

编号：瑞迪森（环）字（2023）第 001 号

核技术利用建设项目

宜宾精宜科技有限责任公司 生产、销售和使用工业电子加速器 及硼中子俘获治疗装置项目 环境影响报告表

（送审本）



宜宾精宜科技有限责任公司

2023 年 3 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

宜宾精宜科技有限责任公司 生产、销售和使用工业电子加速器 及硼中子俘获治疗装置项目 环境影响报告表

建设单位名称：宜宾精宜科技有限责任公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：四川省宜宾市叙州区高场镇高新社区金润产业园

邮政编码：644002

联系人：刘

电子邮箱：

联系电话：

打印编号：1678156431000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	h3hkz1		
建设项目名称	宜宾精宜科技有限责任公司生产、销售和使用工业电子加速器及硼中子俘获治疗装置项目		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	宜宾精宜科技有限责任公司		
统一社会信用代码	91511521MA6AQNR622		
法定代表人（签章）	张蕾		
主要负责人（签字）	张蕾		
直接负责的主管人员（签字）	巩新胜		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	四川瑞迪森检		
统一社会信用代码	91510107MA61		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
何桂桦	20220503551000000020	BH025547	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
何桂桦	表9~表13	BH025547	
熊伟	表1~表8	BH058509	

表 1 项目基本情况

建设项目名称	宜宾精宜科技有限责任公司 生产、销售和使用工业电子加速器及硼中子俘获治疗装置项目				
建设单位	宜宾精宜科技有限责任公司				
法人代表		联系人	刘	联系电话	
注册地址	四川省宜宾市叙州区高场镇高新社区金润产业园				
项目建设地点	四川省宜宾市叙州区高场镇高新社区金润产业园				
立项审批部门	叙州区发展和改革局		批准文号		
建设项目总投资（万元）		项目环保总投资（万元）		投资比例（环保投资/总投资）	2%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input 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 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 销售	<input checked="" 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	/			
<p>项目概述</p> <p>一、建设单位简介</p> <p>宜宾精宜科技有限责任公司（统一社会信用代码：_____，以下简称“公司”）成立于 2021 年 6 月，公司总部坐落于有“万里长江第一城”之称的四川省宜宾市，占地面积 5.5 万平方米，总投资 10 亿元，是一家以民用非动力核技术研发与重大装备制造为主的高新技术企业，拥有高能物理重大装备整机研发和制造能力，致力于推广民用非动力核技术的社会应用，打造从大功率电物理真空器件到各类重大装备整机制造的完备产业链。公司一经成立便被宜宾市叙州区人民政府划为叙州区“工业强区”核心战略的重点项目。</p>					

二、任务由来

工业电子加速器辐照装置相较钴源辐照，具有辐照束流集中定向、辐照效率高，不产生放射性废物等特点。工业电子加速器辐照加工用时短，加工速度快，无任何毒性和残留，不添加任何化学试剂，不影响辐照品原有成分和品质；在辐照时不拆包装箱，能快速、安全通过，无二次污染，更环保。所以备受市场青睐。

癌症是严重危害人类健康的重大慢性疾病，根据世界卫生组织发布的数据显示，2020 年全球新发癌症病例 1929 万例，仅中国新发癌症就有 457 万人，占全球 23.7%，中国癌症新发人数远超过世界其他国家。2020 年全球癌症死亡病例 996 万例，其中中国癌症死亡人数高达 300 万，占癌症死亡总数的 30%。当前我国癌症治疗水平与美国等国家相比还有很大差距。

硼中子俘获治疗（Boron Neutron Capture Therapy，以下简称“BNCT”）是近年来国际肿瘤治疗领域新兴快速发展的精准诊疗技术，被日本医学界称为继手术、传统放疗、抗癌药物、免疫治疗之后的“第五疗法”，对于复发性、浸润性、局部转移肿瘤具有突出临床优势，已在全球上千例临床上证明在复发性头颈癌、恶性脑瘤、黑色素皮肤癌、骨肉瘤和乳癌等多种实体肿瘤上有显著可靠的疗效。

根据《射线装置分类》（2017 年 12 月 5 日起实施）本项目生产、销售、调试（使用）的工业电子加速器和 BNCT 均为粒子能量小于 100 兆电子伏的非医用加速器，属于 II 类射线装置。工业电子加速器和 BNCT 均具备广阔的市场前景，项目建成后，将有效提升工业辐照产能，提升医疗行业整体的医疗水平，能有更好的服务大众，满足多层次、多样化的医疗服务需求，带来显著的社会效益。

三、编制目的

为加强核技术应用项目的辐射环境管理，防止辐射污染和意外事故的发生，确保其使用过程不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，根据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法律法规要求，建设方宜宾精宜科技有限责任公司需对该项目进行环境影响评价。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）的规定，本项目属于“第 172 条 核技术利用建设项目”中“**生产、使用 II 类射线装置；**”应编制环境影响报告表。

为此，宜宾精宜科技有限责任公司委托四川瑞迪森检测技术有限公司对该项目开展环境影响评价工作（委托书见附件1）。四川瑞迪森检测技术有限公司接受委托后，通过现场勘察，并结合现场监测等工作的基础上，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制了该项目环境影响报告表。

宜宾精宜科技有限责任公司生产、销售和使用工业电子加速器及硼中子俘获治疗装置项目环境影响评价报告表的评价内容与目的：

1、对生产、销售和使用工业电子加速器及硼中子俘获治疗装置项目施工期和运行期的环境影响进行评价分析。

2、对项目拟建地址进行辐射环境质量现状监测，以掌握场所及周围的环境质量现状水平，并对项目进行环境影响预测评价。

3、提出污染防治措施，使辐射影响降低到“可合理达到的尽可能低水平”。

4、满足国家和地方环境保护部门对建设项目环境管理规定的要求，为项目的环境管理提供科学依据。

四、项目概况

项目名称：宜宾精宜科技有限责任公司生产、销售和使用工业电子加速器及硼中子俘获治疗装置项目

建设单位：宜宾精宜科技有限责任公司

建设地点：四川省宜宾市叙州区高场镇高新社区金润产业园

（一）建设内容与规模：

宜宾精宜科技有限责任公司拟在新建的调试车间（拟建，地下1层，地上2层建筑，总高度约10.2m）建设5座工业电子加速器调试机房和2座BNCT调试机房。

1、工业电子加速器项目

公司拟在调试车间的西北侧建设4座工业电子加速器调试机房，在中部建设1座工业电子加速器调试机房，共建设5座调试机房均用于生产、调试（使用）公司研发的JY-ProAcc-LN-10/30型工业电子加速器（最大电子束能量为10MeV，最大束流强度为3mA，设备额定功率30kW）。

JY-ProAcc-LN-10/30型工业电子加速器年最大生产、销售、调试（使用）10台，平均每座调试机房年调试生产2台，单台工业电子加速器车间内调试最长出束时间为100h，客户厂区内调试维修最长出束时间为50h，属于II类射线装置。

本次新建的 5 座工业电子加速器调试机房均为地上一层和地下一层建筑，工业电子加速器的主机室均位于调试车间的一层，辐照室均位于负一层，辐照室四周均为泥土层。

其中 1#、2#和 3#机房主机室有效使用面积均为 46.4m²(长 8.0m×宽 5.8m×高 6.0m)，4#机房主机室有效使用面积为 32m²（长 8.0m×宽 4.0m×高 6.0m）。4 座机房主机室四周墙体均为 2.0m 厚混凝土，迷道均位于机房东北侧，为 10.0m 长直迷道，迷道内墙为 0.5m 厚混凝土，迷道外墙外 2.0m 厚混凝土，防护门为 10cm 钢防护门，顶部为 1.0m 厚混凝土，地面为 1.5m 厚混凝土。

1#、2#和 3#机房辐照室有效使用面积均为 43.5m²（长 7.5m×宽 5.8m×高 2.0m），3 座机房辐照室四周墙体均为 0.3~2.0m 厚混凝土+夯实土层作为屏蔽。4#机房辐照室有效使用面积为 37.5m²（长 7.5m×宽 5.0m×高 2.0m），四周墙体均为 0.3~2.0m 厚混凝土+夯实土层作为屏蔽，防护门位于辐照室楼梯顶部，均为 5cm 厚钢。同时，在辐照室东北侧设有 10.0m 长直迷道，迷道内墙为 0.5m 厚混凝土，迷道外墙为 2.0m 厚混凝土，防护门为 5cm 钢防护门。

5#机房主机室有效使用面积为 77m²（长 10.0m×宽 7.7m×高 6.0m），四周墙体为 2m 厚混凝土，迷道位于机房东北侧，为 12m 长直迷道，迷道内墙为 0.5m 厚混凝土，迷道外墙外 2m 厚混凝土，防护门为 10cm 钢防护门，顶部为 1m 厚混凝土，地面为 1.5m 厚混凝土。

5#机房辐照室有效使用面积为 77m²（长 10.0m×宽 7.7m×高 2.0m），辐照室四周墙体均为 0.3~0.5m 厚混凝土+夯实土层作为屏蔽，防护门位于辐照室楼梯顶部，为 5cm 厚钢。

2、BNCT 项目

公司拟在调试车间的中部和东南侧建设 2 座 BNCT 调试机房用于生产、调试（使用）公司研发的 JY-BNCT-2.8/25 型硼中子俘获治疗装置（最大电子束能量为 2.8MeV，最大束流强度为 25mA，属 II 类射线装置）。

JY-BNCT-2.8/25 型硼中子俘获治疗装置年最大生产、销售、调试（使用）2 台，单台 BNCT 车间内调试最长出束时间为 100h，客户厂区内调试维修最长出束时间为 50h，属于 II 类射线装置。

本次新建的 2 座 BNCT 调试机房均为地上一层建筑。其中，1#机房有效使用面积

为 200m²（长 20.0m×宽 10.0m×高 6.0m），四周墙体均为 2.0m 厚混凝土，迷道位于机房西南侧，为 12.0m 长直迷道，迷道内墙为 0.5m 厚混凝土，迷道外墙外 2.0m 厚混凝土，防护门为 1mm 不锈钢+100mm 含硼聚乙烯+200mm 低碳钢+1mm 不锈钢，顶部为 1.0m 厚混凝土，地面为夯实土层。

2#机房有效使用面积为 300m²（长 30m×宽 10.0m×高 6.0m），四周墙体均为 2.0m 厚混凝土，迷道位于机房西南侧和东北侧，均为 12.0m 长直迷道，迷道内墙为 0.5m 厚混凝土，迷道外墙外 2.0m 厚混凝土，防护门为 1mm 不锈钢+100mm 含硼聚乙烯+200mm 低碳钢+1mm 不锈钢，顶部为 1.0m 厚混凝土，地面为夯实土层。

本次拟申请新增辐射项目内容见表 1-1。

表 1-1 宜宾精宜科技有限责任公司新建项目情况一览表

序号	射线装置名称	装置型号	最大电子束能量	最大束流强度	射线装置类别	活动种类	年产量
1	工业电子加速器	JY-ProAcc-LN-10/30	10MeV	3mA	II	生产、使用和销售	10 台
2	硼中子俘获治疗装置	JY-BNCT-2.8/25	2.8MeV	25mA	II	生产、使用和销售	2 台

2、项目组成内容及环境问题

本项目主要组成内容及可能产生的环境问题见表 1-2。

表 1-2 项目组成内容及主要环境问题

名称	建设内容及规模		可能产生的环境问题	
			施工期	运营期
主体工程	工业电子加速器	<p>JY-ProAcc-LN-10/30 型工业电子加速器年最大生产、销售、调试（使用）10 台，单台射线装置车间内调试最长出束时间为 100h，客户厂区内调试维修最长出束时间为 50h，属于 II 类射线装置。</p> <p>本次新建的 5 座工业电子加速器调试机房均为地上一层和地下一层建筑，工业电子加速器的主机室位于调试车间的一层，辐照室位于负一层，辐照室四周均为泥土层。其中 1#、2#和 3#机房主机室有效使用面积均为 46.4m²（长 8.0m×宽 5.8m×高 6.0m），4#机房主机室有效使用面积为 32m²（长 8.0m×宽 4.0m×高 6.0m）。4 座机房主机室四周墙体均为 2.0m 厚混凝土，迷道均位于机房东北侧，为 10.0m 长直迷道，迷道内墙为 0.5m 厚混凝土，迷道外墙外 2.0m 厚混凝土，顶部为 1.0m 厚混凝土，地面为 1.5m 厚混凝土。</p> <p>1#、2#和 3#机房辐照室有效使用面积均为 43.5m²（长 7.5m×宽 5.8m×高 2.0m），3 座机房辐照室四周墙体均为</p>	<p>施工废气</p> <p>施工噪声</p> <p>施工废水</p> <p>固体废物</p> <p>生活污水</p> <p>生活垃圾</p>	<p>X 射线、中子、噪声、臭氧、生活污水、生活垃圾</p>

	<p>0.3~2.0m 厚混凝土+夯实土层作为屏蔽。4#机房辐照室有效使用面积为 37.5m²（长 7.5m×宽 5.0m×高 2.0m），四周墙体均为 0.3~2.0m 厚混凝土+夯实土层作为屏蔽，同时，在辐照室东北侧设有 10.0m 长直迷道，迷道内墙为 0.5m 厚混凝土，迷道外墙为 2.0m 厚混凝土。</p> <p>5#机房主机室有效使用面积均为 77m²（长 10.0m×宽 7.7m×高 6.0m），四周墙体为 2m 厚混凝土，迷道位于机房东北侧，为 12m 长直迷道，迷道内墙为 0.5m 厚混凝土，迷道外墙外 2m 厚混凝土，顶部为 1m 厚混凝土，地面为 1.5m 厚混凝土。</p> <p>5#机房辐照室有效使用面积为 77m²（长 10.0m×宽 7.7m×高 2.0m），辐照室四周墙体均为 0.3~0.5m 厚混凝土+夯实土层作为屏蔽。</p>		
硼中子俘获治疗装置	<p>JY-BNCT-2.8/25 型硼中子俘获治疗装置年最大生产、销售、调试（使用）2 台，单台射线装置车间内调试最长出束时间为 100h，客户厂区内调试维修最长出束时间为 50h，属于II类射线装置。</p> <p>本次新建的 2 座硼中子俘获治疗装置调试机房均为地上一层建筑。</p> <p>其中，1#机房有效使用面积为 201m²（长 20.1m×宽 10.0m×高 6.0m），四周墙体均为 2.0m 厚混凝土，迷道位于机房西南侧，为 12.0m 长直迷道，迷道内墙为 0.5m 厚混凝土，迷道外墙外 2.0m 厚混凝土，顶部为 1.0m 厚混凝土，地面为夯实土层。</p> <p>2#机房有效使用面积为 300m²（长 30m×宽 10.0m×高 6.0m），四周墙体均为 2.0m 厚混凝土，迷道位于机房西南侧和东北侧，均为 12.0m 长直迷道，迷道内墙为 0.5m 厚混凝土，迷道外墙外 2.0m 厚混凝土，顶部为 1.0m 厚混凝土，地面为夯实土层。</p>		
环保工程	工业电子加速器机房和 BNCT 机房的通排风系统；		
公用工程	依托厂区给水、供电、通风等配套设施。		\
办公生活设施	依托本次新建的综合楼的办公区		生活垃圾、生活污水
<p>3、项目依托设施</p> <p>①依托办公设施：办公室依托本次新建的办公室。</p> <p>②依托环保设施：本项目产生的生活污水和生活垃圾依托拟建的污水处理设施和生活垃圾收集设施处理。公司拟建 1 座化粪池，用于收集工作人员产生的生活污水，生活污水在化粪池暂存后排入园区的市政管网。</p> <p>公司厂区内拟设有生活垃圾暂存间，产生的生活垃圾集中暂存，由环卫部门定期</p>			

统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

4、主要原辅材料及能耗

本项目主要原辅材料及能耗情况见表 1-3。

表 1-3 主要能耗情况表

类别	名称	年最大消耗量	来源	用途
能源	电(度)	50000kW·h/a	市政电网	/
水	生活用水	2000m ³ /a	市政管网	/

5、工作制度及人员配置

工作制度：本项目辐射工作人员年工作天数为 250 天，实行 8 小时工作制。

人员配置：本项目拟配置辐射工作人员 20 人，其中工业电子加速器调试车间拟配备 15 人，BNCT 调试车间拟配备 5 人，均为公司新聘辐射工作人员，配置至本项目后，不从事其他辐射工作。

后期随着工作量的不断增加，公司也计划持续引进技术熟练的辐射工作人员，公司应做好辐射工作人员管理工作。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年 第 57 号）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。本项目新增的 20 名辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。辐射安全培训合格证书到期的人员仍需通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’进行再学习考核。

五、项目周边保护目标以及场址选址情况

本项目选址于四川省宜宾市叙州区高场镇高新社区金润产业园（项目地理位置见附图 1）。

宜宾精宜科技有限责任公司项目选址于叙州区高场镇高新社区金润产业园，公司已于 2021 年 9 月 13 日取得了宜宾市自然资源和规划局叙州分局规划设计条件通知书（
号，详见附件 2）。本项目建设地点为二类工业用地。从周边外环境关系可知，公司周边规划为工业园和市政道路，周边无自然保护区等生态环境保

护目标，无大的环境制约因素。生产调试机房位于厂区角落，避开了人流量较大的综合楼处，公司厂区整体布局合理，且拟建的辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射通过采取相应的治理措施后对周围环境影响较小，从辐射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。

六、项目产业政策符合性

本项目系核技术应用项目在工业和医学领域内的运用。根据国家发展和改革委员会 2021 年第 49 号令《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修改），属于鼓励类中第六项“核能”的第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。本项目的运营可提升工业辐照产能，提升医疗行业整体的医疗水平，本项目具有放射实践的正当性，符合现行的国家产业政策。

工业电子加速器已在科学研究、薄膜、轮胎橡胶、印刷、纺织、纤维、食品、涂层固化、消毒灭菌、环境保护等行业进行工业化的广泛应用。

七、实践正当性

宜宾精宜科技有限责任公司生产、销售和使用工业电子加速器及硼中子俘获治疗装置项目的目的是为了工业辐照产能，提升医疗行业整体的医疗水平。在采取了相应的辐射防护措施后，项目所致的辐射危害可得到有效控制，项目实施的利益大于代价，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的辐射防护“实践的正当性”原则。

八、项目单位核技术应用现状

宜宾精宜科技有限责任公司属首次开展核技术利用项目单位。

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

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

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	工业电子加速器	II	10 台/年	JY-ProAcc-LN-10/30	电子	10	3	生产、使用和销售	调试车间 1~5#机房	本次环评
2	BNCT	II	2 台/年	JY-BNCT-2.8/25	质子	2.8	25	生产、使用和销售	调试车间 1~2#BNCT 机房	本次环评

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

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

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧和氮氧化物	气体	/	/	/	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温条件下 50 分钟后可自动分解为氧气
BNCT 锂靶	固态	^7Be	/	/	/	/	/	交有资质单位处置

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

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，1989年12月26日发布施行；2014年4月24日修订，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日发布施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月1日起实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第449号，2005年12月1日起施行；2019年修正，国务院令709号，2019年3月2日施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，（2017年修订版），国务院令第682号，2017年10月1日发布施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令第20号，2021年1月4日起施行；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021版）》，生态环境部第16号令，自2021年1月1日起施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第18号，2011年5月1日起施行；</p> <p>(9) 《射线装置分类》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，2017年 第66号，2017年12月5日起施行；</p> <p>(10) 《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》国家环保总局，环发[2006]145号，2006年9月26日起施行；</p> <p>(11) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》生态环境部公告2019年第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(12) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部，公告2019年第57号，2020年1月1日起施行；</p> <p>(13) 《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，2019年部令第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(14) 《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>(15) 《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</p>
------------------	--

	<p>第39号，2019年11月1日起启用；</p> <p>(16) 《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修改，国家发展和改革委员会2021年令第49号）2021年12月30日起施行；</p> <p>(17) 《四川省辐射污染防治条例》，2016年6月1日起实施。</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) 《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）；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(5) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>(6) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）；</p> <p>(7) 《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）；</p> <p>(8) 《粒子加速器辐射防护规定》（GB 5172-85）。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 环保部辐射安全与防护监督检查技术程序；</p> <p>(2) 工程设计图纸及相关技术资料；</p> <p>(3) ICRP74号；</p> <p>(4) 四川省生态环境厅关于印发《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》的通知，川环函[2016]1400号；</p> <p>(5) 蒙特卡罗软件 MCNPX 2.6 计算结果；</p> <p>(6) 公司提供的相关资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据本项目的特点并参照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“核技术利用建设项目环境影响评价报告书的评价范围和保护目标的选取原则：放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”，确定为宜宾精宜科技有限责任公司本次新建的调试机房实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内作为评价范围，详见附图 2。

保护目标

本项目 50m 评价范围除西北侧及东北侧部分位于厂区外，其余方向均位于公司厂区范围内，50m 评价范围内无居民区、无学校等其他环境敏感点。本项目辐射环境保护目标为公司辐射工作人员、公司内的其他工作人员、西北侧的丰川动力厂区公众及东北侧晶鹏玻璃厂区公众，详见表 7-1。

表 7-1 本项目评价范围内辐射环境保护目标一览表

保护目标名称		方位	最近距离	规模
调试 车间	辐射工作人员	加速器调试作业区、BNCT 调试作业区	/	约 20 人
	其他工作人员 (1#、3#生产车间)	调试车间西南侧	20~50m	约 100 人
丰川动力厂区公众		调试车间西北侧	约 45m	约 20 人
晶鹏玻璃厂区公众		调试车间东北侧	约 33m	约 50 人

评价标准

一、执行标准

本项目执行标准如下：

1、环境质量标准

地表水：执行《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）中的III类水域标准；

大气环境：执行《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）及其修改单中的二级标准；

声环境：执行《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中的 3 类标准。

2、污染物排放标准

废水：执行《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）三级标准。

废气：执行《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）二级标准。

噪声：施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）中相关标准，营运期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）3类标准。

固体废物：执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599-2020）及其修改单相关标准；如有危险废物产生，执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2001）及其修改单相关标准。

3、辐射防护标准

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的相关规定。

二、辐射环境评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
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，20mSv ②任何一年中的有效剂量，50mSv ③眼晶体的年当量剂量，150mSv ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv
公众照射剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv。

辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：

注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

监督区：

注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

2、《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）：

重点引用：

4.2 辐射防护要求

4.2.1 辐射防护原则

（1）辐射实践的正当性

电子加速器辐照装置的建设立项，必须进行正当性分析，以确定其该项目的正当性。

(2) 辐射防护的最优化

电子加速器辐照装置的设计和建造要求所有照射剂量都保持在规定限值以内，并在考虑社会和经济因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均应保持在可合理达到的尽量低的水平，即 ALARA (As Low As Reasonably Achievable) 原则。

(3) 个人剂量约束

辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量限值应满足 GB18871 的要求。

在电子加速器辐照装置的工程设计中，辐射防护的剂量约束值规定为：

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

4.2.2 辐射屏蔽设计依据

电子加速器辐照装置的屏蔽设计必须以加速器的最高能量和最大束流强度为依据。

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

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

5 电子加速器辐照装置的辐射屏蔽

5.1 屏蔽设计原则

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

5.2 屏蔽设计计算

5.2.1 屏蔽设计计算应包括：辐照室和主机室及各自迷道、屋顶、孔洞等。

5.2.2 屏蔽设计和计算结果应在设计文件中加以说明。

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

6 电子加速器辐照装置的安全设计

6.1 联锁要求

在电子加速器辐照装置的设计中必须设置功能齐全、性能可靠的安全联锁保护装置，对控制区的出入口门、加速器的开停机和束下装置等进行有效联锁和监控。

安全联锁引发加速器停机时必须自动切断高压。

安全联锁装置发生故障时，加速器不能运行。安全联锁装置不得旁路，维护与维修后必须恢复原状。

6.2 安全设施

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

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

(3) 束下装置联锁。电子加速器辐照装置的控制与束下装置的控制必须建立可靠的接口和协议文件。束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时，加速器应自动停机；

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

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

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

(7) 急停装置。在控制台上和主机室、辐照室内设置紧急停机装置（一般为拉线开关或按钮），使之能在紧急状态下终止加速器的运行。辐照室及其迷道内的急停装置应采用拉线开关并覆盖全部区域。主机室和辐照室内还应设置开门机构，以便人员离开控制区；

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

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

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

6.3 其他要求

6.3.3 通风系统

(1) 主机室和辐照室应设置通风系统，以保证辐照分解臭氧等有害气体浓度满足 GBZ 2.1 的规定，有害气体的排放应满足 GB 3095 的规定。

(2) 臭氧的产生和排放，其计算模式和参数见附录 B。

(3) 辐照室内的主排气口应设置在易于排放臭氧的位置，例如扫描窗下方的位置。

(4) 排风口的高度应根据 GB 3095 的规定、有害气体排出量和辐照装置附近空气与气象资料计算确定。

三、辐射环境评价标准限值

1、个人剂量管理限值

①职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)第 4.3.2.1 条的规定，对任何工作人员，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均）20mSv。对于职业人员项目，要求按上述标准中规定的职业照射年有效剂量的 1/4 执行（即 5mSv/a）。

②公众照射：第 B1.2.1 条的规定，实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过年有效剂量 1mSv。项目要求按上述标准中规定的公众照射年有效剂量的 1/10 执行，即 0.1mSv/a。

2、工作场所内外控制剂量率

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018），本项目电子加速器机房四侧屏蔽墙体外及顶部 30cm 处辐射剂量率目标控制值为 2.5 μ Sv/h。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理和场所位置

(一) 厂区外环境关系

宜宾精宜科技有限责任公司厂区位于四川省宜宾市叙州区高场镇高新社区金润产业园（地理位置图见附图 1）。

公司厂区东南侧为规划道路及二类工业用地（现状是空地），西南侧为宝升科技厂房（待建），西北侧为中三路，东北侧为丰川动力科技有限公司厂房及四川省宜宾晶鹏玻璃制品有限公司厂房，公司厂区外环境关系示意图见附图 2。

(二) 调试车间外环境关系

公司本次拟建的调试车间位于厂区东北角，调试车间东侧、西侧及北侧均为厂区内道路，西南侧为 3#生产车间，公司厂区总平面图见附图 2。

宜宾精宜科技有限责任公司厂区本次新增项目拟建址及其周围环境现状见图 8-1 至图 8-4。



图 8-1 拟建址东侧



图 8-2 拟建址南侧



图 8-3 拟建址西侧

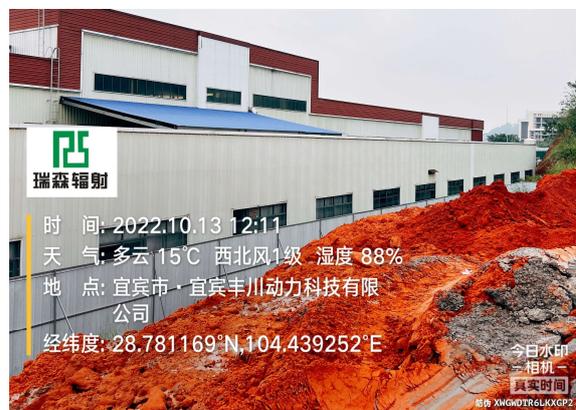


图 8-4 拟建址北侧

(三) 辐射工作场所外环境关系

公司本次拟建的工业电子加速器调试机房和 BNCT 调试机房均位于调试车间内，其中工业电子加速器调试机房的主机室均位于调试车间的一层，辐照室均位于地下室，BNCT 调试机房均位于调试车间的一层，下方无地下室，详见附图 3 及附图 4。

二、辐射环境现状评价

为掌握项目所在地的辐射环境现状，四川瑞迪森检测技术有限公司于 2022 年 10 月 13 日按照标准规范对本项目拟建址及周边环境进行了 γ 辐射剂量率和中子周围剂量当量率的布点监测，监测报告见附件 3。

1、监测因子

根据工程分析项目主要污染因子为各工作场所运行时产生的 X 射线和中子。为了更好地反映实际情况，本项目的环境监测选取为 γ 辐射空气吸收剂量率和中子辐射剂量率作为监测因子。

2、监测内容

对拟建项目周围环境水平进行本底调查。

3、监测方案

(1) 监测项目、方法及方法来源表

表 8-1 监测项目、方法及方法来源表

监测项目	监测方法	方法来源	探测限	备注
γ 辐射空气吸收剂量率	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》	HJ1157-2021	10nSv/h	探测限为本次测量使用方法和仪器的综合技术指标
中子剂量当量率	辐射防护仪器中子周围剂量当量（率）仪	GB/T 14318-2019	1nSv/h	

(2) 监测布点

参照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中的方法布设监测点，根据本次新建项目拟建址及其周围环境现状，监测点位的选取覆盖新建项目拟建区域及周围 50m 公众人员区域。根据上述布点原则与方法，本项目监测点位布置如图 8-5 所示。

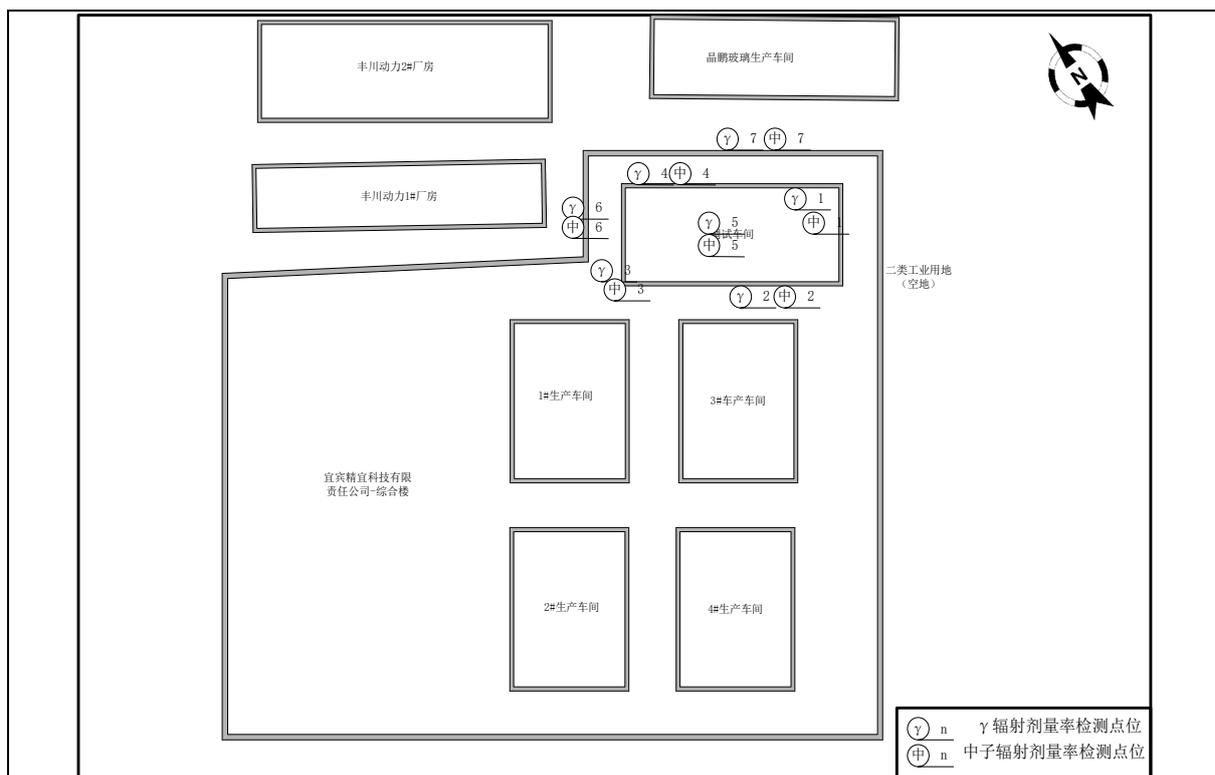


图 8-5 拟建址周围 γ 辐射空气吸收剂量率监测点位示意图

(3) 监测仪器

监测使用仪器见表 8-2。

表 8-2 监测使用仪器表

监测项目	监测设备			
	仪器名称	仪器编号	校准因子	检定情况
γ 辐射空气吸收剂量率	6150AD 6/H +6150AD-b/H	SCRDS-056	0.95	检定单位：中国计量科学研究院 检定有效期：2022.04.01-2023.03.31
中子周围剂量当量仪	FH40G/FHT762	SCRDS-015	1.069	检定单位：中国计量科学研究院 检定有效期：2022.07.02-2023.07.01

4、质量保证措施

人员培训：监测人员经考核并持有合格证书上岗。

仪器刻度：监测仪器定期经计量部门检定，监测期间在有效期内。

自检：每次测量前、后均检查仪器的工作状态。

数据记录及处理：开机预热，手持仪器或将仪器固定在三脚架上。一般保持仪器探头中心距离地面（基础面）为 1m。仪器读数稳定后，每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），使用 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数分别取 1.20Sv/Gy 和

1.16Sv/Gy。

数据复核：监测报告实行三级审核制度，经校对审核，最后由授权签字人审定签发。

5、比较标准

项目所在地环境天然贯穿辐射水平参考中华人民共和国生态环境部《2021年全国辐射环境质量报告》中四川省 γ 辐射空气吸收剂量率范围：（67.0~120.2）nGy/h。

6、环境现状监测与评价

监测所用仪器已由计量部门年检，且在有效期内；测量方法按国家标准方法实施；测量数据处理符合统计学要求；布点合理，结果可信，能够反映出辐射工作场所的客观辐射水平，可以作为本次评价的科学依据。

具体监测结果如下：

表 8-3 拟建址 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

测点编号	点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	调试车间拟建址东侧空地	82±1.0	/
2	调试车间拟建址南侧空地	81±1.1	/
3	调试车间拟建址西侧空地	82±1.1	/
4	调试车间拟建址北侧空地	75±1.4	/
5	调试车间拟建址中部	82±1.2	/
6	调试车间拟建址西北侧丰川动力厂界	68±1.2	/
7	调试车间拟建址东北侧晶鹏玻璃厂界	82±0.7	/

表 8-4 拟建址中子辐射剂量率监测结果

测点编号	点位描述	测量结果 (μ Sv/h)	备注
1	调试车间拟建址东侧空地	<0.001	/
2	调试车间拟建址南侧空地	<0.001	/
3	调试车间拟建址西侧空地	<0.001	/
4	调试车间拟建址北侧空地	<0.001	/
5	调试车间拟建址中部	<0.001	/
6	调试车间拟建址西北侧丰川动力厂界	<0.001	/
7	调试车间拟建址东北侧晶鹏玻璃厂界	<0.001	/

由表 8-3 可知，本项目拟建位置周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测值在（68~82）nGy/h 之间，对比中华人民共和国生态环境部《2021年全国辐射环境质量报告》中四川省 γ 辐射空气吸收剂量率范围：（67.0~120.2）nGy/h，可知，本项目拟建址区域周围辐射环境监测值与四川省天然贯穿辐射水平相当，属于正常本底范围。本项目拟建址区域中子周围剂量率低于仪器探测下限。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、施工期工艺分析

(一) 施工阶段

本项目建设内容为一般土建工程，其基础工程、主体工程、装饰工程、设备安装、工程验收等建设工序将以噪声、扬尘、固体废弃物、少量污水和废气等污染物为主，其排放量随工期和施工强度不同而有所变化。施工期的工艺流程及产污情况图示见下图。

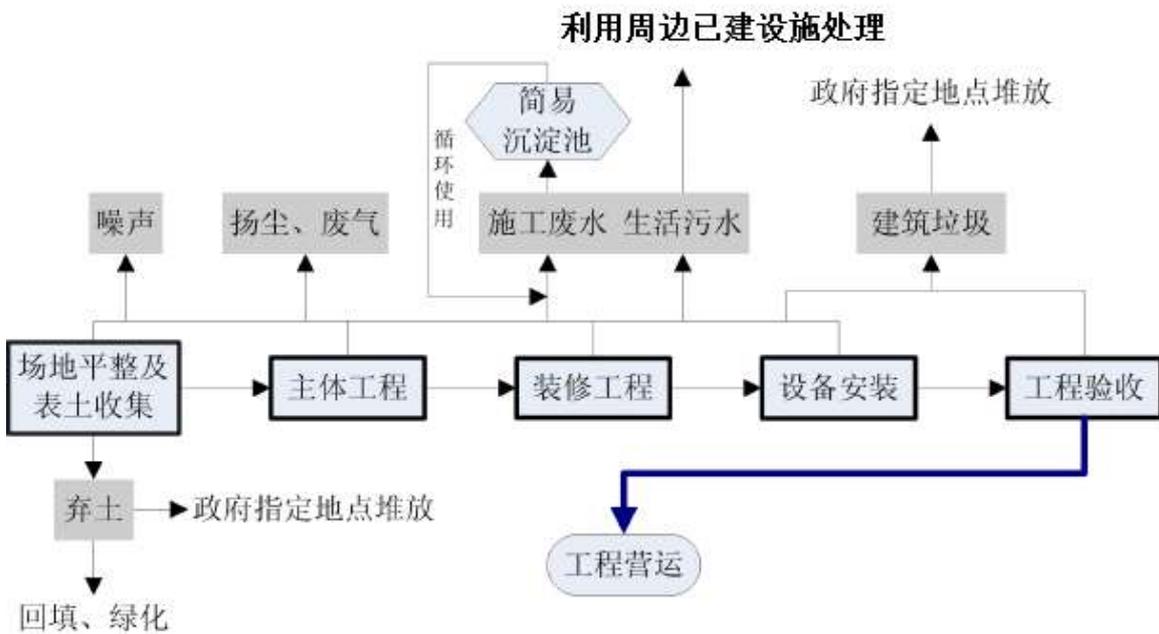


图 9-1 施工期工艺流程图

1、废气

扬尘：土建混凝土浇筑及运输车辆装卸材料和行驶时产生的扬尘；建筑材料（混凝土、砖等）的现场搬运及堆放扬尘；施工垃圾的清理及堆放扬尘；人来车往造成的现场道路扬尘。

装饰工程施工如漆、涂、磨、刨、钻、砂等装饰作业以及使用某些装饰材料如涂料、人造板、某些有害物质（如苯系物、甲醛、酚等污染物）等形成有机废气污染物；施工机械设备排放的少量无组织废气等。

施工机械废气：施工期间，使用机动车运送原材料、设备和建筑机械设备的运转，均会排放一定量的 CO、NO_x 以及未完全燃烧的 THC 等。

装饰废气：装饰废气主要为装修阶段使用的涂料等挥发的有机废气等气体以及装

修施工产生的扬尘，该废气的排放属无组织排放，涂料挥发废气其主要污染因子为二甲苯和甲苯等，此外还有极少量的汽油、丁醇和丙醇等。

2、废水

施工期废水主要为建筑施工产生的生产废水及施工人员生活污水。

施工废水：项目不设置混凝土搅拌站，因此无搅拌废水产生。经类比分析可知施工过程中的生产废水主要来源于机械的冲刷、楼地及墙面的冲洗、构件与建筑材料的保潮、墙体的浸润、材料的洗刷以及桩基础施工中排出的泥浆等。施工废水中的主要污染物为 pH、SS、COD、石油类。污水中 COD300mg/L、BOD₅200mg/L、SS1000mg/L。施工现场设置简易隔油沉淀池（5m³）进行沉淀，沉淀后循环使用。

3、噪声

施工期的噪声主要来源于施工现场的各类机械设备噪声，不同施工阶段和不同施工机械发出的噪声水平是不同的，且有大量设备交互作业，因此施工作业噪声将会对本项目内外环境带来一定的影响。根据施工量，按经验计算各施工阶段的昼夜的主要噪声源及场界噪声和建筑施工场界噪声限值标准见下表。

表 9-1 机械噪声源强一览表

施工阶段	运输内容	车辆类型	声源强度[dB(A)]
主体阶段	基础工程、建筑弃渣、弃土外运等	挖掘机、推土机、大型载重车	84~95
底板与结构阶段	钢筋、混凝土等	混凝土罐车、载重车	80~85
装修安装阶段	各种装修材料机必备设备	轻型载重卡车	75~80

4、固废

施工期固体废物主要包括开挖土石方、施工人员生活垃圾和少量建筑垃圾。

- ①根据现场踏勘，拟建场地基本为平地，本项目土方开挖量较小。
- ②由于本项目在施工期间，会产生少量的生活垃圾。
- ③本项目用地范围内不涉及拆迁工程，仅施工工程会产生少量的建筑垃圾。

二、营运期工艺分析

（一）工业电子加速器项目

1、工程设备

宜宾精宜科技有限责任公司拟在调试车间的西北侧建设 4 座工业电子加速器调试机房，在中部建设 1 座工业电子加速器调试机房，共建设 5 座调试机房均用于生产、调试（使用）公司研发的 JY-ProAcc-LN-10/30 型工业电子加速器（最大电子束能量为

10MeV，最大束流强度为 3mA，设备额定功率 30kW）。

本项目拟生产调试销售的工业电子加速器技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目配备的电子加速器技术参数一览表

型号	JY-ProAcc-LN-10/30
工作场所	1#~5#工业电子加速器调试机房
最大电子线能量	10MeV
最大束流强度	30mA
束流损失点的能量	0.15MeV
束流损失点的束流强度	0.06mA
主射束方向	0°
电子扫描宽度	≥600mm
工作方式	连续

工业电子加速器的主要组成部分包括：高压系统、高频振荡器、加速管、电子枪、引出扫描系统、真空系统、气体处理系统、水冷系统、辐射防护监测系统和控制系统等。工业电子加速器主体结构示意图 9-2。

|

图 9-2 工业电子加速器主体结构示意图

(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 的作用是把电网的电能为工频转换为 120KHz 左右的高频，其性能决定着加速器的最大束功与束功转换效率。

振荡器的基本元件是振荡管。振荡管的供电采用阴极接直流负高压，阳极接直流

地电位的模式，从而简化了振荡管的冷却回路。谐振回路由钢筒内的环形自耦变压器（构成回路的电感 L ）和半圆筒高频电极与钢筒内壁和倍压芯柱之间的分布电容（构成回路的电容 C ）组成。振荡管阳极与环形变压器初级之间通过高频电缆连接。栅极所需的正反馈电压则通过置于钢筒与高频电极之间的耦合电容板取得。

环形变压器是高频振荡器的关键部件，它需要在高频、高压和大功率负荷的条件下工作，要求漏磁小、 Q 值高，结构牢固，制作和安装的工艺都要求较高。环形变压器的损耗仅次于振荡管，在相当程度上决定了加速器的束功转换效率。钢筒顶端安装有热交换器和风冷系统，把变压器散发的热量带走，并对钢筒内的其他部件进行冷却。

振荡管的直流负高压由可控硅直流稳压电源供电，它由一个工频三相升压变压器和一个三相桥式整流滤波单元组成，可输出 $0\sim 18\text{kV}$ 、 $0\sim 25\text{A}$ 的直流负高压。可控硅调节单元置于变压器初级回路中，用来改变初级进线电压从而调节振荡管的直流工作参数，以达到调节加速器端电压和束功的目的。可控硅调节单元还从加速器高压测量单元取得信号，通过计算机控制来稳定加速器的能量。

图 9-3 高频变压器

整流倍压系统 是以两块垂直地固定在钢筒底板上的绝缘板为骨架，在两块绝缘板上间隔均匀地从下至上各安装一排硅堆，两排硅堆彼此依次联接组成一条螺旋上升的硅堆整流链。在每个硅堆的连接点上水平地安装一个半电晕环，两列上下整齐排列的半电晕环，构成了整流倍压系统的圆柱外观，并把硅堆屏蔽在其中（参见图 9-4）。对称的两列半电晕环正好与固定在钢筒内壁的两个对称的半圆筒高频电极同轴对应，每个半电晕环与高频电极之间即构成了分布电容 C_{se} 。半电晕环和电极之间的尺寸配合精确，其表面平滑光亮。这种几何结构与静电加速器非常相似，其几何设计，

必须既满足高频耦合参数的要求，也必须符合高压静电场的场形设计。

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筒内，充以 0.65MPa 的 SF₆ 干燥绝缘气体，使得加速器具有足够安全的绝缘强度。

图 9-4 倍压整流芯柱

(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($10^{-5}\sim 10^{-6}\text{Pa}$)稳定可靠地建立一个均匀的高梯度直流加速电场($0\sim 20\text{kV/cm}$)。由于真空中的击穿放电机理复杂,至今还不十分清楚,因此,加速管成为加速器里最脆弱的环节,是各类高压型加速器提高端电压的主要限制。在制造、运输、安装和运行时均须小心谨慎。

加速管的基本单元是长约 300mm 的工艺段,采用先进的金属陶瓷焊接工艺制成。整根加速管由一定数量的工艺段组装而成。由于在制造和装配过程中排除了有机污染,每个焊缝都经过严格的处理和检测,因此这种加速管比用有机胶粘接方法制造的加速管机械强度高,真空性能好,电性能优越,使用寿命也 longer。

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。加速器主体见图 9-5。

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 $0\sim 0.8\text{mm}$ 。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。为了在钛窗处获得所需要的束斑尺寸,电子枪和引出区以及整根加速管的电场要合理配置,经计算确定。

电子枪的供电功率由置于高压球帽内的发电机提供。发电机由固定在钢筒底座上的变频电机通过一根绝缘轴带动。改变变频电机的工作频率,即可方便快速地改变发电机的转速从而改变电子枪的加热电流,达到调节束流的目的。这样的供电方式,束流和频率单一对应,跟随快,便于和束下装置联动,有利于提高工作效率和辐照产品的质量。图 9-6 所示为电子枪和加速管。

图 9-5 加速器主体

图 9-6 电子枪和加速管

(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。引出扫描系统见图 9-7。

图 9-7 真空抽气与引出扫描系统

(4) 绝缘气体处理系统

绝缘气体处理系统的功能有二：1) 加速器检修时回收气体，2) 通过气体的循环去除其中的水分和运行中因放电生成的有毒有害分解产物。

该系统的主要部件如下：

①储气筒，为加速器检修时储存 SF₆ 干燥绝缘气体用。

②压缩机机组，由无油压缩机、干燥塔、过滤器及相应的管道部件组成，用于将气体向加速器钢筒或向储气筒进行压缩。

③真空泵机组

由真空泵、油过滤器及相应的管道部件组成，用于对钢筒和储气筒抽气。

在加速器检修打开钢筒前，它必须把钢筒内的 SF₆ 干燥绝缘气体抽尽并输送到压缩机的入口以便压入储气筒；在加速器检修完毕灌气之前，它必须将钢筒内的空气抽尽，以保证纯度。

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、工作原理

本项目生产使用的工业电子加速器，由三大部分组成：加速器主机、高频振荡器、加速器控制台。其工作原理为：首先，将低压工频电能，用高频振荡器变成高频电能，输送给高压发生器；再将此升压的高频电压加在空间耦合容器上，通过该耦合电容分别加到主体上的各个整流盒上，此时每一个耦合环上得到几十千伏的直流高压，由于各级串联，电压叠加，从而在高端获得很高的电压。加速器电子枪中的灯丝产生的电子云，引入到加了高压的加速管，最终形成高能电子束，电子束从加速器出口输出，进入扫描空间，利用磁场将成束的电子扫开成一定的宽度，从金属膜构成的输出窗引出，对运动的被照物体进行辐照。

工业电子加速器利用其产生的电子束对物体进行辐照加工，可使 PTFE（聚四氟乙烯）分子的碳链发生断裂，导致 PTFE 发生裂解，通过控制辐射剂量并结合研磨或气流粉碎法可制备 PTFE 超细粉；利用电子束辐照高分子材料发生辐射交联反应可改变材料性质，如电线电缆被辐照后，其绝缘性、耐高温性、抗张强度等均提高，进而提高其整体技术指标。也可以用来进行辐照灭菌等工作。工业电子加速器辐照原理如图 9-8 所示。

图 9-8 工业电子加速器辐照原理示意图

3、工艺流程及产污环节

宜宾精宜科技有限公司拟在调试车间内生产、销售、调试（使用）JY-ProAcc-LN-10/30 型工业电子加速器，该型工业电子加速器装置在调试车间内生产过程中，所有结构和零部件均不在公司内生产加工，均采用委外加工和外购，不涉及表面喷涂工艺，本项目工艺流程及主要产污环节示意图见图 9-9 所示。

图 9-9 生产、销售及使用工业电子加速器的工作流程和主要产污环节示意图

(1) 设备组装流程

在宜宾精宜科技有限公司生产调试（使用）JY-ProAcc-LN-10/30 型工业电子加速器过程中，主要涉及电真空系统装配体、加速主机、电源钢桶、包装等装配、装配后的设备调试。

(2) 设备调试流程

1) 主要调试流程

本项目 JY-ProAcc-LN-10/30 型工业电子加速器在组装完成达到调试条件后，公司按照作业程序开展调试，主要调试流程为各检测参数校验及标定→安全联锁测试→高压电源及电子枪参数检测→连续运行系统稳定性检测。

2) 主要调试程序

本项目设备组装完成后，达到调试条件，主要调试流程如下：

- ①首先调试设备控制系统（调试过程中高压电源主回路是断开）运行是否正常；
- ②调试系统与电源的通信系统、以及对束下系统的控制；

③采用模拟信号对设备各个安全联锁的控制系统进行检测、排除异常；
④所有控制系统，联锁装置调试无异常后，可以开始对设备进行正式调试；
⑤设备调试及射线泄露监测调试前除确保整个安全联锁系统正常外，还需人工确认设备内唯一可以开合的屏蔽门处于关闭状态，系统程序中门的控制处于无法打开状态（确保射线防护安全）。

3) 设备拆包及打包

JY-ProAcc-LN-10/30 型工业电子加速器设备尺寸较大，不便于长途运输，且运输过程中不能保证设备性能，因此公司生产、调试（使用）后的工业电子加速器需要拆除后，运输到客户厂房内再进行安装和调试。

4) 客户厂区设备组装、调试、维修流程

JY-ProAcc-LN-10/30 型工业电子加速器在客户厂区内组装完成，满足通电条件后，需要宜宾精宜科技有限责任公司调试人员再次对射线装置进行调试，经过调试并能够稳定运行后，设备交付客户。

在设备交付客户后，设备在客户厂区内使用一段时间后，可能出现设备故障需要维修，宜宾精宜科技有限责任公司安排维修调试人员到客户厂区内进行维修。维修涉及的设备拆卸、组装和调试与上述流程相同。

（二）BNCT 项目

1、工程设备

宜宾精宜科技有限责任公司拟于调试车间的中部和东南侧建设 2 座 BNCT 调试机房用于生产、调试（使用）公司研发的 JY-BNCT-2.8/25 型硼中子俘获治疗装置（最大电子束能量为 2.8MeV，最大束流强度为 25mA，属II类射线装置）。

BNCT 设备包括质子源、低能传输线、射频四极加速器、高能传输线和靶及束流整形装置等组成。

（1）质子源：提供加速器系统所需要的质子束流，经 50kV 高压引出经过低能传输线。

该质子源设计输出能量为 50keV、输出流强 50mA，束流空气占比为 80%，离子源的能量、束流强度及占空比均满足 BNCT 装置的运行要求。BNCT 装置所用的 ECR 质子源照片见图 9-10。

图 9-10 ECR 质子源

(2) **低能传输线 (LEBT)**：低能传输线主要作用是将质子源引出束流传输并匹配到 RFQ 加速器，低能传输线包括两台螺线管磁铁、两台导向磁铁、三个真空腔、一个插板阀、两个 CT、两台分子泵。

(3) **RFQ 加速器**：RFQ 加速结构是一种利用高频四极电场同时实现横向聚焦和纵向加速的加速结构，由于电场的库仑力与带电粒子的速度无关，使它特别适合于加速低能离子，而且可直接接在离子源后使用。

射频四极加速器包括四个轴中心对称的电极，由于高频功率的激励而产出交变电四极场，从而提供连续的横向聚焦力；同时电极在纵向受到周期性的调制，从而产生纵向电场分量，使得粒子受到准绝热聚束的同时得到加速。经过射频四极加速器加速，射频四极加速器出口处质子能量达到 2.8MeV，之后经过高能传输线。RFQ 加速器如图 9-11~图 9-13 所示。RFQ 质子加速器是一个中空的六棱柱结构，其材料是铜，加速腔体的内部为高真空。

图 9-11 RFQ 加速器组装后实物图

图 9-12 RFQ 质子加速器的加速腔腔体实物图

图 9-13 RFQ 质子加速器的加速腔腔体截面图

(4) **高能传输线 (HEBT)**：高能传输线位于 RFQ 加速器与靶站之间的高能束流传输线，包括一台二级偏转磁铁、二级偏转磁铁前三台四极磁铁、一台导向磁铁、二极磁铁后每条传输线有三台四极磁铁、一台八级磁铁、一台导向磁铁。高能传输线局部实物图如图 9-14 所示。

图 9-14 高能传输线的局部照片

(5) 靶及束流整形装置 (BSA)：从高能传输线输出的质子束，进入束流整形组件打靶，从而产生需要的中子束。

本项目 BNCT 的靶材料主要由锂靶构成，将经高能传输线的电子束流轰击锂靶产生所需的快中子。束流整形装置用于慢化中子束流并进行整形。本项目的锂靶及束流整形装置结构示意图如图 9-15 所示。质子束从图中上方直径为 100mm 的圆形通道中进入 BSA，质子束打在锂靶上，从而产生中子束，再从下方 150mm 的圆形孔中输出需要的中子束。

图 9-15 束流整形组件 (BSA) 的水平横截面结构

其中，束流整形组件（BSA）中各部分材料的功能如下图 9-16 所示，其中的锂靶的厚度为 100 微米，铜托厚度为 23mm。反射体用于中子的反射，同时也作为 γ 射线的屏蔽，此设计中的直径为 1000mm。

图 9-16 束流整形组件（BSA）中各部分材料的功能

2、工作原理

由上文可知，BNCT 装置主要由质子源、低能传输线、射频四极加速器、高能传输线等组成，通过质子加速器室内加速器加速质子，最大能量为 2.8MeV 质子撞击靶站中的锂靶后产生快中子，快中子经过慢化和束流整形后进入治疗室，在治疗室内中子富集在人体癌变部位的 ^{10}B 原子发生反应，产生 α 粒子和 Li 粒子作为重离子对癌细胞起到杀伤作用。BNCT 原理示意图如图 9-17 和图 9-18 所示：

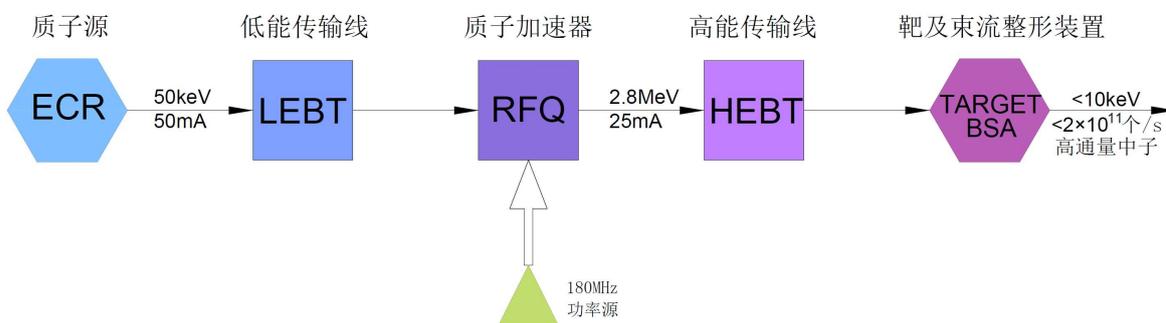


图 9-17 BNCT 基本结构示意图

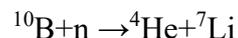
图 9-18 BNCT 基本结构示意图

(1) 靶站工作原理

加速后的质子轰击 Li 靶产生能量单一的中子，产生的中子经过形体处理后变成超热中子用于治疗。

(2) BNCT 治疗原理

BNCT 的治疗原理是先将 ^{10}B 化合物 (BPA) 注入人体，含 ^{10}B 化合物选择性富集于肿瘤细胞内。选择 ^{10}B 是因为它与肿瘤有特异性亲和力的，对热中子的俘获截面远高于 C、H、O、N 等元素，且是稳定的、无毒性的、自然界同位素丰度高。热中子照射肿瘤区域时，肿瘤细胞内的 ^{10}B 可俘获大量的热中子，俘获核进入激发态，激发态核衰变释放能量，产生高传能线密度 (linear energy transfer, LET) 的 α 粒子 (^4He) 和反冲锂核 (^7Li) 并释放能量，热中子和 ^{10}B 的反应式为：



α 粒子和 ^7Li 反冲核的射程分别约为 $9\mu\text{m}$ 和 $4\mu\text{m}$ ，与肿瘤细胞的尺度相近 (细胞直径约 $10\mu\text{m}$)，所以杀伤作用仅限与肿瘤细胞及邻近的细胞，可在破坏肿瘤细胞的同时几乎不影响正常细胞。

因本项目为生产调试 (使用) BNCT 项目，不涉及治疗，故未设置治疗室。根据 BNCT 的工作原理可知，BNCT 在出厂调试之前只要能够产生设定规模的中子束流即可满足治疗需求，因此建设单位在 BNCT 调试机房中子束输出端靠近屏蔽墙上设置一块尺寸为长 $1\text{m} \times$ 宽 1m ，厚度为 200mm 的含硼聚乙烯屏风作为模体，吸收中子束流。

3、工艺流程及产污因子

宜宾精宜科技有限公司拟在调试车间内生产、销售、调试 (使用) JY-BNCT-2.8/25 型 BNCT，该型工业电子加速器装置在调试车间内生产过程中，所有结构和零部件均不在公司内生产加工，均采取委外加工和外购，不涉及表面喷涂工艺，本项目工艺流程及主要产污环节示意图见图 9-19 所示。

图 9-19 生产、销售及使用 BNCT 的工作流程和主要产污环节示意图

(1) 设备组装流程

在宜宾精宜科技有限公司生产调试（使用）JY-BNCT-2.8/25 型 BNCT 过程中，主要涉及质子源、低能传输线、射频四极加速器、高能传输线和靶及束流整形装置包装等装配、装配后的设备调试。

(2) 设备调试流程

1) 主要调试流程

本项目 JY-BNCT-2.8/25 型 BNCT 在组装完成达到调试条件后，公司按照作业程序开展调试，主要调试流程为各检测参数校验及标定→安全联锁测试→高压电源及电子枪参数检测→连续运行系统稳定性检测。

2) 主要调试程序

本项目设备组装完成后，达到调试条件，主要调试流程如下：

- ①首先调试设备控制系统（调试过程中高压电源主回路是断开）运行是否正常；
- ②调试系统与电源的通信系统、以及对束下系统的控制；

③采用模拟信号对设备各个安全联锁的控制系统进行检测、排除异常；
④所有控制系统，联锁装置调试无异常后，可以开始对设备进行正式调试；
⑤设备调试及射线泄露监测调试前除确保整个安全联锁系统正常外，还需人工确认设备内唯一可以开合的屏蔽门处于关闭状态，系统程序中门的控制处于无法打开状态（确保射线防护安全）。

3) 设备拆包及打包

JY-BNCT-2.8/25 型 BNCT 设备尺寸较大，不便于长途运输，且运输过程中不能保证设备性能，因此公司生产、调试（使用）后的 BNCT 需要拆除后，运输到客户机房内再进行安装和调试。

4) 客户厂区设备组装、调试、维修流程

JY-BNCT-2.8/25 型 BNCT 在客户机房内组装完成，满足通电条件后，需要宜宾精宜科技有限责任公司调试人员再次对射线装置进行调试，经过调试并能够稳定运行后，设备交付客户。

在设备交付客户后，设备在客户厂区内使用一段时间后，可能出现设备故障需要维修，宜宾精宜科技有限责任公司安排维修调试人员到客户厂区内进行维修。维修涉及的设备拆卸、组装和调试与上述流程相同。

本项目工业电子加速器和 BNCT 总体工艺流程如图 9-20 所示。

（三）项目人员流动路径规划

1、工作人员路径：本项目辐射工作人员主要集中在调试机房外，在需要对设备进行组装和调试时从各调试机房迷道入口处进入，在完成一系列巡检及检查工作后原路返回，在调试作业区完成相关调试工作。

2、物流路径：本项目生产调试的工业电子加速器和 BNCT 各组件均较大，需要借用工具（调试机房内预留的行车）对各组件进行拆装，移动。各组件路径与辐射工作人员路径保持一致。

图 9-20 宜宾精宜科技有限责任公司生产、销售和使用工业电子加速器和 BNCT 项目总体流程

污染源项描述

一、施工期污染源

1、废水

施工期少量废水主要来自以下几个方面：

①施工场地废水；②施工人员生活污水。

2、扬尘

施工期的大气污染物主要是地面扬尘污染，污染因子为 TSP，为无组织排放。施工产生的地面扬尘主要来自三个方面，一是墙体装修扬尘；二是来自建筑材料包括水泥、沙子等搬运扬尘；三是来自来往运输车辆引起的二次扬尘。

3、固体废物

施工期产生的固体废弃物主要为施工人员的生活垃圾及废弃的各种建筑装饰材料等建筑垃圾。

4、噪声

主要是使用施工机械和装修设备产生的噪声。

二、营运期污染源

(一) 工业电子加速器项目

1、电离辐射

本项目拟生产、销售、调试（使用）的工业电子加速器最大能量为 10MeV，最大束流强度均为 3mA。

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

2、非辐射三废

①固体废物

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

②废气

本项目产生的废气主要臭氧、氮氧化物、有挥发性有机物等。

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

围环境的影响较小。

本项目射线装置在通电出束调试过程中，辐照室内的空气在强电离辐射的作用下，会产生一定量的臭氧和氮氧化物。加速器输出的高速电子束流越强，臭氧和氮氧化物的产额越高。其中臭氧的毒性最大，产额最高，不仅对人体产生危害，同时能使橡胶等材料加速老化。电子束装置屏蔽体在良好通风条件下，臭氧和氮氧化物很快弥散在大气环境中，臭氧在常温下可自行分解为氧气。建设单位拟在新厂区大设备调试区各设备排气口设集气罩，设置专用通排风管道，经管道收集后高于屋顶 3m 排放。

③废水

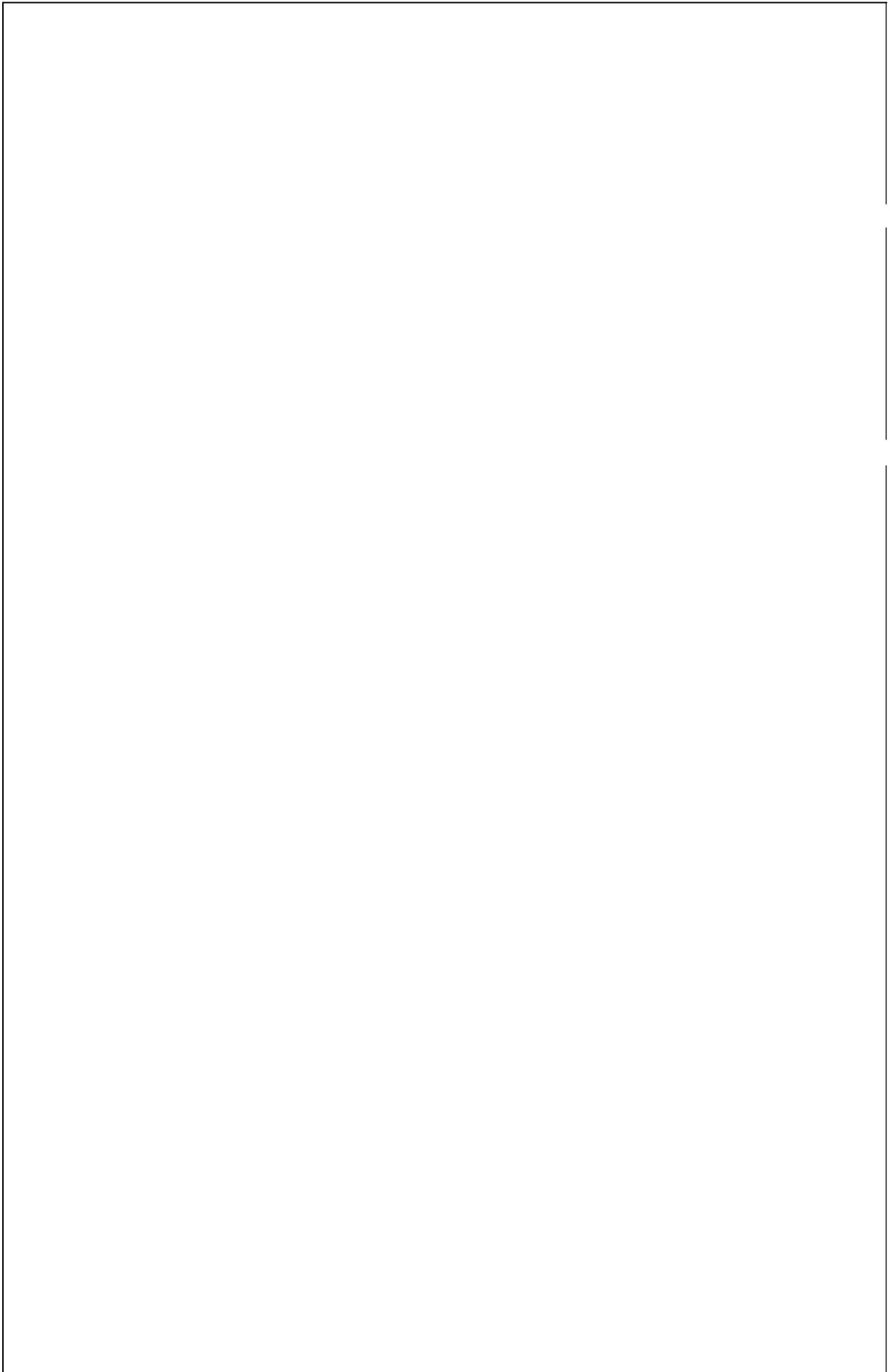
本项目产生的废水主要为工作人员产生的生活污水，生活污水经过厂区内污水管网收集，排入园区污水处理厂处理，能够实现达标排放。

④噪声

本项目产生的噪声涵盖设备生产、组装、拆卸和调试过程，主要为通风风机、辅助安装器械、设备设施搬运、管线安装等产生的噪声。建设单位拟通过采购低噪设备，轻拿轻放等措施进行降噪。本项目产生的噪声经降噪措施落实后，经过距离衰减后，能够实现《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3类标准的要求。

（二）BNCT 项目

BNCT 治疗系统运行过程中产生的辐射场，主要为装置运行期间产生的“瞬发辐射场”和装置停机后依然存在的“剩余辐射场”。瞬发辐射场是装置运行时损失的粒子束流和粒子打靶时发生核反应产生的，特点是辐射较强，但会随着装置的停机而完全消失；剩余放射性辐射主要来自靶和周围部件、屏蔽墙、加速器部件、空气和冷却水受质子束流及其次级粒子轰击产生的活化产物，在停机后依然存在。



(三) 其他

根据《四川省辐射污染防治条例》，射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局与分区

(一) 工作场所布局合理性

宜宾精宜科技有限责任公司厂区选址于叙州区高场镇高新社区金润产业园，本项目拟建的调试机房位于厂区东北角，调试车间为地下一层，地上一层建筑。调试车间东侧、西侧及北侧均为厂区内道路，西南侧为 3#生产车间，避开了人员密集的综合楼处，减少了对周围环境的辐射影响。工业电子加速器调试机房和 BNCT 调试机房的控制室均位于调试机房的外侧，均为隔室操作，减少了对职业人员的照射。调试机房平面布局详见附图 3，本项目拟建址避开了人群区域或人员密集区域，或人员流动性大的区域，选址及平面布局合理。

(二) 两区划分

1、分区原则

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，将本项目辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区—把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

监督区—通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

2、区域划分

本次环评根据控制区和监督区的定义，结合项目辐射防护和环境情况特点进行辐射防护分区划分。公司拟将工业电子加速器调试机房（含迷道）和 BNCT 调试机房（含迷道）划分为控制区，该区域涉及射线装置的操作，属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及其他法律法规定义的控制区，进行了专门的屏蔽防护设计；其余房间如：各控制室、水冷机房及辅助机房等属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及其他法律法规定义的监督区。

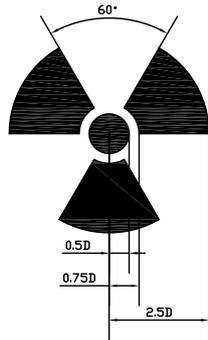
本项目控制区和监督区划分情况见表 10-1，并在图 10-1 上进行了标识。

表 10-1 项目控制区和监督区划分情况

车间名称	控制区	监督区
调试车间	工业电子加速器调试机房（含迷道）和 BNCT 调试机房（含迷道）	加速器调试作业区、BNCT 调试作业区、辐照实验室等

3 控制区的防护手段与安全措施：

①控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志（如图 10-2）。



a. 电离辐射标志



b. 当心电离辐射警告标志

图 10-2 电离辐射标志和电离辐射警告标志

②制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）

限制进出控制区；

④定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

4 监督区防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区的边界；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

③定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。



图 10-1-1 调试车间分区示意图

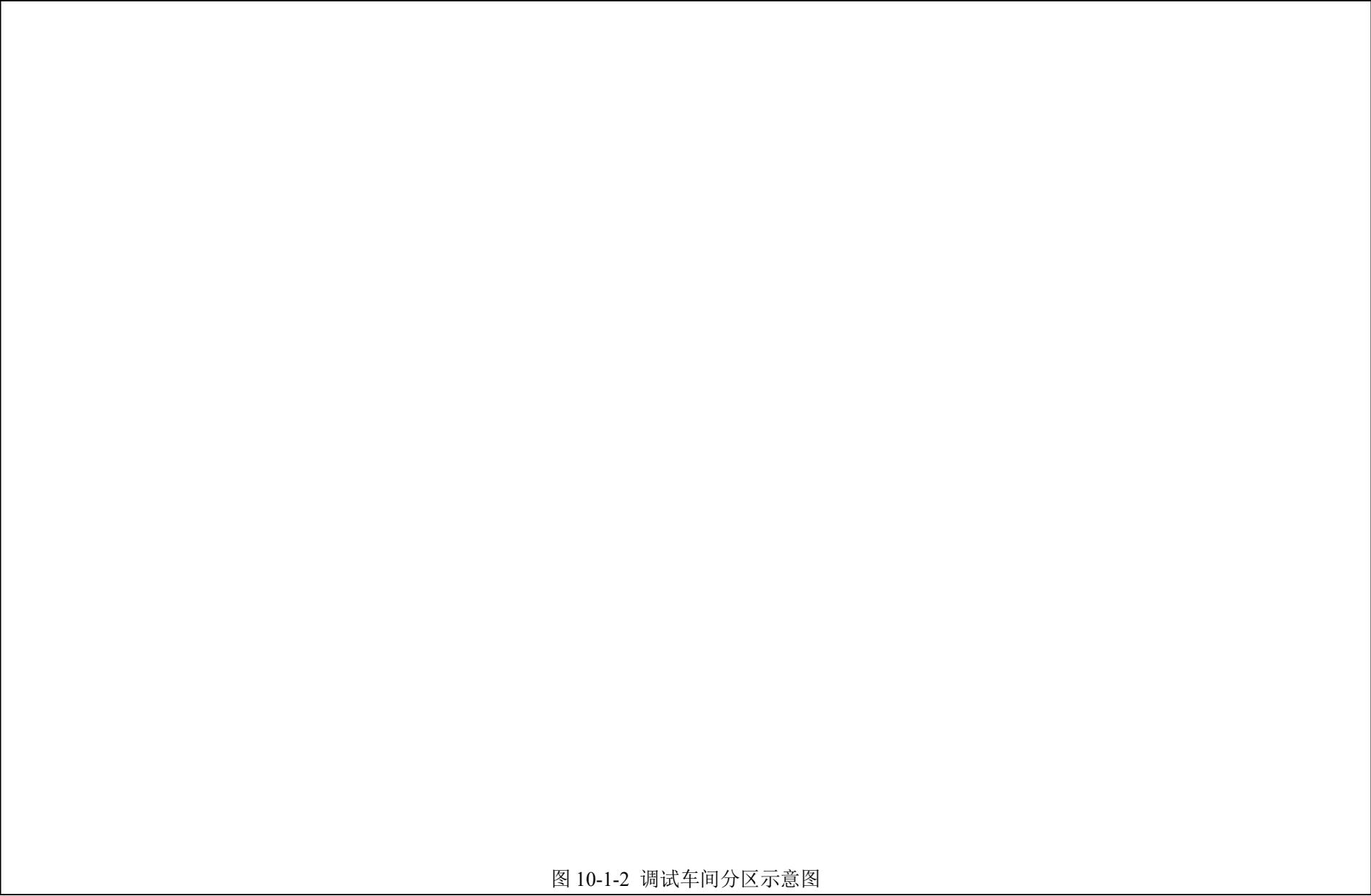


图 10-1-2 调试车间分区示意图

二、辐射安全及防护措施

(一) 各工作场所的屏蔽措施

本项目各调试机房屏蔽设计见表 10-2~表 10-3。

表 10-2 工业电子加速器调试机房防护屏蔽设计一览表

类别	屏蔽防护设计		屏蔽设计参数（厚度及材质）
工业电子加速器机房 1#~3#机房	主机室	四周墙体	2.0m 厚混凝土
		迷道内墙	0.5m 厚混凝土
		迷道外墙	2.0m 厚混凝土
		屋顶	1.0m 厚混凝土
		防护门	10cm 厚钢板
	辐照室	四周墙体	0.3~2.0m 厚混凝土+夯实土层
		防护门	5cm 钢板
工业电子加速器机房 4#机房	主机室	四周墙体	2.0m 厚混凝土
		迷道内墙	0.5m 厚混凝土
		迷道外墙	2.0m 厚混凝土
		屋顶	1.0m 厚混凝土
		防护门	10cm 厚钢板
	辐照室	四周墙体	0.3~2.0m 厚混凝土+夯实土层
		迷道内墙	0.5m 厚混凝土
		迷道外墙	2.0m 厚混凝土
工业电子加速器机房 5#机房	主机室	四周墙体	2.0m 厚混凝土
		迷道内墙	0.5m 厚混凝土
		迷道外墙	2.0m 厚混凝土
		屋顶	1.0m 厚混凝土
		防护门	10cm 厚钢板
	辐照室	四周墙体	0.3~2.0m 厚混凝土+夯实土层
		防护门	5cm 厚钢板

注：项目拟使用的混凝土密度不低于 2.5t/m³，钢的密度不低于 7.8 t/m³。

表 10-3 BNCT 调试机房防护屏蔽设计一览表

类别	屏蔽防护设计	屏蔽设计参数（厚度及材质）
BNCT 调试 机房	四周墙体	2.0m 厚混凝土
	迷道内墙	0.5m 厚混凝土
	迷道外墙	2.0m 厚混凝土
	屋顶	1.0m 厚混凝土
	防护门	1mm 不锈钢+100mm 含硼聚乙烯+200mm 低碳钢+1mm 不锈钢

注：项目拟使用的混凝土密度不低于 2.5t/m³，钢的密度不低于 7.8t/m³。

(二) 辐射安全装置

1、工业电子加速器项目

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)的规定,在工业电子加速器装置的设计中必须设置功能齐全、性能可靠的安全联锁保护装置,对控制区的出入口门、加速器的开停机和束下装置等进行有效联锁和监控。安全联锁引发加速器停机时必须自动切断高压。安全联锁装置发生故障时,加速器不能运行。安全联锁装置不得旁路,维护与维修后必须恢复原状。

本项目拟生产调试(使用)的工业电子加速器均采用相适应的多层防护与安全措施(即纵深防御),充分体现了冗余性、多元性、独立性的安全原则,辐射安全与防护设施设计包括联锁系统、急停系统等内容,辐照装置设计的辐射安全保护措施和联锁系统符合相关标准规范,满足辐射安全要求。辐射安全与防护设施布置见附图 5,安全联锁设施逻辑示意图 10-3 所示。

(1) **钥匙控制** 加速器的主控钥匙开关和辐照室、主机室门联锁。如果从控制台上取出钥匙,加速器会自动停机,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调试值班长保管使用。

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

(3) **束下装置联锁** 加速器的控制与束下装置的控制建立可靠的接口和协议文件,束下装置与加速器设联锁保护,当束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时,加速器自动停机。

(4) **信号警示装置** 在控制区出入口处及内部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警示。主机室和辐照室出入口设置工作状态指示装置,并与电子加速器辐照装置联锁,在负一楼辐照室、一楼主机室进出口悬挂“开机禁止入内”和“关机允许进入”警示牌。加速器启动后,“开机禁止入内”红色警示灯亮,加速器停机后,“关机允许进入”绿色警示灯亮。

(5) **巡检按钮** 辐照室和主机室设置巡检系统,巡检系统设置如下:

①在辐照室和主机室内不同位置均设有巡检按钮,并与控制台联锁。本项目各辐照间的辐照室均在室内不同位置处设置有 8 个巡检开关及 1 个巡检复位箱,在各主机室内设置 4 个巡检开关及 1 个巡检复位箱。加速器开机前,操作人员进入主机室内,

检查水路、水压、气压等仪表，检查急停按钮、拉绳等器件，并依次有序按下巡检开关，确认室内无人后，在出口处通过巡检复位箱完成巡检复位；然后再经辐照室的人员入口门刷门禁卡进入辐照室，进入后立即关闭入口门，沿迷宫进入内部，检查急停按钮、拉绳等器件、检查钛膜是否正常，依次有序按下巡检开关，确认室内无人后，在人员出口处通过巡检复位箱完成巡检复位，关闭出口门。加速器每次开机前，工作人员均须进入辐照室和主机室内巡视是否清场并按下所有巡检开关，否则相应加速器无法开启。

②巡检操作时，巡检人拿下钥匙开关的钥匙，拿下钥匙后安全系统就被破坏，巡检完成后，插入钥匙，才能启动安全系统；钥匙上相连一台有效的剂量报警仪。

(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防误入联锁装置，采用光电开关装置，主机室门口及辐照室出入口各设置 3 道防人员误入装置，安装距离地面 0.5 米高，3 道装置安装距离间隔 40-50cm，有人员经过时，安全联锁系统动作，加速器无法启动，或者已启动的加速器立即停机。

(7) 急停装置 在每台加速器主控台上设有急停按钮和中文标识；每个辐照室各设置 2 个急停按钮，每个主机室设置 1 个急停按钮；每个辐照室和主机室各设置拉线开关 1 套，拉线开关的拉线沿内部墙体围绕一圈布置，在辐照室和主机室内的任何位置均可以立即拉动拉线开关。当急停按钮或拉线开关动作时，切断加速器主电源断路器，整个加速器系统立即停机。此外各辐照室和主机室门处均设置 1 个紧急开门按钮，用于人员迅速离开控制区。

(8) 剂量联锁 每座辐照间设置 1 套固定式辐射监测仪，与辐照室和主机室的出入口门进行联锁，当辐照室和主机室内的辐射水平高于仪器设定的阈值时，主机室和辐照室的门无法打开。当剂量报警装置未打开时，加速器也无法启动。

(9) 通风联锁 主机室、辐照室的通风装置与控制系统进行了联锁，风机不开，加速器无法启动；当加速器停机后，只有达到预设的时间，辐照间的门才能打开，以保证臭氧浓度降到允许值才能入内，同时与门口的“关机允许进入”警示牌进行联锁。

(10) 烟雾报警 辐照室内设置烟雾报警装置，与臭氧排风管相连，发生火灾时，加速器立即停机，并停止通风。

图 10-3 安全联锁设施逻辑示意图

2、BNCT 项目

本项目 BNCT 调试装置采取了相适应的多层防护与安全措施（即纵深防御），充分体现了冗余性、多元性、独立性的安全原则，辐射安全与防护设施设计包括联锁系统、急停系统等内容，辐照装置设计的辐射安全保护措施和联锁系统符合相关标准规范，满足辐射安全要求。辐射安全与防护设施布置见附图 6，安全联锁设施逻辑示意图 10-4 所示。

图 10-4 安全联锁设施逻辑示意图

四、环保投资

为了保证本项目安全持续开展，根据相关要求，公司将投入一定资金建设必要的环保设施，配备相应的监测仪器和防护用品，本项目环保投资估算见表 10-4。

表 10-4 环保设施及投资估算一览表

项目		规定的措施	金额（万元）
调试车间	场所设施	四周墙体+迷道+屋顶防护	
		防护门	
		通风系统	
工业电子加速器项目	联锁装置	钥匙开关	
		门机联锁装置	
		束下装置联锁	
		信号警示装置	
		巡检按钮	
		光电装置	
		急停按钮	
		剂量联锁	
		通风联锁	
		烟雾报警	
	警示设施	入口当心电离辐射警告标识	
		防护门上方工作状态指示灯	
		工作场所分区及标识	
	紧急设施	屏蔽门内开门按钮	
		调试机房门防夹人装置	
		紧急照明或独立通道照明系统	
		视频监控	
		调试机房内急停按钮	
	监测设备	固定式报警仪	
		便携式辐射巡测仪	
		个人剂量报警仪	
个人剂量计			
BNCT 项目	联锁装置	钥匙开关	
		门机联锁装置	
		信号警示装置	
		巡检按钮	
		光电装置	
		急停按钮	
		剂量联锁	
	警示设施	入口当心电离辐射警告标识	
		防护门上方工作状态指示灯	

		工作场所分区及标识	
紧急设施		屏蔽门内开门按钮	
		调试机房门防夹人装置	
		紧急照明或独立通道照明系统	
		视频监控	
		调试机房内急停按钮	
监测设备		固定式报警仪	
		便携式辐射巡测仪	
		个人剂量报警仪	
		个人剂量计	
		合计	

本项目总投资 万元，环保投资 万元，占总投资的 2%。今后公司在核技术利用项目实践中，应根据国家发布的法规内容，结合公司实际情况对环保设施做补充，使之更能满足实际需要。同时公司应定期对环保设施、监测仪器等进行检查、维护。

三废的治理

一、工业电子加速器项目

本项目工业电子加速器在调试作业过程中不产生放射性三废。

1、废气

空气在辐射照射下，会产生少量臭氧和氮氧化物等有害气体，其中由于氮氧化物的产率仅为臭氧产率的三分之一，同时国家对空气中臭氧浓度的标准严于氮氧化物，因此项目主要产生的废气污染物为臭氧。

公司拟在各工业电子加速器调试机房内设置排风装置将辐照室内产生的废气引出高于厂房顶 3m 排放，最小排风量不低于 8000m³/h，臭氧排入环境大气后，经自然分解和稀释，不会对环境空气造成明显影响。本项目工业电子加速器辐照室排风管道布置图见图 10-5 所示。

图 10-5 工业电子加速器排风管道布置示意图

2、固废

本项目在生产电子束装置过程中，产生的固体废弃物较少，且本项目电子束能量较小，不会引起靶物质活化，不产生放射性固体废弃物。因此，在本项目电子束装置出束期间，主要固体废物为生活垃圾，生活垃圾依托既有的生活垃圾处理设施处理。

3、废水

本项目在生产电子束装置过程中，不产生废水，在设备运行期间，主要为生活污水，生活污水依托既有的生活污水处理系统处理。

4、噪声

项目噪声源为机房通排风系统，该系统采用低噪声设备，其噪声值低于 60dB(A)，经建筑物墙体隔声及公司场址内的距离衰减后，运行期间厂界噪声可达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类标准要求。

二、BNCT 项目

1、废气治理

BNCT 在开机出束期间，产生的电子线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧 (O₃) 以及少量的感生放射性气体。

本项目 BNCT 调试机房设有通排风系统，其内通风口设置在调试机房距地面约 0.3m 处，室内气体由通排风系统统一抽排至调试车间顶部排放。

产生的臭氧、氮氧化物及少量的感生放射性气体通过换气系统排入环境大气后，

经自然分解扩散，对环境产生影响较小。

2、固体废物

本项目工作人员产生的生活垃圾集中暂存于厂区内生活垃圾暂存间，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

BNCT产生的废锂靶退役后交由有资质单位处置。

3、废水

本项目产生的生活污水暂存于公司拟建的化粪池，用于收集工作人员产生的生活污水，生活污水在化粪池暂存后排入园区的市政管网。

4、噪声

项目噪声源为机房通排风系统，该系统采用低噪声设备，其噪声值低于 60dB(A)，经建筑物墙体隔声及公司场址内的距离衰减后，运行期间厂界噪声可达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2类标准要求。

5、射线装置报废处理

根据《四川省辐射污染防治条例》，“射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化”。本项目使用的模拟定位机在进行报废处理时，应将该射线装置的高压射线管进行拆卸并破碎处理等去功能化措施并按相应要求执行报废程序。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目调试机房建设属于整个厂区基础建设的部分工程，项目建设时将产生施工噪声、扬尘，同时会产生一定的废水、废气和建筑垃圾等。

建设施工时对环境会产生如下影响：

1、大气环境影响分析

项目在建设施工期厂房建设需要进行场地平整、地基开挖、打桩等作业，土石方开挖及堆放、砂石材料堆存等都将产生扬尘，另外机械和运输车辆作业时将排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：

①工程建设方应当将扬尘污染防治费用列入工程概算，并在施工承包合同中明确施工单位的尘污染防治责任。

②开挖土石方及时清运，露天堆放水泥等易扬撒的物料，应当设置不低于堆放物高度的密闭围栏并予以覆盖。

③施工过程中加强防尘洒水（每天 4~5 次），减少扬尘对附近环境空气的影响。

④设置车辆清洗设施及配套的污水、泥浆沉淀池。运输车辆冲洗干净后，方可驶出工地。

⑤采用密闭装置的车辆运输易产生扬尘的物料，禁止车辆带泥（尘）上路行驶。

⑥施工全部采用商品混凝土，不在施工现场搅拌混凝土。

⑦加强大型施工机械和车辆的管理，定期对其进行检查维护。施工机械使用无铅汽油等优质燃料。发动机耗油多、效率低、排放尾气严重超标的老旧车辆应予更新，禁止尾气排放不达标的车辆和施工机械运行作业。采取上述措施，可减轻施工期对环境空气质量的影响。

2、水环境影响分析

本项目施工期较短且施工量小，施工期废水主要为少量施工废水和施工人员的生活污水。施工期间，做好各项节排水设计，施工区设置完善的配套排水系统、沉淀池等设施，桩基础施工中排出的泥浆水沉淀后自然蒸发；混凝土养护废水经沉淀池沉淀后直接回用于混凝土养护；进出车辆泥土清洗水经沉淀后于施工场地出入口洗车池内重复用做车辆出场泥土清洗，施工废水不外排。施工人员生活污水经化粪池收集后，

接入园区污水管网。采取上述措施，施工期产生的废水对地表水环境的影响小。

3、声环境影响分析

本项目施工阶段，如地基开挖机械设备、载重车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。针对声环境影响主要采取以下措施：

①合理安排施工时间，将可能产生强噪声的施工作业安排在昼间（06：00~22：00），尽量避免夜间施工，如因施工工艺需要夜间进行较高噪声施工作业的，施工单位应当采取噪声污染防治措施，并同时将夜间作业项目、预计施工时间向生态环境主管部门报告，得到同意后方可施工；夜间作业前一日，施工单位应在受影响的施工场所予以公示，告知周边居民，同时做好解释工作。

②施工中应严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）中有关规定，加强施工过程的管理，制定合理的施工作业计划，并从管理上采取措施。

③在施工场界周围设置维护设施，高噪声设备设置隔声、减噪措施。

④对施工区进行合理布局，在不影响施工情况下将噪声设备尽量不集中安排。

⑤加强施工机械的维护保养，避免由于设备性能差使噪声增大现象发生。采取上述措施，可有效减轻施工期的噪声影响。

4、固体废物

本项目固体废物主要为施工人员生活垃圾和建筑垃圾。施工场地设置生活垃圾收集点，由环卫部门定期清运。建筑垃圾分类处理，尽量回收其中尚可利用的部分建筑材料，对没有利用价值的废弃物运送到市政指定的建筑垃圾堆埋场；多余土石方由专业建筑弃土运输公司运至合法渣场处置或运至园区其他地块作为基础填土，厂区不设临时堆土场，在开工前明确弃土去向。经采取以上措施，固体废物对周围环境影响较小。

公司在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在内局部区域，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、工业电子加速器项目

宜宾精宜科技有限责任公司拟在新建的调试车间内建设5座工业电子加速器生产调试机房，本次拟生产调试的工业电子加速器最大电子束能量均为10MeV，最大电子束流强度均为3mA，最大功率均为30kW。

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

（一）电子束环境影响分析

根据《辐射防护手册》（第三分册）可知，电子在物质中最大射程可由公式 11-1 进行估算：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\beta max} \cdots \cdots \text{公式 11-1}$$

式中：

d —最大射程，cm；

ρ —防护材料的密度，g/cm³；

$E_{\beta MAX}$ —电子最大能量，MeV；

本项目工业电子加速器电子束最大能量均约为 10MeV，由公式 11-1 计算得出电子线在混凝土（密度取 2.35g/cm³）中最大穿透厚度约为 2.13cm，本项目辐照室有效的墙体厚度至少为 30cm，完全可以屏蔽 10MeV 及以下的电子，而且本项目拟生产调试的工业电子加速器产生的电子束均朝向地面。因此，电子束对辐照室外环境的影响可以忽略不计。

（二）韧致辐射（X 射线）环境影响分析

本次拟生产调试的工业电子加速器最大电子束能量均为 10MeV，最大电子束流强度均为 3mA，最大功率均为 30kW。由于项目 5 座工业电子加速器调试车间结构、平面布置及防护设计均基本相同。其中 1#、2#、3#和 5#调试机房的辐照室四周均为土层无人员居留，仅 4#调试机房的辐照室设有防护门，故本项目选取 4#工业电子加速器调试机房为例作理论计算，分析其辐射环境影响。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）的要求，在本项目 4#工业电子加速器调试机房辐照室和主机室外设定关注点。从保守角度出发，在工业电子加速器调试机房设计的尺寸厚度基础上，假定工业电子加速器以最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。

本项目工业电子加速器调试车间分为二层，工业电子加速器主机安装在一层主机室内，电子束通过加速管引向负一层的辐照室内。由于加速器电子束朝下，不直射向四周屏蔽墙，因此偏离束流主方向的电子束照射到加速器主机室和辐照室后产生韧致辐射（X 射线），这部分射线为主机室和辐照室的屏蔽对象。

本项目工业电子加速器运行时，电子束出束方向竖直向下，在辐照室内电子束可能轰击的物质有 2 种：

- ①混凝土地面
- ②电子扫描窗下方的不锈钢阻挡板

不同能量电子束轰击不同物料时，其韧致辐射（X 射线）发射率不同。对同一种靶材料，不同方向上韧致 X 射线的发射率也不相同。本项目为工业电子加速器生产调试，无辐照对象，因此轰击物质为辐照室地面的混凝土。

1、直射 X 射线的屏蔽

(1) 计算公式的选取

依据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 中公式 A-1、A-2、A-3 和 A-4 可以推导得出本次计算相关公式如下：

X 射线透射至墙外参考点处当量剂量率：

$$H_M = \frac{D_{10} \cdot B_X \cdot T}{1 \times 10^{-6} \cdot d^2} \dots\dots \text{公式 11-2}$$

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

B_X —X 射线屏蔽透射比；

T —居留因子；

d —X 射线源与参考点之间的距离，m；

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

$$B_X = 10^{-n} \dots\dots \text{公式 11-3}$$

$$n = \frac{S - T_1 + T_e}{T_e} \dots\dots \text{公式 11-4}$$

式中： S —屏蔽体厚度，cm；

T_1 —在屏蔽厚度中，朝向辐射源的第一个十分之一值层，cm；

T_e —平衡十分之一值层，该值近似于常数，cm；

n —为十分之一值层的个数。

$$D_{10} = 60 \cdot Q \cdot I \cdot f_e \dots\dots \text{公式 11-5}$$

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

I —电子束流强度，mA；

f_e —X 射线发射率修正系数。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 中表 A.1 中给出的数据是电子束打高 Z 靶的数据，通常被辐照的物质很少为高 Z 材料，因此需要对靶进行修正。被辐照的靶材料为“铁、铜”时， 0° 方向的修正系数 f_e 为 0.7， 90° 方向的修正系数 f_e 为 0.5；被辐照的靶材料为“铝、混凝土”时 0° 方向的修正系数 f_e 为 0.5， 90° 方向的修正系数 f_e 为 0.3。

（2）参数选取

①辐照室

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 中表 A.1，10MeV 电子束入射到高 Z 厚靶材料上侧向 90° 距靶 1m 处的 X 射线发射率 Q 为 $13.5\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 。本项目辐照对象可以认为是混凝土，因此 0° 方向修正系数取值 0.5、 90° 方向修正系数取值 0.3。

根据公式 11-5 可计算出本项目 10MeV 电子束 90° 方向距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点吸收剂量率 D_{10} 为 729Gy/h。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 表 A.4，10MeV 电子在侧向屏蔽能量取相应等效能量为 6MeV。

②主机室

根据设计资料，本项目工业电子加速器束流损失为 2%（即电子束流强度为 0.06mA），主机室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》（HJ 979-2018）附录 A 中表 A.1，3MeV 入射电子在距靶 1 米处侧向 90° 的 X 射线发射率 Q 为 $3.2\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 。加速器加速管、靶材料均为不锈钢材料，本次选择修正系数最大的不锈钢材料来选取 X 射线的发射率，修正系数 0° 方向取值 0.7、 90° 方向取值 0.5。

根据公式 11-5 可计算出本项目主机室加速器电子束 90° 方向距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点吸收剂量率 D_{10} 为 5.76Gy/h。

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 表 A.4，3MeV 电子在侧向屏蔽能量取相应等效能量为 1.9MeV。

（3）计算结果

对于工业电子加速器辐照装置，很多情况下需要考虑侧向（相对电子束 90° 方向）X 射线的屏蔽，此时应将等效入射电子能量作为侧向入射电子的能量，然后按等效入

射电子能量的特性参数，根据直射 X 射线屏蔽的方法进行计算。

①**辐照室**：本项目 4#工业电子加速器调试车间辐照室直射 X 射线辐射计算点位见图 11-1。相关计算参数见表 11-1。

图 11-1 4#工业电子加速器机房辐照室关注点位示意图（四周墙体）

表 11-1 工业电子加速器相关计算参数

设备参数	辐照室	主机室
入射电子能量	10MeV	3MeV
距靶 1m 处的 X 射线发射率 Q	13.5Gy·m ² / (mA·min)	3.2Gy·m ² / (mA·min)
电子束流强度 I	3mA	0.06mA
90° X 射线发射率修正系数	0.3 (混凝土)	0.5 (不锈钢)
90°方向距靶 1m 处的吸收剂量率 D_{10}	729Gy/h	5.76Gy/h
90° 等效入射电子能量	6MeV	1.9MeV
T_1 (混凝土)	35.5cm	22.1cm
T_1 (铁)	/	7.7cm
T_1 (铅)	/	3.35 cm
T_e (混凝土)	35.5cm	20.1cm
T_e (铁)	/	7.0cm
T_e (铅)	/	4.2cm

备注：入射电子能量的什值层厚度根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)附录 A 中表 A.2 和表 A.3 及内插法计算得出。

4#工业电子加速器调试机房负一层辐照室直射辐射屏蔽计算参数及参考点辐射剂量率见表 11-2。

表 11-2 4#工业电子加速器调试机房负一层辐照室直射辐射屏蔽计算结果一览表

参数 \ 关注点	西北墙 a 点	东北墙 b 点
$D_{10}(90^\circ)$ (Gy/h)	729	729
S (cm)	250	250
T_l (cm) 混凝土	35.5	35.5
T_e (cm) 混凝土	35.5	35.5
B_X	9.07×10^{-8}	9.07×10^{-8}
d (m)	5.30	6.20
H_M ($\mu\text{Sv/h}$)	2.355	1.721
标准限值 ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5	2.5
是否满足	满足	满足

注：*屏蔽厚度 S 与距离 d 均直接由 CAD 图纸上读取。

根据计算可知,4#工业电子加速器调试机房的辐照室的设计厚度能确保直射 X 射线在屏蔽体外的周围剂量当量率满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）等标准中周围剂量当量率不能超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

②主机室：主机室内的辐射场由三部分叠加：

第一部分为负一层辐照室内与入射电子束成 $>90^\circ$ 方向的韧致辐射初级 X 射线，经过辐照室屋顶（主机室地板）不完全屏蔽的贯穿辐射场。

第二部分为尚未加速到最高能量的电子在加速过程中束流损失产生的束流损失辐射场。

第三部分为负一层辐照室内的 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设备安装孔洞直接照射入辐照室内的形成的散射辐射场，由于沿与电子束入射方向成 180° 方向的次级 X 射线能量较低（查附录 A 取，能量大于 3MeV 的 X 射线散射一次后的能量均为 0.5MeV ），同时，由于次级 X 射线将直接照射到加速器底部钢材质结构，受到加速器钢材料屏蔽，最终散射到主机室墙体和顶部的 X 射线极少，可忽略不计。

综上所述，为简化计算，主机室辐射防护屏蔽评价，仅考虑主机室内加速器束流损失产生的 X 射线对主机室四周墙外的直射辐射影响和辐照室 X 射线源对主机室墙（顶）外参考点的辐射影响，即初级 X 射线经主机室地板、墙体、顶棚等屏蔽体屏蔽后对参考点的影响，依然采用公式 11-2~11-4 进行计算。

结合《辐射防护导论》P71 图 3.3 和《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A 表 A.1，本次计算时， $>90^\circ$ 方向的韧致辐射初级 X 射线发射率常数按 90° 方向的发射率常数取值，这样做是偏安全的。故主机室四周墙体、地板、顶棚的屏蔽计算公式、计算参数与辐照室一致。

主机室直射辐射计算点处的剂量率估算结果见表 11-3，计算点示意图见图 11-2。

图 11-2（1） 主机室直射辐射计算点示意图

图 11-2（2） 辐照室对主机室外四周直射辐射计算点示意图（A-A 断面）

图 11-2 (3) 辐照室对主机室外四周直射辐射计算点示意图 (B-B 断面)

表 11-3 主机室四周直射 X 射线各计算点核算结果

点 位	位置		设计厚度 (cm)	距离 (m)	设计厚度下计算点的 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	
2a	东南墙	墙体	200	7.45	1.46×10^{-5}	1.48×10^{-5}
		辐照室对地板上 30cm 处	492	6.93	2.10×10^{-7}	
2b	西南墙	墙体	200	4.30	4.39×10^{-5}	0.198
		辐照室对西南侧室外	290	5.00	0.198	
2c	西北墙	墙体	200	5.15	3.06×10^{-5}	3.06×10^{-5}
		辐照室对地板上 30cm 处	555	8.20	2.52×10^{-9}	
2d	东北墙	墙体	250	6.20	6.88×10^{-8}	2.25×10^{-5}
		辐照室对地板上 30cm 处	421	6.70	2.25×10^{-5}	
2g	防护门	墙体	88.6+10mm 钢	6.28	0.337	0.337
2i	顶棚		100	8.30	1.113	

根据计算可知，主机室设计厚度能确保直射 X 射线在主机室屏蔽体外的周围剂量当量率满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018) 等标准中周围剂量当量率不能超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

2、散射辐射的屏蔽

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）附录 A.3 可知，在加速器装置的屏蔽设计中，有三种情况必须考虑散射辐射：迷道和防护门、天空反散射、孔道。本项目管线、排风管采用 Z 形或 U 形穿过屏蔽墙体，其中连通负一层和一层的电缆穿墙处位于辐照室最外侧迷道顶棚，辐照室 X 射线散射线要到达该孔洞处需要经过多次散射，穿屏蔽体孔道基本不影响屏蔽墙体防护效果；根据核算本项目工业电子加速器调试顶棚外的剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，经天空散射后在地面上的贡献值非常低，可忽略不计。因此本次散射辐射主要考虑迷道和防护门。

（1）计算公式的选取

防护 X 射线的迷道，按照公式 11-6 可保守地估算迷道外入口的剂量率：

$$H_{1,rj} = \frac{D_{10}\alpha_1 A_1 (\alpha_2 A_2)^{j-1}}{(d_1 \cdot d_{r1} \cdot d_{r2} \dots d_{rj})^2} \dots \dots \text{公式 11-6}$$

式中： $H_{1,rj}$ —迷道出口处（无防护门情况下）的空气吸收剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

α_1 —入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数；

α_2 —从以后的物质散射出来的 0.5MeV 的 X 射线的散射系数（假设对以后所有散射过程的相同的）；

A_1 —X 射线入射到第一散射物质的散射面积， m^2 ；

A_2 —迷道的截面积， m^2 ；

d_1 —X 射线源与第一散射物质的距离， m ；

$d_{r1}, d_{r2} \dots d_{rj}$ —沿着迷道长轴的中心线距离；

j —第 j 个散射过程。

（2）计算参数及计算结果

本项目辐照室内韧致射线至少经过 1 次散射方可到达迷道出入口；主机室经过 1 次散射可到达防护门口。根据计算公式可知，迷道、防护门出入口处的 X 射线剂量率与散射面积、路径长短密切相关，计算结果较保守，本次计算辐照间散射路径示意图见图 11-3，主机室散射路径示意图见图 11-4，具体参数及计算结果见表 11-4。

图 11-3 辐照室关注点位示意图（散射路径）

图 11-4 主机室关注点位示意图（散射路径）

表 11-4 辐照室和主机室迷道散射计算参数及结果一览表

位置	参数选取		α_1	迷道口外无屏蔽下 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	防护门厚度	屏蔽后的剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
4#辐照 室迷道 口	A_1 (m^2)		5×10^{-3}	1.95×10^{-2}	5cm 钢板	3.22×10^{-7}
	4.0					
	d_1 (m)	d_{r1} (m)				
	3.20	8.50				
4#主机 室迷道 口	A_1 (m^2)		5×10^{-3}	3.5×10^{-4}	10cm 钢板	3.64×10^{-13}
	9.0					
	d_1 (m)	d_{r1} (m)				
	3.20	8.50				

注：对于主机室和辐照室散射一次后 X 射线的能量均取 0.5MeV，铅的 T_1 和 T_e 值分别为 $T_1=0.5\text{cm}$ ， $T_e=1.19\text{cm}$ 。

3、结果汇总

根据上述计算结果，4#工业电子加速器调试机房四周关注点处的辐射剂量率见表 11-5。

表 11-5 4#工业电子加速器调试机房四周关注点处的辐射剂量率计算结果

位置	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	限值要求 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否满足
辐照室西北墙 a 点	2.355	2.5	是
辐照室东北墙 b 点	1.721	2.5	是
辐照室迷道口	3.22×10^{-7}	2.5	是
主机室东南墙 2a 点	1.48×10^{-5}	2.5	是
主机室西南墙 2b 点	0.198	2.5	是
主机室西北墙 2c 点	3.06×10^{-5}	2.5	是
主机室东北墙 2d	2.25×10^{-5}	2.5	是
主机室防护门	0.337	2.5	是
主机室顶棚	1.113	2.5	是

4、销售、售后安装调试过程中的辐射环境影响分析

公司在销售本项目生产的工业电子加速器设备（属 II 类射线装置）前，均会确认客户单位是否履行了相关环评手续，凭客户单位相应的项目环评批复出售工业电子加速器设备，同时对销售的工业电子加速器设备去向负责，建立销售台账。公司生产、销售的工业电子加速器设备在公司厂区内调试完成后，将装箱发往客户，在客户单位进行安装，在设备运输和安装过程中，不通电不会产生电离辐射；同时对客户单位辐射工作人员进行相关操作培训等，并负责日后设备的维修工作。在销售过程中，不会

对设备通电，不开机，电子束装置不出束，因此不会产生辐射影响。

在设备销售后，公司安排辐射工作人员到客户单位进行安装和调试（维修），根据表 11-5 可知，本项目工业电子加速器在客户单位进行开机调试（维修）时，屏蔽体外关注点处辐射剂量率均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）等标准中设备外表面周围剂量当量率不超过 2.5 μ Sv/h 的要求。

（三）辐射工作人员及保护目标有效剂量计算

1、生产调试区周围辐射工作人员及公众所受年有效剂量分析

辐射工作人员和公众人员受到的 X 射线产生的外照射人均年有效剂量按公式 11-7 进行计算。

$$H_c = \dot{H}_{c,d} \cdot t \cdot U \cdot T \cdots \cdots \text{公式 11-7}$$

式中： H_c —参考点的年剂量水平， μ Sv/a；

$\dot{H}_{c,d}$ —参考点处剂量率， μ Sv/h；

t —辐照装置年照射时间，单位为 h/a；

U —辐照装置向关注点方向照射的使用因子；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子。

将表 11-5 中 4#工业电子加速器调试机房外各典型参考点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-7 计算结果见表 11-6。

表 11-6 调试机房周围人员年有效剂量

根据表 11-6 结果分析知，该项目调试机房投入运行后，辐射工作人员有效剂量最高为 $<0.001\text{mSv}$ ，周围公众年有效剂量最高为 0.014mSv ，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（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、保护目标处公众年有效剂量分析

本项目 50m 评价范围涉及西北侧的丰川动力厂区公众及东北侧晶鹏玻璃厂区公众，根据表 11-6 可知，加速器调试机房表面 30cm 处四周公众所受年有效剂量最大为 0.014mSv ，项目 2 处保护目标距离远大于 30cm，故保护目标处的年有效剂量也会远低于 0.014mSv ，能够满足本项目剂量约束值要求。

3、客户安装调试工作场所周围公众所受年有效剂量分析

公司在销售本项目工业电子加速器设备（属II类射线装置）前，均会确认客户单位是否履行了相关环评手续，凭客户单位相应的项目环评批复出售工业电子加速器设备，同时对销售的工业电子加速器设备去向负责，建立销售台账。

在设备销售后，公司安排辐射工作人员到客户单位进行安装和调试（维修）。根据表 11-1 可知，本项目工业电子加速器运行时，设备屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率最大为 $2.355\mu\text{Sv/h}$ ，客户安装现场出束调试时间不超过 50h/套（本项目年产量约 10 套），保守考虑客户安装调试工作场所周围公众在安装调试过程中受照时间最大为 500h，居留因子保守取 1，则其公众在安装调试过程中所受年有效剂量最大不超过 1.178mSv （公众距设备屏蔽体距离远大于表面 30cm），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求。

（四）其他影响分析

1、废气环境影响分析

（1）臭氧

臭氧的产生及其防理论估算模式参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》

(HJ979-2018) 附录 B 相关公式。

①臭氧的产生

平行电子束所致臭氧的产生率可以用以下公式进行保守的估算：

$$P = 45dIG \dots\dots \text{公式 11-8}$$

式中：P—单位时间电子束产生臭氧的质量，mg/h；

I—电子束流强度，mA；本项目为 3mA；

d—电子在空气中的行程（cm），应结合电子在空气中的线阻止本领 $s=2.5\text{keV/cm}$ 和辐照室尺寸选取，取 100mm；

G—空气吸收 100keV 辐射能量产生的臭氧分子数，保守值可取为 10。

②辐照室臭氧的平衡浓度

在电子加速器正常运行期间，臭氧不断产生，辐照室空气中臭氧的平衡浓度随辐照时间 t 的变化为：

$$C(t) = \frac{PT_e}{V} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_e}} \right) \dots\dots \text{公式 11-9}$$

式中：C(t)—辐照室空气中在 t 时刻臭氧的浓度，mg/m³；

P—单位时间电子束产生臭氧的质量，mg/h；

T_e—对臭氧的有效清除时间，h；

$$T_e = \frac{T_V \times T_d}{T_V + T_d} \dots\dots \text{公式 11-10}$$

式中：T_V—辐照室换气一次所需时间，h；

T_d—臭氧的有效化学分解时间（h），约为 50 分钟。

当长时间辐照时，T_V << T_d，因而 T_e ≈ T_V。当长时间辐照时，辐照室内臭氧平衡浓度为：

$$C_S = \frac{PT_e}{V} \dots\dots \text{公式 11-11}$$

式中：C_S—辐照室内臭氧平衡浓度，mg/m³；

T_e—对臭氧的有效清除时间，h；

V—辐照室的体积，m³。

将参数代入以上公式计算得出，本项目选取 5#工业电子加速器调试机房辐照室（面积最大）内臭氧平衡浓度 C_S 进行计算，其计算结果如下表所示：

表 11-7 本项目工业电子加速器调试机房辐照室内臭氧平衡浓度

参数	5#工业电子加速器机房辐照室
d (cm)	100
I (mA)	3
G	10
P (mg/h)	1.35×10^5
V (m ³)	154
排风速率 (m ³ /h)	8000
T_e (h)	0.019
C_S (mg/m ³)	16.5

(3) 臭氧的排放

由表 11-7 计算结果可知，电子加速器长期正常运行期间，不考虑排风机的排风能力，电子加速器停机时，辐照室内臭氧浓度远高于 GBZ 2.1-2019 所规定的工作场所最高容许浓度（0.3mg/m³）。因此，当电子加速器停止运行后，人员不能直接进入辐照室，风机必须继续运行，关闭加速器后风机运行的持续时间公式为：

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_S} \dots\dots \text{公式 11-12}$$

式中： C_0 —GBZ 2.1 所规定的臭氧的最高容许浓度，0.3mg/m³；

T —为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间，h。

表 11-8 本项目为使辐照室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间

参数	5#加速器机房辐照室
T_e (h)	0.019
C_0 (mg/m ³)	0.3
C_S (mg/m ³)	16.5
T (min)	4.52

由公式 11-12 及以上参数计算得出，本项目电子加速器停止工作后，辐照室内排风机以通风速率不低于 8000m³/h 继续工作，通过约 5min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ 2.1-2019 规定的臭氧最高容许浓度（0.3mg/m³）。为安全起见，本项目制定了相关规定并拟设置通风联锁装置，电子加速器停机后必须继续排风 5min 后，辐射工作人员方可进入辐照室。项目设置的排风口位于新建调试厂房楼顶，排风口高于屋顶，标高 15.3m，厂房为室外道路，人员很少到达，本项目臭氧对周边环境影响较小。

(2) 氮氧化物

根据工程分析可知，氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，根据估算，辐照室内的氮氧化物能满足《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素（一）》（GBZ 2.1-2019）的氮氧化物浓度限值（ $5\text{mg}/\text{m}^3$ ）要求。而按照臭氧设计要求在停机5min后，辐照室内的氮氧化物浓度将更小，氮氧化物产生和排放对工作场所大气环境的影响很小。

综上所述，本项目运行时所产生的有害气体不会对公众人员造成影响，对周边环境空气影响很小。

2、废水环境影响分析

本项目营运期废水主要为生活污水，厂区内新建化粪池1座，项目生活污水经化粪池收集处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后接入园区污水管网，进入污水处理厂处理。

3、噪声影响分析

每座辐照间各设置1台风机，工作时将产生一定的噪声，建设单位拟使用的风机为低噪声节能排风机，采取基础减震等措施，且本项目属于规划的工业用地，排风风机产生的噪声能够满足《声环境质量标准》3类标准要求，因此，本项目对所在区域声环境影响小。

4、固废环境影响分析

本项目营运期产生的固体废物主要为员工生活垃圾，在厂区内设置垃圾桶收集，由环卫部门统一清运处理，对周围环境影响很小。

5、射线装置报废

射线装置在报废前，应采取去功能化的措施（如拆除电源和拆解加高压射线管），确保装置无法再次组装通电使用，并按照生态环境保护主管部门要求，履行相关报废手续。

二、BNCT项目

(一) 辐射环境影响分析

宜宾精宜科技有限责任公司拟在调试车间的中部和东南侧建设2座BNCT调试机房用于生产、调试（使用）公司研发的JY-BNCT-2.8/25型硼中子俘获治疗装置（最大电子束能量为2.8MeV，最大束流强度为25mA，属II类射线装置）。其中1#BNCT

调试车间有效使用面积小于 2#BNCT 调试车间，2 座调试车间的屏蔽参数一致，故本项目选取 1#BNCT 调试车间进行辐射环境影响分析。

本项目 BNCT 辐射剂量率分析采用了蒙特卡罗程序进行模拟计算，模拟计算依据建设单位提供的设计图纸进行建模，并且对不影响屏蔽的结构进行了相应的简化。关注点位置见表 11-9，关注点位置如图 11-5 所示。

表 11-9 关注点情况一览表

序号	关注点位置*	
1#	东北墙外 30cm 处	距地面 2.25m 处
2#	西南墙外 30cm 处（考虑迷道内墙屏蔽）	距地面 2.25m 处
3#	西南墙外 30cm 处（不考虑迷道内墙屏蔽）	距地面 2.25m 处
4#	入口处	距地面 2.25m 处
5#	东南墙外 30cm 处	距地面 2.25m 处
6#	东南墙外 30cm 处	距地面 2.25m 处
7#	西北墙外 30cm 处	距地面 2.25m 处
8#	西北墙外 30cm 处	距地面 2.25m 处
9#	屋顶距顶部 30cm 处	

注：考虑锂靶距地面高约 2.25m。

图 11-5 本项目 BNCT 建模及关注点位示意图

本次剂量评估基于蒙特卡罗软件 MCNPX 2.6 进行，根据建设单位提供的 CAD 图纸进行仿真建模。混凝土的密度设置为 2.35 g/cm^3 ，不锈钢密度设置为 7.85 g/cm^3 ，含硼聚乙烯密度为 1.1 g/cm^3 ，铅密度为 11.34 g/cm^3 ，锂密度为 0.534 g/cm^3 ，机房四周墙体厚 2m，顶部墙体厚 1m，底部墙体厚 0.7m。束流整形组件（BSA）和机房建模如下图所示。

图 11-6 模拟效果试算剂量分布图

为了确保计算误差小于 10%，本项目模拟使用 128 核高性能计算服务器进行计算，采用模拟的初级粒子数不少于 10^9 ，使用 MCNPX 的 F5 计数卡计算出光子注量率，再使用 ICRP74 号报告提出的光子转换系数转换为周围剂量当量率，在该工况下运行时 BNCT 设备周围剂量当量率计算结果如图 11-7 所示，计算结果见表 11-10。

图 11-7 模拟效果试算剂量分布图

表 11-10 本项目设备关注点处辐射剂量率核算结果

注：表格中“ $<1.00 \times 10^{-4}$ ”指的是计算结果在 1×10^{-6} 至 1×10^{-20} 之间。

根据表 11-10 计算结果可知，本项目 BNCT 运行时，设备关注点周围剂量当量率最大为 $1.75 \mu\text{Sv/h}$ （位于 BNCT 调试机房顶部）。

综上所述，本项目 BNCT 正常运行时（质子能量为 2.8MeV ，最大束流为 25mA ），其设备周围剂量当量率满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）等标准中设备外表面周围剂量当量率不超过 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。

3、销售、售后安装调试过程中的辐射环境影响分析

公司在销售本项目 BNCT 设备（属 II 类射线装置）前，均会确认客户单位是否履行了相关环评手续，凭客户单位相应的项目环评批复出售 BNCT 设备，同时对销售的 BNCT 设备去向负责，建立销售台账。公司生产、销售的 BNCT 设备在公司厂区内调试完成后，将装箱发往客户，在客户单位进行安装，在设备运输和安装过程中，不通电不会产生电离辐射；同时对客户单位辐射工作人员进行相关操作培训等，并负责日后设备的维修工作。在销售过程中，不会对设备通电，不开机，BNCT 装置不出束，因此不会产生辐射影响。

在设备销售后，公司安排辐射工作人员到客户单位进行安装和调试（维修），根据表 11-10 可知，本项目 BNCT 在客户单位进行开机调试（维修）时，屏蔽体外关注点处辐射剂量率均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）等标准中设备外表面周围剂量当量率不超过 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。

二、辐射工作人员及环境保护目标有效剂量评价

$$H_c = \dot{H}_{c,d} \cdot t \cdot U \cdot T \cdots \cdots \text{公式 11-7}$$

式中： H_c —参考点的年剂量水平， $\mu\text{Sv/a}$ ；

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

t —辐照装置年照射时间，单位为 h/a；

U —辐照装置向关注点方向照射的使用因子；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子。

本项目运行后的环境保护目标主要为工作场所内的辐射工作人员、其他工作人员和本项目周围其余公众。

1、辐射工作人员及公众所受年有效剂量分析

考虑周围辐射工作人员的居留因子，根据表 11-10、公式 11-7 估算辐射工作人员和周围公众的年有效剂量计算结果见表 11-11。

表 11-11 本项目 BNCT 周围辐射人员年有效剂量

根据表 11-11 核算结果，本项目 BNCT 正常运行时，其周围辐射工作人员所受年有效剂量最大为 0.028mSv ，公众满足所受年有效剂量最大为 0.011mSv 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目剂量约束值要求。

2、保护目标所受年有效剂量分析

本项目 50m 评价范围涉及西北侧的丰川动力厂区公众及东北侧晶鹏玻璃厂区公众，根据表 11-11 可知，BNCT 调试机房表面 30cm 处四周公众所受年有效剂量最大为 0.011mSv，项目 2 处保护目标距离远大于 30cm，故保护目标处的年有效剂量也会远低于 0.011mSv，能够满足本项目剂量约束值要求。

3、客户安装调试工作场所周围公众所受年有效剂量分析

公司在销售本项目 BNCT 设备（属 II 类射线装置）前，均会确认客户单位是否履行了相关环评手续，凭客户单位相应的项目环评批复出售加速器设备，同时对销售的加速器设备去向负责，建立销售台账。

在设备销售后，公司安排辐射工作人员到客户单位进行安装和调试（维修）。根据表 11-10 可知，本项目 BNCT 运行时，设备屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率最大为 1.10 μ Sv/h，客户安装现场出束调试时间不超过 50h/套（本项目年产量约 2 套），保守考虑客户安装调试工作场所周围公众在安装调试过程中受照时间最大为 100h，居留因子保守取 1，则其公众在安装调试过程中所受年有效剂量最大不超过 0.110mSv（公众距设备屏蔽体距离远大于表面 5cm），满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求。

综上所述，本项目 BNCT 正常运行时，其环境保护目标范围内辐射工作人员及周围公众所受年有效剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目剂量约束值要求。

（三）其他影响分析

1、废气环境影响分析

受到初级和次级辐射照射的一些材料可能会被活化而产生一些放射性核素，它们发射 β 或 γ 射线。BNCT 调试运行期间，由于有足够的结构屏蔽，由部件产生的感生放射性不会危害在屏蔽体外的工作人员，但在 BNCT 停机后，工作人员进入 BNCT 调试车间内则可能受到辐射危害。根据《辐射防护手册》第三分册（李德平、潘自强主编）P114 图 4.22 和图 4.23 可以看出，感生放射性的衰变是较快的，停机后 5~10min 就可减弱到初始值的一半，因此，对感生放射性的有效防护措施之一是等其衰变，本项目 BNCT 调试机房的排风风机一直运行，且 BNCT 调试时间相对较短，这些气体可由排风系统排出室外，对工作人员产生的影响较小。故亦不会对周围公众人员造成影

响，对周边环境空气影响很小。

2、废水环境影响分析

本项目营运期废水主要为生活污水，厂区内新建化粪池 1 座，项目生活污水经化粪池收集处理达《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后接入园区污水管网，进入污水处理厂处理。

3、噪声影响分析

每座 BNCT 调试车间各设置 1 台风机，工作时将产生一定的噪声，建设单位拟使用的风机为低噪声节能排风机，采取基础减震等措施，且本项目属于规划的工业用地，排风风机产生的噪声能够满足《声环境质量标准》3 类标准要求，因此，本项目对所在区域声环境影响小。

4、固废环境影响分析

本项目营运期产生的固体废物主要为员工生活垃圾，在厂区内设置垃圾桶收集，由环卫部门统一清运处理，对周围环境影响很小。

5、射线装置报废

射线装置在报废前，应采取去功能化的措施（如拆除电源和拆解加高压射线管），确保装置无法再次组装通电使用，并按照生态环境保护主管部门要求，履行相关报废手续。

三、叠加影响分析

宜宾精宜科技有限责任公司拟在新建的调试车间建设 5 座工业电子加速器调试机房和 2 座 BNCT 调试机房。项目存在 7 台装置同时调试的情况，因此需要考虑装置同时运行时辐射工作人员和公众所受年有效剂量的叠加影响。

1、辐射工作人员叠加影响分析

（1）加速器调试作业区的辐射工作人员会受到 5 台工业电子加速器和 1#BNCT 调试车间运行的产生的辐射剂量叠加。叠加计算结果见表 11-12。

表 11-12 加速器调试作业区叠加影响分析

序号	参考点位	辐射剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	所致年有效剂量（ mSv/a ）
1	1#主机室防护门处	0.337	0.0337
2	2#主机室防护门处	0.337	0.0337
3	3#主机室防护门处	0.337	0.0337
4	4#主机室东南墙	1.48×10^{-5}	1.48×10^{-6}
5	5#主机室防护门处	0.337	0.0337

6	1#BNCT 调试车间西北墙	1.81×10^{-3}	1.81×10^{-4}
合计			0.135

注：均取各机房靠近加速器调试作业区剂量最大值并按照调试 100h，居留因子取 1 进行保守计算。

(2) BNCT 调试作业区的辐射工作人员会受到 5#工业电子加速器和 2 台 BNCT 同时运行时产生的叠加影响，叠加计算结果见表 11-13。

表 11-13 BNCT 调试作业区叠加影响分析

序号	参考点位	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	所致年有效剂量 (mSv/a)
1	5#主机室东南墙	1.48×10^{-5}	1.48×10^{-6}
2	1#BNCT 调试车间防护门处	1.10	0.11
3	2#BNCT 调试车间防护门处	1.10	0.11
合计			0.22

注：均取各机房靠近 BNCT 调试作业区剂量最大值并按照调试 100h，居留因子取 1 进行保守计算。

2、公众叠加影响分析

公司调试车间东北侧为丰川动力科技有限公司厂房及四川省宜宾晶鹏玻璃制品有限公司厂房，根据总平面图可知，丰川动力科技有限公司公众所受年有效剂量的叠加影响主要来自 1#~4#工业电子加速器主机室产生的叠加影响，四川省宜宾晶鹏玻璃制品有限公司公众所受年有效剂量的叠加影响主要来自 1#和 5#工业电子加速器主机室和 2#BNCT 产生的叠加影响，叠加计算结果见表 11-14。

表 11-14 室外公众叠加影响分析

保护目标	参考点位	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	所致年有效剂量 (mSv/a)
丰川动力科技有限公司公众	1#主机室西北墙	1.48×10^{-5}	1.48×10^{-6}
	2#主机室西北墙	1.48×10^{-5}	1.48×10^{-6}
	3#主机室西北墙	1.48×10^{-5}	1.48×10^{-6}
	4#主机室防护门处	0.337	0.0337
合计			0.034
四川省宜宾晶鹏玻璃制品有限公司公众	1#主机室东北墙	0.198	0.0198
	5#主机室东北墙	2.25×10^{-5}	2.25×10^{-6}
	2#BNCT 东北墙	$< 1.00 \times 10^{-4}$	$< 1.00 \times 10^{-5}$
合计			0.020

注：按照调试 100h，居留因子取 1，不考虑距离衰减及其他屏蔽因素进行保守计算。

综上所述，宜宾精宜科技有限责任公司拟在新建的调试车间建设 5 座工业电子加速器调试机房和 2 座 BNCT 调试机房用于生产、调试（使用）公司研发的 JY-ProAcc-LN-10/30 型工业电子加速器和 JY-BNCT-2.8/25 型硼中子俘获治疗装置所致公司辐射工作人员所受年有效剂量最大值为 1.313mSv（加速器调试作业区：0.135mSv+客户调试

1.178mSv)，公司厂区内公众所受年有效剂量最大值为 0.014mSv（4#工业电子加速器辐照室通道处），公司厂区外保护目标处受年有效剂量最大值为 0.034mSv，均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目剂量约束值要求。

事故影响分析

一、事故分级

根据《放射源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四个等级，详见表 11-15。

表 11-15 辐射事故等级划分表

事故等级	事故类型
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，或者放射性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 人以下（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

根据《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系，见表 11-16。

表 11-16 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

辐射剂量/Gy	急性放射病发生率/%	辐射剂量/Gy	死亡率/%
0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	10
1.00	20	2.80	20
1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60
1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90
2.00	99	5.50	99

二、辐射事故识别

1、可能发生的辐射事故

本项目工业电子加速器和 BNCT 均属于 II 类 X 射线装置，当设备运行时会产生电子线、X 射线及中子等，关机时不会产生电子线、X 射线及中子，项目环境风险因子为电子线、X 射线及中子，根据其工作原理分析，考虑可能发生的事故工况主要有以下几种情况：

①工业电子加速器和 BNCT 操作人员违反放射操作规程或误操作，造成意外照射；

②工业电子加速器和 BNCT 机房联锁装置、声光报警系统等失效，调试过程中工作人员或公众误留或误入调试机房内，使其受到照射；

③工业电子加速器和 BNCT 机房联锁装置失效，导致防护门在未完全关闭情况下出束调试，致使射线泄漏到调试机房外，给周围活动的人员造成不必要的照射。

④装置在检修、维护等过程中，检修、维护人员误操作，造成有关人员误照射。

2、事故工况估算

因本项目工业电子加速器的最大能量远大于 BNCT 装置，故选取工业电子加速器进行辐射事故影响分析。

(1) 装置在运行时，人员误入或滞留机房内

①事故假设

工作人员还未全部撤离工业电子加速器调试机房，操作间人员启动设备，造成滞留人员的误照射。

②剂量估算

假设考虑滞留人员在无其它屏蔽的情况下处于辐照室内，本项目工业电子加速器开机调试时，束下装置 X 射线的最大辐射剂量率为 729Gy/h。若事故情况下人员在此处停留超过 0.05s，其所受剂量将超过 10mSv。机房内设置有“紧急停止”按钮，只要按下此按钮就可以停机，人员受照时间保守取 10s，则事故情况下人员在机房内受到的辐射剂量约为 2Sv。

(2) 维修射线装置时，人员受意外照射

①事故假设

装置在检修、维护等过程中，检修、维护人员误操作，造成有关人员误照射。

②剂量估算

假设考虑维修人员进行检修时，触动加速器开关，造成维修人员在无屏蔽的情况下处于加速器主射束方向受到误照射，本项目加速器开机调试时，距焦点 1m 处 X 射线的最大辐射剂量率为 729Gy/h。本项目机房内设置有“紧急停止”按钮，只要按下此按钮就可以停机，则事故情况下人员在机房内距加速器不同距离处受到的辐射剂量见表 11-17。

表 11-17 事故工况下检修人员所受剂量估算

与射线装置最近距离 (m)	受照时间 (s)	人员所受剂量 (mSv)
1	0.01	2.0
	0.05	10
	10	2025
	20	4050
2	0.01	0.5
	0.05	2.53
	10	506
	20	1012

3、事故工况辐射影响分析

通过上述计算，在以上假设事故情景下，误入人员或维修人员在束下方向 1m 处，受照射时间越长也可能会造成较大辐射事故。本项目射线装置一旦发生辐射事故，应立即切断电源，停止射线装置。建设单位在管理中必须认真执行安全操作规程和各项规章制度，强化安全管理，杜绝此类事故发生。

三、事故防范措施

上述辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度和辐射事故应急措施加以防范，将辐射环境风险控制在可以接受的水平。针对在运行过程中可能发生的事故，本次评价提出以下防范措施，尽可能的减小或控制事故的危害和影响，主要体现在以下几个方面：

1、制定工业电子加速器和 BNCT 操作规程和安全规章制度，并严格落实操作规程等制度的“制度上墙”要求（即将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置）。在调试操作时，至少有 2 名操作人员同时在场，操作人员须按照操作规程进行操作，并做好个人的防护。

2、每月检查门灯连锁装置，确保安全连锁装置正常运行；每月对工业电子加速器和 BNCT 的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件需及时更换。

3、定期对工业电子加速器和 BNCT 采取的安全防护措施、设施的安全防护效果进行检测或检查，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、加强控制区和监督区管理，在射线装置运行期间，加强对监督区公众的管理，限制公众在监督区长期滞留。

5、制定事故应急预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

6、制定事故应急预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免放射性事故的发生率，从而保证项目正常运营，也保障工作人员、公众的健康与安全。

四、应急措施

假若本项目发生了辐射事故，公司应迅速、有效的采取以下应急措施：

(1) 一旦发生人员误照射等辐射事故时，操作人员应立即利用最近的紧急停机开关切断设备电源。同时，事故第一发现者应及时向公司的辐射安全事故应急处理小组及上级领导报告。辐射安全事故应急处理小组在接到事故报告后，应以最快的速度组织应急救援工作，迅速封闭事故现场，禁止无关人员进入该区域，严禁任何人擅自移动和取走现场物件（紧急救援需要除外）。

(2) 对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查和救治，并在第一时间将事故情况通报当地生态环境主管部门、卫生健康等主管部门。

(3) 迅速查明和分析发生事故的原因，制订事故处理方案，尽快排除故障。若不能自行排除故障，则应上报当地生态环境主管部门并通知进行现场警戒和守卫，及时组织专业技术人员排除事故。

(4) 事故的善后处理，总结事故原因，吸取教训，采取补救措施。

一旦发生辐射事故，公司应立即启动应急预案，采取有效的事故处理措施，防止事故恶化。事故发生后的2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康行政部门报告。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

一、关于辐射安全与环境保护管理机构

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用II类射线装置的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。

因宜宾精宜科技有限责任公司为首次开展核技术利用项目，公司应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的要求成立辐射安全与环境保护管理机构，负责全司辐射安全与环境保护监督管理工作，保障放射工作人员、社会公众的健康与安全。

二、辐射工作人员配置和能力分析

宜宾精宜科技有限责任公司拟为本项目配备辐射工作人员 20 人，公司应根据以下要求完善辐射工作人员的管理工作：

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年 第 57 号）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。本项目拟配置的辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每 5 年接受一次再培训考核。

在辐射工作人员上岗前，公司应组织其进行岗前职业健康检查，并建立个人健康档案，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作。

公司应当建立并保存辐射工作人员的培训档案。

辐射安全管理规章制度

一、档案管理分类

公司应对相关资料进行分类归档放置，建议包括以下九大类：“制度文件”、“环

评资料”、“许可证资料”、“射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”、“废物处置记录”，存放在公司相关办公室。

二、拟建立主要规章制度

公司可根据《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》等要求制定一系列辐射安全规章制度，具体见表 12-1。

表 12-1 项目单位辐射安全管理制度制定要求

序号	制度名称
1	辐射防护安全责任制度
2	辐射工作设备操作规程
3	辐射工作人员管理规章制度
4	辐射工作人员个人剂量管理制度
5	辐射安全和防护设施维护维修制度
6	场所分区管理规定
7	仪器设备管理规定（购买、领用、保管和盘存）
8	辐射事故应急预案
9	监测仪表使用与校验管理制度
10	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案
11	辐射工作人员岗位职责
12	射线装置台账管理制度
13	辐射工作人员培训制度

根据原四川省环境保护厅关于印发《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》要求，《辐射工作场所安全管理要求》《辐射工作人员岗位职责》《辐射工作设备操作规程》和《辐射事故应急响应程序》应悬挂于辐射工作场所。公司应对于各项制度在日常工作中要加强检查督促，认真组织实施。上墙制度的内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸大小应不小于 400mm×600mm。

公司应根据规章制度内容认真组织实施，并且应根据国家发布新的相关法规内容，结合公司实际及时对各项规章制度补充修改，使之更能符合实际需要。

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，需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。

一、工作场所监测

年度监测：委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为1次/年；年度监测报告应作为《放射性同位素与射线装置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。

二、个人监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量片，监测周期为1次/季。

(1) 当单个季度个人剂量超过 1.25mSv 时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过 5mSv 时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关。检测报告及有关调查报告应存档备查。

(2) 个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度监测报告一起作为《放射性同位素与射线装置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。

(3) 根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019），就本项目而言，辐射主要来自前方，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般左胸前。

(4) 辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。公司应当将个人剂量档案保存终身。

三、自我监测

公司应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，监测周期为1次/季度。

四、监测内容和要求

(1) 监测内容：X- γ 空气吸收剂量率和中子辐射剂量率。

(2) 监测布点及数据管理：本项目监测布点应参考环评提出的监测计划（表 12-2）或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

表 12-2 工作场所监测计划建议

场所或设备	监测内容	监测布点位置
调试车间	X- γ 空气吸收剂量率和中子辐射剂量率	机房四周、上方、进出防护门等

(3) 监测范围：控制区和监督区域及周围环境

(4) 监测频次：每年 1~2 次

(5) 监测质量保证

a、制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门的监测数据与公司监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

b、采用国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

c、制定辐射环境监测管理制度。

此外，公司需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

五、年度监测报告情况

公司应于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所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。公司应按照《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400 号）规定的格式编写《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》。公司必须在“全国核技术利用辐射安全申报系统”（网址 <http://rr.mec.gov.cn/rsmsreq/login.jsp>）中实施申报登记。延续、变更许可证，新增或注销射线装置以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

辐射事故应急

一、事故应急预案内容

为了应对生产调试中的事故和突发事件，公司应制订辐射事故应急预案，按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，辐射事故应急方案应明确以下几个方面：

①应急机构和职责分工；

②应急的具体人员和联系电话；

③应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；

④辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

⑤辐射事故调查、报告和处理程序。

二、应急措施

若本项目发生了辐射事故，公司应迅速、有效采取以下应急措施：

(1) 一旦发现射线装置（如球管）被盗或者丢失，及时向公安部门、生态环境主管部门和卫生健康部门报告。

(2) 发现误照射事故时，工作人员应立即切断电源，立即撤出调试机房，关闭调试机房防护门，同时向公司主管领导报告。

(5) 公司根据估算的超剂量值，尽快安排误照人员进行检查或在指定的医疗机构救治；对可能受放射损伤的人员，应立即采取暂时隔离和应急救援措施。

(6) 事故发生后的 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。

(7) 最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

三、其他要求

(1) 辐射事故风险评估和辐射事故应急预案，应报送所在地县级地方人民政府生态环境主管部门备案。

(2) 在预案的实施中，应根据国家发布新的相关法规内容，结合公司实际及时对预案作补充修改，使之更能符合实际需要。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：宜宾精宜科技有限责任公司生产、销售和使用工业电子加速器及硼中子俘获治疗装置项目

建设单位：宜宾精宜科技有限责任公司

建设地点：四川省宜宾市叙州区高场镇高新社区金润产业园

建设内容与规模：

宜宾精宜科技有限责任公司拟在新建的调试车间共建设 5 座调试机房用于生产、调试（使用）公司研发的 JY-ProAcc-LN-10/30 型工业电子加速器（最大电子束能量为 10MeV，最大束流强度为 3mA，设备额定功率 30kw）。

JY-ProAcc-LN-10/30 型工业电子加速器年最大生产、销售、调试（使用）10 台，单台射线装置车间内调试最长出束时间为 100h，客户厂区内调试维修最长出束时间为 50h，属于 II 类射线装置。

拟在调试车间建设 2 座 BNCT 调试机房用于生产、调试（使用）公司研发的 JY-BNCT-2.8/25 型硼中子俘获治疗装置（最大电子束能量为 2.8MeV，最大束流强度为 25mA）。

JY-BNCT-2.8/25 型硼中子俘获治疗装置年最大生产、销售、调试（使用）2 台，单台射线装置车间内调试最长出束时间为 100h，客户厂区内调试维修最长出束时间为 50h，属于 II 类射线装置。

二、项目产业政策符合性结论

本项目系核技术应用项目在工业和医学领域内的运用。根据国家发展和改革委员会 2021 年第 49 号令《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修改），属于鼓励类中第六项“核能”的第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。本项目的运营可提升工业辐照产能，提升医疗行业整体的医疗水平，本项目具有放射实践的正当性，符合现行的国家产业政策。

工业电子加速器已在科学研究、薄膜、轮胎橡胶、印刷、纺织、纤维、食品、涂层固化、消毒灭菌、环境保护等行业进行工业化的广泛应用。

三、实践正当性

宜宾精宜科技有限责任公司生产、销售和使用工业电子加速器及硼中子俘获治疗装置项目的目的是为了工业辐照产能，提升医疗行业整体的医疗水平。在采取了相应的辐射防护措施后，项目所致的辐射危害可得到有效控制，项目实施的利益大于代价，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的辐射防护“实践的正当性”原则。

四、项目选址合理性结论

本项目选址于四川省宜宾市叙州区高场镇高新社区金润产业园，公司已于2021年9月13日取得了宜宾市自然资源和规划局叙州分局规划设计条件通知书。本项目建设地点为二类工业用地。从周边外环境关系可知，公司周边规划为工业园和市政道路，周边无自然保护区等生态环境保护目标，无大的环境制约因素。生产调试机房位于厂区角落，避开了人流量较大的综合楼处，公司厂区整体布局合理，且拟建的辐射工作场所所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射通过采取相应的治理措施后对周围环境影响较小，从辐射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。

五、区域环境质量现状

根据监测结果，本项目拟建址及其周围环境辐射剂量当量率监测值在（68~82）nGy/h之间，对比中华人民共和国生态环境部《2021年全国辐射环境质量报告》中四川省 γ 辐射空气吸收剂量率范围：67.0~120.2 nGy/h，可知，本项目拟建址区域周围辐射环境监测值与四川省天然贯穿辐射水平相当，属于正常本底范围。

六、代价利益分析

宜宾精宜科技有限责任公司生产、销售和使用工业电子加速器及硼中子俘获治疗装置项目的目的是为了工业辐照产能，提升医疗行业整体的医疗水平，核技术在医学上的应用有利于提高疾病的诊断正确率和治疗效果，能有效减少患者疼痛和对患者损伤，总体上大大节省了医疗费用，争取了宝贵的治疗时间，该项目在保障病人健康的同时也为公司创造了更大的经济效益。

为保护该项目周边其他工作人员和公众，对宜宾精宜科技有限责任公司新建项目加强了防护，从剂量预测结果可知，项目致工作人员所受附加剂量小于5mSv、公众年所受附加剂量小于0.1mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于“剂量限值”及本项目剂量约束值的要求。因此，从代价利益分析看，

该项目是正当可行的。

七、环境影响分析结论

1、施工期环境影响分析

本项目施工工程量比较小，施工时间较短，故施工期的环境影响是短暂的，施工结束后影响即可消除，对周围环境影响较小。

2、营运期正常工况下辐射环境影响

(1) 辐射环境影响分析结论

在严格落实环评提出的要求后，本项目所致职业人员年剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)的辐射剂量限值要求，同时也符合本报告提出的照射剂量约束值要求（职业照射 5mSv/a、公众照射 0.1mSv/a）。评价结果表明本项目辐射工作场所的防护性能符合要求。

(2) 水环境影响分析

本项目工作人员工作时仅产生少量的生活废水，经公司的污水处理系统处理后纳入市政污水管网。

(3) 固体废物影响分析

本项目工业电子加速器和 BNCT 工作过程不产生固体废物；工作人员工作中会产生少量的生活垃圾和办公垃圾。

(4) 噪声

运营期噪声主要来源于通排风系统的风机，工作场所使用的通排风系统为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值低于 60dB(A)，通风机组通过橡胶垫进行减震降噪，可降噪约 10~15 dB(A)，再加上公司场址内的距离衰减，噪声对周围环境影响较小。

(5) 大气环境影响分析

开机出束期间产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧(O₃)。臭氧经空调系统抽取后排放，由于调试过程中每次曝光时间短，产生的臭氧量较少，且臭氧极不稳定，再经大气稀释自然扩散后，对周围大气环境影响轻微。

2、事故工况下环境影响

经分析，本项目可能发生的辐射事故等级为一般辐射事故。环评认为，针对本项目可能发生的辐射事故，宜宾精宜科技有限责任公司按相关规定和本环评要求拟制定

《放射事件应急预案》，后期进行补充完善后，能够有效控制并消除事故影响。

八、射线装置使用与安全管理的综合能力

宜宾精宜科技有限责任公司拟配备专业的辐射工作人员和安全管理机构，有符合国家环境保护标准、职业卫生标准和安全防护要求的场所、设施和设备；拟建立较完善的辐射安全管理制度、辐射事故应急措施；在补充《辐射安全管理规定》《辐射工作设备操作规程》等相关管理制度并及时更新，认真落实并定期对辐射防护设施进行检查维护的前提下，具有对辐射设施的使用和安全管理能力。

九、项目环境可行性结论

综上所述，本项目符合国家产业政策，项目选址及平面布局合理。项目拟采取的辐射防护措施技术可行，措施有效；项目制定的管理制度、事故防范措施及应急方法等能够有效的避免或减少工作人员和公众的辐射危害。在认真落实项目工艺设计及本报告表提出的相应防护对策和措施，严格执行“三同时”制度，严格执行辐射防护的有关规定，辐射工作人员和公众所受照射剂量可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的剂量限值和本环评提出的剂量管理约束值。评价认为，从辐射安全与防护以及环境影响角度分析，本项目建设是可行的。

建议和承诺

1、落实本报告中的各项辐射防护措施和安全管理制度。

2、公司应加强管理，安排辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习辐射安全和防护知识并进行考试，以取得辐射安全培训合格证，今后培训时间超过5年的辐射工作人员，需进行再培训，详见国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）。

3、公司应于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所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上传。公司应按照《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400号）规定的格式编写《安全和防护状况年度评估报告》。公司必须在“全国核技术利用辐射安全申报系统”（网址：<http://rr.mee.gov.cn>）中实施申报登记。延续、变更许可证，新增放射性同位素、射线装置或单位信息变更、个人剂量、

年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

4、经常检查辐射工作场所的电离辐射标志和电离辐射警告标志，工作状态指示灯，若出现松动、脱落或损坏，应及时修复或更换。

5、公司须重视控制区和监督区的管理。

6、现有射线装置在报废处置时，应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化。

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

8、本次环评为射线装置工作场所，日后如有变化，应另作环境影响评价。

9、根据原环保部《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评（2017）4号）规定：

（1）建设单位可登陆环境保护部网站查询建设项目竣工环境保护验收相关技术规范（<http://kjs.mee.gov.cn/hjbhzb/bzwb/other>）。

（2）项目竣工后，建设单位应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收（调查）报告。

（3）本项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，方可投入使用，未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

（4）除按照国家需要保密的情形外，建设单位应当通过其网站或其他便于公众知晓的方式，向社会公开下列信息：

①本项目配套建设的环境保护设施竣工后，公开竣工日期；

②对项目配套建设的环境保护设施进行调试前，公开调试的起止日期；

③验收报告编制完成后5个工作日内，公开验收报告，公示的期限不得少于20个工作日。

建设单位公开上述信息的同时，应当在建设项目环境影响评价信息平台（<http://114.251.10.205>）中备案，同时应当向所在地生态环境主管部门报送相关信息，并接受监督检查。