

表 1 项目基本情况

建设项目名称		电子束强化处理高浓度有机废水核技术利用项目			
建设单位		隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司			
法人代表	***	联系人	***	联系电话	***
注册地址		陕西省西咸新区泾河新城永乐镇原点大道 02 号			
项目建设地点		陕西省西咸新区泾河新城茶马大道与 X321 县道交叉路口西北角			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	***	项目环保投资（万元）	***	投资比例（环保投资/总投资）	***
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 ）	153.615
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>隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司成立于 2023 年 3 月，位于陕西省西咸新区泾河新城永乐镇原点大道 02 号，主要从事太阳能电池用单晶硅片、半导体器件的研发、制造与销售。</p> <p>2、项目由来</p> <p>隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司位于西咸新区泾河新城，是隆基公司全球建设规模最大、产能最高、技术最先进的光伏生产基地。工程运行过程中会产生大量的硅片废水，为妥善处置硅片废水，拟建设硅片废水处理站 1 座，采用电子束氧化法对硅片废水进行</p>					

辐照，使水中的污染物发生分解或降解、有害微生物发生变性等，来达到消毒净化废水的目的。

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—172、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。

隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司于 2023 年 7 月 17 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》（HJ 10.1-2016）的要求，编制完成了《电子束强化处理高浓度有机废水核技术利用项目环境影响报告表》。

二、项目概况

1、建设规模

(1) 建设内容

本项目新建 2 座电子加速器机房、1 间控制室及 1 间缓冲室，并在 2 座电子加速器机房内各安装使用 1 台***型电子加速器，主射方向竖直向下，额定电子线能量为***，额定电子束流为 66mA，每台加速器年出束时间均为 8760h，用于对硅片废水站高浓度有机废水辐照氧化处理。拟购置电子加速器相关参数见表 1-1。

表 1-1 该项目拟购置电子加速器参数

名称	型号	生产厂家	参数	射线类型	投射类型	数量	管理类别	场所
工业电子加速器	***	中广核达胜加速器技术有限公司	额定电子束能量*** 额定电子束电流 66mA	电子线	定向向下	***	II	硅片废水处理站电子加速器机房

(2) 建设规模

2 间电子加速器机房水平方向紧邻布置，电子加速器机房南侧紧邻控制室，2 间电子加速器机房总占地面积约 153.615m²（净空尺寸为：长×宽×高=14.7m×10.45m×3.85m），四面墙体、迷道、顶部和底部均为现浇钢筋混凝土结构（2.35g/cm³）。电子加速器机房东、北屏蔽墙体和顶部厚度均为 1300mm；西侧和中间屏蔽墙体厚度均为 1400mm；南侧“Π”型迷道内墙厚度为 750mm，中间墙体厚度为 400mm，外墙厚度为 500mm；底部屏蔽厚度为 1100mm；防护门为 200mm 钢防护门。项目组成见表 1-2。

表 1-2 项目组成一览表

工程名称	项目内容
主体工程	使用*****型电子加速器，用于对硅片废水站高浓度有机废水辐照氧化处理。电子加速器机房南侧紧邻控制室，2 间电子加速器机房总占地面积约 153.615m ² （净空尺寸为：长×宽×高=14.7m×10.45m×3.85m），四面墙体、迷道、顶部和底部均为现浇钢筋混凝土结构（2.35g/cm ³ ）。电子加速器机房东、北屏蔽墙体和顶部厚度均为 1300mm；西侧和中间屏蔽墙体厚度均为 1400mm；南侧“Π”型迷道内墙厚度为 750mm，中间墙体厚度为 400mm，外墙厚度为 500mm；底部屏蔽厚度为 1100mm；防护门为 200mm 钢防护门。
辅助工程	在电子加速器机房南侧设控制室，缓冲室。
公用工程	项目供电、给水、排水等依托公司厂区公用设施。
放射工作人员生活污水	厂区建设有化粪池，工作人员产生的生活污水经化粪池进行预处理后，经厂区生活污水管网排入厂外市政污水管网。
放射工作人员生活垃圾	工作人员产生的生活垃圾分类收集后，统一纳入当地垃圾清运系统。

2、工作制度及劳动定员

根据建设单位提供的资料，本项目工作人员共6人，每班2人，施行三班两倒，均为新增辐射工作人员。

***电子加速器设备均全天24h工作，年工作天数365d；每台设备年出束时间约8760h。

三、项目地理位置及周边环境关系

1、地理位置

隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司位于陕西省西咸新区泾河新城，厂区南侧为 321 县道距西安市市区约 18km，东侧距 G65 高速约 1.8km，西侧为泾河新城城区，北侧为 G312 国道，交通十分便利。厂区地理位置见图 1-1。

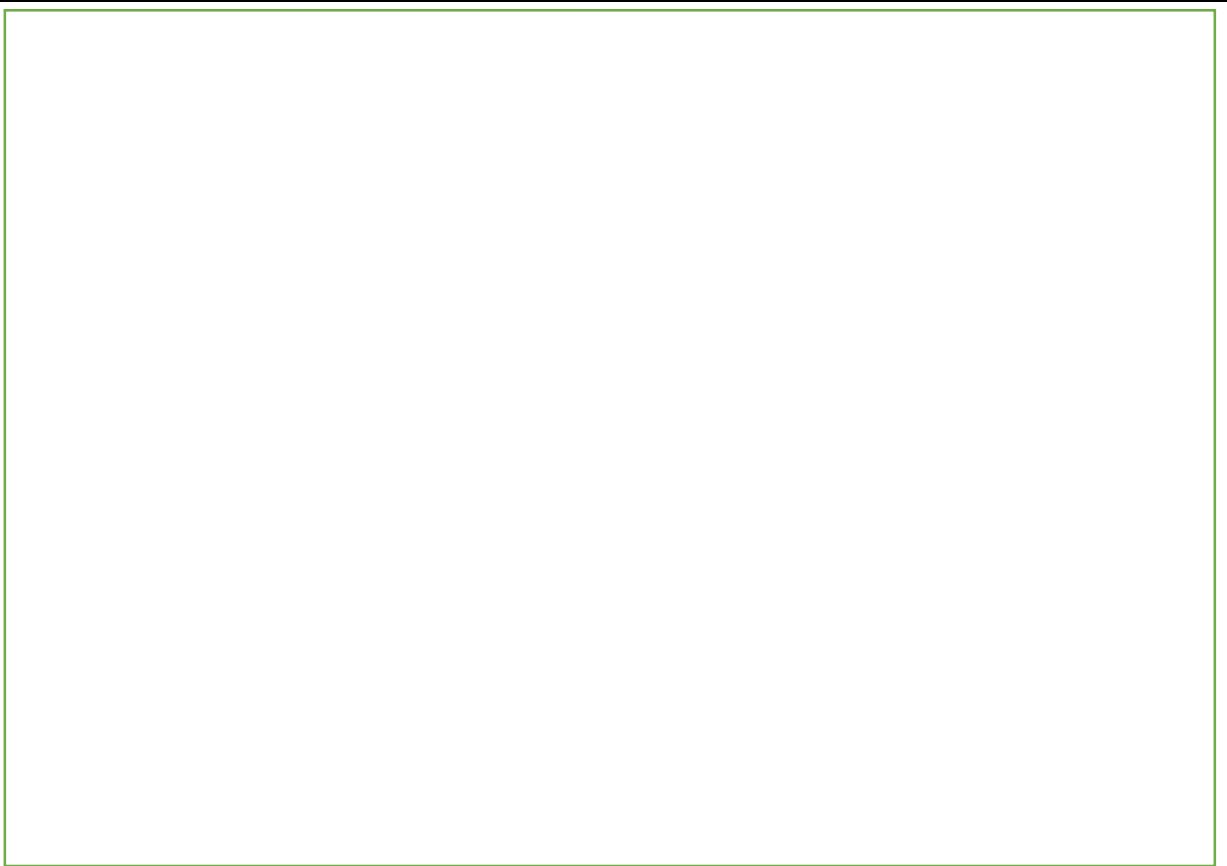


图 1-1 地理位置与交通图

2、周边环境关系及平面布置图

本项目拟建电子加速器机房建设地点位于隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司厂区东南角硅片废水处理站内。

项目拟建电子加速器机房东侧为鼓风机房及好氧池 1，东南侧依次为污泥压滤间、在线监测间，南侧依次为控制室、缓冲室、中和池及泵房、加药间，西南侧依次为芬顿进水池、双氧水设备间，西侧依次为 EB 进出水池、鼓风机房及好氧池 2，北侧为循环泵房。

项目电子加速器机房在硅片废水处理站内位置见图 1-2，拟建电子加速器机房平面布置见图 1-3，剖面图见图 1-4。

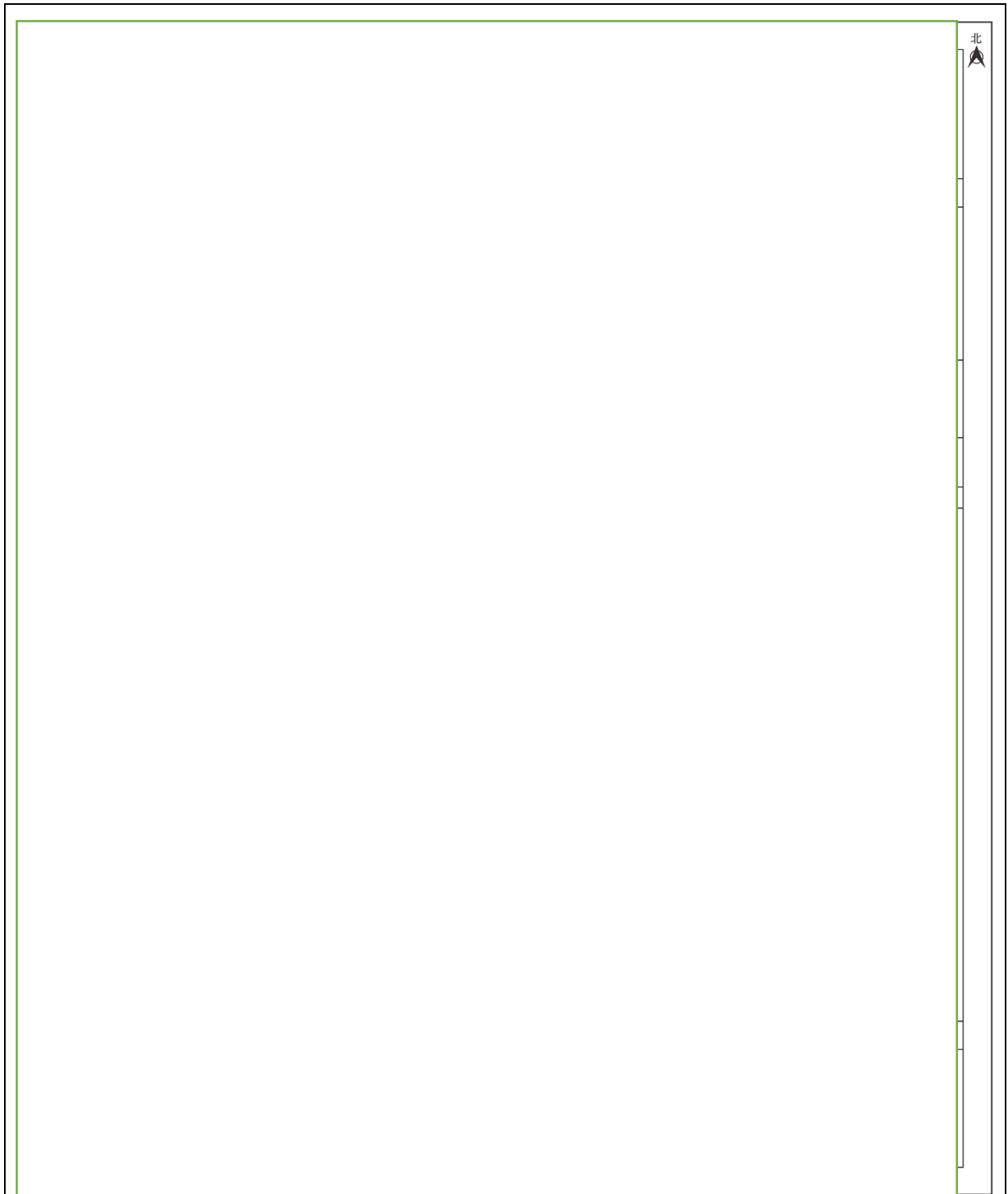


图 1-2 电子加速器机房在硅片废水处理站内位置示意图

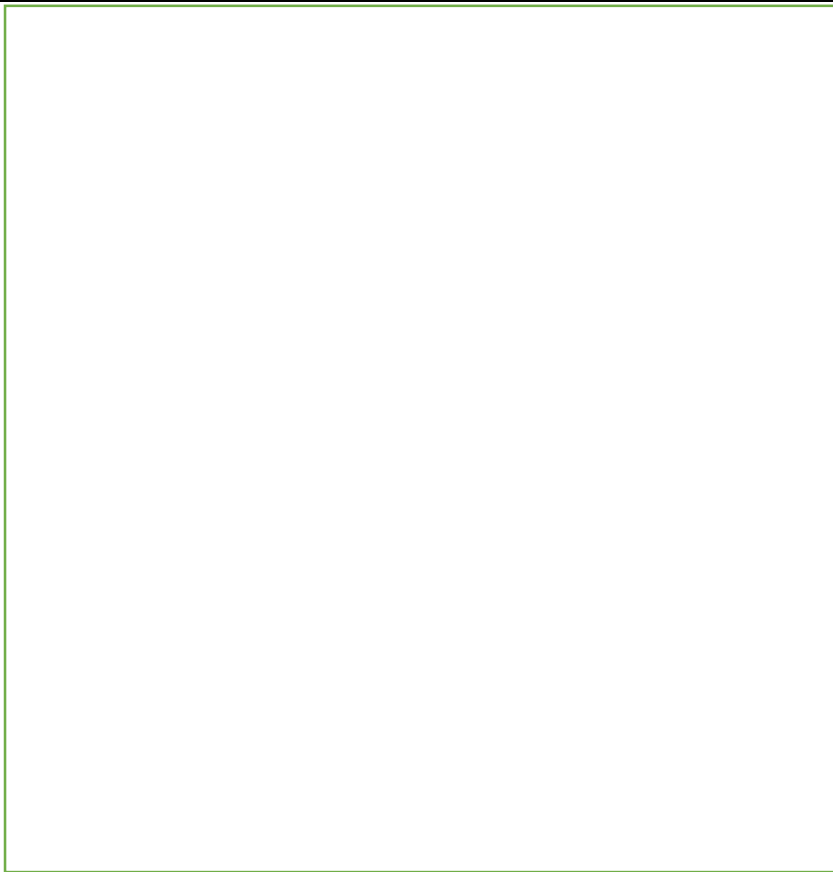


图 1-3 拟建电子加速器机房 1 层平面布置图

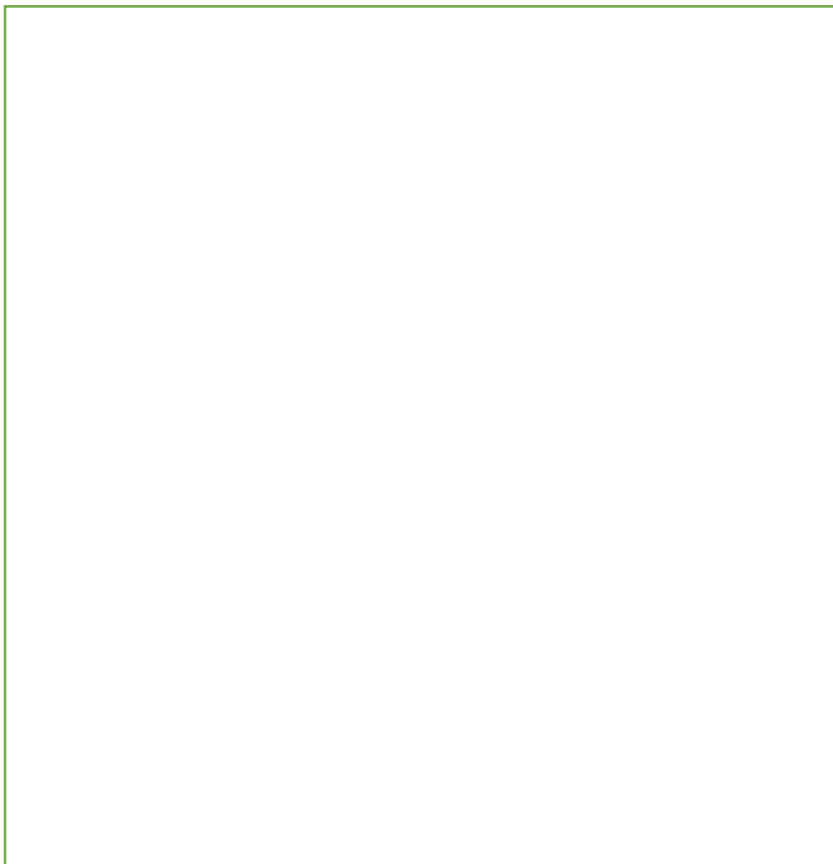


图 1-4 拟建电子加速器机房 2 层（设备间）平面布置图



图 1-5 拟建电子加速器机房 A-A 剖面图

四、产业政策符合性及实践正当性分析

1、产业政策符合性

本项目利用电子加速器对废水进行辐照氧化处理，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。

2、实践正当性

该项目利用电子束对高浓度有机废水进行辐照氧化，电子束辐照技术在污水处理方面具有清洁、高效、无二次污染等特点，能够分解处理多种污染物质。该项目加速器安装于带屏蔽的电子加速器机房内，工作时产生的 X 射线经墙体屏蔽后，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。

3、规划符合性分析

泾河新城以打造大西安北跨战略核心聚集区为功能定位，坚持“做最优生态环境、引最多优秀人才、聚最强高端产业”的发展思路；着力打造科技中心、创新中心、人才中心、休闲宜居中心，重点发展信息技术、高端制造、商贸文旅、现代农业及食品饮料加工等产业。本项目位于西咸新区泾河新城茶马大道与 X321 县道交叉路口西北角，用

地性质为工业用地。本项目拟建地位于公司厂区用地范围内，符合泾河新城规划。

五、选址合理性分析

本项目电子加速器机房拟建地点位于隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司厂区东南角硅片废水处理站内。根据现场调查，项目评价范围内无居民生活区、学校及企业办公场所等环境保护目标，因此对周围环境影响较小。从环境保护角度看，项目选址基本可行。

六、评价目的

1、通过对区域辐射环境水平基础资料的收集、分析，了解项目所在区域辐射环境背景情况；

2、对本项目*****型电子加速器辐照氧化过程中的辐射环境影响进行分析，得出采取的辐射安全防护措施能否达到防护要求，环境影响是否可接受的结论；

3、针对该项目运行中对周围环境可能产生的不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”；

4、满足国家和地方生态环境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。

七、现有核技术利用项目情况

截止本次环评，隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司未开展核技术利用项目。

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	工业电子加速器	II	***	***	电子	***	额定电子束电流 66mA	杀菌消毒	硅片废水处理站电子加速器机房内	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、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	/	通过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), 2015 年 1 月 1 日;</p> <p>(2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》, 2003 年 10 月 1 日;</p> <p>(3) 《中华人民共和国环境影响评价法》(修正), 2018 年 10 月 29 日;</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》(修订), 国务院令第 682 号, 2017 年 10 月 1 日;</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》, 生态环境部令第 16 号, 2021 年 1 月 1 日;</p> <p>(6) 《产业结构调整指导目录(2019 年本)》(2021 年修改), 国家发展和改革委员会令 2021 年第 49 号令, 2021 年 12 月 30 日;</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(修订), 国务院令第 709 号, 2019 年 3 月 2 日;</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021 年修订), 生态环境部令第 20 号, 2021 年 1 月 4 日;</p> <p>(9) 《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;</p> <p>(10) 《关于发布<射线装置分类>的公告》, 原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号, 2017 年 12 月 6 日;</p> <p>(11) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》, 生态环境部公告 2019 年第 57 号, 2019 年 12 月 23 日;</p> <p>(12) 《陕西省放射性污染防治条例》(2019 年修正), 2019 年 11 月 6 日;</p> <p>(13) 《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。</p>
------------------	---

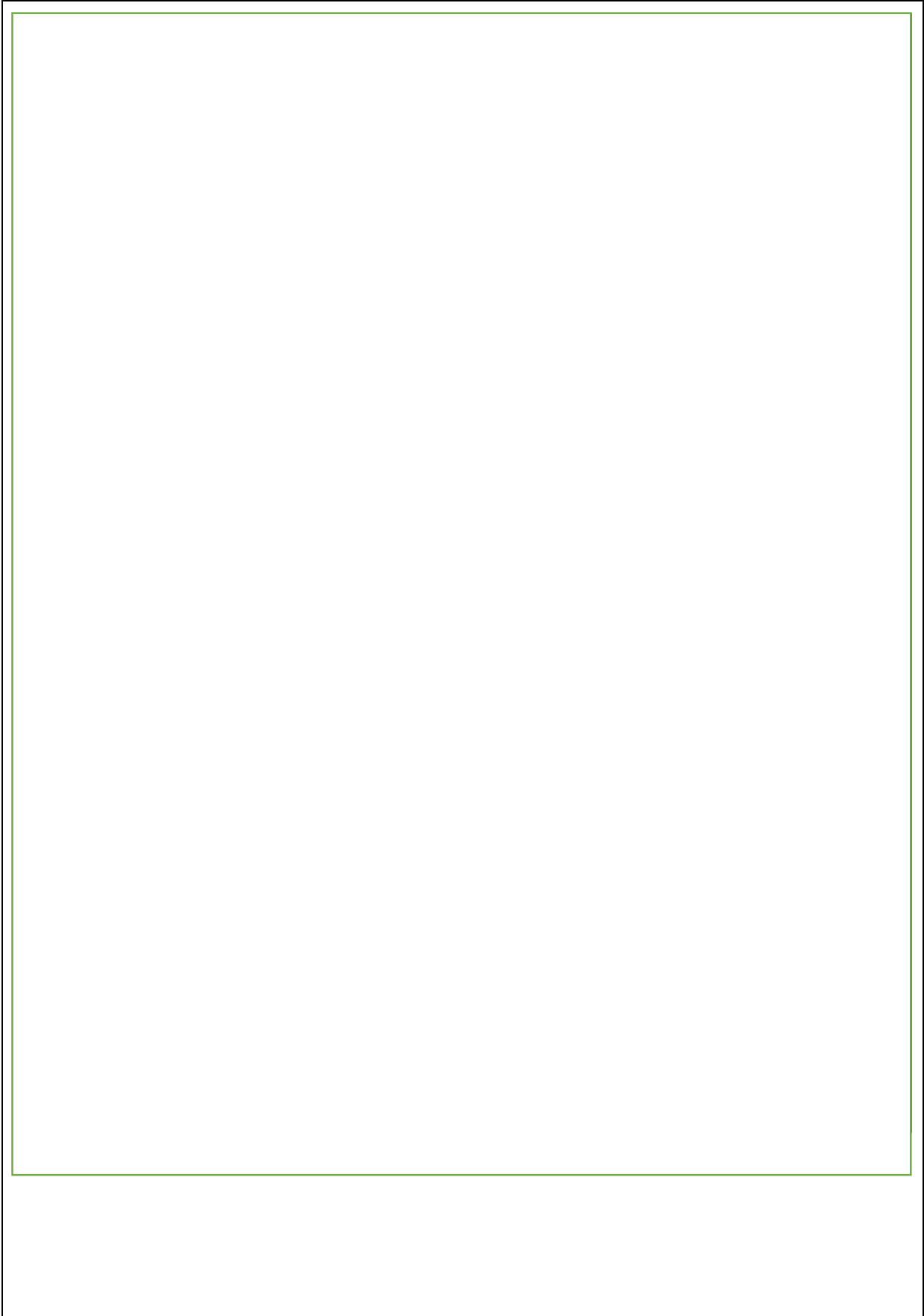
<p>技术标准</p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016);</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002);</p> <p>(3) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018);</p> <p>(4) 《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分:化学有害因素》(GBZ 2.1-2019);</p> <p>(5) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019);</p> <p>(6) 《施工场界扬尘排放限值》(DB 61/1078-2017);</p> <p>(7) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348-2008)。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 环境影响评价委托书;</p> <p>(2) 建设单位提供的其他资料。</p>

表 7 保护目标及评价标准

评价范围

本项目使用的***型电子加速器，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）”，确定本项目评价范围为电子加速器机房四周屏蔽墙体外 50m 的区域。

项目评价范围图如图 7-1 所示。



保护目标

本项目主要保护目标为电子加速器机房辐射工作人员（计划配备 6 名工作人员）及拟建电子束设备间所在硅片废水处理站内其他非辐射工作人员。本项目所在电子加速器机房为二层建筑，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)	距加速器机房最近距离		年有效剂量 控制水平
				方位	距离 (m)	
1	控制室	辐射工作人员	6	南侧	0	≤5mSv
2	缓冲室			南侧	0	
3	二层设备间			上方	0	
4	EB 出水池	公众 (废水 处理站 巡检人 员)	流动人员	西侧	0	≤0.1mSv
5	设备间		流动人员	西侧	0	
6	EB 进水池		流动人员	西侧	4.25	
7	鼓风机房及好氧池 2		流动人员	西侧	25.3	
8	芬顿进水池		流动人员	西南侧	1.05	
9	污泥棚 2		流动人员	西北侧	43.7	
10	循环泵房		流动人员	北侧	20.0	
11	污泥棚 1		流动人员	东北侧	42.1	
12	鼓风机房及好氧池 1		流动人员	东南侧	10.0	
13	污泥压滤间		流动人员	东南侧	35.4	
14	中和池及泵房		流动人员	南侧	8.9	
15	加药间		流动人员	南侧	33.2	

评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 相关要求

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐照的防护和实践中源的安全。

4.3.2 剂量限制和潜在照射危险限制

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录 B）中规定的相应剂量限值。

4.3.3 防护与安全的最优化

4.3.3.1 对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）。

4.3.4 剂量约束和潜在照射危险约束

4.3.4.1 除了医疗照射之外，对于一项实践中的任一特定的源，其剂量约束和潜在照射危险约束应不大于审管部门对这类源规定或认可的值，并不大于可能导致超过剂量限值和潜在照射危险限值的值；

6.4 辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

附录 B

B1.1 职业照射

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均）20mSv。

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv。

B1.2 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv。

b) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

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；

(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、污染物排放标准—《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）

由于臭氧目前未可执行的排放标准，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》（GBZ 2.1-2019）。即臭氧的职业接触限值得到，臭氧的最高容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

表 8 环境质量 and 辐射现状

环境质量和辐射现状

1、项目地理位置和场所位置

本项目拟建电子加速器机房建设地点位于隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司厂区东南角硅片废水处理站内。项目地理位置图见图 1-1。

2、环境质量现状

本次拟建场所辐射环境质量现状由西安志诚辐射环境检测有限公司进行监测，监测日期为 2023 年 7 月 21 日，监测报告（XAZC-JC-2023-0255）详见附件。

(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项目拟建电子加速器机房场址及场址四周相邻区域，监测点位布设情况详见图 8-1。

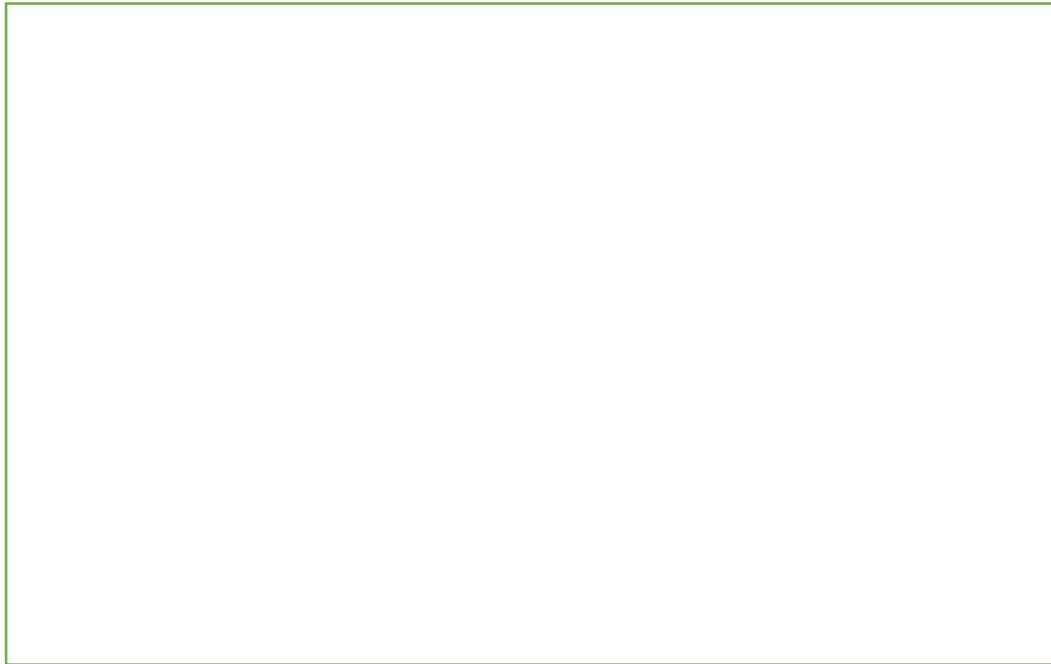


图 8-1 项目拟建场址及场址四周监测点位示意图

(3) 监测时间及环境条件

表 8-1 监测时间及环境条件

日期	时间	天气	温度 (°C)	湿度 (%)
2023 年 7 月 21 日	9:30~10:00	晴	28	61

(4) 监测仪器

本次现状监测使用仪器见表 8-2。

表 8-2 监测仪器信息一览表

监测仪器	X、 γ 剂量率仪
型号规格	HY1001
仪器编号	XAZC-YQ-042
测量范围	10nGy/h~400 μ Gy/h
检定单位	中国辐射防护研究院放射性计量站
检定证书编号	检字第[2023]-L303
检定有效期	2023.6.13~2024.6.12

(5) 质量保证措施

① 结合现场实际情况及监测点位的可达性，在项目拟建场地周边环境布设监测点位，充分考虑监测点位的代表性和可重复性，以保证监测结果的科学性和可比性；

② 严格按照《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》(HJ 1157-2021) 进行监测；

③ 监测仪器每年定期经有资质的计量部门检定、校准合格后方可使用；

④ 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；

⑤ 监测人员持证上岗；

⑥ 监测数据经三级审核，保证监测数据的准确。

(6) 环境质量现状监测结果及分析

项目拟建场所内部及四周相邻区域 X、 γ 辐射剂量率监测结果见表 8-3。

表 8-3 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 (μ Gy/h)	
		均值	标准偏差
1	项目拟建场址 1# (拟建电子束设备间 1)	0.068	0.002
2	项目拟建场址 2# (拟建电子束设备间 2)	0.065	0.002
3	项目拟建场址南侧 1# (拟建控制室)	0.067	0.002
4	项目拟建场址南侧 2# (拟建缓冲室)	0.066	0.002
5	项目拟建场址东侧 (空地)	0.065	0.002
6	项目拟建场址北侧 1# (空地)	0.061	0.002
7	项目拟建场址北侧 2# (空地)	0.063	0.002
8	项目拟建场址西侧 (拟建水池)	0.066	0.002

备注：监测结果已校准，监测结果已扣除仪器对宇宙射线响应值 0.022 μ Gy/h。

经现场监测，隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司电子束强化处理高浓度有机废水项目拟建场址及场址四周 X、 γ 辐射剂量率测量值范围为（0.061~0.068） $\mu\text{Gy/h}$ ，即（61~68） nGy/h 。

参考《中国环境天然放射性水平》（2015 年 7 月）中“陕西省咸阳市原野 γ 辐射剂量率为（48.0~68.0） nGy/h ”。经比较，本项目拟建场址及场址四周辐射环境现状监测结果属于天然辐射环境本底波动水平。

表 9 项目工程分析和源项

工程设备和工艺分析

一、工作原理及设备组成

电子束辐照技术是利用高压电场加速的电子束流对废水进行照射，高能电子与水分子相互作用，废水中水分子就会分解生成较强的氧化物质（如 e^{-1}_{aq} 、 $OH\cdot$ 、 H_2O_2 、 O^{2-} 等），这些强氧化物质与水中的污染物质（高分子物质、生物体（微生物等））相互作用，达到氧化分解废水中高分子有机物的目的。工作原理见图 9-1。

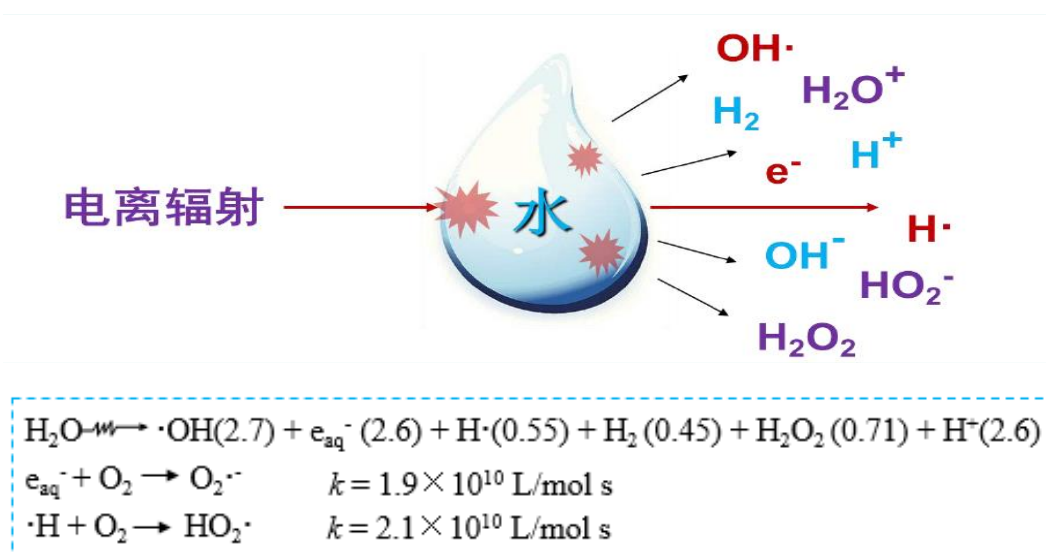


图 9-1 电子束辐照氧化技术工作原理图

本项目拟使用的电子加速器（型号***）是使电子在高真空场中受磁场力控制和电场力加速而获得高能量的特种电磁、高真空的装置，是产生高能电子束的设备。本项目电子加速器的设备主要由电子束设备间、直流高压发生器、束流加速系统、扫描引出系统、控制系统和真空系统组成，见图 9-2、9-3。

1、直流高压发生器

直流高压发生器位于主钢桶内，由高频振荡器和倍压整流芯柱组成。

(1) 高频振荡器

高频振荡器的作用是把电网的电能由工频转化为高频，其性能决定着加速器的最大束功和束功转换效率，其主要特色如下：

① 电子管振荡采用特殊设计的负高压线路把直流高压和高频输出隔离，可防止因直流电容损坏时出现的直流高压。



图 9-2 本项目电子束设备间整体结构示意图



图 9-3 ***型电子加速器主体装置示意图

② 直流高压增加双 LC 滤波电路，使输出电压的脉动系数明显下降，电源功率输出的稳定性和质量大幅提高。

③ 采用由锁相环稳频压控振荡器、移位寄存器分频、时基电路和 GAL 器件组成的脉冲列调制和输出电路。通过上述线路使得可控硅交流调压系统的稳压精度优于 1%，

响应速度更快。

④ 用风冷可控柜，使得机柜结构更安全、可靠、紧凑。

振荡器的谐振回路由钢筒内的环形自耦变压器（构成回路的电感 L ）和半圆筒高频电极与钢筒内壁和倍压芯柱之间的分布电容（构成回路的电容 C ）组成。振荡管阳极和高压变压器初级之间通过高频电缆连接。栅极所需的正反馈电压则通过置于钢筒与高频之间的耦合电容板取得。

高频变压器是高频振荡器的关键部件，其性能为：

① 高频变压器能在高频、高压和大功率负荷的条件下工作。

② 高频变压器线饼漏磁小、 Q 值高。

③ 结构紧凑、牢固，有完整详细的制作和安装工艺保证其质量。

④ 基于特制线饼技术及合理的屏蔽、匀场设计，大大降低了运行损坏，提高了加速器的束功转换效率。

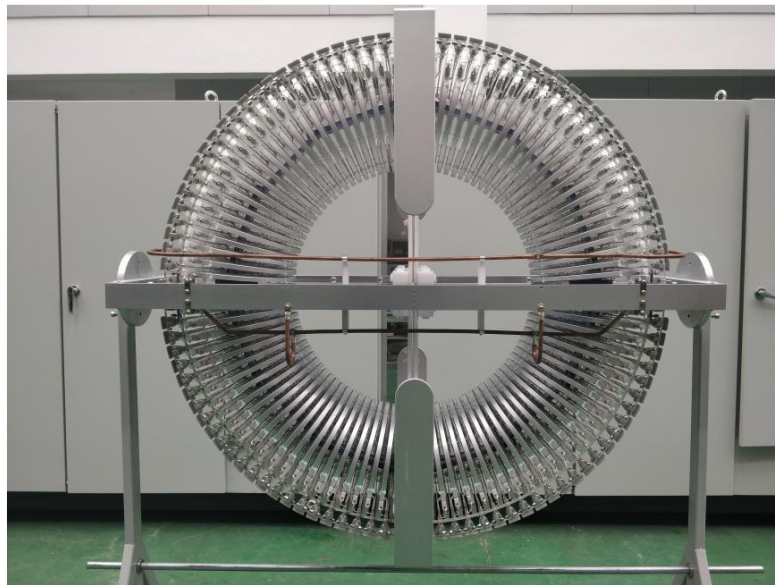


图 9-4 高频变压器

(2) 整流倍压系统

整流倍压系统是以两块垂直地固定在钢筒底板上的绝缘板为骨架，在两块绝缘板上间隔均匀地从下至上各安装一排硅堆，两排硅堆彼此依次联接组成一条螺旋上升的硅堆整流链。在每个硅堆的连接点上水平地安装一只半电晕环，两列上下整齐排列的半电量环，构成了整流倍压系统的圆柱外观，并把硅堆屏蔽在其中。对称的两列半电晕环正好与固定在钢筒内壁的两个对称的半圆筒高频电极同轴对应，每个半电晕环与高频电极之间即构成了分布电容 C_{se} 。半电晕环和高压电极之间的尺寸配合精确，其表面平滑光亮。

这种几何结构与静电加速器非常相似，其几何设计，既满足高频耦合参数的要求，也符合高压静电场的场形设计。



图 9-5 整流倍压系统

2、束流加速系统

束流加速系统位于侧钢桶内，由加速管和电子枪组成。

(1) 加速管

加速管是电子在其中成束并被加速的部件。它需要在高真空环境中稳定可靠地建立一个均匀的高梯度直流加速电场。

(2) 电子枪

在加速管的顶端安装有电子枪。电子枪采用由钨合金丝绕制的直热式盘香形阴极，钨丝直径约 0.8mm。阴极加热后发出的电子被加速管上端的引出极（也称吸极）引出成束进入加速管加速。

电子枪的供电功率由置于高压球帽内的发电机提供。发电机由固定在钢筒底座上的变频电机通过一根绝缘轴带动。改变变频电机的工作频率，即可方便快速地改变发电机的转速从而改变电子枪的加热电流，达到调节束流的目的。

3、扫描引出系统

电子束离开加速管后经漂移管进入扫描引出系统。电子束在穿过扫描磁铁组件时，在三角波磁场的作用下，进行 X 和 Y 相互垂直两个方向的扫描。最后经长条形的钛窗引出。钛窗上的钛金属膜的厚度既要有足够的强度以抵抗真空压力，又要尽量减少电子束在穿越时的能量损耗。本项目拟用电子加速器的钛膜厚度约 0.04mm。即使如此，钛箔上的能耗仍旧相当可观，因此，加速器设备沿钛窗安装有一把风刀，针对钛箔进行强风冷却。

另外，在加速管出口至扫描磁铁之间的漂移管外面，还安装有聚焦线圈和向线圈，

用以调节束流的聚焦和方向。

4、控制系统

计算机控制系统的主要功能是：监控加速器的正常运行，实施安全连锁，并与束下装置联动配合。

(1) 加速器启动运行的前提条件

- ① 冷却系统工作正常；
- ② 电子加速器机房通风系统工作正常；
- ③ 电子加速器机房防护门关闭；
- ④ 高频机柜门关闭；
- ⑤ 钢筒温度、高频机柜温度和振荡管冷却水温度达标；
- ⑥ 一般要求真空度好于 $7.5 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 。

(2) 与多个运行参数发生连锁关系

加速器在运行过程中与多个运行参数发生连锁关系，如：钢筒内发生弧放电，钢筒温度超标，高频机内部出现过热和过流，加速器出现过电压等等，当上述参数异常时计算机控制系统将自动封闭高频。

(3) 实时显示

加速器运行时，在控制屏上显示的主要参数有：能量、流强、加速管分压电流，高频振荡参数（电子管阳极电压和阳极电流）、扫描线圈电流、聚焦线圈电流、导向线圈电流等。当发生故障时，控制屏上将立刻显示故障状态和发生故障的部位。

5、真空系统

真空系统由涡轮分子泵机组和溅射离子泵机组组成。运行时先启动涡轮分子泵机组，在真空度达到溅射离子泵机组的运行条件后，再启动溅射离子泵机组。待溅射离子泵机组正常工作后，即可关闭涡轮分子泵机组。真空测量采用 B-A 规数显式真空计，真空计可向控制台输出连锁信号，以实现与真空度有关的连锁控制。

6、硅片废水供排水系统

本项目设有硅片废水供水系统和排水系统，硅片废水供水系统由水泵管道从 EB 进水池抽出，经过管道进入电子束设备间水槽内，水槽为钢结构，距离地面约 1.2m，容积约 4.6m^3 ；排水系统管道起于加速器机房水槽，经辐照处理后的硅片废水经管道排入 EB 出水池。

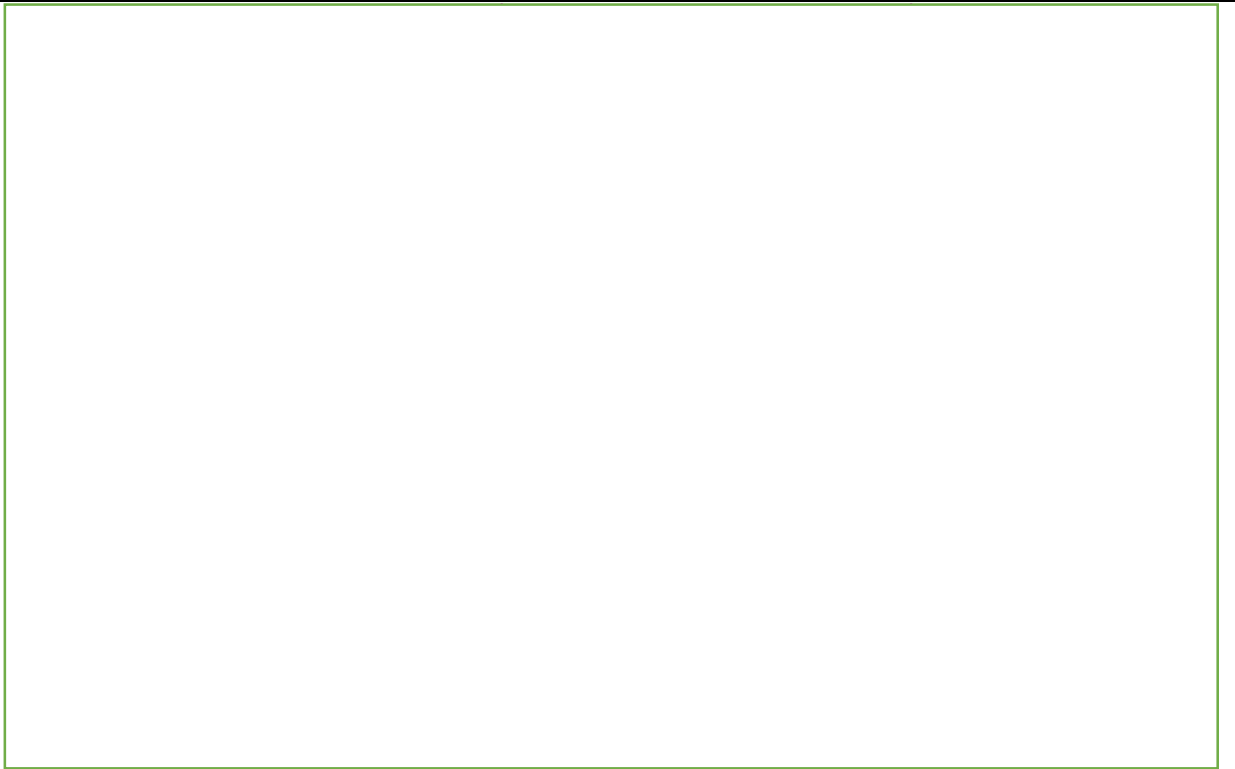


图 9-6 供排水系统示意图

二、工艺流程及产污环节

本项目在电子加速器开机出束，对硅片废水进行辐照时，加速器电子枪出束口在辐照厅内，辐射工作人员位于射线装置电子束设备间外采用隔室操作，电子束设备间可为辐射工作人员以及墙外停留或通过的人员提供足够的屏蔽防护，并可防止在开机过程中，无关人员误入电子加速器机房。辐射工作人员在工作时，均将携带处于开启状态下的个人剂量报警仪并佩戴个人剂量计。

本项目辐射工作人员使用电子加速器进行对硅片废水进行辐照的操作流程是：

- ① 开机预热，设备自检；
- ② 检查加速器及系统状态，确认设备有无异常；
- ③ 开启防护门，辐射工作人员对电子加速器机房巡视，确认无异常情况，关闭好防护门；
- ④ 开启辅助系统：冷却系统、通风系统、真空系统、监控系统、供水系统联锁等；
- ⑤ 确认相关辅助系统运行正常并再次确认无异常情况后，设置运行参数；
- ⑥ 开启供水系统，抽取硅片废水进入水槽，并开机出束，对硅片废水进行辐照；
- ⑦ 本项目正常情况下，电子加速器会长时间处于开启状态，对硅片废水进行辐照。在进行硅片废水辐照过程中，辐射工作人员只需在操作室密切关注相关仪表的参数，无

需进入电子束设备间进行任何操作。

在电子加速器开机出束对硅片废水进行辐照的过程中，电子韧致辐射会产生 X 射线，X 射线电离空气产生臭氧、氮氧化物等有害气体。产污环节示意图见图 9-7。

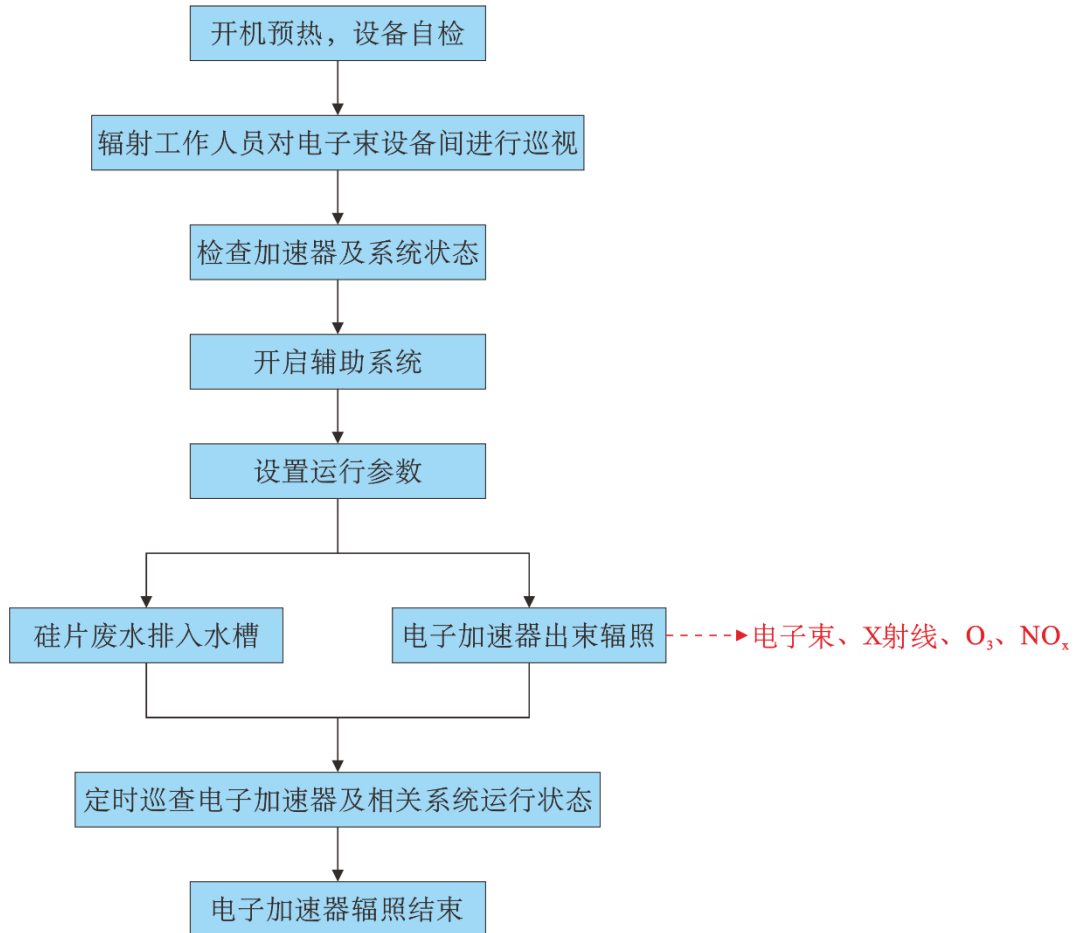


图 9-7 电子加速器工艺流程及产物环节图

由图 9-7 可知，本项目所使用电子加速器在运营中产生的主要污染为出束辐照过程中产生的电子束、韧致辐射产生的 X 射线和臭氧、氮氧化物。

污染源项描述

一、正常工况

该项目运行阶段不产生放射性“三废”，运行阶段产生的污染主要包括工作人员办公过程产生的生活废水及生活垃圾；加速器辐照过程产生X射线对周围环境产生的外照射，X射线会使空气电离产生少量O₃、NO_x；加速器配套的风机、外冷却机运行产生的噪声。

1、生活污水

本项目新增6名辐射工作人员，在办公期间会产生一定量的生活污水，生活用水量参考《行业用水定额》（陕西省地方标准DB 61/T943-2020）中附录B表B.17“行政办公及科研院所”用水定额（25 m³/人·a），6名工作人员生活用水量为150m³/a；生活污水量按用水量的80%计算，则运行期生活污水产生量为120m³/a。

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厂区给水管网，冷却水密封循环使用，不外排。

2、生活垃圾

本项目生活垃圾主要包括员工平时办公生活产生的废纸屑、瓜果皮等办公生活垃圾。参考《第一次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册》，西安市类别属五区1类城市，生活垃圾产生量按0.44kg/人·d计，因此本项目生活垃圾产生量为1.76kg/d（0.643t/a）。

3、X射线

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和被辐照废水时产生的韧致辐射（即X射线）。由于电子的贯穿能力较弱，该项目电子束设备间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。

4、O₃和NO_x

当电压为0.6kV以上时，X射线能使空气电离，本项目使用的电子加速器的工作电压为***MeV大于0.6kV，会使空气电离产生少量O₃、NO_x。

5、噪声

本项目运行阶段噪声主要为排风系统风机和外冷却机运行产生的噪声，噪声源强一般85dB（A）左右。

二、事故工况

(1) 安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入电子束设备间内，如果此时电子加速器处于运行状态，则可能造成误照事故。

(2) 电子束设备间内仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认电子束设备间内环境便运行电子加速器，则会造成电子束设备间内停留人员受误照射。

(3) 设备维护或维修调试过程中，工作人员错误操作，接通电源并出束，则可能造成误照事故。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、平面布置及分区

1、项目工作场所布局

隆基绿能光伏科技(西咸新区)有限公司厂区位于陕西省西咸新区泾河新城姚坊乡,本项目位于公司厂区内东南角硅片废水处理站内。

电子加速器主体部分安装于电子加速器机房二层的设备间内,加速器出束口通过设备间与一层电子加速器机房之间的预留窗进入加速器机房内。拟建电子加速器机房评价范围内东侧主要为污泥棚 1、鼓风机房及好氧池 1、污泥压滤间等,南侧主要为控制室、缓冲室、中和池及泵房、加药间等,西侧主要为设备间、EB 进水出水池、芬顿进水池、鼓风机房及好氧池 2 等,北侧主要循环泵房、污泥棚 2 等。本项目 50m 评价范围均位于厂区硅片废水处理站内,此区域无地下室。

2、项目分区原则及区域划分

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)规定,辐射工作场所分为控制区和监督区,以便于辐射防护管理和职业照射控制。结合《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。

本项目拟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。

(1) 控制区:一层电子加速器机房和二层设备间出入口以内的区域。电子加速器运行前,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:一层电子加速器机房周围的控制室和缓冲室以内的区域。在入口门外张贴醒目的电离辐射标识。

本项目控制区及监督区示意图见图 10-1~图 10-3。

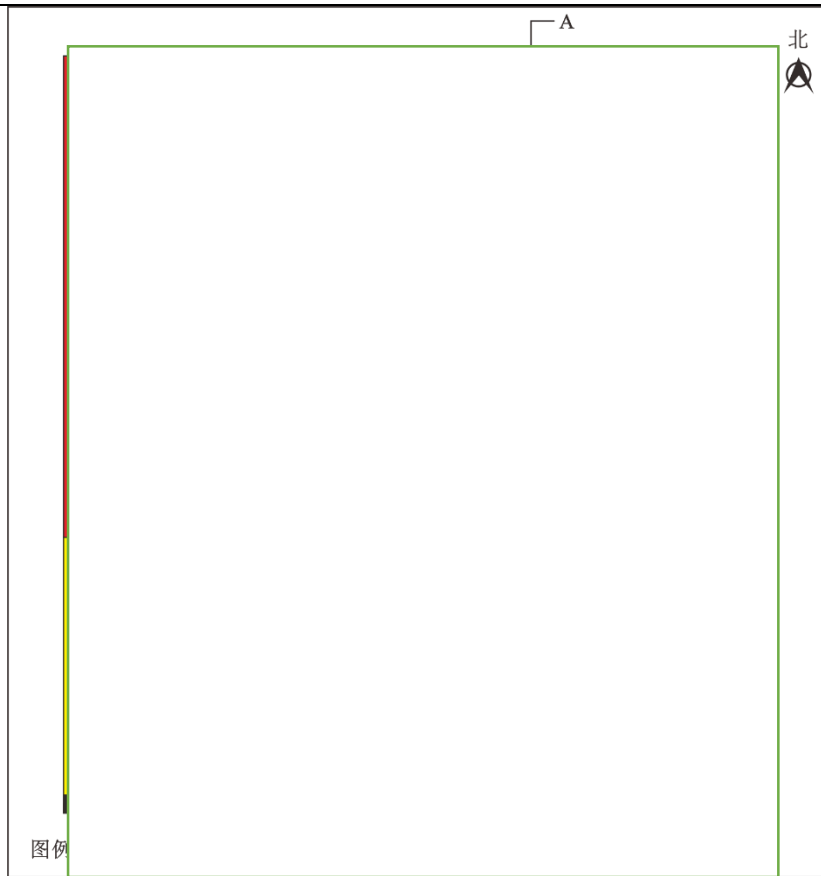


图10-1 加速器机房1层一分区示意图

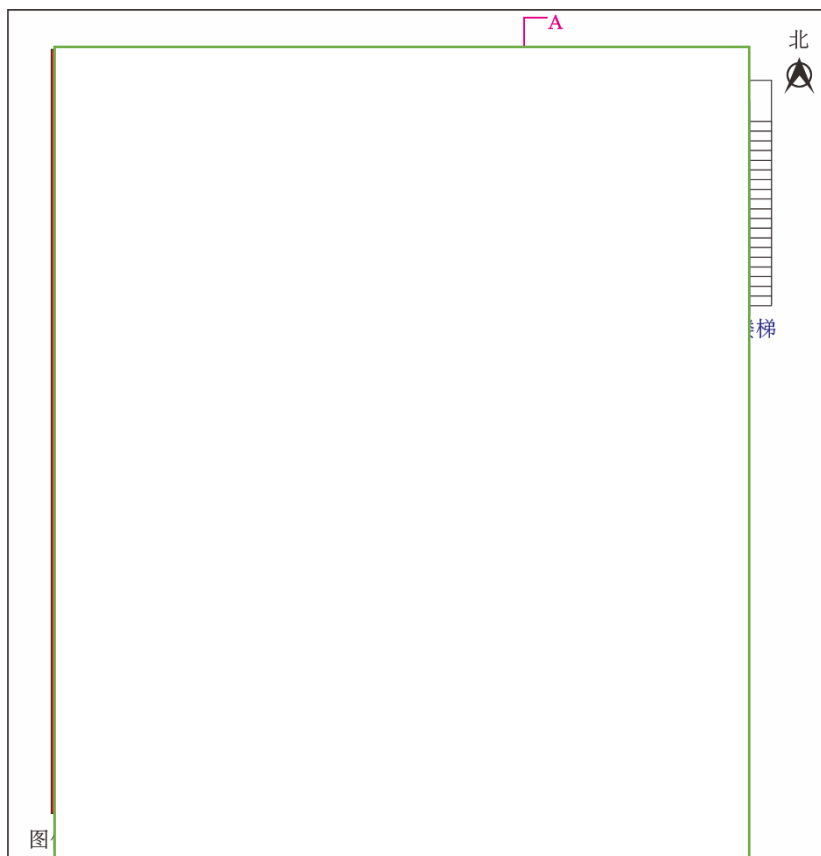


图10-2 加速器机房2层一分区示意图



图10-3 加速器机房A-A剖面一分区示意图

二、电子加速器机房辐射安全与防护情况分析

1、项目电子加速器机房的实体防护设计

电子加速器机房主要采用现浇混凝土（密度为 2.35g/cm^3 ）结构，位于地面一层，本项目电子加速器机房具体屏蔽设计见表 10-1，平面布置图及剖面布局见图 1-3~图 1-5。

表10-1 加速器机房防护设计一览表

位置	防护材料及厚度（mm）		
	加速器机房 1	加速器机房 2	设备间
西墙	1400 mm 混凝土	1400 mm 混凝土	200mm 加气混凝土砌块
东墙	1400 mm 混凝土	1300 mm 混凝土	200mm 加气混凝土砌块
南墙	“Π”型迷道，750mm+400mm+500mm 混凝土		200mm 加气混凝土砌块
北墙	1300 mm 混凝土		200mm 加气混凝土砌块
顶板	1300 mm 混凝土		200mm 混凝土楼板
底部	1100 mm 混凝土		/
尺寸大小	长 10.45m×宽 7.4m×高 5.35m		长 16.45m×宽 14.7m×高 5m
净空尺寸	长 5.7m×宽 5.3m×高 2.55m		长 16.05m×宽 14.3m×高 4.88m
防护门	200mm 厚钢防护门，高 2200mm×宽 1300mm		60mm 厚钢防护门，高 2200mm×宽 1200mm

建设单位在电子加速器机房主体施工建设时，需一次性完成浇筑，采取有效措施避免产生孔洞气泡，确保施工质量，达到预期的屏蔽效果。

2、项目拟使用电子加速器设备固有辐射屏蔽措施

本项目拟使用的*****电子加速器，是由中广核达胜加速器技术有限公司生产，该型号的加速器设备本身设计有辐射屏蔽措施（见图 10-6）：本项目主钢桶（直流高压发生器）厚度为 14mm 钢板；加速器侧钢桶（束流加速系统）的电子加速器加速管外垂直方向的辐射防护设施为 3mm 钢板+30mm 铅板+12mm 钢板，检修口为 85mm 钢板，顶部采用 90mm 钢板+60mm 铅板+15mm 钢板，底部采用 90mm 钢板；水平方向侧钢桶与主钢桶（直流高压发生器）之间的连接段辐射防护设施为 3mm 钢板+30mm 铅板+10mm 钢板；侧钢桶底部与电子加速器机房连接的区域为 400mm 钢板，两边搭接宽度均为 330mm。在电子加速器设备生产时，以上辐射屏蔽设施与加速器主体结构共同构成*****电子加速器。

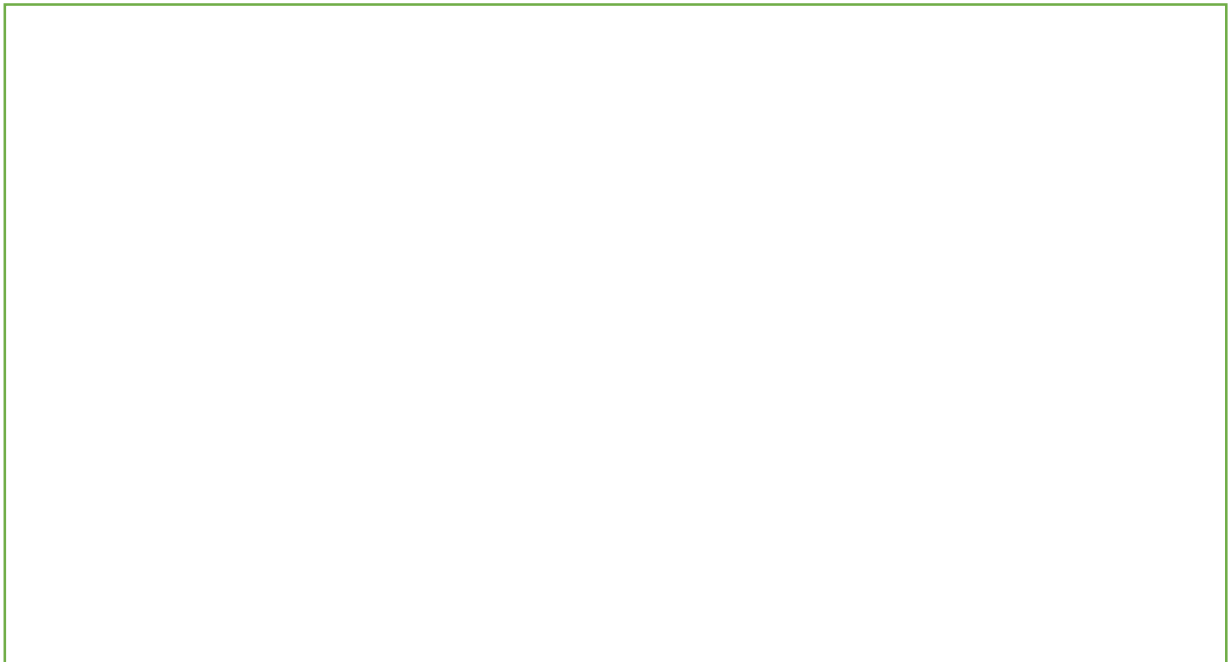


图10-4 本项目电子加速器自带辐射屏蔽结构示意图

3、通风系统

电子加速器机房排风系统采用轴流风机排风，加速器机房排气管道从机房北侧通过“U”形排风孔引出，经管道引至高于设备间屋顶的位置排放，加速器机房设计排风系统的排风量 6799m³/h，加速器机房体积约为 108.68m³，每小时换气不低于 10 次，排风管道走向见图 10-5。



图10-5 本项目排风管道走向示意图

4、辐射安全防护措施

(1) 辐射安全设计符合性分析

为保障电子加速器的安全运行，避免在加速器辐照期间人员滞留或误入电子加速器机房内发生误照辐射事故，本项目的电子加速器机房设计了相应的辐射安全装置和保护措施。本项目的辐射安全设施与《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中的条款相对照情况见表 10-2。

表10-2 该项目辐射安全防护设施情况

序号	HJ979-2018 的相关要求	该项目防护设计方案	符合性
1	<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>在电子加速器的操作室内设计有主控台。在主控台上设计有对应加速器的钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动加速器进行出束作业；钥匙开关未闭合状态时，对应加速器无法开机出束。同时，加速器的开关钥匙也是该电子加速器机房防护门开关钥匙，并且电子加速器机房防护门上的钥匙在防护门未关闭上锁的情况下，钥匙是无法取出的。当工作人员需要打开防护门进入电子加速器机房内时，该工作人员必须携带该加速器的开关钥匙。因此，加速器在开机出束时，由于开关钥匙在加速器主控制台上，防护门无法从外部打开；在防护门打开的情况下，由于开关钥匙在防护门上，加速器无法开机出束。加速器开关钥匙，拟与一个便携式辐射监测报警仪相连。建设单位规定，在设备运行过程中，只有运行值班长有权利保管和使用钥匙。</p>	符合

续表10-2 该项目辐射安全防护设施情况

序号	HJ 979-2018 的相关要求	该项目防护设计方案	符合性
2	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。	电子加速器机房的电动防护门、设备间防护门与加速器装置联锁，在防护门未关闭到位的状态下，加速器不能启动工作；在加速器高压启动后，一旦防护门被打开，联锁装置将立即切断加速器的电源，使加速器立即停止出束。	符合
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。	电子加速器将与被辐照废水的泵机系统相连。在被辐照废水未进入辐照水槽时，电子加速器无法开机出束；在被辐照废水泵机系统出现故障或者被辐照废水全部已处理结束后，电子加速器将自动停止出束。	符合
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。	在电子加速器机房的防护门外和机房内部均设计有灯光和音响警示。当开机出束前，警示灯将亮起并发出闪烁信号，音响装置将发出警示声音。 在电子加速器机房的防护门外，设计有工作状态指示灯和电离辐射警示标识，工作状态指示灯与加速器高压联锁，当加速器启动时，警示灯将亮起并发出闪烁信号，以提醒周围人员勿靠近。在二层设备间的楼梯入口处设置护栏，护栏平时上锁。只有在设备检修时才打开允许检修人员进入，平时任何人员均无法进入二层设备间。同时，在二层设备间楼梯入口处拟设置醒目的电离辐射警示标识，提醒人员勿靠近。	符合
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。	在开机出束前，辐射工作人员需先进入电子加速器机房进行巡视，巡查有无人员误留或有无其他异常，并按序按下机房内的复位键（即巡检按钮），全部复位键按下，屏蔽门关闭后，加速器方可启动；未全部按下复位键前，加速器将不能进行出束作业。	符合
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。	加速器机房在紧邻防护门的迷道区域内，设计有3道相互独立的光电装置（红外光电感应装置）并分别与加速器联锁，分别安装在迷道内3个不同高度，当有人员或者动物误入电子加速器机房，身体将任意一处红外线挡住后，若加速器处于开机状态下，将立即自动切断电源，加速器将立即停止出束，同时发出异常情况下的警示声音。	符合

续表10-2 该项目辐射安全防护设施情况

序号	HJ 979-2018 的相关要求	该项目防护设计方案	符合性
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装置，以便人员离开控制区。	辐照厅的迷道入口处、迷道出口处（屏蔽门旁）均设计有拉线开关，拉线开关距地面高度约 1.3m；在加速器主控台上同样设计有紧急停机开关。所有紧急停机开关张贴有明显的标志，供紧急停止使用。当出现紧急情况时，只需拉下任一拉线开关，则该电子加速器机房内的加速器将立即断电，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后，需将拉线开关进行复位，加速器才能重新启动。在电子加速器机房内的四面墙壁和迷道墙壁上，距离地面高度约 1.2m 处，拟设紧急停机按钮。当加速器正常启动出束作业过程中，若按下紧急停机按钮，则该电子加速器机房内的加速器将立即断电，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后，需将紧急停机按钮进行复位，加速器才能重新启动。在电子加速器机房防护门内侧，拟安装紧急开门装置。紧急情况下，机房内的人员只需按下紧急开门按钮，防护门将立即打开，若此时加速器处于出束状态，加速器将立即停止出束。	符合
8	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。	本项目拟安装固定式实时辐射剂量率监测系统，监测探头位于电子加速器机房迷道内，显示面板位于操作室内。当显示面板上的辐射剂量率大于预设值（ 预设值为 2.5μSv/h ）时，电子加速器机房的防护门将无法打开。	符合
9	通风连锁：主机室、辐照室通风系统与控制系统连锁，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。	电子加速器机房通风系统正常工作后，加速器才能出束；在通风系统未正常工作时，加速器将无法进行出束作业。在加速器正常运行过程中，当通风系统发生故障时，加速器将立即停止出束。加速器的控制软件设计有正常停机后排风系统延迟关闭和防护门延迟开启系统，即：加速器正常停止出束后，排风系统将连续工作至少 5 分钟，在 5 分钟内，即使对排风系统发出停止工作指令，排风系统仍将有效工作 5 分钟；正常停止加速器出束后 5 分钟内，即使发出打开电子加速器机房防护门的指令，机房防护门仍然无法打开，直到 5 分钟后方可开启防护门。	符合
10	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。	在电子加速器机房内排风口，拟安装烟雾报警装置。电子加速器将与火灾烟雾报警系统连锁。在加速器正常出束时，若烟雾报警装置启动报警，则电子加速器将立即停止出束，通风系统将立即停止运行。在加速器停机状态时，若烟雾报警装置启动报警，则电子加速器将无法启动进行出束，通风系统将无法开启进行通风换气。	符合
11	电子加速器机房和主机室的耐火等级不低于二级，并设置火灾报警装置和有效的灭火设施	电子加速器机房为纯混凝土材料结构，为一级耐火建筑材料，电子加速器机房有烟雾报警装置，并于加速器设备连锁，电子加速器机房内设计有手提式灭火器。	符合

根据表 10-2 可知, 建设单位提供的设计方案中计划采取的辐射安全防护措施可以满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) 中的相关要求。

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 10-3。

表10-3 辐射安全设施基本情况

名称	图标	数量	高度	位置	功能
排风系统		2套	/	机房底部西北角、东北角	排出机房内臭氧、氮氧化物
巡更装置		14个	1.2m	迷道、机房内	开机前须工作人员进入迷宫内巡视是否清场, 并按顺序按下开关, 否则无法开启加速器
门内开关		2个	1.2m	迷道口内	突发紧急情况, 停止加速器运行, 强制打开防护门
烟雾报警		2个	1层顶部	加速器机房内	烟雾报警响起, 设备紧急停机
拉线开关		4个	1.3m	迷道内	听到警铃声、仍停留在加速器机房内的人员拉下可以终止设备开
摄像头		2个	2m	迷道内	实时监控束下装置运作状态
语音报警装置		2个	2m	迷道内	开机关门前巡检语音提示
剂量仪探头		4个	1.2m	机房迷道内、控制台	检测到辐射信号超出设定值后, 禁止入内
急停开关		14个	1.2m	迷道、机房内	听到警铃声, 仍停留在迷道内人员按下可终止加速器开启
红外感应装置		6个	0.4m、0.85m、1.3m	迷道内	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
钥匙开关		2个	1.4m	加速器机房南墙外表面, 缓冲室内	进入迷宫需插入钥匙, 方可打开机房门
工作状态指示灯		2个	2.5m	机房防护门上方	显示工作状态(开机、关机、准备), 带声音报警装置

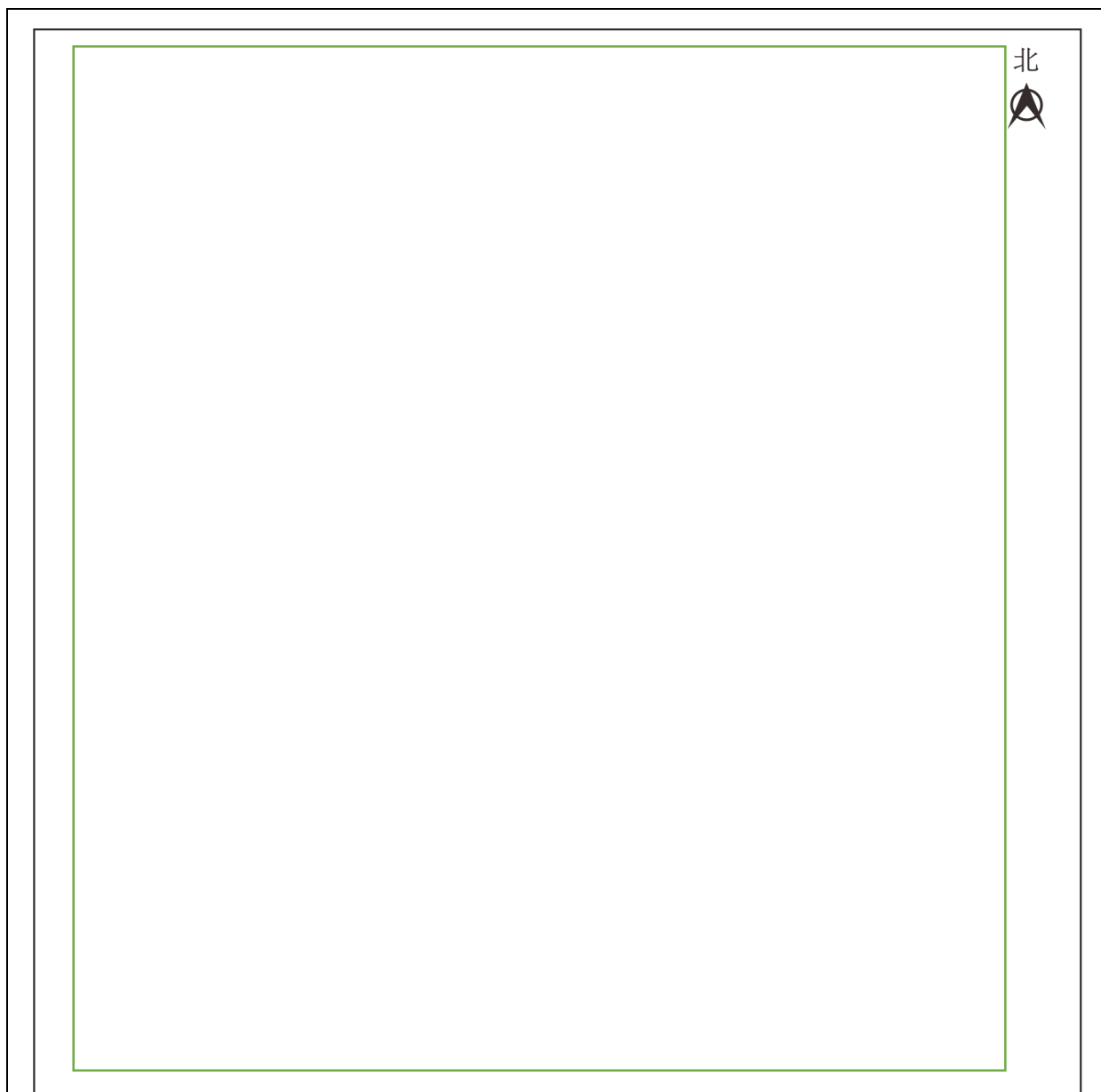


图 10-6 加速器机房辐射安全设施安装位置示意图

(2) 其他辐射安全和防护措施

本项目拟建的电子加速器具有多重设备安全联锁，如：高频供电系统、冷却系统、控制系统联锁、门灯机联锁、剂量检测联锁等，并在满足标准要求的基础上，增加了机房内实时监控系统，以确保加速器的运行安全。

① 实时监控系统

建设单位在电子加速器机房内拟设摄像监视系统，机房内图像实时显示在操作室的监控显示器上，使操作室内的工作人员可清楚地观察到电子加速器机房内的情况，如发生意外情况可及时处理。

② 加速器冷却系统联锁

电子加速器设备将与加速器各管路冷却回水的流量进行联锁，在加速器未出束时，只有当各管路冷却回水的流量正常时，加速器方可启动进行出束作业；在加速器正常运行后，各管路冷却回水的流量将实时监控，若任意管路的冷却回水流量出现异常，则系统将立即切断该加速器电源，使得机房内的加速器立即停止出束。

③ 各控制信号联锁

电子加速器将与该加速器的各控制信号进行联锁。在加速器未出束时，只有当所有控制信号均正常时，加速器方可启动进行出束作业；在加速器正常运行后，将对各控制信号实时监控，若任意控制信号出现异常，则系统将立即切断电源，使得机房内的加速器立即停止出束。

(3) 需增加的措施

① 在本项目投用后，建设单位应建立《辐射工作场所辐射安全设施维护检修制度》，定期对加速器装置上的常用设备进行检查，并做好记录，如果发现异常及时修复或者改正，确保辐射安全防护措施的有效性和稳定性；

② 在加速器机房入口（加速器机房防护门外）和二层设备间门口安装监控探头，以便及时发现无关人员闯入监督区域并及时阻止该行为。

5、安全操作要求

(1) 每次开启电子加速器进行辐照作业前，必须仔细检查安全联锁装置、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、外安装的安全防护设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、核技术利用单位辐射安全管理标准化建设

根据陕环办发〔2018〕29号《关于印发新修订的〈陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表〉的通知》，核技术利用单位应进行辐射安全管理标准化建设。根据建设单位提供资料，隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司目前尚未开展过核技术利用项目。本次环评要求在本项目建成后，建设单位需按照《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》进行辐射安全标准化建设，辐射安全管理部分内容详见表 10-4。

表 10-4 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表（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
		年初工作安排和年终工作总结时，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
		建立辐射环境安全管理档案
		对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有巡查及整改记录
	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
		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
		了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺
		熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况时，能有效处理
机构建设	设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射环境安全管理机构和负责人	

续表 10-4 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表（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
	建立辐射工作人员剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员及时复查，保证职业人员健康档案的连续有效性
	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内容），并建立维护、维修工作记录档案（包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间）
	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
	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

三废的治理

本项目***型工业电子加速器运行期无放射性废气、废水、固废产生，运行期产生的废物主要包括工作人员产生的生活垃圾和生活污水；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。

(1) 固体废物

工作人员办公及生活产生少量办公垃圾，统一收集后纳入当地环卫部门垃圾清运系统。

(2) 废水

工作人员办公及生活产生少量生活污水，公司生产厂区建设有化粪池，工作人员产生的生活污水经化粪池进行预处理后，经厂区生活污水管网排入厂外市政污水管网。

加速器冷却机冷却水为循环水，循环使用不外排。

(3) 废气

项目运行过程会产生少量的臭氧及氮氧化物，加速器机房设计有通风系统，产生的臭氧及氮氧化物通过排风管道排至硅片废水处理站，硅片废水处理站为开放的场所，产生的废气会迅速扩散，经自然分解和稀释，对环境影响很小。

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。

本项目加速器机房位于公司厂区硅片废水处理站内，加速器机房与废水站同期进行建设，且施工量较小，产生的施工扬尘主要对厂区硅片废水处理站范围产生环境影响。据现场调查，项目场址 100m 范围内均为硅片废水处理站污水处理设施，无敏感点，施工扬尘对周围环境的影响较小。

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。

本项目平均施工人员约 10 人，项目施工期间废水主要为施工人员产生的少量生活污水。生活用水量参考《第一次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册》，西咸新区泾河新城类别取五区 1 类城市，生活污水产生量按 125L/人·d，即 0.125m³/人·d，工作人员生活用水量为 1.25m³/d。施工人员产生的生活废水，可依托附近村庄的旱厕处理。

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。本项目加速器机房施工机械设备主要集中废水处理站内。根据现场勘查，本项目加速器机房周边 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。

四、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

本项目产生的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。项目产生的建筑垃圾收集后堆放于指定地点，有综合利用价值的外售给废品站，无法综合利用的建筑垃圾运往当地政府指定的建筑垃圾填埋场，严禁随意丢弃。

2、施工人员生活垃圾

本项目平均施工人员约 10 人，参考《第一次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册》，西咸新区泾河新城类别取五区 1 类城市，本项目施工人员生活垃圾产生量按 0.55kg/人·d 计，即为 5.5kg/d。生活垃圾经垃圾桶收集后统一纳入当地垃圾清运系统。

通过上述措施后，本项目施工期产生固体废弃物均可以做到合理妥善处置，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

一、辐射环境影响分析

本项目在每个电子加速器机房内分别使用一台电子加速器，型号为***型，属于 II 类射线装置，额定电子束能量为***MeV，额定电子束流为**mA。根据工艺流程与源项分析，加速器在运行过程中，主要环境影响为电子束、X 射线、臭氧。本项目电子加速器基本工作参数见 11-1。

表11-1 射线装置工作参数

设备型号	***型工业电子加速器
总供电电压	交流220V/±5%，50Hz
电子能量范围	**MeV
电子束流范围	**mA
年工作天数	365d/a
每年照射时间	8760h/a
最大照射区域	φ1600mm
主射方向	定向向下

1、电子束环境影响分析

本项目电子加速器额定电子能量为***，根据 1980 年第三次国际辐射加工会议“当 E 电子大于 1.0MeV 时，电子最大穿透厚度 d 由下式计算”：

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

式中：

ρ—穿透物质的密度，g/cm³；

d—穿透物质的厚度，cm。

由公式 11-1 计算得出电子束在混凝土（密度取 2.35g/cm³）中最大穿透厚度为 0.21cm，本项目电子加速器机房最小有效墙体厚度为 1300mm，可完全屏蔽***电子，而且电子束方向竖直向下，因此，电子束对电子加速器机房外环境的影响可以忽略不计。

2、X 射线辐射影响分析

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。

《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 11-2。

表 11-2 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)	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	7.5	10.0
前向 0°	0.008	0.26	1.3	3.3	14.0	30.0	63.2	170	450
侧向 90°	0.07	0.4	1.0	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。

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

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)

$$D_{10} = 60 \cdot Q \cdot I \cdot f_e \dots\dots\dots \text{(公式 11-3)}$$

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》(HJ 979-2018) 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 11-2 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。

$$B_x = 10^{-n} \text{ 或 } n = \log_{10}(1/B_x) \dots\dots\dots \text{(公式 11-4)}$$

计算屏蔽体厚度，可以保守地估算为：

$$S = T_1 + (n - 1)T_e \dots\dots\dots \text{(公式 11-5)}$$

式中：S—屏蔽体厚度（cm）；

T₁—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 11-3。

表 11-3 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：

$$H_{1,rj} = \frac{D_{10}\alpha_1 A_1 (\alpha_2 A_2)^{j-1}}{(d_1 \cdot d_{r1} \cdot d_{r2} \dots d_{rj})^2} \dots\dots\dots \text{（公式 11-6）}$$

式中：α₁——入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数；

α₂——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；

A₁——X 射线入射到第一散射物质的散射面积（m²）；

A₂——迷道的截面积（m²）；

d₁——X 射线源与第一散射物质的距离（m）；

d_{r1}, d_{r2}... 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：

$$H = \frac{2.5 \times 10^{-2} (B_{xs} D_{10} \Omega^{1.3})}{(d_i d_s)^2} \dots\dots\dots \text{（公式 11-7）}$$

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 (11-8) 计算：

$$\Omega = 4\arctan \left(\frac{a \cdot b}{c \cdot d} \right) \dots\dots\dots \text{(公式 11-8)}$$

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***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。加速器机房及设备间四面墙体仅考虑侧向（相对电子束 90°方向）X 射线的屏蔽；加速器机房迷道出入口和设备间防护门处考虑散射辐射；加速器机房外 20m 处考虑天空反散射剂量。

1、加速器机房屏蔽体厚度校核及屏蔽体外透射辐射剂量率

加速器机房外计算点为 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，***入射电子在距靶 1m 处侧向 90°的 X 射线发射率为 $1.0\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。本项目被辐照的物质为水，位于不锈钢材质的水箱内，90°方向的修正系数 f_e 取铁材料对应的系数 0.5，该项目电子加速器束流强度最大为 66mA，根据公式 (11-3)，加速器机房距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率为：

$$D_{10} (90^\circ) = 60 \times 1.0 \times 66 \times 0.5 = 1980 \text{ m}^2 \cdot \text{Gy/h}$$

依据表 11-3，***入射电子在侧向屏蔽能量取相应等效能量 1.0MeV。

2、设备间（主机室）加速器束流损失所致 X 射线发射率

本项目设备间（主机室）加速器束流损失所致 X 射线发射率采用类比分析，详见表 11 第 5 章节。

3、加速器机房屏蔽墙外剂量率估算

(1) 关注点选取

屏蔽墙体外 30cm 处、防护门外 30cm 处。加速器机房外关注点详见图 11-1。

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 11-4。

表 11-4 防护墙和防护门材料在 X 射线不同能量下的 T_1 和 T_e (单位: cm)

入射电子能量	1.0MeV		0.5MeV	
	T ₁	T _e	T ₁	T _e
普通混凝土	18.5	15.0	15.2	11.9
铁	5.5	5.0	3.8	3.3
铅	1.5	2.6	0.5	1.2

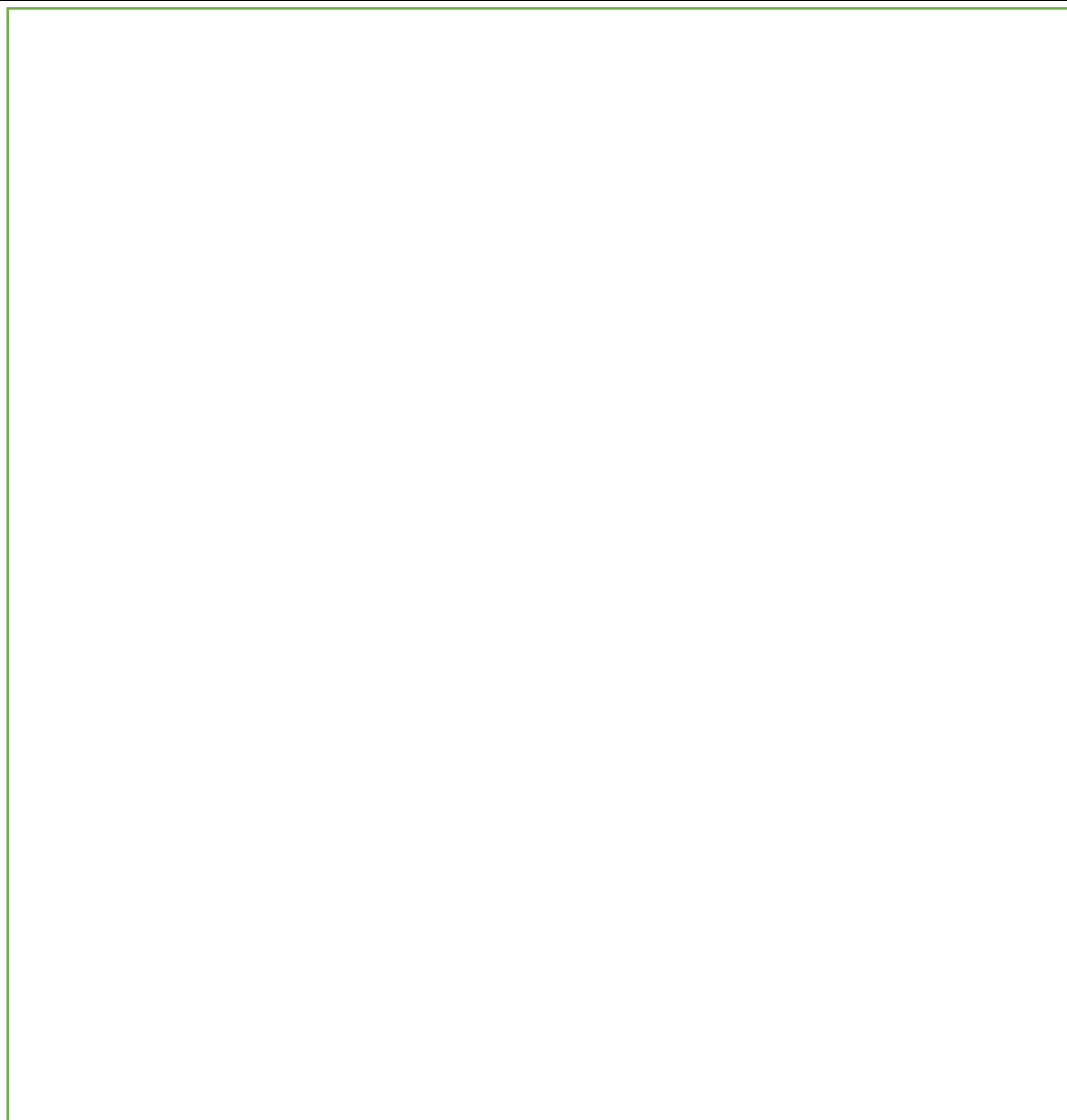


图 11-1 加速器机房 1 层关注点示意图

(2) 加速器机房各关注点屏蔽厚度及剂量率核算

电子加速器机房内加速器运行时，电子束位于电子加速器机房内水槽上方，出束口距离地面约3.0m，辐照水槽距离地面约1.2m，韧致辐射主要由水槽产生。因本项目电子加速器出束方向竖直向下，电子加速器机房正下方无地下室；机房正上方为二层设备间，基本无人员停留，因此，对电子加速器屏蔽体厚度校核仅考虑电子加速器周围和机房顶部。

加速器机房各关注点墙体厚度核算结果见表11-4和11-5，加速器机房各关注点剂量率估算结果见表11-6。

表11-4 加速器机房1关注点墙体厚度核算结果

关注点	位置	距离 (m)	居留 因子	D ₁₀ (Gy/h)	H _M (μSv/h)	有效墙厚 (cm)		是否符合
						理论值	设计值	
A-1	北墙外30cm处 (中部)	4.7	0.25	1980	2.5	混凝土108	混凝土 130	符合
B-1	西墙外30cm处 (设备间)	3.9	0.25	1980	2.5	混凝土111	混凝土 140	符合
C-1	南墙外30cm处 (西部)	6.63	1	1980	2.5	混凝土113	混凝土 125	符合
D-1	南墙外30cm处 (中部)	6.35	1	1980	2.5	混凝土113	混凝土 165	符合
F-1	东墙外30cm处 (机房2)	4.8	0.25	1980	2.5	混凝土108	混凝土 140	符合
G-1	北墙外30cm处 (东部)	6.11	0.25	1980	1.25	混凝土109	混凝土 130	符合
一层机房顶部外30cm处		2.95	1	1980	2.5	混凝土123	混凝土 130	符合

备注：关注点G-1同时受***加速器辐射影响，叠加后的剂量率限值为2.5μSv/h，单台设备机房外的剂量率限值保守取1.25μSv/h计算。

表11-5 加速器机房2关注点墙体厚度核算结果

关注点	位置	距离 (m)	居留 因子	D ₁₀ (Gy/h)	H _M (μSv/h)	有效墙厚 (cm)		是否符合
						理论值	设计值	
G-1	北墙外30cm处 (西部)	5.57	0.25	1980	1.25	混凝土111	混凝土 130	符合
H-1	北墙外30cm处 (中部)	4.7	0.25	1980	2.5	混凝土108	混凝土 130	符合
I-1	西墙外30cm处 (机房1)	3.9	0.25	1980	2.5	混凝土111	混凝土 140	符合
J-1	南墙外30cm处 (西部)	6.63	1	1980	2.5	混凝土113	混凝土 125	符合
K-1	南墙外30cm处 (中部)	6.35	1	1980	2.5	混凝土113	混凝土 165	符合
M-1	东墙外30cm处 (空地)	4.7	0.25	1980	2.5	混凝土108	混凝土 130	符合
一层机房顶部外30cm处		2.95	1	1980	2.5	混凝土123	混凝土 130	符合

备注：关注点G-1同时受***加速器辐射影响，叠加后的剂量率限值为2.5μSv/h，单台设备机房外的剂量率限值保守取1.25μSv/h计算。

根据表11-4、表11-5估算结果可以看出，该项目一层2个加速器机房设计墙体厚度均

可以满足防护要求。

表11-6 加速器机房外各关注点剂量率估算结果

关注点	位置	辐射源	距离(m)	D ₁₀ (Gy/h)	H _M (μSv/h)	墙体屏蔽厚度(cm)	计算H(μSv/h)	H _总 (μSv/h)
A-1	北墙外30cm处 (中部)	机房1	4.7	1980	2.5	混凝土130	0.330	0.330
		机房2	8.18			混凝土270	5.06×10 ⁻¹¹	
B-1	西墙外30cm处	机房1	3.9	1980	2.5	混凝土140	0.103	0.103
		机房2	10.6			混凝土280	6.50×10 ⁻¹²	
C-1	南墙外30cm处 (西部)	机房1	6.63	1980	2.5	混凝土125	0.358	0.358
		机房2	11.78			混凝土230	1.13×10 ⁻⁸	
D-1	南墙外30cm处 (中部)	机房1	6.35	1980	2.5	混凝土165	8.40×10 ⁻⁴	8.40×10 ⁻⁴
		机房2	9.63			混凝土230	1.70×10 ⁻⁸	
G-1	北墙外30cm处 (东部)	机房1	6.11	1980	2.5	混凝土130	0.196	0.431
		机房2	5.57			混凝土130	0.235	
H-1	北墙外30cm处 (中部)	机房1	8.18	1980	2.5	混凝土270	5.06×10 ⁻¹¹	0.330
		机房2	4.7			混凝土130	0.330	
J-1	南墙外30cm处 (西部)	机房1	8.05	1980	2.5	混凝土208	7.11×10 ⁻⁷	0.358
		机房2	6.63			混凝土125	0.358	
K-1	南墙外30cm处 (中部)	机房1	9.03	1980	2.5	混凝土190	8.95×10 ⁻⁶	8.49×10 ⁻⁴
		机房2	6.35			混凝土165	8.40×10 ⁻⁴	
M-1	东墙外30cm处 (空地)	机房1	11.4	1980	2.5	混凝土270	2.61×10 ⁻¹¹	0.330
		机房2	4.7			混凝土130	0.330	
一层机房顶部外30cm处		机房1	7.32	1980	2.5	混凝土270	6.32×10 ⁻¹¹	0.839
		机房2	2.95			混凝土130	0.839	

4、迷道散射及防护门的屏蔽计算

(1) 迷道散射及迷道口直射计算

对于迷道散射辐射,选取加速器机房迷道口(防护门)外30cm处的剂量率进行估算,散射路径见图11-2。



图11-2 加速器机房迷道口关注点示意图

根据公式(11-6)，对于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} 。加速器机房迷道散射计算的 D_{10} 取值为1980Gy/h。

A_1 为第一次散射宽度与高度的乘积，之后的散射面积均为迷道宽度与高度的乘积。根据图11-2。迷道散射面积如下。

迷道散射面积： A_1 为 $(0.4+0.139) \times 2.85=1.536\text{m}^2$ ， $A_2= A_3= A_4=2.85 \times 0.9=2.565\text{m}^2$ 。

机房迷道散射面积估算见表11-7，迷道散射剂量率估算结果见表11-8，迷道口处直射剂量率估算结果见表11-9。

表11-7 机房迷道散射面积估算结果

位置		迷道宽度m	迷道高度m	散射面积 m^2
加速器机房	散射面积	A_1	0.4+0.139	1.536
	迷道截面积	A_2	0.9	2.565
		A_3	0.9	2.565
		A_4	0.9	2.565

表11-8 机房迷道散射剂量率估算结果

参考点	散射次数j	路径 d1, dr1, dr2, dr3, dr4	散射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
E-1	4	3.8, 4.4, 1.3, 5.2, 0.97	1.71×10^{-7}
L-1	4	3.8, 4.4, 1.3, 5.2, 0.97	1.71×10^{-7}

表11-9 加速器机房迷道口处直射剂量率估算结果

关注点	位置	辐射源	距离 (m)	居留因子	D ₁₀ (Gy/h)	H _M (μSv/h)	墙体屏蔽厚度 (cm)	计算H (μSv/h)	H _总 (μSv/h)
E-1	机房1迷道口处	机房1	7.43	1	1980	2.5	混凝土115	1.32	1.38
		机房2	7.39				混凝土135	6.20×10 ⁻²	
L-1	机房2迷道口处	机房1	12.18	1	1980	2.5	混凝土255	1.32	1.32
		机房2	7.43				混凝土115	2.88×10 ⁻¹⁰	

由表11-8、表11-9可知，加速器机房迷道入口处散射剂量率为1.71×10⁻⁷μSv/h，迷道口处直射辐射剂量率最大为1.38μSv/h，叠加后为1.38μSv/h。

(2) 防护门的屏蔽计算

根据表11-7和11-8计算结果，迷道口处直射和散射的辐射剂量率叠加后为1.38μSv/h，已满足小于2.5μSv/h的要求，加速器机房的防护门设计为200mm钢材质，因此经防护门屏蔽后的辐射剂量率仍满足小于2.5μSv/h的要求，因此防护门厚度符合要求。

本项目加速器额定能量为1.5 MeV，直射X射线能量为1.0MeV，铅的T₁和Te值分别为5.5cm，5.0cm。根据公式11-4、公式11-5和H=H₀·B_x，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 (μSv/h)	S (cm)	T ₁ (cm)	Te (cm)	H (μSv/h)
1.38	20	5.5	5.0	1.74×10 ⁻⁴

根据表11-6和表11-8估算结果可以看出，加速器机房墙体及防护门外各关注点处周围剂量当量率最大值为0.839μSv/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”。

5、二层设备间类比分析与评价

(1) 绵阳中科绵投环境服务有限公司***电子加速器类比数据

绵阳中科绵投环境服务有限公司电子束强化处理垃圾填埋场渗滤液项目使用一台***卧式角尺型半自屏蔽电子加速器用于垃圾渗滤液氧化处理，加速器最大能量***，电流为66mA。

*****电子加速器，是由中广核达胜加速器技术有限公司生产，该型号的加速器设备本身设计有辐射屏蔽措施：设备主钢桶（直流高压发生器）厚度为14mm钢板；加速器侧钢桶（束流加速系统）的电子加速器加速管外垂直方向的辐射防护设施为3mm钢板+30mm铅板+12mm钢板，检修口为85mm钢板，顶部采用90mm钢板+60mm铅板+15mm

钢板；底部采用90mm钢板；水平方向侧钢桶与主钢桶（直流高压发生器）之间的连接段辐射防护设施为3mm钢板+30mm铅板+10mm钢板；侧钢桶底部与电子加速器机房连接的区域为40mm钢板，两边搭接宽度均为330mm。在电子加速器设备生产时，以上辐射屏蔽设施与加速器主体结构共同构成*****电子加速器。

本项目选择已运行的绵阳中科绵投环境服务有限公司目前使用***电子加速器进行类比分析，比较情况见表11-9。

表11-9 加速器自屏蔽类比对象可行性分析

类比条件	现有***电子加速器自屏蔽防护	评价加速器自屏蔽防护	可类比性
型号	***1.5/66-1600	***1.5/66-1600	相同
最大能量	***	***	相同
电流	***	***	相同
主钢桶防护厚度	14mm钢板	14mm钢板	相同
侧钢桶防护厚度	侧面：3mm钢板+30mm铅板+12mm钢板；	侧面：3mm钢板+30mm铅板+12mm钢板；	相同
	检修口：85mm钢板	检修口：85mm钢板	相同
	顶部：90mm钢板+60mm铅板+15mm钢板	顶部：90mm钢板+60mm铅板+15mm钢板	相同
	底部90mm钢板	底部90mm钢板	相同
侧钢桶与主钢桶连接段防护厚度	3mm钢板+30mm铅板+10mm钢板	3mm钢板+30mm铅板+10mm钢板	相同

由表11-9可知，绵阳中科绵投环境服务有限公司目前使用***电子加速器与本次新建的***电子加速器的最大能量和电流均相同；加速器主钢桶、侧钢桶等采取的自屏蔽防护材料及厚度均相同，具有可类比性。

类比绵阳中科绵投环境服务有限公司目前使用***电子加速器竣工验收监测数据见表11-10。监测时加速器运行工况为电子束能量***、电流40mA。

表11-10 类比绵阳中科绵投环境服务有限公司*电子加速器辐射剂量率监测结果**

点位	测量位置	曝光		未曝光	
		测量值	标准差 (S)	测量值	标准差 (S)
1	控制室墙面	0.12	0.01	0.09	0.01
2	控制室人员操作位	0.11	0.01	0.09	0.01
3	防护门左缝	0.12	0.01	0.09	0.01
4	防护门表面	0.09	0.01	0.09	0.01
5	防护门右缝	0.12	0.01	0.10	0.01

续表11-10 类比绵阳中科绵投环境服务有限公司***电子加速器辐射剂量率监测结果

点位	测量位置		曝光		未曝光	
			测量值	标准差 (S)	测量值	标准差 (S)
6	东北侧墙面		0.12	0.01	0.08	0.01
7	东侧排风机处		0.11	0.01	0.09	0.01
8	东南侧墙面		0.11	0.01	0.09	0.01
9	西南侧墙面		0.12	0.01	0.10	0.01
10	楼上主机厅	侧钢筒四周	0.12	0.01	0.10	0.01
		距地面约1m	0.10	0.01	0.10	0.01
11	北侧办公用房办公室内		0.10	0.01	0.10	0.01

注：以上检测数据均未扣除仪器宇宙射线响应值。

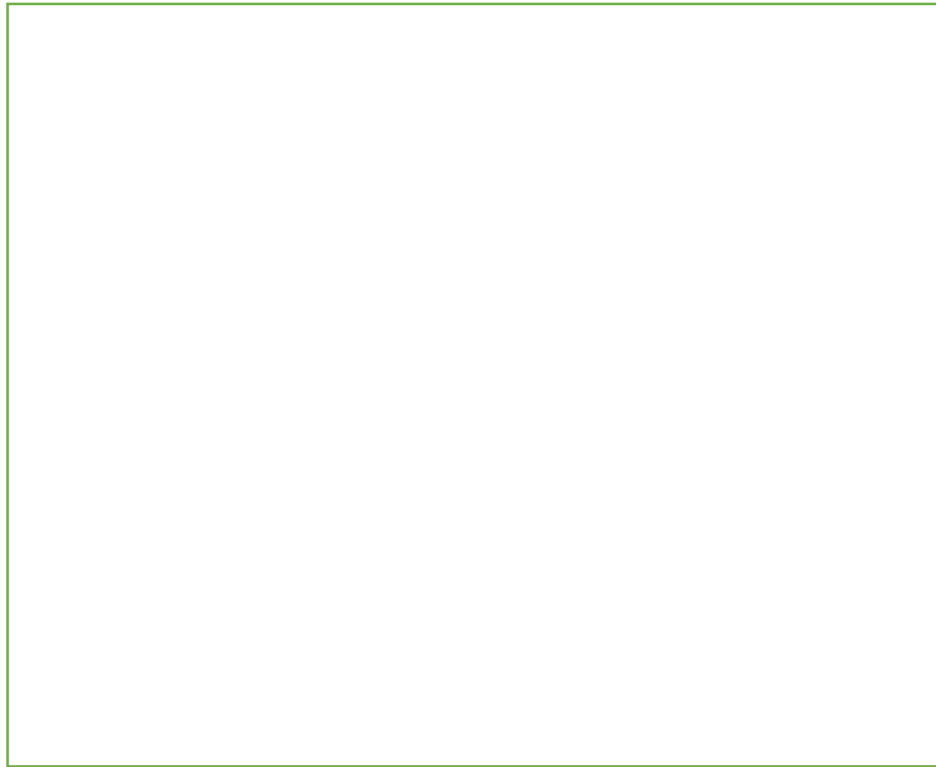


图 11-3 类比电子加速器监测点位示意图

根据类比监测数据可以看出，绵阳中科绵投环境服务有限公司***未曝光状态下，加速器侧钢筒四周X-γ辐射剂量率测量值为0.10μSv/h，曝光状态下，加速器侧钢筒四周X-γ辐射剂量率测量值为0.12μSv/h；因此加速器工作状态下，加速器侧钢筒外的泄露辐射剂量率贡献值为0.02μSv/h。

本项目加速器设备自屏蔽设计厚度与绵阳中科绵投环境服务有限公司目前使用***加速器自屏蔽防护厚度相同，类比监测工况（电子束能量***、电流40mA）与该项目计

划使用电子加速器技术参数（电子束最大能量***、电流66mA）相比电子束能量相同，电流小于最大额定电流。

根据电流与辐射剂量成正比关系，则在最大额定工况（电子束能量***、电流66mA）下，加速器侧钢桶四周辐射剂量率贡献值为0.033 μ Sv/h。根据前文计算，加速器散射至二层设备间（一层顶部外30cm处）内的辐射剂量率最大为0.839 μ Sv/h，叠加侧钢桶散射至设备间的辐射剂量率后最大为0.872 μ Sv/h。

本项目设备间防护设计为200mm加气混凝土砌块墙体和60mm厚钢防护门，侧钢桶中心点距设备间墙体和防护门外表面30cm处最小距离为3.9m，本项目设备间内安装***电子加速器，保守不考虑设备间墙体屏蔽衰减和距离衰减的情况下，设备间墙体或防护门外表面30cm处辐射剂量率贡献值不超过0.872 μ Sv/h。

因此本项目运行后，电子加速器机房二层设备间屏蔽体外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2.5 μ Sv/h”的要求。

6、个人剂量估算

个人年有效剂量当量计算模式如下：

$$E=H\times T\times U\times N \dots\dots\dots \text{（公式 11-9）}$$

式中：

E—辐射外照射人均年有效剂量，mSv/a；

H—辐射剂量率， μ Sv/h；

T—年工作时间，h；

U—居留因子；

N—转换系数， 1×10^{-3} 。

根据建设单位供的资料，本项目运行后，电子加速器每天24小时持续运行，每年工作365天，年工作时间为8760h。

由于侧钢桶底部与电子加速器机房连接区域使用400mm钢板分隔，且与一层屋顶混凝土层搭接宽度均为330mm；加速器侧钢桶（束流加速系统）的电子加速器加速管外垂直方向的辐射防护设施为3mm钢板+30mm铅板+12mm钢板、顶部采用90mm钢板+60mm铅板+15mm钢板、底部采用90mm钢板；且根据类比监测数据，侧钢桶外泄露辐射剂量

率贡献值仅为 $0.033\mu\text{Sv/h}$ ，因此不考虑设备间屋顶天空散射对周围活动人员产生的辐射剂量。

(1) 职业人员个人剂量

本项目辐射工作人员共计 6 人，操作室内实行 24 小时三班两倒轮流值班，按照年工作 365 天计算，每名辐射工作人员在机房周围年工作时间为 2920h。辐射工作人员工作期间仅在控制室内，在加速器运行过程中，不进入加速器机房内。

辐射工作人员受照剂量考虑最不利点位的剂量率，即电子加速器机房北侧操作室内辐射剂量率（关注点 C-1）为 $0.358\mu\text{Sv/h}$ ，居留因子取 1，则辐射工作人员所受到年有效剂量为 $E=0.358\times 2920\times 1\times 10^{-3}=1.05\text{mSv/a}$ 。可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）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

对于公众人员，加速器运行过程禁止接近工作区域，考虑最不利点，按照电子加速器机房周边最大剂量进行计算，即电子加速器机房北墙外 30cm 处辐射剂量率为 $0.431\mu\text{Sv/h}$ ，因建设单位硅片废水处理站采用自动化管理，在评价范围内，无固定长期固定工作岗位，保守估算，采用白班每天 8 小时（即 2920h/a ）进行考虑，居留因子取 $1/16$ ，则公众人员受到的最大年有效剂量为 $E=0.431\times 2920\times 1/16\times 10^{-3}=0.079\text{mSv/a}$ 。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 。

二、非辐射环境影响分析

本项目工业电子加速器在工作状态时，产生的X射线会使机房内空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物。电子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。氮氧化物的产额大约是臭氧的 $1/3$ ，且以臭氧的毒性最高，因此本节主要考虑电子加速器机房臭氧的产生和排放影响。

1、臭氧产生率

空气在辐射照射下产生臭氧（ O_3 ）和氮氧化物（ NO_x ）等有害气体。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。

平行电子束所致O₃的产生率按下式进行保守估算：

$$P=45d \cdot I \cdot G \dots\dots\dots \text{（公式11-10）}$$

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），取11cm；

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66mA，根据上式该项目O₃的产生量为326700mg/h。

2、电子加速器机房内平衡浓度

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：

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

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）。

$$T_e = \frac{T_V \times T_d}{T_V + T_d} \dots\dots\dots \text{（公式11-12）}$$

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）。

该项目各加速器机房内有效体积约108.68m³，通风设施设计通风量6799m³/h，辐照室换气一次所需时间约为0.016h，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：

$$C_s = \frac{PT_e}{V} = \frac{326700\text{mg/h} \times 0.016\text{h}}{108.68\text{m}^3} = 48.10\text{mg/m}^3$$

根据估算结果，当该项目配备通风量为6799m³/h通风设施后，辐照室内臭氧平衡浓度为48.10mg/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：

$$dc/dt = -C/T_e \dots\dots\dots \text{（公式11-13）}$$

当 t=0 时，C=C_s

得到浓度随时间的变化公式为：

$$C = C_s e^{-\frac{t}{T_e}} \dots\dots\dots \text{（公式11-14）}$$

由此可得，关闭加速器后风机运行的持续时间公式为：

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s} \dots\dots\dots \text{（公式11-15）}$$

式中：C₀——《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）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 11-14 计算可得，本项目电子加速器机房臭氧达到平衡浓度后，按照设计风量进行计算，电子加速器停机后，经过 0.081h（约 4.85min），其机房内臭氧浓度可以降低至 0.30mg/m³。

本项目制定的规章制度中拟规定电子加速器停止出束后，排风系统工作至少 5 分钟后，方可开启防护门进入，此时电子加速器机房内臭氧浓度可以满足《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）中“工作场所臭氧最高允许浓度 0.30 mg/m³”的要求。

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与出束口附近材料作用产生的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) 安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入电子加速器机房，或电子加速器机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认电子加速器机房中状况便运行电子加速器，造成电子加速器机房中人员受误照射。

(2) 设备维护或维修调试过程中，工作人员误操作，接通电源并出束，则可能造成误照事故。

(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、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 11-13。

表 11-13 辐射事故等级划分表

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

本项目电子加速器为 II 类射线装置，可能发生加速器门机联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***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。根据《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系（见表 11-14）：

表 11-14 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

辐射剂量/ Gy	急性放射病发生率/%	辐射剂量/ Gy	死亡率/%
0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	10
1.00	20	2.80	20
1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60
1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90
2.00	99	5.50	99

本次评价分别采用电子束 90°方向和向前 0°方向等效能量进行事故分析，在其辐照过程中，其它无关人员误入或滞留机房内和维修人员为例进行事故后果计算。

(1) 事故情景假设

① 在对废水进行辐照时，***电子加速器电子束侧向90° 方向等效能量1m处剂量率为最大值1980Gy/h，人员与电子束最近距离为1m，假设安全连锁失效，有人员误入机房，人员在无其它屏蔽的情况下处于电子加速器室内。

② 在维修人员进行检修时，检修人员佩戴个人剂量计和剂量报警仪，假设维修人员位于电子加速器入射电子束向前0° 方向，***电子加速器向前90° 方向电子束等效能量1m处剂量率为最大值2574Gy/h。假设操作室内人员触动电子加速器开关，造成维修人员在无其它屏蔽的情况下的误照射。

(2) 后果计算与分析

根据上述假设的情景下，随着时间的推移，最大可能受到的辐射剂量见下表：

表11-15 电子加速器电子束侧向90°方向不同时间、距离处有效剂量情况表 (Sv)

时间 (s) \ 距离 (m)	5	10	20	30	40
1	0.73	1.47	2.93	4.40	5.87
1.5	0.18	0.37	0.73	1.10	1.47
4	0.10	0.21	0.41	0.62	0.83
5	0.07	0.13	0.26	0.40	0.53

表11-15可知,在以上假设事故情景下,人员误入或者滞留在电子加速器机房电子束侧向90°方向,人员在电子加速器机房内1m位置停留10s,对人员产生有效剂量为1.47Sv。根据表11-14,造成急性放射病的发生率达到80%。

表 11-16 电子加速器入射电子束向前 0°方向不同时间、距离处有效剂量情况表 (Sv)

时间 (s) \ 距离 (m)	5	8	10	20	30
1	3.58	5.72	7.15	14.3	21.5
1.5	1.59	2.54	3.18	6.36	9.53
2	0.89	1.43	1.79	3.58	5.36

由表11-16可知,维修人员在电子加速器入射电子束向前0°方向随着时间和位置的推移,在位于电子束向前0°方向1.5m处5s便可达到1.59Sv。根据表11-14,造成急性放射病的发生率几乎达到90%。

此外,根据《职业性外照射急性放射病诊断》(GBZ104-2017)表1所述:“骨髓型急性重度放射病的受照剂量范围参考值范围为4.0~6.0Gy”。因此,随着时间的推移,误入/滞留在维修人员电子加速器机房内,可能导致人员发生急性重度放射病、局部器官残疾甚至死亡,参照表11-13,本项目可造成重大辐射事故。因此建设单位应加强管理,采取相应的防范措施,避免此类事故的发生。

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防护意识和岗位责任心,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管理、使用；

⑥ 加速器进行辐照作业期间，应有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，应检查加速器机房、设备间是否有人员停留；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》，向当地生态环境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

辐射安全与环境保护管理机构的设置

1、辐射安全管理机构设置

根据《中华人民共和国环境保护法》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条“使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有1名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作”的要求，为了加强射线装置的安全和防护监督管理，以正确应对突发性辐射事故，确保事故发生后能快速有效地进行现场应急处理、处置，维护和保障工作人员和公众的生命和财产安全，隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司拟成立以公司法人（总经理）为组长，公司负责辐射管理工作的主管领导为副组长，本项目辐射工作人员为成员的辐射安全与环境保护管理小组，负责单位日常辐射安全监管和协调工作，并安排专业人员负责公司辐射安全工作。

2、辐射安全与环境保护管理小组主要职责

- (1) 认真贯彻落实国家法律法规的有关规定；
- (2) 对本单位使用的射线装置的安全和防护工作负责，并依法对其造成的放射性危害承担责任；
- (3) 组织制定并落实辐射防护相关管理制度；
- (4) 按照国家有关规定，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，发现安全隐患应及时采取有效措施妥善处置，确保设备正常使用；
- (5) 组织对辐射工作人员进行辐射与安全防护培训，进行个人剂量检查、职业健康检查，并建立个人剂量档案和职业健康监护档案；
- (6) 制定辐射事故应急预案并定期组织演练；
- (7) 记录本单位发生的放射事故并及时报告卫生行政部门、生态环境主管部门。

3、人员配备与职能

(1) 人员配备

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中第十六条第二款的要求，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。依

据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中第二十八条的要求，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当对直接从事生产、销售、使用活动的职业人员进行安全和防护知识教育培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。

隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司拟为本项目新增 6 名辐射工作人员，辐射工作人员应根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（公告 2019 年 第 57 号）要求，需参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习报名并通过考核后方可上岗。

（2）工作职能

辐射工作人员需熟悉专业技术，对安全防护与相关法规知识也需作相应了解，实际操作中须按操作规程行事，自觉遵守规章制度，努力做好各项安全工作。

辐射安全管理规章制度

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

隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司应根据相关法律法规和《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29 号）相关要求，制定辐射安全管理规章制度及辐射事故应急处理预案。

隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司在本项目竣工环境保护验收合格，且取得《辐射安全许可证》后方可正式投入使用，运行过程中应严格按照规章制度执行，按照监测计划对辐射环境进行监测，编制年度辐射安全与环境管理评估报告并按时上报。

辐射监测

为了保证本项目运行过程的安全，控制和评价辐射危害，拟设置相应的辐射剂量监测手段。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中的相关规定，本项目监测内容包括：个人剂量监测、工作场所监测。

1、监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第五款，“配备与辐射

类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器”。

隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司应配备如下监测仪器：

- (1) 配备***便携式辐射检测仪，用于电子加速器工作场所辐射剂量率的监测；
- (2) 为每名辐射工作人员配备 1 个人剂量计，共 6 个；
- (3) 配备***直读式个人剂量报警仪。

环评要求：工作期间，每名辐射工作人员均配备个人剂量计和个人剂量报警仪；加强检测管理和辐射工作人员职业健康检查管理，保证每名辐射工作人员的个人剂量计每个季度送有资质部门检测一次，做到定期送检，专人专戴；应建立辐射工作人员个人剂量档案；定期组织辐射工作人员体检，建立有辐射工作人员职业健康档案。

2、监测计划

根据电子加速器工作特点，制定辐射环境监测计划。个人剂量监测和工作场所监测的监测内容、点位布设及监测频次见表 12-1。隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司应严格执行此监测计划，并保存监测记录。

表 12-1 辐射环境监测计划表

序号	监测场所	监测点位	监测项目	监测时间
1	加速器设备间	设备间墙体 30cm 处及防护门入口	周围剂量当量率	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	机房墙体外 30cm 处、防护门外 30cm 处、操作位及周围非辐射工作人员位置		
3	控制室	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。

项目环保投资及竣工环境保护验收

1、项目环保投资估算

根据《环保部辐射安全与防护监督检查技术程序的相关要求》中的相关规定，并根据项目实际情况，本项目环保设施（措施）要求及投资估算见表 12-2。

本项目总计投资***万元，其中环保投资***万元，占总投资的***，主要用于环保设施、辐射安全防护设施建设，个人防护用品购置等。环保投资估算见表 12-2。

表 12-2 项目环保投资估算表

序号	项目	内容	数量	费用 (万元)
1	实体防护 设施	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	2 套	***
		防护门	2 扇	***
		通风系统	2 套	***
2	控制台及 安全联锁	防止非工作人员操作的钥匙控制系统	2 套	设备自带
		控制信号联锁	2 套	设备自带
		冷却系统联锁	2 套	设备自带
		废水泵机联锁	2 套	***
		通风系统联锁	2 套	***
		烟雾报警系统联锁	2 套	***
		防护门剂量联锁	2 套	***
		防人误入装置联锁	2 套	***
		信号警示装置	2 套	***
		束下装置联锁	2 套	***
3	警示装置	入口电离辐射警示标志	2 套	***
		入口加速器工作状态显示	2 套	
		机房内准备出束音响提示	2 套	***
		控制台上蜂鸣器	2 套	设备自带
4	紧急设施	机房内设计有紧急停机、巡检按钮	14 个	***
		电视监控对讲装置	2 套	***
		紧急开门按钮	2 个	***
		拉线开关	4 个	***
5	检测仪器	加速器机房内固定式剂量报警仪	2 套	***
		便携式辐射监测仪	***	***
		个人剂量报警仪	2 个	***
6	人员配备	为所有辐射工作人员配备个人剂量计并建立个人剂量档案	6 人	***
		为所有辐射工作人员建立人员职业健康档案, 定期进行辐射工作人员体检	6 人	***
7	辐射安全 管理制度	根据本项目实际情况, 拟制定辐射安全管理制度及辐射事故应急预案	1 套	***
合计				***

2、项目竣工环境保护验收内容及要求

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

本项目竣工环境保护验收清单（建议）见表 12-3。

表 12-3 项目竣工环境保护验收清单（建议）

序号	验收项目		验收指标
1	辐射防护设施验收	加速器机房屏蔽墙体及防护门外 30cm 处、线缆口外 30cm 处、设备间屏蔽墙体和防护门外 30cm 处、操作位及机房周围非辐射工作人员停留、活动区域周围剂量当量率。	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	排风系统、巡更装置、门内开关、烟雾报警、拉线开关、摄像头、语音报警装置、剂量仪探头、急停开关、红外感应装置、钥匙开关、工作状态指示灯等。	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》（H J979-2018）要求以及报告表中所提及安全设施进行验收。主要有：排风系统、巡更装置、门内开关、烟雾报警、拉线开关、摄像头、语音报警装置、剂量仪探头、急停开关、红外感应装置、钥匙开关、工作状态指示灯等
3	辐射监测	辐射监测仪器、个人剂量报警仪、个人剂量计。	6 名辐射工作人员每人配备 1 台个人剂量计；2 间加速器机房共配备***X- γ 剂量率仪监测仪、***个人剂量报警仪、***便携式辐射监测报警仪；加速器机房内各配备 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。	建立规章制度及应急预案，需满足《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
8	臭氧	臭氧浓度	停机后加速器机房内臭氧浓度满足《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）相关要求；项目臭氧排放满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中二类区相关要求

表 13 结论与建议

一、结论

1、项目概况

项目名称：电子束强化处理

高浓度有机废水核技术利用项目

建设单位：隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司

建设性质：新建

建设内容：隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司拟在公司泾河新城厂区硅片废水处理站新建 2 座电子加速器机房、1 间控制室及 1 间缓冲室，并在 2 座电子加速器机房内各安装使用 1 台***型电子加速器，电子束方向竖直向下，额定电子束能量为***，额定电子束流为***，每台电子加速器年出束时间均为 8760h，用于对硅片废水站高浓度有机废水辐照氧化处理。本项目拟使用的*****型电子加速器属于 II 类射线装置。

本项目总投资***万元，其中环保投资***万元，占总投资的***。

2、辐射环境影响分析

(1) 根据建设单位提供的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最大值为 $0.839\mu\text{Sv/h}$ ，防护门外剂量当量率 $1.74\times 10^{-4}\mu\text{Sv/h}$ ；根据类比分析，本项目加速器机房二层设备间屏蔽体外剂量当量率最大为 $0.872\mu\text{Sv/h}$ ，均满足标准中“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。

(2) 根据估算结果，运行期本项目辐射工作人员受到的年有效剂量为 1.05mSv ，本项目公众的有效剂量最大值为 0.079mSv 。可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）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，同时满足本次环评提出的剂量约束值（职业工作人员 $\leq 5\text{mSv/a}$ ，公众 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ ）。

(3) 辐射安全与防护：项目拟根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中的要求划分控制区和监督区；拟采取的辐射防护设施包括联锁装置、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。

同时，根据相关法律法规和《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的〈陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表〉的通知》（陕环办发〔2018〕29号）相关要求，隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司拟成立辐射安全管理领导小组、制定相关辐射安全管理制度及辐射事故应急预案。在各项设施、措施正常运行的前提下，可有效防止辐射事故发生。

3、可行性分析结论

隆基绿能光伏科技（西咸新区）有限公司电子束强化处理高浓度有机废水核技术利用项目是利用电子加速器对废水进行辐照氧化处理，系核技术利用项目在工业领域内的应用。该项目在落实报告中提出的防护措施后，可以使辐射影响达到合理尽可能合理的水平，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本次环评提出的剂量约束限值要求。从辐射环境保护角度，本项目可行。

二、建议与承诺

(1) 根据陕环办发〔2018〕29号文件要求进行辐射安全管理标准化建设，并不断完善各项辐射安全管理规章制度，完善对事故的预防、处理等安全措施，定期开展辐射事故应急演练，总结演练过程中出现的问题，不断细化辐射事故应急预案，确保其具有较好的适用性和可操作性。

(2) 定期对本项目辐射工作人员的个人剂量进行监测，对工作场所周围环境辐射水平进行监测并保存记录；发现异常情况及时采取有效措施，妥善处置；

(3) 加强电子加速器机房安全联锁系统的检查维护，确保各种安全防护设施的正常使用；

(4) 该项目电子加速器安装到位后，应开展竣工环境保护验收工作，验收合格并办理辐射安全许可证后方可投入使用；

(5) 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，当辐射工作人员发生变动时，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) 对该项目中电子加速器使用过程的安全和防护状况进行评估，编制辐射安全与防护评估报告，报送辐射安全许可证发证机关及当地环保部门。

表 14 审批

预审意见:

经办人:

单位公章

年 月 日

下一级环境保护行政主管部门审查意见:

经办人:

单位公章

年 月 日