

编号: LBHJ-2024-DLHP023

核技术利用建设项目

中山市悦来新材料科技有限公司

新建电子加速器辐照项目

环境影响报告表

(送审版)

中山市悦来新材料科技有限公司 (盖章)

2024年6月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

中山市悦来新材料科技有限公司

新建电子加速器辐照项目

环境影响报告表

建设单位名称： 中山市悦来新材料科技有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

陈见川

通讯地址： 中山市小榄镇东城社区葵兴大道206号第三卡

邮政编码： 528411

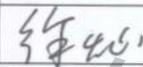
联系人： 张小锐

电子邮箱： 15

联系电话：

打印编号: 1718087357000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	4sdr15		
建设项目名称	中山市悦来新材料科技有限公司新建电子加速器辐照项目		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	中山市悦来新材料科技有限公司		
统一社会信用代码	91442000MADKRCKF9U		
法定代表人 (签章)	陈见山		
主要负责人 (签字)	陈见山		
直接负责的主管人员 (签字)	陈见山		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	广州乐邦环境科技有限公司		
统一社会信用代码	91440101MA5AUCBH1		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
徐灿	2015035440352013449914000326	BH001925	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
王春波	项目基本情况、结论与建议	BH002019	
田丰	评价依据、保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理	BH005814	

编制主持人职业资格证书

本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、环境保护部批准颁发。它表明持证人通过国家统一组织的考试,取得环境影响评价工程师的职业资格。

This is to certify that the bearer of the Certificate has passed national examination organized by the Chinese government departments and has obtained qualifications for Environmental Impact Assessment Engineer.



Ministry of Human Resources and Social Security
The People's Republic of China



Ministry of Environmental Protection
The People's Republic of China

编号: HP00017526
No.



持证人签名:
Signature of the Bearer

管理号: 2015035440352013449914000326
File No.

姓名: 徐灿
Full Name
性别: 男
Sex
出生年月: 1982年01月
Date of Birth
专业类别: _____
Professional Type
批准日期: 2015年05月24日
Approval Date

签发单位盖章:
Issued by

签发日期:
Issued on



目 录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	10
表 3	非密封放射性物质	10
表 4	射线装置	11
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	12
表 6	评价依据	13
表 7	保护目标与评价标准	16
表 8	环境质量和辐射现状	19
表 9	项目工程分析与源项	25
表 10	辐射安全与防护	35
表 11	环境影响分析	58
表 12	辐射安全管理	83
表 13	结论与建议	89
表 14	审批	91
附件 1	项目委托书	92
附件 2	环境 γ 辐射剂量率检测报告	93
附件 3	DDLH2.5/40-1400 型电子加速器类比检测报告	100
附件 4	规章制度	106
附件 5	辐照室设计图	117

表1 项目基本情况

建设项目名称		中山市悦来新材料科技有限公司新建电子加速器辐照项目			
建设单位		中山市悦来新材料科技有限公司			
法人代表	陈见山	联系人	张小锐	联系电话	██████████
注册地址		中山市小榄镇东城社区葵兴大道 206 号第三卡			
项目地点		中山市小榄镇东城社区葵兴大道 206 号第三卡的建设单位生产车间东北侧			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	1700	项目环保投资 (万元)	400	投资比例 (环保投资、总投资)	23.53 %
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 退役		占地面积 (m ²)	182
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		
	其它				

1.1.建设单位及项目概述

中山市悦来新材料科技有限公司（建设单位）于 2024 年 5 月 8 日成立，法定代表人为陈见山，注册资本为人民币五百万元，目前，建设单位尚处于建设阶段，未来，建设单位拟开展电线电缆和热缩套管的深加工。

由于电线电缆和热缩套管在辐照交联后，材料的耐热性、耐电性、耐腐蚀性、耐冲

击性等性能都大幅提高，因此，为了提升产品质量和产品附加值，提高公司市场竞争力，建设单位拟在生产车间东北侧，新建 2 间辐照室，在每间辐照室安装使用 1 台电子加速器，总计使用 2 台电子加速器，对电线电缆和热缩套管进行辐照交联。

建设单位拟辐照交联的材料主要包括：（1）电线电缆：内芯为金属铜或铝，内芯外的包裹材料为塑料，电线电缆的外径最大为 75mm；（2）热缩套管：材料为塑料，热缩套管的外径最大为 100mm。

1.2. 项目建设内容及规模

建设单位拟在中山市小榄镇东城社区葵兴大道 206 号第三卡的建设单位生产车间东北侧，新建 2 间辐照室，在每间辐照室安装使用 1 台电子加速器，总计使用 2 台电子加速器。辐照室均拟建于地上，加速器主体设备均拟放置于辐照室正上方。建设单位拟安装使用的电子加速器均为中广核达胜加速器技术有限公司生产，型号均为 DDLH2.5/40-1400，加速器的设备主体均自带屏蔽，为卧式半自屏蔽结构，均无需建设主机室，只需建设辐照室。DDLH2.5/40-1400 型电子加速器的电子最大能量为 2.5MeV，最大束流为 40mA。2 台电子加速器均用于电线电缆和热缩套管的辐照交联。本项目拟用电子加速器的技术参数见表 1-1。

表 1-1 拟用电子加速器的技术参数

名称	类别	数量	型号	加速粒子	电子束最大能量	最大束流	用途	主束方向	使用场所
电子加速器	II 类	2 台	DDLH2.5/40-1400	电子	2.5MeV	40mA	辐照交联	垂直向下	1 号辐照室 2 号辐照室

备注：电子加速器的设备主体自带屏蔽，无需建设主机室，只需建设辐照室。加速器引出电子束辐照材料，高能电子发生韧致辐射会产生 X 射线。电子加速器的参数由建设单位提供。

本报告是对项目实施后可能造成的辐射环境影响进行分析、预测和评估，提出预防或者减轻不良环境影响的对策和措施，不涉及加速器所在厂房和加速器机房主体结构稳定性评价，不涉及施工质量和安全评价。

1.3. 项目目的和任务由来

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，辐射工作单位在申请领取许可证前，应当组织编制或者填报环境影响评价文件，并依照国家规定程序报环境保护主管部门审批。

对照《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（环境保护部 国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号），本项目使用的 2 台电子加速器（电子最大能量均为 2.5MeV）均属于粒子能量小于 100MeV 的非医用加速器，为 II 类射线装置。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部 部令第 16 号），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172 核技术利用建设项目—使用 II 类射线装置”，应编制环境影响报告表。

为此，建设单位委托广州乐邦环境科技有限公司开展本次环境影响评价工作（委托书见附件 1）。在接受委托后，广州乐邦环境科技有限公司组织相关技术人员进行了资料收集、现场勘察等工作，并结合项目特点，按照《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中环境影响报告表的内容和格式，编制了本项目的环境影响报告表。

中山市悦来新材料科技有限公司新建电子加速器辐照项目环境影响评价报告表的评价内容与目的：

- 1、对项目拟建位置进行辐射环境质量现状监测，以掌握拟建位置及周围的环境质量现状水平。
- 2、对建设项目施工期和运行期的环境影响进行分析预测评价。
- 3、提出辐射防护与污染防治措施，使辐射影响降低到“可合理达到的尽可能低水平”。
- 4、满足国家和地方生态环境部门对建设项目环境管理规定的要求，为项目的环境管理提供科学依据。

1.4.项目地理位置及周边环境概况

本项目位于中山市小榄镇东城社区葵兴大道 206 号第三卡的建设单位生产车间东北侧，评价项目所在地理位置图见图 1-1。



图 1-1 评价项目所在地理位置图

2 间辐照室(1 号和 2 号辐照室)拟建位置东北侧约 19m 处为工业厂房, 东南侧 25m 处为宏昌物流园, 西北侧约 6m 处为港利汽车维修中心, 北侧约 107m 处为工业厂房。本项目拟建位置 200m 范围内主要为工厂、物流园、道路等场所, 无中小学、幼儿园等环境敏感点, 评价项目周边环境卫星图见图 1-2。

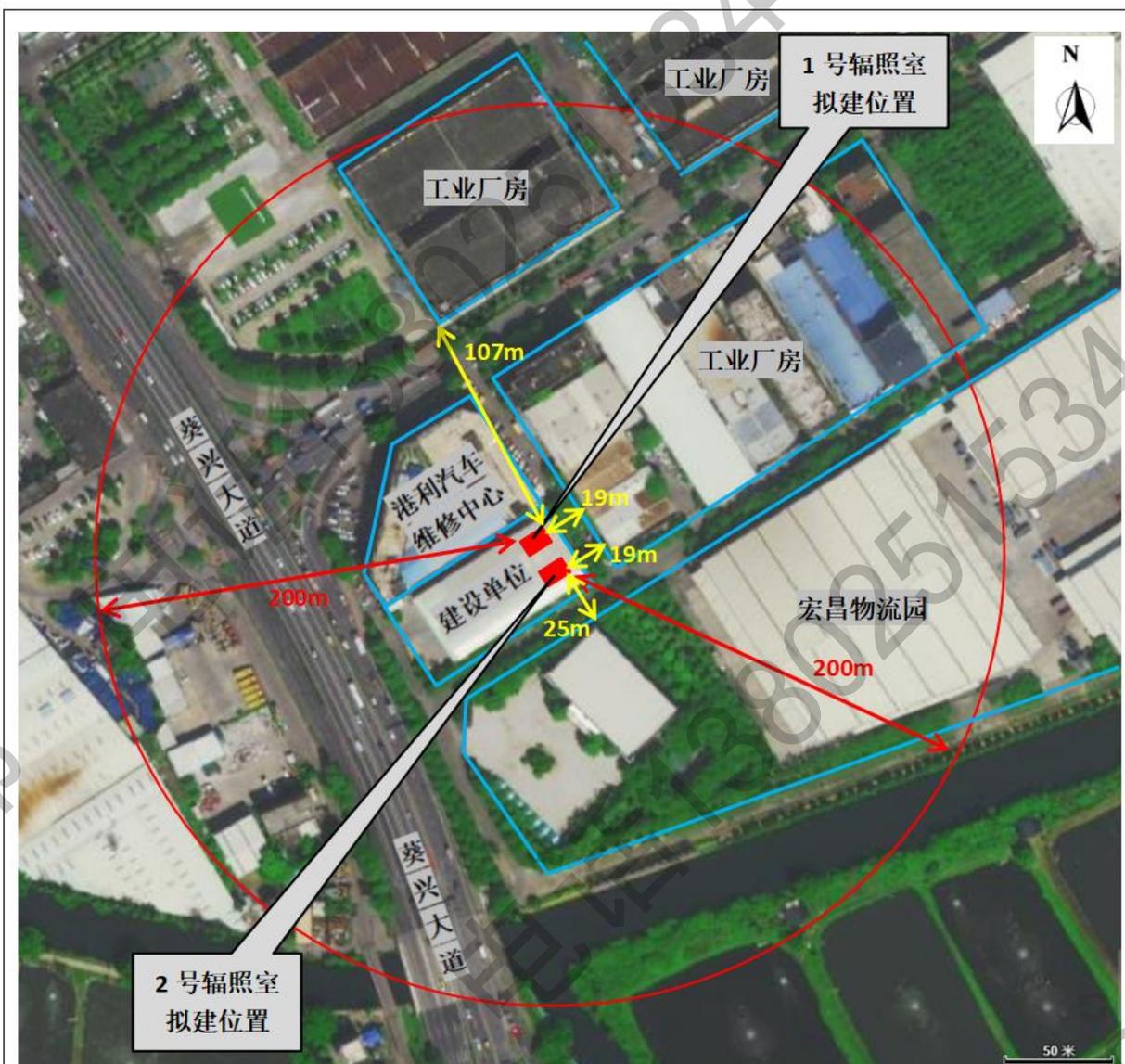


图 1-2 评价项目周边环境卫星图

本项目拟建于建设单位生产车间东北侧，2 间辐照室（1 号和 2 号辐照室）东北侧约 3m 处，东南侧和西北侧约 6m 处，以及西南侧约 69m 处为建设单位厂界。建设单位厂区平面布局图见图 1-3。

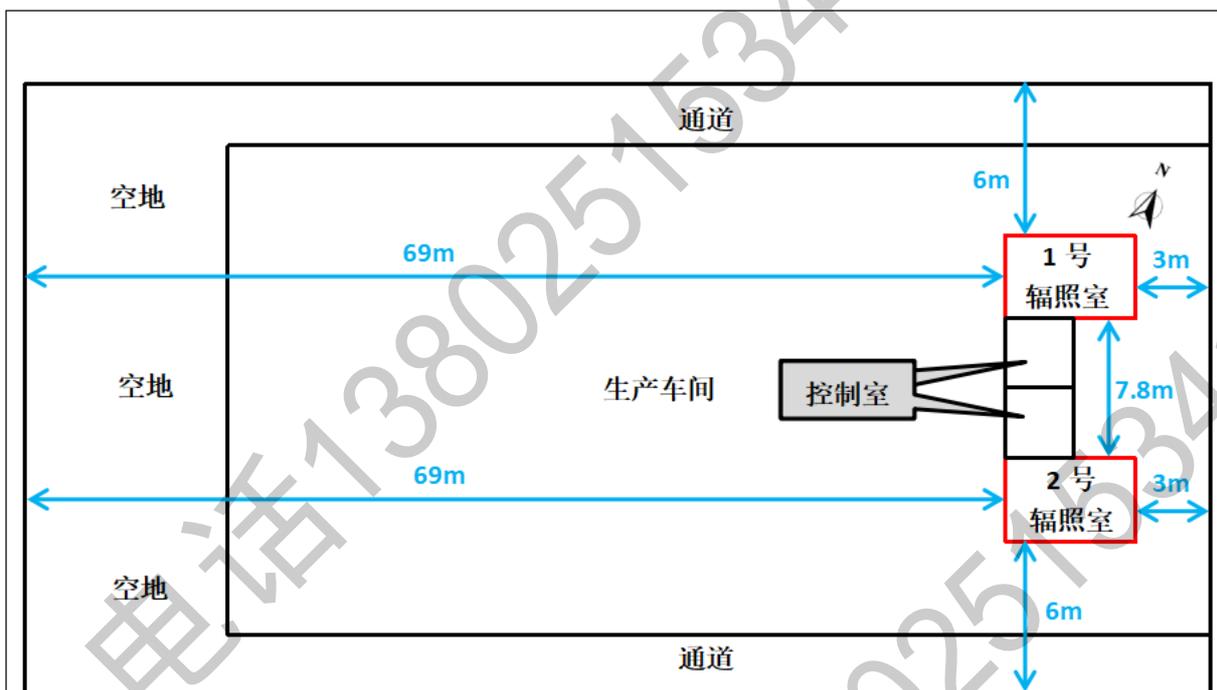


图 1-3 建设单位厂区平面布局图

建设单位的生产车间为 1 层独立建筑，没有地下层，2 间辐照室拟建于生产车间的东北侧。建设单位在生产车间内，规划了 2 间辐照室、收发线区、通道、堆放区、出货区和办公室。2 间辐照室（1 号和 2 号辐照室）东北侧约 3m 处、东南侧约 4m 处和西北侧约 3.8m 处为生产车间边界，西南侧约 5m 处为收发线区，西南侧约 20m 处为通道，西南侧约 26m 处为堆放区，西南侧约 44m 处为办公室和出货区，西南侧约 56m 处为生产车间边界。建设单位生产车间的平面布局图见图 1-4。

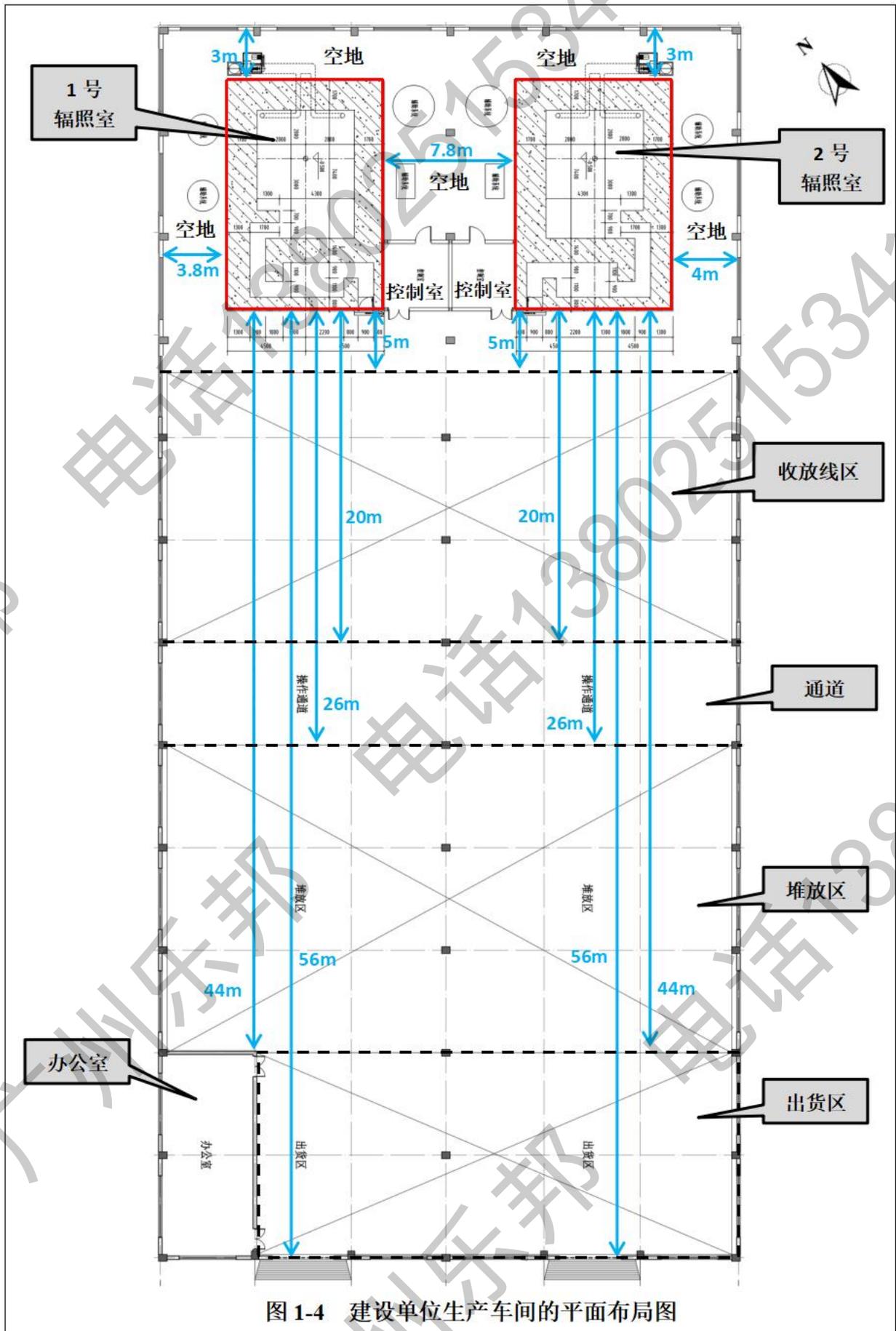


图 1-4 建设单位生产车间的平面布局图

1.5. 项目选址和布局合理性分析

本项目位于中山市小榄镇东城社区葵兴大道206号第三卡的建设单位生产车间东北侧。本项目拟建位置50m范围内（见图1-5）主要为工厂、物流园、道路等场所，200m范围内主要为工厂、物流园、道路等场所，无中小学、幼儿园等环境敏感点。因此，本项目的选址合理可行。

本项目的评价范围为辐照室边界外50m的范围，结合本项目的评价范围，确定本评价项目的保护目标是评价范围内活动的辐射工作人员和公众（非辐射工作人员），见表7-1。

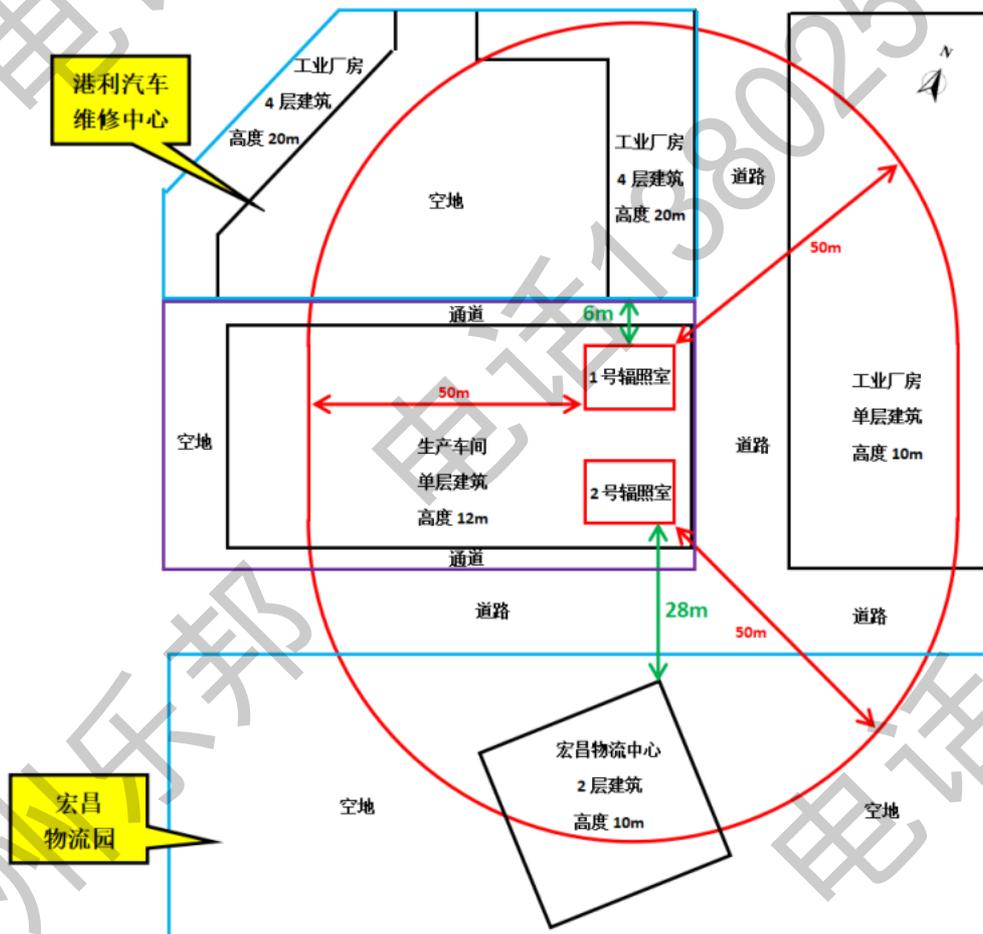


图 1-5 本项目评价范围示意图（紫色为建设单位厂界）

本项目为核技术利用项目，污染因子种类较少，主要污染因子为高能电子及其韧致辐射产生的 X 射线，次要污染因子为臭氧、氮氧化物。2 间辐照室均为生产车间内的独立建筑，且均位于生产车间的东北侧。1 号辐照室西北侧和东北侧为空地，东南侧为控

制室和空地，西南侧为收放线区，上方为设备层，下方为地下土层；2号辐照室西北侧为控制室和空地，东北侧和东南侧为空地，西南侧为收放线区，上方为设备层，下方为地下土层。1号和2号辐照室相邻环境状况见图1-4和表1-2。1号和2号辐照室的四周和顶棚均采用混凝土进行屏蔽防护，（防护门为安全门）墙体防护厚度充分考虑了周围人员的安全，能够有效降低电离辐射对工作人员和周边公众的辐射影响（见表11中相关内容）。因此，本项目的布局合理可行。

表 1-2 1 号和 2 号辐照室相邻环境状况

位置	西北侧	东北侧	东南侧	西南侧	上方	下方
1号辐照室	空地	空地	控制室、空地	收放线区	设备层	地下土层
2号辐照室	控制室、空地	空地	空地	收放线区	设备层	地下土层

1.6. 产业政策符合性、实践正当性和代价利益分析

对照国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第7号），本项目属于鼓励类中第六项“核能”的第4条“同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”。因此，本项目属于国家鼓励发展的新技术应用项目，符合国家有关法律法规和当前产业政策。

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”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，该实践才是正当性的。本项目的开展，可以提升建设单位的产品质量和产品附加值，提高建设单位的市场竞争力，同时，本项目的开展导致的辐射工作人员和公众的年有效剂量均低于根据最优化原则设置的项目剂量约束值。因此，本项目的开展符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”要求，并且，本项目实施所获得的利益远大于可能因辐射实践所造成的损害。

1.7. 建设单位原有核技术利用项目开展情况

本项目属于新建项目，是建设单位首次开展核技术利用项目。

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)	年最大操作量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式 与地点
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

注：日等效最大操作和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

表4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	电子加速器	II	2	DDLH2.5/40-1400	电子	电子线：2.5MeV	最大束流：40mA	辐照交联	1号辐照室 2号辐照室	新建机房 新增设备

(二) X射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

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

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	/	/	/	无暂存	经排风专用管道排入大气环境。

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/m³；年排放总量用kg。

2.含有放射性的废弃物要注明,其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L或Bq/kg,或Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1)《中华人民共和国环境保护法》(2015年1月1日施行)</p> <p>(2)《中华人民共和国环境影响评价法》(2002年10月28日施行,2016年7月2日第一次修订,2018年12月29日第二次修订)</p> <p>(3)《中华人民共和国放射性污染防治法》(2003年10月1日施行)</p> <p>(4)《建设项目环境保护管理条例》(国务院第253号令;2017年7月16日国务院第682号令修订,2017年10月1日施行)</p> <p>(5)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院第449号令,2005年12月1日施行;2019年3月2日国务院第709号令修改)</p> <p>(6)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(国家环境保护总局令第31号公布;2021年1月4日生态环境部第20号令修正)</p> <p>(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18号,2011年5月1日施行)</p> <p>(8)《关于发布射线装置分类的公告》(环境保护部 国家卫生和计划生育委员会 公告 2017年 第66号,2017年12月5日施行)</p> <p>(9)《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021年版)》(生态环境部 部令第16号,2021年1月1日施行)</p> <p>(10)《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日施行)</p> <p>(11)《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》(环境保护部 国环规环评[2017]4号,2017年11月20日施行)</p> <p>(12)《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,2020年1月1日起施行)</p> <p>(13)《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,2006年9月26日发布)</p>
-------------	--

<p>技术标准</p>	<p>(1) HJ2.1-2016《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(2017-01-01 实施)</p> <p>(2) HJ10.1-2016《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》(2016年4月1日施行)</p> <p>(3) GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(2003年4月1日实施)</p> <p>(4) GB5172-85《粒子加速器辐射防护规定》(1986年1月1日实施)</p> <p>(5) HJ979-2018《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(2019年3月1日实施)</p> <p>(6) GBZ141-2002《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》(2002年6月1日实施)</p> <p>(7) HJ1157-2021《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(2021年5月1日实施)</p> <p>(8) HJ61-2021《辐射环境监测技术规范》(2021年5月1日实施)</p> <p>(9) GBZ 128-2019《职业性外照射个人监测规范》(2020年4月1日实施);</p> <p>(10) GBZ2.1-2019《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分:化学有害因素》(2020年4月1日实施)</p> <p>(11) HJ1326-2023《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(2024年2月1日实施)</p>
<p>其他</p>	<p>(1)《产业结构调整指导目录(2024年本)》(中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第7号)</p> <p>(2)《中国环境天然放射性水平》(中国原子能出版社)</p> <p>(3) NCRP REPORT No.51</p> <p>(4)《兆伏级 X、γ射线放疗设施屏蔽设计和评价》(周启甫、戈立新 主</p>

编，中国原子能出版社)

(5) 建设单位提供的本项目设计图纸及相关资料

表 7 保护目标与评价标准

7.1.评价范围

本项目是在固定的有实体边界的范围内开展核技术利用项目，参照《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)对核技术利用建设项目环境影响报告书的评价范围和保护目标的相关规定，确定本项目的评价范围为辐照室和射线装置屏蔽体边界外 50m 的范围（见图 1-5），评价范围内主要为工厂、物流园、道路等场所。

7.2.保护目标

结合本项目的评价范围，确定本项目的环境保护目标是评价范围内活动的辐射工作人员和公众（非辐射工作人员）。本评价项目周围环境保护目标一览表见表 7-1。

表 7-1 周围环境保护目标一览表

厂区内/外	位置	方向	人员类别	距离	居留情况	人数	保护要求	
厂区内	控制室	西北侧 东南侧	辐射工作人员	紧邻	全居留	约 4 人	辐射工作人员剂量 约束值 5mSv/年	
	生产车间	空地		西北侧 东北侧 东南侧	紧邻	偶然居留		流动人员
		收放线区		西南侧	≥5m	全居留		约 4 人
		通道 堆放区		西南侧	≥20m	偶然居留		流动人员
		出货区		西南侧	≥44m	部分居留		约 2 人
		办公室		西南侧	≥44m	全居留		约 5 人
	通道	西北侧 东南侧	公众	≥3.8m	偶然居留	流动人员	公众剂量约束值 0.1mSv/年	
	厂区外	工业厂房		东北侧	≥19m	全居留		约 5 人
		港利汽车维修中心		西北侧	≥6m	全居留		约 10 人
		宏昌物流园		东南侧	≥25m	全居留		约 5 人
道路		东北侧 东南侧	≥3m	偶然居留	流动人员			

7.3.评价标准一览

(1) 人员剂量限值 and 约束值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 第 4.3.2.1 款: 应对个人受到的正常照射加以限制, 以保证该标准 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 B) 中规定的相应剂量限值。并且不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。根据其附录 B 第 B1.1.1 款: 工作人员的职业照射水平和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超过下述限值: 工作人员——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) 不超过 20mSv; 公众——一年有效剂量不超过 1mSv。

《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 (3) 个人剂量约束: 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。

根据上述内容, 本报告取人员剂量限值为: 辐射工作人员的连续 5 年的年平均有效剂量 (但不可作任何追溯性平均) 不超过 20mSv; 公众的年有效剂量不超过 1mSv。取人员剂量约束值为: 辐射工作人员的职业年有效剂量约束值为 5mSv; 公众的年有效剂量约束值为 0.1mSv。

(2) 屏蔽体外剂量率

《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979—2018) 4.2.2 辐射屏蔽设计依据: 电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5 μ Sv/h。

根据上述内容, 本报告取辐照室外人员可达区域屏蔽体外 30cm 处及以外区域的周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h。

(3) 辐照室内臭氧浓度

《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) 表 1 工作场所空气中化学有害因素职业接触限值:

序号	中文名	英文名	化学文摘号 CAS 号	OELs	临界不良健康效应	备注
				MAC		
35	臭氧	Ozone	10028-15-6	0.3 mg/m ³	刺激	-

根据上述内容，本报告取当人员进入辐照室时，辐照室内空气中化学有害因素的职业接触限值：臭氧为 0.3mg/m³。

表 8 环境质量和辐射现状

本项目拟建于中山市小榄镇东城社区葵兴大道 206 号第三卡的建设单位生产车间东北侧。为了调查评价项目及周边场所的环境质量现状，我司技术人员于 2024 年 5 月 24 日到评价项目现场进行资料收集、环境现状调查。根据现场调查结果，2 间辐照室拟建位置现状为生产车间内空地。本项目所在场所环境现状见图 8-1。



1 号辐照室拟建位置现状



2 号辐照室拟建位置现状



建设单位生产车间现状



建设单位厂区外东南侧道路现状



建设单位厂区外东北侧道路现状



建设单位厂区外西北侧港利汽车维修中心现状

图 8-1 环境现状相片

2024年5月24日,为调查本项目的拟建区域及周围场所的环境辐射水平现状,广州乐邦环境科技有限公司对拟建区域及周围环境进行了环境 γ 辐射剂量率水平现状检测,检测报告见附件2。

监测因子: 本项目是使用电子加速器进行辐照交联,本项目的主要污染因子为电子加速器运行时产生的韧致辐射(X射线)。因此,本项目选取的监测因子为环境 γ 辐射剂量率。

监测对象: 本项目的拟建区域及周围场所

监测方法: 《环境 γ 辐射剂量率检测技术规范》(HJ1157-2021)

监测仪器: 环境 γ 辐射剂量率的监测仪器见表8-1。

表8-1 检测仪器相关信息

仪器名称	X- γ 辐射剂量率仪	仪器型号	6150AD 6/H+6150AD-b/H
生产厂家	AUTOMESS	仪器编号	171412(主机)+176695(探头)
测量范围	1nSv/h-99.9 μ Sv/h	能量范围	38keV~7MeV
校准单位	广东省辐射剂量计量检定站		
证书编号	GRD(1)20230390		
校准日期	2023年08月01日	有效期	1年

监测点位: 根据《环境 γ 辐射剂量率检测技术规范》(HJ1157-2021),结合本项目拟建位置及其周围场所的环境现状,同时结合现场监测点位的可达性,选取本项目拟建位置及周围环境50m范围的具有代表性的监测点位,充分考虑监测点位的代表性和可重复性,以保证监测结果的科学性和可比性。根据上述布点原则与方法,本项目的检测布点见图8-2和图8-3。

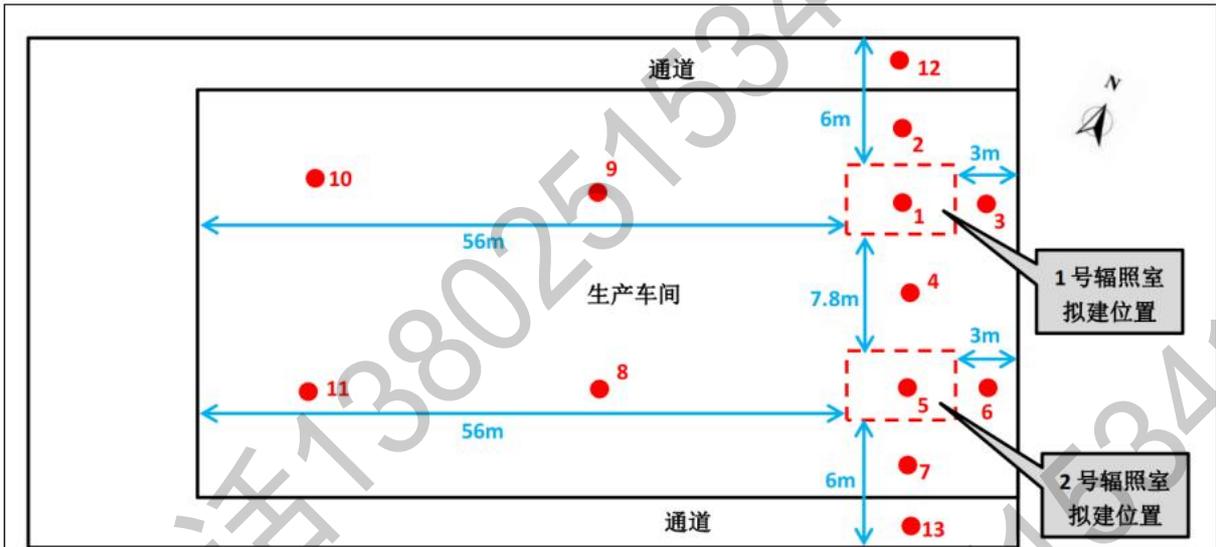


图 8-2 建设单位厂区内检测布点图

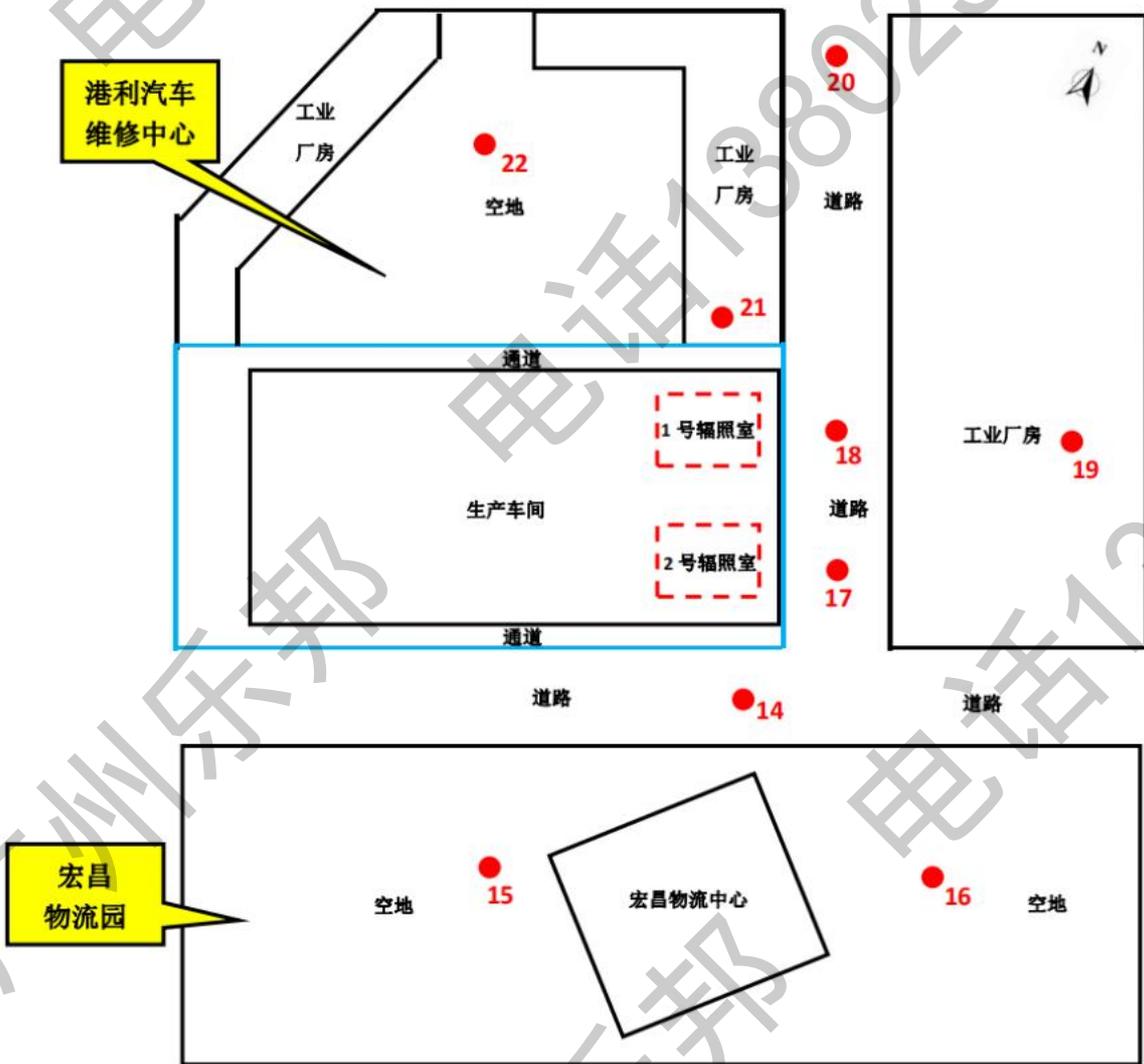


图 8-3 建设单位厂区外检测布点图

质量保证措施:

①人员培训: 监测人员经考核合格并持有合格证书上岗。

②仪器刻度: 监测仪器每年经有资质的计量部门进行检定, 每次监测必须在有效期内。

③仪器自检: 每次测量前、后均检查仪器的工作状态。

④质量控制: 本次监测实行全过程的质量控制, 严格按照《质量手册》、《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定进行监测。

⑤数据记录: 开机预热, 手持仪器。一般保持仪器探头中心距离地面(基础面)为 1m。仪器读数稳定后, 每个监测点位以约 10 s 的时间间隔读取 10 个数据, 记录在测量原始记录表中。

⑥数据处理: 空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021), 使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时, 换算系数取 1.20Sv/Gy。环境 γ 辐射剂量率的测量结果按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021) 的公式进行处理:

$$D_{\gamma} = k_1 \times k_2 \times R_{\gamma} - k_3 \times D_c$$

式中: D_{γ} ——测点处环境 γ 辐射空气吸收剂量率值, Gy/h;

k_1 ——仪器检定/校准因子, 本次检测使用仪器的校准因子为 0.90;

k_2 ——仪器检验源效率因子(如仪器无检验源, 该值取 1), 本次检测数据处理中 k_2 取值为 1;

R_{γ} ——仪器测量读数值均值, Gy/h, 本次检测使用的仪器使用 ^{137}Cs 作为校准参考辐射源, 数据处理时换算系数取 1.20Sv/Gy;

k_3 ——建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子, 楼房取 0.8, 平房取 0.9, 原野、道路取 1;

D_c ——测点处宇宙射线响应值, 本次检测仪器的宇宙射线响应值为 27 nGy/h, 该值已经过仪器校准因子 k_1 和仪器检验源效率因子 k_2 修正。

⑦报告审核: 监测报告实行三级审核制度, 经校对审核后由授权签字人审定签发。

环境现状监测结果: 本次监测所用仪器已由计量部门年检, 且在有效期内; 测量方法和数据处理已按国家标准方法实施; 布点合理, 结果可信, 能够客观反映出拟建位置及其周边场所的辐射水平现状, 可以作为本次评价的科学依据。具体监测结果如下:

表 8-2 环境 γ 辐射剂量率检测结果 (nGy/h)

测点 编号	测量位置	检测结果		备注
		平均值	标准差	
1	1 号辐照室拟建位置	118	2	铁皮棚房
2	1 号辐照室拟建位置西北侧约 2m 处空地	114	2	铁皮棚房
3	1 号辐照室拟建位置东北侧约 1m 处空地	113	2	铁皮棚房
4	1 号辐照室拟建位置东南侧约 4m 处空地	116	2	铁皮棚房
5	2 号辐照室拟建位置	105	1	铁皮棚房
6	2 号辐照室拟建位置东北侧约 1m 处空地	111	2	铁皮棚房
7	2 号辐照室拟建位置东南侧约 2m 处空地	114	2	铁皮棚房
8	2 号辐照室拟建位置西南侧约 25m 处空地	121	1	铁皮棚房
9	1 号辐照室拟建位置西南侧约 25m 处空地	103	1	铁皮棚房
10	1 号辐照室拟建位置西南侧约 50m 处空地	106	2	铁皮棚房
11	2 号辐照室拟建位置西南侧约 50m 处空地	118	2	铁皮棚房
12	1 号辐照室拟建位置西北侧约 5m 处通道	150	2	道路
13	2 号辐照室拟建位置东南侧约 5m 处通道	136	1	道路
14	2 号辐照室拟建位置东南侧约 15m 处道路	145	2	道路
15	2 号辐照室拟建位置南侧约 50m 处空地	134	2	空地
16	2 号辐照室拟建位置东侧约 50m 处空地	141	2	空地
17	2 号辐照室拟建位置东北侧约 11m 处道路	145	2	道路
18	1 号辐照室拟建位置东北侧约 11m 处道路	151	2	道路
19	1 号辐照室拟建位置东北侧约 40m 处工业厂房	137	2	铁皮棚房
20	1 号辐照室拟建位置北侧约 50m 处道路	143	1	道路
21	1 号辐照室拟建位置西北侧约 9m 处工业厂房首层	141	2	楼房
22	1 号辐照室拟建位置西侧约 50m 处空地	126	2	空地

注：注：①测量时，仪器探头均垂直于地面，距地面高度约 100cm，所有测点均记录 10 个读数；②测量值均已扣除仪器对宇宙射线的响应值（响应值为 27 nGy/h）；③检测仪器校准时使用的校准参考辐射源是 ^{137}Cs ，因此本报告单位换算取换算系数为 1.2Sv/Gy；④根据 HJ1157-2021 中 5.5 规定，建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，楼房取 0.8，平房取 0.9，原野、道路取 1。⑤铁皮棚房的屋顶均为铁皮，对宇宙射线的屏蔽很小，因此铁皮棚房对宇宙射线的屏蔽修正因子参考原野、道路取 1。⑥空地对宇宙射线的屏蔽修正因子参考原野、道路取 1。

现场检测共布设了 22 个检测点位：1~20 号和 22 号测点为道路测量点，测量结果为 103~151 nGy/h；21 号测点为室内测量点，测量结果为 141 nGy/h。

结果评价：本项目对照《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社）的调查研究结果进行评价，然而《中国环境天然放射性水平》中没有中山市的调查结果，由于本项目所在的中山市，原隶属于广东省佛山市，于 1988 年升为地级市。因此，本项目对照《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社）中佛山市的调查研究结果：佛山道路 γ 辐射剂量率范围为 86.4 ~ 167.7 nGy/h；佛山室内 γ 辐射剂量率范围

为 134.1 ~ 233.1 nGy/h, 与本项目拟建位置及其周边场所的环境 γ 辐射剂量率的调查水平相当。

表9 项目工程分析与源项

9.1. 设备简介

建设单位拟使用的2台电子加速器均为中广核达胜加速器技术有限公司生产，型号均为DDLH2.5/40-1400，加速器的设备主体均自带屏蔽，加速器均是卧式半自屏蔽结构，均无需建设主机室，只需建设辐照室。DDLH2.5/40-1400型电子加速器的电子最大能量为2.5MeV，最大束流为40mA。本项目拟使用的电子加速器，是使电子在高真空场中受磁场力控制，电场力加速而获得高能量的特种电磁、高真空装置，是产生高能电子束的设备。本项目是使用电子线进行辐照交联，不使用X射线。本项目拟用加速器的具体参数见表9-1。

表9-1 拟用电子加速器的参数

安装位置	1号辐照室、2号辐照室
名称	电子加速器
类别	II类
数量	2台
型号	DDLH2.5/40-1400
生产厂家	中广核达胜加速器技术有限公司
结构	卧式半自屏蔽结构
辐照室和主机室情况	需要建设辐照室，无需建设主机室
加速粒子	电子
最大能量	电子线：2.5MeV
最大束流	40 mA
束流方向	垂直向下
照射野尺寸	长度：1400mm；宽度：扇形窄束
出束口距靶点距离	10cm
工作方式	连续

备注：电子加速器的参数由建设单位提供

本项目拟用电子加速器的设备主要由以下几个部分组成：直流高压发生器、束流加速系统、扫描引出系统、控制系统和真空系统。

9.1.1.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能由工频转化为高频，其性能决定着加速器的最大束功和束功转换效率，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。

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大幅提高。

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。通过上述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.采用风冷可控硅，使得机柜结构更安全、可靠、紧凑。

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。振荡管阳极和高压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，大大降低了运行损坏，提高了加速器的束功转换效率。

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} 。半电晕环和高频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。

9.1.2. 束流加速系统

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。

② 电子枪

在加速管的顶端安装有电子枪。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。

9.1.3. 扫描引出系统

电子束离开加速管后经漂移管进入扫描引出系统。电子束在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。钛窗上的钛金属膜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。本项目拟用电子加速器的钛膜厚度约 0.04mm。即使如此，钛箔上的能耗仍旧相当可观，因此，加速器设备沿钛窗安装有一把风刀，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。

9.1.4. 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

1. 冷却系统工作正常；
2. 辐照室通风系统工作正常；
3. 辐照室防护门关闭；
4. 高频机柜门关闭；
5. 钢筒温度、高频机柜温度和振荡管冷却水温度达标；
6. 一般要求真空度好于 7.5×10^{-5} Pa 等等。

② 与多个运行参数发生连锁关系

加速器在运行过程中与多个运行参数发生连锁关系，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 实时显示

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。

9.1.5. 真空系统

真空系统由涡轮分子泵机组和溅射离子泵机组组成。运行时先启动涡轮分子泵机组，在真空度达到溅射离子泵机组的运行条件后，再启动溅射离子泵机组。待溅射离

子泵机组正常工作后，即可关闭涡轮分子泵机组。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。

9.1.6. 工作原理

本项目是使用电子加速器进行辐照交联。辐照交联是指在电离辐射作用下，高分子链与链之间通过自由基或离子产生桥键，形成三维网状结构。这种网状结构的高聚物具有不溶解于溶剂、也不易熔融等性能，耐热性、耐电性、耐腐蚀性、耐冲击性等性能都大为提高。

本项目加速器在运行时，电子枪阴极加热后发出的自由电子，经加速管上端的引出极引出成束后，进入加速器的加速管中进行加速。加速后的高能电子，经聚焦线圈和导向线圈进行束流的聚焦和方向的调整后，进入扫描磁铁组件，在 X 和 Y 相互垂直两个方向的扫描后，形成扇形束，最后经钛窗引出。本项目加速器的出束方向为垂直向下，电子束为扇形窄束。

9.2. 设备参数及示意图

本项目拟用的电子加速器的主体均采用卧式结构（主体装置示意图见图 9-1）。本项目的 2 间辐照室均为 1 层独立建筑，加速器主体、高频机等辅助设备均位于辐照室上方的设备层（整体结构示意图见图 9-2），加速器设备主体采用铅+铁+不锈钢进行屏蔽（屏蔽参数见表 10 中内容）。

常规辐照加速器除了需要建设辐照室外，还需建设主机室。本项目拟使用的电子加速器的设备主体自带屏蔽。与常规辐照加速器（设备主体没有屏蔽的加速器）相比，本项目加速器设备主体由于自带屏蔽可以满足辐射屏蔽要求，加速器设备无需额外屏蔽，因此无需建设主机室。

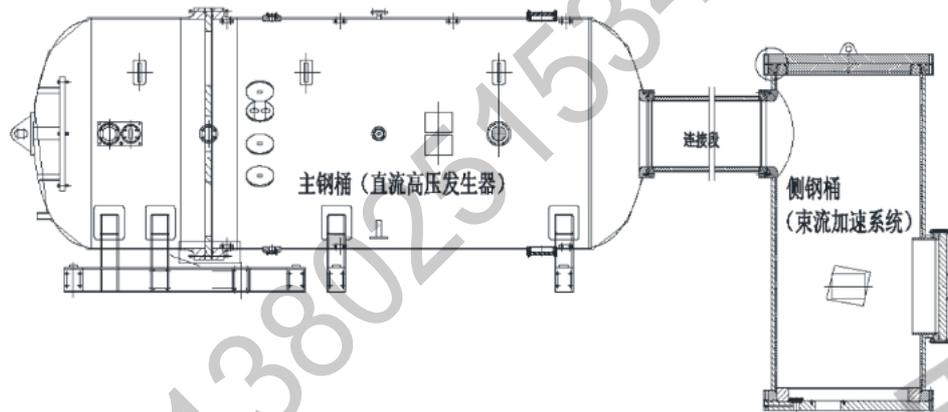


图 9-1 本项目电子加速器的主体装置示意图

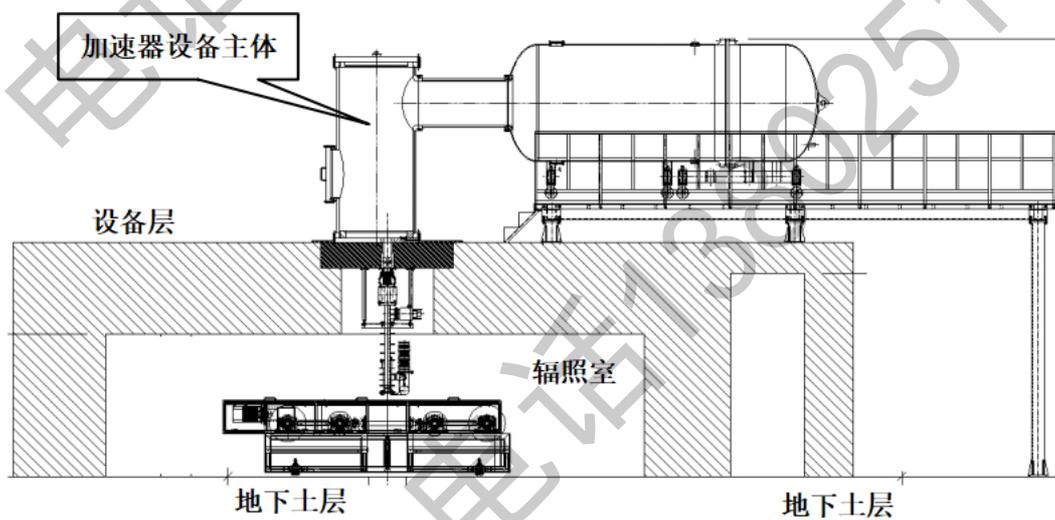


图 9-2 本项目电子加速器整体结构示意图

9.3. 操作流程及辐照运行示意图

本项目在电子加速器开机出束进行辐照交联时，辐射工作人员位于辐照室外采用隔室操作。出束进行辐照交联时，辐照室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。

本项目使用电子加速器进行辐照交联的操作流程是：

- (1) 检测相关记录，确认机器无异常故障记录。
- (2) 开机加载高压前，辐射工作人员佩戴个人剂量计，携带辐射剂量报警仪和 X-γ 辐射剂量率仪，巡视辐照室，并依次按下位于辐照室的巡检按钮，确认无异常情况，关闭好防护门。

(3) 开启辅助系统：冷却系统、通风系统等。

(4) 确认相关辅助系统运行正常并再次确认无异常情况后，开启传送系统，并开机出束，进行辐照交联。

(5) 本项目正常情况下，电子加速器会长时间处于开启状态，进行辐照交联。在进行辐照交联过程中，工作人员只需在控制室密切关注相关仪表的参数，无需进入辐照室进行任何操作。

在开机出束进行辐照交联的过程中，电子韧致辐射会产生 X 射线，并且会产生臭氧、氮氧化物等有害气体。

(6) 辐照工作结束，关闭加速器。

(7) 由于操作软件自带通风延迟关闭系统（加速器断高压后，操作软件默认通风系统继续运行 5 分钟），辐射工作人员发出加速器断高压指令后，通风系统继续运行 5 分钟后，方可关闭通风系统。

本项目使用电子加速器的电子束进行辐照交联的工作流程示意图见图 9-3，使用电子加速器的电子束进行辐照交联的主要产污环节示意图见图 9-4。

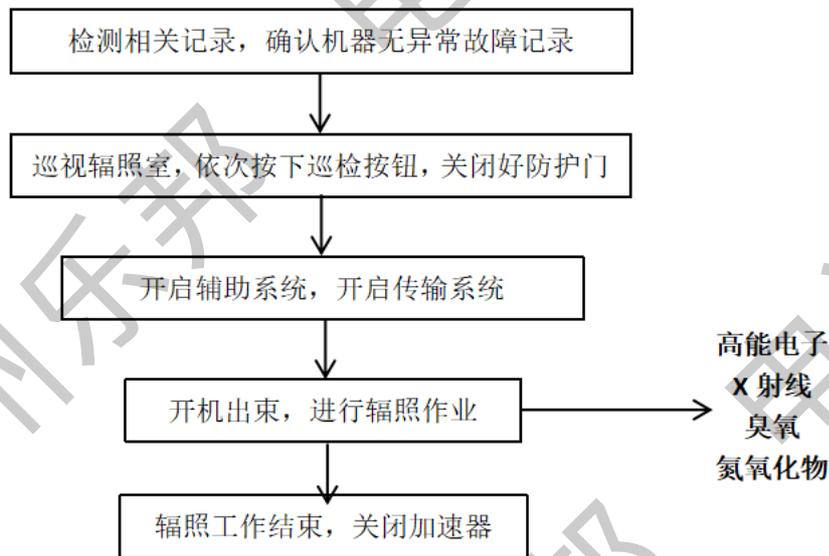


图 9-3 使用电子加速器的电子束进行辐照交联的工作流程示意图

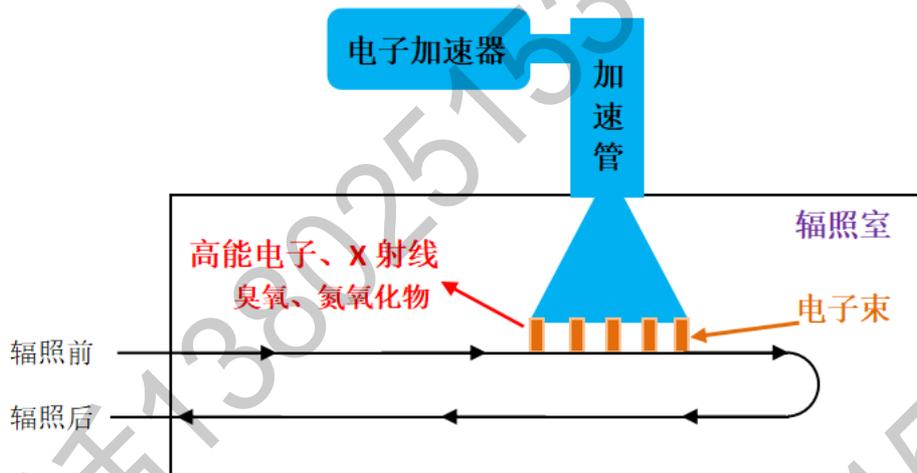


图 9-4 使用电子加速器的电子束进行辐照交联的主要产污环节示意图

9.4. 工作负荷及人员仪器配备

本项目是使用 2 台电子加速器进行辐照交联。建设单位预计，加速器正式投入使用后，初期工作负荷有限，每台加速器每天开机出束最多 8 小时，全年开机出束最多 200 天；未来当工作负荷增加时，每台加速器每天开机出束最多 16 小时，全年开机出束最多 250 天。

本项目辐射工作人员为加速器的操作人员，初期工作负荷较轻，建设单位拟配备 4 名辐射工作人员，单名辐射工作人员的最大工作负荷为平均每天开机出束 8 小时，全年开机出束 200 天；随着工作负荷的增加，建设单位拟配备 8 名辐射工作人员，采取 2 班制进行工作，单名辐射工作人员的最大工作负荷为平均每天开机出束 8 小时，全年开机出束 250 天。

目前，相关人员尚未配备到位。建设单位承诺，在辐射工作人员落实后，将安排辐射工作人员在生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名学习并参加考核，保证项目建设完成后辐射工作人员能凭考核合格后的成绩单上岗。

建设单位针对本项目，拟配备 1 台 X- γ 辐射剂量率仪，2 台辐射剂量报警仪。

9.5. 污染源项描述

本项目是使用电子加速器进行辐照交联。加速器的电子出射范围小，易屏蔽，但在运动中受到辐照产品等材料的阻挡后，产生很强的韧致辐射（X 射线）。由于电子的

最大射程与所产生的 X 射线的射程相比很小，因此在电子加速器的屏蔽要求上，只需考虑所产生的 X 射线的屏蔽。本项目加速器产生 0° 的韧致辐射照射方向为地面，90° 韧致辐射照射方向为辐照室墙体，由于本项目所在位置无地下层，所以主要考虑 90° 方向的韧致辐射产生的 X 射线。建设单位拟使用的电子加速器的技术参数见表 9-2。

表 9-2 建设单位拟使用的电子加速器的技术参数

名称	数量	型号	加速粒子	最大能量	最大束流	X射线辐射源在 90° 方向上 1m 处的标准参考点的吸收剂量率	用途
电子加速器	2 台	DDLH2.5/40-1400	电子	电子线： 2.5MeV	40mA	3000 Gy/h	辐照 交联

在电子加速器开机期间，高能电子及其韧致辐射产生的 X 射线经辐照室的屏蔽防护后，基本被屏蔽在辐照室中，可能仍有一定的射线透射到辐照室外，对附近的辐射工作人员和周围的公众产生辐射影响。同时，高能电子及其韧致辐射产生的高能 X 射线与空气中的氧分子等作用会产生一定量臭氧、氮氧化物等有害气体。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)屏蔽设计依据，本项目不需要考虑中子和活化问题。根据以上分析，高能电子及其韧致辐射产生的 X 射线成为电子加速器污染环境的主要因子，影响途径为外照射。开机期间，高能电子及其韧致辐射产生的高能 X 射线与空气中的氧分子等作用会产生一定量臭氧、氮氧化物等有害气体，成为污染环境的次要因子。

电子加速器在正常工况和非正常工况下的污染源项分别如下：

(1) 正常工况

由电子加速器的工作原理可知，电子枪产生的电子经过加速后，会产生高能电子束，高能电子束通过韧致辐射将产生高能 X 射线。这些电子束和 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。

辐照作业是在专用辐照室中进行，且辐照室采取了辐射防护设计，在设备安全和防护硬件及措施到位的正常情况下，辐照室外的辐射工作人员及公众受到的射线照射可以满足标准要求。

高能射线与空气作用，会产生臭氧和氮氧化物等有害气体。建设单位拟安装离心

通风机，通过风机将出束过程中产生的臭氧、氮氧化物等有害气体及时有效的排出辐照室。

(2) 非正常工况

① 安全连锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入辐照室，如果此时电子加速器处于运行状态，则可能造成误照事故。

② 辐照室中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认辐照室中环境便运行电子加速器，则会造成辐照室中人员受误照射。

③ 加速器设备出现故障时（如直流高压发生器故障），可能导致加速器的加速管外产生额外的 X 射线，造成误照事故。

④ 束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时，若多重连锁装置失效，则加速器可能无法及时停止出束，造成误照事故。

⑤ 设备维护或维修调试过程中，工作人员错误操作，接通电源并出束，则可能造成误照事故。

表 10 辐射安全与防护

10.1.项目安全设施

10.1.1. 辐照室设计方案

本项目拟建的 2 间辐照室均位于建设单位生产车间东北侧，加速器主体设备拟放置于辐照室正上方，辐照室拟建位置没有地下层。建设单位拟建的 2 间辐照室的主体结构均采用混凝土（密度不低于 2.35 g/cm³），辐照室的主体内径均为 7.4m×5.6m×2.2m，有效容积均为 91.2m³。辐照室进行混凝土浇筑时，需一次性浇筑完成，避免孔洞气泡的产生。辐照室辐射屏蔽设计方案见表 10-1，辐照室平面设计图见图 10-1，辐照室上方设备层平面设计图见图 10-2，辐照室西北-东南方向剖面设计图见图 10-3，辐照室东北-西南方向剖面设计图见图 10-4，辐照材料进出辐照室示意图见图 10-5。

表 10-1 辐照室辐射屏蔽设计方案

拟建位置	1 号辐照室	2 号辐照室
东南墙	1.70m 混凝土	1.70m混凝土
西南墙	迷道内墙：1.40m 混凝土 迷道外墙：0.80m 混凝土	迷道内墙：1.40m混凝土 迷道外墙：0.80m混凝土
西北墙	1.70m 混凝土	1.70m混凝土
东北墙	1.70m 混凝土	1.70m混凝土
顶棚	1.70m 混凝土	1.70m混凝土
防护门	5mm 镜面不锈钢	5mm镜面不锈钢

注：混凝土的密度不低于 2.35g/cm³，防护门的主要作用是防人误入。

2 间辐照室的防护门均采用 5mm 镜面不锈钢，主要作用是防人误入。辐照室的正上方为设备层，建设单位拟在设备层安装铁栅栏，在设备层的入口处进行上锁管理。建设单位规定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层。同时，在设备层入口处设置醒目的电离辐射警示牌，提醒人员勿靠近。在进行设备检修时，检修人员将位于设备层进行作业。

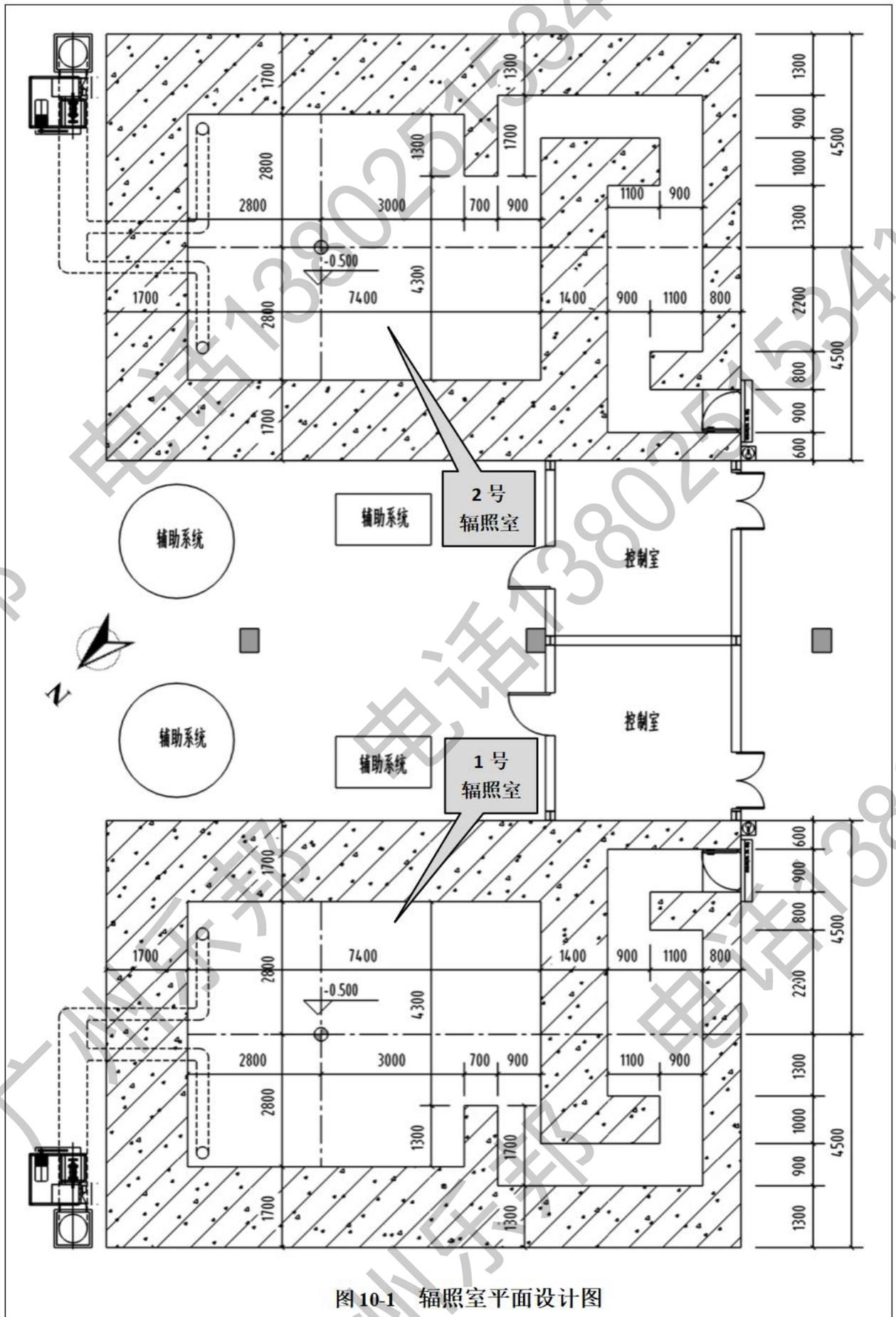
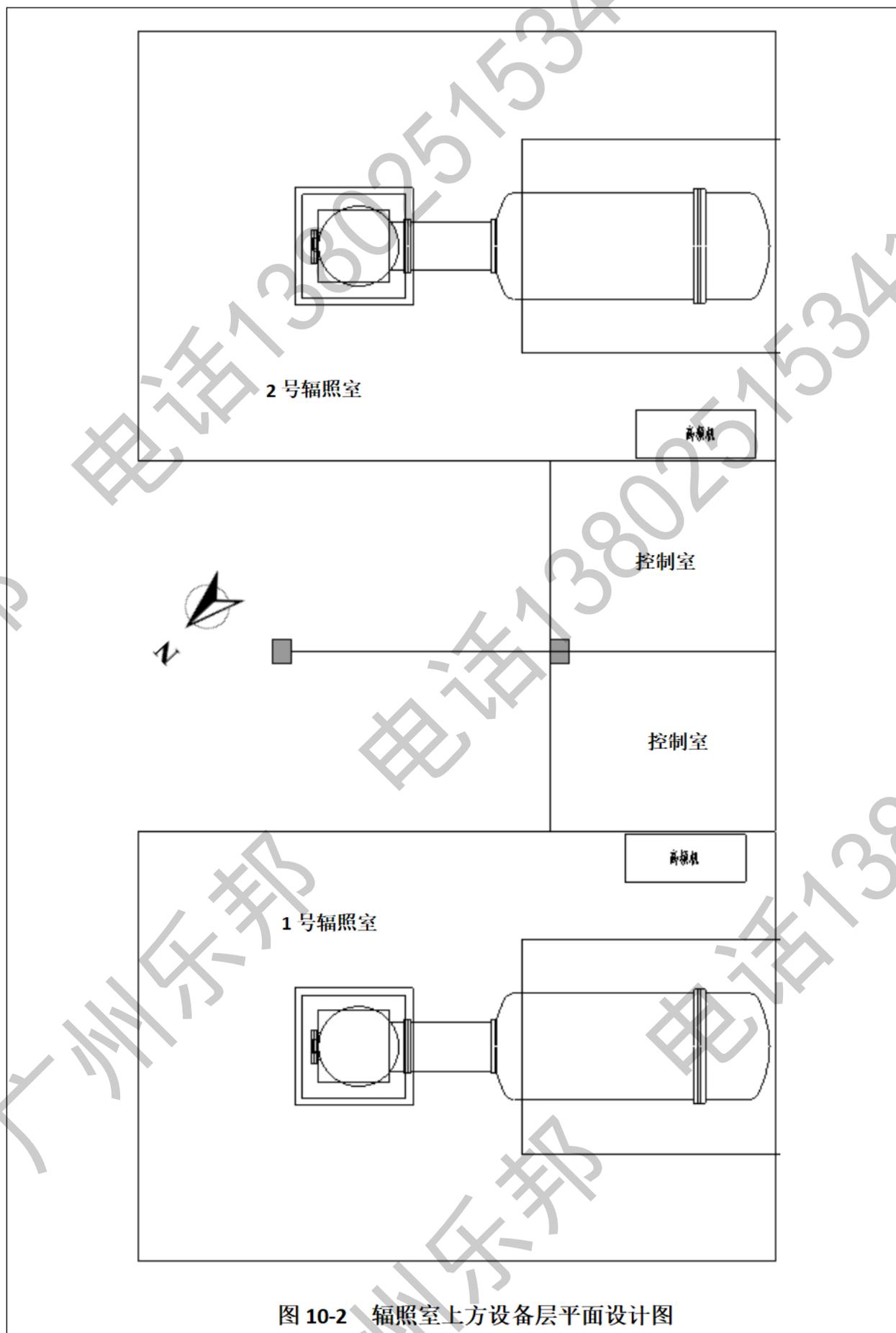


图 10-1 辐照室平面设计图



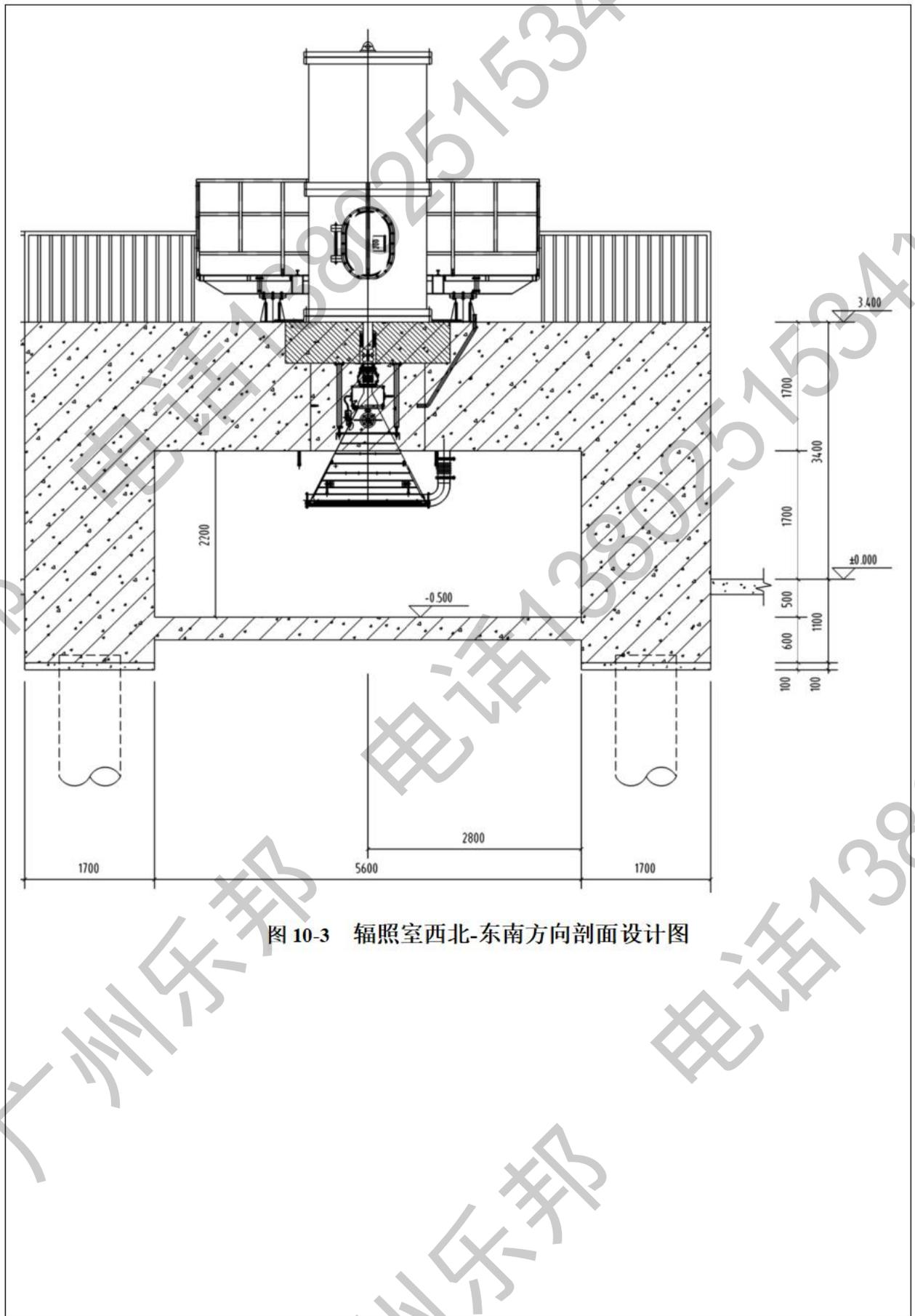


图 10-3 辐照室西北-东南方向剖面设计图

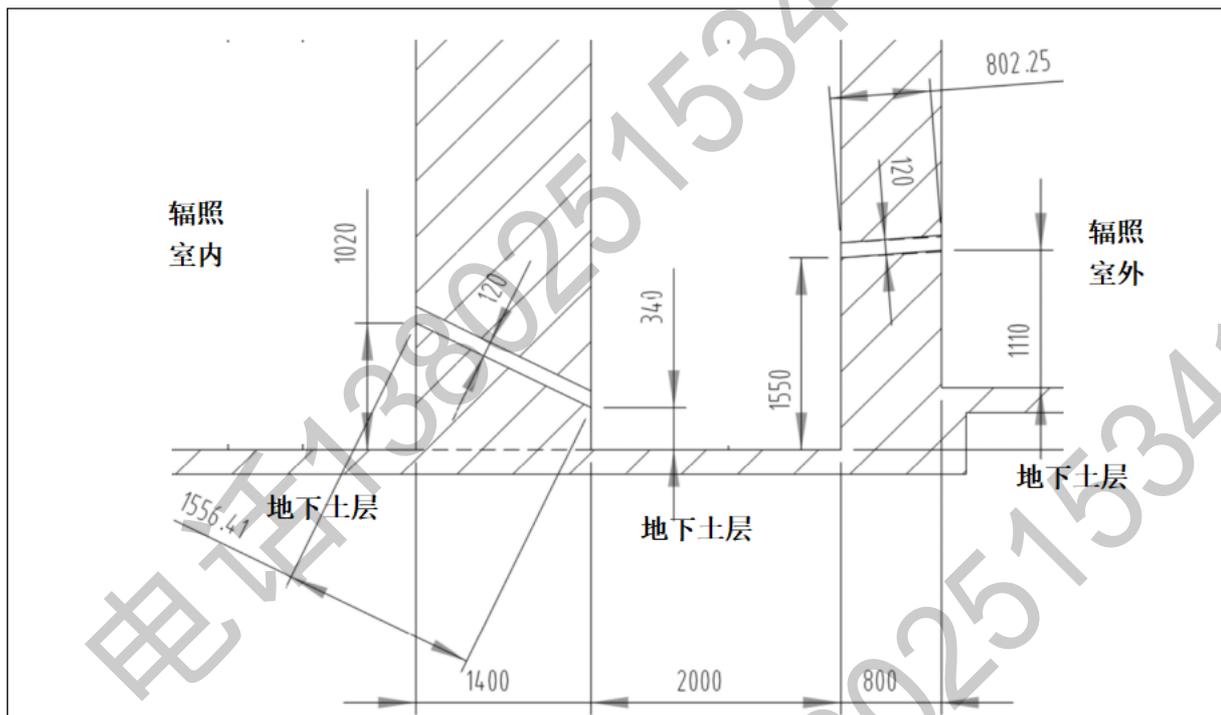


图 10-5 图 10-4 中虚线圆圈部分放大图

10.1.2. 拟用加速器设备主体的辐射屏蔽设施

本项目拟使用的 DDLH2.5/40-1400 型电子加速器是由中广核达胜加速器技术有限公司生产，加速器设备本身设计有屏蔽体，因此无需建设主机室。

DDLH2.5-40/1400 型电子加速器加速管外水平方向的屏蔽体为：12mm 钢板+60mm 铅板+3mm 钢板；加速管水平方向检修口的屏蔽体为：40mm 铅板+70mm 钢板；加速管旁与主设备的连接筒的屏蔽体为：40mm 铅板+12mm 钢板；加速管顶部的屏蔽体为：20mm 钢板+70mm 铅板+80mm 钢板；加速管底部的屏蔽体为 540mm 钢板。在加速器设备生产时，以上屏蔽体将同加速器主体结构共同构成电子加速器。加速器的束流加速系统等设备构件，均位于加速器设备外屏蔽体构成的密闭空间中。DDLH2.5/40-1400 型电子加速器设备本身自带的屏蔽体参数见图 10-6。

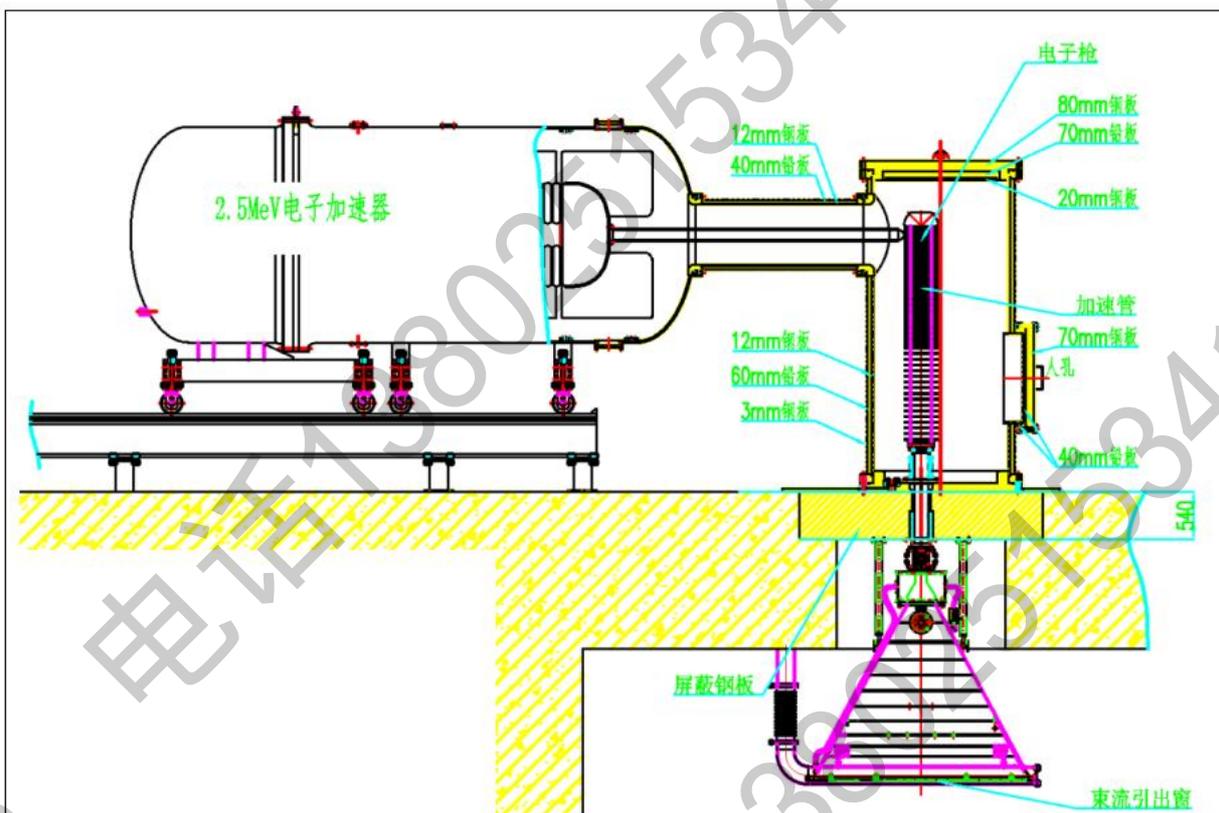


图 10-6 DDLH2.5/40-1400 型电子加速器设备本身自带的屏蔽体参数

10.1.3. 管线穿墙和通风系统

(1) 加速器控制电缆线穿墙设计图

建设单位电子加速器辐照室的全部电缆沿着屏蔽墙内侧走线，经束流中心附近的内墙壁表面，穿过辐照室顶部的楼板到达设备层。电缆线穿过屏蔽墙体采用折叠路径设计，最终穿越屏蔽墙到达辐照室外。建设单位对电缆线穿墙设计有 2 次以上转角，所有的管道倾斜一定角度布置。电缆线穿墙设计图见图 10-7 和图 10-8。

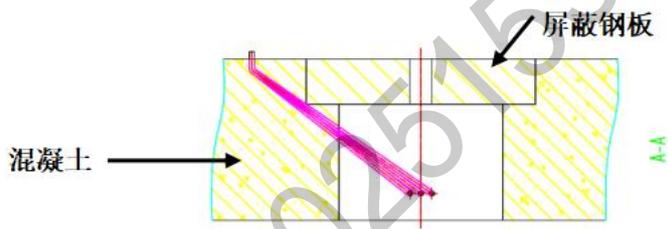


图 10-7 电缆沟穿过屏蔽墙的设计图（剖面图）

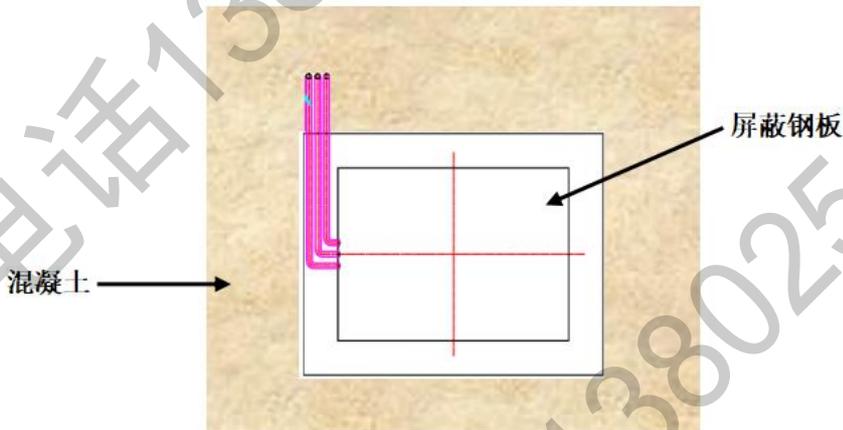


图 10-8 电缆沟穿过屏蔽墙的设计图（俯视图）

(2) 拟辐照交联的材料穿墙设计图

建设单位拟辐照交联的材料，从辐照室西南侧，穿过屏蔽墙体预埋的穿墙孔道，经导轮组多次变更传送方向后，到达辐照室。经电子辐照后，同样经过屏蔽墙体预埋的穿墙孔道，经导轮组多次变更传送方向后，离开辐照室。辐照材料进出辐照室示意图见图 10-5。

(3) 通风管道穿墙设计图

建设单位排风管道在穿过屏蔽墙体时，采用类似“U”型路径设计：管道在辐照室内首先下沉地面，经地下管道到达辐照室外后，再上升至地面，经高度为 21m 的垂直排风管，最终在高空排至大气环境。1 号和 2 号辐照室排风管道设计图见图 10-9。

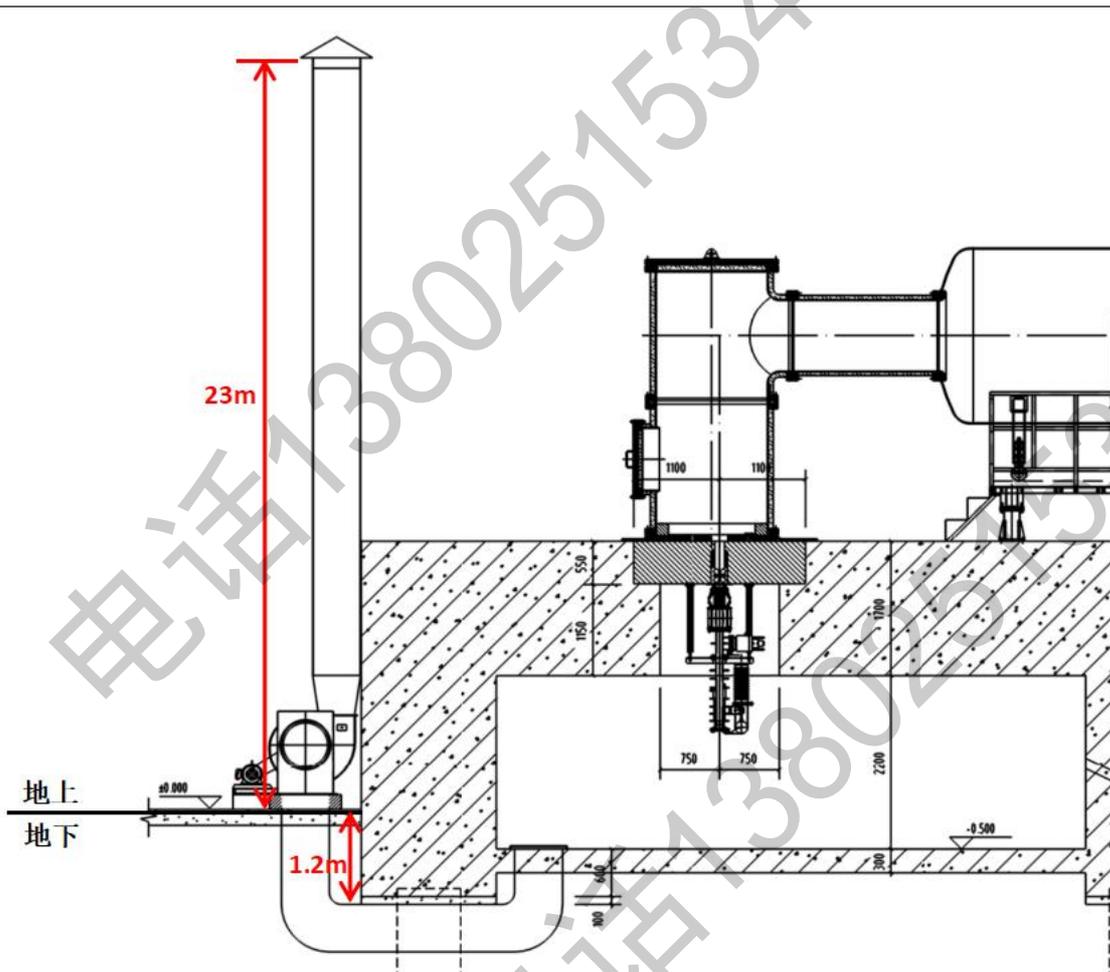


图 10-9 1 号和 2 号辐照室排风管道设计图

本项目排放口周围环境主要为工厂、物流园、道路等场所，没有居民区、学校等环境敏感点，本项目排风系统排放口的位置设置合理（见图 10-10）。本项目周边环境的建筑物最高为 20m，本项目的排放口距地面高度为 23m，高于评价范围内所有建筑物高度，本项目排风系统排放口的位置和高度设置合理。

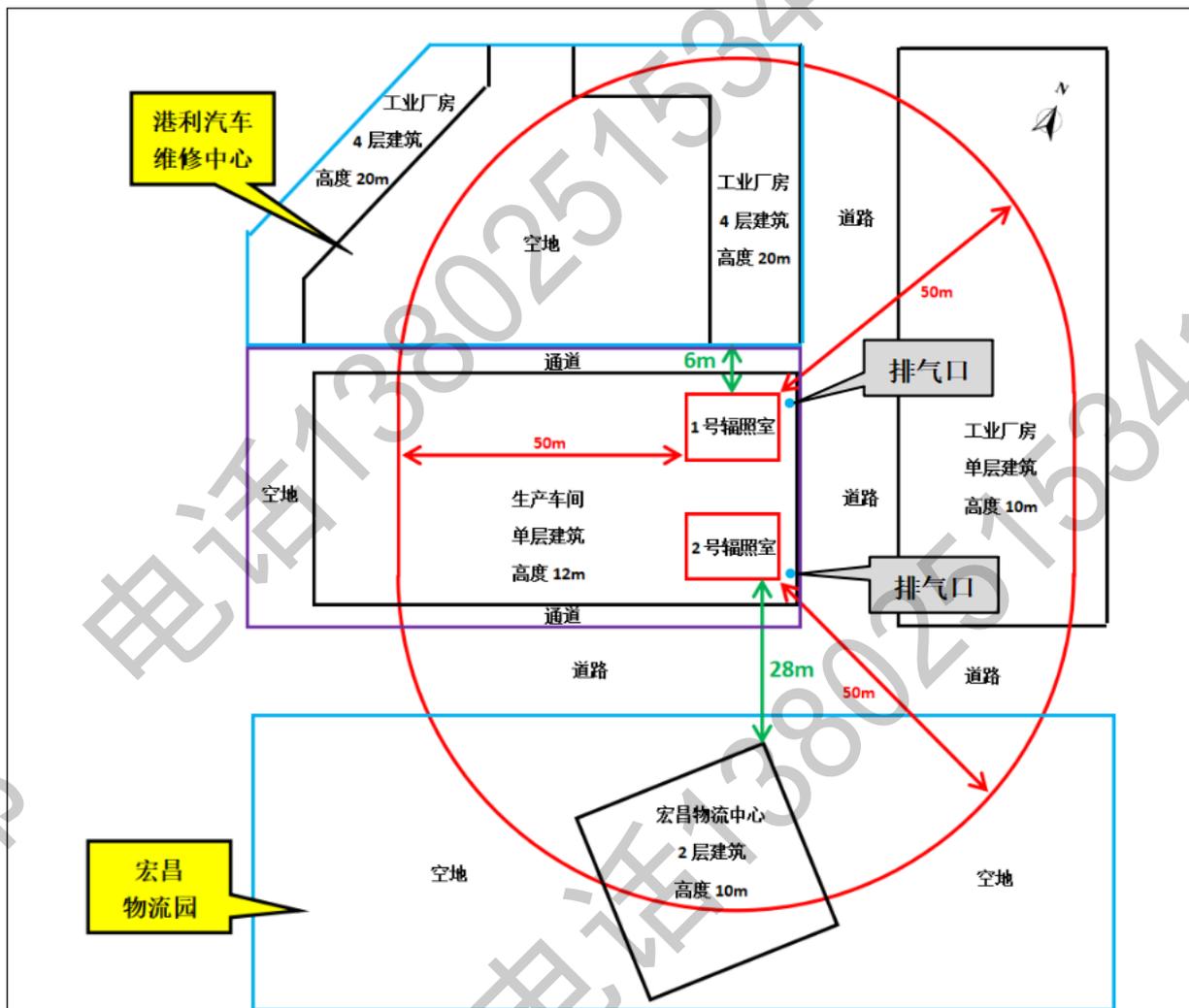


图 10-10 辐照室排风系统的排风口平面位置图

建设单位通过多次折返的电缆线穿越屏蔽墙的设计和下沉地面的通风管道穿越屏蔽墙的设计，增加泄漏射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。

《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-85)中 3.4.1: 为排放有毒气体(如臭氧)和气载放射性物质，加速器设施内必须设有通风装置。建设单位在辐照室均设计有通风系统。

进风系统：①为了防止拟建电子加速器的钛窗过热，拟用的电子加速器系统本身设计有对钛窗的冷却风，通风量为 $1610-2844\text{m}^3/\text{h}$ 。该部分冷却风是由辐照室上方的设备层提供新风，对辐照室内的钛窗进行风冷，该部分冷却风作为辐照室内新风系统的一部分；②拟辐照交联材料穿过屏蔽墙体时，存在一定的空隙，通过此空隙，提供新风。由于拟安装的机械排风装置的排风能力为 $7400\text{m}^3/\text{h}$ ，据此可知，在正常运行时，

辐照室内的气压将时刻比辐照室外的气压低，可以有效的杜绝臭氧、氮氧化物等扩散到辐照室外环境。

排风系统：建设单位在辐照室拟安装离心通风机（2间辐照室的排风系统相互独立），排风能力均为 7400 m³/h，保证能及时将臭氧、氮氧化物等有毒有害气体排出室外。1号和2号辐照室的有效容积为 91.2 m³，因此1号和2号辐照室的每小时通风换气次数为 81.1 次。辐照室内的排风系统抽风口位于辐照室内角落的地面处。排风系统经专用的排风管道，最终到达辐照车间外高空，经专用管道排入大气环境。辐照室的排风系统设计有一根直径为 60cm 的圆形垂直排气管道，排气口的高度距地面为 23m。

建设单位辐照室的通风系统设计合理，通风系统可以有效的对辐照室内空气进行换气。

10.1.4. 分区管理

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），应把辐射工作场所进行分区管理，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。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。控制区外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定为监督区。将控制区外较低辐射的区域划定为监督区。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018），需要按照 GB18871 的规定，电子加速器辐照装置的工作场所分为：控制区，如主机室和辐照室及各自出入口以内的区域；监督区，如设备操作室、未被划入控制区的电子加速器辐照装置辅助设施区和其他需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

按照本项目工作特点，结合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018），以及剂量率估算结果，对本项目辐射工作场所进行分区，见图 10-11 和图 10-12。

（1）控制区：控制区包括首层的以防护门为界的加速器辐照室和设备层的以加速器设备自带屏蔽体围成的区域。在加速器运行时，该区域具有辐射，控制区内不得有任何人员滞留。以辐射安全联锁和警示装置控制及管理制度保障此区的辐射安全。

(2) 监督区：将控制室、2间辐照室之间区域、辐照室外 0.3m 范围内、设备层的人员可达区域划为监督区。建设单位拟在监督区边界的地面上，标示黄色警戒线，确保监督区的安全。

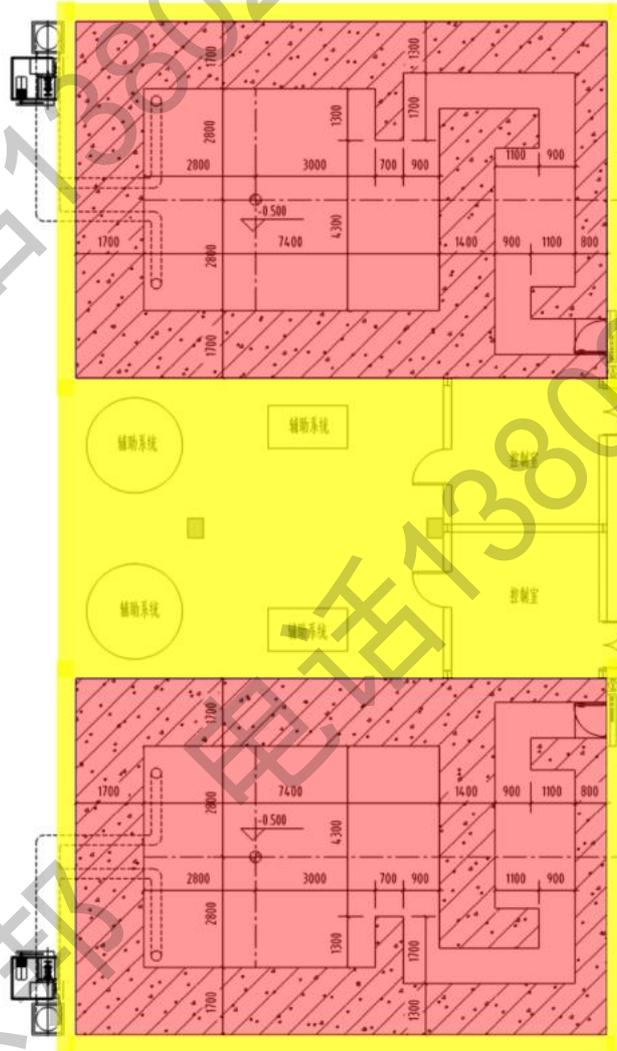


图 10-11 辐照室首层工作场所分区图（红色为控制区，黄色为监督区）

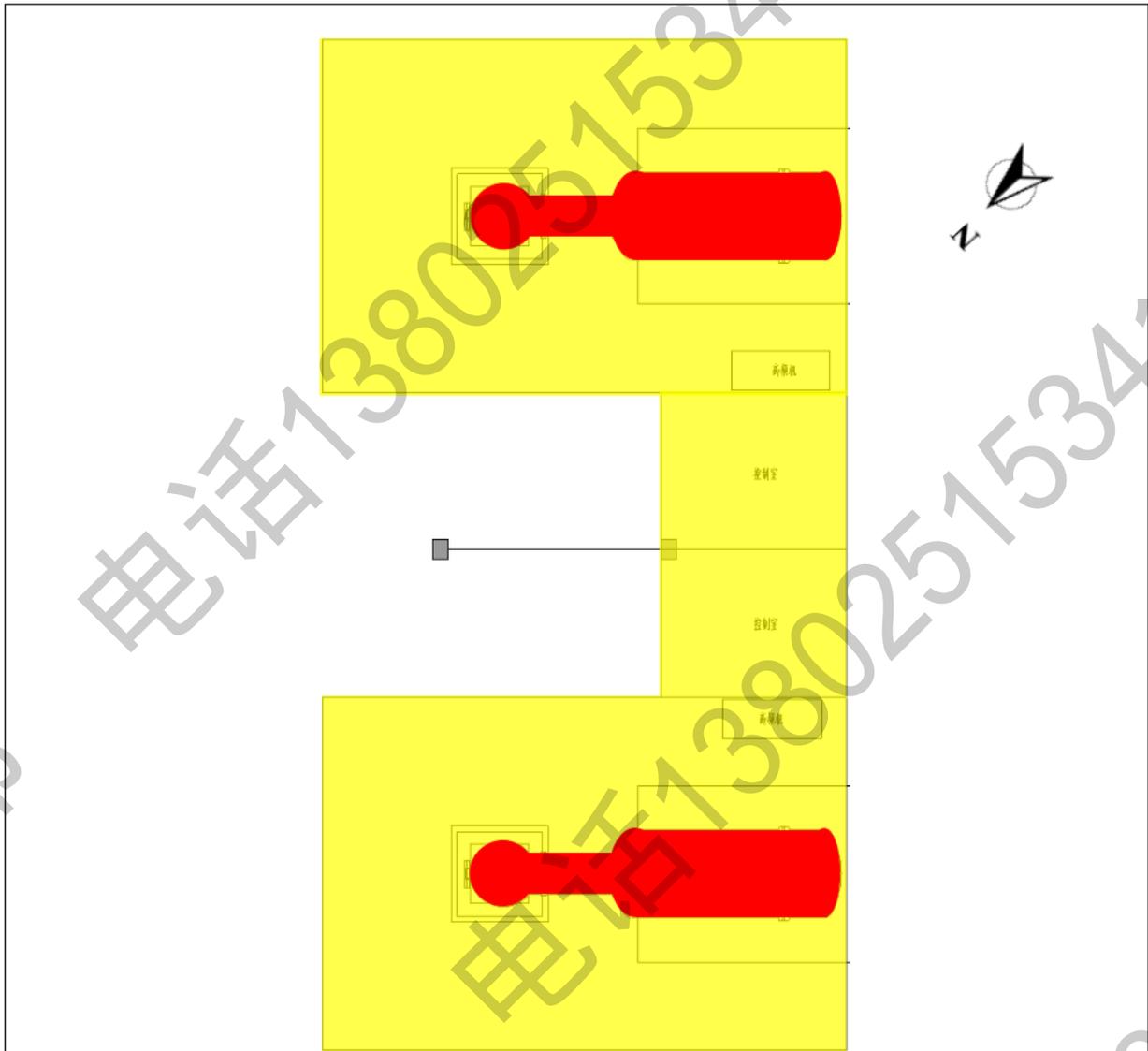


图 10-12 辐照室二层设备层的工作场所分区图（红色为控制区，黄色为监督区）

建设单位监督区和控制区划分合理，可满足 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》和 HJ979-2018《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》的要求。

10.2.辐射安全措施分析

为保障电子加速器的安全运行，避免在加速器辐照期间人员误留或误入机房发生误照事故，本项目的加速器设计有相应的辐射安全装置和保护措施。下面对本项目的辐射安全设施与《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979—2018）中的条款相对照，来进行辐射安全措施的评价，见表 10-2。本项目由于加速器设备主体自带屏蔽，无需建设主机室。

表 10-2 辐射安全措施分析对照表

法律法规中的要求	本项目加速器的辐射安全措施	评价结果
<p>(1) 钥匙控制。加速器的主控钥匙开关必须和主机室门和辐照室门联锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器应自动停机。该钥匙必须与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连。在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用；</p>	<p>在控制室设计有主控台，在主控台上设计有加速器的钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动加速器，加载高压并出束作业；钥匙开关未闭合状态时，对应加速器无法加载高压和出束作业。设备运行过程中，从主控台上取出该钥匙，加速器将自动停机切断束流并切断高压。</p> <p>加速器的开关钥匙与辐照室的防护门开关钥匙是同一把钥匙。当工作人员需要打开防护门进入辐照室时，该工作人员必须携带该加速器的开关钥匙。因此，加速器在开机时，由于没有防护门开关钥匙，防护门无法打开。</p> <p>本项目的钥匙拟与一个便携式辐射监测报警仪相连。建设单位规定，只有运行值班长有权利使用钥匙开关。</p>	<p>满足要求</p>
<p>(2) 门机联锁。辐照室和主机室的门必须与束流控制和加速器高压联锁。辐照室门或主机室门打开时，加速器不能开机。加速器运行中门被打开则加速器应自动停机；</p>	<p>电子加速器辐照室的电动防护门与加速器装置联锁，在防护门未闭合的状态下，加速器不能启动工作；在加速器高压启动后，一旦防护门被打开，联锁装置将立即切断加速器的电源，使加速器立即断高压。</p>	<p>满足要求</p>
<p>(3) 束下装置联锁。电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制必须建立可靠的接口和协议文件。束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时，加速器应自动停机；</p>	<p>加速器控制系统和束下装置将建立接口和协议文件，并设置测速装置。测速装置与滚轮的转速进行联锁，只有滚轮正常运转有速度时，加速器才能加载高压。加速器加载高压前，需先开启滚轮传送系统；加速器关机时，需先切断高压，再关闭滚轮传送系统；加速器正常运行过程中，若滚轮传送系统出现故障，加速器将立即停止出束并断高压。</p>	<p>满足要求</p>
<p>(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；</p>	<p>在控制区的出入口处（即辐照室防护门外）和内部设计有灯光和音响警示装置。当开机启动前，警示灯将亮起并发出红色闪烁灯光，音响装置将发出明显区别于环境声音的警示声音。</p> <p>在辐照室出入口（即防护门外），设计有工作状态指示灯和电离辐射警示牌，工作状态警示灯与加速器高压连锁，当加速器启动时，警示灯将亮起并发出闪烁信号，以提醒周围人员勿靠近。本项目的工作状态指示灯拟具备两种颜色：绿色和红色，代表加速器的不同工作状态。</p>	<p>满足要求</p>
<p>(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</p>	<p>辐照室设置有巡检按钮，巡检按钮与加速器的高压进行联锁。在加载高压前，需要进入辐照室，按序按动机房内的巡检按钮后，加速器才可加载</p>	<p>满足要求</p>

<p>主机室和辐照室按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留。</p>	<p>高压。巡检按钮设置在巡检路线上，巡检路线覆盖了所有人员可达的区域。巡检顺序错误，按下第一个巡检按钮后在设定时间内未完成巡检，均为巡检未完成。巡检按钮重置条件为防护门开启或防人误入装置被遮挡，触发急停，都需要重新进行巡检，才可加载高压。巡检按钮的安装位置见图 10-13。</p>	
<p>(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连锁装置（一般可采用光电装置），并与加速器的开、停机连锁；</p>	<p>辐照室在紧邻防护门的迷道区域内，设计有 3 道相互独立的光电装置（红外线感应装置）并分别与加速器连锁，3 道光电装置的水平 and 垂直高度（垂直高度分别为 0.4m、0.85m 和 1.3m，水平距离间隔为 0.25m）均不相同。当有人员误入辐照室，身体将任意一处红外线挡住后，若加速器处于开机状态下，将立即自动切断高压，同时发出异常情况下的警示声音。光电装置的安装位置见图 10-13。</p>	<p>满足要求</p>
<p>(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；</p>	<p>在辐照室的入口处、迷道和辐照室内各墙面设计有紧急停机开关，紧急停机开关距地面高度约 1.2m；在加速器主控台上同样设计有紧急停机开关，总计设置 7 个紧急停机开关。紧急停机开关有明显的标志，供应急停止使用。当出现紧急情况时，只需按下任一紧急停机开关，则该加速器将立即断高压，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后，需将紧急停机开关本地复位，加速器才能重新启动。在辐照室内的四面墙壁和迷道墙壁上，距离地面高度约 1.3m 处，拟安装拉线开关。当拉线开关正常时，加速器方可启动进行加载高压和出束作业；当加速器正常启动出束作业过程中，若拉拽拉线开关，则该辐照室内的加速器将立即断高压，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后，需将拉线开关本地复位，加速器才能重新启动。急停按钮和拉线开关的安装位置见图 10-13。</p> <p>在辐照室防护门内侧，拟安装紧急开门装置。紧急情况下，辐照室内的人员只需按下紧急开门按钮，防护门将立即打开，若此时加速器处于出束状态，加速器将立即断高压，停止出束。</p>	<p>满足要求</p>
<p>(8) 剂量连锁。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连锁。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；</p>	<p>本项目拟安装固定式实时周围剂量当量率监测系统：测量探头位于辐照室内、控制室内和设备层（探头位置见图 10-13 和图 10-14），显示面板位于控制室内。当显示面板上的辐照室内的周围剂量当量率大于预设值时，辐照室的防护门将无法打开；当显示面板上的控制室内和二层设备层的周围剂量当量率大于预设值时，加速器将立即断</p>	<p>满足要求</p>

	高压，停止出束。本项目在辐照室迷道区域内安装有测量探头，该处剂量率读数在开机时明显高于本底水平，位置设计合理。	
(9) 通风连锁。主机室、辐照室通风系统与控制系统连锁，加速器停机后，只有达到预先设定的时间后才能开门，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值；	辐照室通风系统正常工作后，加速器才能出束；在通风系统未正常工作时，加速器将无法加载高压出束作业。在加速器正常运行过程中，当通风系统发生故障时，加速器将立即断高压，停止出束。 加速器的控制软件设计有正常停机后排风系统延迟关闭和防护门延迟开启系统，即：加速器正常关机后，排风系统将工作 5 分钟，在 5 分钟内，即使对排风系统发出停止工作指令，排风系统仍将有效工作 5 分钟；正常停机后 5 分钟内，即使发出打开辐照室防护门的指令，辐照室防护门仍然无法打开，直到 5 分钟后方可开启防护门。若出束状态的加速器，由于烟雾报警装置启动导致断高压停止出束，通风系统将立即停止运行，通风系统不会在停机后继续工作。	满足要求
(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。	在辐照室内顶部，拟安装烟雾报警装置。电子加速器将与火灾烟雾报警连锁。在加速器正常出束时，若烟雾报警装置启动报警，则电子加速器将立即断高压停止出束，通风系统将立即停止运行。在加速器停机状态时，若烟雾报警装置启动报警，则电子加速器将无法启动加载高压出束作业，通风系统将无法开启进行通风换气。烟雾报警装置的位置见图 10-13。	满足要求
(11) 辐照室和主机室的耐火等级不低于二级，并设置火灾报警装置和有效的灭火设施。	辐照室采用混凝土材料，因此辐照室的耐火等级为一级。辐照室有烟雾报警装置，并与加速器设备连锁。 建设单位拟在辐照室防护门外放置火灾灭火装置。	满足要求
(12) 辐照室、控制室应设置应急照明系统。	辐照室和控制室拟安装应急照明系统；在辐照室内靠近地面的墙壁上，拟张贴具有夜光功能的路线指示标识。	满足要求

除了上述辐射安全措施外，本项目还具有如下辐射安全措施：

1 实时摄像监视

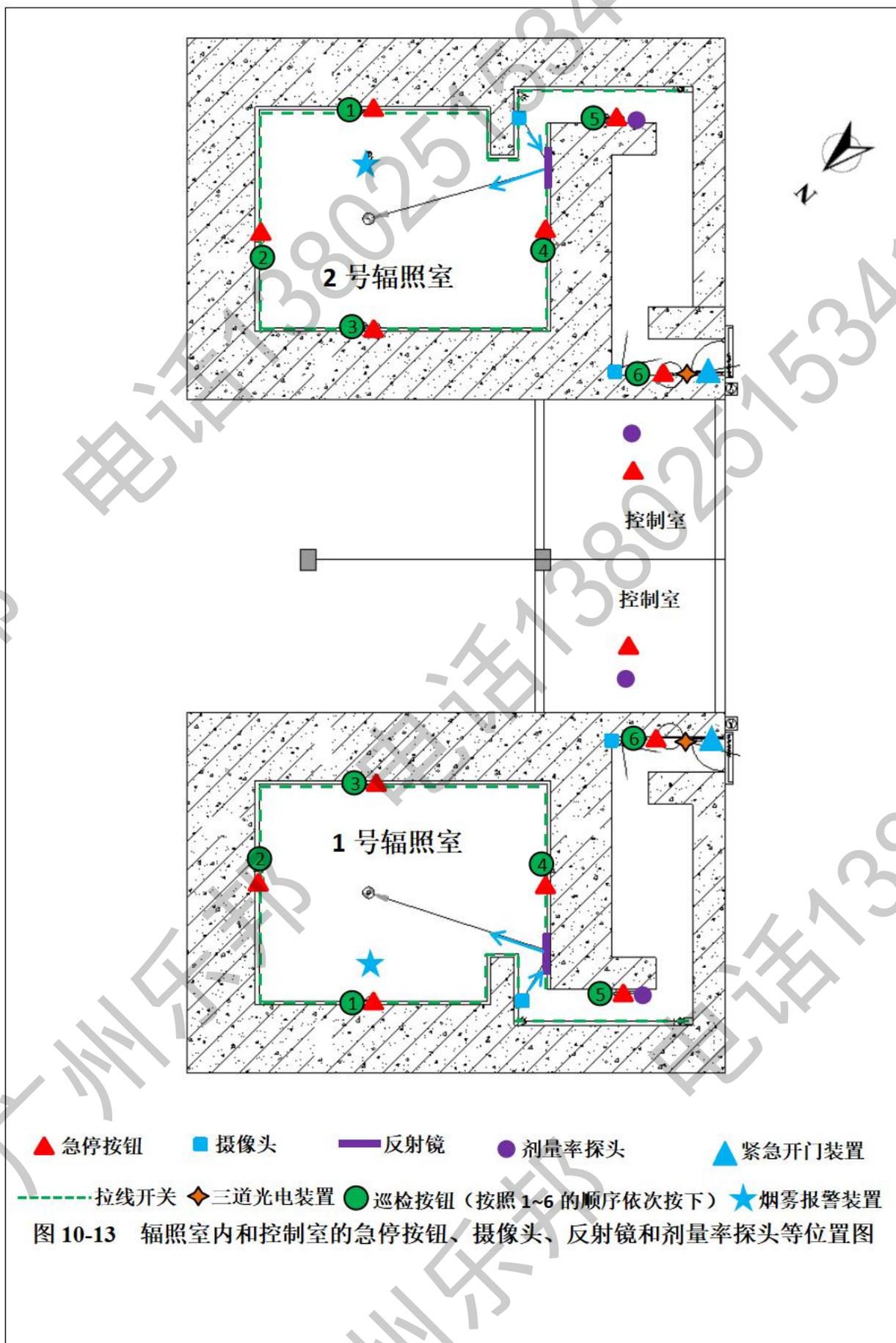
建设单位在辐照室内设有摄像监视系统，拟在迷道区域安装 2 个视频摄像头，监控图像实时显示在控制室的监控电视上，使控制室的工作人员可清楚地观察到辐照室内设备的工作情况，如发生意外情况可及时处理。为了避免强辐射场对视频信号的干扰，迷道内口安装的视频摄像头，拟通过反射镜来获取辐照室内图像，摄像头位置见

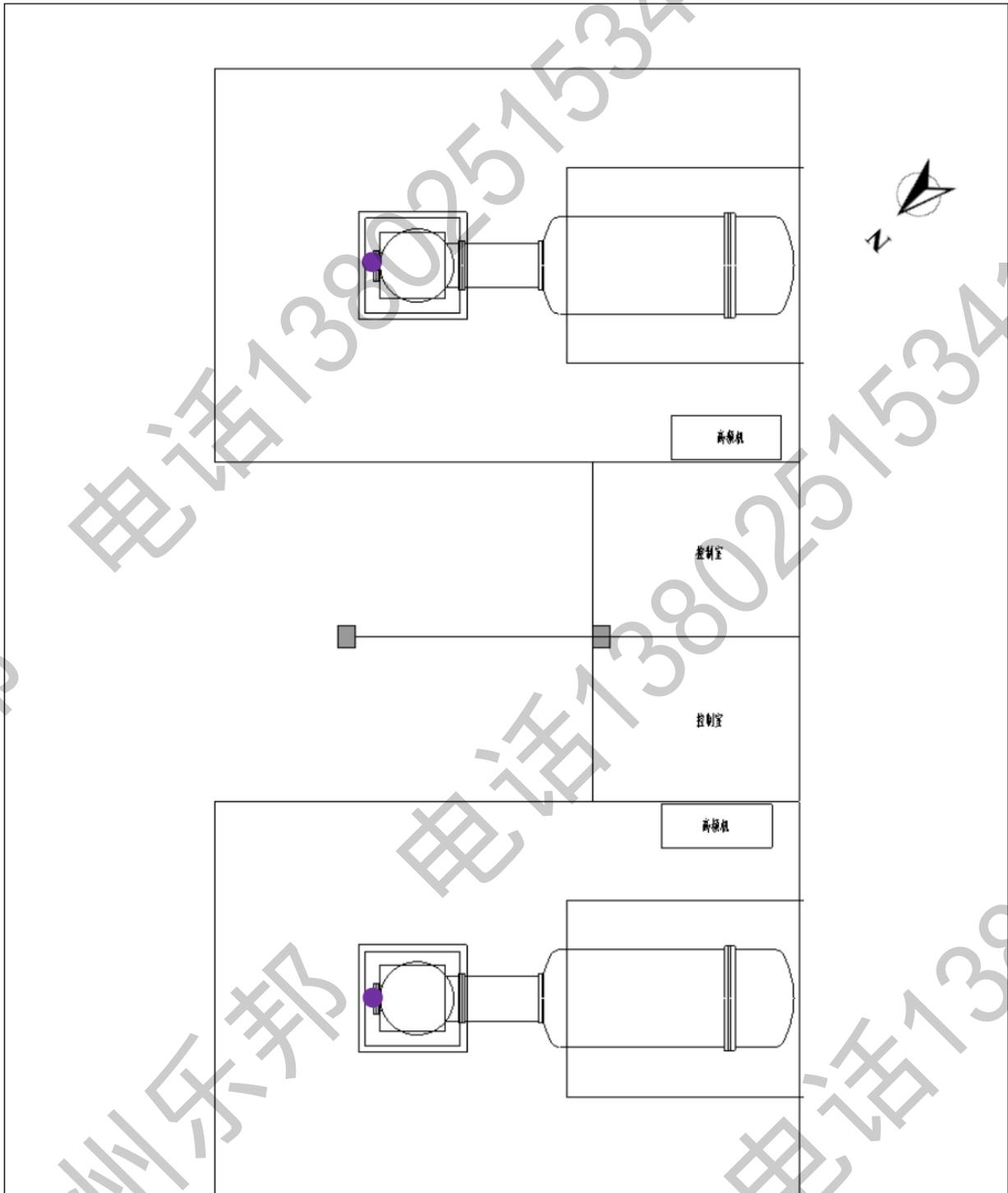
图 10-13，建设单位的摄像头位置设计合理。

2 加速器的各控制信号连锁

电子加速器将与该加速器的各控制信号进行连锁。在加速器未加载高压时，只有当所有控制信号均正常时，加速器方可启动进行高压加载；在加速器正常运行后，将对各控制信号时时监控，若任意控制信号出现异常，则系统将立即切断该台加速器高压，使得该辐照室内的加速器断高压无法出束。

所有安全连锁装置均需正常使用，所有安全连锁装置不得旁路。当设备进行维修维护后，所有安全连锁必须恢复原状。





● 剂量率探头

图 10-14 设备层剂量率探头位置图

10.3.安全连锁逻辑

本项目拟建的电子加速器分别设置有多重设备安全连锁，设备的安全连锁逻辑见图 10-15。

根据设备的工作逻辑，当安全联锁就绪，开启设备各分系统就绪后，开启设备可进入高压允许状态，人员下达指令后设备可出束。当安全联锁被破坏，启用设备无法进入高压允许。

建设单位电子加速器的辐射安全措施设计合理，满足相关标准要求。在实际运行期间，建设单位需保证上述辐射防护措施严格有效执行。安全联锁发生故障时，不得旁路，需要对安全联锁进行维修，维修后恢复原状才可再次使用设备。设备安全联锁逻辑系统，仅设备供应商可进行更改，建设单位日常操作人员无权限更改联锁。每次维修完成后，建设单位会自行对机房防护进行检测，检测合格后，加速器才会投入使用。

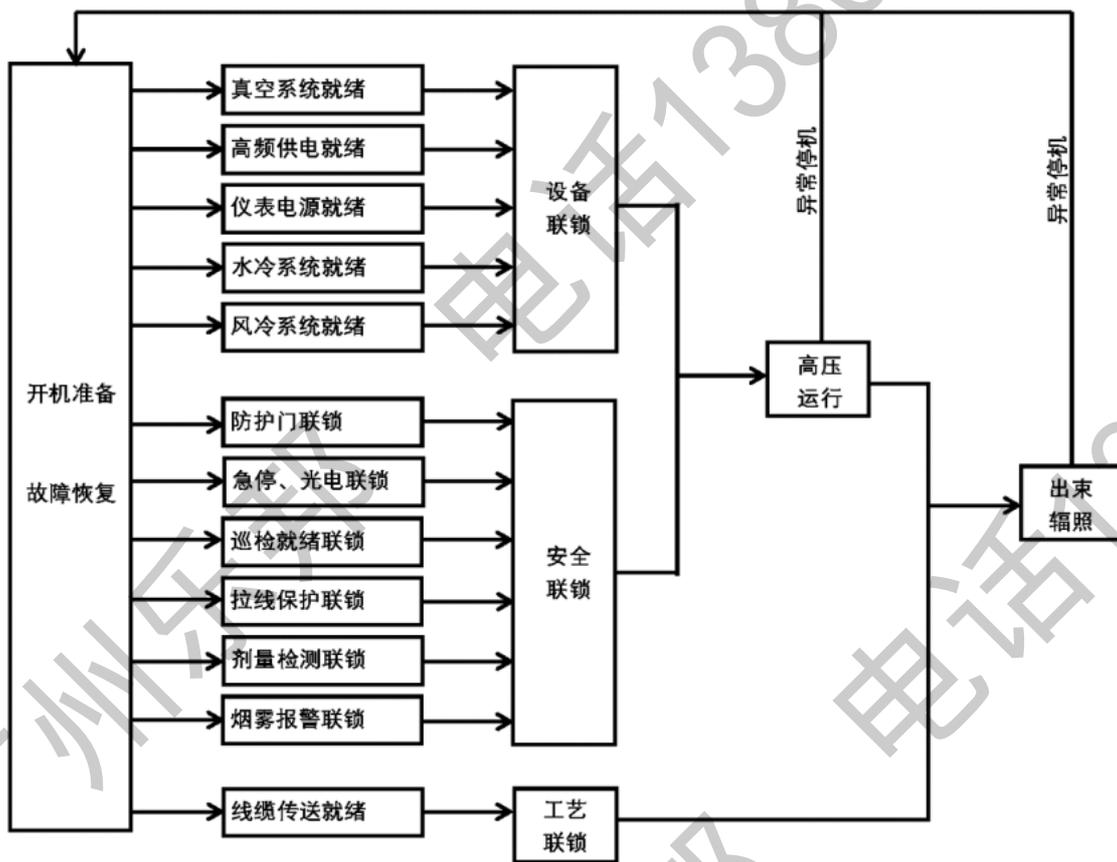


图 10-15 设备安全联锁图

10.4 设备和辅助设施维修维护防护措施

在设备出现故障，或对设备进行维护检修时，需请专业的维修维护人员前来进行

维修维护操作。本项目在运行后，建设单位将委托加速器的生产厂家中广核达胜加速器技术有限公司对加速器产品进行维修维护。

在维修维护时，需严格执行下述步骤：

- (1) 提前制定维修维护计划，并及时告知辐射工作人员；
- (2) 维修维护人员在控制室与辐射工作人员确认无异常情况，可以开始维修维护；
- (3) 辐射工作人员通过视频信号等方式，时刻注意维修维护的正常进行；
- (4) 维修维护人员在控制室按下对应加速器的急停按钮；
- (5) 维修维护人员佩戴处于开启状态下运行良好的个人剂量报警仪和个人剂量计；
- (6) 维修维护人员携带加速器的开关钥匙打开辐照室的防护门，并在门口放置“请勿关门”标识牌；
- (7) 在执行完上述步骤后，维修维护人员方可进行设备维修维护。

加速器维修维护流程图见图 10-16。建设单位在设备的维修维护过程中，需严格执行上述步骤，杜绝维修维护过程中，由于辐射工作人员不知情，维修维护人员未执行安全措施，导致加速器加载高压或出束导致误照射的事故。

安全联锁装置不得旁路，维护与维修后必须恢复原状。

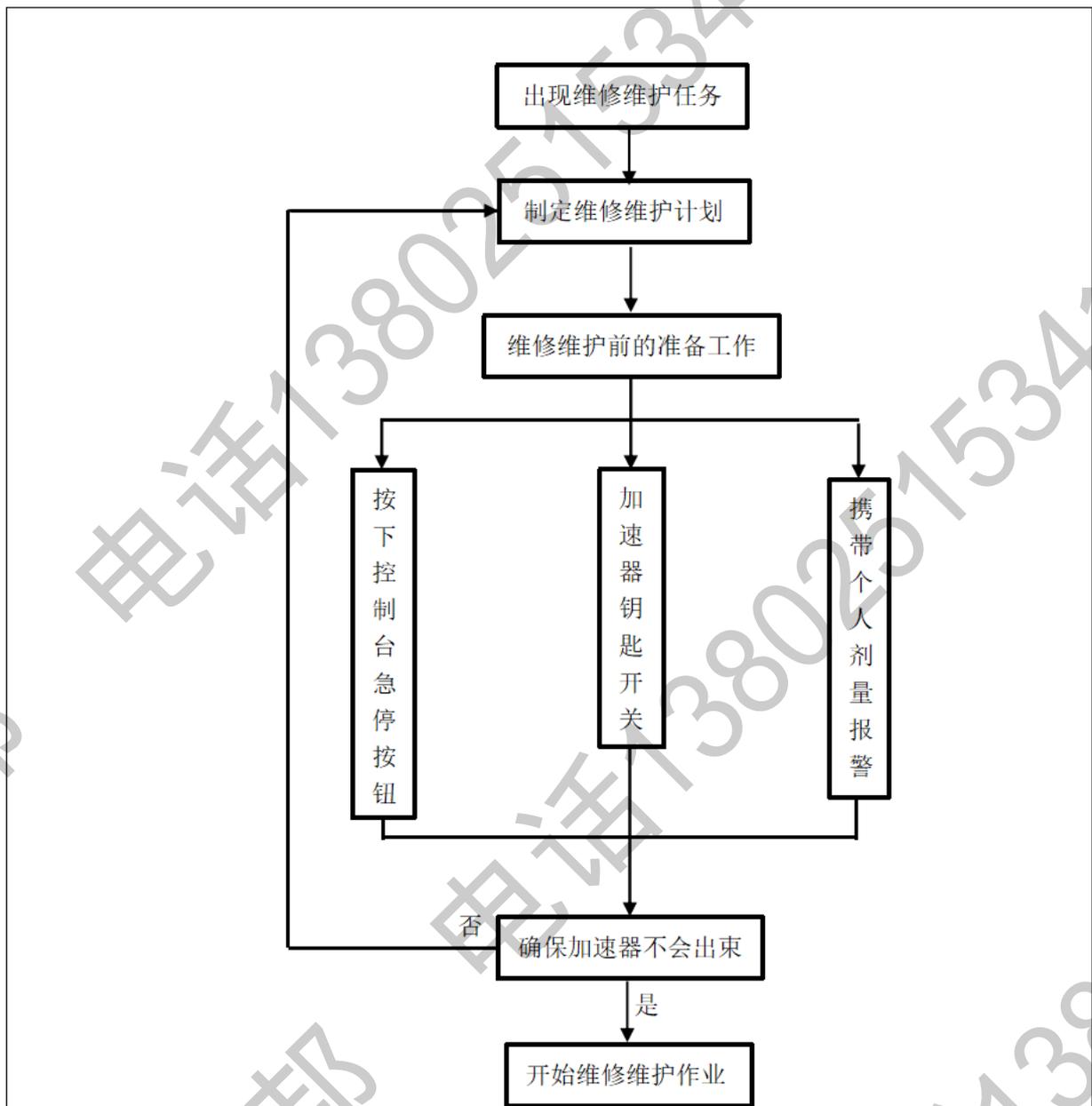


图 10-16 加速器维修维护流程图

10.5.三废的治理

(1) 液体污染物处理方案

该电子加速器在正常运行过程中，冷却水为内循环水，不向外排放。

(2) 固态污染物处理方案

该电子加速器在正常运行过程中，不会产生固态污染物。

(3) 气态污染物处理方案

本项目电子加速器在工作状态时，高能电子及其韧致辐射产生的 X 射线会使机房内空气电离产生一定量的臭氧、氮氧化物等有害气体。辐照室安装有机械排风装置，通过专用排风管道，可以将气态污染物高空排放。

表 11 环境影响分析

11.1.建设阶段环境影响分析

该评价项目是建设加速器辐照室及其配套的辅助工作场所，建设阶段主要有声环境、空气环境、水环境和固体废物对环境的影响。

11.1.1.声环境影响分析

该评价项目施工期的噪声主要来自场地土建施工和相关设施的安装调试等几个阶段中，但该评价项目的建设工期短，影响期短暂，影响范围小，随施工结束而消除，且周围无环境敏感点，因此，施工在合理安排施工时间，夜间禁止高噪声机械作业后，对周围的影响不大。

11.1.2.环境空气影响分析

在整个施工期，扬尘来自于材料运输、装卸和混凝土浇筑等施工活动，由于扬尘源多且分散，属无组织排放。受施工方式、设备、气候等因素制约，产生的随机性和波动性大。但土建工程结束后即可恢复。

11.1.3.水环境影响分析

本工程施工污水主要是少量施工废水。施工废水含泥沙和悬浮物，直接排出会阻塞排水沟和对附近水体造成污染，对此，施工单位应对废水进行妥善处理，不得随意外排。

11.1.4.固体废物影响分析

施工期间固体废物主要为建筑垃圾，建筑垃圾若不妥善处理则会产生环境影响。施工期的建筑垃圾应分别堆放，并委托相关部门妥善处理，及时清运或定期运至环卫部门指定的地点安全处理处置，可以使工程建设产生的垃圾处于可控制状态。

综上所述，本工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。施工单位应严格按照有关规定采取上述措施进行污染防治，并加强监管，使本项目施工对周围环境的影响降低到最小。

11.2.运行阶段对环境的影响

本项目辐照室在运行阶段对环境的影响，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防

护》(HJ979—2018), 采用理论计算的方法。

由于加速器辐照装置的设计制造单位没有提供束流损失参数, 因此, 无法理论预测束流损失导致的加速器设备外表面的辐射强度。为获取束流损失导致辐射场强度, 本报告采用此款设备的检测结果, 采用类比分析的方法。

建设单位拟安装使用的 2 台电子加速器参数完全一致, 并且 1 号辐照室和 2 号辐照室的机房布局对称, 屏蔽设计厚度一致, 因此, 本报告只对 1 号辐照室进行理论计算, 类比分析可知 2 号辐照室的情况。

11.2.1. 辐射源项

建设单位拟安装使用的电子加速器为中广核达胜加速器技术有限公司生产, 型号为 DDLH2.5-40/1400, 电子加速器设备主体自带屏蔽(屏蔽参数见表 10)。DDLH2.5-40/1400 型电子加速器的电子线最高能量为 2.5MeV, 束流最大为 40mA。本项目拟用电子加速器的技术参数见表 11-1。

表 11-1 电子加速器技术参数

名称	型号	加速粒子	最大能量	束流
电子加速器	DDLH2.5-40/1400	电子	电子线: 2.5MeV	40mA

备注: 电子加速器的设备主体自带屏蔽, 无需建设主机室, 只需建设辐照室。加速器引出电子束辐照材料, 高能电子发生韧致辐射会产生 X 射线。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979—2018) 中表 A.1 X 射线发射率可知, 2.5MeV 的单能电子入射到高 Z 厚靶 ($Z>73$) 上, 在距靶 1m 处的侧向 90° 方向上, X 射线发射率 $Q=2.5\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979—2018) 附录 A 中的公式(A-2), 可以计算距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率 D_{10} (Gy/h):

$$D_{10}=60\times Q\times I\times f_e$$

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

I 为电子束流强度 (mA);

f_e 为 X 射线发射率修正系数。

根据上式进行计算可知，本项目电子加速器的距离 X 射线辐射源 1m 处，在 90° 方向上的标准参考点的吸收剂量率，见表 11-2。

表 11-2 X 射线辐射源在 90° 方向上 1m 处的标准参考点的吸收剂量率 D₁₀

名称	型号	Q	I	f _e	D ₁₀
电子加速器	DDLH2.5-40/1400	2.5 Gy·m ² ·mA ⁻¹ ·min ⁻¹	40mA	0.5	3000 Gy/h

注：由于拟辐照的电线电缆的内芯为金属铜或铝，内芯外的包裹材料为塑料；拟辐照的热缩套管的材料为塑料；束下装置的结构材料为铁；根据 HJ979—2018，被辐照的靶材料为“铁、铜”时，90° 方向的修正系数 f_e=0.5；综合考虑，本项目取 f_e=0.5。

11.2.2. 直射 X 射线的屏蔽

11.2.2.1. 辐照室

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979—2018)中表 A.4 90° 方向电子的相应等效能量，当入射电子能量为 2.5 MeV 时，90° 方向电子的等效能量为 1.6MeV。

由于《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979—2018)中没有当入射电子能量为 1.6MeV 时，宽束 X 射线在混凝土的十值层数据，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979—2018)中内容，本报告采用曲线图解法。根据 NCRP-51 号报告中宽束 X 射线在混凝土中的十值层(见图 11-1)，保守取值，当入射电子能量为 1.6MeV 时，宽束 X 射线在混凝土的第一十值层厚度为 20.8cm，宽束 X 射线在混凝土的平衡十值层厚度为 18.7cm。

E.12 Dose-Equivalent Index Tenth-Value Layers for Broad-Beam X Rays in Concrete

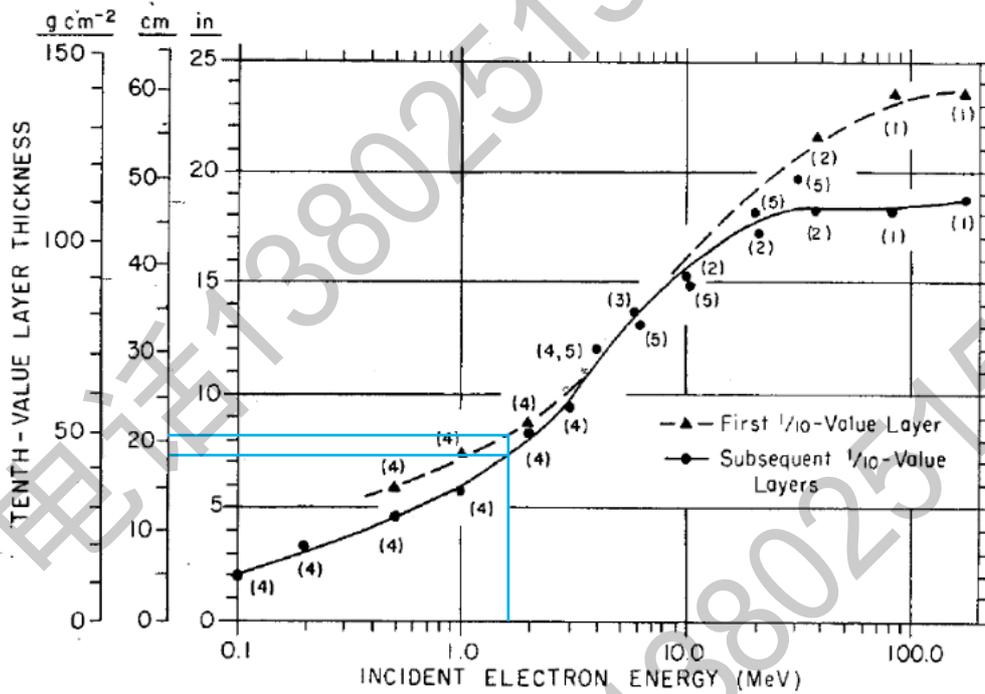


图 11-1 NCRP-51 号报告中宽束 X 射线在混凝土中的十值层

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979—2018)，屏蔽体外直射 X 射线的周围剂量当量率 H 可以使用下式计算：

$$H = \frac{D_{10}}{d^2} \times 10^{-(S-T_1+T_e)/T_e} \times T$$

式中：D₁₀为距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率 (Gy·m²·mA⁻¹·min⁻¹)；

d 为 X 射线源与参考点之间的距离 (m)；

S 为屏蔽体厚度 (cm)；

T₁ 为在屏蔽体中，朝向辐射源的第一个十值层 (cm)；

T_e 为平衡十值层 (cm)；

T 为居留因子，保守估算此处取 T=1。

电子加速器在运行时，电子束出束口位于辐照室内，电子束方向均为垂直向下。为预测辐照室的辐射屏蔽设计方案的屏蔽效果，在辐照室屏蔽体外 30cm 处选取较有代表性的预测目标点进行评价分析，预测目标点的选取见图 11-2。直射 X 射线导致的辐照

室外周围剂量当量率预测参数和结果见表 11-3。

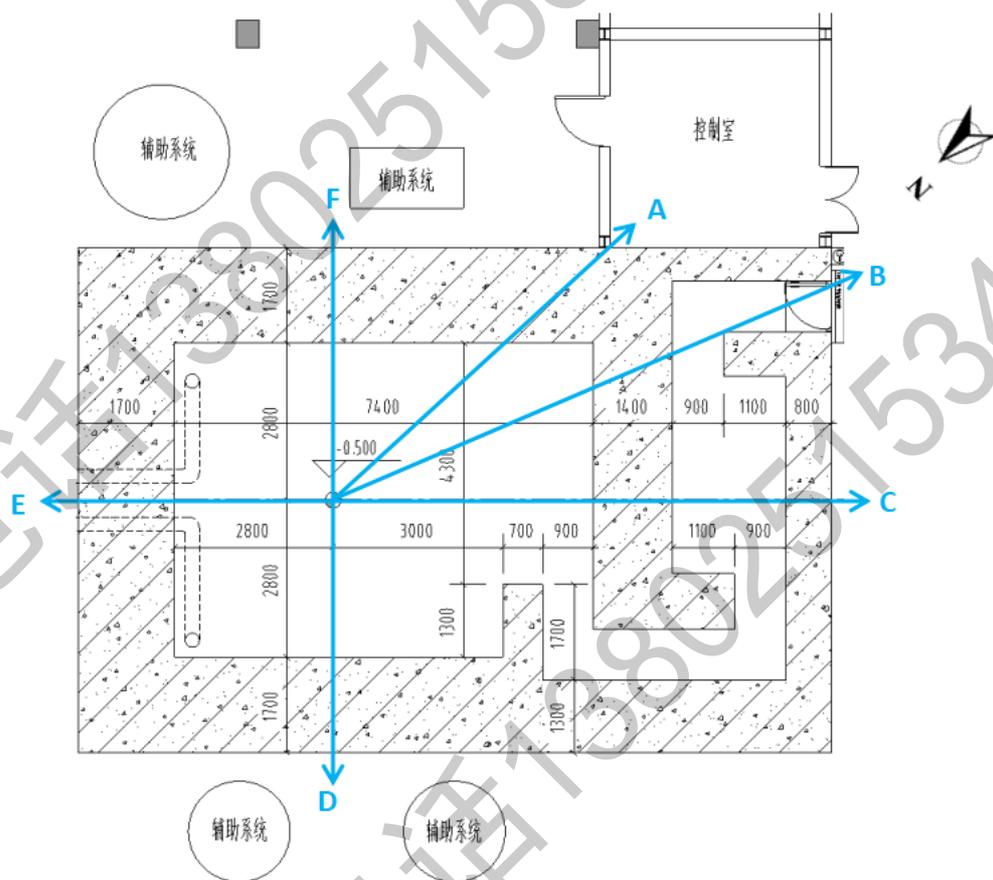


图 11-2 1 号辐照室平面目标关注点

表 11-3 直射 X 射线导致的辐照室外周围剂量当量率预测参数和结果

机房	关注点	D10 (Gy/h)	d (m)	S (cm)	T1 (cm)	Te (cm)	H (μ Sv/h)
1 号 辐照室	A	3000	6.95	251 混凝土	混凝土: 20.8	混凝土: 18.7	3.04E-06
	B	3000	9.90	153 混凝土			2.61E-01
	C	3000	9.10	220 混凝土			8.07E-05
	D	3000	4.80	170 混凝土			1.37E-01
	E	3000	4.80	170 混凝土			1.37E-01
	F	3000	4.80	170 混凝土			1.37E-01
	顶棚	3000	2.80	170 混凝土			4.02E-01

注：计算顶棚的周围剂量当量率时，保守估算，D10取 90 度方向的数值。S 为有效屏蔽体厚度，经设计图纸直接测量得到。取单位换算取换算系数为 1Sv/Gy。

11.2.2.2. 设备层

设备层的辐射场由两部分叠加构成：第 1 部分贯穿辐射场：辐照室内韧致辐射初级 X 射线，经过辐照室屋顶没有完全屏蔽的贯穿辐射场；第 2 部分束流损失导致辐射场：

束流损失导致的，设备层的加速器设备外表面的辐射场。

第 1 部分贯穿辐射场：理论预测结果显示（见表 11-3），1 号辐照室设备层的周围剂量当量率的最大值为 0.402 μ Sv/h。

第 2 部分束流损失导致辐射场：由于加速器辐照装置的设计制造单位没有提供束流损失参数，因此，无法理论预测束流损失导致的加速器设备外表面的辐射强度。为获取束流损失导致辐射场强度，本报告采用同款设备的检测结果，进行类比分析。

DDLH2.5/40-1400 型电子加速器束流损失导致的辐射场：

类比项目和本项目加速器设备的辐射防护情况见表 11-4，类比项目加速器与本项目拟建的加速器为同型号加速器，所有参数完全相同。

表 11-4 类比项目和本项目的加速器设备的辐射防护情况

项目	类比项目	本项目	备注
加速器型号	DDLH2.5/40-1400	DDLH2.5/40-1400	/
生产厂家	中广核达胜加速器技术有限公司生产	中广核达胜加速器技术有限公司生产	/
加速粒子	电子	电子	/
最高能量	2.5MeV	2.5MeV	/
最大束流	40mA	40mA	/
加速管旁与主设备的连接筒	40mm 铅板+12mm 钢板	40mm 铅板+12mm 钢板	/
加速管外水平方向	12mm 钢板+60mm 铅板+3mm 钢板	12mm 钢板+60mm 铅板+3mm 钢板	钢桶防护情况
加速管水平方向检修口	40mm 铅板+70mm 钢板	40mm 铅板+70mm 钢板	
加速管顶部	20mm 钢板+70mm 铅板+80mm 钢板	20mm 钢板+70mm 铅板+80mm 钢板	
加速管底部	540mm 钢板	540mm 钢板	

类比项目的周围剂量当量率的检测单位为广州乐邦环境科技有限公司，类比检测使用的检测仪器见表 11-5。类比项目的周围剂量当量率的检测结果见表 11-6，类比项目的检测布点图见图 11-3 和图 11-4，类比检测报告见附件 3。

表 11-5 检测仪器相关信息

仪器名称	X- γ 辐射剂量率仪	仪器型号	AT1123
生产厂家	ATOMTEX	仪器编号	54928
测量范围	50 nSv/h ~ 10 Sv/h	能量范围	25 keV~3 MeV

校准单位	深圳市计量质量检测研究院		
证书编号	JL2354207941		
校准日期	2023年06月01日	有效期	1年

表 11-6 类比项目的周围剂量当量率的检测结果 (nSv/h)

测点编号	测量位置	检测结果				开机值与关机值的差值
		关机状态测量值		出束状态测量值		
		平均值	标准差	平均值	标准差	
1	加速管外表面 30cm 处	194	2	274	5	80
2	加速管外表面 30cm 处	187	2	266	2	79
3	加速管外表面 30cm 处	191	2	276	3	85
4	加速管外表面 30cm 处	192	2	268	3	76
5	加速管外表面 30cm 处	188	1	253	3	65
6	连接部外表面 30cm 处	177	2	203	2	26
7	连接部外表面 30cm 处	180	2	202	2	22
8	连接部外表面 30cm 处	178	2	205	2	27
9	连接部外表面 30cm 处	181	2	208	2	27
10	主设备外表面 30cm 处	167	2	191	2	24
11	主设备外表面 30cm 处	171	2	193	1	22
12	主设备外表面 30cm 处	173	1	189	2	16
13	主设备外表面 30cm 处	174	2	194	2	20
14	主设备外表面 30cm 处	170	2	186	2	16
15	主设备外表面 30cm 处	164	2	176	2	12
16	主设备外表面 30cm 处	169	2	180	2	11
17	主设备外表面 30cm 处	164	1	179	2	15
18	主设备外表面 30cm 处	172	2	182	2	10
19	主设备外表面 30cm 处	163	2	175	2	12
20	主设备外表面 30cm 处	169	2	183	2	14
21	主设备外表面 30cm 处	169	2	180	2	11
22	主设备外表面 30cm 处	167	2	181	1	14

备注 出束状态下加速器运行工况：电子能量为 2.0 MeV；束流为 50mA

注：①测量时，仪器探头垂直于被测物体，距被测物体 30 cm；②测量时，先进行巡测，确认无异常（或相对明显较高的数据）点位后，在各个可达表面布设典型点位；③所有测量值（包括关机状态和出束状态的测量值）均未扣除仪器对宇宙射线的响应值。

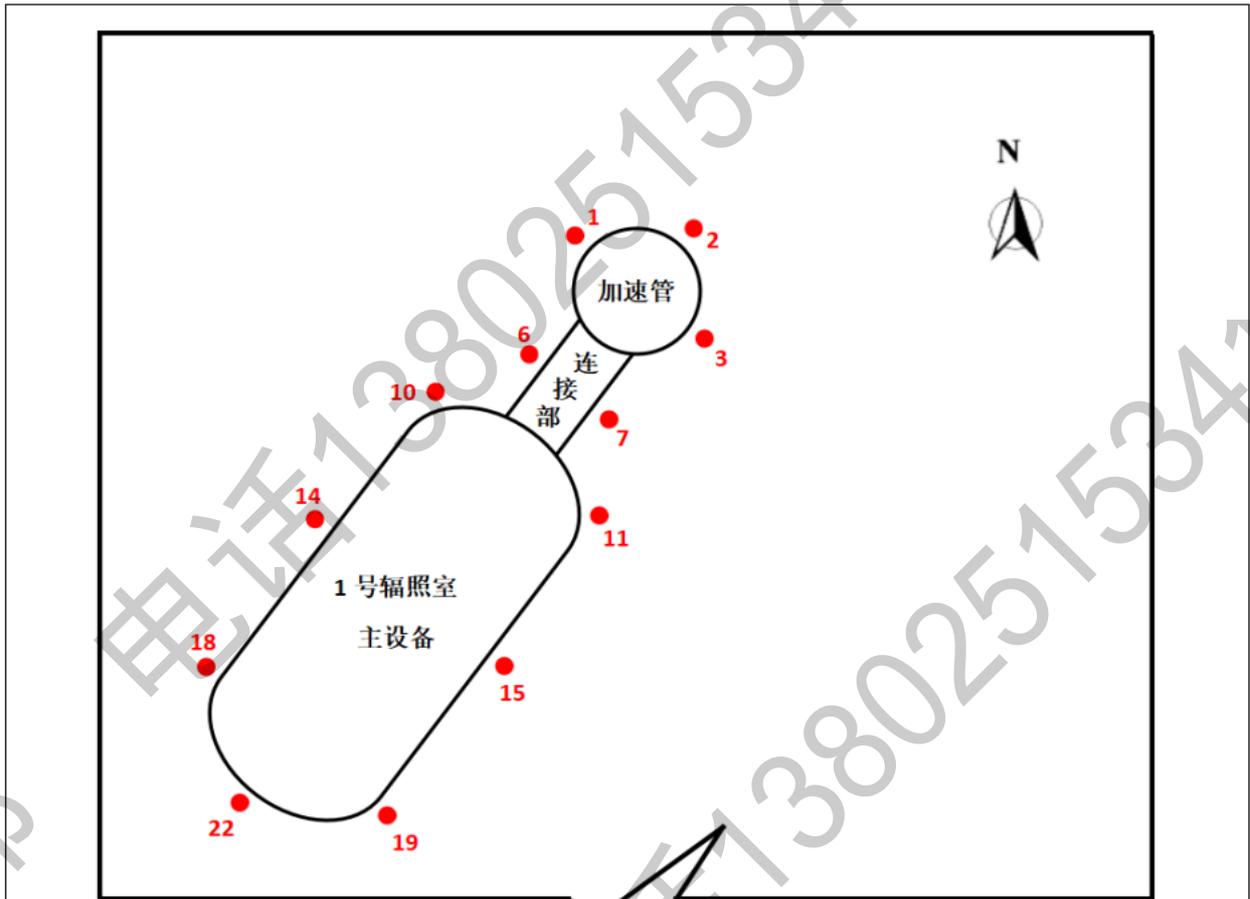


图 11-3 类比项目的平面检测布点图

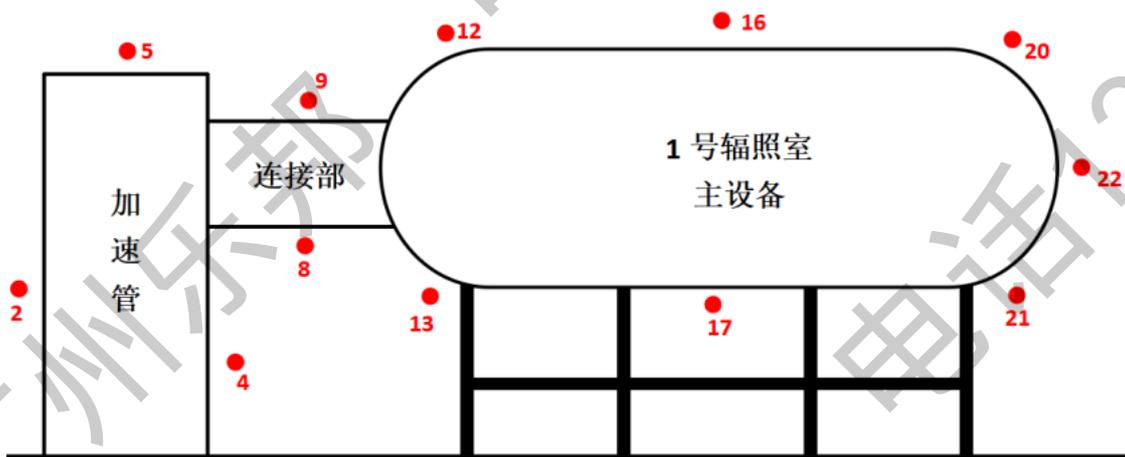


图 11-4 类比项目的剖面检测布点图

类比项目的 DDLH2.5/40-1400 型加速器在电子能量为 2.5MeV，束流为 40mA（为最大运行工况）正常运行时，加速器设备外表面的开机值与关机值的差值最大为 85 nSv/h。该差值由两部分组成：第 1 部分贯穿辐射场和第 2 部分束流损失导致辐射场，

由此可知，第 2 部分束流损失导致辐射场小于 85 nSv/h。本项目保守估算，取 DDLH2.5/40-1400 型加速器的第 2 部分束流损失导致辐射场为 85 nSv/h。

(3) 小结

1 号辐照室的第 1 部分贯穿辐射场导致的周围剂量当量率的最大值为 0.402 μ Sv/h，第 2 部分束流损失导致辐射场为 85nSv/h，因此，叠加考虑，设备层的周围剂量当量率最大值为 0.487 μ Sv/h。

11.2.3. 散射辐射的屏蔽

① 迷道和防护门

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979—2018)附录 A 中的公式(A-5)，可以保守的估算迷道外入口的剂量率 $H_{1,rj}$ ：

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

式中： D_{10} 为距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率 ($\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)；

α_1 为入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数，本项目取 $\alpha_1=5 \times 10^{-3}$ ；

α_2 为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），本项目取 $\alpha_2=2 \times 10^{-2}$ ；

A_1 为 X 射线入射到第一散射物质的散射面积 (m^2)；

A_2 为迷道的截面积 (m^2)；

d_1 为 X 射线源与第一散射物质的距离 (m)；

$d_{r1}, d_{r2}, \cdots, d_{rj}$ 为沿着迷道长轴的中心线距离 (m)；

j 指第 j 个散射过程。

辐照室的迷路散射路径见图 11-5，迷道散射导致的迷道外入口的剂量率的计算参数和结果见表 11-7。

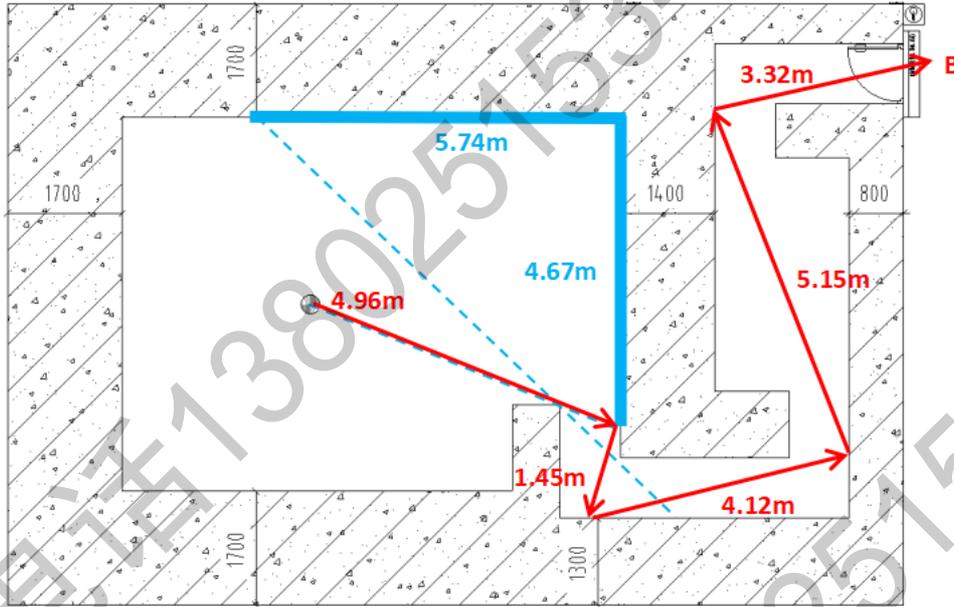


图 11-5 1 号辐照室迷路散射路径

表 11-7 迷道散射导致的迷道外入口的剂量率的计算参数和结果

机房位置	1 号辐照室
D_{10}	3000 Gy/h
α_1	5×10^{-3}
α_2	2×10^{-2}
A_1	$(4.67+5.74) \times 2.2=22.9\text{m}^2$
A_2	$0.90 \times 2.5=2.25\text{m}^2$
散射次数 j	4
$d_1, d_{r1} \cdots d_{r4}$	4.96m, 1.45m, 4.12m, 5.15m, 3.32m
$H_{1,r4}$	$1.22\text{E}-01 \mu\text{Sv/h}$

注：取单位换算取换算系数为 1Sv/Gy。

② 天空反散射

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979—2018)中 A.3.2.1, 天空反散射的计算公式为:

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

式中：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；

Ω ——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)，本项目取 d_s 为 20m。

立体角的计算公式如下：a、b 分别为 O 点至 A、B 的距离，c、d 分别为放射源点 Y 至 O、E 的距离，则平面 OAEB 对 Y 点所张的立体角 Ω (见图 11-6) 为：

$$\Omega = \arctan(ab/cd)$$

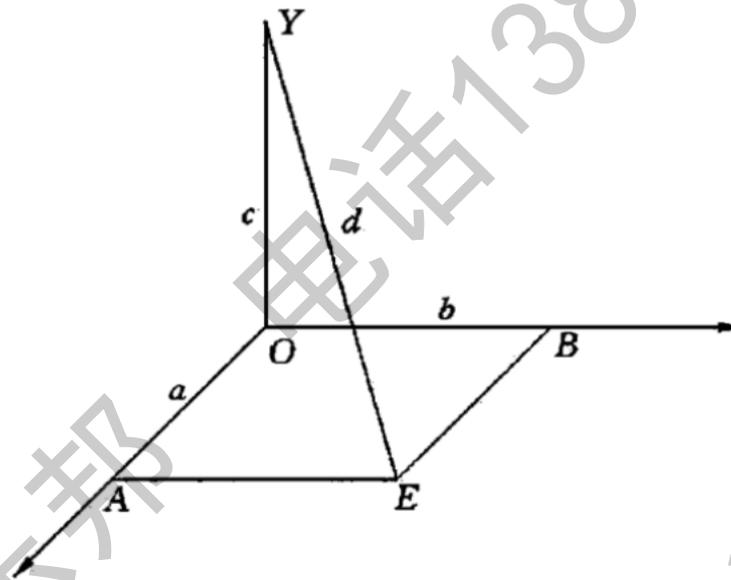


图 11-6 立体角计算示意图

将本项目辐照室的顶部划分为 4 个区域，分别计算立体角，再进行相加，就可以得到由 X 射线源与屏蔽墙对向的立体角。辐照室立体角示意图见图 11-7，本项目辐照室立体角计算示意图见图 11-8，本项目辐照室立体角计算参数和结果见表 11-8。

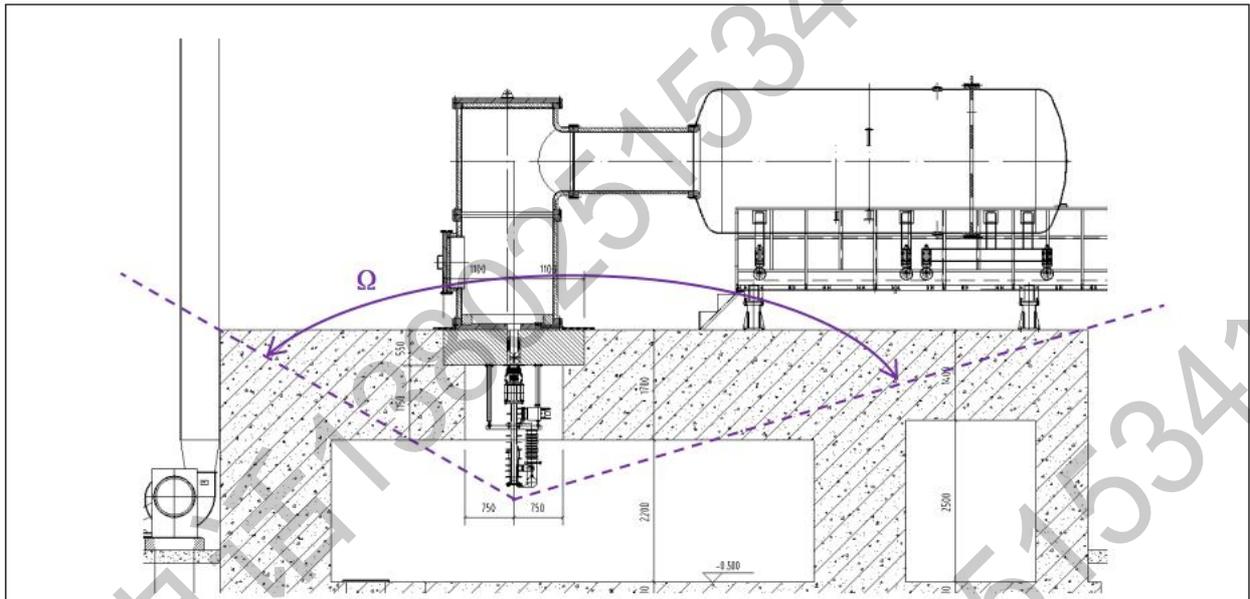


图 11-7 辐照室立体角示意图

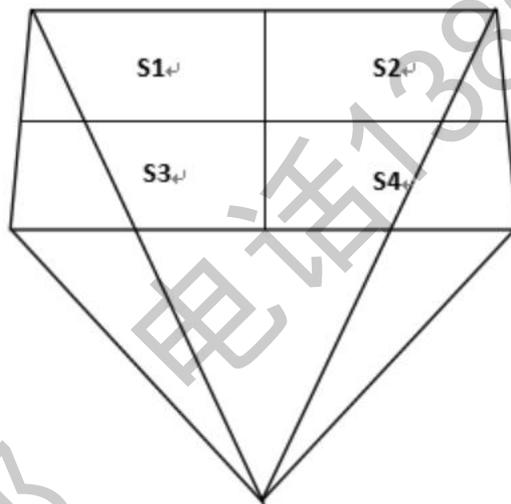


图 11-8 本项目辐照室立体角计算示意图

表 11-8 本项目辐照室立体角计算参数和结果

机房位置	区域	A (m)	b (m)	c (m)	d (m)	Ω (Sr)
1 号辐照室	S1	4.5	4.5	2.5	6.84	0.87
	S2	4.5	4.5	2.5	6.84	0.87
	S3	4.5	8.8	2.5	10.20	1.00
	S4	4.5	8.8	2.5	10.20	1.00
	S1+S2+S3+S4					

根据公式，计算辐照室外的天空反散射，计算参数和计算结果见表 11-9 和表 11-10。

表 11-9 X 射线屋顶的屏蔽透射比

机房位置	S (cm)	T ₁ (cm)	T _e (cm)	B _{xs}
1 号辐照室	170 混凝土	混凝土: 20.8	混凝土: 18.7	1.05E-09

表 11-10 辐照室外天空反散射预测参数和结果

机房位置	D ₁₀ (Gy/h)	Ω (Sr)	d _i (m)	d _s (m)	H (μSv/h)
1 号辐照室	3000	3.74	4.50	20	5.40E-05

注: 保守估算, 本报告的 D₁₀ 取距靶 1m 处的侧向 90 度方向的数值。取单位换算取换算系数为 1Sv/Gy。

③ X 射线通过屋顶的侧向散射

《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979—2018) 附录 A 中的公式 (A-8), 可以估算 X 射线通过屋顶后侧向散射对建筑物造成的辐射影响:

$$H_{\text{侧}} = \frac{D_{10} F f(\theta)}{d_R^2 10^{1 + \left[\frac{(t-T_1)}{T_e} \right]}}$$

式中: D₁₀ 为靶上方 1m 处 X 射线的吸收剂量率 (Gy/h); 保守估算, 本报告的 D₁₀ 取距靶 1m 处的侧向 90 度方向的数值;

F 为靶上方 1m 处照射野的面积 (m²);

f(θ) 为 X 射线的角度分布函数;

d_R 为屋顶上方束流中心到关注点的距离 (m);

t 为屋顶厚度;

T₁、T_e 分别为屋顶屏蔽材料的第一个和平衡十分之一值层 (m)。

根据现场情况, 本项目辐照室近邻的高层建筑有 2 处 (见图 11-9): 1 号和 2 号辐照室西北侧港利汽车维修中心的 4 层商业楼 (高度: 20m), 1 号和 2 号辐照室东南侧宏昌物流园的 2 层宏昌物流中心 (高度: 10m)。本项目需考虑 X 射线通过屋顶的侧向散射对上述高层建筑的影响。

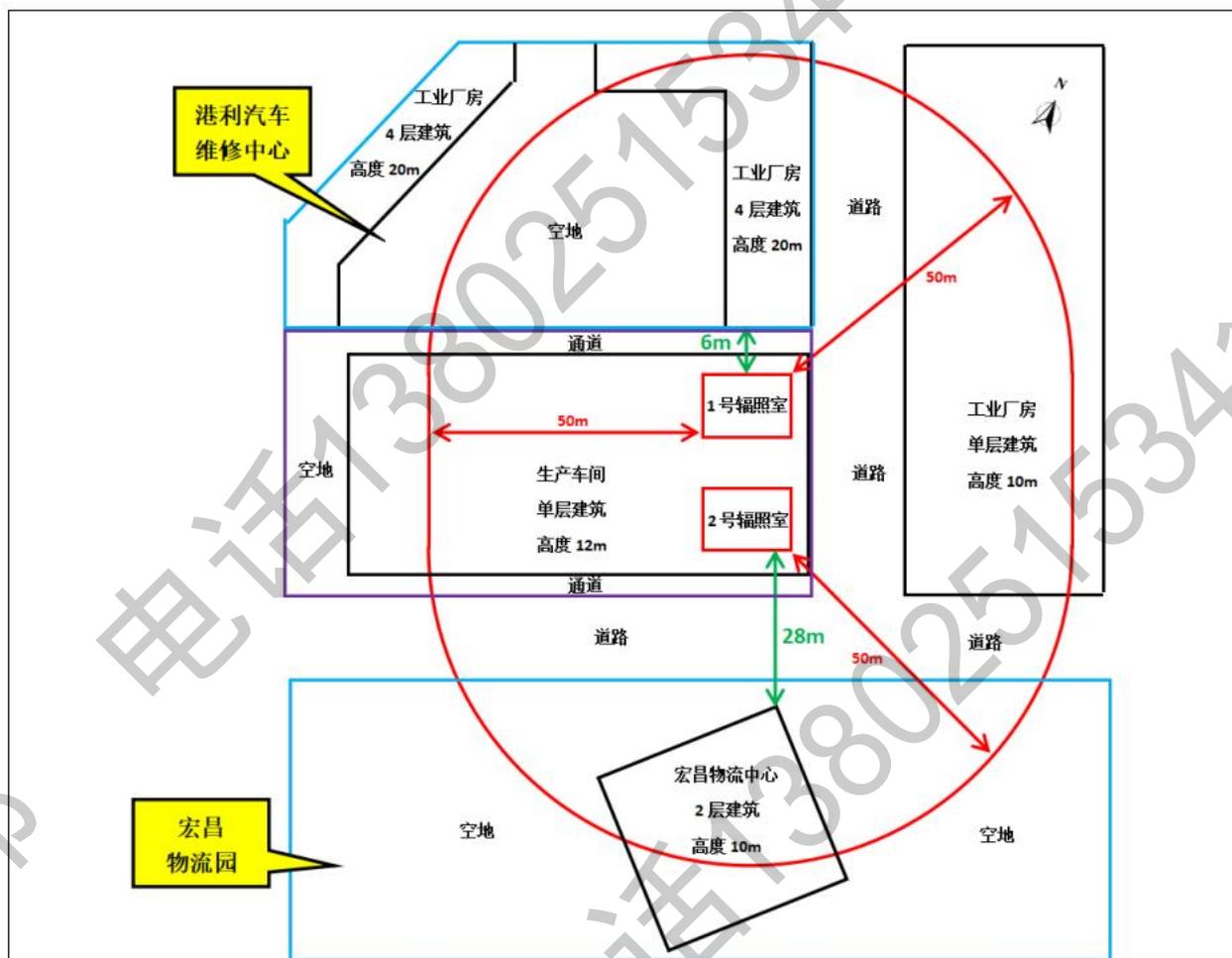


图 11-9 本项目近邻场所的建筑楼层

X 射线通过屋顶的侧向散射影响示意图见图 11-10~图 11-13。根据公式，计算 X 射线通过屋顶的侧向散射影响，计算参数和计算结果见表 11-11，计算结果表明，1 号和 2 号辐照室对近邻的高层建筑的影响可以忽略不计。

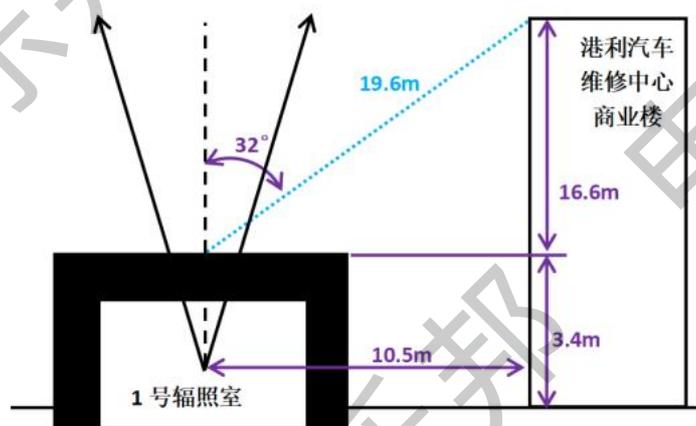


图 11-10 1 号辐照室 X 射线通过屋顶的侧向散射对港利维修中心商业楼的影响示意图

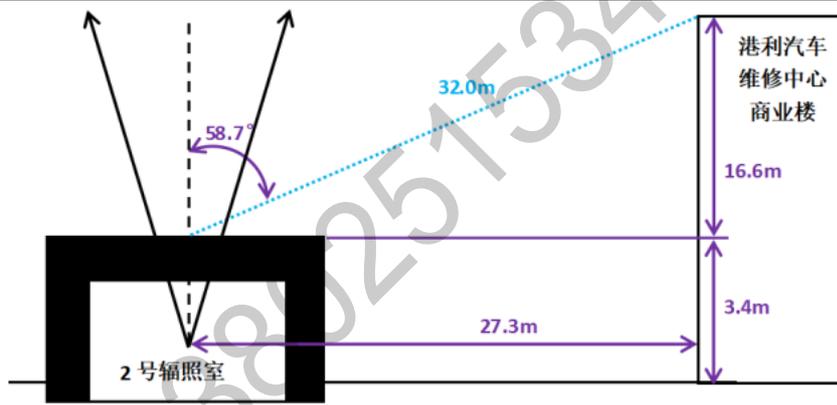


图 11-11 2 号辐照室 X 射线通过屋顶的侧向散射对港利维修中心商业楼的影响示

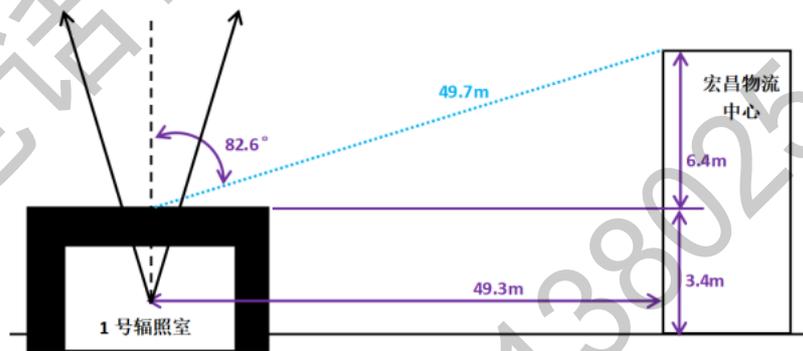


图 11-12 1 号辐照室 X 射线通过屋顶的侧向散射对宏昌物流中心的影响示意图

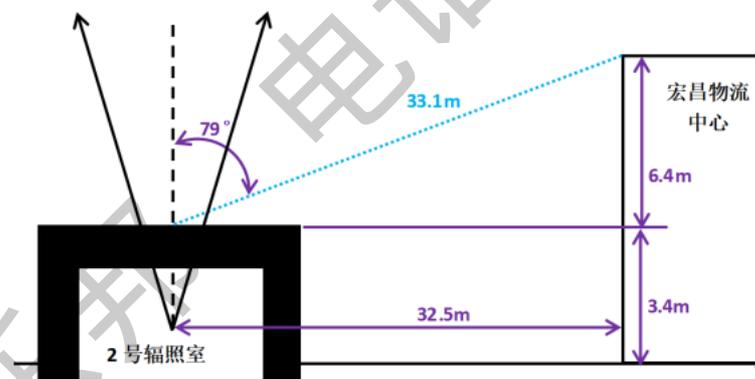


图 11-13 2 号辐照室 X 射线通过屋顶的侧向散射对宏昌物流中心的影响示意图

表 11-11 X 射线通过屋顶的侧向散射影响的计算参数和结果

影响对象	港利维修中心商业楼		宏昌物流中心	
	1 号辐照室	2 号辐照室	1 号辐照室	2 号辐照室
D_{10} (Gy/h)	3000	3000	3000	3000
F (m^2)	0.14	0.14	0.14	0.14
$f(\theta)$	0.26 保守取 30° 数据	0.10 保守取 50° 数据	0.014 保守取 80° 数据	0.035 保守取 70° 的数据
d_R (m)	19.6	32.0	49.7	33.1

t (cm)	170	170	170	170
T ₁ (cm)	20.8	20.8	20.8	20.8
T _e (cm)	18.7	18.7	18.7	18.7
H _测 (nSv/h)	2.99E-04	4.31E-05	2.50E-06	1.41E-05
	<0.001		<0.001	

注：取单位换算取换算系数为 1Sv/Gy。

④ 辐照材料进出孔外的周围剂量当量率

《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979—2018)附录 A 中的公式 (A-5)，可以估算辐照材料进出孔外的剂量率 H_孔：

$$H_{孔} = \frac{D_{10}(\alpha_1 A_1)(\alpha_2 A_2)(\alpha_3 A_3)}{(d_1 \cdot d_{r1} \cdot d_{r2} \cdots d_{rj})^2}$$

式中：D₁₀为距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率 (Gy·m²·mA⁻¹·min⁻¹)；保守估算，本报告的 D₁₀取距靶 1m 处的侧向 90 度方向的数值。

α₁为入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数，由于本项目电子加速器的最大能量为 2.5MeV，参考《兆伏级 X、γ 射线放疗设施屏蔽设计和评价》(周启甫、戈立新 主编，中国原子能出版社)中表 B.8b，保守估算本项目取 α₁=1.2×10⁻²；

α₂和 α₃为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)，本项目取 α₂=2.0×10⁻²；

A₁为 X 射线入射到第一散射物质的散射面积 (m²)；

A₂为 X 射线入射到第二散射物质的散射面积 (m²)；

A₃为 X 射线入射到第三散射物质的散射面积 (m²)；

d₁为 X 射线源与第一散射物质的距离 (m)；

d_{r1}, d_{r2}, …, d_{ri}为散射距离 (m)；j 指第 j 个散射过程。

辐照室的辐照材料进出孔的散射路径见图 11-14，辐照室辐照材料进出孔外散射辐射导致的剂量率的计算参数和结果见表 11-12。

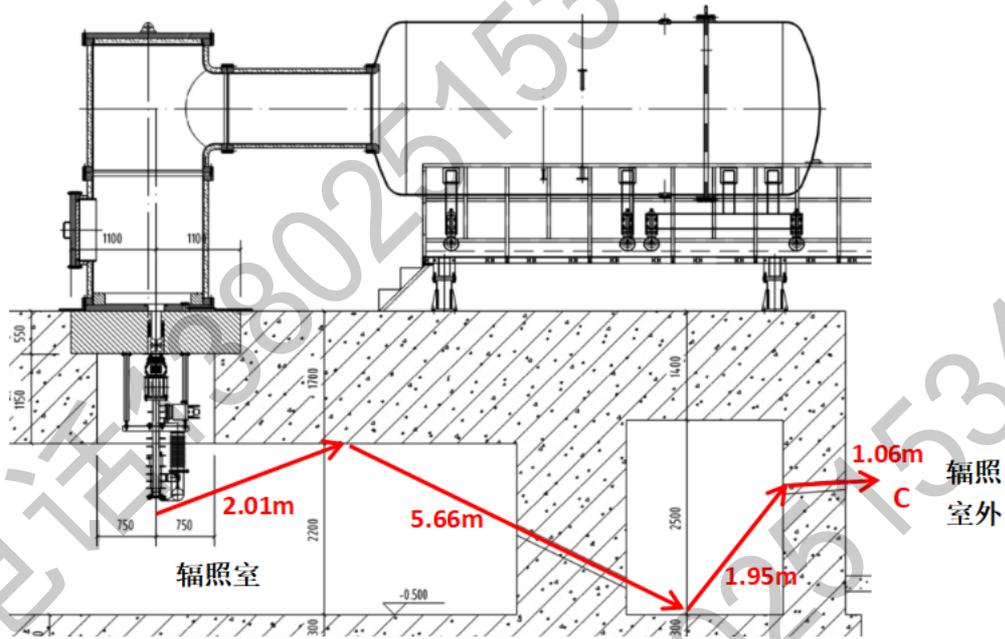


图 11-14 辐照室的辐照材料进出孔的散射路径

表 11-12 辐照室辐照材料进出孔外散射辐射导致的剂量率的计算参数和结果

预测点位	1 号辐照室 B 点
D_{10} (Gy/h)	3000
α_1	1.2E-02
α_2, α_3	2.0E-02
A_1 (m ²)	1.49
A_2 (m ²)	0.393
A_3 (m ²)	0.0142
d_1 (m)	2.01
d_{r1} (m)	5.66
d_{r2} (m)	1.95
d_{r3} (m)	1.06
$H_{孔}$ (μSv/h)	2.17E-01

注：取单位换算取换算系数为 1Sv/Gy。

11.2.4. 周围剂量当量率最终预测值

1 号辐照室外的周围剂量当量率最终水平见表 11-13。1 号辐照室外，控制室的周围剂量当量率最大值为 $5.70E-05 \mu\text{Sv/h}$ ，其余关注点的周围剂量当量率最大值为 $4.87E-01 \mu\text{Sv/h}$ 。建设单位排风管道在穿过屏蔽墙体时，采用类似“U”型路径设计：管道在辐照室内首先下沉地面，经地下管道到达辐照室外后，再上升至地面。通过增加泄漏射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。由此可以保守预测，机房外

排风口处的周围剂量当量率可采用关注点 E 的剂量率预测值，即：1 号辐照室外排风口处的周围剂量当量率为 $1.37E-01 \mu Sv/h$ 。辐照室外的周围剂量当量率可以满足本报告提出的屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率不大于 $2.5 \mu Sv/h$ 。

由于建设单位拟安装使用的 2 台电子加速器参数完全一致，并且 1 号辐照室和 2 号辐照室的机房布局对称，屏蔽设计厚度一致，类比分析可知，2 号辐照室外，控制室的周围剂量当量率最大值为 $5.70E-05 \mu Sv/h$ ，其余关注点的周围剂量当量率最大值为 $4.87E-01 \mu Sv/h$ 。2 号辐照室外排风口处的周围剂量当量率为 $1.37E-01 \mu Sv/h$ 。辐照室外的周围剂量当量率同样可以满足本报告提出的屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率不大于 $2.5 \mu Sv/h$ 。

表 11-13 1 号辐照室外周围剂量当量率最终预测结果 ($\mu Sv/h$)

机房位置	关注点	直射 X 射线	散射辐射			最终结果
			迷道和防护门	天空反射式	辐照材料进出孔	
1 号辐照室	A	3.04E-06	/	5.40E-05	/	5.70E-05
	B	2.61E-01	1.22E-01	5.40E-05	/	3.83E-01
	C	8.07E-05	/	5.40E-05	2.17E-01	2.17E-01
	D	1.37E-01	/	5.40E-05	/	1.37E-01
	E	1.37E-01	/	5.40E-05	/	1.37E-01
	F	1.37E-01	/	5.40E-05	/	1.37E-01
	顶棚	4.87E-01*	/	/	/	4.87E-01

注：*此处已叠加加速器外表面的周围剂量当量率贡献值。

叠加影响分析：

本项目的 2 间辐照室存在同时出束作业的情况，因此需要考虑叠加影响，叠加影响主要考虑 2 间辐照室之间的区域。由于 1 号辐照室东南侧的周围剂量当量率的最大值为 $1.37E-01 \mu Sv/h$ ，2 号辐照室西北侧的周围剂量当量率的最大值为 $1.37E-01 \mu Sv/h$ ，取两者的叠加值进行保守分析，由此可知，叠加区域的周围剂量当量率的最大值为 $2.74E-01 \mu Sv/h$ 。考虑叠加影响后，辐照室外的周围剂量当量率同样可以满足本报告提出的屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率不大于 $2.5 \mu Sv/h$ 。

11.2.5.年有效剂量估算

本项目是使用 2 台电子加速器进行辐照交联。建设单位预计，加速器正式投入使用后，初期工作负荷有限，每台加速器每天开机出束最多 8 小时，全年开机出束最多 200

天；未来当工作负荷增加时，每台加速器每天开机出束最多 16 小时，全年开机出束最多 250 天。

根据《辐射防护导论》，年有效剂量估算公式为 $E=H \times t \times T$ ，式中：E 为年有效剂量；H 为周围剂量当量率；t 为年受照时间；T 为居留因子。周围剂量当量率与距离的平方成反比，在进行年有效剂量估算时，采用衰减后的剂量率进行估算。

本项目辐射工作人员为加速器的操作人员，初期工作负荷较轻，单名辐射工作人员的最大工作负荷为平均每天开机出束 8 小时，全年开机出束 200 天；随着工作负荷的增加，单名辐射工作人员的最大工作负荷为平均每天开机出束 8 小时，全年开机出束 250 天。保守估算，辐射工作人员按照每天工作 8 小时，全年工作 250 天进行年有效剂量估算。本项目评价范围内主要为工厂、物流园、道路等场所，没有居民区。考虑到工作人员的实际上班情况，本项目公众按照每天工作 8 小时，全年按照 250 天进行年有效剂量估算。

本项目辐射工作人员和公众的年有效剂量估算结果见表 11-14，根据估算结果，辐射工作人员的年有效剂量最大为 $2.28E-04 \text{ mSv}$ ，公众的年有效剂量最大为 $6.13E-02 \text{ mSv}$ ，均可以满足本报告提出的：取辐射工作人员的职业照射的剂量约束值为 5 mSv/a ；公众照射的剂量约束值为 0.1 mSv/a 。

表 11-14 辐射工作人员和公众的年有效剂量估算结果

厂区内 外	位置		方向	人员 类别	初始剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	距离	衰减后剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	年有效剂量 (mSv)	
									1 台加速器导致	2 台加速器导致
厂区内	生产车间	控制室	西北侧 东南侧	辐射工 作人员	5.70E-05	紧邻	5.70E-05	1	1.14E-04	2.28E-04
		空地	西北侧 东北侧 东南侧	公众	1.37E-01	紧邻	1.37E-01	1/16	1.71E-02	3.43E-02
		收放线区	西南侧		3.83E-01	$\geq 5\text{m}$	1.53E-02	1	3.06E-02	6.13E-02
		通道 堆放区	西南侧		3.83E-01	$\geq 20\text{m}$	9.58E-04	1/16	1.20E-04	2.39E-04
		出货区	西南侧		3.83E-01	$\geq 44\text{m}$	1.98E-04	1/4	9.89E-05	1.98E-04
		办公室	西南侧		3.83E-01	$\geq 44\text{m}$	1.98E-04	1	3.96E-04	7.91E-04
		通道	西北侧		1.37E-01	$\geq 3.8\text{m}$	9.49E-03	1/16	1.19E-03	2.37E-03
	东南侧		1.37E-01		$\geq 4\text{m}$	8.56E-03	1.07E-03		2.14E-03	
	厂区外	工业厂房	东北侧		1.37E-01	$\geq 19\text{m}$	3.80E-04	1	7.59E-04	1.52E-03
		港利汽车 维修中心	西北侧		1.37E-01	$\geq 6\text{m}$	3.81E-03	1	7.61E-03	1.52E-02
宏昌物流园		东南侧		1.37E-01	$\geq 25\text{m}$	2.19E-04	1	4.38E-04	8.77E-04	
道路		东北侧 东南侧		1.37E-01	$\geq 3\text{m}$	1.52E-02	1/16	1.90E-03	3.81E-03	

注：(1) 保守估算，选取距离的最小值进行衰减后剂量率的计算；距离为紧邻时，剂量率不进行衰减计算；(2) 保守估算，取 1 台加速器导致的年有效剂量的 2 倍，作为 2 台加速器导致的年有效剂量。

11.3. 有害性气体影响的估算

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录 B 有害性气体的产生和排放计算：空气在辐射照射下产生臭氧(O₃)和氮氧化物(NO_x)等有害气体。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，所以主要是考虑臭氧的产生及其防护。

11.3.1. 臭氧产生量的估算

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录 B 中内容，对本项目臭氧的产生进行保守的估算，估算公式如下，估算参数及估算结果见表 11-15。

$$P=45dIG$$

式中：P——单位时间电子束产生 O₃ 的质量 (mg/h)；

I——电子束流强度 (mA)；

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；

G——空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 分子数，保守值可取为 10。

表 11-15 臭氧产生量的估算参数和估算结果

I (mA)	d (cm)	G	P (mg/h)
40	10	10	1.80E+05

注：根据设计方案，辐照材料位于出束口下方 10cm 处。

11.3.2. 辐照室臭氧的平衡浓度

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录 B 中内容，在加速器正常运行期间，臭氧不断产生，考虑到室内连续通风和臭氧自身的化学分解（有效化学分解时间约为 50 分钟），辐照室空气中臭氧的平衡浓度随辐照时间 t 的变化为：

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

式中：C(t) ——辐照室空气中在 t 时刻臭氧的浓度 (mg/m³)；

P ——单位时间电子束产生 O₃ 的质量 (mg/h)；

T_e ——对臭氧的有效清除时间 (h)；

$$T_e = \frac{T_v \times T_d}{T_v + T_d}$$

T_v ——辐照室换气一次所需时间 (h)；

T_d ——臭氧的有效化学分解时间 (h)，约为 50 分钟。

当长时间辐照时，则辐照室内臭氧平衡浓度为：

$$C_s = \frac{PT_e}{V}$$

由于 1 号和 2 号辐照室的有效容积约为 91.2 m³，且辐照室拟安装的机械排放装置的通风量均为 7400 m³/h，由此可知 1 号和 2 号辐照室的 T_v = 0.0123h。根据以上内容可以估算辐照室臭氧的平衡浓度，估算参数和估算结果见表 11-16。

表 11-16 辐照室臭氧的平衡浓度的估算参数和估算结果

P (mg/h)	T _v (h)	T _d (h)	V (m ³)	C _s (mg/m ³)
1.80E+05	0.0123	0.833	91.2	2.39E+01

11.3.3. 关机后辐照室内臭氧情况

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) 附录 B 中内容，加速器长期正常运行期间，室内臭氧达到饱和平衡浓度，通常情况下，该浓度大大高于 GBZ2.1 所规定的工作场所最高容许浓度。因此，当加速器停止运行后，人员不能直接进入辐照室，风机必须继续运行，室内臭氧浓度随时间急剧下降，浓度变化的平衡方程为：

$$dc/dt = -C/T_e$$

当 $t=0$ 时, $C=C_s$, 得到浓度随时间的变化公式为:

$$C = C_s e^{-\frac{t}{T_e}}$$

由此可得: 关闭加速器后风机运行的持续时间公式为:

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s}$$

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

T ——为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间 (h)。

根据以上内容, 可以估算本项目辐照室在关闭加速器后, 风机持续运行的最少时间, 估算参数和估算结果见表 11-17。计算结果显示, 1 号和 2 号辐照室在加速器停止出束后, 需要 3.2min 后才能进入。本项目拟用加速器在停止出束后, 排风系统将运行 5min, 可以满足要求。

表 11-17 辐照室关闭加速器后风机持续运行最少时间的估算参数和估算结果

T_v	T_d	C_0	C_s	T
0.0123h	0.833h	0.3 mg/m ³	23.9 mg/m ³	0.0531 h, 即: 3.2 min

11.4. 事故期间的风险分析

本项目是在有实体边界的辐照室内使用射线装置, 项目开展期间可能发生的辐射事故及风险主要为人员误入引起误照射。事故的发生主要是在管理上出问题, 辐射工作人员平时必须严格执行各项管理制度, 严格遵守设备的操作规程, 进行辐射工作前检查是否已按要求做好各种相应的辐射防护措施, 并定期检查辐照室的辐射屏蔽和各项辐射安全措施的性能, 及有关的安全警示标志是否正常工作, 避免人员误入正在工作中的辐照室和其它安全事故。

(1) 可能发生的辐射事故

① 安全连锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入辐照室，如果此时电子加速器处于运行状态，则可能造成误照事故。

② 辐照室中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认辐照室中环境便运行电子加速器，则会造成辐照室中人员受误照射。

③ 加速器设备出现故障时（如直流高压发生器故障），可能导致加速器的加速管外产生额外的 X 射线，造成误照事故。

④ 束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时，若多重连锁装置失效，则加速器可能无法及时停止出束，造成误照事故。

⑤ 设备维护或维修调试过程中，工作人员错误操作，接通电源并出束，则可能造成误照事故。

本项目可能发生的辐射事故为较大辐射事故和一般辐射事故。

(2) 预防措施

本项辐射事故的发生主要是在管理上出问题，因此，本项目的预防措施主要为严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求做好各种相应的辐射防护措施，并定期检查辐照室的辐射屏蔽和各项辐射安全措施的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，避免人员误入正在工作中的辐照室和其它安全事故。本项目的主要预防措施如下：

① 认真组织辐射工作人员参加辐射防护培训及专业技术的知识学习，使用射线装置的工作人员必须通过辐射安全防护培训考核后，才可持证上岗；

② 配备自行监测设备，并正确使用；

③ 定期进行的辐射防护检测，如有异常，及时整改；

④ 严格落实各项辐射防护措施，并定期检查，确保各项辐射防护措施可以有效使用。

⑤ 定期组织辐射工作人员进行职业健康检查，工作人员职业照射个人剂量监测档

案终生保存；

⑥ 应对辐射工作人员的辐射安全管理制度执行情况进行监督、检查，确保各项规章制度制度的落实。

(3) 一旦发生误照事故，处理的步骤是：

① 立即消除事故源，防止事故继续蔓延和扩大，即第一时间启动紧急开关，将加速器断高压停止出束。

② 及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查。

③ 及时处理，出现事故后，应尽快集中人力、物力，有组织、有计划的进行处理。这样，可缩小事故影响，减少事故损失。

④ 事故处理后应收集资料，及时总结报告。建设单位对于辐射事故进行记录：包括事故发生的时间和地点，所有涉及的事故责任人和受害者名单；对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果；所做的医学检查及结果；采取的纠正措施；事故的可能原因；为防止类似事件再次发生所采取的措施。

表 12 辐射安全管理

12.1.辐射安全与环境管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年第四次修改）的相关规定，建设单位应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

建设单位已成立了辐射防护管理委员会。建设单位承诺，在落实本项目的相关人员后，将进一步完善辐射防护管理委员会。辐射防护管理委员会如下：

委员会主任：陈见山

成 员：黄畅冠、陈建安、梁鉴聪

辐射防护管理领导小组的主要职责为：

- 1.制定并完善辐射安全管理相关制度，确保相关制度的落实。
- 2.组织实施辐射工作人员的辐射安全与防护培训、职业健康检查及个人剂量检测工作，建立个人健康监护档案。
- 3.定期对辐射工作场所和设备进行辐射防护检测、监测和检查。
- 4.定期对辐射安全与防护工作进行督查，检查辐射工作人员的技术操作情况，管理制度落实情况，指导做好辐射工作场所管理和人员防护，杜绝辐射安全事故的发生。
- 5.制定辐射事故应急处理预案，并定期（每年一次）组织辐射事故应急演练。
- 6.对本单位的核技术利用项目的安全和防护状况进行年度评估，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。

建设单位的辐射安全与环境管理机构的设置可以满足相关标准要求。

12.2.辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年第四次修改），使用放射性同位素、射线装置的单位应有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等；有完善的辐射事故应急措

施。

建设单位已初步制定了《辐射防护管理委员会及其职责》、《辐射安全防护制度》、《安全保卫制度》、《辐射安全培训规定》、《加速器操作规程》、《监测方案》、《日常检查规定》、《设备维修维护规定》和《辐射事故应急预案》（见附件4），通过管理制度规定了辐射工作人员、辐射工作场所和射线装置的管理，以及人员培训制度以及监测方案。

建设单位承诺，随着本项目的推进，相关人员的落实，建设单位将逐步修订完善相关规章制度。建设单位制定的辐射安全管理规章制度满足相关标准要求。

12.3.辐射工作人员的培训

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报名并参加考核。

本项目辐射工作人员为加速器的操作人员，初期工作负荷较轻，建设单位拟配备4名辐射工作人员；随着工作负荷的增加，建设单位拟配备8名辐射工作人员，采取2班制进行工作。目前，建设单位的辐射工作人员名单尚未落实。

建设单位承诺，在辐射工作人员落实后，将安排辐射工作人员在生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名学习并参加考核，保证项目建设完成后辐射工作人员能凭考核合格后的成绩单上岗。

12.4.其它辐射安全措施

评价项目正式开展后，建设单位将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日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

12.5.辐射监测

(1) 环保措施竣工环境保护验收

本项目竣工后，建设单位应当按照《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）中的要求，按照下述步骤开展验收工作：（1）建设单位验

收自查，(2) 验收监测及验收监测报告编制，(3) 提出验收意见，编制“其他需要说明的事项”，形成验收报告，公开相关信息并建立档案。

验收监测时，需委托有相关资质的单位对辐照室外的周围剂量当量率进行监测。验收时，建设单位的验收小组应依据本环评报告，针对辐射安全防护措施等进行核查，包括辐射安全措施的安装位置、使用情况、是否满足环评报告中的设备功能要求等进行核查。若与环评报告不一致，应立即整改，在整改完成前，不得将加速器设备投入使用。

表 12-1 验收监测

检测因子	周围剂量当量率
点位	电子加速器在最大工况运行时，对下述点位进行监测 1) 通过巡测,发现的辐射水平异常高的位置，并进行重点监测； 2) 屏蔽体外 30cm 处，距离地面 1m 处进行监测； 3) 防护门外及四周 30cm 处； 4) 控制线缆穿墙孔外侧 30cm 处，通风管道外侧 30cm 处，辐照材料穿墙孔外侧 30cm 处； 5) 二楼距离地面 30cm 处，加速器设备屏蔽体外 30cm 处； 6) 操作位； 7) 周围环境敏感点。
限值	辐射剂量率的限值为 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，周边环境点位应根据检测值和工作时间计算可满足公众剂量限制 0.1mSv/a 。

验收时，建设单位的验收小组需验收下述辐射安全装置：开关钥匙、电离辐射标识、光电装置、巡检按钮、急停按钮、拉线开关、紧急开门装置、固定式实时周围剂量当量率监测系统、通风系统、烟雾报警装置、火灾灭火装置、视频监测系统等。上述辐射安全装置的具体要求见表 10 中内容。

验收时，建设单位的验收小组需清点下述设备：1 台 X- γ 辐射剂量率仪，2 台辐射剂量报警仪。验收小组需确保已配备相应数量的上述设备。若相关设备尚未配备，建设单位应立即配备上述设备；在相关设备未配备齐全的情况下，不得将加速器投入使用。

对本项目进行验收时，可依据下列文件进行：

①关于发布《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的公告，环境保护部文件 国环环评（2017）4 号；

② 中华人民共和国国务院令 第 682 号，国务院关于修改《建设项目环境保护管理条例》的决定（2017 年 10 月 1 日起施行）；

③ 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）

④ 本项目环评报告及批复文件。

建设单位在环境保护设施验收过程中，应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，核查落实辐射安全与防护的所有安全措施，保证严格落实环境影响评价过程中的全部安全措施，不得弄虚作假。建设单位将依法向社会公开验收报告。

(2) 日常自行监测

建设单位针对本项目，拟配备 1 台 X- γ 辐射剂量率仪，2 台辐射剂量报警仪。建设单位拟采取日检查、月检查和半年检查的方式，对本项目进行日常自行监测，确保项目的正常安全开展。

日检查：建设单位拟每天对本项目的下述设备进行检查，发现异常情况时，将暂停使用电子加速器，在排除异常情况后会再次启用加速器。具体检查内容包括：

- 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；
- ④ 视频监控图像显示状况。

月检查：建设单位拟每月对本项目的下述设备进行检查，发现异常情况时，将暂停使用电子加速器，在排除异常情况后会再次启用加速器。具体检查内容包括：

- 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。

半年检查：建设单位拟每半年对本项目的下述设备进行检查，发现异常情况时，将暂停使用电子加速器，在采取措施排除异常情况后会再次启用加速器。具体检查内容包括：

① 配合年检的检测：建设单位拟配备 1 台 X- γ 辐射剂量率仪，每六个月使用 X- γ 辐射剂量率仪，对各个机房屏蔽体外表面进行辐射防护自行监测。

周围剂量当量率的限值为 2.5 μ Sv/h，若出现周围剂量当量率超标的情况，需立即停止加速器的运行，同时查找原因，进行整改，直到监测结果小于 2.5 μ Sv/h，方可再次开展本项目。若整改过程涉及屏蔽体，需编制辐射安全分析报告，确保满足相关法律法规要求后，方可再次启用电子加速器。

② 全部安全设备和控制系统运行状况。

建设单位承诺将严格落实运行日志的记录，记录与装置有关的重要活动事项并保存日志档案。记录事项包括以下内容：运行工况；辐照产品的情况；发生的故障及排除方法；外来人员进入控制区情况；个人剂量计佩戴情况；个人剂量、工作场所和周边环境的辐射监测结果；检查及维修维护的内容和结果；其它需要记录的内容。

(3) 辐射工作人员个人剂量监测

建设单位将为每个操作人员配备个人剂量计，并严格规定其必须佩带个人剂量计上岗，每季度送检，建立个人剂量档案。

(4) 年度常规监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第 18 号令 2011 年）的相关规定，使用放射性同位素与射线装置的单位应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。

建设单位将严格执行辐射监测计划，定期委托有相关资质的第三方辐射监测机构对建设单位的辐射工作场所进行监测。

年度监测数据将作为本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况年度评估报告的一部分，定期上报生态环境行政主管部门。

本项目的辐射监测一览表见表 12-2。

表 12-2 辐射监测一览表

监测类别	监测因子	频率	监测单位	监测范围	控制水平	超标处理方案
验收监测	周围剂量当量率	安装调试后	委托有资质单位	见表 12-1	屏蔽体外表面 30cm 处 $\leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$	及时查找原因并整改直至符合要求
日常监测		1 次/三个月	建设单位			
年度监测		1 次/年	委托有资质单位			
个人剂量监测	个人剂量当量	1 次/季度	委托有资质单位	所有辐射工作人员	每年 $\leq 5\text{mSv}$	调查原因，规范管理

在实际工作过程中，日常监测和年度监测的结果，可以与验收监测结果相对照，当发现明显异常但还未达到 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 时，应该采取措施，及时查找原因。

12.6. 辐射事故应急

建设单位已成立了事故应急领导小组框架（详见附件 4）。建设单位承诺在落实本项目的相关人员后，将修订完善应急预案。辐射事故应急小组的工作职责是平时做好放射事故应急准备工作，一旦有事故发生时能按照程序启动应急方案。

为有效处理核技术利用项目开展过程中可能产生的辐射事故，强化辐射事故应急处理责任，最大限度地控制事故危害，建设单位制定了《事故应急预案》（见附件 4）。在《事故应急预案》规定了应急响应程序及操作流程。建设单位承诺，随着项目的开展，将对《事故应急预案》进行细化完善。建设单位的辐射事故应急预案可以满足要求。为确保辐射事故下的应急，建设单位拟每年开展应急人员的培训演习。

表 13 结论与建议

13.1.结论

中山市悦来新材料科技有限公司拟在中山市小榄镇东城社区葵兴大道 206 号第三卡的建设单位生产车间东北侧，新建 2 间辐照室，在每间辐照室拟安装使用 1 台 DDLH2.5/40-1400 型电子加速器（电子能量为 2.5MeV，束流为 40mA），总计使用 2 台电子加速器，进行辐照交联。该项目的屏蔽设施能有效降低周围剂量当量率至剂量率控制水平，建设单位初步制订的相关规章制度内容较全面、措施可行。

13.1.1. 辐射安全与防护分析结论

建设单位拟对本项目的辐射工作场所实行分区管理，将工作场所划分为监督区和控制区，执行对应的管理措施；同时，建设单位对辐射工作场所采取了辐射防护设计，设计有辐射安全和防护措施。

本项目辐照室的辐射屏蔽设计方案和电子加速器设备主体自带的半自屏蔽设施，可以满足辐射防护要求，拟配备和安装的辐射防护设施的数量和规格同样满足相关标准要求。

13.1.2. 环境质量和辐射现状结论

本项目拟建位置及其周边场所的道路测量结果为 103~151 nGy/h，室内测量结果为 141 nGy/h。本项目拟建位置及其周边场所的环境 γ 辐射剂量率的调查水平，与《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社）的调查数据相当。

13.1.3. 环境影响分析结论

本项目施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。施工单位在严格按照有关规定采取相关措施进行污染防治，并加强监管后，本项目施工期对周围环境的影响可降低到最小。

本项目运行阶段，正常情况下，辐照室外的周围剂量当量率均可以满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中要求的：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 μ Sv/h。

本项目运行阶段，在正常情况下，本项目对周围环境中的辐射工作人员和公众的

辐射影响均能满足本报告根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）而设定的剂量约束值：辐射工作人员的年照射剂量约束值不大于 5mSv；公众的年照射剂量约束值不大于 0.1mSv。

建设单位已初步建立了辐射安全与环境保护管理机构，初步制定了辐射事故应急预案等辐射安全管理规章制度。

13.1.4. 可行性分析结论

对照国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第 7 号），本项目属于鼓励类中第六项“核能”的第 4 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”。因此，本项目属于国家鼓励发展的新技术应用项目，符合国家有关法律法规和当前产业政策。

本项目的开展，可以提升建设单位的产品质量和产品附加值，提高建设单位的市场竞争力，同时，本项目的开展导致的辐射工作人员和公众的年有效剂量均低于根据最优化原则设置的项目剂量约束值。因此，本项目的开展符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”要求，并且，本项目实施所获得的利益远大于可能因辐射实践所造成的损害。

本评价项目建设方案中已按照环境保护法规和有关辐射防护要求进行设计，建设过程如能严格按照设计方案进行施工，建筑施工质量能达到要求时，并且完善 13.2 建议和承诺中的内容，本次评价对该项目提出的各项要求及措施，则本评价正常运行时，对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，从环境保护和辐射防护角度论证，该评价项目是可行的。

13.2. 建议和承诺

建设单位承诺落实以下环境保护措施：

- （1）完善规章制度，并张贴悬挂各规章制度于控制室墙面上。

表 14 审批

<p>下一级环保部门预审意见</p> <p>公章</p> <p>经办人年月日</p>
<p>审批意见</p> <p>公章</p> <p>经办人年月日</p>

附件 1 项目委托书

委 托 书

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》等法律法规要求，现委托 广州乐邦环境科技有限公司 对我单位核技术利用建设项目进行 环境影响评价，项目基本信息如下：

单位名称	中山市悦来新材料科技有限公司						
项目名称	中山市悦来新材料科技有限公司新建电子加速器辐照项目						
建设地点	中山市小榄镇东城社区葵兴大道 206 号第三卡的生产车间东北侧						
项目联系人	张小锐	联系电话	[REDACTED]				
项目性质	新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/>						
建设内容	新建 2 间辐照室，在辐照室各安装使用 1 台电子加速器，总计使用 2 台电子加速器，用于辐照交联。电子加速器参数如下：						
	名称	数量	型号	加速粒子	电子束最大能量	最大束流	主束方向
	电子加速器	2 台	DDLH2.5/40-1400	电子	2.5MeV	40mA	垂直向下

中山市悦来新材料科技有限公司

2024 年 5 月





广州乐邦环境科技有限公司

检 测 报 告

报告编号: LBDL20240524001

项目名称: 中山市悦来新材料科技有限公司新建电子加速器
辐照项目环境 γ 辐射剂量率检测

检测类别: 委托检测

委托单位: 中山市悦来新材料科技有限公司

报告日期: 2024 年 05 月 29 日



说 明

- 1、报告无本单位报告专用章及骑缝章无效。
- 2、报告无检测人、复核人、签发人的签名无效。
- 3、报告涂改或部分复印无效。
- 4、自送样品的委托检测，其检测结果仅对来样负责。对不可复现的检测项目，结果仅对采样所代表的时间和空间负责。
- 5、对检测结果有异议，可在收到报告之日起一个月内向我公司提出书面复检申请，逾期不予受理。

本机构通讯资料:

单位名称: 广州乐邦环境科技有限公司

地 址: 广州市番禺区新造镇和平路1号19号仓101

电 话: 020-36298507

邮 编: 511436

广州乐邦环境科技有限公司
检测报告

项目概况:

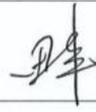
建设单位: 中山市悦来新材料科技有限公司
项目地址: 中山市小榄镇东城社区葵兴大道 206 号第三卡
测量位置: 电子加速器拟建位置及其周边场所
监测因子: 环境 γ 辐射剂量率

检测方法和评价依据:

《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)

检测仪器:

仪器名称: X- γ 辐射剂量率仪
仪器型号: 6150AD 6/H+6150AD-b/H
仪器编号: 171412 (主机) +176695 (探头)
生产厂家: AUTOMESS
探头量程: 1nSv/h~99.9 μ Sv/h
能量范围: 38keV~7MeV
检定单位: 广东省辐射剂量计量检定站
证书编号: GRD (1) 20230390
检定日期: 2023 年 08 月 01 日
有效期: 1 年

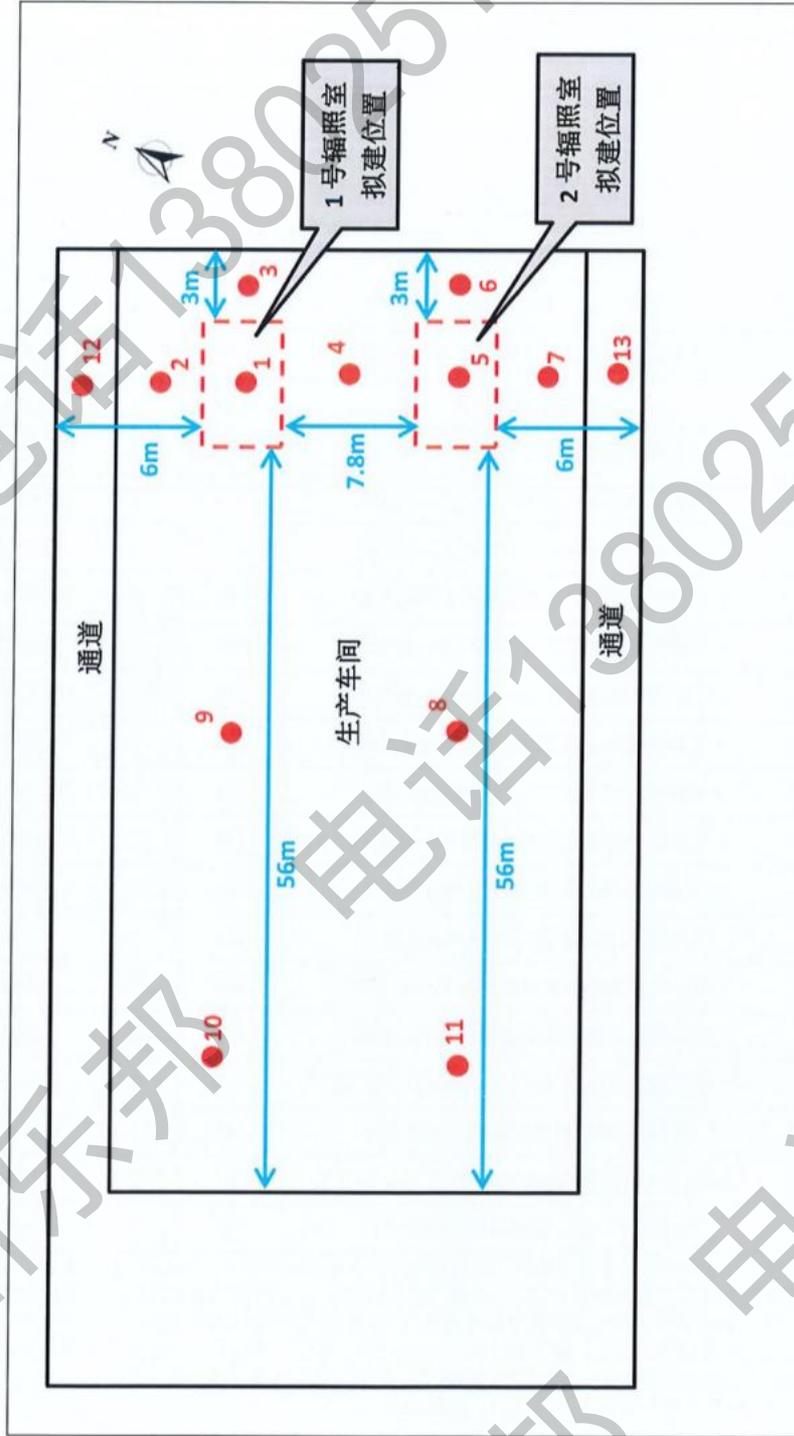
检测时环境状况	天气: 阴 温度: 26℃ 相对湿度: 72%		
检测概况	检测人员	田丰、吴雅婷	
	检测日期	2024年05月24日	
检测结果: 中山市悦来新材料科技有限公司新建电子加速器辐照项目的拟建位置及其周边场所的环境γ辐射剂量率的检测结果如下(详细结果见附页): 环境γ辐射剂量率的范围为 103 nGy/h ~ 151 nGy/h; 测量值均已扣除仪器对宇宙射线的响应值。			
报告签署:			
编制人		日期	2024.5.29
复核人		日期	2024.5.29
签发人		日期	2024.5.29
检测单位印章: 广州乐邦环境科技有限公司 (检验检测专用章)			
			

附表 1 环境 γ 辐射剂量率检测结果 (nGy/h)

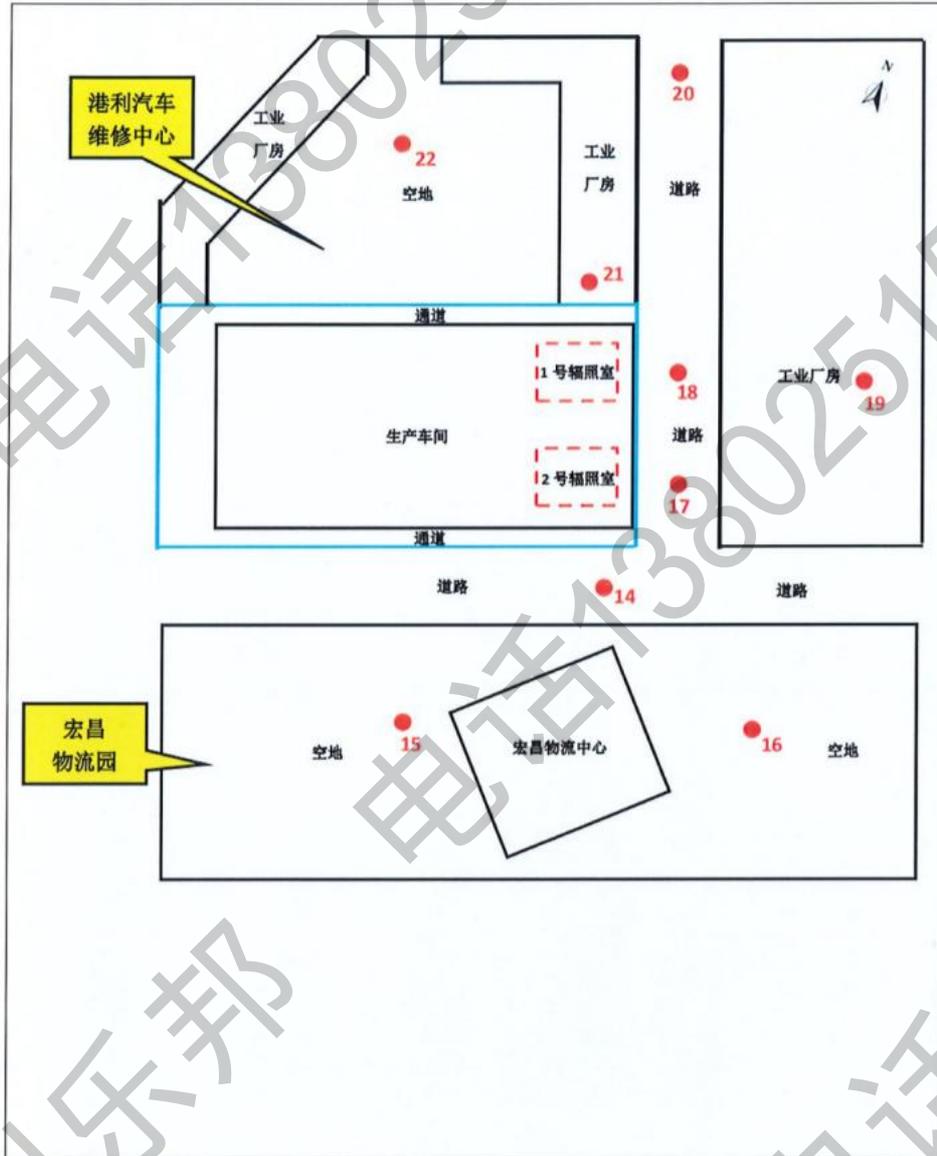
测点 编号	测量位置	检测结果		备注
		平均值	标准差	
1	1号辐照室拟建位置	118	2	铁皮棚房
2	1号辐照室拟建位置西北侧约 2m处空地	114	2	铁皮棚房
3	1号辐照室拟建位置东北侧约 1m处空地	113	2	铁皮棚房
4	1号辐照室拟建位置东南侧约 4m处空地	116	2	铁皮棚房
5	2号辐照室拟建位置	105	1	铁皮棚房
6	2号辐照室拟建位置东北侧约 1m处空地	111	2	铁皮棚房
7	2号辐照室拟建位置东南侧约 2m处空地	114	2	铁皮棚房
8	2号辐照室拟建位置西南侧约 25m处空地	121	1	铁皮棚房
9	1号辐照室拟建位置西南侧约 25m处空地	103	1	铁皮棚房
10	1号辐照室拟建位置西南侧约 50m处空地	106	2	铁皮棚房
11	2号辐照室拟建位置西南侧约 50m处空地	118	2	铁皮棚房
12	1号辐照室拟建位置西北侧约 5m处通道	150	2	道路
13	2号辐照室拟建位置东南侧约 5m处通道	136	1	道路
14	2号辐照室拟建位置东南侧约 15m处道路	145	2	道路
15	2号辐照室拟建位置南侧约 50m处空地	134	2	空地
16	2号辐照室拟建位置东侧约 50m处空地	141	2	空地
17	2号辐照室拟建位置东北侧约 11m处道路	145	2	道路
18	1号辐照室拟建位置东北侧约 11m处道路	151	2	道路
19	1号辐照室拟建位置东北侧约 40m处工业厂房	137	2	铁皮棚房
20	1号辐照室拟建位置北侧约 50m处道路	143	1	道路
21	1号辐照室拟建位置西北侧约 9m处工业厂房首层	141	2	楼房
22	1号辐照室拟建位置西侧约 50m处空地	126	2	空地

注: ①测量时, 仪器探头均垂直于地面, 距地面高度约 100cm, 所有测点均记录 10 个读数; ②测量值均已扣除仪器对宇宙射线的响应值 (响应值为 27 nGy/h); ③检测仪器校准时使用的校准参考辐射源是 ^{137}Cs , 因此本报告单位换算取换算系数为 1.2Sv/Gy; ④根据 HJ1157-2021 中 5.5 规定, 建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子, 楼房取 0.8, 平房取 0.9, 原野、道路取 1。⑤铁皮棚房的屋顶均为铁皮, 对宇宙射线的屏蔽很小, 因此铁皮棚房对宇宙射线的屏蔽修正因子参考原野、道路取 1。⑥空地对宇宙射线的屏蔽修正因子参考原野、道路取 1。

附图 1 建设单位厂区内检测布点图



附图2 建设单位厂区外检测布点图



报告结束



广州乐邦环境科技有限公司

检测报告

报告编号: LBDL20240402001

项目名称: 广东良奕科技有限公司电子加速器自带屏蔽体外
周围剂量当量率检测

检测类别: 委托检测

委托单位: 中广核达胜加速器技术有限公司

报告日期: 2024年04月08日



说 明

- 1、报告无本单位报告专用章及骑缝章无效。
- 2、报告无检测人、复核人、签发人的签名无效。
- 3、报告涂改或部分复印无效。
- 4、自送样品的委托检测，其检测结果仅对来样负责。对不可复现的检测项目，结果仅对采样所代表的时间和空间负责。
- 5、对检测结果有异议，可在收到报告之日起一个月内向我公司提出书面复检申请，逾期不予受理。

本机构通讯资料:

单位名称: 广州乐邦环境科技有限公司

地 址: 广州市番禺区新造镇和平路1号19号仓101

电 话: 020-36298507

邮 编: 511436

广州乐邦环境科技有限公司
检 测 报 告

项目概况:

使用单位: 广东良奕科技有限公司
检测地点: 广东省惠州市博罗县园洲镇义合村向西小组江头圆
检测项目: 周围剂量当量率
基本信息: 1号辐照室内射线装置参数见下表

名称	型号	加速粒子	最大能量	最大束流
电子加速器	DDLH2.5/40-1400	电子	2.5 MeV	40mA

检测方法和评价依据:

《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)
《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)
《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ141-2002)

检测仪器:

仪器名称: X- γ 辐射剂量率仪
仪器型号: AT1123
仪器编号: 54928
生产厂家: ATOMTEX
探头量程: 50 nSv/h~10 Sv/h
能量范围: 25 keV~3 MeV
检定单位: 深圳市计量质量检测研究院
证书编号: JL2354207941
检定日期: 2023年06月01日
有效期: 1年

检测时环境状况	天气: 多云 温度: 28℃ 相对湿度: 68%		
检测概况	检测人员	田丰、李明	
	检测日期	2024年04月02日	

检测结果:

广东良奕科技有限公司的1号辐照室的电子加速器在正常运行时,电子加速器自带屏蔽体外所有测量点位的周围剂量当量率最大值为276 nSv/h(未扣除仪器对宇宙射线的响应值),所有测量点位的检测结果均满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)中要求的: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 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ (即:2500 nSv/h);以及《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ141-2002)中要求的: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 $\leq 2.5 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ (即:2500 nSv/h)。周围剂量当量率的检测结果详见附表1,检测布点详见附图1和附图2。

报告签署:

编制人		日期	2024.4.8
复核人		日期	2024.4.8
签发人		日期	2024.4.8

检测单位印章:

广州乐邦环境科技有限公司(检验检测专用章)



附表 检测结果

附表 1 周围剂量当量率的检测结果 (nSv/h)

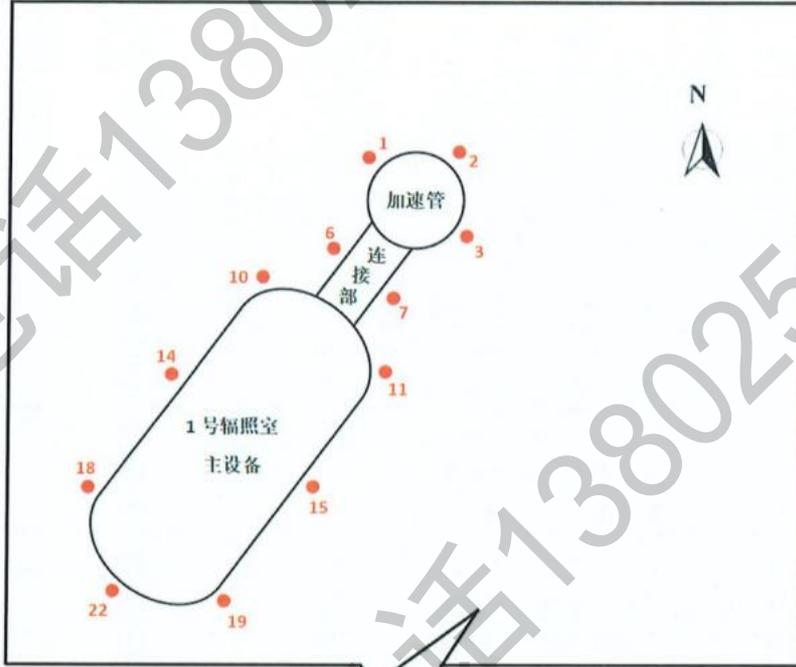
测点 编号	测量位置	关机状态测量值		出束状态测量值	
		平均值	标准差	平均值	标准差
1	加速管外表面 30cm处	194	2	274	5
2	加速管外表面 30cm处	187	2	266	2
3	加速管外表面 30cm处	191	2	276	3
4	加速管外表面 30cm处	192	2	268	3
5	加速管外表面 30cm处	188	1	253	3
6	连接部外表面 30cm处	177	2	203	2
7	连接部外表面 30cm处	180	2	202	2
8	连接部外表面 30cm处	178	2	205	2
9	连接部外表面 30cm处	181	2	208	2
10	主设备外表面 30cm处	167	2	191	2
11	主设备外表面 30cm处	171	2	193	1
12	主设备外表面 30cm处	173	1	189	2
13	主设备外表面 30cm处	174	2	194	2
14	主设备外表面 30cm处	170	2	186	2
15	主设备外表面 30cm处	164	2	176	2
16	主设备外表面 30cm处	169	2	180	2
17	主设备外表面 30cm处	164	1	179	2
18	主设备外表面 30cm处	172	2	182	2
19	主设备外表面 30cm处	163	2	175	2
20	主设备外表面 30cm处	169	2	183	2
21	主设备外表面 30cm处	169	2	180	2
22	主设备外表面 30cm处	167	2	181	1

备注 出束状态下加速器运行工况: 电子能量为 2.5 MeV; 束流为 40mA

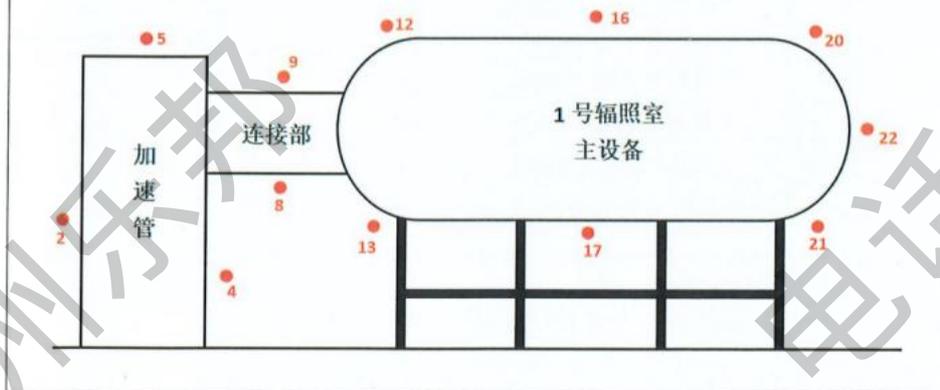
注: ①测量时, 仪器探头垂直于被测物体, 距被测物体 30 cm; ②测量时, 先进行巡测, 确认无异常 (或相对明显较高的数据) 点位后, 在各个可达表面布设典型点位; ③所有测量值 (包括关机状态和出束状态的测量值) 均未扣除仪器对宇宙射线的响应值。

附图 检测布点图

附图 1 平面检测布点图



附图 2 立面检测布点图



报告结束

附件 4 规章制度

辐射防护管理委员会及其职责

一、辐射防护管理委员会组织机构图

委员会主任：陈见山

成 员：黄畅冠、陈建安、梁鉴聪

二、辐射防护管理委员会职责分工

职务	分管职责
委员会主任	总领辐射运行阶段的各项工作，负责与上级部门进行沟通，直接领导成员开展日常工作。负责公司整体辐射防护的布署沟通协调监督工作，负责必要的人财物支持工作，参与辐射安全事故的调查和处理，安排辐射工作人员的辐射安全与防护培训、职业健康体检、个人剂量监测；定期检查辐射安全防护设施、监测环境辐射水平；制定辐射安全防护管理制度。
成 员	接受辐射安全负责人的领导开展日常工作。负责日常辐射安全防护监督工作，熟练掌握加速器设备的操作规程与辐照工艺，能对加速器设备的常规故障进行判断，严格遵守放射防护安全规章制度。

中山市悦来新材料科技有限公司

2024年5月

辐射安全防护制度

- 1、本公司所有辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作。
- 2、本公司将组织上岗后的辐射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过2年，必要时可增加临时性检查。
- 3、辐射工作人员脱离辐射工作岗位时，本公司将对其进行离岗前的职业健康检查。
- 4、对参加应急处理或者受到事故照射的辐射工作人员，本公司将及时组织健康检查工作医疗救治，按照国家有关标准进行医学随访观察。
- 5、本公司将在收到职业健康检查报告7日内，将体检结果如实告知辐射工作人员，并将职业健康检查报告整理成档。
- 6、本公司为辐射工作人员建立并终生保存其职业健康监护档案。职业健康监护档案应当保存以下内容：
 - (一) 职业史、既往病史和职业照射接触史；
 - (二) 历次职业健康检查结果及评价处理意见；
 - (三) 职业辐射性疾病诊疗、医学随访观察等健康资料。
- 7、辐射工作人员有权查阅、复印本人的职业健康监护档案。本公司将如实、无偿提供。
- 8、辐射工作人员职业健康检查、职业性辐射性疾病的诊断、鉴定、医疗救治和医学随访观察的费用，由其本公司承担。
- 9、辐射工作人员的保健津贴按照国家有关规定执行。

中山市悦来新材料科技有限公司

2024年5月

安全保卫制度

为了加强辐射项目的管理工作，确保项目开展的安全和整洁，维护正常的工作和生活秩序，特制订以下制度：

一、人员出入保卫：积极维护单位正常工作和生活秩序，遵纪守法，树立自我防范意识，增强责任感。

- 1、不得携带各种违禁品、危险品，进入辐射工作场所；
- 2、不得将辐射项目开展的相关设备私自带出辐射工作场所；
- 3、外来人员需接受安全监督和检查，外来人员在来访前后需实名登记。

二、财产保卫：每天下班后，要关掉用电电源，关好门窗，做到防火、防盗、保证安全。

- 1、现金、贵重物品及机要文件，下班后应放置于安全的橱柜中；
- 2、如有窃案发生，应保护好现场，并立即上报公安部门。

三、工作人员的职责：

- 1、单位环境的日常维护；
- 2、预防盗窃、火灾及其他危险事项；
- 3、维护相关秩序；
- 4、做好监督检查。

中山市悦来新材料科技有限公司



辐射安全培训规定

为了提高从事辐射工作人员的安全防护意识和工作技能，加强辐射安全管理，预防辐射伤害事故，本公司特别制定本规定。

一、所有辐射工作人员必须参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的考核，经考核合格后，方可从事辐射工作。

二、辐射工作人员每5年要重新参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的考核，考核合格后，方可继续从事辐射工作。

三、公司不定期举办辐射安全培训，加强相关人员的安全责任意识。

四、培训内容

1、学习辐射安全法律法规常识和基本防护知识。

2、学习辐射事故应急救援措施和救援演练。

五、在不定期培训的基础上，辐射安全管理人员要经常对使用辐射源的厂内员工和接触人员进行辐射安全教育，提高安全防护意识。

六、建立辐射工作人员培训档案、培训记录、培训教案、培训考核试卷，并按要求妥善保管和存档。

中山市悦来新材料科技有限公司



加速器操作规程

1. 启动加速器前，需核查设备运行记录，核实是否存在异常情况记录。
2. 辐射工作人员巡视辐照室，确认无异常情况，关闭好防护门。
3. 开启机组压缩机冷却系统。
4. 开启辐照室通风系统。
5. 检查钢筒 SF₆ 压力，钢筒温度，静态真空度，泵流，扫描电流 I_x，I_y 数值，导向电流，聚焦电流等参数均在正常范围内。
6. 在视频监视系统中再次确认无异常情况后，开启辐照交联的传送系统。
7. 加速器开机出束，进行出束辐照作业。
8. 交接班时，需针对每台设备的情况进行说明，并查看设备运行记录，同时，交接个人剂量报警仪，确保交接的顺利完成。
9. 关机时，先关闭辐照交联的传送系统。
10. 关闭加速器出束系统。
11. 通过周围剂量当量率在线监测设备，确认加速器已停止出束。
12. 关闭机组压缩机冷却系统。
13. 关闭加速器后，需保持通风 8 分钟以上，方可关系通风系统。
14. 在此之后方可打开辐照室门进入辐照室。
15. 进行所有操作时，均需及设备运行记录上进行记录。

中山市悦来新材料科技有限公司

2024年5月

监测方案

1、个人剂量监测

严格按照国家有关标准、规范，安排辐射岗位的工作人员进行个人剂量检测。所有从事辐射工作的人员都将佩戴个人剂量计上岗，保证定期送检，监测周期最长不超过三个月，建立个人剂量档案。

2、验收监测

II类射线装置竣工后，将按照相关程序和要求组织自主竣工环保验收，验收相关材料按要求公示。

3、年度检测

每年委托有资质的单位对在用的核技术利用项目进行一次年度检测，年度检测数据将作为本单位的射线装置的安全和防护状况年度评估报告的一部分，于每年1月31号前上报环境行政主管部门。

4、日常监测

严格要求辐射工作人员按要求使用个人剂量报警仪，定期（每半年）进行辐射水平巡测，一旦发现辐射水平异常将立即停止工作，查找原因，进行整改。

中山市悦来新材料科技有限公司

2024年 月 日

日常检查规定

对辐照加速器项目需采取日检查、月检查和半年检查的方式，确保项目的正常安全开展。

一、日检查：每天对本项目的下述设备进行检查，发现异常情况时，立即暂停使用电子加速器，在排除异常情况后方可再次启用加速器。具体检查内容包括：

- (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；
- (4) 视频监控图像显示状况。

二、月检查：每月对本项目的下述设备进行检查，发现异常情况时，立即暂停使用电子加速器，在排除异常情况后方可再次启用加速器。具体检查内容包括：

- (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。

三、半年检查：每6个月对本项目的下述设备进行检查，发现异常情况时，立即暂停使用电子加速器，在采取措施排除异常情况后方可再次启用加速器。具体检查内容包括：

- (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。

四、本项目需严格落实运行日志的记录，记录与装置有关的重要活动事项并保存日志档案。记录事项包括以下内容：

- (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和结果;
- (8) 其它需要记录的内容。

中山市悦来新材料科技有限公司

2024年5月



设备维修维护规定

在设备出现故障，或对设备进行维护检修时，需请专业的维修维护人员前来进行维修维护操作，并且需严格执行下述步骤：

- (1) 提前制定维修维护计划，并及时告知辐射工作人员；
- (2) 维修维护人员在控制室与辐射工作人员确认无异常情况，可以开始维修维护；
- (3) 辐射工作人员通过视频信号等方式，时刻注意维修维护的正常进行；
- (4) 维修维护人员在控制室按下对应加速器的急停按钮；
- (5) 维修维护人员佩戴处于开启状态下运行良好的个人剂量报警仪和个人剂量计；
- (6) 维修维护人员携带加速器的开关钥匙打开辐照室的防护门，并在门口放置“请勿关门”标识牌；
- (7) 在执行完上述步骤后，维修维护人员方可进行设备维修维护。

中山市悦来新材料科技有限公司

2024年5月



辐射事故应急预案

一、总则

根据国家《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》(以下简称《规定》)等的要求,为使我公司射线装置一旦发生辐射事故时,能迅速采取必要和有效的应急响应行动,保护工作人员及公众及环境的安全,制定本应急预案。

二、射线装置辐射事故应急处理机构与职责

(一)本单位成立射线装置辐射事故领导小组,组织、开展射线装置辐射事故的应急处理救援工作,领导小组组成如下:(待相关人员落实后修订)

组 长:陈见山()13)

成 员:黄畅冠(18)、陈建安()、梁鉴聪()

(二)应急处理领导小组职责:

- 1.定期组织对辐射场所、设备和人员进行辐射防护情况的自查和监测,发现事故隐患及时上报并落实整改措施;
 - 2.发生人员受超剂量照射事故,应启动本预案;
 - 3.事故发生后立即组织有关部门和人员进行辐射事故应急处理;
 - 4.负责向环保和卫生行政部门及时报告事故情况;
 - 5.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;
 - 6.辐射事故中人员受照时,要通过个人剂量计或其它工具、方法迅速估算受照人员的受照剂量。
 - 7.负责迅速安置受照人员就医,并及时控制事故影响,防止事故的扩大蔓延。
- ### 三、放射性事故应急救援应遵循的原则:

- (一)迅速报告原则;
- (二)主动抢救原则;
- (三)生命第一的原则;
- (四)科学施救,控制危险源,防止事故扩大的原则;
- (五)保护现场,收集证据的原则。

四、可能发生的辐射事故:

- (一)安全连锁失效,人员可能在防护门未关闭时误入辐照室,如果此时电子加速器处于运行状态,则可能造成误照事故。
- (二)辐照室中仍有其他人员未撤离时,操作人员未严格按照操作规程确认辐照室中环境便运行电子加速器,则会造成辐照室中人员受误照射。
- (三)设备维护或维修调试过程中,工作人员错误操作,接通电源并出束,则可能造成误照事故。

五、辐射事故应急处理程序:

- (一)发生辐射事故时,第一时间切断射线装置电源。
- (二)发生事故后应立即将发生事故的性质、时间、地点、联系人、电话等第一时间进行口头上报,上报单位有环保专线(12369)、中山市生态环境局、广东省生态环境厅汇报,同时疏散周边人员,等待各部门的到来。受照人员立即送到中山市120指定医院救治。



(三) 在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向中山市生态环境局、广东省生态环境厅报告。

(四) 等待相关部门到达现场的同时，采取相应措施，使危害、损失降到最小。

(五) 配合上级有关部门对现场进行勘查以及环保安全技术处理，检测等工作，查找事故发生的原因，进行调查处理。将事故处理结果及时报上级行政主管部门。

(六) 应急终止：符合下列条件后，终止应急状态：

A) 事件现场得到控制，事件条件已经消除。

B) 事件所造成的危害已经被彻底消除，无继发可能。

C) 采取了必要的防护措施以保护公众免受再次危害，并使事件可能引起的中长期影响趋于合理且尽量低的水平。

(七) 总结经验教训，制定或修改防范措施，加强日常环境安全管理，杜绝类似事故发生。

中山市悦来新材料科技有限公司

2024 年 5 月



