

宁波开博线缆有限公司
新建2台工业电子加速器辐照项目
竣工环境保护验收监测报告表

建设单位：宁波开博线缆有限公司

编制单位：浙江环安检测有限公司

二〇二四年十一月

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	15
2.3 工程设备与工艺分析	16
表 3 辐射安全与防护设施/措施	22
3.1 场所布局	22
3.2 辐射安全及防护措施	23
3.3 放射性三废的处理	27
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	28
表 5 验收监测质量保证及质量控制	38
5.1 监测分析方法	38
5.2 监测仪器	38
5.3 监测人员能力	38
5.4 实验室认可认证	38
表 6 验收监测内容	39
6.1 监测因子及频次	39
6.2 监测布点	39
表 7 验收监测	41
7.1 验收监测期间运行工况记录	41
7.2 验收监测结果	41
7.3 剂量监测和估算结果	42
表 8 验收监测结论	45
8.1 安全防护、环境保护“三同时”制度执行情况	45
8.2 污染物排放监测结果	45
8.3 工程建设对环境的影响	45
8.4 辐射安全防护、环境保护管理	45
附件 1：环境影响报告表审批意见	47

表 1 项目基本情况

建设项目名称		宁波开博线缆有限公司新建 2 台工业电子加速器辐照项目			
建设单位名称		宁波开博线缆有限公司			
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建			
建设地点		浙江省宁波杭州湾新区滨海四路 518 号			
源项		放射源		/	
		非密封放射性物质		/	
		射线装置		1 台工业电子加速器	
建设项目环评批复时间		2022 年 11 月 28 日	开工建设时间		2022 年 12 月
取得辐射安全许可证时间		2024 年 09 月 23 日	项目投入运行时间		2024 年 10 月
辐射安全与防护设施投入运行时间		2024 年 10 月	验收现场监测时间		2024 年 10 月 29 日
环评报告表审批部门		宁波前湾新区生态环境局	环评报告表编制单位		杭州卫康环保科技有限公司
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)	1250	辐射安全与防护设施投资总概算 (万元)		160	比例 12.8%
实际总概算 (万元)	1200	辐射安全与防护设施实际总概算 (万元)		150	比例 12.5%

<p style="text-align: center;">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) 《宁波开博线缆有限公司新建 2 台工业电子加速器辐照项目环境影响报告表》, 杭州卫康环保科技有限公司, 2022 年 11 月;</p> <p>(17) 《关于宁波开博线缆有限公司<新建 2 台工业电子加速器辐照项目环境影响报告表>的批复》(甬新环辐[2022]3 号), 宁波杭州湾新区生态环境局, 2022 年 11 月 28 日。</p>
------	--

<p>验收执行标准</p>	<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 2.5 μ 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。</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

宁波开博线缆有限公司成立于 2014 年 3 月 3 日，注册资本 1020 万元，位于浙江省宁波杭州湾新区滨海四路 518 号，总占地面积约 33336m²，是一家专业从事光伏线缆、建筑布电线、新能源汽车线缆、插头电源线、储能线缆及线束的研发型生产企业，经营范围包括电线、电缆、塑料制品、五金配件、输变电及控制设备、电源连接件制造、加工，自营和代理货物和技术的进出口。

公司厂区内建筑主要包括 1 间门卫室（共 1 层）、1 幢办公楼（共 3 层）、1 幢宿舍楼（共 3 层）、1#厂房（共 1 层）、2#厂房（共 1 层）、3#厂房（共 1 层）、4#厂房（共 1 层）。

2.1.2 项目建设目的和任务由来

为满足业务发展需求，宁波开博线缆有限公司将 3#厂房布置为原料仓库，并在 3#厂房东北侧新建 2 间加速器机房，分别为 1#加速器机房和 2#加速器机房，其中 1#加速器机房配备 1 台 DD2.0-50/1600 型电子加速器已于 2023 年 8 月通过竣工环境保护验收，2#加速器机房配备 1 台 DD2.5-40/1600 型电子加速器，于 2024 年 8 月安装调试完成。公司配备的电子加速器用于对本公司生产的电线、电缆进行辐照加工。于 2022 年 12 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 DD2.5-40/1600 型电子加速器，位于宁波杭州湾新区滨海四路 518 号 3#厂房东北侧 2#加速器机房。

根据国家有关建设项目辐射环境管理规定，公司委托杭州卫康环保科技有限公司于 2022 年 6 月完成了本项目的辐射环境影响评价。2022 年 12 月 22 日，嘉兴市生态环境局以“甬新环辐[2022]3 号”对该环评文件进行批复。2024 年 09 月 23 日，公司重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 [B3040]）。

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。为此，企业委托浙江环安检测有限

续表 2 项目建设情况

公司对宁波开博线缆有限公司新建2台工业电子加速器辐照项目开展竣工环境保护验收监测，编制竣工环境保护验收监测表。

受该企业的委托，浙江环安检测有限公司于2024年10月29日开展该项目竣工环境保护验收监测工作。在现场检查核实、辐射监测的基础上，并编制项目竣工环境保护验收监测表。

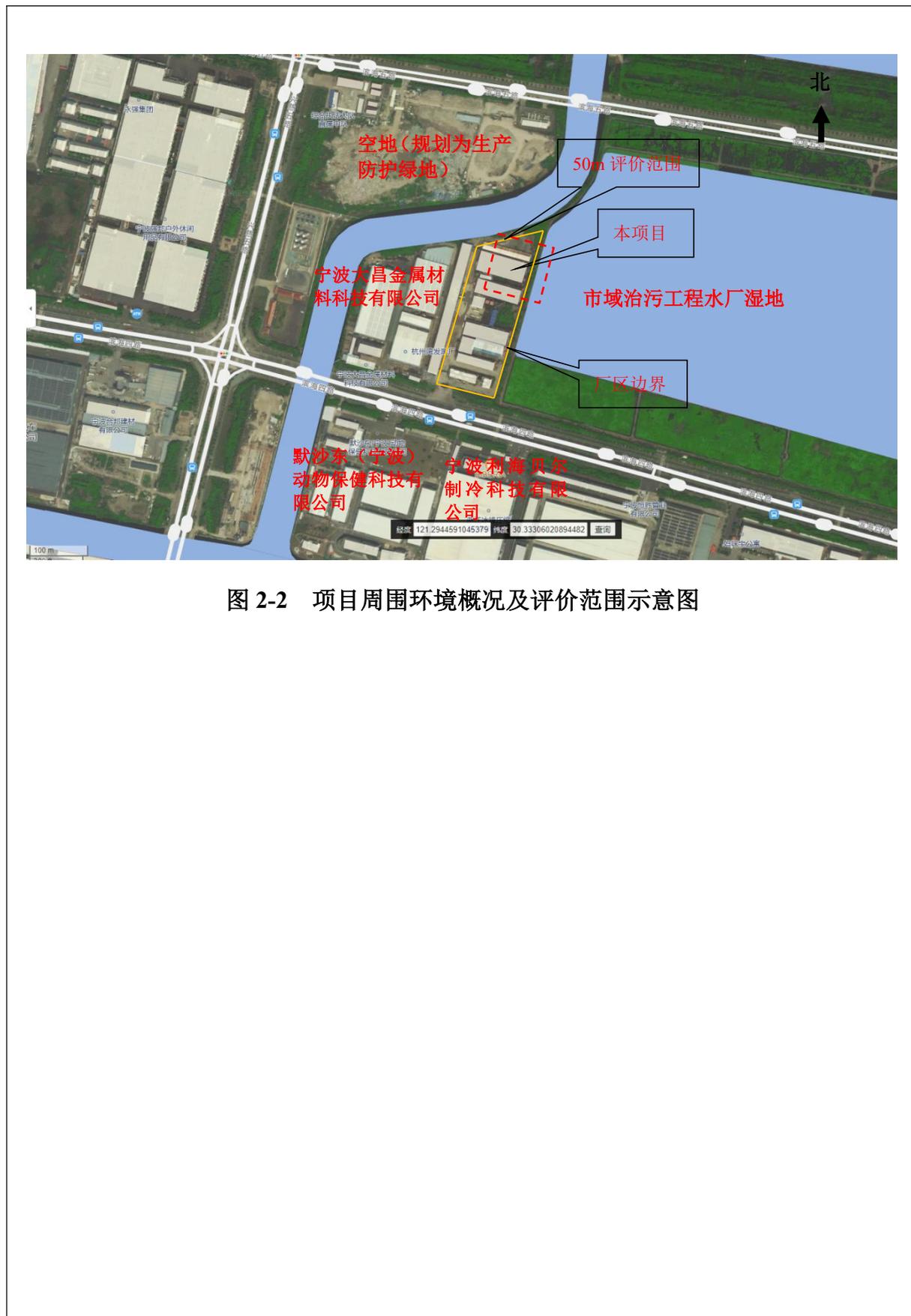
2.1.3 地理位置及平面布置

本项目建设地址位于浙江宁波杭州湾新区滨海四路518号，项目位置见图2-1。本项目位置东侧为市域治污工程水厂湿地，南侧隔滨海四路为默沙东（宁波）动物保健科技有限公司和宁波利海贝尔制冷科技有限公司，西侧为宁波大昌金属材料科技有限公司，北侧隔三号直江为空地（规划为生产防护绿地）。公司大门位于厂区南侧，厂区内由南往北依次布置办公楼、宿舍楼、1#厂房（挤塑车间、注塑车间和成品仓库）、2#厂房（密炼造粒车间）、3#厂房（原料仓库）、4#厂房（原料仓库）。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。

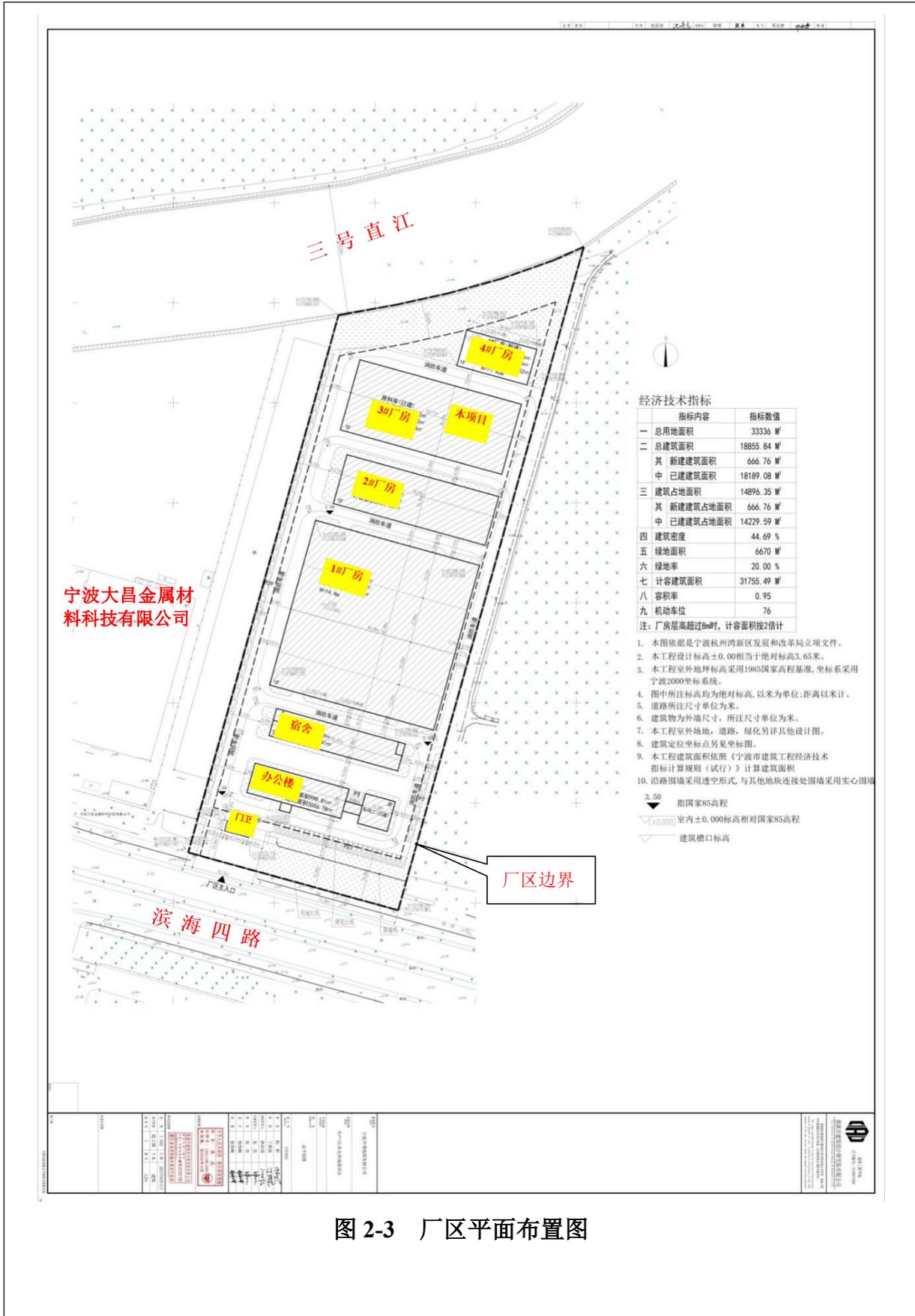


图 2-1 项目地理位置图

续表 2 项目建设情况



续表 2 项目建设情况



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，本次验收实际建设内容与环评及其批复建设内容一致。

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
3#厂房东北侧新建 2 间加速器机房，分别为 1#加速器机房和 2#加速器机房，其中 1#加速器机房配备 1 台 DD2.0-50/1600 型电子加速器，2#加速器机房配备 1 台 DD2.5-40/1600 型电子加速器。	在宁波杭州湾新区滨海四路 518 号公司厂房新建 2 台工业电子加速器。	1 台 DD2.5-40/1600 型电子加速器，位于宁波杭州湾新区滨海四路 518 号 3#厂房东北侧 2#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一致。本次验收的设备是扩建的 1 台工业电子加速器。

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	DD2.0-50/1600 型	1	能量 2.0MeV， 束流 50mA	1#加速器机房	辐照加工
	电子加速器	DD2.5-40/1600 型	1	能量 2.5MeV， 束流 40mA	2#加速器机房	辐照加工
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
	电子加速器	DD2.5-40/1600 型	1	能量 2.5MeV， 束流 40mA	2#加速器机房	辐照加工

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

首先，将低压工频电能，用高频振荡器变成 100kHz 左右的高频电能，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。

本项目被辐照产品为电线电缆类产品，以垂直于加速器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。

2.3.2 设备组成

加速器主要由直流高压发生器、束流加速系统、扫描引出系统、控制系统以及真空抽气等辅助系统组成。各主要部分概述如下：

1、直流高压发生器

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换为高频，其性能决定着加速器的最大束功与束功转换效率。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。自洁性能：防止在冷却水套中形成水垢，电子管无需定期清理水垢。

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达到国外同类产品的性能。

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，这一新颖的线路使得可控硅交流调压系统的稳压精度优于

续表 2 项目建设情况

1%响应速度更快。

④采用了风冷可控硅，使得机柜结构更安全、可靠、紧凑。



图 2-4 高频振荡器



图 2-5 高频振荡器可控硅交流调压系统

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。振荡管阳极与高频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。

高频变压器是高频振荡器的关键部件，其性能为：

- ①能在高频、高压和大功率负荷的条件下工作。
- ②变压器线饼漏磁小、 Q 值高。
- ③结构紧凑、牢固，由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，大大降低了运行损耗，提高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，同时也对钢筒内的其他部件进行冷却。

（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，

续表 2 项目建设情况

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 2-6 高频变压器



图 2-7 整流倍压系统

2、束流加速系统

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。它需要在高真空中稳定可靠地建立一个均匀的高梯度直流加速电场。由于真空中的击穿放电机理复杂，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。

(2) 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。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

续表 2 项目建设情况

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。我们取 0.04mm。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、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是：

- 冷却系统风、水工作正常
- 加速器厅与辐照厅送排风启动
- 加速器厅与辐照厅防护门关闭
- 高频机柜门关闭
- 钢筒温度、高频机柜温度和振荡管冷却水温度达标
- 一般要求真空度好于 7.5×10^{-5} Pa。

(2) 加速器在运行过程中还与多个参数发生连锁关系，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，当上述参数异常时将自动封闭高频。

(3) 在加速器进入额定工作状态、束下装置运转正常之后，系统可以进入闭环运行以自动稳定加速器的设定参数，并与束下系统的运行联动。例如当样品的移动速度发生变化时，变化信息会立即输入加速器控制系统，实时调整电子枪的加热电流，使加速器的输出束流与束下样品的传输速度变化同步，确保样品的辐照剂量均匀。当束下暂停或换卷时，束流自动降低或置零等等。

(4) 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、真空抽气系统

真空抽气系统安装在主厅钢筒底座下面的四通管两侧，由涡轮分子泵和溅射离子

续表 2 项目建设情况

泵机组组成。推荐运行时先启动分子泵机组，然后利用分子泵启动离子泵，待后者正常工作后，即可关闭分子泵、机械泵机组。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。

2.2.3 工艺流程

本项目电子加速器辐照工艺流程见图 2-8，产污环节示意图见图 2-9。

- ① 作业区上下卷工作人员将待辐照电线电缆装在放卷机上；
- ② 控制室辐射工作人员根据待照产品辐照要求，输入技术参数，启动传动申报，开始辐照；
- ③ 电线电缆通过机房南侧物料进洞进入辐照室，在扫描系统下接受电子束辐照；
- ④ 经过辐照后的电线电缆再通过机房南侧物料出洞送出辐照室，由收卷机完成最后的成卷；
- ⑤ 作业区上下卷工作人员在下卷区将已辐照的电线电缆搬下来，取样检验合格后入已辐照产品库暂存。

整个辐照加工过程，正常情况下工作人员不必进入辐照室，均在辐照室外上下卷区进行辐照产品的上下卷。加速器开机运行时，会产生电子束、X 射线、臭氧、氮氧化物等污染因素。

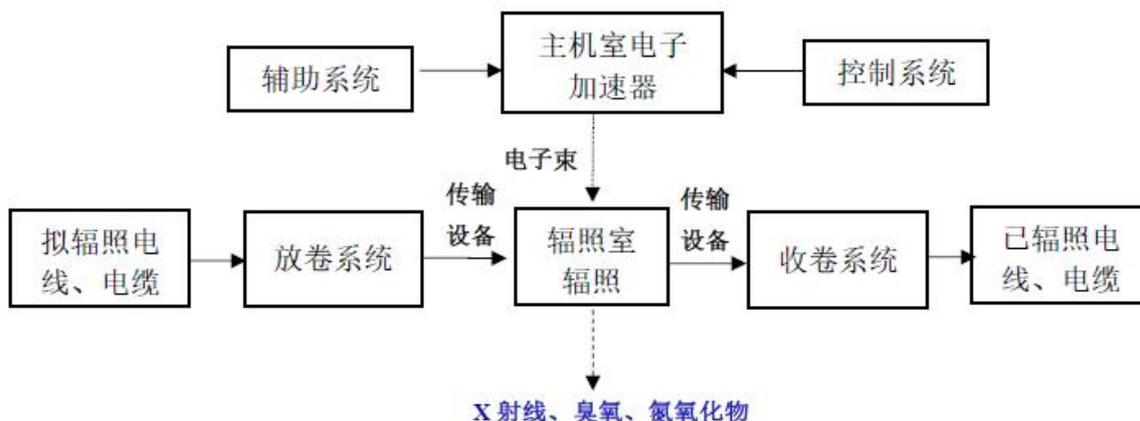


图 2-8 本项目辐照工艺流程图

续表 2 项目建设情况

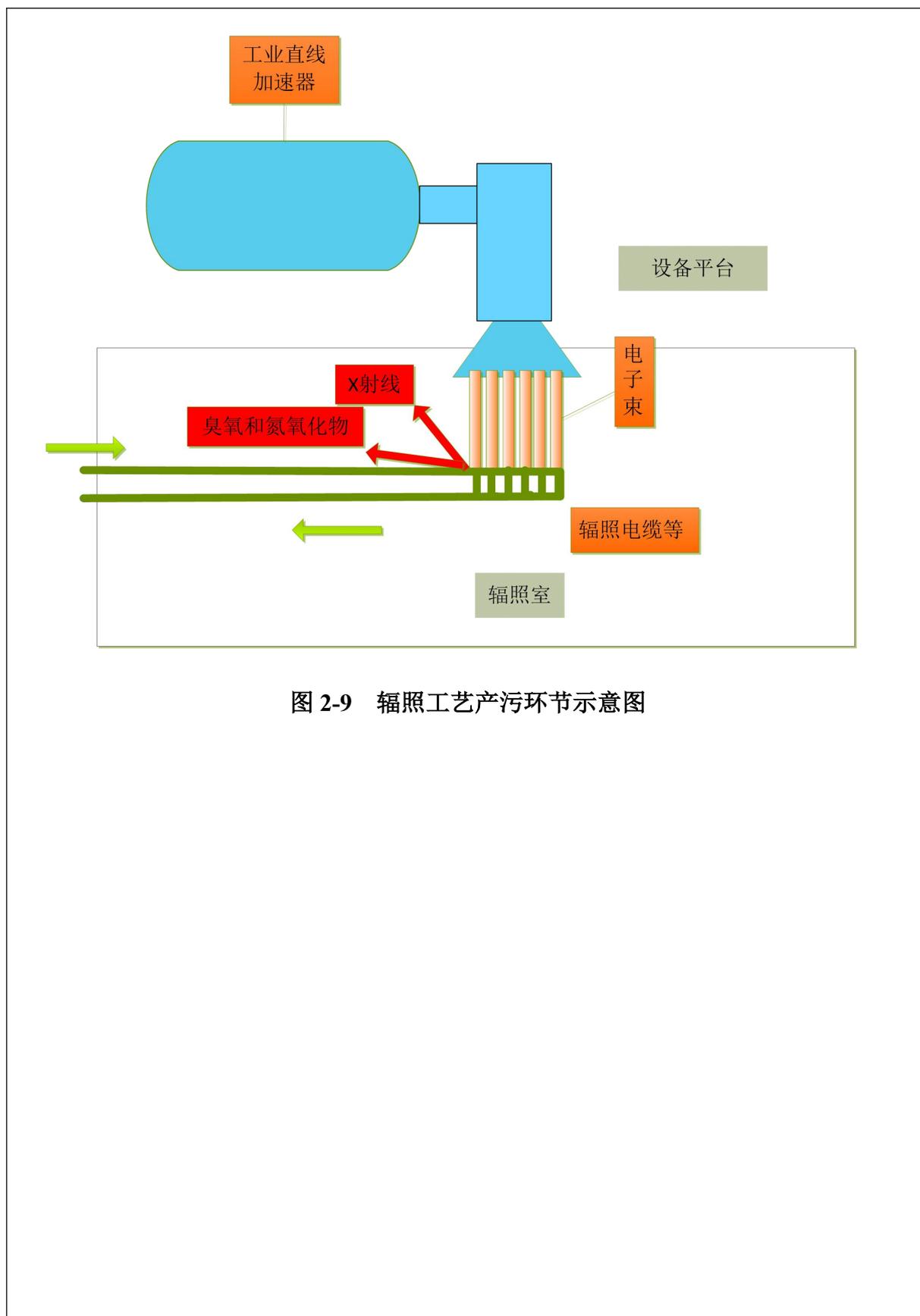


图 2-9 辐照工艺产污环节示意图

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

本项目 2#加速器机房位于 3#厂房东北侧，3#厂房为一幢 1 层建筑，无地下一层，其东侧为厂区过道，南侧为厂区过道和 2#厂房，西侧为厂区过道和宁波大昌金属材料科技有限公司，北侧为厂区过道和 4#厂房。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。加速器机房东侧为厂房过道，南侧为控制室和生产区，西侧为 1#加速器机房，北侧为消防通道。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。本项目将辐照室、设备平台作为辐射防护控制区，在辐照室、设备平台入口处及机房周围醒目位置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。本项目将控制室、收放卷系统区及辐射室外 1m 范围内划为辐射防护监督区，无关人员不得进入。

本项目辐射工作场所分区管理示意图见图 3-1，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。

表 3-1 本项目辐射工作场所控制区和监督区划分

分区	控制区	监督区
区域	辐照室、设备平台	控制室、收放卷系统区及辐射室外 1m 范围内
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

续表3 辐射安全与防护设施/措施

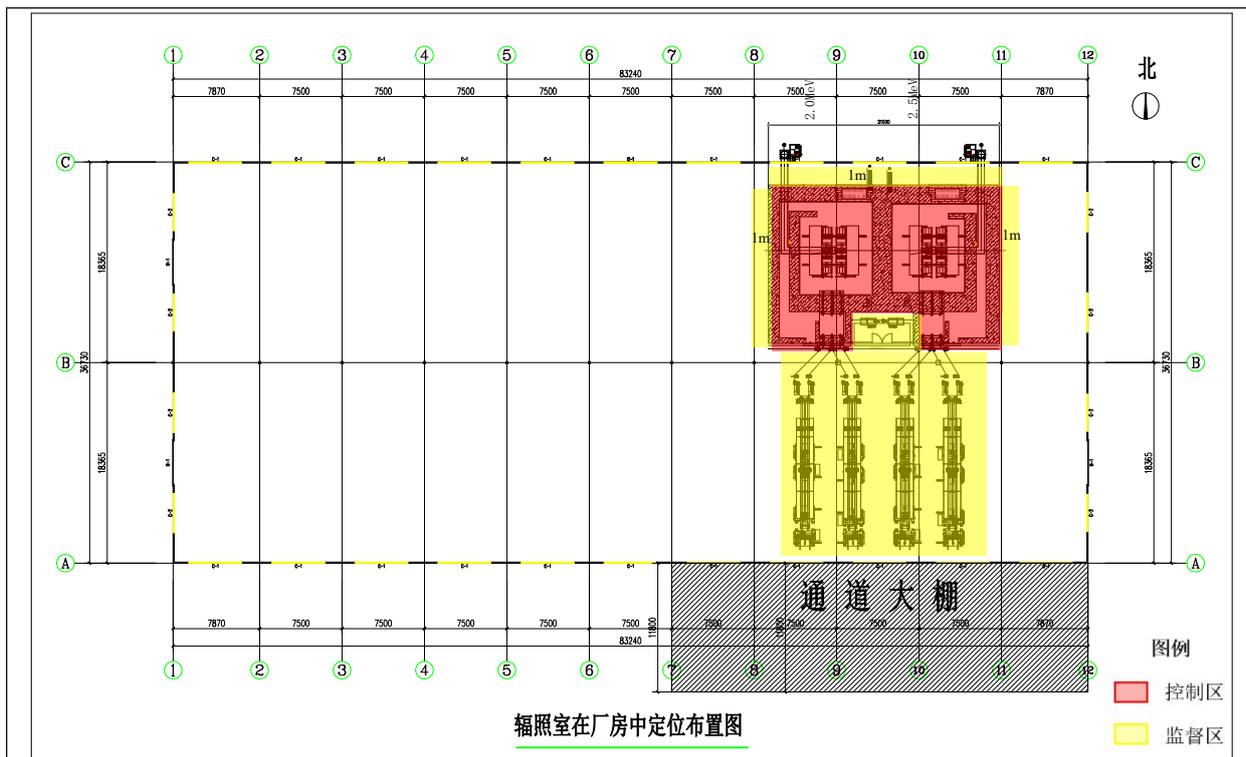


图 3-1 1#、2#加速器机房在 3#厂房的平面布局图及两区划分图

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 3-2。

表 3-2 电子加速器机房辐射安全设计

名称	图标	数量	作用（每台设备）
状态显示器		1	工作状态中屏幕显示（开机、关机、准备）带报警装置
钥匙开关		1	进入迷宫需要插上钥匙方可打开门
光电		4	加速器运行时，有人、动物经过红外线开关，即会立刻停止加速器运行
巡检按钮		6	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
剂量探头		3	显示当前位置剂量情况
语音报警		1	开机关门前巡检语音提示
摄像头		1	实时监控束下装置运作状态
拉线开关		1	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启
烟雾报警		1	烟雾报警响起，设备紧急停机
急停按钮		6	人员触发任意一处紧急设备都无法开启
门机联锁		2	辐照室门、设备平台楼梯入口处安全门与束流控制和加速器高压联锁
束下装置联锁		1	电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制联锁
通风联锁		1	加速器机房通风系统与控制系统联锁
强制开门		1	强制开门

续表 3 辐射安全与防护设施/措施

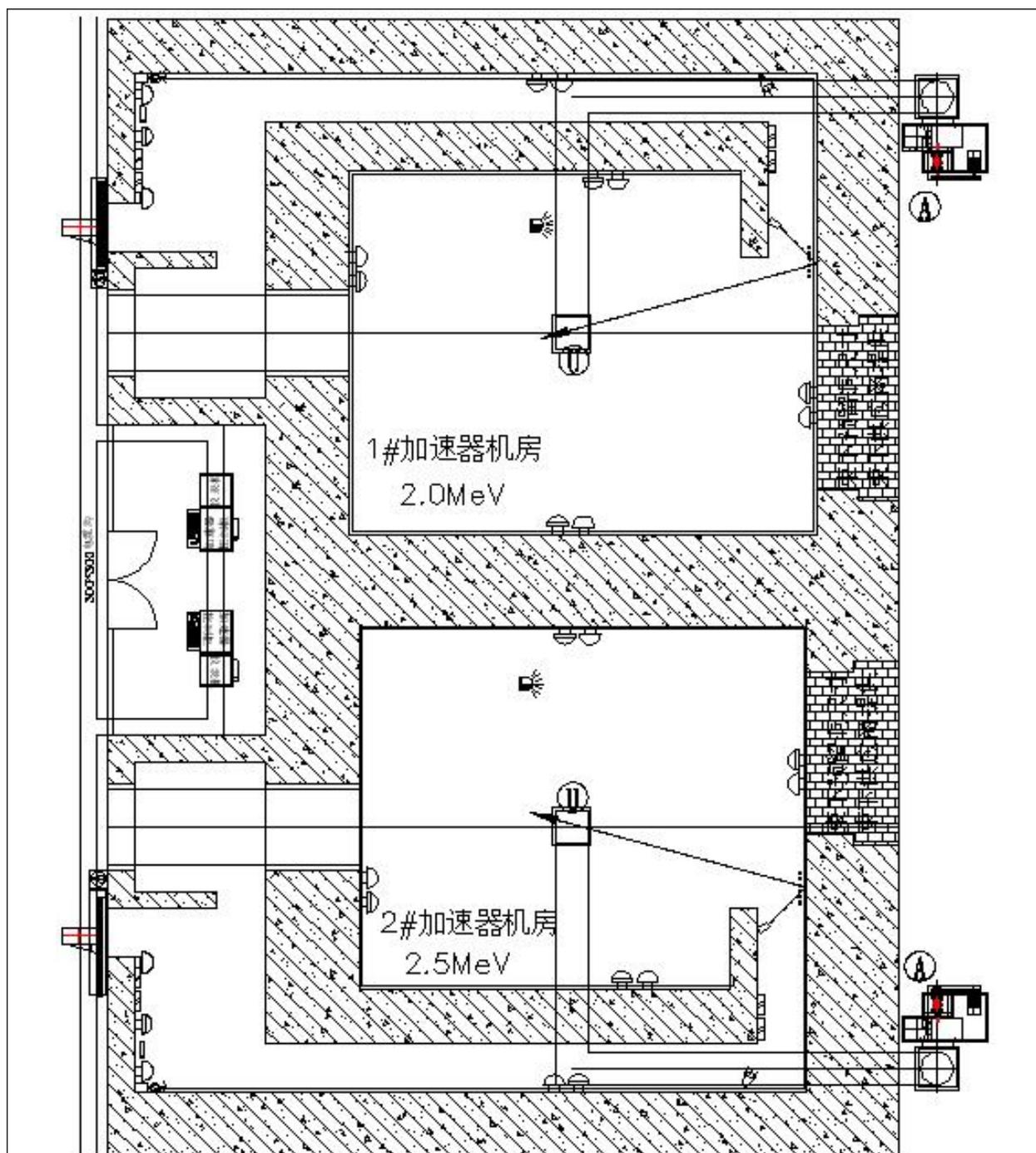


图 3-2 1#、2#加速器辐照室辐射防护措施分布图

续表3 辐射安全与防护设施/措施

(2) 屏蔽设计

本项目2#加速器机房具体屏蔽设计参数见表3-3。

表3-3 2#加速器机房屏蔽情况一览表

项目	(环评) 屏蔽情况	
辐照室屏蔽	东墙	迷道内墙 1000mm 砼+迷道外墙 1200mm 砼
	南墙	迷道内墙 1700mm 砼+迷道外墙 500mm 砼，控制室部分为 1700mm 砼
	西墙	1700mm 砼
	北墙	1700mm 砼
	顶部	辐照室顶：1700mm 砼 迷道顶：1000mm 砼 主体钢筒基座：540mm 钢
	防护门	40mm 钢
加速器主体钢筒屏蔽	筒身	3mm 钢板+60mm 铅板+12mm 钢板
	侧面筒盖	10mm 钢板+40mm 铅板+70mm 钢板
	上筒盖	20mm 钢板+70mm 铅板+70mm 钢板
	筒底	90mm 钢板
	联接段	3mm 钢板+40mm 铅板+12mm 钢板
项目	(验收) 屏蔽情况	
辐照室屏蔽	东墙	迷道内墙 1000mm 砼+迷道外墙 1200mm 砼
	南墙	迷道内墙 1700mm 砼+迷道外墙 500mm 砼，控制室部分为 1700mm 砼
	西墙	1700mm 砼
	北墙	1700mm 砼
	顶部	辐照室顶：1700mm 砼 迷道顶：1000mm 砼 主体钢筒基座：540mm 钢
	防护门	40mm 钢
加速器主体钢筒屏蔽	筒身	3mm 钢板+60mm 铅板+12mm 钢板
	侧面筒盖	10mm 钢板+40mm 铅板+70mm 钢板
	上筒盖	20mm 钢板+70mm 铅板+70mm 钢板
	筒底	90mm 钢板
	联接段	3mm 钢板+40mm 铅板+12mm 钢板

注：表中砼的密度不小于 2.35t/m³，铅板密度不小于 11.35t/m³。

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监测结果；⑦检查及维修维护的内容与结果；⑧其它。

续表 3 辐射安全与防护设施/措施

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 5min）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《宁波开博线缆有限公司新建 2 台工业电子加速器辐照项目环境影响报告表》由杭州卫康环保科技有限公司编制。2022 年 11 月 28 日，宁波杭州湾新区生态环境局对该项目进行批复，审批文号为：甬新环辐[2022]3 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《宁波开博线缆有限公司新建 2 台工业电子加速器辐照项目环境影响报告表》由杭州卫康环保科技有限公司于 2022 年 11 月完成编制。该项目环评结论：

宁波开博线缆有限公司新建 2 台工业电子加速器辐照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) “甬新环辐[2022]3 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：控制室主控台上配备钥匙开关，钥匙开关控制加速器系统的运行，钥匙开关为未闭合状态时加速器无法开机；加速器的主控钥匙开关和辐照室门联锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器自动停机；并将钥匙插入辐照室门的钥匙左侧或右侧离地 1.3m 处的钥匙开关，方可打开辐照室门进入迷道。该钥匙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>符合环评要求。控制室主控台上配备钥匙开关，钥匙开关控制加速器系统的运行，钥匙开关为未闭合状态时加速器无法开机；加速器的主控钥匙开关和辐照室门联锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器自动停机；并将钥匙插入辐照室门右侧的钥匙开关，方可打开辐照室门进入迷道。该钥匙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>门机联锁：辐照室门、设备平台楼梯入口处安全门与束流控制和加速器高压联锁。辐照室门或设备平台楼梯入口处安全门打开时，加速器不能加高压且束流装置不能出束流；加速器运行中门被打开则加速器自动停机。</p>	<p>基本符合环评要求。辐照室门与束流控制和加速器高压联锁。辐照室门打开时，加速器不能加高压且束流装置不能出束流；加速器运行中门被打开则加速器自动停机。</p>

⑥

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	束下装置联锁: 电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制进行联锁, 用于将辐照货物送至辐射束下的传输系统, 若发生故障, 将通过 PLC 反馈至主机, 主机束流将自动停止、加速器自动停机。	符合环评要求。电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制已联锁, 用于将辐照货物送至辐射束下的传输系统, 若发生故障, 将通过 PLC 反馈至主机, 主机束流将自动停止、加速器自动停机。
	信号警示装置: 在辐照室出入口处安装状态显示器, 并与电子加速器辐照装置联锁, 加速器开机升高压前红灯亮, 同时提示“开机禁止入内”, 提醒滞留控制区的工作人员迅速撤离现场, 关机后绿灯亮并提示“关机允许进入”。	符合环评要求。在辐照室出入口处安装有状态显示器, 并与电子加速器辐照装置联锁, 加速器开机红灯亮, 并提示红色语句“开机”, 待机状态提示黄色语句“准备”, 停机时提示绿色语句“停机”。
	巡检按钮: 辐照室内每面墙上、迷道通道和迷道出口墙上均设置一个“巡检按钮”, 并与控制台联锁。加速器开机前, 操作人员进入辐照室按序按动“巡检按钮”, 巡查有无人员误留, 完成巡检流程后, 加速器才能开启高压。	符合环评要求。辐照室内每面墙上、迷道通道和迷道出口墙上均设有一个“巡检按钮”, 并与控制台联锁。加速器开机前, 操作人员进入辐照室按序按动“巡检按钮”, 巡查有无人员误留, 完成巡检流程后, 加速器才能开启高压。
	防人误入装置: 在辐照室人员出入口门处、室内迷道内口处设置四道(高度均为 1.3m)防人误入的光电联锁装置, 并与加速器的开、停机联锁。在加速器工作过程中, 若人员误入辐照室, 该装置将发出光电报警, 并自动切断加速器电源。四道防人误入光电联锁装置应从不同的厂家购买, 确保其不会因同一机械故障导致光电联锁装置全部失灵。	符合环评要求。在辐照室人员出入口门处设有一道、室内迷道内口处设有两道防人误入的光电联锁装置, 并与加速器的开、停机联锁。在加速器工作过程中, 若人员误入辐照室, 该装置将发出光电报警, 并自动切断加速器电源。
	急停装置: 辐照室内每面墙上、迷道通道和迷道出口墙上均设置一个“急停按钮”, 并在辐照室内设置急停拉线开关并覆盖辐照室全部区域, 紧急状态下, 拉下急停拉线开关或按下急停按钮, 即终止加速器的运行, 拉线开关拉动后或急停按钮按下后需要手动复位。急停按钮和急停拉线开关必须性能可靠, 并有中文标识和使用说明。辐照室内靠近出入口门处的急停按钮带有紧急开门功能, 以便人员离开控制区。	辐照室内每面墙上、迷道通道和迷道出口墙上均设有一个“急停按钮”, 并在辐照室内设有急停拉线开关并覆盖辐照室全部区域, 紧急状态下, 拉下急停拉线开关或按下急停按钮, 即终止加速器的运行, 拉线开关拉动后或急停按钮按下后需要手动复位。急停按钮和急停拉线开关性能可靠, 并有中文标识和使用说明。辐照室内靠近出入口门处的急停按钮带有紧急开门功能, 以便人员离开控制区。

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>剂量连锁：在控制室内、辐照室迷道内、加速器主体钢筒上安装固定式辐射监测探头，系统数字显示装置安装在控制室内，以监测电子加速器运行时周围环境辐射剂量；固定式辐射剂量监测系统与辐照室电动门、设备平台楼梯入口处安全门连锁，当任一监测点剂量超过设定的阈值时，固定式辐射剂量监测系统会报警，并将信号传送到控制系统，辐照室电动门和设备平台楼梯入口处安全门无法打开。</p>	<p>符合环评要求。在控制室内、辐照室迷道内、进出线口旁各安装有 1 个固定式辐射监测探头，系统数字显示装置安装在控制室内，以监测电子加速器运行时周围环境辐射剂量；固定式辐射剂量监测系统与辐照室电动门连锁，当任一监测点剂量超过设定的阈值时，固定式辐射剂量监测系统会报警，并将信号传送到控制系统，辐照室电动门无法打开。</p>
	<p>通风连锁：加速器机房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（环评建议至少 5min）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>符合环评要求。加速器机房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（5min）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>烟雾报警：本项目辐照室拟设置烟雾报警装置，遇有火险时，加速器能立即停机并停止通风。</p>	<p>符合环评要求。本项目辐照室已设置烟雾报警装置，遇有火险时，加速器能立即停机并停止通风。</p>
辐射环境管理要求	<p>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》等法律法规要求，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。</p>	<p>符合环评要求。公司新增了龚柘宾、宋海洋、周会军 3 名辐射工作人员。公司已成立专门的辐射防护安全管理委员会，指定杨锋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。</p>
	<p>根据生态环境部《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》（2019 年，第 57 号）的相关要求，自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部培训平台（http://fushe.mee.gov.cn）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。项目新增辐射工作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，经考核合格后方可上岗。</p>	<p>符合环评要求。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。</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
辐射 环境 管理 要求	<p>辐射工作人员应配备个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量检测，并建立个人剂量档案；应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，在岗期间每一年或两年委托相关资质单位对辐射工作人员进行职业健康检查，建立完整的职业健康档案；个人剂量档案和职业健康档案应终生保存。</p>	<p>符合环评要求。公司已为每名辐射工作人员配备了个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量检测，并建立个人剂量档案；并进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，在岗期间每一年或两年委托相关资质单位对辐射工作人员进行职业健康检查，建立完整的职业健康档案；个人剂量档案和职业健康档案终生保存。</p>
	<p>辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息应统一。</p>	<p>符合环评要求。公司做好辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息统一。</p>
	<p>宁波开博线缆有限公司拟根据《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》中的相关要求制定辐射安全管理制度，如《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》、《台账管理制度》、《环境监测方案》及《辐射事故应急预案》等，并在以后的实际工作中不断对各管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。</p>	<p>符合环评要求。公司已制定《辐射事故应急预案》、《健康管理及安全培训制度》、《辐射防护和安全管理机构及岗位职责》、《电子加速器系统设备检修维护制度》、《辐射监测方案》、《监测仪表使用与校验管理制度》、《岗位职责》、《操作规程》、《电子加速器辐射防护措施和安全保卫制度》、《辐射环境自行监测方案及年度评估制度》与《辐射工作安全责任书》等辐射管理制度。</p>
	<p>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。</p>	<p>符合环评要求。公司已制定《辐射监测方案》，已按方案严格执行，公司已配备固定式辐射监测仪 2 套、便携式辐射监测仪 1 台、个人剂量报警仪 2 个。</p>
	<p>根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中第十二条规定，公司应对本单位的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 日前向原发证机关提交上一年度的评估报告，并在浙江省核技术利用辐射安全申报系统进行网上申报。</p>	<p>符合环评要求。公司已制定《年度评估制度》，对本单位的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 日前向原发证机关提交上一年度的评估报告，并在浙江省核技术利用辐射安全申报系统进行网上申报。</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
辐射 环境 管理 要求	<p>公司应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南——污染影响类》（生态环境部公告 2018 年第 9 号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。</p>	<p>符合环评要求。项目已严格执行环保“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>根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019 年修改）》中第四十一条的规定，公司应根据可能产生的辐射事故风险，制定本单位的应急预案，做好应急准备。</p>	<p>符合环评要求。公司已制定《辐射事故应急预案》，其内容包括：1、辐射源基本情况；2、事故预测；3、事故应急指挥机构的组成、职责和分工；4、通讯联络方式。</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

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>“甬新环辐[2022]3 号” 批复要求：</p> <p>一、严格按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和《报告表》提出的要求进行设计和施工，确保屏蔽和防护措施符合要求。</p> <p>二、加强射线装置的安全和防护管理。必须成立辐射防护管理机构，明确各成员职责，制订各项具体可行的辐射安全管理制度、操作规程和监测计划，检修和使用情况要有详细的记录。制定辐射事故应急预案，上报我局备案。严格执行各项管理制度、操作规程和监测计划，辐射工作场所设置明显警示标识和中文警示说明，加速器出束前检查门机联锁装置的有效性，确保运行安全。</p> <p>三、加强健康管理。操作人员必须经辐射安全和防护知识培训合格后方可上岗，定期进行辐射防护知识的培训 and 安全教育，检查和评估工作人员的个人剂量，建立个人剂量档案，定期进行身体健康体检。</p> <p>四、严格执行“三同时”制度，并按规定程序申请该项目竣工环境保护验收，项目验收通过后方可正式投产运行。</p>	<p>“甬新环辐[2022]3 号” 批复要求落实情况：</p> <p>已落实。</p> <p>一、公司已严格按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和《报告表》提出的要求进行设计和施工，确保屏蔽和防护措施符合要求。</p> <p>二、公司已按规范做好了射线装置的安全和防护管理，成立了辐射防护管理机构，制订了各项具体可行的辐射安全管理制度、操作规程和监测计划，检修和使用情况有详细的记录。制定了辐射事故应急预案并备案。辐射工作场所设置由明显警示标识和中文警示说明，加速器出束前检查门机联锁装置的有效性，确保运行安全。</p> <p>三、本项目 3 名辐射工作人员均已在上岗前参加并通过了生态环境部培训平台上的线上考核，成绩合格；3 名辐射工作人员已在宁波大学附属第一医院进行了上岗和在岗职业健康体检，体检结果为可从事放射工作和可继续原放射工作。</p> <p>四、项目已严格执行环保“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>

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、工作指示灯

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



操作台



急停按钮



急停按钮



巡检按钮



强制开门按钮

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



光电开关



安全拉线开关



语音喇叭



固定式辐射监测仪



钥匙



视频监控

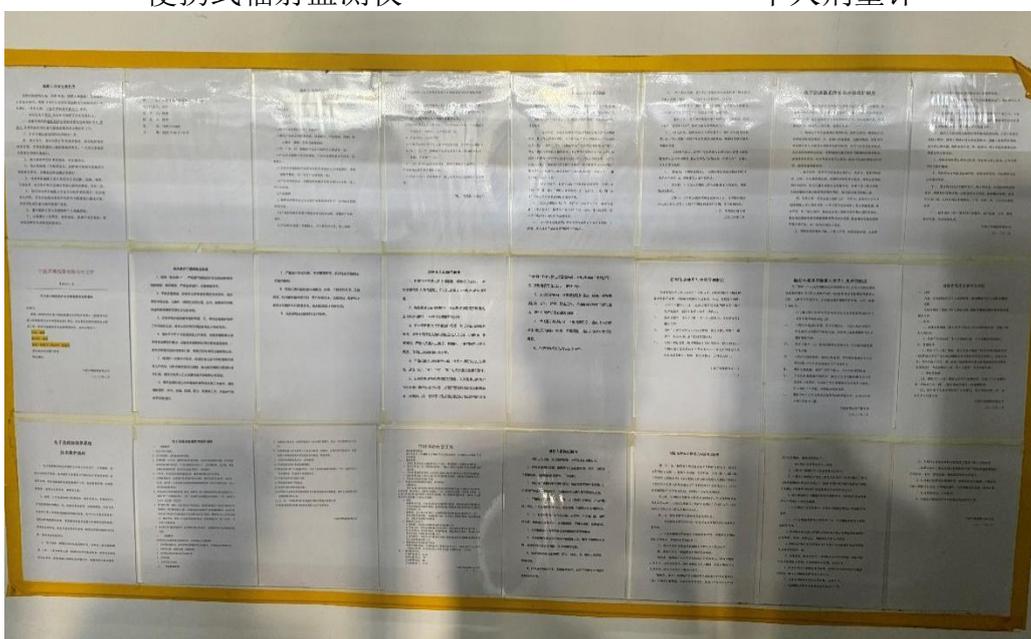
续表 4 建设项目环境影响报告表主要结论及审批部门审批决定



便携式辐射监测仪



个人剂量计



制度上墙



排风口

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：

《辐射环境监测技术规范》 HJ 61-2021

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 GB 18871-2002

《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》 GBZ 141-2002

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	X、 γ 辐射剂量率仪
型号编号	AT1121/2018003
有效量程	50nSv/h~10Sv/h, 10nSv~10Sv
能量响应	25keV~10MeV
检定证书编号	2023H21-10-4925711002
检定机构	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心
检定证书有效期	2023.11.06~2024.11.05

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

验收监测单位浙江环安检测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

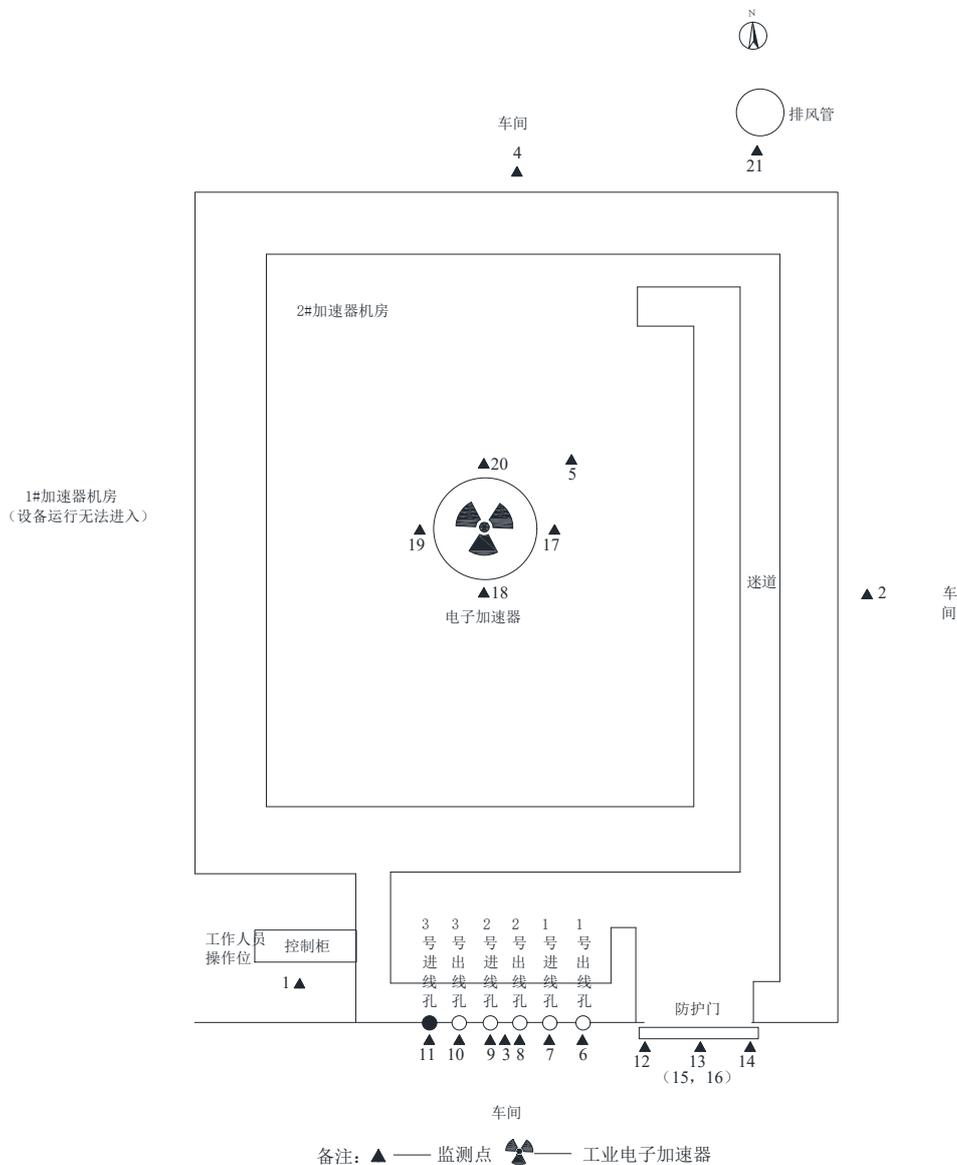
为掌握本项目电子加速器使用场所周围辐射环境水平，浙江环安检测有限公司于2024年10月29日对本项目加速器机房周围辐射环境进行了监测。

监测因子：X射线剂量率、γ射线剂量率。

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。



续表 6 验收监测内容



图 6-1 2#加速器机房及厂界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

浙江环安检测有限公司于 2024 年 10 月 29 日对宁波开博线缆有限公司 2#加速器机房及厂界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
DD2.5-40/1600	电子束能量：2.5MeV 束流：40mA	电子束能量：2.2MeV 束流：38mA

7.2 验收监测结果

本项目验收监测结果见表 7.2、表 7.3，该结果表明：该公司 DD2.5-40/1600 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《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）的相关要求。

表 7.2 2#加速器机房周围环境监测结果（DD2.5-40/1600 型）

点号	监测点位置	监测结果（nSv/h）			
		射线装置未运行时		射线装置运行时	
		校正值	标准差	校正值	标准差
1	工作人员操作位	135	1	140	1
2	辐照室（东侧）外表面 30cm	137	1	143	1
3	辐照室（南侧）外表面 30cm	137	1	143	2
4	辐照室（北侧）外表面 30cm	139	2	144	2
5	辐照室（上层）外表面 30cm	140	1	144	2
6	1 号出线孔外表面 30cm	141	1	146	2
7	1 号进线孔外表面 30cm	141	1	145	1
8	2 号出线孔外表面 30cm	137	2	145	2
9	2 号进线孔外表面 30cm	136	2	141	2
10	3 号出线孔外表面 30cm	138	2	144	1
11	3 号进线孔外表面 30cm	139	2	144	2
12	防护门（左侧）外表面 30cm	139	1	142	2
13	防护门（中部）外表面 30cm	139	1	147	1
14	防护门（右侧）外表面 30cm	140	1	149	2

续表 7 验收监测

续表 7.2 2#加速器机房周围环境监测结果 (DD2.5-40/1600 型)

点号	监测点位置	监测结果 (nSv/h)			
		射线装置未运行时		射线装置运行时	
		校正值	标准差	校正值	标准差
15	防护门 (上侧) 外表面 30cm	138	2	145	1
16	防护门 (下侧) 外表面 30cm	141	1	145	2
17	主机自屏蔽体 (东侧) 外表面 30cm	135	2	0.41×10 ³	0.01×10 ³
18	主机自屏蔽体 (南侧) 外表面 30cm	133	2	0.40×10 ³	0.01×10 ³
19	主机自屏蔽体 (西侧) 外表面 30cm	136	2	0.43×10 ³	0.01×10 ³
20	主机自屏蔽体 (北侧) 外表面 30cm	137	1	0.43×10 ³	0.01×10 ³
21	排风管外表面	142	2	146	2

注：以上监测结果均未扣除宇宙射线的响应值。校正值=测量示值平均值×校准因子，校准因子见监测仪器校准证书。

表 7.3 公司厂界周围环境 γ 射线剂量率监测结果

点号	监测点位置	监测结果 (nSv/h)	
		校正值	标准差
1	厂界东侧	131	1
2	厂界南侧	134	2
3	厂界西侧	137	1
4	厂界北侧	135	1

注：以上监测结果均未扣除宇宙射线的响应值。校正值=测量示值平均值×校准因子，校准因子见监测仪器校准证书。

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。

续表 7 验收监测

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} ：

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

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 7200 小时，辐射工作人员采取两班工作制，每班工作人员实行每天 12 小时工作制，年工作时间约 300 天；工作人员操作位测得 X 射线剂量率开机状态时最高为 140nSv/h，关机状态时为 135nSv/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： $(140-135) \times 10^{-6} \times 300 \times 12 = 0.018\text{mSv}$ 。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：保守估计公众在排风管外表面处居留因子取 1/16，年受照时间约 7200 小时，排风管外表面处测得 X 射线剂量率开机状态时最高为 146nSv/h，关机状态时为 142nSv/h，保守计算出这位公众接受的附加年有效剂量约为 0.0018mSv，公众所受辐射照射远低于公众的剂量管理限值（0.1mSv）。本项目 2#加速器机房位于 3#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。

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环安检测有限公司承担，每 3 个月为一个测量周期。根据公司提供的 2024 年 7 月-2024 年 10 月的个人剂量监测报告，本项目相关的辐射工作人员剂量监测结果见表 7.4。

续表 7 验收监测

由表 7.4 可知,本项目相关的辐射工作人员在 2024 年 7 月-2024 年 10 月期间有效剂量最高为 0.007mSv,远低于其佩戴周期的调查水平参考值 1.25mSv,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中关于“剂量限值”的要求。

表 7.4 本项目辐射工作人员个人剂量监测结果

序号	姓名	性别	个人剂量监测结果 $H_p(10)$ (mSv)
			2024.07.22-2024.10.20
1	龚柘宾	男	0.007
2	宋海洋	男	0.007
3	周会军	男	0.007

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 0.01mSv，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) 宁波开博线缆有限公司新建 2 台工业电子加速器辐照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 DD2.5-40/1600 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《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）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，制度内容较全面，管理措施有效。

表 8 验收监测结论

(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，宁波开博线缆有限公司新建 2 台工业电子加速器辐照项目基本符合相关规定，具备竣工验收条件。