

目 录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	11
表 3	非密封放射性物质	11
表 4	射线装置	12
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	13
表 6	评价依据	14
续表 6	评价依据	15
表 7	保护目标与评价标准	16
表 8	环境质量和辐射现状	19
表 9	项目工程分析与源项	21
表 10	辐射安全与防护	24
表 11	环境影响分析	35
表 12	辐射安全管理	55
表 13	结论与建议	63
表 14	审 批	65
附件 1	委托书	
附件 2	监测报告	
附件 3	辐射安全许可证	
附件 4	中陕核辐照加工基地（汉中）建设项目发改备案证	
附件 5	关于汉中航空经济技术开发区产业发展规划情况的说明	
附件 6	关于同意中陕核辐照加工基地（汉中）建设项目入园开展前期工作的函	
附件 7	源强情况说明	
附件 8	关于办理环评与辐射安全许可证相关事宜	
附件 9	杨凌辐照辐射工作人员成绩合格单	
附件 10	杨凌辐照 2025 年辐射工作人员职业健康体检情况表	
附件 11	杨凌辐照 2025 年辐射工作人员个人剂量档案统计表	
附件 12	杨凌辐照 2025 年辐射环境监测报告	
附件 13	杨凌辐照辐射事故应急预案备案表	
附件 14	厂房租赁协议	
附件 15	陕西天谷药业有限公司年产 8000 吨中药材加工与物流体系项目环评批复及验收意见	
附件 16	市场主体信用承诺书	
附件 17	建设项目环境影响评价信息公开说明	
附件 18	公示截图	

表 1 项目基本情况

建设项目名称		中陕核辐照加工基地（汉中）建设项目				
建设单位		杨凌核盛辐照技术有限公司				
法人代表		李奎	联系人	吴娜	联系电话	18291808290
注册地址		陕西省杨凌示范区孟杨路 6 号				
项目建设地点		陕西省汉中市城固县柳林镇陕西天谷药业有限公司厂区内				
立项审批部门		汉中航空经济技术开发区经济科技发展局		批准文号	2509-610764-04-05-605806	
建设项目总投资（万元）		2300	项目环保投资（万元）	451	投资比例（环保投资/总投资）	19.6%
项目性质		■新建 □改建 □扩建 □其它			占地面积（m²）	230
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 建设单位概况

杨凌核盛辐照技术有限公司（以下简称“杨凌核盛”）位于陕西省国家级杨凌农业高新技术产业示范区孟杨路 6 号，正式成立于 2018 年 8 月，注册资本 2000 万元，是省属国企中陕核集团下属全资二级子公司。

目前，公司拥有国内最先进的 10MeV 大功率高能电子直线加速器、5MeV 高频高压电子加速器（X 射线辐照系统）和 0.5MeV 低能自屏蔽电子加速器，主要为陕西省及周边地区的中药、植物提取物、食品、香辛料、医疗用品、药品包装材料、保健品、果蔬农副产品等提供专业、高效、优质的辐照灭菌、杀虫、保鲜技术服务，以及材料功能化辐照改性、辐照工艺品研发制备等创新特色产品。

1.2 项目由来

为确保公司 10MeV 设备业务的稳定、维持高效益增长，基于市场开发业务体量增长及产业化科研项目产能需求。杨凌核盛辐照技术有限公司拟租赁陕西天谷药业

有限公司厂区物流库二（102）西侧库房，陕西天谷药业有限公司厂区主要建设物流库一（101）、物流库二（102）、物流库三（103）库房，原料库（104）、成品库（105）、中药饮片车间（106）及配套用房等。2018 年，陕西天谷药业有限公司委托青岛华益环保科技有限公司编制了《年产 8000 吨中药材加工与物流体系项目环境影响报告表》，2018 年 8 月 6 日，该报告表取得原城固县环境保护局批复（城环批字〔2018〕28 号）。2022 年 1 月 15 日，陕西天谷药业有限公司组织专家对该项目进行自主验收，并验收通过。目前，物流库二（102）是一个空置的标准库房（以下简称“102 库房”）。杨凌核盛辐照技术有限公司拟在 102 库房新建一条电子加速器辐照加工生产线（新增 1 台 10MeV 电子加速器），主要开展医疗器械、中药及植物提取物、食品等产品的消毒灭菌及电子元器件改性等对外技术服务及加工业务。

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《中华人民共和国放射性污染防治法》等相关法律法规规定，该项目应进行环境影响评价，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（国家生态环境部令第 16 号）和《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》（生态环境部令第 7 号）相关规定，本项目为五十五、核与辐射-172、核技术利用建设项目—“使用Ⅱ类射线装置”的核技术应用项目，应编制环境影响报告表。

为此，杨凌核盛辐照技术有限公司委托陕西中核大地实业有限公司编制该项目环境影响报告表。接受委托后，公司组织专业技术人员通过现场踏勘、收集资料等工作，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制完成了《中陕核辐照加工基地（汉中）建设项目环境影响报告表》。

1.3 编制目的

（1）通过对杨凌核盛辐照技术有限公司现有射线装置进行资料收集、调查分析，明确现有射线装置以及周边环境辐射现状，查明是否存在辐射环境问题。

（2）通过对本项目电子加速器运行过程中辐射环境影响进行理论估算，确定其对周边环境的影响范围、影响程度，分析拟采取辐射防护措施的有效性，并提出合理的意见与建议。

（3）满足国家和地方生态环境部门对建设项目环境管理规定要求，为生态环境主管部门和公司的辐射环境管理提供科学依据。

1.4 产业园规划符合性分析

2025 年 8 月 26 日，汉中航空经济技术开发区管理委员会出具“关于汉中航空经济

技术开发区产业规划情况的说明”，明确汉中航空经开区《产业规划》正在重新修编，修编后，支持医药加工、汽车零部件、电子信息和其他制造业发展，本项目属于其他制造业，符合修编后的产业规划。2026年4月15日，汉中航空经济技术开发区管理委员会出具“关于同意中陕核辐照加工基地（汉中）建设项目入园开展前期工作的函”，该项目符合园区产业规划，同意杨凌核盛辐照技术有限公司中陕核辐照加工基地（汉中）建设项目入园开展前期工作。

1.5 公司原有核技术应用项目环保手续履行情况及管理现状

本项目由杨凌核盛辐照技术有限公司（总公司）投资建设，建成后交由杨凌核盛辐照技术有限公司汉中分公司运营。汉中分公司首次开展核技术利用项目，将依托总公司的管理经验，单独申领辐射安全许可证，故本次对总公司现有的核技术利用管理现状进行分析。关于本项目办理环评与辐射安全许可证相关事宜的情况说明见附件。

1.5.1 总公司原有核技术应用项目环保手续履行情况

杨凌核盛辐照技术有限公司原有核技术利用项目环保手续履行情况见表 1-1。

表 1-1 原有核技术利用项目环保手续履行情况一览表

项目名称	建设内容和规模	环评手续	验收手续
杨凌核盛辐照技术有限公司辐照加工与技术应用综合开发一期项目	1 台 DZ-10MeV/20kW-2mA 型电子直线加速器、1 台 DD-5MeV/150kW-30mA 型高频高压型电子加速器(带 X 射线转换靶)	陕环批复(2019) 232 号	于 2020 年 9 月进行了自主验收
低能电子束辐照功能膜材料改性项目	1 台 CEB-500 低能自屏蔽电子加速器	杨管环批复(2022) 19 号	于 2024 年 6 月进行了自主验收

2023 年，杨凌核盛辐照技术有限公司向杨凌示范区生态环境局申请辐射安全许可证，批准后的许可证号为陕环辐证[02001]，许可种类为：使用Ⅱ类射线装置，许可证有效期至 2028 年 1 月 17 日。已许可射线装置统计情况见表 1-2。

表 1-2 已许可射线装置一览表

设备名称	型号	数量	加速粒子	最大能量	额定电流	用途	使用场所
电子直线加速器	DZ-10MeV/20kW-2mA	1 台	电子	10MeV	2mA	辐照加工	电子加速器辐照车间
高频高压型电子加速器(带 X 射线转换靶)	DD-5MeV/150kW-30mA	1 台	电子	5MeV	30mA		

低能自屏蔽电子加速器	CEB-500	1 台	电子	0.5MeV	120mA		
------------	---------	-----	----	--------	-------	--	--

1.5.2 总公司辐射管理现状

杨凌核盛辐照技术有限公司已成立以执行董事为组长，其他领导班子成员为副组长，各部门负责人及专兼职安全员为成员的辐射安全与环境保护领导小组，并以文件（公司字〔2024〕23 号）明确了小组成员组成以及相关工作职责，安排专人负责全公司的辐射安全管理工作。根据建设单位提供的资料，公司现有辐射工作人员、辐射管理人员 18 人，辐射工作人员、辐射管理人员均已取得“工业辐照电子加速器”核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单。公司已制定《10MeV/20kW 加速器操作规程》、《10MeV/20kW 加速器安全防护监测方案》、《安全装置定期检查与维护规章制度》、《辐射防护与安全保卫管理制度》、《辐射工作人员要求及岗位职责》、《加速器设备检修维护制度》、《人员健康及个人剂量监测管理规定》、《辐射生产人员培训考核、资格认定制度》、《射线装置使用登记、台账管理制度》、《加速器操作规程》、《加速器安全防护监测方案》、《外来参观管理规定》、《加速器辐射事故应急预案》等一系列规章管理制度，用于公司的辐射安全管理。

2025 年 8 月，杨凌核盛辐照技术有限公司委托陕西秦洲核与辐射安全技术有限公司对公司现有射线装置工作场所及周围环境进行了监测，同时出具了监测报告（报告编号：QNJC-2025-2090-FH）。监测结论：经现场防护监测，公司现有射线装置正常工况下机房外各监测点的周围剂量当量率监测结果满足《电子束辐照装置辐射安全与防护标准》（HJ979-2018）标准中“电子束辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及外区域周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h”的要求。

杨凌核盛辐照技术有限公司已给公司辐射工作人员配备了个人剂量计，定期送检，并建立个人剂量档案。根据公司 2024 年 12 月~2025 年 12 月辐射工作人员个人剂量计检测结果（检测单位：陕西秦洲核与辐射安全技术有限公司）：辐射工作人员年有效剂量<MDL，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员基本剂量限值要求。公司已安排辐射工作人员到核工业 417 医院进行年度职业健康体检，根据公司提供的 2025 年度辐射工作人员体检结果，人员均可从事放射性工作。公司根据核技术应用规模，配备 6 台个人剂量报警仪、2 台便携式 X、γ辐射检测仪、1 台便携式 X、γ辐射周围剂量当量率仪、6 件铅衣、6 副铅手套、6 副铅眼镜、6 件铅围裙、6 副铅围脖、6 件铅帽，能够满足日常需要。

2023 年 10 月，公司签署发布辐射事故应急预案，于 2023 年 11 月 9 日在杨凌示范区生态环境局进行备案。2025 年 12 月 23 日，公司执行董事组织全体人员开展了 2025 年度辐射事故应急演练，在本次现场演练过程中，留存了演练过程资料，最终编制了演练总结报告。

根据建设单位提供的资料，公司持证期间，辐射工作人员严格按照操作规程操作，定期对辐射安全设施进行检查，发现异常及时处理，公司各项规章制度执行效果良好。公司每年委托有资质单位对辐射工作场所及周边环境监测一次，辐射工作人员定期开展日常监测，监测记录存档备查，目前公司不存在现有环境问题。

1.6 项目概述

1.6.1 项目简况

项目名称：中陕核辐照加工基地（汉中）建设项目

建设单位：杨凌核盛辐照技术有限公司

建设地点：陕西省汉中市城固县柳林镇陕西天谷药业有限公司厂区内

建设内容：新增 1 台 10MeV 电子加速器（属于Ⅱ类射线装置），用于医疗器械、中药及植物提取物、食品等产品的消毒灭菌及电子元器件改性

1.6.2 项目交通地理位置图

陕西天谷药业有限公司北侧为加油站、居民房和空地；东侧、南侧均为空地；西侧为智能机加产业园，交通便利，距 G108 国道约 100m。项目所在地交通地理位置图见图 1-1，四邻关系图见图 1-2。



图 1-1 项目所在地交通地理位置图

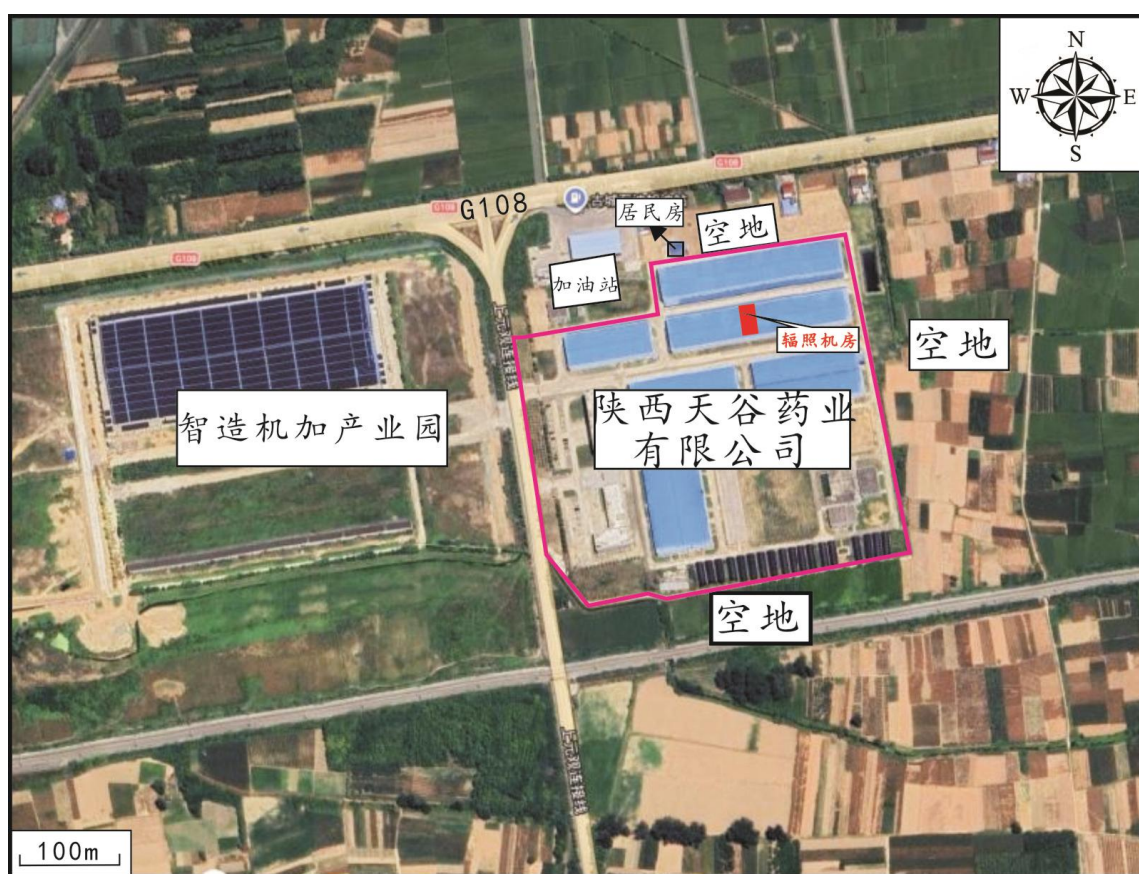


图 1-2 厂区四邻关系图

1.6.3 总平面布置图

陕西天谷药业有限公司厂区包括物流库一（101）、物流库二（102）、物流库三（103）库房，原料库（104）、成品库（105）、中药饮片车间（106）及配套用房等，本项目位于 102 库房西侧，陕西天谷药业有限公司厂区总平面布置图见图 1-3。

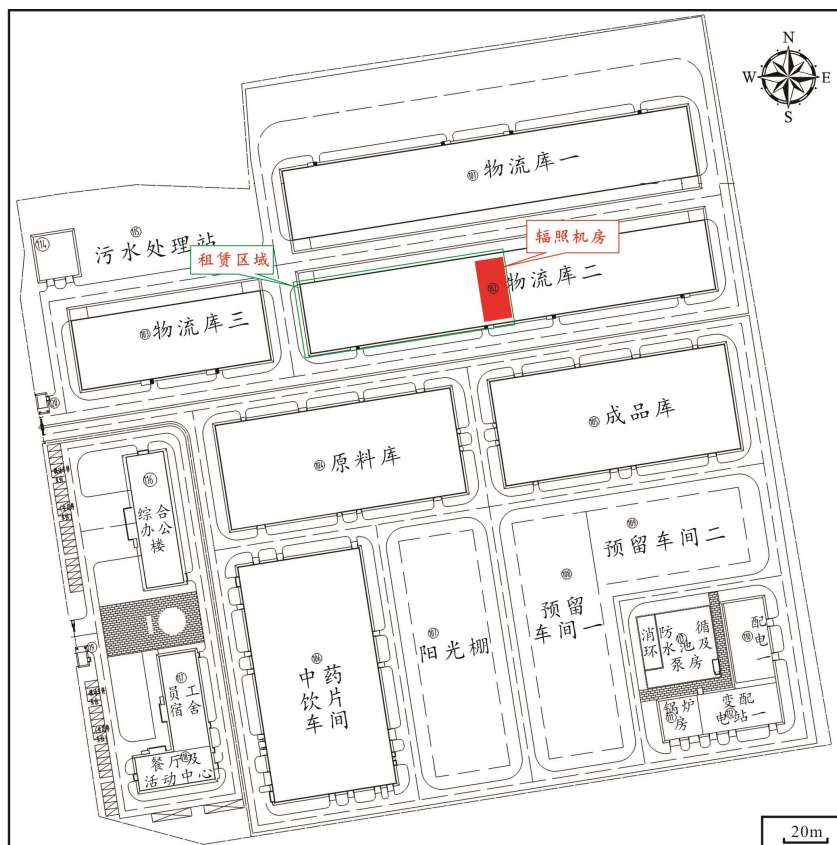


图 1-3 厂区总平面布置图

102 库房包括库房（储存中药材）、电子加速器辐照机房、产品已辐照区、产品未辐照区和客服中心等，本项目新增 1 台 10MeV 电子加速器，位于 102 库房中部，102 库房总平面布置图见图 1-4。

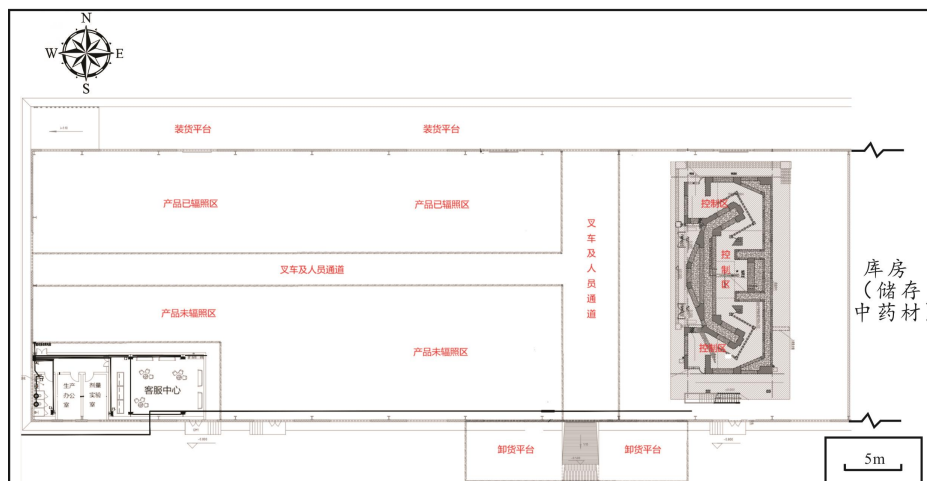


图 1-4 102 库房总平面布置图

1.6.4 本次环评内容与规模

(1) 射线装置相关参数

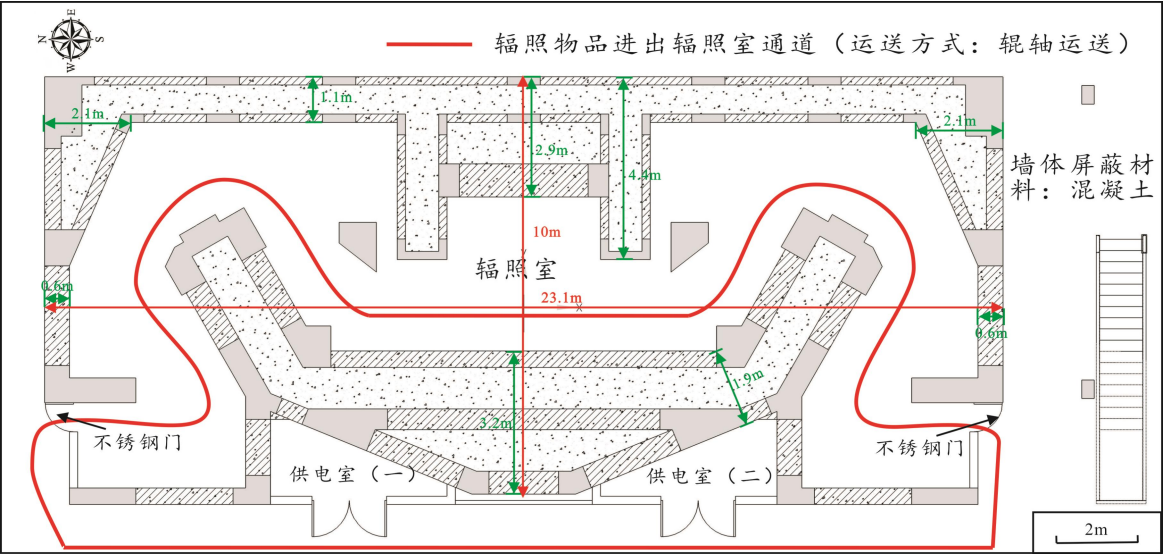
为满足陕西现有辐照加工业务的需求，杨凌核盛辐照技术有限公司拟在陕西天谷药业有限公司厂区 102 库房西侧内新建一条电子加速器辐照加工生产线（包括一台 10MeV 电子加速器生产装置及其附属设施）。本项目新增射线装置参数详见表 1-3。

表 1-3 本项目新增射线装置参数一览表

设备名称	型号	数量	加速粒子	最大能量	额定电流	用途	使用场所
工业电子加速器	WK-DZ-10/20	1 台	电子	10MeV	2mA	辐照加工	加速器辐照机房

(2) 射线装置所在机房平面布置情况

本项目 10MeV 工业电子加速器安装位置位于辐照机房，一层为辐照室、供电室，二层为主机室、控制室、水冷恒温室和电气设备室。一层辐照室、二层主机室平面布局图分别见图 1-5、图 1-6，剖面图见图 1-7。



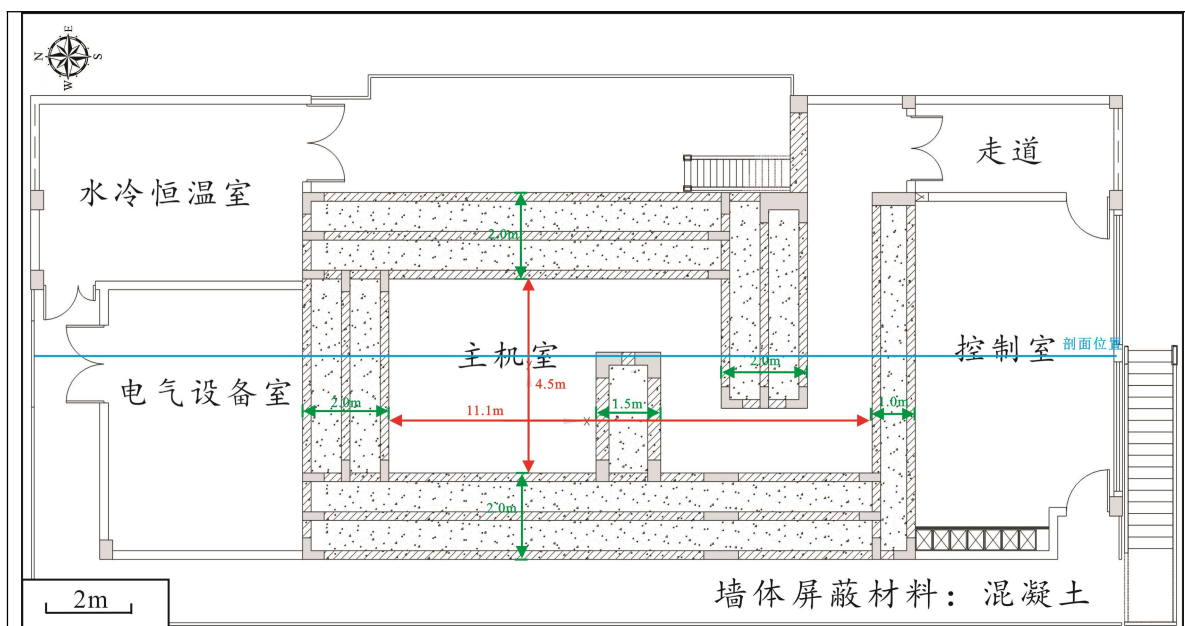


图 1-6 二层主机室平面布局图

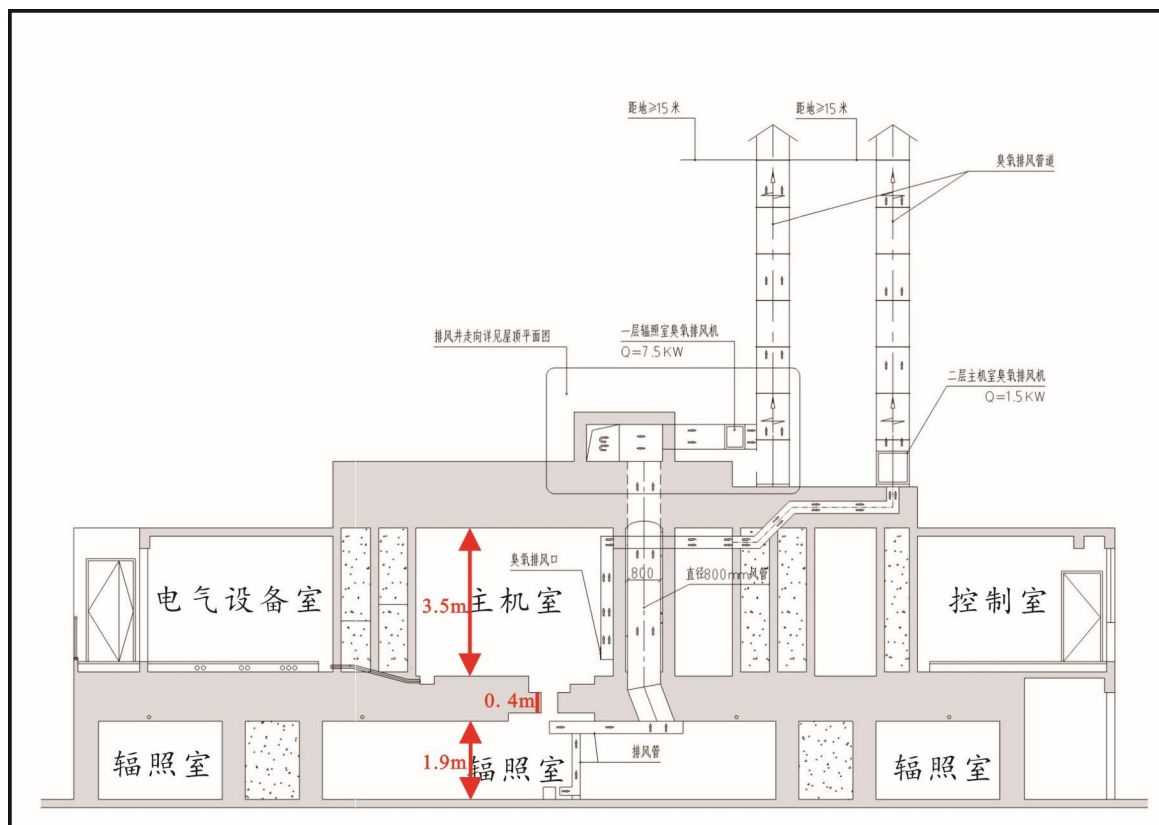


图 1-7 剖面图

(3) 工作制度及劳动定员

本项目拟配备 4 名辐射工作人员（1 人兼管理人员），搬运人员 5 名，均为新增人员。一天 2 班，每班工作时间 8 小时，年工作天数 300 天。

1.7 选址合理性分析

根据现场踏勘，本项目辐照机房所在 102 库房北侧为陕西天谷药业有限厂区 101

库房，东侧为空地，南侧为厂区 104、105 库房，西侧为厂区 103 库房，可见辐照机房所在位置周边常驻人员较少，有效避免人员聚集区域。本项目评价范围内不涉及居民居住区，周边没有学校等环境敏感目标，在采取有效的辐射防护屏蔽措施后，对周围环境影响较小，选址合理。

1.8 产业政策及实践正当性分析

经对照《产业结构调整指导目录（2024 年）》，本项目属于“第一类 鼓励类”中“六、核能，4、同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目。项目的建设符合国家产业政策的要求，属于鼓励类项目。

本项目实施的最终目的是为了对医疗器械耗材、药品、保健品等进行辐照消毒灭菌，电子元器件改性提高产品的性能，具有良好的经济效益与社会效益。经采取辐射屏蔽防护和安全管理措施后，其对受电离辐射照射的个人和社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”的原则。

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/								
/								
/								
/								

表 3 非密封放射性物质

序	核素	理化	活动	实际日最大	日等效最大	年最大用量	用途	操作	使用场所	贮存方式
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/										
/										
/										
/										

表 4 射线装置

（一）加速器：包括军用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 mA	用途	工作场所		备注
1	工业电子加速器	II 类	1	WK-DZ-10/2 0	电子	10	2	辐照 加工	电子加速器辐照机房		新增

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊和治疗、分析等用途

序	名称	类别	数	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、氮氧化物	气态	/	/	/	少量	/	/	通过机械排风系统引至辐照机房的楼顶高空排放
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/								

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 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》，2015 年 1 月 1 日； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2003 年 9 月 1 日；第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十一次会议（一次修正），2016 年 7 月 2 日；第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议（二次修正），2018 年 12 月 29 日； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日； (4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 253 号发布，1998 年 11 月 29 日；国务院第 682 号令《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》修订，2017 年 10 月 1 日； (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院第 449 号令，2005 年 12 月 1 日；国务院令第 709 号（修订），2019 年 3 月 2 日； (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，国家环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日； (7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，国家环境保护总局第 31 号令，2006 年 3 月 1 日施行；环境保护部第 3 号令《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》第一次修正，2008 年 12 月 6 日施行；根据环境保护部第五次部务会议关于修改部分规章的决定第二次修正，2017 年 12 月 20 日；环境保护部第 7 号令第三次修正，2019 年 8 月 22 日；生态环境部令第 20 号令，2021 年 1 月 4 日； (8) 关于发布《射线装置分类》的公告，国家环保部、国家卫生和计划生育委员会总局 2017 年第 66 号公告，2017 年 12 月 5 日； (9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环保部第 16 号令，2021 年 1 月 1 日； (10) 《陕西省放射性污染防治条例》，陕西省第十三届人民代表大会常务委员会第十二次会议《关于修改〈陕西省产品质量监督管理条例〉等二十七部地方性法规的决定》第二次修正，2019 年 7 月 31 日； (11) 关于印发新修订的《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知，陕西省环境保护厅办公室陕环办发[2018]29 号文，2018 年 6 月 6 日；
------	---

续表 6 评价依据

法规文件	(12) 《产业结构调整指导目录(2024 年)》，2024 年 2 月 1 日； (13) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2021 第 9 号公告，2021 年 3 月 15 日； (14) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》环办辐射函〔2016〕430 号。
技术标准	(1) 《建设项目环境影响评价技术导则总纲》(HJ 2.1-2016)； (2) 《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)； (3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)； (4) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)； (5) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)； (6) 《电子束辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)。
其他	(1) 环境影响评价委托书； (2) 建设单位提供的其他资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

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》（HJ 10.1-2016），本项目评价范围为：10MeV 工业电子加速器所在屏蔽体外 50m 区域。评价范围如图 7-1 所示。

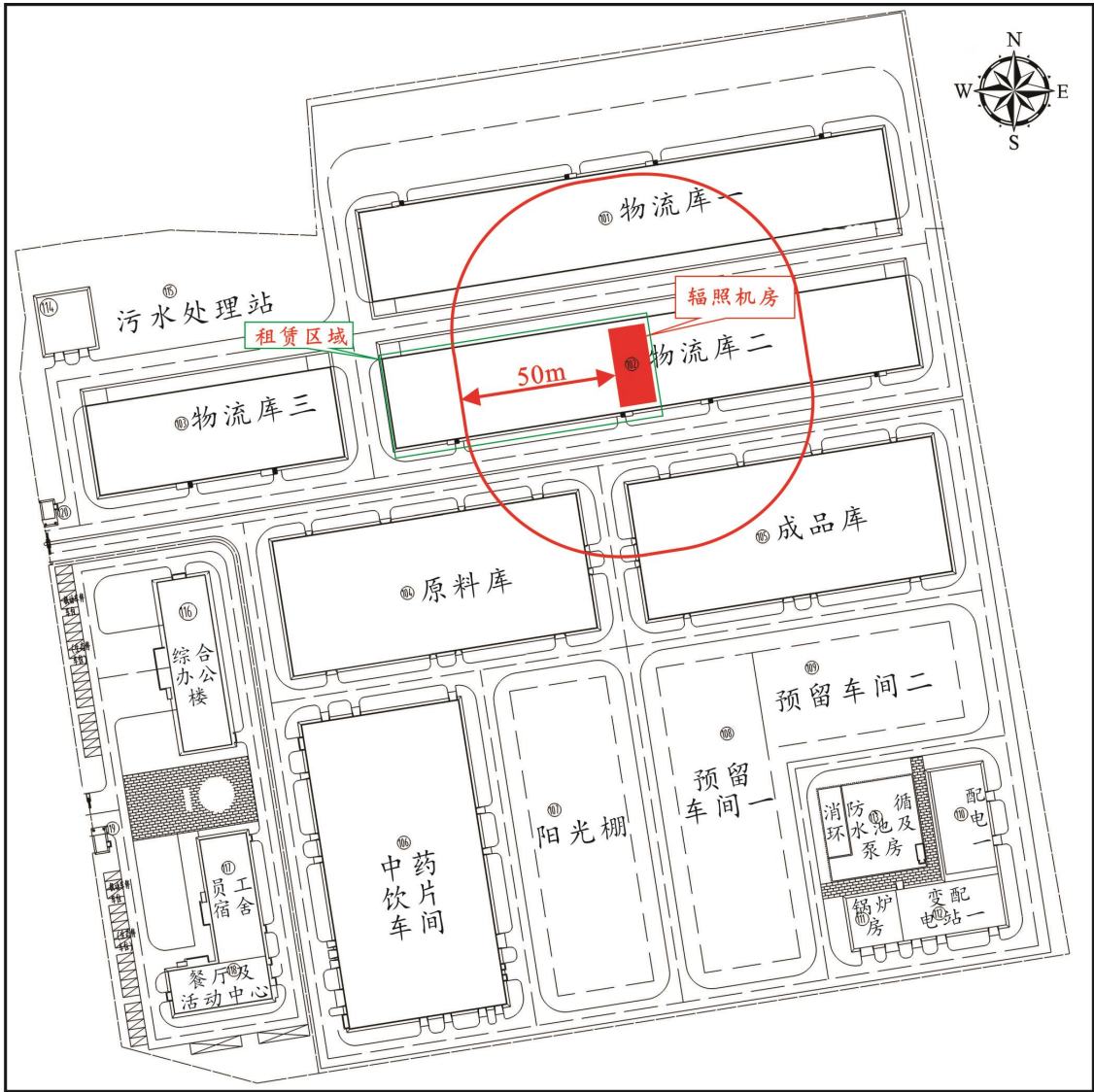


图 7-1 本项目评价范围图（50m）

7.2 保护目标

根据本项目射线装置所在 102 库房总平面布置图（图 1-4）、一层辐照室平面布局图（图 1-5）、二层主机室平面布局图（图 1-6）及评价范围图（图 7-1），考虑人员长时间居留情况，确定本项目环境保护目标为：10MeV 工业电子加速器职业人员和周边停留的公众，使其所接受的剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的剂量限值和本次评价提出的剂量约束值。

本项目环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目主要环境保护目标

序号	类别	方位	保护对象	规模(人)	最近距离(m)	年有效剂量控制水平
1	职业人员	主机室南侧、加速器机房周边巡界	辐射工作人员、管理人员	4	0.3	$\leq 5\text{mSv}$
2	公众	辐照室西侧	供电室人员	约 1	0.3	$\leq 0.1\text{mSv}$
3			搬运人员	约 5	0.3	$\leq 0.1\text{mSv}$
4		辐照室北侧	物流库一人员	约 5	19	$\leq 0.1\text{mSv}$
5		辐照室南侧	原料库、成品库人员	约 16	23	$\leq 0.1\text{mSv}$
6		辐照室楼上	走廊、电气设备室、水冷恒温室人员	约 1	0.3	$\leq 0.1\text{mSv}$
7		辐照机房屏蔽体外短时间滞留的其它工作人员或公众			0.3~50	$\leq 0.1\text{mSv}$

备注：1、表中“距离”均以电子加速器屏蔽体外表面进行计算；

2、客服中心超出 50m 评价范围。

7.3 评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关内容

标准附录 B 剂量限值 and 表面污染控制水平：

B1.1.1.1 条规定：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：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 ；

B1.2.1 规定：实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估算值不应超过下述限值：年有效剂量， 1mSv 。

二、《电子束辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）

（1）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。在电子束辐照装置的工程设计中，辐射防护的剂量约束值规定为：辐射工作人员年有效剂量为 5mSv ；公众成员年有效剂量为 0.1mSv 。

本项目职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a ，公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a 。

（3）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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。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。

电子束辐照装置的安全设计：

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捷式辐照监测报警仪相连。在运行中该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用；

②门机连锁。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。电子束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，并与电子束辐照装置联锁；

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，遇到火险时，加速器应立即停机并停止通风。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置及场所位置			
8.1.1 项目地理位置			
项目交通地理位置见图 1-1。			
8.1.2 项目场所位置			
本次拟在陕西天谷药业有限公司 102 库房中部新增 1 台 10MeV 工业电子加速器，102 库房厂房总平面布置图见图 1-4。			
8.2 辐射环境现状			
为说明项目所在地辐射环境现状，2026 年 4 月 15 日，公司委托陕西秦洲核与辐射安全技术有限公司对项目所在地及周边环境进行了γ辐射剂量率监测，监测内容如下：			
(1) 监测项目：γ辐射剂量率；			
(2) 监测仪器型号：剂量率仪（FH40G-X+FHZ672E-10），仪器设备编号：主机：QNJC-YQ-010，检定单位：中国测试技术研究院，检定证书编号为：202603100400，检定有效期：2027 年 3 月 3 日；			
(3) 仪器测量范围：1nSv/h～100μSv/h；			
(4) 质量保证			
① 结合现场实际情况，在项目拟建场地布设监测点位，充分考虑监测点位的代表性和可重复性，以保证监测结果的科学性和可比性；			
② 严格按照《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）进行监测；			
③ 测量仪器每年定期经有资质计量部门检定，检定合格后方可使用；			
④ 监测结果经三级审核，保证监测数据的准确。			
项目所在地及周边环境γ辐射剂量率监测结果见表 8-1，监测点位图见图 8-1。			
表 8-1 项目所在地及周边环境γ辐射剂量率监测结果 单位：μGy/h			
序号	监测点位描述	γ辐射剂量率	
		均值	标准偏差
1	项目区域中心	0.039	0.001
2	项目区域西侧	0.040	0.001
3	不合格品库	0.081	0.001
4	项目区域东侧	0.044	0.001

5	物流库一	0.037	0.001
6	原料库	0.047	0.001
7	成品库	0.035	0.001
8	项目区域北侧	0.069	0.001
9	项目区域南侧	0.066	0.001

备注：表中结果已扣除仪器对宇宙辐射响应值；

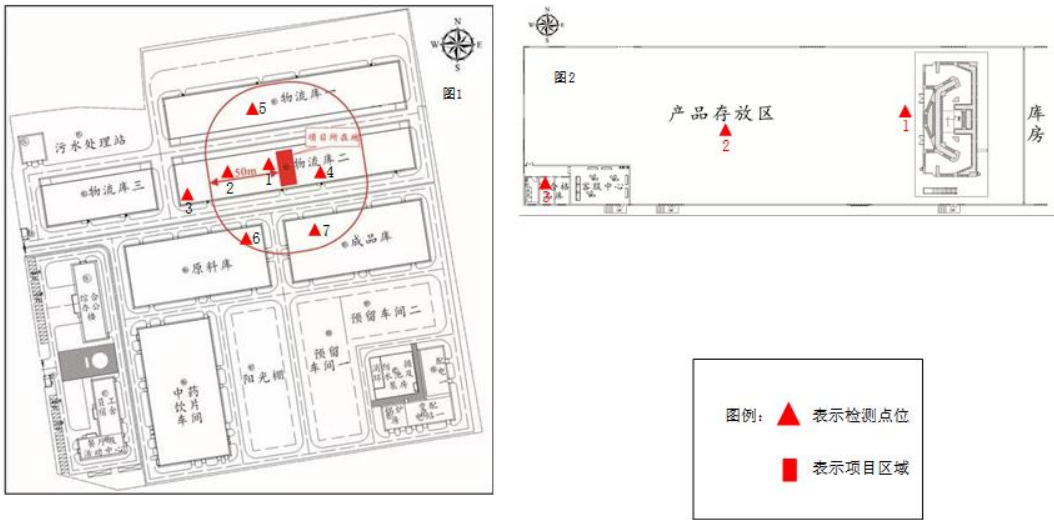
表 8-2 汉中市γ辐射剂量率调查结果（nGy/h）

项 目	原 野	道 路	室 内
范围	33~89	29~128	62~154
均值	58	60	93
标准差	13	20	19

备注：1、表中均值、标准差结果均是按点平均；

2、数据来源：《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年）。

监测结果可知，项目所在地及周边环境γ辐射剂量率为 0.035~0.081μGy/h，与《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年）中汉中市γ辐射剂量率调查结果（29~154nGy/h）相当。可见项目所在地辐射环境质量现状较好。



备注：图 2 为图 1 物流库二的内部放大图。

图 8-1 项目所在地及周边环境γ辐射剂量率监测布点图

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工作原理及组成

电子枪的灯丝被加热，在电子枪灯丝的烘烤下，钨钨阴极蒸发出大量的电子，这些电子在电子枪高压电位差作用下进入线性的加速结构构成的加速管，在电子束的传输过程中，当加速结构的谐振频率与速调管产生的射频(RF)振荡频率匹配时，脉冲微波功率将无反射地由加速管前部的耦合器输入。微波高频电磁场使电子束在加速结构中不断地获得微波电磁能而使电子束得到聚束和加速，最后加速的高能、高功率的电子束从加速器出口输出，进入扫描空间，利用电磁力将成束的电子扫成一定的宽度，从薄的金属钛膜构成的输出窗引出，对运动中的被照物进行辐照，由于高能量的电子束有很强的穿透能量，能够使被照射物体的分子或原子结构发生变化，尤其对微生物有很强的杀灭作用，从而达到消毒灭菌的目的，而被照物辐照后还会不会残留任何放射性物质，其产生的辐射束集中，能量利用率高、穿透性强，常温下高能射线束可使活的细菌、霉菌、真菌的数量减低到百万分之一，能够辐照密封的包装产品，杀灭内部微生物。且密封包装产品经辐照灭菌后可长期保存，不会再被二次污染，没有化学残留及感生放射性。

本项目加速器的工作原理为：脉冲变压器产生的脉冲频率，传入电子枪，电子枪发射脉冲频率一致的脉冲电子。加速管由经速调管产生的微波功率在腔体内形成行波场，当脉冲电子进入加速管后，通过行波场进行加速使其成为高能电子束，再经扫描系统把高能电子束变成电子束带，当辐照产品经由传输系统传送到扫描窗下，高能电子将穿透产品杀灭货物所携带的细菌，达到灭菌的目的。聚焦系统提供适当强度的磁场约束电子防止电子散掉；恒温系统是让整个系统保持其工作在适宜的温度中；真空系统保证电子枪，加速管，扫描系统为真空状态。

本项目 WK-DZ-10/20 型工业电子加速器主要电子发射系统、电子加速系统、束流整定系统、束流输出系统、控制系统、恒温冷却系统等组成。

电子发射系统是加速器的电子源，它产生一定能量、流强和形状要求的电子束，并进入加速管进行加速。

电子加速系统是电子在其中成束并被加速的部件。它需要在高真空环境中稳定可靠地建立一个均匀的高梯度直流加速电场。加速管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。

束流整定系统用一定的电磁场引导和约束被加速的粒子束，使它沿着一定的轨道

加速。

束流输出系统包括输出导向、束流感应圈及漂移管，输出导向用于引导加速后的电子准确地进入束流测量感应圈和扫描系统，束流感应圈用来检测加速器输出脉冲束流。

建设单位安装的电子加速器主要部分在二层的主机室内，束流输出系统位于加速器装置机身正下方，通过二层地板伸向一层的辐照室。而接受辐照的物品通过自动传送系统从辐照室一侧入口经迷道进入辐照室，到达束流输出系统正下方的电子束有用线束范围内进行辐照，之后又经过迷道从辐照室另一侧出口离开辐照室。

工业电子加速器结构示意图见图 9-1。

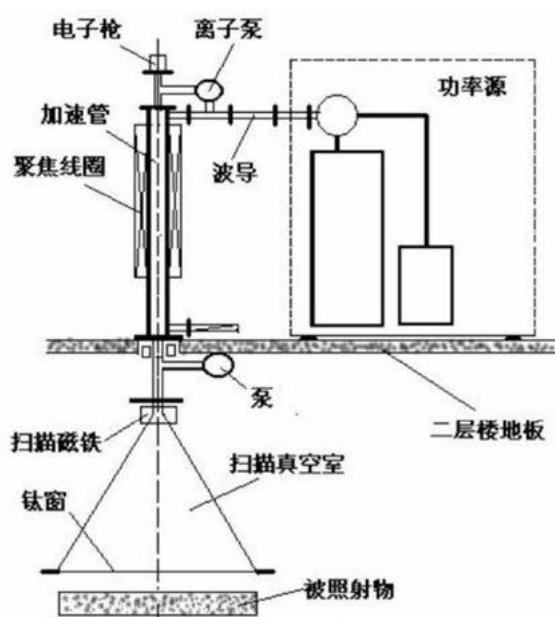


图 9-1 工业电子加速器结构示意图

9.2 操作流程及产污环节

本项目工作流程为：

（1）建设单位接到客户送来的待辐照产品后，准备启动电子加速器系统，启动前检查通风系统、冷却水系统等是否正常；供电系统及安全联锁系统是否完好；相应的安全防护设施是否运行正常，并做好相应记录。辐射工作人员进入辐照室、主机室，按从迷道入口至出口行走线路，依次按下巡检按钮，巡查有无人员停留。辐照室、主机室内的所有巡检按钮按顺序按动一遍，确认无人员停留，关闭门后，加速器才能正常启动。

（2）搬运工将待辐照产品搬上传输系统。

（3）控制室的辐射工作人员根据客户要求的辐照剂量设定辐照功率和束下线的

传输速度，进行辐照，此时会产生电子束、X射线、臭氧（O₃）、氮氧化物（NO_x）。

（4）根据设定的辐照计划接受足够的辐照剂量后，由束下传输系统将已辐照产品运出辐照室，搬运工将产品搬下，质检员进行质检，验收不合格的产品重返辐照系统进行再次辐照；验收合格的出具合格证，送至产品已辐照区暂存，等待运出。本项目主要为客户提供的产品进行辐照，基本不产生废弃的被辐照产品，因特殊情况产生废弃的被照射物时，由客户进行回收。

加速器辐照工艺流程及产污环节图见图 9-2。

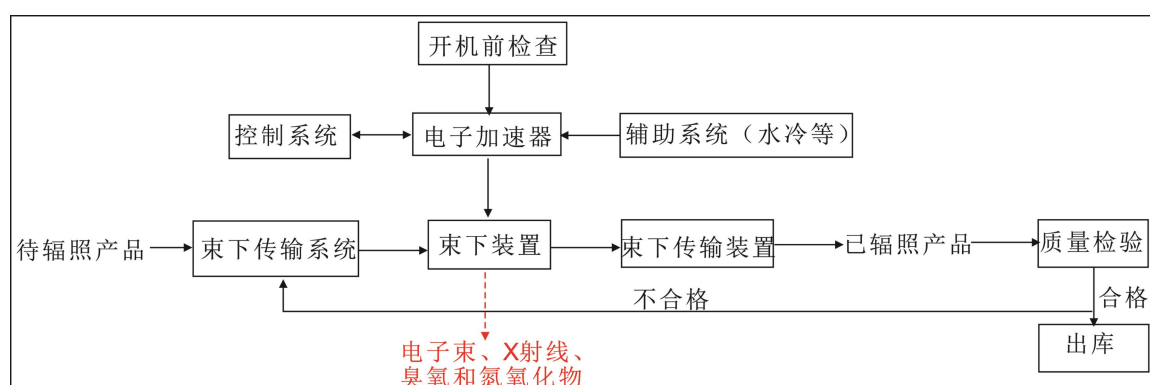


图 9-2 本项目加速器辐照工艺流程及产污环节图

9.3 污染源项描述

（1）电子束、X射线

电子加速器在进行辐照时电子枪发射电子，电子经加速管加速并经扫描扩展成为均匀的有一定宽度的电子束。电子在加速过程中，部分电子会丢失，它们打在加速管壁上，产生X射线，对加速器屏蔽体周围产生一定的辐射影响。此外，电子束打到机头及其他高Z物质时也会产生高能X射线，高能X射线的贯穿能力极强，会对加速器屏蔽体周围环境造成辐射污染。加速器在运行时产生的高能电子束，其贯穿能力远弱于X射线，在X射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器开机辐照期间，X射线辐射为项目主要的污染因素。

（2）臭氧和氮氧化物

电子束装置在通电出束过程中，屏蔽体内的空气在强电离辐射的作用下，会产生一定量的臭氧和氮氧化物。电子束装置屏蔽体在良好通风条件下，臭氧和氮氧化物很快弥散在大气环境中，臭氧在常温下可自行分解为氧气。根据建设单位提供的资料，电子束装置外接专用排风管道，经管道收集后高空排放。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目布局 本项目辐照机房位于陕西天谷药业有限公司厂区 102 库房中部，由两层组成，一层为辐照室、供电室；二层为主机室、控制室、水冷恒温室、电气设备室等。辐照机房下方为实土层，上方为厂房顶棚。 加速器工作时，设备操作人员位于二层的控制室设置加速器参数并监控加速器运行情况。加速器出束时，辐照室及主机室内均无人员停留。因此，本项目辐照机房布局设计合理可行。 10.2 项目分区原则及区域划分 为了便于加强管理，切实做好辐射安全防护工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求将辐射工作场所划分控制区和监督区。 控制区：把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。 监督区：未被定为控制区，通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。 本项目拟划分控制区及监督区如下： 控制区：一层辐照室、二层主机室，加速器出束运行时，任何人不得进入控制区； 监督区：一层供电室及机房西侧上下货区域；二层的控制室、水冷恒温室、电气设备室等区域。 辐照机房一层分区示意图见图 10-1。辐照机房二层分区示意图见图 10-2。

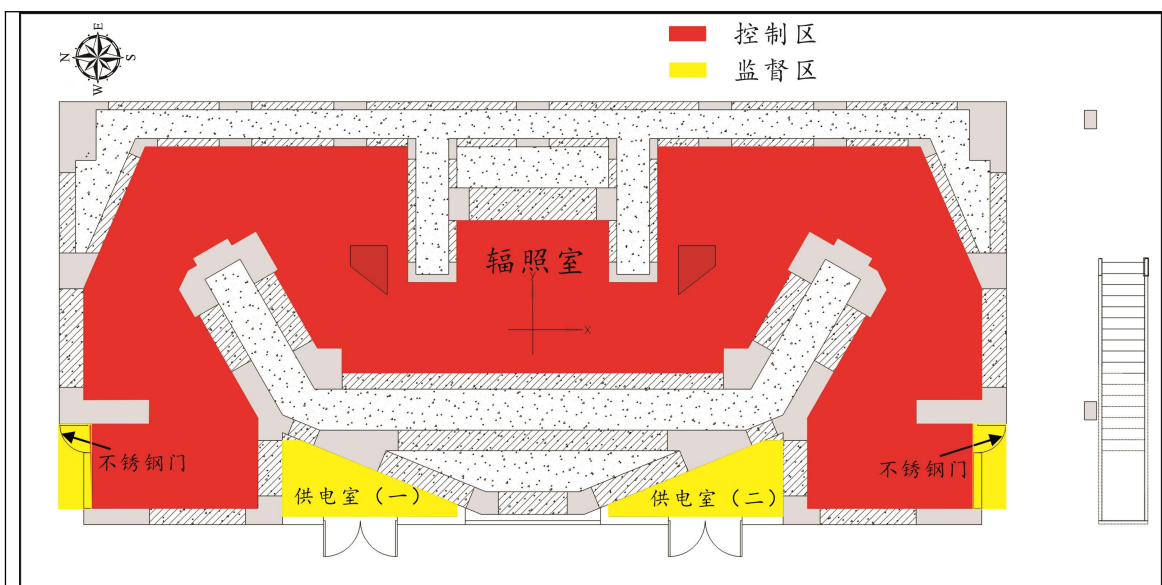


图 10-1 辐照机房一层分区示意图

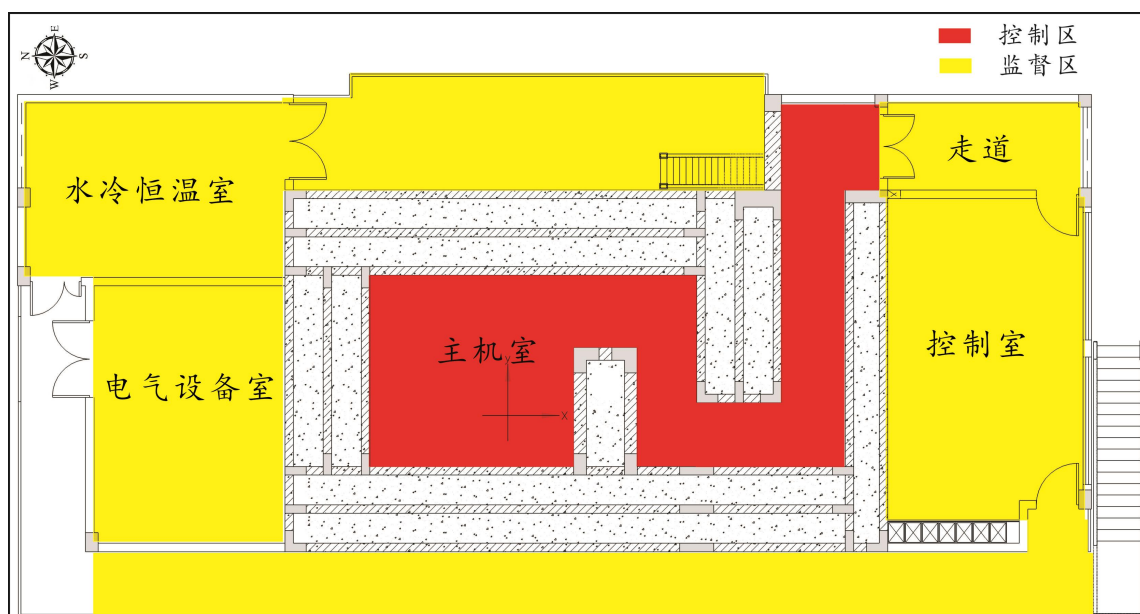


图 10-2 辐照机房二层分区示意图

10.3 辐射防护屏蔽设计

根据建设单位提供的设计资料，辐照机房的主要设计参数如下：

一层辐照室：辐照室内辐照区南北宽 3.7m，东西长 3.65m，净高 1.9m。辐照区域南侧、北侧各设置有“S”型迷道，呈南北对称布置迷道，迷道最窄处约 1.68m，最宽处约 4.0m，高约 1.9m。辐照室各墙体及迷道均为混凝土结构，辐照室容积约为 205m³（不含迷道）。辐照室东墙为 1.1m 厚混凝土，辐照区域进行加厚屏蔽设置，屏蔽厚度为 2.9m-4.4m；南墙、北墙为 0.6m-2.1m 厚混凝土；西墙为 1.9m-3.2m 厚混凝土，辐照室室顶为 1.1m 厚混凝土结构。迷道外口安装不锈钢门并留出进出

货空间（不锈钢门仅做隔离用，防止人员误入、无防护作用），加速器运行时，该门上锁，由辐射工作人员保管钥匙，避免无关人员进入。且根据下文计算，迷道外口处辐射剂量率已满足限值要求，可见，不锈钢门外的辐射剂量率也满足限值要求。

二层主机室：主机室南北长 11.1m，东西宽 4.5m，净高 3.5m，主机室西墙、北墙、东墙均为 2m 厚混凝土结构，南墙为 1m 厚混凝土结构，迷道分别为 1.5m、2.0m 厚混凝土结构，室顶为 1.5m 厚混凝土结构。机房净面积为 34.65m²，有效容积为 166m³（不含迷道）。迷道外口设有不锈钢门，设有门机联锁，加速器运行时，该门上锁，由辐射安全领导小组管理人员保管钥匙，避免无关人员进入。

表 10-1 本项目 10MeV 工业电子加速器机房屏蔽设计参数

位置	屏蔽墙体	加速器机房屏蔽材料及厚度
辐照室	东墙	1.1m 厚混凝土，辐照区域进行加厚屏蔽设置，屏蔽厚度为 2.9m-4.4m
	南墙、北墙	0.6m-2.1m 厚混凝土
	西墙	1.9m-3.2m 厚混凝土
	室顶	1.1m 厚混凝土结构
	出入口	不锈钢门
主机室	西墙、东墙、北墙	2.0m 厚混凝土
	南墙	1.0m 厚混凝土
	迷道	分别为 1.5m、2.0m 厚混凝土结构
	室顶	1.5m 厚混凝土
	门	不锈钢门

备注：混凝土密度 $\geq 2.35\text{g/cm}^3$ 。

10.4 辐射安全防护措施

（1）钥匙开关：本项目设置钥匙开关，从控制台上取出该钥匙，加速器自动停机。该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：本项目加速器机房主机室、辐照室不锈钢门均设计有门机联锁装置，门与束流控制和加速器高压联锁，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将自动停机；

（3）束下装置联锁：本项目设计有束下装置联锁，电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制建立有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，加速器将自动停机；

（4）信号警示装置：辐照室南侧、北侧迷道入口处，南、北墙中间位置共设置 4 个声光报警装置，主机室入口处、迷道内共设置 3 个声光报警装置，用于开机

前对主机室和辐照室内人员的警示；主机室门、辐照室东墙中间位置各设置 1 个工作状态指示灯；辐照室、主机室不锈钢门外均设置电离辐射警告标志；

（5）巡检按钮：本项目辐照机房辐照室南侧迷道入口处、南墙中部、东墙南侧、东墙北侧、北墙中部、北侧迷道入口处共设置 6 个巡检按钮；主机室迷道入口、迷道内墙、北墙中部等共设置 4 个巡检按钮。按照上述顺序巡检后，在 1 分钟内关门，在 1 分钟内未关门，巡检无效，重新巡检；

（6）防人误入装置：本项目加速器机房辐照室迷道入口（南侧、北侧）处各设置 3 道防人误入光电装置，主机室迷道入口处设置 3 道防人误入光电装置，并与加速器的开、停机联锁，加速器运行时若有人或动物经过，加速器将立刻停止照射；

（7）急停装置：本项目加速器机房辐照室沿迷道口、南墙、西墙、北墙距地面约 1.2m 处设置拉线开关；主机室沿迷道口、北墙、西墙、南墙、东墙及迷道内墙距地面约 1.2m 处设置拉线开关，以便在辐照室或主机室内有人误留时，可迅速按动拉线开关，停止加速器出束。此外，在辐照室南侧迷道入口处、南墙中部、西墙南侧、西墙北侧、北墙中部、北侧迷道入口处共设置 6 处紧急停机按钮，主机室迷道入口、迷道内墙、北墙中部共设置 4 处紧急停机按钮，控制台设置 1 处紧急停机按钮，实现在紧急情况下的停机；所有紧急停机按钮均设置指示标志，且对其使用方式方法附说明指示。辐照室迷道入口处（南侧、北侧）共设置 2 处紧急开门装置，主机室迷道入口处设置 1 处紧急开门装置，以便于紧急情况下人员离开控制区；

（8）剂量联锁：本项目加速器机房辐照室迷道入口处（南侧、北侧）、主机室迷道入口处、控制室内、电气设备室共设置 5 处固定式剂量探测器，并与辐照室和主机室的出入门联锁。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：本项目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。此外，本项目辐照室、主机室迷道内共设置 3 处臭氧温湿度检测仪，可检测辐照室及主机室内温湿度和臭氧浓度。加速器停机后，达到预定的时间且室内臭氧浓度低于允许值后，主机室、辐照室的门才允许打开；

（10）烟雾报警：本项目加速器机房辐照室共设置 2 处烟感报警探测器，遇有火险时，加速器应立即停机并停止通风；

（11）紧急出口指示：加速器机房辐照室及主机室出口处（疏散通道和主要疏

散路线的地面上或靠近地面的墙上)设置紧急出口指示,便于人员在紧急情况下及时识别疏散位置和方向,指引人员顺利离开;

(12) 应急照明:加速器机房主机室、辐照室、控制室设置应急照明系统,应急照明设备应定时检验,保证在停电及应急情况下及时、稳定达到照明的效果;

(13) 其他安全防护措施:本项目加速器机房辐照室的南侧迷道入口处、南侧迷道内、辐照区域南侧、辐照区域北侧、北侧迷道内、北侧迷道入口处,主机室迷道内、主机室内均安装监控摄像头,显示屏位于控制室控制台上。本项目摄像头的安装位置可实时观察辐照室、主机室内全区域情况,监视系统设置较合理。

本项目加速器设备自带安全联锁为钥匙开关及束下装置联锁,其他安全防护设施均为新建。本项目采取钥匙开关、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,如在辐照室迷道内设置了三道防误入光电,符合辐射安全要求中的“冗余性原则”;本项目拉线开关、门机联锁、剂量探测器等辐射安全设施涉及不同的运行原理和元器件等,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”。

综上所述,本项目辐射安全设施及联锁系统设计能够满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)的相关要求及辐射安全防护需求;加速器机房外安全设施可控制加速器的出束或停束。只有在所有安全设施都处于正常工作状态时射线源才可出束,任意一个安全设施不正常,射线源不能出束或立即停止出束,因此本项目的辐射安全系统的设计具有可行性,能够保障工作人员免受意外照射。

本项目一层辐照室、二层主机室辐射安全设施图分别见图 10-3、图 10-4,安全联锁逻辑关系图见图 10-5。

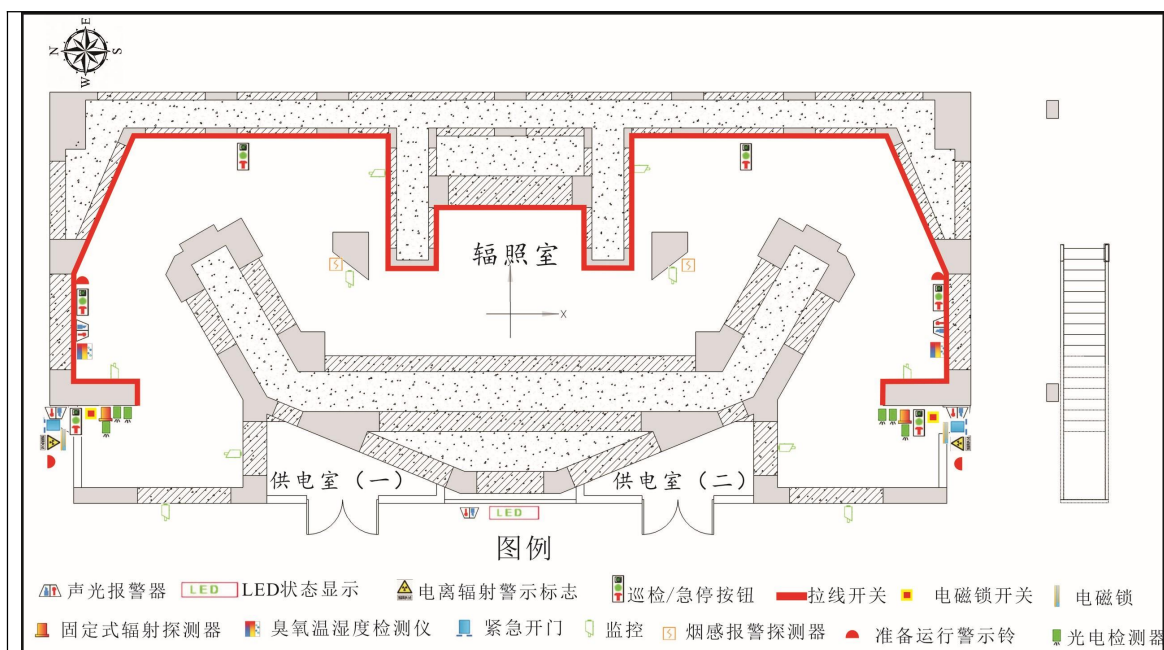


图 10-3 一层辐照室辐射安全设施图

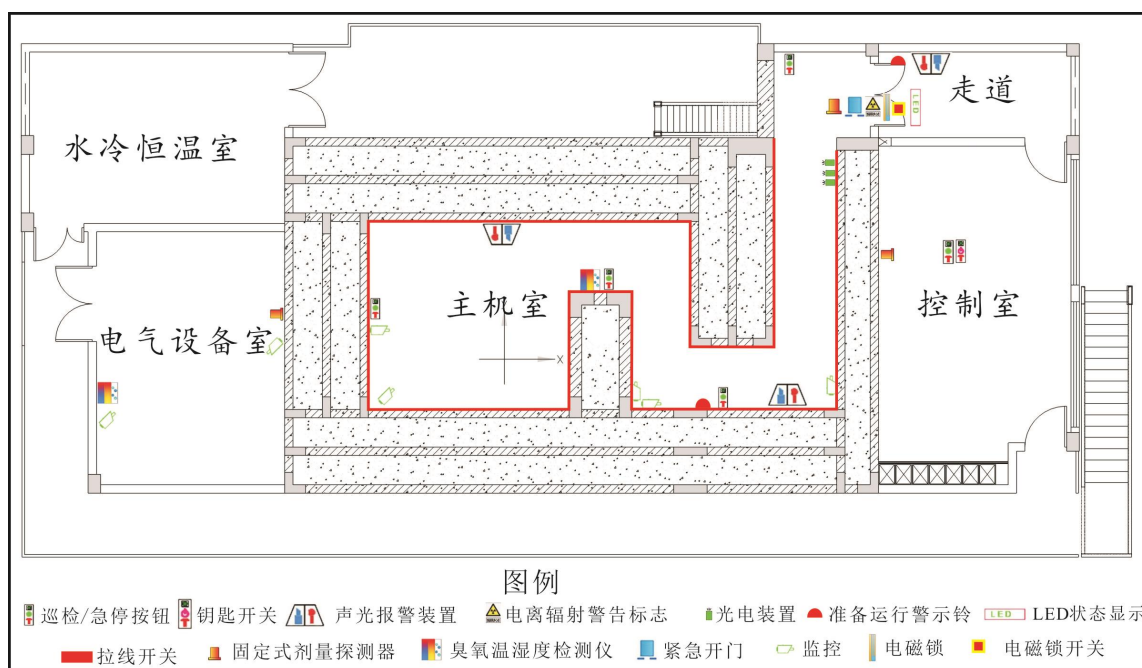


图 10-4 二层主机室辐射安全设施图

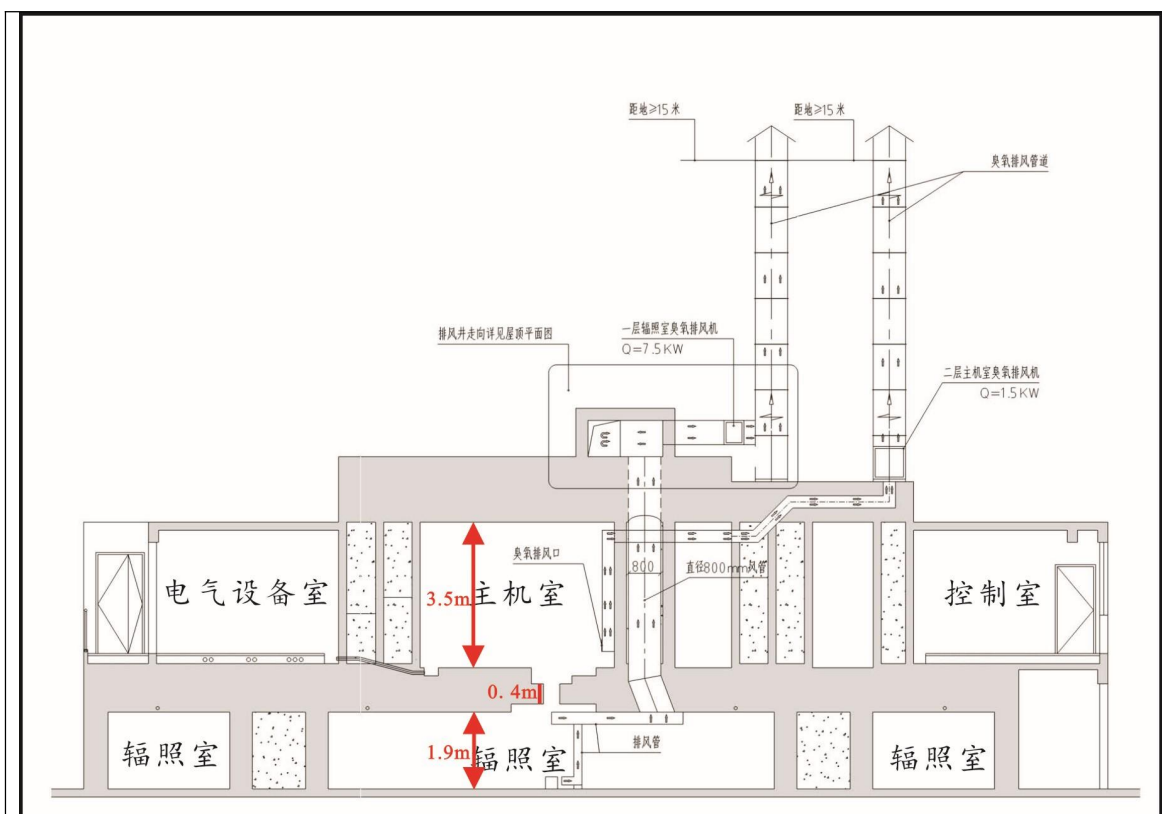


图 10-6 排风管道示意图 1

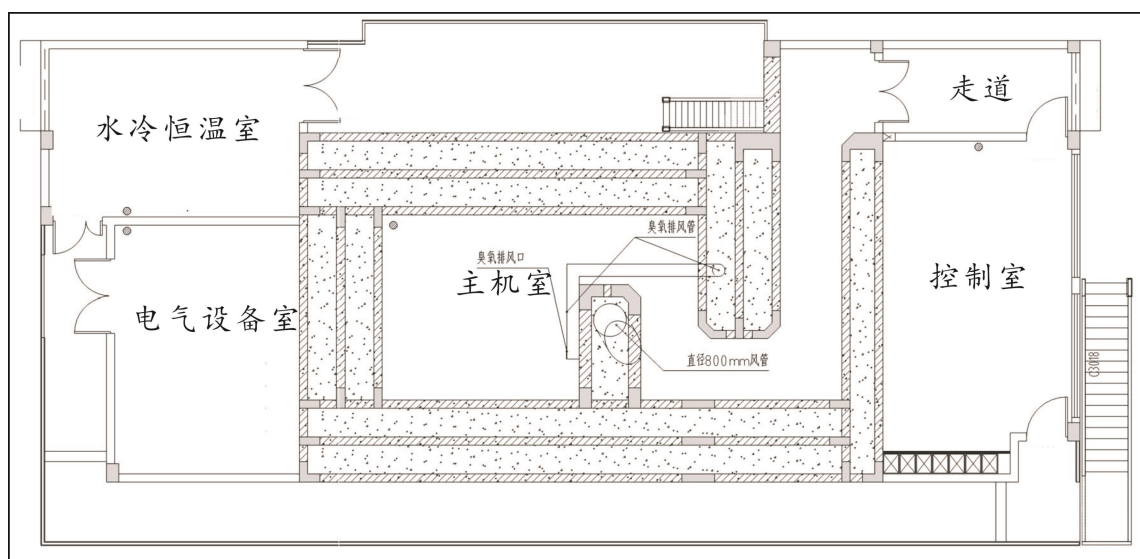


图 10-7 排风管道示意图 2

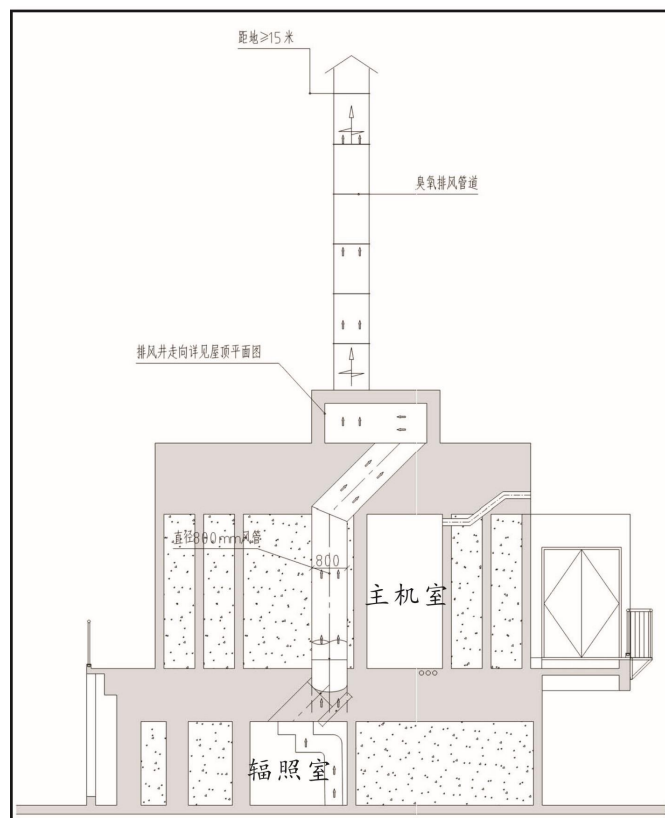


图 10-8 排风管道示意图 3

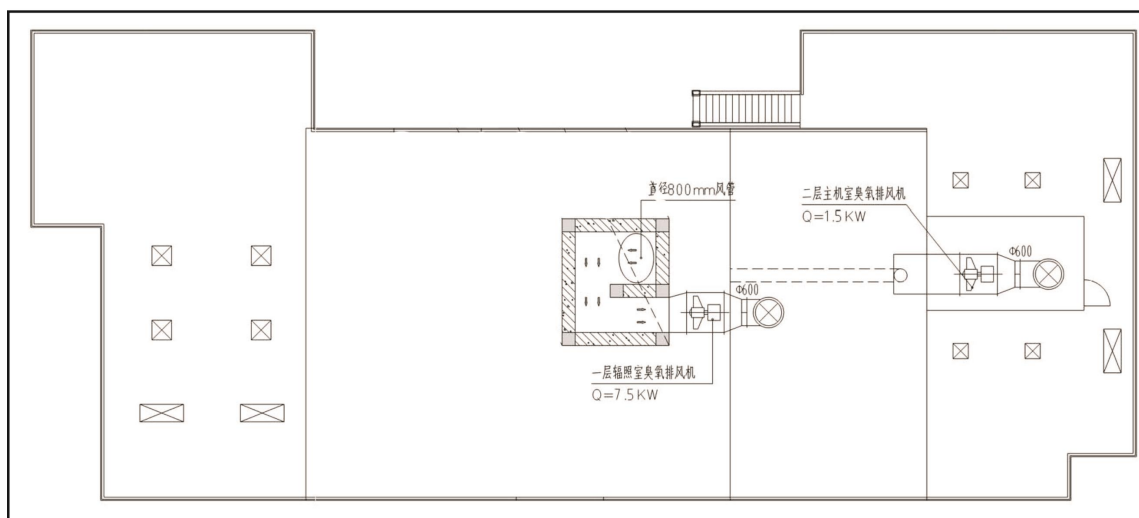


图 10-9 屋顶排风机位置示意图

根据建设单位提供的资料，本项目使用的冷却水采取外购的方式，不进行制备。冷却水、电缆管道穿墙如图 10-10 所示。

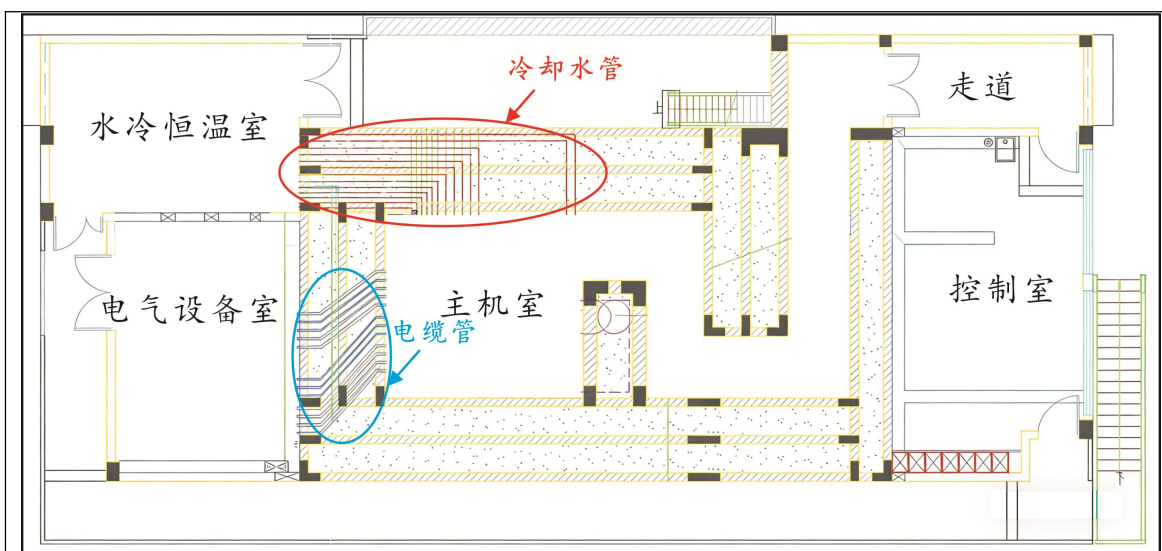


图 10-10 冷却水、电缆管道穿墙示意图

10.5 安全操作要求

(1) 每天开启电子加速器进行辐照作业前，必须仔细检查加速器钥匙开关、联锁装置、工作状态指示灯、紧急停机按钮等辐射安全设施，确认其处于正常的工作状态。

(2) 职业人员应配备个人剂量计，并按要求佩戴。

(3) 职业人员应在国家核技术利用辐射安全与培训平台上参加考试，并考核通过，取得成绩合格单。

(4) 职业人员应遵守各项操作规程，严格按照操作规程操作。

(5) 工作期间，严禁工作人员擅自离开工作岗位，应密切关注加速器工作情况，发现异常及时妥善处理。

(6) 系统发生故障而紧急停机后，未查明原因和维修结束前，不得重新启动加速器。

(7) 工作结束后，负责人应取走加速器主控钥匙并妥善保管。

(8) 辐射工作场所应配备个人剂量报警仪。

(9) 定期对加速器工作场所周围辐射水平进行监测，发现异常立即报告负责人，并采取有效措施妥善处理。

10.6 三废的治理

该项目运行期间不产生放射性“三废”，加速器运行时电子束、X 射线电离空气产生少量的臭氧和氮氧化物等有害气体。

计算表明：本项目辐照室通风换气次数可达 63 次/h，主机室通风换气次数可

达 19 次/h，臭氧浓度满足《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）中限值要求（臭氧最高允许浓度 $\leq 0.3\text{mg/m}^3$ ）。臭氧和氮氧化物通过排风系统排入外环境，弥散在大气环境中，很快被空气对流、扩散作用稀释，对大气环境影响较小。

表 11 环境影响分析

11.1 建设期环境影响简要分析

1、建设阶段对环境的影响

本项目施工期主要为辐照机房施工和辐射安全设施安装，施工阶段的主要环境影响为：

① 废气

施工过程中将产生扬尘，此外机械和运输车辆作业时排放废气，但以上影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染拟采取以下措施：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。

② 噪声

施工期机械设备在运行中将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时严格执行《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）的标准，尽量使用噪声低的先进设备。

③ 固体废物

项目施工期产生废金属、废混凝土块及包装材料等建筑垃圾，建设单位应集中收集，可利用部分回收利用，其余部分清运至建筑垃圾填埋场，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。施工人员生活垃圾依托厂区现有垃圾桶进行收集，统一纳入当地清运系统。

④ 废水

施工期生活污水依托厂区现有污水处理设施，通过污水处理站处理后排入市政污水管网。

通过以上措施，可将施工期的影响控制在项目局部区域，对周围环境影响较小。

2、设备安装调试期间的环境影响分析

设备的安装、调试应由设备厂家专业人员进行，建设单位不得自行安装及调试。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证屏蔽体屏蔽到位，关闭不锈钢门，在门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入加速器机房所在区域，防止辐射事故发生。由于设备的安装和调试在加速器机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，建设单位需及时回收包装材料及其它固体废物作为

一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

综上所述，只要工程施工期和调试期严格做到以上要求，就可以使其对环境的影响降至最小程度。

11.2 运行阶段对环境的影响

本项目工业电子加速器能发射能量为 10MeV 的电子束，电子在物质中的最大射程可由以下公式估算（公式摘自《辐射防护技术与管理》，P123）。

$$d = \frac{1}{2\rho} \cdot E_{\beta\max} \quad \text{式 (11-1)}$$

式中：d—最大射程，cm；

ρ —防护材料的密度，g/cm³；

$E_{\beta\max}$ —电子最大能量，MeV；

电子束的最大能量为 10MeV 时，在空气中（0.00129g/cm³）的最大射程约为 3876cm，在混凝土中（2.35g/cm³）的最大射程约为 2.13cm。由于辐照室及主机室屏蔽墙体为混凝土，且厚度均在 30cm 以上，电子束方向朝向地面。因此加速器发射的电子束对辐照室、主机室外环境的影响可以忽略。

11.2.1 X 射线环境辐射影响分析

项目处于筹建阶段，本次评价采用理论计算的方法进行预测分析。

1、剂量关注点选取

根据本项目工程特征及辐照机房周围环境状况，本次评价选择剂量关注点主要为辐照室和主机室四周屏蔽墙体外 30cm 处及迷道出入口处，各关注点分布图见图 11-1～图 11-4，一层散射路径示意图见图 11-5。

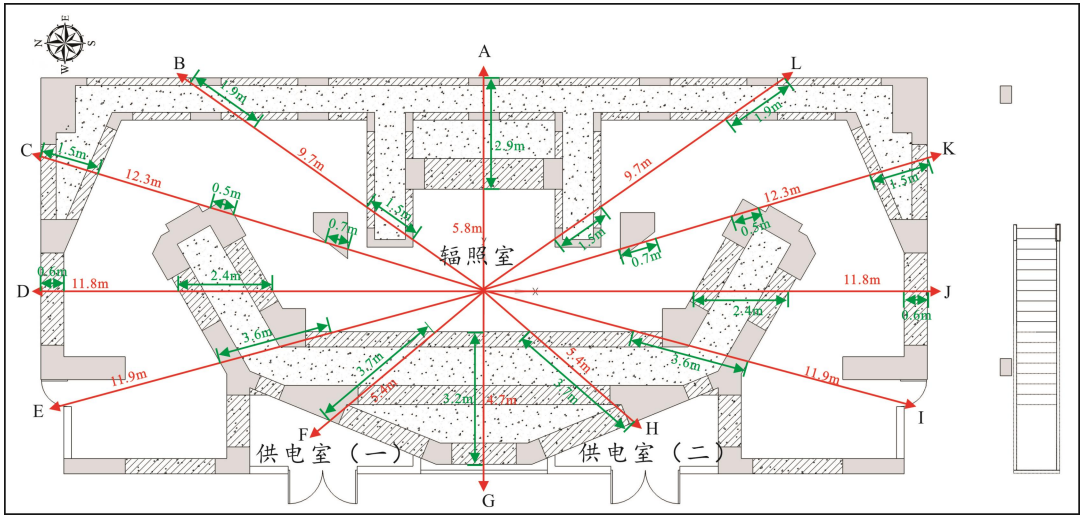


图 11-1 一层辐照室四周各关注点位分布图

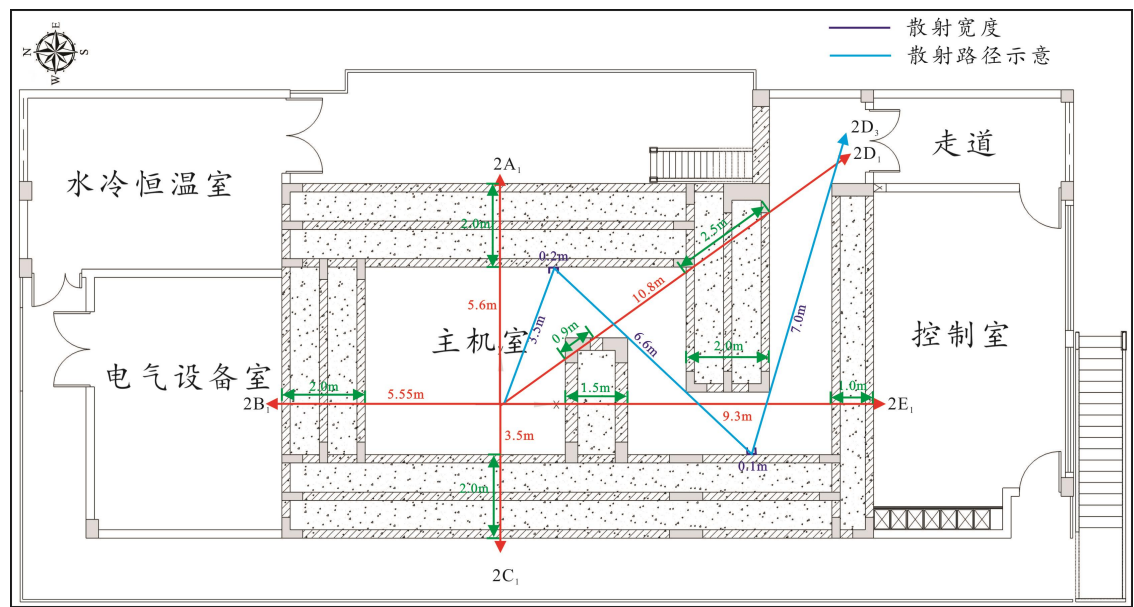


图 11-2 二层主机室四周各关注点位分布图

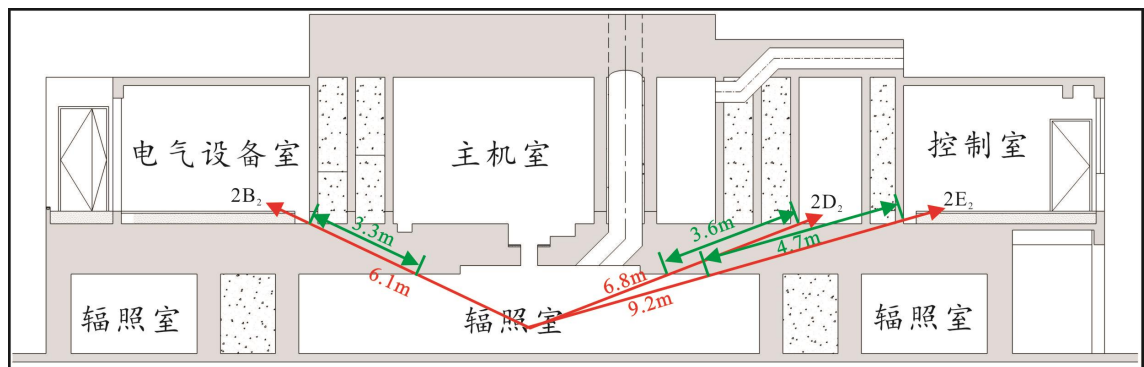


图 11-3 辐照机房剖面图 1 关注点位分布图

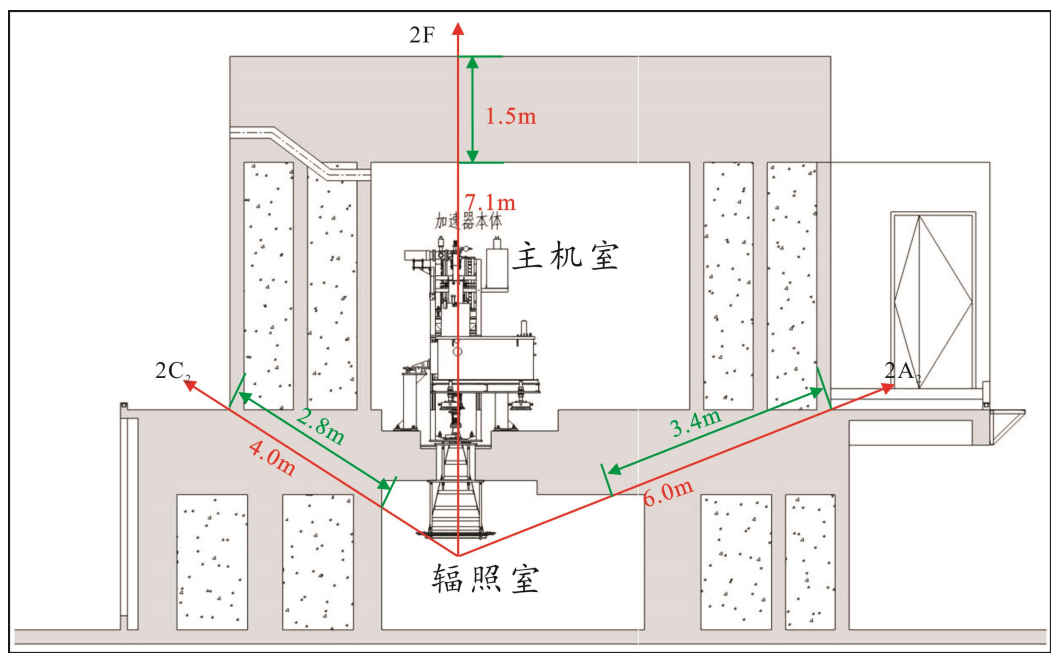


图 11-4 辐照机房剖面图 2 关注点位分布图

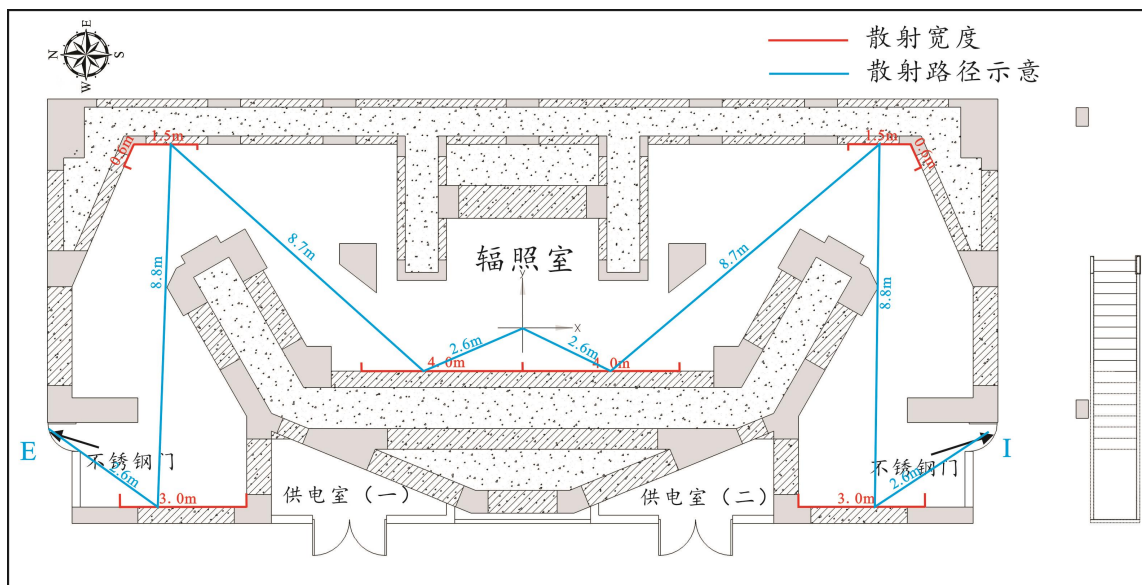


图 11-5 一层辐照室散射路径示意图

2、估算模式

加速器运行时，电子束朝下，在一层辐照室内电子束可能轰击的物质有 3 种：①混凝土地面；②电子扫描窗下方的辐照产品传输带（不锈钢材料）；③待辐照货物，主要为医疗器械、中药及植物提取物、食品等。在这三种轰击物质中，不锈钢的原子序数最大，X 射线发射率最高，本次评价选取轰击不锈钢的情况来预测。

本次评价选用《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 中推荐的预测模式进行理论计算。

①透射计算公式

$$H = D_{10} \cdot B_x / d^2 \quad \text{式 (11-2)}$$

式中：H—参考点处的 X 剂量率，Gy/h；

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

B_x —X 射线的屏蔽透射比（衰减系数）；

d—参考点距靶点的距离，m。

本项目 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点吸收剂量率公式如下：

$$D_{10} = 60 \cdot Q \cdot I \cdot f_e \quad \text{式 (11-3)}$$

式中：Q—X 射线发射率（Gy·m²·mA⁻¹·min⁻¹）；

I—电子束流强度（mA）；

f_e —X 射线发射率修正系数（m）。

$$B_x = 10^{[-(1+(S-T_1)/T_e)]} \quad \text{式 (11-4)}$$

式中： S —屏蔽层厚度，cm；

T_1 —在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层，cm；

T_e —平衡十分之一值层，该值近似于常数，cm。

② 散射计算公式

$$H_{1, rj} = \frac{D_{10} \alpha_1 A_1 (\alpha_2 A_2)^{j-1}}{(d_1 \cdot d_{r1} \cdot d_{r2} \cdots d_{rj})^2} \quad \text{式 (11-5)}$$

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；

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）；

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

j —指第 j 个散射过程。

3、预测工况

本项目以加速器的最高能量和最大束流强度作为预测工况进行计算，同时主射束方向朝下。根据建设单位提供的资料，本项目电子加速器的设备参数见表 11-1。

表 11-1 电子加速器的主要性能参数

项目	参数
名称型号	10MeV 电子加速器
加速粒子	电子
电子束最大能量	10MeV
最大束流功率	20kW
额定束流强度	2mA
主射束方向	定向，垂直向下

4、参数选取

（1）X 射线发射率修正参数

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、混凝土地面及待辐照货物（医疗器械、中药及植物提取物、食品等）。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。

（2）辐照室 X 射线发射率

根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.1，10MeV 入射电子在距靶 1m 处侧向（90°方向）的 X 射线发射率为 $13.5\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.4，10MeV 入射电子在侧向屏蔽能量取相应等效能量为 6MeV。

当束流强度为 2mA 时，则根据公式（11-3），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为： $D_{10}(90^\circ)=60\times 13.5\times 2\times 0.5\text{Gy/h}=810\text{Gy/h}$ 。

（3）主机室加速器束流损失所致 X 射线发射率

根据生产厂家提供的技术资料，本项目加速器束流损失率为 3%，即电子束流强度为 $6\times 10^{-2}\text{mA}$ ，束流损失点的能量为 3MeV。根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.1，3MeV 入射电子在距靶 1m 处侧向（90°方向）的 X 射线发射率为 $3.2\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.4，3MeV 入射电子在侧向屏蔽能量取相应等效能量为 1.9MeV，本项目保守取 2MeV。

当束流强度为 $6\times 10^{-2}\text{mA}$ 时，则根据公式（11-3），主机室距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率为： $D_{10}(90^\circ)=60\times 3.2\times 6\times 10^{-2}\times 0.5\text{Gy/h}=5.76\text{Gy/h}$ 。

（4）散射 X 射线能量及散射系数

对于能量大于 3MeV 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 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， $E=0.5\text{MeV}$ ）取值为 2×10^{-2} 。

（5）什值层

根据 HJ 979-2018 附录 A 表 A.2 和表 A.3 以及 NCRP-51 报告，相应能量的 X 射线在混凝土中的什值层取值见表 11-2。

表 11-2 宽束 X 射线在屏蔽材料中的什值层厚度

材质	射线	第一个十分之一值层厚度 T_1 (cm)	平衡十分之一值层厚度 T_e (cm)
混凝土	6MeV 的宽束 X 射线	35.5	35.5
	2MeV 的宽束 X 射线	22.1	20.1

（6）散射距离及散射面积

由图 11-5 和图 11-2 可知，本项目按散射次数最少的路径进行保守预测，辐

照室和主机室从辐射源点到剂量关注点分别至少经过 3 次和 2 次散射，各次散射距离和散射面积取值见表 11-3 和表 11-4。

表 11-3 各次散射距离 (m)

位置	源点到第一散射物质距离 d_1	一次散射距离 d_{r1}	二次散射距离 d_{r2}	三次散射距离 d_{r3}
辐照室迷道口 E	2.6	8.7	8.8	2.6
辐照室迷道口 I	2.6	8.7	8.8	2.6
主机室迷道口 2D	3.5	6.6	7.0	/

表 11-4 各次散射面积 (m^2)

位置	A1	A2	A3
辐照室迷道口 E	$4.0 \times 1.9 = 7.6$	$2.1 \times 1.9 = 3.99$	$3.0 \times 1.9 = 5.7$
辐照室迷道口 I	$4.0 \times 1.9 = 7.6$	$2.1 \times 1.9 = 3.99$	$3.0 \times 1.9 = 5.7$
主机室迷道口 2D	$0.2 \times 3.5 = 0.7$	$0.1 \times 3.5 = 0.35$	/

备注：本项目辐照室内部和迷道净高为 1.9m；主机室内部净高为 3.5m。

5、辐射类型

一层辐照室屏蔽墙体外辐射环境受韧致辐射初级 X 射线和一次散射 X 射线影响，由于韧致辐射初级 X 射线的能量为 6MeV，一次散射 X 射线能量为 0.5MeV，因此屏蔽墙体外辐射环境主要考虑初级 X 射线，忽略一次散射 X 射线的影响。辐照室迷道口的辐射防护屏蔽评价考虑初级 X 射线贯穿屏蔽墙体后的透射以及经迷道多次散射后到达迷道口的散射线的叠加影响。

二层主机室内的辐射场由三部分叠加：①一层辐照室内与入射电子束成 105° 至 180° 方向的韧致辐射初级 X 射线，经辐照室屋顶（主机室地板）不完全屏蔽的贯穿辐射场；②一层辐照室内的 0° 方向上产生的韧致辐射初级 X 射线，经地面 180° 方向散射后的次级 X 射线，通过辐照室屋顶上的孔洞直接照射入主机室内形成的散射辐射场；③尚未加速到最高能量的电子在加速过程中束流损失而与钢筒作用产生的束流损失辐射场。

沿与电子束入射方向成 180° 方向的次级 X 射线能量较低，根据《辐射防护导论》（方杰编，P188），入射 X 射线若由能量为 3~10MeV 电子产生的， 180° 反射时，用 0.5MeV 的透射比曲线。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附表 A.2 和附表 A.3，入射电子能量为 0.5MeV 时，混凝土的

$T_1=15.2\text{cm}$ 、 $T_e=11.9\text{cm}$ ，根据式 11-4 计算得到主机室屋顶的透射比 B_x 为 4.7×10^{-13} ，将其带入公式 11-2 可计算得加速器辐照室 X 射线源对主机室顶部外 30cm 的散射辐射剂量率为 $6.95\times 10^{-6}\mu\text{Sv/h}$ （ D_{10} 取 90° 方向上的值 810Gy/h ， d 取 7.4m ），可忽略不计。因此，二层主机室辐射防护屏蔽评价，仅考虑主机室内的贯穿辐射场和束流损失辐射场。

与一层辐照室相同，二层主机室屏蔽墙体处防护评价考虑贯穿辐射场和束流损失辐射场的透射叠加影响，迷道口处防护评价考虑贯穿辐射场、束流损失辐射场的透射以及经迷道多次散射后到达迷道口的散射线。

表 11-5 剂量关注点处射线种类一览表

剂量关注点		射线种类	射线能量
一层辐照室	各侧屏蔽墙体外（A、B、C、D、F、G、H、J、K、L）	辐照室侧向 90° 韧致辐射初级 X 射线	6MeV
	迷道口处（E、I）	辐照室侧向 90° 韧致辐射初级 X 射线	6MeV
		辐照室多次散射 X 射线	0.5MeV
二层主机室	各侧屏蔽墙体外（2A、2B、2C、2E、2F）	辐照室内与入射电子束成 105° 到 180° 方向的韧致辐射初级 X 射线（保守按侧向 90° 韧致辐射初级 X 射线计算）	6MeV
		主机室束流损失韧致辐射初级 X 射线	2MeV
	迷道口处（2D）	辐照室内与入射电子束成 105° 到 180° 方向的韧致辐射初级 X 射线（保守按侧向 90° 韧致辐射初级 X 射线计算）	6MeV
		主机室束流损失韧致辐射初级 X 射线	2MeV
		主机室束流损失韧致辐射射线多次散射 X 射线	0.5MeV

6、预测结果

根据上述公式（11-2）～公式（11-5），本项目辐照机房周围环境辐射水平预测结果见表 11-6。

表 11-6 各关注点处周围剂量当量率

关注点		射线来源	衰减距离（m）	屏蔽体			周围剂量当量率 H	
				有效厚度（m）	T_1 （m）	T_e （m）	屏蔽后（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	总贡献值（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
一层辐照室	A	透射	5.8	2.9	0.355	0.355	1.63×10^{-1}	1.63×10^{-1}
	B	透射	9.7	3.4	0.355	0.355	2.28×10^{-3}	2.28×10^{-3}
	C	透射	12.3	2.7	0.355	0.355	1.33×10^{-1}	1.33×10^{-1}
	D	透射	11.8	3	0.355	0.355	2.06×10^{-2}	2.06×10^{-2}
	E	透射	11.9	3.6	0.355	0.355	4.14×10^{-4}	1.05
		散射	$d_l=2.6$ $d_{rl}=8.7$	/	/	/	1.05	

			d _{r2} =8.8 d _{r3} =2.6					
	F	透射	5.4	3.7	0.355	0.355	1.05×10 ⁻³	1.05×10 ⁻³
	G	透射	4.7	3.2	0.355	0.355	3.55×10 ⁻²	3.55×10 ⁻²
	H	透射	5.4	3.7	0.355	0.355	1.05×10 ⁻³	1.05×10 ⁻³
	I	透射	11.9	3.6	0.355	0.355	4.14×10 ⁻⁴	1.05
		散射	d ₁ =2.6 d _{r1} =8.7 d _{r2} =8.8 d _{r3} =2.6	/	/	/	1.05	
	J	透射	11.8	3	0.355	0.355	2.06×10 ⁻²	2.06×10 ⁻²
K	透射	12.3	2.7	0.355	0.355	1.33×10 ⁻¹	1.33×10 ⁻¹	
L	透射	9.7	3.4	0.355	0.355	2.28×10 ⁻³	2.28×10 ⁻³	
物流库一人员		透射	19	3	0.355	0.355	7.95×10 ⁻³	7.95×10 ⁻³
原料库、成品库人员		透射	23	3	0.355	0.355	5.42×10 ⁻³	5.42×10 ⁻³
二层主机室	2A ₂	辐照室透射	6.0	3.4	0.355	0.355	5.95×10 ⁻³	5.98×10 ⁻³
	2A ₁	束流损失透射	5.6	2.0	0.221	0.201	2.59×10 ⁻⁵	
	2B ₂	辐照室透射	6.1	3.3	0.355	0.355	1.10×10 ⁻²	1.10×10 ⁻²
	2B ₁	束流损失透射	5.55	2.0	0.221	0.201	2.64×10 ⁻⁵	
	2C ₂	辐照室透射	4.0	2.8	0.355	0.355	6.56×10 ⁻¹	6.56×10 ⁻¹
	2C ₁	束流损失透射	3.5	2.0	0.221	0.201	6.63×10 ⁻⁵	
	2D ₂	辐照室透射	6.8	3.6	0.355	0.355	1.27×10 ⁻³	6.66×10 ⁻³
	2D ₁	束流损失透射	10.8	3.4	0.221	0.201	7.54×10 ⁻¹³	
	2D ₃	束流损失散射	d ₁ =3.5 d _{r1} =6.6 d _{r2} =7.0	/	/	/	5.40×10 ⁻³	
	2E ₂	辐照室透射	9.2	4.7	0.355	0.355	5.51×10 ⁻⁷	2.92×10 ⁻⁴
	2E ₁	束流损失透射	9.3	1.7	0.221	0.201	2.92×10 ⁻⁴	
	2F	辐照室透射	7.1	2.6	0.355	0.355	7.62×10 ⁻¹	7.76×10 ⁻¹
		束流损失透射	4.3	1.5	0.221	0.201	1.35×10 ⁻²	
备注：1、本项目排风管设置于机房内部，竖直穿过主机室迷道内墙；排风管直径为 0.8m，								

不考虑其防护能力，主机室迷道内墙防护能力为 0.7m 混凝土。迷道内墙+主机室南墙的防护能力为 0.7+1.0=1.7m 混凝土；

2、主机室地板除加速器主体部分所在孔洞外均无直通孔缝隙，地板孔洞尺寸小于加速器筒体直径，因此本次评价顶棚 2F 点位的屏蔽作用考虑辐照室顶部（1.1m）和主机室顶部（1.5m）的共同屏蔽作用；

3、2D 关注点剂量为不考虑不锈钢门的屏蔽作用。

由表 11-6 可知，本项目加速器正常运行时，一层辐照室屏蔽体外表面 30cm 处的辐射剂量率最大贡献值为 1.05μSv/h；二层主机室四周屏蔽体外表面 30cm 处的辐射剂量率最大贡献值为 0.656μSv/h，室顶屏蔽体外表面 30cm 处的辐射剂量率最大贡献值为 0.776μSv/h，均不超过 2.5μSv/h，其屏蔽防护性能可以满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的限值要求。同时，在无屏蔽体的情况下，一层辐照室、二层主机室迷道口外辐射剂量率亦可满足标准要求，可不增设防护门，采用不锈钢门即可。

7、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。对于天空反散射，要综合考虑辐照室和主机室辐射对参考点的剂量贡献。计算时，发射率常数保守取 90°方向的发射率常数。

（1）估算模式

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 公式（A-6）可计算出天空反散射的 X 射线周围剂量当量率 H（Sv/h）：

$$H = \frac{2.5 \times 10^{-2} (B_{xs} D_{10} \Omega^{1.3})}{(d_i \cdot d_s)^2} \quad \text{式 (11-6)}$$

式中：D₁₀ 意义同上；

B_{xs}—X 射线屋顶的屏蔽透射比；

Ω——由 X 射线源与屏蔽墙对向的立体角（Sr）；

d_i——在屋顶上方 2m 处离靶的垂直距离（m）；

d_s——X 射线源至 P 点的距离（m），取 20m。

B_{xs}可用十倍减弱厚度方法计算，计算方法同公式 11-4。

$$\Omega = 4 \arctan(ab/cd) \quad \text{式 (11-7)}$$

式中：a—屋顶长度之半（m），本项目一层辐照室、二层主机室分别取 11.55m，7.1m；

b—屋顶宽度之半(m)，本项目一层辐照室、二层主机室分别取 4.95m，4.25m；

c—源到屋顶表面中心的距离 (m)， 本项目分别取 8.8m， 6.0m；

d—源到屋顶边缘的距离 (m)， 且 $d=(a^2+b^2+c^2)^{1/2}$ 。

(2) 计算结果

对于二层屋顶，需要综合考虑辐照室和主机室辐射对机房外地面公众(P 点)的剂量贡献(如图 11-6 所示)。预测点位天空反散射计算结果见表 11-7。

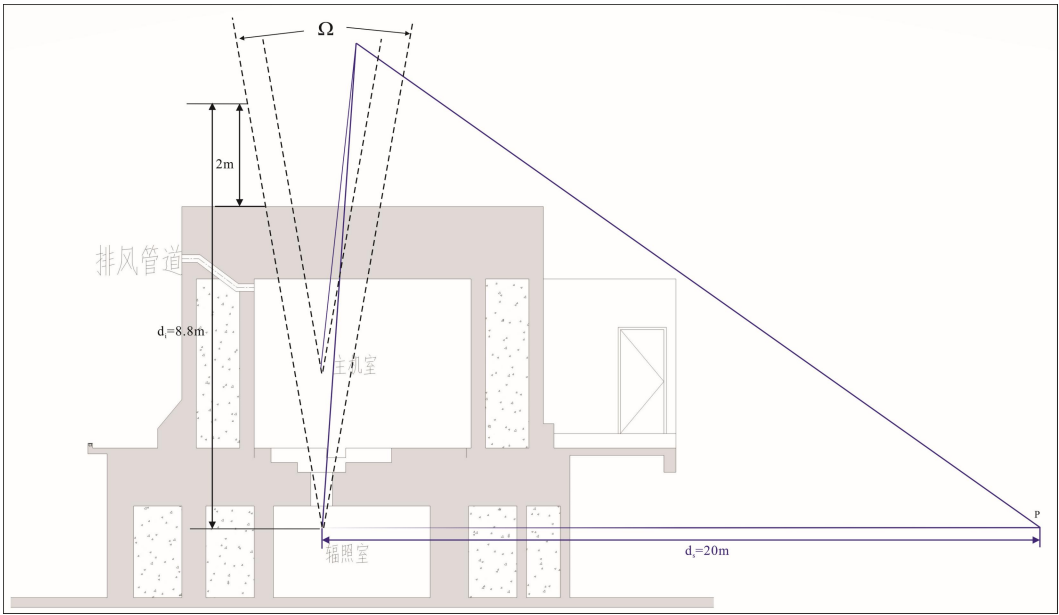


图 11-6 天空反散射示意图

表 11-7 辐照机房直射所致关注点处剂量率计算一览表

参 考 点	D_{10} (Gy/h)	d_i (m)	d_s (m)	Ω (Sr)	S (m)	T_1 (m)	T_e (m)	H_m (μ Sv/h)	
1P	810	8.8	20	1.602	2.7	0.342	0.342	1.54×10^{-5}	1.63×10^{-5}
2P	5.76	6	20	1.829	1.5	0.221	0.201	9.50×10^{-7}	

由此可知，本项目电子加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏产生的天空反散射对机房周围的辐射环境影响很小。

8、X 射线通过屋顶的侧向散射辐射影响

根据现场调查，本项目辐照机房近邻无高层建筑，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 局部贯穿辐射影响分析

1、辐照物料进出口

本项目辐照室拟设 1 个进料口、1 个出料口，物料进出辐照室方式如图 1-5 所示。由图 11-5 散射路径可知，加速器开机时，辐照室射线需经过至少 3 次散射才能到达物料进出口。根据表 11-6 计算结果可知，经 3 次散射后迷道口的剂量满足标准要求，只需要采用普通不锈钢门。因此，本项目加速器的辐照物料进出口设计满足辐射防护要求，射线经多次散射后，进出口处辐射剂量率较低，在标准限值范围内。

2、通风管道

本项目辐照室、主机室拟设有专门的通风系统，其工作状态下产生的臭氧、氮氧化物经排风管道排至辐照机房顶部，辐照室、主机室设计风量分别为 13000m³/h、3300m³/h。由图 10-6 可知，辐照室和主机室内辐射均经过至少 2 次散射才可逸出机房，考虑排风管道散射面积较小，且散射路径较长，屋顶处散射射线将衰减至较低的辐射水平。

3、电缆、水冷管道

本项目电缆、冷却水管道穿墙如图 10-10 所示，射线至少经过 2 次以上的散射才到管道出口处，考虑管道散射面积较小，且散射路径较长，管道出口处的散射线将衰减至较低的辐射水平。因此，本项目冷却水、电缆管的布设不会影响屏蔽墙的屏蔽效果。

综上所述，本项目穿越机房的各类管道设计基本合理可行，符合辐射防护要求，不会造成局部区域的剂量泄漏。

11.2.3 人员受照剂量

1、估算公式

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）--2000 年报告附录 A，X-γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下列公式计算：

$$H_w = H_R \times K \times T \times t \times 10^{-3} \quad \text{式 (11-8)}$$

式中： H_w —年受照剂量，mSv/a；

H_R —计算点附加剂量率，μSv/h；

K —有效剂量与吸收剂量换算系数，取 1；

T —人员居留因子；

t —年曝光时间，h/a。

2、照射时间确定

本项目电子加速器拟配备 4 名辐射工作人员（1 人兼辐射管理人员），一天 2 班，每班工作时间 8 小时，年工作天数 300 天。年出束时间保守取 2400h，则每班人员年受照时间保守取 4800h。

3、职业人员年有效剂量

本项目电子加速器运行时，对工作人员影响的区域主要在二层的控制台处，但考虑到工作人员在加速器运行时可能会前往机房周围进行巡视，为保守考虑，本次职业人员剂量率取屏蔽墙体外理论计算结果中的最大值进行预测，且居留因子取 1。

根据表 11-6 中辐照机房理论估算结果可知，本项目加速器运行后，辐照机房控制台的辐射剂量率为 $5.82 \times 10^{-7} \mu\text{Sv/h}$ ，加速器机房屏蔽墙体外辐射剂量率最大值为辐照室门外，为 $1.05 \mu\text{Sv/h}$ 。根据建设单位提供的资料，大约 2000h 工作人员在控制台，大约 400h 可能会前往机房周围进行巡视。

根据公式（11-8），本项目职业人员年有效剂量估算情况见表 11-8。

表 11-8 职业人员年有效剂量估算

人员属性	关注点	周围剂量当量率 $H (\mu\text{Sv/h})$	年受照时间 $t (\text{h/a})$	居留因子	年有效剂量 $H^* (\text{mSv/a})$
辐射工作人员	控制台	5.82×10^{-7}	2000	1	1.16×10^{-6}
	机房周围 巡界	1.05	400	1	0.42

因此，本项目职业人员年有效剂量不大于 0.42mSv/a ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的职业人员年剂量限值要求，同时也满足本项目对职业人员的年剂量约束值（职业人员 $\leq 5.0 \text{mSv/a}$ ）的要求。

4、公众成员年有效剂量

本项目公众成员年有效剂量估算情况见表 11-9。

表 11-9 公众成员年有效剂量估算

人员属性	关注点	周围剂量当量率 $H (\mu\text{Sv/h})$	年受照时间 $t (\text{h/a})$	居留因子	年有效剂量 $H^* (\text{mSv/a})$
公众	辐照室西侧（供电室）	1.05×10^{-3}	2400	1/40	6.30×10^{-4}
	辐照室楼上（走廊）	6.56×10^{-1}	2400	1/20	7.87×10^{-2}
	辐照机房西侧（产品存放区）	3.55×10^{-2}	2400	1/20	4.26×10^{-3}
	辐照室楼上（电气设备室）	1.10×10^{-2}	2400	1/40	6.60×10^{-4}
	辐照室北侧（物流库一人员）	7.95×10^{-3}	2400	1	1.91×10^{-2}
	辐照室南侧（原料库、成品库人员）	5.42×10^{-3}	2400	1	1.30×10^{-2}

备注：1、居留因子参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）附录 A 中表 A.1 进行取值，对于产品存放区、走廊人员偶尔停留的场所，居留因子保守取 1/20；对于供电室、电气设备室，正常情况下不会有人员停留，居留因子保守取 1/40；

2、公众夜间休息，因此公众年受照时间取 2400h；

3、辐照室楼上（电气设备室）剂量率保守取“主机室北侧剂量率”、辐照室四周剂量率选取“表 11-6 中屏蔽西侧墙体外剂量率”进行公众附加年有效剂量计算。

由上表可知，本项目加速器机房邻近区域公众成员的年附加有效剂量最大值为 $7.87 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的公众成员年剂量限值的要求，同时也满足本项目对公众成员的年剂量约束值（公众成员 $\leq 0.1 \text{mSv/a}$ ）的要求。

11.2.4 臭氧的排放评价

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（ O_3 ）和氮氧化物（ NO_x ）。氮氧化物的产率约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，同时国家对空气中臭氧浓度的标准严于氮氧化物。因此，本报告在考虑有害气体的影响时，仅考虑臭氧的影响。

1、预测模式

本次评价选用《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 B 中推荐的预测模式进行有害性气体的产生和排放计算。根据该标准 B.4 条款，在辐照加工中，只有仅用 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。结合本项目加速器利用电子束实现辐照加工的工作原理，本次评价仅计算电子束产生的臭氧。

①臭氧的产生

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：

$$P = 45dIG \quad \text{式 (11-9)}$$

式中：P—单位时间电子束产生 O_3 质量（mg/h）；

I—电子束流强度，mA；

d—电子束在空气中的行程（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、主机室尺寸选取；

G—空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O_3 分子数，保守估算取 10。

根据上式计算可得，本项目辐照室内臭氧产生率约为 117000mg/h ，主机室内臭

氧产生率约为 9450mg/h。

②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：

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

式中： $C(t)$ —辐照室、主机室空气中在 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、主机室体积；

T_e —对臭氧的有效清除时间（h）。

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

式中： T_v —辐照室换气一次所需时间（h）；

T_d —臭氧的有效化学分解时间（h），约为 50 分钟。

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：

$$C_s = \frac{PT_e}{V} \quad \text{式 (11-12)}$$

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、主机室，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：

$$d_c/d_t = -C/T_e \quad \text{式 (11-13)}$$

当 $t=0$ 时，

$$C = C_s \quad \text{式 (11-14)}$$

得到浓度随时间的变化公式为：

$$C = C_s e^{-\frac{t}{T_e}} \quad \text{式 (11-15)}$$

由此可得：

关闭加速器后风机运行的持续时间公式为：

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s} \quad \text{式 (11-16)}$$

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

2、预测结果

本项目加速器开机状态下，辐照室和主机室产生的非放射性废气集中收集后，通过排风管道引至楼顶通过排气筒排放。本次评价仅预测辐照室、主机室的臭氧的产生和排放情况。

根据上述公式，本项目加速器停止运行后，辐照室、主机室需要持续通风的时间预测结果如下。

表 11-10 持续通风时间计算

场所名称	I (mA)	d (cm)	V (m ³)	T _v (h)	T _d (h)	T _e (h)	C _s (mg/m ³)	T (h)
辐照室	2	130	205	0.0222	0.83	0.0216	12.35	0.08
主机室	0.06	350	166	0.0286	0.83	0.0276	1.57	0.05

因此，本次评价建议本项目电子加速器停机后，辐照室、主机室分别排风约 5min、3min 后其室内臭氧浓度可降至要求的 0.3mg/m^3 以下，可满足《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）中的限值要求（臭氧最高允许浓度 $\leq 0.3\text{mg/m}^3$ ），室内环境空气质量得到保证。

本项目加速器辐照室、主机室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、主机室内臭氧等有害气体浓度低于允许值。

本项目辐照室、主机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。

11.2.5 生活污水、生活垃圾对环境的影响分析

本项目拟配备 9 名工作人员（4 名辐射工作人员、5 名搬运人员），废水主要为生活污水，生活用水量参考《行业用水定额》（DB61/T943-2020）中“行政办公及科研院所”用水定额 $25\text{m}^3/(\text{人}\cdot\text{a})$ ，工作人员生活用水量为 $225\text{m}^3/\text{a}$ ，污水产生系数按 0.8 计，则运行期生活污水产生量为 $180\text{m}^3/\text{a}$ ，生活污水依托厂区现有污水处理设施处理后，最终排入市政污水管网，满足《污水综合排放标准》（GB8978-1996）、《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T 31962-2015）相关要求。生活垃圾主要包

括废纸屑等办公生活垃圾，生活垃圾产生量按 0.55kg/人·d 计，因此本项目生活垃圾产生量为 4.95kg/d。生活垃圾进行分类收集后，能够统一纳入当地垃圾清运系统。

11.2.6 噪声对环境影响分析

本项目运行期间选用低噪声设备，噪声源较小，经加速器屏蔽墙体屏蔽后对外界影响较小。

11.3 事故影响分析

11.3.1 辐射事故分级

根据《射线装置分类》，本项目使用的设备属于Ⅱ类射线装置，事故时可以使受到照射的人员产生较严重放射损伤，其安全与防护要求较高。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 449 号）第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故 4 个等级，详见表 11-11。

表 11-11 辐射事故等级划分表

事故等级	事故情形
特别重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射源同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡
重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾
较大辐射事故	III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以上（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射

本项目可能发生加速器门机联锁装置失效或人员误入辐照室、主机室，对相关人员造成急性死亡、急性放射性病、局部器官残疾及超剂量照射，可能发生重大、较大和一般辐射事故。

11.3.2 风险事故识别

本项目电子加速器是一种将电能转换成高能电子束的设备，电子束受开机和关机控制，关机时没有射线产生。在加速器开机运行期间，主要可能发生的事故有：

（1）工业电子加速器在照射时，电子束及其韧致 X 射线在辐照室内形成高剂量率的辐射场，如果在加速器开机状态下有人员误入或误留辐照室内，将造成超剂量照射，严重时可导致人员死亡。这是本项目最主要的安全风险，也是本次风险评价的重点。

(2) 操作人员违规操作或误操作，可能造成周围人员的不必要照射，严重者可能造成辐射损伤甚至危及生命。

(3) 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。

(4) 设备维修人员维修时，加速器误出束。

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

11.3.3 辐射事故分析

依据《射线装置分类办法》，本项目10MeV电子加速器为II类射线装置，属于中危险射线装置，事故时可以使受照人员产生较严重的放射损伤，大剂量照射甚至可能导致死亡。

当10MeV电子加速器处于照射状态时，假如有关人员滞留于辐照室、主机室内时，可能会对相关人员造成严重的放射性损伤或超剂量照射。本项目10MeV加速器束流侧向（90°）1m处辐射剂量率取810Gy/h，主机室漏束1m处剂量率取5.76Gy/h，滞留在辐照室、主机室的人员距离为1m~5m，停留时间为1min~5min时，对滞留在辐照室、主机室的人员发生误照射时，估算的受照射剂量见表11-12。

表 11-12 10MeV 加速器辐照室、主机室人员误照射受照射剂量估算结果

滞留场所	距辐射源距离	受照剂量（mSv）				
		1min	2min	3min	4min	5min
辐照室	1m	13500	27000	40500	54000	67500
	2m	3375	6750	10125	13500	16875
	3m	1500	3000	4500	6000	7500
	4m	843.75	1687.5	2531.25	3375	4218.75
	5m	540	1080	1620	2160	2700
主机室	1m	96	192	288	384	480
	2m	24	48	72	96	120
	3m	10.7	21.3	32.0	42.7	53.3
	4m	6	12	18	24	30
	5m	3.84	7.68	11.52	15.36	19.2

根据表11-12估算结果可以看出，当加速器处于工作状态，人员误入辐照室、主机室将可能接受到较大剂量的放射性照射，辐照室内距加速器1m处1min内所接受剂量高达13500mSv，主机室内距加速器1m处1min内所接受剂量96mSv。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）有关规定，工作人员连续5年接受的有效剂量不应超过20mSv，任何一年接受有效剂量不应超过

50mSv。表11-13分别给出了距加速器方向1m处受到20mSv和50mSv有效剂量的时间。

表 11-13 距加速器方向 1m 处受到 20mSv、50mSv 剂量当量率的时间

滞留场所	距加速器1m处受到20mSv所需时间	距加速器1m处受到50mSv所需时间
辐照室	0.09s	0.222s
主机室	12.5s	31.25s

根据表11-13估算结果可知，辐照室内距加速器1m处停留0.09s所接受的有效剂量就能达到20mSv，停留0.222s所接受的有效剂量就能达到50mSv。主机室内距加速器1m处停留12.5s所接受的有效剂量就能达到20mSv，停留31.25s所接受的有效剂量就能达到50mSv。

11.3.4 风险防范措施

(1) 根据建设单位提供的设计资料，为防止人员误入或误留辐照室造成辐射事故，本项目加速器辐照室内设置了拉线开关、门机联锁、剂量探测器等多项安全防护设施，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。综上所述，本项目辐射安全措施符合辐射安全要求中的“纵深防御”、“冗余性”、“多元性”、“独立性”原则，可有效防止辐射安全事故的发生。本次评价要求建设单位定期巡检各项安全设施，确保各项安全设施均能正常运转。本项目设有多处剂量探头，对辐射水平进行实时监测。

(2) 对操作人员违规操作或误操作的问题，建设单位应提前对操作人员进行专业培训，确保其掌握了本项目加速器的操作流程和技术方法。在项目投运后，建设单位应加强管理，提高操作人员安全意识，禁止未经培训的操作人员操作工业电子加速器。

(3) 为防止通风系统故障或者通风换气次数不足而造成臭氧浓度积累，建设单位将定期对通风系统进行巡检，出现故障时应停止辐照工作，及时联系厂家进行维修。此外，在加速器停止照射后，辐射工作人员将等待一段时间再进入辐照室、主机室，防止室内臭氧浓度过高造成伤害。

(4) 本项目工业电子加速器调试和检修工作全部由生产厂家承担，检修时应取下加速器主控钥匙，携带个人剂量报警仪，采取必要的防护措施，以避免误照射事故的发生。

(5) 定期开展辐射防护知识的宣传、教育，最大程度避免事故的发生。

杨凌核盛辐照技术有限公司汉中分公司应针对本项目可能发生的事故风险，根据发生辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围，制定加速器辐射事故应急

预案。根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145号）规定，一旦发生了辐射事故，公司应迅速、有效的采取以下应急措施：

①发现误照射事故时，现场工作人员应立即切断电源，同时向公司辐射安全管理小组报告。辐射安全管理小组接到报告后，公司应当立即启动公司的加速器辐射事故应急预案，采取有效防范措施，同时疏散所有与事故处理无关人员，保护好事故现场，对在事故中可能受到照射的人员及时送到医院进行医学检查和治疗。

②事故发生后的2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向所在地生态环境部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应向卫生行政部门报告。

③分析确定辐射事故的原因，记录发生事故时射线装置工作状态、事故延续时间，以便确定事故时受照个体所接受的剂量。

④总结事故原因，写出事故报告，采取有效措施避免此类事故再次发生。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构

(1) 辐射安全管理机构设置

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的工作单位，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全和环境保护管理工作。

杨凌核盛辐照技术有限公司汉中分公司拟成立以单位主要领导为组长，辐照工作主要负责人为成员的辐射安全与环境保护管理小组，负责公司日常辐射安全监管和协调工作，并安排专业人员兼职负责单位辐射安全工作。

(2) 辐射安全与环境保护管理小组主要职责

- ①认真贯彻落实国家法律法规的有关规定；
- ②对单位使用的射线装置安全和防护工作负责，并依法对其造成的放射性危害承担责任；
- ③组织制定并落实辐射防护相关管理制度；
- ④按照国家有关规定，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，发现安全隐患及时进行整改，确保设备正常使用；
- ⑤组织辐射工作人员进行个人剂量检查、职业健康检查，并建立个人剂量监护档案和职业健康监护档案；
- ⑥制定辐射事故应急预案并定期组织演练；
- ⑦记录单位发生的辐射事故并及时报告公安部门、卫生行政部门、生态环境主管部门。

(3) 辐射安全管理标准化建设

根据《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29 号），对核技术利用单位辐射安全管理和辐射安全防护的标准化建设提出了要求，见表 12-1。

表 12-1 辐射安全管理标准化建设项目表（辐射安全管理）

管理内容		管理要求
人	决策层	就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作

管 理		年初工作安排和年终工作总结时，应包含辐射环境安全管理工作内容
		明确涉辐部门和岗位的辐射安全职责
		提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障
	辐 射 防 护 负 责 人	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求并向员工和公众宣传辐射安全相关知识
		负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告
		建立辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责
		建立辐射环境安全管理档案
		对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有巡查及整改记录
		岗前进行职业健康体检，结果无异常
		参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗
		了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺
		熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况时，能有效处理
机构建设	设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射环境安全管理机构和负责人	
制 度 建 立 与 执 行	建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整	
	建立放射性同位素与射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立放射性同位素、射线装置台账	
	建立本单位放射性同位素与射线装置岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案	
	建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案	
	建立辐射工作人员剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员及时复查，保证职业人员健康档案的连续有效性	
	建立辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等内容），并建立维护、维修工作记录档案（包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间）	
	建立辐射环境监测制度，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案	
	建立辐射环境监测设备使用与检定管理制度，定期对监测仪器设备进行检定，并建立检定档案	
应 急 管 理	结合本单位实际，制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行辐射事故应急演练	
	应急预案应当包括下列内容：①可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和处理程序	

根据上述要求，杨凌核盛辐照技术有限公司汉中分公司应制定《辐射工作人员岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《加速器操作规程》、《辐射工作场所管理制度》、《设备检修维护保养制度》、《射线装置使用登记、台帐管理制度》、《辐射安全管理制度》、《辐射工作人员职业健康体检管理制度》、《辐射工作人员教育培训制度及培训计划》、《辐射工作人员个人剂量管理制度》、《辐射工作场所以及周边环境监测制度》、《辐射环境监测设备使用与检定管理制度》、《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》、《辐射事故应急预案》等规章管

理制度。

12.2 人员培训及档案管理

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(公告 2019 年第 57 号), 辐射安全与防护培训需求的人员可通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台免费学习相关知识, 考取核技术利用辐射安全与防护考核成绩合格单。本项目拟配备 4 名人员, 上岗前应在国家核技术利用辐射安全与培训平台进行免费学习并参加考试, 辐射安全管理人员应取得“辐射安全管理类别”辐射安全与防护考核成绩报告单, 辐射工作人员应取得“电子加速器辐照”辐射安全与防护考核成绩报告单, 持证上岗。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(2011 年 5 月 1 日实行)第二十三条规定: 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位, 应当安排专人负责个人剂量监测管理, 建立辐射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。

环评要求: 应按照相关法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准, 对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测; 发现个人剂量监测结果异常的, 应当立即核实和调查, 并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。应建立辐射工作人员个人剂量档案, 包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料, 并且组织上岗后的放射工作人员定期进行职业健康检查, 两次检查的时间间隔应不超过 2 年。

12.3 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, 公司需建立辐射剂量监测制度, 包括工作场所监测和个人剂量监测。

12.3.1 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(2021 年修改)》的要求, 使用 II 类射线装置的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器, 包括个人剂量报警仪、辐射监测等仪器。

本项目拟配备便携式辐射监测仪 1 台、个人剂量报警仪 4 个。以上监测仪器按要求配备后, 本评价认为能够满足本项目的仪器配备要求。

12.3.2 个人剂量监测

公司应严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理规定，为本项目新增的职业人员配备个人剂量计。同时，对职业人员进行个人剂量检测（最长不超过 3 个月）和职业健康检查（不少于 1 次/2 年），并建立个人剂量检测档案和职业健康监护档案。

12.3.3 工作场所辐射监测

根据辐射管理要求，公司应针对本项目具体情况制定如下监测方案：

（1）正式使用前监测：自行或委托有相关监测资质的监测单位对核技术应用场所的辐射防护设施进行全面的验收监测，做出辐射安全状况的评价。

（2）常规监测：定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行自行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案。

（3）年度监测：每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的监测，监测周期为 1 次/年。年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

本项目辐射监测计划建议见表 12-1。

表 12-1 本项目辐射监测计划一览表（建议）

序号	监测场所	监测点位	监测项目	监测频次
1	加速器机房主机室周围	主机室墙体和门外 30cm 处、水冷恒温室、控制室人员操作位、线缆口等	周围剂量当量率	日常工作过程中每月进行监测。委托有资质单位每年监测一次
2	加速器机房辐照室周围	辐照室墙体和出入门外 30cm 处、供电室处、辐照室北侧货品装卸人员停留处等		
3	加速器机房外天空反散射	加速器出束口 20m 范围		
4	加速器机房	辐射工作人员	个人剂量	委托有资质单位每三个月检测一次，出具检测报告

12.4 年度安全状况评估

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中第十二条规定及原环保部信息管理要求，公司应对本单位的射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向原发证机关提交上一年度的评估报告，并在陕西省核技术利

用辐射安全申报系统进行网上申报。

安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容：

- （一）辐射安全和防护设施的运行与维护情况；
- （二）辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；
- （三）辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；
- （四）射线装置台账；
- （五）场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；
- （六）辐射事故及应急响应情况；
- （七）核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况；
- （八）存在的安全隐患及其整改情况；
- （九）其他有关法律、法规规定的落实情况。

年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

12.5 环保竣工验收

公司应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》（生态环境部公告2018年第9号）、《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。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生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

12.6 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》(修订，国务院第709号令)第四十一条的规定：“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”。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(修订，国务院第709号令)第四十条规定以及原陕西省环境保护厅《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》(陕环办发〔2018〕29号)相关规定，公司应制定《辐射事故应急预案》。

《陕西省放射性污染防治条例》第三十二条要求“核技术利用单位应当编制本单

位辐射事故应急预案，报所在地县级环境保护行政主管部门备案”。

(1) 辐射应急预案内容

本次评价结合《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和防护管理办法》、《陕西省放射性污染防治条例》和陕环办发〔2018〕29号的要求，建议公司制定的辐射事故应急预案包含以下内容：

- ①可能发生的辐射事故及危害程度分析
- ②应急组织指挥体系和职责分工
- ③应急人员培训和应急物资准备
- ④辐射事故分级与应急响应措施
- ⑤辐射事故调查、报告和处理程序

建设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。

(2) 辐射事故应急预案启动与报告

根据《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）中要求，发生辐射事故或者发生可能引发辐射事故的运行故障时，公司应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取应急措施，并在2h内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门报告；还应当同时向当地人民政府、公安部门和卫生主管部门报告。

(3) 应急演练及应急预案修订

辐射事故应急预案制定后，公司应当每年至少组织一次相关部门开展应急演练，总结演练中存在的问题，及时修订完善事故应急预案，确保应急预案能及时、有效得到应用。

12.7 环保投资和环保验收

本项目竣工后，根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（环境保护部国环规环评〔2017〕4号，2017年11月22日），公司应按照生态环境主管部门规定的标准和程序，及时对本项目配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收监测报告。验收合格后，方可投入使用。

本项目总投资2300万，计划环保投资451万，占项目总投资的19.6%，环保投资估算表见表12-2，竣工环境保护验收清单见表12-3。

表 12-2 环保投资估算表

实施时段	类别	污染源或污染物	污染防治措施或设施	费用 (万元)
项目准备阶段	环境咨询	—	—	4.0
项目验收阶段	竣工验收监测	—	—	3.0
运营期	废气	NO _x 、O ₃	排风管道	15
	辐射环境	X 射线	钥匙开关、联锁装置、声光报警器、工作状态指示灯、巡检/急停按钮、光电装置、拉线开关、电磁锁、紧急开门、臭氧温湿度检测仪、监控、烟感报警探测器、固定式辐射监测仪等	22
			加速器机房建设及配套安全门	400
	环境管理	完善环境管理制度		
环境监测	配备个人剂量计、便携式辐射监测仪、个人剂量报警仪，定期送检；			6.5
人员管理	职业健康体检			0.5
总投资（万元）				451

表 12-3 项目竣工环境保护验收清单(建议)

序号	项目	内容	验收内容
1	辐射安全 管理机构	设立辐射安全管理机构或指派辐射管理 专职人员	公司成立辐射安全与环境保护领 导小组
2	辐射安全 设施	钥匙开关（1 个）、联锁装置（2 个）、 声光报警器（7 个）、工作状态指示灯（2 个）、巡检/急停按钮（10 个）、光电装 置（6 道）、拉线开关（2 个）、紧急开 门（3 处）、臭氧温湿度检测仪（3 处）、 烟感报警探测器（2 处）、固定式辐射监 测仪（5 处）等	安全设施运行正常
3	人员配 备	辐射安全与防护培训和考核	在国家核技术利用辐射安全与培 训平台上参加考试，并考核通过
		个人剂量计	工作人员配备个人剂量计并定期 检测，建立个人剂量档案
		职业健康管理	工作人员进行职业健康体检并体 检合格，建立职业健康档案
4	监测仪 器	辐射剂量率仪、剂量报警仪	配备 1 台辐射剂量率仪、4 台个人 剂量报警仪
5	监测限 值要求	个人剂量限值	项目所致职业人员和公众年附加 有效剂量分别低于本次评价管理 限值 5mSv/a、0.1mSv/a
		剂量率限值	电子加速器辐照装置外人员可达 区域屏蔽体外表面 30cm 处周围 剂量当量率不能超过 2.5μSv/h
6	健全规 章制度	制定《辐射工作人员岗位职责》、《辐射 防护和安全保卫制度》、《加速器操作规 程》、《辐射工作场所管理制度》、《设 备检维修维护保养制度》、《射线装置使用	保证辐射安全与环境管理体系有 效运行

		登记、台帐管理制度》、《辐射安全管理制度》、《辐射工作人员职业健康体检管理制度》、《辐射工作人员教育培训制度及培训计划》、《辐射工作人员个人剂量管理制度》、《辐射工作场所以及周边环境监测制度》、《辐射环境监测设备使用与检定管理制度》、《全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度》、《辐射事故应急预案》等规章制度	
--	--	---	--

表 13 结论与建议

结论

1. 项目概况

为确保公司 10MeV 设备业务的稳定、维持及高效益增长，基于市场开发业务体量增长及产业化科研项目产能需求。杨凌核盛辐照公司新建一条电子加速器辐照加工生产线（新增 1 台 10MeV 电子加速器），主要开展医疗器械、中药及植物提取物、食品等产品的消毒灭菌及电子元器件改性等对外技术服务及加工业务。

2、选址合理性分析

本项目位于陕西省汉中市城固县柳林镇陕西天谷药业有限公司厂区内 102 库房，其北侧为陕西天谷药业有限公司 101 库房，东侧为空地，南侧为厂区 104、105 库房，西侧为厂区 103 库房，可见辐照机房所在位置周边常驻人员较少，有效避免人员聚集区域。项目评价范围内不涉及居民居住区，周边没有学校等环境敏感保护目标，因此，项目选址合理。

3、环境质量现状

本项目位于陕西天谷药业有限公司 102 库房，受建设单位委托，陕西秦洲核与辐射安全技术有限公司对项目所在地及周边环境进行了 γ 辐射剂量率监测，监测结果为项目所在地及周边环境 γ 辐射剂量率为 0.035~0.081 μ Gy/h，与汉中市 γ 辐射剂量率调查结果（33~154nGy/h）处于同一水平。可见项目所在地辐射环境质量现状较好。

4、辐射安全设施

本项目拟采取钥匙开关、联锁装置、信号警示装置、巡检按钮、防人误入光电装置、急停装置、拉线开关、固定式剂量探测器等辐射安全设施后，可尽量减少辐射事故发生，符合《辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）标准中规定要求，项目采用的辐射安全设施可行。

5、辐射影响评价结论

经估算，加速器屏蔽体外的辐射剂量率最大值为1.05 μ Sv/h，低于2.5 μ Sv/h，满足标准要求。

通过分析可知：本项目电子加速器运行所致职业人员最大年有效剂量为 0.42mSv，低于本报告对职业人员提出的 5mSv/a 的剂量管理目标值；公众人员所受年有效剂量最大值为 7.87×10^{-2} mSv，低于 0.1mSv/a 的剂量管理目标值要求。

因此，本项目的辐射防护能力满足要求，项目运行后对周围环境及人员活动的辐射影响是可接受的。

6、辐射安全管理

杨凌核盛辐照技术有限公司汉中分公司应成立辐射安全与环境保护领导小组，明确相关人员职责；辐射工作人员、辐射管理人员应取得核技术利用辐射安全与防护考核成绩合格单，配备个人剂量计，上岗前参加职业健康体检并体检合格。辐射工作场所的各项防护设施应符合辐射防护相关要求，应配备相应的辐射监测仪器，制定各项辐射安全规章制度及辐射事故应急预案。

7、项目环保可行性结论

综上所述，在严格执行国家相关法律、法规及相关标准的要求，切实落实本报告表中提出的污染防治措施和建议后，该项目对职业人员和公众产生的辐射影响可以控制在国家标准允许的范围之内。从辐射环境保护角度分析，该项目是可行的。

建议和承诺

1、项目竣工后建设单位应按照国务院生态环境主管部门规定的标准和程序，对本项目配套建设的污染防治措施、辐射安全设施、辐射安全管理措施进行验收，编制验收报告，经验收合格后方可投入运行。

2、项目建成运行后，应严格执行辐射环境监测制度，每年应对公司辐射工作场所安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证部门报送上一年度辐射安全年度评估报告。

3、制定辐射事故应急预案，加强日常演练，做到有备无患。

表 14 审 批

下一级环境保护行政主管部门审查意见:

公章

经办人: 年 月 日 年 月 日

审批意见:

公章

经办人: 年 月 日 年 月 日