11 环境影响分析

一、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。施工期对周围环境的影响，随着施工结束即消失。

1、环境空气影响分析

(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。

类比分析咸阳某施工场地实测资料，可见施工扬尘在施工场界超标，同时施工扬尘环境影响主要在下风向距离 200m 范围内，超标影响在下风距离 100m 范围内。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》、《陕西省铁腕治霾打赢蓝天保卫战三年行动方案（2018~2020 年）》、《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 施工过程中，应洒水使作业面保持一定湿度。
- ③ 散装水泥、沙子和石灰等易生扬尘的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。
- ④ 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；气象预报风速达到四级以上或者出现重污染天气状况时，应当停止土石方作业以及其他可能产生扬尘污染的施工。
- ⑤ 运输建筑材料和设备的车辆严禁超载，运输颗粒物料沙土、水泥、土方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“洒水、覆盖、硬化、冲洗、绿化、围挡”六个 100% 措施，可使厂界施工扬尘浓度 $\leq 0.7\text{mg}/\text{m}^3$ ，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、NOX 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，评价建议缩短怠速、减速和加速的时间，增加正常运行时间，加强施工车辆运行管理与维护保养，以减少尾气的排放量。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。

2、水环境影响分析

根据项目施工期工程分析，项目施工废水主要由少量生产废水和施工人员生活污水组成。生产废水主要包括结构阶段混凝土养护排水及各种车辆冲洗水，生产废水产生量小，主要污染物为 SS，生产废水经沉淀池沉淀后全部回用。

施工人员生活污水排放量为 $0.56\text{m}^3/\text{d}$ ，主要污染物为 COD、BOD₅、SS、氨氮等。经化粪池收集处理后，排入市政污水管网，对周围地表水环境影响较小。

3、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项目用地范围内，且施工机械设备在具体施工作业中，一般距项目用地界约为 5~10m 设置（施工期间用地界设围挡）。根据现场勘查，本项目周边 100m 范围内无敏感目标，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，将电锯等高噪声设备尽量布置在远离敏感点的位置，基础减振，以控制环境噪声污染。对位置相对固定的施工机械，如切割机、电锯等，应将其设置在专门的工棚内，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、土石方清运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。

4、固体废物

本项目场区地势平整，挖方可完全用于回填，不外弃。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，分类收集后堆放于指定地点，其中可再利用部分回收出售给废品站，不可再利用的部分清运到建筑垃圾填埋场，严禁随意丢弃。

(2) 施工人员产生的生活垃圾

施工期生活垃圾产生量为 10kg/d，经集中收集后，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，环境可以接受。

二、运行阶段对环境的影响

1、计算方法

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。

该项目设计辐照室长约 28m、宽约 21m、高约 3.3m。辐照室东、西墙体均为 2.5m 厚混凝土，北侧墙体为 2.7m 厚混凝土。中间屏蔽体为 1.6~2.0m 厚混凝土，迷道墙体为 1~1.3m 厚混凝土，辐照室屋顶为 1.2m 厚混凝土。

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。

《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：

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: $\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)

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。

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

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。当参考点位置为人员全居留时取 1，部分居留时取 1/4，偶然居留时可取 1/16；

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)

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

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。

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。

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

计算屏蔽体厚度，可以保守地估算为

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

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。

普通混凝土的 T_1 和 T_e 值见表 11-2 和 11-3。

表 11-2 宽束 X 射线在混凝土中的第一个十分之一值层厚度（单位：cm）

入射电子能量（MeV）	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	7.5	10.0
混凝土	15.2	18.5	20.4	22.1	24.2	26.1	30.5	32.5	36.8	41

表 11-3 宽束 X 射线在混凝土中的平衡十分之一值层厚度（单位：cm）

入射电子能量（MeV）	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	7.5	10.0
混凝土	11.9	15.0	18.3	20.1	22.5	24.7	30.5	32.5	36.8	38.6

对于电子加速器辐照装置，侧向（相对电子束 90° 方向）X 射线的屏蔽，将等效入射电子能量作为侧向入射电子的能量，见表 11-4。

表 11-4 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

防护 X 射线的迷道，保守地估算迷道外入口的剂量率：

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

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（m²）；

A_2 ——迷道的截面积（m²）；

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。

天空反散射的计算根据 NCRP-151 号报告，计算公式为：

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

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;

Ω ——由 X 射线源与屏蔽墙对向的立体角 (Sr);

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)。

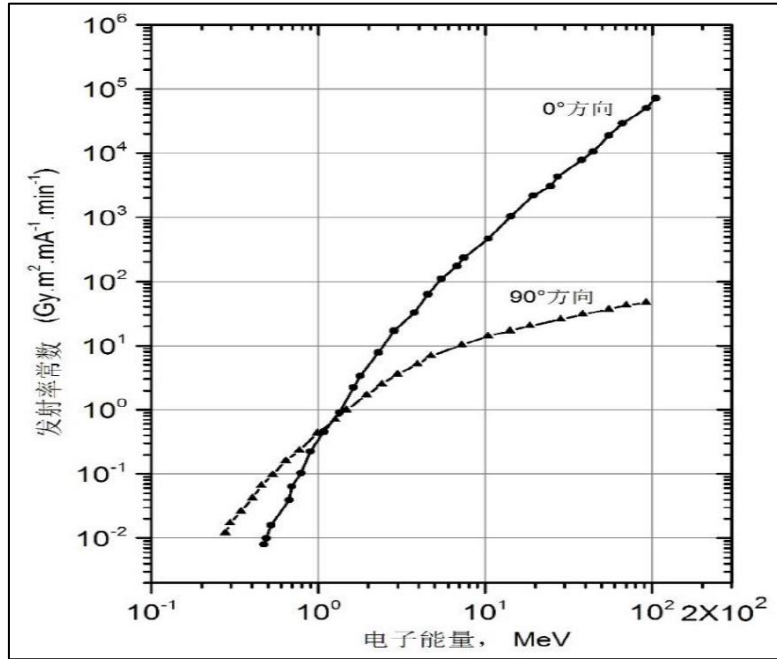


图 11-1 X 射线发射率与电子能量关系图

通过混凝土屋顶 X 射线的侧向散射可用以下经验公式计算:

$$H = \frac{D_{10} F f(\theta)}{d_R^2 10^{1 + \left[\frac{t - T_1}{T_e} \right]}} \quad (A-7)$$

式中: H ——X 射线侧向散射周围剂量当量率 (Sv/h);

D_{10} ——靶上方 1 米处 X 射线的吸收剂量率 (Gy/h);

F ——靶上方 1 米处照射野的面积 (m^2);

$f(\theta)$ ——由表 11-5 中所给的 X 射线的角度分布函数;

d_R ——从屋顶上方束流中心到关注点的距离 (m);

t ——屋顶的厚度 (m);

T_1, T_e 分别为屋顶屏蔽材料的第一个和平衡十分之一值层 (m)。

表 11-5 X 射线的角度分布函数 $f(\theta)$

角度 (θ)	角度分布函数 $f(\theta)$
20	0.38
30	0.26

续表 11-5 X射线的角度分布函数 $f(\theta)$

角度 (θ)	角度分布函数 $f(\theta)$
40	0.16
50	0.10
60	0.065
70	0.035
80	0.014
85	0.005

2、加速器机房屏蔽计算

(1) 辐照室 X 射线发射率

X 射线发射率与电子能量关系图见图 11-1。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修正，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 11-4, 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

该项目电子加速器束流损失率为 2% (即电子束流强度为 0.04mA)，束流损失点的能量为 3MeV。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修正，90°方向的修正系数 f_e 为 0.5。

当束流强度为 0.04mA，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：

$$D_{10}(90^\circ) = 60 \times 3.2 \times 0.04 \times 0.5\text{Gy}/h = 3.84\text{Gy}/h$$

依据表 11-4, 3MeV 入射电子在侧向屏蔽能量取相应等效能量 1.9MeV。

(3) 直射辐射屏蔽墙外剂量率估算

对于直射辐射，选取辐照室屏蔽墙体外 30cm 处的 A~D, 4 个关注点的剂量率进行计算；主机室屏蔽墙体 30cm 处的 A~D, 4 个关注点的剂量率进行计算。辐照室外关注点详见图 11-2，主机室外关注点详见图 11-3。

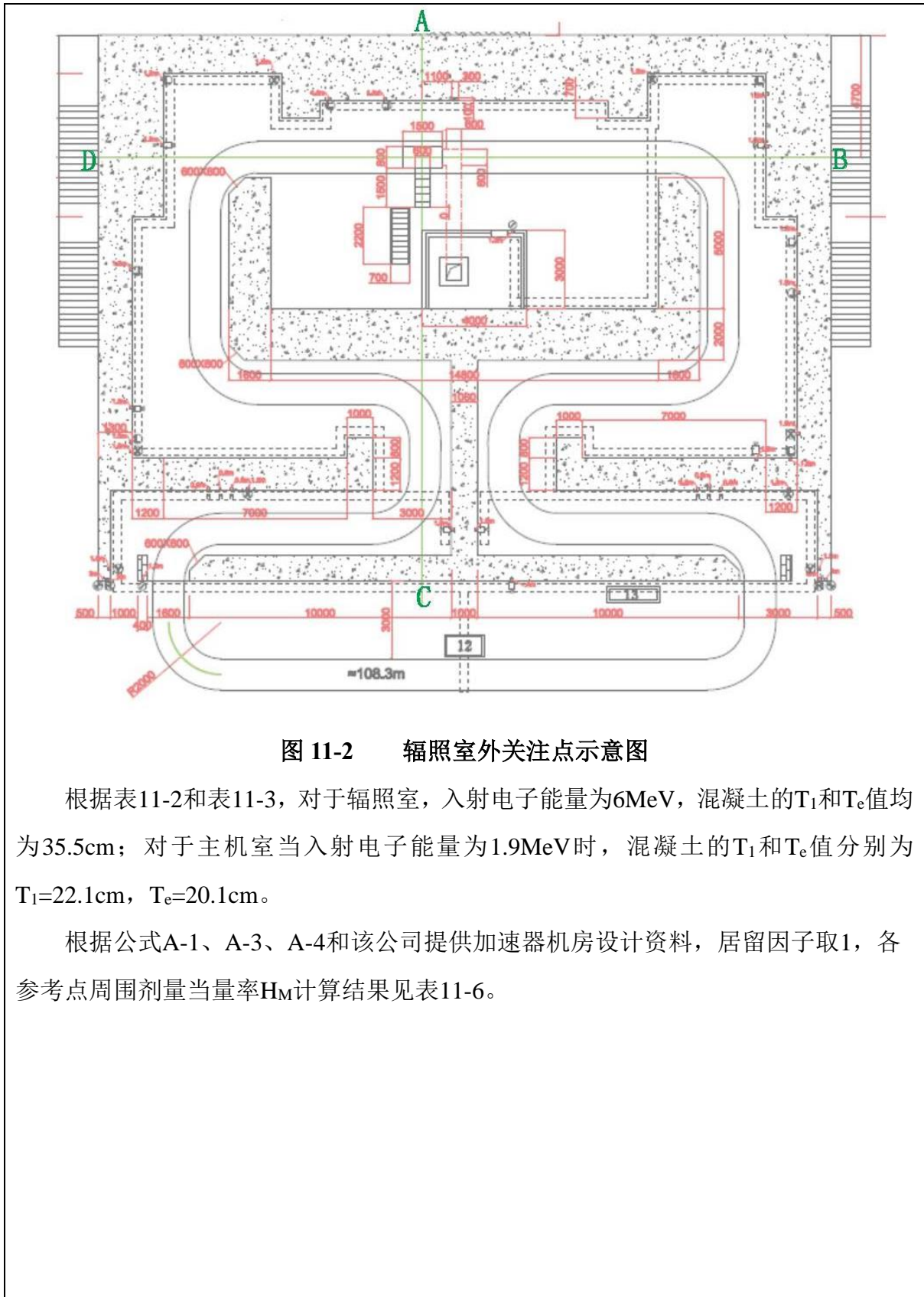


图 11-2 辐照室外关注点示意图

根据表11-2和表11-3，对于辐照室，入射电子能量为6MeV，混凝土的 T_1 和 T_e 值均为35.5cm；对于主机室当入射电子能量为1.9MeV时，混凝土的 T_1 和 T_e 值分别为 $T_1=22.1\text{cm}$ ， $T_e=20.1\text{cm}$ 。

根据公式A-1、A-3、A-4和该公司提供加速器机房设计资料，居留因子取1，各参考点周围剂量当量率 H_M 计算结果见表11-6。

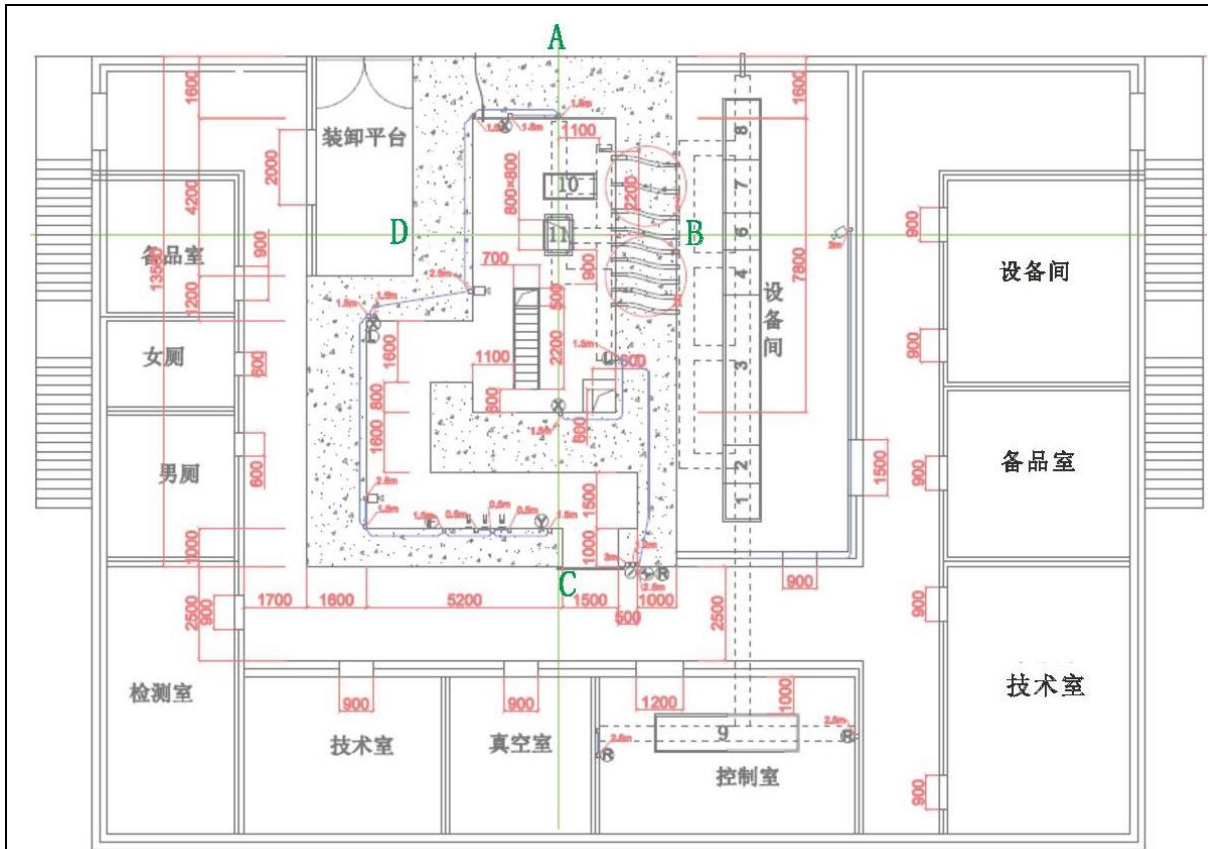


图 11-3 主机室外关注点示意图

表11-6 直射辐射屏蔽墙外剂量率估算结果

楼层	参考点	距离d	D ₁₀ (Gy/h)	混凝土墙体厚度	B _x	H _M (μSv/h)
一层 辐照室 周围	A	5.0m	810	2.7m	2.48×10 ⁻⁸	0.80
	B	16.0m	810	2.5m	9.07×10 ⁻⁸	0.29
	C	16.6m	810	2m+1m	3.54×10 ⁻⁹	0.01
	D	12.6m	810	2.5m	9.07×10 ⁻⁸	0.46
二层 主机室 周围	A	5.0m	3.84	1.6m	1.38×10 ⁻⁸	2.12×10 ⁻³
	B	3.4m	3.84	1.6m	1.38×10 ⁻⁸	4.58×10 ⁻³
	C	9.1m	3.84	1.6m+1m	1.46×10 ⁻¹³	6.77×10 ⁻⁹
	D	4.2m	3.84	1.6m	1.38×10 ⁻⁸	3.00×10 ⁻³

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30cm处G、H关注点的剂量率进行估算，

详见图11-4；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11-5。

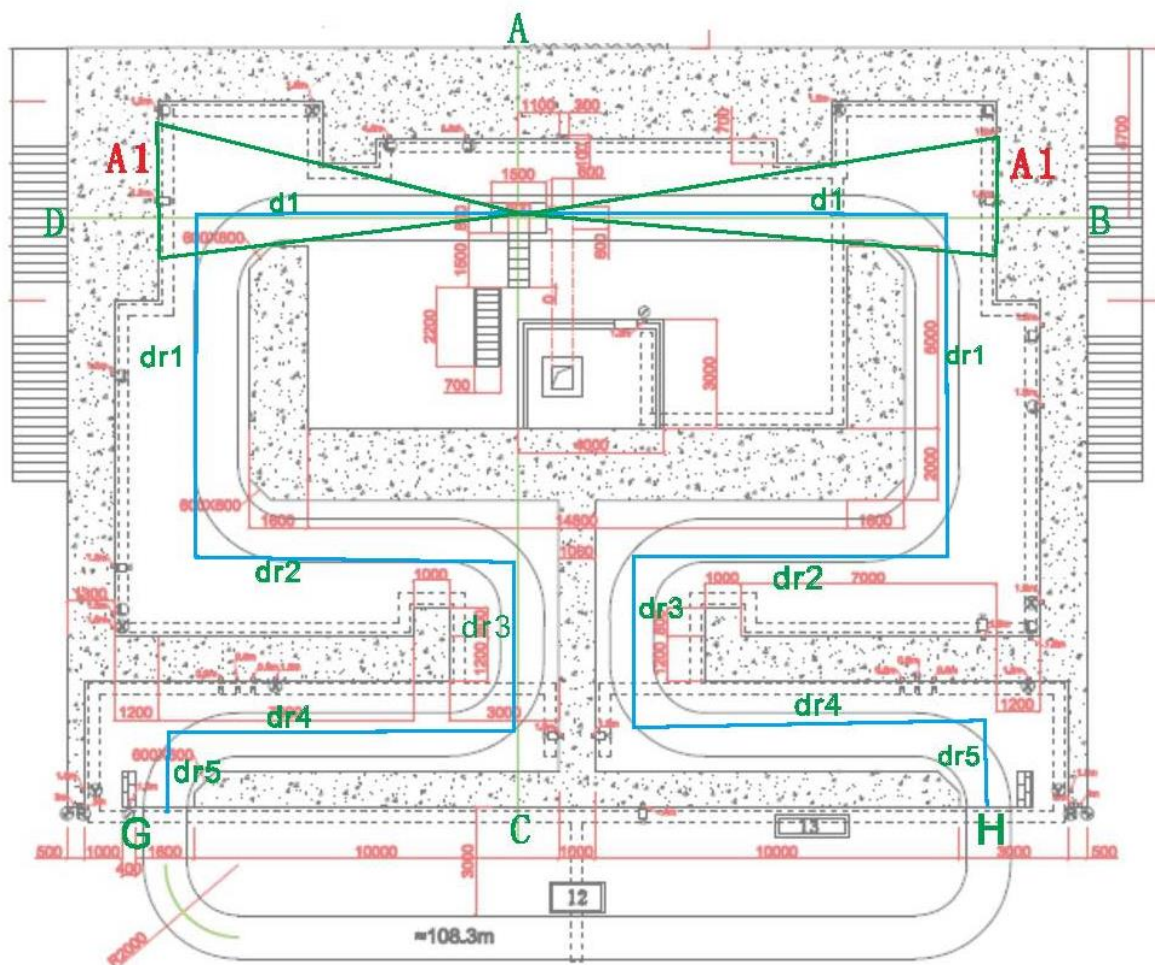


图 11-4 辐照室迷道口关注点示意图

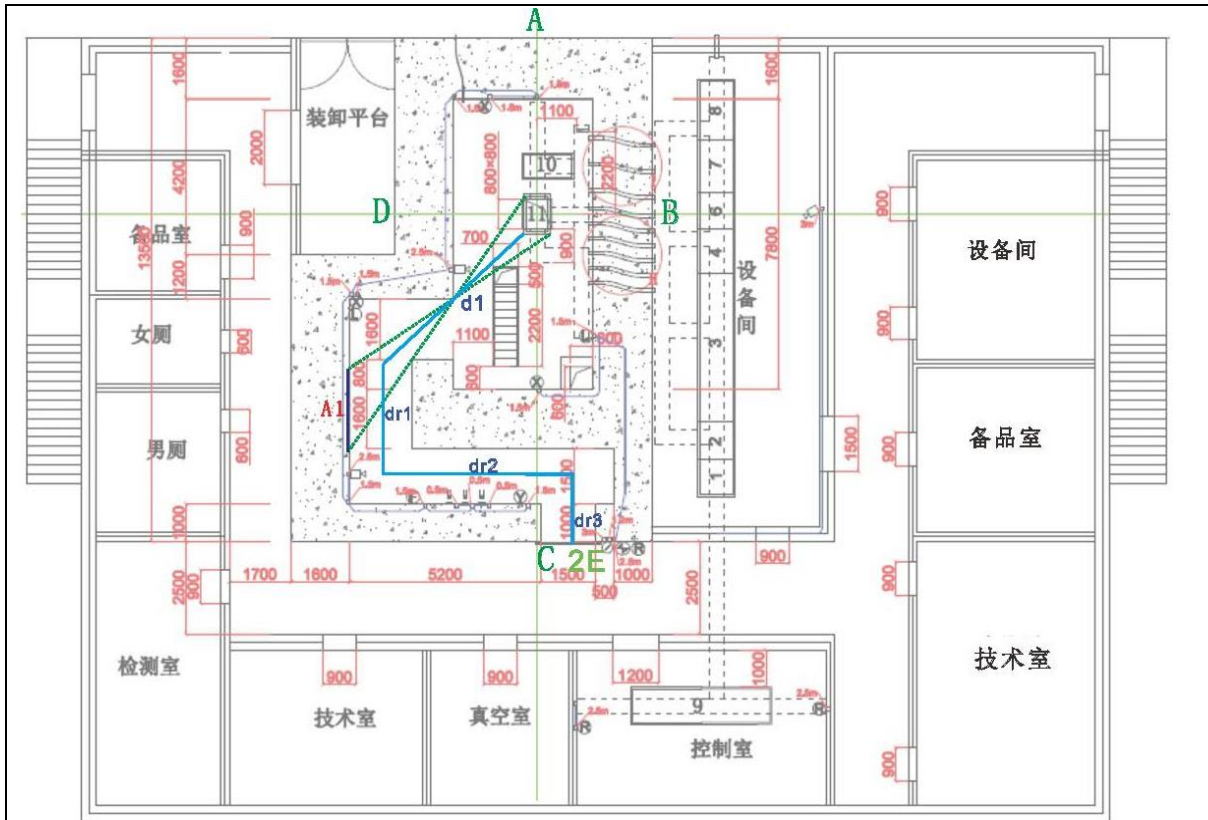


图 11-5 主机室防护门处关注点示意图

根据公式 (A-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 $A_1=2.65 \times 2.1=5.57\text{m}^2$ ；对于H点 $A_1=2.25 \times 2.1=4.73\text{m}^2$ ， $A_2=2.3 \times 2.1=4.83\text{m}^2$ ， $A_3=A_4=A_5=1.9 \times 2.1=3.99\text{m}^2$ 。

主机室迷道散射面积：对于2M点， $A_1=1.42 \times 6.5=9.23\text{m}^2$ ， $A_2=0.95 \times 6.5=6.18\text{m}^2$ 。

表11-7 辐照室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	H_M ($\mu\text{Sv/h}$)
一层辐照室周围	G	5	5.4,6.5,5.2,3.3,6.0,1.5	7.12×10^{-5}
	H	5	7.5,6.5,5.2,3.3,6.0,1.5	3.13×10^{-5}
	G点外3m处	5	5.4,6.5,5.2,3.3,6.0,4.5	7.90×10^{-6}
	H点外3m处	5	7.5,6.5,5.2,3.3,6.0,4.5	3.48×10^{-6}
二楼主机室	2E	2	6.0,2.7,5.0,1.7	0.143

由表11-7可知，辐照室迷道入口处周围剂量当量率为 $7.12 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$ ，主机室迷道入口处的周围剂量当量率为 $0.143 \mu\text{Sv/h}$ ，远小于最大允许周围剂量当量率 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，所以，辐照室迷道和主机室迷道的设计是合理的

(5) 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 11-6，按直射射线进行防护，辐照室屋顶上方关注点（详见图 11-6）辐射剂量率 H_M 估算结果见表 11-8。

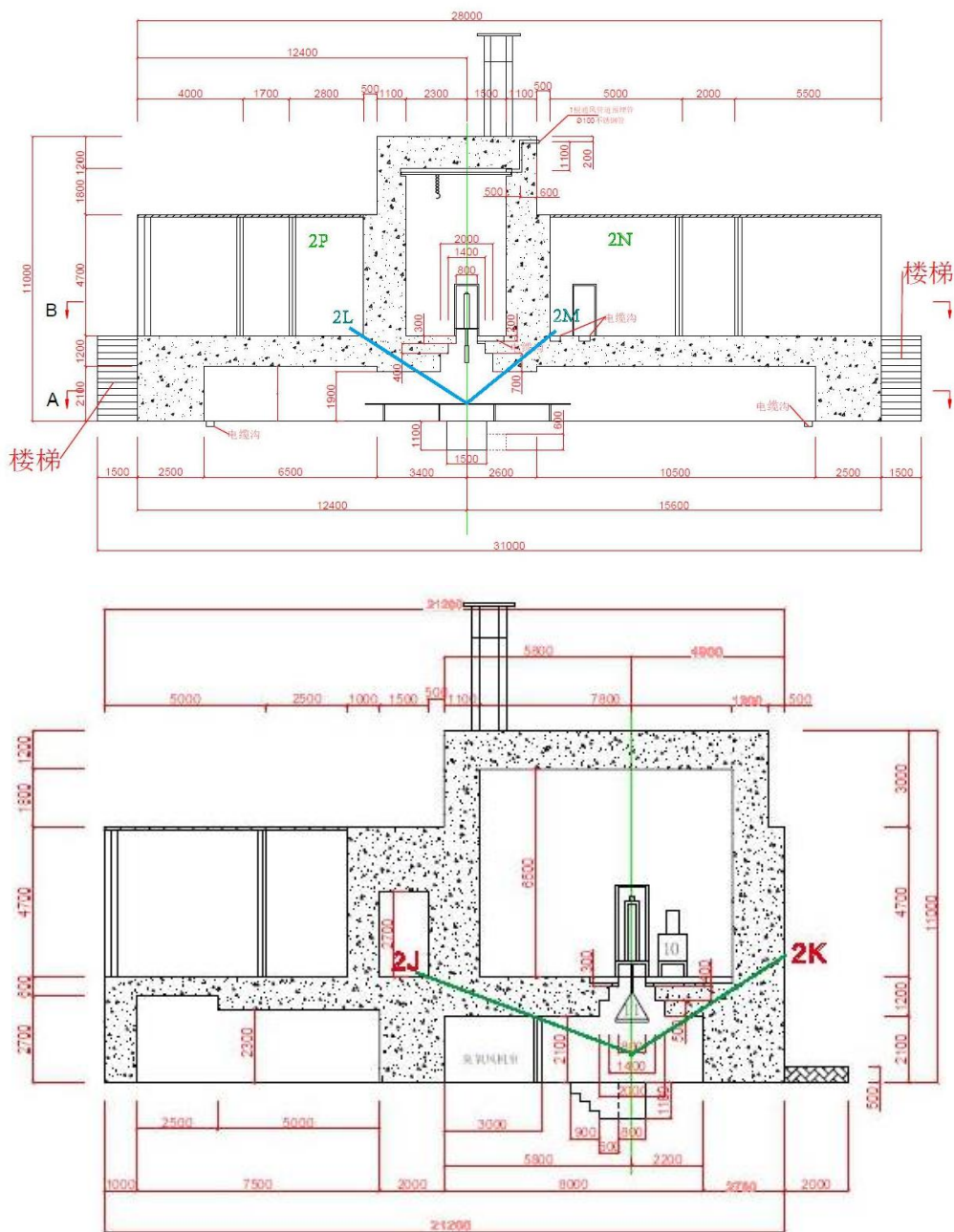


图 11-6 辐照室屋顶上方关注点示意图

辐照室屋顶上方泄露射线主要为电子束产生 X 射线经地面散射后穿透辐照室屋顶的 X 射线和主机室墙体外泄露 X 射线。

辐照室地面散射 X 射线的能量按照康普顿散射定律计算：

$$E = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{0.511}(1 - \cos\theta)} \quad (\text{A-8})$$

式中：E——散射光子的能量，MeV；

E_0 ——入射光子的最大能量，本项目取 10MeV；

θ ——散射角。

根据公式 A-8 散射光子能量随角度增大而降低，本项目散射至辐照室屋顶方向 X 射线的散射角不小于 30°，保守估算散射角取 30°，计算散射 X 射线能量约为 3MeV。根据表 11-2、表 11-3，对于 3MeV X 射线在混凝土中的第一个十分之一值层厚度为 26.1cm，平衡十分之一值层厚度为 24.7cm。

根据公式 A-8，辐照室地面散射 X 射线穿透屋顶对各关注点产生的辐射剂量率见表 11-8。

表 11-8 辐照室地面散射 X 射线产生辐射剂量率估算结果

位置	关注点	D_{10} (Gy/h)	距离	屋顶厚度	H_M ($\mu\text{Sv/h}$)
主机室西侧控制室	2J	810	6.34	1.2	0.143
	-	810	9.71	1.2	0.061
	-	810	12.87	1.2	0.035
主机室东侧墙外	2K	810	4.91	1.2	0.239
主机室北侧装卸平台	2M	810	3.58	1.2	0.449
主机室南侧设备间	2L	810	4.60	1.2	0.272
主机室北侧备品室	2N	810	5.89	1.2	0.166
	-	810	9.12	1.2	0.069
	-	810	12.86	1.2	0.035
主机室南侧技术室	2P	810	6.01	1.2	0.159
	-	810	7.71	1.2	0.097
	-	810	10.18	1.2	0.055

根据估算结果，辐照室屋顶上方主机室墙外30cm处剂量率最大为0.449 $\mu\text{Sv/h}$ ，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2.5 μ Sv/h”，该项目设计辐照室屋顶可以达到防护要求。

(6) 天空反散射剂量率

根据公式A-6，该项目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11-9。

表11-9 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	d _s	屋顶厚度	H _M (μ Sv/h)
一层辐照室	810	0.094	12.3	20	1.2m	6.45 $\times 10^{-3}$
二层主机室	3.84	0.747	6.3	20	1.2m	1.73 $\times 10^{-3}$

(7) 个人剂量估算

根据卓一绝公司提供的资料，该项目运行后，电子加速器每年工作300天，每天工作8小时。

① 职业人员个人剂量

对于职业人员，根据各关注点估算辐射剂量率，取工作人员活动区域辐射剂量率最大值 0.449 μ Sv/h 进行估算，工作人员年受照剂量为 1.078mSv，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

公众成员主要为辐照产品的搬运人员、加速器机房周围工作的非辐射工作人员、厂区外道路过往行人。公众个人剂量估算结果见表 11-10。

表 11-10 公众个人剂量估算结果

公众	辐射剂量率 (μ Sv/h)		加速器年 工作时间	居留 因子	年受照 剂量
辐照产品 搬运人员 (辐照室出 入口 3m 外活 动)	辐照室出入口泄露辐射	7.12 $\times 10^{-5}$	2400h	1/4	0.004mSv
	北侧加速器机房 天空散射辐射	6.45 $\times 10^{-3}$			
道路过往行 人	加速器机房屏蔽体外 北侧道路	0.31	2400h	1/8	0.093 mSv
	北侧加速器机房 天空散射辐射	3.87 $\times 10^{-3}$	2400h	1/16	
	加速器机房屏蔽体外	0.23			

续表 11-10 公众个人剂量估算结果

公众	辐射剂量率 (μSv/h)		加速器年 工作时间	居留 因子	年受照 剂量
加速器机房 外非辐射工 作人员	加速器机房北侧 (门卫室)	0.041	2400h	1	0.098mSv
辐照产品 检验人员	主机室南侧技术室	0.159	2400h	1/4	0.095mSv

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 0.098mSv, 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。

(8) 非辐射环境影响分析

有害气体

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, 且以臭氧的毒性最高, 标准中要求 NO_x 浓度较高, 当臭氧浓度可以满足标准要求时氮氧化物浓度同样可以满足标准要求, 因此主要分析辐照时产生的臭氧。

平行电子束所致 O₃ 的产生率按下式进行保守估算:

$$P = 45d \cdot I \cdot G$$

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 的产生率为 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:

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

式中: C(t)——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）。

$$T_e = \frac{T_V \times T_d}{T_V + T_d}$$

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744m³，通风设施设计通风量12000m³/h，辐照室换气一次所需时间约为0.062h， $T_V \ll T_d$ ，因而 $T_e \approx T_V$ 。当长时间辐照室，辐照室内臭氧平衡浓度为：

$$C_s = \frac{PT_e}{V} = \frac{90000\text{mg/h} \times 0.062\text{h}}{744\text{m}^3} = 7.50\text{mg/m}^3$$

根据估算结果，当该项目配备通风量为12000m³/h通风设施后，辐照室内臭氧平衡浓度为7.50mg/m³，

加速器停机一段时间后，辐照室内 t 时刻臭氧浓度 C 按下式进行计算：

$$C = C_0 e^{-\frac{v}{V}t}$$

式中，C：停机后，辐照室内 t 时刻臭氧浓度（mg/m³）；

C_0 ：辐照室内 O₃ 浓度（mg/m³）；

v：排气速率（m³/s）；

t：停机后的等待时间（s）。

依据平衡臭氧浓度，可以计算出 10MeV 加速器停机一段时间后辐照室内通风条件的下臭氧浓度，计算结果见表 11-11。

表 11-11 10MeV 加速器停机后，辐照室内臭氧浓度的变化（通风条件下）

通风时间（分钟）	0	2	4	6	8	10	11.96	12
臭氧浓度（mg/m ³ ）	7.50	4.38	2.56	1.49	0.87	0.51	0.30	0.29

根据《工作场所有害因素职业接触限制》（GBZ2.1-2019）中的臭氧和氮化物的产生标准，臭氧的最高容许浓度为 0.3mg/m³，即只有当臭氧浓度降低至 0.3mg/m³ 后，工作人员才可进入。由表 11-11 计算结果可以看出，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 11.96min，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 11.96min 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 模式预测结果，项目臭氧排放最大落地浓度为 $15.5760\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，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 $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

三、事故影响分析

本项目事故风险评价目的是分析、预测加速器在使用过程中存在的潜在危险和有害因素，可能发生的突发性事件或事故（一般不包括人为破坏及自然灾害），引起电离辐射泄漏，所造成的人身安全与环境的影响和损害程度，提出合理可行的防范应急与减缓措施，以防止辐射事故发生，尽量降低辐射事故后果的负面影响。

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、可能发生的辐射事故

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) 联锁装置、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、辐射事故影响分析

依据《射线装置分类办法》，该项目10MeV电子加速器，属于II类射线装置，该装置为中危险射线装置，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 $810\text{Gy}/\text{h}$ ，主机室漏束1m处剂量率取 $3.84\text{Gy}/\text{h}$ ，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11-12。

表 11-12 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

根据表11-12对人员误入辐照室、主机室所接受的剂量估算可以看出,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。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。根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第四49号)第四十条规定:“较大辐射事故:是指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人以下(含9人)急性放射病、局部器官残疾;一般辐射事故:指IV、V类放射源丢失、被盗、失控,或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”。假如该项目发生上述事故,事故等级为分别为较大辐射事故、一般辐射事故。因此,加速器运行期间,应当检查辐照室、主机室门机连锁装置,确保防护门处于关闭状态下,才进行开机照射工作;进行照射前,应仔细查看辐照室、主机室是否有人员停留,杜绝辐射事故发生。

4、采取的风险防范措施

针对该项目可能发生的辐射事故,卓一绝公司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

一、辐射安全与环境保护管理机构的设置

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》的通知，陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司应设立相应的辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，并按照表 12-1 要求内容以正式文件的形式对各成员辐射安全职责进行明确要求。

**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
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。
		年初工作安排的和年终工作总结，应包含辐射环境安全管理工作内容。
		明确辐射安全管理部门和岗位的辐射安全职责。
		提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障。
	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。
		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。
		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。
		建立辐射安全管理档案。
		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。
	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。
		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。
		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。
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。		
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安全与环境保护管理机构和负责人。	

二、辐射安全管理规章制度

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
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。
	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。
	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。
	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。
	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。
	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。
	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）。
	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。
	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。
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。
	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辐射事故报告和处理程序。

陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司应按照《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（表 12-2）和《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）制定以下规章制度：

- (1) 建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责使用和维护；
- (2) 建立射线装置管理制度，建立射线装置台账；
- (3) 建立射线装置岗位职责、操作规程及其检查考核要求，建立检查记录档案；
- (4) 建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，及其相关检查考核资料档案；

(5) 建立辐射工作人员个人剂量管理制度；

(6) 建立辐射工作人员职业健康体检管理制度；

(7) 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）及其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）；

(8) 建立辐射环境监测制度（内容应包括建立有效的监测记录或监测报告档案）；

(9) 建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度及其检定档案；

(10) 建立严格的运行及维修维护记录制度。

①常规日检查工作状态指示灯、报警灯和应急照明灯，辐照装置安全联锁控制显示状况以及个人剂量报警仪和便捷式辐射监测仪器工作状态；

②月检查辐射室内固定式辐射监测仪设备运行状况，控制台及其他所有紧急停止按钮，通风系统的有效性，验证安全联锁功能的有效性和烟雾报警功能是否正常；

③配合年检修的监测，并且应半年检查全部安全设备和控制系统运行状况；

④记录运行工况，辐射产品的情况，发生的故障及排除方法，外来人员进入控制区情况，个人剂量计佩戴情况，个人剂量、工作场所和周边环境的辐射监测结果，还要检查及维修维护的内容与结果。

单位承诺在日常的操作中严格遵守各项规程要求，预防辐射事故的发生。

三、人员管理培训制度

人员培训：该项目计划配备放射工作人员 4 名，辐射防护负责人和放射工作人员均应参加相应的辐射安全与防护培训学习，并取得合格证书，做到持证上岗。

个人剂量：该项目运行前公司应为放射工作人员配备个人剂量计，委托有资质单位定期对工作人员进行个人剂量检测（每三个月一次），并建立个人剂量档案。

健康管理：公司应安排放射工作人员进行上岗前的职业健康体检，上岗后定期安排放射工作人员进行职业健康体检，建立放射工作人员职业健康监护档案。

四、辐射监测

(1) 监测仪器配置

按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，公司每个加速器机房均应配备一台 X、 γ 辐射监测仪器和 1 台个人剂量报警仪，并用于加速器机房周围工作场所的辐射环境定期监测，建立日常监测档案。

(2) 监测计划

公司应参照表 12-3 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 12-3 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 30cm 处，设备室，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 30cm 处，辐照室出入口处，辐照室旁搬运人员等非放射工作人员活动区域。		
3	/	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。

五、环保投资估算

本项目总投资 2300 万元，其中环保投资 60 万元，占总投资的 2.61%，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 12-4。

表 12-4 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防护门	1 间	40
2	联锁装置、紧急停机装置	1 套	4
3	辐射警示标志、照射指示灯	1 套	0.5
4	监控设备	1 套	2.5
5	通风设施	1 套	6
6	辐射剂量率监测仪器、个人剂量报警仪	各 1 台	3
7	个人剂量检测、人员培训	4 人	4
合计			60

六、竣工环境保护验收内容及要求

项目试运行后，卓一绝公司应严格按照《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环保竣工验收监测。竣工验收清单见表 12-5。

表 12-5 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；
		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；每台加速器配备 1 台辐射剂量率监测仪器和 1 台个人剂量报警仪。
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目标表》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。

七、辐射事故应急

陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 653 号）、《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145 号）、《突发环境事件信息报告办法》

（环保部令第 17 号）和《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 号文件的有关规定，制定包括下列内容“(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”的辐射事故应急预案。

表 13 结论与建议

结论

陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司位于咸阳市秦都区高新技术开发区永昌路，为了适应市场经济发展需求，公司开展咸阳辐照加工综合项目计划购置 1 台 10MeV 电子加速器，并且在厂区辐照中心配套建设 1 个 10MeV 电子加速器机房。

该项目总投资 2300 万元，其中环保投资 60 万元，占总项目的 2.61%。

1、辐射安全与防护分析结论

陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司按照《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 号文件要求设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，并制定全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度、射线装置管理制度、射线装置岗位职责、操作规程、辐射工作人员培训管理制度及培训计划、辐射工作人员个人剂量管理制度、辐射工作人员职业健康体检管理制度；辐射安全防护设施的维护与维修制度、辐射环境监测制度、辐射环境监测设备使用与检定管理制度和辐射事故应急预案后，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，该项目加速器机房设计防护厚度可以使其屏蔽体外剂量当量率满足标准中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围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有效剂量最大为 $1.45\times 10^{-2}\text{mSv}$ ，对公众年有效剂量最大为 0.059mSv ，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。辐照加工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，因此符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防

护“实践的正当性”的要求。

4、项目可行性结论

综上所述：陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司咸阳辐照加工综合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了尽可能低的水平，满足辐射防护最优化原则；项目运行所致工作人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准规定限值要求，符合剂量限值约束原则。从辐射环境保护角度，该项目在落实报告中提到的污染防治措施和 10MeV 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，陕西卓一绝加速器辐照科技有限公司咸阳辐照加工综合项目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) 定期对门机联锁、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，发生事故时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：

经办人

公章

年 月 日

审批意见：

经办人

公章
年 月 日