

核技术利用建设项目

**青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司**

**工业电子加速器辐照项目**

**环境影响报告表**

青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司

2022 年 11 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

**青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司**

**工业电子加速器辐照项目**

**环境影响报告表**

建设单位名称：青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：山东省青岛市黄岛区东元路 2118 号 4 栋车间

邮政编码：266000

联系人：张静

电子邮箱：1339204536@qq.com

联系电话：17862835135

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称	青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司工业电子加速器辐照项目				
建设单位	青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司				
法人代表	崔焕荣	联系人	张静	联系电话	17862835135
注册地址	山东省青岛市黄岛区东元路 2118 号 4 栋车间				
项目建设地点	山东省青岛市黄岛区东元路 2118 号 4 栋车间东侧中间位置				
立项审批部门	\		批准文号	\	
建设项目总投资 (万元)		项目环保投 资(万元)	560	投资比例(环保 投资/总投资)	6.67%
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> )	210.8
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	/				
<b>1.1 公司简介</b>					
<p>青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司成立于 2022 年 10 月 13 日，注册资本为壹仟陆佰万元整，法定代表人为崔焕荣，注册地址位于山东省青岛市黄岛区东元路 2118 号 4 栋车间，经营范围为：一般项目：技术服务、技术开发、技术咨询、技术交流、技术转让、技术推广；电子（气）物理设备及其他电子设备制造。</p> <p>公司地理位置见附图 1，周边影像关系见附图 2。</p>					
<b>1.2 项目建设规模</b>					
<b>1.2.1 项目概况</b>					
<p>公司计划从事工业电子加速器辐照加工，为青岛市胶南地区及周边地区客户提供食品、农副产品、医药等领域产品灭菌保质服务。</p>					

为满足公司辐照业务的需求，公司租赁了山东省青岛市黄岛区东元路 2118 号 4 栋车间作为本公司车间，拟于车间东侧中间位置建设 2 座加速器机房，并于每座加速器机房内安装 1 台 ProAcc-10/20 型工业电子加速器用于辐照加工。

拟建 2 座加速器机房设计相同、呈南北并列布置，中间相隔约 8m 的过道。为便于区分，2 座机房自北向南依次编号为 1#加速器机房和 2#加速器机房。2 座加速器机房均为双层建筑，一层布置有辐照室（西侧设有迷道）、束下配电柜室、风机室、设备组装室；二层布置有主机室（南侧设有迷道）、机柜室、主控室、水冷设备室。本项目 2 台加速器照射方向均为向下照射。

经与建设单位核实，公司无其他核技术利用设备应用，本次属于首次开展核技术利用项目。经现场勘查，本项目加速器机房尚未开工建设，工业电子加速器尚未购置。本项目属使用 II 类射线装置项目。

本次评价涉及的射线装置情况见表 1-1。

表 1-1 本次评价涉及的射线装置

名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA)	用途	工作场所	照射方向
工业电子加速器	II 类	1 台	ProAcc-10/20 型	电子	10	2	辐照加工	1#加速器机房内	向下照射
工业电子加速器	II 类	1 台	ProAcc-10/20 型	电子	10	2	辐照加工	2#加速器机房内	向下照射

### 1.2.2 项目选址合理性分析

青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司已与公司签订了租赁合同，根据公司持有的不动产权证书（鲁号），本项目所在用地为工业用地，用地性质符合区域土地利用要求。土地证及租赁合同见附件。

公司租赁的 4 栋车间位于青岛中赢包装制品有限公司南侧。经现场勘查，加速器机房暂未开工建设，拟建机房位于 4 栋车间东侧中间位置，东侧为已辐照区、道路、青岛胜代机械有限公司，南侧为物流通道、道路、青岛五顺汽车模具部件有限公司，西侧为未辐照区，北侧为物流通道、青岛中赢包装制品有限公司 3#车间，西北侧为青岛中赢包装制品有限公司 2#车间。机房（辐照室和主机室）50m 评价范围内存在 3 处环境保护目标：北侧及西北侧约 25m

处青岛中赢包装制品有限公司、东侧约 35m 处青岛胜代机械有限公司、南侧约 22m 处青岛五顺汽车模具部件有限公司。经下文分析，加速器机房周围的辐射水平可满足国家相关要求，经过距离衰减，本项目对周围环境保护目标辐射影响较小。

综上，本项目选址合理。本项目所在厂区平面布置见附图 3。

### 1.3 产业政策符合性

本项目为使用工业电子加速器进行辐照产品的加工。根据《产业结构调整指导目录（2021 年修订本）》（中华人民共和国发展和改革委员会令第 29 号），本项目不属于鼓励类、限制类和淘汰类，属于国家允许建设的项目，符合产业政策。

### 1.4 实践正当性

本项目工业电子加速器应用有利于辐照产品的消毒灭菌等技术服务，可保证产品质量，具有良好的社会效益和经济效益。且经计算分析，本项目运行过程中产生的辐射影响可以满足国家有关要求，因此本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

### 1.5 “三线一单”符合性

根据《山东省生态保护红线规划（2016-2020 年）》（鲁环发〔2016〕176 号）及《山东省人民政府关于山东省生态保护红线规划(2016-2020 年)的批复》（鲁政字〔2016〕173 号），本项目位于青岛市黄岛区境内，距离本工程最近的生态红线区为本项目北侧约 700m 处的小珠山生物多样性维护生态保护红线区（SD-02-B4-02），因此本项目不在青岛市省级生态保护红线内。本项目与青岛市省级生态红线位置关系图见附图 4。

本项目为工业电子加速器建设项目，运行过程中机房周围的辐射水平均低于剂量率限值要求，产生的废气能得到合理的处置，运营期不会对区域环境质量造成明显影响，符合环境质量底线要求。本项目不涉及生产活动，运行期不涉及能源、土地资源的消耗，用水量较少，不会对区域水资源造成影响，符合资源利用上线要求。

根据《关于印发青岛市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（青政字〔2021〕16 号），结合区域特点和功能定位，统筹划定陆域和海域环境管控单元，建立“1+146+63”生态环境准入清单体系，即 1 个市级生态环境总体准入清单，146 个陆域环境管控单元和 63 个海域环境管控单元的生态环境准入清单。根据青岛市环境管控单元分布图（附图 5），本项

目位于重点管控单元。对照青政字[2021]16号中青岛市市级生态环境总体准入清单，本项目符合青岛市的生态环境准入要求。

综上，本项目的建设符合青岛市“三线一单”的要求。

## 1.6 目的和任务的由来

青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司拟利用工业电子加速器进行辐照加工，工业电子加速器在工作过程中会对环境产生一定的辐射影响。根据《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”中“172 核技术利用建设项目”中“生产、使用Ⅱ类射线装置的”，应编制环境影响报告表。

为保护环境和公共利益，根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规对伴有辐射建设项目环境管理的规定，青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司委托我公司对工业电子加速器辐照项目进行辐射环境影响评价。接受委托后，在进行现场调查与核实、辐射环境检测、收集和分析有关资料、理论计算等基础上，我单位编制完成了《青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司工业电子加速器辐照项目环境影响报告表》。

本项目涉及使用2台工业电子加速器用于辐照加工，核技术利用类型属使用Ⅱ类射线装置。

## 表 2 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	工业电子加速器	II类	2	ProAcc-10/20 型	电子	10	2mA	辐照加工	加速器机房内	向下照射

## 表 3 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
放射性废水	液态	$^{15}\text{O}$ 、 $^{16}\text{N}$	/	/	/	/	/	正常情况下不产生；非正常情况下产生后在排放前提前放置一段时间，水中的放射性核素衰减至可忽略的水平。经厂区内卫生间、化粪池收集后定期清运。
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	/	少量	/	/	废气经排风系统排至外环境

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 4 评价依据**

<p><b>法规文件</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第 9 号，2015.1 施行；</li> <li>2. 《中华人民共和国环境影响评价法》，根据中华人民共和国主席令第 24 号修订，2018.12 施行；</li> <li>3. 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第 6 号；2003.10 施行；</li> <li>4. 《建设项目环境保护管理条例（2017 修订）》，国务院令第 682 号，2017.10 施行；</li> <li>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，2005.12 施行，2014.7 第一次修订，2019.3 第二次修订；</li> <li>6. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，国家环境总局令第 31 号，2006.3 施行，2008.12 第一次修订，2017.12 第二次修订，2019.8 第三次修订，2021.1 第四次修订；</li> <li>7. 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，2011.5 施行；</li> <li>8. 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，生态环境部令第 16 号公布，2021 年 1 月 1 日施行；</li> <li>9. 《关于发布&lt;射线装置分类&gt;的公告》，环境保护部与国家卫生和计划生育委员会公告，2017 年第 66 号，2017.12 施行；</li> <li>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》，国家环保总局环发[2006]145 号，2006.9 施行；</li> <li>11. 《山东省辐射污染防治条例》，山东省人民代表大会常务委员会公告第 37 号，2014.5 施行；</li> <li>12. 《山东省环境保护条例》，山东省第十三届人大常委会第七次会议，2018 年 11 月 30 日修订，2019.1 施行。</li> </ol>
<p><b>技术标准</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>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）；</li> </ol>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T25306-2010）；</li> <li>3. 《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）；</li> <li>4. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</li> <li>5. 《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</li> <li>6. 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）；</li> <li>7. 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</li> <li>8. 《环境影响评价技术导则-大气环境》（HJ2.2-2018）；</li> <li>9. 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；</li> <li>10. 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）。</li> </ol>
其他	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司工业电子加速器辐照项目环境影响评价委托书；</li> <li>2. 青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司提供的加速器机房设计图纸等资料；</li> <li>3. 《辐射防护手册 第一分册 辐射源与屏蔽》（原子能出版社，李德平等）；</li> <li>4. 《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》（山东省环境监测中心站，1989年）。</li> </ol>

## 表 5 保护目标与评价标准

### 5.1 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）规定要求：“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”。

根据本项目辐射特点，本次评价范围为辐照室和主机室四周 50m 的范围。

### 5.2 保护目标

保护目标为评价范围内活动的辐射工作人员和公众成员。辐射工作人员为加速器机房二层主控室内的操作人员，公众成员包括加速器机房周围环境保护目标处人员、本项目所在 4 栋车间内普通工作人员以及其他偶然经过的公众人员。

本项目主要保护目标详见表 5-1。

表 5-1 本项目主要保护目标情况

保护目标	人数	方位	距离	环境特征
辐射工作人员	6 人	加速器二层主控室	——	单层（位于机房二层）砖混结构，高约 6.5m（控制室内层高 3.65m）。
公众成员	约 15 人	本项目所在 4 栋车间	0~50m	单层砖混结构（顶部为彩钢板），高约 8m，为本公司工作厂房。其中车间西北侧为一处双层办公室，东北侧为一处单层门卫室。
	约 40 人	东侧青岛胜代机械有限公司	35~50m	评价范围内 2 座单层彩钢板结构厂房，高约 8~12m，为青岛胜代机械有限公司生产厂房。
	约 50 人	北侧、西北侧青岛中赢包装制品有限公司	25~50m	评价范围内有 2 座单层砖混结构（顶部为彩钢板）厂房（2 栋车间、3 栋车间），高度均约为 10m，为青岛中赢包装制品有限公司生产、仓储用房。其中北侧距本项目最近距离为 25m、西北侧距离本项目最近

				约 35m
	约 50 人	南侧青岛五顺汽车模具部件有限公司	22~50m	评价范围内有 1 座单层彩钢板厂房，高约 15m，为青岛五顺汽车模具部件有限公司生产用房。
	——	周围偶然经过的公众人员	0~50m	——

### 5.3 评价标准

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

标准中附录B规定：

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；

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv。

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；

b) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mS。

剂量约束值通常在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内，本次取 10%。

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

4.2.1 辐射防护原则

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  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。如屏蔽体外为社会工作区域，屏蔽体设计必须符合公众成员个人剂量约束值规定。

#### 5.3.3 《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）

##### 4.1 工作场所空气中化学有害因素的职业接触限值

室内臭氧浓度的接触限值为  $0.3\text{mg/m}^3$ 。

#### 5.3.4 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）

##### 4 环境空气功能区分类和质量要求

##### 4.1 环境空气功能区分类

环境空气功能区分为二类：一类区为自然保护区、风景名胜区和需要特殊保护的区域；二类区为居住区、商业交通居民混合区、文化区、工业区和农村地区。

##### 4.2 环境空气功能区质量要求

一类区适用一级浓度限值，二类区适用二级浓度限值。本项目所在区域属于二类区，根据 GB3095-2012 表 1，臭氧 ( $\text{O}_3$ ) 1 小时平均浓度二级限值要求为： $200 \mu\text{g/m}^3$ 。

综上所述，本次评价采用  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  作为辐照室和主机室四周剂量率目标控制值；取  $5.0\text{mSv}$  作为职业工作人员的年管理剂量约束值、 $0.1\text{mSv}$  作为公众成员的年管理剂量约束值；分别采用  $0.3\text{mg/m}^3$  和  $200 \mu\text{g/m}^3$  作为辐照室内和周围空气中  $\text{O}_3$  的浓度限值。

## 表 6 环境质量和辐射现状

### 6.1 项目地理位置

青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司位于山东省青岛市黄岛区东元路 2118 号 4 栋车间，本工程加速器机房拟建于车间内东侧中间位置，机房距离车间东侧边界约 22m、距离车间南侧边界约 10m。

项目所在地理位置见附图 1，厂区及 4 栋车间平面布置见附图 3。加速器机房拟建区域现场勘查情况见图 6-1，四周环境详见表 6-1。



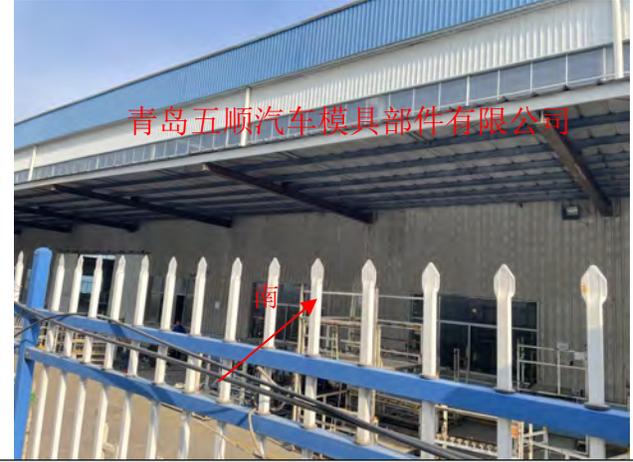
	
<p>加速器机房拟建区域南侧</p>	<p>加速器机房南侧青岛五顺汽车模具部件有限公司</p>
	
<p>加速器机房西北侧青岛中赢包装制品有限公司 2 栋车间</p>	<p>加速器机房北侧青岛中赢包装制品有限公司 3 栋车间</p>
	<p>/</p>
<p>加速器机房东侧青岛胜代机械有限公司</p>	<p>/</p>

图 6-1 本项目现场勘查照片（2022. 5）

表 6-1 本项目加速器机房周围环境一览表

工作场所	方向	周围场所名称 (0~50m)
1#加速器 机房 (辐 照室)	北 侧	物流通道、青岛中赢包装制品有限公司 3 栋车间
	东 侧	束下配电柜室、风机室、设备组装室、已辐照区、道路、青岛胜代机械有限 公司
	南 侧	过道、2#加速器机房、物流通道、道路、青岛五顺汽车模具部件有限公司
	西 侧	未辐照区
	西北侧	青岛中赢包装制品有限公司 2 栋车间
2#加速器 机房 (辐 照室)	北 侧	过道、1#加速器机房、物流通道、青岛中赢包装制品有限公司 3 栋车间
	东 侧	束下配电柜室、风机室、设备组装室、已辐照区、道路、青岛胜代机械有限 公司
	南 侧	物流通道、道路、青岛五顺汽车模具部件有限公司
	西 侧	未辐照区
	西北侧	青岛中赢包装制品有限公司 2 栋车间

## 6.2 环境天然辐射水平

根据山东省环境监测中心站对山东省环境天然放射性水平的调查，青岛市环境天然  $\gamma$  空气吸收剂量率见表 6-2。

表 6-2 青岛市环境天然辐射水平 ( $\times 10^{-8}\text{Gy/h}$ )

监测内容	范 围	平均值	标准差
原 野	4.24~13.00	6.62	1.45
道 路	1.15~12.40	6.90	2.38
室 内	3.12~16.16	11.09	2.33

注：表中数据摘自《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》，山东省环境监测中心站，1989 年。

## 6.3 环境质量和辐射现状

### 6.3.1 检测方案

本次评价根据项目实际情况制定检测计划，对本项目加速器机房拟建区域中心位置及周围辐射环境现状进行检测。检测方案如下所示：

#### 1、环境现状评价对象

加速器机房拟建区域周围辐射环境现状。

#### 2、检测因子

$\gamma$  辐射空气吸收剂量率。

### 3、检测点位

根据《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）的要求，由于本项目尚未开工建设，本次评价只进行项目场址现状值检测，在加速器机房拟建区域及其周围布设 10 个检测点， $\gamma$  辐射空气吸收剂量率检测布点见附图 2。

#### 6.3.2 质量保证措施

##### 1、检测单位

本次评价委托山东益景检测技术有限公司开展检测，山东益景检测技术有限公司已获得生态环境监测（检测）资质认定，具备本工程所涉及 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率的检测资质。

##### 2、检测仪器

设备名称	便携式 X- $\gamma$ 辐射剂量率仪
设备型号	HD-2005
设备编号	A-2020-02
性能指标	测量范围： $1 \times 10^{-8}$ Gy/h $\sim 1 \times 10^{-4}$ Gy/h 能量范围：30keV $\sim 3$ MeV
检定单位	中国计量科学研究院
检定证书编号	DLj12022-01412
检定有效期至	2023 年 2 月 10 日

##### 3、检测人员

本次由两名检测人员共同进行现场检测，两人均持证上岗。

##### 4、检测方法

依据《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）的要求和方法进行现场测量。将仪器接通电源预热 15min 以上，仪器探头离地 1m，设置好测量程序，仪器自动读取 10 个数据，计算平均值和标准偏差。

#### 6.3.3 检测时间与条件

2022 年 6 月 21 日，天气：晴；温度：25.3℃；相对湿度：57.5%。

#### 6.3.4 检测结果

拟建场地 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率检测结果见表 6-3。

表 6-3 拟建区域中心位置及周围  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率检测结果

序号	点位描述	检测结果 ( $\times 10^{-8}\text{Gy/h}$ )	
		$\gamma$ 空气吸收剂量率	标准偏差
1#	加速器机房拟建区域北侧	15.8	0.3
2#	加速器机房拟建区域东侧	16.1	0.4
3#	加速器机房拟建区域南侧	16.0	0.4
4#	加速器机房拟建区域西侧	15.8	0.3
5#	加速器机房拟建区域中心位置	16.1	0.3
6#	加速器机房北侧空地	15.8	0.3
7#	加速器机房西北侧青岛中赢包装制品有限公司 2 栋车间	16.0	0.3
8#	加速器机房北侧青岛中赢包装制品有限公司 3 栋车间	15.9	0.2
9#	加速器机房南侧青岛五顺汽车模具部件有限公司	15.4	0.4
10#	加速器机房东侧青岛胜代机械有限公司	16.0	0.6

注：检测结果已扣除宇宙射线响应值  $3.0 \times 10^{-8}\text{Gy/h}$ 。

### 6.3.5 环境现状调查结果评价

由表 6-3 的检测数据可知，加速器机房拟建区域及周围环境的  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率现状值为  $(15.4 \sim 16.1) \times 10^{-8}\text{Gy/h}$ ，在青岛市环境天然辐射水平范围内波动[室内  $(3.12 \sim 16.16) \times 10^{-8}\text{Gy/h}$ 、道路  $(1.15 \sim 12.40) \times 10^{-8}\text{Gy/h}$ ]。

## 表 7 项目工程分析与源项

### 7.1 施工期工程分析

本项目加速器机房尚未开工建设，施工期主要内容为机房的基础工程、主体防护工程以及设备、安全防护设施的安装。施工期可能的污染因素主要为常规环境要素，无辐射影响。本项目施工期工艺流程及产污环节见图 7-1。

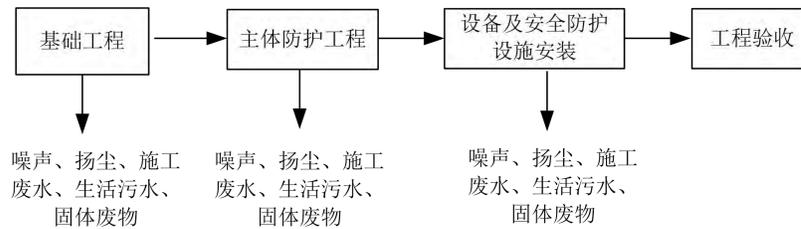


图 7-1 施工期工艺流程及产污环节

### 7.2 营运期工程分析

#### 7.2.1 工业电子加速器简介

##### 1、加速器系统组成

ProAcc-10/20 型加速器主要由电子发射系统、电子加速系统、束流整定系统、束流输出系统、微波传输系统、微波功率源系统、脉冲调制器系统、控制系统、恒温冷却系统等组成。

其中，电子发射系统是加速器的电子源，它产生一定能量、流强和形状要求的电子束，并进入加速管进行加速。

电子加速系统是电子在其中成束并被加速的部件。它需要在高真空环境中稳定可靠地建立一个均匀的高梯度直流加速电场。加速管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。

束流整定系统用一定的电磁场引导和约束被加速的粒子束，使它沿着一定的轨道加速。

束流输出系统包括输出导向、束流感应圈及漂移管，输出导向用于引导加速后的电子准确地进入束流测量感应圈和扫描系统，束流感应圈用来检测加速器输出脉冲束流。

电子加速器辐照装置的主要部分安装在二层的主机室内，束流输出系统位于加速器装置

机身正下方，通过二层地板伸向首层的辐照室。而接受辐照的物品通过传输系统从辐照室一侧入口经迷道进入辐照室，到达束流输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另一侧出口离开辐照室。

本项目建设 2 座加速器机房，每座机房内各安装 1 套加速器系统。加速器系统整体结构示意图见下图。

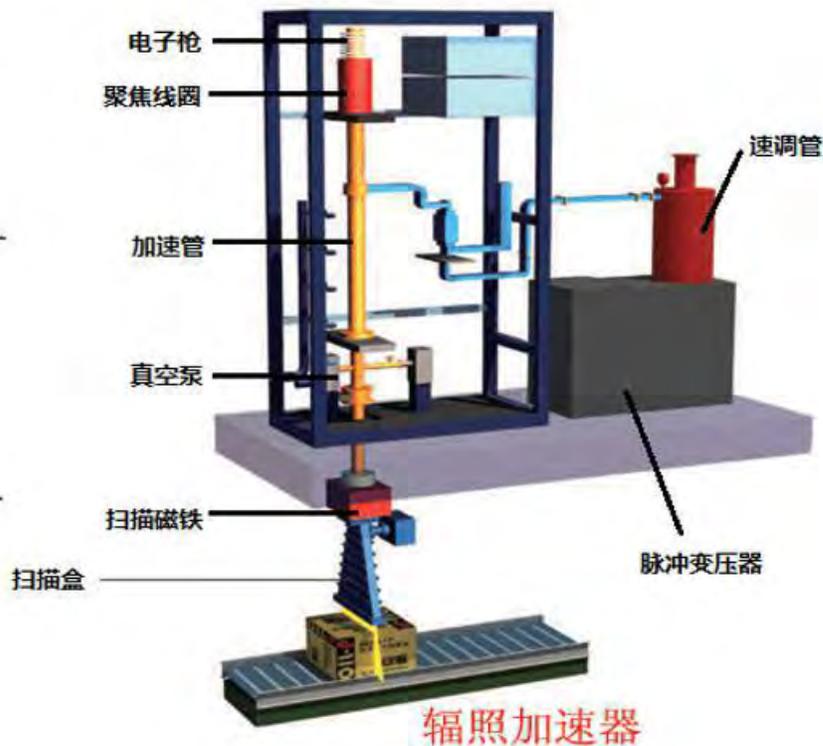


图 7-2 加速器系统整体结构图

## 2、工业电子加速器工作原理

辐射加工是将电子加速器产生的电子线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。

本项目加速器的工作原理为：脉冲变压器产生的脉冲频率，传入电子枪，电子枪发射脉冲频率一致的脉冲电子。加速管由经速调管产生的微波功率在腔体内形成行波场，当脉冲电子进入加速管后，通过行波场进行加速使其成为高能电子束，再经扫描系统把高能电子束变成电子束带，当辐照产品经由传输系统传送到扫描窗下，高能电子将穿透产品杀灭货物所携

带的细菌，达到灭菌的目的。聚焦系统提供适当强度的磁场约束电子防止电子散掉；恒温系统是是整个系统保持其工作在适宜的温度中；真空系统保证电子枪，加速管，扫描系统为真空状态。

建设单位拟安装电子加速器辐照装置主要部分在二层的主机室内，束流输出系统位于加速器装置机身正下方，通过二层楼地板伸向首层的辐照室。而接受辐照的物品通过自动传送系统从辐照室一侧入口经迷道进入辐照室，到达束流输出系统正下方的电子束有用线束范围内进行辐照。

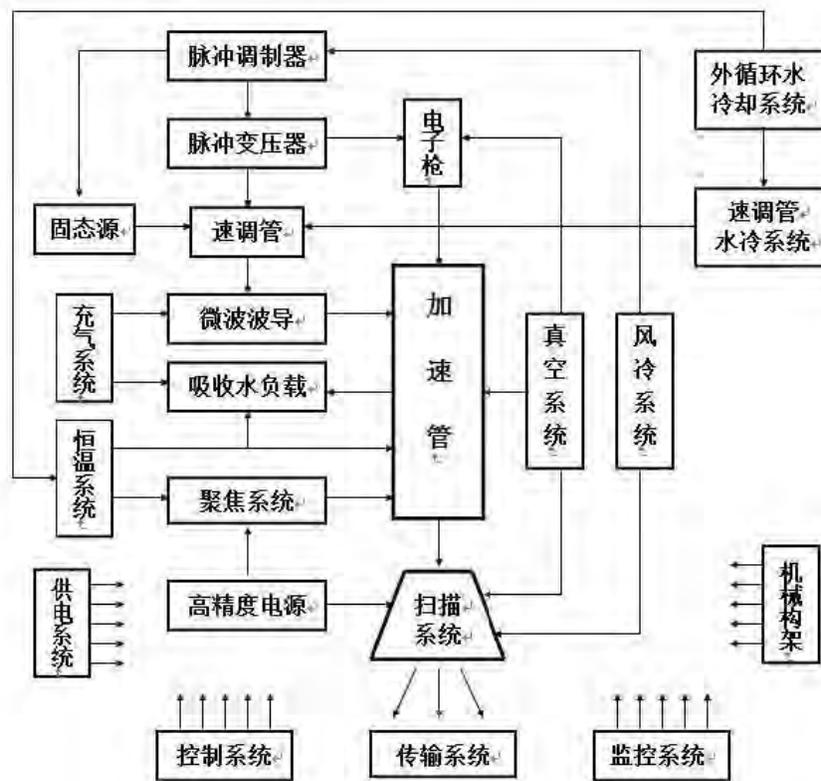


图 7-3 加速器工作原理示意图

### 3、主要技术参数

本项目拟采用 ProAcc-10/20 型工业电子加速器，该型号设备主要技术指标见表 7-1。

表 7-1 拟购工业电子加速器主要技术指标

型号	ProAcc-10/20 型
生产厂家	山东蓝孚高能物理技术股份有限公司
电子束能量	10MeV

最大束流功率	20kW
额定电子束流	2mA
扫描宽度	1m
能量不稳定性	±5%
束流不稳定性	±5%
主射束方向	向下
加速器工作方式	自动控制

### 7.2.2 工作流程

本项目在电子加速器开机出束进行辐照加工时，辐射工作人员位于机房二层主控室内操作。加速器机房可为辐射工作人员以及墙外停留或通过的人员提供足够的屏蔽防护，并可防止在开机过程中无关人员误入辐照室和主机室。

本项目工作流程为：待辐照产品运至 4 栋车间后先放置于车间内加速器机房西侧未辐照区，开始工作后，叉车司机驾驶叉车将待辐照产品由未辐照区运输至加速器机房西侧的上下货区域，由工作人员（非辐射工作人员）进行卸货，并将待辐照产品搬运至辐照室外输送带上；根据客户提供的原始微生物数据、要求达到的微生物限值、产品的耐受剂量进行确定辐照剂量，并在正式辐照前与客户进行加工确认。进行辐照前，由辐射工作人员进入辐照室和主机室内进行检查，确定无人员滞留后，按顺序按下所有巡检开关并离开辐照室、主机室，巡检需要按照预先设定顺序进行，顺序错误设备无法加载高压，需要重新进行巡检，然后关闭辐照室和主机室门，开启冷却系统、通风系统、排风系统等辅助系统，确认相关辅助系统运行正常并再次确认无异常情况，开启传输系统，并开机出束，开机后辐照室、主机室进出口处的光电开关即启动。通过输送带将货物由辐照室一端迷道送入辐照室内进行辐照，辐照后又随输送带从另一端迷道送出辐照室，完成一次辐照。如需多次辐照，需上下货区域工作人员对货物进行翻转，重复上述流程继续辐照，直至达到辐照剂量，完成产品的辐照加工，将产品卸下。辐射工作人员对辐照后产品进行剂量检验，验收不合格的产品重返辐照系统进行再次辐照；验收合格的出具合格证，送至加速器机房东侧已辐照区暂存，等待运出。

根据建设单位提供资料，每次换班后，当班工作人员会进入辐照室内进行设备检查，确保设备的正常开机运行。当出现安全连锁故障、束下设备故障、真空故障（更换钛箔、芯管击穿等）、束流吸收板和束流挡板故障时，由设备厂家专业人员进入辐照室内操作。

加速器辐照工艺流程见图 7-4。

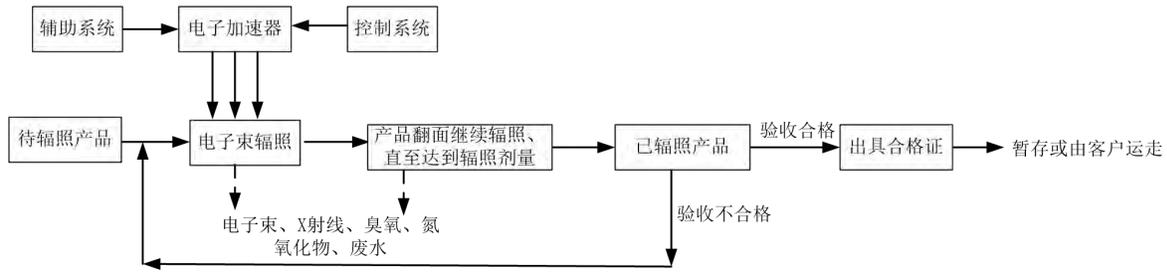


图 7-4 工业电子加速器辐照工艺流程图

### 7.2.2 工作负荷和人员配置

根据建设单位提供资料，以最大负荷计，工业电子加速器采用连续作业方式，每天运行时间不超过 20h，每年运行天数不超过 350d，因此每台加速器年出束时间不会超过 7000h。

根据建设单位提供资料，拟配备 6 名辐射工作人员（2 名值班班长和 4 名设备操作员）专职负责本项目加速器的操作。建设单位拟采取两班轮换制工作，每班配备 3 名工作人员，包括 1 名值班班长及 2 名设备操作员。每名辐射工作人员年受照时间不会超过 3500 小时。

## 7.3 污染源项描述

### 7.3.1 施工期污染因素分析与评价因子

#### 1、噪声

本项目施工期噪声主要来自场地平整、打桩、混凝土浇筑等几个阶段，主要噪声源为打桩机、混凝土搅拌机等各种建筑施工机械运转时的噪声以及建筑材料运输过程中的交通噪声，另外还有装置安装过程产生的一些突发性、冲击性、不连续性的敲打撞击噪声。

#### 2、废水

施工期废水主要来自两个方面：一是施工泥浆废水，二是施工人员的生活废水，施工泥浆废水主要来自混凝土养护。本项目建设内容较为简单，施工期最多时期有约 15 人施工，总施工期约 60 天，用水按每人每天 50L 计算，用水量为 0.5m<sup>3</sup>/d。废水产生量以 80% 计，生活污水产生量为 0.4m<sup>3</sup>/d。

#### 3、固体废物

固体废物主要是建筑垃圾和施工人员的生活垃圾，生活垃圾以每人每天 0.25kg 计，产生量为 2.5kg/d。

#### 4、扬尘

本项目在建设施工期需进行的打桩、混凝土浇筑等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘。

综上，施工期主要环境影响评价因子为：施工噪声、施工废水和生活污水、生活垃圾和建筑垃圾、施工扬尘。

### 7.3.2 营运期污染因素分析与评价因子

#### 1、X射线

电子加速器在进行辐照时电子枪发射电子，经加速管加速，在横向扫描磁场的作用下，扫描扩展，成为均匀扫描宽度的电子束，利用电子束对产品进行辐照。电子加速过程中，部分电子会丢失，打在加速管壁上，可产生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，可对周围环境辐射造成辐射污染，但关机后X射线影响即消失。在加速器运行过程中，除了由电子束在靶上产生的韧致辐射外，还可能由于其他原因产生某些次级辐射如泄露辐射、散射、反流电子引起的韧致辐射等。

建设单位使用的辐照加速器结构所用材料中最主要的元素为铝、铁和铜，另外电子辐照加速器装置可能对水（考虑核素O）和空气（考虑核素C,N,O）产生活化。本评价项目的辐照加速器的能量最高为10MeV，根据《辐射防护手册 第一分册 辐射源与屏蔽》（原子能出版社，李德平等）给出评价项目主要涉及核素的（ $\gamma$ ，n）反应阈能可知，设备运行期间，无需考虑空气和循环水中核素活化问题和感生放射性问题。而对于设备的材料，需考虑 $^{65}\text{Cu}$ （ $\gamma$ ，n） $^{64}\text{Cu}$ 反应产生的中子，因设备材料中Cu的含量低，所以仅产生微量的中子。加速器机房为混凝土结构，混凝土内会含有少量的水，可有效屏蔽产生的微量中子，所以无需单独考虑中子辐射影响。

#### 2、电子束

电子加速器在运行时可产生高能电子束，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。

#### 3、放射性废物

本项目工业辐照电子加速器最大电子能量为10MeV，无需考虑中子及感生放射性影响。本项目不产生放射性废气和放射性固体废物。

加速器设备中设计有外循环水冷却系统，这部分水可能由于活化而含有较强的放射性。冷却水中被活化而形成的放射性核素主要为<sup>15</sup>O、<sup>16</sup>N，它们的半衰期分别为2.1min和7.3s，半衰期很短，只需放置一定时间其活度就可以衰减到较低的水平。本项目加速器一次冷却水为内循环去离子水，正常运行时在内部不断循环，不外排，如遇特殊情况需排放则在排放前将提前放置一段时间，水中的放射性核素很快即可衰减至可忽略的水平，经厂区化粪池预处理后由环卫部门清运。当内循环水量低于水位时冷却水系统即自动报警，工作人员可及时补充去离子水，保证系统的正常运行。

#### 4、固体废物

本项目去离子水直接外购、不在厂区内制备，本项目不产生离子交换树脂等固体废物。

#### 5、非放射性污染因素分析

在加速器开机运行时，电子束与辐照室空气可通过电离作用产生臭氧(O<sub>3</sub>)和氮氧化物(NO<sub>x</sub>)，在NO<sub>x</sub>中以NO<sub>2</sub>为主。它们是具有刺激性作用的非放射性有害气体。本项目机房均设有专门的通风系统，设置进风口和排风口各1个，进风机和排风机设专门的管路，互不影响。进风机安装于二层水冷设备室内，设计通风量为1560m<sup>3</sup>/h，进风用于钛窗冷却。排风口位于各辐照室东侧辐照区地面中间位置，风机安装于一层辐照室东侧风机室内，一用一备，设计通风量分别为6000m<sup>3</sup>/h、10000m<sup>3</sup>/h，加速器运行期间只使用6000m<sup>3</sup>/h的风机，设备关机后两台风机共同开启。机房（辐照室、主机室）有效容积约为382.9m<sup>3</sup>，通风换气次数可达15次/小时（加速器关机后可达到41次/小时），辐照室内产生的臭氧等非放射性有害气体经排风机沿地下管道排出辐照室，最终经各辐照室东侧（风机室内东南角）1根15m高排气筒排向外环境。经计算，本项目臭氧最大落地浓度可满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）1小时平均浓度二级限值要求。

#### 6、噪声影响分析

本项目主要噪声源为风机等机械设备运转产生的噪声，噪声值范围为70dB（A）~80dB（A）。

综上所述，本次环境影响评价的评价因子为X射线，电子束，臭氧和氮氧化物，噪声，其中X射线为评价重点。

**表 8 辐射安全与防护**

## **8.1 项目安全措施**

### **8.1.1 项目分区与屏蔽设计**

#### **1、项目分区**

本项目分区参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中规定，“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”。

根据企业提供资料，本项目加速器机房拟设两层，一层为辐照室、束下配电柜室、风机室、设备组装室，二层为主机室、机柜室、主控室、水冷设备室。本项目拟划分控制区及监督区如下。

控制区：一层的辐照室、二层的主机室；加速器出束运行时，任何人不得进入控制区。

监督区：一层的束下配电柜室、风机室、设备组装室，南墙、北墙、西墙外 1m 等与控制区相邻区域；二层的机柜室、主控室和水冷设备室等与控制区相邻区域。

本项目拟在控制区边界设置电离辐射警告标志，拟于辐照室进出口处加设围栏。加速器机房传输系统外的上下货区域周围，在地面使用醒目的黄色警戒线划出监督区范围，并在边界上合适的位置悬挂清晰可见的“非辐射工作人员禁止进入工作场所”标牌。加速器开机运行时由上下货人员做好监督工作，禁止非辐射工作人员进入监督区范围内，防止无关人员进入机房工作区域。

#### **2、整体布局**

本项目加速器机房位于 4 栋车间东侧中间位置，2 座机房南北并排布置、设计相同。其中加速器机房一层辐照室东侧为受照区域（辐照区），西侧、南侧及北侧为迷道，排风口位于辐照室地面东侧受照区域中间位置，风机安装于辐照室外东侧风机室内，迷道外口均安装 1 个不锈钢门，该门主要为了防止人员误入，无防护作用。辐照室东北侧为束下配电柜室，室内安装有束下装置配电柜；辐照室东侧为风机房，风机房内安装 1 台排风机；辐照室东南侧为设备组装室，前期用于加速器设备组装，项目正式运行后用于对客户来品进行剂量验证。两座机房均于机房北侧设置楼梯，人员沿楼梯进入机房二层进行设备操作等工作。二层

东南侧为主机室，加速器筒体布置于各主机室内北侧偏西区域，主机室内南侧设置迷道，迷道外口安装 1 个电动平移式不锈钢门，防止人员误入。机柜室位于主机室西侧，室内安装有主调控制柜、调制器、电源柜等设备；主控室位于机柜室北侧，室内布置主控柜、网络机柜和控制台等，工作人员于此处操作辐照系统的运行。水冷设备室位于主控室东侧，机房内布置有水冷机、六氟化硫气瓶（4L）、进风风机等。

加速器筒体中安装加速器主机，可产生直流高压；水冷机用于设备冷却；六氟化硫气瓶用于设备维修时将加速器筒体内 SF<sub>6</sub> 转移到气瓶内储存。

本项目加速器机房一层平面布置及分区见图 8-1（a），加速器机房二层平面布置及分区见图 8-1（b）。加速器机房剖面图见图 8-2（a）、图 8-2（b）。

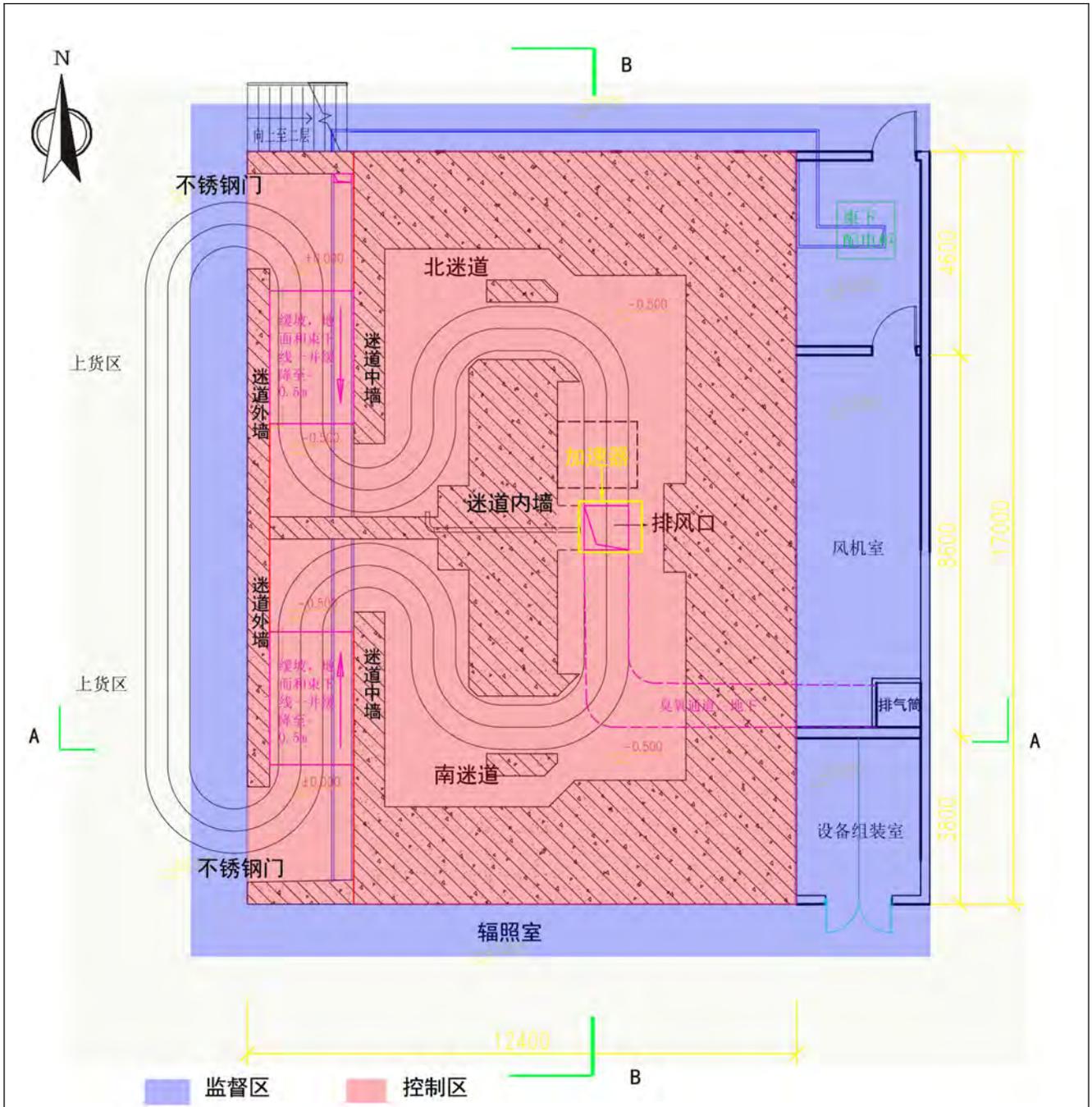


图8-1 (a) 辐照室平面布置及分区示意图





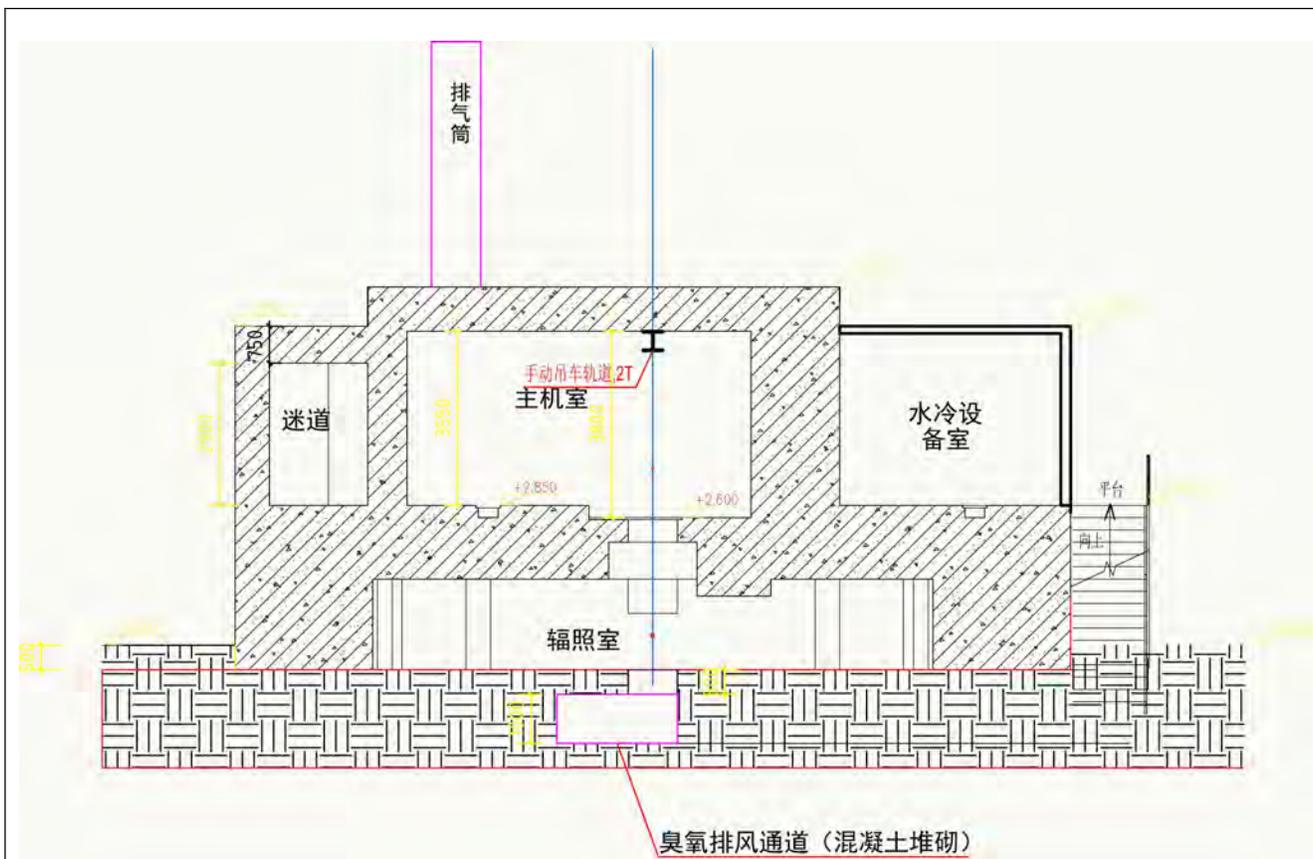


图8-2 (b) 加速器机房剖面图 (B-B剖面)

### 3、屏蔽设计

根据建设单位提供的设计资料，2座加速器机房设计完全相同。主要设计参数如下：

一层辐照室：辐照室内东侧辐照区南北净长 11.4m，东西净宽 2.9m，净高 1.85m，辐照区域净面积约 33.1m<sup>2</sup>。迷道分为南、北迷道，对称布置，各为 1 条“S”形迷道，总长约 17.35m、宽 1.9m-2.5m，高 1.85m-2.85m。辐照室内（含迷道）净容积约为 206.2m<sup>3</sup>。辐照室南墙和北墙为 2500mm（最薄处）-2800mm（最厚处）厚混凝土结构，东墙为 2500mm 厚混凝土结构（其中中间位置为南北长 2m、厚 3000mm 的混凝土墙体），西侧三道迷道墙，由西至东依次为迷道外墙、迷道中墙、迷道内墙，分别为 500mm、750mm、2000mm 厚混凝土结构，辐照室室顶为 1500mm 厚纯混凝土结构，扫描盒位置为 1250mm 厚混凝土结构。迷道外设置不锈钢门（该入口为人员出入口和货物进出口共用出入口），该门主要为了防止人员误入，无防护作用。该门一侧货物出入口，为敞开式，束下装置（传送带）在此处敷设进入辐照室内；门

另一侧为人员进出口，工作状态下上锁，由辐射安全领导小组管理人员保管钥匙，避免无关人员进入；当加速器运行时，该门货物进出口持续有装有物料的传送带进出，所留空隙无法允许人员进入，且工作状态下工作人员于辐照室进出口外上下货区翻转货物、可监督禁止非辐射人员进入监督区范围内，因此不会造成人员误照射。且根据下文计算，迷道外口处辐射剂量率已满足限值要求，不锈钢门外的辐射剂量率也应满足限制要求。

二层主机室：主机室南北净长 7.0m，东西净宽 4.0m，净高 5.0m，净面积约为 28.0cm<sup>2</sup>；主机室南侧设置直型迷道，迷道长约 10.3m，宽 1.2m-2.0m，高 2.9m。主机室有效容积（含迷道）约为 176.7cm<sup>3</sup>。北侧、西侧墙体均为 1800mm 厚混凝土结构，东侧墙体为 1600mm 厚混凝土结构；南侧墙体（迷道外墙）为 700mm 厚混凝土结构；迷道内墙为 800mm 厚混凝土结构；室顶为 900mm 厚混凝土结构；迷道外口设有电动平移式不锈钢门，该门无防护能力、主要为了防止人员误入，拟安装门机联锁装置。根据下文计算，迷道外口处辐射剂量率已满足限值要求，不锈钢门外的辐射剂量率也应满足限制要求。

本项目混凝土墙体均采用 C35 混凝土，密度 2.35g/cm<sup>3</sup>。

本项目加速器机房屏蔽参数具体见表 8-1。

**表 8-1 本项目加速器辐照工作场所屏蔽参数一览表**

位置	屏蔽墙体	屏蔽材料及厚度
辐照室	南墙和北墙	2500mm（最薄处）-2800mm（最厚处）厚混凝土结构
	东墙	2500mm 厚混凝土结构（其中中间位置为南北长 2m、厚 3000mm 的混凝土墙体）
	迷道	由西至东依次为迷道外墙、迷道中墙、迷道内墙，分别为 500mm、750mm、2000mm 厚混凝土结构
	室顶	1500mm 厚纯混凝土
	扫描盒	1250mm 厚混凝土
主机室	北墙、西墙	1800mm 厚混凝土
	东墙	1600mm 厚混凝土
	室顶	900mm 厚混凝土
	迷道	南侧墙体（迷道外墙）为 700mm 厚混凝土结构；迷道内墙为 800mm 厚混凝土结构

**4、安全防护措施**

(1) 钥匙控制：加速器的主控钥匙开关与主机室门、辐照室门联锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器自动停机。该钥匙与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连，在运行中该钥匙是惟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：本项目设计有束下装置联锁，电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制建立有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，加速器将自动停机。

(4) 信号警示装置：辐照室门外、主机室门外均设计有危险警示装置（LED 显示牌）；于辐照室迷道外墙外中间位置、迷道中墙南北两端各设置 1 个声光报警装置，于主机室入口处设置 1 个声光报警装置。辐照工作开始前通过报警装置告知周围即将开始辐照工作；危险警示装置与加速器辐照装置联锁，加速器开机过程中 LED 显示牌常亮。

(5) 巡检按钮：在两个辐照室北侧迷道口处、北侧迷道中墙东西两侧、北墙东侧、南墙东侧、南侧迷道中墙东西两侧、南侧迷道口处分别设 1 个巡检开关；在主机室迷道口、迷道内墙南北两侧、东墙南侧分别设置 1 个巡检开关。开机前，工作人员从辐照室、主机室入口处进入，按照前述顺序按下巡检开关，巡查有无人员误留，否则加速器无法开启。巡检按钮按顺序按下后需在 1 分钟内关门，在 1 分钟内未关门，巡检无效，重新巡检。

(6) 防人误入装置：在辐照室的两处进出口及主机室进出口内均设置三道防误入光电装置，并与加速器的开、停机联锁，加速器运行时若有人或动物经过红外开关，加速器将立刻停止照射。

(7) 急停装置：辐照室沿四周墙墙体外围距地面约 1.2m 处均设置拉线开关，主机室沿迷道口、南墙、东墙、北墙、西墙、迷道内墙距地面约 1.2m 处均设置拉线开关，以便在辐照室或主机室内有人被关时，可迅速按动拉线开关，停止加速器的准备或运行状态。于辐照室南北墙东侧各设置 1 处急停按钮，二层控制室内控制台处自带一处急停按钮，可切断系统总电源，实现在紧急情况下的停机。复位紧急开关后，系统需要重新执行开机流程才能工作；所有急停装置均设置指示标志。此外，辐照室和主机室进出口处各设置 1 个紧急开门装置。

(8) 剂量联锁：一层各辐照室内北侧迷道进出口内南侧，二层主机室进出口外东侧、机

柜室东北角及主控室南墙分别设置 1 个固定式剂量探测器，并与辐照室和主机室的出入口门联锁。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：本项目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：于辐照室迷道内墙西侧设置 1 处烟雾报警器，遇有火险时，加速器应立即停机并停止通风。

(11) 其他安全防护措施：

#### ① 监控设备

于辐照室的南北迷道口外、迷道口内、迷道中墙东侧，南北墙中间位置，迷道内墙南端各设置 1 处监控摄像头，于主机室迷道东端内、机柜室内、水冷设备室内各安装 1 处监控摄像头，显示屏位于控制室控制台上。本项目摄像头的安装位置可实时观察辐照室、主机室内全区域情况，电视监视系统设置较合理。

#### ② 紧急出口指示

拟在 4 栋车间内、辐照室及主机室出口处（疏散通道和主要疏散路线的地面上或靠近地面的墙上），设置紧急出口指示灯。便于人员在紧急情况下及时识别疏散位置和方向，指引人员顺利离开。

#### ③ 应急照明

于主机室、辐照室、主控室设置应急照明系统，应急照明设备应定时检验，保证在停电及应急情况下及时、稳定达到照明的效果。

本项目采取防止开机、防止人员误留、紧急停机、外部警示等多层防护与安全措施，可确保当某一层次的防御措施失效时，由下一层次的防御措施予以弥补或纠正，符合辐射安全要求中的“纵深防御原则”；各层防护与安全措施均设置了多于为完成某一安全功能所必须的最少数目的物项，如在辐照室迷道内设置了三道光电，符合辐射安全要求中的“冗余性原则”；本项目门锁、电磁锁、拉线开关、门机联锁、剂量探测器等辐射安全设施涉及不同的运行原理和元器件等，辐照工作场所出入口的安全联锁采用了机械的、电子的和剂量的联锁，符合辐射安全要求中的“多元性原则”；本项目各项辐射安全设施均具有独立性，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，符合辐射安全要

求中的“独立性原则”。

综上所述，本项目辐射安全措施及联锁系统设计能够满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）的相关要求及辐射安全防护需求；加速器机房外安全联锁设施可控制加速器的出束或停束。只有在所有安全联锁设施都处于正常工作状态时射线源才可出束，任意一个安全联锁设施不正常，射线源不能出束或立即停止出束，因此本项目的辐射安全联锁系统的设计具有可行性，能够保障工作人员免受意外照射。

本项目主要辐射安全设施布局图见图 8-3，安全联锁逻辑关系图见图 8-4。

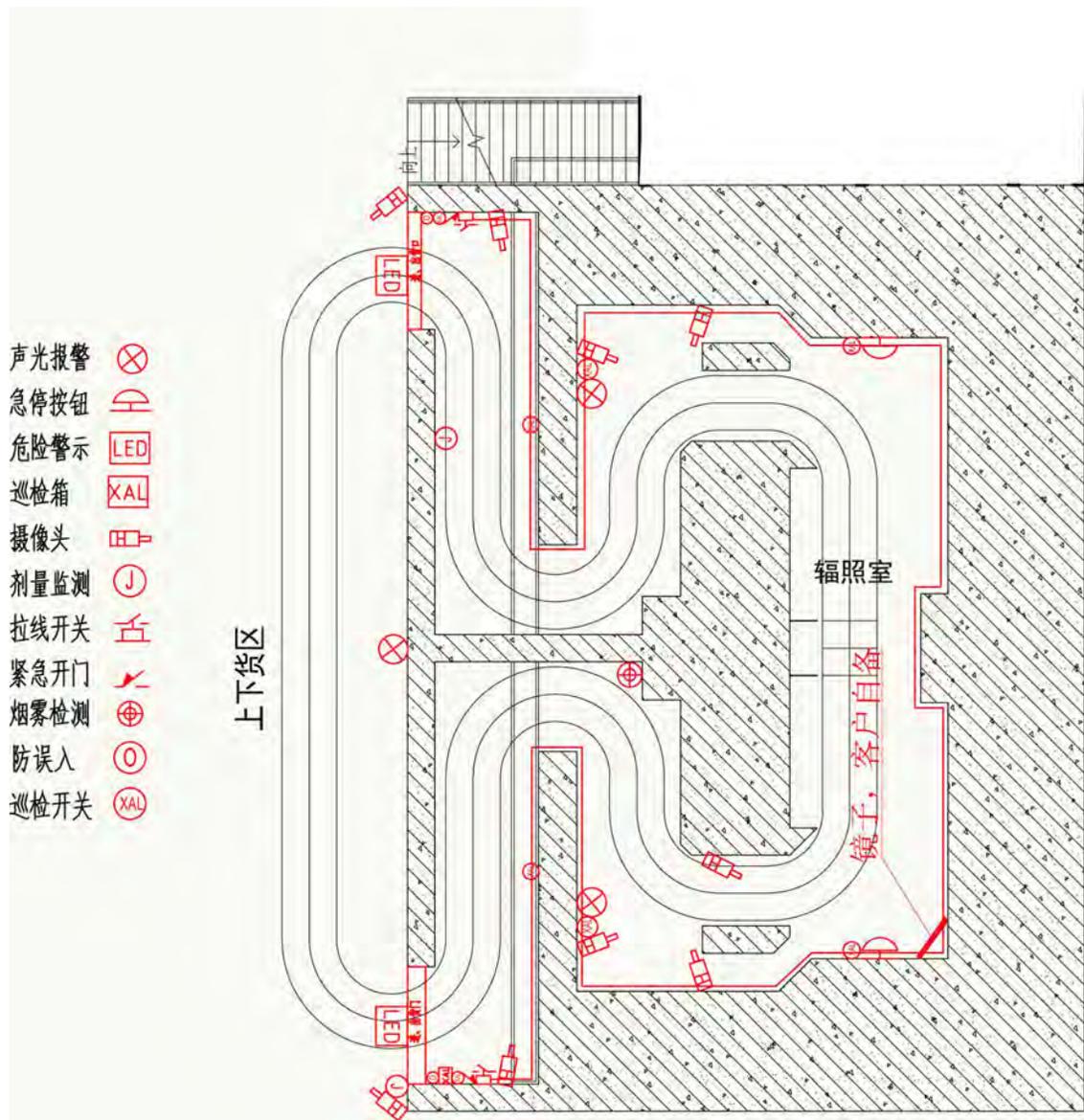


图8-3 (a) 加速器机房一层辐射安全设施布局图

- 声光报警 ⊗
- 急停按钮 ㊦
- 危险警示 LED
- 巡检箱 XAL
- 摄像头 照相机图标
- 剂量监测 ↓
- 拉线开关 ㊦
- 紧急开门 ㊦
- 烟雾检测 ⊕
- 防误入 ⊙
- 巡检开关 XAL



图8-3 (b) 加速器机房二层辐射安全设施布局图

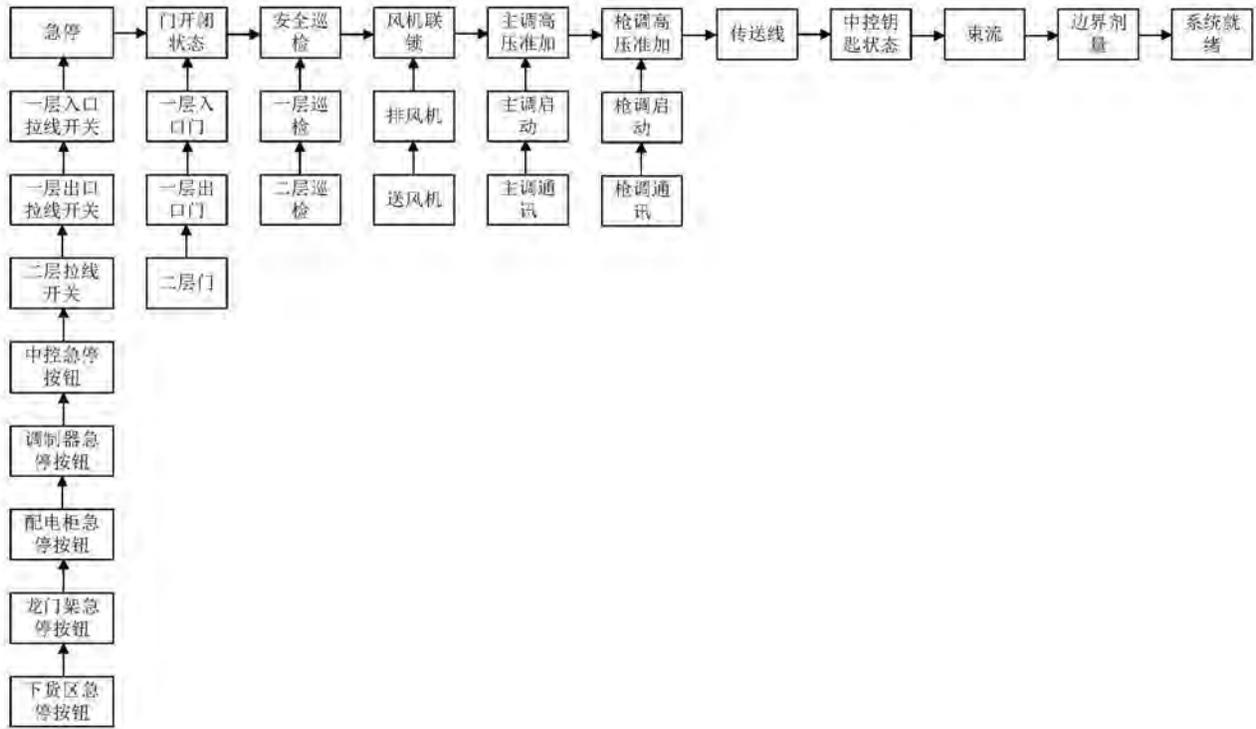


图 8-4 本项目安全联锁逻辑关系图

## 5、通风系统

本项目辐照室设有专门的通风系统，2 台排风机均安装于辐照室外东侧风机房内，设计通风量为  $6000\text{m}^3/\text{h}$ 、 $10000\text{m}^3/\text{h}$ ，排风管道为地下“U 型”穿墙，辐照室内的排风口位于辐照室东侧辐照区地面中间位置（加速器正下方）。加速器机房（辐照室、主机室）有效容积约为  $382.9\text{m}^3$ ，通风换气次数可达 15 次/小时（加速器关机后可达到 41 次/小时）。机房内产生的臭氧等非放射性有害气体经排风口沿地下管道排出机房，最终经辐照室东侧 2 根 15m 高排气筒排放（每座机房各设 1 根 15m 高排气筒）。本项目排气筒高度满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中“7.4 新污染源的排气筒一般不应低于 15m”的要求。经计算和分析，本项目臭氧最大落地浓度低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级限值要求（臭氧日小时平均浓度限值  $200\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）。

为了防止工业电子加速器的钛窗过热，于二层水冷设备室内安装 1 台冷却风机（进风机），进风机设计通风量为  $1560\text{m}^3/\text{h}$ ，进风用于室内钛窗冷却。此外，辐照室迷道口也可进行自然通风。

本项目排风管道示意图见图 8-1（a）、图 8-2（a）、图 8-2（b）。

### 8.1.2 其他安全环保措施

除防护辐照室硬件安全防范措施外，公司还将完善和加强以下几个方面的措施：

1、根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令第3号，2008）中第十六条第五款要求，企业配备的防护用品和监测仪器需满足电子加速器辐照工作的要求。对从事与放射性和射线装置有关的职业人员要求随身佩戴个人剂量计，以监督个人剂量的变化情况，控制接受剂量，保证职业人员的健康水平。拟配备1台辐射巡检仪及3部个人剂量报警仪（一班3人、每人1部），拟再配备个人剂量计6支（每人一支，由个人剂量检测单位配发）。

2、建立工作人员个人剂量档案。应委托有资质的单位对操作人员个人剂量每三个月进行检测，建立辐射职业人员个人剂量档案，一人一档，由专人负责保管和管理，个人剂量档案应当终生保存。辐射工作人员调换单位的，原用人单位应当向新用人单位或者辐射工作人员本人提供个人剂量档案的复制件。

3、定期为工作人员健康查体，建立工作人员健康档案。

4、参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中的要求，公司拟对电子加速器辐照系统进行日检查、月检查及半年检查，做好日常检修（管理）及记录。

## 8.2 三废的治理

本项目为工业电子加速器应用，在加速器运行过程中不产生放射性废气和放射性固体废物。

加速器设备中设计有冷却水循环系统，这部分水可能由于活化而含有较强的放射性。本项目电子加速器冷却水中被活化而形成的放射性核素主要为<sup>15</sup>O、<sup>16</sup>N，它们的半衰期分别为2.1min和7.3s，半衰期很短，只需放置一定时间其活度就可以衰减到较低的水平。本项目加速器一次冷却水为内循环水，正常运行时不外排，如特殊情况需排放则在排放前将提前放置一段时间，水中的放射性核素很快即可衰减至可忽略的水平，经厂区化粪池预处理、最终由环卫部门清运。当内循环水量低于水位时冷却水系统即自动报警，工作人员可及时补充离子水，保证系统的正常运行。本项目去离子水直接外购、不在厂区内制备，本项目不产生离子交换树脂等废物。

在加速器开机运行时，电子束与辐照室空气可通过电离作用产生臭氧(O<sub>3</sub>)和氮氧化物

(NO<sub>x</sub>)，本项目 2 座加速器机房均设有专门的通风系统，废气通过排风口、排风管道，最终各经 1 根 15m 高排气筒排放。经计算和分析，本项目臭氧和氮氧化物对周围大气环境影响较小。

本项目设备布置在室内，对机械设备产生的噪声，采用减震、隔音等措施，本项目噪声对周围环境影响较小。

## 表9 环境影响分析

### 9.1 建设阶段对环境的影响

#### 1、声环境影响分析

本项目施工期噪声主要来自场地平整、打桩、混凝土浇筑等几个阶段，本项目施工期较短，在施工时严格执行相关要求，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业，且经距离衰减后，对周边环境的影响较小。

#### 2、水环境影响分析

施工期废污水主要来自两个方面：一是施工泥浆废水，二是施工人员的生活污水。施工泥浆水主要是在混凝土浇筑，施工设备的维修、冲洗中产生，应设置一定容量的沉淀池，把施工泥浆水汇集入沉淀池充分沉淀后，上清水重复利用，淤泥集中堆放后统一清运。施工泥浆废水不外排，对周围环境影响较小。

施工人员生活污水主要为洗涤废水和粪便污水，含COD<sub>Cr</sub>、NH<sub>3</sub>-N、BOD<sub>5</sub>、SS等。总施工期约60天，按施工高峰时总的施工人员约10人，每人每天生活污水产生量以40L计，生活污水产生量仅约0.4m<sup>3</sup>/d，依托厂区内现有卫生间、化粪池收集后定期清运，对周边环境的影响较小。

#### 3、固体废物

(1) 生活垃圾，施工期间人员日常生活产生的生活垃圾统一放至厂内生活垃圾存放点，由环卫部门定期清运。对周围环境影响较小。

(2) 施工垃圾，施工期间产生的建筑垃圾如果处置不当，由于扬尘和雨水淋洗等原因，会对空气环境和水环境造成二次污染，对周围环境产生不利影响。因此，从环保的角度看，对建筑废弃物的妥善处置十分重要。建设单位应要求施工单位规范处理，首先弃渣处置必须坚持“先挡后弃”。其次将建筑垃圾分类，尽量回收其中可利用的部分材料，对没有利用价值的，运送到环卫部门指定的建筑垃圾堆埋场，另外运输时必须采用密封的车箱，不随路散落，也不随意倾倒建筑垃圾，制造新的“垃圾堆场”。在采取措施后，对周围环境影响较小。

#### 4、大气环境影响分析

本项目在建设施工期需进行打桩、混凝土浇筑等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外

机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：a. 及时清扫施工场地，保持施工场地地面一定的清洁和湿度，减少地面扬尘；b. 车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒。经采取以上措施后，本项目施工阶段对周边大气环境影响较小。

综上所述，本工程施工期对环境的影响是小范围和短暂的。随着施工期的结束，对环境的影响也逐步消失。

## 9.2 运行阶段对环境的影响

### 9.2.1 电子束对周围环境的影响

本项目工业电子加速器能发射最大能量为 10MeV 的电子束，电子在物质中的最大射程可由以下公式估算（公式摘自《辐射防护技术与管理》，P123）。

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\beta\max} \quad (9-1)$$

公式中： $d$ —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10MeV时，在空气中（0.00129g/cm<sup>3</sup>）的最大射程约为3876cm，在混凝土中（2.35g/cm<sup>3</sup>）的最大射程约为2.13cm。由于辐照室及主机室混凝土墙体厚度均在90cm以上，而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、主机室外环境的影响可以忽略。

### 9.2.2 X 射线对周围环境的影响

本项目加速器机房尚未建设，本次评价参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A 中给出的计算模式预测本项目运行后工作场所周围的辐射水平。

因 2 座加速器机房南北并排布置、防护设计完全相同，因此本次仅以 1#加速器机房为例对其关注点进行剂量率计算。

#### 1、辐照室周围 X 射线影响

##### （1）X 射线影响分析

加速器运行时，电子束向下，在辐照室内电子束可能轰击的物质有 3 种：①混凝土地面；

②电子扫描窗下方的不锈钢阻挡版；③待辐照产品。在这三种轰击物质中，不锈钢的原子序数最大，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。

本项目工业加速器电子束向下照射，不直接射向辐照室四周屏蔽墙，因此辐照室内韧致辐射主要考虑沿与电子束入射方向为90°的韧致X射线。

### (2) X射线辐射剂量率估算公式

参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) A.2.1部分，工作状态时，辐照室周围辐射剂量率采用式9-2~式9-4进行估算。

$$H=D_{10} \times B_x / d^2 \quad (9-2)$$

式中，H—参考点处的X剂量率，Gy/h；

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

$B_x$ —X射线的屏蔽透射比（衰减系数）；

d—参考点距靶点的距离，m。

$$D_{10}=60 \times Q \times I \times f_e \quad (9-3)$$

式中，Q—X射线发射率，本项目入射电子能量最大为10MeV，根据HJ979-2018表A.1，侧向90°方向X射线发射率取 $13.5 \text{ Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；

I—电子束流强度，取2mA；

$f_e$ —X射线发射率修正系数，保守取1。

$$B_x=10^{[-(1+(S-T1)/Te)]} \quad (9-4)$$

式中，S—屏蔽层厚度，cm；

T1—在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层，cm；

Te—平衡十分之一值层，该值近似于常数，cm。

### (3) 参数的选取

根据式9-3， $D_{10}=60 \times 13.5 \times 2 \times 1=1620 \text{ Gy/h}$ 。屏蔽材料的十分之一值层：本项目入射电子能量最大为10MeV，根据HJ979-2018表A.4，侧向90°方向的等效入射电子能量为6MeV，根据表A.2、表A.3及附录A示例中的相关内容，对应混凝土的T1和Te值为：T1=35.5cm，Te=35.5cm。

### (4) 辐照室周围辐射剂量率估算结果

辐照室周围墙外 30cm 处的辐射剂量率估算结果见表 9-1。参考点示意图见图 9-1。

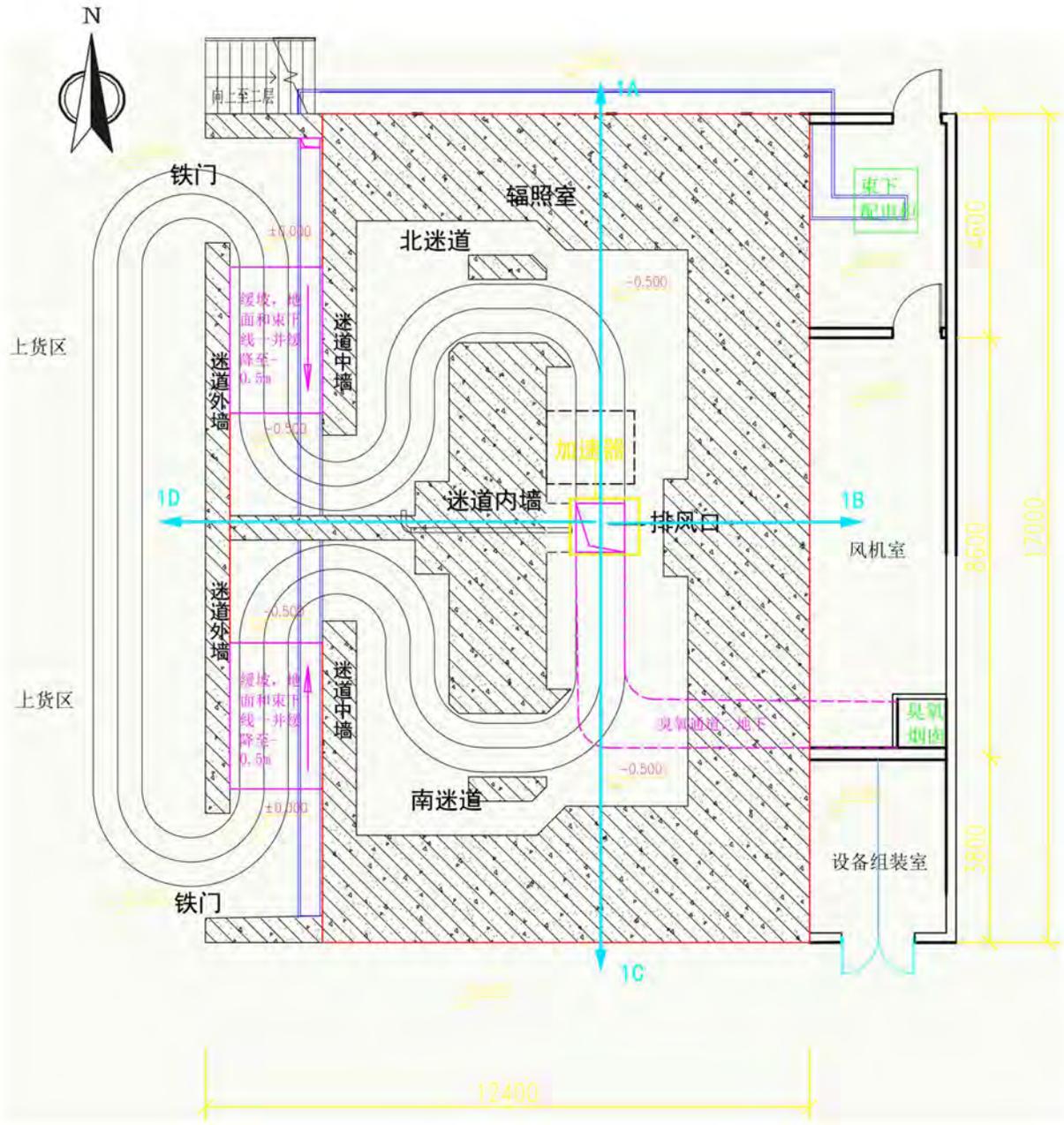


图 9-1 辐照室周围 X 剂量率参考点示意图

表 9-1 辐照室墙体外参考点处辐射剂量率估算结果

关注点	$D_{10}$ (Gy/h)	屏蔽厚度 (cm)	T1 (cm)	$T_e$ (cm)	关注点距靶 点距离 (m)	关注点剂量率 (折算为 $\mu$ Gy/h)

1A	1620	280	35.5	35.5	8.8	0.27
1B	1620	300	35.5	35.5	4.6	0.27
1C	1620	280	35.5	35.5	8.8	0.27
1D	1620	320	35.5	35.5	8.4	0.022
注：1D 关注点保守只考虑迷道内墙和迷道外墙的防护。						

由上表可知，辐照室四周墙外30cm处的X射线剂量率最大值为0.27 μGy/h，均满足 2.5 μSv/h（X射线的辐射品质因子取1，按照1:1转换单位）的剂量率限值要求。

因1#加速器与2#加速器中间距离为8m，距离较远，本次不再考虑两座机房的叠加影响。

## 2、主机室周围 X 射线影响

### （1）X 射线影响分析

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）A.4，“电子加速器辐照装置设备制造单位提供加速器在主机室的束流损失，按此值根据 A.2、A.3 方法计算主机室的屏蔽设计”。因此主机室主要考虑工业电子加速器的束流损失产生的韧致 X 射线影响及辐照室一层辐照室内 10MeV 电子束产生的韧致 X 射线经束下装置散射（根据建设单位提供的图纸，散射角度 107° ~131°）后穿过辐照室室顶对主机室周围的辐射影响。

### （2）辐射剂量率估算公式

参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）A.2.1 部分，工作状态时，主机室周围的辐射剂量率同样采用式 9-2~式 9-4 进行估算。

散射光子的能量可按照康普顿散射定律（式 9-5）计算：

$$E = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{0.511}(1 - \cos \theta_s)} \quad (9-5)$$

其中，E——散射光子的能量，MeV；

E<sub>0</sub>——为入射光子的最大能量；

θ<sub>s</sub>——散射角。

### （3）参数的选取

#### ①主机室束流损失对周围的影响参数选择

根据建设单位提供的资料，本项目工业电子加速器在主机室（扫描盒位置）的束流损失率不超过 2%，即损失的电子束流强度为  $2\text{mA} \times 2\% = 0.04\text{mA}$ ；束流损失点的电子能量最大为 3MeV。

根据 HJ979-2018 表 A.1，3MeV 入射电子能量侧向  $90^\circ$  方向 X 射线发射率取  $3.2\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，则根据式 9-3， $D_{10} = 60 \times 3.2 \times 0.04 \times 1 = 7.68\text{Gy/h}$ 。

屏蔽材料的十分之一值层：根据 HJ979-2018 表 A.4，3MeV 入射电子能量侧向  $90^\circ$  方向的等效入射电子能量为 1.9MeV，根据表 A.2、表 A.3 及附录 A 示例中的相关内容，对应混凝土的 T1 和 Te 值为：T1=22.1cm，Te=20.1cm。

#### ②辐照室韧致辐射散射后对主机室周围的影响参数选择

对于本项目辐照室入射电子能量 10MeV 的 X 射线，散射角为  $107^\circ \sim 131^\circ$ ，其散射能量最大为 0.38MeV。根据 HJ979-2018 附录 A 表 A.1 和外推法，0.38MeV 前向  $0^\circ$  的 X 射线发射率为  $0.0046\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，则  $D_{10\text{-层散射}} = 60 \times Q \times I \times f_e = 60 \times 0.0046 \times 2 \times 1 \approx 0.552\text{Gy/h}$ 。根据 HJ979-2018 附录 A 表 A.2、表 A.3 及外推法，入射电子能量为 0.38MeV 所对应混凝土的 T1 和 Te 值取为：T1=8.78cm，Te=6.87cm。根据设计资料，辐照室源点距参考点的距离最近约 4.3m；辐照室室顶为 1500mm 厚混凝土。

#### （4）主机室四周辐射剂量率估算结果

##### ①主机室束流损失对四周辐射剂量率估算结果

主机室四周 30cm 处的辐射剂量率估算结果见表 9-2。参考点示意图见图 9-2。

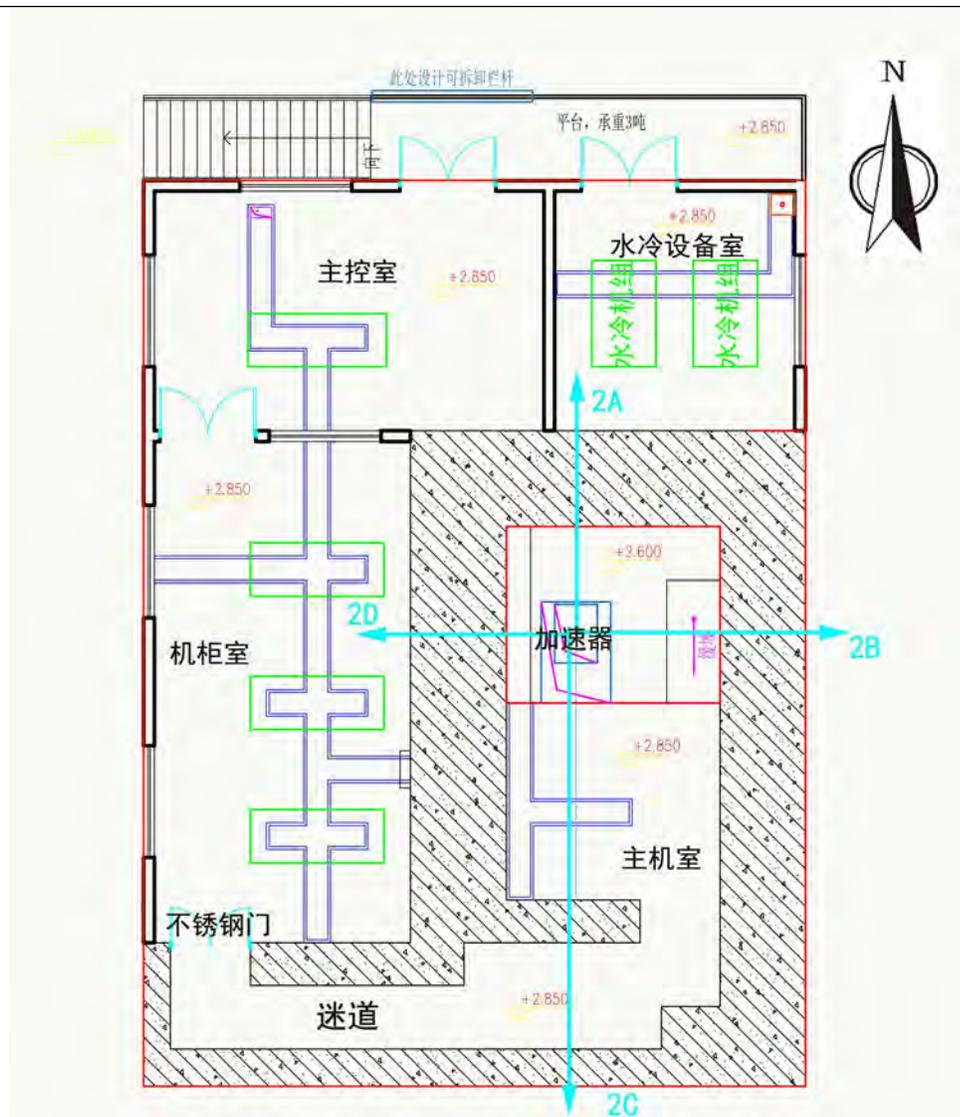


图 9-2 主机室周围 X 剂量率参考点示意图

表 9-2 主机室四周参考点处辐射剂量率估算结果

关注点	$D_{10}$ (Gy/h)	屏蔽厚度 (cm)	T1 (cm)	Te (cm)	关注点距靶 点距离 (m)	关注点剂量率 (折算为 $\mu$ Gy/h)
2A	7.68	180	22.1	20.1	4.1	$6.37 \times 10^{-4}$
2B	7.68	160	22.1	20.1	4.4	$5.47 \times 10^{-3}$
2C	7.68	150 (80+70)	22.1	20.1	8.8	$4.30 \times 10^{-3}$
2D	7.68	180	22.1	20.1	3.4	$9.26 \times 10^{-4}$

根据上表可知，主机室束流损失对四周30cm处的辐射剂量率最大值为 $5.47 \times 10^{-3} \mu\text{Gy/h}$ ，满足  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ （X射线的辐射品质因子取1，按照1:1转换单位）的剂量率限值要求。

②辐照室韧致辐射散射对主机室周围的辐射剂量率

根据式 9-2 计算可知，辐照室一层内 10MeV 电子束产生的韧致 X 射线经束下装置散射后对主机室周围产生的辐射剂量率见下表。

表 9-3 辐照室韧致辐射散射对主机室四周辐射剂量率估算结果

序号	$D_{10}$ (Gy/h)	屏蔽厚度 (cm)	Tl (cm)	Te (cm)	关注点距靶 点距离 (m)	关注点剂量率 (折算为 $\mu$ Gy/h)
1	0.552	150	8.78	6.87	4.3	$8.30 \times 10^{-18}$

注：辐照室电子束产生的韧致 X 射线经束下装置散射后穿过辐照室室顶，室顶的有效厚度保守按照室顶厚度计算。

根据上表，辐照室产生的韧致辐射散射线对主机室四周参考点处的辐射剂量率贡献值为  $8.30 \times 10^{-18} \mu\text{Gy/h}$ ，远小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ （X射线的辐射品质因子取 1，按照 1:1 转换单位）的剂量率限值要求。

③计算结果

主机室四周的辐射剂量率叠加计算结果见下表。

表 9-4 主机室四周辐射剂量率估算结果

主机室束流损失对四周辐射剂量 率最大贡献值 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	辐照室韧致辐射散射对主机室周 围的辐射剂量率最大贡献值 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	叠加后主机室周围的辐射剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )
$5.47 \times 10^{-3}$	$8.30 \times 10^{-18}$	$5.47 \times 10^{-3}$

根据上表，主机室四周的辐射剂量率约为 $5.47 \times 10^{-3} \mu\text{Gy/h}$ ，仍满足 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ （X射线的辐射品质因子取1，按照1:1转换单位）的剂量率限值要求。

3、室顶上方 30cm 处的辐射剂量率

(1) X 射线影响分析

本项目机房一层室顶有机柜室、水冷设备室、主控室等房间，人员可到达，本次在一层室顶上方 30cm 处设置考察点，该考察点处保守考虑辐照室内经束下装置散射（根据建设单位

提供图纸，散射角度  $107^\circ \sim 131^\circ$  ) 后穿过辐照室室顶后对二层平台（主机室外）产生的影响及主机室内束流损失产生的韧致 X 射线影响。

本项目机房二层室顶上方人员无法到达。本次在其上方 30cm 处设置考察点，该考察点处需同时考虑一层辐照室内 10MeV 电子束产生的韧致 X 射线经束下装置散射后穿过辐照室室顶的孔洞对机房二层室顶的辐射影响和二层主机室内 3MeV 束流损失产生的韧致 X 射线经加速器筒壁散射后对机房二层室顶的辐射影响。

(2) 参数的选取

① 辐照室室顶

辐照室室顶外剂量率计算相关参数选取见前述“2、主机室周围 X 射线影响”中“(3) 参数的选取”小节。

② 主机室室顶

对于本项目辐照室入射电子能量 10MeV 的 X 射线，散射角为  $180^\circ$ ，其散射能量为 0.25MeV。根据 HJ979-2018 附录 A 表 A.1 和外推法，0.25MeV 前向  $0^\circ$  的 X 射线发射率为  $2.00 \times 10^{-3} \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，则  $D_{10\text{-一层散射}} = 60 \times Q \times I \times f_e = 60 \times 2.00 \times 10^{-3} \times 2 \times 1 = 0.24 \text{Gy/h}$ 。根据 HJ979-2018 附录 A 表 A.2、表 A.3 及外推法，入射电子能量为 0.25MeV 所对应混凝土的 T1 和 Te 值取为：T1=3.8cm，Te=3.0cm。

对于本项目主机室束流损失能量最大为 3MeV，损失的电子束流强度最大为 0.04mA，根据 HJ979-2018 表 A.4，侧向  $90^\circ$  方向的等效入射电子能量为 1.9MeV，根据公示 9-5，对于能量 1.9MeV 的 X 射线，散射角为  $90^\circ$ ，其散射能量为 0.4MeV。根据 HJ979-2018 附录 A 表 A.1 及外推法，0.4MeV 的侧向  $90^\circ$  的 X 射线发射率为  $0.045 \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，则  $D_{10\text{-二层散射}} = 60 \times Q \times I \times f_e = 60 \times 0.045 \times 0.02 \times 1 = 0.054 \text{Gy/h}$ 。根据 HJ979-2018 附录 A 表 A.2、表 A.3 及外推法，入射电子能量为 0.4MeV 所对应混凝土的 T1 和 Te 值取为：T1=9.73cm，Te=7.62cm。

根据设计资料，辐照室源点至主机室室顶外参考点的距离为 8.6m，主机室源点至主机室室顶外参考点的距离约为 5.2m；辐照室室顶为 1500mm 厚混凝土，主机室室顶为 900mm 厚混凝土。主机室室顶的辐射剂量率参数选择见下表。

表 9-5 辐照室对主机室室顶的辐射剂量贡献参数选择

韧致辐射	散射角	散射能量	X 射线发射	$D_{10}$	T1	Te	源点至关	屏蔽厚度
------	-----	------	--------	----------	----	----	------	------

来源			率				注点距离	
一层辐照室	180°	0.25MeV	$2.00 \times 10^{-3} \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	0.24Gy/h	3.8cm	3.0cm	8.6m	150cm 混凝土

表 9-6 主机室室对主机室室顶的辐射剂量贡献参数选择

韧致辐射来源	束流损失能量	电子束流强度	等效入射电子能量	散射能量	X 射线发射率	$D_{10}$	T1	Te	源点至关注点距离	屏蔽厚度
二层主机室	3MeV	0.04mA	1.9MeV	0.4MeV (散射角 90°)	$0.045 \text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	0.05 4Gy/h	9.73cm	7.62cm	5.2m	90cm 混凝土

(3) 室顶上方 30cm 处辐射剂量率估算结果

①根据前述分析，主机室周围及辐照室室顶的辐射剂量率叠加值约为  $5.47 \times 10^{-3} \mu \text{Gy/h}$ ，满足  $2.5 \mu \text{Sv/h}$ （X 射线的辐射品质因子取 1，按照 1:1 转换单位）的剂量率限值要求。

②主机室室顶上方 30cm 处辐射剂量率估算结果见表 9-8。

表 9-7 主机室室顶上方参考点处辐射剂量率估算结果

关注点	$D_{10}$ (Gy/h)	屏蔽厚度 (cm)	T1 (cm)	Te (cm)	关注点距靶点 距离 (m)	关注点剂量率(折算为 $\mu \text{Gy/h}$ )	
主机室室顶	0.24	90	3.8	3.0	8.6	$6.00 \times 10^{-27}$	$5.84 \times 10^{-9}$
	0.054		9.73	7.62	5.2	$5.84 \times 10^{-9}$	

根据上表，本项目主机室室顶外的辐射剂量率最大值为  $5.84 \times 10^{-9} \mu \text{Gy/h}$ ，远小于  $2.5 \mu \text{Sv/h}$ （X 射线的辐射品质因子取 1，按照 1:1 转换单位）的剂量率限值要求。

#### 4、天空反散射影响

##### ①X 射线影响分析

由于本项目加速器机房周围主要为车间，有工作人员长期居留，因此需注意天空反散射。考察点 P 处同时考虑一层辐照室和二层主机室的剂量贡献。

##### ②参数的选取

根据 HJ979-2018 附录 A 示例中的相关内容，X 射线发射率取入射电子能量侧向 90° 方向的相应数值，则根据前文计算结果， $D_{10\text{-一层}}=1620\text{Gy/h}$ ， $D_{10\text{-二层}}=7.68\text{Gy/h}$ 。

天空反散射计算公式为：

$$H = [2.5 \times 10^{-2} (B_{xs} D_{10} \Omega^{1.3})] / [(d_i d_s)^2] \quad (9-6)$$

其中，H——在距离 X 射线辐射源  $d_s$  处地面，天空反散射的 X 射线周围剂量当量率，Sv/h；

$B_{xs}$ ——X 射线屋顶的屏蔽透射比；

$\Omega$ ——由 X 射线源与屏蔽墙对象的立体角；

$d_i$ ——在屋顶上方 2m 处离靶的垂直距离，一层辐照室取 10.3m，二层主机室取 6.9m。

$d_s$ ——X 射线源至 P 点的距离， $d_s$  取 20m。

$\Omega$  计算方法见公式 9-7。

$$\Omega = 4 \arctan (ab/cd) \quad (9-7)$$

a、b——辐射源到墙外的最小长度和宽度的一半，一层辐照室 a、b 分别取 4.25m、2.15m，二层主机室 a、b 分别取 1.9m、1.55m；

c——辐射源到屋顶表面的距离，一层辐照室取 7.1m，二层主机室取 3.7m；

d——辐射源到屋顶边缘的距离，一层辐照室取 8.1m，二层主机室取 5.3m。

$\Omega_{\text{一层辐照室}} = 0.64\text{Sr}$ ， $\Omega_{\text{二层主机室}} = 0.60\text{Sr}$

本项目机房二层主机室室顶为 900mm 厚纯混凝土。

天空反散射示意图见下图。

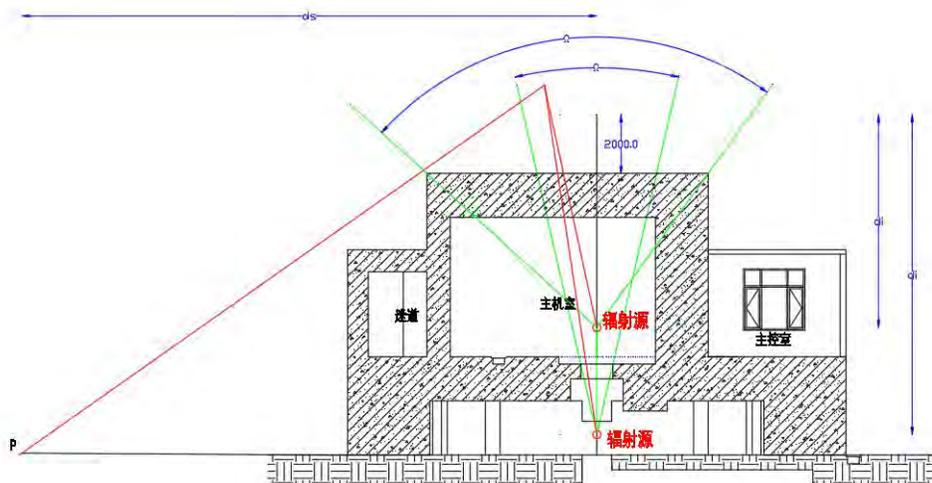


图 9-3 天空反散射示意图

### ③天空反散射影响分析

根据式 9-6 计算可知，来自一层的射线对关注点 P 处的辐射剂量率贡献值约  $1.56 \times 10^{-6} \mu\text{Gy/h}$ ，来自二层的射线对关注点 P 处的辐射剂量率贡献值约  $2.17 \times 10^{-10} \mu\text{Gy/h}$ 。因此，单台加速器对 P 点的辐射剂量率贡献值为  $1.56 \times 10^{-6} + 2.17 \times 10^{-10} \approx 1.56 \times 10^{-6} \mu\text{Gy/h}$ ，本项目 2 台加速器同时运行时，由于天空反散射引起的 P 点处的地面剂量率水平为  $3.12 \times 10^{-6} \mu\text{Gy/h}$ ，远小于  $2.5 \mu\text{Gy/h}$ ，加速器机房室顶的防护设计可满足辐射防护要求。

P 点（据辐射源 20m 处）为天空反散射剂量率最大处，因此可推出天空反散射对一层辐照室、二层主机室和车间其他区域点位的剂量率贡献值小于  $3.12 \times 10^{-6} \mu\text{Gy/h}$ ，贡献值较小，经过叠加后各处的辐射剂量率值也满足  $2.5 \mu\text{Gy/h}$  控制限值。

## 5、迷道外口处的辐射水平预测

### (1) 估算模式

参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）A.3.1 部分，工作状态时，迷道外口处的辐射剂量率采用式 9-8 进行估算。

$$H_{l, rj} = D_{10} \times \alpha_1 \times A_1 \times (\alpha_2 \times A_2)^{j-1} / (d_1 \times d_{r1} \times d_{r2} \times \dots \times d_{rj})^2 \quad (9-8)$$

式中， $H_{l, rj}$ —迷道外口处的剂量率，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 射线的散射系数（假设对以后所有散射过程是相同的）；

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

$A_2$ —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；

$d_{r1}, d_{r2} \dots d_{rj}$ —迷道内各处中心线的散射距离（近似取每段迷路的长度），m；

$j$ —指第  $j$  个散射过程，m。

### (2) 辐照室迷道外口处的辐射水平预测

根据 HJ979-2018 附录 A 示例中的迷道散射路径，以辐照室北侧迷道为例，X 射线经过 5 次散射到达迷道口，散射路径示意图见图 9-4。

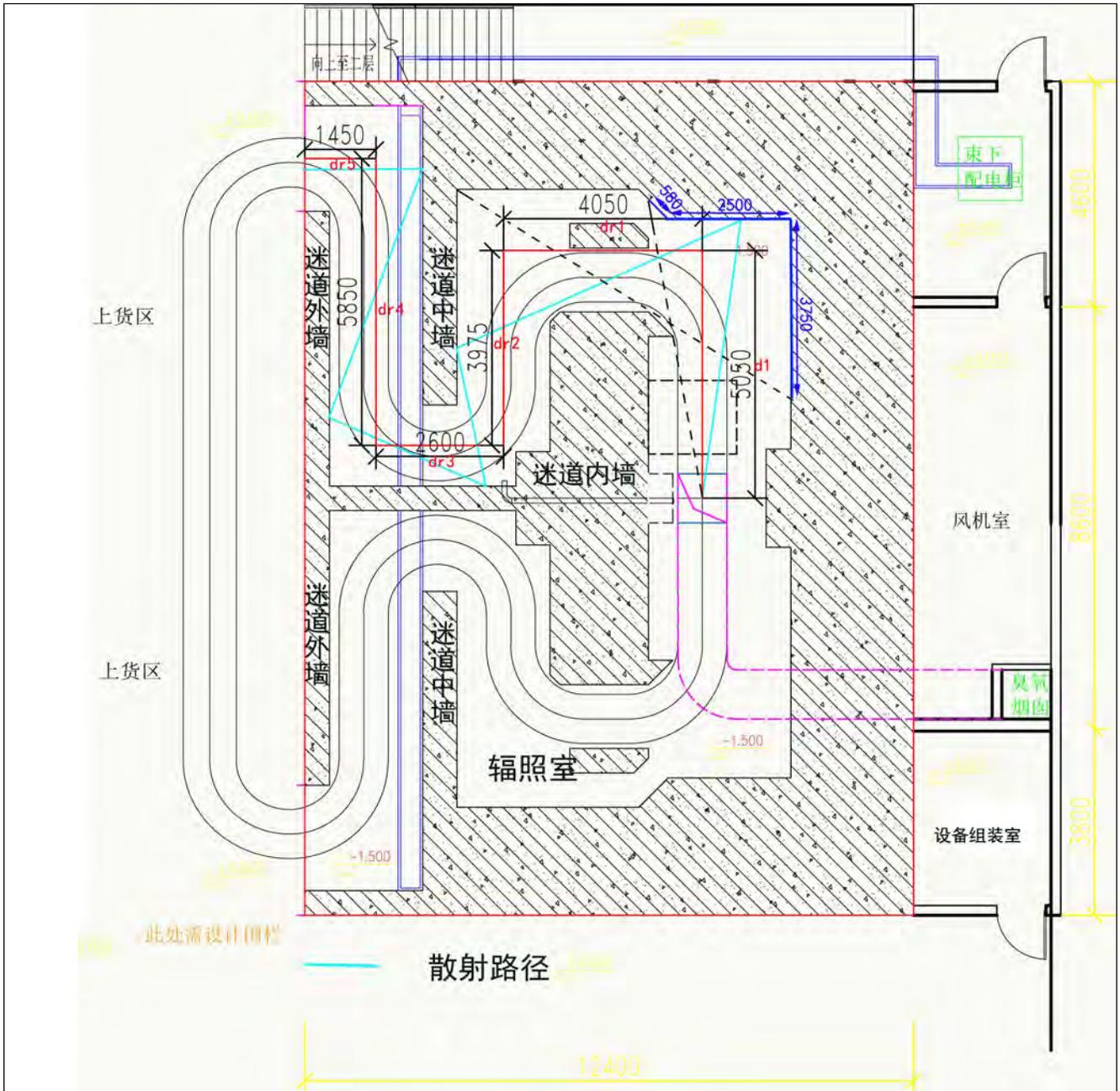


图 9-4 辐照室散射路径示意图（以辐照室北侧迷道为例）

①估算参数

$D_{10}$ : 根据前文的计算结果, 取 $1620\text{Gy/h}$ ;

$\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ : 根据 HJ979-2018 附录 A 示例中的相关内容, 对于初级 X 射线, 散射系数  $\alpha_1=5 \times 10^{-3}$ , 对于一次散射后的 X 射线散射系数  $\alpha_2=2 \times 10^{-2}$ ;

$A_1$ : 根据 HJ979-2018 附录 A 示例中的计算方式,  $A_1$  为散射宽度与高度的乘积, 则本项目  $A_1 = (0.58 + 2.5 + 3.75) \times 1.85 \approx 12.64 \text{m}^2$ 。

$A_2$ :  $A_2$  为迷道宽度与高度的乘积, 则本项目  $A_2$  最大值为  $1.9 \times 2.85 \approx 5.42 \text{m}^2$ 。

辐照室内各段距离:  $d_1 = 5.05 \text{m}$ ,  $d_{r1} = 4.05 \text{m}$ ,  $d_{r2} = 3.975 \text{m}$ ,  $d_{r3} = 2.60 \text{m}$ ,  $d_{r4} = 5.85 \text{m}$ ,  $d_{r5} = 1.45 \text{m}$ 。

### ② 计算结果

根据上述数据, 由公式 9-8 计算可得, 加速器运行时对辐照室北侧迷道外口处的辐射剂量率贡献值约为  $4.40 \times 10^{-8} \mu \text{Gy/h}$ , 远低于  $2.5 \mu \text{Sv/h}$  的剂量率限值要求。因辐照室南北两侧迷道对称布置, 散射路径相同, 因此辐照室南侧迷道外口处的辐射剂量率值也能满足  $2.5 \mu \text{Sv/h}$  的剂量率限值要求。

### (3) 主机室迷道外口处的辐射水平预测

根据 HJ979-2018 附录 A 示例中的迷道散射路径, 保守按照主机室 X 射线经过 2 次散射到达迷道口, 散射路径示意图见图 9-5。



图 9-5 主机室散射路径示意图

①估算参数

$D_{10}$ : 根据前文的计算结果, 取7.68Gy/h;

$\alpha_1$ : 根据 HJ979-2018 附录 A 示例中的相关内容, 对于初级 X 射线, 散射系数  $\alpha_1=5 \times 10^{-3}$ , 对于一次散射后的 X 射线散射系数  $\alpha_2=2 \times 10^{-2}$ ;

$A_1$ : 根据 HJ979-2018 附录 A 示例中的计算方式,  $A_1$  为散射宽度与高度的乘积, 则本项目  $A_1=(1.014+1.557) \times 5.0=12.86\text{m}^2$ 。

$A_2$ :  $A_2$  为迷道宽度与高度的乘积, 则本项目  $A_2$  最大值  $2.0 \times 2.9=5.8\text{m}^2$ 。

主机室内各段距离:  $d_1 \approx 7.176\text{m}$ ,  $d_{r1} \approx 8.8\text{m}$ ,  $d_{r2} \approx 1.3\text{m}$ 。

b. 估算结果

根据上述数据, 由公式 9-8 计算可得, 加速器运行时对主机室迷道外口处的辐射剂量率贡献值约为  $1.33 \times 10^{-7} \mu\text{Gy/h}$ , 远低于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的剂量率限值要求。

4、环境保护目标处的辐射水平预测

本项目加速器机房周围 50m 范围内存在 3 处环境敏感目标。环境保护目标处的辐射剂量率见下表。

表 9-9 环境保护目标处辐射剂量率估算结果

环保目标	机房	$D_{10}$ (Gy/h)	屏蔽厚度 (cm)	T1 (cm)	Te (cm)	关注点距靶 点距离 (m)	关注点剂量 率(折算为 $\mu\text{Gy/h}$ )	叠加剂 量率( $\mu$ Gy/h)
东侧 35m 处青岛胜 代机械有 限公司	1	1620	300	35.5	35.5	39.3	$3.72 \times 10^{-3}$	$7.44 \times 10^{-3}$
	2	1620	300	35.5	35.5	39.3	$3.72 \times 10^{-3}$	
北侧、西 北侧 25m 处青岛中 赢包装制 品有限公 司	1	1620	280	35.5	35.5	33.5	0.019	0.019
	2	1620	280+280+ 280	35.5	35.5	59.0	$1.01 \times 10^{-18}$	
南侧 22m 处青岛五 顺汽车模 具部件有 限公司	1	1620	280+280+ 280	35.5	35.5	64.5	$8.48 \times 10^{-19}$	0.023
	2	1620	280	35.5	35.5	30.5	0.023	

注：根据前述计算，环保目标主要受辐照室内影响，主机室对其产生的影响较小、可以忽略。

根据上述分析，本项目环保目标处的辐射剂量率最大为 0.023  $\mu$  Gy/h，远低于 2.5  $\mu$  Gy/h，本项目的运行对环保目标影响较小。

### 9.2.3 有害气体对周围环境的影响

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录B，辐照加速器在开机运行过程中因射线强辐射作用，在空气中会产生极少量臭氧(O<sub>3</sub>)和微量氮氧化物（NO<sub>x</sub>）等有害气体。相比之下臭氧的危害较氮氧化物大，其产额高，毒性大，氮氧化物产额为臭氧的1/3，且以臭氧的毒性较高，所以主要考虑臭氧的产生及其防护。

#### 一、臭氧对周围环境影响分析

##### 1、臭氧产生情况分析

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的产生率采用式 9-9 进行估算。

$$P=45 \times d \times I \times G \quad (9-9)$$

式中，P—单位时间电子束产生臭氧的质量，mg/h；

I—电子束流强度，2mA；

d—电子在空气中的行程（cm），应结合电子在空气中的线阻止本领  $s=2.5\text{keV/cm}$  和辐照室尺寸选取，本项目中， $d=160\text{cm}$ ；

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。

根据上式计算可得，本项目每个机房内臭氧产生率约为 144000mg/h（0.144kg/h）。

##### 2、辐照室通风换气计算

本项目机房通风量为 6000m<sup>3</sup>/h（加速器开机）、16000m<sup>3</sup>/h（加速器关机），设计通风换气次数为 15 次/小时（加速器开机）、41 次/小时（加速器关机）。平均每次换气需要 1/15h（加速器开机）、1/41h（加速器关机）。

##### 3、臭氧的有效清除时间

臭氧有效清除时间的计算公式为

$$\bar{T} = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad (9-10)$$

其中， $t_v$ ：平均每次通风换气时间，为 1/15h（加速器开机）、1/41h（加速器关机）；

$t_d$  :  $O_3$  的有效分解时间, 取 5/6h;

由上式计算可得, 臭氧的有效清除时间为 5/81h (加速器开机)、5/211h (加速器关机)。

#### 4、辐照工作过程中机房内 $O_3$ 的浓度

考虑连续排风和臭氧的分解时, 机房内的空气中臭氧的平均浓度可表示为:

$$Q(t) = \frac{P}{V} \cdot \bar{T} \cdot (1 - e^{-t/\bar{T}}) \quad (9-11)$$

其中,  $Q(t)$ : 机房空气中在  $t$  时刻臭氧的浓度,  $mg/m^3$ ;

$P$  :  $O_3$  的产额, 约 144000mg/h;

$V$  : 机房体积,  $382.9m^3$ ;

$\bar{T}$ : 对  $O_3$  的有效清除时间, 5/81h (加速器开机)。

由于  $t_v \ll t_d$ ,  $\bar{T} \approx t_v$ , 在长时间照射的情况下, 辐照室内的臭氧平衡浓度为:

$$Q(t) = \frac{P}{V} \cdot \bar{T} \quad (9-12)$$

由上式计算得, 机房内  $O_3$  的平衡浓度约  $23.2mg/m^3$ , 考虑漏射线和散射线, 可以增加 10%, 即  $25.5mg/m^3$ , 该浓度值高于《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分: 化学有害因素》(GBZ2.1-2019) 中工作场所空气中  $O_3$  的最高容许浓度 ( $0.3mg/m^3$ )。由于机房内臭氧浓度较大, 因此在停止辐照后, 人员须于通风一段时间后再进入机房内。

根据 HJ979-2018 附录 B, 最小通风时间采用式 9-13 进行估算。

$$T = -\bar{T} \times \ln(C_0/C_s) \quad (9-13)$$

式中,  $T$ —为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间, h;

$C_0$ —GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度,  $0.3mg/m^3$ ;

$C_s$ — $25.5mg/m^3$ 。

$\bar{T}$ : 对  $O_3$  的有效清除时间, 5/211h (加速器关机)。

由上式计算可得, 为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间约 0.1h (6min)。本次评价要求, 当需要工作人员需要进入辐照室内进行检修或维护时, 需在停止辐照后通风时间不得低于 0.1h (6min) 后再进入, 以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值。在此情况下,

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》（GBZ2.1-2019）规定的限值要求。

### 5、臭氧排放情况

企业安装通风管道，将各机房内产生臭氧经过排风口、排风管道收集后，最后通过1根15m高排气筒排放（本项目2座机房共设计2根排气筒）。本项目各机房臭氧的排放速率为0.144kg/h，1.008t/a（7000h/a）。

### 6、本项目臭氧排放对周围环境的影响分析

本次采用《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2018）推荐的估算模式（AERSCREEN）进行预测，了解臭氧对周围大气环境的影响程度。计算参数选取见表9-10，评价因子和评价标准见表9-11。

表9-10 估算模型参数表

参数		取值
城市/农村选项	城市/农村	农村
	人口数（城市选项时）	—
最高环境温度/℃		37.4
最低环境温度/℃		-14.3
土地利用类型		农作地
区域湿度条件		中等湿度气候
是否考虑地形	考虑地形	<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否
	地形数据分辨率/m	—
是否考虑岸线熏烟	考虑岸线熏烟	<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否
	岸线距离/km	—
	岸线方向/°	—

表9-11 评价因子和评价标准表

评价因子	平均时段	标准值（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）	标准来源
臭氧（ $\text{O}_3$ ）	1h 平均浓度	200	《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及其修改单中二级标准

根据AERSCREEN预测结果，在不考虑臭氧分解的情况下，本项目加速器机房的臭氧的最大落地浓度为 $2.02 \times 10^{-3} \text{mg}/\text{m}^3$ （ $2.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ），低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级限值要求（臭氧日小时平均浓度限值 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）。此外，臭氧的有效分解时间仅约50

分钟，排入大气后很快即分解为氧气。综上所述，本项目排放的臭氧对周围大气环境影响较小。

## 二、氮氧化物对周围环境影响分析

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 B，氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，产生量较小，经排风管道、排气筒排放至外环境，对周围环境产生的影响较小。

### 9.2.4 固体废物

本项目去离子水直接外购、不在厂区内制备，本项目不产生离子交换树脂等废物。

### 9.2.5 噪声影响分析

本项目主要噪声源为风机等机械设备运转产生的噪声，噪声值范围为 70dB（A）~80dB（A）。设备大部分设置在室内，对机械设备产生的噪声，采用减震、隔音等措施。项目采取的具体噪声控制措施如下：

（1）选用低噪声设备：充分选用先进的低噪设备，并通过提高设备的安装质量和精度，从源头减轻设备的噪声量；

（2）对高噪声设备设置减振基础，可采取台基减振、橡胶减振接头以及减振垫等措施，以减小其振动影响；

（3）注意维护各种生产设备的正常运转，加强主要产噪设备的维护，确保设备处于良好的运转状态，杜绝因设备不正常运转时产生的高噪声现象。

经过以上控制措施和距离衰减，厂界噪声能够满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3 类标准要求，对周围环境影响较小。

### 9.2.6 年有效剂量估算

#### 1、年有效剂量估算公式

$$E = H \times T \quad (9-12)$$

式中： $E$ ——年有效剂量当量，Sv/a；

$T$ ——年受照时间，h；

$H$ ——X 剂量率，Gy/h、Sv/h。

#### 2、照射时间确定

根据建设单位提供资料，以最大负荷计，工业电子加速器采用连续作业方式，每台加速器每天出束 20h，年工作 350 天，故每天加速器年出束时间不会超过 7000h。建设单位拟采取两班轮换制工作，每名辐射工作人员年受照时间不会超过 3500 小时。

### 3、职业人员的年有效剂量

工业电子加速器运行时，对辐射工作人员影响的区域主要在主机室北侧的主控室，该处的辐射剂量率最大为： $6.37 \times 10^{-4} + 8.30 \times 10^{-18} = 6.37 \times 10^{-4} \mu\text{Gy/h}$ ，辐射工作人员的居留因子取 1，由公式 9-12 估算出每班辐射工作人员的年有效剂量为：

$$6.37 \times 10^{-4} \times 1 \times 3500 \div 1000 = 2.23 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$$

由以上估算结果可以看出，本项目职业人员的年有效剂量最大值为  $2.23 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，低于本报告提出的  $5 \text{mSv/a}$  的管理剂量约束值。

### 4、公众成员的年有效剂量

本项目所涉及的公众主要包括加速器机房所在车间周围公众人员以及本项目环境保护目标处的公众人员。本项目公众成员年有效剂量见表 9-12。

表 9-12 本项目公众成员年有效剂量计算结果

场所名称	最大剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	居留因子 (T)	照射时间 (h/a)	年有效剂量 (mSv)
1#加速器机房北侧（物流通道）	0.27	1/16	3500	0.059
1#、2#加速器机房东侧（束下配电柜室）	0.27	1/40	3500	0.024
1#、2#加速器机房东侧（风机室）	0.27	1/40	3500	0.024
1#、2#加速器机房东侧（设备组装室）	0.27	1/16	3500	0.059
1#加速器机房南侧（过道）	0.27	1/16	3500	0.059
1#、2#加速器机房西侧（上下货区）	0.022	1	3500	0.077
2#加速器机房南侧（物流通道）	0.27	1/16	3500	0.059
东侧 35m 处青岛胜代机械有限公司	$7.44 \times 10^{-3}$	1	3500	0.026
北侧、西北侧 25m 处青岛中赢包装制品有限公司	0.019	1	3500	0.067

南侧 22m 处青岛五顺汽车模具部件有限公司	0.023	1	3500	0.081
<p>注：1. 本公司厂房内非辐射工作人员也按照两班倒工作制，受照时间为 3500h；</p> <p>2. 环境保护目标处按照每班工作人员每日工作时间不超过 10h、年工作天数按照 350 天计算，年照射时间最多为 3500h。</p>				
<p>由以上估算结果可以看出，本项目公众成员的年有效剂量最大为 0.081mSv/a，低于本报告提出的 0.1mSv/a 的管理剂量约束值。</p>				
<p><b>9.2.7 运行分析与评价</b></p>				
<p>由上述运行期间的分析可以看出，青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司在使用拟购工业电子加速器条件下，正常运行期间：</p>				
<p>工业电子加速器运行时，厂区内加速器机房周围及室顶的辐射水平均低于 2.5 μSv/h 的剂量率防护限值。</p>				
<p>在每班曝光时间 3500 小时/年的条件下，职业工作人员的年有效剂量不大于 <math>2.23 \times 10^{-3}</math> mSv/a，低于本报告提出的 5.0mSv/a 的管理剂量约束值；</p>				
<p>在每班曝光时间 3500 小时/年的条件下，公众成员年有效剂量不大于 0.081mSv/a，低于本报告提出的 0.1mSv/a 的管理剂量约束值。</p>				
<p>总之，本项目青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司加速器机房周围的辐射水平、职业工作人员及公众成员所接受的年有效剂量均不大于本报告提出的评价指标，满足国家有关要求。</p>				
<p><b>9.3 事故影响分析</b></p>				
<p><b>1、可能发生的辐射事故</b></p>				
<p>(1) 人员误入或误留辐照室</p>				
<p>工业电子加速器在照射时，电子束及其韧致 X 射线在辐照室内形成高剂量率的辐射场，如果在加速器开机状态下有人员误入或误留辐照室内，将造成超剂量照射，严重时可导致人员死亡。这是本项目最主要的安全风险，也是本次风险评价的重点。</p>				
<p>(2) 操作人员违规操作或误操作</p>				
<p>操作人员违规操作或误操作，可能造成周围人员的不必要照射，严重者可能造成辐射损伤甚至危及生命。</p>				

### (3) 通风系统故障或不畅

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。

(4) 安全联锁装置失效的情况下，防护门未关闭电子加速器工作时门被开启，电子束仍能发射，造成射线外泄，可能对工作人员及公众人员产生较大剂量照射。

(5) 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（如光电装置、门机联锁装置、声光报警装置、监视器、辐照室内的急停开关等）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。

## 2、辐射事故防范措施

(1) 根据建设单位提供的设计资料，为防止人员误入或误留辐照室造成辐射事故，本项目加速器辐照室内设置了拉线开关、门机联锁、剂量探测器等多项安全防护设施，各层防护与安全措施均设置了多于为完成某一安全功能所必须的最少数目的物项，辐照室出入口的安全联锁采用了机械的、电子的和剂量的联锁，各项辐射安全设施均具有独立性，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。综上所述，本项目辐射安全措施符合辐射安全要求中的“纵深防御”、“冗余性”、“多元性”、“独立性”原则，可有效防止辐射安全事故的发生。本次评价要求建设单位定期巡检各项安全设施，确保各项安全设施均能正常运转。本项目设有多处剂量探头，对辐射水平进行实时监测。

(2) 对操作人员违规操作或误操作的问题，建设单位将提前对操作人员进行专业培训，确保其掌握了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。

(3) 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。

(4) 定期检查加速器的安全联锁系统，确保其系统正常运行，出现隐患及时排除。

(5) 第一时间切断加速器主机电源，紧急停止加速器工作，现场人员应迅速撤至安全区

域，保护现场，通知防护人员和应急小组。

## 表 10 辐射安全管理

### 10.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

#### 10.1.1 管理机构

按照国家有关射线装置管理的法律法规，青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司须设立辐射安全管理机构，成立“辐射安全领导小组”。公司目前尚未成立辐射安全领导小组，拟由法人作为辐射安全工作第一责任人，尽快设立辐射安全管理机构，成立“辐射安全领导小组”，统一指挥射线装置运行安全的工作。

#### 10.1.2 职业工作人员

公司拟配备 6 名具备从事工业电子加速器辐照技术能力的职业工作人员，专职进行本项目工业电子加速器的操作。公司拟尽快安排相关人员参加核技术利用辐射安全与防护考核，考核成绩合格才能上岗。本次评价要求企业在辐射工作人员成绩报告单到期之前，及时组织工作人员参加核技术利用辐射安全与防护的再培训和再考核。

### 10.2 辐射安全管理规章制度

青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司目前尚未制定辐射安全管理规章制度。公司拟尽快制定相关规章制度，包括《安全防护制度》、《辐射工作人员岗位职责》、《电子加速器操作规程》、《辐射安全岗位职责》、《辐射安全档案管理办法》、《辐射工作人员培训管理办法》、《辐射工作人员培训计划》、《辐射防护设备设施管理办法》、《辐射工作人员健康管理办法》、《电子加速器使用登记制度》、《自行检查与年度评估制度》、《辐射工作剂量监测方案》、《辐射安全事故应急预案》等。

各项规章制度中应对操作人员岗位责任、辐射防护和安全保卫、设备检修、使用等方面分别做出明确的要求和规定。在制定相关制度后，可以满足辐射管理要求。

公司须由辐射安全负责人负责宣传贯彻辐射安全的相关政策及法规，制定合理的规章制度及防护措施，对辐照工作提出合理建议并进行监督管理，对环境风险事故进行处理，对辐射工作人员的工作过程进行管理。

### 10.3 辐射监测

#### 10.3.1 辐射监测方案

青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司拟尽快制定《辐射工作剂量监测方案》，并购置

辐射检测仪器 1 台，根据监测方案对加速器机房周围环境进行监测。《辐射工作剂量监测方案》中应包括以下内容：

### 1、场所监测

#### (1) 监测因子

X( $\gamma$ )空气吸收剂量率。

#### (2) 监测频次

定期监测：正常情况下，每年进行 1~2 次例行监测。

应急监测：工作场所如发现或怀疑有异常情况，应对场所周围进行应急监测。

#### (3) 监测范围

加速器机房四周边界外 50m 范围内。

#### (4) 监测布点

监测点主要涵盖以下几处位置：

①通过巡测，发现的辐射水平异常高的位置；

②巡测辐照室、主机室防护门外；

③辐照室、主机室四周边界外 30cm 离地面高度为 1m 处，每个防护面至少测 3 个点；

④人员经常活动的位置，主要包括控制台、环境保护目标处以及其他人员能到达的位置。

### 2、个人剂量的监督与检测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第 18 号）要求，公司拟安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案，本项目职业工作人员均应配戴个人剂量计（每人 1 支，由个人剂量检测单位配发），委托有资质的检测机构每三个月检测一次，检测数据填入个人剂量档案。个人剂量档案要做到一人一档，其中应包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案需终生保存。

## 10.4 辐射事故应急

### 10.4.1 辐射事故应急预案

青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司拟根据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》等法律法规的要求，制定《辐射安全事故应急

预案》。一旦发生风险事件时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，保护工作人员、公众和环境的安全。该预案应包括以下内容：

### 1、辐射事故应急处理机构与职责

(1) 公司应成立辐射事故（事件）应急处理领导小组，组织开展风险事件的应急处理工作。应急预案中应明确应急处理领导小组名单及联系方式。

#### (2) 应急处理领导小组职责

a. 定期组织对检测电子辐照现场、设备和人员进行辐射防护情况自查和检测，发现事故隐患及时督导整改；

b. 发生人员受超剂量照射事故，应启动本预案；

c. 事故发生后立即组织有关部门和人员进行事故应急处理；

d. 负责向生态环境部门及卫生行政部门及时报告事故情况；

e. 负责辐射事故应急处理具体方案的研究确定和组织实施工作；

f. 人员受照时，要迅速估算受照人员的受照剂量；

g. 负责迅速安置受照人员就医，及时控制事故影响。

### 2、辐射事故应急原则

《辐射安全事故应急预案》中应明确辐射事故应急原则，一般包括以下原则：

a. 迅速报告原则；

b. 主动抢救原则；

c. 生命第一的原则；

d. 科学施救，防止事故扩大的原则；

e. 保护现场，收集证据的原则。

### 3、辐射事故分级

根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

1、特别重大辐射事故，是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。

2、重大辐射事故，是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线

装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

3、较大辐射事故，是指Ⅲ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

4、一般辐射事故，是指Ⅳ类、Ⅴ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

#### 4、辐射事故应急预案的启动及应急行动的终止

《辐射安全事故应急预案》中须明确应急预案的启动程序和应急行动的终止程序。

##### （1）应急预案的启动

a、明确应急预案的启动条件，如出现人员受照事故、人员个人剂量超标、辐射剂量率超标、设备无法关机等情况时及时启动应急预案；

b、当发生辐射事故时，由专人向公司辐射事故应急行动负责人报告，并由指定人员及时向卫生、公安、生态环境部门报告，应急预案中须明确内部联系人员及卫生、公安、生态环境部门的联系方式。

##### （2）应急行动的终止

a、明确应急行动的终止条件，如实现受照人员得到救治、现场辐射水平降低至规定限值以下、设备修复完成等情况，且得到行政主管部门批准后，可终止本次应急行动；

b、指定专人发布应急行动的终止，并由辐射事故应急处理机构对当次辐射事故应急行动进行总结和反思，及时收集与事故有关的物品和资料，做好调查研究工作，认真分析事故原因，并采取妥善措施，尽量减少事故发生。

#### 5、辐射事故应急处理程序

《辐射安全事故应急预案》中须明确应急处理程序，可参照以下内容进行制订：

a. 事故发生后，当事人应立即切断电源，同时通知同工作场所的工作人员离开，并及时上报辐射事故应急处理领导小组；

b. 应急处理领导小组召集专业人员，根据具体情况迅速制定事故处理方案；

c. 事故处理必须在应急处理领导小组的领导下，在有经验的工作人员和辐射防护人员的参与下进行；

d. 各种事故处理以后，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。

总之，为减少事故发生，必须加强管理力度，提高职业人员的技术水平，严格按规范操作，认真落实应急预案，并加强设备检查和维修，减少故障发生，提高单位应急能力。

#### 10.4.2 应急培训与演练计划

##### 1、培训

结合公司具体情况，制定辐射事故应急培训计划和方案，每年对辐射事故应急响应有关人员至少进行一次培训。

##### 2、演练

结合公司具体情况，根据辐射事故应急预案，每年至少有计划、有组织地开展一次辐射事故应急演练。演练结束后，应及时总结评估辐射事故应急预案的可行性，必要时，对应急预案做出修改和完善。

## 表 11 结论与建议

### 11.1 结论

1、青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司位于山东省青岛市黄岛区东元路 2118 号 4 栋车间，公司拟于车间内东侧中间位置建设 2 座加速器机房，并于每座加速器机房内各安装 1 台 ProAcc-10/20 型工业电子加速器用于辐照加工。本项目属使用 II 类射线装置项目。本项目的建设具有可行性，并有利于经济发展，具有明显的经济效益和社会效益，符合正当性原则。

2、根据，本项目用地性质为工业用地，用地性质符合区域土地利用要求。机房 50m 评价范围内存在 3 处环境保护目标，经分析，加速器机房周围的辐射水平可满足国家相关要求，经过距离衰减和墙体屏蔽，本项目对周围环境保护目标辐射影响较小。

3、本项目为使用工业电子加速器进行辐照产品的加工。根据《产业结构调整指导目录（2021 年修订本）》（中华人民共和国发展和改革委员会令第 29 号），本项目不属于鼓励类、限制类和淘汰类，属于国家允许建设的项目，符合产业政策。

4、现状检测结果表明，加速器机房拟建区域及周围环境的  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率现状值为  $(15.4\sim 16.1) \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ，在青岛市环境天然辐射水平范围内波动。

5、根据理论计算结果，工业电子加速器运行时，加速器机房周围及室顶辐射水平均低于  $2.5 \mu \text{Sv/h}$  的剂量率防护限值。

在每班曝光时间 3500 小时/年的条件下，职业工作人员的年有效剂量不大于  $2.23 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，低于本报告提出的  $5.0 \text{mSv/a}$  的管理剂量约束值；

在每班曝光时间 3500 小时/年的条件下，公众成员年有效剂量不大于  $0.081 \text{mSv/a}$ ，低于本报告提出的  $0.1 \text{mSv/a}$  的管理剂量约束值。

5、通过估算，在不考虑臭氧分解的情况下，本项目臭氧的最大落地浓度为  $2.02 \times 10^{-3} \text{mg/m}^3$  ( $2.02 \mu \text{g/m}^3$ )，低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级限值要求（臭氧 1 小时平均浓度限值  $200 \mu \text{g/m}^3$ ），对周围大气环境影响较小。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，产生量较小，对周围环境产生的影响较小。

6、本项目加速器机房内设计有拉线开关、门机联锁、辐射监测装置、光电装置等多项安全防护设施，可满足辐射安全防护要求。

7、公司拟制定各项管理规章制度，并在运行过程中将各项安全防护措施落实到位，在按要求制定各项管理规章制度后，可以确保工作人员、公众的安全，并能有效应对可能的突发事件（事件）。

8、公司拟为本项目配备 6 名辐射工作人员，专职负责本项目电子加速器的设备操作，公司拟尽快安排相关人员参加辐射工作人员参加核技术利用辐射安全与防护考核，考核成绩合格后方可上岗。

9、公司拟配备个人剂量计 6 支（每人 1 支，由个人剂量检测单位配发）、个人剂量报警仪 3 部（每班 3 人、每人 1 部）、辐射巡检仪 1 台，可满足相关要求及工作需求。

10、公司拟定期对工作人员的个人剂量进行监督检测，并建立工作人员个人剂量档案。个人剂量档案内包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料，终生保存。

11、项目的设施较为简单，环境风险因素单一，在根据本次评价要求进一步完善风险防范措施和制定事故应急预案条件下，项目环境风险是可控的。

综上所述，在青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司认真落实相关法律法规和本次评价所提出的安全防护措施后，该单位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，从辐射环境保护的角度分析，该项目的运行是安全可行的。

## 11.2 承诺和建议

### 11.2.1 承诺

- 1、严格按照设计方案建设加速器机房，并使用拟购型号工业电子加速器。
- 2、加强工作人员的个人剂量监督。
- 3、安排职业人员参加核技术利用辐射安全与防护考核，考核成绩合格后才能上岗。
- 4、尽快制定相关管理规章制度，以满足辐射管理要求，并严格执行各项制度和操作规程。
- 5、设立辐射安全管理机构，由法人作为辐射安全工作第一责任人。
- 6、项目建成后及时申领辐射安全许可证及组织开展竣工环境保护验收工作。

### 11.2.2 建议

- 1、加强对工作人员的教育和培训，避免辐射事故（件）的发生。
- 2、根据实际工作情况不断完善操作规程、管理制度以及应急响应方案。
- 3、对操作人员，要求熟知防护知识，能合理的应用“距离、时间、屏蔽”的防护措施，使公众和工作人员所受到的照射降到“可合理达到的尽量低水平”。

下一级环保部门意见

公章

经办人签字

年 月 日

审批意见

公章

经办人签字

年 月 日

## 委 托 书

**委托单位：**青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司

**被委托单位：**山东海美依生态环境咨询有限公司

**工程名称：**工业电子加速器辐照项目

**工程地点：**山东省青岛市黄岛区

**委托内容：**为满足工业电子加速器辐照业务的需求，公司拟于山东省青岛市黄岛区东元路 2118 号 4 栋车间东侧中间位置建设 2 座加速器机房，并于每座机房内安装 1 台 ProAcc-10/20 型工业电子加速器用于辐照加工。根据《中华人民共和国环境影响评价法》要求，本项目须办理环境影响评价手续，现委托贵单位承担该项目环境影响评价工作。

委托单位：青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司

2022 年 3 月 28 日



# 营业执照

统一社会信用代码  
91370211MACATYEXM



名称 青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司

类型 其他有限责任公司

法定代表人 崔焕荣

经营范围 一般项目：技术服务、技术开发、技术咨询、技术交流、技术转让、技术推广；电子（气）物理设备及其他电子设备制造。（除依法须经批准的项目外，凭营业执照依法自主开展经营活动）

注册资本 壹仟陆佰万元整

成立日期 2022年10月13日

营业期限 至长期

住所 山东省青岛市黄岛区东元路2118号4栋车间

登记机关 青岛  
区市场监督管理局

2022 年 10 月 13 日

说明：  
1、本营业执照于2022年10月13日10时50分37秒由系统自动生成（请仔细核对）  
2、数字签名：ADEF4EASZ/6raslddX5vozdJdU0ngbM5YQ5N9wYU/mbKc9dHl0wCIEDDZqAR7naPMDXoK5f6Z/9aF5coqJasKFT1M7VJf9aCks

国家企业信用信息公示系统网址：<http://www.gsxt.gov.cn>

国家市场监督管理总局监制

附件3 不动产权证书

附件4 租赁合同

## 环境影响报告表公示稿删除内容说明

青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司委托山东海美侬生态环境咨询有限公司有限公司开展工业电子加速器辐照项目的环境影响报告表的公示稿，无删除内容，特此证明！

青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司  
2022年11月16日

**青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司**  
**工业电子加速器辐照项目**  
**环评报批公示承诺函**

青岛市生态环境局西海岸新区分局：

我公司工业电子加速器辐照项目现在你局办理环境影响评价审批事宜。按照有关规定，该项目环境影响评价文件需要进行报批前公示。经确认，该项目报批前公示内容为报批的环境影响评价文件全本，我公司承诺公示版与报批版全文完全一致，且不存在虚假材料、瞒报、假报等情况。

我公司同意按该项目环境影响评价文件公示版进行公示，对其客观真实性负责，并承担内容不实之后果。

我公司承诺，提交到你局的环境影响评价文件公示版已按照《中华人民共和国个人信息保护法》有关要求，对个人隐私等信息处理完毕，其余内容与我公司在环境影响评价公示网上公示的文件全本一致。

特此致函。

青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司

2022年11月16日

# 青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司工业电子加速器辐照项目

## 主动公开环境影响评价文件的说明

### 1、主动公开的时间

主动公开的时间为：2022年7月28日

### 2、公开的网址链接

公开的网址链接为：

<http://sdharmony.cn/>

### 3、公开截图

### 4、本次公示期间收到的公众意见及相应反馈

在环境影响报告表全本公示后，尚未收到民众的电话、书面信件或其它有关对该项目环境保护方面的反馈意见。

青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司

2022年11月16日

### 关于资料提供和环评内容确认的承诺书

山东海美依生态环境咨询有限公司：

我方已收到贵单位编制《工业电子加速器辐照项目环境影响报告表》，经对报告内容认真核对，确认项目相关基础资料均为我方提供，环评内容符合本项目合同规定的要求，可以上报主管部门审查。由于我方提供资料的真实性引起的法律责任，由我方承担。

建设单位（公章）：青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司

2022年11月16日

## 授权委托书

青岛市生态环境局西海岸新区分局：

我公司委托\_\_\_\_\_性别：\_\_\_\_\_身份证号：\_\_\_\_\_到贵单位办理工业电子加速器辐照项目环境影响评价申报手续事宜，对受委托人在办理上述事项过程中所签署的有关文件，我公司均予以认可，并承担相应的法律责任。委托时间自签字之日起至该业务办理结束止。

附：1、法定代表人身份证复印件

2、受委托人身份证复印件

青岛荣化蓝孚加速器科技服务有限公司（盖章）

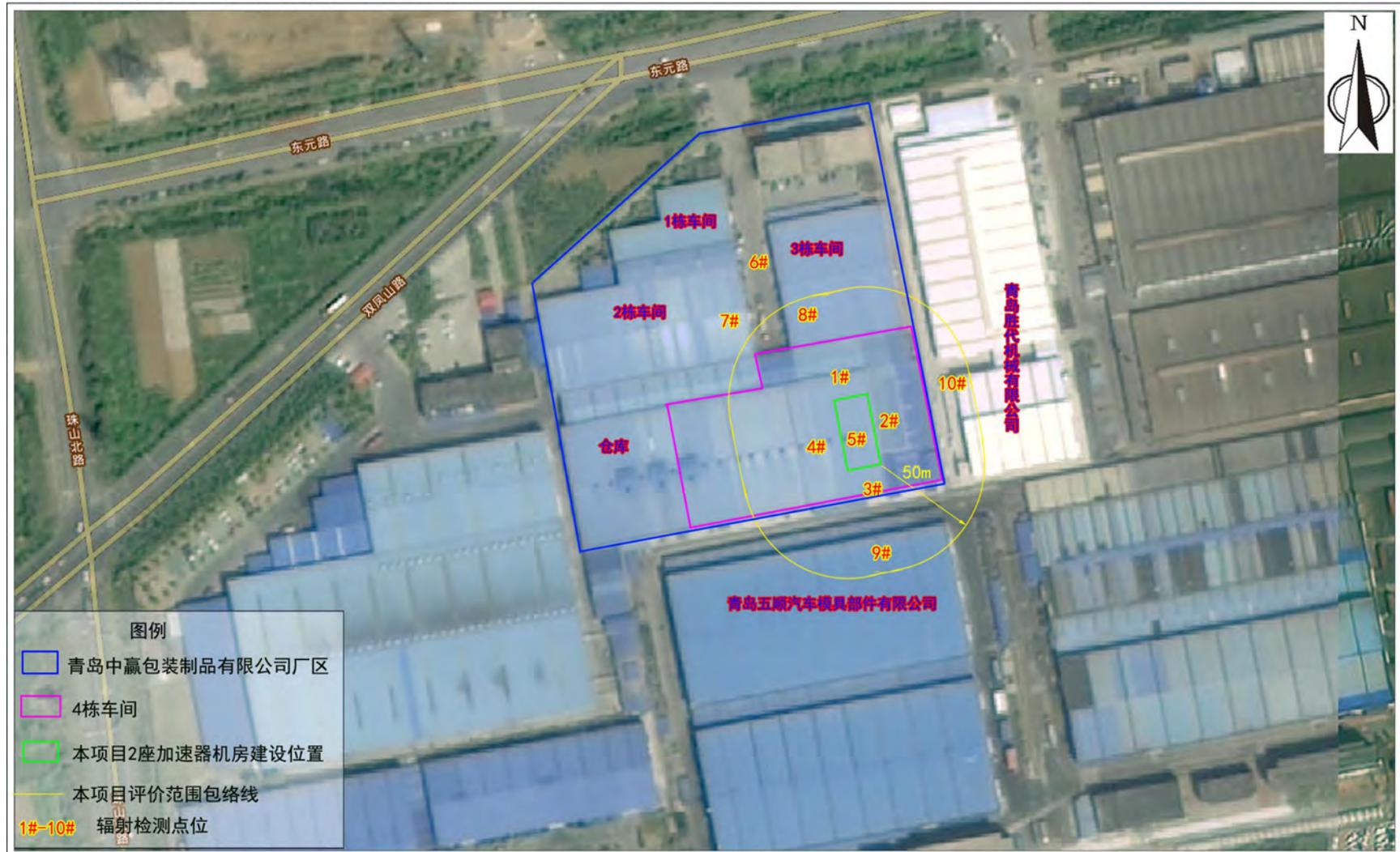
日期： 2022 年 11 月 16 日

## 附件8 辐射现状检测报告

附图1 本项目地理位置示意图 比例尺：1:80万



附图2 本项目周边关系影像图 比例尺1:2500





附图4 本项目与青岛市省级生态保护红线位置关系图

