

核技术利用建设项目

中广核华瑞科技有限公司南通分公司

1 台电子加速器辐照装置更新项目

环境影响报告表

(公示版)

中广核华瑞科技有限公司南通分公司

2025 年 11 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

中广核华瑞科技有限公司南通分公司

1 台电子加速器辐照装置更新项目

环境影响报告表

建设单位名称：中广核华瑞科技有限公司南通分公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：江苏省南通市通州经济开发区青岛路 888 号

邮政编码：

联系人：

电子邮箱：

联系电话：

目录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	5
表 3	非密封放射性物质	5
表 4	射线装置	6
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	7
表 6	评价依据	8
表 7	保护目标与评价标准	11
表 8	环境质量和辐射现状	14
表 9	项目工程分析与源项	19
表 10	辐射安全与防护	25
表 11	环境影响分析	36
表 12	辐射安全管理	53
表 13	结论与建议	57
表 14	审批	63
附图 1	中广核华瑞科技有限公司南通分公司地理位置图	
附图 2	中广核华瑞科技有限公司南通分公司厂区平面布局及周围环境图	
附图 3	中广核华瑞科技有限公司南通分公司辐照车间二平面布局图	
附图 4	本项目加速器机房辐照室屏蔽设计图	
附图 5	本项目加速器机房主机室屏蔽设计图	
附图 6	本项目加速器机房剖面图 1	
附图 7	本项目加速器机房剖面图 2	
附图 8	本项目加速器机房通风示意图	
附件 1	委托书	
附件 2	射线装置使用承诺书	
附件 3	辐射安全许可证正副本复印件	
附件 4	环境影响报告表批复及验收意见复印件	
附件 5	辐射环境现状检测报告	

附件 6 辐射安全与防护培训证书复印件

附件 7 年度检测报告复印件

附件 8 个人剂量监测报告复印件

附件 9 装置参数说明

附件 10 江苏省投资项目备案证

表 1 项目基本情况

建设项目名称		中广核华瑞科技有限公司南通分公司 1 台电子加速器辐照装置更新项目			
建设单位		中广核华瑞科技有限公司南通分公司			
法人代表	叶焯	联系人		联系电话	
注册地址		江苏省南通市通州经济开发区青岛路 888 号			
项目建设地点		江苏省南通市通州经济开发区青岛路 888 号公司辐照车间二西部			
立项审批部门		南通高新技术产业开 发区管理委员会	批准文号	通高新管备（2025）391 号	
建设项目总投资（万元）		1500	项目环保投资（万元）	210	投资比例（环保投资/总投资） 14%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积（m ² ）	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性物质		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其他	/			
项目概述					
1 建设单位基本情况、项目建设规模及任务由来					
1.1 建设单位基本情况					
<p>中广核华瑞科技有限公司（曾用名为中广核辐照技术有限公司、中广核中科海维科技发展有限公司、江苏海维科技发展有限公司）下设中广核华瑞科技有限公司南通分公司（曾用名为中广核辐照技术有限公司南通分公司）、中广核华瑞科技有限公司扬州分公司、南通海维电子辐照技术有限公司等子公司。中广核华瑞科技有限公司南通分公司成立于 2023 年 01 月 18 日，注册地位于江苏省南通高新技术产业开 发区青岛路 888 号。公司经营范围包括民用核材料生产，技术服务、技术开发、技术咨询、技术交流、技术转让、技术推广（除依法须经批准的项目外，凭营业执照</p>					

依法自主开展经营活动)等。公司“工业电子加速器辐照设备技术改造项目”的项目代号为 2510-320658-89-02-630094,项目备案证见附件 10。

1.2 项目建设规模及任务由来

中广核华瑞科技有限公司南通分公司辐照车间二内 7#加速器机房中原配备 1 台 DZ-10/20 型电子加速器辐照装置,因公司业务发展,DZ-10/20 型电子加速器辐照装置不能满足对食品、医疗器械用品、美妆等产品的灭菌需求。为提高对产品的灭菌效率,公司对 7#加速器机房内的电子加速器辐照装置进行更新替换,将原有 DZ-10/20 型电子加速器辐照装置转移给中广核华瑞科技有限公司扬州分公司用于辐照灭菌,7#加速器机房内新配备 1 台 DZ-10/32 型电子加速器辐照装置。

本项目 7#加速器机房沿用原有的 4 名辐射工作人员,实行两班制,每班各配备 2 名辐射工作人员,每班工作 8 小时,年工作 250 天,每名辐射工作人员年开机曝光时间约为 2000h,加速器机房年开机曝光总时间约为 4000h。

本项目核技术应用项目基本情况见下表 1-1:

表 1-1 本项目核技术应用情况一览表

序号	射线装置名称	数量	能量 (MeV)	最大束流强度 (mA)	功率	射线装置类别	工作场所名称	环评情况及审批时间	许可情况
1	DZ-10/32 型电子加速器辐照装置	1	10MeV	3.2mA	32kW	II	7#加速器机房	本次环评	未许可

根据《关于印发<核技术利用建设项目重大变动清单(试行)>的通知》(环办辐射函〔2025〕313号),本项目 7#加速器机房内更新的 1 台 DZ-10/32 型电子加速器辐照装置的额定功率(32kW)增大量超过已审批的 DZ-10/20 型电子加速器辐照装置额定功率(20kW)的 50%,属于核技术利用建设项目重大变动清单中“射线装置额定功率或输出剂量率或中子产生率增大 50%及以上”情况,应当编制环境影响评价报告表。受中广核华瑞科技有限公司南通分公司委托,江苏玖清玖蓝环保科技有限公司承担该项目的环评工作。我公司通过资料调研、现场监测、评价分析,编制该项目环境影响评价报告表。

2 项目周边保护目标及项目选址情况

中广核华瑞科技有限公司南通分公司位于南通市通州经济开发区青岛路 888 号,本项目地理位置见附图 1。公司东侧为南通海维电子辐射技术有限公司及中广核达胜

加速器技术有限公司南通分公司，南侧为中广核博繁新材料（南通）有限公司，西侧为南通凤凰彩印厂及南通市通州区鸿文复读学校，北侧为金桥西路，公司厂区平面布局及周围环境图见附图 2。

本项目 7#加速器机房位于辐照车间二西部，辐照车间二为 1 层建筑。7#加速器机房东侧为作业区、通道、未辐照区、厂内道路、辐照车间一及中广核达胜加速器技术有限公司南通分公司，南侧为通道、已辐照区、装卸货区、厂内道路及中广核博繁新材料（南通）有限公司，西侧为厂内道路、南通凤凰彩印厂及南通市通州区鸿文复读学校，北侧为卫生间、通道、未辐照区、已辐照区、作业区、装卸货区、6#加速器机房、5#加速器机房及仓库区，正上方、正下方无建筑，辐照车间二平面布局图见附图 3。

本项目 7#加速器机房西侧有一处环境敏感目标，为距离加速器机房约 13m 处的南通市通州区鸿文复读学校，评价范围内有 2 栋教学楼。本项目辐射环境保护目标主要为 7#加速器机房的辐射工作人员、7#加速器机房周围评价范围内公众及 7#加速器机房西侧 13m 处南通市通州区鸿文复读学校的 2 栋教学楼。

3 原有核技术利用项目许可情况

中广核华瑞科技有限公司因市场战略部署和业务发展需要，于 2023 年 2 月 14 日将销售和使用 II 类射线装置业务转移给中广核华瑞科技有限公司南通分公司（详见附件 3）。

中广核华瑞科技有限公司南通分公司已申领由南通市生态环境局颁发的辐射安全许可证，证书编号为“苏环辐证[F0920]”，发证日期为 2025 年 8 月 19 日，有效期至 2028 年 3 月 7 日，许可种类和范围为“销售、使用 II 类射线装置”。公司现有核技术应用项目均已履行环保手续，中广核华瑞科技有限公司南通分公司辐射安全许可证正副本复印件见附件 3，现有核技术利用项目环评批复及验收意见复印件见附件 4。

中广核华瑞科技有限公司南通分公司现有核技术利用项目详见表 1-2。

表 1-2 中广核华瑞科技有限公司南通分公司现有核技术利用项目清单

射线装置								
序号	名称	型号	类别	活动种类	数量	场所	环评审批时间	环保许可验收情况
1	工业辐照用加速器	DD1.5MeV/60mA 电子加速器	II 类	使用	1	公司内 3# 机房	通核表复 (2015) 007	已许可, 已验收 2016 年 5 月 17 日
2	工业辐照用加速器	DD5.0MeV/30mA 电子加速器	II 类	使用	1	公司内 4# 机房	通核表复 (2015) 007	已许可, 已验收 2016 年 5 月 17 日
3	工业辐照用加速器	DD2.0 MeV/100kW 型工业电子加速器	II 类	使用	1	公司内 5# 机房	通环核评 (2021) 1 号	已许可, 已验收 2022 年 8 月 31 日
4	工业辐照用加速器	DD2.5 MeV/100kW 型工业电子加速器	II 类	使用	1	公司内 6# 机房	通环核评 (2021) 1 号	已许可, 已验收 2022 年 8 月 31 日
5	工业辐照用加速器	DZ-10/20 型工业电子加速器	II 类	使用	1	公司内 7# 机房	通环核评 (2021) 1 号	已许可, 已验收 2022 年 8 月 31 日
6	工业辐照用加速器	DD1.5MeV/60mA 电子加速器	II 类	销售	6	/	通核表复 (2015) 007	/
7	工业辐照用加速器	DD5.0MeV/30mA 电子加速器	II 类	销售	6	/	通核表复 (2015) 007	/
8	工业辐照用加速器	DZ10.0MeV 工业辐照用加速器	II 类	销售	15	/	通核表复 (2017) 001 号	/
9	工业辐照用加速器	DZ9.0MeV 无损探伤电子加速器	II 类	销售	15	/	通核表复 (2017) 001 号	/

*中广核华瑞科技有限公司原使用 1#加速器机房和 2#加速器机房业务已转让给其他下属子公司 (南通海维电子辐照技术有限公司)。

4 实践正当性

本项目在运行期间将会产生电离辐射, 可能会增加 7#加速器机房周围的辐射水平, 但采取各种屏蔽措施和管理措施后可得到有效的控制, 其对周围环境的辐射影响能够满足标准要求。本项目的建设将满足企业的生产需求和提高产品质量, 创造更大的经济效益和社会效益, 在落实辐射安全与防护管理措施后, 其带来的效益远大于可能对环境造成的影响, 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)“实践的正当性”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
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	电子加速器辐照装置	II	1	DZ-10/32 型	电子	10MeV	3.2mA	辐照加工	7#加速器机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	/	/	不暂存	7#加速器机房由 15m 高排气筒排放，排入大气环境中的臭氧常温下 50min 内可自行分解为氧气，对环境影响较小
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³，年排放总量用 kg。

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

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(2014 年修订版), 国家主席令第 9 号公布, 2015 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018 年修正版), 2018 年 12 月 29 日中华人民共和国主席令第 24 号修正</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》, 国家主席令第 6 号公布, 2003 年 10 月 1 日起施行</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》(2017 年修订版), 国务院令第 682 号, 2017 年 10 月 1 日起施行</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2019 年修订版), 国务院令第 709 号第二次修订, 2019 年 3 月 2 日发布</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》, 生态环境部令第 16 号, 2021 年 1 月 1 日起施行</p> <p>(7) 《关于发布射线装置分类的公告》, 环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年 第 66 号, 2017 年 12 月 5 日</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021 年修正版), 2021 年 1 月 4 日中华人民共和国生态环境部令第 20 号修正</p> <p>(9) 《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, 2011 年 5 月 1 日起施行</p> <p>(10) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》国家环保总局, 环发〔2006〕145 号, 2006 年 9 月 26 日</p> <p>(11) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》, 生态环境部令第 9 号, 2019 年 11 月 1 日起施行</p> <p>(12) 《关于发布<建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法>配套文件的公告》, 生态环境部公告 2019 年 第 38 号, 2019 年 11 月 1 日起施行</p> <p>(13) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》, 生态环境部公告 2019 年 第 39 号, 2019 年 10 月 21 日</p> <p>(14) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》, 生态环境部公告 2019 年 第 57 号, 2019 年 12 月 23 日</p> <p>(15) 《江苏省辐射污染防治条例》(2018 年修正版), 2018 年 3 月 28 日江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议修正</p>
------	---

	<p>(16)《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74号，2018年6月9日</p> <p>(17)《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1号，2020年1月8日</p> <p>(18)《省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49号，2020年6月21日</p> <p>(19)《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187号，2021年5月28日</p>
<p>技术标准</p>	<p>(1)《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)</p> <p>(2)《环境影响评价技术导则 生态影响》(HJ19-2022)</p> <p>(3)《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>(4)《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)</p> <p>(5)《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)</p> <p>(6)《粒子加速器辐射防护规定》(GB 5172-1985)</p> <p>(7)《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)</p> <p>(8)《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ141-2002)(根据原国家卫生计生委国卫通[2016]24号公告,该标准于2016年12月28日转为推荐性标准)</p> <p>(9)《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)</p> <p>(10)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)</p> <p>(11)《工作场所所有害因素职业接触限值 第1部分:化学有害因素》(GBZ2.1-2019)</p> <p>(12)《环境空气质量标准》(GB3095-2012)及修改单</p>
<p>其他</p>	<p>与本项目相关附件:</p> <p>(1)项目委托书(附件1)</p> <p>(2)射线装置使用承诺书(附件2)</p> <p>(3)辐射安全许可证正副本复印件(附件3)</p> <p>(4)环境影响报告表批复及验收意见复印件(附件4)</p> <p>(5)本项目辐射环境现状检测报告(附件5)</p> <p>(6)辐射安全与防护培训证书复印件(附件6)</p>

- (7) 年度检测报告复印件（附件 7）
- (8) 人剂量监测报告复印件（附件 8）
- (9) 装置参数说明（附件 9）
- (10) 江苏省投资项目备案证（附件 10）

表 7 保护目标与评价标准

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)中“放射源和射线装置应用项目的评价范围,通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”,确定本项目评价范围为本项目 7#加速器机房边界外 50m 区域评价范围示意图见附图 2。

保护目标

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》(苏政发〔2018〕74号)及《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》(苏政发〔2020〕1号)本项目评价范围不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。对照《环境影响评价技术导则 生态影响》(HJ 19-2022),本项目评价范围内不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。

本项目利用电子加速器辐照装置产生的电子进行辐照加工,占用资源少,不会降低项目周边的水、气、土壤的环境功能类别和环境质量,符合“三线一单”相关要求。

本项目 7#加速器机房西侧有一处环境敏感目标,为距离加速器机房 13m 处的南通市通州区鸿文复读学校的 2 栋教学楼。本项目辐射环境保护目标主要为 7#加速器机房的辐射工作人员、7#加速器机房周围评价范围内公众及 7#加速器机房西侧 13m 处南通市通州区鸿文复读学校的 2 栋教学楼。50m 评价范围内保护目标情况见表 7-1。

表 7-1 本项目评价范围内保护目标情况一览表

保护目标名称	保护目标位置	方位	最近距离	规模	环境保护要求
辐射工作人员	操作位	东侧	紧邻	3 人	职业人员年剂量约束值 5mSv/a
公众	作业区	东侧	约 2m	约 4 人	公众人员年剂量约束值 0.1mSv/a
	通道、厂内道路		约 9m	流动人员	
	未辐照区		约 10m	约 4 人	
	辐照车间一		约 40m	约 12 人	
	中广核达胜加速器技术有限公司南通分公司	约 36m	约 20 人		
	通道、厂内道路	南侧	紧邻	流动人员	
	已辐照区、装卸货区		约 3.5m	约 5 人	
中广核博繁新材料(南	约 46m		约 25 人		

	通)有限公司			
	厂内道路	西侧	约 2m	流动人员
	南通凤凰彩印厂		约 20m	约 15 人
	南通市通州区鸿文复读学校*		约 13m	约 1500 人
	卫生间、通道	北侧	紧邻	流动人员
	未辐照区、已辐照区		约 11m	流动人员
	作业区		约 21m	约 2 人
	装卸货区		约 22m	流动人员
	6#加速器机房、5#加速器机房		约 40m	约 4 人
	仓库区		约 37m	流动人员

*共 2 栋教学楼，1 栋教学楼为 3 层建筑，高度约为 10m；1 栋教学楼为 4 层建筑，高度约为 13m。

评价标准

1 剂量限值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

/	剂量限值
职业照射 剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。
公众照射 剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

2 剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中“11.4.3.2剂量约束值通常应在公众照射剂量限值10%~30%（即0.1mSv~0.3 mSv）的范围之内，但剂量约束的使用不应取代最优化要求，剂量约束值只能作为最优化值的上限”，以及《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)中“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：辐射工作人员个人年有效剂量为5mSv，公众成员个人年有效剂量为0.1mSv”，确定本项目辐射工作人员及公众的剂量约束值如下：

- (1) 辐射工作人员年剂量约束值不大于**5mSv/a**；
- (2) 公众年剂量约束值不大于**0.1mSv/a**。

3 辐射剂量率控制水平

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)

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。

确定本项目关注点剂量率参考控制水平：本项目 7#加速器机房屏蔽墙体外 30cm 处的辐射剂量率均不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

4 辐射环境现状评价参考值

参考《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（辐射防护 第 13 卷第 2 期，1993 年 3 月），江苏省环境监测站。

表 7-3 江苏省环境天然 γ 辐射水平（单位：nGy/h）

/	原野	道路	室内
测值范围	33.1~72.6	18.1~102.3	50.7~129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差 (s)	7.0	12.3	14.0

注：[1]测量值已扣除宇宙射线响应值。

[2]现状评价时，参考测值范围进行评价。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1 项目地理和场所位置

中广核华瑞科技有限公司南通分公司位于南通市通州经济开发区青岛路 888 号，本项目地理位置见附图 1。公司东侧为南通海维电子辐射技术有限公司及中广核达胜加速器技术有限公司南通分公司，南侧为中广核博繁新材料（南通）有限公司，西侧为南通凤凰彩印厂及南通市通州区鸿文复读学校，北侧为金桥西路，公司厂区平面布局及周围环境图见附图 2。

本项目 7#加速器机房位于辐照车间二西部，辐照车间二为 1 层建筑。7#加速器机房东侧为作业区、通道、未辐照区、厂内道路、辐照车间一及中广核达胜加速器技术有限公司南通分公司，南侧为通道、已辐照区、装卸货区、厂内道路及中广核博繁新材料（南通）有限公司，西侧为厂内道路、南通凤凰彩印厂及南通市通州区鸿文复读学校，北侧为卫生间、通道、未辐照区、已辐照区、作业区、装卸货区、6#加速器机房、5#加速器机房及仓库区，正上方、正下方无建筑，辐照车间二平面布局图见附图 3。

本项目 7#加速器机房西侧有一处环境敏感目标，为距离加速器机房 13m 处的南通市通州区鸿文复读学校的 2 栋教学楼。本项目辐射环境保护目标主要为 7#加速器机房的辐射工作人员、7#加速器机房周围评价范围内公众及 7#加速器机房西侧 13m 处南通市通州区鸿文复读学校的 2 栋教学楼。本项目 7#加速器机房及周围环境现状见图 8-1。



本项目 7#加速器机房东侧（作业区）



本项目 7#加速器机房南侧（通道、已辐照区）



本项目 7#加速器机房西侧（厂内道路）



本项目 7#加速器机房北侧（通道）



本项目 7#加速器机房

图 8-1 本项目 7#加速器机房及周围环境现状图

2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

环境现状评价对象：本项目 7#加速器机房及周围辐射环境

监测因子： γ 辐射空气吸收剂量率

监测点位：7#加速器机房及周围布置监测点位，共计 12 个监测点位

3 监测方案、质量保证措施及监测结果

3.1 监测方案

监测项目： γ 辐射空气吸收剂量率

监测布点：在本项目 7#加速器机房及周围进行布点，具体点位见图 8-2~图 8-4

监测仪器：X、 γ 辐射空气比释动能率仪（型号 BG9512PG03）（设备编号：J2825，

检定有效期：2025 年 08 月 13 日-2026 年 08 月 12 日，检测范围：10nGy/h~200 μ Gy/h，
能量响应范围：25keV~3MeV）

监测时间：2025 年 10 月 22 日

环境条件：天气：晴 温度：17.3 $^{\circ}$ C 湿度：55.7%RH

监测方法：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）

数据记录及处理：每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s，并待计数稳定后读取数值。每组数据计算每个点位的平均值并计算方差。

3.2 质量保证措施

监测单位：江苏玖清玖蓝环保科技有限公司，公司已通过资质认定

监测布点质量保证：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）有关布点原则进行布点

监测过程质量控制质量保证：本项目监测按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，实施全过程质量控制

监测人员、监测仪器及监测结果质量保证：监测人员均经过考核并持有检测上岗证，所有监测仪器均经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过检定，监测报告实行三级审核。

3.3 监测结果

评价方法：对照江苏省环境天然 γ 辐射水平调查结果进行评价，监测结果见表 8-1，详细检测结果见附件 5。

表 8-1 本项目 7#加速器机房及周围环境辐射水平检测结果

测点编号	测点位置描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	7#加速器机房辐照室处	34	平房
2	7#加速器机房辐照室东侧（作业区）	35	平房
3	7#加速器机房辐照室南侧（通道）	37	平房
4	7#加速器机房辐照室西侧（厂内道路）	41	道路
5	7#加速器机房辐照室北侧（通道）	35	平房
6	7#加速器机房主机室东侧（控制室）	51	平房
7	7#加速器机房主机室北侧（电气室）	57	平房
8	7#加速器机房主机室南侧（平台）	58	平房
9	7#加速器机房东侧 （中广核达胜加速器技术有限公司南通分公司外）	58	道路
10	7#加速器机房南侧 （中广核博繁新材料（南通）有限公司外）	65	道路
11	7#加速器机房西侧 （南通市通州区鸿文复读学校外）	65	道路
12	7#加速器机房西侧 （南通凤凰彩印厂外）	59	道路

注：上表数据已扣仪器宇响值。建筑物对宇宙射线屏蔽修正因子平房取 0.9，道路取 1。

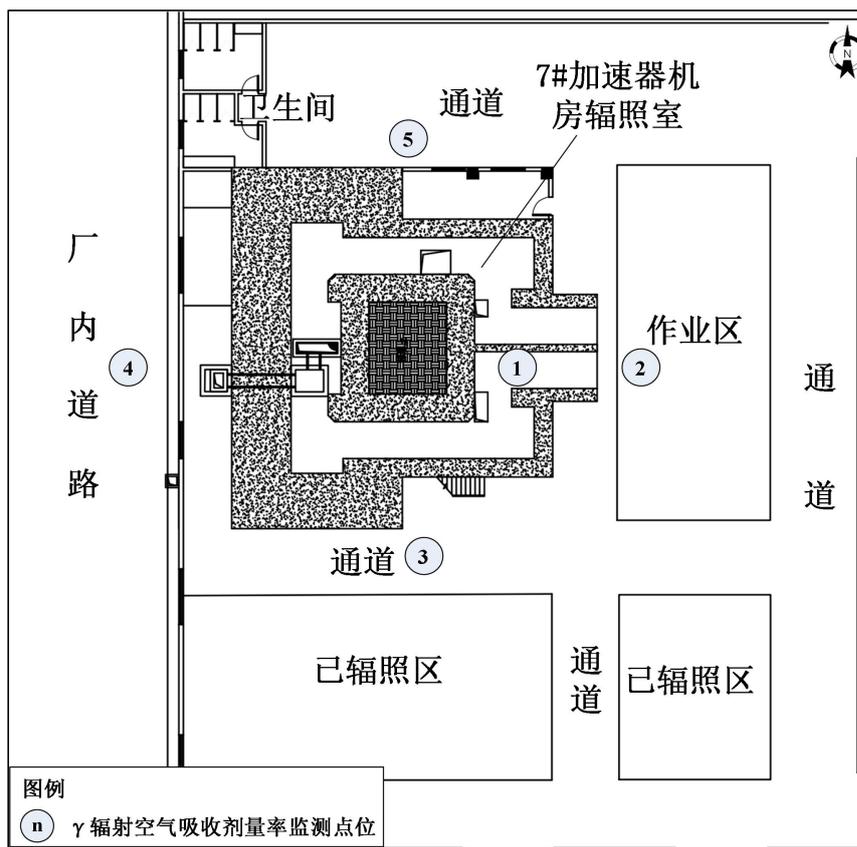


图 8-2 本项目 7#加速器机房及周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测点位示意图 1

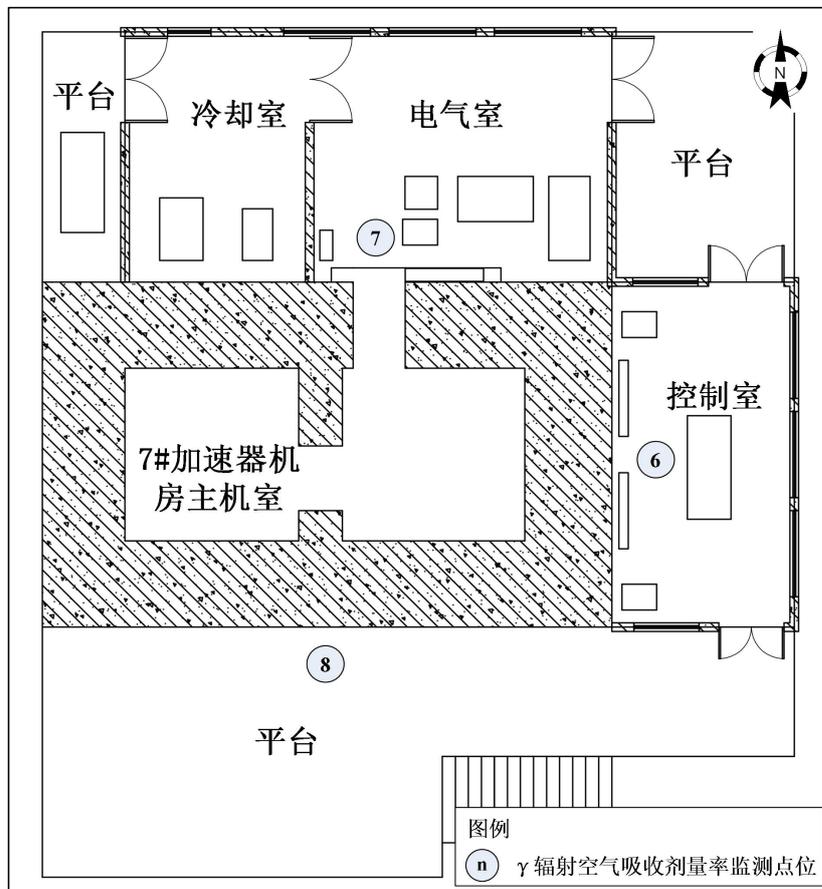


图 8-3 本项目 7#加速器机房及周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测点位示意图 2



图 8-4 本项目 7#加速器机房及周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测点位示意图 3

4 环境现状调查结果评价

从现场监测结果可知，本项目 7#加速器机房及周围环境扣除仪器宇宙射线响应值后的室内 γ 辐射水平为（34~58）nGy/h，室外道路 γ 辐射水平为（41~65）nGy/h，根据《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（辐射防护 第 13 卷第 2 期，1993 年 3 月），江苏省扣除仪器宇宙射线响应值后的室内 γ 辐射水平为（50.7~129.4）nGy/h，室外道路 γ 辐射水平为（18.1~102.3）nGy/h。因本项目加速器机房所在车间的建筑材料对天然 γ 辐射的吸收，加速器机房周围部分室内监测点位的环境 γ 辐射水平略低于江苏省室内 γ 辐射剂量率水平范围；室外道路 γ 辐射水平处于江苏省室外环境天然 γ 辐射水平测值范围内。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

1 工程设备

因公司业务发展，辐照车间二内 7#加速器机房中原有的 1 台 DZ-10/20 型电子加速器辐照装置不能满足对食品、医疗器械用品、美妆等产品的灭菌需求。为提高对产品的灭菌效率，公司将 7#加速器机房内的 1 台 DZ-10/20 型电子加速器辐照装置更新替换为 DZ-10/32 型电子加速器辐照装置。原 DZ-10/20 型电子加速器辐照装置最大能量为 10MeV，最大束流强度为 2mA，额定功率为 20kW。更新后的 DZ-10/32 型电子加速器辐照装置最大电子能量为 10MeV，最大束流强度为 3.2mA，额定功率为 32kW，加速器在加速过程中的束流损失率为 2%，束流损失点能量为 3MeV（加速器参数说明见附件 9）。本项目加速器机房外径尺寸为 19.7m 长×19.6m 宽×8.6m 高，加速器机房主要构成包括：①一楼的辐照室及二楼的主机室；②二楼冷却室、电气室、控制室、二层平台等；③传送设备，即从迷道自动进出的货物传送带。

本项目电子加速器辐照装置的结构示意图见图 9-1，实物图见图 9-2。电子加速器辐照装置主要由电子枪、加速结构、调制器、功率源、微波传输系统、聚焦系统、导向系统、偏转系统、真空系统、水冷系统以及控制系统等组成。电子加速器辐照装置在进行辐照时由电子枪发射电子，电子经过漂移管进入扫描盒，在扫描磁场作用下形成扇形束，透过钛膜打到物品上，进行辐照加工。

图 9-1 电子加速器辐照装置结构示意图

图 9-2 电子加速器辐照装置实物图

(1) 直流高压发生器

直流高压发生器由高频振荡器和倍压整流芯柱组成。

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

整流倍压系统 是以两块垂直地固定在钢桶底板上的绝缘板为骨架，在两块绝缘板上间隔均匀地从下至上各安装一排硅堆，两排硅堆彼此依次联接组成一条螺旋上升的硅堆整流链。硅堆是加速器的关键部件之一。它由整流芯子和带保护球隙的金属屏蔽盒组成，每个硅堆的平均输出电压为 50kV。整流芯子由数百只硅二极管串联而成，其电路设计采取了均压和限流措施。所有高频高压和直流高压的部件都安装在压力钢桶内，充以干燥绝缘气体，使得加速器具有足够安全的绝缘强度。

(2) 束流加速系统

束流加速系统由加速器管和电子枪组成。

加速器管 是电子在其中成束并被加速的部件。它需要在高真空中 ($10^{-5} \sim 10^{-6}$ Pa) 稳定可靠地建立一个均匀的高梯度直流加速电场 ($0 \sim 20$ kV/cm)。加速管安装在整流芯柱的中心，顶端与高压球帽相接，底端接地。其电位分布大体与整流柱中的电位分布一致。加速管外侧装有均压电阻链，使其具有独立分压，每个绝缘环还装有保护放电球隙，以防止过电压冲击。

电子枪 加速管的顶端安装电子枪，电子枪采用由钨合金丝绕制的直热式盘香形阴极，钨丝直径 $0 \sim 0.8$ mm。阴极加热后发出的电子被加速管上端的引出极（也称吸极）引出成束进入加速管加速。

(3) 扫描引出系统

电子束离开加速管后经漂移管进入辐照厅。穿过扫描磁铁组件时，在三角波磁场的作用下，进行 X 和 Y 相互垂直两个方向的扫描。最后经长条形的钛窗引出。钛箔的厚度既要有足够的强度以抵抗真空压力，又要尽量减少电子束在穿越时的能量损耗。即使如此，钛箔上的能耗仍旧相当可观，因此沿钛窗安装了一把风刀，针对钛箔进行强风冷却。另外，在加速管出口至扫描磁铁之间的漂移管外面，还安装有聚焦线圈和导向线圈，用以调节束流的聚焦和方向。

(4) 冷却系统

其作用是把变压器散发的热量带走，并对钢桶内的其他部件进行冷却。

(5) 绝缘气体系统

在加速器高压钢筒内充以干燥绝缘气体作为绝缘介质，用于保证加速器的高电位梯度。

(6) 真空系统

主要用于维持加速管和扫描盒内的高真空状态，控制系统设有监测真空度的传感器。在扫描漂移管的一侧设置有用於加速器正常工作时，维持真空的机械泵、分子泵、闸板阀和真空硅等。

(7) 安全联锁系统

主要包括屏蔽室的防护门联锁、紧急按钮、剂量监测联锁和故障报警指示组成。主控制器执行数据采集并控制加速器设备各项功能。

(8) 通风系统

主要排除机房内产生的臭氧及氮氧化物等气体。

(9) 控制系统

上述各部件被紧凑地集成在一个带有控制面板的机箱中，整个系统采用电动执行元件和程序控制，通过面板上的按钮操作，即可按规定自动完成相应的流程步骤，避免误动作。

2 电子加速器辐照装置工作原理

电子加速器辐照装置是使电子在高真空场中受磁场力控制，电场力加速而获得高能量的特种电磁、高真空装置，是人工产生各种高能电子束或 X 射线的设备。

电子加速器辐照装置的工作原理可概括为：脉冲调制器将市电转变成高压脉冲，并提供给速调管，速调管在微波激励源激励下产生微波脉冲，该微波功率经过波导、四端

环流器以及波导窗馈入到返波加速管中，建立加速电场。脉冲变压器枪压抽头同时给加速管的电子枪提供高压，将电子从电子枪的阴极上拉出来，进入加速管的加速腔中，电子与加速腔中的轴向电场相互作用，并从其中吸收能量，使电子的能量得到提高。电子经过漂移管进入扫描盒，在扫描磁场作用下形成扇形束，透过钛膜打到物品上，进行辐照加工。

本项目使用型号为 DZ-10/32 型的电子加速器辐照装置，该类加速器采用行波加速方式。经速调管放大的微波功率耦合到被称之为盘荷波导的加速管中，行波电场将电子枪注入的电子不断地加速，使其能量逐渐增加，当电子速度接近光速时，从微波功率中获取的能量已达到相当的速度，就可以穿过钛窗进入空气中，能穿透空气或物体到相应的深度；将电子束偏转扫描后用于工业辐照，可以达到杀菌保鲜，材料改性等多种效果。

3 工作流程及产污环节

本项目电子加速器辐照装置主要对食品、医疗器械用品、美妆等产品进行辐照加工。本项目采用传送设备对辐照产品进行传输，辐照产品从辐照室货物进口经传输带传输进入辐照室，经过辐照加工后从货物出口传输出来。对辐照加工工艺流程简述如下：

(1) 每次电子加速器辐照装置开机前，确认门机联锁、巡检按钮、光电联锁、紧急停机及拉绳开关等辐射安全系统及装置无异常，辐射工作人员对辐照室、主机室进行巡检（按要求依次按下巡检按钮）、清场，确认室内无人；

(2) 调整好加速器运行参数，调整束下传输装置传输速度；

(3) 辐射工作人员开启辅助系统、控制系统等进行预热；

(4) 启动辐照装置，上货区工作人员将拟辐照产品放置于传送设备上，辐照产品经过传输设备从辐照室货物通道进口输送进入辐照室，到达辐照区域后进行辐照加工，此过程会产生电子束、X 射线、臭氧及氮氧化物；

(5) 辐照完成后，辐照产品通过束下传输设备从辐照室货物通道出口传送出，由下货区工作人员将辐照产品搬离传送装置。

本项目电子加速器辐照装置在开机辐照过程中主要的辐射污染为 X 射线及电子束污染，同时伴随有臭氧、氮氧化物等气体以及风机运行过程中的噪声污染。本项目辐照加工工艺流程和主要产污环节如图 9-3 所示。

图 9-3 本项目辐照加工工艺流程和主要产污环节图

4 工作机制

公司 7#加速器机房沿用原有的 4 名辐射工作人员，实行两班制，每班各配备 2 名辐射工作人员，1 人负责电子加速器辐照装置的操作，1 人负责加速器机房周围巡视，每班工作 8 小时，年工作 250 天，每名辐射工作人员年开机曝光时间约为 2000h，加速器机房年开机曝光总时间约为 4000h。本项目 7#加速器机房上下货区的装卸人员为辅助人员，不属于辐射工作人员，每班配备两名辅助人员。

污染源项描述

1 辐射污染源分析

电子加速器辐照装置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，电子束打在机头及其他高 Z 物质时会产生高能 X 射线，其贯穿能力极强，会对辐照室周围环境辐射造成辐射污染。此外，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，对加速器机房产生一定的辐射影响。电子加速器辐照装置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，在电子加速器辐照装置开机辐照期间，X 射线辐射为本项目主要的污染因素。

本项目电子加速器辐照装置电子束最大能量为 10MeV，最大束流强度为 3.2mA，

本项目 7#加速器机房内电子加速器主要参数见表 9-1

表 9-1 本项目加速器源项参数一览表

技术指标	参数
型号	
最大电子束能量 (MeV)	
最大电子束流强度 (mA)	
最大束流功率 (kW)	
扫描宽度 (m)	
90°方向的 X 射线发射率 ($\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	
最大束流损失率 (%)	
最大束流损失点能量 (MeV)	
束流损失点 90°方向的 X 射线发射率 ($\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	

2 非辐射污染源分析

本项目运行过程中没有放射性废水、放射性废气及放射性固体废物产生。

空气在强电离辐射的作用下，会产生一定量的臭氧和氮氧化物。加速器输出的直接致电离粒子束流越强，臭氧和氮氧化物的产额越高。其中臭氧的毒性最大，产额最高，不仅对人体产生危害，同时能使橡胶等材料加速老化。加速器机房在良好通风条件下，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。

本项目主要考虑辐照室内产生的臭氧对停机后进入机房的工作人员的影响，需保证其有害气体职业接触限值满足 GB/T 25306-2010 的要求。

电子加速器辐照装置在运行过程中风机会产生噪声，对周围声环境产生一定的影响。

本项目电子加速器辐照装置在运行过程中，冷却系统通过冷却水进行降温冷却，加速器冷却水循环使用，不外排。

本项目辐射工作人员会产生一定量的生活污水和生活垃圾。生活污水纳入市政污水管网；生活垃圾由公司统一分类收集后交由环卫部门清运处理。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1 项目布局及分区合理性分析

本项目 7#工业加速器辐照机房为两层混凝土结构，一层为辐照室，二层为主机室。加速器机房的控制室、电气室、冷却室等均位于机房二层。加速器辐照产品传输设备设置在一层辐照室东侧，货物通道入口设置于辐照室东墙北侧，货物通道出口设置于辐照室东墙南侧，上货区、下货区均拟设于一层传输设备东侧（详见图 10-1）。

加速器机房辐照室东墙北侧设有货物进口迷道和人员进出迷道，辐照室东墙南侧设有货物出口迷道和人员进出迷道，人员进出迷道外均设有人员进出门。公司拟在辐照室东墙北侧人员进出门内侧用铁条进行焊接，对北侧人员进出门进行封堵，封堵后，东墙北侧人员进出门无法开启，人员仅可从东墙南侧人员进出口进出辐照室。二层主机室设有人员进出迷道，控制室位于二层主机室外东侧。加速器机房辐照室及主机室人员进出迷道外均设有 1 道人员进出门，防止人员误入加速器机房中。本项目电子加速器辐照装置工作时，设备操作人员在控制室内设置机器参数并监控加速器运行情况。加速器出束时，辐照室及主机室内无人员停留，本项目 7#工业加速器机房布局合理可行。

公司将 7#工业加速器辐照机房的辐照室和主机室边界作为辐射防护控制区边界，在防护门外及机房周围醒目位置处设置电离辐射警告标志及中文警示说明等；将机房二层控制室、电气室、冷却室、平台，一层储存室及辐照室东侧流水线控制柜、检查确认区域均作为辐射防护监督区，监督区入口处的适当地点设立标明监督区的标牌，并悬挂电离辐射警示标志及无关人员禁止入内标牌，加速器工作时无关人等不得进入。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。本项目加速器机房布局图见图 10-1 及图 10-2。

图 10-1 本项目加速器机房一层平面布局及分区示意图

图 10-2 本项目加速器机房二层平面布局及分区示意图

2 屏蔽防护设计

本项目加速器机房辐射防护屏蔽设计见表 10-1。加速器机房平面及剖面设计图见图 4~附图 7。

表 10-1 本项目加速器机房屏蔽设计表

机房		屏蔽墙厚度	屋顶厚度	防护门
7#加速器机房	辐照室			
	主机室			
	加速器钢桶			
	线缆孔洞位置			
	通风口			

3 辐射安全和防护措施分析

为保障本项目安全运行，本项目 7#加速器机房设计有相应的辐射安全装置和保护措施主要有：

(1) 钥匙控制。加速器机房控制室主控台上、辐照室人员进出门外及主机室人员进出门外均配备钥匙开关，控制台上控制钥匙开关的钥匙与控制辐照室及主机室人员进出门外钥匙开关的钥匙为同一把钥匙，钥匙开关和辐照室及主机室门联锁。如从控制台上取出该钥匙，加速器能自动断开高压，停止出束。该钥匙与一台辐射监测报警仪相连。在运行中该钥匙是唯一且只能由运行班长使用。

操作台处	辐照室进出门外
主机室进出门外	
<p>(2) 门机联锁。加速器机房辐照室人员进出门及主机室人员进出门均与束流控制和加速器高压联锁。辐照室人员进出门及主机室人员进出门打开时，加速器不能开机，加速器运行中门被打开则加速器自动断开高压，停止出束。</p> <p>(3) 束下装置联锁。电子加速器控制台与束下装置的控制必须建立可靠的接口和协议文件，本项目束下装置为自动传送设备，自动传送设备因故障偏离正常运行状态或停止运行时，加速器能自动断开高压，停止出束。</p> <p>(4) 信号警示装置。在加速器机房辐照室东墙南侧人员进出口旁设置 1 个警铃和 1 个警灯，在辐照室内设置 5 个警铃和 5 个警灯，在主机室出入口设置 1 个警铃和 1 个警灯，主机室内设置 2 个警铃和 2 个警灯，用于开机前对主机室和辐照室内人员警示，警铃和警灯持续的时间足够长，以确保辐照室及主机室内人员安全离开。同时在加速器机房辐照室东墙外货物出口旁设置 1 个三色灯，主机室出入口处设置 1 个三色灯，三色灯可显示加速器工作状态，其中红色代表加速器正在工作中，黄色代表加速器处在待机中，绿色代表加速器关机。所有警灯及三色灯均与加速器高压联锁。</p>	

辐照室人员进口	辐照室内
主机室人员进出口	主机室内

(5) 巡检按钮。在加速器机房辐照室内墙上设置 3 个“巡检按钮”，巡检时辐射工作人员从辐照室东墙南侧人员进出门进入辐照室内，到达货物进口迷道处，按照顺序依次按下 1#~3#巡检按钮，最后从辐照室东墙南侧人员进出门离开辐照室，关闭辐照室人员进出口迷道门，完成巡检。

在主机室内设置 2 个“巡检按钮”，巡检时辐射工作人员从主机室人员进出门进入主机室内，依次按下 1#、2#巡检按钮，最后从人员进出门离开主机室，关闭人员进出门，完成巡检。

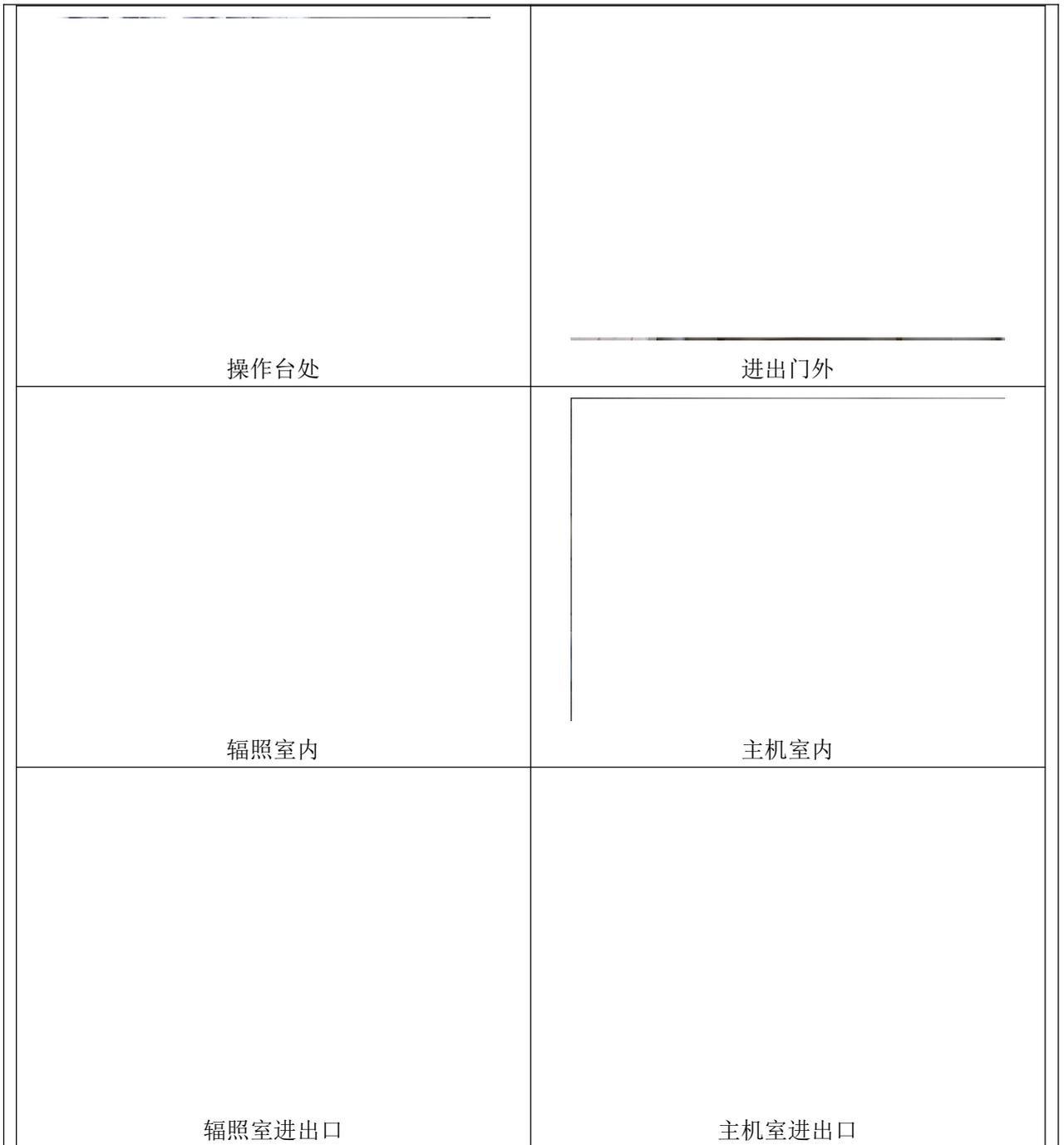
所有“巡检按钮”均与控制台联锁，只有当“巡检按钮”全部按下时，加速器才能出束。所有巡检按钮旁均设置清晰的文字说明。

辐照室内	主机室内
------	------

(6) 防人误入装置。在加速器机房辐照室货物进口、货物出口/人员进出口及主机室人员出入口内侧分别设置连续 3 道光电报警装置，3 道光电报警装置采用不同生产厂家不同品牌的产品，3 道光电报警装置位于不同水平、垂直位置，并与加速器的开、停机联锁。当有人通过光电报警装置被检测到时，加速器高压立即自动切断。

辐照室内	主机室内
------	------

(7) 急停装置。在辐照室内共设计安装 10 个急停按钮；在加速器机房控制室控制台上设计安装 1 个急停按钮；在主机室内设计安装 6 个急停按钮。同时在辐照室内及主机室内分别设计急停拉线开关，若辐照室或主机室内有人滞留，可按下急停按钮或拉线开关，加速器高压立即切断。辐照室人员进出口内和主机室人员进出口内各设有 1 个开门开关，共 2 个开门开关，以便人员离开控制区。所有急停按钮及拉线开关旁均设置清晰的文字说明。



(8) 剂量连锁：在加速器机房辐照室迷道内安装 1 个固定式辐射监测仪，主机室迷道内安装 1 个固定式辐射监测仪。固定式辐射监测仪与辐照室及主机室人员进出门连锁。固定式辐射监测仪的显示装置安装于控制台上。当辐射高于设定的阈值时，辐照室及主机室门无法打开。

辐照室内	主机室内
------	------

(9) 通风联锁。辐照室内的通风系统与控制系统联锁，当加速器停机后，只有达到预先设定的时间（5 分钟）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。加速器机房辐照室内设置烟雾报警装置，遇有火险时，加速器应立即断开高压，停止出束，并停止通风。

(11) 摄像监控。在加速器机房的辐照室内设置 6 个摄像头，同时在辐照室内西南角和西北角各设置一个反光镜，以实时观察辐照室内的情况。辐照室东墙外设置 2 个摄像头，主机室内设置 2 个摄像头，主机室电气室内及冷却室内各设置 1 个摄像头。

辐照室内	主机室内
------	------

(12) 在加速器机房主机室、辐照室及控制室内设置应急照明系统及逃生指示装置，以便在紧急情况下指引人员逃离主机室及辐照室。

(13) 通往加速器机房二层平台的楼梯口处设置电离辐射警示标志及无关人员禁止入内标牌，防止加速器运行时无关人员进入加速器机房二层。

在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。本项目 7#加速器机房安全联锁设置示意图见图 10-3、图 10-4。

图 10-3 本项目加速器机房辐照室安全联锁设置示意图

图 10-4 本项目加速器机房主机室安全联锁设置示意图

4 辐射安全原则符合性分析

(1) 纵深防御

本项目一层辐照室人员进出门和二层主机室人员进出门出入口的安全联锁拟采用门机联锁、信号指示灯联锁、剂量联锁、通风联锁，在一层辐照室货物进出口及二层主机室迷道人员出入口拟设置光电报警装置和警铃、警灯、三色灯等；拟设置急停按钮、拉线开关、开门开关等急停装置。以上措施均可确保当某一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。

(2) 冗余性

本项目拟在一层辐照室人员进出口及二层主机室迷道人员出入口处设置3道光电报警装置，3道光电报警装置采用不同生产厂家不同品牌的产品，3道光电报警装置位于不同水平、垂直位置，并与加速器的开、停机联锁。在运行过程中某一道光电报警装置失效或不起作用的情况下可使其整体不丧失功能。

(3) 多元性

一层辐照室人员进出门和二层主机室人员进出门出入口的安全联锁分别采用了门机联锁、信号指示灯联锁、剂量联锁、通风联锁及在一层货物进出口及二层人员进出口处设置光电开关。防护措施多元性能够提高装置的安全可靠性，可以降低共因故障。

(4) 独立性

本项目保证多道联锁之间的独立性、各部件之间的独立性、纵深防御各部件之间的独立性，从而保证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。

三废的治理

1 臭氧和氮氧化物处置措施

本项目电子加速器辐照装置在工作状态时，产生的电子及韧致辐射会使机房内空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物。加速器输出的直接致电离粒子束流越强，臭氧和氮氧化物的产额越高。由于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，因此报告表内主要考虑辐照室臭氧的产生和排放影响，如果臭氧的环境影响能够满足要求，则可推断氮氧化物的环境影响也能满足要求。

本项目7#加速器机房辐照室内安装通风装置，辐照室内的排风量设计为18000m³/h

左右，考虑实际运行时有 30%左右的风阻，本次估算时排风量取 12600m³/h。本项目 7# 加速器机房辐照室体积约为 235m³，每小时换气次数约为 53 次。本项目加速器机房排气管道通过地下管道穿过屏蔽墙，经辐照室外西侧烟道排放。排气管道孔径约为 500mm，管线埋地深度约为 1.0m，烟道排放口标高 15m，高于厂房屋顶，高于周围 50m 范围内最高建筑，排风管道设置合理。

2 噪声处理

加速器机房西墙外排风管道处配备 1 台低噪声风机，在安装时设置减震抑噪措施，排风系统噪声对周围环境影响较小。

3 生活废水和办公垃圾处置措施

本项目运行期间辐射工作场所内产生的常规污染物主要是办公过程产生的少量生活废水和办公垃圾，该两种污染物的处置依托公司的生活污水处理系统和保洁措施，统一收集后进入城市污水管网及垃圾处理站集中处理，不会对外环境造成不良影响。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目 7#加速器机房已经建成。施工过程中涉及到挖掘地基、混凝土浇筑、墙体的砌筑、建筑装修、设备安装等，在建设过程中采取了污染防治措施，减轻了对周边地区的环境影响。机房建设时产生的施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，随着施工期的结束而消失。施工单位严格按照有关规定采取措施进行污染防治，并加强了监管，使本项目施工对周围环境的影响降低到最小。

运行阶段对环境的影响

1 辐射环境影响分析

1.1 辐照室屏蔽计算

本项目电子加速器辐照装置主要用于对食品、医疗器械用品、美妆进行辐照灭菌服务。本项目电子加速器辐照装置电子束最大能量为 10MeV，最大束流为 3.2mA，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) 4.2.2 中“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”，因此预测时不考虑中子防护问题。

在辐照过程中，被辐照的靶材料有辐照产品传输带（不锈钢材料）、混凝土地面、医疗器械（不锈钢材料）等辐照产品。以上几种材料中，不锈钢 Z 值最大，X 射线发射率最高，本报告选取不锈钢为辐照靶材料。一层加速器辐照室电子束朝下，主要考虑与电子束入射方向呈 90°的初级 X 射线。选择剂量关注点为加速器机房四周屏墙外 0.3m 处及迷道出入口处。

加速器机房屏蔽效果根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) 中提供的计算模式及相关参数计算。

屏蔽体外剂量预测可参考以下公式：

$$H_M = \frac{B_X D_{10}}{d^2} (1 \times 10^6) \quad (11-1)$$
$$B_X = 10 \left\{ 1 + \left[\frac{S - T_i}{T_e} \right] \right\}$$

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

B_X —屏蔽体对应的透射因子；

d —X 射线源与参考点之间的距离， m ；

S —屏蔽体的厚度，cm；

T_1 、 T_e —分别为第一个十分之一值层厚度和平衡时的十分之一值层厚度，cm； T_1 取值参考附录 A 表 A.2， T_e 取值参考附录 A 表 A.3。

D_{10} —距离 X 射线辐射源 1m 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， $Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$ ；

I —电子束流强度，mA；

f_e —X 射线发射率修正系数，被辐照的靶材料为“铁、铜”时， 0° 方向的修正系数 f_e 为 0.7， 90° 方向的修正系数 f_e 为 0.5。

本项目电子加速器辐照装置的主线束垂直向下，因此辐照室的屏蔽以加速器的 90° 方向发射 X 射线最大出射剂量率进行计算。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）表 A.1 可得，10MeV 入射电子在距靶 1m 处侧向 90° 方向的 X 射线发射率为 $13.5 Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$ ，本项目被辐照的靶材料为钢板， 90° 方向的修正系数 f_e 取 0.5，计算得到 $D_{10}(90^\circ) = 1296 Gy/h$ 。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）表 A.4 可得，10MeV 电子 90° 方向的等效入射电子能量为 6.0MeV。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）表 A.2、表 A.3 可得到，混凝土对电子能量 6.0MeV 的第一个十分之一值层厚度 $T_1=34.2cm$ ，平衡时的十分之一值层厚度 $T_e=34.2cm$ 。本项目 7#加速器机房辐照室预测点位见图 11-1，预测参数及结果见表 11-1。

图 11-1 辐照室预测点位图

表 11-1 加速器机房辐照室屏蔽效果计算

预测点位	A 东墙	B 南墙	C 西墙	D 北墙
S (cm) #				
T ₁ (cm)				
Te (cm)				
d (m) *				
D ₁₀ (Gy/h)				
H _M (μSv/h)				

#: 屏蔽体厚度 S 根据表 10-1 和图 11-1 取值;

*: X 射线源与参考点之间的距离 d 均为 CAD 中直接测量叠加参考点 0.3m, 详见图 11-1。

由表 11-1 可知, 本项目 7#加速器机房辐照室四周屏墙外 30cm 处辐射剂量率最大为 ***μSv/h, 能够满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)中“电子加速器辐照装置外人员可到达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h”的要求。

1.2 主机室屏蔽计算

本项目加速器机房二楼主机室内的辐射场由三部分叠加: 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, 经过辐照室屋顶(主机室地板)不完全屏蔽的强贯穿辐射场; 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;

尚未加速到最高能量的电子在加速过程中束流损失而与加速器钢筒作用产生的束流损失辐射场。

由于沿与电子束入射方向成 180° 方向的次级散射 X 射线能量较低，当穿过孔洞后，将直接照射到加速器钢筒底部，由于主机室地板孔洞尺寸要小于加速器筒体直径，该散射射线将受到加速器底部钢筒的进一步屏蔽；对于加速器主体束流加速系统内的束流损失，当加速管内真空度良好的时候，其产生的辐射剂量较少。

为简化计算，二楼主机室辐射防护屏蔽评价，仅考虑电子加速过程中束流损失辐射场的影响及辐照室内与入射电子束成 105° 到 180° 方向的韧致辐射初级 X 射线经过辐照室屋顶屏蔽对室外关注点的影响。

1.2.1 束流损失辐射场辐射屏蔽计算

根据厂家提供加速器参数，7#加速器机房内电子加速器辐照装置束流损失率为 2%（即电子束流强度为 0.064mA ），束流损失点的能量为 3MeV 。根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）表 A.1 可得， 3MeV 入射电子在距靶 1m 处侧向 90° 方向的 X 射线发射率为 $3.2\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ，本项目被辐照的靶材料为钢板， 90° 方向的修正系数 f_c 取 0.5，计算得到 $D_{10}(90^\circ) = 6.14\text{Gy/h}$ 。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）表 A.4 可得到， 3MeV 电子 90° 方向的等效入射电子能量约为 1.9MeV 。根据表 A.2、表 A.3 可得到，混凝土对电子能量 1.9MeV 的第一个十分之一值层厚度 $T_1=21.76\text{cm}$ ，平衡时的十分之一值层厚度 $T_e=19.74\text{cm}$ ；铁对电子能量 1.9MeV 的第一个十分之一值层厚度 $T_1=7.52\text{cm}$ ，平衡时的十分之一值层厚度 $T_e=6.84\text{cm}$ 。估算时采用公式（11-1）及公式（11-2）进行估算，预测点位见图 11-2、图 11-3，计算结果见表 11-2。

图 11-2 主机室预测点位图

图 11-3 加速器机房剖面预测点位图 1

图 11-4 加速器机房剖面预测点位图 2

表 11-2 7#加速器机房加速器束流损失辐射场对主机室周围的辐射影响计算结果

预测点位		E 东墙	F 南墙	G 西墙	H 北墙	I 顶部
S [#] (cm)						
T ₁ (cm)	混凝土					
	Fe					
T _e (cm)	混凝土					
	Fe					
d* (m)						
D ₁₀ (Gy/h)						
B _X						
H _M (μSv/h)						

#: 屏蔽体厚度 S 根据表 10-1 和图 11-2 取值;

*: X 射线源与参考点之间的距离 d 均为 CAD 中直接测量所得, 详见图 11-2。

1.2.2 辐照室屋顶贯穿辐射屏蔽计算

为安全起见, 105°到 180°方向的发射率常数保守取 90°方向的发射率常数。预测点位见图 11-3 和图 11-4。本项目 7#加速器机房辐照室贯穿辐射场对主机室周围的辐射影响预测结果见表 11-3。

表 11-3 贯穿辐射场对主机室周围的辐射影响计算结果

预测点位	E 东墙	F 南墙	G 西墙	H 北墙	I 顶部
S [#] (cm)					
T ₁ (cm)					
T _e (cm)					

d^* (m)					
D_{10} (Gy/h)					
B_X					
H_M ($\mu\text{Sv/h}$)					

#: 屏蔽体厚度 S 根据表 10-1 和图 11-3、图 11-4 取值;

*: X 射线源与参考点之间的距离 d 均为 CAD 中直接测量所得, 详见图 11-3、图 11-4。

表 11-4 加速器主机室四周及顶部关注点处贯穿辐射场与束流损失场叠加影响

关注点位置	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		
	第一部分 ^[1]	第二部分 ^[2]	叠加值
E 东墙			
F 南墙			
G 西墙			
H 北墙			
I 顶部			

由表 11-4 可知, 在考虑贯穿辐射影响及束流损失影响的叠加影响后, 本项目 7# 加速器机房二楼主机室外四周屏墙外 30cm 处剂量率最大为*** $\mu\text{Sv/h}$, 顶部屏墙外 30cm 处剂量率约为*** $\mu\text{Sv/h}$, 满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) 中“电子加速器辐照装置外人员可到达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

1.3 X 射线通过屋顶的侧向散射影响估算

本项目加速器机房高度为 8.6m, 在西侧离加速器机房辐照室屏蔽体外约 13m 处的 2 栋教学楼高度约 10-13m。因此, 本项目需考虑 X 射线通过屋顶的侧向散射对西侧高层建筑的影响。估算模式采取《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) 中提供的计算模式及相关参数计算。计算公式如下:

$$H = \frac{D_{10} F f(\theta)}{d_R^2 10^{1 + \left[\frac{t-T_1}{T_e}\right]}} \quad (11-3)$$

式中: H —X 射线侧向散射周围剂量当量率 ($\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$);

D_{10} —靶上方 1 米处 X 射线的吸收剂量率 ($\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$), 根据前文公式 (11-2) 及加速器相关参数, 加速器机房辐照室 D_{10} 取 1296 $\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$, 加速器主机室内 D_{10} 取 6.14 $\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$;

F —靶上方 1 米处照射野的面积 (m^2)，加速器机房辐照室靶上方 1 米处照射野的面积取辐照室上方孔洞面积 $\text{***m}\times\text{***m}=\text{***m}^2$ ，加速器机房主机室靶上方 1 米处照射野的面积取主机室顶部面积 $\text{***m}\times\text{***m}=\text{***m}^2$ ；

$f(\theta)$ —X 射线的角度分布函数，本项目估算时， θ 取 80° ，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)中表 A.5，角度分布函数 $f(\theta)$ 取 0.014；

d_R —从屋顶上方束流中心到关注点的距离 (m)，加速器机房至西侧教学楼 d_R 值取 $(\text{***m}+\text{***m})/\cos\text{***}^\circ=\text{***m}$ ；

t —屋顶的厚度 (m)；

T_1 、 T_e —分别为第一个十分之一值层厚度和平衡时的十分之一值层 (m)， T_1 、 T_e 值根据 HJ979-2018 表 A.2、A.3，采用插值法计算得出。

将相关参数代入公式 (11-3)，计算结果见下表 11-5。

表 11-5 X 射线侧向散射对西侧高层建筑影响的计算结果

关注点		$D_{10}(\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1})$	$F(\text{m}^2)$	$f(\theta)$	$d_R(\text{m})$	$t(\text{cm})$	$T_1(\text{cm})$	$T_e(\text{cm})$	$H(\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1})$	合计
西侧 教学 楼	辐照室									
	主机室									

由表 11-5 可知，本项目加速器机房 X 射线通过顶盖的侧向散射对西侧高层建筑产生的辐射剂量率约为 $\text{***}\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足相关标准的要求。

1.4 天空反散射辐射影响分析

由表 11-4 的预测结果可知，7#加速器机房顶部最大辐射剂量率为 $\text{***}\mu\text{Sv/h}$ ，穿透顶部屏蔽体后的 X 射线在经大气散射返回地面后的辐射剂量率将更低，因此其天空反散射能够满足“关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

1.5 迷道及防护门屏蔽防护估算

辐照室及主机室迷道入口处的辐射剂量率根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)中提供的计算公式计算：

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

式中： D_{10} —距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率 ($\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}$)；

α_1 —入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数；

α_2 —随后从屏蔽层材料表面散射出来的对应 0.5MeV 的能量 X 射线的散射系

数（假设对以后所有散射过程是相同的）；

A_1 —X 射线入射到第一散射物质的散射面积， m^2 ；

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

d_1 —X 射线辐射源到第一反射层的距离， m ；

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

j —指第 j 个散射过程；

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A，对于能量大于 3MeV 的 X 射线其散射一次后能量为 0.5MeV；对于初级 X 射线，散射系数 α_1 取值为 5×10^{-3} ；对于一次散射后的 X 射线散射系数 α_2 取值为 2×10^{-2} ；辐照室迷道入口处的散射主要考虑 90°方向出射的 X 射线的散射。主机室防护门入口散射主要为漏束 X 射线的散射。

本项目估算时，7#加速器机房辐照室按照 10MeV 的 X 射线的散射进行估算，辐照室散射 3 次，主机室散射 1 次，辐照室、主机室的散射路径示意图见图 11-5、图 11-6。

7#加速器机房辐照室迷道散射计算的 D_{10} 取值为 $D_{10}=1296Gy/h$ ，迷道散射面积的确定： A_1 为第一次散射宽度与高度的乘积， A_2 为迷道宽度与高度的乘积。根据图 11-5，对 J、K、M、N 点， $A_1=*** \times *** = ***m^2$ ， $A_2=A_3=*** \times *** = ***m^2$ 。根据提供的资料，本项目 7#加速器机房内电子直线加速器束流损失率为 2%（即电子束流强度为 0.064mA），束流损失点的能量为 3MeV，主机室迷道散射计算的 D_{10} 取值为 $D_{10}=*** \times *** \times *** \times *** Gy/h = ***Gy/h$ ，迷道散射面积的确定：根据图 11-6，对 L 点， $A_1=*** \times *** = ***m^2$ 。辐照室和主机室的迷道入口辐射剂量率预算结果见表 11-5。

图 11-5 辐照室迷道散射示意图

图 11-6 主机室迷道散射示意图

表 11-6 迷道入口、上下货区辐射剂量率预测表

关注点位置		散射次数 j	路径 $d_{r1}, d_{r2}...d_{rj}$ (m)	辐射剂量率 $\mu\text{Sv/h}$
7#加速器机房	一楼辐照室货物进口 J			
	一楼辐照室货物出口 K			
	上货区 M			
	下货区 N			
	二楼主机室人员进出口 L			

从表 11-6 中预测结果可以看出，7#加速器机房辐照室货物进出口处的周围剂量当量率约为*** $\mu\text{Sv/h}$ ，辐照室东侧上下货区处剂量当量率为*** $\mu\text{Sv/h}$ ，主机室入口处的周围剂量当量率约为*** $\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目 7#加速器机房主机室迷道门采用***，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)表 A.2、表 A.3 可得到，铅对电子能量 0.5MeV 的第一个十分之一值层厚度 $T_1=0.5\text{cm}$ ，平衡时的十分之一值层厚度 $Te=1.2\text{cm}$ ；铁对电子能量 0.5MeV 的第一个十分之一值层厚度 $T_1=3.8\text{cm}$ ，平衡时的十分之一值层厚度 $Te=3.3\text{m}$ 。计算得出 7#机房辐照室及主机室入口处经铅防护门屏蔽后的剂量率见下表：

表 11-7 辐照室及主机室防护门外辐射剂量率估算表

楼层		屏蔽前剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽厚度	透射因子	屏蔽后剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
7#加速器机房	一楼辐照室				
	二楼主机室				

由表 11-7 的计算结果可知，经铅防护门屏蔽后，7#加速器机房货物进出口外周围剂量当量率为*** $\mu\text{Sv/h}$ ，主机室屏蔽门外周围剂量当量率为*** $\mu\text{Sv/h}$ ，均能满足屏蔽体外剂量当量率不能超过 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

1.6 通风口辐射防护分析

本项目加速器机房内通风管道由电子加速器辐照装置底部向下埋地，向东敷设，然后北转敷设到达辐照室北墙，再转向西穿出辐照室西侧屏蔽墙体和辐照车间二西墙，管道沿车间西墙外表面爬升至车间顶部排放，通风管道直径约为***mm，管线埋地深度约为***m，烟道排放口标高***m（详见附图 8）。辐照室内电子加速器产生的射线经过通风管道至少 4 次散射后才能到达辐照室外，可推断排风口的辐射剂量率能够满足相关标准要求。

1.7 辐照室臭氧的环境影响分析

1.7.1 辐照室臭氧浓度计算

(1) 臭氧的产生

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)中附录 B, 臭氧产额估算方法如下:

单位时间(每小时)内电子束生成的 O₃ 的量(P)为:

$$P=45 \times d \times I \times G \quad (11-5)$$

式中, P—单位时间电子束产生 O₃ 的质量, mg/h;

I—电子束流强度, mA;

G—空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 分子数, 保守值可取为 10;

d—电子束在空气中的行程, cm, 本项目加速器机房 d 取***cm。

由上式计算结果可得 7#加速器机房内臭氧产额为***mg/h。

(2) 辐照室臭氧的平衡浓度

照射时间很长(即照射时间 t 远远大于 O₃ 的有效清除时间 \bar{T}) 情况下 O₃ 饱和浓度:

$$C_s = \frac{PT_e}{V} \quad (11-6)$$

式中, C_s—辐照室内臭氧平衡浓度, mg/m³;

P—意义同前文;

V—辐照室体积, m³, 7#机房辐照室体积为 235m³;

T_e—臭氧的有效清除时间, h, 按公式(11-7)计算。

$$T_e = \frac{T_v \times T_d}{T_v + T_d} \quad (11-7)$$

式中, T_d—臭氧的有效分解时间, h, 约为 0.83h;

T_v—辐照室通风换气周期, h, 7#机房辐照室通风换气周期为***h;

由上式计算结果可得 7#机房辐照室内臭氧平衡浓度为***mg/m³。

(3) 臭氧的排放

关闭加速器后风机运行的持续时间为:

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s} \quad (11-8)$$

式中, C₀—GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度, C₀=0.3 mg/m³;

T—为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间，h；

经计算得加速器停机后，7#机房内加速器停止工作后，辐照室内通风系统以通风速率***m³/h 继续工作，加速器机房通过***min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可达到 GBZ2.1 规定的最高容许浓度：***mg/m³。此时工作人员进入辐照室是安全的，公司应加强对辐射工作人员的管理和培训，明确 7#加速器机房内加速器停机至少***min 后方可打开辐照室防护门进入辐照室。本项目加速器机房辐照室采用排风装置通过排气管道向外界排放，辐照装置防护门等部位处于负压状态，辐照室内的含臭氧气体不会通过防护门扩散到货物进出口外的区域。

1.8 废水及固废环境影响分析

本项目运行期间辐射工作场所内产生的废水及固废主要是办公过程产生少量的生活污水及生活垃圾等。该两种污染物的处理处置依托公司现有的生活污水处理系统和保洁措施，统一收集后进入城市污水管网及垃圾处理站集中处理不会对外环境造成不良影响。

2 辐射工作人员和公众剂量估算及评价

辐射工作人员和公众年有效剂量的年有效剂量由公式（11-9）进行估算：

$$E_{eff}=D \cdot t \cdot T \cdot U \dots \dots (11-9)$$

式中：E_{eff}—人员年有效剂量，μSv/年；

D—参考点处辐射剂量率，μSv/h；

t—年工作时间，单位 h；

T—居留因子；

U—使用因子，本项目 U 取 1。

表 11-8 7#加速器机房辐射工作人员及公众年有效剂量计算结果一览表

预测点位/人员	D (辐射剂量率, μSv/h)	t (年工作时间, h)	T (居留因子)	U (使用因子)	E _{eff} (年有效剂量, mSv)
A (辐射工作人员)					
B (公众)					
C (公众)					
D (公众)					
E (辐射工作人员)					

F (辐射工作人员)					
H (辐射工作人员)					
J (辐射工作人员)					
K (辐射工作人员)					
L (辐射工作人员)					
M (公众)					
N (公众)					

根据表 11-8 理论预测可知，7#加速器机房四周的辐射工作人员年有效剂量最大约为***mSv/a，公众年有效剂量最大约为***mSv/a，满足辐照职业工作人员年剂量约束值 5mSv/a，公众年剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

本项目加速器机房西侧的南通市通州区鸿文复读学校 2 栋教学楼距本项目最近距离约为 13m，根据前文理论预测结果，加速器机房西侧屏蔽体外的最大辐射剂量率为*** μ Sv/h。根据剂量率与距离的平方成反比公式可得到 2 栋教学楼处的辐射剂量率为*** μ Sv/h，叠加表 11-5 加速器机房屋顶侧散射对 2 栋教学楼产生的辐射剂量率*** μ Sv/h 后，2 栋教学楼处的辐射剂量率为*** μ Sv/h，能够满足标准中关于“电子加速器辐照装置外人员可到达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5 μ Sv/h”的要求。南通市通州区鸿文复读学校的 2 栋教学楼中公众每天居留时间保守取***小时，年居留时间为***小时，居留因子取***，根据公式（11-9）计算可得到 2 栋教学楼中公众的年有效剂量为***mSv，能够满足公众年剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

本项目 7#加速器机房 50m 评价范围内有 2 座加速器机房（5#加速器机房、6#加速器机房）在用，2 座加速器机房位于 7#加速器机房北侧约 40m 处。根据公司 2024 年年度检测报告可知，5#加速器机房、6#加速器机房工作时周围辐射剂量率分别为（***~***） μ Sv/h 和（***~***） μ Sv/h，本项目 7#加速器机房北墙周围辐射剂量率最大预测值为*** μ Sv/h，在经过厂房的进一步屏蔽和距离的进一步衰减后，本项目和评价范围内在用加速器机房的辐射叠加影响很小，均湮没在本底辐射中。因此可推断本项目评

价范围内的辐射工作人员和其他公众均能够满足职业工作人员年剂量约束值 5mSv/a，公众年剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

事故影响分析

1 潜在事故分析

本项目电子加速器辐照装置只有在开机工作时才产生电子及 X 射线，因此，其潜在事故多为开机误照射事故，主要有：

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

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

(3) 电子加速器辐照装置联锁装置发生故障状况下，检修人员误入正在运行的加速器辐照室内，发生人员超剂量照射事故。

(4) 加速器机房屏蔽结构受损，导致屏蔽效果减弱。

(5) 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。

(6) 通风系统故障或不畅。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。

(7) 电击事故。加速器的工作电压具有潜在的危险性，特别是高压电路的电压、X 射线头内脉冲电压器的输入输出电压，以及钛泵的直流高压等，调试和检修工作触动上述电压会造成严重的伤害，也有可能带来人身伤亡事故。

(8) 在束下装置发生停运、卡顿等故障，束下联锁失效的情况下，辐照产品由于长时间受照引发火灾。

2 辐射事故处置方法及预防措施

本项目拟使用的电子加速器辐照装置属于 II 类射线装置，根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》及《江苏省辐射污染防治条例》的规定，该类射线装置可能发生的事故是指射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

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

故的发生。公司可采取以下预防措施：

(1) 在每次开启电子加速器前，严格按照操作流程检查各项安全联锁装置的有效性，同时做好个人的防护，佩戴个人剂量报警仪及个人剂量计。

(2) 每次辐照作业前检查各项安全联锁装置的有效性，定期监测加速器机房周围的辐射水平，确保工作安全有效运转。

(3) 定期认真地对本公司电子加速器的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

(4) 凡涉及对电子加速器进行操作，必须有明确的操作规程，操作人员按照操作规程进行操作，并做好个人的防护，并将操作规程张贴在操作人员可以看到的显眼位置。

(5) 每日对电子加速器的常用安全设备进行检查，包括安全联锁控制显示状况，辐照装置安全联锁控制显示状况，个人剂量报警仪和便携式辐射监测仪器工作状况等，发现异常情况时必须及时修复。

(6) 每月对电子加速器的安全设备或安全程序进行定期检查，包括辐照室内固定式辐射监测仪设备运行状况，控制台及其他所有紧急停止按钮、拉线开关、通风系统的有效性等，验证安全联锁功能的有效性，烟雾报警器功能是否正常等，发现异常情况时必须及时修复或改正。

(7) 每 6 个月对电子加速器的安全状况进行定期检查，包括配合年度检修的检测，全部安全设备和控制系统运行情况，发现异常情况必须及时采取改正措施。

(8) 加速器遇到较小故障或一般故障时，由公司辐射工作人员成立维修小组，负责加速器的维修；当加速器遇到较大故障或无法处理的故障时，联系加速器厂家人员进行维修。公司维修小组和厂家维修人员不同时进行维修，防止配合不当发生事故。

(9) 设立故障及异常情况下的安全保障控制程序：

a) 停电情况下，全部安全联锁系统失去作用。这时，加速器不能加高压，不能开机。

b) 计算机控制程序故障，系统能自动停机。

c) 辐照室内安装监控设施，时刻关注是否有人活动。

d) 人员进入辐照室或加速器进行检修等活动时，佩戴个人剂量报警仪，一旦报警仪报警，应立即按下急停开关离开辐照室。

(10) 防止易燃、易爆物品进入辐照室，禁止在上下货物区现场吸烟，防止引发火灾。

通过定期检查确保辐射安全措施正常运行，如有失效必须及时修理，不能“带病

作业”。如果因检修需要启动旁路联锁装置时，必须在控制台上设立中文警示牌，看守人员不得擅自离开控制台，以防事故发生，直至检修结束。如果声光报警器失灵、安全联锁失效、辐射监测仪器故障，应立即修理，恢复正常，方能继续从事辐照工作。通过日常自行检测及委托年度检测，及时发现辐射异常区域并查明原因进行整改，避免加速器周边人员受到异常照射或超剂量照射。

在发生事故后：

（1）事故情况下立即切断加速器高压控制开关的电源，组织人员保护现场，迅速报告公司安全和保卫部门进行事故处理，在 1 小时内上报生态环境、公安等有关管理部门，并做好辐射事故档案记录；

（2）发生人员受照事故时，迅速安排受照人员接受医学检查和救治，建立并保存相应的医疗档案；

（3）辐射事故发生后，积极配合环保、公安等管理机关做好事故调查和善后处理；

（4）对发生事故的加速器装置，请有关供货单位或相关的检测部门进行检测或维修，分析事故发生的原因，提出改进意见，并保存记录。

当发生辐射事故时，公司应立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要防范措施，在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用II类射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

中广核华瑞科技有限公司南通分公司已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，以文件形式明确管理人员职责，并明确张炜为辐射防护负责人。公司现有9名辐射工作人员，辐射防护负责人已通过生态环境部培训平台“辐射安全管理”类考核，其余8名辐射工作人员均已通过生态环境部培训平台“工业辐照电子加速器”类考核（证书复印件见附件6），公司已为本项目配备4名辐射工作人员。现有辐射工作人员及辐射防护负责人持有的辐射安全培训合格证书到期后应当参加并通过生态环境部培训平台上的线上考核方可再次上岗。

辐射安全管理规章制度

中广核华瑞科技有限公司南通分公司已按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定为本项目制定一系列辐射安全管理制度，包括操作规程、岗位职责、辐射安全和防护管理制度、设备维修检修制度、人员培训计划、监测方案等，并在以后的实际工作中对各种管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。现对其提出相应的建议和要求：

操作规程：明确操作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤，重点是工作前的安全检查工作，辐射工作人员佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪或检测仪器，避免事故发生。

岗位职责：明确管理人员、操作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

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

设备检修维护制度：明确电子加速器辐照装置各项安全联锁装置及设施在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保电子加速器辐照装置的辐射安全设施

有效地运转。明确定期对电子加速器辐照装置和辐射监测设备进行检查、维护，包括日检查、月检查和半年检查，并建立维修维护记录制度，对运行及维修维护期间进行日志记录；发现问题应及时维修，确保电子加速器、安全设施、辐射监测仪器等仪器设备保持良好工作状态。重点是辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器必须保持良好工作状态。

人员培训计划：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，内外结合，加强对培训档案的管理，做到有据可查。

监测方案：明确监测频次和监测项目，主要包括个人剂量监测和工作场所监测，监测方式包括企业自主监测和有资质单位开展的年度监测。监测结果妥善保存，定期上报生态环境行政主管部门。发现个人剂量异常的，对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境部门、卫生健康部门调查处理。发现工作场所监测异常的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境部门报告。公司应当对本单位的射线装置的安全和防护状态进行年度评估，并于每年1月31日前提交上一年度的评估报告。

台账管理制度：建立健全的射线装置使用台账登记制度，并在日常工作中落实到位，对公司电子加速器的使用时间、使用工况及使用人员等信息均需记录在台账上，做到有据可查。

辐射事故应急预案：成立辐射事故应急指挥小组，明确各小组成员的职责与分工，以及应急事故处理相关的联系方式。定期组织应急人员进行应急演练，在演练过程中发现问题能够及时解决。明确应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备，明确辐射事故分类与应急响应的措施。

辐射监测

本项目电子加速器辐照装置属于II类射线装置，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目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、辐射剂量巡测仪等仪器，用于对加速器机房周围的辐射水平进行巡测。

中广核华瑞科技有限公司南通分公司现有2台便携式辐射巡测仪和6台个人剂量报警仪，能够满足审管部门关于仪器配备的要求。

公司现有核技术利用项目已委托苏州苏大卫生与环境技术研究所有限公司开展年度

检测（年度检测报告见附件7）。由检测结果可知，本单位现有核技术利用项目在检测工况下运行时，公司现有核技术利用项目工作场所周围剂量当量率能够满足相关标准的要求。

公司现有核技术利用项目的辐射工作人员均已配备个人剂量计监测累积剂量，并每3个月送苏州苏大卫生与环境技术研究有限公司和江苏宁大卫防检测技术有限公司进行个人剂量监测，根据公司2024年6月~2025年6月4个季度辐射工作人员个人剂量监测报告可知（附件8），辐射工作人员个人剂量检测结果均未见异常；公司已每两年组织辐射工作人员进行健康体检，并已按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

本项目运行后，公司拟定期（不少于1次/年）请有资质的单位对辐射工作场所和周围环境的辐射水平进行监测；在进行检测作业时，公司拟定期对辐射工作场所和周围环境的辐射水平进行监测，并做好相关记录；本项目辐射工作人员均拟佩戴个人剂量计监测累积剂量，定期（1次/月，最长不超过1次/每3个月）送有资质部门进行个人剂量测量，并建立个人剂量档案。同时公司拟定期（两次检查的时间间隔不应超过2年）安排辐射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康档案。公司还拟对辐射安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前提交上一年度的评估报告。本项目辐射监测方案见表12-1。

表 12-1 辐射监测方案

监测对象	监测项目	监测方式	监测周期	监测点位
7#加速器机房	周围剂量当量率	竣工验收监测，委托有资质的单位进行	1次	①加速器机房辐照室及主机室四周墙外； ②加速器机房货物进出口外、防护门外、门缝隙处； ③加速器机房控制室内； ④加速器机房通风口外、电缆口外； ⑤加速器机房四周保护目标处。
		场所年度监测，委托有资质的单位进行	1次/年	
		定期自行开展辐射监测	1次/3个月	
辐射工作人员	个人剂量当量	委托有资质的单位进行	1次/3个月	/

落实以上措施后，公司安全管理措施能够满足辐射安全的要求。

辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中关于应急报告与处理的相

关要求，中广核华瑞科技有限公司南通分公司已针对本项目可能产生的辐射事故情况制定事故应急方案，应急方案内容应包括：

- (1) 应急机构和职责分工；
- (2) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- (3) 辐射事故分级与应急响应措施；
- (4) 辐射事故调查、报告和处理程序；
- (5) 辐射事故信息公开、公众宣传方案。

公司已依据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》及《江苏省辐射污染防治条例》的要求制定辐射事故应急预案，建立应急机构，明确人员职责分工，加强应急人员的组织、培训，同时做好与所在市（县区）辐射事故应急预案和实施程序的衔接，完善辐射事故分类与应急响应措施，并在今后工作中定期组织应急人员进行应急演练，落实相关要求。

发生辐射事故时，公司应立即启动本单位事故应急方案，采取必要防范措施，在1小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，造成或者可能造成人员超剂量照射的，同时向卫生健康部门报告。事故发生后公司应积极配合生态环境部门、公安部门及卫生健康部门调查事故原因，并做好后续工作。

表 13 结论与建议

结论

1 辐射安全与防护分析结论

1.1 项目位置

中广核华瑞科技有限公司南通分公司位于南通市通州经济开发区青岛路 888 号。公司东侧为南通海维电子辐射技术有限公司及中广核达胜加速器技术有限公司南通分公司，南侧为中广核博繁新材料（南通）有限公司，西侧为南通凤凰彩印厂及南通市通州区鸿文复读学校，北侧为金桥西路。

本项目 7#加速器机房位于辐照车间二西部，辐照车间二为 1 层建筑。7#加速器机房东侧为作业区、通道、未辐照区、厂内道路、辐照车间一及中广核达胜加速器技术有限公司南通分公司，南侧为通道、已辐照区、装卸货区、厂内道路及中广核博繁新材料（南通）有限公司，西侧为厂内道路、南通凤凰彩印厂及南通市通州区鸿文复读学校，北侧为卫生间、通道、未辐照区、已辐照区、作业区、装卸货区、6#加速器机房、5#加速器机房及仓库区，正上方、正下方无建筑。

本项目 7#加速器机房西侧有一处环境敏感目标，为距离加速器机房 13m 处的南通市通州区鸿文复读学校的 2 栋教学楼。本项目辐射环境保护目标主要为 7#加速器机房的辐射工作人员、7#加速器机房周围评价范围内公众及 7#加速器机房西侧 13m 处南通市通州区鸿文复读学校的 2 栋教学楼。

1.2 实践正当性评价

本项目的建设将满足企业的需求，创造更大的经济效益和社会效益，在落实辐射安全与防护管理措施后，其带来的效益远大于可能对环境造成的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

1.3 项目布局及分区

公司将 7#工业加速器辐照机房的辐照室和主机室边界作为辐射防护控制区边界，在防护门外及机房周围醒目位置处设置电离辐射警告标志及中文警示说明等；将机房二层控制室、电气室、冷却室、平台，一层储存室及辐照室东侧流水线控制柜、检查确认区域均作为辐射防护监督区，监督区入口处的适当地点设立标明监督区的标牌，并悬挂电离辐射警示标志及无关人员禁止入内标牌，加速器工作时无关人等不得进入。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。

1.4 辐射安全措施

加速器机房控制室主控台上、辐照室人员进出门外及主机室人员进出门外均配备钥匙开关，控制台上控制钥匙开关的钥匙与控制辐照室及主机室人员门外钥匙开关的钥匙为同一把钥匙，钥匙开关和辐照室及主机室门联锁；加速器机房辐照室人员进出门及主机室人员进出门均与束流控制和加速器高压联锁；电子加速器控制台与束下装置联锁；在加速器机房辐照室东墙南侧人员进出口旁设置 1 个警铃和 1 个警灯，在辐照室内设置 5 个警铃和 5 个警灯，在主机室出入口设置 1 个警铃和 1 个警灯，主机室内设置 2 个警铃和 2 个警灯；在加速器机房辐照室东墙外货物出口旁设置 1 个三色灯，主机室出入口处设置 1 个三色灯；在加速器机房辐照室内墙上设置 3 个“巡检按钮”，在主机室内设置 2 个“巡检按钮”；加速器机房辐照室货物进口、货物出口/人员进出口及主机室人员出入口内侧分别设置连续 3 道光电报警装置；在辐照室内共设计安装 10 个急停按钮；在加速器机房控制室控制台上设计安装 1 个急停按钮；在主机室内设计安装 6 个急停按钮。同时在辐照室内及主机室内分别设计急停拉线开关；辐照室人员进出口内和主机室人员进出口内各设有 1 个开门开关，共 2 个开门开关；在加速器机房辐照室迷道内安装 1 个固定式辐射监测仪，主机室迷道内安装 1 个固定式辐射监测仪；辐照室内的通风系统与控制系统联锁；加速器机房辐照室内设置烟雾报警装置；在加速器机房的辐照室内设置 6 个摄像头，同时在辐照室内西南角和西北角各设置一个反光镜，辐照室东墙外设置 2 个摄像头，主机室内设置 2 个摄像头，主机室电气室内及冷却室内各设置 1 个摄像头；在加速器机房主机室、辐照室及控制室内设置应急照明系统及逃生指示装置；通往加速器机房二层平台的楼梯口处设置电离辐射警示标志及无关人员禁止入内标牌。

1.5 辐射安全管理

中广核华瑞科技有限公司南通分公司已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，以文件形式明确各成员管理职责，并明确辐射防护负责人。公司现有 9 名辐射工作人员，已通过生态环境部培训平台考核。公司已为本项目配备 4 名辐射工作人员，现有辐射工作人员及辐射防护负责人持有的辐射安全培训合格证书到期后应当参加并通过生态环境部培训平台上的线上考核方可再次上岗。公司同时已对辐射工作人员进行职业健康监护和个人剂量监测，并为辐射工作人员建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

公司现有 2 台便携式辐射巡测仪和 6 台个人剂量报警仪，能够满足审管部门关于仪

器配备的要求。

在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

2 环境影响分析结论

2.1 辐射防护影响预测

根据理论预测可知，本项目加速器机房辐照室及主机室屏蔽体的辐射防护设计能满足防护要求；通风管道的设置合理可行，未破坏加速器屏蔽体的屏蔽效果，满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》中“电子加速器辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域周围剂量当量率不能超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

2.2 保护目标剂量

根据理论分析预测，本项目辐射工作人员及公众年受照剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv ，公众年有效剂量不超过 0.1mSv ）。

2.3 三废处理处置

本项目电子加速器辐照装置在工作状态时，产生的 X 射线会使机房内空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物。本项目加速器机房辐照室内拟安装通风装置，通过 4.82min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可达到 GBZ2.1 规定的最高容许浓度，本项目臭氧和氮氧化物可通过烟道排出辐照室，臭氧在空气中短时间内可自动分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。

本项目运行期间辐射工作场所内产生的常规污染物主要为办公过程产生少量的生活污水和办公垃圾，生活污水纳入市政污水管网，生活垃圾分类收集后交由处理站集中处理，对外环境影响较小。

本项目加速器机房配备低噪声风机，公司采取了基础减震、建构筑物衰减等（厂界围墙）等措施，经过厂区内距离衰减后，本项目低噪声风机的噪声对厂界外声环境影响较小。

3 可行性分析结论

综上所述，中广核华瑞科技有限公司南通分公司 1 台电子加速器辐照装置更新项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

建议与承诺

(1) 该项目运行后，应严格遵循操作规程，加强对操作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。

(2) 各项环保设施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

(3) 定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

(4) 项目建设完成后，企业应及时办理辐射安全许可证。

(5) 项目投产运行后，企业应按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的有关规定及时进行自主环境保护验收，环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月，最长不超过 12 个月。

本项目辐射安全措施一览表

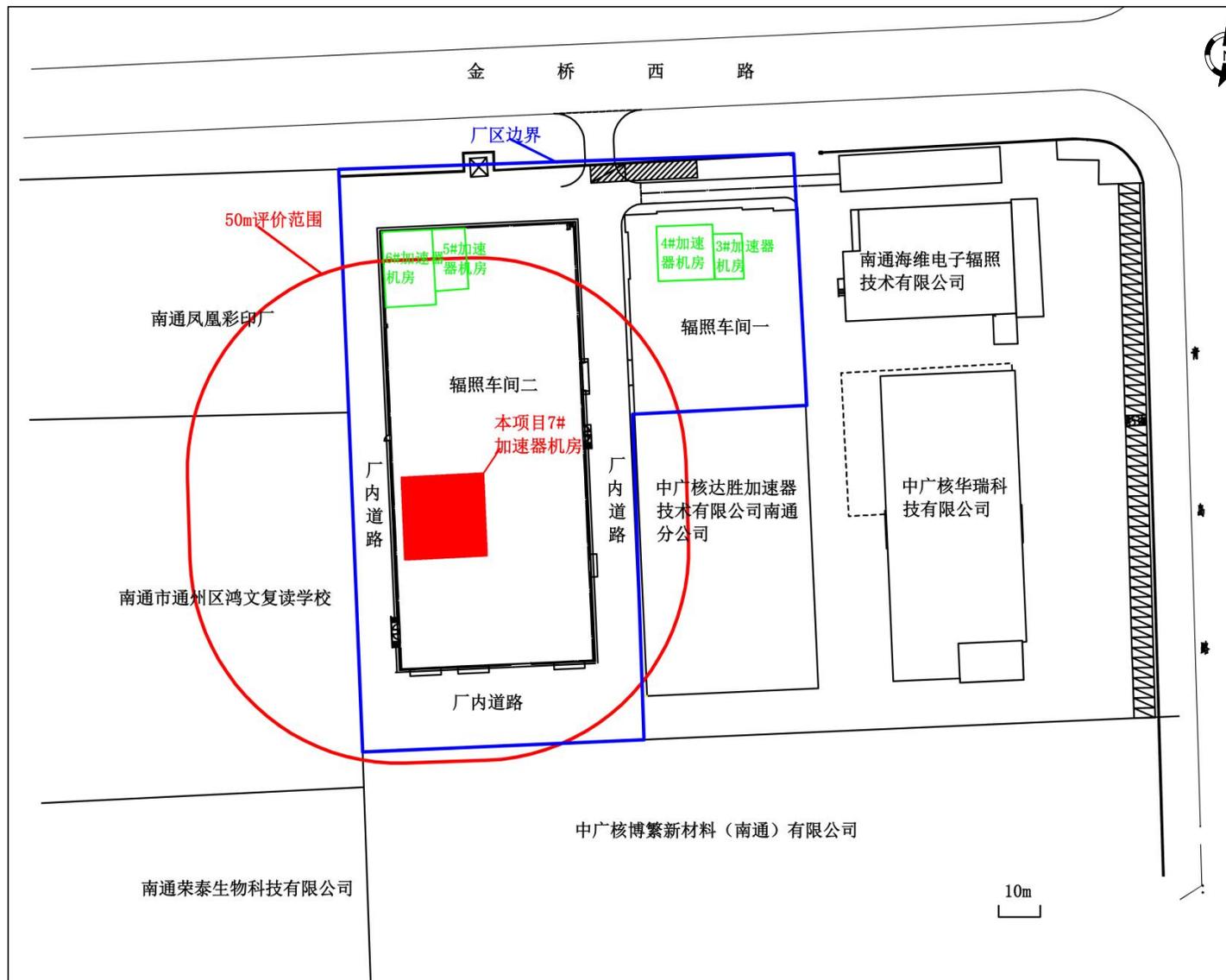
项目	“三同时”措施	预期效果	投资 (万元)
辐射安全管理机构	公司已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确其管理职责	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用II类射线装置的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构的要求。	/
辐射安全和防护措施	<p>本项目加速器机房辐照室东墙1采用***mm混凝土，东墙2采用***mm混凝土，东墙3采用***mm混凝土，南墙1采用***mm混凝土，南墙2采用***mm混凝土，西墙采用***mm混凝土，北墙1采用***mm混凝土，北墙2采用***mm混凝土，货物进出口北墙采用***mm混凝土，货物进出口中墙采用***mm混凝土，货物进出口南墙采用***mm混凝土，辐照室人员进出门采用普通不锈钢门。加速器机房主机室东墙、南墙及北墙均采用***mm混凝土，西墙均采用***mm混凝土，主机室人员进出门采用***。</p> <p>加速器机房控制室主控台上、辐照室人员进出门外及主机室人员进出门外均配备钥匙开关，控制台上控制钥匙开关的钥匙与控制辐照室及主机室人员门外钥匙开关的钥匙为同一把钥匙，钥匙开关和辐照室及主机室门连锁；加速器机房辐照室人员进出门及主机室人员进出门均与束流控制和加速器高压连锁；电子加速器控制台与束下装置连锁；在加速器机房辐照室人员进口东墙南侧人员进出口旁设置1个警铃和1个警灯，在辐照室内设置5个警铃和5个警灯，在主机室出入口设置1个警铃和1个警灯，主机室内设置2个警铃和2个警灯；在加速器机房辐照室东墙外货物出口旁设置1个三色灯，主机室出入口处设置1个三色灯；在加速器机房辐照室内墙上设置3个“巡检按钮”，在主机室内设置2个“巡检按钮”；加速器机房辐照室货物进口、货物出口/人员进出口及主机室人员出入口内侧分别设置连续3道光电报警装置；在辐照室内共设计安装10个急停按钮；在加速器机房控制室控制台上设计安装1个急停按钮；在主机室内设计安装6个急停按钮。同时在辐照室内及主机室内分别设计急停拉线开关；辐照室人员进出口内和主机室人员进出口内各设有1个开门开关，共2个开门开关；在加速器机房辐照室迷道内安装1个固定式辐射监测仪，主机室迷道内安装1个固定式辐射监测仪；辐照室内的通</p>	<p>加速器机房周围参考点的辐射剂量率均能够满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中“电子辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面30cm处及以外区域对周围剂量当量率不能超过2.5μSv/h”标准要求；同时满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）剂量限值和本项目管理目标限值的要求：职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv。</p> <p>满足相关标准中关于辐射安全设施的相关要求</p>	210

	风系统与控制系统连锁；加速器机房辐照室内设置烟雾报警装置；在加速器机房的辐照室内设置 6 个摄像头，同时在辐照室内西南角和西北角各设置一个反光镜，辐照室东墙外设置 2 个摄像头，主机室内设置 2 个摄像头，主机室电气室内及冷却室内各设置 1 个摄像头；在加速器机房主机室、辐照室及控制室内设置应急照明系统及逃生指示装置；通往加速器机房二层平台的楼梯口处设置电离辐射警示标志及无关人员禁止入内标牌。		
人员配备	公司已为本项目配备 4 名辐射工作人员。 本项目配备的 4 名辐射工作人员均已开展个人剂量监测，送检周期最长不超过 3 个月/次，并拟建立辐射工作人员个人剂量监测档案 本项目配备的 4 名辐射工作人员均已定期进行职业健康体检，体检周期不超过 2 年/次，并拟建立职业健康监护档案	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中关于人员培训、个人剂量监测及职业健康体检的相关要求	定期投入
监测仪器和防护用品	公司现有 2 台便携式辐射巡测仪和 6 台个人剂量报警仪	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目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、辐射剂量巡测仪等仪器的要求	/
辐射安全管理制度	公司已根据相关标准要求，制定一系列辐射安全管理制度，包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐照装置使用登记、台账管理制度以及辐射事故应急预案等制度，公司还应根据相关条例、办法以及本报告的要求对制度的内容进行补充，并在今后运行中结合实际工作不断完善，使其具有较强的针对性和可操作性	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，使用射线装置的单位要健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、台账登记制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急预案。	/

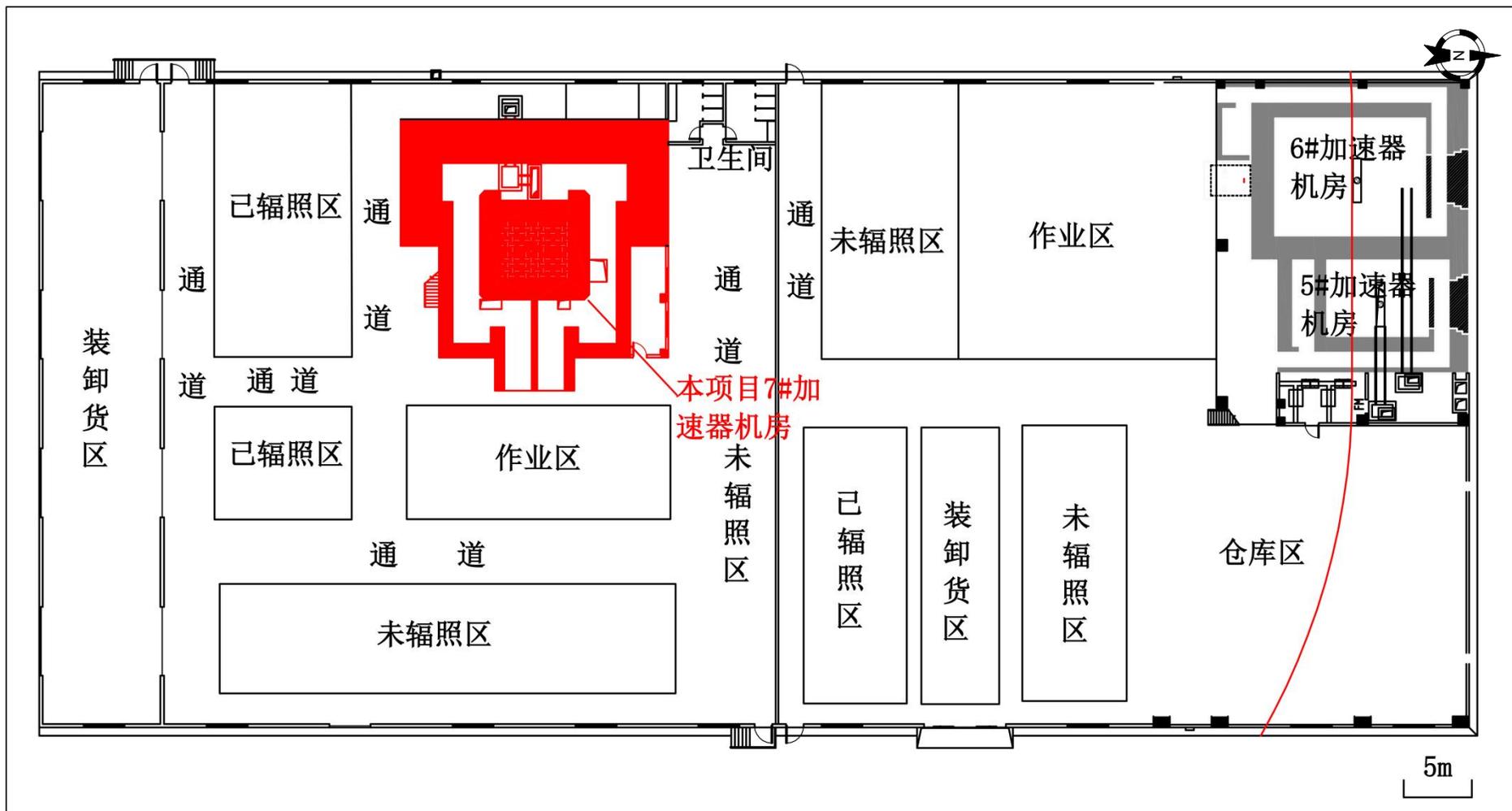
以上措施应与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。



附图 1 中广核华瑞科技有限公司南通分公司本项目地理位置图



附图2 中广核华瑞科技有限公司南通分公司厂区平面布局及周围环境图



附图3 中广核华瑞科技有限公司南通分公司辐照车间二平面布局图