

卷烟厂自动装箱系统安全环境协同优化研究

赵 斌 张 楠

红云红河烟草（集团）有限责任公司乌兰浩特卷烟厂 内蒙古自治区 137400

【摘 要】：本文通过对卷烟厂自动装箱系统现状与安全隐患进行分析，探究自动装箱系统安全防护技术改进措施，进一步提出作业环境协同优化与综合管理提升路径，促进卷烟厂生产效率得到提升及优化。

【关键词】：卷烟厂；自动装箱系统；安全环境协同优化

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.091

1 卷烟厂自动装箱系统现状与安全隐患分析

1.1 自动装箱系统的工艺流程与设备组成概述

卷烟厂自动装箱生产线作为衔接卷接包装工序及成品库房的关键环节，其整体工艺是以连续化为主线，将卷接包装机出来的烟支条包按照指定方向收集至指定位置，利用光电扫描仪进行数量及质量检测，不良烟包被传送带自动送入剔除工位，良品按照设定的排数进行顺直堆积，并形成完整的烟包，然后由码垛机器人将烟包准确推入到待装箱中并打包、压码、缠绕，最后通过 AGV 将成品运送到成品库^[1]。

整个系统的硬件主要包括以下几个方面：机械装置、电子装置以及感应装置，机械装置包括机械臂、传送带、包装盒打包机器人、包装纸打包机器人等等；电子装置主要为 PLC 控制器、伺服电机、变频器、配电柜等等；感应装置主要有红外传感器、摄像头、接近开关等等。有的新工厂全自动装箱机也连接到整个工厂智能工厂管理控制系统上，在后台可以随时监控其工作状态并进行远程控制，实现无人化全自动批量包装成品卷烟的目标。

1.2 常见机械伤害、电气事故及环境风险识别

机械伤害是自动装箱系统现场最频发的安全隐患类型，风险点主要集中在高速运转的链条输送线、未做全封闭防护的码垛机械手运动范围、封箱机与捆扎机的刀具执行工位，当设备运行过程中出现烟卡堵料故障时，若操作人员未严格执行停机断电流程就直接伸手清理物料，极易被高速运转的链条卷入肢体，或是被机械手的运动臂、封箱机的切刀造成刮擦、切割类伤害，这类隐患在设备高频次启停的交接班时段发生概率会大幅提升。

电气事故是影响系统稳定运行的核心风险之一，自动装箱系统现场布设了大量伺服电机、动力线缆与高压控制元件，长期在多粉尘、高湿度的生产环境中运行后，线缆绝缘层易出现老化破损，若现场日常巡检不到位，极易出现线路短路、漏电打火问题，严重时还会触发局部电气火灾，新疆某卷烟厂此前就曾出现过装箱系统动力柜线路积尘受潮，引发局部打火跳闸的故障，虽未造成人员伤亡，但也导致整条卷包生产线停滞近 2 小时，带来了不小的生产损失^[2]。

环境风险是极易被忽视的隐性安全隐患，自动装箱系统运行过程中会持续产生大量纸箱碎屑、包装粉尘，这类轻质颗粒物长期悬浮在现场空气中，不仅会附着在传感器镜头表面导致检测失灵，堆积在电气柜散热口还会引发散热不畅问题，同时现场输送线周边若存在地面油污、积水，也会大幅提升 AGV 转运车辆打滑侧翻的概率，部分未做好温湿度管控的装箱车间，还会出现纸箱受潮变形、封胶不牢固的问题，间接引发设备卡停、物料坠落等次生安全事故。

1.3 安全管理与环境控制的现存问题

当前多数卷烟厂针对自动装箱系统的安全管理仍存在“重核心机组、轻辅助环节”的倾向，日常安全巡检重心多集中于卷接包主机等核心生产设备，对装箱系统这类后端辅助环节的巡检频次、检查标准均相对宽松；尤其针对小维修、小技改类“三小”作业，部分现场存在“无审批开工、安全监护缺位”的管理漏洞。此前部分卷烟厂曾发生外包维保人员未办理正规作业手续，私自进入机械手运动范围调试设备，险些触发机械碰撞伤人安全险情的事件。

现场环境控制普遍处于“事后清理、事前防控缺位”的被动状态，多数工厂装箱车间仅执行每日定点清扫的环境管控模式，未针对包装粉尘、纸箱碎屑配置实时负压收集装置，导致颗粒物长期在现场累积，既影响设备传感元件的检测精度，也不符合车间职业卫生相关标准。部分车间甚至为提升生产效率，刻意调高 AGV 车辆运行速度，完全忽略地面碎屑、积水带来的侧翻碰撞风险，环境管控让位于生产进度。

安全培训不到位，大部分工厂自动装箱系统安全培训内容停留在一般性安全规定层面，并未结合装箱系统特有的风险制定有针对性的实操培训项目，部分一线运维员工仅了解设备操作规程而不懂得如何应对机械伤害、电击伤等紧急情况。而且安全责任未能细分至每个工位，在发生隐患时往往存在互相推诿的现象，以往一些工厂的统计数据表明：装箱系统相关隐患整改完成率比不上卷接包核心机组的相关隐患整改完成率高^[3]。

2 自动装箱系统安全防护技术改进措施

2.1 安全光栅与急停装置的优化布置

对于存在较大人身伤害危险源的自动装箱系统,其安全光栅安装位置不能局限于传统的单点位防护设计方式,应采取分层级全域覆盖的方式进行优化设计,即不只在机械手前方布置一组光栅保护,而是在码垛机械手的整个作业范围内,于地面上方15cm的低空间位置增加防止下肢进入的光栅装置、在中间空间80~120cm增加预防躯干进入的光栅装置以及在高处180cm增设预防手臂进入的光栅装置。构建三层立体防护网,完全解决常规单组光栅存在防护盲区的问题,杜绝人员从下部钻行、上部翻越进入危险区的风险。

紧急停止按钮安装应考虑方便操作,不出现死区的原则进行布置,除在装箱系统集中控制柜配置一个总的急停按钮外,还在皮带传送线上每隔15m处配置拉线急停按钮,在封箱机、捆扎机的刀盘附近配置防水急停按钮,在自动引导小车(AGV)头部和尾部分别设置急停感应器,另外全部急停按钮都串联在系统控制的安全链中,在任一位置按下急停开关并不会造成整个系统立即失电停车,而是在设定时间内完成对各设备的平稳制动,防止正在运行的传送带上的烟包由于急停操作出现翻滚掉落的情况。

2.2 设备联锁保护与故障诊断机制完善

联锁保护功能完善化主要实现的是多种因素控制下多个条件满足后才能停止运行的封闭式保护流程,把安全光电幕帘、紧急停止开关、安全门、皮带机堵料等各种安全报警信号均统一接到主安全控制柜上,并制定出相应的联锁条件为:只要有一对安全光电幕帘受到阻塞就会出现机械手紧急停运后不能遥控复位;封箱机安全门没有关到位的情况下,切刀执行机构不能动作;输送线跑偏、堵料信号触发时,上游烟条归位工位不再送料,在源头上防止了设备带故障状态运行的可能性。

故障诊断机制需从传统事后报警向事前预判升级,为装箱系统的电机、轴承、传动链条等核心部件加装振动传感器、温度传感器,搭建专属的边缘端故障诊断模块,实时采集设备运行的振动、温度、电流数据,通过预设的算法模型对比正常运行阈值,当部件出现磨损、老化的早期征兆时,系统自动弹出预警提示并推送维保工单,无需等到设备完全故障停机再开展抢修。

此外还增加了联锁保护双重确认功能,防止单个传感器故障造成联锁失效,对于重要安全联锁点,增加二取一传感器信号交叉验证设计,在2个传感器给出相同的安全状态后才允许执行开机动作,否则视为传感器故障并上锁,确保任何单一设备故障不会导致保护失效,某新建设施卷烟包装线采用该冗余安全联锁方案后,已稳定运行3年未发生安全联锁误触发及安

全保护失效事件。

2.3 作业人员安全培训与操作规程标准化

对员工的安全教育不能只停留在读安全手册、做试卷上,在加强知识普及的同时增加现场体验环节,从普及“一般性”的安全注意事项转变为深入挖掘自动装箱系统特有的危险源并形成针对性的教学材料,并借助VR技术还原人车冲突、堵塞处理、电火花产生等危险工况,促使相关岗位员工能够沉浸式地学习如何规范应对这些危险工况。此外增加现场实操考试,要求所有运维人员独立完成急停触发、安全光栅复位、堵料安全清理等实操动作,并且考试不过关不能上岗,从根本上消除人的不安全操作习惯。

操作规程标准化要覆盖全作业流程的每一个细节,针对自动装箱系统的日常巡检、故障清理、维保作业等不同场景,制定一步一步确认的标准化操作清单:清理输送线堵料时,必须严格执行停机、断电、挂警示牌、验电四步流程,严禁带电伸手清理物料;进入机械手防护区域作业前,必须先切断本地动力电源、拔出安全钥匙并随身携带钥匙,杜绝他人误启动设备的风险,所有操作规程全部张贴在对应工位的醒目位置,用可视化的提示替代模糊的口头要求。

部分卷烟厂落地该标准化体系后,现场人员的违规操作发生率下降了85%,同时配套建立每班安全复盘机制,交接班时由当班班长带领全员梳理上一班的安全隐患与操作细节,及时纠正不规范的操作习惯,某厂运行数据显示,推行标准化操作规程后,装箱系统相关的轻微刮擦、设备误碰类小险情实现了清零,一线作业人员的安全防护意识得到提升。

3 作业环境协同优化与综合管理提升

生产现场联动改善围绕自动装箱车间的粉尘、温度及湿度、人员行走路线管理三个方面展开,对长时间漂浮于空气中的纸箱残渣、包装用粉,增设局部吸尘器安装在机器人工作范围上空及包装机上口处,并采用环氧树脂防滑耐磨地坪进行地面处理,结合AGV轨道旁的自动扫拖功能,有效降低积尘和地面油水风险点;并利用原有车间空调设施建立实时温控体系,在不同季节根据温度变化控制送风方式,防止空气太潮湿而引起配电箱结露及瓦楞纸箱吸湿鼓包现象,并能防止干燥环境下静电堆积引发的隐性风险,让设备运行始终处于适配的环境区间内。

而系统性改善则是消除人防和技术防范之间的缝隙,构建以机器、物料、人员为核心的综合安全监测体系,将安全光栅报警情况、机器联锁使用情况、工区尘埃含量等情况汇总到一个数据库中进行监控分析,并及时反馈并处理异常事件;同时制定相应的检查制度及责任人,将装箱系统环控、安全检测工作细化至各工位,并定期开展多岗位联动应急演练,从根本上解决之前环控及设备安全各自为战的局面,实现技防闭环。

4 结论

本研究聚焦卷烟厂自动装箱系统的安全环境协同优化,通过对生产现场的系统性勘察与分析,识别出以机械挤压、电气误操作为代表的显性安全风险,以及由作业过程中粉尘浓度异常、温湿度参数漂移引发的潜在隐患与隐性威胁。针对当前管理中普遍存在的安全标准执行不一、人机交互界面复杂、设备维保与风险预判脱节等核心问题,本研究推进了包含增设物理光栅、升级电气联锁在内的安全防护技术改造,同步制定标准

化的三级人员安全培训规程,强化了除尘系统与温湿度调节装置的现场治理效能。最终,通过搭建集实时监控、数据分析、预警推送、流程追溯于一体的智能管控平台,实现设备安全、人员行为与作业环境三项关键要素的深度融合,构建了事前可预防、事中可控制、事后可追溯的协同闭环安全体系。本研究成果旨在为烟草行业乃至其他领域存在同类高自动化、高精度装箱作业场景的工业企业,提供兼具系统性、操作性与可复制性的安全环境协同优化方案与实践参考。

参考文献:

- [1] 冯仁宇,徐铿,胡晔,等.一种可适用自动装箱的循环包装箱的设计和制作[J].科技资讯,2021,19(23):53-55+58.
- [2] 王起军,贺国龙.异标共线卷烟分拣技术的创新与应用[J].物流技术与应用,2021,26(7):135-138.
- [3] 陈海军,丁兴,朱玲,等.标准卷烟包装方式及发展趋势分析[J].物流技术,2014,(22):93-95.