

核技术利用建设项目

福建佳安橡胶有限公司新增射线装置项目

生态环境影响报告表

(公示版)



核技术利用建设项目

福建佳安橡胶有限公司新增射线装置项目

生态环境影响报告表



建设单位名称：福建佳安橡胶有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：



通讯地址：福建省莆田市秀屿区城港大道与清塘大道交叉处西南侧

邮政编码：351100

联系人：鲍

电子邮箱：bao.

联系电话：1.

目录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	16
表 3	非密封放射性物质	16
表 4	射线装置	17
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	18
表 6	评价依据	19
表 7	保护目标与评价标准	21
表 8	环境质量和辐射现状	32
表 9	项目工程分析与源项	40
表 10	辐射安全与防护	63
表 11	生态环境影响分析	97
表 12	辐射安全管理	137
表 13	结论与建议	148
表 14	审批	152

表 1 项目基本情况

建设项目名称		福建佳安橡胶有限公司新增射线装置项目			
建设单位		福建佳安橡胶有限公司			
联系人		吴**	联系电话	1*****	
注册地址		福建省莆田市秀屿区笏石镇毓秀西路 19 号			
项目建设地点		莆田市秀屿区笏石产业园 350305-08-A 单元地块			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)		300	项目环保投资 (万元)	80	投资比例 27%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他			占地面积 (平方米) 293
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☐ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类		
	其他	/			

1.1 建设单位情况

佳通集团总部位于新加坡，是一家多元化的大型跨国集团公司，在中国、新加坡、印度尼西亚等多个国家拥有 80 多家企业，业务涉及零售、酒店、地产、矿产、金融、轮胎制造等六大领域。

福建佳安橡胶有限公司（以下简称“福建佳安”）成立于 2020 年 5 月 6 日，是由重庆佳通轮胎有限公司出资设立的高性能轮胎智能化生产企业，总投资 34 亿元，注册资本 7.83418723 亿元。作为佳通集团重要的生产基地，依托集团五大研发中心强

大的技术优势，AdvanZtech 平台开发出品类齐全的各类绿色、低滚阻、智能化轮胎产品，可满足轿车、SUV、越野车、轻卡、轻客、卡车、客车、工程机械、农业机械等各种车型需求，并依托新加坡佳通轮胎集团完善的品牌销售网络，与奥迪、通用、雷诺、大众、菲亚特、比亚迪、金龙、吉利、北汽等中外知名生产厂家建立稳定的配套关系，服务不同渠道，满足市场覆盖，是佳通轮胎成为中国车主首选品牌的又一重要版图。

随着汽车行业的快速发展，高性能轮胎市场容量和发展空间较大且市场增长趋势明显，因此，佳通集团拟扩大轮胎制造业务板块，在轮胎市场快速调整产品结构，扩大优质产品生产规模。

福建佳安橡胶有限公司选址于莆田市秀屿区笏石产业园 350305-08-A 单元地块，拟新建高性能轮胎智能化生产项目。项目建设内容涵盖厂房及配套公辅、储运、环保等工程，规划年产半钢子午线轮胎 1050 万条（日产 3 万条）、全钢子午线轮胎 105 万条（日产 3000 条）。目前，该项目已获莆田市秀屿区发展和改革局备案，其环境影响报告文件取得了批复（莆环审〔2026〕4 号，见附件二）。截至 2026 年 6 月，现场已完成场地清理，正在有序推进土地平整施工。

1.2 项目由来与建设内容

1.2.1 项目由来

为满足生产需求，福建佳安橡胶有限公司拟在 TBR 预备车间新增 CNE-500 型自屏蔽加速器（全钢）1 台、在 1#PCR 预备车间新增 CNE-500 型自屏蔽加速器（半钢）1 台、在 2#PCR 品管车间新增 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机 1 台、在 TBR 品管车间新增 2824 型 X 射线成像系统 2 台，共 5 台 II 类射线装置。

根据《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》以及《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号）等法律法规，本项目需进行辐射环境影响评价。根据《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），本项目使用的自屏蔽加速器及 X 射线成像系统属于 II 类射线装置。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），“使用 II 类射线装置”的项目应编制生态环境影响报告表。

为此，建设单位于 2026 年 4 月委托福建省金皇环保科技股份有限公司（以下简称“我公司”）承担本项目的生态环境影响评价工作。我公司接受委托后，组织技术

人员对项目工作场所、设备及具体辐射防护措施进行了调查，在充分收集资料、完成辐射环境质量现状监测及污染源分析等工作的基础上，依照《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）的相关要求，编制完成了《福建佳安橡胶有限公司新增射线装置项目生态环境影响报告表》。

1.2.2 建设内容

本项目计划新增的设备参数详见表 1.2.1、表 1.2.2。

表 1.2.1 本项目新增 X 射线成像系统情况一览表

序号	射线装置	型号/编号	数量(台)	管电压(kV)	额定电流(mA)	类别	使用场所
1	2824 型 X 射线成像系统	2824	2	100	4	II类	TBR 品管车间
2	SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机	SS-X1006SMI	1	100	6		2#PCR 品管车间

表 1.2.2 本项目新增自屏蔽加速器情况一览表

序号	射线装置	型号/编号	数量(台)	最大能量(MeV)	额定电流(mA)	类别	使用场所
1	CNE-500 型自屏蔽加速器	CNE-500/全钢	1	0.5	75	II类	TBR 预备车间
2		CNE-500/半钢	1	0.5	100		1#PCR 预备车间

1.3 原有核技术应用项目许可情况

未开展任何核技术利用活动。

1.4 项目地理位置和周边概况

1.4.1 项目地理位置

福建佳安橡胶有限公司位于莆田市秀屿区 350305-08-A 单元地块内。该地块北侧为清塘大道，路北为丰树莆田（秀屿）综合物流园；东侧为城港大道，路东为中建荔景新城、西头村、前埔村；西侧为秀永高速，路西为埕山村、下庄村及塘厝村；南侧为笏灵路，路南为南山村。佳安橡胶的地理位置及周边环境现状分布见图 1.4-1 和图 1.4-2。



图 1.4-1 福建佳安橡胶有限公司地理位置图



图 1.4-2 福建佳安橡胶有限公司周边环境现状图

1.4.2 辐射工作场所及周边关系

本项目辐射设备分别位于 TBR 车间和 PCR 车间，四周分布着生产设备、仓库、道路及辅助区域，具体周边环境情况详见表 1.4.1，图 1.4-3。根据现场踏勘，福建佳安橡胶有限公司新建厂房区域目前已全部开挖，整体为裸露泥土状态，现场照片见图 1.4-4。

表 1.4.1 本项目辐射装置周边环境主要情况一览表

设备	2824 型 X 射线成像系统	SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机	CNE-500 型自屏蔽加速器（全钢）	CNE-500 型自屏蔽加速器（半钢）
位置	TBR 品管车间	2#PCR 品管车间	TBR 预备车间	1#PCR 预备车间
北侧	硫化工序、自动修剪工序	硫化工序、自动修建工序	预备维修班组、衬布整理间、厂区道路	预备维修区
东侧	成品检测工序	成品检测工序	胎面生产工序、胎侧生产工序	胎侧生产工序、厂区道路
南侧	成品检测工序、厂区道路、RDC 仓库、TBR 成品库	成品检测工序、厂区道路	内衬生产工序	内衬生产工序
西侧	成品检测工序、厂区道路	成品检测工序、厂区道路	返厂包装物仓库、厂区道路	胎面生产工序
上方	无人到达的顶棚	无人到达的顶棚	无人到达的顶棚	无人到达的顶棚
下方	无地下室	无地下室	无地下室	无地下室
备注	车间及设备均待建			

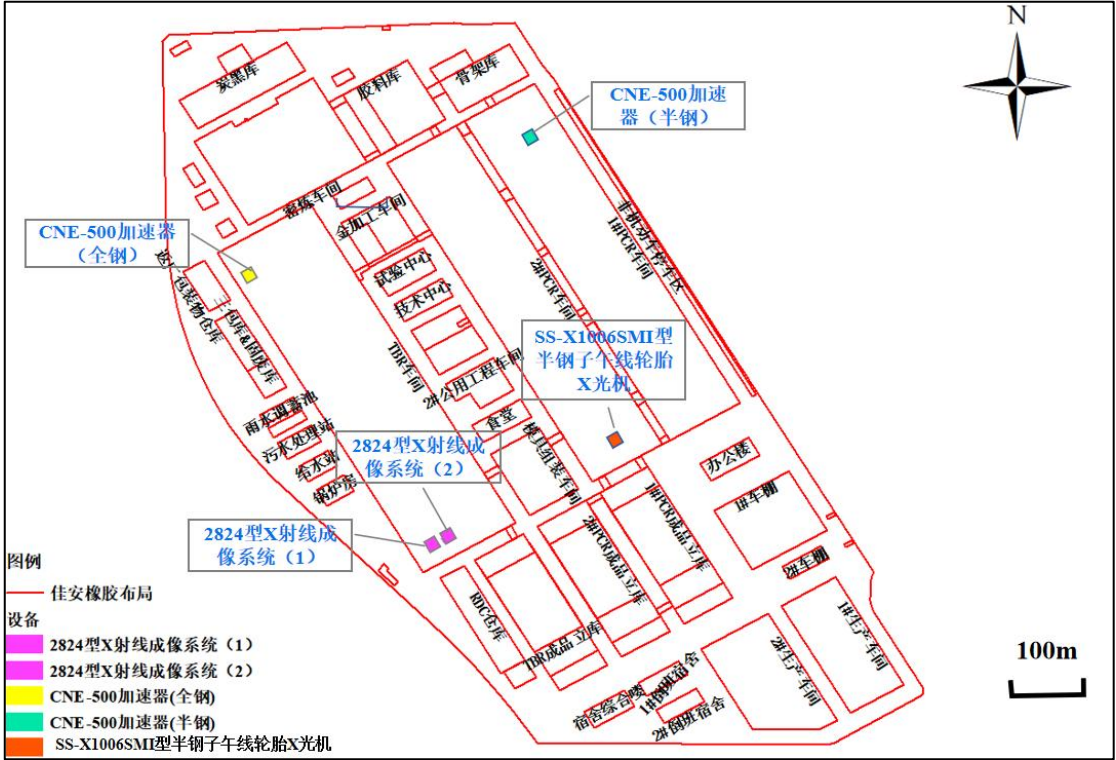




图 1.4-4 厂区现状图

1.5 项目选址及合理性分析

(1) X 射线实时成像检测系统

完成硫化的轮胎会先经过自动修剪机进行胎毛修剪，随后进入外观初检环节。在外观初检中，表面存在明显瑕疵的产品会被分流处理：异常胎和修品胎进入修补区，废品胎则直接报废。通过外观初检的轮胎随后进入 X 光检测环节，利用 X 射线透视检查其内部钢丝帘线的排列是否均匀、有无断裂等内部结构缺陷。完成 X 光检测后，轮胎通常还会继续进行均匀性和动平衡测试，以评估其旋转时的性能表现。最后，系统会根据所有检测结果对轮胎进行标记（如激光刻字、称重），并由自动分拣线将合格品送入成品库，将不合格品分流至特定区域进行处理，完成整个质量把关流程。

由图 1.5-1 和图 1.5-2 可知，本项目 X 射线成像系统均布置于成品检测工序中，其上游衔接硫化车间及自动修剪工序，下游衔接后续成品检测，装置位置便于轮胎生产上下游工序的衔接及自动化检测的开展。根据表 1.4.1 及图 1.4-3，各 X 射线成像系统装置周围主要为车间内部生产区域、设备区、厂区道路及库区，评价范围内无厂区的行政办公楼、宿舍楼、居民区等环境保护目标，且由表 1.5.1 可知，操作位设计均避开了有用线束照射。经预测与分析，X 射线成像系统对周围环境的辐射影响较小，因此其选址较为合理。

表 1.5.1 本项目辐射装置辐射角度及操作室/台相对位置一览表

设备	辐射方向	操作室/台位置	操作室/台距离	备注
SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机	水平方向发射角度为 6°，垂直方向发射角度为 280°	探伤室西北侧	2m	该设备主要辐射方向为西南侧，东北侧及顶部
2824 型 X 射线成像系统	水平方向发射角度为 40°，垂直方向发射角度为 270°	出胎仓西南侧	2m	该设备辐射主要指向检测室西南侧、东北侧及顶部三个方向。由于水平方向辐射角度较窄，而操作室虽位于出胎仓西南侧，但已处于该方向辐射范围的有效覆盖范围之外，因此设备运行对操作室的影响较小
CNE-500 型自屏蔽加速器(全钢)	向下	辐照室东南侧	10m	距离较远，辐射影响较小
CNE-500 型自屏蔽加速器(半钢)	向下	辐照室西北侧	9m	距离较远，辐射影响较小

涉及企业机密，已删除

图 1.5-1 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机周边情况图

涉及企业机密，已删除

图 1.5-2 2824 型 X 射线成像系统周边情况图

（2）自屏蔽加速器

胎面工序主要通过挤出机完成，挤出机将加热变软的胶料从特定形状的口型中连续挤出，形成带有花纹沟槽的胎面半成品，它是轮胎与地面直接接触的最外层，直接决定轮胎的抓地力、耐磨性和滚动阻力等关键性能，挤出后的胎面经冷却和存放后，被送往成型工序贴合在胎体上。

胎侧工序也由挤出机完成，挤出机挤出截面较薄且形状特定的胶条，即胎侧半成品，它位于轮胎侧面，是保护内部帘布层并承受反复屈挠变形的重要部位，因其质软且形状细长，挤出后通常被垂直存放在胎侧立库中以防变形，待成型时再取出使用。

内衬层工序则使用压延机进行薄胶片压延，将胶料通过多个相对旋转的辊筒挤压延展成厚度极薄且均匀的胶片，压延后的薄胶片随即进入辐照加速器进行辐照处理，使橡胶分子提前发生交联，提高材料的格林强度，同时能够有效阻止胶料向胎体内渗透，维持内衬层厚度，从而提高轮胎的耐久性能。经辐照后的内衬层还可以适当减薄过渡层厚度，达到节约成本、减少胶料生热的效果。随后经裁断机按需裁切后，送往成型工序贴合在胎体最内侧。

由图 1.5.3 及图 1.5.4 可知，本项目加速器均布置于内衬压延工序中，与胎面、胎侧两条挤出产线相互独立，各自并行运行。根据表 1.4.1 及图 1.4-3，各加速器周围主

要为车间内部生产区域、设备区、厂区道路及库区，评价范围内无厂区行政办公楼、宿舍楼、居民区等环境保护目标，且由表 1.5.1 可知，加速器操作位距有用线束照射方向约 10m，距加速器有一定距离。经预测与分析，加速器对周围环境的辐射影响较小，因此其选址较为合理。

涉及企业机密，已删除

图 1.5-3 CNE-500 型自屏蔽加速器（全钢）周边情况图

涉及企业机密，已删除

图 1.5-4 CNE-500 型自屏蔽加速器（半钢）周边情况图

1.6 实践正当性

福建佳安公司利用自屏蔽加速器对纤维帘布进行材质改良，以增强帘布的弹性和韧性；同时，采用 X 射线轮胎检测系统进行轮胎质量检测，通过探伤作业的应用，使产品合格率大幅提升，满足客户需求，为公司取得了较好的效益。通过实施本项目，公司在进一步提高轮胎质量检测能力的同时，经本报告预测分析，在落实好辐射管理相关措施、制度等条件下，本项目对职业工作人员及公众影响较小，符合《电离辐射防护与辐射源基本标准》（GB18871-2002）中关于实践的内容“源的生产和辐射或放射性物质在医学、工业、农业或教学与科研中的应用，包括与涉及或可能涉及辐射或放射性物质照射的应用有关的各种活动”，并且“在考虑了社会、经济和其他因素之后，其对照射个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害”，因此符合“实践正当性”的要求。

1.7 产业、规划等符合性分析

1.7.1 产业政策符合性分析

本项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》鼓励类产业，其中 X 射线成像系统属于第十四类“机械”第 1 条中的“X 射线仪”等高端在线检验检测仪器设备，加速器属于第六类“核能”第 4 条中的“加速器及辐照应用技术开发”，因此本项目符合国家产业政策。

1.7.2 规划及规划环评符合性分析

根据《福建佳安橡胶有限公司新建高性能轮胎智能化生产项目环境影响报告书》，福建佳安橡胶有限公司新建高性能轮胎智能化生产项目与《莆田市秀屿区 350305-08-A 单元控制性详细规划环境影响报告书》《莆田市国土空间总体规划（2021-2035）》《秀屿区“十四五”产业发展专项规划》及《秀屿区 350305-08-A 单元橡胶制造、仓储物流、鞋业制造产业发展规划调整方案》相符。

本项目为佳安橡胶子午胎生产项目的配套射线装置，包括 X 射线成像系统和加速器两种设备。X 射线成像系统用于成品轮胎内部钢丝排列及结构缺陷的检测，加速器用于内衬工序中纤维帘布的辐照改性处理，以提升帘布的弹性和韧性。两种设备均为轮胎生产的必要辅助工序，项目运行期间的主要环境影响为电离辐射，经合理的屏蔽设计与布局优化后，其对周围环境的影响较小。综上，本项目建设同样与《莆田市秀

屿区 350305-08-A 单元控制性详细规划环境影响报告书》《莆田市国土空间总体规划（2021-2035）》《秀屿区“十四五”产业发展专项规划》及《秀屿区 350305-08-A 单元橡胶制造、仓储物流、鞋业制造产业发展规划调整方案》相符。

1.7.3 “生态环境分区管控动态更新管控要求”符合性分析

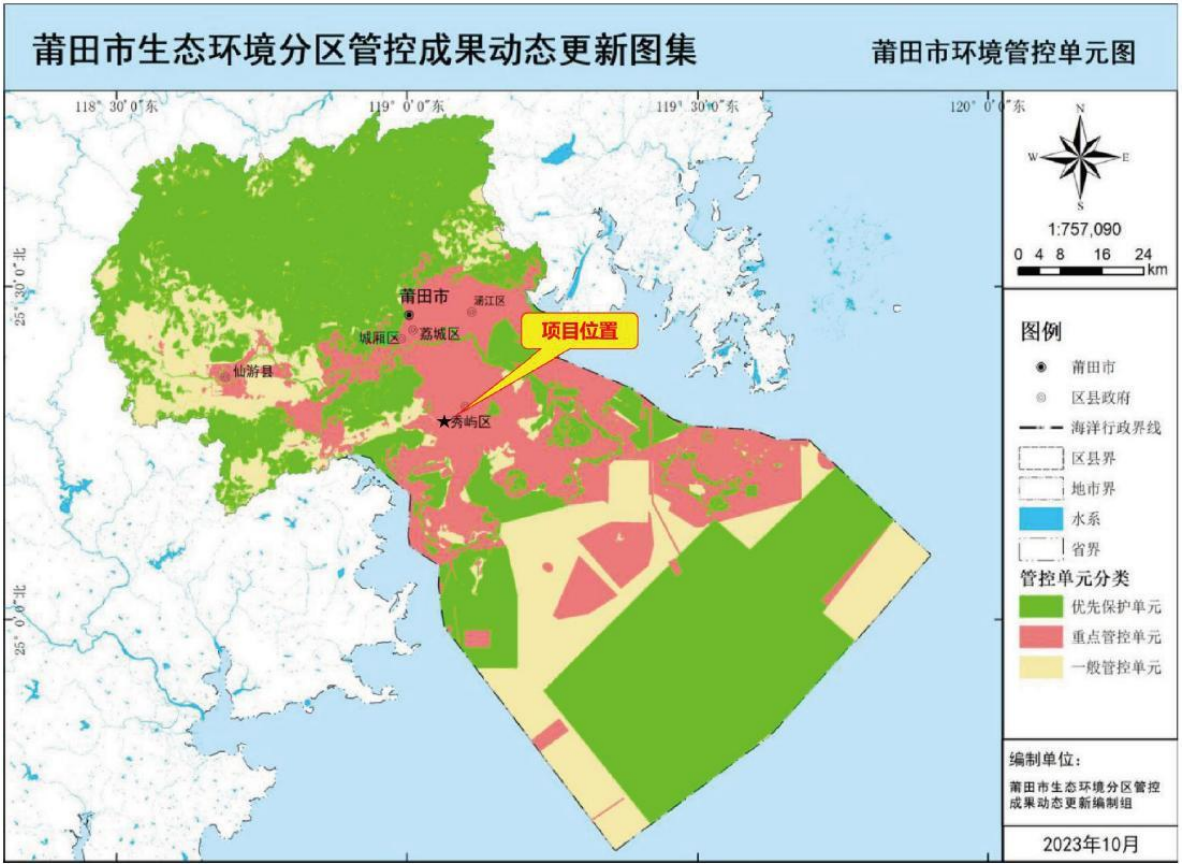


图 1.7-1 莆田市生态环境管控单元图

(1) 与《莆田市生态环境分区管控成果动态更新》符合性

表 1.7.1 《莆田市生态环境分区管控成果动态更新》符合性分析

适用范围	管控要求		本项目相关情况	符合性
陆域	空间布局约束	三、其他要求 1.建设项目新增主要污染物（水污染物化学需氧量、氨氮和大气污染物二氧化硫、氮氧化物、挥发性有机物）排放总量指标，应符合区域和企业总量控制要求。 2.严格控制重金属污染物的排放量，落实重金属排放总量控制要求。 3.推动涉重金属产业集中优化发展，新建、扩建的重有色金属冶炼、电镀、制革、铅蓄电池制造企业应优先选择布设在依法合规设立并经规划环评、环境基础设施和环境风险防范措施齐全的产业园区。加快推进专业电镀企业入园。依法推动落后产能退出。根据《产业结构调整指导目录》《限期淘汰产生严重污染环境的工业固体废物的落后生产工艺设备名录》等要求，推动依法淘汰涉重金属落后产能和化解过剩产能。严格执行生态环境保护等相关法规标准，推动经整改仍达不到要求的产能依法依规关闭退出。禁止新建用汞的电石法（聚）氯乙烯生产工艺。 4.木兰溪木兰陂以上流域范围和萩芦溪南安陂以上流域范围内禁止新（扩）建化工、涉重金属、造纸、制革、琼脂、漂染行业和以排放氨氮、总磷等为主要污染物的工业项目（污水深海排放且符合园区规划及规划环评的工业项目除外）。 5.开展省级及以上各类开发区、工业园区“污水零直排区”建设。化工、电镀、制革、印染等行业企业产生的废水应当按照分质分流的要求进行预处理，达到污水集中处理设施处理工艺要求后方可向处理设施排放。 6.加强新污染物排放控制。项目在开展环境影响评价时应严格落实相关要求，严格涉新污染物建设项目源头防控和准入管理。对列入国家《重点管控新污染物清单》（2023年版）中的新污染物，持续推动禁止、限制、限排等环境风险管控措施。强化绿色替代品和替代技术的推广应用，以印染、皮革、农药、医药、涂料等行业为重点，推进有毒有害化学物质替代。对使用有毒有害化学物质或生产过程中排放新污染物的企业，全面实施强制性清洁生产审核。排放重点管控新污染物的企事业单位和其他生产经营者依法对排放（污）口及其周边环境	本项目为核技术利用建设项目，主要服务于厂区内部的轮胎生产及质量检测，不涉及轮胎生产、不涉及重金属及重点管控新污染物排放，不新增二氧化硫、氮氧化物、挥发性有机物等常规污染物排放。	符合

适用范围	管控要求		本项目相关情况	符合性
		境定期开展环境监测，依法公开新污染物信息，排查整治环境安全隐患，评估环境风险并采取环境风险防范措施。土壤污染重点监管单位应严格控制有毒有害物质排放，建立土壤污染隐患排查制度，防止有毒有害物质渗漏、流失、扬散。 7.禁止在通风廊道和主导风向的上风向布局大气重污染企业，推进建成区大气重污染企业搬迁或升级改造、环境风险企业搬迁或关闭退出。 8.在永久基本农田集中区域，不得新建可能造成土壤污染的建设项目；已经建成的，应当限期关闭拆除。从严管控非农建设占用永久基本农田。不得随意调整和占用已划定的永久基本农田，特别是城市周边永久基本农田。一般建设项目不得占用永久基本农田；重大建设项目选址确实难以避让永久基本农田面积的，要按照“数量不减、质量不降、布局稳定”的要求，在储备区内选择数量相等、质量相当的地块进行补划。坚持农地农用，禁止任何单位和个人在永久基本农田保护区范围内建窑、建房、挖沙、采石、采矿、取土、堆放固体废弃物或者进行其他破坏永久基本农田的活动。合理引导永久基本农田进行农业结构调整，不得对耕作层造成破坏。		
	污染物排放管控	1.加快推进环湄洲湾北岸尾水排放管道建设，实现北岸区域污水由湾外文甲外排污口深水排放。全面实施枫慈溪、沧流域综合整治。加快流域水污染治理与防治、水生态修复和河道管护建设，确保水质稳定达标。大力开展仙游县、秀屿区农村生活污水收集与处理工程建设、改造和运维管理，提升农村生活污水处理率与达标率，持续削减面源污染物排放，改善农村水环境。 2.兴化湾实行主要污染物入海总量控制，控制萩芦溪、木兰溪入海断面水质，削减氮磷入海量。深化萩芦溪、木兰溪等主要入海河流综合治理，完善水污染防治流域协同机制。持续开展入海河流消劣巩固行动，整治不能稳定消除劣V类的入海河流，对未达到水质目标要求的入海河流，“一河一策”开展精准综合整治。 3.全面完成各类入海排污口排查、监测和溯源，系统推进入海排污口分类整治。强化三江口沿岸超标、非法及设置不合理入海排污口的排查整治。对未达到水质目标的水功能区，除城镇污水处理厂入河排污口外，严格控制新设、改设或者扩大排污口。其中木兰流域除污水集中处理设施排污口外，禁止新建、扩	本项目为核技术利用建设项目，主要用于厂区内部轮胎生产及质量检测，不涉及生产废水排放。加速器冷却水为内循环水，正常运行时不外排；当设备停机检修时，冷却水需排放前会先静置一段时间，由于水中放射性核素半衰期较短，静置后其活度可迅速衰减至可忽略水平。衰减达标后的冷却水经厂区污水处理站处理后排入莆田市秀屿区港城污水处理厂进一步处理，该厂尾水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）表1一级A标准，最终经深海排放，对地表水环境影响很小。	符合

适用范围	管控要求		本项目相关情况	符合性
		建排污口，改建排污口不得增加水污染物排放量。 4.兴化湾沿岸积极推进污水治理管网改造工程实施，完善生活污水处理设施建设。提升沿海乡镇和农村生活污水收集处理率。 5.近岸海域汇水区域内的城镇生活污水处理厂和工业区污水集中处理厂应具备脱氮除磷设施，达到城镇污水处理厂一级A及以上标准，并满足相关行业污水排放标准要求。推进省级及以上工业园区完成污水零直排区建设，按照污水管网全覆盖、雨污分流全到位、污水排放全纳管、排河排海污水全达标、重点行业企业管道可视全明化的“四全一明”要求，建设一批“污水零直排”示范园区。 6.建立海上环卫队伍，实现海滩海面常态化清理保洁，强化渔业垃圾等管控，推行渔排渔港“门前三包”和渔业废弃包装袋（桶）回收制度。强化重点岸段的监视监控，定期开展专项整治行动。 7.控制养殖规模和密度，发展生态养殖，推进传统养殖设施的升级改造，强化养殖尾水治理和监管。实施近岸海域养殖污染治理工程，清理沿海城市核心区海岸线向海一公里内筏式养殖设施。开展海上养殖转型升级行动，全面淘汰海上传统养殖泡沫浮球，推广环保型全塑胶渔排和深水抗风浪网箱。 8.强化陆海污染联防联控，推动“蓝色海湾”整治项目、海岸带生态保护修复工程等重大工程建设，推进沿海岸线自然化和生态保护修复。推进美丽海湾建设，“十四五”期间，率先对生态环境本底状况较优越的平海湾、南日群岛海域建成“美丽海湾”。		

（2）与秀屿区重点管控区生态环境管控要求符合性

表 1.7.2 秀屿区重点管控区生态环境管控要求符合性分析

单元编码	单元名称	单元类别	管控要求		本项目相关情况	符合性
ZH35030520001	秀	重点	空间布	1.严禁在人口聚集区新建涉及化学品和危险废物排放的项目，城市建	本项目不涉及化学品和危险	符合

单元编码	单元名称	单元类别	管控要求		本项目相关情况	符合性
	屿重点管控区	管控单元	局约束	成区内现有重污染企业环保搬迁项目须实行产能等量或减量置换。 2.禁止在城镇居民区、文化教育科学研究区等人口集中区域建设畜禽养殖场、养殖小区。 3.新建企业原则上均应布局在工业集聚区。引导现有企业向依法合规设立、环保设施齐全、符合规划环评要求的工业集聚区集中。	废物排放，项目位于莆田市秀屿区350305-08-A单元地块内，属核技术利用建设项目，未占用基本农田	
			污染物排放管控	1、加强区域内城镇污水处理设施提标改造及配套管网建设，全面达到一级A排放标准。 2.县（市）城市建成区基本实现生活污水全收集全处理。工业企业排水水质要符合国家或地方相关排放标准规定。对已经进入市政污水收集处理设施的工业企业进行排查、评估。经评估认定污染物不能被城镇污水处理厂有效处理或可能影响城镇污水处理厂出水稳定达标的，应限期退出市政管网，向园区工业污水集中处理设施聚集。在退出市政管网之前，应采取预处理等措施，降低对城镇生活污水处理厂的影响。 3.新、改、扩建涉二氧化硫、氮氧化物和VOCs项目，落实排放总量控制要求。 4.排放重点管控新污染物的企事业单位应采取污染控制措施，达到相关污染物排放标准及环境质量目标要求；排放重点管控新污染物的企事业单位和其他生产经营者依法对排放（污）口及其周边环境定期开展环境监测，依法公开新污染物信息，排查整治环境安全隐患，评估环境风险并采取环境风险防范措施。土壤污染重点监管单位应严格控制有毒有害物质排放，建立土壤污染隐患排查制度，防止有毒有害物质渗漏、流失、扬散。对使用有毒有害化学物质或生产过程中排放新污染物的企业，全面实施强制性清洁生产审核。	1.项目不属于城镇污水处理设施项目； 2.本项目不排放二氧化硫、氮氧化物和非甲烷总烃等废气排放； 3.本项目不涉及新污染物。	符合

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(MeV)	额定电流(mA)	用途	工作场所	备注
1	CNE-500 型自屏蔽加速器	II	1	CNE-500 (全钢)	电子	0.5	75	工业辐照	TBR 预备车间	/
2	CNE-500 型自屏蔽加速器	II	1	CNE-500 (半钢)	电子	0.5	100	工业辐照	1#PCR 预备车间	/

（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
1	SS-X1006SMI 半钢子午线轮胎 X 光机	II	1	SS-X1006SMI	100	6	无损检测	2#PCR 品管车间	/
2	2824 型 X 射线成像系统	II	2	2824 型	100	4	无损检测	TBR 品管车间	/

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	(1) X 射线成像系统废气先排入生产车间，再通过车间排气系统排放至厂房外大气环境中； (2) 加速器产生的废气通过排气管直接排入大气，臭氧在常温常压下稳定性较差，常温常态常压的空气中臭氧有效化学分解时间约为 50min，可自动分解为氧气
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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 典、 法 规 文 件	(1) 《中华人民共和国生态环境法典》，2026 年 8 月 15 日起施行； (2) 《中华人民共和国原子能法》，2026 年 1 月 15 日起施行； (3) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修正本），2019 年 3 月 2 日修订、施行； (4) 《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 10 月 1 日起施行； (5) 《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 日起施行； (6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，2021 年 1 月 1 日起施行； (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，2011 年 5 月 1 日起施行； (8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正本），2021 年 1 月 4 日起施行； (9) 《放射工作人员职业健康管理辦法》，2007 年 11 月 1 日起施行； (10) 《关于印发辐射安全许可座谈会会议纪要的函》，环办函〔2006〕629 号，2006 年 9 月 27 日印发； (11) 《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》，环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日印发； (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》，中华人民共和国生态环境部，2019 年 12 月 23 日印发； (13) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，2024 年 2 月 1 日起施行； (14) 《福建省生态环境厅关于印发福建省辐射事故应急预案的函》，闽环函〔2020〕22 号，2020 年 9 月 23 日印发。
技 术 标 准	(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； (2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； (3) 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）； (4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； (5) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；

	(6) 《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》(GBZ 141-2002)； (7) 《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)； (8) 《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)； (9) 《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)； (10) 《自屏蔽式电子加速器辐照装置：放射防护要求》(T/WSJD 76-2025)； (11) 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》及第 1 号修改单(GBZ/T 250-2014)； (12) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)； (13) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) (参照)； (14) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》(GBZ 2.1-2019)； (15) 《室内空气质量标准》(GB/T 18883-2022)；
其他	(1) 委托书； (2) 福建佳安橡胶有限公司提供的其他资料。

表 7 保护目标与评价标准

本项目涉及的射线装置均属Ⅱ类，依据《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）“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（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）……”的规定，结合本项目建设内容，确定评价范围为各辐射装置实体屏蔽物外 50m 范围的区域。具体范围详见图 7.1-1。

图 7.1-1 本项目评价范围图

根据对本项目周围环境的调查，本项目射线装置周围 50m 范围内主要为厂内的生产车间、厂区道路，无居民点和学校等环境敏感点。因此，本项目保护目标为评价范围内活动的公众人员和辐射工作人员。辐射工作人员为电子加速器辐照系统及 X 射线轮胎检测系统的操作人员，公众人员为辐射设备四周其他生产区域的本厂员工。本项目评价范围内的环境保护目标具体见表 7.2.1。

表 7.2.1 本项目周边环境保护目标一览表

环境保护对象	设备	距离(m)	方位	规模 (人)	保护要求 (mSv/a)
职业人员	SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机	2m	探伤室西北侧	3	5 ^①
	2824 型 X 射线成像系统	2m	探伤室西南侧	3	
	CNE-500 型自屏蔽加速器 (全钢)	10m	辐照室东南侧	6	
	CNE-500 型自屏蔽加速器 (半钢)	9m	辐照室西北侧	6	
公众人员	SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机	最近约 5m	探伤室东北侧、西南侧	若干	0.1 ^①
	2824 型 X 射线成像系统	最近约 5m	探伤室东北侧、西南侧		
	CNE-500 型自屏蔽加速器 (全钢)	最近约 5m	辐照室西南侧		
	CNE-500 型自屏蔽加速器 (半钢)	最近约 5m	辐照室西南侧		

注①《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》(TWSJD 76-2025)及本评价要求;

7.3 评价标准

7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)

根据附录 B, 职业照射剂量限值, 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制, 使之不超过下述限值:

- 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。

根据附录 B, 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。

根据第 6.4 条, 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。

7.3.2 《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）

本项目为自屏蔽的一体化辐射装置，探伤室和控制室遵循《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）相关要求。

4 使用单位放射防护要求

4.1 开展工业探伤工作的使用单位对放射防护安全应负主体责任。

4.2 应建立放射防护管理组织，明确放射防护管理人员及其职责，建立和实施放射防护管理制度和措施。

4.3 应对从事探伤工作的人员按 GBZ 128 的要求进行个人剂量监测，按 GBZ 98 的要求进行职业健康监护。

4.4 探伤工作人员正式工作前应取得符合 GB/T 9445 要求的无损探伤人员资格。

4.5 应配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪。

4.6 应制定辐射事故应急预案。

5 探伤机的放射防护要求

5.1 X 射线探伤机

5.1.1 X 射线探伤机在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 100 cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应符合表 7.3.1 的要求，在随机文件中应有这些指标的说明。其他放射防护性能应符合 GB/T 26837 的要求。

表 7.3.1 X 射线管头组装体漏射线所致周围剂量当量率控制值

管电压(kV)	漏射线所致周围剂量当量率(mGv/h)
<150	<1
150~200	<2.5
>200	<5

5.1.2 工作前检查项目应包括：

- a) 探伤机外观是否完好；
- b) 电缆是否有断裂、扭曲以及破损；
- c) 液体制冷设备是否有渗漏；
- d) 安全联锁是否正常工作；
- e) 报警设备和警示灯是否正常运行；
- f) 螺栓等连接件是否连接良好；

g) 机房内安装的固定辐射检测仪是否正常。

5.1.3 X 射线探伤机的维护应符合下列要求：

a) 使用单位应对探伤机的设备维护负责，每年至少维护一次。设备维护应由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行；

b) 设备维护包括探伤机的彻底检查和所有零部件的详细检测；

c) 当设备有故障或损坏需更换零部件时，应保证所更换的零部件为合格产品；

d) 应做好设备维护记录。

6 固定式探伤的放射防护要求

6.1 探伤室放射防护要求

6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全，操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探伤室门的防护性能应不小于同侧墙的防护性能。X 射线探伤室的屏蔽计算方法参见 GB2/T 250。

6.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB18871 的要求。

6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：

a) 关注点的周围剂量当量参考控制水平，对放射工作场所，其值应不大于 $100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，对公众场所，其值应不大于 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

b) 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

6.1.4 探伤室顶的辐射屏蔽应满足：

a) 探伤室上方已建、拟建建筑物或探伤室旁邻近建筑物在自辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时，探伤室顶的辐射屏蔽要求同 6.1.3；

b) 对没有人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平通常可取 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

6.1.5 探伤室应设置门-机联锁装置，应在门（包括人员进出门和探伤工件进出门）关闭后才能进行探伤作业。门-机联锁装置的设置应方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室。在探伤过程中，防护门被意外打开时，应能立刻停止出束或回源。探伤室内有多台探伤装置时，每台装置均应与防护门联锁。

6.1.6 探伤室门口和内部应同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与探伤机联锁。“预备”信号应持续足够长的时间，以确保探伤室内人员安

全离开。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。在醒目的位置处应有对“照射”和“预备”信号意义的说明。

6.1.7 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置，在控制室的操作台应有专用的监视器，可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。

6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。

6.1.9 探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。按钮或拉绳的安装，应使人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。按钮或拉绳应带有标签，标明使用方法。

6.1.10 探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。

6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。

6.2 探伤室探伤操作的放射防护要求

6.2.1 对正常使用的探伤室应检查探伤室防护门—机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。

6.2.2 探伤工作人员在进入探伤室时，除佩戴常规个人剂量计外，还应携带个人剂量报警仪和便携式 X- γ 剂量率仪。当剂量率达到设定的报警阈值报警时，探伤工作人员应立即退出探伤室，同时防止其他人进入探伤室，并立即向辐射防护负责人报告。

6.2.3 应定期测量探伤室外周围区域的剂量率水平，包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。测量值应与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时，应终止探伤工作并向辐射防护负责人报告。

6.2.4 交接班或当班使用便携式 X- γ 剂量率仪前，应检查是否能正常工作。如发现便携式 X- γ 剂量率仪不能正常工作，则不应开始探伤工作。

6.2.5 探伤工作人员应正确使用配备的辐射防护装置，如准直器和附加屏蔽，把潜在的辐射降到最低。

6.2.6 在每一次照射前，辐射工作人员都应该确认探伤室内部没有人员驻留并关闭防护门。只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开始探伤工作。

6.2.7 开展探伤室设计时未预计到的工作，如工件过大等特殊原因必须开门探伤的，应遵循本标准第 7.1 条～第 7.4 条的要求。

8 放射防护检测

8.1 检测的一般要求

8.1.1 检测计划

使用单位应制定放射防护检测计划。在检测计划中应对检测位置、检测频率以及检测结果的保存等作出规定，并给出每一个测量位置的参考控制水平和超过该参考控制水平时应采取的行动措施。

8.1.2 检测仪器

应选用合适的放射防护检测仪器，并按规定进行定期检定/校准，取得相应证书。使用前，应对辐射检测仪器进行检查，包括是否有物理损坏、调零、电池、仪器对射线的响应等。

8.2 探伤机检测

8.2.1 防护性能检测

8.2.1.1 检测方法

X 射线探伤机防护性能检测方法按 GB/T26837 的要求进行。

8.2.1.2 检测周期

使用单位应每年对探伤机的防护性能进行检测。探伤机移动后，应进行安全装置的性能检查

8.2.1.3 结果评价

X 射线探伤机防护性能检测结果评价按本标准第 5.1.1 条的要求。

7.3.3 《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》及第 1 号修改单 (GBZ/T250-2014)

3.2 需要屏蔽的辐射

3.2.1 相应有用线束的整个墙面均考虑有用线束屏蔽，不需考虑进入有用线束区的散射辐射。

3.2.2 散射辐射考虑以 0°入射探伤工件的 90°散射辐射。

3.2.3 当可能存在泄漏辐射和散射辐射的复合作用时，通常分别估算泄漏辐射和各项散射辐射。

3.3 其他要求

3.3.1 探伤室一般应设有人员门和单独的工件门。对于探伤可人工搬运的小型工件

探伤室，可以仅设人员门。探伤室人员门宜采用迷路形式。

3.3.2 探伤装置的控制室应置于探伤室外，控制室和人员门应避开有用线束照射的方向。

3.3.3 屏蔽设计中，应考虑缝隙、管孔和薄弱环节的屏蔽。

7.3.4 《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）

根据第 3.2 条电子束辐照装置，按人员可接近辐照装置的情况分为：Ⅰ类配有联锁装置的整体屏蔽装置，运行期间人员实际上不可能接近这种装置的辐射源部件。Ⅱ类安装在屏蔽体（辐照室）内的辐照装置，运行期间借助于入口控制系统防止人员进入辐照室。

根据第 5.1.3 条，Ⅱ类电子束辐照装置外部的辐射水平检测：沿整个辐照装置表面测量距表面 5cm 处的空气比释动能率，应特别注意装源口、样品入口等可能的薄弱部位的测量。测量结果一般应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目电子加速器采用的是配有联锁装置的整体屏蔽装置，设备运行时，所有检修门、屏蔽门都为关闭状态，辐射工作人员实际上不可能接近装置的辐射源（电子束组件）部件，故可确定本项目为Ⅱ类电子束辐照装置。对设备的外照射泄漏辐射水平监测要求为：

装置表面外 5cm 处空气比释动能率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

7.3.5《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）

4 基本要求

4.1 辐射防护基本原则

4.1.1 自屏蔽式电子加速器辐照装置的建设和使用，应符合辐射实践的正当性要求。

4.1.2 对于来自自屏蔽式电子加速器辐照装置的照射，应使防护与安全得到最优化，在考虑了经济和社会因素之后个人受照剂量、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平。

4.1.3 自屏蔽式电子加速器辐照装置运营单位应对个人受到的正常照射加以限制，使个人年有效剂量和有关器官或组织的当量剂量不超过 GB18871 规定的限值。

4.1.4 管理目标值应符合以下要求：

a) 放射工作人员职业照射的管理目标值不超过 5mSv/a ；

b) 公众照射的管理目标值不超过 0.1mSv/a 。

4.2 放射防护管理要求

4.2.1 自屏蔽式电子加速器辐照装置运营单位应对辐射实践的辐射安全与防护全面负责，保护从事放射工作相关人员的职业健康，并成立放射卫生管理机构，设置专（兼）职放射防护管理人员。

4.2.2 自屏蔽式电子加速器辐照装置运营单位应建立健全相关放射防护管理制度，包括放射工作人员职业健康检查制度、放射工作人员教育培训制度、个人剂量监测制度、职业健康监护及其档案管理制度、设备及其放射防护设施检修及维护制度、放射工作场所防护检测制度、设备操作规程等。

4.2.3 自屏蔽式电子加速器辐照装置运营单位应开展个人剂量监测管理，对放射工作人员按 GB2128 的要求委托有资质的技术服务机构进行外照射个人剂量监测。当个人剂量监测结果异常时，应进行受照情况调查，将结果上报监管部门并附在个人剂量档案中终生保存。

4.2.4 自屏蔽式电子加速器辐照装置运营单位应开展职业健康管理，对从事自屏蔽式电子加速器辐照装置相关工作的放射工作人员，按 GBZ98 的要求开展职业健康检查等健康监护工作。放射工作人员上岗前，应进行上岗前职业健康检查；在岗期间职业健康检查一般为 1~2 年一次，不得超过 2 年，必要时，可适当增加检查次数；自屏蔽式电子加速器辐照装置运营单位应及时安排其进行离岗时的职业健康检查，以评价其离岗时的健康状况。

4.2.5 自屏蔽式电子加速器辐照装置运营单位应制定培训计划，对运营单位主要负责人、放射防护管理人员及放射工作人员进行放射卫生培训。组织工作人员岗前放射防护知识和有关法律法规知识培训，考核合格后持证上岗参加相应工作，培训时间不少于 4 天；岗中定期开展放射防护知识和有关法律法规知识培训，两次培训间隔不超过 2 年，每次培训时间不少于 2 天。自屏蔽式电子加速器辐照装置运营单位应建立并妥善保存培训档案。

4.2.6 自屏蔽式电子加速器辐照装置运营单位应制定放射事故应急预案，做好放射事故应急准备、应急响应，定期开展应急培训、应急演练，确保有效防范放射事故或缓解放射事故造成的后果。

4.2.7 自屏蔽式电子加速器辐照装置运营单位应对放射工作场所进行定期的辐射监测和评估，以确保采取的辐射安全与防护措施持续有效。

5 工作场所放射防护要求

5.1 布局和分区要求

5.1.1 自屏蔽式电子加速器辐照装置工作场所应根据工艺流程相对集中布置,并考虑周围的辐射安全。装置应尽量远离人员密集区域。

5.1.2 自屏蔽式电子加速器辐照装置工作场所应分为控制区和监督区。

a) 控制区,如辐照室及物料进出口以内的区域;

b) 监督区,如操作区、未被划入控制区的自屏蔽式电子加速器辐照装置辅助设施区和其他需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

5.1.3 在控制区出入口处和其它必要的地方,应设立醒目的、符合 GB18871 规定的电离辐射警告标志和标识。

5.2 辐射水平控制要求

在最高能量和最大束流强度条件下,自屏蔽式电子加速器辐照装置屏蔽体外表面 5cm 处、物料进出口处及操作位处的周围剂量当量率应不大于 2.5uSv/h。

5.3 放射防护设施要求

5.3.1 自屏蔽式电子加速器辐照装置应设置多层联锁装置,以满足纵深防御原则。联锁装置使有关部件的动作相互关联,每个部件均必须处于规定的状态,否则加速器不能投入

a) 运行和使用,或者使已投入运行和使用的加速器立即停机;

b) 联锁装置不得旁路,维护与维修后应恢复原状。

5.3.2 自屏蔽式电子加速器辐照装置外醒目位置处应设置灯光和音响警示信号,用于对现场人员的警示。应设置工作状态指示装置,并与自屏蔽式电子加速器辐照装置运行状态相关联。

5.3.3 自屏蔽式电子加速器辐照装置的运行操作必须在操作台进行,操作台上宜包含主要运行参数显示、运行开关、停止开关、联锁装置控制系统显示、设备故障显示及复位开关等。

5.3.4 操作台上应设置钥匙开关,并和加速器联锁。如从操作台上取出该钥匙,加速器应自动停机。

该钥匙应与一台有效的个人剂量报警仪紧密相连,该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。

5.3.5 自屏蔽式电子加速器辐照装置上所有与辐射防护相关活动部件必须与束流控

制及加速器高压联锁，所有与辐射防护相关活动部件打开时，加速器不能开机，加速器运行中活动部件被打开则加速器应自动停机。

5.3.6 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。

5.3.7 在操作台和束下装置上应设置紧急停机装置，紧急状态下能终止加速器的运行。

5.3.8 自屏蔽式电子加速器辐照装置屏蔽体外应设置固定式辐射检测仪，其数字显示装置宜安装在操作台或检测位置，当辐射超过预定水平时，应发出警告信号，并且加速器应紧急停机。

5.3.9 辐照室应设置通风系统，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打开屏蔽体，以保证臭氧等有害气体浓度低于允许值。

5.3.10 自屏蔽式电子加速器辐照装置外围应安装监视探头，实时监控加速器的运行情况，发生应急事故时能及时处理。

综合考虑上述规范，本项目辐射装置确定为II类。其中，自屏蔽加速器装置表面外 5cm 处周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h；X 射线实时成像检测系统屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 2.5 μ Sv/h。据此，本项目确定的辐射管理目标为：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，具体标准详见表 7.3.2。

表 7.3.2 辐射安全管理目标与控制指标一览表

项目	具体内容	依据
屏蔽剂量率控制水平	X 射线实时成像检测系统	《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）
	自屏蔽加速器	《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）、《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）
年有效剂量	职业人员	$\leq 5\text{mSv/a}$
	公众人员	$\leq 0.1\text{mSv/a}$

7.3.6 其他相关环保标准

(1) 大气污染物排放标准

①施工期大气污染物执行《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）表 2 中的标准，标准限值见表 7.3.3。

表 7.3.3 大气污染物排放限值（摘录）

序号	污染物	无组织排放浓度限值	
		监控点	浓度(mg/m ³)
1	颗粒物	周界外浓度最高点	1.0

②运营期各机房内执行《工作场所有害因素职业接触限值第一部分化学因素》（GBZ 2.1-2019）和《室内空气质量标准》（GB/T 18883-2022）标准，具体标准限值见表 7.3.4。

表 7.3.4 大气污染物标准限值（摘录）

污染物	浓度限值	标准
臭氧	最高容许浓度（MAC）0.30mg/m ³	《工作场所有害因素职业接触限值第一部分化学因素》（GBZ 2.1-2019）
臭氧	0.16mg/m ³ （1 小时平均值）	《室内空气质量标准》（GB/T 18883-2002）中标准
二氧化氮	0.20mg/m ³ （1 小时平均值）	

(2) 噪声排放标准

项目施工期场界噪声执行《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523-2025），标准限值见表 7.3.5。

表 7.3.5 建筑施工场界环境噪声排放限值 单位 dB(A)

昼间	夜间
70	55

表 8 环境质量和辐射现状

为掌握项目所在地的辐射环境质量现状，本次评价委托长润安测科技有限公司于 2026 年 7 月 1 日对本项目工作场所及其周围环境进行γ辐射剂量率背景水平调查(见附件九)。

8.1 项目的地理和场所位置

福建佳安橡胶有限公司选址于莆田市秀屿区 350305-08-A 单元地块内。项目地理位置见图 1.4-1，周边环境情况见图 1.4-2。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

(1) 监测点位及监测因子

依据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中的布点原则与方法，结合本项目实际情况，共布设 21 个环境 γ 辐射剂量率监测点位。

本次环境本底监测期间，由于辐射装置体积较小，且厂区均为刚完成平整的裸露土地，场地环境条件相对均一，因此在装置周边适当减少了监测点位的布设数量。同时，为全面评估人员可能受到的辐射照射情况，在厂区内人员长期可停留的区域布设了 8 个监测点。全厂区共设置 21 个监测点位（具体点位分布见图 8.2-1 至图 8.2-5），每个点位均进行 10 次环境 γ 辐射剂量率测量。

(2) 监测结果

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）中 5.5 公式（1）对监测结果进行处理，处理公式如下：

$$\dot{D}_r=k_1\times k_2\times R_\gamma-k_3\times \dot{D}_c$$
 式（8-1）

式中： $\dot{D}_r$ ——测点处环境 γ 辐射空气吸收剂量率值，nGy/h；

k_1 ——仪器检定因子，本次监测仪器检定因子为 1.02；

k_2 ——仪器检验源效率因子，本次检测取 1；

R_γ ——仪器测量读数值均值；空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照便携式 X、γ 辐射周围剂量当量（率）仪和监测仪（JJG 393-2018），本次仪器使用 ¹³⁷Cs 作为检定/校准，仪器直读单位为 nSv/h，换算系数为 1.2Sv/Gy；

k_3 ——建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，楼房取 0.8，平房取 0.9，道路取

1, 本次监测点位全为室外空地, 因此 k_3 取 1;

$\dot{D}_c$ ——测点处宇宙射线响应值, Gy/h; 根据《辐射环境监测技术规范》(HJ 61—2021): 在实际环境监测中, 测点的海拔、经纬度与湖(库)水面一般不同, 应对湖(库)水面测得的 X_c 进行修正, 得到测点处仪器对宇宙射线的响应值 X'_c 。修正方法见式(8-2)~式(8-5)。如果测点的海拔、经纬度与湖(库)水面相差不大: 海拔差别 $\leq 200\text{m}$, 经度差别 $\leq 5^\circ$, 纬度差别 $\leq 2^\circ$, 可以不进行 X_c 修正, 即 $X_c = X'_c$ 。

本设备在三明市泰宁县梅口乡大金湖的宇宙射线影响均值为 17.65nGy/h , 本项目测点的海拔与三明市泰宁县梅口乡大金湖差别大于 200m , 因此需要进行宇宙射线响应值修正, 修正结果为 17.2nGy/h , 具体参数及计算结果见表 8.2.1。

$$X'_c = \frac{\dot{D}'_{\text{宇}}}{\dot{D}_{\text{宇}}} X_c \quad \text{式(8-2)}$$

式中: X'_c ——仪器在测点处对宇宙射线的响应值;

$\dot{D}'_{\text{宇}}$ 、 $\dot{D}_{\text{宇}}$ ——分别为测点处和湖(库)水面处宇宙射线电离成分在低大气层中产生的空气吸收剂量率, nGy/h;

X_c ——仪器在湖(库)水面上对宇宙射线的响应值。

$\dot{D}'_{\text{宇}}$ 、 $\dot{D}_{\text{宇}}$ 可参照 UNSCEAR 2000 报告中的经验公式计算:

$$\dot{D}_{\text{宇}} = \dot{D}_{\text{宇}}(0) [0.21e^{-1.649h} + 0.79e^{0.4528h}] \quad \text{式(8-3)}$$

$$\dot{D}_{\text{宇}}(0) = \begin{cases} 30, & \lambda_m \leq 30^\circ N \\ 32, & \lambda_m > 30^\circ N \end{cases} \quad \text{式(8-4)}$$

式中: $\dot{D}_{\text{宇}}(0)$ ——计算点所海平面处宇宙射线电离成分所致空气吸收剂量率, nGy/h;

h ——计算点的海拔, km;

λ_m ——计算点的地磁纬度, N。

地磁纬度由计算点的地理纬度 λ 和地理经度 φ 按下式计算:

$$\sin \lambda_m = \sin \lambda \cos 11.7^\circ + \cos \lambda \sin 11.7^\circ \cos (\varphi - 291^\circ) \quad \text{式(8-5)}$$

表 8.2.1 宇宙射线修正计算参数表

参数		数值
仪器在测点处对宇宙射线的响应值, nGy/h	X'_c	17.2
测点处宇宙射线电离成分在低大气层中产生的空气吸收剂量率, nGy/h	$D'_\text{宇}$	30
湖(库)水面处宇宙射线电离成分在低大气层中产生的空气吸收剂量率, nGy/h	$D_\text{宇}$	30.9
仪器在湖(库)水面处对宇宙射线的响应值, nGy/h	X_c	17.65
计算点所在海平面处宇宙射线电离成分所致空气吸收剂量率, nGy/h	$D_\text{宇}(0)$	30
湖(库)水面处计算点的海拔, km	h	0.278
湖(库)水面处地磁纬度, N	λ_m	15.3
湖(库)水面处地理纬度, °N	λ	26.9
湖(库)水面处地理经度, °E	φ	117.1
测点处计算点的海拔, km	h	0.01
测点处地磁纬度, N	λ_m	13.7
测点处地理纬度, °N	λ	25.3
测点处地理经度, °E	φ	119.1

表 8.2.2 γ 辐射剂量率背景水平调查点位及检测结果一览表

序号	监测点位	地面材料	监测结果 (nGy/h)
CNE-500 型自屏蔽加速器（全钢）			
#1	辐照室北侧	裸露土壤	64.0±0.7
#2	辐照室东侧		64.1±0.3
#3	辐照室南侧		64.9±0.6
#4	辐照室西侧		63.7±0.4
CNE-500 型自屏蔽加速器（半钢）			
#5	辐照室北侧	裸露土壤	68.5±2.5
#6	辐照室东侧		67.2±0.6
#7	辐照室南侧		67.9±0.8
#8	辐照室西侧		70.2±2.1
2824 型 X 射线成像系统			
#9	探伤室北侧	裸露土壤	88.5±1.8
#10	探伤室东侧		89.1±1.7
#11	探伤室南侧		91.2±0.8
#12	探伤室西侧		88.3±1.4
SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机			
#13	探伤室北侧	裸露土壤	85.1±1.6
其他			
#14	厂区内道路 1	裸露土壤	81.0±1.8

#15	返厂包装物仓库		98.0±1.1
#16	厂区内道路 2		89.7±2.0
#17	RDC 仓库		64.5±0.8
#18	厂区入口		50.5±1.0
#19	食堂		56.9±0.7
#20	办公楼		81.2±1.6
#21	综合宿舍楼		66.9±0.4

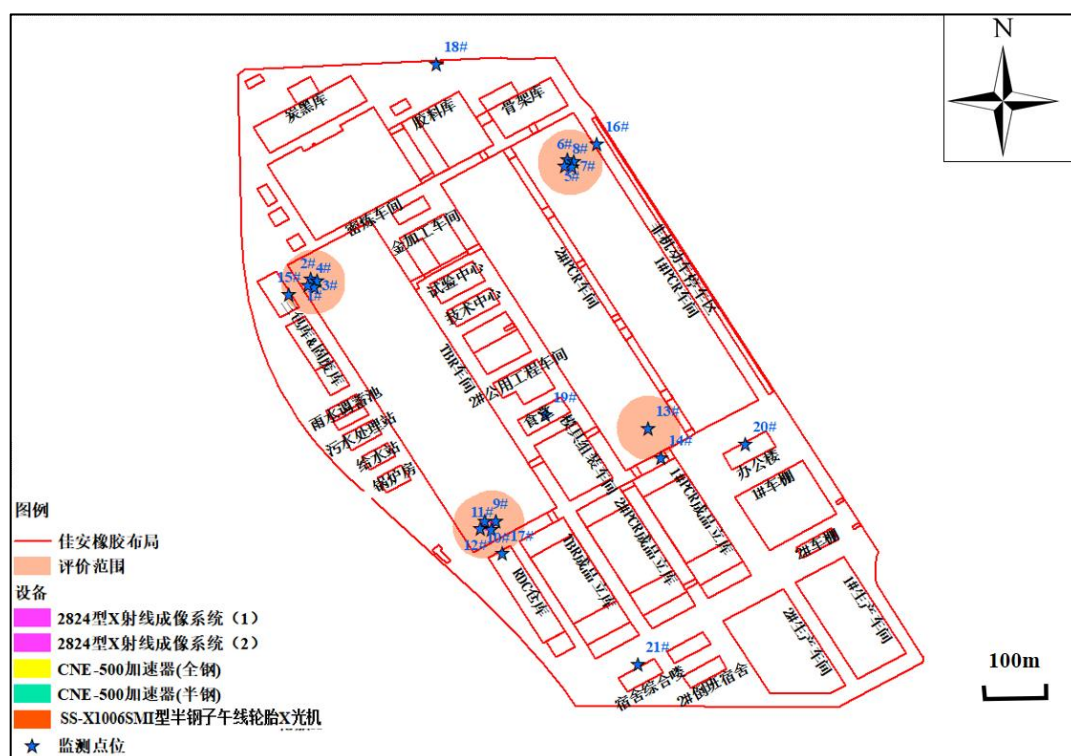


图 8.2-1 本项目监测点位示意图 (1)

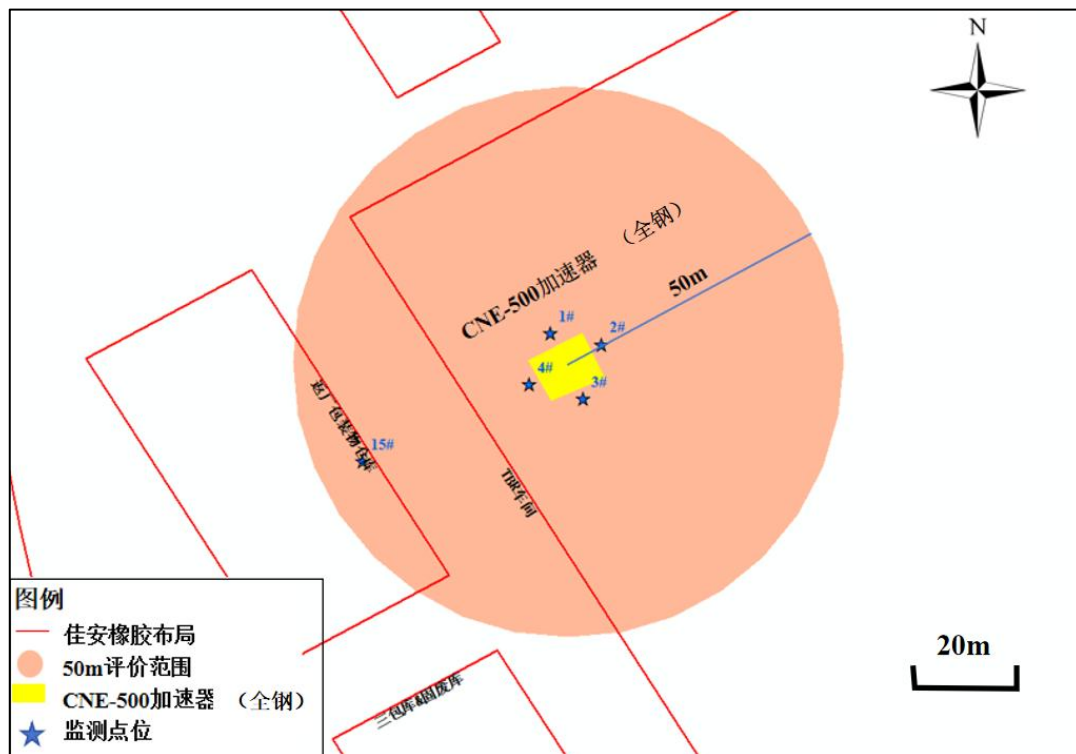


图 8.2-2 本项目监测点位示意图 (2)

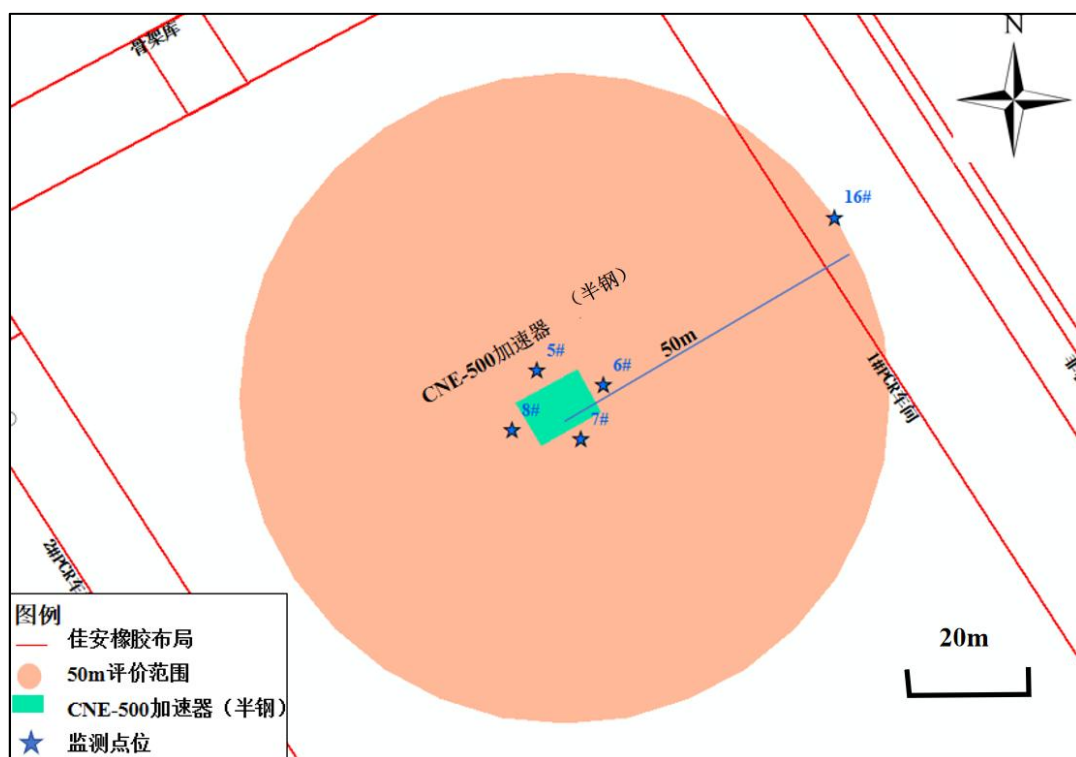


图 8.2-3 本项目监测点位示意图 (3)

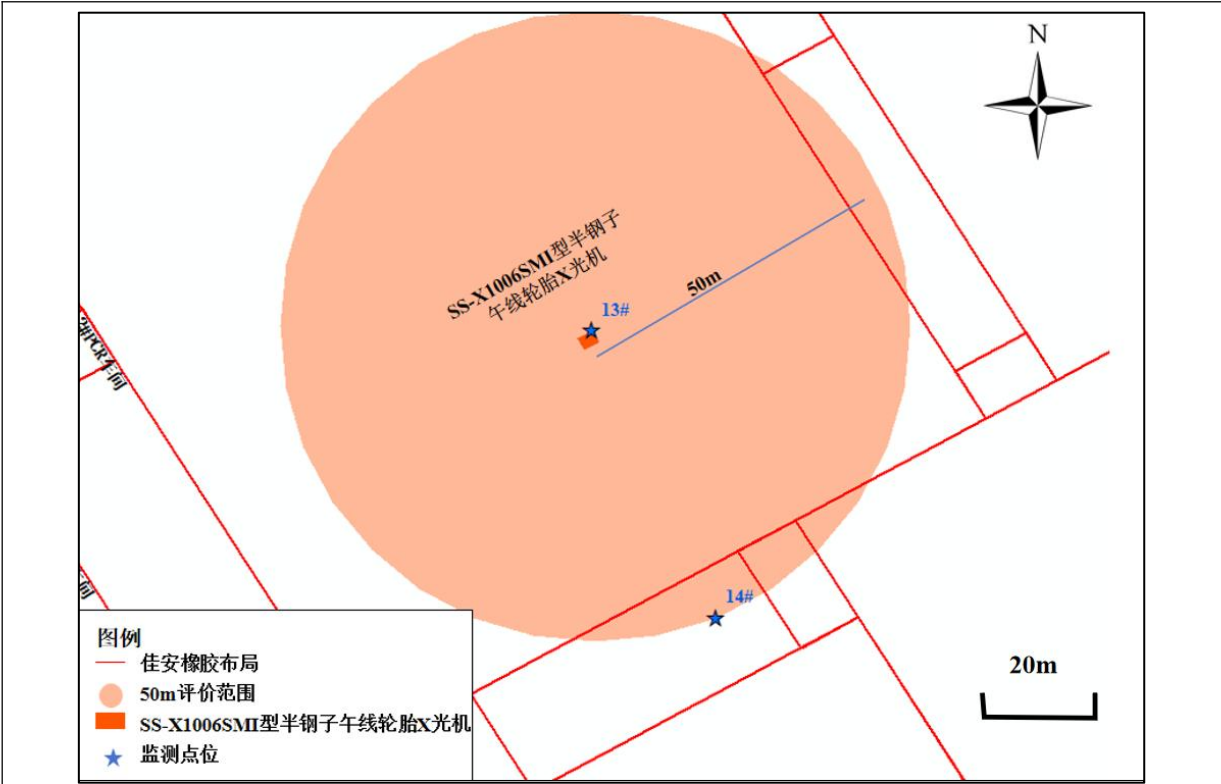


图 8.2-4 本项目监测点位示意图（4）

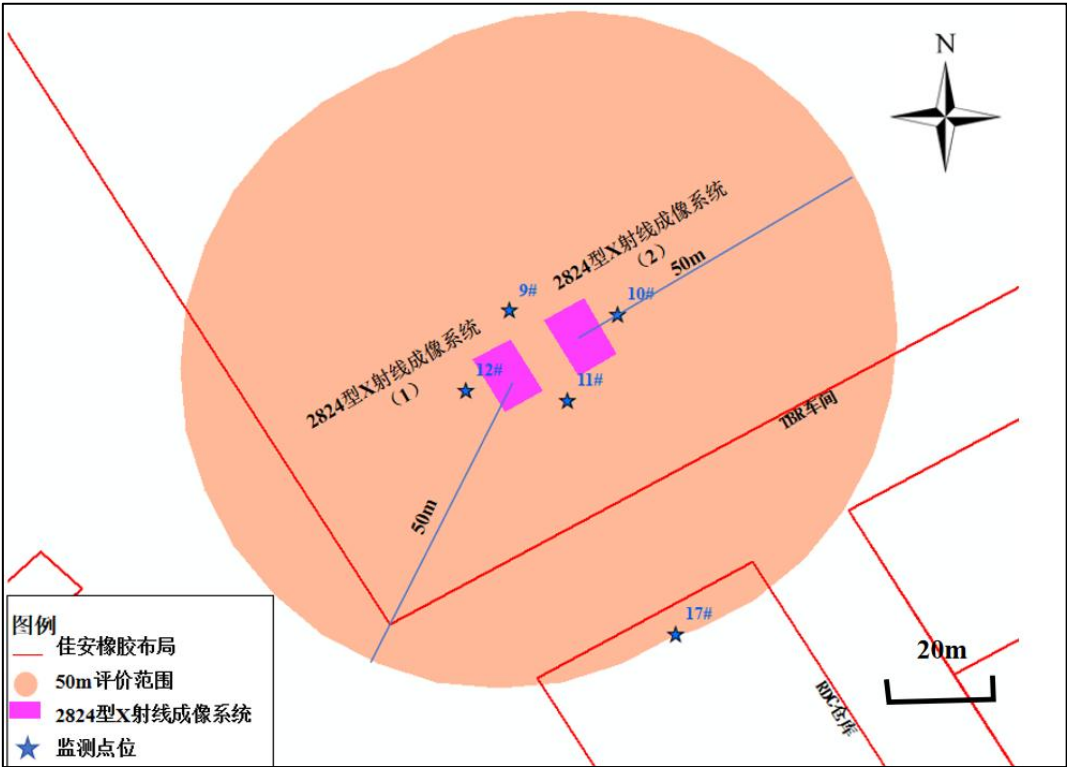


图 8.2-5 本项目监测点位示意图（5）

(3) 检测方法、检测仪器及检测条件

本次γ辐射剂量率检测方法依据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）以及《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）。

具体测量步骤如下：

- a) 开机预热；
- b) 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；
- c) 仪器读数稳定后，通常以约 10s 的间隔（可参考仪器说明书）读取/选取 10 个数据，记录在测量原始记录表中。

本次γ辐射剂量率检测仪器为环境级便携式 X、γ辐射周围剂量当量率仪，仪器参数见表 8.2.3。

表 8.2.3 γ辐射剂量率背景水平检测使用的仪器、参数及检测条件

仪器名称	环境级便携式 X、γ辐射周围剂量当量率仪
型号/规格	MR-3512(CR-YQ-160)
制造单位	微影（上海）仪器科技有限公司
仪器量程	10nSv/h~100μSv/h
辐射源	¹³⁷ Cs
相对固有误差	不超过±15%
校准因子	0.90
能量响应范围	20keV~7MeV
量值溯源方式	检定
检定/校准单位	北京市计量检测科学研究院
检定/校准证书编号	DD25J-CA100506
检定/校准有效期至	2026 年 9 月 10 日
检测工况	天气晴，温度 32℃，湿度 57% RH

8.3 质量保证

监测时质量保证措施如下

- （1）监测单位长润安测科技有限公司，公司已通过资质认定，CMA 编号 213003100448；
- （2）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；
- （3）监测仪器于 2025 年 9 月 11 日通过北京市计量检测科学研究院，证书编号 DD25J-CA100506，检定有效期一年，监测期间监测仪器处于有效期内；

(4) 测量前、后均检查仪器的工作状态良好；

(5) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗；

(6) 监测现场由专业人员按照操作规程操作监测仪器，并认真做好记录；

(7) 检测报告严格实行三级审核制度，经报告编制人、审核人、签发人审核签字后报出。

8.4 监测结果及评价

监测结果详见表 8.2.2，检测报告见附件九。本次监测各点位 γ 辐射剂量率背景水平在 50.5~98.0nGy/h 之间，均值为 73.5nGy/h。参照《中国环境天然放射性水平》（2015 年），福建省原野天然 γ 辐射剂量率范围为 25.9~334.3nGy/h，道路为 39.4~399.1nGy/h。综上，本项目拟建场址及周边环境 γ 辐射水平处于正常天然本底涨落范围内，未发现异常高值点。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1X 射线实时成像检测系统

9.1.1.1 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机

(1) 设备组成

①操作台

操作台上安装有12寸人机界面、27寸高分辨率显示器、用于观察探伤室内部情况的监视器、计算机、X射线控制器以及操作按钮，尺寸：长2000mm×宽860mm×高1385mm。

②射线防护探伤室

探伤室由钢—铅—钢复合结构的模块化平板焊接而成。X射线管在最大功率运行时，距探伤室外表面100mm处测得的辐射泄漏量小于1μSv/h。

探伤室正面设有供工件进出的防护门，背面还有一个平开式的维修防护门。室内装有摄像头和照明系统，方便辐射工作人员在轮胎检测过程中实时观察设备运行情况。探伤室顶部装有两盏警示灯，分别用于指示射线预警状态和射线开启状态。

③轮胎规格识别系统

轮胎规格识别系统将测得的轮胎尺寸数据传送给系统控制部分，控制部分根据该数据自动调用对应的运行程序。该识别系统安装在输送带入口处，能够在轮胎进入检测工位之前获取其尺寸信息，并据此选择相应的运动定位程序。

④轮胎输送翻转装置

轮胎输送系统位于探伤室前方，由可调速的交流电机驱动。正对探伤室工件防护门的传动滚筒上装有万向轮，使轮胎在定中心过程中能够向任意方向自由移动。

轮胎翻转装置也属于输送系统的一部分。当轮胎经输送线运至万向轮位置时，翻转装置中的夹紧机构启动，将轮胎固定在装置内。轮胎检测完成后，翻转装置将其从探伤室送回输送线，再由输送线将轮胎送出。

⑤轮胎运动检测装置

轮胎由运动检测装置的撑胎杆接收后，机座移回探伤室内，同时扩胎杆将轮胎撑开。随后机座移至检测工位，使轮胎中心线与 U 形探测器的中心对齐。待 U 形探测器和 X 射线管就位后，扩胎杆带动轮胎旋转，开始检测，检测图像实时显示在高清显示器上。

检测完成后，机座移出探伤室，将轮胎送出。

⑥射线管及探测器运动系统

探测器运动系统沿垂直方向升降。检测时，轮胎到达检测工位后，探测器向下移动至贴近轮胎的检测点位；与此同时，X射线管运动机构将其移至程序设定的位置，使射线管位于轮胎内侧（即两胎圈之间）。在装卸轮胎过程中，探测器系统向上提升至安全位置。系统会根据轮胎型号自动调用相应的定位程序。

⑦电控柜

电控柜安放在操作间内部。电控柜内安装了所有必需的元器件如主开关，伺服电机控制器等。电控柜带空调，外形尺寸(包含外部空调)：长 1460mm×宽 700mm×高 2300mm。

⑧X 射线系统

本设备射线系统主要由四部分组成：射线管最大电压 100kV，最大功率 300W，射线幅角为 $6^{\circ} \times 280^{\circ}$ ，焦点尺寸为 $0.5 \times 1.5\text{mm}$ ；高压发生器与射线管配合完成 X 射线的产生与控制，控制器位于操作台上便于辐射工作人员监控；此外，系统配备 1.5kW 大功率水冷循环机，用于对射线管及高压发生器进行强制水冷，确保系统长时间稳定运行。

⑨图像系统

本设备图像系统硬件主要由计算机、27 寸高分辨率显示器及 U 形探测器（即成像板，安装于探伤室内）组成，其中计算机与显示器均置于操作台上，便于辐射工作人员实时观察与操作。软件系统包含图像采集、连续显示、存储及图像处理等核心功能，并配备多种辅助工具软件。

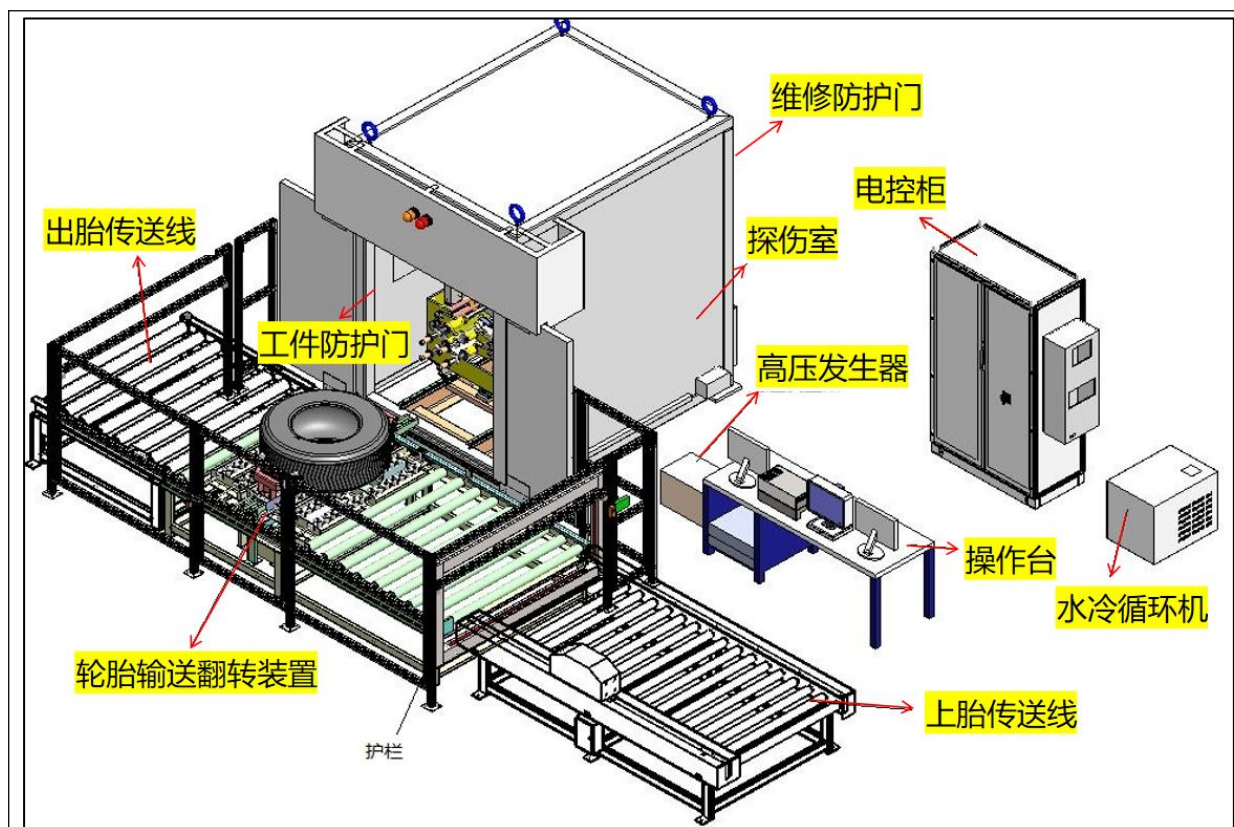
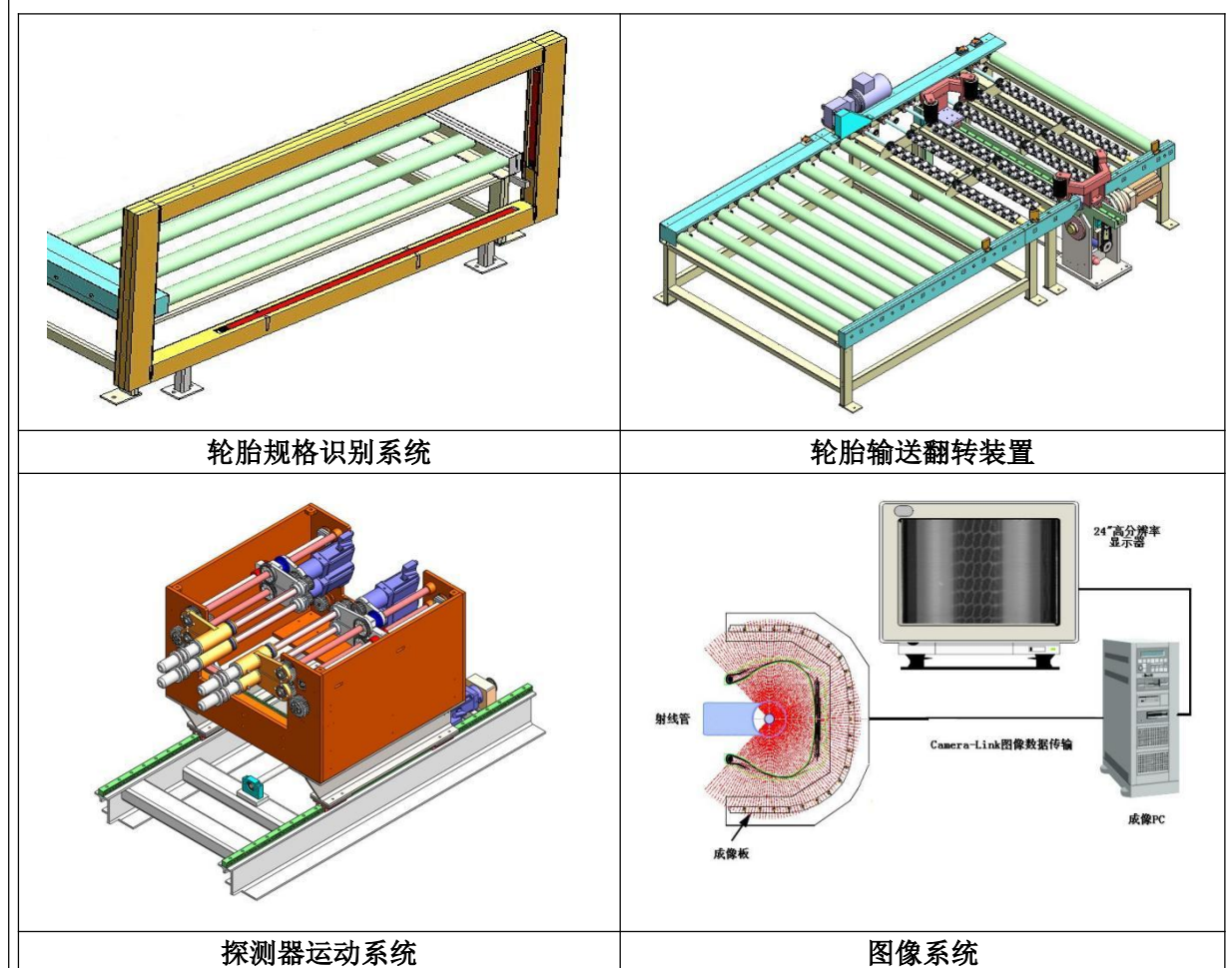


图 9.1-1 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机示意图



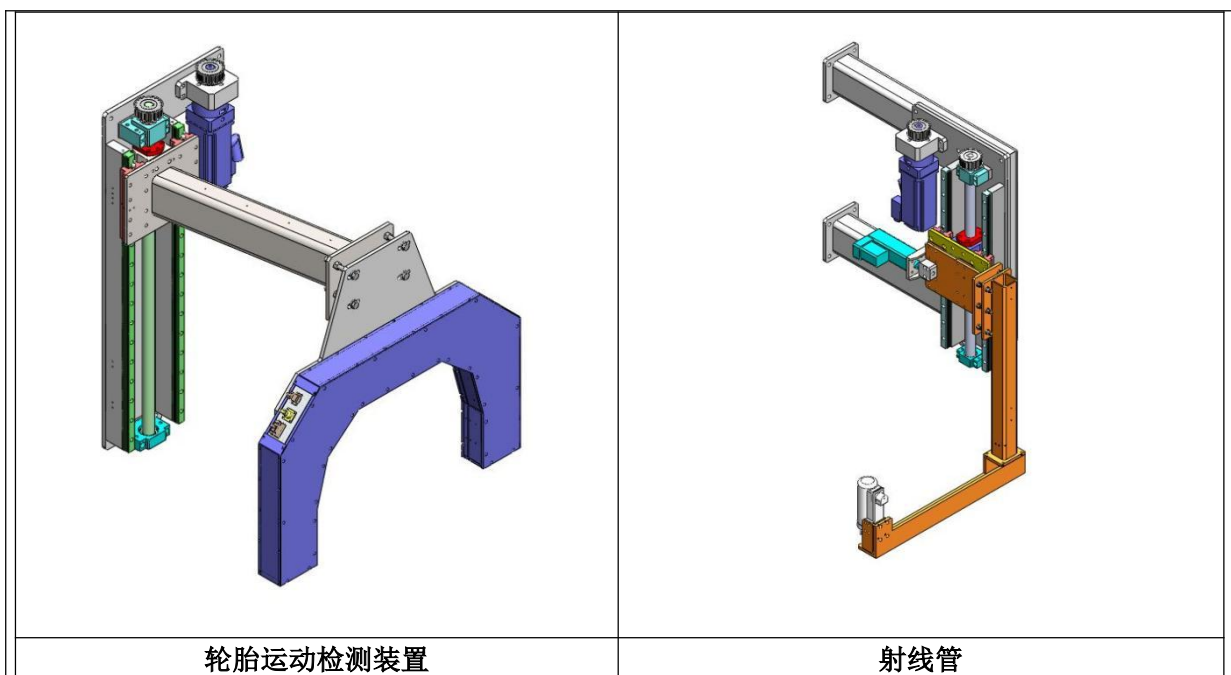


图 9.1-2 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机设备组成示意图

(2) 工作原理

X 射线实时成像检测系统是新一代的无损检测设备，以实时成像的技术，取代传统的拍片方式。该检测系统将光电转换技术和计算机数字图像处理技术相结合，通过 X 射线管产生的 X 射线透过被检测物体后衰减减弱规律，利用 X 射线束穿过被检工件被吸收、散射、透射特性，一旦工件局部区域存在缺陷或结构差异，将使不同部位透射强度不同，再利用图像增强方法把由探测器接收到透射线强度分布图像转换为视频图像，经计算机数字化图像处理，将检测图像直接显示在显示器屏幕上，可显示出材料内部的缺陷性质、大小、位置等信息，按照有关标准对检测结果进行缺陷等级评定，从而达到无损检测目的。

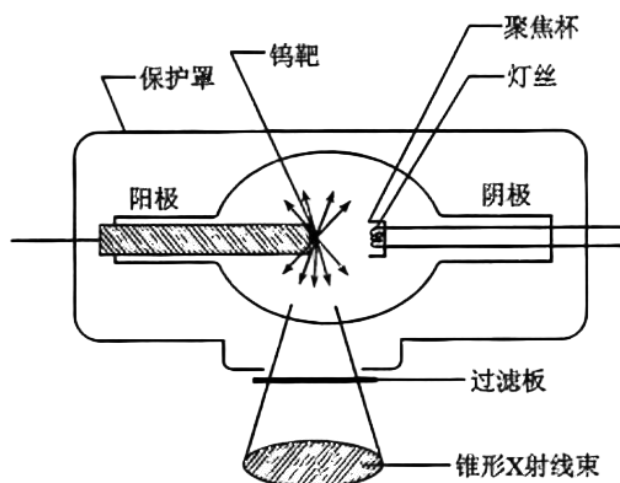


图 9.1-3 典型的 X 射线管结构图

SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机专用于半钢子午线轮胎的 X 射线无损检测。该设备为单工位独立检测系统，采用模块化设计。系统配备程序化逻辑控制，可自动识别不同规格的轮胎，并调用对应的检测程序。检测时，X 射线穿透轮胎，由探测器接收成像，轮胎内部结构（如胎体帘布、带束层、胎圈等）的实时图像显示在高分辨率显示器上，供操作人员判断轮胎是否存在缺陷。

（3）工作流程及产污节点

①开机前准备：

作业前，应戴好劳保防护用品以及个人剂量计，女员工必须盘好头发、佩戴好发套。设备开机前，应检查设备各安全装置（急停开关、门-机联锁装置、防护网、防护罩、X 射线成像系统光幕开关、固定式在线辐射监测报警仪等）；有异常时，禁止使用并开单维修。

②设备开机：

工作人员对设备周围情况进行巡视，检查设备情况，接通电源，设备组件开始启动、自检，打开控制软件；工作人员插入并转动钥匙开关，设备启动。

③轮胎检测及图像采集

轮胎由输送系统送至检测工位前的输送带上时，轮胎规格识别系统自动检测轮胎规格，并将数据传送至控制器。控制器根据该数据调用对应的运行程序。

轮胎输送翻转装置将轮胎夹持并从水平位置翻转至垂直位置，对准探伤室外伸出的扩胎杆（装载位置）。扩胎杆撑住轮胎，将轮胎移入探伤室内的检测工位，同时进行扩胎。探伤室工件防护门关闭后，系统启动预设检测程序。

程序中，X 射线管运动机构与探测器运动系统按设定参数自动运动至检测位置：探测器下行至贴近轮胎的检测位置，X 射线管移至轮胎内侧（两胎圈之间）。随后扩胎杆带动轮胎旋转，开始检测。U 形探测器接收 X 射线荧光图像，经模数转换和调制解调处理后，在操作台的 27 寸高分辨率显示器上生成实时数字图像（全程无需胶片）。操作人员通过观察显示器上的滚动图像进行目视检查，发现可疑缺陷时可随时暂停图像滚动进行确认，据此判定轮胎是否合格。单次射线曝光时间约为 8 秒。

检测完成后，扩胎杆将轮胎从探伤室送回输送翻转装置，翻转装置将轮胎返还至输送线，由输送线将轮胎送出。若操作人员判定轮胎不合格，则按下不合格品标记按钮，轮胎经输送线自动分流至不合格品通道，进入人工复检区进行进一步检查；若判定合格，

轮胎则继续沿主输送线进入下一道工序。

污染物：本工序污染物主要为检测瞬时产生的 X 射线、空气电离生成的少量臭氧及氮氧化物。X 射线依靠密闭探伤室屏蔽阻隔；废气随防护门日常开合自然扩散消散。

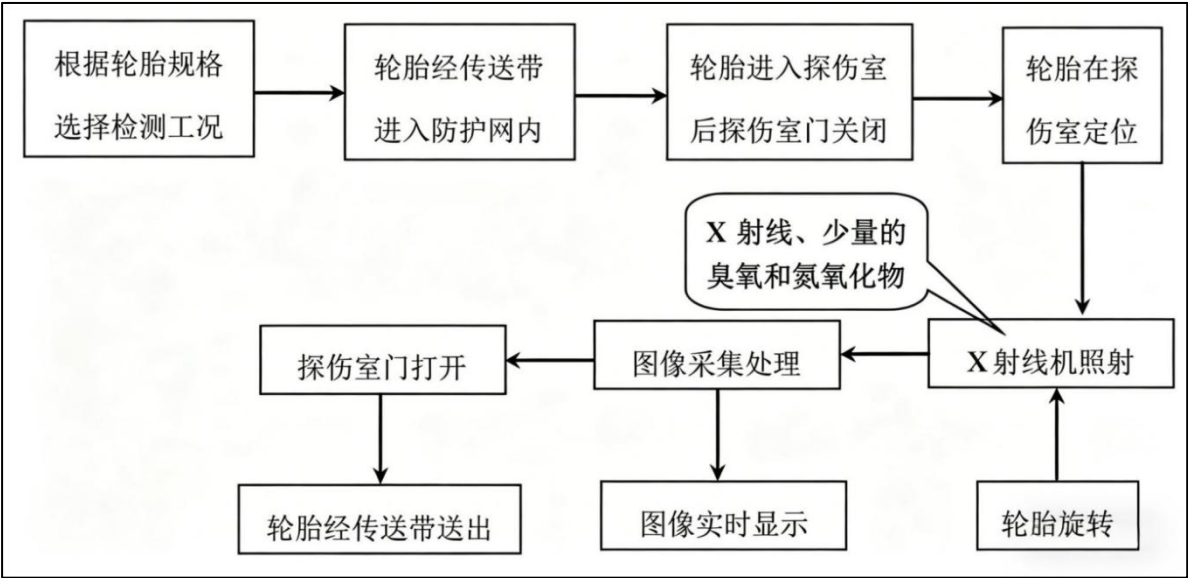


图 9.1-4 射线轮胎检测系统工作流程示意图

(4) 工作负荷

根据建设单位提供的资料，SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机配备 3 名专职辐射工作人员，全年运行约 250 天。

SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机全天 24 小时运行，每日最多检测 2200 条轮胎，每条轮胎曝光时间约 8 秒，设备每年最多训机 4 次，每次训机 30min，全年射线曝光时间总计约 1230 小时。3 名工作人员轮流操作，每人年受照时间约为 410 小时。SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机曝光时间见表 9.1.1。

表 9.1.1 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机曝光时间表

项目	设备型号	SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机
单个工件最大曝光时间（s）		8
日最大检测量（个）		2200
年最大检测量（个）		550000
训机曝光时间（h）		2
年累计最长曝光时间（h）		1230
辐射工作人员全年工作时间（h）		2000
辐射工作人员全年受照时间（h）		410

9.1.1.2 2824 型 X 射线成像系统

(1) 设备组成

①安全门

安全门包括 1#2#3#4#滑动安全门，检测室主门，入胎仓和出胎仓检查门。滑动门主要用于在检测过程中防止 X 射线辐射泄漏。主门和检查门用于方便操作、维修及检查工作，正常工作状态下应处于关闭状态。

②喂胎器

喂胎器是将轮胎从 2#或 3#输送辊道接取传送至检测工位，并在轮胎完成检测后送至相应输送辊道的装置。

③操作器

轮胎在操作器上被夹持并扩展，轮胎以被控速度旋转，以便 X 光管移动到轮胎的中心位置，更好地检查轮胎。一旦轮胎的检测结束，轮胎将释放，X 光管移回到初始位置。

④X 光发生系统

X 光发生系统包括 X 光管、高压电缆、高压发生器、MP1 控制器及冷却系统，主要作用是通过 X 光管产生 X 光。

⑤X 光成像系统

X 光成像系统包括线性探测器装置，显示打印装置，由线性探测器检测的两胎侧和胎体信号分别送至三台电脑中进行处理并由监视器显示出来，供辐射工作人员观察和判断优劣，对有缺陷的部分可通过按操作台上的按钮进行打印并在另一台电脑中保存起来，以便分析对策

⑥电气控制系统

电气控制系统通过电磁阀切换控制气源，使气缸活塞往复运动，实现对进出门的升降、轮胎定中臂的伸缩、辊筒运输带的翻转、送料小车的进退与升降，以及 X 光管的伸缩和轮胎扩胎杆的升降等动作的控制。

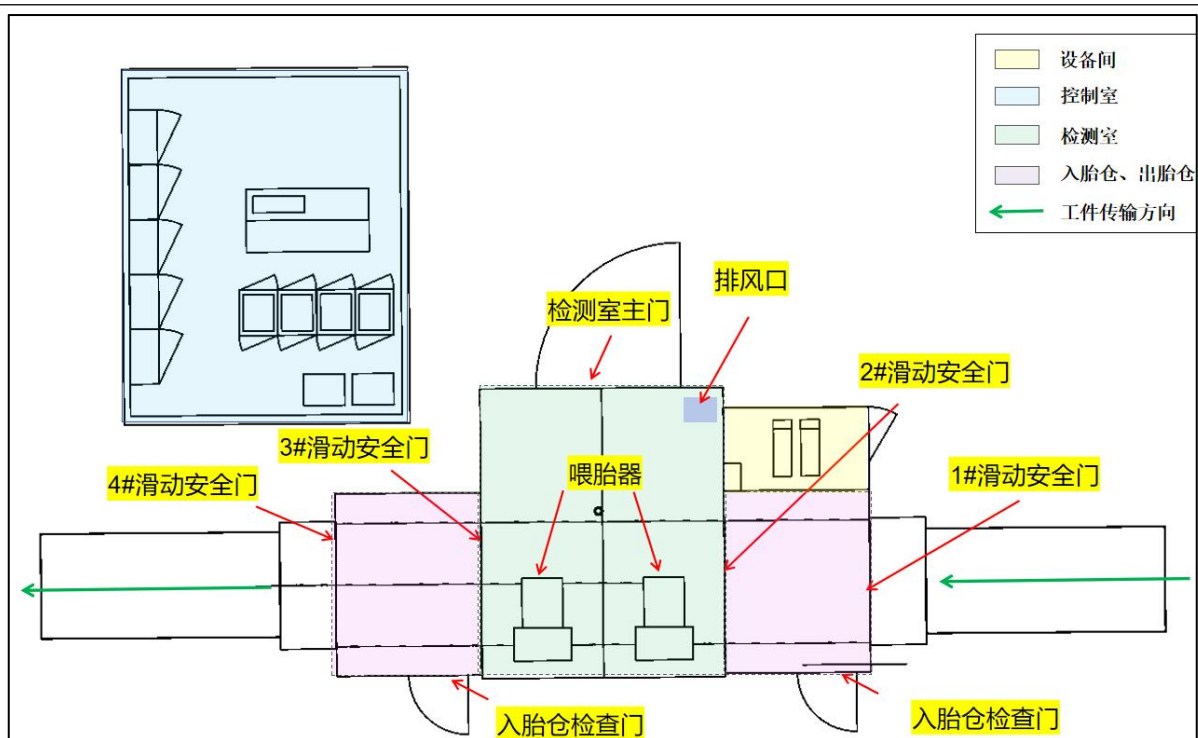


图 9.1-5 2824 型 X 射线成像系统平面结构图（1）

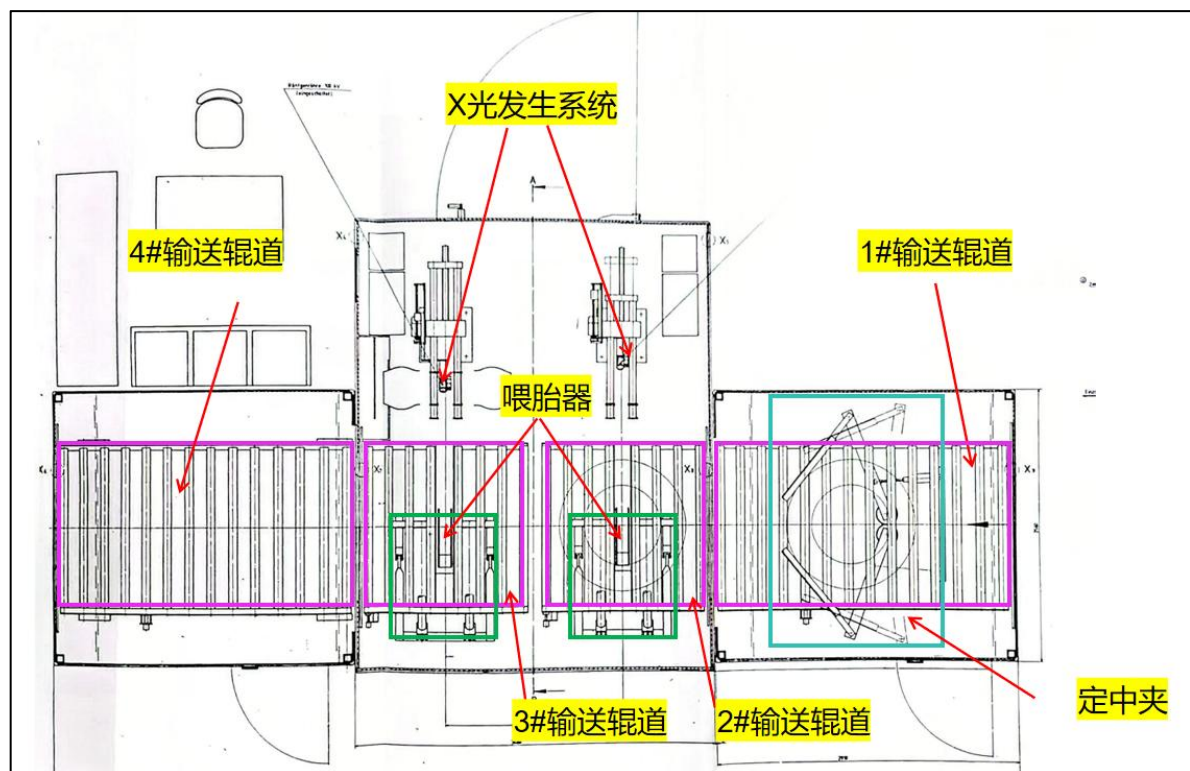


图 9.1-6 2824 型 X 射线成像系统平面结构图（2）

（2）工作原理

X 光管经高压发生器加载电压后产生 X 射线，X 光二极管线由直线排列的光敏二极管组成（每条线有 1024 个光敏二极管），其表面含有荧光材料，在 X 光线照射下，其

发光被光敏二极管接收，通过预处理器读出光敏二极管上的电压，再通过转换器将模拟信号转换成数字信号并送至计算机，在显示器上显示轮胎图像，可按打印按钮打印有缺陷的轮胎图片，同时打印的轮胎图片以 BMP 的格式储存在计算机里。

(3) 工作流程及产污节点

①开机前准备：

作业前，应戴好劳保防护用品以及个人剂量计，女员工必须盘好头发、佩戴好发套。设备开机前，应检查设备各安全装置（急停开关、门-机联锁装置、防护网、防护罩、X 射线成像系统光幕开关、固定式在线辐射监测报警仪等）；有异常时，禁止使用并开单维修。

②设备开机：

工作人员对设备周围情况进行巡视，检查设备情况，接通电源，设备组件开始启动、自检，打开控制软件；工作人员插入并转动钥匙开关，设备启动。

③轮胎输送和检测：

双工位交替式轮胎 X 光无损检测生产线作业流程，采用两条轮胎（1#、2#）错峰并行作业模式，配套 4 段输送辊道（1#入胎辊道、2#/3#检测辊道、4#出胎辊道）与 4 道滑动安全门实现隔离联锁，核心分为 1#轮胎主线、2#轮胎并行支线两套循环工序，实现连续不间断检测。

一、第 1 号轮胎首轮作业流程

a.起始：送入**第 1 号轮胎**，1#滑动安全门开启；

b.入仓：1 号轮胎进入入胎仓，停靠在**1#输送辊道**，定中夹将轮胎夹至辊道中心；随后 1#滑动安全门关闭，2#滑动安全门开启；

c.进检测室：定中夹松开，**1#输送辊道**开启，1 号轮胎转运至检测室，停靠在**2#输送辊道**；随后 2#滑动安全门关闭，1#滑动安全门开启（此时可同步送入 2 号轮胎）；

d.X 光检测工位作业：2#输送辊道翻转至垂直姿态，喂胎器接取 1 号轮胎送至检测工位；机械操作器夹持、撑开轮胎，轮胎按设定转速受控旋转，X 射线成像系统完成内部扫描检测；

e.检测完成复位：喂胎器将 1 号轮胎送回 2#辊道，辊道恢复水平状态；3#滑动安全门开启；

f.出仓转运：1 号轮胎进入出胎仓，停靠**4#输送辊道**；3#滑动安全门关闭，4#滑动

安全门开启；

g.下料循环：1 号轮胎输送至下一工序，4#滑动安全门关闭；流程闭环，等待下一条新轮胎进入 1#辊道重复循环。

二、第 2 号轮胎并行作业流程（与 1 号轮胎检测同步错开运行）

在 1 号轮胎进入 2#辊道、2#安全门关闭、1#安全门重新开启后，启动 2 号轮胎进料：

a.入仓：**第 2 号轮胎**进入入胎仓，停靠 1#输送辊道，定中夹将轮胎夹至辊道中心；1#滑动安全门关闭，2#滑动安全门开启；

b.进检测室：定中夹松开，**1#输送辊道**开启，2 号轮胎转运至检测室，停靠 **3#输送辊道**；2#滑动安全门关闭，1#滑动安全门开启；

c.X 光检测工位作业：3#输送辊道翻转为垂直状态，喂胎器接取 2 号轮胎至检测工位；操作器夹持拓展轮胎，轮胎匀速旋转，X 光扫描完成内部缺陷检测；

d.检测完成复位：喂胎器将 2 号轮胎送回 3#辊道，辊道恢复水平；3#滑动安全门开启；

e.出仓转运：2 号轮胎进入出胎仓，停靠 4#输送辊道；3#滑动安全门关闭，4#滑动安全门开启；

f.下料循环：2 号轮胎输送至下一工序，4#滑动安全门关闭；流程闭环，等待新轮胎进料。

具体流程详见图 9.1-7。

污染物：本工序污染物主要为检测瞬时产生的 X 射线、空气电离生成的少量臭氧及氮氧化物。X 射线依靠密闭探伤室屏蔽阻隔；2824 型 X 射线成像系统设有机机械通风设施，换气次数不少于 3 次/h，臭氧和氮氧化物可经过通风设施排至厂房内，厂房内设有通风系统，通风系统处于常开状态，臭氧和氮氧化物经车间通风系统可排至外界环境中。

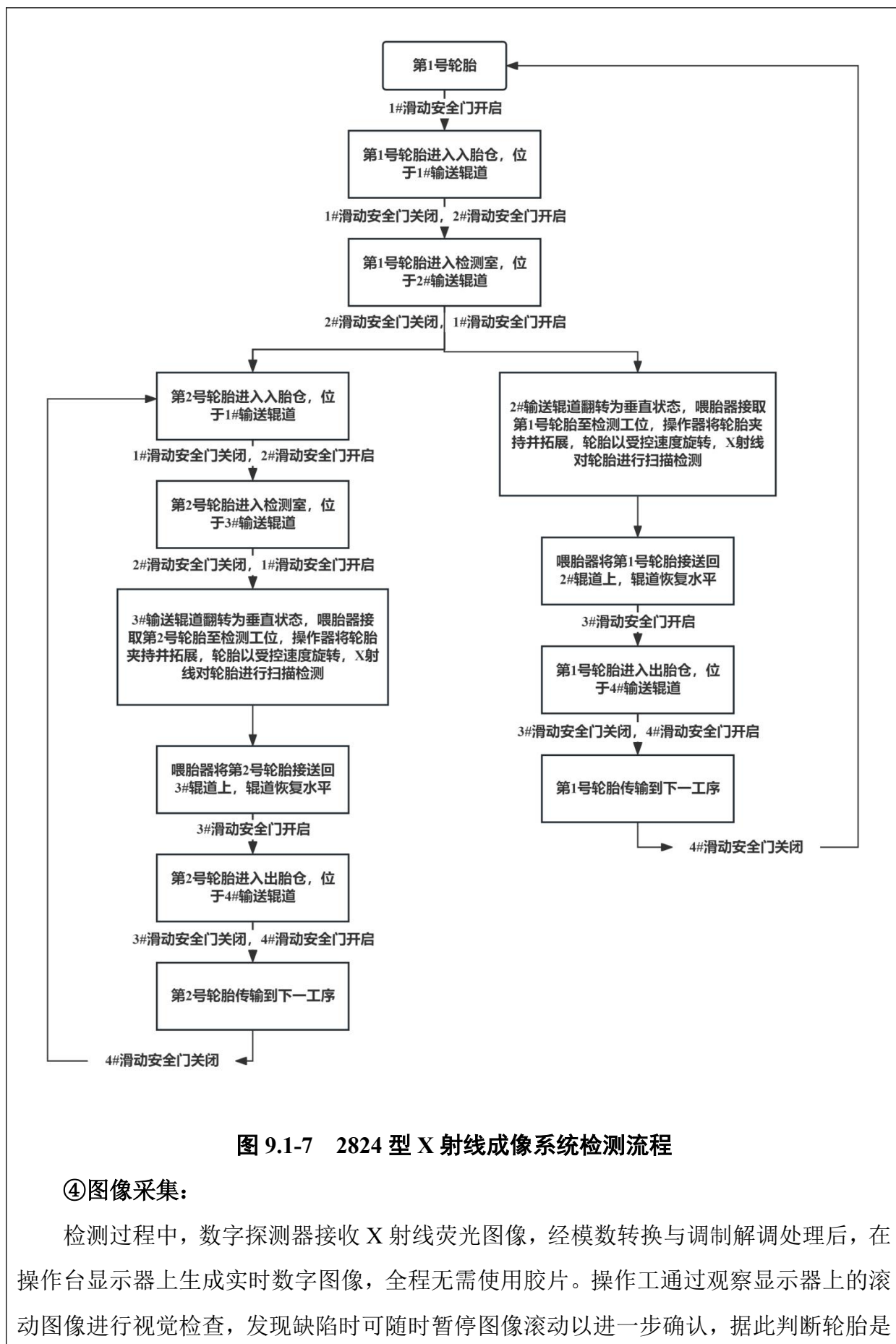


图 9.1-7 2824 型 X 射线成像系统检测流程

④图像采集：

检测过程中，数字探测器接收 X 射线荧光图像，经模数转换与调制解调处理后，在操作台显示器上生成实时数字图像，全程无需使用胶片。操作工通过观察显示器上的滚动图像进行视觉检查，发现缺陷时可随时暂停图像滚动以进一步确认，据此判断轮胎是

否合格。

(4) 工作负荷

根据建设单位提供的资料，本项目共配置 2 台 2824 型 X 射线成像系统，每台设备配备 3 名专职辐射工作人员，全年计划运行约 250 天。

该设备全天 24 小时连续运行，单台每日最大检测量为 1250 条轮胎，每条轮胎曝光时间约 9 秒；设备每年最多训机 4 次，每次训机 30 分钟。据此核算，单台设备年累计曝光时间（含训机）约为 784 小时，由 3 名工作人员轮流操作，每人年受照时间约为 262 小时。

表 9.1.2 2824 型 X 射线成像系统曝光时间表

项目	设备型号	2824 型 X 射线成像系统
单个工件最大曝光时间（s）		9
日最大检测量（个）		1250
设备年运行天数（天）		250
年最大检测量（个）		312500
训机曝光时间（h）		2
年累计最长曝光时间（h）		784
辐射工作人员全年工作时间（h）		2000
辐射工作人员全年受照时间（h）		262

9.1.2 自屏蔽加速器

(1) 设备组成

CNE-500 型自屏蔽加速器为自屏蔽式设备，二层结构，其中一层为加速器辐照室，包括主控制室、束下生产线等；二层为加速器仓，包括直流高压电源部、加速装置部等，辐照室顶上仅有加速器加速罐。加速器主要由物料进出口仓（预备室）、加速器仓、辐照室（自屏蔽）组成，并配备冷却水循环系统、臭氧排风机、冷却风机、SF6 气体充排气装置等。

①电子束辐照装置主体：

电子束辐照装置主体是加速器的核心单元，包含直流高压电源、加速装置、扫描管及真空排气装置、控制装置，同时配备相应附属件与备品，依托控制系统实现设备各项运行参数调控。

②附带配套设备：

装置运行辅助配套设施，包含冷却水循环系统、臭氧排风机、冷却风机、SF₆ 气体充排气装置，以及辐射在线监测、电子束遮挡与通断组件，分别实现设备散热、废气收集、泄漏监测、束流通断防护等辅助功能。

③X 线屏蔽设备：

专用辐射防护设施，采用一体化自屏蔽结构，隔离装置运行产生的散射线，避免辐射外泄，保障现场人员安全。

④物料搬送设备：

配套输送系统，可与装置控制系统联动，根据辐照工艺速度同步调节输送速率，实现待加工物料连续进出辐照区域，完成自动化辐照作业。

加速器构成简图见图 9.1-8，平面结构见图 9.1-9～图 9.1-12。

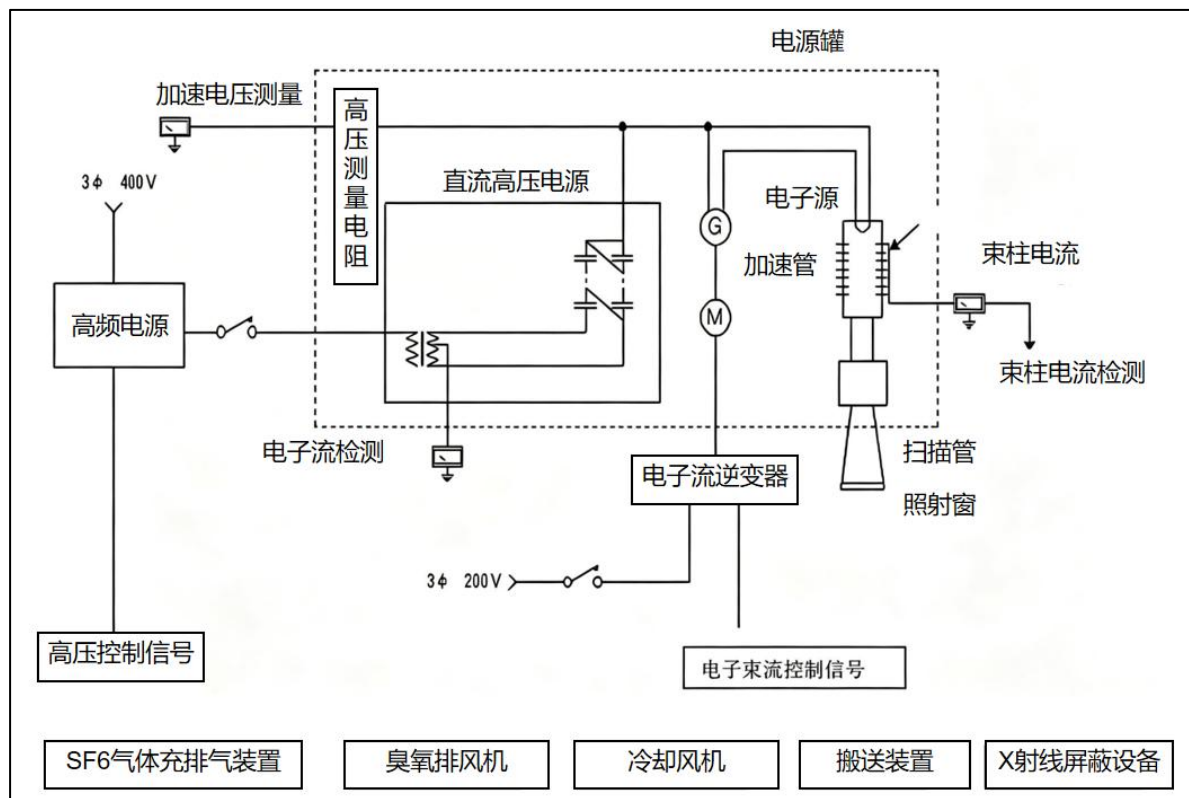


图 9.1-8 辐射装置构成简图

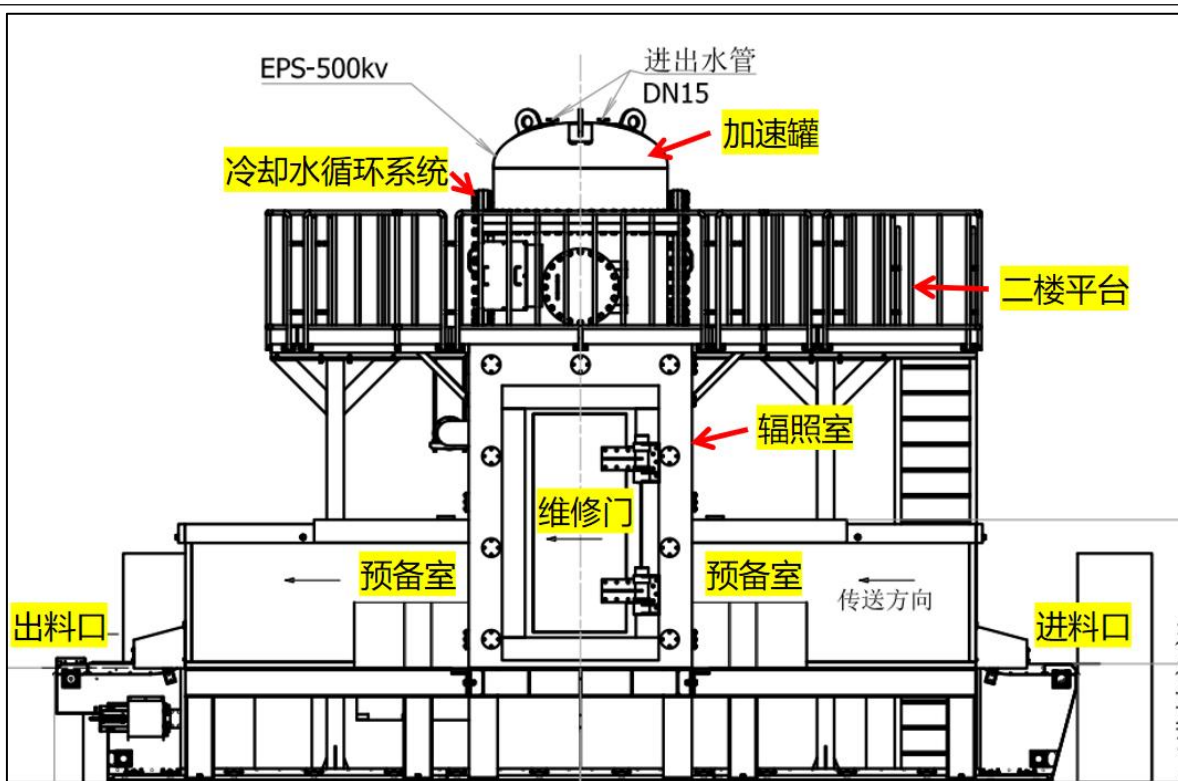


图 9.1-9 自屏蔽加速器（全钢）平面结构图（正视）

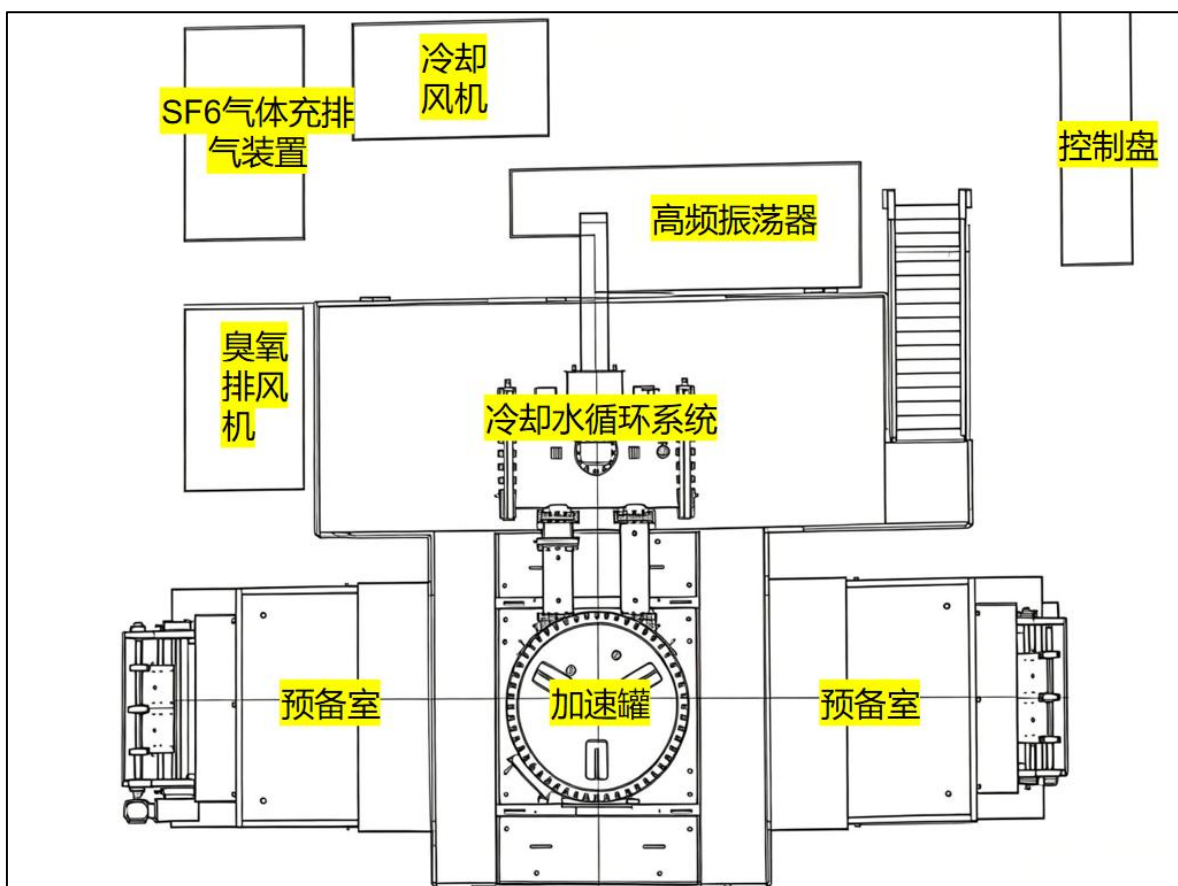


图 9.1-10 自屏蔽加速器（全钢）平面结构图（俯视）

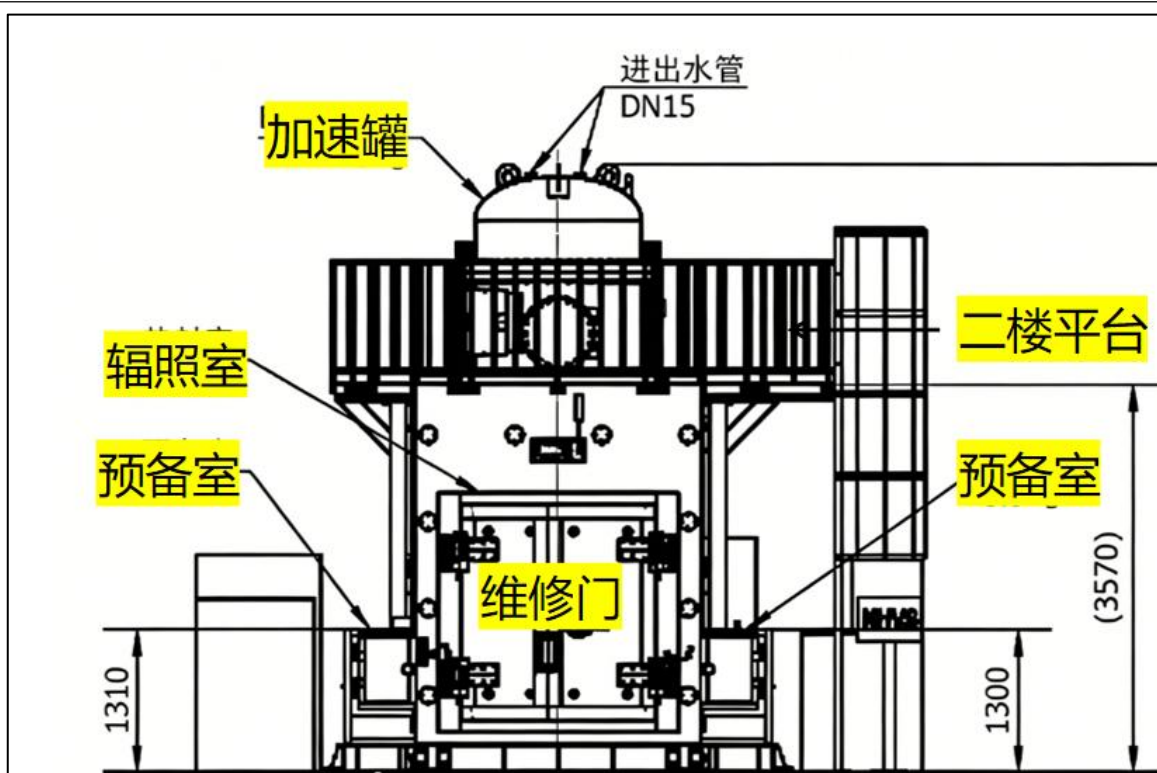


图 9.1-11 自屏蔽加速器（半钢）平面结构图（正视）

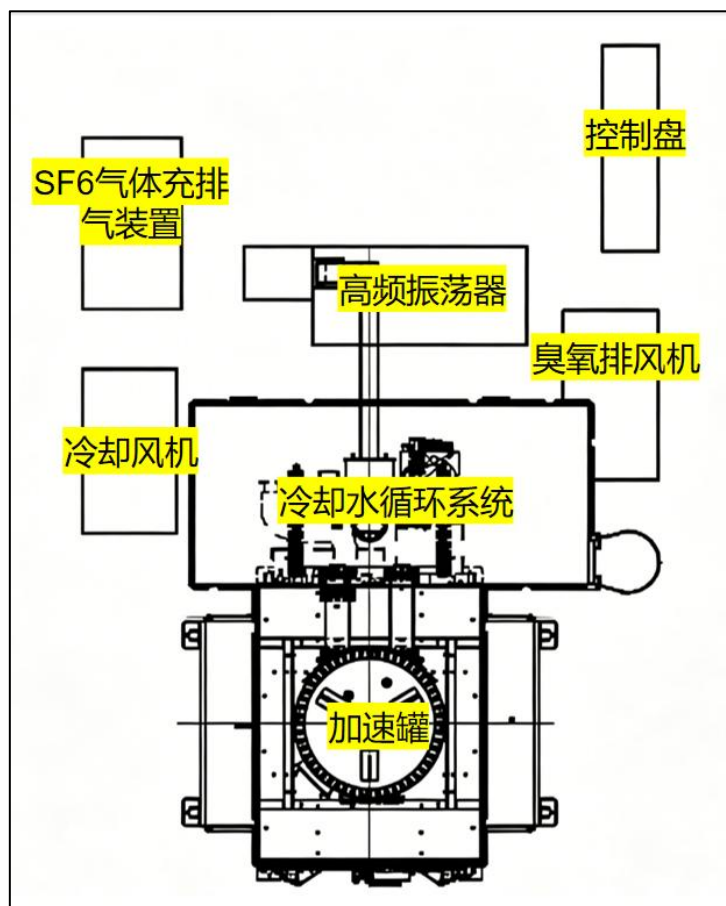


图 9.1-12 自屏蔽加速器（半钢）平面结构图（俯视）

本项目涉及 2 套 CNE-500 型电子加速器辐照系统，厂家为日新驰威辐照技术（上海）有限公司，具体见表 9.1.3。

表 9.1.3 本项目自屏蔽加速器参数一览表

项目	指标及参数	
型号	CNE-500（全钢）	CNE-500（半钢）
应用工序	全钢内衬	半钢纤维压延
电子束能量	0.5MeV	0.5MeV
额定电子束流	75mA	100mA
电子束扫描宽度	120cm	160cm（80~160cm 可变）
能量不稳定性	$\leq \pm 2\%$ （加速电压上升和下降时除外）	$\leq \pm 2\%$ （加速电压上升和下降时除外）
束流不稳定性	$\leq \pm 2\%$ （束流上升、下降时除外）	$\leq \pm 2\%$ （束流上升、下降时除外）
扫描不均匀度	$< \pm 5\%$	$< \pm 5\%$
主射束方向	向下	向下
加速器工作方式	自动控制	自动控制

（2）工作原理

用微波电场对电子进行加速的装置统称电子直线加速器，通常有行波加速和驻波加速两种方式，本装置中采用的是行波加速的方式。从电子源灯丝出来的电子束流输出，依靠灯丝的加热，经速调管放大的微波功率耦合到被称为“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，当电子速度达到接近光速时，从微波功率中获取的能量已达到相当的程度，就可以穿过钛窗进入空气中，能穿透空气或物体到相当的深度；原本直径很小的点状电子束，经过扫描盒内偏转线圈产生的交变磁场作用不断改变运动方向，高速往复摆动扫描，扩展形成均匀的带状电子束，对轮胎橡胶半成品进行辐照处理。高能电子束作用于橡胶高分子材料时，会激发产生大量活性自由基，促使橡胶分子链发生交联反应，在常温下形成稳定的三维网状结构，实现橡胶预硫化改性，能够有效提升轮胎胶料的尺寸稳定性、拉伸强度与黏合性能，避免后续成型、硫化过程中出现胶料滑移、变形等缺陷，改善轮胎成品的耐磨、抗疲劳等力学性能。其原理示意图见图 9.1-13。

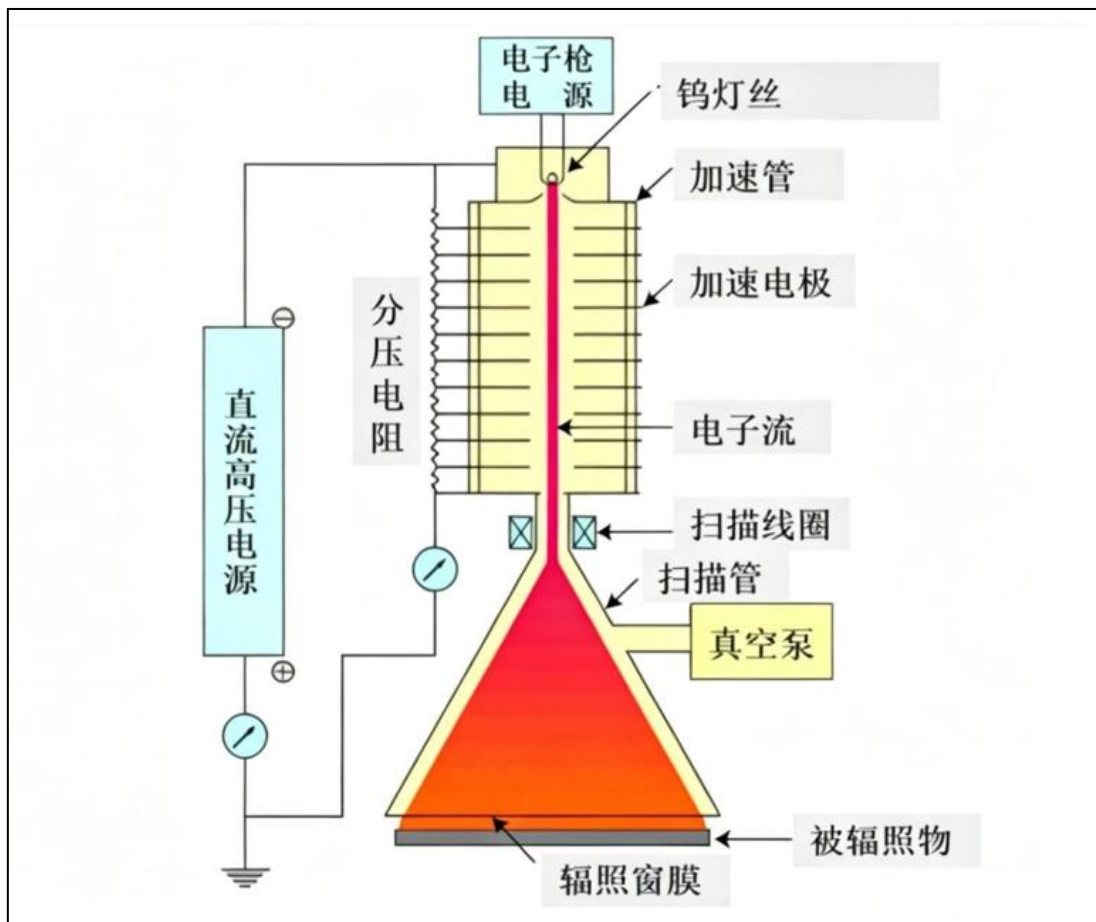


图 9.1-13 自屏蔽加速器工作原理示意图

(3) 工艺流程及产污节点

本项目依托行波电子直线加速器发射高能电子束，对轮胎纤维帘布层开展辐照交联改性处理，进出料采用多级屏蔽结构设计，可有效阻挡散射射线外溢，保障辐射安全，具体工艺流程如下：

①进料输送

待辐照的轮胎纤维帘布层放置于连续式传送装置上，沿输送方向进入辐照机房进料侧预备室，经由预备室进料侧预留孔洞、多级屏蔽挡板下部缝隙逐级穿行进入辐照室内。多级挡板构成辐射迷道，通过射线多次散射衰减作用，防止辐照室内散射电离辐射向外泄漏，进料全程为自动化密闭输送，无人员直接进入辐照室内部。

②电子束辐照交联

帘布在辐照室内匀速行进，辐射工作人员在操作台通过加速器控制系统设定束流强度、扫描宽度、传输线速度、辐照剂量等工艺参数；高能电子束经偏转扫描形成均匀带状束垂直照射帘布表面，帘布表面覆胶在高能电子作用下发生自由基交联反应，橡胶分

子形成三维网状结构，完成纤维帘布材质改性，提升帘布与橡胶的粘接强度、半成品尺寸稳定性，避免轮胎成型过程胶料滑移变形。

污染物：本项目电子加速器能量低于 10MeV，其产生的韧致辐射光子能量不足以引发核反应，运行过程不会产生中子，设备、原料也不会被活化。加速器工作期间，高能电子束电离辐照室内空气会生成臭氧、氮氧化物，同时轮胎帘布表层橡胶受辐照发生轻微热分解，产生少量有机废气；上述废气通过辐照室配套的排风系统引至厂房外高空排放。臭氧在常温下可自行分解，经大气稀释扩散后对周边环境的影响较小。

③出料输送

完成辐照改性的纤维帘布继续由传送带输送，经出料侧预备室多级屏蔽挡板下部缝隙、出料侧孔洞离开辐照屏蔽区域，输送至下一轮胎加工工序。设备全程连续自动化运行，可根据生产需求启停、调节输送速度与辐照剂量，辐照工艺流程见图 9.1-14。

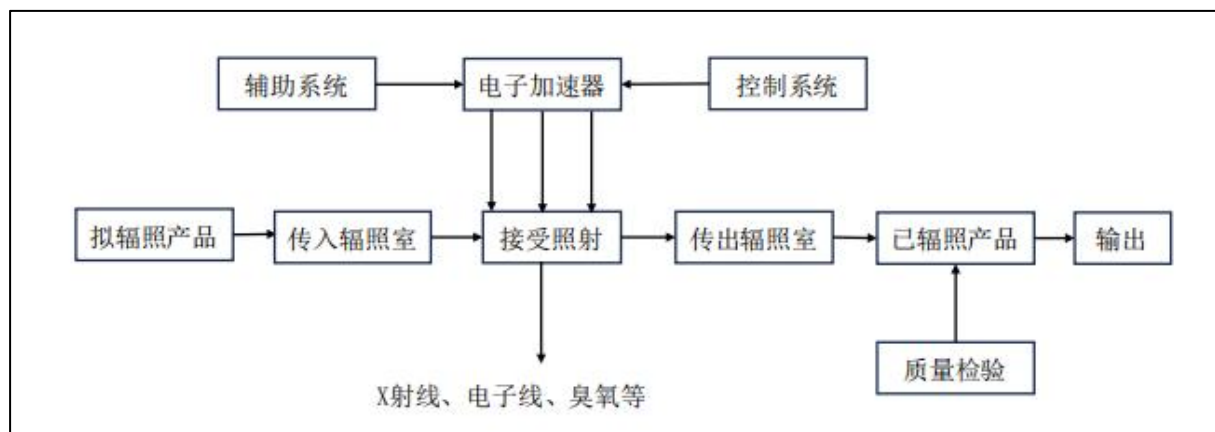


图 9.1-14 自屏蔽加速器工作流程及产污环节示意图

(4) 工作负荷

根据建设单位提供资料，本项目全钢内衬工序配置 1 台 CNE-500 型自屏蔽加速器，设备日均出束 16h，年运行 350 天，全年辐照装置出束时长为 5600h。本工序共配置 6 名专职辐射工作人员，实行 2 人一班、每班 8 小时的两班轮岗制度（3 组轮换，每天 2 组在岗、1 组休息）。经核算，每名工作人员年受照时长为 1870h。

本项目半钢纤维压延工序配套 1 台 CNE-500 型自屏蔽加速器，设备日均出束 16h，年运行 350 天，全年辐照装置出束时长为 5600h。本工序配置 6 名专职辐射工作人员，实行 2 人一班、每班 8 小时的两班轮岗制度（3 组轮换，每天 2 组在岗、1 组休息）。经核算，每名工作人员年受照时长为 1870h。

表 9.1.4 CNE-500 型自屏蔽加速器出束时间表

项目 \ 设备型号	CNE-500 型自屏蔽加速器(全钢)	CNE-500 型自屏蔽加速器(半钢)
设备日出束时间 (h)	16	16
设备年运行时间 (天)	350	350
年累计最长出束时间 (h)	5600	5600
辐射工作人员全年工作时间 (h)	1870	1870
辐射工作人员全年受照时间 (h)	1870	1870

9.2 污染源项描述

9.2.1 建设阶段的污染源项

本项目仅开展一体化辐射设备安装作业，建设规模较小，施工环境影响局限于福建佳安橡胶有限公司厂区内。施工阶段无放射性废物、放射性废水、放射性废气产生，仅产生设备外包装等少量包装类固废，同时伴随施工噪声、少量施工废水，经落实污染防治措施后，不会对周边环境造成较大不利影响。

(1) 噪声

本项目施工期噪声主要来自设备搬运、吊装就位及组装调试，包括构件摩擦、机械启停、金属碰撞及电动工具运转等瞬时声响。该噪声仅在安装阶段短暂存在，具有明显的临时性特征。随着设备安装全部完成，施工噪声将同步彻底消失，不会对周边声环境造成长期影响。

(2) 废水

施工期的生活污水可依托厂区现有化粪池和污水处理站收集处理。

(3) 固体废物

施工期固体废物主要有生活垃圾、设备包装废料等。对项目施工期间产生的施工废物料，可回收利用的部分应尽量予以回收，不可回收的部分统一交由有资质的单位处置。生活垃圾依托厂区现有生活垃圾收集设施，交由环卫部门处理。

9.2.2 运行阶段的污染源项

9.2.2.1 X 射线实时成像检测系统

(1) 正常工况

①辐射污染

X 射线实时成像检测系统在 X 射线管高压工作时产生 X 射线。正常工况下的污染途径包括，X 射线实时成像检测系统发射的初级 X 射线（有用线束）、初级 X 射线照射在被照工件上产生的散射射线以及 X 光检测系统的漏射射线，这些 X 射线穿过铅房屏蔽结构可能对辐射工作人员及周围公众产生外照射危害。

②废水

本项目 X 射线实时成像检测系统均不产生废水。

③非放射性有害气体

X 射线实时成像检测系统在照射过程中，除对周边环境产生辐射影响外，还会使空气电离，产生 O₃ 和 NO_x 等有害气体。

针对 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机，检测过程中工件防护门频繁启闭，该设备工作区域主要依靠自然扩散通风。2824 型 X 射线成像系统检测室则在其顶部西北角设有 1 处排风口，并配备机械排风装置，换气次数不低于 3 次/h。X 射线成像系统产生的废气先排入厂房内部，再经由厂房常开的整体通风系统排至室外环境。

④固体废物

本项目 X 射线实时成像检测系统均采用数字实时成像技术，不产生放射性固体废物及感光材料废物。

（2）非正常工况

①运行事故工况

本项目 X 射线实时成像检测系统运行过程中可能发生的事故工况见下表：

表 9.2.1 X 射线实时成像检测系统运行事故一览表

序号	事故工况	触发条件	可能后果
1	门-机联锁失效	防护门未完全关闭时出束，或运行中防护门被意外打开	X 射线泄漏至探伤室外，对周围人员造成意外照射
2	人员误入或误留	未确认探伤室内无人即启动设备，或检修时未切断电源	人员在探伤室内受到意外照射
3	联锁/报警系统故障	联锁装置或固定式监测仪失效，未及时预警	人员误入正在运行的探伤室而未被发现
4	防护门屏蔽破损	门体机械损坏或老化导致屏蔽能力下降	X 射线从破损部位泄漏，造成局部辐射水平超标
5	输送系统异常	轮胎输送翻转装置卡滞，防护门无	设备无法正常启动出束或需人工干

		法正常关闭	预，增加误照射风险																				
2824 型 X 射线成像系统为双工位交替式检测系统，除上述事故工况外，还存在滑动安全门联锁逻辑错误、双工位交替时序混乱、喂胎器/操作器运动异常、运行中人员误开入/出胎仓检查门等特有事故风险，均可能导致 X 射线泄漏至车间区域。 ②设备检修事故工况 本项目 X 光机设备的日常检查（安全装置功能检查、外观检查等）由辐射工作人员负责，发现问题后报备公司维修部门；故障维修及屏蔽部件更换由设备制造商（或其授权售后单位）负责。检修过程中可能发生的事故工况如下： 表 9.2.2 X 射线实时成像检测系统检修事故一览表 <table> <tr> <th>序号</th><th>检修阶段</th><th>事故工况</th><th>原因分析</th></tr> <tr> <td>1</td><td>检修前</td><td>未切断高压电源即打开防护门</td><td>检修人员未确认设备已断电、未执行“断电—挂牌”程序</td></tr> <tr> <td>2</td><td>检修中</td><td>误触启动按钮导致意外出束</td><td>操作台未挂“禁止合闸”警示牌，或钥匙开关未有效管控</td></tr> <tr> <td>3</td><td>检修后</td><td>联锁装置未正确复位即试机</td><td>检修完成后未逐项检查联锁功能</td></tr> <tr> <td>4</td><td>检修后</td><td>防护门/屏蔽体未恢复完好</td><td>拆装部件未按原样复原或紧固件遗漏</td></tr> </table> 防范措施：辐射工作人员在设备开机前须对安全装置进行例行检查，发现问题及时报修并暂停设备使用；检修作业前须严格执行“断电—挂牌—取钥”程序（主控钥匙由检修人员随身携带），操作台悬挂“设备检修、禁止操作”警示牌；检修完成后由辐射防护负责人逐项检查联锁装置、防护门、紧急停机按钮等安全设施的功能完整性，确认全部正常后方可恢复使用。 9.2.2.2 自屏蔽加速器 （1）正常工况 ①辐射影响 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，在横向扫描磁场的作用下，扫描扩展，成为均匀扫描宽度的电子束，利用电子束对产品进行辐照。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。此外，电子束打到				序号	检修阶段	事故工况	原因分析	1	检修前	未切断高压电源即打开防护门	检修人员未确认设备已断电、未执行“断电—挂牌”程序	2	检修中	误触启动按钮导致意外出束	操作台未挂“禁止合闸”警示牌，或钥匙开关未有效管控	3	检修后	联锁装置未正确复位即试机	检修完成后未逐项检查联锁功能	4	检修后	防护门/屏蔽体未恢复完好	拆装部件未按原样复原或紧固件遗漏
序号	检修阶段	事故工况	原因分析																				
1	检修前	未切断高压电源即打开防护门	检修人员未确认设备已断电、未执行“断电—挂牌”程序																				
2	检修中	误触启动按钮导致意外出束	操作台未挂“禁止合闸”警示牌，或钥匙开关未有效管控																				
3	检修后	联锁装置未正确复位即试机	检修完成后未逐项检查联锁功能																				
4	检修后	防护门/屏蔽体未恢复完好	拆装部件未按原样复原或紧固件遗漏																				

高原子序数物质时也会产生高能电子束有用线束辐射、泄漏辐射及散射辐射。由于 X 射线的贯穿能力极强，对周围环境造成辐射污染，但该 X 射线影响关机后即消失。加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 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，在加速器开机时间内，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。

②循环冷却水

加速器设备中设计有冷却水循环系统，这部分水可能含有微量的放射性核素。本项目自屏蔽加速器最大能量为 0.5MeV，因此活化物产生量极小，且冷却水中被活化而形成的放射性核素主要为 ^{15}O 、 ^{16}N ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，半衰期很短，只需放置一定时间其活度就可以衰减到较低的水平。系统为密闭内循环设计，正常运行无排放；检修前停机静置 1~2 天，该时段已远超上述核素的数百个半衰期，经理论计算，排放水中残余放射性活度远低于豁免水平。因此，本项目运行及检修过程均无放射性废水排放，对环境无辐射影响。

③有害气体

加速器开机运行时，电子束会电离空气中的氧气分子产生微量的 O_3 和 NO_x 等有害气体，在 NO_x 中以 NO_2 为主。它们是具有刺激性作用的非放射性有害气体。本项目加速器辐照室设有专门的动力通风系统，辐照室内共设置 1 个进风口和 1 个排风口，加速器下后方设置 1 台臭氧排气风机，排风量为 $6000\text{m}^3/\text{h}$ ，通过加速器自带的动力排气风机系统排出（由设备自带 S 型包铅排风管）辐照室，排风口连接管道直接将废气厂房外。 O_3 和 NO_x 在大气中自然分解速度较快，加之本项目辐照室已设置专用动力通风系统，废气经排风管道直接排出至室外环境，不会在室内积聚，对周边大气环境影响较小。

④固体废物

项目自屏蔽加速器工作过程不产生放射性固体废物。

（2）非正常工况

①运行事故工况

本项目自屏蔽加速器运行过程中可能发生的事故工况见下表：

表 9.2.3 自屏蔽加速器运行事故一览表

序号	事故工况	触发条件	可能后果
1	门-机联锁失效	防护门未完全关闭时出束，或运行中防护门被意外打开	X 射线泄漏至辐照室外，对周围人员造成意外照射

2	人员误入辐照室	联锁失效或人员强行闯入正在运行的辐照室	人员受到较大剂量 X 射线外照射
3	人员误上二层平台	联锁失效或人员违规攀爬至加速器钢桶附近	人员受到较强辐射照射
4	束下装置故障	传输系统偏离正常运行状态或停止运行，联锁未及时触发	物料堆积，增加人工干预需求，带来意外照射风险
5	通风系统故障	排风机故障停机，联锁未及时触发	辐照室内 O ₃ 和 NO _x 浓度持续升高

②设备检修事故工况

本项目自屏蔽加速器设备的日常检查（安全装置功能检查、运行参数记录、外观检查等）由辐射工作人员负责，发现问题后报备公司维修部门；故障维修及屏蔽部件更换由设备制造商（或其授权售后单位）负责。检修过程中可能发生的事故工况如下：

表 9.2.4 自屏蔽加速器检修事故一览表

序号	检修阶段	事故工况	原因分析
1	检修前	未切断高压电源即进入辐照室	检修人员未确认设备已断电、未执行“断电—挂牌”程序，或主控钥匙未由检修人员随身携带
2	检修前	通风时间不足即进入辐照室	未等待通风系统运行足够时间（≥5min），辐照室内 O ₃ 浓度仍高于限值
3	检修中	误触操作台启动按钮导致意外出束	操作台未挂“禁止合闸”警示牌，或钥匙开关未有效管控
4	检修后	联锁装置未正确复位即恢复运行	检修完成后未逐项检查联锁功能
5	检修后	屏蔽体或防护门未恢复至完好状态	拆装部件未按原样复原，或紧固件遗漏

防范措施：辐射工作人员在设备开机前须对安全装置进行例行检查，发现问题及时报修并暂停设备使用；检修作业前须取得辐射防护负责人签发的检修许可，严格执行“断电—挂牌—取钥”程序（主控钥匙由检修人员随身携带），辐照室通风系统须连续运行不少于 5min 后方可进入；检修期间在操作台悬挂“设备检修、禁止操作”警示牌并在辐照室入口设专人值守；检修完成后由辐射防护负责人逐项检查联锁装置、防护门、紧急停机按钮等安全设施的功能完整性，确认全部正常后方可恢复使用。

表 10 辐射安全与防护

10.1 工作场所布局

10.1.1 X 射线实时成像检测系统

(1) SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机

SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机位于 2#PCR 品管车间成品检测工序。由图 10.1-1 布局图可知，该设备操作室设置于探伤室西北侧，工件防护门则朝向东北侧。轮胎输送方向为由西北向东南。

涉及企业机密，已删除

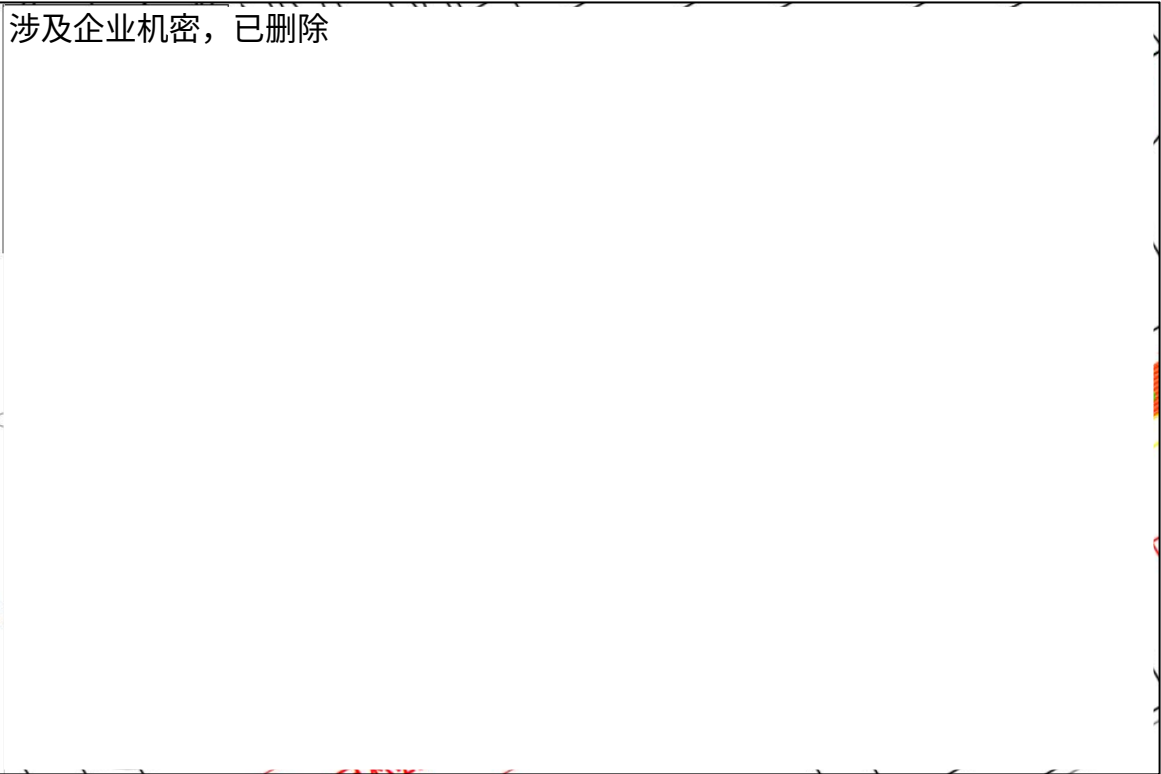


图 10.1-1 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机布局示意图

(2) 2824 型 X 射线成像系统

两台 2824 型 X 射线成像系统位于 TBR 品管车间成品检测工序，相距 10m 左右。由图 10.1-2 布局图可知，该设备操作室设置于检测室西南侧，入胎仓安全门朝向西北侧，出胎仓安全门朝向东南侧。轮胎输送方向为由西北向东南。

涉及企业机密，已删除

图 10.1-2 2824 型 X 射线成像系统布局示意图

10.1.2 自屏蔽加速器

(1) CNE-500 型自屏蔽加速器（全钢）

CNE-500 型自屏蔽加速器（全钢）位于 TBR 预备车间内衬生产工序。由图 10.1-3 布局图可知，该设备操作台设置于辐照室东南侧，与加速器相距约 10m。物料输送方向为西北向东南。

涉及企业机密，已删除

图 10.1-3 CNE-500 型自屏蔽加速器（全钢）布局示意图

（3）CNE-500 型自屏蔽加速器（半钢）

CNE-500 型自屏蔽加速器(半钢)位于 1#PCR 预备车间内衬生产工序。由图 10.1-4 布局图可知，该设备操作台设置于辐照室西北侧，与加速器相距约 9m。物料输送方向为西北向东南。

涉及企业机密，已删除

图 10.1-4 CNE-500 型自屏蔽加速器（半钢）布局示意图

10.2 工作场所分区管理

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

控制区：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：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。

10.2.1X 射线实时成像检测系统

根据分区原则，本项目 X 射线实时成像检测系统的辐射工作场所分区情况如下

（1）SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机

- ①将 X 射线成像系统探伤室划分为控制区；
- ②将探伤室外 30cm 及操作室划分为监督区。

（2）2824 型 X 射线成像系统

①将 X 射线成像系统检测室、出胎仓和入胎仓划分为控制区；

②将 X 射线成像系统检测室、出胎仓、入胎仓的实体边界外 30cm 区域，及操作室、设备间，划为监督区。

监督区边界设置警戒线，告诫无关人员不得靠近，并在该入口处悬挂清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌，设置标明监督区的标牌。各项辐射环境管理规章制度应张贴于工作现场处。X 射线成像系统工作场所分区示意图 10.2-1~10.2-2。

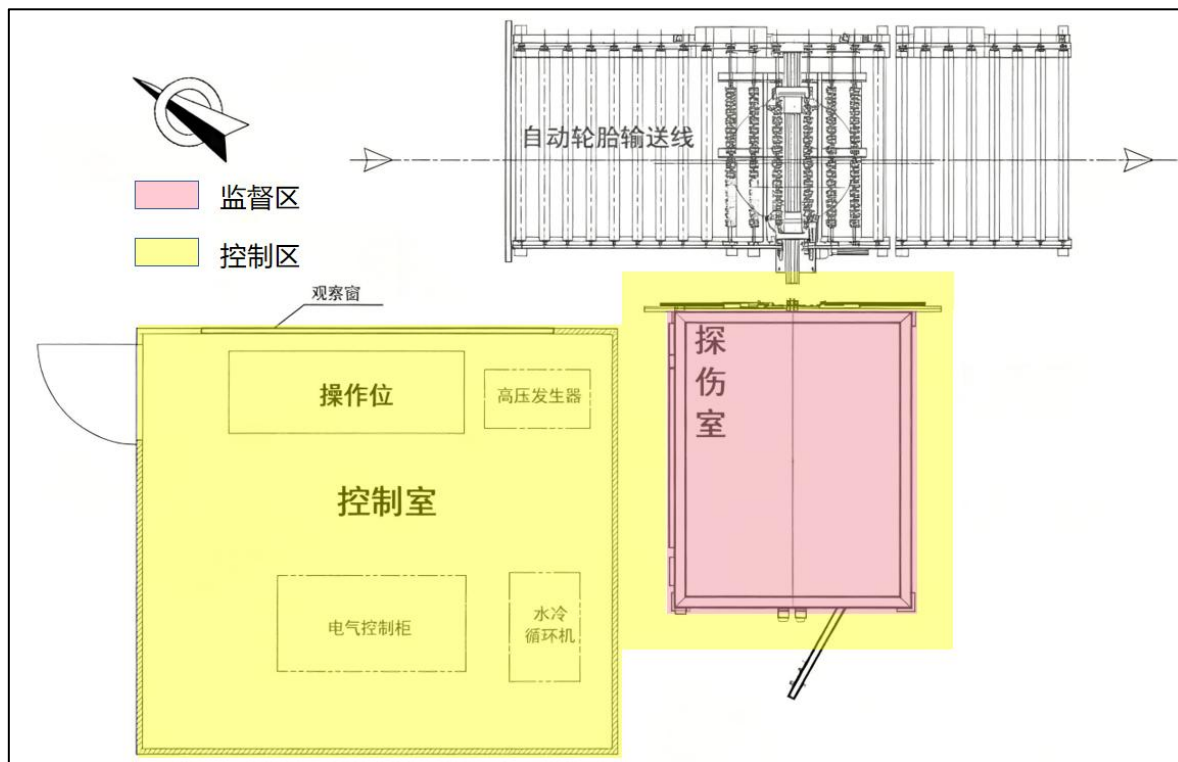


图 10.2-1 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机辐射防护分区示意图

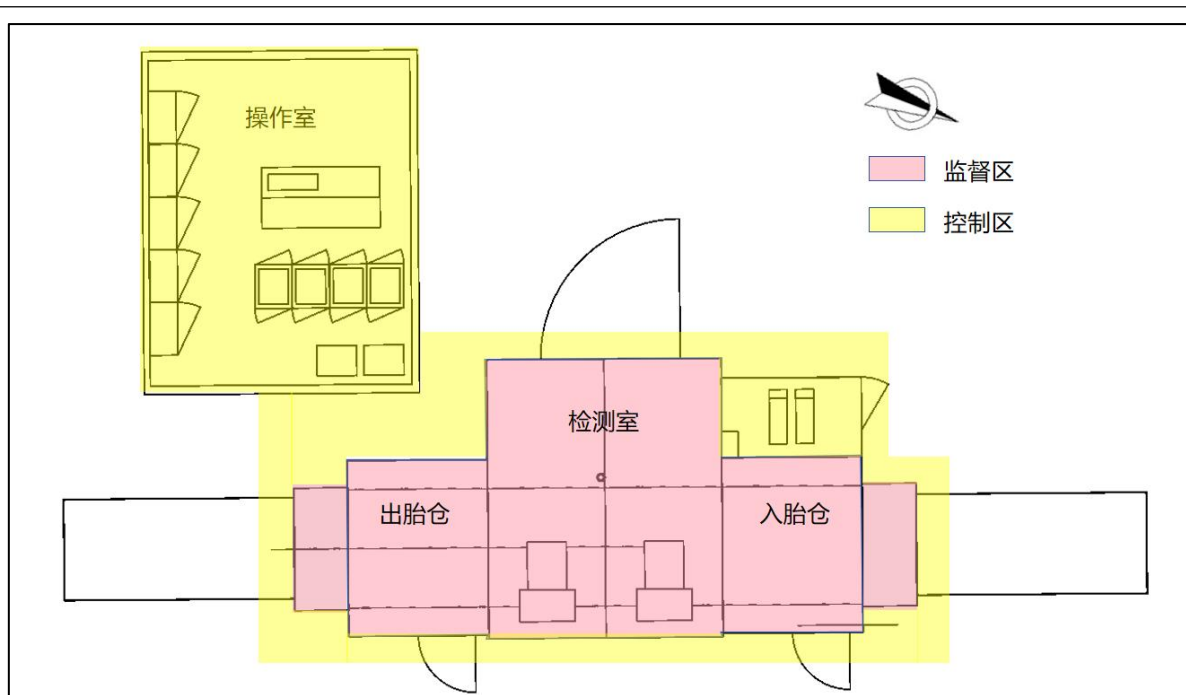


图 10.2-2 2824 型 X 射线成像系统辐射防护分区示意图

10.2.1 自屏蔽加速器

自屏蔽加速器为两层结构，一层为辐照室，二层为主机平台（含电源罐、加速管罐）。自屏蔽加速器采用立式自屏蔽钢结构，辐照室位于下方，加速器主机平台位于辐照室上方，通过楼梯可以到达，布置有加速器电源罐、加速管罐。自屏蔽加速器周围布置高频振荡器控制柜、通风系统等辅助设施，循环冷却水泵通过地坑水管与加速器相接。自屏蔽加速器工作时，设备辐射工作人员站立控制柜前设置各个系统相应参数。自屏蔽加速器出束时，辐照室内及主机平台均无人员停留。纤维帘布从送料口进入电子束照射区域经辐照后从出料口送出，所在车间为单层建筑。

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T25306-2010）及《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）辐射场所分区的相关规定，加速器辐射工作场所分区如下：

（1）控制区：一层的辐照室、预备室、纤维帘布层出入口及二层平台区域；加速器出束运行时，任何人不得进入控制区。

（2）监督区：将加速器机房周围相邻的区域（包括电气设备、风机、水冷设备）范围设为监督区，加速器工作过程中除辐射工作人员外，其他人员严格限制进入。

加速器工作场所分区示意图 10.2-3~10.2-4。

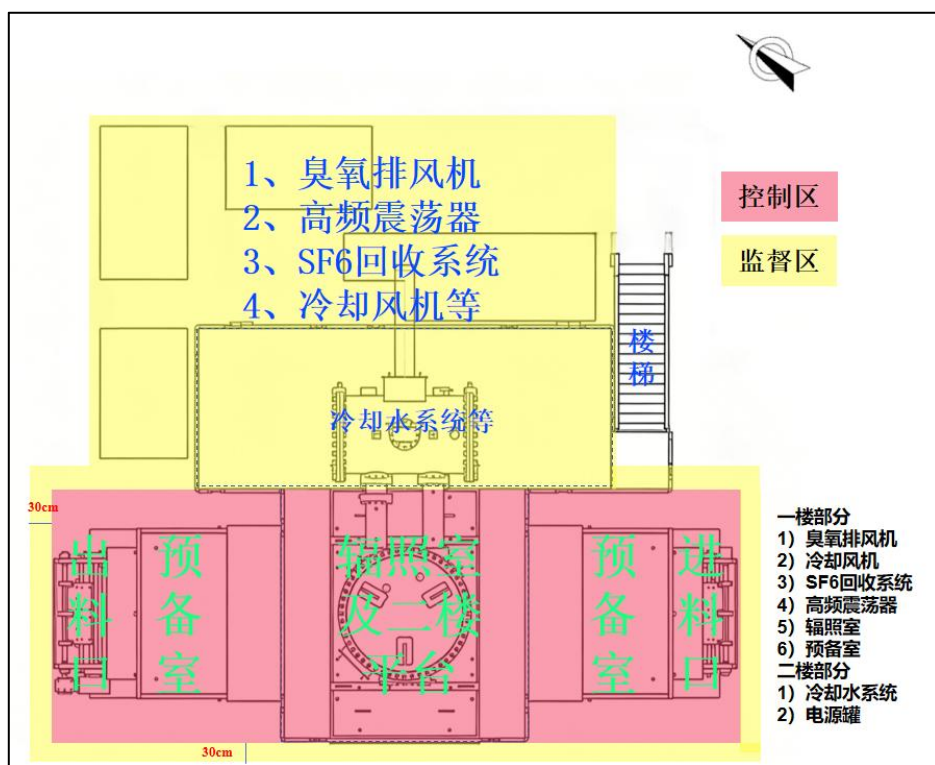


图 10.2-3 CNE-500 型加速器（全钢）分区示意图

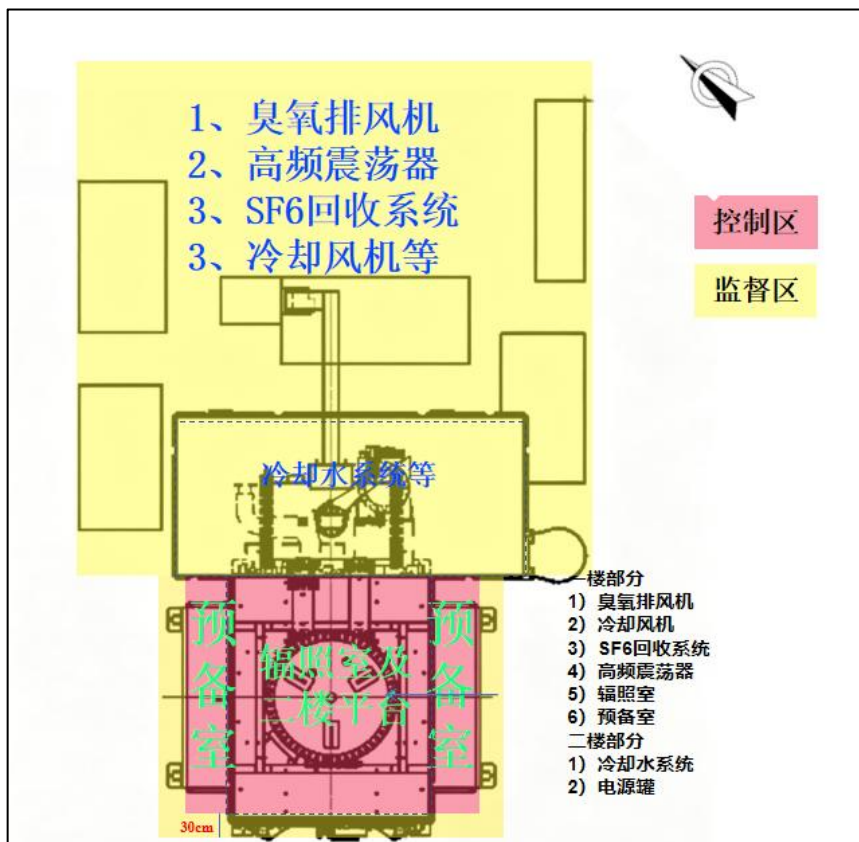


图 10.2-4 CNE-500 型加速器（半钢）分区示意图

10.3 工作场所辐射安全与防护

10.3.1 辐射防护屏蔽设计

10.3.1.1X 射线实时成像检测系统

本项目各 X 光机探伤室主要由钢—铅—钢模块化平板焊接而成，起到屏蔽作用，门与墙体之间采用迷宫式结构，探伤室下拐角的进线孔外面加含铅电缆罩。本项目拟增的 3 台轮胎 X 射线检验机屏蔽情况见表 10.3.1~10.3.2，各探伤室平面及剖面布置见图 10.3-1~10.3-2。

(1) SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机

表 10.3.1 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机配套铅室屏蔽设计一览表

项目	内容
内部尺寸	探伤室净宽 1.80m，净长 2.33m，净高 2.84m，内部体积为 11.91m ³
四周墙体	探伤室南侧、北侧和顶棚为 6mm 铅板，东侧、西侧为 5mm 铅板
防护门	6mm 铅板
操作室	位于探伤机西北侧

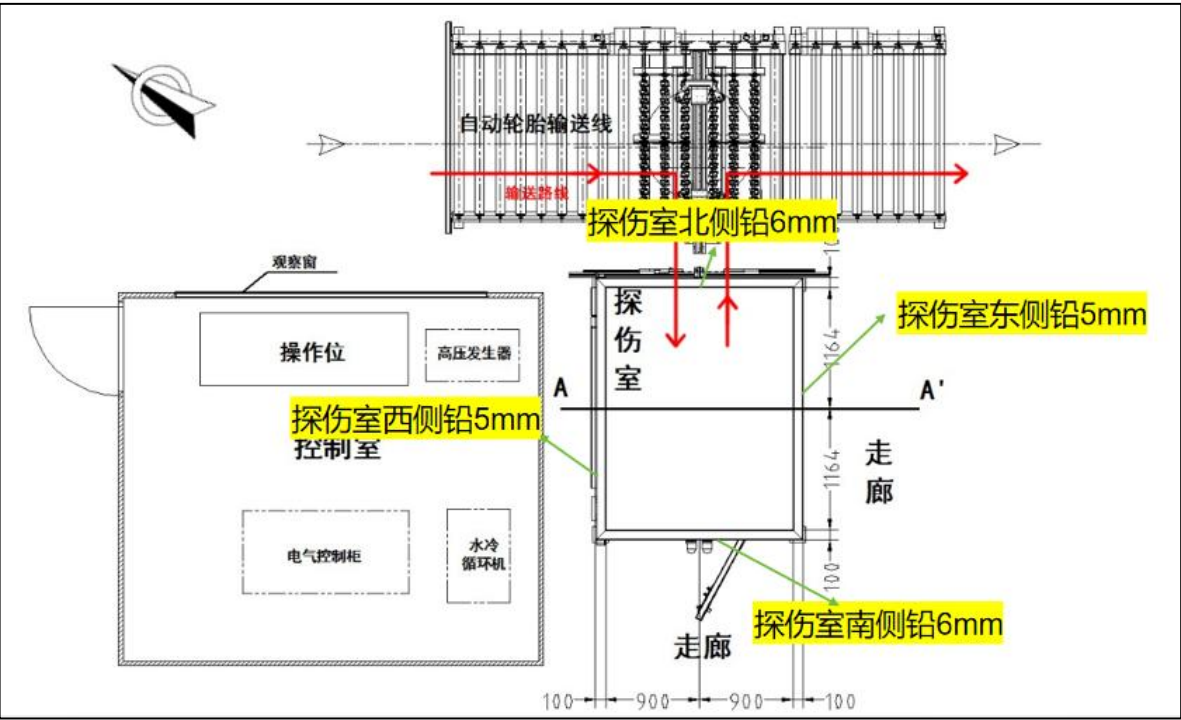


图 10.3-1 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机平面布置示意图

(2) 2824 型 X 射线成像系统

表 10.3.2 2824 型 X 射线成像系统配套铅室屏蔽设计一览表

项目	内容
内部尺寸	检测净宽 3.50m，净长 3.95m，净高 2.44m，内部体积为 33.73m ³ 。
四周墙体	检测室、出胎仓及入胎仓的四周墙体、顶部与底部防护面，均采用 2mm 铅板
安全门及检查防护门	4 扇滑动安全门及检查防护门均为 2mm 铅板
操作室	位于探伤机西南侧

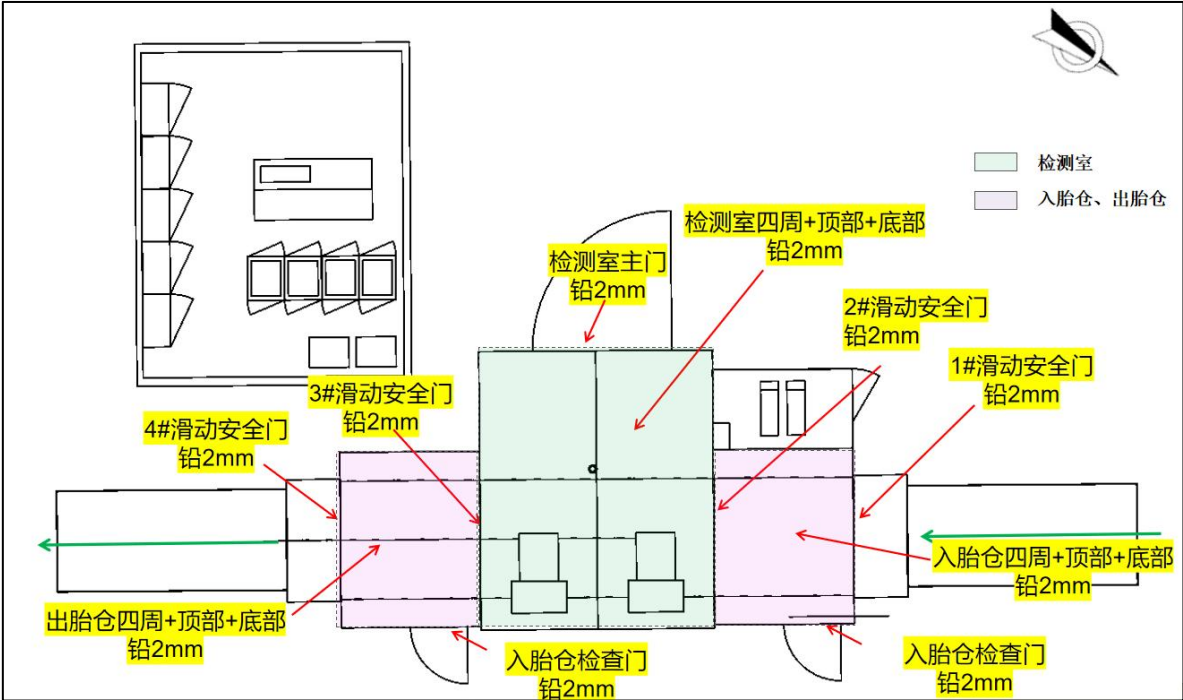


图 10.3-2 2824 型 X 射线成像系统平面布置示意图

10.3.1.2 自屏蔽加速器

(1) CNE-500 型自屏蔽加速器（全钢）

根据建设单位提供的资料，加速器辐照室六面屏蔽体及两侧预备室均采用铅、铁组合屏蔽材料，其中预备室内设置 8 层 22mm 铅板折挡，并配合坡度通道使辐照物品进出须经多次转向，从结构上阻断了 X 射线经预备室向出入口泄漏的途径。屏蔽结构示意图见图 10.3-3，屏蔽设计参数见表 10.3.3。

表 10.3.3 自屏蔽加速器（全钢）自屏蔽体的设计

主要构件	位置序号		屏蔽材料厚度(mm)	
			铅	铁
辐照室	1	前板	50	80
	2	门	50	80

	3	后板	50	80
	4	顶板	20	120
	5	前/后板底部	50	80
	6	右侧板	35	80
	7	左侧板	35	80
预备室	8	出/入口	30	55
	9	侧板	15	55
	10	侧板（近辐照室）	30	55
	11	顶板（近辐照室）	35	55
	12	顶板	0	55
/	13	通风、电缆管道	50mm 铅	

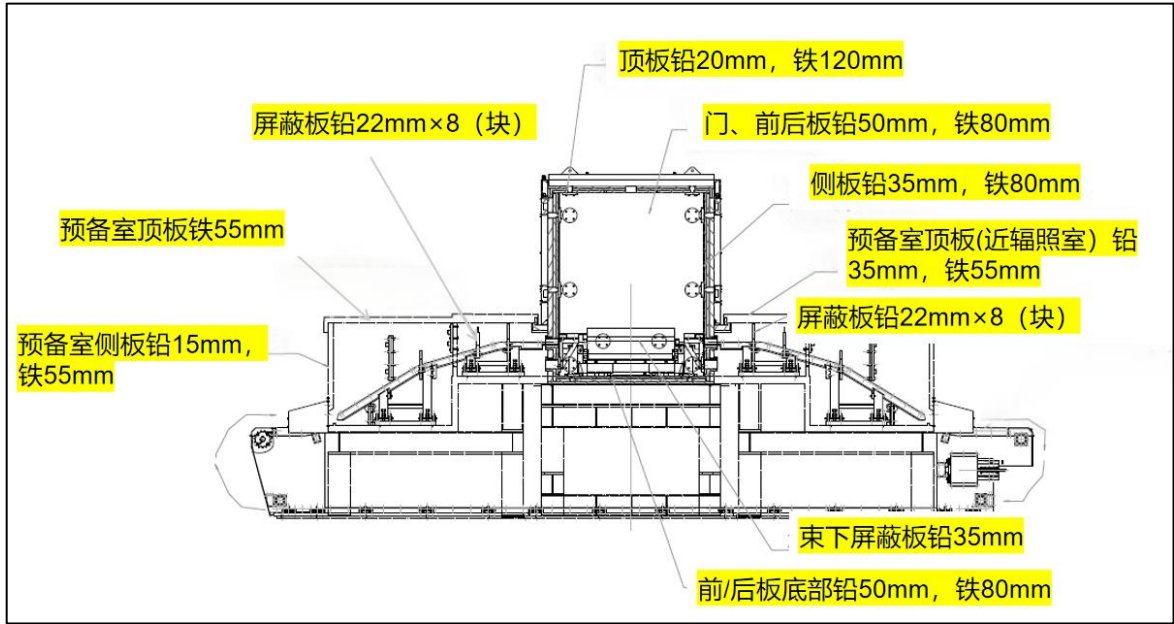


图 10.3-3 CNE-500 型自屏蔽加速器（全钢）屏蔽结构示意图

(2) CNE-500 型自屏蔽加速器（半钢）

半钢有相似的屏蔽结构：罐体以铅铁复合材料作为主屏蔽层，预备室沿物料通道设置 5 道 22mm 铅板折挡，结合坡度走向形成迷宫式衰减路径，使外逸辐射经多次折射和距离衰减后方可到达出入口，确保泄漏剂量满足标准限值要求。具体屏蔽结构及设计参数详见示意图 10.3-4 及表 10.3.4。

表 10.3.4 自屏蔽加速器（半钢）自屏蔽体的设计

主要构件	位置序号		屏蔽材料厚度(mm)	
			铅	铁
辐照室	1	前板	50	80
	2	门	50	80
	3	后板	50	80
	4	顶板	20	120

	5	底板	55	110
	6	右侧板	35	80
	7	左侧板	35	80
预备室	8	出/入口	35	55
	9	侧板	35	55
	10	底板	0	55
	11	顶板	0	55
	12	门	0	55
/	13	通风、电缆管道	50mm 铅	

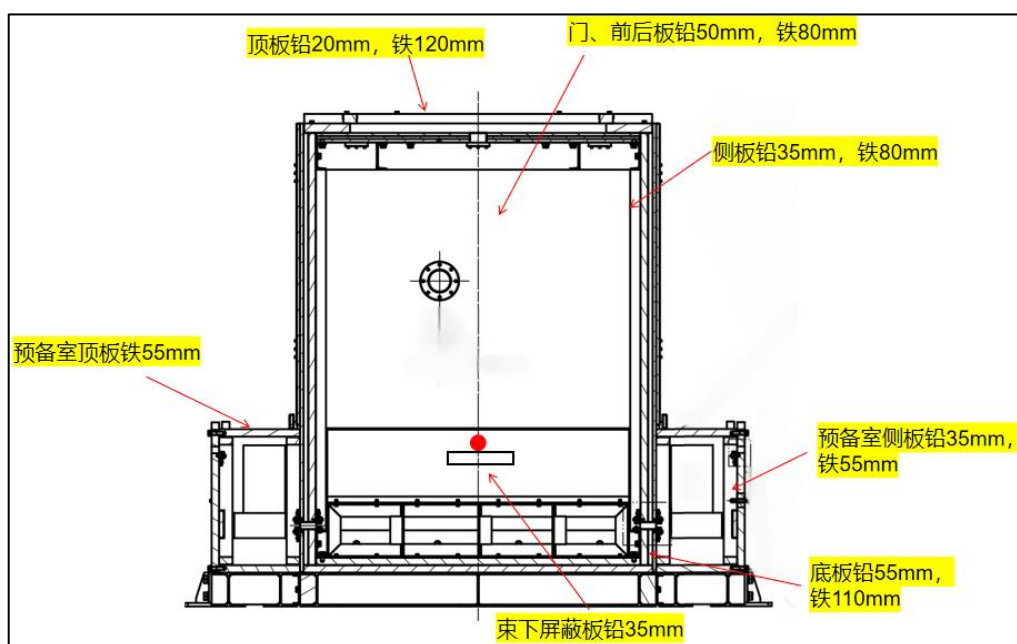


图 10.3-4 CNE-500 型自屏蔽加速器（半钢）屏蔽结构示意图

10.3.2 工作场所辐射安全防护措施

10.3.2.1X 射线实时成像检测系统

为保障本项目各探伤室的安全运行，避免在开机检测期间人员误留或误入探伤室内而发生误照射事故，以及对工作人员和公众的辐射防护，本项目的探伤室均设计有相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

（1）门-机联锁

①SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机探伤室的防护门均拟设置门-机联锁装置，只有当防护门有效关闭后，轮胎 X 射线成像系统才能曝光出束。检测过程中，不满足连锁要求时，将自动停止出束。防护门重新关闭后，X 射线机不能自动恢复出束，须经人工确认后方可重新启动。

②2824 型 X 射线成像系统与各防护门联锁。所有需关闭的防护门（检测室主门、入胎仓检查门、出胎仓检查门）关闭，且滑动安全门满足同侧至少一扇处于关闭状态的条件下，X 射线机方可启动出束。检测过程中，不满足连锁要求时，将自动停止出束。防护门重新关闭后，X 射线机不能自动恢复出束，须经人工确认后方可重新启动。

（2）工作状态指示灯

①SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机在其探伤室门口、内部及操作室内部设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯。工作状态指示灯与轮胎 X 射线检测机设置有联锁装置。

②2824 型 X 射线成像系统亦在其检测室主门门口，检测室内部及操作室内部设有同样的指示灯。工作状态指示灯与轮胎 X 射线检测机设置有联锁装置。

为确保两种信号能够被清晰区分，“预备”信号采用闪烁的黄灯配合间歇性警报声；“照射”信号则采用持续亮起的红灯配合急促、不间断的报警声。“预备”信号的持续时间固定且足够长（通常为 15 秒），确保室内如有滞留人员，能够及时听到警报并安全撤离。此外，在探伤室门口及内部醒目位置，将张贴清晰、固定的说明牌，对“预备”和“照射”信号各自代表的含义进行明确解释。

（3）电离辐射警示标志

本项目各探伤室外拟张贴明显的电离辐射警示标志并附中文警示说明。

（4）紧急停机按钮

①SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机探伤室的工件防护门、维修防护门内侧及操作台上各设置 1 个急停按钮，每个急停按钮处均带有标签并标明使用方法。在出现紧急情况时，按下任意急停按钮即可切断设备电源，使 X 射线立即停止出束。

②2824 型 X 射线成像系统检测室主门、入胎仓检查门与 1#滑动安全门形成的夹角处、出胎仓检查门与 4#滑动安全门形成的夹角处、2#滑动安全门内侧、3#滑动安全门内侧及操作台上各设置 1 个急停按钮。每个急停按钮处均带有标签并标明使用方法。在出现紧急情况时，按下任意急停按钮即可切断设备电源，使 X 射线立即停止出束。

（5）排风装置

①SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机探伤室容积较小，在轮胎检测的过程中，工件防护门不断开启、关闭，通过自然扩散通风，即可使探伤室内的 O_3 和 NO_x 得以扩散，并最终通过车间上方的排风装置排至厂房外。

②2824 型 X 射线成像系统检测室顶部西北角设置有 1 处排风口，排风口处安装有机械排风装置，排风量为 600m³/h。探伤室净容积（包括入胎仓、出胎仓）约 76.93m³，每小时有效通风换气次数大于 3 次。O₃ 和 NO_x 排放至车间后通过车间排风装置排放至厂房外。

（6）辐射探测报警装置

本项目拟在 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机探伤室维修防护门及 2824 型 X 射线成像系统检测室主门顶部设置 1 台固定式辐射监测仪（含探头），用于连续监测辐射水平，监测数据通过电缆传输至操作室内操作位处的显示单元。该监测仪具备声光报警功能，当探测到的辐射剂量率超过预设阈值（2.5μSv/h）时，报警装置将发出红色灯光并持续鸣响。当发生超阈值报警时，辐射工作人员应立即按下急停按钮终止照射，并向辐射防护负责人报告。急停按钮为自锁式设计，触发后需手动复位方可恢复正常工作状态。

（7）操作台

本项目 X 射线实时成像检测系统的操作台均显示高压接通或断开状态、管电压、管电流和照射时间的界面；操作台设有与探伤室防护门联锁的接口，并设置门-机联锁装置，当门未全部关闭时不能开机曝光；操作台均设有钥匙开关，只有在打开操作台钥匙开关后，X 射线管才能出束，钥匙只有在停机或待机状态时才能拔出；操作台均设有紧急停机按钮、电离辐射警告标志、出束指示以及禁止非授权使用的警告标识。

（8）监控系统

①在 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机探伤室内拟安装两个摄像头。专用显示屏安装于操作室内操作台处，工作期间可以实时观察探伤室内的情况。

②2824 型 X 射线成像系统设置有 3 个监控摄像头，监控摄像头拟安装在入胎仓、出胎仓及检测室内。专用显示屏安装于操作室内操作台处，工作期间可以实时观察检测室、入胎仓及出胎仓内的情况。

（9）辐射装置检查、维护

1) 运营单位应对 X 射线成像系统及其设备维护负责，每年至少维护一次。设备维护应由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行。

2) 设备维护包括探伤机的彻底检查和所有零部件的详细检测。当设备有故障或损坏，需更换零部件时，应保证所更换的零部件都来自设备制造商。

3) 应做好设备维护记录。

4) 日常检查

①探伤机外观是否存在可见的损坏；

②电缆是否有断裂、扭曲以及配件破损；

③液体制冷设备是否有渗漏；

④安全连锁是否正常工作；

⑤报警设备和警示灯是否正常运行；

⑥螺栓等连接件是否连接良好；

⑦交接班或当班使用剂量仪前，应检查剂量仪是否正常工作；

⑧在每一次照射前，辐射工作人员都应该确认探伤室内部没有人员驻留并关闭防护门。

5) 定期检查

①电气安全，包括接地和电缆绝缘检查；

②制冷系统过滤器的清洁或更换；

③所有的连锁和紧急停机开关的检查；

④机房内安装的固定辐射检测仪的检查；

⑤制造商推荐的其他常规检测项目；

⑥应定期测量探伤室外周围区域的辐射水平，包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。

X 射线成像系统辐射安全布置设施图详见图 10.3-5 及图 10.3-7，辐射安全连锁装置逻辑关系图见图 10.3-6 及图 10.3-8。

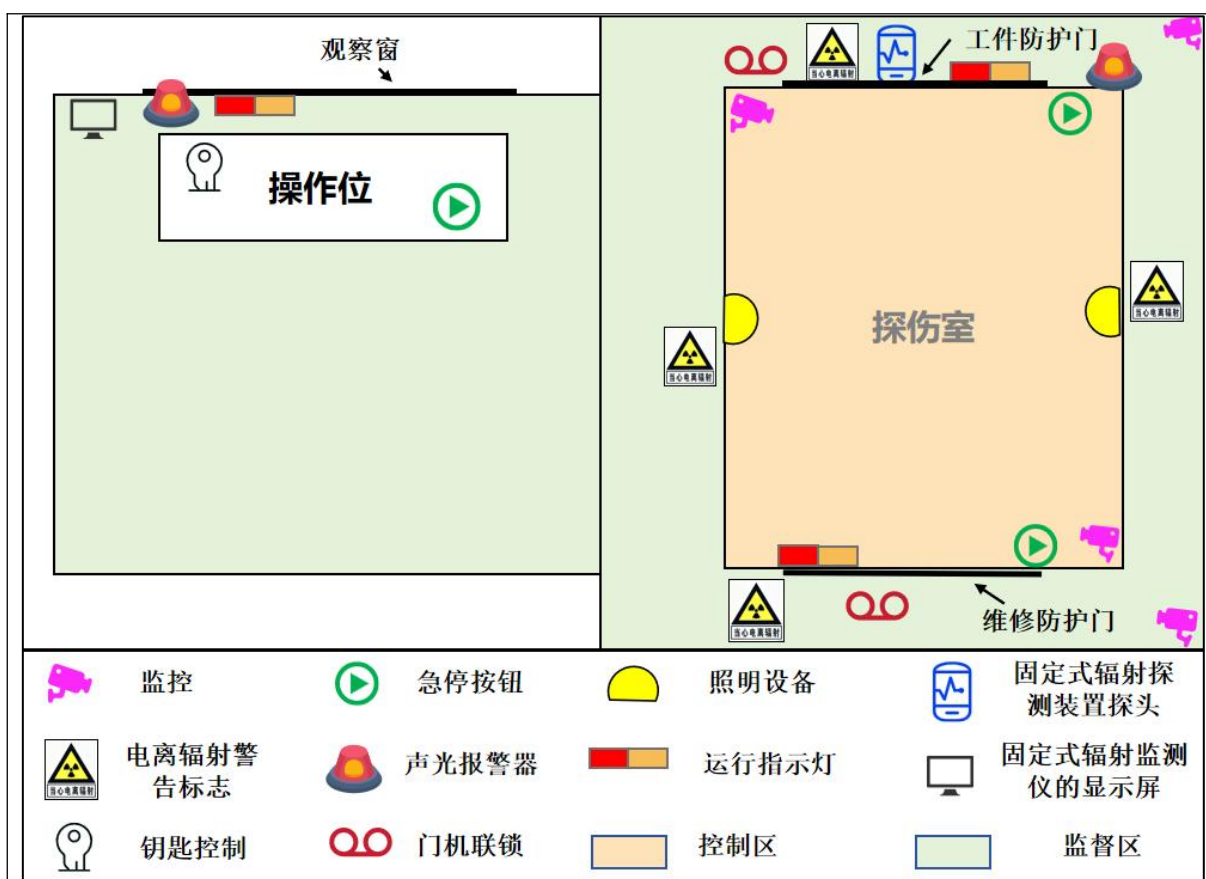


图 10.3-5 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机辐射安全布置设施示意图

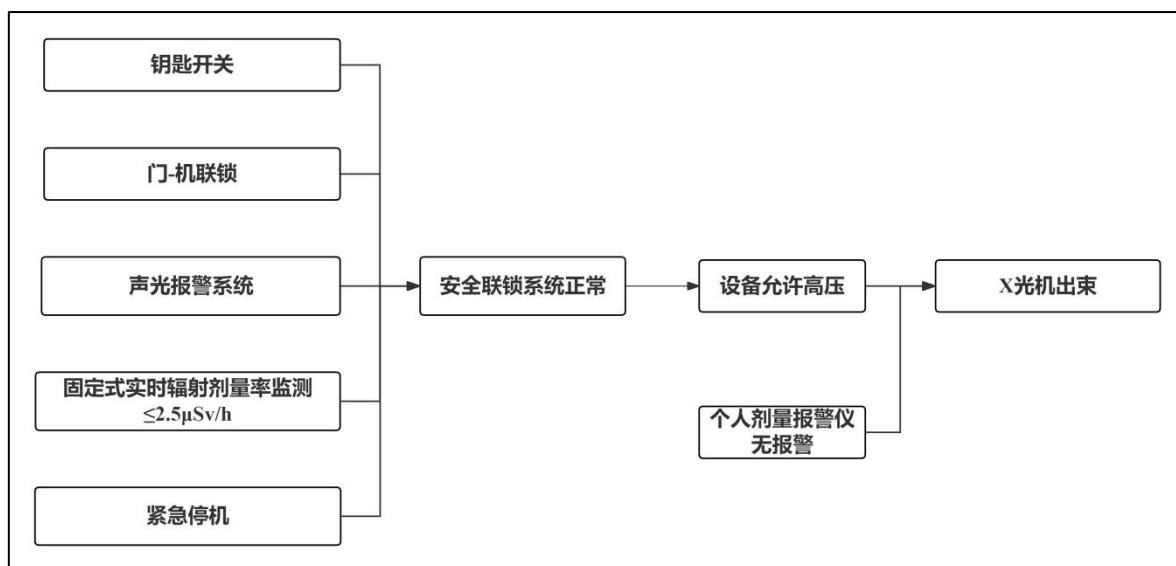


图 10.3-6 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机辐射安全联锁装置逻辑关系图

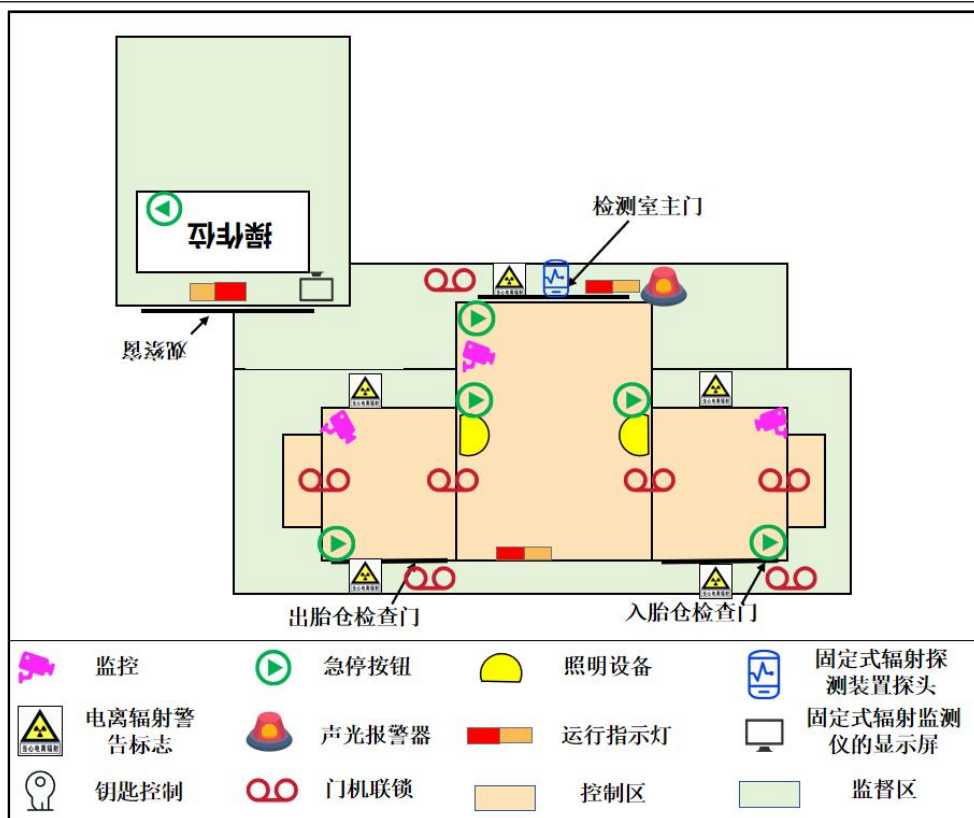


图 10.3-7 2824 型 X 射线成像系统辐射安全设施布置示意图

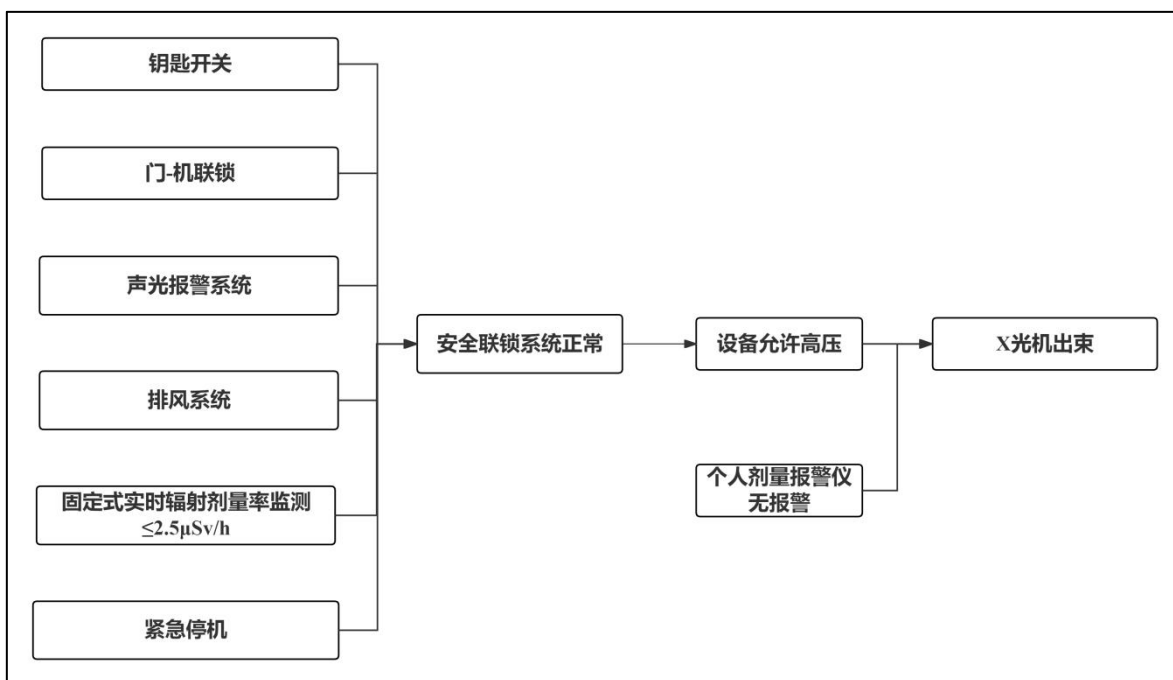


图 10.3-8 2824 型 X 射线成像系统辐射安全联锁装置逻辑关系图

10.3.2.2 自屏蔽加速器

为确保辐射安全，保障工业电子加速器安全运行，避免在电子加速器辐照期间人员误留或误入辐照室内发生误照事故，或辐照期间人员误上设备平台靠近加速器钢桶

可能受到较大剂量照射，本项目的电子加速器辐照装置设计有相应的辐射安全装置和保护措施。主要有：

(1) 钥匙开关

本项目的加速器机房设有操作台，操作台上设计有电子加速器的钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动电子加速器进行出束作业；钥匙开关未闭合状态时，电子加速器无法开机出束。同时，电子加速器的开关钥匙也是该加速器机房辐照室的人员防护门开关钥匙，并且辐照室人员防护门上的钥匙在防护门未关闭上锁的情况下，钥匙是无法取出的。当工作人员需要打开人员防护门进入辐照室时，该工作人员必须携带该电子加速器的开关钥匙。因此，电子加速器在开机出束时，由于没有开关钥匙，人员防护门无法打开；在人员防护门打开的情况下，由于开关钥匙在人员防护门上，此情况下电子加速器必然无法开机出束。

(2) 联锁装置

①门—机联锁：电子加速器辐照室维修防护门与电子加速器装置联锁。在维修防护门未闭合的状态下，电子加速器不能启动工作；在电子加速器高压启动后，一旦维修防护门被打开，联锁装置将立即切断电子加速器的高压，使电子加速器立即停止出束。通往加速器设备平台的楼梯口设置门禁，只有被授权的本项目辐射工作人员才能开启。

②剂量联锁：本项目拟于加速器维修防护门顶部安装固定式实时辐射剂量率监测系统，显示单元分别设于操作台处，便于辐射工作人员实时查看监测数据。当监测到的辐射泄漏剂量率超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 设定阈值时，操作台声光报警器将发出报警，并自动触发联锁停机。

③束下装置联锁：辐照室内的传输系统与电子加速器进行联锁，建立可靠的接口和协议文件。电子加速器未出束时，当辐照室内的传输系统出现故障时，将不能启动该辐照室的电子加速器进行出束作业；在电子加速器出束作业情况下，当辐照室内的传输系统出现故障（偏离正常运行或停止运行时），设备将自动切断加速器电源，使得该辐照室内的电子加速器立即停止出束。

④通风联锁：本项目拟在辐照室设置排风机与控制系统联锁，辐照室排风机正常工作后，电子加速器才能出束；在排风机未正常工作时，电子加速器将无法进行出束作业。在电子加速器正常运行过程中，当排风机发生故障时，电子加速器将立即停止

出束作业。加速器的控制软件设计有正常停机后排风机延迟关闭系统，即：电子加速器正常停止出束后，排风机将继续工作至少 5min，在 5min 内，即使对排风机发出停止工作指令，排风机仍将有效工作 5min，且在达到此预设时间之前，维修防护门将不能被开启。若电子加速器非正常停止出束，则排风系统的运行不受限制。

⑤真空系统与高压联锁：真空系统与高压实行联锁保护，当真空度低于 $4.2 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 的设定阈值时，设备将自动报警并紧急停机，同时切断高压输出，以确保系统在非良好真空状态下不进行高压运行。

⑥高频机电源与冷却水联锁：高频机电源与冷却水系统实现联锁控制，一旦冷却水开关检测到低压状态，设备即触发报警并立即停机，同时锁定高频输出，防止因冷却不足而损坏设备。

⑦冷却风机、排臭氧风机与高压联锁：冷却风机与排臭氧风机在高压输出前须按生产模式提前启动，只有当风压达到设定要求后方允许开启高压；若在高压输出过程中出现风压异常报警，设备将自动停机并切断高压，以保障通风安全。

⑧扫描电流与高压联锁：扫描电流的输出与高压状态实现联锁，只有在高压正常建立并输出后，扫描电流才被允许投入，从而确保束流扫描动作严格遵循高压启动时序。

⑨过电压、过电流与高压联锁：系统对过电压、过电流均设有联锁保护，一旦检测到上述任一异常，设备将立即停机并撤销高压输出，有效保护关键部件免受损害。

⑩辐照室、加速器光电开关、紧停开关与高压联锁：当辐照室或操作台的钥匙开关、急停开关被触发动作时，设备会立即停机并切断高压，确保人员操作安全及紧急情况下的快速响应。

加速器安全联锁布置图详见图 10.3-9～图 10.3-12。

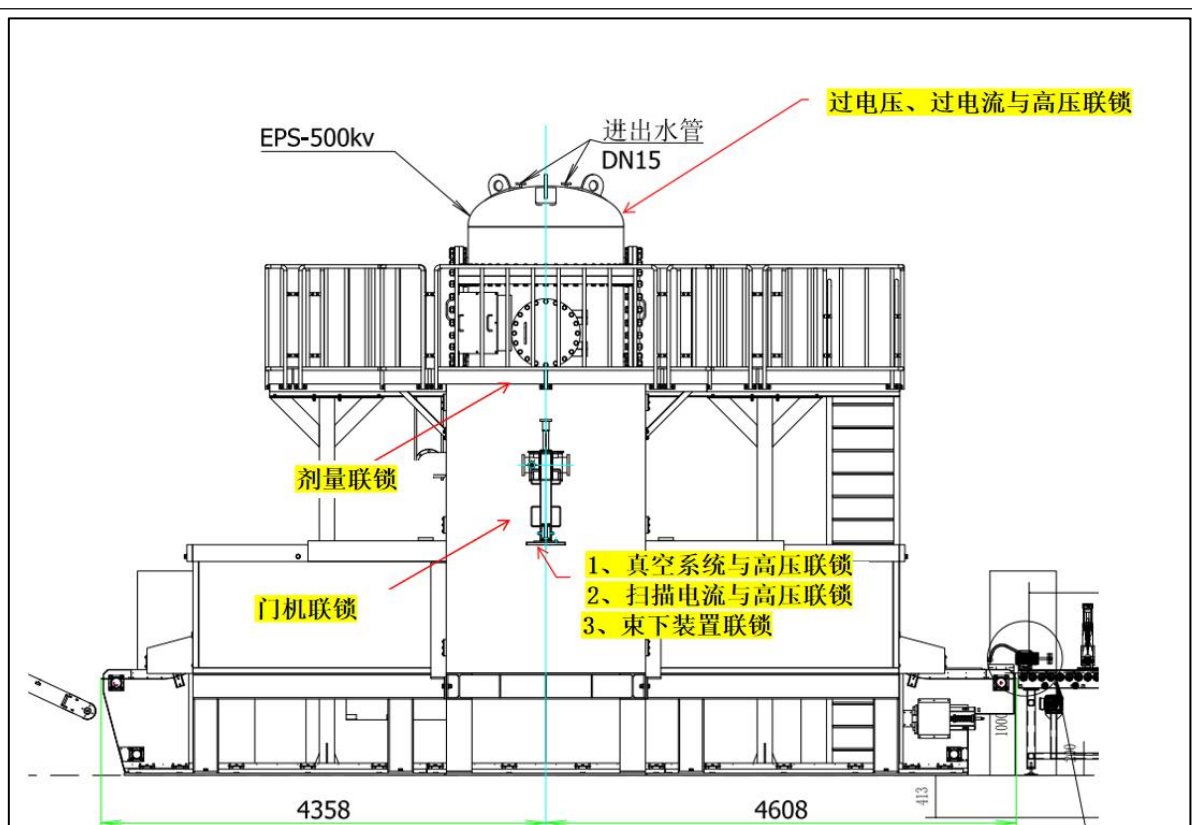


图 10.3-9 自屏蔽加速器（全钢）安全联锁布置立面示意图

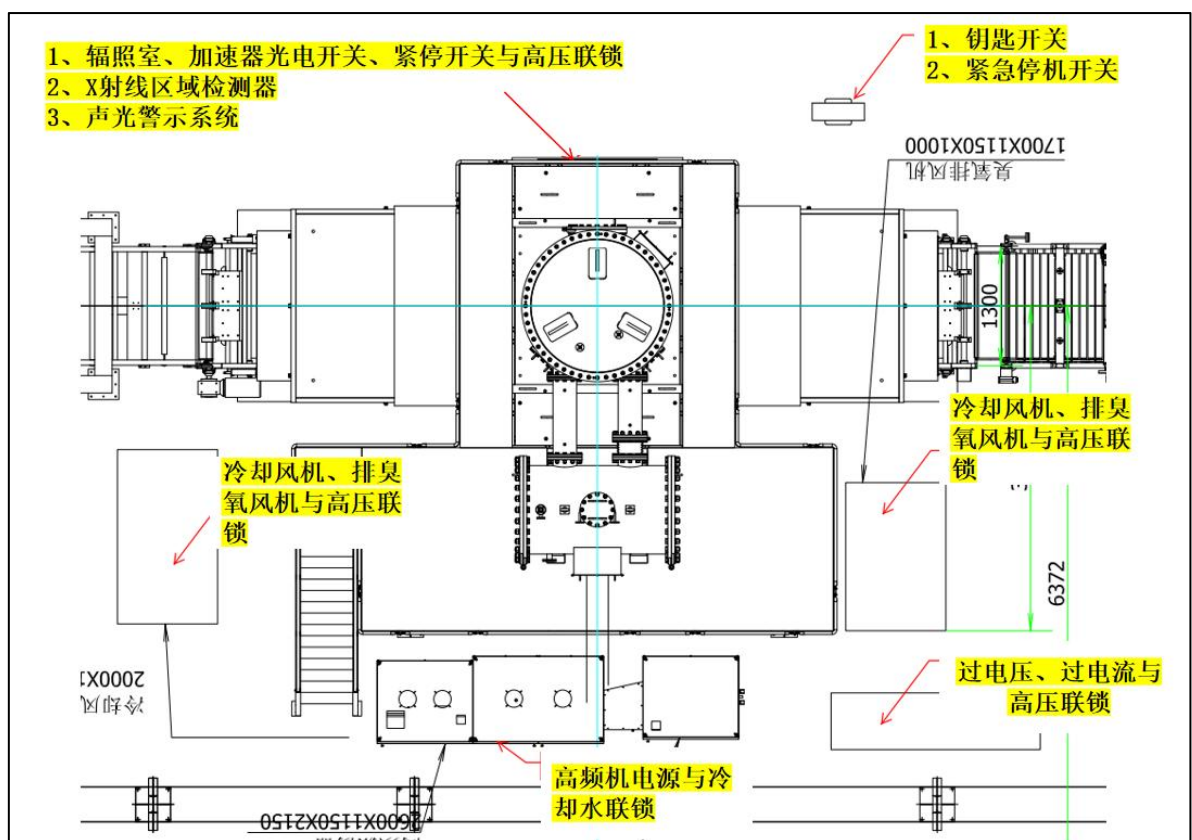


图 10.3-10 自屏蔽加速器（全钢）安全联锁布置俯视示意图

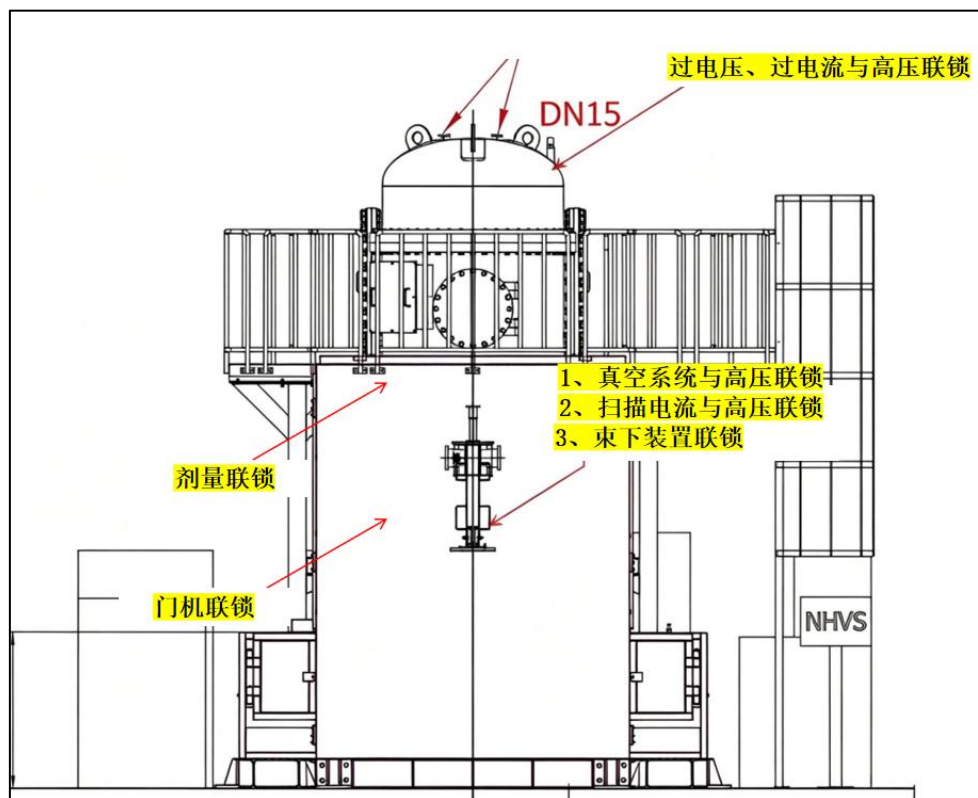


图 10.3-11 自屏蔽加速器（半钢）安全联锁布置立面示意图

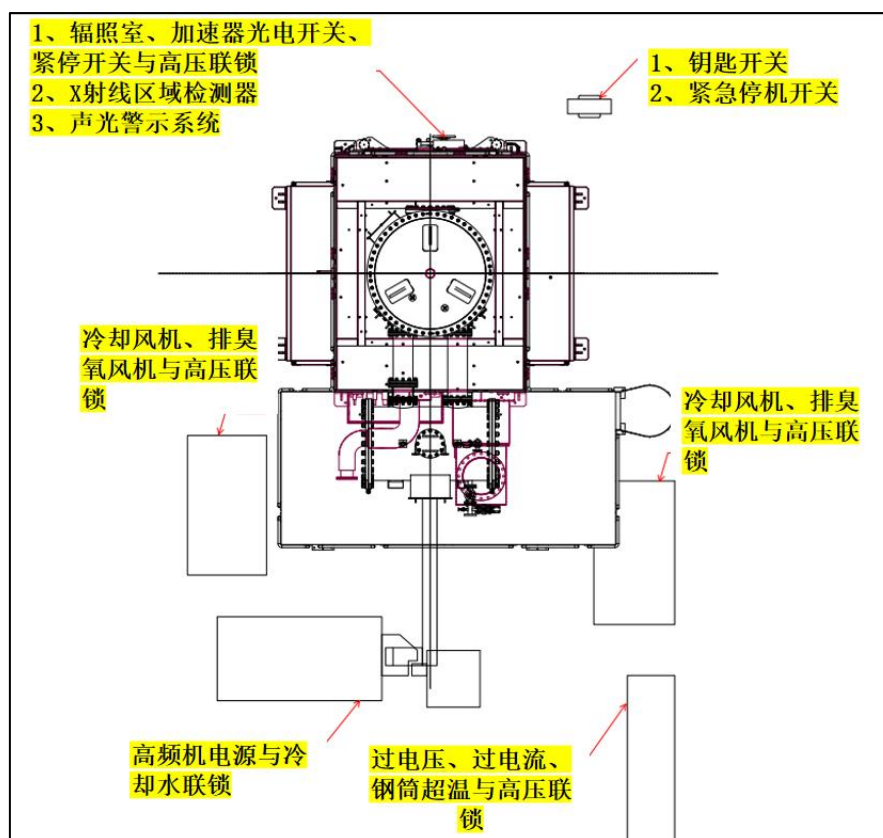


图 10.3-12 自屏蔽加速器（半钢）安全联锁布置俯视示意图

(3) 声光警示系统

辐照室、监督区边界处均设置醒目的“当心电离辐射”警告标志，辐照室、操作台设置工作状态指示灯及音响警示信号，工作状态指示灯与电子加速器高压联锁，当电子加速器启动时，指示灯将亮起并发出闪烁信号，其中红色指示设备处于停机状态，绿色表示设备运行，黄色表示设备待机（排气）。音响警示装置启动伴有蜂鸣并持续15s，以便于辐照室内部人员撤离并提醒周围人员勿靠近。

(4) 急停按钮

拟在加速器操作台及束下装置上设置急停按钮，急停按钮有明显的标志，供应急停止使用。当出现紧急情况时，只需按下急停按钮，则该辐照室内的电子加速器将立即切断高压，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后，需将急停按钮复位后，电子加速器才能重新启动。

(5) 烟雾报警

厂房设有烟雾报警装置和消防联动控制器，遇有火险时，烟雾报警装置自动发出报警，自动切断火灾区域及相关区域的非消防电源（含本项目加速器及其通风电源）。

(6) 电子束挡板

在束下传输装置材料上设有电子束挡板，接住发生的电子束，防止电子束扩散。

(7) 通风系统

CNE-500 型自屏蔽加速器辐照室设有一个位于中部的进风口和一个位于内底部的排风口，臭氧通过加速器自带的动力排气系统排出，该系统依靠设备下后方一台排风量6000m³/h的风机驱动，经设备自带的S型包铅排风管引出辐照室后，再连接普通排风管道延伸至室外排入大气，具体通风管道设计见图10.3-13～图10.3-14。

加速器辐射安全布置设施图详见图10.3-15及图10.3-16，CNE-500型自屏蔽加速器辐射安全联锁装置逻辑关系见图10.3-17。

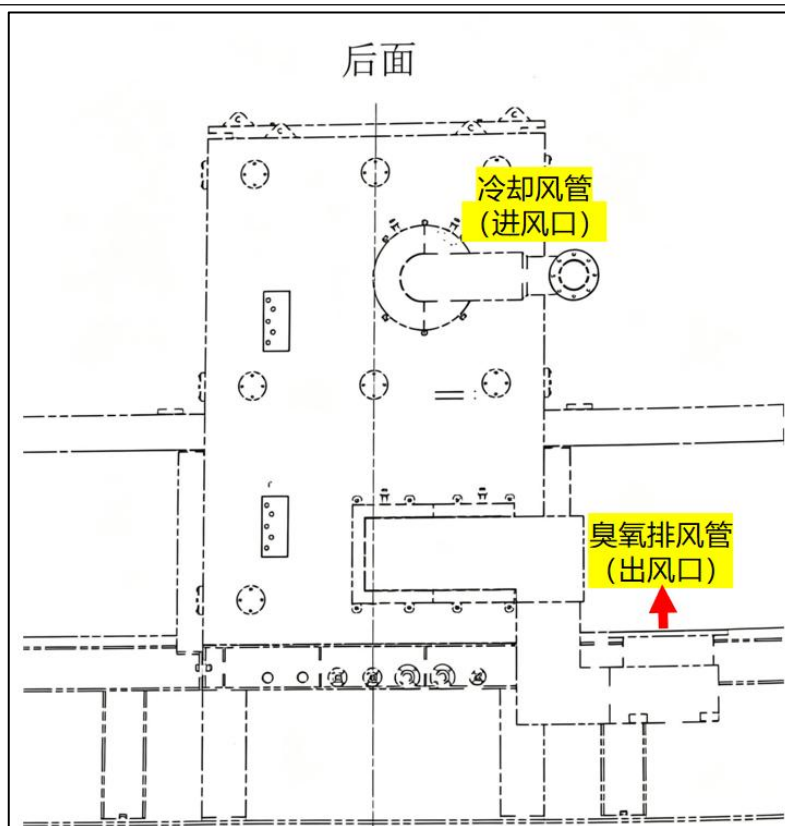


图 10.3-13 通风排气管道示意图（全钢自屏蔽加速器）

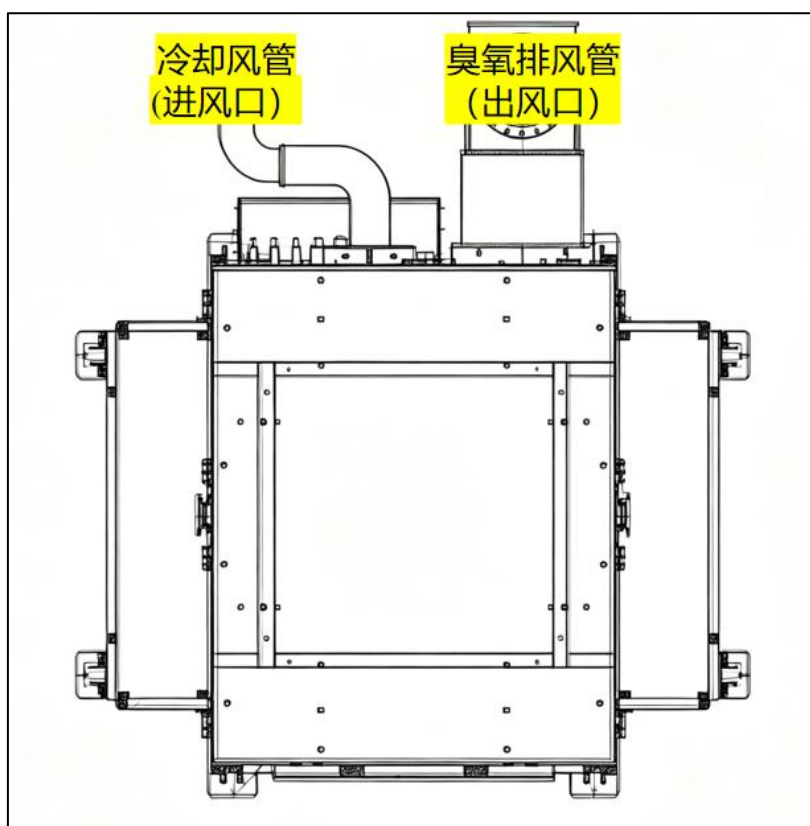


图 10.3-14 通风排气管道示意图（半钢自屏蔽加速器）

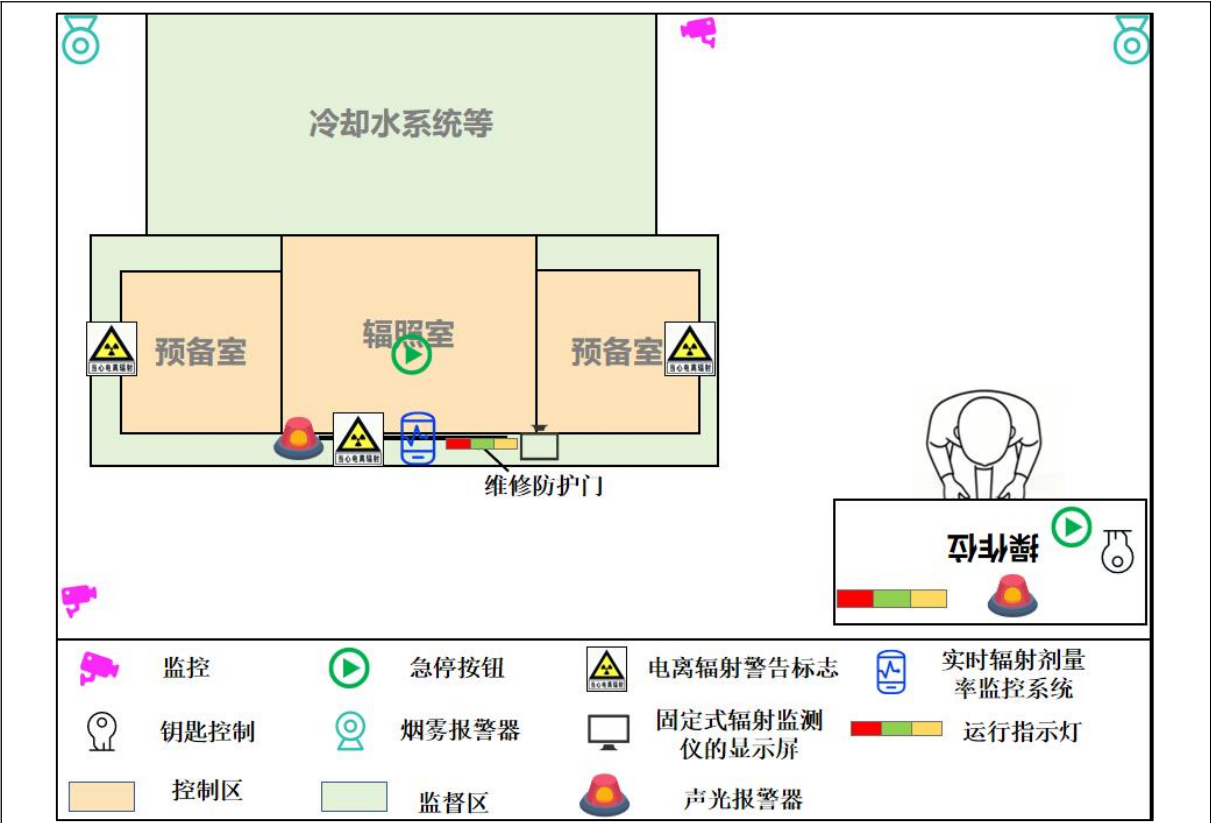


图 10.3-15 全钢自屏蔽加速器辐射安全设施布置示意图



图 10.3-16 半钢自屏蔽加速器辐射安全设施布置示意图

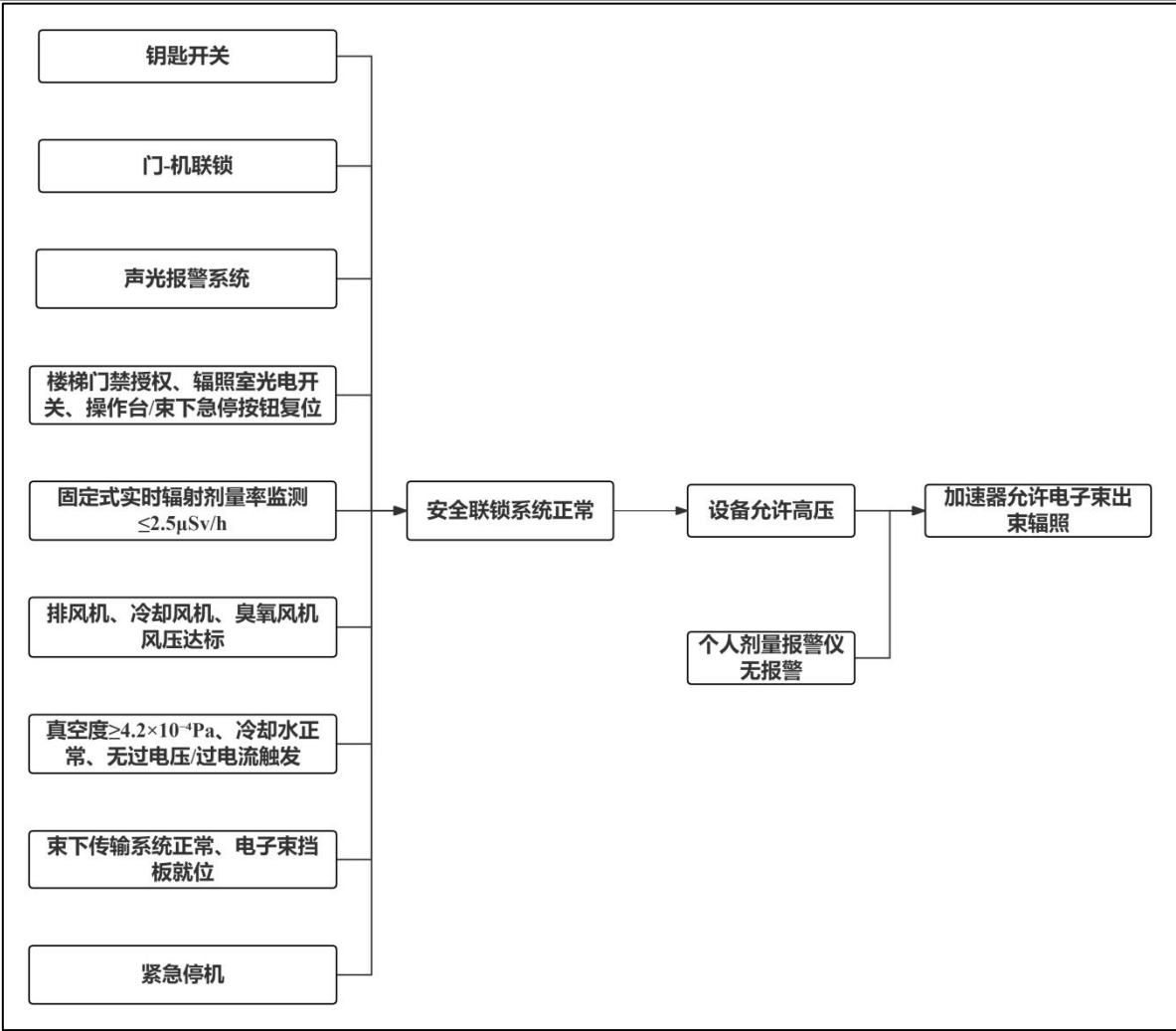


图 10.3-17 CNE-500 型自屏蔽加速器辐射安全联锁装置逻辑关系图

10.3.2.3 项目辐射防护用品和检测设备配置

本项目配置的防护用品和监测仪器见表 10.3.5。

表 10.3.5 拟配置的防护用品和监测仪器一览表

序号	名称	单位	拟配备数量	备注
1	便携式 X-γ 辐射周围剂量当量率仪	台	1	保存于安环综合管理部
2	个人剂量报警仪	台	5	每台机器配备一台
	个人剂量计	枚	21	每名辐射工作人员各配备一台
3	固定式报警仪	套	5	每台设备配置一台
4	防辐射铅衣	套	6	每台设备在操作室内各配置一套，另在安环综合管理部配备一套。

10.4 辐射安全和防护措施分析

10.4.1X 射线实时成像检测系统

为确保射线装置安全，避免在进行 X 射线探伤期间发生误照射事故，本项目设计有一系列辐射安全和防护措施，本项目 X 射线成像系统与《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中相关辐射安全要求的对比评价见表 10.4.1。

表 10.4.1 本项目 X 射线成像系统拟设置的辐射安全和防护设施对照评价

标准名称	标准要求	本项目拟配置情况	对比
《工业探伤放射防护标准》 (GBZ 117-2022)	6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全，操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探伤室门的防护性能应不小于同侧墙的防护性能。X 射线探伤室的屏蔽计算方法参见 GB2/T 250。	本项目操作室与探伤室分开单独设置。有用线束照射方向避开操作室所在方位。经辐射屏蔽计算与防护评估，在正常工况下，操作室工作人员所受附加年有效剂量将低于剂量约束值（5 mSv/a）。	满足
	6.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理，分区管理应符合 GB18871 的要求。	（1）SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机 ①将 X 光机探伤室划分为控制区； ②将探伤室外 30cm 划分为监督区。 （2）2824 型 X 射线成像系统 ①将 X 光机检测室、出胎仓和入胎仓划分为控制区； ②将 X 光机检测室、出胎仓、入胎仓的实体边界外 30cm 区域，及设备间整体，划为监督区。	满足
	6.1.5 探伤室应设置门-机联锁装置，应在门（包括人员进出门和探伤工件进出门）关闭后才能进行探伤作业。门-机联锁装置的设置应方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室。在探伤过程中，防护门被意外打开时，应能立刻停止出束或回源。探伤室内有多台探伤装置时，每台装置均应与防护门联锁。	（1）SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机探伤室的防护门均拟设置门-机联锁装置，只有当防护门有效关闭后，轮胎 X 光机才能曝光出束。检测过程中，不满足连锁要求时，将自动停止出束。防护门重新关闭后，X 射线机不能自动恢复出束，须经人工确认后方可重新启动； （2）2824 型 X 射线成像系统与各防护门联锁。所有需关闭的防护门（检测室主门、入胎仓检查门、出胎仓检查门）关闭，且滑动安全门满足同侧至少一扇处于关闭状态条件下，X 射线机方可启动出束。检测过程中，不满足连锁要求时，将自动停止出束。防护门重新关闭后，X 射线机不能自动恢复出束，	满足

		须经人工确认后方可重新启动。	
	6.1.6 探伤室门口和内部应同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与探伤机联锁。“预备”信号应持续足够长的时间，以确保探伤室内人员安全离开。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别，并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。在醒目的位置处应有对“照射”和“预备”信号意义的说明。	(1) SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机在其探伤室门口、内部及操作室内部设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯。工作状态指示灯与轮胎 X 射线检测机设置有联锁装置； (2) 2824 型 X 射线成像系统亦在其检测室主门口，检测室内部及操作室内部设有同样的指示灯。工作状态指示灯与轮胎 X 射线检测机设置有联锁装置。 为确保两种信号能够被清晰区分，“预备”信号采用闪烁的黄灯配合间歇性警报声；“照射”信号则采用持续亮起的红灯配合急促、不间断的报警声。“预备”信号的持续时间固定且足够长（通常为 15 秒），确保室内如有滞留人员，能够及时听到警报并安全撤离。此外，在探伤室门口及内部醒目位置，将张贴清晰、固定的说明牌，对“预备”和“照射”信号各自代表的含义进行明确解释。	满足
	6.1.7 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置，在控制室的操作台应有专用的监视器，可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。	(1) 在 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机探伤室内拟安装两个摄像头。专用显示屏安装于操作室内操作台处，工作期间可以实时观察探伤室内的情况； (2) 2824 型 X 射线成像系统设置有 3 个监控摄像头，监控摄像头拟安装在入胎仓、出胎仓及检测室内。专用显示屏安装于操作室内操作台处，工作期间可以实时观察检测室、入胎仓及出胎仓内的情况。	满足
	6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。	探伤室各防护门上拟张贴符合 GB18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。	满足
	6.1.9 探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。按钮或拉绳的安装，应使人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。按钮或拉绳应带有标签，标明使用方法。	(1) SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机探伤室的工件防护门、维修防护门内侧及操作台上各设置 1 个急停按钮，每个急停按钮处均带有标签并标明使用方法。在出现紧急情况时，按下任意急停按钮即	满足

		可切断设备电源，使 X 射线立即停止出束； (2) 2824 型 X 射线成像系统检测室主门、入胎仓检查门与 1#滑动安全门形成的夹角处、出胎仓检查门与 4#滑动安全门形成的夹角处、2#滑动安全门内侧、3#滑动安全门内侧及操作台上各设置 1 个急停按钮。每个急停按钮处均带有标签并标明使用方法。在出现紧急情况时，按下任意急停按钮即可切断设备电源，使 X 射线立即停止出束。	
	6.1.10 探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于 3 次。	(1) SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机探伤室容积较小，在轮胎检测的过程中，工件防护门不断开启、关闭，通过自然扩散通风，即可使探伤室内的 O₃ 和 NO_x 得以扩散，并最终通过车间上方的排风装置排至厂房外； (2) 2824 型 X 射线成像系统检测室顶部西北角设置有 1 处排风口，排风口处安装有机械排风装置，排风量为 600m³/h。探伤室净容积约 76.93m³，每小时有效通风换气次数大于 3 次。O₃ 和 NO_x 排放至车间后通过车间排风装置排放至厂房外。	满足
	6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。	本项目拟在 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机探伤室维修门及 2824 型 X 射线成像系统检测室主门顶部设置 1 台固定式辐射监测仪（含探头），用于连续监测辐射水平，监测数据通过电缆传输至操作室内操作位处的显示单元。该监测仪具备声光报警功能，当探测到的辐射剂量率超过预设阈值（2.5μSv/h）时，报警装置将发出红色灯光并持续鸣响。当发生超阈值报警时，辐射工作人员应立即按下急停按钮终止照射，并向辐射防护负责人报告。急停按钮为自锁式设计，触发后需手动复位方可恢复正常工作状态。	满足
	6.2.2 探伤工作人员在进入探伤室时，	辐射工作人员进入探伤房时需携带	满

	除佩戴常规个人剂量计外，还应携带个人剂量报警仪和便携式 X- γ 剂量率仪。当剂量率达到设定的报警阈值报警时，探伤工作人员应立即退出探伤室，同时防止其他人进入探伤室，并立即向辐射防护负责人报告。	个人剂量报警仪和剂量率监测仪（便携式），当个人剂量报警仪报警时，工作人员应立即离开探伤房，同时阻止其他人进入探伤房，并立即向辐射工作负责人报告。	足
	6.2.3 应定期测量探伤室外周围区域的剂量率水平，包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。测量值应与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时，应终止探伤工作并向辐射防护负责人报告。	建设单位拟配备 1 台剂量率监测仪（便携式）用于日常辐射监测，对探伤房周围剂量当量率进行巡测（每月 1 次），做好巡测记录。当测量值高于参考控制水平时，需立刻停止工作并向辐射防护负责人报告并查找原因。	满足
	6.2.4 交接班或当班使用便携式 X- γ 剂量率仪前，应检查是否能正常工作。如发现便携式 X- γ 剂量率仪不能正常工作，则不应开始探伤工作。	工作人员作业前检查剂量率监测仪（便携式）是否正常工作，如发现便携式剂量率仪不能正常工作时，则不能开始探伤工作。	满足
	6.2.5 探伤工作人员应正确使用配备的辐射防护装置，如准直器和附加屏蔽，把潜在的辐射降到最低。	在每次照射前，辐射工作人员需正确佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，将防护门关闭到位才能出束，把潜在的辐射降到最小。	满足
	6.2.6 在每一次照射前，辐射工作人员都应该确认探伤室内部没有人员驻留并关闭防护门。只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开始探伤工作。	在每一次照射前，辐射工作人员将进行以下确认：探伤房内部没有人员驻留，防护门已关闭，所有防护与安全装置系统都启动并正常运行。	满足
	6.2.7 开展探伤室设计时未预计到的工作，如工件过大等特殊原因必须开门探伤的，应遵循本标准第 7.1 条～第 7.4 条的要求。	（1）SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机配备的轮胎规格识别系统安装于输送带入口处，用于在轮胎进入检测位置前获取其尺寸数据，并据此自动匹配相应的运动定位程序，有效避免因工件尺寸过大而导致开门探伤的情况发生； （2）2824 型 X 射线成像系统入胎仓入口尺寸按最大直径 1350mm 轮胎设计，仅允许不超过该规格的轮胎进入，因此不存在工件尺寸过大问题。	满足

10.4.2 自屏蔽加速器

加速器辐射工作场所拟配置的各项辐射安全防护措施与《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）和《辐射加工用电子加速器工程通用规范》（GB/T25306-2010）中对自屏蔽加速器防护设施的技术要求对照，符合性分析

情况见表 10.4.2。

表 10.4.2 本项目自屏蔽加速器拟设置的辐射安全和防护设施对照评价

标准名称	标准要求	本项目拟配置情况	对比
《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)	c) 监督区的辐射剂量水平应符合 GB18871-2002 和 GB5172-1985 中的职业照射剂量限值要求；在工程设计时辐射防护设计的剂量规定为职业照射个人年有效剂量限值为 5mSv；公众人员个人年有效剂量限值为 0.1mSv。	根据估算结果，本项目辐射工作人员及周围公众年有效剂量能够满足本项目管理目标剂量约束值要求职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv。	满足
	d) 控制区必须设有功能齐全、性能可靠的安全联锁系统和监控、紧急停机开关等设置。	主屏蔽体设有安全联锁系统，屏蔽体的防护门联锁，紧急按钮、剂量监测联锁和故障报警指示组成。	满足
	e) 控制区和监督区及其入口处应设置显示电子加速器装置运行状态的灯光信号和其他警示标志。	在辐照室外，设计有工作状态指示灯和电离辐射警示牌，工作状态警示灯与加速器高压联锁，当加速器启动时，警示灯将亮起并发出闪烁信号，以提醒周围人员勿靠近。其中红色指示设备处于停机状态，绿色表示设备运行，黄色表示设备待机（排气）。	满足
	f) 剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备。	每个辐射工作人员均佩戴个人剂量片及个人剂量报警仪。	满足
	g) 其他物理因素安全要求应满足 GBZ2.2-2007 规定的标准要求（见附录 C）。C.3 有害气体职业接触限值按照 GBZ2.1-2007，有害气体职业接触限值如下 a) 臭氧，最高容许浓度 0.3mg/m ³ 。 b) 二氧化氮，时间加权平均容许浓度 5mg/m ³ ，短时间接触容许浓度 10mg/m ³ 。	在自屏蔽加速器停止工作后，机房的排风系统继续工作，通过约 5min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度（0.3mg/m ³ ）。氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，对环境的影响较小。	满足
《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）	5.1.1 自屏蔽式电子加速器辐照装置工作场所应根据工艺流程相对集中布置，并考虑周围的辐射安全。装置应尽量远离人员密集区域。	该装置工作场所已相对集中布置并避开了人员密集区，满足相关辐射安全规范的要求。	满足
	5.1.2 自屏蔽式电子加速器辐照装置工作场所应分为控制区和监督	（1）控制区：一层的辐照室、预备室、纤维帘布层出入口及二	满足

	区。 a) 控制区，如辐照室及物料进出口以内的区域； b) 监督区，如操作区、未被划入控制区的自屏蔽式电子加速器辐照装置辅助设施区和其他需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。	层平台区域；加速器出束运行时，任何人不得进入控制区； (2) 监督区：将加速器机房周围相邻的区域（包括电气设备、风机、水冷设备）范围设为监督区，加速器工作过程中除辐射工作人员外，其他人员严格限制进入。	
	5.1.3在控制区出入口处和其他必要的地方，应设立醒目的、符合GB18871规定的电离辐射警告标志和标识。	在控制区出入口、加速器设备及操作台等位置，均设立醒目的、符合GB 18871规定的电离辐射警告标志。	满足
	5.2辐射水平控制要求在最高能量和最大束流强度条件下，自屏蔽式电子加速器辐照装置屏蔽体外表面5cm处、物料进出口处及操作位处的周围剂量当量率应不大于2.5uSv/h。	通过预测计算自屏蔽式电子加速器辐照装置屏蔽体外表面5cm处、物料进出口处及操作位处的周围剂量当量率均不大于2.5uSv/h。	满足
	5.3.1自屏蔽式电子加速器辐照装置应设置多层联锁装置，以满足纵深防御原则。联锁装置使有关部件的动作相互关联，每个部件均必须处于规定的状态，否则加速器不能投入 a) 运行和使用，或者使已投入运行和使用的加速器立即停机； b) 联锁装置不得旁路，维护与维修后应恢复原状。	(1) 门-机联锁：门未关无法启动，门打开自动停机；设备平台楼梯口设门禁。 (2) 剂量联锁：固定式监测仪阈值2.5μSv/h, 超阈值声光报警并自动停机。 (3) 束下装置联锁：传输系统故障时自动切断电源。 (4) 通风联锁：排风机正常工作后方可出束，停机后排风延迟≥5分钟。 (5) 多重高压联锁：包括真空、冷却水、冷却风机、扫描电流、过压过温等保护。 联锁装置均按照规定运行，维护与维修后恢复原状。	满足
	5.3.2自屏蔽式电子加速器辐照装置外醒目位置处应设置灯光和音响警示信号，用于对现场人员的警示。应设置工作状态指示装置，并与自屏蔽式电子加速器辐照装置运行状态相关联。	在操作台设计有工作状态指示灯和电离辐射警示牌，工作状态警示灯与加速器高压联锁，当加速器启动时，警示灯将亮起并发出闪烁信号，以提醒周围人员勿靠近。其中红色指示设备处于停机状态，绿色表示设备运行，黄色表示设备待机（排气）。	满足
	5.3.3自屏蔽式电子加速器辐照装置的运行操作必须在操作台进行，	自屏蔽式电子加速器辐照装置的运行操作在操作台进行，操作台上	满足

	操作台上宜包含主要运行参数显示、运行开关、停止开关、联锁装置控制系统显示、设备故障显示及复位开关等。	宜包含主要运行参数显示、运行开关、停止开关、联锁装置控制系统显示、设备故障显示及复位开关等。	
	5.3.4操作台上应设置钥匙开关，并和加速器联锁。如从操作台上取出该钥匙，加速器应自动停机。该钥匙应与一台有效的个人剂量报警仪紧密相连，该钥匙是唯一的且只能由运行值班长使用。	控制加速器系统的运行，钥匙开关未闭合状态时加速器无法开机。如从操作台上取出该钥匙，加速器自动停机；钥匙与一台有效的便携式辐射监测报警仪相连，在运行中该钥匙是唯一的且只能由专人保管，确保他人不能随意开启设备。	满足
	5.3.5自屏蔽式电子加速器辐照装置上所有与辐射防护相关活动部件必须与束流控制及加速器高压联锁，所有与辐射防护相关活动部件打开时，加速器不能开机，加速器运行中活动部件被打开则加速器应自动停机。	(1) 门-机联锁：门未关无法启动，门打开自动停机；设备平台楼梯口设门禁。 (2) 剂量联锁：固定式监测仪阈值$2.5\mu\text{Sv/h}$，超阈值声光报警并自动停机。 (3) 束下装置联锁：传输系统故障时自动切断电源。 (4) 通风联锁：排风机正常工作后方可出束，停机后排风延迟≥ 5分钟。 (5) 多重高压联锁：包括真空、冷却水、冷却风机、扫描电流、过压过温等保护。	满足
	5.3.6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。	电子加速器未出束时，当辐照室内的传输系统出现故障时，将不能启动该辐照室的电子加速器进行出束作业；在电子加速器出束作业情况下，当辐照室内的传输系统出现故障（偏离正常运行或停止运行时），设备将自动切断加速器电源，使得该辐照室内的电子加速器立即停止出束。	满足
	5.3.7在操作台和束下装置上应设置紧急停机装置，紧急状态下能终止加速器的运行。	拟在加速器操作台及束下装置上设有急停按钮，所有急停按钮均有明显的标志，供应急停止使用。当出现紧急情况时，只需按下急停按钮，则该辐照室的加速器将立即断电，停止出束。在紧急情况、事故处理完毕后，需将紧急停机开关本地复位，加速器才能重新启动。	满足
	5.3.8自屏蔽式电子加速器辐照装置屏蔽体外应设置固定式辐射检测仪，其数字显示装置宜安装在操	本项目拟于加速器防护门顶部安装固定式实时辐射剂量率监测系统，显示装置设于设备本体	满足

	作台或检测位置，当辐射超过预定水平时，应发出警告信号，并且加速器应紧急停机。	处。当监测到的辐射泄漏剂量率超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 设定阈值时，声光报警器将发出报警，并自动触发联锁停机。	
	5.3.9辐照室应设置通风系统，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打开屏蔽体，以保证臭氧等有害气体浓度低于允许值。	辐照室通风系统正常工作后，加速器才能出束；在通风系统未正常工作时，加速器将无法进行出束作业。在加速器正常运行过程中，当通风系统发生故障时，加速器将立即停止出束。加速器的控制软件设计有正常停机后排风系统延迟关闭和防护门延迟开启系统，即加速器正常停止出束后，排风系统将继续工作至少 5min ，在 5min 内，即使对排风系统发出停止工作指令，排风系统仍将有效工作 5min 。若加速器非正常停止出束，则排风系统的运行和防护门的开启情况不受限制。	满足
	5.3.10自屏蔽式电子加速器辐照装置外围应安装监视探头，实时监控加速器的运行情况，发生应急事故时能及时处理。	自屏蔽式电子加速器辐照装置外围拟安装监视探头，实时监控加速器的运行情况，发生应急事故时能及时处理。	满足

10.5 三废的治理

10.5.1X 射线实时成像检测系统

X 射线成像系统在检测过程中不产生放射性固体废物、放射性废水及放射性废气。X 射线成像系统在工作状态时会产生 X 射线，X 射线会使空气电离产生微量的臭氧和氮氧化物，臭氧在空气中 50 分钟后会自动分解为氧气。

本项目 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机的探伤室容积较小，在铅防护门开启后，通过自然扩散通风，即可使探伤室内的 O_3 和 NO_x 进入车间内，并最终通过车间上方的内换气扇排至厂房外；2824 型 X 射线成像系统检测室顶部西北角设置有 1 处排风口，排风口处安装有机机械排风装置，排风量为 $600\text{m}^3/\text{h}$ 。探伤室净容积约 76.93m^3 ，每小时有效通风换气次数大于 3 次。上述有害气体经自然扩散及机械排风后，在车间内被迅速稀释，最终通过车间换气系统排至厂房外，对周边环境空气质量基本无影响。

10.5.2 自屏蔽加速器

本项目为自屏蔽加速器应用，运行过程中不产生放射性废气和放射性固体废物。

加速器运行时需用循环水进行冷却处理，因此冷却水可能被活化而产生少量 ¹⁵O、¹⁶N，半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，放置一定时间其活度即可衰减到较低水平。冷却水正常运行中循环使用不外排，因此本项目不涉及排放放射性废水。仅在设备检修时可能产生少量活化冷却水，由于其中 ¹⁵O、¹⁶N 半衰期极短，检修前设备停机后静置一段时间（如 30min），上述核素即可基本衰变完全，因此检修废水对环境基本无影响。

加速器运行时会使电离空气中的氧气分子产生微量的臭氧和氮氧化物等气体，这些气体通过加速器自带的动力排风系统排出辐照室（经设备自带的 S 型包铅排风管引出），随后再接入厂房排风管道延伸至室外排入大气，对周边大气环境影响较小。

10.6 辐射环境保护投资

本项目总投资 300 万元，环境保护投资共计 80 万元，占本项目总投资额的 27%。详见表 10.6.1。

表 10.6.1 本项目辐射防护措施投资明细表

类别	环保措施	投资估算（万元）
专用防护措施	各射线装置指示、警戒灯、警戒线等	20
辐射监测设备	个人剂量计、个人剂量报警仪等	20
其他费用	生态环境影响评价、竣工环保验收、辐射 工 作人员培训、职业健康检查、辐射事故 应急演练、相关制度上墙等	40
合计		80

10.7 项目安全设施可行性

SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机和 2824 型 X 射线成像系统均为 X 射线探伤装置，均设有固定的辐射工作场所及相应的辐射安全和防护措施，符合《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）、《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）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）等相关标准的要求。

加速器辐射工作场所拟配置的各项辐射安全防护措施满足《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）和《辐射加工用电子加速器工程通用规

范》（GB/T 25306-2010）中对自屏蔽加速器防护设施的技术要求。

综上所述，本项目 X 光机及自屏蔽加速器所选用的屏蔽材料和防护厚度能够有效屏蔽其辐射源产生的 X 射线，辐射工作场所的辐射安全与防护措施符合相关标准要求，本项目安全设施设计合理可行。

表 11 生态环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目均为一体化设备，建设期主要为设备安装，不涉及土建施工，故项目建设期产生的环境影响主要是设备进厂安装时产生的噪声、包装材料废物等环境影响。包装材料废物依托厂区现有工程处理，设备安装产生的噪声为间断性的，随着设备安装的结束，噪声影响也随即结束。

11.2 运营阶段对环境的影响

11.2.1 X 射线成像系统辐射生态环境影响分析

11.2.1.1 估算模式选取

(1) 有用线束屏蔽

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》及第 1 号修改单（GBZ/T250-2014），有用线束在关注点处的剂量率按式（11-1）进行估算，估算公式如下

$$\dot{H}=\frac{I\cdot H_0\cdot B}{R^2} \qquad \text{式（11-1）}$$

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

I ——X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，mA；

H_0 ——距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ， $\text{mSv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 为单位的值乘以 6×10^4 ，见附录表 B.1，本项目 X 射线成像系统管电压均为 100kV，通过内插法计算，输出量约为 $10.6\times 6\times 10^4=6.36\times 10^5\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ；

B ——屏蔽透射因子

R ——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m。

其中对于给定的屏蔽物质厚度 X ，相应的辐射屏蔽透射因子 B 按式（11-2）计算

$$B = 10^{-X/TVL} \qquad \text{式（11-2）}$$

式中： X ——屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL——X 射线束在铅中的什值层厚度，mm，本次评价的 X 射线成像系统管电压均为 100kV，根据《辐射防护导论》（方杰主编）P98 取值 0.14mm。

(2) 漏射线辐射屏蔽

漏射辐射屏蔽计算模式采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》及第 1 号修改单

(GBZ/T250-2014) 中的式 (11-3)

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \cdot B}{R^2} \quad \text{式 (11-3)}$$

式中: B ——屏蔽透射因子;

R ——辐射源点 (靶点) 至关注点的距离, m;

$\dot{H}_L$ ——距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$, 根据 GBZ/T250-2014 中表 1 取值, 本项目 X 射线成像系统 X 射线管电压 $< 150\text{kV}$, 因此 $\dot{H}_L$ 取 1×10^3 。

(3) 散射辐射屏蔽

散射辐射屏蔽计算模式采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》及第 1 号修改单 (GBZ/T250-2014) 中的式 (11-4)

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad \text{式 (11-4)}$$

式中: I ——X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流, mA;

H_0 ——距辐射源点 (靶点) 1m 处输出量, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$;

B ——屏蔽透射因子;

F —— R_0 处的辐射野面积, m^2 ;

α ——散射因子, 入射辐射被单位面积 (1m^2) 散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比;

R_0 ——辐射源点 (靶点) 至探伤工件的距离, m;

R_s ——散射体至关注点的距离, m。

根据 GBZ/T 250-2014 附录 B.4.2, 当 X 射线探伤装置圆锥束中心轴和圆锥边界的夹角为 20° 时, $R_0^2 / (F \cdot \alpha)$ 因子的值为: 60 (150kV) 和 50 ($200\text{kV} \sim 400\text{kV}$)。本项目 SS-X1006SMI 型 X 光机管电压小于 150kV , 实际辐射束半角约为 3° (全幅角 6°), 远小于标准附录中 20° 的参考值; 2824 型 X 射线成像系统管电压同样小于 150kV , 实际辐射束半角约为 20° (全幅角 40°), 与标准参考值一致。计算中涉及散射因子 α , 根据 GBZ/T 250-2014 表 B.3, 将 α 视为常数是符合标准规定的合理保守处理。在 R_0^2 与 α 相同条件下, 辐射野面积 F 与夹角正切平方成正比, 因此 3° 对应的 F 远小于 20° 对应的值。由于 $R_0^2 / (F \cdot \alpha)$ 与 F 成反比, 其实际的该因子值将显著大于标准中 20° 对应的推荐值 (150kV 时为 60)。为便于工程保守计算, 直接取标准推荐值的倒数 $1/60$ 作为 $F \cdot \alpha / R_0^2$

的取值依据，而 2824 型 X 射线成像系统实际夹角与标准参考值一致，可直接选取 $R_0^2/(F \cdot \alpha) = 60$ 作为散射屏蔽计算参数。该处理方式可确保屏蔽设计留有充足安全余量。

11.2.1.2 估算结果

(1) SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机

SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机的射线幅角为 $6^\circ \times 280^\circ$ ，即射线向上辐射远离操作室方向垂直轴向角度为 280° ，与操作室平行方向上垂直轴向角度为 6° 。因此，设备的主射束基本覆盖探伤室西南、东北侧及顶部屏蔽体，三侧均为有用射束方向，而探伤室西侧和东南侧屏蔽体仅考虑泄漏辐射和散射辐射影响。SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机主射区域详见图 11.2-1~图 11.2-3。

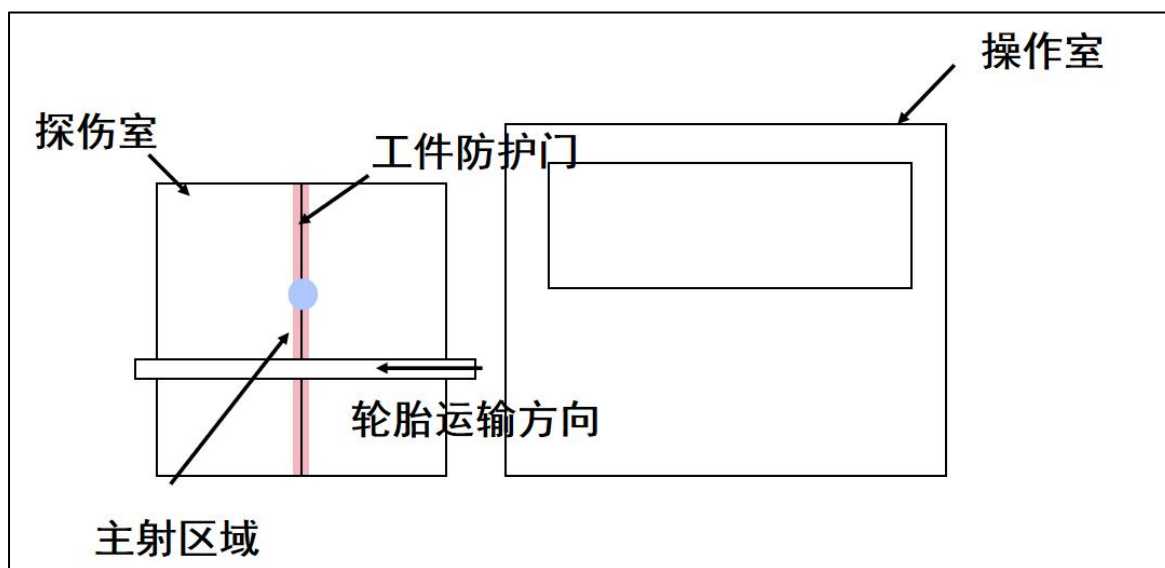


图 11.2-1 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机主射束方向（正视）

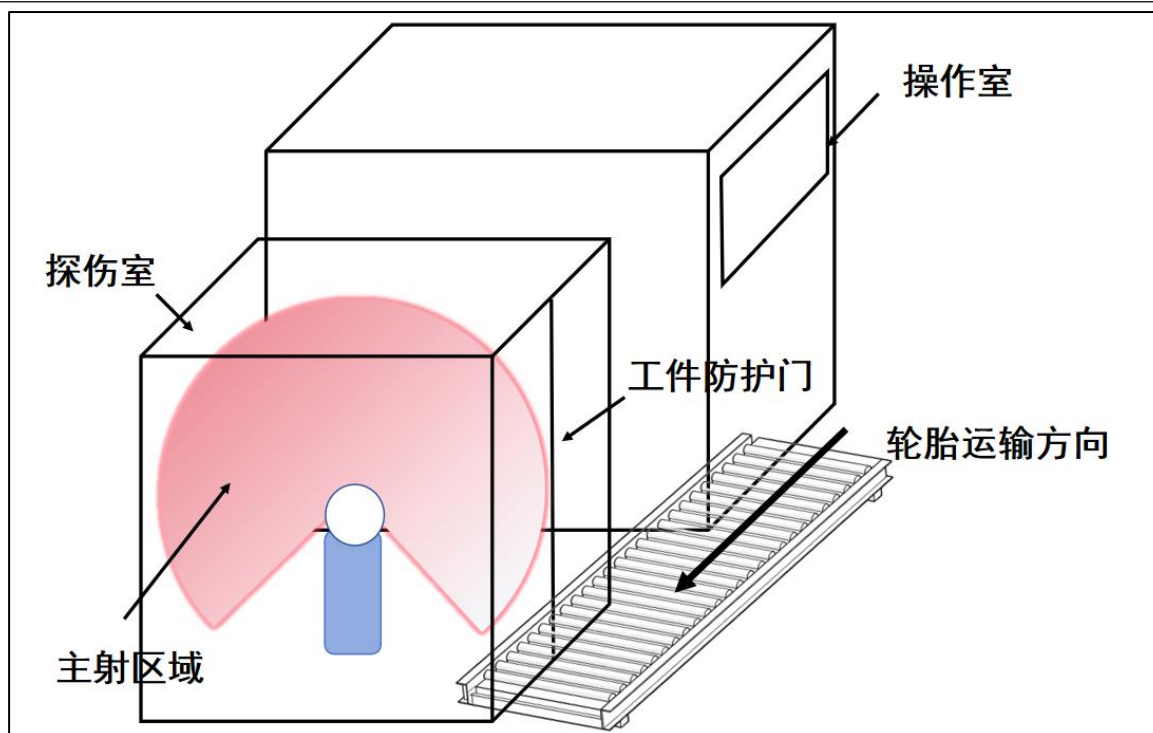


图 11.2-2 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机主射束方向（侧视）

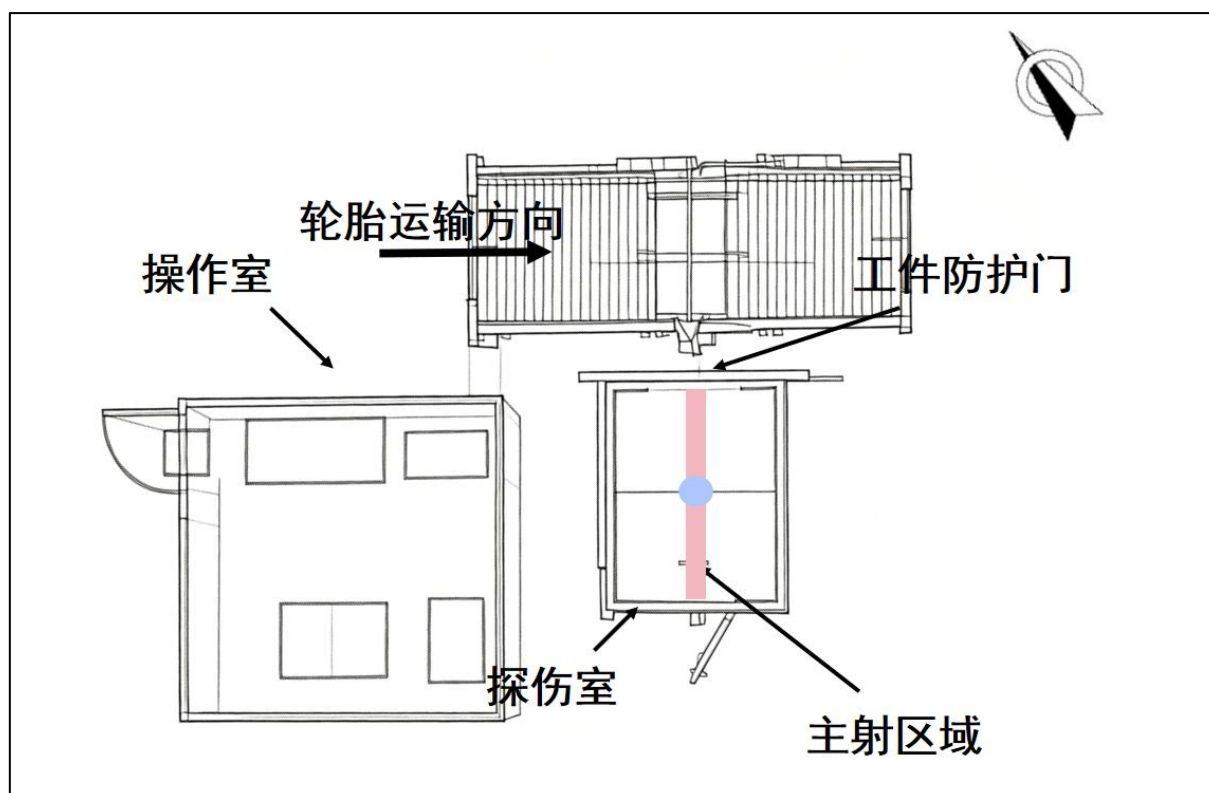


图 11.2-3 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机主射束方向（俯视）

根据 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机特征及探伤室周围环境状况，选取探伤室四周墙体（含防护门）外 30cm 处、顶部上方 30cm 处及操作室边界作为剂量关注

点（见图 11.2-4、图 11.2-5）。设备屏蔽体为钢—铅复合结构，计算时保守仅计入铅层屏蔽。依据式（11-1）至式（11-4）计算各关注点瞬时剂量率，屏蔽计算参数及结果见表 11.2.1 和表 11.2.2。

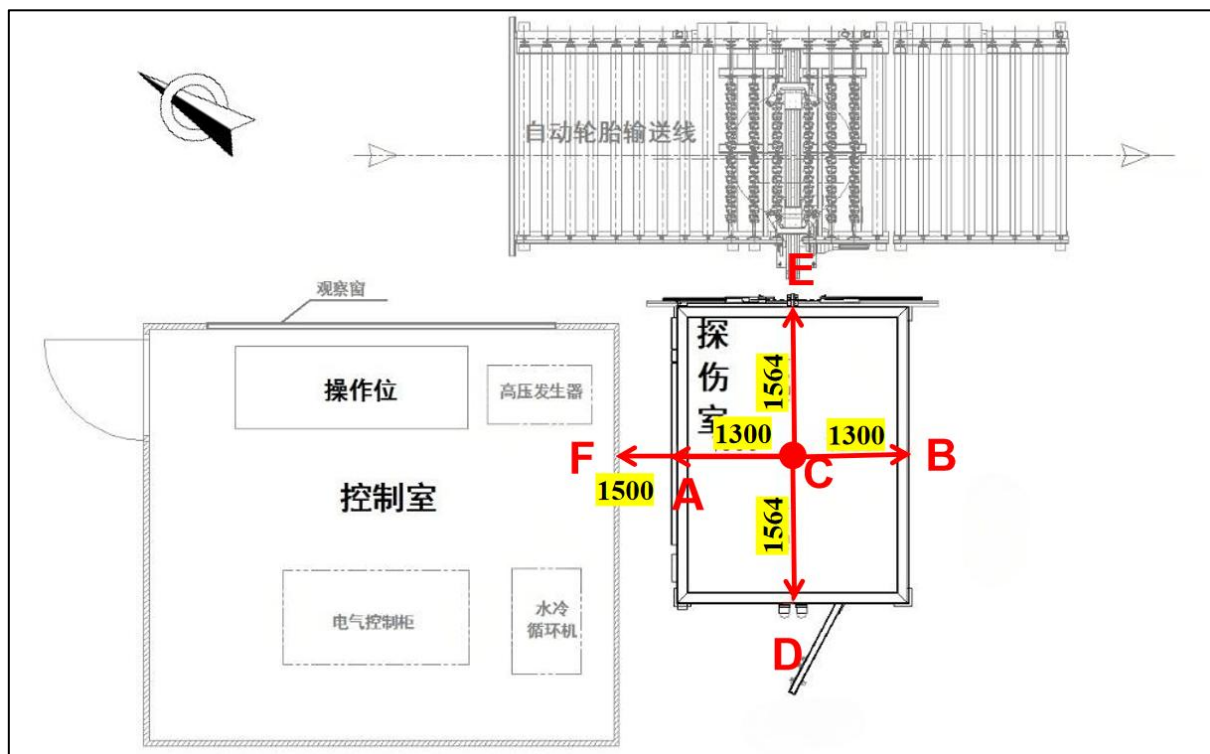


图 11.2-4 估算点位位置示意图（1）

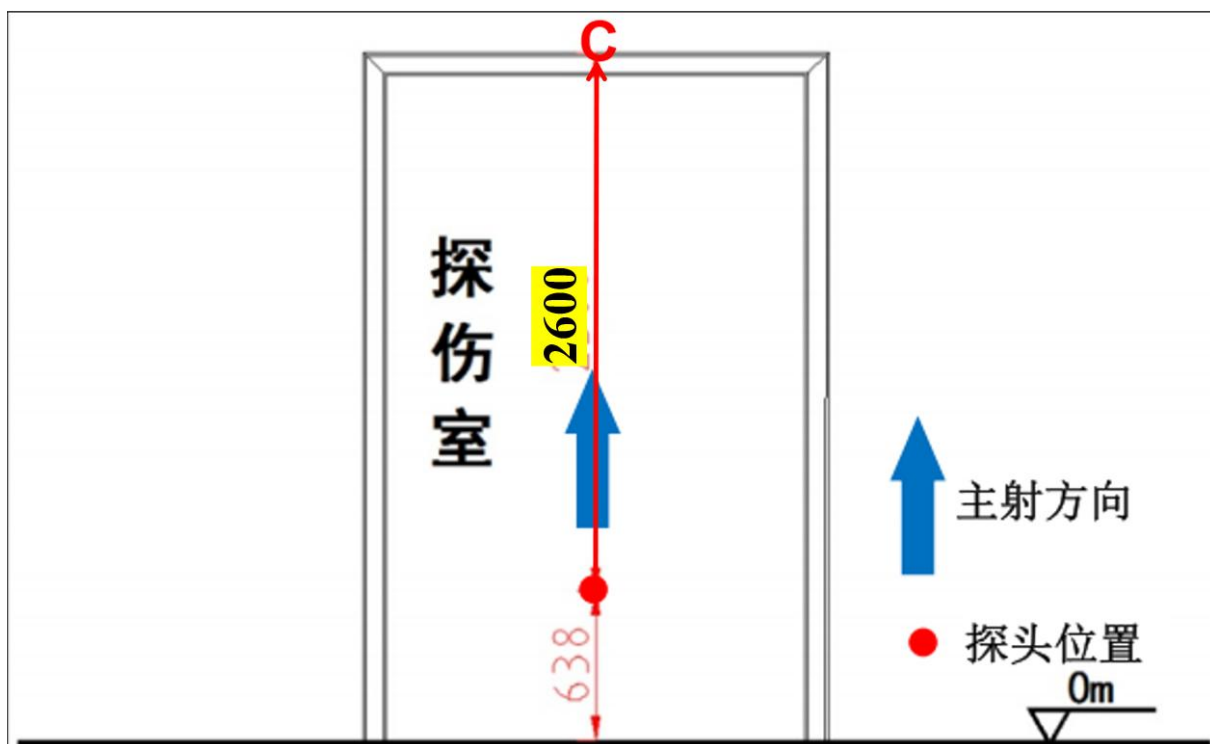


图 11.2-5 估算点位位置示意图（2）

表 11.2.1 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机有用线束计算结果表

屏蔽体 参数		C	D	E
		探伤室顶部外	探伤室维修防 护门西南侧外	探伤室工件防 护门东北侧外
$I(\text{mA})$		6		
$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1})$		6.36×10^5		
$X(\text{mm})$		6		
$TVL(\text{mm})$		0.14		
B		1.39×10^{-43}	1.39×10^{-43}	1.39×10^{-43}
$R(\text{m})$		2.60	1.564	1.564
参考点处剂量率 $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$	$\dot{H}$ 估算值	7.84×10^{-38}	2.18×10^{-37}	2.18×10^{-37}
	$\dot{H}_c$ 控制值	100	2.5	2.5
	评价结果	满足	满足	满足

表 11.2.2 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机泄漏辐射和散射辐射计算结果表

屏蔽体 参数		A	B	F
		探伤室西北侧外	探伤室东南侧外	操作室
泄漏辐射	$\dot{H}_L(\mu\text{Sv/h})$	1×10^3		
	$X(\text{mm})$	5	5	5
	$TVL(\text{mm})$	0.14		
	B	1.93×10^{-36}	1.93×10^{-36}	1.93×10^{-36}
	$R(\text{m})$	1.3	1.3	1.5
	参考点处泄漏辐射剂量率 $\dot{H}$ 估算值($\mu\text{Sv/h}$)	1.14×10^{-33}	1.14×10^{-33}	8.58×10^{-34}
散射辐射	$I(\text{mA})$	6		
	$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1})$	6.36×10^5		
	$R_s(\text{m})$	1.3	1.3	1.03
	$\frac{F\cdot\alpha}{R_0^2}$	1/60		
	参考点处散射辐射剂量率 $\dot{H}$ 估算值($\mu\text{Sv/h}$)	7.27×10^{-32}	7.27×10^{-32}	5.46×10^{-32}
参考点处剂量 率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	$\dot{H}$ 估算值	7.38×10^{-32}	7.38×10^{-32}	5.54×10^{-32}
	$\dot{H}_c$ 控制值	2.5	2.5	2.5
	评价结果	满足	满足	满足

根据表 11.2.1 和表 11.2.2 的理论预测结果, SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机满功率运行时, 探伤室四周墙体外 30cm 处最大值为 $7.38\times 10^{-32}\mu\text{Sv/h}$, 故以上各关注

点均能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的要求，即探伤室外关注点最高周围剂量当量率参考水平不大于本次环评中提出的导出剂量参考控制水平 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，室顶不具备人员到达条件，最大值为 $7.84\times 10^{-38}\mu\text{Sv/h}$ ，也小于 $100\mu\text{Sv/h}$ 剂量率参考控制水平。

（2）2824 型 X 射线成像系统

2824 型 X 射线成像系统射线源向上发射，射线幅角为 $40^\circ\times 270^\circ$ ，即垂直方向发射角度为 270° ，水平方向（垂直于辊道输送方向）发射角度为 40° 。因此检测室东北侧、西南侧及顶部防护面受到主射束照射，入胎仓及出胎仓各防护面仅受到散射和漏射束照射。2824 型 X 射线成像系统主射区域详见图 11.2-6～图 11.2-8。

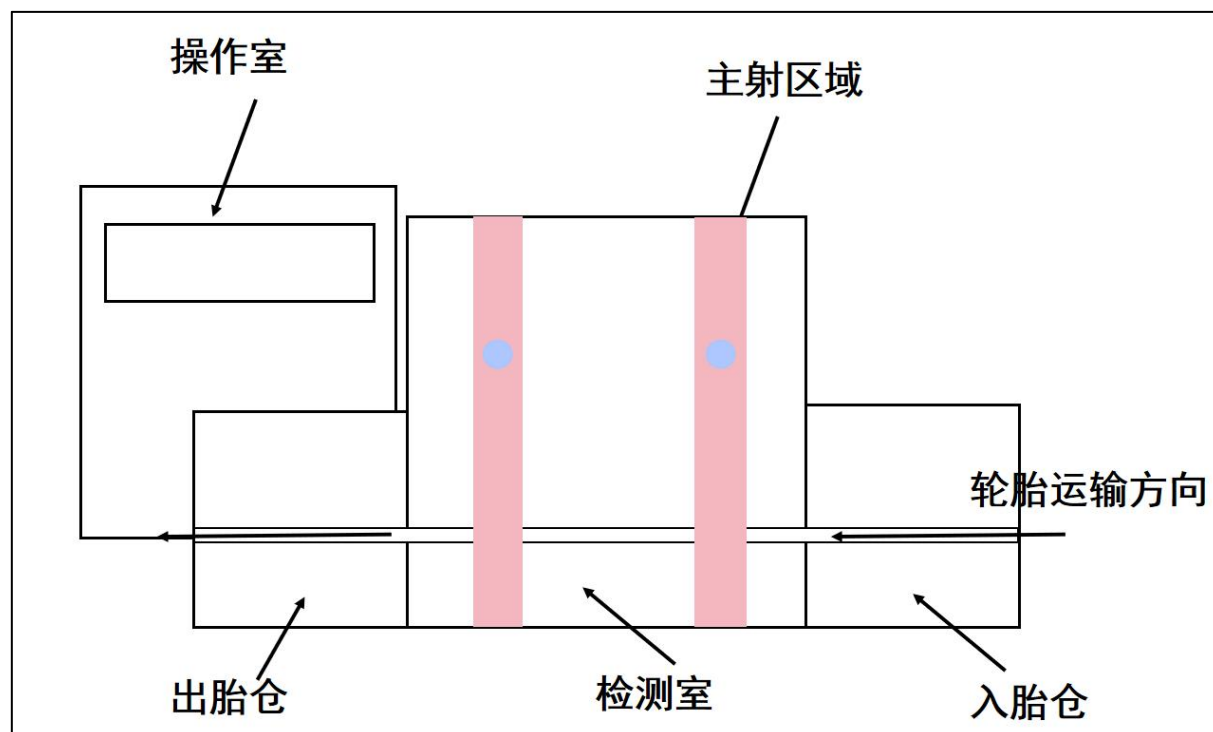


图 11.2-6 2824 型 X 射线成像系统主射束方向（正视）

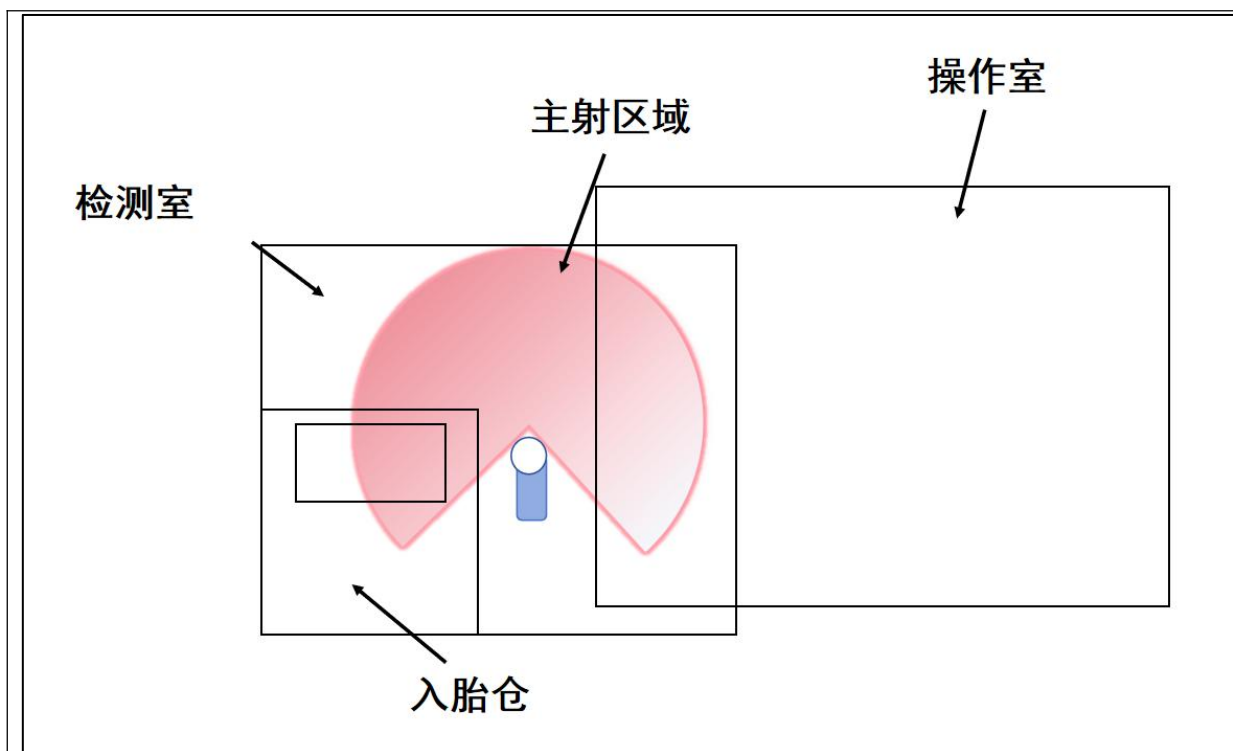


图 11.2-7 2824 型 X 射线成像系统主射束方向（侧视）

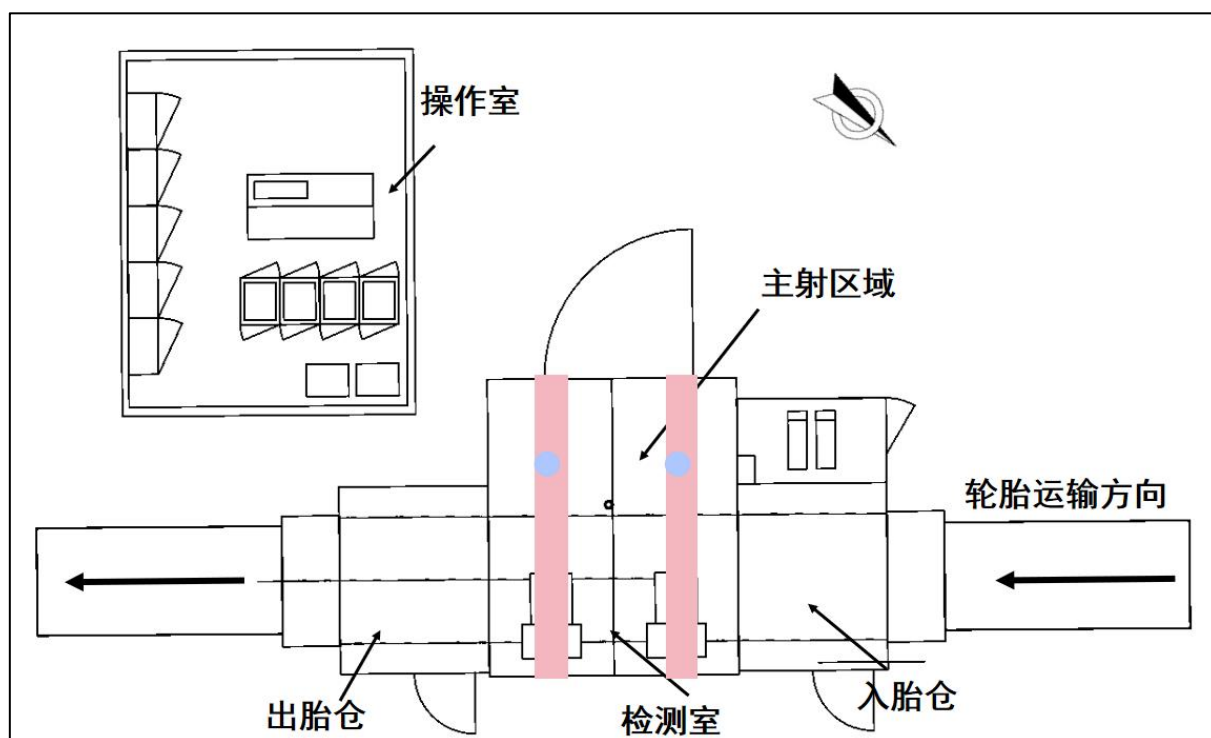


图 11.2-8 2824 型 X 射线成像系统主射束方向（俯视）

由于 2824 型 X 射线成像系统为双工位交替式检查方式，配置有两个射线装置，但两个装置轮流使用，不同时出束。因此，本次预测以靠近操作室的射线装置作为辐射源点进行关注点距离计算。设备屏蔽体为钢—铅复合屏蔽结构，保守考虑，计算时仅计入

铅层的屏蔽效果。根据本项目工程特征及检测室周围环境状况，选取检测室、入胎仓及出胎仓四周及顶部防护面外 30cm 处，以及操作室工作人员驻留位置作为剂量关注点。依据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》及第 1 号修改单（GBZ/T 250-2014）中的屏蔽估算方法（式 11-1 至式 11-4），可计算各关注点处的瞬时剂量率。具体屏蔽防护计算参数及计算结果见表 11.2.3～表 11.2.5。设备各滑动安全门及检查防护门均采用 2mm 铅板，由于同侧两道滑动安全门在运行期间存在不同时关闭的可能，故屏蔽计算时仅按单道门 2mm 铅板保守取值。

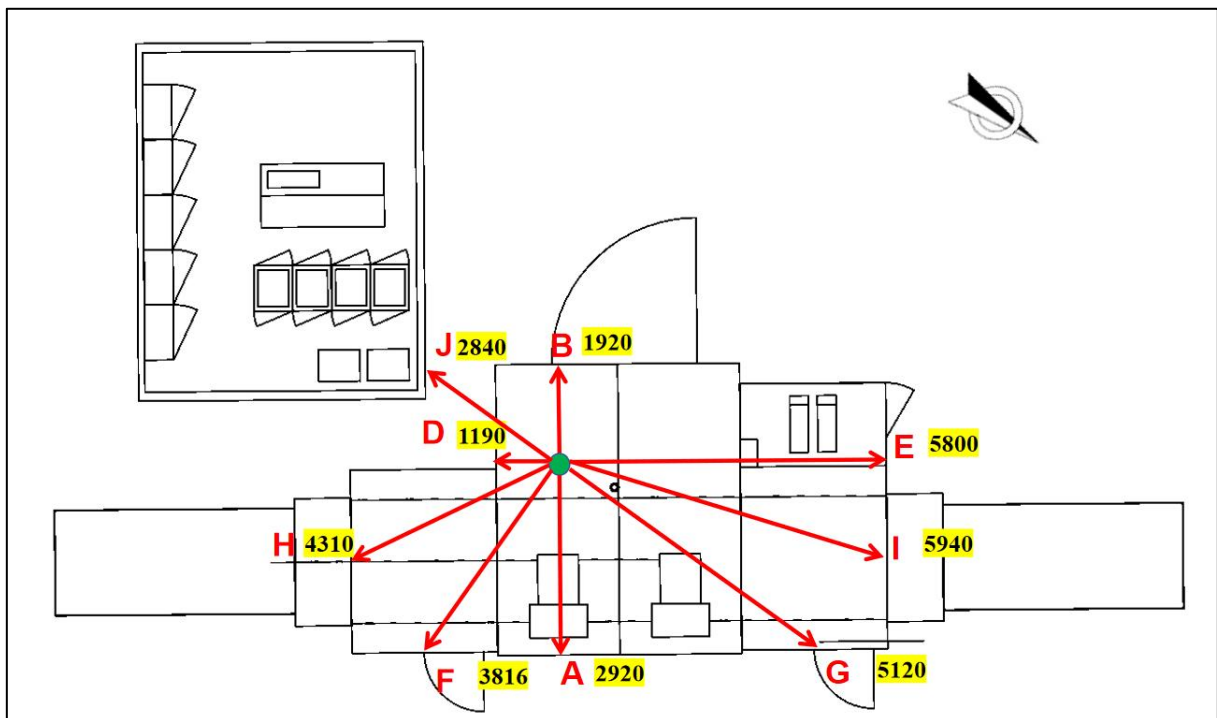


图 11.2-9 估算点位位置示意图（俯视）

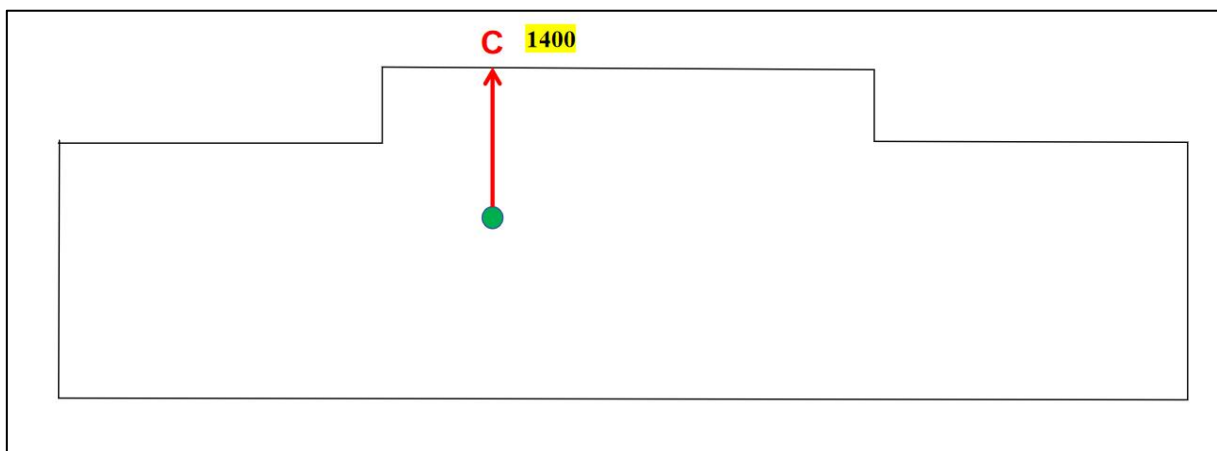


图 11.2-10 估算点位位置示意图（侧视）

表 11.2.3 2824 型 X 射线成像系统有用线束计算结果表

屏蔽体 参数		A	B	C
		检测室东北侧外	检测室西南侧外	检测室顶部外
$I(\text{mA})$		4		
$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1})$		6.36×10^5		
$X(\text{mm})$		2	2	2
$TVL(\text{mm})$		0.14		
B		5.18×10^{-15}	5.18×10^{-15}	5.18×10^{-15}
$R(\text{m})$		2.92	1.92	1.4
参考点处剂量率 $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$	$\dot{H}$ 估算值	1.55×10^{-9}	3.57×10^{-9}	6.72×10^{-9}
	$\dot{H}_c$ 控制值	2.5	2.5	100
	评价结果	满足	满足	满足

表 11.2.4 2824 型 X 射线成像系统泄漏辐射和散射辐射计算结果表 (1)

屏蔽体 参数		D	E	F	G
		检测室东南侧 外	检测室西北侧 外	出胎仓检查门 外	入胎仓检查门 外
泄漏辐射	$\dot{H}_L(\mu\text{Sv/h})$	1×10^3			
	$X(\text{mm})$	2	2	2	2
	$TVL(\text{mm})$	0.14			
	B	5.18×10^{-15}	5.18×10^{-15}	5.18×10^{-15}	5.18×10^{-15}
	$R(\text{m})$	1.19	5.8	3.816	5.12
	参考点处泄漏辐射剂量率 $\dot{H}$ 估算值($\mu\text{Sv/h}$)	3.66×10^{-12}	1.54×10^{-13}	3.56×10^{-13}	1.98×10^{-13}
散射辐射	$I(\text{mA})$	4	4	4	4
	$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1})$	6.36×10^5			
	$R_s(\text{m})$	1.19	5.8	3.816	5.12
	$\frac{F\cdot\alpha}{R_0^2}$	1/60			
	参考点处散射辐射剂量率 $\dot{H}$ 估算值($\mu\text{Sv/h}$)	1.55×10^{-10}	6.53×10^{-12}	1.51×10^{-11}	8.38×10^{-12}
参考点处剂量率 $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$	$\dot{H}$ 估算值	1.59×10^{-10}	6.68×10^{-12}	1.54×10^{-11}	8.58×10^{-12}
	$\dot{H}_c$ 控制值	2.5	2.5	2.5	2.5
	评价结果	满足	满足	满足	满足

表 11.2.5 2824 型 X 射线成像系统泄漏辐射和散射辐射计算结果表（2）

屏蔽体 参数		H	I	J
		出胎仓 4#滑动安全门外	入胎仓 4#滑动安全门外	操作室
泄漏辐射	$\dot{H}_L(\mu\text{Sv/h})$	1×10^3		
	$X(\text{mm})$	2	2	2
	$TVL(\text{mm})$	0.14		
	B	5.18×10^{-15}	5.18×10^{-15}	5.18×10^{-15}
	$R(\text{m})$	4.31	5.94	2.84
	参考点处泄漏辐射剂量率 $\dot{H}$ 估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	2.79×10^{-13}	1.47×10^{-13}	6.42×10^{-13}
散射辐射	$I(\text{mA})$	4	4	4
	$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1})$	6.36×10^5		
	$R_s(\text{m})$	4.31	5.94	2.84
	$\frac{F\cdot\alpha}{R_0^2}$	1/60		
	参考点处散射辐射剂量率 $\dot{H}$ 估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	1.18×10^{-11}	6.22×10^{-12}	2.72×10^{-11}
参考点处剂量率 $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$	$\dot{H}$ 估算值	1.21×10^{-11}	6.37×10^{-12}	2.79×10^{-11}
	$\dot{H}_c$ 控制值	2.5	2.5	2.5
	评价结果	满足	满足	满足

根据表 11.2.3～表 11.2.5 的理论预测结果，拟安装 2824 型 X 射线成像系统满功率运行时，关注点（除 C 点）最大值剂量率为 $3.57\times 10^{-9}\mu\text{Sv/h}$ ，故以上各关注点均能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的要求，即探伤室外关注点最高周围剂量当量率参考水平不大于本次环评中提出的导出剂量参考控制水平 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，室顶不具备人员到达条件，最大值为 $6.72\times 10^{-9}\mu\text{Sv/h}$ ，也小于 $100\mu\text{Sv/h}$ 剂量率参考控制水平。

11.2.1.3 类比监测

福建佳通轮胎有限公司现有 1 套 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机（管电压为 100kV，管电流为 6mA）位于半钢品管处。其环境影响报告表已取得福建省生态环境厅审批意见，并完成验收。类比条件见表 11.2.6。

（1）SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机

表 11.2.6 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机类比可行性分析一览表

参数	X 光机	类比情况差异分析
生产厂家	合肥美亚光电技术股份有限公司	相同

项目	福建佳通轮胎有限公司 5 台 X 射线轮胎检测系统项目	福建佳安橡胶有限公司新增射线装置项目	/
设备型号	SS-X1006SMI 型	SS-X1006SMI 型	相同
最大管电压(kV)	100	100	相同
最大管电流(mA)	6	6	相同
防护方案	实际屏蔽材料	实际屏蔽材料	两者的屏蔽体底部、四壁及主屏蔽体顶部的屏蔽设计基本一致
	探伤室东侧和西侧为 5mm 铅板（操作室方向），南侧、北侧和顶棚为 6mm 铅板（防护门方向），防护门为 6mm	探伤室东侧和西侧为 5mm 铅板（操作室方向），南侧、北侧和顶棚为 6mm 铅板（防护门方向），防护门为 6mm	
用途	轮胎检查	轮胎检查	一致

由表 11.2.6 可知，福建佳通 1 台 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机（最大管电压 100kV、最大管电流 6mA），其设备型号、生产厂家、屏蔽设计方案及轮胎检查用途均与本项目拟用的 X 射线成像系统一致，具备类比条件。福建佳通公司于 2025 年 7 月 7 日委托福建共益安全环保科技有限公司对其设备周围辐射环境进行了现场监测，SS-X1006SMI 型 X 光机周围辐射剂量率监测结果见表 11.2.7。

表 11.2.7 福建佳通 SS-X1006SMI 型 X 光机周围辐射剂量率监测结果一览表

检测点序号	工种	设备名称	安装位置	测定地点	检测结果 μSv/h
1	成品检查工	X 射线成像系统	半钢品管处(D区)	工作人员操作位	<MDL
2				自屏蔽体东侧外表面 30cm 处（南侧）	<MDL
3				自屏蔽体东侧外表面 30cm 处（中部）	<MDL
4				自屏蔽体东侧外表面 30cm 处（北侧）	<MDL
5				自屏蔽体南侧外表面 30cm 处（东侧）	<MDL
6				自屏蔽体南侧外表面 30cm 处（中部）	<MDL
7				自屏蔽体南侧外表面 30cm 处（西侧）	<MDL
8				自屏蔽体西侧围栏外表面 30cm 处（南侧）	MDL
9				自屏蔽体西侧围栏外表面 30cm 处（中部）	<MDL
10				自屏蔽体西侧围栏外表面 30cm 处（北侧）	<MDL
11				自屏蔽体北侧外表面 30cm 处（东侧）	<MDL
12				自屏蔽体北侧外表面 30cm 处（中部）	<MDL
13				自屏蔽体北侧外表面 30cm 处（西侧）	<MDL
14				防护门 M1 外表面 30cm 处（门体中部）	<MDL
15				防护门 M1 外表面 30cm 处（门体左侧）	≤MDL

16				防护门 M1 外表面 30cm 处（门体右侧）	<MDL
17				防护门 M1 外表面 30cm 处（右侧门缝）	<MDL
18				防护门 M1 外表面 30cm 处（左侧门缝）	<MDL
19				防护门 M1 外表面 30cm 处（上侧门缝）	<MDL
20				防护门 M1 外表面 30cm 处（下侧门缝）	<MDL
21				防护门 M1 外表面 30cm 处（双扇门门缝）	<MDL
22				防护门 M2 外表面 30cm 处（门体中部）	<MDL
23				防护门 M2 外表面 30cm 处（门体左侧）	<MDL
24				防护门 M2 外表面 30cm 处（门体右侧）	<MDL
25				防护门 M2 外表面 30cm 处（右侧门缝）	<MDL
26				防护门 M2 外表面 30cm 处（左侧门缝）	<MDL
27				防护门 M2 外表面 30cm 处（上侧门缝）	<MDL
28				防护门 M2 外表面 30cm 处（下侧门缝）	<MDL
注：表内数据均已扣除本底值，本底值范围为 0.088~0.110 μ Sv/h.					

由表 11.2.7 可知，福建佳通已运行的 SS-X1006SMI 型 X 光机屏蔽体外表面 30cm 处周围 X- γ 辐射剂量率均小于 0.11 μ Sv/h。根据 X 射线剂量率衰减原理，距离辐射源越远剂量率越低。因此，该设备屏蔽体外表面 30cm 处的剂量率远低于《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中关于监督区边界剂量率不应超过 2.5 μ Sv/h 的限值要求，满足相关防护标准，由此可合理推断本项目同类设备屏蔽体外表面 30cm 处的剂量率亦能满足上述标准限值要求，满足相关防护标准。

（2）2824 型 X 射线成像系统

安徽佳通乘用车子午线轮胎有限公司现有 3 套 2824 型 X 射线成像系统（管电压为 100kV，管电流为 6mA）位于半钢品管处。其环境影响报告表已取得原安徽省环境保护局审批意见，并完成验收。类比条件见表 11.2.8。

表 11.2.8 2824 型 X 射线成像系统类比可行性分析一览表

参数	X 光机		类比情况差异分析
生产厂家	德国 COLLMANN		相同
项目	安徽佳通轮胎有限公司放射性同位素及射线装置工业应用项目	福建佳安橡胶有限公司新增射线装置项目	/
设备型号	2824 型	2824 型	相同
最大管电压(kV)	100	100	相同
最大管电流(mA)	6	4	相同

防护方案	实际屏蔽材料	实际屏蔽材料	基本一致
	检测室、出胎仓及入胎仓的四周墙体、顶部与底部防护面，均采用 2mm 铅板。4 扇滑动安全门及检查防护门均为 2mm 铅板	检测室、出胎仓及入胎仓的四周墙体、顶部与底部防护面，均采用 2mm 铅板。4 扇滑动安全门及检查防护门均为 2mm 铅板	
用途	轮胎检查	轮胎检查	一致

表 11.2.8 所列安徽佳通乘用车子午线轮胎有限公司 3 套 2824 型 X 射线成像系统（100kV/6mA）与本项目拟用设备型号、厂家、用途基本一致。安徽佳通 2026 年 4 月委托安徽赛尔福职业安全健康有限公司对该公司射线装置进行了周围环境辐射检测。根据检测报告，该公司 2824 型 X 射线成像系统周围辐射剂量率监测结果见表 11.2.9。

表 11.2.9 2824 型 X 射线成像系统周围辐射剂量率监测结果一览表

全钢 2#X 光机检验机 型号：224.D-23558 工作电压：100kV 工作电流：6mA				
编号	检测位置	检测结果(μSv/h)	标准限值(μSv/h)	单项结论
1	设备操作间	0.07	2.5	合格
2	设备进口外表面 30cm 处（北侧）	0.07	2.5	合格
3	设备进口外表面 30cm 处（南侧）	0.06	2.5	合格
4	设备出口外表面 30cm 处（北侧）	0.08	2.5	合格
5	设备出口外表面 30cm 处（南侧）	0.07	2.5	合格
6	设备南侧表面 30cm 处	0.07	2.5	合格
7	设备北侧表面 30cm 处	0.07	2.5	合格
8	设备上方二层平台处	0.08	2.5	合格
注：表中检测值未扣除场所（宇宙射线）本底值：50-80nSv/h。				

由表 11.2.9 可知，安徽佳通 2824 型 X 射线成像系统其屏蔽体外表面 30cm 处 X-γ 辐射剂量率均低于标准限值。综上，本项目设备屏蔽体外表面 30cm 处剂量率可满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）监督区边界剂量率限值（2.5μSv/h）要求。鉴于本项目 X 光机与类比设备在型号、参数及防护设计上基本一致，类比监测数据可有效反映本项目设备的辐射防护水平，表明本项目 X 光机屏蔽体外表面 30cm 处剂量率亦能满足标准限值要求。

11.2.1.4 年有效剂量估算

（1）年有效剂量估算公式

本评价按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）—2000 年报告附录 A，

X-γ 射线产生的外照射人均年有效剂量采用下式进行计算：

$$H_{E-r}=D_r \times t \times 10^{-3} \times T \quad \text{式 (11-5)}$$

式中： H_{E-r} ——X—X 射线外照射人均年有效剂量当量，mSv/年；

D_r ——X—X 射线空气吸收剂量率，μSv/h；

U ——使用因子， U 取 1；

T ——居留因子，经常有人员停留的地方取 1，部分时间有人员停留的地方取 1/4，偶然有人员经过的地方取 1/16；

t ——一年照射时间，小时

(2) 辐照时间确定

根据建设单位提供的资料，SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机每名辐射工作人员的年受照时间为 410 小时，2824 型 X 射线成像系统每台对应的辐射工作人员年受照时间为 262 小时。

(3) 居留因子确定

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》及第 1 号修改单（GBZ/T250-2014），不同环境条件下的居留因子列于下表。

表 11.2.10 居留因子的选取

场 所	居留因子T	停留位置
全居留	1	控制室、暗室、办公室、邻近建筑物中的驻留区
部分居留	1/2~1/5	走廊、休息室、杂物间
偶然居留	1/8~1/40	厕所、楼梯人行道

(4) 职业人员的年有效剂量

1) SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机

在 X 射线轮胎检测系统工作状态下，对辐射工作人员影响的区域主要为操作位。根据表 11.2.1~11.2.2，SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机对辐射工作人员辐射剂量率最大值为探伤室西北及东南方向，即 $7.38 \times 10^{-32} \mu\text{Sv/h}$ 。本评价不考虑探伤室与操作室之间的距离衰减，居留因子取 1；根据实际情况，每名辐射工作人员的年受照时间为 410 小时。故由式 (11-5) 估算职业人员的年有效剂量为 $H_{E-r} = 7.38 \times 10^{-32} \times 1 \times 10^{-3} \times 410 = 3.026 \times 10^{-32} \text{mSv/a}$ 。

由以上估算结果可以看出，SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机对辐射工作人

员年有效剂量最大值为 $3.026 \times 10^{-32} \text{mSv/a}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的 20mSv/a 的剂量限值，也低于本报告提出的 5mSv/a 的年管理剂量约束值。

2) 2824 型 X 射线成像系统

根据表 11.2.3~11.2.5, 2824 型 X 射线成像系统对辐射工作人员的最大剂量率出现在检测室西南侧外方向，为 $3.57 \times 10^{-9} \mu\text{Sv/h}$ 。估算时，本评价从保守角度出发，不考虑操作室的距离衰减效应，居留因子取 1，辐射工作人员年受照时间按 262 小时计。将上述参数代入式（11-5），可得出单台设备所致职业人员年有效剂量为： $H_{E-r} = 3.57 \times 10^{-9} \times 1 \times 10^{-3} \times 262 = 9.35 \times 10^{-10} \text{mSv/a}$ 。考虑到两台 X 射线成像系统布置距离较近，为安全保守估算，将两台设备对职业人员的叠加年有效剂量按单台的两倍计，即为 $1.87 \times 10^{-9} \text{mSv/a}$ 。该值远低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的 20mSv/a 剂量限值，同时也满足本报告设定的 5mSv/a 年管理剂量约束值。X 光机辐射工作人员所致年有效剂量汇总详见表 11.2.11。

表11.2.11 X光机辐射工作人员所致年有效剂量情况

工作人员	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	时间 (h)	居留因子	年剂量率 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)
SS-X1006SMI型半钢子午线轮胎X光机辐射工作人员	7.38×10^{-32}	410	1	3.026×10^{-32}	5
2824型X射线成像系统X光机辐射工作人员	3.57×10^{-9}	262	1	1.87×10^{-9}	5

(5) 公众人员的年有效剂量

1) SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机

探伤室周围基本无人员常驻，周边活动人员属于部分居留，居留因子取 1/4。依据项目平面布局，取探伤室西南侧外 30cm 处剂量率作为计算依据（该点剂量率最大且面向走廊， $7.38 \times 10^{-32} \mu\text{Sv/h}$ ）。X 光机全天 24 小时运行，年出束时间为 1230h。代入式（11-5）估算得公众年有效剂量为 $H_{E-r} = 7.38 \times 10^{-32} \times 1/4 \times 10^{-3} \times 1230 = 2.27 \times 10^{-32} \text{mSv/a}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的 1mSv/a 剂量限值，亦满足本报告提出的 0.1mSv/a 年管理剂量约束值。

2) 2824 型 X 射线成像系统

探伤室周围无公众人员长期居留，周边活动人员属于部分居留，居留因子取 1/4。根据现场设计，取探伤室外 30cm 处剂量率最大值（检测室西南侧面向走廊，为

4.84×10⁻⁹μSv/h)。X 光机全天 24 小时运行，年出束时间为 784h。代入式（11-5）估算得单台设备所致公众年有效剂量为 $H_{E-r}=3.57\times10^{-9}\times1/4\times10^{-3}\times784=7\times10^{-10}\text{mSv/a}$ ，考虑到两台 X 光机布置距离较近，为偏安全保守估算，将两台设备对周边公众人员的叠加年有效剂量按单台的两倍计，即为 1.4×10⁻⁹mSv/a。低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的 1mSv/a 剂量限值，亦满足本报告提出的 0.1mSv/a 年管理剂量约束值。X 光机周边公众人员所致年有效剂量见表 11.2.12。

表11.2.12 X光机周边公众人员所致年有效剂量情况

工作人员	剂量率 (μSv/h)	时间 (h)	居留因子	年剂量率 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)
SS-X1006SMI型半钢子午线轮胎X光机周边公众人员	7.38×10 ⁻³²	1230	1/4	2.27×10 ⁻³²	0.1
2824型X射线成像系统X光机周边公众人员	3.57×10 ⁻⁹	784	1/4	1.4×10 ⁻⁹	0.1

11.2.2 自屏蔽加速器辐射生态环境影响分析

11.2.2.1 电子束对周围环境的影响

本项目电子加速器最大电子能量为 0.5MeV，根据《辐射防护手册》（第一分册）9.2 中电子在其他物质中的射程用下列公式进行计算：

$$R=0.482\cdot R_{A1}\cdot A/Z \quad \text{式（11-6）}$$

$$R_{A1}=0.407\cdot E_{\beta}^{1.33} \quad \text{式（11-7）}$$

式中： R ——电子在物质中的射程，cm；

E_{β} ——电子束流能量，MeV；

A ——物质的原子量；

Z ——物质的原子序数。

由上式计算得出，电子束在铁中最大射程为 0.168cm。本项目拟使用的 CNE-500 型自屏蔽工业电子加速器，均为铅+铁结构屏蔽体，设计屏蔽体厚度完全可以屏蔽能量为 0.5MeV 及以下的电子。因此，电子束对电子加速器辐照室外环境的影响可以忽略不计。

11.2.2.2 韧致辐射产生的 X 射线环境辐射影响分析——估算模式

本项目电子加速器在运行时，电子束朝向向下，在自屏蔽体内可能轰击的物质主要有 3 种：①纤维帘布；②辐照窗膜下方的不锈钢滚筒传输系统、屏蔽挡板（铅+铁）。

在这 3 种轰击物质中，铁的 Z 值（原子序数）最大，X 射线发射率常数最高，故本项目选取铁板为轰击靶进行辐射防护评价。

由于电子束朝下出束，不直射向四周屏蔽体，因此加速器主屏蔽体四周的辐射主要考虑轫致辐射产生的与电子束入射方向呈 90°方向的初级 X 射线。主屏蔽体顶部的辐射防护屏蔽评价，主要考虑屏蔽体内与入射电子束方向呈 105°~180°的轫致初级 X 射线对主屏蔽体顶部考察点的影响。为保守评估辐射水平，105°~180°区间的轫致辐射发射率统一取用 90°方向的发射率常数。

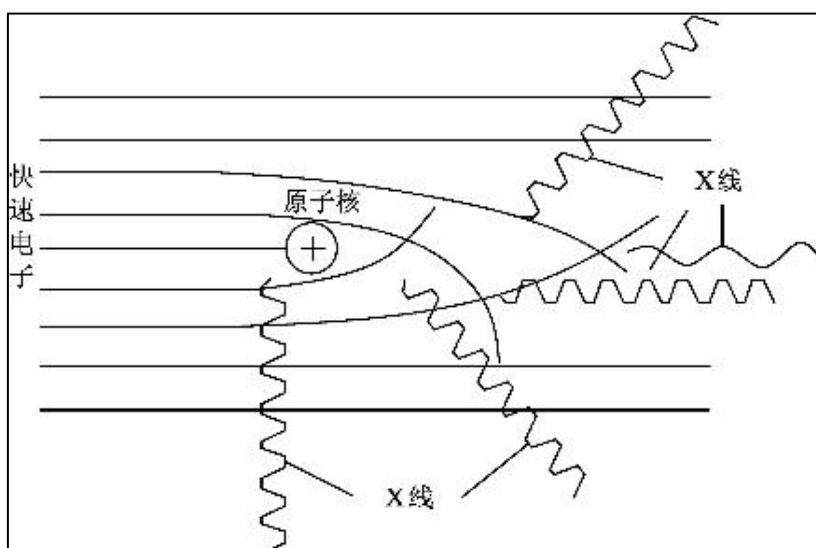


图 11.2-11 轫致辐射产生示意图

加速器屏蔽体辐射防护屏蔽评价，采用《辐射防护导论》（方杰主编）P101（3.50）公式的修正，即考虑沿与电子束入射方向为 90° 的初级 X 射线的屏蔽计算。参考点的吸收剂量指数公式为：

$$H_{I,r}(d) = \frac{I \cdot \delta_a(90^\circ) \cdot \eta_x \cdot q}{1.67 \times 10^{-2} \cdot r^2} \leq H_{L,h} \quad \text{式 (11-8)}$$

式中 $H_{I,r}(d)$ ——经过厚度为 d (m) 的屏蔽层，在参考点上初级 X 射线束的剂量当量指数率，单位是 $\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ；因 X 射线的品质因数 $Q=1$ ，所以 $\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 为单位的吸收剂量指数率与以 $\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 为单位的剂量当量率在数值上相等，故 $H_{I,r}(d)$ 也表示经过厚度为 d (m) 的屏蔽层，在参考点上初级 X 射线束的吸收剂量指数率，单位是 $\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ；

$I \cdot \delta_a(90^\circ)$ ——设置屏蔽前距离辐射源（即靶）1m 处 90°方向的吸收剂量指数率， $\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ ；

I ——电子束流强度 (mA)；

r ——参考点至辐射源的距离（m）；

1.67×10^{-2} ——与 1min 相当的小时数；

η_x ——90°方向上的 X 射线在屏蔽层中的透射比；

$H_{L,h}$ ——参考点上的吸收剂量指数率的控制水平，单位是 $Gy \cdot h^{-1}$ ；

q ——参考点所在区域的居留因子。

由此可知，周围吸收剂量指数率式（11-8）可简化为

$$H_{L,r}(d) = \frac{I \cdot \delta_a(90^\circ) \cdot \eta_x}{1.67 \times 10^{-2} \cdot r^2} \leq H_{L,h} \quad \text{式（11-9）}$$

由于《辐射防护导论》（方杰主编）P346~P348 附图 11~15 及 P333 附表 16 中，缺少与本项目屏蔽材料（铁）及 X 射线能量相对应的透射比曲线及能量减弱倍数 K 值，故本项目采用十倍减弱厚度方法进行屏蔽计算，其计算方法如下：

$$\eta_x = 10^{-n} \quad \text{式（11-10）}$$

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

式中： d ——屏蔽体厚度，cm；

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

$\Delta_{1/10,e}$ ——第一个十倍减弱厚度之后的十倍减弱厚度（cm），其值近似为常数，故也称平衡十分之一值层，cm；

n ——为十分之一值层的个数。

由于本项目加速器装置电子束固定朝下，不直射向四周外壳，因此屏蔽体四周外壳仅考虑垂直地面的电子束轰击板在 90°方向上产生的 X 射线的屏蔽防护，参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A 表 A.1 和表 A.4 规定，对于入射电子能量为 0.5MeV 时，距靶 1m 处侧向 90°方向的 X 射线发射率为 $0.07 Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$ 。本项目辐照物料为纤维帘布，辐照室材料为铅，束下传输装置材料为钢等，均属于低原子序数材料，需根据《辐射防护导论》P73 表 3.1 进行修正，0°方向发射率修正系数取 0.7，90°方向发射率修正系数取 0.5，可得 $\delta_a(90^\circ) = 0.5 \times 0.07 = 0.035 Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$ 。

根据《辐射防护导论》（方杰编）P105 图 3.25 及参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》HJ979-2018 表 A.4，采用外推法可计算得 0.5MeV 电子 90°方向等效入射电子能量约为 0.4MeV。查《辐射防护导论》（方杰编）图 3.23 及图 3.24，铁或钢对电

子能量 0.4MeV 的第一个十倍减弱厚度 $\Delta_{1/10,1}=2.8\text{cm}$ ，第一个十倍减弱厚度之后的十倍减弱厚度 $\Delta_{1/10,e}=2.8\text{cm}$ 。铅的第一个十倍减弱厚度 $\Delta_{1/10,1}=0.3\text{cm}$ ，第一个十倍减弱厚度之后的十倍减弱厚度 $\Delta_{1/10,e}=0.8\text{cm}$ 。

本项目屏蔽层材料厚度为已知参数，由于项目屏蔽层屏蔽材料为铁板+铅板的组成模式，故可用式（11-11）计算出：“15mm、20mm、30mm、35mm、50mm、65mm、70mm 铅板厚度等效铁当量分别为 70mm、87.5mm、122.5mm、140mm、192.5mm、245mm、262.5mm”。

11.2.2.3 韧致辐射产生的 X 射线环境辐射影响分析——计算结果

（1）关注点

1) CNE-500 型自屏蔽加速器（全钢）

CNE-500 型自屏蔽加速器运行时，电子束方向朝下轰击靶件、结构材料及辐照产品，由此产生的韧致辐射（X 射线）是其主要辐射源。由于辐照室下方为土层且人员无法居留，故底部屏蔽防护不予考虑。在辐照室四周屏蔽墙的设计中，辐射影响主要源于与电子束方向呈 90°的初级 X 射线（韧致辐射）。计算时，应将等效入射电子能量作为侧向入射电子的能量参数，并据此采用直射 X 射线屏蔽方法进行校核。本次评价关注点为辐射源至屏蔽体外 5cm，具体位置见示意图 11.2-12~11.2-13。

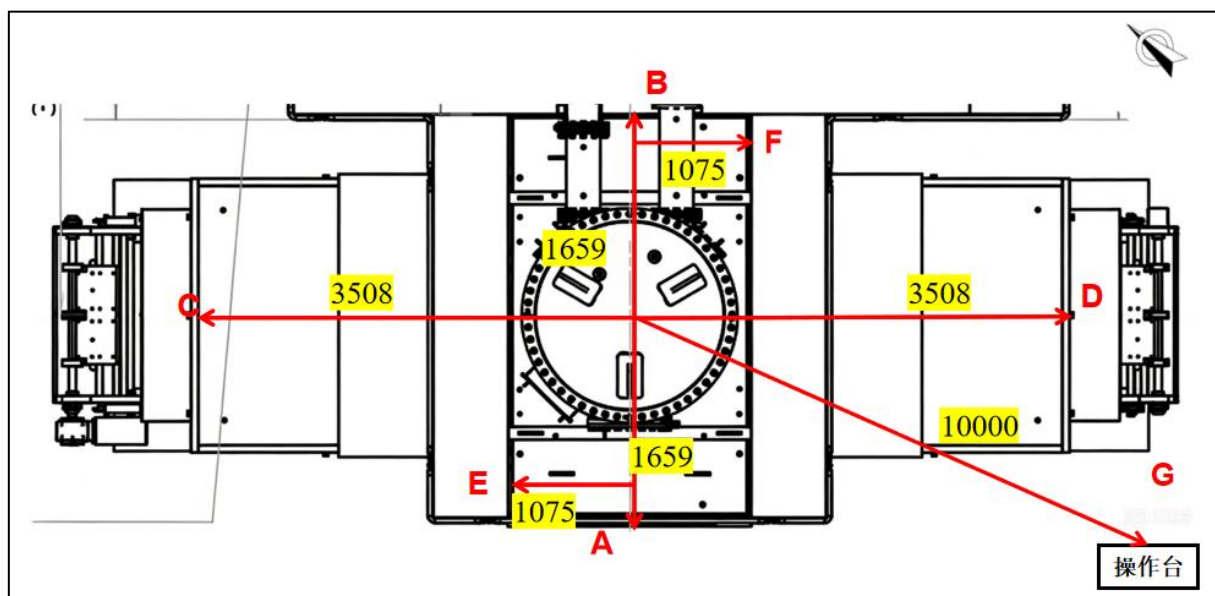


图 11.2-12 CNE-500 型自屏蔽加速器（全钢）一层辐照室关注点位置示意图（俯视图）

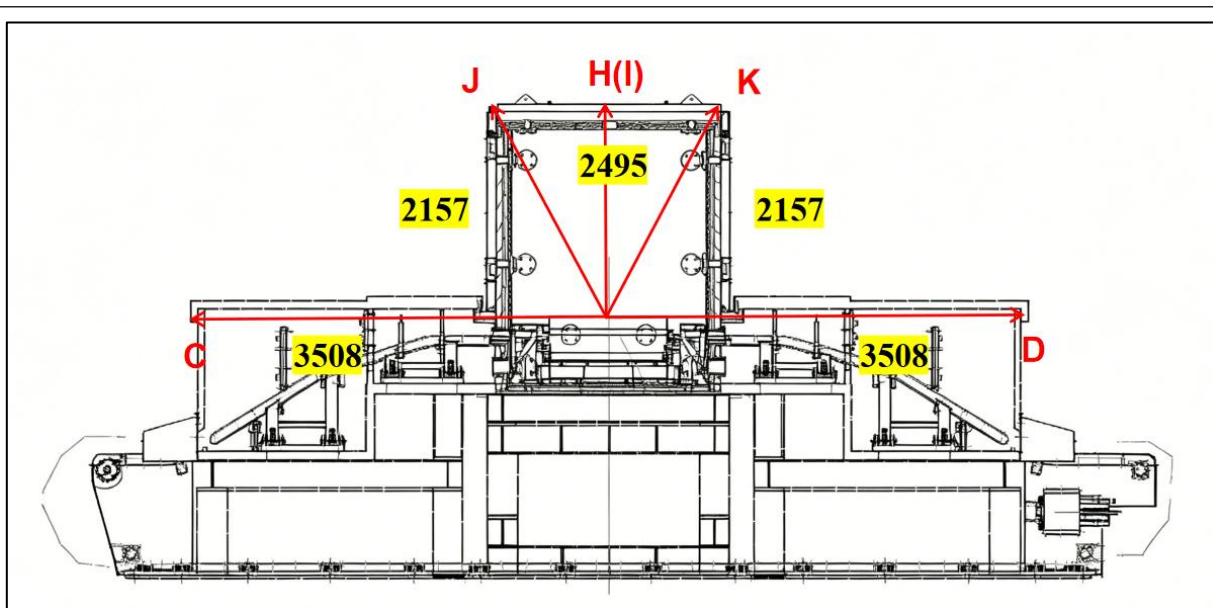


图 11.2-13 CNE-500 型自屏蔽加速器（全钢）二层加速器罐体关注点位置示意图（侧视图）

依据公式 11-9、11-10、11-11 及相关参数，自屏蔽加速器主屏蔽体外参考点处的辐射剂量核算结果见表 11.2.13~11.2.15。

表 11.2.13 CNE-500 型自屏蔽加速器（全钢）一层辐照室关注点剂量率计算结果

参数 \ 点位		A 辐照室 （维修 防护门） 西南侧 外	B 辐照室东 北侧外	C 预备室出 料口西北 侧外	D 预备室进 料口东南 侧外	E 辐照室 西北侧 外	F 辐照室 东南侧 外	G 操作台
$I \cdot \delta_{a(90^\circ)}$ (Gy·m ² ·min ⁻¹)		2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625
屏蔽 材料 及厚 度	铅(cm)	5	5	6.5	6.5	3.5	3.5	3.5
	铁(cm)	8	8	13.5	13.5	8	8	8
折合成铁板等效 屏蔽厚度(cm)		27.25	27.25	38	38	22	22	22
n		9.732	9.732	13.571	13.571	7.857	7.857	7.857
$\Delta_{1/10,1}$		2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
$\Delta_{1/10,e}$		2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
η_x 计算结果		1.85×10^{-10}	1.85×10^{-10}	2.68×10^{-14}	2.68×10^{-14}	1.39×10^{-8}	1.39×10^{-8}	1.39×10^{-8}
$r(m)$		1.659	1.659	3.508	3.508	1.075	1.075	10

剂量率	结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	1.06×10^{-8}	1.06×10^{-8}	3.43×10^{-13}	3.43×10^{-13}	1.89×10^{-6}	1.89×10^{-6}	2.18×10^{-8}
	控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	评价结果	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

由表 11.2.13 可知，加速器主屏蔽体及物料进出口屏蔽门外参考点处的辐射剂量率最大值 $1.89 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，能够满足《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）及《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）中电子束辐照装置表面外 5cm 处周围辐射剂量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。

加速器罐体由 20mm 铅板搭配 120mm 钢材包裹构成，罐体上方二层平台布置有电源柜等配套设备，平台四周设置钢制护栏与检修爬梯，非辐射工作人员禁止进入平台区域，且该区域仅检修人员短时进入，日常无公众长期停留。加速钢筒内部辐射场由三部分叠加而成：一是主屏蔽体内与电子束入射方向呈 $105^\circ \sim 180^\circ$ 的韧致初级 X 射线穿透主屏蔽顶板形成的贯穿辐射场；二是主屏蔽体内沿 0° 方向产生的韧致初级 X 射线经设备底面 180° 反向散射后穿过主屏蔽体顶部孔洞射入加速钢筒形成的散射辐射场；三是电子加速过程中未达额定能量的漏失电子轰击加速钢筒产生的束流损失辐射场。但加速器正常运行时，电子枪与加速管腔体内部维持高真空环境，真空工况良好条件下束流及能量损失均可忽略，即便按最不利工况考虑，束流损失占比最高仅 0.1%，对应产生的辐射剂量极低，因此散射辐射与束流损失辐射对加速钢筒外部环境的贡献可忽略不计。

为简化屏蔽计算工作量，本次加速钢筒辐射防护评价仅核算主屏蔽体内强贯穿辐射场的贡献。由于加速器罐体屏蔽厚度（20mm 铅板+120mm 钢材）与辐照室顶部屏蔽厚度相同，为简化计算，本次评价仅核算主屏蔽体 $105^\circ \sim 180^\circ$ 韧致初级 X 射线穿透主屏蔽顶板后抵达加速器罐体周边二层平台紧邻区域的辐射剂量，即视加速器罐体与主屏蔽顶板为同等屏蔽条件进行保守估算，计算方法沿用式（11-9）、（11-10）、（11-11），为保守评估辐射水平， $105^\circ \sim 180^\circ$ 区间的韧致辐射发射率统一取用 90° 侧向发射常数，计算结果详见表 11.2.14。

表 11.2.14 CNE-500 型自屏蔽加速器（全钢）二层罐体关注点剂量率计算结果

参数 \ 点位	H	I	J	K
	二楼加速器罐体西南侧	二楼加速器罐体东北侧	二楼加速器罐体西北侧	二楼加速器罐体东南侧

$I \cdot \delta_{a(90^\circ)} (\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1})$		2.625	2.625	2.625	2.625
屏蔽材料及厚度	铅(cm)	2	2	2	2
	铁(cm)	12	12	12	12
折合成铁板等效屏蔽厚度(cm)		20.75	20.75	20.75	20.75
n		7.411	7.411	7.411	7.411
$\Delta_{1/10,1}$		2.8	2.8	2.8	2.8
$\Delta_{1/10,e}$		2.8	2.8	2.8	2.8
η_x 计算结果		3.88×10^{-8}	3.88×10^{-8}	3.88×10^{-8}	3.88×10^{-8}
r(m)		2.495	2.495	2.157	2.157
屏蔽体空气比释动能计算	计算结果($\mu\text{Sv/h}$)	9.81×10^{-7}	9.81×10^{-7}	1.31×10^{-6}	1.31×10^{-6}
	控制值($\mu\text{Sv/h}$)	2.5	2.5	2.5	2.5
	评价结果	满足	满足	满足	满足

由表 11.2.14 可知，加速器二楼平台参考点处的辐射剂量率均小于 $1.31 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，能够满足《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）及《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）电子束辐照装置表面外 5cm 处周围辐射剂量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。

通过上述预测分析，全钢加速器机房四周各关注点的总剂量率之和结果见表 11.2.15。

表 11.2.15 CNE-500 型自屏蔽加速器（全钢）各关注点的总剂量率计算结果

楼层	关注点	位置	侧向直射辐射剂量率 H_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	屋顶直射辐射剂量率 H_1 ($\mu\text{Sv/h}$)	叠加辐射剂量率 H_{Σ} ($\mu\text{Sv/h}$)
一层辐照室周围	A	辐照室（维修防护门）西南侧外	1.06×10^{-8}	/	1.06×10^{-8}
	B	辐照室东北侧外	1.06×10^{-8}	/	1.06×10^{-8}
	C	预备室出料口西北侧外	3.43×10^{-13}	/	3.43×10^{-13}
	D	预备室进料口东南侧外	3.43×10^{-13}	/	3.43×10^{-13}
	E	辐照室西北侧外	1.89×10^{-6}	/	1.89×10^{-6}
	F	辐照室东南侧外	1.89×10^{-6}	/	1.89×10^{-6}
	G	操作台	2.18×10^{-8}	/	2.18×10^{-8}
二层加速器罐体周	H	二楼加速器罐体西南侧	/	9.81×10^{-7}	9.81×10^{-7}
	I	二楼加速器罐体东北侧	/	9.81×10^{-7}	9.81×10^{-7}

围	J	二楼加速器罐体西北侧	/	1.31×10^{-6}	1.31×10^{-6}
	K	二楼加速器罐体东南侧	/	1.31×10^{-6}	1.31×10^{-6}

由表 11.2.15 可知，加速器屏蔽体外 5cm 处辐射剂量率最大值为 $1.89 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，均能够满足《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）及《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）电子束辐照装置表面外 5cm 处周围辐射剂量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。

2) CNE-500 型自屏蔽加速器（半钢）

半钢自屏蔽加速器评价关注点的位置示意图 11.2-14~11.2-15。

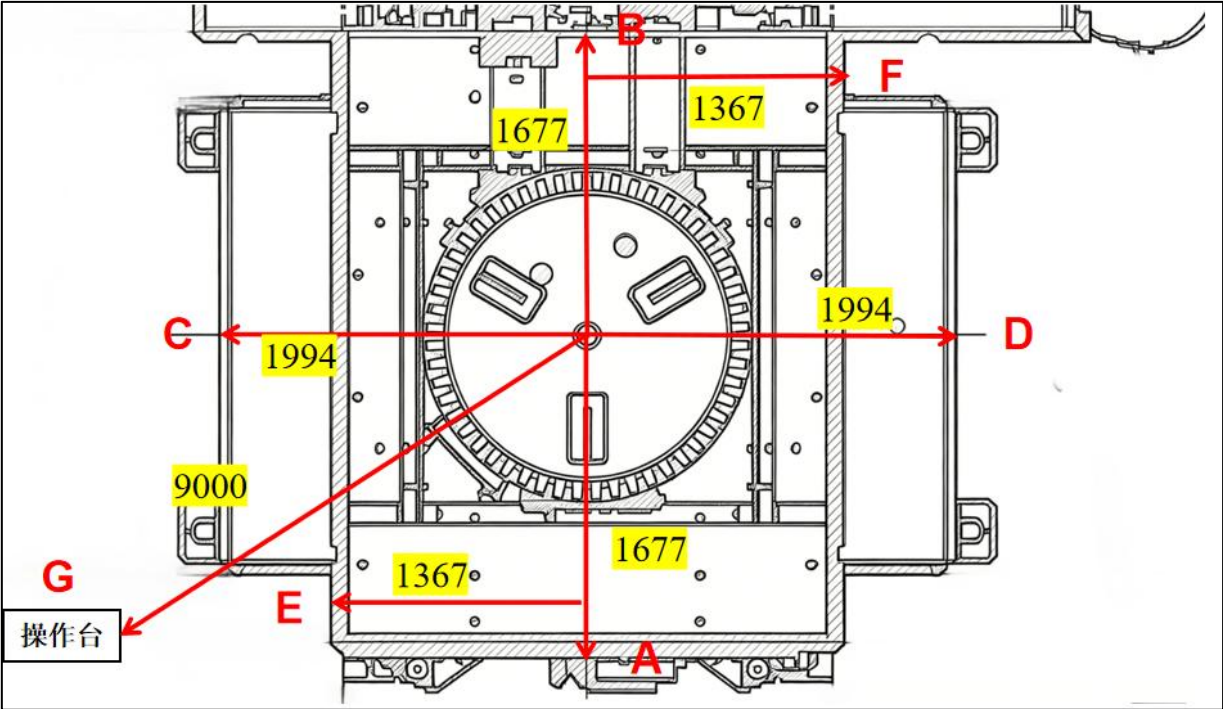


图 11.2-14 CNE-500 型自屏蔽加速器（半钢）一层辐照室关注点位置示意图（俯视图）

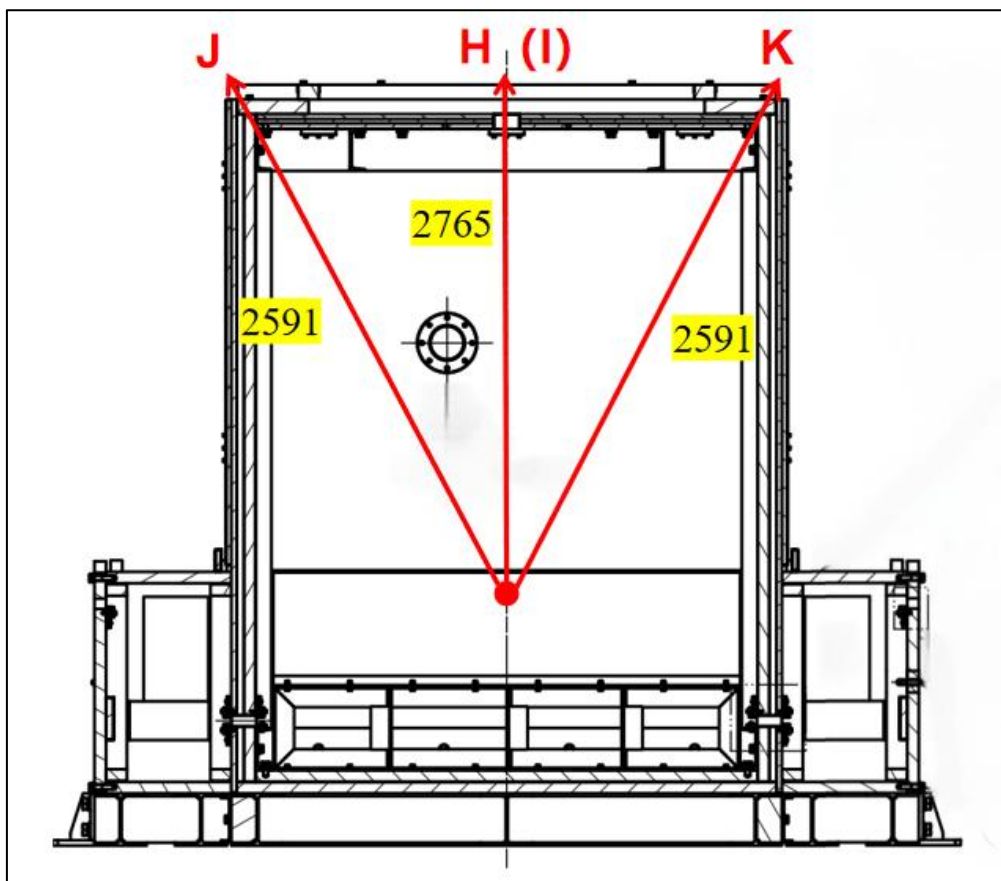


图 11.2-15 CNE-500 型自屏蔽加速器（半钢）二层加速器罐体关注点位置示意图（侧视图）

依据公式 11-9、11-10、11-11 及相关参数，自屏蔽加速器主屏蔽体外参考点处的辐射剂量核算结果见表 11.2.16~11.2.18。

表 11.2.16 CNE-500 型自屏蔽加速器（半钢）一层辐照室关注点剂量率计算结果

参数 \ 点位		A	B	C	D	E	F	G
		辐照室 （维修 防护门） 西南侧外	辐照室东 北侧外	预备室出 料口西北 侧外	预备室进 料口东南 侧外	辐照室西 北侧外	辐照室东 南侧外	操作台
I·δ _a (90°) (Gy·m ² ·min ⁻¹)		3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
屏蔽材料 及厚度	铅(cm)	5	5	7	7	3.5	3.5	3.5
	铁(cm)	8	8	13.5	13.5	8	8	8

折合成铁板等效屏蔽厚度 (cm)		27.25	27.25	39.75	39.75	20.25	20.25	20.25
n		9.732	9.732	14.196	14.196	7.232	7.232	7.232
$\Delta_{1/10,1}$		2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
$\Delta_{1/10,e}$		2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
η_x 计算结果		1.85×10^{-10}	1.85×10^{-10}	6.36×10^{-15}	6.36×10^{-15}	5.86×10^{-8}	5.86×10^{-8}	5.86×10^{-8}
r(m)		1.677	1.677	1.994	1.994	1.367	1.367	9
屏蔽体空气比释动能计算	计算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	1.38×10^{-8}	1.38×10^{-8}	3.35×10^{-13}	3.35×10^{-13}	6.57×10^{-6}	6.57×10^{-6}	1.52×10^{-7}
	控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	评价结果	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

由表 11.2.16 可知，加速器主屏蔽体及物料进出口屏蔽门外参考点处的辐射剂量率最大值 $6.57 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，能够满足《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）及《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）电子束辐照装置表面外 5cm 处周围辐射剂量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。

自屏蔽加速器（半钢）二层罐体周围防护栏处关注点剂量估算方法同公式 11-9～11-11，结果见表 11.2.17。

表 11.2.17 CNE-500 型自屏蔽加速器（半钢）二层罐体关注点剂量率计算结果

参数 \ 点位		H	I	J	K
		二楼加速器罐体西南侧	二楼加速器罐体东北侧	二楼加速器罐体西北侧	二楼加速器罐体东南侧
$I \cdot \delta_{a(90^\circ)} (\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1})$		3.5	3.5	3.5	3.5
屏蔽材料及厚度	铅(cm)	2	2	2	2
	铁(cm)	12	12	12	12
折合成铁板等效屏蔽厚度 (cm)		20.75	20.75	20.75	20.75
n		7.411	7.411	7.411	7.411
$\Delta_{1/10,1}$		2.8	2.8	2.8	2.8
$\Delta_{1/10,e}$		2.8	2.8	2.8	2.8
η_x 计算结果		3.88×10^{-8}	3.88×10^{-8}	3.88×10^{-8}	3.88×10^{-8}

r(m)		2.765	2.765	2.591	2.591
屏蔽体 空气比 释动能 计算	计算结果($\mu\text{Sv/h}$)	1.06×10^{-6}	1.06×10^{-6}	1.21×10^{-6}	1.21×10^{-6}
	控制值($\mu\text{Sv/h}$)	2.5	2.5	2.5	2.5
	评价结果	满足	满足	满足	满足

由表 11.2.17 可知，加速器二楼平台参考点的辐射剂量率最大值 $1.21 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，能够满足《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）及《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）电子束辐照装置表面外 5cm 处周围辐射剂量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

通过上述预测分析，半钢加速器机房四周各关注点的总剂量率之和结果见表 11.2.18。

表 11.2.18 CNE-500 型自屏蔽加速器（半钢）各关注点的总剂量率计算结果

楼层	关注点	位置	侧向直射辐射 剂量率 H_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	屋顶直射辐射 剂量率 $H_1(\mu\text{Sv/h})$	叠加辐射剂量率 $H_{\Sigma}(\mu\text{Sv/h})$
一层辐照室 周围	A	辐照室（维修防护门）西南 侧外	1.38×10^{-8}	/	1.38×10^{-8}
	B	辐照室东北侧外	1.38×10^{-8}	/	1.38×10^{-8}
	C	预备室出料口西北侧外	3.35×10^{-13}	/	3.35×10^{-13}
	D	预备室进料口东南侧外	3.35×10^{-13}	/	3.35×10^{-13}
	E	辐照室西北侧外	6.57×10^{-6}	/	6.57×10^{-6}
	F	辐照室东南侧外	6.57×10^{-6}	/	6.57×10^{-6}
	G	操作台	1.52×10^{-7}	/	1.52×10^{-7}
二层加速 器罐体周 围	H	二楼加速器罐体西南侧	/	1.06×10^{-6}	1.06×10^{-6}
	I	二楼加速器罐体东北侧	/	1.06×10^{-6}	1.06×10^{-6}
	J	二楼加速器罐体西北侧	/	1.21×10^{-6}	1.21×10^{-6}
	K	二楼加速器罐体东南侧	/	1.21×10^{-6}	1.21×10^{-6}

由表 11.2.18 可知，加速器屏蔽体外 5cm 处辐射剂量率最大值为 $6.57 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，均能够满足《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）及《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）电子束辐照装置表面外 5cm 处周围辐射剂量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

（2）防护门屏蔽防护分析

本项目的加速器罐体简化为钢罩筒，辐照室设计有检修门，正常情况下处于常闭状态，且必须由专业检修人员通过专用设备方可打开。检修门与墙体钢板之间均采用阶梯式嵌合方式（见图 11.2-16），能够保证进入门缝的射线经过多次（ ≥ 3 次）散射不会造成门缝处射线泄漏。

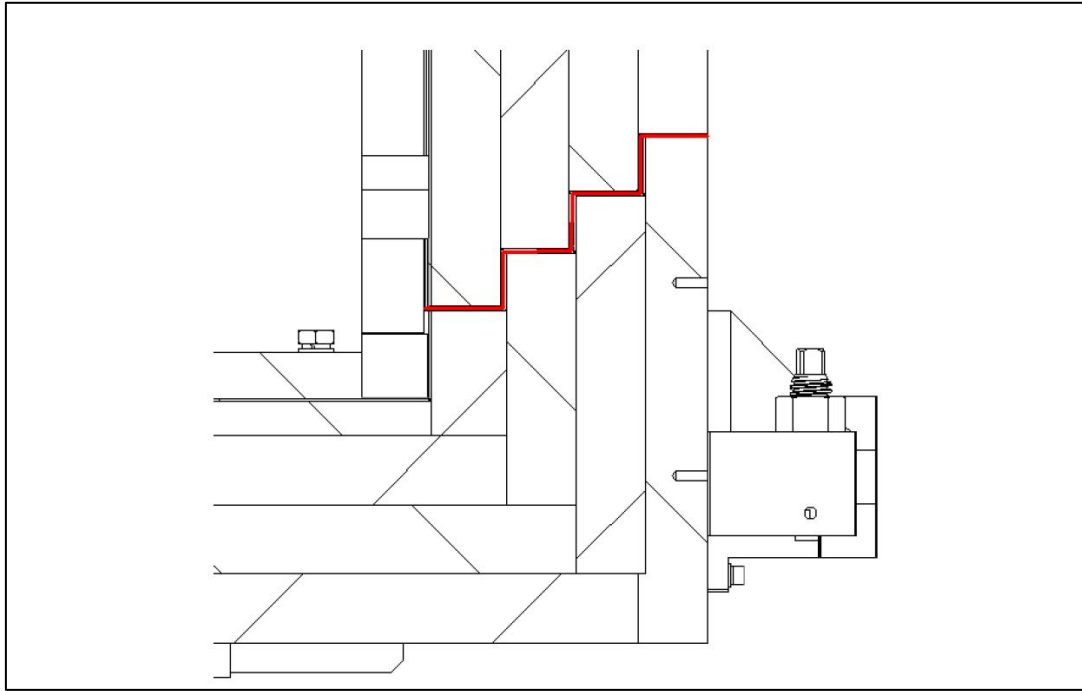


图 11.2-16 门缝搭接示意图

根据表11.2.13和表11.2.16可知，两台加速器西南侧外（维修防护门）30cm处辐射剂量率分别为 $1.06 \times 10^{-8} \mu\text{Sv/h}$ 及 $1.38 \times 10^{-8} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）及《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）电子束辐照装置表面外5cm处周围辐射剂量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。因此，检修门设计可以满足辐射防护要求。

另外，纤维帘布进出通道设置有单独的预备室，出入口及侧板均采用一定厚度铅及铁进行屏蔽，辐照物品通过预备室需经过多个坡度通道，并能够保证进入通道的射线多次转向（三次以上）才能从辐照室内到达出入口处（见图11.2-17~11.2-18），根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189以及《辐射防护手册（第一分册）》相关内容“如果一个能使辐射至少散射三次的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全”，根据表11.2.13和表11.2.16可知，预备室外30cm处辐射剂量率分别为 $3.43 \times 10^{-13} \mu\text{Sv/h}$ 及 $3.35 \times 10^{-13} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）及《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）电子束辐照装置表面外5cm处周围辐

射剂量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。因此，薄膜进出通道设计可以满足辐射防护要求。

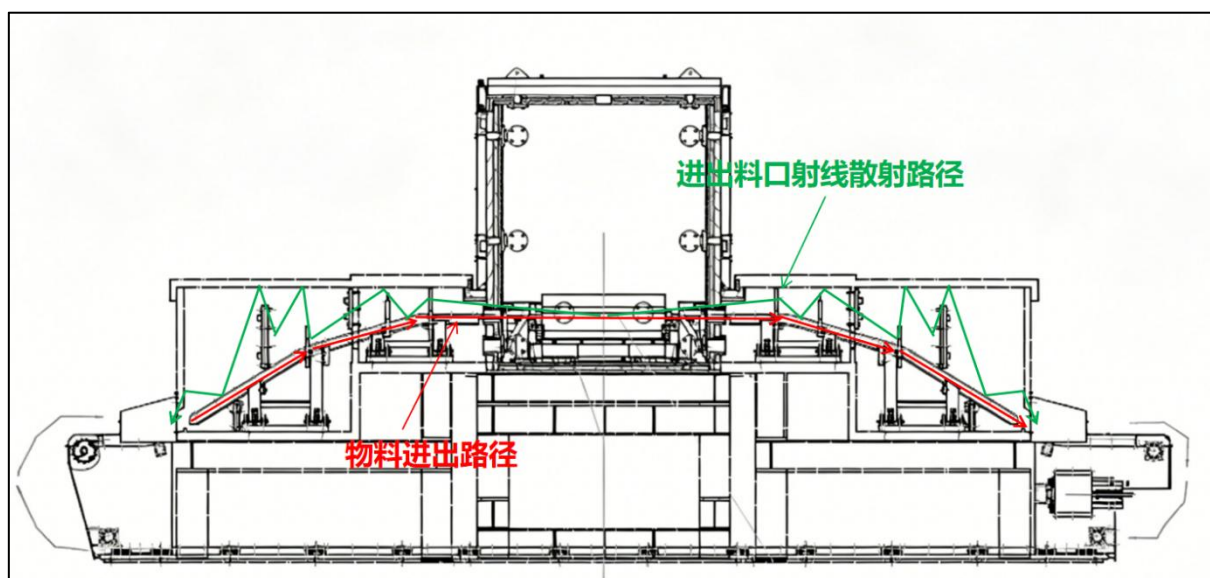


图 11.2-17 传输带射线散射示意图（全钢）

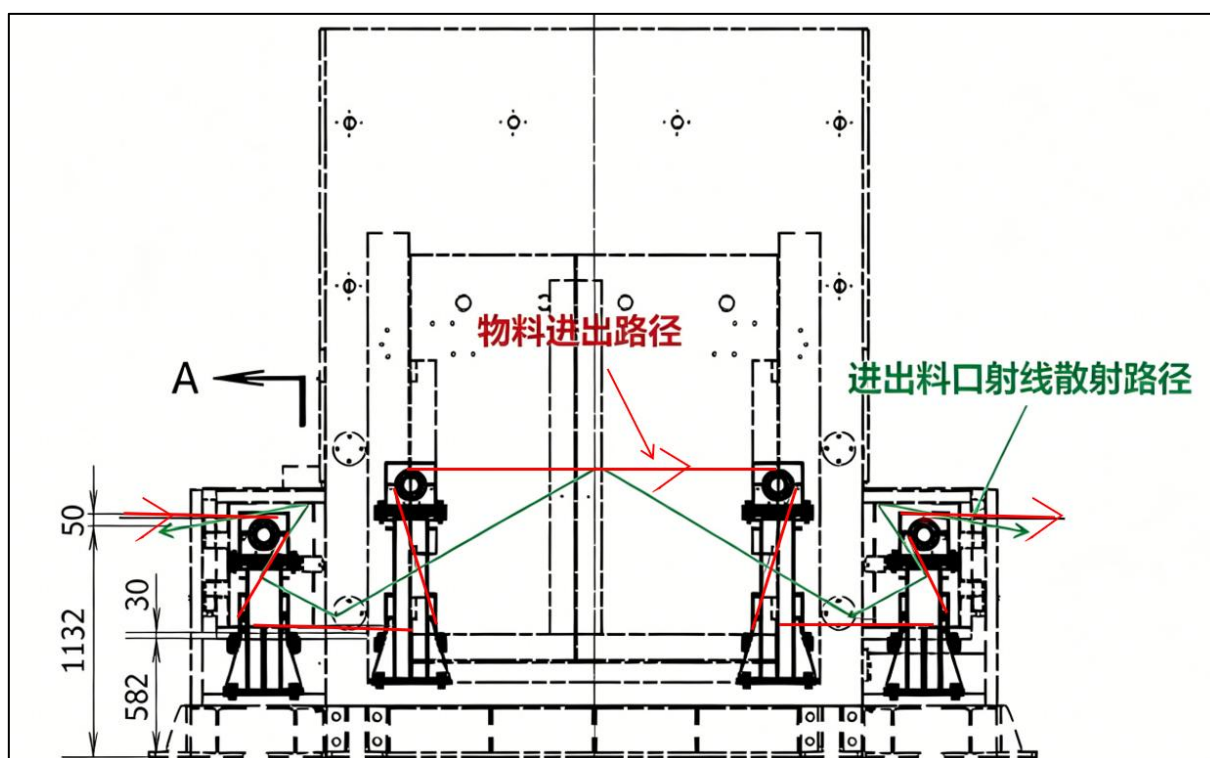


图 11.2-18 传输带射线散射示意图（半钢）

（3）电缆管道屏蔽防护分析与评价

加速器电缆管均设计避开主射线方向，加速器主机电缆线由顶部与高频振荡器相连，电缆由控制柜引出，沿架台面上方的空中线槽敷设，经多次转向后，穿越屏蔽体引至辐照室顶部区域，从图 11.2-19 可以看出，管道采用“S”形穿过屏蔽体，可使射

线在管道内需经至少 3 次散射方能从电缆管口泄漏，且电线管外面均包覆有 15mm 以上的铅，电缆管出口处辐射剂量将在控制范围内，能够满足辐射防护的要求。

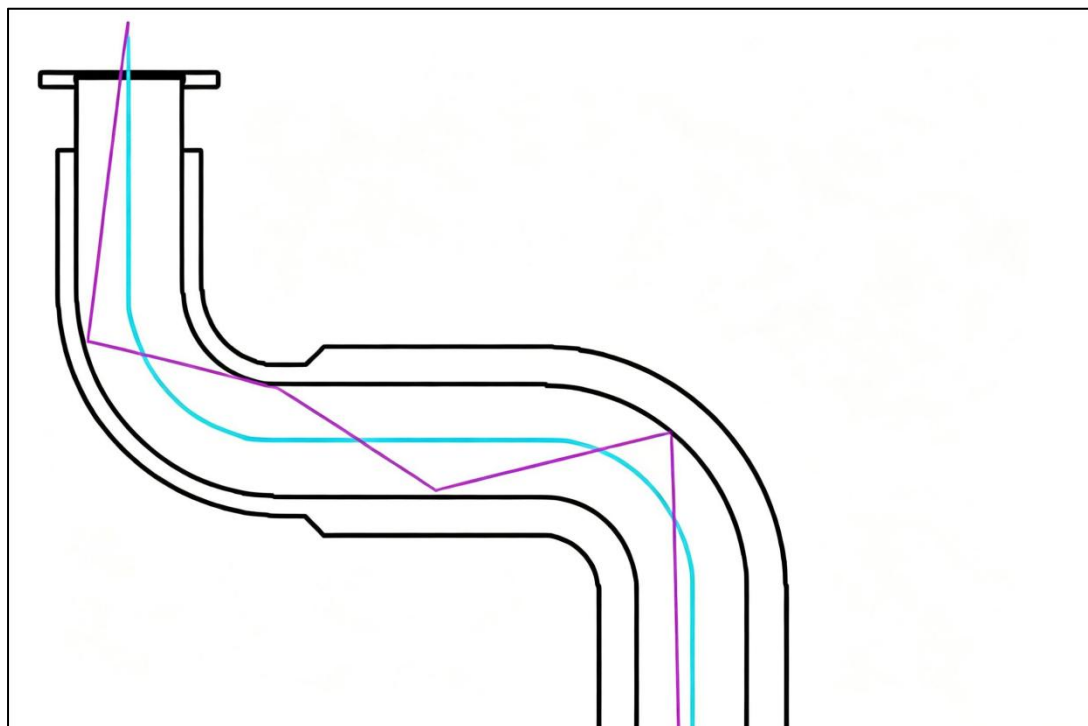


图 11.2-19 电缆管道散射示意图

(4) 屋顶天空反散射影响分析

天空反散射是指加速器产生的辐射源通过屋顶泄漏，经大气分子（瑞利散射）及气溶胶粒子（康普顿散射）多次散射后返回地面附近，形成附加辐射场的现象。对于天空反散射，需综合考虑辐照室和加速器罐体辐射对参考点的剂量贡献，发射率常数保守取 90° 方向发射率常数。

本次评价已对加速器罐体周边二层平台紧邻区域的辐射剂量进行了核算，计算结果详见表 11.2.15 和表 11.2.18。核算结果表明，二层平台紧邻区域的辐射剂量率已处于极低水平，远低于剂量率控制限值。天空反散射作为泄漏辐射经大气进一步弥散和衰减后返回地面的次级贡献，其剂量率必然低于本次已核算的二层平台区域剂量率。因此，在平台区域核算结果已证实远低于标准限值的前提下，天空反散射对地表公众的剂量贡献将处于更低水平，可忽略不计，本次评价不再对其进行单独核算。

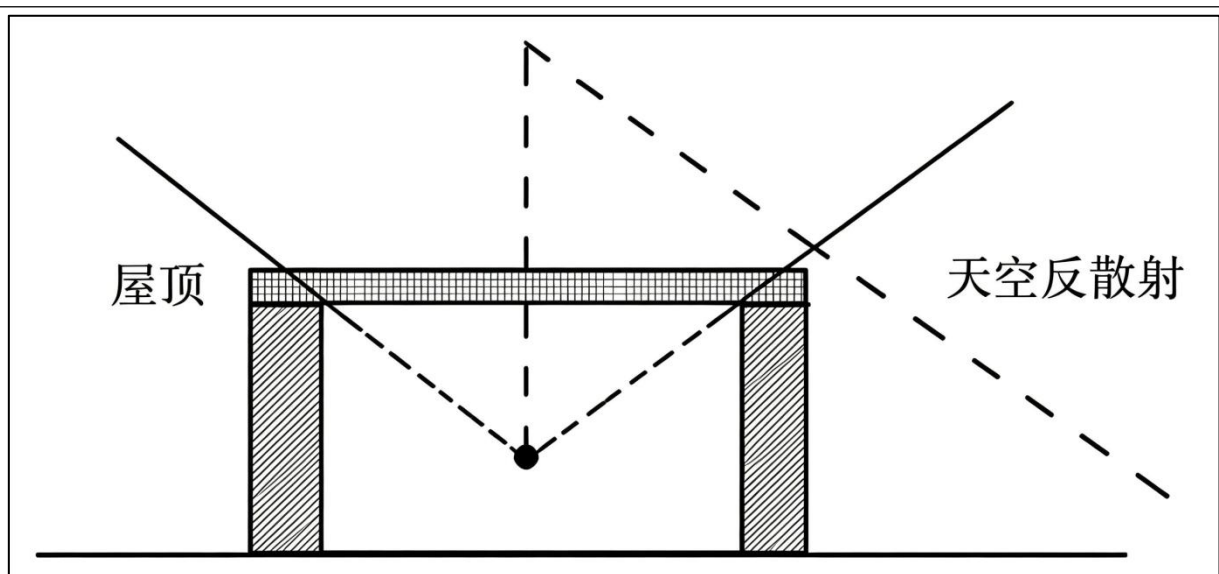


图 11.2-20 天空反散射示意图

11.2.2.4 类比监测

(1) CNE-500 型自屏蔽加速器（全钢）

福建佳通公司现有的 1 套 CNE-500 型电子加速器辐照系统（最大能量为 0.65MeV、额定电流为 40mA）位于公司厂区全钢预备处，射束为定向向下，用于材质改良。其环境影响报告表均已取得福建省环保厅审批意见，并完成验收。类比条件见表 11.2.19。

表 11.2.19 CNE-500 型自屏蔽加速器（全钢）类比可行性分析一览表

参数	电子加速器		类比情况差异分析
生产厂家	日新驰威辐照技术（上海）有限公司		相同
项目	福建佳通轮胎有限公司全钢预备内衬压延车间新增一台自屏蔽加速器项目	半钢预备车间新增一台自屏蔽加速器项目（本项目）	/
设备型号	CNE-500型	CNE-500型	相同
电子能量	0.65MeV	0.5MeV	高于本项目
最大束流	40mA	75mA	/
辐照室容积	/	15m ³	/
防护方案	实际屏蔽材料	实际屏蔽材料	两者的屏蔽体底部、四壁及主屏蔽体顶部的屏蔽设计基本一致
	前后板厚度：132mm两侧厚度：117mm；顶板厚度72mm+70mm（铁板）；门1141mm×1556mm×133mm厚度133mm；防护门采用“钢-铅-钢”的形式。	①辐照室的屏蔽厚度如下前板、门、后板以及前/后板底部均采用50mm铅和80mm铁；右侧板和左侧板均为35mm铅和80mm铁；出/入口采用30mm铅和55mm铁；侧板（近辐照室）为30mm铅和55mm铁；顶板（近辐照室）为35mm铅和55mm铁。	

		②预备室的屏蔽厚度如下顶板采用20mm铅和120mm铁；侧板为15mm铅和55mm铁；顶板采用55 mm铁。	
用途	采用粒子束来照射轮胎的帘布以增加帘布的弹性和韧性	纤维帘布的材质改良	基本一致

从表11.2.19可以看出，福建佳通1套CNE-500型电子加速器辐照装置（最大能量为0.65MeV、额定电流为40mA）型号、电子加速器结构、屏蔽方式、屏蔽厚度、额定电流、最大能量、防护能力均与本项目拟安装电子加速器辐照系统相似，用途一致。因此具有类比条件。根据《福建佳通轮胎有限公司2025年度放射性同位素与射线装置安全和防护评估报告》，该公司CNE-500型自屏蔽加速器（全钢工序）周围辐射剂量率监测结果见表11.2.20。

表11.2.20 自屏蔽加速器（全钢）周围辐射剂量率监测结果一览表

检测点序号	工种	设备名称	安装位置	测定地点	检测结果 μSv/h
1	内衬压延工	自屏蔽加速器	全钢预备处	工作人员操作位	<MDL
2				工件入口处	<MDL
3				工件出口处	<MDL
4				自屏蔽体外表面西侧 5cm 处（左侧）	<MDL
5				自屏蔽体外表面西侧 5cm 处（中部）	<MDL
6				自屏蔽体外表面西侧 5cm 处（右侧）	<MDL
7				自屏蔽体外表面北侧 5cm 处（中部）	<MDL
8				自屏蔽体外表面北侧 5cm 处（右侧）	MDL
9				自屏蔽体外表面东侧 5cm 处（左侧）	<MDL
10				自屏蔽体外表面东侧 5cm 处（中部）	<MDL
11				自屏蔽体外表面东侧 5cm 处（右侧）	<MDL
12				自屏蔽体外表面南侧 5cm 处（左侧）	<MDL
13				自屏蔽体外表面南侧 5cm 处（中部）	<MDL
14				自屏蔽体外表面南侧 5cm 处（右侧）	<MDL
15				自屏蔽体外表面顶部 5cm 处（西侧）	≤MDL
16				自屏蔽体外表面顶部 5cm 处（南侧）	<MDL
17				自屏蔽体外表面顶部 5cm 处（东侧）	<MDL
18				自屏蔽体外表面顶部 5cm 处（北侧）	<MDL

注：表内数据均已扣除本底值，本底值范围为 0.088~0.110μSv/h.

福建佳通已运行的同类型自屏蔽加速器检测数据（表 11.2.20）显示，其屏蔽体外表面 30cm 处的 X- γ 辐射剂量率测定值均未超过 0.11 μ Sv/h，该实测值满足《 γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）及《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）电子束辐照装置表面外 5cm 处周围辐射剂量率应不大于 2.5 μ Sv/h 的要求，表明该类型设备屏蔽设计具有充足的安全裕度，辐射防护性能满足标准要求。

（2）CNE-500型自屏蔽加速器（半钢）

福建佳通公司现有的 1 套 CNE-500 型电子加速器辐照系统（最大能量为 0.50MeV、额定电流为 100mA）位于公司厂区半钢预备 D 区，射束为定向向下，用于材质改良。其环境影响报告表均已取得福建省环保厅审批意见，并完成验收。类比条件见表 11.2.21。

表 11.2.21 CNE-500 型自屏蔽加速器（半钢）项目类比可行性分析一览表

参数	电子加速器		类比情况差异分析
生产厂家	日新驰威辐照技术（上海）有限公司		相同
项目	福建佳通轮胎有限公司全钢预备内衬压延车间新增一台自屏蔽加速器项目	半钢预备车间新增一台自屏蔽加速器项目（本项目）	/
设备型号	CNE-500型	CNE-500型	相同
电子能量(MeV)	0.5MeV	0.5MeV	相同
最大束流(mA)	100mA	100mA	相同
辐照室容积	/	28m ³	/
防护方案	实际屏蔽材料	实际屏蔽材料	两者的屏蔽体底部、四壁及主屏蔽体顶部的屏蔽设计基本一致
	设置专用铅室，前后板厚度 50mm 铅；两侧厚度 35mm 铅；顶板厚度 25mm 铅+70mm（铁板）；底板 35mm 铅	①辐照室前后板、门板采用 50mm 铅+80mm 铁防护，左/右侧板采用 35mm 铅+80mm 铁防护；顶板采用 20mm 铅+120mm 铁防护；底板采用 55mm 铅+110mm 铁防护； ②预备室顶板、前后侧板、预备室出入口侧板均采用 55mm 厚铁板防护，近辐照室部分，顶板增加铅板厚 35mm，侧板增加铅板厚 35mm； ③预备室内设置 5 层折挡，均使用 22mm 铅板，辐照物品通过预备室需经多个坡度通道。	
用途	采用粒子束来照射轮胎的帘布以增加帘布的弹性和韧性	纤维帘布的材质改良	基本一致

由表11.2.21可知，福建佳通CNE-500型电子加速器与本项目拟安装设备在型号、结构型式、屏蔽设计、额定参数及用途上基本一致，具备类比条件。根据《福建佳通轮胎有限公司2025年度放射性同位素与射线装置安全和防护评估报告》，该公司CNE-500型自屏蔽加速器（半钢）周围辐射剂量率监测结果见表11.2.22。

表11.2.22 自屏蔽加速器（半钢）周围辐射剂量率监测结果一览表

检测点 序号	工种	设备名 称	安装位 置	测定地点	检测结果 μSv/h
1	帘布压 延工	自屏蔽 加速器	半钢预 备 D 区	工作人员操作位	<MDL
2				工件入口处	<MDL
3				工件出口处	<MDL
4				自屏蔽体外表面西侧 5cm 处（左侧）	<MDL
5				自屏蔽体外表面西侧 5cm 处（中部）	<MDL
6				自屏蔽体外表面西侧 5cm 处（右侧）	<MDL
7				自屏蔽体外表面北侧 5cm 处（中部）	<MDL
8				自屏蔽体外表面北侧 5cm 处（右侧）	MDL
9				自屏蔽体外表面东侧 5cm 处（左侧）	<MDL
10				自屏蔽体外表面东侧 5cm 处（中部）	<MDL
11				自屏蔽体外表面东侧 5cm 处（右侧）	<MDL
12				自屏蔽体外表面南侧 5cm 处（左侧）	<MDL
13				自屏蔽体外表面南侧 5cm 处（中部）	<MDL
14				自屏蔽体外表面南侧 5cm 处（右侧）	<MDL
15				自屏蔽体外表面顶部 5cm 处（西侧）	≤MDL
16				自屏蔽体外表面顶部 5cm 处（南侧）	<MDL
17				自屏蔽体外表面顶部 5cm 处（东侧）	<MDL
18				自屏蔽体外表面顶部 5cm 处（北侧）	<MDL
注：表内数据均已扣除本底值，本底值范围为 0.088~0.110μSv/h.					

由表11.2.22可知，根据类比对象的监测值，本项目自屏蔽加速器屏蔽体外周围剂量当量率满足《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）及《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）中的限值要求。

11.2.2.5 年有效剂量估算

本评价按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）—2000年报告附录A，X-γ射线产生的外照射人均年有效剂量采用下式进行计算。

（1）辐射工作人员年有效剂量估算

1）CNE-500型自屏蔽加速器（全钢）

自屏蔽加速器（全钢）操作台位于辐照室西北侧，物料进出口分设于西北与东南两侧，操作台居留因子保守取1。该设备平均每日出束16小时，每周运行7天，年工作50周，全年出束时间为5600小时，拟配备6名辐射工作人员，实行2人一班、每班8小时的两班轮岗制度。每人年受照时间为1870小时。辐照室东南侧外最大剂量率为 $1.89 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，代入式（11-5）估算得职业人员年有效剂量为 $H_{E-r} = 1.89 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-3} \times 1870 = 3.53 \times 10^{-6} \text{mSv/a}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）及本报告提出的5mSv/a年管理剂量约束值。

2）CNE-500型自屏蔽加速器（半钢）

本项目PCR车间加速器机房的操作台位于加速器辐照室东南侧，物料进出口位于辐照室西北、东南两侧，操作台居留因子保守取1。设备平均每日出束16小时，每周运行7天，年工作50周，全年出束时间为5600小时，拟配备6名辐射工作人员，实行2人一班、每班8小时的两班轮岗制度。每人年受照时间为1870小时。辐照室东南侧外最大剂量率为 $6.57 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ，代入式（11-5）估算得职业人员年有效剂量为 $H_{E-r} = 6.57 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-3} \times 1870 = 1.23 \times 10^{-5} \text{mSv/a}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）及本报告提出的5mSv/a年管理剂量约束值。加速器辐射工作人员所致年有效剂量情况见表11.2.23。

表11.2.23 加速器辐射工作人员所致年有效剂量情况

工作人员	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	时间 (h)	居留因子	年剂量率 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)
全钢加速器辐射工作人员	1.89×10^{-6}	1870	1	3.53×10^{-6}	5
半钢加速器辐射工作人员	6.57×10^{-6}	1870	1	1.23×10^{-5}	5

（2）其他公众人员剂量估算

1）CNE-500型自屏蔽加速器（全钢）

建设单位在电子加速器周围设置电离辐射警示标志，并将工作场所划分为控制区和监督区，实行分区管理，车间及其他工作人员日常活动范围不涉及加速器周边区域。剂量估算方面，辐照室东南侧外监测点（ $1.89 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$ ）虽为设备外围剂量率最大值，但其位于控制区内，公众无法进入，故不作为公众剂量评价依据。本次评价选取面向走廊一侧的辐照室西南侧外监测值（ $1.06 \times 10^{-8} \mu\text{Sv/h}$ ）进行估算，该点位系控制区外（公众

可达区域)各监测点中的最大值,且处于监督区边界外的公众可达区域,取值兼顾了可达性与保守性,能够真实反映公众可能受到的最大辐射影响。该区域居留因子取1/4,设备年出束时间为5600h,代入式(11-5)估算得公众年有效剂量为 $H_{E-r}=1.06\times 10^{-8}\times 1/4\times 10^{-3}\times 5600=1.484\times 10^{-8}\text{mSv/a}$,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)及《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》(T/WSJD 76-2025)公众年有效剂量不超过0.1mSv的相关规定。

2) CNE-500型自屏蔽加速器(半钢)

半钢加速器辐照室东南侧外最大剂量率为 $6.57\times 10^{-6}\mu\text{Sv/h}$,该点位位于控制区内,公众不可达。故公众剂量估算选取公众可达区域最大值(西南侧走廊外, $1.38\times 10^{-8}\mu\text{Sv/h}$)作为计算依据。该区域居留因子取1/4,设备年出束时间为5600h,代入式(11-5)估算得公众年有效剂量为 $H_{E-r}=1.38\times 10^{-8}\times 1/4\times 10^{-3}\times 5600=1.932\times 10^{-8}\text{mSv/a}$,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)及《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》(T/WSJD 76-2025)公众年有效剂量不超过0.1mSv的相关规定。加速器周边公众人员所致年有效剂量见表11.2.24。

表11.2.24 加速器周边公众人员所致年有效剂量情况

工作人员	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	时间 (h)	居留因子	年剂量率 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)
全钢加速器周边公众人员	1.06×10^{-8}	5600	1/4	1.484×10^{-8}	0.1
半钢加速器周边公众人员	1.38×10^{-8}	5600	1/4	1.932×10^{-8}	0.1

11.2.2.6 加速器废气影响分析

在加速器开机运行时,电子束与辐照室空气可通过电离作用产生 O_3 和 NO_x ,其中,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,因此本次只对臭氧进行分析,只要臭氧能够达到标准,氮氧化物(标准限值更高)也能达标。本项目臭氧的产生及排放参考《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录B进行计算。

(1) 臭氧产生量估算

平行电子束所致臭氧的产生率保守计算公式为

$$P=45\times d\times I\times G \quad \text{式(11-14)}$$

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;

d —电子在空气中的行程, cm ; 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, 偏安全考虑本项目取 193.8cm ;

G —空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数, 保守取值可为 10。

本项目两台自屏蔽加速器的臭氧产生量估算结果见下表。

表11.2.25 本项目加速器臭氧产生量估算结果一览表

设备	$d(\text{cm})$	$I(\text{mA})$	G	$P(\text{mg/h})$
全钢自屏蔽加速器	193.8	75	10	6.5×10^6
半钢自屏蔽加速器	193.8	100	10	8.7×10^6

(2) 运行过程中辐照室内 O_3 的平衡浓度

在加速器正常运行期间, 考虑连续通风和臭氧自身的化学分解 (有效化学分解时间约为 50 分钟), 当长时间辐照时, 辐照室内臭氧平衡浓度可表示为:

$$C_s = \frac{PT_e}{V} \quad \text{式 (11-15)}$$

式中: C_s —辐照室空气中臭氧的平衡浓度, mg/m^3 ;

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 ;

V —辐照室的体积;

$$T_e = \frac{T_v \cdot T_d}{T_v + T_d} \quad \text{式 (11-16)}$$

式中: T_v —辐照室换气一次所需时间, h ;

T_d — O_3 的有效化学分解时间, h ; 约为 50 分钟 ($5/6\text{h}$);

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

$$C_s = \frac{PT_v}{V} \quad \text{式 (11-17)}$$

自屏蔽加速器 (全钢) 辐照室内部体积约为 15m^3 , 则加速器 $V=15\text{m}^3$ 排风机风量为 $100\text{m}^3/\text{min}$, 则加速器辐照室换气一次需要的时间最长为 0.15min , 即 $T_v=0.15\text{min}$ 。

自屏蔽加速器 (半钢) 辐照室内部体积约为 28m^3 , 则加速器 $V=28\text{m}^3$ 排风机风量为 $100\text{m}^3/\text{min}$, 则加速器辐照室换气一次需要的时间最长为 0.28min , 即 $T_v=0.28\text{min}$ 。

相关计算参数代入上述公式中, 可计算出加速器辐照室内的臭氧平衡浓度如下表所示。

表11.2.26 本项目加速器辐照室内臭氧平衡浓度一览表

设备	P(mg/h)	$T_e(h)$	V(m ³)	$T_d(h)$	$T_v(min)$	$C_s(mg/m^3)$
全钢自屏蔽加速器	6.5×10^6	2.5×10^{-3}	15	5/6	0.15	1083
半钢自屏蔽加速器	8.7×10^6	4.6×10^{-3}	28	5/6	0.28	1450

(3) 关闭加速器后风机持续运行时间

加速器长期正常运行期间，室内臭氧达到饱和平衡浓度，通常情况下，该浓度大大高于《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）中工作场所空气中 O₃ 最高容许浓度（0.3mg/m³）。因此，当加速器停止运行后，人员不能直接进入辐照室，风机必须继续运行，室内臭氧浓度随时间急剧下降。关闭加速器后风机运行的持续时间计算公式为：

$$T = -T_e \ln \frac{C_o}{C_s} \quad \text{式 (11-18)}$$

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

T—为使室内臭氧浓度低于规定浓度所需时间，h。

经计算，风机所需运行时间如下表所示。

表11.2.27 本项目加速器停机后风机持续运行时间估算结果表

设备	$T_e(h)$	$C_s(mg/m^3)$	$C_o(mg/m^3)$	$T(min)$
全钢自屏蔽加速器	2.5×10^{-3}	1083	0.3	1.23
半钢自屏蔽加速器	4.6×10^{-3}	1450	0.3	2.34

在加速器停止辐照后，风机继续运行 3min 后辐照室内臭氧浓度满足《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）中工作场所空气中 O₃ 最高容许浓度（0.3mg/m³）要求。

本项目电子加速器辐照系统辐照室设有检修门，只有在检修期间人员才可进入，正常运行期间人员不可进入辐照室。按照操作规程，在加速器停止工作后，风机仍会继续运行 5 分钟，在此期间辐照室内臭氧浓度进一步降低，对检修人员基本无影响。

(4) 三废治理影响分析

本项目加速器运行过程中不产生放射性废气和放射性固体废物，且无放射性废水排放。

加速器开机运行时，电子束与辐照室空气可通过电离作用产生 O₃ 和 NO_x，本项目加速器辐照室设有专门的动力通风系统，可满足对通风的要求。本项目所产生的 O₃ 和

NO_x 对周围环境影响较小。

11.3 事故影响分析

11.3.1 可能发生的辐射事故

本项目涉及的 X 射线成像系统和加速器均属于 II 类射线装置，其共同特点是断电状态下不产生辐射，但运行期间若发生联锁失效或人员误操作，仍可能造成意外照射。本项目可能发生的辐射事故如下：

（1）X 射线成像系统可能发生的辐射事故

①门—机联锁失效，导致防护门未完全关闭时出束，X 射线泄漏至探伤室外，对周围人员造成意外照射；

②工作人员误操作或检修期间未切断电源，在探伤室内仍有射线出束的情况下误入或误留，造成误照射；

③联锁装置或报警系统发生故障，未能及时预警，导致人员进入正在运行的探伤室；

④X 光机被盗或防护门损坏，导致设备被不当使用，造成周围人员误照射。

（2）加速器可能发生的辐射事故

①联锁装置或报警系统发生故障，检修人员误入正在运行的加速器辐照室，造成误照射。只有当联锁装置或报警系统发生故障时，工作人员强行运行加速器，才可能发生此类事故；

②加速器运行期间，人员误上设备平台靠近加速器钢桶，可能受到较大剂量照射；

③束下装置故障或控制系统异常，导致加速器未按设定参数运行，可能造成非预期照射。

（3）事故预防总体要求

建设单位应加强辐射安全管理，使所有射线装置始终处于监控状态。工作人员每次上班时应首先检查防护联锁装置和报警系统是否正常，发现异常立即修复，并严格按照各设备操作程序进行作业。设备发生故障时，应由设备厂家专业维修人员进行维修。

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条及环发〔2006〕145 号文件规定，发生辐射事故时，事故单位应立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门报告；涉及人为故意破坏的还应向公安部门报告；造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

11.3.2 事故处理原则及应急措施

为避免误照射事故的发生及确保事故发生后能采取有效的防范措施，建设单位需做好以下防范措施：

①制定经常性自检制度，定期仔细核查安全联锁、急停与警示装置，确定其处于正常状态，如发现这些防护设施不够完善或失灵，立即维护、修复；

②加强辐射安全管理，使射线装置始终处于监控状态。在日常生产中设备发生故障时，应由生产厂家专业维修人员进行维修；

③制定完善的操作规范，对辐射工作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少意外照射事故的发生；

④检测系统发生故障而紧急停机后，在未查明原因和维修结束前，不得重新启动射线装置。检测系统停止运行时，辐射工作人员取走主控钥匙并妥善保管；

⑤调试和维修时，应确保切断射线装置出束状态。必须先将钥匙开关拔下，并由调试和维修人员携带，并竖立维修警示牌。工作结束后再将钥匙交给辐射工作人员；

⑥辐射工作场所应设置明显的警示标识，加速器顶部需安装防攀爬护栏和警示标语，禁止攀爬；

⑦制定事故应急预案，发生辐射事故时，事故单位应当立即启动辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门报告，涉及人为故意破坏的还应向公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。应急预案应定期进行演练，及时整改。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 机构设置

根据《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）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原国家环境保护总局令 第 31 号，生态环境部令 第 20 号第四次修订）等法律法规要求，使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科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。

建设单位应成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。辐射工作人员均应取得辐射安全与防护考核合格证书后方可上岗。辐射培训证书到期人员还须及时参加五年一次的复训。

建设单位应设立负责单位辐射安全与防护管理的组织机构——辐射防护领导小组。辐射防护领导小组全面负责辐射安全防护管理工作。小组成员由项目建设单位领导和辐射工作人员组成。

环评要求：项目建设单位就放射安全防护领导小组职责应涉及以下几个方面：

- （1）贯彻执行国家辐射安全与环境保护各项法规和相关文件精神；
- （2）负责公司辐射安全与环境保护管理；
- （3）组织制定公司辐射安全与环境保护管理办法，做好管理工作；
- （4）组织人员参加辐射事故应急演练；
- （5）安排从事辐射工作的辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的学习和考核；
- （6）定期检查辐射安全设施，开展辐射安全环保监测，对公司射线装置安全与防护情况进行年度评估；
- （7）监督辐射工作人员的职业健康检查，个人剂量监测，并做好相应资料的档案管理工作；
- （8）定期向生态环境和主管部门报告安全工作，接受生态环境监督、监测部门的检查指导。

12.1.2 辐射人员管理

(1) 个人剂量监测及辐射防护用品

建设单位已为辐射工作人员配置个人剂量计和个人剂量报警仪，并按季度进行辐射工作人员个人剂量监测工作。

使用个人剂量报警仪可使辐射工作人员及时知道自身所处环境的辐射水平，避免在不知情的情况下长时间在高辐射剂量率水平的工作场所滞留。个人剂量计监测周期最长不超过 3 个月，个人剂量应及时检定并建立个人剂量档案，加强档案管理，个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满 75 周岁，或者停止辐射工作 30 年。

(2) 辐射工作人员培训

根据生态环境部《关于做好 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有关事项的通知》（环办辐射函〔2019〕853 号）和《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》（2019 年，第 57 号）精神，所有辐射工作人员必须通过生态环境部举办的辐射安全和防护专业知识培训及相关法律法规的培训和考核，尤其是新增的、转岗的人员，必须到生态环境部培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）自主培训并参加考核取得成绩单，经考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。

(3) 辐射工作人员职业健康体检

辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作。上岗后辐射工作人员应定期进行在岗期间职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年，必要时可增加临时性检查。辐射工作人员脱离辐射工作岗位时，辐射工作单位应当对其进行离岗前的职业健康检查，并建立个人健康档案，个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满 75 周岁，或者停止辐射工作 30 年。

12.2 辐射安全管理规章制度

(1) 建设单位必须制定《安全防护管理工作制度》，内容应包括：

1) 建设单位须按法律法规要求，尽快向生态环境部门申请办理《辐射安全许可证》，领取许可证且办理登记手续后方可从事许可范围内的放射工作，需改变许可登记内容或终止放射工作时，必须按规范向审批部门办理变更或注销手续。

2) 建设单位在从事辐射操作前，须制订《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》《辐射工作安全责任书》等规章制度同时公

司须组织辐射工作人员进行上岗前培训和辐射安全防护知识的培训及生态环境部的网上在线教育和考核，并进行个人剂量监测和职业健康检查。

(2) 建设单位必须制定《操作规程》，内容应包括：

1) 凡涉及对射线装置进行的操作，都应有明确的操作规程（包括开机检查、机联锁检查等一系列工作），操作人员必须按操作规程进行操作。

2) 操作人员必须熟悉探伤机的性能和使用方法，并做好相应的个人防护，操作规程应张贴在操作人员可看到的显眼位置，防止误操作。

(3) 建设单位必须制定《辐射防护和安全保卫制度》，内容应包括：

1) 射线装置的使用场所，应有门-机联锁安全装置、开机工作警示灯，电离辐射警示标志及中文警示说明等防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。

2) 建立射线装置的档案和台账，贮存、使用射线装置时及时进行登记、检查，做到账物相符。

(4) 建设单位必须制定《设备检修维护制度》，内容应包括：

对可能引起操作失灵的关键零配件及时进行更换。设备检修时禁止开启探伤机待检修完毕，开启探伤机试探伤，确认检修完成。

(5) 建设单位须制定《自行检查和年度评估制度》，内容应包括：

1) 安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容：

- ①辐射安全和防护设施的运行与维护情况；
- ②辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；
- ③辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训；
- ④辐射事故及应急回应情况；
- ⑤场所辐射环境检测和个人剂量监测情况及检测资料；
- ⑥核技术利用项目新建、改建、扩建情况；
- ⑦存在的安全隐患及其整改情况；
- ⑧其它有关法律法规规定的落实情况。

2) 年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

①定期对探伤室的安全装置和防护措施、设施的安全防护效果进行检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患，必须立即进行整改，避免事故的发生。

如工作前进行门-机联锁安全装置、工作指示灯和电离辐射标志检查，每月核实规章制度执行情况，每季度进行个人剂量档案归档及检查，每年进行身体健康档案归档及检查等。

②建设单位应当编写 X 射线成像系统及自屏蔽加速器使用的安全和防护状况年度评估报告，其中年度评估报告需包括每年的常规检测报告，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告，接受行政机关的监督检查。

12.3 辐射安全许可证申领

根据国家相关法律法规及行政主管部门要求，核技术应用项目环保手续包括生态环境影响评价、辐射安全许可证办理及竣工环保验收三个环节。建设单位在履行本项目环评手续并取得《辐射安全许可证》后方可开展辐射工作。申请单位需登录“全国核技术利用辐射安全申报系统”在线填报申请表并上传相关材料，包括经批复的环评文件、辐射安全管理制度、人员考核合格证明、防护用品和监测仪器清单等。生态环境部门受理后对材料进行审核，并视情况开展现场核查，确认场所和设施符合辐射安全要求，审查合格后由设区的市级生态环境局审批发证。许可证有效期为五年，持证期间需按年度报送安全评估报告，并在有效期届满前及时申请延续。本项目竣工后，建设单位还应按照《建设项目环境保护管理条例》要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收监测报告。

12.4 辐射监测

12.4.1 监测设备配置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，福建佳安橡胶有限公司拟配备的监测仪器数量能够满足本项目的辐射防护和监测需求。

公司拟配备便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪 1 台，用于辐射工作场所及周围环境定期自行检测，该配置符合场所巡测设备的常规配备标准。

拟配备个人剂量报警仪 5 台，与项目涉及的 5 台检测系统一一对应，每台设备均配有独立的报警装置，能够有效实现辐射工作过程中的瞬时剂量报警功能，满足操作人员的实时安全监控需求。

拟配备个人剂量计 21 枚，为每名辐射工作人员各配备 1 枚，可实现全员累积剂量的连续监测，符合辐射工作人员个人剂量管理的规范要求。

综上，上述各类监测仪器在数量上与项目设备规模及人员数量相匹配，仪器类型涵盖场所监测、实时报警和累积剂量监测三个层面，能够全面满足本项目辐射安全管理的仪器配备要求。

12.4.2 辐射监测

（1）环境监测

根据《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中的相关规定，项目正常运行后，建设单位应该对辐射工作场所周围的环境进行背景监测，不具备自行监测能力的，可以委托具有检测机构资质认证的环境监测机构进行监测。

具体监测方案如下

①监测内容：对该建设单位辐射工作场所四周环境进行辐射水平监测。

②监测频度：项目正常运行后进行监测，以后每年委托有资质单位进行一次年度监测。

③监测范围：主要对辐射工作场所周围的环境进行监测，重点对辐射工作场所周围的人员流动较多的地方进行监测。

④监测项目：X- γ 辐射空气吸收剂量率。

（2）场所辐射防护监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原国家环保总局令第31号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（中华人民共和国环境保护部令第18号）中的相关要求，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托具有检测资质的环境监测机构进行监测，并将监测记录资料和统计结果及时上报主管部门，以便了解和监护防护设施的运行情况，为主管部门下一步辐射防护决策提供科学技术依据。

具体监测方案如下

①检测内容对该建设单位辐射工作场所四周环境进行常规监测。监测数据每年年底向审批部门上报备案。

②监测频度在项目建成运行后应进行项目的验收监测，以后每年委托有资质单位进行一次年度监测。

③监测范围包括

a.X 射线实时成像检测系统：监测范围为设备四周边界外 30cm 处，重点监测设备周围、防护门及缝隙处、操作台等部位；

b.自屏蔽加速器：监测范围为自屏蔽体外 5cm 处，重点监测操作台、工件出入口等部位。

④监测项目 X-γ辐射空气吸收剂量率。

⑤评价标准

a. X 射线实时成像检测系统：《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）及《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）；

b. 自屏蔽加速器：《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）及《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）。

（3）个人剂量监测

建设单位应严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定，为辐射工作人员配备个人剂量计，并进行个人剂量监测（1 次/季度）和职业健康体检（1 次/2 年），建立个人剂量档案和职业健康监护档案，并为辐射工作人员长期保存职业照射记录。建设单位应根据每年的工作人员的变化增加个人剂量计。

表 12.4.2 辐射监测计划

监测因子	监测项目	监测频次	监测点位	监测依据
X-γ辐射空气吸收剂量率	竣工环保验收监测	竣工后调试阶段开展竣工环保验收监测	X 射线实时成像检测系统： 探伤铅房四侧墙体及防护铅门外 30cm 离地面高度 1m 处，门的左、中、右侧 3 个点和门缝四周各 1 个点。操作台，X 光机控制室，各穿线孔、通风孔以及四周环境保护目标处； 自屏蔽加速器： 监测范围为自屏蔽体外 5cm 处，重点监测操作台、工件出入口等部位。	X 射线实时成像检测系统： 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）及《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022） 自屏蔽加速器： 《γ射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）及《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD 76-2025）
	年度监测	1 次/年		
	自主监测	1 次/季度		
个人剂量	个人剂量计实测	1 次/季度	辐射工作人员配备 1 枚个人剂量计，佩戴于左胸前	《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）

（4）验收监测

建设单位应在建设项目配套建设的环境保护设施竣工后，公开竣工日期；对建设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，并在调试期间应开

展验收监测；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，应当向所在地县级以上生态环境主管部门报送相关信息，并接受监督检查。

12.5 辐射环境保护验收清单

企业自行组织辐射环保验收清单见表 12.5.1。

表 12.5.1 辐射环境保护验收清单一览表

要素	污染防治措施	验收内容
辐射安全管理机构	设立辐射安全管理机构，指定专职人员负责辐射安全与环境保护管理工作	规范化辐射管理，加强安全操作意识，避免辐射事故发生
辐射安全和防护措施	屏蔽措施	SS-X1006SMI型半钢子午线轮胎X光机： 探伤室南侧、北侧及顶棚为6mm铅板，东侧、西侧和顶棚为5mm铅
		2824型X射线成像系统： 检测室四周、顶部、底部、安全门均为2mm铅；入胎仓及出胎仓四周、顶部、底部及安全门均为2mm铅。 CNE-500加速器（全钢）： ①辐照室的屏蔽厚度：前板、门、后板以及前/后板底部均采用50mm铅和80mm铁；右侧板和左侧板均为35mm铅和80mm铁；出/入口采用30mm铅和55mm铁；侧板（近辐照室）为30mm铅和55mm铁；顶板（近辐照室）为35mm铅和55mm铁； ②预备室的屏蔽厚度：顶板采用20mm铅和120mm铁；侧板为15mm铅和55mm铁；顶板采用55mm铁。
		CNE-500加速器（半钢）： ①辐照室前后板、门板采用50mm铅+80mm铁防护，左/右侧板采用35mm铅+80mm铁防护；顶板采用20mm铅+120mm铁防护；底板采用55mm铅+110mm铁防护； ②预备室顶板、前后侧板、预备室出入口侧板均采用55mm厚铁板防护，近辐照室部分，顶板增加铅板厚35mm，侧板增加铅板厚35mm； ③预备室内设置5层折挡，均使用22mm铅板，辐照物品通过预备室需经多个坡度通道。
	安全措施	SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机 ①门—机联锁：防护门与设备联锁，门未关严不能出束，运行中开门自动停止，恢复须人工确认； ②工作状态指示灯：门口、室内及操作台设“预备”（闪黄灯+间歇声，持续 15s）和“照射”（红灯+急促声）指示灯，与设备联锁，张贴说明牌； ③电离辐射警示标志：室外张贴电离辐射警示标志及中文说明； ④紧急停机按钮：工件门、维修门内及操作台各设 1 个急停按钮，按下即断电停束； ⑤通风装置：容积小，门频繁启闭，废气自然扩散后经车间排风外排；

		⑥辐射探测报警装置：维修门顶设固定式辐射监测仪，超 2.5μSv/h 声光报警，联动急停（自锁，须手动复位）； ⑦监控系统：室内装 2 个摄像头，操作台实时监控； ⑧操作台：显示高压通断、管电压、管电流及照射时间，设钥匙开关（停机/待机方可拔除）、急停按钮及警示标识。 2824 型 X 射线成像系统 ①门—机联锁：主门、入胎仓门、出胎仓门与设备联锁，且滑动安全门同侧至少一扇关闭方可出束，条件破坏自动停束，恢复须人工确认； ②工作状态指示灯：门口、室内及操作台设“预备”（闪黄灯+间歇声，持续 15s）和“照射”（红灯+急促声）指示灯，与设备联锁，张贴说明牌； ③电离辐射警示标志：室外张贴电离辐射警示标志及中文说明； ④紧急停机按钮：主门、入胎仓与 1#滑动门夹角、出胎仓与 4#滑动门夹角、2#/3#滑动门内侧及操作台各设 1 个急停按钮，按下即断电停束； ⑤通风装置：顶部设排风口（600m³/h），换气≥ 3 次/h，废气经车间排风外排； ⑥辐射探测报警装置：主门顶设固定式辐射监测仪，超 2.5μSv/h 声光报警，联动急停（自锁，须手动复位）； ⑦监控系统：入胎仓、出胎仓及室内共装 3 个摄像头，操作台实时监控； ⑧操作台：显示高压通断、管电压、管电流及照射时间，设钥匙开关（停机/待机方可拔除）、急停按钮及警示标识。 CNE-500 型自屏蔽加速器 ①钥匙开关：操作台设钥匙开关，钥匙即防护门钥匙，门未锁钥匙不可取，开门须携钥匙，确保开门无法开机； ②门—机联锁：维修门与加速器联锁，门开即停；设备平台楼梯口设门禁； ③剂量联锁：维修门顶设固定式辐射监测仪，超 2.5μSv/h 声光报警并自动停机。 ④束下装置联锁：传输系统故障时不能启动或自动停机； ⑤通风联锁：排风机正常工作方可出束，故障即停，正常停机后排风延迟≥ 5min，其间维修门无法开启； ⑥真空系统与高压联锁：真空度$< 4.2 \times 10^{-4}$Pa 时自动停机并切断高压； ⑦高频机电源与冷却水联锁：冷却风机、排臭氧风机与高压联锁；扫描电流与高压联锁；过电压、过电流与高压联锁；光电开关、紧急开关与高压联锁； ⑧声光警示系统：设电离辐射标志，工作状态指示灯（红/绿/黄分别表示停机/运行/待机），蜂鸣持续 15s； ⑨急停按钮：操作台及束下装置设置急停按钮，按下即停，复位后重启； ⑩通风系统：设进风口（中部）和排风口（内底部），6000m³/h 风
--	--	---

		机经 S 型包铅排风管外排。
	通风设施	设备及车间通风
人员配备	辐射防护与安全培训考核	所有辐射工作人员参加辐射安全与防护知识培训并已取得放射工作人员证
	个人剂量监测	配备热释光个人剂量片和剂量报警装置等防护用品，
	人员职业健康监护	定期安排辐射体检
监测仪器和防护用品	环境辐射剂量巡测仪	已配备1台，定期检测
	个人剂量报警仪	根据人员情况增加
辐射安全管理制度	操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度和人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施	制定《人员培训计划》《设备检修维护制度》《监测方案》《辐射防护和安全保卫制度》《岗位职责》《辐照加速器安全技术操作规程》《X光机安全操作规程》《辐射安全与环境保护管理机构、负责人及职责》《辐射事故应急措施》等

12.6 辐射事故应急处置

为及时有效地处理放射事故，减轻放射事故造成的后果，建设单位应制定《辐射事故应急预案》。项目建成后，建设单位应按照《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》等法律法规和辐射安全许可管理的相关要求，及时修订、完善《辐射事故应急预案》。辐射事故应急预案应包括以下内容：

（1）放射事件应急处理机构与职责

- 1) 成立辐射事故应急处理领导小组，组织开展风险事件的应急处理救援工作。
- 2) 应急处理领导小组职责
 - a. 定期组织人员进行辐射防护情况自查和检测，发现事故隐患及时督导整改；
 - b. 发生人员受超剂量照射事故，应及时启动本预案；
 - c. 事故发生后立即组织有关部门和人员进行事故应急处理；
 - d. 负责向生态环境部门、公安及卫生行政部门及时报告事故情况；
 - e. 负责辐射事故应急处理具体方案的研究确定和组织实施工作；
 - f. 人员受照时，要通过个人剂量计或其它工具、方法迅速估算受照人员的受照剂量；

g.负责迅速安置受照人员就医，及时控制事故影响。

2) 应急处理领导小组及各相关部门电话。

(3) 应急物资、设备及物资准备

(4) 辐射事故应急救援应遵循的原则

1) 迅速报告原则。

2) 主动抢救原则。

3) 生命第一的原则。

4) 科学施救，控制危险源，防止事故扩大的原则。

5) 保护现场，收集证据的原则。

(5) 应急响应

1) 发生辐射事故时，应急办公室立即启动公司应急预案。

2) 立即向应急领导小组报告，并根据辐射事故情况确定辐射事故等级。

3) 立即向所在区生态环境主管部门报告，发生超剂量照射情况时同时上报卫生部门，发生射线装置丢失等情况时同时上报公安部门。

4) 事故发生后 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，报所在区生态环境主管部门。

(6) 辐射事故应急处理程序

1) 事故发生后，当事人应立即通知工作场所的工作人员离开探伤现场，并及时上报辐射事故应急处理领导小组。

2) 应急处理领导小组召集人员，根据具体情况迅速制定事故处理方案。

3) 事故处理必须在应急处理领导小组的领导下，在有经验的工作人员和防护人员的参与下进行。

4) 各种事故处理以后，必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生原因，从中吸取经验教训，采取措施防止类似事故重复发生。

(7) 辐射事故应急终止

事故处理完毕，如实现受照人员得到救治、现场辐射水平降低至规定限值以下、设备修复完成等情况，且得到行政主管部门批准后，可终止本次应急行动；并由辐射事故应急处理领导小组对当次辐射事故应急行动进行总结和反思，及时收集与事故有关的物品和资料，做好调查研究工作，认真分析事故原因，并采取妥善措施，尽量减

少事故发生。

(8) 辐射事故应急处理程序演练

每年至少一次进行辐射事故应急演练。演习完毕，总结评估应急预案的可操作性，必要时，对应急预案作出修改和完善。

为减少事故发生，必须加强核安全文化建设，建立健全核安全管理，提高辐射工作人员安全和技术水平；严格按照操作规程作业，认真落实应急预案，提高单位应急能力；加强设备检查和维修，减少故障发生，从而确保安全。

建设单位将在项目运行后根据实际情况进一步完善应急预案，确保发生风险事件时，能迅速采取必要的、有效的应急响应行动，保护工作人员、公众和环境的安全。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

为满足生产需要并进一步提高轮胎产品质量，福建佳安橡胶有限公司拟在 TBR 预备车间新增 1 台 CNE-500 型自屏蔽加速器（全钢），用于全钢内衬工序中的纤维帘布材质改良，以增强帘布的弹性和韧性；同时，在 1#PCR 预备车间新增 1 台 CNE-500 型自屏蔽加速器（半钢），用于半钢纤维压延工序。此外，建设单位拟在 2#PCR 品管车间新增 1 台 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机，用于半钢子午线轮胎的 X 光缺陷检查；在 TBR 品管车间新增 2 台 2824 型 X 射线成像系统，用于全钢子午线轮胎的 X 光缺陷检查。本项目辐射工作的种类和范围为使用 II 类射线装置。

13.1.2 选址合理性分析

本次共新增 5 台射线装置，包括 TBR 车间的 2 台 2824 型 X 射线成像系统及 1 台 CNE-500 型自屏蔽加速器（全钢）、2#PCR 品管车间的 1 台 SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机、1#PCR 预备车间的 1 台 CNE-500 型自屏蔽加速器（半钢）。上述设备均根据全钢及半钢纤维帘布材质改良（加速器）与成品质量检测（X 光机）流水线的实际需要布置，位置合理，便于上下游工序衔接及自动化检测开展，且操作位已尽量避开有用线束照射。各装置周边主要为车间生产区域、设备区、厂区道路及库区，评价范围内无行政办公楼、宿舍楼、居民区等敏感保护目标。经预测分析，本项目对周围环境的辐射影响较小，因此选址合理。

13.1.3 辐射安全与防护分析结论

（1）辐射防护措施评价

本项目 5 台辐射设备均有一体化自屏蔽设备。根据理论预测可知，本项目辐射装置的辐射防护设计能满足辐射防护要求。

（2）辐射安全措施评价

本项目拟设置以下辐射安全和防护措施，包括操作台钥匙开关、门-机联锁、工作状态指示灯和声音提示装置、电离辐射警告标志、急停按钮。本项目 X 射线成像系统拟采取的辐射安全和防护措施满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）要求；CNE-500 型自屏蔽加速器满足《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》（T/WSJD

76-2025)及《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)中相关要求。

(3) 辐射安全管理评价

福建佳安橡胶有限公司应成立辐射安全与环境保护管理小组负责辐射安全与环境保护管理工作;制定项目相关的辐射管理制度及辐射事故应急预案,在之后的实际工作中还应不断根据法律法规及实际情况对各项管理制度进行补充和完善;同时,辐射工作人员应进行个人剂量监测和职业健康体检,福建佳安橡胶有限公司亦建立辐射工作人员个人剂量档案和职业健康监护档案。

福建佳安橡胶有限公司在切实做好以上措施后,本项目将能够符合相关辐射防护及辐射安全管理措施的要求。

(4) 辐射防护监测仪器

福建佳安橡胶有限公司拟增配5台个人剂量报警仪,本项目辐射工作人员均配备个人剂量计。以上监测仪器按要求配备后,能够满足本项目的仪器配备要求。

13.1.4 生态环境影响评价结论

(1) 建设阶段对环境的影响

本项目自屏蔽加速器由厂家一体化设计并制造,建设单位无需进行辐射屏蔽防护建设。在建设阶段不产生放射性废气、放射性废水及放射性固体废物,产生的环境影响主要是设备安装产生的噪声、固体废物等环境影响。本项目工程量较小,没有大型机械设备进入施工场地,施工场地安排有序,施工人员较少,施工期短,合理安排施工秩序、施工时间,并依托厂房建设主体工程的环保设施。

根据监测结果,拟安装自屏蔽加速器场所及所在厂房周边环境 γ 辐射空气吸收剂量率检测结果在50.5~98.0nGy/h之间(已扣除宇宙射线响应值)。参照《中国环境天然放射性水平》(2015年),福建省室外辐射环境本底范围值为25.9~399.1nGy/h(包括原野和道路),本项目检测结果全部处于该范围之内,属于当地正常天然辐射本底水平。

(2) 运行阶段对环境的影响

本项目运营期主要为电离辐射的环境影响,X射线成像系统及加速器均已配备了有效预防电离辐射的设施。X射线成像系统拟采取的辐射安全和防护措施满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)要求;CNE-500型自屏蔽加速器满足《自屏蔽式电子加速器辐照装置放射防护要求》(T/WSJD 76-2025)及《辐射加工用电子加速器工程通用规范》(GB/T 25306-2010)中相关要求。经预测,设备正常运行时,X射线成像

系统四周边界外 30cm 处，以及自屏蔽加速器机身外人员可达区域屏蔽体外 5cm 处，周围剂量当量率均不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

项目所致辐射工作人员受照的年有效剂量最大为 $1.23\times 10^{-5}\text{mSv}$ ，满足工作人员年剂量约束值不大于 5mSv 的要求；公众受照的年有效剂量最大为 $1.932\times 10^{-8}\text{mSv}$ ，满足公众年剂量约束值不大于 0.1mSv 的要求。

13.1.5 “三废” 处置措施

（1）电离辐射

本项目运营期主要为电离辐射的环境影响，项目建设均已采取了针对电离辐射有效的防护措施。

（2）废气

①X 射线实时成像检测系统

本项目 X 射线成像系统产生的废气均先排至生产车间内，再由厂区排风系统统一引至室外排放。

2824 型 X 射线成像系统探伤室设计有 1 处排风口，有效通风换气次数不小于 3 次/h，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）相关要求。

SS-X1006SMI 型半钢子午线轮胎 X 光机探伤室空间较小，未设机械通风， NO_x 和 O_3 主要依靠防护门开关自然扩散排出。由于厂房空间开阔，废气排入后迅速稀释，且 NO_x 和 O_3 自身分解较快，周边作业人员稀少，不会对环境及人员健康造成不良影响。

②自屏蔽加速器

自屏蔽加速器辐照室设置有通风设施，加速器停止运行后，辐照室内通风设施继续运行 5min，辐照室内臭氧浓度满足（GBZ 2.1-2019）规定的最高允许浓度 0.3mg/m^3 的标准要求。废气通过排气管道排向厂房外，因此对周边人员无不良影响。

13.1.6 可行性分析结论

（1）产业政策符合性分析

项目投入使用主要用于纤维帘布层材质改良及轮胎内部缺陷检测，分别对应加速器的辐照改性与 X 射线成像系统的无损探伤，符合辐射防护“实践的正当性”原则。项目在加强管理后满足国家相关法律法规和标准的要求，不会给所在区域带来环境压力。同时，本项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》鼓励类产业，其中 X

射线成像系统属于第十四类“机械”第1条中的“X射线仪”等高端在线检验检测仪器设备，加速器属于第六类“核能”第4条中的“加速器及辐照应用技术开发”，因此符合国家产业政策。

(2) 代价利益分析

福建佳安橡胶有限公司新增射线装置项目实施后，能有效提高产品质量，提高产品市场竞争力，创造更大的经济效益。

综上所述，建设单位具备从事辐射活动的技术能力，在严格落实各项防护措施后，该项目运行时对周围环境产生的影响符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，福建佳安橡胶有限公司新增射线装置项目是可行的。

13.1.7 总结论

福建佳安橡胶有限公司新增射线装置项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

13.2 建议和要求

(1) 公司应定期或不定期针对 X 射线轮胎检测系统及自屏蔽加速器的各种管理、操作、保安措施的落实情况进行检查，确保仪器的完好和有效。

(2) 针对本项目可能出现的辐射事故，公司应加强辐射工作人员的安全思想教育，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故的发生。

(3) 公司应认真保管好辐射设备的各种档案资料以及定期的测试报告，做到各种数据有据可查。

(4) 生态环境影响评价文件审批完成后，公司应根据有关规定及时申领辐射安全许可证。

(5) 建设项目竣工后，公司应按照国家生态环境行政主管部门规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见	
经办人	盖章 年 月 日
审批意见	
经办人	盖章 年 月 日