

# 核技术利用建设项目

宁波开博线缆有限公司

新建 2 台工业电子加速器辐照项目

环境影响报告表

(报批稿)

宁波开博线缆有限公司

2022 年 11 月

生态环境部监制

# 核技术利用建设项目

宁波开博线缆有限公司

新建 2 台工业电子加速器辐照项目

环境影响报告表

建设单位名称：宁波开博线缆有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省宁波杭州湾新区滨海四路 518 号

邮政编码：315000

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 非密封放射性物质.....	6
表 4 射线装置.....	7
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	8
表 6 评价依据.....	9
表 7 保护目标与评价标准.....	12
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.....	27
表 11 环境影响分析.....	26
表 12 辐射安全管理.....	62
表 13 结论与建议.....	69
表 14 审批.....	72

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		宁波开博线缆有限公司新建 2 台工业电子加速器辐照项目			
建设单位		宁波开博线缆有限公司			
法人代表	***	联系人	***	联系电话	***
注册地址		浙江省宁波杭州湾新区滨海四路 518 号			
项目建设地点		浙江省宁波杭州湾新区滨海四路 518 号			
立项审批部门		宁波杭州湾新区发展和改革局	批准文号	2210-330252-07-02-115571	
建设项目总投资 (万元)		1250	项目环保投资 (万元)	160	投资比例 (环保投资/总投资) 12.8%
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> )	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			

**1.1 项目情况**

**1.1.1 建设单位简介**

宁波开博线缆有限公司成立于 2014 年 3 月 3 日，注册资本 1020 万元，坐落于浙江宁波慈溪，是一家专业从事光伏线缆、建筑布电线、新能源汽车线缆、插头电源线、储能线缆及线束的研发型生产企业，经营范围包括电线、电缆、塑料制品、五金配件、输变电及控制设备、电源连接件制造、加工，自营和代理货物和技术的进出口。

因发展需要，公司拟整体搬迁至宁波杭州湾新区滨海四路 518 号，总占地面积约 33336m<sup>2</sup>，并拟投资 11500 万元，利用已建厂房，同时拟进行厂房改造、扩大生产厂房，实施年产 1 亿米光伏线缆项目。该项目预计 2023 年 11 月投产。

公司厂区内建筑主要包括 1 间门卫室（新建，共 1 层）、1 幢办公楼（已有，共 3 层）、1 幢宿舍楼（已有，共 3 层）、1#厂房（新建，共 1 层）、2#厂房（已建，共 1 层）、3#厂房（已

建，共1层）、4#厂房（新建，共1层）。该项目非辐射类环境影响评价工作已委托浙江甬率环保科技有限公司进行，并于2022年6月10日取得宁波杭州湾新区生态环境局的批复（甬新环建【2022】36号）。

### 1.1.2 项目建设目的和任务由来

为满足业务发展需求，宁波开博线缆有限公司拟将3#厂房布置为原料仓库，并在3#厂房东北侧新建2间加速器机房，分别为1#加速器机房和2#加速器机房，其中1#加速器机房配备1台DD2.0-50/1600型电子加速器，2#加速器机房配备1台DD2.5-40/1600型电子加速器。公司配备的电子加速器用于对本公司生产的电线、电缆进行辐照加工。

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》，本项目电子加速器归入到“工业辐照用加速器”的范畴，属于II类射线装置。对照生态环境部令第16号《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，本项目属于“五十五、核与辐射：172、核技术利用建设项目”，本次评价内容为使用II类射线装置，应编制环境影响报告表，并在环评批复后及时向有权限的生态环境主管部门申领《辐射安全许可证》。

为保护环境，保障公众健康，宁波开博线缆有限公司委托杭州卫康环保科技有限公司对本项目进行辐射环境影响评价，环评委托书见附件1。评价单位接受委托后，通过现场踏勘、委托监测、收集有关资料等工作，结合本项目特点，依据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关要求，编制完成了本项目的环境影响报告表，供建设单位上报审批。

### 1.1.3 建设内容及规模

公司拟在3#厂房东北侧新建2间加速器机房，分别配备1台DD2.0-50/1600型电子加速器和1台DD2.5-40/1600型电子加速器，用于对本公司生产的电线、电缆进行辐照加工。公司拟配备的2台电子加速器均为卧式结构，将主电源与加速器分成两体成直角联接，加速器主体采用自屏蔽结构，仅需建设辐照室，加速器主体、冷却水循环系统、气体系统等辅助设备均位于辐照室楼顶的设备平台。本项目具体情况见表1-1。

表 1-1 公司核技术应用项目情况一览表

序号	射线装置名称	数量	电子束最大能量 (MeV)	最大束流强度 (mA)	类别	工作场所名称	活动种类	环评情况及审批时间	备注
1	DD2.0-50/1600型电子加速器	1	2.0	50	II	1#加速器机房	使用	新建项目 本次环评	束流损失率为1%，束流损失点能量为最大能量的10%
2	DD2.5-40/1600型电子加速器	1	2.5	40	II	2#加速器机房	使用		

## 1.2 项目选址与环境保护目标

### 1.2.1 公司地理位置

宁波开博线缆有限公司位于浙江宁波杭州湾新区滨海四路 518 号，地理位置示意图见附图 1。厂区东侧为市域治污工程水厂湿地，南侧隔滨海四路为默沙东（宁波）动物保健科技有限公司和宁波利海贝尔制冷科技有限公司，西侧为宁波大昌金属材料科技有限公司，北侧隔三号直江为空地（规划为生产防护绿地）。厂区周边环境示意图见附图 2。

### 1.2.2 公司 3#厂房位置

厂区大门位于厂区南侧，厂区内由南往北依次布置办公楼、宿舍楼、1#厂房（挤塑车间、注塑车间和成品仓库）、2#厂房（密炼造粒车间）、3#厂房（原料仓库）、4#厂房（原料仓库）。厂区总平面布置图见附图 3。

3#厂房共 1 层，占地面积约 3057.4m<sup>2</sup>，其东侧为厂区过道，南侧为厂区过道和 2#厂房，西侧为厂区过道和宁波大昌金属材料科技有限公司，北侧为厂区过道和 4#厂房。

### 1.2.3 本项目加速器机房拟建位置

本项目拟建的 2 间加速器机房位于 3#厂房东北侧，并列分布，从西至东依次为 1#加速器机房和 2#加速器机房。加速器机房东侧距离 3#厂房边界 8m、厂区边界 17m，南侧距离 3#厂房边界 20m、2#厂房 31m，西侧距离 3#厂房边界 54m，北侧距离 3#厂房边界 2m、4#厂房 12m，楼上、楼下无建筑。本项目加速器机房拟建场所在 3#厂房的位置见附图 5。

因此，本项目加速器机房实体边界外 50m 评价范围主要为厂区过道和建筑。本项目环境保护目标主要为辐射工作人员、机房周围的其他工作人员和公众人员。

### 1.2.4 选址合理性分析

本项目拟建地址位于浙江宁波杭州湾新区滨海四路 518 号，用地性质为工业用地，周围无环境制约因素。本项目加速器机房实体边界外 50m 范围内主要为公司厂区过道和建筑，本项目不在生态保护红线范围内，且项目选址周边均无自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、饮用水水源保护区以及基本农田保护区、基本草原、森林公园、地质公园、重要湿地等敏感点存在。项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的防护治理措施后不会对周围环境与公众造成危害，故本项目的选址是合理的。

### 1.2.5 “三线一单”符合性分析

根据《关于实施“三线一单”生态环境分区管控的指导意见（试行）》（环环评〔2021〕108 号），“三线一单”即“生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单”。

本项目“三线一单”符合性判定情况见表 1-2。

表 1-2 “三线一单”符合性分析

生态 保护红线	根据《慈溪市“三线一单”生态环境分区管控方案》，项目所在地位于宁波市杭州湾新区产业集聚重点管控区（ZH33028220003），不在杭州湾新区生态红线保护区内，因此，本项目符合生态保护红线的要求。
资源 利用上线	本项目营运过程中会消耗一定量的电源、水资源等，主要来自工作人员的日常生活用水和设施用电，但项目资源消耗量相对区域资源利用总量较少，符合资源利用上线要求。
环境 质量底线	经现场检测，本项目加速器机房拟建址及周围环境的 X-γ 辐射本底水平未见异常。经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。“三废”污染物均采取了合理、有效、可行的处理措施，可以做到达标排放，符合环境质量底线要求。
生态环境 准入清单	<p>根据《慈溪市“三线一单”生态环境分区管控方案》，项目所在地位于宁波市杭州湾新区产业集聚重点管控区（ZH33028220003），该管控单元生态环境准入清单如下：</p> <p>①空间布局约束</p> <p>优化完善区域产业布局，合理规划布局三类工业项目，鼓励对三类工业项目进行淘汰和提升改造。合理规划居住区与工业功能区，在居住区和工业区、工业企业之间设置防护绿地、生活绿地等隔离带。</p> <p>另外，禁止新建、扩建纯对外加工的喷漆/浸漆等产生 VOCs、臭气异味的涂装行业（包括水性漆）；禁止新建、扩建纯对外加工的发黑、钝化、热镀锌、印染、电镀、酸洗、磷化/硅烷化/陶化等表面处理项目；禁止新建、扩建纯对外加工的热处理加工项目；配套的不作限制。禁止新建、扩建废塑料造粒、印花、冶炼、铸造、石棉、造纸、制革、小熔炼、小化工、小织造等散乱污项目。</p> <p>②污染物排放管控</p> <p>严格实施污染物总量控制制度，根据区域环境质量改善目标，削减污染物排放总量。新建二类、三类工业项目污染物排放水平要达到同行业国内先进水平。推进工业园区（工业企业）“污水零直排区”建设，所有企业实现雨污分流。全面推进重点行业 VOCs 治理和工业废气清洁排放改造，强化工业企业无组织排放管控。加强土壤和地下水污染防治与修复。污水管网未到位区域，禁止新建、扩建排放生产废水的项目。</p> <p>③环境风险防控</p> <p>定期评估沿江河湖库工业企业、工业集聚区环境和健康风险。强化工业集聚区企业环境风险防范设施设备建设和正常运行监管，加强重点环境风险管控企业应急预案制定，建立常态化的企业隐患排查整治监管机制，加强风险防控体系建设。</p> <p>④资源开发效率</p> <p>推进工业集聚区生态化改造，强化企业清洁生产改造，推进节水型企业创建等。落实煤炭消费减量替代要求，提高能源使用效率。</p> <p>本项目为核技术利用建设项目，主要从事辐照加工，不涉及任何生产和制造内容，项目经营过程中污染物简单，排放量较小，“三废”污染物皆可控制和处理，故项目运营后对周围环境不会产生较大影响。同时，公司拟制定《辐射事故应急预案》，并设置辐射事故应急小组和应急物资，具备完善的风险防范措施。因此，本项目的实施符合《慈溪市“三线一单”生态环境分区管控方案》的管控要求。</p>

因此，本项目的建设符合“三线一单”的要求。

## **1.3 与产业政策的相符性和实践正当性分析**

### **1.3.1 与产业政策的相符性**

本项目属于核技术在工业领域内的应用，根据国家发展和改革委员会第 29 号令《产业结构调整指导目录（2019 年本）》和国家发展和改革委员会第 49 号令《关于修改〈产业结构调整指导目录（2019 年本）〉的决定》，本项目属于“第一类鼓励类”中“六核能”中第 6 项内容，即“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，因此本项目的建设与国家的产业政策是相符的。

### **1.3.2 实践正当性结论**

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中 4.3 “辐射防护要求”，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

本项目投入使用不仅满足了企业的生产需求，提高了产品质量，还将给企业带来更多的经济效益和社会效益，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

## **1.4 劳动定员及工作制度**

本项目辐射工作人员拟从公司现有非辐射工作人员中抽调参加辐射安全培训后转为辐射工作人员或新招聘辐射工作人员。本项目前期拟为每间加速器机房先配备 2 名辐射工作人员，后期随工作量的增加，每间加速器机房最多配备 4 名辐射工作人员，4 名辐射工作人员采取两班工作制，每班 2 名辐射工作人员，并指定其中 1 人为当班运行值班长，年工作 300 天。本项目单台加速器每天 24h 出束，年运行出束时间约 7200h。

## **1.5 原有核技术利用项目许可情况**

本项目为新建项目，宁波开博线缆有限公司之前未开展过跟辐射有关的工作，尚未取得《辐射安全许可证》，因此不存在原有项目核技术利用和许可情况。



**表 2 放射源**

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

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

**表 3 非密封放射性物质**

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

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

**表 4 射线装置**

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	工业电子加速器	II	1	DD2.0-50/1600	电子	2.0	50mA	工业辐照	3#厂房的 1#加速器机房	束流损失率为 1%，束流损失点能量为最大能量的 10%
2	工业电子加速器	II	1	DD2.5-40/1600	电子	2.5	40mA	工业辐照	3#厂房的 2#加速器机房	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

**表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）**

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口活度	暂存情况	最终去向
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	少量	不暂存	通过排风系统排到外环境,臭氧常温下可自行分解为氧气,对环境影响较小。
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1、常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m<sup>3</sup>；年排放总量用 kg。

2、含有放射性的废物要注明，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>）或活度（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》，中华人民共和国主席令第九号，2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令第二十四号，2018 年 12 月 29 日起施行；</p> <p>(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八十一号，2017 年 11 月 5 日第三次修正并施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订版），国务院令 第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019 年修改）》，国务院令 第 709 号，2019 年 3 月 2 日起施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令 第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021 年修改）》，生态环境部令 第 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行；</p> <p>(8) 《射线装置分类》（2017 年修订版），原环境保护部 国家卫生计生委公告 2017 年公告第 66 号公布，自 2017 年 12 月 5 日起施行；</p> <p>(9) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，环发〔2006〕145 号，原国家环境保护总局，2006 年 9 月 26 日起施行；</p> <p>(10) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 24 日印发；</p> <p>(11) 《国家发展改革委关于修改&lt;产业结构调整指导目录（2019 年本）&gt;的决定》，中华人民共和国国家发展和改革委员会令，2021 年 12 月 30 日起施行；</p> <p>(12) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部令 第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(13) 《关于实施“三线一单”生态环境分区管控的指导意见（试行）》，环环评〔2021〕108 号，生态环境部办公厅，2021 年 11 月 19 日印发；</p> <p>(14) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令 第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行；</p>
----------	--

	<p>(15)《浙江省建设项目环境保护管理办法(2021年修正)》，浙江省人民政府令第388号，2021年2月10日施行；</p> <p>(16)《浙江省辐射环境管理办法(2021年修正)》，浙江省人民政府令第388号，2021年2月10日施行；</p> <p>(17)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，原浙江省环境保护厅，2015年10月23日起施行；</p> <p>(18)关于发布《省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2019年本)》的通知，浙环发〔2019〕22号，浙江省生态环境厅，2019年12月20日起施行；</p> <p>(19)《慈溪市“三线一单”生态环境分区管控方案》，慈政发[2020]39号，2020年12月16日发布。</p>
<p>技术 标准</p>	<p>(1)《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 1.6-2016)，2017年1月1日实施；</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》(HJ 10.1-2016)，2016年4月1日实施；</p> <p>(3)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)，2003年4月1日实施；</p> <p>(4)《粒子加速器辐射防护规定》(GB 5172-85)，1986年1月1日实施；</p> <p>(5)《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ 141-2002)，2002年6月1日实施；</p> <p>(6)《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)，2011年5月1日实施；</p> <p>(7)《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)，2019年3月1日实施；</p> <p>(8)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)，2020年4月1日实施；</p> <p>(9)《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)，2021年5月1日实施；</p> <p>(10)《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)，2021年5月1日实施；</p> <p>(11)《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB 8999-2021)，2021年8月1日实施；</p> <p>(12)《辐射事故应急监测技术规范》(HJ 1155-2020)，2021年3月1日实施；</p>

	<p>(13)《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), 2020年4月1日实施;</p> <p>(14)《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)及其2018年修改单, 2018年9月1日实施。</p>
其他	<p>(1) 环评委托书, 见附件1;</p> <p>(2) 建设单位提供的工程设计图纸及相关技术参数资料。</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》（HJ 10.1-2016）的规定：“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外50m的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于100m的范围）”，并结合本项目的辐射污染特点，确定本项目评价范围为加速器机房实体墙外50m的区域，评价范围示意图见附图3。

### 7.2 保护目标

本项目的主要环境影响因素为电离辐射。根据本项目评价范围、公司辐射工作场所布局、总平面布置及外环境特征，本项目环境保护目标为评价范围50m内该公司从事加速器操作的辐射工作人员及周围公众成员，具体见表7-1。

**表7-1 本项目环境保护目标基本情况表**

场所位置	环境保护目标		方位	与机房最近距离（m）	人数	受照类型	年剂量约束值
加速器 机房	职业 人员	控制室	南	1	最多 8 名 工作人员	职业 照射	5.0mSv/a
	公众 成员	厂区过道	东	8	约15人次/天	公众 照射	0.1mSv/a
		厂区过道	南	20	约50人次/天		
		2#厂房	南	31	约30人		
		厂区过道	北	2	约10人次/天		
		4#厂房	北	12	约5人		
3#厂房内其他工作人员	相邻	0~50	约15人				

备注：本项目将设备平台划为辐射防护控制区，因此不设为环境保护目标。

### 7.3 评价标准

#### 1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

##### 一、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）。

## 二、剂量限值

### 1) 职业照射

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证除本标准 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）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 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；

### 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；

## 三、剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中11.4.3.2条款：“剂量约束值通常应在公众照射剂量限值10%~30%（即0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内”，遵循辐射防护最优化的原则，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）的要求，结合项目实际情况，本次评价取职业照射剂量限值的25%、公众照射剂量限值的10%分别作为本项目剂量约束值管理目标，具体见表7-2。

表7-2 剂量约束值

适用范围	剂量约束值
职业照射有效剂量	5.0mSv/a
公众照射有效剂量	0.1mSv/a

## 四、辐射工作场所的分区

### 6.4 辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

#### 6.4.1 控制区



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

#### 6.4.2 监督区

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

## 2、《粒子加速器辐射防护规定》（GB 5172-85）

本规定适用于加速粒子的单核能量低于100MeV的粒子加速器（不包括医疗加速器和象密封型中子管之类的可移动加速器）设施。

2.8从事加速器工作的全体放射性工作人员，年人均剂量当量应低于5.0mSv。

2.10加速器产生的杂散辐射、放射性气体和放射性废水等，对关键居民组的个人造成的有效剂量当量应低于每年0.1mSv。

E.2.1加速器设施内应有良好的通风，以保证臭氧的浓度低于0.3mg/m<sup>3</sup>。

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

本标准适用于各种类型的γ源辐照装置和能量小于或等于10MeV的电子加速器辐照装置。

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

5.1.4.1空气比释动能率的测量位置如下：距辐照室各屏蔽墙和出入口外30cm处。

5.1.4.2运行中的定期测量应选定固定的检测点，它们必须包括：贮源水井表面、辐照室各入口、出口，穿过辐照室的通风、管线外口，各屏蔽墙和屏蔽顶外，操作室及与辐照室直接相邻的各房间等。

5.1.4.3测量结果应符合GB 17279第5条（即“对监督区，在距屏蔽体的可达界面30cm，由穿透辐射所产生的平均剂量率应不大于 $2.5 \times 10^{-3}$  mSv/h”）。

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

本标准适用于能量为0.15MeV~15MeV的各类辐射加工用电子加速器工程。

8.1.3辐射防护安全要求

辐射防护安全要求如下：

a) 辐射屏蔽材料采用混凝土时，其强度等级应高于C20，密度不低于2.35g/cm<sup>3</sup>；

b) 屏蔽结构及预埋件应满足设备供应商的土建工艺指导数据;

c) 监督区的辐射剂量水平应符合GB 18871-2002和GB 5172-85中的职业照射剂量限值要求; 在工程设计时辐射防护设计的剂量规定为: 职业照射个人年有效剂量限值为5mSv, 公众成员个人年有效剂量限值为0.1mSv;

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

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》(HJ 979-2018)

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

### 4.1.2辐射工作场所的分区

按照GB 18871的规定, 电子加速器辐照装置的工作场所分为:

控制区, 如主机室和辐照室及各自出入口以内的区域;

监督区, 如设备操作室, 未被划入控制区的电子加速器辐照装置辅助设施区和其他需要对职业照射条件进行监督和评价的区域。

### 4.2.1辐射防护原则

#### (3) 个人剂量约束

辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量限值应满足GB 18871的要求。

在电子加速器辐照装置的工程设计中, 辐射防护的剂量约束值规定为:

a) 辐射工作人员个人年有效剂量为5mSv;

b) 公众成员个人年有效剂量为0.1mSv。

### 4.2.2辐射屏蔽设计依据

电子加速器辐照装置的屏蔽设计必须以加速器的最高能量和最大束流强度为依据。

电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面30cm处及以外区域周围剂量当量率不能超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。如屏蔽体外为社会公众区域, 屏蔽设计必须符合公众成员个人剂量约束值规定。

本标准适用的能量不高于10MeV的电子束和能量不高于5MeV的X射线, 在辐射屏蔽设

计中不需要考虑所产生的中子防护问题。

## 6 电子加速器辐照装置的安全设计

### 6.1 联锁要求

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

安全联锁引发加速器停机时必须自动切断高压。

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

### 6.2 安全设施

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 6.3.3 通风系统

(1) 主机室和辐照室应设置通风系统，以保证辐照分解产生的臭氧等有害气体浓度满足GBZ 2.1的规定。有害气体的排放应满足GB 3095的规定。

(2) 臭氧的产生和排放，其计算模式和参数见附录B。

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

(4) 排风口的高度应根据GB 3095的规定、有害气体排出量和辐照装置附近环境与气象资料计算确定。

## 6、项目管理目标

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

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

②个人剂量约束值：辐射工作人员个人年有效剂量不超过 $5\text{mSv/a}$ ；

公众成员个人年有效剂量不超过 $0.1\text{mSv}$ 。

## 7、工作场所臭氧和氮氧化物的控制水平

根据《粒子加速器辐射防护规定》附录E中E.2.1条款“加速器设施内应有良好的通风，以保证臭氧的浓度低于 $0.3\text{mg/m}^3$ ”及《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》(GBZ 2.1-2019)表1中规定工作场所空气中 $\text{O}_3$ 容许浓度为 $0.3\text{mg/m}^3$ ， $\text{NO}_x$ 容许浓度为 $5\text{mg/m}^3$ ，确定本次评价项目加速器停机后，工作人员进入辐照室时，辐照室内的 $\text{O}_3$ 浓度应不大于 $0.3\text{mg/m}^3$ ， $\text{NO}_x$ 浓度应不大于 $5\text{mg/m}^3$ 。

## 表 8 环境质量和辐射现状

### 8.1 辐射环境质量现状与评价

#### 8.1.1 项目地理和场所位置

##### 1、公司地理位置

宁波开博线缆有限公司位于浙江宁波杭州湾新区滨海四路 518 号，地理位置示意图见附图 1。厂区东侧为市域治污工程水厂湿地，南侧隔滨海四路为默沙东（宁波）动物保健科技有限公司和宁波利海贝尔制冷科技有限公司，西侧为宁波大昌金属材料科技有限公司，北侧隔三号直江为空地（规划为生产防护绿地）。厂区周边环境示意图见附图 2。

##### 2、公司 3#厂房位置

厂区大门位于厂区南侧，厂区内由南往北依次布置办公楼、宿舍楼、1#厂房（挤塑车间、注塑车间和成品仓库）、2#厂房（密炼造粒车间）、3#厂房（原料仓库）、4#厂房（原料仓库）。厂区平面布置图见附图 3。

3#厂房共 1 层，占地面积约 3057.4m<sup>2</sup>，其东侧为厂区过道，南侧为厂区过道和 2#厂房，西侧为厂区过道和宁波大昌金属材料科技有限公司，北侧为厂区过道和 4#厂房。

##### 3、本项目加速器机房拟建位置

本项目拟建的 2 间加速器机房位于 3#厂房东北侧，并列分布，从西至东依次为 1#加速器机房和 2#加速器机房。加速器机房东侧距离 3#厂房边界 8m、厂区边界 17m，南侧距离 3#厂房边界 20m、2#厂房 31m，西侧距离 3#厂房边界 54m，北侧距离 3#厂房边界 2m、4#厂房 12m，楼上、楼下无建筑。本项目加速器机房拟建场所在 3#厂房的位置见附图 5。

#### 8.1.2 环境现状评价对象

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

#### 8.1.3 辐射环境质量现状

##### 1、检测目的

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

##### 2、检测因子

根据项目污染因子特征，环境检测因子为  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率。

##### 3、检测点位

根据《环境  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）等要求，结合现场条件，对本项目加速器机房拟建址及周围环境进行检测布点。本项目共布设 6 个检测点位，布点情况见图 8-1，检测报告及检测资质见附件 7。

##### 4、检测方案

- (1) 检测单位：浙江环安检测有限公司；
- (2) 检测时间：2022年07月28日；
- (3) 检测方式：现场检测；
- (4) 检测依据：《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；
- (5) 检测频次：依据《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)予以确定；
- (6) 天气环境条件：天气：晴；温度：36℃；相对湿度：57%；
- (7) 检测工况：辐射环境本底；
- (8) 检测仪器：该仪器在检定有效期内，相关设备参数见表8-1。

**表8-1 检测仪器的参数与规范**

检测仪器	环境监测 X、 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率仪
仪器型号	RM-2030
仪器编号	2019016
生产厂家	上海超奇电子有限公司
量程	0.01 $\mu$ Gy/h~200 $\mu$ Gy/h、0.1 $\mu$ Gy~500.0mGy
能量范围	35keV~3MeV
检定证书编号	2021H21-10-3678113001
检定证书有效期	2021年12月2日至2022年12月1日
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心

#### 5、质量保证措施

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

#### 6、检测结果及评价

本项目加速器机房拟建址的辐射水平检测结果见表8-2，检测点位见图8-1，详细检测结果见附件7。

**表8-2 加速器机房拟建址及周围环境辐射本底检测结果**

点位编号	点位描述	监测结果 ( $\mu$ Gy/h)	
		校正值	标准差
①	加速器机房拟建址	0.09	0.01
②	加速器机房拟建址东侧	0.07	0.01
③	加速器机房拟建址南侧	0.08	0.01
④	加速器机房拟建址西侧	0.08	0.01
⑤	加速器机房拟建址北侧	0.07	0.01
⑥	2#厂房	0.10	0.01

注：以上监测结果均已扣除宇宙射线的响应。

点号①和⑥在室内监测，其余点号在室外监测。

由表8-2可知，本项目加速器机房拟建址及周围各检测点位室内 $\gamma$ 辐射剂量率范围为 $(0.09\sim 0.10)\mu\text{Gy/h}$ ，折算为 $(90\sim 100)\text{nGy/h}$ ，室外 $\gamma$ 辐射剂量率范围为 $(0.07\sim 0.08)\mu\text{Gy/h}$ ，折算为 $(70\sim 80)\text{nGy/h}$ ，根据《浙江省环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，宁波市室内 $\gamma$ 辐射剂量率范围为 $(0.08\sim 0.19)\mu\text{Gy/h}$ ，折算为 $(80\sim 190)\text{nGy/h}$ ，宁波市道路上 $\gamma$ 辐射剂量率范围为 $(0.06\sim 0.13)\mu\text{Gy/h}$ ，折算为 $(60\sim 130)\text{nGy/h}$ ，可见项目所在地的天然贯穿辐射水平处于当地本底水平范围之内，未见异常。

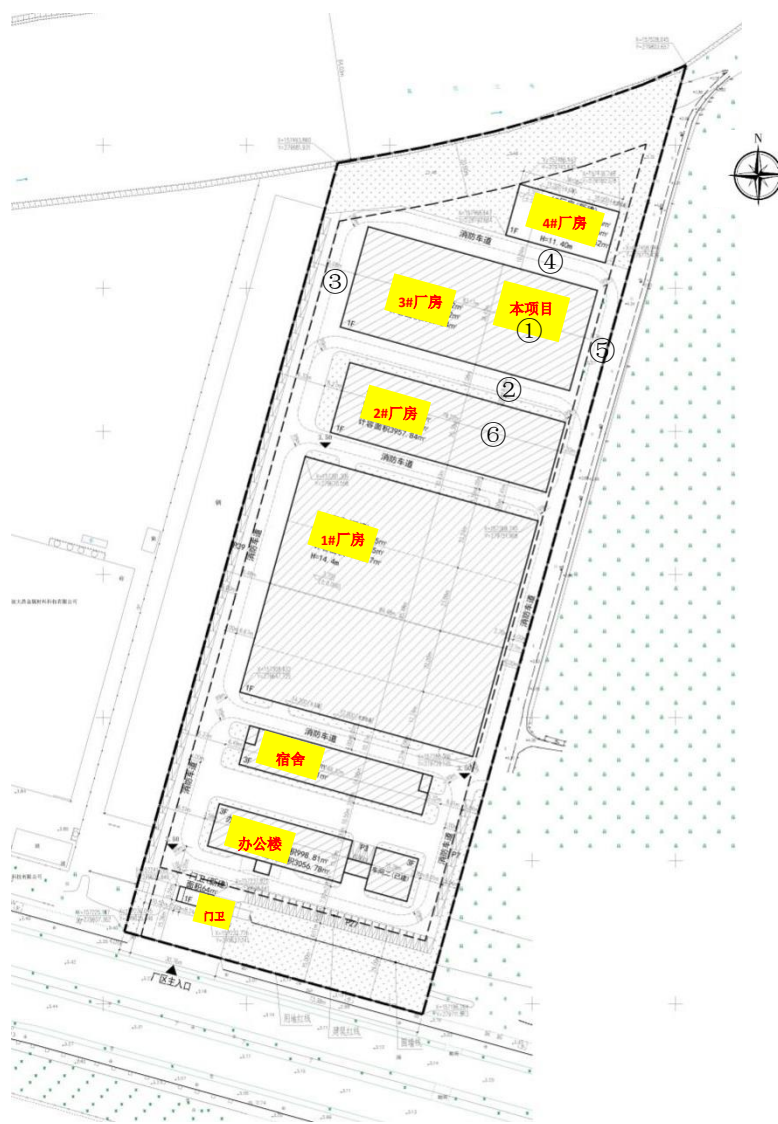


图8-1 加速器机房拟建址检测点位示意图

## 表 9 项目工程分析与源项

### 9.1 施工工艺分析

#### 9.1.1 施工工艺流程及产污环节

本项目施工期主要为加速器机房及配套设施建设，施工工艺流程及产污环节示意图见图 9-1。

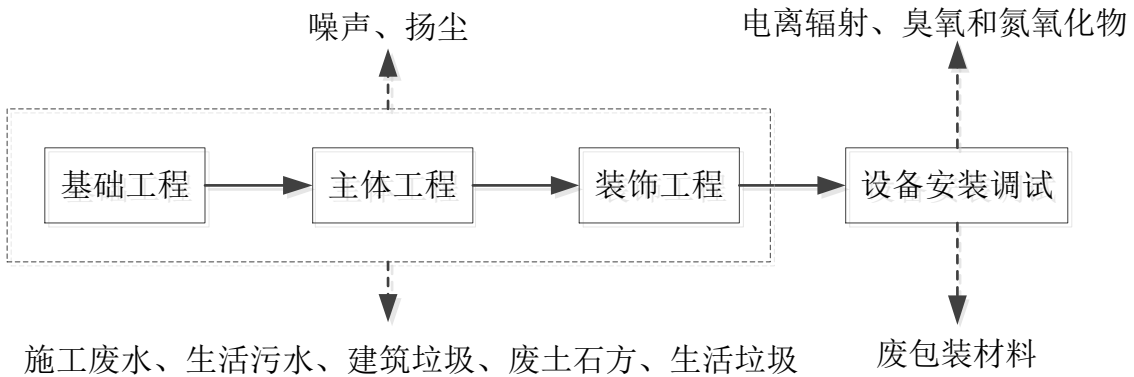


图9-1 施工工艺流程及产污环节示意图

#### 9.1.2 污染源项描述

(1) 土建施工阶段：①废气：施工扬尘、车辆运输扬尘等；②废水：施工废水、施工人员生活污水；③噪声：各类施工机械设备噪声；④固废：建筑垃圾、施工人员生活垃圾等。

(2) 安装调试阶段：电离辐射、臭氧和氮氧化物及废包装材料等。

### 9.2 工程设备和工艺分析

#### 9.2.1 工程设备

宁波开博线缆有限公司拟配备的 DD2.0-50/1600 型和 DD2.5-40/1600 型电子加速器均为卧式结构，将主电源与加速器分成两体成直角联接，加速器主体采用自屏蔽结构，仅需建设辐照室，加速器主体、冷却水循环系统、气体系统等辅助设备均位于辐照室楼顶的设备平台，本项目加速器主体装置示意图和整体结构图见图 9-2 和图 9-3。

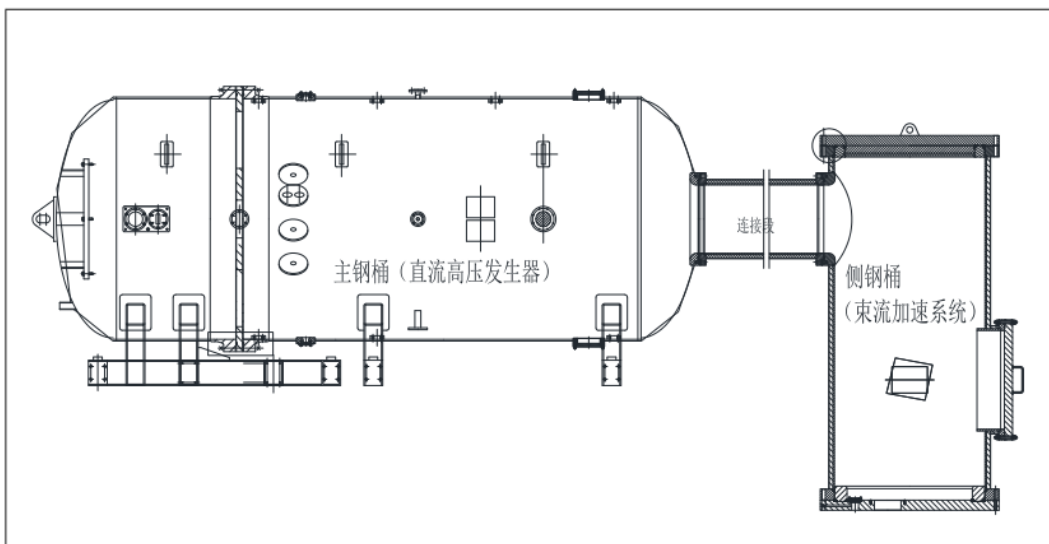


图 9-2 本项目 DD 型电子加速器主体装置示意图



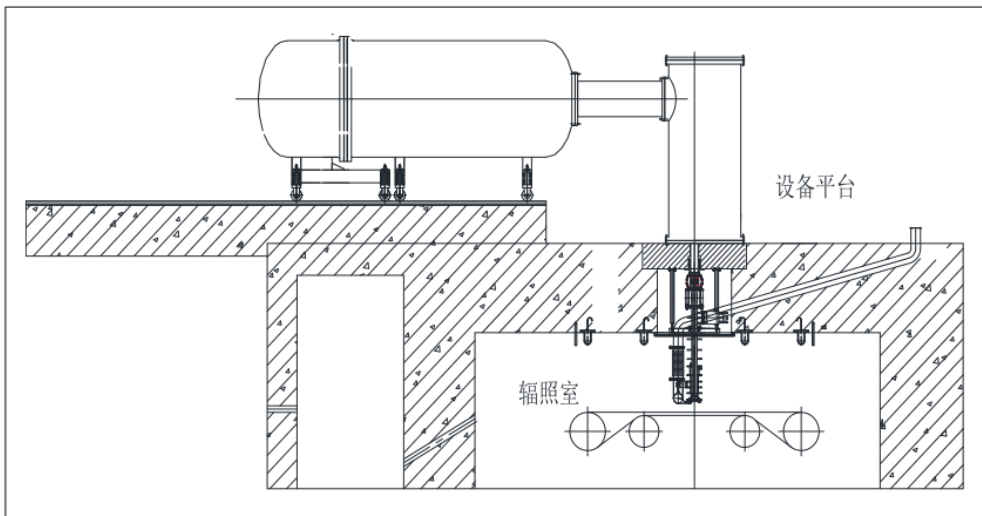


图 9-3 本项目卧式加速器整体结构图

公司拟配备的电子加速器技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目电子加速器技术参数一览表

加速器 技术指标	1#电子加速器	2#电子加速器
产品型号	DD2.0-50/1600	DD2.5-40/1600
电子束能量	2.0MeV	2.5MeV
电子束流强	50mA	40mA
最大束流功率	100kW	100kW
扫描宽度	1200mm、1400mm、1600mm	1200mm、1400mm
绝缘气体系统	使用 SF <sub>6</sub> 气体作为绝缘气体，并配备气体回收系统	使用 SF <sub>6</sub> 气体作为绝缘气体，并配备气体回收系统
扫描窗冷却	提供风冷、水冷配套系统	提供风冷、水冷配套系统
束流损失率	1%（即电子束流强度为 0.5mA）	1%（即电子束流强度为 0.4mA）
束流损失点能量	为最大能量的 10%（即 0.2MeV）	为最大能量的 10%（即 0.25MeV）

### 9.2.2 设备组成

加速器主要由直流高压发生器、束流加速系统、扫描引出系统、控制系统以及真空抽气等辅助系统组成。各主要部分概述如下：

#### 1、直流高压发生器

由高频振荡器和倍压整流芯柱组成。

##### (1) 高频振荡器

高频振荡器的作用是把电网的电由工频转换为高频，其性能决定着加速器的最大束功与束功转换效率。其主要特色如下：

①电子管振荡采用特殊设计的负高压线路把直流高压和高频输出隔离，可防止因直流电容损坏时出现的直流高压。自洁性能：防止在冷却水套中形成水垢，电子管无需定期清理水垢。

②直流高压增加双 LC 滤波电路，使输出电压的脉动系数明显下降，电源功率输出的稳定性和质量达到国外同类产品的性能。

③采用由锁相环稳频压控振荡器、移位寄存器分频、时基电路和 GAL 器件组成的脉冲列调制和输出电路，这一新颖的线路使得可控硅交流调压系统的稳压精度优于 1% 响应速度更快。

④采用了风冷可控硅，使得机柜结构更安全、可靠、紧凑。



图 9-4 高频振荡器



图 9-5 高频振荡器可控硅交流调压系统

振荡器的谐振回路由钢筒内的环形自耦变压器（构成回路的电感  $L$ ）和半圆筒高频电极与钢筒内壁和倍压芯柱之间的分布电容（构成回路的电容  $C$ ）组成。振荡管阳极与高频变压器初级之间通过高频电缆连接。栅极所需的正反馈电压则通过置于钢筒与高频电极之间的耦合电容板取得。

高频变压器是高频振荡器的关键部件，其性能为：

- ①能在高频、高压和大功率负荷的条件下工作。
- ②变压器线饼漏磁小、 $Q$  值高。
- ③结构紧凑、牢固，由完整详细的制作和安装工艺保证其质量。

④基于特制线饼技术及合理的屏蔽、匀场设计，大大降低了运行损耗，提高了加速器的束功转换效率。钢筒顶端安装有热交换器和风冷系统，把变压器散发的热量带走，同时也对钢筒内的其他部件进行冷却。

#### （2）整流倍压系统

整流倍压系统是以两块垂直地固定在钢筒底板上的绝缘板为骨架，在两块绝缘板上间隔均匀地从下至上各安装一排硅堆，两排硅堆彼此依次联接组成一条螺旋上升的硅堆整流链。在每个硅堆的连接点上水平地安装一只半电晕环，两列上下整齐排列的半电晕环，构成了整流倍压系统的圆柱外观，并把硅堆屏蔽在其中。对称的两列半电晕环正好与固定在钢筒内壁的两个对称的半圆筒高频电极同轴对应，每个半电晕环与高频电极之间即构成了分布电容  $C_{se}$ 。半电晕环和电极之间的尺寸配合精确，其表面平滑光亮。这种几何结构与静电加速器非常相似，其几何设计，既满足高频耦合参数的要求，也符合高压静电场的场形设计。



图 9-6 高频变压器



图 9-7 整流倍压系统

## 2、束流加速系统

由加速管和电子枪组成。

### (1) 加速管

加速管是电子在其中成束并被加速的部件。它需要在高真空中稳定可靠地建立一个均匀的高梯度直流加速电场。由于真空中的击穿放电机理复杂，至今还不十分清楚，因此，加速管成为加速器里最脆弱的环节，是各类高压型加速器提高端电压的主要限制。在制造、运输、安装和运行时均须小心谨慎。

### (2) 电子枪

加速管的顶端安装电子枪。电子枪采用由钨合金丝绕制的直热式盘香形阴极，钨丝直径约0.8mm。阴极加热后发出的电子被加速管上端的引出极（也称吸极）引出成束进入加速管加速。为了在钛窗处获得所需要的束斑尺寸，电子枪和引出区以及整根加速管的电场要合理配置，经计算确定。

电子枪的供电功率由置于高压球帽内的发电机提供。发电机由固定在钢筒底座上的变频电机通过一根绝缘轴带动。改变变频电机的工作频率，即可方便快速地改变发电机的转速从而改变电子枪的加热电流，达到调节束流的目的。这样的供电方式，束流和频率单一对应，跟随快，便于和束下装置联动，有利于提高工作效率和辐照产品的质量。

## 3、扫描引出系统

电子束离开加速管后经漂移管进入辐照厅。穿过扫描磁铁组件时，在三角波磁场的作用下，进行 X 和 Y 相互垂直两个方向的扫描。最后经长条形的钛窗引出。钛箔的厚度既要有足够的强度以抵抗真空压力，又要尽量减少电子束在穿越时的能量损耗。我们取 0.04mm。即使如此，钛箔上的能耗仍旧相当可观，因此沿钛窗安装了一把风刀，针对钛箔进行强风冷却。

另外，在加速管出口至扫描磁铁之间的漂移管外面，还安装有聚焦线圈和导向线圈，用以调节束流的聚焦和方向。

## 4、控制系统

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

(1) 加速器启动运行的前提条件是：

- 冷却系统风、水工作正常
- 加速器厅与辐照厅送排风启动
- 加速器厅与辐照厅防护门关闭
- 高频机柜门关闭
- 钢筒温度、高频机柜温度和振荡管冷却水温度达标
- 一般要求真空度好于  $7.5 \times 10^{-5}$  Pa。

(2) 加速器在运行过程中还与多个参数发生连锁关系，如：钢筒内发生弧放电钢筒温度超标，高频机内部出现过热和过流，加速器出现过电压等等，当上述参数异常时将自动封闭高频。

(3) 在加速器进入额定工作状态、束下装置运转正常之后，系统可以进入闭环运行以自动稳定加速器的设定参数，并与束下系统的运行联动。例如当样品的移动速度发生变化时，变化信息会立即输入加速器控制系统，实时调整电子枪的加热电流，使加速器的输出束流与束下样品的传输速度变化同步，确保样品的辐照剂量均匀。当束下暂停或换卷时，束流自动降低或置零等等。

(4) 加速器运行时在控制屏上显示的主要参数有：能量、流强、加速管分压电流高频振荡参数（电子管阳极电压和阳极电流）、扫描线圈电流、聚焦线圈电流、导向线圈电流等。当发生故障时，控制屏上将立刻显示故障状态和发生故障的部位。

### 5、真空抽气系统

真空抽气系统安装在主厅钢筒底座下面的四通管两侧，由涡轮分子泵和溅射离子泵机组组成。推荐运行时先启动分子泵机组，然后利用分子泵启动离子泵，待后者正常工作后，即可关闭分子泵、机械泵机组。真空测量采用 B-A 规数显式真空计，真空计可向控制台输出连锁信号，以实现与真空度有关的连锁控制。

### 9.2.3 工作原理

首先，将低压工频电能，用高频振荡器变成 100kHz 左右的高频电能，输送给高压发生器；经过高压发生器内高频变压器的作用，变成升压的高频电压；再将此升压的高频电压加在空间耦合电容上，通过该耦合电容分别加到主体上的各个整流盒上，此时每一个耦合环上得到几十千伏的直流高压，由于各级串联，电压叠加，从而在高端获得很高的电压。加速器电子枪中的灯丝产生的电子云，引入到加了高压的加速管，最终形成高能电子束，电子束从加速器出口输出，进入扫描空间，利用磁场将成束的电子扫开成一定的宽度，从薄的金属膜构成的输出窗引出，对运动的被照物件进行辐照。

本项目被辐照产品为电线电缆类产品，以垂直于加速器产生的线状电子束方向通过电子束（即整体辐照），高分子被辐照时发生辐射交联反应而改变性质，如电线电缆辐照后，提高绝缘、护套耐温性能、抗张强度，最终提高电线电缆的整体技术指标。

### 9.2.4 工艺简介

本项目加速器主要对电线电缆类产品进行辐照加工，需要辐照的电线电缆由放卷系统通过滚轴自动送入加速器辐照室，在扫描系统下接受电子束辐照，辐照完成后通过收卷系统自动连续地输出辐照室，达到产品辐照要求。

整个辐照工艺流程为流水线自动运行，设备操作人员在加速器控制柜前设置、监控加速器各项指标运行参数，收放卷工作人员在收放卷系统区负责电线电缆的收放等工作。

### 9.2.5 工艺流程

本项目电子加速器辐照工艺流程见图 9-8，产污环节示意图见图 9-9。

- ① 作业区上下卷工作人员将待辐照电线电缆装在放卷机上；
- ② 控制室辐射工作人员根据待照产品辐照要求，输入技术参数，启动传动申报，开始辐照；
- ③ 电线电缆通过机房南侧物料进洞进入辐照室，在扫描系统下接受电子束辐照；

④ 经过辐照后的电线电缆再通过机房南侧物料出洞送出辐照室，由收卷机完成最后的成卷；

⑤ 作业区上下卷工作人员在下卷区将已辐照的电线电缆搬下来，取样检验合格后入已辐照产品库暂存。

整个辐照加工过程，正常情况下工作人员不必进入辐照室，均在辐照室外上下卷区进行辐照产品的上下卷。加速器开机运行时，会产生电子束、X射线、臭氧、氮氧化物等污染因素。

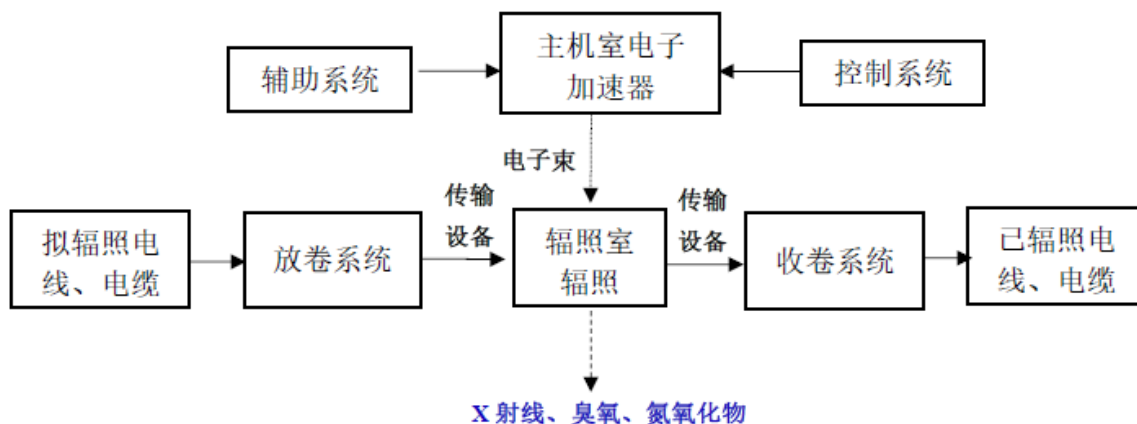


图 9-8 本项目辐照工艺流程图

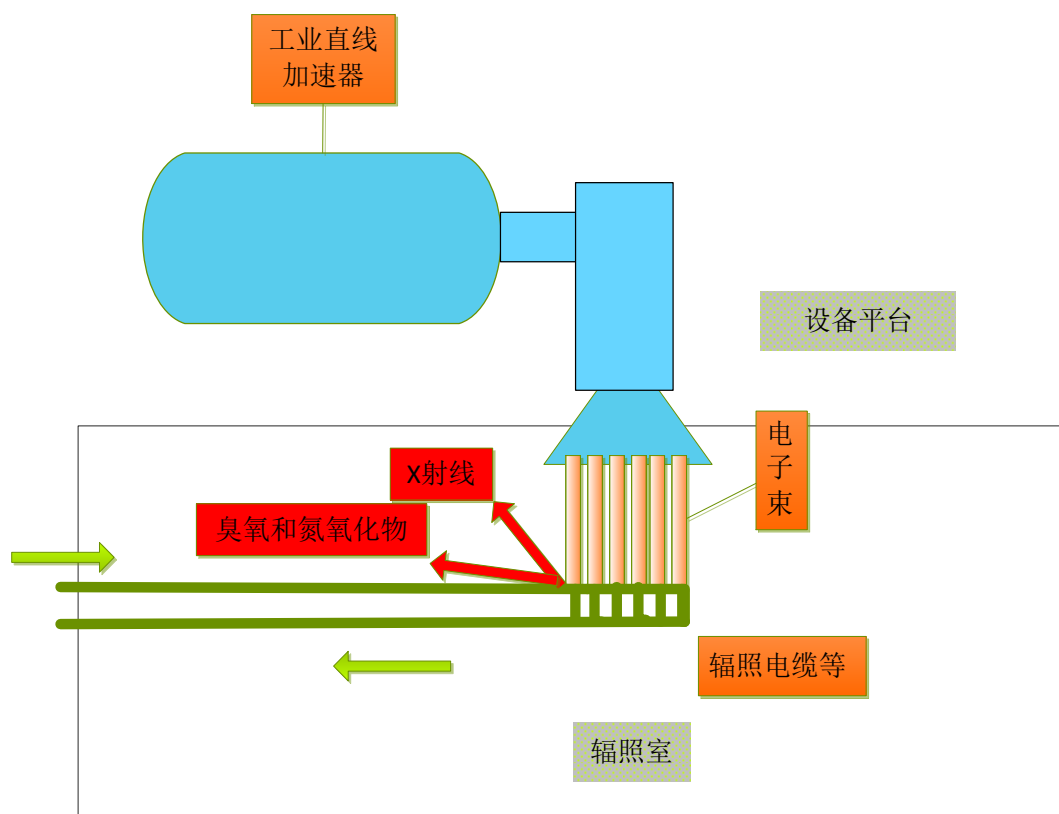


图 9-9 辐照工艺产污环节示意图

### 9.2.6 工作人员及工作班制

本项目辐射工作人员拟从公司现有非辐射工作人员中抽调参加辐射安全培训后转为辐射工作人员或新招聘辐射工作人员。本项目前期拟为每间加速器机房先配备 2 名辐射工作人员，后期随工作量的增加，每间加速器机房最多配备 4 名辐射工作人员，4 名辐射工作人员采取两班工作制，每班 2 名辐射工作人员，并指定其中 1 人为当班运行值班长，年工作 300 天。本项目单台加速器每天 24h 出束，年运行出束时间约 7200h。

## 9.3 污染源项描述

### 9.3.1 辐射污染源分析

电子加速器在进行辐照时电子枪发射电子，电子经加速管加速并经扫描扩展成为均匀的有一定宽度的电子束。电子在加速过程中，部分电子会丢失，它们打在加速管壁上，产生 X 射线，对机房周围环境产生一定的辐射影响。此外，电子束打到机头及其他高 Z 物质时也会产生高能 X 射线，X 射线的贯穿能力极强，会对加速器机房周围环境造成辐射污染，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。

电子加速器在运行时产生的高能电子束，其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在电子加速器开机辐照期间，X 射线辐射为项目主要的污染因素。

### 9.3.2 非辐射污染源分析

电子加速器在使用时，一般会在电子加速器的钢筒内充以适当的 SF<sub>6</sub> 气体作为绝缘介质，同时用于保证加速器的高电位梯度。SF<sub>6</sub> 是一种窒息剂，在高浓度下会使人呼吸困难、喘息、皮肤和黏膜变蓝、全身痉挛，甚至窒息死亡。加速器运行中的放电打火会使 SF<sub>6</sub> 气体分解和电离，分解为 SF<sub>4</sub>、SOF<sub>2</sub> 和 SO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 等气体，它们都有强烈的腐蚀性和毒性，其产生量取决于放电的多少和气体中的含氧量和含水量的多少。

但本项目 SF<sub>6</sub> 气体只在加速器钢筒内使用，在加速器正常运行过程中，加速器钢筒外无 SF<sub>6</sub> 产生，且加速器设有 SF<sub>6</sub> 泄漏报警装置，在操作台的控制屏上实时显示系统中 SF<sub>6</sub> 的气体浓度，可及时发现 SF<sub>6</sub> 气体泄漏情况；同时，在储气罐和加速器钢筒之间设有 SF<sub>6</sub> 处理装置，能够将气体中的水分、空气和含氟气体过滤掉，从而延长电缆辐照设备的使用寿命，提高电缆辐照设备的运行可靠性。

除此之外，电子加速器在运行时，空气在强电离辐射的作用下，会产生一定量的臭氧和氮氧化物，氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一。电子加速器输出的直接致电离粒子束流越强，臭氧和氮氧化物的产额越高。其中臭氧的毒性最大，产额最高，不仅对人体产生危害，如损坏人体机能、引起神经衰弱综合征、肺水肿等，同时能使橡胶等材料加速老化。

综上所述，本项目主要考虑辐照室内产生的臭氧对停机后进入人员的影响，需保证其浓度满足 GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度 (0.3mg/m<sup>3</sup>) 的要求。

## 表 10 辐射安全与防护

### 10.1 项目安全设施

#### 10.1.1 场所布局合理性分析

3#厂房共 1 层，占地面积约 3057.4m<sup>2</sup>，楼上、楼下无建筑。本项目拟建的 2 间加速器机房位于 3#厂房东北侧，并列分布，从西至东依次为 1#加速器机房和 2#加速器机房。

1#和 2#加速器机房的辐照室均为混凝土结构，加速器主体均采用自屏蔽结构，加速器主体、冷却水循环系统、气体系统等辅助设备均位于相应辐照室楼顶的设备平台上；1#和 2#加速器机房的辐照室入口处均设有迷道，控制室均位于辐照室南侧，加速器工作时，设备操作人员位于控制室内设置机器参数并监控加速器运行情况，收放卷工作人员在收放卷系统区负责电线电缆的收放等工作。加速器出束时，辐照室内、设备平台上均无人员停留，本项目加速器机房布局合理可行。

#### 10.1.2 分区原则及划分

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，辐射工作场所可分为控制区、监督区，其划分原则如下：控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

公司拟将辐照室、设备平台作为辐射防护控制区，在辐照室、设备平台入口处及机房周围醒目位置设置电离辐射警告标志及中文警示说明等；将控制室、收放卷系统区及辐照室外 1m 范围内划为辐射防护监督区，无关人员不得进入。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。本项目控制区和监督区的划分见附图 5。

#### 10.1.3 辐射防护屏蔽设计

本项目加速器机房辐射防护屏蔽设计见表 10-1。

表 10-1 本项目加速器机房屏蔽设计一览表

机房		屏蔽墙厚度	屋顶厚度	防护门
1#加速器机房	辐照室	东墙：1700mm 砼； 南墙：迷道内墙 1500mm 砼+迷道外墙 500mm 砼， 控制室部分为 1500mm 砼； 西墙：迷道内墙 900mm 砼+迷道外墙 1000mm 砼； 北墙：1500mm 砼。	辐照室顶： 1500mm 砼； 迷道顶： 1000mm 砼； 主体钢筒基座： 420mm 钢	40mm 钢

	加速器主体钢筒	筒身：3mm 钢板+40mm 铅板+12mm 钢板； 侧面筒盖：30mm 铅板+65mm 钢板； 上筒盖：20mm 钢板+60mm 铅板+90mm 钢板；筒底：80mm 钢板； 联接段：3mm 钢板+30mm 铅板+10mm 钢板。		
2#加速器机房	辐照室	东墙：迷道内墙 1000mm 砼+迷道外墙 1200mm 砼； 南墙：迷道内墙 1700mm 砼+迷道外墙 500mm 砼， 控制室部分为 1700mm 砼； 西墙：1700mm 砼； 北墙：1700mm 砼。	辐照室顶： 1700mm 砼； 迷道顶： 1000mm 砼； 主体钢筒基座： 540mm 钢	40mm 钢
	加速器主体钢筒	筒身：3mm 钢板+60mm 铅板+12mm 钢板； 侧面筒盖：10mm 钢板+40mm 铅板+70mm 钢板； 上筒盖：20mm 钢板+70mm 铅板+70mm 钢板；筒底：90mm 钢板； 联接段：3mm 钢板+40mm 铅板+12mm 钢板。		
注：表中砼的密度不小于 2.35t/m <sup>3</sup> ，铅板密度不小于 11.35t/m <sup>3</sup> 。				

本项目加速器主体钢筒与辐照室连接处设有钢板基座，基座位于辐照室顶部的凹槽中，其中，1#加速器主体钢筒的基座为 420mm 钢板，2#加速器主体钢筒的基座为 540mm 钢板。1#加速器主体钢筒底部为 80mm 钢板，使加速器主体钢筒与辐照室连接处的钢板厚度达到 500mm；2#加速器主体钢筒底部为 90mm 钢板，使加速器主体钢筒与辐照室连接处的钢板厚度达到 630mm。本项目加速器主体钢筒与辐照室连接处的结构设计见图 10-2。

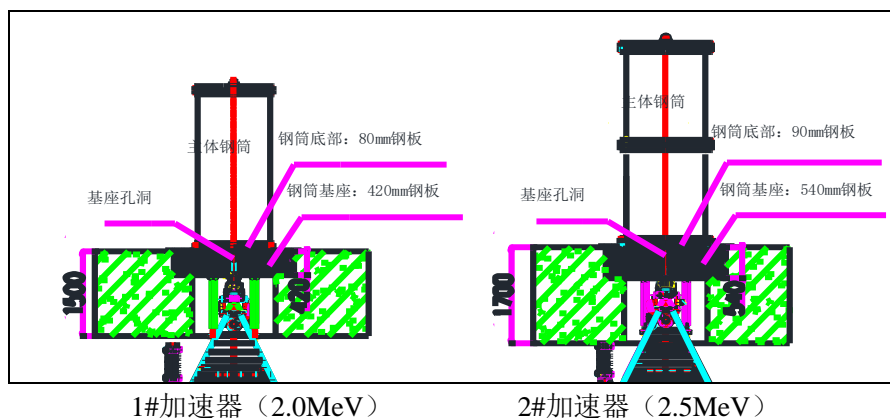


图 10-2 本项目加速器主体钢筒与辐照室连接处的结构设计示意图

#### 10.1.4 辐射安全和防护措施

##### 10.1.4.1 加速器设备的固有安全属性

本项目电子加速器在出厂前本身已设有多重安全保护措施，固有安全性良好。

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



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

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

(4) 冷却水连锁系统：冷却水为循环冷却系统，冷却水不排放。加速管安装有水流量监测开关，当加速器中大功率负载等的冷却水流量不满足要求时，加速器将自动切断高压电源，停止运行。

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

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

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

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

#### **10.1.4.2 辐射安全和防护设施及措施**

为保障电子加速器安全运行，避免在加速器辐照期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，本项目电子加速器机房拟设置如下辐射安全和防护设施及措施，主要有：

##### **(1) 连锁要求**

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

安全连锁装置引发加速器停机时必须自动切断高压。安全连锁装置发生故障时，加速器不能运行。安全连锁装置不得旁路，维护与维修后必须恢复原状，并记录存档。

##### **(2) 安全设施**

###### **① 钥匙控制**

控制室主控台上配备钥匙开关，钥匙开关控制加速器系统的运行，钥匙开关为未闭合状态时加速器无法开机；加速器的主控钥匙开关和辐照室门连锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器自动停机；并将钥匙插入辐照室门的钥匙左侧或右侧离地 1.3m 处的钥匙开关，方可打开辐照室门进入迷道。该钥匙与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连，

在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。

#### ②门机联锁

辐照室门、设备平台楼梯入口处安全门与束流控制和加速器高压联锁。辐照室门或设备平台楼梯入口处安全门打开时，加速器不能加高压且束流装置不能出束流；加速器运行中门被打开则加速器自动停机。

门机联锁装置必须性能可靠，其引发加速器停机时必须自动切断高压，门机联锁装置发生故障时，加速器不能运行。门机联锁装置不得旁路，维护与维修后必须恢复原状。

#### 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进行联锁，用于将辐照货物送至辐射束下的传输系统，若发生故障，将通过 PLC 反馈至主机，主机束流将自动停止、加速器自动停机。

#### ④信号警示装置

在辐照室出入口处安装状态显示器，并与电子加速器辐照装置联锁，加速器开机升高压前红灯亮，同时提示“开机禁止入内”，提醒滞留控制区的工作人员迅速撤离现场，关机后绿灯亮并提示“关机允许进入”。

#### ⑤ 巡检按钮

辐照室内每面墙上、迷道通道和迷道出口墙上均设置一个“巡检按钮”，并与控制台联锁。加速器开机前，操作人员进入辐照室按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留，完成巡检流程后，加速器才能开启高压。

#### ⑥防人误入装置

在辐照室人员出入口门处、室内迷道内口处设置四道（高度均为1.3m）防人误入的光电联锁装置，并与加速器的开、停机联锁。在加速器工作过程中，若人员误入辐照室，该装置将发出光电报警，并自动切断加速器电源。

四道防人误入光电联锁装置应从不同的厂家购买，确保其不会因同一机械故障导致光电联锁装置全部失灵。

#### ⑦ 急停装置

辐照室内每面墙上、迷道通道和迷道出口墙上均设置一个“急停按钮”，并在辐照室内设置急停拉线开关并覆盖辐照室全部区域，紧急状态下，拉下急停拉线开关或按下急停按钮，即终止加速器的运行，拉线开关拉动后或急停按钮按下后需要手动复位。

急停按钮和急停拉线开关必须性能可靠，并有中文标识和使用说明。辐照室内靠近

出入口门处的急停按钮带有紧急开门功能，以便人员离开控制区。

#### ⑧剂量联锁

在控制室内、辐照室迷道内、加速器主体钢筒上安装固定式辐射监测探头，系统数字显示装置安装在控制室内，以监测电子加速器运行时周围环境辐射剂量；固定式辐射剂量监测系统与辐照室电动门、设备平台楼梯入口处安全门联锁，当任一监测点剂量超过设定的阈值时，固定式辐射剂量监测系统会报警，并将信号传送到控制系统，辐照室电动门和设备平台楼梯入口处安全门无法打开。

#### ⑨通风联锁

加速器机房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（环评建议至少**5min**）后才能开门，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值。

#### ⑩烟雾报警

本项目辐照室拟设置烟雾报警装置，遇有火险时，加速器能立即停机并停止通风。

### （3）机房出入门安全设施

本项目辐照室防护门拟设置1个电磁锁和1个门限位开关，可以有效实现防护门的安全开启和关闭。

### （4）监控、通讯安全设施

本项目辐照室内拟设置1个摄像头，实时监控束下装置运作状态。同时，辐照室内迷道内口处墙上拟安装1个语音报警器，每次加速器出束前进行广播提醒现场人员。

### （5）应急照明系统

本项目辐照室内拟设置应急照明系统。

### （6）防火系统

本项目辐照室的耐火等级应不低于二级，拟设置火灾报警装置和有效的灭火设施。

### （7）水冷系统

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

### （8）通风系统

本项目辐照室拟设置通风系统，排风风量不低于13000m<sup>3</sup>/h，以保证辐照分解产生的臭氧等有害气体浓度满足相关标准限值的规定。

本项目拟设置地下式排风管道，管道埋地深为800mm，吸风口分别位于1#、2#加速器辐照室扫描窗下方的地面处，排风管道分别从1#、2#加速器辐照室地下穿过，从1#、

2#加速器辐照室北墙（迷道处）地下穿出，最终排放口高于3#厂房的屋顶，设计风量为13000m<sup>3</sup>/h。排风管道避开主射线方向，并采用埋地设计，排风管道未破坏加速器机房整体防护效果，满足辐射防护的要求。

### （9）辐射安全警示设施

辐照室出入口处、设备平台楼梯入口处和周围醒目处设置醒目的、符合GB18871规定的“当心电离辐射”警告标志，提醒无关人员勿在其附近出入和逗留。

### （10）其他防护措施

①辐照室周围1m外划定警戒线或设围栏，告诫无关人员请勿靠近。

②设备平台楼梯入口处安全门上锁，只有在设备检修时才打开允许检修人员进入，平时任何人员无法进入设备平台，在运行中钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。

③本项目拟配备2台固定式辐射监测仪、1台便携式辐射巡测仪和4台个人剂量报警仪，当辐射水平超过预设阈值时能发出警示声。

④所有辐射工作人员均须配备个人剂量计，并定期进行个人剂量检测。同时，铅衣、铅手套和铅眼镜等基本防护用品应各配备1套，作为辐射应急使用。

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

⑥各项辐射环境管理规章制度应张贴于控制室内。

### （11）监测设备与防护用品

表10-2 本项目监测设备与防护用品配置计划表

序号	名称	拟配置数量
1	固定式辐射监测仪	2台
2	便携式辐射巡测仪	1台
3	个人剂量计	9个
4	个人剂量报警仪	4个
5	铅衣、铅手套、铅眼镜	各1套

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

综上所述，建设单位在落实上述辐射安全和防护措施的基础上，可以满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）的标准要求。本项目1#、2#加速器辐照室拟设置的部分辐射安全装置和保护措施布置见附图9。

#### 10.1.4.3 辐射安全原则符合性分析

#### (1) 纵深防御

本项目辐照室的人员出入口的安全联锁分别采用了门机联锁、信号指示灯联锁、剂量联锁、通风联锁及在辐照室的人员出入口通道内设置防人误入的安全联锁装置，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级的防御措施失效时，可由下一层级的防御措施予以弥补或纠正。

#### (2) 冗余性

本项目在辐照室的人员出入口通道内设置多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；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

辐照室的人员出入口的安全联锁分别采用了门机连锁、信号指示灯联锁、剂量联锁、通风联锁及在辐照室的人员出入口通道内设置多道防人误入的安全联锁装置。采用不同的运作原理、不同的物理变量、不同的运行工况、不同的元器件等来增加系统的多元性和多重剂量监测。防护措施多元性能够提高装置的安全可靠性，可以降低共因故障。

#### (4) 独立性

本项目保证多道联锁之间的独立性、各部件之间的独立性、纵深防御各部件之间的独立性，从而保证某一安全部件发生故障时，不会造成其它安全部件的功能出现故障或失去作用。

因此，本项目辐射安全设施的设计满足辐射安全原则的要求。

### 10.1.4.4 工程施工质量及局部贯穿辐射防护

#### (1) 施工质量要求

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

#### (2) 局部贯穿防护

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

①施工过程中不允许有直通缝隙。

②加速器的通风、水管、电气等管道会穿越屏蔽墙，所以加速器屏蔽设计时必须考虑这部分的剂量贡献。因此，这些管道设计的取向应尽可能避开束流方向或辐射发射率峰值的方向。为了防止辐射经管道的泄漏，管道应根据实际情况取“S”形或“U”形，在地沟的入口或出口应有一定厚度的屏蔽盖板。

③混凝土块之间的垂直缝隙、孔洞都需要填充，或用砂袋作防护体。

④防护门和屏蔽墙之间应有足够的搭接，以减少辐射泄漏问题。通常在防护门的两侧和顶部，搭接宽度至少为缝隙的10倍，防护门底部应有凹槽或挡板用以减少辐射泄漏。

#### **10.1.4.5 人员的安全与防护**

人员主要指本项目辐射工作人员和本次评价范围内的公众成员。

##### **(1) 辐射工作人员**

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

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

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

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

##### **(2) 机房周围公众的安全防护**

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

#### **10.1.4.2 日常维修（管理）及记录**

##### **1、装置的维护与维修**

宁波开博线缆有限公司必须制定辐照装置的维护检修制度，定期巡视检查（检验）每台加速器的主要安全设备，保持辐照装置主要安全设备的有效性和稳定性。

安全设施的变更，需经设计单位认可，并经监管部门同意后才能进行。

#### (1) 日检查

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

- ①工作状态指示灯、报警灯和应急照明灯；
- ②辐照装置安全联锁控制显示状况；
- ③个人剂量报警仪和便携式辐射监测仪器工作状态。

#### (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。

## 2、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。

## 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。

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，本项目加速器机房辐照室废气经过专用管道收集、风机抽排后经过高于屋顶的排气筒排放，辐照室排风风量不低于 13000m<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 4.2min，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。本项目排风管道采用埋地设计，辐照室内的 X 射线至少经过 3 次散射才能到达室外排风口，排风管道的设计未破坏加速器机房的整体屏蔽防护效果，满足辐射防护的要求。



## 表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段对环境的影响

#### 11.1.1 土建施工阶段

本项目加速器机房主要为混凝土结构，在建设时将会产生一定量的扬尘、施工噪声、施工废水、固体垃圾等污染物，将对周围环境产生一定的影响。本项目在建设阶段对环境的影响及应采取的措施如下：

##### 1、废气

本项目在建设施工期需进行混凝土浇筑等作业，各种施工作业将产生地面扬尘，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，并保持施工场地一定的湿度，每天定期洒水抑尘；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；c、施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘；d、建设单位施工时应使用商品混凝土，且不得进行现场拌合。

##### 2、废水

本项目施工期污水主要为各种施工机械设备清洗用水和施工现场清洗、建材清洗、混凝土养护产生的废水以及施工人员的生活污水，生活污水经化粪池预处理后，纳入市政污水管网，清洗用水用于场地洒水抑尘、场地浇灌等，含有泥浆的建筑废水经沉淀后进行回收利用。

##### 3、噪声

本项目整个建筑施工阶段，各种施工设备及运输车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。公司在施工时将严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，合理安排施工时间，禁止运输车辆鸣笛等措施，以保证施工过程对厂界外环境保护目标的影响满足标准要求。同时严禁夜间进行强噪声作业，若需在夜间作业，需取得当地主管部门同意。

##### 4、固废

本项目施工期的固体废弃物主要是整个施工过程中的建筑垃圾、废弃土方以及施工人员少量生活垃圾。项目建设对占地范围内地形进行就地平整，采取直接取平后压实，弃土主要用于厂区内的绿化覆土，建筑垃圾应回填或堆放在指定地点并委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落；装修垃圾和生活垃圾由环卫部门统一及时清运处理，做到日产日清。施工期临时堆放场地应妥善处置，减少雨水冲刷造成地

表污染，并保持工区环境的洁净卫生。

### 11.1.2 设备安装调试阶段

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

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

## 11.2 运行阶段对环境的影响

### 11.2.1 电子束对周围环境的影响

根据《辐射防护技术与管理》（张丹枫、赵兰才主编），电子在物质中最大射程可由下式计算：

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

式中：d——最大射程，cm；

$\rho$ ——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2.5MeV时，在空气中（0.00129g/cm<sup>3</sup>）的最大射程约为969cm，在混凝土（2.35g/cm<sup>3</sup>）的最大射程约为0.53cm。本项目机房屏蔽厚度远超过电子射程，完全可屏蔽2.5MeV电子，因此，电子对机房外的环境影响可忽略不计。

### 11.2.2 X 射线环境辐射环境影响分析

项目处于筹建阶段，本次评价采用理论计算的方法进行预测分析。

#### 1、剂量关注点选取

根据本项目工程特征及加速器机房周围环境状况，本次评价选择剂量关注点主要为辐照室和钢桶表面 30cm 处及迷道出口处，关注点分布见图 11-1～图 11-2，关注点环境特征情况见表 11-1。

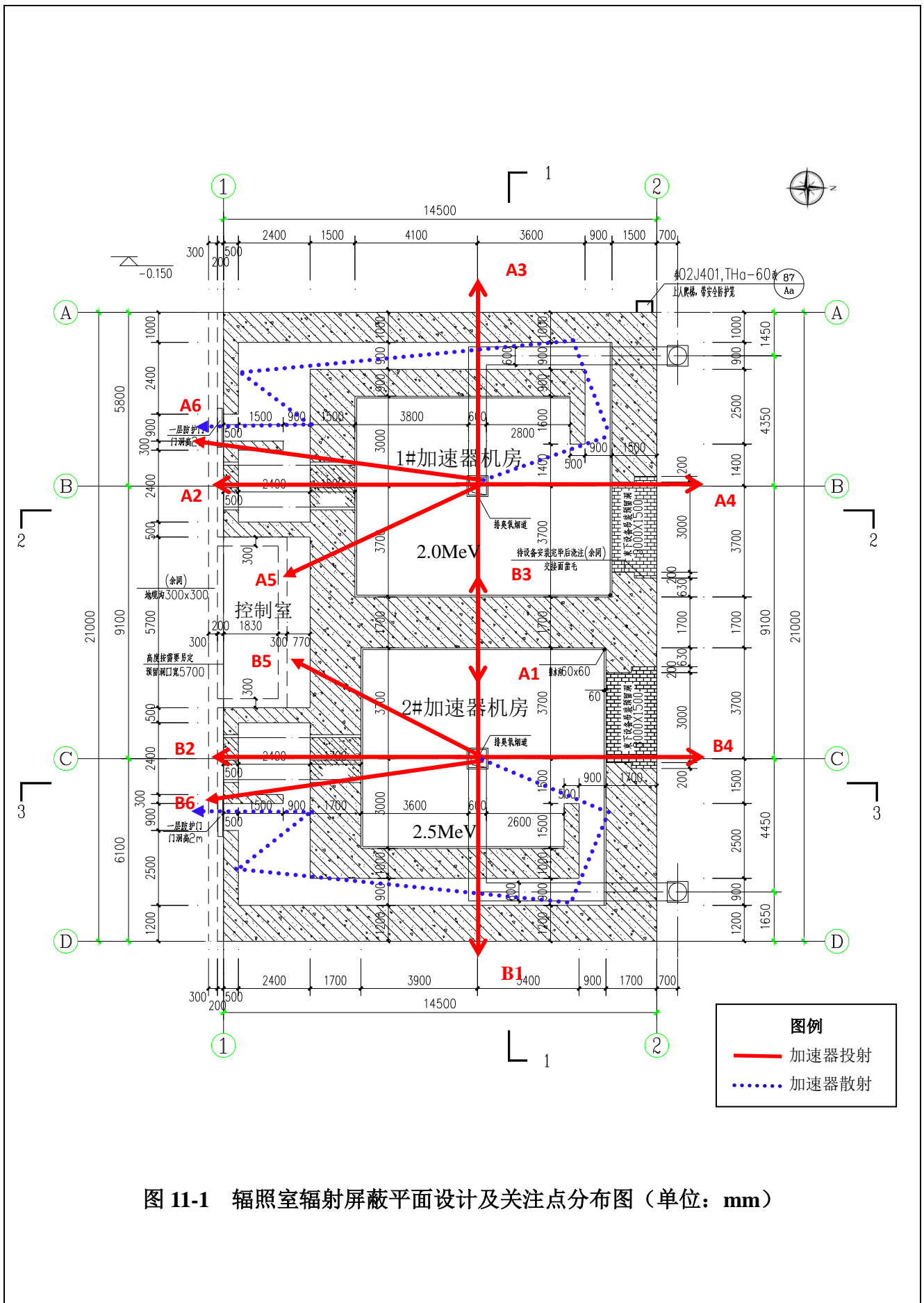


图 11-1 辐照室辐射屏蔽平面设计及关注点分布图（单位：mm）

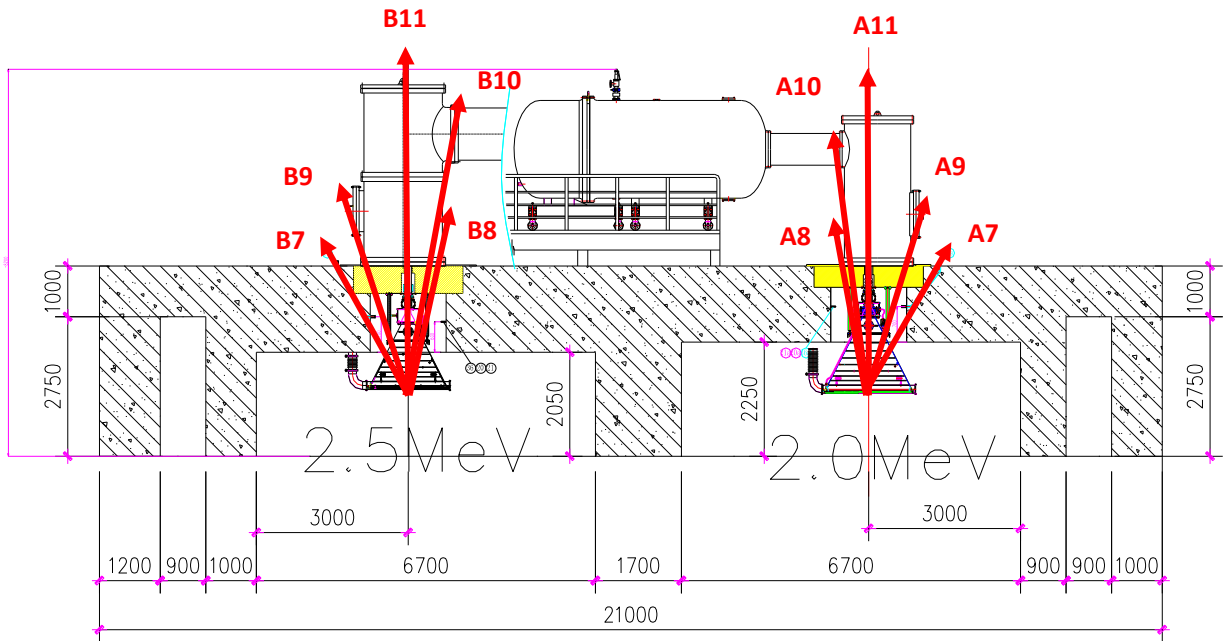


图 11-2 钢筒关注点分布图（单位：mm）

表 11-1 剂量关注点情况

关注点编号	剂量关注点位置	位置特征
A1	1#加速器机房辐照室东墙外 30cm 处	2#加速器机房
A2	1#加速器机房辐照室南墙外 30cm 处	3#厂房
A3	1#加速器机房辐照室西墙外 30cm 处	3#厂房
A4	1#加速器机房辐照室北墙外 30cm 处	3#厂房
A5	控制室	控制室
A6	1#加速器机房辐照室迷道口处	迷道口
A7	辐照室顶部	二层平台
A8	桶身	钢筒
A9	筒侧盖	
A10	联接段	
A11	筒顶	
B1	2#加速器机房辐照室东墙外 30cm 处	3#厂房
B2	2#加速器机房辐照室南墙外 30cm 处	3#厂房
B3	2#加速器机房辐照室西墙外 30cm 处	1#加速器机房
B4	2#加速器机房辐照室北墙外 30cm 处	3#厂房
B5	控制室	控制室
B6	2#加速器机房辐照室迷道口处	迷道口
B7	辐照室顶部	二层平台
B8	桶身	钢筒
B9	筒侧盖	
B10	联接段	
B11	筒顶	

## 2、估算模式

电子加速器运行时，电子束轰击靶、各结构材料和辐照产品都会产生韧致辐射（X射线），X射线是电子加速器运行过程中的主要辐射源。电子加速器运行时，电子束出束方向朝下，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电子扫描器下方的辐照产品传输带（不锈钢材料）；
- ③辐照产品，主要为电线电缆。

不同能量电子束轰击不同物料时，其韧致辐射（X射线）发射率不同。对同一种靶材料，不同方向上韧致X射线的发射率也不相同。本项目被轰击物质中不锈钢Z值最大，X射线发射率最高，因此本节选取以不锈钢为轰击靶，来进行辐射防护评价。

本次评价选用《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录A中推荐的预测模式进行理论计算。

### ①透射计算公式

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

式中：H——参考点处周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

T——居留因子，本次评价保守考虑，全部取1；

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

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

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

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

I——电子束流强度，mA；

$f_e$ ——X射线发射率修正参数。

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

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

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

式中：S——屏蔽体厚度，cm；

$T_1$ ——在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层，cm；  
 $T_e$ ——平衡十分之一值层，cm；  
 $n$ ——为十分之一值层的个数。

②散射计算公式

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

式中：

$H_{1, rj}$  迷道外入口处辐射剂量率，Sv/h；

$\alpha_1$ ：入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数；查《辐射防护导论》图 6.4；

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

$A_1$ ：X 射线入射到第一散射物质的散射面积（ $m^2$ ）；

$A_2$ ：迷道的截面积（ $m^2$ ，假设整个迷道的截面积近似常数，宽高之比在 1~2 之间）；

$d_1$ ：X 射线源与第一散射物质的距离（m）；

$d_{r1}, d_{r1} \dots d_{rj}$ ：沿着迷道长轴的中心线距离（m）。

$j$ ：指第  $j$  个散射过程。

3、预测工况

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

表11-2 电子加速器的主要性能参数

技术指标 \ 加速器	1#电子加速器	2#电子加速器
产品型号	DD2.0-50/1600	DD2.5-40/1600
电子束能量	2.0MeV	2.5MeV
电子束流强	50mA	40mA
最大束流功率	100kW	100kW
主射束方向	定向，垂直向下	定向，垂直向下

4、参数选取

(1) X 射线发射率修正参数

加速器运行时，电子束照射方向朝下，电子束可能轰击的物质有：不锈钢材料、辐照室混凝土地面及电线电缆等。上述几种物质不锈钢 Z 值最大，X 射线发射率最高，本项目保守考虑，90° 方向的修正系数  $f_e$  为 0.5。

## (2) 辐照室 X 射线发射率

### ①1#电子加速器

根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.1, 2MeV 入射电子入射到高 Z 靶上, 在距靶 1 米处侧向 90° 的 X 射线发射率为  $1.6\text{Gy m}^2 \text{mA}^{-1} \text{min}^{-1}$ ; 被辐照的靶材料为不锈钢时, 90° 方向的修正系数  $f_e$  为 0.5。本项目 1#加速器束流强度为 50mA, 根据公式 11-3 可计算得出辐照室  $D_{10}$  为  $2400\text{Gy h}^{-1}$ 。

根据附录 A 表 A.4, 2MeV 电子在侧向 90° 屏蔽能量取相应等效能量为 1.3MeV; 根据附录 A 表 A.2 和表 A.3, 采用内插法, 入射电子能量为 1.3MeV, 混凝土的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=19.64\text{cm}$ 、 $T_e=16.98\text{cm}$ , 铅的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=2.16\text{cm}$ 、 $T_e=3.23\text{cm}$ , 钢的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=6.28\text{cm}$ 、 $T_e=5.72\text{cm}$ 。

### ②2#电子加速器

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 附录 A 表 A.1, 2.5MeV 入射电子入射到高 Z 靶上, 在距靶 1 米处侧向 90° 的 X 射线发射率为  $2.5\text{Gy m}^2 \text{mA}^{-1} \text{min}^{-1}$ ; 被辐照的靶材料为不锈钢时, 90° 方向的修正系数  $f_e$  为 0.5。本项目 2#加速器束流强度为 40mA, 根据公式 11-2 可计算得出辐照室  $D_{10}$  为  $3000\text{Gy h}^{-1}$ 。

根据附录 A 表 A.4, 2.5MeV 电子在侧向 90° 屏蔽能量取相应等效能量为 1.6MeV; 根据附录 A 表 A.2 和表 A.3, 采用内插法, 入射电子能量为 1.6MeV, 混凝土的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=20.74\text{cm}$ 、 $T_e=18.66\text{cm}$ , 铅的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=2.75\text{cm}$ 、 $T_e=3.76\text{cm}$ , 钢的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=6.98\text{cm}$ 、 $T_e=6.36\text{cm}$ 。

## (3) 加速器主体钢筒束流损失所致 X 射线发射率

### ①1#电子加速器

根据本项目电子加速器生产厂家提供的资料, 本项目 DD2.0-50/1600 型电子加速器在加速过程中的束流损失率为 1% (即电子束流强度为 0.5mA), 束流损失点的能量为 0.2MeV; 根据《辐射防护导论》(方杰编) 图 3.3 可查得, 0.2MeV 入射电子在距靶 1 米处侧向 90° 的 X 射线发射率为  $0.005\text{Gy m}^2 \text{mA}^{-1} \text{min}^{-1}$ ; 被辐照的靶材料为不锈钢时, 90° 方向的修正系数  $f_e$  为 0.5。根据公式 11-2 可计算得出主机室  $D_{10}$  为  $0.075\text{Gy h}^{-1}$ 。

参考《辐射防护导论》(方杰编) 图 3.25, 保守取 0.2MeV 入射电子能量 90° 方向上等效入射电子能量为 0.18MeV; 根据图 3.23 和图 3.24 可查得, 入射电子能量为 0.18MeV, 钢的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=2\text{cm}$ 、 $T_e=1.5\text{cm}$ , 铅的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=0.05\text{cm}$ 、 $T_e=0.1\text{cm}$ 。

### ②2#电子加速器

本项目 DD2.5-40/1600 型电子加速器在加速过程中的束流损失率为 1%（即电子束流强度为 0.4mA），束流损失点的能量为 0.25MeV；根据《辐射防护导论》（方杰编）图 3.3 可查得，0.25MeV 入射电子在距靶 1 米处侧向 90° 的 X 射线发射率为  $0.01\text{Gy m}^2 \text{mA}^{-1} \text{min}^{-1}$ ；被辐照的靶材料为不锈钢时，90° 方向的修正系数  $f_e$  为 0.5。根据公式 11-2 可计算得出主机室  $D_{10}$  为  $0.12\text{Gy h}^{-1}$ 。

参考《辐射防护导论》（方杰编）图 3.25，保守取 0.25MeV 入射电子能量 90° 方向上等效入射电子能量约为 0.2MeV；根据图 3.23 和图 3.24 可查得，入射电子能量为 0.2MeV，钢的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=2\text{cm}$ 、 $T_e=1.6\text{cm}$ ，铅的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=0.05\text{cm}$ 、 $T_e=0.1\text{cm}$ 。

#### （4）散射 X 射线能量及散射系数

##### ①1#电子加速器

本项目 1#加速器主体钢筒基座的孔洞尺寸要小于加速器主体筒体直径，辐照室内 0° 方向上产生的韧致辐射初级 X 射线，经地面 180° 方向散射后的次级 X 射线，通过加速器主体钢筒基座的孔洞直接照射入钢筒形成散射辐射场。

根据《辐射防护导论》（方杰编，P188），入射 X 射线若由能量为 0.5~3MeV 电子产生的，180° 反射时，用 0.25MeV 的透射比曲线。而 180° 散射的次级 X 射线照射到钢筒区域的铅当量不小于 30mmPb（忽略钢板的屏蔽），根据《辐射防护导论》附图 12 可知，0.25MeV 电子产生的 X 射线对 30mmPb 的透射比约为  $1 \times 10^{-11}$ ，将其带入公式 11-2 可计算得 X 射线源对加速器主体钢筒的散射辐射剂量率最大为  $1.46 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ （ $D_{10}$  保守取 90° 方向上的值  $2400\text{Gy h}^{-1}$ ， $T$  取 1， $d$  保守取 4.05）。

由此可知，沿与电子束入射方向成 180° 方向的次级 X 射线能量较低，经 1#加速器主体钢筒的屏蔽后，其对钢筒外的辐射环境影响很小。

##### ②2#电子加速器

本项目 2#加速器辐照室 X 射线源对加速器主体钢筒的散射辐射影响计算方法同 1#加速器，根据公式 11-2 可计算得 X 射线源对加速器主体钢筒的散射辐射剂量率最大为  $1.83 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ （ $B_x$  保守取  $1 \times 10^{-12}$ ， $D_{10}$  保守取 90° 方向上的值  $3000\text{Gy h}^{-1}$ ， $T$  取 1， $d$  保守取 4.05）。由此可知，经 2#加速器主体钢筒的屏蔽后，沿与电子束入射方向成 180° 方向的次级 X 射线对钢筒外的辐射环境影响很小。

#### （5）什值层

根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.2 和表 A.3 和《辐射防护导论》（方杰编）图 3.23 和图 3.24 可查得，相应能量的 X 射线在混凝土中的什值层取值见表 11-3。



**表 11-3 宽束 X 射线在屏蔽材料中的什值层厚度**

材质	射线	第一个十分之一值层厚度 $T_1$ (cm)	平衡十分之一值层厚度 $T_e$ (cm)
混凝土	1.3MeV 的宽束 X 射线	19.64	16.98
	1.6MeV 的宽束 X 射线	20.74	18.66
铅	1.3MeV 的宽束 X 射线	2.16	3.23
	1.6MeV 的宽束 X 射线	2.75	3.76
	0.18MeV 的宽束 X 射线	0.05	0.1
	0.2MeV 的宽束 X 射线	0.05	0.1
钢	1.3MeV 的宽束 X 射线	6.28	5.72
	1.6MeV 的宽束 X 射线	6.98	6.36
	0.18MeV 的宽束 X 射线	2	1.5
	0.2MeV 的宽束 X 射线	2	1.6

(6) 散射距离、散射面积及散射系数

由图 11-1 可知，本项目按散射次数较少的路径进行保守预测，1#辐照室和 2#辐照室从辐射源点到剂量关注点均至少经过 4 次散射，各次散射距离、散射面积和散射系数取值见表 11-4、表 11-5 和表 11-6。

**表 11-4 各次散射距离 (cm)**

位置	源点到第一散射物质距离 $d_1$	一次散射距离 $d_{r1}$	二次散射距离 $d_{r2}$	三次散射距离 $d_{r3}$	四次散射距离 $d_{r4}$
1#辐照室迷道口 A6	4.05	4.35	10.85	2.4	1.7
2#辐照室迷道口 B6	3.85	4.45	10.65	2.5	1.7

**表 11-5 各次散射面积 (m<sup>2</sup>)**

位置	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
1#辐照室迷道口 A6	$(5.45+2.25) \times 2.25=17.325$	$0.9 \times 2.25=2.025$	$0.9 \times 2.75=2.475$	$2.4 \times 2.75=6.6$
2#辐照室迷道口 B6	$(5.6+2.28) \times 2.05=16.154$	$0.9 \times 2.05=1.845$	$0.9 \times 2.75=2.475$	$2.4 \times 2.75=6.6$

注：1#辐照室高度为 2.25m，迷道高度为 2.75m；2#辐照室高度为 2.05m，迷道高度为 2.75m。

**表 11-6 散射系数**

参数	1#加速器辐照室	2#加速器辐照室
$\alpha_1$	0.008	0.006
$\alpha_2 (\alpha_3, \alpha_4)$	0.02	0.02

**5、辐射类型**

辐照室屏蔽墙体外辐射环境受韧致辐射初级X射线和一次散射X射线影响，由于韧致辐射初级X射线的能量为1.3MeV和1.6MeV，一次散射X射线能量为0.5MeV，因此屏蔽墙体外辐射环境主要考虑初级X射线，忽略一次散射X射线的影响。辐照室迷道口的辐射防护屏蔽评价考

虑初级X射线贯穿屏蔽墙体后的透射以及经迷道多次散射后到达迷道口的散射线的影响。

进入加速器主体钢筒内的辐射场主要由三部分叠加：**辐照室内与入射电子束呈165°到180°方向的韧致辐射初级X射线**，经过辐照室屋顶不完全屏蔽的**贯穿辐射场**；尚未加速到最高能量的电子在加速过程中束流损失而与钢筒作用产生的**束流损失辐射场**；辐照室内的0°方向上产生的韧致辐射初级X射线，经地面180°方向散射后的次级X射线，通过加速器主体钢筒基座的孔洞直接照射入钢筒形成的**散射辐射场**。辐照室内与入射电子束呈165°到180°方向的韧致辐射初级X射线，经过辐照室屋顶不完全屏蔽的贯穿辐射对加速器主体钢筒周围产生的辐射影响依然采用公式11-2~11-6进行理论估算。

**表 11-7 剂量关注点处射线种类一览表**

机房名称	剂量关注点		射线种类	射线能量
1#加速器机房	辐照室	各侧屏蔽墙体外 (A1、A2、A3、A4、A5)	辐照室侧向 90°韧致辐射初级 X 射线	1.3MeV
		迷道口处 (A6)	辐照室侧向 90°韧致辐射初级 X 射线	1.3MeV
			辐照室多次散射 X 射线	0.5MeV
		二层平台 (A7)	辐照室内与入射电子束成165°到180°方向的韧致辐射初级X射线 (保守按侧向 90°韧致辐射初级X射线计算)	1.3MeV
	加速器主体钢筒	各侧屏蔽体外 (A8、A9、A10、A11)	辐照室内与入射电子束成165°到180°方向的韧致辐射初级X射线 (保守按侧向 90°韧致辐射初级X射线计算)	1.3MeV
			钢筒束流损失韧致辐射初级 X 射线	0.18MeV
			钢筒束流损失韧致辐射射线多次散射 X 射线	0.25MeV
2#加速器机房	辐照室	各侧屏蔽墙体外 (B1、B2、B3、B4、B5)	辐照室侧向 90°韧致辐射初级 X 射线	1.6MeV
		迷道口处 (B6)	辐照室侧向 90°韧致辐射初级 X 射线	1.6MeV
			辐照室多次散射 X 射线	0.5MeV
		二层平台 (B7)	辐照室内与入射电子束成165°到180°方向的韧致辐射初级X射线 (保守按侧向 90°韧致辐射初级X射线计算)	1.6MeV
	加速器主体钢筒	各侧屏蔽体外 (B8、B9、B10、B11)	辐照室内与入射电子束成165°到180°方向的韧致辐射初级X射线 (保守按侧向 90°韧致辐射初级X射线计算)	1.6MeV
			钢筒束流损失韧致辐射初级 X 射线	0.2MeV
			钢筒束流损失韧致辐射射线多次散射 X 射线	0.25MeV

## 6、预测结果

根据上述公式（11-2）～（11-6），本项目1#加速器机房和2#加速器机房周围环境辐射水平预测结果见表11-8和表11-9。

**表 11-8 1#加速器运行时机房周围环境辐射水平预测结果**

关注点 编号	环境性质	射线来源	衰减 距离 m	屏蔽体			周围剂量当量率 H		
				有效厚度 cm	T <sub>1</sub> cm	T <sub>e</sub> cm	屏蔽后 μSv/h	总贡献值 μSv/h	
辐照室	A1	2#加速器机房	透射	5.7	170 砼	19.64	16.98	0.01	<b>0.01</b>
	A2	3#厂房	透射	8.8	150+50 砼	19.64	16.98	7.40×10 <sup>-5</sup>	<b>7.40×10<sup>-5</sup></b>
	A3	3#厂房	透射	6.1	90+100 砼	19.64	16.98	5.98×10 <sup>-4</sup>	<b>5.98×10<sup>-4</sup></b>
	A4	3#厂房	透射	6.3	150 砼	19.64	16.98	0.13	<b>0.13</b>
	A5	控制室	透射	5.9	150 砼	19.64	16.98	0.14	<b>0.14</b>
	A6	迷道口	透射	8.8	150 砼	19.64	16.98	0.07	<b>0.21</b>
			散射	d <sub>1</sub> =4.05 d <sub>r1</sub> =4.35 d <sub>2</sub> =10.85 d <sub>r3</sub> =2.4 d <sub>r4</sub> =1.7	/	/	/	0.14	
A7	二层平台	透射	3.25	150 砼	19.64	16.98	0.48	<b>0.48</b>	
加速器主体钢筒	A8	筒身	辐照室透射	3.25	4 铅 1.5+50 钢	2.16 6.28	3.23 5.72	7.61×10 <sup>-3</sup>	<b>7.61×10<sup>-3</sup></b>
			束流损失透射	0.78	3 铅 1.5 钢	0.05 2	0.1 1.5	8.40×10 <sup>-27</sup>	
		A9	筒侧盖	辐照室透射	3.8	3 铅 6.5+50 钢	2.16 6.28	3.23 5.72	
	束流损失透射			1.3	3 铅 6.5 钢	0.05 2	0.1 1.5	1.40×10 <sup>-30</sup>	
	A10		联接段	辐照室透射	5.25	3 铅 1.3+50 钢	2.16 6.28	3.23 5.72	6.44×10 <sup>-3</sup>
		束流损失透射		3.5	3 铅 1.3 钢	0.05 2	0.1 1.5	5.67×10 <sup>-28</sup>	
	A11	筒顶	辐照室透射	6.55	6 铅 11+50 钢	2.16 6.28	3.23 5.72	9.83×10 <sup>-6</sup>	<b>9.83×10<sup>-6</sup></b>
				束流损失透射	4.45	6 铅 11 钢	0.05 2	0.1 1.5	

注：有效厚度为设计单位提供的 CAD 方案图的标准尺寸直接量取。

表 11-9 2#加速器运行时机房周围环境辐射水平预测结果

关注点编号	环境性质	射线来源	衰减距离 m	屏蔽体			周围剂量当量率 H		
				有效厚度 cm	T <sub>1</sub> cm	T <sub>e</sub> cm	屏蔽后 μSv/h	总贡献值 μSv/h	
辐照室	B1	3#厂房	透射	6.4	100+120 砼	20.74	18.66	1.54×10 <sup>-4</sup>	<b>1.54×10<sup>-4</sup></b>
	B2	3#厂房	透射	8.8	170+50 砼	20.74	18.66	8.12×10 <sup>-5</sup>	<b>8.12×10<sup>-5</sup></b>
	B3	1#加速器机房	透射	5.7	170 砼	20.74	18.66	0.09	<b>0.09</b>
	B4	3#厂房	透射	6.3	170 砼	20.74	18.66	0.08	<b>0.08</b>
	B5	控制室	透射	5.9	170 砼	20.74	18.66	0.09	<b>0.09</b>
	B6	迷道口	透射	8.8	170 砼	20.74	18.66	0.04	<b>0.20</b>
			散射	d <sub>1</sub> =3.85 d <sub>r1</sub> =4.45 d <sub>r2</sub> =10.65 d <sub>r3</sub> =2.5 d <sub>r4</sub> =1.7	/	/	/	0.16	
B7	二层平台	透射	3.25	170 砼	20.74	18.66	0.28	<b>0.28</b>	
加速器主体钢筒	B8	筒身	辐照室透射	3.25	6 铅	2.75	3.76	3.51×10 <sup>-4</sup>	<b>3.51×10<sup>-4</sup></b>
			束流损失透射	0.975	1.5+63 钢	6.98	6.36		
		束流损失透射	0.975	6 铅	0.05	0.1	8.20×10 <sup>-57</sup>		
	B9	筒侧盖	辐照室透射	3.85	4 铅	2.75	3.76	8.09×10 <sup>-5</sup>	<b>8.09×10<sup>-5</sup></b>
			束流损失透射	1.39	8+63 钢	6.98	6.36		
		束流损失透射	1.39	4 铅	0.05	0.1	3.49×10 <sup>-41</sup>		
	B10	联接段	辐照室透射	5.25	4 铅	2.75	3.76	4.57×10 <sup>-4</sup>	<b>4.57×10<sup>-4</sup></b>
			束流损失透射	3.7	1.5+63 钢	6.98	6.36		
		束流损失透射	3.7	4 铅	0.05	0.1	5.69×10 <sup>-38</sup>		
	B11	筒顶	辐照室透射	6.85	7 铅	2.75	3.76	2.83×10 <sup>-6</sup>	<b>2.83×10<sup>-6</sup></b>
			束流损失透射	5.2	9+63 钢	6.98	6.36		
束流损失透射		5.2	7 铅	0.05	0.1	5.92×10 <sup>-73</sup>			

注：有效厚度为设计单位提供的 CAD 方案图的标准尺寸直接量取。

由表 11-8 可知，1#加速器辐照室屏蔽墙外表面 30cm 处的辐射剂量率最大贡献值为 0.48μSv/h，加速器主体钢筒外表面 30cm 处的辐射剂量率最大贡献值为 0.488μSv/h（叠加 1#加速器所致辐照室顶部的辐射剂量率 0.48μSv/h），均不超过 2.5μSv/h，其屏蔽防护性能可以满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）“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 2.5μSv/h”的要求。同时，在无屏蔽体的情况下，辐照室迷道口外辐射剂量率为 0.21μSv/h，经 40mm 钢门（根据《电子加

速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录 A 表 A.2 和表 A.3, X 射线能量为 0.5MeV 时, 钢的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=3.8\text{cm}$ 、 $T_e=3.3\text{cm}$ , 可估算出 40mm 钢门的透射比为 0.087) 屏蔽后, 1#加速器辐照室入口门处的辐射剂量率为  $0.018\mu\text{Sv/h}$ , 小于标准中的  $2.5\mu\text{Sv/h}$ , 故本项目加速器辐照室迷道入口处采用 40mm 钢门可满足辐射防护要求。

由表 11-9 可知, 2#加速器辐照室屏蔽墙外表面 30cm 处的辐射剂量率最大贡献值为  $0.28\mu\text{Sv/h}$ , 加速器主体钢筒外表面 30cm 处的辐射剂量率最大贡献值为  $0.280\mu\text{Sv/h}$  (叠加 2#加速器所致辐照室顶部的辐射剂量率  $0.28\mu\text{Sv/h}$ ), 均不超过  $2.5\mu\text{Sv/h}$ , 其屏蔽防护性能可以满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以上区域周围剂量当量率不能超过  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。同时, 在无屏蔽体的情况下, 辐照室迷道口外辐射剂量率为  $0.20\mu\text{Sv/h}$ , 经 40mm 钢门 (根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录 A 表 A.2 和表 A.3, X 射线能量为 0.5MeV 时, 钢的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=3.8\text{cm}$ 、 $T_e=3.3\text{cm}$ , 可估算出 40mm 钢门的透射比为 0.087) 屏蔽后, 2#加速器辐照室入口门处的辐射剂量率为  $0.017\mu\text{Sv/h}$ , 小于标准中的  $2.5\mu\text{Sv/h}$ , 故本项目加速器辐照室迷道入口处采用 40mm 钢门可满足辐射防护要求。

本项目加速器机房设备平台处的辐射剂量率较其他地方明显偏大, 但本项目将设备平台划为控制区, 在设备平台楼梯入口处设有安全门并上锁, 安全门与加速器束流控制和高压联锁, 并在设备平台处设置与安全门联锁的固定式辐射监测系统, 可有效防止人员误入设备平台而可能导致的超剂量照射。

## 7、天空反散射辐射影响

电子加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏, 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, 这种现象称为天空反散射。对于天空反散射, 要综合考虑辐照室和加速器主体钢筒辐射对参考点的剂量贡献。计算时, 发射率常数保守取  $90^\circ$  方向的发射率常数。

### (1) 估算模式

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)附录 A 公式 (A-6) 可计算出天空反散射的 X 射线周围剂量当量率  $H$  (Sv/h):

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

式中:  $D_{10}$  意义同上。

$B_{xs}$ ——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 (Sr)；

$d_i$ ——在屋顶上方 2m 处离靶的垂直距离 (m)；

$d_s$ ——X 射线源至 P 点的距离 (m)。

$B_{xs}$  可用十倍减弱厚度方法计算，计算方法同公式 11-4 和 11-5。

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

式中：

a——屋顶长度之半 (m)；

b——屋顶宽度之半 (m)；

c——源到屋顶表面中心的距离 (m)；

d——源到屋顶边缘的距离 (m)，且  $d = (a^2 + b^2 + c^2)^{1/2}$ 。

(2) 计算结果

①1#电子加速器

a) 辐射源通过加速器主体钢筒顶泄漏产生的天空反散射辐射影响

$D_{10}$ 、 $T_1$  和  $T_e$  取值同上，即  $D_{10}$  为  $2400\text{Gy h}^{-1}$ ，铅的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=2.16\text{cm}$ 、 $T_e=3.23\text{cm}$ ，钢的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=6.28\text{cm}$ 、 $T_e=5.72\text{cm}$ 。辐照室辐射源距离钢筒顶表面中心的距离  $c$  为 5.9m，钢筒长度之半  $a$  和宽度之半  $b$  均为 0.645m，根据公式 11-8 可计算得出  $\Omega=0.05\text{Sr}$ 。

X 射线源至加速器机房东侧、南侧、西侧、北侧 P 点的距离  $d_s$  分别取 26.0m、14.8m、10.6m、10.5m，根据公式 11-7，估算屋顶天空反散射影响，核算结果见表 11-10。

表 11-10 1#加速器主体钢筒顶天空反散射屏蔽效果核算一览表

参数	东侧	南侧	西侧	北侧
S (cm)	6 铅+11 钢+50 钢			
$B_{xs}$	$1.76 \times 10^{-13}$	$1.76 \times 10^{-13}$	$1.76 \times 10^{-13}$	$1.76 \times 10^{-13}$
$D_{10}$ ( $\text{Gy h}^{-1}$ )	2400	2400	2400	2400
$\Omega$ (Sr)	0.05	0.05	0.05	0.05
$d_i$ (m)	7.9	7.9	7.9	7.9
$d_s$ (m)	26.0	14.8	10.6	10.5
$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$5.09 \times 10^{-12}$	$1.57 \times 10^{-11}$	$3.07 \times 10^{-11}$	$3.12 \times 10^{-11}$
天空反散射关注点剂量率控制水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.056	0.014	0.014	0.014

**b) 辐射源通过辐照室屋顶泄漏产生的天空反散射辐射影响**

**辐照室:**  $D_{10}$ 、 $T_1$  和  $T_e$  取值同上, 即  $D_{10}$  为  $2400\text{Gy h}^{-1}$ , 混凝土的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=19.64\text{cm}$ 、 $T_e=16.98\text{cm}$ , 钢的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=6.28\text{cm}$ 、 $T_e=5.72\text{cm}$ 。辐照室辐射源距离辐照室顶表面中心的距离  $c$  为  $2.95\text{m}$ , 辐照室屋顶长度之半  $a$  和宽度之半  $b$  分别为  $3.35\text{m}$  和  $4.3\text{m}$ , 根据公式 11-7 可计算得出  $\Omega=2.67\text{Sr}$ 。

X 射线源至加速器机房东侧、南侧、西侧、北侧 P 点的距离  $d_s$  分别取  $26.0\text{m}$ 、 $14.8\text{m}$ 、 $10.6\text{m}$ 、 $10.5\text{m}$ , 根据公式 11-7, 估算屋顶天空反散射影响, 核算结果见表 11-11。

**表 11-11 1#加速器辐照室屋顶天空反散射屏蔽效果核算一览表**

参数		东侧	南侧	西侧	北侧
X 射线源穿过辐照室混凝土屋顶泄漏产生的天空反散射辐射影响	S (cm)	150 砼			
	$B_{xs}$	$2.1 \times 10^{-9}$	$2.1 \times 10^{-9}$	$2.1 \times 10^{-9}$	$2.1 \times 10^{-9}$
	$D_{10}$ ( $\text{Gy h}^{-1}$ )	2400	2400	2400	2400
	$\Omega$ (Sr)	2.67	2.67	2.67	2.67
	$d_i$ (m)	4.95	4.95	4.95	4.95
	$d_s$ (m)	26.0	14.8	10.6	10.5
	<b>H (<math>\mu\text{Sv/h}</math>)</b>	<b><math>2.73 \times 10^{-5}</math></b>	<b><math>8.42 \times 10^{-5}</math></b>	<b><math>1.64 \times 10^{-4}</math></b>	<b><math>1.67 \times 10^{-4}</math></b>
参数		东侧	南侧	西侧	北侧
X 射线源穿过基座钢板泄漏产生的天空反散射辐射影响	S (cm)	50 钢			
	$B_{xs}$	$2.27 \times 10^{-9}$	$2.27 \times 10^{-9}$	$2.27 \times 10^{-9}$	$2.27 \times 10^{-9}$
	$D_{10}$ ( $\text{Gy h}^{-1}$ )	2400	2400	2400	2400
	$\Omega$ (Sr)	2.67	2.67	2.67	2.67
	$d_i$ (m)	4.95	4.95	4.95	4.95
	$d_s$ (m)	26.0	14.8	10.6	10.5
	<b>H (<math>\mu\text{Sv/h}</math>)</b>	<b><math>2.95 \times 10^{-5}</math></b>	<b><math>9.10 \times 10^{-5}</math></b>	<b><math>1.77 \times 10^{-4}</math></b>	<b><math>1.81 \times 10^{-4}</math></b>
<b>两者叠加 H (<math>\mu\text{Sv/h}</math>)</b>		<b><math>5.67 \times 10^{-5}</math></b>	<b><math>1.75 \times 10^{-4}</math></b>	<b><math>3.41 \times 10^{-4}</math></b>	<b><math>3.48 \times 10^{-4}</math></b>
天空反散射关注点剂量率控制水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )		<b>0.056</b>	<b>0.014</b>	<b>0.014</b>	<b>0.014</b>

从表 11-10 和表 11-11 可知, 本项目 1#加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏产生的天空反散射所致机房周围辐射剂量率最大为  $3.48 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ , 对机房周围的辐射环境影响很小。

**②2#电子加速器**

**a) 辐射源通过加速器主体钢筒顶泄漏产生的天空反散射辐射影响**

$D_{10}$ 、 $T_1$  和  $T_e$  取值同上, 即  $D_{10}$  为  $3000\text{Gy h}^{-1}$ , 铅的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=2.75\text{cm}$ 、 $T_e=3.76\text{cm}$ , 钢的  $T_1$  和  $T_e$  值分别为  $T_1=6.98\text{cm}$ 、 $T_e=6.36\text{cm}$ 。辐照室辐射源距离钢筒顶表面中心的距离  $c$  为  $6.4\text{m}$ , 钢筒长度之半  $a$  和宽度之半  $b$  均为  $0.7$ , 根据公式 11-8 可计算得出  $\Omega=0.05\text{Sr}$ 。

X 射线源至加速器机房东侧、南侧、西侧、北侧 P 点的距离  $d_s$  分别取  $10.2\text{m}$ 、 $14.2\text{m}$ 、 $25.0\text{m}$ 、 $10.1\text{m}$ , 根据公式 11-7, 估算屋顶天空反散射影响, 核算结果见表 11-12。

表 11-12 2#加速器主体钢筒顶天空反散射屏蔽效果核算一览表

参数	东侧	南侧	西侧	北侧
S (cm)	7 铅+9 钢+63 钢			
B <sub>xs</sub>	4.43 × 10 <sup>-14</sup>	4.43 × 10 <sup>-14</sup>	4.43 × 10 <sup>-14</sup>	4.43 × 10 <sup>-14</sup>
D <sub>10</sub> (Gy h <sup>-1</sup> )	3000	3000	3000	3000
Ω (Sr)	0.05	0.05	0.05	0.05
d <sub>i</sub> (m)	8.4	8.4	8.4	8.4
d <sub>s</sub> (m)	10.2	14.2	25.0	10.1
Ḣ (μSv/h)	9.17 × 10 <sup>-12</sup>	4.72 × 10 <sup>-12</sup>	1.54 × 10 <sup>-12</sup>	9.48 × 10 <sup>-12</sup>
天空反散射关注剂 量率控制水平 (μSv/h)	<b>0.056</b>	<b>0.014</b>	<b>0.014</b>	<b>0.014</b>

b) 辐射源通过辐照室屋顶泄漏产生的天空反散射辐射影响

辐照室: D<sub>10</sub>、T<sub>1</sub> 和 T<sub>e</sub> 取值同上, 即 D<sub>10</sub> 为 3000Gy h<sup>-1</sup>, 混凝土的 T<sub>1</sub> 和 T<sub>e</sub> 值分别为 T<sub>1</sub>=20.74cm、T<sub>e</sub>=18.66cm, 钢的 T<sub>1</sub> 和 T<sub>e</sub> 值分别为 T<sub>1</sub>=6.98cm、T<sub>e</sub>=6.36cm。辐照室辐射源距离辐照室顶表面中心的距离 c 为 2.95m, 辐照室屋顶长度之半 a 和宽度之半 b 分别为 3.35m 和 4.1m, 根据公式 11-7 可计算得出Ω=2.62Sr。

X 射线源至加速器机房东侧、南侧、西侧、北侧 P 点的距离 d<sub>s</sub> 分别取 10.2m、14.2m、25.0m、10.1m, 根据公式 11-7, 估算屋顶天空反散射影响, 核算结果见表 11-13。

表 11-13 2#加速器辐照室屋顶天空反散射屏蔽效果核算一览表

参数		东侧	南侧	西侧	北侧
X 射线源 穿过辐照 室混凝土 屋顶泄漏 产生的天 空反散射 辐射影响	S (cm)	170 砷			
	B <sub>xs</sub>	1.0 × 10 <sup>-9</sup>	1.0 × 10 <sup>-9</sup>	1.0 × 10 <sup>-9</sup>	1.0 × 10 <sup>-9</sup>
	D <sub>10</sub> (Gy h <sup>-1</sup> )	3000	3000	3000	3000
	Ω (Sr)	2.62	2.62	2.62	2.62
	d <sub>i</sub> (m)	4.95	4.95	4.95	4.95
	d <sub>s</sub> (m)	10.2	14.2	25.0	10.1
	Ḣ (μSv/h)	<b>1.03 × 10<sup>-4</sup></b>	<b>5.31 × 10<sup>-5</sup></b>	<b>1.71 × 10<sup>-5</sup></b>	<b>1.05 × 10<sup>-4</sup></b>
参数		东侧	南侧	西侧	北侧
X 射线源 穿过基座	S (cm)	63 钢			
	B <sub>xs</sub>	1.56 × 10 <sup>-10</sup>	1.56 × 10 <sup>-10</sup>	1.56 × 10 <sup>-10</sup>	1.56 × 10 <sup>-10</sup>



钢板泄漏产生的天空反散射辐射影响	$D_{10}$ ( $Gy\ h^{-1}$ )	3000	3000	3000	3000
	$\Omega$ (Sr)	2.62	2.62	2.62	2.62
	$d_i$ (m)	4.95	4.95	4.95	4.95
	$d_s$ (m)	10.2	14.2	25.0	10.1
	$H$ ( $\mu Sv/h$ )	$1.61 \times 10^{-5}$	$8.28 \times 10^{-6}$	$2.67 \times 10^{-6}$	$1.64 \times 10^{-5}$
两者叠加 $H$ ( $\mu Sv/h$ )		$1.19 \times 10^{-4}$	$6.14 \times 10^{-5}$	$1.98 \times 10^{-5}$	$1.21 \times 10^{-4}$
天空反散射关注点剂量率控制水平 ( $\mu Sv/h$ )		<b>0.056</b>	<b>0.014</b>	<b>0.014</b>	<b>0.014</b>

从表 11-12 和表 11-13 可知，本项目 2#加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏产生的天空反散射所致机房周围辐射剂量率最大为  $1.21 \times 10^{-4} \mu Sv/h$ ，对机房周围的辐射环境影响很小。

### 8、X 射线通过屋顶的侧向散射辐射影响

根据现场调查，本项目加速器机房周围临近无高层建筑，无需考虑 X 射线通过屋顶后侧向散射对周围环境的辐射影响。

### 9、本项目 2 台电子加速器的叠加影响评价

本项目 1#加速器机房和 2#加速器机房相邻而建，当相邻机房的电子加速器同时工作时，会对加速器机房后方、前方、控制室、设备平台产生叠加辐射影响，叠加辐射影响计算结果见表 11-14。

**表 11-14 本项目 2 台电子加速器叠加辐射影响计算结果**

位置	1#加速器运行所致机房辐射剂量率 ( $\mu Sv/h$ )	2#加速器运行所致机房辐射剂量率 ( $\mu Sv/h$ )	叠加辐射剂量率 ( $\mu Sv/h$ )
前方	$7.40 \times 10^{-5}$	$8.12 \times 10^{-5}$	$1.552 \times 10^{-4}$
后方	0.13	0.08	0.21
控制室	0.14	0.09	0.23
设备平台	0.48	0.28	0.76

因此，当两台加速器同时运行时，所致加速器机房周围叠加辐射剂量率最大为  $0.76 \mu Sv/h$ ，仍能满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过  $2.5 \mu Sv/h$ ”的要求。

### 11.2.3 局部贯穿辐射影响分析

#### 1、通风管道

本项目 1#、2#加速器机房均拟设置新风系统，采用机械进风，风机风量均不小于  $2800 m^3/h$ ，

风机和进风口均拟设置于相应机房设备平台处，新风管道内径为 153mm，成 15° 斜穿辐照室顶，将新风送至扫描盒用于物料的降温。

本项目 1#、2#加速器机房均拟设置机械排风装置，排臭氧风机放置在辐照室北侧，风机排风速率不低于 13000m<sup>3</sup>/h，并采用地下式排风管道，管道埋地深为 800mm，管道内径为 600mm，吸风口分别位于 1#、2#辐照室扫描窗下方的地面处，排风管道分别从 1#、2#辐照室地下穿过，从 1#、2#辐照室北墙（迷道处）地下穿出，最终排放口高于 3#厂房的屋顶。本项目 1#、2#加速器机房排风系统的设计见附图 6 和附图 7。

本项目新风管道位于辐照室顶部，并斜穿辐照室顶，排风管道位于辐照室地下，从地下穿出辐照室，且 1#、2#辐照室内的 X 射线至少经过 3 次散射才能到达进风口和出风口，通风管道的设计未破坏加速器机房整体屏蔽防护效果，满足辐射防护的要求。

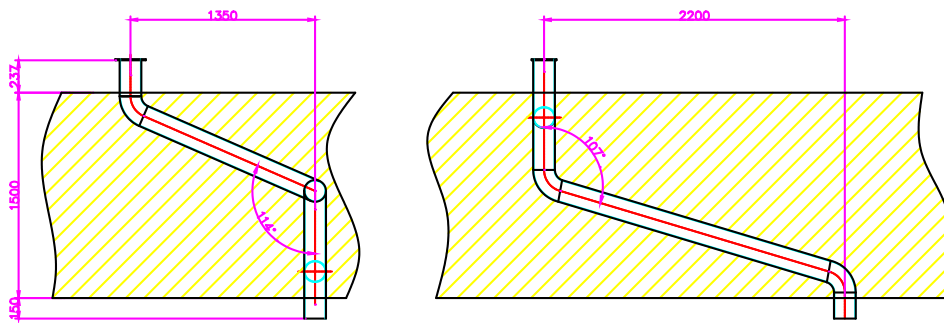


图 11-3 1#加速器机房通风管道穿墙示意图

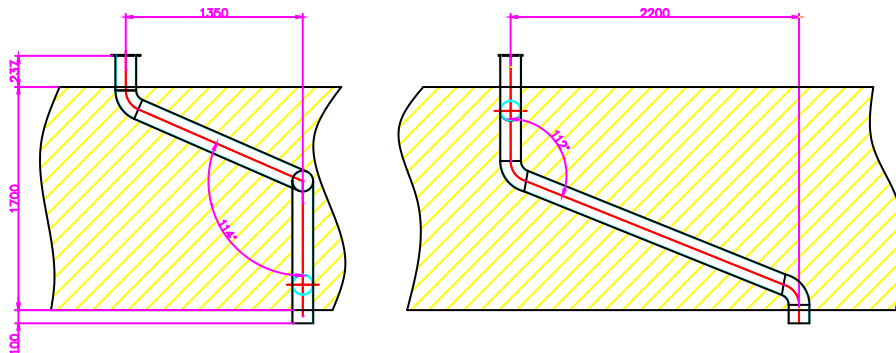


图 11-4 2#加速器机房通风管道穿墙示意图

## 2、电缆管线

本项目 1#、2#加速器辐照室南墙设置电线电缆输送孔道，用于被辐照电线电缆的进出，电线电缆的输送孔道布置示意图见附图 7。辐照室南墙上的运输通道均采用斜穿墙设计，开口高度约为 10cm，输送孔道避开主射线方向，且设计有钢结构屏蔽补偿设施，钢结构体四周为 20mm 厚钢板，射线经多次（至少三次）散射后，电线电缆输送孔道进出口处辐射剂量将在控制范围内，能够满足辐射防护的要求。

综上所述，本项目穿越机房的各类管道设计基本合理可行，符合辐射防护要求，不会造

成局部区域的剂量泄漏。

### 11.2.4 人员受照剂量

#### 1、估算公式

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

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

式中：H\*——年有效剂量，mSv/a；

H——关注点处周围剂量当量率，μSv/h；

U——使用因子，本项目均取 1；

T——关注点处人员驻留的居留因子；

t——年受照时间，h/a。

#### 2、辐射工作人员剂量估算及评价

本项目辐射工作人员拟从公司现有非辐射工作人员中抽调参加辐射安全培训后转为辐射工作人员或新招聘辐射工作人员。公司前期拟为每间加速器机房先配备2名辐射工作人员，后期随工作量的增加，每间加速器机房最多配备4名辐射工作人员，4名辐射工作人员采取两班工作制，每班2名辐射工作人员，并指定其中1人为当班运行值班长，单名辐射工作人员年工作时间不超过3600h。

本项目电子加速器运行时，对辐射工作人员影响的区域主要在控制室内，但考虑到工作人员在加速器运行时可能会前往机房周围进行巡视，为保守估计，本次取机房周围理论计算结果中的最大值进行预测，且居留因子取1。同时，考虑2台加速器同时工作时，会对机房周围产生叠加影响，按2倍剂量率进行计算。

根据理论估算结果可知，本项目机房周围剂量率最大值为0.21μSv/h，按2倍剂量率0.42μSv/h计算，居留因子取1，工作时间保守取3600h，则单名辐射工作人员年有效剂量最大约为1.51mSv，满足本项目职业人员剂量约束值不超过5mSv/a的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的工作人员所接受的职业照射水平不应超过20mSv/a的剂量限值要求。

#### 3、邻近区域公众成员年有效剂量

根据公式（11-9），本项目加速器机房邻近区域公众成员年有效剂量估算情况见表11-15。考虑2台加速器同时工作，会对机房周围产生叠加影响。

**表11-15 本项目邻近区域公众成员年有效剂量估算**

人员属性	环境保护目标		参考的关注点位	周围剂量当量率 H (μSv/h)	年受照时间 t (h/a)	居留因子	有效剂量 H* (mSv/a)
公众成员	东	3#厂房其他工作人员	B1	1.54×10 <sup>-4</sup>	7200	1	0.001
	南	装卸区其他工作人员	A2+B2	1.55×10 <sup>-4</sup>	7200	1	0.001
	西	3#厂房其他工作人员	A3	5.98×10 <sup>-4</sup>	7200	1	0.004
	北	3#厂房其他工作人员	A4+B4	0.21	7200	1/40	0.038

居留因子参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)附录A中表A.1进行取值，对于临时堆放区、吊装平台、厂区过道、迷道口-出入口等人员偶尔停留的场所，居留因子保守取1/20；对于电气设备室、水冷机组室等设施场所，正常情况下不会有人员停留，居留因子保守取1/40；上下货区和迷道口考虑到装/卸货人员的辐射安全，居留因子保守取1。

因此，本项目加速器机房邻近区域公众成员的年受照剂量最大为0.038mSv/a，满足本项目公众人员剂量约束值不超过0.1mSv/a的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求的实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过1mSv/a的剂量限值要求。

**5、评价范围内其他环境保护目标年有效剂量**

经上述计算，本项目加速器机房邻近区域的公众年有效剂量均可满足相关标准限值要求。根据辐射剂量率与距离的平方成反比的定律，可推导出本项目评价范围50m内其他环境保护目标的年有效剂量。

**表11-16 本项目评价范围50m内其他公众成员年有效剂量估算**

人员属性	环境保护目标		距离屏蔽体边界最近距离 (m)	计算参考关注点剂量率 (μSv/h)	年受照时间 t (h/a)	居留因子	有效剂量 H* (mSv/a)
公众成员	东	厂区过道	+8	4.81×10 <sup>-6</sup>	7200	1/20	1.73×10 <sup>-6</sup>
	南	厂区过道	20	4.06×10 <sup>-7</sup>	7200	1/20	1.46×10 <sup>-7</sup>
	南	2#厂房	31	1.69×10 <sup>-7</sup>	7200	1	1.22×10 <sup>-6</sup>
	北	厂区过道	2	0.065	7200	1/20	0.023
	北	4#厂房	12	0.002	7200	1	0.014

居留因子参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)附录A中表A.1进行取值，对于临时堆放区、吊装平台、厂区过道、迷道口-出入口等人员偶尔停留的场所，居留因子保守取1/20；对于电气设备室、水冷机组室等设施场所，正常情况下不会有人员停留，居留因子保守取1/40；上下货区和迷道口考虑到装/卸货人员的辐射安全，居留因子保守取1。

因此，本项目评价范围50m内其他环境保护目标的年受照剂量最大为0.023mSv/a，满足本项目公众人员剂量约束值不超过0.1mSv/a的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求的实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过1mSv/a的剂量限值要求。

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

### 11.2.5 臭氧的排放评价

电子加速器开机运行时，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧（O<sub>3</sub>）和氮氧化物（NO<sub>x</sub>）。氮氧化物的产率约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，同时国家对空气中臭氧浓度的标准严于氮氧化物。因此，本报告在考虑有害气体的影响时，仅考虑臭氧的影响。

#### 1、预测模式

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

##### ①臭氧的产生

平行电子束所致 O<sub>3</sub> 的产生率可以用以下公式进行保守的估算：

$$P=45dIG \quad \text{式 (11-10)}$$

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），应结合电子在空气中的线阻止本领 $s=2.5keV/cm$ 和辐照室尺寸选取，本项目加速器扫描盒出口距离辐照室地面约为130cm，d保守取130cm；

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。

本项目加速器机房臭氧产生率计算参数及计算结果见表 11-17。

**表 11-17 臭氧产生率计算参数和计算结果**

参数	1#加速器机房	2#加速器机房
d (cm)	130	130
G	10	10
I (mA)	50	40
<b>P (mg/h)</b>	<b>2.925×10<sup>6</sup></b>	<b>2.34×10<sup>6</sup></b>

由表 11-17 可知，本项目 1#加速器机房臭氧的产生率为 2.925×10<sup>6</sup>mg/h，2#加速器机房臭氧的产生率为 2.34×10<sup>6</sup>mg/h。

②加速器机房内臭氧的平衡浓度

在加速器正常运行期间，臭氧不断产生，当长时间辐照时，加速器机房内臭氧平衡浓度为：

$$C_s = PT_e / V \quad \dots\dots \text{（公式 11-11）}$$

式中：P 意义同上。

$C_s$ ——加速器机房内臭氧平衡浓度（ $mg/m^3$ ）；

V——辐照室的体积（ $m^3$ ）；

$T_e$ ——对臭氧的有效清除时间（h）

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

式中：

$T_v$ ：辐照室换气一次所需时间（h），本项目加速器机房的通风系统排风速率均不低于  $13000m^3/h$ ，1#加速器辐照室体积约为  $130m^3$ ，2#加速器辐照室体积约为  $113m^3$ ，则 1#加速器辐照室换气一次所需时间  $T_v$  为 0.01h，2#加速器辐照室换气一次所需时间  $T_v$  为  $8.69 \times 10^{-3}h$ 。

$T_d$ ：臭氧的有效化学分解时间（h），约为 50 分钟。

本项目加速器机房内臭氧平衡浓度计算参数及计算结果见表 11-18。

**表 11-18 臭氧浓度计算参数和计算结果**

参数	1#加速器机房	2#加速器机房
$t_v$ (h)	0.01	$8.69 \times 10^{-3}$
$t_d$ (h)	0.833	0.833
$T_e$ (h)	$9.88 \times 10^{-3}$	$8.6 \times 10^{-3}$
P (mg/h)	$2.925 \times 10^6$	$2.34 \times 10^6$
V ( $m^3$ )	130	113
$C_s$ ( $mg/m^3$ )	<b>222.3</b>	<b>178.1</b>

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（ $0.3mg/m^3$ ）。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，关闭加速器后风机运行的持续时间公式为：

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s} \quad \text{式（11-13）}$$

式中： $C_s$ 、 $T_e$  意义同上。

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

T: 为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间 (h)。

## 2、预测结果

根据公式 11-13 和以上参数可计算得出, 本项目加速器停止工作后, 辐照室内通风系统以通风速率不低于  $13000\text{m}^3/\text{h}$  继续工作, 1#加速器机房通过约 0.07h (即 4.2min)、2#加速器机房通过约 0.05h (即 3.0min) 的通风排气, 辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度 ( $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ), 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, 以保证辐照室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的时间应不少于 5min。

本项目 1#、2#加速器机房拟配备的排臭氧风机排风速率为不低于  $13000\text{m}^3/\text{h}$ , 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。

## 11.3 事故影响分析

### 11.3.1 辐射事故分级

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例 (2019年修改)》第四十条规定, 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, 见表11-19。

表11-19 辐射事故等级划分表

事故等级	事故类型
特别重大辐射事故	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。
重大辐射事故	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。
较大辐射事故	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。
一般辐射事故	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。

### 11.3.2 风险事故识别

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

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

(3) 设备维修人员维修时，加速器误出束。

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

### 11.3.3 风险防范措施

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

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

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

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

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

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

(7) 定期开展辐射防护知识的宣传、教育，最大程度避免事故的发生。

发生辐射事故时，事故单位应当立即切断电源、保护现场，并立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要的防范措施，并在2小时内填报《辐射事故初始报告表》。对于发生的误照射事故，应首先向当地生态环境部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告，当发生人为破坏行为时，应及时向公安部门报备。



## 表 12 辐射安全管理

### 12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

#### 12.1.1 机构设置

根据《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》等法律法规要求，使用II类射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

宁波开博线缆有限公司拟成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并将以文件形式明确各成员管理职责。

#### 12.1.2 辐射工作人员管理

(1) 根据生态环境部《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(2019年，第57号)的相关要求，自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部培训平台(<http://fushe.mee.gov.cn>)报名并参加考核。2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。项目新增辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，经考核合格后方可上岗。

(2) 辐射工作人员应配备个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量检测，并建立个人剂量档案；应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，在岗期间每一年或两年委托相关资质单位对辐射工作人员进行职业健康检查，建立完整的职业健康档案；个人剂量档案和职业健康档案应终生保存。

(3) 辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息应统一。

### 12.2 辐射安全管理规章制度

宁波开博线缆有限公司拟根据《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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的相关要求制定辐射安全管理制度，如《操作规程》、《岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《台账管理制度》、《环境监测方案》及《辐射事故应急预案》等，并在以后的实际工作中不断对各管理制度进行补充和完善，使其具有较

强的针对性和可操作性。现对公司应制定的辐射安全管理规章制度提出相应的建议和要求：

(1) 辐射防护和安全保卫制度

根据单位的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是电子加速器的安全防护和管理落实到个人。

(2) 操作规程

明确操作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤，重点是明确电子加速器的操作步骤，工作前的安全检查，工作人员佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪或检测仪器，并明确了加速器停机5分钟后方可进入辐照室。

(3) 岗位职责

明确管理人员、操作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己在岗位具体责任，层层落实。

(4) 设备检修维护制度

明确了电子加速器和辐照室、设备平台各项安全联锁装置、工作状态指示灯等在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全装置有效地运转。

(5) 台账管理制度

对射线装置的使用情况进行登记，标明设备名称、型号、束流等，对射线装置进行严格管理。

(6) 人员培训计划

明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，内外结合，加强对培训档案的管理，做到有据可查。

(7) 个人剂量监测方案

明确辐射工作人员开展辐射工作时均应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，公司明确个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，并建立个人累积剂量和职业健康体检档案。

(8) 辐射环境监测方案

购置环境辐射巡测仪等监测设备，明确日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。此外，根据原环境保护部第18号令，使用射线装置的单位应当

对本单位的射线装置的安全和防护状态进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

#### (9) 辐射事故应急预案

针对可能产生的辐射事故制定辐射事故应急措施，该措施中应明确应急机构和职责分工、应急人员的组织、培训、事故报告制度、辐射防护措施及事故处理程序等。发生辐射事故时，公司应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，向属地公安机关和生态环境部门报告。对造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向属地卫生健康部门报告。并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》。同时根据本单位实际情况，每年至少开展一次综合或单项的应急演练，应急演练前编制演习计划，包括演练模拟的事故/事件情景，演练参与人员等。

本项目辐射工作人员应在公司辐射安全与防护领导小组的领导下，明确各人员岗位职责，严格落实辐射安全管理规章制度，定期对设备的安全措施进行检查。此外，对于操作规程、岗位职责和辐射事故应急预案响应程序等制度应张贴于电子加速器控制室墙面的醒目处。

### 12.3 辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，公司需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。

#### 12.3.1 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，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，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。

本项目拟配备便携式辐射监测仪1台、固定式辐射监测仪2台、个人剂量报警仪4个。以上监测仪器按要求配备后，本次评价认为能够满足本项目的仪器配备要求。

#### 12.3.2 个人剂量监测

公司拟严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理规定，为辐射工作人员配备了个人剂量计。同时，根据每年辐射工作人员的变化增加个人剂量计，并进行个人剂量监测（最长不超过3个月）和职业健康检查（不少于1次/2年），并建立了个人剂量监测档案和职业健康监

护档案。

### 12.3.3 工作场所辐射监测

根据辐射管理要求，公司应针对本项目具体情况制定如下监测方案：

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

(2) 常规监测：定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行自行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测周期为1次/季。

(3) 年度监测：每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的监测，监测周期为1次/年。年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《粒子加速器辐射防护规定》（GB 5172-85）和《 $\gamma$ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）等标准要求，本项目辐射工作场所监测计划建议如下：

表12-1 辐射工作场所监测计划建议

监测对象	监测方式	监测范围	监测项目	监测频率	监测依据
1#加速器机房、2#加速器机房	验收监测	辐照室四周屏蔽墙外30cm处、防护门门缝、防护门外30cm处、工作人员控制室等区域；	周围剂量当量率	竣工验收	《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》（HJ 61-2021）等。
	自主监测			1次/季	
	年度监测			1次/年	

### 12.4 年度安全状况评估

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中第十二条规定，公司应对本单位的射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向原发证机关提交上一年的评估报告，并在浙江省核技术利用辐射安全申报系统进行网上申报。

安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容：

- (一) 辐射安全和防护设施的运行与维护情况；
- (二) 辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；
- (三) 辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；
- (四) 射线装置台账；
- (五) 场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；
- (六) 辐射事故及应急响应情况；

(七) 核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况；

(八) 存在的安全隐患及其整改情况；

(九) 其他有关法律、法规规定的落实情况。

年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

## 12.5 环保竣工验收

公司应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南——污染影响类》（生态环境部公告2018年第9号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

## 12.6 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019年修改）》中第四十一条的规定，公司应根据可能产生的辐射事故风险，制定本单位的应急预案，做好应急准备。辐射事故应急预案主要包括下列内容：

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

发生辐射事故时，公司应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要的防范措施并在2小时内填报《辐射事故初始报告表》。对于发生的误照射事故，应首先向当地生态环境部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，应同时向当地卫生行政部门报告，当发生人为破坏行为时，应及时向公安部门报备。

本次评价要求在项目投入运行后，公司应做到：

- ①辐射事故应急预案内容应包括：紧急出动、现场应急、善后处理、事故总结、信息发

布等过程，落实每一步骤的具体参加人员、负责人，明确各自职责以及时限要求等，其内容应当全面具体，具有可操作性。

②应公布应急组织各成员的姓名、岗位和事故情况下各部门（包括企业内涉源各部门和生态环境、公安、卫生等管理部门）的联系人和24小时联络电话，并建立相应的辐射事故报告框图。

③制定辐射事故应急培训计划方案，每年对与辐射事故应急有关的人员实施培训和演练，以验证该预案的有效性。演练内容包括放射事故应急处理预案的可操作性、针对性、完整性，演习报告存盘。可提出将每年用于辐射应急工作的（包括应急装备、应急技术支持、培训及演习等）支出，纳入部门预算。

④公司应根据实际情况定期组织修订放射事故应急预案，使其不断完善健全。

## 12.7 “三同时” 验收一览表

表12-3 “三同时” 验收一览表

项目	“三同时” 措施	预期效果	预计投资(万元)
辐射安全管理机构	设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者指派1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射性同位素和射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构的管理或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作的要求。	/
辐射安全和防护措施	屏蔽措施： 电子加速器辐照室采用混凝土结构，加速器主体钢筒采用铅板+钢板结构屏蔽电子束和X射线，其采取的是具体屏蔽措施见表10-1。	电子加速器机房外辐射剂量率满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面30cm处及以外区域周围剂量当量率不能超过2.5μSv/h”。辐射工作人员和周围公众年受照剂量应满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv。	100.0
	安全措施： 主要包括钥匙控制、门机联锁、束下装置联锁、信号警示装置、巡检按钮、防人误入装置、急停装置、剂量联锁、通风联锁、烟雾报警、警告标志。	满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）和《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）中有关安全联锁、工作指示灯、警示标志、急停开关等安全设施的要求。	52.0

通风措施	<p>加速器机房设置机械通风装置，通过排风装置排出辐照室内臭氧和氮氧化物，风机排风速率不低于 13000m<sup>3</sup>/h。</p> <p>加速器机房新风管道斜穿过辐照室顶，将新风送至扫描盒用于物料的降温；加速器机房采用地下式排风管道，最终排放口高于 3#厂房的屋顶。</p>	<p>满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中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（臭氧的最高容许浓度 0.3mg/m<sup>3</sup>）。</p> <p>满足通风管道应不破坏加速器机房的整体屏蔽防护效果。</p>	
人员配备	<p>本项目辐射工作人员拟参加辐射安全和防护专业知识的培训并在通过考核后上岗。</p>	<p>满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核的管理要求。</p>	1.0
	<p>本项目辐射工作人员拟配备个人剂量计，每 3 个月定期送检，并建立辐射工作人员个人剂量档案。</p>	<p>满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展个人剂量监测的管理要求。</p>	0.5
	<p>本项目辐射工作人员拟定期进行职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立职业健康监护档案。</p>	<p>满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展职业健康体检的管理要求。</p>	1.5
监测仪器和防护用品	<p>拟配备 1 台便携式辐射监测仪。</p>	<p>满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射监测仪器和防护用品的配置要求。</p>	5.0
	<p>拟配备 4 台个人剂量报警仪。</p>		
	<p>拟配备 2 台固定式辐射监测仪。</p>		
辐射安全管理制度	<p>制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、台帐管理制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等辐射安全管理制度。</p>	<p>满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射性同位素和射线装置的单位需具备有健全的辐射安全管理制度的管理要求。</p>	/
		<b>总计</b>	<b>160</b>

注：“三同时”措施应与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

## 表 13 结论与建议

### 13.1 结论

#### 13.1.1 项目概况

为满足业务发展需求，宁波开博线缆有限公司拟在浙江宁波杭州湾新区滨海四路 518 号实施年产 1 亿米光伏线缆项目，并在 3#厂房新建 2 间加速器机房，分别配备 1 台 DD2.0-50/1600 型和 1 台 DD2.5-40/1600 型电子加速器，用于对本公司生产的电线、电缆进行辐照加工。该 2 台电子加速器属于 II 类射线装置。

#### 13.1.2 辐射安全和防护结论

(1) 本项目电子加速器辐照室采用混凝土结构、加速器主体钢筒采用铅板+钢板结构屏蔽电子束和 X 射线，其采取的是实体屏蔽方式。根据理论预测可知，本项目加速器辐照室和加速器主体钢筒的屏蔽厚度均能满足防护要求；电线电缆进出通道、通风管道的设置合理可行，均未破坏电子加速器机房的整体屏蔽防护效果，该公司拟采取的辐射防护措施满足当前的管理要求。

(2) 本项目加速器机房工作场所实行分区管理，拟设置钥匙控制、门机联锁、束下装置联锁、信号警示装置、巡检按钮、防人误入装置、急停装置、剂量联锁、通风联锁、烟雾报警灯安全设施等，具体辐射安全和防护措施见本报告章节 10.1。

#### 13.1.3 辐射安全管理结论

(1) 公司拟成立辐射安全与环境保护管理领导小组，负责辐射安全与环境保护管理工作。公司应根据实际情况及本报告要求，制定相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求。

(2) 公司拟组织本项目辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识的培训，并进行个人剂量监测和职业健康体检，建立辐射工作人员个人剂量档案和职业健康监护档案。

宁波开博线缆有限公司在严格执行相关法律法规、标准规范等文件，严格落实各项辐射管理制度、落实辐射管理措施或设施、完善辐射工作人员管理的前提下，其从事辐射活动的技术能力基本符合相应法律法规的要求。

#### 13.1.4 环境影响分析结论

(1) 主要污染因子



本项目主要污染因子为 X 射线、电子束、臭氧与氮氧化物。

#### (2) 辐射环境影响预测及保护目标剂量

经理论预测，本项目电子加速器投入运行时，加速器机房周围环境辐射剂量率均不超过  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）的相关要求。在做好辐射安全措施的基础上，本项目辐射工作人员和公众成员的年有效剂量均能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员和公众成员的年剂量限值要求以及本项目的年剂量约束值（职业人员 $\leq 5.0\text{mSv/a}$ 、公众成员 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ ）的要求。

#### (3) 臭氧

经理论预测，本项目加速器停机后，排风机继续工作排风约5min，可使辐照室内臭氧浓度可达到《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）控制要求（最高容许浓度为 $0.3\text{mg/m}^3$ ）。由于项目臭氧产生量较低，加之臭氧不稳定，在常温下不断分解，排出室外的臭氧对周边环境影响轻微。

### 13.1.5 可行性分析结论

#### (1) 产业政策符合性

本项目属于核技术在工业领域内的应用，根据国家发展和改革委员会第 29 号令《产业结构调整指导目录（2019 年本）》和国家发展和改革委员会第 49 号令《关于修改〈产业结构调整指导目录（2019 年本）〉的决定》，本项目属于鼓励类第六项“核能”第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业政策要求。

#### (2) 实践正当性

项目投入使用不仅满足了企业的生产需求，提高了产品质量，还将给企业带来更多的经济效益和社会效益，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

#### (3) 用地规划符合性

本项目用地性质属于工业用地，且周围无环境制约因素，符合用地规划要求。

#### (4) “三线一单”符合性

本项目建设不涉及生态保护红线，符合资源利用上线和环境质量底线要求，不在环境准入负面清单内，符合“三线一单”的建设要求。

#### (5) 选址合理性

本项目加速器机房评价范围 50m 内主要为公司厂内过道和建筑，不涉及生态保护红线。经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。因此，本项目选址是合理可行的。

### 13.1.6 环保可行性结论

综上所述，宁波开博线缆有限公司新建2台工业电子加速器辐照项目，其建设符合用地规划和“三线一单”的建设要求，项目选址基本合理，符合国家产业政策和实践正当性，在落实本报告提出的各项污染防治措施和辐射环境管理要求后，企业将具备相应从事的辐射活动的技术能力，本次评价的2台电子加速器投入运行后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，该项目的建设和运行是可行的。

## 13.2 建议和承诺

(1) 公司承诺将根据报告表的要求和生态环境主管部门的要求落实相应的污染防治措施和管理要求。

(2) 环评报批后，公司需及时向有权限的生态环境主管部门申领辐射安全许可证。

(3) 建设项目竣工后，公司应当按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

(4) 公司应严格按照本报告的屏蔽防护设计方案进行机房建设，并保证施工质量。同时，对照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的标准要求，落实各项辐射安全设施和防护措施。

## 表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：

公章

经办人（签字）：

年 月 日

审批意见：

公章

经办人（签字）：

年 月 日