

报告编号：WKFHP-24095

# 核技术利用建设项目

## 浙江和之祥科技有限公司 电子加速器辐照装置建设项目 环境影响报告表 (报批稿)

浙江和之祥科技有限公司

2025年03月

生态环境部监制

# 核技术利用建设项目

## 浙江和之祥科技有限公司 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：浙江和之祥科技有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：鲍晓华

通讯地址：浙江省杭州市钱塘区前进街道江东一路 5000 号诚智商务中心 6

幢 667-6 室

邮政编码：310000

联系人：鲍侠

电子邮箱：/

联系电话：1885716676

# 目 录

表 1 项目基本情况 .....	1
表 2 放射源 .....	8
表 3 非密封放射性物质 .....	8
表 4 射线装置 .....	8
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） .....	10
表 6 评价依据 .....	11
表 7 保护目标与评价标准 .....	14
表 8 环境质量和辐射现状 .....	20
表 9 项目工程分析与源项 .....	24
表 10 辐射安全与防护 .....	35
表 11 环境影响分析 .....	35
表 12 辐射安全管理 .....	63
表 13 结论与建议 .....	70
表 14 审批 .....	74

## 附图：

- 附图 1 项目地理位置图
- 附图 2 项目周围环境示意图
- 附图 3 厂区总平面布置图及评价范围示意图
- 附图 4 项目周围环境实景图
- 附图 5 3#楼厂房一层平面布局图
- 附图 6 3#楼厂房二至三层平面布局图
- 附图 7 3#楼厂房剖面布局图
- 附图 8 辐照室平面布局及两区划分示意图
- 附图 9 主机室平面布局及两区划分示意图
- 附图 10 辐照室辐射安全设施布置方案图
- 附图 11 主机室辐射安全设施布置方案图
- 附图 12 杭州大江东产业集聚区规划布局图

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		浙江和之祥科技有限公司电子加速器辐照装置建设项目			
建设单位		浙江和之祥科技有限公司			
法人代表	鲍晓华	联系人	鲍侠	联系电话	18857166764
注册地址		浙江省杭州市钱塘区前进街道江东一路 5000 号诚智商务中心 6 幢 667-6 室			
项目建设地点		浙江省杭州市钱塘区新世纪大道与新建纬二路交叉口			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	2000	项目环保投资 (万元)	50	投资比例(环保 投资/总投资)	2.5%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积 (m <sup>2</sup> )	不新增
应用 类 型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放 射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			

**1.1 建设单位基本情况**

浙江和之祥科技有限公司（以下简称“公司”）成立于2024年5月7日，注册地址位于浙江省杭州市钱塘区前进街道江东一路5000号诚智商务中心6幢667-6室，是一家主要从事密封件制造的企业。

公司在浙江省杭州市钱塘区新世纪大道与新建纬二路交叉口通过出让形式获取国有建设土地使用权，整个地块分为一期工程和二期工程，其中一期工程总占地面积为20000m<sup>2</sup>，总建筑面积为30166.11m<sup>2</sup>，其中地上建筑面积为29264.52m<sup>2</sup>，地下建筑面积为901.59m<sup>2</sup>，用于生产改性聚四氟乙烯产品，生产规模1800t，主要包括1#楼（研发车间，5F）、2#（办公，3F）、3#楼（厂房，3F）、4#楼（门卫，1F）及5#楼（开闭所，1F）等构筑物；二期工程处

于预留区域。一期工程主体工程非放射性内容已取得钱塘区行政审批局出具的浙江省企业投资项目备案（赋码）信息表，项目代码：2502-330114-89-01-904512，见附件7。公司委托编制《浙江和之祥科技有限公司新厂房项目环境影响登记表》，已取得浙江省“区域环评+环境标准”改革试点建设项目环境影响评价文件承诺备案受理书（编号：杭环钱环备〔2025〕2号），见附件8。目前工程地块现状为空地，处于筹建状态，不具备竣工环保验收条件。

## 1.2 项目建设目的与任务由来

随着塑料行业需求的不断扩大，高端聚四氟乙烯在医疗、新能源、航空航天等领域的应用显著增加，但其强度较低，不利于成型加工，机械磨损率高，特别是在受外力作用下会产生严重的蠕变现象，极大地限制了聚四氟乙烯的应用，导致高端聚四氟乙烯产品仍依赖进口。基于目前聚四氟乙烯产品存在的问题，因此对其改性显得尤为重要。在此背景下，浙江和之祥科技有限公司计划在一期工程 3#楼厂房一层内新建一座辐照机房及控制室等配套用房，购置 1 台 DD5.0/24-1200 型电子加速器（最大电子束能量为 5.0MeV，最大束流强度为 24mA），对外购的聚四氟乙烯进行辐照加工从而提高其性能。待项目建成并投入使用后，最终形成年辐照加工 800t/a 聚四氟乙烯的能力。

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，浙江和之祥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

浙江和之祥科技有限公司计划在一期工程 3#楼厂房一层内新建一座辐照机房及控制室等配套用房，购置 1 台 DD5.0/24-1200 型电子加速器（最大电子束能量为 5.0MeV，最大束流强度为 24mA），对外购的聚四氟乙烯进行辐照加工从而提高其性能。待项目建成并投入使用后，最终形成年辐照加工 800t/a 聚四氟乙烯的能力。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	DD5.0/24-1200	1台	5.0MeV、24mA	定向， 垂直向下	一期工程3#楼厂房 一层内辐照机房

## 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

浙江和之祥科技有限公司位于浙江省杭州市钱塘区新世纪大道与新建纬二路交叉口，具体地理位置见附图 1。厂区东侧为农田，南侧为规划纬二路，西侧为新世纪大道，北侧为农田，周边环境关系见附图 2。厂内南侧为一期工程，北侧为二期工程，总平面布置见附图 3。

### 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 3#楼厂房一层内，所属建筑的结构为地上 3 层（均为生产车间），无地下层。辐照机房由两部分组成，其中一层为辐照室和控制室，平面设计见附图 8；二层为主机室、导气系统、冷却水循环系统，平面设计见附图 9。辐照机房东侧临空，继续向东为非机动车停车位、厂区道路和机动车停车位等；南侧紧邻控制室，继续往南隔上下货区和车间过道为生产车间；西侧的上方临空，下方紧邻预留辐照机房（卧式），继续向西为填料存储及干燥室、松散室、配料室、烧结室等；北侧临空，继续向北为厂区道路和二期工程生产车间，上方高出 3#楼厂房屋顶且为无人平台，下方为土层，无地下层。

### 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）用地规划符合性分析

根据杭州大江东产业集聚区规划布局图（见附图 12），项目所在地的用地规划性质为二类工业用地。结合建设单位提供的土地证（见附件 4）、建设用地规划许可证（见附件 5）和建设工程用地规划许可证（见附件 6），本项目用地性质属于工业用地，且周围无环境制约因素，符合大江东产业集聚区（大江东新区）分区规划要求。

（2）与《杭州大江东产业集聚区（大江东新区）分区规划环境影响报告书“六张清单”调整报告》符合性分析

对照规划环评中环境准入条件区块图，本项目所在地为区块三。根据环境准入条件清单表（见表 1-2），本项目为辐照加工，不属于环境准入条件清单中禁止准入类和限制准入类的产业。对照生态空间清单（见表 1-3），本项目运营过程中臭氧和氮氧化物经机械排风系统引出辐照机房，臭氧常温常压下可自动分解为氧气，对周围环境影响较小。公司拟制定辐射事故应急预案，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，满足该生态空间的管控要求。

表 1-2 环境准入条件清单（节选相关）

区域	分类	行业清单	工艺清单	产品清单	制订依据
区块三 （重点准入区；重点发展新能源新材料）	禁止准入产业	新建、扩建火力发电（燃煤）；铁合金制造、有色金属冶炼、有色金属合金制造；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）；生物制油和其他石油制品、基本化学原料制造；肥料制造；农药制造；涂料、染料、颜料、油墨及其类似产品制造；合成材料制造；医药化工、医药中间体、专用化学品制造、化学药品制造；炸药、火工及焰火产品制造；食品及饲料添加剂等制造；日用化学品制造（除单纯混合和分装以外）、化学药品制造、橡胶加工、再生橡胶制造、橡胶制品翻新；化学纤维制造（除单纯纺丝外的）；纺织品制造（有染整工段的）等《萧山区环境功能区划》中明确的三类工业项目。	/	/	区域工业布局
		/	单纯的表面喷涂项目，黑色金属压延加工；有色金属压延加工；	/	
		/	有湿法印花、染色、水洗工艺的服装制造	/	
		非金属矿制品制造；	/	/	
		废旧资源（含生物质）加工再生、利用等；	/	/	
		鞋业制造（使用有机溶剂的）；	/	/	
		危险化学品/危险废物仓储；	/	/	
	/	在距离居住区规划边界 200 米范围内布置溶剂型油漆喷涂项目；	/		
限制准入产业	/	使用油性油漆表面喷涂的智能机械制造（涉及该类项目废气收集及治理方案应通过专家评审，并取得 VOCS 总量）。	/		

表 1-3 生态空间清单（节选相关）

开发区内规划区块	生态空间名称编号	管控要求
萧山区大江东产业集聚重点管控单元 2	ZH33010920013	1、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； 2、合理规划居住区与工业功能区，在居住区和工业区、工业企业之间设置防护绿地、生活绿地等隔离带； 3、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； 4、所有企业实现雨污分流； 5、强化工业集聚区企业环境风险防范设施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。

(2) “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。

对照杭州市规划和自然资源局钱塘分局提供的项目三区三线位置图（见附图 13），本项目位于城市集中建设区，属于城镇开发边界内，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，符合杭州市钱塘区“三区三线”划定方案的要求。

(3) 与《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》符合性分析

根据《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》（杭环发〔2024〕49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《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》符合性判定情况如下：

①生态保护红线

结合项目三区三线位置图（见附图13）和浙江省生态保护红线图（见附图14），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  $\gamma$  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《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》（杭环发〔2024〕49号），本项目位于钱塘区大江东产业集聚区重点管控单元（单元编码：ZH33011420004，见附图15），相关符合性分析见表1-4。

表 1-4 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。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。	本为核技术利用建设项目，主要从事辐照加工，不属于《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》工业项目分类表中的工业项目，且项目利用主体工程建筑开展工作，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。所有企业实现雨污分流。	经营过程中污染物简单，排放量较小，“三废”污染物皆可控制和处理，故项目运营后对周围环境不会产生较大影响。主体工程已按雨污分流设计。	符合
3	环境	强化工业集聚区企业环境风险防范	公司拟制定《辐射事故应急预案	符合

	风险防控	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。	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。	
4	资源开发效率要求	/	/	符合

因此，本项目的实施符合生态管控单元准入清单的管控要求。

综上所述，本项目建设符合杭州市生态环境分区管控动态更新方案的要求。

#### 1.4.5 选址合理性分析

本项目辐照机房评价范围 50m 内主要为一期工程内的功能区域（3#楼厂房、厂区道路和停车位）、二期工程生产厂房及农田等，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。同时，本项目不属于《杭州市产业发展导向目录与产业平台布局指引（2019 年本）》中限制类和禁止类项目，符合杭州市产业政策要求。

#### 1.6 实践正当性分析

本项目实施的最终目的是为了对外购的聚四氟乙烯进行辐照加工，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，浙江和之祥科技有限公司尚无《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	DD5.0/24-1200	电子	5.0MeV	24mA /前向 (0°) 63706Gy/h; 侧向 (90°) 4680Gy/h	辐照加工	一期工程 3#楼厂房一层辐照机房内	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至辐照机房顶部后高空排放。

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/m<sup>3</sup>；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/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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，</p>
------	--

	<p>2019年11月1日起施行；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(20)浙江省生态环境厅关于印发《浙江省生态环境分区管控动态更新方案》的通知，浙环发〔2024〕18号，2024年3月28日起施行；</p> <p>(22)杭州市生态环境局关于印发《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》的通知，杭环发〔2024〕49号，2024年8月12日实施；</p> <p>(22)关于印发《杭州市产业发展导向目录与产业平台布局指引（2019年本）》的通知，杭州市发展和改革委员会，2019年7月26日实施。</p>
技术标准	<p>(1)《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)，2016年4月1日实施；</p> <p>(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；</p> <p>(3)《粒子加速器辐射防护规定》(GB 5172-85)，1986年1月1日实施；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(7)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)，2020年4月1日实施；</p> <p>(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；</p> <p>(9)《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)，2021年5月1日实施；</p> <p>(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；</p>

	<p>(11)《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》(GBZ 2.1-2019)及第 1 号修改单，2022 年 11 月 8 日实施；</p> <p>(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。</p>
其他	<p>(1) 环评委托书；</p> <p>(2) 企业提供的与工程建设有关其他设计资料等。</p>

## 表 7 保护目标与评价标准

### 7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 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	南	0	4 人	剂量约束值 ≤5mSv/a	
	公众成员	3#楼 厂房 一层	非机动车停车位	东	1	约 10 人/d	剂量约束值 ≤0.1mSv/a
			厂区道路		3	约 20 人/d	
			机动车停车位		10	约 60 人/d	
			农田		22	不固定	
		3#楼 厂房 一层	辐照车间上下货区	南	5	约 4 人/d	
			辐照车间过道		7	约 10 人/d	
			毛坯车间		15	约 10 人/d	
			机加工车间		31	约 10 人/d	
			洁净室及其他功能预留区、清洗车间及成品库		48	约 10 人/d	
			填料存储及干燥室、松散室、配料室、烧结室		西	29	
		3#楼厂房二层生产车间	南	0	约 20 人/d		
			西	29	约 10 人/d		
		3#楼厂房三层生产车间	南	0	约 20 人/d		
			西	29	约 10 人/d		
厂区道路	北	4	约 10 人/d				
二期工程生产厂房		10	约 50 人/d				

注：①3#楼下方为土层，无地下室。

②辐照机房高出 3#楼屋顶约 5.5m，故二层和三层生产车间按水平方向考虑。

## 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管理目标，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管理目标，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 5172-1985)

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/m<sup>3</sup>。

### 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 $2.5 \times 10^{-3}$ 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/cm<sup>3</sup>；
- 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、紧急停机开关等装置；
- 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经常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 连锁要求

在电子加速器辐照装置的设计中必须设置功能安全、性能可靠的安全连锁保护装置，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连锁和监控。

安全连锁引发加速器停机时必须自动切断高压。

安全连锁装置发生故障时，加速器不能运行。安全连锁装置不得旁路，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 5172-1985)、《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个人剂量约束值：辐射工作人员个人年有效剂量不超过 $5\text{mSv/a}$ ；  
公众成员个人年有效剂量不超过 $0.1\text{mSv}$ 。

### 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 $0.3\text{mg/m}^3$ ”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  $\text{O}_3$  容许浓度为 $0.3\text{mg/m}^3$ ， $\text{NO}_x$  容许浓度为 $5\text{mg/m}^3$ ，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  $\text{O}_3$  浓度应不大于 $0.3\text{mg/m}^3$ ， $\text{NO}_x$  浓度应不大于 $5\text{mg/m}^3$ 。

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

根据已批复的《浙江和之祥科技有限公司新建厂房项目环境影响登记表》，本项目区域属于二类功能区，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： $\text{O}_3$  不允许超过的 1 小时平均浓度限值（二级标准）为 $0.2\text{mg/m}^3$ ， $\text{NO}_x$  不允许超过的 1 小时平均浓度限值（二级标准）为 $0.25\text{mg/m}^3$ 。

## 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

浙江和之祥科技有限公司位于浙江省杭州市钱塘区新世纪大道与新建纬二路交叉口，具体地理位置见附图 1。厂区东侧为农田，南侧为规划纬二路，西侧为新世纪大道，北侧为农田。厂内南侧为一期工程，北侧为二期工程。

#### 8.1.2 场所位置

本项目辐照机房拟建于一期工程 3#楼厂房一层内，所属建筑的结构为地上 3 层（均为生产车间），无地下层。辐照机房东侧临空，继续向东为非机动车停车位、厂区道路和机动车停车位等；南侧紧邻控制室，隔上下货区和车间过道为生产车间；西侧的上方临空，下方紧邻预留辐照机房（卧式），继续向西为填料存储及干燥室、松散室、配料室、烧结室等；北侧临空，继续向北为厂区道路和二期工程生产车间，上方高出 3#楼厂房屋顶且为无人平台，下方为土层，无地下层。

### 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 9。

### 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  $\gamma$  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（仍是待建空地），本次共布设 11 个检测点位，检测点位示意图见附图 16。

#### （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：2024年11月21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；室外温度：13℃；相对湿度：67%；
- 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：0.05μSv/h~99.99μSv/h；外置探头：0.01μSv/h~10mSv/h
能量范围	内置探头：20keV-7MeV≤±30%；外置探头：60keV-1.3MeV≤±30%
检定证书编号	2024HI21-20-5106288001
检定有效期	2024年2月23日~2025年2月22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 <sub>r</sub>	1.04
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	$\gamma$ 辐射空气吸收剂量率 (nGy/h)		备注
		平均值	标准差	
1#	辐照机房拟建址中心	44	2	原野
2#	辐照机房拟建址北侧	60	1	
3#	辐照机房拟建址东侧	46	1	
4#	辐照机房拟建址南侧	45	2	
5#	辐照机房拟建址西侧	47	2	
6#	3#楼厂房内生产车间	44	1	
7#	3#楼厂房内生产车间	48	1	
8#	东侧厂区道路	42	1	
9#	东侧农田	41	3	
10#	北侧厂区道路	42	1	
11#	二期工程生产厂房	40	1	

注：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1.04； $k_2$ ——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 $^{137}\text{Cs}$ 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，原野取1； $\dot{D}_c$ ——测点处宇宙射线响应值，本项目取31.3nGy/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γ辐射空气吸收剂量率范围为（40~60）nGy/h。由《浙江省环境天然放射性水平调查总结报告》可知，杭州市原野γ辐射剂量率范围为（28~220）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 3#楼厂房进行局部改建，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。

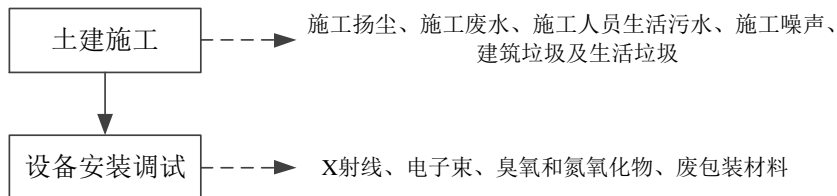


图 9-1 建设阶段工艺流程及产污环节示意图

#### 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1台中广核达胜加速器技术有限公司生产的DD5.0/24-1200型电子加速器进行于辐照加工，加速器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	中广核达胜加速器技术有限公司
设备型号	DD5.0/24-1200
电子束最大能量	5.0MeV
最大束流功率	120kW
额定束流强度	24mA
扫描宽度	1200mm
能量不稳定性	优于4%
束流不稳定性	优于4%
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	1100mm~1300mm
束下装置与地面的距离	350mm~550mm
加速器工作方式	自动连续

本项目加速器主机不自带屏蔽防护，同型号主机外观图见图 9-2。



图 9-2 同型号加速器主机外观图

### 9.2.2 设备组成及作业方式

本项目电子加速器主机部分由直流高压发生器、电子束流加速系统、钢筒、扫描引出系统组成，辅机部分由真空抽气系统、六氟化硫（SF<sub>6</sub>）绝缘气体系统、水冷却循环装置、辐射安全联锁系统、计算机控制系统以及束下传输系统等系统组成。

#### （1）直流高压发生器

由高频振荡器、高频变压器、整流倍压系统等组成。

##### ①高频振荡器

高频振荡器是高频高压型电子加速器的主供电电源，它的主要作用是把电网的电能为工频转换为 120kHz 左右的高频，再经倍压电路转换为加速器的直流高压，其性能决定着加速器的最大束功与束功转换效率。高频振荡器外观情况见图 9-2。



图 9-3 高频振荡器外观图

②环形变压器（高频变压器）

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。环形变压器外观情况见图 9-4。

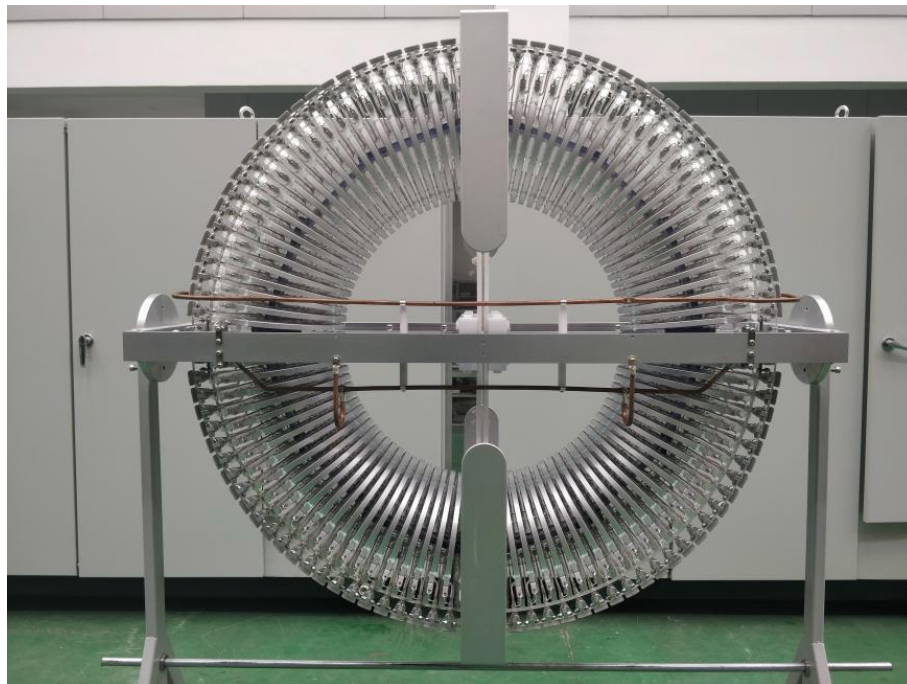


图 9-4 环形变压器外观图

### ③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强设计。

硅堆是 DD 型电子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，充以一定压力的  $SF_6$  干燥绝缘气体，使得加速器具有足够安全的绝缘强度。

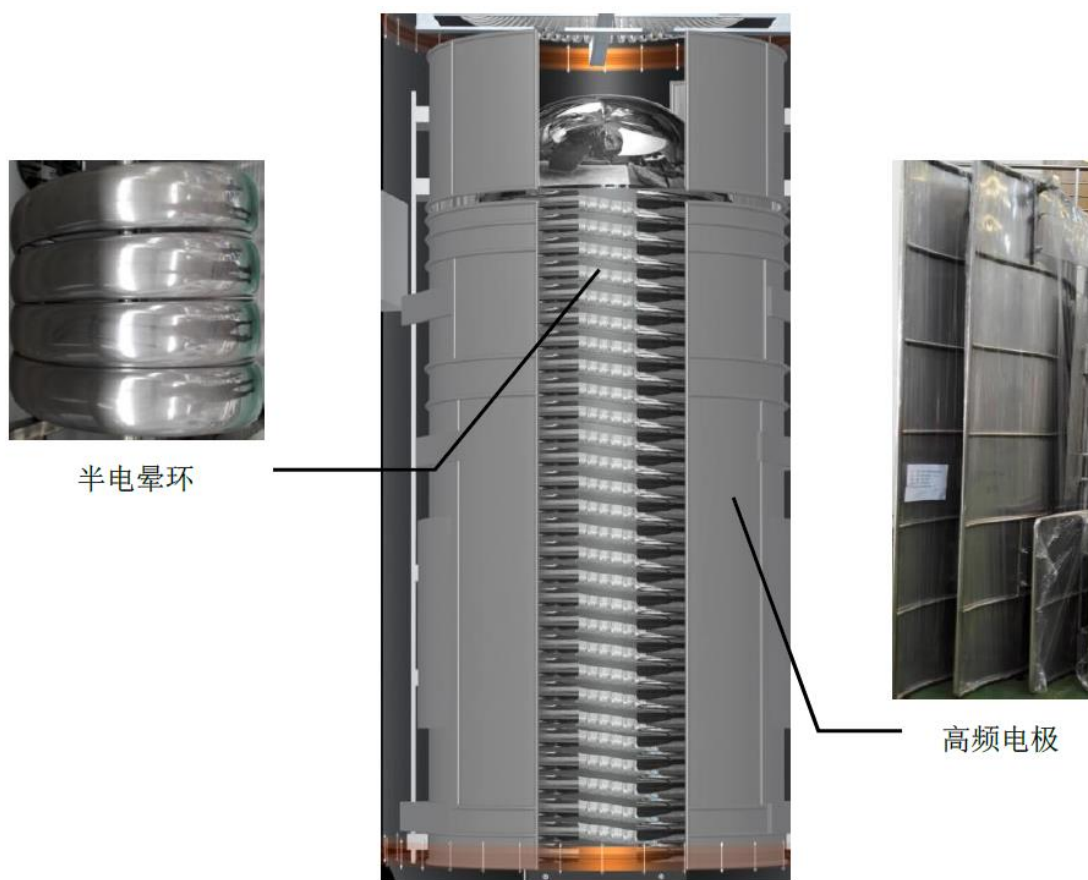


图 9-5 整流倍压系统（高频电极、半电晕环）

## (2) 电子束流加速系统

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 ( $10^{-5}\sim 10^{-6}$ ) Pa 环境下稳定可靠地建立一个均匀的高梯度直流加速电场 ( $\sim 20\text{kV/cm}$ )。由于真空中的击穿放电机制复杂, 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。

加速管的基本单元是长约 450mm 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, 因此这种加速管机械强度高、真空性能好、电性能优越, 使用寿命长。

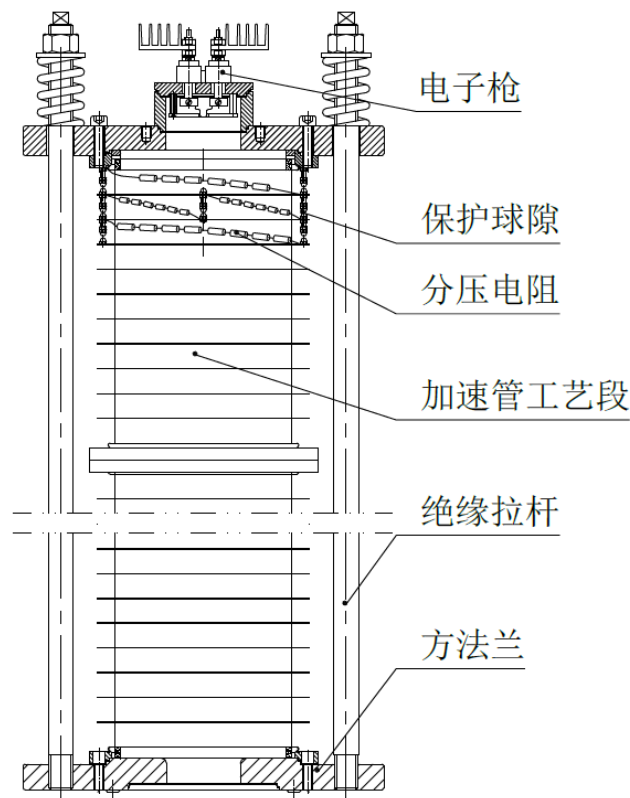


图 9-6 加速管和电子枪

### 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 $\sim 0.8\text{mm}$ 。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。



图 9-7 电子枪（左）、枪灯丝（右）

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）钢筒

钢筒内安装加速器主体，包括高频变压器、整流倍压系统、电子束流加速系统等。为提高绝缘强度，筒体内部充以 0.65MPa（最高可达 0.85MPa）的干燥的六氟化硫（SF<sub>6</sub>）气体。高压筒体既是一个密封高压容器，又是整个加速器电路的接地外壳。

### （4）扫描（束流）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。钛箔上的一定的能耗损失，需要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出射方向。



图 9-8 束流引出系统组成

#### (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，由涡轮分子泵和机械泵机组组成。

#### (6) 六氟化硫（SF<sub>6</sub>）绝缘气体系统

绝缘气体处理系统的功能主要为：①加速器检修时回收气体；②通过气体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。

绝缘气体处理系统的主要部件如下：

① 储气筒：为加速器检修时储存 SF<sub>6</sub> 气体用。

② 压缩机机组：由压缩机、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：由真空泵和一个油过滤器、一个油气吸附器、二个电动阀门以及管道部件等组成。它用于储气筒和主钢筒抽真空。在加速器检修打开钢筒前，它必须把钢筒内的 SF<sub>6</sub> 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 SF<sub>6</sub> 的纯度。

③ 电气控制箱位于气体处理系统机柜正面，自动与手动操作功能并存，用于各种气体处理动作的操作。

④压缩机机组、真空泵机组、干燥塔、吸附器、储气筒、电气控制箱装在钢制框架上用管道、阀门和仪表等相连接组成完整的气体回收充气处理系统。

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。

#### (7) 水冷却/恒温系统（冷水机）

高频高压型加速器钢筒内的高频变压器、高压发生器都会有一定的功率损耗，会使绝缘气体升温，扫描盒内壁受散射束流轰击也会升温，扫描窗出口处的束流挡板工作时承受的负荷，会使挡板升温，高频振荡器内的高频振荡管（电子管）和水冷可控硅等发热器件工作时功率损耗产生的温升也很可观，加速器的其他一些发热器件工作时，也都会提升自身的温度。因此，这些部件工作时都需要外部水冷设备辅助冷却。冷却水的水质要纯净，不会在管壁结垢，不会腐蚀设备，还需要有良好的绝缘性能。冷却水可以循环使用，因此还需要二次冷却水回路来冷却携带热量的冷却水。

加速器水冷却/恒温系统是用于冷却/恒温 DD 型电子加速器工作时关键零部件温度的专用设备。全程采用 PLC 加控制面板方式实现自动控制。并与主控制界面建立通讯，同时能在加速器主控制界面上实现显示、控制及故障报警。

其工作原理与组成如下：

本装置主要由二只水箱（常温水箱和低温水箱）、压缩机、冷凝器、蒸发器、水泵、若干阀门、管道、机架和控制系统组成。二只水箱均由压缩机、蒸发器和冷凝器制冷，可分为低温水箱和常温水箱。常温水箱连接一台分子泵专用冷却水泵，由单独的开关控制向分子泵提供冷却水，同时有一路电磁阀通低温水箱，起到联通作用，中和水箱温度，当温度达到要求后，连接低温水箱电磁阀打开，低温水流回低温水箱，因为低温水箱和常温水箱是连通的，所以不会存在水位差。低温水箱主要冷却加速器钢筒内部和高频机柜内部，常温水箱主要冷却高频机电子管和束流吸收板；在每一个回路的回水口处，均安装有流量控制器，当出现断水或水压不够时，流量控制器发出报警信号，防止加速器在无水或欠压的情况下工作，造成加速器的损坏。

#### (8) 辐射安全联锁系统

为防止在加速器开机时发生辐射伤害事故，设置了多重安全联锁保护，开机前必须检查加速器主厅与辐照厅，确保无人员逗留才能开机。

### (9) 计算机控制系统

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

### (10) 束下传输系统

电子束流从窗膜射出后，辐照被加工的产品。辐照加工时为避免辐射对人员的伤害，人员是被限制进入辐照区的，所以需加工的产品运输必须由一套传输设备来完成，这套系统通称为束下传输系统。

## 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 X 射线，韧致辐射 X 射线，韧致辐射的最大能量为最大可能得电子能量。

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。

## 9.2.3 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，设备操作人员位于一层的控制室内设置机器参数并监控加速器运行情况，装卸货物的工人位于一层辐照室外上下货区装卸货物。加速器出束时，辐照室及主机室内均无人员停留。

## 9.2.4 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。本项目主要对聚四氟乙烯进行辐照加工，具体工艺流程见图 9-9。

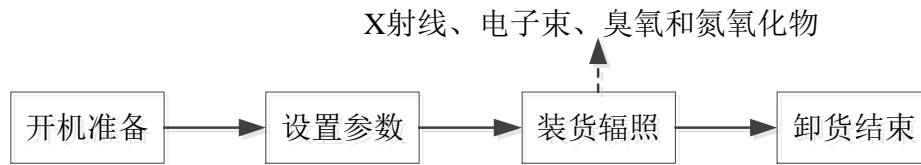


图9-9 辐照加工的工艺流程及产污环节示意图

(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，搬运工人准备搬运货物。

(2) 辐射工作人员在一层控制室内设置机器参数和输运线传输速度。

(3) 处于一层辐照室外上货区的搬运工人往输运线上搬运货物，一层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且间断形式。

(4) 辐照后的货物由传送带自动传送至辐照室外，由下货区的搬运工人从传送带上卸货。

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，搬运工人均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。

### 9.1.5 工作负荷与人员配置

本项目辐照对象主要为聚四氟乙烯，最大尺寸为1m（见方），最小尺寸为5mm（见方）。本项目建成后，计划年辐照加工量为800t。

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20h，年运行360天，则加速器年出束时间为7200h。公司拟配备4名辐射工作人员，均为公司内部非辐射工作人员转岗调剂，实行两班制，每班2名负责加速器的操作。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为3600h。加速器产品装卸的搬运工人共计4名，实行两班制，每班2人共同负责上下货区的产品装卸，工作点位于一层辐照室的货物传送带南侧附近，无需全居留且辐照时人员远离监督区，本报告不纳入辐射工作人员管理。

## 9.2 污染源项描述

本项目辐射工作人员均为内部非辐射工作人员转岗调剂，已包含在主体工程工作人员配置计划内，不新增生活污水产生量，生活污水依托厂区主体工程拟建的隔油池和化粪池

预处理满足《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）中三级标准（其中氨氮、总磷执行《工业企业废水氮、磷污染物间接排放限值》（DB 33/887-2013）中相关标准后纳入市政污水管网，送至临江污水处理厂集中处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中一级 A 标准后排放。项目不新增生活垃圾产生量，生活垃圾依托厂区主体工程拟设置的垃圾收集桶，集中收集后交由当地环卫部门统一清运。优选低噪声风机，源强控制在 70dB（A）以下，在隔声减震和距离衰减的基础上，西侧厂界噪声排放可以满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）中 4 类标准，其他三侧可以满足 3 类标准。上述非放射性污染源项已在获取环评批复的主体工程《浙江和之祥科技有限公司新厂房项目环境影响登记表》中详细评价，本次评价仅定性分析。

本项目电子加速器电子束的最大能量为 5.0MeV，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（ $\gamma$ , 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<sub>3</sub>）和氮氧化物（NO<sub>x</sub>）。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 3#楼厂房一层内，所属建筑的结构为地上 3 层（均为生产车间），无地下层。辐照机房由两部分组成，其中一层为辐照室和控制室，二层为主机室、导气系统、冷却水循环系统等辅助用房。

加速器工作时，设备操作人员位于一层的控制室内设置机器参数并监控加速器运行情况，装卸货物的工人位于一层辐照室外上下货区装卸货物。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、导气系统及冷却水循环系统等辅助用房及上下货区域。
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 8~附图 9。

#### 10.1.3 场所辐射防护屏蔽设计

##### (1) 辐照室和主机室屏蔽

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	一层辐照室	二层主机室
外尺寸	19300mm（长）×18400mm（宽） ×4700mm（高）	18400mm（长）×12350mm（宽）×17800mm （高）
东墙	不规则设计，部分区域（辐照室部分的主屏蔽墙）2800mm混凝土，部分区域（迷道部分）500mm混凝土	1200mm混凝土
南墙	采用“工”形双迷道设计，迷道内墙为2000mm混凝土，长5500mm；迷道外墙为1000mm混凝土	1200mm混凝土
西墙	不规则设计，部分区域（辐照室部分的主屏蔽墙）2800mm混凝土，部分区域（迷道部分）500mm混凝土	采用“L”形迷道设计，迷道内墙为800mm混凝土，长10200mm；迷道外墙为1000mm混凝土
北墙	2800mm混凝土	1200mm混凝土
顶棚	1500mm混凝土	700mm混凝土
地坪	无地下层，不做特殊防护	1500mm混凝土
出入口防护门	2扇普通钢门，产品进出口尺寸为1600mm（宽）×1800mm（高）。	1扇电动铅门，门洞尺寸为900mm（宽）×2000mm（高），门体尺寸为1200mm（宽）×2140mm（高），敷设10mm铅板，门与墙体左右搭接均为150mm，上下搭接均为70mm，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：表中混凝土的密度不小于2.35t/m<sup>3</sup>。

#### 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中广核达胜加速器技术有限公司购买，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）调制器连锁：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监测开关，当加速器中的靶、大功率负载等的冷却水流量不满足要求时，加速器将自动切断高压电源，停止运行。

(5) 加速管真空联锁系统：加速器运行过程中实施监测加速管内的真空管，真空度不满足要求时钛泵自动保护，同时切断电源，有效保护加速管。

(6) 钛窗冷却联锁：加速器钛窗采用持续供风冷却，供风装置配有风量传感器，当风力减弱或消失时，风量传感器会报警，联锁加速器高压停机。

(7) 控制台紧急停机按钮：在加速器运行中遇到紧急情况时，操作人员将快速按下“紧急停机”按钮，切断加速器供电。

(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。

#### 10.1.4.2 辐射安全和防护设施及措施

本项目辐照机房在正式投入使用前，必须具备以下辐射安全和防护设施及措施。

##### (1) 联锁要求

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

安全联锁装置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，并记录存档。

本项目加速器辐照装置已设有多项安全保护连锁，系统的安全联锁逻辑示意图如下。

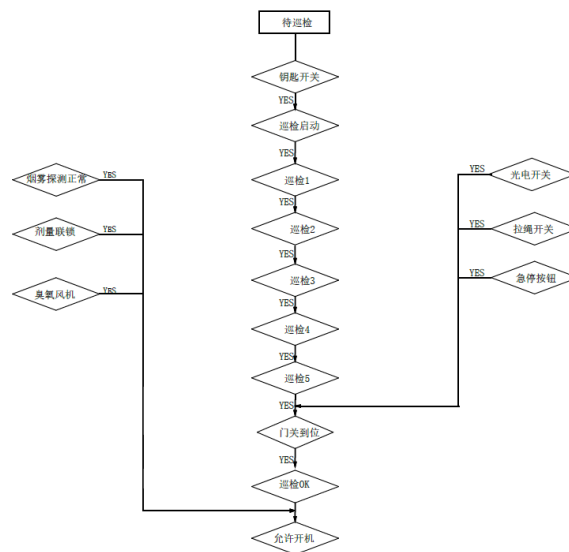


图10-1 电子加速器安全联锁逻辑图

## (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

本项目辐照室和主机室的门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时，加速器自动停机。

### 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的控制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，加速器自动停机。

### ④ 信号警示装置

本项目在辐照室和主机室防护门外、辐照室内部和主机室内部均拟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警示。主机室和辐照室出入口拟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

本项目辐照室内均拟设9道巡检按钮，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，且行人检测设备可以防止人员倒退或跟随。主机室内均拟设5道巡检按钮，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，且行人检测设备可以防止人员倒退或跟随。所有巡检按钮均与控制台联锁。

### ⑥ 防人误入装置

本项目辐照室内拟设2道行人检测光电装置（五连）和2道行人检测光电装置（二连），主机室门内拟设3道不同高度的行人检测光电装置（三连），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

本项目控制柜上拟设1个紧急停机按钮，辐照室内拟设9个紧急停机按钮和2个拉线开

关，主机室拟设5个紧急停机按钮和1个拉线开关，使之能在紧急状态下终止加速器的运行。辐照室和主机室内急停装置覆盖全部区域。这些急停设备一旦触发，加速器和传输系统的主回路将被切断。辐照室的2个防护门和主机室的1个防护门均拟设有一个开门开关，以便人员离开控制区。

#### ⑧剂量连锁

本项目辐照室和主机室的出入口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连锁，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。

#### ⑨通风连锁

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

#### 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，不与加速器系统连锁。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

本项目辐照室内拟设置6个视频监控装置，实行全方位覆盖式监控。

### （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1800mm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1台固定式辐射监测仪、1台便携式X-γ辐射监测仪和4台个人剂量报警仪，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各项辐射环境管理制度拟张贴于控制室内。

### (10) 监测设备与防护用品

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（2个探头）
2	便携式辐射监测报警仪	1台（1个探头）
3	个人剂量计	4个
4	个人剂量报警仪	4个

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，可由下一层次的防护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、信号指示灯连锁、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  $2.35\text{t/m}^3$ 。

#### (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 12000m<sup>3</sup>/h，臭氧和氮氧化物等有害气体经收集后通过风管引至 3#楼厂房北墙，高出主机房顶棚 1.5m 后高空排放。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

本项目建设阶段主要影响为将 3#楼厂房的部分空间改造为辐射工作场所，不涉及设备安装调试。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。

### 11.2 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： $d = \frac{1}{2\rho} \times E_{\beta\max}$  …………… (11-1)

式中：d——最大射程，cm；

$\rho$ ——防护材料的密度，g/cm<sup>3</sup>；

$E_{\beta\max}$ ——电子最大能量，MeV。

电子束的最大能量为5MeV时，在空气中（0.00129g/cm<sup>3</sup>）的最大射程约为1938cm，在混凝土（2.35g/cm<sup>3</sup>）的最大射程约为1cm。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。

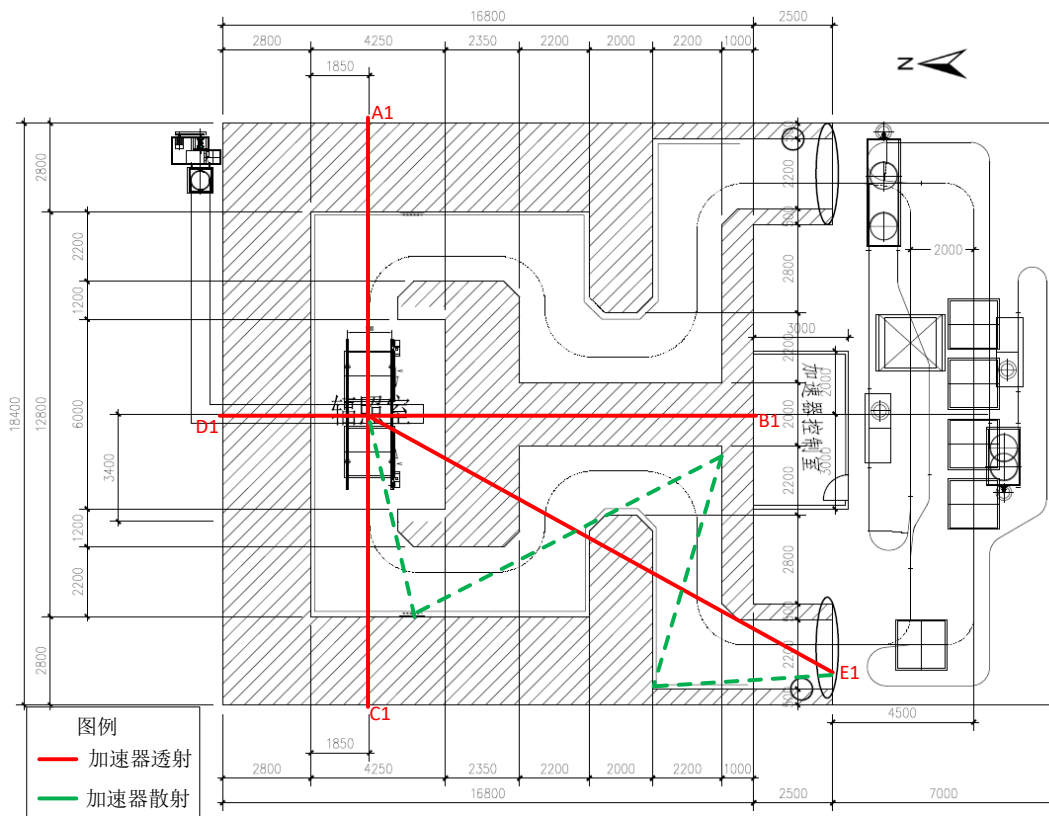


图11-1 一层辐照室辐射屏蔽平面设计及关注点分布图 (单位: mm)

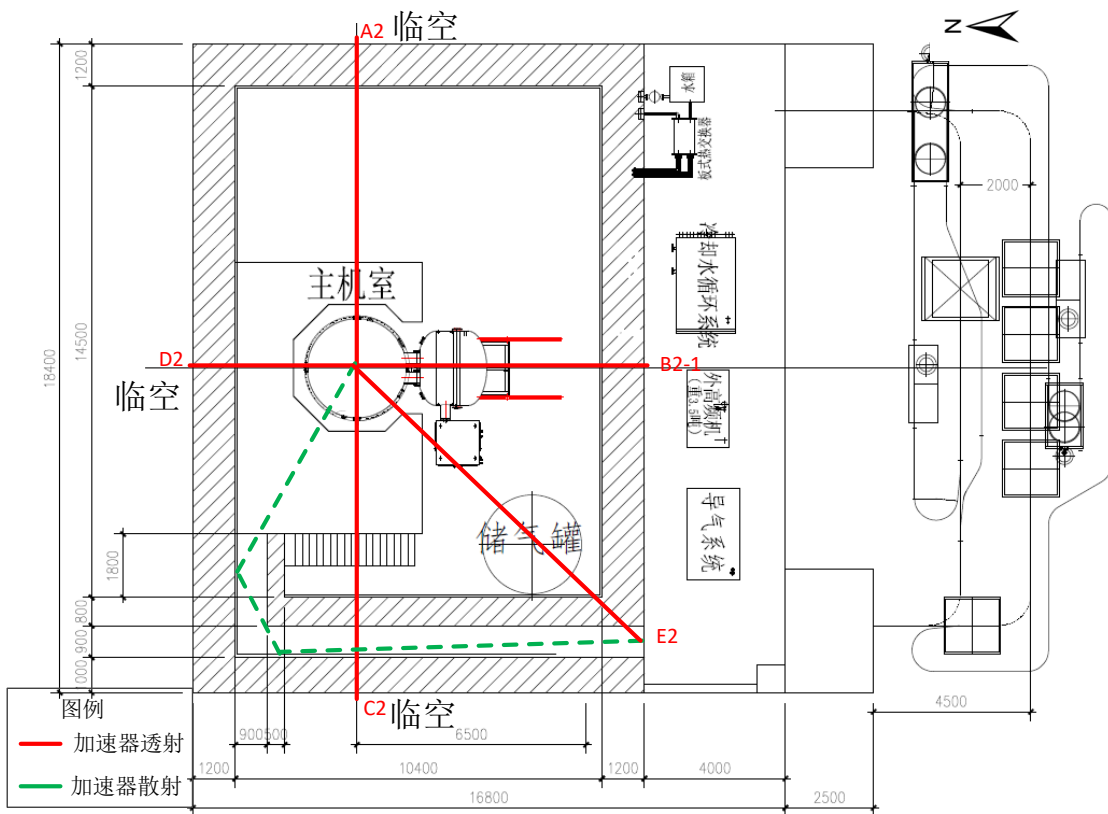


图11-2 二层主机室辐射屏蔽平面设计及关注点分布图 (单位: mm)



**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	非机动车停车位
B1	辐照室南墙外 30cm 处	控制室
C1	辐照室西墙外 30cm 处	预留辐照机房
D1	辐照室北墙外 30cm 处	非机动车停车位
E1	辐照室迷道口处	迷道口（上货区）
A2	主机室东墙外 30cm 处	临空
B2-1	主机室南墙外 30cm 处	不上人平台
B2-2		二层生产车间
B2-3		三层生产车间
B2-4		不上人平台
C2	主机室西墙外 30cm 处	临空
D2	主机室北墙外 30cm 处	临空
E2	主机室迷道口处	迷道口（辅助机房）
F2	主机室顶棚外 30cm 处	不上人平台

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 A2、C2、D2 均为临空，此处设剂量关注点，仅为验证主机室东、西和北墙外 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，μSv/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<sup>-6</sup>）为单位转换系数。

D<sub>10</sub>——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，Gy·m<sup>2</sup>·mA<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>；

I——电子束流强度，mA；

f<sub>e</sub>——X 射线发射率修正参数。

B<sub>x</sub>——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<sub>1</sub>——在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层，cm；

T<sub>e</sub>——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

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

式中：H<sub>i,rj</sub>——经 i 次散射后关注点处的辐射剂量率，μSv/h；

D<sub>10</sub>——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<sub>1</sub>——入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数；

α<sub>2</sub>——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<sub>1</sub>——X 射线入射到第一散射物质的散射面积，m<sup>2</sup>；

A<sub>2</sub>——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<sup>2</sup>；

d<sub>1</sub>——X 射线源与第一散射物质的距离，m；

d<sub>r1</sub>, d<sub>r2</sub>...d<sub>rj</sub>——沿着迷道长轴的中心线距离，m；

j——指第 j 个散射过程。

③天空反散射

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

式中：H——在距离 X 射线辐射源 d<sub>s</sub> 处地面，天空反散射的 X 射线周围剂量当量率，Sv/h；

B<sub>xs</sub>——X 射线屋顶的屏蔽透射比；

Ω——由 X 射线源与屏蔽墙对向的立体角，Sr；

d<sub>i</sub>——在屋顶上方 2m 处离靶的垂直距离，m，本项目辐照室相应 d<sub>i</sub>=24.7m，主机室相应的 d<sub>i</sub>=19.5m；

d<sub>s</sub>——X 射线源至 P 点的距离，m，本项目取值 20m。

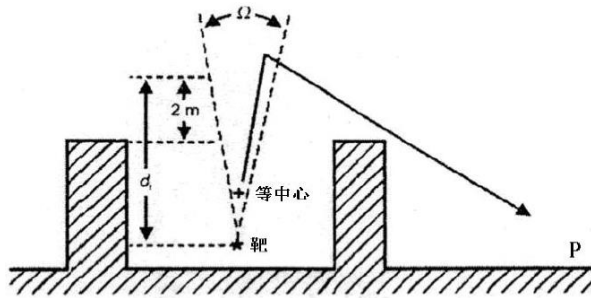


图 11-1 X 射线天空反散射示意图

根据《辐射防护导论》（方杰主编）P182 页公式（6.2），立体角  $\Omega$  计算公式如下：

$$\Omega = 4 \tan^{-1} \frac{a \cdot b}{c \cdot d} \dots\dots\dots (11-8)$$

式中：a——屋顶长度之半，m，本项目辐照机房的屋顶内长为 16.2m，则 a=8.1m；

b——屋顶宽度之半，m；本项目辐照机房的屋顶内宽为 9.95m，则 b=5.0m；

c——源到屋顶表面中心的距离，m；本项目辐照室相应 c=20.6m；主机室相应 c=17.5m；

d——源到屋顶边缘的距离，且  $d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$ ，m，本项目辐照室相应 d=22.7m，主机室相应 d=19.9m；

则可计算出：辐照室  $\Omega = 0.34\text{Sr}$ ；主机室  $\Omega = 0.46\text{Sr}$ 。

假设 P 点位于公众所能达区域，区域居留因子保守取 1/4，因此 P 点所在位置的最大允许周围剂量当量率： $H_M = 0.1\text{mSv} / (7200\text{h} \times 1/4) = 0.056\mu\text{Sv/h}$ 。

### 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
意向厂家	中广核达胜加速器技术有限公司
设备型号	DD5.0/24-1200
电子束最大能量	5.0MeV
最大束流功率	120kW
额定束流强度	24mA
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，则电子能量 $\leq 5.0\text{MeV}$ ，被辐照的靶材料为“铁、铜”时， $0^\circ$ 方向的修正系数  $f_e$  为 0.7， $90^\circ$ 方向的修正系数  $f_e$  为 0.5。

#### （2）辐照室 X 射线发射率

根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.1， $5.0\text{MeV}$  入射电子在距靶 1m 处前向（ $0^\circ$ 方向）的 X 射线发射率为  $63.2\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ；在距靶 1m 处侧向（ $90^\circ$ 方向）的 X 射线发射率为  $6.5\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.4， $5.0\text{MeV}$  入射电子在侧向（ $90^\circ$ 方向）屏蔽能量取相应等效能量为  $3.1\text{MeV}$ 。

当束流强度为  $24\text{mA}$  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： $D_{10}(0^\circ) = 60 \times 63.2 \times 24 \times 0.7 \text{Gy/h} = 63706 \text{Gy/h}$ ；

$$D_{10}(90^\circ) = 60 \times 6.5 \times 24 \times 0.5 \text{Gy/h} = 4680 \text{Gy/h}。$$

#### （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，本项目加速器电子束能量损失率为 10%，束流损失率为 1%，即束流损失点的能量为  $0.5\text{MeV}$ ，电子束流强度为  $0.24\text{mA}$ 。根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.1， $0.5\text{MeV}$  入射电子在距靶 1m 处侧向（ $90^\circ$ 方向）的 X 射线发射率为  $0.07\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.4，无  $0.5\text{MeV}$  入射电子在侧向屏蔽能量得相应等效能量，本报告保守取  $0.5\text{MeV}$ 。

当束流强度为  $0.24\text{mA}$  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： $D_{10}(90^\circ) = 60 \times 0.07 \times 0.24 \times 0.5 \text{Gy/h} = 0.504 \text{Gy/h}$ 。

#### （4）散射 X 射线能量及散射系数

对于能量大于  $3\text{MeV}$  的 X 射线认为其散射一次后的能量均为  $0.5\text{MeV}$ ；对于初级 X 射线，散射系数  $\alpha_1$  取值  $5 \times 10^{-3}$ ，对于一次散射后的 X 射线散射系数  $\alpha_2$ （假设一次散射后的反射过程一样， $E=0.5\text{MeV}$ ）取值为  $2 \times 10^{-2}$ 。

#### （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 <sub>1</sub> (cm)	平衡十分之一值层厚度 T <sub>e</sub> (cm)
混凝土	3.1MeV 的宽束 X 射线	26.5	25.3
	0.5MeV 的宽束 X 射线	15.2	11.9

(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 3 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 <sub>1</sub>	一次散射 距离d <sub>r1</sub>	二次散射 距离d <sub>r2</sub>	三次散射 距离d <sub>r3</sub>
辐照室迷道口	5.30	10.52	5.50	4.6
主机室迷道口	7.19	2.50	9.45	/

**表 11-5 各次散射面积 (m<sup>2</sup>)**

位置	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
辐照室迷道口	(3.30+2.75) × 3.0=18.15	2.2×3.0=6.6	2.2×3.0=6.6
主机室迷道口	14.5×3.0=43.5	0.9×2.0=1.8	/

**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3.1MeV，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。

本项目辐照机房高出所在建筑屋脊，但周围无高层建筑，故本项目主机室顶棚处剂量关注点需考虑天空反散射，但不考虑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、C1、D1)	辐照室侧向 90°韧致辐射初级 X 射线	3.1MeV
	迷道口处 (E1)	辐照室侧向 90°韧致辐射初级 X 射线	3.1MeV
		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、B2-1、B2-2、B2-3、B2-4、C2、D2、F2)	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)	3.1MeV
		主机室束流损失韧致辐射初级 X 射线	0.5MeV
	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)	3.1MeV
		主机室束流损失韧致辐射初级 X 射线	0.5MeV
		主机室束流损失韧致辐射射线多次散射 X 射线	0.5MeV
	地面处 (P)	辐照室所致天空反散射	3.1MeV
主机室所致天空反散射		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 <sub>1</sub> mm	T <sub>e</sub> mm	屏蔽后 μSv/h	总贡献值 μSv/h	
一 层 辐 照 室	A1	非机动车 停车位	透射	9.50	2800	265	253	5.19×10 <sup>-4</sup>	<0.001
	B1	控制室	透射	12.45	9750	265	253	9.78×10 <sup>-32</sup>	<0.001
	C1	预留辐照 机房	透射	9.50	2800	265	253	5.19×10 <sup>-4</sup>	<0.001
	D1	非机动车 停车位	透射	4.95	2800	265	253	0.002	0.002
	E1	迷道口 (上货	透射	18.15	5325	265	253	1.42×10 <sup>-14</sup>	<0.001
散射			d <sub>1</sub> =5.3	/	/	/	3.72×10 <sup>-6</sup>		

		区)		$d_{r1}=10.52$ $d_{r2}=5.50$ $d_{r3}=4.60$					
二层 主机室	A2	临空	辐照室透射	10.15	5220	265	253	$1.12 \times 10^{-13}$	<0.001
			束流损失透射	9.50	1200	152	119	$8.82 \times 10^{-7}$	
	B2-1	一层不上人平台	辐照室透射	8.50	5655	265	253	$3.25 \times 10^{-15}$	<0.001
			束流损失透射	8.00	1200	152	119	$1.24 \times 10^{-6}$	
	B2-2	二层生产车间	辐照室透射	10.50	3950	265	253	$1.14 \times 10^{-8}$	<0.001
			束流损失透射	8.00	1200	152	119	$1.24 \times 10^{-6}$	
	B2-3	三层生产车间	辐照室透射	13.30	3896	265	253	$1.18 \times 10^{-8}$	<0.001
			束流损失透射	8.00	1200	152	119	$1.24 \times 10^{-6}$	
	B2-4	不上人平台	辐照室透射	16.60	4314	265	253	$1.70 \times 10^{-10}$	<0.001
			束流损失透射	8.00	1200	152	119	$1.24 \times 10^{-6}$	
	C2	临空	辐照室透射	9.80	5012	265	253	$8.48 \times 10^{-13}$	<0.001
			束流损失透射	9.50	1200	152	119	$8.82 \times 10^{-7}$	
	D2	临空	辐照室透射	5.85	3300	265	253	$1.39 \times 10^{-5}$	<0.001
			束流损失透射	4.95	1200	152	119	$3.25 \times 10^{-6}$	
E2	迷道口 (辅助机房)	辐照室透射	9.65	5022	265	253	$7.94 \times 10^{-13}$	<0.001	
		束流损失透射	9.50	1200	152	119	$8.82 \times 10^{-7}$		
		束流损失散射	$d_{r1}=7.19$ $d_{r1}=2.5$ $d_{r2}=9.45$	/	/	/	$1.37 \times 10^{-7}$		
F2	不上人平台	辐照室透射	21.6	2200	265	253	0.022	0.026	
		束流损失透射	18.5	700	152	119	0.004		
P	地面处	辐照室所致 天空反散射	$d_i=24.7m$ $d_s=20m$	2200	265	253	$2.64 \times 10^{-7}$	<0.001	
		主机室所致 天空反散射	$d_i=19.5m$ $d_s=20m$	700	152	119	$5.12 \times 10^{-8}$		

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 F2 点位的屏蔽作用考虑辐照室顶部 (1500mm) 和主机室顶部 (700mm) 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  $0.002 \mu\text{Sv/h}$ ，二层主机室屏蔽墙外表面 30cm 处周围剂量当量率最大值为  $0.026 \mu\text{Sv/h}$ ，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。地面参考点处周围剂量当量率小于  $0.001 \mu\text{Sv/h}$ ，满足所在位置的最大允许周围剂量当量率限值要求。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。





本项目辐照机房的电缆管道设计方案见附图 11-8，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。所有电缆管穿墙形式均为 U 形或 S 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。

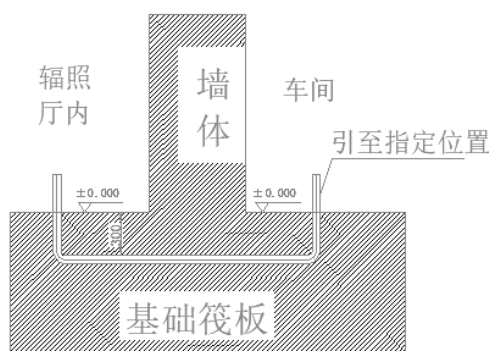


图 11-8 辐照机房电缆管线敷设方案示意图

#### 4、水冷管道

本项目辐照机房的水冷管道设计方案见附图 11-9。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，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。

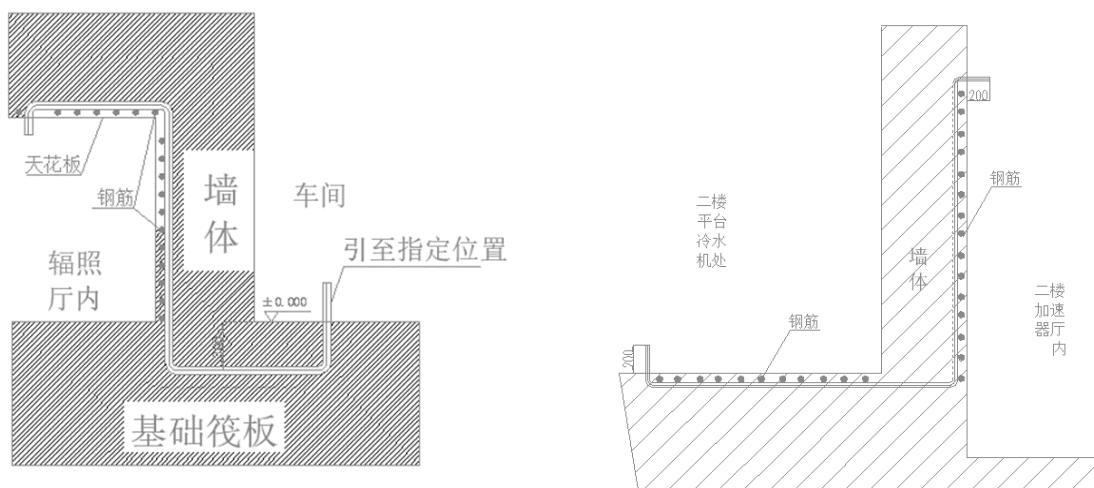


图 11-9 辐照机房水冷管道敷设方案示意图

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：

$$E = H \cdot U \cdot T \cdot t \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots (11-9)$$

式中：E——年有效剂量，mSv/a；

H——关注点处周围剂量当量率，μSv/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——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7200h/a。公司拟配备4名辐射工作人员，实行两班制，每班2名负责加速器的操作。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为3600h。

### 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二层控制室内的控制台处，但考虑到工作人员在加速器运行时可能会前往机房周围进行巡视，为保守估计，本次取机房周围理论计算结果中的最大值进行预测，取值0.002μSv/h，居留因子取1。根据公式（11-9）计算可知：本项目单名辐射工作人员年有效剂量不大于0.007mSv/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≤5.0mSv/a）的要求。

### 4、公众成员年有效剂量

根据公式（11-9），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	周围剂量当量率 H (μSv/h)	年受照时间 t (h/a)	居留因子	有效剂量 H* (mSv/a)
公众成员	非机动车停车位 (A1)	<0.001	7200	1/16	<4.5×10 <sup>-4</sup>
	非机动车停车位 (D1)	0.002		1/16	0.001
	上货区 (E1)	<0.001		1/4	<4.5×10 <sup>-4</sup>

	二层生产车间 (B2-2)	<0.001		1/4	<0.001
	三层生产车间 (B2-3)	<0.001		1/4	<0.001
	E2 (辅助机房)	<0.001		1/16	<4.5×10 <sup>-4</sup>
	地面处 (P)	<0.001		1/4	<0.001
	二期工程生产车间 (D1)	0.002		1/4	0.004
	东侧农田	<0.001		1/16	<4.5×10 <sup>-4</sup>

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 0.004mSv/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≤0.1mSv/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<sub>3</sub>)和氮氧化物(NO<sub>x</sub>)。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<sub>3</sub>的产生率可以用以下公式进行保守的计算：

$$P = 45dIG \dots\dots\dots (11 - 10)$$

式中：

P——单位时间电子束产生O<sub>3</sub>的质量，mg/h；

I——电子束流的强度，mA，本项目取值24mA；

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130cm；

G——空气吸收100eV辐射能量产生的O<sub>3</sub>分子数，保守值可取为10。

经计算可知：P=31200mg/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：

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

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

P——单位时间电子束产生O<sub>3</sub>的质量，mg/h；

T<sub>e</sub>——对臭氧的有效清除时间，h；

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

其中：T<sub>v</sub>——辐照室换气一次所需时间，h；本项目风机设计风量为12000m<sup>3</sup>/h，辐照室的净体积（含迷道）约448m<sup>3</sup>，则T<sub>v</sub>=0.04h；

T<sub>d</sub>——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<sup>3</sup>；本项目辐照室的净体积（含迷道）约480m<sup>3</sup>。

此种情况下，T<sub>v</sub><<T<sub>d</sub>，因而 T<sub>e</sub>≈T<sub>v</sub>。当长时间辐照时，则辐照室内臭氧平衡浓度为：

$$C_s = \frac{PT_e}{V} \dots\dots\dots (11 - 13)$$

### 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：

$$d_c/d_t = -C/T_e \dots\dots\dots (11 - 14)$$

当 t=0 时，C=C<sub>s</sub>，得到浓度随时间的变化公式为：

$$C = C_s e^{-\frac{t}{T_e}} \dots\dots\dots (11 - 15)$$

由此可得：关闭加速器后风机运行的持续时间公式为：

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s} \dots\dots\dots (11 - 16)$$

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，通过北侧外墙的排风管道引至 3#楼的楼顶通过排气筒排放，排气口高出所在主机室顶棚 1.5m，排气筒高度为 24.7m。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 ( $\text{m}^3$ )	$T_v$ (h)	$T_d$ (h)	$T_e$ (h)	$C_s$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	T (h)
辐照室	24	130	480	0.04	0.83	0.04	2.6	0.04 ( $\approx 2.4\text{min}$ )

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3min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3min。

本项目运行后，辐照机产生的少量臭氧和氮氧化物通过排风管道引至3#楼厂房北墙，高出主机房顶棚1.5m后高空排放，通过大气稀释扩散可满足《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。浙江和之祥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办法》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和台帐管理制度
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	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 5172-1985）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4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X-γ剂量率仪。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。

(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
3#楼厂房 内辐照机 房	验收监测	周围剂量 当量率	辐照室和主机室四侧屏蔽墙外 30cm 处、防护门门缝、防护门外 30cm 处、工作人员控制室、导气 系统、冷却水循环系统等辅助用房 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/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

浙江和之祥科技有限公司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。
屏蔽防护设计	辐照室和主机室的屏蔽防护设计详见本报告表10-2。	辐照室和主机室内周围剂量当量率满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中2.5μSv/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

浙江和之祥科技有限公司计划在浙江省杭州市钱塘区新世纪大道与新建纬二路交叉口的厂内一期工程 3#楼厂房一层内新建一座辐照机房及控制室等配套用房，购置 1 台 DD5.0/24-1200 型电子加速器（最大电子束能量为 5.0MeV，最大束流强度为 24mA），对外购的聚四氟乙烯进行辐照加工从而提高其性能。待项目建成并投入使用后，最终形成年辐照加工 800t/a 聚四氟乙烯的能力。

#### 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（ $\text{O}_3$ ）和氮氧化物（ $\text{NO}_x$ ）。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6min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0.3mg/m<sup>3</sup>）。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。

#### 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。同时，本项目不属于《杭州市产业发展导向目录与产业平台布局指引（2019年本）》中限制类和禁止类项目，符合杭州市产业政策要求。

##### （2）实践正当性

本项目实施的最终目的是为了对外购的聚四氟乙烯进行辐照加工，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《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》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 内主要为一期工程内的功能区域（3#楼厂房、厂区道路和停车位）、二期工程生产厂房及农田等。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。

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  $\gamma$  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，浙江和之祥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《杭州市生态环境分区管控动态更新方案》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的自觉性，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