

浙江万马专用线缆科技有限公司
新建两台电子加速器辐照装置建设
项目竣工环境保护验收监测报告表
(阶段性)

建设单位：浙江万马专用线缆科技有限公司

编制单位：浙江万马专用线缆科技有限公司

二〇二四年十二月

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 项目建设情况	11
2.1 项目建设内容	11
2.2 源项情况	14
2.3 工程设备与工艺分析	15
表 3 辐射安全与防护设施/措施	21
3.1 场所布局	21
3.2 辐射安全及防护措施	22
3.3 放射性三废的处理	25
表 4 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定	26
表 5 验收监测质量保证及质量控制	34
5.1 监测分析方法	34
5.2 监测仪器	34
5.3 监测人员能力	34
5.4 实验室认可认证	34
表 6 验收监测内容	35
6.1 监测因子及频次	35
6.2 监测布点	35
表 7 验收监测	36
7.1 验收监测期间运行工况记录	36
7.2 验收监测结果	36
7.3 剂量监测和估算结果	38
表 8 验收监测结论	40
8.1 安全防护、环境保护“三同时”制度执行情况	40
8.2 污染物排放监测结果	40
8.3 工程建设对环境的影响	40
8.4 辐射安全防护、环境保护管理	40
附件 1：环境影响报告表审批意见	42

表 1 项目基本情况

建设项目名称		浙江万马专用线缆科技有限公司 新建两台电子加速器辐照装置建设项目			
建设单位名称		浙江万马专用线缆科技有限公司			
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建			
建设地点		浙江省杭州市临安区青山湖街道鹤亭街 896 号			
源项		放射源		/	
		非密封放射性物质		/	
		射线装置		1 台工业辐照用加速器	
建设项目环评批复时间		2024 年 03 月 27 日	开工建设时间		2024 年 04 月
取得辐射安全许可证时间		2024 年 07 月 31 日	项目投入运行时间		2024 年 09 月
辐射安全与防护设施投入运行时间		2024 年 09 月	验收现场监测时间		2024 年 12 月 06 日
环评报告表审批部门		杭州市生态环境局	环评报告表编制单位		浙江恒美环保科技有限公司
辐射安全与防护设施设计单位		/	辐射安全与防护设施施工单位		/
投资总概算 (万元)	1400	辐射安全与防护设施投资总概算 (万元)		400	比例 28.57%
实际总概算 (万元)	800	辐射安全与防护设施实际总概算 (万元)		200	比例 25%

<p>验收依据</p>	<p>(1) 《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 81 号(2017 年 11 月 5 日第三次修正并施行)；</p> <p>(2) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 253 号，1998 年 11 月 29 日；国务院令第 682 号，2017 年 6 月 21 日修正，2017 年 7 月 16 日发布，2017 年 10 月 1 日实施；</p> <p>(3) 《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，2005 年 12 月 1 日；中华人民共和国国务院令第 709 号，《国务院关于修改部分行政法规的决定》修正，2019 年 3 月 2 日修订，2019 年 3 月 18 日发布并实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2008 修正版），国家环境保护部令第 3 号，2008 年 12 月 6 日；环境保护部令第 47 号，2017 年 12 月 20 日修改并实施；生态环境部令第 7 号，2019 年 8 月 22 日修改并实施；</p> <p>(5) 《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>(6) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行；</p> <p>(7) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145 号），国家环境保护总局，2006 年 9 月 26 日；</p> <p>(8) 关于发布《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，国环规环评〔2017〕4 号，中华人民共和国环境保护部，2017 年 11 月 20 日；</p> <p>(9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），中华人民共和国生态环境部第 16 号令，2020 年 11 月 30 日公布，2021 年 1 月 1 日起施行；</p>
-------------	---

验收依据	<p>(10) 《浙江省建设项目环境保护管理办法（2021年修正）》，浙江省人民政府令第388号，2021年2月1日起施行；</p> <p>(11) 《浙江省辐射环境管理办法（2021年修正）》，浙江省人民政府令第388号，2021年2月1日起施行；</p> <p>(12) 《浙江省环保局建设项目环境保护“三同时”管理办法》（浙环发〔2007〕12号文），浙江省环境保护局，2007年；</p> <p>(13) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>(14) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(15) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）；</p> <p>(16) 《浙江万马专用线缆科技有限公司新建两台电子加速器辐照装置建设项目环境影响报告表》，浙江恒美环保科技有限公司，2024年02月；</p> <p>(17) 《关于浙江万马专用线缆科技有限公司新建两台电子加速器辐照装置建设项目环境影响报告表审查意见的函》（杭临环评审〔2024〕32号），杭州市生态环境局，2024年3月27日。</p>
------	---

验收执行标准	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)</p> <p>4.3.3 防护与安全的最优化</p> <p>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）。</p> <p>B1 剂量限值</p> <p>B1.1 职业照射</p> <p>B1.1.1 剂量限值</p> <p>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：</p> <p>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。</p> <p>本项目取其四分之一作为管理限值，即：</p> <p>职业照射剂量限值：20mSv/a；剂量约束值：5mSv/a。</p> <p>B1.2 公众照射</p> <p>B1.2.1 剂量限值</p> <p>实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估算值不应超过下述限值：</p> <p>a) 年有效剂量，1mSv。</p> <p>本项目取其四分之一作为管理限值，即：</p> <p>公众照射剂量限值：1mSv/a；剂量约束值：0.1mSv/a。</p> <p>(2) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB 5172-1985)</p> <p>本规定适用于加速粒子的单核能量低于 100MeV 的粒子加速器（不包括医疗用加速器和象密封型中子管之类的可移</p>
---------------	--

<p>验收执行标准</p>	<p>动加速器）设施。</p> <p>2.8 从事加速器工作的全体放射性工作人员，年人均剂量当量应低于 5mSv。</p> <p>2.10 加速器产生的杂散辐射、放射性气体和放射性废水等，对关键居民组的个人造成的有效剂量当量应低于每年 0.1mSv。</p> <p>3.2 辐射屏蔽</p> <p>3.2.1 加速器的屏蔽体厚度必须根据加速粒子的种类、能量和束流强度以及靶材料等综合考虑；按其可能的最大辐射输出进行设计。</p> <p>3.2.2 加速器的屏蔽体厚度还应根据相邻区域的类型及其人口数确定，使其群体的集体剂量当量保持在可以合理做到的尽可能低的水平。并须保证个人所接受的剂量当量不得超过相应的剂量当量限值。</p> <p>3.3 辐射安全系统</p> <p>3.3.1 决定加速器产生辐射的主要控制系统应该用开关钥匙控制。</p> <p>3.3.2 加速器厅、靶厅的门均需安装连锁装置，只有门关闭后才能产生辐射。</p> <p>3.3.3 在加速器厅、靶厅内人员容易到达的地点，应安装紧急停机或紧急断束开关，并且这种开关应当有醒目的标志。</p> <p>3.3.4 在加速器厅、靶厅内人员容易看到的地方须安装闪光式或螺旋式红色警告灯及音响警告装置，在通往辐射区的走廊，出入口和控制台上须安装工作状态指示灯。</p> <p>3.3.5 在高辐射区和辐射区，应该安装遥控辐射监测系统。该系统的数字显示装置应安装在控制台上或监测位置。当辐射超过预定水平时，该系统的音响和（或）灯光警告装置应当发出警告信号。</p> <p>3.3.6 每台加速器必须根据其特点配备其他辐射监测装</p>
---------------	---

<p>验收执行标准</p>	<p>置，如个人剂量计，可携式监测仪。</p> <p>3.3.7 辐射安全系统的部件质量要好，安装必须坚实可靠。系统的组件应耐辐射损伤。</p> <p>3.4 通风系统</p> <p>3.4.1 为排放有毒气体（如臭氧）和气载放射性物质，加速器设施内必须设有通风装置。</p> <p>3.4.2 通风系统的排风速率应根据可能产生的有害气体的数量和工作需要而定。通风系统的进气口应避免受到排出气体的污染。</p> <p>3.4.3 通风管道通过屏蔽体时，必须采取措施，保证不得明显地减弱屏蔽体的屏蔽效果。</p> <p>E.2.1 加速器设施内应有良好的通风，以保证臭氧的浓度低于 0.3mg/m³。</p> <p>(3) 《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ 141-2002)</p> <p>本标准适用于各种类型的γ源辐照装置和能量小于或等于10MeV 的电子加速器辐照装置。</p> <p>3.2 电子束辐照装置</p> <p>按人员可接近辐照装置的情况分为：</p> <p>I类 配有联锁装置的整体屏蔽装置，运行期间人员实际上不可能接近这种装置的辐射源部件。</p> <p>II类 安装在屏蔽室（辐照室）内的辐照装置，运行期间借助于入口控制系统防止人员进入辐照室。</p> <p>5 检测方法与评价</p> <p>5.1 外照射泄漏辐射水平检测</p> <p>5.1.4 II、IV类 γ射线辐照装置和 II类电子束辐照装置辐照室外的辐射水平检测</p> <p>5.1.4.1 空气比释动能率的测量位置如下：</p> <p>(2) 距辐照室各屏蔽墙和出入口外 30cm 处。</p> <p>(3) 对于单层建筑的辐照装置,过辐射源中心垂直于辐照室屏</p>
----------------------	---

<p>验收执行标准</p>	<p>蔽墙的任一垂线上，自屏蔽墙外表面至距其 20m 范围内人员可以到达的区域。</p> <p>(4) 对于单层建筑的辐照装置，当距其 50m 内建有高层楼房且高层位于辐射源照射位置至辐照装置室顶所张的立体角区域内时，在辐照装置室顶和（或）相应的建筑物高层测量。</p> <p>5.1.4.2 运行中的定期测量应选定固定的检测点，它们必须包括：贮源水井表面、辐照室各入口、出口，穿过辐照室的通风、管线外口，各屏蔽墙和屏蔽顶外，操作室及与辐照室直接相邻的各房间等。</p> <p>5.1.4.3 测量结果应符合 GB 17279 第 5 条（即“对监督区，在距屏蔽体的可达界面 30cm，由穿透辐射所产生的平均剂量率应不大于 $2.5 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$”）。</p> <p>(4) 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）按照 GBZ 2.1-2007，有害气体职业接触限值如下</p> <p>a) 臭氧，最高容许浓度：0.3mg/m^3</p> <p>注：此项限值主要在辐射室，在辐射室，由于射线导致空气电离主要产生臭氧和二氧化氮这两种有害气体。</p> <p>(5) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）</p> <p>本标准适用于辐照加工用能量不高于 10MeV 的电子束辐照装置和能量不高于 5MeV 的 X 射线辐照装置。自屏蔽辐照装置不适用于本标准。</p> <p>4.1.2 辐射工作场所的分区</p> <p>按照 GB 18871 的规定，电子加速器辐照装置的工作场所分为：</p> <p>控制区，如主机室和辐照室及各自出入口以内的区域；</p> <p>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。</p>
---------------	--

<p>验收执行标准</p>	<p>4.2.1 辐射防护原则</p> <p>(3) 个人剂量约束</p> <p>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。</p> <p>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限值规定为：</p> <p>a) 辐射工作人员个人年有效剂量为 5mSv</p> <p>b) 公众成员个人年有效剂量为 0.1mSv 。</p> <p>4.2.2 辐射屏蔽设计依据</p> <p>电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处级以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/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。</p> <p>6 电子加速器辐照装置的安全设计</p> <p>6.1 联锁要求</p> <p>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。</p> <p>安全联锁引发加速器停机时必须自动切断高压。</p> <p>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。</p> <p>6.2 安全设施</p> <p>(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>(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；</p>
---------------	--

<p>验收执行标准</p>	<p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(10) 烟雾报警。辐照室应设置烟雾报警装置，遇有火灾时，加速器应立即停机并停止通风。</p> <p>6.3 其他要求</p> <p>6.3.1 电气系统</p>
---------------	---

<p>验收执行标准</p>	<p>(1) 必须按加速器装置及厂房建设和公用工程的供电条件设计，确保电压电流的稳定度。</p> <p>(2) 主机室、辐照室、控制室应设置应急照明系统。</p> <p>(3) 各供电系统及相关设备应有可靠的接地系统。</p> <p>(4) 凡有高压危险的部位，应设置高压联锁、高压放电保护装置。</p> <p>6.3.2 给水系统</p> <p>(1) 应根据加速器装置总用水要求，提供有一定裕量的水流量和水压。</p> <p>(2) 根据加速器装置和束下装置等设备工艺要求的水质、水温、热交换负荷进行设计。</p> <p>6.3.3 通风系统</p> <p>(1) 主机室和辐照室应设置通风系统，以保证辐照分解产生的臭氧等有害气体浓度满足 GBZ2.1 的规定。有害气体的排放应满足 GB3095 的规定。</p> <p>(2) 臭氧的产生和排放。</p> <p>(3) 辐照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。</p> <p>(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。</p> <p>6.3.4 防火系统</p> <p>辐照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。</p> <p>7.3.3 项目管理目标</p> <p>综合上述，本项目选取标准如下：</p> <p>①以 5 mSv 作为辐射工作人员的辐射剂量约束值；</p> <p>②以 0.1mSv 作为公众的辐射剂量约束值；</p> <p>③电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处级以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5 μ Sv/h。</p>
---------------	---

表 2 项目建设情况

2.1 项目建设内容

2.1.1 建设单位简介

浙江万马专用线缆科技有限公司成立于 2014 年，租赁浙江万马股份有限公司位于浙江省杭州市临安区青山湖街道鹤亭街 896 号的部分已建厂房进行生产，公司经营范围：各类电力电缆、特种电缆、民用及电气装备用线缆、电缆附件及成套线缆、电子及电气元器件、电力及电气成套设备的研发、生产、加工、销售。

2.1.2 项目建设目的和任务由来

为改进电缆产品生产工艺，提升交联电缆合格率，建设单位在专用线缆车间一层西侧新建两座加速器机房，其中 1#加速器机房配备 1 台 DDLH2.0/50-1600 电子加速器（2#加速器机房不参与本次验收），用于电线电缆的辐照加工。于 2024 年 3 月通过环评审批的辐射设备有：2 台工业电子加速器。

本次验收规模：1 台 DDLH2.0/50-1600 型电子加速器，位于浙江省杭州市临安区青山湖街道鹤亭街 896 号专用线缆车间一层西侧 1 号加速器机房。

根据国家有关建设项目辐射环境管理规定，公司委托浙江恒美环保科技有限公司于 2024 年 2 月完成了本项目的辐射环境影响评价。2024 年 3 月 27 日，杭州市生态环境局以“杭临环评审〔2024〕32 号”对该环评文件进行批复。2024 年 7 月 31 日，公司新申领了浙江省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》（浙环辐证〔A6166〕）。

根据《建设项目环境保护管理条例》的规定，建设项目竣工后，建设单位应当按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告。建设单位需自行组织验收。

续表 2 项目建设情况

2.1.3 地理位置及平面布置

浙江万马专用线缆科技有限公司租赁浙江万马股份有限公司位于浙江省杭州市临安区青山湖街道鹤亭街 896 号的部分已建厂房进行生产，项目所在厂区东侧为浒溪路，隔路为万马创新园和浙江青石集团有限公司；南侧为鹤亭街，隔路为杭州鸿雁电器有限公司；西侧为青山大道，隔路为西子电梯科技有限公司；北侧为科技大道，隔路为南苕溪。项目地理位置见图 2-1，项目周围环境概况及评价范围示意图见图 2-2，厂区平面布置图见图 2-3。



图 2-1 项目地理位置图

续表 2 项目建设情况

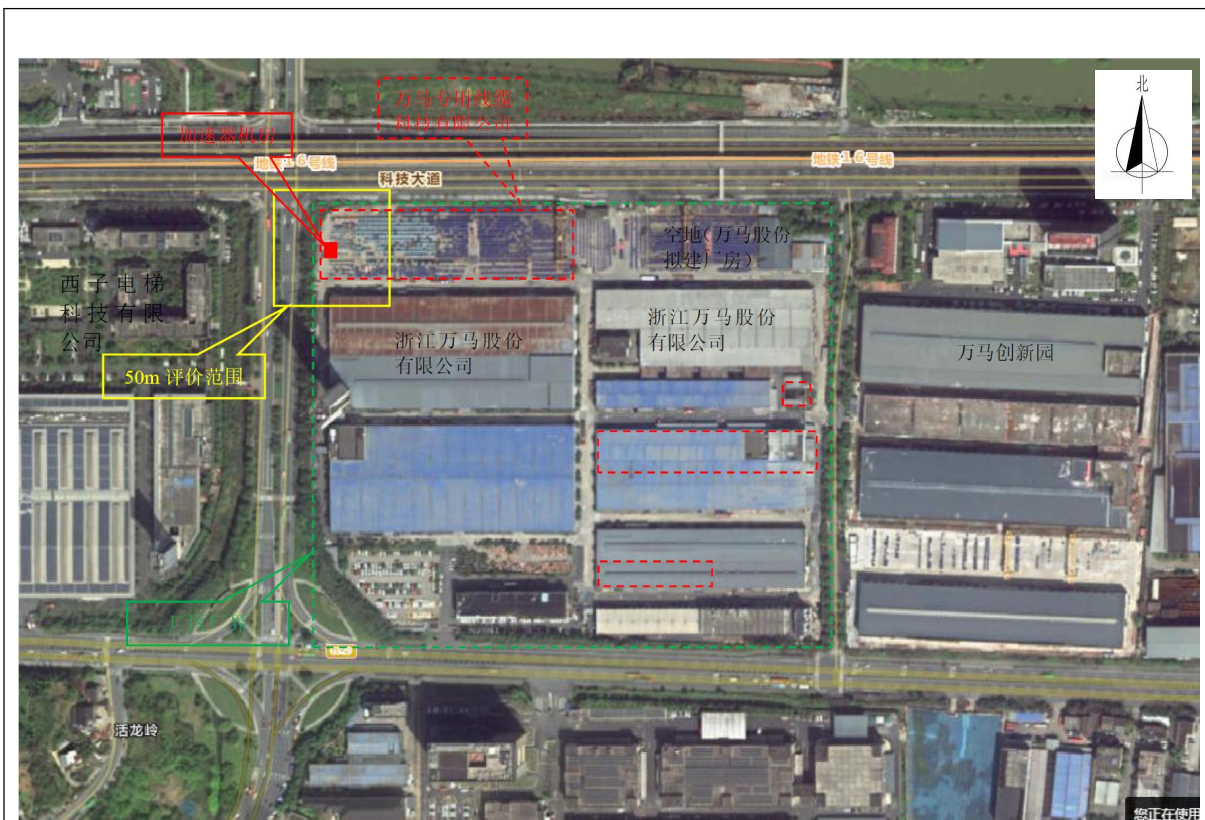


图 2-2 项目周围环境概况及评价范围示意图

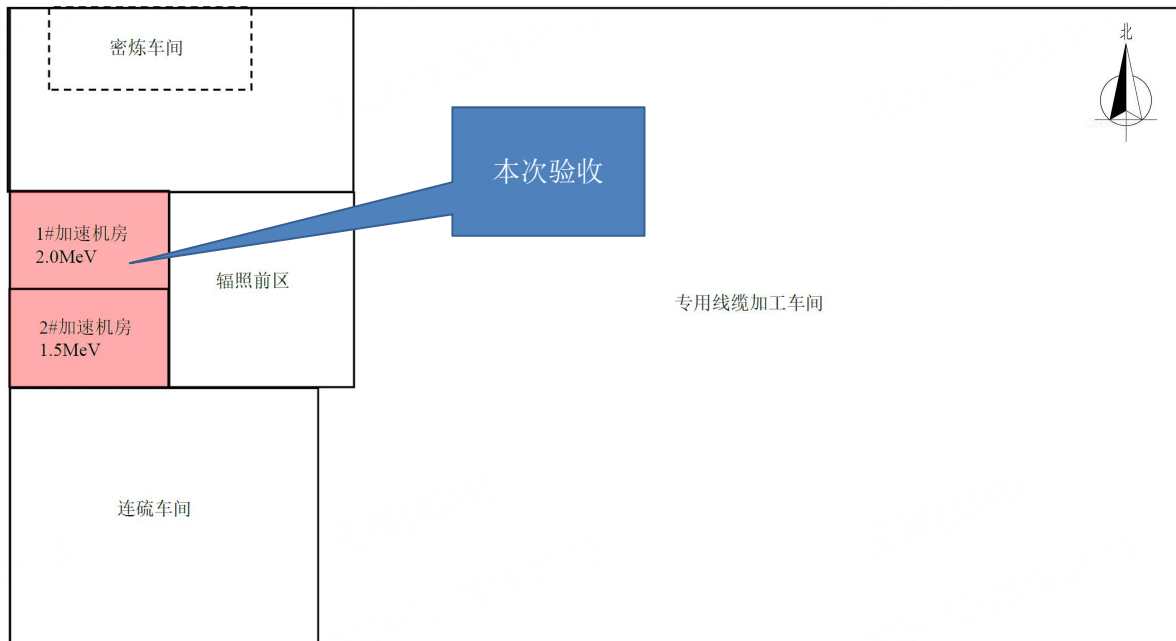


图 2-3 车间平面布置图

续表 2 项目建设情况

2.1.4 项目变动情况

本项目本次环境影响报告表及其审批部门审批决定建设内容与实际建设内容一览表见表 2.1；由表 2.1 可知，本次验收为阶段性验收，实际建设内容与环评及其批复建设内容部分一致。

表 2.1 本项目本次环境影响报告表及其审批部门审批决定建设内容与实际建设内容一览表

环评建设内容	环评批复建设内容	验收实际建设内容
在专用线缆车间一层西侧新建两座加速器机房，其中 1#加速器机房配备 1 台 DDLH2.0/50-1600 电子加速器，2#加速器机房配备一台 DDLH1.5/60-1800 电子加速器，用于电线电缆的辐照加工。	在专用线缆车间一层西侧新建两座加速器机房，其中 1#加速器机房配备 1 台 DDLH2.0/50-1600 电子加速器，2#加速器机房配备一台 DDLH1.5/60-1800 电子加速器，用于电线电缆的辐照加工。	阶段性验收：1 台 DDLH2.0/50-1600 型电子加速器，位于浙江省杭州市临安区青山湖街道鹤亭街 896 号专用线缆车间一层西侧 1 号加速器机房。

2.2 源项情况

公司本次环评及验收源项的基本情况见表 2.2；由表 2.2 可知，本次验收源项与环评源项部分一致。本次验收的设备是新建的 1 台工业辐照用加速器。

表 2.2 公司本次环评及验收源项一览表

	设备名称	型号	数量(台)	主要技术参数	工作场所	用途
环评规模	电子加速器辐照装置	DDLH2.0/50-1600	1	能量：2.0MeV 束流：50mA	1 号加速器机房	辐照改性
	电子加速器辐照装置	DDLH1.5/60-1800	1	能量：1.5MeV 束流：60mA	2 号加速器机房	辐照改性
验收规模	设备名称	型号	数量(台)	主要技术参数	工作场所	用途
	DD 型电子加速器	DDLH2.0/50-1600	1	能量：2.0MeV 束流：50mA	1 号加速器机房	辐照改性

续表 2 项目建设情况

2.3 工程设备与工艺分析

2.3.1 工作原理

工业辐照加速器是使电子在高真空场中受磁场力控制，电场力加速而获得高能量的特种电磁、高真空装置，是人工产生各种高能电子束或 X 射线的设备。其工作原理可概括为：首先，将低压工频电能，用高频振荡器变成高频电能，输送给高压发生器；经过高压发生器内高频变压器的作用，变成升压的高频电压；再将此升压的高频电压加在空间耦合电容上，通过该耦合电容分别加到主体上的各个整流盒上，此时每一个耦合环上得到几十千伏的直流高压，由于各级串联，电压叠加，从而在高端获得很高的电压。加速器电子枪中的灯丝产生的电子云，引入到加了高压的加速管，最终形成高能电子束。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，从金属膜构成的输出窗引出，对运动的被照物体进行辐照。

本项目被辐照的产品为电线电缆，利用电子束辐照高分子材料发生辐射交联反应可改变材料性质，电线电缆被辐照后，其绝缘性、耐高温性、抗张强度等均提高，进而提高其整体技术指标。

本项目加速器为卧式自屏蔽型加速器，即加速器主体采用卧式结构放置于辐照室屋顶的设备平台，主体采用铅+铁+不锈钢进行自屏蔽。

本项目卧式加速器的主体结构图见图 2-4；卧式加速器的整体结构图见图 2-5。

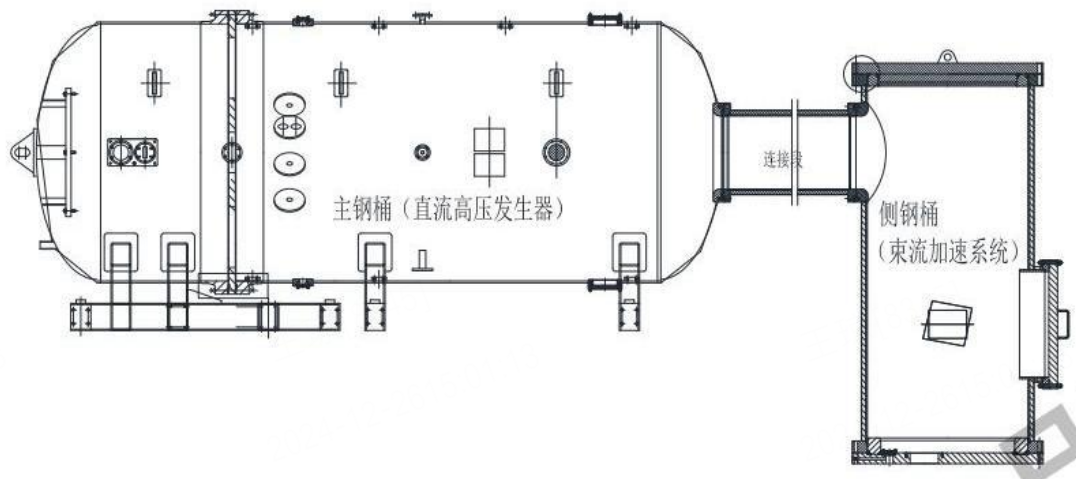


图 2-4 本项目电子加速器主体结构示意图

续表 2 项目建设情况

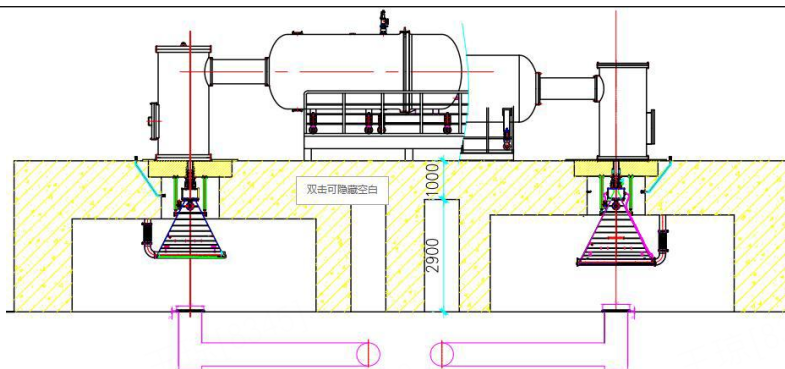


图 2-5 本项目卧式加速器的整体结构示意图

2.3.2 设备组成

工业电子加速器的主要组成部分包括：高压系统、高频振荡器、加速管、电子枪、引出扫描系统、真空系统、气体处理系统、水冷系统、辐射防护监测系统和控制系统等。本项目电子加速器外观示意图 2-6。

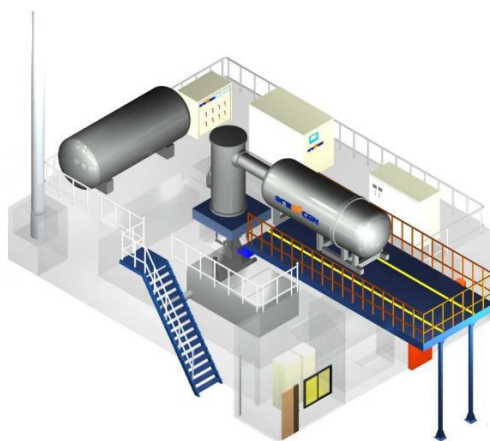


图 2-6 本项目电子加速器示意图

(1) 高压系统

高压系统即直流高压发生器，其由高频振荡器和倍压整流芯柱组成。

高频振荡器的作用是把电网的电能由工频转换为高频，其性能决定着加速器的最大束功转换效率。振荡器的基本元件是振荡管。振荡管的供电采用阴极接直流负高压，阳极接直流地电位的模式，从而简化了振荡管的冷却回路。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。振荡管阳极与环形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电极之间的耦合电容板取得。

续表 2 项目建设情况

环形变压器是高频振荡器的关键部件，它需要在高频、高压和大功率负荷的条件下工作，要求漏磁小、Q 值高，结构牢固，制作和安装的工艺都要求较高。环形变压器的损耗仅次于振荡管，在相当程度上决定了加速器的束功转换效率。钢筒顶端安装有热交换器和风冷系统，把变压器散发的热量带走，并对钢筒内的其他部件进行冷却。

振荡管的直流负高压由可控硅直流稳压电源供电，它由一个工频三相升压变压器和一个三相桥式整流滤波单元组成，可输出 0~18kV、0~25A 的直流负高压。可控硅调节单元置于变压器初级回路中，用来改变初级进线电压从而调节振荡管的直流工作参数，以达到调节加速器端电压和束功的目的。可控硅调节单元还从加速器高压测量单元取得信号，通过计算机控制来稳定加速器的能量。

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个半电晕环，两列上下整齐排列的半电晕环，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，必须既满足高频耦合参数的要求，也必须符合高压静电场的场形设计。

硅堆是加速器的关键部件之一。它由整流芯子和带保护球隙的金属屏蔽盒组成，每个硅堆的平均输出电压为 50kV。整流芯子由数百只硅二极管串联而成，其电路设计采取了均压和限流措施。

所有高频高压和直流高压的部件都安装在压力钢筒内，充以 0.65MPa 的氮气干燥绝缘气体，使得加速器具有足够安全的绝缘强度。

（2）束流加速系统

束流加速系统由加速器管和电子枪组成。

加速器管是电子在其中成束并被加速的部件。它需要在高真空中（ $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{Pa}$ ）稳定可靠地建立一个均匀的高梯度直流加速电场（ $0 \sim 20 \text{kV/cm}$ ）。由于真空中的击穿放电机制复杂，至今还不十分清楚，因此，加速管成为加速器里最脆弱的环节，是各类高压型加速器提高端电压的主要限制。在制造、运输、安装和运行时均须小心谨慎。

续表 2 项目建设情况

加速管的基本单元是长约 300mm 的工艺段，采用先进的金属陶瓷焊接工艺制成。整根加速管由一定数量的工艺段组装而成。由于在制造和装配过程中排除了有机污染，每个焊缝都经过严格的处理和检测，因此这种加速管比用有机胶粘接方法制造的加速管机械强度高，真空性能好，电性能优越，使用寿命也 longer。

加速管安装在整流芯柱的中心，顶端与高压球帽相接，底端接地。其电位分布大体与整流柱中的电位分布一致。加速管外侧装有均压电阻链，使其具有独立分压，每个绝缘环还装有保护放电球隙，以防止过电压冲击。

电子枪加速管的顶端安装电子枪，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 0~0.8mm。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。为了在钛窗处获得所需要的束斑尺寸，电子枪和引出区以及整根加速管的电场要合理配置，经计算确定。

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。这样的供电方式，束流和频率单一对应，跟随快，便于和束下装置联动，有利于提高工作效率和辐照产品的质量。

（3）扫描引出系统

电子束离开加速管后经漂移管进入辐照厅。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。钛箔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。即使如此，钛箔上的能耗仍旧相当可观，因此沿钛窗安装了一把风刀，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导向线圈，用以调节束流的聚焦和方向。

（4）绝缘气体处理系统

绝缘气体处理系统的功能有二：1）加速器检修时回收气体，2）通过气体的循环去除其中的水分和运行中因放电生成的有毒有害分解产物。

该系统的主要部件如下：

续表 2 项目建设情况

①储气筒，为加速器检修时储存氮气气体用。

②压缩机机组，由无油压缩机、干燥塔、过滤器及相应的管道部件组成，用于将气体向加速器钢筒或向储气筒进行压缩。

③真空泵机组

由真空泵、油过滤器及相应的管道部件组成，用于对钢筒和储气筒抽气。在加速器检修打开钢筒前，它必须把钢筒内的氮气抽尽并输送到压缩机的入口以便压入储气筒；在加速器检修完毕灌气之前，它必须将钢筒内的空气抽尽，以保证纯度。

上述各部件被紧凑地集成在一个带有控制面板的机箱中，整个系统采用电动执行元件和程序控制，通过面板上的按钮操作，即可按规定自动完成相应的流程步骤，避免误动作。

(5) 冷却系统

电子加速器运行时，脉冲变压器、调速管、耦合腔、加速管等均会由于长时间运行产生高温，为延长设备使用寿命，保障加速器安全连续运行，必须对其进行采取冷却降温措施。冷却系统通过布设管道，使蒸馏水不断流过发热部件，从而带走热量，并在散热器部分将蒸馏水携带的热量散出。冷却后的蒸馏水经水泵再次对发热部件进行冷却，以此持续循环运作。冷却系统的蒸馏水为闭式循环，不对外排放。

2.2.3 工艺流程

公司主要对自生产的电线电缆进行辐照加工，现对辐照加工工艺流程简述如下：

①调整好加速器运行参数，调整束下传输装置传输速度；

②加速器机房辐照室东墙均拟设置独立的线缆通道，工作人员将电线电缆放置传输系统上，调整收、放系统的位置，利用收放线系统通过线缆通道传送至辐照室；

③工作人员车间内巡视加速器周边、控制室、放卷处等处，主要由电线电缆传输系统开始巡视，再进入辐照室内进行巡视，巡视确定辐照室内无人且观察辐照室外视频装置确定无人后按下辐照室内巡视按钮，再启动加速器；操作人员按照规章制度进行巡视可确保加速器启动前巡视工作安全；

④工作人员现场检查各项安全措施无异常，并通过视频装置再次查看室内情况，确保无人逗留；

⑤启动辐照装置，通过传输装置从加速器辐照室线缆通道输送进入加速器辐照

续表 2 项目建设情况

室，辐照对象通过束下传输装置从加速器辐照室出口传送出，收卷系统进行产品收放。整个辐照工艺流程流水线自动操作，工作人员在加速器机房控制室内操作加速器，另有工作人员在辐照室外线缆收放区对产品进行收放。

辐照过程中会产生 X 射线、电子束、臭氧及氮氧化物。

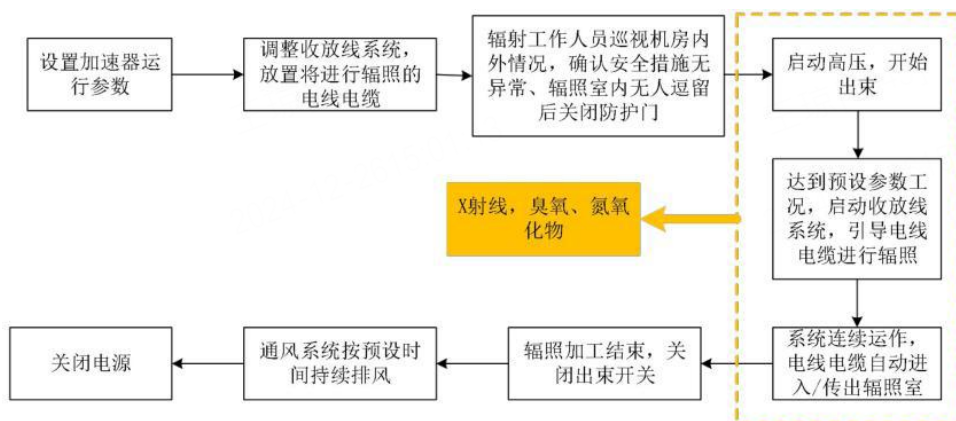


图 2-7 电子加速器辐照工作流程及产污环节示意图

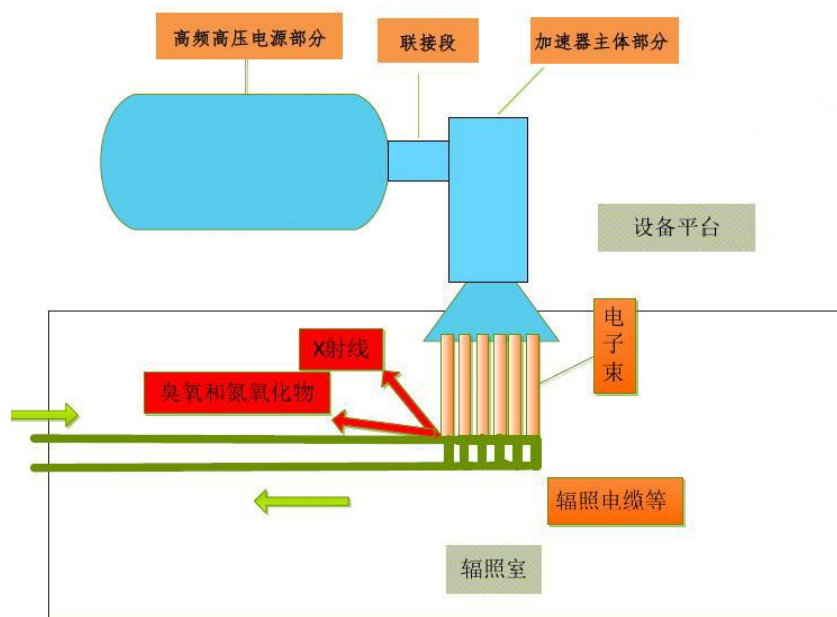


图 2-8 辐照工艺流程图

表 3 辐射安全与防护设施/措施

3.1 场所布局

3.1.1 辐射工作场所布局合理性分析

专用线缆车间为三层混凝土建筑，无地下层，本项目 1 座加速器机房建于专用线缆车间一层西侧，二层、三层均为胶料存放仓库。专用线缆车间东侧为空地（万马股份在建厂房）；南侧为浙江万马股份有限公司已建厂房，距离加速机房约 40m；西侧为青山大道；北侧为科技大道。

本项目加速器机房为地上一层混凝土结构，其中一层为辐照室，一层顶上放置主机和设备平台。加速器机房东侧为本项目专用线缆车间辐照前区（已辐照产品堆放区和未辐照产品堆放区）；南侧为连硫车间；西侧紧邻厂区西侧道路；北侧密炼车间。50m 评价范围内无居住区，学校和医院等。因此本项目选址是合理的。

3.1.2 辐射工作场所分区管理

为防止 X 射线对环境的影响，公司按照《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》（HJ979-2018）等相应的要求，将辐照工作场所划分为控制区、监督区，并实行两区管理制度。

控制区：该区域内需要或可能需要专门防护手段或安全措施，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范围。本项目将加速器机房辐照室及二层设备平台上设备安置区域为辐射防护控制区，电子加速器工作过程中，任何人不得进入控制区，并在辐照室迷道外、主机室防护门外设置电离辐射警告标志及中文警示说明等。

监督区：该区域通常不需要专门防护手段或安全措施，但需经常对职业照射条件进行监督和评价。将控制室、加速器机房周围辅助设施、线缆收发区、二层设备平台上非设备安置区域及通往二层平台的楼梯作为辐射防护监督区，控制室门口设置电离辐射警示标志，监督区边界设置围栏及监督区标识，通往二层设备平台的楼梯设带锁门。电子加速器开机工作过程中，除辐射工作人员外，其他人员限制进入监督区。

本项目控制区和监督区划分表见表 3-1。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。

续表 3 辐射安全与防护设施/措施

分区	控制区	监督区
区域	辐照室、二层设备平台上设备安置区域	控制室、加速器机房周围辅助设施、线缆收放区、二层设备平台上非设备安置区域及通往二层平台的楼梯
管理要求	在加速器开机情况下,任何人不得进入控制区,边界周围醒目位置设置电离辐射警告标志和中文警示说明	在加速器开机情况下,其他公众人员禁止进入监督区

3.2 辐射安全及防护措施

(1) 辐射安全设计

本项目工业电子加速器机房为地上一层混凝土结构，一层为辐照室，一层顶上为设备平台，一层、二层之间通过楼梯连接。本项目所用加速器为半自屏蔽式加速器，加速器机房辐射安全联锁装置详见表 3-2，位置详见图 3-1。

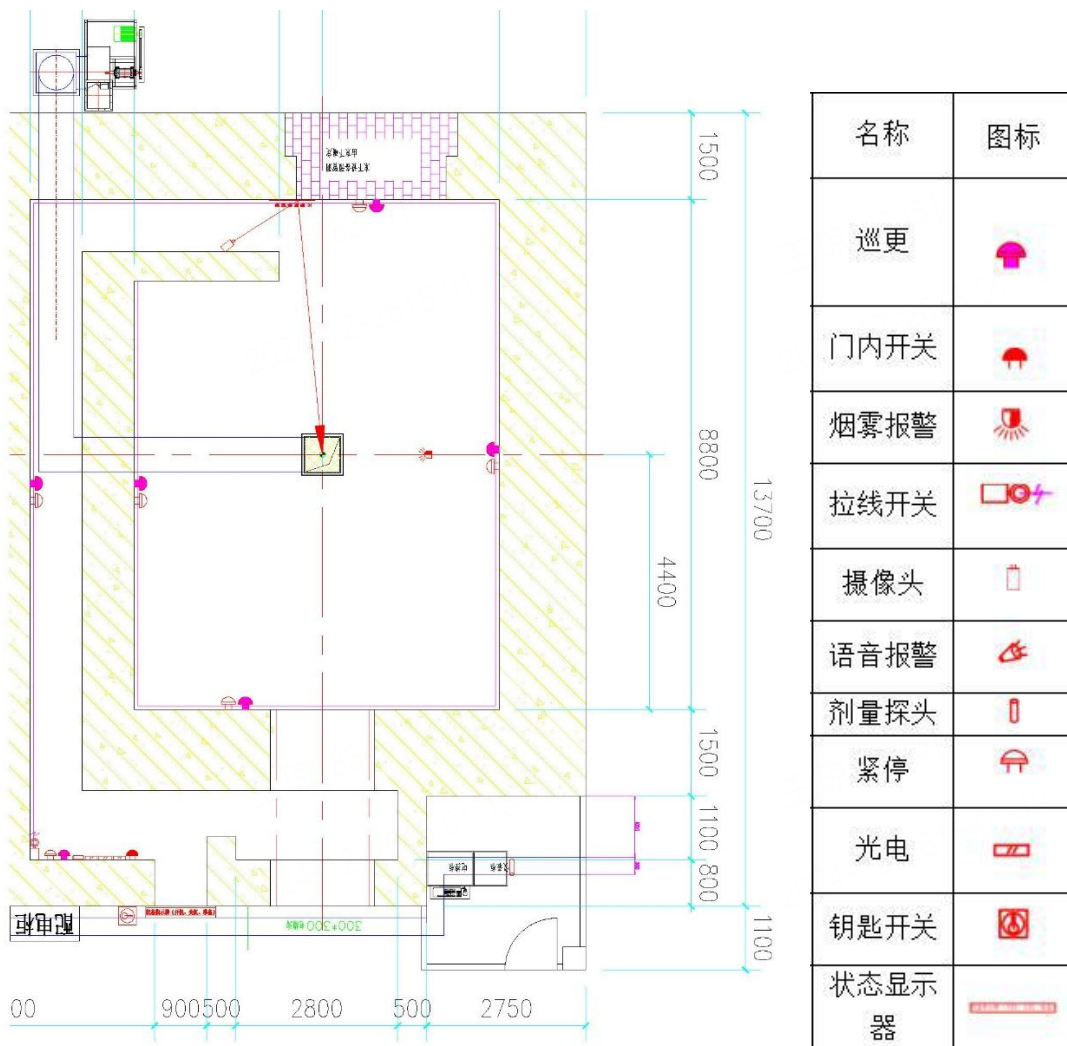


图 3-1 辐照室辐射防护措施分布图

续表 3 辐射安全与防护设施/措施

表 3-2 电子加速器机房辐射安全设计

序号	名称	辐照室数量	用途
1	巡更	6	开机前巡视紧急停机
2	门内开关	1	紧急开门
3	烟雾报警	1	烟雾报警紧急停机
4	拉线开关	1	紧急停机
5	摄像头	3	实时监控
6	语音报警	1	巡检语音提示
7	剂量探头	3	监测射线泄漏
8	紧停	6	紧急停机
9	光电	3	防人员误入
10	钥匙开关	1	开关门
11	状态显示器	1	显示工作状态

(2) 屏蔽设计

本项目电子加速器具体屏蔽设计参数见表 3-3。

表 3-3 电子加速器屏蔽情况一览表

项目	(环评) 屏蔽情况	
辐照室屏蔽	东	外墙：800mm 混凝土；内墙：1500mm 混凝土
	南	外墙：1000mm 混凝土；内墙：900mm 混凝土
	西	1500mm 混凝土
	北	1500mm 混凝土
	顶部	中间：420mm 钢板；其他：1500mm 混凝土
	防护门	40mm 钢板
加速器钢桶 (束流加速系统)	桶身	40mmPb+15mm 钢板
	桶盖	60mmPb+110mm 钢板
	桶底	80mm 钢板
	检修口	30mmPb+65mm 钢板
	主钢桶与侧钢桶连接段	30mmPb+13mm 钢板
项目	(验收) 屏蔽情况	
辐照室屏蔽	东	外墙：800mm 混凝土；内墙：1500mm 混凝土
	南	外墙：1000mm 混凝土；内墙：900mm 混凝土
	西	1500mm 混凝土
	北	1500mm 混凝土
	顶部	中间：420mm 钢板；其他：1500mm 混凝土
	防护门	40mm 钢板
加速器钢桶 (束流加速系统)	桶身	40mmPb+15mm 钢板
	桶盖	60mmPb+110mm 钢板
	桶底	80mm 钢板
	检修口	30mmPb+65mm 钢板
	主钢桶与侧钢桶连接段	30mmPb+13mm 钢板

续表 3 辐射安全与防护设施/措施

(3) 日常检修管理及记录要求

1、装置的维护与维修

建设单位已制定了辐照装置的维护检修制度，定期巡视检查加速器的主要安全设备，保持辐照装置主要安全设备的有效性和稳定性。

1) 日检查

电子加速器辐照装置上的常用安全设备每天进行检查，发现异常情况时必须及时修复。常规日检查项目包括下列内容：

- ①工作状态指示灯、报警灯和应急照明灯；
- ②辐照装置安全联锁控制显示状况；
- ③个人剂量报警仪和便携式辐射监测仪器工作状况。

2) 月检查

电子加速器辐照装置上的重要安全设备或安全程序每月进行检查，发现异常情况时必须及时修复或改正。月检查项目包括：

- ①辐照室内固定式辐射监测仪设备运行状况；
- ②控制台及其他所有紧急停止按钮；
- ③通风系统的有效性；
- ④验证安全联锁功能的有效性；
- ⑤烟雾报警器功能正常。

3) 半年检查

电子加速器辐照装置的安全状况每 6 个月进行检查,发现异常情况时必须及时采取改正措施。其检查范围包括：

- ①配合年检修的检测；
- ②全部安全设备和控制系统运行状况。

4) 记录

建设单位建立了严格的运行及维修维护记录制度，运行及维修维护期间按规定完成运行日志的记录，记录与装置有关的重要活动事项并保存日志档案。记录事项包括下列内容：①运行工况；②辐照产品的情况；③发生的故障及排除方法；④外来人员进入控制区情况；⑤个人剂量计佩戴情况；⑥个人剂量、工作场所和周边环境的辐射

续表 3 辐射安全与防护设施/措施

监测结果；⑦检查及维修维护的内容与结果；⑧其它。

3.3 放射性三废的处理

3.3.1 主要污染源

1、电子束、X 射线

工业电子加速器在进行辐照时电子枪发射电子，电子经加速管加速并经扫描扩展成为均匀的有一定宽度的电子束。其中辐照室内电子束打到机头及其他高靶物质时会产生韧致 X 射线，X 射线的贯穿能力较强，会对辐照室周围环境造成辐射影响，这部分 X 射线是本项目的主要 X 射线来源。此外，电子在加速过程中，部分电子会丢失，它们打在加速管壁上，产生少量 X 射线，均会对辐照室周围环境造成辐射污染。

由于电子加速器在运行时产生的高能电子束，其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在电子加速器开机辐照期间，X 射线辐射为项目主要的污染因素。

2、臭氧和氮氧化物

本项目电子加速器工作时主要是产生 X 射线，对周围环境、工作人员和公众可造成放射性外照射危害，根据射线的来源、作用机理及防护方法，已采取屏蔽防护措施，降低对周围环境及工作人员与公众的外照射影响。但在工作过程中也会产生一定量的臭氧和氮氧化物。加速器输出的直接致电离粒子束流越强，臭氧和氮氧化物的产额越高。臭氧产额大于氮氧化物，且辐照场所氮氧化物容许浓度比臭氧容许浓度高，因此本节主要考虑辐照室臭氧的产生和排放影响。

本项目辐照室内安装有通风装置，辐照室内的排风量为 14974m³/h 左右，本项目辐照室体积约为 150m³，则每小时换气次数约为 100 次。本项目排气管道通过地下管道穿过屏蔽墙，延伸到厂房顶且高出厂房屋脊排放至室外。管线埋地深度约 800mm，排放口高于屋顶。工业电子加速器运行期间及停机后风机一直保持运行，辐照室内保持负压状态，臭氧和氮氧化物等废气通过排风管道排出，对周围影响较小。排风管道采用埋地设计，辐照室内的 X 射线至少经过 3 次散射才能到达室外排风口，排风管道的设计未破坏加速器机房的整体屏蔽防护效果，满足辐射防护的要求。

此外，本项目加速器辐照室设置有通风联锁装置，机房内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（环评要求 3min，公司设置为 4min）后才能开门，以保证辐照室内臭氧等有害气体浓度低于允许值。

表 4 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

本次验收项目环评文件《浙江万马专用线缆科技有限公司新建两台电子加速器辐照装置建设项目环境影响报告表》由浙江恒美环保科技有限公司编制。2024年3月27日，杭州市生态环境局对该项目进行批复，审批文号为：杭临环评审〔2024〕32号。

（1）环境影响报告表的主要结论

本项目环境影响评价文件《浙江万马专用线缆科技有限公司新建两台电子加速器辐照装置建设项目环境影响报告表》由浙江恒美环保科技有限公司于2024年2月完成编制。该项目环评结论：

浙江万马专用线缆科技有限公司新建两台电子加速器辐照装置建设项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

（2）“杭临环评审〔2024〕32号”批文审批决定

项目环评批复决定和环评相关要求落实情况见表4-1~4-2。由表4-1~4-2可见，项目落实了环评及其批复提出的要求。

表 4.1 环评文件要求及其落实情况

项目	环评内容	验收情况
污染防治措施	<p>钥匙控制。本项目的加速器机房均设有控制室，控制室内将设置控制柜。控制柜上设计有电子加速器的钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动电子加速器进行出束作业；钥匙开关未闭合状态时，电子加速器无法开机出束。同时，电子加速器的开关钥匙也是该加速器机房辐照室的防护门开关钥匙，并且辐照室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辐照室时，该工作人员必须携带该电子加速器的开关钥匙。</p>	<p>符合环评要求。本项目的加速器机房设有控制室，控制室内设置有控制柜。控制柜上设计有电子加速器的钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动电子加速器进行出束作业；钥匙开关未闭合状态时，电子加速器无法开机出束。同时，电子加速器的开关钥匙也是该加速器机房辐照室的防护门开关钥匙，并且辐照室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辐照室时，该工作人员必须携带该电子加速器的开关钥匙。</p>
	<p>门机联锁。电子加速器辐照室防护门与电子加速器装置联锁，在防护门未闭合的状态下，电子加速器不能启动工作；在电子加速器高压启动后，一旦防护门被打开，联锁装置将立即切断电子加速器的高压，使电子加速器立即停止出束。</p>	<p>符合环评要求。电子加速器辐照室防护门与电子加速器装置联锁，在防护门未闭合的状态下，电子加速器不能启动工作；在电子加速器高压启动后，一旦防护门被打开，联锁装置将立即切断电子加速器的高压，使电子加速器立即停止出束。</p>

续表 4 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

续表 4.1 环评文件要求及其落实情况		
项目	环评内容	验收情况
污染 防治 措施	束下装置连锁。辐照室内的传输系统与该辐照室内的电子加速器进行连锁，建立可靠的接口和协议文件。电子加速器未出束时，当辐照室内的传输系统出现故障时，将不能启动该辐照室的电子加速器进行出束作业；在电子加速器正常出束作业情况下，当辐照室内的传输系统出现故障，将立即切断加速器电源，使得该辐照室内的电子加速器立即停止出束。	符合环评要求。辐照室内的传输系统与该辐照室内的电子加速器进行连锁，建立可靠的接口和协议文件。电子加速器未出束时，当辐照室内的传输系统出现故障时，将不能启动该辐照室的电子加速器进行出束作业；在电子加速器正常出束作业情况下，当辐照室内的传输系统出现故障，将立即切断加速器电源，使得该辐照室内的电子加速器立即停止出束。
	信号警示装置。辐照室迷道口处设置醒目的“当心电离辐射警告标志”和工作状态指示灯及音响警示信号，工作状态指示灯与电子加速器高压连锁，当电子加速器启动时，指示灯将亮起并发出闪烁信号，音响警示装置启动伴有蜂鸣，以提醒周围人员勿靠近。	符合环评要求。辐照室迷道口处设置有醒目的“当心电离辐射警告标志”和工作状态指示灯及音响警示信号，工作状态指示灯与电子加速器高压连锁，当电子加速器启动时，指示灯将亮起并发出闪烁信号，音响警示装置启动伴有蜂鸣，以提醒周围人员勿靠近。
	巡检按钮。辐照室内拟设置“巡检按钮”，并与控制台连锁。电子加速器开机前，辐射工作人员进入辐照室按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留；未按下“巡检按钮”前，电子加速器将不能进行出束作业。	符合环评要求。辐照室内设置有“巡检按钮”，并与控制台连锁。电子加速器开机前，辐射工作人员进入辐照室按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留；未按下“巡检按钮”前，电子加速器将不能进行出束作业。
	防人误入装置。辐照室迷道入口、迷道尽头各设计有 3 道（共 6 道）相互独立的光电装置（不同厂家或不同品牌的红外线感应装置）并分别与电子加速器连锁。3 道光电装置安装高度分别距离地面 0.4m、0.85m、1.3m，当有人员误入辐照室，身体将任意一处红外线挡住后，若电子加速器处于开机状态下，将立即自动切断电源，电子加速器将立即停止出束，同时发出异常情况下的警示声音。通过此措施，防止在电子加速器开机过程中，人员误入辐照室造成误照射。	符合环评要求。辐照室迷道入口、迷道尽头各设计有 3 道（共 6 道）相互独立的光电装置并分别与电子加速器连锁。3 道光电装置安装高度分别距离地面 0.4m、0.85m、1.3m，当有人员误入辐照室，身体将任意一处红外线挡住后，若电子加速器处于开机状态下，将立即自动切断电源，电子加速器将立即停止出束，同时发出异常情况下的警示声音。通过此措施，防止在电子加速器开机过程中，人员误入辐照室造成误照射。

续表 4 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

续表 4.1 环评文件要求及其落实情况		
项目	环评内容	验收情况
污染防治措施	<p>急停装置。在辐照室的入口处、迷道和辐照室内各墙面、线缆收放区均设计有紧急停机开关，紧急停机开关距地面高度约 1.2m；在电子加速器控制柜上同样设计有紧急停机开关。所有紧急停机开关均有明显的标志，供应急停止使用。当出现紧急情况时，只需按下任一紧急停机开关，则该辐照室内的电子加速器将立即切断高压，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后，需将紧急停机开关复位后，电子加速器才能重新启动。在迷道及辐照室内的四面墙壁上，距离地面高度约 1.3m 处，拟安装拉线开关。当拉线开关正常时，电子加速器方可启动进行出束作业；电子加速器正常启动出束作业过程中，若拉拽拉线开关，则该辐照室内的电子加速器将立即切断高压，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后，需将拉线开关本地复位，电子加速器才能重新启动。在辐照室内靠近防护门处设置紧急开门装置，便于人员在紧急情况下撤离辐照室。</p>	<p>符合环评要求。在辐照室的入口处、迷道和辐照室内各墙面、线缆收放区均设计有紧急停机开关，紧急停机开关距地面高度约 1.2m；在电子加速器控制柜上同样设计有紧急停机开关。所有紧急停机开关均有明显的标志，供应急停止使用。当出现紧急情况时，只需按下任一紧急停机开关，则该辐照室内的电子加速器将立即切断高压，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后，需将紧急停机开关复位后，电子加速器才能重新启动。在迷道及辐照室内的四面墙壁上，距离地面高度约 1.3m 处，安装有拉线开关。当拉线开关正常时，电子加速器方可启动进行出束作业；电子加速器正常启动出束作业过程中，若拉拽拉线开关，则该辐照室内的电子加速器将立即切断高压，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后，需将拉线开关本地复位，电子加速器才能重新启动。在辐照室内靠近防护门处设置紧急开门装置，便于人员在紧急情况下撤离辐照室。</p>
	<p>剂量连锁。在辐照室迷道内、控制室内均拟设置固定式辐射监测系统探头，显示面板位于控制室内。当显示面板上的辐射剂量率大于预设值时，将发出警告信号。通过固定式辐射监测系统，辐射工作人员可以及时了解电子加速器的工作情况以及辐照室中的辐射水平。</p>	<p>符合环评要求。在辐照室迷道内、控制室内均设置有固定式辐射监测系统探头，显示面板位于控制室内。当显示面板上的辐射剂量率大于预设值时，将发出警告信号。通过固定式辐射监测系统，辐射工作人员可以及时了解电子加速器的工作情况以及辐照室中的辐射水平。</p>
	<p>通风连锁。本项目拟在辐照室设置排风机与控制系统连锁，辐照室排风机正常工作后，电子加速器才能出束；在排风机未正常工作时，电子加速器将无法进行出束作业。在电子加速器正常运行过程中，当排风机发生故障时，电子加速器将立即停止出束作业。加速器的控制软件设计有正常停机后排风机延迟关闭系统，即：电子加速器正常停止出束后，排风机将分别继续工作至少 4min，在 4min 内，即使对排风机发出停止工作指令，排风机仍将有效工作 4min。若电子加速器非正常停止出束，则排风系统的运行不受限制。</p>	<p>符合环评要求。本项目在辐照室设置有排风机与控制系统连锁，辐照室排风机正常工作后，电子加速器才能出束；在排风机未正常工作时，电子加速器将无法进行出束作业。在电子加速器正常运行过程中，当排风机发生故障时，电子加速器将立即停止出束作业。加速器的控制软件设计有正常停机后排风机延迟关闭系统，即：电子加速器正常停止出束后，排风机将分别继续工作至少 4min，在 4min 内，即使对排风机发出停止工作指令，排风机仍将有效工作 4min。若电子加速器非正常停止出束，则排风系统的运行不受限制。</p>

续表 4 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

续表 4.1 环评文件要求及其落实情况		
项目	环评内容	验收情况
污染防治措施	烟雾报警。辐照室顶部设置烟雾报警装置，遇有火险时，烟雾报警装置自动发出报警，加速器能立即停机并停止通风。	符合环评要求。辐照室顶部设置有烟雾报警装置，遇有火险时，烟雾报警装置自动发出报警，加速器能立即停机并停止通风。
	监控系统。本项目拟在辐照室内设有摄像监视系统，监控图像实时显示在控制室的监控电视上，使控制室的工作人员可清楚地观察到辐照室内电子加速器的工作情况，如发生意外情况可及时处理。为了避免强辐射场对视频信号的干扰，建设单位拟在迷道口安装视频摄像头，通过反射镜来获取辐照室内图像。	符合环评要求。本项目在辐照室内设有摄像监视系统，监控图像实时显示在控制室的监控电视上，使控制室的工作人员可清楚地观察到辐照室内电子加速器的工作情况，如发生意外情况可及时处理。为了避免强辐射场对视频信号的干扰，建设单位在迷道口安装视频摄像头，通过反射镜来获取辐照室内图像。
辐射环境管理要求	根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用 II 类射线装置的单位，应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，公司已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。	符合环评要求。公司配备了许焱、洪志林、胡忠盛、张国荣 4 名辐射工作人员。公司已对从事辐射工作的人员进行了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。辐射工作人员均在生态环境部辐射安全与防护培训平台参加培训并考核合格后上岗。公司已成立专门的辐照管理领导小组，指定鹿向群负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。
	根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《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》中的有关要求，使用射线装置的单位要“有健全操作规程、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，并有完善的辐射事故应急措施”。	符合环评要求。公司已制定《辐照防护和安全管理工作制度》、《岗位职责》、《监测方案》、《辐射工作人员培训计划》、《辐照设备安全操作规程和维护保养制度》、《辐照工作安全责任书》。
	辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，公司需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。	符合环评要求。公司已配备 1 台 X- γ 剂量监测仪，并为每名辐射工作人员配备个人剂量计（4 台）和剂量报警仪（1 台），经核实，企业开展了检测比对并做好记录。企业为每名辐射工作人员配备个人剂量计。辐射工作人员工作时将佩戴个人剂量计，并定期（一季度 1 次）送有资质部门进行监测，并建立个人剂量档案，加强档案管理。公司定期（每年 1 次）委托有资质的单位对电子加速器机房周围环境进行监测，并建立监测技术档案，监测数据每年年底向当地生态环境局上报备案。
	按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，公司已制定辐射事故应急方案。	符合环评要求。公司已制定《辐照事故应急预案》，明确了应急机构和职责分工。

续表 4 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

表 4.2 环评批复要求及落实情况	
环评批复要求	环评批复要求落实情况
<p>“杭临环评审[2024]32号”批复要求：</p> <p>1、建设须严格落实项目环评文件提出的各项污染防治措施、生态保护措施、污染物排放标准和环境管理，认真执行环保“三同时”制度。项目建成后，依法办理项目环境保护设施竣工验收。</p> <p>2、使用放射性同位素和射线装置应当依法申领《辐射安全许可证》，禁止无许可证从事相关使用活动。加强射线装置的使用安全管理，严格按照相关法律法规和规范要求操作，定期开展安全检查，落实安全责任，防止辐射事故的发生。</p> <p>3、每年对辐射安全工作进行评估；发现安全隐患的，应当立即整改，并建立相关档案。年度评估报告定期上报生态环境部门。</p>	<p>“杭临环评审[2024]32号”批复要求落实情况：</p> <p>已落实。</p> <p>1、本项目已严格落实环评文件提出的各项污染防治措施、生态保护措施、污染物排放标准和环境管理，已严格执行环保“三同时”制度。目前正按照规定对配套建设的辐射环境保护设施进行验收。</p> <p>2、公司已申领辐射安全许可证（浙环辐证【A6166】）。已制定《辐照防护和安全管理工作制度》，严格按照相关法律法规和规范要求操作，定期开展安全检查，落实安全责任，防止辐射事故的发生。</p> <p>3、公司已加强辐射环境管理，进行自行检查评估，发现安全隐患立即整改，每年及时进行辐射监测，并建立监测技术档案，每年年底编写射线装置安全与防护状况年度评估报告，并报当地生态环境部门。</p>

续表 4 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定

部分环保设施和环保措施落实情况图



警示标识、警示线、工作指示灯



操作台、钥匙

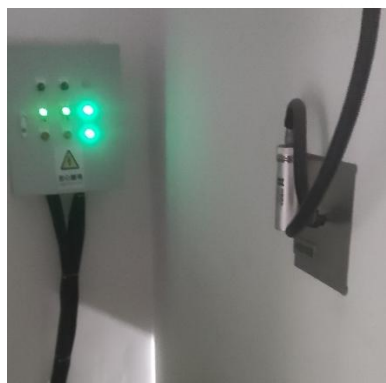


急停按钮

续表 4 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定



剂量报警仪、X-γ 剂量监测仪



固定式辐射监测系统



视频监控



制度上墙

续表 4 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定



排风口

加速器钢桶

运行记录

地那米加速器运行记录表

记录人:		开 机 时 间		参 数										离子束电流 (A)		
加速器主钢筒压力 (Mpa)		SPS钢筒压力 (Mpa)		真空系统真空度 (Pa)										扫描	束流	备注
时间 (时:分)	能量 (MeV)	束流 (mA)	真空度 (Pa)	离子束 数量 (A)	1#附量 (μG/h)	2#附量 (μG/h)	1#方向 (A)	1#束流 (A)	1#扫描 (A)	1#扫描 (A)	阳压 (kV)	扫描 (A)	束流 (A)			
12:30	1.7	36	1E-1	1.0E-5	0.14	9.8	0.15	0.33	4.5	4.0	0.4	32.1	32.5	31.1	35	
12:30	1.7	30	1E-1	1.1E-5	0.14	7.8	0.15	0.33	4.5	4.0	0.4	32.3	32.7	31.3	35.3	
12:50	1.7	30	1E-1	9.7E-6	0.14	6.68	0.14	0.33	4.5	4.0	0.4	32.1	32.7	31.4	35.2	
13:00	1.7	30	1E-1	1.0E-5	0.14	8.1	0.14	0.33	4.5	4.0	0.4	32.1	32.5	31.2	35	
13:10	1.7	30	1E-1	1.1E-5	0.15	8.0	0.14	0.33	4.5	4.0	0.4	32.1	32.6	31.2	35.1	
13:20	1.7	30	1E-1	1.2E-5	0.15	10.5	0.14	0.33	4.5	4.0	0.4	32.5	33.7	31.3	35.1	
13:30	1.7	40	1E-1	1.2E-5	0.14	11.3	0.14	0.33	4.5	4.0	0.4	32.9	33.7	31	34.9	
13:40	1.7	40	1E-1	1.1E-5	0.15	10.6	0.14	0.33	4.5	4.0	0.4	32.3	33.2	31.3	35.4	
13:50	1.7	40	1E-1	1.1E-5	0.16	10.7	0.16	0.35	4.5	4.0	0.4	32.2	33.7	31.5	35.2	
14:00	1.7	40	1E-1	1.1E-5	0.14	11.1	0.14	0.33	4.5	4.0	0.4	32.1	32.5	31.1	34.9	
14:10	1.7	40	1E-1	1.0E-5	0.14	10.1	0.15	0.33	4.5	4.0	0.4	32.4	32.1	31.7	35.5	
14:20	1.7	40	1E-1	1.0E-5	0.14	10.1	0.15	0.33	4.5	4.0	0.4	32.4	32.1	31.7	35.5	
14:30	1.7	39	1E-1	9.8E-6	0.14	9.9	0.15	0.33	4.5	4.0	0.4	32.4	32.4	31	34.9	
14:40	1.7	39	1E-1	9.8E-6	0.14	9.9	0.15	0.33	4.5	4.0	0.4	32.4	32.4	31	34.9	
14:50	1.7	38	1E-1	1.0E-5	0.13	10.0	0.15	0.33	4.5	4.0	0.4	32.1	32.1	30.7	34.7	
15:00	1.7	38	1E-1	7.0E-6	0.13	8.1	0.15	0.33	4.5	4.0	0.4	32.1	32.2	30.1	34.1	
15:10	1.7	37	1E-1	8.0E-6	0.13	8.3	0.14	0.33	4.5	4.0	0.4	32.9	32.6	31.1	35.0	
15:20	1.7	37	1E-1	8.0E-6	0.14	7.8	0.14	0.33	4.5	4.0	0.4	32.7	32.3	30.8	33.7	

注: 1. 记录时, 运行参数每30分钟记录一次; 出现异常时, 必须详细记录各参数、故障现象及解决措施。

表 5 验收监测质量保证及质量控制

5.1 监测分析方法

监测布点和测量方法选用目前国家和行业有关规范和标准。本次验收监测方法依据的规范、标准：

《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）

5.2 监测仪器

监测仪器参数及检定情况见表 5-1。

表 5-1 监测仪器参数及检定情况

检测仪器	辐射剂量测量仪
型号编号	AT1121/44739
有效量程	9nSv/h-10Sv/h
能量响应	15keV~10MeV
检定证书编号	GFJGJL2040240000456
检定机构	国防科技工业 5114 二级计量站
检定证书有效期	2024.02.27~2025.02.26

5.3 监测人员能力

参加本次现场监测的人员，均经过培训机构的监测技术培训，并经考核合格，持证上岗。监测报告审核人员均经授权。

5.4 实验室认可认证

验收监测单位浙江亿达检测技术有限公司建立了质量管理体系，通过了浙江省计量认证。验收监测工作遵循本单位质量手册、程序文件、实施细则、操作规程。制定并组织实施年度监测质量保证和质量控制计划。监测报告实行审查制度。

表 6 验收监测内容

6.1 监测因子及频次

为掌握本项目电子加速器使用场所周围辐射环境水平，浙江亿达检测技术有限公司于 2024 年 12 月 6 日对本项目 1 号电子加速器机房周围辐射环境进行了监测。

监测因子：X- γ 辐射剂量率。

监测频次：在正常工况下测量一次，每次读 10 个数，取其平均值作为测量结果。

6.2 监测布点

根据现场条件，进行全面、合理布点；重点考虑工作人员长时间工作的场所和其他公众可能到达的场所。监测点位图见图6-1。

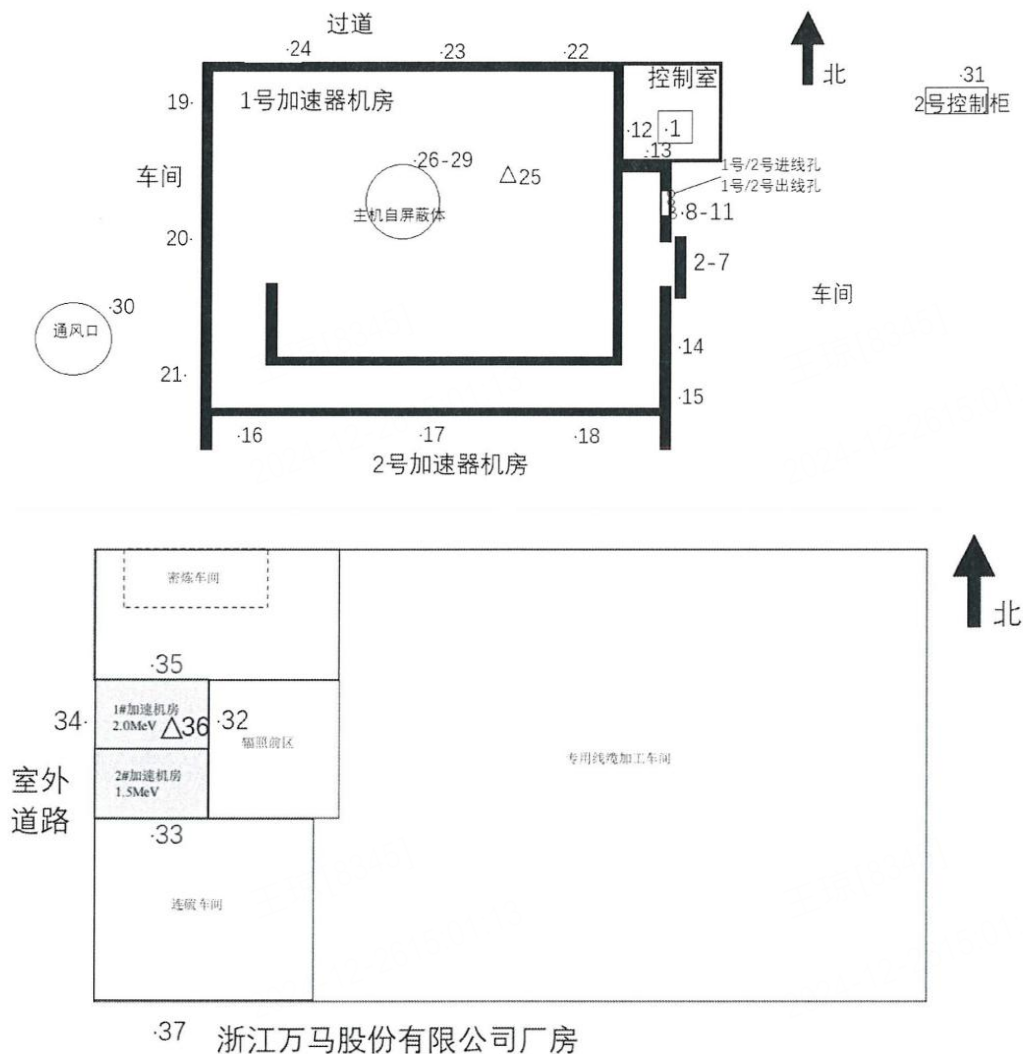


图 6-1 1 号电子加速器机房及厂区周围环境辐射环境监测点布置平面图

表 7 验收监测

7.1 验收监测期间运行工况记录

浙江亿达检测技术有限公司于 2024 年 12 月 6 日对浙江万马专用线缆科技有限公司 1 号电子加速器机房及厂区周围环境辐射环境水平进行监测。

本项目 1 台电子加速器工作时，其运行监测工况见表 7-1。

表 7-1 电子辐照加速器设计、运行及监测工况

设备型号	最大设计工况	监测工况
DDLH2.0/50-1600	电子束能量：2.0MeV 束流：50mA	电子束能量：1.7MeV 束流：30mA

7.2 验收监测结果

本项目验收监测结果见表 7.2，该结果表明：该公司 DDLH2.0/50-1600 型电子加速器在相应的曝光工作条件下，其工作人员操作位及周围环境的辐射水平均符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的相关要求。

表 7.2 电子加速器机房及厂区周围环境监测结果

点号	监测点位置	监测结果（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	
		开机状态	关机状态
1	操作位 1	0.16	0.14
2	防护门外表面（左侧）30cm	0.15	0.14
3	防护门外表面（中部）30cm	0.17	0.14
4	防护门外表面（右侧）30cm	0.16	0.14
5	防护门外表面（下端）30cm	0.18	0.15
6	防护门外表面（左侧门缝）30cm	0.17	0.15
7	防护门外表面（右侧门缝）30cm	0.17	0.13
8	1 号出线孔外表面 30cm	0.18	0.16
9	1 号进线孔外表面 30cm	0.17	0.16
10	2 号出线孔外表面 30cm	0.18	0.15
11	2 号进线孔外表面 30cm	0.17	0.15
12	东侧防护墙外表面 30cm（右侧）	0.17	0.14
13	东侧防护墙外表面 30cm（迷道北侧）	0.16	0.13
14	东侧防护墙外表面 30cm（中部）	0.17	0.13
15	东侧防护墙外表面 30cm（左侧）	0.18	0.14

续表 7 验收监测

续表 7.2 电子加速器机房及厂区周围环境监测结果

点号	监测点位置	监测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	
		开机状态	关机状态
16	南侧防护墙外表面 30cm (左侧)	0.16	0.13
17	南侧防护墙外表面 30cm (中部)	0.17	0.14
18	南侧防护墙外表面 30cm (右侧)	0.16	0.14
19	西侧防护墙外表面 30cm (左侧)	0.17	0.13
20	西侧防护墙外表面 30cm (中部)	0.18	0.14
21	西侧防护墙外表面 30cm (右侧)	0.16	0.15
22	北侧防护墙外表面 30cm (左侧)	0.15	0.14
23	北侧防护墙外表面 30cm (中部)	0.17	0.15
24	北侧防护墙外表面 30cm (右侧)	0.16	0.13
25	平台上方 30cm	0.17	0.12
26	二层主机自屏蔽体 (东侧) 外表面 30cm	0.17	0.15
27	二层主机自屏蔽体 (南侧) 外表面 30cm	0.17	0.14
28	二层主机自屏蔽体 (西侧) 外表面 30cm	0.16	0.14
29	二层主机自屏蔽体 (北侧) 外表面 30cm	0.18	0.15
30	通风口外表面 30cm	0.18	0.15
31	操作位 2	0.15	0.15
32	辐照配套前区	0.15	0.12
33	连硫车间	0.16	0.13
34	西侧道路	0.15	0.14
35	密炼车间	0.15	0.15
36	厂房二层胶料存放仓库	0.15	0.12
37	浙江万马股份有限公司厂房	0.16	0.14

- 注：1、以上检测结果均未扣除宇宙射线响应值。
2、检测时间大于检测仪器响应时间，未进行响应时间修正。
3、检测地点位于车间一层 1 号加速器机房，机房正上方为平台，无地下室。
4、点位描述中的“左、中、右”以面向机房的朝向为参考方位。

续表 7 验收监测

7.3 剂量监测和估算结果

按照环评报告中的计算公式（UNSCEAR--2000 年报告附录 A），计算 X-γ 射线产生的外照射人均年有效剂量：

$$H_{E-r} = D_r \times t \times 0.7 \times 10^{-6} (mSv) \quad (1)$$

其中：

H_{E-r} ：X-γ 射线外照射人均年有效剂量，mSv；

D_r ：X-γ 射线空气吸收剂量当量率，nGy/h；

t ：X-γ 照射时间，小时； 0.7：剂量换算系数，Sv/Gy。

由于本项目所用仪器已经通过其内置的测量常数将 X-γ 射线空气吸收剂量率 D_r 转化为光子剂量当量率 $H^*(10)$ 的显示读数，因此计量评估公式（1）可以简化为运行实用量 $H^*(10)$ 来保守评估计算 H_{E-r} ：

$$H_{E-r} = H^*(10) \times t \times 10^{-6} (mSv) \quad (2)$$

其中：

$H^*(10)$ ：周围剂量当量率，nSv/h。

7.3.1 监测数据估算

根据现场监测结果，结合公司现场实际情况，开机后电子加速器周边警戒线内严禁人员靠近，操作人员在操作位操作，保守估计公司电子加速器年运行时间约 6600 小时，每班辐射工作人员年工作时间为 3300 小时；工作人员操作位测得 X 射线剂量率开机状态时最高为 0.16μSv/h，关机状态时为 0.14μSv/h。

根据监测结果和公式：保守计算出这位工作人员接受的附加年有效剂量约为： $(0.16-0.14) \times 10^{-3} \times 3300 = 0.066mSv$ 。远低于辐射工作人员职业照射的年剂量管理限值（5mSv），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。

公众附加剂量：本项目电子加速器机房位于专用线缆车间厂房内，因公司有严格的辐射管理制度，并在防护门外设置了电离辐射警示标志及中文警示说明，电子加速器自屏蔽体处于相对独立区域，非辐射工作人员一般不进入该区域内。另管理人员到工作场所检查指导工作的时间较短，因此公众成员所接受的附加年有效剂量可忽略不计。

续表 7 验收监测

7.3.2 辐射工作人员个人剂量监测结果估算

公司辐射工作人员个人剂量监测委托有资质的浙江多谱检测科技有限公司承担，每 3 个月为一个测量周期。本项目建成投入运行以后，公司的辐射工作人员个人剂量监测工作按照规定展开。个人剂量监测开展未满一个季度，结果暂未出具。根据公司提供的信息，本项目相关的辐射工作人员信息见表 7.3。

表 7.3 本项目辐射工作人员相关信息

序号	姓名	性别	最近一次培训时间	最近一次体检时间
1	许焱	男	2024.03.18	2024.05.07
2	洪志林	男	2024.03.18	2024.05.07
3	胡忠盛	男	2024.03.18	2024.05.07
4	张国荣	男	2024.03.18	2024.05.07

表 8 验收监测结论

8.1 安全防护、环境保护“三同时”制度执行情况

项目建设落实了安全防护、环境保护“三同时”制度。有关工作场所安全防护设计、个人防护用品配置、监控系统配置等按相关标准规范要求进行设计、建设，并与主体工程同时投入使用；环境影响评价文件及其审批文件中要求的防护安全和环境保护措施已落实。

8.2 污染物排放监测结果

(1) 据现场监测和检查结果，该项目在正常运行工况下，辐射工作人员接受的附加年有效剂量远低于辐射工作人员职业照射的剂量管理限值（5mSv），公众所受辐射照射远低于公众的剂量管理限值（0.1mSv），均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的相关要求。

(3) 本项目辐照室内设有机械排风系统，可有效将辐照室内臭氧排出，能满足相关要求。

8.3 工程建设对环境的影响

根据监测结果和公式估算结果表明，辐射工作人员年有效剂量约为 0.066mSv，小于职业辐射工作人员 5mSv 的个人剂量管理限值；公众所受辐射照射远低于公众的剂量管理限值（0.1mSv）。因此该项目所致的工作人员职业照射和公众照射个人年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的职业照射和公众照射年有效剂量限值要求。

8.4 辐射安全防护、环境保护管理

(1) 浙江万马专用线缆科技有限公司新建两台电子加速器辐照装置建设项目落实了环境影响评价制度，该项目环评报告及其批复中的要求已基本落实。

(2) 由监测结果可知，该公司 DDLH2.0/50-1600 型电子加速器在相应的曝光工作条件下，其工作人员操作位及周围环境的辐射水平均符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的相关要求。

(3) 公司成立了辐射安全防护小组，制定了各项辐射防护管理制度，制度内容

续表 8 验收监测结论

较全面，管理措施有效。

（4）公司已为辐射工作人员进行了职业健康体检、个人剂量监测和辐射安全培训，制定了年度评估报告制度。

综上所述，浙江万马专用线缆科技有限公司新建两台电子加速器辐照装置建设项目基本符合相关规定，具备竣工验收条件。