

提供一种有效的风险评估工具。此外,风险评估还常常借助计算机辅助分析工具,如故障树软件、风险分析平台等,提高评估的准确性和效率。通过这些方法,企业能够更加清晰地了解潜在风险,并采取相应的措施进行管控。

4.3 HAZOP 分析中的风险识别与评估应用

在 HAZOP 分析中,风险识别与评估的应用关键在于系统性地对工艺流程进行逐步审查,确保每一个环节的潜在风险都得到充分识别。HAZOP 分析通过使用“指导词”帮助团队成员深入探讨每个工艺节点可能发生的偏差,如“更多的”、“更少的”等,结合团队的经验和知识,识别出可能导致事故的各种情形。评估过程中,通过对偏差发生的可能性和后果进行定量或定性分析,团队可以将识别出的风险按优先级进行排序,确保最严重的风险得到优先控制。HAZOP 分析不仅帮助识别工艺操作中潜在的危害,还能通过团队的讨论和集思广益,发现通常情况下难以识别的隐患。其结果将形成详细的风险评估报告,并为后续的风险控制措施提供理论依据。

5 化工过程中的风险控制策略

5.1 化工过程中的风险控制措施

化工过程中的风险控制措施是确保生产安全、降低事故发生概率的核心手段。这些措施包括物理防护、操作规程、设备维护、应急预案等。物理防护主要是通过安装安全设备,如压力释放阀、泄压系统、火灾报警系统等,来应对意外情况的发生。操作规程的完善则可以有效减少人为错误,确保操作人员严格遵守标准作业程序,防止操作失误导致的事故。设备的定期检修和维护是预防设备故障的有效手段,尤其是在高温、高压等危险环境中,设备的正常运行至关重要。此外,应急预案的制定和演练确保在突发事件发生时,能够迅速有效地采取应对措施,最大程度地减少事故损失。结合这些措施,化工企业能够从源头上防控风险,确保生产过程的安全性。

5.2 HAZOP 分析与风险控制的结合

HAZOP 分析与风险控制密切相关,前者是识别风险的过程,后者是应对和管理这些风险的过程。HAZOP 分析通过对化工过程每个环节的细致审查,帮助团队识别潜在的危害和操作失误,形成全面的风险评估报告。这些报告为制定针对性的风险控制措施提供了科学依据。结合 HAZOP 分析的结果,企业可以针对具体的危险源采取相应的控制措施,如调整工艺参数、优化设备布局、加强操作培训等。HAZOP 分析不仅提供了明确的控制方向,还促进了全员安

全意识的提升。通过将 HAZOP 分析与企业的风险控制体系相结合,能够有效减少事故发生的概率,提高生产过程的安全性。

5.3 基于 HAZOP 分析的优化与改进策略

基于 HAZOP 分析的优化与改进策略主要包括优化分析流程、提高团队成员的专业素质以及引入新技术手段等。首先,优化分析流程可以提高 HAZOP 分析的效率和准确性,例如,通过精简分析步骤或结合自动化工具加快数据处理过程。其次,提高团队成员的专业素质是确保 HAZOP 分析质量的关键。团队成员应具备扎实的工艺知识和风险评估能力,定期进行安全培训和案例分析,不断提升分析水平。最后,随着科技的进步,新技术手段如人工智能、大数据分析等可以为 HAZOP 分析提供更强大的支持,帮助团队从海量数据中挖掘潜在的风险点,提升分析的精准度和预测能力。通过这些优化与改进策略,HAZOP 分析不仅能够更加高效地识别和评估风险,还能在实际应用中不断提升其价值。

6 结语

通过对化工过程中的 HAZOP 分析与风险控制研究,我们可以看到,HAZOP 分析作为一种系统的风险识别与评估工具,在化工行业的应用中具有重要的作用。它不仅帮助企业全面识别潜在的危险源,还通过分析每个环节的偏差,提出切实可行的风险控制措施,从而有效减少事故发生的概率,提高生产过程的安全性。结合现代风险评估模型与技术,HAZOP 分析能够为企业提供更科学的依据,优化安全管理方案,保障人员、设备及环境的安全。然而,HAZOP 分析也面临一定的局限性,如团队经验、分析流程的复杂性问题。因此,结合先进的技术手段与持续优化分析流程,是未来 HAZOP 分析发展的重要方向。总体而言,HAZOP 分析的有效实施不仅能够提升化工过程的安全水平,更为企业实现可持续发展提供了有力保障。

参考文献

- [1] 杨紫荆,郑琰.基于HAZOP-Aspen的水煤浆气化工工艺风险分析[J].当代化工,2025,54(09):2235-2240.
- [2] 谢洪龙.石油化工装置HAZOP分析技术应用与风险防控研究[J].化学工程与装备,2025,(09):118-120.
- [3] 张金华,包娜娜,邢屹.化工过程安全分析方法的协同进化——HAZOP-LOPA-SIS集成策略的多维度比较[J].化工自动化及仪表,2025,52(05):806-811.
- [4] 史龙,李修峰,王震,邢金刚.HAZOP分析技术在化工工艺安全管理中的应用[J].化工管理,2025,(23):95-98+106.

Application of intelligent protection system in mechanical injury prevention of communication terminal equipment assembly line

Shuquan Liang

Sichuan Jiuzhou Electronics Technology Co., Ltd., Mianyang, Sichuan, 621000, China

Abstract

As the manufacturing of communication terminal equipment evolves toward intelligent and automated upgrades, the frequency of human-machine collaboration in assembly lines has surged, making mechanical injury risks a critical challenge to production safety. Traditional protective measures suffer from shortcomings such as delayed response, significant efficiency losses, and inadequate digitalization of control systems, making them ill-suited for dynamic production scenarios. This study focuses on communication terminal assembly lines and designs a five-layer closed-loop intelligent protection system featuring “perception-transmission-decision-execution-monitoring” components, integrating multi-source sensing technologies with hierarchical coordinated control strategies. Field application validation demonstrates that this system reduces mechanical injury accident rates by 82%, enhances protective response speed by 65%, and decreases production efficiency losses from 5% to 0.2%. The system achieves coordinated optimization of safety prevention and production efficiency, providing a practical technical pathway for mechanical injury control in communication terminal manufacturing.

Keywords

intelligent protection system; communication terminal equipment; assembly line; mechanical injury prevention; human-machine collaboration

智能防护系统在通信终端设备组装流水线机械伤害防控中的应用研究

梁舒筌

四川九州电子科技股份有限公司, 中国·四川 绵阳 621000

摘要

随着通信终端设备制造业向智能化、自动化升级, 组装流水线人机协作频次激增, 机械伤害风险成为制约生产安全的核心问题。传统防护措施存在响应滞后、效率损失大、管控数字化不足等短板, 难以适配动态生产场景。本文以通信终端设备组装流水线为研究对象, 设计构建“感知-传输-决策-执行-监控”五层闭环智能防护系统, 融合多源传感技术与分级联动控制策略。通过现场应用验证, 该系统使机械伤害事故发生率降低82%, 防护响应速度提升65%, 同时将生产效率损失从5%降至0.2%, 实现安全防控与生产效率的协同优化, 为通信终端制造领域机械伤害防控提供切实可行的技术路径。

关键词

智能防护系统; 通信终端设备; 组装流水线; 机械伤害防控; 人机协作

1 引言

在5G通信、人工智能技术的驱动下, 通信终端设备制造业迎来规模化、精密化发展新阶段, 智能手机、物联网终端等产品的组装流程逐渐形成“自动化设备主导、人工辅助协作”的生产模式。据《中国机械制造行业安全发展报告(2024)》统计, 通信终端组装环节因设备高速运转、工序交叉密集、人机交互频繁, 机械伤害事故发生率占行业总事

故的37.2%, 其中挤压、剪切、卷入类事故占比超60%, 单次事故不仅造成人员伤亡, 还会导致生产线停机数小时至数日, 直接经济损失可达单条流水线日产值的3-5倍, 严重制约行业安全高效发展。

当前, 通信终端组装流水线普遍采用物理隔离栏、急停按钮、光电保护器等传统防护手段, 在动态人机交互场景中暴露出明显局限性: 一是防护模式被动, 仅能在危险接触发生时触发响应, 对运动速度达1.2m/s的机械臂等设备, 1-1.2秒的响应延迟难以规避伤害, 伤害规避率仅68%; 二是响应机制单一, 无论风险等级高低均启动全线停机, 非必

【作者简介】梁舒筌(1984-), 男, 中国四川旺苍人, 硕士, 注册安全工程师, 从事企业安全管理研究。

要停机导致单条流水线年均产能损失达 4.7%；三是缺乏数据追溯能力，事故后无法回溯风险触发过程与设备运行参数，同类隐患重复发生概率超 30%。

随着《“十四五”智能制造发展规划》对制造业安全生产智能化水平要求的提升，研发适配通信终端组装流水线场景的智能防护技术成为行业刚需。现有研究多聚焦单一传感器应用，尚未形成多维度感知与分级响应的一体化防护体系。为此，本文结合通信终端组装流水线“精密化、快节奏、多交互”的特点，设计智能防护系统并开展现场应用，通过实际数据验证其防控效果，为行业安全升级提供技术支撑与实践参考。

表 1 通信终端组装流水线机械伤害风险分布表

风险区域	涉及设备 / 工序	主要伤害类型	风险成因	事故占比
设备交互区	机械臂、螺丝锁付机	挤压、撞击	人机动作路径交叉，设备未识别人员靠近	42.5%
传送带接驳区	上下游传送带、转向机构	卷入、剪切	传送带间隙存在盲区，异物感应灵敏度不足	31.3%
人工操作工位	手动辅助装配台、检测设备	夹伤、划伤	人工操作与设备联动滞后，误触启动开关	26.2%

2.2 传统防护措施的核心痛点

当前流水线应用的传统防护手段，在应对动态人机交互风险时存在明显短板，难以满足安全与效率协同的需求，具体表现为以下三方面：

其一，被动防护滞后性显著。物理隔离栏、安全光幕等装置仅能在人员或物体进入危险区域后触发防护，对于通信终端组装中机械臂快速取放零件的场景，从触发到设备停机的 0.8-1.2 秒延迟内，已可能发生伤害事故。^[1]某企业现场数据显示，传统防护措施对高速运转设备的风险预警能力不足，无法提前规避潜在危险。

其二，安全与效率存在突出矛盾。传统光电保护器采用“一刀切”的停机机制，无论风险等级高低，触发后均会导致整条流水线停机。调研发现，因操作人员误进入预警区域引发的非必要停机，单次平均造成 15-20 分钟生产中断，单条流水线年均因此损失产能约 3.2 万件，占总产能的 4.7%，形成“防护越严、效率越低”的困境。^[2]

其三，数字化管控能力缺失。传统防护系统缺乏风险数据记录、存储与分析功能，事故发生后难以回溯风险触发过程、设备运行参数及人员操作轨迹，无法为风险溯源与防控方案优化提供支撑，导致同类事故重复发生概率较高，安全管理陷入“被动应对”的恶性循环。

3 智能防护系统总体设计

3.1 系统设计目标与原则

3.1.1 设计目标

针对通信终端组装流水线的风险特点与传统防护痛点，智能防护系统需实现三大核心目标：一是主动预警与精准防护，提前识别 0.5-1.0 米范围内的动态风险，根据风险等级启动差异化响应，将机械伤害事故发生率降低 80% 以上；二是安全与效率协同优化，避免非必要停机，将防护相关的

2 通信终端设备组装流水线风险特征与防护痛点

2.1 流水线生产特征与风险分布

通信终端设备组装流水线以模块化生产为核心，典型流程涵盖主板焊接、零部件装配、外壳封装、性能检测等工序，单条流水线通常配置贴片机、螺丝锁付机、传送带、机械臂等 15-20 台自动化设备，作业人员需在设备间隙完成上料、质检、异常处理等操作，人机交互区域占流水线总长的 65% 以上，动态风险点分布密集。

通过对国内 3 家大型通信终端制造企业共 12 条组装流水线的现场调研，结合近 3 年事故统计数据，梳理出流水线机械伤害风险的核心分布区域与特征，具体如下表 1 所示。

生产效率损失控制在 1% 以内；三是全流程数字化管控，实现风险数据实时采集、存储与分析，为安全管理决策提供数据支持，降低同类隐患重复发生概率。^[3]

3.1.2 设计原则

- 兼容性原则：适配流水线现有自动化设备（如贴片机、机械臂等）的主流通信协议（Profinet、Modbus 等），无需大规模改造设备即可完成系统集成，降低应用成本。

- 实时性原则：感知数据采集周期不超过 50ms，风险决策与响应延迟控制在 0.3 秒以内，满足高速设备的防护需求。

- 可靠性原则：系统平均无故障工作时间（MTBF）不低于 8000 小时，可在粉尘、电磁干扰等复杂工业环境下稳定运行。

- 分级防控原则：根据风险距离、人员动作状态、设备运行参数划分风险等级，匹配差异化防护策略，平衡防护效果与生产连续性。

3.2 感知层

作为系统的“感知器官”，感知层负责多维度采集风险相关数据，适配通信终端组装流水线的精密化场景，配置三类核心感知设备：

红外测距传感器：部署于机械臂、传送带等设备周边，实时检测 10-1000mm 范围内的人员或物体距离，测量精度 $\pm 2\text{mm}$ ，采样频率 20Hz，实现近距离风险的快速识别。

视觉识别摄像头：采用工业级高清摄像头（分辨率 1920×1080），通过 YOLOv8 算法识别人员肢体动作、作业姿态及进入危险区域的行为，识别准确率 $\geq 98\%$ ，可精准区分“正常作业”与“危险入侵”状态，避免误触发。

设备状态传感器：采集设备运行参数（如机械臂转速、传送带速度、电机电流）与环境参数（如作业区域照度、温