

核技术利用建设项目

新疆胡杨集团有限公司 2.0MeV/50mA 高频 高压型电子加速器项目环境影响报告表



生态环境部监制

核技术利用建设项目

新疆胡杨集团有限公司 2.0MeV/50mA 高频高压型电子加速器项目环境影响报告表

建设单位名称：新疆胡杨集团有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：李杰冰

通讯地址：新疆乌鲁木齐市米东区康庄东路 555 号


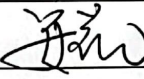
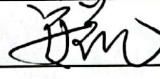
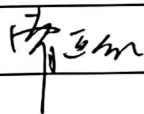
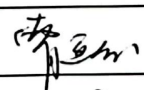
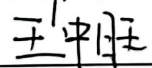
邮政编码：831400

联系人：安凯

电子邮箱：100087052@qq.com 联系电话：18999179827

打印编号: 1648878816000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	771919		
建设项目名称	新疆胡杨集团有限公司2.0MeV/50mA高频高压型电子加速器项目		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	新疆胡杨集团有限公司		
统一社会信用代码	91650109MA7918AD5L		
法定代表人 (签章)	李杰冰		
主要负责人 (签字)	安凯 		
直接负责的主管人员 (签字)	安凯 		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	核工业二三〇研究所		
统一社会信用代码	121000004448853130		
三、编制人员情况			
1 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
曹迎红	2014035430352013439901000719	BH020162	
2 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
曹迎红	审核	BH020162	
王中旺	全文	BH046998	

目录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	7
表 3 非密封放射性物质.....	7
表 4 射线装置.....	7
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	8
表 6 评价依据.....	9
表 7 保护目标与评价标准.....	11
表 8 环境质量和辐射现状.....	19
表 9 项目工程分析与源项.....	22
表 10 辐射安全与防护.....	29
表 11 环境影响分析.....	29
表 12 辐射安全管理.....	60
表 13 结论与建议.....	68
表 14 审批.....	73

表 1 项目基本情况

建设项目名称		新疆胡杨集团有限公司 2.0MeV/50mA 高频高压型电子加速器项目			
建设单位		新疆胡杨集团有限公司			
法人代表	李杰冰	联系人	安凯	联系电话	18999179827
注册地址		新疆乌鲁木齐市米东区康庄东路555号			
项目建设地点		新疆胡杨集团有限公司电力工程技术及配套产品研发生产基地1#厂房			
立项审批部门		米东区发展和改革委员会	批准文号	米发改备字[2022]变更04号	
建设项目总投资(万元)	1500	项目环保投资(万元)	300	投资比例(环保投资/总投资)	20.0%
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 ²)	300
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>1.1 项目概况</p> <p>1.1.1 建设单位概况</p> <p>新疆胡杨集团有限公司成立于 2020 年 12 月 18 日，注册地位于新疆乌鲁木齐市米东区康庄东路 555 号。经营范围包括电线、电缆制造；电线、电缆经营；配电开关控制设备制造；配电开关控制设备销售；电力电子元器件制造；电力电子元器件销售；变压器、整流器和电感器制造；电力设施器材制造；机械设备销售；建筑材料销售；化工产品销售（不含许可类化工产品）；货物进出口；照明器具销售；照明器具制造；电气设备销售；五金产品批发；电力设施承装、承修、承试；工程和技术研究和试验发展；各类工程建设活动；建设工程设计；电工机械专用设备制造。新疆胡杨集团有限公司对外投资 4 家公司，包括新疆中联科电力检测研究院有限公司、新疆胡杨供应链有限公司、新疆胡杨线缆制造有限</p>					

公司、新疆胡杨电力工程有限公司。其中新疆胡杨线缆制造有限公司创建于 2003 年 3 月，是集产品研发设计、制造、经营为一体的技术专业型企业。公司占地 6.7 万平方米，建筑面积 3.8 万平方米。资产总额 2.3 亿元，公司现拥有自动化生产流水线设备 60 台（套），职工 300 人，属自治区行业重点扶持企业之一。主要产品有额定电压 35kV 及以下各种高低压电力电缆、额定电压 1kV 和 10kV 架空绝缘电缆、控制电缆、聚氯乙烯绝缘电缆、各类低烟无卤耐火阻燃电缆、消防用电缆、橡套电缆、网络线、架空裸导线、新型稀土高铁铝合金电缆、发热电缆等。

1.1.2 项目目的和任务的由来

新疆胡杨集团有限公司在新疆乌鲁木齐市米东区康庄东路 555 号新疆胡杨集团有限公司电力工程技术及配套产品研发生产基地 1# 厂房建设 2 台 2.0MeV/50mA 高频高压型电子加速器项目，该设备主要用于辐照交联布电线和光伏电缆的辐照加工。项目建设完成后，由新疆胡杨集团有限公司下属全资子公司新疆胡杨线缆制造有限公司运行管理，并由该公司办理辐射安全许可证。

为了满足新能源市场的发展需要，同时改变部分高端电缆产品依赖进口的局面，新疆胡杨集团有限公司提出了生产辐照交联类产品的技改项目，在 1# 厂房内建设 2 间电缆加速器室，每间加速器室使用 1 台 DDL2.0MeV/50mA 型电子加速器。项目计划 2022 年 5 月建设，2022 年 9 月安装调试。

电子加速器使用的最大电子束能量 2.0MeV，最大束流强度 50mA，属于辐照装置用加速器。按照《关于发布射线装置分类的公告》（环境保护部国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号）可知，该辐照装置中所含的射线装置属于 II 类射线装置。

根据《中华人民共和国环境保护法》、《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》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 449 号）和《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 3 号）的规定和要求，本项目需要进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部部令 16 号）的要求，本项目辐照装置用加速器的使用属于“172 核技术利用建设项目（不含在已许可场所增加不超出已许可活动种类和不高于已许可范围等级的核素或射线装置）—使用 II 类射线装置的”，本项目应编制环境影响报告表。核工业二三 0 研究所受新疆胡杨集团有限公司委托，通过现场勘察、收集资料等工

作，结合本项目的特点，按照《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，编制完成《新疆胡杨集团有限公司2.0MeV/50mA 高频高压型电子加速器项目环境影响报告表》。

1.1.3 项目建设规模

新疆胡杨集团有限公司在公司1#厂房（规划建设，暂时没有建设）内建设2间电缆加速器室，每一间加速器室内使用1台DDL2.0MeV-50mA型电子加速器。电缆加速器室主要由电子束加速与扫描引出系统组成，包括芯管、扫描线圈、气动箱、扫描盒、束流挡板。加速器室为两层结构，一层为辐照室，二层为加速器厅。辐照室设计净空高度2.3m，内部长度8.8m，宽5.7m，采用钢筋混凝土结构，单个加速器室建筑面积约50.2m²，外墙采用现浇钢筋混凝土墙，屋面采用现浇钢筋混凝土板。加速器机房防护情况见表1-1。

表 1-1 加速器机房防护情况表 (单位: m)

机房名称	北墙	东墙	南墙	西墙	屋顶	防护门
加速器1室	1.5	1.4	0.9（迷道内墙） +1（迷道外墙）	1.5	1.5	20mm 双层不锈钢
加速器2室	0.9（迷道内墙） +1（迷道外墙）	1.4	1.5	1.5	1.5	

备注：墙体均为现浇混凝土，强度等级高于C20，密度不低于2.35g/cm³。

高频高压（DD）型加速器是一种直流高压型加速器，与传统的倍压加速器类似，也是用倍压整流电路产生直流高压的。不同的是，传统倍压加速器用的是电容串联耦合型级联倍压整流电路，而高频高压型加速器则用的是电容并联耦合型级联倍压整流电路。具有束流能量高、输出功率大、高压纹波小等优点，并且静电储能小（打火破坏性小）、内阻低、结构紧凑、工作稳定可靠、检修方便。束流能量为0.5~5.0MeV，束流功率最大可以达到150kW。

目前高频高压型加速器是辐射加工领域应用最广泛的加速器类型。其主要工业应用领域有：1、材料改性：如线缆、轮胎、热缩材料、发泡材料、涂层固化、半导体材料等；2、消毒灭菌：如医卫用品、食品等；3、环保应用：如电子束三废处理等。本项目使用的高频高压型加速器用于线缆材料改性。该辐照装置拟建地位于新疆乌鲁木齐市米东区康庄东路555号新疆胡杨集团有限公司电力工程技术及配套产品研发生产基地1#厂房内。2台加速器机房总占地面积（含控制室、设备间）约300m²。本项目的建设内容见表1-2。

表 1-2 项目建设内容表

装置或放射源	管电压/管电流	类别	数量	工作场所名称	射线类型	备注
DDL2.0MeV-50mA 电子直线加速器辐照装置	2.0MeV/50mA	II类	2 台	电缆加速器室	X 射线、电子射线	新建

1.1.4 项目建设的正当性与产业政策相符性

新疆胡杨集团有限公司拟建的 2 台 DDL2.0MeV-50mA 型电子加速器辐照装置，用于电缆辐照改性，建设单位在采取辐射防护措施的情况下，确保工作人员和公众产生的附加辐射剂量控制在根据最优化原则设置的剂量约束值以下，项目实施获得的利益远远大于所造成的损害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中关于辐射防护“实践正当性”的要求。

经对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，本项目属于第一类鼓励类第六项核能中的第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业政策要求。

1.2 项目地理位置与周边关系

1.2.1 项目地理位置

本项目建设地点位于新疆胡杨集团有限公司 1# 厂房西南侧，占地面积约 300m²。项目建设地点加速器室中心坐标（1#、2#加速器室连接处中央）为东经 87°45'50.92"，北纬 44°0'3.76"。项目建设地理位置示意图见附图 1。

1.2.2 项目周边关系与总平面布局

本项目建设地点位于新疆胡杨集团有限公司拟建 1# 厂房西南侧。2 个加速器室紧邻设计。2 个加速器室设计总占地为东西方向 19m，南北方向 14m，高度 8.3m。先建设加速器室，后建设厂房。

本项目工作场所加速器室所在 1# 厂房，厂房南北总长度 156.7m、东西宽度 48.7m，加速器室在该厂房西南侧建设。加速器室北侧 50m 评价范围内均在 1# 厂房内，东侧 49m 为拟建消防水泵房；东侧 53m 为新疆胡杨集团有限公司拟建办公楼，南侧距离 1# 厂房边界 2.5m，厂房外为规划绿化带，加速器室南墙距离康庄东路约 80m。加速器室西侧 2.5m 为 1# 厂房边界，隔着厂房外为大车停车场，加速器室西北侧 45m 为维修车间。

项目周围环境布局示意图见附图 2。

1.2.3 选址合理性分析

本项目建设地点位于新疆胡杨集团有限公司电力工程技术及配套产品研发生产基地拟建 1#厂房西南侧。建设用地取得了乌鲁木齐市自然资源局颁发的生产用地规划许可证（见附件 3）。加速器室周围 50m 无居民区、办公楼及学校等敏感点，选址合理。该项目主射线方向朝下，根据建设单位提供资料，本项目墙体屏蔽设计材料主要采用普通混凝土（ $\rho=2.35\text{g/cm}^3$ ），防护门采用 20mm 双层不锈钢（铁 $\rho=7.85\text{g/cm}^3$ ）。

经理论计算，在经过设计屏蔽后，距离加速器室屏蔽墙外 30cm 处的辐射剂量率已经接近环境本底水平，对周围基本无影响。

本项目将辐照室、辐照室二层划分为控制区。将辐照室 1 室东北、2 室东南的加速器控制室、辅助设备的区域、加速器辐照室外墙周边 30cm 区域划为监督区。符合《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T25306-2010）关于辐射加工用电子加速器工作场所平面布局和分区的要求，项目平面布局合理。

1.3 评价目的

- （1）对项目拟建场址进行辐射环境现状监测，以掌握该场址的辐射环境本底状况；
- （2）对项目运行后产生的辐射环境影响进行预测，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；
- （3）为项目的辐射环境管理决策提供科学依据。

1.4 评价范围

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/T10.1—2016）中：“1.5 评价范围和保护目标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 范围）”的距离和保护要求，并结合该项目辐射装置为能量流污染的特征，根据能量流的传播与距离相关的特性，确定以本项目边界外 50m 的范围作为本项目辐射环境影响评价的范围。

本项目现状照片见照片 1—照片 6。



照片1 加速器室拟建场所现状



照片2 加速器室拟建场所东侧现状



照片3 拟建场所南侧现状



照片4 拟建场所西侧现状



照片5 拟建场所北侧现状



照片6 拟建场所东南侧胡杨集团办公楼

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	电子直线加速器	II	2	DDL2.0MeV-50mA	电子	2	50mA	辐照加工	加速器 1 室、2 室	/

(二)X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

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

(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 (μA)	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	
无	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活 度	一次排放量 (Bq)	年排放总量 (Bq)	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/m³；年排放总量用kg。

2.含有放射性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

法 规 文 件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第 9 号，2015 年 1 月 1 日施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日，第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议第二次修正；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第 6 号，2003 年 10 月 1 日施行；</p> <p>(4) 《中华人民共和国职业病防治法(2018 修正)》，根据 2018 年 12 月 29 日第十三届全国人民代表大会第七次会议《关于修改〈中华人民共和国劳动法〉等七部法律的决定》第四次修正，2018 年 12 月 29 日实施；</p> <p>(5) 《国务院关于修改<建设项目环境保护管理条例>的决定》，中华人民共和国国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，中华人民共和国国务院令第 449 号，2019 年 3 月 2 日第二次修订；</p> <p>(7) 生态环境部部令第 16 号《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，（生态环境部令第 20 号）第四次修订，2021 年 1 月 4 日）；</p> <p>(9) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，中华人民共和国环境保护部、中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会公告，2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行；</p> <p>(10) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日施行；</p> <p>(11) 《新疆维吾尔自治区辐射污染防治办法》，新疆维吾尔自治区人民政府令第 192 号，2015 年 7 月 1 日起施行；</p> <p>(12) 《新疆维吾尔自治区环境保护条例》，根据 2018 年 9 月 21 日新疆维吾尔自治区第十三届人民代表大会常务委员第六次会议《关于修改〈新疆维吾尔自治区自然保护区管理条例〉等 7 部地方性法规的决定》修正；</p> <p>(13) 《关于发布<建设项目竣工环境保护验收暂行办法>的公告》，原环境保护部国</p>
------------------	--

	环规环评[2017]4号，2017年11月22日施行。
技 术 标 准	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）；</p> <p>(2) 《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/T10.1—2016）；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>(5) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》HJ1157-2021；</p> <p>(6) 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T25306—2010）；</p> <p>(7) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）；</p> <p>(8) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(9) 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T25306-2010）；</p> <p>(10) 《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ141-2002）；</p> <p>(11) 《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）。</p>
其 他	<p>(1) 环境影响评价委托书；</p> <p>(2) 《新疆维吾尔自治区环境天然放射性水平调查研究报告》（1989年）；</p> <p>(3) 《中广核达胜加速器技术有限公司 DD 型高频高压电子加速器通用操作手册》；</p> <p>(4) 中广核达胜加速器技术有限公司设计的本项目初步设计图纸。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ/T10.1—2016）的规定和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）对辐射监测技术的要求，结合本项目环境影响因素的特征和项目周围环境的特点，确定本项目的辐射评价范围为加速器室屏蔽墙体外周边50m范围。

7.2 保护目标及管理目标

结合本项目的的评价范围，确定本项目环境保护目标主要为从事辐射操作的工作人员和周围公众人员。辐射操作的工作人员是辐射工作场所周围（50m范围内）从事辐照加工的工作人员；周围公众人员包括1#厂房其他非辐射工作人员、1#厂房外停车场临时人员以及厂区道路行走的人员。根据项目平面布置情况及厂区周围外环境关系及《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）确定本项目的职业人员年有效剂量管理目标值不超过5mSv，公众人员年有效剂量管理目标值不超过0.1mSv。具体内容见表7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标及管理目标一览表

环境保护目标	方位/距离	人数(人)	管理目标值 (年有效剂量管理约束值)
操作人员	1 室东北控制室	2(1 人/班)	职业：5mSv/a
	2 室东南控制室	2(1 人/班)	
公众人员	一楼北面 1#厂房内工人，10m	10	公众：0.1mSv/a
公众人员	1 室东北维修车间，45m	5-8	
公众人员	1 室北侧停车场，5m	不定	
公众人员	2 室南侧停车场，50m	10-20	

7.3 评价标准

7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）（节选）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

附录 B 中规定：

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何辐射工作人员的职业照射水平进行控制，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；

c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；

d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

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；

c) 眼晶体的年当量剂量，15mSv；

d) 皮肤的年当量剂量，50mSv。

7.3.2 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）（节选）

4.1 辐射安全要求

4.1.1 安全原则

4.1.1.1 纵深防御

多层防护与安全措施（即纵深防御），以确保当某一层次的防御措施失效时，可由下一层次的防御措施予以弥补或纠正，达到：

（1）防止可能引起照射的事故；

（2）减轻可能发生的任何类似事故的后果；

（3）在任何这类事故之后，将装置恢复到安全状态。

4.1.1.2 冗余性

采用的物项应多于为完成某一安全功能所必须的最少数目的物项，在运行过程中万一某物项失效或不起作用的情况下可使其整体不丧失功能。例如加速器室和主机室的人员出入口应设 3 道及以上连锁。

4.1.1.3 多元性

多元性能够提高装置的安全可靠性，可以降低共因故障。系统多元性和多重剂量监测可以采用不同的运行原理、不同的物理变量、不同的运行工况、不同的元器件等。例如：加速器室和主机室的人员出入口的安全连锁可以分别采用机械的、电气的、电子的和剂量的连锁。

4.1.1.4 独立性

独立性是指某一安全部件发生故障时，不会造成其它安全部件的功能出现故障或失去作用。通过功能分离和实体隔离的方法使安全机构获得独立性。为提高系统的独立性，可采取下列措施：

- (1) 保证冗余性（多道连锁）各部件之间的独立性；
- (2) 保证纵深防御各部件之间的独立性；
- (3) 保证多元性各部件之间的独立性；
- (4) 保证安全重要物项和非安全重要物项之间的独立性。

4.1.2 辐射工作场所的分区

按照 GB18871 的规定，电子加速器辐照装置的工作场所分为：控制区，如主机室和加速器室及各自出入口以内的区域；

监督区，如设备操作室、未被划入控制区的电子加速器辐照装置辅助设施区和其他需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

4.1.3 在控制区出入口处和其它必要的地方，应设立醒目的、符合 GB18871 规定的警告标志。

4.1.4 使用手册、操作规程和应急程序等文件以及关键的安全部件标识和安全标识都应使用中文。

4.2 辐射防护要求

4.2.1 辐射防护原则

- (3) 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：

- a) 辐射工作人员个人年有效剂量为 5mSv；
- b) 公众人员个人年有效剂量为 0.1mSv。

4.2.2 辐射屏蔽设计依据

电子加速器辐照装置的屏蔽设计必须以加速器的最高能量和最大束流强度为依据。

电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处以及外区域周围剂量当量率不能超过 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。如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。

本标准适用的能量不高于 10MeV 的电子束和能量不高于 5MeV 的 X 射线，在辐射屏蔽设计中不需要考虑所产生的中子防护问题。

5 电子加速器辐照装置的辐射屏蔽

5.1 屏蔽设计原则

电子加速器辐照装置在屏蔽设计时，不仅要考虑最大束流功率时的屏蔽要求，在能量和束流强度可调情况下，还要考虑在最大能量和/或最大束流强度组合下的屏蔽差异。

5.2 屏蔽设计计算

5.2.1 屏蔽设计计算应包括:加速器室和主机室及各自迷道、屋顶、孔洞等。

5.2.2 屏蔽设计和计算结果应在设计文件中加以说明。

5.2.3 电子加速器辐照装置的屏蔽计算方法可参见附录 A。

6 电子加速器辐照装置的安全设计

6.1 联锁要求

在电子加速器辐照装置的设计中必须设置功能齐全、性能可靠的安全联锁保护装置，对控制区的出入口门、加速器的开停机和束下装置等进行有效联锁和监控。

安全联锁引发加速器停机时必须自动切断高压。

安全联锁装置发生故障时，加速器不能运行。安全联锁装置不得旁路，维护与维修后必须恢复原状。

6.2 安全设施

(1) 钥匙控制。加速器的主控钥匙开关必须和主机室门和加速器室门联锁。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；

(2) 门机联锁。加速器室和主机室的门必须与束流控制和加速器高压联锁。加速器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加速器室内人员的警示。主机室和加速器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。主机室和加速器室内应设置“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加速器室按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留。

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

(7) 急停装置。在控制台上和主机室、加速器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。加速器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。主机室和加速器室内还应设置开门机构，以便人员离开控制区；

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

(9) 通风联锁。主机室、加速器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，以保证室内臭氧浓度低于《工作场所有害因素职业接触限值》(GBZ2.1-2019)允许值 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ；氮氧化物(NO_2 和 NO)浓度低于《工作场所有害因素职业接触限值》(GBZ2.1-2019)允许值 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ；

(10) 烟雾报警。加速器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。

6.3 其他要求

6.3.3 通风系统

(1) 主机室和加速器室应设置通风系统,以保证辐照分解产生的臭氧和氮氧化物等有害气体浓度满足 GBZ2.1 的规定。有害气体的排放应满足 GB3095 的规定。

(2) 臭氧的产生和排放,其计算模式和参数见附录 B。

(3) 加速器室内的主排气口应设置在易于排放臭氧的位置,例如扫描窗下方的位置。

(4) 排风口的高度应根据 GB3095 的规定、有害气体排出量和辐照装置附近环境与气象资料计算确定。

7.3.3 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T25306-2010) (节选)

本标准适用于能量为 0.15MeV~15MeV 的各类辐射加工用电子加速器工程。

本标准 3.20 中规定,控制区,需要或可能需要专门防护手段或安全措施的区域。主机室、加速器室及其迷道为控制区。

3.21 监督区:不需要采取专门措施,但要定时检查和评价驻留人员职业受辐射状况的区域。控制室、周围辅助用房以及操作区域为监督区。

8.1.3 中规定,辐射防护安全要求如下:

a) 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 2.35g/cm^3 ;

b) 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;

c) 监督区的辐射剂量水平应符合 GB18871—2002 和 GB5172—1985 中的职业照射剂量限值要求;在工程设计时辐射防护设计的剂量规定为:职业照射个人年有效剂量限值为 5mSv;公众成员个人年有效剂量限值为 0.1mSv;

d) 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;

e) 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;

f) 剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备;

g) 其他物理因素安全要求应满足 GBZ2.2-2007 规定的标准要求(见附录 C)。

7.3.4 《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ141-2002) (节选)

5.1.4 II、IV 类 γ 射线辐照装置和 II 类电子束辐照装置加速器室外的辐照水平检测：

5.1.4.1 空气比释动能率测量位置如下：距加速器室各屏蔽墙和出入口外 30cm 处。

5.1.4.2 运行中的定期测量应选定固定的检测点，他们必须包括：贮源水井表面、加速器室各入口、出口，穿过加速器室的通风、管线外口，各面屏蔽墙和屏蔽顶外，操作室及与加速器室直接相邻的各房间等。

5.1.4.3 测量结果应符合：在距屏蔽体可达界面的 30cm，由穿透辐射所产生的平均剂量率不大于 2.5 μ Gy/h。

7.3.5 《工作场所有害因素职业接触限值》（GBZ2.1-2019）（节选）

《工作场所有害因素职业接触限值》（GBZ2.1-2019）表 1 对工作场所空气化学物质容许浓度有以下规定：

工作场所空气中臭氧浓度限值为 0.3mg/m³，氮氧化物（一氧化氮和二氧化氮）5mg/m³。

7.3.6 相关标准限值要求

根据以上标准并结合环境保护行政主管部门对项目的管理要求，本项目采用的相关标准限值及要求如下表 7-2。

表 7-2 本项目采用的标准限值要求一览表

分类		标准名称	标准限值及要求
年有效剂量	限值	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）	辐射工作人员职业照射年有效剂量限值取20mSv 公众照射年有效剂量限值取1mSv
	约束值		辐射工作人员职业照射年有效剂量约束值取5mSv 公众照射年有效剂量约束值取0.1mSv
周围剂量当量率		《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ141-2002）	在距屏蔽体可达界面的30cm，由穿透辐射所产生的平均剂量率不大于2.5 μ Gy/h。
臭氧浓度		《工作场所有害因素职业接触	PC-TWA值0.3mg/m ³

氮氧化物（一氧化氮和二氧化氮）	限值》（GBZ2.1-2019）	PC-TWA值5mg/m ³
-----------------	------------------	---------------------------

7.3.7 乌鲁木齐市天然贯穿辐射水平调查结果

表 7-3 乌鲁木齐市天然贯穿辐射水平调查结果*（单位：nGy/h）

调查结果	室外剂量率	室内剂量率
范围	70.6~183.4	82.5~206.1
均值	107.8	137.4

*引自《新疆维吾尔自治区环境天然放射性水平调查研究报告》（1989年）表2，结果含宇宙射线电离成分所致（空气吸收）剂量率。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

本项目加速器室位于新疆胡杨集团有限公司 1# 厂房内。项目地理位置图见附图 1，项目周边环境平面布局示意图见附图 2。

为掌握项目所在地环境质量现状水平，本次评价委托新疆德能辐射环境科技有限公司对本项目拟建场所的辐射环境质量现状进行了检测，检测报告见附件 5。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测方案

8.2.1 环境现状评价对象

加速器项目拟建场所周围环境质量现状水平（辐射环境现状）。

8.2.2 监测因子

X、 γ 辐射剂量率。

8.2.3 监测方案

(1) 监测单位：新疆德能辐射环境科技有限公司

(2) 监测日期：2022 年 3 月 1 日

(3) 监测依据：HJ61-2021《辐射环境监测技术规范》、HJ1157-2021《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》。

(4) 环境条件：天气：晴；温度：昼间-5.2℃～ -4.8℃；相对湿度：45%~48%。

(5) 监测仪器：

表 8-1 监测仪器参数

仪器名称	仪器型号	仪器编号	量程范围	有效日期	校准证书编号
X- γ 剂量率仪	AT1121	44409	10nSv/h-10Sv/h	2022-10-15	211016123
温湿度仪	NEDA16041EC 6F22	046	-20~60℃ 0~95%	2022-10-15	211016121

8.2.4 质量保证措施

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中有关辐射环境监测质量保证一般程序和我公司的质量体系文件（包括质量手册、程序文件、作业指导书）实行全过程质量控制，保证此次检测结果科学、有效。

- 1、合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性；
- 2、监测方法采用国家有关部门颁发的标准，监测人员经考核合格并持有合格证书上岗；
- 3、监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用；
- 4、每次测量前、后检查仪器的工作状态是否正常；
- 5、由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录；
- 6、报告严格实行三级审核制度，经校对、审核，最后审定。

8.3 监测点位及结果

8.3.1 环境现状监测布点

DDL2.0MeV-50mA 电子直线加速器辐照装置拟建场所周围辐射环境现状监测结果见表 8-2。

表 8-2 辐射环境现状监测布点及结果一览表

序号	测点描述	测量值 (nSv/h)	序号	测点描述	测量值 (nSv/h)
1	拟建加速器室东南侧	116	6	拟建加速器室南侧	115
2	拟建加速器室东侧	115	7	拟建加速器室西南侧	116
3	拟建加速器室东北侧	114	8	拟建加速器室西侧	114
4	拟建加速器室北侧	114	9	拟建加速器室西北侧	113
5	拟建加速器室中央	113	/	/	/

8.3.2 环境现状监测布点

加速器室拟建场所周围辐射环境现状监测布点示意图见图 8-1。



图 8-1 加速器室拟建场所周围辐射环境本底监测布点图

8.4 环境现状调查结果的评价

由表 8-2 可知，本项目拟建场所周围环境本底 X- γ 辐射剂量率水平为(113~116) nSv/h，根据《新疆维吾尔自治区环境天然放射性水平调查研究报告》可知，本项目环境本底 X- γ 辐射剂量率现状监测结果处于新疆乌鲁木齐市天然贯穿辐照水平室外范围(70.6~183.4) nGy/h，室内 γ 辐射剂量率(82.5~206.1) nGy/h 内。项目所在地的 X- γ 辐射水平属正常环境本底水平。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 工程设备

新疆胡杨集团有限公司拟建的加速器室为两层结构，一层为加速器室，包括辐照室、控制室和电缆进出生产线等；二层为加速器辐照厅（开放式），包括加速器厅、控制系统、水冷室和电气室、SF₆ 气体处理系统等。

根据建设单位提供资料，本项目加速器室拟使用的电子加速器为角尺型，型号为 DDL2.0MeV-50mA，其主要设备参数见表 9-1。

表 9-1 加速器主要技术参数和特性

名称型号	电子直线加速器 DDL2.0MeV-50mA
加速粒子	电子
最大射线能量	2.0MeV
流强	50mA
最大束流功率	100kW
电子束扫描最大宽度	1600mm

本项目拟使用的高频高压型电子加速器采用角尺型电子加速器，基本结构如图 9-1 所示，它的主体部分由直流高压发生系统（包括高频振荡器、高频变压器、高频电极、电晕环、整流硅堆、高压球帽等）、电子束加速系统、扫描引出系统、钢筒组成；辅助系统包括计算机控制系统、真空系统、SF₆ 气体处理系统、水冷却系统、辐射防护安全联锁及监测系统、束下传输系统等。外观示意图见图 9-2。

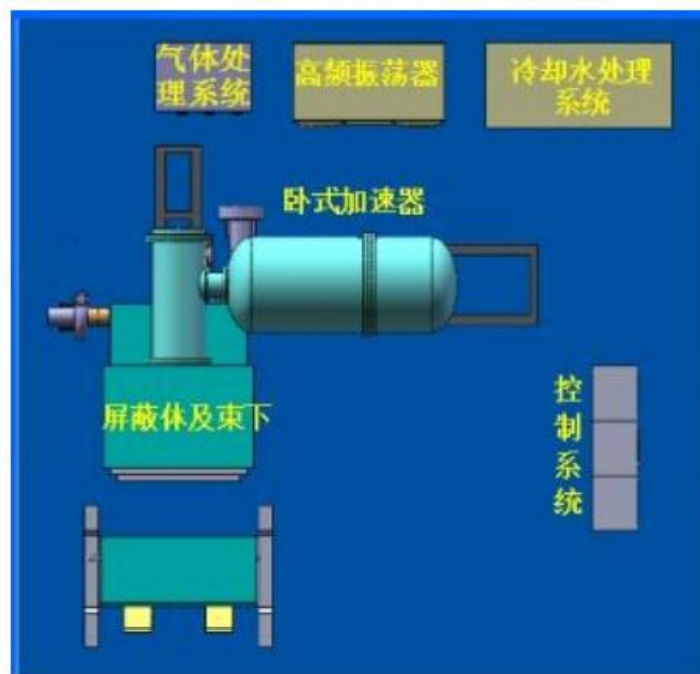
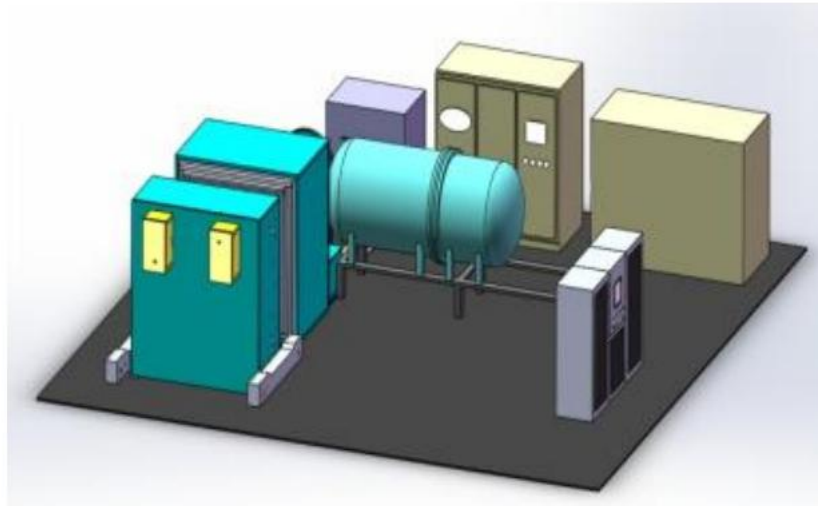


图 9-1 本项目角尺型角尺型自屏蔽加速器结构示意图

9.1.2 辐照改性工作原理和过程

1、工作原理

高分子材料的辐射改性主要包括辐射接枝、辐射固化、辐射交联和辐射降解。本项目是采用辐射交联对电缆进行改性。辐射交联是指聚合物在辐射作用下，引发聚合物线性高分子键与键之间，以自由基或离子键相连接，形成三维网状结构，使分子量增加。随着交联键的增多逐渐形成区域网状结构，最终形成整体网状结构。这种交联后网状结构的高聚物具有不溶解于溶剂、也不易熔融等性能。

辐射交联工作原理是电子枪产生的电子通过加速管不断获得微波能量而聚焦加速，最后加速的高能、高功率的电子束从加速器出口输出，进入扫描空间，利用磁场将成束的电子扫开成一定的宽度，从薄的金属膜构成的输出窗引出，对运动的被照物件进行辐照。以垂直于加速器（2MeV）产生的线状电子束方向通过电子束（即整体辐照），高分子被辐照时发生辐射交联反应而改变性质，如电线电缆辐照后，提高绝缘、护套耐温性能、抗张强度，最终提高电线电缆的整体技术指标。

不同辐照要求不同的辐照剂量，可以通过调整加速器的功率大小、货物在束下的高度、传输速度等来实现。

本项目使用的电子加速器主机安装于第二层平台上，扫描盒穿过二层平台地板上的孔洞，伸入下层的加速器室内照射。加速器外观示意图见图 9-2。

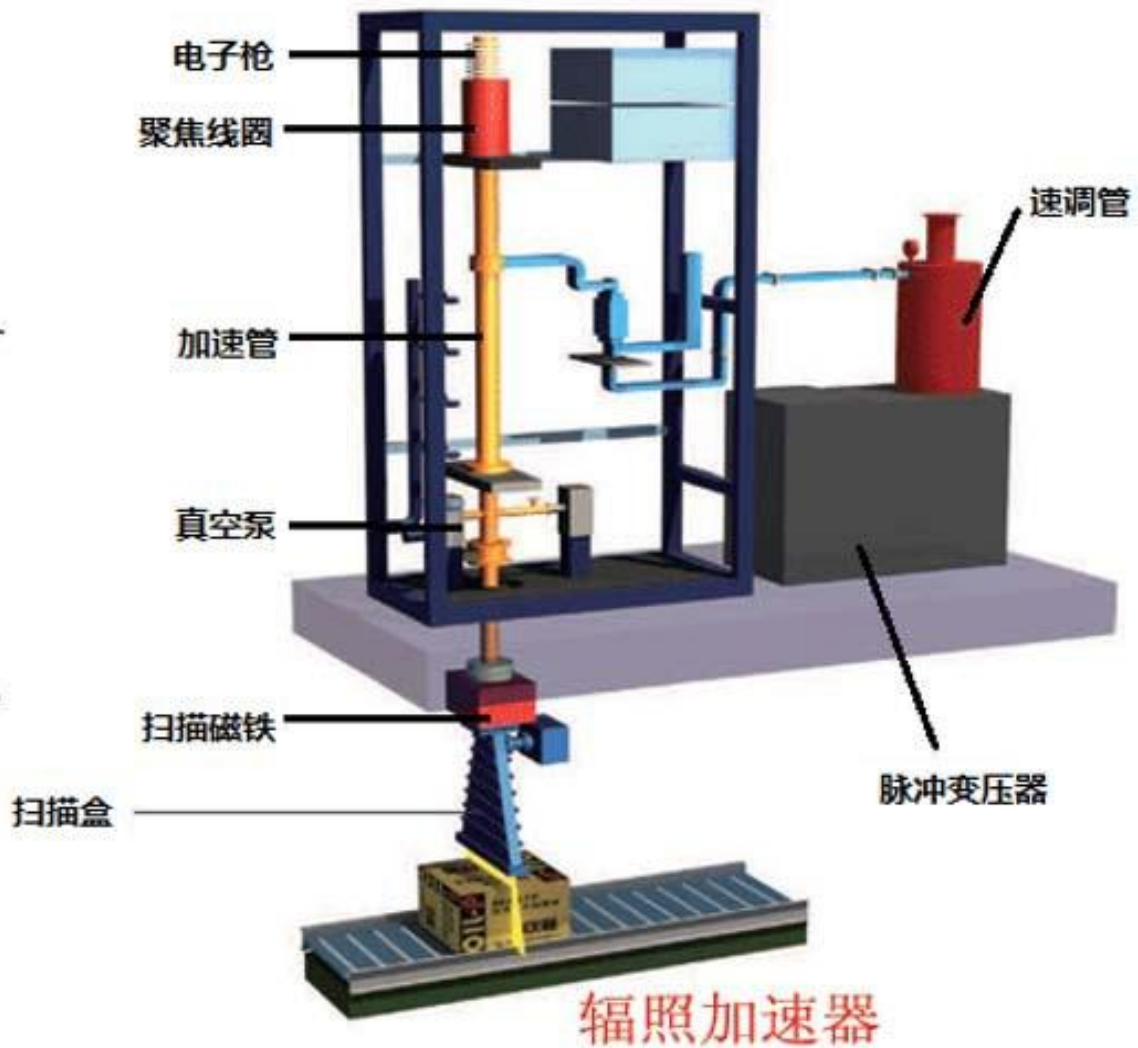


图 9-2 本工业辐照用加速器外观示意图

扫描盒钛窗到束下传输线的距离（即出射电子束打靶点）约为 100cm，束下传输线到地面的距离约为 60cm，束下传输线均为不锈钢材质。

2、辐照加工工艺流程

本项目拟使用的加速器，建设在 1#厂房西南侧，采用双收自动换盘装置，通过叉车式 AGV 完成自动换盘，需要成圈的布电线通过独立的成圈码垛生产线完成。生产工艺流程图如图 9-3。

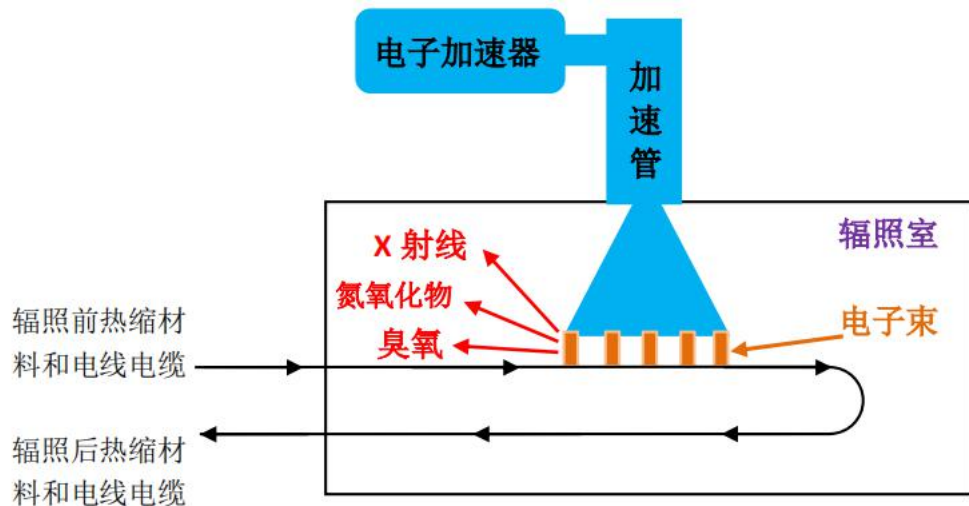


图 9-3 本项目电子加速器辐照工序工艺流程及产污环节示意图

3、电缆辐照过程

（1）加速器开机辐照过程

根据辐照工艺要求，工艺员设定本次辐照加工所要求的加速器电压和电流；巡视加速器和相关设备；控制室内总电源合闸，使控制台通电指示灯亮，等待时间继电器约十秒钟动作后，顺时针转动钥匙开关；开启真空系统；开启相关设备；开启高频振荡器；在手动状态下开启高压；在手动状态下开始出束。辐照过程中，电缆通过双收自动换盘装置，自动进入加速器室，循环辐照，辐照完后，通过叉车式 AGV 完成自动换盘，需要成圈的布电线通过独立的成圈码垛生产线完成码垛工作。

（2）加速器关机

辐射加工工作结束，加速器按照与开机相反步骤完成关机。

4、辐照项目工作负荷

根据建设单位提供资料，本项目拟使用的电子加速器辐照装置主要工作任务是对公司生产的电线电缆进行辐照改性。电子加速器辐照装置每天工作（出束）24 小时，平均年运行时间预计最大为 300 天，电子加速器年运行时间为 7200 小时。本项目配备 8 名放射工作人员，其分工为 1 名辐射安全管理者，1 名生产现场管理者（应

急人员), 6 名设备操作人员, 其中设备操作人员分成 3 个班, 一个班 2 名操作人员。本项目辐射工作人员年最大工作时间约为 7200 小时。

9.1.34. 加速器源项分析

DDL2.0MeV-50mA 型电子加速器的最大电子束能量为 2.0MeV, 最大束流强度为 50mA。

根据 HJ979-2018《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》, 可查出 2.0MeV 的电子束在 90° 方向的发射率为 $1.6\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min} \cdot \text{mA}$, 每小时工作负荷为 $4.8 \times 10^9 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$; 保守估计加速器钢桶内偏离束流主方向的电子束能量约在 0.2MeV, 束流强度小于 $10 \mu\text{A}$, 0° 方向(朝向加速器钢桶)的发射率保守取为 $0.01(\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min} \cdot \text{mA})$, 每小时工作负荷为 $6.0 \times 10^3 (\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h})$ 。

9.1.4 主要放射性污染物和污染途径

电子直线加速器产生辐射可分为瞬时辐射和剩余辐射两种。瞬时辐射包括初级辐射和次级辐射。初级辐射指被加速的带电粒子, 次级辐射指带电粒子与靶材料或加速器结构材料相互作用产生的 X 射线和中子等。剩余辐射是上述辐射与周围物质相互作用产生的感生放射性材料放出的辐射(如 β 、 γ 等)。瞬时辐射在加速器运行时产生, 关机后即消失, 它们是加速器辐射屏蔽、防护和监测的主要对象。剩余辐射是上述辐射与周围物质相互作用产生的感生放射性材料放出的辐射(β 、 γ), 在加速器停机后仍然存在, 而且随加速器运行时间的增加而累积, 随加速器关机时间的增加而减弱。10MeV 的电子加速器与低阈能值的核素如 C、H、O 等产生的中子在混凝土中的十分之一层厚度比 X 射线的十分之一层小得多, 满足 X 射线的屏蔽防护, 也能满足对中子的屏蔽防护。一般低于 10MeV 的电子加速器不考虑感生放射性问题。

本项目使用的加速器加速电子的能量为 2MeV, 故评价时主要考虑加速电子束产生的初级辐射和电子与靶材料以及加速器中的管壁等部件作用产生的 X 射线。本项目电子加速器辐射源如下:

(1) 原始初级电子的直接辐射

电子束在材料中有确定的射程, 它正比于电子的初始能量而反比于吸收材料的密度。辐照加工直接应用电子束照射, 电子的贯穿能力较弱, 能量为 10MeV 以下的电子在铝中的射程只有几厘米。

(2) 韧致辐射(X 射线)

电子束轰击靶、各结构材料和辐照产品都会产生韧致辐射(X 射线), 其最大

能量相当于入射电子的最大能量。X 射线具有较强的贯穿能力，所以 X 射线是加速器设施辐射防护设计中的主要辐射源。

(3) 非放射性有害气体

电子束及韧致辐射与空气中的氧发生作用会产生臭氧气体，该气体具有较强的刺激性和氧化性，对金属和非金属材料均有腐蚀作用，故产生的臭氧不可忽视。

由于加速管采用的是竖直摆放结构，无论辐照加工区还是加速器主机所在二层平台，电子束流垂直方向由上向下照射，主要考虑与束流垂直（侧向）方向上的屏蔽。

从上述内容看，本项目使用的加速器主要的环境问题是电子与靶材料或加速器的结构材料相互作用产生的 X 射线，是防护的主要对象，其污染途径为直接外照射，同时产生少量 O₃ 和氮氧化物废气，通过通风系统，可明显降低其浓度。

9.2 事故工况

9.2.1 可能事故工况

本项目使用的加速器的电子束受开机和关机控制，关机时没有射线发出，因此检修方便，断电状态下也较为安全。根据辐照加工工作流程，可能发生的辐射事故主要为意外照射和加速器故障事故。主要有以下几种情况：

1、加速器在工作状态，防护屏蔽又达不到要求情况下，给周围活动人员及工作人员造成不必要的照射。

2、在联锁装置失效，加速器在工作状态下或在警示灯、紧急停机装置和警示标识未发生作用的情况下，人员误入检测通道加速器室，使其受到额外的照射。

3、电子箱与高频联锁系统发生故障的情况下，工作人员进入加速器室进行检修时，导致人员受超年有效剂量限值的照射，对人员身体造成伤害。

事故工况下的主要辐射污染因子为 X 射线。为防止事故的发生，公司在购置加速器时要选择安全联锁设施可靠与稳定的设备。使用过程中要定期检查和维护联锁系统及安全保障系统，仪器操作人员应严格按照操作规程进行运行操作，每次开机前必须要确认机房内无人员时，才能开机运行。

综上所述，本项目主要污染物为韧致辐射产生的 X 射线（低于 10MeV）和臭氧。

9.2.2 最大可信事故和事故后果分析

1、最大可信事故

本项目最大可信事故是辐照作业时人员误入或滞留在辐照室内，门机联锁或光电联锁急停开关等安全装置失灵，发生人员大剂量受照事故。

2、事故后果

本项目中的加速器属于II类射线装置，为中危险射线装置，事故可能引起急性放射性损伤。长时间、大剂量照射甚至导致死亡。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 拟建加速器的建筑防护

本项目拟建的电子加速器为半自屏蔽式加速器，上部为具有铅和钢桶的自屏蔽体，发射口以下为无自屏蔽的加速器室。加速器安装于 1#厂房西南侧。加速器用房由加速器厅、辐照室、屏蔽体、高频机、控制室、风机房构成。厂房从结构上分二层：辐照室置于零地面上，称一层辐照室；加速器厅位于辐照室上方，即为二层加速器厅。加速器室采用两层结构，二层为加速器主机室（开放式），加速管及速调管布置于此，一层为电子束引出区，扫描磁铁和电子束出射窗穿过楼板延伸到一层。

加速器为角尺型结构，一层辐照室墙体全部采用现浇混凝土结构，使用混凝土建筑，屏蔽墙体采用混凝土浇注（密度为 2.35g/cm^3 ），防护门使用 20mm 双层钢板。加速器 1 室、2 室墙体防护厚度具体见表 10-1。

二层布置加速器的加速钢桶（角尺型），加速管外水平方向的辐射防护设施为：12mm 钢板+40mm 铅板+2mm 钢板；水平方向检修口的辐射防护设施为：20mm 铅板+65mm 钢板；水平方向电子枪旁与主设备的连接筒辐射防护设施为：30mm 铅板+10mm 钢板；顶部的辐射防护设施为：15mm 钢板+60mm 铅板+90mm 钢板；底部与加速器室的连接区域为 420mm 钢板。在加速器设备生产时，以上辐射屏蔽设施将同加速器主体结构共同构成 DDLH2.0/50mA 型电子加速器。DDLH2.0/50mA 型电子加速器设备本身自带的辐射屏蔽设施见图 10-1。由于本项目辐照用加速器设计为半自屏蔽体，根据设计厂家提供资料，自屏蔽体外辐射剂量率接近环境本底水平，二层不设计屏蔽墙体，为敞开式设计。

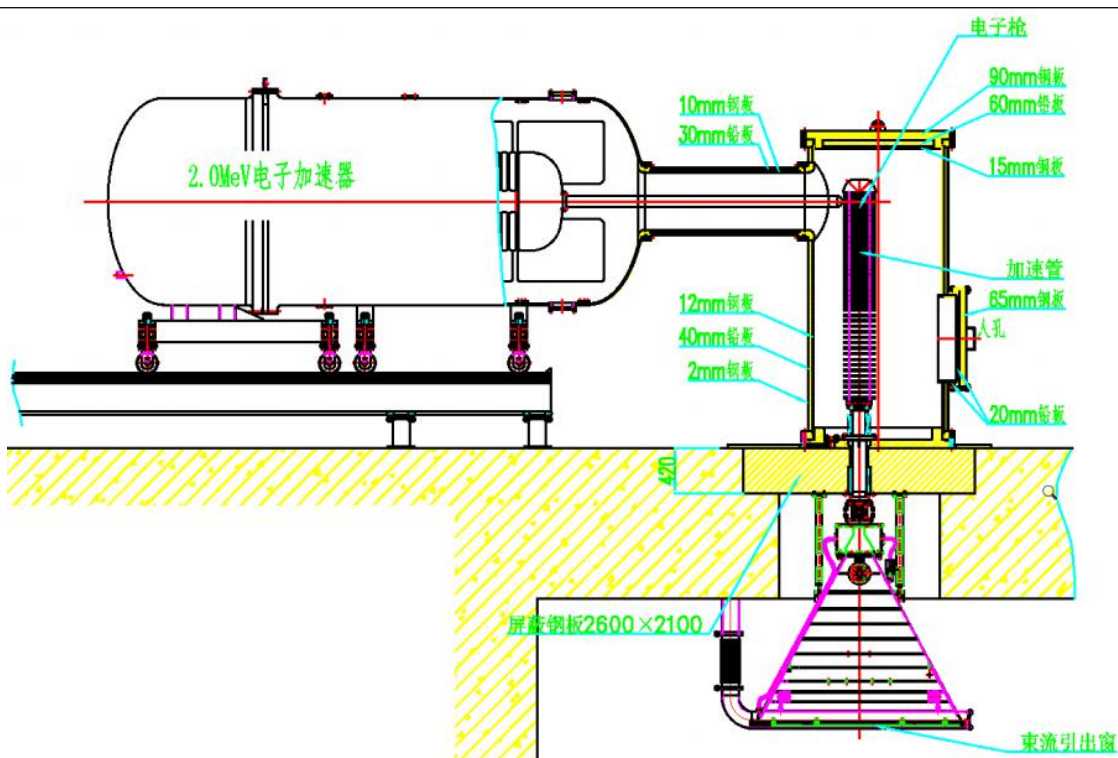


图 10-1 DDLH2.0/50mA 型电子加速器设备本身自带的辐射屏蔽设施

本项目拟建的电子加速器机房具体屏蔽设计参数情况见表 10-1。

表 10-1 本项目电子加速器机房屏蔽设计参数一览表

项目	屏蔽情况	
一层加速器室 1室	内部尺寸	8.8m×5.7m（不含迷道），高2.3m
	房顶厚度	顶板为1500mm钢筋混凝土墙
	墙体厚度	一层辐照室东墙靠近控制室处外墙为1500mm钢筋混凝土墙，东侧迷道内墙为1400mm钢筋混凝土墙，东侧外墙为800mm钢筋混凝土墙；南墙迷道内墙为900mm钢筋混凝土墙；外墙为1000mm钢筋混凝土墙，北墙、西墙均为1500mm钢筋混凝土墙。
	迷道	设“U”型迷道，迷道宽0.9m，迷道内墙混凝土厚0.9m，迷道外墙混凝土厚1m。
	巡检防护门	东侧防护门为20mm双层钢板
	电缆出入口	钢栅门
	控制室及进出门	控制室拟设置在一层辐照室东北角，框架结构，进出门为普通门
一层加速器室 2室	内部尺寸	8.8m×5.7m（不含迷道），高2.3m
	房顶厚度	顶板为1500mm钢筋混凝土墙
	墙体厚度	一层辐照室东墙靠近控制室处外墙为1500mm钢筋混凝土墙，东侧迷道内墙为1400mm钢筋混凝土墙，东侧外墙为800mm钢筋混凝土墙；北墙迷道内墙为900mm钢筋混凝土墙；外墙为1000mm钢筋混凝土墙，南墙、西墙均为1500mm钢筋混凝土墙。

迷道	设“U”型迷道，迷道宽0.9m，迷道内墙混凝土厚0.9m，迷道外墙混凝土厚1m。
巡检防护门	东侧防护门为20mm双层钢板
电缆出入口	钢栅门
控制室及进出门	控制室拟设置在一层辐照室东北角，框架结构，进出门为普通门
通风管道布设	①通风系统的排风口安装在建筑物外面，远离进气口，并高于建筑物4.4m。 ②进气管道进口设置筛网，对气体进行过滤，减少进气气体中微尘。

本项目拟建电子直线加速器室和主机室平面布置图详见图 10-2 和图 10-3。

10.1.2 工作场所两区划分情况

1、控制区与监督区划分情况

公司将加速器工作场所进行分区管理，分区情况和管理措施如下：

控制区：将辐照室、辐照室二层划分为控制区。以辐照室的屏蔽墙和防护门以及通往辐照室二层的楼梯口为边界，控制区边界设置电离辐射警告标志。在加速器工作时任何人员禁止入内，加速器非工作状态时非职业工作人员禁止入内。

监督区：加速器室 1 室东北角、2 室东南角的加速器控制室、收放线系统以西至加速器机房区域、加速器西侧放置辅助设备的区域、加速器辐照室外墙周边 30cm 区域划为监督区。监督区边界使用黄色油漆划出监督区，地上写上监督区警示标语，并设置电离辐射警告标志。非职业工作人员禁止入内。

辐照室防护门外均设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯，以及安全联锁保护装置、防人误入装置等，以防止和避免人员误闯入或误照。公司对于辐射工作场所的分区管理措施是合理可行的，可有效加强辐射安全管理。

分区图如下：

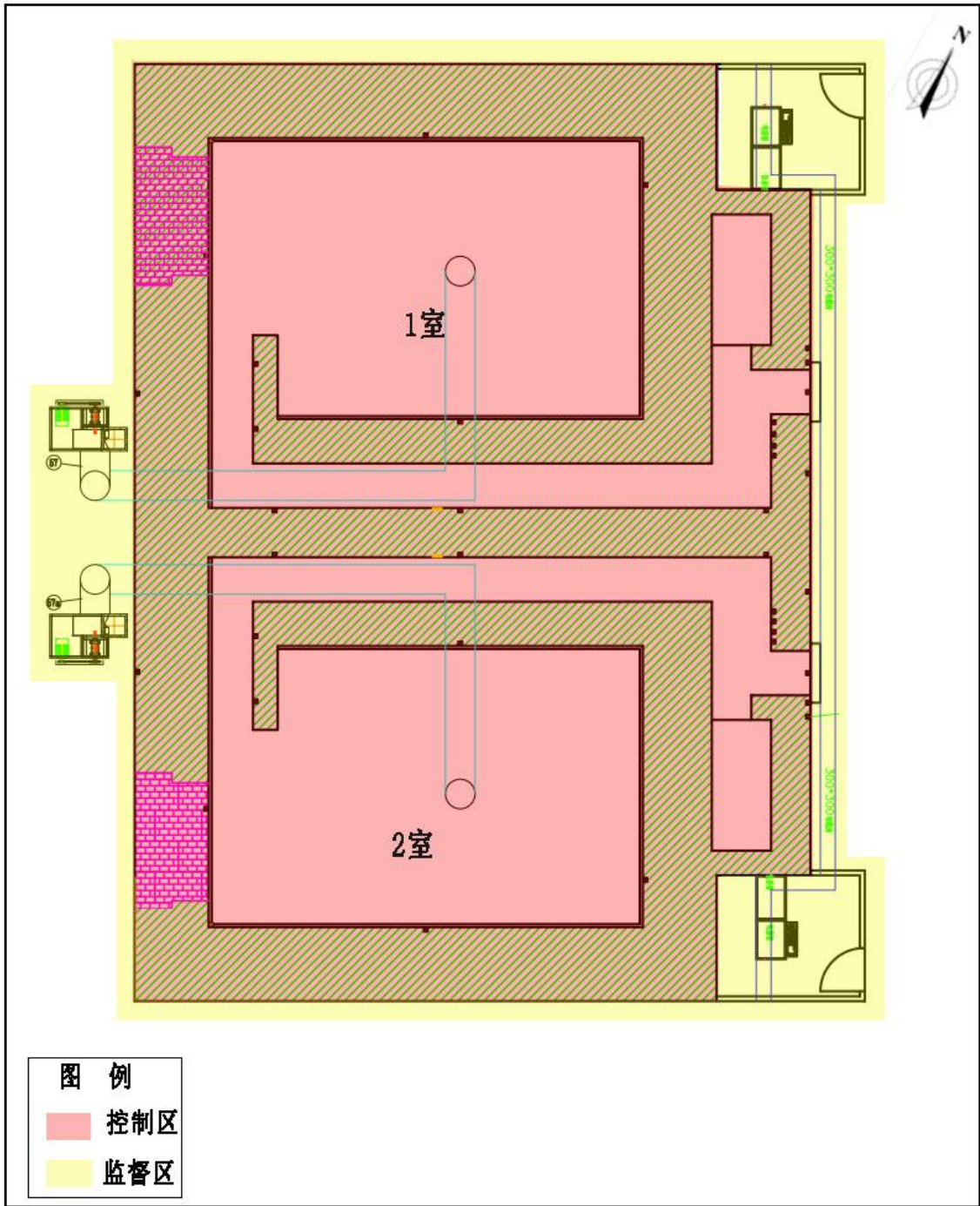


图 10-2 加速器室一层平面布置及控制区和监督区划分示意图

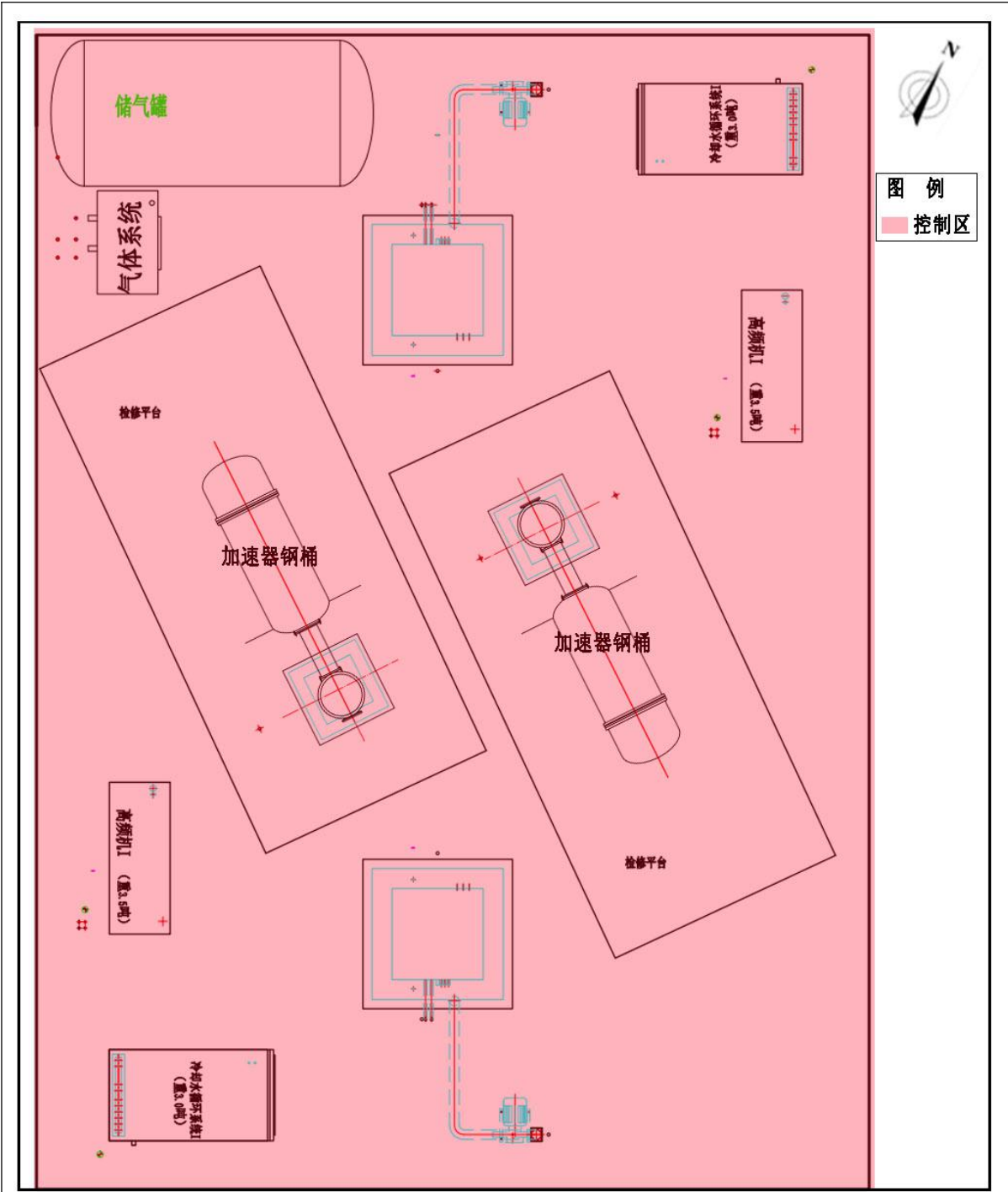


图 10-3 加速器室二层平面布置及控制区和监督区划分示意图

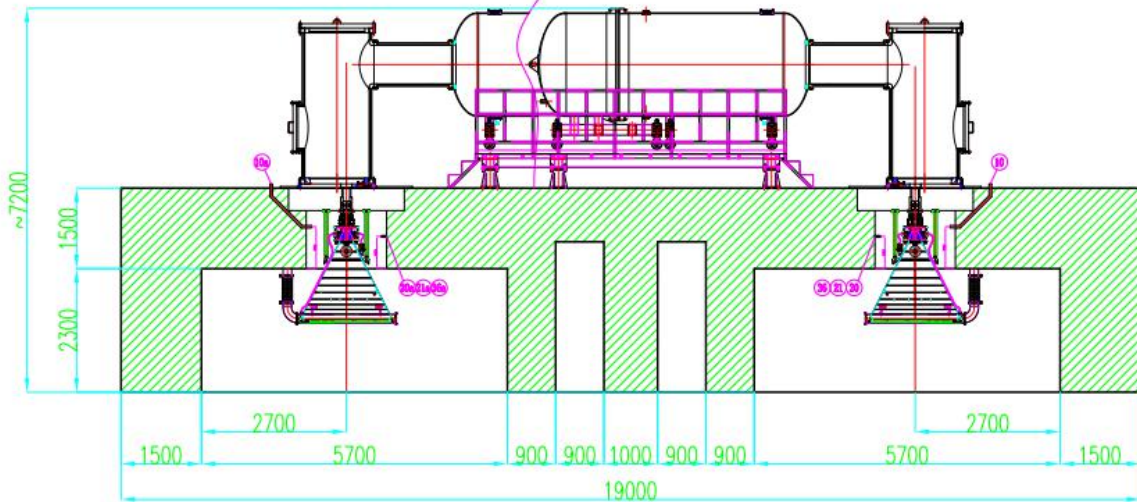


图10-4 本项目加速器室立面图

2、拟建电子加速器室的辐射安全设施描述及评价

拟建电子直线加速器室设计与《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中标准要求进行比较分析。

HJ979-2018 要求		本项目设计情况	结论
辐射工作场所分区	控制区	将辐照室、二层平台划分为控制区。以辐照室的屏蔽墙和防护门以及通往二层平台的楼梯口为边界，控制区边界设置电离辐射警告标志。	符合
	监督区	加速器控制室、收放线系统以西至加速器机房区域、加速器西侧放置辅助设备的区域、加速器辐照室外墙周边 30cm 区域划为监督区。	符合
	警告标识	辐照室的防护门外均设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯。警示标志内容见图 10-5、图 10-6。	符合
辐射屏蔽设计	电子加速器辐照装置在屏蔽设计时，不仅要考虑最大束流功率时的屏蔽要求，在能量和束流强度可调情况下，还要考虑在最大能量和/或最大束流强度组合下的屏蔽差异。	加速器室四面墙体均为现浇混凝土设计，其中辐照 1 室东墙靠近控制室处外墙为 1500mm 钢筋混凝土墙，东侧迷道内墙为 1400mm 钢筋混凝土墙，东侧外墙为 800mm 钢筋混凝土墙；南墙迷道内墙为 900mm 钢筋混凝土墙；外墙为 1000mm 钢筋混凝土墙，北墙、西墙均为 1500mm 钢筋混凝土墙。辐照 2 室东墙靠近控制室处外墙为 1500mm 钢筋混凝土墙，东侧迷道内墙为 1400mm 钢筋混凝土墙，东侧外墙为 800mm 钢筋混凝土墙；	符合

		北墙迷道内墙为 900mm 钢筋混凝土墙；外墙为 1000mm 钢筋混凝土墙，南墙、西墙均为 1500mm 钢筋混凝土墙。经理论计算，按照最大束流强度和最大能量进行计算，均满足墙外 30cm 处辐射剂量率低于 2.5 μ Sv/h 的标准要求。	
联锁要求	设计中必须设置功能齐全、性能可靠的安全联锁保护装置，对控制区的出入口门、加速器的开停机和束下装置等进行有效联锁和监控。安全联锁引发加速器停机时必须自动切断高压。安全联锁装置发生故障时，加速器不能运行。安全联锁装置不得旁路，维护与维修后必须恢复原状。	本项目拟使用的电子直线加速器设计了功能齐全、性能可靠的安全联锁保护装置，对控制区的出入口、加速器室防护门、加速器的开停机和束下装置等进行有效联锁和监控。通过对加速器各个系统、设备部件各种信号参量实施监控，保证加速器设备能够正常运行。当安全联锁装置发生故障时，加速器停止运行。	符合
安全设施	(1) 钥匙控制。加速器的主控钥匙开关必须和主机室门和加速器室门联锁。	本项目在各加速器室迷道出入口处、辐照室防护门入口处分别设置 1 个钥匙开关，钥匙开关与辐照室门联锁。如拔下控制钥匙，加速器将自动停机。拟购置一台有效的便携式辐射监测报警仪与控制钥匙相连。在运行中控制钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。	符合
	(2) 门机联锁。加速器室和主机室的门必须与束流控制和加速器高压联锁。加速器室门或主机室门打开时，加速器不能开机。	本项目辐照室的门与束流控制和加速器高压联锁，辐照室门打开时，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。	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；	本项目电子加速器辐照装置的控制与束下装置设置安全联锁。束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时，加速器将自动停机。	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加速器室内人员的警示。主机室和加速器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；	本项目拟在各加速器室迷道出入口设置警灯、警铃、工作状态三色灯各 1 个；在加速器室内部设置警灯、警铃各 3 个，用于开机前对辐照室内滞留人员的警示。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。	符合

<p>(5) 巡检按钮。主机室和加速器室内应设置“巡检按钮”，并与控制台连锁。加速器开机前，操作人员进入主机室和加速器室按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留。</p>	<p>本项目拟在每个加速器辐照室出入口各设置一个“巡检开关”，在加速器辐照室内设置2个“巡检开关”，并与控制台连锁。加速器开机前，操作人员进入控制室和加速器辐照室按序按动“巡检开关”，巡查有无人员误留。</p>	<p>符合</p>
<p>(6) 防人误入装置。在主机室和加速器室的人员出入口通道内设置三道防人误入的安全连锁装置（一般可采用光电装置），并与加速器的开、停机连锁；</p>	<p>本项目拟分别在加速器辐照室迷道出入口各设置1组红外开关（每组3个），主机室防护门人员出入口通道内设置1组防人误入的红外开关（每组3个），并与加速器的开、停机连锁。加速器开机远红外控制开关即启动，当检测到生命体进入机房后，加速器立即停机。</p>	<p>符合</p>
<p>(7) 急停装置。在控制台上和主机室、加速器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。加速器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。主机室和加速器室内还应设置开门机构，以便人员离开控制区；</p>	<p>本项目拟在一层加速器辐照室内设置急停开关，辐照室内拟设置紧急开门开关，以便人员离开控制区。加速器辐照室设置2个拉线开关并与加速器连锁，拉下拉线开关，加速器立即停机。</p>	<p>符合</p>
<p>(8) 剂量连锁。在加速器室和主机室的迷道内设置固定式辐射监测仪，与加速器室和主机室的出入口门等连锁。当主机室和加速器室内的辐射水平高于仪器设定的阈值时，主机室和加速器室门无法打开；</p>	<p>本项目拟在屏蔽墙、迷道以及辐照室防护门处均设置固定式辐射监测仪器，实时监测重点区域的剂量水平，保障工作环境及工作人员的安全，在监测区域的剂量水平接近设定值时，自动报警。固定式辐射监测仪与加速器辐照室的出入口门等连锁。</p>	<p>符合</p>
<p>(9) 通风连锁。主机室、加速器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；</p>	<p>本项目拟在加速器室设置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。</p>	<p>符合</p>
<p>(10) 烟雾报警。加速器室应设置烟雾报警装置，遇有火险时，加速器应立即停机并停止通风。</p>	<p>加速器辐照室设置烟雾报警装置，遇有火险时，加速器应立即停机、立即关断加速器及辅助设备（除真空系统）的全部电源、切断高压并停止通风。烟雾报警装置安装位置应考虑辐射影响和烟雾探测效果，保证装置烟雾探头敏感性及</p>	<p>符合</p>

		稳定性，以达到及时报警目的。	
标准未要求的其他辐射安全设施	其他要求	本项目还拟设置摄像头监控系统，可以视频监控辐照加工状况以及加速器辐照室内各区域、各设备机房、控制室的工作状况，使加速器操控人员能够实时掌握各区域的实际情况，正确操控设备。	符合
	照明系统：主机室、加速器室、控制室应设置应急照明系统。	加速器辐照室、控制室设置应急照明系统	符合
	通风系统：（1）主机室和加速器室应设置通风系统，以保证辐照分解产生的臭氧等有害气体浓度足 GBZ2.1 的规定。 （2）加速器室内的主排气口应设置在易于排放臭氧的位置，例如扫描窗下方的位置。	本项目主机室（二层平台）为开放式建筑，不需要考虑通风，加速器辐照室设置有满足标准要求的通风系统，加速器辐照室内主排气口位置设置在加速器室扫描窗下方的位置。	符合
	防火系统：加速器室和主机室的耐火等级应不低于二级，并设置火灾报警装置和有效的灭火设施。	加速器辐照室设置火灾报警装置，配备干粉灭火器，在发生火灾能及时灭火。	符合



图10-5 电离辐射的标志



图10-6 电离辐射警告标志

综上所述，本项目加速器辐照室拟设置的钥匙控制、门机联锁、束下装置联锁、信号警示装置、巡检按钮、防人误入装置（红外开关）、急停装置、剂量联锁、通风联锁、摄像头监控系统等安全联锁装置以及安全设施均符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中的相关要求，设计可行。

3、加速器机房通风、电缆等管线辐射安全措施

（1）对于辐照用加速器机房，辐照室安装通风装置，通风图见附图 6。加速器机房设置独立的通风装置，辐照室吸风口均位于辐照窗正下方，通过 U 型通风管道从地下穿过屏蔽墙，引至室外排放。

辐照的电线电缆进出通道预埋于加速器北侧屏蔽墙内。待照线缆通过斜穿墙壁进出管道先穿过北侧屏蔽墙外墙，再反向穿过北侧内墙，通过电线电缆的收放线系统的控制进出辐照室。预埋于加速器墙内的通道斜穿通过防护墙，二次穿管角度及方向的不同可以有效防止射线泄露，电线电缆进出通道不破坏加速器机房的整体屏蔽。

4、加速器机房还应增加的辐射防护措施有：

紧急出口指示：设置在加速器辐照装置厂房内、加速器辐照室出口处(疏散通道和主要疏散路线的地面上或靠近地面的墙上)，一般为发光（灯光/夜光等）标志。便于人员在紧急情况下及时识别疏散位置和方向，指引人员顺利离开。

5、其他辐射防护措施

(1) 辐射监测设备及防护用品

本项目拟为 2 台加速器配备 2 台固定式 X、 γ 区域剂量监测仪。铅衣 6 件、个人剂量计 6 套、铅帽 6 个。为每台加速器配备 2 台个人剂量报警仪，2 个加速器室配备 4 台个人剂量报警仪。

(2) 局部贯穿辐射防护

在辐射屏蔽防护设计和施工中，必须妥善处理局部贯穿辐射防护的问题，主要针对的是建筑结构上有关孔道、管道、搭接的设计：

①施工过程中不允许有直通缝隙。

②加速器的通风管道、水管、电缆管道、辐照材料的传输管道等可能穿越屏蔽墙，所以加速器屏蔽设计时必须考虑这部分的剂量贡献。因此，这些管道设计的取向应尽可能避开束流方向或辐射发射率峰值的方向。为了防止辐射经管道泄漏，管道应根据实际情况取“S”形或“U”形，在地沟的入口或出口应有一定厚度的屏蔽盖板。

③混凝土块之间的垂直缝隙、孔洞都需要填充，或用砂袋作防护体。

④防护门和屏蔽墙之间应有足够的搭接，以减少散射辐射的泄漏。通常在防护门的两侧和顶部，搭接宽度至少为缝隙的 10 倍，防护门底部应有凹槽或挡板用以减少散射辐射。

10.2“三废”治理措施

10.2.1 废气处理措施

本项目产生的放射性废物主要为电子束及韧致辐射与空气中的氧发生作用产生的臭氧气体，该气体具有较强的刺激性和氧化性，对金属和非金属材料均有腐蚀作用，故产生的臭氧不可忽视。本项目拟通过设置排气装置，对加速器辐照室进行换气，以减少臭氧污染物对工作环境和外环境的影响。

项目每间加速器辐照室内安装一台钛窗高压离心风机，风量 1610-2844m³/h；风压 5517-5697pa。风机与屏蔽体预埋管相连，将风送入辐照室冷却钛窗。

每间加速器辐照室内安装一台离心通风机用于排臭氧，风机风量 7487-15000m³/h，风压 1901-1204pa。

排风要求：加速器室要求有较强的排除臭氧（O₃）的能力，单位时间内换气次数为 1~2 次/min，加速器停机 3~5min 后，臭氧（O₃）降至安全剂量 0.3mg/cm³。

风机控制要求：建议有两档速度，运行时风量在 50m³/min 以下。控制开关置入控制室内同时给出一组常闭信号与加速器控制连锁。

辐照进行时，开启排风机，辐照结束后风机继续工作至少 10 分钟后人员方可进入加速器辐照室。本项目加速器辐照室通风管道敷设情况平面图见图 10-7。

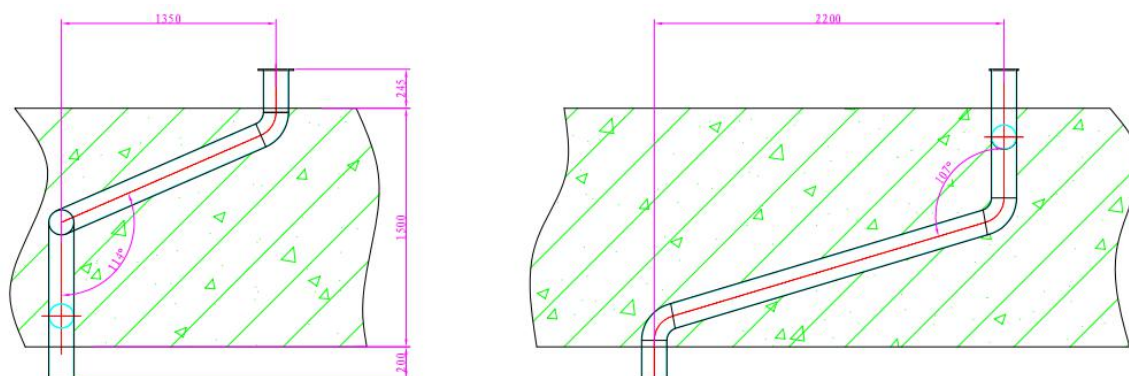


图10-7 本项目辐照加速器辐照室排风管道平面布设示意图

10.2.2 废水治理措施

本项目辐照装置使用电子线、X 射线辐照，不产生放射性废水。本项目中设备冷却采用循环冷却水系统，不外排。工作人员产生的生活污水依托新疆胡杨集团有限公司原有生活设施排放入米东区工业园区市政排污管道。

10.2.3 固废处理措施

工作人员产生的生活垃圾经垃圾箱收集后统一由环卫部门清运。

表 11 环境影响分析

本项目新疆胡杨集团有限公司新建 2 套 DDL2.0MeV-50mA 电子直线加速器辐照装置，用于辐照改性。

11.1 施工期对环境的影响

11.1.1 环境空气影响分析

本项目在施工期需进行挖掘地基、打桩、混凝土浇灌、砌墙等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：

A、施工现场采取围挡、洒水等降尘措施，及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；

B、车辆在运输建筑材料时采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；

C、施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

11.1.2 水环境影响分析

施工期的污水主要是施工人员的生活污水。施工人员最多 60 人，施工周期 4 个月（120 天），计划 2022 年 5 月开工，2022 年 9 月完工。本项目不设置施工营地，施工人员居住米泉市，每天每人生活用水按新疆标准约 100L/人·天，排污系数 0.8，生活污水每天排放量为 4.8m³，施工期生活污水排放量为 576m³，本项目生活污水统一收集后排入米东区工业园区市政排污管道，最终进入污水处理厂进行处理。本项目施工人员生活污水产生量很少，基本不会对周围水环境造成影响。项目施工期间，将有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水进行初级沉淀处理，并经隔渣后排放。

11.1.3 固废废物影响分析

施工期固体废物主要是施工人员产生的生活垃圾、施工弃土和建筑垃圾。根据建设单位提供的资料，结合工程分析，本项目的生活垃圾产生量每人每天约 1kg，施工期生活垃圾产生量约为 7.2t，弃土量约为 25m³，建筑垃圾产生量约 0.5t。施工弃土和建筑垃圾组成以无机成分为主，均为一般固体废物，无重金属等环境敏感物料，采取集中堆放，随时用专用车辆清运至环卫部门指定地点。生活垃圾集中收集，及时清理，外运至乌鲁木齐市米东垃圾综合处理厂进

行填埋。建筑垃圾及时运至附近的汉石建筑垃圾填埋厂填埋。通过严格执行国家环保法律法规以及当地政府的管理规定，科学管理、文明施工，本项目施工期产生的固体废物对周围环境影响较小。

11.1.4 声环境影响分析

本项目建设阶段的噪声来自加速器室墙体建设、场地平整、相关设施的安装调试等阶段中，该项目周围无声环境敏感目标，建筑施工对周围声环境影响较小，且噪声会随施工结束而消失。因此，只要合理安排施工时间，对周围环境的影响不大。为降低施工噪声对环境的影响，施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）昼间70dB(A)、夜间55dB(A)的限值要求，尽量使用噪声低的先进设备，避免大型机械同时、同地段集中施工，同时严禁夜间进行强噪声作业。

11.1.5 设备安装调试阶段对环境的影响

设备安装调试过程中主要污染因子包括调试时产生的X射线和设备的包装废物。设备安装调试工作应由厂家专业人员进行，设备调试时应设置醒目的指示牌，调试期间加强巡视工作，禁止无关人员在设备附近逗留。调试期间相关工作人员应配备好个人剂量牌、个人剂量报警仪，穿戴好防护服等。安装调试过程中严格遵守操作规程，检查安全连锁装置、声光报警安全装置、监视装置、语音广播设备、急停开关、急停拉线等。在辐照设备通道出入口，均设立电离辐射警示标志，禁止无关人员靠近，防止辐射事故发生。安装调试过程中产生的包装废物由环卫工人运走统一处理。

新疆胡杨集团有限公司在施工阶段采取上述污染防治措施，可将施工期的影响控制在厂区内局部区域，对周围环境不会产生较大的影响。

11.2 运营期对环境的影响

11.2.1 辐射环境影响分析

本项目运行期环境影响主要为：加速器运行时产生的X射线、O₃、氮氧化物气体对环境的影响以及辐射工作人员产生的生活污水及生活垃圾对环境的影响。

保护措施：

（1）按HJ979-2018《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》的要求做好屏

蔽设计；

- (2) 制订完善的辐照加速器相关的辐射环境管理规章制度；
- (3) 加强辐射工作管理工作，制订辐射事故应急预案，做好应急演练；
- (4) 加强辐射工作人员辐射知识培训，持证上岗；
- (5) 做好日常辐射防护设施、设备维护管理工作；
- (6) 做好其他与辐照加速器辐射防护相关工作。

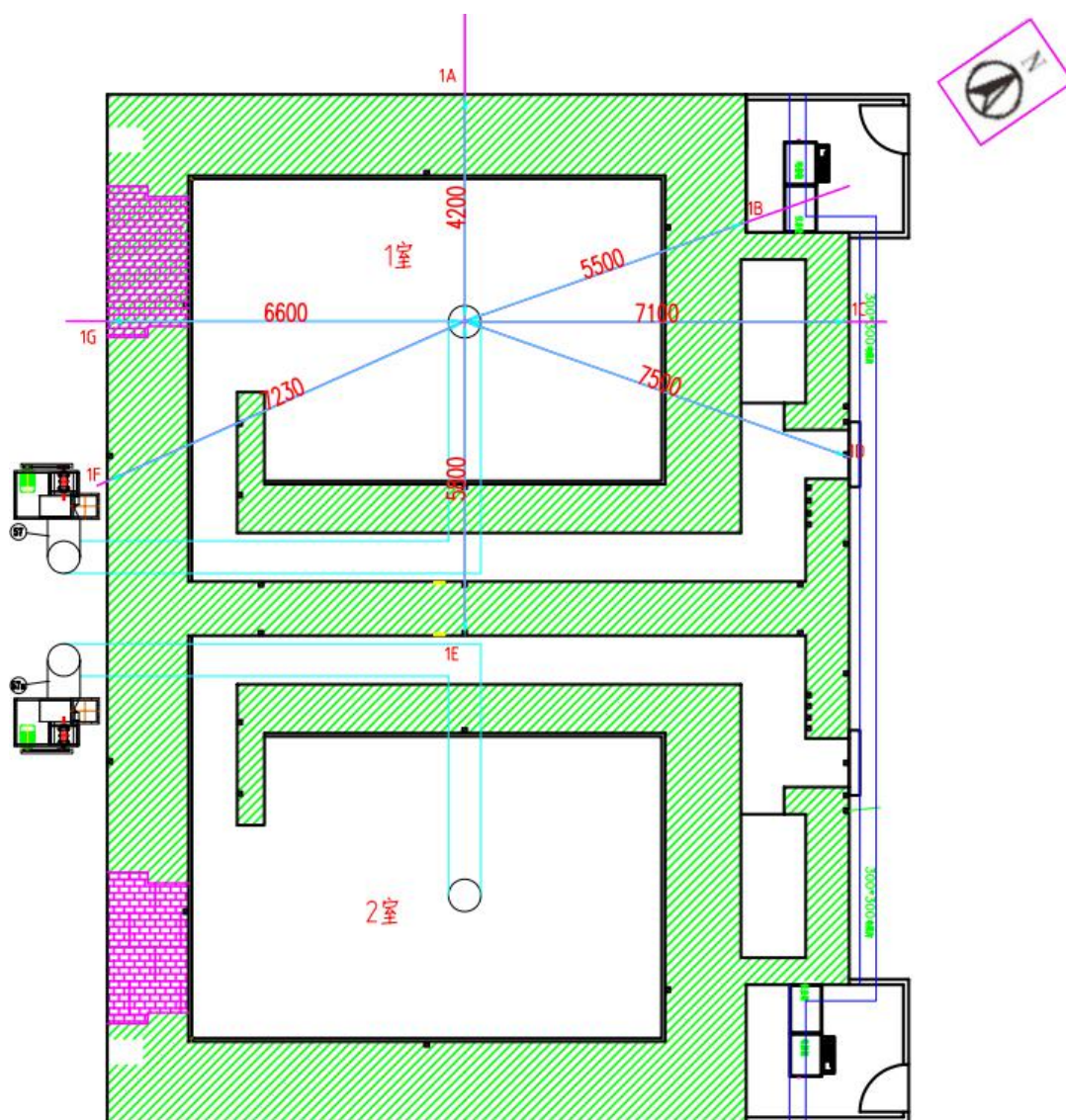


图 11-1 一层加速器室 1 室透射图

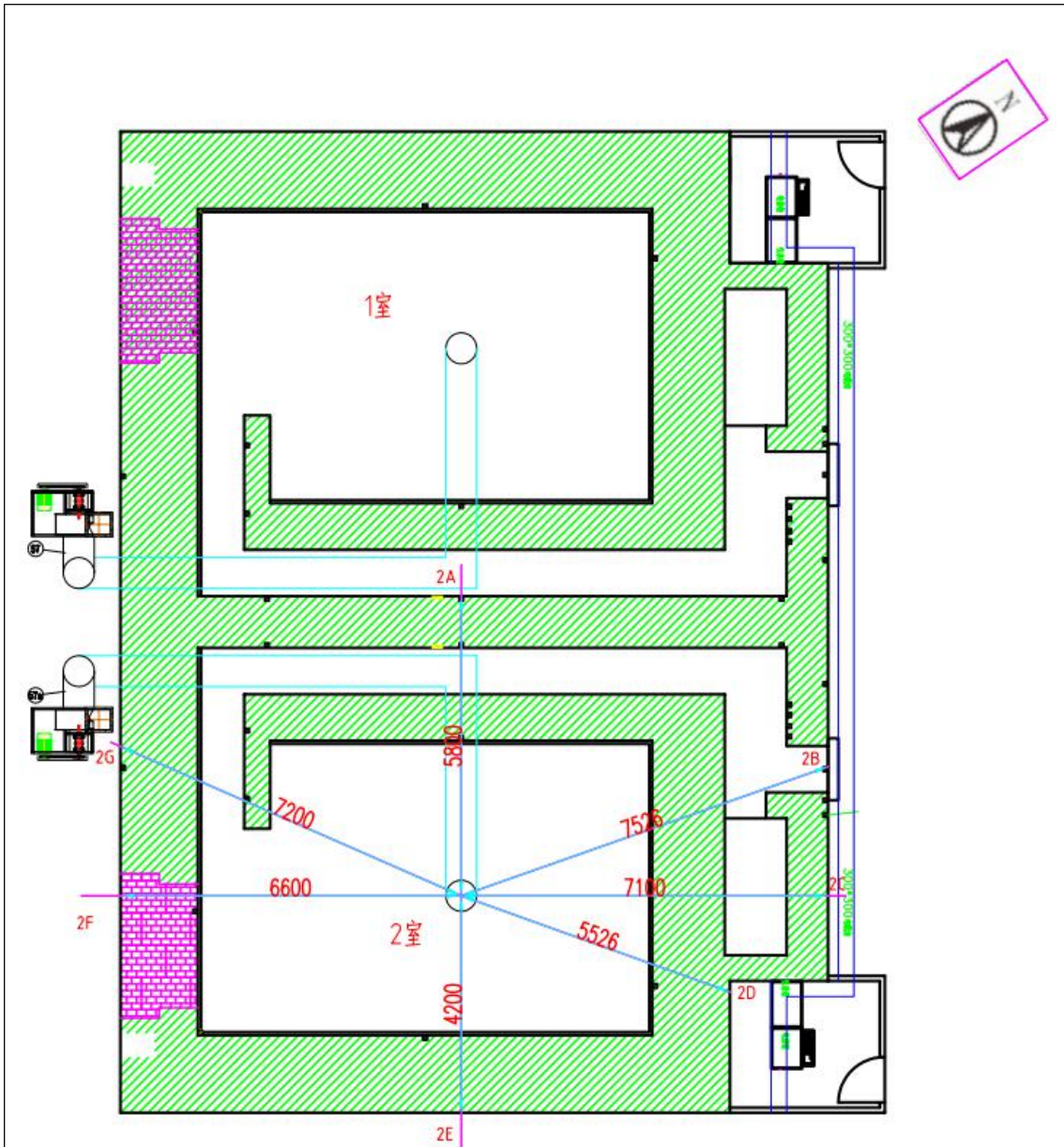


图 11-2 一层加速器室 2 室透射图

1、加速器室设计参数

根据HJ979-2018《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》，可查出表11-1至表11-4各项参数。

表11-1 X射线辐射率（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	2.5	3.0	4.0	5.0	7.5	10.0
前向 0°	0.008	0.26	1.3	3.3	7.0	14.0	30.0	63.2	170	450
侧向 90°	0.07	0.4	1.0	1.6	2.5	3.2	4.8	6.5	10.0	13.5

**表11-2 防护墙和防护门材料在X射线不同能量下的
TVL1/TVL2 (T1/Te) (cm)**

X射线能量	0.5MeV	1.5MeV	2MeV	3MeV
普通混凝土 (2.35g/cm ³)	15.2/11.9	20.4/18.3	22.1/20.1	26.1/24.7
铁 (7.85g/cm ³)	3.8/3.3	6.8/6.2	7.7/7.0	8.7/8.2
铅 (11.34g/cm ³)	0.5/1.2	2.6/3.65	3.35/4.2	4.5/4.9

说明：TVL1表示靠近辐射源的第一个十倍减弱层厚度，TVL2表示第一个十倍减弱厚度之后的十倍减弱厚度，可近似作为常数。

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

表11-4 2MeV电子加速器剂量参数D₀ (单位：m²·Gy·h⁻¹)

	束流前进方向(0°)	束流侧向 (90°)
加速器室主束 Primary	9900 (2MeV)	4800 (2MeV)

2、厂房屏蔽墙计算

(1) X射线发射率

1) 加速器辐照室X射线发射率

此处计算的是X射线侧向屏蔽，因此需要给出2MeV电子侧向(90°方向)X射线发射率，根据表11-1，2MeV入射电子在距靶1米处侧向90°的X射线发射率为1.6Gy·m²·mA⁻¹·min⁻¹，保守计算考虑，X射线发射率修正系数在本报告中取值为1。D10—距离X射线辐射源1m处的标准参考点的吸收剂量率(Gy·h⁻¹)见公式11-1。

$$D_{10}=60 \cdot Q \cdot I \cdot fe \quad (\text{公式11-1})$$

式中：Q—X射线发射率(Gy·m²·mA⁻¹·min⁻¹)；

I—电子束流强度(mA)；

fe—X射线发射率修正系数，本项目射线直接向下照射电缆，通过电缆后的吸收材料靶材料为不锈钢(铁)，取四周墙体屏蔽为90°方向，修正系数为0.5。

当束流强度为50mA，则根据公式11-1，加速器室距离X射线辐射源1m处的标准参考点的吸收剂量率为：

$D_{10}(90^\circ)=60 \times 1.6 \times 50 \times 0.5 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}=2.4 \times 10^3 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ，依据HJ979-2018《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》附录A表A.4，2MeV电子在侧向屏蔽能量取相应等效能量为1.3MeV。

2) 2楼主机室（二层平台）加速器束流损失所致X射线发射率

不同类型的电子加速器在加速过程中的束流损失有很大差异，其资料应由设计单位或生产厂家提供。本计算根据设计单位提供参数，束流损失率为2%（即电子束流强度为1mA），束流损失点的能量（等效能量）为1.3MeV。根据表11-1，1.3MeV（取1.5MeV）入射电子在距靶1米处侧向90°的X射线发射率 $1.0 \text{ Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，保守计算考虑，X射线发射率修正系数取值为1。当束流强度为1mA，则根据公式11-1，主机室距离X射线辐射源1m处的标准参考点的吸收剂量率为： $D_{10}(90^\circ)=60 \times 1.6 \times 1 \times 1 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}=96 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。依据附录A表A.4，2MeV入射电子在侧向屏蔽能量取相应等效能量1.3MeV。

3) 透射比 B_x 的计算

X射线透射比的计算公式如下：

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

式中： B_x ——屏蔽墙对X射线的透射系数；

H_M ——透射参考点处剂量当量率（ $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ）；

d ——X射线源与参考点(计算点间)的距离（m）；

D_{10} ——距X射线源1m处的吸收剂量率（ $\text{m}^2 \cdot \text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ）；

T ——居留因子；

常数（ 1×10^{-6} ）——单位转换系数， $1 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} = 1 \times 10^{-6} \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ （1Gy相当于1Sv）。

根据公式11-2，其中参考点（距离屏蔽体外侧0.3米处）最大允许周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ） H_M 取2.5，厂房内居留因子 T 保守取1，厂房外居留因子 T 保守取1/16，计算出X射线的透射比 B_x 见表11-5、表11-6。

表11-5 加速器辐照室1室90°方向辐射屏蔽透射比计算结果

楼层	参考点	位置	距离(m)	$D_{10}(\text{Gy/h})$	$H_M(\mu\text{Sv/h})$	T	B_x
一层	1A	加速器室北墙外	4.5	2400	2.5	0.06	3.4E-7

加速器室周围	1B	加速器室东北控制室	5.8	2400	2.5	1	3.5E-8
	1C	加速器室东墙外	7.4	2400	2.5	0.06	9.1E-7
	1D	加速器室东南防护门外	7.8	2400	2.5	0.06	9.1E-7
	1E	加速器室南墙外(2室迷道内)	6.1	2400	2.5	0.06	6.2E-7
	1F	加速器室西南墙辅助设备间	7.5	2400	2.5	0.06	1.0E-6
	1G	加速器室西墙外	6.9	2400	2.5	0.06	7.9E-7
屋顶	1H	加速器室屋顶	3.8	2400	2.5	0.06	8.3E-9

参考点均距离墙外0.3m，计算顶棚的辐射剂量率时，保守估算，D10采用90°方向的数值。

表11-6 加速器辐照室2室 90°方向辐射屏蔽透射比计算结果

楼层	参考点	位置	距离(m)	D10(Gy/h)	H _M (μSv/h)	T	B _x
一层加速器室周围	2A	加速器室北墙外(1室迷道内)	6.1	2400	2.5	0.06	6.2E-7
	2B	加速器室东北防护门外	7.8	2400	2.5	0.06	1.0E-6
	2C	加速器室东墙外	7.4	2400	2.5	0.06	9.1E-7
	2D	加速器室东南控制室内	5.8	2400	2.5	1	3.5E-8
	2E	加速器室南墙外	4.5	2400	2.5	0.06	3.4E-7
	2F	加速器室西墙外	6.9	2400	2.5	0.06	7.9E-7
	2G	加速器室西北墙外辅助设备间	7.5	2400	2.5	0.06	9.4E-7
屋顶	2H	加速器室屋顶	3.8	2400	2.5	0.06	8.3E-9

参考点均距离墙外0.3m。

4) 屏蔽墙体厚度的计算公式

用屏蔽材料的十分之一值层来表示屏蔽厚度。计算屏蔽墙体厚度，可以保守地估算为：

$$n = \log_{10} (1/B_x) \quad (\text{公式11-3})$$

$$S = T_1 + (n-1) T_e \quad (\text{公式11-4})$$

其中：T₁和T_e值见表11-2。

首先根据公式11-3，采用表11-4中的B_x值，计算出n值。再由表11-2，查出混凝土的T₁和T_e值：对于加速器室，入射电子能量为1.3（取1.5）MeV，即辐射

室等效能量1.5MeV，混凝土的T1=20.4cm,Te=18.3cm。最后根据公式11-4计算出对应混凝土的厚度，见表11-7、表11-8。

表11-7 90° 方向加速器1室辐射屏蔽墙厚度计算结果

参考点	墙体	居留因子 T 位置	H _M (μS v/h)	距离 m	D10(G y/h)	T1/Te (cm)	混凝土墙厚 (cm)	
							理论值	实际值
1A	加速器室北墙 外	1/16 公众, 车间内	2.5	4.5	2400	20.4/18.3	120.5	150
1B	加速器室东北 控制室	1	2.5	5.8	2400	20.4/18.3	138.5	160
1C	加速器室东墙 外	1/16 公众, 车间外	2.5	7.4	2400	20.4/18.3	112.6	220
1D	加速器室东南 防护门外	1/16 公众, 车间内	2.5	7.8	2400	20.4/18.3	111.8	150
1E	加速器室南墙 外 (2 室迷道 内)	1 职业, 控制室	2.5	6.1	2400	20.4/18.3	115.7	190
1F	加速器室西南 墙辅助设备间	1/16 公众, 车间外	2.5	7.5	2400	20.4/18.3	112.4	200
1G	加速器室西墙 外	1/16 公众, 车间外	2.5	6.9	2400	20.4/18.3	113.7	150
1H	加速器室屋顶	1/16, 检修人员	2.5	3.8	2400	20.4/18.3	123.2	150

参考点均距离墙外0.3m。

表11-8 90° 方向加速器1室辐射屏蔽墙厚度计算结果

参考点	墙体	居留因子 T 位置	H _M (μS v/h)	距离 m	D10(G y/h)	T1/Te (cm)	混凝土墙厚 cm	
							理论值	实际值
2A	加速器室北墙 外 (1 室迷道 内)	1/16 公众, 迷道内	2.5	6.1	2400	20.4/18.3	115.7	190
2B	加速器室东北 防护门外	1/16 公众, 车间内	2.5	7.8	2400	20.4/18.3	111.8	150
2C	加速器室东墙 外	1/16 公众, 车间内	2.5	7.4	2400	20.4/18.3	112.6	220
2D	加速器室东南 控制室内	1 职业, 控制室内	2.5	5.8	2400	20.4/18.3	138.5	160
2E	加速器室南墙 外	1/16 公众, 厂房外	2.5	4.5	2400	20.4/18.3	120.5	150
2F	加速器室西墙 外	1/16 公众, 厂房外	2.5	6.9	2400	20.4/18.3	113.7	150

2G	加速器室西北 墙外辅助设备 间	1/16 公众, 厂房外	2.5	7.5	2400	20.4/18.3	112.4	200
2H	加速器室屋顶	1/16, 检修人员	2.5	3.8	2400	20.4/18.3	123.2	150

参考点均距离墙外0.3m。

由附图4可知, 加速器辐照室1室、2室90° 辐射屏蔽墙的设计厚度均大于计算结果, 满足防护要求。

3、迷道散射计算

为防止电子在迷道入口处的照射, 最简单的屏蔽方法是使迷道路径长度大于电子在空气中的射程, 这个长度可以是迷道的直线距离, 或者是迷道中最短的几个中间距离之和。迷道路径图见图11-3。

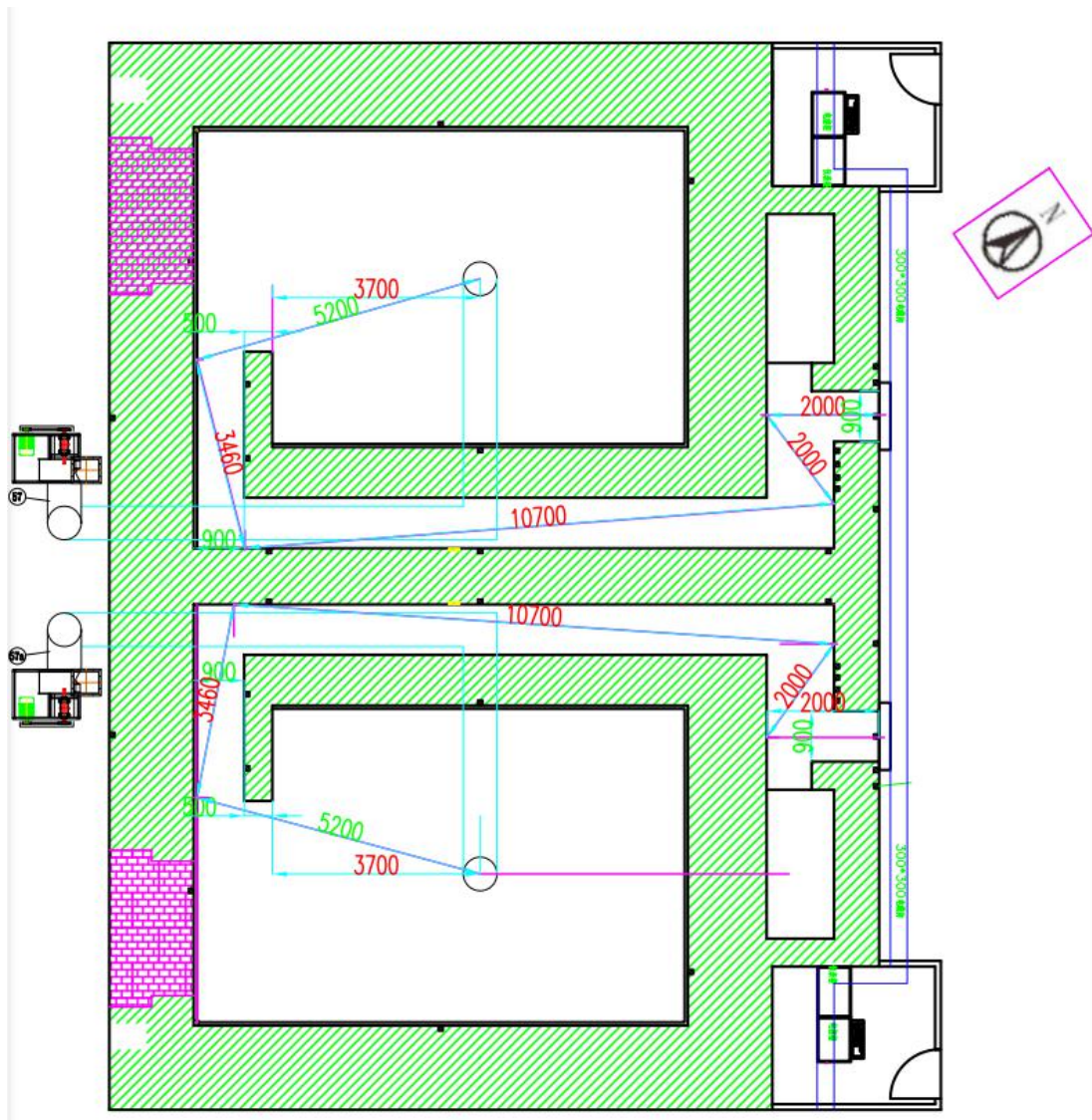


图11-3 加速器室散射路径示意图

防护X射线的迷道，下面的计算方法可保守地估算迷道外入口的剂量率：

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

式中： α_1 —入射到第一个散射体的X射线的散射系数；

α_2 —从以后的物质散射出来的0.5MeV的X射线的散射系数（假设对以后所有散射过程是相同的）；

A_1 —X射线入射到第一散射物质的散射面积（ m^2 ）；

A_2 —迷道的截面积（ m^2 ，假设整个迷道的截面积近似常数，高宽之比在1~2之间）；

d_1 —X射线源与第一散射物质的距离(m)；

$dr_1, dr_2 \dots dr_j$ —沿着迷道长轴的中心线距离； $dr_i/A_2^{1/2}$ 的比值应在1~6之间；

j —指第 j 个散射过程。在任何迷道的设计中，沿X射线源方向的线路，所设计迷道墙厚度的总和应不小于直射所需屏蔽墙的厚度。

根据公式11-5，对于能量大于3MeV的X射线认为其散射一次后的能量均为0.5MeV；本项目能量为2MeV，按照3MeV考虑，其散射一次后的能量取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} 。加速器室迷道散射计算的 D_{10} 取值为： $D_{10}(90^\circ)=2400\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。加速器室迷道散射面积的确定： 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11-3，对于加速器室1室防护门外点： $A_1=(1.4+3.7) \times 2.3=11.73\text{m}^2$ ； $A_2=0.9 \times 2.3=2.07\text{m}^2$ ， $A_3=1.2 \times 2.3=2.76\text{m}^2$ ； $A_4=0.9 \times 2.3=2.07\text{m}^2$ ；第一个散射面的散射点保守地取在靠近迷道处。加速器室迷道散射计算结果见表11-9。

表11-9 迷道散射计算结果

楼层	参考点	散射次数j	路径(m) $d_1, dr_1, dr_2, dr_3, dr_4$	辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)
加速器室1室	防护门外	4	4.60,3.46,10.70,2.00,2.00	2.15E-8
加速器室2室	防护门外	4	4.60,3.46,10.70,2.00,2.00	2.15E-8

由表11-9可知，加速器室迷道入口处周围剂量当量率为 $2.15\text{E}-8\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ，远小

于最大允许周围剂量当量率 $2.5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ，所以，加速器室迷道的设计是合理的。

4、厂房屋顶厚度

屋顶的屏蔽透射比 B_{xs} 为：

$$B_{xs} = 4 \times 10^{-5} \left[\frac{H_M d_i^2 d_s^2}{D_{10} \Omega^{1.3}} \right] \quad (\text{公式11-6})$$

式中： H_M —P点所在位置的最大允许周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$)。

B_{xs} —X射线屋顶的屏蔽透射比；

Ω —由X射线源与屏蔽墙对向的立体角 (Sr)；

d_i —在屋顶上方2m处离靶的垂直距离 (m)；

d_s —X射线源至P点的距离 (m)。

D_{10} 根据公式11-2进行计算，公式中 f_e 需要根据靶材料进行修正。表11-1中给出的数据是电子束打高Z靶的数据，通常被辐照的物质很少为高Z材料，因此需要对靶进行修正。本工业辐照用加速器出束后直接照射在电缆材料上，在地面放置有钢板，靶材料按铁考虑，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。

$$D_{10\text{修正}}(90^\circ) = 60 \times 1.6 \times 50 \times 1 \times 0.5 \text{Gy} \cdot \text{h}^{-1} = 2.4 \times 10^3 \text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$$

计算出屋顶屏蔽透射比 B_{xs} 后，按上述十分之一值层求解法计算出屋顶的屏蔽厚度。

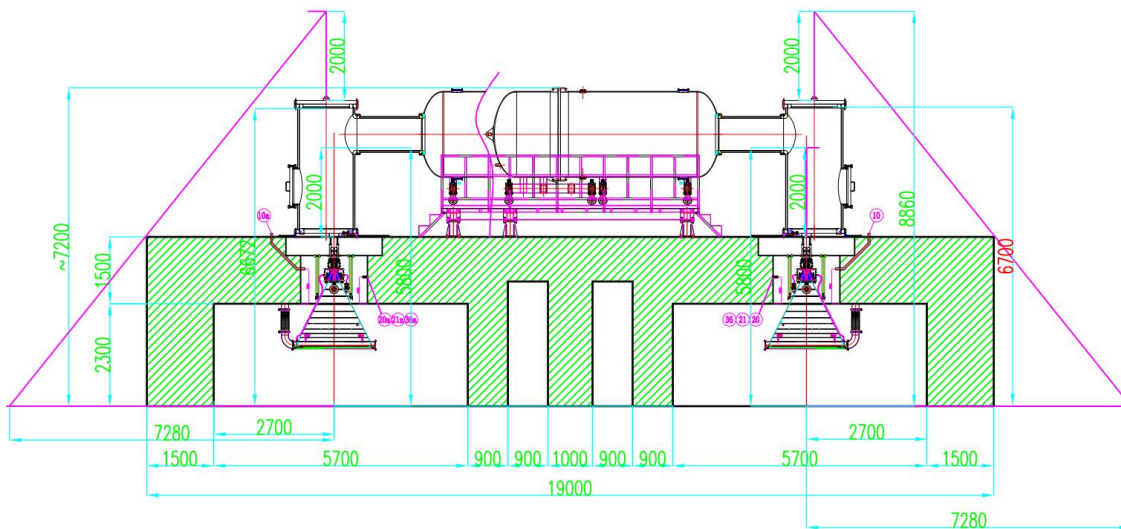


图 11-4 厂房屋顶厚度计算示意图

对于天空反散射，这里要综合考虑加速器室和主机室辐射对参照点P的剂量

贡献，根据公式11-6计算出屋顶天空反散射计算结果见表11-9。假设P点位于公众所能达区域，区域居留因子取1/4，因此P点所在位置的最大允许周围剂量当量率： $H_M=0.1\text{mSv}/(24\text{h}\times 300\times 1/4)=5.56\times 10^{-5}\text{mSv}\cdot\text{h}^{-1}=5.56\times 10^{-2}\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$

$$B_{xs}=4\times 10^{-5}\times(5.56\times 10^{-2}\times 8.86^2\times 7.28^2)/(2.4\times 10^3\times 0.1^{1.3})=7.69\times 10^{-5}$$

根据公式11-3计算出n值， $n=-\log_{10}(1/B_x)=-\log_{10}(1/7.69\times 10^{-5})=4.1$

再根据公式11-4计算出需要屋顶厚度S

$$S=T_1+(n-1)T_e=20.4+(4.1-1)\times 18.3=77(\text{cm})$$

表11-10 屋顶天空反散射计算结果

楼层	D10 (Gy/h)	H _M (μSv/h)	Ω	d _i (m)	d _s (m)	B _{xs}	所需屋顶厚度 (cm)
一楼加速器室1室	2.4E+3	5.56E-2	0.1	8.86	7.28	7.69E-5	77
一楼加速器室2室	2.4E+3	5.56E-2	0.1	8.86	7.28	7.69E-5	77

根据表11-10的计算结果可知，只要加速器室屋顶的厚度大于77cm，P点的剂量率将小于 $5.56\times 10^{-2}\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ，满足对应区域年剂量率要求；本项目屋顶厚度设计为150cm，满足要求。

5、参考点透射剂量率计算

根据公式 $S=T_1+(n-1)T_e$ 和设计混凝土墙厚实际值，求出n值，

根据
$$H_M = (1 \times 10^6) \frac{D_0 \cdot T}{d^2} \cdot 10^{-n} \quad (\text{公式11-7})$$

求出参考点透射剂量率H_M。

(3) 墙厚及参考点透射剂量率计算

按照设计屏蔽体实际厚度，根据公式11-2至公式11-7，可以计算出不同位置、不同墙厚及参考点透射剂量率，具体见表11-11、表11-12。

表11-11 一层加速器室1室墙厚及参考点剂量率

参考点	位置	居留因子 T	距离 (m)	D0 (Gy/h)	T ₁ /T _e (cm)	设计混凝土墙厚 (cm)		n	计算 H _M (μSv/h)
						理论值	实际值		

1A	加速器室北墙外	1/16	4.5	2400	20.4/18.3	120.5	150	8.1	6.1E-2
1B	加速器室东北控制室	1	5.8	2400	20.4/18.3	138.5	160	8.6	1.7E-1
1C	加速器室东墙外	1/16	7.4	2400	20.4/18.3	112.6	220	11.9	3.4E-6
1D	加速器室东南防护门外	1/16	7.8	2400	20.4/18.3	111.8	150	8.1	2.0E-2
1E	加速器室南墙外（2室迷道内）	1/16	6.1	2400	20.4/18.3	115.7	190	10.3	2.2E-4
1F	加速器室西南墙辅助设备间	1/16	7.5	2400	20.4/18.3	112.4	200	10.8	4.1E-5
1G	加速器室西墙外	1/16	6.9	2400	20.4/18.3	113.7	150	8.1	2.6E-2
1H	加速器室屋顶	1/16	3.8	2400	20.4/18.3	123.2	150	8.1	8.6E-2

备注：（1）屏蔽墙防护材料用混凝土，其密度 $\rho \geq 2.35\text{g/cm}^3$ ，如密度有变化，按反比原则增减厚度。

（2）计算距离均按设计墙体距离+墙外 30cm。

从理论计算结果可知，在加速器室一层东北控制室最大剂量率 $0.17\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ，满足标准要求的墙外30cm处 $\leq 2.5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 的要求。

表11-12 一层加速器室2室墙厚及参考点剂量率

参考点	位置	居留因子 T	距离 (m)	D0 (Gy/h)	T ₁ /T _e (cm)	设计混凝土墙厚(cm)		n	计算 H _M ($\mu\text{Sv/h}$)
						理论值	实际值		
2A	加速器室北墙外（1室迷道内）	1/16	6.1	2400	20.4/18.3	115.7	190	10.3	2.2E-4
2B	加速器室东北防护门外	1/16	7.8	2400	20.4/18.3	111.8	150	8.1	2.0E-2
2C	加速器室东墙外	1/16	7.4	2400	20.4/18.3	112.6	220	11.9	3.4E-6
2D	加速器室东南控制室内	1	5.8	2400	20.4/18.3	138.5	160	8.6	1.7E-1

2E	加速器室南墙外	1/16	4.5	2400	20.4/18.3	120.5	150	8.1	6.1E-2
2F	加速器室西墙外	1/16	6.9	2400	20.4/18.3	113.7	150	8.1	2.6E-2
2G	加速器室西北墙外辅助设备间	1/16	7.5	2400	20.4/18.3	112.4	200	10.8	4.1E-5
2H	加速器室屋顶	1/16	3.8	2400	20.4/18.3	123.2	150	8.1	8.6E-2

备注：（1）屏蔽墙防护材料用混凝土，其密度 $\rho \geq 2.35\text{g/cm}^3$ ，如密度有变化，按反比原则增减厚度。

（2）计算距离均按设计墙体距离+墙外 30cm。

从理论计算结果可知，在加速器室一层东南控制室最大剂量率 $0.17\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ，满足标准要求的墙外30cm处 $\leq 2.5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 的要求。

11.2.2 设备层辐射剂量分析

设备层的辐射场由三部分叠加构成：①一层加速器室内入射电子束 105° 到 180° 方向的韧致辐射初级 X 射线，经过加速器室屋顶（即设备层地板）不完全屏蔽的贯穿辐射场；②一层加速器室内 0° 方向上产生的韧致辐射初级 X 射线，经 180° 方向散射后的次级 X 射线，通过加速器室屋顶上的孔洞直接照射入二楼设备平台加速器主体的钢桶内形成的散射辐射场；③尚未加速到最高能量的电子在加速过程中束流损失而与钢筒作用产生的束流损失辐射场。

由于与电子束入射方向成 180° 方向散射后次级 X 射线能量较低，且加速器室顶部孔洞设计尺寸较小，直接照射到孔洞上方的加速器侧钢桶内，受到加速器钢筒屏蔽，对周围辐射影响较小。因此仅考虑贯穿辐射场和束流损失的辐射影响。

保守估计， 105° 到 180° 方向的发射率常数取 90° 方向的发射率常数。根据上文计算可知，加速器室内初级 X 射线对二层设备层造成的辐射剂量率最大值为 $0.086\mu\text{Sv/h}$ 。

根据加速器厂家提供的数据，本项目电子加速器束流损失为 1%，束流损失点的能量为总能量的 10%，因此 2.0MeV 能量的加速器束流损失点的电子束流强度为 0.5mA，能量为 0.20MeV，保守取 0.5MeV。根据《辐射防护导论》（方杰编）图 3.3 可查得，0.5MeV 能量在距靶 1m 处侧向 90° 的 X 射线发射率为

0.07Gy·m²·mA⁻¹·min⁻¹，X射线发射率修正系数取值为0.5。

参考《辐射防护手册》第三册 P102 公式 4.1 并作一下变形：

$$H_m=60\times Q\times I\times T\times B_x/d^2 \text{ (式 11-8)}$$

式中：

H_m ——剂量当量率，Gy/h；

Q ——距离辐射源（靶）1m 处的 X 射线发射率，Gy·m²·mA⁻¹·min⁻¹；

I ——电子束流强度，mA；

T ——参考点所在区域的居留因子；

B_x ——90°方向上 X 射线在屏蔽层中的透射比，无量纲；

d ——辐射源到计算点的距离，m；

参考《辐射防护手册》第三册 P102 公式 4.2 和公式 4.3，即上文式 11-3 和式 11-4 可算得透射系数 R_x 。根据表 11-2，可查得钢对 0.5MeV 入射电子能量对应的 T_1 和 T_e 值为 3.8cm、3.3cm；铅对 0.5MeV 入射电子能量对应的 T_1 和 T_e 值为 0.5cm、1.2cm。则在 0.5MeV 能量下，10mm 铅板约等于 30mm 钢板，保守取等效防护层较少的加速器水平方向电子枪旁与主设备的连接筒辐射防护设施的防护参数进行计算。束流损失具体核算结果见表 11-13。

表 11-13 加速器束流损失核算结果

加速器	Q (Gy·m ² ·mA ⁻¹ ·min ⁻¹)	I (mA)	T	屏蔽厚度	R_x	距离 d (m)	关注点剂量率 (μSv/h)
1 室	0.035	0.5	1/16	100mm 钢板	1.3×10^{-3}	1.00	8.7×10^{-5}
2 室	0.035	0.5	1/16	100mm 钢板	1.3×10^{-3}	1.00	8.7×10^{-5}

由表 11-13 可知，加速器主体束流加速系统内的束流损失所致的辐射剂量率最大为 8.7×10^{-5} μSv/h。因此，对于二层设备层，主要考虑因贯穿辐射引起的辐射剂量率，辐射剂量率最大值为 0.086 μSv/h，满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏

蔽体外表面 30cm 处及以上区域周围剂量当量率不能超过 2.5 μ Sv/h”的要求。

根据与本项目同一型号的湖州环安检测有限公司出具的电子加速器辐照项目检测报告（见附件 10），设备在负荷达到满负荷 90%的出束状况下开机监测条件（1.8MeV、40mA）的辐射剂量率最大为 197nSv/h，略高于关机状态监测点最小值 133nSv/h。自屏蔽体各表面处辐射剂量率均低于 2.5 μ Sv/h，表明该设备安全防护正常，加速器机房周围各监测点位辐射剂量率测量结果均符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）的相关要求。

11.2.3 人员受照剂量分析

11.2.3.1 估算公式

X- γ 射线产生的外照射人均年有效当量剂量按下列公式计算：

$$H_{Er}=H\times T\times t\times 10^{-3} \quad (\text{公式 11-8})$$

式中：

H_{Er} ：X或 γ 射线外照射人均年有效剂量当量，mSv；

$H_{(10)}$ ：X或 γ 射线周围剂量当量率， μ Sv/h；

T：居留因子；

t：X 或 γ 射线照射时间，小时。

居留因子的取值见表11-14。

表 11-14 不同工作场所与环境条件下的居留因子

场所	居留因子	事例
全居留	1	控制室、办公室、邻近建筑物中的驻留区
偶然居留	1/4~1/40	楼梯、人行道

注：取自NCRP144，本项目取1/16。

11.2.3.2 受照剂量分估算

根据建设单位提供的资料，本项目DDL2.0MeV-50mA电子直线加速器辐照装置年工作300天，每天工作24小时，操作人员一年最多受到7200h照射。操作人员所在控制室位于电子直线加速器辐照装置漏射线方向的防护墙体外。

按上述公式和射线装置最大出束时间，可计算得出有关辐射工作人员及公众成员所受外照射年有效剂量，公众居留因子取1/16。计算结果见表11-15、表11-16。

表 11-15 本项目加速器室 1 室工作人员及公众成员所受最大照射剂量一览表

保护目标		居留因子	最大吸收剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	最大年照射时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
东北墙外控制室	职业人员	1	0.17	7200	1.21
加速器室西南辅助机房	公众人员	1/16	4.1E-5	7200	1.8E-5
加速器室东墙外	公众人员	1/16	3.4E-6	7200	1.5E-6
加速器室南墙外	公众人员	1/16	2.2E-4	7200	9.8E-5
加速器室西墙外	公众人员	1/16	2.6E-2	7200	1.2E-2
加速器室北墙外	公众人员	1/16	6.1E-2	7200	2.8E-2
加速器室屋顶外	检修人员	1/16	8.6E-2	7200	3.9E-2

备注：由于加速器室辅助机房一般无人员停留，只有检修才进入，故居留因子按1/16考虑。

从表 11-15 可知，职业人员受到附加有效剂量最大为 1.21mSv/a，低于本项目确定的职业人员年剂量约束值 5mSv/a，公众人员受到附加有效剂量最大为 0.039mSv/a，位于加速器室 1 室屋顶，在没有考虑 1#厂房墙体防护的情况下，低于本项目确定的公众人员年剂量约束值 0.1mSv/a。

表 11-16 本项目加速器室 2 室工作人员及公众成员所受最大照射剂量一览表

保护目标		居留因子	最大吸收剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	最大年照射时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
东南墙外控制室	职业人员	1	0.17	7200	1.21
加速器室西北辅助机房	公众人员	1/16	4.1E-5	7200	1.8E-5
加速器室东墙外	公众人员	1/16	3.4E-6	7200	1.5E-6
加速器室南墙外	公众人员	1/16	6.1E-2	7200	2.8E-2
加速器室西墙外	公众人员	1/16	2.6E-2	7200	1.2E-2
加速器室北墙外	公众人员	1/16	2.2E-4	7200	9.8E-5
加速器室屋顶外	检修人员	1/16	8.6E-2	7200	3.9E-2

从表 11-16 可知，职业人员受到附加有效剂量最大为 1.21mSv/a，低于本项目确定的职业人员年剂量约束值 5mSv/a，公众人员受到附加有效剂量最大为 0.039mSv/a，位于加速器室 2 室屋顶，在没有考虑 1#厂房墙体防护的情况下，

低于本项目确定的公众人员年剂量约束值 0.1mSv/a。

11.2.4 其他环境影响分析

2 间加速器室各安装 1 个排臭氧风机，流量 15000m³/h (4.2m³/s)，本评价项目的加速器室容积为 115.4m³，最长约 27.5 秒钟可以将加速器室内空气与外界置换一次。

电子束在轰击靶时，加速器室空气被部分电离或激发从而产生臭氧。引用《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-85)靶室内臭氧浓度的计算模式，当辐照期间加速器辐照室有通风时，假设臭氧无分解，则靶室内 t 时刻臭氧浓度 O₃ 的浓度可用公式 11-9 计算：

$$c_o = 2.79 \times \frac{Id}{V} (1 - e^{-\frac{v}{V}t}) \quad (\text{公式 11-9})$$

式中：c_o—加速器室空气中 O₃ 的浓度，(mg/m³)；

I—电子束流强度，取 50mA

d—电子束在空气中的径迹长度，取 100cm；

V—靶室体积，取 115.4m³

v—排气速率，取 4.2m³/s，

t—辐照时间，取 3600s。

加速器停机后，靶室内 t 时刻臭氧浓度 c 的浓度可用公式 11-10 计算：

$$c = c_o e^{-\frac{v}{V}t} \quad (\text{公式 11-10})$$

式中：t—停机后的等待时间，s。

其他符号的意义同公式 (11-9)

根据评价本项目中各加速器辐照室容积 V，加速器室排风系统的排风率以 15000m³/h (4.2m³/s) 计算。根据公式 11-9 可计算该电子加速器在通风设施正常运行状态下，连续供束 24 小时后，加速器室内臭氧的浓度 C₀ 约为 120.9mg/m³，加速器停机后，加速器室内的臭氧浓度将随着排风设施的运行逐渐降低，根据公式 11-10 可计算要把加速器室内的臭氧浓度降至标准浓度(c_t=0.3mg/m³)以下，所需的等待时间 t 约为 165 秒，即操作人员可在加速器停机后 165 秒以后再进入加速器室内。为了进一步降低臭氧对工作人员的影响，建议停机 5 分钟后再进入加速器室内。实际上臭氧很不稳定，在常温下不断地转化成氧，或与其他材料和空气中的杂质产生化学反应，因此其浓度降低速度也将大大加快。

加速器辐照室设有排气设施，排气口拟设在车间天面以上，并高于车间屋脊。由于几乎所有的臭氧都产生于钛窗到辐照货物之间，为了使臭氧刚产生就被通风系统抽走，因此在加速器辐照室内正对着钛窗口处设置抽风口，距离约30厘米，这样设计尽量避免其在加速器室扩散。

通过本项目设计的通风系统，在加速器停机后165秒，加速器运行产生的O₃对环境的影响可以满足《工作场所有害因素职业接触限值》（GBZ2.1-2019）允许值0.3mg/m³以下。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境管理机构的设置

12.1.1 放射防护管理领导小组

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 449 号）等相关规定，需成立辐射防护管理领导小组。领导小组职责主要有以下 5 条：

- （1）运行单位法人为本单位辐射防护管理的第一责任人，运行单位法人授权辐射防护管理领导小组组长代表法人全面负责辐射防护管理工作，承担分管领导责任；
- （2）负责对射线装置安全防护工作和环境保护工作实施统一监督管理；
- （3）负责辐射防护管理队伍的建设；
- （4）负责指导各小组成员及相应管理者实施辐射防护的日常监督管理；
- （5）组织制定并实施辐射事故应急预案；配合上级部门开展辐射事故的应急响应、调查处理和定级定性工作。

12.1.2 辐射工作人员管理

该项目拟设置 8 名辐射工作人员。其中管理人员 1 名，应急人员 1 名，操作人员 6 名，实行 3 班轮转制，每班工作 8 小时，一天 24 小时工作，年工作 300 天。

1、个人剂量管理

制定《辐射工作人员个人剂量管理办法》，配备个人剂量计，环评要求运行单位应委托具有相应资质的单位对本单位辐射工作人员进行个人剂量监测，监测周期一般为 90 天。并建立个人剂量档案，个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。

2、职业健康检查

应制定《辐射工作人员职业健康管理制度》，环评要求辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作。上岗后辐射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年，必要时可增加临时性检查。辐射工作人员脱离辐射工作岗位时，工作单位应当对其进行离岗前的职业健康检查。

3、辐射安全和防护专业知识培训

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）和《放射性同位素与射线装置安全和管理办法》要求，所有辐射工作人员必须按照生态环境部 2019 年第 57 号公告《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》（培训平台，网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）、2021 年第 9 号公告要求（关于进一步优化辐射安全考核的公告(mee.gov.cn)），定期（五年一次）组织辐射工作人员参加生态环境部门网上培训系统有关辐射安全和防护专业知识培训及相关法律法规的培训和考核，尤其是新进的、转岗的人员，必须取得岗位培训合格证，持证上岗。辐射安全与防护培训合格证为五年，到期前，必须参加复训并取得合格证。

每年对辐照装置的辐射安全和防护状况进行年度评估，并于次年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

12.2 辐射安全管理规章制度

运行单位新疆胡杨线缆制造有限公司制定了《辐射安全防护自行检查与评估制度》、《辐射防护安全管理制度》、《辐射事故应急预案》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作场所监测管理办法》、《辐射工作人员个人剂量管理办法》、《辐射工作人员培训制度》、《辐射工作人员职业健康管理制度》与《辐照系统操作规程》等规章制度。

12.3 辐射监测

12.3.1 DDL2.0MeV-50mA 电子直线加速器辐照装置场所辐射水平

运行单位新疆胡杨线缆制造有限公司需委托有资质的单位，定期（每年 1 次）对辐射工作场所周围环境进行辐射监测，监测数据每年随年度评估报告一并上报自治区生态环境厅备案。

1、监测频度：每年常规监测一次；

2、监测范围：加速器辐照室、控制室、电缆入口、电缆出入口、防护门外、厂房外以及周围其他评价范围等；

3、监测项目：X- γ 辐射剂量率等（配备 X- γ 便携式辐射检测仪器或委托有资质的单位检测）；

4、监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

12.3.2 个人剂量监测

按照 12.1.2 辐射工作人员管理中个人剂量管理的要求进行个人剂量监测。

12.4 辐射事故应急

发生辐射事故时，事故单位按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条和原国家环境保护总局环发<2006>145 号文件规定，立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告，涉及人为故意破坏的还应向公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。为了杜绝事故发生，运行公司必须严格按照操作规程进行作业，确保安全。

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条及原国家环境保护总局环发<2006>145 号文件《建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度》之规定，发生辐射事故时，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位应当立即启动辐射事故应急预案，采取应急措施，并立即向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告。

结合实际情况及可能发生的辐射事故，该公司应制定《辐射事故应急预案》，包括以下内容：

一、辐射事件应急处理机构与职责

1、成立辐射事件应急处理领导小组，组织、开展辐射事件的应急处理救援工作。

2、应急处理领导小组职责：

(1) 定期组织对辐射工作场所、设备和人员进行辐射防护情况自查和监测，发现事故隐患及时上报单位领导层并落实整改措施；

(2) 发生人员受超剂量照射事故，应启动本预案；并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告，涉及人为故意破坏的还应向公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告；

(3) 事故发生后立即组织有关部门和人员进行辐射事故应急处理；

(4) 负责向卫生行政部门及时报告事故情况；

(5) 负责辐射事故应急处理具体方案的研究确定和组织实施工作；

(6) 辐射事故中人员受照时，要通过个人剂量计或其它工具、方法迅速估算受

照人员的受照剂量；

(7) 负责迅速安置受照人员就医，组织控制区内人员的撤离工作，并及时控制事故影响，防止事故的扩大蔓延。

二、辐射性事故应急救援应遵循的原则：

- 1、迅速报告原则；
- 2、主动抢救原则；
- 3、生命第一的原则；
- 4、科学施救，控制危险源，防止事故扩大的原则；
- 5、保护现场，收集证据的原则。

三、可能发生辐射事故的意外情况及风险防范措施：

新疆胡杨集团有限公司电子加速器项目使用 DDL2.0MeV-50mA 型电子加速器，根据项目情况，可能发生的辐射事故主要为意外照射和电子加速器故障事故。辐射事故发生的条件及防范措施如下：

(1) 辐照装置在工作状态，防护屏蔽又达不到要求情况下，给周围活动人员及工作人员造成不必要的照射；

主要风险防范措施：辐照装置置于加速器辐照室内，加速器辐照室墙体采用混凝土浇筑，且辐照系统自带屏蔽。通过预测分析，辐照装置屏蔽能力满足防护要求。同时，公司应定期委托有资质单位对辐射场所进行监测，并配备辐射监测仪器进行日常监测，监测结果妥善保管，当监测结果出现异常时，应及时分析原因，并采取相应措施。

(2) 在联锁装置失效，辐照装置在工作状态下或在警示灯、紧急停机装置和警示标识未发生作用的情况下，人员误入迷道、加速器室，使其受到额外的照射。

主要风险防范措施：在系统每次开机辐照前，辐射工作人员应检查联锁装置，并且确保加速器迷道、辐照室内无人员逗留情况下方可开始操作。

(3) 电子箱与高频联锁系统发生故障的情况下，工作人员进入加速器辐照室进行检修时，导致人员受超年有效剂量限值的照射，对人员身体造成伤害。

主要风险防范措施：在每次开机辐照前，辐射工作人员应佩戴个人剂量计和剂量报警仪，公司应定期开展个人剂量监测和职业健康体检，妥善保管个人剂量和职

业健康体检结果，出现异常情况时，分析原因，并采取相应措施（如适时调岗等），有效降低对人员身体造成的危害。

（4）设备工作状态人员误入二楼设备区，造成误照射。还有设备检修人员在二楼设备区检修工作造成安全事故。

主要风险防范措施：二楼设围栏，在进入二楼楼梯口安装门锁，在设备运行期间，加锁禁止无人人员进入。

四、事故预防措施

分析事故发生的原因，此类事故大都是人为因素造成的，即由于忽视辐射安全管理，违规操作造成的辐射事故。为有效预防各类辐射事故发生，企业采取以下事故预防措施：

（1）企业内部加强辐射安全管理，警钟长鸣，辐射安全管理人员定期监督检查。

（2）严格执行辐射安全管理制度，按照操作规程工作。每天设备开机运行前，检查确认各项安全措施的有效性，杜绝联锁装置旁路情况下开机操作。

（3）职业工作人员注意佩戴好个人剂量计、报警仪等监测仪表。若辐射工作人员按照规定操作时携带有效的个人剂量报警仪，当报警仪发出报警声时，人员可立即知晓并按下急停开关，设备可立即停止出束，有效减少人员受照时间和受照剂量。

（4）加速器开机作业 2 人或以上共同作业，开机状态下人员不得脱岗。

根据原环境保护部关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知，在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

五、辐射性事故应急处理程序：

1、发生人员受超剂量照射事故，应启动公司辐射事故预案；应当立即撤离有关工作人员，封锁现场，切断一切可能扩大污染范围的环节。

2、应急处理领导小组召集专业人员，根据具体情况迅速制定事故处理方案。

3、事故处理必须在单位负责人的领导下，在有经验的工作人员和卫生防护人员的参与下进行。未取得防护检测人员的允许不得进入事故区。

4、各种事故处理以后，必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生原因，从中

吸取经验教训，采取措施防止类似事故重复发生。并编写事故发生的基本情况，原因分析及处理结果的书面报告报生态环境部门，凡严重或重大的事故，应向上级主管部门报告。

5、严格按照操作规范操作，并做好个人的防护，减少意外照射事的发生。

6、根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》在事故发生后2小时填写《辐射事故初始报告表》向生态环境行政管理部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

12.5 与相关法规文件的符合情况

公司对本项目与《放射性同位素与射线装置安全许可办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的符合情况进行了对比，对照结果见表12-1。

表 12-1 本项目与相关法规文件的对照结果

辐射安全制度与措施	《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》	《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》	本项目情况	备注
辐射安全管理机构	使用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。	/	成立了辐射安全领导小组，明确领导小组主要负责射线装置的安全和防护工作。	/
辐射管理制度	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、辐射工作人员培训计划、监测方案等。	应当加强对本单位射线装置安全和防护状况的日常检查。	计划制定完善的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等制度。	/
辐射应急及应对措施	有完善的辐射事故应急措施。	应当根据可能发生的辐射事故的风险，制定本单位的应急预案，做好应急准备。	计划制定完善的《辐射事故应急预案》。	/
辐射安全与防护培训	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，取证	对直接从事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。取得辐射安全	公司计划安排辐射工作人员参加辐射安全和防护培训，并取得合格证书。	建设单位应在竣工环境保护验收之前落实各项

	后每四年接受一次再培训。	培训合格证书的人员，应当每四年接受一次再培训。		辐射安全防护措施和管理要求。
个人剂量与职业健康管理	/	应当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。同时安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。	公司计划为每位辐照操作人员配备个人剂量计，并按规定开展个人剂量监测和职业健康体检，建立健康监护档案。	
场所安全与防护	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。应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。	应当按照国家有关规定设置明显的辐射性标志，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。	公司计划按照设计要求建造加速器室，按照规定设置警示标志、警示灯、急停开关、急停拉线等防护设施；并为辐射工作人员配备个人剂量计、个人剂量报警仪；定期对辐射工作场所进行巡测。	
辐射监测	/	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生态环境主管部门认定的环境监测机构进行监测。	公司应委托有资质单位定期对辐射工作场所和环境进行辐射水平监测，并定期进行自行监测。	
辐射安全年度评估	辐射工作单位应当编写射线装置安全和防护状况年度评估报告，于每年1月31日前报原发证机关。	应当对本单位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。	公司应按要求每年编制射线装置安全和防护状况年度评估报告，并上报生态环境厅备案。	

12.6 竣工环保验收要求

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，建设单位应当按照办法规定的程序 and 标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用。本项目除履行环境影响审批手续外，还应落实环保验收制度。验收内容见表 12-2。

表 12-2 竣工验收一览表

验收内容	验收要求
剂量限值	职业人员剂量约束值 5mSv/a；公众人员剂量约束值 0.1mSv/a
剂量率控制水平	加速器室墙外 30cm 处辐射剂量率控制水平 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$
电离辐射标志和中文警示	在加速器室门口、墙外粘贴满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的电离辐射警示标志和中文说明
布局、屏蔽设计和辐射防护分区	按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求进行控制区和监督区划分
监测仪器	配备 1 台移动式辐射检测仪、配备 4 台个人剂量报警仪
规章制度	制订满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的各类辐射安全管理规章制度
人员培训	所有辐射工作人员按照生态环境部 2019 年第 57 号公告《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》要求，完成人员培训并取得培训合格证书。
应急预案	检查公司制订的辐射事故应急预案，并上报自治区生态环境厅备案，按照要求进行应急演练。
辐射安全设施	本项目需要有以下辐射安全设施：防护门上有安全联锁装置且运行正常、控制台上有关键控制、加速器辐照装置控制与束下装置联锁；加速器辐照室内应有信号警示装置、巡检按钮、防人误入装置、急停装置、剂量联锁装置、通风联锁、烟雾报警等。
工作场所辐射监测	加速器室有定期辐射剂量监测记录并存档备查。
其他辐射安全设施	配备防护用品，如铅衣、铅帽、铅手套等防护用品。
人员健康体检	所有辐射工作人员至少 2 年一次的人员健康体检报告。
人员个人剂量检测	所有辐射工作人员配备个人剂量监测仪，有完善的个人剂量检测报告。
辐射安全管理机构	成立辐射安全领导小组和辐射事故应急领导小组。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

项目名称：新疆胡杨集团有限公司 2.0MeV/50mA 高频高压型电子加速器项目

建设性质：新建

建设规模：拟新建 2 间加速器室、购置 2 套 DDL2.0MeV-50mA 电子直线加速器辐照装置，属于 II 类射线装置，用于辐照交联布电线和光伏电缆的辐照加工。项目总投资 1500 万元，其中环保投资 300 万元，占总投资的 20.0%。

13.1.2 实践的正当性

本项目电子直线加速器主要用于辐照交联布电线和电线电缆的辐照加工，本项目做好辐射管理工作和采取必要的防护措施后其获得的利益远大于辐射所造成的损害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，本项目属于第一类鼓励类第六项核能中的第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业政策要求。

13.1.3 选址的合理性

新疆胡杨集团有限公司拟建 2.0MeV/50mA 高频高压型电子加速器项目在新疆乌鲁木齐市米东区化工工业园新疆胡杨集团有限公司电力工程技术及配套产品研发生产基地 1# 厂房西南侧。2 间加速器室设计占地为东西方向 14m，南北方向 19m。

本项目加速器室所在 1# 厂房总长度 159m（含加速器室）、宽度 51m。1# 厂房北侧紧邻停车场，加速器 1 室东北侧 45m 为检修车间，加速器 1 室、2 室东侧为 1# 厂房内环境，2 室东南侧 54m 为消防水泵房，2 室南侧 53m 为办公楼，加速器 1 室、2 室西侧 78m 为康庄东路。本项目加速器室选址在工业园区内，远离生活区，周边流动人员较少。项目评价范围内均为公司电力工程技术及配套产品研发生产基地征地范围，无学校、幼儿园、居民区等环境敏感目标。

综上所述，本项目电子加速器室通过采取有效治理和屏蔽措施后对周围环境辐射影响较小，选址合理。

本项目辐照全程采用自动化控制，布局利于辐照加工工序有序进行；加速器 1

室控制室布置在加速器室东北侧墙外，加速器 2 室控制室布置在加速器室东南侧墙外，紧邻加速器室布置又远离加速器主机安装位置，电气系统和水冷系统等辅助设备安装在二层平台上，紧邻加速器钢桶。加速器主设备布置在二楼，射线口朝下，利于设备检修和维护又可使辐射工作人员远离辐射源，故本项目电子直线加速器辐照场所的布局合理可行。

13.1.4 环境影响评价分析结论

(1) 施工期环境影响分析

本项目加速器室在建设阶段不产生放射性废气、放射性废水及放射性固体废物，产生的环境影响主要是施工期产生的噪声、扬尘、废水、固体废物等环境影响。

本项目施工场地安排有序，施工人员较少，有抑尘措施，在合理安排施工秩序、施工时间的情况下，本项目对周围环境的影响在可接受的范围内。随着施工期的结束，这些影响也随即结束。因此，本项目在建设阶段对环境的影响较小。

(2) 运行期环境影响分析

本项目运行期环境影响主要为：辐照装置运行时产生的 X 射线、O₃、氮氧化物气体对环境的影响以及辐射工作人员产生的生活污水及生活垃圾对环境的影响。

根据监测结果，本项目所在地周围环境 X-γ辐射剂量率水平为 113~116nSv/h，根据《新疆维吾尔自治区环境天然放射性水平调查研究报告》可知新疆乌鲁木齐市天然贯穿室外γ辐射剂量率在 70.6~183.4nGy/h 之间，项目所在地的 X-γ辐射本底水平属当地正常环境本底水平。根据理论计算，该项目运行后，对项目东侧办公楼、东北侧检修车间的辐射环境影响均在标准限值以内。

从理论计算结果可知，在加速器室 1 室墙外东北控制室、2 室墙外东南控制室，最大剂量率 0.17μSv/h，满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）要求的墙外 30cm 处≤2.5 μ Sv/h 的要求。

本项目产生的 O₃、氮氧化物气体对环境的影响通过安装的排风系统，能将其降低到标准限值以下。

本项目配备的工作人员用水、用电、采暖均依托新疆胡杨集团有限公司规划建设的基础设施，在工作期间产生的生活污水和生活垃圾，均依托新疆胡杨集团有限公司办公生活设施处理，排入米东区化工工业园接入市政排污管道。生活垃圾日产日清，由当地环卫部门运至乌鲁木齐市米东垃圾综合处理厂，不会对周围环境产生

影响。

13.1.5 辐射防护措施评价

本项目 DDL2.0MeV-50mA 电子直线加速器辐照装置工作场所按控制区和监督区进行划区管理。一楼加速器室防护墙、控制室以内划分为控制区，防护墙外 30cm 及电缆出入口划分为监督区。

该公司已按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第49号)、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《突发环境事件应急预案管理暂行办法》(环发[2010]13号)的规定成立了辐射防护安全管理机构，明确各成员的职责；并按相关规定制定了各种安全管理规章制度、安全操作管理程序及应急预案。按照设计要求安装安全联锁装置、紧急停机按钮、视频监控装置等，该公司辐射安全防护措施满足要求。

13.1.6 辐射安全措施评价

本项目电子直线加速器辐照系统设有安全联锁开关、警示设备、急停设施、门联锁/微动开关连锁、监视装置、声光报警装置、防止人员误入措施等。

落实以上措施后，该项目辐射安全措施满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部第 3 号令）的有关要求。

13.1.7 工作人员及公众有效剂量评价

从表 11-15 和表 11-16 可知，在加速器室 1 室墙外东北控制室、2 室墙外东南控制室，职业人员受到的附加有效剂量最大为 1.21mSv/a，低于本项目确定的职业人员年剂量约束值 5mSv/a；在加速器室 1 室、加速器室 2 室屋顶，理论计算公众人员受到附加有效剂量最大为 0.039mSv/a，在没有考虑 1#厂房墙体防护的情况下，低于本项目确定的公众人员年剂量约束值 0.1mSv/a。符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。理论计算的附加受照剂量是在考虑加速器出束时电子束流强按照设计最大流强和最大工作时间进行计算的，实际影响远低于理论计算结果。

13.1.8 辐射安全管理评价

运行单位新疆胡杨线缆制造有限公司按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）等相关规定，成立了辐射防护与安全管理领导小组，并且按管理要求制定了相应的安全管理措施和规章制度。

本项目操作人员均拟配备个人剂量计，环评要求新疆胡杨线缆制造有限公司应委托个人剂量监测资质单位长期对本项目放射工作人员进行个人剂量监测，环评要求胡杨线缆公司安排辐射工作人员到具有相应资质的单位定期进行职业健康检查。未取得辐射安全与防护合格证的人员按要求积极组织人员参加生态环境部门认可单位举办的各项辐射安全和防护专业知识培训，并且严格落实《辐射工作人员培训制度》。

新疆胡杨线缆制造有限公司在严格执行相关法律法规、标准规范等文件，严格落实各项辐射安全管理、防护措施的前提下，其从事辐射活动的技术能力基本符合相应法律法规的要求。

综上所述，本项目电子加速器使用场所屏蔽设计可靠，安全连锁系统完善，管理制度和安全制度可行。预计项目运行后，运行单位新疆胡杨线缆制造有限公司在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，本项目将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从辐射环境保护的角度论证，该项目的建设 and 运行是可行的。

13.2 建议

1、正式运行后应根据相关要求定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患；

2、制定经常性自检制度，对联锁装置等防护设施进行经常性检查，如发现这些防护设施不够完善或失灵，立即维护、修复；

3、运行单位应结合工作实际情况对辐射安全管理制度进行不断修改和完善；

4、新疆胡杨线缆制造有限公司应委托具有相应资质的单位对本单位辐射工作人员进行个人剂量监测，监测周期一般为 90 天。并建立个人剂量档案，个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。

5、环评要求辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作。上岗期间辐射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年，必要时可增加临时性检查。

6、该公司运行单位应按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求，尽快安排 8 名辐射工作人员（6

名操作人员和 2 名管理人员) 参加生态环境部门网上培训系统的辐射安全和防护专业知识培训。

7、建议配备 6 名操作人员，按照 3 班倒工作制度进行工作，配备个人剂量报警仪 4 个、便携式辐射检测仪 1 台、个人剂量计 6 个。

8、该公司运行单位应严格遵守各项规章制度，定期组织对辐射工作场所各辐射安全与防护措施、辐射工作人员各项记录及规范操作等进行检查，发现问题及时整改。

9、此次项目环评批复后，公司运行单位应及时办理辐射安全许可证，运行后应及时按相关法律法规要求履行环保竣工验收手续。

10、认真学习国家环保法规政策，提高安全文化素养，增强辐射防护意识；

11、要求职工严格执行各项安全管理规章制度和安全技术操作规程，严格执行辐射污染防治与辐射环境管理的法律法规。

12、新疆胡杨线缆制造有限公司需定期检查辐照系统的辐射防护设施，定期对辐照系统安全联锁和安全设施进行检查、维护并对辐照系统安全和防护状况进行年度评估，并在每年 1 月 31 日前提交上一年度的年度评估报告。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：

经办人公章

年月日

审批意见

经办人公章

年月日