

核技术利用建设项目

甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司  
甘肃（武威）国际陆港辐照中心项目

环境影响报告表  
（报批版）

甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司  
2017年10月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司  
甘肃（武威）国际陆港辐照中心项目  
环境影响报告表

建设单位名称：甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：邱泰山

通讯地址：甘肃省武威市西大街 127 号城建大厦 10 楼

邮政编码：733000

联系人：李茂森

电子邮箱：juin222@163.com

联系电话：13309359889

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司 甘肃（武威）国际陆港辐照中心项目			
建设单位		甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司			
法人代表	邱泰山	联系人	李茂森	联系电话	13309359889
注册地址		甘肃省武威市西大街 127 号城建大厦 10 楼			
项目建设地点		古浪县土门镇新丰村、永东村			
立项审批部门		古浪县发展和改革局	批准文号		古发改发【2017】10 号（备案）
建设项目总投资（万元）		5740	项目环保投资（万元）	423.1	投资比例（环保投资/总投资） 7.4%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积（m <sup>2</sup> ） 53275.7
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><b>项目概况</b></p> <p><b>1.1 本项目概况及由来</b></p> <p>甘肃（武威）国际陆港辐照中心项目由甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司投资建设。该项目位于甘肃（武威）国际陆港土门片区，占地面积约 80 亩，项目建设分两期进行，其中一期建设建设内容为：一座 6500m<sup>2</sup> 的辐照车间（钢结构厂房）及 2 条 10MeV/20kW 高能电子直线加速器辐照装置、新建一座 4096.88 m<sup>2</sup> 四层办公楼，新</p>					

建一座 4213.3 m<sup>2</sup> 四层研发中心楼、新建建筑面积为 864m<sup>2</sup> 的库房；二期工程新建一座辐照车间及 2 条辐照装置；本项目只对一期建设内容中的辐照车间进行环境影响评价，包括运营期的辐射影响、施工期和运营期的非辐射影响，其中运营期加速器产生的辐射影响是我们评价的重点。

该项目所在地甘肃（武威）国际陆港是甘肃省确定的三大国际陆港之一，处于我国“一带一路”倡议的中心地带，是欧亚大陆桥的必经之地，区位优势非常重要。目前，本区域内还没有辐照中心，当前企业需要辐照的物品都要到兰州等地进行辐照，费时费力，且增加了企业运营成本。本地区辐照中心的建成，将为周边地区提供一个非常重要的辐照加工产业、科研平台。由于本项目生产装备和工艺技术起点较高，除可实现生物灭活外，在材料改性方面具有钴源所不具备的独特优势。所以使用电子加速器高能电子束制备改性新材料及辐照消毒灭菌能够满足市场的需要并可开拓新的应用领域，因此具有较强的市场竞争力和抗风险能力。

## 1.2 与规划及产业政策的相符性

### 1) 与规划的相符性

2016 年甘肃省环境科学设计研究院针对武威市编制的《甘肃（武威）国际陆港发展战略规划（2016-2030）》，编制了《甘肃（武威）国际陆港发展战略规划（2016-2030）环境影响报告书》，甘肃省环境保护厅于 2017 年 02 月 22 日以“甘环函【2017】76 号”文对报告书出具了审查意见（详见附件六）；依据规划及环评，规划时限近期为 2016~2020 年，远期为 2021~2030 年，规划范围 170.34km<sup>2</sup>，规划范围内建设区面积约 95.12km<sup>2</sup>，其中建设用地 45.67km<sup>2</sup>，预留 49.45km<sup>2</sup>；规划的功能定位为：以现代物流、口岸平台、国际贸易为重点，大力发展进出口导向型产业、国际金融和电子信息产业，打造具有国际影响力的国际路港、建设武威现代化、外向型、多功能、生态型综合性产业区。

辐照加工属于国家重点鼓励发展的产品和技术范畴，其技术先进，成熟可靠，建设条件优良，市场供应有保证，产品符合市场需求，经济效益好。本项目的实施，对提高企业规模经济效益，提高技术装备水平，调整产品和服务结构，增强企业的市场

竞争力将起到重要作用；本项目辐照中心的建成，将大大提高甘肃（武威）国际陆港的招商引资力度，能吸引食品、宠物食品、药品、医疗器械、农副产品、新材料等需要辐照加工企业的加入，为企业降低生产运营成本，增加效益。

本项目为规划项目中的鼓励入园项目类，符合“出口导向型产业”的规划入园企业要求，本项目的建设符合“甘肃（武威）国际陆港发展战略规划”的功能定位相符。

## **2) 与产业政策的相符性**

本项目为建设国际路港、现代物流、进出口导向型产业而配套建设的辐照中心项目，通过对农产品、食品、医药用品等辐照，进行杀菌灭活作用，满足出口产品质量的需要，本企业为对食品及药品物流质量安全提供控制技术服务的企业。

依据国家发展改革委于2013年2月16日发布的《产业结构调整指导目录（2011年本）（修正）》，本项目属于“第一类鼓励类”中“二十九现代物流业”中第2项及第3项的内容，即“食品物流质量安全控制技术服务”、“药品物流质量安全控制技术服务”，因此本项目的建设符合国家的产业政策是相符的。

## **1.3 本项目的建设进展**

本项目的环境影响包括辐射和非辐射两部分内容，按环保审管部门的要求，辐射和非辐射的部分分别履行环保手续；建设单位于2017年8月11日完成了本项目办公楼及研发中心等非辐射部分环评登记表在古浪县环保局的备案，备案号为20176202200000146，备案文件详见附件五；本环评对本项目产生的辐射影响进行评价；本项目已于2017年4月开始开工建设。

## **1.4 本项目核技术利用情况**

甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司在本次项目之前，未进行过有关射线装置或放射源等含放射性的操作，因此，在此之前甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司没有取得辐射安全许可证。本项目评价对象是甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司新增的共2台II类射线装置（电子加速器），见表1-1。

表 1-1 本项目中新增射线装置一览表

装置名称	装置型号	类别	加速粒子	最大能量 (Mev)	额定电流 (mA) / 剂量率 (	用途	工作场所
高能电子加速器	VF-ProAcc-L N-10/20	II 类	电子	10	2	辐照加工	辐照中心

### 1.5 本项目的设备及主要构筑物

本项目是以辐照为主的建设项目，本项目的主工艺设备为 2 套型号均为 VF-ProAcc-LN-10/20、能量为 10Mev、功率为 20kW 的高能电子加速器，它们布置在辐照车间的辐照中心内，其中辐照车间的建筑面积为 6500m<sup>2</sup>，辐照中心的建筑面积为 1067m<sup>2</sup>，下面列出本项目的设备和主要构筑物。

表 1-2 建设项目组成及主要的环境问题表

名称	工程内容	面积	单位	可能产生的环境问题	
				施工期	运行期
主体工程	辐照车间，其中辐照中心包括 2 台电子加速器，型号均为 VF-ProAcc-LN-10/20、能量为 10Mev、功率为 20kW	辐照车间建筑面积 6500 m <sup>2</sup> ，其中一层为 1#、2#辐照室，面积均为 130 m <sup>2</sup> ；二层为 1#、2#加速器室，面积均为 62 m <sup>2</sup> 。	m <sup>2</sup>	三废及噪声	X 射线 臭氧
辅助工程	办公楼	4096.88	m <sup>2</sup>		三废及噪声
	研发中心	4213.3	m <sup>2</sup>		
	库房	864	m <sup>2</sup>		
公用工程	供电、给排水、通讯、消防	/	/		三废及噪声

其他 设施	门房	50.00	m <sup>2</sup>		
	化粪池	50.00	m <sup>2</sup>		
	绿化	10402.21	m <sup>2</sup>		
	围墙	1000.00	m		
	场地及道路硬化	38000	m <sup>2</sup>		
	消防水池	120.00	m <sup>2</sup>		

### 1.6 地理位置及周边环境概况

甘肃（武威）国际陆港辐照中心位于甘肃省武威市金色大道北侧，本项目地理位置图见附图一。本项目西 400m 为新丰村，东 600m 为永东村，西侧紧邻武威铁路综合性货场（规划项目），距武威保税物流中心 2.8km，距武威天马机场约 15km，距定武高速约 8km，距连霍高速约 20km，本项目周边关系详见附图二。

本项目厂区内水、电、气、路、讯、信息平台等公共基础设施完善，环保设施齐全，交通便捷。地理位置优越，基础设施条件齐全，交通便利。项目距离服务企业运输距离短，完成辐照加工并面向各发运枢纽上货，可明显降低物流成本。

### 1.7 厂区的平面布置及保护目标

新建的辐照生产车间（以下简称“辐照车间”）位于厂区中部，为钢结构厂房，建筑面积 6500m<sup>2</sup>，其南侧为四层的研发中心楼和办公楼，北侧为二期规划建设的辐照车间，厂区西北角为仓库，厂区的平面布置图见附图三。

辐照中心为一栋二层的建构物，位于辐照车间的中央位置，内部布置两台 10MeV 的电子直线加速器，其中东部的加速器（后续编号为 1）的物流出入口在南侧，西部的加速器（后续编号为 2）的物流出入口在北侧，两台加速器为轴形对称分布，屏蔽及防护条件完全相同，具体的布置详见附图四辐照车间一层平面图。

本项目周围主要环境保护目标为电子加速器辐照室运行人员（职业工作人员）、厂区内的工作人员。

### 1.8 环保投资明细

本项目为新建项目，环保方面的投资主要包括：屏蔽防护措施、通风设施、辐射防护用品、环境监测、人员培训等方面的费用，本项目环保投资明细如下表所示。

表 1-3 环保投资一览表

序号	项目	数量	价格 (万元)
1	墙体、底板等大体积混凝土	/	180
2	铅防护门	2 套	40
4	视频监控与对讲系统	2 套	12
5	门机及门灯联锁, 紧急停机按钮	2 套	30
6	光电巡检系统	2 套	36
7	工作状态指示灯	2 套	2
8	通风系统	2 套	48
9	2 台便携式 x-γ 剂量率仪	2 台	6
10	个人剂量计	11 个	1.1
11	人员培训	11 人	11
12	环境监测等	/	26
13	固定式区域 x-γ 剂量率监测系统	2 套	28
14	个人剂量率报警仪	6 个	3
15	合计		423.1

**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》(GB 18871-2002)

**表 4 射线装置**

**(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器**

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	高能电子加速器	II类	2	VF-ProAcc-L N-10/20	电子	10	2	辐照加工	辐照中心	

**(二) X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途**

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	现在工作场所	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)	最大靶电流 (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	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m<sup>3</sup>；年排放总量 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/m<sup>3</sup>）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》(2015年1月1日);                  2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(2003年10月1日);                  3) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2016年9月1日);                  4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例(国务院449号令)》(2014年调整版);                  5) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(环保部3号令)(2008年11月21日修改);                  6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环保部18号令)(2011年5月1日);                  7) 《甘肃省辐射污染防治条例》(2015年1月1日实施);                  8) 《射线装置分类表》(2006年5月30日);                  9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》(环保部令第33号,2015年6月1日起施行)。</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》(GB18871-2002);                  2) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-1985);                  3) 《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ141-2002);                  4) 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010);                  5) 《核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ/T10.1-2016);                  6) 《工作场所有害因素职业接触限值 化学有害因素》(GBZ2.1-2007);                  7) 《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996);                  8) 《污水综合排放标准》(GB8978-1996) 三级排放标准;                  9) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-1990)。</p>
<p>其他</p>	<p>1) 《环境影响评价委托书》(附件一);                  2) 《建设单位承诺书》(附件二);                  3) 建设单位提供的工程基础资料及环评等;                  4) 《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》(第三版)。</p>

## 表 7 保护目标与评价标准

### 评价范围

按照《核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ/T10.1-2016)“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”。

针对本项目而言,评价范围是:

- 1) 电子加速器辐照室及加速器室外 0.3m 处,评价因子为剂量率水平;
- 2) 辐照中心 50m 范围内对工作人员、公众有可能产生辐射影响的位置,评价因子为年有效剂量。

### 保护目标

本项目位于甘肃(武威)国际陆港辐照科技有限公司厂区内,评价范围内无自然保护区、文物、景观等环境敏感点,主要环境保护目标如下表所示。

表 7-1 本项目的环境保护目标

序号	敏感目标名称	位置或方位	距离(m)	人数	照射类型	剂量约束值
1	主控室	辐照中心二楼	3	1	职业工作人员	5mSv/a
2	机柜室/水冷室	辐照中心二楼	5	1	职业工作人员	5mSv/a
3	迷道入口	南侧/北侧	1	1~3	公众人员	0.25mSv/a
4	迷道出口	南侧/北侧	1	1~3	公众人员	0.25mSv/a
5	未辐照临时储存区	西侧	24	1~2	公众人员	0.25mSv/a
6	已辐照临时储存区	东侧	24	1~2	公众人员	0.25mSv/a

说明:辐照中心的混凝土外墙距离最近的厂区边界为 56m,距离车间南侧的研发中心和办公楼为 55m,距离西北角的仓库距离为 116m,均超出了评价范围,因此都不作为本项目的环境保护目标。

### 评价标准

#### 1 职业工作人员剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002),职业工作人员任何一年中的有效剂量为 50mSv,由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量为

20mSv。

根据上述标准要求及辐射防护最优化的原则，并结合本项目实际情况，职业工作人员年有效剂量约束值取《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业工作人员年平均有效剂量的 1/4，即以 5mSv/a 作为职业工作人员年有效剂量约束值。

## 2 公众人员剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），实践使公众中有关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过 1mSv。

根据上述标准要求及辐射防护最优化的原则，并结合本项目实际情况，公众人员年有效剂量约束值取《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众人员年平均有效剂量的 1/4，即以 0.25mSv/a 作为公众人员年有效剂量约束值。

## 3 墙外 30cm 处剂量率控制水平

依据标准《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ141-2002），对于 II 类电子束辐照装置辐照室外的辐射水平检测的测量结果应符合《水池贮源 γ 辐照装置设计安全准则》GB17279 第 5 条中相关要求：即“在距屏蔽体的可达界面 30cm 处，由穿透辐射所产生的平均剂量率应不大于  $2.5 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ ”的要求；即辐照室和加速器室墙外 30cm、人员可达处的空气比释动能率控制值 2.5

## 4 辐照室臭氧浓度控制水平

根据《工作场所有害因素职业接触限值 化学有害因素》（GBZ2.1-2007）的要求，工作场所中的臭氧最大容许浓度为  $0.3 \text{mg/m}^3$ ，本项目工作人员进入辐照室内时，臭氧浓度限值按  $0.3 \text{mg/m}^3$  控制。

## 5 相关标准中的规定

### 5.1 《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）

#### 5.1.1 辐射安全系统

- 1) 决定加速器产生辐射的主要控制系统应该用开关钥匙控制。
- 2) 加速器厅、靶厅的门均需安装联锁装置，只有门关闭后才能产生辐射。
- 3) 在加速器厅、靶厅内人员容易到达的地点，应安装紧急停机或紧急断束开关，

并且这种开关应当有醒目的标志。

4) 在加速器厅、靶厅内人员容易看到的地方须安装闪光式或旋转式红色警告灯及音响警告装置；在通往辐射区的走廊，出入口和控制台上须安装工作状态指示灯。

5) 在高辐射区和辐射区，应该安装遥控辐射监测系统。该系统的数字显示装置应安装在控制台上或监测位置。当辐射超过预定水平时，该系统的音响和（或）灯光警告装置应当发出警告信号。

6) 每台加速器必须根据其特点配备其他辐射监测装置，如个人剂量计，可携式监测仪等。

7) 辐射安全系统的部件质量要好，安装必须坚实可靠，系统的组件应耐辐射损伤。

### 5.1.2 通风系统

1) 为排放有毒气体（如臭氧）和气载放射性物质，加速器设施内必须设有通风装置。

2) 通风系统的排风速率应根据可能产生的有害气体的数量和工作需要而定。通风系统的进气口应避免受到排出气体的污染。

3) 通风管道通过屏蔽体时，必须采取措施，保证不得明显地减弱屏蔽体的屏蔽效果。

### 5.2 《辐照加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T25306-2010）

1) 辐射屏蔽材料采用混凝土时，其强度等级应高于 C20，密度不应低于  $2.35\text{g/cm}^3$ ；

2) 屏蔽结构及预埋件应满足设备供应商提供的土建工艺指导数据；

3) 控制区必须设有功能齐全、性能可靠的安全联锁系统和监控、紧急停机开关等设置；

4) 控制区和监督区及其入口处应设置显示电子加速器装置运行状态的灯光信号和其他警示标志；

5) 剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备；

6) 其他物理因素安全要求应满足 GBZ2.1-2007 规定的标准要求（见附录 C）。

**表 8 环境质量核辐射现状**

**环境质量和辐射现状**

江西省核工业地质局测试研究中心于 2017 年 06 月 27 日对甘肃（武威）国际陆港辐照中心项目的辐射环境质量进行了本底监测，并于 2017 年 07 月 03 日出具了检测报告，编号为环监字 2017-371，监测报告见附件。

**1 项目地理和场所位置**

本项目位于甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司甘肃（武威）国际陆港辐照中心项目厂区内，公司地理位置见附图一，厂区平面布置图见附图三。

**2 环境现状评价对象、监测因子、监测方案**

本项目环境现状评价的对象为辐照中心周围环境本底值，监测因子为 x- $\gamma$  射线剂量率，选取了在运行期辐射水平可能增高的点位进行了现状监测，共计选取了 11 个点位，监测方案的详细布点见附件中的监测报告。

**3 监测质量保证措施**

为了提高监测数据的准确性和可用性，采取了如下保证措施：

①每年定期将测量仪器、分析仪表送标准计量站进行检定，确保测量结果可靠性。建立仪器设备档案库，其资料长期保存。

②数据处理：采用统计检验方法进行数据统计处理，对异常数据谨慎处理，并记录在案。

③测量分析、数据记录及处理由二人进行复校、审核；计算结果由专人负责记录、核查、保存，并建立数据档案库，以便以后核对备查。

**4 辐照中心本底监测结果**

江西省核工业地质局测试研究中心在辐照中心布设了监测点位，对环境  $\gamma$  辐射剂量率本底水平进行了监测。监测过程中严格按照《环境地表  $\gamma$  辐射剂量率测定规范》（GB/T14538-1993）、《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）、《 $\gamma$  射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ141-2002）进行。辐照中心周围监测结果见表 8-1。

表 8-1 辐射环境质量现状

序号	监测对象	监测点位	$\gamma$ 辐射剂量率 (nGy/h)
1	电子加速器辐 照中心	2 号辐照室辐照厅中心	61.5
2		2 号辐照室东侧迷道口	76.9
3		2 号辐照室西侧迷道口	65.5
4		2 号辐照室北墙外 30cm	54.9
5		控制室 2 号操作位	74.9
6		1 号辐照室辐照厅中心	62.3
7		1 号辐照室西侧迷道口	74.6
8		1 号辐照室东侧迷道口	75.9
9		1 号辐照室南墙外 30cm	80.6
10		控制室 1 号操作位	77.5
11		辐照中心厂房西侧	83.3
均值			72.6

## 5 环境现状调查结果评价

从表 8-1 中可知,本项目现状监测值中的最小值为 54.9nGy/h,最大值为 83.9nGy/h,均值为 72.6nGy/h。

与《甘肃省环境天然贯穿辐射水平调查研究》中的甘肃地区(1995 年)的背景资料相比较(建筑室内  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率范围值约 33.5~167nSv/h,建筑室外  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率范围值约为 20.1~130nSv/h),无显著差异,属正常环境本底水平。

## 表 9 项目工程分析与源项

### 工程设备和工艺分析

#### 一、工程概述

**工程简况：**本项目位于甘肃(武威)国际陆港土门片区，建设内容：新建一座 6500m<sup>2</sup> 的辐照车间（钢结构厂房）及 2 条 10MeV/20kW 高能电子直线加速器辐照装置；本项目的 评价内容包括运营期的辐射影响、施工期和运营期的非辐射影响，其中运营期加速器产生的辐射影响是我们评价的重点。

**项目附图：**本项目附图一为项目地理位置图，附图二为周边关系图，附图三位厂区平面布置图，附图四为辐照车间一层平面图，附图五为辐照车间二层平面图，附图六为辐照室平面图，附图七为加速器室等房间平面布置图，附图八为辐照室及加速器室的剖面图。

**工作制度：**本项目工作人员的年工作时间为 300d，每台加速器年出束最大时长为 7000h，每天最长出束时间 24h，年最长出束 291.7d，其他时间为设备检修和保养时间；本项目工作制度为“三班倒”，因此，对于职业工作人员及公众，年有效受照时间均按 2333h 计。

**人员编制：**公司设生产部、品质部、市场部、综合部、财务部、研发部等 6 个部门，计划编制 66 人；其中生产部设置三个班组，每班组 13 人，共 40 人，每班设置情况为：班长 1 人、加速器操作员 1 人、电气维修工 1 人、叉车工 4 人、搬运工 6 人，其中每班的班长、加速器操作员、电气维修工等 3 人为辐射工作人员，综上：生产部有 9 人为辐射工作人员，加上生产部长、公司负责人，本公司职业工作人员共计 11 人。

#### 1 电子加速器运行方式

本项目拟使用 2 台电子加速器的参数完全相同，其型号、能量、电流等关键参数见表 9-1。

表 9-1 电子加速器基本参数

装置名称	型号	电子束能量	电子束束流	输出功率
高能电子加速器	VF-ProAcc-LN-10/20	10MeV	2mA	20kW
脉冲重复次数	扫面角度	射线装置类型	电子束扫描宽度	电子束扫描方向均匀度

≤530Hz	±17°	II 类	≥60cm (90%剂量点)	±5%
--------	------	------	-------------------	-----

说明：加速器的电子束最大能量在 9.5MeV~10MeV 之间。

辐照室及迷道的平面图详见附图六，从图中可以看出，辐照室实际为多个弯的长迷道，其横截面宽为 2550mm，高为 1900mm；辐照室的迷道一端为辐照产品的入口、另一端为辐照产品的出口；束下线的尺寸为宽 800mm、高 600mm，上部有辊轮的动态运输线，其沿迷道水平方向运行，上有托盘，辐照物品在托盘中，把辐照物品从辐照室外传送到辐照位，又把辐照后物品传送至辐照室外，束下线的运行速度在 1m/min~8m/min 之间可调。

加速器位于辐照中心的二楼加速器室内，电子在真空中经加速后，通过一二楼之间的真空腔垂直向下运行，经过偏转角度在-17°~+17°之间的磁场后，穿过铍窗到空气中，最终打到水平方向运行，束下线上的辐照物质，最终完成对待产品的辐照。

加速器的铍窗距离辐照室上沿 200mm，束下线上可以摆放高 100mm~800mm 的辐照物品，辐照物品与铍窗间有 300mm 的超高，打到辐照物品上的电子束斑直径最大为 60mm，电子束斑扫描频率为 530Hz。

## 2 电子加速器工作原理

电子加速器主要由供电系统、电子加速与配套电源系统、脉冲调制器与配套电源系统、束流整定输出系统、水系统和控制系统等构成，其原理框图如图 9-1 所示，电子加速器效果图如图 9-2 所示。

脉冲调制器产生两路高压脉冲，一路高压脉冲加载到电子枪阴极上，引出电子束并注入加速管；另一路高压脉冲送入微波功率源（速调管），功率源产生的高功率微波脉冲经传输波导馈入加速管，在加速管中建立加速电场；电子束在加速管中受到加速电场的同步加速，同时聚焦线圈产生的磁场约束电子束流始终沿着加速管中心传输，并保持小的束团直径，直至其最可几能量达到 10MeV；加速管出射的 10MeV 电子束经运输系统传输到扫描段，扫描线圈产生的磁场将电子束流在一个固定的角度内循环往复的偏转扫描，扩大电子束出射的宽度；最后，经钛窗输出的电子束以扫描方式完成货物的辐照加工。

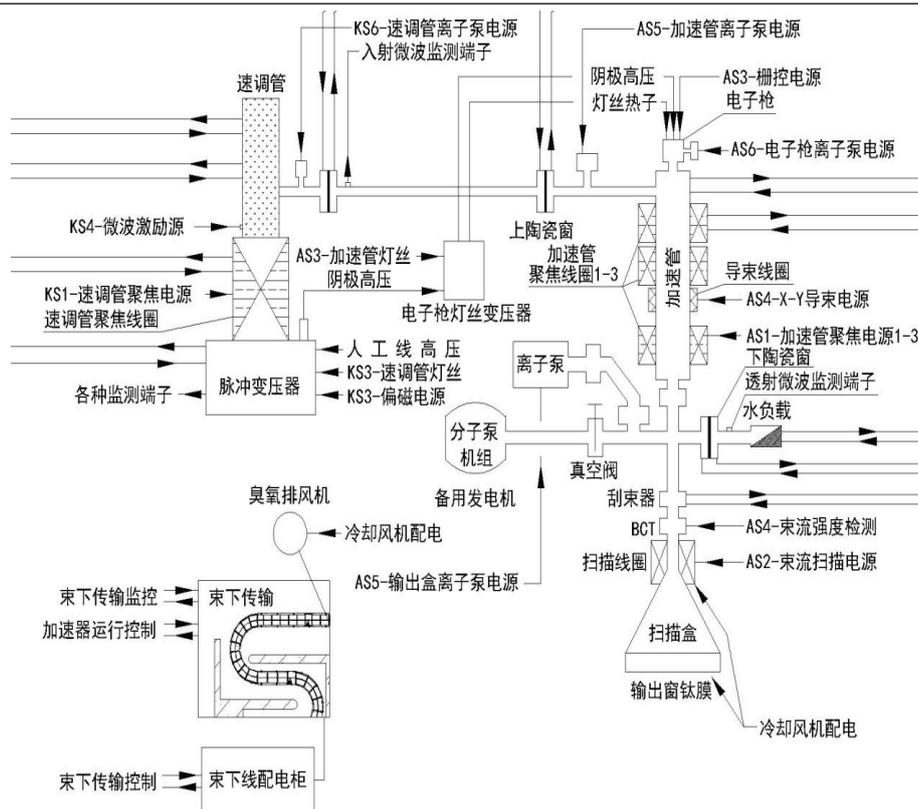


图 9-1 电子加速器原理框图



图 9-2 电子加速器效果图

## 二、工程分析

### 1) 整体工艺流程

本项目是对待辐照的各类产品进行辐照，整体流程包括产品的入厂、辐照、出厂等工艺，具体流程如下：

- 入厂：装载待辐照产品的货车通过物流通道入厂；
- 验货：在辐照车间进货口卸货、验货、登记、确认；
- 参数设置：根据用户要求、产品种类，设置加速器参数、束下传输线的速度；
- 照前搬运：把待辐照产品从“未辐照临时周转区”，运至束下传输线的入口；
- 产品辐照：对待辐照产品进行批量辐照；
- 照后搬运：在束下传输线的出口，把已辐照产品运至“已辐照临时周转区”；
- 装车：在辐照车间出货口确认、验货、装车；
- 出厂：装载已辐照产品的货车通过物流通道出厂；

本工程的整体工艺流程如上，其中产品辐照是产生环境影响最大的阶段，下面对产品的辐照加工工艺，进行展开说明如下。

## 2) 辐照工艺流程

本项目根据辐照加工的产品不同，相应的工艺流程也有所区别，其中，较为常用的加工工艺流程如图 9.3 所示。

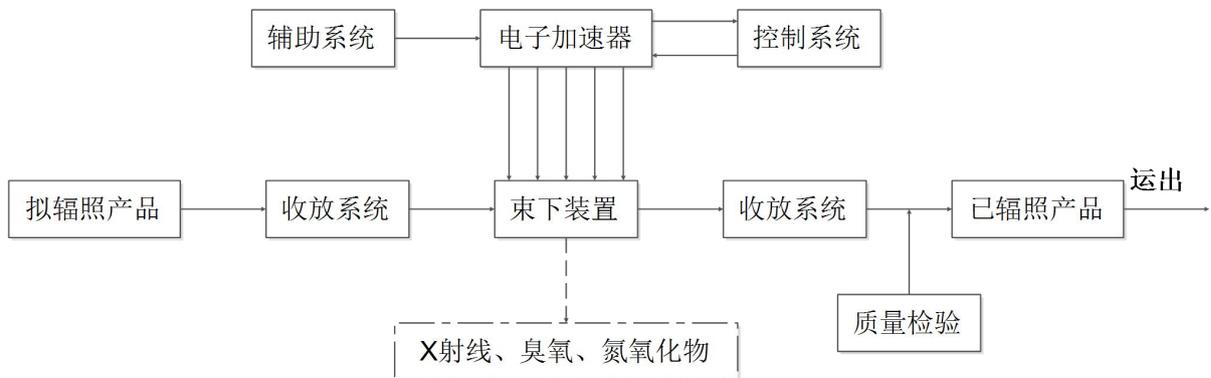


图 9-3 本项目辐照加工工艺流程图

工艺流程简述：

- 根据用户要求、产品种类，设置加速器参数、束下传输线的速度；
- 将拟辐照物质等放置在束下传输线的辊筒上，调整好放线机。
- 工作人员巡视加速器室、辐照室，确认室内无人；
- 确认红外探测、门机连锁、光电巡检、防人误入、紧急停机及拉绳开关等系统及装置无异常；

- 通过视频监控查看加速器室、辐照室内无人员停留；
- 启动加速器出束开关；
- 发出灯光、告警信号，提醒现场人员注意，并延时 20s~30s；
- 开始辐照：束下传输线开始运行，产品开始接收辐照。

由以上工艺流程图可知，电子加速器的束下装置运行过程中会产生 X 射线、臭氧和氮氧化物等污染物，对环境产生危害。辅助系统中的冷却水循环系统中使用去离子水，对加速器零部件进行循环冷却，不外排，只需定期补水。本项目其他工艺环节不产生污染物。

本项目通风系统为自然进风、下抽式机械排风方式，为减少排风管穿墙对防护效果的影响，排风管位于地面以下，排风管上沿距离辐照室地面 1.5m；最终的排风口高出辐照车间的屋面 5m。

### 3) 其他辅助工艺流程

本项目还有包含办公楼和研发中心等 2 栋 4 层的办公楼，公司设置了品质部、市场部、综合部、财务部、研发部等辅助部门，在工作过程中，会产生生活废水及生活垃圾等废物。

### 污染源项描述

- 1) 电子加速器开机产生的辐射属于瞬发辐射，关机后无射线产生。
- 2) 电子加速器产生高能电子束辐照物品，此过程除产生电子外，还要产生韧致辐射（X 射线），韧致辐射份额与电子束能量和被辐照物品的原子序数成正比。本系统产生电子束和 X 射线均属于电离辐射，照射人体时会发生生物效应。
- 3) 电子加速器产生的电子自钛窗射向被辐照工件前，在空气中穿行 15~100cm 距离，加速电子在穿过空气时，会使空气电离激发而产生臭氧。
- 4) 工作人员会产生生活废水及生活垃圾。

**表 10 辐射安全与防护**

**项目安全设施**

甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司采取的辐射防护与环境保护措施有：

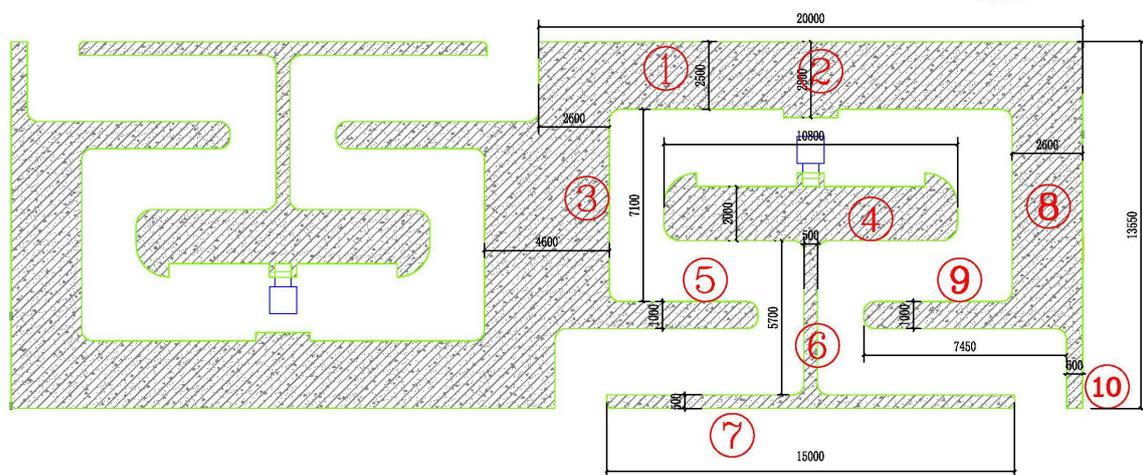
**1) 辐射屏蔽措施**

辐照中心位于辐照车间的中心部分，为二层钢筋混凝土结构，外墙采用现浇钢筋混凝土墙，屋面、楼面均采用现浇钢筋混凝土板。两个辐照室在辐照中心的两端，呈中心对称分布，两个辐照室的结构及面积完全相同，下面以一个辐照室及加速器室介绍屏蔽措施，另一个不再重复叙述。

**(1) 辐照室的屏蔽措施**

每个辐照室的東西长 20.0m，南北宽 13.55m，辐照室的净宽 2.25m，层高 1.9m，净面积为 130m<sup>2</sup>。下面以右侧的辐照室为例，说明墙体的厚度，各墙体的编号如下图所示；①号北侧墙体为 2500mm 厚混凝土墙，其中，北侧墙体中部突出的部分（②号墙）为 2800mm 厚的混凝土墙；③号西侧墙体为 4600mm 厚混凝土墙（两个辐照室共用）；④号东侧墙体为 2600mm 厚混凝土墙；⑤、⑨号迷道墙为 1000mm 厚混凝土墙；⑥、⑦号墙均为 500mm 厚混凝土墙；⑧号墙为 2000mm 厚混凝土墙；⑩号墙为 600mm 厚混凝土墙；辐照室顶板的厚度为 1060mm 厚混凝土。混凝土墙的汇总厚度详见表 10-1，两个辐照室的墙体厚度完全一样，只是分布为中心对称方式。

辐照室的入口和出口都设有不锈钢门，该门虽没有屏蔽射线的能力，但关闭时，可保证辐照货物正常的进出、同时禁止人员的误入。



**图 10-1 辐照室的墙体编号说明图（右为辐照 1 室，左为辐照 2 室）**

表 10-1 辐照室屏蔽参数

房间名称	①号北侧墙体	⑧号东侧墙体	③号西侧墙体	⑤、⑨号迷道墙	⑥、⑦号墙	④号墙	⑩号墙
辐照室	2500mm (混凝土)	2800mm(混 凝土)	4600mm (混凝土)	1000mm(混 凝土)	500mm (混凝土)	2000mm (混凝土)	600mm (混凝土)

(2) 加速器室的屏蔽措施

辐照室的二层为加速器室、主控室、机柜室、水冷设备室等辅助房间，下面以右侧加速器室为例，说明其屏蔽措施，各墙体的编号如下图所示，左侧的加速器室防护措施与其完全一致，成中心对称分布。

加速器室内尺寸为：长 8.3m，宽 7.5m，高 4.5m，净面积为 62m<sup>2</sup>。右侧的加速器屏蔽措施：其北侧（⑪号墙）为 1400mm 的厚混凝土墙，东侧（⑫号墙）为 1600mm 的厚混凝土墙，南侧（⑬号墙）为 1500mm 的厚混凝土墙，西侧（⑭号墙）为 1600mm 的厚混凝土墙，加速器室的顶板厚度为 1000mm 的厚混凝土。加速器室屏蔽材料的汇总厚度详见表 10-2。

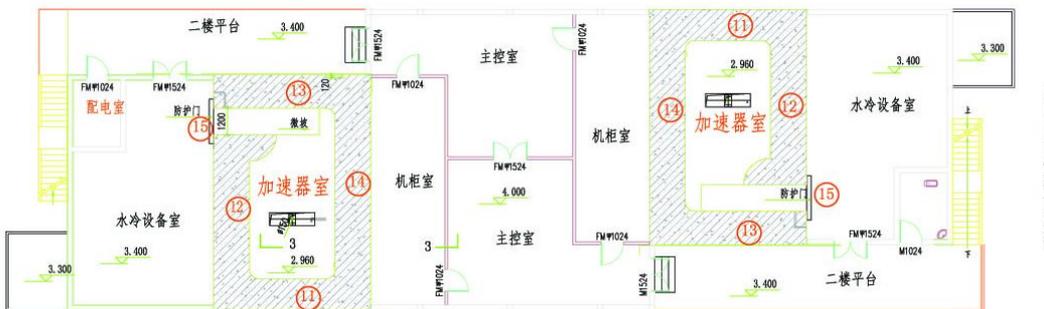


图 10-2 加速器室的墙体编号说明图（右为加速器 1 室，左为加速器 2 室）

表 10-2 辐照室屏蔽参数

房间名称	(11)号北侧墙体	(12)号东侧墙体	(13)号南侧墙体	(14)号西侧墙体	顶板厚度	(15)门厚度
加速器室	1400mm (混凝土)	1600mm(混 凝土)	1500mm (混凝土)	1600mm(混 凝土)	1000mm (混凝土)	75mm (铅)

2) 安全环保措施

(1) 人员防护：辐射操作人员在加速器运行期间必须佩戴个人剂量计，并应定期将个人剂量计送有资质单位进行检测，检测结果存入个人剂量档案。

(2) 主控钥匙控制：加速器的主控钥匙、与加速器室门及辐照室门为同一把钥匙；

钥匙还与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连；主控钥匙安装在主控台操作面板上，开机时，钥匙无法取下。

**(3) 红外探测装置：**在辐照室物流出入口处，均安装有红外探测装置，且与加速器出束开关及高压连锁，可避免人员的误入。

**(4) 门机连锁：**加速器室门和辐照室出入口与加速器束流控制和加速器高压连锁；辐照室和加速器室的门在打开时，发出断开信号，主控台自动停止高压和束流输出，加速器处于出束状态时，辐照室与加速器室门不能打开，从而实现连锁功能。

**(5) 加速器室光电巡检：**在加速器室内的墙体设计位置，离地面 0.3 米高度，均匀分散安装 3 组巡检光电开关。当工作人员走过其中的任一光电开关时，均向主控台发出故障信号，自动停止高压和出束。当触发任一巡检光电开关后，工作人员必须走过所有巡检光电开关，再按下门口的巡检复位按钮，才能清除故障信号。

**辐照室光电巡检：**与加速器室光电巡检类似，唯一的差别是均匀分散安装 8 组巡检光电开关。

**(6) 防人误入检测：**在加速器室口、辐照室出入口通道内各设置三道“光电防人误入检测装置”，并于加速器的开、停机连锁，一旦触发立即停机和切断高压。

**(7) 紧急停机开关：**控制台安装急停按钮，按下时，停止加速器的高压和出束；加速器室内墙体上布满 4 组拉绳开关，拉动任一拉绳开关，停止加速器高压和出束；辐照室内墙体上布满 9 组拉绳开关，拉动任一拉绳开关，停止加速器高压和出束。

**(8) 剂量连锁：**辐射剂量检测系统由一台区域式辐照安全报警仪、由 2 只高剂量辐射探头（RT5150）以及 4 只低剂量辐射探头（RT5010）组成。两只高剂量监测探头分别安装在加速器室屏蔽门内部和迷宫进货屏蔽门内部；四只低剂量监测探头分别安装在主控室内、辅机房内、二楼走廊处、辐照室外墙。当高辐射探头的剂量超过阈值时，切断开门回路，防止人员误入。

**(9) 信号报警装置：**加速器室、辐照室门口上方设置警示装置，发出灯光、音响信号；在加速器室、辐照室的门口外墙上方，安装声光报警装置；在出束前的 20~30s 前，发出声光报警信号，提醒现场人员注意；在此期间加速器无法施加高压出束。

**(10) 视频监控系统：**每套加速器系统安装 11 个摄像头且还有 5 个冗余设计。

摄像头安装为：加速器室 1 个；辐照室 8 个（已能覆盖辐照区所有空间）；上货区 1 个；下货区 1 个。

**(11) 通风连锁：**臭氧风机用于降低和排除臭氧等有害气体；通风系统出现故障时加速器立即停止运行；正常停机延时 T3 后关闭。

**(12) 烟雾报警连锁：**辐照室应设置烟雾报警装置，遇有火险时，立即关闭加速器。

**(13) 与束下装置联锁：**主控系统实时监控加速器的运行状况，当检测到停止高压和出束的故障时，立即停止束下装置的运行。主控系统实时查询束下装置的运行状况，当检测到束下装置停机时，立即停止高压和出束。

**(14) 警示牌：**在加速器室、辐照室的光电巡检开关下方墙体上，安装“光电巡检”警示牌；在加速器室、辐照室的声光报警设备下方墙体上，安装“声光警示”及“急停开关”警示牌；在辐照室外进货区和出货区中间墙体声光报警设备下方，安装“声光警示”警示牌；在加速器室、辐照室拉升开关下方墙体上，安装“拉绳开关”警示牌；在加速器室、辐照室内巡检复位箱下方墙体上，安装“巡检复位”警示牌；在加速器室、辐照室防误入光电开关下方墙体上，安装“光电防误入”警示牌。

#### **(15) 分区管理**

①控制二区：所有屏蔽门以内的区域，包括辐照室、加速器室等，开机时严禁人员进入和停留。

②控制一区：包括主控室、机柜室、水冷设备室及二楼走廊，非辐射工作人员不允许在此区域逗留。

③监督区：辐照车间内部、除辐照中心外的所有区域，包括未辐照临时周转区、已辐照临时周转区等。

④非限制区：辐照车间外的所有区域。

在辐照中心门口的显著位置应设置电离辐射标识及中文警示说明，在辐照室门口设置警示线。

#### **(16) 通风换气系统**

电子加速器辐照室设置排风系统，排风口位于辐照室东北墙底部和西南墙底部（两排风系统呈中心对称分布），辐照室采用自然进风方式，每个辐照室排风量为  $3000 \times 2\text{m}^3/\text{h}$ ，即每个辐照室均配备了两台  $3000\text{m}^3/\text{h}$  的排风机，一备一用，必要时两台风机可同时工作，辐照室与加速器室的体积总和为  $247\text{m}^3$ ，单台风机工作时排风次数为  $12.1\text{次}/\text{h}$ ，两台同时风机工作时排风次数为  $24.2\text{次}/\text{h}$

排风口在电子束辐照位置的侧方和下方，排风管为地埋式，位于地面下  $1.2\text{m}$ ，排

风管为直径 600mm 的圆管，风管穿墙时也在地面下 1.2m 深处穿墙，因此可以在不影响辐射防护效果的前提下，实现风管穿墙。

**(17) 穿墙管：**所有的弱电和强电的穿墙管都必须为 S 形或 U 行，且不能影响相应一侧墙体的防护效果。

**表 11 环境影响分析**

**建设阶段对环境的影响**

在建设阶段产生的污染物及治理措施如下：

**1、废气及其防治措施**

本项目建设期产生的废气主要为施工扬尘，采用洒水方式抑尘。

**2、废水及其防治措施**

施工废水：本项目施工废水主要为混凝土搅拌产生的含泥废水和基础混凝土养护废水，产生量较小，用于施工场地泼洒抑尘，不外排。

生活污水：本项目施工人员的生活污水可按每人每天用水 100L 计算，工作人员共计 20 人，80%用水成为生活污水排出，因此，生活污水量约为 1.6m<sup>3</sup>/d，可利用公司现有卫生设施处理。

**3、固废及其防治措施**

施工期固体废物主要包括建筑垃圾和施工人员生活垃圾，按每人每天 0.5kg 计算，共产生 10kg/d，按照环保部门要求，分类收集，需集中存放，定期清运至垃圾填埋场卫生填埋，建筑垃圾运送政府指定的建筑垃圾消纳场处置；施工人员生活垃圾经收集后，定期送指定的垃圾收运点，交环卫部门统一处理。

**4、噪声其防治措施**

施工期噪声污染主要由施工作业设备产生，施工单位应尽量选用低噪声、低振动的施工机械设备，同时合理布置施工场地，以控制施工噪声对周围环境的影响。

**运行阶段对环境的影响**

**1 电子束影响分析**

根据 1980 年第三次国际辐射加工会议对电子最大穿透物质厚度给出的公式：当电子能量 E<sub>电子</sub> 大于 1.0MeV 时，电子最大穿透厚度 d 由下式计算：

$$d = E_{\text{电子}} / (3\rho) \dots\dots\dots (11-1)$$

式中：

$\rho$ —穿透物质的密度，g/cm<sup>3</sup>；

d—穿透物质的厚度，cm。

本项目使用 10MeV 电子加速器，由 11-1 式计算得出电子线在混凝土（密度取 2.35 g/cm<sup>3</sup>）中最大穿透厚度为 1.42cm，本项目辐照室有效的墙体厚度至少为 250cm，完全可以屏蔽 10MeV 电子，因此，电子束对辐照室外环境的影响可以忽略不计。

## 2 感生放射性分析

一般而言，加速器的结构材料、冷却水、辐照室内的空气受到辐射的照射会引起感生放射性，其辐射水平取决与加速粒子的能量、种类、流强、被辐照的材料性质、加速器的运行时间等多种因素，绝大多数天然核素的（ $\gamma$ , n）的反应域能在 10MeV 以上，因此低于 10MeV 的电子加速器不用考虑感生放射性问题。

本项目的 2 台电子加速器的最大能量为 10MeV，正好位于考虑感生放射性的域能起始点，同时对 10MeV 的电子加速器而言，通过韧致辐射产生的有效 X 射线的能量约 6MeV，达到 10MeV 的 X 射线粒子会非常少，因此产生感生放射性的概率很低，可以说感生放射性对本项目而言是一个可以忽略的问题。

## 3 韧致辐射（X 射线）环境影响分析

本项目韧致辐射（X 射线）影响主要包括辐照室外剂量率水平和相关人员所受年有效剂量两个方面的内容，先根据所使用电子加速器的性能参数和辐照室屏蔽情况对关注点处的辐射剂量率进行预测分析，然后根据相关人员活动情况和电子加速器的年出束时间计算相关人员所受年有效剂量，并与剂量约束值进行比较，得出是否满足要求的结论。

本项目厂房内的辐照中心有两个辐照室，呈中心对称分布，而且辐照室的防护条件完全相同，因此，只要计算任一辐照室和加速器室的周围剂量率和年有效剂量符合标准的要求，另一辐照室同样也是符合标准的，下面将以一个辐照室和加速器室为例计算剂量率和年有效剂量的符合性。

本项目辐照物质使用的是加速后的电子束，电子束与物质会发生韧致辐射作用而释放出 X 射线，其能量与辐照物质的  $Z^2$  值（Z 为原子序数）成正比，即韧致辐射的 X 射线发射率随着辐照物质的不同而有较大差别，为保守估算韧致辐射的影响，当辐照的物质为高 Z 值物质时，在距辐照物质 1m 处 90° 方向的辐射剂量率为 7.9m<sup>2</sup>.Gy/（mA.min），本项目后续进行环境影响分析时，以 7.9m<sup>2</sup>.Gy/（mA.min）来作为加速器

的辐射源项，来保守估算辐射影响。

### 3.1 室外剂量率预测分析

根据各关注点位的屏蔽计算特点，把计算点位分为如下四类分别进行计算，然后进行汇总。

- 透射：辐照室（一楼）周边墙外 30cm 处；
- 散射：辐照室（一楼）迷道口；
- 散射及透射：加速器室（二楼）墙外及门外；
- 天空反散射：辐照室外的天空反散射关注点

#### 1) 辐照室墙外剂量率水平

本项目电子加速器的出束方向为竖直向下，在此过程中会产生韧致辐射，由于辐照室位于一层，且无地下室，底部剂量率不再考虑，主要分析 90° 方向（侧向）韧致辐射透射所致辐照室墙外的剂量率水平。

韧致辐射透射计算采用《辐射防护导论》P103~105、《辐射防护手册》P221~222 提供的方法进行计算。关注点处的辐射剂量率水平利用下列公式进行计算：

$$D_{\text{透射}} = 60 \times 10^6 \times \frac{I \times D_{10} \times 10^{-(x/T)}}{r^2} \dots\dots\dots (11-2)$$

式中：

$D_{\text{透射}}$ —距离辐射源 r 米处，屏蔽体外关注点的剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

60—时间单位转换系数，min 转 h 的转换系数；

$10^6$ —单位转换系数，Gy 转  $\mu\text{Gy}$  的转换系数。

I—加速器电流，mA，本项目为 2mA；

$D_{10}$ —电子束所致韧致辐射剂量率水平；当入射电子能量为 10MeV，90° 方向，距靶 1m 处，其入射电子能量取相应等效能量 6MeV，并保守假定是高 Z 靶，每 1mA 束流产生的韧致辐射剂量率水平为  $7.9\text{m}^2\cdot\text{Gy}/(\text{mA}\cdot\text{min})$ （加速器设备厂家提供）；

x—屏蔽体的有效厚度，cm，当 X 射线斜穿过墙体时，需根据墙体厚度进行折算；

T—什值层厚度，cm；90° 方向出射的韧致辐射以等效入射电子能量 6MeV 进行查询；TVL1（第一什值层厚度）为 37cm，TVL（平衡什值层厚度）为 33cm；（取自 GBZ/T201.2-2011 的附录 B）；等效入射电子能量见《辐射防护导论》P105 图 3.25。

$r$ —参考点至出束点的距离，m；

辐照室四周屏蔽墙外选取有代表性的 11 个点进行计算，这些点的位置详见图 11-1，其辐射剂量率计算结果见表 11-1。

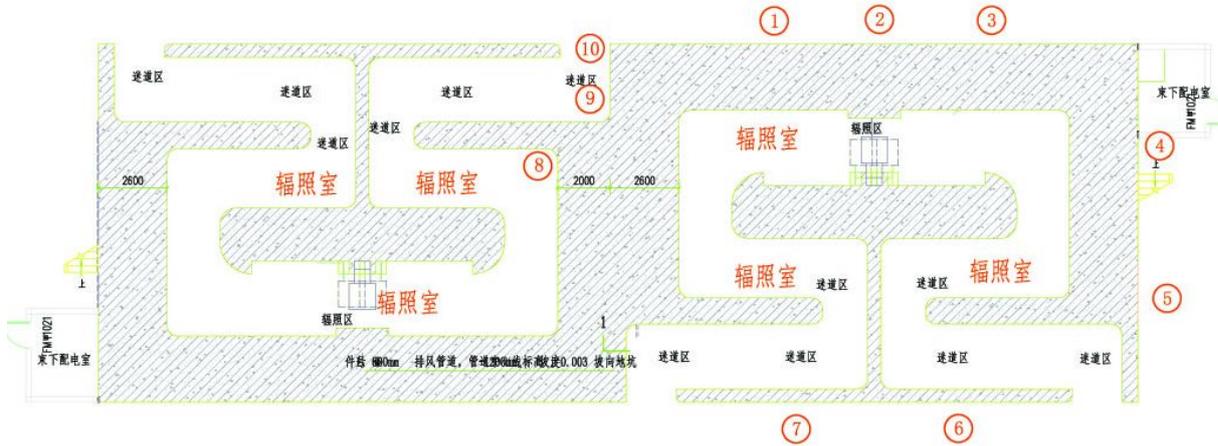


图 11-1 辐照室四周关注点位置图

表 11-1 辐照室处辐射剂量率水平

点位编号	位置描述	距离 (m)	墙厚 (cm)	材质	有效厚度 (cm)	什值层数 N	剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	计算说明
1 或 3	辐照室北墙偏外	5.5	280	混凝土	310	10.5	$1.672 \times 10^{-2}$	透射
2	辐照室北墙正外	4.1	280	混凝土	280	9.5	$2.441 \times 10^{-1}$	透射
4	辐照室东墙外	10.1	260	混凝土	260	8.8	$1.624 \times 10^{-1}$	透射
5	辐照室东南墙外	11.7	460	混凝土	640	21.9	$3.696 \times 10^{-13}$	透射
6 或 7	辐照室迷道墙外	10.2	250	混凝土	312	10.6	$4.229 \times 10^{-3}$	透射
8	隔壁辐照室	12.2	460	混凝土	460	15.7	$9.681 \times 10^{-8}$	透射
9	隔壁辐照室出口 1	10.3	260	混凝土	263	8.9	$1.267 \times 10^{-1}$	透射
10	隔壁辐照室出口 2	10.7	260	混凝土	559	19.1	$1.259 \times 10^{-10}$	透射

由表 11-1 中数据可知，辐照室墙外剂量率最大为  $2.441 \times 10^{-1} \mu\text{Gy/h}$ ，出现在辐照室

正北墙外，低于 2.5μGy/h，满足标准要求。

从上表中点位 10 的计算值可知：加速器运行时在相邻辐照室出口产生的剂量率为  $1.259 \times 10^{-10} \mu\text{Gy/h}$ ，远低于本底值，因此在后续的计算中，可以忽略加速器运行时的叠加影响。

## 2) 辐照室迷道口剂量率水平计算

辐照室迷道口辐射影响主要受到透射与迷道散射的共同作用。透射计算仍可用公式 11-2 完成；迷道散射是指韧致辐射产生的 X 射线通过墙壁的多次散射至门口。本次计算时理想化考虑，认为所有射线均有人员通道侧迷道散射至门外，计算可根据公式 11-3 (NCRP REPORT NO.51 公式 (13))、11-4 完成，从计算点位图中可以看出电子束产生的旁侧韧致辐射需经过至少四次散射，才能到达迷道外口处。

### (1) 迷道口透射剂量率计算公式

公式见 11-2 。

### (2) 迷道口散射剂量率计算公式

#### ① 散射计算公式

$$D_{\text{散射}} = 60 \cdot 10^6 \cdot \frac{I \cdot D_{10} \cdot \alpha_1 \cdot A_1 (\alpha_2 \cdot A_2)^{j-1}}{(d_i \cdot d_{r1} \cdot d_{r2} \cdots d_{rj})^2} \cdot 10^{-(x/T)} \dots\dots\dots (11-3)$$

式中：

$D_{\text{散射}}$ —迷道门外剂量率水平，μGy/h；

60—时间单位转换系数，min 转 h 的转换系数；

$10^6$ —单位转换系数，Gy 转 μGy 的转换系数。

I—加速器电流，mA，本项目为 2mA；

$D_{10}$ —电子束所致韧致辐射剂量率水平；当入射电子能量为 10MeV，90°方向，距靶 1m 处，其入射电子能量取相应等效能量 6MeV，并保守假定是高 Z 靶，每 1mA 束流产生的韧致辐射剂量率水平为  $7.9 \text{m}^2 \cdot \text{Gy} / (\text{mA} \cdot \text{min})$ （加速器设备厂家提供）；

$\alpha_1$ —第一次散射系数；根据《辐射防护导论》P105 图 3.25 可知，10MeV 电子束在 90°方向的等效入射电子能量为 6MeV，假定全部转换为韧致辐射的能量，因此，在入射角为 0°，散射角为 45°时， $1 \text{m}^2$  混凝土墙韧致辐射的散射系数为  $4.7 \times 10^{-3}$ ，详见 NCRP NO.151 报告；

$A_1$ —第一次散射面积,  $m^2$ ; 一般为测量值, 针对本项目, 取保守的最大值。即墙高取 1.9m, 长度取北侧及西侧能散射到的最大长度 9.25m (北侧墙长: 6.4m, 西侧墙长: 2.85m), 即第一次散射面积为  $17.58m^2$  ( $9.25m \times 1.9m$ );

$\alpha_2$ —第二次散射系数; 本估算模式认为, 第一次散射后至射线出迷道前的射线能量均按 0.5MeV 考虑, 入射角为  $45^\circ$ , 出射角为  $0^\circ \sim 75^\circ$  时,  $1m^2$  混凝土墙致辐射的散射系数最大值为  $22 \times 10^{-3}$ , 详见 NCRP NO.151 报告;

$A_2$ —迷道截面积,  $m^2$ ,  $5.42m^2$ , (宽: 1.9m, 长 2.85m);

$j$ —表示第  $j$  次反射过程, 本项目区 4 次;

$d_r$ —出束点到第一条迷道中心线的距离, m;

$d_{r1}, d_{r2}, \dots, d_{rj}$ —沿着每一迷宫通道长度的中心线的距离,  $d_{rj} / A_2^{1/2}$  应处于 2~6 之间;

$x$ —屏蔽体厚度, cm, 本项目迷道口没有设置有屏蔽效果的门,  $x=0$ ;

$T$ —十分之一减弱层厚度;

根据公式和选定的相关参数, 迷道口处散射剂量率计算结果见表 11-2。

### ② 散射线能量转换公式

根据联合国原子辐射效应科学委员会 (UNSCEAR) —2000 年报告附录 A, X 射线产生的散射线最大能量的计算公式如下:

$$E_s = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{0.511}(1 - \cos \theta_s)} \dots\dots\dots (11-4)$$

式中:

$E_s$ : 散射线最大能量, MeV;

$E_0$ : 入射线最大能量, MeV;

$\theta_s$ : 散射角。

### ③ 散射角 $\theta_s$ 确定方法

本项目计算迷道散射时考虑入射线与反射线在同一平面的情况, 此时,  $\theta_0 + \theta + \theta_s = 180^\circ$ , 即  $\theta_s = 180 - \theta_0 - \theta$ 。

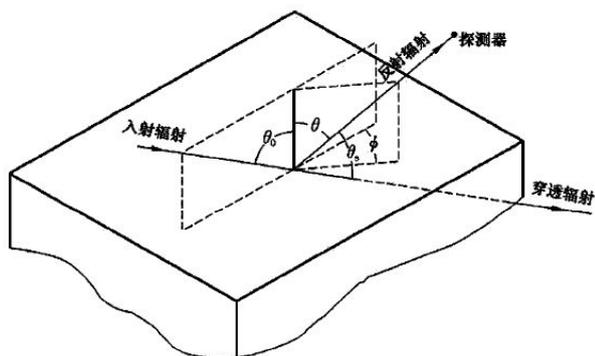


图 11-2 入射角、反射角、散射角关系图

### 迷道口剂量率计算结果

迷道口剂量率的计算需考虑透射与散射的叠加作用，辐照室迷道口位置及散射路径如下图所示，剂量率水平如表 11-2 所示：

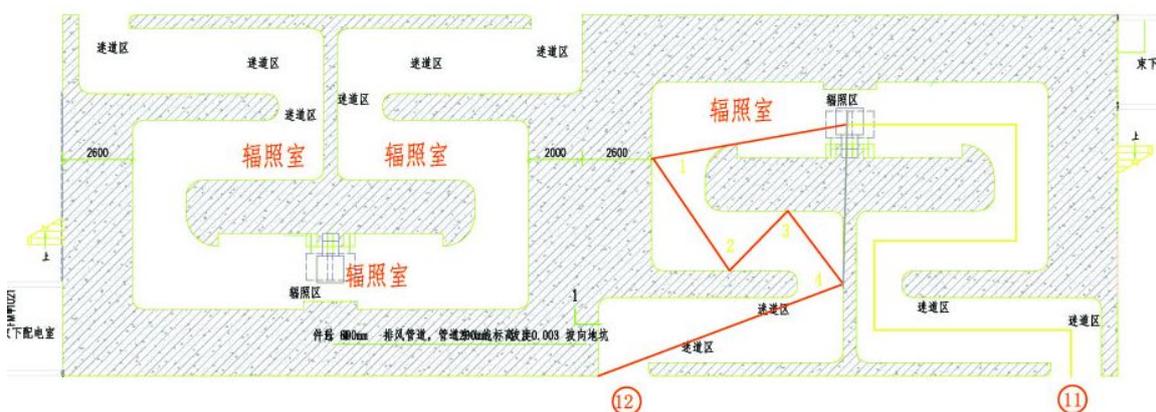


图 11-2 迷道口位置及散射路径示意图

表 11-2 迷道外门口剂量率计算

点位编号	点位描述	散射计算		透射计算	
		参数及计算结果	数值	参数及计算结果	数值
11 或 12	迷道 出口	$D_{10}$ ( $\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	7.9	$D_{10}$ ( $\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	7.9
		I (mA)	2	I (mA)	2
		$\alpha_1$	$4.7 \times 10^{-3}$	TVL1	34
		$A_1$ ( $\text{m}^2$ )	17.58	TVL	29

	$\alpha_2$	$2.2 \times 10^{-3}$	r	12.3
	$A_2$ (m <sup>2</sup> )	5.415		
	$d_i$ (m)	6.3	—	—
$d_{rj}$ (m)	$d_{r1}$	4.37	—	—
	$d_{r2}$	5.30	—	—
	$d_{r3}$	3.35	—	—
	$d_{r4}$	7.35	—	—
	$D_{\text{散射-无屏蔽门}}$ (μGy/h)	$1.03 \times 10^{-5}$	$D_{\text{透射-无屏蔽门}}$ (μGy/h)	$6.27 \times 10^6$
	迷道门总厚度	0	迷道墙总厚度 (砵, cm)	300
	迷道口散射线能量	/	迷道口透射线能量	6MeV
	迷道门等效铅厚度 $x^{\Delta 1}$	/	迷道墙等效厚度 (砵, cm)	400
	什值层数	/	什值层数	12
	$10^{-\langle x/T \rangle}$	1	$10^{-\langle x/T \rangle}$	$1.00 \times 10^{-12}$
	$D_{\text{散射}}$ (μGy/h)	$1.03 \times 10^{-5}$	$D_{\text{透射}}$ (μGy/h)	$6.266 \times 10^{-6}$
剂量率合计	$1.65 \times 10^{-5} \mu\text{Gy/h}$			

由表 11-2 可知，电子加速器透射与迷道散射所致迷道门外辐射剂量率水平为  $1.65 \times 10^{-5} \mu\text{Gy/h}$ ，低于  $2.5 \mu\text{Gy/h}$ ，满足标准要求。

### 3) 加速器室（二楼）周边关注点

加速器室（二楼）周边关注点的剂量率计算需首先考虑电子束在一楼辐照到材料上，在  $180^\circ$  方向上产生韧致辐射产生 X 射线，然后经加速器室的顶棚发生一侧散射，在加速器室的墙外，经透射产生辐射影响；而在门口处，需经两侧散射，再经过铅门处产生辐射影响。

加速器室（二楼）周边关注点的位置如下图所示，剂量率水平如表 11-3 所示。

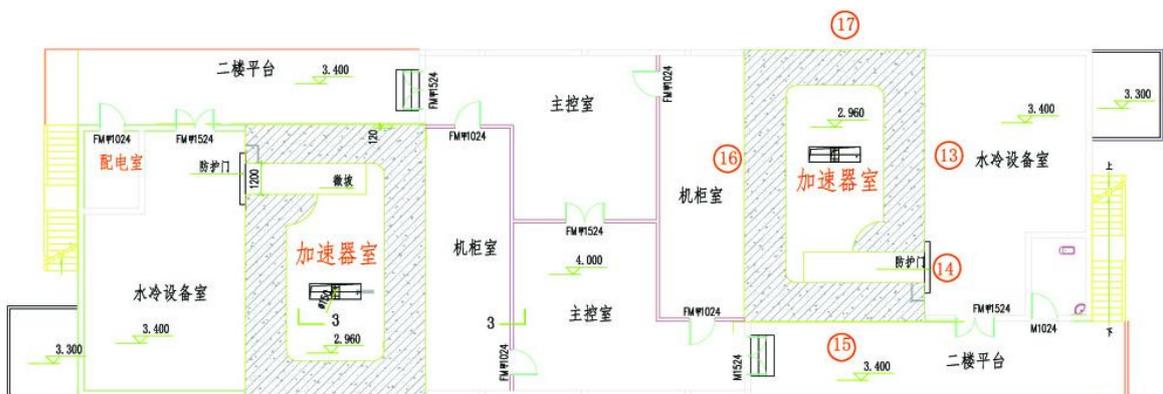


图 11-3 加速器室（二楼）关注点的位置示意图

表 11-3 加速器室周边关注点的剂量率

参数说明	东墙或西墙外	南墙或北墙外	加速器室门口
点位编号	13 或 16	15 或 17	14
D <sub>10</sub>	7.9	7.9	7.9
第一次散射系数	$2.70 \times 10^{-3}$	$2.70 \times 10^{-3}$	$2.70 \times 10^{-3}$
第一次散射面积 (m <sup>2</sup> )	1.1	1.1	1.1
第二次散射系数	/	/	$2.20 \times 10^{-3}$
第二次散射面积 (m <sup>2</sup> )	/	/	5.2
说明	只一次散射	只一次散射	二次散射
D <sub>1</sub>	3.2	3.2	3.2
D <sub>r1</sub>	2.5	4	3.5
D <sub>r2</sub>	/	/	1.2
防护材料	混凝土	混凝土	铅
厚度 (cm)	160	140	7.5
什值层厚度 (cm)	33	33	2.52
剂量率水平 (uGy/h)	0.624	0.983	0.188

由表 11-3 可知，加速器室南墙出的剂量率水平最好，为 0.983 uGy/h，低于 2.5μGy/h，

满足标准要求。

上述的预测值，是在参数保守取值的情况下的计算结果，实际的监测值可能会比预测值要小。

#### 4) 天空反散射至关注点处剂量率

电子束发生韧致辐射产生的 X 射线有可能穿透屋顶，由于大气对辐射的散射作用，使辐射源所在的建筑物周围出现一个辐射场，这种现象称为“天空反散射”。天空反散射至关注点处的剂量率采用下式估算：

$$D_{\text{天空}} = \frac{I \cdot D_{i0} \Omega^{1.3}}{0.67 \times r_1^2 r_2^2} \times 10^{-(x/T)} \times 10^6 \dots\dots\dots (11-5)$$

式中：

**错误！未找到引用源。**  $D_{\text{天空}}$ —关注点的天空反散射辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

$D_{i0}$ —电子束所致韧致辐射剂量率水平；当入射电子能量为 10MeV， $180^\circ$ 方向，距靶 1m 处的辐射剂量率水平，取  $90^\circ$ 方向的保守值  $7.9\text{m}^2.\text{Gy}/(\text{mA}.\text{min})$ ；

$I$ —加速器电流，mA；

$r_1$ —出束点到屋顶上方 2m 处的距离，m；

$r_2$ —出束点到关注点的距离，m；

$x$ —屏蔽层厚度，cm；

$T$ —十分之一减弱层厚度，cm；

$\Omega$ —X 射线源对辐照室屋顶所张的立体角，Sr。采用下式计算：

$$\Omega = 4 \arctg \frac{ab}{cd} \dots\dots\dots (11-6)$$

式中：

$a$ —辐照室长度的一半，本项目取 2.0m；

$b$ —辐照室宽度的一半，本项目取 1.8m；

$c$ —出束点到屋顶表面中心的距离，本项目取 8.0m；

$d$ —出束点到屋顶边缘的距离， $d = (a^2 + b^2 + c^2)^{1/2} = 9.12\text{m}$ ；

根据公式 11-5、11-6 和相关参数，天空反散射计算结果如表 11-4 所示。

表 11-4 关注点位天空反散射计算结果

点位	关注点位	$D_{i0}$	$\Omega, \text{sr}$	$r_1, \text{m}$	$r_2, \text{m}$	$x, \text{cm}$	$T, \text{cm}$	$D_{\text{天空}}$
----	------	----------	---------------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------	-----------------

编号	置	(Gy·m <sup>2</sup> ·mA <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )						μGy/h
18	天空反散 射点	7.9	0.213	10	15	100	29	0.050

5) 小结

点位 编号	位置区域	关注点位置说明	剂量率 (μGy/h)	计算说明
1 或 3	辐照室	辐照室北墙外	$1.672 \times 10^{-2}$	透射
2		辐照室正北墙外	$2.441 \times 10^{-1}$	透射
4		辐照室东墙外	$1.624 \times 10^{-1}$	透射
5		辐照室东南墙外	$3.696 \times 10^{-13}$	透射
6 或 7		辐照室迷道墙外	$4.229 \times 10^{-3}$	透射
8		隔壁辐照室	$9.681 \times 10^{-8}$	透射
9		隔壁辐照室出口 1	$1.267 \times 10^{-1}$	透射
10		隔壁辐照室出口 2	$1.259 \times 10^{-10}$	透射
11 或 12		迷道出口	$1.65 \times 10^{-5}$	散射和透射
13 或 16		加速器室	东墙或西墙外	0.624
15 或 17	南墙或北墙外		0.983	散射和透射
14	加速器室门口		0.188	散射和透射
18	辐照中心外	天空反散射点	0.050	反散射

通过预测分析可知，加速器室南墙外的剂量率水平最高，为 0.983μGy/h，本项目电子加速器辐照室外各参考点辐射剂量率均满足《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ141-2002)中，对于 II、IV 类γ射线辐照装置和 II 类电子束辐照装置辐照室外的辐射水平检测的测量结果应符合 GB17279 第 5 条中相关要求。即“对监督区，在距屏蔽体的可达界面 30cm 处，由穿透辐射所产生的平均剂量率应不大于  $2.5 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ ”的要求。

### 3.2 人员年有效剂量预测分析

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）—2000 年报告附录 A，本项目致工作人员及公众人员年有效剂量计算公式如下：

$$H=D \times T \times Q \times 10^{-3} \times 1 \dots\dots\dots (11-7)$$

式中：

- H：年有效剂量，mSv/a；
- D：人员所在位置的剂量率水平， $\mu\text{Gy/h}$ ；
- T：加速器年出束时间，h/a；
- Q：居留因子，根据不同位置取相应的值；
- $10^{-3}$ ：单位转换系数，mGy 转 $\mu\text{Gy}$ ；
- 1：Gy 转 Sv。

本项目职业工作人员、公众人员剂量估算结果如表 11-5 所示。

**表 11-5 职业工作人员、公众人员剂量估算结果**

点位编号	位置	辐射剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	出束时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)	工作人员类型
1	主控室	0.983	2333	1	2.29	职业工作人员
2	机柜室/水冷室	0.624	2333	1/4	0.36	职业工作人员
3	迷道入口	1.65E-05	2333	1	3.85E-05	公众
4	迷道出口	1.65E-05	2333	1	3.85E-05	公众
5	未辐照临时储存区	0.05	2333	1	0.12	公众
6	已辐照临时储存区	0.05	2333	1	0.12	公众

通过表 11-5 分析可知，加速器运行所致最大年有效剂量的职业工作人员位于主控室，其值为 2.29mSv/a，低于本报告对职业工作人员提出的 5mSv/a 的剂量管理目标值；加速器运行所致最大年有效剂量的公众人员位于临时储存区，其值为 0.12mSv/a，低于 0.25mSv/a 的剂量管理目标值要求。

因此，本项目的辐射防护能力能够满足标准要求，项目运行后对周围环境及人员活动的辐射影响是可接受的。

#### 4 有害气体影响分析

加速器室和辐照室的空气在强电离辐射作用下产生臭氧和氮氧化物，均为具有刺激性的有害气体。氮氧化物中以二氧化氮为主，其产额与电离辐射强弱有关，约占臭

氧产额的一半，且危害比臭氧小。一般人为，若臭氧浓度对环境影响可以接受，则氮氧化物浓度造成的环境影响也是可以接受的，因此本报告表仅对臭氧的环境影响进行分析。

#### 4.1 辐照室内臭氧浓度计算分析

辐照作业期间，辐照室在通风、臭氧无分解且在辐照室内均匀分布情况下，引用《粒子加速器辐射防护规定（GB5172-85）附录 E 中的公式计算辐照室内的臭氧饱和浓度。公式如下：

$$C_0 = 2.79 \times \frac{Id}{V} (1 - e^{-f/V}) \dots\dots\dots (11-8)$$

式中：

- $C_0$ —辐照室空气中  $O_3$  浓度， $mg/m^3$ ；
- $I$ —电子束流强度，mA，取最大值 2mA；
- $d$ —电子束在空气中的径迹长度，本项目取 100cm；
- $V$ —辐照室体积， $m^3$ ，本项目为  $247m^3$ ；
- $f$ —排风速率， $m^3/s$ ，本项目排风速率  $3000m^3/h$ ；
- $t$ —1，s，（设 8h 停机一次， $s=2.88 \times 10^4s$ ）。

由上式计算得出，加速器工作时，辐照室内的臭氧饱和浓度不大于  $1.27mg/m^3$ 。加速器停止工作后，臭氧不再产生，则辐照室内  $t$  时刻臭氧浓度  $C$  的计算公式如下：

$$C(t) = C_0 e^{-f/V} \dots\dots\dots (11-9)$$

式中：

- $C(t)$ —加速器停机后，辐照室内  $t$  时刻  $O_3$  浓度， $mg/m^3$ ；
- $C_0$ —辐照室内臭氧饱和浓度， $mg/m^3$ ；
- $V$ —辐照室的体积， $m^3$ ；
- $f$ —排风速率， $m^3/s$ ；
- $t$ —加速器停机后等待时间，s。

由公式 11-8、11-9 可估算出加速器停机后，通风条件下辐照室内臭氧浓度的变化情况，见表 11-6。

表 11-6 加速器停机后通风条件下辐照室内臭氧浓度表

通风时间 (min)	单台风机工作时 臭氧浓度 (mg/m <sup>3</sup> )	两台风机同时工作时 臭氧浓度 (mg/m <sup>3</sup> )	标准限值 (mg/m <sup>3</sup> )
1	1.85	1.51	0.30
2	1.51	1.01	0.30
3	1.23	0.67	0.30
4	1.01	0.45	0.30
5	0.82	<b>0.30</b>	0.30
6	0.67	0.20	0.30
7	0.55	0.13	0.30
8	0.45	0.09	0.30
9	0.37	0.06	0.30
10	<b>0.30</b>	0.04	0.30
11	0.24	0.03	0.30
12	0.20	0.02	0.30
13	0.16	0.01	0.30
14	0.13	0.01	0.30
15	0.11	0.01	0.30

由表 11-6 可知，本项目电子加速器停机后，若单台风机工作时，通风 11 分钟后，辐照室内空气中臭氧浓度为 0.24mg/m<sup>3</sup>，若两台风机同时工作时，通风 5 分钟后，辐照室内空气中臭氧浓度为 0.20mg/m<sup>3</sup>，可满足《工作场所有害因素职业接触限值 化学有害因素》(GBZ2.1-2007) 中“机房内臭氧小时平均最大容许浓度为 0.3mg/m<sup>3</sup>的要求”。

## 5、运行期的非放环境影响分析

在运行阶段产生的污染物及治理措施如下：

### 1、废气及其防治措施

辐照中心在两台加速器出束过程中，空气会因辐解产生 O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub> 等气体，每台加

速器的排风系统是相互独立的，每套排风系统由两台并联的风机组成，风机一备一用，风量均为 3000m<sup>3</sup>/h，若需尽快排出辐照室的气体，两台风机可以同时工作。

加速器连续运行时，排风口的 O<sub>3</sub> 平衡浓度为 1.27mg/m<sup>3</sup>，产生的 O<sub>3</sub> 和 NO<sub>x</sub> 产额的约为 1:0.48，因此 NO<sub>x</sub> 的排放浓度为 0.61mg/m<sup>3</sup>，远低于《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）240mg/m<sup>3</sup> 的排放要求；排风口高度为 18m，高出周围 200m 半径范围的建筑 5m 以上，也满足排放标准对排风口高度的要求。

## 2、废水及其防治措施

本项目的废水来源于工作人员产生的生活污水。

本项目工作人员的编制为 66 人，生活用水量按每人每天用水 150L 计算，则本项目每天的用水量为 9.9 m<sup>3</sup>/d，年工作日 300d/a，合计一年的用水量为 2970t/a，80%用水成为生活污水排出，因此，生活污水量的产生量为 7.9m<sup>3</sup>/d，经化粪池处理后，COD 的含量在 200mg/L~300mg/L，排入市政污水处理管网，满足《污水综合排放标准》（GB8978-1996）COD 三级排放标准的要求。

## 3、固废及其防治措施

施工期固体废物主要包括工作人员产生的生活垃圾，按每人每天 0.5kg 计算，共产生 33kg/d，按照环保部门要求，分类收集，需集中存放，由市政统一收集，定期送垃圾填埋场。

## 4、噪声其防治措施

施工期噪声污染主要来源于辐照车间的排风机噪声。本项目的风机位于辐照厂房内，且距离厂区边界有 80m 以上的距离，经距离衰减和厂房的阻隔作用，风机的噪声在厂界的噪声会满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-1990）排放限值的要求。

综上：本项目在运行阶段产生的废气、废水、固废、噪声，均得到了有效的处理，满足排放标准的要求，对环境的影响是比较小的。

## 事故影响分析

### 1 事故风险识别

本项目拟使用的工业电子加速器属 II 类射线装置，为中危险射线装置，设备在非

正常使用的情况下可能会发生以下事故：

- 1) 加速器紧急停机系统故障，误留辐照室内的工作人员无法通过紧急停机开关停机，导致人员误照射；
- 2) 加速器紧急停机系统故障，在检修期间误开机造成辐射事故，导致人员误照射；
- 3) 因加速器安全联锁系统故障，人员误入运行中的辐照区，导致人员误照射。

## 2 风险事故后果计算及评价

电子加速器只有在开机的情况下才会产生 X 射线，在断电、关机后不会产生 X 射线。如果工作人员或公众误闯或停留在正在出束的辐照室内，可能导致人员受到超过年剂量限值的照射。

不同事故情景下、人员所受照剂量的估算详见表 11-7，从表中可知：

若开机情况下人员进入辐照室的迷道口内侧被误照射，考虑照射时间 1min，迷道口内口处的剂量率水平 16.6 $\mu$ Gy/h，单次事故造成的照射剂量为 0.277  $\mu$  Sv。

若开机情况下人员进入辐照室的辐照区被误照射，考虑照射距离为 5m，照射时间 1min，该处的剂量率水平 3.79 $\times 10^7$  $\mu$ Gy/h，则单次事故造成的照射剂量为 6.32 $\times 10^5$   $\mu$  Sv。

表 11-7 事故情形下的人员受照剂量估算

事故情景	人员位置	剂量率 ( $\mu$ Gy/h)	停留时间 (min)	事故所致剂量 ( $\mu$ Sv)
加速器紧急停机系统故障或因加速器安全联锁系统故障	迷道口内侧	16.6	1	0.277
		16.6	2	0.554
		16.6	5	0.831
	辐照室内，距靶区 5m	3.79 $\times 10^7$	1	6.32 $\times 10^5$
		3.79 $\times 10^7$	2	1.26 $\times 10^6$

综上，事故情况下，人员越靠近辐照室中部电子加速器出束位置，受到的照射剂量越大。

## 3 风险事故预防措施

- 1) 加速器操作人员必须严格按照射线装置操作程序进行操作，避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射。
- 2) 出束前，确认辐照室室内无不相关人员后方可启动开机开关。
- 3) 通过采取定期检查安全联锁系统，操作人员严格遵守操作规程，完善事故应急

预案和事故防范措施等，避免辐射事故发生。

#### 4 风险事故应急措施

- 1) 发生事故时，工作人员迅速关闭电源，射线不再产生，将事故影响降至最低。
- 2) 利用紧急停机按钮，迅速中断装置出束；
- 3) 将人员撤离辐射区，并管制入口；保护工作不正常的装置，不能随意启动或改变当时的状态；
- 4) 定期组织演练，一旦发生辐射事故，立即采取相应的应急措施，使事故得到及时有效的处理；
- 5) 及时报告放射诊疗意外与事故，按国家辐射事故管理规程尽快向有关管理部门报告；
- 6) 回顾事件与事故过程，配合管理部门的事故与剂量调查和测量工作，确认人员实际受照剂量；
- 7) 查明事件与事故原因，排除故障，并经专门检验确认装置已恢复正常。按国家辐射事故管理规定结案并建立事故档案。

## 表 12 辐射安全管理

### 辐射安全与环境保护管理机构的设置

甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司成立了以总经理为组长，主管副总经理为副组长，其他相关人员为组员的辐射安全与环境保护管理机构，并制定了《辐射防护安全管理制度》、《辐照运行人员岗位责任制》等管理制度，主要包括以下内容：

- ① 彻执行国家有关放射卫生防护的规定和标准，负责公司辐射防护的监督、管理工作。
- ②完善安全连锁等各类环保设施并定期开展检查维护，配备相应监测仪器和个人防护用品。
- ③建立健全各类辐射安全管理制度，制定并完善事故应急预案。
- ④建立辐射工作环境监测制度，委托有资质单位对项目工作场所周围环境辐射水平监测（1次/年）；
- ⑤进行个人剂量监测（1次/季度）和职业健康体检（1次/年），建立个人剂量档案和职业健康监护档案，并为工作人员保存职业照射记录。
- ⑥建立年度辐射安全评估制度，向有关环境保护主管部门提交上一年度的辐射安全与防护状况自评报告。若发现安全隐患的，应当立即整改。

### 辐射安全管理规章制度

甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司已制定了辐射安全管理规定；辐射安全与环境保护管理成员机构图；辐射安全与环境保护管理机构职责；辐照运行人员岗位责任制；安全防护设施的维护与维修制度；场所分区管理规定；电子加速器安全操作规程；监测方案；监测仪器使用与检验管理制度；辐射工作人员培训制度；个人剂量监测管理规定；辐射工作人员健康档案；放射事故应急预案。各项规章制度能满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令 第3号）的要求。

按照有关规定，辐射工作人员应参加环保部门组织的辐射安全与防护培训，经考试合格后取得辐射工作人员岗位培训合格证书后，方可上岗。

本项目配备了 11 名辐照加工工作人员，拟取得辐射工作人员证。

### 辐射监测

本项目辐射监测内容主要为：

- 1) 公司配备 2 套固定式区域 x-γ 剂量率监测系统（每套六个监测点），及时掌握工作场所剂量率水平；
- 2) 公司配备 2 台便携式 x-γ 剂量率仪，能够随时测量关注点的剂量率水平；
- 2) 委托有资质的单位对辐射工作场所进行监测，1 年/次；遇特殊情况随时委托监测。主要监测点位包括，电子加速器辐照室的四周、屏蔽门、控制室等；
- 3) 每位工作人员均配备个人剂量计，定期（1 季度/次）送有资质单位进行检测。
- 4) 配备个人剂量报警仪 6 台，各个班组分时公用。

## 辐射事故应急

甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司设有辐射安全与环境保护管理机构，负责指导放射性事故的应急处理工作。

- 一、甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司定期组织人员进行放射事故应急处理现场演练；
- 二、厂区有放射事故发生时，必须立即采取相应的紧急避险措施；
- 三、发生事故后，放射卫生突发事件应急处理领导小组应当迅速安排受照射人员进行医学检查，对可能受到放射性损伤的人员采取救援措施；
- 四、领导小组向当地环保、卫生、公安部门报告事故情况；

## 验收内容

### 1 技术能力分析

#### 1.1 环保部 3 号令要求

国家环境保护部 2008 年发布的“关于修改《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的决定”（环境保护部 3 号令）第十六条提出了使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证，应当具备的八个条件，下面分别就环保部提出的八点要求及甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司所达到的条件进行对比，并给出是否符合要求的结论。

**表 12-1 环保部第 3 号令要求及公司达到条件对照表**

环保部第 3 号令第十六条提出的八点要求	公司达到的条件	结论
(一) 使用 I 类、II 类、III 类放射源, 使用 I 类、II 类射线装置的, 应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构, 或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	已设有专门的辐射安全防护管理机构, 主管副总经理为组长, 相关部门负责人为组员, 负责辐射安全与环境保护管理工作。	符合要求
(二) 从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	从事辐射工作的人员, 全部参加辐射安全培训, 并取得了辐射工作人员证。	符合要求
(三) 使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	本项目只涉及射线装置。	不涉及
(四) 放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	屏蔽门上方安装有工作状态指示灯, 门口及相关场所明显位置处设电离辐射标志及中文警示说明。	符合要求
(五) 配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器, 包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。	辐照中心配备 2 套固定式区域 x-γ 剂量率监测系统, 2 台便携式 x-γ 剂量率仪, 6 台个人剂量报警仪。	符合要求
(六) 有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	制定了各项规章制度。	符合要求
(七) 有完善的辐射事故应急措施。	制定了专门的《放射事故应急预案》。	符合要求
(八) 产生放射性废气、废液、固体废物的, 还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	本项目不产生非放及放射性的废气、废液、固体废物。	不涉及

从表 12-1 对比可知: 甘肃(武威)国际陆港辐照科技有限公司符合“关于修改《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的决定”(环境保护部 3 号令)第十六条要求应当具备的八个条件具备从事放射性活动的技术能力。

### 1.2 环保部 18 号令要求

环保部《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(环保部第 18 号令)第五条、第九条、第十二条、第十七条、第二十三条提出的要求见表 12-2。

**表 12-2 环保部第 18 号令要求及公司达到条件对照表**

环保部第 18 号令提出的要求	公司达到的条件	结论
<p>第五条 生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全连锁、报警装置或者工作信号。射线装置的生产调试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。</p>	<p>射线装置入口设置有电离辐射警示标识、安全连锁、报警装置或者工作信号，防止人员受到意外照射。</p>	<p align="center">符合 要求</p>
<p>第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。</p>	<p>每年委托有资质的单位对公司射线装置所在场所辐射水平进行监测，并出具监测报告；公司定期进行自主监测，并建立辐射环境自行监测记录或报告档案，妥善保存，以备主管部门的监督检查。</p>	<p align="center">符合 要求</p>
<p>第十二条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。</p>	<p>依法对本单位射线装置工作的安全和防护状况进行年度评估，编写年度评估报告，于每年 1 月 31 日前报送颁发辐射安全许可证机关。</p>	<p align="center">符合 要求</p>
<p>第十七条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。</p>	<p>现有辐射工作人员拟全部通过了环保部门认可的培训机构组织的辐射安全和防护培训。</p>	<p align="center">符合 要求</p>
<p>第二十三条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。</p>	<p>为所有从事射线装置操作的人员应建立个人健康档案，每季度送检个人剂量计一次，每年对从事放射性操作的人员至少进行一次健康体检。</p>	<p align="center">符合 要求</p>

从表12-2对比可知：甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环保部第18号令）中第五条、第九条、第十二条、第十七条、第二十三条的要求，具备从事放射性活动的技术能力。

## 2 项目验收内容

本项目验收内容见表12-3。

表 12-3 本项目的验收内容及要求

安全监管 验收项目		安全监管验收内容及要求
剂量率控制值及剂量 约束值		出束时,辐照室外 30cm 处的空气比释动能率不大于 2.5 $\mu$ Gy/h; 职业工作人员及公众一年所接受的有效剂量不超过 5mSv/a 及 0.25mSv/a。
臭氧浓度限值		本项目电子加速器停机后 0.5min, 在保持通风的条件下, 辐照室内空气中臭氧浓度小于 0.3mg/m <sup>3</sup> 。
辐射防 护措施	实体屏蔽 措施	①号北侧墙体为 2500mm 厚混凝土墙, 其中, 北侧墙体中部突出的部分(②号墙)为 2800mm 厚的混凝土墙; ③号西侧墙体为 4600mm 厚混凝土墙(两个辐照室共用); ⑧号东侧墙体为 2600mm 厚混凝土墙; ⑤、⑨号迷道墙为 1000mm 厚混凝土墙; ⑥、⑦号墙均为 500mm 厚混凝土墙; ④号墙为 2000mm 厚混凝土墙; ⑩号墙为 600mm 厚混凝土墙。详见图 10-1。
	辐射安全 措施	门机联锁、声光报警、紧急停机按钮、辐射监测系统等
射线装置管理 规章制度		辐射安全管理规定; 辐射安全与环境保护管理机构图; 辐射安全与环境保护管理机构职责; 辐照运行人员岗位责任制; 安全防护设施的维护与维修制度; 场所分区管理规定; 电子加速器安全操作规程; 监测方案; 监测仪器使用与检验管理制度; 辐射工作人员培训制度; 个人剂量监测管理规定; 辐射工作人员健康档案; 放射事故应急预案。
辐射工作人员		11 名工作人员全部通过环保部门组织的辐射安全和防护培训与考核, 做到持证上岗。
监测设备		固定式区域 x- $\gamma$ 剂量率监测系统(2 套)、便携式 x- $\gamma$ 剂量率仪(2 台)、个人剂量率报警仪(6 个)、每位辐射工作人员配备个人剂量计。

## 表 13 结论与建议

### 结论

#### 1 建设项目概况

本项目为甘肃（武威）国际陆港辐照中心建设项目，位于甘肃省武威市金色大道北侧，拟使用 2 台 VF-ProAcc-LN-10/20 型电子加速器（电子束最大能量 10MeV，电流 2mA），通过辐照对产品进行消毒灭菌或材料改性，建设内容主要包括一座 6500m<sup>2</sup> 的辐照厂房（厂房中央位置布置两台加速器）。

甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司之前未从事过与辐射相关的工作，没有辐射安全许可证。

#### 2 辐射安全与防护分析结论

两台加速器相邻布置，位于辐照厂房的中央，其中一层为辐照室，二层为加速器室及控制室；两台加速器呈轴形对称布置，辐照 1 室的物流出入口在南侧，辐照 2 室的物流出入口在北侧。其中辐照 1 室（一层）的北侧墙体为 2500mm 厚混凝土，东侧墙体为 2600mm 厚混凝土，西侧墙体为 4600mm 混凝土，南侧迷道墙有三堵混凝土墙，厚度分别为 2000mm、1000mm、500mm，顶板为 1060mm 混凝土；加速器 1 室（二层）的北侧墙体为 1400mm 混凝土，东侧墙体为 1600mm 混凝土，南侧墙体为 1500mm 混凝土，西侧墙体为 1600mm 混凝土，顶板为 1000mm 混凝土，门为 75mm 的铅。第二台加速器的屏蔽条件与第一台完全一致，只是方向有差别。

除实体屏蔽措施外，甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司还针对电子加速器的使用，成立了辐射安全与环境保护管理机构负责指导、监督、检查辐射防护相关工作，并制定了《辐射事故应急预案》、《辐射安全操作规程制度》、《辐射防护和安全保卫制度》等制度，以期达到保障辐射安全的目的。

#### 3 环境影响分析结论

经分析，在落实上述屏蔽措施和管理措施的情况下，辐照室墙外、门外的剂量率水最大值为 0.983  $\mu$ Gy/h，低于 2.5  $\mu$ Gy/h，满足标准要求。

通过分析可知：加速器运行所致最大年有效剂量的人员位于主控室，其值为 2.29mSv/a，低于本报告对职业工作人员提出的 5mSv/a 的剂量管理目标值；公众人员所受年有效剂量最大值为 0.12mSv/a，低于 0.25mSv/a 的剂量管理目标值要求。

本项目电子加速器停机后 0.5min，在保持通风的条件下，辐照室内空气中臭氧浓度即低于  $0.3\text{g}/\text{m}^3$ ，可满足机房内臭氧小时平均最大容许浓度为  $0.3\text{mg}/\text{m}^3$  的要求。

因此，本项目的辐射防护能力满足要求，项目运行后对周围环境及人员活动的辐射影响是可接受的。

#### 4 可行性分析结论

甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司在辐照室内使用 2 台电子加速器对物件进行辐照加工，经分析，本项目符合《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 449 号）的规定和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

在切实落实本报告表中规定的防护安全措施及各种规章制度后，甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司电子加速器项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）、《 $\gamma$ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ141-2002）等相关标准中的要求，从环境保护角度考虑本项目是可行的。

#### 建议和承诺

1. 甘肃（武威）国际陆港辐照科技有限公司应加强对工作人员和公众成员辐射防护知识的宣传教育，提高其自身安全防护意识，防止事故发生；
2. 公司应及时向环保部门派遣职业工作人员参加辐射培训，并取得培训合格证；
3. 根据要求建设项目竣工试运行三个月内需要向环保主管部门申请竣工验收，验收合格后方可正式运行。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

公 章

经办人

年 月 日

审批意见：

公 章

经办人

年 月 日