

编号：RSHP-NJ-2026072201

核技术利用建设项目

福建颐瑞得科技有限公司

生产、使用及销售工业电子加速器项目

生态环境影响报告表

(公示本)



福建颐瑞得科技有限公司

2026年8月

核技术利用建设项目

福建颐瑞得科技有限公司

生产、使用及销售工业电子加速器项目 生态环境影响报告表

建设单位名称：福建颐瑞得科技有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：福建省泉州台商投资区滨湖东路 5001 号杏东产业园邻里
中心 2 号楼 405

邮政编码：362122

联系人：

电子邮箱：21372106@qq.com

联系电话：

编制单位和编制人员情况表

项目编号	j2pp7d		
建设项目名称	福建颐瑞得科技有限公司生产、使用及销售工业电子加速器项目		
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)	福建颐瑞得科技有限公司		
统一社会信用代码	91350521MAK7HG9R4Y		
法定代表人 (签章)	石伟		
主要负责人 (签字)	石伟		
直接负责的主管人员 (签字)	沈松		
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	

表 1 项目基本情况

建设项目名称		福建颐瑞得科技有限公司生产、使用及销售工业电子加速器项目				
建设单位		福建颐瑞得科技有限公司				
法人代表		石伟	联系人	王远喜	联系电话	17713808499
注册地址		福建省泉州台商投资区滨湖东路 5001 号 杏东产业园邻里中心 2 号楼 405				
项目建设地点		福建省泉州台商投资区管委会东园镇滨海路				
立项审批部门		泉州台商投资区管理委员会行政审批服务局		批准文号	2604-350599-07-01-507151	
建设项目总投资（万元）			项目环保总投资（万元）		投资比例（环保投资/总投资）	33.3%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ）	1200
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类			
		☐ 使用	☐ I类（医疗使用） ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类			
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物			
		☐ 销售	/			
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙			
	射线装置	☒ 生产	☒ II类 ☐ III类			
		☒ 销售	☒ II类 ☐ III类			
		☒ 使用	☒ II类 ☐ III类			
	其他	/				

项目概述

一、建设单位简介

福建颐瑞得科技有限公司（统一社会信用代码：91350521MAK7HG9R4Y，以下简称“公司”）是一家专注高分子新材料专用绿色辐照装备领域的初创科创型企业，由核物理、高压电气、高分子材料工程行业资深技术团队联合发起设立，主营业务覆盖：高能级+低能级高分子改性专用工业电子加速器整机研发生产、两类设备市场销售、自有两类加速器场内鞋材/电工膜辐照改性加工服务三大核心板块。

公司成立以来，针对性完成两大主力机型技术攻关：适配鞋材橡塑改性的高能级电子加速器样机、适配电工膜表层改性的低能级电子加速器样机；完成设备屏蔽结构、

分级束流调控、材料改性剂量数据库搭建；积累下游鞋业集群、电子薄膜生产企业固定客户资源。

二、项目由来

近年来我国核技术应用+高分子新材料产业同步高速增长，橡塑材料改性行业全面向无放射源、低排放、专业化分级、绿色交联转型。一方面生态环保监管持续升级，化工类化学交联工艺、钴源高风险辐照工艺逐步被区域产业政策限制淘汰，电子束辐照成为高分子材料改性首选绿色工艺；另一方面国内鞋材产业集群、电子电工薄膜产业集群规模持续扩容，对分级适配的专用电子加速器需求爆发式增长。

行业目前存在明显供需短板：通用型加速器产能过剩，适配鞋材厚料改性的高能级、电工薄膜薄料改性的低能级专用电子加速器产能紧缺；同时大量新材料中小微企业无力自建加速器产线，亟须第三方合规辐照加工平台做来料改性加工。行业极度缺少既能分级生产两类专用改性加速器、又能提供对应材料辐照加工服务的全链条民营科创主体，为本公司初创项目落地提供良好市场环境。

福建颐瑞得科技有限公司契合国家战略政策，新兴科创企业享受产业政策的扶持，并根据市场需求及公司发展规划，公司拟在现有厂区内新建 2 座厂房，拟在 1#厂房内新建 2 座工业电子加速器调试机房用于生产、使用及销售公司研发的工业电子加速器设备（均属Ⅱ类射线装置），拟在 2#厂房内新建 4 座工业电子加速器机房，并新增使用 4 台 FIT10/25 型工业电子加速器（均属Ⅱ类射线装置）主要开展发泡材料（鞋材）交联和高分子聚合物辐照改性等技术服务。

三、编制目的

为加强核技术应用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《中华人民共和国生态环境法典》等相关法律法规要求，建设单位应对该项目进行生态环境影响评价。

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；”应编制生态环境影响报告表。

为此，福建颐瑞得科技有限公司委托南京瑞森辐射技术有限公司对该项目开展生态环境影响评价工作（委托书见附件 1）。南京瑞森辐射技术有限公司接受委托后，通过现场勘察、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，编制了该项目生态环境影响报告表。

四、项目概况

项目名称：福建颐瑞得科技有限公司生产、使用及销售工业电子加速器项目

项目性质：新建

建设单位：福建颐瑞得科技有限公司

建设地点：福建省泉州台商投资区管委会东园镇滨海路

建设内容与规模：

1.1#厂房区域-生产、使用及销售工业电子加速器项目

公司拟在厂区内 1#厂房（在建）内东北部建设 2 座加速器调试机房，配套建设控制室、电气设备室、管通设备室、工具间等相关辅助用房。

拟在电子帘加速器调试机房内生产、调试公司自行研发设计的 FIT0.2/2 型工业电子加速器，其设备主要参数为：电子线最大能量为 0.2MeV，最大束流为 10mA，扫描盒宽度为 800mm~1600mm，功率为 2kW，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。FIT0.2/2 型工业电子加速器预计年最大生产、销售及使用时约 20 台。

拟在大功率加速器调试机房内生产、调试公司自行研发设计的 FIT10/25 型工业电子加速器，其设备主要参数为：电子线最大能量为 10MeV，最大束流为 2.5mA，扫描盒宽度为 800mm~1600mm，功率为 25kW，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。FIT10/25 型工业电子加速器预计年最大生产、销售及使用时约 10 台。

2.2#厂房区域-使用工业电子加速器开展辐照加工项目

公司拟在厂区内 2#厂房（在建）内西南部建设 4 座工业电子加速器机房，配套建设控制室、电气设备室、管通设备室、工具间、未辐照产品堆放区和已辐照产品堆放区等相关辅助用房。项目建成后可开展发泡材料交联和高分子聚合物改性等技术服务。

本次拟建 4 座工业电子加速器机房均位于 2#厂房西南部，拟建的 4 座工业电子加速器机房均由一层辐照室、二层控制室、电气设备室、管通设备室、工具间及辅助用房组成，主机室位于辐照室正上方，通过钢结构楼梯连接。

4 座机房均拟配备由公司自行生产的 FIT10/25 型立式结构工业电子加速器，提供

电子束辐照，其设备主要参数为：电子线最大能量为 10MeV，最大束流为 2.5mA，扫描盒宽度为 800mm~1600mm，功率为 25kW，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。

本次拟申请新增辐射项目内容见表 1-1。

表 1-1 福建颐瑞得科技有限公司新建项目情况一览表

序号	射线装置名称	型号	数量	参数	类别	加速粒子	活动种类	主束方向	使用场所
1	工业电子加速器	FIT0.2/2	20 台/年	最大电子束能量：0.2MeV； 最大束流强度：10mA	Ⅱ	电子	生产、使用及销售	竖直向下	1#厂房
2		FIT10/25	10 台/年	最大电子束能量：10MeV； 最大束流强度：2.5mA	Ⅱ	电子	使用		2#厂房
3		FIT10/25	1						
4		FIT10/25	1						
5		FIT10/25	1						
6		FIT10/25	1						

五、项目周边保护目标以及场址选址情况

1. 选址及平面布置情况

本项目选址于福建省泉州市惠安县滨海路西南侧福建颐瑞得科技有限公司厂区内，项目地理位置见图 1-1。项目用地属于工业用地，其证明材料详见附件 2。

根据现场踏勘调查，公司厂区目前处于待建状态，厂区东北侧为滨海路；东南侧为规划道路和福建日春事业有限公司厂区；西南侧为阳光村老年人活动中心；西北侧为已有市政道路和泉州市盈泰展示用品有限公司厂区。

公司厂区内主要布置有 1#厂房、2#厂房及门卫室，其中 1#厂房位于厂区内西北侧，2#厂房位于厂区内东南侧，公司周围外环境详见图 1-2。

本次拟建的 2 座工业电子加速器调试机房（生产调试用）均位于 1#厂房内东北角，1#厂房平面布置详见图 1-3 所示。本次拟建的 4 座工业电子加速器机房（辐照加工用）均位于 2#厂房内西南部，2#厂房平面布置详见图 1-4 和图 1-5 所示。

惠安县地图

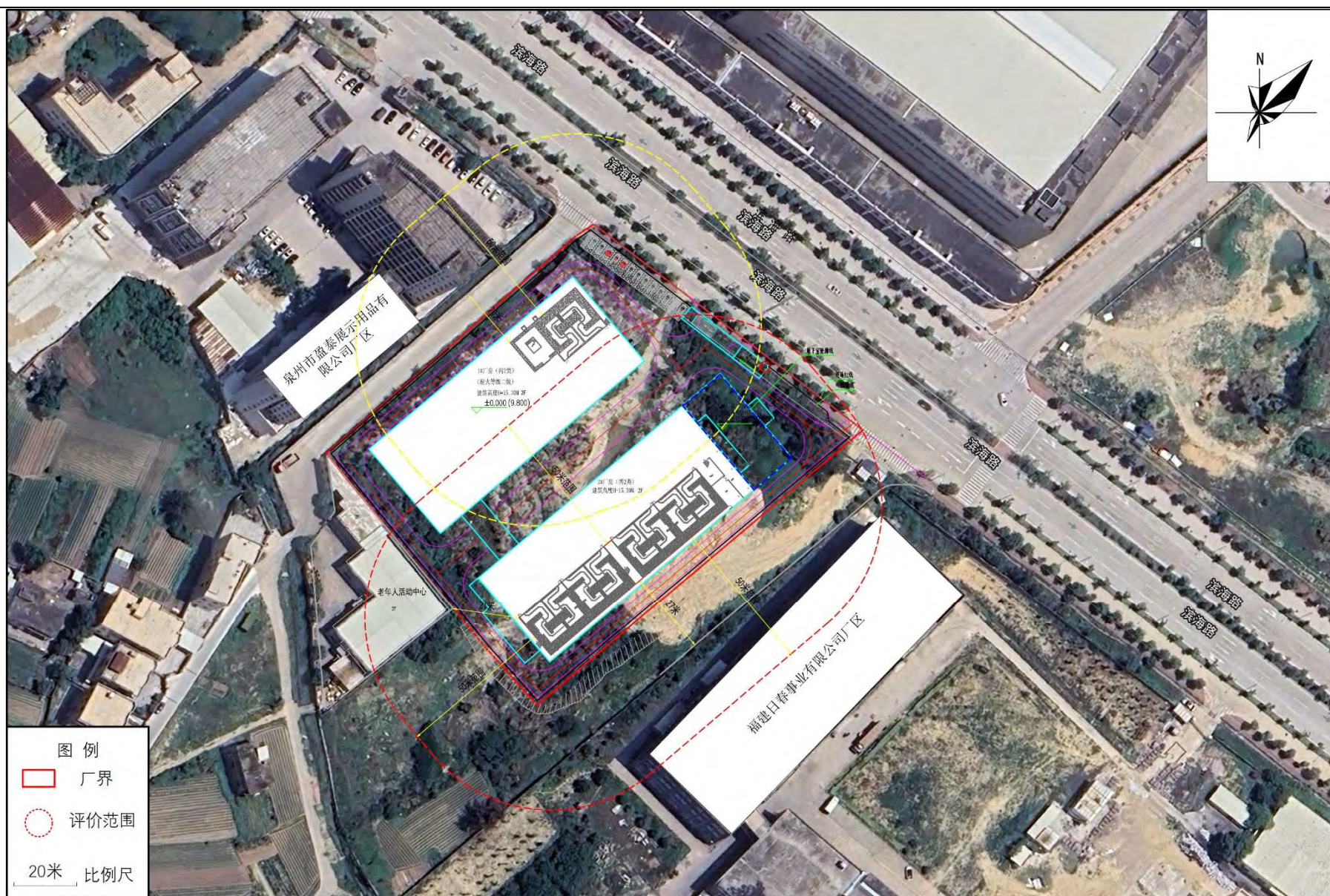
基本要素版



审图号：闽S〔2025〕305号

福建省制图院 编制 福建省自然资源厅 监制

图 1-1 公司地理位置示意图



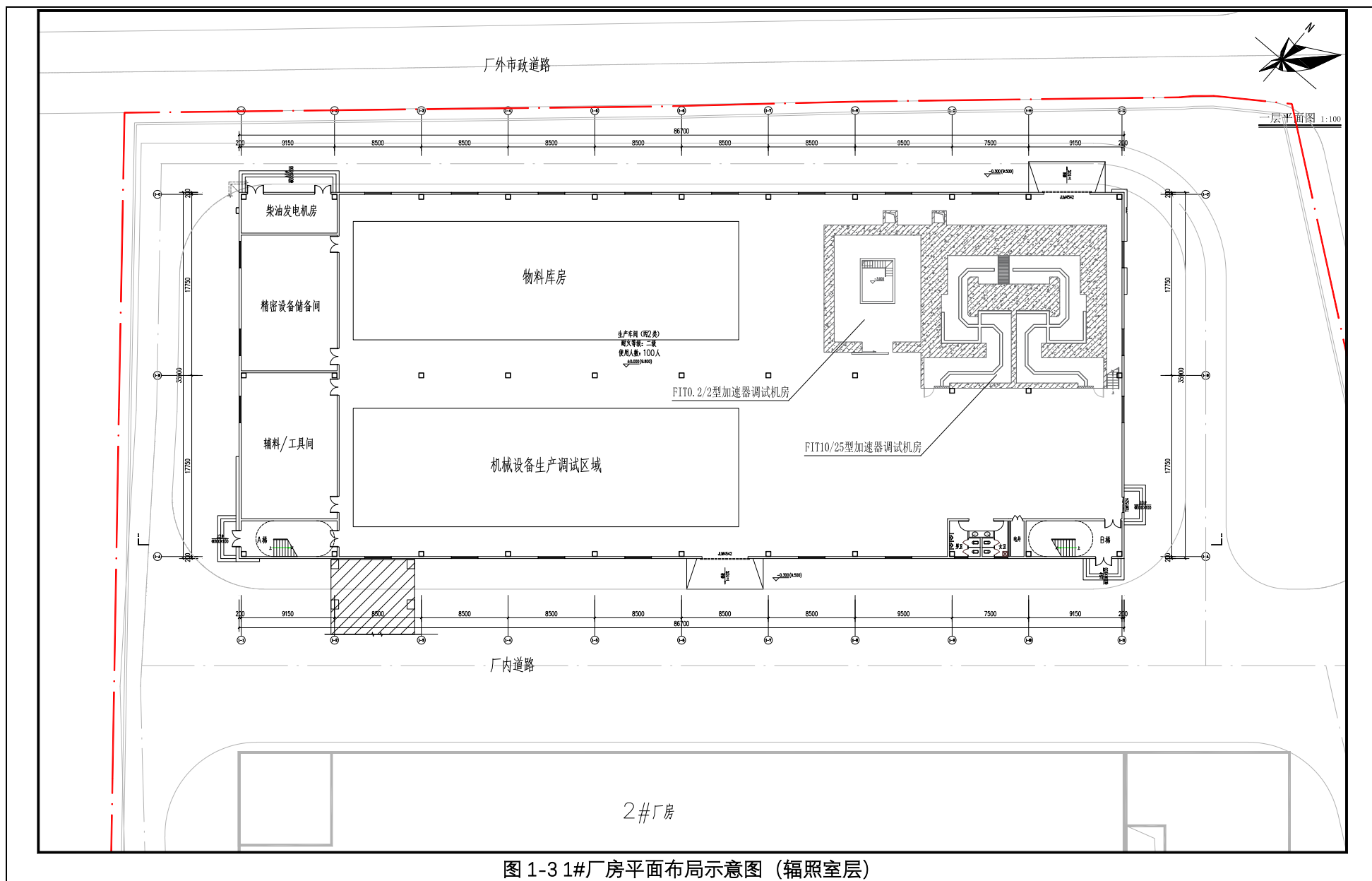


图 1-3 1#厂房平面布局示意图 (辐照室层)

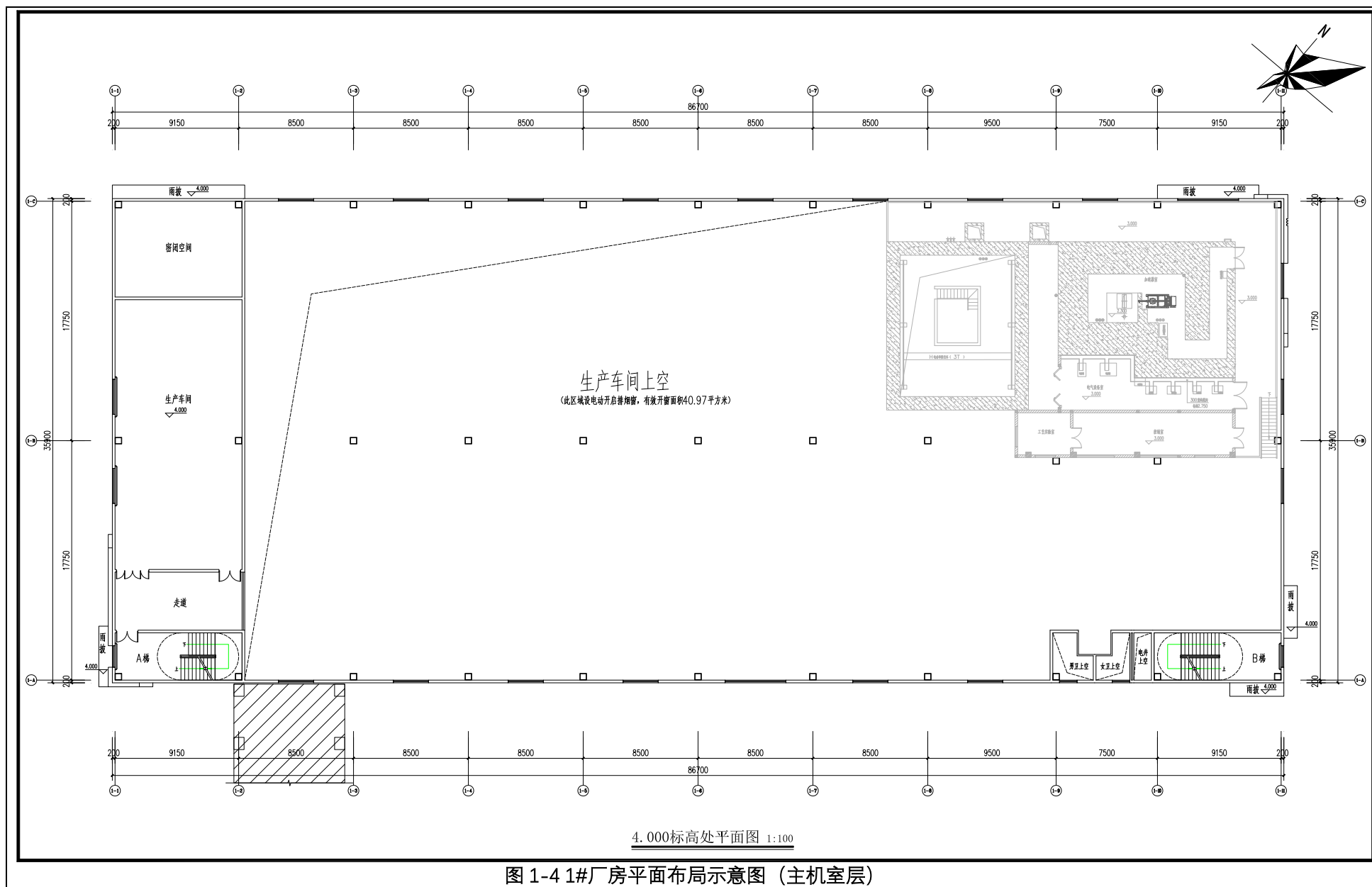


图 1-4 1#厂房平面布局示意图 (主机室层)

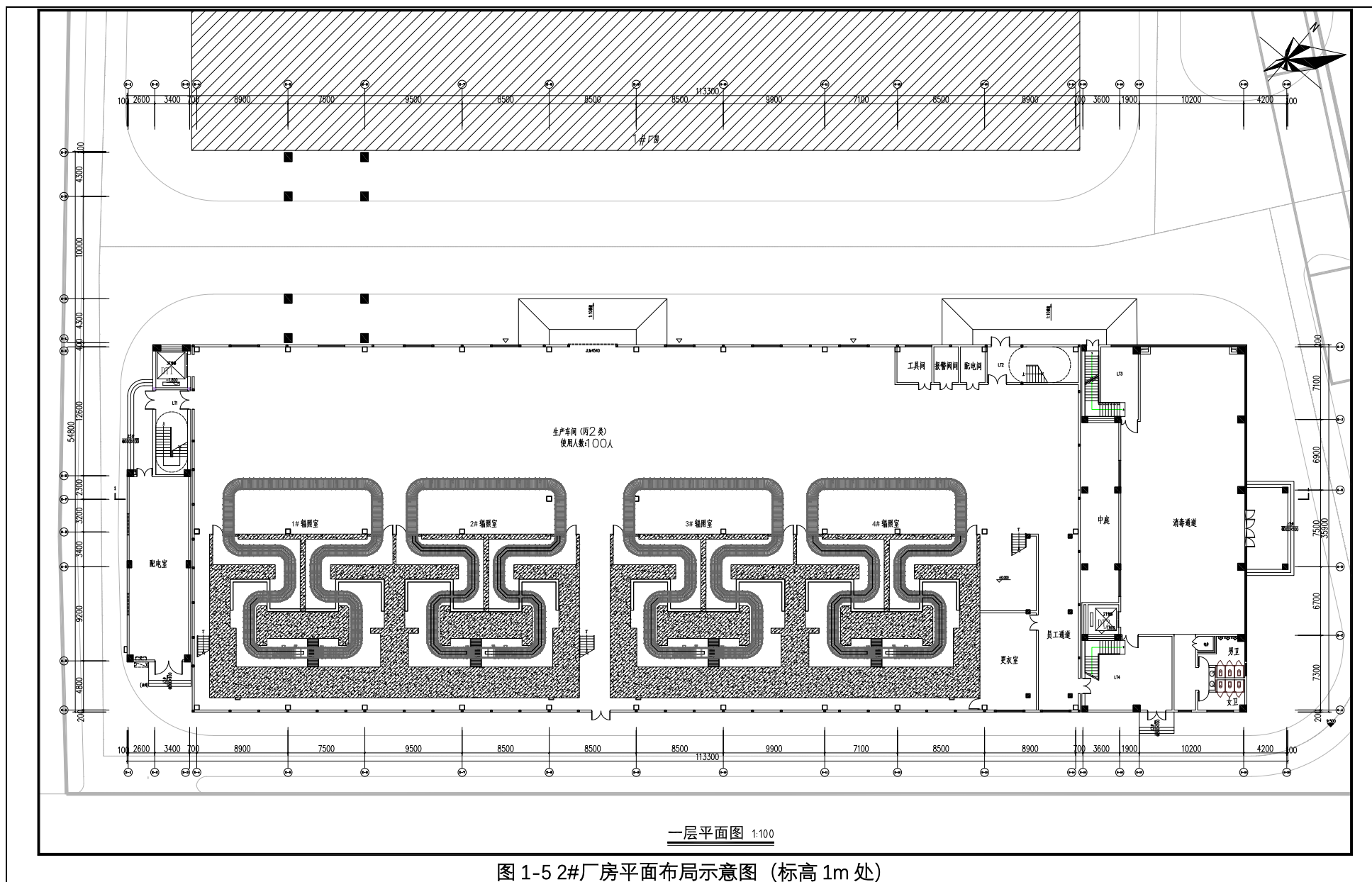
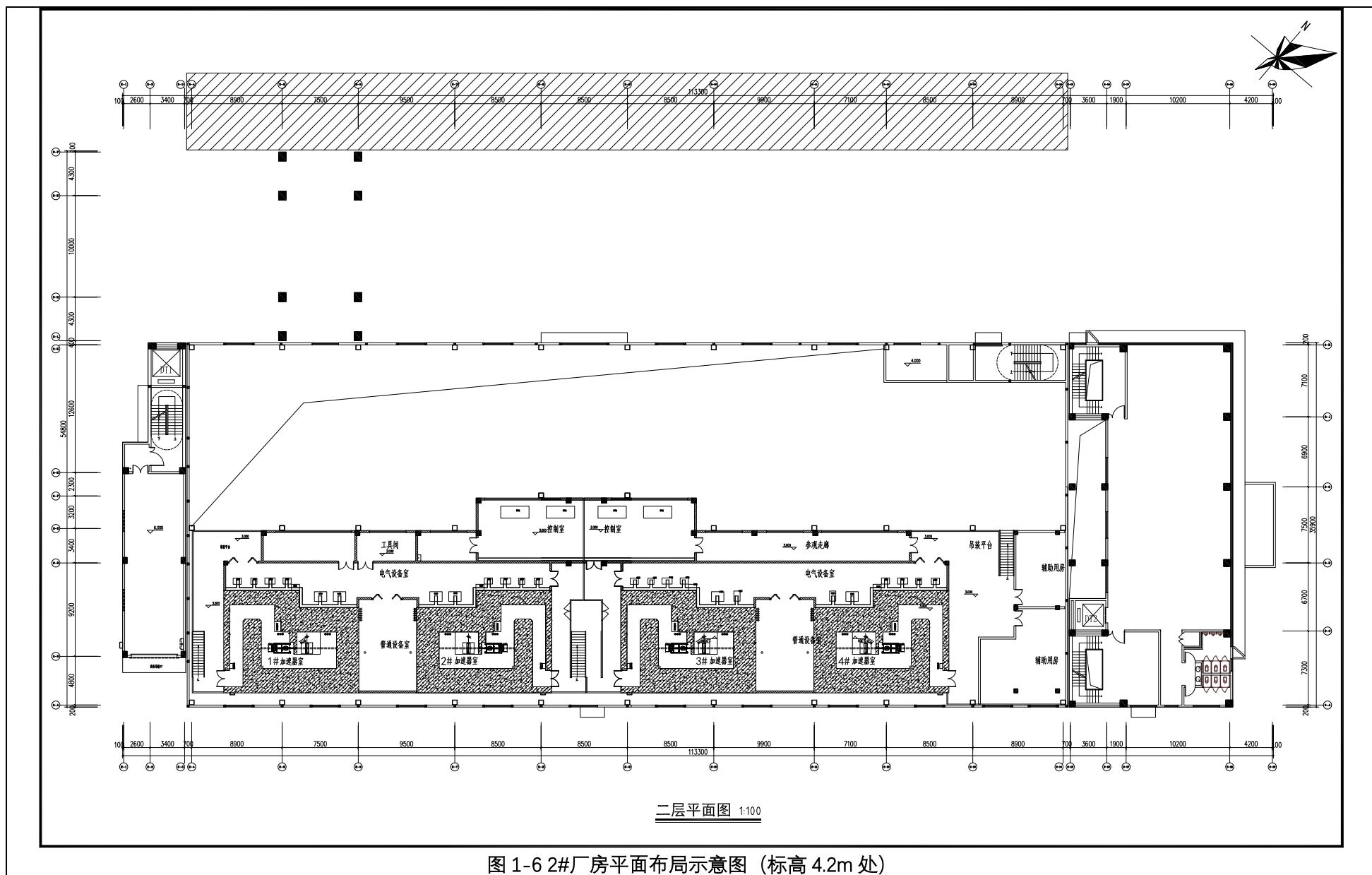


图 1-5 2#厂房平面布局示意图 (标高 1m 处)



2.生态环境分区管控符合性分析

本项目为工业电子加速器建设项目，属于核技术应用项目，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。

通过福建省生态环境分区管控数据应用平台可知项目位于泉州台商投资区（详见附件 3），本工程所在区域涉及陆域生态环境重点管控单元（ZH35054020001），本项目建设与该管控单元空间布局约束、污染物排放管控、环境风险管控、资源开发效率符合性分析对照情况见表 1-2，本项目与泉州市重点管控单元位置关系见图 1-7。



图 1-7 项目所在区域环境管控单元的位置关系图

表 1-2 本项目生态环境准入符合性对照分析清单

类别		对应管控要求	项目对应情况介绍	符合性分析
陆域生态环境管控单元 (ZH35054020001)	空间布局约束	1.区内用地规划以一类、二类用地为主。 2.进一步优化功能布局，居住用地与工业企业交错区域应按照相关要求设置必要的防护距离，避免废气扰民。	根据《产业结构调整指导目录（2024年本）》，本项目属于鼓励类中第六项“核能”的第4条“核技术应用：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项目，本项目不在限制内。	符合
	污染物排放管控	1.落实新增 VOCs 排放总量控制要求。 2.包装印刷业有机废气排放及控制应符合国家和地方相关标准和规范要求。 3.合成革与人造革项目新增二氧化硫、氮氧化物不等主要大气污染物排放量，制革、合成革与人造革、制浆造纸建设项目新增化学需氧量、氨氮等主要水污染物排放量，应落实区域主要污染物排放总量控制要求。 4.加快区内污水管网的建设工程，按市政污水专项规划要求，确保工业企业的废（污）水应收尽收，鼓励企业中水回用。	本项目产生的废水排入污水处理设施处理后排入市政管网。	符合
	环境风险防控	建立健全环境风险防控体系，制定环境风险应急预案，建立完善有效的环境风险防控设施和有效的拦截、降污、导流等措施，防止泄漏物和事故废水污染地表水、地下水和土壤环境。	不涉及	/
	资源开发利用效率	高污染燃料禁燃区内，禁止使用高污染燃料，禁止新建、改建、扩建燃用高污染燃料的设施。	不涉及	/
综上所述，本项目仅为公司厂房内部建设，不新增用地，且拟建辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽防护及采取相应的治理措施后对辐射工作人员及公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的剂量限值要求和本报告表的剂量约束值的要求，从辐射安全防护角度分析，本项目选址是合理的。				

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。同时建设已完成项目的立项，已取得泉州台商投资区管理委员会行政审批服务局的投资备案证明（项目代码：2604-350599-07-01-507151，详见附件 4）。

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

本项目为福建颐瑞得科技有限公司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	20 台/年	FIT0.2/2	电子	0.2MeV	最大束流强度 10mA	生产、使用 及销售	1#厂房	本次环评
2	工业电子加速器	II	10 台/年	FIT10/25	电子	10MeV	最大束流强度 2.5mA	生产、使用 及销售	1#厂房	本次环评
3	工业电子加速器	II	1 台	FIT10/25	电子	10MeV	最大束流强度 2.5mA	辐照加工	2#厂房 1#加速器机房	本次环评
4	工业电子加速器	II	1 台	FIT10/25	电子	10MeV	最大束流强度 2.5mA	辐照加工	2#厂房 2#加速器机房	本次环评
5	工业电子加速器	II	1 台	FIT10/25	电子	10MeV	最大束流强度 2.5mA	辐照加工	2#厂房 3#加速器机房	本次环评
6	工业电子加速器	II	1 台	FIT10/25	电子	10MeV	最大束流强度 2.5mA	辐照加工	2#厂房 4#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
臭氧和氮氧化物	气体	/	/	/	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境， 臭氧常温下可自行分解为氧气，对环境 影响较小

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/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

法规文件	(1) 《中华人民共和国生态环境法典》，2026年8月15日起施行； (2) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第449号，2005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； (3) 《建设项目环境保护管理条例》，（2017年修订版），国务院令第682号，2017年10月1日发布施行； (4) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令第20号，2021年1月4日起施行； (5) 《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； (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第18号，2011年5月1日起施行； (7) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，国家环境保护总局文件，环发〔2006〕145 号文； (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日起施行； (9) 福建省环保厅关于印发《核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲（试行）》的通知（闽环保辐射〔2013〕10 号）。
技术标准	(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； (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）； (3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； (4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； (5) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； (6) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）； (7) 《γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ/T 141-2002）； (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）；

	(9) 《粒子加速器辐射安全与防护规定》(GB 5172-2025)； (10) 《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》(GBZ 2.1-2019)。
其他	(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； (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； (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； (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； (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； (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； (7) 项目委托书； (8) 建设单位提供的与本项目相关资料。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

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：放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”，确定为本次新建工业电子加速器机房实体屏蔽体外周边 50m 范围内作为评价范围，详见图 1-3。

保护目标

本项目 50m 评价范围涉及厂区围墙外的公众，50m 评价范围内无居民区、无学校等环境敏感点。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。

表 7-1 本项目评价范围内辐射环境保护目标一览表

保护目标具体位置及方位		保护目标类别	最近距离	规模	保护要求
1# 厂 房	调试机房控制室	辐射工作人员	/	22 人	职业照射
	1#厂房 3 层（上方）生产车间其他工作人员	厂区内公众	约 3m	约 100 人	公众照射
	1#厂房内其他工作人员		约 3m	约 20 人	
	厂区外西北侧泉州市盈泰展示用品有限公司厂区人员	厂区外公众	约 25m	约 200 人	
2# 厂 房	1~4#控制室	辐射工作人员	/	17 人	职业照射
	2#厂房 3 层（上方）生产车间其他工作人员	厂区内公众	约 3m	约 100 人	公众照射
	西北侧上下货搬运工		约 3m	约 16 人	
	2#厂房内其他工作人员		约 5m	约 20 人	
	东南侧日春事业有限公司厂区人员	厂区外公众	约 30m	约 100 人	
	西南侧阳光村老年人活动中心（闲置）		约 15m	约 5 人	

评价标准

一、辐射环境评价标准

1.《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值（摘录部分）

对象	要求
职业照射	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值：

剂量限值	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《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）内容如下：

“4.2.1 辐射防护原则

.....

（3）个人剂量约束

辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量限值应满足 GB 18871 的要求。

在电子加速器辐照装置的工程设计中，辐射防护的剂量约束值规定为：

a) 辐射工作人员个人年有效剂量为 5mSv；

b) 公众成员个人年有效剂量为 0.1mSv。

4.2.2 辐射屏蔽设计依据

电子加速器辐照装置的屏蔽设计必须以加速器的最高能量和最大束流强度为依据。

电子加速器辐照装置外人员可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 2.5μSv/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。”

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年有效剂量约束值为 5mSv，建设单位保守按照 HJ 979-2018 标准执行，即辐射工作人员年有效剂量约束值为 5mSv。

（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 中规定公众成员年有效剂量约束值为 0.1mSv，建设单位保守按照 HJ 979-2018 标准执行，即公众年有效剂量约束值为 0.1mSv。

2.工作场所外周围剂量当量率

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）“4.2.2 辐射屏蔽设计依据”，本项目电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处以及外区域周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h。

3.工作场所臭氧控制水平

根据《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T 25306-2010）及《工作场所所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）规定，工作场所空气中臭氧最高容许浓度为 0.3mg/m³。

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 (一) 公司厂区外环境关系 本项目选址于福建省泉州市惠安县滨海路西南侧福建颐瑞得科技有限公司厂区内，项目地理位置见图 1-1。根据现场踏勘调查，公司厂区目前处于待建状态，厂区东北侧为滨海路；东南侧为规划道路和福建日春事业有限公司厂区；西南侧为阳光村老年人活动中心；西北侧为已有市政道路和泉州市盈泰展示用品有限公司厂区。公司厂区拟建址外环境现场照片如图 8-1~图 8-4 所示。 公司厂区内主要布置有 1#厂房、2#厂房及门卫室，其中 1#厂房位于厂区内西北侧，2#厂房位于厂区内东南侧，公司周围外环境详见图 1-2。 本次拟建的 2 座工业电子加速器调试机房（生产调试用）均位于 1#厂房内东北角，1#厂房平面布置详见图 1-3 所示。本次拟建的 4 座工业电子加速器机房（辐照加工用）均位于 2#厂房内西南部，2#厂房平面布置详见图 1-4 和图 1-5 所示。



图 8-1 公司厂址拟建址东南侧



图 8-2 公司厂址拟建址西南侧



图 8-3 公司厂址拟建址西北侧



图 8-4 公司厂址拟建址东北侧

（二）辐射工作场所外环境关系

1.1#厂房内部平面布置

本次拟建的 2 座加速器调试机房均位于 1#厂房东北部，1#厂房东北侧、西南侧及西北侧均为厂区内道路，东南侧为厂区内道路和 2#厂房。本次拟建的 2 座加速器调试机房并排布置，机房旁主要布置有物料库房和机械设备生产调试区域等，上方为 1#厂房生产车间。

2.2#厂房内部平面布置

本次拟建的 4 座工业电子加速器机房均位于 2#厂房东南侧，2#厂房四周均为厂区内道路，北侧为 1#厂房。本次拟建的 4 座加速器调试机房并排布置，机房旁主要布置有货物未辐照区和已辐照区，上方为 2#厂房生产车间。

二、辐射环境现状评价

本项目为Ⅱ类射线装置应用项目，主要的污染因子为电离辐射，对环境空气、地表水及地下水影响较小，因此本次评价未对区域环境空气质量、地表水和地下水环境质量进行监测评价，重点对评价区域开展了辐射环境现状监测。

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 2026 年 5 月 20 日按照标准规范对本次拟建址及周边环境进行了环境 γ 辐射剂量率的布点监测，监测报告见附件 5。

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）。为了更好地反映实际情况，本项目的环境监测选取环境 γ 辐射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
环境 γ 辐射剂量率	《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

本次根据现场踏勘并结合《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中的方法布设监测点，由于项目现场未开工建设，项目现场处于现状为原野状态，结合项目平面布局及外环境关系，结合周边企业性质，本次选择拟建址处进行网格布点，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见图 8-5。



图 8-5 本项目拟建址监测点位示意图

(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
环境 γ 辐射剂量率	环境监测用 X、 γ 辐射吸收剂量率仪 BG9511	NJRS-221	能量范围：35keV~3MeV 剂量率范围：10nGy/h~600 μ Gy/h 检定证书编号：Y2025-0103723 检定有效期限：2025.10.22-2026.10.21

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。

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 BG9511 型环境监测用 X、 γ 辐射吸收剂量率仪, 该设备在江苏高邮地区的宇宙响应值为 7nGy/h (高邮湖湖面), 因本项目建设地点位于福建省泉州市, 该地区经纬度和海拔等与江苏高邮地区略有差异, 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 7nGy/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。

5.比较标准

项目所在地环境天然贯穿辐射水平参考《中国环境天然放射性水平》(国家环境保护局, 1995) 福建省泉州市自然环境 γ 辐射剂量率调查结果:

表 8-3 福建省泉州市原野、道路、建筑物室内 γ 辐射空气吸收剂量率 (单位: nGy/h)

类别	原野	道路	室内
测值范围	25.9~107.0	40.2~102.3	96.6~193.4
均值±标准差	63.2±19.4 (按点平均)	74.7±17.4	136.6±31.2 (按点平均)

注: 1.测量值已扣除宇宙射线响应值;

2.现状评价时, 以测值范围作为参考值。

6.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 8-4 工业电子加速器机房拟建址及周围环境 γ 辐射剂量率监测结果

测点编号	点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	拟建址 1#点	87±1	原野
2	拟建址 2#点	87±1	原野
3	拟建址 3#点	89±2	原野
4	拟建址 4#点	86±1	原野
5	拟建址 5#点	87±1	原野
6	拟建址 6#点	84±1	原野
7	拟建址 7#点	85±1	原野
8	拟建址 8#点	83±1	原野
9	拟建址 9#点	81±1	原野
10	东侧日春茶叶厂房外侧	86±1	原野
11	南侧阳光村老年人活动中心门口处	88±1	道路
12	西侧泉州市盈泰展示用品有限公司厂房外	87±1	道路

注：测量结果已扣除宇宙射线响应值（7nGy/h）。

由表 8-4 可知，本项目工业电子加速器机房拟建址及周围环境 γ 辐射剂量率原野和道路监测值在（81~89）nGy/h 之间，与福建省泉州市原野和道路 γ 辐射空气吸收剂量率相较，本项目拟建址及其周围辐射环境监测值属于正常本底范围。

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		
福建颐瑞得科技有限公司拟在厂区内 1#厂房内东北部建设 2 座工业电子加速器调试机房，配套建设控制室、电气设备室、管通设备室、工具间等相关辅助用房。用于生产、调试公司自行研发设计的 FIT0.2/2 型工业电子加速器和 FIT10/25 型工业电子加速器，均属于Ⅱ类射线装置。 公司拟在厂区内 2#厂房内西南部建设 4 座工业电子加速器机房，均拟配备由公司自行生产的 FIT10/25 型立式结构工业电子加速器，提供电子束辐照加工项目，新增的 4 台工业电子加速器均属于Ⅱ类射线装置。本项目拟生产、使用及销售的工业电子加速器技术参数见表 9-1。		
表 9-1 本项目拟配备的工业电子加速器技术参数一览表		
型号	FIT0.2/2 型电子加速器	FIT10/25 型电子加速器
最大电子线能量	0.2MeV	10MeV
最大束流强度	10mA	2.5mA
最大束流功率	20kW	25kW
束流损失点的能量	0.06MeV	3MeV
束流损失率	2%（即束流强度为 0.2mA）	2%（即束流强度为 0.05mA）
主射束方向	垂直向下	垂直向下
电子扫描宽度	800mm×160mm	800mm×160mm
钛窗距离辐照物体距离	0.7~1.2m	0.7~1.2m
工作方式	连续	连续
二、电子加速器设备组成		
本次拟生产、使用及销售的 FIT0.2/2 型和 FIT10/25 型电子加速器主机部分由高压电源、电子束流加速系统、扫描（束流）引出系统等组成，辅机部分由真空抽气系统、水冷却循环装置、辐射安全联锁系统、计算机控制系统以及束下装置等组成。 （一）FIT0.2/2 型电子加速器设备组成 电子束流加速系统：由加速管和电子枪组成，加速管是电子在其中成束并被加速的部件，加速管的顶端安装电子枪，电子枪采用盘状电极构成，其长度由加速器的能量决定。 扫描（束流）引出系统：电子束离开加速管后经波纹管后被引出扫描盒。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。

真空抽气系统：真空抽气系统安装在扫描盒下方，由分子泵、直连旋片式真空泵、电磁真空带充气阀、电磁真空截止阀和电阻真空规管等组成。

水冷却/恒温系统（冷水机）：加速器水冷却/恒温系统是用于冷却/恒温电子在加速器工作时关键零部件温度的专用设备。全程采用 PLC 加控制面板方式实现自动控制。并与主控制界面建立通讯，同时能在加速器主控制界面上实现显示、控制及故障报警。

辐射安全联锁系统：为防止在加速器开机时发生辐射伤害事故，加速器设置了多重安全联锁保护，包含紧急停止按钮、声光报警装置、剂量探头等设施。

FIT0.2/2 型电子帘加速器的系统结构示意图如图 9-1 所示。

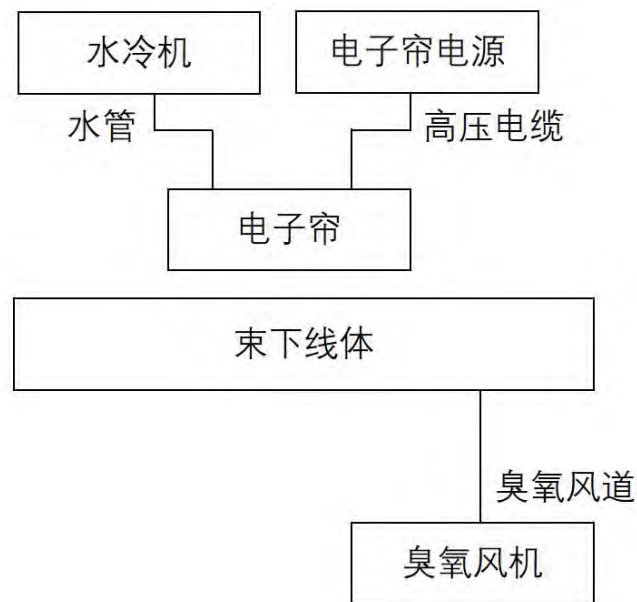
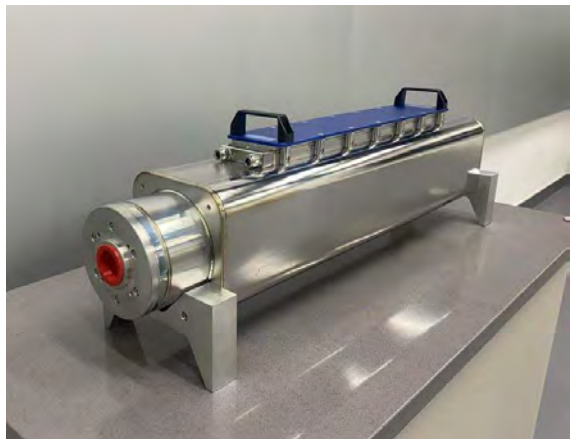
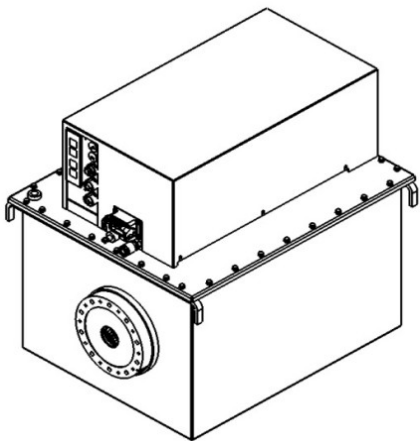


图 9-1 FIT0.2/2 型电子加速器系统结构示意图



电子束灯管



高压电源

图 9-2 FIT0.2/2 型电子加速器部分结构组件实物图或示意图

（二）FIT10/25 型电子加速器设备组成

FIT10/25 电子加速器主要应用于辐照加工系统，该加速器产生电子束的能量为 10MeV，最大平均束流为 2.5mA，电子束最大束流功率为 25KW。该加速器主要由加速管机头、大功率脉冲变压器与速调管、综合电源柜和开关柜、水冷机组以及它们之间相互连接的水管及电缆等组成。本次拟生产使用的 FIT10/25 型电子加速器其系统原理如图 9-3 所示。

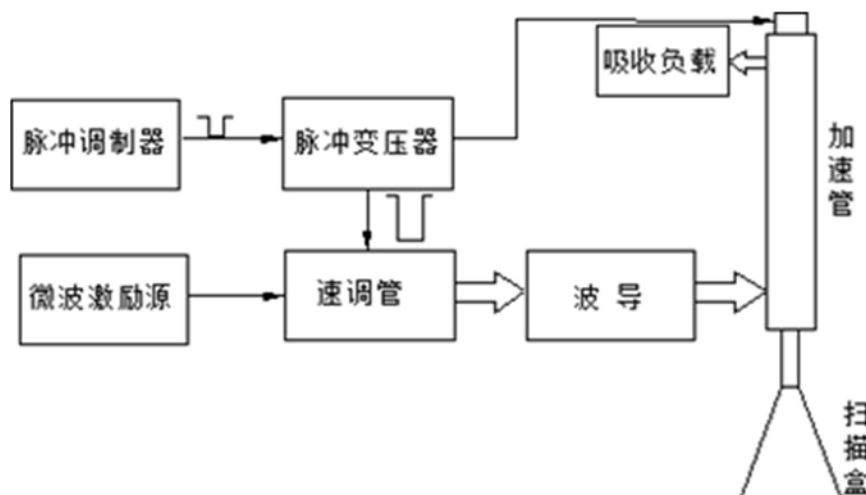


图 9-3 FIT10/25 型电子加速器系统原理图

加速器各分支系统介绍如下：

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

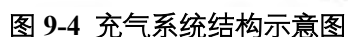
为了使电子枪能够发射电子，而且电子能够在加速管中沿轴线加速，加速管内必须是真空状态。电子枪阴极表面材料在高温（工作时 1050°C ）状态下很容易受气体污染而中毒，中毒则丧失电子发射能力，所以电子枪对真空的要求优于 10^{-5}Pa 。如果加速管的真空度提高一个量级，可以使电子枪寿命成倍增加。加速管内部微波电场的强度高达 $2\times 10^5\text{V/cm}$ ，必须通过高真空来保障不会出现打火击穿；另一方面，电子束流在加速时必须处于高真空中，不然就会与气体粒子碰撞而损失掉，所以加速管对真空的要求优于 10^{-5}Pa 。漂移段和扫描盒主要是用作电子束流的通道及引出装置，其真空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（ SF_6 ）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，这时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没掉，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（ SF_6 ）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： SF_6 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 9-4 所示。



5.水冷分配系统

6. 货物传送系统

本项目辐照室迷道入口处尺寸为：宽 2.2m×高 2.4m，其迷道两侧分别设置有人员进出门及货物传送系统传送通道，其中人员进出门尺寸均为宽 0.8m×高 2.1m，该门与加速器设备之间设有门机联锁；传送通道出入口尺寸为：宽 1.3m×高 1.2m，传送带宽 1.0m×高 0.7m，传送带上方预留 0.5m 高的货物进出口，该货物传送带出入口设计紧

凑，在满足辐照货物出入的要求下，又保证正常情况下人员无法通过传送带进入辐照室，并且货物传送带出入口上方拟设置工作状态指示灯，两侧拟设置当心电离辐射警告标志，阻止人员靠近。

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 9-5 所示：

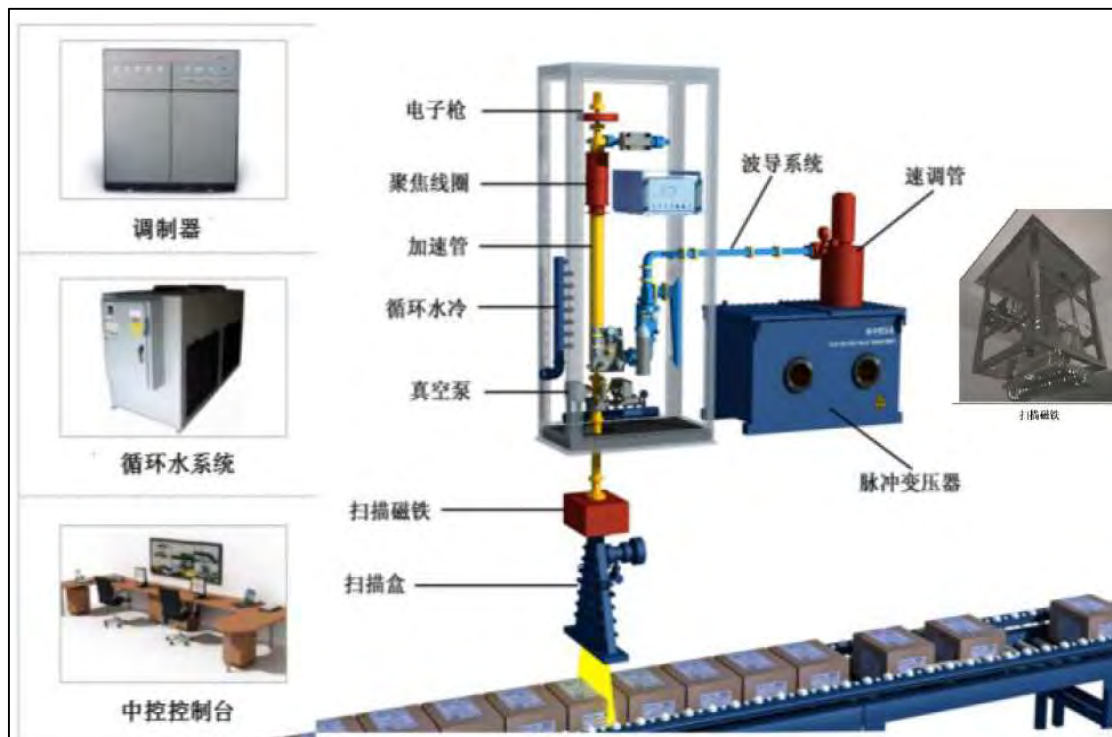


图 9-5 工业电子加速器组成示意图

三、工作原理

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，是人工产生各种高能电子束的设备。

辐射加工技术是利用电离辐射与物质相互作用产生的物理学、化学和生物学效应对物质和材料进行加工处理的一种核技术。辐射加工是一种高效的加工技术，具有穿透性强、可在常温下进行、节能、无残毒、无废物、易于控制等特点，因而在传统行业改造，功能材料开发，实现微细加工及三废处理中都具有重要作用，其应用具有重大的经济效益和社会效益。

电子束辐照加工，主要用于物品的灭菌消毒、食品保鲜以及高分子材料的改性。高分子材料的改性是指高分子被辐照时发生辐射交联反应而改变性质，提高被辐照产品的隔热性、耐低温性、耐老化性等，最终提高被辐照产品的整体技术指标。

四、工艺流程及产污环节

（一）生产、使用及销售部分

接到客户订单后，公司订购高压电源和电子束灯管等装配部件，并对各部件进行组装，组装完成后进行电子加速器设备的调试，调试达预定值后外售给使用方，公司还负责电子加速器的售后调试和维修服务工作。

1.生产环节

公司根据客户订单及需求在公司 1#厂房内生产组装公司研发的工业电子加速器装置。公司生产调试（使用）工业电子加速器过程中，主要涉及主控系统、加速器主机、辅机系统、调制器系统的装配、调试、包装等作业程序，以及装配后的设备调试。

2.调试环节

本项目工业电子加速器在组装完成达到调试条件后，公司借助工具如叉车、行吊将组装完成的设备部件转运至调试车间的各调试机房内进行相关调试作业。

公司按照作业程序开展调试，主要调试流程为各检测参数校验及标定→安全联锁测试→各模块如高压电源及电子枪的参数检测→系统功能测试→连续运行系统稳定性检测。

主要调试流程如下：

- ①首先调试设备控制系统（调试过程中高压电源主回路是断开）运行是否正常；
- ②调试系统与电源的通信系统、以及对束下系统的控制；
- ③采用模拟信号对设备各个安全联锁的控制系统进行检测、排除异常；
- ④所有控制系统，联锁装置调试无异常后，可以开始对设备进行正式调试；

⑤设备调试及射线泄漏监测调试前除确保整个安全联锁系统正常外，还需人工确认设备内唯一可以开合的屏蔽门处于关闭状态，系统程序中门的控制处于无法打开状态（确保射线防护安全）。

整机调试过程中会首先进行低功率短时间的出束测试，验证各系统之间的联锁情况，调试和测试系统的功能。在达到预期的调试效果后和最终交付客户之前，设备会进行一次老化实验，实验过程设备会进行大功率连续运行。

3.设备拆包及打包（销售环节）

本项目生产的工业电子加速器设备尺寸较大，不便于长途运输，且运输过程中不能保证设备性能，因此公司生产、调试（使用）后的工业电子加速器均需要拆解重新

包装后，运输到客户厂房内再进行安装和调试。

4.客户厂区设备组装、调试、维修流程（售后及维修维护）

工业电子加速器在客户厂区内组装完成，满足通电条件后，需要公司调试人员再次对射线装置进行调试，经过调试并能够稳定运行后，设备交付客户。

在设备交付客户后，设备在客户厂区内使用一段时间后，可能出现设备故障需要维修，公司安排维修调试人员到客户厂区内进行维修。维修涉及的设备拆卸、组装和调试与上述流程相同。详细生产工艺如图 9-6 所示，运营期工艺流程及产污环节如图 9-7 所示。

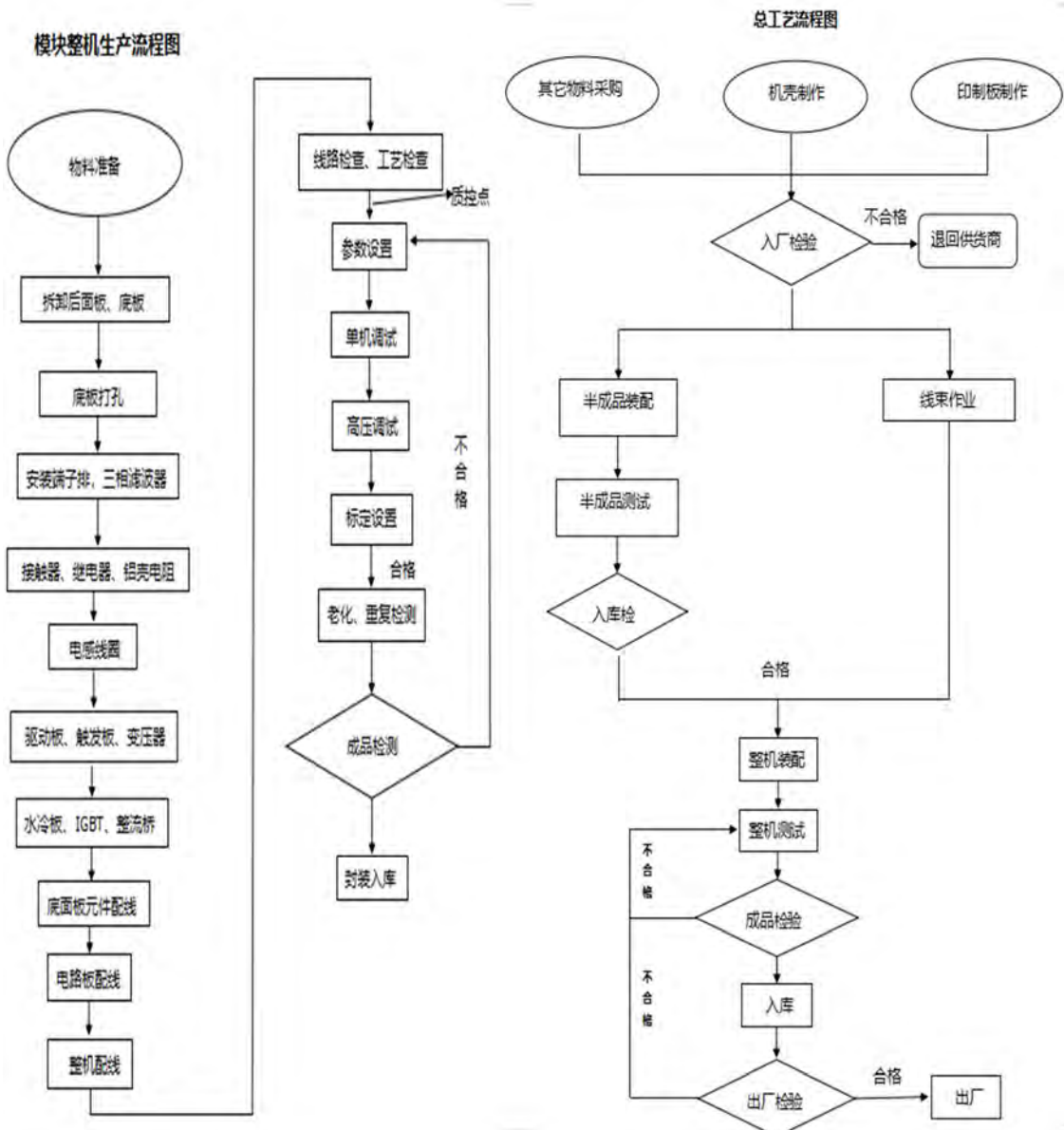


图 9-6 生产、销售和使用工业电子加速器总体流程

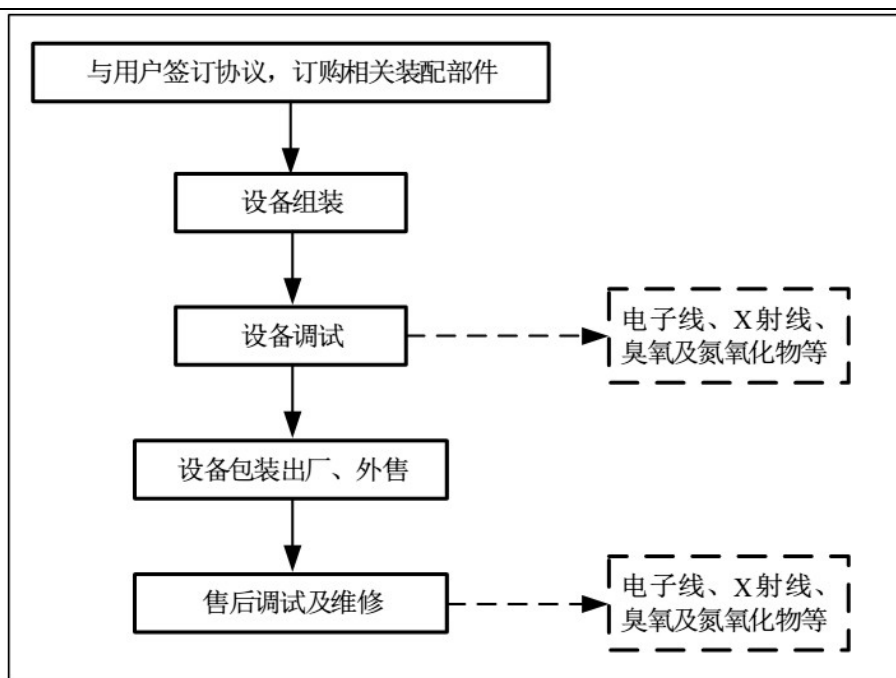


图 9-7 生产、销售及使用工业电子加速器工作流程和主要产污环节示意图

(二) 辐照加工部分

2#厂房内的工业电子加速器主要为客户提供发泡材料和高分子聚合物辐照加工。

本项目辐照加工工作流程包括：

- 1.产品检验，辐照前对辐照对象按规定程序进行质量检查，检查是否符合辐照要求；
- 2.制定辐照方案，根据辐照对象存在问题和辐照目的，以及辐照对象特征和工艺参数等指标确定辐照剂量率和辐照时间；
- 3.开机前准备，对现场和辐照装置进行安全检查，核查一层区域是否有无关人员逗留，核查工业电子加速器系统状态，确认设备有无异常。并通过巡检和监控系统确认所有人员已撤出辐照室和主机室，并确认辐照室的通风系统和其他辐射安全措施都正常投入工作；
- 4.开机预热，设备自检，确认所有辅助系统运行正常，调整束下传输装置传输速度；
- 5.辐射工作人员确认各项安全措施无异常，并通过视频监控系统再次查看辐照室和主机室室内情况，确保无人逗留，设置运行参数，启动辐照装置；
- 6.装卸货工人将待辐照产品搬运至传送带上，货物自动经运输轨道及迷道进入辐照室；货物经传输系统传输至辐照区域，经辐照后，自迷道另一侧出口传出辐照室，完成一轮辐照工作。

本项目正常情况下，工业电子加速器设备停机后重新启动时需要工作人员进入辐照室和主机室内进行巡查。在对产品进行辐照过程中，辐射工作人员只需在控制室内密切关注相关仪表的参数，无需进入辐照室和主机室进行任何操作。

本项目工业电子加速器辐照加工工作流程和主要产污环节如图 9-8 所示。

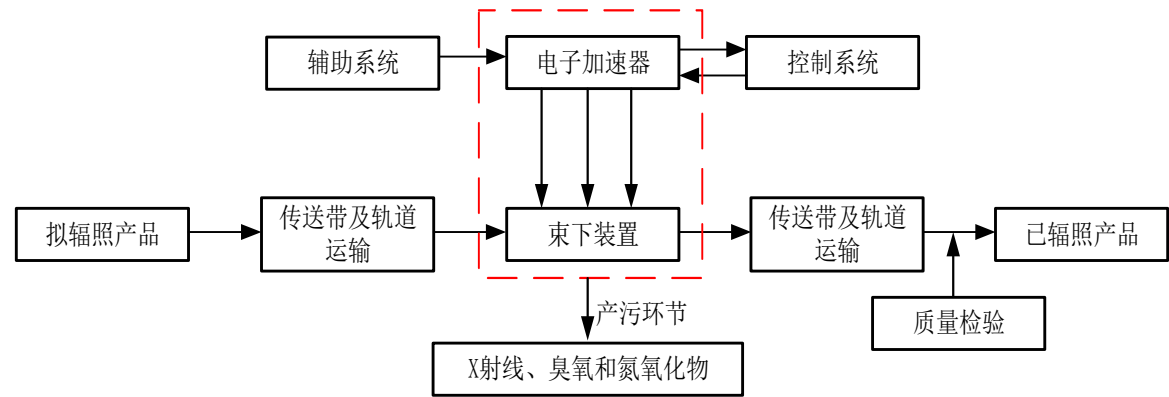


图 9-8 工业电子加速器辐照加工的工艺流程和主要产污环节示意图

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 9-8 可知，本项目所使用工业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、臭氧、氮氧化物及排风机等产生的噪声。

（四）设备工况及人员配置

1.生产调试和销售部分

FIT0.2/2 型工业电子加速器预计年最大生产、销售及使用时约 20 台，FIT10/25 型工业电子加速器预计年最大生产、销售及使用时约 10 台。

工业电子加速器在车间内调试时先进行低压调试，频次约 1 次/台，每次出束不超过 8h/台。然后进行高压微波老化测试，其中 FIT0.2/2 型工业电子加速器约 1 次/台，FIT10/25 型工业电子加速器约 3 次/台，单次出束不超过 8h。

最后，设备出厂前需要进行一次老化试验，其中 FIT0.2/2 型工业电子加速器约 5 次/台，FIT10/25 型工业电子加速器约 8 次/台，单次老化试验出束时长约 8h，故单台工业电子加速器进行调试总出束时间为 100h。故 FIT0.2/2 型工业电子加速器总调试时长约为 1120h/a，FIT10/25 型工业电子加速器总调试时长约为 960h/a。调试加速器项目拟配置 22 名辐射工作，其中包括 2 名辐射安全管理人员和 20 名调试人员，20 名调试人员均参与电子束加速器和功率加速器的调试工作。

2.辐照加工部分

根据建设单位初步规划，单台工业电子加速器每天运行 2 班，每班 8h，单台加速器年工作 250 天，则单台设备年最大出束时间约为 4000h，4 台加速器辐照装置可同时运行。

本项目拟配 17 名辐射工作人员，其中包含 2 名辐射安全管理人员（与调试加速器项目的辐射安全管理人员共用）和 15 名设备操作人员，分为 3 个班组，每组 5 人。每台加速器单班均拟配备 4 名操作人员，每班组配备 1 名值班长，即每班组共计 5 名辐射工作人员。单名人员年工作时间不超过 1333.3h。

辐照加工全过程，操作人员在控制室内设置并监控加速器运行参数和运行情况、在机房周围巡视，属于本项目辐射工作人员；每台加速器单班均拟配备一定数量的上下货及搬运工作人员，而上下货及搬运工作人员仅在链式传送带旁的上货区、下货区、翻面区工作并从事货物搬运工作，且在工业电子加速器机房南侧上下货区域设置有实体栅栏可防止搬运工进入靠近辐照室出入口处，因此搬运工不进入控制区（辐照室、主机室）和监督区（控制室、工具间、管通设备室等），不从事辐射工作，属于本项目其他工作人员。

污染源项描述

一、施工期污染源

（一）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。

（二）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，一是机房的建设及墙体装修扬尘；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。

（三）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及装饰材料等建筑垃圾。

（三）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

（一）电离辐射

本项目拟生产、使用和销售的工业电子加速器涉及 2 种型号分别为 FIT0.2/2 型工业电子加速器（电子线最大能量为 0.2MeV，最大束流为 10mA，功率为 2kW）和 FIT10/25 型工业电子加速器（电子线最大能量为 10MeV，最大束流为 2.5mA，功率为 25kW），均属于Ⅱ类射线装置。

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。

本项目使用的电子加速器能量最大为 10MeV，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018），不需要考虑所产生的中子防护问题。

（二）非辐射三废

1.固体废物

本项目产生的固体废物主要为包装废物、废弃电子元器件、废设备零部件、生活垃圾等。其中，废电子元器件年最大产生量约 50kg、废有机溶剂年最大产生量约 5kg，均为危险废物，经分类收集后在危险废物暂存间内暂存，交由有资质的单位回收处理；废设备零部件、包装材料等按一般固废处理，生活垃圾分类收集后由市政环卫部门统一清运。对运营过程中不合格的产品进行重新辐照后仍然不合格的，由客户回收处理。

2.废气

本项目产生的废气主要是臭氧、氮氧化物等。

本项目射线装置在出束过程中，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。

因本项目结构及零部件均通过委外加工和采购成品，不涉及表面喷涂，在设备组装完成后，建设单位仅需要对设备机体表面沾污部分采用乙醇、丙酮进行简单清洗擦拭，会产生少量挥发性有机物。本项目使用的清洗擦拭的有机溶剂量较少，因此对周围环境的影响较小。

3.废水

本项目产生的废水主要为生活污水和冷却废水，冷却水循环使用不外排，生活污水依托厂区拟建的污水处理设施处理。

加速器冷却水循环系统：加速器开机工作时，机器内部产生大量的热量，通过双循环冷却水进行冷却。本项目加速器冷却系统使用冷却水循环使用，不外排，损失主要为自然蒸发。

在检修期间，根据设备厂家判定如需对冷却系统进行维修时，会将冷却水进行收集重复使用。

4.噪声

本项目运行时产生噪声主要有风机、真空系统、高压系统等，建设单位拟使用的风机为低噪声节能排风机，采取基础减振等措施，且本项目属于规划的工业用地，并经建筑物墙体隔声及公司场址内的距离衰减后，本项目所在单位厂界噪声能够满足限值的要求。

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 福建颐瑞得科技有限公司生产、使用及销售工业电子加速器项目选址于福建省泉州台商投资区管委会东园镇滨海路西南厂区内，公司拟于厂区内 1#厂房（在建）内东北部建设 2 座工业电子加速器调试机房，配套建设控制室、电气设备室、管通设备室、工具间等相关辅助用房。拟在厂区内 2#厂房（在建）内西南部建设 4 座工业电子加速器机房，配套建设控制室、电气设备室、管通设备室、工具间、未辐照产品堆放区和已辐照产品堆放区等相关辅助用房。项目建成后可开展发泡材料交联和高分子聚合物改性等技术服务。 厂区内 1#厂房主要开展工业电子加速器的生产和调试工作，2#厂房内主要开展辐照加工活动，各自独立。 1#厂房内的电子帘加速器调试机房为一层结构，大功率加速器调试机房分为主机室和辐照室，电子加速器调试期间，加速器操作人员在控制室内设置并监控加速器运行参数和运行情况、在机房周围巡视，加速器出束调试时，辐照室及主机室内均无人员停留。 2#厂房内的 4 座工业电子加速器机房均为地上两层混凝土结构，一层均包括辐照室、辐照输送系统（即从迷道自动进出的货物链式传送带），二层均包括主机室、控制室、电气设备室、管通设备室、工具间、吊装平台，辐照室、主机室和控制室等辅房均分开设置，电子加速器工作时，加速器操作人员在控制室内设置并监控加速器运行参数和运行情况、在机房周围巡视，每班指定一人为运行值班长，掌控主机钥匙；上下货及搬运工作人员仅在链式传送带旁的上货区、下货区、翻面区工作并从事货物搬运工作，不从事辐射工作。加速器出束时，辐照室及主机室内均无人员停留。 综上，电子加速器机房东北侧以仓储为主，并且避开了人员密集的办公区人员，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。因此，本项目拟建址避开了人员密集区域，或人员流动性大的区域，选址及平面布局合理。工业电子加速器机

房平面布局详见图 1-3 至图 1-6。

（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。

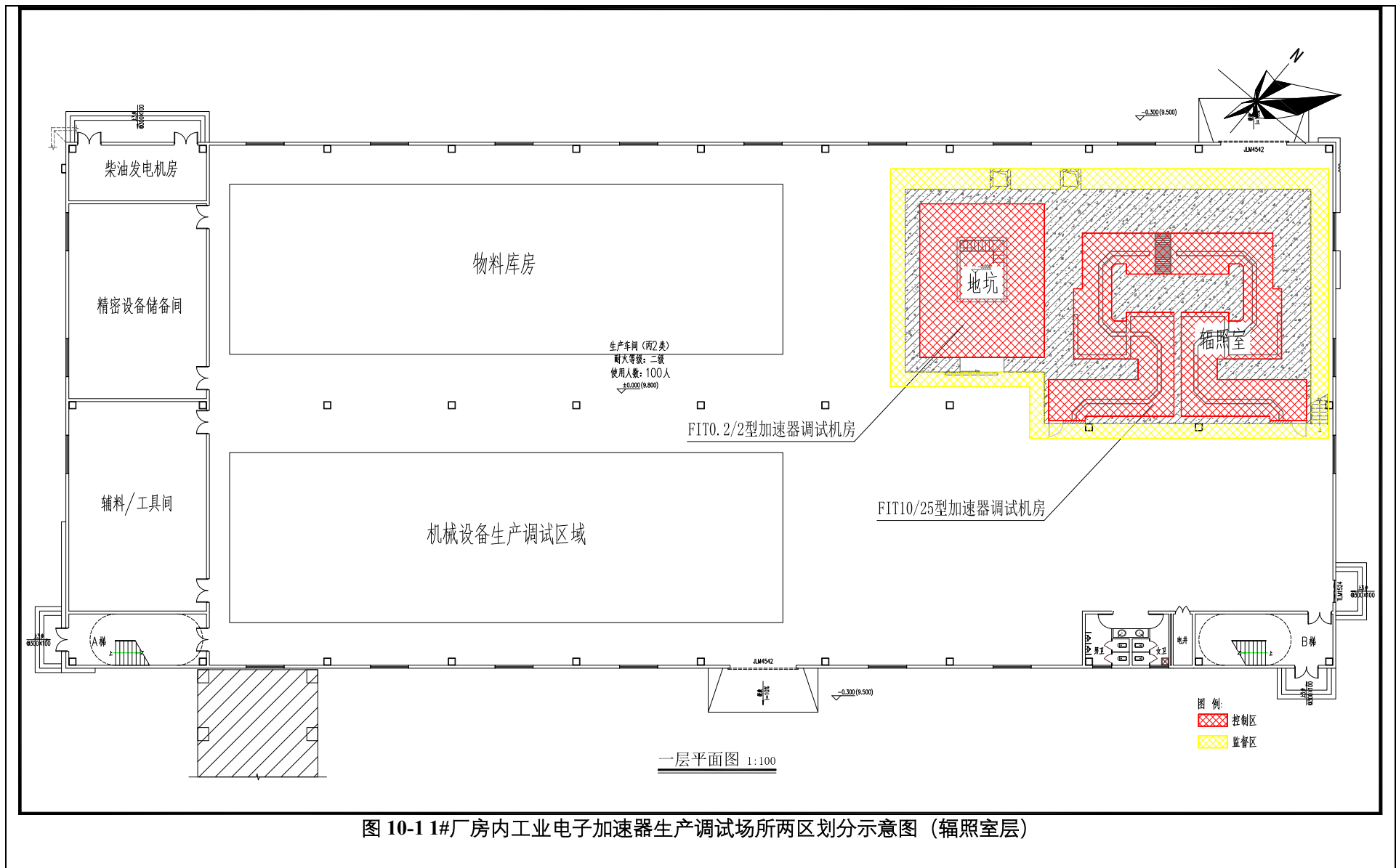
2.区域划分

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：本项目划定工业电子加速器机房辐照室（含迷道）、主机室（含迷道）为控制区，出束过程中严禁任何人员进入；划定一层迷道外货物运输系统区域、一层二层连接楼梯、二层除主机室外其他区域为监督区，禁止非辐射工作人员进入。

本项目控制区和监督区划分情况见表 10-1，并在图 10-1 和图 10-2 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#厂房	电子帘加速器调试机房、大功率加速器调试机房的辐照室和主机室	控制室、工具间、管通设备室、吊装平台、电气设备室、屏蔽墙体外 30cm 范围内等
2#厂房	辐照室（含迷道）、主机室（含迷道）	控制室、工具间、管通设备室、吊装平台、电气设备室、装卸货区域及屏蔽墙体外 30cm 范围内等



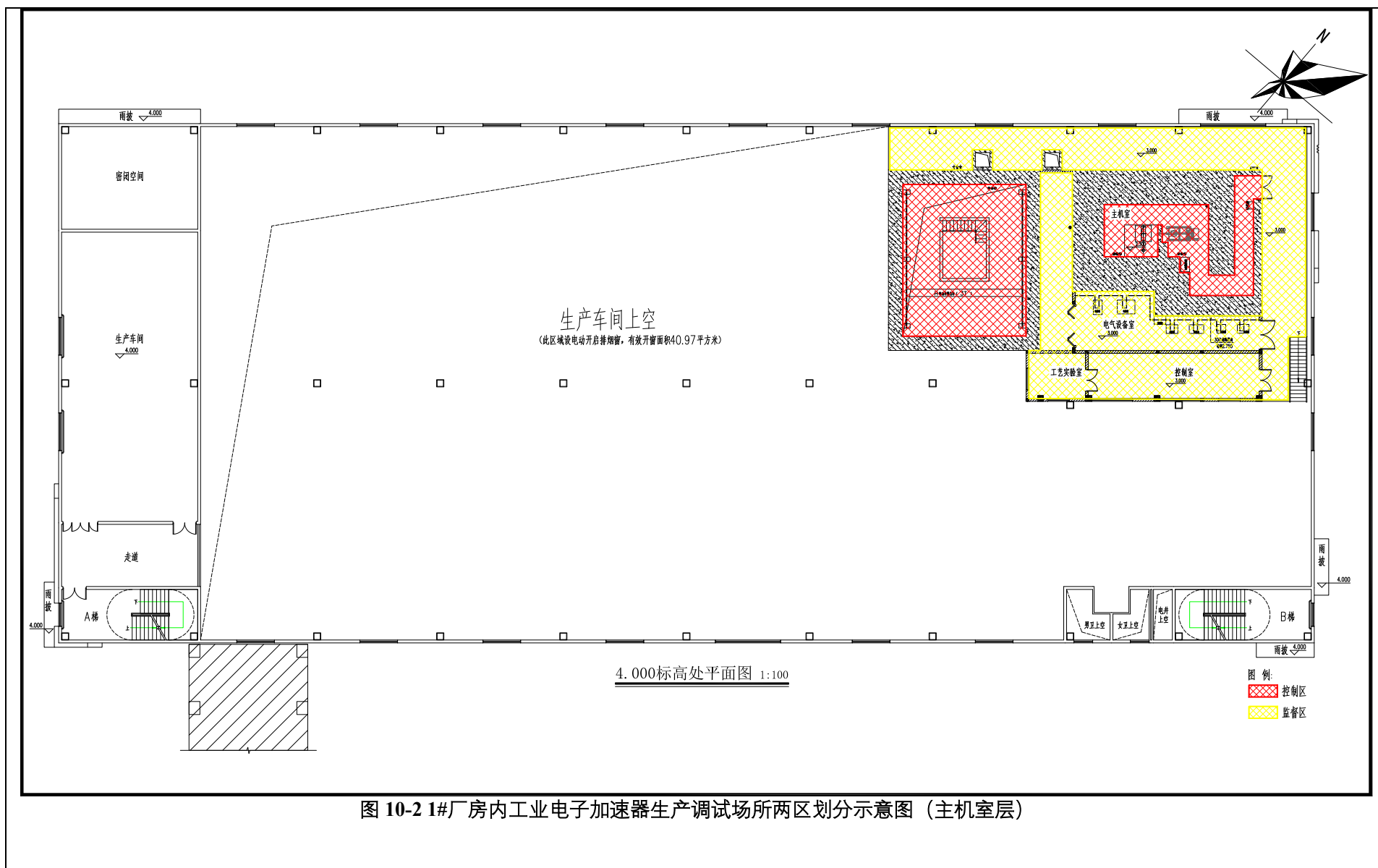


图 10-2 1#厂房内工业电子加速器生产调试场所两区划分示意图 (主机室层)

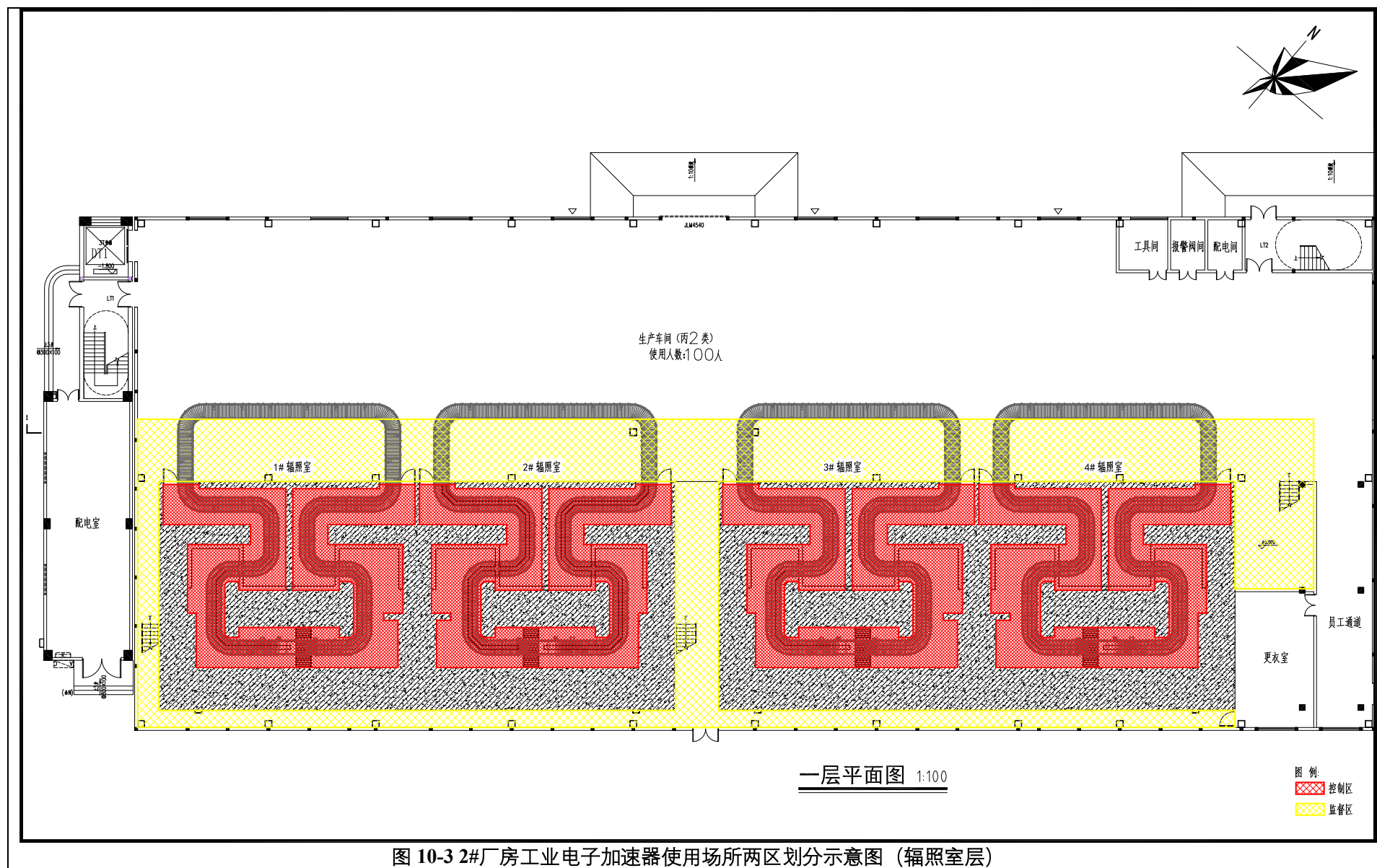
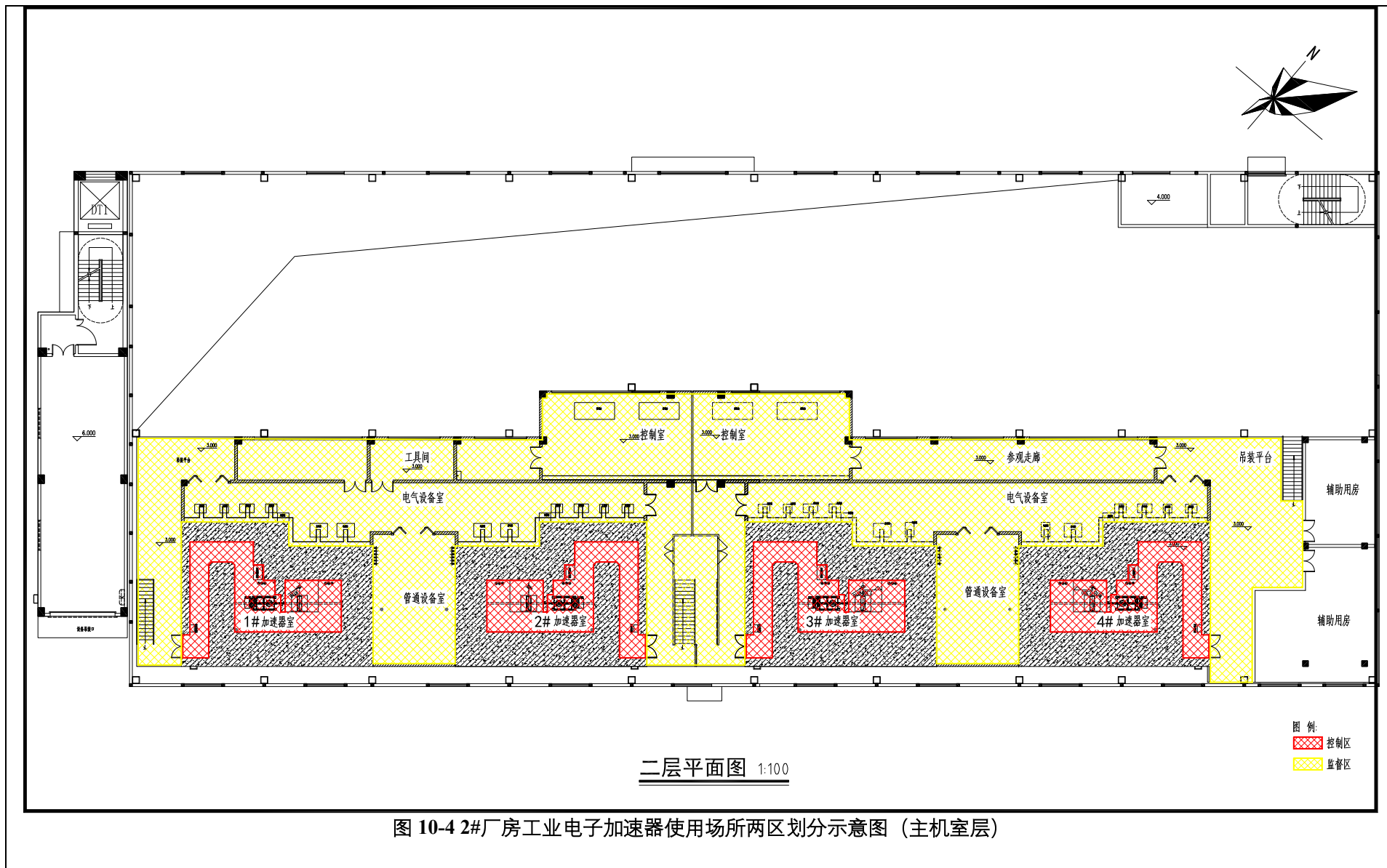
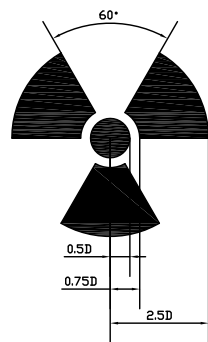


图 10-3 2#厂房工业电子加速器使用场所两区划分示意图 (辐照室层)



3.控制区的防护手段与安全措施：

- (1) 控制区的进出口处设立醒目的警告标志（如图 10-5）。
- (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。



a. 电离辐射标志



b. 当心电离辐射警告标志

图 10-5 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标明监督区的标牌；
- (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，工业电子加速器机房结构尺寸详见图 10-6 和图 10-10 所示。

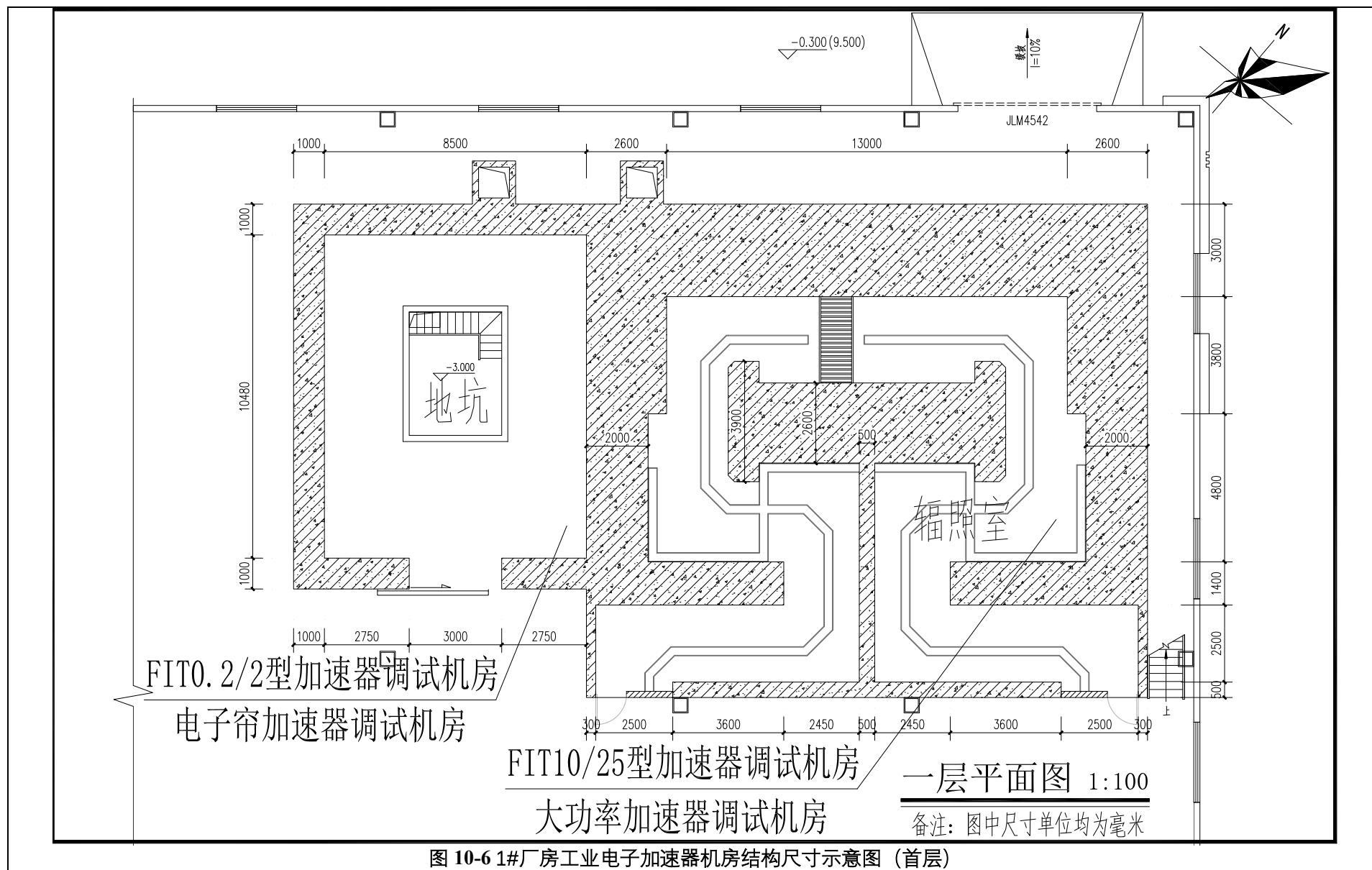
表 10-2 工业电子加速器机房防护屏蔽设计一览表

类别	屏蔽防护设计	屏蔽设计参数（厚度及材质）
1#厂房电子 帘加速器 调试机房	东北墙	2000~2600mm 厚混凝土
	东南墙	1000mm 厚混凝土
	西南墙	1000mm 厚混凝土
	西北墙	1000mm 厚混凝土
	顶部	1000mm 厚混凝土
	防护门	80mm 厚铅防护门

类别	屏蔽防护设计			屏蔽设计参数（厚度及材质）
1#厂房大功率电子加速器调试机房	主机室	东北墙	迷道外墙	600mm 厚混凝土
			迷道中墙	1800mm 厚混凝土
			迷道内墙	300mm~700mm 厚混凝土
		东南墙		1400mm~2400mm 厚混凝土
		西南墙		2200mm 厚混凝土
		西北墙		2400mm 厚混凝土
		顶部		1500mm 厚混凝土
	辐照室	东北墙		2000mm~2600mm 厚混凝土
		东南墙	迷道外墙	500mm 厚混凝土
			迷道内墙	1400mm 厚混凝土
		西南墙		2000mm~2600mm 厚混凝土
		西北墙		3000mm 厚混凝土
		顶部		300mm~1000mm 厚混凝土
		中间墙		2600mm~3900mm 厚混凝土
2#厂房1号工业电子加速器机房	主机室	东北墙		2200mm 厚混凝土
		东南墙		2400mm 厚混凝土
		西南墙	迷道外墙	600mm 厚混凝土
			迷道中墙	1800mm 厚混凝土
			迷道内墙	300mm~700mm 厚混凝土
		西北墙		1400mm~2400mm 厚混凝土
		顶部		1500mm 厚混凝土
	辐照室	东北墙		2000mm~2700mm 厚混凝土
		东南墙		3000mm 厚混凝土
		西南墙		2000mm~2600mm 厚混凝土
		西北墙	迷道外墙	500mm 厚混凝土
			迷道内墙	1400mm 厚混凝土
		顶部		300mm~1000mm 厚混凝土
		中间墙		2600mm~3900mm 厚混凝土
2#厂房2号工业电子加速器机房	主机室	东北墙	迷道外墙	600mm 厚混凝土
			迷道中墙	1800mm 厚混凝土
			迷道内墙	300mm~700mm 厚混凝土
		东南墙		2400mm 厚混凝土
		西南墙		2200mm 厚混凝土
		西北墙		1400mm~2400mm 厚混凝土
		顶部		1500mm 厚混凝土
	辐照室	东北墙		2000mm~2600mm 厚混凝土
		东南墙		3000mm 厚混凝土
		西南墙		2000mm~2700mm 厚混凝土
		西北墙	迷道外墙	500mm 厚混凝土
			迷道内墙	1400mm 厚混凝土
		顶部		300mm~1000mm 厚混凝土

类别	屏蔽防护设计			屏蔽设计参数（厚度及材质）	
中间墙				2600mm~3900mm 厚混凝土	
2#厂房3号工业电子加速器机房	主机室	东北墙		2200mm 厚混凝土	
		东南墙		2400mm 厚混凝土	
		西南墙	迷道外墙	600mm 厚混凝土	
			迷道中墙	1800mm 厚混凝土	
			迷道内墙	300mm~700mm 厚混凝土	
		西北墙		1400mm~2400mm 厚混凝土	
		顶部		1500mm 厚混凝土	
	辐照室	东北墙		2000mm~2700mm 厚混凝土	
		东南墙		3000mm 厚混凝土	
		西南墙		2000mm~2600mm 厚混凝土	
		西北墙	迷道外墙	500mm 厚混凝土	
			迷道内墙	1400mm 厚混凝土	
		顶部		300mm~1000mm 厚混凝土	
		中间墙		2600mm~3900mm 厚混凝土	
2#厂房4号工业电子加速器机房	主机室	东北墙	迷道外墙	600mm 厚混凝土	
			迷道中墙	1800mm 厚混凝土	
			迷道内墙	300mm~700mm 厚混凝土	
		东南墙		2400mm 厚混凝土	
		西南墙		2200mm 厚混凝土	
		西北墙		1400mm~2400mm 厚混凝土	
		顶部		1500mm 厚混凝土	
	辐照室	东北墙		2000mm~2600mm 厚混凝土	
		东南墙		3000mm 厚混凝土	
		西南墙		2000mm~2700mm 厚混凝土	
		西北墙	迷道外墙	500mm 厚混凝土	
			迷道内墙	1400mm 厚混凝土	
		顶部		300mm~1000mm 厚混凝土	
		中间墙		2600mm~3900mm 厚混凝土	

注：本项目拟使用的混凝土密度不低于 2.35g/cm³。



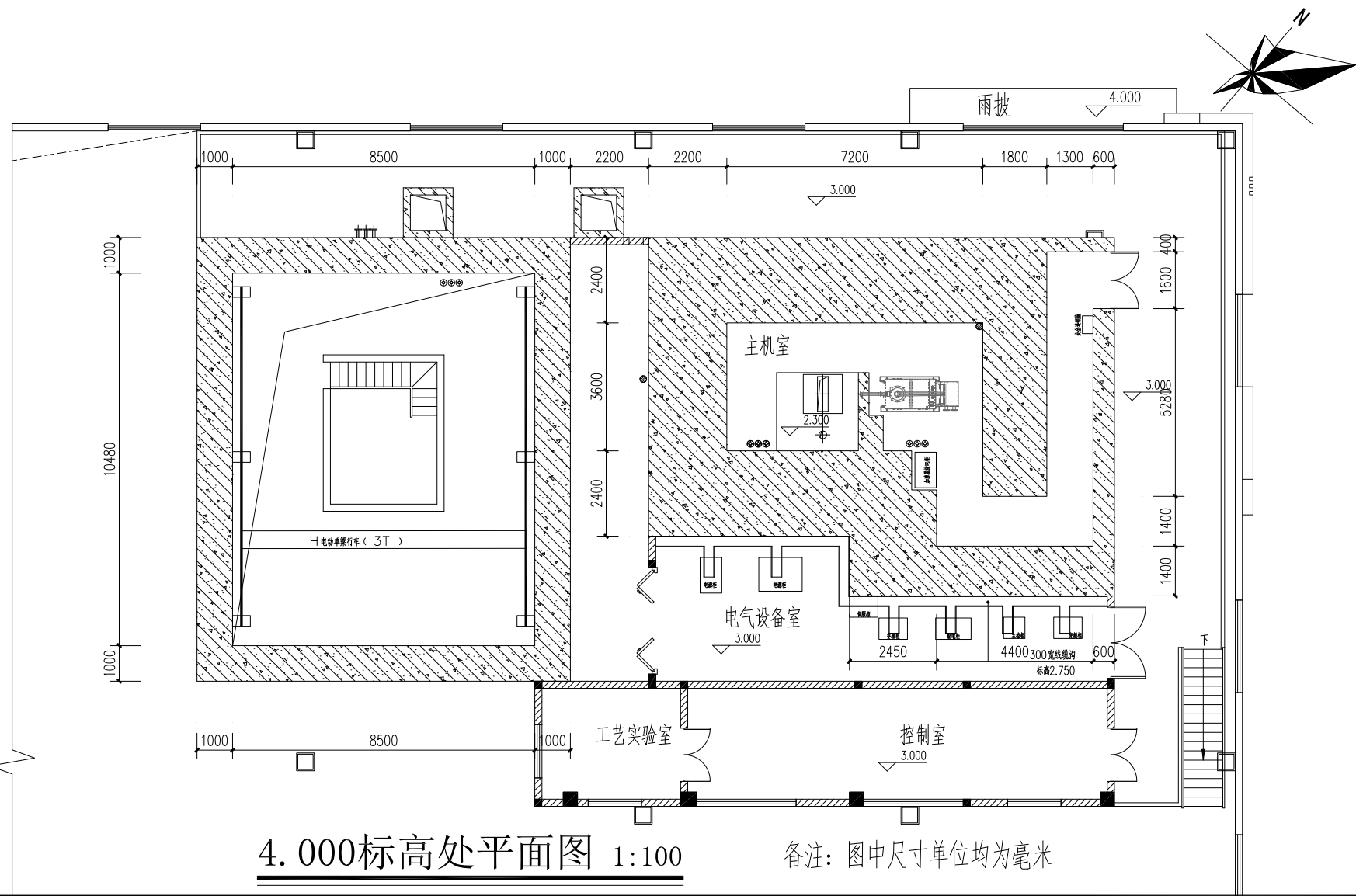


图 10-7 1#厂房工业电子加速器机房结构尺寸示意图 (二层)

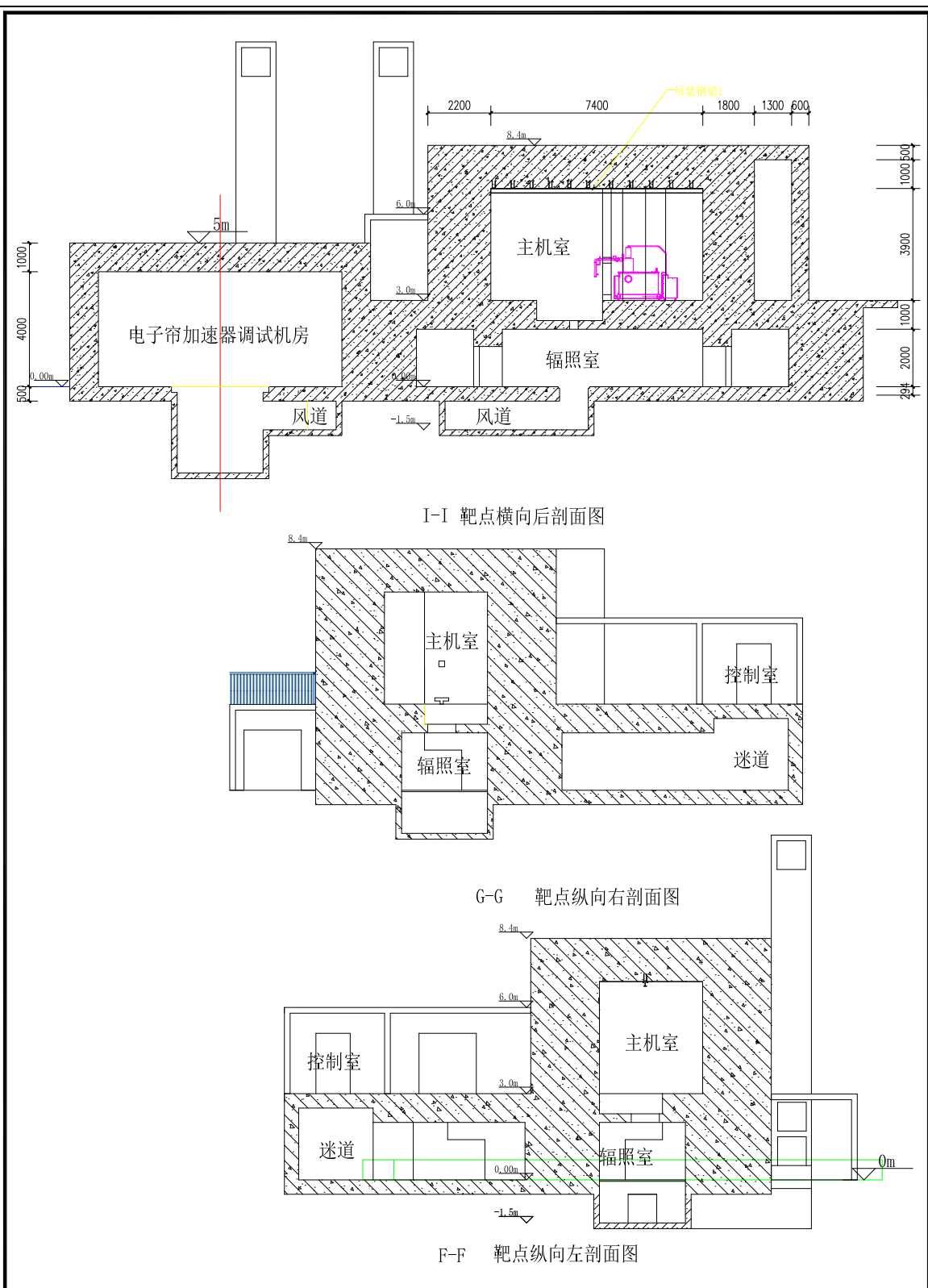


图 10-8 1#厂房工业电子加速器机房结构尺寸示意图 (剖面图)

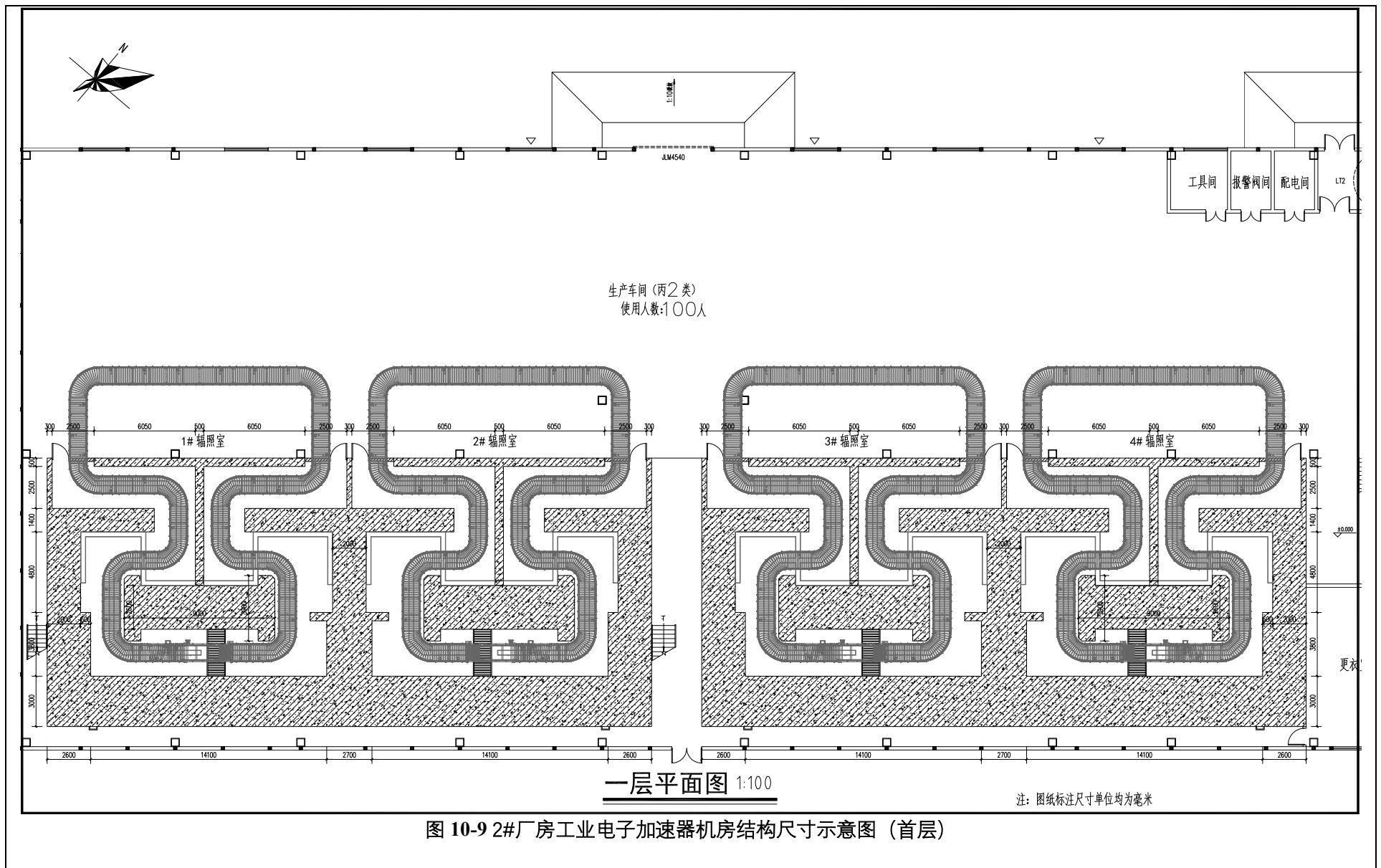
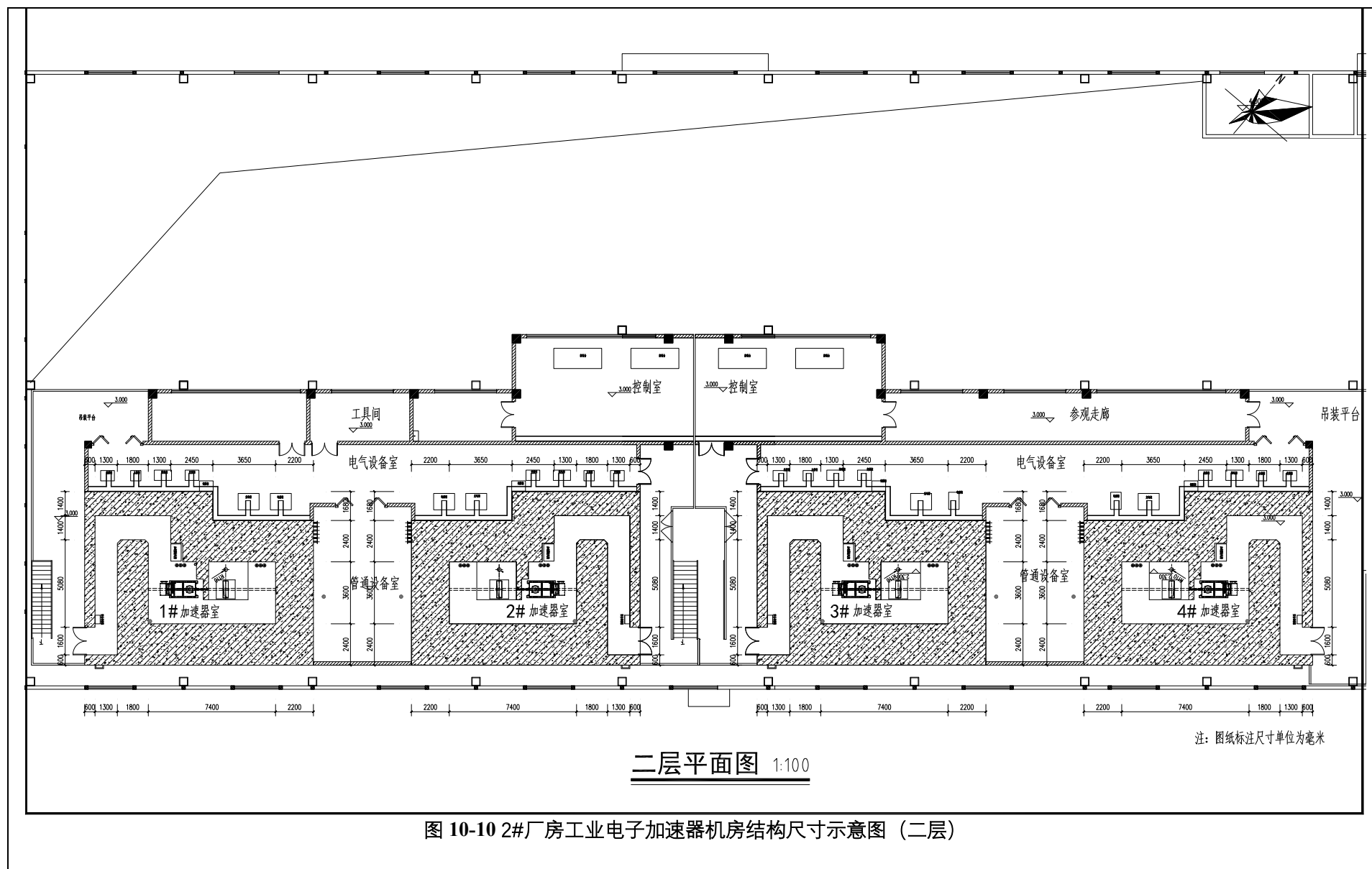


图 10-9 2#厂房工业电子加速器机房结构尺寸示意图 (首层)



本项目加速器主机室电缆管线采用“U”形和斜型路径设计，主机室内的 X 射线至少经过 3 次散射才能到达设备间，电缆穿墙的设计未破坏电子加速器机房的整体屏蔽防护效果。本项目电子辐照加速器的排风管道采用埋地设计，排风管道辐照室内的 X 射线至少经过 3 次散射才能到达室外排风口，排风管道的设计未破坏电子加速器机房的整体屏蔽防护效果，满足辐射防护的要求。

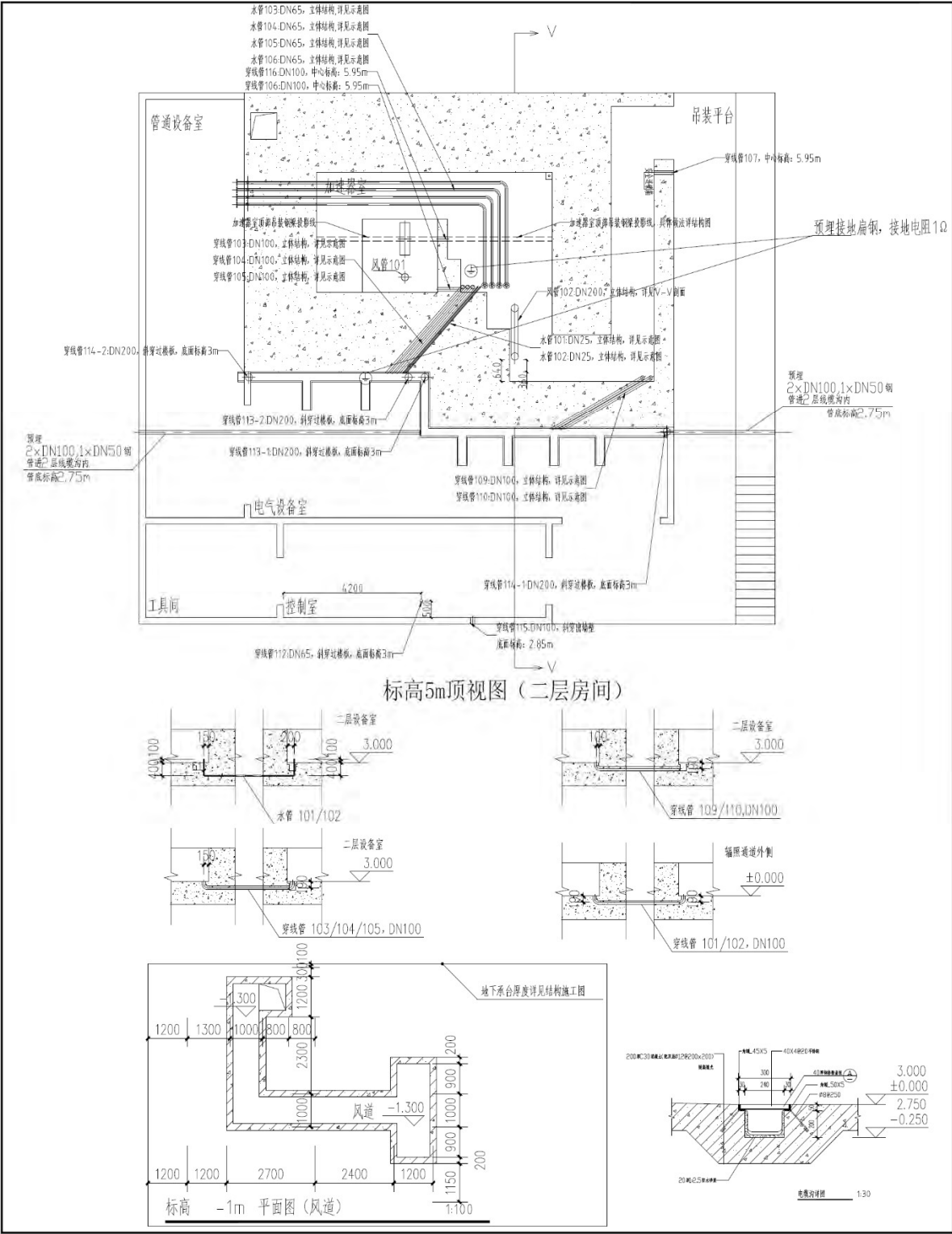


图 10-11 电缆沟和风管布置及其穿墙示意图

（二）辐射安全装置和防护措施

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。

本项目拟调试生产和使用的工业电子加速器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。本项目工业电子加速器机房辐射安全与防护设施布置见图 10-12 和图 10-13，安全联锁设施逻辑示意图 10-14 所示。

1#厂房电子帘加速器调试机房辐射安全装置如下：

（1）**钥匙控制**：电子帘加速器的控制室位于二层，与大功率加速器调试机房共用控制室，其主控台上设有钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动加速器进行出束调试作业：钥匙开关处于未闭合状态时，加速器无法开机出束。如果从控制台上取出钥匙，加速器会自动停机，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运行值班长使用。

（2）**门机联锁**：电子帘加速器调试机房防护门与束流控制和加速器高压联锁。该防护门打开时，加速器不能开机，加速器运行中防护门被打开则加速器自动停机。

（3）**信号警示装置**：本次在电子帘加速器调试机房内部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。在电子帘加速器调试机房外设计有工作状态指示灯和当心电离辐射警示标识，工作状态指示灯与加速器装置联锁，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。

（4）**巡检按钮**：本次在电子帘加速器调试机房内部设有 4 个巡检按钮，各巡检信号均与加速器控制台联锁。工业电子加速器在开机出束调试前，辐射工作人员需先进入调试机房内进行巡视，巡查有无人员误留或有无其他异常，并按序按下调试机房内的巡检按钮，全部巡检按钮按下后，防护门关闭后，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，如调试机房内任一巡检按钮被触发，加速器会立即停止出束。

(5) 急停装置：本次在电子帘加速器调试机房内设计有拉线开关，拉线开关距地面高度约 1.3m，覆盖全部区域，当出现紧急情况时，只需拉下拉线开关，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、事故处理完毕后，需将拉线开关进行复位，加速器才能重新启动。同时，拟在加速器主控台上同样设计有急停按钮，当加速器正常启动出束作业过程中，若按下急停按钮，则该电子加速器机房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，需将急停按钮进行复位，加速器才能重新启动。

(6) 剂量联锁：本项目拟安装固定式实时辐射剂量率监测系统，监测探头位于防护门内侧，显示面板位于控制室内。防护门设置门电磁锁，辐射剂量率监测系统与防护门电磁锁联锁，当调试机房内的辐射水平高于仪器设定的阈值时（根据实际情况调整），调试机房的防护门将无法打开。

(7) 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。

(8) 排风系统延迟关闭和人员进出门延迟开启：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：加速器正常停止出束后，排风系统将继续工作至少 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调试机房防护门的指令，防护门仍然无法打开，直到 5 分钟后方可开启防护门。

(9) 烟雾报警：在电子加速器机房调试机房室外的风管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。

1#厂房大功率调试机房和 2#厂房工业电子加速器机房辐射安全装置如下：

由于本次 1#厂房大功率调试机房与 2#厂房 4 座工业电子加速器机房布置一致，其辐射安全联锁装置布置也是一致的，在介绍辐射安全联锁装置将机房统称为“大功

率电子加速器机房”，具体如下：

(1) 钥匙控制：本此各大功率电子加速器机房控制室内的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，如果从控制台上取出钥匙，加速器会自动停机，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运行值班长使用。

(2) 门机联锁：大功率电子加速器机房的辐照室人员进出门和主机室人员进出门与束流控制和加速器高压联锁。辐照室人员进出门或者主机室人员进出门打开时，加速器不能开机，加速器运行中任一人员进出门被打开则加速器自动停机。

(3) 束下装置联锁：本此各大功率电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制拟建立可靠的接口和通讯协议并联锁。当束下装置（即辐照室货物传送系统）因故障偏离正常运行状态或停止运行时，加速器将自动停机。

其中调试机房不设束下装置，将通过模拟信号与辐照装置的控制系统相连。

(4) 信号警示装置：在辐照室和主机室的人员进出门外、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。在辐照室人员进出门外和主机室人员进出门外，设计有工作状态指示灯和当心电离辐射警示标识，工作状态指示灯与加速器装置联锁，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：本项目每间辐照室内均设有 6 个巡检按钮，每间主机室内均设有 5 个巡检按钮，各巡检信号均与加速器控制台联锁。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，并按序按下辐照室和主机室内的巡检按钮，全部巡检按钮按下后，人员进出门关闭后，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：在每座工业电子加速器机房的辐照室和主机室迷道入口紧邻人员进出门的位置，均设计有 3 道相互独立不同高度不同间距的光电装置（红外光电感应装置），并且分别与加速器联锁。光电装置安装高度距离地面分别为 0.3m，0.5m 和 1.3m 处，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，将立即自动切断高压，加速器将立即停止出束，同时发出异常情况下的警示声音。

本项目辐照室和主机室迷道口处均设置有人专用人员进出门，该人员进出门与加速器设备联锁并设置有钥匙控制，且该钥匙控制与加速器的主控钥匙开关联锁；辐照室迷道口处的货物运输通道下方设置运输轨道，中部为货物传送带，上方仅预留 0.5m 高的货物进出通道，该货物出入口设计紧凑，正常情况下人员无法通过传送带进入辐照室（详见图 9-2）。

（7）急停装置：辐照室和主机室的迷道入口处、迷道出口处（人员进出门旁）均设计有拉线开关，拉线开关距地面高度约 1.3m，覆盖全部区域，当出现紧急情况时，只需拉下拉线开关，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、事故处理完毕后，需将拉线开关进行复位，加速器才能重新启动。同时，拟在加速器主控台上同样设计有急停按钮，当加速器正常启动出束作业过程中，若按下急停按钮，则该电子加速器机房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。在电子加速器机房人员进出门内侧，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，人员进出门将立即打开，若此时加速器处于出束状态，加速器将立即停止出束。所有拉线开关及急停按钮应设置明显的中文标识，供紧急停止使用。

（8）剂量联锁：本项目拟安装固定式实时辐射剂量率监测系统，监测探头位于辐照室和主机室迷道内，显示面板位于控制室内。主机室和辐照室出入口设置门电磁锁，辐射剂量率监测系统与人员进出门电磁锁联锁，当主机室和辐照室内的辐射水平高于仪器设定的阈值时（根据实际情况调整），主机室和辐照室的人员进出门将无法打开。

（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。

（10）排风系统延迟关闭和人员进出门延迟开启：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人员进出门延迟开启系统，即：加速器正常停止出束后，排风系统将继续工作至少 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

加速器机房人员进出门的指令，机房人员进出门仍然无法打开，直到 5 分钟后方可开启人员进出门。

(11) 烟雾报警：在电子加速器机房辐照室室外的风管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。

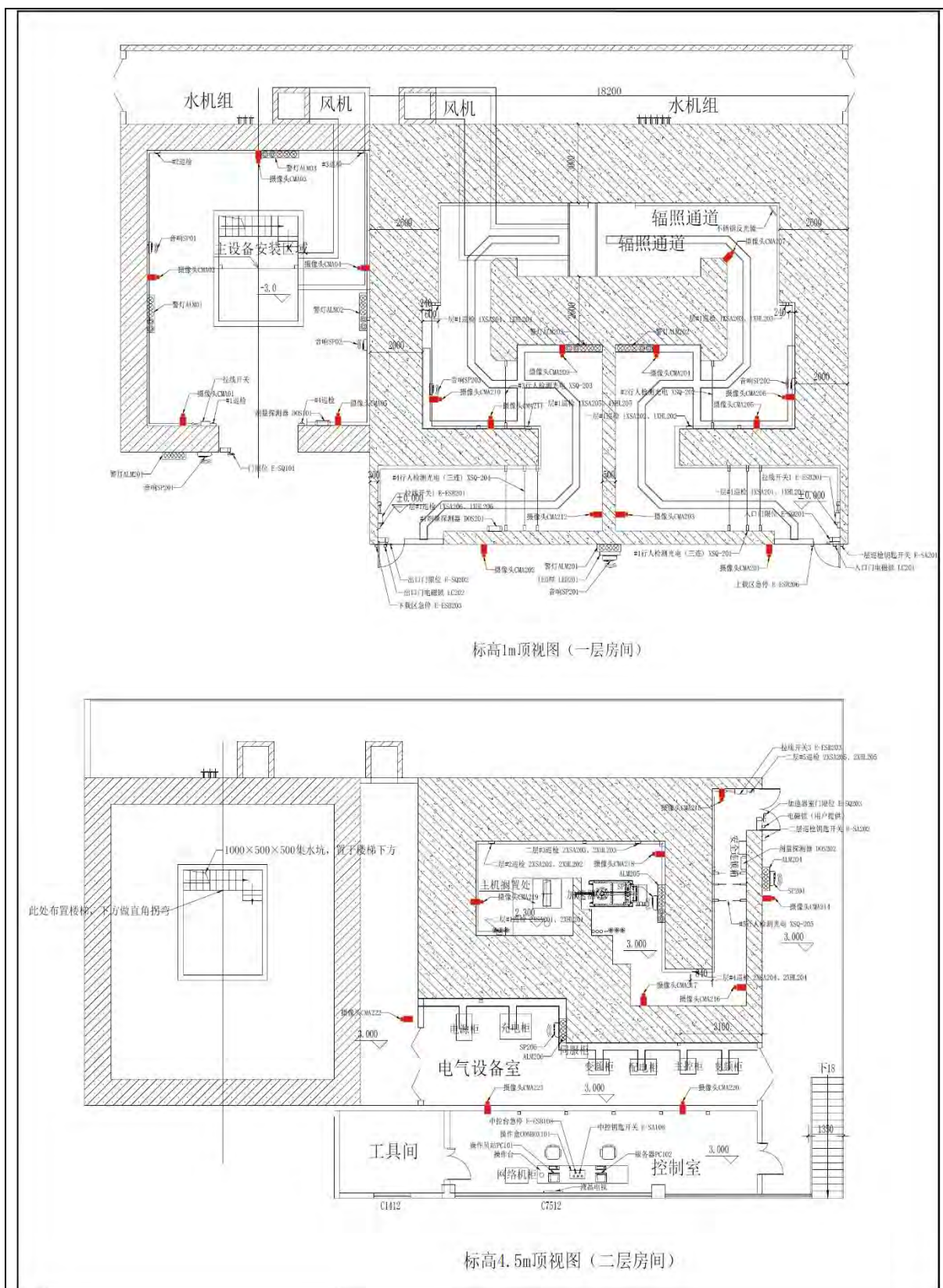


图 10-12 1#厂房调试机房辐射安全联锁装置布置示意图

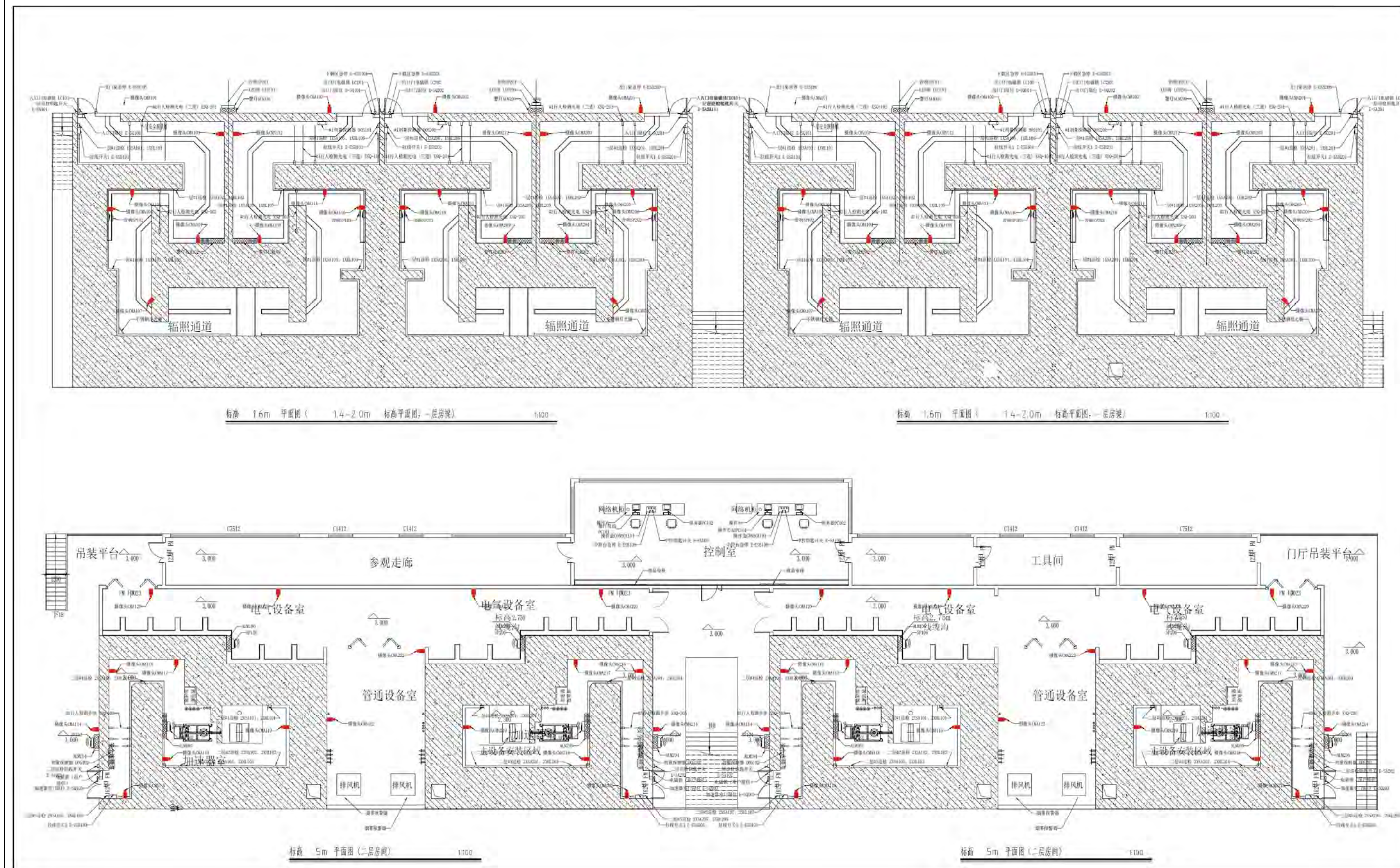


图 10-13 2#厂房工业电子加速器机房辐射安全与防护设施布置图

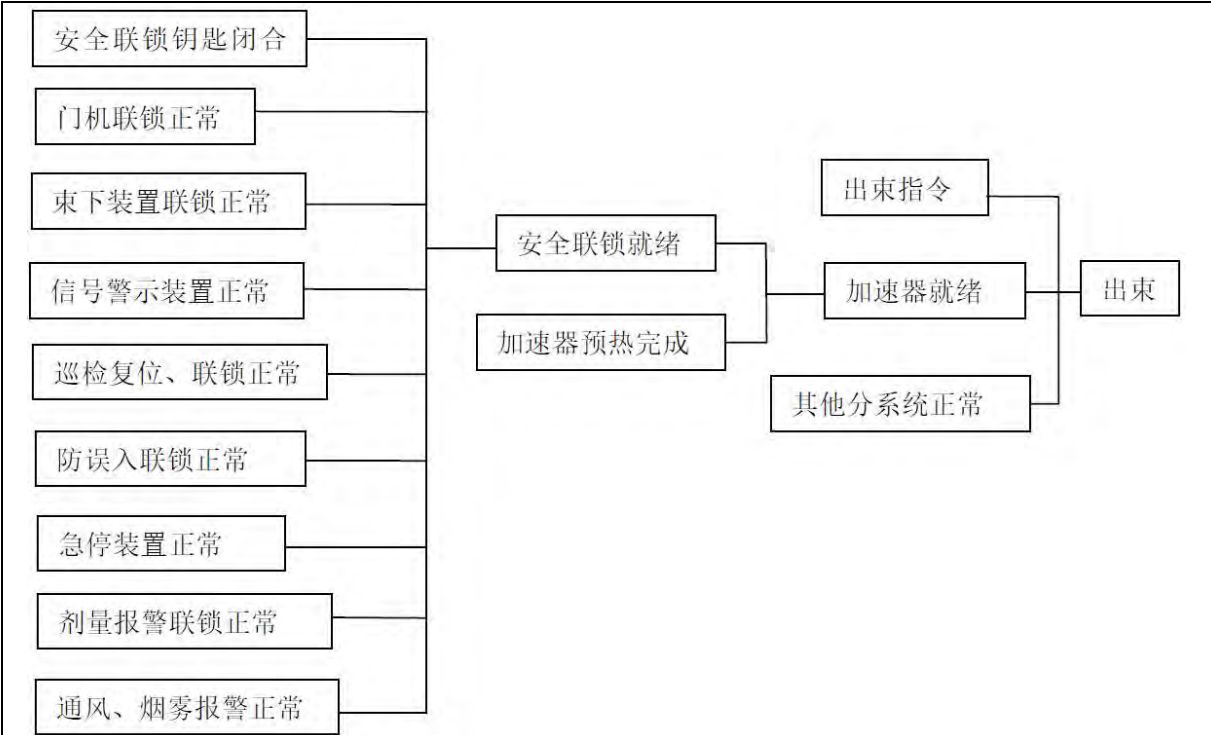


图 10-14 安全联锁设施逻辑示意图

（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，还设计了安全出口指示灯和应急疏散指示灯、应急照明、实时监控系統、货物传送系統、加速器冷却系統、辐射安全控制系统联锁等。

1.安全出口指示灯和应急疏散指示灯

一层辐照室和二层主机室迷道均拟设置发光安全出口指示灯和应急疏散指示灯，便于人员在紧急情况下及时识别疏散位置和方向，指引人员顺利离开。

2.应急照明

一层辐照室和二层主机室内部均设置应急照明系統，应急照明设备定时检验，保证在停电及应急情况下及时、稳定达到照明的效果。

3.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。

5.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实时监控，若任意管路的冷却回水流量出现异常，则系统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。

6.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，将对各控制信号实时监控，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。

7.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，其中有防护门门机联锁、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，其中任何一个联锁出现异常，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需条件，主要由货物传送系统、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；拟增设场所多重钥匙管控、监控系统、设备联锁、工艺联锁多重安全措施。

本项目工业电子加速器机房辐射安全防护措施设计与《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）辐射安全原则符合性分析详见表 10-3。

表 10-3 本项目辐射安全设施与辐射安全原则符合性分析表

序号	安全原则	本项目加速器机房安全防护设施设计	符合性分析
1	纵深防御	辐照室设置有“凹”型迷道；出入口设置门机、门灯联锁；加速器主控钥匙开关和辐照室防护门联锁；加速器控制与束下装置联锁；控制室均设置有复位开关等。当所有安全联锁正常启动，全部就位后加速器才能正常出束。	符合
2	冗余性	辐照室和主机室均设置有门机联锁、3 道光电联锁、安全联锁装置等。	符合
3	多元性	安全联锁分别采用了机械的、电气的、电子的和剂量的联锁	符合
4	独立性	辐照室和主机室均设置有巡检按钮、急停按钮及拉线开关等安全联锁，各联锁装置独立运行。	符合

综上所述，本项目拟设置的辐射安全装置和保护措施符合《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，在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求，配备的联锁装置可有效地保护操作人员和公众，减少因人为误入造成辐射安全事故。

（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	数量
1	个人剂量计	每人 1 套
2	个人剂量报警仪	5 台/班，调试机房每人 1 台
3	便携式辐射巡测仪	7 台

（五）辐射安全设施与辐射安全原则符合性分析

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）符合性分析详见表 10-5。

表 10-5 本项目辐射安全设施与辐射安全原则符合性分析表

安全设施	HJ 979-2018 标准要求	本项目设置情况	符合性分析
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。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。	本项目工业电子加速器控制室内主控台上设有钥匙开关，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，如果从控制台上取出钥匙，加速器会自动停机，没有该钥匙辐照室人员进出门和主机室人员进出门也无法打开，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运行值班长保管使用。	符合
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并切断高压。	辐照室人员进出门和主机室人员进出门与束流控制和加速器高压联锁。辐照室人员进出门或者主机室人员进出门打开时，加速器不能开机，加速器运行中任一人员进出门被打开则加速器自动停机。	符合
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，加速器应自动停机并且切断高压。	本项目电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制建立可靠的接口和通讯协议。当束下装置（即辐照室物流传输系统）因故障偏离正常运行状态或停止运行时，加速器自动停机并切断高压。	符合
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。	在辐照室和主机室的人员进出门外、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。在辐照室人员进出门外和主机室人员进出门外，设计有工作状态指示灯和电离辐射警告标识，工作状态指示灯与加速器高压联锁，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。	符合
巡检按钮	主机室和辐照室内应设置“巡检按钮”，并与控制台联锁。加速器开机前，操作人员进入主机室和辐照室按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留。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	在辐照室和主机室内拟设置多个巡检按钮，各巡检信号均与加速器控制台联锁。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，人员进出门关闭后，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。	符合

	开机。	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。	
防人误入装置	在主机室和辐照室的人员出入口通道内设置三道防人误入的安全联锁装置（一般可采用光电装置），并与加速器的开、停机联锁。	在辐照室和主机室迷道入口紧邻人员进出门的位置，拟设计 3 道相互独立不同高度的光电装置，并且分别与加速器联锁。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。	符合
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。	辐照室和主机室的迷道入口处、迷道出口处（屏蔽门旁）均设计有拉线开关，拉线开关距地面高度约 1.3m；在加速器主控台上同样设计有紧急停机开关。所有紧急停机开关应有明显的标志，供紧急停止使用。当出现紧急情况时，只需拉下拉线开关，则该电子加速器机房内的加速器将立即断电，停止出束。 当加速器正常启动出束作业过程中，若按下紧急停机按钮，则该电子加速器机房内的加速器将立即断电，停止出束。在电子加速器机房人员进出门内侧，拟安装紧急开门装置，紧急情况下，机房内人员只需按下紧急开门按钮，人员进出门将立即打开，若此时加速器处于出束状态，加速器将立即停止出束。	符合
剂量联锁	在辐照室和主机室的迷道内设置固定式辐射监测仪，与辐照室和主机室的出入口门等联锁。当主机室和辐照室内的辐射水平高于仪器设定的阈值时，主机室和辐照室门无法打开。	本项目拟安装固定式实时辐射剂量率监测系统，监测探头位于辐照室和主机室迷道内，显示面板位于控制室内。当主机室和辐照室内的辐射水平高于仪器设定的阈值时，主机室和辐照室的人员进出门将无法打开。	符合
通风联锁	主机室、辐照室通风系统与控制系统联锁，加速器停机后，只有达到预先设定的时间后才能开门，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值。	工业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人员进出门延迟开启系统，即：加速器正常停止出束后，排风系统将继续工作至少 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。	符合

		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人员进出门的指令，机房人员进出门仍然无法打开，直到 5 分钟后方可开启人员进出门。	
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。	工业电子加速器机房辐照室室外的风管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。	符合
监测设备	辐射工作场所应配备与辐射类型和辐射水平相适应的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、个人剂量计及便携式辐射监测仪等。	本项目拟配置 10 台个人剂量报警仪及 7 台辐射巡检仪，每名辐射工作人员均拟配备个人剂量计。	符合

（六）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 10-6。

表 10-6 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	6 套	
		通风系统（1 套/座）	6 套	
	联锁装置	钥匙开关（1 套/座）	6 套	
		门机联锁装置（2 套/座）	11 套	
		束下装置联锁（1 套/座）	5 套	
		信号警示装置（2 套/座）	11 套	
		巡检按钮（2 套/座）	11 套	
		光电装置（3 套/座）	18 道	
		急停按钮（2 套/座）	11 套	
		拉线开关（2 套/座）	11 套	
		剂量联锁（1 套/座）	6 套	
		通风联锁（1 套/座）	6 套	
		烟雾报警（1 套/座）	6 套	
	警示设施	入口当心电离辐射警告标识（2 套/座）	6 个	
		入口上方工作状态指示灯（3 套/座）	9 个	
		工作场所分区及标识（1 套/座）	3 套	
	紧急设施	迷道内紧急开门按钮（3 个/座）	9 套	
		紧急照明或独立通道照明系统（2 套/座）	6 套	
		视频监控（2 套/座）	6 套	
	监测设备	固定式报警仪（1 套/座）	3 套	
		便携式辐射巡测仪	4 台	
		个人剂量报警仪	4 台	
		个人剂量计	16 套	
合计				

本项目总投资 万元，环保投资 万元，占总投资的 33.3%。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均设置排风装置，排风风机设计排风量均不低于 15000m³/h，加速器机房排风管道在辐照室内下沉到地下 1.3m，经地下管道到达辐照室外后再上升至地面，沿加速器机房外墙至 1#车间建筑楼顶排放，排气口距离地面 13.3m。

辐照室内产生的废气经排风装置引至室外排放，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。

2.固体废物

本项目产生的固体废物主要为包装废物、废弃电子元器件、废设备零部件、生活垃圾等。其中，废电子元器件年最大产生量约 50kg、废有机溶剂年最大产生量约 5kg，均为危险废物，经分类收集后在危险废物暂存间内暂存，交由有资质的单位回收处理；废设备零部件、包装材料等按一般固废处理，生活垃圾分类收集后由市政环卫部门统一清运。对运营过程中不合格的产品进行重新辐照后仍然不合格的，由客户回收处理。

3.废水

本项目产生的废水主要为生活污水和冷却废水，冷却水循环使用不外排，生活污水依托厂区拟建的污水处理设施处理。

加速器冷却水循环系统：加速器开机工作时，机器内部产生大量的热量，通过双循环冷却水进行冷却。本项目加速器冷却系统使用冷却水循环使用，不外排，损失主要为自然蒸发。

在检修期间，根据设备厂家判定如需对冷却系统进行维修时，会将冷却水进行收集重复使用。

4.噪声

本项目运行时产生噪声主要有风机、真空系统、高压系统等，建设单位拟使用的风机为低噪声节能排风机，采取基础减振等措施，且本项目属于规划的工业用地，经建筑物墙体隔声及公司场址内的距离衰减后，本项目所在单位厂界噪声能够满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）3 类区标准限值的要求。

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 本项目工业电子加速器机房为实体屏蔽结构，在建设阶段会产生一定量的扬尘、施工噪声、施工废水、固体垃圾等污染物，将对周围环境产生一定的影响。本项目建设施工时对环境的影响及拟采取的污染防治措施如下： 1.大气：本项目在建设施工期，各种施工作业将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施： （1）及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度； （2）车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒； （3）施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。 2.噪声：本项目在建设施工期，各种施工设备及运输车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时将严格执行《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523-2025）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，合理安排施工时间，夜间不施工，禁止运输车辆鸣笛等措施，保证施工过程对施工现场附近区域的影响满足标准要求。 3.固体废物：本项目施工期间产生的固体废物主要有建筑施工过程中产生的建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾，建筑垃圾应堆放在指定地点并委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落，装修垃圾和生活垃圾由环卫部门统一及时清运处理，做到日产日清。施工期临时堆放场地应妥善处置，减少雨水冲刷造成地表污染，并保持工区环境的洁净卫生。 4.废水：本项目施工期污水主要为各种施工机械设备的清洗用水和施工现场清洗、建材清洗产生的废水以及施工人员的生活污水，生活污水经现有污水处理设施预处理后，进入市政污水管网。施工废水经沉淀处理后，用于场地抑尘，不外排。 综上所述，项目施工期间对环境存在一定的影响，但是这些影响具有时效性，随着施工期的结束，对环境的影响也消除。公司计划在施工阶段采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在厂房内，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、调试均由专业人员操作，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

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的要求，在本项目加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定工业电子加速器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、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；

$E_{\beta MAX}$ —最大电子能量，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 2.13cm，本项目辐照室有效的墙体厚度至少为 30cm，且工业电子加速器产生的电子束均朝向地面。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

本项目电子帘加速器调试机房为一层机构，主要用于生产调试自研的 FIT0.2/2 型工业电子加速器，其设备主机和辐照室均在调试机房内，调试过程中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调试机房后产生韧致辐射（X 射线），这部分射线为调试机房的屏蔽对象。

大功率调试机房和辐照加工用的工业电子加速器机房分为二层，FIT10/25 型工业电子加速器主机安装在二层的主机室内，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。

电子加速器运行时，电子束出束方向竖直向下，在辐照室内电子束可能轰击的物质有 3 种：

- ①混凝土地面；
- ②电子扫描窗下方的不锈钢传输带；
- 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。其中以不锈钢作为轰击靶的 Z 值最高，且修正系数最为保守，故本项目综合考虑选取**不锈钢**为轰击靶，来进行辐射防护评价。

（一）参数选取

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。

因此根据《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 可知不同能量入射电子在距靶 1m 处侧向 90° 的 X 射线发射率常数，相关参数见表 11-1。

表 11-1 本项目工业电子加速器辐射源项计算参数及计算结果

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)
0.2MeV	0.4 MeV	10	前向 0°	0.008	0.7	3.36
			侧向 90°	0.07	0.5	21
10 MeV	6.0MeV	2.5	前向 0°	450	0.7	47250
			侧向 90°	13.5	0.5	1012.5

注：FIT0.2/2 型工业电子加速器入射电子能量为 0.2MeV，参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A，保守取 0.5MeV。其 90° 方向等效能量按照插值法获得。

（二）1#厂房电子帘加速器调试机房屏蔽墙体外辐射剂量率估算

1.直射 X 射线的屏蔽

对于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。

（1）计算模式

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 射线透射至屏蔽体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 射线源与关注点之间的距离，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；

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 11-2~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。

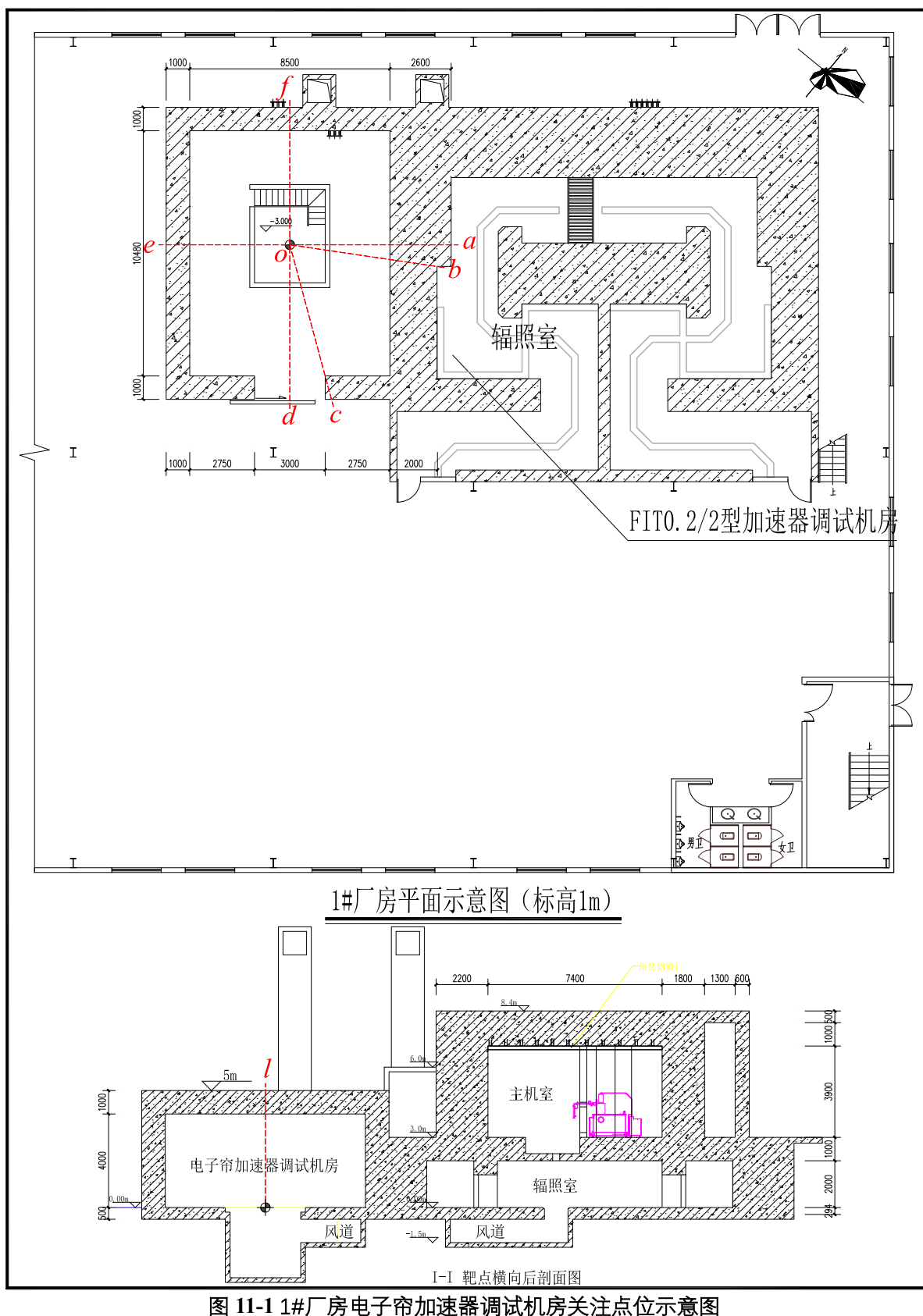


表 11-2 本项目 1#电子帘加速器调试机房屏蔽墙外关注点处辐射剂量率计算结果

关注点 参数	a 点	b 点	c 点	d 点	e 点	f 点	l
$S^{②}$ (cm)	260	200	100	80mmPb	100	100	100
等效厚度 (cm)	260	202	103	80mmPb	100	100	100
T_l	15.2 cm (混凝土), 0.5cm (铅)						
T_e	11.9 cm (混凝土), 1.2cm (铅)						
B_x	2.68×10^{-22}	2.01×10^{-17}	4.19×10^{-9}	5.62×10^{-8}	7.48×10^{-9}	7.48×10^{-9}	7.48×10^{-9}
D_{l0}	21 (Gy/h)						
d (m)	7.15	6.62	7.15	7.00	5.55	6.15	5.30
$T^{①}$	1						
H_M ($\mu\text{Sv/h}$)	1.10×10^{-16}	9.62×10^{-12}	1.72×10^{-3}	0.024	5.10×10^{-3}	4.15×10^{-3}	5.59×10^{-3}
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

注：①居留因子均取 1；

②S 由 CAD 图纸量出。

由表 11-2 可知，本项目正常运行时，电子帘加速器调试机房直射 X 射线在屏蔽体外人员可达处的辐射剂量率均满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）等标准中周围剂量当量率不能超过 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求（顶部无人员居留）。

(二) 1#厂房大功率加速器调试机房屏蔽墙体外辐射剂量率估算

1. 直射 X 射线的屏蔽

根据直射 X 射线屏蔽的方法进行计算。计算方法如公式 11-2~公式 11-5，关注点位选取示意图见图 11-2。

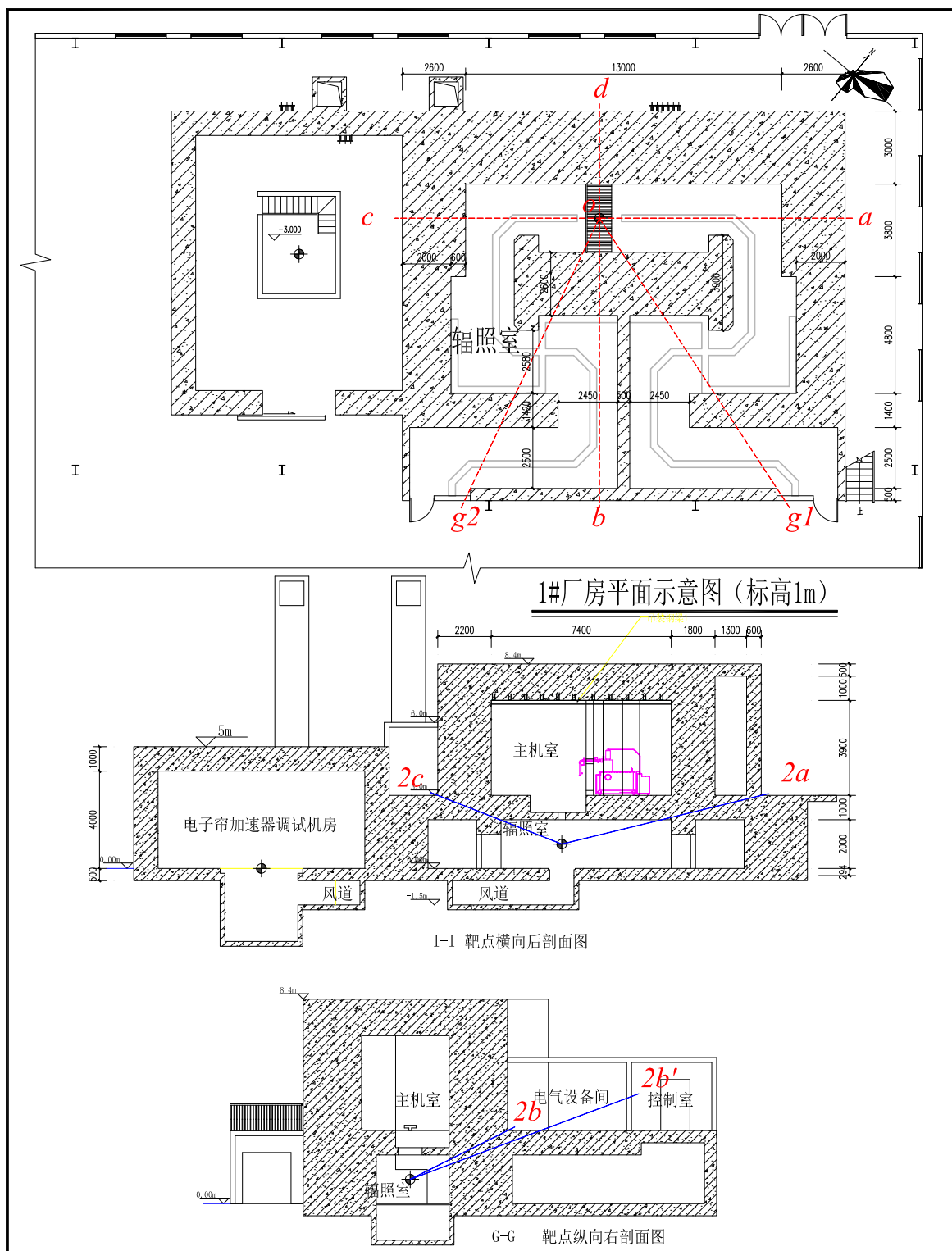


图 11-2 1#厂房大功率加速器调试机房关注点位示意图

表 11-3 本项目工业电子加速器机房辐照室屏蔽墙外关注点处辐射剂量率计算结果

参数 \ 关注点	a 点	b 点	c 点	d 点	g1 点	g2 点	2a	2b	2c	2b'
$S^{(2)}$ (cm)	260	310	260	300	400	400	100	240	100	100
等效厚度 (cm)	260	310	260	300	477.8	443.2	422	268.3	279.3	400.6
$T_l^{(3)}$	35.5 (cm) 混凝土									
T_e	35.5 (cm) 混凝土									
B_x	4.47×10^{-8}	1.85×10^{-9}	4.74×10^{-8}	3.54×10^{-9}	3.47×10^{-14}	3.28×10^{-13}	1.30×10^{-12}	2.77×10^{-8}	1.36×10^{-8}	5.19×10^{-12}
D_{I0}	1012.5 (Gy/h)									
d (m)	10.4	11.9	8.40	4.70	14.2	13.2	8.75	4.81	5.80	10.0
$T^{(1)}$	1									
H_M ($\mu\text{Sv/h}$)	0.444	0.013	0.681	0.162	1.74×10^{-7}	1.90×10^{-6}	1.71×10^{-5}	1.212	0.408	5.26×10^{-5}
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

注：①居留因子均取 1；

② S 由 CAD 图纸量出；

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 时，对应的混凝土 T_l 为 35.5cm， T_e 为 35.5cm。

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：迷道和人员进出门、天空反散射、孔道。本项目管线采用“U”形或斜型穿过屏蔽墙体，排风管预埋于地下，其中连通一层的电缆穿墙处位于辐照室迷道顶棚，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。因此本次散射辐射主要考虑迷道和人员进出门。本次计算辐照室散射路径示意图见图 11-3。

（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

本项目辐照室内初致射线经过 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 11-4。

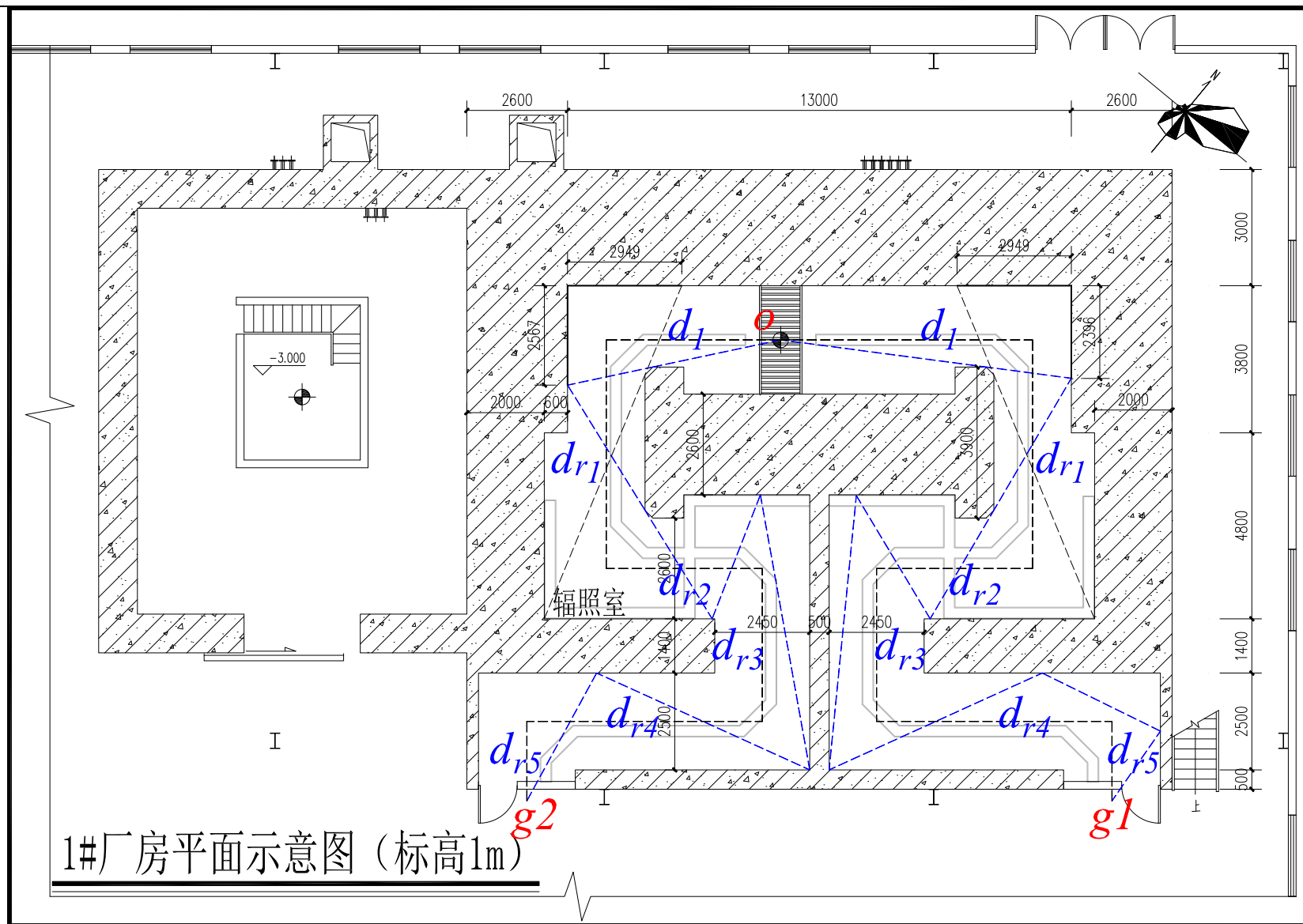


图 11-3 大功率调试机房辐照室散射路径示意图

表 11-4 本项目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 <i>g1</i> 点	A ₁ (m ²)			A ₂ (m ²)			3.86×10 ⁻⁵ μSv/h
	5.34m×2.00m			2.0m×2.0m			
	d ₁ (m)	d _{r1} (m)	d _{r2} (m)	d _{r3} (m)	d _{r4} (m)	d _{r5} (m)	
	6.50	5.90	4.02	3.95	6.07	2.05	
辐照 室迷 道口 <i>g2</i> 点	A ₁ (m ²)			A ₂ (m ²)			1.16×10 ⁻⁴ μSv/h
	5.51m×2.00m			2.0m×2.0m			
	d ₁ (m)	d _{r1} (m)	d _{r2} (m)	d _{r3} (m)	d _{r4} (m)	d _{r5} (m)	
	4.50	5.90	4.07	3.95	6.07	2.05	

本项目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 11-5。

表 11-5 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 ($\mu\text{Sv/h}$)	迷道口外剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
辐照室迷道入口处 g1 点	1.74×10^{-7}	3.86×10^{-5}	3.88×10^{-5}
辐照室迷道入口处 g2 点	1.90×10^{-6}	1.16×10^{-4}	1.18×10^{-4}

根据上表可知，本项目正常运行时，其一层辐照室迷道口处的辐射剂量率均满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）等标准中周围剂量当量率不能超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

（二）主机室屏蔽墙体外辐射剂量率估算

主机室内的辐射场由三部分叠加：

第一部分为一层辐照室内韧致辐射初级 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。

第三部分为一楼辐照室内的 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呈 180° 方向的次级 X 射线能量较低，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。

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 11-3~11-5 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。

1. 直射 X 射线的屏蔽

（1）计算参数选取

根据设备厂家设计资料，加速器机房二层主机室内偏离束流主方向的电子束能量为 3.0MeV，束流强度 0.05mA。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 HJ 979-2018 附录 A，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，保守取 2.0MeV，其在混凝土中的第一十分之一值层和平衡十分之一值层保守取表 A.2~表 A.3 中 0.5MeV~1.0MeV 内插值，即 $T_I=22.1\text{cm}$ ， $T_e=20.1\text{cm}$ 。

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 4.8Gy/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 11-6，计算点示意图见图 11-4 和图 11-5。

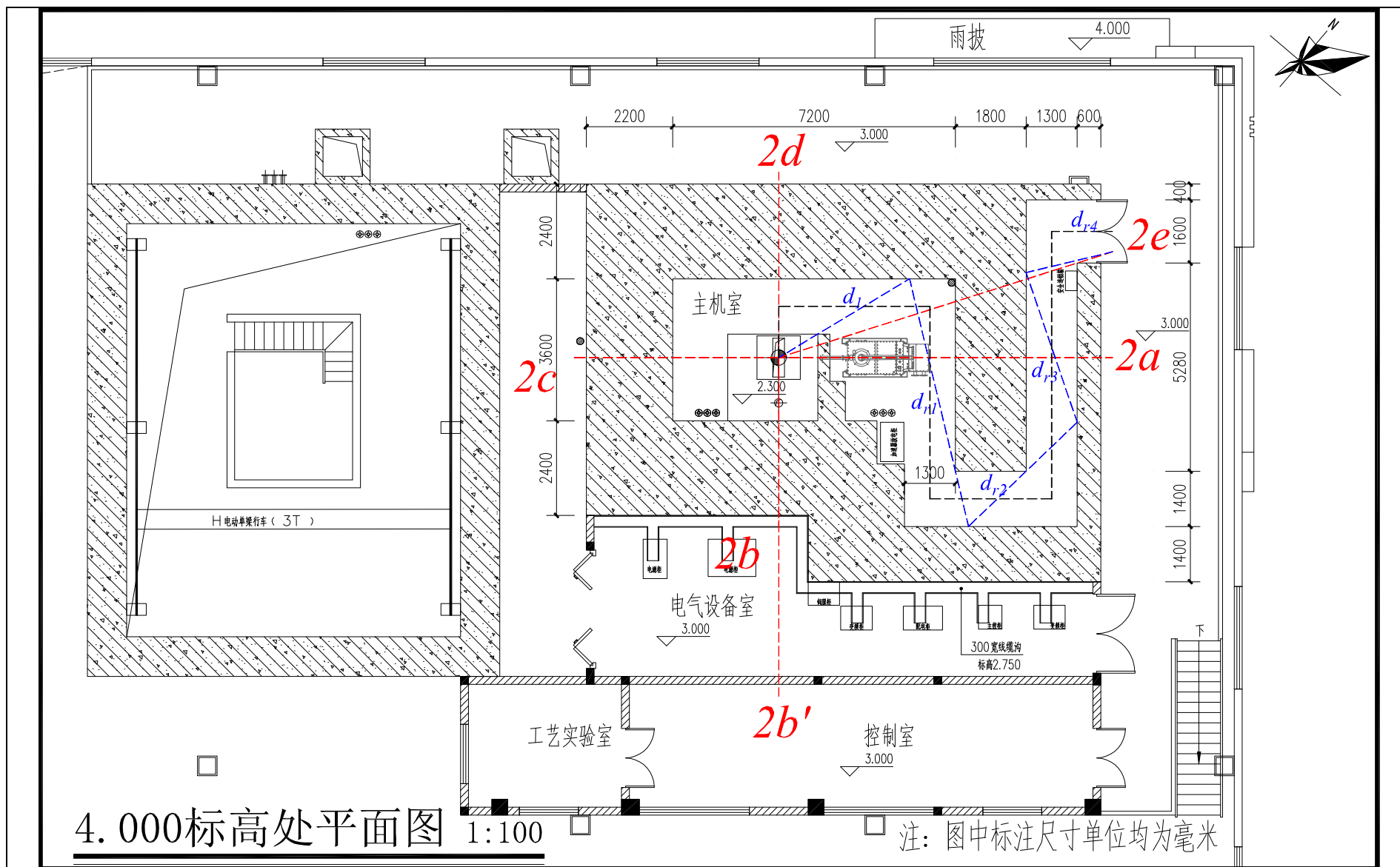


图 11-4 大功率调试机房主机室关注点位示意图 (直射和散射路径)

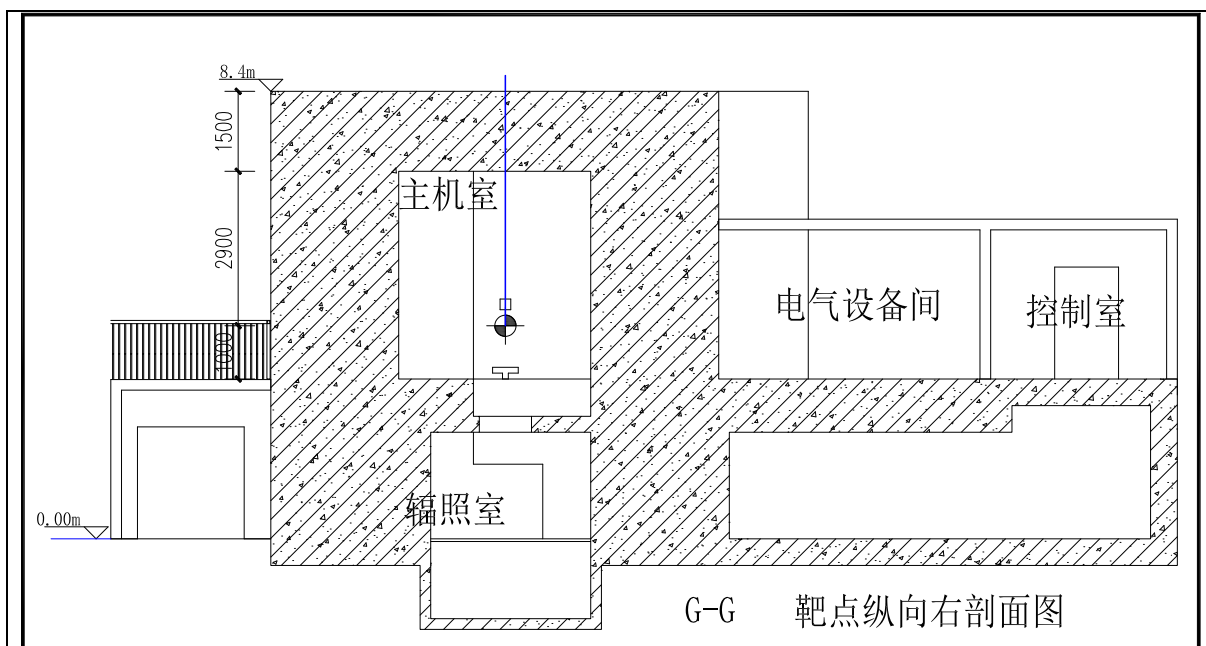


图 11-5 1#厂房大功率加速器调试机房关注点位示意图（剖面图）

表 11-6 1#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 参数	2a 点	2b 点	2b'点	2c 点	2d 点	2e 点	顶部
S (cm)	240	240	240	220	240	210	150
等效厚度 (cm)	240	240	240	220	240	220.3	150
T_l	22.1 (cm) 混凝土						
T_e	20.1 (cm) 混凝土						
B_x	1.44×10^{-12}	1.44×10^{-12}	1.44×10^{-12}	1.43×10^{-11}	1.44×10^{-12}	1.38×10^{-11}	4.33×10^{-8}
D_{10} (90°)	4.80 (Gy/h)						
d (m)	8.50	4.30	8.58	5.20	4.70	8.90	4.70
$T^{①}$	1						
H_M ($\mu\text{Sv/h}$)	9.59×10^{-8}	3.75×10^{-7}	9.41×10^{-8}	2.53×10^{-6}	3.14×10^{-7}	8.35×10^{-7}	7.13×10^{-3}
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

注：居留因子均取 1。

由上表可知，本项目正常运行时，其二层主机室直射 X 射线在屏蔽体外人员可达处的辐射剂量率均满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）等标准中周围剂量当量率不能超过 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求（顶部无人员居留）。

2、散射辐射的屏蔽

本项目主机室内初致射线经过 4 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，本次计算主机室散射路径示意图见图 11-4，具体参数及计算结果见表 11-7。

表 11-7 本项目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 2e 点	A ₁ （m ² ）			A ₂ （m ² ）		8.65×10 ⁻⁴ μSv/h
	3.90m×3.32m			1.30m×3.90m		
	d ₁ （m）	d _{r1} （m）	d _{r2} （m）	d _{r3} （m）	d _{r4} （m）	
	3.85	4.88	3.10	6.78	1.55	

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 11-8。

表 11-8 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 (μSv/h)	散射剂量率 (μSv/h)	剂量率 (μSv/h)
主机室迷道口 2e 点	8.35×10 ⁻⁷	8.65×10 ⁻³	8.65×10 ⁻³

根据上表可知，本项目正常运行时，其二层主机室迷道口处的辐射剂量率满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）等标准中周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h 的要求。

（三）天空反散射的辐射影响分析

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

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A.3.2.1，在现有屏蔽条件下，天空反散射造成的 X 射线周围剂量当量率为：

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

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）；计算天空杂散射线参考点为屏蔽墙外 20-150m 处，本项目取最小值 20m（数据来自《辐射防护手册》（第一分册）辐射源

与屏蔽)。

射线装置与屋顶之间包含的立体角 Ω 可由下式进行计算：

$\Omega=4\text{tg}^{-1}(a\cdot b/c\cdot d)$ ， a 是屋顶长度一半， b 是屋顶宽度一半， c 是源到屋顶表面中心距离， d 是源到屋顶边缘的距离；

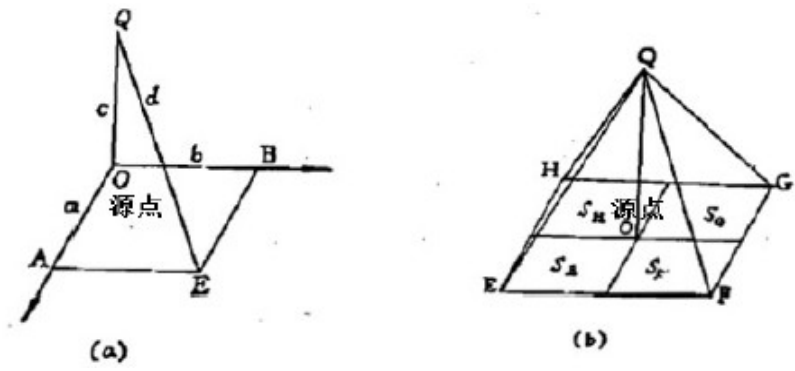


图 11-6 立体角 Ω 的计算示意图

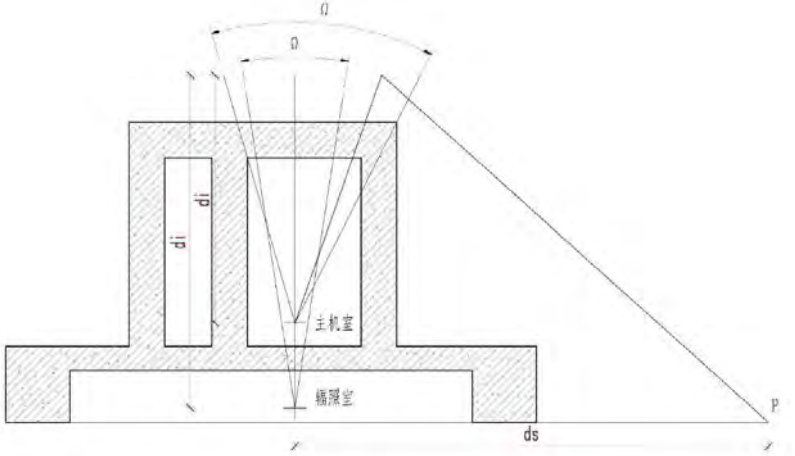


图 11-7 屋顶立角示意图

对于天空反散射，综合考虑辐照室和主机室辐射对参考点的剂量贡献，发射率常数保守取 90° 方向的发射率常数，具体计算结果见表 11-9。

表 11-9 天空反散射计算结果

楼层	$D_{10}(90^\circ)$	d_s	S	B_{xs}	Ω	d_i	$H(\mu\text{Sv/h})$
一层辐照室	1012.5Gy/h	20m	180cm 混凝土	1.44×10^{-7}	0.293	8.7m	2.34×10^{-5}
二层主机室	4.80Gy/h	20m	150cm 混凝土	4.24×10^{-7}	0.559	6.2 m	1.49×10^{-6}
合计							2.49×10^{-5}

根据以上计算结果可知，加速器运行时由于天空反散射引起地面剂量率水平为 $2.49\times 10^{-5}\mu\text{Sv/h}$ ，对周围的辐射环境影响很小。

(四) X 射线通过屋顶的侧向散射辐射影响

本项目辐照加速器机房高度为 8.10m，周围临近无高层建筑，无需考虑射线通过屋顶后侧向散射对周围环境的辐射影响。

（五）电缆沟及排风管道屏蔽效果分析

本项目穿墙管线采用“U”形或斜型穿过屏蔽墙体，排风管预埋于地下，其中连通一层的电缆穿墙处位于辐照室迷道顶棚，辐照室 X 射线散射线要到达该孔洞处需要经过多次散射（至少三次），射线经几次散射后线缆进出口处辐射剂量在控制范围内，能够满足辐射防护要求。

（六）结果汇总

根据结果，1#厂房大功率调试机房四周关注点处的辐射剂量率见表 11-10。

表 11-10 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 点过道	0.444	2.5	满足
	b 点组装区	0.013	2.5	满足
	c 点电子帘机房	0.681	2.5	满足
	d 点过道	0.162	2.5	满足
	g1 点货物进口	3.88×10^{-5}	2.5	满足
	g2 点货物出口	1.18×10^{-4}	2.5	满足
主机室	2a 吊装平台	$1.71 \times 10^{-5} + 9.59 \times 10^{-8} = 1.72 \times 10^{-5}$	2.5	满足
	2b 电气设备室	$1.212 + 3.75 \times 10^{-7} = 1.212$	2.5	满足
	2b'控制室	$5.26 \times 10^{-5} + 9.41 \times 10^{-8} = 5.27 \times 10^{-5}$	2.5	满足
	2c 管通设备间	$0.408 + 2.53 \times 10^{-6} = 0.408$	2.5	满足
	2d	3.14×10^{-7}	2.5	满足
	2e 主机室迷道口	8.65×10^{-3}	2.5	满足
	顶部	7.13×10^{-3}	2.5	满足

注：机房顶部无行车且无人员居留。

由表 11-10 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均能满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）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（机房顶部人员不可达）。

三、2#厂房辐照加工用工业电子加速器机房屏蔽效果分析

公司拟在 2#厂房内新增 4 台工业电子加速器，其型号与大功率调试机房参数一致，4 座机房辐照对象基本一致，因此，可以按照上述同样计算方法进行理论估算，由于 2#厂房内的 4 座机房屏蔽结构一致，因此可选取 1#机房进行估算，估算点位示意图详见图 11-8~图 11-12，计算结果详见表 11-11~表 11-16 所示。

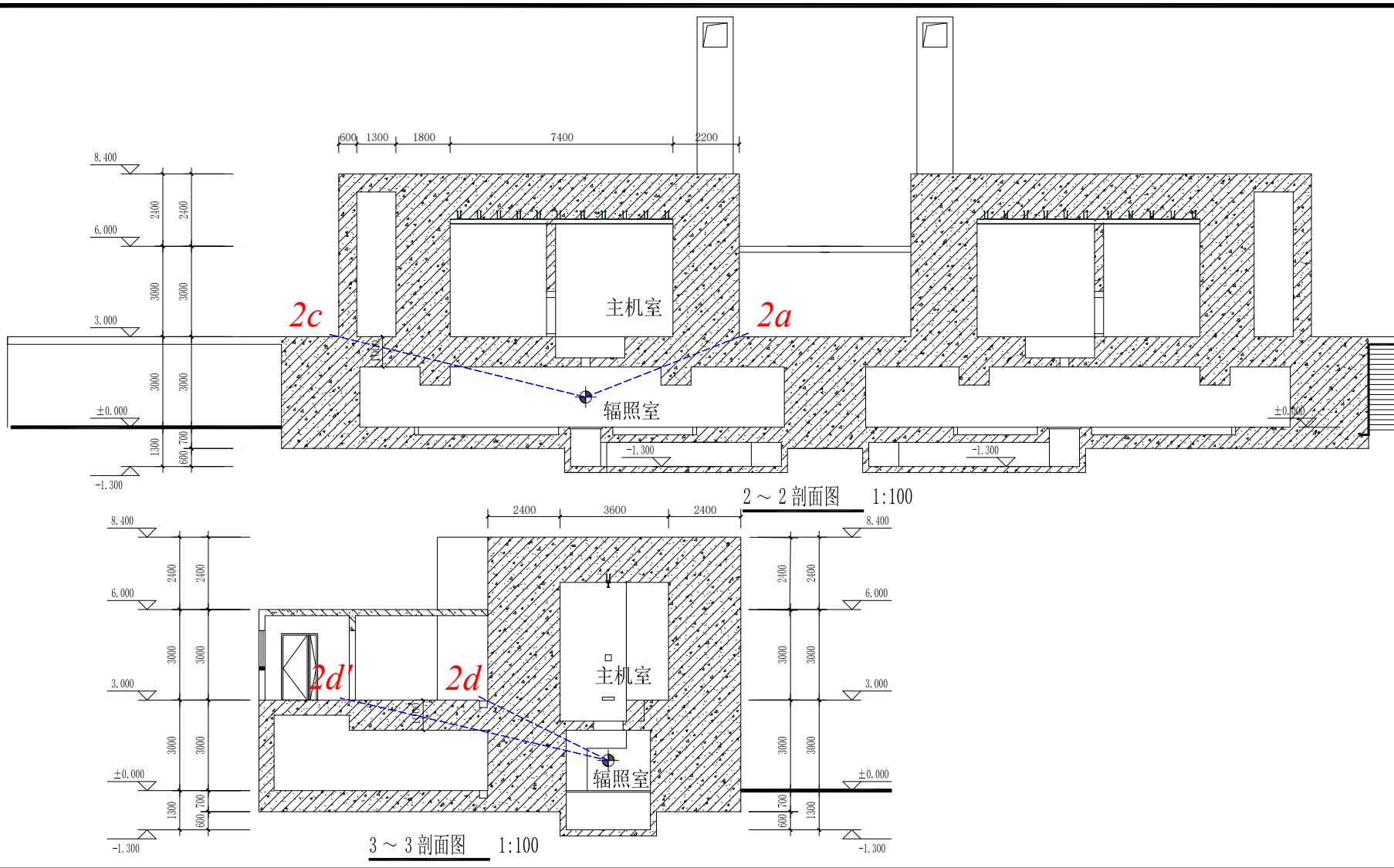


图 11-9 2#厂房 1#工业电子加速器机房辐照室关注点位示意图（剖面）

表 11-11 本项目 2#厂房 1#工业电子加速器机房辐照室屏蔽墙外关注点处辐射剂量率计算结果

关注点 参数	a 点	b 点	b'点	c 点	d 点	d'点	g1 点	g2 点	2a	2c	2d	2d'
$S^{②}$ (cm)	270	300	300	260	310	310	400	400	220	100	240	100
等效厚度 (cm)	270	300	300	260	310	310	513	543	279.2	422	289.8	708.3
$T_l^{③}$	35.5 (cm) 混凝土											
T_e	35.5 (cm) 混凝土											
B_x	2.48×10^{-8}	3.54×10^{-9}	3.54×10^{-9}	4.74×10^{-8}	1.85×10^{-9}	1.85×10^{-9}	3.54×10^{-15}	5.06×10^{-16}	1.37×10^{-8}	1.30×10^{-12}	6.86×10^{-9}	1.12×10^{-20}
D_{10}	1012.5 (Gy/h)											
d (m)	9.57	4.70	6.10	10.4	11.9	15.8	14.8	13.7	5.80	8.75	4.80	9.14
$T^{①}$	1											
H_M ($\mu\text{Sv/h}$)	0.274	0.162	0.096	0.444	0.013	0.008	1.68×10^{-8}	2.73×10^{-9}	0.411	1.71×10^{-5}	0.302	1.35×10^{-13}
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

注：①居留因子均取 1；

②S 由 CAD 图纸量出；

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 时，对应的混凝土 T_l 为 35.5cm， T_e 为 35.5cm。

表 11-12 本项目 2#厂房 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 <i>g1</i> 点	A ₁ (m ²)			A ₂ (m ²)			4.94×10 ⁻⁵ μSv/h
	5.34m×2.00m			2.1m×2.0m			
	d _l (m)	d _{r1} (m)	d _l (m)	d _{r1} (m)	d _l (m)	d _{r1} (m)	
	6.52	5.90	4.07	3.95	6.82	1.75	
辐照 室迷 道口 <i>g2</i> 点	A ₁ (m ²)			A ₂ (m ²)			1.36×10 ⁻⁴ μSv/h
	7.16m×2.00m			2.0m×2.0m			
	d _l (m)	d _{r1} (m)	d _{r2} (m)	d _{r3} (m)	d _{r4} (m)	d _{r5} (m)	
	4.55	5.90	4.07	3.95	6.82	1.75	

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 11-13。

表 11-13 2#厂房 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 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	迷道口外剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
辐照室迷道入口处 g1 点	1.68×10^{-8}	4.94×10^{-5}	4.94×10^{-5}
辐照室迷道入口处 g2 点	2.73×10^{-9}	1.36×10^{-4}	1.36×10^{-4}

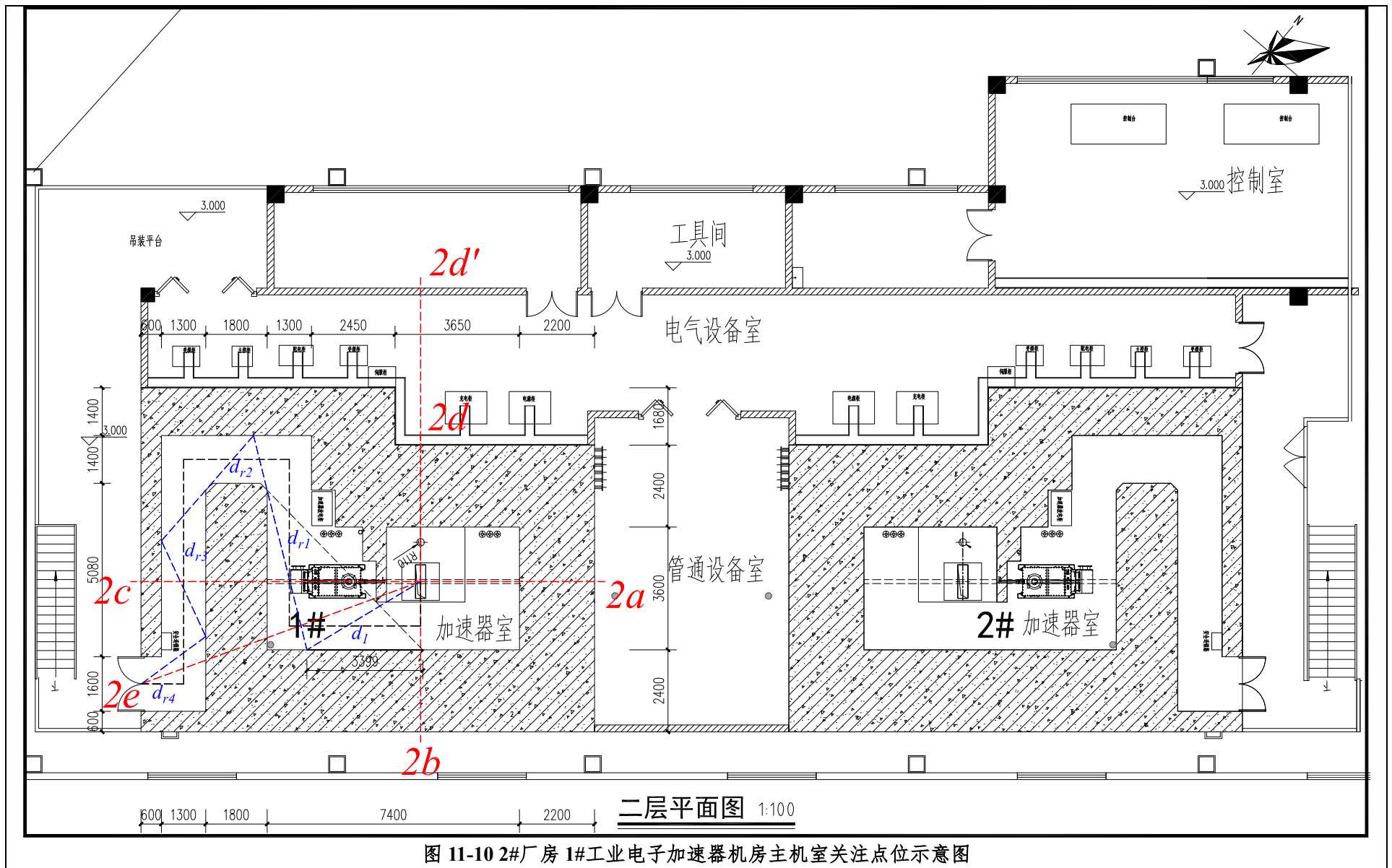


图 11-10 2#厂房 1#工业电子加速器机房主机室关注点位示意图

表 11-14 2#厂房 1#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 参数	2a 点	2b 点	2c 点	2d 点	2d'点	2e 点	顶部
S (cm)	220	240	240	240	240	210	150
等效厚度 (cm)	220	240	240	240	240	223.5	150
T_l	22.1 (cm) 混凝土						
T_e	20.1 (cm) 混凝土						
B_x	1.43×10^{-11}	1.44×10^{-12}	1.44×10^{-12}	1.44×10^{-12}	1.44×10^{-12}	9.55×10^{-12}	4.33×10^{-8}
D_{10} (90°)	4.80 (Gy/h)						
d (m)	5.44	4.70	8.50	4.30	8.90	8.73	4.70
$T^{①}$	1						
H_M ($\mu\text{Sv/h}$)	2.31×10^{-6}	3.14×10^{-7}	9.59×10^{-8}	3.75×10^{-7}	8.74×10^{-8}	6.02×10^{-7}	9.42×10^{-3}
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

注：居留因子均取 1。

表 11-15 本项目 2#厂房 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 迷道口 2e 点	A ₁ (m ²)			A ₂ (m ²)		1.05×10 ⁻³ μSv/h
	3.40m×3.60m			1.30m×3.60m		
	d ₁ (m)	d _{r1} (m)	d _{r2} (m)	d _{r3} (m)	d _{r4} (m)	
	3.85	4.88	3.10	6.58	1.25	

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 11-16。

表 11-16 2#厂房 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 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
主机室迷道口 2e 点	6.02×10^{-7}	1.05×10^{-3}	1.05×10^{-3}

根据结果，2#厂房 1#工业电子加速器机房四周关注点处的辐射剂量率见表 11-17。

表 11-17 2#厂房 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 点相邻辐照室	0.274	2.5	满足
	b 点过道	0.162	2.5	满足
	c 点过道	0.444	2.5	满足
	d 点迷道外上下货区	0.013	2.5	满足
	g1 点货物进口	4.94×10^{-5}	2.5	满足
	g2 点货物出口	1.36×10^{-4}	2.5	满足

主机室	2a 管通设备间	$2.31 \times 10^{-6} + 0.411 = 0.411$	2.5	满足
	2b 过道	3.14×10^{-7}	2.5	满足
	2c 吊装平台	$9.59 \times 10^{-8} + 1.71 \times 10^{-5} = 1.71 \times 10^{-5}$	2.5	满足
	2d 库房	$3.75 \times 10^{-7} + 1.35 \times 10^{-13} = 3.75 \times 10^{-7}$	2.5	满足
	2e 主机室迷道口	1.05×10^{-3}	2.5	满足
	顶部	9.42×10^{-3}	2.5	满足

注：机房顶部无行车且无人员居留。

由表 11-17 可知，在现有屏蔽设计情况下，本项目 2#工业电子加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率均能满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）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（机房顶部人员不可达）。

由于其余 3 座机房与 1#机房屏蔽结构一致，设备参数一致，因此剩余 3 座工业电子加速器机房的辐射剂量率也能满足限值要求，其计算结果如表 11-18 所示。

表 11-18 2#厂房 2#、3#及 4#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
2#机房	辐照室	a 点楼梯间	0.444	2.5	满足
		b 点过道	0.162	2.5	满足
		c 点 1#辐照室	0.274	2.5	满足
		d 点迷道外上下货区	0.013	2.5	满足
		g1 点货物进口	4.94×10^{-5}	2.5	满足
		g2 点货物出口	1.36×10^{-4}	2.5	满足
	主机室	2a 楼梯间	1.71×10^{-5}	2.5	满足
		2b 过道	3.14×10^{-7}	2.5	满足
		2c 管通设备间	0.411	2.5	满足
		2d 库房	3.75×10^{-7}	2.5	满足
		2e 主机室迷道口	1.05×10^{-3}	2.5	满足
		顶部	9.42×10^{-3}	2.5	满足
3#机房	辐照室	a 点 4#辐照室	0.274	2.5	满足
		b 点过道	0.162	2.5	满足
		c 点过道	0.444	2.5	满足
		d 点迷道外上下货区	0.013	2.5	满足
		g1 点货物进口	4.94×10^{-5}	2.5	满足
		g2 点货物出口	1.36×10^{-4}	2.5	满足
	主机室	2a 管通设备间	0.411	2.5	满足
		2b 过道	3.14×10^{-7}	2.5	满足
		2c 楼梯间	1.71×10^{-5}	2.5	满足
		2d 库房	3.75×10^{-7}	2.5	满足
		2e 主机室迷道口	1.05×10^{-3}	2.5	满足

		顶部	9.42×10^{-3}	2.5	满足
4#机房	辐照室	a 点更衣室	0.444	2.5	满足
		b 点过道	0.162	2.5	满足
		c 点 3#辐照室	0.274	2.5	满足
		d 点迷道外上下货区	0.013	2.5	满足
		g1 点货物进口	4.94×10^{-5}	2.5	满足
		g2 点货物出口	1.36×10^{-4}	2.5	满足
	主机室	2a 吊装平台	1.71×10^{-5}	2.5	满足
		2b 过道	3.14×10^{-7}	2.5	满足
		2c 管通设备间	0.411	2.5	满足
		2d 库房	3.75×10^{-7}	2.5	满足
		2e 主机室迷道口	1.05×10^{-3}	2.5	满足
		顶部	9.42×10^{-3}	2.5	满足

由表 11-2、11-10、11-17 及 11-18 可知，在现有屏蔽设计情况下，本项目 6 座工业电子加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率均能满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）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（机房顶部人员不可达）。

四、辐射工作人员及保护目标有效剂量计算

（一）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， $\mu\text{Sv/a}$ ；

$\dot{H}_{c,d}$ —关注点处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

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 —居留因子。根据 HJ 979-2018 附录 A，当参考点位置为人员全居留时取值 1，部分居留时可取 1/4，偶然居留时可取 1/16。

将表 11-2、11-10、11-17 及 11-18 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 11-19 和表 11-20。

表 11-19 1#厂房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 (μSv/h)	居留 因子	时间 (h)	年有效剂量 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)	
电子帘 加速器 调试机 房	<i>a</i> 点大功率调试机房	1.10×10 ⁻¹⁶	1/16	1120	7.71E-18	5.0	
	<i>b</i> 点大功率调试机房	9.62×10 ⁻¹²	1/16	1120	6.73E-13	5.0	
	<i>c</i> 点	1.72×10 ⁻³	1/4	1120	4.82E-04	0.1	
	<i>d</i> 点防护门外	0.024	1/4	1120	6.75E-03	0.1	
	<i>e</i> 点	5.10×10 ⁻³	1/4	1120	1.43E-03	0.1	
	<i>f</i> 点	4.15×10 ⁻³	1/16	1120	2.91E-04	0.1	
	顶部	5.59×10 ⁻³	1/16	1120	3.91E-04	0.1	
大 功 率 加 速 器 调 试 机 房	辐 照 室	<i>a</i> 点过道	0.444	1/16	960	0.027	0.1
		<i>b</i> 点组装区	0.013	1/4	960	0.003	0.1
		<i>c</i> 点电子帘机房	0.681	1/16	960	0.041	5.0
		<i>d</i> 点过道	0.162	1/16	960	0.010	0.1
		<i>g</i> 1 点货物进口	3.88×10 ⁻⁵	1/16	960	2.33E-06	0.1
		<i>g</i> 2 点货物出口	1.18×10 ⁻⁴	1/16	960	7.08E-06	0.1
	主 机 室	2 <i>a</i> 吊装平台	1.72×10 ⁻⁵	1/16	960	1.03E-06	5.0
		2 <i>b</i> 电气设备室	1.212	1/16	960	0.073	5.0
		2 <i>b</i> '控制室	5.27×10 ⁻⁵	1	960	5.06E-05	5.0
		2 <i>c</i> 管通设备间	0.408	1/16	960	0.024	5.0
		2 <i>e</i> 主机室迷道口	8.65×10 ⁻³	1/16	960	0.001	5.0
		顶部	7.13×10 ⁻³	1/16	960	4.28E-04	0.1

表 11-20 2#厂房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/a)	剂量约束值 (mSv/a)
1# 加 速 器	辐 照 室	<i>a</i> 点 2#辐照室	0.274	1/16	4000	0.069	5.0
		<i>b</i> 点 过道	0.162	1/16	4000	0.041	0.1
		<i>c</i> 点 过道	0.444	1/16	4000	0.111	5.0
		<i>d</i> 点迷道外上下货区	0.013	1/4	4000	0.013	0.1
		<i>g</i> 1 点货物进口	4.94×10^{-5}	1/16	4000	1.24E-05	0.1
		<i>g</i> 2 点货物出口	1.36×10^{-4}	1/16	4000	3.40E-05	0.1
	主 机 室	2 <i>a</i> 管通设备间	1.71×10^{-5}	1/16	4000	4.28E-06	5.0
		2 <i>c</i> 楼梯间	0.411	1/16	4000	0.103	5.0
		2 <i>d</i> 库房	3.75×10^{-7}	1/16	4000	9.38E-08	5.0
		2 <i>e</i> 主机室迷道口	1.05×10^{-3}	1/16	4000	2.63E-04	5.0
	顶部	9.42×10^{-3}	1/16	4000	2.36E-03	5.0	
2# 加 速 器	辐 照 室	<i>a</i> 点楼梯间	0.444	1/16	4000	0.111	5.0
		<i>b</i> 点 过道	0.162	1/16	4000	0.041	0.1
		<i>c</i> 点 1#辐照室	0.274	1/16	4000	0.069	5.0
		<i>d</i> 点迷道外上下货区	0.013	1/16	4000	0.003	0.1
		<i>g</i> 1 点货物进口	4.94×10^{-5}	1/16	4000	1.24E-05	0.1
		<i>g</i> 2 点货物出口	1.36×10^{-4}	1/16	4000	3.40E-05	0.1

3# 加速器	主机室	2a 楼梯间	1.71×10^{-5}	1/16	4000	4.28E-06	5.0
		2c 管通设备间	0.411	1/16	4000	0.103	5.0
		2d 控制室	3.75×10^{-7}	1	1333.3	5.00E-07	5.0
		2e 主机室迷道口	1.05×10^{-3}	1/16	4000	2.63E-04	5.0
		顶部	9.42×10^{-3}	1/16	4000	2.36E-03	0.1
	辐照室	a 点 4#辐照室	0.274	1/16	4000	0.069	5.0
		b 点过道	0.162	1/16	4000	0.041	0.1
		c 点过道	0.444	1/16	4000	0.111	5.0
		d 点迷道外上下货区	0.013	1/4	4000	0.013	0.1
		g1 点货物进口	4.94×10^{-5}	1/16	4000	1.24E-05	0.1
		g2 点货物出口	1.36×10^{-4}	1/16	4000	3.40E-05	0.1
	主机室	2a 管通设备间	1.71×10^{-5}	1/16	4000	4.28E-06	5.0
		2c 吊装平台	0.411	1/16	4000	0.103	5.0
		2d 库房	3.75×10^{-7}	1/16	4000	9.38E-08	5.0
		2e 主机室迷道口	1.05×10^{-3}	1/16	4000	2.63E-04	5.0
		顶部	9.42×10^{-3}	1/16	4000	2.36E-03	5.0
4# 加速器	辐照室	a 点	0.444	1/16	4000	0.111	5.0
		b 点过道	0.162	1/16	4000	0.041	0.1
		c 点 3#辐照室	0.274	1/16	4000	0.069	5.0
		d 点迷道外上下货区	0.013	1/16	4000	0.003	0.1
		g1 点货物进口	4.94×10^{-5}	1/16	4000	1.24E-05	0.1
		g2 点货物出口	1.36×10^{-4}	1/16	4000	3.40E-05	0.1
	主机室	2a 吊装平台	1.71×10^{-5}	1/16	4000	4.28E-06	5.0
		2c 管通设备间	0.411	1/16	4000	0.103	5.0
		2d 库房	3.75×10^{-7}	1	1333.3	5.00E-07	5.0
		2e 主机室迷道口	1.05×10^{-3}	1/16	4000	2.63E-04	5.0
		顶部	9.42×10^{-3}	1/16	4000	2.36E-03	0.1

根据上表可知，该项目工业电子加速器机房投入运行后，辐射工作人员所受最大年有效剂量最大为 0.111mSv/a，公司厂区内周围公众年有效剂量最大为 0.041mSv。

（二）保护目标处公众年有效剂量分析

由于本项目公司厂区内四周环境保护目标距机房墙体相对较远（远大于表面 30cm），故公司厂区内环境保护目标处公众所受的辐射剂量将远小于上述表 11-19 和表 11-20 理论计算值，其受年有效剂量同样可以满足本项目剂量约束值要求。

故本项目保守对公司厂区外环境保护目标所受剂量进行理论预测，其年受照时间保守取 2000h/a。公众年有效剂量见表 11-21。

表 11-21 工业电子加速器机房周围保护目标年有效剂量

关注点位置	参照点	与屏蔽体最近距离 (m)	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	时间 (h)	年有效剂量 (mSv/a)
东南侧日春事业有限公司 厂区人员	b'	30	0.003	1	2000	0.006
西南侧阳光村老年人活动中心	c	15	0.007	1	2000	0.014
西北侧泉州市盈泰展示用品有限公司厂区人员	d	25	0.001	1	2000	0.002

注：已考虑本项目 1#厂房 2 台加速器同时调试，2#厂房 4 台工业电子加速器存在同时运行的情况。

综合上述结果分析可知，该项目工业电子加速器机房投入运行后，本项目辐射工作人员所受年有效剂量最大为 0.111mSv；厂区内周围公众所受年有效剂量最大为 0.041mSv；厂区外周围公众所受年有效剂量最大为 0.014mSv，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）。

五、其他三废影响分析

（一）废气环境影响分析

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：

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

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；本项目电子束流强度为 2.5mA；

d —电子在空气中的行程（cm），应结合电子在空气中的线阻止本领 $s=2.5\text{keV/cm}$ 和辐照室尺寸选取，本项目取 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/m^3 ；

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 $T_V < T_d$ ，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 11-22 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	工业电子加速器机房辐照室
d (cm)	120
I (mA)	2.5
G	10
P (mg/h)	1.30×10^5
V (m^3)	345
排风速率 (m^3/h)	15000
T_e (h)	0.022
C_S (mg/m^3)	8.41

(3) 臭氧的排放

由表 11-22 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 11-23 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	加速器机房辐照室
T_e (h)	0.022
C_0 (mg/m^3)	0.3
C_S (mg/m^3)	8.41
T (min)	4.47

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 $15000\text{m}^3/\text{h}$ 继续工作，通过约 4.47min 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约 5min 后，辐射工作人员方可进入辐照室。本项目拟设置的排风口距地面 13.3m，排风口高度均高于四周建筑物，综上所述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 ($5\text{mg}/\text{m}^3$) 要求。而按照臭氧设计要求在停机约 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。

（二）废水、固体废物和噪声等环境影响分析

1.废水环境影响分析

本项目产生的废水主要为生活污水和冷却废水，冷却水循环使用不外排，生活污水依托园区已有的污水处理设施处理后纳入市政污水管网并进入污水处理厂处理。

在检修期间，根据设备厂家判定如需对冷却系统进行维修时，会将冷却水按照工业废水进行排放，排入园区的污水管网。

2.噪声影响分析

本项目运行时产生噪声主要有风机、真空系统、高压系统等，建设单位拟使用的

风机为低噪声节能排风机，采取基础减振等措施，且本项目属于规划的工业用地，并经建筑物墙体隔声及公司场址内的距离衰减后，本项目所在单位厂界噪声能够满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）3类区标准限值的要求。

3.固体废物环境影响分析

本项目营运期间，产生的固体废物主要为生活垃圾和不合格产品。生活垃圾依托园区已有的生活垃圾处理设施处理，对运营过程中不合格的产品进行重新辐照后仍然不合格的，作为一般固体废物处理，对周围环境影响较小。

事故影响分析

本项目使用的工业辐照电子加速器属于II类射线装置，根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理与报告制度的通知》（环发〔2006〕145号）之规定，该类射线装置可能发生的事故是指射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

一、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；

二、事故防范措施

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等进行防范。公司拟在以下几个方面采取一系列的预防措施，尽可能减小或控制事故的危害和影响：

- 1.建立辐射安全管理机构，制定完善的辐射安全管理规章制度，并在实际工作过

程中严格执行；

2.对辐射工作场所实行分区管理，划分控制区和监督区，公司加强管理，严禁无关人员进入机房，开机出束期间禁止任何人员进入机房；

3.辐射操作人员按要求参加岗前培训，合格后方可上岗，工作人员须熟练掌握操作技能及辐射防护基本知识，公司加强管理，加强职工安全意识教育；

4.操作人员严格按照操作规程操作，进入加速器机房须携带辐射巡检仪，并佩戴个人剂量报警仪和个人剂量计，确认机房内无人后方可开始辐照工作，并通过视频监控、声光报警装置进一步确保机房内无人误留；

5.辐射工作场所按要求设置门机联锁、急停按钮、视频监控、固定式报警仪、电离辐射警告标志等辐射安全与防护措施，每次开机出束前工作人员均检查门机联锁、急停按钮等安全措施的有效性，确保有效后方开始辐照工作；

6.公司制定完善的设备维修维护制度，机器调试、检修时严格按照要求操作。

三、辐射事故应急措施

公司应针对本项目可能出现的事故，按照《福建省环保厅关于印发〈核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲〉（试行）的通知》的格式和要求，制定切实可行的辐射事故应急预案，以备辐射事故发生时，有序处置应对辐射事故。此外，项目运行后，公司应积极开展辐射应急演练，通过演练，能够检验制定的应急措施是否可行。

假若本项目发生了辐射事故，建设单位应迅速、有效地采取以下应急措施：

（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，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。

四、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联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，建设单位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，以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他安全事故；

(5) 制定事故处理预案、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，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。 公司应根据《中华人民共和国生态环境法典》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的要求成立辐射安全与环境保护管理机构，负责全公司的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。拟建立的辐射安全领导小组组成及职责如下： 1.领导小组成员 组 长：一般为企业法人 副组长：直接负责的主管人员 组 员：其他参与本项目运行的主要人员 2.工作职责 （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监测工作，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 日前在“全国核技术利用辐射安全申报系统”提交上一年度的评估报告。 二、辐射工作人员配置和能力分析 福建颐瑞得科技有限公司拟为本项目配备辐射工作人员 37 名（其中包含 2 名辐
--

射安全管理人员），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，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。建设单位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

根据《中华人民共和国生态环境法典》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，公司拟制定相关的辐射安全管理制度，主要包括《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》《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》等，具体要求如下：

操作规程：明确操作人员的资质条件要求、操作过程中应采取的具体防护措施及步骤，明确电子加速器的操作步骤，工作前的安全检查，工作人员佩戴个人剂量计携带个人剂量报警仪。

岗位职责：明确管理人员、操作人员、维修人员等相关人员的岗位责任，使每个相关的工作人员明确了解自己所在岗位具体责任，层层落实。

辐射防护和安全保卫制度：根据企业的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，对电子加速器的安全防护和维修落实到个人。

设备检修维护制度：明确加速器和辐照室、主机室的各项安全联锁装置、工作状态指示灯等在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全装

置有效地运转。明确日检查、月检查和半年检查的内容和维修记录事项，确保辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器必须保持良好工作状态。

射线装置使用登记制度：明确使用登记和台账记录要求，并在日常工作中落实到位，对公司使用的射线装置的型号、规格、数量及购置日期等均需记录在台账上。

人员培训计划：制定人员培训计划，明确辐射工作人员的培训内容、周期、方式以及考核办法等内容，内外结合，加强对培训档案的管理，做到有据可查。

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

辐射环境监测方案：须制定辐射环境监测方案，明确日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。每年对本单位的放射性同位素与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 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上一年度的评估报告。

事故应急方案：根据《福建省环保厅关于印发〈核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲〉（试行）的通知》等要求，公司需针对本项目可能发生的辐射事故，制定辐射事故应急预案，须成立单位法人为领导的辐射事故应急领导小组，并明确小组成员及相关职责；明确了本项目可能发生的辐射事故，事故情况下应采取的防护措施和执行程序、事故报告和详细的联络报告电话等；明确内部培训要求、修订要求、应急演练的频次要求等，定期对辐射应急相关人员进行培训；明确根据本单位实际情况，定期开展综合或单项的应急演练，应急演练前编制演习计划，包括演练拟的事故/事件情景、演练参与人员等。

公司拟制定的辐射安全管理规章制度具有一定的针对性和可操作性，满足本项目对辐射安全管理规章制度的需求。在日后的运行管理过程中，公司应根据实际辐射工作情况，按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，及时对辐射安全规章制度进行更新完善，提高制度的针对性和可操作性，做到所有辐射工作都有章可循，有制度保障。

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、监测设备配置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用Ⅱ类射线装置的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警仪、辐射监测等仪器。

福建颐瑞得科技有限公司拟为本项目配置 7 台便携式辐射巡检仪，用于厂区内加速器机房的定期自行检测，并做好监测记录。拟配置 7 台个人剂量报警仪和 6 台固定式报警仪，供辐射工作人员或场所用于日常辐射工作过程中剂量监测和瞬时辐射剂量率的报警。

本项目辐射工作人员在工作时均需佩戴个人剂量计，并按每季度 1 次的频率送有资质单位进行个人剂量监测，并做好档案管理。

二、工作场所监测

1. 正式使用前监测

委托有资质的单位对工业电子加速器机房的辐射防护设施进行全面的验收监测，做出辐射安全状况的评价。

2. 自行监测

公司利用监测设备对工作场所定期进行辐射水平监测，并建立监测档案。

3. 年度监测

每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的监测，对加速器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。

4. 监测因子

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的相关要求及项目特点，本项目主要监测因子为 X- γ 辐射剂量率。

5. 监测范围及监测频次（自行监测）

项目工作场所内 X- γ 辐射剂量率监测，不低于 2 次/年。

6.监测布点

主要对辐照室及主机室出入口，穿过屏蔽墙的通风管、冷却水管、线缆管等外口，各面屏蔽墙和屏蔽顶外 30cm 处，控制室及与辐照室、主机室相邻的各辅助用房、区域、厂界四周及保护目标处等。

三、监测方案

本项目监测计划详见表 12-1 所示：

表 12-1 工作场所监测计划一览表

监测对象	监测点位及方案	监测因子	监测频次
工业电子加速器	检查安全连锁	有效性	每次使用前
	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.控制室，线缆穿墙孔外侧； 4.东南侧、西南侧及西北侧环境保护目标处。	X-γ 辐射剂量率	不低于 2 次/年的自我监测；不低于 1 次/年委托有资质单位监测
项目竣工环境保护验收监测			项目建成后

监测方法来源：《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）。

四、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的落实情况；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。

表 12-2 竣工环境保护验收一览表

项目	“三同时”措施	验收标准及要求
辐射防护措施	机房屏蔽设计详见表 10-2	符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）相关规定； 辐射工作人员年有效剂量为 5mSv，公众年有效剂量为 0.1mSv，电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h。
	设置钥匙控制、门机联锁、束下装置联锁、信号警示装置、巡检按钮、防人误入装置、急停装置、剂量联锁、通风联锁、烟雾报警、警告标志、监控系统、应急照明系统、灭火设施以及其他安全措施，具体详见表 10-6	
	配备 6 套固定式辐射监测仪、便携式 X-γ 剂量率仪 7 台、个人剂量计 1 个/人、个人剂量报警仪 10 台	
	辐照室内排风口位于钛窗下方的地面，排风管道采用“U”字形预埋的地面以下穿过墙体，单间加速器机房风机排风速率 15000m³/h，排风管道在辐照室内下沉到地下 1.3m，经地下管道到达辐照室外后再上升至地面，沿加速器机房外墙至 1#车间建筑楼顶排放，排气口距离地面 13.3m	
	加速器机房电缆管线采用“U”形和斜型路径设计	
管理制度	辐射安全管理机构	成立辐射安全管理领导小组，组长一般由企业法人担任，明确管理人员职责，制定详细的工作职责
	辐射事故应急预案	针对可能发生的辐射事故，并根据《福建省环保厅关于印发〈核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲〉（试行）的通知》制定辐射事故应急预案，发生辐射事故后向生态环境部门、公安部门及卫生健康部门报告。明确根据本单位实际情况，定期开展综合或单项的应急演练
	辐射工作人员培训计划制度	辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，并取得考试合格证书，操作人员取得工业辐照电子加速器类考试合格证书，管理人员取得管理类证书
	个人剂量监测和职业健康管理制	辐射工作人员需要进行职业健康体检，每 2 年一次。辐射工作人员需开展个人剂量监测一般 3 个月/次，建立个人剂量档案和职业健康

			监护档案并终生保存。
		辐射工作场所监测制度	制定《辐射环境监测计划》并严格执行，监测布点参考图 12-1
		设备操作规程	明确操作人员的资质条件要求、操作过程中应采取的具体防护措施及步骤，明确电子加速器的操作步骤，工作前的安全检查，工作人员佩戴个人剂量计携带个人剂量报警仪
		岗位职责	明确管理人员、操作人员、维修人员等相关人员的岗位责任，使每个相关的工作人员明确了解自己所在岗位具体责任，层层落实
		设备检修维护制度	明确加速器的各项安全联锁装置在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全装置有效地运转。明确日检查、月检查和半年检查的内容和维修记录事项，确保辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器必须保持良好工作状态
		射线装置使用登记制度	明确使用登记和台账记录要求，并在日常工作中落实到位，对公司使用的射线装置的型号、规格、数量及购置日期等均需记录在台账上
环境监测		项目建成后委托有资质的技术服务机构进行验收检测；投入使用后每年至少进行 1 次常规检测	符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）《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，监测计划详见表 12-1。
废物处理措施	废气	产生的臭氧和氮氧化物通过通风系统引至厂房楼顶排出	验收措施落实情况
	废水	生活污水经污水处理设施处理后排入市政污水管网	
	固废	生活垃圾由环卫部门统一清运	

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以下内容：

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

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）验证安全联锁功能的有效性；
- （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

四、装置维修

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福建颐瑞得科技有限公司负责运行使用，设备的维修由生产厂家负责。

设备和辅助设施在维修过程中，维修人员通过切断多个安全联锁，设备始终处于

高压禁止状态，主要切断安全联锁如下：①按下主控台急停按钮；②拉下拉线开关；③遮挡光电装置；④开启人员进出门。

在设备和辅助设施出现故障，或对设备和辅助设施进行维护检修时，需请专业的维修维护人员前来进行维修维护操作，并且须严格执行下述步骤：

- 1.提前制定维修维护计划，并及时告知值班长；
- 2.维修维护人员在控制室与值班长确认无异常情况，可以开始维修维护；
- 3.值班长操作：转动操作面板钥匙开关到停止。取出钥匙，交由维修维护负责人保管；
- 4.操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；
- 5.维修维护人员在控制室按下加速器的急停按钮，保证两台设备均不可开机，在操作台挂上“设备维修中”的维修指示牌后可离开辐照室；
- 6.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；
- 7.进入机房前，需在停机后 10 分钟，门磁断开后，才可进入，维修维护人员携带加速器的开关钥匙打开辐照室的人员进出门，并随身携带钥匙，保持机房人员进出门开启，并在门口拉警戒线，并悬挂设备维修告示牌；
- 8.进入机房后，遮挡光电设施，同时拉下身边的急停拉线开关；
- 9.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。

建设单位在设备的维修维护过程中，须严格执行上述步骤，杜绝维修维护过程中由于设备操作人员不知情，维修维护人员未执行安全措施，导致加速器出束误照射的事故。维修维护结束后，急停按钮和拉线开关需于本地复位后，加速器才能正常启动出束。

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，建设单位拟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，待项目建设完成后建设单位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) 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。

(2) 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。

(3) 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。

(4) 最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

三、其他要求

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做补充修改，使之更能符合实际需要。

表 13 结论与建议

结论 一、项目概况 项目名称：福建颐瑞得科技有限公司生产、使用及销售工业电子加速器使用项目 项目性质：新建 建设单位：福建颐瑞得科技有限公司 建设地点：福建省泉州台商投资区管委会东园镇滨海路 建设内容与规模： 福建颐瑞得科技有限公司拟在厂区内 1#厂房内东北部建设 2 座工业电子加速器调试机房，配套建设控制室、电气设备室、管通设备室、工具间等相关辅助用房。 拟在电子帘加速器调试机房内生产、调试公司自行研发设计的 FIT0.2/2 型工业电子加速器，其设备主要参数为：电子线最大能量为 0.2MeV，最大束流为 10mA，扫描盒宽度为 800mm~1600mm，功率为 2kW，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。FIT0.2/2 型工业电子加速器预计年最大生产、销售及使用约 20 台。 拟在大功率加速器调试机房内生产、调试公司自行研发设计的 FIT10/25 型工业电子加速器，其设备主要参数为：电子线最大能量为 10MeV，最大束流为 2.5mA，扫描盒宽度为 800mm~1600mm，功率为 25kW，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。FIT10/25 型工业电子加速器预计年最大生产、销售及使用约 10 台。 公司拟在厂区内 2#厂房（在建，地上 1 层建筑）内西南部建设 4 座工业电子加速器机房，配套建设控制室、电气设备室、管通设备室、工具间、未辐照产品堆放区和已辐照产品堆放区等相关辅助用房。项目建成后可开展发泡材料交联和高分子聚合物改性等技术服务。 本次拟建 4 座工业电子加速器机房均位于 2#厂房西南部，拟建的 4 座工业电子加速器机房均由一层辐照室、二层控制室、电气设备室、管通设备室、工具间及辅助用房组成，主机室位于辐照室正上方，通过钢结构楼梯连接。 4 座机房均拟配备由公司自行生产的 FIT10/25 型立式结构工业电子加速器，提供
--

电子束辐照，其设备主要参数为：电子线最大能量为 10MeV，最大束流为 2.5mA，扫描盒宽度为 800mm~1600mm，功率为 25kW，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。

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，在给企业带来利益的同时，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，在采取了相应的辐射防护措施后，项目所致的辐射危害可得到有效控制，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

本项目仅为公司厂区内部建设，不新增用地，且拟建辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽防护及采取相应的治理措施后对辐射工作人员及公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的剂量限值要求和本报告表的剂量约束值的要求，从辐射安全防护角度分析，本项目选址是合理的。

五、区域环境质量现状

根据监测结果，本项目工业电子加速器机房拟建址及周围环境 γ 辐射剂量率监测值与泉州市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

1.施工期环境影响分析

本项目施工工程量较小，施工时间短，但随着施工结束后影响即可消除。

2.营运期正常工况下辐射环境影响

（1）辐射环境影响分析结论

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《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）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 5.0mSv/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。

（2）水环境影响分析

本项目产生的废水主要为生活污水和冷却废水，冷却水循环使用不外排，生活污水依托公司厂区拟建的污水处理设施处理后纳入市政污水管网并进入污水处理厂处理。

在检修期间，根据设备厂家判定如需对冷却系统进行维修时，会将冷却水按照工业废水进行排放，排入园区的污水管网。

（3）固体废物影响分析

本项目营运期间，产生的固体废物主要为生活垃圾和不合格产品。工作人员产生的生活垃圾经收集后，统一交由当地环卫部门处理；运营过程中不合格的产品进行重新辐照后仍然不合格的，客户进行回收处理，对周围环境影响很小。

（4）噪声

本项目运行时产生噪声主要有风机、真空系统、高压系统等，建设单位拟使用的风机为低噪声节能排风机，采取基础减振等措施，且本项目属于规划的工业用地，并经建筑物墙体隔声及公司场址内的距离衰减后，本项目所在单位厂界噪声能够满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）3 类区标准限值的要求。

（5）大气环境影响分析

开机出束期间产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧和氮氧化物。臭氧和氮氧化物经排风系统抽取后排放，对周围大气环境影响轻微。

3.事故工况下环境影响

经分析，本项目可能发生的辐射事故等级为一般辐射事故或较大辐射事故。环评

认为，针对本项目可能发生的辐射事故，福建颐瑞得科技有限公司须按相关规定制定《辐射事故应急预案》后能够有效控制并消除事故影响。

七、射线装置使用与安全管理综合能力

福建颐瑞得科技有限公司拟配置专业的辐射工作人员及辐射安全管理人员，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、设施和设备；拟建立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》及《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.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（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）。

2.公司今后在更换辐射安全许可证之前，需登录全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>），对相关信息进行修改。

3.本次环评射线装置工作场所，日后如有重大变化，应另作环境影响评价。

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。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见:	
经办人:	公 章 年 月 日
审批意见:	
经办人:	公 章 年 月 日