

核技术利用建设项目

浙江高鹰科技发展有限公司对医疗器  
械、药品、食品等进行辐照灭菌、改性  
项目

环境影响报告表

(报批稿)

浙江高鹰科技发展有限公司

2021年01月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

浙江高鹰科技发展有限公司对医疗器  
械、药品、食品等进行辐照灭菌、改性  
项目  
环境影响报告表

建设单位名称： 浙江高鹰科技发展有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）： \_\_\_\_\_

通讯地址： 浙江省湖州市德清县钟管镇工业园区龙山路 132 号

邮政编码： 313200 联系人： \_\_\_\_\_

电子邮箱： / 联系电话： \_\_\_\_\_

## 目录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	6
表 3 非密封性放射物质.....	6
表 4 射线装置.....	7
表 5 废弃物.....	8
表 6 评价依据.....	9
表 7 保护目标与评价标准.....	11
表 8 环境质量和辐射现状.....	18
表 9 项目工程分析与源项.....	21
表 10 辐射安全与防护.....	25
表 11 环境影响分析.....	34
表 12 辐射安全管理.....	48
表 13 结论与建议.....	54
表 14 审批.....	58

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称	浙江高鹰科技发展有限公司对医疗器械、药品、食品等进行辐照灭菌、改性项目				
建设单位	浙江高鹰科技发展有限公司				
法人代表		联系人		联系电话	
注册地址	浙江省湖州市德清县钟管镇工业园区龙山路 132 号				
项目建设地点	浙江省湖州市德清县阜溪街道秋丰路 176 号				
立项审批部门	——		批准文号	——	
建设项目总投资(万元)	3000	项目环保投资(万元)	1000	投资比例(环保投资/总投资)	33.3%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			建筑面积(m <sup>2</sup> )	3375
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					
<p><b>1.1 项目建设概况</b></p> <p>浙江高鹰科技发展有限公司成立于 2019 年 12 月 11 日，注册地址为浙江省湖州市德清县钟管镇工业园区龙山路 132 号，公司经营范围为辐照领域内消毒灭菌技术、机械科技、电子产品科技领域内的技术开发、技术咨询、技术服务等。</p> <p>现企业拟投资 3000 万元，租用浙江驿路厨房设备有限公司位于浙江省湖州市德清县阜溪街道秋丰路 176 号一楼南面厂房建设电子直线加速器辐照机房，成立一家辐照服务中心，为周边医疗器械、药品、保健品、食品、卫生材料、包装材料、化妆品、半导体、宠物食品等的消毒灭菌及材料改性企业做灭菌及改性配套服务。项目总租赁面积 3375 平方米。</p> <p><b>1.2 项目建设目的和任务由来</b></p> <p>公司拟在租用厂房西北角新建 1 座加速器机房，配置 1 台 10MeV 的工业电子加速器（型号 DZ-10/20），从事消毒灭菌及改性辐照配套服务等。</p> <p>根据原环境保护部、国家卫生计生委公告 2017 年第 66 号《关于发布射线装置分类的公告》，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</p>					

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”。本项目为使用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，浙江高鹰科技发展有限公司委托浙江问鼎环境工程有限公司对本项目进行辐射环境影响评价。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》（HJ10.1-2016）的相关要求，编制完成了本项目的辐射环境影响报告表，供建设单位上报审批。

### 1.3 项目建设内容及规模

浙江高鹰科技发展有限公司租用浙江驿路厨房设备有限公司位于浙江省湖州市德清县阜溪街道秋丰路176号一楼南面厂房（整体一层厂房），从事消毒灭菌及改性辐照配套服务，厂房租赁面积3375平方米。公司拟在西北角新建1座电加速器机房，设置1台10MeV的工业电子加速器（型号DZ-10/20）。电子加速器机房共2层，1层为辐照室，2层为主机室，机房周围配套设置设备房、控制室及其他功能用房。机房外部厂房区域配套设置有输送带上、下货区、办公场所、来料暂存、出货区等功能分区，详见表1-1。

表1-1 工程组成一览表

辐照装置名称	类别	型号	数量	主要技术参数	照射方向	用途	X射线发射率 Gy·m <sup>2</sup> /mA·min
电子加速器	Ⅱ类	DZ-10/20	1台	最大电子束能量：10MeV 束流强度：2mA	下	消毒灭菌、改性	450（0°） 13.5（90°）

## 1.4 评价目的

1、对该公司拟建电子加速器地址进行辐射环境本底水平检测，以掌握该拟建地的辐射环境背景水平；

2、通过理论计算方法，对拟建电子加速器作业时对周围辐射环境影响进行预测评价；

3、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”；

4、提出环境管理和环境监测计划，使该项目满足国家和地方生态环境部门对建设项目环境管理规定的要求，为项目运行期辐射环境保护管理提供科学依据。

## 1.5 项目选址和周边环境保护目标

### 1.5.1 企业地理位置

浙江高鹰科技发展有限公司位于浙江省湖州市德清县阜溪街道秋丰路 176 号。本项目位于厂区一层车间内。厂区周围环境状况如下：厂区东侧秋丰路，以东为长深高速；南侧为浙江驿路厨房设备有限公司厂房（距加速器机房约 33m）；西侧为千人计划办公房（距加速器机房约 20m）；北侧紧邻浙江中益建材科技有限公司厂房，以北为河道。项目地理位置见附图 1。项目周边环境概况图见 1-1。

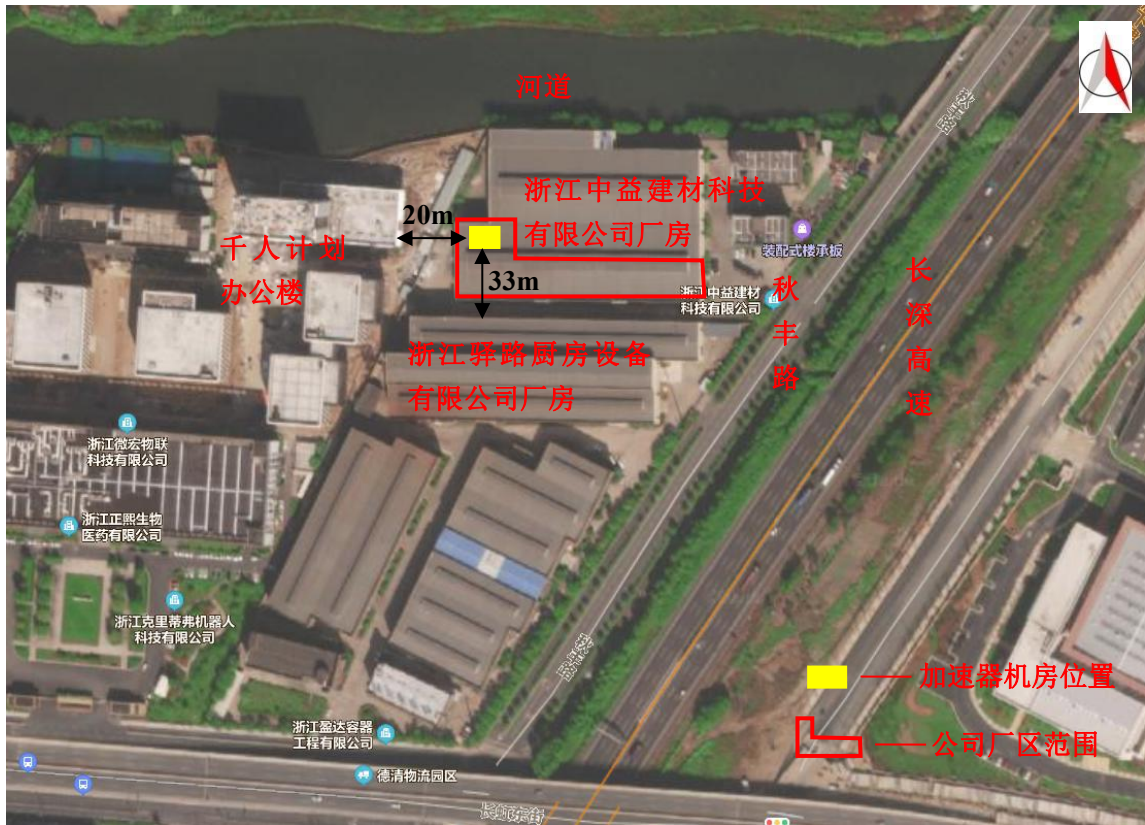


图 1-1 项目周围环境状况图

### 1.5.2 电子加速器机房位置

本项目加速器机房位于租赁车间的西北角，该车间所属建筑的结构为地上一层。机房占地面积约 362m<sup>2</sup>，加速器机房共二层，其中一层为辐照室，二层为主机室。

机房东侧为本厂区过道；南侧为输送带进出口及厂区过道；西侧隔厂区墙体为千人计划办公楼，北侧隔厂区墙体为浙江驿路厨房设备有限公司厂房及厂区内空地。加速器机房所在车间平面布局见附图 3。



车间内加速机房东侧实景图



车间内加速机房南侧实景图



西侧千人计划办公楼



北侧河流



**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 非密封性放射物质**

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》(GB18871-2002)

**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	1	DZ-10/20	电子	10	额定电流：2mA 剂量率： 54000Gy/h (0° ) 1620Gy/h (90° )	灭菌消毒 及改性	电子加速器机 房	—
	以下空白									

(二) X射线，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**

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口活度	暂存情况	最终去向
臭氧和氮氧化物	气体	—	—	少量	少量	少量	不暂存	排入大气，臭氧在常温常压下可自行分解为氧气
以下空白								

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》（修订本），2015 年 1 月 1 日实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（修订本），2018 年 12 月 29 日实施；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 修订），国务院令 第 709 号，2019 年 3 月 2 日；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日实施；</p> <p>(6) 《关于修改&lt;放射性同位素与射线装置安全许可管理办法&gt;的决定》（2019 年修订），中华人民共和国环境保护部令第 3 号，2017 年 12 月 20 日起实施；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国环境保护部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日起实施；</p> <p>(8) 《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 日起实施；</p> <p>(9) 《关于发布射线装置分类的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日实施；</p> <p>(10) 《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》国家环境保护总局，环发（2006）145 号，2006 年 9 月 26 日起实施；</p> <p>(11) 《浙江省辐射环境管理办法》，浙江省人民政府令第 289 号，2012 年 2 月 1 日起实施；</p> <p>(12) 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 9 月 23 日起实施。</p> <p>(13) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》，浙江省人民政府令第 364 号，2018 年 3 月 1 日起实施。</p>
------	--

<p style="text-align: center;">技 术 标 准</p>	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则总纲》（HJ2.1-2016）；</p> <p>(2) 《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）；</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）；</p> <p>(4) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(5) 《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）；</p> <p>(6) 《<math>\gamma</math>射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ141-2002）</p> <p>(7) 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T25306-2010）；</p> <p>(8) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）；</p> <p>(9) 《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）；</p> <p>(10) 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及其2018年修改单。</p>
<p style="text-align: center;">其 他</p>	<p>(1) 项目委托书，见附件1；</p> <p>(2) 其他技术资料。</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》（HJ10.1-2016）中“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”等相关规定，确定本项目评价范围为辐照室边界外 50m 范围内区域，评价范围图见附图 2。评价范围内主要为本项目厂房、西侧千人计划办公房、南侧浙江驿路厨房设备有限公司及北侧浙江中益建材科技有限公司、厂区道路等。

**7.2 保护目标**

本项目主要考虑电子加速器工作时产生的 X 射线可能对周围环境产生的辐射影响。经现场踏勘，保护目标主要为本项目放射工作人员和厂区其他工作人员及加速器机房周边 50m 范围内的公众。详细情况见表 7-1。

**表 7-1 项目环评范围内主要关注对象一览表**

场所位置	保护对象		人数	与辐照室相对方位	与辐照室相对距离	年剂量约束值
本公司厂区	职业人员	辐射工作人员	6 人	四周	相邻	5mSv
	公众成员	其他非辐射工作人员	—	四周	0~50m	0.1mSv
浙江驿路厨房设备有限公司	公众成员	普通公众	—	南侧	0~50m	0.1mSv
浙江中益建材科技有限公司	公众成员	普通公众	—	北侧	0~50m	0.1mSv
千人计划办公楼	公众成员	普通公众	—	西侧	0~50m	0.1mSv
其他公众	公众成员	普通公众	—	四周	0~50m	0.1mSv

**7.3 评价标准**

**1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）**

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

**(1) 防护与安全的最优化**

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）。

4.3.3.2 防护与安全最优化的过程，可以从直观的定性分析一直到使用辅助决策技术的定量分析，但均应以某种适当的方法将一切有关因素加以考虑，以实现下列目标：

a) 相对于主导情况确定出最优化的防护与安全措施，确定这些措施时应考虑可供利用的防护与安全选择以及照射的性质、大小和可能性；

b) 根据最优化的结果制定相应的准则，据以采取预防事故和减轻事故后果的措施，从而限制照射的大小及受照的可能性。

## **(2) 剂量限值**

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量当量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录 B）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

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；

**本项目取其四分之一即 5mSv 作为管理限值。**

### **B1.2 公众照射**

#### **B1.2.1 剂量限值**

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；

**本项目取其四分之一即 0.25mSv 作为管理限值。**

## **2、《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。

### 3.3 辐射安全系统

3.3.1 决定加速器产生辐射的主要控制系统应该用开关钥匙控制。

3.3.2 加速器厅、靶厅的门均需安装连锁装置，只有门关闭后才能产生辐射。

3.3.3 在加速器厅、靶厅内人员容易到达的地点，应安装紧急停机或紧急断束开关，并且这种开关应当有醒目的标志。

3.3.4 在加速器厅、靶厅内人员容易看到的地方须安装闪光式或螺旋式红色警告灯及音响警告装置，在通往辐射区的走廊，出入口和控制台上须安装工作状态指示灯。

3.3.5 在高辐射区和辐射区，应该安装遥控辐射监测系统。该系统的数字显示装置应安装在控制台上或监测位置。当辐射超过预定水平时，该系统的音响和（或）灯光警告装置应当发出警告信号。

3.3.6 每台加速器必须根据其特点配备其他辐射监测装置，如个人剂量计，可携式监测仪。气体监测仪等。

3.3.7 辐射安全系统的部件质量要好，安装必须坚实可靠。系统的组件应耐辐射损伤。

### 3.4 通风系统

3.4.1 为排放有毒气体（如臭氧）和气载放射性物质，加速器设施内必须设有通风装置。

3.4.2 通风系统的排风速率应根据可能产生的有害气体的数量和工作需要而定。通风系统的进气口应避免受到排出气体的污染。

3.4.3 通风管道通过屏蔽体时，必须采取措施，保证不得明显地减弱屏蔽体的屏蔽效果。

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>。

## 3、《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ141-2002）

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。

5.1.4 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：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  $2.5 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ ”）。

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

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  $2.35 \text{g/cm}^3$ ；
- 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 GB18871-2002 和 GB5172-85 中的职业照射剂量限值要求；在工程设计时辐射防护设计的剂量规定为：职业照射个人年有效剂量限值为 5mSv，公众成员个人年有效剂量限值为 0.1mSv；

d) 控制区必须设有功能齐全、性能可靠的安全联锁系统和监控、紧急停机开关等设置；

e) 控制区和监督区及其入口处应设置电子加速器装置运行状态的灯光信号和其他警示标志；

f) 剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备；

g) 其他物理因素安全要求应满足 GBZ 2.2-2007 规定的标准要求。

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

本标准适用于辐照加工用能量不高于 10MeV 的电子束辐照装置和能量不高于 5MeV 的 X 射线辐照装置。自屏蔽辐照装置不适用于本标准。

##### **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。

#### 4.2.1 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 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限值规定为：

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外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处级以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5 $\mu$ 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。

### 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；

(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

### 6.3.1 电气系统

(1) 必须按加速器装置及厂房建设和公用工程的供电条件设计，确保电压电流的稳定度。

(2) 主机室、辐照室、控制室应设置应急照明系统。

(3) 各供电系统及相关设备应有可靠的接地系统。

(4) 凡有高压危险的部位，应设置高压联锁、高压放电保护装置。

### 6.3.2 给水系统

(1) 应根据加速器装置总用水要求，提供有一定裕量的水流量和水压。

(2) 根据加速器装置和束下装置等设备工艺要求的水质、水温、热交换负荷进行设计

### 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 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。

### 6.3.4 防火系统

辐照室和主机室的耐火等级应不低于二级，并设置火灾报警装置和有效的灭火设施。

综合上述，本项目选取标准如下：

①以 5mSv 作为工作人员的辐射剂量约束值；

②以 0.1mSv 作为公众的辐射剂量约束值；

③电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处级以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5 $\mu$ Sv/h。

## 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 项目地理和场所位置

浙江高鹰科技发展有限公司位于浙江省湖州市德清县阜溪街道秋丰路 176 号，加速器机房位于厂区一层车间内。

厂区东侧秋丰路，以东为长深高速；南侧为浙江驿路厨房设备有限公司（距加速器机房约 33m）；西侧为千人计划办公房（距加速器机房约 20m）；北侧紧邻浙江中益建材科技有限公司厂房，以北为河道。

项目周边环境图见附图 2，厂区平面布置图见附图 3。

### 8.2 环境质量和辐射现状

为了掌握企业拟建辐射装置安装场地的辐射环境背景水平，为辐射环境影响评价提供基础数据，委托湖州环安检测有限公司于 2020 年 11 月 02 日对项目拟建厂址及周边环境进行了辐射环境背景监测。

#### 1、监测因子

X- $\gamma$ 辐射剂量率。

#### 2、监测布点

根据《环境地表 $\gamma$ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993）、《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）等要求，结合现场条件，对本项目加速器机房拟建址及周围进行监测布点，共布设 5 个监测点位，具体见图 8-1。

#### 3、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- $\gamma$ 射线剂量率监测仪器参数与规范

项目	内容
仪器名称	环境监测 X、 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率仪
型号规格	RM-2030
仪器编号	2019016
量程	0.01 $\mu$ Sv/h~200 $\mu$ Sv/h、0.1 $\mu$ Sv/h~500.0mSv
校准有效期	2019.11.28-2020.11.27

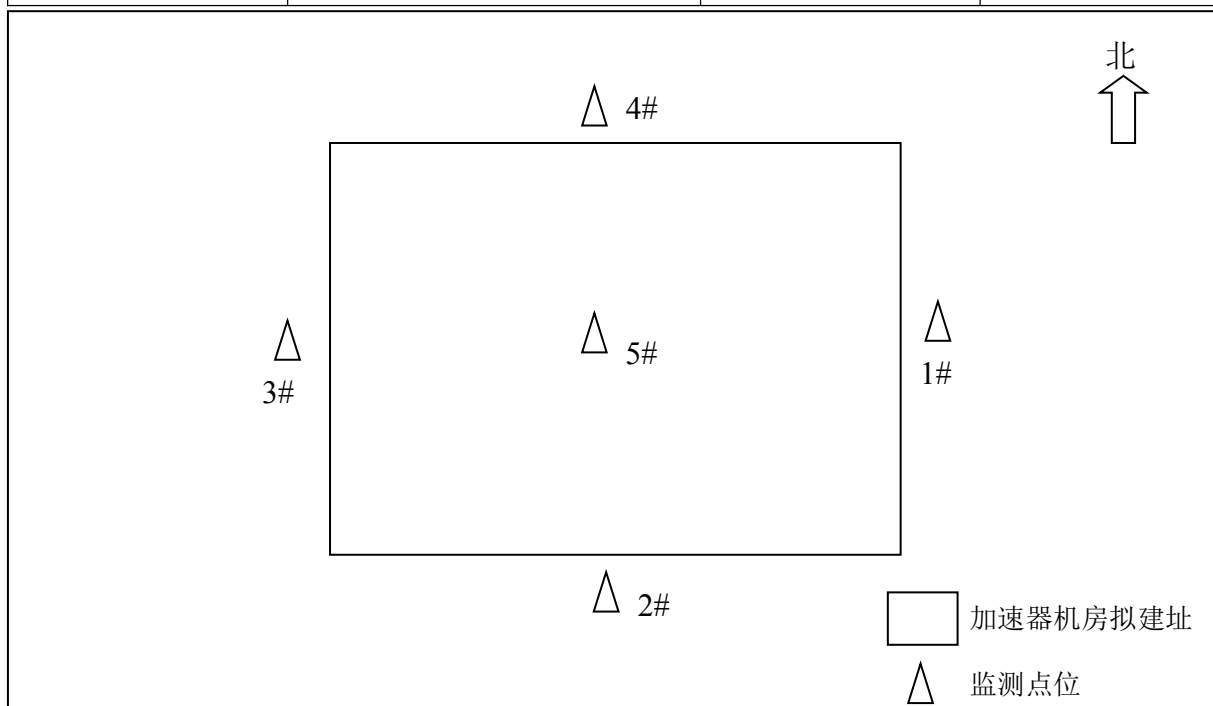
#### 4、质量保证措施

- (1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。
- (2) 监测方法采用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) 监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，并用检验源对仪器进行校验。
- (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，经校对、校核，最后由技术总负责人审定。

#### 4、监测结果

**表 8-2 拟建辐照室 X-γ辐射剂量率背景值监测结果**

检测地址	浙江高鹰科技发展有限公司拟建址		
检测点编号	检测点位置	辐射剂量率 (μSv/h)	
		平均值	标准偏差
▲1	项目东侧	0.09	0.01
▲2	项目南侧	0.11	0.02
▲3	项目西侧	0.11	0.01
▲4	项目北侧	0.10	0.01
▲5	加速器机房拟建址中间	0.12	0.02



**图 8-1 环境现状监测布点图**

## 5、现状监测评价

由表 8-2 监测结果可知，加速器拟建址及厂界 $\gamma$ 辐射剂量率在 0.09~0.12 $\mu\text{Sv/h}$  之间，根据《浙江省环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，湖州市 $\gamma$ 辐射剂量率在 40~170nGy/h 之间。可见，本拟建址各检测点位地表 $\gamma$ 辐射剂量率在其范围内，辐射环境质量状况未见异常。

## 表 9 项目工程分析与源项

### 9.1 工艺设备和工艺分析

#### 9.1.1 工作原理

利用电子枪发射电子，在微波功率源的加速管中加速，电子加速到所需能量，获得高能电子束经运输系统传输到扫描段，扫描线圈产生的磁场将电子束流在一个固定的角度内循环往复的偏转扫描，扩大电子束出射的宽度，最后，经钛窗输出的电子束以扫描方式完成货物的辐照加工。加速器产生的高能电子束照射可以使一些物质产生物理、化学和生物学效应，并能有效地杀灭病菌、病毒等。

加速器配备的微波功率源系统脉冲调制器产生两路高压脉冲，一路高压脉冲加载到电子枪阴极上，引出电子束并注入加速管；另一路高压脉冲送入微波功率源（速调管），功率源产生的高功率微波脉冲经传输波导馈入加速管，在加速管中建立加速电场；电子束在加速管中受到加速电场的同步加速，同时聚焦线圈产生的磁场约束电子束流始终沿着加速管中心传输，并保持小的束团直径，直至其能量达到 10MeV；加速管出射的 10MeV 电子束经运输系统传输到扫描段，扫描线圈产生的磁场将电子束流在一个固定的角度内循环往复的偏转扫描，扩大电子束出射的宽度；最后，经钛窗输出的电子束以扫描方式完成货物的辐照加工。



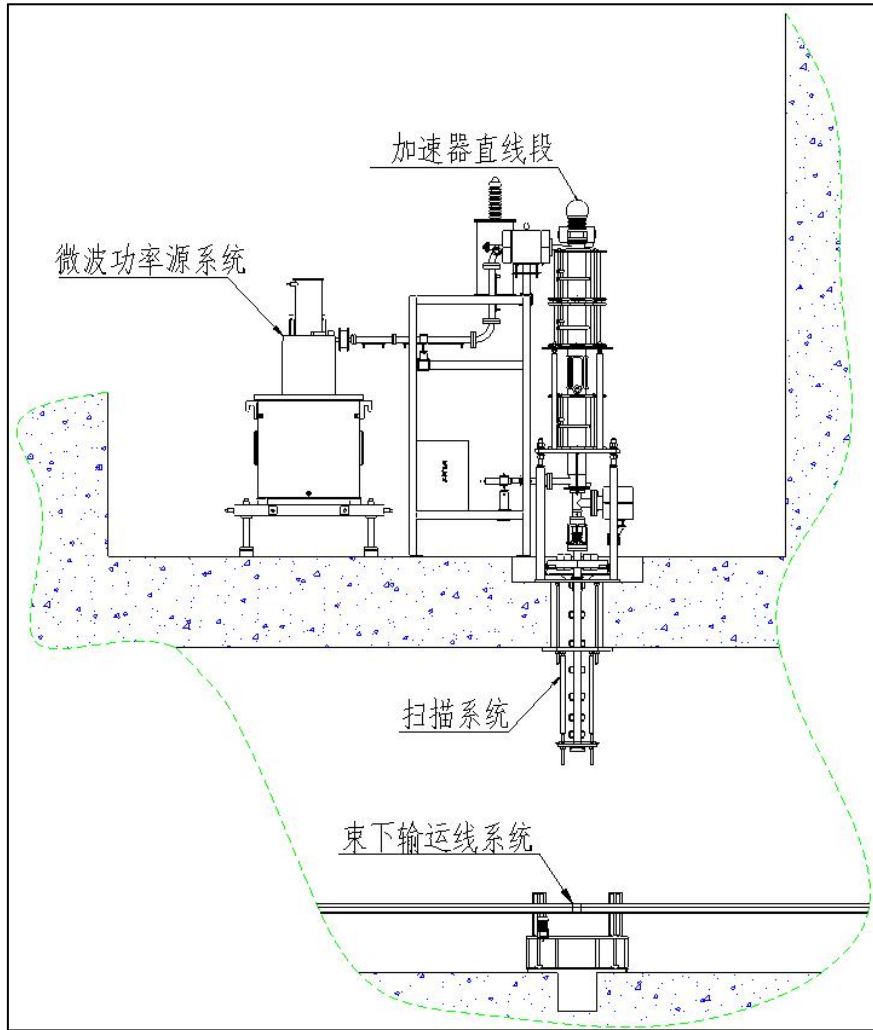


图 9-1 加速器主体示意图

### 9.1.2 电子加速器组成

本项目 DZ-10/20 型辐照电子加速器主要由微波功率源系统、加速器直线系统、扫描系统、水冷系统、束下运输线系统及控制系统等构成。

#### (1) 微波功率源系统

微波功率源系统包括高压脉冲调制器、速调管、速调管聚焦线圈、速调管聚焦线圈电源、微波信号源与固体放大器、波导传输、微波功率测量元件，相关真空系统与配套的控制系統。

#### (2) 加速器直线段

加速直线段包括电子枪、S 波段加速管、输入输出耦合器、水套、聚焦线圈、聚焦线圈电源、校正线圈组，校正线圈组电源，吸收负载、刮束器、束测元件及配套的控制系統。

### (3) 扫描系统

扫描系统包括扫描磁铁、扫描磁铁电源、辐照盒及配套的控制系統。

### (4) 水冷系統

水冷系統是指该加速器本体的設備用水，主要包括加速管和吸收负载的恒温水，加速管聚焦线圈、速调管收集极、速调管管体、速调管聚焦线圈、调制器等非恒温水等。

### (5) 束下运输线系統

束下运输线系統由多段受控的传动/运输裝置组成，分为传动結構、驱动結構及配套的控制系统。

### (6) 控制系统

控制系统主要针对加速器整体控制，分为机器控制与机器联鎖；机器控制包含微波功率源系統设备的控制、加速器直线段设备的控制、扫描系統设备的控制、水冷系統设备的控制、束下运输线系統设备的控制及其它相关輔助设备的控制；机器联鎖包含人身安全联鎖与設備安全联鎖。

## 9.1.3 电子加速器辐照工艺流程

(1) 入厂：裝載待辐照产品（医疗器械、药品、保健品、食品、卫生材料、包装材料、化妆品、半导体、宠物食品等）的货车通过物流通道入厂；

(2) 验货：在辐照车间进货口卸货、验货、登记、确认；

(3) 参数设置：辐射工作人员根据用户要求、产品种类，设置加速器参数、束下传输线的速度；

(4) 照前搬运：辐射工作人员把待辐照产品从“未辐照临时周转区”，运至束下传输线的入口，工作人员不进入辐照室；

(5) 产品辐照：产品经传输线自动传送至辐照室，对待辐照产品进行批量辐照；

(6) 照后搬运：在束下传输线的出口，把已辐照产品运至“已辐照临时周转区”；

(7) 装车：在辐照车间出货口确认、验货、装车；

(8) 出厂：裝載已辐照产品的货车通过物流通道出厂。

## 9.1.4 工作人员及工作班制

本项目拟配备 6 名放射工作人员从事电子加速器操作，其中 1 名兼为辐射安全管理

人员。放射工作人员工作为三班制，每班 8 小时，年工作 330 天。每天最长出束时间 24h。

## 9.2 污染源项描述

### 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。根据《电子加速器辐照装置辐射安全与防护》（HJ979-2018），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。

加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能离远弱于 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 X 射线为主要污染因素。

### 2、臭氧和氮氧化物

电子加速器开机运行时，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧 ( $O_3$ ) 和氮氧化物 ( $NO_x$ )。其中，臭氧的危害大，产额高，毒性大，而氮氧化物的产率仅为臭氧产率的十分之一，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主要考虑臭氧的影响。

综上所述，本次环境影响评价的评价重点为 X 射线、臭氧。

## 表 10 辐射安全与防护

### 10.1 项目安全设施

#### 10.1.1 辐射工作场所分区

本项目电子加速器机房位于浙江省湖州市德清县阜溪街道秋丰路 176 号一楼南面厂房内，机房所在区域周边情况见下表。

表 10-1 机房周围环境情况

机房名称	区域	周围环境	
		东	南
电子直线加速器 机房	辐照室（1F）	东	输送带进、出口、厂房内走道、设备间
		南	机房设备室、水控间、卫生间
		西	厂房西墙
		北	更衣室、厂房内部过道
		上	主机室、控制室、设备间
		下	土层
	主机室（2F）	东	设备间
		南	控制室、设备间
		西	厂房西墙
		北	设备间
		上	厂房顶棚
		下	辐照室

#### 10.1.1 辐射工作场所分区

为防止 X 射线对环境的影响，浙江高鹰科技发展有限公司按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)和《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》

(HJ979-2018) 等相应的要求，对辐照工作场所划分为控制区、监督区，并实行两区管理制度。

控制区：电子加速器机房主机室、辐照室，禁止任何人进入。

监督区：电子加速器机房控制室及与其相连的设备房等，除放射工作人员外其他人不得进入或停留该区域。

本项目辐射工作场所分区管理示意图见图 10-1、10-2。

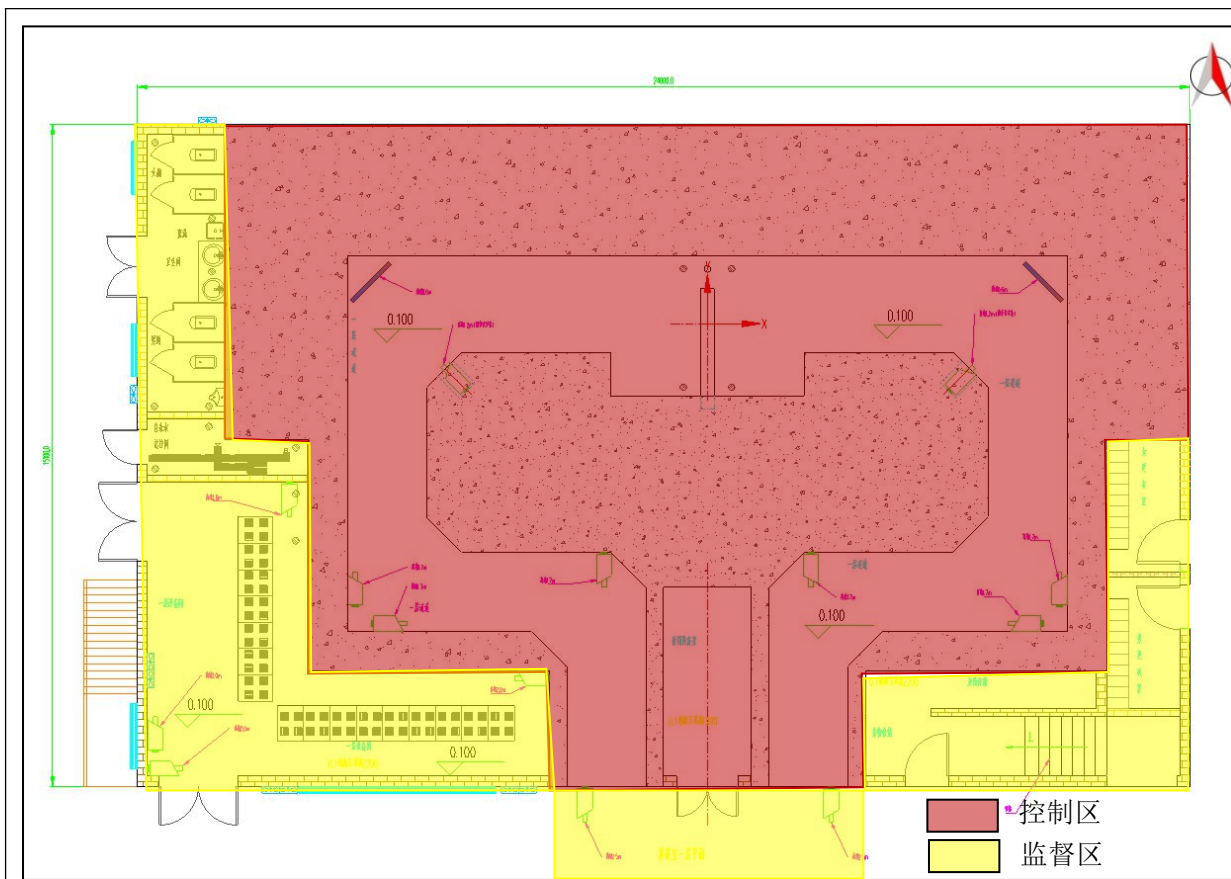


图 10-1 项目辐射分区示意图（一层辐照室）

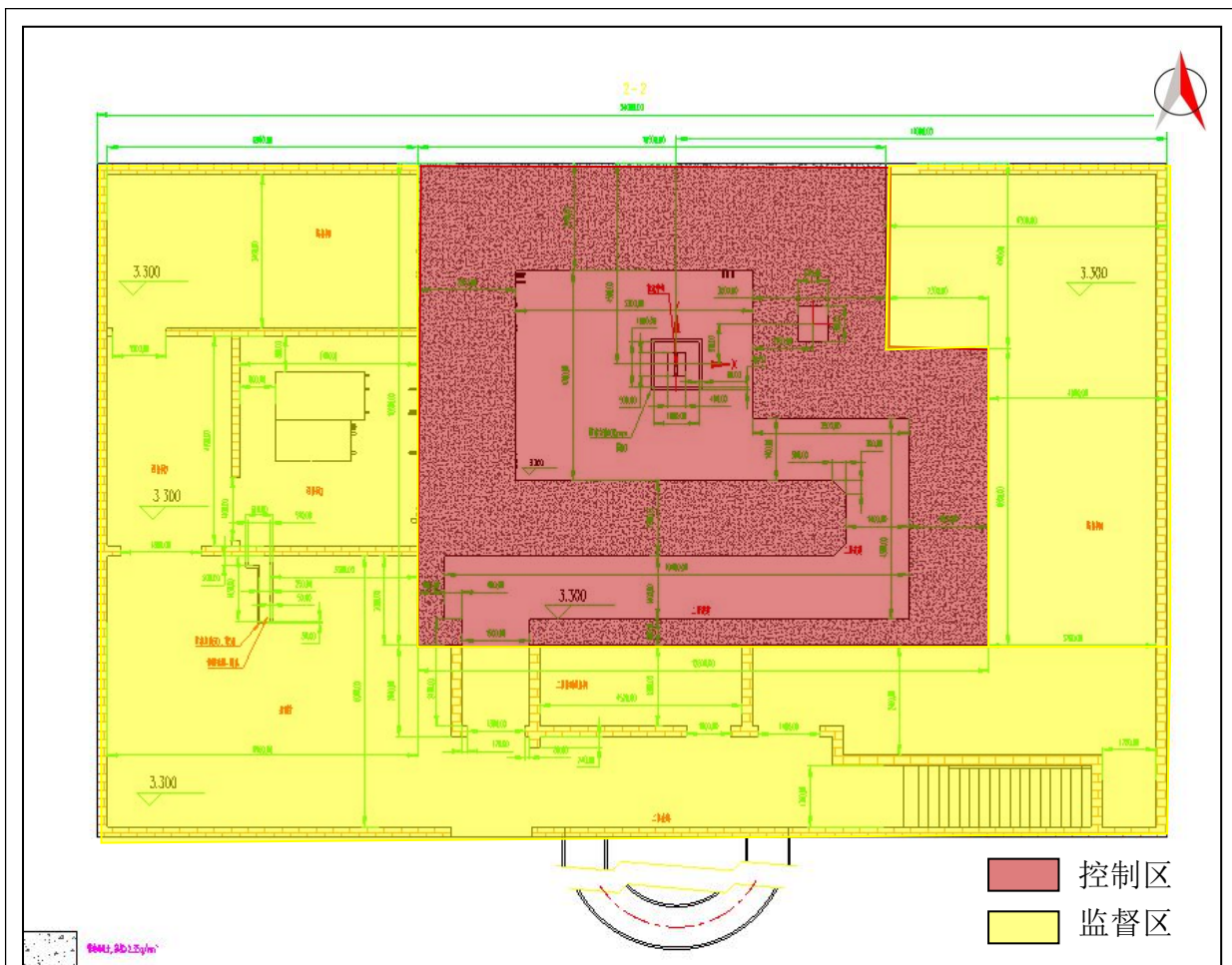


图 10-2 项目辐射分区示意图（二层主机室）

### 10.1.2 辐射防护屏蔽设计

表 10-2 电子加速器机房屏蔽防护方案

名称	方位	屏蔽设计方案
辐照室 (尺寸: 长 16.4m、宽 12m、高 2m)	东	900mm~2800mm 钢筋混凝土
	南	900mm 钢筋混凝土 (外墙) 400mm 钢筋混凝土 (4 面东西向墙)
	西	900mm~2800mm 钢筋混凝土
	北	3000mm 钢筋混凝土
	中部	辐照室中间屏蔽体: 东西向 3560~4560mm 钢筋混凝土; 南北向 12800mm 钢筋混凝土
	顶层	1200mm 钢筋混凝土
主机室 (尺寸: 长 5.3 m、宽 4.7m、高 4.4m)	东	3000mm 钢筋混凝土 (北侧) 1800mm 钢筋混凝土 (南侧)
	南	外墙: 600mm 钢筋混凝土 迷道: 1700mm 钢筋混凝土
	西	2200mm 钢筋混凝土

	北	2400mm 钢筋混凝土
	顶层	1500mm 钢筋混凝土
	底层	1200mm 钢筋混凝土
注：钢筋混凝土密度 2.35t/m <sup>3</sup>		

### 10.1.3 辐射安全和防护措施

#### 1、电子加速器辐照装置的安全设计

##### (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。

##### (2) 安全设施

①人员防护：辐射操作人员在加速器运行期间必须佩戴个人剂量计，并应定期将个人剂量计送有资质单位进行检测，检测结果存入个人剂量档案。

②主控钥匙控制：加速器的主控钥匙与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连；主控钥匙安装在主控台操作面板上，开机时，钥匙无法取下。

③门机联锁：加速器室门和辐照室出入口与加速器束流控制和加速器高压连锁；辐照室和加速器室的门在打开时，发出断开信号，主控台自动停止高压和束流输出，加速器处于出束状态时，辐照室与加速器室门不能打开，从而实现连锁功能。

④巡检装置：在加速器室与辐照室内的分散设置多组巡检装置；辐照室或者加速器室防护门被打开后，自动触发巡检装置置位，发出故障信号。任何一个巡检装置的故障信号存在都会导致加速器不能开机。工作人员必须对所有巡检装置进行复位，才能消除巡检装置故障信号。

⑤防人误入检测：在加速器室口、辐照室出入口通道内各设置三道“光电防人误入检测装置”，并于加速器的开、停机连锁，一旦触发立即停机和切断高压。

⑥紧急停机开关：控制台安装急停按钮，按下时，停止加速器的高压和出束；辐照室及加速器室内分散设置多组急停按钮，按下时，停止加速器的高压和出束。

⑦剂量连锁：辐射剂量检测系统由一台在线辐射安全报警仪以及 5 只探测器组成。分别安装在加速器室迷道入口、设备间 1、设备间 3 及辐照室迷道出、入口。当辐射剂量检测系

统检测到上述区域剂量超标时，自动停止加速器的高压和出束，且一层与二层迷道门锁死，保证人员安全。

⑧臭氧连锁：加速器室与一层迷道都设置有在线臭氧监测装置。加速器停机后，只有当一层迷道与加速器室内的臭氧浓度达到安全阈值以下，响应防护门才能被开启，以保证人员安全。

⑨信号报警装置：加速器室、辐照室门口上方设置 LED 警示屏，指示当前加速器运行状态，防止加速器运行时的人员误入。加速器室、辐照室设置有报警铃，在出束前的 20~30s 前，发出报警信号，提醒现场人员注意；在此期间加速器无法施加高压出束。

⑩视频监控系统：加速器系统安装多组摄像头，对辐照室与加速器室全视频覆盖，无任何监控死角。

⑪风道连锁：辐照室臭氧风机用于降低和排除臭氧等有害气体；通风系统出现故障时加速器立即停止运行；加速器室臭氧风机在加速器停止运行后主动开启，并持续 5 分钟以上，确保加速器室有害气体排出。

⑫烟雾报警连锁：辐照室设置有烟雾报警装置，遇有火险时，立即关闭加速器。

⑬与束下装置连锁：主控系统实时监控加速器的运行状况，当检测到停止高压和出束的故障时，立即停止束下装置的运行。主控系统实时查询束下装置的运行状况，当检测到束下装置停机时，立即停止高压和出束。

同时，本环评建议建设单位在相关标准要求的基础上增加以下措施：

电离辐射警示标志：在加速器机头表面和辐照室附近设有电离辐射标志，加速器室入口门外侧和辐照通道出入口门外侧均设有电离辐射警告标志牌。

### （3）电气设计

①必须按加速器装置及厂房建设和公用工程的供电条件设计，确保电压电流的稳定度。

②主机室、辐照室、控制室应设置应急照明系统。

③各供电系统及相关设备应有可靠的接地系统。

④凡有高压危险的部位，应设置高压连锁、高压放电保护装置。

### （4）给水系统



①应根据加速器装置总用水要求，提供一定裕量的水流量和水压。

②根据加速器装置和束下装置等设备工艺要求的水质、水温、热交换负荷进行设计。

(5) 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。

②辐照室内的主排气口应设置在易于排放臭氧的位置。

(6) 防火系统

辐照室和主机室的耐火等级应不低于二级，并设置火灾报警装置和有效的灭火设施。

对照以上设计要求，本项目电子加速器拟采取的辐射安全设计见表 10-3，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。

表 10-3 本项目每座加速器机房辐射安全设计

安全防护措施	位置	数量（台）
钥匙控制	控制室的控制台	1
便携式辐射监测仪	/	1
固定式辐射监测仪	辐照室迷道口处	2
	主机室入口处	1
警示装置(电离辐射警示标志和工作状态警示灯)	辐照室内、迷道内、防护门处	3
	主机室内、防护门处	2
门机联锁	辐照室防护门	1
	主机室防护门	1
报警装置	控制台	1
急停开关	控制室的控制台	1
	辐照室内、迷道内、防护门处	10
	主机室和防护门处	6
开门开关	辐照室防护门附近屏蔽墙处	2
	主机室防护门附近屏蔽墙处	1
光电联锁	辐照室迷道口内	1
	主机室内	1
烟雾报警装置	辐照室迷道口内	2
视频监控装置	辐照室迷道内	8
	主机室内	2
	控制室内	1
	控制室迷道内	2
	货物进出口	2

应急照明系统	辐照室内、迷道内	2
	主机室内	1
	控制室内	1
给水系统	主机室西侧自来水总控间	/
通风系统	配备离心低噪声箱式排风机 12540m <sup>3</sup> /h	/
灭火系统	拟设置气体灭火系统	/

机房监控设备布局图详见附图 9，机房连锁布局图详见附图 10。在落实以上措施后，能够满足相关的辐射安全及防护管理的要求。

## 2、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连锁分别采用了门机连锁、信号指示灯连锁、剂量连锁、通风连锁及在主机室和辐照室的人员出入口通道内设置防人误入的安全连锁装置；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御措施失效时，可由下一层次的防御措施予以弥补或纠正。

### (2) 冗余性

本项目在主机室和辐照室的人员出入口通道内设置防人误入的安全连锁装置，并与加速器的开、停机连锁；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连锁分别采用了门机连锁、信号指示灯连锁、剂量连锁、通风连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连锁装置。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

本项目保证多道连锁之间的独立性、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。

## 3、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) 加速器的通风管道及辐照材料的传输管道等会穿越屏蔽墙，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。

(4) 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。

(5) 主机室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。

#### 4、其他措施

(1) 辐照室设置迷道，四周及顶棚均采用相当厚度的钢筋混凝土墙，根据本项目报告中理论预测分析能满足本项目的辐射防护要求。

(2) 辐照室周围均设置电离辐射警告标志，并用中文注明“当心电离辐射”，用于对辐照室外人员的警示。辐照室和主机室入口外 1m 处划黄色警戒线，告诫无关人员不得靠近。

(3) 各项辐射环境管理制度应张贴于工作现场处。

(4) 公司给每个辐射工作人员配备个人剂量计并按时检测。同时公司还应该为每个辐射工作人员配备个人剂量报警仪，当辐射水平超过预设值是能发出轰鸣警告声。

#### 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。

##### (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，且在辐照车间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）机房周边公众的安全防护

周边公众主要依托辐照车间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，在辐照车间、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。

## 10.2 三废的治理

本项目电子加速器拟配套循环冷却水系统，循环冷却水定期补充，不外排。项目在运行过程中，没有放射性废水、废气及放射性固体废物产生。

本项目加速器运行时电子束在空气中穿行过程与空气相互作用而产生臭氧和氮氧化物等气体，本项目电子加速器机房辐照室和主机室产生的废气分别经过专用管道收集、风机抽排后经过 15m 高的排气筒（1 根双通道排气筒）排放。辐照室内的排风口位于扫描窗侧方，经管道收集后沿辐照室顶部向上穿过主机室北侧墙体（穿过墙体厚度为 3000mm 钢筋混凝土，含 800mm 排风管道）引至 15m 高的排气筒排放，辐照室排风风量 12540m<sup>3</sup>/h；主机室内的排风口位于主机室侧壁，经过收集后通过折线型管道穿墙至 15m 高的排气筒排放，主机室排风风量 4000m<sup>3</sup>/h。

经计算（详见后文臭氧和氮氧化物环境影响分析章节），辐照室内臭氧经过约 3min、主机室臭氧经过约 14min 的通风、分解后，室内臭氧浓度方可达到《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）中臭氧二级标准 0.30mg/m<sup>3</sup> 限值要求。

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。

要求工作期间应保证排气孔机械通风的正常运行，降低室内臭氧和氮氧化物浓度。

## 表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段对环境的影响

本项目拟购的电子加速器位于公司厂区一层生产车间内，由于电子加速器只有在开机工作过程中才会产生辐射，其产生的射线是随设备的开、关而产生和消失的。在项目建设过程中，机器未通电运行，故不会对周围环境造成电离辐射影响。本次环境影响评价的评价重点为 X 射线、臭氧

### 11.2 运行阶段对环境的影响

由于本项目目前处于设计阶段，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，本项目采用理论计算的方式进行预测分析。

#### 11.2.1 电子束对环境的影响

电子在物质中的最大射程采用如下公式计算：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\beta\max} \quad (11-1)$$

式中：

d—— $\beta$  射线射程，cm；

$\rho$  ——屏蔽材料密度，g/cm<sup>3</sup>，本项目钢筋混凝土密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>；

$E_{\beta\max}$  —— $\beta$  粒子最大能量，MeV，本项目电子最大能量为 10MeV。

经上式计算，本项目加速器电子在钢筋混凝土中最大穿透厚度为 2.13cm。本项目机房屏蔽厚度远超过电子射程，完全可屏蔽 10MeV 电子，因此，电子对机房外的环境影响可忽略不计。

#### 11.2.2 X 射线辐射环境影响分析

本项目加速器运行时，电子束方向向下，电子束在受到物质阻挡后，会产生很强的韧致辐射（X 射线），此过程中，电子束可能轰击的物质有 3 种：混凝土地面、扫描窗下方的辐照产品传输系统（包括运输轨道和运输车，为不锈钢材料）、辐照产品。

本评价依据《电子加速器辐照装置辐射安全与防护》（HJ979-2018）分别对辐照室和主机室周围关注点处剂量率进行评价。关注点设置如下图所示：

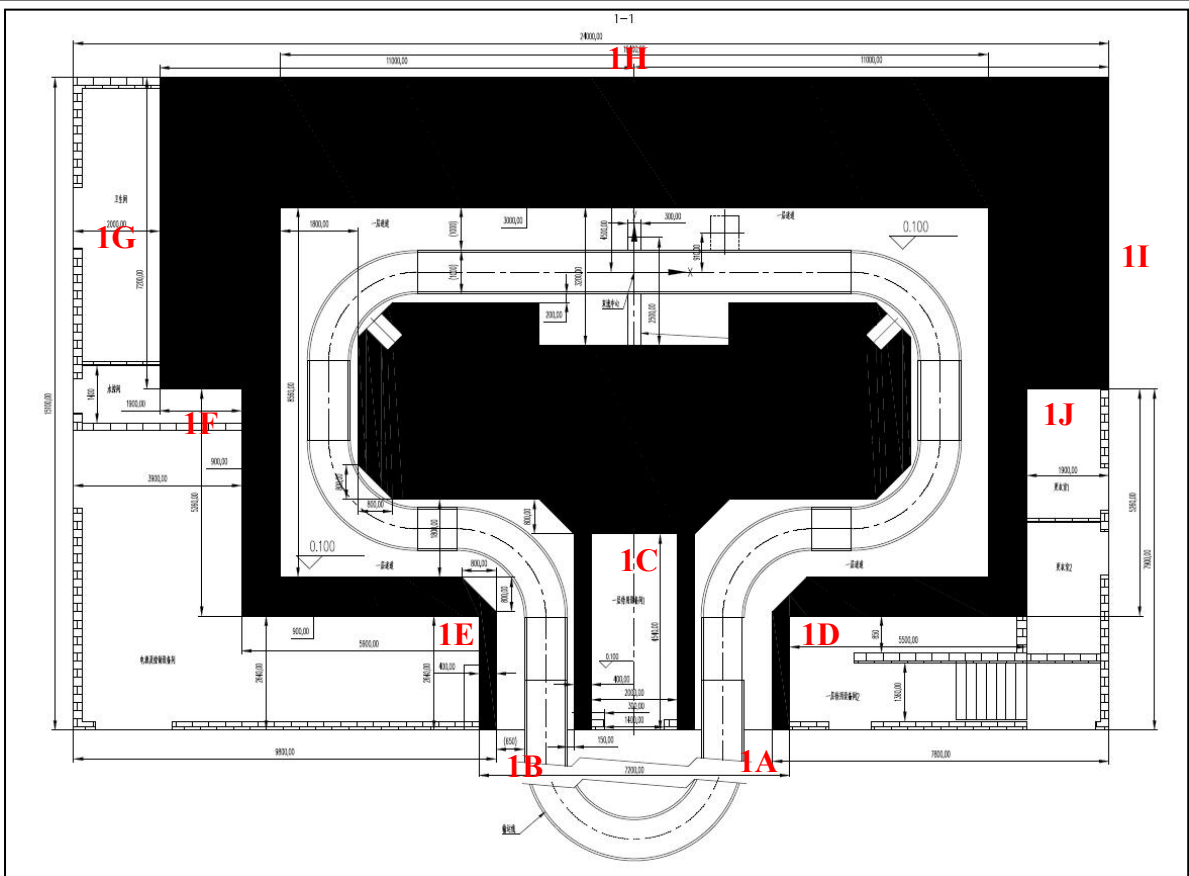


图 11-1 一层辐照室计算关注点示意图

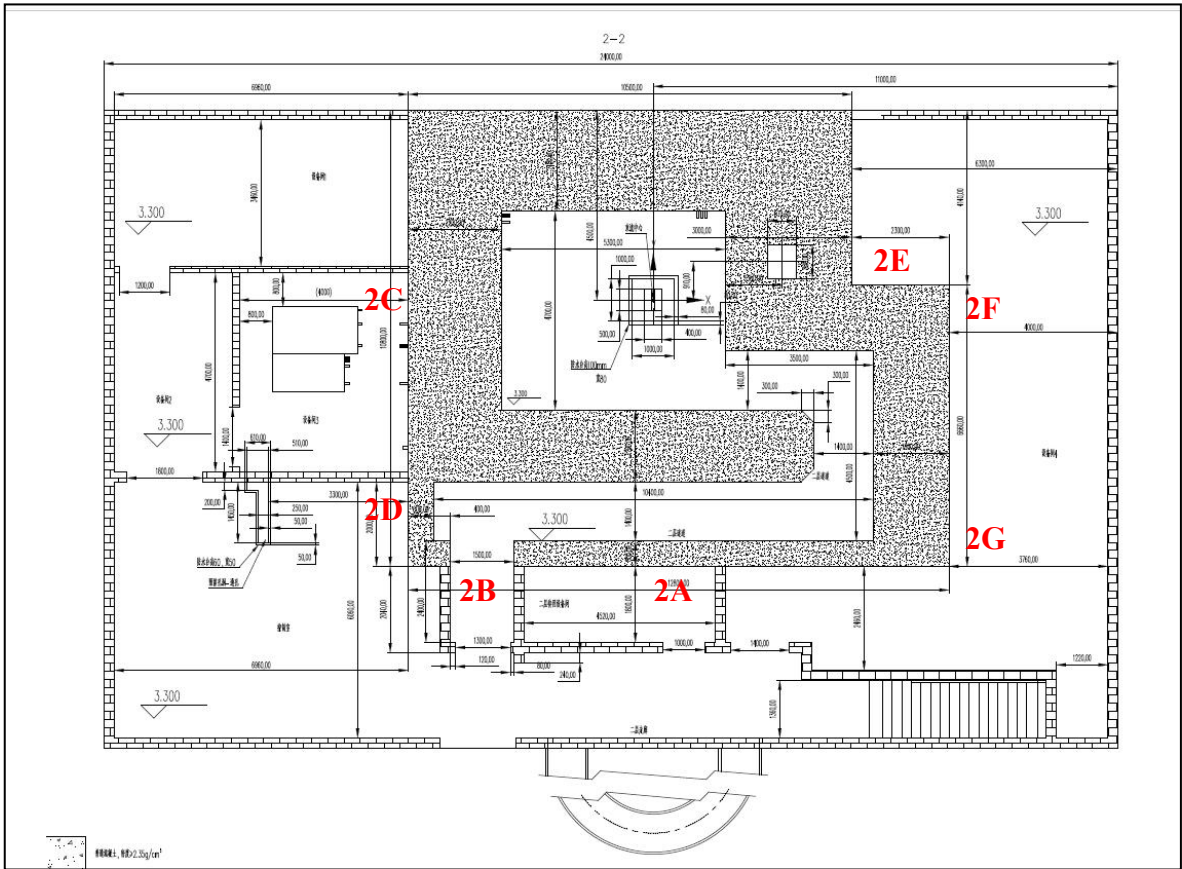


图 11-2 二层主机室计算关注点示意图

表 11-1 计算关注点相关参数

位置	关注点	方位	位置描述	居留因子	受照类型
辐照室	1A	南	进出料口	1/16	初级 X 射线直射+散射
	1B	南	进出料口	1/16	初级 X 射线直射+散射
	1C	南	设备间	/	初级 X 射线直射
	1D	南	设备间	/	初级 X 射线直射
	1E	南	电源及控制设备间	/	初级 X 射线直射
	1F	西	水控间	/	初级 X 射线直射
	1G	西	卫生间	/	初级 X 射线直射
	1H	北	北侧墙体	1/4	初级 X 射线直射
	1I	东	东侧墙体	1/4	初级 X 射线直射
	1J	东	更衣室	/	初级 X 射线直射
主机室	2A	南	设备间	/	初级 X 射线直射
	2B	南	工作人员出入口	/	初级 X 射线贯穿+束流损失+散射
	2C	西	设备间	/	初级 X 射线贯穿+束流损失
	2D	西	控制室	1	初级 X 射线贯穿+束流损失
	2E	东	设备间	/	初级 X 射线贯穿+束流损失
	2F	东	设备间	/	初级 X 射线贯穿+束流损失
	2G	东	设备间	/	初级 X 射线贯穿+束流损失
厂房周围	P	/	厂区内过道	1/4	天空散射

### 1、辐照室

辐照室位于 1F，加速器电子束朝下，不直射四周屏蔽墙，因此辐照室周围环境影响主要为与电子束入射方向呈 90° 的初级 X 射线直接照射。

#### (1) 直接照射 X 射线

X 射线直接照射所致关注点处剂量率计算公式如下：

$$H_m = (1 \times 10^6) \frac{D_0}{d^2} B_x \quad (11-2)$$

式中：H<sub>m</sub>——屏蔽体外关注点的剂量率，μSv/h；

d——X 射线源与参考点之间的距离，m；

T——居留因子。当参考点位置为人员全居留时值取 1，部分居留时可取 1/4，偶然居留时可取 1/16；

$B_x$ ——X射线的屏蔽透射比；

$$B_x = 1/10^n \quad (11-3)$$

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

式中：S——为屏蔽层厚度（cm）；

$T_1$ ——在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层（cm）；

$T_e$ ——平衡十分之一值层，该值近似于常数（cm）；

10MeV的X射线侧向90°方向电子的等效能量为6MeV，本评价中 $T_1$ 、 $T_e$ 数据取HJ979-2018附录A中表A.2、A.3中数据。

$D_0$ ——距离X射线辐射源1m处的标准参考点的吸收剂量率（Gy/h）；

$$D_0 = 60 \cdot Q \cdot I \cdot f_e \quad (11-5)$$

式中： $Q$ ——X射线发射率（Gy·m<sup>2</sup>/mA·min），本评价取HJ979-2018附录A中表A.1中10MeV侧向90°发射率，13.5Gy·m<sup>2</sup>/mA·min；

$I$ ——电子束流强度（mA）；

$f_e$ ——X射线发射率修正系数，本评价中保守取被辐照的靶材料为“铁”（运输轨道、运输车为不锈钢材料）时，90°的修正系数为0.5。

表 11-2 辐照室直射所致关注点处剂量率计算一览表

位置	关注点	Q (Gy·m <sup>2</sup> /mA·min)	I(mA)	D <sub>0</sub> (Gy/h)	S(cm)	T <sub>1</sub> (cm)	T <sub>e</sub> (cm)	B <sub>x</sub>	D (m)	H <sub>m</sub> (μSv/h)
辐照室	1A	13.5	2	810	443	35.5	35.5	3.32E-13	10.8	2.31E-06
	1B	13.5	2	810	443	35.5	35.5	3.32E-13	10.8	2.31E-06
	1C	13.5	2	810	436	35.5	35.5	5.23E-13	6	1.18E-05
	1D	13.5	2	810	428	35.5	35.5	8.78E-13	8.6	9.62E-06
	1E	13.5	2	810	428	35.5	35.5	8.78E-13	8.6	9.62E-06
	1F	13.5	2	810	527	35.5	35.5	1.43E-15	9.5	1.28E-08
	1G	13.5	2	810	280	35.5	35.5	1.30E-08	10.9	8.84E-02
	1H	13.5	2	810	300	35.5	35.5	3.54E-09	4.5	1.42E-01
	1I	13.5	2	810	280	35.5	35.5	1.30E-08	10.9	8.84E-02
	1J	13.5	2	810	527	35.5	35.5	1.43E-15	9.5	1.28E-08

## (2) 散射 X 射线

对于迷路侧的关注点位 1A、1B 点（传送带出入口）除考虑直射外，还应考虑散射影响。计算公式如下：

$$H_s = (1 \times 10^6) \frac{D_0 \alpha_1 A_1 (\alpha_2 A_2)^{j-1}}{(d_1 d_{r1} d_{r2} \cdots d_{rj})^2} \quad (11-6)$$



式中：

$H_s$ ——散射 X 射线在参考剂量点处的剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )；

$D_0$ ——距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率 ( $\text{Gy/h}$ )；

$\alpha_1$ ——入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数；

$\alpha_2$ ——从以后的物质散射出来的 0.5MeV 的 X 射线散射系数；

$A_1$ ——X 射线入射到第一散射物质的散射面积 ( $\text{m}^2$ )；

$A_2$ ——迷道的截面积 ( $\text{m}^2$ )；

$d_1$ ——X 射线源与第一散射物质的距离 (m)；

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

$j$ ——指第  $j$  个散射过程；

表 11-3 辐照室直射所致关注点处剂量率计算一览表

位置	关注点	散射次数 $j$	$D_0$ (Gy/h)	$\alpha_1$	$A_1$ ( $\text{m}^2$ )	$\alpha_2$	$A_2$ ( $\text{m}^2$ )	$d_1, d_{r1}, \dots, d_{rj}$ (m)	$H_s$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )
辐照室	1A	3	810	5.2E-03	10.6	0.02	3.6	7.3、6.1、4.9、 4.5	2.40E-01
	1B	3	810	5.2E-03	10.6	0.02	3.6	7.3、6.1、4.9、 4.5	2.40E-01

根据上表 11-2、11-3 可知，1A、1B 关注点处总剂量率如下表所示：

表 11-4 辐照室迷道出入口处关注点辐射剂量率汇总 ( $\mu\text{Sv/h}$ )

关注点位	直射所致剂量率	散射所致剂量率	合计
1A	2.31E-06	2.40E-01	2.40E-01
1B	2.31E-06	2.40E-01	2.40E-01

## 2、主机室

主机室的辐照场主要由三部分组成：第一部分为尚未加速到最高能量的电子在加速过程中束流损失，与加速器构件作用产生的束流损失辐射场；第二部分为辐照室内与入射电子束成  $105^\circ \sim 180^\circ$  方向的韧致初级 X 射线，经过辐照室屋顶（亦即主机室地板）不完全屏蔽的贯穿辐射场；第三部分为辐照室内的  $0^\circ$  方向上产生的韧致辐射初级 X 射线，经地面  $180^\circ$  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加速器主机室形成的散射辐射场，由于沿与电子束入射方向成  $180^\circ$  方向的次级 X 射线能量较低，当穿过孔洞后，将直接照射到加速器钢筒底部，鉴于加速器主机室地板孔洞尺寸小于加速器筒体直径，次级 X 射线将直接照射到加速器钢筒底部，受到加速器底部钢筒的进一步屏蔽，故最终散射到加速器主机室墙体和顶部的 X 射线极少，可忽略不计。

(1) 束流损失

根据建设单位提供的资料，加速器电子在加速管前两级加速过程中碰撞损失能量按 2MeV，束流强度为平均束流强度的 49%；加速管均匀段碰撞损失电子能量按 7MeV，束流强度为平均束流强度的 1%，束流损失点均保守按照加速管顶端位置计算。本评价对于束流损失所致主机室周围剂量率按照上述两能量电子所致关注点处剂量率进行叠加计算。束流损失所致主机室周围关注点处的剂量率按照公式 11-2 计算，X 射线发射率分别按 HJ979-2018 中 2MeV 及 7.5MeV（保守计算）侧向 90° 发射率。

计算参数及结果如下：

表 11-5 主机室直射所致关注点处剂量率计算一览表

位置	关注点	Q (Gy·m <sup>2</sup> /mA·min)	I(mA)	D <sub>0</sub> (Gy/h)	S(cm)	T1 (cm)	Te (cm)	Bx	d (m)	H <sub>m</sub> (μSv/h)
前两级加速	2A	1.6	0.98	47.04	230	20.4	18.3	3.52E-13	6.2	4.31E-07
	2B	1.6	0.98	47.04	204	20.4	18.3	9.27E-12	6.2	1.13E-05
	2C	1.6	0.98	47.04	220	20.4	18.3	1.24E-12	5.8	1.73E-06
	2D	1.6	0.98	47.04	240	20.4	18.3	1.00E-13	4.5	2.32E-07
	2E	1.6	0.98	47.04	233	20.4	18.3	2.41E-13	4.7	5.14E-07
	2F	1.6	0.98	47.04	530	20.4	18.3	1.42E-29	6.9	1.41E-23
	2G	1.6	0.98	47.04	220	20.4	18.3	1.24E-12	8.5	8.06E-07
均匀段	2A	10	0.02	6	220	32.5	32.5	8.38E-08	6.2	1.31E-02
	2B	10	0.02	6	204	32.5	32.5	5.29E-07	6.2	8.25E-02
	2C	10	0.02	6	220	32.5	32.5	1.70E-07	5.8	3.03E-02
	2D	10	0.02	6	240	32.5	32.5	4.12E-08	4.5	1.22E-02
	2E	10	0.02	6	233	32.5	32.5	6.77E-08	4.7	1.84E-02
	2F	10	0.02	6	530	32.5	32.5	4.92E-17	6.9	6.21E-12
	2G	10	0.02	6	220	32.5	32.5	1.70E-07	8.5	1.41E-02

(2) 散射

主机室人员入口处 2B 关注点还将受到散射影响，散射计算公式见 11-6。

表 11-6 主机室散射所致关注点处剂量率计算一览表

受照类型	关注点	散射次数j	D <sub>0</sub> (Gy/h)	α <sub>1</sub>	A1 (m <sup>2</sup> )	α <sub>2</sub>	A2 (m <sup>2</sup> )	d <sub>1</sub> , d <sub>r1</sub> …… d <sub>rj</sub> (m)	H <sub>s</sub> (μSv/h)
前两级加速	2B	3	47.04	6.5E-03	1.7	0.02	6.16	5.5, 1.8, 8.6, 1.3	6.44E-01
均匀段		3	6	6.4E-03	1.7	0.02	6.16	5.5, 1.8, 8.6, 1.3	8.096E-02
合计		/	/	/	/	/	/	/	7.25E-01

(3) 主机室辐照室贯穿 X 射线

主机室周围将受到下层辐照室贯穿 X 射线辐射影响，计算结果如下表。

表 11-7 辐照室直射所致关注点处剂量率计算一览表

位置	关注点	Q (Gy·m <sup>2</sup> /mA·m in)	I(mA)	D <sub>0</sub> (Gy/h)	S(cm)	T1 (cm)	Te (cm)	B <sub>x</sub>	d (m)	H <sub>m</sub> (μSv/h)
主机室	2A	13.5	2	810	482	35.5	18.3	2.65E-14	6.6	4.92E-07
	2B	13.5	2	810	529	35.5	18.3	1.25E-15	6.0	2.82E-08
	2C	13.5	2	810	367	35.5	18.3	4.59E-11	6.1	1.00E-03
	2D	13.5	2	810	815	35.5	18.3	1.10E-23	11.9	6.30E-17
	2E	13.5	2	810	467	35.5	18.3	7.00E-14	5.7	1.75E-06
	2F	13.5	2	810	436	35.5	18.3	5.23E-13	7.2	8.17E-06
	2G	13.5	2	810	898	35.5	18.3	5.06E-26	13.2	9.41E-19

根据表 11-5、11-6、11-7 可知，主机室关注点处剂量率计算结果汇总如下，计算结果如下表。

表 11-8 主机室关注点处辐射剂量率汇总 (μSv/h)

关注点位	(前两级加速)束流损失	(均匀段)束流损失	散射	辐射贯穿	总计
2A	4.31E-07	1.31E-02	/	4.92E-07	1.31E-02
2B	1.13E-05	8.25E-02	7.25E-01	2.82E-08	8.08E-01
2C	1.73E-06	3.03E-02	/	1.00E-03	3.13E-02
2D	2.32E-07	1.22E-02	/	6.30E-17	1.22E-02
2E	5.14E-07	1.84E-02	/	1.75E-06	1.84E-02
2F	1.41E-06	6.21E-02	/	8.17E-07	8.17E-02
2G	8.06E-06	1.41E-02	/	9.41E-19	1.41E-02

### 3、天空反射

加速器产生的辐射源通过屋顶泄露，再经过天空中大气的反散射，返回至加速器周围的地面附近，形成附加的辐射场，这种散射为天空反散射。本评价主要考虑束流损失以及辐照室贯穿 X 射线的天空反散射至地面 P 点的剂量率。根据 HJ979-2018，天空反散射根据以下公式进行计算。

$$H = \frac{2.5 \times 10^{-2} (B_x D_0 \Omega^{13})}{d_1 d_s} \quad (11-7)$$

式中：

H——在距离辐射源  $d_s$  处地面，天空反散射的 X 射线周围剂量率 (Sv/h)；

$B_x$ ——X 射线屋顶的屏蔽透射比；

$\Omega$ ——由 X 射线源与屏蔽墙对向的立体角 ( $S_r$ )，根据本项目布局设计，束流损失点的天空反散射的立体角为 1.266，辐照室贯穿 X 射线天空反散射的立体角为 0.234；

$d_1$ ——在屋顶上方 2m 处距离靶的垂直距离 (m) ;

$d_s$ ——X 射线源至关注点的距离 (m) 。

表 11-9 辐照室直射所致关注点处剂量率计算一览表

关注点	受照类型	$D_0$ (Gy/h)	S (cm)	T1 (cm)	Te (cm)	Bx	$\Omega$	$d_1$ (m)	$d_2$ (m)	$H_m$ ( $\mu$ Sv/h)
P	束流损失 (前两级)	47.04	150	20.4	18.3	8.28E-09	1.266	5.5	11.1	3.55E-06
	束流损失 (均匀段)	6	150	32.5	32.5	2.42E-05	1.266	5.5	11.1	1.33E-03
	辐照室贯穿	810	150	35.5	35.5	5.95E-05	0.234	9.9	11.1	4.59E-02
	合计									5.03E-02

综上所述，本项目加速器机房周围剂量率最大值为 0.808Sv/h，位于主机室南侧工作人员出入口，该剂量率满足《电子加速器辐照装置辐射安全与防护》（HJ 979-2018）中限值要求。

### 11.2.2 人员受照剂量估算

#### 1、年有效剂量计算

为进一步评价该机房辐射防护设计的有效性及其项目运行中对职业人员和公众产生的附加辐射剂量，对项目运行过程中对职业人员和公众成员进行附加辐射剂量估算评价。

年有效剂量估算公式如下： $P_{\text{年}}=H \cdot U \cdot T \cdot t \cdot 10^{-3}$ ..... (11-8)

式中： $P_{\text{年}}$ —一年受照剂量，mSv/a；

H—关注点辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

U—使用因子，本项目均取 1；

T—居留因子；

t—一年受照时间，h/a。

#### 2、照射时间确定

本项目拟配备 6 名放射工作人员从事电子加速器操作，其中 1 名兼为辐射安全管理人员。放射工作人员工作为三班制，每班 8 小时，年工作 330 天。每天最长出束时间 24h。

#### 3、辐射工作人员的年有效剂量

单台电子加速器运行时，对工作人员影响的区域主要在主机室人员入口处，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，保守估计，本次取机房周围理论计算结果中的最大值  $0.808\mu\text{Sv/h}$  作为辐射工作人员受照剂量率进行估算，居留因子取 1，由式 (11-8) 估算出该区域活动的辐射工作人员的年有效剂量为  $2.14\text{mSv/a}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中规定的辐射工作人员年剂量限值的要求，同时也满足本项目对辐射工作人员的剂量约束值 (职业人员  $\leq 5\text{mSv/a}$ ) 的要求。

#### 4、公众成员的年有效剂量

本项目公众活动区域位于一层周围，根据估算结果，单台电子加速器运行状态下主机室周围辐射剂量率取理论计算结果中的最大值  $0.808\mu\text{Sv/h}$ ，该区域为生产车间，且加速器运行时，辐射工作人员将于机房周围进行巡视，禁止无关人员逗留，因此公众成员居留因子取 1/32。由式 (11-8) 估算出该区域活动的公众成员的年有效剂量为  $0.06\text{mSv/a}$ ，

满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的公众成员年剂量限值的要求，同时也满足本项目对公众成员的年剂量约束值（公众成员 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ ）的要求。

公司厂区东侧为浙江驿路厨房设备有限公司厂房（距加速器机房约 33m），西侧为千人计划办公房（距加速器机房约 20m），北侧紧邻浙江中益建材科技有限公司厂房。公司对加速器机房控制区、监督区进行区域化管理，非辐射工作人员禁止进入该区域。同时鉴于 X 射线探伤机的辐射剂量随着与距离的增加迅速减小，且加速器机房的设计已预留了足够安全量，因此距离加速器机房更远处的其他厂房和办公处的其他公众人员亦不会受到额外的辐射照射，亦能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

### 11.2.3 非辐射环境影响

非辐射环境影响主要为辐照室空气在辐射照射下产生臭氧（O<sub>3</sub>）和氮氧化物（NO<sub>x</sub>）等有害气体。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，所以主要考虑臭氧的产生及其防护。

#### 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估算：

$$P=45dIG \quad (11-9)$$

式中：

P：单位时间电子束产生 O<sub>3</sub> 质量（mg/h）；

I：电子束流强度，mA；

d：电子束在空气中的行程（cm）（保守取值100cm）；

G：空气吸收100eV辐射能量产生的O<sub>3</sub>分子数，保守估算取为10。

#### 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50分钟），辐照室空气中臭氧的平衡浓度随辐照时间t的变化为：

$$C(t) = \frac{PT_e}{V} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_e}} \right) \quad (11-10)$$

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）；

V：辐照室体积（m<sup>3</sup>）（1.5MeV 取 112，2.0MeV 取 123，3.0MeV 取 326）；

T<sub>e</sub>：对臭氧的有效清除时间（h）

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

式中：

T<sub>v</sub>：辐照室换气一次所需时间（h）；

$T_d$ : 臭氧的有效化学分解时间 (h), 约为 50 分钟。

此种清理下,  $T_v \ll T_d$ , 因此  $T_e \approx T_v$ 。当长时间辐照时, 则辐照室内臭氧平衡浓度为:

$$C_s = \frac{PT_e}{V} \quad (11-12)$$

表 11-10 机房内臭氧平衡浓度

机房	束流强度 (mA)	P (mg/h)	体积 (m <sup>3</sup> /h)	风量 (m <sup>3</sup> /h)	$T_v$	$T_d$	$C_s$ (mg/m <sup>3</sup> )
辐照室	2	90000	200	12540	0.0159	0.83	7.04
主机室	0.98	44100	276	4000	0.069	0.83	10.18

根据表 11-10 可知, 机房臭氧浓度值大于《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) 中工作场所空气中 O<sub>3</sub> 的最高容许浓度为 0.3mg/m<sup>3</sup>, 因此, 当加速器停止运行后, 人员不能直接进入机房内, 风机必须继续运行。

### 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 GBZ2.1 所规定的工作场所最高容许浓度。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, 室内臭氧浓度随时间急剧下降, 浓度变化的平衡方程为:

$$dc/dt = -C/T_e \quad (11-13)$$

当  $t=0$  时,

$$C = C_s \quad (11-14)$$

得到浓度随时间的变化公式为:

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

由此可得:

关闭加速器后风机运行的持续时间公式为:

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

式中:

$C_0$ : GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度,  $C_0=0.3\text{mg/m}^3$ ;



T: 为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间 (h)。

表 11-11 臭氧达标所需时间

机房	$C_0$ ( $\text{mgm}^3$ )	$C_t$ ( $\text{mgm}^3$ )	$T_e$	T (min)
辐照室	0.3	7.04	0.02	2.96
主机室	0.3	10.18	0.06	13.5

根据表 11-11 可知, 辐照室内臭氧经 2.96min、主机室内臭氧经 13.5min 的通风排气后, 机房内的臭氧浓度可低于 GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度 ( $0.3\text{mg/m}^3$ ), 此时工作人员进入辐照室是安全的。

本项目加速器辐照室均拟设置通风联锁装置, 机房内通风系统与控制系统联锁, 加速器停机后, 只有达到预先设定的时间后才能开门, 以保证机房内臭氧等有害气体浓度低于允许值, 该公司应明确预先设定辐照室的排风时间应不少于 3min。

本项目加速器辐照机房臭氧风机排风速率不低于  $12540\text{m}^3/\text{h}$ 、主机室拟配备的排风机速率不低于  $4000\text{m}^3/\text{h}$ , 室内臭氧和氮氧化物通过排风系统排入外环境, 臭氧在常温下可自行分解为氧气, 对环境影响较小; 氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一, 对环境影响较小。

### 11.3 事故影响分析

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, 关机时没有射线发出。因此, 检修方便, 断电状态下也较为安全。在意外情况下, 可能出现的辐射事故如下:

#### 1、最大可信事故

(1) 电子加速器在工作时, 由于安全联锁装置和工作指示灯等失灵, 若人员误闯或误入控制区, 会造成工作人员和周围公众受到额外的照射。

(2) 设备检修时, 由于操作失当, 误开辐照电子加速器, 造成检修人员受到额外的照射。

#### 2、事故后果

本项目中的电子加速器属于 II 类射线装置, 为中危险射线装置, 事故可能引起急性放射性损伤。长时间、大剂量照射甚至导致死亡。

#### 3、事故预防措施

分析事故发生的原因，此类事故大都是人为因素造成的，即由于忽视辐射安全管理，违规操作造成的辐射事故。为有效预防各类辐射事故发生，建议企业采取以下事故预防措施：

（1）企业内部加强辐射安全管理，警钟长鸣，管理人员定期开展监督检查，营造持续改进的辐射安全文化。

（2）严格执行辐射安全管理制度，按照操作规程工作。每天开展辐照工作前，检查确认辐射安全联锁、急停开关、视频监控、探伤机完好性等各项安全措施的有效性，避免联锁失灵等设施设备事故。杜绝联锁装置旁路情况下开机操作。

（3）辐射工作人员注意佩戴好个人剂量计、报警仪等监测仪表。若辐射工作人员按照规定进入辐照室时携带有效的个人剂量报警仪，当报警仪发出报警声时，人员可立即知晓情况并就近按下急停开关，设备可停止出束，此时人员不会受到大剂量照射。

（4）开机前注意辐照室清场，工作期间不得脱岗。

**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**

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及生态环境部门的要求，浙江高鹰科技发展有限公司必须成立辐射防护管理机构，制订辐射环境管理规章制度，并在取得相应的《辐射安全许可证》后射线装置方可正式使用。具体如下：

必须制定《放射防护安全管理机构及职责》。内容包括：

(1) 应确定本单位辐射工作安全责任人，设置以行政主管领导为组长的辐射防护领导机构，并指定专人负责射线装置运行时的安全和防护工作。

(2) 辐射防护领导机构应规定各成员的职责，做到分工明确、职责分明。

(3) 辐射防护领导机构应加强监督管理，切实保证各项规章制度的实施。

### **12.2 安全管理规章制度**

1、必须制定《辐射安全管理工作制度》。内容应包括：

(1) 须按法律法规要求，尽快向生态环境部门申请办理《辐射安全许可证》，领取许可证且办理登记手续后方可从事许可范围内的放射工作，需改变许可登记内容或终止放射工作时，必须按规范向审批部门办理变更或注销手续。

(2) 在从事辐射操作前，须制订《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》、《自行检查和年度评估制度》、《辐射工作安全责任书》等规章制度；同时该公司须组织辐射工作人员进行上岗培训和辐射安全防护知识的培训，并进行个人剂量检测和职业健康检查。

2、必须制定《操作规程》。

(1) 凡涉及对射线装置进行的操作，都有应有明确的操作规程（包括开机检查、门机连锁检查等一系列工作），操作人员必须按操作规程进行操作。

(2) 操作人员必须熟悉电子加速器的性能和使用方法，并做好相应的个人防护，操作规程应张贴在操作人员可看到的显眼位置，防止误操作。

3、必须制定《岗位职责》。

必须制定电子加速器操作人员的岗位职责。

#### 4、必须制定《辐射防护和安全保卫制度》。

(1) 射线装置的使用场所，应有门—机联锁安全装置、开机工作警示灯，电离辐射警示标志及中文警示说明等防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。

(2) 建立射线装置的档案和台帐，贮存、使用射线装置时及时进行登记、检查，做到帐物相符。

#### 5、必须制定《设备检修维护制度》

对可能引起操作失灵的关键零配件及时更换。设备检修时禁止开启电子加速器，待检修完毕，开启电子加速器，确认检修完成。

#### 6、须制定《自行检查和年度评估制度》

安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容：

(1) 辐射安全和防护设施的运行与维护情况；  
(2) 辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；  
(3) 辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训（以下简称“辐射安全培训”）情况；

(4) 场所辐射环境检测和个人剂量检测情况及检测资料；

(5) 辐射事故及应急回应情况；

(6) 核技术利用项目新建、改建、扩建情况；

(7) 存在的安全隐患及其整改情况；

(8) 其它有关法律、法规规定的落实情况。

(9) 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，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。

(10) 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。年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

### 12.3 日常巡检（管理）及记录

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。

#### 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态。

#### 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。

#### 4、记录

公司必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。

## 12.4 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。

### 1、监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）等要求，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。公司拟配备 1 台 X- $\gamma$ 剂量监测仪，并为每名辐射工作人员配备个人剂量计和剂量报警仪。

### 2、个人剂量监测

辐射工作人员工作时应佩戴个人剂量计，并定期（一季度 1 次）送有资质部门进行监测，并建立个人剂量档案，加强档案管理。

### 3、工作场所辐射监测

公司须定期（每年 1 次）委托有资质的单位对加速器机房周围环境进行监测，并建立监测技术档案，监测数据每年年底向当地生态环境局上报备案。

- (1) 监测频度：每年常规监测一次。
- (2) 监测范围：辐照室和主机室的四周屏蔽墙外、防护门外及缝隙处、控制室内。
- (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

为有效预防和及时控制突发放射性事故，规范放射工作防护管理和突发放射性事故的应急处置工作，提高应对辐射事故的能力，切实保障工作人员及公众的生命安全，根据《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》（国务院第 449 号令）、其它有关法律、法规的规定和职能管理部门要求，企业必须结合自身实际，建立《辐射事故应急方案》。对突发放射性事故，企业应坚持以预防为主、防治结合、严格管理、安全第一的方针，建立和加强相应的监测、应急制度，做到及时发现、及时报告、快速反应、及时控制。同时要不断完善应急反应机制，增强应急处理能力，实现应急工作的科学化、规范化。

### 1、组织机构及职责

(1) 由辐射防护领导机构全面负责辐射事故的应急处理，保障事故处理的有效性、快捷性。

(2) 由总经理或行政主管领导担任总指挥。其职责：听取事故情况汇报，并组织放射防护安全管理领导小组会议，制定处理方案，并及时向生态环境部门、卫生部门和公安部门报告。

(3) 辐射防护领导机构其它成员在总指挥的统一领导下，开展事故现场救援、调查处理和善后处理工作。

### 2、应急处置程序

(1) 发生放射性事故时，现场工作人员应立即采取切断射线装置电源、并报告公司领导。

(2) 公司领导接到报告必须立即赶往现场，并采取封闭现场等有效措施，防止事故的进一步扩大和蔓延，2 小时内填写辐射事故初始报告表，明确事故类型（丢失、被盗、误照射等），并根据事故类型及时（两小时内）向当地生态环境、卫生、公安等职能部门报告。

(3) 生态环境部门接到事故报告后立即赶赴现场，进行处理，企业应积极配合，做好相关工作。

(4) 事故发生后，企业应认真配合生态环境部门进行调查。

3、还需包括辐射事故调查、报告和处理程序及人员和联系方式。

4、该公司应每年至少组织一次事故应急演练，演习报告存盘。

## 12.6 安全培训及健康管理

(1) 公司须组织从事辐射操作的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平台学习相关知识并经考核合格取才能上岗。取得辐射安全培训合格证书的人员，应按要求定期接受继续教育，包括新颁布的相关法律、法规和辐射安全与防护专业标准、技术规范，以及辐射事故案例分析与经验回馈等内容。

(2) 辐射工作人员均须配备个人剂量计，个人剂量计每 3 个月到有资质的单位监测一次，并建立个人剂量档案，加强档案管理：个人剂量档案应保存至辐射工作人员年满 75 周岁或停止辐射工作满 30 年。

(3) 公司须组织辐射工作人员到有资质的医院进行上岗前体检，并每两年进行一次职业健康检查，建立个人健康档案。在本公司从事过辐射工作的人员在离开该工作岗位时也要进行放射性职业健康体检。



## 表 13 结论与建议

### 13.1 产业政策符合性和实践的正当性

浙江高鹰科技发展有限公司工业辐照电子加速器应用项目，项目建设属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》中第一类鼓励类中第六条核能中“6 同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

其加速器运行时至辐射工作人员和周围公众成员的剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。因而，只要按规范操作，该公司使用加速器是符合辐射防护“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。

### 13.2 选址合理性

浙江高鹰科技发展有限公司位于浙江省湖州市德清县阜溪街道秋丰路 176 号。本项目位于厂区一层车间内。厂区东侧秋丰路；南侧为浙江驿路厨房设备有限公司（距加速器机房约 33m）；西侧为千人计划办公房（距加速器机房约 20m）；北侧浙江中益建材科技有限公司厂房。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加速器周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。公司对加速器机房控制区、监督区进行区域化管理，非辐射工作人员禁止进入该区域。同时鉴于 X 射线探伤机的辐射剂量随着与距离的增加迅速减小，且加速器机房的设计已预留了足够安全量，因此距离加速器机房更远处的其他厂房和办公处的其他公众人员亦不会受到额外的辐射照射，亦能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。在此基础上，从辐射环境保护方面论证，本项目选址是合理可行的。

### 13.3 辐射环境影响分析

#### 1、机房周边辐射水平

根据理论计算，本项目加速器机房周围剂量率最大值为  $0.808\mu\text{Sv/h}$ ，位于主机室人员出入口，该剂量率满足《电子加速器辐照装置辐射安全与防护》（HJ979-2018）中限值要求。

#### 2、人员剂量

根据计算结果，本项目放射工作人员年剂量均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的职业照射剂量约束值（20mSv/a）和本项目规定的职业照射剂量约束值（5mSv/a）。

项目对公众剂量可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的公众照射剂量限值（1mSv/a）及本评价建议的公众照射剂量约束值（0.1mSv/a）。

### 13.4 污染防治措施

公司在辐照室运行前需落实以下污染防治措施：

（1）防护门连锁：防护门采用门机连锁装置，门打开时，通过门上的限位连锁装置切断加速器电源，防止人员误照，为第一道安全防护措施。门机连锁装置运行正常。光电装置：辐照室和主机室迷宫口均装有光电装置，并发出光、报警，并自动切断加速器电源。

（2）红外感应系统连锁：电子加速器辐照室、主机室迷道的入口处及转角处设有幕帘式红外感应系统。当有人误入时通过红外感应系统自动切断加速器电源，防止产生误照。

（3）紧急停机开关：在辐照室和主机室的墙上都有紧急停机开关。

（4）信号系统：在辐照室和主机室的出入门外都有双色信号灯，直接告知工作状态，并与连锁装置连接。

（5）实时摄像监视系统：在辐照室内安装实时摄相监视器，使操作位上工作人员能清楚地观察到辐照室内情况。

（6）声光警示系统：电子加速器辐照室外设有警铃和灯光警示装置，加速器开机前 15 秒前警铃鸣，灯光闪。

（7）信号指示系统：电子加速器辐照室防护门处设置信号装置，用红、绿两种颜色的灯，分别显示运行、停机等不同状态。

（8）剂量率监测系统：电子加速器辐照室防护门口设有剂量率实时监测系统。

（9）加速器辐照室周围均须设置电离辐射警告标志，并用中文注明“当心电离辐射”，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。

（10）各项辐射环境管理规章制度应张贴于工作现场处。

（11）主机室和辐照室均设置机械通风设施，工作期间应保证机械通风的正常运行，

降低室内臭氧和氮氧化物的浓度。

(12) 公司须给每个辐射工作人员配备个人剂量计及个人剂量报警仪，个人剂量计每季度送有资质单位检测，并建立个人剂量档案。

(13) 加速器辐照机房臭氧风机排风速率不低于 12540m<sup>3</sup>/h、主机室拟配备的排风机速率不低于 4000m<sup>3</sup>/h，停机后主机室继续排风 13.5min，辐照室继续排风 2.96min，排风口高度高于屋面 0.4m 以上。

(14) 在主机室和辐照室内设置复位开关，每次开机运行前由的加速器控制人员进入主机室和辐照室进行巡检并依次打开复位开关，确保主机室和辐照室内无人员滞留时方可开机。

(15) 为防止臭氧和氮氧化物对工作人员的影响，公司应配备防护服和口罩或面罩，工作人员进入加速器机房前应该穿戴。

### **13.5 辐射环境管理制度**

公司应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，项目从事辐射操作前，必须制订《放射防护安全管理机构及职责》、《辐射安全管理制度》、《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》、《自行检查和年度评估制度》、《辐射工作安全责任书》等规章制度。

### **13.6 安全培训及健康管理**

辐射工作人员经学习考核合格后才能上岗，并须佩带个人剂量计，每 3 个月检测一次，建立个人剂量档案。辐射工作人员上岗前须进行体检，并每两年进行一次职业健康检查，建立个人健康档案。

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，且须在岗期间每两年进行一次职业病健康体检，并建立完整的个人健康档案，档案保存时限为工作人员年满 75 岁或工作人员停止辐射工作后 30 年。

### **13.7 结论**

综上所述，浙江高鹰科技发展有限公司在落实本评价报告所提出的各项污染防治措施和辐射环境管理计划后，使用工业辐照电子加速器开展辐照工作时对周围环境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，本项目的建设和运行是可行

的。

### **13.8 承诺和建议**

(1)加强对辐射工作人员专业知识和业务工作的定期培训,提高操作熟练程度,从而最大程度地降低受照剂量、避免辐射事故的发生。

(2)项目批复后,试运行期间发现问题及时整改,编制验收报告,并依法向社会公开验收报告,经企业自主验收合格后方可投入正式运行,并接受生态环境部门的监督检查。

## 表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：

公章

经办人  
年月日

审批意见：

公章

经办人  
年月日

建设项目环评审批基础信息表

填表单位（盖章）：		浙江高鹰科技发展有限公司				填表人（签字）：		建设单位联系人（签字）：			
建设项目	项目名称	浙江高鹰科技发展有限公司对医疗器械、药品、食品等进行辐照灭菌、改性项目				建设内容规模		建设内容：新增 1 座加速器机房，配置 1 台 10MeV 工业电子加速器 规模：1 台工业电子加速器 计量单位：台			
	项目代码 <sup>1</sup>	/									
	建设地点	浙江省湖州市德清县阜溪街道秋丰路 176 号				计划开工时间		2021 年 1 月			
	项目建设周期（月）	2.0				预计投产时间		2021 年 3 月			
	环境影响评价行业类别	五十、核与辐射：191、核技术利用建设项目				国民经济行业类型 <sup>2</sup>		C4120 核辐射加工			
	建设性质	新建（迁建）				项目申请类别		新申项目			
	现有工程排污许可证编号（改、扩建项目）	无									
	规划环评开展情况	未开展				规划环评文件名		无			
	规划环评审查机关	无				规划环评审查意见文号		无			
	建设地点中心坐标 <sup>3</sup> （非线性工程）	经度	120.027217	纬度	30.553671	环境影响评价文件类别		环境影响报告表			
	建设地点坐标（线性工程）	起点经度	/	起点纬度	/	终点经度	/	终点纬度	/	工程长度（千米）	/
	总投资（万元）	3000.00				环保投资（万元）		1000.00		环保投资比例	33.3%
建设单位	单位名称	浙江高鹰科技发展有限公司	法人代表		评价单位	单位名称	浙江问鼎环境工程有限公司	证书编号	国环评证乙字第 2053 号		
	统一社会信用代码（组织机构代码）	91330521MA2D136Q7A	技术负责人			环评文件项目负责人	鲁琼芳	联系电话	0571-87207864		
	通讯地址	浙江省湖州市德清县阜溪街道秋丰路 176 号		联系电话			通讯地址	杭州市西湖区双龙街 199 号金色西溪商务中心 3 号楼 3 楼			
污染物排放量	污染物	现有工程（已建+在建）		本工程（拟建或调整变更）	总体工程（已有+在建+拟建或调整变更）				排放方式		
		①实际排放量（吨/年）	②许可排放量（吨/年）	③预测排放量（吨/年）	④“以新带老”削减量（吨/年）	⑤区域平衡替代本工程削减量 <sup>4</sup> （吨/年）	⑥预测排放总量（吨/年）	⑦排放增减量（吨/年）			
	废水	废水量（万吨/年）								<input checked="" type="checkbox"/> 不排放 <input type="checkbox"/> 间接排放： <input type="checkbox"/> 市政管网 <input type="checkbox"/> 集中式工业污水处理厂 <input type="checkbox"/> 直接排放：受纳水体	
		COD									
		氨氮									
		总磷 总氮									
	废气	废气量（万标立方米/年）								/	
		二氧化硫									
氮氧化物											
颗粒物											
	挥发性有机物								/		
项目涉及保护区与风景名胜区的情况	影响及主要措施		名称	级别	主要保护对象（目标）	工程影响情况	是否占用	占用规模（公顷）	生态保护措施		
	自然保护区								<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建		
	饮用水水源保护区（地表）								<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建		
	饮用水水源保护区（地下）								<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建		
	风景名胜区								<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建		

注：1、同级经济部门审批核发的唯一项目代码；  
 2、分类依据：国民经济行业分类（GB/T4754-2011）；  
 3、对多点项目仅提供主体工程的中心坐标；  
 4、指该项目所在区域通过“区域平衡”专为本工程替代削减的量；  
 5、⑦=③-④-⑤，⑥=②-④+③。