

编号：RSHP-NJ-2025030401

核技术利用建设项目

广州科金高能技术有限公司

广州市高能技术科技园

新建电子加速器中心应用项目

环境影响报告表

(送审本)

广州科金高能技术有限公司

2025年3月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

广州科金高能技术有限公司

广州市高能技术科技园

新建电子加速器中心应用项目

环境影响报告表

建设单位名称：广州科金高能技术有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：广州市白云区广州民营科技园科泰二路 13-19 号

邮政编码：510080

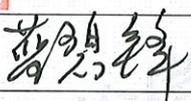
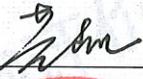
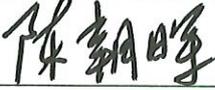
联系人：赵光文

电子邮箱：gzkjgn@163.com

联系电话：020-81533860



编制单位和编制人员情况表

项目编号	w3lb12		
建设项目名称	广州科金高能技术有限公司广州市高能技术科技园新建电子加速器中心应用项目		
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)	广州科金高能技术有限公司 		
统一社会信用代码	91440111MACUQMX91P 		
法定代表人 (签章)	吴志勇		
主要负责人 (签字)	蓝碧锋		
直接负责的主管人员 (签字)	黄凯		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	南京瑞森辐射技术有限公司 		
统一社会信用代码	91320106694645355K		
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
陈朝晖	2014035320352013321405000117	BH019830	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
邵立文	表1 项目基本情况 表2 放射源 表3 非密封放射性物质 表4 射线装置 表5 废弃物 表6 评价依据 表7 保护目标与评价标准 表8 环境质量与辐射现状	BH015205	
陈朝晖	表9 项目工程分析与源项 表10 辐射安全与防护 表11 环境影响分析 表12 辐射安全管理 表13 结论与建议	BH019830	

环评项目负责人职业资格证



姓名: **陈朝晖**
Full Name _____
性别: **男**
Sex _____
出生年月: **1968年12月**
Date of Birth _____
专业类别: _____
Professional Type _____
批准日期: **2014年05月**
Approval Date _____

持证人签名:
Signature of the Bearer

签发单位盖章:
Issued by _____
签发日期: **2014年09月04日**
Issued on _____

2014035320352013321405000117
管理号:
File No.

江苏省社会保险权益记录单 (参保单位)



请使用官方江苏智慧人社APP扫描验证

参保单位全称: 南京瑞森辐射技术有限公司

现参保地: 玄武区

统一社会信用代码: 91320106694645355K

查询时间: 202412-202502

共1页, 第1页

单位参保险种		养老保险	工伤保险	失业保险
缴费总人数		35	35	35
序号	姓名	公民身份号码(社会保障号)	缴费起止年月	缴费月数
1	陈朝晖		202412 - 202502	3

说明:

1. 本权益单涉及单位及参保职工个人信息, 单位应妥善保管。
2. 本权益单为打印时参保情况。
3. 本权益单已签具电子印章, 不再加盖鲜章。
4. 本权益单记录单出具后有效期内(6个月), 如需核对真伪, 请使用江苏智慧人社APP, 扫描右上方二维码进行验证(可多次验证)。



目 录

表 1 项目基本情况	- 1 -
表 2 放射源	- 14 -
表 3 非密封放射性物质	- 14 -
表 4 射线装置	- 15 -
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	- 16 -
表 6 评价依据	- 17 -
表 7 保护目标与评价标准	- 19 -
表 8 环境质量和辐射现状	- 22 -
表 9 项目工程分析与源项	- 27 -
表 10 辐射安全与防护	- 44 -
表 11 环境影响分析	- 64 -
表 12 辐射安全管理	- 92 -
表 13 结论与建议	- 100 -
附件 1：委托书	- 104 -
附件 2：项目立项文件	- 105 -
附件 3：规划许可证明	- 106 -
附件 4：环境现状监测报告	- 108 -
附件 5：设备参数	- 118 -

表 1 项目基本情况

建设项目名称		广州科金高能技术有限公司 广州市高能技术科技园新建电子加速器中心应用项目			
建设单位		广州科金高能技术有限公司			
法人代表	吴志勇	联系人	赵光文	联系电话	020-81533860
注册地址		广州市白云区广州民营科技园科泰二路 13-19 号			
项目建设地点		广州市白云区良田保税一路与良田东路交叉口（东北侧）			
立项审批部门		广州市白云区发展和改革局	批准文号	2304-440111-04-01-528177	
建设项目总投资（万元）		13000	项目环保总投资（万元）	1000	投资比例（环保投资/总投资） 7.69%
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 ² ）	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
其他	/				
<p>项目概述</p> <p>一、建设单位简介</p> <p>广州科金高能技术有限公司（统一社会信用代码：91440111MACUQMX91P，以下简称“公司”）系广州科技金融集团有限公司子公司，成立于 2023 年 8 月，坐落于广州市白云区广州民营科技园科泰二路 13~19 号。拟建设成为专业研究、开发、应用辐照加工技术并对食品、化妆品、中成药、医疗用品等产品进行防霉、杀虫、保鲜、消毒灭菌及高分子材料改性的辐照应用企业，涵盖辐照技术转让、咨询和服务，拟建成集技术研发与服务为一体的国家级高新技术企业。</p> <p>二、项目由来</p> <p>辐照加工是指将电子加速器产生的电子线和 X 射线或放射性同位素产生的 γ 射</p>					

线的能量转移给被辐照物质，产生电离和激发，释放出轨道电子，形成自由基，通过控制辐射条件，而使被辐照物质的物理性能和化学组成发生变化并能使其成为人们所需要的一种新的物质，或使生物体（微生物等）受到不可恢复的损失和破坏，达到人们所需要的目标，这种新的加工技术称为辐射加工技术。比如，使高分子材料分别实现接枝、聚合、裂解或交联，抑制或刺激生物生长，有效地杀灭害虫、虫卵、病菌等。是以射线装置和放射源为工具的现代高新技术，具有极高的灵敏度、特异性、选择性、抗干扰性和穿透性等特点，广泛应用于国民经济各个领域。

近年来，随着辐照技术的发展，我国辐照产业进入快速发展阶段，工业电子加速器等辐照技术装备正在向高度机械化、自动化、大型工业化发展，其在辐照食品、辐照消毒、辐射化工、新材料开发和辐射育种等方面的应用越来越广泛，为社会经济发展做出的贡献也越来越大。

广州科金高能技术有限公司结合白云区美丽健康产业园化妆品、生物医药和医疗用品等产业布局，充分利用电子加速器辐照的技术先进性和应用广泛性等特征，拟引进 IS1040 型工业电子加速器和 Rhodotron® TT1000 型工业电子加速器，建设国内同时配备双射线工业电子加速器（电子束+X 射线）的辐照技术服务平台。

广州科金高能技术有限公司本次新增的 2 台工业电子加速器项目属于Ⅱ类射线装置利用范畴，需要进行环境影响评价。

三、编制目的

为加强该项目的辐射环境管理，防止辐射污染和意外事故的发生，确保其使用过程不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，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》《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法律法规要求，建设方广州科金高能技术有限公司需对该项目进行环境影响评价。

对照《关于发布射线装置分类的公告》对射线装置的分类，本次拟新增的 2 台工业电子加速器均属于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 版）》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）的规定，本项目属于“第 172 条 核技术利用建设项目”中“**生产、使用Ⅱ类射线装置的；**”应编制环境影响报告表。

为此，广州科金高能技术有限公司委托南京瑞森辐射技术有限公司对该项目开展

环境影响评价工作（委托书见附件 1）。南京瑞森辐射技术有限公司接受委托后，通过现场勘查、收集资料并结合现场监测等工作的基础上，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制了该项目环境影响报告表。

四、项目概况

项目名称：广州科金高能技术有限公司广州市高能技术科技园新建电子加速器中心应用项目

项目性质：新建

建设单位：广州科金高能技术有限公司

建设地点：广州市白云区良田保税一路与良田东路交叉口（东北侧）

建设内容与规模：

公司拟在厂区内电子加速器中心（拟建，地上 5 层建筑，总高度为 34.1m）裙楼内建设 2 座工业电子加速器机房，配套建设合用控制室、电气设备间、管通设备间、出货理货区和进货理货区等相关辅助用房。项目建成后可为客户提供医疗产品、药品、保健品、化妆品、脱水蔬菜、宠物食品和海产品等辐照消毒灭菌，新能源汽车半导体芯片改性、发泡材料交联和高分子聚合物改性等技术服务。

1、1#工业电子加速器机房（IS1040 型）

1#工业电子加速器机房位于电子加速器中心西南侧，该机房拟配备 1 台由同威信达技术（江苏）股份有限公司生产的 IS1040 型立式结构工业电子加速器。该机房主要由辐照室、主机室及辅助用房组成，主机室位于辐照室正上方，通过钢结构楼梯连接。

1#机房本次拟新增的工业电子加速器型号为 IS1040 型，为立式结构，提供电子束辐照，其主要参数为：电子线最大能量为 10MV，最大束流为 4mA，扫描盒宽度为 500mm~800mm，功率为 40kW，该型工业电子加速器为单束机头，电子束照射方向为竖直向下，属于 II 类射线装置。

（2）2#工业电子加速器机房（Rhodotron® TT1000 型）

2#工业电子加速器机房位于电子加速器中心东北侧，该机房拟配备 1 台由比利时 IBA 公司生产的 Rhodotron® TT1000 型工业电子加速器。该机房的辐照室和主机室均位于辐照厂房一层，主机室位于辐照室西北侧，配套建设水冷机房等辅助用房。

2#机房本次新增的工业电子加速器型号为：Rhodotron® TT1000 型，提供 X 射线辐照，其主要参数为：X 射线能量为 5/7MeV，最大束流强度为 80mA，设备额定功率

400/560kW。该型工业电子加速器为单束机头，X 射线照射方向为水平朝东南侧，属于II类射线装置。公司本次新增的 2 台工业电子加速器详细参数详见表 1-1：

表 1-1 广州科金高能技术有限公司新增射线装置参数一览表

指标	技术参数	
名称、型号	IS1040（1#机房）	Rhodotron® TT1000（2#机房）
生产厂家	同威信达技术（江苏）股份有限公司	比利时 IBA
运行模式	电子束辐照	X 射线辐照（钨靶）
电子束能量	10MeV	5MeV 7MeV
束流强度	4mA	80mA
最大束流功率	40kW	400kW 560kW
电子扫描宽度	500-800mm（分档可调）	2200mm
扫描不均匀度	≤5%	≤10%
束流损失点能量	3MeV	0.3MeV
束流损失点强度	0.20mA	0.80mA
钛窗距离 辐照物体距离	0.7~1.2m	0.7~1.2m
扫描速度	0.5~12m/min	0.5~5m/min
工作方式	可长时间满功率运行	

五、项目周边保护目标以及场址选址情况

本项目选址于广州市白云区东北部钟落潭镇美丽健康产业园内，项目地理位置见图 1-1。根据现场踏勘调查，并结合当地区域规划情况可知，公司厂区东南侧依次为丽诚路（规划暂定名）、规划工业用地及良田保税路；西南侧依次为良田保税一路、阿道夫蒂姆森大健康科技（广州）有限公司；西北侧依次为规划工业用地、良田东路、申通快递（广州良田转运中心店）及规划工业用地；东北侧依次为规划道路及规划工业用地。项目所在区域规划示意图详见图 1-2。

公司本次新建项目所在地的用地性质为工业用地。从周边外环境关系可知，公司周边规划为市政道路和工业预留用地，本项目 50m 评价范围东南侧、西北侧和东北侧部分位于厂区围墙外，其余方向均位于厂区内，50m 评价范围内无其他居民区、无学校等其他环境敏感点，50m 评价范围示意图详见图 1-3。同时，根据图 1-4，本项目 200m 范围内无学校、幼儿园等敏感场所。

本项目拟建设的 2 座工业电子加速器机房均位于电子加速器中心内，电子加速器中心一层主要布置有 2 座工业电子加速器机房及货架，一层夹层为主机室和合用控制室等，二层为仓库，电子加速器中心布置图详见图 1-5 至图 1-8。

本项目为电子加速器利用建设项目，污染因子较少，主要为电子线及韧致辐射产

生的 X 射线。加速器辐照室和主机室均为独立建筑，辐照室和主机室四周防护采用混凝土屏蔽，墙体防护厚度充分考虑了辐射效应，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，故对企业自身及周围环境不会造成明显的影响。

建设单位于 2023 年 12 月 25 日取得了广州市规划和自然资源局的建设用地规划许可，详见附件 3。

综上所述，项目的建设符合所在区域总体规划，布局合理，项目的选址合理可行。

六、项目产业政策符合性

本项目系核技术应用项目在工业领域内的运用。根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，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”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。本项目辐照加工过程中产生的电离辐射经屏蔽体防护及距离衰减后，其所致的周围职业人员和公众的年剂量符合本次评价所确定的剂量约束值要求。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。

七、实践正当性与利益代价分析

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，在给企业带来利益同时，对工作人员和公众的外照射引起的年有效剂量低于根据最优化原则设置的项目剂量约束值，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。

八、项目单位核技术应用现状

本项目为广州科金高能技术有限公司首次开展核技术利用项目。



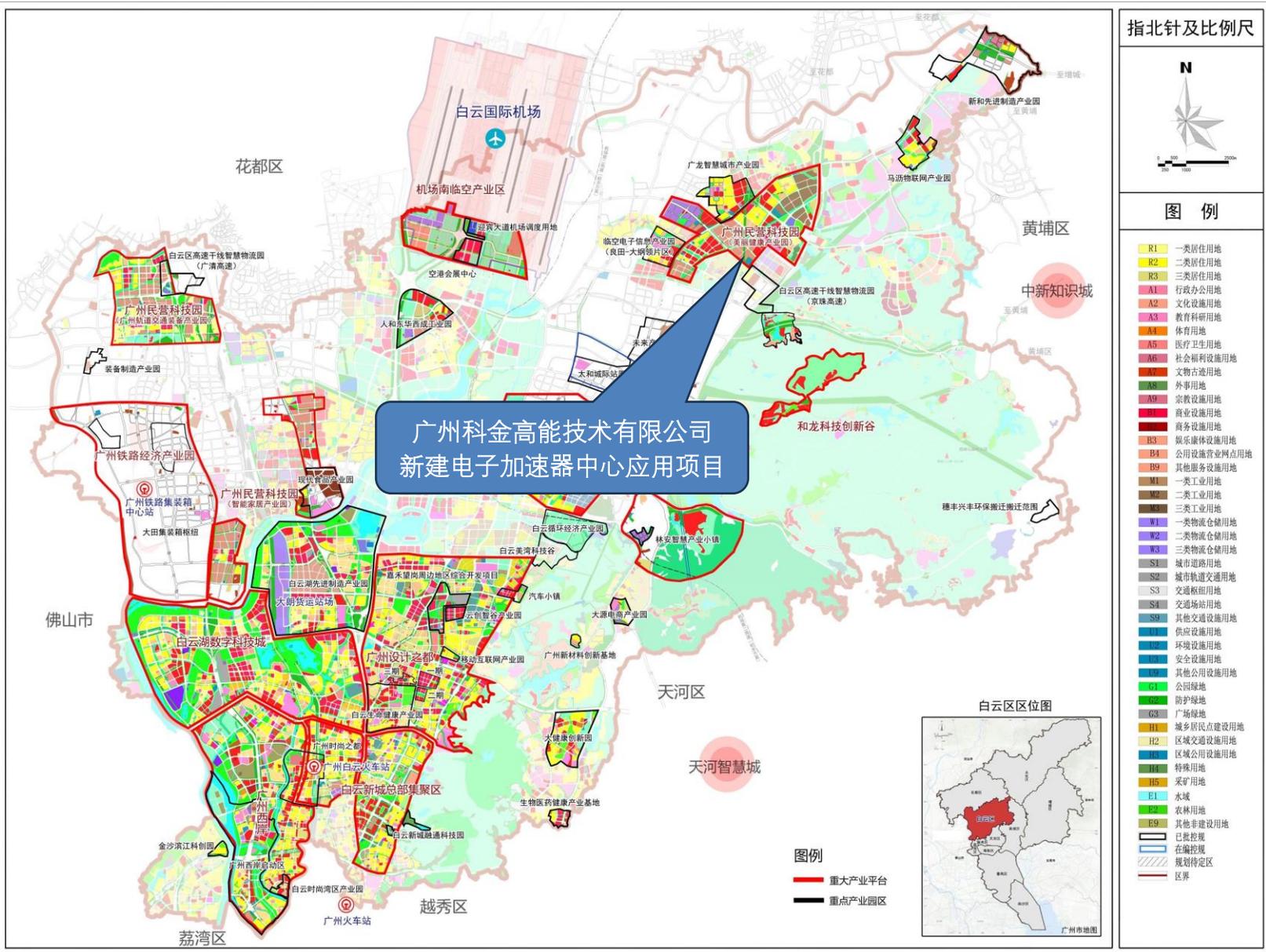
审图号：粤AS（2023）006号

1 : 130 000

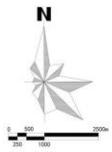
监制：广州市规划和自然资源局

图 1-1 地理位置示意图

白云区重点谋划连片产业园区图



指北针及比例尺



图例

- R1 一类居住用地
- R2 二类居住用地
- R3 三类居住用地
- A1 行政办公用地
- A2 文化设施用地
- A3 教育科研用地
- A4 体育用地
- A5 医疗卫生用地
- A6 社会福利设施用地
- A7 文物古迹用地
- A8 外事用地
- A9 宗教设施用地
- B1 商业设施用地
- B2 商务设施用地
- B3 娱乐康体设施用地
- B4 公用设施营业网点用地
- B9 其他服务设施用地
- M1 一类工业用地
- M2 二类工业用地
- M3 三类工业用地
- W1 一类物流仓储用地
- W2 二类物流仓储用地
- W3 三类物流仓储用地
- S1 城市道路用地
- S2 城市轨道交通用地
- S3 交通枢纽用地
- S4 交通场站用地
- S9 其他交通设施用地
- U1 供应设施用地
- U2 环境设施用地
- U3 安全设施用地
- U9 其他公用设施用地
- G1 公园绿地
- G2 防护绿地
- G3 广场绿地
- H1 城乡居民点建设用地
- H2 区域交通设施用地
- H3 区域公用设施用地
- H4 特殊用地
- H5 采矿用地
- E1 水域
- E2 农林用地
- B9 其他非建设用地
- 已批控规
- 在编控规
- 规划待定区
- 区界

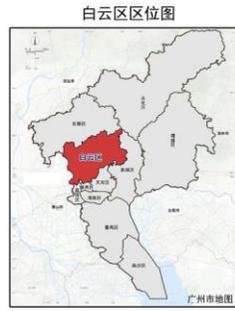


图 1-2 项目所在区域规划情况示意图



图 1-4 项目 200m 范围示意图

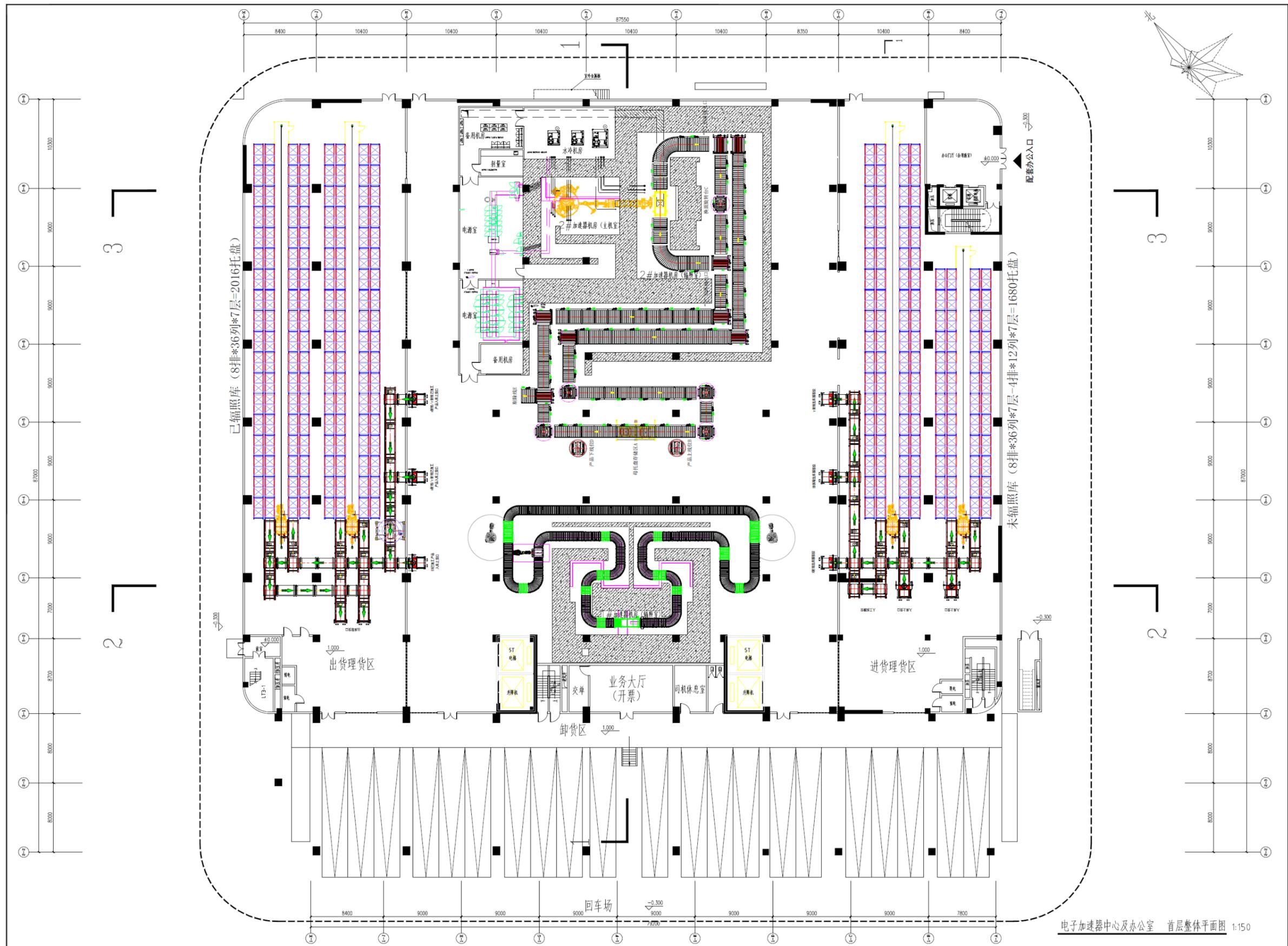
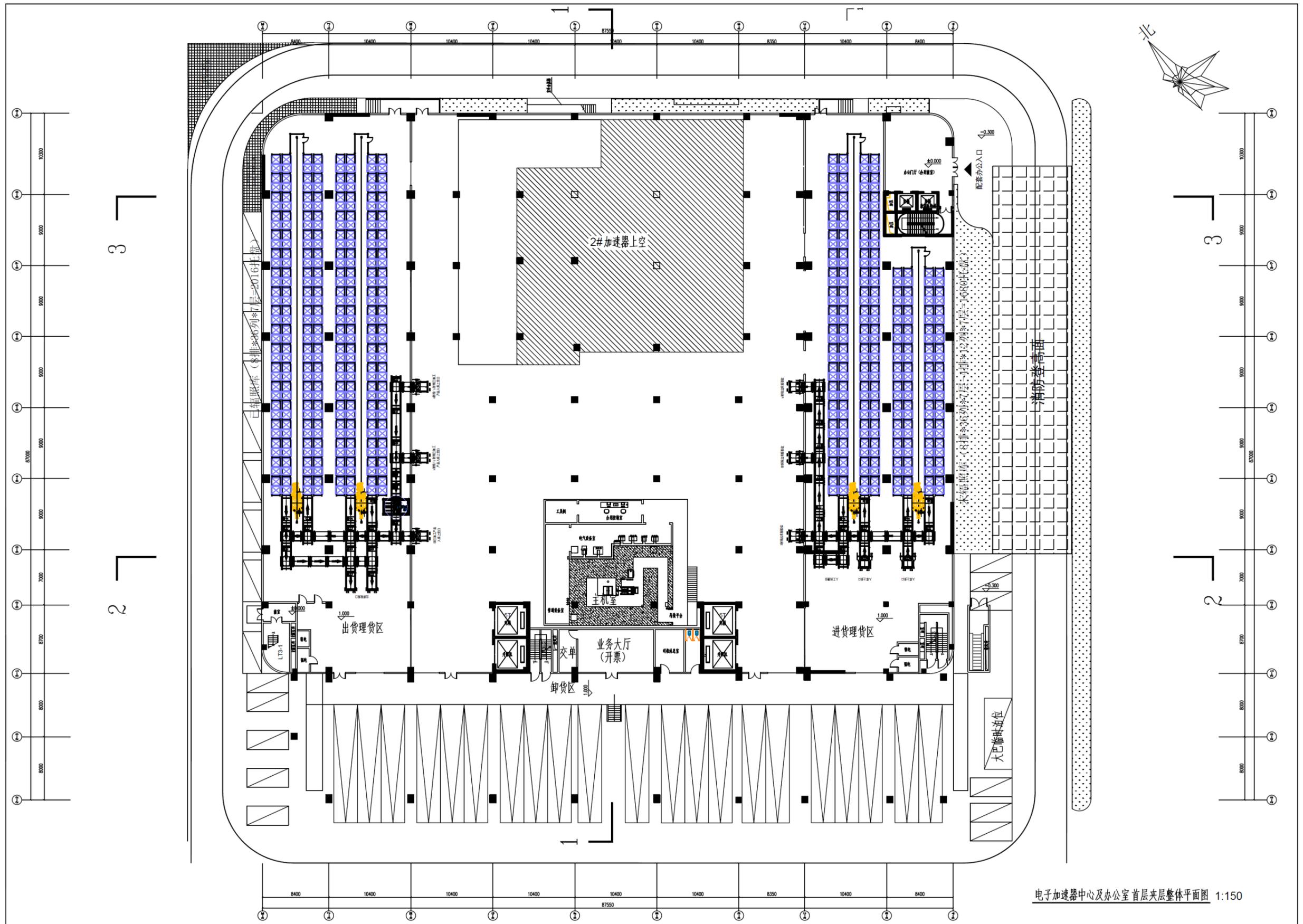


图 1-5 电子加速器中心一层平面布局示意图



电子加速器中心及办公室首层夹层整体平面图 1:150

图 1-6 电子加速器中心一层主机层平面布局示意图

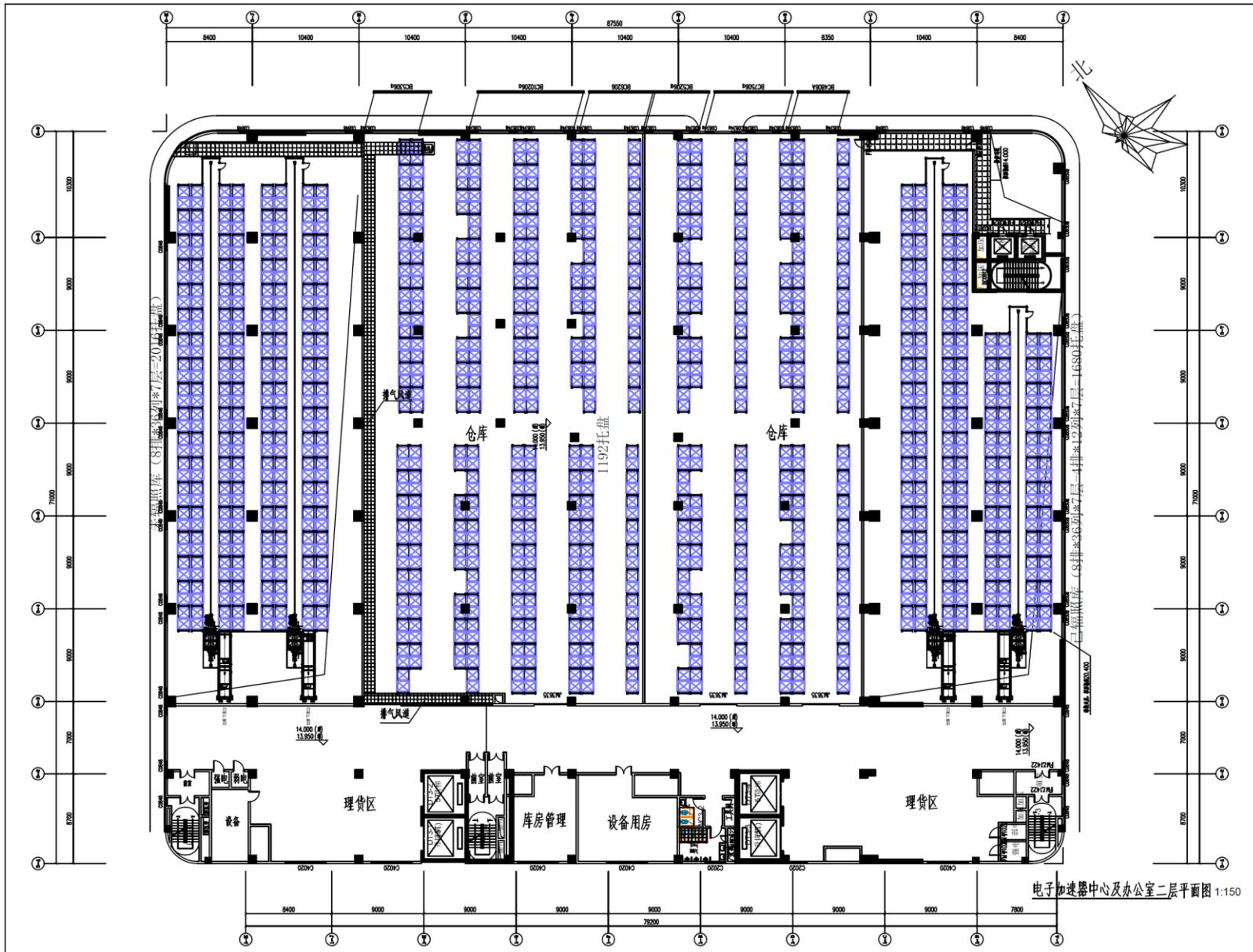


图 1-8 电子加速器中心二层平面布局示意图

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活度种类	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 台	IS1040	电子	10	4	辐照加工	1#加速器机房	本次环评
2	工业电子加速器	II	1 台	Rhodotron® TT1000	电子	5/7	80	辐照加工	2#加速器机房	本次环评
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧	气体	/	/	/	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧的半衰期约为 50 分钟，常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小
氮氧化物	气体	/	/	/	/	/	不暂存	通过排风系统排入外环境，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/m³；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/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》，1989 年 12 月 26 日发布施行；2014 年 4 月 24 日修订，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》（2018 年修正版），2018 年 12 月 29 日发布施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 449 号，2005 年 12 月 1 日起施行；2019 年修正，国务院令 709 号，2019 年 3 月 2 日施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，（2017 年修订版），国务院令 682 号，2017 年 10 月 1 日发布施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》，生态环境部第 16 号令，自 2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(9) 《射线装置分类》，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 日起施行；</p> <p>(10) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，国环规环评〔2017〕4 号，2017 年 11 月 22 日起施行；</p> <p>(11) 《广东省未成年人保护条例》（2008 年 11 月 28 日广东省第十一届人民代表大会常务委员会第七次会议修订）。</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 2.1-2016）；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p>

	<p>(5) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；</p> <p>(6) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)；</p> <p>(7) 《辐照加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)；</p> <p>(8) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ 1326-2023)。</p>
其他	<p>(1) 《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》国家环保总局，环发[2006]145号，2006年9月26日起施行；</p> <p>(2) 《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>(3) 《关于发布<建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部，公告2019年第38号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》生态环境部公告2019年第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(5) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部，公告2019年第39号，2019年11月1日起启用；</p> <p>(6) 《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)2024年2月1日起施行；</p> <p>(7) 《关于在核与辐射安全隐患排查工作中做好电子辐照加速器专项监督检查工作的函》(生态环境部辐射源安全监管司辐射函(2021)27号，2021年9月29日)。</p>

表 7 保护目标与评价标准

<p>评价范围</p> <p>根据本项目的特点并参照《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）中“核技术利用建设项目环境影响评价报告书的评价范围和保护目标的选取原则：<u>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</u>”，确定为广州科金高能技术有限公司本次新建项目所在工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内作为评价范围，详见图 1-3。</p>																																						
<p>保护目标</p> <p>本项目 50m 评价范围除东南侧、西北侧及东北侧部分位于厂区围墙外，其余方向均位于公司厂区内，50m 评价范围内无居民区、无学校等其他环境敏感点。因此，本项目辐射环境保护目标为公司辐射工作人员、厂区内的其他工作人员及厂区内外公众，详见表 7-1。</p> <p style="text-align: center;">表 7-1 本项目评价范围内辐射环境保护目标一览表</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">保护目标名称</th> <th style="width: 30%;">方位</th> <th style="width: 15%;">最近距离</th> <th style="width: 15%;">规模</th> <th style="width: 15%;">备注</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>辐射工作人员</td> <td>合用控制室</td> <td>/</td> <td>12 人</td> <td rowspan="6" style="text-align: center; vertical-align: middle;">厂区内</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">厂区内其他工作人员</td> <td>1#机房东南侧进货理货区</td> <td>0~50m</td> <td>约 10 人</td> </tr> <tr> <td>1#机房西南侧业务大厅、司机休息室及卸货区等</td> <td>0~50m</td> <td>约 20 人</td> </tr> <tr> <td>1#机房西北侧出货理货区</td> <td>0~50mm</td> <td>约 10 人</td> </tr> <tr> <td>电子加速器中心二层仓库区域</td> <td>5~50m</td> <td>约 10 人</td> </tr> <tr> <td>电子加速器中心三层及以上区域</td> <td>12~50m</td> <td>约 50 人</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">厂区外公众</td> <td>西南侧规划用地</td> <td>40~50m</td> <td>流动人员</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">厂区外</td> </tr> <tr> <td>西北侧规划用地</td> <td>20~50m</td> <td>流动人员</td> </tr> </tbody> </table>					保护目标名称	方位	最近距离	规模	备注	辐射工作人员	合用控制室	/	12 人	厂区内	厂区内其他工作人员	1#机房东南侧进货理货区	0~50m	约 10 人	1#机房西南侧业务大厅、司机休息室及卸货区等	0~50m	约 20 人	1#机房西北侧出货理货区	0~50mm	约 10 人	电子加速器中心二层仓库区域	5~50m	约 10 人	电子加速器中心三层及以上区域	12~50m	约 50 人	厂区外公众	西南侧规划用地	40~50m	流动人员	厂区外	西北侧规划用地	20~50m	流动人员
保护目标名称	方位	最近距离	规模	备注																																		
辐射工作人员	合用控制室	/	12 人	厂区内																																		
厂区内其他工作人员	1#机房东南侧进货理货区	0~50m	约 10 人																																			
	1#机房西南侧业务大厅、司机休息室及卸货区等	0~50m	约 20 人																																			
	1#机房西北侧出货理货区	0~50mm	约 10 人																																			
	电子加速器中心二层仓库区域	5~50m	约 10 人																																			
	电子加速器中心三层及以上区域	12~50m	约 50 人																																			
厂区外公众	西南侧规划用地	40~50m	流动人员	厂区外																																		
	西北侧规划用地	20~50m	流动人员																																			
<p>评价标准</p> <p>一、辐射环境评价标准</p> <p>1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：</p> <p style="text-align: center;">工作人员职业照射和公众照射剂量限值</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">对象</th> <th style="width: 85%;">要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>职业照射剂量限值</td> <td>工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。</td> </tr> <tr> <td>公众照射剂量限值</td> <td>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下述限值： ①年有效剂量，1mSv；</td> </tr> </tbody> </table>					对象	要求	职业照射剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。	公众照射剂量限值	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下述限值： ①年有效剂量，1mSv；																												
对象	要求																																					
职业照射剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。																																					
公众照射剂量限值	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下述限值： ①年有效剂量，1mSv；																																					

②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

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。

控制区：

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。

监督区：

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、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）：

重点引用：

（3）个人剂量约束

辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量限值应满足 GB18871 的要求。

在电子加速器辐照装置的工程设计中，辐射防护的剂量约束值规定为：

- 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到达区域屏蔽体外表面 30cm 处以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5 μ Sv/h。如屏蔽体外为社会公众区域，屏蔽设计必须符合公众成员个人剂量约束值规定。

6.3.3 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空气与气象资料计算确定。

二、辐射环境评价标准限值

1、个人剂量约束值

①职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）第 4.3.2.1 条的规定，对任何工作人员，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均）20mSv。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）4.2.1 中规定辐射工作人员个人年有效剂量约束值为 5mSv/a。

②公众照射：第 B1.2.1 条的规定，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年有效剂量 1mSv。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）4.2.1 中规定公众成员个人年有效剂量约束值为 0.1mSv/a。

2、工作场所内外控制剂量率

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018），本项目电子加速器机房四侧屏蔽墙体外及顶部 30cm 处辐射剂量率目标控制值为 2.5 μ Sv/h。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理和场所位置

广州科金高能技术有限公司厂区位于广州市白云区东北部钟落潭镇美丽健康产业园内（地理位置图见图 1-1）。

公司厂区内的建筑主体主要由西南侧的 1 栋 12 层的研发中心、中间的屋面花园和东北侧的电子加速器中心组成。本次拟建的工业电子加速器机房建于电子加速器中心内，公司厂区总平面布置图详见图 1-3。

公司厂区东南侧依次为丽诚路（规划暂定名）、规划工业用地及良田保税路；西南侧依次为良田保税一路、阿道夫蒂姆森大健康科技（广州）有限公司；西北侧依次为规划工业用地、良田东路、申通快递（广州良田转运中心店）及规划工业用地；东北侧依次为规划道路及规划工业用地。项目拟建址及其周围环境现状见图 8-1 至图 8-4 所示：



图 8-1 拟建址东侧



图 8-2 拟建址南侧



图 8-3 拟建址西侧



图 8-4 拟建址北侧

二、辐射环境现状评价

为掌握项目所在地的辐射环境现状，南京瑞森辐射技术有限公司于 2024 年 8 月 17 日按照标准规范对本次拟建址及周边环境进行了 γ 辐射剂量率的布点监测，监测报告见附件 4。

1、监测因子

本项目为工业电子加速器使用项目，根据工程分析项目主要污染因子为工业电子加速器运行时产生的韧致辐射（X 射线）。为了更好反映实际情况，本项目的环境监测选取为 γ 辐射空气吸收剂量率作为监测因子。

2、监测内容

对拟建项目周围环境水平进行本底调查。

3、监测方案

（1）监测项目、方法及方法来源表

表 8-1 监测项目、方法及方法来源表

监测项目	监测方法	备注
γ 辐射空气吸收剂量率	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）	探测限为本次测量使用方法和仪器的综合技术指标

（2）监测布点

参照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中的方法布设监测点，根据本次新建项目拟建址及其周围环境现状，监测点位的选取覆盖新建项目拟建区域及周围 50m 公众人员区域。根据上述布点原则与方法，本项目监测点位布置如图 8-5 所示。

（3）监测仪器

监测使用仪器见表 8-2。

表 8-2 监测使用仪器表

监测项目	监测设备		
	仪器名称	仪器编号	设备参数及检定情况
γ 辐射空气吸收剂量率	6150AD6/H +6150ADb/H	NJRS-126	能量范围：20keV~7MeV 测量范围：1nSv/h~99.9 μ Sv/h 检定证书编号：Y2023-0173796 检定有效期限：2023.10.30-2024.10.29

4、质量保证措施

人员培训：监测人员经考核并持有合格证书上岗。

仪器刻度：监测仪器定期经计量部门检定，每次监测必须在有效期内。

自检：每次测量前、后均检查仪器的工作状态。

数据记录及处理：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，每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。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，换算系数分别取 1.20Sv/Gy。

再根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）“8.6 宇宙射线响应值的扣除”中“c）在测量环境 γ 辐射空气吸收剂量率时，监测结果按公式（9）进行宇宙射线响应的扣除”

$$\dot{D} = C_f (E_f \bar{X} - \mu_c \bar{X}'_c)$$

式中： \dot{D} -环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果；

C_f -仪器量程检定/校准因子，由法定计量部门检定或校准时给出；

E_f -仪器检验源效率因子。 $E_f = A_0/A$ ，其中 A_0 、 A 分别是检定时和测量当天检验源的净计数，如仪器无检验源，则该值取 1；

\bar{X} -现场监测时仪器 n 次读数的平均值， $n \geq 10$ ；

μ_c -建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房取值为 0.8，平房取值为 0.9，原野、道路取值为 1；

\bar{X}'_c -测点处仪器对宇宙射线的响应值。

在进行现状监测时所使用的监测设备为 6150AD6/H+6150ADb/H 型辐射检测仪，该设备在江苏南京地区的宇宙响应值为 30nGy/h（玄武湖湖面）。因本项目建设地点位于广东省广州市，该地区经纬度和海拔高度等与江苏省南京地区略有差异，因此可根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）附录 D 进行修正，修正后的宇宙射线响应值为 30nGy/h。

数据复核：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。



图 8-5 拟建址监测点位示意图

5、环境现状监测与评价

监测所用仪器已由计量部门年检，且在有效期内；测量方法按国家标准方法实施；测量数据处理符合统计学要求；布点合理，结果可信，能够反映出辐射工作场所的客观辐射水平，可以作为本次评价的科学依据。具体监测结果如下：

表 8-3 拟建址 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

测点编号	点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	1#点位	83±1	室外（原野）
2	2#点位	84±1	室外（原野）
3	3#点位	89±1	室外（原野）
4	4#点位	87±2	室外（原野）
5	5#点位	90±1	室外（原野）
6	6#点位	74±1	室外（原野）
7	7#点位	77±1	室外（原野）
8	8#点位	81±1	室外（原野）
9	9#点位	75±1	室外（原野）
10	10#点位	75±1	室外（原野）
11	11#点位	77±2	室外（原野）
12	12#点位	74±1	室外（原野）
13	13#点位	76±1	室外（原野）
14	14#点位	78±1	室外（原野）
15	15#点位	75±1	室外（原野）

16	16#点位	88±1	室外（原野）
17	17#点位	81±1	室外（原野）
18	18#点位	82±1	室外（原野）

注：测量结果已扣除宇宙射线响应值（修正后的宇宙射线响应值为 30 nGy/h）。

由表 8-3 可知，项目拟建址周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测值在（75~90）nGy/h 之间，与《中国环境天然放射性水平》中广东省的调查研究结果：广东省原野 γ 辐射剂量率范围为（17.7~193.1）nGy/h，广东省道路 γ 辐射剂量率范围为（26.9~178.8）nGy/h，广东省室内 γ 辐射剂量率范围为（35.3~338.3）nGy/h 相较，项目拟建址周围辐射环境监测值与广东省天然贯穿辐射水平相当，属于正常本底范围。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、工程设备

公司拟在厂区内电子加速器中心内建设 2 座工业电子加速器机房，配套建设合用控制室、电气设备间、管通设备间、出货理货区和进货理货区等相关辅助用房。项目建成后可为客户提供医疗产品、药品、保健品、化妆品、脱水蔬菜、宠物食品和海产品等辐照消毒灭菌，新能源汽车半导体芯片改性、发泡材料交联和高分子聚合物改性等技术服务。

1、IS1040 型工业电子加速器

公司本次配备的 IS1040 型工业电子加速器辐照装置，主要由高能电子加速器分系统、传输带型束下装置系统、安全设施和控制系统等组成，其中高能电子加速器系统主要由辐照机头机柜、扫描盒、脉冲变压器、速调管及线圈、调制器、控制与电源柜、恒温水系统等构成。本次拟配备的 IS1040 型工业电子加速器设备参数见表 9-1。

表 9-1 IS1040 型工业电子加速器设备参数一览表

指标	技术参数
名称、型号	IS1040
生产厂家	同威信达技术（江苏）股份有限公司
运行模式	电子束辐照
电子束能量	10MeV
束流强度	4mA
最大束流功率	40kW
电子扫描宽度	500-800mm（分档可调）
扫描不均匀度	≤5%
束流损失点能量	3MeV
束流损失点强度	0.20mA
钛窗距离辐照物体距离	0.7~1.2m
扫描速度	0.5~12m/min
工作方式	可长时间满功率运行

工业电子加速器辐照加工系统是以电子加速器技术为核心，集辐射防护技术、电子技术、精密机械、物流运输、软件与控制技术于一体的新型高科技装备。

加速器产生高能电子束并将其扫描成一均匀分布的线性束后引出，传输装置承载被检物以辐照工艺需要的相应速度通过辐照区域，经过电子束的辐照，实现辐照工艺所需的处理。

本项目工业电子加速器由电子枪、加速管、微波系统、高压脉冲调制器、加速器控制系统、束流输运系统、安全联锁系统、真空系统、充气系统、恒温水冷系统以及供配电系统等装置组成。电子加速器主要由束流分系统、电子束流监测系统、真空系统、充气系统、水冷分配系统和控制系统等构成。

电子加速器辐照装置由以下主要部分组成：

(1) 束流分系统

包括电子枪、加速管、闸板阀、五通管、陶瓷管、束流互感器、波纹管、漂移管、限束法兰、扫描磁铁、扫描盒、转换靶（选配）等。高能电子束的产生、加速和最终引出都是在束流分系统中完成，它虽然是一个整体，但跨越上下两个楼层进行安装和使用，其中电子束产生及加速的部分安装在楼上，通过辐照机头机架进行安装，电子束的扫描和引出部分等安装在下层，它们之间通过穿越楼板的漂移管进行连接。

(2) 电子束流监测系统

大功率辐照加速器需要对其输出电子束流进行实时监测，作为反映加速器工作状态是否正常的重要信号反馈给加速器主控系统，以便控制系统对加速器的运行状态进行实时调控，同时也将加速器输出电子束流的指标进行实时显示。

电子束流输出强度监测由脉冲电流感应器和分析电路板组成。脉冲电流感应器安装在漂移管陶瓷段外侧，电子束穿过脉冲电流互感器，互感器产生 1 个与电流大小对应的感应电压信号，本系统中设计的电流电压对应关系为 1A 对于 1V。分析电路将互感器输出的电压信号进行转换，输出到 PLC 中，以便加速器控制系统进行识别显示。

(3) 真空系统

为了使电子枪能够发射电子，而且电子能够在加速管中沿轴线加速，加速管内必须是真空状态。电子枪阴极表面材料在高温（工作时 1050℃）状态下很容易受气体污染而中毒，中毒则丧失电子发射能力，所以电子枪对真空的要求优于 10^{-5}Pa 。如果加速管的真空度提高一个量级，可以使电子枪寿命成倍增加。加速管内部微波电场的强度高达 $2\times 10^5\text{V/cm}$ ，必须通过高真空来保障不会出现打火击穿；另一方面，电子束流在加速时必须处于高真空中，不然就会与气体粒子碰撞而损失掉，所以加速管对真空的要求优于 10^{-5}Pa 。漂移段和扫描盒主要是用作电子束流的通道及引出装置，其真空要求主要是防止电子因碰撞而损失，其真空要求没有加速管高，但整个真空系统是连通的，扫描盒内部真空也至少要达到 10^{-4}Pa 。真空系统与束流系统紧密结合在一起，

形成一个全密封高真空结构，包括电子枪、加速管、漂移段、扫描盒。真空系统通过加速管上、下微波陶瓷窗与波导中六氟化硫（SF₆）气体隔离；通过扫描下面的钛膜与大气隔离。在加速器工作的过程中，加速管内部还会有气体分子释放出来，这是需要使用钛离子泵来对高真空进行维持。

真空系统包括分布在束流系统上的多个溅射离子泵、真空阀、闸板阀、钛泵电源等组成。溅射离子泵是由一个不锈钢薄壁圆筒阳极和钛板阴极组成，所以又称钛泵。阴极和阳极间加有几 kV 的直流高压，泵体外包有永久磁铁，它把管内的一些气体分子电离后高速打进阴极被淹埋掉，形成抽气能力。

（4）充气系统

大功率辐照加速器系统的微波传输系统内部传输的微波功率很大，脉冲功率 5MW，平均功率 45kW。波导内部必然会建立较强的电场，为防止大功率微波传输系统内的击穿打火，需在波导系统内充高压绝缘气体，以增强耐压能力。

微波传输系统内部所充的绝缘气体为六氟化硫（SF₆）气体，其压力必须维持在一个适当的范围，通常在 0.2MPa 左右，如果压强太小，不能起到绝缘效果，如果压强太多又可能损坏波导等微波传输系统器件。充气系统给微波传输系统内部提供绝缘气体并对气压进行实时监测和控制，包括：SF₆ 高压气瓶、压力调节器、截止阀、干燥器、电接点压力表及监测和联锁保护电路板等，充气系统结构如图 9-1 所示。

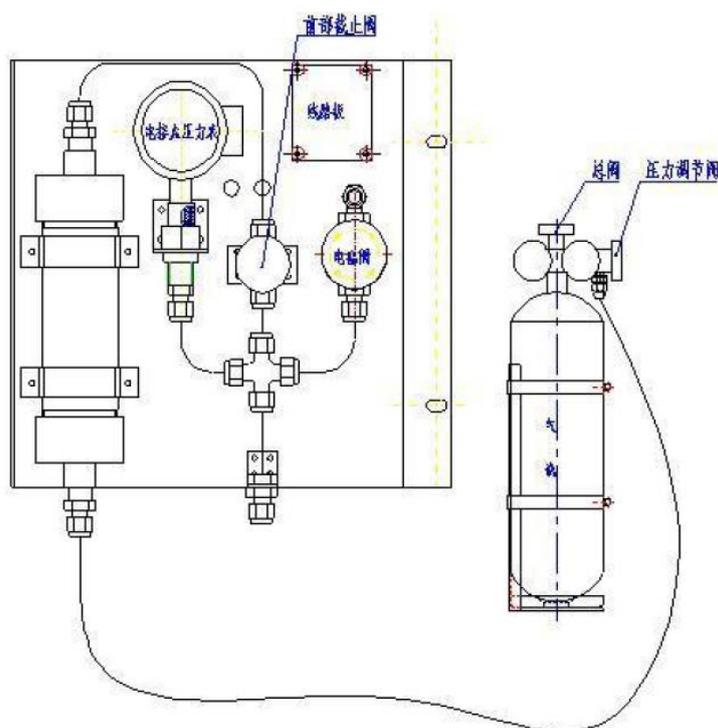


图 9-1 充气系统结构示意图

本系统正常工作时气压表指示应为 0.2MPa。当系统工作压力高于 0.22MPa 时，电磁阀开启，系统放气至正常工作压力，电磁阀关闭。当系统工作压力低于 0.18MPa 时，控制台指示“气压”故障，需进行人工充气。初始安装时，波导内有空气，为防止空气中水汽对波导的腐蚀，应先预抽真空，再充气。

(5) 水冷分配系统

大功率水冷机组主要由水箱、水泵、压缩机、热交换器、控制装置等组成。水冷机组用来提供合乎加速器系统要求（温度、流量、压力）的冷却水，冷却水系统是闭路循环系统，通过压缩机来冷却。本系统要求冷却水使用纯净水或去离子水（外购），冷却水循环使用不外排，只定期补充损失水量。

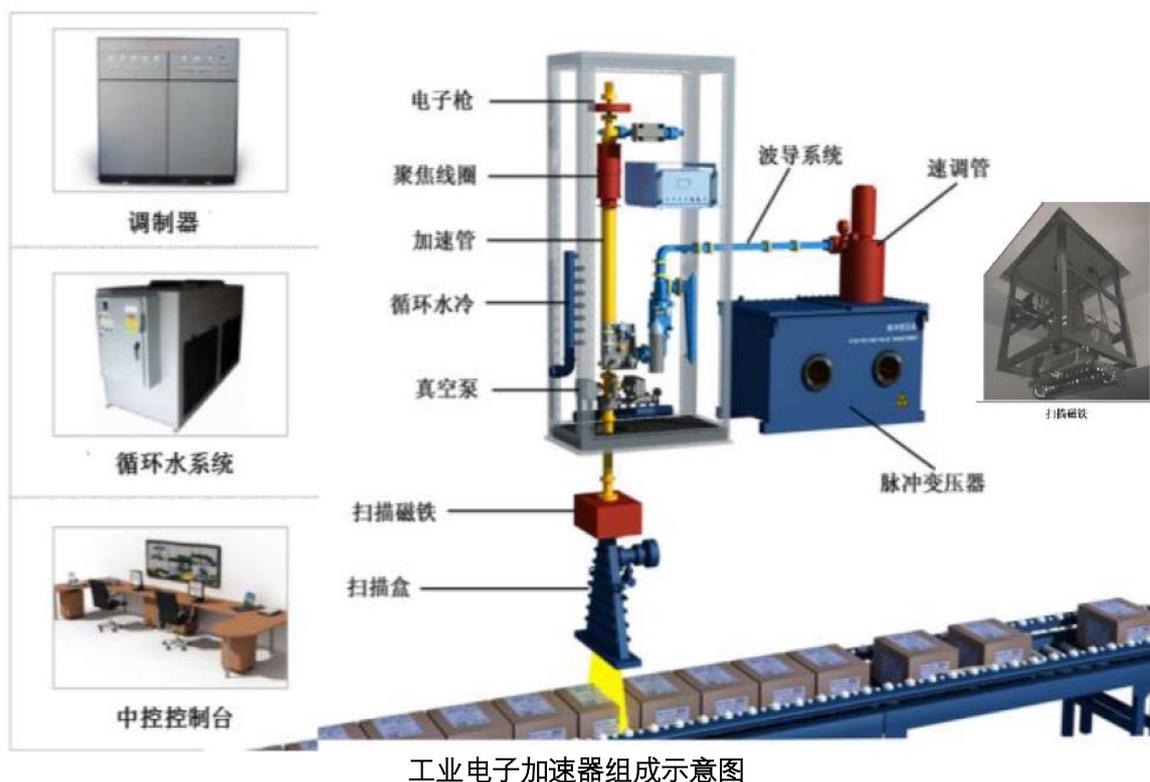
(6) 束下传输系统

本项目束下装置为传输带型束下装置，束下装置的组成：

- a) 传输装置，包括物料承载机构、物料传输机构、物料装卸机构；
- b) 适配装置，包括物料定位机构、工艺条件保证机构、传输稳定机构；
- c) 计量及监控系统。

(7) 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，实施安全联锁，并与束下装置联动配合。同型号加速器的总体结构见图 9-2 所示：





电子枪及加速管



脉冲变压器

图 9-2 同型号工业电子加速器总体结构示意图

2、Rhodotron® TT1000 型工业电子加速器

本项目拟配备的 Rhodotron® TT1000 型工业电子加速器主要包括以下部件组成：电子枪、射频电源、加速腔、外部偏转磁铁、真空系统、冷却系统、控制系统和束流传输系统等。本次拟配备的 Rhodotron® TT1000 型工业电子加速器设备参数见表 9-2。

表 9-2 Rhodotron® TT1000 型工业电子加速器设备参数一览表

指标	技术参数	
名称、型号	Rhodotron® TT1000	
生产厂家	比利时 IBA	
运行模式	X 射线辐照	
X 射线能量	5MeV	7MeV
束流强度	80mA	80mA
最大束流功率	400kW	560kW
X 射线转换靶	钨靶	
电子扫描宽度	2200mm	
扫描不均匀度	≤10%	
束流损失点能量	0.3MeV	
束流损失点强度	0.80mA	
钛窗距离辐照物体距离	0.7~1.2m	
扫描速度	0.5~5m/min	
工作方式	可长时间满功率运行	

(1) 加速腔

Rhodotron[®]加速器的加速腔是一个半波长共轴谐振腔（一个外圆柱围着一个内圆柱，两圆柱共轴），两端缩短，TT50 的谐振米波为 352MHz，TT100 为 215MHz，其他较大 Rhodotron 加速腔型号为 107.5MHz。加速腔由钢板轧制、定型、焊接而成。除了腔内壁之外，凸起卷边处及相关表面均已进行机械加工，腔体进行镀铜处理。

TT50 的加速腔外壁直径小于 1 m，TT100 约为 1 m，TT200、TT300 和 TT1000 型号为 2m。直径设计满足如下要求，电子离开加速腔中心，转向后又回到中心，所花时间恰好是一个射频周期（除了第一次直径运动）。

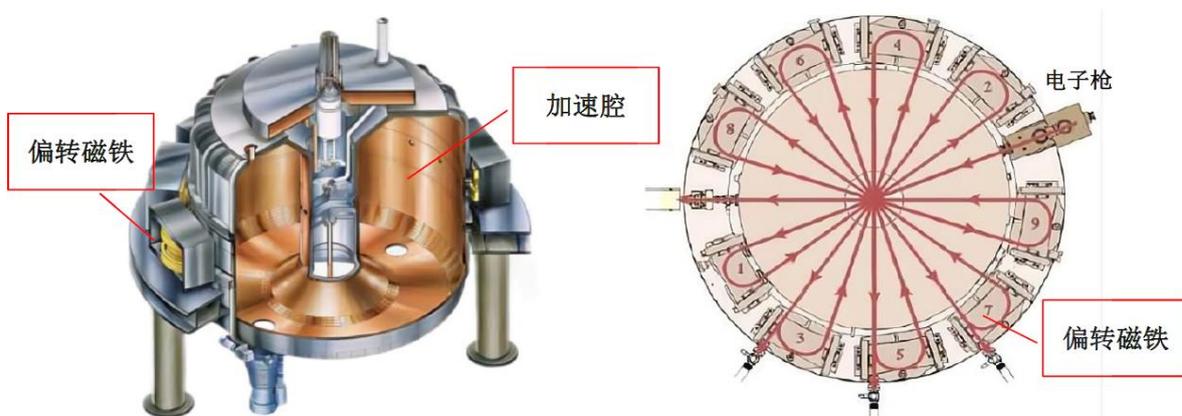


图 9-3 Rhodotron 型工业电子加速器主机结构及电子束加速器路径示意图

(2) 射频系统

根据不同 Rhodotron[®]型号和所需电子束功率，加速器射频系统能产生最多 1MW 能量。需要约 80kW 用来生成加速腔内的电场，以便电子每次穿过获得约 1MeV 目标能量增益。剩余射频功率用来加速电子。射频系统含有一个可控合成器，其后是一串放大器。放大器最大 100 W，由固态元件组成。驱动级采用四极真空管。一般情况下，最终放大级设在加速腔上方。这种配置可直接把阳极腔和加速腔联接起来。



图 9-4 射频系统控制器

(3) 偏转磁铁

偏转磁铁的主要任务是使谐振腔内出来的电子束转回谐振腔中心。在 Rhodotron 中，电子束的聚焦一部分由射频电场提供，另一部分由偏转磁铁提供因为在第一次加速循环中，电子仍然处于低能状态，所以其路径长度必须与射频周期相适应，故而第一个磁铁采用专门设计，除此之外其他磁铁都采用相似设计。



图 9-5 偏转磁铁外观示意图

(4) 电子枪

电子枪位于加速强外壁。为使电子与射频周期相吻合(电子必须在电场正在加速时射入腔内)，电子枪以射频频率脉冲工作。电子枪采用平面阴栅组件。阴栅电势可自动适应，利用电源室中的电子电路产生所需的束流。

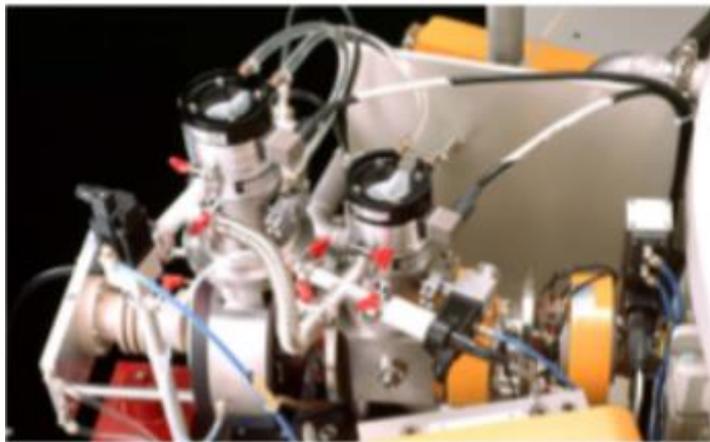


图 9-6 电子枪外观示意图

(5) 控制系统

作为所有 IBA 加速器的一项标准功能，控制系统基于一个工业可编程逻辑控制器 (PLC)。控制系统包括 Rhodotron 自动运行、维护、纠错所需的全部软件该系统具备控制台数据交换能力以及可调节的加速器运行限值。Rhodotron 的控制系统具备从传导装置、安全系统等其他子系统发送/接收信号的功能。控制系统的这一部分将依照客

户具体要求进行开发。所有图标均使用彩色代码，便于观察系统状态。比如，通过图像显示上的色彩变化和故障信息把机器故障告知用户。可进行远程操作。通过安装局域网，可以方便地实现 Rhodotron 的 PLC 与其他子系统(一般为专用于安全/安保设备及传输系统的局域 PLC)之间的通信。

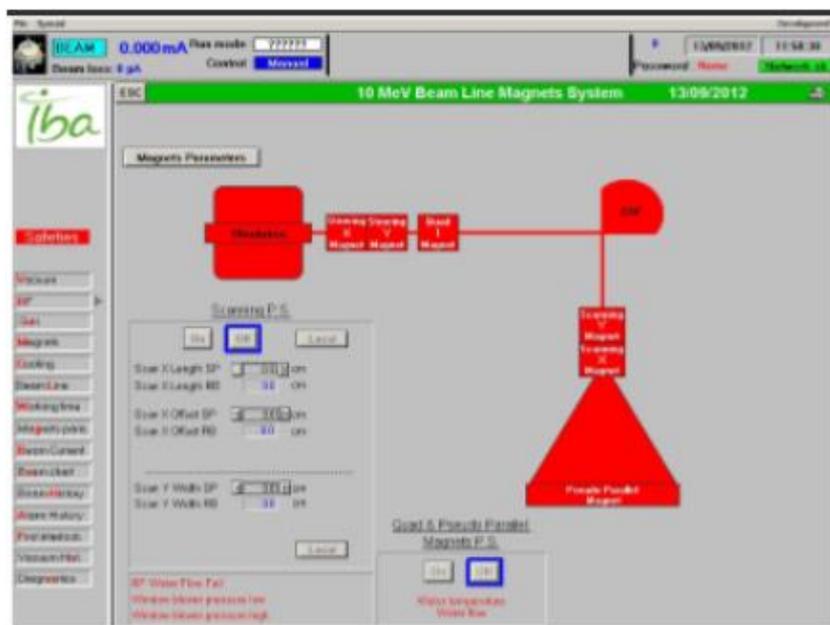


图 9-7 该型工业电子加速器控制系统界面

(6) 束流传输线

对于医疗器械灭菌装置，束流传输线通常包括一个束流线、一个或两个最小频率 100Hz 的扫描磁铁(弯转磁铁)。扫描喇叭的尺寸从扫描长度 1 至 2 米不等。需要时，可采用光学透镜或四极管提高束流传输效率。可以在定向束流线其他方向添加 270°(或 90°)偏转磁铁。偏转磁铁为束流方向开关，可以实现多种辐射配置方案，本项目配置 1 条束流线，连接至 5MeV/7MeV 端口，用于 X 射线辐照。

(7) 其他辅助系统：包括真空系统和冷却系统

真空系统：加速腔使用一个涡轮泵和一个前置泵抽真空。电子枪有一个涡轮泵、1 或 2 个离子泵和一个前置泵，束流线/扫描喇叭有一个涡轮泵和一个前置泵。该系统完全自动化，能够防范意外排气和常见操作危险。

冷却系统：加速腔利用内导体上、底部法兰上的水套以及沿外径散布的冷却管道实现有效冷却。Rhodotron 加速器配有三个主要冷却环路：第一个环路用普通水冷却加速腔，第二个环路用脱盐水冷却终极四极管和其他机械子系统，第三个可选环路用来冷却 X 射线靶。完整的主要环路由水泵、不锈钢板换热器、用水调节和监测装置以及使用安装在换热器辅助进水口的旁通阀的温度调节装置。



图 9-8 冷却系统实物图

(8) 辐照产品传输系统

本项目的传输系统为“循环传送链”，布设于整个迷道和辐照室。产品从迷道自动进出的货物传送链进入辐照室，并接受 X 射线辐照。本项目传输系统采用辊道传送方式通过调节辊道中金属棒的转动速度，调节辐照物品输送速度。通过束流比例控制模式可以监测产品传输线速度，来快速反应调节束流值，通过保持束流和传输速度的匹配可以保证产品接收到更一致的吸收剂量。

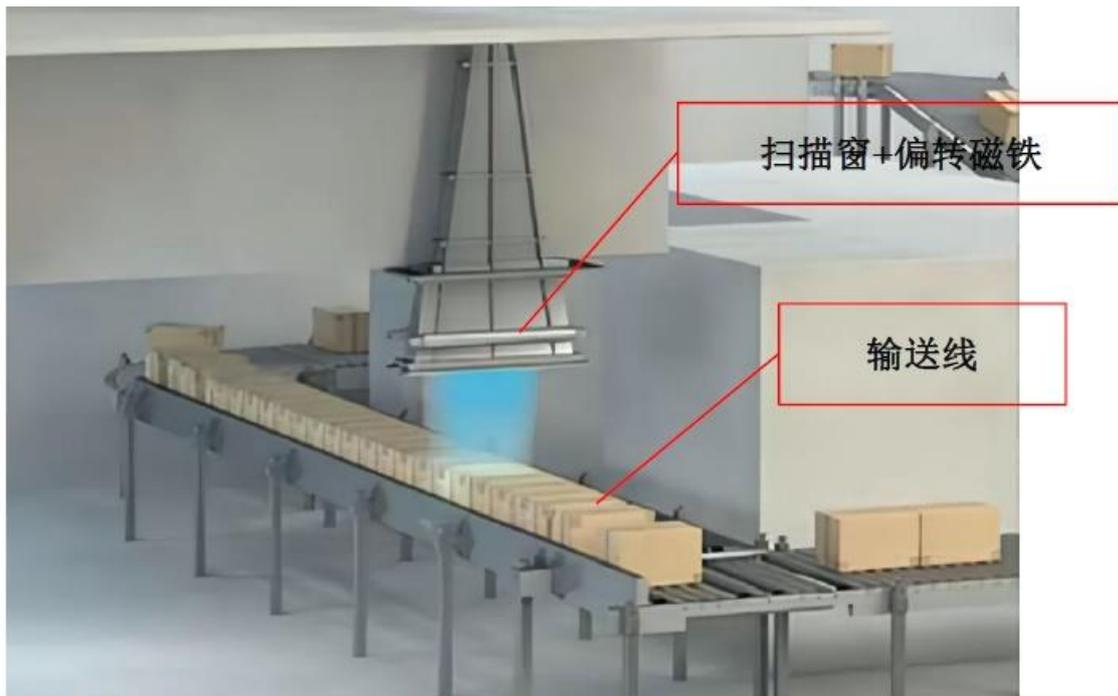


图 9-9 产品传输系统示意图

二、工作原理

1、辐照原理

辐照灭菌和辐照改性是指利用 X、 γ 射线或电子束等电离辐射装置对医疗保健产品、食品等以灭菌为目的和对材料交联和高分子聚合物改性的辐射处理。辐照灭菌法与化学灭菌法、高压蒸汽灭菌法相比，具有节省能源、对环境污染小、操作安全，可对包装物品和热敏材料进行灭菌，可实现连续自动化生产等优点。同时对于经辐照灭菌产品的使用，其安全性能和卫生质量已得到确认，社会效益日益明显经济上又有竞争力，因而该项产业已成为辐射加工中发展较快、应用十分成功的领域。本项目选用的辐照电子加速器的工作原理便是利用电子加速器产生的高能电子束或 X 射线作用于食品、卫生医疗等产品，实现灭菌目的和材料改性的目的。

2、工业电子加速器的工作原理

(1) IS1040 型工业电子加速器

IS1040 型工业电子直线加速器属于高频谐振型加速器，是带电粒子在高频电场加速下，沿直线轨道传输的加速器装置。高频加速电场可以分为行波场和驻波场，加速电场为横磁波 TM₀₁₀ 模，在轴线上存在较强的电场分量，因此可以与沿 Z 轴方向运动的电子束交换能量，使电子加速。

高频变压器和高频电极及其对钢筒、倍压器芯柱之间形成的分布电容组成振荡器，高频振荡器与装在加速器内的槽路线圈、射频电极、反馈电容等所构成的外振荡槽路一起构成高频震荡，产生加速器所需要的高频功率。

振荡器工作时，槽路线圈的次级可将高频电压升到 300kV。这一高频电压通过高频电极与芯柱上的半圆电晕环间的分布电容和芯柱内的整流硅堆组成的并联耦合串联倍压系统，在高压电极上产生所需的直流电压。从高压电极内的电子枪产生的电子流在此负极性电压作用下通过加速管时得到加速，从加速管中出来的高能电子束由磁扫描器在垂直方向进行扫描，实现灭菌等辐照目的。该型工业电子加速器工作原理流程见图 9-10。

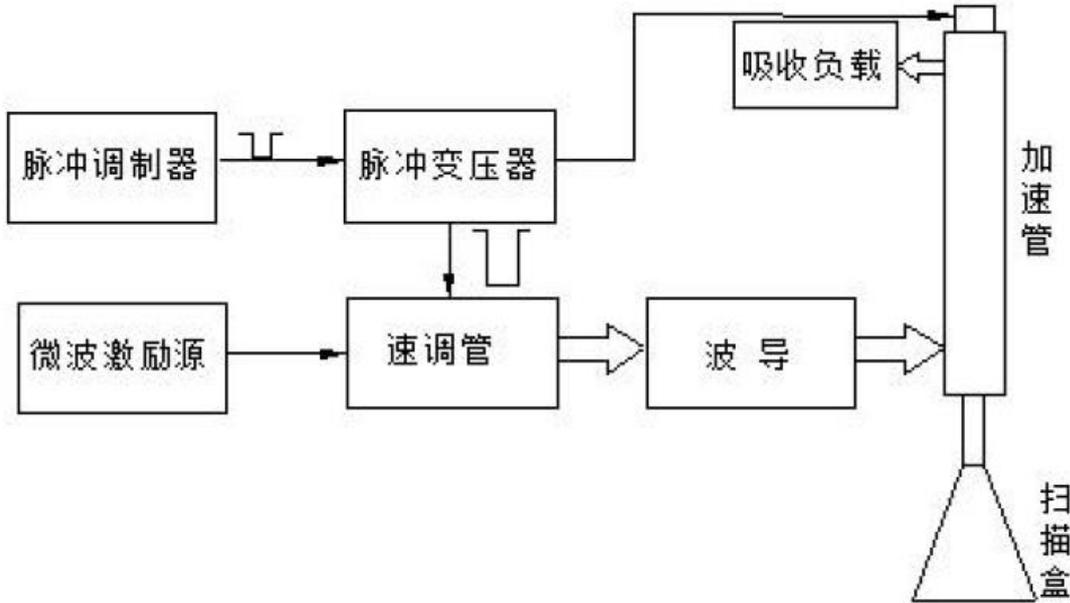


图 9-10 IS1040 型工业电子直线加速器工作原理示意图

(2) Rhodotron® TT1000 型工业电子加速器

本项目拟配备的 Rhodotron TT300 是一种独特的电子加速器，其工作原理为使连续穿过一个谐振腔直径的电子束反复循环。此等设计使其可以实现电子束的“连续波”加速，获得高能量。电子束在加速腔内的运动路径形状就像一朵花，所以这种加速器叫做 Rhodotron (来自希腊语“Rhodos”，意为玫瑰)。世界上第一台工业 Rhodotron 在 1993 年由比利时 IBA 集团生产。

大多数电子束加速器的工作原理都是：电子通过电场所在区域时获得能量。Rhodotron 技术可在一个环形线圈加速腔内产生谐振电场，使电子在谐振腔内穿过不同直径作往复运动。所以 Rhodotron 是一种反复循环加速器。由于电子束运行过程中产生电场的射频 (RF) 是连续的 (不像直线加速器是脉冲式的)，Rhodotron 是一种连续波 (CW) 加速器。

在 CW 模式下运行时，Rhodotron 可以提供多项独特优势，包括范围极宽、可即时调节的束流：极低到极高、精确控制的电子束功率；高电效率和低维护工作量。与一个永久振荡电场同步，位于加速腔外壁上的电子枪产生低压电子流（见图 9-11）。电子射入加速腔，在径向电场的影响下朝加速腔的反向内壁加速。电场强度最弱时 (由于 RF 转向)，电子穿过中心导体上的孔洞 (在环形线圈直径内) 电场转向时，电子从中心导体中出现，使得电子进一步加速，完成一次穿过整个加速腔直径的运动。电子每次穿过谐振腔都会获得 1MeV 的能量，加速过的电子束被外部的偏转磁铁弯曲，送回腔内沿一条新直径进行第二次加速循环。电子束开始第二次直径运动时，电子枪发出

一束新电子。

在加速器出口，高能电子束一般穿过束流线到达三角形扫描喇叭。在扫描喇叭的顶点，使用扫描磁铁将电子束扫成扇形，扫描过的电子束位于扫描喇叭的远侧时，电子穿过将加速器真空空间与大气隔离的薄金属箔片，电子束轰击靶、各结构材料和辐照产品会产生韧致辐射(X射线)。

IBA 可提供其他电子束传送系统，以适应不同客户的具体需求，包括一个新型扫描系统、平行不发散电子束、非对称扫描和高效 X 射线转换器。

在 Rhodotron 加速器中，电子每次穿过谐振腔都会获得 0.8 至 1.166 MeV 的能量。

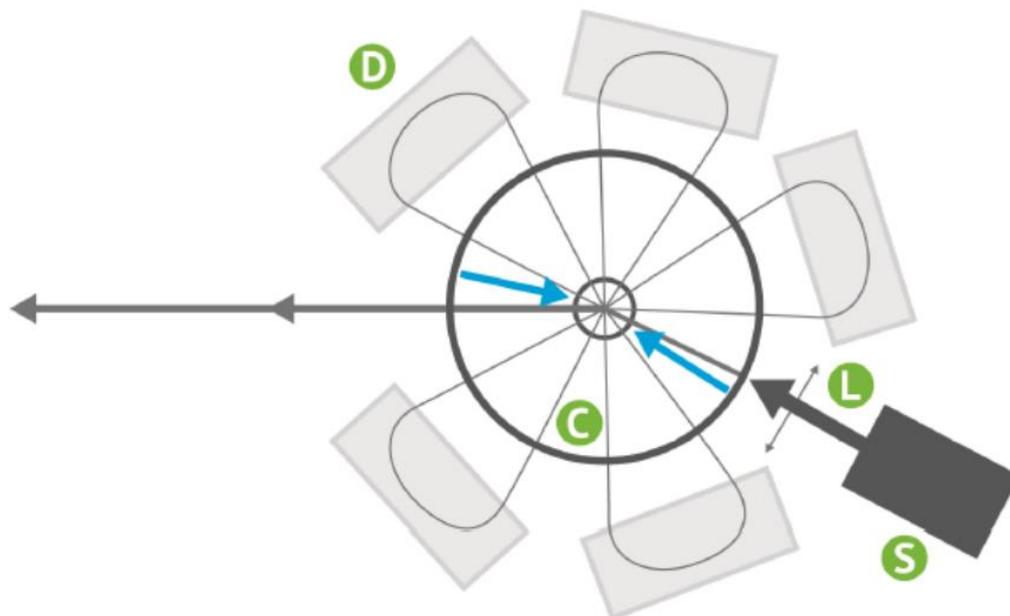


图 9-11 加速器的中剖面 and 电子轨道 (D: 偏转磁铁 C: 加速腔 L: 磁透镜 S: 电子枪)

本项目配备了一个 5MeV/7MeV 的出口运行 X 射线模式，X 射线转换靶(钨靶)安装在 5MeV/7MeV 扫描窗前面，用于产生高强度 X 射线。

同时在扫描窗口配备一个两段式扫描窗(扫描窗+偏转磁铁)，输出完全无发散的电子束(平行射线)，详见图 9-12。

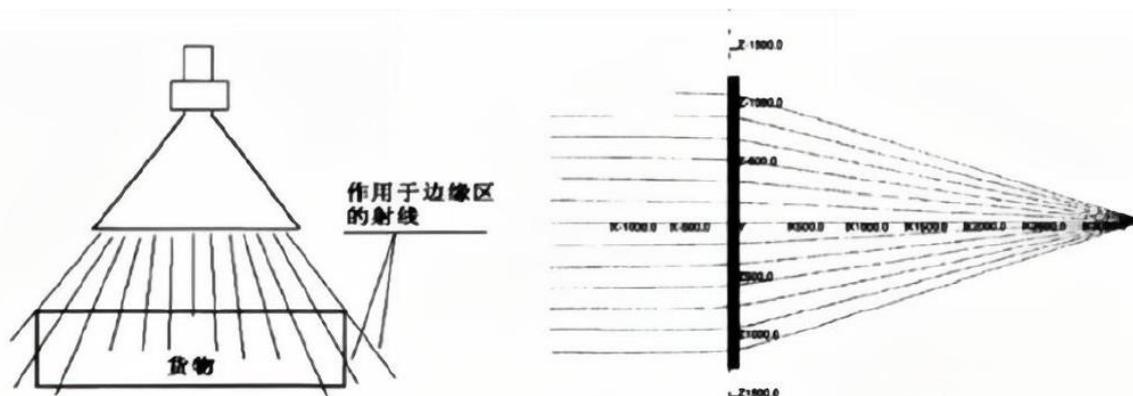


图 9-12 平行束扫描窗(右)和传统的扇形扫描窗(左)

本项目配有一个束流线和扫描喇叭，连接到加速器 5MeV/7MeV 出口，X 射线转换靶(钨靶)安装在 5MeV/7MeV 扫描窗前面，用于产生高强度射线。X 射线路径从加速器水平延伸，对一层输送系统的物品进行照射。该模式被设计为 X 射线辐照。

三、工艺流程及产污环节

1、辐照加工流程

项目待辐照货物由自动装卸设备运输至待辐照货物堆放区，再由自动传输装置将货物搬运至物流进口外传输系统传输带上；根据操作流程经确认，符合开机条件后，进行辐照；货物经传输系统传输至电子束或 X 射线辐照室辐照区域，经辐照后，自辐照厅迷道经出货口传出，完成一轮辐照消毒灭菌工作自动装卸货装置将货物从传输带卸下，再转运至已辐照货物暂存区，再转运至货物堆放区。辐照加工流程图见图 9-13。

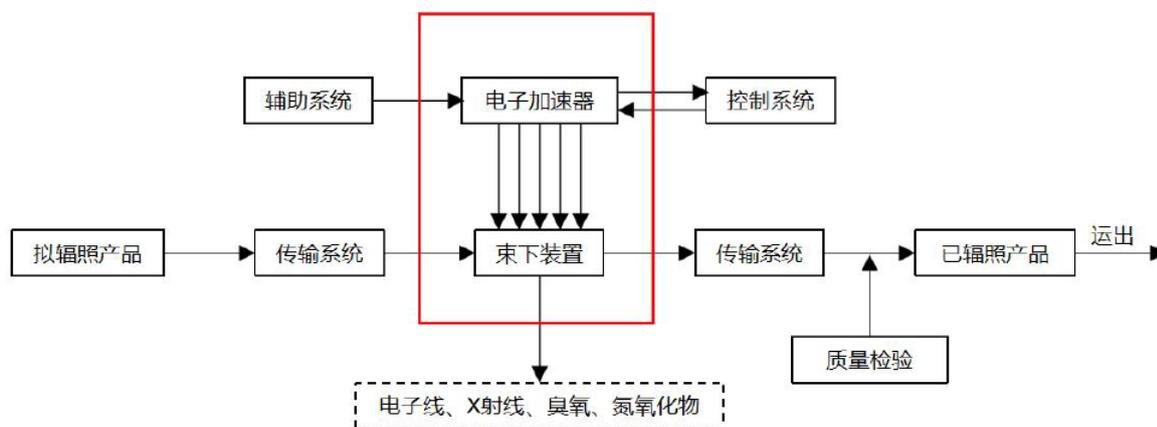


图 9-13 辐照工艺流程示意图

2、工业电子加速器操作流程

本项目辐射工作人员使用工业电子加速器进行对产品进行辐照灭菌和改性的操作流程是：

- ①开机预热，设备自检；
- ②检查加速器及系统状态，确认设备有无异常；
- ③辐射工作人员对辐照室巡视，确认无异常情况后，离开辐照室；
- ④开启辅助系统：冷却系统、通风系统、真空系统、监控系统、束下装置联锁等；
- ⑤确认相关辅助系统运行正常并再次确认无异常情况后，设置运行参数；
- ⑥开启束下装置，并开机出束，对产品进行辐照；
- ⑦本项目正常情况下，工业电子加速器每日最多开关机两次，主要为换岗期间，

工作人员进入辐照室内进行巡查。在对产品进行辐照过程中，辐射工作人员只需在操作间密切关注相关仪表的参数，无需进入辐照室进行任何操作。

在工业电子加速器开机出束对辐照的过程中，电子束辐照会产生韧致辐射，发出 X 射线，电子束和 X 射线电离空气产生臭氧及氮氧化物等有害气体，设备运行过程中产生的噪声。由图 9-13 可知，本项目所使用电子加速器在运营中产生的主要污染为出束辐照过程中产生的电子束、韧致辐射产生的 X 射线和臭氧、氮氧化物、真空系统及排风机等产生的噪声。

四、工作负荷及人员配置

本项目拟配 14 名辐射工作人员（其中 2 名为专职辐射安全管理工作），每班配置 3 人，即 1 名值班班长，2 名操作员，实行四班三轮转制。在日常工作中，设备每天持续运行约 24h，8h/班，全年运行约 350 天，则每名工作人员年工作 2100h。

五、项目人员流动路径规划

1、工作人员路径：本项目辐射工作人员在开机运行前，先对束下装置进行检查，然后取出控制室主控台上的钥匙，打开辐照室安全门，进入辐照室，沿迷道进入辐照室，并依次按下巡检按钮，确保辐照室内无人员逗留。待辐照室巡检完成后，进入主机室，打开主机室安全门，进入主机室，沿迷道进入主机室，并依次按下巡检按钮，确保主机室内无人员逗留。

巡检过程中，辐照室和主机室迷道入口处均设有 3 道光电装置可防止人员跟随，巡检过程中，如果有其他人员误入，巡检失效，辐射工作人员需要清场，并重新巡检。巡检结束后进入控制室完成相关操作。

2、物流路径：本项目工业电子加速器辐照时，被辐照的物品由束下装置自动运行，辐照室内无人员进出。辐射工作人员路径和物流路径如下图所示：

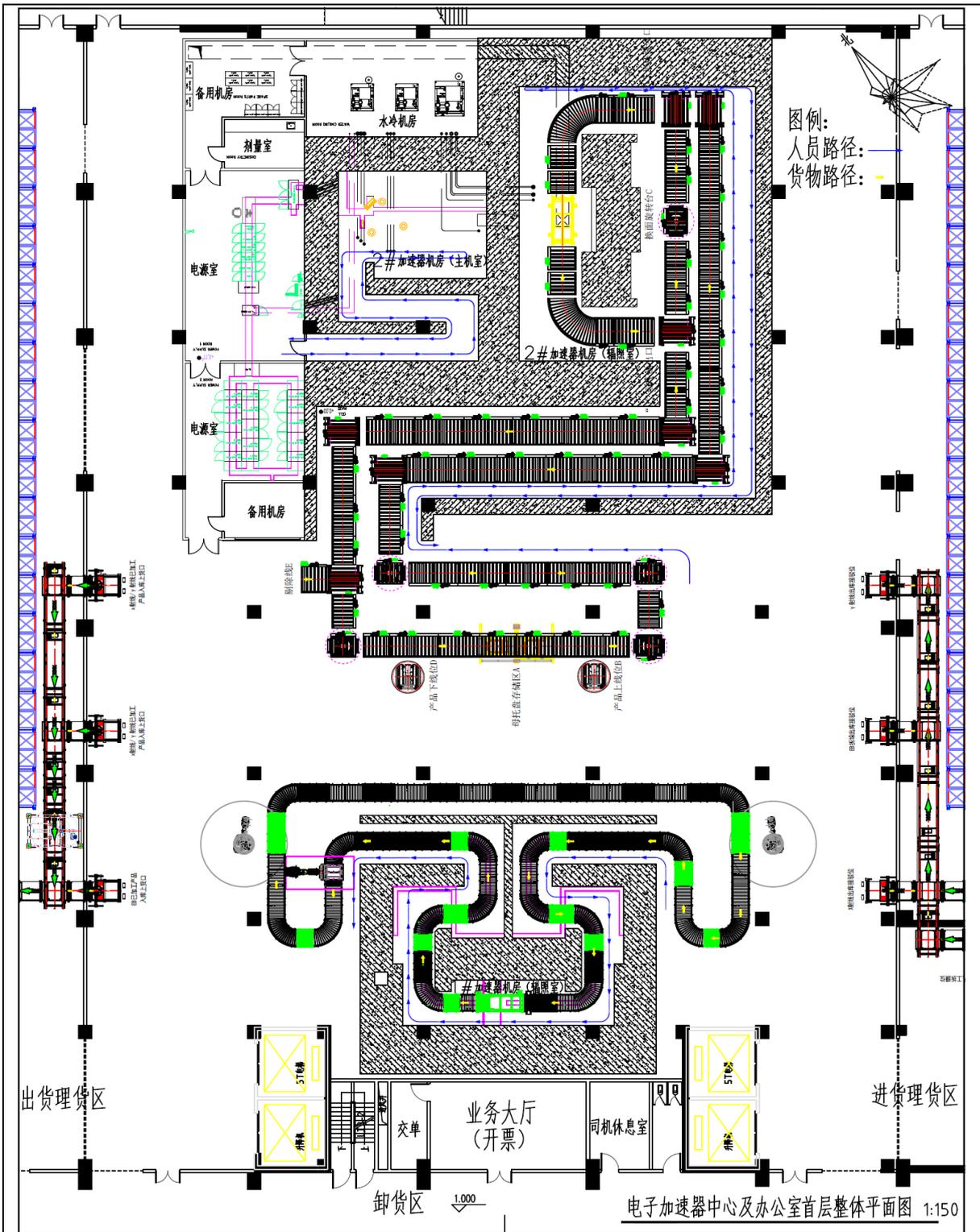


图 9-14 新增工业电子加速器使用项目人流物流路径图 (一层)

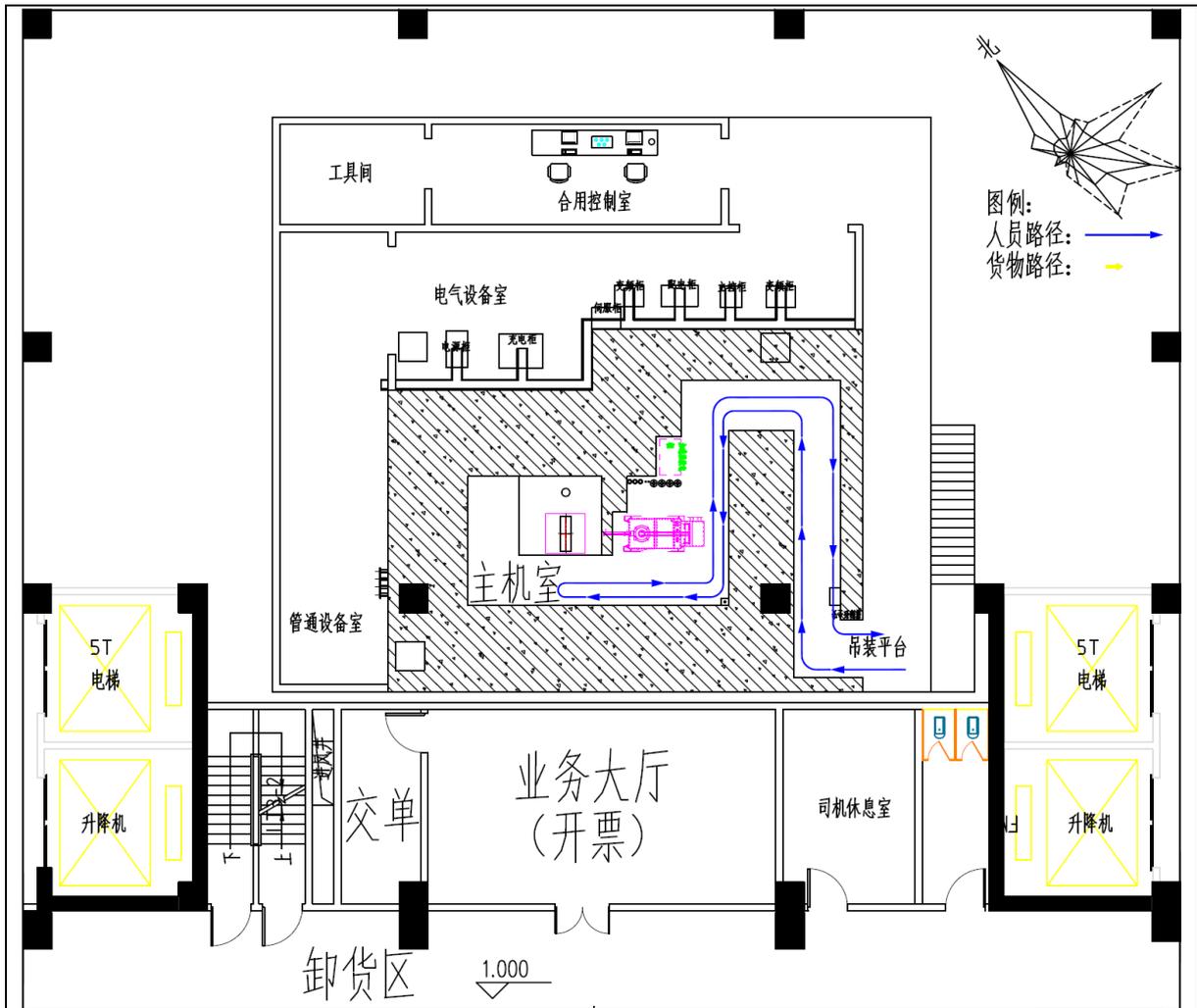


图 9-15 新增工业电子加速器使用项目人流物流路径图（一层主机室层）

污染源项描述

一、施工期污染源

1、废水

施工期少量废水主要来自以下几个方面：

①施工场地废水；②施工人员生活污水。

2、扬尘

施工期的大气污染物主要是地面扬尘污染，污染因子为 TSP，为无组织排放。施工产生的地面扬尘主要来自三个方面，一是墙体装修扬尘；二是来自建筑材料包括水泥、沙子等搬运扬尘；三是来自来往运输车辆引起的二次扬尘。

3、固体废物

施工期产生的固体废弃物主要为施工人员的生活垃圾及废弃的各种建筑装饰材料等建筑垃圾。

4、噪声

主要是使用施工机械和装修设备产生的噪声。

二、营运期污染源

本项目拟使用的 IS1040 型工业电子加速器最大能量为 10MeV，最大电子束流为 4mA，拟使用的 Rhodotron® TT1000 型工业电子加速器最大能量为 7MeV，最大束流强度为 80mA。本项目拟使用的工业电子加速器技术参数见表 9-1 和表 9-2。

工业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，对加速器屏蔽体周围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，会对加速器屏蔽体周围环境造成辐射污染。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，在加速器开机辐照期间，X 射线辐射为项目主要的污染因素。

本项目射线装置在通电出束过程中，辐照室内的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。加速器输出的高速电子束流越强，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，同时能使橡胶等材料加速老化。电子束装置屏蔽体在良好通风条件下，臭氧和氮氧化物很快弥散在大气环境中，臭氧在常温下可自行分解为氧气。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局与分区

(一) 工作场所布局合理性

广州科金高能技术有限公司新建电子加速器中心应用项目选址于厂区内电子加速器中心厂房内，电子加速器中心厂房内布置有 2 座工业电子加速器机房及相关配套辅助用房，周边主要以仓储为主，并且避开了人员密集的 1# 厂房，可防止无关人员入内，减少了对周围环境的辐射影响。工业电子加速器机房的控制室位于机房的外侧，为隔室操作，减少了对职业人员的照射。工业电子加速器机房平面布局详见图 1-5，本项目拟建址避开了人群区域或人员密集区域，或人员流动性大的区域，选址及平面布局合理。

(二) 两区划分

1、分区原则

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）要求，将本项目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。

控制区—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。

监督区—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。

2、区域划分

本次环评根据控制区和监督区的定义，结合项目辐射防护和环境情况特点进行辐射防护分区划分。公司拟将工业电子加速器机房辐照室（含迷道）、工业电子加速器主机室（含迷道）划分为控制区，该区域涉及射线装置的操作，属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及其他法律法规定义的控制区，进行了专门的屏蔽防护设计；其余房间如：合用控制室、设备间、自动装卸货区域及屏蔽墙体外 30cm 范围内等属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及其他法律法规定义的监督区。

本项目控制区和监督区划分情况见表 10-1，并在图 10-1 上进行了标识。

表 10-1 项目控制区和监督区划分情况

场所名称	控制区	监督区
1 号机房	工业电子加速器机房辐照室（含迷道）和主机室（含迷道）	合用控制室、电气设备室、自动装卸货区域及屏蔽墙体外 30cm 范围内等
2 号机房	工业电子加速器机房辐照室（含迷道）、主机室（含迷道）	备用机房、电源室、剂量室、水冷机房、自动装卸货区域及屏蔽墙体外 30cm 范围内等

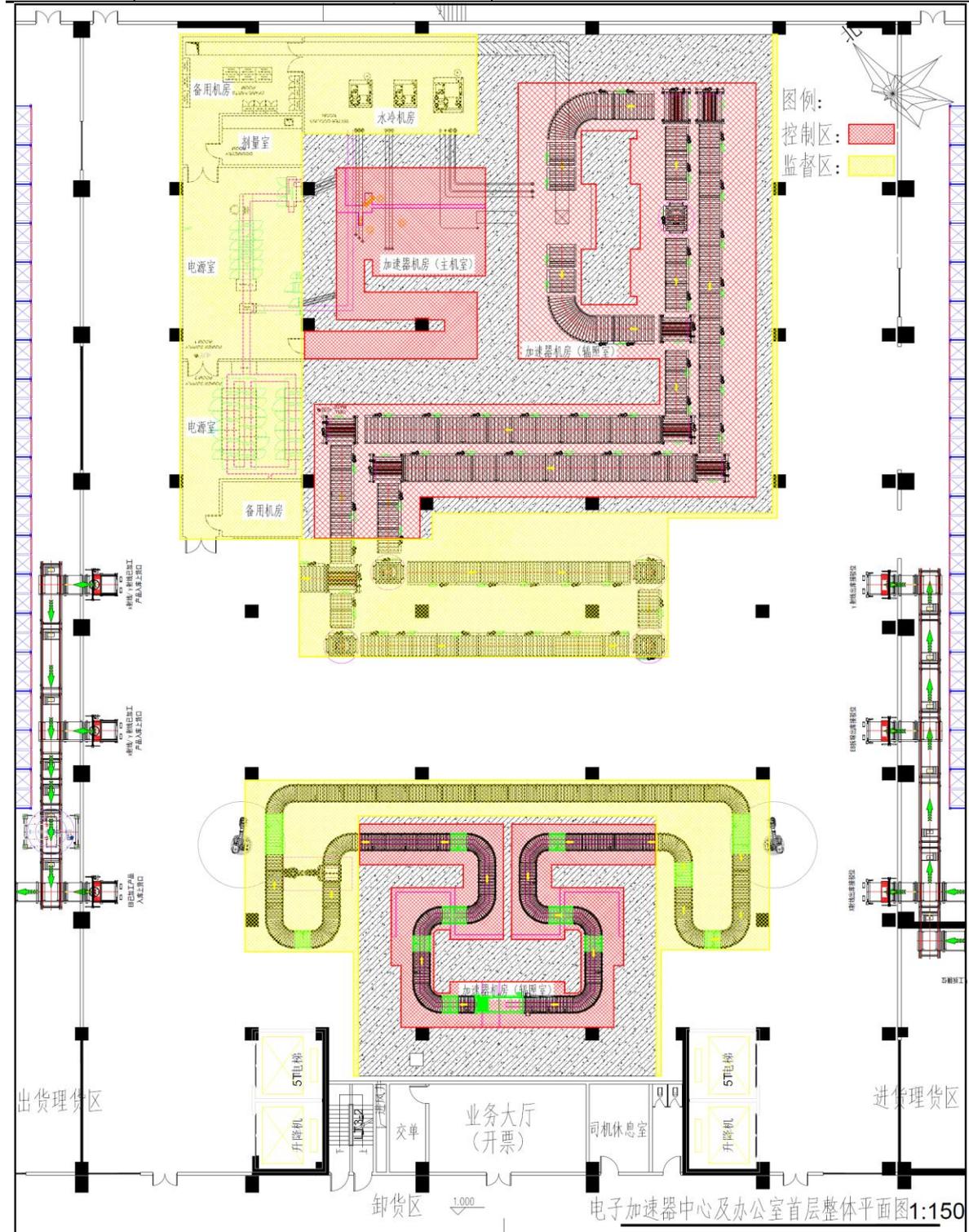


图 10-1-1 工业电子加速器使用场所两区划分示意图（一层）

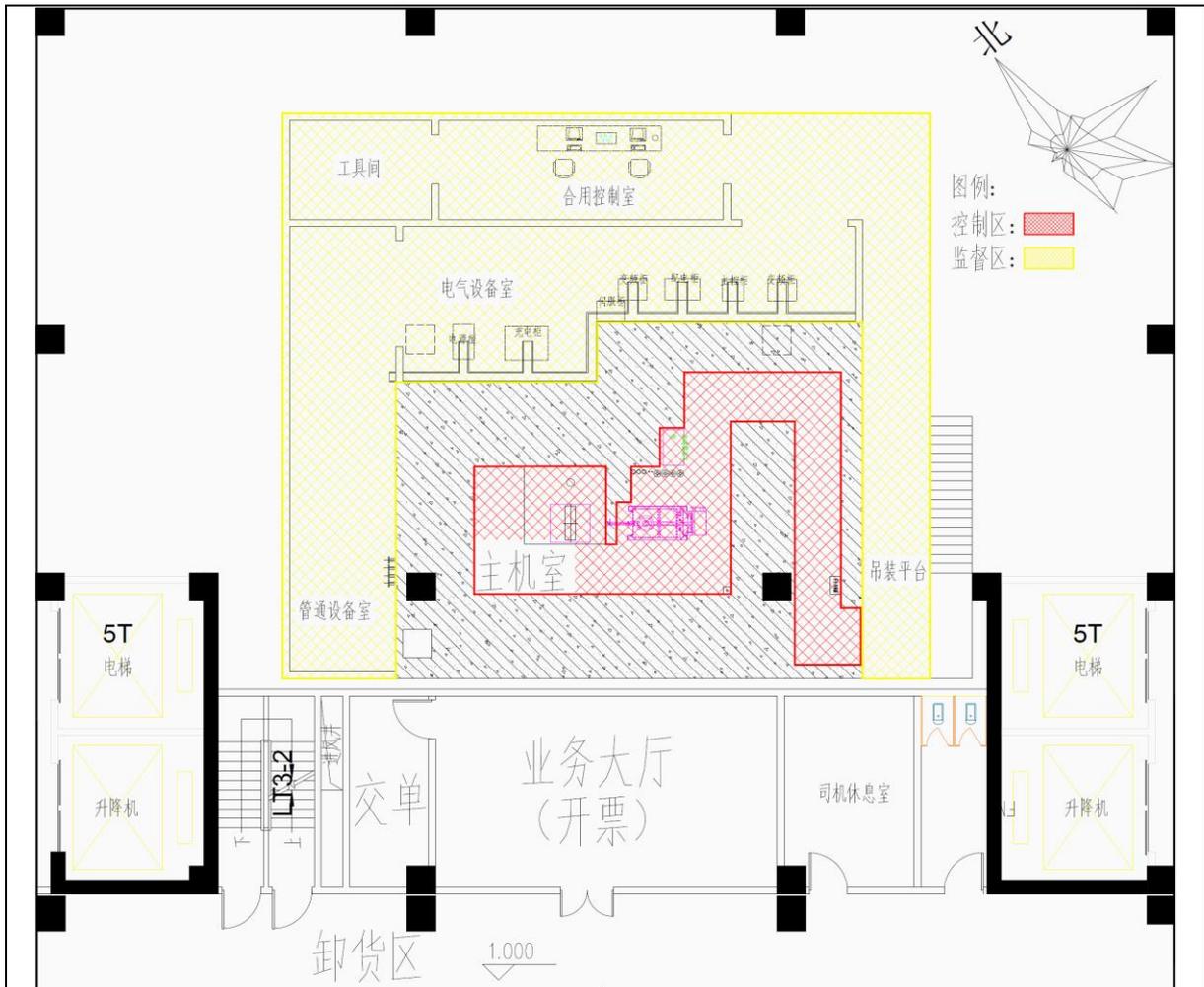


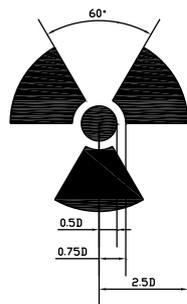
图 10-1-2 工业电子加速器使用场所两区划分示意图（主机室层）

3、控制区的防护手段与安全措施：

- ①控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志（如图 10-2）。
- ②制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；
- ③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）

限制进出控制区；

④定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。



电离辐射标志



当心电离辐射警告标识

图 10-2 当心电离辐射警告标志

4、监督区防护手段与安全措施

- ①以黄线警示监督区的边界；
- ②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；
- ③定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

二、辐射安全及防护措施

(一) 工作场所的屏蔽措施

1、辐射防护屏蔽设计方案

本项目工业电子加速器机房屏蔽设计见表 10-2，辐照室和主机室屏蔽措施示意图详见图 10-3 至图 10-5 所示。

表 10-2 工业电子加速器机房防护屏蔽设计一览表

类别	屏蔽防护设计			屏蔽设计参数（厚度及材质）
1 号 工业 电子 加速 器机 房	主机室	东南墙	迷道外墙	60cm 厚混凝土
			迷道中墙	180cm 厚混凝土
			迷道内墙	30cm~70cm 厚混凝土
		西南墙		260cm 厚混凝土
		西北墙		220cm 厚混凝土
		东北墙		140cm~240cm 厚混凝土
		顶部		210cm 厚混凝土
	辐照室	东南墙		200cm~260cm 厚混凝土
		西南墙		320cm 厚混凝土
		西北墙		205cm~265cm 厚混凝土
		东北墙	迷道外墙	50cm 厚混凝土
			迷道内墙	140cm 厚混凝土
		顶部		30cm~100cm 厚混凝土
	中间墙		260cm~390cm 厚混凝土	
2 号 工业 电子 加速 器机 房	主机室	东南墙		200cm 厚混凝土
		西南墙	迷道外墙	280cm 厚混凝土
			迷道中墙	70cm 厚混凝土
			迷道内墙	100cm 厚混凝土
		西北墙		210cm 厚混凝土
		东北墙		210cm 厚混凝土
	顶部		200cm 厚混凝土	
	辐照室	东南墙		100cm 厚混凝土
		西南墙	迷道外墙	100cm 厚混凝土
			迷道内墙	280cm 厚混凝土
西北墙		200cm~252cm 厚混凝土		

	东北墙	300cm 厚混凝土
	顶部	300cm~450cm 厚混凝土
	中间墙体	270cm~340cm 厚混凝土

注：本项目拟使用的混凝土密度不低于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ 。



图 10-3 加速器机房各剖面示意图

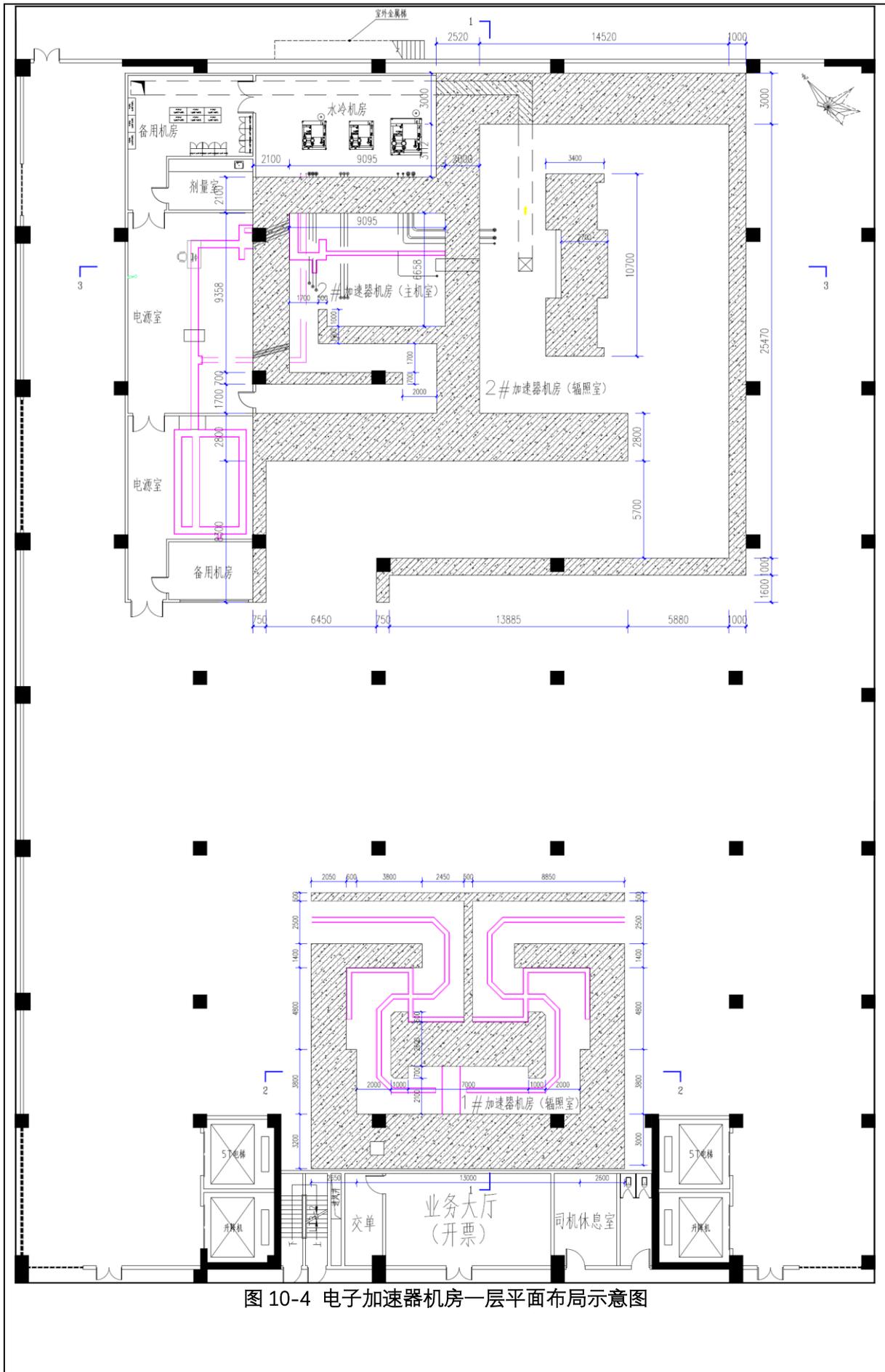


图 10-4 电子加速器机房一层平面布局示意图

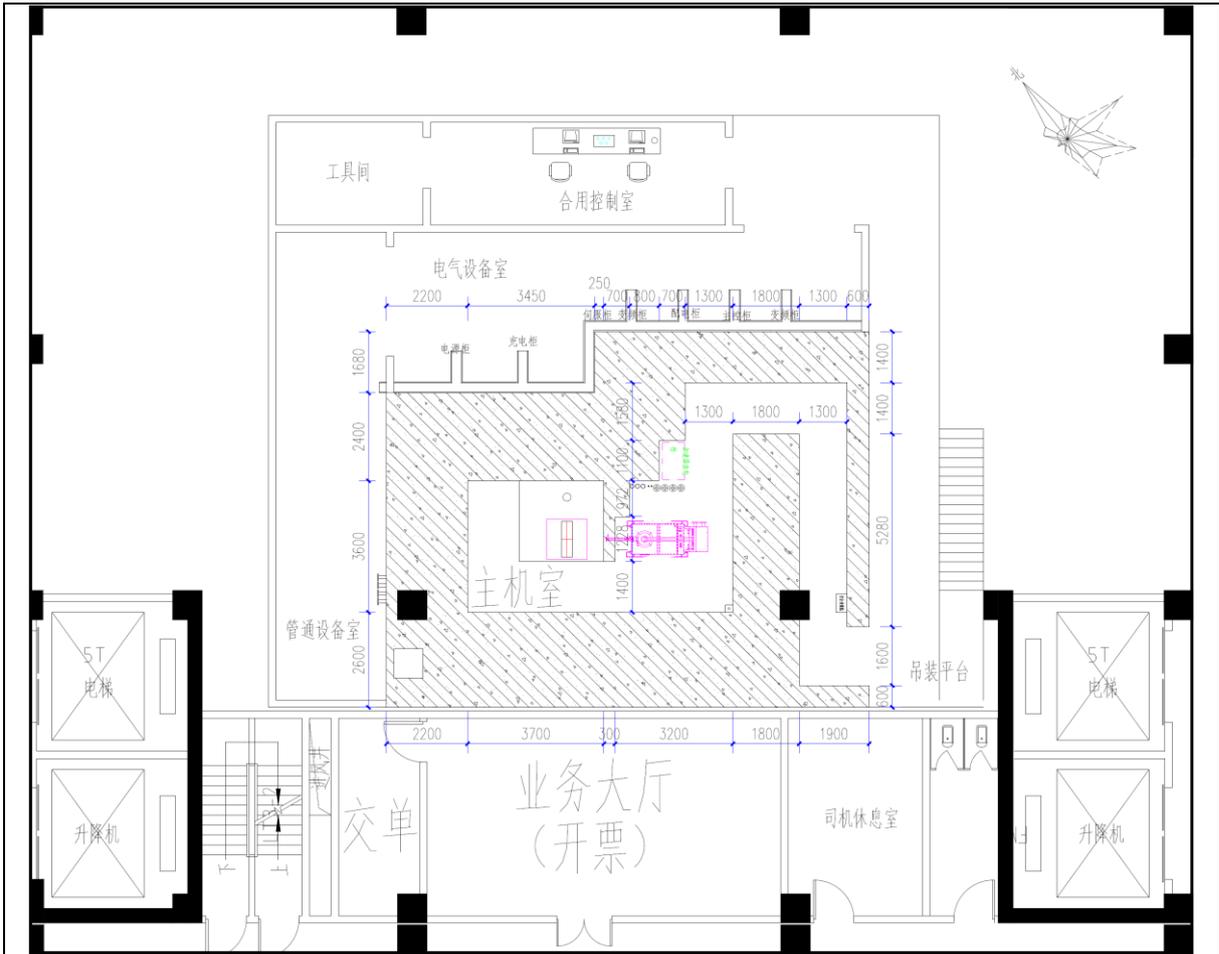


图 10-5 电子加速器机房一层主机室平面布局示意图

2、穿墙电缆沟、收放线穿墙和风管预埋示意

建设单位电子加速器辐照室的全部电缆采用预埋和斜向穿墙的形式进行屏蔽补偿。所有预埋管均位于地下，且转弯角大于 120° ，转角次数大于 2 次。斜向穿墙管线均避开主射线束方向，有一定角度倾斜。

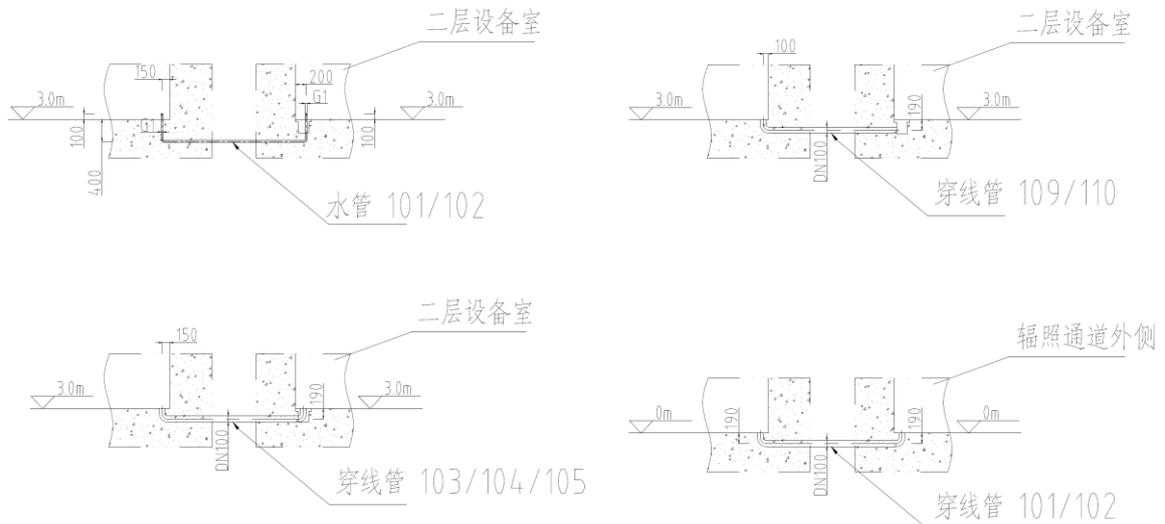


图 10-6-1 电缆穿墙示意

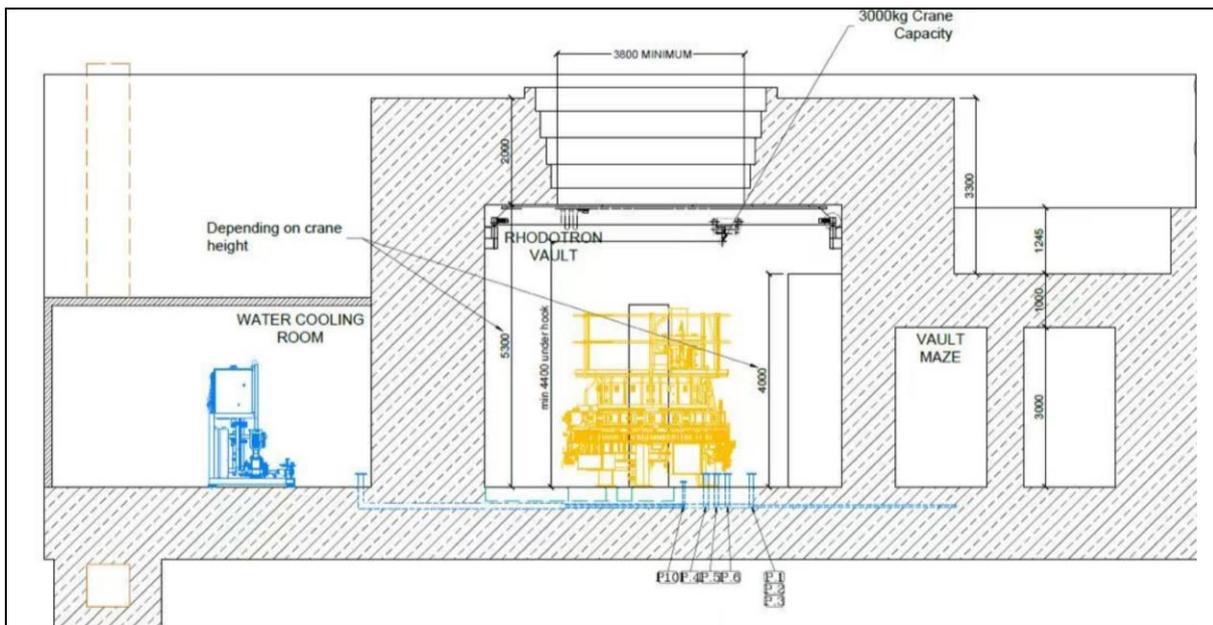


图 10-6-2 电缆穿墙示意

建设单位电子加速器辐照室的辐照的排风管（直径为 60cm）在施工过程中，会提前预埋在屏蔽墙体内，排风管首先预埋在辐照室底部，由于本项目辐照室下方为土层，故未进行屏蔽补偿，在垂直方向上，排风管也预埋在辐照室的屏蔽墙内，避开了射线直射位置，以确保不降低同侧屏蔽墙体的厚度。

（二）辐射安全装置

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的规定，在工业电子加速器装置的设计中必须设置功能齐全、性能可靠的安全联锁保护装置，对控制区的出入口门、加速器的开停机和束下装置等进行有效联锁和监控。安全联锁引发加速器停机时必须自动切断高压。安全联锁装置发生故障时，加速器不能运行。安全联锁装置不得旁路，维护与维修后必须恢复原状。

本项目拟使用的工业电子加速器均拟采取相适应的多层防护与安全措施（即纵深防御），充分体现了冗余性、多元性、独立性的安全原则，辐射安全与防护设施设计包括联锁系统、急停系统等内容，辐照装置设计的辐射安全保护措施和联锁系统符合相关标准规范，满足辐射安全要求。

1、钥匙控制 本项目 2 台工业电子加速器控制室内主控台上均设有钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动加速器进行出束作业：钥匙开关处于未闭合状态时，加速器无法开机出束。同时，加速器的主控钥匙开关和辐照室安全门及主机室安全门联锁，如果从控制台上取出钥匙，加速器会自动停机并切断高压，钥匙开关与安全门使用同一把钥匙，没有该钥匙辐照室安全门和主机室安全门也无法打开，该钥匙

与 1 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当班值班长保管使用。本项目拟配置 2 台不同型号的工业电子加速器，2 台加速器的钥匙开关不能互用。

2、门机联锁 辐照室安全门、主机室安全门与束流控制和加速器高压联锁。辐照室安全门或者主机室安全门打开时，加速器不能开机，加速器运行中任一安全门被打开则加速器自动停机并且切断高压。

3、束下装置联锁 电子加速器将与束下装置的绕圈机相连。在束下装置的绕圈机未转动时，电子加速器无法开机出束；在绕圈机系统出现故障或者被辐照物品全部已处理结束后，电子加速器将自动停止出束并且切断高压。

4、信号警示装置 在辐照室和主机室的安全门外、辐照室内部和主机室内部均设计有灯光和音响警示。当开机出束前，警示灯将亮起并发出闪烁信号，音响装置将发出警示声音。在辐照室安全门外和主机室安全门外，设计有工作状态指示灯和电离辐射警示标识，工作状态指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。

5、巡检按钮

本项目辐照室和主机室内设有多个巡检按钮，各巡检信号均与加速器控制台连锁。工业电子加速器在开机出束前，辐射工作人员需先进入辐照室内和主机室内进行巡视，巡查有无人员误留或有无其他异常，并按序按下辐照室内和主机室内的巡检按钮，全部巡检按钮按下后，安全门关闭后，加速器方可启动；若中途停止或不按顺序执行，系统会提示巡检失败，加速器将不能进行出束作业，工作人员必须重新按序巡检。加速器在开机过程中，如辐照室内和主机室内任一巡检按钮被触发，加速器会立即停止出束。

6、防人误入装置 在辐照室和主机室迷道入口紧邻防护门的位置，设计有 3 道相互独立不同高度保持一定间距的光电装置（不同品牌的红外光电感应装置），且并分别与加速器连锁。当有人员或者动物误入电子加速器机房，身体将任意一处红外线挡住后，若加速器处于开机状态下，将立即自动切断电源，加速器将立即停止出束，同时发出异常情况下的警示声音。

7、急停装置 辐照室和主机室的迷道入口处、迷道出口处（安全门旁）、辐照室内和主机室四侧墙体上均设计有急停按钮；在加速器主控台上同样设计有急停按钮开

关。所有急停按钮均有明显的标志，供紧急停止使用。

同时，在辐照室和主机室内均设有拉线开关，拉线开关覆盖了人员可达区域，当出现紧急情况时，只需按下急停按钮或者拉动拉线开关，则该电子加速器机房内的加速器将立即断电，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕启，需将拉线开关和急停按钮进行复位，加速器才能重新启动。在电子加速器机房安全门内侧，拟安装紧急开门装置。紧急情况下，机房内的人员只需按下紧急开门按钮，安全门将立即打开，若此时加速器处于出束状态，加速器将立即停止出束。

8、剂量联锁 本项目辐照室及主机室迷道内各设置 1 个固定式辐射监测仪探头，固定式辐射监测仪探头监测的辐射剂量率显示屏位置拟设置于控制室，可实时监测辐射剂量率，当主机室和辐照室内的辐射水平高于仪器设定的阈值时（根据厂家经验，阈值设置一般为本底值的三倍），主机室和辐照室的门电磁锁会自动锁死，无法打开。设定的阈值保证人员不会受到超剂量照射。并且固定式辐射剂量监测仪断电或者掉线均无法打开辐照室和主机室的出入口门。

9、通风联锁 电子加速器机房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，加速器将无法进行出束作业。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安全门延迟开启系统，即：加速器正常停止出束后，排风系统将参加工作至少 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；正常停止加速器出束后 5 分钟内，即使发出打开电子加速器机房安全门的指令，机房安全门仍然无法打开，直到 5 分钟后方可开启安全门。

10、烟雾报警 在电子加速器器辐照室的排风烟道内拟安装烟雾报警装置。电子加速器将与火灾烟雾报警系统联锁。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进行出束，通风系统将无法开启进行通风换气。

本项目工业电子加速器辐射安全与防护设施安全联锁设施逻辑示意图 10-7，辐射安全与防护设施布置见图 10-8 和图 10-9。

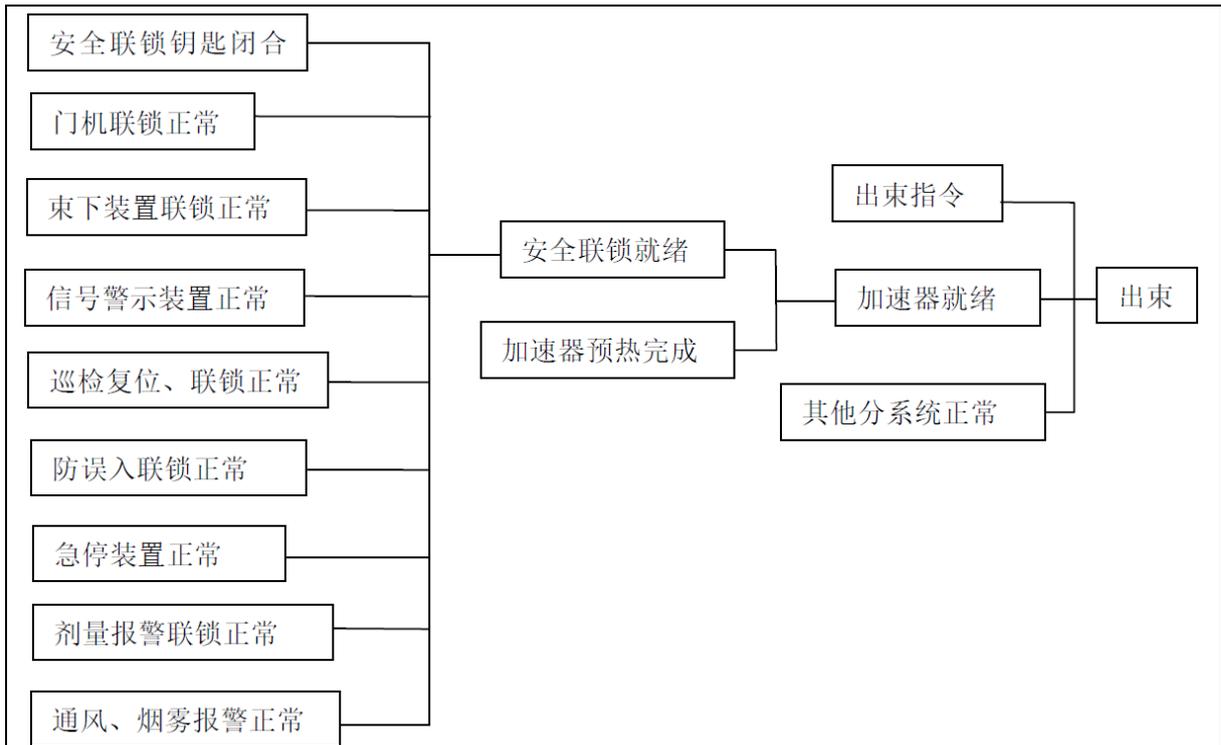


图 10-7 安全联锁设施逻辑示意图

（三）其他辐射安全设施

本项目工业电子加速器除落实了《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 中的相关要求外，还设计了实时监控系統、加速器冷却系統、辐射安全控制系统联锁等。

1、实时监控系統

建设单位在辐照室内拟设摄像监视系統，辐照室内图像实时显示在控制室的监控显示器上，使控制室内的工作人员可清楚地观察到辐照室内的情况，如发生意外情况可及时处理。为避免强辐射场对视频信号的干扰，视频摄像头安装在迷道口，通过反射镜来获取辐照室内图像。

2、加速器冷却系統

工业电子加速器设备将与加速器各管路冷却回水的流量进行联锁，在加速器未出束时，只有当各管路冷却回水的流量正常时，加速器方可启动进行出束作业；在加速器正常运行后，各管路冷却回水的流量将时时监控，若任意管路的冷却回水流量出现异常，则系統将立即切断该加速器电源，使得机房内的加速器立即停止出束。

3、辐射安全控制系统联锁

工业电子加速器将与该加速器的各控制信号进行联锁。在加速器未出束时，只有当所有控制信号均正常时，加速器方可启动进行出束作业；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，则系统将立即切断电源，使得辐照室内的加速器立即停止出束。

本项目拟建的电子加速器具有多重设备安全联锁，如：高频供电系统、冷却系统、控制系统联锁、门灯机联锁、剂量检测联锁等，并在满足标准要求的基础上，增加了机房内实时监控系统，以确保加速器的运行安全。

4、各辐射安全防护设施的关系

为确保设备的运行安全，防止电子加速器周围相关人员误入，减少辐射安全事故的发生，本项目工业电子加速器设计了多重联锁，主要有设备联锁、安全联锁和工艺联锁。

设备联锁系统为开机必备的条件，主要集成在设备平台内，主要由真空系统、高频供电系统、仪表电源系统、水冷系统、风冷系统组成，其中任何一系统出现故障，电子加速器系统无法开机；安全联锁为电子加速器出束的必要条件，其中有安全门门机联锁、紧急停机开关、光电联锁、巡检联锁、拉线保护联锁、剂量检测联锁、烟雾报警联锁，用以保障本项目辐射工作人员、检修人员和公众的安全，其中任和一个联锁出现异常，电子加速器均会立即停止出束或无法出束；工艺联锁是设备长期连续运行的必须条件，主要通风系统、束下装置联锁组成，工艺联锁任意一个环节暂停工作，电子加速器均立即停止出束。

本项目安全联锁和设备联锁相互关联，任何一个环节出现异常，电子加速器均不能出束，工艺联锁出现异常则电子加速器不能长期连续出束，彼此关联又相互独立；安全联锁系统中，任何一个联锁出现了异常，均能够立即使电子加速器停止出束；本项目在满足 HJ 979-2018 的情况下，还增设置了场所多重钥匙管控、监控系统、设备联锁、工艺联锁多重安全措施。因此，本项目具备辐射防护设施设备的多重性、独立性、冗余性。

还需要进一步落实的措施：

①在本项目投用后，建设单位应建立《辐射工作场所辐射安全设施维护检修制度》，定期对工业电子加速器装置上的常用设备进行检查，并做好记录，如果发现异常及时修复或者改正，确保辐射安全防护措施的有效性和稳定性；

②在控制室和设备平台增加门锁或者门禁系统，非本项目辐射工作人员不得擅自进出该区域内；

③在控制室门口（加速器机房安全门外）安装监控探头，以便及时发现无关人员闯入监督区域并及时阻止该行为。

综上所述，在上述所有措施和要求落实到位后，本项目配备的相关辐射防护措施符合标准的要求，配备的联锁装置可有效的保护操作人员和公众，减少因人为误入造成辐射安全事故。

本项目工业电子加速器机房辐射安全防护设施设计与《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）和《关于在核与辐射安全隐患排查工作中做好电子辐照加速器专项监督检查工作的函》（生态环境部辐射源安全监管司辐射函（2021）27号，2021年9月29日）符合性分析详见表10-3。

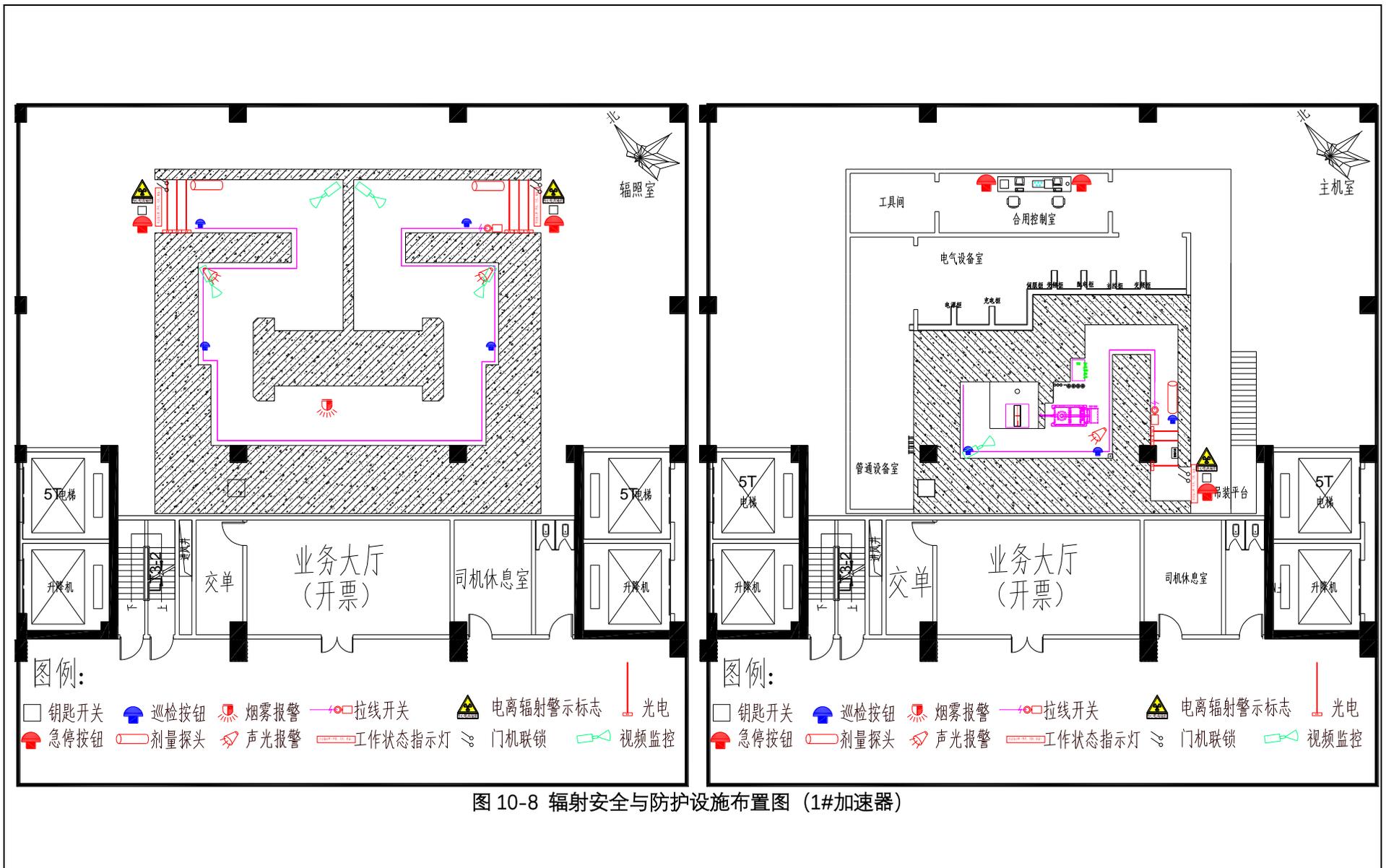
表 10-3 本项目辐射安全设施与标准符合性分析

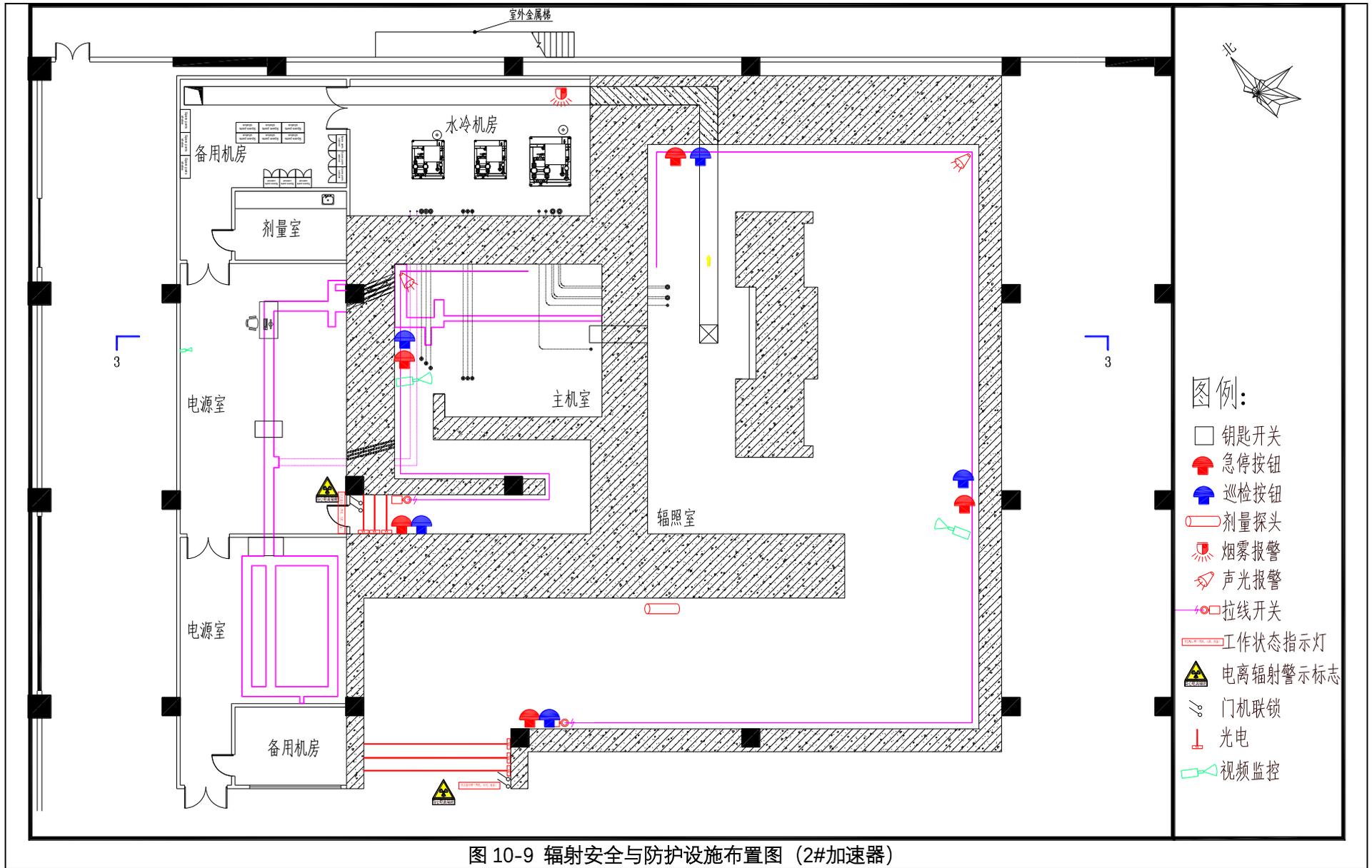
安全设施	本项目设置情况	HJ 979-2018 标准要求和电子辐照加速器的监督管理要求（2021 年）	符合性分析
钥匙控制	本项目2台工业电子加速器控制室内主控台上均设有钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动加速器进行出束作业：钥匙开关处于未闭合状态时，加速器无法开机出束。同时，加速器的主控钥匙开关和辐照室安全门及主机室安全门联锁，如果从控制台上取出钥匙，加速器会自动停机并切断高压，钥匙开关与安全门使用同一把钥匙，没有该钥匙辐照室安全门和主机室安全门也无法打开，该钥匙与1台有效的便携式辐射监测报警仪相连，在运行中该钥匙是唯一的且只能由当班值班长保管使用。本项目拟配置2台不同型号的工业电子加速器，2台加速器的钥匙开关不能互用	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。主控台钥匙开关和主机室屏蔽门钥匙开关为同一把钥匙，如从控制台上取出该钥匙，加速器应自动停机并切断高压。	符合
门机联锁	辐照室安全门、主机室安全门与束流控制和加速器高压联锁。辐照室安全门或者主机室安全门打开时，加速器不能开机，加速器运行中任一安全门被打开则加速器自动停机并且切断高压	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并切断高压。	符合
束下装置联锁	电子加速器将与束下装置的绕圈机相连。在束下装置的绕圈机未转动时，电子加速器无法开机出束；在绕圈机系统出现故障或者被辐照物品全部已处理结束后，电子加速器将自动停止出束并且切断高压	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，加速器应自动停机并且切断高压。	符合
信号	在辐照室和主机室的安全门外、辐照室内	在控制区出入口处及内部应设置	符合

警示装置	部和主机室内部均设计有灯光和音响警示。当开机出束前,警示灯将亮起并发出闪烁信号,音响装置将发出警示声音。在辐照室安全门外和主机室安全门外,设计有工作状态指示灯和电离辐射警示标识,工作状态指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	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连锁。	
巡检按钮	本项目辐照室和主机室内设有多个巡检按钮,各巡检信号均与加速器控制台连锁。工业电子加速器在开机出束前,辐射工作人员需先进入辐照室内和主机室内进行巡视,巡查有无人员误留或有无其他异常,并按序按下辐照室内和主机室内的巡检按钮,全部巡检按钮按下后,安全门关闭后,加速器方可启动;若中途停止或不按顺序执行,系统会提示巡检失败,加速器将不能进行出束作业,工作人员必须重新按序巡检。加速器在开机过程中,如辐照室内和主机室内任一巡检按钮被触发,加速器会立即停止出束	主机室和辐照室内应设置“巡检按钮”,并与控制台连锁。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。巡检按钮应设置在巡检路线上,巡检路线应覆盖所有人员可达的区域,巡检人员按照顺序按下全部巡检按钮后才能触发巡检完毕的信号只要主机室或辐照室门被打开过,必须重新巡检后才能开机。	符合
防人误入装置	在辐照室和主机室迷道入口紧邻防护门的位置,设计有3道相互独立不同高度保持一定间距的光电装置(不同品牌的红外光电感应装置),且并分别与加速器连锁。当有人员或者动物误入电子加速器机房,身体将任意一处红外线挡住后,若加速器处于开机状态下,将立即自动切断电源,加速器将立即停止出束,同时发出异常情况下的警示声音	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。	符合
急停装置	辐照室和主机室的迷道入口处、迷道出口处(安全门旁)、辐照室内和主机室四侧墙体上均设计有急停按钮;在加速器主控台上同样设计有急停按钮开关。所有急停按钮均有明显的标志,供紧急停止使用。同时,在辐照室和主机室内均设有拉线开关,拉线开关覆盖了人员可达区域,当出现紧急情况时,只需按下急停按钮或者拉动拉线开关,则该电子加速器机房内的加速器将立即断电,停止出束。在紧急情况、事故处理完毕启,需将拉线开关和急停按钮进行复位,加速器才能重新启动。在电子加速器机房安全门内侧,拟安装紧急开	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。	符合

	门装置。紧急情况下，机房内的人员只需按下紧急开门按钮，安全门将立即打开，若此时加速器处于出束状态，加速器将立即停止出束		
剂量 联锁	本项目辐照室及主机室迷道内各设置1个固定式辐射监测仪探头，固定式辐射监测仪探头监测的辐射剂量率显示屏位置拟设置于控制室，可实时监测辐射剂量率，当主机室和辐照室内的辐射水平高于仪器设定的阈值时（根据厂家经验，阈值设置一般为本底值的三倍），主机室和辐照室的门电磁锁会自动锁死，无法打开。设定的阈值保证人员不会受到超剂量照射。并且固定式辐射剂量监测仪断电或者掉线均无法打开辐照室和主机室的出入口门	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。	符合
通风 联锁	电子加速器机房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，加速器将无法进行出束作业。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安全门延迟开启系统，即：加速器正常停止出束后，排风系统将工作至少10分钟，在10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10分钟；正常停止加速器出束后10分钟内，即使发出打开电子加速器机房安全门的指令，机房安全门仍然无法打开，直到10分钟后方可开启安全门	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。	符合
烟雾 报警	在电子加速器器辐照室的排风烟道内拟安装烟雾报警装置。电子加速器将与火灾烟雾报警系统联锁。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进行出束，通风系统将无法开启进行通风换气	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	符合
安全 标识	本项目工业电子加速器机房辐照室、主机室防护门上均粘贴有当心电离辐射警告标志	在电子加速器辐照装置厂房入口和其他必要的地方（一般为货物进出口、辐照室及主机室门口），应设置符合GB18871-2002要求的电	符合

		离辐射警告标志,电离辐射警告标志见图 1。	
紧急出口指示	本项目工业电子加速器机房辐照室、主机室四面墙体上均安装有应急照明和紧急出口标识	设置在电子加速器辐照装置厂房内、辐照室及主机室出口处(疏散通道和主要疏散路线的地面上或靠近地面的墙上),一般为发光(灯光/夜光等)标志。便于人员在紧急情况下及时识别疏散位置和方向,指引人员顺利离开。	符合
应急照明	本项目工业电子加速器机房辐照室、主机室四面墙体上均安装有应急照明和紧急出口标识	主机室、辐照室、控制室应设置应急照明系统,应急照明设备应定时检验,保证在停电及应急情况下及时、稳定达到照明的效果。	符合
监测设备	本项目 2 台工业电子加速器拟配置 2 台辐射巡检仪	辐射工作场所应配备与辐射类型和辐射水平相适应多种监测设备包括固定式辐射剂量监测仪、个人剂量报警仪、个人剂量计及备,便携式辐射监测仪等每台加速器辐照装置至少要配备一合固定式辐射剂量监测仪台个人剂量报警仪及一合便携式辐射监测仪。N 台加速器辐照装置设置在同一个连通厂房内,至少配置 N-1 台便携式辐射监测仪。	符合





(四) 监测设备

建设单位拟配备一定数量的个人剂量计，个人剂量报警仪和辐射巡检仪，具体配置详见表 10-4。

表 10-4 监测设备配置情况一览表

序号	名称	型号	数量
1	个人剂量计	TLD 型	每人 1 套
2	个人剂量报警仪	待定	3 台
3	辐射巡检仪	待定	2 台

(五) 环保投资

为了保证本项目安全持续开展，根据相关要求，公司将投入一定资金建设必要的环保设施，配备相应的监测仪器和防护用品，本项目环保投资估算见表 10-5。

表 10-5 环保设施及投资估算一览表

项目	规定的措施	数量	金额 (万元)	
工业电子加速器项目	场所设施	四周墙体+迷道+屋顶防护	2 套	800
		通风系统	2 套	
	连锁装置	钥匙开关	2 套	120
		门机连锁装置	4 套	
		束下装置连锁	2 套	
		信号警示装置	4 套	
		巡检按钮	4 套	
		光电装置	12 道	
		急停按钮	4 套	
		拉线开关	4 套	
		剂量连锁	4 套	
		通风连锁	2 套	
		烟雾报警	2 套	
	警示设施	入口当心电离辐射警告标识	5 个	0.5
		防护门上方工作状态指示灯	4 个	
		工作场所分区及标识	2 套	
	紧急设施	屏蔽门内紧急开门按钮	4 套	30
		机房门防夹人装置	4 套	
		紧急照明或独立通道照明系统	4 套	
		视频监控	4 套	
监测设备	固定式报警仪	4 套	50	
	便携式辐射巡测仪	2 台		
	个人剂量报警仪	3 台		
	个人剂量计	12 套		
合计			1000	

本项目总投资 13000 万元，环保投资 1000 万元，占总投资的 7.69%。今后公司在核技术利用项目实践中，应根据国家发布的法规内容，结合公司实际情况对环保设施做补充，使之更能满足实际需要。同时公司应定期对环保设施、监测仪器等进行检查、维护。

三废的治理

本项目工业电子加速器在运行过程中不产生放射性三废。

1、废气

空气在辐射照射下，会产生少量臭氧和氮氧化物等有害气体，其中由于氮氧化物的产率仅为臭氧产率的三分之一，同时国家对空气中臭氧浓度的标准严于氮氧化物，因此项目主要产生的废气污染物为臭氧。

公司拟在工业电子加速器机房辐照室内设置排风装置，将辐照室内产生的废气引至厂房的排风井排放，其中 1#机房的排风量不低于 14000m³/h，2#机房的排风量不低于 30000m³/h，臭氧排入环境大气后，在常温下可自行分解成氧气，不会对环境空气造成明显影响，排风管道布置见图 10-3 所示。

2、固废

本项目使用工业电子加速器用于辐照客户委托的产品进行灭菌机材料交联改性，电子加速器能量较小，不会引起靶物质活化，不产生放射性固体废弃物。

3、废水

本项目使用电子加速器用于辐照各种产品，在运行期间，主要废水为生活污水和冷却水，生活污水依托既有的生活污水处理系统处理，冷却水循环使用，不外排。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

一、施工阶段的环境影响分析

本项目需新建工业电子加速器机房及其配套用房，对机房进行装修和设备安装等工序的施工，施工期将会产生一定扬尘、噪声、固体废物、装修中产生的废气以及施工人员的生活垃圾和生活污水，在施工期应重点做好以下工作：

扬尘的防治措施：项目通过施工现场封闭施工和采取洒水等措施进行控制；

废水防治措施：施工废水循环使用；生活废水依托厂区临时设施进行处理；

废气防治措施：项目施工现场封闭施工，及时清理，通风换气等措施；

噪声防治措施：选用低噪声设备，合理安排施工时间；

固废防治措施：基础工程挖土方与回填土方在施工场内周转，就地平衡，弃土用于厂区绿地和道路建设，部分土方进行回填使用；建筑垃圾收集后堆放于指定地点并及时清运至住建部门指定的弃渣场；生活垃圾收集后交由环卫部门处理。

机房施工质量的要求：

(1) 在建设过程中严格按照施工规范进行施工，在工业电子加速器机房屏蔽体施工过程中，应连续整体浇筑，采取有效措施避免产生空洞气泡，防止射线泄漏；防护门与墙体、机房顶部与侧钢桶底部重叠部分不小于缝隙宽度的 10 倍；

(2) 穿过机房墙体的各种管道、电缆不得影响屏蔽墙体的屏蔽防护效果，不得正对工作人员经常停留的地点。

项目建设应根据《辐照加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）明确各职能部门要求，按照消防部门和住建部门等要求进行施工建设。

公司在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在内局部区域，对周围环境影响较小。

二、设备安装调试期间的环境影响分析

本项目设备安装、调试均应设备厂家专业人员操作，同时加强辐射防护管理，严格限制无关人员靠近，防止辐射事故发生。由于设备的安装和调试均在工业电子加速器机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，建设单位需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，

不随意丢弃。

运行阶段对环境的影响

广州科金高能技术有限公司拟在电子加速器中心一层建设2座工业电子加速器机房，本次拟新增的工业电子加速器型号分别为：IS1040型（电子最大能量为10MeV，最大束流为4mA）1台，Rhodotron® TT1000型（最大能量为7MeV，最大束流为80mA）1台，均属于II类射线装置，用于对客户委托的产品进行辐照加工。工业电子加速器运行时，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，电子束影响较小。

一、电子束环境影响分析

根据《辐射防护手册》（第三分册）可知，电子在物质中最大射程可由公式 11-1 进行估算：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\beta\max} \cdots \cdots \text{公式 11-1}$$

式中： d —最大射程，cm；

ρ —防护材料的密度，g/cm³；

$E_{\beta\max}$ —电子最大能量，MeV。

本项目工业电子加速器电子束最大能量约为10MeV，由公式 11-1 计算得出电子线在混凝土（密度取 2.35g/cm³）中最大穿透厚度约为 2.12cm，本项目辐照室有效的墙体厚度至少为 50cm，完全可以屏蔽 3.0MeV 及以下的电子。因此，电子束对辐照室外环境的影响可以忽略不计。

二、韧致辐射（X射线）环境影响分析

由于本项目目前处于设计阶段，工业电子加速器尚未投入运行，因此，本次评价采用理论计算的方法预测工业电子加速器运行产生的辐射影响。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的要求，在本项目工业电子加速器机房的辐照室和主机室外设定关注点。从保守角度出发，在工业电子加速器机房辐照室和主机室设计的尺寸厚度基础上，假定工业电子加速器以最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。

（一）源项分析

本项目 1#工业电子加速器机房分为二层，该工业电子加速器主机安装在一层夹层

的主机室内，电子束通过加速管引向一层的辐照室内。由于加速器电子束朝下，不直射向四周屏蔽墙，因此偏离束流主方向的电子束照射到加速器主机室和辐照室后产生韧致辐射（X 射线），这部分射线为设备主机室和辐照室的屏蔽对象。

2#工业电子加速器机房主机室和辐照室为同层布置，电子束通过加速管引向辐照室内。因此，此加速器电子束朝向东南侧，X 射线转换靶（钽靶）在扫描窗前面，用于产生 X 射线。因此 X 射线辐照选取钽（Z=73）为轰击靶，来进行辐射防护评价。

本项目工业电子加速器运行时，在辐照室内电子束可能轰击的物质有 3 种：

- ①混凝土地面
- ②电子扫描窗下方的不锈钢阻挡板
- ③辐照产品：客户委托的各种辐照产品等。

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。本项目保守选取**不锈钢**为轰击靶，来进行辐射防护评价。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 中公式 A.2 计算距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率：

$$D_{10} = 60 \cdot Q \cdot I \cdot f_e \cdots \cdots \text{公式 11-2}$$

式中： 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；

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 射线发射率修正系数。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 中表 A.1 中给出的数据是电子束打高 Z 靶的数据，通常被辐照的物质很少为高 Z 材料，因此需要对靶进行修正。**被辐照的靶材料为“铁、铜”时， 0° 方向的修正系数 f_e 为 0.7， 90° 方向的修正系数 f_e 为 0.5；被辐照的靶材料为“铝、混凝土”时 0° 方向的修正系数 f_e 为 0.5， 90° 方向的修正系数 f_e 为 0.3。**

本项目 2#加速器是以 X 射线进行辐照的，加速器产生的电子束朝东南传输至扫描窗前面的钽靶，轰击钽靶后产生高能 X 射线，因此 X 射线辐照模式时选取钽（Z=73）为轰击靶，来进行辐射防护评价。X 射线辐照室东南侧屏蔽体辐射影响主要考虑沿电子束入射方向（ 0° ）的 X 射线、其余方向考虑与电子束入射方向呈 90° 的 X 射线，由于

辐照室底部为土层，无建筑，故不作屏蔽计算。

本项目 X 射线辐照模式能量为 5/7MeV，保守取最大能量 7MeV 计算。对 7MeV 入射电子能量可根据《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 中数据拟合，求得前向 0° 方向和侧向 90° 的电子束 X 射线发射率 Q 。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）表 A.4 拟合，得 90° 方向的初级 X 射线等效能量约为 4.3MeV。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 中表 A.1 中给出的数据是电子束打高 Z 靶的数据，本次被辐照的靶材料为钽（Z=73），本项目保守不作修正。

综上，根据公式 11-2 可计算出本项目 2 台工业电子加速器的辐射源项取值，详见表 11-1：

表 11-1 工业电子加速器辐射源项计算参数及计算结果

机房	入射电子能量	90° 等效能量	I (mA)	入射方向	Q (Gy·m ² ·mA ⁻¹ ·min ⁻¹)	f_e	D_{10} (Gy/h)
1#	10 MeV	6.0MeV	4	前向 0°	450	0.7	75600
				侧向 90°	13.5	0.5	1620
2#	7.0 MeV	4.3 MeV	80	前向 0°	148.6	1	713280
				侧向 90°	9.3	1	44640

（二）1#加速器机房屏蔽效果估算

1、辐照室屏蔽墙体外辐射剂量率估算

（1）直射 X 射线的屏蔽

对于工业电子加速器辐照装置，很多情况下需要考虑侧向（相对电子束 90° 方向）X 射线的屏蔽，此时应将等效入射电子能量作为侧向入射电子的能量，然后按等效入射电子能量的特性参数，根据直射 X 射线屏蔽的方法进行计算。本次在辐照室外选取具有代表性的关注点位进行分析评价，关注点位选取示意图见图 11-1 和图 11-2。

①计算公式的选取

依据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 中公式 A-1、A-2、A-3 和 A-4 可以推导得出本次计算相关公式如下：

X 射线透射至墙外关注点处当量剂量率：

$$H_M = \frac{D_{10} \cdot B_X \cdot T}{1 \times 10^{-6} \cdot d^2} \dots\dots \text{公式 11-3}$$

式中： H_M —关注点周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

B_X —X 射线屏蔽透射比；

T —居留因子，推导时居留因子取 1；

d —X 射线源与参考点之间的距离，m；

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

$$B_X = 10^{-n} \dots \dots \text{公式 11-4}$$

$$n = \frac{S - T_1 + T_e}{T_e} \dots \dots \text{公式 11-5}$$

式中： S —屏蔽体厚度，cm，本项目取得是等效厚度，直接从 CAD 图纸量取；

T_1 —在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层，cm；

T_e —平衡十分之一值层，该值近似于常数，cm；

n —为十分之一值层的个数。

②计算参数及计算结果

将相关参数代入根据公式 11-3~公式 11-5 后，可得到各个关注点处的辐射剂量率，预测结果见表 11-2。

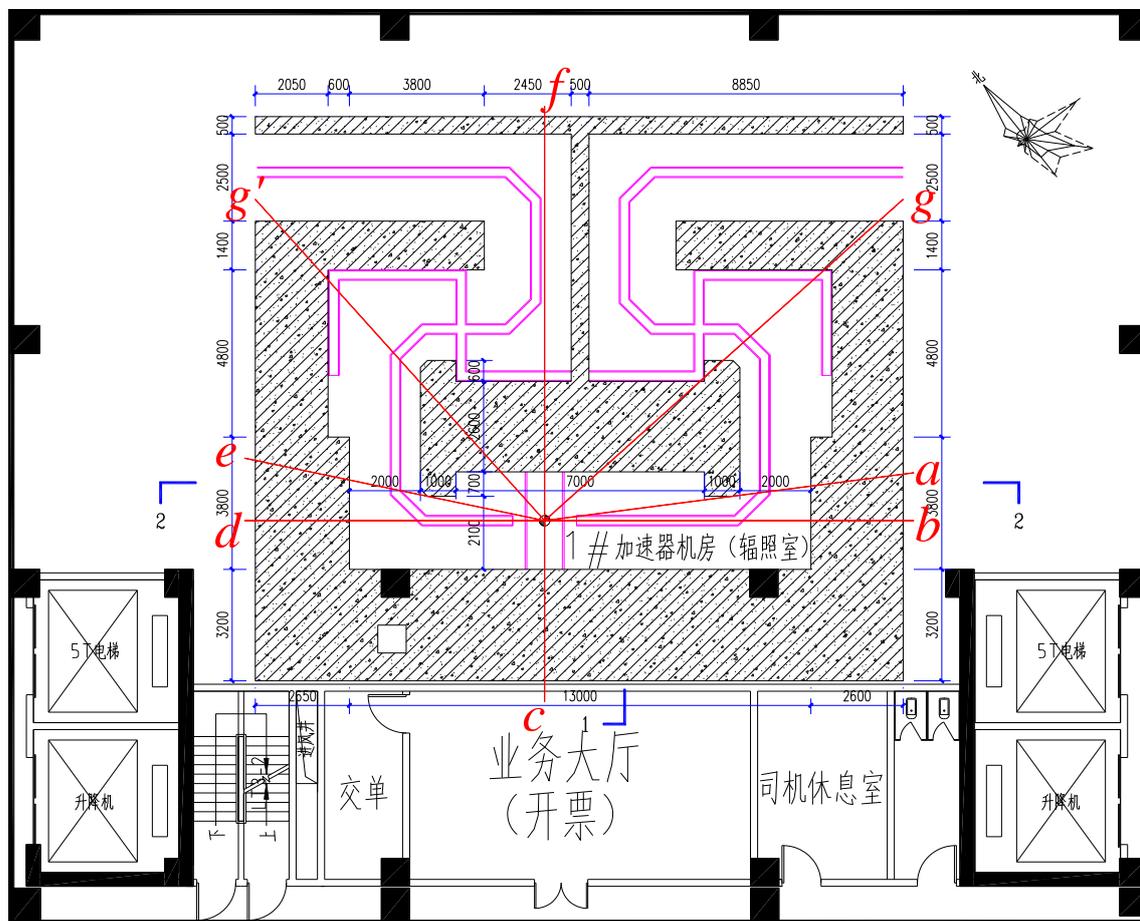


图 11-1 1#工业电子加速器机房辐照室关注点位示意图 (四周墙体)

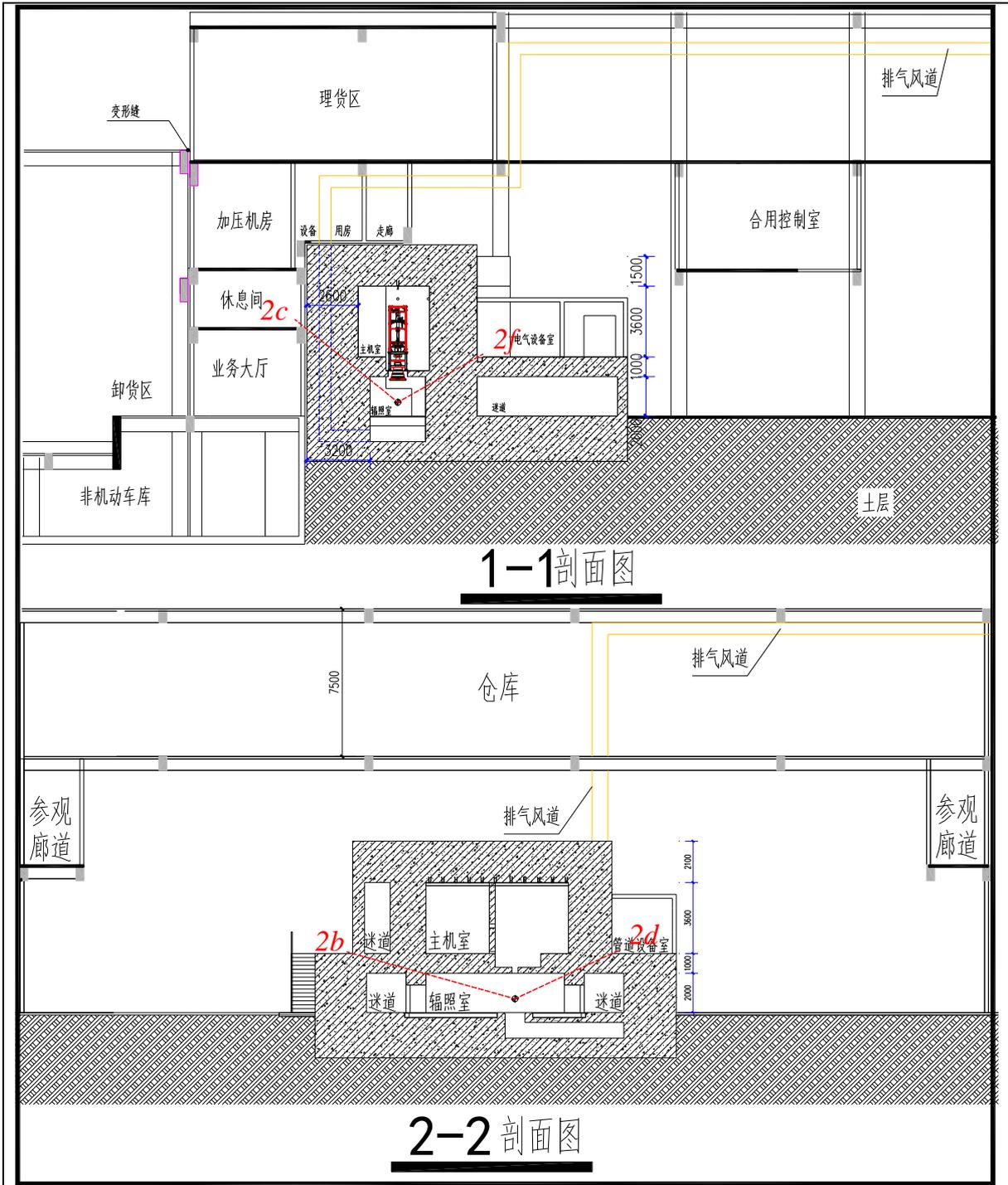


图 11-2 1#工业电子加速器机房辐照室关注点位示意图（剖面图）

表 11-2 1#工业电子加速器机房辐照室外关注点处辐射剂量率计算结果一览表

关注点 参数	a 点	b 点	c 点	d 点	e 点	f 点	g 点	g'点	2b	2c	2d	2f	顶部 ^②
S (cm)	260	260	320	265	260	310	400	400	100	300	100	260	240
等效厚度 (cm)	262.3	260	320	265	270.9	310	665.7	568.0	384.3	411.2	265.1	298.9	240
T_l ^③	34.2 (cm) 混凝土												26.1cm
T_e	34.2 (cm) 混凝土												24.7cm
B_x	2.14×10^{-8}	2.50×10^{-8}	4.40×10^{-10}	1.78×10^{-8}	1.20×10^{-8}	8.62×10^{-10}	3.43×10^{-20}	2.46×10^{-17}	5.80×10^{-12}	9.48×10^{-13}	1.77×10^{-8}	1.82×10^{-9}	2.19×10^{-10}
D_{10} (90°)	1620 (Gy/h)												
d (m)	10.5	10.4	5.20	8.45	8.64	11.9	13.6	12.3	8.83	6.69	5.74	4.94	8.50
$T^{\text{①}}$	1												
H_M ($\mu\text{Sv/h}$)	0.314	0.374	0.026	0.405	0.260	0.010	3.00×10^{-13}	2.64×10^{-10}	1.20×10^{-4}	3.43×10^{-5}	0.871	0.121	0.005
控制水平	2.5 $\mu\text{Sv/h}$												
是否满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

注：①居留因子均取 1；

②根据相关资料，主机室顶应能防护 150° ~180° 方向的韧致辐射及其产生的天空反散射、0° 方向的韧致辐射经地面散射以及加速管漏射产生的 X 射线影响。主机室周围墙体则主要考虑加速管泄射产生的 X 射线影响。HJ 979-2018 未给出与 10MeV 入射电子束成 150° ~180° 方向电子的相应等效能量，参照 NCRP Report No51 及其他相关资料，150° ~180° 方向韧致 X 射线的最大能量保守按照 3MeV 考虑，对应的混凝土 T_l 为 26.1mm， T_e 为 24.7mm，初始剂量率保守取最大值进行计算；

③根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.2 和表 A.3，等效入射能量约为 6.0MeV。

(2) 散射辐射的屏蔽

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A.3 可知，在加速器装置的屏蔽设计中，有三种情况必须考虑散射辐射：迷道和安全门、天空反散射、孔道。本项目管线、排风管采用“Z”形或“U”形穿过屏蔽墙体，其中连通一层的电缆穿墙处位于辐照室最外侧迷道顶棚，辐照室 X 射线散射线要到达该孔洞处需要经过多次散射，穿屏蔽体孔道基本不影响屏蔽墙体防护效果；根据核算本项目工业电子加速器调试顶棚外的剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，经天空散射后在地面上的贡献值非常低，可忽略不计。因此本次散射辐射主要考虑迷道和安全门。本次计算辐照室散射路径示意图见图 11-3。

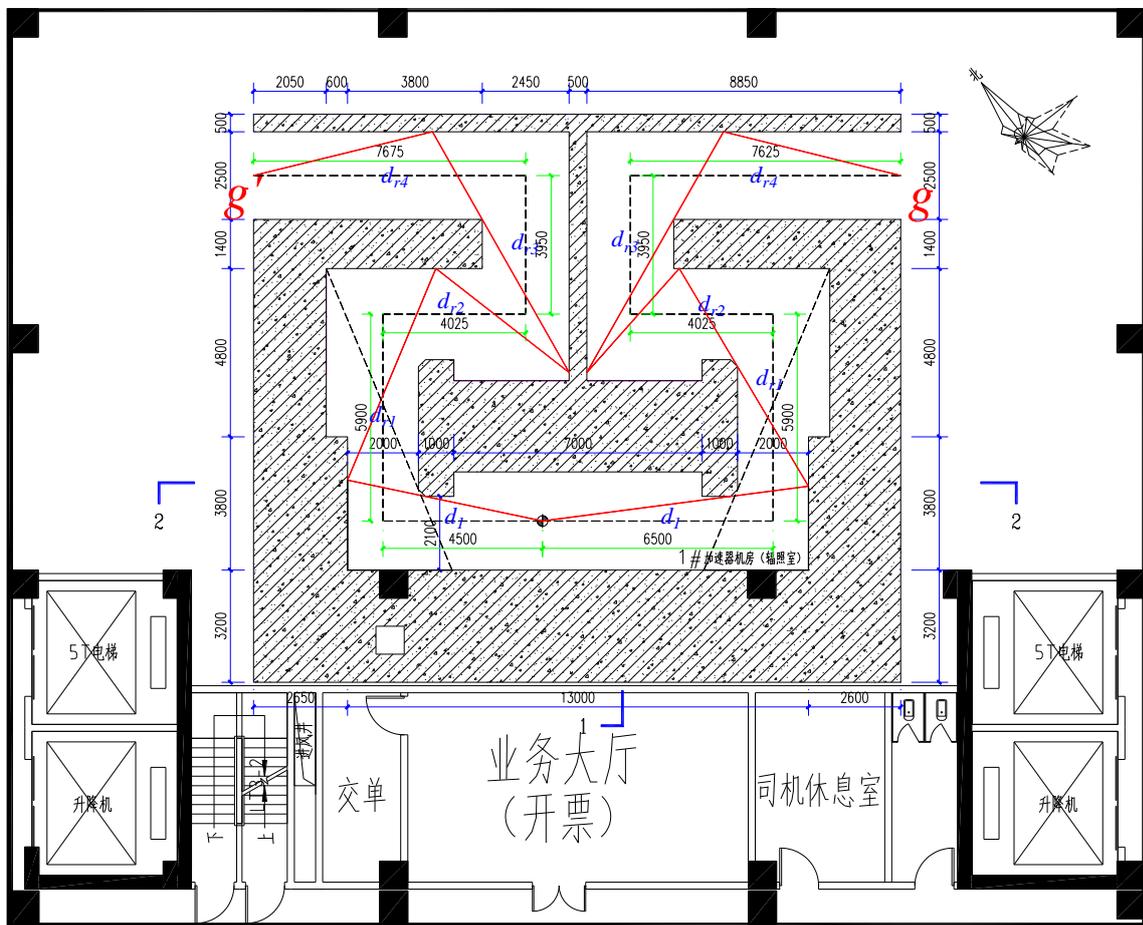


图 11-3 工业电子加速器机房辐照室散射路径示意图

① 计算公式的选取

防护 X 射线的迷道，按照公式 11-6 可保守地估算迷道外入口的剂量率：

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

式中： $H_{1,rj}$ —迷道出口处（无防护门情况下）的空气吸收剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

α_1 —入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数，取 5×10^{-3} ；

α_2 —从以后的物质散射出来的 0.5MeV 的 X 射线的散射系数（假设对以后所有散射过程的相同的），取 2×10^{-2} ；

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 ；

d_1 —X 射线源与第一散射物质的距离， m ；

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

j —第 j 个散射过程。

②计算参数及计算结果

本项目辐照室内韧致射线经过 5 次散射方可到达迷道出入口。根据计算公式可知，迷道出入口处的 X 射线剂量率与散射面积、路径长短密切相关，计算结果较保守，具体参数及计算结果见表 11-3。

表 11-3 1#工业电子加速器机房辐照室迷道散射计算参数及结果一览表

位置	参数选取					剂量率
辐照室迷道口 g 点	$A_1 (m^2)$		$A_2 (m^2)$			0.008 $\mu Sv/h$
	5.34×2.00		3.2×2.0			
	$d_1 (m)$	$d_{r1} (m)$	$d_{r2} (m)$	$d_{r3} (m)$	$d_{r4} (m)$	
	6.50	5.90	4.02	3.95	7.62	
辐照室迷道口 g'点	$A_1 (m^2)$		$A_2 (m^2)$			0.018 $\mu Sv/h$
	5.51×2.00		3.2×2.0			
	$d_1 (m)$	$d_{r1} (m)$	$d_{r2} (m)$	$d_{r3} (m)$	$d_{r4} (m)$	
	4.50	5.90	4.02	3.95	7.67	

本项目 1#工业电子加速器机房辐照室迷道口处需考虑 X 射线直射剂量和迷道散射剂量的叠加影响，迷道口处最终的辐射剂量率估算结果见表 11-4。

表 11-4 1#工业电子加速器机房辐照室迷道口处辐射剂量率计算结果

位置	直射剂量率 ($\mu Sv/h$)	散射剂量率 ($\mu Sv/h$)	迷道口外剂量率 ($\mu Sv/h$)
辐照室迷道口 g 点	3.00×10^{-13}	0.008	0.008
辐照室迷道口 g'点	2.64×10^{-10}	0.018	0.018

2、主机室屏蔽墙体外辐射剂量率估算

主机室内的辐射场由主要由三部分叠加：

第一部分为一层辐照室内与入射电子束成 $>90^\circ$ 方向的韧致辐射初级 X 射线，经过辐照室屋顶（主机室地板）不完全屏蔽的贯穿辐射场。

第二部分为尚未加速到最高能量的电子在加速过程中束流损失产生的束流损失

辐射场。

第三部分为一层辐照室内的 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，通过辐照室屋顶上的设备安装孔洞直接照射入辐照室内形成的散射辐射场，由于沿与电子束入射方向成 180° 方向的次级 X 射线能量较低（查附录 A 取，能量大于 3MeV 的 X 射线散射一次后的能量均为 0.5MeV ），同时，由于次级 X 射线将直接照射到加速器底部钢材质结构，受到加速器钢材料屏蔽，最终散射到主机室墙体和顶部的 X 射线极少，可忽略不计。

综上所述，为简化计算，主机室辐射防护屏蔽评价，仅考虑主机室内加速器束流损失产生的 X 射线对主机室四周墙外的直射辐射影响和辐照室 X 射线源对主机室墙（顶）外关注点的辐射影响，即初级 X 射线经主机室地板、墙体、顶棚等屏蔽体屏蔽后对关注点的影响，依然采用公式 11-2~11-4 进行计算。

结合《辐射防护导论》P71 图 3.3 和《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，本次计算时， $>90^\circ$ 方向的韧致辐射初级 X 射线发射率常数按 90° 方向的发射率常数取值，这样做是偏安全的。故主机室四周墙体、地板、顶棚的屏蔽计算公式、计算参数与辐照室一致。

（1）直射 X 射线的屏蔽

① 计算参数

根据设备厂家设计资料，1#加速器机房二层主机室内偏离束流主方向的电子束能量约在 3.0MeV ，束流强度小于 0.2mA 。参考附录 A 表 A.1， 3.0MeV 能量下 X 射线发射率 90° 方向的值为 $3.2\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{min}\cdot\text{mA}$ ，修正系数取 0.5。根据《辐射防护导论》（方杰编）图 3.22 及图 3.23，当主机室入射电子能量为 3.0MeV 时，等效入射电子能量为 1.9MeV ，保守按照 2.0MeV 能量下混凝土中的 T_I 为 22.1cm 和 T_e 为 20.1cm 。

根据公式 11-2 可计算出本项目主机室加速器电子束 90° 方向距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点吸收剂量率 D_{10} 为 19.2Gy/h 。

② 计算结果

主机室直射辐射计算点处的剂量率估算结果见表 11-5，计算点示意图见图 11-4。

迷道、防护门出入口处的 X 射线剂量率与散射面积、路径长短密切相关，计算结果较保守，本次计算主机室散射路径示意图见图 11-5，具体参数及计算结果见表 11-6。

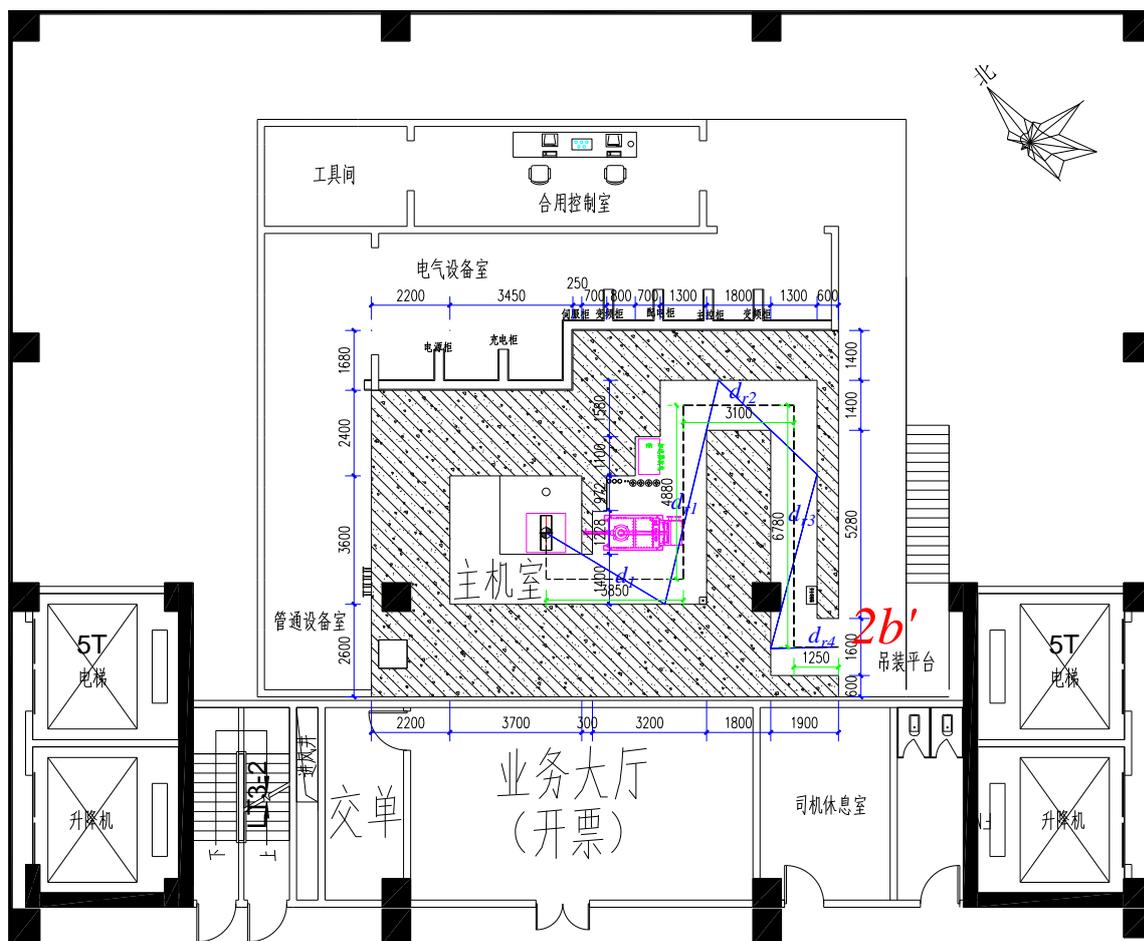


图 11-5 1#工业电子加速器机房主机室关注点位示意图

表 11-6 1#工业电子加速器机房主机室迷道散射计算参数及结果一览表

位置	参数选取					剂量率
主机室迷道	A ₁ (m ²)		A ₂ (m ²)			0.0065 μSv/h
	4.50×3.60		1.40×3.60			
迷道口 2b'点	d ₁ (m)	d _{r1} (m)	d _{r2} (m)	d _{r3} (m)	d _{r4} (m)	
	3.85	4.88	3.10	6.78	1.25	

本项目 1#工业电子加速器机房主机室迷道口处需考虑 X 射线直射剂量和迷道散射剂量的叠加影响，迷道口处最终的辐射剂量率估算结果见表 11-7。

表 11-7 1#工业电子加速器机房主机室迷道口处辐射剂量率计算结果

位置	直射剂量率 (μSv/h)	散射剂量率 (μSv/h)	剂量率 (μSv/h)
主机室迷道口 2b'点	1.24×10 ⁻⁴	0.0065	0.0066

3、天空反散射及屋顶侧向散射

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。天空反散射是由于

顶部屏蔽不足，光子被空气反散射下来造成的，由估算结果可知，本项目主机室顶部30cm处的辐射剂量率最大为0.005 $\mu\text{Sv/h}$ ，主机室顶部关注点剂量率预测值较小，通过主机室屋顶的韧致辐射（X射线）对周围地面关注点的天空反散射影响很小，侧向散射的影响也很小，可忽略不计。

4、结果汇总

根据上述计算结果，工业电子加速器机房四周关注点处的辐射剂量率见表11-8。

表 11-8 1#工业电子加速器机房四周关注点处的辐射剂量率计算结果

关注点位置		辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	限值要求 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否 满足
辐照室	a点（进货理货区）	0.314	2.5	是
	b点（进货理货区）	0.374	2.5	是
	c点（业务大厅）	0.026	2.5	是
	d点（出货理货区）	0.405	2.5	是
	e点（出货理货区）	0.260	2.5	是
	f点（操作大厅）	0.010	2.5	是
	g点迷道入口	0.008	2.5	是
	g'点迷道出口	0.018	2.5	是
主机室	2b点（吊装平台）	1.20×10^{-4}	2.5	是
	2b'点（吊装平台）	0.006	2.5	是
	2c点（业务大厅）	3.43×10^{-5}	2.5	是
	2d点（管通设备室）	0.871	2.5	是
	2f点（电气设备室）	0.121	2.5	是
	2f'点（合用控制室）	3.50×10^{-7}	2.5	是
	顶部（设备用房）	0.005	2.5	是

注：相同关注点取最大值。

由表11-8可知，在现有屏蔽设计情况下，本项目1#工业电子加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率最大为0.871 $\mu\text{Sv/h}$ ，均能满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面30cm处及以外区域周围剂量当量率不能超过2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ”的剂量限值要求。

（三）2#加速器机房屏蔽效果估算

本项目2#工业电子加速器是以X射线进行辐照，加速器产生的电子束朝东南侧传输至扫描窗前面的钽靶，轰击钽靶后产生高能X射线，因此X射线辐照模式时选取钽（Z=73）为轰击靶，来进行辐射防护评价。

X射线辐照室屏蔽防护计算依据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中提供的计算模式及相关参数计算，计算公式同电子束计算方法。

1、辐照室屏蔽墙体外辐射剂量率估算

(1) 直射 X 射线的屏蔽

本次在辐照室外选取具有代表性的关注点位进行分析评价，关注点位选取示意图见图 11-6 至图 11-8，计算方法同上。将相关参数代入根据公式 11-3~公式 11-5 后，可得到各个关注点处的辐射剂量率，预测结果见表 11-9。

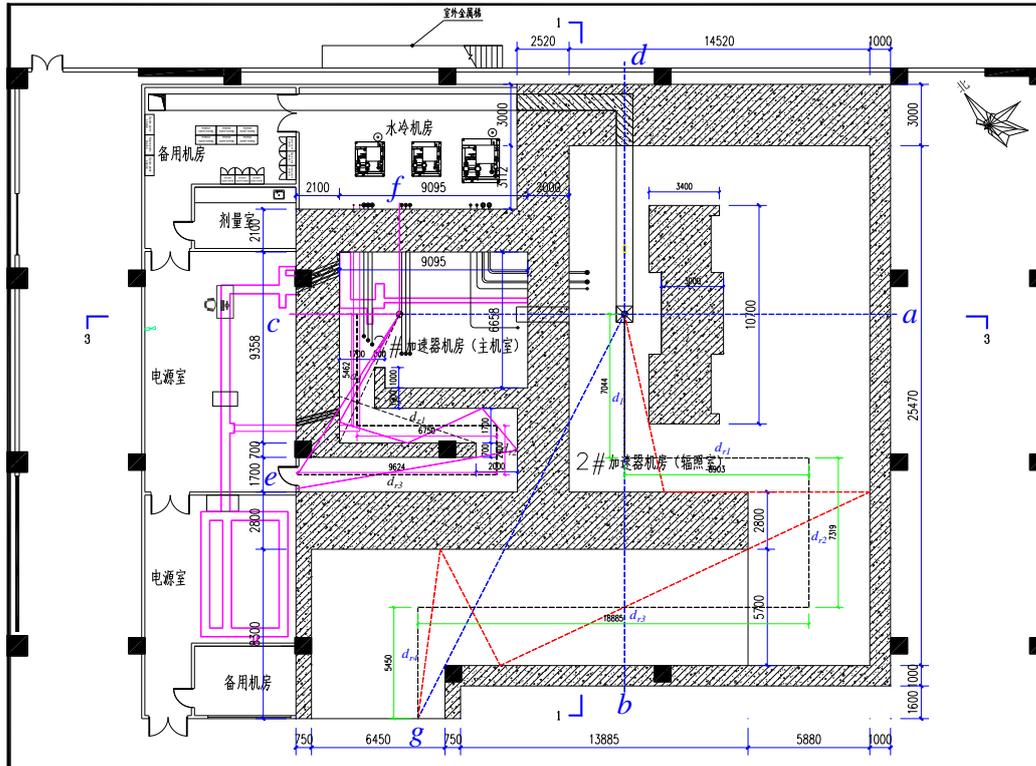


图 11-6 2#工业电子加速器机房辐照室关注点位示意图

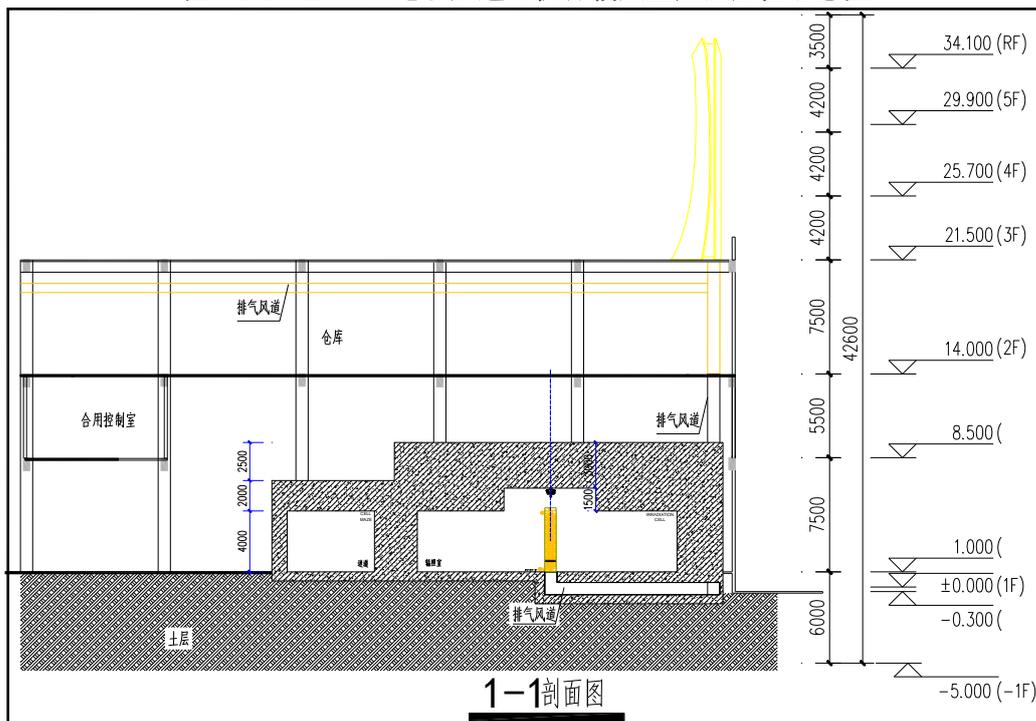


图 11-7 2#工业电子加速器机房辐照室关注点位示意图 (顶部)

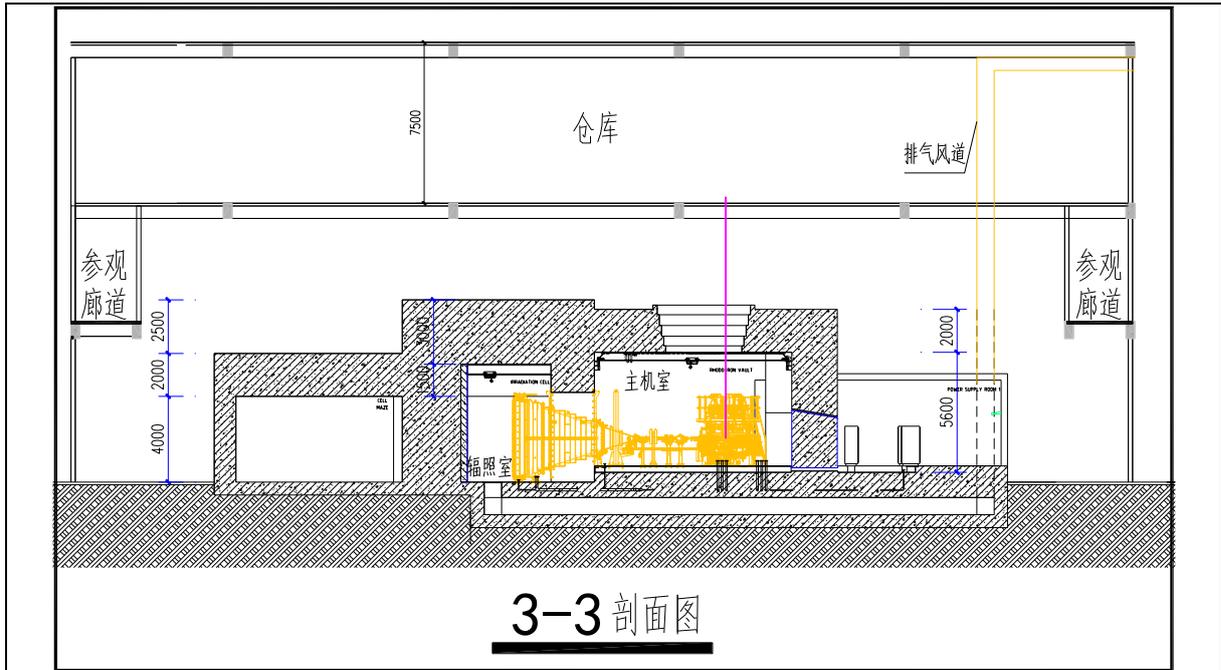


图 11-8 2#工业电子加速器机房辐照室关注点位示意图（顶部）

表 11-9 2#工业电子加速器机房辐照室外关注点处辐射剂量率计算结果一览表

关注点 参数	a 点	b 点	c 点	d 点	g 点	顶部 ^②
S (cm)	400	380	410	300	280	300
等效厚度 (cm)	400	380	410	300	694	300
T_l ^③	35.9 (cm) 混凝土		31.3 (cm) 混凝土			
T_e	35.9 (cm) 混凝土		31.3 (cm) 混凝土			
B_x	7.21×10^{-12}	7.23×10^{-13}	7.96×10^{-14}	2.60×10^{-10}	6.72×10^{-23}	2.60×10^{-10}
D_{10} (90°)	713280 (Gy/h)		44640 (Gy/h)			
d (m)	13.1	18.5	16.1	12.3	22.1	11.2
T ^①	1					
H_M ($\mu\text{Sv/h}$)	0.030	3.20×10^{-5}	4.64×10^{-6}	0.026	2.08×10^{-15}	0.031
控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5					
是否满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

注：①居留因子均取 1；

②计算顶部时保守估算，采用 90° 方向上的吸收剂量率进行计算，不考虑斜射角；

③根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.2 和表 A.3，等效入射能量约为 4.3MeV，然后进行差值法取值。

(2) 散射辐射的屏蔽

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A.3 可知，在加速器装置的屏蔽设计中，有三种情况必须考虑散射辐射：迷道和防护门、天空反散射、孔道。本项目管线、排风管采用 Z 形或 U 形穿过屏蔽墙体，其中连通一层的电缆

穿墙处位于辐照室最外侧迷道顶棚，辐照室 X 射线散射线要到达该孔洞处需要经过多次散射，穿屏蔽体孔道基本不影响屏蔽墙体防护效果；根据核算本项目工业电子加速器调试顶棚外的剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，经天空散射后在地面上的贡献值非常低，可忽略不计。因此本次散射辐射主要考虑迷道和防护门。本次计算辐照间散射路径示意图见图 11-6。

本项目辐照室内韧致射线经过 5 次散射方可到达迷道出入口。根据计算公式可知，迷道、防护门出入口处的 X 射线剂量率与散射面积、路径长短密切相关，计算结果较保守，按照公式 11-6 进行计算，计算具体参数及计算结果见表 11-10。

表 11-10 2#工业电子加速器机房辐照室迷道散射计算参数及结果一览表

位置	参数选取					剂量率
辐照室迷道	A_1 (m^2)		A_2 (m^2)			0.021 $\mu\text{Sv/h}$
	10.6×4.0		3.33×4.0			
道口 g 点	d_1 (m)	d_{r1} (m)	d_{r2} (m)	d_{r3} (m)	d_{r4} (m)	
	7.04	8.90	7.32	18.8	5.45	

本项目 2#工业电子加速器机房辐照室迷道口处需考虑 X 射线直射剂量和迷道散射剂量的叠加影响，迷道口处最终的辐射剂量率估算结果见表 11-11。

表 11-11 2#工业电子加速器机房辐照室迷道口处辐射剂量率计算结果

位置	直射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	防护门外剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
辐照室迷道口 g 点	2.08×10^{-15}	0.021	0.021

2、主机室屏蔽墙体外辐射剂量率估算

主机室内的辐射场由主要由三部分叠加：

第一部分为一层 X 射线辐照室内与入射电子束成 $>90^\circ$ 方向的韧致辐射初级 X 射线，经过辐照室西北侧屏蔽墙不完全屏蔽的贯穿辐射场。

第二部分为尚未加速到最高能量的电子在加速过程中束流损失产生的束流损失辐射场。

第三部分为一层辐照室内的 0° 方向上产生的韧致辐射初级 X 射线，经中间体 180° 方向散射后的次级 X 射线，通过辐照室西北侧上的设备安装孔洞直接照射入主机室内形成的散射辐射场，由于沿与电子束入射方向成 180° 方向的次级 X 射线能量较低（查附录 A 取，能量大于 3MeV 的 X 射线散射一次后的能量均为 0.5MeV ），同时，由于次级 X 射线将直接照射到加速器侧面钢材质结构，受到加速器钢材料屏蔽，最终

散射到主机室墙体和顶部的 X 射线极少，可忽略不计。

综上所述，为简化计算，主机室辐射防护屏蔽评价，仅考虑主机室内加速器束流损失产生的 X 射线对主机室四周墙外的直射辐射影响和辐照室 X 射线源对主机室墙（顶）外关注点的辐射影响，即初级 X 射线经主机室地板、墙体、顶棚等屏蔽体屏蔽后对参考点的影响，依然采用公式 11-3~11-5 进行计算。

结合《辐射防护导论》P71 图 3.3 和《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，本次计算时， $>90^\circ$ 方向的韧致辐射初级 X 射线发射率常数按 90° 方向的发射率常数取值，这样做是偏安全的。故主机室四周墙体、地板、顶棚的屏蔽计算公式、计算参数与辐照室一致。

（1）直射 X 射线的屏蔽

根据设备厂家设计资料，工业电子加速器机房一层主机室内偏离束流主方向的电子束能量约在 0.30MeV，束流强度小于 0.8mA。参考附录 A 表 A.1，0.30MeV 能量下 X 射线发射率保守取 0.5MeV 能量下 90° 方向的值，为 $0.07\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{min}\cdot\text{mA}$ ，修正系数取 0.5。根据《辐射防护导论》（方杰编）图 3.22 及图 3.23，当主机室入射电子能量为 0.3MeV 时，在混凝土中的 T_l 和 T_e 为 10.0cm。

根据公式 11-2 可计算出本项目主机室加速器电子束 90° 方向距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点吸收剂量率 D_{10} 为 1.68Gy/h。

其余计算参数与电子束辐照模式一致，故不在赘述，具体计算结果详见表 11-12。

表 11-12 2#工业电子加速器机房主机室外关注点处辐射剂量率计算结果一览表

关注点位置	$D_{10} (90^\circ)$	S (cm)	d (m)	T_l (cm)	T_e (cm)	B_x	H ($\mu\text{Sv/h}$)
e 点	1.68 Gy/h	272.4	9.38	10	10	5.75×10^{-28}	1.10×10^{-23}
c 点		210	5.30			1.00×10^{-21}	5.98×10^{-17}
f 点		210	5.45			1.00×10^{-21}	5.66×10^{-17}
主机室顶部		200	11.2			1.00×10^{-20}	1.34×10^{-16}

注：①居留因子均取 1；

②计算顶部时保守估算，采用 90° 方向上的吸收剂量率进行计算，不考虑斜射角；

③根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.2 和表 A.3，等效入射能量约为 0.5MeV。

（2）散射辐射的屏蔽

其计算参数与电子束辐照模式一致，故不在赘述，具体计算结果详见表 11-13。

表 11-13 2#工业电子加速器机房主机室迷道散射计算参数及结果一览表

位置	参数选取				剂量率
主机室 迷道口	A ₁ (m ²)		A ₂ (m ²)		5.34×10 ⁻⁹ μSv/h
	2.27×5.6		1.70×5.6		
	d ₁ (m)	d _{r1} (m)	d _{r2} (m)	d _{r3} (m)	
	5.46	6.75	2.40	9.62	

本项目工业电子加速器机房主机室迷道口处需考虑 X 射线直射剂量和迷道散射剂量的叠加影响，迷道口处最终的辐射剂量率估算结果见表 11-14。

表 11-14 2#工业电子加速器机房主机室迷道口处辐射剂量率计算结果

位置	直射剂量率 (μSv/h)	散射剂量率 (μSv/h)	合计 (μSv/h)
主机室迷道口	5.98×10 ⁻¹⁷	5.34×10 ⁻⁹	5.34×10 ⁻⁹

3、天空反散射及屋顶侧向散射

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。天空反散射是由于顶部屏蔽不足，光子被空气反散射下来造成的，由估算结果可知，本项目主机室顶部 30cm 处的辐射剂量率最大为 0.031μSv/h，主机室顶部关注点剂量率预测值较小，通过主机室屋顶的韧致辐射（X 射线）对周围地面关注点的天空反散射影响很小，侧向散射的影响也很小，可忽略不计。

4) 小结

根据上述计算结果，本项目工业电子加速器 X 射线辐照模式运行时对机房周围辐射影响汇总见表 11-15。

表 11-15 本项目 2#工业电子加速器机房周围辐射影响汇总一览表

场所	周围剂量当量率 (μSv/h)	
一层 辐照室	a 点 (进货理货区)	0.030
	b 点 (操作大厅)	3.20×10 ⁻⁵
	c 点 (电源室)	4.64×10 ⁻⁶
	d 点 (东北侧室外)	0.026
	g 点 (货物进出口)	2.08×10 ⁻¹⁵
一层 主机室	c 点 (电源室)	4.64×10 ⁻⁶
	f 点 (水冷机房)	5.66×10 ⁻¹⁷
	e 点 (人员入口)	5.34×10 ⁻⁹
	顶部	0.031

注：各关注点均取最大值。

根据上表，本项目 2#工业电子加速器以 X 射线辐照模式运行时机房外关注点处辐射剂量率最大为 0.031μSv/h，能够满足本项目辐射环境剂量率控制水平：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 μ Sv/h。

(四) 结果汇总

根据上述计算结果，工业电子加速器机房四周关注点处的辐射剂量率见表 11-16。

表 11-16 工业电子加速器机房四周关注点处的辐射剂量率计算结果

关注点位置		辐射剂量率 (μ Sv/h)	限值要求 (μ Sv/h)	是否 满足	
1#	辐照室	a 点 (进货理货区)	0.314	2.5	是
		b 点 (进货理货区)	0.374	2.5	是
		c 点 (业务大厅)	0.026	2.5	是
		d 点 (出货理货区)	0.405	2.5	是
		e 点 (出货理货区)	0.260	2.5	是
		f 点 (操作大厅)	0.010	2.5	是
		g 点迷道入口	0.008	2.5	是
		g'点迷道出口	0.018	2.5	是
	主机室	2b 点 (吊装平台)	1.20×10^{-4}	2.5	是
		2b'点 (吊装平台)	0.006	2.5	是
		2c 点 (业务大厅)	3.43×10^{-5}	2.5	是
		2d 点 (管通设备室)	0.871	2.5	是
		2f 点 (电气设备室)	0.121	2.5	是
		2f'点 (合用控制室)	3.50×10^{-7}	2.5	是
顶部 (设备用房)		0.005	2.5	是	
2#	辐照室	a 点 (进货理货区)	0.030	2.5	是
		b 点 (操作大厅)	3.20×10^{-5}	2.5	是
		c 点 (电源室)	4.64×10^{-6}	2.5	是
		d 点 (东北侧室外)	0.026	2.5	是
		g 点 (货物进出口)	2.08×10^{-15}	2.5	是
	主机室	c 点 (电源室)	4.64×10^{-6}	2.5	是
		f 点 (水冷机房)	5.66×10^{-17}	2.5	是
		e 点 (人员入口)	5.34×10^{-9}	2.5	是
		顶部	0.031	2.5	是

(五) 电缆沟及排风管道屏蔽效果分析

1、电线电缆及水管管道屏蔽效果分析

本项目加速器辐照室设置电线电缆及水管穿线孔道，整个孔道呈“S”型等设计。同时，电线电缆及水管孔道避开主射线方向，射线经多次（至少三次）散射后，电线电缆及水管敷设孔道进出口处辐射剂量率将在控制范围内，能够满足辐射防护的要求。

2、空调风管屏蔽效果分析

本项目主机室中间设置隔墙，其中脉冲变压器和加速管分别在隔墙两侧，在脉冲变压器一侧设置空调风管，向上穿越脉冲变压器一侧主机室屋顶，空调风管穿屋顶孔洞 0.22m，整条孔道呈“V”型设计，风管与加速管之间有隔墙相隔，辐照厅射线经辐照厅顶板、主机室顶板屏蔽及多次散射；主机室射线经隔墙墙体和屋顶屏蔽及多次散射，管道在屋顶出口处辐射剂量率将在控制范围内，能够满足辐射防护的要求。

经环评估算分析，辐照厅、主机室四周墙体及顶棚等屏蔽防护厚度均能满足辐射屏蔽要求；屏蔽墙体外的周围剂量当量率均小于 2.5 μ Sv/h，符合 HJ979-2018 等相关标准及辐射防护安全要求。

(六) 辐射工作人员及保护目标有效剂量计算

1、辐射工作人员及公众所受年有效剂量分析

辐射工作人员和公众人员受到的 X 射线产生的外照射人均年有效剂量按公式 11-8 进行计算。

$$H_c = \dot{H}_{c,d} \cdot t \cdot U \cdot T \cdots \cdots \text{公式 11-8}$$

式中： H_c —关注点的年剂量水平， μ Sv/a；

$\dot{H}_{c,d}$ —关注点处剂量率， μ Sv/h；

t —辐照装置年照射时间，单位为 h/a；

U —辐照装置向关注点方向照射的使用因子；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子。

本项目建成投运后，电子加速器每天 24 小时持续运行，年运行时间按照 350 天计，则本项目工业电子加速器运行时间为 8400h。本项目工作人员实行四班三轮转工作，则单名辐射工作人员可能受到的照射时间最长为 2100h。工业电子加速器运行时，非辐射工作人员不允许进入电子加速器中心，对辐射工作人员影响的区域主要在一层夹层的合用控制室，居留因子取 1，但考虑到辐射工作人员在加速器运行时可能会前往机房周围进行巡视，主机室周围其他区域居留因子取 1/4，辐射工作人员按照辐射工作人员（5mSv/a）要求进行管理。

本项目电子加速器中心采用机械自动装置对货物进行搬运，普通人员无法进入辐照加工区，一楼辐照室两侧厂房内通道、辐照室旁的装卸货区居留因子取 1/16，因此

该区域对于公众人员，按照非辐射工作人员（0.1mSv/a）要求进行管理。

电子加速器中心西南侧的业务大厅按照年工作 350d，每天工作 8h 进行核算，且该区域属于普通工作人员，居留因子取 1，并按照非辐射工作人员（0.1mSv/a）要求进行管理。

将表 11-16 中工业电子加速器机房外各典型关注点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-8 计算结果见表 11-17。

表 11-17 工业电子加速器机房周围人员年有效剂量

关注点位置		辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留 因子	时间 (h)	年有效剂量 (mSv)	剂量约束值 (mSv)	
1#	辐 照 室	a 点（进货理货区）	0.314	1/16	2800	0.055	0.1
		b 点（进货理货区）	0.374	1/16	2800	0.065	0.1
		c 点（业务大厅）	0.026	1	2800	0.073	0.1
		d 点（出货理货区）	0.405	1/16	2800	0.071	0.1
		e 点（出货理货区）	0.260	1/16	2800	0.046	0.1
		f 点（操作大厅）	0.010	1/16	2800	0.002	0.1
		g 点迷道入口	0.008	1/16	2800	0.001	0.1
		g'点迷道出口	0.018	1/16	2800	0.003	0.1
	主 机 室	2b 点（吊装平台）	1.20×10^{-4}	1/16	2100	<0.001	5.0
		2b'点（吊装平台）	0.006	1/16	2100	0.001	5.0
		2c 点（业务大厅）	3.43×10^{-5}	1	2800	<0.001	0.1
		2d 点（管通设备室）	0.871	1/16	2100	0.114	5.0
		2f 点（电气设备室）	0.121	1/16	2100	0.016	5.0
		2f'点（合用控制室）	3.50×10^{-7}	1	2100	<0.001	5.0
顶部（设备用房）		0.005	1/4	2800	0.004	0.1	
2#	辐 照 室	a 点（进货理货区）	0.030	1/16	2800	0.005	0.1
		b 点（操作大厅）	3.20×10^{-5}	1/16	2800	5.69×10^{-6}	0.1
		d 点（东北侧室外）	0.026	1/16	2800	0.005	0.1
		g 点（货物进出口）	2.08×10^{-15}	1/16	2800	<0.001	0.1
	主 机 室	c 点（电源室）	4.64×10^{-6}	1/16	2100	<0.001	5.0
		f 点（水冷机房）	5.66×10^{-17}	1/16	2100	<0.001	5.0
		e 点（人员入口）	1.10×10^{-23}	1/16	2800	<0.001	0.1
		顶部	0.031	1/4	2800	0.022	0.1

根据表 11-17 结果分析知，该项目 2 台工业电子加速器机房同时投入运行后，辐射工作人员有效剂量最高为 0.114mSv，厂区内周围公众年有效剂量最高为 0.073mSv，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（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）。

由上表可知，2 台工业电子加速器同时运行时，各屏蔽体外 0.3m 处的瞬时剂量率满足国家相关标准要求，根据 X 射线随距离的增加而快速减弱的特性可知，距离 X 射线电子加速器中心更远的各环境保护目标的辐射影响也满足相应标准和要求。

三、其他三废影响分析

1、臭氧

臭氧的产生及其防护理论估算模式参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 附录 B 相关公式。

(1) 臭氧的产生

平行电子束所致臭氧的产生率可以用以下公式进行保守的估算：

$$P = 45dIG \dots\dots \text{公式 11-9}$$

式中： P —单位时间电子束产生臭氧的质量，mg/h；

I —电子束流强度，mA；本项目为 4mA/80mA；

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，取 120cm；

G —空气吸收 100keV 辐射能量产生的臭氧分子数，保守值可取为 10。

(2) 辐照室臭氧的平衡浓度

在电子加速器正常运行期间，臭氧不断产生，辐照室空气中臭氧的平衡浓度随辐照时间 t 的变化为：

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

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臭氧的质量，mg/h；

T_e —对臭氧的有效清除时间，h；

$$T_e = \frac{T_V \times T_d}{T_V + T_d} \dots\dots \text{公式 11-11}$$

式中： 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， $T_V \ll T_d$ ，因而 $T_e \approx T_V$ 。当长时间辐照时，辐照室内臭氧平衡浓度为：

$$C_S = \frac{PT_e}{V} \dots\dots \text{公式 11-12}$$

式中： C_S —辐照室内臭氧平衡浓度， mg/m^3 ；

T_e —对臭氧的有效清除时间，h；

V —辐照室的体积， m^3 。

将参数代入以上公式可计算得出工业电子加速器机房辐照室内臭氧平衡浓度 C_S ，其计算结果如下表所示：

表 11-18 本项目工业电子加速器调试机房辐照室内臭氧平衡浓度

参数	1#工业电子加速器机房辐照室	2#工业电子加速器机房辐照室
d (cm)	120	10
I (mA)	4	80
G	10	10
P (mg/h)	2.16×10^5	3.6×10^5
V (m^3)	470	1400
排风速率 (m^3/h)	14000	30000
T_e (h)	0.032	0.044
C_S (mg/m^3)	14.8	11.3

(3) 臭氧的排放

由表 11-18 计算结果可知，电子加速器长期正常运行期间，不考虑排风机的排风能力，电子加速器停机时，辐照室内臭氧浓度远高于 GBZ 2.1-2019 所规定的工作场所最高容许浓度 ($0.3\text{mg}/\text{m}^3$)。因此，当电子加速器停止运行后，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：

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_S} \dots\dots \text{公式 11-13}$$

式中： C_0 —GBZ 2.1 所规定的臭氧的最高容许浓度， $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ；

T —为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间，h。

表 11-19 本项目为使辐照室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间

参数	1#加速器机房辐照室	2#加速器机房辐照室
T_e (h)	0.032	0.044
C_0 (mg/m^3)	0.3	0.3
C_S (mg/m^3)	14.8	11.3
T (min)	7.55	9.63

由公式 11-13 及以上参数计算得出，本项目电子加速器停止工作后，辐照室内排风机以通风速率不低于 $14000\text{m}^3/\text{h}$ 和 $30000\text{m}^3/\text{h}$ 继续工作，通过约 10min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ 2.1-2019 规定的臭氧最高容许浓度 ($0.3\text{mg}/\text{m}^3$)。为安全起见，本项目制定了相关规定并拟设置通风联锁装置，电子加速器停机后必须继

续排风 10min 后，辐射工作人员方可进入辐照室。项目设置的排风口位于电子加速器中心厂房楼顶，排风口高于屋顶，标高 35.5m，厂房为室外道路，人员很少到达，本项目臭氧经自然分解对周边环境影响较小。

2、氮氧化物

根据工程分析可知，氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，根据估算，辐照室内的氮氧化物能满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素（一）》（GBZ 2.1-2019）的氮氧化物浓度限值（5mg/m³）要求。而按照臭氧设计要求在停机 5min 后，辐照室内的氮氧化物浓度将更小，氮氧化物产生和排放对工作场所大气环境的影响很小。

综上所述，本项目运行时所产生的有害气体不会对公众人员造成影响，对周边环境空气影响很小。

事故影响分析

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辐照室引起误照射。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。

一、事故分级

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 449 号）第四十条：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，详见表 11-20。

表 11-20 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

二、可能发生的辐射事故

本项目工业电子加速器属于II类射线装置，工业电子加速器工作时，发出高能电子束，高能电子束轰击各种材料都会产生韧致辐射（X射线），X射线为工业电子加速器辐照装置的主要辐射源，故工业电子加速器可能发生风险事故中，其风险因子主要为X射线。根据其工作原理分析，考虑可能发生的事故工况主要有以下几种情况：

1、安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行加速器，则可能造成误照事故；

2、机房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机房中环境便运行加速器，则会造成机房中人员受误照射；

3、加速器设备出现故障时（如直流高压发生器故障），可能导致加速器的高压加速管没有断开高压，仍有“暗电流”，导致加速器产生额外的X射线，造成误照事故；

当电子加速器空载状态时（运行高压，未启动电子枪），一般还有0.2-0.3mA左右总电流，电子加速器高压发生器在锻炼高压或者束流过程中可能发生电晕放电，残余气体电离等也会生成带电粒子，形成空载总电流不为0，即存在“暗电流”等。

三、事故处理

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，停止射线装置出束。

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。

四、事故防范措施

上述辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度和辐射事故应急措施加以防范，将辐射环境风险控制在可以接受的水平。针对在运行过程中可能发生的事故，本次评价提出以下防范措施，尽可能的减小或控制事故的危害和影响，主要体现在以下几个方面：

1、制定工业电子加速器操作规程和安全规章制度，并严格落实操作规程等制度的“制度上墙”要求（即将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置）。在操作时，至少有2名操作人员同时在场，操作人员须按照操作规程进行操作，并做好个人的防护。

2、每月检查门灯连锁装置，确保安全连锁装置正常运行；每月对工业电子加速器的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件需及时更换。

3、定期对工业电子加速器采取的安全防护措施、设施的安全防护效果进行检测或检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

4、加强控制区和监督区管理，在射线装置运行期间，加强对监督区公众的管理，限制公众在监督区长期滞留。

5、制定事故应急预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

针对“暗电流”事故，建设单位应按要求对辐射装置相关连锁装置进行检查并做好记录，及时上报设备故障情况；严格按照辐射安全管理相关要求进行管理，定期对辐射工作人员进行培训；设备故障后请专业人员进行维修与调试，非专业人员不得擅自进行维修工作；日常工作时按要求佩戴个人剂量计及辐射剂量报警仪；加速器停机时必须断开高压。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免放射性事故的发生率，从而保证项目正常运营，也保障工作人员、公众的健康与安全。

参考以上事故资料，项目运营中可能出现概率较大或后果较严重的事故如表 11-21。

表 11-21 本项目射线装置的环境风险因子、潜在危害

装置名称	环境风险因子	可能发生辐射事故的意外条件
工业电子加速器	X 射线、电子束	(1) 加速器出束时有人员尚未撤离加速器机房，造成人员误照射，引发辐射事故。 (2) 安全联锁装置或报警系统发生故障，加速器工作时无关人员打开主机室防护门并误入加速器主机室，造成人员误照射，引发辐射事故。

根据设备的 1m 处的标准参考点的吸收剂量率可知，随着事故状态下人员距离辐射源的距离减少和事故持续时间的增加，人员受照剂量将会随之增加，本项目设置有多重辐射安全措施、急停装置和监控装置等，一旦发生事故能够较快发现和响应处置，并且机房周围人员分布较少，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》规定，射线装置失控导致人员受到超年剂量限值的照射时为一般辐射事故，射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾时为较大辐射事故，随着时间的推移，还可能会发生更严重的事故。

五、应急措施

假若本项目发生了辐射事故，公司应迅速、有效的采取以下应急措施：

(1) 一旦发生人员误照射等辐射事故时，操作人员应立即利用最近的紧急停机开关切断设备电源。同时，事故第一发现者应及时向公司的辐射安全事故应急处理小组及上级领导报告。辐射安全事故应急处理小组在接到事故报告后，应以最快的速度组织应急救援工作，迅速封闭事故现场，禁止无关人员进入该区域，严禁任何人擅自移动和取走现场物件（紧急救援需要除外）。

(2) 对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查和救治，并在第一时间将事故情况通报当地生态环境主管部门、卫生健康等主管部门。

(3) 迅速查明和分析发生事故的原因，制订事故处理方案，尽快排除故障。若不能自行排除故障，则应上报当地生态环境主管部门并通知进行现场警戒和守卫，及时组织专业技术人员排除事故。

(4) 事故的善后处理，总结事故原因，吸取教训，采取补救措施。

一旦发生辐射事故，公司应立即启动应急预案，采取有效的事故处理措施，防止事故恶化。事故发生后的 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康行政部门报告。

六、事故综合防范应对措施

建设单位在管理中必须认真执行安全操作规程和各项规章制度，强化安全管理，避免各辐射工作场所出现人员滞留事故发生；定期检查各辐射工作场所的门机连锁等辐射安全环保设施是否有效，同时应当加强控制区和监督区的管理，避免人员误入事故的发生。

当事故发生时应当立即启动事故应急程序，对于可能发生的各种事故，公司方面除在硬件上配齐、完善各种防范措施外，在软件设施上也注意了建设、补充和完善，使之在安全工作中发挥约束和规范作用，其主要内容有：

- ①建立安全管理领导小组，组织管理公司的安全工作；
- ②加强人员的辐射安全与防护专业知识的学习，考试（核）合格、持证上岗；
- ③建立岗位的安全操作规程和安全规章制度，注意检查考核，认真贯彻实施；
- ④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可能发生的其它安全事故；
- ⑤制定公司事故处理预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免辐射安全事故的发生率，从而保证项目正常运营，也保障工作人员、公众的健康与安全。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

一、关于辐射安全与环境保护管理机构

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，并以文件形式明确管理人员职责。

广州科金高能技术有限公司应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的要求成立辐射安全与环境保护管理机构，负责全司辐射安全与环境保护监督管理工作，保障辐射工作人员、社会公众的健康与安全。

二、辐射工作人员配置和能力分析

广州科金高能技术有限公司拟为本项目配备辐射工作人员14人，公司应根据以下要求完善辐射工作人员的管理工作：

根据《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）：“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‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<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”。本项目拟配置的辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每5年接受一次再培训考核。

在辐射工作人员上岗前，公司应组织其进行岗前职业健康检查，并建立个人健康档案，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作。

公司应当建立并保存辐射工作人员的培训档案。

辐射安全管理规章制度

一、档案管理分类

公司应对相关资料进行分类归档放置，建议包括以下八大类：“制度文件”“环评资料”“许可证资料”“射线装置台账”“监测和检查记录”“个人剂量档案”

“培训档案”“辐射应急资料”，存放在公司相关办公室。

二、建立主要规章制度

公司可根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等要求制定一系列辐射安全规章制度，具体见表 12-1。

表 12-1 项目单位辐射安全管理制度制定要求

序号	制度名称
1	辐射防护安全责任制度
2	辐射工作设备操作规程
3	辐射工作人员管理规章制度
4	辐射工作人员个人剂量管理制度
5	辐射安全和防护设施维护维修制度
6	场所分区管理规定
7	仪器设备管理规定（购买、领用、保管和盘存）
8	辐射事故应急预案
9	监测仪表使用与校验管理制度
10	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案
11	辐射工作人员岗位职责
12	射线装置台账管理制度
13	辐射工作人员培训制度

公司待项目建成后应根据规章制度内容认真组织实施，并且应根据国家发布新的相关法规内容，结合公司实际及时对各项规章制度补充修改，使之更能符合实际需要。

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，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。

一、工作场所监测

年度监测：委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应作为《放射性同位素与射线装置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。

二、个人监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量片，监测周期为 1 次/季。

1、当全年个人剂量超过 5mSv 时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调

查报告，经本人签字确认后，上报发证机关。检测报告及有关调查报告应存档备查。

2、个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度监测报告一起作为《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并提交给发证机关。

3、辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。公司应当将个人剂量档案保存终生。

三、自我监测

公司应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 1~2 次/年。

四、监测内容和要求

1、监测内容：X- γ 空气吸收剂量率。

2、监测布点及数据管理：本项目监测布点应参考环评提出的监测计划（表 12-2）或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

表 12-2 工作场所监测计划建议

场所或设备	监测内容	监测布点位置
工业电子加速器	X- γ 辐射剂量率	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、加速器机房屏蔽体外 30cm 处，距离地面 1m 处进行监测； 3、安全门外及门缝四周 30cm 处； 4、操作室，线缆穿墙孔外侧和通风管道外侧。

3、监测范围：控制区和监督区域及周围环境

4、监测频次：每年 1~2 次

5、监测质量保证：

（1）制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门的监测数据与公司监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

（2）采用国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

（3）制定辐射环境监测管理制度。

此外，公司需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，

监测数据及报送情况存档备查。

五、年度监测报告情况

公司应于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所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。公司必须在“全国核技术利用辐射安全申报系统”（网址 <http://rr.mee.gov.cn/rsmsreq/login.jsp>）中实施申报登记。延续、变更许可证，新增或注销射线装置以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

六、竣工验收

本项目建成后，建设单位应严格按照《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范核技术利用》（HJ 1326-2023）文件要求，开展竣工环境保护验收工作。

1、验收工作程序：主要包括验收自查、验收监测工作和后续工作，其中验收监测工作可分为验收监测、验收监测报告编制两个阶段；后续工作包括提出验收意见、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四个阶段。

2、验收自查：对本项目环境影响报告表及其审批部门审批决定等文件，自查项目建设性质、规模、地点，主要生产工艺、辐射源项、项目主体工程、辅助工程规模等情况；说明施工合同、监理合同中辐射安全与防护设施的建设内容和要求，辐射安全与防护设施建设进度和资金使用内容，项目实际环保投资总额占项目实际总投资额的百分比情况；自查本项目辐射安全与防护设施建成情况；自查本项目辐射安全与防护措施落实情况；自查法规制度执行情况（包括人员培训考核、个人剂量管理、辐射监测、台账管理等）。

3、验收监测：建设单位根据验收自查结果，明确实际建设情况和辐射安全与防护设施/措施落实情况，在此基础上确定验收工作范围、验收评价标准，明确监测期间工况记录方法，明确验收监测点位、监测因子、监测方法、频次等。验收单位制定验收监测质量保证和质量控制工作方案。

建设单位在完成验收监测与检查后，建设单位应组织编制验收监测报告（参照 HJ 1326-2023 格式要求），对监测数据和检查结果进行分析、评价并得出结论。结论应明确辐射安全与防护设施运行效果，项目对辐射工作人员、公众和周边环境的辐射影响情况等。

4、后续工作：验收监测报告编制完成后，进入后续验收工作程序，提出验收意见，编制“其他需要说明的事项”，形成验收报告。验收报告包括验收监测报告、验收意见和“其他需要说明的事项”三项内容。验收意见包括工程建设基本情况、工程变动情况、辐射安全与防护设施/措施落实情况、工程建设对环境的影响、验收结论和后续要求。

“全国建设项目竣工环境保护验收信息平台”已于2017年12月1日上线试运行，网址为：<http://114.251.10.205>，建设单位应将验收报告通过全国建设项目竣工环境保护验收信息系统平台向社会公开及备案，并形成验收档案。

装置的维护与维修

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018），辐照装置营运单位必须制定辐照装置的维护检修制度，定期巡视（检查）工业电子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。

一、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、辐照装置安全连锁控制显示状况；
- 3、个人剂量报警仪和便携式辐射监测仪器工作状态。

二、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，发现异常情况时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、验证安全连锁功能的有效性；
- 5、烟雾报警器功能正常。

三、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

辐照装置营运单位必须建立与项目有关的运行及维修维护记录制度。本项目工业电子加速器由建设单位广州科金高能技术有限公司负责运行使用，设备的维修由生产厂家负责。

辐射事故应急

一、事故应急预案内容

为了应对生产运行中的事故和突发事件，公司应制订辐射事故应急预案，按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，待项目建设完成后公司应制定并完善辐射事故应急方案，明确以下几个方面：

- 1、应急机构和职责分工；
- 2、应急的具体人员和联系电话；
- 3、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；
- 4、辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；
- 5、辐射事故调查、报告和处理程序。

二、应急措施

若本项目发生了辐射事故，公司应迅速、有效采取以下应急措施：

1、一旦发现射线装置被盗或者丢失，及时向公安部门、生态环境主管部门和卫生健康部门报告。

2、发现误照射事故时，工作人员应立即切断电源，立即撤出调试机房，关闭调试机房防护门，同时向公司主管领导报告。

3、公司根据估算的超剂量值，尽快安排误照人员进行检查或在指定的医疗机构救治；对可能受放射损伤的人员，应立即采取暂时隔离和应急救援措施。

4、事故发生后的2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。

5、最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

三、其他要求

1、辐射事故风险评估和辐射事故应急预案，应报送所在地县级地方人民政府生态环境主管部门备案。

2、在预案的实施中，应根据国家发布新的相关法规内容，结合公司实际及时对预案作补充修改，使之更能符合实际需要。

从事辐射活动能力评价

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定，使用放射性同位素、辐射装置单位应具备相应的条件，建设单位从事本项目辐射活动能力的评价详见表 12-3。

表 12-3 建设单位从事本项目辐射活动能力评价

应具备条件	落实情况	符合情况
(一)使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作	建设单位应根据要求成立辐射安全防护管理小组，全面负责其日常的辐射安全与防护管理工作	符合
(二)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	建设单位拟组织新增辐射工作人员参加生态环境部国家核技术利用辐射安全与防护培训平台相应类别培训学习，并取得成绩单考核合格后方可上岗	符合
(三)使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备	本项目不涉及放射性同位素	/
(四)放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射要求的安全措施	本项目加速器机房设计有电离辐射警示标志、安全联锁装置、巡检开关、急停按钮、门机联锁、报警装置、固定式剂量报警仪、防止人员误入光电开关等安全措施。本项目将按要求执行	符合
(五)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，包括个人剂量监测报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪	拟为新增14名辐射工作人员配置个人剂量计，并拟配备3台个人剂量报警仪、2台便携式辐射监测报警仪（用于钥匙控制），2套固定式辐射监测仪（各配备2个监测探头）	符合
(六)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、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等	在项目建设完成制定完成并完善	符合

(七) 有完善的辐射事故应急措施	在项目建设完成制定完成并完善	符合
(八) 产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案	不涉及	/

综上所述，建设单位在严格执行相关法律法规、标准规范等文件，严格落实各项辐射安全管理、防护措施的前提下，建设单位从事辐射活动的技术能力符合相应法律法规的要求。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：广州科金高能技术有限公司广州市高能技术科技园新建电子加速器中心应用项目

项目性质：新建

建设单位：广州科金高能技术有限公司

建设地点：广州市白云区良田保税一路与良田东路交叉口（东北侧）

建设内容与规模：

公司拟在厂区内电子加速器中心内建设 2 座工业电子加速器机房，在 1#机房内新增 1 台 IS1040 型工业电子加速器（电子线最大能量为 10MV，最大束流为 4mA），在 2#机房内新增 1 台 Rhodotron® TT1000 型工业电子加速器（X 射线能量为 5/7MeV，最大束流强度为 80mA），新增的 2 台工业电子加速器均属于 II 类射线装置。

二、项目产业政策符合性结论

本项目系核技术应用项目在工业领域内的运用。根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，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”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。本项目辐照加工过程中产生的电离辐射经屏蔽体防护及距离衰减后，其所致的周围职业人员和公众的年剂量符合本次评价所确定的剂量约束值要求。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。

三、实践正当性

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，在给企业带来利益同时，对工作人员和公众的外照射引起的年有效剂量低于根据最优化原则设置的项目剂量约束值，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。

四、项目选址合理性结论

广州科金高能技术有限公司选址于广州市白云区东北部钟落潭镇美丽健康产业园内公司厂区内，不额外新增用地，项目所在地的用地性质为工业用地。从周边外环境关系可知，厂区周边规划为工业园区和市政道路，周边无自然保护区等生态环境保护目标，无大的环境制约因素。拟建的辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射通过采取相应的治理措施后对周围环境影响较小，从辐射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。

五、区域环境质量现状

根据监测结果，本项目拟建位置周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测值在（75~90）nGy/h之间，与《中国环境天然放射性水平》中广东省的调查研究结果：广东省原野 γ 辐射剂量率范围为（17.7~193.1）nGy/h，广东省道路 γ 辐射剂量率范围为（26.9~178.8）nGy/h，广东省室内 γ 辐射剂量率范围为（35.3~338.3）nGy/h相比较，本项目拟建址区域周围辐射环境监测值与广东省天然贯穿辐射水平相当，属于正常本底范围。

六、环境影响分析结论

在严格落实环评提出的要求后，本项目所致职业人员年剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的辐射剂量限值要求，同时也符合本报告提出的照射剂量约束值要求（职业照射 5mSv/a、公众照射 0.1mSv/a）。评价结果表明本项目辐射工作场所的防护性能符合要求。

七、射线装置使用与安全管理的综合能力

广州科金高能技术有限公司拟配置专业的辐射工作人员和拟建立完善的辐射安全管理机构，有符合国家环境保护标准和安全防护要求的场所、设施及设备；拟建立较完善的辐射安全管理制度、辐射事故应急措施；在制定《辐射安全管理规定》《辐射工作设备操作规程》等相关管理制度后，认真落实并定期对辐射防护设施进行检查维护的前提下，具有对射线装置的使用和安全管理能力。

八、项目环境可行性结论

综上所述，本项目符合国家产业政策，项目选址及平面布局合理。项目拟采取的辐射防护措施技术可行，措施有效；项目制定的管理制度、事故防范措施及应急方法

等能够有效的避免或减少工作人员和公众的辐射危害。在认真落实项目工艺设计及本报告表提出的相应防护对策和措施，严格执行“三同时”制度，严格执行辐射防护的有关规定，辐射工作人员和公众所受照射剂量可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的剂量限值和本环评提出的剂量约束值。评价认为，从辐射安全与防护以及环境影响角度分析，本项目建设是可行的。

建议和承诺

1、落实本报告中的各项辐射防护措施和安全管理制度的。

2、公司应加强管理，安排辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习辐射安全和防护知识并进行考试，以取得辐射安全培训合格证，今后培训时间超过5年的辐射工作人员，需进行再培训，详见国家核技术利用辐射安全与防护培训平台。

3、经常检查辐射工作场所的电离辐射标志和电离辐射警告标志，工作状态指示灯，若出现松动、脱落或损坏，应及时修复或更换。

4、根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》以及《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023），建设单位应当按照办法规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，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。

“三同时”验收一览表

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，建设单位应当按照办法规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，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。建设项目验收内容和要求见表 13-1。

表 13-1 竣工环境保护验收要求一览表

项目类别	验收内容及要求
年有效剂量	职业人员的年有效剂量约束值为 5mSv/a，公众成员的年有效剂量约束值为 0.1mSv/a
剂量率限值	加速器机房外距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）
机房防护建设	工作场所墙体采用混凝土作为防护材料，防护门均采用钢防护门，具体防护参数见表 10-2
警告标志 门-机联锁装置 等安全联锁	控制区出入口处设置当心电离辐射警告标志，射线装置机房防护门上方设置工作状态指示灯、门机联锁、配备钥匙开关、巡检装置、光电系统、剂量联锁、监控系统、门禁系统、通风系统等
通排风系统	通排风系统 2 套，并设置通风联锁，加速器停机 10min 后防护门才可开启
监测设备	辐射巡检仪 2 台，个人剂量报警仪 3 台
其他辐射安全与防护措施	设置 2 套摄像监视系统，设置固定式报警仪 2 套，紧急开门按钮 2 套
辐射安全管理机构	建立辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式下发
规章制度	建立与加速器相关的规章制度，如操作规程和岗位职责等
应急预案及演练	制定并完善应急预案
辐射工作人员培训及考核	本项目辐射工作人员需考核合格后上岗
个人剂量档案管理	本项目辐射工作人员开展个人剂量监测，按要求继续严格落实个人剂量检测相关工作，每季度开展一次个人剂量检测，建立个人剂量检测档案。
职业健康体检	按要求继续严格落实职业健康体检相关工作，组织全部辐射工作人员每两年开展一次职业健康体检，建立职业健康体检档案
场所监测	每年开展一次委托检测，建立检测档案
年度评估报告	规范编制辐射安全与防护年度评估报告，并在每年 1 月 31 日前经全国核技术利用辐射安全申报系统提交上年度的评估报告

附件 1：委托书

委托书

南京瑞森辐射技术有限公司：

根据《中华人民共和国环境影响评价法》及《建设项目环境保护分类管理名录》等法律法规的要求，现委托贵单位对 广州科金高能技术有限公司广州市高能技术科技园新建电子加速器中心应用项目 进行环境影响评价工作，望接此委托后尽快开展工作。

委托方：广州科金高能技术有限公司

日期：2025年3月7日



附件 2：项目立项文件

项目代码：2304-440111-04-01-528177	
广东省企业投资项目备案证	
申报企业名称：广州科金高能技术有限公司	经济类型：国有独资公司
项目名称：广州市高能技术科技园	建设地点：广州市白云区钟落潭镇（AB0809086-2地块）
建设类别： <input type="checkbox"/> 基建 <input type="checkbox"/> 技改 <input checked="" type="checkbox"/> 其他	建设性质： <input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 其他
建设规模及内容： 项目总用地面积24386平方米，总建筑面积85486平方米（最终以报批报建批复为准）。该项目将打造以电子加速器为核心的战略性新兴产业生产制造及研发基地，主要包括制造生物基材料（新型淀粉发泡材料）和植介入生物医用材料（硅胶填充乳房植入体、手术缝线、分离胶-促凝剂等植入式整形材料、一次性使用护创材料），以及为高端化妆品、航空食品、中央厨房预制菜、中药饮片、中成药、高端医疗器械提供消毒灭菌服务。	
项目总投资：59520.00 万元（折合	万美元）项目资本金：17856.00 万元
其中：土建投资：30383.00 万元	
设备及技术投资：15000.00 万元；	进口设备用汇：0.00 万美元
计划开工时间：2023年12月	计划竣工时间：2025年12月
	备案机关：广州市白云区发展和改革局
	备案日期：2023年04月01日
更新日期：2024年12月16日	延期至：2026年12月16日
备注：请严格按照《关于企业投资项目核准和备案管理的实施办法》第四十九条执行，通过在线平台如实、及时报送项目开工建设、建设进度、竣工等建设实施基本信息，并落实消防及安全生产相关要求。	

**提示：1. 备案证明文件仅代表备案机关确认收到建设单位项目备案信息的证明，不具备行政许可效力。
2. 备案有效期为两年。项目两年内未开工建设且未办理延期的，备案证自动失效。项目在备案证有效期内开工建设的，备案证长期有效。**

广东省发展和改革委员会监制

附件 3：规划许可证明

中华人民共和国

建设用地规划许可证

地字第401112023YG0059357 号

穗规资源地证〔2023〕670号

根据《中华人民共和国土地管理法》《中华人民共和国城乡规划法》和国家有关规定，经审核，本建设用地符合国土空间规划和用途管制要求，颁发此证。

发证机关

广州市规划和自然资源局

日期

二〇二三年十二月二十五日



用地单位	广州科金高能技术有限公司
项目名称	广州市高能技术科技园
批准用地机关	广州市人民政府
批准用地文号	《国有建设用地使用权出让合同》（合同编号：440111-2023-000028，电子监管号：4401112023B000187）、粤府土审（02）（2023）73号
用地位置	广州市白云区钟落潭镇广州市高新技术产业开发区民营科技园一美丽健康产业园广州高新技术产业开发区
用地面积	（广州白云工业园区）
土地用途	地表总面积：贰万肆仟叁佰捌拾陆平方米（其中净用地面积20006平方米，城市道路用地面积3486平方米，绿地用地面积893平方米。）
建设规模	工矿用地，交通运输用地，绿地与开敞空间用地
土地取得方式	/
附图及附件名称	<p>挂牌出让</p> <p>附图以总规规划资源业务函〔2023〕9675号文附图为准。</p> <p>附加说明：1、根据粤府土审（02）〔2023〕73号文、总规规划资源业务函〔2023〕9675号文、《成交确认书》（广州公资交（土地）字〔2023〕第224号）、《国有建设用地使用权出让合同》（合同编号：440111-2023-000028，电子监管号：4401112023B000187）核发。</p> <p>2、规划条件及建设用地规划红线图仍按《国有建设用地使用权出让合同》（合同编号：440111-2023-000028，电子监管号：4401112023B000187）附件3（即总规规划资源业务函〔2023〕9675号文）执行。</p> <p>3、用地范围内如涉及文物保护、古墓、历史建筑、古树名木、大树、老树等历史文化保护事宜，需征求文物保护、园林等主管部门的意见，并按相关法律、法规办理。</p>

项目代码：2304-440111-04-01-528177

遵守事项

- 一、本证是经自然资源主管部门依法审核，建设用地符合国土空间规划和用途管制要求，准予使用土地的法律凭证。
- 二、未取得本证而占用土地的，属违法行为。
- 三、未经发证机关审核同意，本证的各项规定不得随意变更。
- 四、本证所需附图及附件由发证机关依法确定，与本证具有同等法律效力。

附件 4：环境现状监测报告



221020340350

南京瑞森辐射技术有限公司
检测报告

编号：瑞森（综）字（2024）第 0598 号

检测类别： 委托检测

项目名称： 辐射环境本底检测

委托单位： 广州科金高能技术有限公司



南京瑞森辐射技术有限公司

地址：南京市鼓楼区建宁路 61 号中央金地广场 1 幢 1317 室 邮编：210018
传真：025-86633719 电话：025-86633196
Email: ruiseng@126.com

检测报告说明

- 一、对检测报告如有异议，请于收到报告之日起十日内以单位公函形式向本公司提出申诉，逾期不予受理。
- 二、送样委托检测，仅对送检样品检测数据负责，不对样品来源负责。
- 三、本公司仅对检测报告原件负责，未经本公司书面批准不得部分复制检测报告（全文复制除外）。
- 四、未经本公司同意，本检测报告及检测机构名称不得用于广告、商业宣传和评优等。
- 五、检测报告无本公司检测报告专用章（公章）及骑缝章无效。
- 六、本检测报告涂改、增删无效。

检测报告

委托单位	广州科金高能技术有限公司			
被检单位	广州科金高能技术有限公司			
被检单位地址	广州市白云区钟落潭镇广州市高新技术开发区民营科技园-美丽健康产业园 (良田东路与良田保税一路交叉口)			
联系人	谢俊贤	联系方式		
项目名称	辐射环境本底检测	检测目的	本底检测	
检测类别	委托检测	检测日期	2024年8月17日	
检测内容	1. 检测对象: 辐照中心拟建址及其周围环境 2. 检测项目: γ 辐射剂量率 3. 检测布点: 在工作场所及其周围环境布设检测点, 检测点位见附图			
检测依据	1. 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021) 2. 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)			
检测环境条件	天气: 阴 温度: 27℃ 湿度: 80%RH			
检测仪器				
序号	仪器名称	仪器型号	仪器编号	主要技术指标
1	多功能辐射测量仪	6150AD 6/H+6150 AD-b/H	NJRS-126	能量响应: 20keV~7MeV 测量范围: 1nSv/h~99 μ Sv/h 检定证书编号: Y2023-0173796 检定有效期限: 2023.10.30~2024.10.29
被检场所信息				
序号	场所名称			
1	辐照中心拟建址			
备注	/			

检测结果:**表 1. 辐照中心拟建址及其周围 γ 辐射剂量率检测结果**

测点编号	检测点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	1#点位	83±1	室外(原野)
2	2#点位	84±1	室外(原野)
3	3#点位	89±1	室外(原野)
4	4#点位	87±2	室外(原野)
5	5#点位	90±1	室外(原野)
6	6#点位	74±1	室外(原野)
7	7#点位	77±1	室外(原野)
8	8#点位	81±1	室外(原野)
9	9#点位	75±1	室外(原野)
10	10#点位	75±1	室外(原野)
11	11#点位	77±2	室外(原野)
12	12#点位	74±1	室外(原野)
13	13#点位	76±1	室外(原野)
14	14#点位	78±1	室外(原野)
15	15#点位	75±1	室外(原野)
16	16#点位	88±1	室外(原野)
17	17#点位	81±1	室外(原野)
18	18#点位	82±1	室外(原野)

注: 1.测量结果已扣除宇宙射线响应值(修正后的宇宙射线响应值为 30 nGy/h);
2.检测点位见附图。

结论:

由检测结果可知, 广州科金高能技术有限公司辐照中心拟建址及其周围的

γ 辐射剂量率为 75nGy/h~90nGy/h。

以下无正文

编制：郭文政

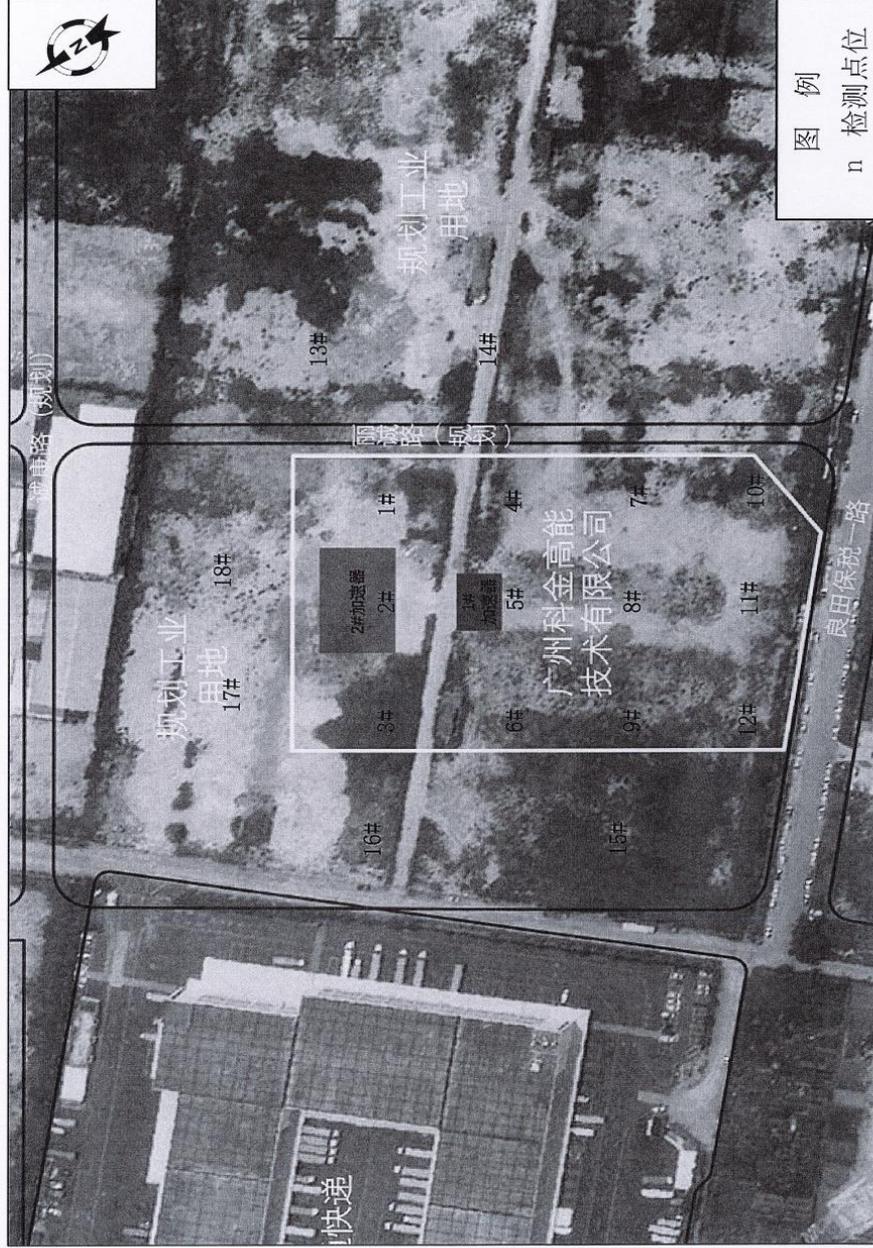
审核：朱国贵

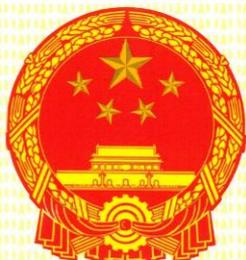
签发：张亚

南京瑞森辐射技术有限公司（章）

2024年8月22日

附图：现场检测点位示意图





检验检测机构 资质认定证书

证书编号:221020340350

名称:南京瑞森辐射技术有限公司

地址:江苏省南京市鼓楼区建宁路61号中央金地广场1幢13层
1317室(210018)

经审查,你机构已具备国家有关法律、行政法规规定的基
本条件和能力,现予批准,可以向社会出具具有证明作用的数
据和结果,特发此证。资质认定包括检验检测机构计量认证。
检验检测能力及授权签字人见证书附表。

你机构对外出具检验检测报告或证书的法律责任,由
南京瑞森辐射技术有限公司承担。

许可使用标志



221020340350

发证日期:2022年05月31日

有效期至:2028年05月30日

发证机关:



本证书由国家认证认可监督管理委员会监制,在中华人民共和国境内有效。

2002331

检验检测机构 资质认定证书附表



221020340350

检验检测机构名称：南京瑞森辐射技术有限公司

批准日期：2022年05月31日(复查换证（扩项、检测标准、方法变更）)

有效期至：2028年05月30日

批准部门：江苏省市场监督管理局



国家认证认可监督管理委员会制

二、批准南京瑞森辐射技术有限公司非食品检验检测的能力范围

证书编号: 221020340350

机构(省中心)名称: 南京瑞森辐射技术有限公司

第1页共 15页

场所地址: 江苏省-南京市-鼓楼区-建宁路61号中央金地广场1幢13层1317室

序号	类别(产品/项目/参数)	产品/项目/参数		依据的标准(方法)名称及编号(含年号)	限制范围	说明
		序号	名称			
一	放射卫生					
1	外照射剂量率	1	X、 γ 辐射剂量率	CT方舱放射防护要求 T/WSJD 6-2020		
				X射线行李包检查系统卫生防护标准 GBZ 127-2002		
				核医学辐射防护与安全要求 HJ 1188-2021		扩项
				X射线衍射仪和荧光分析仪卫生防护标准 GBZ 115-2002		
				γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范 GBZ 141-2002		
				核医学放射防护要求 GBZ120-2020		标准变更
				含密封源仪表的卫生防护要求 GBZ 125-2009		
				密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准 GBZ 114-2006		
				工业X射线探伤放射防护要求 GBZ 117-2015		
				工业 γ 射线探伤放射防护标准 GBZ 132-2008		
				放射性物品安全运输规程 GB 11806-2019		
				放射治疗放射防护要求 GBZ 121-2020		
				放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分: γ 射线源放射治疗机房 GBZ/T 201.3-2014		
				放射治疗机房的辐射屏蔽规范第4部分: 铀-252中子后装放射治疗机房 GBZ/T 201.4-2015		
				放射治疗机房的辐射屏蔽规范第5部分: 质子加速器放射治疗机房 GBZ/T 201.5-2015		
				放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分: 电子直线加速器放射治疗机房 GBZ/T 201.2-2011		
				放射治疗机房的辐射屏蔽规范第一部分: 一般原则 GBZ/T 201.1-2007		
放射诊断放射防护要求 GBZ 130-2020						
油气田测井放射防护要求 GBZ 118-2020						
环境 γ 辐射剂量率测量技术规范 HJ 1157-2021						

二、批准南京瑞森辐射技术有限公司非食品检验检测的能力范围

证书编号: 221020340350

机构(省中心)名称: 南京瑞森辐射技术有限公司

第2页共 15页

场所地址: 江苏省-南京市-鼓楼区-建宁路61号中央金地广场1幢13层1317室

序号	类别(产品/项目/参数)	产品/项目/参数		依据的标准(方法)名称及编号(含年号)	限制范围	说明
		序号	名称			
				电子加速器辐照装置辐射安全和防护 HJ 979-2018		
				电子直线加速器工业CT辐射安全技术规范 HJ 785-2016		
				货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求 GBZ 143-2015		
				辐射环境监测技术规范 HJ 61-2021		
				进口可用作原料的废物放射性污染检验规程 SN/T0570-2007		
				高活度钴60密封放射源 GB/T 7465-2015		
				放射治疗辐射安全与防护要求 HJ 1198-2021		扩项
		2	中子剂量当量率	油气田测井放射防护要求 GBZ 118-2020		
				辐射防护仪器中子周围剂量当量(率)仪 GB/T 14318-2019		
2	个人剂量	3	X、γ射线外照射个人剂量(累积剂量)	个人和环境监测用热释光剂量测量系统 GB/T 10264-2014		
				职业性外照射个人监测规范 GBZ 128-2019		
				外照射个人剂量系统性能检验规范 GBZ 207-2016		
3	放射性表面污染	4	α、β表面污染	核医学放射防护要求 GBZ120-2020		
				核医学辐射防护与安全要求 HJ 1188-2021		扩项
				表面污染测定 第1部分 β发射体(Eβ最大>0.15MeV)和α发射体 GB/T14056.1-2008		
				职业性皮肤放射性污染个人监测规范 GBZ 166-2005		
				医用电子直线加速器质量控制检测规范 WS 674-2020		
				医用电子直线加速器质量控制检测规范 WS 674-2020		
				医用电子直线加速器质量控制检测规范 WS 674-2020		
				医用电子直线加速器质量控制检测规范 WS 674-2020		

附件 5：设备参数

本次新增工业电子加速器详细参数详见表 1 和表 2：

表 1 IS1040 型工业电子加速器设备参数一览表

指标	技术参数
名称、型号	IS1040
生产厂家	同威信达技术（江苏）股份有限公司
运行模式	电子束辐照
电子束能量	10MeV
束流强度	4mA
最大束流功率	40kW
电子扫描宽度	500-800mm（分档可调）
扫描不均匀度	≤5%
束流损失点能量	3MeV
束流损失点强度	0.20mA
钛窗距离辐照物体距离	0.7~1.2m
扫描速度	0.5~12m/min
工作方式	可长时间满功率运行

表 2 Rhodotron® TT1000 型工业电子加速器设备参数一览表

指标	技术参数	
名称、型号	Rhodotron® TT1000	
生产厂家	比利时 IBA	
运行模式	X 射线辐照	
X 射线能量	5MeV	7MeV
束流强度	80mA	80mA
最大束流功率	400kW	560kW
X 射线转换靶	钨靶	
电子扫描宽度	2200mm	
扫描不均匀度	≤10%	
束流损失点能量	0.3MeV	
束流损失点强度	0.80mA	
钛窗距离辐照物体距离	0.7~1.2m	
扫描速度	0.5~5m/min	
工作方式	可长时间满功率运行	

确认方：广州科金高能技术有限公司

日期：2025 年 3 月 7 日

