

Strategy, Case and Prospect of Controlling the Safety of Machinery and Equipment in Design and Production Stage

Fei Cao

Suzhou Kehuan Environmental Protection Technology Co., Ltd., Kunshan, Jiangsu, 215332, China

Abstract

To prevent mechanical equipment accidents at their source and ensure both personnel safety and corporate sustainability, this study proposes a comprehensive safety strategy covering design standard refinement, production process control, and robust safety management mechanisms. Building on an analysis of current accident patterns and hidden risks in equipment design and manufacturing, the strategy incorporates advanced design concepts and technologies to optimize production processes and quality control, while enhancing safety management and training programs to establish a holistic safety framework. Case studies from Siemens and other industry leaders validate the strategy's effectiveness, and future research directions are outlined, providing practical guidance and theoretical references for improving safety standards in the machinery sector.

Keywords

mechanical equipment; design and production; safety strategy; case study; industry outlook

从设计生产阶段把控机械设备安全的策略、案例与展望

曹飞

苏州科环环保科技有限公司, 中国·江苏 昆山 215332

摘要

为从源头遏制机械设备事故,保障人员生命安全与企业可持续发展,本文在分析机械设备事故现状及设计生产阶段安全隐患的基础上,提出了一套涵盖设计标准完善、生产过程管控、安全管理与监督机制健全的全流程安全策略。通过引入先进设计理念与技术,优化生产工艺与质量控制,强化安全管理与培训,构建全方位的安全保障体系。结合西门子等企业的成功实践案例,验证了该策略的有效性,并对未来研究方向进行了展望,为机械行业安全水平提升提供实践指导与理论参考。

关键词

机械设备; 设计生产; 安全策略; 案例分析; 行业展望

1 引言

1.1 研究背景与意义

在工业现代化进程中,机械设备作为各领域生产核心要素,大幅提升生产效率、推动经济发展,但事故频发问题日益突出,已成为威胁人员安全、阻碍企业健康发展的重要隐患。据应急管理部 2025 年数据,2024 年中国机械行业生产安全事故(不含火灾、特种设备、燃气类)共发生 312 起,造成 300 人死亡,同比分别上升 0.6% 和 2.0%,其中机械伤害事故占比显著,给社会、企业和家庭带来沉重损失^[1]。

机械设备事故的根源与设计生产阶段的安全管控密切相关,设计缺陷、生产质量隐患及安全管理漏洞是核心诱因。因此,从设计生产阶段构建科学系统的安全把控体系,对从根本上降低事故发生率、保障人员安全、促进企业可持续发展

具有重要意义,同时也能丰富机械设备安全领域理论体系,推动行业安全标准完善与技术进步。

1.2 国内外研究现状

国外在机械设备安全设计、生产标准与事故预防方面起步较早,形成了较为完善的体系。美国、欧洲等地区制定了严格的安全法规与标准,强调通过设计消除安全隐患,引入可靠性设计、人机工程学等先进理念,采用故障树分析(FTA)、失效模式与影响分析(FMEA)等方法进行事故预防。国内近年来也逐步建立了完善的机械安全法规与标准体系,学者们针对不同类型机械设备开展了安全设计与事故预防研究,但在设计生产与事故预防的关联性、跨学科融合以及新技术应用的安全风险管控等方面仍存在不足。

1.3 研究方法与创新点

本研究采用文献研究法、案例分析法与对比研究法,全面梳理国内外相关研究成果与实践经验,深入剖析典型事故案例与成功企业实践,对比国内外安全管理模式与技术标准,提炼有效的安全策略。研究创新点在于实现多维度、全

【作者简介】曹飞(1986-),男,中国辽宁锦州人,注册安全工程师,本科,从事安全管理研究。

流程的安全分析,突破单一环节研究的局限,同时引入可靠性工程、人工智能、大数据等新理论与新技术,为安全管控提供新的技术支撑。

2 从设计生产阶段把控安全的策略与措施

2.1 完善设计标准与规范体系

2.1.1 细化安全设计标准

制定详细可操作的机械设备安全设计标准,是从源头保障设备安全的关键,需明确机械结构、电气系统、安全防护装置的安全要求与技术指标。

(1) 机械结构:精准核算强度、刚度与稳定性,避免设备运行或承载时变形、断裂。如起重机桥架需按最大起重量、跨度等参数选料设计,防止结构失效引发坠落事故。

(2) 电气系统:严格规范元件选型、布线与接地,元件需绝缘、过载及抗干扰性能良好,布线整齐,接地电阻达标。如工业机器人需选用合规接触器、继电器,采用屏蔽电缆布线并设置可靠接地,规避短路、漏电隐患。

(3) 安全防护装置:明确各类装置的功能、结构、安装位置及性能指标。如冲床需配备双手操作、光电保护装置并限定响应时间与保护范围;金属切削机床防护装置需全覆盖刀具危险区域,同时不影响观察与操作。

2.1.2 加强标准更新与宣贯

机械设备安全标准需随科技进步和设备迭代动态更新,相关部门和行业组织应跟踪国内外技术发展,定期审查修订标准;针对人工智能、物联网等新技术应用带来的网络安全、数据泄露等新隐患,需及时补充安全要求,明确数据传输、存储、处理的防护规范。

同时要强化标准的宣贯落实,通过培训、研讨、发放资料等方式普及标准内容,编制结合实际案例的解读手册,指导企业开展风险评估与安全设计。

2.1.3 引入先进设计理念与方法

引入可靠性设计、失效模式与影响分析(FMEA)及人机工程学等先进理念,可显著提升设备设计安全性。

可靠性设计:基于概率统计量化分析设备可靠性,优化关键零部件设计。如汽车发动机通过该方法优化曲轴、活塞等部件的材料与结构,提升其可靠性和耐久性,降低故障概率。

失效模式与影响分析(FMEA):系统性识别设备各部件潜在故障模式,评估其对安全的影响程度并制定改进措施。如数控机床设计中,通过FMEA发现控制系统电子元件短路隐患,采取增加冗余电路、选用优质元件、设置报警装置等方式降低风险。

人机工程学设计:结合操作人员生理和心理特点,优化设备操作界面、流程及工作环境。如工业控制面板按操作习惯布局部件、设置清晰标识,同时改善工作区域照明与通风,减少误操作和人员疲劳。

2.2 强化生产过程安全管控

2.2.1 优化制造工艺流程

全面分析现有制造工艺流程是识别安全风险的基础,需梳理原材料加工、零部件制造、装配等各环节,借助故障树分析(FTA)、危险与可操作性分析(HAZOP)等工具排查风险点。

针对识别的风险需制定优化措施:

(1) 工艺布局:遵循安全高效原则,按加工流程集中布置关联设备,设置专用物料与人员通道,避免交叉作业和物料搬运混乱。如机械加工车间按车床、铣床、磨床顺序排布,划分独立物料存放区。

(2) 设备选型与工艺改进:优先选用安全性能高、自动化程度高的设备,如带自动换刀的数控机床、配备安全光幕的冲压设备;采用高速切削、精密成型等先进技术,降低因工艺不合理引发的安全隐患。

2.2.2 严格材料与零部件质量检验

建立严格的材料和零部件质量检验制度,是保障设备质量与安全的关键举措。

(1) 原材料采购检验:严格筛选评估供应商,要求提供质量证明文件与检测报告;对钢材的化学成分、力学性能,电子元件的电气性能、可靠性等指标进行核验;建立抽检制度,不合格原材料一律退货,杜绝流入生产环节。

(2) 零部件加工过程检验:聚焦关键工序与尺寸,运用无损检测设备、三坐标测量仪等先进技术,检测零部件的形状、尺寸精度及表面质量;对焊接件开展无损探伤排查焊缝缺陷,对精密件严控公差与粗糙度,保障装配和运行性能。

(3) 装配前复检与供应商管理:装配前再次全面检验零部件,避免缺陷件装机;定期对供应商进行审核评价,淘汰不合格供应商;联合开展质量改进活动,共享技术经验,提升供应链整体质量管理水平。

2.2.3 规范装配与调试作业流程

制定规范的装配与调试作业流程,明确各步骤操作要求和质量标准,是保障作业质量与安全的关键^[2]。

(1) 装配作业管控:严格规定零部件安装顺序、装配方法、紧固扭矩等参数;设立质量控制点,重点检查发动机与变速箱连接等关键环节,确保装配质量合规。

(2) 人员培训管理:对操作人员开展理论+实操培训,结合案例讲解安全问题与应对措施;新员工需通过三级安全教育考核方可上岗,老员工定期复训更新技能。

(3) 调试作业规范:制定详细调试方案,明确步骤、参数及安全措施;调试前全面检查设备安装与电气连接,过程中按方案逐步调整参数;现场设置警示标志、严禁无关人员进入。

2.3 健全安全管理与监督机制

2.3.1 企业内部安全管理体系建设

建立健全企业内部安全管理体系,是保障设备设计生