

报告编号：WKFHP-25026

核技术利用建设项目

浙江馨悦高新科技有限公司 电子加速器辐照装置建设项目 环境影响报告表 (报批稿)

浙江馨悦高新科技有限公司

2025 年 06 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

浙江馨悦高新科技有限公司 电子加速器辐照装置建设项目 环境影响报告表

建设单位名称：浙江馨悦高新科技有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：刘航东

通讯地址：浙江省金华市东阳市六石街道长松岗工业功能区长松路 1 号

邮政编码：322100

联系人：叶军文

电子邮箱：/

联系电话：13505894277

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	9
表 3 非密封放射性物质	9
表 4 射线装置	9
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	11
表 6 评价依据	12
表 7 保护目标与评价标准	15
表 8 环境质量和辐射现状	21
表 9 项目工程分析与源项	25
表 10 辐射安全与防护	30
表 11 环境影响分析.....	30
表 12 辐射安全管理	57
表 13 结论与建议	64
表 14 审批	68

表 1 项目基本情况

建设项目名称		浙江馨悦高新科技有限公司电子加速器辐照装置建设项目			
建设单位		浙江馨悦高新科技有限公司			
法人代表	刘航东	联系人	叶军文	联系电话	13505894277
注册地址		浙江省金华市东阳市六石街道长松岗工业功能区长松路 1 号			
项目建设地点		浙江省金华市东阳市六石街道长松岗工业功能区长松路 1 号			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	1290	项目环保投资 (万元)	20	投资比例（环保投 资/总投资）	1.55%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ） 不新增
应用 类 型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☐ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放 射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类		
	其他	/			
1.1 建设单位基本情况 浙江馨悦高新科技有限公司（以下简称“公司”）成立于2025年1月，厂区地址位于浙江省金华市东阳市六石街道长松岗工业功能区长松路1号，是一家生产一次性内裤的企业，属于苏州琼派瑞特科技股份有限公司旗下的控股子公司。苏州琼派瑞特科技股份有限公司投与浙江东阳经济开发区管委会达成了项目投资合作协议，项目建设用地约100亩，选址位于长松岗工业功能区，分两期建设，见附件6。 1.2 项目建设目的与任务由来 浙江馨悦高新科技有限公司在现有厂区内实施建设项目，生产工艺流程为面料入库——裁剪——缝制——包装——出库，年生产 3 亿条一次性内裤，已于 2025 年 03 月 28 日取得东阳市经济和信息化局出具的浙江省企业投资项目备案（赋码）信息表，项目代码：2503-330783-07-02-158240，见附件 4。对照生态环境部令第 16 号《建设项目环境影响评价分类管					

理名录（2021年版）》，该建设项目属于“十五、纺织服装、服饰业 18：29、服饰制造”，不涉及染色、喷墨印花或数码印花工艺及洗水、砂洗工艺，因此无需进行环境影响评价，不纳入环境影响评价管理。

根据客户的采购需求，一次性内裤需消毒灭菌并满足规定的卫生标准，确保使用的安全性和卫生性。因此，浙江馨悦高新科技有限公司计划在现有厂区一期工程 2#楼一层内新建一座辐照机房及控制室等配套用房，购置 1 台 DZ-10MeV/20kW 型电子加速器（最大电子束能量为 10MeV，最大束流强度为 2mA，最大束流功率为 20kW），对自生产的一次性内裤进行辐照消毒灭菌。

根据原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号《关于发布射线装置分类的公告》，本项目电子加速器为“工业辐照用加速器”，属于 II 类射线装置。对照生态环境部令第 16 号《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目属于“五十五、核与辐射：172、核技术利用建设项目——使用 II 类射线装置”，应编制环境影响报告表，并在环评批复后及时向有权限的生态环境主管部门申领《辐射安全许可证》。

为保护环境，保障公众健康，浙江馨悦高新科技有限公司委托卫康环保科技（浙江）有限公司对本项目进行环境影响评价。评价单位接受委托后，通过现场踏勘和收集有关资料等工作，结合本项目特点，依据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关要求，编制完成了本项目环境影响报告表。

1.3 项目建设内容与规模

浙江馨悦高新科技有限公司计划在现有厂区一期工程 2#楼一层内新建一座辐照机房及控制室等配套用房，购置 1 台 DZ-10MeV/20kW 型电子加速器（最大电子束能量为 10MeV，最大束流强度为 2mA，最大束流功率为 20kW），对自生产的一次性内裤进行辐照消毒灭菌。

射线装置应用情况具体见表 1-1。

表 1-1 本项目建设内容与规模

装置名称	类别	型号	数量	主要技术参数	主射方向	工作场所名称
电子加速器	II 类	DZ-10MeV/20kW	1 台	≤10MeV，≤2mA	定向， 垂直向下	一期工程 2#楼一层的辐照机房内

1.4 项目选址及环境保护目标

1.4.1 企业地理位置及外环境关系

浙江馨悦高新科技有限公司位于浙江省金华市东阳市六石街道长松岗工业功能区长松路 1

号，地理位置见附图 1。厂区东侧隔长松路为万洋众创城小区，南侧隔明凯街为东阳市彩虹织带有限公司和空地（规划为工业用地），西侧隔双燕路为浙江凤朝凰工贸有限公司、浙江天瑞针织有限公司和浙江尚品无纺布有限公司，北侧隔祥泰街为浙江宏祥金具有限公司、东阳市泰达五金制品有限公司、浙江欧帝尔体育用品有限公司和东阳市红唇化妆品有限公司，西南侧为东阳市康恩贝印刷包装有限公司，西北侧为东阳市华东暖通设备有限公司，周边环境关系见附图 2，周围环境实景见附图 3，厂区总平面布置见附图 4。

整个厂区分为一期工程和二期工程，无地下层，其中一期工程包括 1#楼（光源车间，2F，建筑高度约 10.75m）、2#楼（整流车间，4F，建筑高度约 23.35m）、4#楼（职工宿舍一，5F，建筑高度约 18.90m）、5#楼（食堂，2F，建筑高度约 12.15m）、6#楼（办公楼，5F），建筑高度约 20.10m）、10#楼（水泵房，1F，建筑高度约 6m）、11#楼（传达室一，1F，建筑高度约 5m）和 12#楼（传达室二，1F，建筑高度约 5m）；二期工程包括 3#楼（职工宿舍二，5F，建筑高度约 18.90m）、7#楼（灯具车间一，4F，建筑高度约 23.35m）、8#楼（灯具车间二，4F，建筑高度约 23.35m）、9#楼（仓库，4F，建筑高度约 23.35m）。

1.4.2 辐照机房位置及外环境关系

本项目辐照机房拟建于一期工程 2#楼一层内，所属建筑的结构为地上 4 层（均为生产车间，其中 1 层内高约 6.9m，2-3 层内高均约 4.9m），无地下层，1~2 层车间平面布局见附图 5~附图 6。辐照机房外高约 6.9m，由上下两部分组成，其中下部分为辐照室，上部分为主机室、控制室和水冷机房。辐照室东侧紧邻车间过道，东侧约 23m 为成品库，东侧约 40m 为开松区；南侧紧邻车间过道，南侧约 3m 为厂区道路，南侧约 18m 为明凯街，南侧约 35m 为东阳市彩虹织带有限公司；西南侧约 45m 为东阳市康恩贝印刷包装有限公司；西侧紧邻车间过道，西侧约 22m 为卫生间，西侧约 31m 为楼梯间，西侧约 28m 为实验室，西侧约 49m 为双燕路；北侧紧邻车间过道，北侧约 17m 为辅料库，北侧约 25m 为面料仓；正上方为主机室、控制室和水冷机房，正下方为土层，无地下室。主机室东侧为主机室，南侧和西侧均临空，北侧为控制室，正上方为 2#楼二层的仓库，正下方为辐照室。

1.4.3 周边环境保护目标

本项目环境保护目标为辐照机房评价范围 50m 内活动的从事电子加速器操作的职业人员和公众成员。

1.4.4 相关规划符合性分析

(1) 与《浙江东阳经济开发区（核心区块）控制性详细规划》符合性分析

根据《浙江东阳经济开发区（核心区块）控制性详细规划》，迎宾大道以东以工业园区为主，在现有基础上做大产业规模（禁止新引进三类工业；近期现有优质三类工业项目原则上按照增产减污进行技改），提升生产效率，远期逐步转型；引入新型产业，创建特色小镇，形成特色产业空间；以长松岗工业区为核心重点发展高端装备（机电）制造、智能制造、医疗服务、针织服装、优质轻工产业、高新产业、新材料、新型建材产业、现代物流业；以木雕特色小镇为中心重点培育木雕设计、红木家具、文化创意服务等；以现有老六石工业区块为基础，大力开展环境整治，提升生产效率，打造成为先进的工业生产基地。

本项目位于长松岗工业区内，主要从事辐照消毒灭菌，属于高新技术产业，符合规划产业发展方向。结合东阳经济开发区土地利用规划图（近期）（见附图 12）和建设单位提供的不动产权证（见附件 5），本项目用地性质为工业用地，符合规划用地要求，与区块产业规划不冲突。因此，本项目建设符合《浙江东阳经济开发区（核心区块）控制性详细规划》的要求。

(2) 与《浙江东阳经济开发区（核心区块）控制性详细规划环境影响报告书》、《浙江东阳经济开发区（核心区块）控制性详细规划环境影响报告书》调整说明的符合性分析

根据《浙江东阳经济开发区（核心区块）控制性详细规划环境影响报告书》、《浙江东阳经济开发区（核心区块）控制性详细规划环境影响报告书》调整说明，本项目与规划环评“六张清单”相关内容对照分析见表 1-2。

表 1-2 本项目与规划环评符合性分析

清单名称	与本项目有关的内容	项目情况	符合性分析
清单 1 生态空间清单	金华市东阳市经济开发区工业重点管控区（ZH33078320028）管控要求详见表 1-3。	详见表 1-3。	符合
清单 2 现有问题整改措施清单	目前各个区块虽开展小微园区建设，区域布局有所优化；但部分区域仍需要进一步整改，集聚。通过污水零直排工作的开展，目前区域污水全纳管，纳管率 100%。	本项目利用厂区内现有建筑进行建设，不涉及新增土地。生活污水已纳管。	符合
清单 3 污染物排放总量管控限值清单	区域环境现状满足环境质量底线要求，规划实施后区域污染物排放量减少，对区域环境有一定的改善作用，可达环境质量底线。	本项目辐照过程中产生的臭氧和氮氧化物经机械排风系统引至室外，不会对区域环境空气影响产生明显影响。	符合
清单 4 规划优化调整建议清单	长松岗工业区建议工业区中间区块规划的住宅用地调整为工业用地、工业区西北角规划的工业用地调整为居住用地。	本项目不涉及。	
清单 5 环境	1.凡属国家、省、市、县落后产能的限制	本项目不在禁止发展的行业	

准入条件清单	类、淘汰类项目，一律不得准入，现存企业应限期整改或关停；2.禁止新建、扩建部分三类工业项目，包括 112、皮革、毛皮、羽毛（绒）制品（仅含制革、毛皮鞣制）；113、纸浆、溶解浆、纤维浆等制造，造纸（含废纸造纸）；114、原油加工、天然气加工、油母页岩提炼原油、煤制原油、生物制油及其他石油制品；115、煤化工（含煤炭液化、气化）；116、炼焦、煤炭热解、电石；117 农药制造；炸药、火工及焰火产品制造；118、肥料制造、化学肥料制造（单纯混合或分装外的）；121、化学纤维制造（除单纯纺丝外的）；122、生物质纤维素乙醇生产；123、轮胎制造、再生橡胶制造、橡胶加工；125、水泥制造；126、玻璃及玻璃制品中的平板玻璃制造（其中采用浮法生产工艺的除外）；127、耐火材料及其制品（仅石棉制品）；128、石墨及其非金属矿物制品（仅含焙烧的石墨、碳素制品）；129、炼铁、球团、烧结；130、炼钢等重污染行业项目；134、金属制品加工制造（有电镀工艺的）；135、金属制品表面处理及热处理加工（有电镀工艺的；有钝化工艺的热镀锌）等重污染行业项目。	清单内；本项目涉及的辐照工艺均不在限制发展和禁止发展的工艺清单。	
清单 6 环境标准清单	执行《东阳市“三线一单”生态环境分区管控方案》金华市东阳市经济开发区工业重点管控区（ZH33078320028）的管控措施。	本项目能够满足金华市东阳市经济开发区工业重点管控区的管控措施；不属于禁止准入类产业；也不属于限制准入类产业。	符合

综上所述，经对照《浙江东阳经济开发区（核心区块）控制性详细规划环境影响报告书》及调整说明中“六张清单”相关要求，本项目符合规划环评中相关要求。

（3）“三区三线”符合性分析

根据《自然资源部办公厅关于浙江等省（市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》（自然资办函〔2022〕2080 号），“三区三线”划定成果作为建设项目用地用海报批的依据。其中“三区”具体指城镇空间、农业空间、生态空间三种类型的国土空间，“三线”分别对应在城镇空间、农业空间、生态空间划定的城镇开发边界、永久基本农田保护红线、生态保护红线三条控制线。

对照《东阳市六石街道国土空间总体规划（2021-2035 年）——三条基本控制性规划图》（见附图 13），本项目位于城镇开发边界内，在现有厂区内实施建设，用地性质为工业用地，

选址区域及评价范围内均不涉及永久基本农田保护红线和生态保护红线，符合东阳市六石街道国土空间总体规划中“三区三线”划定的要求。

（4）与《东阳市生态环境分区管控动态更新方案（2024年修订）》符合性分析

根据《东阳市生态环境分区管控动态更新方案（2024年修订）》（东政发〔2024〕24号），生态环境分区管控是以改善生态环境质量为核心，明确生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线，划定生态环境管控单元，在一张图上落实“三线”的管控要求，编制生态环境准入清单，构建生态环境分区管控体系。本项目与《东阳市生态环境分区管控动态更新方案（2024年修订）》符合性判定情况如下：

①生态保护红线

根据《东阳市六石街道国土空间总体规划（2021-2035年）——三条基本控制性规划图》（见附图13），本项目选址区域及评价范围均不在划定的生态保护红线内，符合生态保护红线的管控要求。

②环境质量底线

经现场检测，本项目辐照机房拟建址及周围环境的 γ 辐射空气吸收剂量率均处于当地本底水平，未见异常。经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。根据理论预测，本项目辐照过程中产生的臭氧室内浓度可达到《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）及第1号修改清单控制要求（最高容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ）。由于项目臭氧产生量较低，加之臭氧不稳定，在常温下不断分解，排出室外的臭氧经过大气的稀释和扩散，浓度将迅速降低，对周边环境影响轻微。而氮氧化物的产率仅为臭氧产率的三分之一，且国家对空气中臭氧浓度的标准严于氮氧化物，影响更小。因此，“三废”污染物均采取了合理、有效、可行的处理措施，可做到达标排放，符合环境质量底线要求。

③资源利用上线

本项目营运过程中会消耗一定量的电源、水资源等，主要来自工作人员的日常办公和设施用电，但项目资源消耗量相对区域资源利用总量较少，符合资源利用上线要求。

④生态环境准入清单

根据《东阳市生态环境分区管控动态更新方案（2024年修订）》，本项目位于金华市东阳市经济开发区产业集聚重点管控单元（单元编码：ZH33078320013，见附图14），相关符合性分析见表1-3。

表 1-3 与生态环境准入清单符合性分析

序号	所在单元管控要求		本项目情况	符合性评价
1	空间布局引导	根据产业集聚区块的功能定位，建立分区差别化的产业准入条件。优化完善区域产业布局，合理规划布局三类工业项目，鼓励对三类工业项目进行淘汰和提升改造。合理规划布局居住、医疗卫生、文化教育等功能区块，与工业区块、工业企业之间设置防护绿地、生活绿地等隔离带。	本项目为核技术利用建设项目，主要从事辐照消毒灭菌，不属于《东阳市生态环境分区管控动态更新方案（2024 年修订）》工业项目分类表中的工业项目，且项目利用主体工程现有的建筑开展工作，不改变土地现状。项目与周围企业之间已设绿化带隔离。	符合
2	污染物排放管控	严格实施污染物总量控制制度，根据区域环境质量改善目标，削减污染物排放总量。新建二类、三类工业项目污染物排放水平要达到同行业国内先进水平，推动企业绿色低碳技术改造。新建、改建、扩建高耗能、高排放项目须符合生态环境保护法律法规和相关法定规划，实行区域联防联控，从严控制新增涉气的高能耗、高排放项目，强化“两高”行业排污许可证管理，推进减污降碳协同控制。加快落实污水处理厂建设及提升改造项目，加快推进城镇污水管网排查及提升改造，深化工业园区（工业企业）“污水零直排区”建设，所有企业实现雨污分流。加强土壤和地下水污染防治与修复。重点行业按照规范要求开展建设项目碳排放评价。	本项目经营过程中污染物简单，主要为臭氧和氮氧化物，不涉及排放总量控制的污染物。废气排放量较小，通过机械排放系统引至辐照机房外，故项目运营后对周围环境不会产生明显影响。主体工程已按雨污分流设计。	符合
3	环境风险防控	定期评估沿江河湖库工业企业、工业集聚区环境与健康风险。强化工业集聚区企业环境风险防范设施设备建设和正常运行监管，加强重点环境风险管控企业应急预案制定，建立常态化的企业隐患排查整治监管机制，加强风险防控体系建设。	公司拟制定《辐射事故应急预案》，并设置辐射事故应急小组和应急物资，具备完善的风险防范措施。	符合
4	资源开发效率要求	推进工业集聚区生态化改造，强化企业清洁生产改造，推进节水型企业、节水型工业园区建设，落实煤炭消费减量替代要求，提高资源能源利用效率。	本项目主要为人员办公生活用水，耗水量极小，且不涉及煤炭使用。	符合

因此，本项目的实施符合生态环境准入清单的管控要求。

综上所述，本项目建设符合《东阳市生态环境分区管控动态更新方案（2024 年修订）》的要求。

1.4.5 选址合理性分析

本项目辐照机房评价范围 50m 内主要为 2#楼生产车间、厂区道路、双燕路、明凯街、东阳市彩虹织带有限公司及东阳市康恩贝印刷包装有限公司，无居民区和学校等环境敏感点，也不涉及生态保护红线。经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健的辐射影响是可接受的。因此，本项目选址是合理可行的。

1.5 产业政策符合性分析

本项目属于核技术在工业领域内的应用，根据国家发展和改革委员会令第 7 号《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于第一类鼓励类第六项“核能”第 4 条“核技术应用：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。

1.6 实践正当性分析

本项目实施的最终目的是为了对自生产的一次性内裤进行辐照消毒灭菌，从而提高产品的性能，具有良好的经济效益与社会效益。经采取辐射屏蔽防护和安全管理措施后，其对受电离辐射照射的个人和社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”的原则。

1.7 原有核技术利用项目许可情况

本项目为新建项目，浙江馨悦高新科技有限公司尚无《辐射安全许可证》，不存在原有核技术利用项目许可情况。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/ 活度（Bq）×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）。

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	电子 加速器	II	1 台	DZ-10MeV/20kW	电子	10MeV	2mA /前向 (0°) 37800Gy/h; 侧向 (90°) 810Gy/h	辐照 消毒 灭菌	一期工程 2# 楼一层的辐 照机房内	拟购， 本次评价

（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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终排放去向
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	少量	不暂存	通过机械排风系统引出辐照机房后高空排放。

注：1、常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。
2、含有放射性的废物要注明，其排放浓度，年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》，1989 年 12 月 26 日会议通过，2014 年 4 月 24 日修订，2015 年 1 月 1 日起施行； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2002 年 10 月 28 日会议通过，2003 年 9 月 1 日起施行，2016 年 7 月 2 日第一次修正，2018 年 12 月 29 日第二次修正； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，主席令第六号，2003 年 10 月 1 日起施行； (4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令 第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行； (5) 《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 日起施行，2014 年 7 月 29 日第一次修订，2019 年 3 月 2 日第二次修订； (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令 第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行； (7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2005 年 12 月 30 日会议通过，2006 年 3 月 1 日起施行；2008 年 12 月 6 日修改，2017 年 12 月 20 日修改，2021 年 1 月 4 日修改； (8) 《关于发布射线装置分类的公告》，原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行； (9) 《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，原国家环境保护总局，2006 年 9 月 26 日起施行； (10) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，国家发展和改革委员会令 第 7 号，2024 年 2 月 1 日起施行； (11) 《自然资源部办公厅关于浙江等省（市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》，自然资办函〔2022〕2080 号，2022 年 9 月 30 日起施行； (12) 关于印发《生态环境分区管控管理暂行规定》的通知，环环评〔2024〕41 号，2024 年 7 月 6 日起施行； (13) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部令 第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行； (14) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 24 日印发； (15) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令 第 9 号，
------	--

	2019年11月1日起施行； (16)《浙江省生态环境保护条例》，浙江省第十三届人民代表大会常务委员会公告第71号，2022年8月1日起施行； (17)《浙江省建设项目环境保护管理办法》，2011年10月25日浙江省人民政府令第288号公布，2011年12月1日起施行，2014年3月13日第一次修正，2018年1月22日第二次修正，2021年2月10日第三次修正； (18)《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10日起施行； (19)浙江省生态环境厅关于发布《省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2024年本）》的通知，浙环发〔2024〕67号，2025年2月2日起施行； (20)东阳市人民政府关于印发《东阳市生态环境分区管控动态更新方案（2024年修订）》的通知，东政发〔2024〕24号，2025年2月1日实施。
技术标准	(1)《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016），2016年4月1日实施； (2)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），2003年4月1日实施； (3)《粒子加速器辐射防护规定》（GB 5172-85），1986年1月1日实施； (4)《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002），2002年6月1日实施； (5)《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010），2011年5月1日实施； (6)《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018），2019年3月1日实施； (7)《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019），2020年4月1日实施； (8)《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），2021年5月1日实施； (9)《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021），2021年5月1日实施； (10)《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021），2021年8月1日实施； (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》（GBZ 2.1-2019）及第1号修改单，2022年11月8日实施； (12)《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）及2018年修改单，2018年9月1日实施。

其他	(1) 环评委托书; (2) 企业提供的与工程建设有关其他设计资料等。
----	---

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 10.1-2016）的规定：“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外50m的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于100m的范围）”，结合本项目的实际情况，确定本项目评价范围为辐照机房实体屏蔽外50m的区域，评价范围示意图见附图3。

7.2 保护目标

本项目的主要环境影响因素为电离辐射。根据本项目评价范围、辐射工作场所布局、厂区总平面布置及外环境特征，本项目环境保护目标为辐照机房评价范围 50m 内活动的从事电子加速器操作的职业人员和公众成员。

表 7-1 评价范围 50m 内环境保护目标分布表

辐射工作场所名称	环境保护目标名称		方位	与辐照机房最近距离/m	人数	保护要求	
辐照机房	职业人员	控制室		北	0	2 人	剂量约束值 ≤5mSv/a
	公众成员	2#楼一层	成品库	东	23	2 人/d	剂量约束值 ≤0.1mSv/a
			开松区		40	2 人/d	
		厂区道路		南	3	10 人/d	
		明凯街			18	50 人/d	
		东阳市彩虹织带有限公司			35	30 人/d	
		东阳市康恩贝印刷包装有限公司		西南	45	30 人/d	
		2#楼一层	卫生间	西	22	10 人/d	
			楼梯间		31	30 人/d	
			实验室		28	3 人/d	
		厂区道路			35	10 人/d	
		双燕路		49	50 人/d		
		2#楼一层	辅料库	北	17	2 人/d	
			面料仓		25	2 人/d	
		厂区道路			44	10 人/d	
		2#楼二层生产车间		上	0.5	150 人/d	
		2#楼三层生产车间			5.9	80 人/d	
2#楼四层生产车间		11.3	60 人/d				

注：①2#楼的一层下方为土层，无地下室。②辐照机房的东侧、西侧和北侧均为 3m 高的铁围栏，南侧为 2#楼车间墙体，围栏内区域禁止非辐射工作人员和普通公众进入，围栏内区域保守不作为环境保护目标考虑，公众按 0 人/d 统计。③2#楼一层高度为该层内高 6.9m+屋顶 50cm；二～四层高度均为该层内高 4.9m+屋顶 50cm。

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》(GB 18871-2002)

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。

一、剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1.1 应对任何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；

B1.2 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv；

二、剂量约束值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 第 11.4.3.2 条款：“剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内”，本次评价保守取相应剂量限值的 25%作为本项目职业照射剂量约束值，即职业照射剂量约束值为 5mSv/a；取相应剂量限值的 10%作为本项目公众照射剂量约束值，即公众照射剂量约束值为 0.1mSv/a。

三、辐射工作场所的分区

6.4 辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

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

6.4.2 监督区

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

7.3.2 《粒子加速器辐射防护规定》(GB 5172-85)

本规定适用于加速粒子的单核能量低于100MeV的粒子加速器（不包括医疗加速器和象

密封型中子管之类的可移动加速器)设施。

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5.0mSv。

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。

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。

7.3.3 《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ 141-2002)

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。

5.1.4II、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

5.1.4.1空气比释动能率的测量位置如下:距辐照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,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。

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 2.5×10^{-3} mSv/h”)。

7.3.4 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)

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。

8.1.3辐射防护安全要求

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,密度不低于2.35g/cm³;
- b) 屏蔽结构及预埋件应满足设备供应商的土建工艺指导数据;
- c) 监督区的辐射剂量水平应符合GB 18871-2002和GB 5172-85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GBZ 2.2-2007规定的标准要求。

7.3.5 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)

本标准适用于辐射加工能量不高于10MeV的电子束辐照装置和能量不高于5MeV的X射线辐照装置。

4.1.2 辐射工作场所的分区

按照GB 18871的规定，电子加速器辐照装置的工作场所分为：

控制区，如主机室和辐照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对职业照射条件进行监督和评价的区域。

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GB 18871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) 公众成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处及以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。

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安全、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。如在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。

(2) 门机联锁。辐照室和主机室的门必须与束流控制和加速器高压联锁。辐照室或主机室门打开时，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状态或停止运行时，加速器应自动停机。

(4) 信号警示装置。在控制区出入口处及内部应设置灯光和音响警示信号，用于开机前对主机室和辐照室内人员的警示。主机室和辐照室出入口设置工作状态指示装置，并与电子加速器辐照装置联锁。

(5) 巡检按钮。主机室和辐照室内应设置“巡检按钮”，并与控制台联锁。加速器开机前，操作人员进入主机室和辐照室按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留。

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

(7) 急停装置。在控制台上和主机室、辐照室内设置紧急停机装置（一般为拉线开关或按钮），使之能在紧急状态下终止加速器的运行。辐照室及其迷道内的急停装置应采用拉线开关并覆盖全部区域。主机室和辐照室内还应设置开门机构，以便人员离开控制区。

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

(9) 通风联锁。主机室、辐照室通风系统与控制系统联锁，加速器停机后，只有达到预先设定的时间后才能开门，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值。

(10) 烟雾报警。辐照室应设置烟雾报警装置，遇有火险时，加速器应立即停机并停止通风。

6.3.3通风系统

(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GBZ 2.1的规定。有害气体的排放应满足GB 3095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) 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。

(4) 排风口的高度应根据GB 3095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。

7.3.6 项目管理目标

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《粒子加速器辐射防护规定》(GB 5172-85)、《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)与《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)等评价标准，确定本项目的管理目标。

①周围环境辐射剂量率控制水平：电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面30cm处及以外区域周围剂量当量率不能超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

②剂量约束值：辐射工作人员个人年有效剂量不超过 5mSv/a ；

公众成员个人年有效剂量不超过 0.1mSv 。

7.3.7 工作场所臭氧和氮氧化物的控制水平

根据《粒子加速器辐射防护规定》附录 E 中 E.2.1 条款“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/m^3 ”及《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》(GBZ 2.1-2019)及第 1 号修改单表 1 中规定工作场所空气中 O_3 容许浓度为 0.3mg/m^3 ， NO_x 容许浓度为 5mg/m^3 ，确定本次评价项目加速器停机后，工作人员进入辐照室时，辐照室内的 O_3 浓度应不大于 0.3mg/m^3 ， NO_x 浓度应不大于 5mg/m^3 。

7.3.8 《环境空气质量标准》(GB 3095-2012) 及 2018 年修改单

本项目区域属于二类环境空气功能区，常规污染物浓度限值执行《环境空气质量标准》(GB 3059-2012)及其 2018 年修改单中二级标准。该标准表 1 和表 2 中规定了各项环境空气污染物不允许超过的浓度限值： O_3 不允许超过的 1 小时平均浓度限值（二级标准）为 0.2mg/m^3 ， NO_x 不允许超过的 1 小时平均浓度限值（二级标准）为 0.25mg/m^3 。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

8.1.1 项目地理位置

浙江馨悦高新科技有限公司位于浙江省金华市东阳市六石街道长松岗工业功能区长松路 1 号。厂区东侧隔长松路为万洋众创城小区，南侧隔明凯街为东阳市彩虹织带有限公司和空地（规划为工业用地），西侧隔双燕路为浙江凤朝凰工贸有限公司、浙江天瑞针织有限公司和浙江尚品无纺布有限公司，北侧隔祥泰街为浙江宏祥金具有限公司、东阳市泰达五金制品有限公司、浙江欧帝尔体育用品有限公司和东阳市红唇化妆品有限公司，西南侧为东阳市康恩贝印刷包装有限公司，西北侧为东阳市华东暖通设备有限公司。

8.1.2 场所位置

本项目辐照机房拟建于一期工程 2#楼一层内，辐照机房由上下两部分组成，其中下部分为辐照室，上部分为主机室、控制室和水冷机房。辐照室东侧紧邻车间过道，东侧约 23m 为成品库，东侧约 40m 为开松区；南侧紧邻车间过道，南侧约 3m 为厂区道路，南侧约 18m 为明凯街，南侧约 35m 为东阳市彩虹织带有限公司；西南侧约 45m 为东阳市康恩贝印刷包装有限公司；西侧紧邻车间过道，西侧约 22m 为卫生间，西侧约 31m 为楼梯间，西侧约 28m 为实验室，西侧约 49m 为双燕路；北侧紧邻车间过道，北侧约 17m 为辅料库，北侧约 25m 为面料仓；正上方为主机室、控制室和水冷机房，正下方为土层，无地下室。主机室东侧为主机室，南侧和西侧均临空，北侧为控制室，正上方为 2#楼二层生产车间的仓库，正下方为辐照室。

8.2 环境现状评价对象

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的规定：“对其他射线装置、放射源应用项目及非密封放射性物质工作场所，应提供评价范围内贯穿辐射水平”，故本项目环境现状评价主要针对评价范围内的区域辐射环境质量进行评价，评价对象为辐照机房拟建址及周围环境。辐射环境现状检测报告见附件 8。

8.3 辐射环境质量现状

（1）检测目的

通过现场检测的方式掌握项目区域环境质量和辐射水平现状，为分析及预测本项目运行时对职业人员、公众成员及周围环境的影响提供基础数据。

(2) 检测因子

根据项目污染因子特征，环境检测因子为 γ 辐射空气吸收剂量率。

(3) 检测点位

参考《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）“5.3 核技术利用项目辐射环境监测”的布点要求，本项目以工作场所为中心，半径 50m 内均匀布点，测量点覆盖控制区和监督区，并覆盖评价范围 50m 内的环境敏感点。结合本项目环境保护目标分布、评价范围和工程地块现状情况，本次共布设 16 个检测点位，检测点位分布见附图 15。

(4) 检测方案

- ①检测单位：浙江亿达检测技术有限公司；
 - ②检测时间：2025年04月09日；
 - ③检测方式：现场检测；
 - ④检测依据：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）等；
 - ⑤检测频次：仪器读数稳定后，以约10s的间隔读取10个数据；
 - ⑥检测工况：辐射环境本底；
 - ⑦天气环境条件：天气：晴；室内温度：21℃；室外温度：20℃，相对湿度：54%；
 - ⑧检测仪器：X、 γ 辐射周围剂量当量率仪；
- 检测仪器相关的参数见表 8-1。

表 8-1 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪的参数与规范

仪器名称	X、 γ 辐射周围剂量当量率仪
仪器型号	6150 AD 6/H（内置探头：6150AD-b/H；外置探头：6150AD 6/H）
仪器编号	167510+165455
生产厂家	Automess
量 程	内置探头：0.05 μ Sv/h~99.99 μ Sv/h；外置探头：0.01 μ Sv/h~10mSv/h
能量范围	内置探头：20keV-7MeV；外置探头：60keV-1.3MeV
检定证书编号	2025H21-20-5773017001
检定有效期	2025 年 2 月 28 日~2026 年 2 月 27 日
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心
校准因子 C _f	1.06
探测限	10nSv/h

(5) 质量保证措施

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）及《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）等标准中有关电离辐射环境监测质量保证的通用要求、实验室的质量要求文件（包括质量手册、程序文件、作业指导书、记录表格）和质量证明文件（包括人员培训考核记录、仪器设备检定/校准证书、监测过程质量控制记录、样品分析测量结果报告及原始记录）实行全过程质量控制，保证此次检测结果科学、有效。本次环境现状检测质量保证主要内容有：

①检测机构通过了计量认证。

②检测前制定了详细的检测方案及实施细则。

③合理布设检测点位，保证各检测点位布设的科学性和可比性。

④检测所用仪器已通过计量部门检定/校准合格，且在检定/校准有效使用期内使用。检测仪器与所测对象在量程、响应时间等方面相符合，以保证获得准确的测量结果。测量实行全过程质量控制，严格按照《质量手册》和《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行。

⑤检测方法采用国家有关部门颁布的标准，检测人员经考核并持有合格证书上岗。

⑥每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

⑦现场检测严格按照规定的检测点位、方法、记录内容等进行，按照统计学原则处理异常数据和检测数据。

⑧建立完整的文件资料。仪器校准说明书、检测方案、检测布点图、测量原始数据、统计处理程序等全部保留，以备复查。

⑨检测报告严格实行三级审核制度，经过校对、审核，签发。

（6）检测结果及评价

检测结果见表8-2。

表 8-2 本项目辐射工作场所拟建地址及周围环境本底检测结果

点位编号	点位描述	γ 辐射空气吸收剂量率（nGy/h）		备注
		平均值	标准差	
1#	辐照机房拟建址东侧	182	5	室内
2#	辐照机房拟建址南侧	160	4	
3#	辐照机房拟建址西侧	160	3	
4#	辐照机房拟建址北侧	173	4	
5#	2#楼一层成品库	162	5	
6#	2#楼一层面料仓	159	6	
7#	2#楼一层卫生间	156	3	

8#	2#楼二层生产车间	153	4	
9#	2#楼三层生产车间	159	6	
10#	2#楼四层生产车间	156	3	
11#	西侧厂区道路	170	4	室外
12#	南侧厂区道路	167	4	
13#	明凯街	164	6	
14#	双燕路	161	5	
15#	东阳市彩虹织带有限公司	158	6	
16#	东阳市康恩贝印刷包装有限公司	154	4	

①本次测量时，仪器探头垂直向下，距地面的参考高度为 1m，仪器读数稳定后，以约 10s 为间隔读取 10 个数据；②根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）第 5.5 条款，测点处环境 γ 辐射空气吸收剂量率值 $\dot{D}_r$ 计算结果如下： $\dot{D}_r = k_1 \times k_2 \times R_r - k_3 \times \dot{D}_C$ ，其中 k_1 ——仪器检定/校准因子，本项目取 1.06； k_2 ——仪器检验源效率因子，本项目取 1； R_r ——仪器测量读数值均值，使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数取 1.20Sv/Gy； k_3 ——建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，平房取 0.9，道路取 1； $\dot{D}_C$ ——测点处宇宙射线响应值，本项目取 25.5nGy/h。

由表8-2可知，本项目辐照机房拟建址及周围环境各检测点位的室内γ辐射空气吸收剂量率范围为（153~182）nGy/h；室外γ辐射空气吸收剂量率范围为（154~170）nGy/h。由《浙江省环境天然放射性水平调查总结报告》可知，金华市建筑物室内γ辐射剂量率范围为（62~467）nGy/h，道路上γ辐射剂量率范围为（47~185）nGy/h，可见该辐射场所拟建址的γ辐射空气吸收剂量率处于当地一般本底水平，未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 建设阶段工程分析

9.1.1 建设阶段工艺流程及产污环节

本项目建设阶段主要为依托一期工程 2#楼一层进行局部改建，改造内容为辐照机房及辅助用房的土建施工及设备安装调试，具体工艺流程及产污环节见表 9-1。

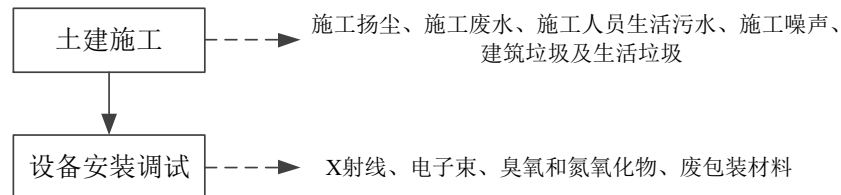


图 9-1 建设阶段工艺流程及产污环节示意图

9.1.2 建设阶段污染源项描述

本项目建设阶段污染源项为主要污染因子为施工扬尘、施工废水、施工人员生活污水、施工噪声、建筑垃圾及生活垃圾。设备安装调试阶段主要污染因子为 X 射线、电子束、臭氧和氮氧化物及包装废弃物。本项目施工作业范围有限，施工期较短，因此其对周围环境的影响是短暂的。随着施工期的结束，其环境影响也将不复存在。

9.2 项目设备和工程分析

9.2.1 设备参数

本项目拟购的加速器主机不自带屏蔽防护，设备主要性能参数详见表9-1。

表9-1 电子加速器主要性能参数

项目	设备参数
意向厂家	浙江华冲科技有限公司
设备数量	1台
设备型号	DZ-10MeV/20kW
电子束最大能量	10MeV
最大束流功率	20kW
额定束流强度	2mA
扫描宽度	800mm
能量不稳定性	≤±5%
束流不稳定性	≤±5%
主射束方向	定向，垂直向下
束下装置与扫描盒下部钛窗的距离	900mm
束下装置与地面的距离	700mm
加速器工作方式	自动连续

9.2.2 设备组成及作业方式

本项目电子加速器主要部件包括：中央控制计算机；加速器主体（包括加速管及附件：电子枪、行波加速管、波导传输线、真空陶瓷窗、真空系统、加速管冷却水套、聚焦磁铁、充气系统、扫描磁铁、扫描盒、支撑架等）；主配电柜；电源柜；速调管及脉冲变压器油箱；调制器柜；安全连锁系统；恒温水冷柜；水管、电缆线组成的互连系统；束下装置一套；屏蔽厂房及相关辅助设备。

本机主要技术特点有：①调制器采用特殊充电技术，解决高重复频率下稳定工作问题。②采用合理安装减少束流损失。③采用由多序台 PLC 控制器及自主开发的控制软件组成的中央控制计算机，加速器操作程化。

加速器主体结构如下图所示：

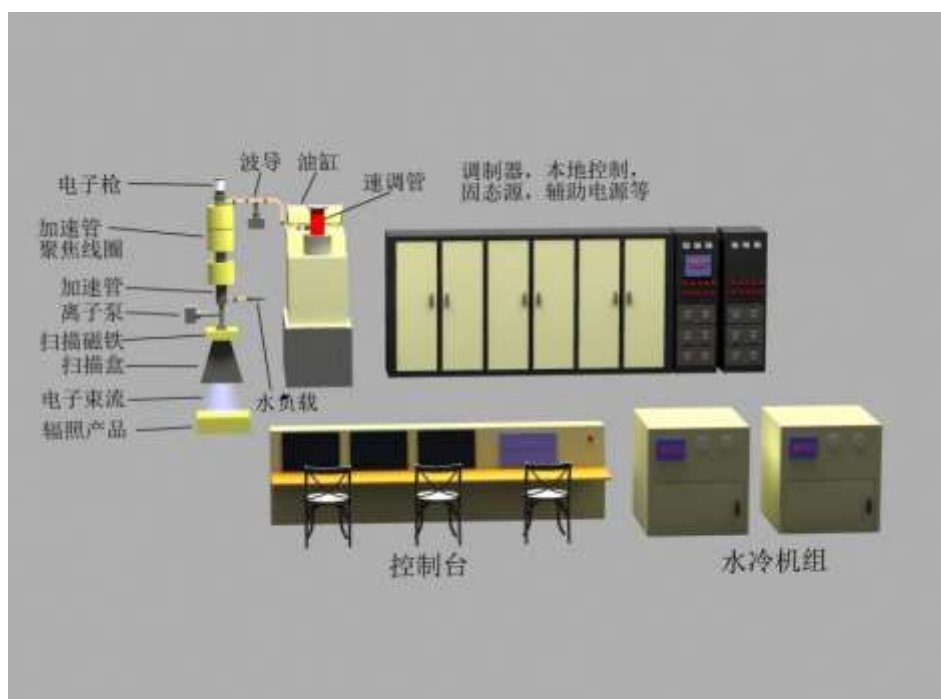


图 9-2 加速器主体结构示意图

电子枪：电子枪为普通的二极皮尔斯型电子枪，阴极为钨钨阴极，由一个在陶瓷管中的钼管支撑，通过钨丝电热器加热大约 1050°C ，当阴极足够热时就发射电子。阴极和阳极之间的电势差使电子加速，并通过阳极孔注入加速管。电子枪的阳极电压 50kV ，脉冲电流 0.55A ，束径小于 3.0mm 。电子枪安装在加速管前端，法兰为 CF100，螺钉采用不锈钢，如有必要，电子枪边上安装 15L/S 的钛泵。采用电子枪侧面抽气的结构。这样便于保持枪工作在高真空，并采用封接的 95 陶瓷筒，靠良好对中的可阀环片来实现阴极和阳极的对中和间距。枪法兰为 CF100，通过法兰与加速管连接。

加速器的控制柜：加速器的控制与安全保护系统是由可编程控制器（PLC）和主控计算机组成，可自动实现加速器开机、出束、停出束、停机的逻辑程序控制；该系统可对加速器进行状态监控和参数设定，并具有安全联锁保护功能。发生异常情况的时候，控制系统可自动切断加速器高电压系统，并显示故障状态。控制系统采用 1 台主控计算机和 4 台 PLC 构成。系统采用的 PLC 是 SIMENS 的 S7 200smart 系列。PLC 的 CPU 通过 MPI 总线连接；PLC 与分布式 I/O 间采用 PROFIBUS 总线连接；PLC 与终端如变频器、温控仪、钛泵电源等采用 RS485/232 总线进行连接；主 PLC 与监控计算机以太网连接，采用 TCP/IP 协议，能在互联网上远程监视和维护，进行网络控制。软件采用 STEP 7 和 C 语言等编写。部分硬件功能由软件来实现，使得整个系统更易于测试、制造和维护升级。

9.2.3 工作原理

辐射加工是指电子加速器产生的电子线的能量转移给被辐照物质，电离辐射作用到被辐照的物质上，产生电离和激发，释放出轨道电子，形成自由基，通过控制辐射条件，而使被辐照物质的物理性能和化学组成发生变化并能使其成为人们所需要的一种新的物质，或使生物体（微生物等）受到不可恢复的损失和破坏，达到人们所需要的目标。

辐照加速器主要利用电子束进行辐照，但加速器后电子在运动中受到阻挡后，产生很强的韧致辐射 X 射线，韧致辐射 X 射线，韧致辐射的最大能量为最大可能的电子能量。

本项目采用电子束辐照工作模式：电子束从电子枪阴极发射，通过加速管中的高压电场获得加速，最终从扫描引出装置出束到大气中；辐照样品经过传动系统被传送到扫描窗下进行辐照加工。它的特点是基于感应耦合的级联高压发生器所产生的电场来加速器电子的。

9.2.4 辐照工艺介绍

本项目辐照机房为两层钢筋混凝土结构，一层是辐照室，二层是主机室。加速器装置的主要部分安装在二层的主机室内，粒子引出系统位于加速器装置机身正下方，通过二层地板伸向一层的辐照室。而接受辐照的物品通过自动传送系统从入口经迷道进入辐照室，到达粒子引出系统正下方的电子束有用线束范围内进行辐照，之后又经过迷道从辐照室的出口离开辐照室。加速器工作时，设备操作人员位于二层的控制室内设置机器参数并监控加速器运行情况，利用堆垛机装卸货物，无需人工服务。加速器出束时，辐照室及主机室内均无人员停留。

9.2.5 辐照工艺流程

辐照加工是根据辐照加工产品品种、性质、体积、辐照要求，制定辐照区辐照位置、辐照剂量和辐照时间等技术措施，辐照完成后，经标记包装、质量检验和用户签收等工作或发货或入库暂存。本项目主要对一次性内裤进行辐照加工，具体工艺流程见图 9-3。

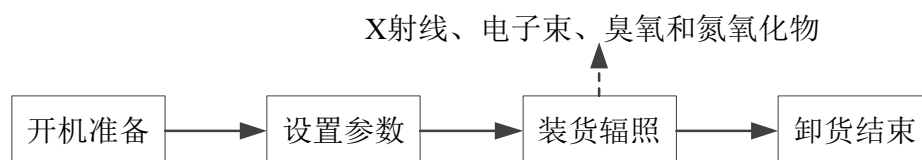


图9-3 辐照加工的工艺流程及产污环节示意图

(1) 辐射工作人员做开机前准备，对现场和辐照装置进行安全检查。

(2) 辐射工作人员在控制室内设置机器参数和输运线传输速度。

(3) 处于辐照室外上货区的堆垛机（3 台，全自动）往输运线上搬运货物，控制室内的辐射工作人员启动传送带并启动加速器辐照装置开始辐照。传送带采用机械传动。

(4) 辐照后的货物由传送带自动传送至辐照室外，由下货区的堆垛机（3 台，全自动）从传送带上卸货。

整个辐照加工过程中，正常情况下辐射工作人员不必进入辐照室和主机室，采用全自动的堆垛机在辐照室外一定距离外的上下货区进行辐照货品的装卸，所有需照射加工的货物都是通过输运线输运到束流中心辐射区进行辐照加工。

9.2.6 工作负荷与人员配置

本项目辐照对象主要为自生产的一次性内裤，单个内裤包装箱最大尺寸为52cm（长）×宽38cm（宽）×38cm（高），计划年辐照加工量为3亿条。

本项目加速器正常运行情况下，采用连续作业方式，日出束时间为8h，年运行300天，则加速器年出束时间为2400h。公司拟配备3名辐射工作人员轮班负责加速器的操作，均为公司内部非辐射工作人员转岗调剂，实行昼间一班制。加速器开机时需2名辐射工作人员同时在场，则单名操作人员年受照时间保守为2400h。

9.3 污染源项描述

本项目电子加速器电子束的最大能量为 10MeV，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）第 4.2.2 条款，对于能量不高于 10MeV 的电子束，在辐射屏蔽设计中不需要考虑所产生的中子防护问题。根据《辐射防护手册（第一分册）》P226 页，绝

大多数天然核素的(γ , n)反应阈能在10MeV以上,因此低于10MeV的电子加速器不用考虑感生放射性问题。本项目电子加速器一次冷却水为内循环水,正常运行时在内部不断循环,不外排,定期补充损耗即可。同时,本项目为电子辐照加工,没有打靶,不会有废靶产生。故本项目主要污染因子为电子束、韧致辐射(X射线)及非放射性污染等。

(1) 电子束、X射线

加速器利用电子束对产品进行辐照,电子在加速器过程中,部分电子丢失,它们打在加速管壁上,产生X射线。此外,电子束打到高原子序数物质时也会产生高能X射线。由于X射线的贯穿能力极强,对周围环境辐射造成辐射污染,但该X射线影响关机后即消失。

加速器在运行时产生的高能电子束,因其贯穿能力远弱于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,在加速器开机的时间内,电子束产生的韧致辐射(X射线)为主要污染因素。

(2) 臭氧和氮氧化物

电子加速器开机运行时,产生的X射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧(O_3)和氮氧化物(NO_x)。其中,臭氧的危害大,产额高,毒性大,而氮氧化物的产率仅为臭氧产率的三分之一,且国家对空气中臭氧浓度的标准严于氮氧化物,因此,在考虑有害气体的影响时仅考虑臭氧的影响。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 场所布局及合理性分析

本项目辐照机房拟建于 2#楼一层内，由上下两部分组成，其中下部分为辐照室，上部分为主机室、控制室及水冷机房等辅助用房。机房的东、西、北三侧均设有 3m 高的铁围栏，南侧为 2#楼车间墙体，非辐射工作人员及普通公众成员禁止进入该区域。机房周围主要为车间过道、成品库和面料仓，不涉及居留因子较大的功能区域。

加速器工作时，设备操作人员位于控制室内设置机器参数并监控加速器运行情况，装卸货物采用全自动的堆垛机，无需人工服务。加速器出束时，辐照室及主机室内均无人员停留。加速器主体工程建筑是独立的、可控的建筑，与产品存放区隔开，既便于产品的输送，又能限制非此区域人员的流动，便于辐射防护和安全管理。从便于辐射管理和满足安全生产的角度来看，本项目辐照场所的平面布局是合理的。

10.1.2 分区原则及两区划分

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）第 6.4 条款规定，辐射工作场所可分为控制区、监督区，其划分原则如下：控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

根据两区划分原则，结合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的规定，本项目对辐射工作场所实行分区管理，具体划分情况见表 10-1。

表 10-1 本项目辐射工作场所控制区和监督区的划分

分区	控制区	监督区
区域	主机室和辐照室出入口以内的区域。	设备控制室、水冷系统等辅助用房、上下货区域及辐照机房紧邻的车间其他区域
管理要求	控制区的进出口设置醒目的电离辐射警告标志，并安装声光报警装置和工作状态指示灯；加速器运行前，任何人均应撤出控制区范围。	监督区边界的地面上划警戒线或设置围栏，加速器工作过程中，除辐射工作人员，限制其他人员进入监督区区域，定期检测监督区的辐射剂量。

控制区和监督区划分示意图见附图 7～附图 8。

10.1.3 场所辐射防护屏蔽设计

根据建设单位提供的设计资料，本项目辐照机房屏蔽防护设计方案见表 10-2。

表 10-2 辐照机房屏蔽防护设计方案

项目	辐照室（辐照机房的下部分）	主机室（辐照机房的的上部分）
外尺寸	19600mm（长）×12700mm（宽）×3300mm（高）	12400mm（长）×7200mm（宽）×3800mm（高）
东墙	辐照区采用2500mm混凝土；迷道区采用500mm混凝土	2000mm混凝土
南墙	主屏蔽区采用2700mm混凝土，次屏蔽区采用2500mm混凝土	主屏蔽区采用2000mm混凝土，次屏蔽区采用1800mm混凝土
西墙	辐照区采用2500mm混凝土；迷道区采用500mm混凝土	2000mm混凝土
北墙	采用“工”形双迷道设计，迷道内墙为1000mm钢筋混凝土，长5280mm；迷道外墙为650mm混凝土	采用“L”形迷道设计，迷道内墙为1000mm混凝土，迷道长2700mm；迷道外墙为2000mm混凝土
顶棚	500mm混凝土+20mm钢板+1000mm大理石砖	1300mm钢筋混凝土+150mm钢板
地坪	200mm混凝土	500mm混凝土+20mm钢板+1000mm大理石砖
出入口防护门	2扇钢栅栏门，产品进出口尺寸均为1700mm（宽）×1600mm（高）	1扇平开门，门洞尺寸为900mm（宽）×2500mm（高），门体尺寸为1100mm（宽）×2600mm（高），敷设20mm钢板，门与墙体左右搭接为100mm、100mm，上下搭接均为70mm、0mm，按照搭接长度须大于等于10倍间隙的原则，间隙应尽量小。
注：①混凝土的密度不小于2.35t/m ³ ；钢的密度不低于7.85t/m ³ ，大理石砖块的密度不低于2.5t/m ³ 。②根据密度折算，1000mm大理石砖块相当于1063mm混凝土，本报告保守计为1000mm混凝土。③主机室防护门内侧下方设有200mm钢板（高50mm×宽900mm）作为挡板，可防止射线泄漏。		

10.1.4 辐射安全和防护措施

10.1.4.1 加速器设备的固有安全属性

本项目电子加速器拟从有资质的浙江华冲科技有限公司购买，装置在出厂前本身已设有多重安全保护措施，固有安全性良好。

（1）加速器过电压、过电流保护系统：在加速器控制系统中稳压电路对电压、电流进行监控，确保装置自动稳压；过电压、过电流保护功能装置，若由于其他原因导致加速器电压、电流非正常运行，控制系统会自动切断电源。

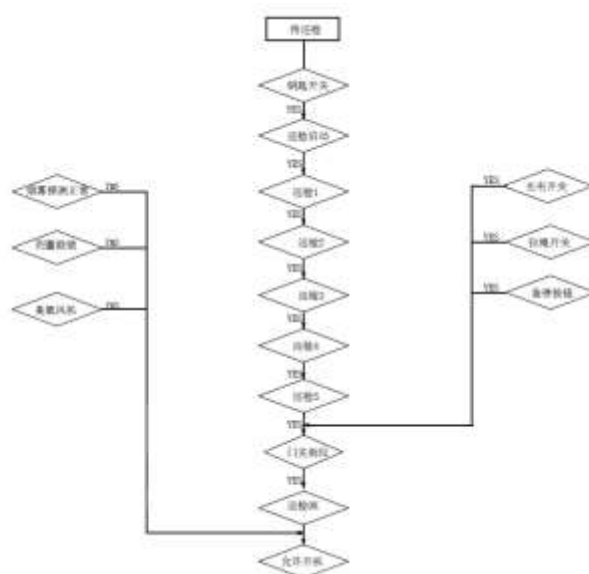
（2）加速器束流控制系统：当束流偏差大于一定数值持续一段时间，加速器和束下传输系统同时停机，并在控制系统中报相应故障。

（3）调制器联锁：只有在电子枪灯丝、磁控管灯丝预热完毕，且没有故障出现时（灯终和准加灯亮），调制器才允许加高压，加速器才可以出束。一旦出现充电过流、反峰过荷、无触发、柜门打开的故障，均切断高压，加速器不出束。相应的故障灯亮。

（4）冷却水联锁系统：冷却水为循环冷却系统，冷却水不排放。加速管安装有水流量

(8) 操作人员钥匙联锁：控制室操作人员离开操作台时，取下钥匙，加速器无法出束，避免误照射发生。

本项目加速器辐照装置已设有多项安全保护连锁，包括门机连锁、束下装置连锁、剂量连锁、通风连锁等，系统的安全连锁逻辑示意图如下。



（2）安全设施

①钥匙控制

本项目加速器控制柜上设有主控钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动加速器进行出束作业；钥匙开关处于未闭合状态时，加速器无法开机出束。

加速器的主控钥匙开关和主机室门和辐照室门联锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器自动停机，此时可采用钥匙打开防护门。加速器出束过程中，钥匙位于控制柜上，由于没有开关钥匙，无法直接从外部打开防护门。该钥匙与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连。如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

本项目辐照室的货物进出门、货物出口门和主机室的人员进出门均拟与束流控制和加速器高压联锁。辐照室的进出门和主机室的人员进出门打开时，加速器不能开机。加速器运行中门被打开则加速器自动断开高压，停止出束。

③束下装置联锁

本项目电子加速器辐照装置的控制与束下装置（传送设备）的控制必须建立可靠的接口和协议文件。本项目束下装置为自动传送设备，束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时，加速器能自动断开高压，停止出束。

④信号警示装置

本项目辐照室内东墙、西墙上分别拟设1个警铃，主机室内拟设1个警铃，设计高度均为1.8m，用于开机前对主机室和辐照室内人员警示，警铃持续的时间应该足够长，以确保辐照室及主机室内人员安全离开。辐照室的货物进口门和货物出口门及主机室的工作人员出入门的正上方分别拟设1个三色灯，设计高度均为2.1m。三色灯可显示加速器工作状态，其中红色代表加速器正在工作中，黄色代表加速器处在待机中，绿色代表加速器关机。所有警铃及三色灯均拟与加速器高压联锁。

⑤巡检按钮

本项目辐照室内均拟设4个巡检按钮，必须关闭入口门，由入口至出口依次按下，并关闭出口门，拔出钥匙才能完成辐照室巡检。主机室内均拟设2个巡检按钮，必须由内至外依次按下，并关闭主机室门，拔出钥匙才能完成主机室巡检。所有巡检按钮均与控制台联锁，设计高度均为1.45m。所有巡检按钮旁均拟设置清晰的文字说明。

⑥防人误入装置

本项目拟在辐照室的货物进口门和货物出口门及主机室工作人员出入门的内侧分别设置连续3道红外线光电报警装置，并与加速器的开、停机联锁。当这些光电的任意一个被触发，加速器自动停机，并需要重新巡检。

⑦急停装置

本项目拟在加速器控制室控制台上拟设1个急停按钮；拟在辐照室内及迷道内拟设4个急停按钮，在主机室内拟设1个急停按钮。同时，辐照室内拟设2个拉线开关，在主机室内拟设1个拉线开关。辐照室和主机室内急停装置覆盖全部区域。若辐照室或主机室内有人滞留，可按下急停按钮或拉线开关，加速器高压立即切断。拟在辐照室货物进口门和货物出口门内分别设置1个开门开关，拟在主机室工作人员出入门内设置1个开门开关，以便人员离开控制区。所有急停按钮、拉线开关和开门开关旁均拟设置清晰的文字说明。拟在辐照室和主机室内设置紧急通道指示标志，提示出口方向。所有急停按钮、拉线开关和紧急通道指示标志设计高度均为1.45m，开门开关设计高度均为1.2m。

⑧剂量联锁

本项目辐照室的货物进口门和出口门内及主机室内均拟安装剂量监测探头，合计3个。剂量监测探头与辐照室和主机室的出入口门等联锁，剂量监测探头的显示装置安装于控制台上。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。剂量探头设计高度均为1.8m。

⑨通风联锁

本项目主机室、辐照室通风系统与控制系统联锁，加速器停机后，只有达到预先设定的时间后才能开门，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值。

⑩烟雾报警

本项目辐照室内拟设1套烟雾报警装置，烟雾报警系统为建筑配置，不与加速器系统联锁。当遇到火险时报警装置及时发出警报，工作人员收到警报后立即关停加速器并停止通风。

（3）监控设施

本项目拟设置视频监控装置，实行全方位覆盖式监控。其中辐照室的辐照区和迷道内拟设置8个监控探头，辐照室的进口门和出口门外分别设1个监控探头；主机室内拟设置2个监控探头，主机室防护门外拟设置1个监控探头，控制室内拟设置2个监控探头，水冷机房内拟设置1个监控探头，合计16个探头。除辐照室迷道内的探头设计高度为1.8m，其他

位置的探头设计高度为 2.5m。

(4) 应急照明系统

本项目主机室、辐照室和控制室内拟设置应急照明系统。

(5) 防火系统

本项目辐照室和主机室的耐火等级拟不低于二级，拟设置火灾报警装置和有效的灭火设施。

(6) 水冷系统

本项目电子加速器采用自备水箱和水管闭路循环的蒸馏水冷却系统来降低热能，其中冷却水循环使用，不外排。

(7) 通风系统

本项目辐照室设置通风系统，以保证辐照分解产生的臭氧等有害气体浓度满足相关标准限值的规定。辐照室内的主排气口拟设置在扫描窗下方的位置，易于排放臭氧。

(8) 电离辐射警告标志

在加速器机头表面和扫描盒附近、辐照室出入口门外侧和主机室入口门外侧均设有电离辐射警告标志，提醒无关人员请勿靠近。

(9) 其他防护措施

①物料进出口处拟采取的辐射防护措施为：a、货物出入通道内侧和通道外门口处均拟安装摄像头，操作人员可以通过实时监控观察是否有人误入；b、货物出入口有传输装置穿过，货物将源源不断从传输装置中输入或输出辐照机房屏蔽体，传输装置下侧拟采用钢板封堵，传输装置上端的货物之上有预制混凝土门梁，仅保留传输线允许通过高度的货物。

②辐照室和主机室出入口门外划定1m黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

③本项目拟配备2台个人剂量报警仪、1台固定式辐射监测仪和1台便携式辐射监测报警仪，当辐射水平超过预设阈值时能发出警示声。

④所有辐射工作人员均须配备个人剂量计，并定期进行个人剂量检测。

⑤电子加速器检修须委托有资质单位进行，检修工作人员进入辐照室均需携带剂量报警仪进入。

⑥各项辐射环境管理规章制度拟张贴于控制室内。

(10) 监测设备与防护用品

本项目监测设备与防护用品配置计划见表10-3。

表10-3 本项目监测设备与防护用品配置计划表

序号	名称	拟配置数量
1	固定式辐射监测仪	1台（3个探头）
2	便携式辐射监测报警仪	1台
3	个人剂量计	3枚（一名辐射工作员一枚）
4	个人剂量报警仪	2台

上述用于放射防护检测的仪器，应按规定进行定期检定，并取得相应证书。使用前，应对辐射检测仪器进行检查，包括是否有物理损坏、调零、电池、仪器对射线的响应等。

综上所述，建设单位在落实上述辐射安全和防护措施的基础上，可以满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的标准要求。本项目辐照机房相关辐射安全和设施布置图见附图10～附图11。

10.1.4.3 辐射安全原则符合性分析

（1）纵深防御

本项目辐照室和主机室的人员出入口的安全联锁分别采用了门机联锁、信号指示灯联锁、剂量联锁、通风联锁及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光电装置，且设置了急停按钮、开门开关等急停装置。以上措施均可确保当某一层次的防护措施失效时，可由下一层次的防御措施予以弥补或纠正。

（2）冗余性

本项目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光电装置，并与加速器的开、停机联锁；在运行过程中某一道防人误入安全装置失效或不起作用的情况下可使其整体不丧失功能。

（3）多元性

辐照室和主机室的人员出入口的安全联锁分别采用了门机连锁、信号指示灯联锁、剂量联锁、通风联锁及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。防护措施的多元性能够提高装置的安全可靠性，可以降低共因故障。

（4）独立性

本项目保证多道联锁之间的独立性、各部件之间的独立性、纵深防御各部件之间的独立性，从而保证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。

因此，本项目辐射安全设施的设计满足辐射安全原则的要求。

10.1.4.4 工程施工质量及局部贯穿辐射防护

(1) 施工质量要求

电子加速器辐照室的土建施工必须符合其建设的要求，辐照室混凝土施工过程中，对混凝土剪力墙及屋面屏蔽墙混凝土浇注应连续整体灌注，避免间断性施工作业，不留施工缝，防止屏蔽墙出现缝隙和气泡等现象，以防出现射线外泄；辐照地面也要为混凝土地坪；内外墙由水泥砂浆粉刷，面层全为乳胶漆涂面。建议采用标准混凝土，强度等级不低于 C30，材料密度不低于 2.35t/m^3 。

(2) 局部贯穿防护

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、水管、电气等管道会穿越屏蔽墙，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的泄漏，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，以减少辐射泄漏问题。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辐射泄漏。

10.1.4.5 人员的安全与防护

人员主要指本项目辐射工作人员和本次评价范围内的公众成员。

(1) 辐射工作人员

为减少辐射工作人员的照射剂量，采取防护X射线的主要方法有屏蔽防护、时间防护和距离防护，三种防护联合运用、合理调节。

隔室操作：辐射工作人员采取隔室操作方式，通过控制室与机房之间的墙体等屏蔽X射线，以减弱或消除射线对人体的危害。

时间防护：在满足产品质量要求的前提下，制定最优化的辐照加工方案，每次辐照作业尽可能选择合理可行的低剂量照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照射时间。另外，对加速器操作人员进行分组轮班制，以降低工作人员操作时间。

距离防护：严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在辐照机房人员通道等醒目位置张贴电离辐射警告标志，并安装工作状态指示灯，限制无关人员进入，以免受到不必要的照射。

（2）机房周围公众的安全防护

周边公众主要依托辐照机房的屏蔽墙体和防护门、地板、楼板等屏蔽射线。同时，辐射工作场所严格实行辐射防护“两区”管理，在辐照机房、迷道防护门外等位置张贴醒目的电离辐射警告标志和工作状态指示灯，禁止无关人员进入，以增加公众与射线源之间的防护距离，避免受到不必要的照射。

10.1.4.2 日常维修（管理）及记录

1、装置的维护与维修

建设单位必须制定辐照装置的维护检修制度，定期巡视检查（检验）每台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。

安全设施的变更，需经设计单位认可，并经监管部门同意后才能进行。

（1）日检查

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

- 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应每月定期进行检查，发现异常情况必须及时修复或改正。月检查项目至少应包括：

- 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应每6个月定期进行检查，发现异常情况时必须及时采

取改正措施。其检查范围至少应包括：

- 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。

2、记录

公司须建立严格的运行及维修维护记录制度，运行及维修维护期间应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。记录事项一般不少于下列内容：

- 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其他。

10.2 三废的治理

本项目运行期间，没有放射性废水、放射性废气及放射性固体废物产生，主要为臭氧和氮氧化物等非放射性气体。

电子加速器产生的高能射线在机房内会电离空气中气体分子，产生少量臭氧和氮氧化物。电子束流越大，臭氧和氮氧化物产生量越高。其中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。

本项目辐照室内拟设 1 套机械排风系统，风机设计风量为 12000m³/h，臭氧和氮氧化物等有害气体经收集后通过风管引至 2#楼南墙外高空排放，排气筒高度为 27m。由于项目臭氧产生量较低，加之臭氧不稳定，在常温下不断分解，排出室外的臭氧经过大气的稀释和扩散，浓度将迅速降低，对周围环境影响轻微。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 土建施工阶段

本项目建设阶段主要影响为改造施工影响，工程量较小，施工期较短，施工期对环境的影响，本次评价仅作简要分析。

（1）大气：本项目在施工期产生少量地面扬尘，由于工程量不大，涉及的施工作业面较小，因此只要采取一定的措施即可很大程度的降低施工期的废气污染。

（2）废水：施工期间，有少量含有泥浆的施工废水产生，应对这些废水进行集中收集妥善处理，建议在采取简单的沉淀处理后排入已有的排污管道。施工人员生活污水经化粪池预处理后排入市政污水管网。

（3）噪声：施工机械在运行中会产生噪声，但由于施工量小，对周围环境影响较小。

（4）固体废物：整个施工过程中产生少量以建筑垃圾为主的固体废物，企业应妥善收集后处理处置。施工人员生活垃圾经收集后交环卫部门清运。

11.1.2 设备安装调试阶段

待本项目的加速器购置到位后，需安装和调试后才能使用。安装调试期对于环境主要影响为电离辐射、微量的臭氧及氮氧化物以及包装材料等固废。本项目加速器的安装和调试要求在本项目辐射防护工程完成后，由设备厂家安排的专业人员进行，浙江馨悦高新科技有限公司不得自行安装和调试设备。在设备安装调试阶段，建设单位应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设置电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。

由于设备的安装和调试均在辐照机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可以接受的。设备安装完成后，建设单位应及时回收包装材料及其它固体废物作为一般固体废物进行处置。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 场所辐射水平

11.2.1.1 电子束对周围环境的影响

根据《辐射防护技术与管理》（张丹枫、赵兰才主编），电子在物质中最大射程可由

下式计算： $d = \frac{1}{2\rho} \times E_{\rho\max} \dots\dots\dots (11-1)$

式中：d——最大射程，cm；

ρ ——防护材料的密度， g/cm^3 ；

$E_{\beta\max}$ ——电子最大能量，MeV。

电子束的最大能量为10MeV时，在空气中（ 0.00129g/cm^3 ）的最大射程约为3876cm，在混凝土（ 2.35g/cm^3 ）的最大射程约为2cm，在钢中（ 7.8g/cm^3 ）的最大射程约为0.64cm。本项目辐照室混凝土墙厚均在500mm以上，且电子束方向朝向地面，因此加速器发射的电子束对辐照室外环境辐射影响可以忽略不计。

11.2.1.2 初级 X 射线对周围环境的影响

本项目处于筹建阶段，本次评价采用理论计算的方法进行预测分析。

1、剂量关注点选取

根据本项目工程特征及辐照机房周围环境状况，本次评价选择剂量关注点主要为辐照室和主机室四侧屏蔽墙、顶棚和迷道口处关注点分布见图 11-1～图 11-4，关注点环境特征情况见表 11-1。

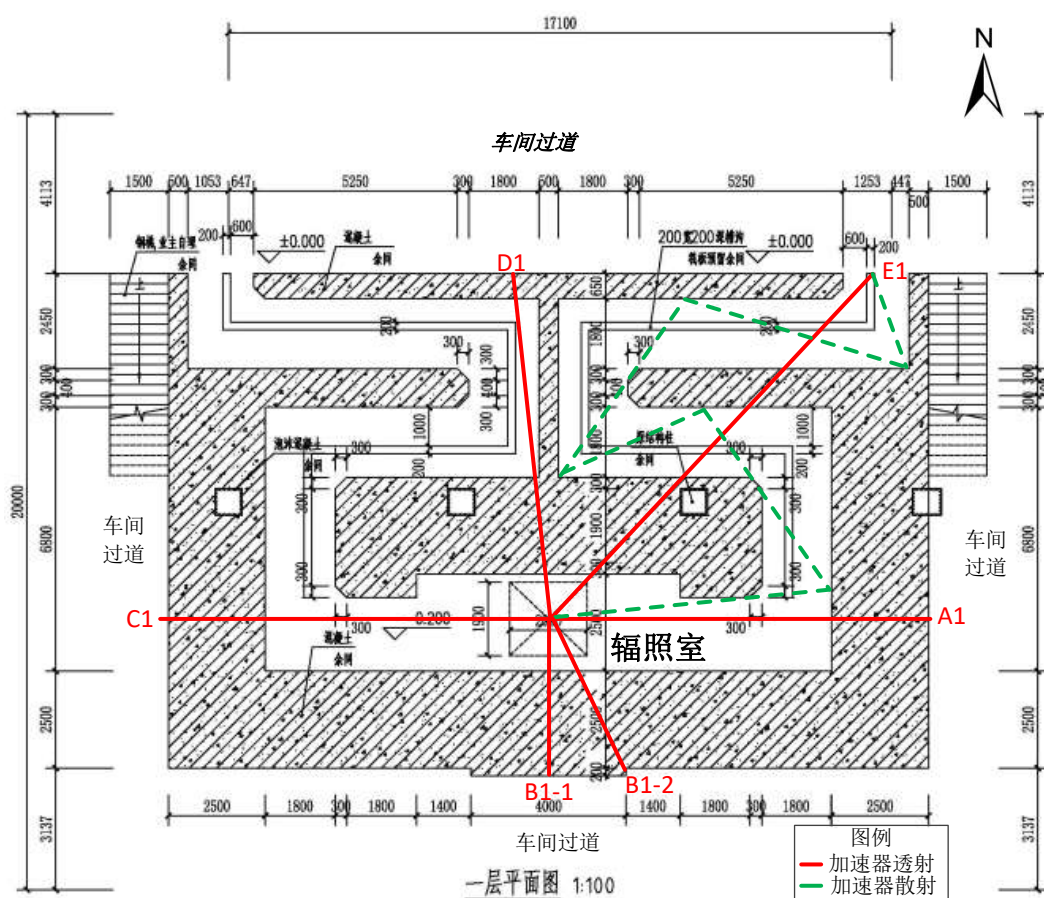


图 11-1 辐照室辐射屏蔽平面设计及关注点分布图（单位：mm）

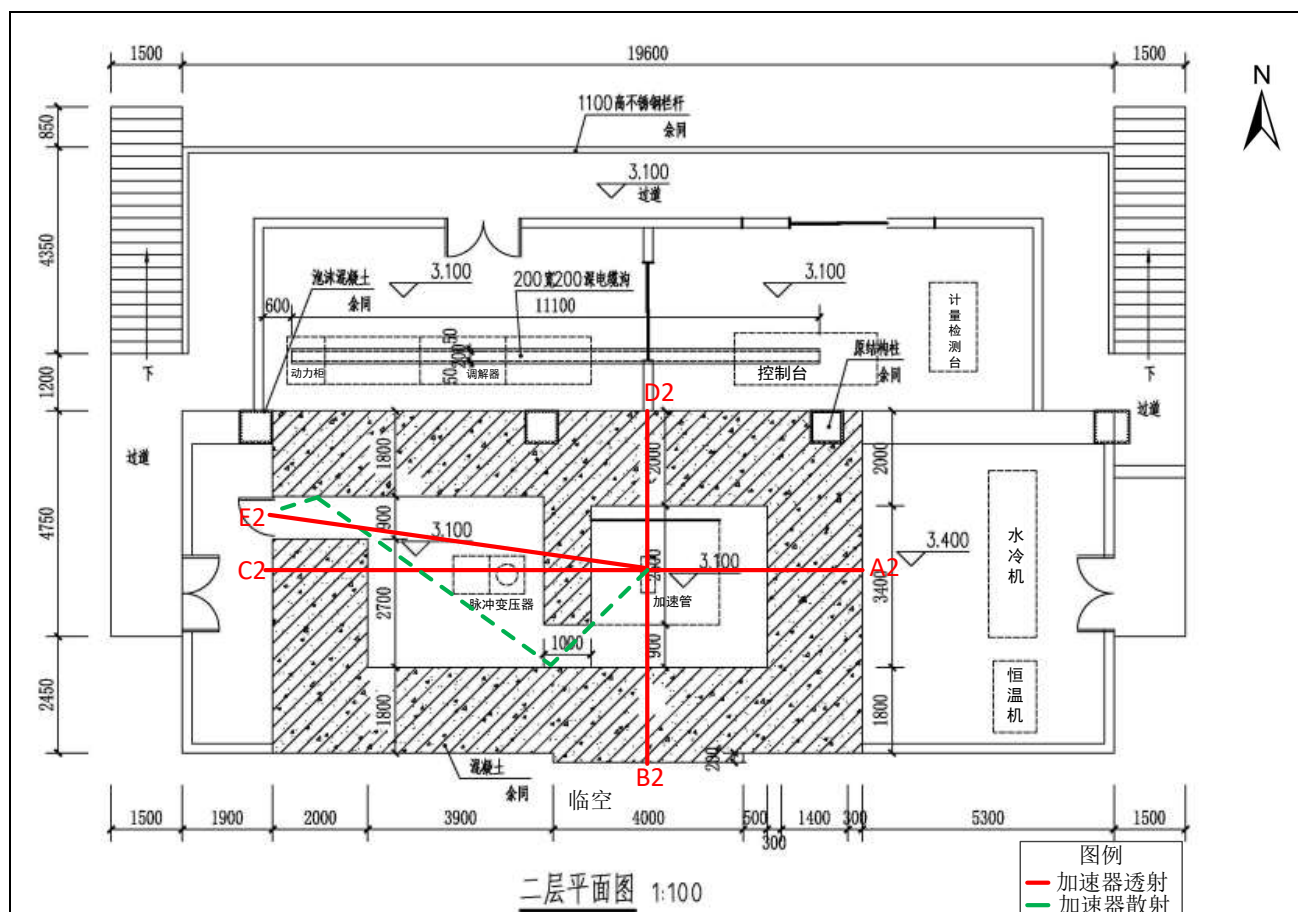


图11-2 主机室辐射屏蔽平面设计及关注点分布图（单位：mm）

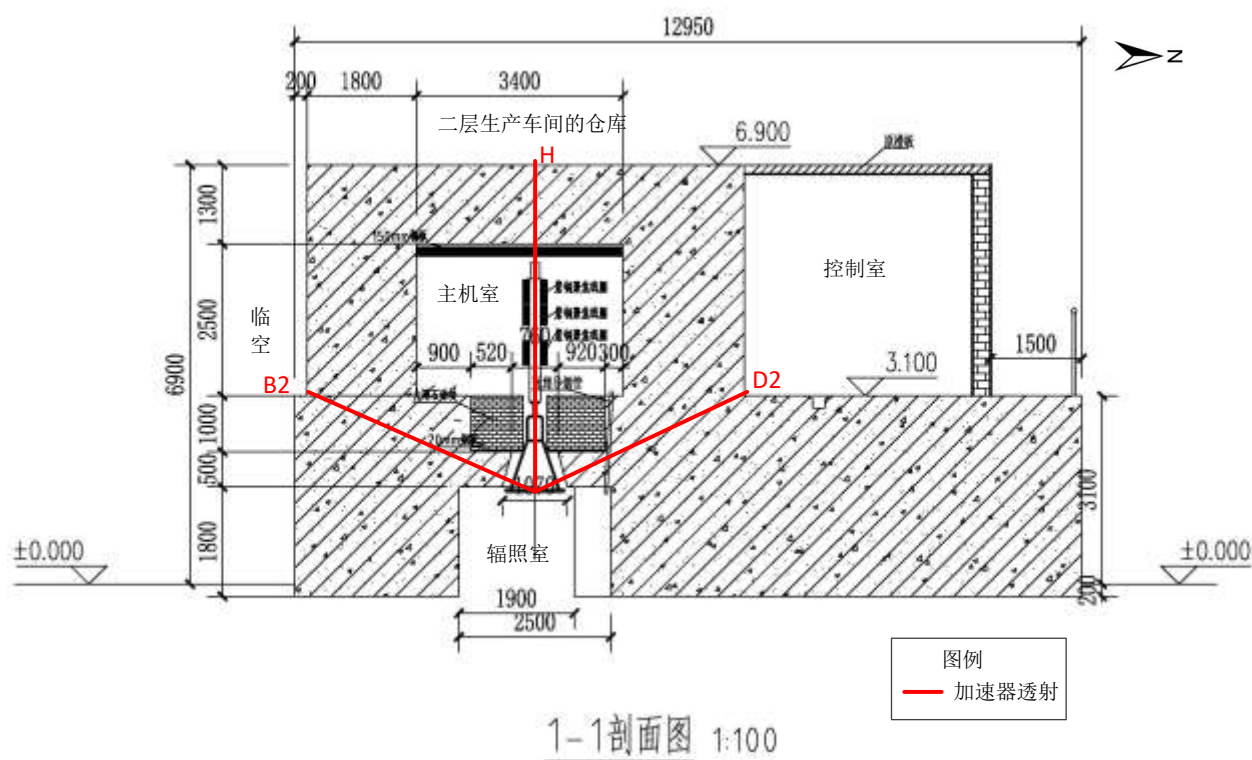


图11-3 辐照机房辐射屏蔽剖面设计及关注点分布图（南北方向，单位：mm）

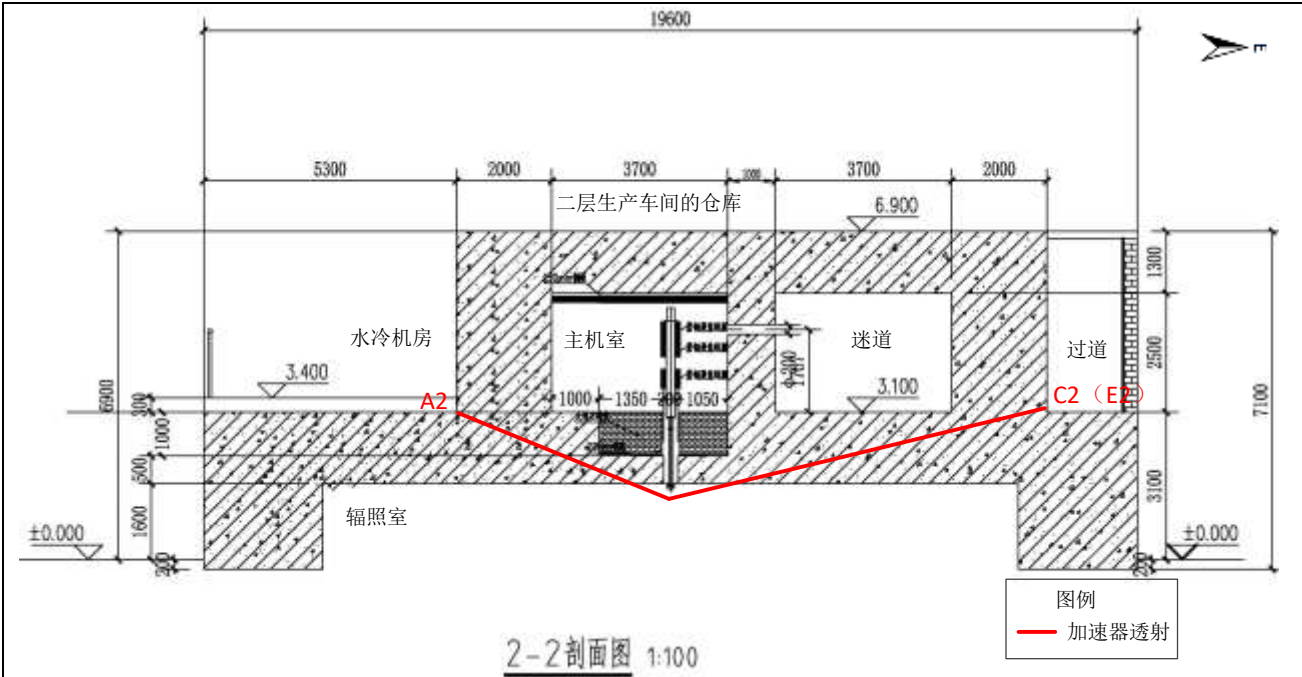


图11-4 辐照机房辐射屏蔽剖面设计及关注点分布图（东西方向，单位：mm）

表 11-1 剂量关注点情况

关注点编号	剂量关注点位置	位置特征
A1	辐照室东墙外 30cm 处	车间过道
B1-1/B1-2	辐照室南墙外 30cm 处	车间过道
C1	辐照室西墙外 30cm 处	车间过道
D1	辐照室北墙外 30cm 处	车间过道
E1	辐照室迷道口处	上货区
A2	主机室东墙外 30cm 处	水冷机房
B2	主机室南墙外 30cm 处	临空
C2	主机室西墙外 30cm 处	过道
D2	主机室北墙外 30cm 处	控制室
E2	主机室迷道口处	过道
H	主机室顶棚外 30cm 处	仓库

注：1）一层辐照室迷道口分上货区和下货区，对称设置，故仅选取辐照室防护门外 30cm 处（上货区）作为关注点。
2）关注点 B2 临空，此处设剂量关注点，仅为验证主机室南墙外 30cm 处是否剂量率达标。

2、预测模式

本次评价选用《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 中推荐的预测模式进行理论计算。

①透射计算公式

$$H = \frac{D_{10} B_x T}{1 \times 10^{-6} \times d^2} \dots \dots \dots (11-2)$$

式中：H——参考点处周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

T——居留因子，本次评价保守考虑，全部取 1；

d——X 射线源与参考点之间的距离，m；常数（ 1×10^{-6} ）为单位转换系数。

D_{10} ——距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率（Gy/h），其计算方法为：

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

式中：Q——X 射线发射率， $\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；

I——电子束流强度，mA；

f_e ——X 射线发射率修正参数。

B_x ——X 射线的屏蔽透射比，指在屏蔽体入射面的吸收剂量率，经屏蔽厚度按该透射比减弱，使屏蔽体的出射面剂量率达到所要求的水平。用屏蔽材料的十分之一值层来计算：

$$B_x = 10^{-n} \dots\dots\dots (11-4)$$

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

式中：S——屏蔽体厚度，cm；

T_1 ——在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层，cm；

T_e ——平衡十分之一值层，该值近似于常数，cm；

n——为十分之一值层的个数。

② 散射计算公式

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

式中： $H_{i, \text{ rj}}$ ——经 i 次散射后关注点处的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

D_{10} ——距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率（Gy/h）；

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（假设整个迷道的截面积近似常数，高宽之比在 1~2 之间）， m^2 ；

d_1 ——X 射线源与第一散射物质的距离，m；

$d_{r1}, d_{r2} \dots d_{rj}$ ——沿着迷道长轴的中心线距离, m;

j——指第 j 个散射过程。

3、预测工况

本项目以加速器的电子束最大能量和最大束流强度作为预测工况进行计算, 同时主射束方向朝下。根据建设单位提供的资料, 本项目电子加速器的设备参数见表 11-2。

表11-2 电子加速器的主要性能参数

项目	设备参数
设备型号	DZ-10MeV/20kW
电子束最大能量	10MeV
最大束流功率	20kW
额定束流强度	2mA
主射束方向	定向, 垂直向下

4、参数选取

(1) X 射线发射率修正参数

通常被辐照的物质很少为高 Z 材料, 因此 X 射线发射率需进行修正。本项目加速器运行时, 电子束照射方向朝下, 在辐照室内电子束可能轰击的物质有 3 种: ①电子扫描窗下方的金属束下装置, 一般为不锈钢材料; ②辐照产品, 主要为聚四氟乙烯等; ③辐照室混凝土地面。以上几种物质中不锈钢 Z 值 (原子序数) 最大, X 射线发射率最高, 本次评价选取轰击不锈钢的情况来预测, 则被辐照的靶材料为“铁、铜”时, 0° 方向的修正系数 f_c 为 0.7, 90° 方向的修正系数 f_c 为 0.5。

(2) 辐照室 X 射线发射率

根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.1, 10MeV 入射电子在距靶 1m 处前向 (0° 方向) 的 X 射线发射率为 $450\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; 在距靶 1m 处侧向 (90° 方向) 的 X 射线发射率为 $13.5\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.4, 10MeV 入射电子在侧向 (90° 方向) 屏蔽能量取相应等效能量为 6MeV。

当束流强度为 2mA 时, 则根据公式 (11-3), 辐照室距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率为: $D_{10}(0^\circ) = 60 \times 450 \times 2 \times 0.7 \text{Gy/h} = 37800 \text{Gy/h}$;

$D_{10}(90^\circ) = 60 \times 13.5 \times 2 \times 0.5 \text{Gy/h} = 810 \text{Gy/h}$ 。

(3) 主机室加速器束流损失所致 X 射线发射率

根据生产厂家提供的技术资料, 本项目束流损失率为 2%, 电子束流强度为 0.04mA,

束流损失点的能量为 3MeV。根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.1, 3MeV 入射电子在距靶 1m 处侧向 (90°方向) 的 X 射线发射率为 $3.2\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.4, 3MeV 入射电子在侧向 (90°方向) 屏蔽能量取相应等效能量为 1.9MeV。

当束流强度为 0.04mA 时, 则根据公式 (11-3), 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: $D_{10}(90^\circ) = 60 \times 3.2 \times 0.04 \times 0.5 \text{Gy/h} = 3.84 \text{Gy/h}$ 。

(4) 散射 X 射线能量及散射系数

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; 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} 。

(5) 什值层

根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.2 和表 A.3, 相应能量的 X 射线在混凝土中的什值层取值见表 11-3。

表 11-3 宽束 X 射线在屏蔽材料中的什值层厚度

材质	射线	第一个十分之一值层厚度 T_1 (cm)	平衡十分之一值层厚度 T_e (cm)
混凝土	6MeV 的宽束 X 射线	35.5	35.5
	1.9MeV 的宽束 X 射线	22.1	20.1
钢	6MeV 的宽束 X 射线	9.94	9.94
	1.9MeV 的宽束 X 射线	7.0	7.0

备注: 1.9MeV 能量的 X 射线在混凝土中的什值层均保守按照 2.0MeV 取值。

(6) 散射距离及散射面积

由图 11-1 和图 11-2 可知, 本项目按散射次数较少的路径进行保守预测, 辐照室和主机室从辐射源点到剂量关注点至少经过 5 次和 2 次散射, 各次散射距离和散射面积取值见表 11-4 和表 11-5。

表 11-4 各次散射距离 (m)

位置	源点到第一散射物质距离 d_1	一次散射距离 d_{r1}	二次散射距离 d_{r2}	三次散射距离 d_{r3}	四次散射距离 d_{r4}	五次散射距离 d_{r5}
辐照室迷道口	7.34	4.95	5.25	2.80	7.30	1.55
主机室迷道口	2.94	2.70	3.85	/	/	/

表 11-5 各次散射面积 (m^2)

位置	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
辐照室迷道口	$(2.6+2.1) \times 1.8=8.46$	$1.8 \times 1.8=3.24$	$1.8 \times 1.8=3.24$	$1.8 \times 1.8=3.24$	$1.7 \times 1.8=3.06$
主机室迷道口	$4.65 \times 2.5=11.63$	$3.7 \times 2.5=9.25$	/	/	/

5、辐射类型

一层辐照室屏蔽墙体外辐射环境受韧致辐射初级X射线和一次散射X射线影响，由于韧致辐射初级X射线的能量为6MeV，一次散射X射线能量为0.5MeV，因此屏蔽墙体外辐射环境主要考虑初级X射线，忽略一次散射X射线的影响。辐照室迷道口的辐射防护屏蔽评价考虑初级X射线贯穿屏蔽墙体后的透射以及经迷道多次散射后到达迷道口的散射线的叠加影响。

二层主机室内的辐射场由三部分叠加：①一层辐照室内与入射电子束成105°至180°方向的韧致辐射初级X射线，经辐照室屋顶（主机室地板）不完全屏蔽的贯穿辐射场；②一层辐照室内的0°方向上产生的韧致辐射初级X射线，经地面180°方向散射后的次级X射线，通过辐照室屋顶上的孔洞直接照射入主机室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。由于沿与电子束入射方向成180°方向的次级X射线能量较低，且会受到加速器底部钢筒屏蔽，因此为简化计算，二层主机室辐射防护屏蔽评价，仅考虑主机室内的贯穿辐射场和束流损失辐射场。与一层辐照室相同，二层主机室屏蔽墙体处防护评价考虑贯穿辐射场和束流损失辐射场的透射叠加影响，迷道口处防护评价考虑贯穿辐射场、束流损失辐射场的透射以及经迷道多次散射后到达迷道口的散射线。

本项目辐照机房所在2#楼为多层建筑，且主射方向朝下，且邻近处无高层建筑，故本项目主机室顶棚处剂量关注点不考虑天空反散射，也不考虑X射线通过屋顶的侧面散射。

表 11-6 剂量关注点处射线种类一览表

剂量关注点		射线种类	射线能量
一层 辐照室	各侧屏蔽墙体外 (A1、B1-1、B1-2、C1、D1)	辐照室侧向 90°韧致辐射初级 X 射线	6MeV
	迷道口处 (E1)	辐照室侧向 90°韧致辐射初级 X 射线	6MeV
		辐照室多次散射 X 射线	0.5MeV
二层 主机室	各侧屏蔽墙体外 (A2、B2、C2、D2、H)	辐照室内与入射电子束成105°到180°方向的韧致辐射初级X射线（保守按侧向90°韧致辐射初级X射线计算）	6MeV
		主机室束流损失韧致辐射初级 X 射线	1.9MeV
	迷道口处 (E2)	辐照室内与入射电子束成 105°到 180°方向的韧致辐射初级 X 射线（保守按侧向 90°韧致辐射初级 X 射线计算）	6MeV
		主机室束流损失韧致辐射初级 X 射线	1.9MeV
		主机室束流损失韧致辐射射线多次散射 X 射线	0.5MeV

6、预测结果

根据公式（11-2）～（11-7），本项目辐照机房周围环境辐射水平预测结果见表11-7。

表 11-7 加速器运行时辐照机房周围环境辐射水平预测结果

关注点 编号		环境性质	射线来源	衰减 距离 m	屏蔽体			周围剂量当量率 H	
					有效厚 度 mm	T ₁ mm	T _e mm	屏蔽后 μSv/h	总贡献值 μSv/h
一层 辐照室	A1	车间过道	透射	10.1	2500 混	355	355	0.724	0.724
	B1-1	车间过道	透射	4.35	2700 混	355	355	1.074	1.074
	B1-2	车间过道	透射	4.65	2815 混	355	355	0.438	0.438
	C1	车间过道	透射	10.1	2500 混	355	355	0.724	0.724
	D1	车间过道	透射	9.2	3150 混	355	355	0.013	0.013
	E1	迷道口 （上货 区）	透射	12.5	4800 混	355	355	1.64×10 ⁻⁷	1.64×10 ⁻⁷
	散射	d ₁ =7.34 d _{r1} =4.95 d _{r2} =5.55 d _{r3} =2.80 d _{r4} =7.30 d _{r5} =1.55	/	/	/	1.56×10 ⁻¹¹			
二层 主机室	A2	水冷机房	辐照室透射	5.20	4480 混	355	355	7.52×10 ⁻⁶	3.10×10 ⁻⁵
			束流损失透射	4.80	2000 混	221	201	2.35×10 ⁻⁵	
	B2	临空	辐照室透射	4.30	3540 混	355	355	0.005	0.005
			束流损失透射	4.05	1800 混	221	201	3.23×10 ⁻⁴	
	C2	过道	辐照室透射	8.40	7400 混	355	355	1.62×10 ⁻¹⁴	8.45×10 ⁻¹¹
			束流损失透射	8.20	3000 混	221	201	8.45×10 ⁻¹¹	
	D2	控制室	辐照室透射	4.20	3200 混	355	355	0.045	0.045
			束流损失透射	3.75	2000 混	221	201	3.85×10 ⁻⁵	
	E2	迷道口 （过道）	辐照室透射	8.40	7400 混	355	355	1.62×10 ⁻¹⁴	0.238
			束流损失透射	8.30	1100 混	221	201	0.238	
			束流损失散射	d ₁ =2.94 d _{r1} =2.70 d _{r2} =3.85	/	/	/	4.42×10 ⁻⁵	
	H	二层仓库	辐照室透射	5.80	2800 混	355	355	0.006	0.007
					170 钢	99.4	99.4		
			束流损失透射	4.00	1300 混	221	201	7.39×10 ⁻⁴	
					150 钢	70	70		

注：1）主机室地板除加速器主体部分所在孔洞外均无直通孔缝隙，地板孔洞尺寸小于加速器筒体直径，因此本次评价顶棚 H 点位的屏蔽作用考虑辐照室顶部（500mm 混凝土+20mm 钢板+1000mm 大理石砖块，相当于 1500mm 混凝土+20mm 钢板）和主机室顶部（1300mm 混凝土+150mm 钢板）的共同屏蔽作用。2）屏蔽体有效厚度为设计单位提供的 CAD 方案图的标准尺寸直接量取。

由上表可知，本项目加速器正常运行时，一层辐照室屏蔽墙外表面 30cm 处的周围剂量当量率最大值为 $1.074\mu\text{Sv/h}$ ，二层主机室屏蔽墙外表面 30cm 处周围剂量当量率最大值为 $0.238\mu\text{Sv/h}$ ，均不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，其屏蔽防护性能可以满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的限值要求。同时，在无屏蔽体的情况下，辐照室和主机室迷道口外辐射剂量率亦可满足标准要求，可不增设防护门，采用普通钢门即可。为进一步做好辐射防护管理工作，本项目主机室工作人员出入门拟设 1 扇 20mm 钢门，则防护门外 30cm 处周围剂量当量率更低。

11.2.1.3 局部贯穿辐射影响分析

1、辐照物料进出口

本项目辐照室西侧南拟设 1 个进料口，东南侧拟设 1 个出料口，设计尺寸均为 900mm（宽） $\times$ 2500mm（高）。加速器开机时，发出的射线需经至少 5 次以上散射才能到达物料进出口，具体见图 11-5。

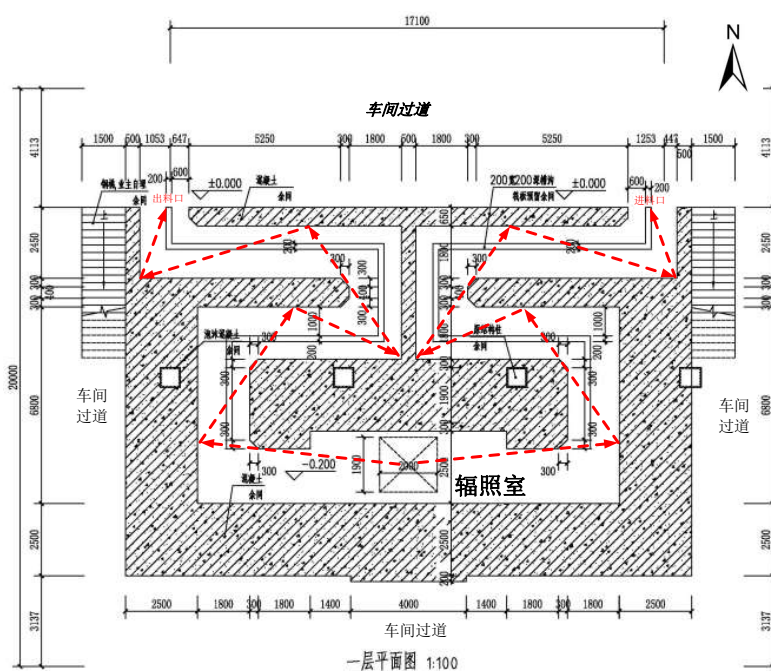


图 11-5 辐照产品进出口散射路径示意图

根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189 页：“迷道的屏蔽计算是比较复杂的。一种简易的安全的估算方法，是使辐射在迷道中至少经过三次以上散射才能到达出口处。实例也证明，如果一个能使辐射至少散射三次以上的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全。这时，迷道口也只需要采用普通门”。因此，本项目加速器的辐照物料进出口设计满足辐射防护要求，射线经多次散射后，进出口处辐射剂量率较低，在标准限值范围内。

2、通风管道

本项目辐照机房的排风设计方案见图 11-6。辐照室内设有 1 根排风管道，管径 600mm，埋深 1300mm，排风口位于扫描窗下面，风管以“U”型穿过辐照室的南墙，设计风量为 12000m³/h。加速器开机时，辐照机房的废气经风道收集后引至 2#楼南墙外高空排放，排气筒高度 27m。射线至少经过 3 次以上的散射才到管道出口处，辐射能量已大大降低，射线通过排风管道外漏可忽略不计。因此，本项目排风管道的布设不会影响屏蔽墙的屏蔽效果。

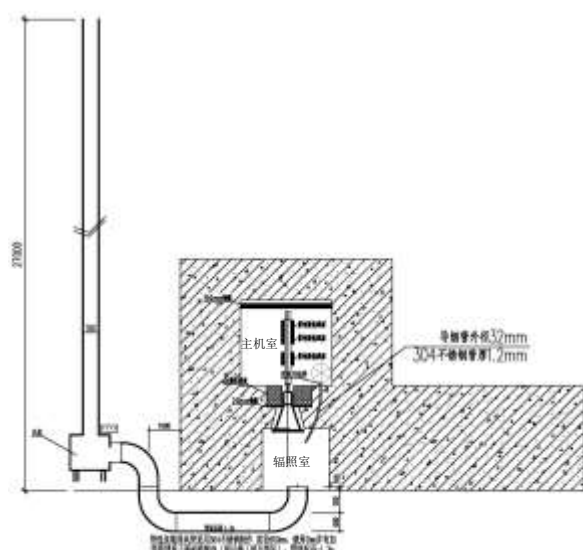


图 11-6 臭氧排风管道剖面示意图

3、电缆管道

本项目辐照机房的电缆管道设计方案见附图 11-7，辐照室内设电缆沟，设计尺寸为 300mm（深）×300mm（宽），沟外覆盖 3cm 不锈钢活动盖板，以预埋电缆管形式连接至主机室。电缆管穿墙形式为 Z 形，射线至少经过 3 次以上的散射才到管道出口处，辐射能量已大大降低，射线通过电缆管道出口外漏可忽略不计。因此，本项目控制电缆的布设不会影响屏蔽墙的屏蔽效果。

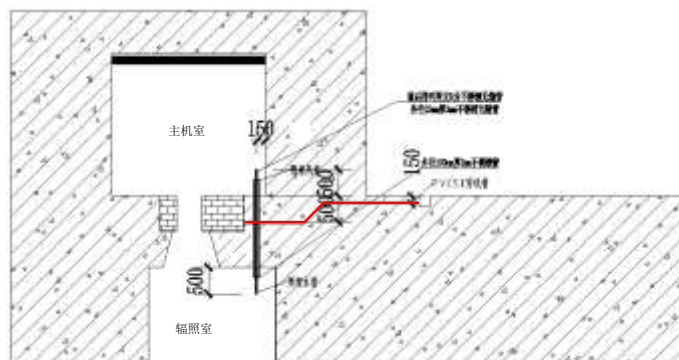


图 11-7 辐照机房电缆管线敷设方案示意图

4、水冷管道

本项目辐照机房的水冷管道设计方案见附图 11-8。预埋管一层引到一楼天花板，主要用在束下喷淋管，埋深 300mm。所有水冷管道穿墙形式均为 U 形或 Z 型，射线至少经过 3 次以上的散射才到管道出口处，辐射能量已大大降低，射线通过水冷管道外漏可忽略不计。因此，本项目水冷管道的布设不会影响屏蔽墙的屏蔽效果。

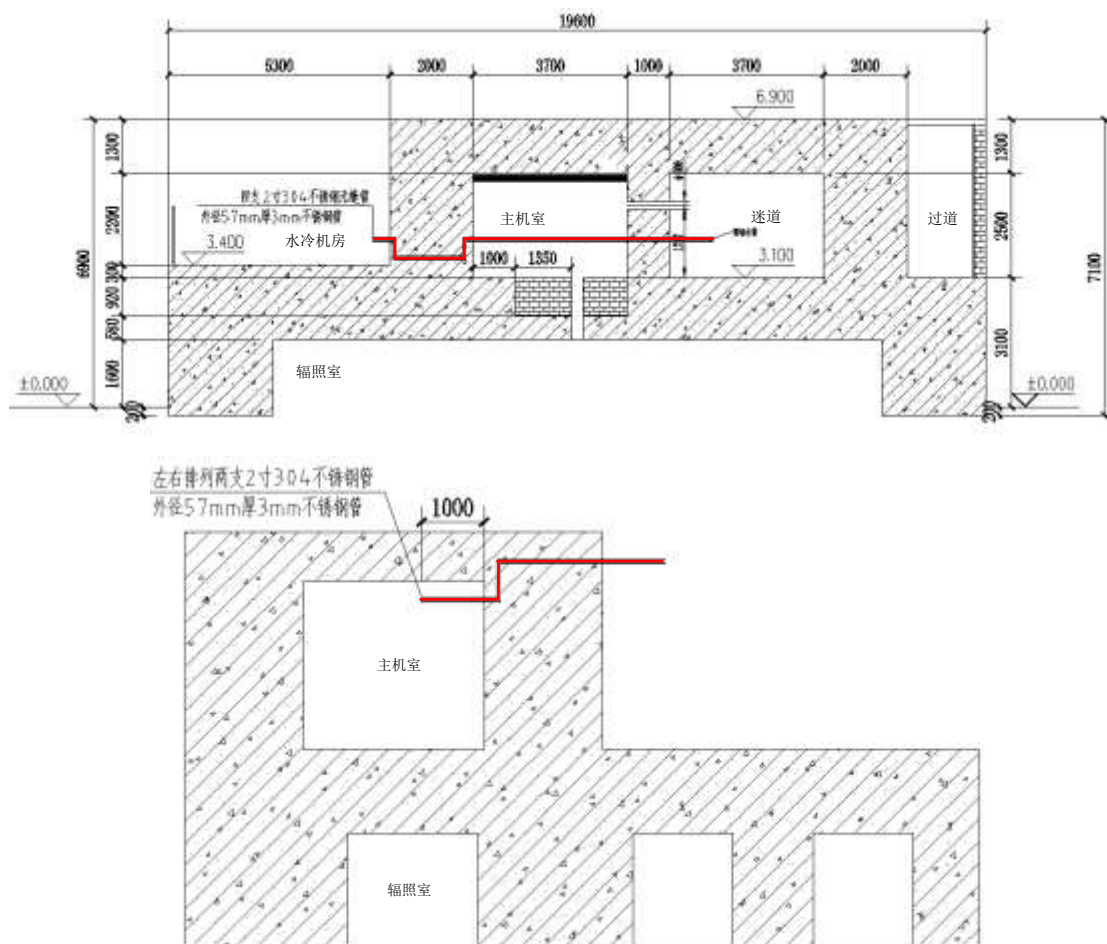


图 11-8 辐照机房水冷管道敷设方案示意图

综上所述，本项目穿越机房的各类管道设计合理可行，符合辐射防护要求，不会造成局部区域的剂量泄漏。

11.2.2 人员受照剂量

1、计算公式

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）-2000年报告附录A，X-γ射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下列公式计算：

$$E = H \cdot U \cdot T \cdot t \cdot 10^{-3} \dots \dots \dots (11-7)$$

式中：E——一年有效剂量，mSv/a；

H——关注点处周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

U——使用因子，本项目均取 1；

T——关注点处人员驻留的居留因子，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）附录 A 中表 A.1 进行取值；

t——一年受照时间，h/a。

2、照射时间确定

本项目正常生产情况下，加速器采用连续作业方式，年出束时间为2400h/a。公司拟配备3名辐射工作人员轮班负责加速器的操作，实行昼间一班制。加速器开机时需2名辐射工作人员同时在场，则单名操作人员年受照时间保守为2400h。

3、辐射工作人员年有效剂量

本项目电子加速器运行时，对工作人员影响的区域主要在控制室内的控制台处，该处辐射剂量率按照表11-7中关注点D2取值，即 $0.045\mu\text{Sv/h}$ ，居留因子取1。根据公式（11-7）计算可知：本项目单名辐射工作人员年有效剂量为 0.108mSv/a ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的辐射工作人员年剂量限值要求，同时也满足本项目对辐射工作人员的年剂量约束值（职业人员 $\leq 5.0\text{mSv/a}$ ）的要求。

4、公众成员年有效剂量

根据公式（11-7），本项目辐照机房周围区域公众成员及评价范围内代表性环境保护目标年有效剂量估算情况见表11-8。

表11-8 公众成员及相关环境保护目标的年有效剂量估算

人员属性	关注点位置	周围剂量当量率 $H (\mu\text{Sv/h})$	年受照时间 $t (\text{h/a})$	居留因子 T	年有效剂量 $E (\text{mSv/a})$
公众成员	成品库	0.067	2400	1/16	0.010
	开松区	0.029		1/4	0.017
	卫生间	0.072		1/16	0.011
	楼梯间	0.044		1/16	0.007
	实验室	0.051		1/2	0.061
	辅料库	0.006		1/16	9.0×10^{-4}
	面料仓	9.41×10^{-4}		1/16	1.41×10^{-4}
	二层仓库（H）	0.007		1/16	0.001
	三层车间*	0.001		1/4	0.001
	四层车间*	8.05×10^{-4}		1/4	4.83×10^{-4}
	双燕路*	0.021		1/32	0.016
	明凯街*	0.041		1/32	0.003
	东阳市彩虹织带有限公司*	0.013		1	0.031
	东阳市康恩贝印刷包装有限公司*	0.008		1	0.019

备注：①带*的关注点处周围剂量当量率由辐照机房外 30cm 处的周围剂量当量率与距离平方成反比的关系式推导获取。②辐照机房的东侧、西侧和北侧均为 3m 高的铁围栏，南侧为 2#楼车间墙体，围栏内区域禁止非辐射工作人员和普通公众进入，不作为环境保护目标考虑。③实验室区域工作人员主要开展原料入厂的前期肉眼检测，一般一周来料一次，居留因子保守按照 1/2 考虑。

因此，本项目辐照机房周围区域公众成员及评价范围内代表性环境保护目标的年有效剂量最大值为 0.061mSv/a，均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的公众成员年剂量限值的要求，同时也满足本项目对公众成员的年剂量约束值（公众成员 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ ）的要求。

综上所述，本项目辐照机房经实体屏蔽后，对机房外辐射工作人员和周围公众的环境影响较小，均在可接受范围内。

11.2.3 非放射性气体污染分析

电子加速器开机运行时，产生的X射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧（ O_3 ）和氮氧化物（ NO_x ）。氮氧化物的产率约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，同时国家对空气中臭氧浓度的标准严于氮氧化物。因此，本报告在考虑有害气体的影响时，仅考虑臭氧的影响。

1、预测模式

本次评价选用《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 B 中推荐的预测模式进行有害性气体的产生和排放计算。根据该标准 B.4 条款，在辐照加工中，只有仅用 X 射线的厂房，需要考虑 X 射线产生的臭氧。而电子束和 X 射线同时使用的厂房，只计算电子束产生臭氧就足够了。结合本项目加速器利用电子束实现辐照加工的工作原理，本次评价仅计算电子束产生的臭氧。

①臭氧的产生

平行电子束所致 O_3 的产生率可以用以下公式进行保守的计算：

$$P = 45dIG \dots\dots\dots (11-8)$$

式中：

P——单位时间电子束产生 O_3 的质量，mg/h；

I——电子束流的强度，mA，本项目取值2mA；

d——电子在空气中的行程，cm；根据生产厂家提供的加速器设备参数，本次评价保守按束下装置与扫描盒下部钛窗的距离取值为90cm；

G——空气吸收100eV辐射能量产生的 O_3 分子数，保守值可取为10。

经计算可知： $P=8.1 \times 10^4 \text{mg/h}$ 。

②辐照室臭氧的平衡浓度

在加速器正常运行期间，臭氧不断产生，考虑到室内连续通风和臭氧自身的化学分解（有效化学分解时间约为50min），辐照室空气中臭氧的平衡浓度随辐照时间 t 的变化为：

$$C(t) = \frac{PT_e}{V} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_e}} \right) \dots\dots\dots (11-9)$$

式中： $C(t)$ ——辐照室空气中在 t 时刻臭氧的浓度， mg/m^3 ；

P ——单位时间电子束产生 O_3 的质量， mg/h ；

T_e ——对臭氧的有效清除时间， h ；

$$T_e = \frac{T_v \times T_d}{T_v + T_d} \dots\dots\dots (11-10)$$

其中： T_v ——辐照室换气一次所需时间， h ；本项目风机设计风量为 $12000 \text{m}^3/\text{h}$ ，辐照室的净体积（含迷道）约 192m^3 ，则 $T_v=0.02 \text{h}$ ；

T_d ——臭氧的有效化学分解时间，约为50min，即0.83h；

V ——辐照室的体积， m^3 ；本项目辐照室的净体积（含迷道）约 192m^3 。

此种情况下， $T_v \ll T_d$ ，因而 $T_e \approx T_v$ 。当长时间辐照时，则辐照室内臭氧平衡浓度为：

$$C_s = \frac{PT_e}{V} \dots\dots\dots (11-11)$$

③臭氧的排放

加速器长期正常运行期间，室内臭氧达到饱和平衡浓度，通常情况下，该浓度大大高于GBZ 2.1-2019所规定的工作场所最高允许浓度。因此，当加速器停止运行时，人员不能直接进入辐照室，风机必须继续运行，室内臭氧浓度随时间急剧下降，浓度变化的平衡方程为：

$$d_c/d_t = -C/T_e \dots\dots\dots (11-12)$$

当 $t=0$ 时， $C=C_s$ ，得到浓度随时间的变化公式为：

$$C = C_s e^{-\frac{t}{T_e}} \dots\dots\dots (11-13)$$

由此可得：关闭加速器后风机运行的持续时间公式为：

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s} \dots\dots\dots (11-14)$$

式中： T ——为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间， h 。

C_0 ——GBZ 2.1 规定的臭氧的最高允许浓度，取值 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

2、预测结果

加速器开机状态下，辐照室产生的非放射性废气集中收集后，通过排风管道引至2#楼南墙外高空排放，排气筒高度为27m，高出所在建筑约3m。结合厂区内所有建筑高度，本项目所在的2#楼周围无高层建筑，不存在环境制约因素。由于辐照机产生臭氧的位置主要为辐照室，主机室束流损失导致的臭氧产生量极低，故本次评价仅预测辐照室的臭氧的产生和排放情况。根据上述公式，本项目加速器停止运行后，辐照室需要持续通风的时间预测结果如下。

表11-9 持续通风时间计算

场所名称	I (mA)	d (cm)	V (m^3)	T_v (h)	T_d (h)	T_e (h)	C_s (mg/m^3)	T (h)
辐照室	2	90	192	0.02	0.83	0.02	8.4	0.07 ($\approx 4.2\text{min}$)

因此，本次评价建议本项目电子加速器停机后，辐照室继续排风约5min后其室内臭氧浓度可降至要求的 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，可满足《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）中的限值要求（臭氧最高允许浓度 $\leq 0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ），室内环境空气质量得到保证。根据臭氧浓度预测结果，本项目加速器通风系统联锁设置的时间应不低于5min。

由于项目臭氧产生量较低，加之臭氧不稳定，在常温下不断分解，排出室外的臭氧经过大气的稀释和扩散，浓度将迅速降低，可满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）及2018年修改单中二级标准的要求。因此，本项目辐照机产生的臭氧和氮氧化物等非放射性气体对工作人员和周围环境影响较小。

11.3 事故影响分析

11.3.1 风险事故识别

本项目电子加速器是一种将电能转换成高能电子束的设备，电子束受开机和关机控制，关机时没有射线产生。在加速器开机运行期间，主要可能发生的事故有：

- （1）工作人员或其他人员在防护门关闭前尚未撤离辐照室，造成人员误照射。
- （2）安全联锁装置或报警装置失效，工作人员或其他人员误入正在运行的加速器辐照室。
- （3）设备维修人员维修时，加速器误出束。

(4) 电子束使空气电离产生臭氧等有害气体，辐照室内的通风系统故障或者通风换气次数不足，易造成辐照室内臭氧浓度积累，使辐照室内臭氧浓度过高。工作人员进入后，将受到非辐射有害气体的伤害。

11.3.2风险防范措施

(1) 为避免误照射事故发生，建设单位应该加强管理，制定详细完整的安全操作规程，每次辐照加工作业均严格执行操作规程，职业人员应该在确保工作场所内无人停留后，方可开机作业；并在辐照室内应设置人工急停按钮及开门按钮，并有醒目的指示和说明，便于在紧急情况下使用。

(2) 为防止人员误入或误留机房造成辐射事故，本项目辐照机房内设置了独立的多重联锁装置、巡检开关、警示装置、监控装置、急停装置、辐射监测装置等多项安全防护措施。机房出入口设计有电离辐射警告标志等。建设单位应定期对安全联锁装置、报警装置、紧急急停按钮等进行检查，确保其正常运行。

(3) 定期对划定的警戒线进行刷新，提醒周围人员勿在警戒线内停留，加速器开机状态下严禁任何人员进入控制区。

(4) 对操作人员违规操作或误操作的问题，建设单位拟提前对操作人员进行技术培训，确保其掌握本项目加速器的操作流程和技术方法。在项目投运后，建设单位将加强管理，提高操作人员安全意识，禁止未经培训的操作人员操作工业电子加速器。

(5) 为防止通风系统故障或者通风换气次数不足而造成辐照室内臭氧浓度积累，建设单位将定期对通风系统进行巡检，出现故障时应停止相应加速器的辐照工作，及时联系厂家进行维修。此外，在加速器停止照射后，职业人员将等待一段时间再进入辐照室内，防止室内臭氧浓度过高造成伤害。

(6) 本项目工业电子加速器调试和检修工作全部由生产厂家承担，检修时应取下加速器主控钥匙，携带个人剂量报警仪，采取必要的防护措施，以避免误照射的事故发生。

(7) 定期开展辐射防护知识的宣传、教育，最大程度避免事故的发生。

11.3.3应急处置方案

发生辐射事故时，事故单位应当立即切断电源、保护现场，并立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要的防范措施，并在2小时内填报《辐射事故初始报告表》。对于发生的误照射事故，应首先向当地生态环境部门报告，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，当发生人为破坏行为时，应及时向公安部门报备。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019 年修订）》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021 年修改）》等法律法规要求，使用 II 类射线装置的单位应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；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。

12.1.1 管理机构的设置

本项目为建设单位首次开展核技术利用建设项目，目前处于筹建阶段。浙江馨悦高新科技有限公司承诺尽快成立辐射安全与环境保护管理机构，全面负责单位的辐射安全与环境保护管理工作，并配备相应的成员，确定管理机构领导、成员及辐射防护管理专（兼）职人员，做到分工清晰、职责明确，并在日后运行过程中，根据人事变动情况及时调整机构组成。

12.1.2 辐射工作人员管理

（1）辐射安全和防护培训

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），建设单位拟安排所有辐射工作人员通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn/>）学习相关知识，报名参加考核并取得合格的成绩单后方可上岗，并按要求及时参加再培训。

根据《核技术利用辐射安全考核专业分类参考目录（2021 年版）》，本项目从事电子加速器设备操作的辐射工作人员辐射安全考核专业类别为电子加速器辐照。

（2）个人剂量监测

建设单位拟为所有辐射工作人员配置个人剂量计，定期送检具备资质的个人剂量监测技术服务机构（常规监测周期一般为 1 个月，最长不应超过 3 个月），并建立个人剂量档案。根据《放射工作人员职业健康管理辦法》第十一条规定，建设单位拟建立并终生保存个人剂量监测档案。

（3）职业健康体检

本项目辐射工作人员上岗前，拟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，方可参加相应的辐射工作。上岗后辐射工作人员定期进行在岗期间职业健康检查，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。辐射工作人员脱离放射工作岗位时，建设单位拟对其进行离岗前的职业健康检查。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021 年修改）》第四十一条规定，建设单位拟建立完善的职业健康档案，并长期保存。

（4）所有辐射工作人员的辐射安全和防护考核成绩报告单、个人剂量检测档案、职业健康档案记录三个文件上的人员信息应统一。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021 年修改）》规定，使用射线装置的单位要有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施。

因此，建设在从事辐射工作前，应结合现行法律法规要求及实际工作情况，制定一系列相关辐射安全管理规章制度，形成完善的体系，为本项目的安全开展、辐射防护和环境保护提供有力保障。建设单位拟制定的相关辐射安全规章制度名录见表 12-1。

表 12-1 建设单位拟制定的相关辐射安全规章制度名录

序号	项目	制度名称
1	综合	辐射防护和安全保卫制度
		安全防护设施的维护及维修制度
2	场所	加速器操作规程
		场所分区管理规定
		电子加速器使用登记制度
3	监测	监测方案
		监测仪表使用与校验管理制度
4	人员	岗位职责
		辐射工作人员培训/再培训制度
		辐射工作人员个人剂量管理制度
		辐射工作人员职业健康管理制度
5	应急	辐射事故应急预案
6	三废	“三废”管理制度
7	其他	辐射安全档案管理制度

除此以外，建设单位还将严格按照《粒子加速器辐射防护规定》（GB 5172-85）中第6.3条款的相关要求，除妥善保存加速器原辐射防护设计档案外，还保存下列资料：

a、个人剂量的记录；

b、辐射事故情况报告及其处理意见，辐射防护评价报告和有价值的监测结果，以及本底调查资料；

c、辐射测量仪器的检修和刻度记录；

d、辐射联锁线路的检修和改动情况的记录。

其中《加速器操作规程》、《辐射事故应急预案》等制度需张贴上墙于相关辐射工作场所现场处，上墙制度的内容应字体醒目，简单清楚，体现现场操作性和实用性。

综上所述，公司在落实上述制度后，能够确保本项目的安全运行，满足国家相关的辐射安全管理及技术层面要求。日后的工作实践中，公司应根据核技术利用具体情况以及在工作中遇到的实际问题，并根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021年修改）》的要求及时进行更新、完善，提高制度的可操作性。

12.3 辐射监测

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。

12.3.1 监测设备配置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021年修改）》第十六条规定，使用Ⅱ类射线装置的单位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。

本项目计划配置3台个人剂量报警仪、1套固定式场所辐射探测报警装置、1台便携式辐射监测报警仪。监测仪器按要求配备齐全后，本次评价认为能够满足本项目的仪器配备要求。同时，公司计划每年准备相应资金采购更新辐射安全防护设施和设备，定期对相关检测设备进行校正和维护，并建立完善的辐射防护检测设备台账。

12.3.2 个人剂量监测

公司应严格按照国家关于个人剂量监测有关规定，为辐射工作人员配备个人剂量计。同时，应根据每年的工作人员的变化增加个人剂量计，并进行个人剂量监测（常规监测周

期一般为 1 个月，最长不应超过 3 个月)，建立个人剂量监测档案。

12.3.3 工作场所监测

根据辐射管理要求，公司应针对本项目具体情况制定如下监测方案：

(1) 正式使用前监测：建设单位应委托有相关监测资质的监测单位对核技术利用场所的辐射防护设施进行全面的验收监测，做出辐射安全状况的评价。

(2) 常规监测：建设单位定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行自行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案。参考《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ 141-2002) 4.1.1 检测内容中“定期检测至少每年一次”和《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 7.1.3 半年检查中“配合年检修的检测”，本项目辐照机房常规监测为 1 次/半年。

(3) 年度监测：每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的监测，年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条款规定，年度监测周期为 1 次/年。

本项目工作场所监测计划见表 12-2。

表 12-2 本项目辐射工作场所监测计划

场所名称	监测类型	监测项目	监测范围	监测频次	监测方式
辐照机房	验收监测	周围剂量当量率	辐照室和主机室四侧屏蔽墙和顶棚外 30cm 处、防护门门缝、防护门外 30cm 处、工作人员控制室、水冷系统等辅助用房及各类管道穿墙处等区域及评价范围内主要环境保护目标处；	验收期间监测 1 次	委托监测
	常规监测			1 次/半年	自行监测
	年度监测			1 次/年	委托监测

所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括测量对象、测量条件、测量方法、测量仪器、测量时间和测量人员等信息。公司应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应查找原因并及时报告，提出改进辐射防护工作的意见和建议。

12.4 年度安全状况评估

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条规定，公司应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 日前向原发证机关提交上一年度的评估报告。安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容：

- （一）辐射安全和防护设施的运行与维护情况；
- （二）辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；
- （三）辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；
- （四）射线装置台账；
- （五）场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；
- （六）辐射事故及应急响应情况；
- （七）核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况；
- （八）存在的安全隐患及其整改情况；
- （九）其他有关法律、法规规定的落实情况。

年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

12.5 竣工环保验收

建设单位是本项目竣工环境保护验收的责任主体，应按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）及《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范——核技术利用》（HJ 1326-2023）等规定的程序和标准，组织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，组织成立由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测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协助开展验收工作。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。除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外，其他环境保护设施的验收期限一般不超过3个月；需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过12个月。验收报告公示期满后5个工作日内，建设单位应当登录全国建设项目竣工环境保护验收信息平台，填报建设项目基本信息、环境保护设施验收情况等相关信息，生态环境主管部门对上述信息予以公开。

本项目竣工环境保护验收一览表见表12-3。

表 12-3 项目竣工环境保护验收一览表

项目	“三同时”措施	验收要求
辐射安全管理机构	拟设专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者指派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。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中有关要求。
屏蔽	辐照室和主机室的屏蔽防护设计详见本报告	辐照室和主机室周围剂量当量率满足《电

防护设计	表 10-2。	子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 中 2.5 μ Sv/h 的限值要求。
辐射防护措施	辐射工作场所的辐射安全和防护措施详见本报告 10.1.4~10.1.7 章节。	满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 中有关要求。
人员配备	所有辐射工作人员拟参加辐射安全和防护知识培训, 取得成绩合格单, 方可上岗。	满足《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部公告 2019 年第 57 号) 的要求。
	所有辐射工作人员拟佩戴个人剂量计, 个人剂量计监测周期一般为 1 个月, 最长不超过 3 个月, 并建立个人剂量监测档案。	满足《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019) 的要求。
	所有辐射工作人员拟进行岗前、在岗或离岗职业健康检查, 并建立职业健康监护档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中有关要求。
辐射安全管理制度	建设单位拟制定的辐射安全管理制度详见本报告表 12-1。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中有关要求。

12.6 辐射事故应急

12.6.1 应急预案制定要求

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例(2019 年修改)》第四十一条规定, 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。辐射事故应急预案主要包括以下内容:

- (1) 应急机构和职责分工;
- (2) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备;
- (3) 辐射事故分级与应急响应措施;
- (4) 辐射事故调查、报告和处理程序;
- (5) 生态环境、卫生和公安部门的联系部门和电话。
- (6) 编写事故总结报告, 上报生态环境部门归档。

发生辐射事故时, 公司应当立即启动本单位的辐射事故应急预案, 采取必要的防范措施并在 2 小时内填报《辐射事故初始报告表》。对于发生的误照射事故, 应首先向当地生态环境主管部门报告, 造成或可能造成人员超剂量照射的, 应同时向当地卫生主管部门报告。

12.6.2 本项目应急预案的要求

本项目投入运行后, 建设单位拟做好以下工作:

（1）辐射事故应急预案内容应包括：紧急出动、现场应急、善后处理、事故总结、信息发布等过程，落实每一步骤的具体参加人员、负责人，明确各自职责以及时限要求等，其内容应当全面具体，具有可操作性。

（2）制定辐射事故应急培训计划方案，每年对与辐射事故应急有关的人员实施培训和演练，以验证该预案的有效性。每年应至少演练 1 次，演练内容包括放射事故应急处理预案的可操作性、针对性、完整性，演习报告存盘。可提出将每年用于辐射应急工作的（包括应急装备、应急技术支持、培训及演习等）支出，纳入部门预算。

（3）公司应根据实际情况定期组织修订放射事故应急预案，使其不断完善健全。

（4）公司应将本单位的应急预案报所在地生态环境主管部门备案，开展隐患排查并及时消除隐患，防止发生事故。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

浙江馨悦高新科技有限公司计划在现有厂区一期工程 2#楼一层内新建一座辐照机房及控制室等配套用房，购置 1 台 DZ-10MeV/20kW 型电子加速器（最大电子束能量为 10MeV，最大束流强度为 2mA，最大束流功率为 20kW），对自生产的一次性内裤进行辐照消毒灭菌。

13.1.2 辐射安全与防护结论

（1）本项目辐照机房拟采用符合标准规范要求的实体屏蔽，其屏蔽防护性能可以满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的要求。

（2）本项目辐照机房工作场所实行分区管理，拟设置钥匙控制、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、急停装置、剂量联锁、通风联锁、烟雾报警灯等辐射安全设施。

13.1.3 环境影响分析结论

（1）主要污染因子

本项目主要污染因子为电子束、X 射线与非放射性污染（臭氧和氮氧化物）。

（2）辐射环境影响预测及保护目标剂量

经理论预测，本项目电子加速器投入运行时，辐照机房周围环境辐射剂量率均不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的相关要求。在做好辐射安全措施的基础上，本项目辐射工作人员和公众成员的年有效剂量均能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众成员的年剂量限值要求以及本项目的年剂量约束值（职业人员 $\leq 5.0\text{mSv/a}$ 、公众成员 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ ）的要求。

（3）臭氧和氮氧化物

电子加速器开机运行时，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧（ O_3 ）和氮氧化物（ NO_x ）。其中，臭氧的危害大，产额高，毒性大，而氮氧化物的产率仅为臭氧产率的三分之一，且国家对空气中臭氧浓度的标准严于氮氧化物，因此，在考虑有害气体的影响时仅考虑臭氧的影响。

经理论预测，本项目电子加速器停机后，辐照室内的排风机继续工作排风约 5min 后，

其室内臭氧浓度可达到《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）及第1号修改清单控制要求（最高容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ）。由于项目臭氧产生量较低，加之臭氧不稳定，在常温下不断分解，排出室外的臭氧经过大气的稀释和扩散，浓度将迅速降低，对周边环境的影响轻微。

13.1.4 辐射安全管理结论

（1）公司拟成立辐射安全管理小组，负责全单位的辐射安全与防护监督管理工作。同时应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求。

（2）公司拟组织所有辐射工作人员参加生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习相关知识，经考核合格后方可上岗，并按要求及时参加再培训。

（3）公司拟为所有辐射工作人员配备个人剂量计，定期送检有资质单位（常规监测周期一般为1个月，最长不应超过3个月），并建立个人剂量档案。辐射工作人员在上岗前和离职后都须在有资质的单位进行职业病健康体检，且须在岗期间每一年或两年进行一次职业病健康体检，并建立完整的职业健康档案。

（4）公司拟按本报告提出的要求制定辐射事故应急预案和安全规章制度，项目建成投运后，认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

13.1.5 项目可行性结论

（1）产业政策符合性

本项目属于核技术在工业领域内的应用，根据国家发展和改革委员会令第7号《产业结构调整指导目录（2024年本）》，本项目属于第一类鼓励类第六项“核能”第4条“核技术应用：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。

（2）实践正当性

本项目实施的最终目的是为了对自生产的一次性内裤进行辐照消毒灭菌，从而提高产品的性能，具有良好的经济效益与社会效益。经采取辐射屏蔽防护和安全管理措施后，其对受电离辐射照射的个人和社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”的原则。

（3）相关规划符合性及选址合理性

本项目用地性质属于工业用地，周围无环境制约因素，符合用地规划要求，符合相关

规划环评要求。项目建设不涉及生态保护红线，符合环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单的要求，符合《东阳市生态环境分区管控动态更新方案（2024年修订）》的建设要求，符合“三区三线”的划定要求，项目周围对本项目的实施均无潜在的安全隐患。本项目辐照机房评价范围 50m 内无居民区和学校等环境敏感点。经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健的辐射影响是可接受的。

因此，本项目的建设符合相关规划要求，且选址合理可行。

（4）项目区域辐射环境背景水平

本项目辐射工作场所拟建址及周围环境的 γ 辐射空气吸收剂量率处于当地本底水平，未见异常。

（5）环保可行性结论

综上所述，浙江馨悦高新科技有限公司电子加速器辐照装置建设项目的建设符合土地利用规划、区域规划环评、“三区三线”及《东阳市生态环境分区管控动态更新方案（2024年修订）》的建设要求，项目选址合理，符合国家和地方产业政策要求和实践正当性的原则。在落实本报告提出的各项污染防治措施和辐射环境管理要求后，企业将具备相应从事的辐射活动的技术能力，本项目投入运行时对周围环境的影响均能符合辐射环境保护的要求。故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议和承诺

13.2.1 建议

- 1、公司建立健全辐射安全管理体系，加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行防护措施自觉性，杜绝辐射事故的发生。
- 2、辐射工作人员规范使用个人剂量计和个人剂量报警仪，并形成制度。

13.2.2 承诺

- 1、建设单位承诺严格按照本报告的屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施及装置、“三废”处理设施及措施等辐射环保内容进行建设，加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用品的使用，落实辐射工作人员的辐射安全与防护培训、个人剂量监测、职业健康体检，并建立相应的人员档案。
- 2、本项目环评报批后，建设单位承诺及时向有权限的生态环境主管部门申领《辐射安

全许可证》。

3、建设项目竣工后，建设单位承诺按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，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，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

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