

核技术利用建设项目

郑州比亚迪汽车有限公司高压电气工厂新增电子加速
器辐照项目

环境影响报告表

郑州比亚迪汽车有限公司

2025 年 5 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

郑州比亚迪汽车有限公司高压电气工厂新增电子加速
器辐照项目

环境影响报告表

建设单位：郑州比亚迪汽车有限公司

法人代表（签名或签章）：

通信地址：郑州航空港经济综合实验区比亚迪路 2 号

邮政编码：450000 联系人：李浩

电子邮箱：li.hao80@byd.com 联系电话：199****0948

目 录

表 1 项目基本情况 - 1 -

表 2 放射源..... - 12 -

表 3 非密封性放射性物质 - 12 -

表 4 射线装置 - 13 -

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） - 14 -

表 6 评价依据 - 15 -

表 7 保护目标与评价标准 - 17 -

表 8 环境质量和辐射现状 - 25 -

表 9 项目工程分析与源项 - 28 -

表 10 辐射安全与防护 - 40 -

表 11 环境影响分析 - 55 -

表 12 辐射安全管理 - 75 -

表 13 结论与建议 - 81 -

表 14 审批 - 85 -

附件

- 附件 1 委托书
- 附件 2 辐射安全许可证
- 附件 3 现有射线装置环保手续
- 附件 4 相关制度及应急预案
- 附件 5 项目辐射防护设计方案
- 附件 6 本次评价辐射环境检测报告

表 1 项目基本情况

建设项目名称		郑州比亚迪汽车有限公司高压电气工厂新增电子加速器辐照项目				
建设单位		郑州比亚迪汽车有限公司				
法人代表		何志奇	联系人	李浩	联系电话	199****0948
注册地址		郑州航空港经济综合实验区比亚迪路 2 号				
项目建设地点		河南省郑州航空港经济综合实验区比亚迪路 2 号二期 54 号厂房				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）		1370	项目环保投资（万元）	80	环保投资比例	5.8%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积（m ² ）	972
使用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
	其它	/				

1.1 项目概况

1.1.1 建设单位情况

郑州比亚迪汽车有限公司（以下简称“建设单位”）是比亚迪汽车工业有限公司的全资控股的子公司。比亚迪成立于 1994 年 11 月 18 日，总部位于广东省深圳市，业务横跨汽车、电子、新能源和轨道交通四大产业，是在香港和深圳两地上市的世界 500 强企业，在全球累计申请专利超 4.8 万项、获得授权专利超 3 万项。比亚迪扛起时代责任和使命，坚定拥抱汽车电动化、智能化浪潮，打造中国和全球的新能源汽车龙头，走出一条绿色创新发展之路。比亚迪新能源汽车运营足迹，已经遍及全球 90 多个国家和地区、400 多个城市，汽车市场占有率位居行

业首位。建设单位 2021 年入驻郑州汽车产业聚集区，注册资金 5000 万元，占地 5.3 万平方米，目前建设的厂区有比亚迪一期工业园、比亚迪二期工业园、比亚迪三期工业园、比亚迪四期工业园。主导产品为汽车发动机零部件，变速箱零部件以及新能源汽车铝合金压铸件等。

1.1.2 项目建设背景及由来

为满足公司 54 厂电缆生产 1800 万米/年的生产需要，郑州比亚迪汽车有限公司拟在比亚迪二期工业园 54 号厂房内西北部建设郑州比亚迪汽车有限公司高压电气工厂新增电子加速器辐照项目，项目主要建设内容包括电子加速器辐照机房 1 座，安装 1 台 AB2.0-50/1600 型电子加速器（最大能量 2.0MeV，最大电流 50mA）用于电缆的辐照交联。

根据原环保部、国家卫生和计划生育委员会公告（2017 年第 66 号《射线装置分类》的公告），本项目拟安装电子加速器为Ⅱ类射线装置，依据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》中第 172 项“核技术利用建设项目生产、使用Ⅱ类射线装置”和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十条（五）规定，生产、销售、使用Ⅱ类射线装置的，本项目应当组织编制环境影响报告表。

受建设单位委托，河南可人科技有限公司承担了本项目的环评评价工作。评价单位在接受委托后，立即组织技术人员对本项目拟建址区域进行了现场踏勘、相关资料收集，委托检测单位开展了区域辐射环境背景水平监测等工作，并按照国家相关技术规范的要求，整理编制完成了本报告表。

1.1.3 产业政策相符性

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于第一类“鼓励类”第六项“核能”第 4 款“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”中的“加速器及辐照应用技术开发”，符合国家现行政策。

1.1.4 实践正当性

本项目符合国家及地方产业政策要求，本项目用于电线电缆辐照交联，目的在于提高生产效率、改善产品的相关性能，有较高的经济效益，在落实项目实施

方案和本报告中提出的辐射安全防护措施及管理要求后，可以将该项目产生的辐射影响降至尽可能小，且对周围环境、工作人员、公众的辐射影响能够满足相关标准要求，项目带来的经济效益、社会效益要远大于其可能引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”的要求。

1.1.5 项目选址合理性分析

本项目机房位于比亚迪二期工业园 54 号厂房内西北部，未设置在商业楼、写字楼、商住两用楼等人群集中区。

本项目机房所在 54 号厂房为一层厂房，机房紧邻区域规划的功能区域主要为本项目操作柜和放线机工位等。

拟建电子加速器辐照机房四周 50 米范围内的固定工位主要包括：东侧 50 米范围内规划有并丝机工位（东侧约 29.5 米），东南侧 50 米范围内规划有收线机工位（东南侧约 34.7 米），西侧 50 米范围内有物理检测室和办公室（西侧约 38.4 米），北侧 50 米范围内为厂区道路和 52 号厂房（北侧约 33 米，高度 28 米）等公众。

本项目电子加速器辐照机房拟采取有效的屏蔽措施，通过运营期环境影响分析对周围环境的影响是可接受的。综上所述，本项目选址合理。

1.1.6 现有核技术利用情况

建设单位现持有原郑州航空港经济综合实验区建设局（郑州市生态环境局郑州航空港经济综合实验区分局）颁发的辐射安全许可证，证号豫环辐证〔A1022〕，有效期至：2029 年 1 月 3 日，许可种类和范围为：使用 III 类射线装置，许可的核技术利用项目包括：使用 III 类射线装置 1 台。建设单位已取得许可的射线装置信息详见表 1.1。

表 1.1 郑州比亚迪汽车有限公司已取得许可射线装置一览表

序号	射线装置	类别	型号	位置	环保手续	备注
1	离线 X-RAY	III 类	X-EVE7000BS	郑州比亚迪汽车有限公司 56 号厂房	备案号 20234199000100000039	停用 状态

备注：建设单位现有的离线 X-RAY 设备因无法满足生产需要，处于停用状态。

此外，建设单位拟建新增工业 CT 应用项目处于建设阶段，已于 2025 年 3 月 10 日取得郑州航空港经济综合实验区生态环境和城市管理局（综合行政执法局）关于郑州比亚迪汽车有限公司新增工业 CT 应用项目环境影响报告表的批复（郑港辐环〔2025〕7 号）。建设单位现有辐射安全许可证正在办理变更手续，在项目使用前重新取得辐射安全许可证。

建设单位目前核技术应用项目在运行过程中严格按照制定的规章制度执行，成立了“辐射安全与环境保护管理小组”，制定有健全的辐射安全管理规章制度，使用 III 类射线装置的辐射工作人员已按照要求进行了辐射安全培训和考核、配备有个人剂量计，并定期委托具有资质的单位对射线装置工作场所四周进行辐射环境监测，监测报告和个人剂量监测报告均存档，每年开展辐射安全年度评估，并于每年 1 月 31 日前提交至生态环境主管部门，现有射线装置运行、维护、检测工作良好，防护措施有效，现有核技术利用项目环保执行情况良好。

1.1.7 本期建设内容及规模

建设单位在原有核技术利用项目的基础上，拟在比亚迪二期工业园 54 号厂房内西北部建设郑州比亚迪汽车有限公司高压电气工厂新增电子加速器辐照项目，项目主要建设内容包括电子加速器辐照机房 1 座，安装 1 台 AB2.0-50/1600 型电子加速器（最大能量 2.0MeV，最大电流 50mA）用于电缆的辐照交联。

拟建电子加速器辐照机房区域现状为空置厂房，未曾开展核技术应用项目。
本次环评的设备参数表见表 1.2。

表 1.2 本次环评的射线装置参数一览表

序号	名称	类别	数量	型号	最大能量	最大电子束流	用途	设备厂家	位置
1	电子加速器	II类	1台	AB2.0-50/1600	2.0MeV	50mA	电线辐照交联	无锡爱邦辐射技术有限公司	郑州比亚迪汽车有限公司比亚迪二期工业园 54 号厂房

1.1.8 评价目的

(1) 对本项目拟建区域进行辐射环境质量现状监测，以掌握区域辐射环境质量现状水平。

(2) 对本次建设的核技术应用项目进行辐射工作人员、公众人员及对环境带来的辐射影响进行预测评价，以掌握项目运行后机房及其周围的辐射水平。

(3) 对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”。

(4) 满足国家和地方生态环境部门对辐射项目环境管理规定的要求，为辐射环境保护管理提供科学依据。

1.1.9 评价内容

(1) 评价本项目电子加速器辐照机房采取的辐射防护措施是否符合标准或规范要求；

(2) 计算各关注点的剂量率、辐射工作人员及公众人员的附加年有效剂量，评价是否满足管理限值要求；

(3) 依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的有关规定，对建设单位从事辐射活动的能力进行评价。

1.1.10 评价原则

(1) 以项目实际为基础，环保法律法规为依据，国家方针政策为指导的原则；

(2) 突出项目特点，抓住关键问题，坚持实事求是、客观公正的原则；

(3) 评价体现来源于项目、服务于项目、指导于项目的原则。

1.2 建设项目周围环境简况

1.2.1 建设单位外环境关系

郑州比亚迪汽车有限公司位于郑州航空港经济综合实验区比亚迪路2号，本项目位于比亚迪二期工业园内，比亚迪二期工业园东侧为兖州路，南侧为东海路、隔东海路为比亚迪一期工业园，西侧为竹贤西街，北侧为鸿泽路、隔鸿泽路为比亚迪三期工业园。其地理位置图见图1.1。

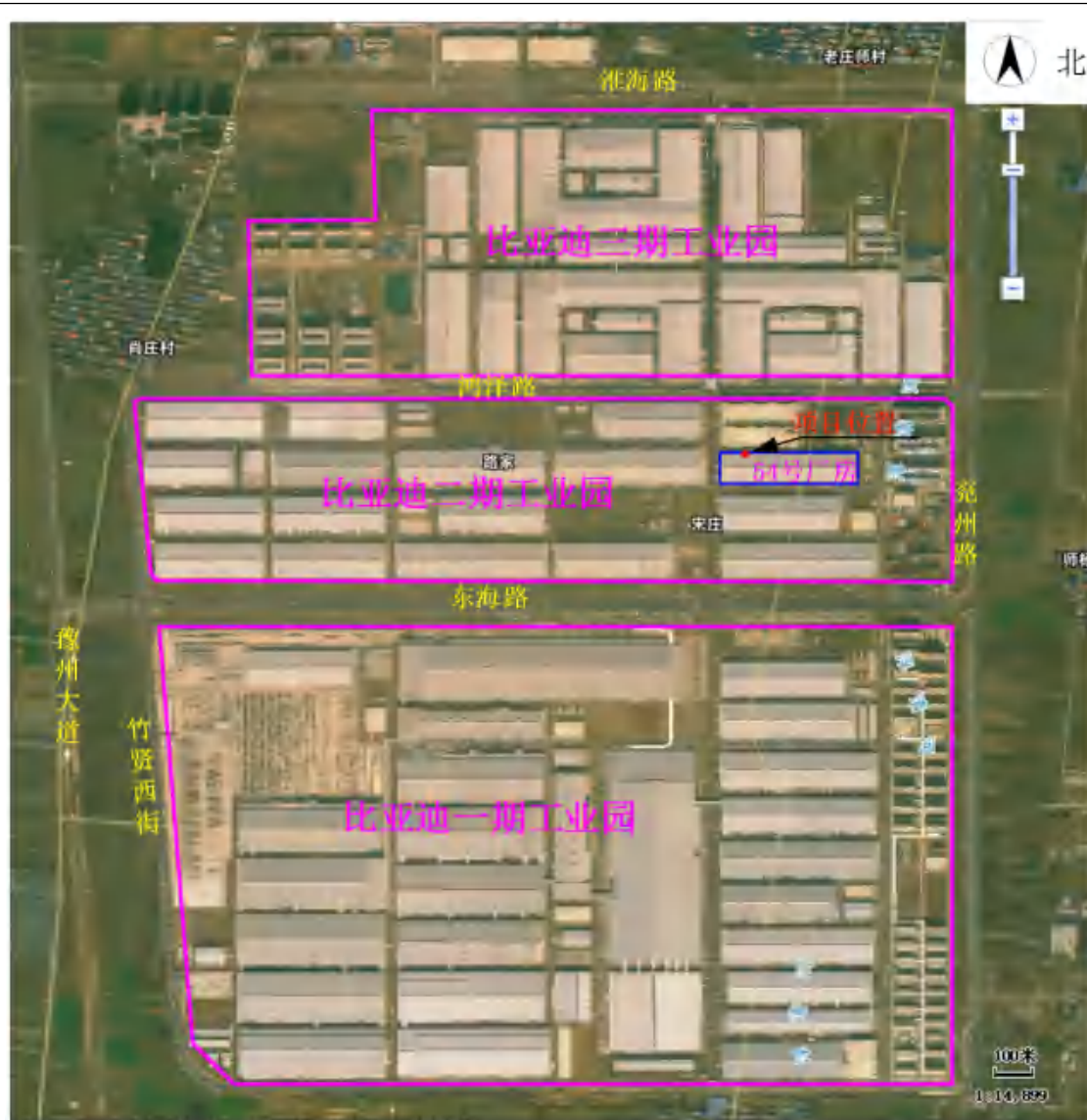


图 1.1 地理位置图

1.2.2 项目所在建筑物外环境关系

本项目机房位于比亚迪二期工业园 54 号厂房内西北部，54 号厂房为 1 座一层建筑物（高度 19.86 米），无地下建筑物。54 号厂房四周均为比亚迪二期工业园内部道路，隔内部道路 54 号厂房东侧为 39 号宿舍楼，北侧为 52 号厂房，西侧为 48 号厂房，南侧为 55 号厂房。项目所在厂区平面布置图及项目区域平面布置分别见图 1.2 和图 1.3。



图 1.2 项目所在厂区平面布置图



图 1.3 项目区域平面布置图

1.2.3 辐射工作场所外环境关系

本次评价的电子加速器辐照机房位于比亚迪二期工业园 54 号厂房内西北部，根据项目设计方案，机房东侧为放线机，南侧为废料仓，西侧为空地，北侧为加速器冷水机组、振荡柜、控制柜等。

本项目拟建电子加速器辐照机房南侧 50 米范围内无固定工位，东侧 50 米范围内规划有放线机工位（东侧约 3.9 米）和并丝机工位（东侧约 29.5 米），东南侧 50 米范围内规划有收线机工位（东南侧约 34.7 米），西侧 50 米范围内有物理检测室和办公室（西侧约 38.4 米），北侧 50 米范围内为 52 号厂房（北侧约 33 米，高度 28 米）。此外，项目运营期将电子加速器辐照机房内的区域划为控制区，将电子加速器辐照机房四周外 0.5 米以及控制柜区域划为监督区。现场照片见图 1.4，机房所在 54 号厂房平面布置图、机房区域平面布置见图 1.5~1.6。



54 号厂房南侧



54 号厂房西侧



54 号厂房北侧厂区道路和 52 厂房



54 号厂房东侧

	
项目拟建位置	项目拟建位置西侧
	
项目拟建位置东侧线边仓	项目拟建位置东侧并丝机
	
项目拟建位置东南侧收线机	编制主持人现场踏勘照片

图 1.4 本项目现场照片

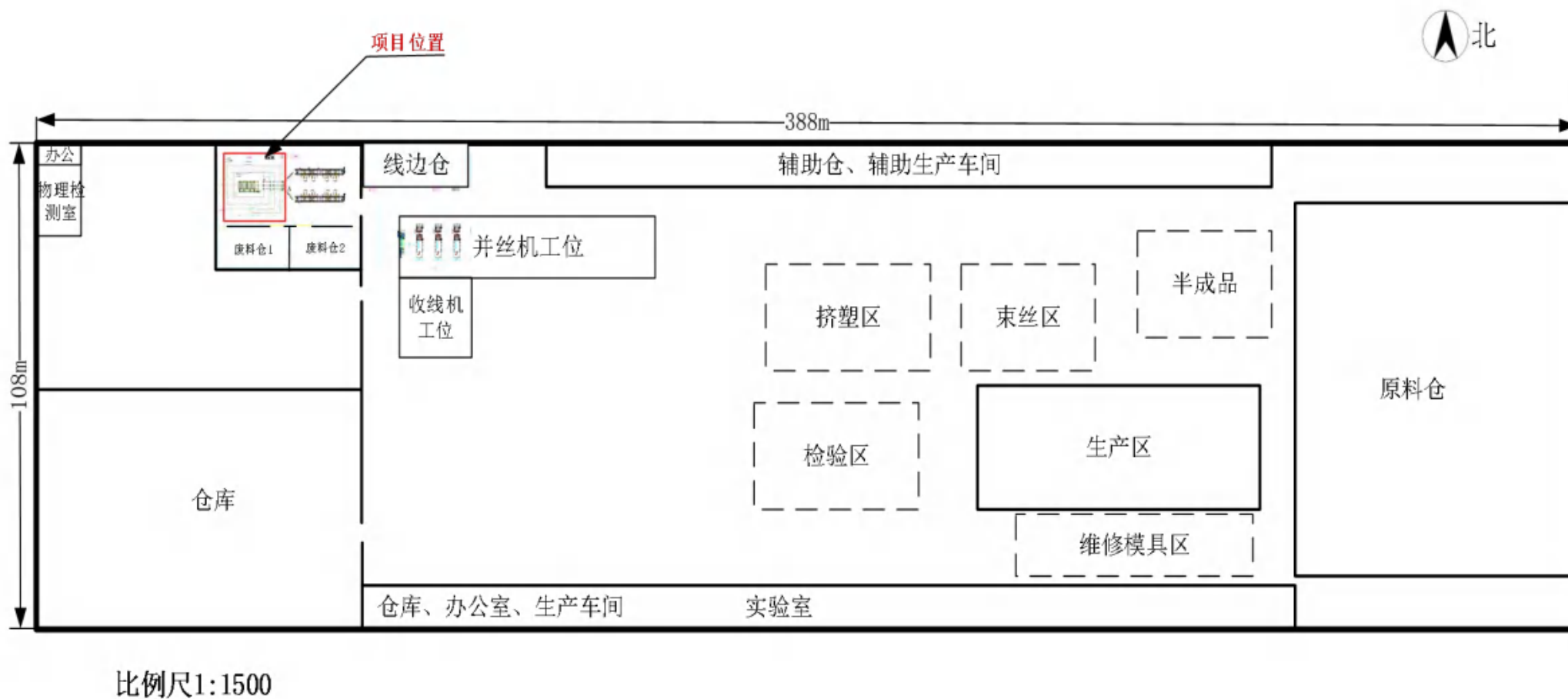


图 1.5 54 号厂房平面布置图

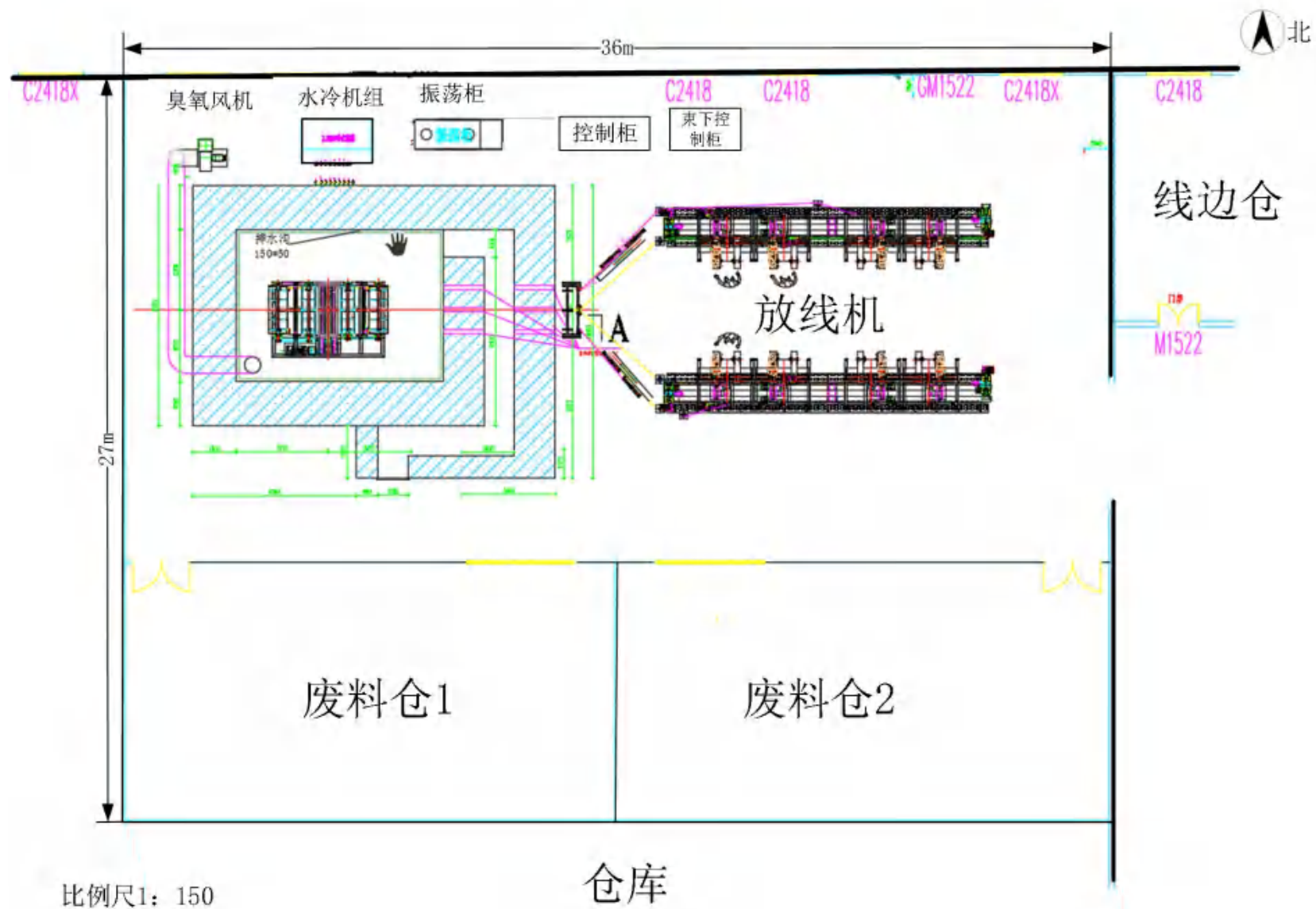


图 1.6 项目区域平面布置图

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/
本项目不涉及放射源								

注：放射源放射性中子源，对其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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
本项目不涉及非密封性放射性物质										

注：日等效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、教学等用途的各种类型

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
/	电子加速器	II	1	AB2.0-50/1600	电子	2.0	50mA	电线辐照交 联	郑州比亚迪汽车有 限公司 54 号厂房	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析仪器等

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	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过机房臭氧排风系统外排入大气,臭氧在30~50 分钟左右可自动分解
<p style="text-align: center;">本项目不涉及放射性废弃物</p>								

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，气态单位为 mg/kg；年排放总量用 kg。

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

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》2015 年 1 月 1 日；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》2018 年 12 月 29 日；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》2003 年 10 月 1 日；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》国务院第 449 号令，2019 年 3 月 2 日修订；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院第 682 号令，自 2017 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，环境保护总局令第 31 号，2021 年 1 月 4 日修订；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第 18 号令），2011 年 5 月 1 日起实施；</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 版）；</p> <p>(9) 《关于发布射线装置分类的公告》（公告 2017 年 第 66 号），原环境保护部 国家卫生和计划生育委员会，2017 年 12 月 5 日发布；</p> <p>(10) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（中华人民共和国生态环境部公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 24 日印发）；</p> <p>(11) 《河南省辐射污染防治条例》，2016 年 3 月 1 日起实施；</p> <p>(12) 《河南省突发环境事件应急预案》（豫政办〔2022〕10 号），2022 年 1 月 20 日。</p>
技术标准	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(5) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>(6) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；</p> <p>(7) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）；</p> <p>(8) 《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）；</p>

	<p>(9) 《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)；</p> <p>(10) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 及其 2018 年修改单；</p> <p>(11) 《工作场所职业病危害警示标识》(GBZ158-2003)。</p>
其它	<p>(1) 本项目环境影响评价委托书；</p> <p>(2) 本项目设备产品说明书、技术方案等资料；</p> <p>(3) 本项目辐照交联工艺工序及说明</p> <p>(4) 建设单位现有辐射安全许可证及核技术应用项目环保手续；</p> <p>(5) 建设单位辐射领导小组文件及相关辐射管理制度等；</p> <p>(6) 建设单位辐射事故应急预案；</p> <p>(7) 建设单位关于本次拟建电子加速器辐照机房辐射防护方案及年有效剂量管理限值选取的说明。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的规定“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”的要求，确定本项目评价范围为拟建电子加速器辐照机房周围 50m 区域。

7.2 保护目标

本次评价的电子加速器辐照机房位于比亚迪二期工业园 54 号厂房内西北部，根据项目设计方案，机房东侧为放线机，项目工作期间有公众人员（放线工作人员）工作；南侧为废料仓；西侧为空地；北侧为加速器冷水机组、振荡柜、控制柜等，有辐射工作人员工作。

此外，拟建电子加速器辐照机房四周 50 米范围内还有并丝机工作人员、物理检测室和办公室人员、52 号厂房内工作人员、厂房内物流通道上经过的非辐射工作人员、54 号厂房外北侧道路上的流动人员等公众人员等。

本项目评价范围环境保护目标为从事本项目辐射工作的工作人员、辐射工作场所周围其他非辐射工作人员和周围活动的公众人员。本项目主要环保目标分布情况见表 7.1。

表 7.1 主要环境保护目标一览表

序号	机房位置	主要保护目标	人数	受影响位置	照射类型
1	比亚迪二期工业园 54 号厂房内西北部	北侧控制柜处辐射工作人员	3 人/班	北侧约 1.6 米	职业照射
2		东侧放线机工位上的辐射工作人员（与操作柜同一班人员）		东侧约 3.9 米	
3		东侧并丝机工位上的工作人员	3 人/班	东侧约 29.5 米	公众照射
4		东南侧收线机工位上的工作人员	2 人/班	东南侧约 34.7 米	
5		西侧物理检测室和办公室人员	8 人	西侧约 38.4 米	
6		北侧 52 号厂房内工作人员	约 50 人	北侧约 33 米	
7		项目四周，54 号厂房内、外流动人员	流动	四周 3-19 米	

7.3 评价标准

（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的源的安

全。

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。

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:

b) 年有效剂量, 1mSv。

(2) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)

4.1 辐射安全要求

4.1.1 安全原则

4.1.1.1 纵深防御

多层防护与安全措施(即纵深防御), 以确保当某层次的防御措施失效时, 可由下一层次的防御措施予以弥补或纠正, 达到:

(1) 防御可能引起照射的事故;

(2) 减轻可能发生的任何类似事故的后果;

(3) 在任何这类事故之后, 将装置恢复到安全状态。

4.1.1.2 冗余性

采用的物项应多于为完成某一安全功能所必须的最少数目的物项, 在运行过程中万一某物项失效或不起作用的情况下可使其整体不丧失功能。例如辐照室和主机室的人员出入口应设 3 道及以上连锁。

4.1.1.3 多元性

多元性能够提高装置的安全可靠性，可以降低共因故障。系统多元性和多重剂量监测可以采用不同的运行原理、不同的物理变量、不同的运行工况、不同的元器件等，例如：辐照室和主机室的人员出入口的安全联锁可以分别采用机械的、电气的、电子的和剂量的联锁。

4.1.1.4 独立性

独立性是指某一安全部件发生故障时，不会造成其它安全部件的功能出现故障或失去作用。通过功能分离和实体隔离的方法使安全机构获得独立性。为提高系统的独立性，可采取下列措施：

- (1) 保证冗余性（多道联锁）各部件之间的独立性；
- (2) 保证纵深防御各部件之间的独立性；
- (3) 保证多元性各部件之间的独立性；
- (4) 保证安全重要物项和非安全重要物项之间的独立性。

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。

4.1.3 在控制区出入口处和其它必要的地方，应设立醒目的、符合 GB18871 规定的警告标志。

4.1.4 使用手册、操作规程和应急程序等文件以及关键的安全部件标识和安全标识都应使用中文。

4.2 辐射防护要求

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值规定为：

- a) 辐射工作人员个人年有效剂量为 5mSv；
- b) 公众成员个人年有效剂量为 0.1mSv。

4.2.2 辐射屏蔽设计依据

电子加速器辐照装置的屏蔽设计必须以加速器的最高能量和最大束流强度为依据。

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

本标准适用的能量不高于 10MeV 的电子束和能量不高于 5MeV 的 X 射线，在辐射屏蔽设计中不需要考虑所产生的中子防护问题。

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。

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，以便人员离开控制区；

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

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

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

6.3 其他要求

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) 辐照室内的主排气孔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。

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

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，密度不应低于 2.35g/cm^3 ；

b) 屏蔽结构及预埋件应满足设备供应商提供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 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：职业人员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显示电子加速器装置运行状态的灯光信号和其他警示标志；

f) 剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备；

g) 其他物理因素安全要求应满足 GBZ2.2-2007 规定的标准要求。

(4) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-1985)

2 剂量当量限值

2.8 从事加速器工作的全体放射性工作人员，年人均剂量当量应低于 5mSv。

3 辐射防护设施的设计原则

3.3 辐射安全系统

3.3.1 决定加速器产生辐射的主要控制系统应该用开关钥匙控制。

3.3.2 加速器厅、靶厅的门均需安装联锁装置，只有门关闭后才能产生辐射。

3.3.3 在加速器厅、靶厅内人员容易到达的地点，应安装紧急停机或紧急断束开关，并且这种开关应当有醒目的标志。

3.3.4 在加速器厅、靶厅内人员容易看到的地方须安装闪光式或旋转式红色警告灯及音响警告装置；在通往辐射区的走廊、出入口和控制台上须安装工作状态指示灯。

3.3.5 在高辐射区和辐射区，应该安装遥控辐射监测系统。该系统的数字显示装置应安装在控制台上或监测位置。当辐射超过预定水平时，该系统的音响和（或）灯光警告装置应当发出警告信号。

3.3.6 每台加速器必须根据其特点配备其他辐射监测装置，如个人剂量计，可携式监测仪。气体监测仪等。

3.3.7 辐射安全系统的部件质量要好，安装必须坚实可靠。系统的组件应耐辐射损伤。

3.4 通风系统

3.4.1 为排放有毒气体（如臭氧）和气载放射性物质，加速器设施内必须设有通风装置。

3.4.2 通风系统的排风速率应根据可能产生的有害气体的数量和工作需要而定。通风系统的进气口应避免受到排出气体的污染。

3.4.3 通风管道通过屏蔽体时，必须采取措施，保证不得明显地减弱屏蔽体的屏蔽效果。

附录 E.2 臭氧

E.2.1 加速器设施内应有良好的通风，以保证臭氧的浓度低于 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

（5）《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）

4.1 工作场所空气中化学有害因素的职业接触限值

表 1 序号 35 臭氧浓度的接触限值为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

（6）《环境空气质量标准》（GB3095-2012）

4 环境空气功能区分类和质量要求

4.1 环境空气功能区分类

环境空气功能区分为两类：一类区为自然保护区、风景名胜区和需要特殊保护的区域；二类区为居住区、商业交通居民混合区、文化区、工业区和农村地区。

4.2 环境空气功能区质量要求

根据 GB3095-2012，一类区适用一级浓度限值，二类区适用二级浓度限值。

本项目所在区域属于二类区，执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及其修改单中二级标准，根据 GB3095-2012 表 1，臭氧（O₃）1 小时平均浓度二级限值要求为：200μg/m³，臭氧（O₃）日最大 8 小时平均浓度二级限值要求为：160μg/m³。

综上所述本次评价采用 2.5μSv/h 作为电子加速器机房屏蔽体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控制值；采用 5.0mSv 作为职业人员的年管理剂量约束值；采用 0.1mSv 作为公众成员的年管理剂量约束值；分别采用 0.3mg/m³ 和 160μg/m³ 作为辐照室内和周围空气中 O₃ 的浓度限值。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

为了解项目拟建环境的辐射背景值，我公司委托具有监测资质的兰州宏溥检测技术有限公司（证书编号为：232812051810）于 2025 年 4 月 2 日对郑州比亚迪汽车有限公司高压电气工厂新增电子加速器辐照项目区域进行环境本底监测。

8.1 项目地理和场所位置

8.1.1 项目地理位置

郑州比亚迪汽车有限公司位于郑州航空港经济综合实验区比亚迪路 2 号，本项目位于比亚迪二期工业园内，比亚迪二期工业园东侧为兗州路，南侧为东海路、隔东海路为比亚迪一期工业园，西侧为竹贤西街，北侧为鸿泽路、隔鸿泽路为比亚迪三期工业园，其地理位置详见图 1.1。

8.1.2 项目场所位置

本项目机房位于比亚迪二期工业园 54 号厂房内西北部，54 号厂房为 1 座一层建筑物，无地下建筑物。54 号厂房四周均为比亚迪二期工业园内部道路，隔内部道路 54 号厂房东侧为 39 号宿舍楼，北侧为 52 号厂房，西侧为 48 号厂房，南侧为 55 号厂房。根据项目设计方案，机房东侧为放线机，南侧为废料仓，西侧为空地，北侧为加速器冷水机组、振荡柜、控制柜等。详见图 1.5~1.6。

8.2 监测内容

- （1）监测因子： X-γ辐射剂量率。
 - （3）监测时间： 2025 年 4 月 2 日。
 - （4）监测条件： 天气晴，气温 23.5~26.1℃，相对湿度 16.7~17.2%。
 - （5）监测仪器
- 监测仪器参数和规范详见表 8.1。

表 8.1 X-γ辐射剂量率仪相关情况

仪器名称	环境级 X、γ 辐射剂量率仪	数字温湿度计
仪器型号	FN800 型	AR837 型
制造单位	飞诺飞科技（深圳）有限公司	SMART SENSOR
校准单位	中国辐射防护研究院放射性计量站	青岛市计量技术研究院
有效日期	至 2026 年 02 月 13 日	至 2025 年 12 月 17 日

证书编号	1024BY0500238	RG824052793-001
结论	合格	合格
监测依据	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）	

8.3 监测布点

在比亚迪二期工业园 54 号厂房拟建电子加速器辐照机房中央、操作柜位置，以及 50 米范围内的主要环境保护目标处各布设一个监测点，具体监测点位示意图见图 8.1。

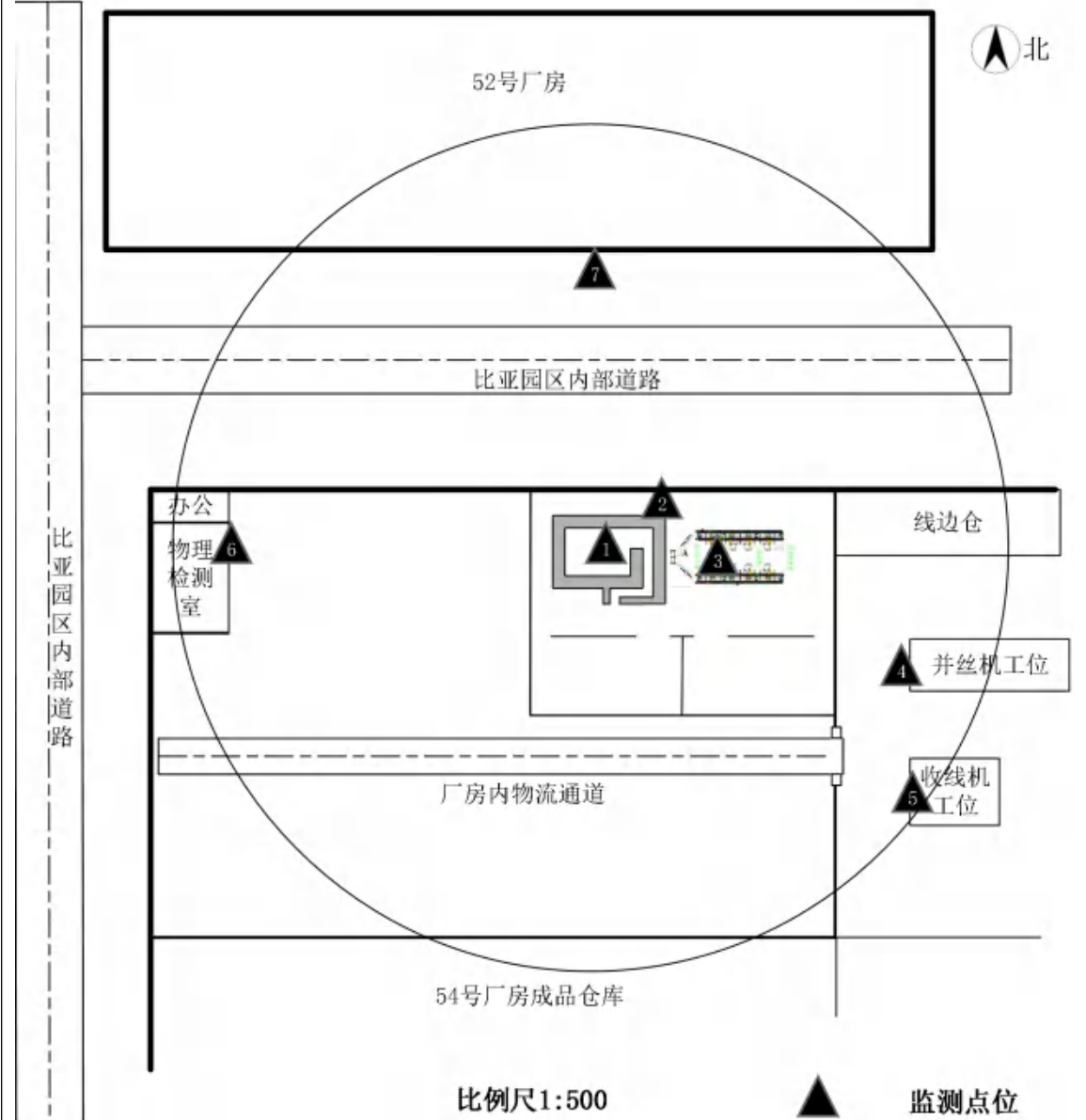


图 8.1 项目区域检测布点示意图

8.4 质量保证措施

- 1.所有监测仪器经过计量部门检定合格并在有效期内；

- 2.所有项目按国家有关规定及质控要求进行质量控制；
- 3.检测人员均经过培训，并持证上岗；
- 4.监测分析方法采用国家颁布的标准（或推荐）分析方法；
- 5.检测仪器已经期间核查，保证检测数据的准确；
- 6.所有记录、分析结果及检测报告均经过三级审核。

8.5 监测结果及分析

拟建电子加速器区域辐射环境监测结果见表 8.2。

表 8.2 辐射环境监测结果

编号	监测点位	X-γ辐射剂量率 (nGy/h)	地面环境
1	拟建电子加速器辐照机房中央	60.2+0.3	室内水泥地面
2	拟建电子加速器操作柜处	59.3+0.2	室内水泥地面
3	规划放线机工位西侧	58.2+0.1	室内水泥地面
4	并丝机工位西侧	58.4+0.2	室内水泥地面
5	收线机工位西侧	59.1+0.2	室内水泥地面
6	物理检测室东侧	72.4+0.1	室内水泥地面
7	52 号厂房南侧	81.1+0.2	室外水泥地面

备注：检测结果未除宇宙射线响应值。

根据对拟建电子加速器辐照机房区域的监测结果可知，项目拟建区域中央监测点位处辐射环境质量现状监测值为 60.2nGy/h，拟建区域四周关注点的辐射环境质量现状监测值为 58.2~81.1nGy/h 之间，6 号点位和 7 号点位监测结果较其他点位数值较大，原因可能是地面水泥材料不是同一批次，且 7 号点位位于室外的原因。整体来看项目区域辐射环境背景水平，未发现明显异常的情况。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 工作原理

电线电缆辐照交联的工作原理：辐照交联又称为物理交联，是利用电子加速器产生的高能电子束流，轰击绝缘层，将聚乙烯高分子链打断，被打断的每一个断点称为自由基。自由基不稳定，相互之间要重新组合，重新组合后由原来的链状分子结构变成三维网状的分子结构，形成致密层。电线电缆绝缘辐照交联的改性是由其交联密度决定的，调整辐照剂量可控制绝缘的交联密度，进一步控制材料的改性和提高。主要导致的性能变化：辐照交联导致材料机械强度增加，冷流和抗蠕变性能提高，弹性模量增大；辐射导致绝缘重要的变化是耐热性、耐溶剂性的变化，耐开裂性的变化和提高。

电子加速器工作原理：高频振荡器的电子管、高频变压器和高频电极及其对钢筒、主体之间形成的电容组成一个高频振荡电路，它在两个射频电极之间产生 190KV 以上的高频电压。这一高频电压通过射频电极与主体上的耦合环之间的电容和主体上的整流盒组成并联耦合串联升压系统，在高压电极上产生极高的负直流高压。

电子枪发出的电子流在负直流高压的作用下通过加速管时因被加速，成为高能电子。出加速管后经过聚焦和磁扫描器在水平方向进行扫描，然后穿出钛窗对产品进行辐照加工。钢筒内充以氮气和二氧化碳混合气体以保证加速器的高电位梯度。

9.1.2 项目概况及主要设备组成

郑州比亚迪汽车有限公司拟在比亚迪二期工业园 54 号厂房内西北部建设郑州比亚迪汽车有限公司高压电气工厂新增电子加速器辐照项目，项目主要建设内容包括电子加速器辐照机房 1 座，安装 1 台 AB2.0-50/1600 型电子加速器（最大能量 2.0MeV，最大电流 50mA）用于电缆的辐照交联。辐照交联的电缆线主要包括 3 平方（直径 Φ 5.3mm）、25 平方（直径 Φ 9.8mm）、50 平方（直径 Φ 15.1mm）等 3 个规格，预计 3 平方电缆线年辐照量 2100 万米，25 平方电缆线年辐照量 620 万米，50 平方电缆线年辐照量 360 万米。

根据建设单位提供的数据，本项目设备运行时间为 264 天/年，白班 8 小时，

夜班 8 小时，每天按最大累积出束 16 小时计算，每年工作时间约 4224 小时。

1.电子加速器设备参数

本项目电子加速器设备参数由建设单位和设备厂家提供，具体数据见下表。

表 9.1 本项目电子加速器设备参数一览表

序号	指标名称	参数	备注
1	设备类型	AB2.0-50/1600 型 高频高压型电子加速器	/
2	最大束流能量	2.0MeV	可 1.2~2.0 调节
3	最大电子束流	50mA	可 0.5~50mA 调节
4	0°方向 X 射线发射率（未修正）	$3.0\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	
5	90°方向 X 射线发射率（未修正）	$1.6\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	
6	束流损失点能量	0.2MeV	
7	束流损失率	0.5%	
8	最大束流功率	100kW	
9	能量不稳定性	小于 5%	
10	束流不稳定性	小于 5%	
11	冷却方式	水冷冷却	/
12	扫描宽度	1600mm	可 1200~1600mm 调节
13	工作方式	连续运行	/
14	设备结构	卧式“L”型	/

2.电子加速器主要组成、功能

AB2.0 电子加速器主体由多个系统组成，按照其功能分为下列系统：高压发生器系统、头部电源、电子发射和加速系统、电子光学系统、引出扫描系统、真空系统、冷却系统、钛窗冷却装置等。

（1）高压发生器系统

AB 电子加速器需要输出 2.0MeV 能量的电子束流，就必须建立 2000KV 的直流负高压。高压发生器系统功能就是产生和维持电子加速器最高电压，主要由下列零部件构成。

1) 高气压钢筒

高压钢筒由主体钢筒和加速管钢筒（加速器）组成，分别为卧式和立式，中间通过法兰连接密封。

为保证加速器主体几百万伏高压的稳定，加速器柱体必须安放在充有绝缘气体的钢筒内。钢筒内的绝缘气体是氮气和二氧化碳的混合气体，压力为 1.6—1.7MPa。钢筒处在零电位。高压钢筒外形见图 9.1。

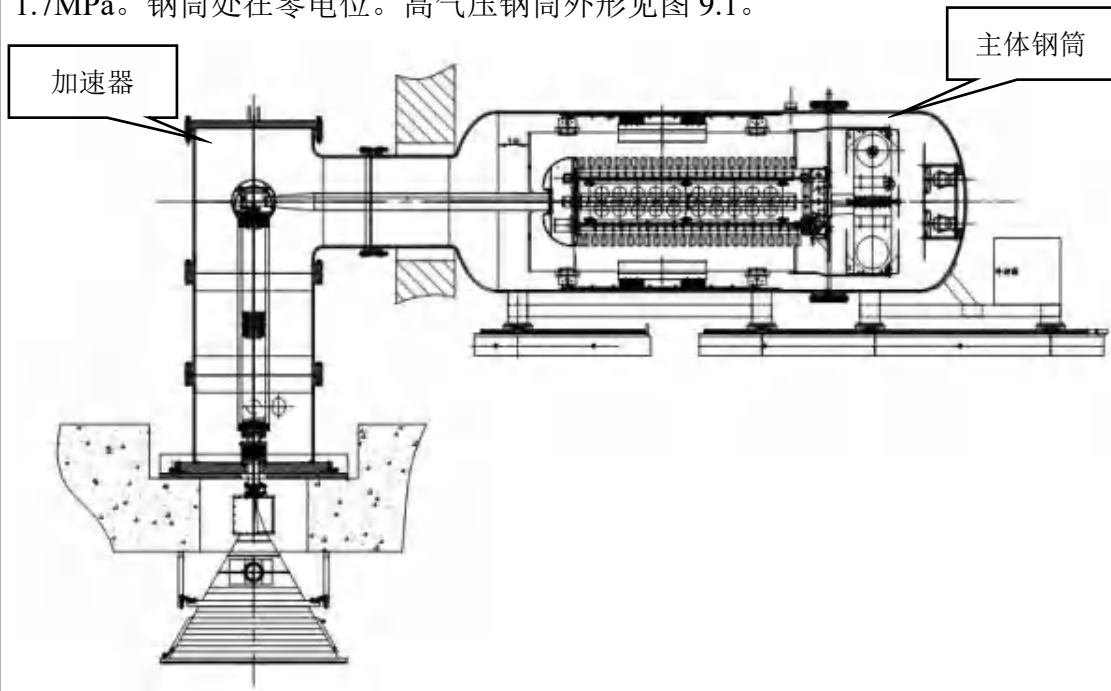


图 9.1 高压钢筒和加速器外形示意图

2) 高频变压器

高频变压器又称槽路线圈、空心变压器：由若干线圈串接组成，每两个线圈之间有放电球保护，线圈外部有屏蔽环保护。高频变压器安装在中钢筒上端，输入端与振荡器输出电缆连接，输出端与射频电极连接。高频变压器将电子管阳极输出电压升压，输出到射频电极。外形见图 9.2。



图 9.2 高频变压器

3) 射频电极

射频电极为二只相对而立的金属弧形板，安装在中钢筒内壁，通过绝缘支撑板与钢筒绝缘，上端与高频变压器次级相连。射频电极与钢桶、主体上的耦合环构成一定的分布电容。在射频电极的后面还有一只电极板，构成反馈电容，通过引线从钢筒壁引出，与电子管栅极连接。见图 9.3。

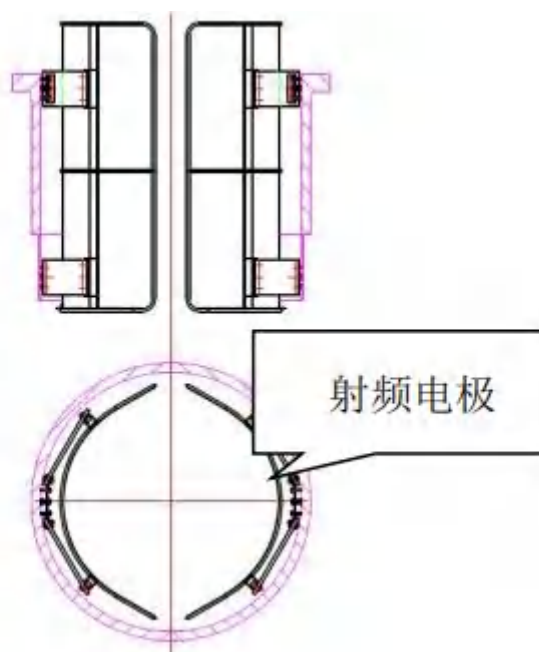


图 9.3 射频电极

4) 高频整流高压柱体

高频整流高压柱体是一个圆柱体，由耦合环、高频整流器、高压电极和绝缘

子与支持片组合的柱体骨架等组成，垂直安装于钢筒底部。

5) 高压发生器工作原理

AB2.0 型电子加速器的高压发生器基本原理见下图：

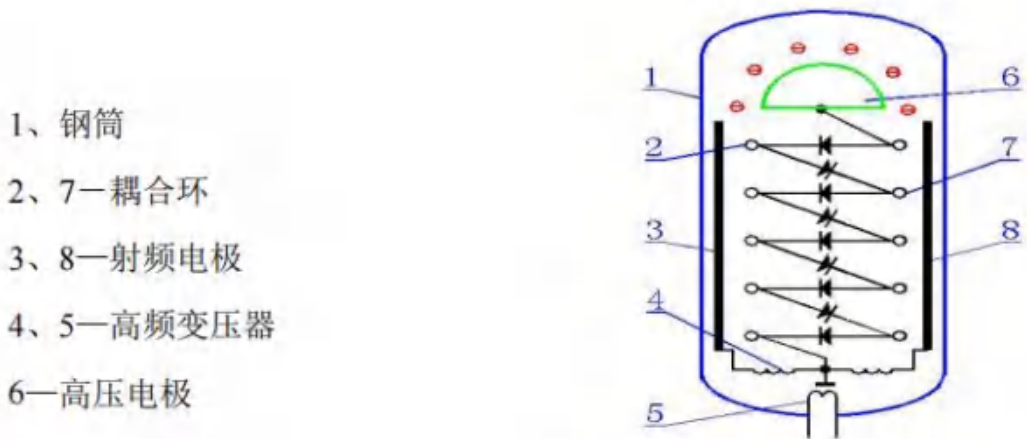


图 9.4 高压发生器基本原理

高压生成的原理如下：

高频振荡器通过高压电缆，将 200kHz 的高频电能输送给高频变压器初级，在次级可最高获得约 190kV 左右的高频电压，再将此电压加在射频电极上。射频电极与加速器主体上的耦合环相互对应，构成空间耦合电容，高频功率通过该耦合电容分别加到主体上的各个整流盒上，此时每一个耦合环上得到一定的直流高压，由于各级串联，电压叠加，从而在高压电极获得相应的电压。

(2) 头部电源

头部电源布置在高频整流高压柱体顶端，主要给电子枪供电。电子加速器产生的直流高压就在高压电极（头部）上，它就是加速电子束的高压。高压电极内安装有电子枪，为给处于如此高压下的电子枪灯丝供电，设置了发电机供电，发电机是通过绝缘杆由处在地电位的电动机驱动发电的。结构见图 9.5。

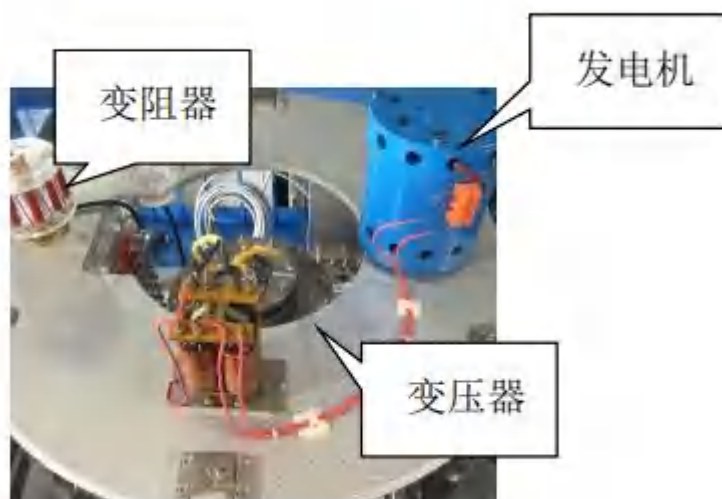


图 9.5 头部电源

(3) 电子发射及加速系统

电子发射及加速系统是电子加速器的重要系统，它决定电子束流能量，最大电子束流等电子加速器的基本参数和电子加速器的运行可靠性。该系统主要由电子枪、引出系统和加速管组成。

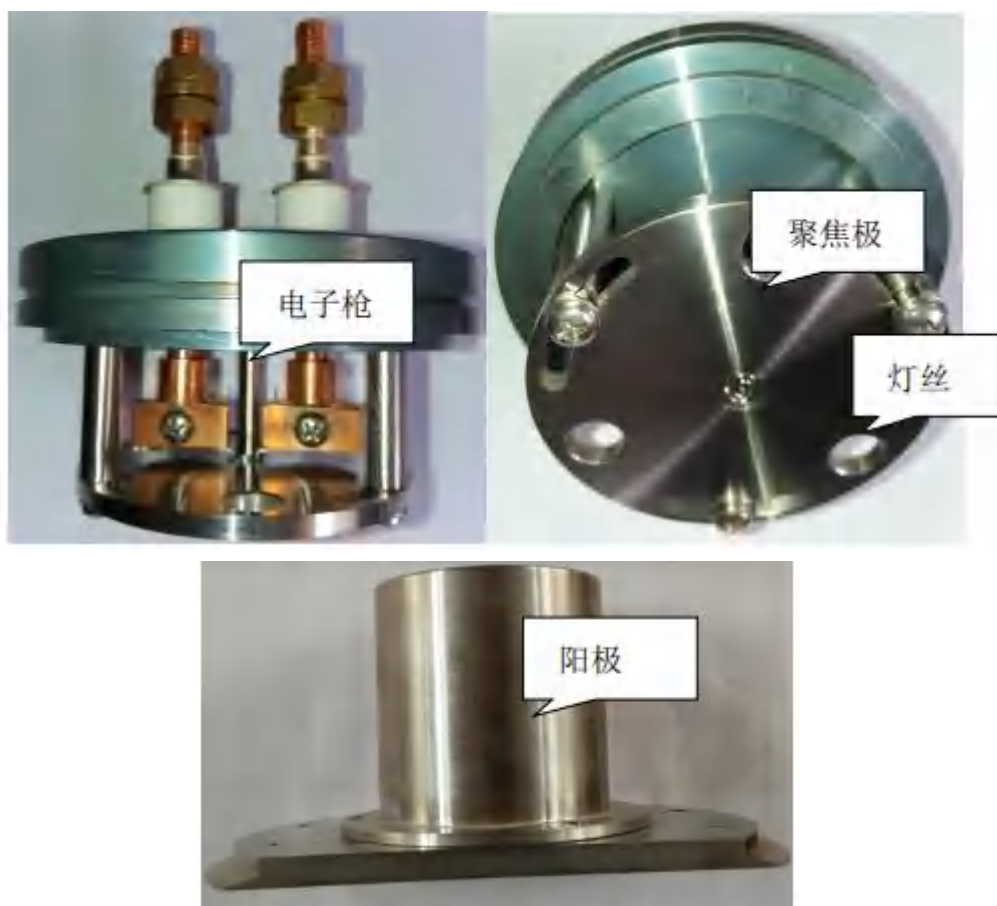


图 9.6 电子枪

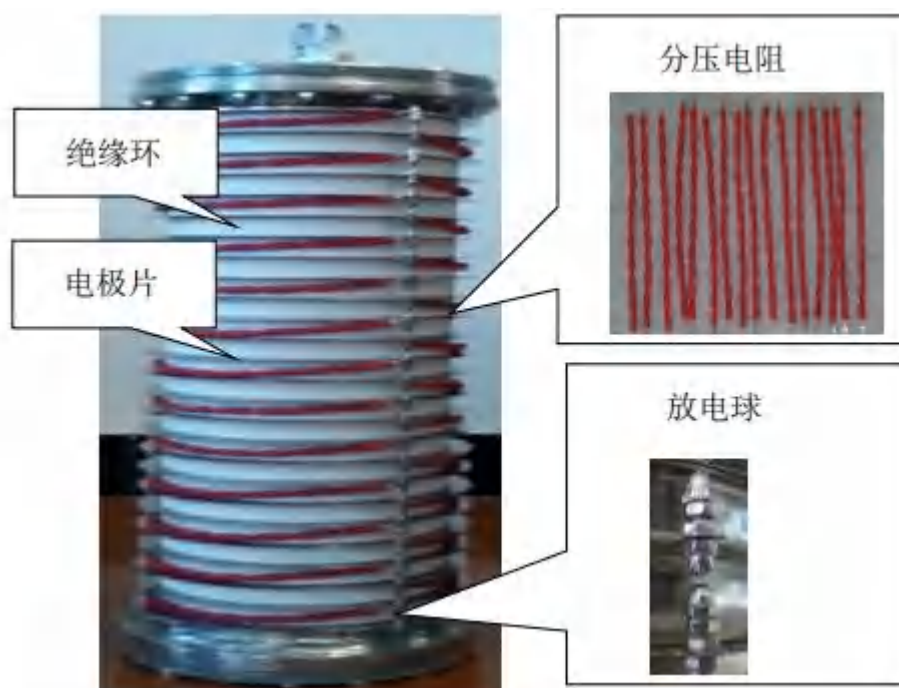


图 9.7 加速管

(4) 电子光学系统

从电子枪发射出来的电子束流是发散的，若不加以约束，具有能量的电子束轰击电极片或真空管道将造成严重的损坏，失去电子加速器应用的目的。电子光学系统的功能就是使从电子枪发射出的电子束流顺利通过加速管、真空管道和扫描窗变成扫描束，引出钛窗供辐照应用。电子光学系统包括初级聚焦（加速管内电子束进口）、聚焦磁透镜。初级聚焦的工作原理：通过安装在柱体上的一套同位传动装置的伺服电机带动绝缘传动杆转动改变头部的变阻器阻值，进而改变引出电极与电子枪聚焦极的电位差，达到聚焦电子束流的目的。

(5) 引出扫描系统

电子束穿过聚焦透镜后，进入真空漂移管道、经过扫描磁铁组件时在三角波磁场和正弦波磁场的作用下，进行 X 和 Y 相互垂直两个方向的扫描，最后经长条形的钛箔窗口引出。这一系统为引出扫描系统。主要部件有束流扫描室、束流扫描磁铁

(6) 真空系统

总的真空系统由两大部分组成，第一部分是抽真空部分，包括电子枪、加速管、漂移管道、扫描室和扫描盒。第二部分是抽真空用的真空机组，通常由旋

片式真空泵、分子泵、溅射离子泵、真空管道、真空阀门和真空测量组成。

(7) 冷却系统

电子加速器钢筒内电源器件有功率消耗，会使绝缘气体温度上升。真空系统内扫描盒、光栏内壁会受到散射束流轰击，温度升高。分子泵高速运转，需要降温。另外高频振荡器电子管工作阳极需要冷却。可见，为确保电子加速器正常运行，必须设置冷却系统，对各需要冷却降温部分输出冷却介质，置换热量。

AB2.0 型电子加速器上设计了一套独立的冷却系统，冷却钢筒内部、真空系统部件及振荡器电子管。

(8) 钛窗冷却装置

当电子束流通过钛箔时要损耗部分能量，在电子能量 2.0MeV 时，一般要在钛箔上损耗 14.5keV。若电子加速器在 2.0MeV、40mA 运行，钛箔上吸收的能量为 512W，钛箔散热条件极差，512W 的功率会不断积累以致温度不断升高，很快达到熔化程度，所以钛窗冷却十分重要。

钛窗过热烧毁，这是十分危险的事故。AB2.0 型加速器对钛窗进行冷却的主要方式是风冷，高压离心风机产生的强大气流不断通过吹嘴以 14m/s 的速度掠过钛箔表面，带走钛箔的热量。

启动高压前，必须先启动“钛窗风机”。控制系统设计了安全连锁，在风管道上安装有微压差开关，在风管道内有风流量时，开关触点闭合后，高压可以启动。高压运行中若风管内无风流量，则高压瞬间切断。

9.1.3 电子加速器辐照工作流程及污染因子分析

电线电缆辐照工艺流程图见图 9.8、图 9.9。

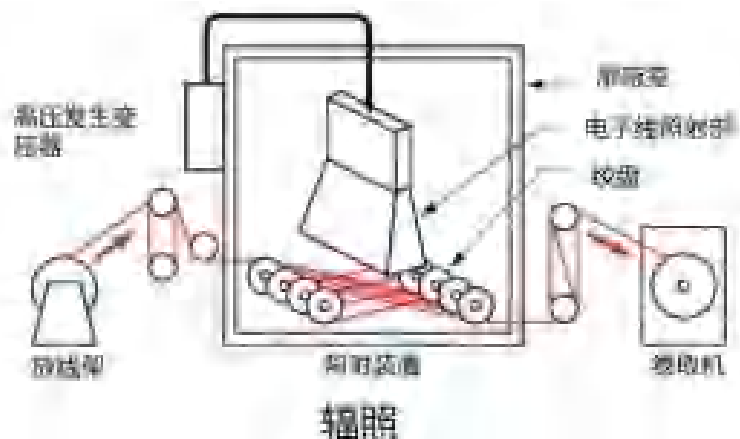
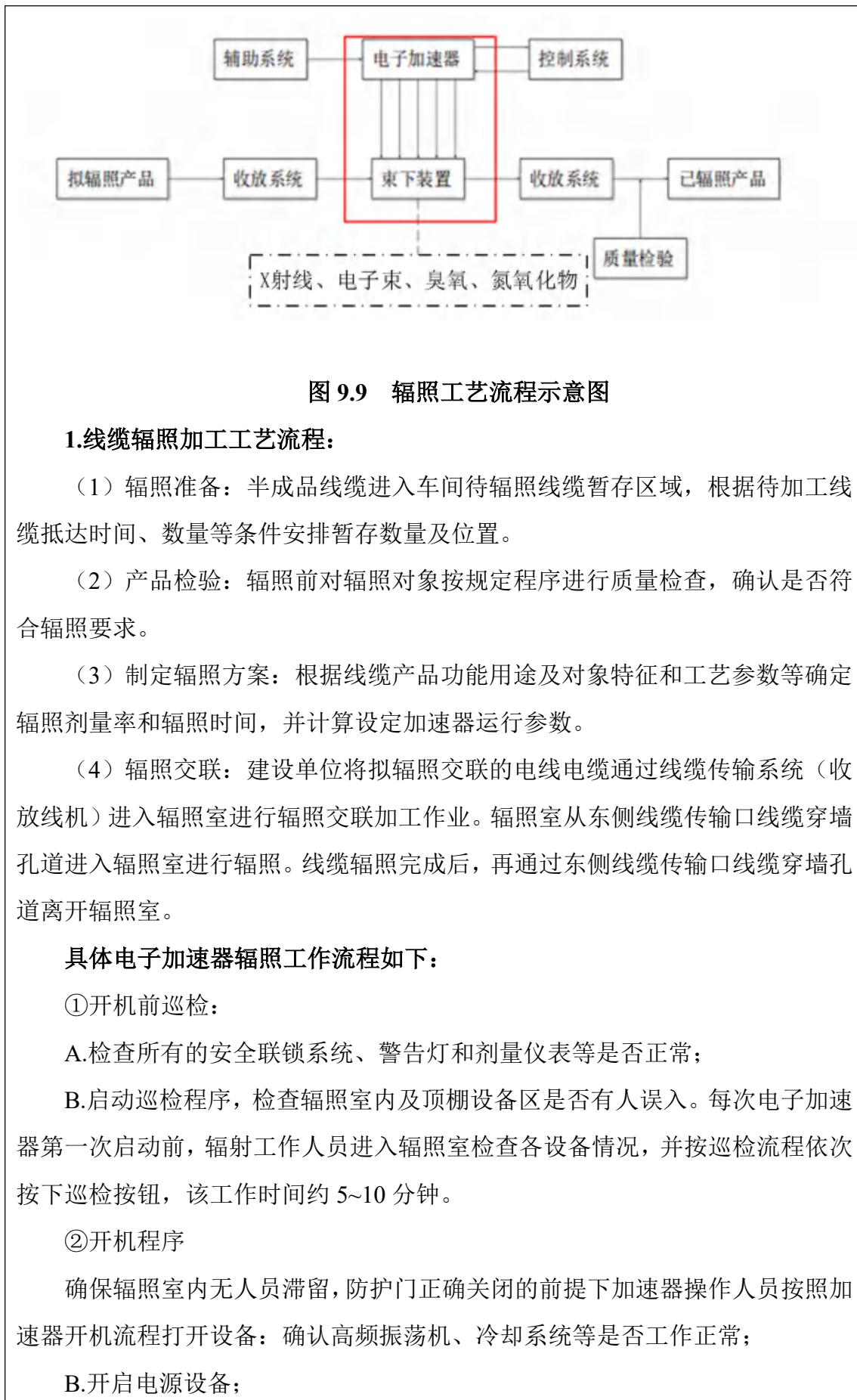


图 9.8 电缆辐照交联工艺示意图



C.开启加速器控制柜工作站电源，进入操作系统；

D.按操作界面要求，依次启动排氧风机、风冷系统、新风风机、关闭辐照厅门等操作；

③根据线缆辐照要求，设置加速器参数，设定辐照剂量、线径以及束下传输线的速度等；

④对待辐照产品（电线电缆）进行辐照：开启束下传动系统开关，然后启动整个辐照生产线，束下传输装置开始牵引，运转到设定的线速度。电子加速器正常运作，电子束作用于电线电缆进行辐照改性，实现产品的辐照交联。

⑤当一盘产品交联完成后，进行下盘的操作，完成产品的交联工序。当一盘产品交联完成后操作下盘产品时仅需在线缆传输区将电线电缆装于放线机上，无需进入辐照室进行操作。

⑥根据工作安排，辐照工作结束后，按照加速器关机流程关闭电子加速器设备、束下传输装置，而后持续通风（排风时间不少于 10 分钟），待室内臭氧浓度满足相关标准后关闭臭氧风机等，工作人员方可进入。

总体上，辐照工作人员仅在辐照工作前的准备工作、辐照工作结束后的收尾工作时需进入辐照室。其中，准备工作于加速器开机工作前进行，其主要检查各设备情况，该工作时间在 5~10 分钟之间；辐照工作结束后，工作人员进入辐照室进行各设备检查，确保各设备处于正确状态，该工作时间在 5~10 分钟之间。此外，每次进入辐照室的工作人员不得少于 2 人，尽可能避免因室内监控盲区造成的人员误照射。

（5）辐照交联作业完成后，装卸操作人员将辐照完成的线缆产品从收线架上卸下，运至产品暂存区进行检验后进入包装区进行包装、成缆后外运。

9.2 污染源项描述

9.2.1 放射性污染源分析

加速器在进行辐照时电子枪发射电子，电子经过加速管加速并经过扫描扩展成为均匀的一定宽度的电子束。电子运动中受到加速器部件、作为辐照对象的电缆等材料的阻挡后，产生很强的韧致辐射（X 射线）。本项目电子加速器电子束能量分别为 2.0MeV，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A 中表 A.1 可知，2.0MeV 入射电子在距高 Z（原子序数 $Z > 73$ ）厚靶 1 米

处侧向 90° 的 X 射线发射率为 $1.6\text{Gy}\cdot\text{m}^2\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。本项目辐照装置最高能量为 2.0MeV，尚达不到 (γ, n) 的反应阈值，不会产生中子，不会产生光核反应和感生放射性。因而，不存在加速器结构材料、冷却水和空气的感生放射性以及中子等相应的防护问题。所以，加速器开机辐照期间，X 射线为项目主要污染因子。

9.2.2 非放射性污染源分析

(1) 废气

空气在辐射照射下产生臭氧 (O_3) 和氮氧化物 (NO_x)，氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，所以主要是考虑臭氧的产生及其防护。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) 附录 B.4 可知，在辐射加工中，只有仅利用 X 射线的厂房，需要考虑 X 射线产生的臭氧。而电子束和 X 射线同时使用的厂房，只计算电子束产生臭氧就足够了，因此，本项目只需要计算电子束产生臭氧。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) 附录 B.1 可知，平行电子束所致 O_3 的产生率可以用以下公式进行保守的估算：

$$P=45dIG \quad (\text{公式 9-1})$$

式中：

P ——单位时间电子束产生 O_3 的质量 (mg/h)；

I ——电子束流强度 (mA)；

d ——电子在空气中的行程 (cm)，应结合电子在空气中的线阻止本领 $s=2.5\text{keV/cm}$ 和辐照室尺寸选取，本项目束流引出窗到束下传输带 (不锈钢板) 距离约 0.56m， d 取 56cm；

G ——空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O_3 分子数，保守值可取为 10。

根据计算可知，本项目 2.0MeV 电子辐照加速器所致 O_3 的产生率为 $1.26\times 10^6\text{mg/h}$ 。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) 附录 B 可知，氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，因此本项目电子辐照加速器所致氮氧化物的产生率分别为 $4.2\times 10^5\text{mg/h}$ 。

(2) 废水

本项目加速器钛窗进行冷却的主要方式是风冷，不产生废水；电子加速器钢筒内电源器件、真空系统、分子泵、高频振荡器电子管工作阳极等部件设计有一套独立的冷却系统，冷却水循环装置使用去蒸馏水，对加速器零部件进行循环冷却，不外排，只需定期补加。

本项目辐射工作人员由公司调配而来，不新增工作人员，故不新增生活污水产生量。

（3）固废

本项目营运期各生产工艺环节均无固体废物产生，本项目辐射工作人员由公司调配而来，不新增工作人员，故不新增生活垃圾产生量。

（4）噪声

项目设置 1 台臭氧排风风机，加速器主机室内配套设置 1 台钛窗风机和 1 台束下装置风机，工作时风机将产生一定的噪声，建设单位拟使用的臭氧排风风机、钛窗风机和束下装置风机均为低噪声节能排风机，噪声源强一般在 80dB(A)。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局及分区

(1) 工作场所的布局

本项目电子加速器辐照机房位于郑州比亚迪新能源产业园二期高压电气厂西北部，根据项目设计方案，电子加速器辐照机房为二层设计，一层为辐照室，二层为立式加速管钢筒室和卧式主体钢筒主机室（主机室），中间通过法兰连接密封。

电子加速器辐照机房南侧为车间走廊和废料仓，机房西侧为空地，机房北侧为项目操作柜及相关设备，北侧厂房外绿化带和道路，东侧为放线机；机房下方为土层，机房上方为高气压钢筒。

(2) 工作场所分区

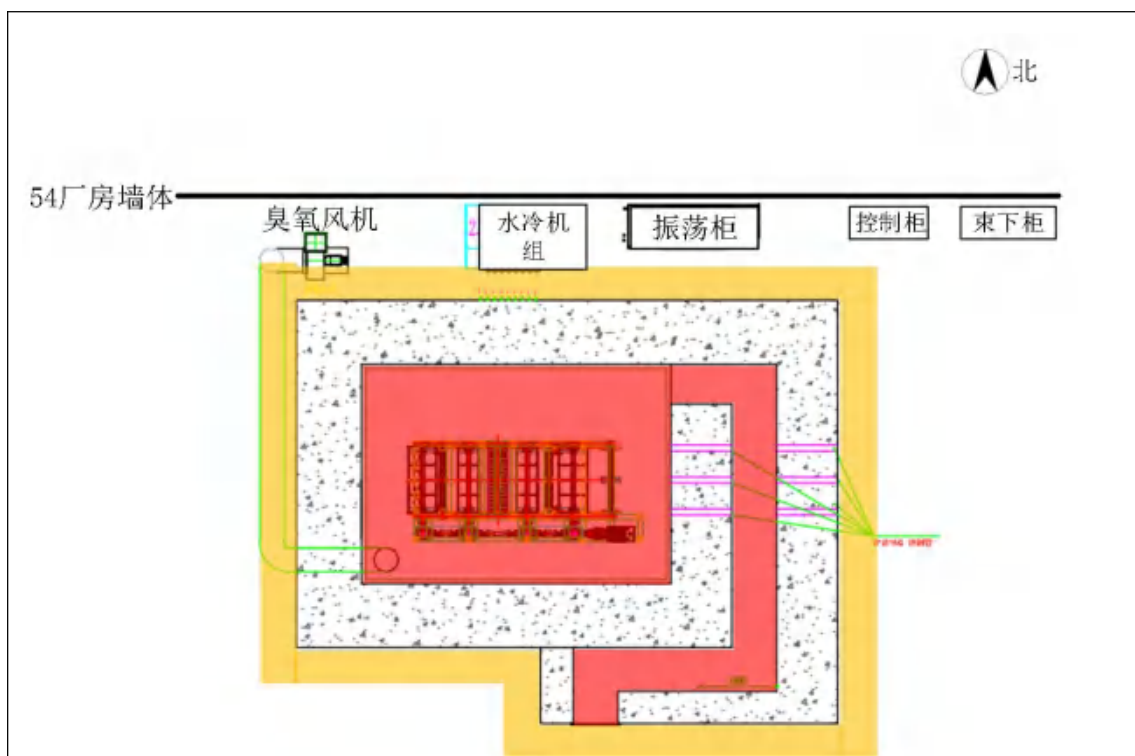
为加强电子加速器辐照机房及周围区域的管理，限制无关人员进入从而受到不必要的照射，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）控制区和监督区的定义划定辐射控制区和监督区。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中规定，“电子加速器辐照装置的工作场所分为：控制区，如主机室和辐照室及各自出入口以内的区域；监督区，如设备操作室、未被划入控制区的电子加速器辐照装置辅助设施区和其他需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域”。

根据项目设计方案，拟划分控制区及监督区如下：

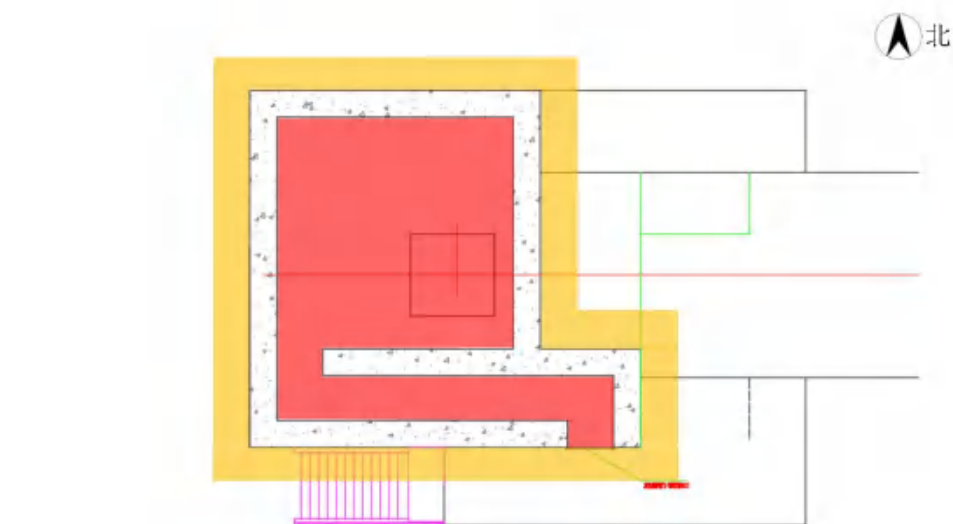
控制区：拟将电子加速器辐照机房内部区域和立式高气压钢筒所在主机室划为控制区。对该区域专门采取防护和安全措施，设置电离辐射警告标志，加速器出束运行时，任何人不得进入控制区。

监督区：拟将操作柜处、水冷机组处，以及电子加速器辐照机房四周相邻0.5米的区域划为监督区。对监督区不采取专门的防护手段和安全措施，但定期检测其辐射剂量水平。

本项目工作场所布局及分区示意图见下图 10.1。



一层辐照室分区示意图



二层主机室分区示意图

控制区 监督区

图 10.1 工作场所布局及分区示意图

10.1.2 机房辐射防护设计

本项目电子加速器辐照机房位于高压电气工厂西北部。根据项目设计资料，

电子加速器辐照机房设计参数见表 10.1，机房平面布置和剖面布置详见图 10.2。

表 10.1 本项目辐射防护设计一览表

机房	屏蔽措施（辐射防护设计）		
辐照室	北侧墙体		1600mm 混凝土
	西侧墙体		1600mm 混凝土
	南侧墙体		1600mm 混凝土
	南侧迷道外墙		800mm 混凝土
	东侧迷道内墙		1500mm 混凝土
	东侧迷道外墙		1500mm 混凝土
	顶板		600mm 混凝土/500mm 混凝土/200mm 混凝土
	屏蔽门		普通不锈钢门
主机室	北侧墙体		650mm 混凝土
	西侧墙体		650mm 混凝土
	南侧迷道内墙		650mm 混凝土
	南侧迷道外墙		650mm 混凝土
	东侧墙体		650mm 混凝土
	主机室顶板		550mm 混凝土
	移动屏蔽罩四周和顶		100mm 钢板
	立式加速管钢筒	顶	100mm 钢板
		四周筒壁	20mm 钢板
		底	118mm 钢板
	卧式主体钢筒	筒壁厚	20mm 钢板
	屏蔽门		普通不锈钢门

备注：混凝土密度不低于 2.35g/cm^3 。

根据项目设计方案，电子加速器辐照机房为二层设计，一层为辐照室，二层为立式加速管钢筒室和卧式主体钢筒室，中间通过法兰连接密封。

一层为辐照室，辐照室东西净长 7.6m（不含迷道），南北净宽 5.5m（不含迷道），辐照室净高 2.6m；南北迷道长度 7.1m，宽度为 1.1m，净高 2.6m；东西迷道长度 5m，宽度为 1.1m，净高 2.6m。

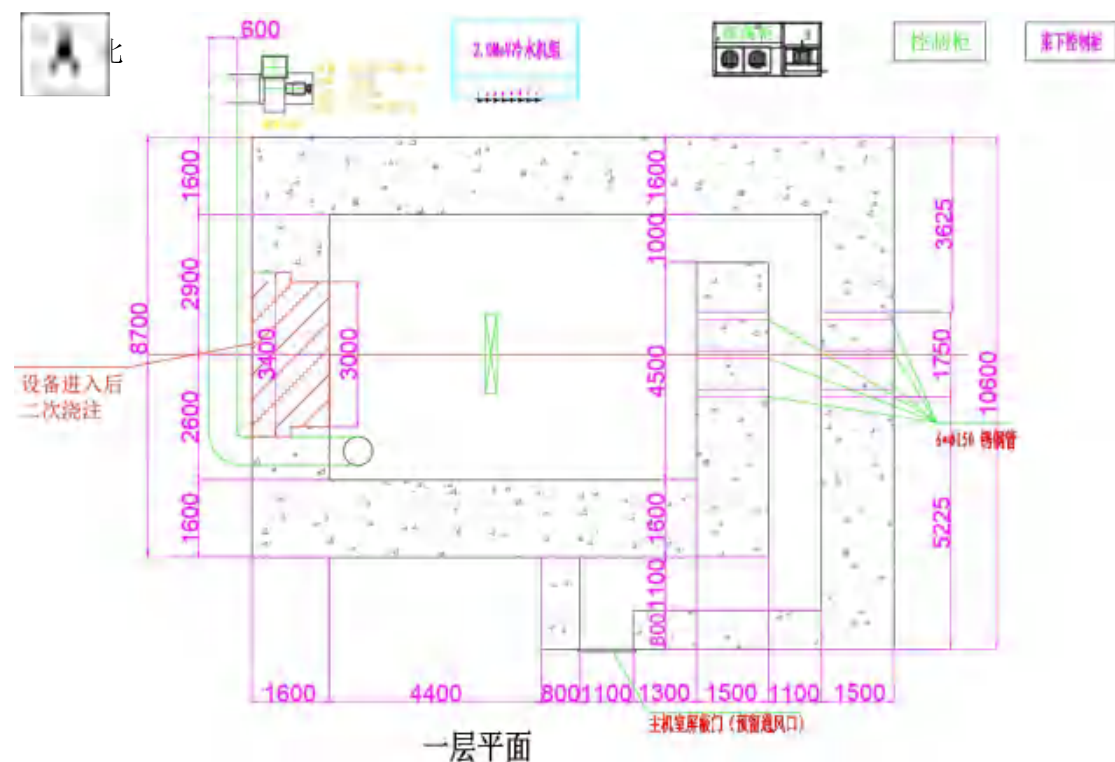
辐照室内（含迷道）净面积 66.319m²，净容积（含迷道）为 172.43m³。

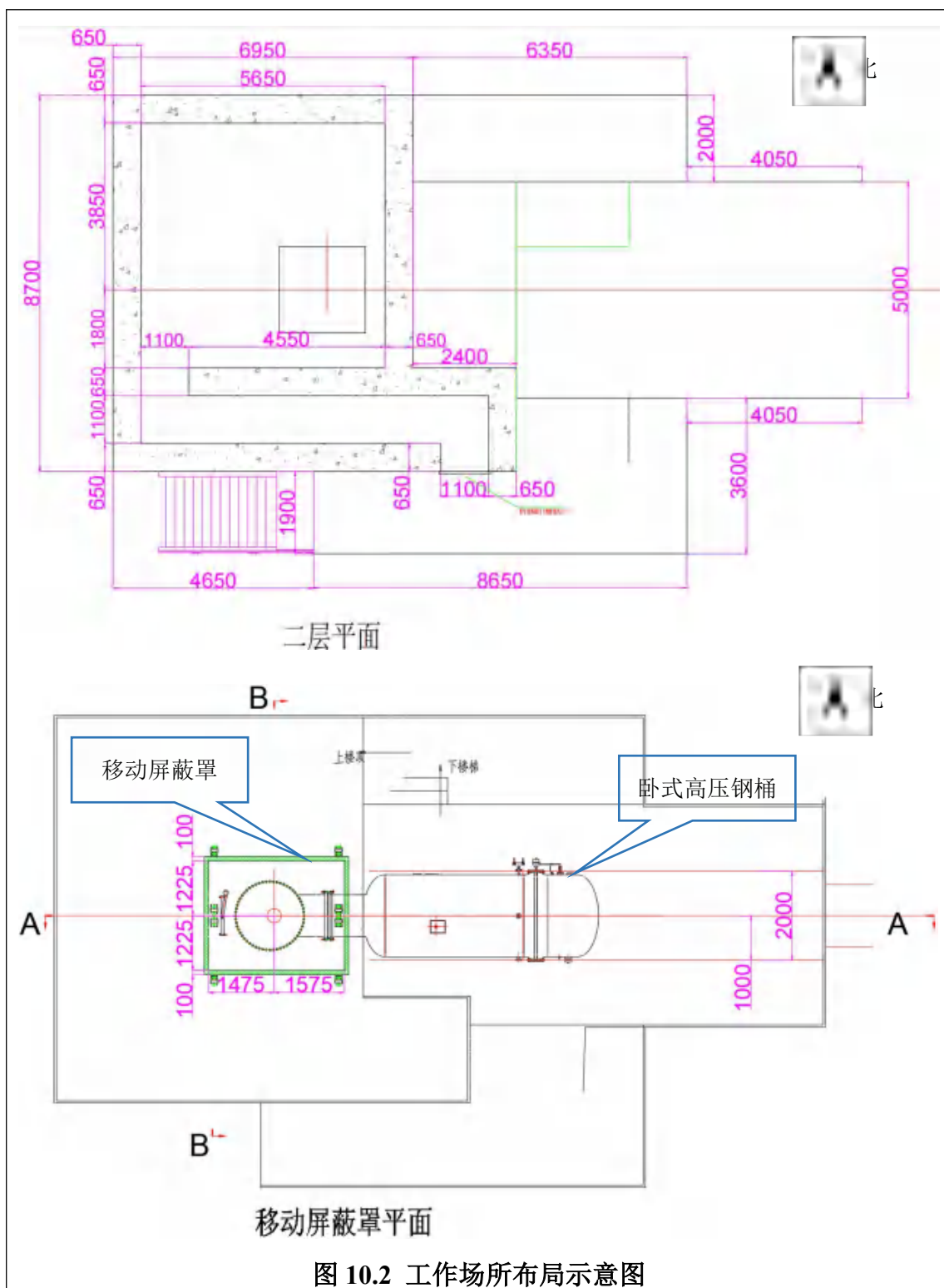
二层主机室：主机室东西净长 5.65m，南北净宽 5.65m（不含迷道），净高 2.1m；迷道：东西迷道长 8.05m、宽度为 1.1m，净高 2.1m，主机室净面积（含迷道）约 58.59m²，净容积（含迷道）约 123.04m³。

移动屏蔽罩：移动屏蔽罩东西净长 3.05m，南北净宽 2.45m，净高 1.75m；移动屏蔽罩四周和顶部为 100mm 厚的钢板。

加速管钢筒：外壳为直径约 1.44m，高度约 3.7m 的钢桶，四周外壳为 200mm 厚的钢板，顶部为 100mm 厚的钢板，下部为 118mm 厚的钢板。

卧式高压钢桶：为直径约 2m，长度约 5.6m 的钢桶，钢桶壁为 20mm 厚的钢板。





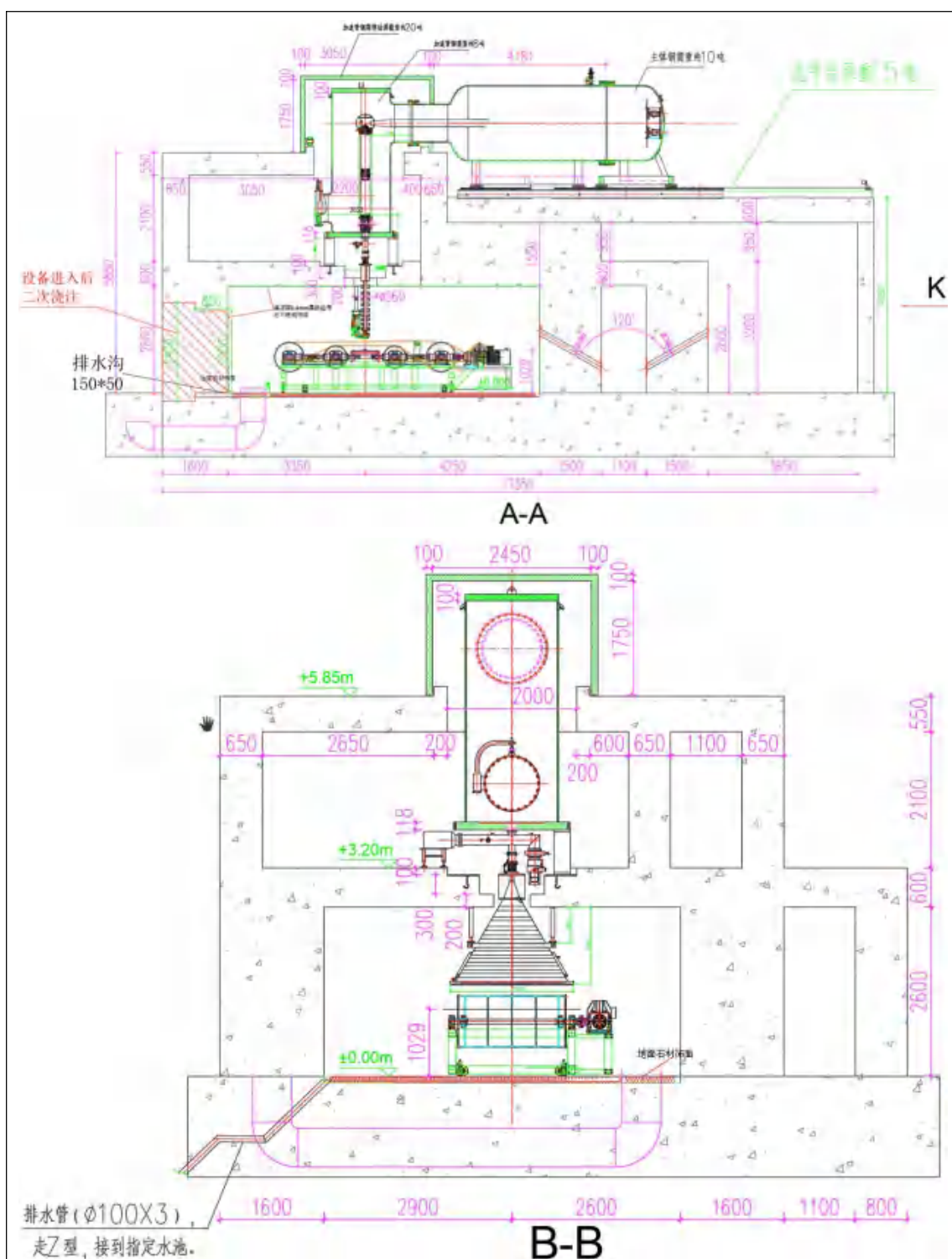


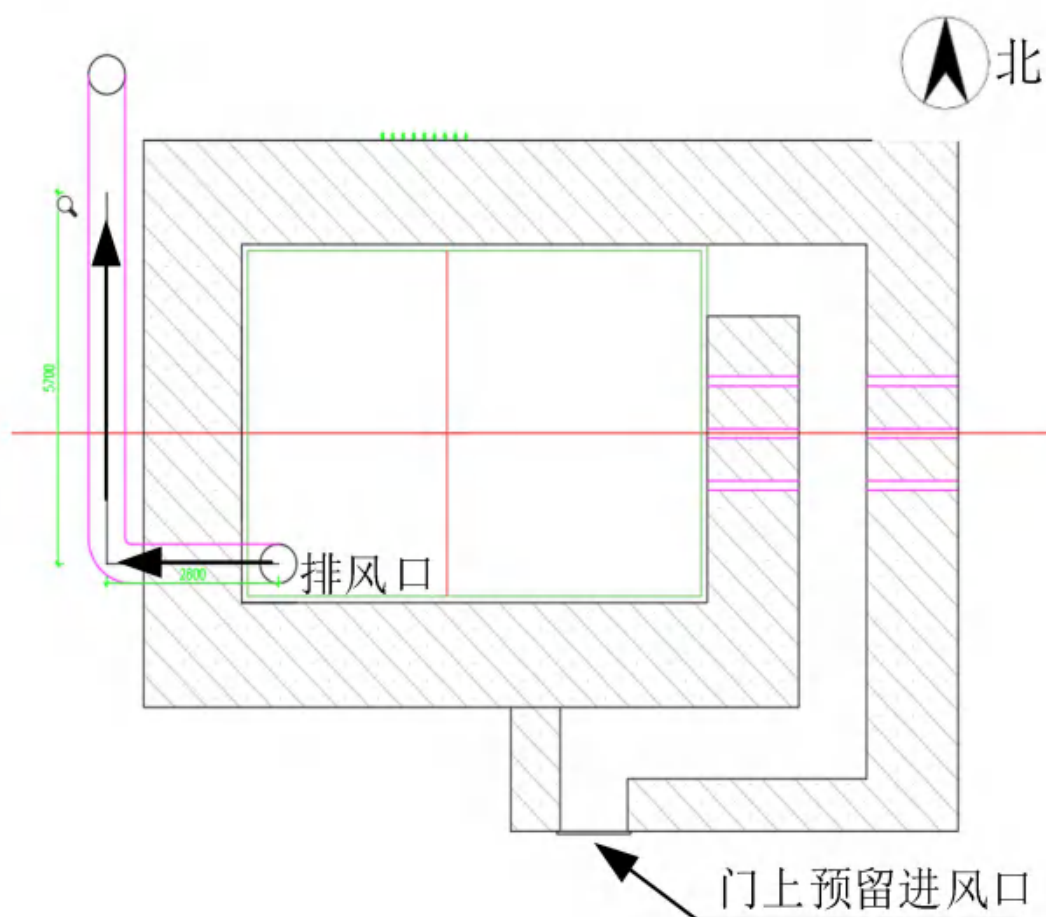
图 10.3 工作场所剖面示意图

为减小项目对周边的辐射影响，评价要求施工过程应严格保证施工质量，尽可能的减小门与地面的间隙、门与门洞的间隙、移动屏蔽罩与主机室顶棚的间隙；在门的顶部和两边至少重叠 10 倍于门与墙之间的缝隙，门安装在门洞内侧，以减少边界辐射泄露问题，重型屏蔽门应由电气、液压、或气动装置驱动，并设置

有防夹功能；移动屏蔽罩与主机室顶棚的间隙至少重叠 10 倍于移动屏蔽罩与主机室顶棚之间的缝隙。

10.1.3 通风措施防护设计

本项目机房辐照室内设有 1 套专门的臭氧通风系统，采用自然进风。辐照室进风口位于辐照室迷道外屏蔽门上方，出风口位于辐照室西南角地上。室内通风管道为“U”形钢筋混凝土结构，室外为直径 600mm 的不锈钢质排气筒，机房外西北角处安装 1 台轴流风机，排风量 $15796\text{m}^3/\text{h}$ ，最终经一根高度 33m 的排气筒排放（超过附近最高建筑物 52 号厂房高度 5m），顶部设有遮雨盖，该通风系统设计可以满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）对通风的要求。主机室内同时设有 1 台钛窗风机和 1 台束下风机。臭氧通风系统示意图见图 10.4。



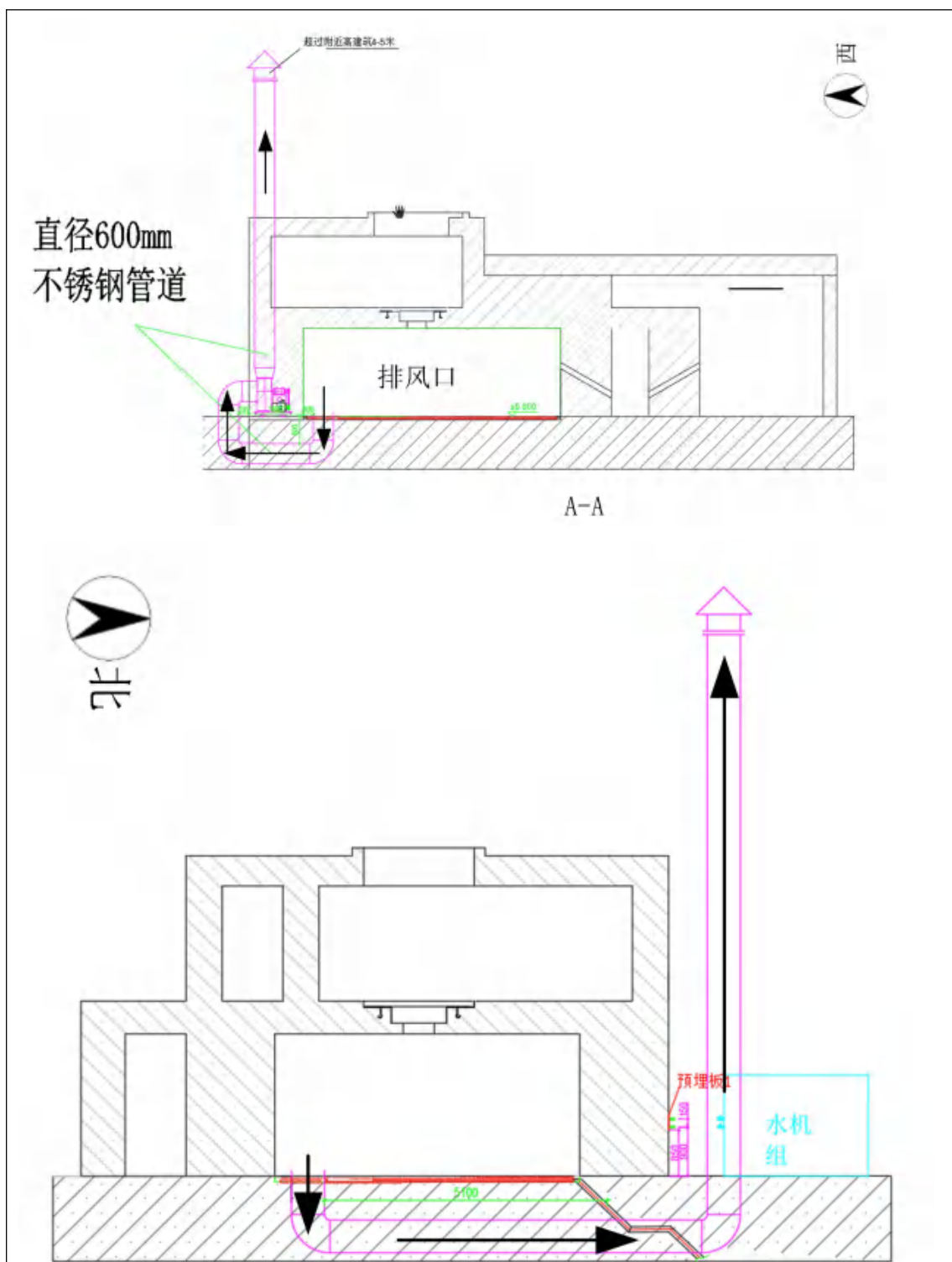


图 10.4 本项目电子加速器辐照机房通风设计图

10.1.4 电缆管道、风冷水冷系统管道防护设计

本项目加速器机房电缆管道、风冷水冷系统管道设计均避开主射线方向，电缆管道、风冷水冷系统管道均采用“Z 型”预埋设置，射线均需经至少 4-5 次散射后方能从管口泄漏，所有电缆道口及水管道口处均做补偿措施。

本项目加速器机房辐照线缆通道直径 150mm，由外至内为多斜坡设计，线缆通道均避开主射线方向，做斜坡设计且长度比孔径大得多，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。

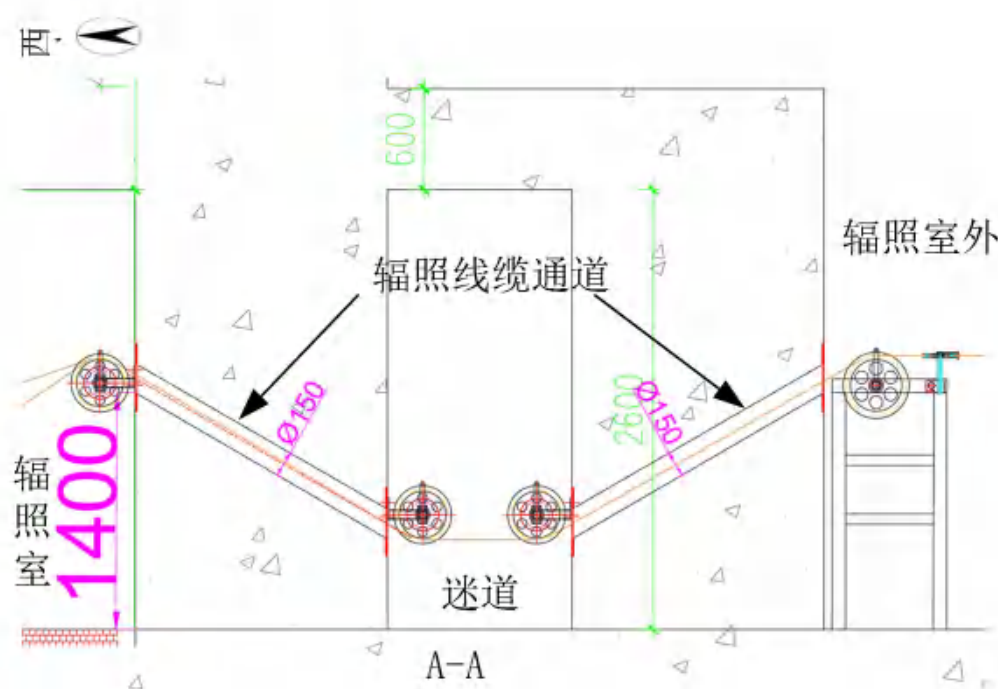


图 10.5 辐照电缆通道剖面示意图

10.1.5 机房安全防护设施

为防止设备在运行过程中其他人员误入机房，受到不必要的照射，本项目电子加速器辐照机房除工作场所屏蔽设计的安全防范措施外，拟设置安全防护设施如下。

1、联锁措施

为避免工作人员受到意外照射，根据项目辐射安全防护设计文件，拟在加速器辐照装置辐射防护区设置完善的辐射安全联锁与警示设施，该项目安全联锁装置设计体现了“冗余性”原则。主要包括出束安全联锁钥匙开关、门机联锁、束下装置联锁和监视装置、信号警示装置、巡检系统和紧急停机按钮、防人误入装置、拉线开关、剂量联锁、通风联锁、烟雾报警及其它安全辅助设备。安全联锁设施可控制加速器的出束或停束；只有在所有安全联锁设施都处于正常工作状态时射线源才可以出束，任何一个安全联锁设施不正常时，射线源不能出束或立即停止出束。

2、安全设施

①钥匙开关

加速器的主控钥匙开关和主机室门和辐照室门联锁。主控制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。该钥匙（应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

屏蔽主体的各通道门都设置了门触点联锁，如果某一防护门关闭不到位时，无法启动加速器。电子加速器运行中，某一防护门有开启动作，加速器自动停机并切断高压。

③束下装置联锁

加速器装置的控制与束下装置的控制建立接口和协议。束下装置因故障偏离正常运行状态或束下装置停止运行时，加速器应自动停机并切断高压。

④信号警示装置

1.工作状态指示装置

主机室和辐照室出入口屏蔽门上部分别设置工作状态指示装置，并与电子加速器辐照装置联锁。工作状态指示装置为三色显示灯。

红灯：加速器正在运行，不得进入控制区；

黄灯：加速器处于准备工作状态，不得打开屏蔽所有门；

绿灯：加速器停止运行，无动态辐照。

2.警灯蜂鸣器提示

在辐照室屏蔽移门打开或关闭时，发出声光报警，通知人员撤离；

加速器正式启动前，自动向工作区域内发出声光报警，通知人员迅速撤离；若有滞留人员，可按动附近的紧急按钮，禁止加速器运行，保证自身安全。

⑤巡检系统

在开机出束前，辐射工作人员需先进入辐照室和主机室进行巡视，巡查有无人员误留或有无其他异常，并按序按下机房内的巡检按钮（在辐照室和主机室内的四面墙壁和迷道墙壁上，距离地面高度约 1.4m 处），全部巡更按钮按下，屏蔽门关闭后，加速器方可启动；未全部按下巡更按钮前，加速器将不能进行出束

作业。当紧急停机按钮正常时，加速器方可启动进行出束作业；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，需将紧急停机按钮进行复位，加速器才能重新启动。

⑥防人误入装置

各辐照室和主机室在人员出入口通道内（迷道区域），分别设计有三道防人误入的光电报警装置（红外光电感应装置，高度 0.3m，0.6m，0.9m），与加速器联锁，当加速器运行时，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，将立即自动切断电源，加速器将立即停止出束，同时发出异常情况下的警示声音。

⑦紧急停机按钮

根据图纸，一层辐照室和二层主机室分别设置 5 个紧急停机按钮（采用拉线开关覆盖全部区域，距地面高度约 1.4m），共 10 个。在主机室和辐照室内，拟安装紧急开门装置。若加速器处于出束状态，紧急情况下，机房内的人员只需按下紧急开门按钮，加速器将立即停止出束，安全门将立即打开，以便人员离开控制区。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。

⑧剂量联锁

根据图纸，在辐照室和主机室的迷道内均设计有固定式辐射监测仪，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。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。

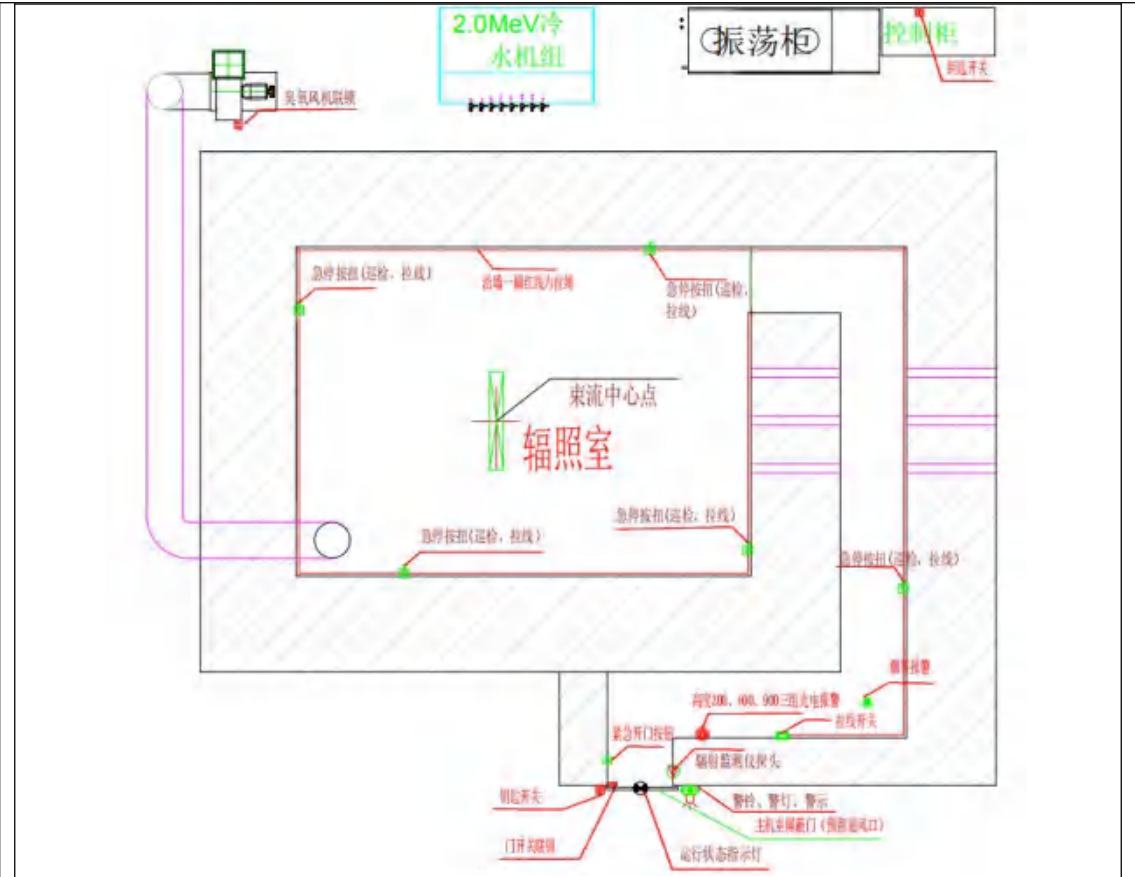
⑩烟雾报警

在辐照室内迷道顶部和主机室内迷道顶部，拟分别安装烟雾报警置。电子加速器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。

本项目采取了防止开机、防止人员误留、紧急停机、外部警示等多层防护与安全措施，可确保当某一层次的防御措施失效时，由下一层次的防御措施予以弥补或纠正，符合辐射安全要求中的“纵深防御原则”；各层防护与安全措施均设置了多于为完成某一安全功能所必须的最少数目的物项，如巡检开关等均设计有多个，在运行过程中万一某物项失效或不起作用的情况下可使其整体不丧失功能，符合辐射安全要求中的“冗余性原则”；本项目巡检开关、门机联锁装置等辐射安全设施涉及不同的运行原理和元器件等，机房出入口的安全联锁采用了机械的、电子的和剂量的联锁，符合辐射安全要求中的“多元性原则”；本项目各项辐射安全设施均具有独立性，某一安全部件发生故障时，不会造成其它安全部件的功能出现故障或失去作用，符合辐射安全要求中的“独立性原则”。

以上设计可满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）的相关要求及辐射安全防护的要求。本项目辐射安全设施布局图见图 10.6。



一层辐照室安全设施布局图

图标	名称	数量	位置	备注
	工作指示灯	1	辐照室屏蔽门上部	
	门开关联锁	1	辐照室屏蔽门	
	钥匙开关	2	辐照室屏蔽门、控制柜	
	紧急开门按钮	1	辐照室迷道	
	烟雾报警	1	辐照室迷道顶	
	臭氧风机联锁	1	臭氧风机	
	辐射监测仪探头	1	辐照室迷道(屏蔽门内侧)	
	拉线开关	1	辐照室迷道	
	光电报警	3	辐照室迷道	1组
	急停按钮(巡检, 拉线)	5	辐照室(迷道)	
	警铃、警灯、警示	1	辐照室门	
卧式2M屏蔽楼一楼(辐照室)安全联锁(敷明管走线)				

一层辐照室安全设施图例、名称、数量和位置

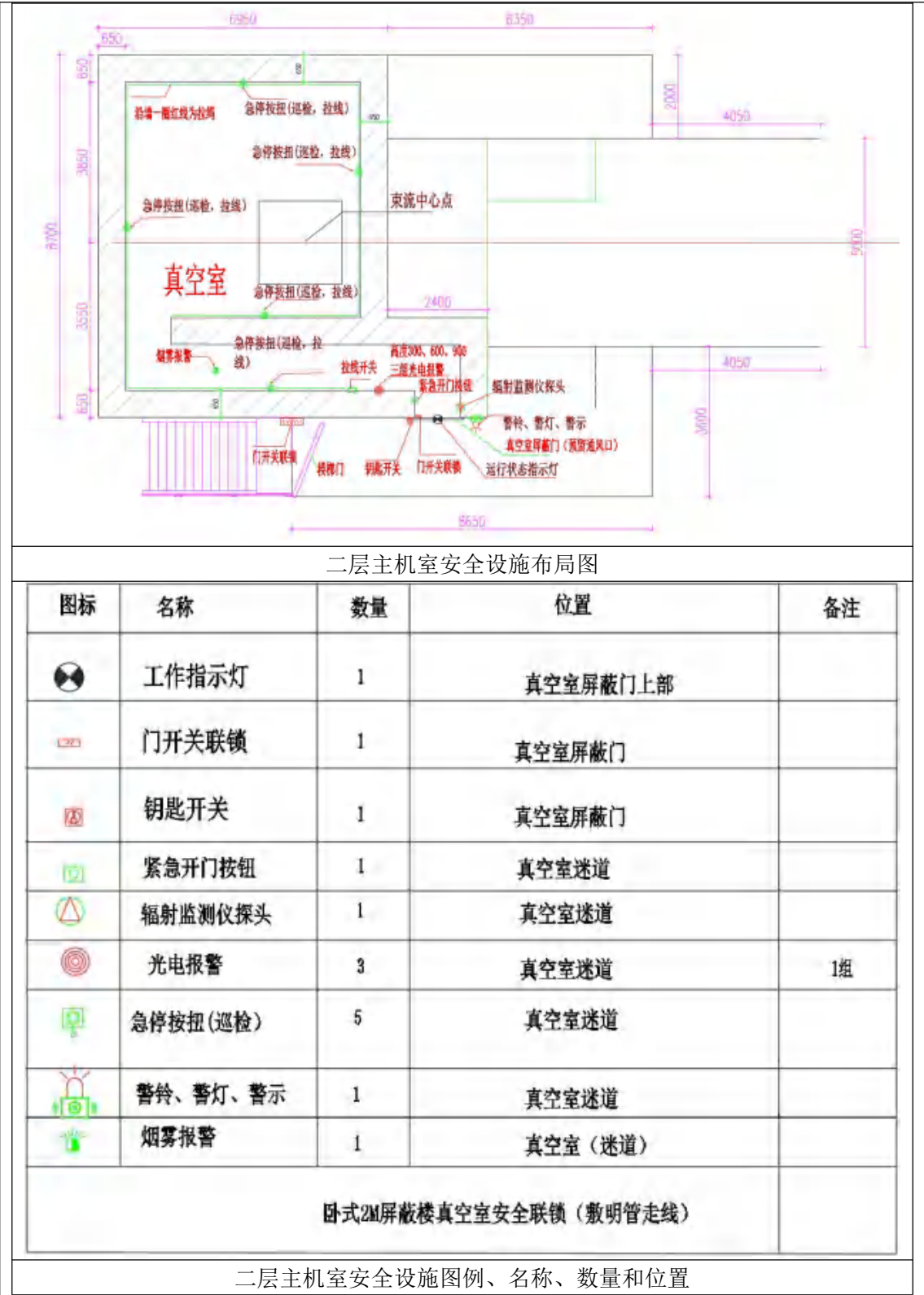


图 10.6 本项目电子加速器机房辐射安全设施布局图

10.1.5 辐射监测仪器

拟配备辐射监测仪器见表 10.2。

表 10.2 本项目拟配备辐射监测仪器一览表

序号	设备名称	数量	备注
1	便携式 X-γ辐射检测仪	2 台	拟配备
2	个人剂量报警仪	10 个	拟配备 1 个/人，备用 4 个
3	个人剂量计	6 个	1 个/人
4	固定式计量计	2 个	辐照室和主机室的迷道内各 1 个

三废的治理

1.本项目运行过程中无放射性废气、废水和固体废物产生。

2.本项目运行过程中产生的非放射性废物主要为废气

本项目电子加速器机房各设有 1 套专门的通风系统，排风量为 15796m³/h，项目产生的臭氧拟通过一根高度 33m 的排气筒排放（超过附近最高建筑物 52 号厂房高度 5m），臭氧排入环境大气后，经自然分解和稀释，不会对环境空气造成明显影响。在不考虑臭氧分解的情况下，厂界臭氧的最大落地浓度可满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级限值要求（臭氧日最大 8 小时平均浓度限值）。此外，臭氧的有效分解时间约 30~50 分钟，排入大气后很快即分解为氧气。综上所述，本项目排放的臭氧对周围大气环境影响较小。

此外，本项目钛窗风机和束下装置风机均布置在主机室内，且使用低噪声节能排风机，采用减震、隔音等措施，对周围声环境影响较小；臭氧通风风机布置在 54 号厂房外，使用低噪声节能排风机，采用减震等措施，对周围声环境影响较小。因此，本项目噪声对周围环境影响较小。

表 11 环境影响分析

11.1 建设期环境影响

本项目为核技术利用项目，位于在建比亚迪二期工业园 54 号厂房内西北部。本项目建设期主要包括基础施工、土建施工、设备安装和防护设施装修，不涉及射线装置使用，建设期间主要为污染因子：施工噪声、施工扬尘、施工固体废弃物以及施工人员产生的生活污水和生活垃圾；不产生 X 射线，不对周围环境带来电离辐射影响，也无放射性废物产生。拟采取如下污染防治措施。

(1) 废水

施工期废水主要为施工人员产生少量生活污水，生活污水依托项目所在 54 号厂房内现有污水处理设施处理后达标排放。

(2) 废气

项目位于现状 54 号厂房内，54 号厂房为密闭厂房，施工产生的扬尘对厂房外环境影响较小，同时评价建议在建设期对施工场地设置围挡，基础施工阶段采用湿法施工工艺或采取洒水降尘措施，建筑垃圾密闭运输，进一步减少施工扬尘对项目周围大气环境的影响。

(3) 噪声

项目位于现状 54 号厂房内，54 号厂房为密闭厂房，为进一步减小施工噪声影响，评价建议采用低噪声设备，合理规划施工时间，装卸物料要轻拿轻放，项目施工期对周围声环境的影响很小。

(4) 固体废物

施工产生的建筑垃圾应集中收集外运至政府指定的建筑垃圾消纳场，严禁随意倾倒或混入生活垃圾和装修垃圾分类集中收集；生活垃圾集中收集后交由环卫部门处理，装修垃圾分类集中收集后外售或交由环卫部门处理。

本项目施工期较短、施工范围较小，施工期的环境影响是短暂的、微弱的，并随着施工期的结束而消失；建设单位和施工单位应严格落实各项污染防治措施，同时加强施工管理，尽可能将施工期的环境影响降至最低水平。另外，通过采取合理有效的措施，本项目设备安装调试期间产生的辐射影响是可控的、微弱的。

11.2 运行期环境影响

11.2.1 电子束环境影响分析

根据《辐射防护手册第三分册—辐射安全》（1991年1月原子能出版社出版，作者李德平、潘自强，P23），知道材料的密度，便可以算出与最大射程对应的防护厚度。公式如下：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\beta\max}$$

公式中：d—最大射程，cm；

ρ —防护材料的密度，g/cm³；

$E_{\beta\max}$ —电子最大能量，MeV。

电子束的最大能量为2.0MeV时，在空气中（0.00129g/cm³）的最大射程约为775cm，在混凝土中（2.35g/cm³）的最大射程约为0.43cm，在钢板中（7.84g/cm³）的最大射程约为0.13cm。辐照室、主机室最小有效墙体厚度为600mm混凝土，完全可以屏蔽2.0MeV电子，且电子束方向朝向地面，因此加速器发射的电子束对辐照室及主机室外环境的影响可忽略。

11.2.2 X射线环境影响分析

本项目加速器为L型半自屏蔽设备，电子束通过加速管引向一楼的辐照室内，影响周围环境需要防护的是电子束作用于辐照材料及周边物体而产生的韧致辐射。由于加速器电子束朝下为地面所以无需考虑防护，需要防护的是90°方向的辐照加速器机房四周墙体和180°方向的加速器室顶。

本评价预测电子加速器辐照装置运行产生的辐射影响选用《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录A中推荐的预测模式进行理论计算。

1.直射X射线影响分析

（1）X射线辐射剂量率估算公式

依据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录A中公式A-1、A-2、A-3和A-4可以推导得出本次计算相关公式如下：

X射线透射至墙外参考点处当量剂量率

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

式中：

H_M —屏蔽体外关注点的剂量率，μSv/h；

d —X 源与参考点的距离，m；

T —居留因子。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。

D_{10} —辐射源距离标准参考点 1m 远处的吸收剂量率，Gy/h；

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

式中：

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

I —电子束流强度 (mA)；

f_e —X 射线发射率修正系数。

B_x —屏蔽墙对 X 射线的透射系数，用下式计算：

$$B_x = 10^{-[(S+T_e-T_1)/T_e]} \quad (11-3)$$

式中：

S —屏蔽墙的厚度，cm；

T_1 —第一个十值层厚度，cm；

T_e —平衡十分之一值层，cm。

(2) 辐照室周围直射 X 射线影响分析

1) 参数选取

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录 A 中表 A.1，2.0MeV 电子束入射到高 Z 厚靶材料上侧向 90°距靶点 1m 处的韧致辐射 X 射线发射率为 $1.6\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

X 射线的发射率与靶元素的原子序数相关，本项目加速器运行时，电子束照射方向朝地面，为了避免电子束向下直射到地面，本项目在束下被辐照线缆与地面之间设置有一套束下传输装置，高度离地约 90cm。因此，在辐照室内电子束可能轰击的物质有电线电缆、束下传输装置（不锈钢材质）等。当被辐照的靶材料为“铁、铜”时，90 度方向上修正系数为 0.5，当被辐照材料为“铝、混凝土”时，90 度方向上的修正系数为 0.3，本次选择最不利修正系数来计算 X 射线的发射率，即 X 射线发射率修正系数 90°方向取值 0.5。

根据公式 11-2 可计算出本项目 2.0MeV 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为 2400Gy/h。

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.4，2.0MeV 电子在侧向屏蔽能量取相应等效能量分别为 1.3MeV。

综上所述，本项目辐照室相关计算参数见表 11.1。本项目辐照室直射 X 射线辐射计算点见图 11.1。

表 11.1 X 射线直射辐照室四周时相关参数

参数	数值				来源
设备基础参数	电子束能量 2.0MeV，电流 50mA				建设单位及设备厂家
Q ($\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	1.6				HJ979-2018 表 A.1 查
X 射线发射率修正系数	0.5				HJ979-2018
等效电子线能量 (MeV)	1.3				HJ979-2018 表 A.4 查
90°方向距靶 1m 处的吸收剂量率 D_{10} (Gy/h)	2400				计算
什值层 (TVL) cm	类别	混凝土	铁	铅	HJ979-2018 附录 A 表 A.2 和表 A.3 内插法推算。
	T_1	19.64	6.28	2.16	
	T_e	16.98	5.72	3.23	

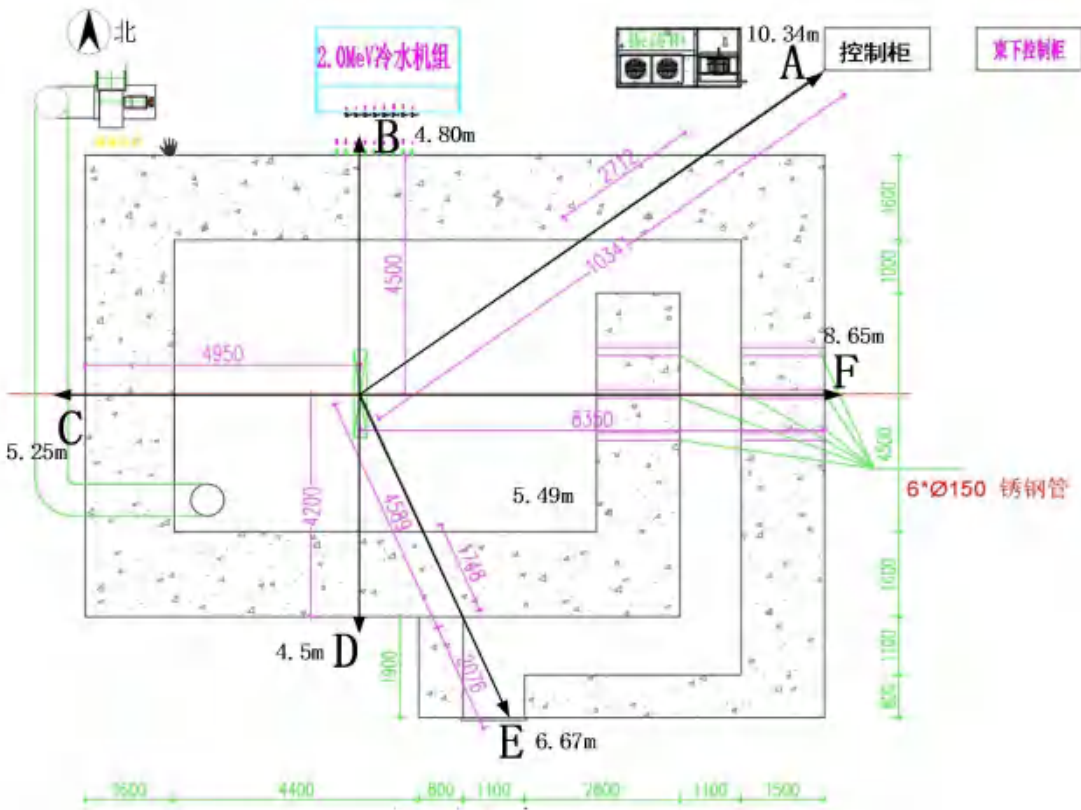


图 11.1 X 射线直射辐照室四周核算示意图

2) X 射线直射辐照室四周核算结果

本项目辐照室的屏蔽体屏蔽能力核实结果见表 11.2。

表 11.2 辐照室屏蔽效能核实表

计算点	剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	距离 (m)	设计厚度	实际穿墙厚度	计算厚度下瞬时剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否达标
A (操作柜处)	2.5	10.34	1600mm 混凝土	2712mm 混凝土	3.44E-09	达标
B (北墙外 0.3m)	2.5	4.80	1600mm 混凝土	1600mm 混凝土	5.64E-02	达标
C (西墙外 0.3m)	2.5	5.25	1600mm 混凝土	1600mm 混凝土	4.72E-02	达标
D (南墙外 0.3m)	2.5	4.50	1600mm 混凝土	1600mm 混凝土	6.42E-02	达标
E (迷道口处)	2.5	6.67	1600mm 混凝土 (未考虑防护门)	1748mm 混凝土 (未考虑防护门)	3.93E-03	达标
F (东墙外 0.3m)	2.5	8.65	1500mm 混凝土 +1500mm 混凝土	3000mm 混凝土	9.89E-11	达标

由上表可知，加速器机房辐照室四周墙外 30cm 处的剂量率最大值为 $5.64 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率限值要求。操作柜处的剂量率为 $3.44 \times 10^{-9} \mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率限值要求。

(3) 主机室和移动屏蔽罩周围直射 X 射线影响分析

参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) A.2.1 部分，工作状态时，加速器主机室和移动屏蔽罩四周的辐射剂量率同样采用式 11-1~式 11-3 进行估算。

根据设备厂家提供的资料，本项目电子加速器在主机室的束流损失率不超过 0.5%，束流强度最大为 50mA，损失的电子束流强度最大为 $50\text{mA} \times 0.5\% = 0.25\text{mA}$ ；电子加速器束流损失点处电子能量最大为 0.2MeV（由设备厂家提供数据）。主机室和移动屏蔽罩四周主要考虑加速器损失的 0.2MeV 损失束流照射在主机室四周墙体和移动屏蔽罩四周产生的韧致 X 射线对周围的影响。

根据《辐射防护导论》（方杰编，P71）图 3.3 可查得，0.2MeV 入射电子能

量距靶 1 米处侧向 90°方向 X 射线发射率约为 $0.007\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

当被辐照的靶材料为“铁、铜”时，90 度方向上修正系数为 0.5，当被辐照材料为“铝、混凝土”时，90 度方向上的修正系数为 0.3，本次选择最不利修正系数来计算 X 射线的发射率，即 X 射线发射率修正系数 90°方向取值 0.5。

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.4 及外推法，0.2MeV 电子入射能量在侧向屏蔽能量取相应等效能量为 0.2MeV。

综上所述，本项目主机室、移动屏蔽罩周围相关计算参数见表 11.3。根据主机室和移动屏蔽罩设计，选取主机室和移动屏蔽罩四周外 30cm 处作为计算束流损失影响的点，本项目主机室和移动屏蔽罩四周 X 射线辐射计算点见图 11.2、11.3。

表 11.3 X 射线照射主机室和移动屏蔽罩四周时相关参数

参数	数值			来源
设备基础参数	电子束能量损失 0.2MeV，电流损失 0.25mA			建设单位及设备厂家
Q ($\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	0.007			查《辐射防护导论》
X 射线发射率修正系数	0.5			HJ979-2018
等效电子线能量 (MeV)	0.2			HJ979-2018 及采用线性外推法求得
90°方向距靶 1m 处的吸收剂量率 D_{10} (Gy/h)	0.0525			计算
什值层 (TVL) cm	类别	混凝土	铁	HJ979-2018 附录 A 表 A.2 线性外推法求得。
	T_1	13.22	2.78	
	T_e	10.04	2.28	

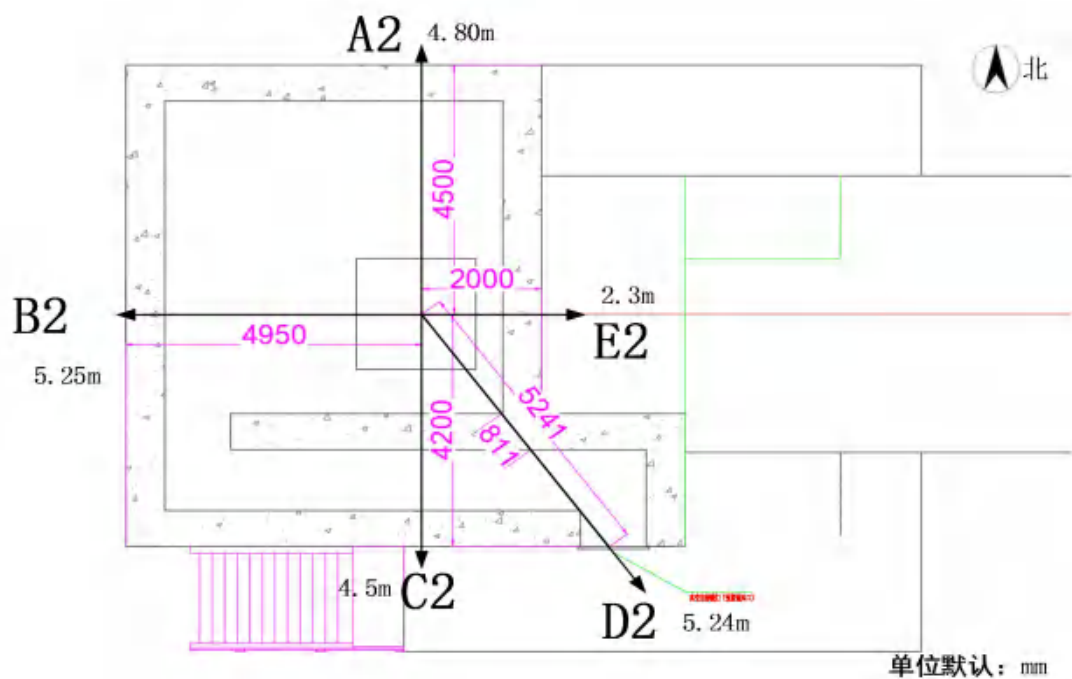


图 11.2 束流损失照射主机室四周屏蔽效能平面核算示意图

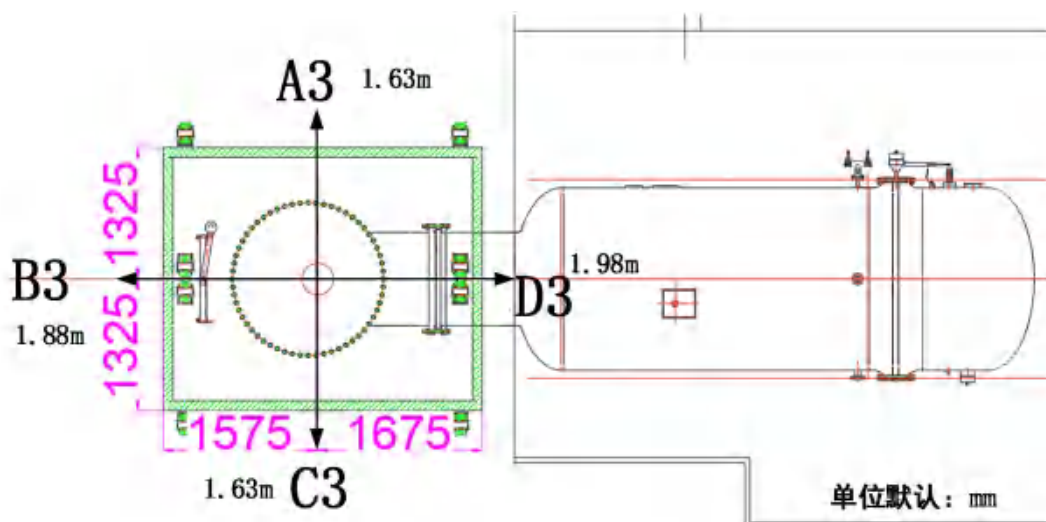


图 11.3 束流损失照射移动屏蔽罩四周屏蔽效能平面核算示意图

2) 主机室和移动屏蔽罩周围 X 射线束流损失照射屏蔽防护核算结果

主机室和移动屏蔽罩周围 X 射线束流损失照射屏蔽防护核算结果见表 11.4。

表 11.4 屏蔽效能核实表

计算点	剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	距离 (m)	设计厚度	实际穿墙厚度	计算厚度下瞬时剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否达标
主机室四周						
A2 (北墙外)	2.5	4.80	650mm 混凝土	650mm 混凝土	4.86E-01	达标
B2 (西墙外)	2.5	5.25	650mm 混凝土	650mm 混凝土	4.06E-01	达标

C2(南墙外)	2.5	4.50	650mm 混凝土 +650mm 混凝土	1300mm 混凝土	8.21E-05	达标
D2(迷道口处)	2.5	5.24	650mm 混凝土	811mm 混凝土	3.32E-05	达标
E2(东墙外)	2.5	2.3	650mm 混凝土 (未考虑防护门)	650mm 混凝土 (未考虑防护门)	6.91E-03	达标
移动屏蔽罩四周						
A3(屏蔽罩北)	2.5	1.63	20mm 钢板 +100mm 钢板	120mm 钢板	1.79E-01	达标
B3(屏蔽罩西)	2.5	1.88	20mm 钢板 +100mm 钢板	120mm 钢板	1.34E-01	达标
C3(屏蔽罩南)	2.5	1.63	20mm 钢板 +100mm 钢板	120mm 钢板	1.79E-01	达标
D3(屏蔽罩东)	2.5	1.98	20mm 钢板 +100mm 钢板	120mm 钢板	1.21E-01	达标

由上表可知，加速器机房主机室四周墙外 30cm 处的剂量率最大值为 $0.486\mu\text{Sv/h}$ ，其中主机室迷道门处剂量率为 $3.32\times 10^{-5}\mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率限值要求。加速器移动屏蔽罩四周外 30cm 处的剂量率最大值为 $0.179\mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率限值要求。

(4) 机房顶和移动屏蔽罩顶屏蔽计算

机房顶主要考虑韧致辐射与电子束入射方向呈 136° 到 164° 方向的初级 X 射线。

移动屏蔽罩顶辐射影响主要包括 2 部分：A.与电子束入射方向呈 168° 到 180° 方向的韧致辐射初级 X 射线；B.辐照加速器机房内的 0° 方向上产生的韧致辐射初级 X 射线，经被辐照工件 180° 方向散射后的次级 X 射线，通过加速器主机钢筒基座的孔洞直接照射入立式加速管钢筒顶壁和移动屏蔽罩顶形成的辐射场。

本项目主机室和移动屏蔽罩顶 X 射线辐射计算点见图 11.4。

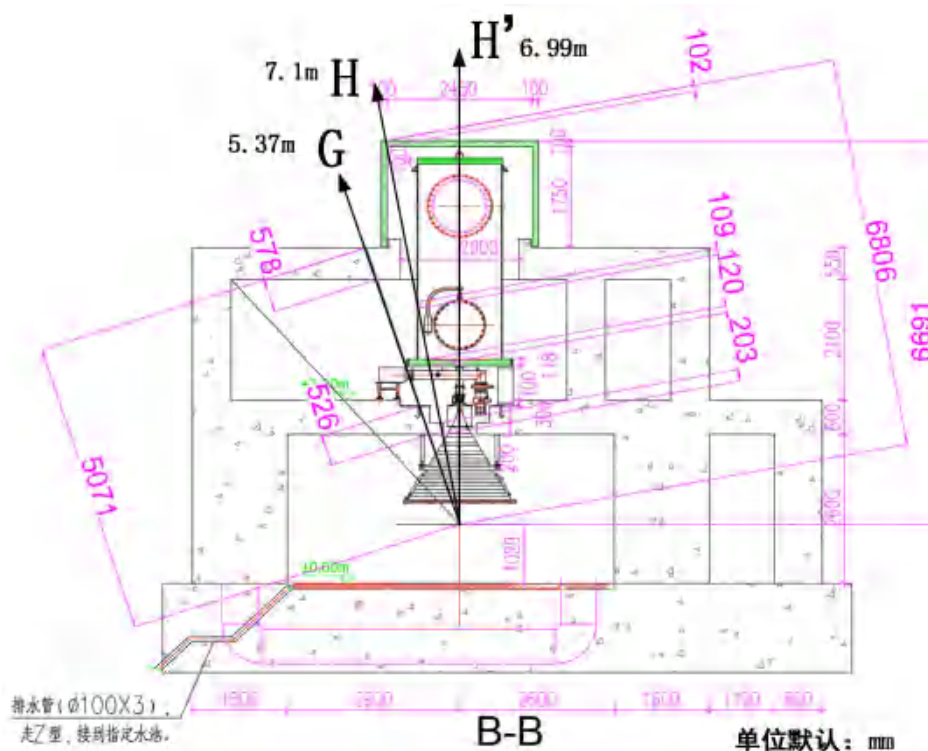


图 11.4 机房顶和移动屏蔽罩顶屏蔽效能平面核算示意图

1) 机房顶和移动屏蔽罩顶初级 X 射线非 180° 方向照射影响分析

①参数选取

保守考虑, 机房顶受到与电子束入射方向呈 138° 到 166° 方向的初级 X 射线照射和移动屏蔽罩顶受到与电子束入射方向呈 166° 到 180° 方向的韧致辐射, 初级 X 射线发射率常数保守取 90° 方向的发射率常数。

机房顶和移动屏蔽罩顶位于 2 楼，人员流动性极小，因此其居留因子保守取为 1/16。

相关计算参数见表 11.5，本项目机房顶和移动屏蔽罩顶 X 射线辐射计算点见图 11.4。

表 11.5 X 射线照射主机室时相关参数

参数	数值	来源
设备基础参数	电子束能量 20MeV， 电流 50mA	建设单位及设备厂家
Q ($\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	1.6	HJ979-2018 表 A.1 查
X 射线发射率修正系数	0.5	HJ979-2018
等效电子线能量 (MeV)	1.3	HJ979-2018 表 A.4 查
90°方向距靶 1m 处的吸收	2400	计算

剂量率 D_{10} (Gy/h)				
居留因子	1/16			1/16
什值层 (TVL) cm	类别	混凝土	铁	HJ979-2018 附录 A 表 A.2 内推法求得。
	T_1	19.64	6.28	
	T_e	16.98	5.72	

②机房顶和移动屏蔽罩顶 X 射线屏蔽防护核算结果

本项目机房顶和移动屏蔽罩顶屏蔽能力核实结果见表 11.6。

表 11.6 机房顶和移动屏蔽罩顶屏蔽效能核实表

计算点	剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	距离 (m)	设计厚度	实际穿墙厚度	计算厚度下瞬时剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否达标
G (机房顶)	2.5	5.3	600mm 混凝土 +550mm 混凝土	526mm 混凝土 +578mm 混凝土	2.35	达标
H (移动屏蔽罩顶)	2.5	7.1	200mm 混凝土 +118mm 钢板 +20mm 钢板 +100mm 钢板	203mm 混凝土 +120mm 钢板 +109mm 钢板 +102mm 钢板	1.84	达标

由上表可知，加速器机房顶厚度最小区域外 30cm 处的 X 射线剂量率为 $2.35\mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率限值要求。移动屏蔽罩顶外 30cm 处的 X 射线剂量率为 $1.84\mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率限值要求。

2) 移动屏蔽罩顶 X 射线 180° 方向照射影响分析

沿与电子束入射方向呈 180° 方向的次级 X 射线能量较低，根据《电子加速器工业应用导论》(P145)，对来自电子能量 (0.5~3) MeV 的 X 射线，在该能区反散射 X 射线主要来自康普顿散射，保守估计，反散射 X 射线的能量不大于 0.5MeV，因此本项目辐照室经 180° 反散射后等效电子能量保守取 0.5MeV。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) 中表 A.1 查，0.5MeV 入射电子束能量射到高 Z 厚靶材料上前向 0° 距靶点 1m 处的韧致辐射 X 射线发射率为 $0.008\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) 中表 A.2 和表 A.3，入射电子能量为 0.5MeV 时，铁的 T_1 和 T_e 值分别为 $T_1=3.8\text{cm}$ 、 $T_e=3.3\text{cm}$ 。

加速器钢筒 (100mm 钢板) 和移动屏蔽罩顶板 (100mm 钢板) 的透射比 B_x 最大为 1.23×10^{-6} 。

综上所述,本项目辐照加速器机房内的 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 射线对移动屏蔽罩顶的辐射影响相关计算参数见表 11.7。移动屏蔽罩顶外 30cm 处作为计算点,本项目移动屏蔽罩顶次级 X 射线辐射计算点见图 11.4。

表 11.7 180° 方向的次级 X 射线照射移动屏蔽罩顶时相关参数

参数	计算数值			来源
设备基础参数	电子束能量 2.0MeV, 电流 50mA			建设单位及设备厂家
Q ($\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	0.008			HJ979-2018 表 A.1 查
X 射线发射率修正系数	0.5			HJ979-2018
等效电子线能量 (MeV)	0.25			《电子加速器工业应用导论》查
90° 方向距靶 1m 处的吸收剂量率 D_{10} (Gy/h)	12			计算
居留因子	1/16			1/16
什值层 (TVL) cm	类别	混凝土	铁	HJ979-2018 附录 A 表 A.2 和表 A.3
	T_1	15.2	3.8	
	T_e	11.9	3.3	

表 11.8 机房顶和移动屏蔽罩顶屏蔽效能核实表

计算点	剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	距离 (m)	设计厚度	实际穿墙厚度	计算厚度下瞬时剂量 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否达标
H' (移动屏蔽罩顶)	2.5	6.99	100mm 钢板 +100mm 钢板	100mm 钢板 +100mm 钢板	1.89E-02	达标

由上表可知, 180° 方向 X 射线照射移动屏蔽罩顶时加速器机房顶外 30cm 处的 X 射线剂量率为 $0.0189\mu\text{Sv/h}$, 满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率限值要求。结合移动屏蔽罩顶初级 X 射线非 180° 方向照射剂量, 移动屏蔽罩顶外 30cm 处的 X 射线剂量率贡献叠加值为 $1.859\mu\text{Sv/h}$, 满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率限值要求。

2. 机房散射辐射屏蔽计算

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 附录 A.3 可知, 在加速器装置的屏蔽设计中, 有三种情况必须考虑散射辐射: 迷道和防护门、天空反散射、孔道。由于本项目屏蔽设计中对所有经过屏蔽体的孔洞均采用“Z”或“U”型穿越, 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

蔽体孔洞基本不影响屏蔽墙体防护效果。因此，本次评价不再对孔道散射进行计算。本次评价主要针对迷道散射和天空反散射计算。

为防止电子在迷道入口处的照射，最简单的屏蔽方法是使迷道路径长度大于电子在空气中的射程，这个长度可以是迷道的直线距离，或者是迷道中最短的各个中间距离之和，根据辐照室迷道设计尺寸，迷道中最短的各个中间距离之和约为 12.4m（7.15m+3.9m+1.35m），大于电子在空气中的射程 7.75m。

（1）迷道散射预测公式

防护 X 射线的迷道，可按《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录中式 A-5 即式 11-5 估算迷道外入口的剂量率：

$$H_m = \frac{D_{10} \times \alpha_1 A_1 \times (\alpha_2 A_2)^{j-1}}{(d_1 d_{r1} d_{r2} \dots d_{rj})^2} \quad (11-4)$$

式中：

D_{10} —X 射线源 1m 处的吸收剂量率指数（Gy/h）；

α_1 —入射到第一个散射体的 X 射线散射系数；（查附录 A 取 5×10^{-3} ）

α_2 —从随后屏蔽材料层散射出来的 X 射线散射系数（假设对以后所有散射过程是相同的）；（查附录 A 取 2×10^{-2} ）

A_1 —从 X 射线入射到第一散射物质的散射面积， m^2 ；

A_2 —迷道的截面积（ m^2 ，假设整个迷道截面积近似常数，高宽比在 1~2 之间）；

d_1 —X 射线源与第一散射物质的距离，m；

d_{r1}, d_{r2}, d_{rj} —沿着迷道长轴的中心线距离， $d_{rj}/A_2^{1/2}$ 应在 1~6 之间；

j —表示第 j 次反射过程。

（2）计算参数及计算结果

本项目辐照室内轫致射线至少经过 3 次散射方可到达迷道入口，根据预测公式可知，迷道入口处的 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，本次计算辐照室散射路径示意图见图 11.5，具体参数及计算结果见表 11.9。

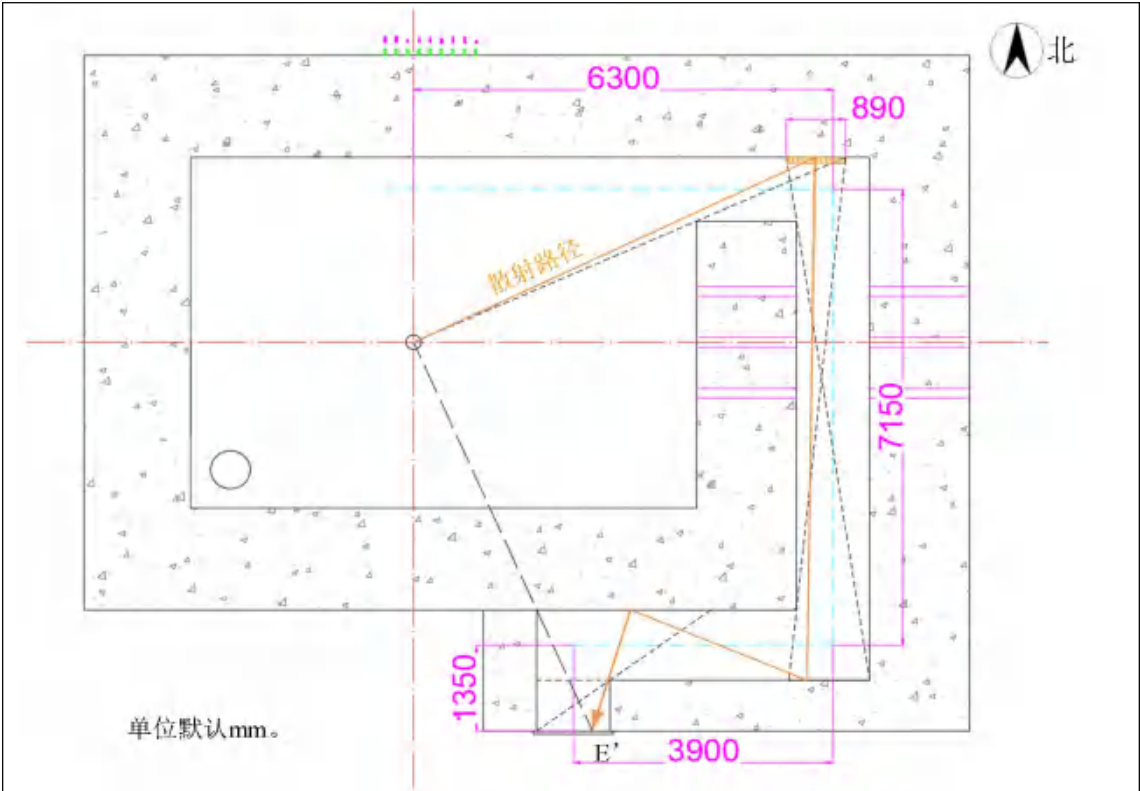


图 11-6 辐照室反散射核算平面示意图

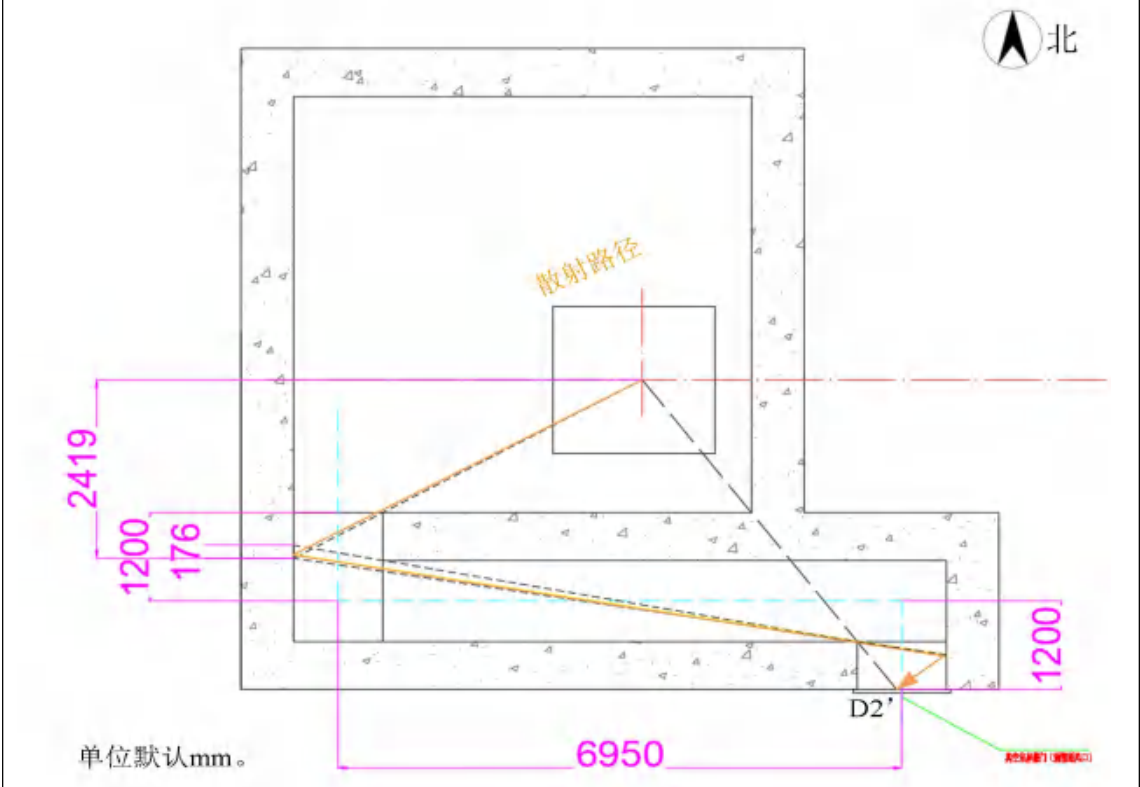


图 11-7 主机室反散射核算平面示意图

表 11.9 迷道口散射计算参数表

计算点	散射次数	D_{10} (Gy/h)	A_1 (m ²)	$A_2=A_3$ (m ²)	d_1 (m)	散射路径 m (d_{r1}, d_{r2}, d_{rj})	辐射剂量率 (μGy/h)
E' 辐照室迷道出口	3	2400	0.89× 2.6 =2.31	1.1×2.6 =2.86	6.30	7.15, 3.90, 1.35	1.612
D2' 主机室迷道出口	2	0.0525	0.18× 2.1 =0.378	1.1×2.1 =2.31	2.42	6.95, 1.20	0.011

根据计算可知，辐照室 X 射线经迷道散射至迷道出口处的剂量率为 1.612 μ Gy/h，主机室 X 射线经迷道散射至迷道出口处的剂量率为 0.011 μ Gy/h。结合表 11.2 中 E 点（0.00393 μ Gy/h）和表 11.4 中 D2 点（ 3.32×10^{-5} μ Gy/h）计算结果，本项目辐照室迷道口处直射 X 射线和散射 X 射线叠加后的周围剂量当量率为 1.616 μ Sv/h，主机室迷道口处直射 X 射线和散射 X 射线叠加后的周围剂量当量率为 0.011 μ Sv/h，也均能满足评价标准不大于 2.5 μ Sv/h 的要求，无需额外屏蔽防护，但应设置迷道门防止人员误入。

（2）天空反散射

1）天空反散射影响

由于本项目辐照机房周围 50m 内临近 52 号厂房，有工作人员长期居留，因此需注意天空反散射。考察点 P 处同时考虑一层辐照室和二层主机室的剂量贡献。

$$H = \frac{2.5 \times 10^{-2} (B_{xs} D_{10} \Omega^{1.3})}{(d_i d_s)^2} \quad (11-5)$$

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（S_r）；

d_i -在屋顶上方 2m 处离靶的垂直距离（m）；

d_s -X 射线源到 P 点的距离（m）。

根据《电子加速器工业应用导论》P148-149，立体角的计算公式如下：

$$\Omega = 4 \arctan \frac{ab}{cd} \quad (11-6)$$

a、b——辐射源到墙外的最小长度和宽度的一半；

- c——辐射源到屋顶表面的距离；
d——辐射源到屋顶边缘的距离， $d = (a^2 + b^2 + c^2)^{1/2}$ 。

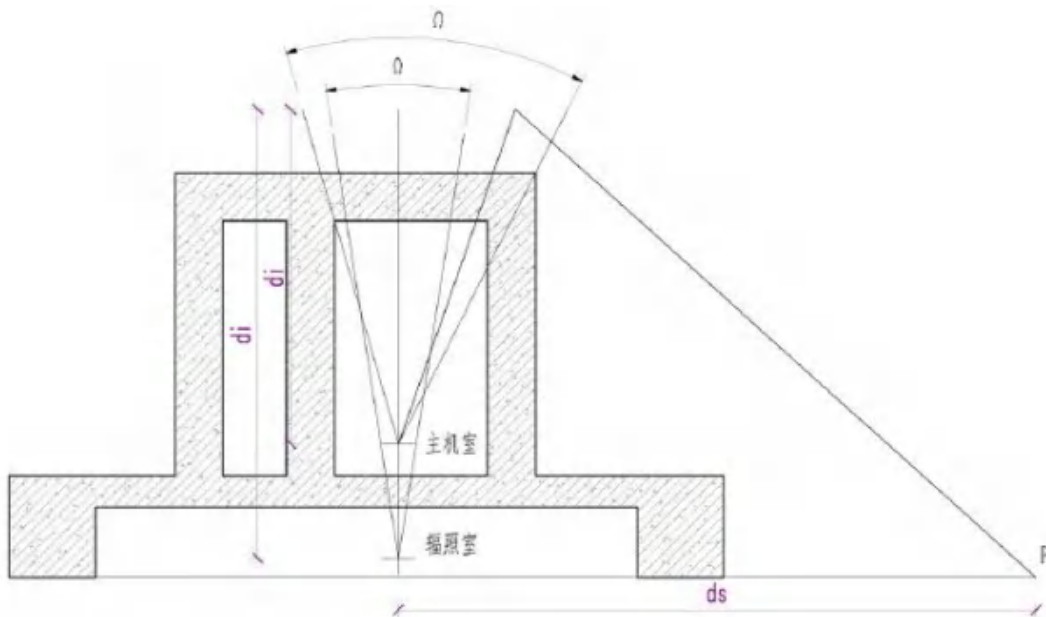


图 11-8 立体角示意图

(3) 参数选取

根据 HJ979-2018 附录 A 示例中的相关内容，X 射线发射率取入射电子能量侧向 90°方向的相应数值，则根据前文计算结果， $D_{10 \text{ 一层}} = 2400 \text{ Gy/h}$ ， $D_{10 \text{ 二层}} = 0.0525 \text{ Gy/h}$ ；一层辐照室射线源距离地面 103cm，二层主机室射线源距离二层地面 71cm，则 $d_{\text{一层辐照室}} = 8.69 \text{ m}$ ， $d_{\text{二层主机室}} = 5.81 \text{ m}$ ；计算天空反射线参考点为屏蔽体外 20~250m 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，第 416 页第 8.3.1）。

对于立体角 Ω 的计算参数取值为：一层辐照室辐射源距离移动屏蔽罩顶表面中心的距离为 6.69m，移动屏蔽罩顶长度的一半 a 为 1.63m，宽度的一半 b 为 1.33m，根据公式（11-6）可计算出立体角 $\Omega = 0.18 \text{ Sr}$

二层主机室辐射源距离移动屏蔽罩顶表面中心的距离为 3.81m，移动屏蔽罩顶长度的一半 a 为 1.63m，宽度的一半 b 为 1.33m，根据公式（11-6）可计算出立体角 $\Omega = 0.52 \text{ Sr}$ 。

本项目顶部为 228mm 钢板，辐照室 2MeV 入射电子侧向 90°方向屏蔽 1.3MeV 电子能量照射对应铁 T_1 和 T_e 值取 $T_1 = 6.28 \text{ cm}$ ， $T_e = 5.72 \text{ cm}$ ，主机室 2MeV 入射电子侧向 90°方向屏蔽 0.2MeV 电子能量照射对应铁 T_1 和 T_e 值取 $T_1 = 2.78 \text{ cm}$ ，

$T_e=2.28\text{cm}$ 。

表 11.10 天空反散射计算参数表

辐射源位置	一层辐照室	二层主机室
D_{10} (Gy/h)	2400	0.0525
Ω (Sr)	0.18	0.52
d_i (m)	8.69	5.81
d_s (m)	20	20
屏蔽厚度 (mm)	228mm 钢板 (移动屏蔽罩 100mm 钢板+加速器管下部 118mm 钢板)	200mm 钢板 (移动屏蔽罩 100mm 钢板+加速器管上部 100mm 钢板)
T_1 (cm)	6.28	2.78
T_e (cm)	5.72	2.28
参考点剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	2.86E-08	5.32E-12
叠加值 ($\mu\text{Gy/h}$)	2.86E-08	

根据表 9-9 计算结果,本项目辐照机房天空反散射的 X 射线周围剂量当量率贡献叠加值为 $2.86 \times 10^{-8} \mu\text{Gy/h}$ 。

3.通风口设计合理性分析

本项目排风口位于辐照加速器机房东南角,辐照加速器机房内产生的臭氧等非放射性有害气体经通风管道沿通风管道排出,管道直径为 600mm,管道埋地深为 800mm,排风管道采用地下“U 型”方式穿辐照加速器机房西墙后,继续向北至加速器机房西北侧,经轴流风机后在厂房屋顶超过附近高建筑物 4m 的高度排放。

由于本项目排风管道通过屏蔽墙时排风管道采用地下“U 型”方式穿墙,通风口不直接穿过地上屏蔽墙体,因此散射线经地下管道到达排气筒外口处则需经至少 4 次散射,剂量率将大幅降低,因此,通风口外的辐射水平可满足标准要求。

4.电缆管道、风冷水冷系统管道设计合理性分析

本项目加速器机房电缆管道、水管道设计均避开主射线方向,电缆管道、水管道均采用“Z 型”预埋设置,射线均需经至少 4-5 次散射后方能从管口泄漏,所有电缆道口及水管道口处均做补偿措施,电缆管出口、水管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。

本项目加速器机房辐照线缆通道直径 150mm，由外至内为多斜坡设计，线缆通道均避开主射线方向，做斜坡设计且长度比孔径大得多，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。

5.有害气体对周围环境的影响

根据工程分析与源项，9.2.2 臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）产额计算，本项目 2.0MeV 电子辐照加速器所致 O₃ 的产生率为 1.26×10⁶mg/h，所致氮氧化物的产生率分别为 4.2×10⁵mg/h。本项目辐照加速器机房净容积(含迷道)为 172.43m³，机房通风量为 15796m³/h，设计通风换气次数为 91 次/小时（加速器开机）。平均每次换气仅需要 1/91h。

1) 辐照室臭氧的平衡浓度

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 B 可知，当辐照室换气一次所需时间 $T_v \ll T_d$ 时，对臭氧的有效清除时间 $T_e \approx T_v$ ，此时辐照室内臭氧平衡浓度为：

$$C_{\text{稳}} = \frac{PT_e}{V} \quad (\text{公式 11-7})$$

P—单位时间电子束产生 O₃ 的质量（mg/h）；

T_e—对臭氧的有效清除时间（h）

$$T_e = \frac{T_v \times T_d}{T_v + T_d} \quad (\text{公式 11-8})$$

T_v—辐照室换气一次所需时间（h）；换气时间为 1/91h。

T_d—臭氧的有效化学分解时间（h），约为 50 分钟，5/6h。

由上式计算可得，臭氧的有效清除时间为 0.011h。

由上式计算得，辐照加速器机房内 O₃ 的平衡浓度约 79.23mg/m³，考虑漏射线和散射线，可以增加 10%，即 87.18mg/m³，该浓度值高于《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 O₃ 的最高容许浓度（0.3mg/m³）。当加速器停止运行后，人员不能直接进入辐照室，风机必须继续运行，关闭加速器后风机运行的持续时间公式为：

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_1} \quad (\text{公式 11-9})$$

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）。

根据公式 11-13，及本项目辐照室通风设计，本项目关闭加速器后风机运行的持续时间为 0.06h，3.6min，即约 3.6min 后，辐照室内的臭氧浓度能满足《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）的臭氧浓度限值要求。

实际上臭氧很不稳定，在常温下不断转化成氧气，或与其他材料和空气中的杂质产生化学反应，因此其浓度降低速度也将大大加快。为保险起见，建设单位设计要求在停机 5~10min 后操作人员方可被允许进入加速器辐照室内，满足上述计算所需时间要求。因此，辐射工作人员在设计通风时间条件下进入辐照室是安全的。

本项目拟设 1 台排氧风机进行机械排风，排风量为 $15796\text{m}^3/\text{h}$ ，排风管道直径为 600mm，出风口位于辐照室及厂房外，排气筒高度超过附近高建筑物 4m 的高度排放，经过大气的稀释和扩散作用 O_3 浓度迅速降低，常温下短时间内可自然分解为氧气，对周围大气环境影响可接受。

6.噪声

本项目主要是噪声源为 1 台臭氧排风风机，1 台钛窗风机和 1 台束下装置风机，噪声源强一般在 80dB（A），采用基础减振措施后其噪声值一般在 70dB（A）左右。钛窗风机和束下装置风机均布置在主机室内，且使用低噪声节能排风机，采用减震、隔音等措施，对周围声环境影响较小；臭氧排风风机位于在 54 号厂房外，使用低噪声节能排风机，采用减震等措施，本项目臭氧排风风机距离厂界在 200m 以上，对厂界外的影响较小。

7.附加年剂量计算

人员附加年有效剂量可以按照以下公式计算。

$$H_{E-r} = D_r \times t \times k \times T \times 10^{-3} \quad (11-10)$$

式中： H_{E-r} —外照射附加年有效剂量，mSv/a；

D_r —外照射附加剂量率， $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ，取值见表 11.11；

t —年照射时间，h/a，取值见表 11.11；

T—居留因子，根据项目四周人员均为建设单位上班工作的人员，因此环保目标处居留因子取值 1。

k—有效剂量与吸收剂量换算系数，保守取 1，即 $1\text{Sv}=1\text{Gy}$ 。

人员受到的附加年有效剂量计算结果详见下表。

表 11.11 人员受到的附加年有效剂量计算结果一览表

人员分类	参考位置	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	时间 (h/a·班)	居留 因子	附加年剂量 (mSv/a)	管理限值 (mSv/a)
辐射工作人员	放线机工位	3.94E-11	2112	1	1.05E-10	5
公众全居留	并丝机工位	4.62E-12	2112	1	9.76E-12	0.1
	收线机工位	6.39E-04	2112	1	1.35E-03	0.1
	物理检测室 和办公室	6.90E-04	2112	1	1.46E-03	0.1
	52 号厂房内	1.19E-03	2112	1	2.52E-03	0.1

备注：辐射工作人员主要在放线机工位工作，控制柜处仅开关设备，因此辐射工作人员受到的附加年有效剂量计算仅考虑放线机工位。

由计算结果可知：本项目在正常运行时，单个班次的辐射工作人员受到的附加年有效剂量为 $1.05\times 10^{-10}\text{mSv/a}$ ，公众人员受到的附加年有效剂量最大为 $2.52\times 10^{-3}\text{mSv/a}$ ，辐射工作人员及公众人员受到的附加年有效剂量均分别满足本次评价关于辐射工作人员 5mSv/a 、公众人员 0.1mSv/a 的年剂量管理限值。由此说明，本项目电子加速器辐照机房的防护设计满足要求，其正常运行后产生的辐射影响在国家允许的范围以内。

此外，本项目 50m 评价范围内的其他保护目标均位于上述预测关注点离电子加速器辐照机房更远的区域，根据辐射剂量率与距离平方成反比的原理，其所受辐射影响不大于靠近机房的预测关注点，同样满足年有效剂量管理限值要求。

11.4 事故影响分析

11.4.1 风险事故识别

本项目电子加速器属于类 II 射线装置，建设单位针对性制定了相关的操作规程，在实际运行中发生大剂量照射事故概率极低，可能发生的辐射安全风险事故主要包括：

(1) 工作人员或其他人员在防护门关闭前尚未撤离辐照室，造成人员误照

射。

(2) 安全联锁装置或报警装置失效，工作人员或其他人员误入正在运行的加速器辐照室，造成人员误照射。

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

11.4.2 预防措施

(1) 在日常工作中，加强辐射安全管理工作，严格执行各项辐射安全管理制度。

(2) 电子加速器辐照机房出入口所有区域划为控制区，周围毗邻区域划定为监督区，严禁无关人员进入。

(3) 定期对划定的警戒线进行刷新，提醒周围人员勿在警戒线内停留，严格限制无关人员进入控制区。

(4) 辐射工作人员全部参加辐射安全与防护知识培训，并取得合格证书，任何未取得辐射安全与防护培训合格的人员，均不得擅自操作设备。

(5) 定期检查各项安全防护设施的运行状态，发现问题及时处理。

(6) 设备维修工作委托专业技术人员完成，不得擅自拆卸、维修，防止增加泄漏射线。维修人员在维修、调试中，防止发生误照射情况。

(7) 在加速器停止照射后，职业人员将等待一段时间再进入辐照室内，防止室内臭氧浓度过高造成伤害。

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》第七条第三款、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第一款的要求，使用Ⅱ类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

建设单位已取得辐射安全许可证，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》及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等有关规定，郑州比亚迪汽车有限公司已成立了“辐射安全与环境保护管理小组”，组长为曹萌，副组长为齐世豪、马城华，成员包括夏存新、魏宁、刘永辉、李鹏飞。

辐射安全与环境保护管理小组全面负责建设单位的辐射安全与环境保护管理工作，包括：办理核技术应用项目环保手续；监督辐射工作人员及辐射活动；按要求开展辐射安全与防护自查及年度评估，积极配合生态环境部门开展的监督检查，并针对自查或监督检查发现的问题落实整改；建立、健全各项辐射管理档案，按要求开展场所辐射检测、人员培训考核、个人剂量检测及职业健康检查工作；制订或修订辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，按要求开展辐射安全与防护宣教活动及辐射事故应急演练。该管理机构的组成符合本项目要求。

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 规章制度

建设单位已开展核技术应用项目多年，该项目建成后会纳入原有管理体系，适时修订原有制度。目前已制定的辐射环境管理制度包括：《辐射安全管理规定》《操作规程》《辐射工作人员岗位职责》《辐射防护与安全保卫制度》《辐射设施设备维护维修管理制度》《场所辐射环境检测计划与方案》《辐射工作人员培训管理制度》《监测仪表使用与校验管理制度》《辐射工作个人剂量管理制度》《辐射事故应急预案》等，除上述管理制度外，建设单位还制定了其他管理制度，《防止误操作和受到意外照射的安全措施》及《射线装置管理制度》。

建设单位持有郑州航空港经济综合实验区建设局（郑州市生态环境局郑州航空港经济综合实验区分局）颁发的辐射安全许可证，具备一定辐射安全管理能力。

建设单位已制定的上述制度《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第 709 号)第七条第四款规定有健全的安全和防护管理规章制度、辐射事故应急措施的要求,同时也符合《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 7 号)第十六条第六、七、八款,使用射线装置的单位申请领取许可证,应当有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等,有完善的辐射事故应急措施的要求。

12.2.2 人员培训

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环境保护部令第 18 号令)第三章第十七条规定,“生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位,应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲,对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训,并进行考核;考核不合格的,不得上岗。”按照《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》(公告 2019 年第 57 号)的规定,对于新从事辐射活动的人员,以及原有辐射安全与防护培训合格证书有效期届满人员,应当通过生态环境部培训平台报名并参加考核。已安排参加辐射安全与防护培训,取得合格证书后再安排上岗。

根据建设单位介绍,本项目建成投入运行后,拟配备 6 名辐射工作人员,评价要求:拟配备的 6 名辐射工作人员应在项目投运前取得辐射安全与防护培训合格成绩单。

12.3 辐射监测

本项目在营运期的辐射监测项目分为辐射环境监测、辐射工作场所监测以及个人剂量监测。

12.3.1 辐射环境和辐射工作场所监测计划

根据《河南省辐射污染防治条例》第三十四条要求,建设单位应委托有资质的单位定期对操作室及周围环境进行辐射环境监测,并建立监测技术档案。辐射环境检测计划如下:

1. 常规监测:根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十九条要求,建设单位拟配备 2 台便携式 X- γ 辐射监测仪,对建设单位各射线装置工作场所周围以及代表性的环境保护目标处 X- γ 辐射剂量率进行常规监测,监测

记录应清晰、准确、完整。常规监测一般每月进行一次。

2. 定期监测：建设单位定期委托具有监测资质的单位，对射线装置机房周围 X- γ 辐射剂量率进行监测，每年应至少进行 1 次。监测结果反映在年度自评报告中一并上报发证机关。

3. 监测范围：监测点位设置于各射线装置机房距墙体、防护门表面 30cm，水、气、电缆管道的出入口，操作柜以及机房 50m 范围内代表性的环境保护目标处等。

12.3.2 个人剂量监测计划

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 709 号）、《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 7 号）要求，建设单位已制定了辐射工作人员个人剂量管理制度，本项目正常运行后，辐射工作人员全部严格按要求佩戴个人剂量计，个人剂量计每期佩戴最多不超过三个月，统一委托有资质单位开展个人剂量监测，期间若有人员离开放射工作岗位，单独对其个人剂量计予以回收并检测。建设单位建立了个人剂量监测管理档案，辐射工作人员的个人剂量监测报告全部由专人负责归档妥善保存。

12.3.3 现有核技术利用项目辐射监测情况

建设单位每年均按要求委托有资质的单位开展了工作场所辐射环境监测和个人剂量检测，各项监（检）测报告均已分类归档，并由专人妥善保管；另外，建设单位每年均按要求开展了辐射安全与防护状况年度评估，辐射环境监测报告和个人剂量检测报告随着年度评估报告一并向生态环境主管部门及全国核技术利用申报系统予以提交。

12.4 辐射事故应急

为应对突发性事故，建设单位已根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等的要求，制定了详细的《辐射事故应急预案》，该预案成立了应急处理机构，明确了相应的职责范围，规定了辐射事故处理的原则及应急响应程序，到目前为止，未发生辐射事故。

当发生事故时，建设单位应当立即启动辐射事故应急方案，采取有效防范措施，及时制止事故的恶化，并在 2 小时内向当地生态环境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。

辐射事故应急响应处理具体程序如下：

1) 发生误照射事故时，现场辐射工作人员应第一时间按下紧急停机按钮或切断射线装置电源，停止 X 射线出束。

2) 现场辐射工作人员迅速组织受照射人员撤离事故区域，同时保护好事故现场，为后期事故调查、处理保留证据。

3) 现场辐射工作人员及时将事故情况上报应急小组，应急小组收到报告后，迅速启动事故应急响应，组织相关人员赶赴事故现场。

4) 应急小组组织分析人员受照射情况，并及时安排受照射人员进行必要的健康检查或医疗救治。

5) 应急小组根据掌握的事故有关情况，组织相关人员配合生态环境部门开展事故调查和定性定级工作。

6) 事故妥善处理后，应急小组组织相关人员进行讨论、研究，总结经验教训，组织开展隐患排查，完善预防措施，同时加强日常管理，避免类似事故再次发生。

7) 发生射线装置运行故障，现场辐射工作人员立即停止使用，切断电源，上报应急小组联系设备厂家或委托专业机构进行检修，待故障排除并经确认无异常后方可恢复运行。

8) 事故妥善处置后，总结经验教训，加强日常管理，进一步完善防范措施，同时杜绝类似事故再次发生。

此外评价要求，辐射事故应急小组应根据辐射工作的实际开展情况，定期组织开展辐射事故应急演练，不断提高应急响应能力。演练活动结束后，组织开展总结，评估和验证辐射事故应急预案的可行性和有效性，必要时予以修改完善。

12.5 从事辐射活动的能力要求

建设单位成立了辐射安全与环境保护管理小组，制定了完整、可行的辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，符合项目实际，满足正常开展辐射工作的需要。通过落实本报告提出的各项辐射安全防护措施及辐射安全管理要求，可认为郑州比亚迪汽车有限公司从事辐射活动的能力能够满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《放射性同位素与射线装置安全条例》及《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关要求。

12.6 环保投资一览表

本项目总投资 1370 万元，其中环保投资共 80 万元，占比 5.8%。

表 12.4 本项目环保投资估算一览表

序号	类别	环保措施	投资额 (万元)
1	主体工程防护	屏蔽墙、移动防护罩等	48
2	各类安全联锁、警示标识等	防护门上张贴电离辐射警示标识，防护门外划定警戒区域：防护门上方安装工作状态指示灯，与电子加速器联锁，安装“门机联锁”“束下装置联锁”“剂量联锁”“通风联锁”装置，安装“声光报警系统”“巡检系统”“光电报警装置”“紧急停机按钮”“烟雾报警装置”等	15
3	辐射防护用品	2 套固定式辐射监测仪、2 台便携式 X-γ 辐射检测仪、10 台个人剂量报警仪、每位辐射工作人员 1 个个人剂量计等。	15
4	臭氧排风系统	通风风机、通风管道等	2
5	环保投资合计		80

12.7 竣工环境保护验收要求

根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号）规定，本项目竣工后，建设单位应按照环境保护行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，本次评价提出的竣工环境保护验收内容如下表所示。

表 12.5 竣工环境保护验收一览表

序号	要求	主要内容及要求
1	项目规模	建设电子加速器辐照机房 1 座，安装 1 台 AB2.0-50/1600 型电子加速器（最大能量 2.0MeV，最大电流 50mA）用于电缆的辐照交联。机房位于比亚迪二期工业园 54 号厂房内西北部。
2	环保手续完善	取得环评批复及辐射安全许可证，环保资料建档妥善保存。
3	项目建设情况	实际建设的内容及规模与环评文件及批复文件中描述的一致。
4	剂量限值达标	辐射工作人员及公众人员满足辐射工作人员 5mSv/a 公众人员 0.1mSv/a 的年剂量管理限值要求。
5	屏蔽能力达标	机房屏蔽体外 30cm 处辐射剂量当量率不大于 2.5μSv/h 的限值要求。
6	安全防护设施	防护门上张贴电离辐射警示标识，防护门外划定警戒区域：防护门上方安装工作状态指示灯，与电子加速器联锁，安装“门机联锁”“束下装置联锁”“剂量联锁”“通风联锁”装置，安装“声光报警系统”“巡检系统”“光电报警装置”“紧急停机按钮”“烟雾

		报警装置”等等符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）相关要求。
7	设置警示标识	警示标识的设置符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）相关要求。
8	管理规章制度	各项管理规章制度和操作规程完善。
9	事故应急预案	制定详细完整、合理可行的辐射事故应急预案。
10	落实监测计划	建立职业健康检查和个人剂量监测档案，落实环境监测计划，妥善保存各项检查报告和检测记录。
11	人员持证情况	辐射工作人员均按要求参加辐射安全与防护培训，并经考试合格。
12	监测仪器	2 套固定式辐射监测仪、辐射检测仪 2 台、个人剂量报警仪 10 台；个人剂量计 6 个（1 个/人）。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 建设内容及规模

郑州比亚迪汽车有限公司本期新增 1 台电子加速器（型号 AB2.0-50/1600，最大能量 2.0MeV，最大电流 50mA），属于 II 类射线装置。电子加速器辐照机房位于建设单位比亚迪二期工业园 54 号厂房内西北部。

本期核技术项目总投资为 1370 万元，其中环保投资为 80 万元，环保投资占总投资的比例为 5.8%。

13.1.2 产业政策相符性

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于第一类“鼓励类”第六项“核能”第 4 款“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”中的“加速器及辐照应用技术开发”，符合国家现行政策。

13.1.3 实践正当性

本项目符合国家及地方产业政策要求，本项目用于产品表面涂层的固化，目的在于提高生产效率、改善产品的相关性能，有较高的经济效益，在落实项目实施方案和本报告中提出的辐射安全防护措施及管理要求后，可以将该项目产生的辐射影响降至尽可能小，且对周围环境、工作人员、公众的辐射影响能够满足相关标准要求，项目带来的经济效益、社会效益要远大于其可能引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”的要求。

13.1.4 项目选址合理性分析

本项目机房位于比亚迪二期工业园 54 号厂房内西北部，未设置在商业楼、写字楼、商住两用楼等人群集中区。

本项目机房所在 54 号厂房为一层厂房，机房紧邻区域规划的功能区域主要为本项目操作柜和放线机工位等。

拟建电子加速器辐照机房四周 50 米范围内包括：主要为东侧并丝机工位、东南侧收线机工位、西侧物理检测室和办公室人员，北侧 52 号厂房内的工作人员、四周的流动人员等公众。

本项目电子加速器辐照机房拟采取有效的屏蔽措施,通过运营期环境影响分析对周围环境的影响是可接受的。综上所述,本项目选址合理。

13.1.5 现有核技术利用情况

建设单位现持有原郑州航空港经济综合实验区建设局(郑州市生态环境局郑州航空港经济综合实验区分局)颁发的辐射安全许可证,证号豫环辐证(A1022),有效期至:2029年1月3日,许可种类和范围为:使用 III 类射线装置,许可的核技术利用项目包括:使用 III 类射线装置 1 台。拟建新增工业 CT 应用项目处于建设阶段,已于 2025 年 3 月 10 日取得郑州航空港经济综合实验区生态环境和城市管理局(综合行政执法局)关于郑州比亚迪汽车有限公司新增工业 CT 应用项目环境影响报告表的批复(郑港辐环〔2025〕7 号)。建设单位现有辐射安全许可证正在办理变更手续,在项目使用前重新取得辐射安全许可证,建设单位现有或拟安装的射线装置均已按要求履行了环保手续。

13.1.6 辐射环境背景水平

本项目电子加速器拟选址区域中央监测点位处辐射环境质量现状监测值为 60.2nGy/h,拟建区域四周关注点的辐射环境质量现状监测值为 58.2~81.1nGy/h 之间,项目区域辐射环境背景水平,未发现异常情况。

13.1.7 环境影响分析结论

(1) 施工期

本项目在机房建设和设备安装期间,不产生 X 射线,不对周围环境带来电离辐射影响,也无放射性废物产生。施工人员产生少量生活污水,生活污水依托建设单位现有污水处理设施处理后达标排放。施工活动位于 54 号厂房内,项目建设期间时间短,产生少量的施工扬尘对项目周围大气环境影响很小。建设单位采用低噪声设备,项目施工期对周围声环境的影响很小。施工产生的建筑垃圾应集中收集外运至政府指定的建筑垃圾消纳场,严禁随意倾倒或混入生活垃圾和装修垃圾分类集中收集;生活垃圾集中收集后交由环卫部门处理,装修垃圾分类集中收集后外售或交由环卫部门处理。

(2) 运营期

本项目电子加速器在正常运行情况下,机房周围各关注点处的辐射剂量率均能够满足屏蔽体外表面 30cm 处辐射剂量率不大于 2.5μGy/h 的标准限值。

本项目电子加速器在正常运行时,单个班次的辐射工作人员受到的附加年有效剂量为 $1.05 \times 10^{-10} \text{mSv/a}$, 公众人员受到的附加年有效剂量最大为 $2.52 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$, 辐射工作人员及公众人员受到的附加年有效剂量均分别满足本次评价关于辐射工作人员 5mSv/a 、公众人员 0.1mSv/a 的年剂量管理限值。

本项目拟设 1 台排氧风机进行机械排风,排风量为 $15796 \text{m}^3/\text{h}$,项目产生的臭氧拟通过一根高度 33m 的排气筒排放(超过附近最高建筑物 52 号厂房高度 5m),臭氧排入环境大气后,经过自然分解和稀释作用 O_3 浓度迅速降低,常温下短时间内可自然分解为氧气,对周围大气环境影响可接受。

13.1.8 辐射安全管理

建设单位制定了相对完整的辐射安全与防护管理制度,建设单位从事辐射活动的的能力基本符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求。另外,针对尚不完善的管理措施,要求及时修订完善。

今后,郑州比亚迪汽车有限公司只要严格按照国家有关辐射防护规定执行,采取切实措施做好辐射防护管理工作,保障人员安全,该项目的辐射环境影响即可控制在国家允许的标准范围之内。

13.1.9 综合结论

综上所述,郑州比亚迪汽车有限公司高压电气工厂新增电子加速器辐照项目,选址合理,符合辐射防护“实践的正当性”的要求。在落实相关污染防治措施和辐射环境管理措施的前提下可以达到防护目的,项目正常运行对周围环境产生的辐射影响满足相关标准的要求。因此,从辐射环境保护的角度认为本项目建设是可行的。

13.2 建议

(1) 应尽快安排从事辐射工作的人员参加辐射安全培训工作,培训证书到期前应及时参加复训;加强对工作人员和公众成员辐射防护知识的宣传教育,增强其自身安全防护意识,防止事故发生。

(3) 每月进行系列的检查:安全联锁装置、警示系统和防护仪表等,发现问题及时解决。不得在没有启动安全防护装置的情况下强制运行射线装置,以防止辐射照射事故发生。

(4) 辐射工作人员必须正确佩戴个人剂量计,剂量计定期送检,并建立个

人剂量档案。

(5) 本项目建成投运前，应完成辐射安全许可证重新申请的工作，并及时按照相关法律法规进行竣工环境保护验收工作，编制竣工环境保护验收报告，经验收合格后方可投入正式使用。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见:

公章

经办人:

年 月 日

审批意见:

公章

经办人:

年 月 日