

核技术利用建设项目

电子加速器辐照项目  
环境影响报告表  
(公示稿)

浙江巨润新材料科技有限公司

2019年11月

环境保护部制

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称	电子加速器辐照项目				
建设单位	浙江巨润新材料科技有限公司				
法人代表	谢信达	联系人	沈**	联系电话	13*****
注册地址	嘉兴市海盐县西塘桥街道海港大道 1816 号 712-8 室				
项目建设地点	海盐县经济开发区大桥新区海湾大道东侧，金达亚麻公司北侧厂区 1#车间内				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资(万元)	1250	项目环保投资(万元)	320	投资比例(环保投资/总投资)	25.6%
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> )	1500
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**

浙江巨润新材料科技有限公司（以下简称“公司”）成立于 2017 年 11 月，公司经营范围主要为塑料辐照交联卷材研发、制造，批发和零售等。公司拟投资 25000 万元，在海盐县经济开发区大桥新区海湾大道东侧，金达亚麻公司北侧新拍土地 45139 平方米，建造生产车间、产品研发车间等，开展年产 2 亿平方米阻燃聚乙烯新型材料项目，项目建成后，将形成年产 2 亿平方米阻燃聚乙烯新型材料的生产能力。目前该项目已在海盐县经济和信息化局立项备案（项目代码：2017-330424-29-03-084310-000）。该项目所在区域属于海盐县经济开发区节能环保产业园，浙江省海盐经济开发区管理委员会目前已编制《浙江省海盐经济开发区“区域环评+环境标准”改革实施方案（试行）》，并于 2018 年 3 月 28 日获得海盐县人民政府批复（盐政函〔2018〕60 号）。根据该方案改革内容中“实现审批服务

高效原则：实行建设项目分类名录中环境影响评价报告类别，报告书简化为报告表审批，报告表简化为登记表备案，并实行“承诺+备案制”的要求，该项目可简化为填报环境影响登记表。因此，公司于2018年7月在生态环境主管部门进行了《浙江巨润新材料有限公司年产2亿平方米阻燃聚乙烯新型材料建设项目环境影响登记表（区域环评+环境标准改革区域）》备案，备案编号为：盐环建登备[2018]7号（见附件4）。目前该项目尚未验收。

## 1.2 项目由来

聚乙烯是一种广泛应用于日常生活及工农业生产中的高分子材料。作为半晶材料，其性能依赖于内部的聚集态结构。聚乙烯链的规整性赋予其良好的结晶能力，结晶度可在很大范围内变化。另一方面，链与链之间缺乏紧密的结合力，使得整个聚乙烯材料在经受外力及环境温度影响时产生较低的变形或发生破坏，限制了其应用。因此，根据实际应用范围和目的，有必要对聚乙烯进行改性，交联被认为是行之有效的方法。

聚乙烯的交联主要采用化学交联和物理交联。化学交联主要以过氧化物和硅烷作交联剂。物理交联则主要为诸如核放射性源<sup>60</sup>Co、<sup>137</sup>Cs及中子、电子等高能粒子的辐射或辐照交联。近年来，有关聚乙烯辐照交联理论和应用研究不断深入，为辐照技术在新材料制备与改性方面开拓了新途径。

在此背景下，公司拟在厂区1#车间中部新建一座电子加速器（属于II类射线装置）辐照中心，用于对聚乙烯新型材料的改性。该辐照中心为两层结构，一层为3间加速器辐照室，包括控制室、装卸平台和束下生产线等；二层3间加速器主机房，包括水冷室和电气室等。辐照中心拟配套使用3台电子加速器，仅用于本公司自产的聚乙烯新型材料。该辐照中心不对外营业。

经与建设单位核实，本次辐射环评的规模见表1-1，拟使用电子加速器具体参数详见表1-2。

表 1-1 本项目辐照规模

产品名称	工作制度	辐照规模
聚乙烯新型材料	最大 4000h/a·台 (采用两班制，年工作天数 250 天)	3000 万平方米/a (4 万平方米/d·台)

**表 1-2 本项目拟建的电子加速器情况览表**

名称	型号	数量	电子束能量	平均电子束流强度	最大束流功率	使用场所	活动种类和范围	用途
电子加速器	AB2.0	3 台	2.0MeV	50mA	100kW	1#车间中部 电子加速器 辐照中心	使用 II 类 射线装置	聚乙烯 新型材 料改性

对照中华人民共和国原环境保护部令第 44 号《建设项目环境影响评价分类管理名录》及生态环境部令第 1 号《关于修改〈建设项目环境影响评价分类管理名录〉部分内容的决定》，本项目属于五十、核与辐射：191、核技术利用建设项目，本次评价的辐射内容主要为使用 II 类射线装置，应编制辐射环境影响报告表，并向有权限的生态环境部门申领辐射安全许可证。

为保护环境、保障公众健康，浙江巨润新材料科技有限公司委托浙江问鼎环境工程有限公司（国环评证乙字第 2053 号）对本建设项目进行辐射环境影响评价，环评委托书见附件 1。评价单位接受委托后，通过现场踏勘、监测、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，编制完成了本项目的辐射环境影响报告表（送审稿），供建设单位上报审批。

### 1.3 评价目的

- (1) 评价项目在运行过程中对工作人员及公众成员所造成的辐射影响；
- (2) 评价辐射防护措施效果，提出减少辐射危害的措施，为生态环境行政主管部门的管理提供依据；
- (3) 通过项目辐射环境影响评价，为建设单位保护环境和公众利益给予技术支持；
- (4) 对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”；
- (5) 评价项目的可行性，从环境保护角度为主管部门和建设单位进行辐射环境管理提供科学依据。

### 1.4 项目选址及周边环境保护目标

#### 1.4.1 企业地理位置

企业位于海盐县经济开发区大桥新区海湾大道东侧，金达亚麻公司北侧，周围环境概

况为：

东面紧邻浙江东海蓝玉光电有限公司，往东为椰岛路；

南面紧邻浙江金达亚麻有限公司，往南为空地，规划为工业用地；

西面为海湾大道，隔路为空地，规划为工业用地，远处约 800m 处为新海社区；

北面紧邻浙江艾司迈科机电制造有限公司（拟建），浙江奥桑机械设备有限公司，往北为滨海大道，隔路为中国核工业第二二建设有限公司。

#### 1.4.2 辐照中心位置及布局合理性分析

本项目拟建辐照中心位于厂区 1#车间（共四层，无地下层）中部靠北侧，该辐照中心为两层结构，一层为 3 间加速器辐照室，包括控制室、装卸平台和束下生产线等（见附图 5-1）；二层为 3 间加速器主机房，包括主机室、水冷室和电气室等（见附图 5-2）。辐照室和主机室分别位于 1#车间的一层和二层，3 间机房紧密相连。一层辐照室的东侧和南侧为产品前处理车间，西侧为楼梯和配电间，往西为车间过道，隔过道为产品后处理成品车间，北侧为厂区道路，道路对面为 2#车间，楼上为加速器主机房，楼下为土层，无地下室；二层加速器主机室东侧为成品仓库，南侧为辐照室顶棚平台，平台拟建电气室和水冷室，隔平台为 1#车间二层，为成品仓库；西侧为楼梯，北侧临空，主机室楼上，即 1#车间三层，为成品仓库。1#车间四层为成品仓库。

由附图 5-1 和 5-2 可知，辐照室呈南北对称布置，束下生产线自动传输货物，辐照室南侧迷道外设为上下货区；一层控制室布置在辐照室南墙外，远离加速器主机安装位置，二层电气室和水冷室等辅助机房则紧邻主机室布置。辐照区域划分明确，布局利于辐照加工工序有序进行，主机室布置利于设备控制和维护又可使辐射工作人远离辐射源，故本项目电子加速器辐射场所的布局合理可行。

#### 1.4.3 选址合理性分析

企业选址位于海盐县经济开发区大桥新区海湾大道东侧，金达亚麻公司北侧厂区内，用地性质属于工业用地，属于规划环评中的“节能环保产业园”，属于“海盐开发区环境优化准入区（0424-V-0-1）”，主要从事阻燃聚乙烯新型材料的生产，符合产业布局与用地布局规划。

拟建的电子加速器辐照中心位于厂区 1#车间（共四层，无地下层）中部靠北侧一层和二层，车间三层和四层拟设为成品仓库。辐照中心北面约 11m 处为厂区 2#车间；东、南、西面 50m 范围内均为 1#车间；远离公司的行政办公区，且所在 1#车间周边流动无关人员较

少。项目评价范围内均为道路和厂区车间，无学校、幼儿园、居民区等环境敏感目标。由估算可知项目周边公众年有效剂量最大为 0.056mSv/a，远小于 0.1mSv/a 的剂量约束值。本项目地理位置见附图 1，拟建的电子加速器辐照中心周边环境关系见附图 2，所在厂区总平面布置及所在车间平面布置见附图 3 和附图 4，工厂及周边环境实景照片详见附图 7。

综上所述，本项目电子加速器辐照中心通过采取有效治理和屏蔽措施后对周围环境辐射影响较小，选址基本合理。

### **1.5 原有核技术利用项目许可情况**

公司目前尚未实施过核技术利用建设项目，亦未申领过辐射安全许可证。

**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类	3台	AB2.0	电子	2.0	50	辐照改性	厂区 1#车间中部 辐照中心	新建
2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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 ( $\mu$ A)	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	最终去向
臭氧和 NO <sub>x</sub>	气体	/	/	少量	少量	少量	不暂存	通过排风系统排入大气，臭氧的半衰期为 22~25 分钟，在常温常压下可自行分解为氧气，对环境影响较小
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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说明，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

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法（2014 年修订）》，2015 年 1 月 1 日；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法（2018 年修订）》，2018 年 12 月 29 日；</p> <p>(3) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，原环境保护部令第 44 号；</p> <p>(4) 《关于修改〈建设项目环境影响评价分类管理名录〉部分内容的决定》，生态环境部 1 号令，2018 年 4 月 28 日；</p> <p>(5) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日；</p> <p>(6) 《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；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019 年修改）》，国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2019 年修改）》，生态环境部令第 7 号，2019 年 8 月 22 日修改；</p> <p>(9) 《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；</p> <p>(10) 《关于发布射线装置分类的公告》，原环境保护部、国家卫生计生委公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行；</p> <p>(11) 《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>(12) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环办辐射函（2016）430 号，原环境保护部办公厅，2016 年 3 月 7 日起施行；</p> <p>(13) 《浙江省建设项目环境保护管理办法（2018 年修改）》，浙江省人民政府令第 364 号，2018 年 3 月 1 日起施行；</p> <p>(14) 《浙江省辐射环境管理办法》，省政府令第 289 号，2012 年 2 月 1 日；</p> <p>(15) 关于发布《省环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2015 年本）》及《设区市环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的重污染、高环境风险以及严重影响生态的建设项目清单（2015 年本）》的通知，浙环发[2015]38 号，2015 年 10 月 23 日。</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》，HJ10.1—2016 环境保护部；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》，GB 18871-2002；</p> <p>(3) 《环境地表<math>\gamma</math>辐射剂量率测定规范》，(GB/T14583-93)；</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001)；</p> <p>(5) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)；</p> <p>(6) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB 5172-1985)；</p> <p>(7) 《<math>\gamma</math>射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ 141-2002)；</p> <p>(8) 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)；</p> <p>(9) 《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)及其 2018 年修改单；</p> <p>(10) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2007)。</p>
其他	<p>(1) 环评委托书，见附件 1；</p> <p>(2) 立项文件，见附件 2；</p> <p>(3) 企业营业执照，见附件 3；</p> <p>(4) 一般类项目环评登记表备案文件，见附件 4；</p> <p>(5) 设备合格证，见附件 5；</p> <p>(6) 辐射环境现状检测报告，见附件 6；</p> <p>(7) 土地使用权证明，见附件 7。</p>

## 表 7 保护目标与评价标准

### 7.1 评价范围

根据本项目的特点，结合《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的相关规定：“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”，本项目评价范围为机房边界外 50m 范围内区域，评价范围示意图见附图 2。

### 7.2 保护目标

由公司平面布置及现场调查可知，本项目拟建的电子加速器辐照中心位于厂区 1#车间中部靠北侧，北面约 11m 处为厂区 2#车间；东、南、西面 50m 范围内均为 1#车间；远离公司的行政办公区，且所在 1#车间周边流动无关人员较少。辐照中心边界外 50m 评价范围内均为道路和厂区车间，无学校、幼儿园、居民区等环境敏感目标。

本项目环境保护目标主要为公司从事辐照加工的工作人员及评价范围内车间及厂内道路其他工作人员和公众成员。详见表 7-1。

表 7-1 项目环评范围内环境保护目标一览表

序号	周边环境	保护对象		人数	距离	年剂量约束值
1	控制室内	职业	操作人员	12 人	约 1.5m	5mSv
2	作业区	公众	物料搬运人员	18 人	15~30m	0.1mSv
3	1#车间一层		车间生产人员	约 10 人	1~50m	
4	1#车间二层		车间生产人员	约 10 人	4.3~50m	
5	1#车间三层		车间生产人员	约 15 人	1~50m	
6	1#车间北侧厂区道路		流动人员	流动	1~11m	
7	2#车间		车间工作人员	约 5 人	11~50m	

### 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）

4.3.3.1 对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）。

#### B1 剂量限值

##### B1.1 职业照射

##### B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何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。本项目取其四分之一即 5mSv 作为剂量约束值。

## B1.2 公众照射

### B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有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。本项目取其四分之一即 0.25mSv 作为剂量约束值。

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

### 4.1 辐射安全要求

#### 4.1.1 安全原则

##### 4.1.1.1 纵深防御

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

- (1) 防防御可能引起照射的事故；
- (2) 减轻可能发生的任何类似事故的后果；
- (3) 在任何这类事故之后，将装置恢复到安全状态。

##### 4.1.1.2 冗余性

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

##### 4.1.1.3 多元性

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

##### 4.1.1.4 独立性

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

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

### 4.1.2 辐射工作场所的分区

按照 GB18871 的规定，电子加速器辐照装置的工作场所分为：

控制区，如主机室和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。

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

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

## 4.2 辐射防护要求

### 个人剂量约束

辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量限值应满足 GB18871 的要求。

在电子加速器辐照装置的工程设计中，辐射防护的剂量约束值规定为：

- a) 辐射工作人员个人年有效剂量为 5mSv；
- b) 公众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。

## 5 电子加速器辐照装置的辐射屏蔽

### 5.1 屏蔽设计原则

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

### 5.2 屏蔽设计计算

5.2.1 屏蔽设计计算应包括辐照室和主机室及各自迷道、屋顶、孔洞等。

5.2.2 屏蔽设计和计算结果应在设计文件中加以说明。

5.2.3 电子加速器辐照装置的屏蔽计算方法可参见附录 A。

## 6 电子加速器辐照装置的安全设计

### 6.1 联锁要求

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

安全联锁引发加速器停机时必须自动切断高压；

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

### 6.2 安全设施

(1) 钥匙控制：加速器的主控钥匙开关必须和主机室门和辐照室门联锁；如从控制台上取出该钥匙，加速器应自动停机，该钥匙必须与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连；在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用；

(2) 门机联锁：辐照室和主机室的门必须与束流控制和加速器高压联锁辐照室门或主机室门打开时，加速器不能开机；加速器运行中门被打开则加速器应自动停机；

(3) 束下装置联锁：电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制必须建立可靠的接口和协议文件。束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时，加速器应自动停机；

(4) 信号警示装置：在控制区出入口处及内部应设置灯光和音响警示信号，用于开机前对主机室和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 其他要求

#### 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 GBz2.1 的规定。有害气体的排放应满足 GB3095 的规定；

(2) 臭氧的产生和排放，其计算模式和参数见附录 B；

(3) 辐照室内的主排气孔应设置在易于排放臭氧的位置，例如扫描窗下方的位置；

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

#### 7.3.3 《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）

本规定适用于加速粒子的单核能量低于 100MeV 的粒子加速器（不包括医疗用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 5mSv。

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>。

#### 7.3.4 《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。

#### 第 3.2 条 电子束辐照装置

按人员可接近辐照装置的情况分为：

II 类 安装在屏蔽室（辐照室）内的辐射装置，运行期间借助于入口控制系统防止人员进入辐照室。

5.1.4 II、IV 类 γ 射线辐照装置和 II 类电子束辐照装置辐照室外的辐射水平检测；

5.1.4.1 空气比释动能率的测量位置如下：

①距辐照室各屏蔽墙和出入口外 30cm 处。

②对于单层建筑的辐照装置，过辐射源中心垂直于辐照室屏蔽墙的任一垂线上，自屏蔽墙外表面至距其 20m 范围内人员可以到达的区域。

③对于单层建筑的辐照装置，当距其 50m 内建有高层楼房且高层位于辐射源照射位置至辐照装置室顶所张的立体角区域内时，在辐照装置室顶和（或）相应的建筑物高层测量。

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：辐照室各入口、出口，穿过辐照室的通风、管线外口，各面屏蔽墙和屏蔽顶外，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 GB17279 第 5 条（对于监督区，在距屏蔽体的可达界面 30cm，由穿透辐射所产生的平均剂量率应不大于  $2.5 \times 10^{-3} \text{mGy/h}$ ）。

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

第 8.1.3 条 辐射防护安全要求

a) 辐射屏蔽材料采用混凝土时，其强度等级应高于 C20，密度不应低于  $2.35 \text{g/cm}^3$ ；

a) 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；

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

c) 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；

d) 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；

e) 剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备；

其他物理因素安全要求应满足 GBZ 2.2-2007 规定的标准要求。

7.3.6 《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 2.1-2007）

工作场所空气中化学物质容许浓度（臭氧）： $0.3 \text{mg/m}^3$ 。

## 表 8 环境质量和辐射现状

### 8.1 项目地理和场所位置

本项目拟建辐照中心位于海盐县经济开发区大桥新区海湾大道东侧，金达亚麻公司北侧新建厂区 1#车间内。厂区东面紧邻浙江东海蓝玉光电有限公司；南面紧邻浙江金达亚麻有限公司，往南为空地，规划为工业用地；西面为海湾大道，隔路为空地，规划为工业用地；北面紧邻浙江艾司迈科机电制造有限公司（拟建），浙江奥桑机械设备有限公司。拟建辐照中心为两层结构，一层为 3 间加速器辐照室，包括控制室、装卸平台和束下生产线等（见附图 5-1）；二层为 3 间加速器主机房，包括主机室、水冷室和电气室等（见附图 5-2）。辐照室和主机室分别位于 1#车间的一层和二层，3 间机房紧密相连。一层辐照室的东侧和南侧为产品前处理车间，西侧为楼梯和配电间，往西为车间过道，隔过道为产品后处理成品车间，北侧为厂区道路，道路对面为 2#车间，楼上为加速器主机房，楼下为土层，无地下室；二层加速器主机室东侧为成品仓库，南侧为辐照室顶棚平台，平台拟建电气室和水冷室，隔平台为 1#车间二层，为成品仓库；西侧为楼梯，北侧临空，主机室楼上，即 1#车间三层，为成品仓库。1#车间四层为成品仓库。辐照中心位置见附图 3。

### 8.2 辐照中心及其周围辐射环境背景水平监测

为了解浙江巨润新材料科技有限公司拟建辐照中心及其周围环境的辐射环境背景水平，本公司委托浙江鼎清环境检测技术有限公司于 2019 年 4 月 24 日对辐照中心周围环境进行辐射环境现场监测，检测报告见附件 6。

#### 8.2.1 监测因子及点位

监测因子：X- $\gamma$ 辐射剂量率；检测点位：辐照中心建设地址；监测时间：2019 年 4 月 24 日。

#### 8.2.2 监测仪器及规范

监测仪器的参数与规范见表 8-1。

**表 8-1 X-γ射线剂量率监测仪器参数与规范**

仪器型号	BG9512（内置探头：BG9512；外置探头：BG7030）
生产厂家	贝谷科技股份有限公司
仪器编号	DQ2015-XJ37
能量范围	内置探头：50keV~1.3MeV $\leq\pm 30\%$ （相对于 <sup>137</sup> Cs 661keV）； 外置探头：25keV~3MeV $\leq\pm 30\%$ （相对于 <sup>137</sup> Cs 661keV）；
量程	内置探头：0.05 $\mu$ Sv/h-30mSv/h 外置探头：30nGy/h-200 $\mu$ Gy/h
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
检定证书	2018H21-20-1565849001
检定有效期	2018年8月28日~2019年8月27日

### 8.2.3 质量保证措施

- （1）合理布局监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。
- （2）监测方法采取国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。
- （3）检测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- （4）每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。
- （5）由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- （6）监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。

### 8.2.4 监测结果及评价

现状监测点位见图 8-1，监测结果见表 8-2。

表 8-2 辐射环境监测结果

辐射场所名称	检测点位编号	监测点位置	辐射剂量率 (nGy/h)	
			平均值	标准偏差
辐照中心	★1	1#加速器机房北侧	89	2
	★2	2#加速器机房北侧	92	3
	★3	3#加速器机房北侧	73	1
	★4	3#加速器机房东侧	117	2
	★5	3#加速器机房南侧	115	3
	★6	2#加速器机房南侧	109	2
	★7	1#加速器机房南侧	104	1
	★8	1#加速器机房西侧	89	1
	★9	1#加速器机房中部	105	2
	★10	2#加速器机房中部	95	1
	★11	3#加速器机房中部	98	3

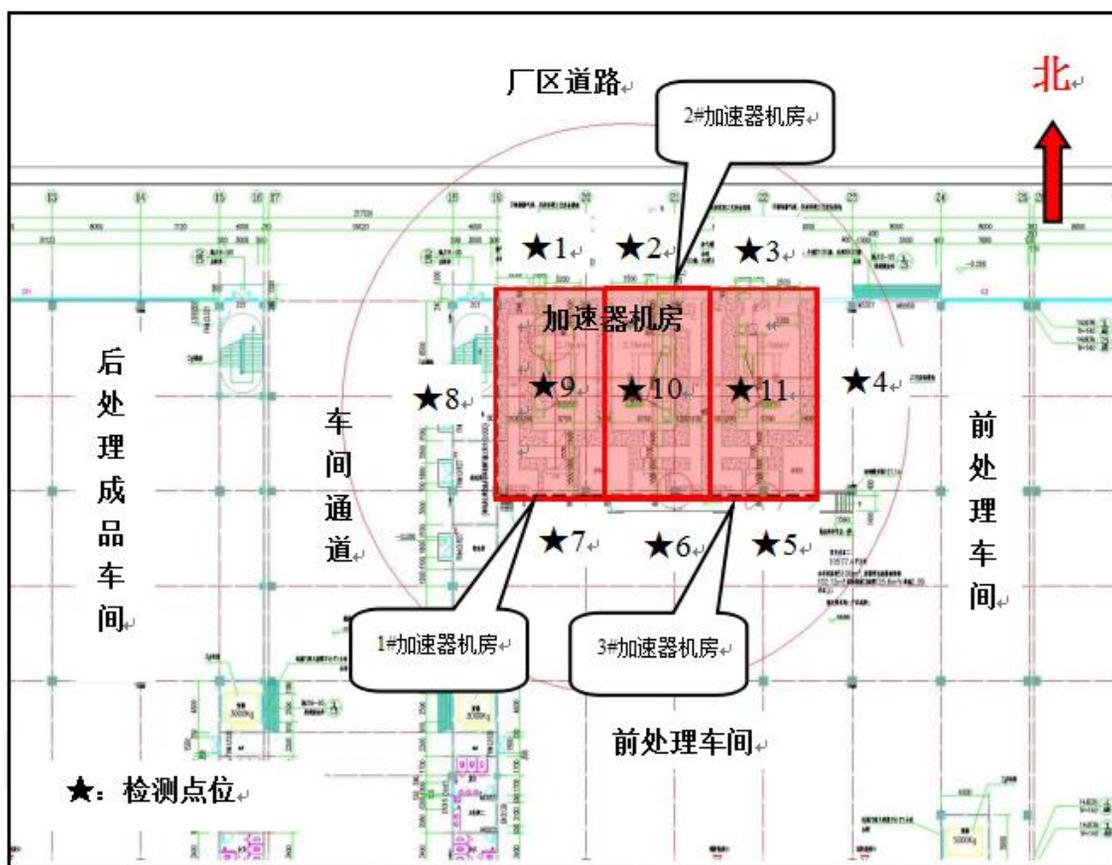


图 8-1 监测点位示意

由表 8-2 的检测结果可知，拟建辐照中心各检测点位的 $\gamma$ 辐射剂量率在 73~109nGy/h 之间。由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》可知，嘉兴市室内 $\gamma$ 辐射剂量率在 76~271nGy/h 之间，监测结果表明，本项目环境现状辐射水平与嘉兴市室内天然放射性辐射水平相当。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 设备组成

浙江巨润新材料科技有限公司拟建的辐照中心为两层结构，一层为加速器辐照室，包括主控制室、装卸平台和束下生产线等；二层为加速器主机房，包括水冷室和电气室等。

根据建设单位提供资料，本项目辐照中心拟使用的电子加速器为立式，型号及主要设备参数见表 9-1。

表 9-1 加速器主要技术参数和特性

名称	型号	数量	电子束能量	平均电子束流强度	最大束流功率	使用场所	活动种类和范围	用途
电子加速器	AB2.0	3 台	2.0MeV	50mA	100kW	1#车间中部 电子加速器 辐照中心	使用 II 类 射线装置	聚乙烯 新型材 料改性

本项目拟使用的电子加速器主要由电子发射系统、电子加速系统、聚焦系统、扫描系统、传输系统、脉冲调制器系统、控制系统、恒温冷却系统、监控系统等组成，加速器结构图见图 9-1，外观示意图见图 9-2。

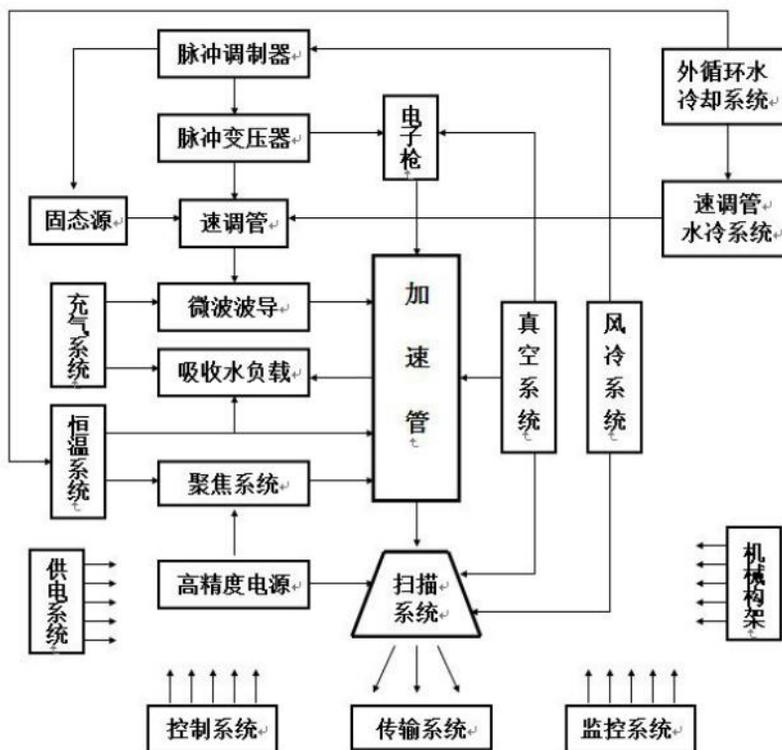


图 9-1 本项目加速器整体结构示意图

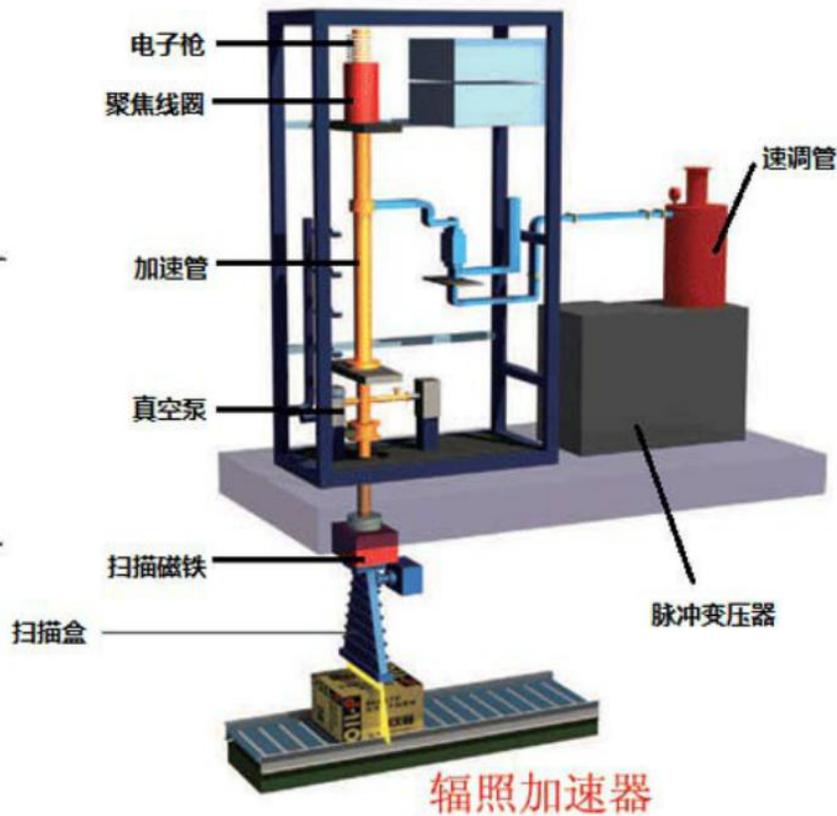


图 9-2 本项目加速器外观示意图

### 9.1.2 运行工况与人员配置计划

根据建设单位提供资料，本项目拟使用的电子加速器辐照装置对聚乙烯新型材料进行辐照改性，年辐照加工聚乙烯新型材料最大量 3000 万平方米。电子加速器辐照装置计划日连续出束时间为 16 小时，年工作 250 天，则每台加速器年工作时间不超过 4000 小时。本项目拟配置 12 名辐射工件人员，每台设备配 4 名辐射工作人员，其中 1 名为辐射管理人员，3 名为辐射操作人员，2 人一班，实行两班制；另作业区拟配置 18 名上下卷工人，每台设备配 6 名工人，3 人一班，两班制。

### 9.1.3 工作原理

辐照交联的工作原理：辐照交联又称为物理交联，是利用电子加速器产生的高能电子束流，轰击绝缘层，将聚乙烯高分子链打断，被打断的每个断点称为自由基。自由基不稳定，相互之间要重新组合，重新组合后由原来的链状分子结构变成三维网状的分子结构，形成致密层。电线电缆绝缘辐射交联的改性是由其交联密度决定的，调整辐照剂量可控制绝缘的交联密度，进步控制材料的改性和提高。主要导致的性能变化：辐射交联导致材料机械强度增加，冷流和抗蠕变性能提高，弹性模量增大，耐热性、耐溶剂性的变化，耐开裂性的变化和提高。

电子加速器工作原理：将工频低压电能，用高频振荡器变成高频电能，再通过高频耦合方式给由二极管和空间电容组成的倍压整流电路并联供电，串联后得到极高的直流高压，用它加

速电子，便可以获得所需要的高能强流电子射线。

### 9.1.4 工艺流程

辐照工艺流程如图 9-3 所示。

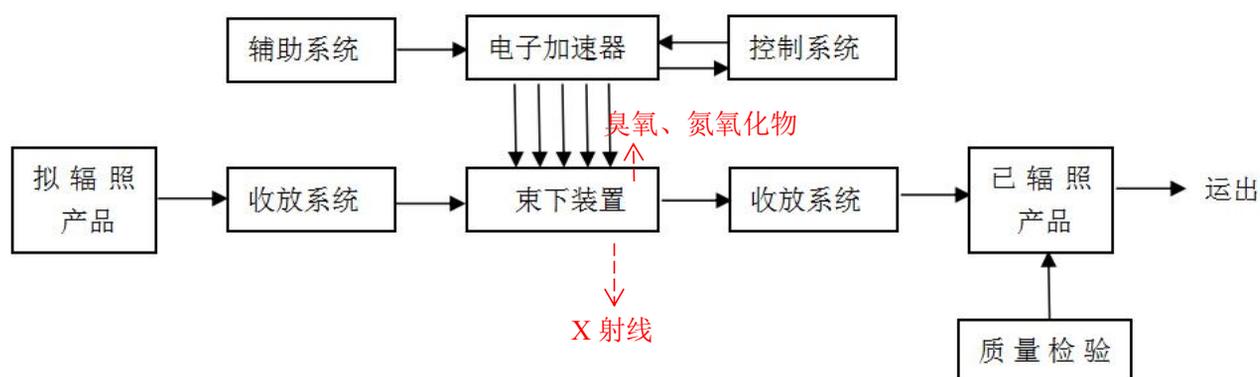


图 9-3 辐照工艺流程图

本项目辐照的工艺流程简述如下：

- ①作业区上下卷工作人员将待辐射聚乙烯材料装于放卷机上；
- ②控制室辐射工作人员根据待照产品辐照要求，输入技术参数，启动传动设备，开始辐照；
- ③聚乙烯材料经过放卷储片器，通过机房南侧屏蔽墙体“V”形物料进出的穿片窗口进入辐照室的束下传输装置上；
- ④聚乙烯材料沿束下传输装置进入辐照室，在扫描系统下接受电子束辐照；
- ⑤经过辐照后的聚乙烯材料再由束下传输装置经原“V”形物料进出的穿片窗口送出辐照室，沿传输装置传送至收卷储片器，由收卷机完成最后的成卷；
- ⑥作业区上下卷工作人员在下卷区将已辐照的聚乙烯材料搬下传输装置，取样检验合格后入已辐照产品库暂存。

整个辐照加工过程，正常情况下工作人员不必进入辐照室，均在辐照室 15m 距离以外的上下卷区进行辐照产品的上下卷，当一卷产品交联完成后，进行下卷的操作，完成了产品的交联工序，所有需辐照加工的产品都是通过传输装置运至束流中心辐照区进行辐照加工。

本项目电子加速器辐照加工示意图见图 9-4：

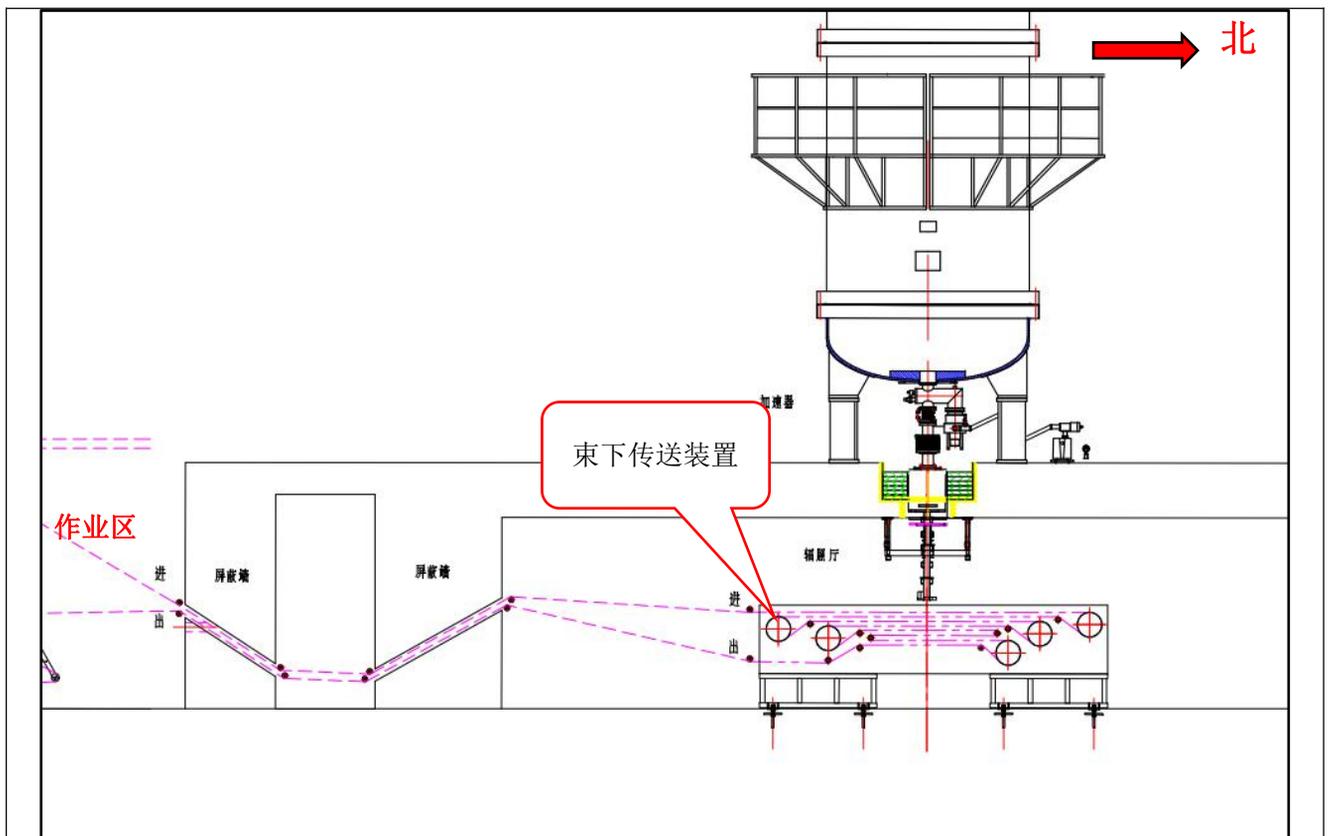


图 9-4 辐照工艺示意图

## 9.2 污染源项描述

电子加速器的电子出射范围小，易屏蔽，但在运动中受到加速器部件、作为辐照对象的聚乙烯材料的阻挡后，产生很强的韧致辐射（X 射线），韧致辐射的最大能量为最大可能的电子能量。当电子能量高于 10MeV 时，由于  $(\gamma, n)$  反应产生光致衰变中子，辐照射线作用于空气以及次级辐射等因素，可产生臭氧和气载放射性物质。加速器运行时须用循环水进行冷却处理，冷却水也可能被活化而感生放射性。本项目辐照装置最高能量 2.0MeV，不会产生中子，不会产生光核反应和感生放射性。因而，不存在加速器结构材料、冷却水和空气的感生放射性以及中子等相应的防护问题。

所以，韧致辐射（X 射线）为加速器的主要辐射防护对象。X 射线与空气中的氧气发生作用产生臭氧。因此，在开机期间，X 射线成为加速器污染环境的主要污染因子，其次是臭氧。

## 表 10 辐射安全与防护

### 10.1 项目安全设施

#### 10.1.1 加速器辐照室概况

本项目拟建的电子加速器安装于厂区 1#车间中部北侧辐照中心。辐照中心采用两层结构，二层为加速器主机室，加速管及速调管布置于此，一层为电子束引出区，扫描磁铁和电子束出射窗穿过楼板延伸到一层。整个辐照中心由钢筋混凝土筑成，屏蔽墙体采用混凝土浇注（密度为  $2.35\text{g/cm}^3$ ）。电子加速器机房设计主射束方向朝下，具体屏蔽设计参数情况见表 10-1。

表 10-1 本项目电子加速器机房屏蔽设计参数一览表

加速器机房		1#加速器机房	2#加速器机房	3#加速器机房
辐照室内尺寸		长、宽、高分别为：8.5m、5.75m、3.6m。面积 48.86m <sup>2</sup>	长、宽、高分别为：8.5m、4.75m、3.6m。面积 40.38m <sup>2</sup>	长、宽、高分别为：8.5m、6.75m、3.6m。面积 57.38m <sup>2</sup>
主机室内尺寸		长、宽、高分别为：10.3m、8.65m、10m。面积 89.1m <sup>2</sup>	长、宽、高分别为：10.3m、7.55m、10m。面积 77.77m <sup>2</sup>	长、宽、高分别为：10.3m、9.95m、10m。面积 102.49m <sup>2</sup>
辐照室屏蔽	东	1400mm 混凝土	迷道内墙 1200mm 混凝土 迷道外墙 800mm 混凝土	1800mm 混凝土
	南	迷道内墙 1400mm 混凝土 迷道外墙 1000mm 混凝土	迷道内墙 1400mm 混凝土 迷道外墙 1000mm 混凝土	迷道内墙 1400mm 混凝土 迷道外墙 1000mm 混凝土
	西	迷道内墙 1200mm 混凝土 迷道外墙 800mm 混凝土	1400mm 混凝土	迷道内墙 1200mm 混凝土 迷道外墙 800mm 混凝土
	北	迷道内墙 800mm 混凝土 迷道外墙 1400mm 混凝土	迷道内墙 800mm 混凝土 迷道外墙 1400mm 混凝土	迷道内墙 800mm 混凝土 迷道外墙 1400mm 混凝土
	顶棚（即主机室地坪）	800mm 混凝土	800mm 混凝土	800mm 混凝土
	物料进（出）口	南侧内外两层墙体上采用斜开口的“V”形墙体孔洞设计		
	辐照室出入口	普通钢制门，入口处有安全联锁装置		
	辐照室迷道	[型迷道，宽 1100mm		
	通风设施	臭氧风机（排风管线采用“U”形穿越屏蔽墙后再采用“L”形设计，由辐照室引出室外高空排放），与控制系统联锁		
	进出料孔	南侧内外屏蔽墙分别设一矩形孔洞，与墙体呈一定角度，“V”形设计，孔洞长 1700mm，宽 200mm，进料出料均为同一孔洞		
东	600mm 混凝土	600mm 混凝土	600mm 混凝土	

主机室屏蔽	南	迷道内墙 600mm 混凝土 迷道外墙 600mm 混凝土	迷道内墙 600mm 混凝土 迷道外墙 600mm 混凝土	迷道内墙 600mm 混凝土 迷道外墙 600mm 混凝土
	西	600mm 混凝土	600mm 混凝土	600mm 混凝土
	北	600mm 混凝土	600mm 混凝土	600mm 混凝土
	顶棚	1700mm 混凝土	1700mm 混凝土	1700mm 混凝土
	地坪(即辐照室顶棚)	800mm 混凝土	800mm 混凝土	800mm 混凝土
	主机出入口	20cm 钢制门, 入口处有安全联锁装置		
	主机室迷道	L 型, 宽 1100mm		
	通风设施	排风扇, 与控制系统联锁		
管线布置	<p>①电气管线均为镀锌焊管, 尽量接近防护墙表面敷设, 敷设深度不大于 20mm, 最大限度地减少垂直于墙面的管线的长度, 以减少射线泄漏;</p> <p>②尽量避免电气管线垂直于防护墙表面穿越防护墙, 如必须垂直于防护墙墙面穿越防护墙时, 电气管线必须做 S 弯或 U 形;</p> <p>③电缆均采用电缆沟敷设, 电缆沟位于辐照室地坪(即主机室顶棚)屏蔽墙内, “Z”形布置, 孔径 150mm, 电缆沟位置处敷设相当量铅板作为补偿(辐射防护作用), 铅板宽度须超出电缆沟底部每侧宽度 20mm;</p> <p>④排水管线采取 U 形穿越防护墙;</p> <p>⑤采用灰浆填塞孔洞。</p>			

本项目辐照中心的辐照室和主机室的平面布置图见附图 5-1 和附图 5-2。

### 10.1.2 材料进出口防护情况

聚乙烯材料进出均在辐照室完成, 通过束下传输系统实现机械化操作, 上下卷工人距离辐照室外墙最少约 15m。根据辐照室平面布置图及剖面图可知, 材料进出口在同侧墙体, 材料从辐照室机房南侧“V”形物料进出的穿片窗口进入辐照室的束下传输装置, 经过辐照后再由束下传输装置经原“V”形物料进出的穿片窗口送出辐照室, 可避免射线直接照射, 满足辐射防护的要求。

### 10.1.3 工作场所分区情况

#### 控制区与监督区划分情况

将主机室和辐照室及各自出入口以内的区域划为控制区, 将控制室、未被划入控制区的电子加速器辐照装置辅助设施区域包括电气室、水冷室、主机室及辐照室周边 1m 划为监督区, 并在控制区辐照室迷道出入口处、主机室防护门门口设置电离辐射警告标志、工作指示灯以及安全连锁保护装置、防人误入装置等, 以防止和避免人员误闯入或误照。分区图见附图 5-1 和

附图 5-2。

#### 10.1.4 拟建电子加速器辐照中心的安全联锁设施

拟建电子加速器辐照中心设计了较为完善的安全联锁装置，主要包括：

##### (1) 设备自身安全联锁

本项目拟使用的电子加速器设计了功能齐全、性能可靠的安全联锁保护装置，对控制区的出入口、主机室防护门、加速器的开停机和束下装置等进行有效联锁和监控。通过对加速器各个系统、设备部件各种信号参量实施监控，保证加速器设备能够正常运行工作。当安全联锁装置发生故障时，加速器停止运行。

##### (2) 辐照中心拟采取的安全设施

①钥匙控制。本项目在辐照室迷道入口处、主机室防护入口处以及控制室分别设置 1 个钥匙开关，钥匙开关与主机室门和辐照室门联锁。如拔下控制钥匙，加速器将自动停机。拟购置 1 台有效的便携式辐射监测报警仪与控制钥匙相连。在运行中控制钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用；

②门机联锁。本项目主机室的门与束流控制和加速器高压联锁，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。本项目电子加速器辐照装置的控制与束下装置设置安全联锁。束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时，加速器将自动停机；

④信号警示装置。本项目拟在每个辐照室迷道出入口及主机室门口设置行程开关及警铃、警灯，用于开机前对辐照室主机室内人员的警示；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。在辐照室和主机室内部设置急停按钮各 4 个，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。本项目拟分别在辐照室迷道出入口和主机室防护门人员出入口通道内设置 3 组防人误入的光电安全联锁装置，并与加速器的开、停机联锁。加速器开机远红外控制开关即启动，当检测到生命体进入机房后，加速器立即停机；

⑦急停装置。本项目拟在控制台上和主机室（4 个）、辐照室（4 个）内设置紧急开关，使之能在紧急状态下终止加速器的运行。所有开关可确保在紧急情况下人员处于不同位置时采取束流急停措施的有效性。主机室内拟设置紧急开门开关，以便人员离开控制区。辐照室设置拉线开关并于加速器联锁，拉下拉线开关，加速器立即停机；

⑧剂量联锁。本项目拟在各辐照室迷道入口处均设置固定式辐射监测仪器，实时监测重点

区域的剂量水平，保障工作环境及工作人员的安全，在监测区域的剂量水平接近设定值时，自动报警。固定式辐射监测仪与辐照室的出入口门等联锁。当监测点剂量高于仪器设置的阈值时，会将信号传送到控制系统，发出声光警告，同时加速器会降束降压，起到安全防护的效果；

⑨通风连锁。本项目拟在辐照室设置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。本项目拟在辐照室设置烟雾报警装置，遇有火险时，加速器将立即停机并停止通风。

⑪安全警示及监测装置：

a) 每间加速器辐照室上方拟设置工作状态指示灯，在辐照室和主机室防护门外表面以及墙体上均设置电离辐射警告标志和中文警示说明，并在防护门开合门缝处粘贴注意防止夹伤的提示语；

b) 每间加速器辐照室物料进出口处、防护门上方及主机室防护门上方分别设置区域环境辐射监测仪，通过控制室内显示屏可以实时读取该处的空气吸收剂量率数据，以监测加速器工作期间是否有射线泄漏，当任监测点剂量超过  $2.5\mu\text{Sv/h}$  时，会将信号传送到控制系统，发出声光报警，同时加速器会降束降压，起到安全防护的效果；

d) 公司在辐照中心周围设置警戒线作为监督区边界，设置中文警示说明，主机室和辐照室迷道入口外 1m 处划黄色警戒线，告诫无关人员不得靠近，防止车间其他非辐射操作人员靠近加速器；

本项目还拟设置摄像头监控系统：辐照室内各设置 1 个摄像头，可以视频监控并存储束下传输线货物运行和辐照加工状况以及辐照中心内区域的工作状况，使加速器操控人员能够实时掌握各区域的实际情况，正确操控设备。

综上所述，本项目辐照中心拟设置的钥匙控制、门机联锁、束下装置联锁、信号警示装置、巡检按钮、防人误入装置（三道红外控制开关）、急停装置、剂量联锁、通风联锁、烟雾报警、摄像头监控系统等安全连锁装置以及安全设施均符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中的相关要求，设计可行。

### 10.1.5 其他辐射防护措施

(1) 辐射监测设备及防护用品

本项目拟配备 3 台个人剂量报警仪、9 台固定式 X- $\gamma$  区域剂量监测仪及 1 台便携式辐射监测报警仪。

## (2) 局部贯穿辐射防护

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

①施工过程中不允许有直通缝隙；

②加速器的通风管道、水管、电缆管道、辐照材料的传输管道等可能穿越屏蔽墙，所以加速器屏蔽设计时必须考虑这部分的剂量贡献。因此，这些管道设计的取向应尽可能避开束流方向或辐射发射率峰值的方向。为了防止辐射经管道的泄露，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；

④一层防护门和屏蔽墙之间应有足够的搭接，以减少散射辐射的泄露。通常在防护门的两侧和顶部，搭接宽度至少为缝隙的 10 倍，防护门底部应有凹槽或挡板用以减少散射辐射。

## 10.2 三废的治理

本项目电子加速器拟配套循环冷却水系统，循环冷却水不外排，无放射性废水产生。

本项目电子加速器运行过程中无放射性固体废物产生。

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

本项目每个辐照室内设置的排气设施排风量均不小于 15000m<sup>3</sup>/h，排风管道为管径 800mm，壁厚为 1.2mm 不锈钢管。排风管道采用“U”形穿越屏蔽墙后再采用“L”形管道，排放口设置在辐照室北墙外高于屋顶 1m 排放。辐照进行时，开启排风机，辐照结束后风机继续工作至少 10 分钟后人员方可进入辐照室。本项目辐照室通风管道布设情况平面图和剖面图分别见图 10-1 和图 10-2。

综上，在落实以上辐射安全措施后，本项目的三废处理措施能够满足辐射安全要求。

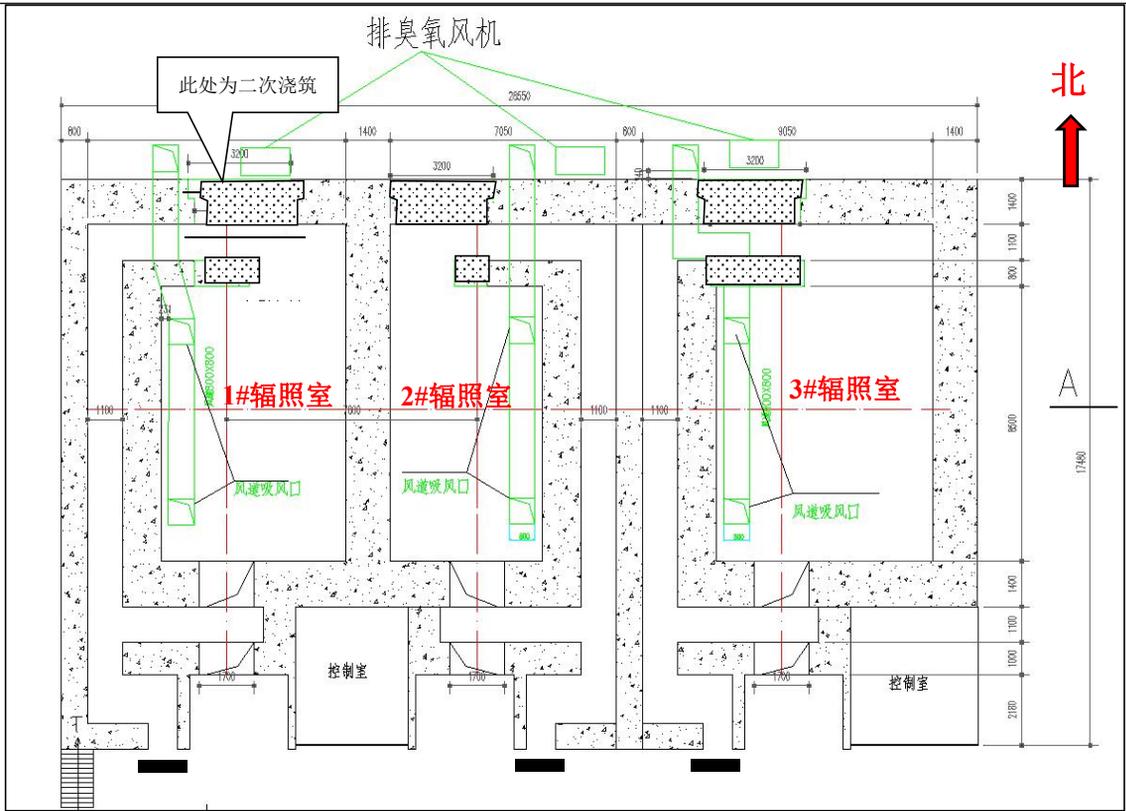


图 10-1 本项目辐照中心辐照室排风管道布设平面示意图

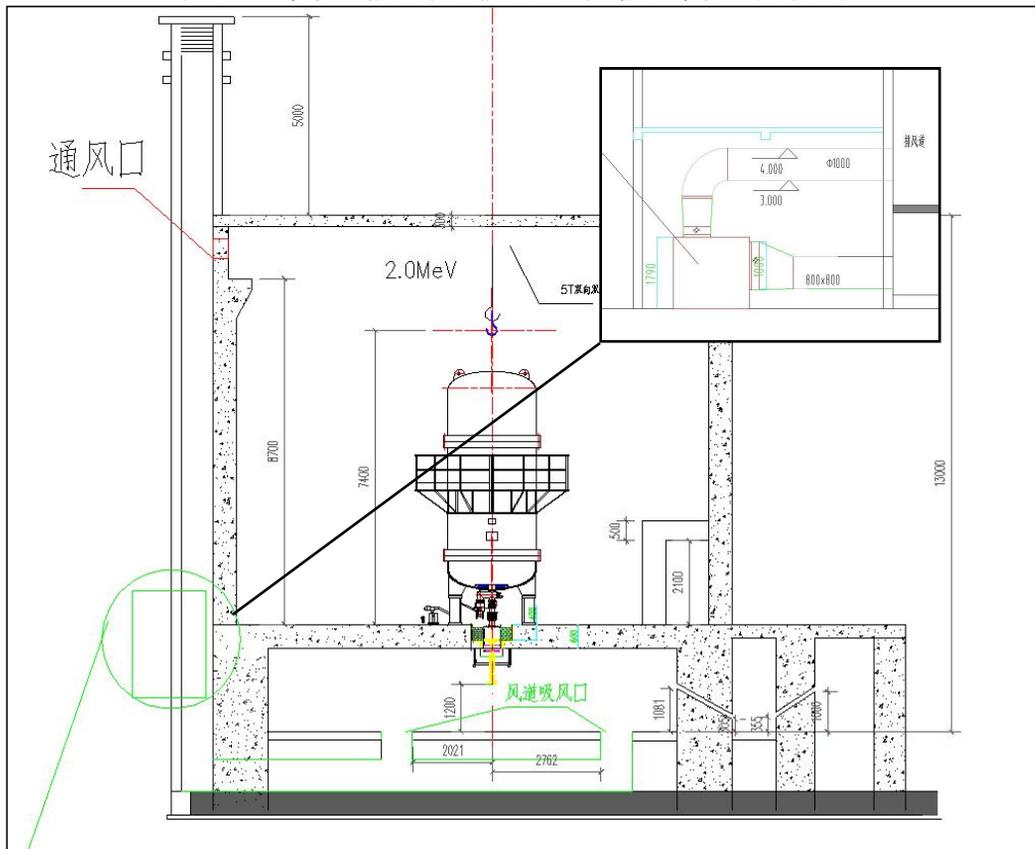


图 10-2 本项目辐照中心辐照室排风管道布设剖面示意图

## 表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段对环境的影响

本项目辐照中心建设工程已开展了施工期及运营期产生的非放射性部分的“三废”排放及处理措施的环境影响评价，并已在当地生态环境部门备案登记（编号：盐环建登备[2018] 7号）。因此，本评价不再对辐照中心施工期的环境影响分析进行赘述，仅对运营期 3 台电子加速器运行造成的辐射环境影响进行分析评价。

本项目拟配置的电子直线加速器属于射线装置，其只有在通电的状态下才会对环境产生影响。电子加速器在建设安装过程中均未通电，不会对周围环境造成电离辐射影响，也无放射性废气、废水及固体废物产生。在电子加速器调试过程中，其污染因子与运行期污染因子相同，对周围环境将产生辐射影响，因此要求建设单位在落实好各项污染防治措施后方可进行调试，且调试阶段污染防治措施的要求必须与运行期相同。

### 11.2 运行阶段对环境的影响

为分析预测电子加速器投入运行后所引起的辐射环境影响，本项目选用《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录A中推荐的预测模式进行理论计算。根据业主提供的资料，本项目3台电子加速器分别于相应的加速器机房内独立运行，互不干扰，存在同时运行的可能。由于拟建3座加速器机房位置相对对称，但是每间机房的宽度稍有不同，且采用相同的辐射屏蔽设计方案，并拟安装同厂家同型号的电子加速器，因此本次评价直射X射线屏蔽计算分析部分各个关注点单独计算，散射辐射屏蔽计算分析及臭氧影响分析部分选用机房宽度最小的2#加速器机房作为代表且以加速器的最高能量和最大束流强度作为计算依据。

#### 11.2.1 辐照中心屏蔽体直射X射线的屏蔽计算

##### （1）辐照室X射线发射率

本项目加速器运行时束流方向朝下，因此 $0^\circ$ 是地面（无地下室），不需要防护，辐照室四周的墙壁厚度取决于 $90^\circ$ 方向的X射线。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录A表A.1，靶材料为不锈钢，考虑2倍安全系数，保守计算考虑修正因子取1，2MeV入射电子在距靶1m处侧向 $90^\circ$ 的X射线发射率常数为 $1.6\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ，根据公式11-2计算，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见表11-1。

表11-1 本项目辐照室距离X射线辐射源1m处的标准参考点的吸收剂量率

电子能量 (MeV)	侧向90° X射线发射率常数 (Gy·m <sup>2</sup> ·mA <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	束流 (mA)	D <sub>10</sub> (90°) (Gy/h)
2.0	1.6	50	4800

(2) 透射比B<sub>x</sub>的计算

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录A,透射比B<sub>x</sub>可由公式(11-1)计算得到。

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

式中: B<sub>x</sub>——X射线的屏蔽透射比;

H<sub>M</sub>——透射参考点处剂量当量率 (μSv/h);

d——X射线源与参考点(计算点间)的距离 (m);

T——居留因子,全居留取1,部分居留取1/4,偶然居留取1/16;

常数(1×10<sup>-6</sup>)为单位转换系数,1 μSv/h=1×10<sup>-6</sup> Sv/h(1 Gy相当于1 Sv);

D<sub>10</sub>——距X射线源1m处的标准参考点的吸收剂量率 (Gy/h);

$$D_{10} = 60 \cdot Q \cdot I \cdot f_e \dots\dots (11-2)$$

式中: Q——X射线的发射率, Gy·m<sup>2</sup>·mA<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>;

I——电子束流强, mA;

f<sub>e</sub>——X射线的发射率修正系数;

q——参考点所在区域的居留因子。

(3) 屏蔽墙体的厚度计算

本次评价屏蔽厚度采用十分之一值层法。

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

$$S = T_1 + (n-1) T_e \dots\dots (11-4)$$

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, cm;

n ——十分之一值层的个数;

其中:n和T值见表A.2、A.3,即辐射室等效能量为1.6MeV,则T<sub>1</sub>为20.8cm,T<sub>e</sub>为18.8cm;散射X射线能量0.5MeV,T<sub>1</sub>为15.2cm,T<sub>e</sub>为11.9cm。

参数选择：根据公司提供资料，本项目辐照中心年工作 250 天，16 小时/天，每台电子加速器的最大年工作时间为 4000h。拟配置控制室辐射工作人员为 12 名，每台设备 4 人，2 班/天；拟配备作业区上下卷工人共 18 名，每台设备 6 人，2 班/天。

本项目所有辐射工作人员每天工作时间为 8h，年最大工作时间为 2000h，年有效剂量为 5mSv；因项目辐照中心屏蔽体周边可达公众均为厂区内的其他工作人员，工作时间为 2000h（实行两班倒，每班 8h，250 天/年），年有效剂量为 0.1mSv；工作人员与公众人员的剂量当量率的控制水平分别为 2.5 $\mu$ Sv/h 和 0.05 $\mu$ Sv/h。

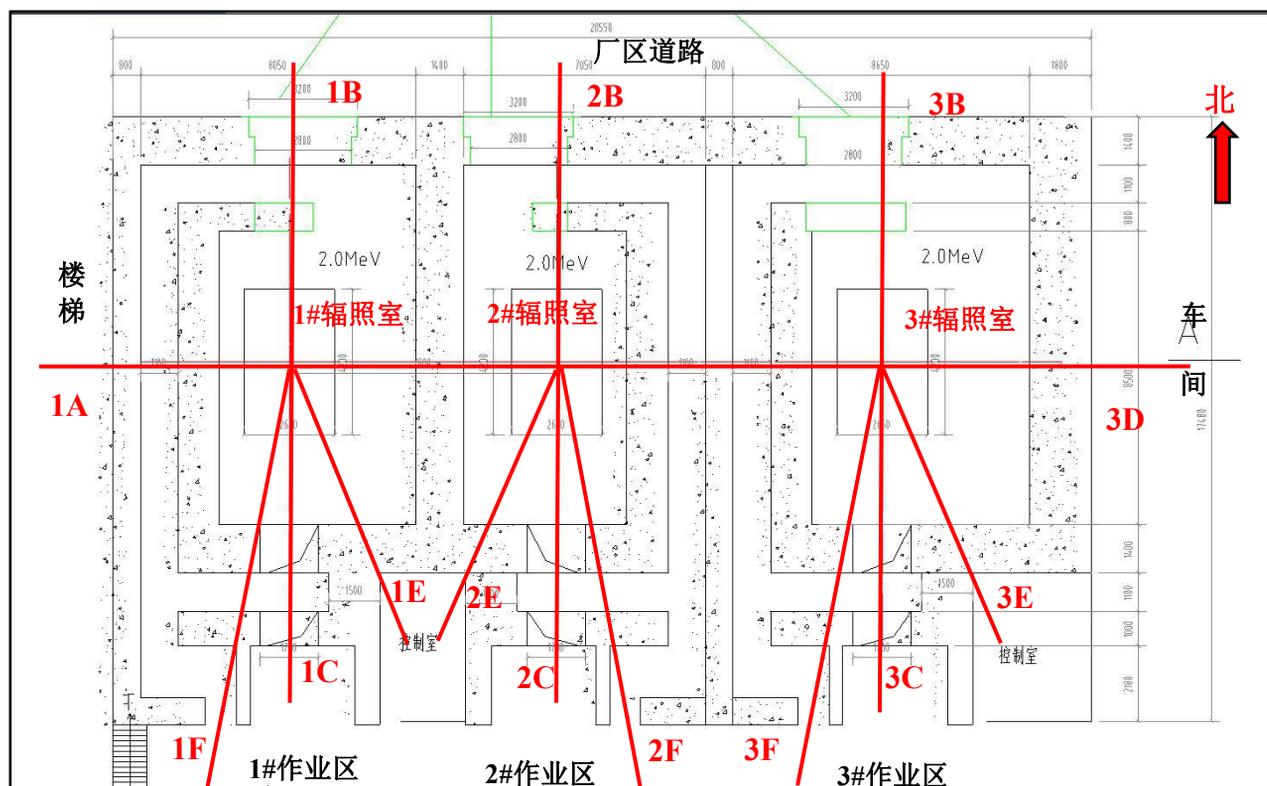


图11-1 电子加速器辐照室直射辐射计算点（平面图）

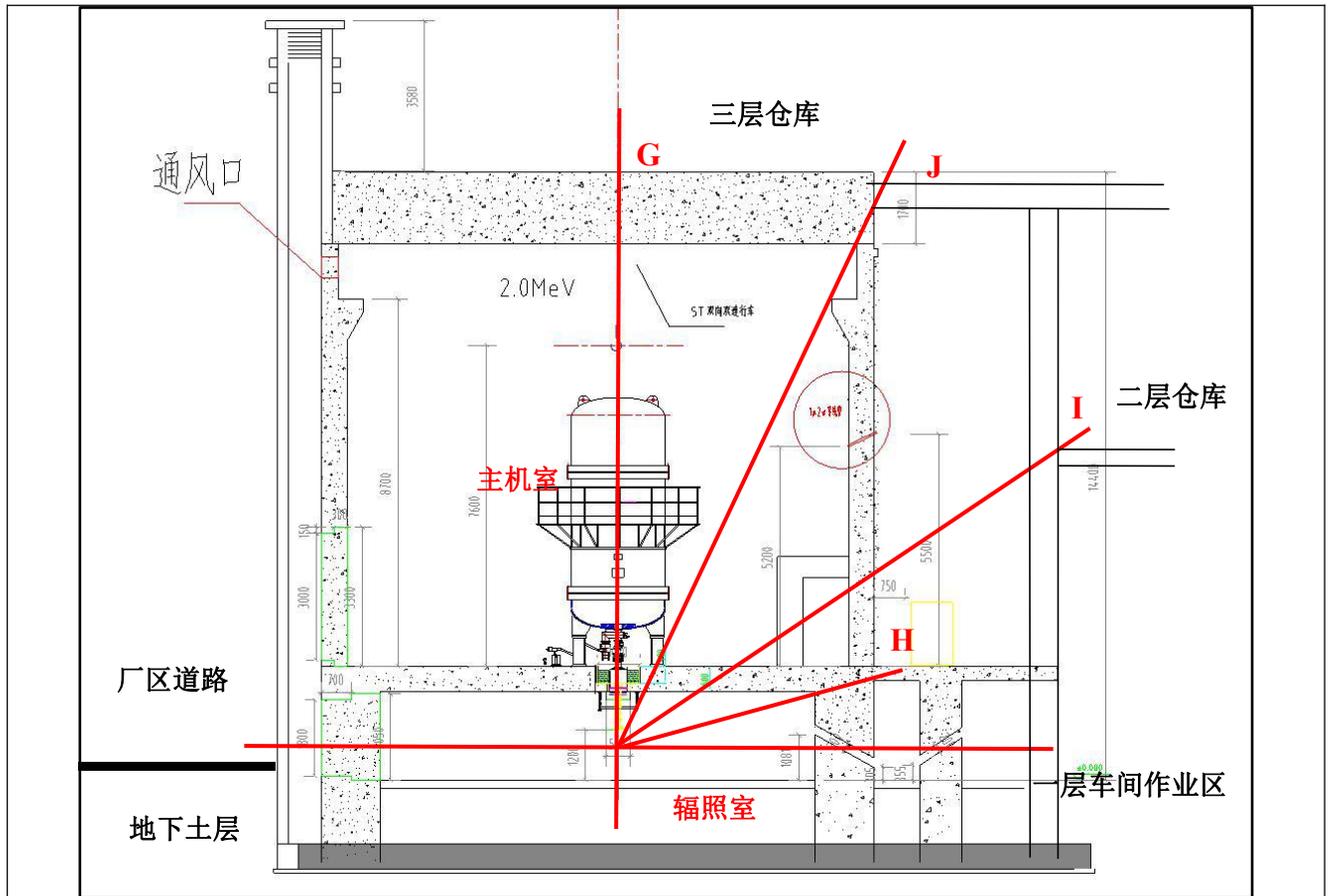


图 11-2 电子加速器辐照室直射辐射计算点（剖面图）

带入相关参数计算得：

表11-2 本项目三个辐照室直射辐射屏蔽墙厚度及参考点剂量率计算结果

参考点	墙体	居留因子 T 位置	$H_M$	距离 m	$D_{10}$	$T_1/T_e$ cm	混凝土墙厚 cm		设计屏蔽 体屏蔽后 剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	
							理论 值	设计 值		
1# 加速 器 机 房	1A	西墙	1/4 公众, 楼梯	0.05	5.45	4800	20.8/18.8	169	200	0.0012
	1B	北墙	1/4 公众, 厂区道路	0.05	7.4	4800	20.8/18.8	165	220	5.5E-5
	1C	南外墙	1 职业 物料进出口	2.5	8.5	4800	20.8/18.8	142	213	1.31E-4
	1E	南内墙	1 职业 控制室	2.5	6.95	4800	20.8/18.8	145	152	1.04
	1F	防护门	1 职业 迷道出入口	2.5	11.1	4800	20.8/18.8	138	245	1.32E-12
	1G	主机室顶棚	1 公众, 车间	0.05	14.7	4800	20.8/18.8	165	230	1.39E-5
	1J	主机室顶棚	1 公众, 车间	0.05	16	4800	20.8/18.8	164	172	0.017
	1I	二层车间	1 公众, 车间	0.05	14.2	4800	20.8/18.8	166	172	0.022
	1H	辐照室顶棚	1/4 职业 设备间	2.5	6.97	4800	20.8/18.8	133	152	0.259
2# 加	2B	北墙	1/4 公众, 厂区道路	0.05	7.4	4800	20.8/18.8	165	220	5.5E-5
	2C	南外墙	1 职业 物料进出口	2.5	8.5	4800	20.8/18.8	142	213	1.31E-4

加速器机房	2E	南内墙	1 职业 控制室	2.5	6.95	4800	20.8/18.8	145	152	1.04
	2F	防护门	1 职业 迷道出入口	2.5	11.1	4800	20.8/18.8	138	245	1.32E-12
	2G	主机室顶棚	1 公众, 车间	0.05	14.7	4800	20.8/18.8	165	230	1.39E-5
	2J	主机室顶棚	1 公众, 车间	0.05	16	4800	20.8/18.8	164	172	0.017
	2I	二层车间	1 公众, 车间	0.05	14.2	4800	20.8/18.8	166	172	0.022
	2H	辐照室顶棚	1/4 职业 设备间	2.5	6.97	4800	20.8/18.8	133	152	0.259
3# 加速器机房	3B	北墙	1/4 公众, 厂区道路	0.05	7.4	4800	20.8/18.8	165	220	5.5E-5
	3C	南外墙	1 职业 物料进出口	2.5	8.5	4800	20.8/18.8	142	213	1.31E-4
	3D	东墙	1 公众, 车间	0.05	6.4	4800	20.8/18.8	178	180	0.04
	3E	南内墙	1 职业 控制室	2.5	6.95	4800	20.8/18.8	145	151	1.04
	3F	防护门	1 职业 迷道出入口	2.5	11.8	4800	20.8/18.8	137	223	1.21E-12
	3G	主机室顶棚	1 公众, 车间	0.05	14.7	4800	20.8/18.8	165	230	1.39E-5
	3J	主机室顶棚	1 公众, 车间	0.05	16	4800	20.8/18.8	164	172	0.017
	3I	二层车间	1 公众, 车间	0.05	14.2	4800	20.8/18.8	166	172	0.022
	3H	辐照室顶棚	1/4 职业 设备间	2.5	6.97	4800	20.8/18.8	133	152	0.259

本项目三台设备同时运行时, 根据图 11-1 所示, 辐照中心东侧, 1#和 2#辐照室共用的控制室所受叠加辐射剂量率最大, 因此选取代表性的 1E、2E 及 3D 这三个关注点计算叠加后辐射剂量率, 结果见表 11-3:

表 11-3 本项目三台设备同时运行辐射屏蔽典型参关注点剂量率叠加后计算结果

参考点	1#设备剂量率贡献值 $\mu\text{Sv/h}$	2#设备剂量率贡献值 $\mu\text{Sv/h}$	3#设备剂量率贡献值 $\mu\text{Sv/h}$	叠加后剂量率 $\mu\text{Sv/h}$
1E	1.04	0.27	/	1.31
2E	0.27	1.04	/	1.31
3D	/	3.88E-19	0.04	0.04

通过上述公式计算可得, 本项目三台加速器正常运行且职业工作人员和公众成员的剂量当量率的控制水平分别为  $2.5\mu\text{Sv/h}$  和  $0.05\mu\text{Sv/h}$  的要求下, 直线加速器辐照室、主机室各侧墙体的理论屏蔽厚度均小于设计厚度, 本项目加速器辐照室和主机室各侧墙体屏蔽设计均符合辐射防护要求。

### 11.2.2 辐照中心散射辐射的屏蔽计算

本项目三台加速器机房采用相同的屏蔽设计, 2#加速器机房宽度最小, 保守以中间 2#辐照室为例计算分析如下:

(1) 辐照室迷道出入口、辐照室排气口及物料进出口  $C_{\text{上}}$  剂量率计算

根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189指出：“迷道的屏蔽计算是比较复杂的。一种简便的安全的估算方法，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”。

本项目辐照中心的三间辐照室的迷道均采用 [ 型设计，详见图 11-3。辐照室排气管管道为不锈钢管，排气管采用“U”形穿越屏蔽墙后再采用“L”形管道。废气排放口设置在加速器机房北墙外高于屋顶 4m，布置详见图 11-3 和图 11-5。物料进出通过与屏蔽墙体成 U 型角度的穿片窗口，详见图 11-4。经过分析，辐照室一层迷道出入口 F 处、辐照室排气口 L 处和物料进出口 C<sub>上</sub>处散射路径分别见图 11-3 中红色线条、图 11-3 和图 11-5 中蓝色线条和图 11-4 紫色线条，由图可知辐照室内 X 射线至少经过三次散射方能到达迷道出入口、辐照室排气口和物料进出口。因此，可推断本项目辐照加速器机房迷道出入口、辐照室排气口和物料进出口能够满足辐射防护的要求。

## （2）物料进出口 C<sub>下</sub>处及主机室入口的的剂量率计算

本项目主机室布置情况见图 11-6，主机室防护门入口散射主要为漏束 X 射线的一次散射，根据业主提供资料，能量约 0.6MeV。

本项目物料进出口 C<sub>下</sub>处布置情况见图 11-4。

根据公式 11-5 计算 X 射线通过反射到辐照室迷道出口处 F 点、作业区 C<sub>下</sub>处、主机室入口 K 点以及辐照室排烟口 L 点的剂量：

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

式中：

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·m<sup>2</sup>·h<sup>-1</sup>）；

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> ——随后从屏蔽层材料表面散射出来的对应 0.5MeV（的）能量 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 射线辐射源到第一反射层的距离，m；

d<sub>r1</sub>, d<sub>r2</sub>…d<sub>ij</sub>——沿着迷道长轴的中心线距离，m；d<sub>ij</sub> / A<sub>2</sub><sup>1/2</sup> 的比值应在 1-6 之间；

j ——指第 j 个散射过程。

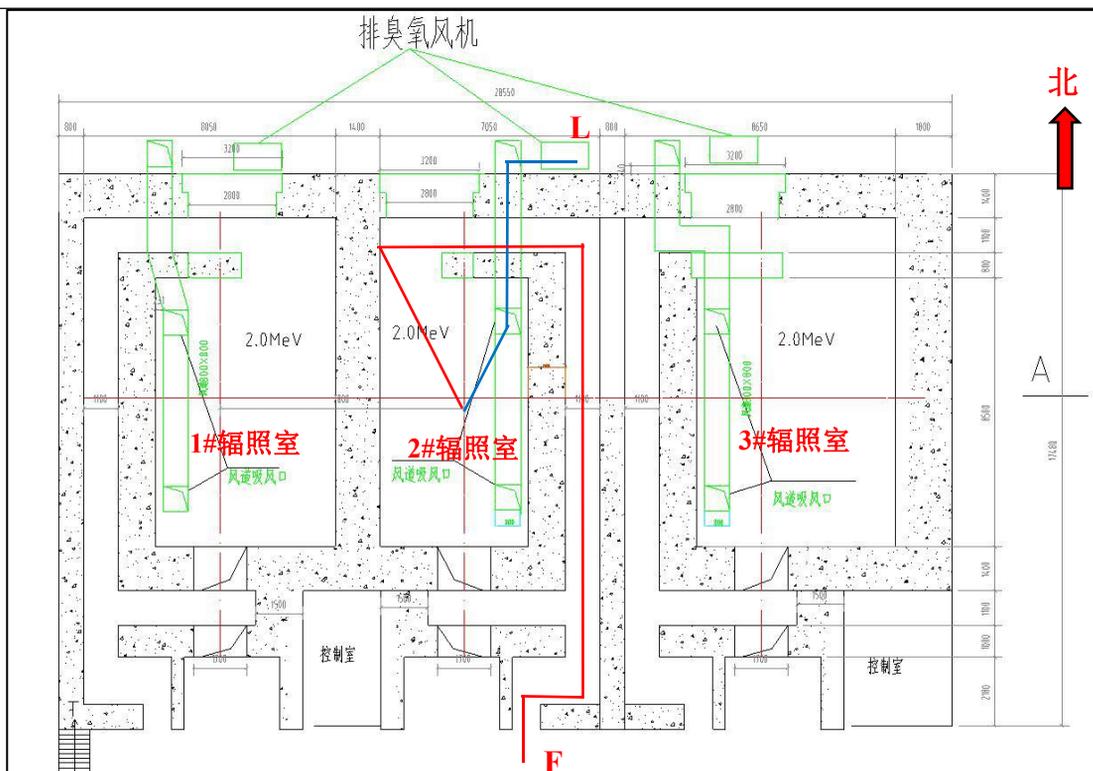


图 11-3 电子加速器辐照室散射辐射计算点（平面图）

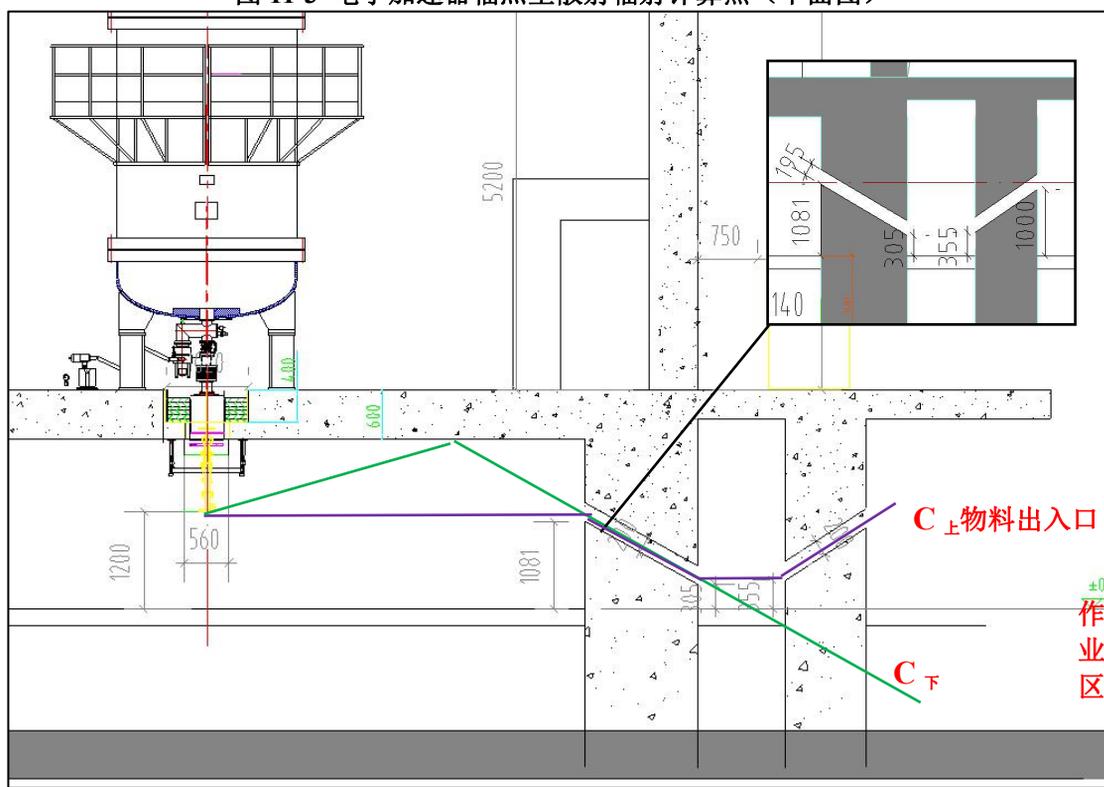


图 11-4 电子加速器辐照室散射辐射计算点（剖面图）

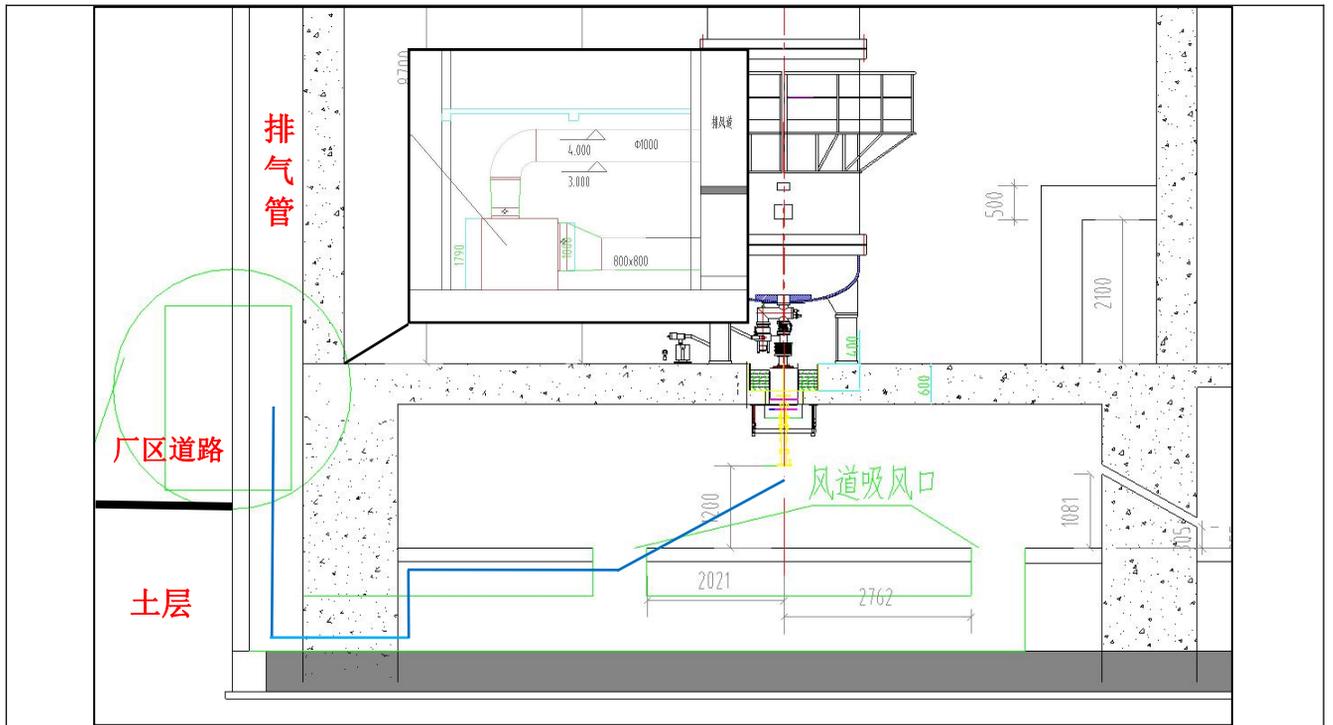


图 11-5 电子加速器辐照室散射辐射计算点（排气管）

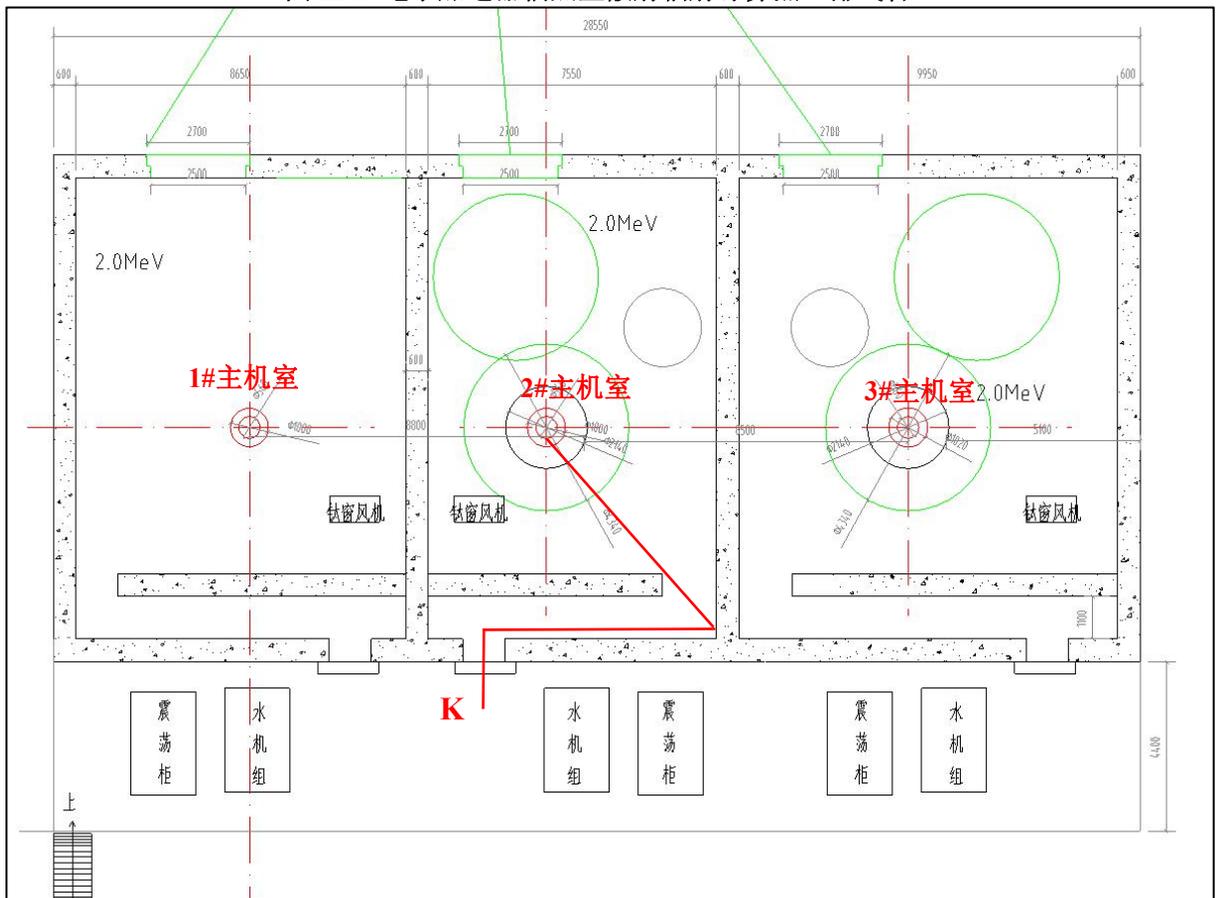


图 11-6 电子加速器主机室散射辐射计算点（平面图）

带入相关公式计算得：

**表11-4 本项目辐照室及主机室散射辐射屏蔽墙厚度及参考点剂量率计算结果**

参考点	所处位置	散射次数 j	D <sub>10</sub>	A <sub>1</sub>	α <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	α <sub>2</sub>	散射路径drj (d <sub>r1</sub> ,d <sub>r2</sub> ,d <sub>r3</sub> )	辐射剂量率 μSv/h
C <sub>下</sub>	辐照室作业区	1	4800	3.86	0.005	2.41	/	/	2.86	1.95×10 <sup>6</sup>
K	主机室入口	2	2.04	14.2	0.005	4.45	11	0.02	6.02, 1.17	32.44

屏蔽后的剂量率H，见表11-5：

**表 11-5 屏蔽后辐照剂量率计算结果**

参考点	所处位置	H <sub>g</sub> (μSv/h)	屏蔽厚度 (cm)	T <sub>1</sub> /T <sub>e</sub> (cm)	投射因子 B	屏蔽后剂量率 H (μSv/h)
C <sub>下</sub>	辐照室作业区	1.95×10 <sup>6</sup>	混凝土：100	15.2/11.9	7.42×10 <sup>-9</sup>	0.871
K	主机室入口	32.44	铁门：20	3.8/3.3	1.23×10 <sup>-6</sup>	0.013

由表 11-1 至表 11-5 统计可知，本项目辐照室和主机室各侧屏蔽墙体及防护门外关注点的剂量率情况如下：

**表 11-6 本项目辐照室和主机室各侧屏蔽墙体和防护门外典型关注点的剂量率情况统计表**

关注点位置		设计屏蔽体屏蔽后剂量率 (μSv/h)
一层辐照室	1A: 1#辐照室西墙外 30cm (楼梯)	0.0012
	B: 辐照室北墙外 30cm (厂区道路)	5.5E-5
	C: 辐照室物料进出口处	1.31E-4+0.871≈0.871
	3D: 3#辐照室东墙外 30cm (仓库)	3.88E-19+0.04≈0.04
	1E、2E: 1#机房和 2#机房合用控制室	0.27+1.04=1.31
	3E: 3#机房控制室	1.04
	F: 辐照室迷道出入口	1.32E-12
主机室	H: 辐照室顶棚 30cm (设备间平台)	0.259
	G: 主机室顶棚 30cm (仓库)	1.39E-5
	I: 车间二层 (仓库)	0.022
	J: 车间三层 (仓库)	0.017
	K: 主机室防护门 30cm (设备间平台)	0.013

由表 11-6 统计结果可知，本项目三间辐照室迷道出入口处的辐照剂量率最大为 1.32E-12μSv/h；辐照室四周屏蔽墙体外 30cm 处的辐射剂量率最大为 0.04μSv/h；控制室辐射剂量率最大为 1.31μSv/h；辐照室物料进出口处约为 0.871μSv/h；辐照室顶棚 30cm 处（设备间平台）辐射剂量率约为 0.259μSv/h；主机室顶棚 30cm 处的辐射剂量率最大为 0.017μSv/h；主机室防护门外 30cm 处辐射剂量率为 0.013μSv/h；均满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区

域周围剂量当量率不能超过 2.5 $\mu$ Sv/h”的屏蔽设计要求。

### 11.2.3 工作人员及公众的个人剂量估算

个人年有效剂量当量计算公式如下：

$$H_{\gamma}=0.7\times D_{\gamma}\times T \dots\dots (11-6)$$

式中：

$H_{\gamma}$ ——辐射外照射人均年有效剂量当量，mSv；

$D_{\gamma}$ —— $\gamma$ 辐射剂量率， $\mu$ Sv/h；

T ——年工作时间 h；

0.7——剂量率与有效剂量之间的转换系数。

本项目辐照中心辐射工作人员和周边公众成员的最大年有效剂量见表 11-7。

表 11-7 本项目工作人员和公众最大年有效剂量估算表

对象		辐射剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	每年工作时间 (h)	最大年有效剂量率 (mSv/h)
职业	控制室操作人员 <sup>(1)</sup>	1.31	2000	0.917
	设备间工作人员	0.259	2000/4	0.091
	物料进出口处工人 <sup>(2)</sup>	0.871	2000/16	0.076
公众	1#辐照室西墙外楼梯间	0.0012	2000/4	0.0004
	辐照室北墙外道路公众	5.5E-5	2000/4	0.019
	3#辐照室东墙外车间其他工作人员	0.04	2000	0.056
	主机室顶棚处三层仓库工作人员	0.017	2000	0.024
	主机室南墙外二层仓库工作人员	0.022	2000	0.031

注：（1）保守以三台设备同时运行时，该控制室操作人员 2 人计算；  
（2）根据业主介绍，物料进出口位置一般开机无工作人员，只在加速器停机，需传送物料时才有工人过去，因此居留因子以 1/16 计。

表 11-7 估算表明，本项目电子加速器辐照装置正常运行状态下对职业人员年有效剂量最大值为 0.917mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，也显著低于约束限值 5mSv。对公众成员的附加最大年有效剂量值为 0.056mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，也显著低于约束限值 0.1mSv。

### 11.2.4 辐照室臭氧影响分析

因中间 2#辐照室容积最小，臭氧浓度最大，故以 2#辐照室为例计算分析如下：

电子加速器运行时的会产生一定量臭氧，本项目辐照室设计安装离心通风机，排风机的排

风量大于 15000m<sup>3</sup>/h。

(1) 臭氧产量

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录 B, 平行电子束所致臭氧(O<sub>3</sub>)的产量由下式计算:

$$P = 45dIG \dots\dots (11-7)$$

式中:

P——臭氧(O<sub>3</sub>)产额, mg/h;

I——电子束流强度(mA);

d——电子在空气中的行程(cm), 本项目取 100;

G——空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧(O<sub>3</sub>)分子数; 本项目取 10。

带入相关参数计算得: P=2250000mg/h=37500mg/min;

(2) 辐照室臭氧(O<sub>3</sub>)的平衡浓度

假设臭氧在辐照室内均匀分布, 辐照室内的臭氧平衡浓度随辐照时间 t (min) 的变化计算公式如下:

$$C(t) = \frac{P \times T_e}{V} \left[ 1 - e^{-\frac{t}{T_e}} \right] \dots\dots (11-8)$$

式中:

C(t)——辐照室内臭氧的浓度, mg/m<sup>3</sup>;

V ——辐照室内体积, m<sup>3</sup>; 本项目直线加速器辐照室体积为 242.57m<sup>3</sup>;

t ——开机运行时间, min;

T<sub>e</sub> ——有效清除时间, min;

$$T_e = \frac{T_v \times T_d}{T_v + T_d} \dots\dots (11-9)$$

式中: T<sub>v</sub>——换气一次需要的时间, min; 加速器机房排气系统排风能力为 15000m<sup>3</sup>/h, 即加速器辐照室换气一次需要的时间最长为 0.97min/次;

T<sub>d</sub>——臭氧的有效分解时间, 为 50min;

带入参数算得: T<sub>e</sub>=0.95min;

当机器运行很长时间后, 臭氧浓度达到饱和, 其平衡浓度计算公式如下:

$$C_s = \frac{P \times T_e}{V} (T_v \ll T_d) \quad \dots\dots (11-10)$$

将上述参数带入得：直线加速器出束时，不考虑排风机的排风能力，直线加速器停机后，机房内臭氧浓度为 146.86mg/m<sup>3</sup>，远大于 GBZ 2.1-2007 中有害气体（臭氧）职业接触限值 0.3mg/m<sup>3</sup>。因此，当加速器停止运行后，人员不能直接进入辐照室，风机必须继续运行。风机关机后继续运行时间 T 的计算公式为：

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

式中：

C<sub>0</sub>——臭氧的最高容许浓度，0.3mg/m<sup>3</sup>；

C<sub>s</sub>——为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间，h；

带入相关参数计算得：T=5.88min。

因此，本项目辐照室臭氧达到平衡浓度后，饱和浓度 146.86mg/m<sup>3</sup>，臭氧浓度未达到安全值前不允许有人进入辐照加工区，根据理论计算可知，辐照停止后需要继续排风约 6 分钟室内臭氧浓度可低于 0.3mg/m<sup>3</sup>。为安全起见，本项目制定了相关规定并拟设置通风联锁装置，电子加速器停机后必须继续排风 10 分钟后，工作人员方可进入辐照室。项目设置的排风口位于辐照室北墙，排风口高于辐照室建筑 4m，辐照室北面为过道，人员很少到达，故本项目臭氧对周边环境影响较小。

### 11.2.5 通风管道设计合理性分析

本项目每个辐照室内设置的排气扇排风量均不小于 15000m<sup>3</sup>/h，排风管道为管径 800mm，壁厚 1.2mm 的不锈钢管。排风管道采用“U”形穿越屏蔽墙后再采用“L”形管道，排放口设置在辐照室北墙外高于屋顶 4m 排放。辐照进行时，开启排风机，辐照结束后风机继续工作至少 10 分钟后人员方可进入辐照室。每个主机室北墙靠近顶部拟设置排风扇，排风扇直接连通由辐照室引上的排风管道。辐照室和主机室的通风系统均与控制系统联锁，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。

由图 11-3 和图 11-5 可知，本项目 X 射线经过至少三次散射到达排风口外，根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189“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”。由此可推断本项目排风口处的辐射剂量率能够满屏蔽防护要求。

综上，本项目电子加速器机房的通风管道屏蔽设计基本合理，满足辐射防护要求。

### 11.2.6 电缆管道设计合理性分析

本项目加速器电缆管道设计均避开主射线方向，电缆管均拟采用曲线弯预埋设置（详见附图 6-5），射线均需经至少 3 次散射后方能从管口泄漏，所有电缆管道口及水管道口处均做补偿措施，电缆管出口处辐射剂量将在控制范围内，能够满足辐射防护的要求。

### 11.3 事故影响分析

加速器辐照装置的常见事故类型有以下几种：

- ①人员误入；
- ②着火；
- ③冷却水泄漏；
- ④地震。

事故分析及对策：

#### ①人员误入

1) 在辐照期间，安全联锁装置或防人误入装置失效的情况下，人员误入辐照室，可能造成重大辐射事故；

2) 在检修期间，检修人员进入辐照室时未按规定程序，且公司辐照室内设置的一系列安全装置（如门机联锁装置、警铃及警示灯、监视器、辐照室内的紧急开关）全部失效的情况下，控制室的人员进行开机，可能造成重大辐射事故。

拟采取的防止人员误照措施为：

1) 建立正常运行条件下，开门、关门、开机和关机的安全联锁控制系统，避免人为因素导致的误操作；

2) 设立故障及异常情况下的安全保障控制程序：

a 停电情况下，全部安全联锁系统失去作用，这时，加速器不能加高压，不能开机；

b 计算机控制程序故障，系统只能自动停机；

c 关闭主机室防护门和辐照室入口门前清查现场，禁止人员停留；

d 辐照室和加速器室内安装监控设施，时刻关注是否有人活动；

e 人员进入辐照室或加速器进行检修等活动时，佩戴个人剂量报警仪，一旦报警仪报警，应立即按下急停开关离开辐照室或加速器室。

#### ②着火

由于某种原因导致屏蔽区着火，安装在室内的烟雾探测器将发出信号，加速器停止供束，不产生辐射照射；

安全对策：

a 防止易燃、易爆物品进入辐照室；

b 禁止在装、卸物品现场吸烟。

### ③冷却水泄漏

加速器的冷却水可能发生泄漏。根据该加速器的特点，冷却水水中无感生放射性，故冷却水泄漏，不会对周边水体及环境产生辐射影响。

### ④地震

辐照室四周、地面和屋顶均为混凝土浇筑，结构十分稳定。且本项目所在区域地势平坦，地震活动微弱，区域稳定性较好，发生地震的可能性非常小。一旦发生地震，各个系统出现异常，加速器会自动断电，不会对环境造成辐射污染。

一旦发生辐射事故，操作人员应立即断电关闭加速器运行，并按照相关要求立即启动应急预案，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。辐射防护领导小组成员迅速到达事故现场，采取必要措施对受照人员进行紧急护理，配合卫生部门将其送往专业公司进行检查和救治。

辐射事故处理结束后，必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生原因，从中吸取经验教训，采取措施防止类似事故重复发生。将讨论意见和整改措施上报辐射安全管理小组。

## 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许可管理办法》（原环境保护部令第 47 号，2017 年 12 月 20 日修正）要求，使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证，应当具备下列条件：使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，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。

浙江巨润新材料科技有限公司拟成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。公司共计划配备 12 名控制室辐射工作人员，辐射工作人员须参加辐射安全与防护培训，考核合格后方可上岗。辐射培训证书到期人员还须及时参加四年一次的复训。

### 12.2 辐射安全管理规章制度

本项目为新建项目，浙江巨润新材料科技有限公司应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2019 年修改）》（生态环境部令第 7 号，2019 年 8 月 22 日修改）针对本项目制定一系列完善的辐射安全管理制度，包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、事故应急制度等，在实际工作中公司还应不断对其进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。本报告对各项管理制度制定要点提出如下建议：

1、加速器操作规程：明确辐射人员的资质条件要求，操作过程中应采取的具体防护措施和步骤，重点是工作前的安全检查工作，工作人员佩带个人剂量计，携带个人剂量报警仪或检测仪器，避免事故发生；

2、岗位职责：明确管理人员、操作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实；

3、辐射防护和安全保卫制度：根据企业的具体情况完善辐射防护和安全保卫制度，重点是对电子加速器的安全防护和维修要落实到个人；

4、设备维修制度：明确加速器和辐照室各项安全联锁装置、照射信号指示器在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全装置有效地运转。重点是辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器必须保持良好工作状态；

5、人员培训计划：制定人员培训计划，明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查；辐射工作人员应进行辐射安全培训并考

核合格后方能上岗，同时应定期进行职业健康体检及个人剂量监测；

6、监测方案：根据本报告表 12.4 监测方案内容制定监测方案，方案中应明确监测频次和监测项目，监测结果定期上报环境保护行政主管部门；

7、事故应急预案：根据本报告表 12.5 建立《辐射事故应急预案》，应急预案内容应包括：应急机构和职责分工、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、应急演练计划；辐射事故分级与应急响应措施、辐射事故调查、报告和处理程序等；

8、台账管理制度：根据本项目情况，制定加速器使用登记台账制度，并在日常工作中落实到位，对公司使用加速器的时间、值班人员等均需记录在台账上，做到有据可查；

9、自行检查和年度评估制度：

(1) 定期对加速器辐照室的安全装置和防护措施、设施的安全防护效果进行检查（包括每日检查，每月检查，半年检查等），核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患，必须立即进行整改，避免事故的发生。如每天进行门-机联锁安全装置、工作指示灯和电离辐射标志检查，每月核实规章制度执行情况，每季度进行个人剂量档案归档及检查，每两年进行身体健康档案归档及检查等；

(2) 应当编写电子加速器使用的安全和防护状况年度评估报告，其中年度评估报告需包括每年的常规检测报告，于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告，接受行政机关的监督检查。

### **12.3 健康管理与安全培训**

(1) 公司应为每个辐射工作人员配备个人剂量计，每三个月送有资质单位检测一次，并建立个人剂量档案。

(2) 辐射工作人员上岗前、离岗时以及每 1 至 2 年应进行一次放射职业体检，并建立职业健康监护档案。

(3) 公司所有辐射工作人员已参加有资质单位组织的辐射安全与防护培训，并取得培训合格证后方可上岗，并按要求每四年参加一次复训。

### **12.4 辐射监测**

1、个人剂量监测：从事辐射工作的人员在工作时应佩戴个人剂量计，定期（不超过 3 个月/次）送有资质部门进行个人剂量测量，并按每年 4 次的频率进行个人剂量统计，且按《职业性外照射个人监测规范》（GB2128-2002）和《放射工作人员职业健康管理辦法》（卫生部令第 55 号）要求建立个人剂量档案；

2、工作场所监测：公司拟配备 X- $\gamma$ 剂量率仪、个人剂量报警仪等仪器，在设备运行状态下，对工作场所进行监测，监测点位包括：屏蔽墙体四周外 30cm 处、防护门及缝隙处、工作人员操作位及楼上场所，并将监测数据记录存档。自检 1 次/月，外检 1 次/年。监测结果评价机房周围空气比释动能率应不大于 2.5 $\mu$ Sv/h，并应将监测结果记录存档；

3、环境监测：公司须定期（每年一次）请有资质的单位对辐照中心周围环境进行辐射环境监测，建立监测技术档案。监测资料每年年底向当地生态环境部门上报备案：

（1）监测频度：每年常规检测一次；

（2）监测范围：辐照室和主机室屏蔽墙外、防护门及缝隙处、工作人员操作位、楼上场所以及周围评价范围内等；

（3）监测项目：X- $\gamma$ 辐射剂量率；

（4）监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

## 12.5 辐射事故应急

公司必须建立《辐射事故应急预案》。本项目使用的射线装置属 II 类射线装置。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中第四十一条的规定，结合单位的实际情况和事故工况分析，该公司须建立的辐射事故应急预案应当包括下列内容：

（1）应急机构和职责分工(具体人员和联系电话)。

（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。

发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要的防范措施并在 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。

（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。

（7）应至少每年举行一次事故应急演练，演习报告存盘。

企业应急方案应建立辐射事故报告框图，明确人员及联系电话，以保证事故报告的可操作。

## 表 13 结论与建议

### 13.1 结论

#### 13.1.1 实践的正当性

浙江巨润新材料科技有限公司在其厂区内新建一座电子加速器（属于 II 类射线装置）辐照中心目的是为了开展对其生产产品聚乙烯的改性，其电子加速器运行所致辐射工作人员和周围公众成员的剂量符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中关于“管理限值”的要求。因而，只要按规范操作，该公司使用探伤机是符合辐射防护“正当实践”原则。因此，该项目使用电子加速器的目的是正当可行的。

#### 13.1.2 选址合理性分析

本项目位于浙江省海盐县经济开发区大桥新区海湾大道东侧，加速器机房屏蔽墙边界外 50m 评价范围内无学校居民住宅等环境敏感点，项目选址基本合理。

#### 13.1.3 辐射防护屏蔽能力

通过理论计算分析，本项目建成后，辐射工作人员的附加年有效剂量当量将低于年剂量约束值 5mSv，公众成员低于 0.1mSv，辐射防护屏蔽性能满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中相关规定要求（关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 2.5 $\mu$ Sv/h；项目管理目标中对辐射工作人员剂量约束值不大于 5mSv/a。项目管理目标中对公众成员剂量约束值不大于 0.1mSv/a）。

### 13.2 建议和承诺

- 1、公司承诺将根据报告表和环保主管部门的要求落实相应的污染防治措施和管理要求；
- 2、环评报批后并建成，公司需及时向生态环境主管部门换领辐射安全许可证；
- 3、建设项目竣工后，公司应当按照《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。

### 13.3 结论

综上所述，浙江巨润新材料科技有限公司电子加速器辐照项目，在落实本项目的辐射安全措施、辐射防护措施及辐射管理等措施后，该公司将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐

射安全防护措施，电子加速器的运行对周围环境产生的影响能符合辐射环境保护的要求。

故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

## 表 14 审批

下一级生态环境主管部门预审意见：

经办人

公 章  
年 月 日

审批意见：

经办人

公 章  
年 月 日