

核技术利用建设项目

年产 3600 万光伏线束生产线技改项目

环境影响报告表

（公示稿）

宁波昊森线缆科技有限公司

二〇二二年六月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

年产 3600 万光伏线束生产线技改项目

环境影响报告表

建设单位名称： 宁波昊森线缆科技有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）： 俞佰明

通讯地址： 宁波杭州湾新区滨海四路 221 号

邮政编码： 315300 联系人： 施迎春

电子邮箱： / 联系电话： 159*****

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源.....	6
表 3 非密封性放射物质	6
表 4 射线装置.....	7
表 5 废弃物.....	8
表 6 评价依据.....	9
表 7 保护目标与评价标准.....	11
表 8 环境质量和辐射现状.....	18
表 9 项目工程分析与源项.....	21
表 10 辐射安全与防护	29
表 11 环境影响分析	35
表 12 辐射安全管理	56
表 13 结论与建议	61
表 14 审批.....	64
附图 1 项目地理位置图.....	65
附图 2 电子加速器机房周围环境概况及评价范围示意图.....	66
附图 3 厂区总平面图	67
附图 4-1 辐照室平面布置图	68
附图 4-2 加速器立面图	69
附图 5 排臭氧烟道立面图.....	70
附图 6-1 辐照室辐射工作场所分区图	71
附图 6-2 主机室辐射工作场所分区图	72

表 1 项目基本情况

建设项目名称		年产 3600 万光伏线束生产线技改项目			
建设单位		宁波昊森线缆科技有限公司			
法人代表	俞佰明	联系人	施迎春	联系电话	159*****
注册地址		宁波杭州湾新区滨海四路 221 号			
项目建设地点		宁波杭州湾新区滨海四路 221 号			
立项审批部门		宁波杭州湾新区杭州湾 新区经济和信息化局	批准文号	2109-330252-07-02-697823	
建设项目总投资 (万元)	760	项目环保投资 (万元)	80	投资比例(环保 投资/总投资)	10.53%
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其它		占地面积(m ²)	/
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				

1.1 建设单位基本情况、项目建设规模及由来

1.1.1 建设单位基本情况

宁波昊森线缆科技有限公司（以下简称“昊森”）成立于 2017 年 02 月，注册地位于宁波杭州湾新区滨海四路 221 号，企业目前主要负责辐照生产工艺段加工，生产经营模式以收取代加工费的方式运作。昊森东临慈能光伏科技有限公司，南靠句章江，西临雁归河，北临滨海四路，是一家主要专业从事电缆线缆辐照加工的企业。

宁波人和新能源科技有限公司于 2019 年 7 月 31 日将加速器环评变更到宁波昊森线缆科技有限公司，变更只涉及公司名称的改变，项目生产、经营地址、生产工艺、生产规模、设备和操作人员均不变，变更说明详见附件 4。因此宁波昊森线缆科技有限公司

现有 6 台电子加速器，均已履行环保手续，并已取得浙江省环保厅颁发的辐射安全许可证，证号浙环辐证〔B0077〕（见附件 5），有效期至 2023 年 11 月 26 日，许可种类和范围为：使用 II 类射线装置。

表 1-1 公司现有加速器情况表

序号	射线装置名称	类别	数量	最大能量（MeV）	额定电流(mA)/剂量率（Gy/h）	工作场所	环评情况	验收情况
1	DD2.5 型工业电子加速器	II 类	2 台	2.5	40	D 厂房两座 DD2.5 加速器机房	甬环发函（2011）31 号，附件 2.	甬环辐验（2015）11 号，附件 3.
2	DD3.0 型工业电子加速器	II 类	1 台	3.0	30	D 厂房 DD3.0 加速器机房	甬环发函（2016）34 号，附件 2.	甬环辐验（2017）16 号，附件 3.
3	DD1.5 型工业电子加速器	II 类	1 台	1.5	60	D 厂房 DD1.5 加速器机房	甬环发函（2016）34 号，附件 2.	甬环辐验（2017）16 号，附件 3.
4	DD2.0 型工业电子加速器	II 类	2 台	2.0	50	C 厂房 DD2.0 加速器机房	甬环发函（2017）78 号，附件 2.	自主验收，附件 3.

1.1.2 项目由来及建设规模

由于发展需要，公司现拟在厂区内扩建两座工业电子加速器机房，D 厂房内拟新增 1 台 DD1.5 型工业电子加速器，C 厂房内拟新增 1 台 DD2.0 型工业电子加速器，用于对新增光伏线束产品进行辐射交联改性，实现年产 3600 万光伏线束的目标。设备参数详见表 4，本次扩建 2 台工业电子加速器实施后公司共有 8 台工业电子加速器。

根据生态环境部部令第 16 号《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》本项目属于“五十五、核与辐射”“172.核技术利用建设项目”“使用 II 类射线装置”，应编制辐射环境影响报告表。因此，受宁波昊森线缆科技有限公司的委托，我公司承担本次核技术利用项目的环境影响评价工作。我公司在现场踏勘基础上，通过资料调研、项目工程分析，依据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的相关要求，编制完成了本项目的环境影响报告表。

1.2 项目选址和周围环境概况

1.2.1 地理位置

宁波昊森线缆科技有限公司位于宁波杭州湾新区滨海四路 221 号，地理位置示意图见附图 1。公司厂区东侧为宁波天弘拓物流有限公司、宁波康铨利科技有限公司和宁波慈能光伏科技有限公司；南侧是句章江；西侧是宁波正朗汽车零部件有限公司；北侧为人和广场。周围环境情况见附图 2。

1.2.2 电子加速器机房位置

本项目新增两台工业电子加速器分别位于厂房 C 和厂房 D，厂房 C 已有 2 台工业电子加速器，厂房 D 已有 4 台工业电子加速器。已有 6 台工业电子加速器和扩建 2 台工业电子加速器位置见图 1-1。厂房 C 为 1 幢 2F 建筑，本项目加速器位于 1F，2F 为杂物间，厂房 D 为 1 幢 3F 建筑，本项目加速器位于 1F，2F 和 3F 暂闲置。



图 1-1 电子加速器机房位置图

1.3 与《慈溪市“三线一单”生态环境分区管控方案》符合性分析

对照《慈溪市“三线一单”生态环境分区管控方案》，本项目位于宁波市杭州湾新区产业集聚重点管控区（ZH33028220003），详见附图 7。该单元准入要求如下：

生态环境特征：为宁波杭州湾经济技术开发区、国家级出口加工区、产业集聚区所在地，主导行业为智能电器、高性能新材料等。位于滨海大道以北片区，西至陆中湾江，东至四灶浦江。该管控区块内设有 1 个环境空气质量自动监测点，区域内四灶浦江、八塘江现状为Ⅳ类水质；基础设施：该区块污水管网设施较完善，污水纳入杭州湾水处理厂处理。

空间布局约束：优化完善区域产业布局，合理规划布局三类工业项目，鼓励对三类工业项目进行淘汰和提升改造。合理规划居住区与工业功能区，在居住区和工业区、工业企业之间设置防护绿地、生活绿地等隔离带。另外，禁止新建、扩建纯对外加工的喷漆/浸漆等产生 VOCs、臭气异味的涂装行业（包括水性漆）；禁止新建、扩建纯对外加工的发黑、钝化、热镀锌、印染、电镀、酸洗、磷化/硅烷化/陶化等表面处理项目；禁止新建、扩建纯对外加工的热处理加工项目；配套的不作限制。禁止新建、扩建废塑料造粒、印花、冶炼、铸造、石棉、造纸、制革、小熔炼、小化工、小织造等散乱污项目。

污染物排放管控：严格实施污染物总量控制制度，根据区域环境质量改善目标，削减污染物排放总量。新建二类、三类工业项目污染物排放水平要达到同行业国内先进水平。推进工业园区（工业企业）“污水零直排区”建设，所有企业实现雨污分流。全面推进重点行业 VOCs 治理和工业废气清洁排放改造，强化工业企业无组织排放管控。加强土壤和地下水污染防治与修复。污水管网未到位区域，禁止新建、扩建排放生产废水的项目。

环境风险防控：定期评估沿江河湖库工业企业、工业集聚区环境 和健康风险。强化工业集聚区企业环境风险防范设施建设和正常运行监管，加强重点环境风险管控企业应急预案制定，建立常态化的企业隐患排查整治监管机制，加强风险防控体系建设。

资源开发效率要求：推进工业集聚区生态化改造，强化企业清洁生产改造，推进节水型企业创建等。落实煤炭消费减量替代要求，提高能源使用效率。

符合性分析：本项目建设属于《产业结构调整指导目录（2019 本）》中第六项

核能中第六条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。评价范围内无居民、学校和医院等敏感建筑，无生态保护红线，选址和布局合理。并根据现场监测与环评预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题。其建设符合与《慈溪市“三线一单”生态环境分区管控方案》管控要求。

1.4 原有核技术利用建设项目许可情况

（1）宁波昊森线缆科技有限公司现有 6 台电子加速器，均已履行环保手续，并已取得浙江省环保厅颁发的辐射安全许可证：浙环辐证[B0077]（见附件 5），有效期至 2023 年 11 月 26 日，许可种类和范围为：使用 II 类射线装置。详见表 1-1。

（2）公司现有 17 名辐射工作人员，均参加辐射安全与防护培训并考试合格，辐射工作人员最近体检时间为 2021 年 9 月，其中 2 名辐射工作人员不宜继续从事放射工作；体检报告详见附件 11，委托浙江多普检测科技有限公司开展职业人员外照射个人剂量检测，公司建立了个人剂量档案和职业健康监护档案。

因公司辐射工作人员会出现不适合从事辐射工作和离职情况，因此要求公司在人员管理上要做好离职人员的体检工作和新入职人员的辐射安全与防护培训、上岗前体检工作，新入职工作人员要配备个人剂量计并每季度委托有资质单位检测。

（3）公司成立了辐射安全管理机构，明确了管理机构和管理人员职责。制定了《辐射事故应急预案》《辐射安全防护管理工作制度》《辐射工作人员岗位职责》《加速器操作规程》《射线装置使用登记制度》《辐射防护和安全保卫制度》《设备检维修制度》《辐射工作人员安全培训制度》《监测方案制度》，各项主要管理制度、操作规程均张贴在工作场所墙上。

（4）公司制定了《辐射事故处理预案》。明确了辐射应急工作的责任部门和应急联络方式预防事故的措施发生事故的处理和报告程序。

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封性放射物质

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》（GB18871-2002）

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流(mA)/ 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	电子加速器	II 类	1 台	DD1.5-60	电子	1.5	60	工业辐照	D 厂房 DD1.5 加速器机房	束流损失率 为 1%，束流 损失点能量 为最大能量 的 10%。
2	电子加速器	II 类	1 台	DD2.0-50	电子	2.0	50	工业辐照	C 厂房 DD2.0 加速器机房	
	以下空白									

(二) X 射线，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 (μ A)	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

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

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) 《中华人民共和国环境保护法》（修订本），2015 年 1 月 1 日实施； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（修订本），2018 年 12 月 29 日实施； (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； (4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 修订），国务院令 第 709 号，2019 年 3 月 2 日； (5) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日实施； (6) 《关于修改<放射性同位素与射线装置安全许可管理办法>的决定》（2019 年修订），中华人民共和国环境保护部令第 3 号，2017 年 12 月 20 日起实施； (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国环境保护部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日起实施； (8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部部 令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起实施。 (9) 《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，公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日实施； (10) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的 通知》国家环境保护总局，环发（2006）145 号，2006 年 9 月 26 日起实施； (11) 《浙江省辐射环境管理办法（2021 年修正）》，浙江省人民政府令第 388 号，2021 年 2 月 1 日起施行； (12) 关于发布《省环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项 目清单（2015 年本）》及《设区市环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件 的重污染、高环境风险以及严重影响生态的建设项目清单（2015 年本）》的通知， 浙环发（2015）38 号，2015 年 9 月 23 日起实施； (13) 《浙江省建设项目环境保护管理办法（2021 年修正）》，浙江省人民 政府令第 388 号，2021 年 2 月 1 日起施行。
------	---

技 术 标 准	(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)； (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》(HJ10.1-2016)； (3) 《辐射环境监测技术规范》HJ61-2021； (4) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)； (5) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)； (6) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)； (7) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019)； (8) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 及其 2018 年修改单。
其 他	(1) 建设单位营业执照，见附件 1； (2) 其他技术资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目为使用 II 类射线装置，根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中“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”等相关规定，确定本项目评价范围为电子加速器机房蔽墙体边界外延 50m 的区域，本项目评价范围示意图见附图 2。

7.2 保护目标

本项目主要考虑电子加速器工作时产生的 X 射线可能对周围环境产生的辐射影响。经现场踏勘，拟建电子加速器机房边界外 50m 范围内主要有本项目的辐射工作人员、公司内其他非辐射工作人员，宁波正朗汽车零部件有限公司、宁波天弘拓物流有限公司、宁波康铨利科技有限公司和人和广场活动的其他公众成员。因此，本项目环境保护目标为辐照室周围活动的辐射工作人员、辐射工作场所周边的其他非辐射工作人员和其他公众成员，详细情况见表 7-1。

表 7-1 项目环评范围内主要关注对象一览表

场所位置	保护对象	规模	与辐照室相对方位	与辐照室相对距离
本项目辐射工作人员	辐射工作人员	8 人	南侧	紧邻
公司其他非辐射工作人员	公众成员	50 人/天	四周侧	约 1m
宁波正朗汽车零部件有限公司	公众成员	约 30 人/天	西侧	约 30m
宁波天弘拓物流有限公司	公众成员	约 50 人/天	北侧	约 20m
宁波康铨利科技有限公司	公众成员	约 50 人/天	西北	约 30m
二楼	公众成员	约 5 人/天	西北	约 15m

7.3 评价标准

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

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

4.3.3 防护与安全的最优化

4.3.3.1 对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）。

4.3.3.2 防护与安全最优化的过程，可以从直观的定性分析一直到使用辅助决策技术的定量分析，但均应以某种适当的方法将一切有关因素加以考虑，以实现下列目标：

a) 相对于主导情况确定出最优化的防护与安全措施，确定这些措施时应考虑可供利用的防护与安全选择以及照射的性质、大小和可能性；

b) 根据最优化的结果制定相应的准则，据以采取预防事故和减轻事故后果的措施，从而限制照射的大小及受照的可能性。

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv。

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv。

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

7.3.2 《γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ141-2002）

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

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

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

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

5.1.4.3 测量结果应符合 GB17279 第 5 条（即“对监督区，在距屏蔽体的可达界面 30cm，由穿透辐射所产生的平均剂量率应不大于 $2.5 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ ”）。

7.3.3 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T25306-2010）

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

8.1.3 辐射防护安全要求

辐射防护安全要求如下：

- a) 辐射屏蔽材料采用混凝土时，其强度等级应高于 C₂₀，密度不低于 2.35g/cm³；
- b) 屏蔽结构及预埋件应满足设备供应商的土建工艺指导数据；
- c) 监督区的辐射剂量水平应符合 GB18871-2002 和 GB5172-85 中的职业照射剂量限值要求；在工程设计时辐射防护设计的剂量规定为：职业照射个人年有效剂量限值为 5mSv，公众成员个人年有效剂量限值为 0.1mSv；

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

e) 控制区和监督区及其入口处应设置电子加速器装置运行状态的灯光信号和其他警示标志；

f) 剂量监测设备、个人剂量计等应配置完备；

g) 其他物理因素安全要求应满足 GBZ2.2-2007 规定的标准要求。

C.3 有害气体职业接触限值

按照 GBZ2.1-2007，有害气体职业接触限值如下

- a) 臭氧，最高容许浓度：0.3mg/m³”。
- b) 二氧化氮，时间加权平均容许浓度：5mg/m³，短时间接触容许浓度：10mg/m³。

注：此项限值主要在辐射室，在辐射室，由于射线导致空气电离主要产生臭氧和二氧化氮这两种有害气体。

7.3.4 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）

本标准适用于辐照加工用能量不高于 10MeV 的电子束辐照装置和能量不高于 5MeV 的 X 射线辐照装置。自屏蔽辐照装置不适用于本标准。

4.1.2 辐射工作场所的分区

按照 GB18871 的规定，电子加速器辐照装置的工作场所分为：

控制区，如主机室和辐照室及各自出入口以内的区域；

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

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 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限值规定为：

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。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。

5 电子加速器辐照装置的辐射屏蔽

5.1 屏蔽设计原则

电子加速器辐照装置在屏蔽设计时，不仅要考虑最大束流功率时的屏蔽要求，在能量和束流强度可调情况下，还要考虑在最大能量和/或最大束流强度组合下的屏蔽差异。

5.2 屏蔽设计计算

5.2.1 屏蔽设计计算应包括：辐照室和主机室及各自迷道、屋顶、孔洞等。

5.2.2 屏蔽设计和计算结果应在设计文件中加以说明。

5.2.3 电子加速器辐照装置的屏蔽计算方法可参见附录 A。对于专用 X 射线辐照装置，应根据加速器厂商提供的转换靶参数或 X 射线发射率进行计算。对于即可用于电子

束辐照也可用于 X 射线辐照的辐照装置, 应按照电子加速器辐照装置的屏蔽计算方法计算。

6 电子加速器辐照装置的安全设计

6.1 联锁要求

在电子加速器辐照装置的设计中必须设置功能齐全、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。

6.2 安全设施

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

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

(3) 束下装置联锁。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;

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

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

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

(7) 急停装置。在控制台上和主机室、辐照室内设置紧急停机装置(一般为拉线开关或按钮), 使之能在紧急状态下终止加速器的运行。辐照室及其迷道内的急停装置应

采用拉线开关并覆盖全部区域。主机室和辐照室内还应设置开门机构，以便人员离开控制；

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

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

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

6.3 其他要求

6.3.1 电气系统

(1) 必须按加速器装置及厂房建设和公用工程的供电条件设计，确保电压电流的稳定度。

(2) 主机室、辐照室、控制室应设置应急照明系统。

(3) 各供电系统及相关设备应有可靠的接地系统。

(4) 凡有高压危险的部位，应设置高压联锁、高压放电保护装置。

6.3.2 给水系统

(1) 应根据加速器装置总用水要求，提供有一定裕量的水流量和水压。

(2) 根据加速器装置和束下装置等设备工艺要求的水质、水温、热交换负荷进行设计。

6.3.3 通风系统。

(1) 主机室和辐照室应设置通风系统，以保证辐照分解产生的臭氧等有害气体浓度满足 GBZ2.1 的规定。有害气体的排放应满足 GB3095 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 GB3095 的规定、有害气体排出量和辐照装置附近环境与气象资料计算确定。

6.3.4 防火系统

辐照室和主机室的耐火等级应不低于二级，并设置火灾报警装置和有效的灭火设施。

7.3.5 工作场所臭氧的控制水平

《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）规定，工作场所空气中臭氧最高容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

7.3.6 项目管理目标限制

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）等评价标准，确定本项目的管理目标：

- ①以 5mSv 作为工作人员的辐射剂量约束值；
- ②以 0.1mSv 作为公众的辐射剂量约束值；
- ③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 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；
- ④工作场所空气中臭氧最高容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

宁波昊森线缆科技有限公司位于宁波杭州湾新区滨海四路 221 号，公司厂区东侧为宁波天弘拓物流有限公司、宁波康铨利科技有限公司和宁波慈能光伏科技有限公司；南侧是句章江；西侧是宁波正朗汽车零部件有限公司；北侧为人和广场。本项目两台工业电子加速器分别位于公司厂房 C 和厂房 D。详见附图 2。

8.2 环境质量和辐射现状

为了掌握企业拟建辐射装置安装场地的辐射环境背景水平，为辐射环境影响评价提供基础数据，建设单位委托湖州环安检测有限公司于 2021 年 8 月 26 日对项目拟建厂址及周边环境进行了辐射环境背景监测。

1、监测因子

X- γ 辐射剂量率。

2、监测布点

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）等要求，结合现场条件，对本项目工业电子加速器机房拟建址周围进行监测布点，共布设 13 个监测点位。

3、监测仪器及规范

监测仪器的参数与规范见表 8-1。

表 8-1 X- γ 射线剂量率监测仪器参数与规范

项目	内容
仪器名称	X、 γ 辐射剂量率仪
型号规格	AT1121
仪器编号	2018003
量程	50nSv/h~10Sv/h、10nSv~10Sv
校准有效期	2020.11.25-2021.11.24

4、质量保证措施

- (1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。
- (2) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上

岗。

(3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。

(4) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常，并用检验源对仪器进行校验。

(5) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

(6) 监测报告严格实行三级审核制度，经校对、校核，最后由技术总负责人审定。

5、监测结果

表 8-2 拟建工业电子加速器机房周围环境 γ 射线剂量率检测结果

检测地址	加速器机房拟建址		
检测点编号	检测点位置	辐射剂量率 (nSv/h)	
		平均值	标准偏差
▲1	1 号加速器机房拟建址东侧	100	6
▲2	1 号加速器机房拟建址南侧	98	6
▲3	1 号加速器机房拟建址西侧	103	4
▲4	1 号加速器机房拟建址北侧	103	5
▲5	2 号加速器机房拟建址东侧	98	8
▲6	2 号加速器机房拟建址南侧	101	6
▲7	2 号加速器机房拟建址西侧	95	3
▲8	2 号加速器机房拟建址北侧	96	3
▲9	公司厂界东侧	96	4
▲10	公司厂界南侧	97	4
▲11	公司厂界西侧	104	5
▲12	公司厂界东北侧	97	5
▲13	公司厂界西北侧	99	5



图 8-1 监测点位图

6、现状监测评价

由表 8-2 监测结果可知，本项目工业电子加速器拟建址四周 γ 辐射剂量率在 95~104nSv/h 之间。根据《浙江省环境天然放射性水平调查报告》可知，宁波市室内的 γ 辐射剂量率在 112~226nGy/h，宁波市陆地 γ 辐射剂量率在 96~160nGy/h 之间，可见其 γ 辐射剂量率处于一般本底水平，未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工艺设备和工艺分析

9.1.1 工程设备

本项目拟配备的 2 台工业电子加速器的主体拟采用卧式自屏蔽结构，项目只建设辐照室，加速器主体、冷却水循环系统、气体系统等辅助设备均位于辐照室楼顶的设备平台，加速器主体采用铅+铁+不锈钢进行自屏蔽。电子加速器技术参数见表 9-1。

表9-1 本项目2台工业电子加速器技术参数一览表

设备名称	1#电子加速器	2#电子加速器
产品型号	DD1.5-60	DD2.0-50
电子束能量	1.5MeV	2.0MeV
电子束流强	60mA	50mA
扫描宽度	1800mm	1800mm
绝缘气体系统	使用 SF ₆ 气体作为绝缘气体，并配备气体回收系统	使用 SF ₆ 气体作为绝缘气体，并配备气体回收系统
扫描窗冷却	提供风冷、水冷配套系统	提供风冷、水冷配套系统
束流损失率	1%（即电子束流强度为 0.6mA）	1%（即电子束流强度为 0.5mA）
束流损失点能量	为最大能量的 10%（即 0.15MeV）	为最大能量的 10%（即 0.20MeV）

9.1.2 运行工况与人员配置计划

公司拟为本项目 2 台加速器共配备 8 名辐射工作人员，每间加速器机房配备 4 名辐射工作人员，采取两班制，每台加速器每班配备 2 名辐射工作人员，并指定其中 1 人为当班运行值班长，辐射工作人员均为新招聘人员，每台电子加速器辐照装置计划日连续出束时间约为 16 小时，年工作 250 天，则每台加速器年工作时间不超过 4000 小时。

9.1.3 电子加速器工作原理

工业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或 X 射线的设备。DD 型(Dynamitron 型)电子辐照加速器是一种高频高压电子辐照加速器，用来加速电子，作为工农业生产用的辐照源。它的主要组成部分包括高压系统、高频振荡器、加速管、电子枪、引出扫描系统、真空系统、水冷系统、辐射防护监测系统和控制系统等。

其工作原理为：首先，将工频低压电能，用高频振荡器变成高频电能。然后通过高频耦合方式给由二极管和空间电容组成的倍压整流电路并联供电，串联后得到极高的直流高压，用它加速电子，获得所需要的高能强流电子射线。DD 型高频高压电子加速器

主体装置示意图 9-1。

本项目加速器为卧式自屏蔽型加速器，即加速器主体采用卧式结构放置于辐照室屋顶的设备平台，主体采用铅+铁+不锈钢进行自屏蔽。本项目卧式加速器的整体结构图见图 9-2。

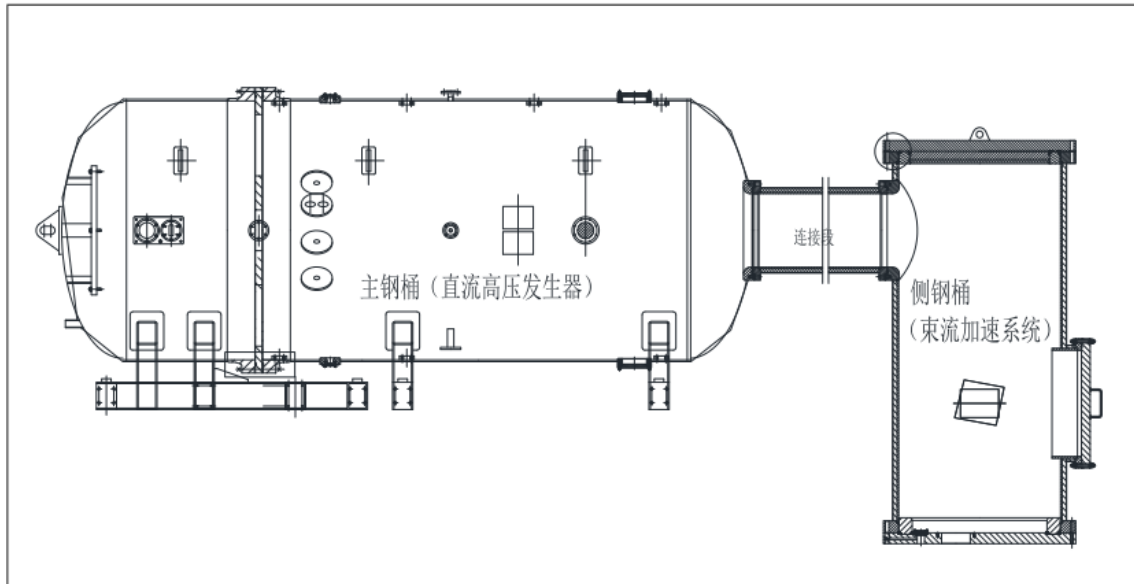


图 9-1 本项目 DD 型工业电子加速器主体装置示意图

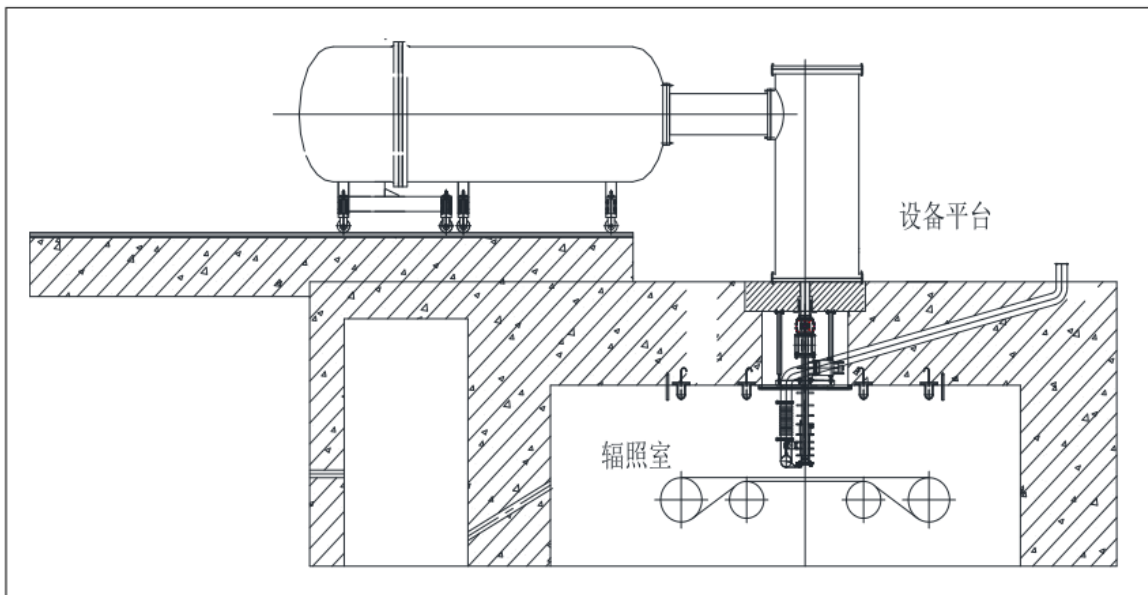


图 9-2 本项目卧式加速器整体结构图

9.1.4 设备简述

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

1、直流高压发生器

由高频振荡器和倍压整流芯柱组成。

(1) 高频振荡器

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

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

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

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

④采用了风冷可控硅，使得机柜结构更安全、可靠、紧凑。



图 9-3 高频振荡器



图 9-4 高频振荡器可控硅交流调压系统

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

电极之间的耦合电容板取得。

高频变压器是高频振荡器的关键部件，其性能为：

①能在高频、高压和大功率负荷的条件下工作。

②变压器线饼漏磁小、Q 值高。

③结构紧凑、牢固，由完整详细的制作和安装工艺保证其质量。

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

（2）整流倍压系统

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



图 9-5 高频变压器



图 9-6 整流倍压系统

2、束流加速系统

由加速管和电子枪组成。

(1) 加速管

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

(2) 电子枪

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

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

3、扫描引出系统

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

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

4、控制系统

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

(1) 加速器启动运行的前提条件是：

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

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

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

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

5、真空抽气系统

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

9.1.5 电子加速器辐照工艺流程

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

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

作。正常操作时工作人员不进入此主机室和辐照室。

辐照工艺流程见图 9-7，产污环节示意图见图 9-8。

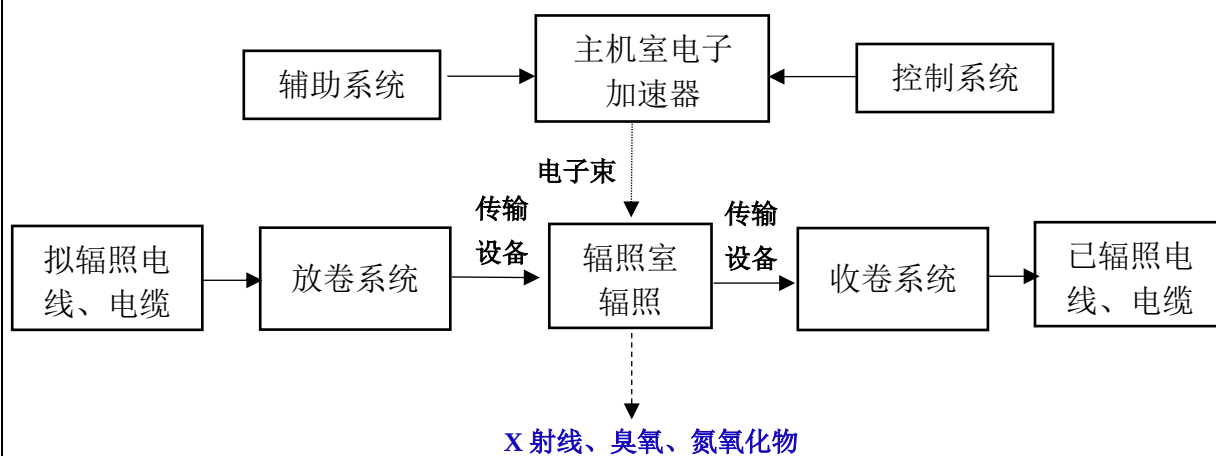


图 9-7 项目辐照工艺流程图

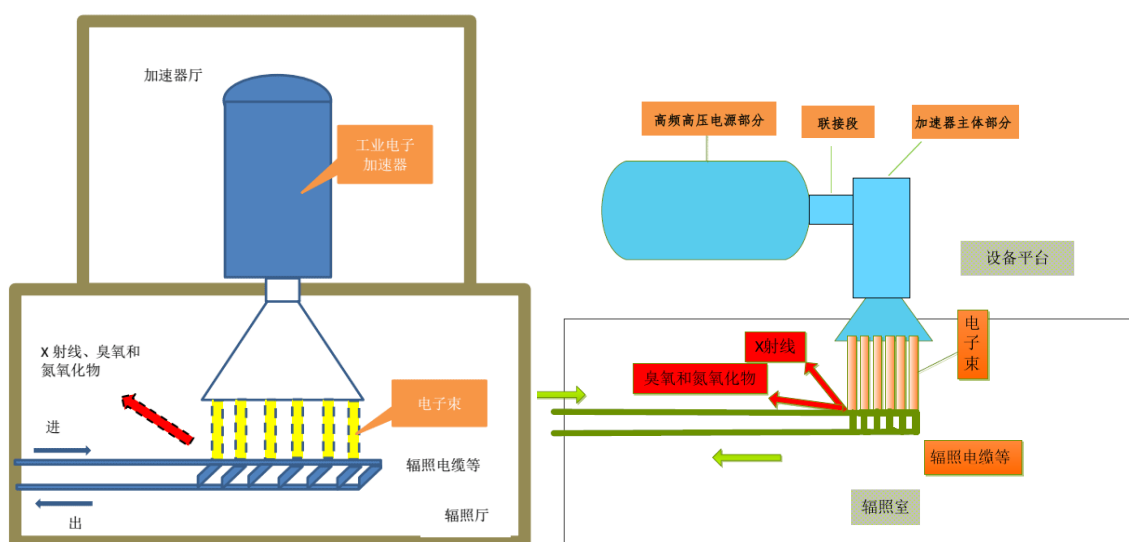


图 9-8 辐照工艺产污环节示意图（左图为立式、右图为卧式）

9.2 污染源项描述

9.2.1 辐射污染源分析

电子加速器利用电子束对产品进行辐照，电子在加速器过程中，部分电子丢失，它们打在加速管壁上，产生 X 射线。此外，电子束打到高原子序数物质时也会产生高能 X 射线。由于 X 射线的贯穿能力极强，对周围环境辐射造成辐射污染，但该 X 射线影响关机后即消失。根据《电子加速器辐照装置辐射安全与防护》（HJ979-2018），能量不高于 10MeV 的电子束，在辐射屏蔽设计中不需要考虑所产生的中子防护问题。

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

9.2.2 非辐射污染源分析

本项目电子加速器开机运行时，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧(O₃)和氮氧化物（NO_x）。其中，臭氧的危害大，产额高，毒性大，而氮氧化物的产率仅为臭氧产率的十分之一，且国家对空气中臭氧浓度的标准严于氮氧化物，因此，在考虑有害气体的影响时仅考虑臭氧的影响。

综上所述，本次环境影响评价的评价重点为 X 射线、臭氧。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 辐射工作场所布局与分区

辐照室均为地上一层混凝土结构，加速器主体、冷却水循环系统、气体系统等辅助设备均位于辐照室楼顶的设备平台，辐照室入口处均设有迷道，工业电子加速器工作时，设备操作人员位于一层的控制室内设置机器参数并监控加速器运行情况，电线电缆收放人员位于辐照室电缆进出口外的电线电缆收放区。加速器出束时，辐照室内无人员停留，本项目加速器机房布局合理可行。加速器机房平面图和剖面图见**附图 4**。加速器出束时，辐照室及主机室内均无人员停留，本项目电子加速器机房布局合理可行。

为防止 X 射线对环境的影响，公司按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)和《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）等相应的要求，对辐照工作场所划分为控制区、监督区，并实行两区管理制度。

控制区：该区域内需要或可能需要专门防护手段或安全措施，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范围。本项目控制区为辐照室和其加速器主机室及各自出入口以内的区域。控制区的进出口及其他适当位置应设置醒目的电离辐射警告标志。

监督区：该区域通常不需要专门防护手段或安全措施，但需经常对职业照射条件进行监督和评价。以上货区、下货区、控制室、电源间、水冷室及平台区域作为监督区边界等。在该区设置电离辐射标志，经常进行剂量监督，确认是否需要专门的防护措施。

本项目辐射工作场所分区管理示意图见**附图 6-1~附图 6-2**。本项目控制区和监督区划分表见表 10-1。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。

表 10-1 本项目辐射工作场所控制区和监督区划分

分区	控制区	监督区
区域划分	辐照室、主机室、迷道和出入口	上货区、下货区、控制室、电源间、水冷室及平台区域、辐照室周边 30cm 范围内二楼辅助设施区域
管理要求	在加速器开机情况下，任何人不得进入控制区，边界周围醒目位置设置电离辐射警告标志和中文警示说明	在加速器开机情况下，其他公众人员禁止进入监督区

10.1.2 辐射防护屏蔽设计

本项目新建 2 间电子加速器机房，机房尺寸和屏蔽防护方案相同，详见表 10-2。

表 10-2 电子加速器机房屏蔽防护方案

屏蔽体		1#加速器机房 (1.5Mev 半自屏蔽)	2#加速器机房 (2.0Mev 半自屏蔽)
辐照室 屏蔽	东	迷道内墙：1400mm 砼 迷道外墙：1000mm 砼	迷道内墙：800mm 砼 迷道外墙：1000mm 砼
	南	迷道内墙：800mm 砼 迷道外墙：1000mm 砼	1500mm 砼
	西	1400mm 砼	1500mm 砼
	北	1400mm 砼	迷道内墙：1500mm 砼 迷道外墙：1000mm 砼
	顶部	1400mm 砼	1500mm 砼
	防护门	40mm 钢板+14cm 砼	40mm 钢板+14cm 砼
主机室 屏蔽	/	主钢桶采用 14mm 钢板； 侧钢桶（束流加速系统）桶身采用 30mm 铅板+12mm 钢板+3mm 钢板，85mm 钢板； 桶盖采用 60mm 铅板+15mm 钢板+90mm 钢板； 桶底采用 90mmFe； 主钢桶与侧钢桶连接段采用 30mm 铅板+10mm 钢板+3mm 钢板。	主钢桶采用 14mm 钢板； 侧钢桶（束流加速系统）桶身采用 40mm 铅板+12mm 钢板+3mm 钢板，30mm 铅板+12mm 钢板+3mm 钢板；3mm 铅板+40mm 铅板+65mm 钢板+45mm 钢板； 桶盖采用 60mm 铅板+20mm 钢板+90mm 钢板； 桶底采用 80mmFe； 主钢桶与侧钢桶连接段采用 30mm 铅板+10mm 钢板+3mm 钢板。
注：砼的密度为 2.35g/cm ³			

10.1.3 辐射安全和防护措施

为保障电子加速器安全运行，避免在加速器辐照期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，本项目的电子加速器设计有相应的辐射安全装置和防护措施。主要有：

（1）钥匙控制。本项目 2 座加速器机房均设有控制室，控制室主控台上配备钥匙开关，钥匙开关控制加速器系统的运行，钥匙开关为未闭合状态时加速器无法开机；加速器的主控钥匙开关和辐照室门、主机室门联锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器自动停机；钥匙与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连，在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。

（2）门机联锁。辐照室和主机室的门与束流控制和加速器高压联锁。辐照室门或主机室门打开时，加速器不能开机启动工作；加速器运行中门被打开则加速器自动停机。

(3) 束下装置联锁。辐照室内的传输系统均与该辐照室内的电子加速器联锁。电子加速器未出束时，当辐照室内的传输系统出现故障时，将不能启动该辐照室的电子加速器进行出束作业；在电子加速器正常出束作业情况下，当辐照室内的传输系统出现故障，将立即切断加速器电源，使得该辐照室内的电子加速器立即停止出束。

(4) 信号警示装置。辐照室迷道口处、主机室防护门处设置醒目的“当心电离辐射警告标志”和工作状态指示灯及音响警示信号，工作状态指示灯与电子加速器高压联锁，当电子加速器启动时，指示灯将亮起并发出闪烁信号，音响警示装置启动伴有蜂鸣，以提醒周围人员勿靠近。

(5) 巡检按钮。在主机室和辐照室内拟设置“巡检按钮”，并与控制台联锁。电子加速器开机前，辐射工作人员进入辐照室和主机室按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留，未按下“巡检按钮”前，电子加速器将不能进行出束作业。

(6) 防人误入装置。在辐照室、主机室人员出入口通道，各设计有三道相互独立的光电装置（不同厂家或不同品牌的红外线感应装置）并分别与电子加速器联锁。三道光电装置安装高度拟分别距离地面 0.8m、1m 和 1.2m，当有人员误入辐照室、主机室，身体将任意一处红外线挡住后，若电子加速器处于开机状态下，将立即自动切断电源，电子加速器将立即停止出束，同时发出异常情况下的警示声音。通过此措施，防止在电子加速器开机过程中，人员误入辐照室、主机室造成误照射。

(7) 急停装置。在辐照室、主机室的入口处、迷道和辐照室及主机室内各墙面均设计有紧急停机开关，紧急停机开关距地面高度约 1.4m；在电子加速器控制柜上同样设计有紧急停机开关。所有紧急停机开关均有明显的标志，供应急停止使用。当出现紧急情况时，只需按下任一紧急停机开关，则该辐照室内的电子加速器将立即切断高压，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后，需将紧急停机开关复位后，电子加速器才能重新启动。在辐照室、主机室内的四面墙壁上，距离地面高度约 1.3m 处，拟安装拉线开关。当拉线开关正常时，电子加速器方可启动进行出束作业；当电子加速器正常启动出束作业过程中，若拉拽拉线开关，则该辐照室内的电子加速器将立即切断高压，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后，需将拉线开关本地复位，电子加速器才能重新启动。在辐照室、主机室内靠近防护门处设置紧急开门装置，便于人员在紧急情况下撤离辐照

室、主机室。

(8) 剂量联锁。在辐照室和主机室的迷道内拟设置固定式辐射监测系统探头，与辐照室和主机室的出入口门等联锁，显示面板位于控制室内。当显示面板上的辐射剂量率大于预设值时，将发出警告信号。通过固定式辐射监测系统，辐射工作人员可以及时了解电子加速器的工作情况以及辐照室、主机室中的辐射水平。

(9) 通风联锁。拟在辐照室设置排风机与控制系统联锁，辐照室排风机正常工作后，电子加速器才能出束；在排风机未正常工作时，电子加速器将无法进行出束作业。在电子加速器正常运行过程中，当排风机发生故障时，电子加速器将立即停止出束作业。加速器的控制软件设计有正常停机后排风机延迟关闭系统，即：电子加速器正常停止出束后，排风机将继续工作至少 4min，在 4min 内，即使对排风机发出停止工作指令，排风机仍将有效工作 4min。若电子加速器非正常停止出束，则排风系统的运行不受限制。

(10) 烟雾报警。本项目辐照室拟设置烟雾报警装置，遇有火险时，烟雾报警装置自动发出报警，加速器能立即停机并停止通风。

(11) 实时监控系统。在辐照室内设有摄像监视系统，监控图像实时显示在控制室的监控电视上，使控制室的工作人员可清楚地观察到辐照室内电子加速器的工作情况，如发生意外情况可及时处理。为了避免强辐射场对视频信号的干扰，建设单位拟在迷道口安装视频摄像头，通过反射镜来获取辐照室内图像。

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》（HJ979-2018）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。

本项目工业电子加速器机房辐射安全装置示意图见图 10-1。

名称	图标	数量	高度	作用
状态显示器		1	3m	工作状态中屏幕显示（开机、关机、准备）带报警装置
钥匙开关		1	1.3m	进入迷宫需要插上钥匙方可打开门
光电		2	1.3m	加速器运行时，有人、动物经过红外线开关，即会立刻停止加速器运行
紧停、巡更		6	1.3m	人员触发任意一处紧停设备都无法开启（门口处紧停、巡更按钮还是强制开门按钮） 开机前须工作人员进入迷宫内巡视是否清场，并按顺序按下开关，否则无法开启加速器。
剂量探头		3	1.3m	显示当前位置剂量情况。
语音报警		1	2.4m	开关关门前巡检语音提示
摄像头		1	3m	实时监控束下装置运作状态。
拉线开关		1	1.2m	听到警铃声、仍停留在加速器机房内的人员拉下可以终止设备开启
烟雾报警		1	一层天花板	烟雾报警响起，设备紧急停机

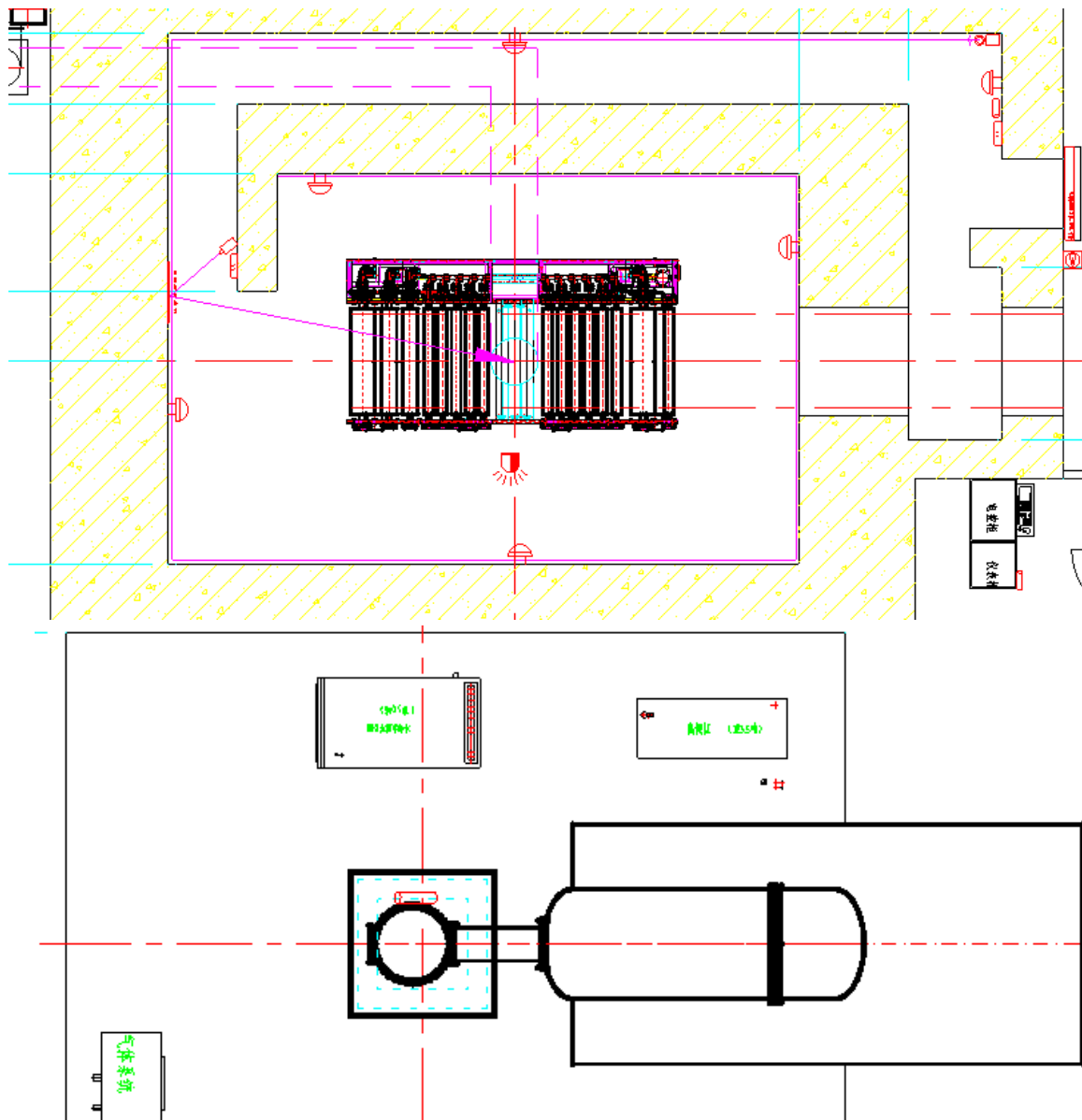


图 10-1 本项目加速器机房辐射安全装置示意图

10.2 三废的治理

电子加速器在工作状态时，产生的 X 射线会使机房内空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物。加速器输出的直接致电离粒子束流越强，臭氧和氮氧化物的产额越高。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，臭氧的毒性最高，且辐照场所氮氧化物容许浓度比臭氧容许浓度高，因此本项目主要考虑辐照室内臭氧的产生和排放影响。

本项目电子加速器机房的新风均采用自然送风的方式，排风均采用机械排风的方式，排臭氧风机放置在每组加速器机房的北墙外，风机排风速率的设计值不低于 $15000\text{m}^3/\text{h}$ ，并采用埋地排风管道，管道埋地深为 800mm ，管道内径为 600mm ，室内吸风口位于辐照室扫描窗下方的地面处，排风管道从每组加速器机房的辐照室地下穿过，并从每组加速器机房的北墙外穿出，经排臭氧烟囱于公司辐照厂房顶部排放，排放口高于厂房周边建筑。本项目电子加速器机房内产生的臭氧和氮氧化物通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小；氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，对环境影响较小。

本项目排风管道采用埋地设计，并从加速器机房的南墙和北墙外穿出，辐照室内的 X 射线至少经过 3 次散射才能到达室外排风口，排风管道的设计未破坏加速器机房的整体屏蔽防护效果，满足辐射防护的要求。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

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

(1) 大气

本项目在建设施工期需进行挖掘地基等作业，各种施工作业将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：a.及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；b.车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；c.施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

(2) 噪声

本项目整个建筑施工阶段，各种施工设备及运输车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。公司在施工时将严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523—2011）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，合理安排施工时间，禁止运输车辆鸣笛等措施，以保证施工过程对厂界外环境保护目标的影响满足标准要求。同时严禁夜间进行强噪声作业，若需在夜间作业，需取得当地主管部门同意。

(3) 固体废物

本项目施工期间产生的固体废物主要有挖掘的弃土、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，弃土主要用于厂区内的绿化覆土，建筑垃圾应回填或堆放在指定地点并委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落；装修垃圾和生活垃圾由环卫部门统一及时清运处理，做到日产日清。施工期临时堆放场地应妥善处置，减少雨水冲刷造成地表污染，并保持工区环境的洁净卫生。

(4) 废水

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

利用。

(5) 辐射影响分析

设备的安装和调试均应请设备厂家专业人员进行，建设单位不得自行安装和调试，在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，保证各屏蔽体及防护措施到位，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近，防止辐射事故发生。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体及防护门窗的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。

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。公司只要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公司厂区内，对周围环境影响较小。

11.2 运行阶段对环境的影响

12.2.1 辐射环境影响分析

1、电子加速器机房墙体屏蔽计算

(1) 估算模式

电子加速器运行时，电子束轰击靶、各结构材料和辐照产品都会产生韧致辐射（X射线），X射线是电子加速器运行过程中的主要辐射源。

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

- ①混凝土地面；
- ②电子扫描器下方的辐照产品传输带（不锈钢材料）；
- ③辐照产品，主要为聚烯烃材料。

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

理论估算模式采用《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录A公式（A-1）可以导出参考点的剂量当量率H（μSv/h）：

$$H = \frac{D_{10} \cdot T \cdot B_x}{d^2} (1 \times 10^6) \quad \dots\dots\dots \text{公式 (11-1) 式中:}$$

B_x ——X射线的屏蔽透射比，指在屏蔽体入射面的吸收剂量率，经屏蔽厚度按该透射比减弱，使屏蔽体的出射面剂量率达到所要求的水平；

d ——X射线源于参考点之间的距离（m）；

T ——居留因子。当参考点位置为人员全居留是取值 1，部分居留时可取 1/4，偶然居留是可取 1/16，本项目保守取 1；

1×10^6 ——单位转换系数。

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

$$D_{10} = 60 \cdot Q \cdot I \cdot f_e \quad \text{公式（11-2）式中：}$$

Q ——X射线发射率（ $Gy\ m^2\ mA^{-1}\ min^{-1}$ ）；

I ——电力束流强度（mA）；

f_e ——X射线发射率修正系数。

B_x ——可用十倍减弱厚度方法计算，计算方法为：

$$B_x = 10^{-n} \dots\dots\dots \text{公式（11-3）}$$

$$n = (S - T_1) / T_e + 1 \dots\dots\dots \text{公式（11-4）}$$

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，该值近似于常熟（cm）；

n ——为十分之一值层的个数。

（2）加速器辐照室屏蔽计算结果

辐照室屏蔽墙辐射影响主要考虑韧致辐射所致、与电子束入射方向呈 90° 的初级 X 射线，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。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A 表 A.1，1.5MeV、和 2.0MeV 入射电子在距靶 1m 处侧向 90° 的 X 射线发射率分别为 $1.0Gy\ m^2\ mA^{-1}\ min^{-1}$ 、 $1.6Gy\ m^2\ mA^{-1}\ min^{-1}$ 。

加速器运行时，电子束照射方向朝下，电子束可能轰击的物质有：不锈钢材料、辐照室混凝土地面及聚乙烯材料。上述几种物质不锈钢 Z 值最大，X 射线发射率最高，本

项目保守考虑，90° 方向的修正系数 f_e 为 0.5。

本项目 1.5MeV、2.0MeV 电子加速器束流强度分别为 60mA 和 50mA，根据公式（11-2），辐照室距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率 D_{10} （90°）分别为 $1.8 \times 10^3 \text{ Gy h}^{-1}$ 和 $2.4 \times 10^3 \text{ Gy h}^{-1}$ 。

根据附录 A 表 A.4，1.5MeV、2.0MeV 电子在侧向 90° 屏蔽能量取相应等效能量分别为 1.0MeV、1.3MeV；根据附录 A 表 A.2 和表 A.3，采用内插法：

入射电子能量为 1.0MeV，混凝土的 T1 和 Te 值分别为 T1=18.5cm、Te=15cm；

入射电子能量为 1.3MeV，混凝土的 T1 和 Te 值分别为 T1=20.4cm、Te=18.3cm。

表 11-1 电子加速器辐照室屏蔽效果核算一览表

楼层	参考点	设计厚度 S (混凝土 cm)	T1 (cm)	Te (cm)	n	B_x
1.5MeV 加速器辐照室 1#	A1 (东墙外)	240	18.5	15	15.77	1.71E-16
	B1 (控制室)	140	18.5	15	9.10	7.94E-10
	C1 (南墙外)	180	18.5	15	11.77	1.71E-12
	D1 (西墙外)	140	18.5	15	9.10	7.94E-10
	E1 (北墙外)	140	18.5	15	9.10	7.94E-10
	顶部 F1	140	18.5	15	9.10	7.94E-10
2.0MeV 加速器辐照室 2#	A2 (东墙外)	180	20.4	18.3	9.72	1.90E-10
	B2 (南墙外)	150	20.4	18.3	8.08	8.28E-09
	C2 (西墙外)	150	20.4	18.3	8.08	8.28E-09
	D2 (北墙外)	250	20.4	18.3	13.55	2.84E-14
	E2 (控制室)	150	20.4	18.3	8.08	8.28E-09
	顶部 F2	150	20.4	18.3	8.08	8.28E-09

续表 11-1 电子加速器辐照室屏蔽效果核算一览表

参考点位置		距离 d (m)	D_{10} (Gy h^{-1})	T	B_x	H_M ($\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$)
1.5MeV 加速器辐照室 1#	A1 (东墙外)	9.15	1800	1	1.71E-16	3.68E-09
	B1 (控制室)	6.8	1800	1	7.94E-10	3.09E-02
	C1 (南墙外)	6.1	1800	1	1.71E-12	8.28E-05
	D1 (西墙外)	5.9	1800	1	7.94E-10	4.11E-02
	E1 (北墙外)	4.7	1800	1	7.94E-10	6.47E-02
	顶部 F1	4.3	1800	1	7.94E-10	7.73E-02
2.0MeV 加速器辐照室 2#	A2 (东墙外)	6.1	2400	1	1.90E-10	1.23E-02
	B2 (南墙外)	5.9	2400	1	8.28E-09	5.71E-01
	C2 (西墙外)	4.7	2400	1	8.28E-09	9.00E-01
	D2 (北墙外)	9.15	2400	1	2.84E-14	8.15E-07
	E2 (控制室)	6.8	2400	1	8.28E-09	4.30E-01
	顶部 F2	4.3	2400	1	8.28E-09	1.07E+00

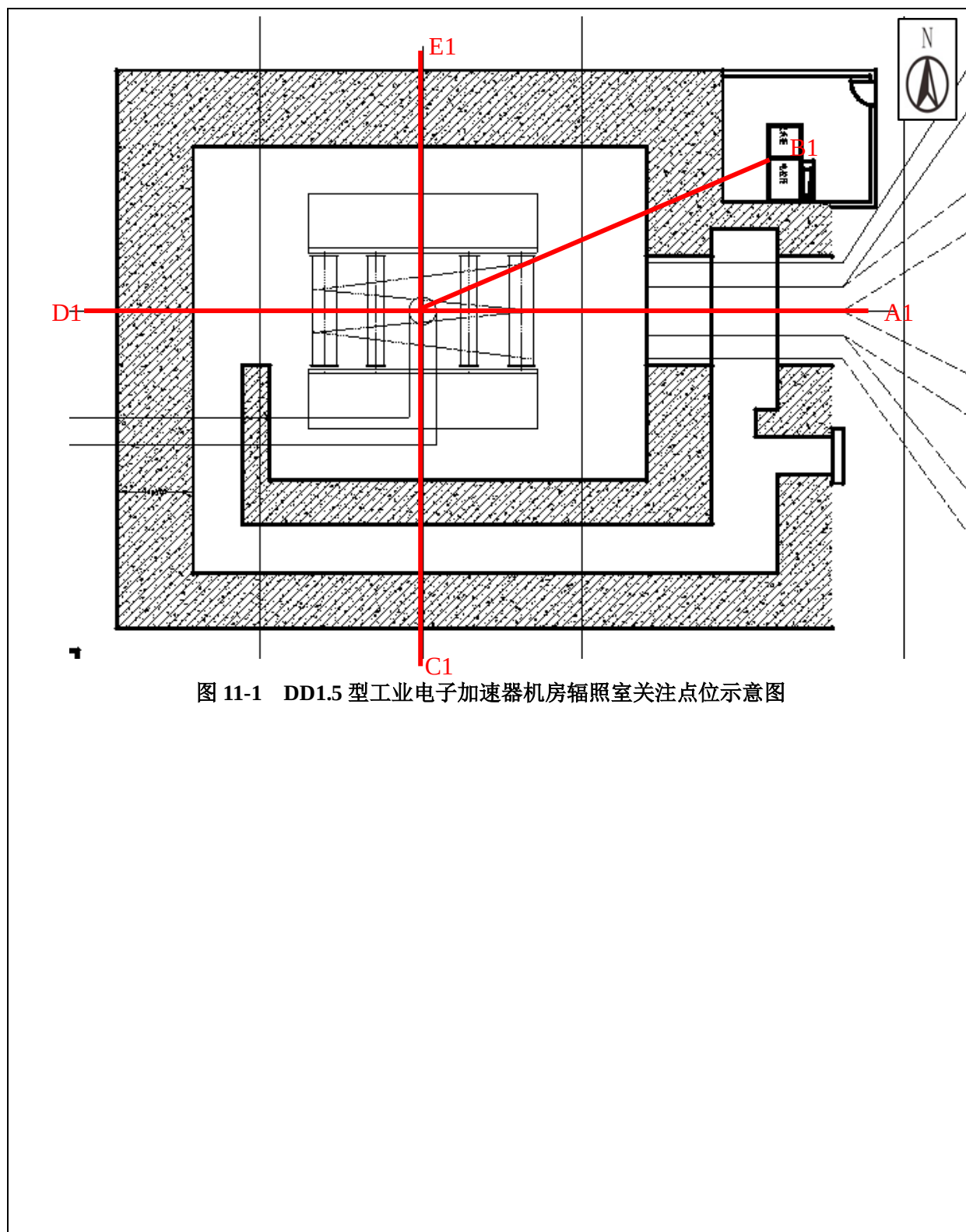


图 11-1 DD1.5 型工业电子加速器机房辐照室关注点位示意图

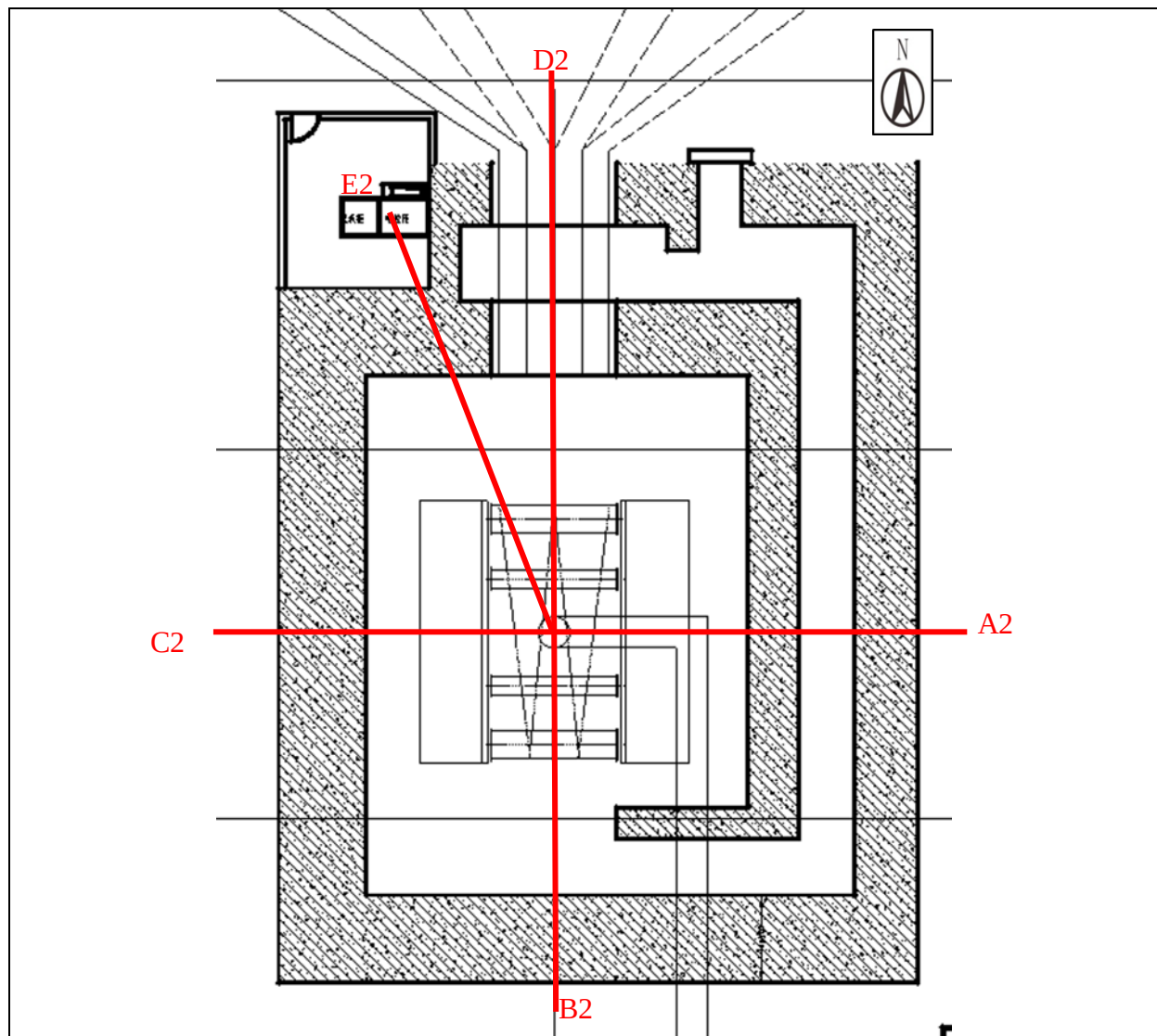


图 11-2 DD2.0 型工业电子加速器机房辐照室关注点位示意图

(3) 电子加速器主机室自屏蔽计算

加速器自屏蔽体辐射防护屏蔽评价采用《辐射防护导论》（方杰主编）P1013.50 公式的修正，即考虑沿与电子束入射方向为 90° 的初级 X 射线的屏蔽计算。

参考点的剂量当量指数公式为：

$$H_{I,r(d)} = \frac{I \times \delta_{a(90^\circ)} \times \eta_x \times q}{1.67 \times 10^{-2} \times r^2} \dots \dots \text{（式 11-5）}$$

式中： $I \cdot \delta_{a(90^\circ)}$ ——距离辐射源（即靶）1m 处 90° 方向的吸收剂量指数率， $\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ ；

I ——电子束流强度，mA；

q ——居留因子；

r ——参考点至辐射源的距离，m；

η_x ——90° 方向上的 X 射线在屏蔽层中的透射比，可用十倍减弱厚度 $\Delta_{1/10,1}$ 方法计算，其计算方法为：

$$\eta_x = \frac{1}{10^n} \dots\dots (式 11-6)$$

$$n = (d - \Delta_{1/10,1}) / \Delta_{1/10,e} + 1 \dots\dots (式 11-7)$$

式中：d——屏蔽层厚度（cm）；

$\Delta_{1/10,1}$ ——靠近辐射源第一个十倍减弱厚度（cm）。

1) 主机室侧向自屏蔽的计算

本项目 1.5MeV 加速器主机室为自屏蔽式，根据设备厂家提供数据，束流损失率为 1%（即电子束流强度分别为 0.6mA），束流损失点的能量为最大能量的 10%（即 0.15MeV）。根据《辐射防护导论》（方杰编）图 3.3，90° 方向上的发射率常数保守取值为 $\delta_{\alpha}(90^\circ) = 0.001 \text{ Gy} \cdot \text{m}^2 / \text{mA} \cdot \text{min}$ 和，根据《辐射防护导论》（方杰编）表 3.1 进行修正后 $\delta_{\alpha}(90^\circ) = 0.0005 \text{ Gy} \cdot \text{m}^2 / \text{mA} \cdot \text{min}$ ，则 $I \cdot \delta_{\alpha} = 0.0003 \text{ Gy} \cdot \text{m}^2 / \text{min}$ 。

参考表 10-1 所列的本项目加速器自屏蔽设计参数，主机室真空系统 90° 方向屏蔽厚度，主机钢筒筒体为“3mm 厚钢板+3cm 厚铅板+12mm 厚钢板，85mm 厚钢板”，以屏蔽效果相对较差的 85mm 厚钢板计算。

保守估计 0.15MeV 电子 90° 方向等效入射电子能量按 0.15MeV。查《辐射防护导论》（方杰编）图 3.23，钢对电子能量 0.15MeV 的第一个十倍减弱厚度 $\Delta_{1/10,1} = 1.2 \text{ cm}$ ，第一个十倍减弱厚度之后的十倍减弱厚度 $\Delta_{1/10,e} = 1.0 \text{ cm}$ 。

本项目 2.0MeV 加速器主机室为自屏蔽式，根据设备厂家提供数据，束流损失率为 1%（即电子束流强度分别为 0.5mA），束流损失点的能量为最大能量的 10%（即 0.2MeV）。

根据《辐射防护导论》（方杰编）图 3.3，90° 方向上的发射率常数保守取值为 $\delta_{\alpha}(90^\circ) = 0.006 \text{ Gy} \cdot \text{m}^2 / \text{mA} \cdot \text{min}$ 和，根据《辐射防护导论》（方杰编）表 3.1 进行修正后 $\delta_{\alpha}(90^\circ) = 0.003 \text{ Gy} \cdot \text{m}^2 / \text{mA} \cdot \text{min}$ ，则 $I \cdot \delta_{\alpha} = 0.0015 \text{ Gy} \cdot \text{m}^2 / \text{min}$ 。

参考表 10-1 所列的本项目加速器自屏蔽设计参数，主机室真空系统 90° 方向屏蔽厚度，主机钢筒筒体为“40mm 铅板+12mm 钢板+3mm 钢板，30mm 铅板+12mm 钢板+3mm 钢板；3mm 铅板+40mm 铅板+65mm 钢板+45mm 钢板”，以屏蔽效果相对较差的“30mm 铅板+12mm 钢板+3mm 钢板”（保守只考虑铅板）计算。

保守估计 0.2MeV 电子 90° 方向等效入射电子能量按 0.2MeV。查《辐射防护导论》

（方杰编）图 3.24，铅对电子能量 0.2MeV 的第一个十倍减弱厚度 $\Delta_{1/10,1}=0.015\text{cm}$ ，第一个十倍减弱厚度之后的十倍减弱厚度 $\Delta_{1/10,e}=0.2\text{cm}$ 。

2) 主机室顶部自屏蔽的计算

由 NCRP51 号报告 E.15 图中可知，单能 X 射线入射混凝土、铁及铅的反射系数，当垂直入射时，反射系数为 0.02。

对于 0.15MeV 的电子束，参考《辐射防护导论》（方杰编）图 3.3，其 0° 方向 X 射线发射率常数为 $0.0001\text{Gy m}^2 \text{mA}^{-1} \text{min}^{-1}$ ，所以 180° 方向 X 射线发射率常数为 $0.000002\text{Gy m}^2 \text{mA}^{-1} \text{min}^{-1}$ 。则 $I \cdot \delta_\alpha = 0.0000012\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$ 。

保守考虑 X 线能量为 0.15MeV，由图 11-3 可知，韧致辐射点至主机室顶部（图中 E 点）距离约 100cm，主机室上屏蔽体顶板厚度 9cm 钢板+6cm 铅板+1.5cm 钢板（保守只考虑铅板），查《辐射防护导论》（方杰编）图 3.24，铅对电子能量 0.15MeV 的第一个十倍减弱厚度 $\Delta_{1/10,1}=0.01\text{cm}$ ，第一个十倍减弱厚度之后的十倍减弱厚度 $\Delta_{1/10,e}=0.1\text{cm}$ 。

对于 0.2MeV 的电子束，参考《辐射防护导论》（方杰编）图 3.3，其 0° 方向 X 射线发射率常数为 $0.016\text{Gy m}^2 \text{mA}^{-1} \text{min}^{-1}$ ，所以 180° 方向 X 射线发射率常数为 $0.00032\text{Gy m}^2 \text{mA}^{-1} \text{min}^{-1}$ 。则 $I \cdot \delta_\alpha = 0.00016\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$ 。

保守考虑 X 线能量为 0.2MeV，由图 11-4 可知，韧致辐射点至主机室顶部（图中 E 点）距离约 100cm，主机室上屏蔽体顶板厚度 9cm 钢板+6cm 铅板+2cm 钢板（保守只考虑铅板），查《辐射防护导论》（方杰编）图 3.24，铅对电子能量 0.2MeV 的第一个十倍减弱厚度 $\Delta_{1/10,1}=0.015\text{cm}$ ，第一个十倍减弱厚度之后的十倍减弱厚度 $\Delta_{1/10,e}=0.2\text{cm}$ 。

（3）辐射影响分析

由表 11-2 和表 11-3 计算结果可知，主机室外辐射剂量当量很小，可以忽略不计。

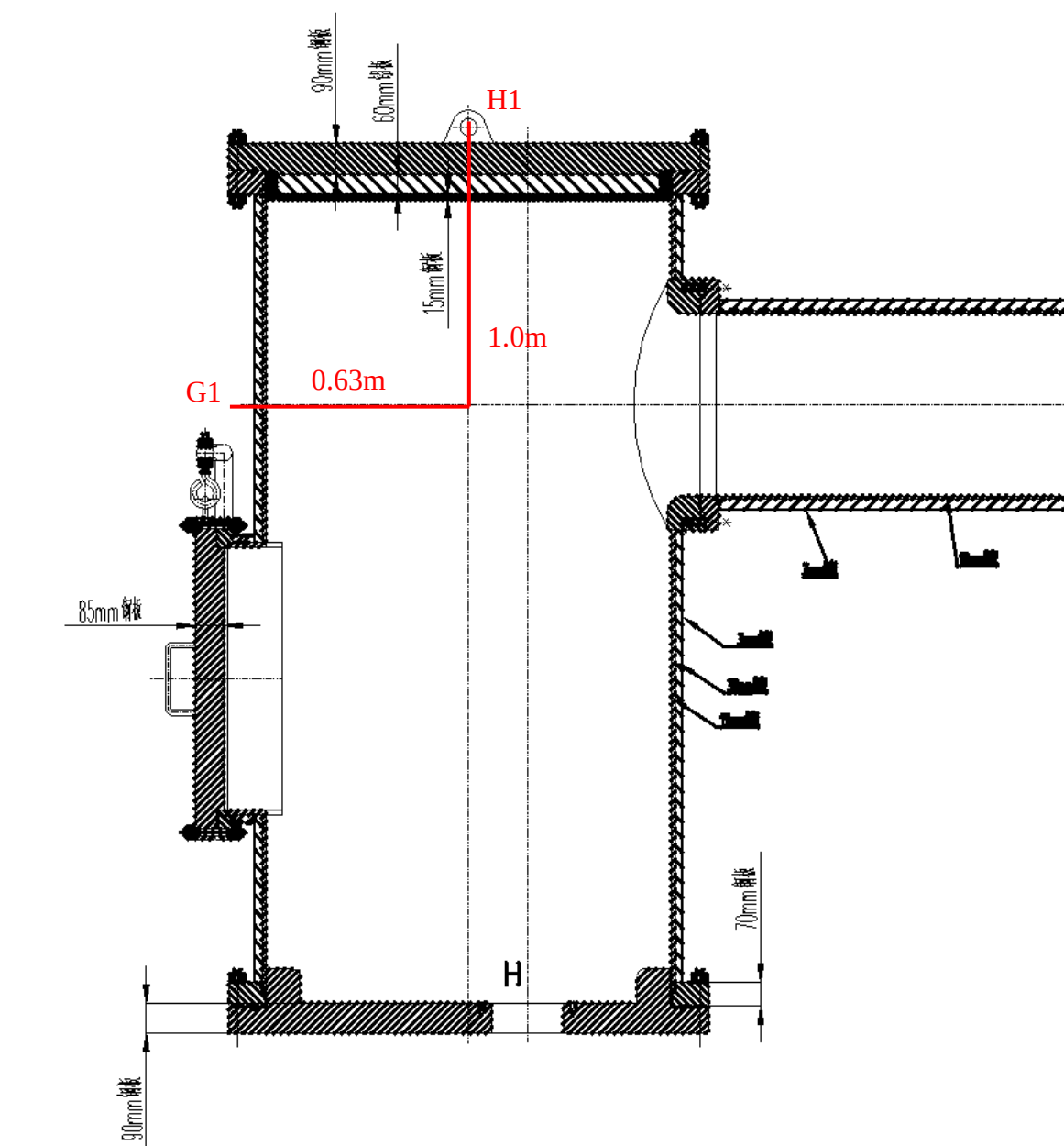


图 11-3 DD1.5 型工业电子加速器自屏蔽主机外关注点位示意图

表 11-2 1.5MeV 加速器主机室屏蔽体外关注点辐射剂量率计算结果

位置	$I \cdot \delta_a$ ($\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{m}$ in^{-1})	d (cm)	$\Delta_{1/10,1}$	$\Delta_{1/10,e}$	η_x	q	r (m)	$H_{I,r(d)}$ (μ Sv/h)
主机钢筒外 关注点 G1	0.0003	8.5	1.2	1.0	5.01×10^{-9}	1	0.63	2.27×10^{-4}
主机钢筒顶部 屏蔽体外关注点 H1	0.0000012	6	0.01	0.1	1.26×10^{-61}	1	1.0	9.05×10^{-60}

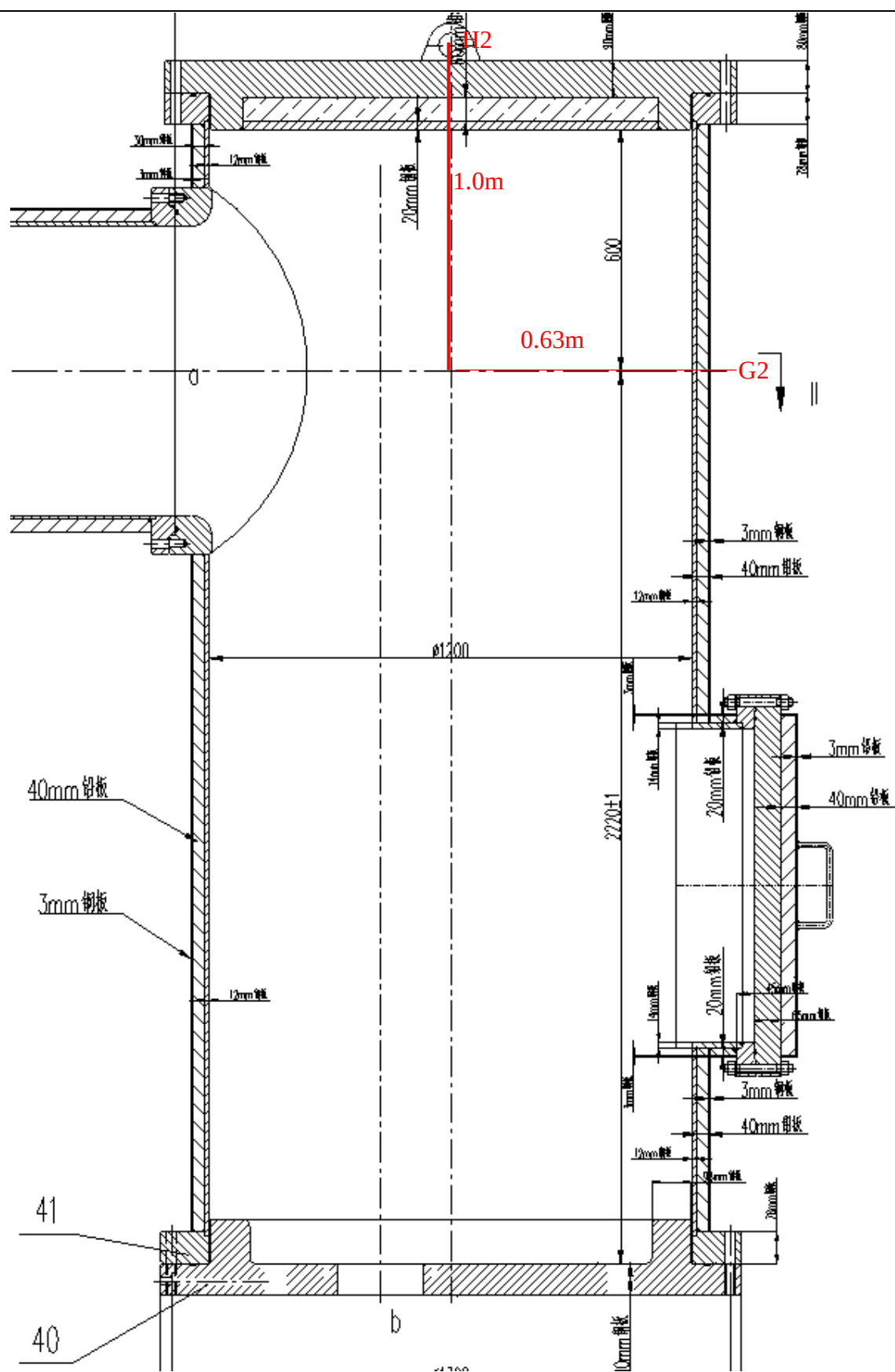


表 11-3 2.0MeV 加速器主机室屏蔽体外关注点辐射剂量率计算结果

位置	$I \cdot \delta_a$ (Gy · m ² · min ⁻¹)	d (cm)	$\Delta_{1/10,1}$	$\Delta_{1/10,e}$	η_x	q	r (m)	$H_{1,r(d)}$ (μ Sv/h)
主机钢筒外 关注点 G2	0.0015	3	0.015	0.2	1.19×10^{-16}	1	0.63	2.69×10^{-11}
主机钢筒顶部 屏蔽体外关注点 H2	0.00016	6	0.015	0.2	1.19×10^{-31}	1	1.0	1.14×10^{-27}

2、电子加速器机房迷道和防护门辐射影响分析

(1) 估算模式

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A 公式（A-5）可计算得出迷道外入口处的剂量当量率 H（Sv/h）：

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

.....公式（11-8）

式中：

$H_{1,rj}$ 迷道外入口处辐射剂量率，Sv/h；

α_1 ：入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数；查《辐射防护导论》图 6.4；

α_2 ：从以后的物质散射出来的 0.5MeV 的 X 射线的散射系数；

A_1 ：X 射线入射到第一散射物质的散射面积（m²）；

A_2 ：迷道的截面积（m²，假设整个迷道的截面积近似常数，宽高之比在 1~2 之间）；

d_1 ：X 射线源与第一散射物质的距离（m）；

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

(2) 计算结果

本项目 X 射线在电子加速器机房的散射路线见图散射预测路径详见图 11-2，辐照室对于加速器产生的 X 射线，认为其散射一次后的能量均为 0.5MeV；对于初级 X 射线，散射系数 α_1 取值为 5×10^{-3} ，对于一次散射后的 X 射线散射系数 α_2 （假设一次散射后的反射过程一样，E=0.5MeV）取值为 2×10^{-2} 。1.5MeV、2.0MeV 加速器辐照室迷道散射计算的 D_{10} （90°）取值分别为： $1.8 \times 10^3 \text{ Gy h}^{-1}$ 、 $2.4 \times 10^3 \text{ Gy h}^{-1}$ 。

表 11-4 迷道散射计算结果						
楼层	参考点	散射次数	散射面积 A1 (m ²)	迷道截面积 A2 (m ²)	路径 d ₁ , d _{r1} ...d _{ij}	辐射剂量率 (μSv·h ⁻¹)
1.5MeV 加速器辐照室迷道口	J	4	11.44	2.34	4.35, 4.00, 9.76, 1.58, 2.34	2.68E-02
2.0MeV 加速器辐照室迷道口	K	4	11.34	2.34	4.52, 4.12, 9.60, 1.39, 2.33	4.16E-02

由表 11-4 可知，辐照室入口处周围剂量当量率分别为 $3.73\times10^{-2}\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 $4.16\times10^{-2}\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ，小于最大允许周围当量剂量率 $2.5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ，所以，辐照室迷道的设计是合理的。

本项目辐照室的迷道设计使射线至少经过三次以上散射后方能到达迷道口。根据《辐射防护导论》（方杰主编，P189）：“迷道的屏蔽计算是比较复杂的。一种简易的安全的估算方法，是使辐射在迷道中至少经过三次以上散射才能到达出口处。实例也证明，如果一个能使辐射至少散射三次以上的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全。这时，迷道口也只需要采用普通门”，因此本项目辐照室迷道外安装普通 40mm 钢门可满足辐射防护的要求。

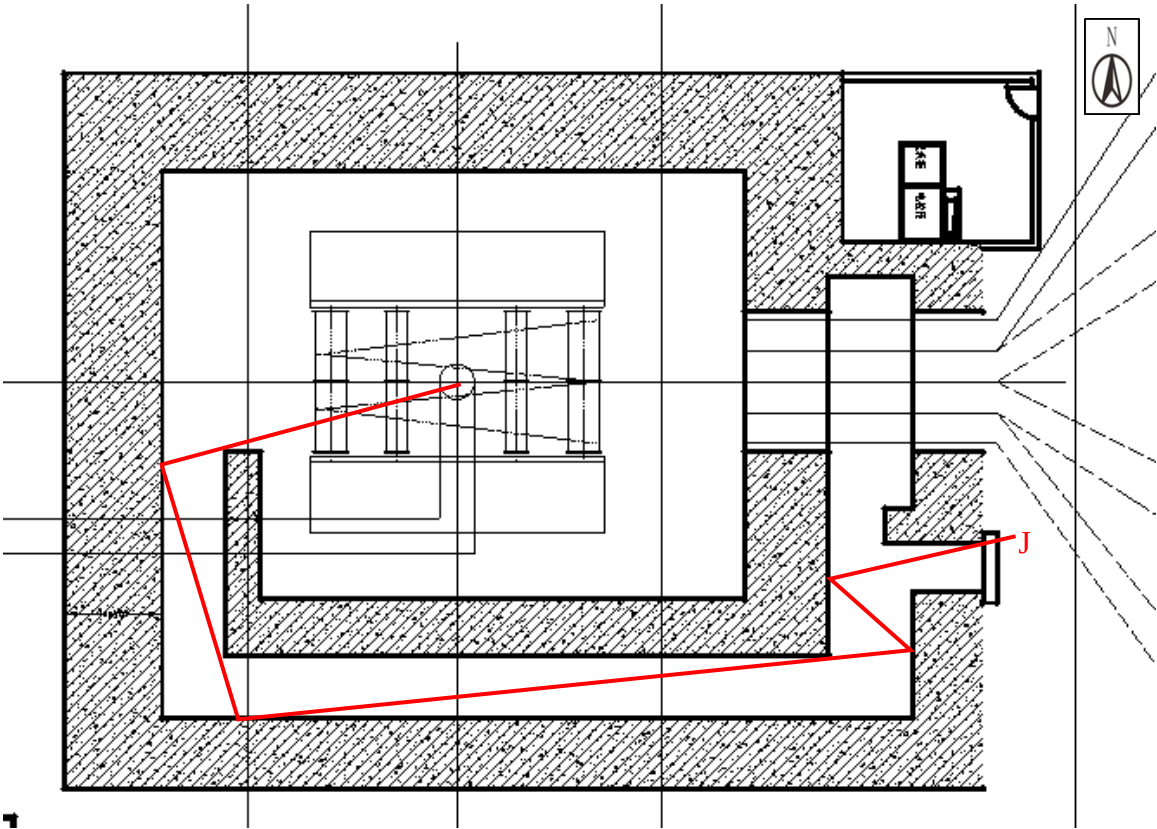


图 11-5 DD1.5 型工业电子加速器机房辐照室散射路径示意图

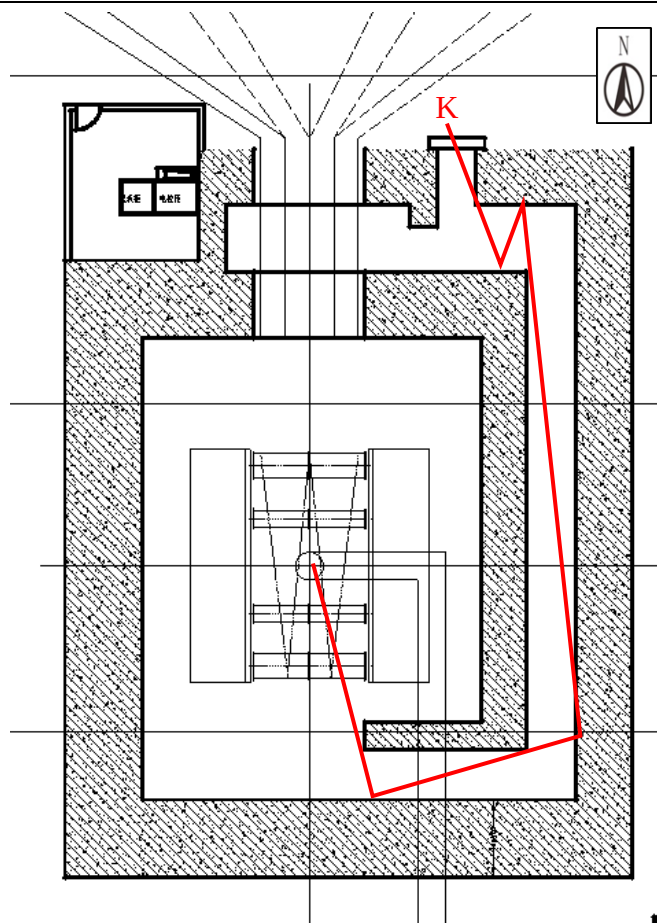


图 11-6 DD2.0 型工业电子加速器机房辐照室散射路径示意图

3、天空反散射辐射影响

电子加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏，再经过天空中大气的反散射，返回至加速器周围的地面附近，形成附加的辐射场，这种现象称为天空反散射。

本项目加速器位于多层厂房的 1F，加速器顶部不是屋顶，因此可不考虑辐射源通过屋顶泄漏，再经过天空中大气的反散射产生的辐射影响。

4、X 射线通过屋顶的侧向散射辐射影响

本项目加速器位于多层厂房的 1F，加速器顶部不是屋顶，根据现场调查，本项目电子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。

11.2.2 辐射工作人员和公众剂量估算及评价

本项目工业电子加速器参考点处年有效剂量按公式 11-9 计算。：

$$E = \dot{H} \cdot U \cdot T \cdot t \quad \text{.....公式 (11-9)}$$

式中， $\dot{H}$ ——参考点处辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

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；

t——辐照装置年照射时间，h。

(1) 辐射工作人员剂量估算及评价

本项目每台电子加速器机房安排 4 名辐射工作人员负责加速器的辐射工作，采取两班工作制，每班 2 名辐射工作人员，并指定其中 1 人为当班运行值班长，单名辐射工作人员年工作时间不超过 2000h。

根据理论估算结果可知，本项目电子加速器运行后，每名电子加速器辐射工作人员年有效剂量最大约为 1.8mSv（加速器机房周围最大辐射剂量率 $0.9 \mu\text{Sv/h}$ ，居留因子取 1，使用因子取 1，工作时间保守取 2000h），能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

本项目实施后企业共有 8 台工业电子加速器，其中 D 厂房 5 台，C 厂房 3 台，因 D 厂房和 C 厂房相对独立且 D 厂房和 C 厂房相距约 50m，因此 D 厂房和 C 厂房之间的影响可以忽略不计，主要考虑同厂房内工业电子加速器的叠加影响。

①C 厂房辐射工作人员剂量估算及评价

根据企业设备布局，C 厂房现有 2 台工业电子加速器，本次环评拟新增 1 台，3 台型号均为 DD2.0 型，根据附件 10 设备验收检测报告可知，C 厂房两台设备运行时一楼辐照室周围的辐射剂量率 $0.14 \mu\text{Sv/h} \sim 0.23 \mu\text{Sv/h}$ 之间，环境本底在 $0.10 \mu\text{Sv/h} \sim 0.21 \mu\text{Sv/h}$ 之间，根据辐射剂量率与距离的平方成反比的关系可知，现有 2 台工业电子加速器对本项目辐射工作人员影响较小，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

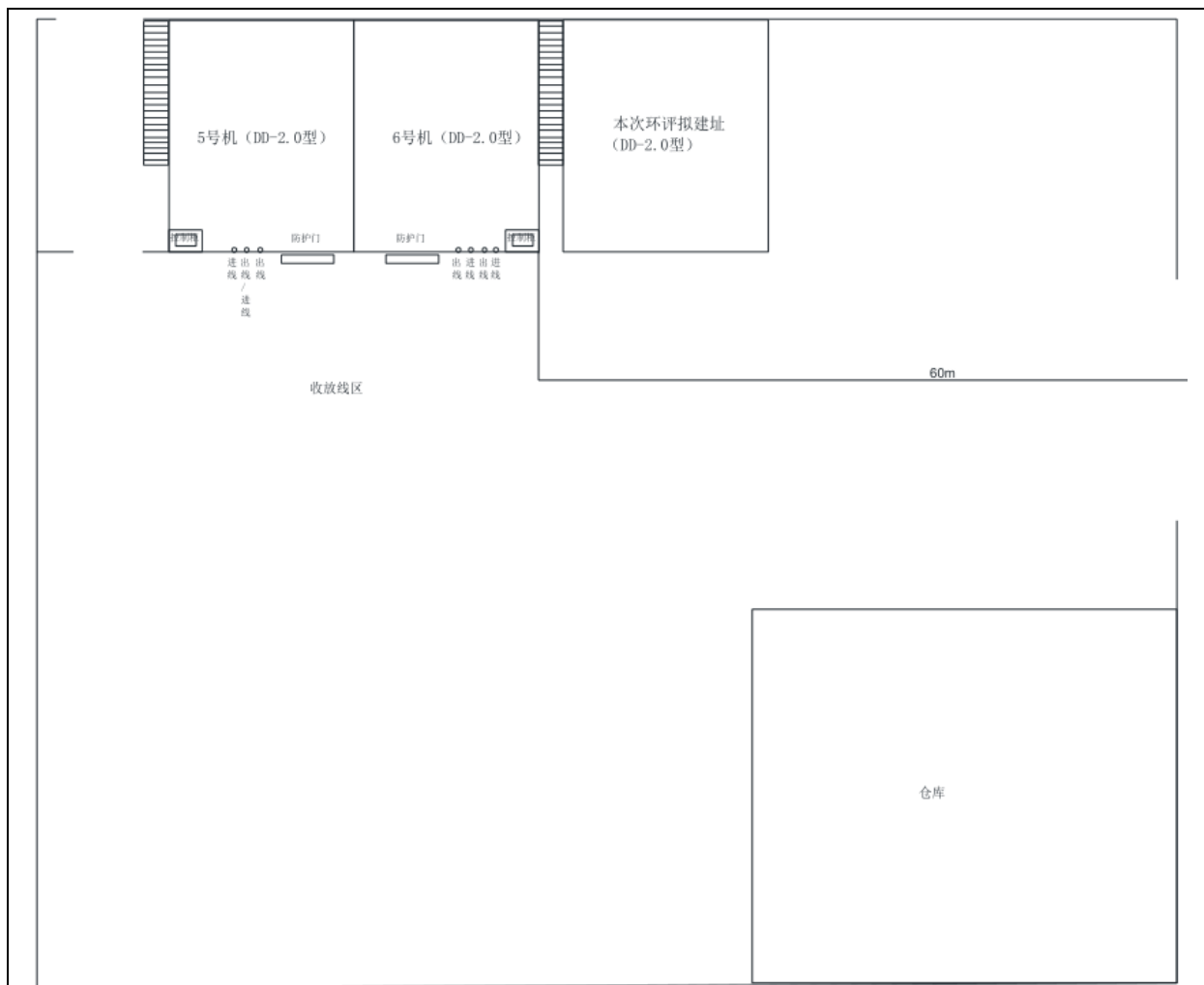


图 11-7 C 厂房工业电子加速器设备平面布置图

②D 厂房辐射工作人员剂量估算及评价

根据企业设备布局，D 厂房现有 4 台工业电子加速器，本次环评拟新增 1 台工业电子加速器，新增设备与原有设备距离约 44m，原有 4 台工业电子加速器验收检测数据表面，工作时设备周围的辐射剂量当量率在 $0.09 \mu\text{Sv/h} \sim 0.22 \mu\text{Sv/h}$ ，环境本底在 $0.08 \mu\text{Sv/h} \sim 0.21 \mu\text{Sv/h}$ 之间，根据辐射剂量率与距离的平方成反比的关系可知，现有 4 台工业电子加速器对本项目辐射工作人员影响较小，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

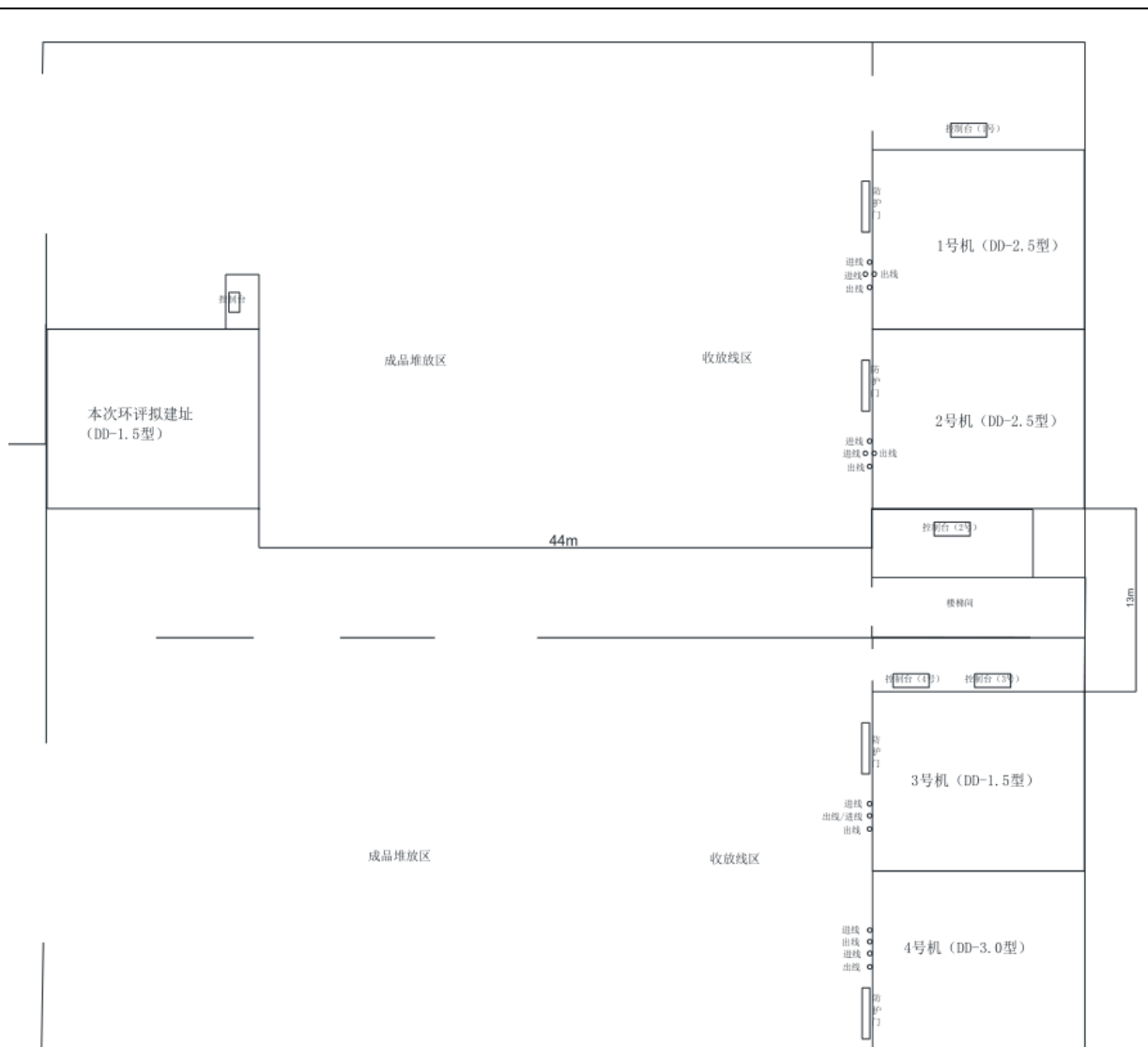


图 11-6 D 厂房工业电子加速器设备平面布置图

(2) 公众剂量估算及评价

根据辐射剂量率与距离的平方成反比的关系，可估算出 DD1.5 电子加速器机房前方上下货区辐射剂量率为 $0.02 \mu\text{Sv/h}$ （参考点选取电子加速器机房门口辐射剂量率 $2.68\text{E-}02 \mu\text{Sv/h}$ 、距离取 10m）；可估算出 DD2.0 电子加速器机房前方上下货区辐射剂量率为 $0.03 \mu\text{Sv/h}$ （参考点选取电子加速器机房门口辐射剂量率 $4.16\text{E-}02 \mu\text{Sv/h}$ 、距离取 10m）。

DD2.0 电子加速器机房西侧宁波正朗汽车零部件有限公司处辐射剂量率为 $0.02 \mu\text{Sv/h}$ （参考点选取 DD2.0 电子加速器机房西侧辐射剂量率 $0.9 \mu\text{Sv/h}$ 、距离取 34.7m）；DD1.5 电子加速器机房北侧宁波天弘拓物流有限公司和宁波康铨利科技有限公司处辐射剂量率为 $0.002 \mu\text{Sv/h}$ （参考点选取 DD1.5 电子加速器机房北侧辐射剂量率 $0.06 \mu\text{Sv/h}$ 、距离取 10m）。

Sv/h、距离取 24.7m)；DD1.5 电子加速器机房东侧宁波慈能光伏科技有限公司处辐射剂量率为 0.001 μ Sv/h (参考点选取电子加速器机房门口辐射剂量率 2.68E-02 μ Sv/h、距离取 38m)。主机室顶部辐射剂量当量很小，对二楼的影响也很小，可忽略不计，主机考虑辐照室顶部对二楼的影响。。

将相关参数带入公式 11-9，可估算出本项目周围公众的年受照剂量，估算结果见表 11-5。

表 11-5 本项目周围公众受照剂量计算结果一览表

方位	关注对象	辐射剂量率 (μ Sv/h)	使用 因子	居留 因子	年照射时间 (h)	年受照剂 量 (mSv)
DD1.5 电子 加速器 机房正前方	上下货区 工作人员	0.02	1	1/4	4000	2E-5
DD2.0 电子 加速器 机房正前方	上下货区 工作人员	0.03	1	1/4	4000	3E-5
电子加速器 机房西侧	宁波正朗汽 车零部件有 限公司	0.02	1	1/16	4000	5E-6
电子加速器 机房北侧	宁波天弘拓 物流有限公 司和宁波康 铨利科技有 限公司	0.002	1	1/16	4000	5E-5
电子加速器 机房东侧	宁波慈能光 伏科技有限 公司	0.001	1	1/16	4000	2.5E-5
二楼	杂物间和闲 置车间	0.09	1	1/16	4000	0.02

根据表 11-5 估算结果可知，即使考虑现有设备的叠加影响，本项目周围环境保护目标年有效剂量也能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

综上所述，本项目辐射工作人员及周围公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

11.2.3 臭氧的排放评价

非辐射环境影响主要为辐照室空气在辐射照射下产生臭氧(O_3)和氮氧化物(NO_x)

等有害气体。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，所以主要考虑臭氧的产生及其防护。有害性气体的产生和排放计算采用《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 B 计算分析。

1、臭氧的产生

平行电子束所致 O₃ 的产生率可以用以下公式进行保守的估算：

$$P=45dIG \quad \text{公式 (11-10)}$$

式中：

P：单位时间电子束产生 O₃ 质量（mg/h）；

I：电子束流强度，mA；

d：电子束在空气中的行程（cm）（保守取值130cm）；

G：空气吸收100eV辐射能量产生的O₃分子数，保守估算取为10。

根据式（11-9），可以估算出本项目1.5MeV、2.0MeV辐照室臭氧的产生率分别为 3.51×10⁶mg/h、2.93×10⁶mg/h。

2、辐照室臭氧的平衡浓度

在加速器正常运行期间，臭氧不断产生，考虑到室内连续通风和臭氧自身的化学分解（有效化学分解时间约为50分钟），辐照室空气中臭氧的平衡浓度随辐照时间t的变化为：

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

式中：

C（t）：辐照室空气中在 t 时刻臭氧的浓度（mg/m³）；

P：单位时间电子束产生 O₃ 的质量（mg/h）；

V：辐照室体积（m³）（1.5MeV 取 91，2.0MeV 取 85）；

Te：对臭氧的有效清除时间（h）

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

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。

此种情况下, $T_V \ll T_d$, 因此 $T_e \approx T_V$ 。当长时间辐照时, 则辐照室内臭氧平衡浓度为:

$$C_s = \frac{PT_e}{V} \quad \text{公式 (11-13)}$$

本项目各加速器机房通风系统排风速率不低于 $10000\text{m}^3/\text{h}$, 1.5MeV 加速器辐照室体积约为 91m^3 , 2.0MeV 加速器辐照室体积约为 85m^3 。

则 1.5MeV 加速器辐照室换气一次所需时间 T_V 为 $9.1 \times 10^{-3}\text{h}$, 2.0MeV 加速器辐照室换气一次所需时间 T_V 为 $8.5 \times 10^{-3}\text{h}$ 。

由上述公式和参数, 则本项目 1.5MeV 、 2.0MeV 辐照室 C_s 分别为 $351\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $293\text{mg}/\text{m}^3$, 该浓度值大于《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分: 化学有害因素》(GBZ2.1-2019) 中工作场所空气中 O_3 的最高容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$, 对工作人员是危险的。

3、臭氧的排放

加速器长期正常运行期间, 室内臭氧达到饱和平衡浓度, 通常情况下, 该浓度大大高于 GBZ2.1 所规定的工作场所最高容许浓度。因此, 当加速器停止运行后, 人员不能直接进入辐照室, 风机必须继续运行, 室内臭氧浓度随时间急剧下降, 浓度变化的平衡方程为:

$$dc/dt = -C/T_e \quad \text{公式 (11-14)}$$

当 $t=0$ 时,

$$C = C_s \quad \text{公式 (11-15)}$$

得到浓度随时间的变化公式为:

$$C = C_s e^{-\frac{t}{T_e}} \quad \text{公式 (11-16)}$$

由此可得:

关闭加速器后风机运行的持续时间公式为:

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s} \quad \text{公式 (11-17)}$$

式中:

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

T : 为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间 (h)。

计算得,本项目加速器停止工作后,辐照室内通风系统以通风速率不低于 $10000\text{m}^3/\text{h}$ 继续工作, 1.5MeV 加速器机房通过约 3.85min 、 2.0MeV 加速器机房通过约 3.51min 的通风排气,辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度($0.3\text{mg}/\text{m}^3$),此时工作人员进入辐照室是安全的。

本项目加速器辐照室均拟设置通风联锁装置,机房内通风系统与控制系统联锁,加速器停机后,只有达到预先设定的时间后才能开门,以保证辐照室内臭氧等有害气体浓度低于允许值,该公司应明确预先设定的时间应不少于 4min 。

本项目各个速器机房拟配备的排臭氧风机排风速率为不低于 $10000\text{m}^3/\text{h}$,室内臭氧和氮氧化物通过排风系统排入外环境,臭氧在常温下可自行分解为氧气,对环境影响较小;氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一,对环境影响较小。

4、排风管道设置

本项目电子加速器机房均拟设置埋地排风管道,管道埋地深为 800mm ,吸风口位于加速器辐照室扫描窗下方的地面处,排风管道从加速器辐照室地下穿过,从每组加速器机房的北墙外穿出,在公司辐照厂房屋顶排放。排风管道避开主射线方向,并采用埋地设计,排风管道未破坏电子加速器机房整体防护效果,满足辐射防护的要求。

11.2.4 输送管线评价

本项目加速器辐照室设置辐照产品输送孔道,用于被辐照产品的进出,整个输送孔道呈“V”型设计。同时,输送孔道避开主射线方向,射线经多次(至少三次)散射后,辐照产品输送孔道进出口处辐射剂量将在控制范围内,能够满足辐射防护的要求。

11.3 事故影响分析

11.3.1 潜在事故分析

工业电子直线加速器只有在开机工作时才产生电子及 X 射线,因此,其潜在事故多为开机误照射事故,主要有:

(1) 开机工作前未按照要求进行巡检,导致人员误留在辐照室或主机室内,发生人员超剂量照射事故;

(2) 辐射工作人员误操作或设备安全联锁装置失灵,造成辐射工作人员误入或滞留高辐射区内,发生人员超剂量照射事故;

(3) 辐照加速器联锁装置发生故障状况下,检修人员误入正在运行的加速器辐照

室或主机室，发生人员超剂量照射事故；

（4）加速器机房屏蔽结构受损，导致屏蔽效果减弱。

公司应加强管理，严格要求辐射工作人员按照操作规程进行操作，并在实际工作中不断对辐射安全管理制度进行完善；加强职工辐射防护知识的培训，尽可能避免辐射事故的发生。

11.3.2辐射事故处置方法及预防措施

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019年修订）》，使用射线装置的单位，应当根据可能发生的辐射事故的风险，制定本单位的应急方案，做好应急准备。发生辐射事故时，使用射线装置的单位应当立即启动本单位的应急方案，采取应急措施，并立即向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生健康部门报告。

依据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145号文），发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在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。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。

宁波昊森线缆科技有限公司制定有完善的辐射事故应急预案，明确了事故应急指挥机构的组成、职责和分工，详见附件8，本项目实施后纳入辐射事故应急预案。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《关于做好 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训考核工作有关事项的通知》等法律法规要求，使用 II 类射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核；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，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核，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。

公司成立了辐射安全管理机构，明确了管理机构和管理人员职责。公司建立了辐射工作人员培训制度、辐射工作人员健康管理制度。开展了个人剂量监测和职业健康检查，建立了个人剂量档案和职业健康检查档案。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，使用射线装置的单位要健全操作规程、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、台账管理制度等，并有完善的辐射事故应急措施。

公司制定了《辐射安全防护管理工作制度》《辐射工作人员岗位职责》《加速器操作规程》《射线装置使用登记制度》《辐射防护和安全保卫制度》《设备检维修制度》《辐射工作人员安全培训制度》《监测方案制度》。各项主要管理制度、操作规程均张贴在工作场所墙上。

公司制定了《辐射事故处理预案》。明确了辐射应急工作的责任部门和应急联络方式预防事故的措施发生事故的处理和报告程序。

本项目 2 台加速器实施后纳入公司现有辐射安全管理，将各项么规章制度张贴于工作现场。

12.3 日常巡检（管理）及记录

公司制定了辐照装置的维护检修制度，定期巡视检查（检验）每台加速器的主要安全设备，保持辐照装置主要安全设备的有效性和稳定性。

1、日检查

电子加速器辐照装置上的常用安全设备每天进行检查，发现异常情况时及时修复。常规日检查项目至少包括以下内容：

- （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。

2、月检查

电子加速器辐照装置上的重要安全设备或安全程序每月定期进行检查，发现异常情况及时修复或改正。月检查项目至少应包括：

- （1）辐照室内固定式辐射监测仪设备运行状况；
- （2）控制台及其他所有紧急停止按钮；
- （3）通风系统的有效性；
- （4）验证安全联锁功能的有效性；
- （5）烟雾报警器功能正常。

3、半年检查

电子加速器辐照装置的安全状况每 6 个月定期进行检查，发现异常情况时及时采取改正措施。其检查范围至少包括：

- （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。

4、记录

公司建立了严格的运行及维修维护记录制度，运行及维修维护期间按规定完成运行日志的记录，记录与装置有关的重要活动事项并保存日志档案。记录事项一般不少于下列内容：

- （1）运行工况；

- (2) 辐照产品的情况;
- (3) 发生的故障及排除方法;
- (4) 外来人员进入控制区情况;
- (5) 个人剂量计佩戴情况;
- (6) 个人剂量、工作场所和周边环境的辐射监测结果;
- (7) 检查及维修维护的内容与结果;
- (8) 其他。

12.4 辐射监测

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

1、监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）等要求，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。公司配备了 X、 γ 辐射检测仪、个人剂量报警仪，为辐射工作人员配备了个人剂量计。公司需为新增的每名辐射工作人员配备个人剂量计，每台设备配备个人剂量报警仪。

2、个人剂量监测

公司为现有每名辐射工作人员配备个人剂量计，每 90 天为一个周期委托浙江多普检测科技有限公司检测，年度累积剂量小于 5mSv。本次新增辐射工作人员工作时应佩戴个人剂量计，并定期（90 天一次）送有资质部门进行监测，并建立个人剂量档案，加强档案管理。

3、工作场所辐射监测

公司须定期（每年 1 次）委托有资质的单位对电子加速器机房周围环境进行监测，并建立监测技术档案，监测数据每年年底向当地生态环境局上报备案。

- (1) 监测频度：每年常规监测一次;
- (2) 监测范围：辐照室和主机室的四周屏蔽墙外、防护门外及缝隙处、控制室内;

(3) 监测项目：X- γ 辐射剂量率；

(4) 监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

12.5 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019 年修订）》，使用射线装置的单位，应当根据可能发生的辐射事故的风险，制定本单位的应急方案，做好应急准备。发生辐射事故时，使用射线装置的单位应当立即启动本单位的应急方案，采取应急措施，并立即向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告。

依据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号文），发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

公司制定了《辐射事故处理预案》。明确了辐射应急工作的责任部门和应急联络方式预防事故的措施发生事故的处理和报告程序。

12.6 安全培训及健康管理

(1) 公司现有 17 名辐射工作人员，均参加辐射安全与防护培训并考试合格，辐射工作人员最近体检时间为 2021 年 9 月，其中 2 名辐射工作人员不宜继续从事放射工作；体检报告详见附件 10，委托浙江多普检测科技有限公司开展职业人员外照射个人剂量检测，公司建立了个人剂量档案和职业健康监护档案。

因公司辐射工作人员会出现不适合从事辐射工作和离职情况，因此要求公司在人员管理上要做好离职人员的体检工作和新入职人员的辐射安全与防护培训、上岗前体检工作，新入职工作人员要配备个人剂量计并每季度委托有资质单位检测。

公司拟为本项目 2 台加速器共配备 8 名辐射工作人员，每间加速器机房配备 4 名辐射工作人员，新配备辐射工作人员需参加辐射安全与防护培训并考试合格，放射职业健康体检和每季度委托职业人员外照射个人剂量检测。

(2) 新增辐射工作人员均须配备个人剂量计，个人剂量计每 90 天委托有资质的单位监测一次，并建立个人剂量档案，加强档案管理：个人剂量档案应保存至辐射工作人

员年满 75 周岁或停止辐射工作满 30 年。

（3）公司组织现有辐射工作人员进行了放射职业健康体检，最近一次体检时间为 2019 年 11 月 25 日，体检显示均可继续从事放射工作。公司应组织新增辐射工作人员到有资质的医院进行上岗前体检，并每两年进行一次在岗期间职业健康检查，建立个人健康档案。在本公司从事过辐射工作的人员在离开该工作岗位时也要进行放射性职业健康体检。

（4）公司已进行 2021 年度辐射安全与防护状况评估报告并报“浙江政务服务网”和“国家核技术利用辐射安全申报系统”备案。

表 13 结论与建议

13.1 项目概况

宁波昊森线缆科技有限公司成立于 2017 年 02 月，注册地位于宁波杭州湾新区滨海四路 221 号。宁波人和新能源科技有限公司于 2019 年 7 月 31 日将加速器环评变更到宁波昊森线缆科技有限公司，因此公司现有 6 台电子加速器，均已履行环保手续，并已取得浙江省环保厅颁发的辐射安全许可证，由于发展需要，公司现拟在厂区内扩建两座工业电子加速器机房，拟配备 1 台 DD1.5 型工业电子加速器和 1 台 DD2.0 型工业电子加速器，用于对新增光伏线束的辐射交联改性，两台电子加速器均属 II 类射线装置。

13.2 实践正当性评价

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

13.3 产业政策符合性

公司扩建 2 台电子加速器，项目建设属于《产业结构调整指导目录（2019 本）》中第六项核能中第六条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

13.4 选址合理性

本项目位于工业区，电子加速器机房评价范围 50m 内有无居民点和学校，经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。从辐射环境保护方面论证，本项目选址是合理可行的。

13.5 辐射防护措施评价

本项目电子加速器机房采取的是实体屏蔽方式，根据理论预测可知，本项目电子加速器机房的屏蔽厚度均能满足防护要求；辐照产品进出通道、通风管道的设置合理可行，均未破坏电子加速器机房的整体屏蔽防护效果，该公司拟采取的辐射防护措施满足当前

的管理要求。

13.6 保护目标剂量评价

根据理论估算结果可知，本项目辐射工作人员和公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本项目管理目标（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）的剂量限值要求。

13.7 辐射安全措施评价

本项目电子加速器机房须严格落实《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中有关安全设施的要，主要包括：钥匙控制、门机联锁、束下装置联锁、信号警示装置、巡检按钮、防人误入装置、急停装置、剂量联锁、通风联锁、烟雾报警、警告标志等。

13.8 臭氧对环境影响评价

本项目电子加速器机房拟设置机械排风系统，室外排放口位于辐照厂房屋顶，并高于周边建筑。在加速器停止工作后，电子加速器机房的排风系统继续工作，通过约 4min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度

（ $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ），此时工作人员进入辐照室是安全的。本项目电子加速器机房的排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，以保证机房内臭氧等有害气体浓度低于允许值。本项目排臭氧风机排风速率设计值不低于 $10000\text{m}^3/\text{h}$ ，机房内臭氧和氮氧化物通过排风系统排入外环境，臭氧在常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小；氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，对环境影响较小。

13.9 辐射安全管理评价

公司成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构，明确了管理机构和管理人员职责。公司制定了《辐射事故应急预案》《辐射安全防护管理工作制度》《辐射工作人员岗位职责》《加速器操作规程》《射线装置使用登记制度》《辐射防护和安全保卫制度》《设备检维修制度》《辐射工作人员安全培训制度》《监测方案制度》。制定了《辐射事故处理预案》。明确了辐射应急工作的责任部门和应急联络方式预防事故的措施发生事故的处理和报告程序。

公司建立了辐射工作人员培训制度、辐射工作人员健康管理制度，开展了个人剂量

监测和职业健康检查，建立了个人剂量档案和职业健康检查档案。公司新增辐射工作人员纳入培训和健康管理体系。

13.10 辐射防护监测仪器

公司配备了 X、 γ 辐射检测仪、个人剂量报警仪，为辐射工作人员配备了个人剂量计。公司为新增辐射工作人员配备个人剂量计，落实后，该公司辐射监测仪器的配备能够满足要求。

13.11 总结论

综上所述，宁波昊森线缆科技有限公司年产 3600 万光伏线束生产线技改项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

13.12 承诺和建议

（1）加强对辐射工作人员专业知识和业务工作的定期培训，提高操作熟练程度，从而最大程度地降低受照剂量、避免辐射事故的发生。

（2）根据新的法律法规和行业标准并结合实际工作，不断对规章制度进行补充完善。

13.13 建设项目竣工验收

本项目竣工后，建设单位应当按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，在 3 个月内对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入使用。

建设单位应公开相关验收信息，向所在地县级以上生态环境主管部门报送相关信息，并接受监督检查，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使用。

验收报告公示期满后 5 个工作日内，建设单位应当登录全国建设项目竣工环境保护验收信息平台，填报建设项目基本信息、环境保护设施验收情况等相关信息。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见:

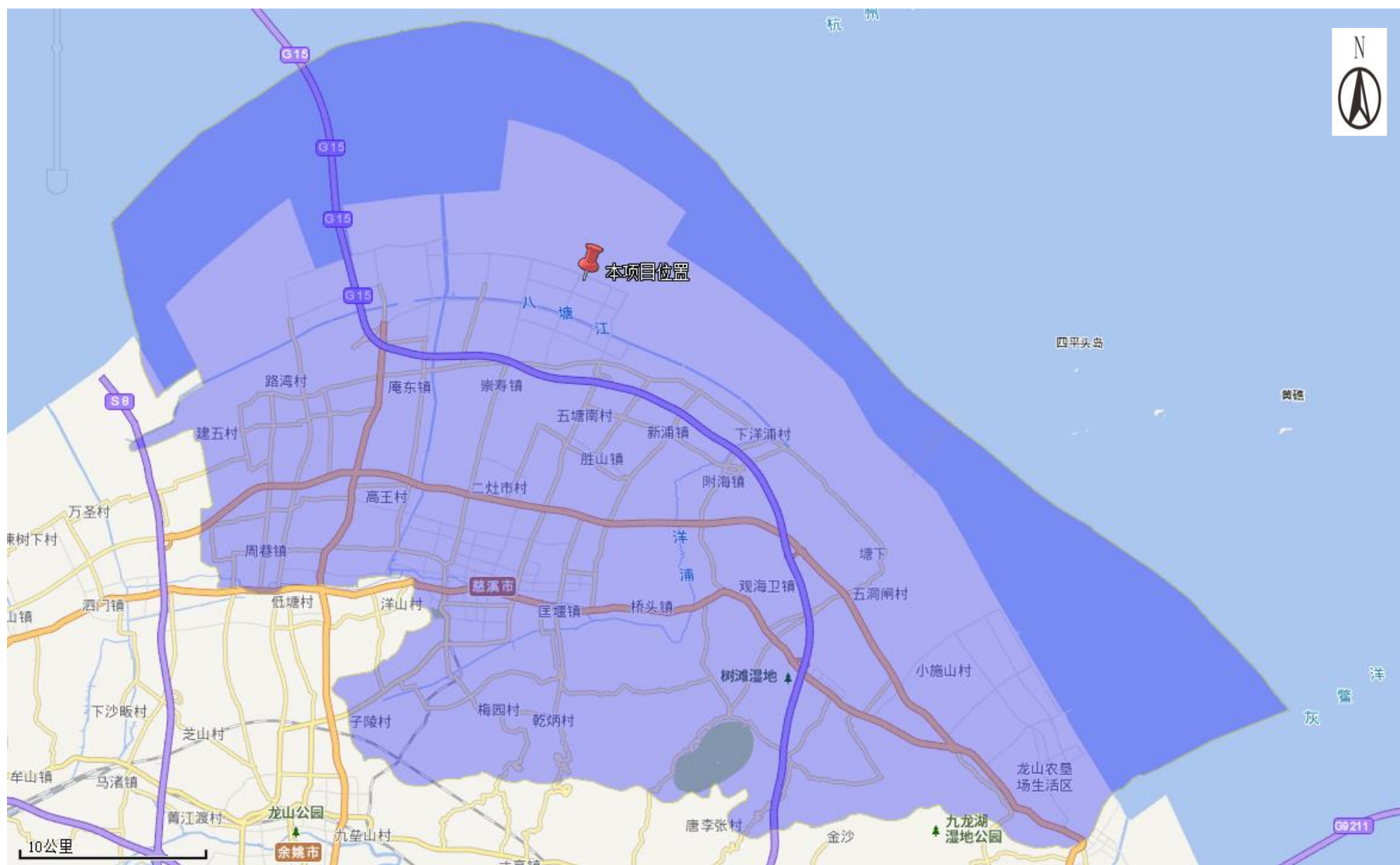
公章

经办人
年月日

审批意见:

公章

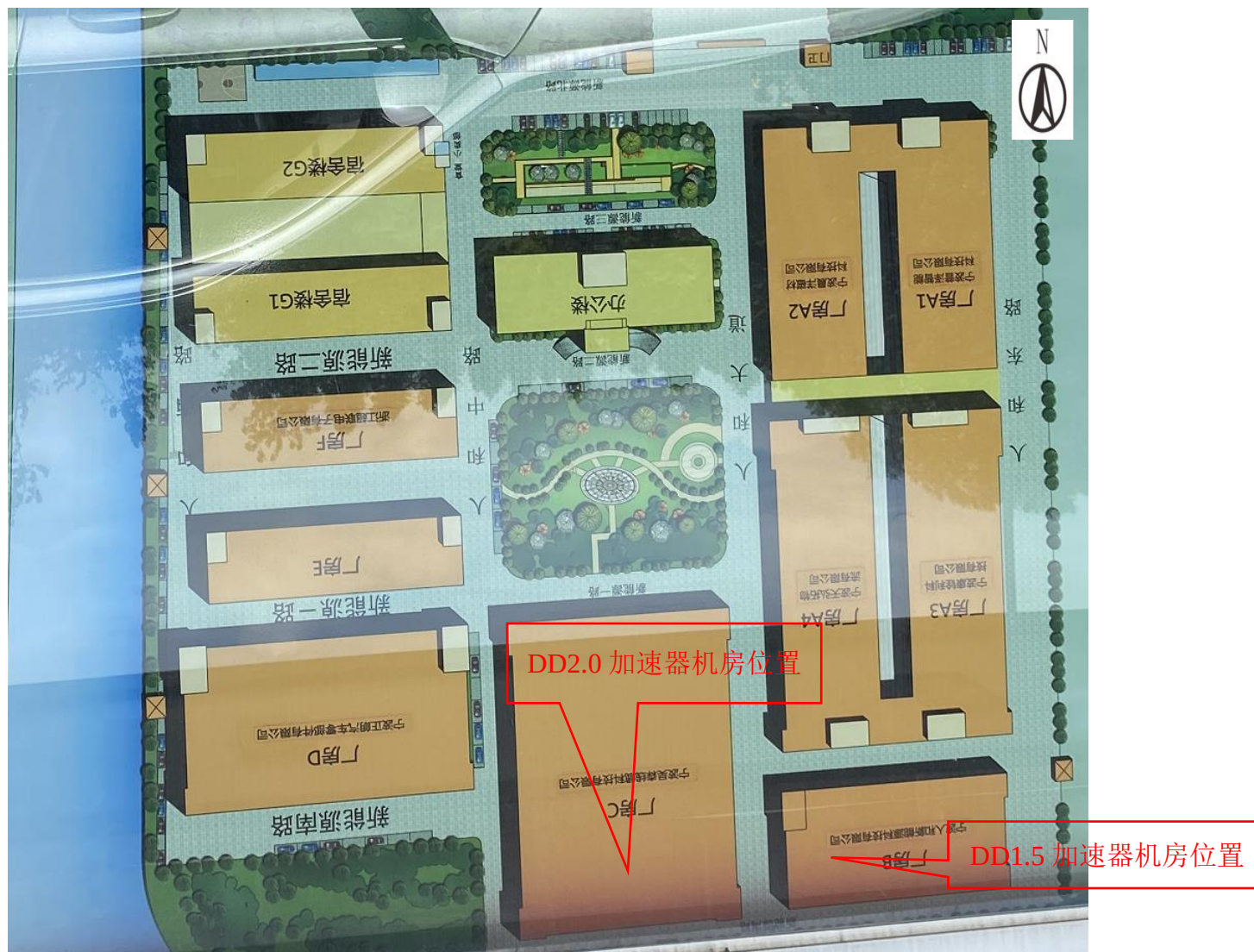
经办人
年月日



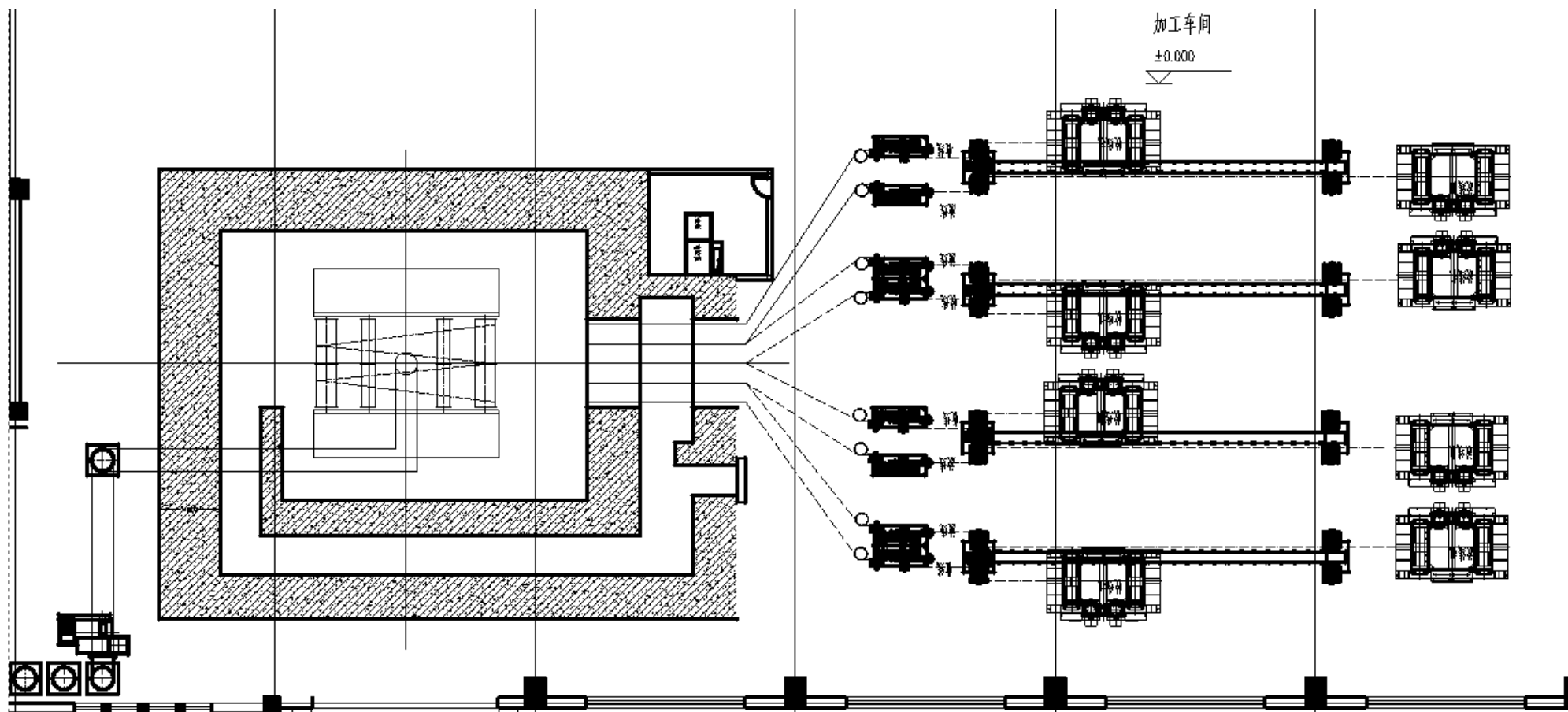
附图 1 项目地理位置图



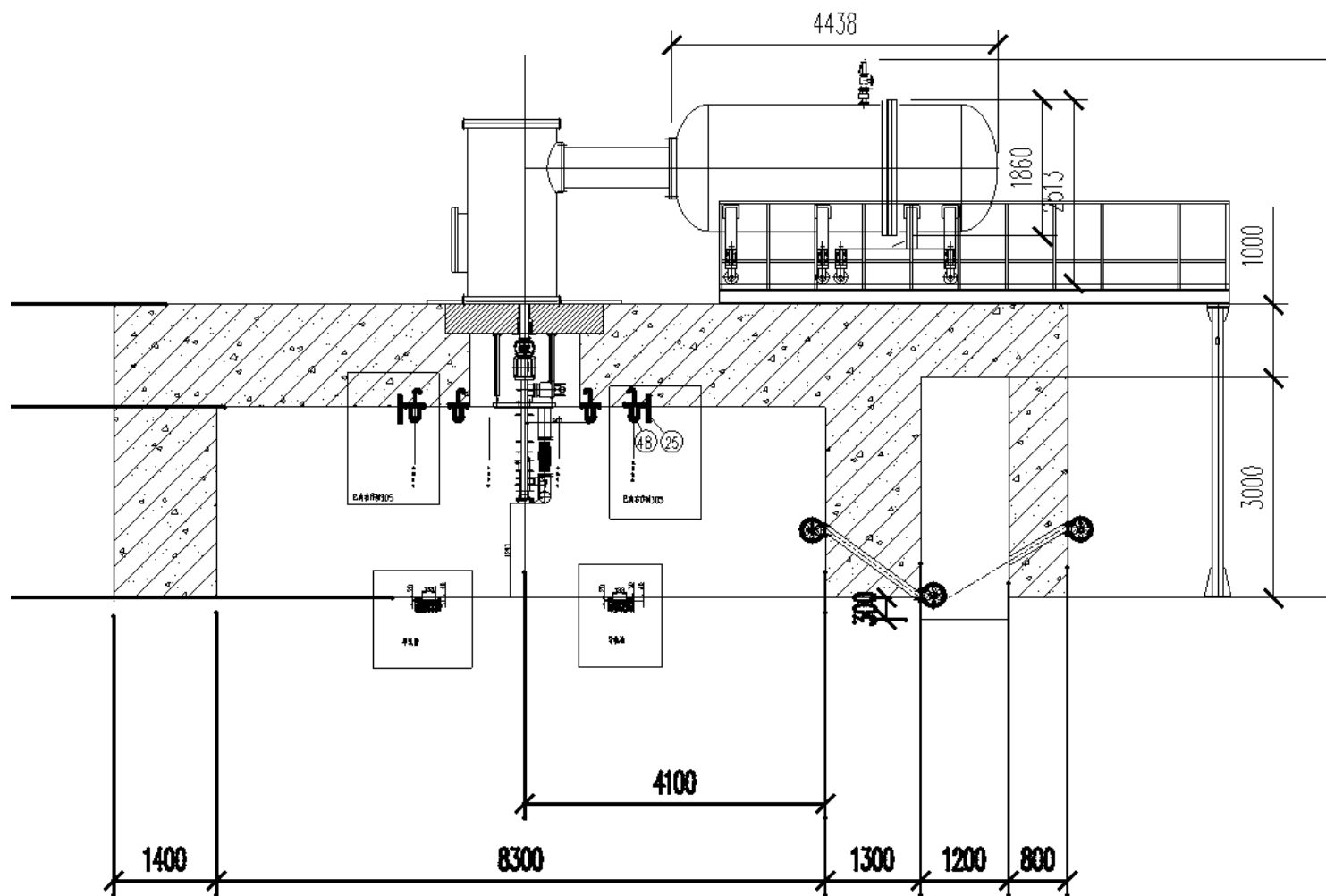
附图 2 电子加速器机房周围环境概况及评价范围示意图



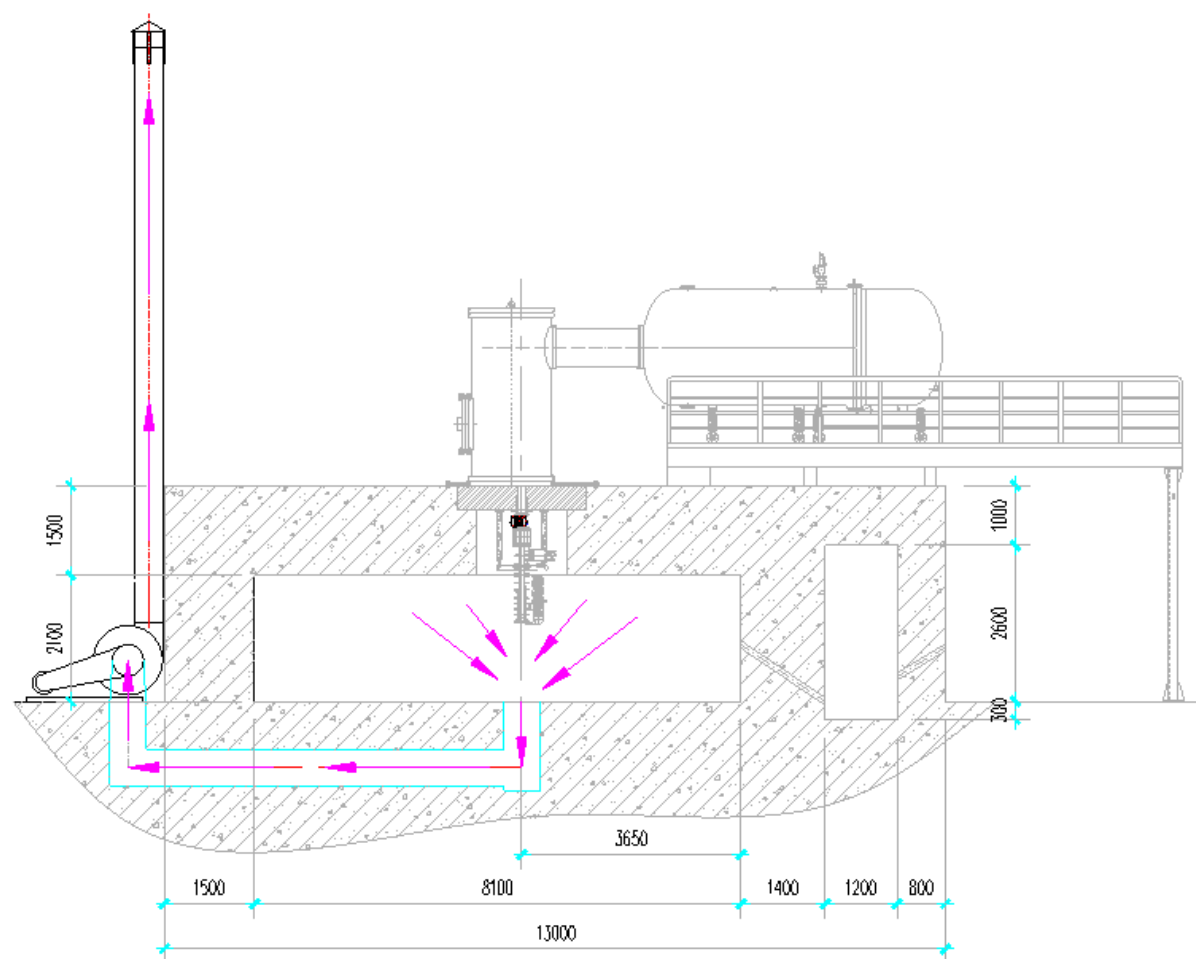
附图 3 厂区总平面图



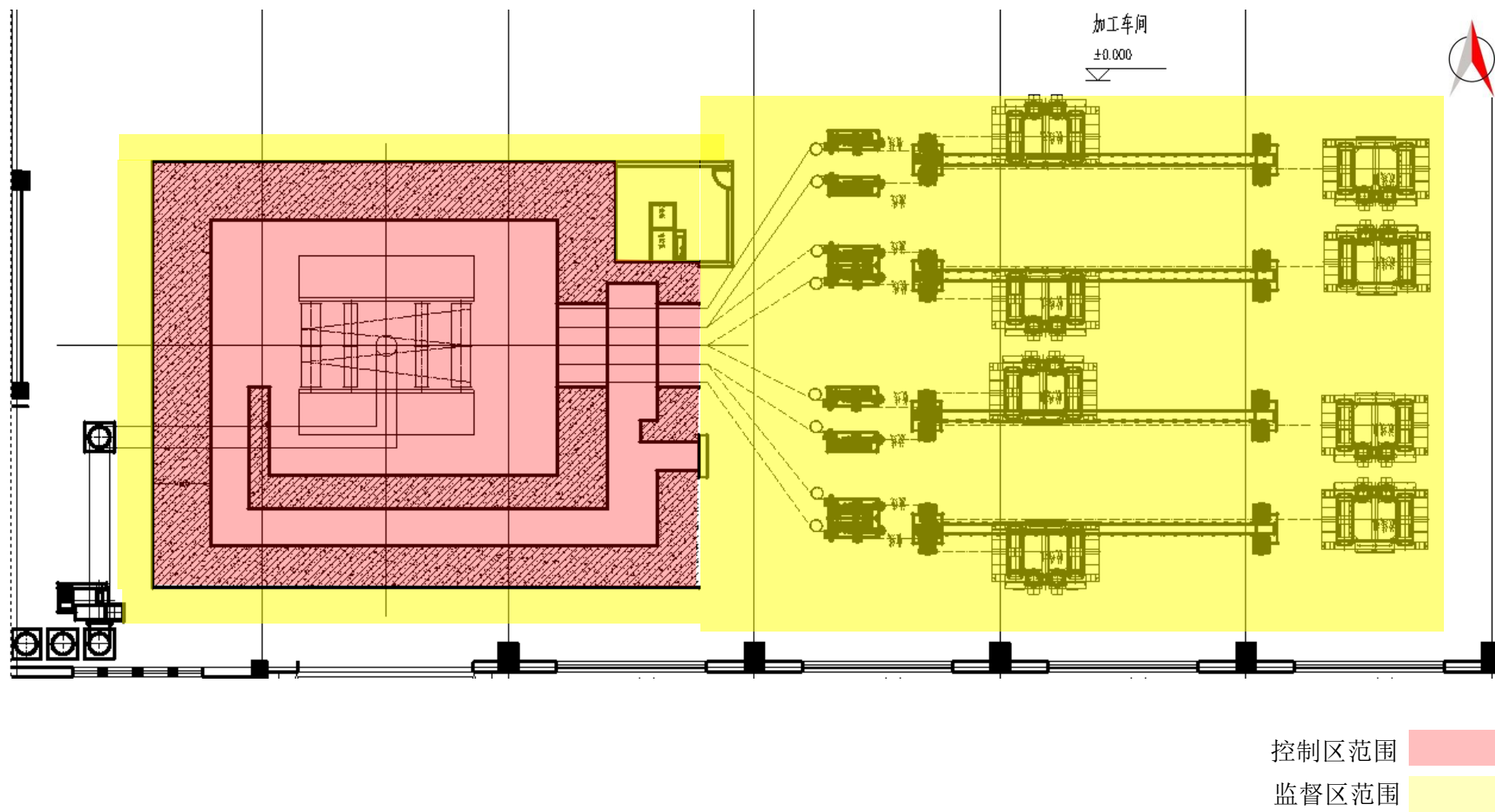
附图 4-1 辐照室平面布置图



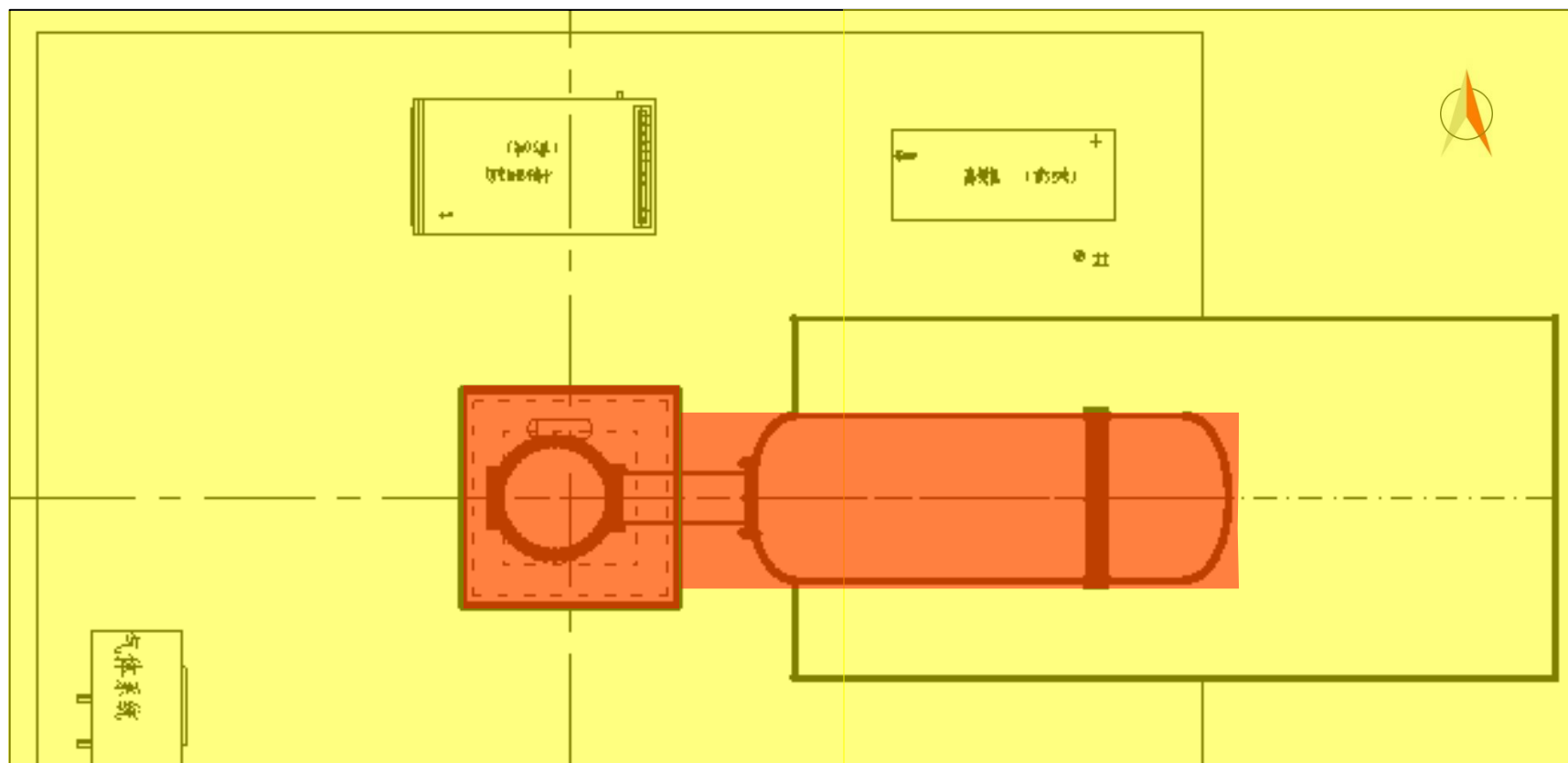
附图 4-2 加速器立面图



附图 5 排臭氧烟道立面图



附图 6-1 辐照室辐射工作场所分区图



附图 6-2 主机室辐射工作场所分区图

控制区范围

监督区范围