

大型压力机滑块防坠落系统关键技术研究

余基洋

(江苏环宇汽车零部件有限公司, 江苏 无锡 214257)

摘要 本文针对大型压力机滑块坠落这一重大安全隐患,研究了滑块防坠落系统的设计原理、关键技术及工程应用。通过分析滑块坠落的原因,提出了多级防护系统架构,集成机械锁紧机构、液压支撑保险系统和智能中控三大子系统,可靠性达到99.9%以上,旨在为大型压力机的安全防护提供技术方案参考,对提升压力机制造业的安全水平具有积极的工程意义。实际应用结果表明,防坠落系统能够有效防止滑块坠落,系统响应时间小于50毫秒,机械锁紧装置能够在100毫秒内紧急制动,制动承载能力可达额定负载的200%以上。

关键词 压力机; 滑块防坠落; 安全防护; 机械锁紧; 液压支撑保险

中图分类号: TG315.4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.03.002

0 引言

大型压力机作为当代制造业的重要生产设备,广泛应用于汽车制造、航空航天、家电生产、工业设备制造等关键领域。随着现代工业自动化的程度不断提升,压力机的工作负荷和频率也在持续增加,降本增效成为企业提高竞争力的核心策略,这就对压力机在工作时长及工作效率等方面提出了较高的要求,使压力机的安全性能面临着前所未有的挑战。在长期高负荷运行过程中,由于系统维护不当、系统故障、机械疲劳等多方面的因素,滑块坠落事故时有发生,不仅会造成设备损伤,同时也可能导致人员伤亡等严重后果。基于此,压力机滑块防坠落技术的研究具有很大的实际应用价值。在安全技术方面,滑块的防坠落是压力机安全设计的关键环节,虽然无法消除滑块的坠落风险,但是可以通过主动预防和被动防护相结合的方式,显著降低滑块坠落事故发生的概率和严重度。在技术创新方面,滑块防坠落系统的升级将推动压力机向更加安全、可靠的方向发展。

国外对压力机安全技术的研究比较早,欧洲标准化委员会和美国国家标准学会都建立了比较完善的压力机安全防护标准体系。在技术方面,德国、日本等在滑块防坠落技术上处于领先地位,开发了多种机械锁紧、液压制动和电气控制的组合式的安全防护系统。例如:德国的赛特马 SITEMA 安全锁紧装置,可有效用于防止滑块脱落。我国对压力机滑块防坠落措施的研究

虽然起步较晚,但发展较为迅速。随着 GB/T 42596 系列国家标准的发布实施,我国压力机安全技术进入了规范化发展阶段。例如:邹兵等研发的液压机滑块防坠落装置采用碟形弹簧和内锥体结构,实现了快速可靠的锁紧功能^[1]。但是通过实际应用发现,现有安全防护技术仍存在响应速度慢、系统可靠性不足、系统智能化程度低、老式压力机改造成本较高等现实问题,亟需进一步研究和完善。

1 大型压力机滑块防坠落系统设计

1.1 防坠落系统总体架构

为有效降低压力机滑块坠落风险,本文针对滑块防坠落系统构建三级防护的架构。第一级为预防层,通过实时监测压力机液压系统压力、滑块位移传感器等关键参数,在故障发生前预警;第二级为主动防护层,机械锁紧机构在预防层检测系统异常时立即动作锁住滑块,同时液压系统在检测到压力异常时,可有效锁紧油压压力;第三级为被动防护层,压机顶部设置可靠的物理限位。这种分层防护极大地提高了系统的可靠性(见表1)。

1.2 机械锁紧机构设计

机械锁紧机构为防坠落系统的核心部件,其性能直接决定了整个系统的可靠性。对于机械锁紧机构的驱动力,一般采用液压油缸+弹簧式插销^[2]、蝶形弹簧组等方式。本文设计的机械锁紧机构采用气缸作为动力源,通过气缸连接杆推动卡爪锁住齿条的原理实

作者简介: 余基洋(1988-),男,本科,高级工程师,研究方向:安全工程。

表 1 三级防护系统功能对比

| 防护层级 | 技术手段 | 响应时间 | 保护范围 | 可靠性 |
|-------|--------------|----------|--------|------|
| 预防层 | 压力、位移等传感器监测 | 实时 | 全面监测 | 99% |
| 主动防护层 | 机械锁紧机构、液压双保险 | < 100 毫秒 | 主要故障模式 | 99% |
| 被动防护层 | 顶部限位 | 瞬时 | 极端情况 | 100% |

现快速锁紧功能。当油压传感器检测到液压系统低于正常值或者当滑块位移传感器检测滑块速度异常时，系统通过气动阀控制气缸，推动卡爪锁住齿条，达到瞬间制动的效果。

机械锁紧机构由齿条、齿条底座、气缸锁紧机构、机构底座、气动系统、油压传感器、限位开关、滑块位移传感器等组成。每台压力机需对角或者对侧安装机械锁紧机构，使用焊接方式将气缸锁紧机构、齿条分别固定在压力机框架和滑块上。驱动气缸采用双作用气缸，通过交替供气实现气缸锁紧装置卡爪伸出及复位。为增加气缸的可靠性，在气动系统上安装气压传感器，一旦检测气动系统压力异常，压力机将会停止运行。

1.3 液压支撑保险系统

液压支撑保险系统作为该架构的辅助防护，在机械锁紧系统失效时提供第二道防线。该系统由两套液压锁紧阀、两套电池阀、蓄能器、注油单向阀、压力传感器组成。正常工作时，电池阀通电，液压锁紧阀保持开启状态，允许滑块自由运动；当传感器检测到液压系统压力异常下降时，电池阀不得电，锁紧阀立即关闭，将滑块锁定在当前位置；在油缸注油孔设置单向阀，液压油无法通过注油口回油，可锁定油缸压力。同时，油压系统蓄能器作为应急动力源，在主动动力系统失效时提供短时压力维持，可减速滑块掉落速度，为机械锁紧机构的动作赢得宝贵时间。

液压支撑保险系统可有效减缓滑块掉落速度，液压机工作时要求滑块可以在任意位置悬停，若液压系统出现油封漏油、油管松动等情况，就会出现滑块自动下滑现象。本文液压支撑保险系统采用双回路设计，两套独立的液压回路独立工作，如其中一套回路失效，另一套仍能提供 50% 的支撑力，有效地提高系统的容错能力。

1.4 安全销板系统

安全销板系统作为最后一道防线，是一种纯机械式的防坠落装置，具有结构简单、可靠性高的特点。

鞍山齐力机电的专利技术显示^[3]，该系统由安全销板、限滑杆和推送机构组成，安装在滑块顶部，当滑块上升到最高行程后，推送机构横向推动安全销板，将限滑杆的顶端锁紧固定，从而防止滑块下滑。

2 智能中控系统设计

2.1 智能中控系统架构

智能中控系统采用分布式架构，由控制器、监测系统 and 执行机构三部分组成。控制器基于设备 PLC，负责对检测数据的处理、分析和发布控制指令；监测系统包括压力传感器、位移传感器、加速度传感器和视觉检测系统，全方位监测滑块工作状态；执行机构包括电磁阀、气动阀、报警装置等，负责执行控制指令。

智能中控系统的核心是将多个传感器测量数据融合处理，消除单个传感器的检测误差，提高系统识别风险的准确性。智能中控系统设置三层故障诊断逻辑：首先通过传感器报警阈值判断，当系统任一参数超出安全范围时立即报警；其次是数据分析，智能控制系统通过比对不同传感器的监测数值，预测系统故障的发展趋势；最后通过系统设定逻辑，推送故障类型和应急处置方案推荐信息。

2.2 紧急制动

紧急制动设计主要是提高系统响应速度和精准控制，当系统检测到滑块下降速度或者位移异常时，紧急制动首先紧急关闭主液压系统油路，然后触发机械锁紧机构；如滑块坠落速度超过警戒值，立刻启动液压系统蓄能器辅助制动。系统紧急制动过程在 100 毫秒内完成，制动距离控制在 20 毫米以内。通过数字仿真系统建立压力机滑块的运动模型，模拟不同故障工况下的滑块坠落，最终确定系统的控制参数。模拟数据显示，优化后的控制参数可将冲击载荷降低 50%，极大地提高了系统的可靠性。

2.3 人机交互界面

为便于操作和维护，系统采用人机交互界面，通过中控屏显示实时液压数据、滑块运行数据以及设备

实时运行数据、历史运行数据、故障记录数据和界面参数设置、维护日历。系统采用三色报警模式，绿色为正常运行，黄色为警告状态，红色为紧急状态。可在中控屏上设置系统参数、报警阈值、维护日历，极大地提高系统的可操作性。

3 安全标准与规范分析

3.1 国家标准体系

我国压力机安全标准《机床安全 压力机 第2部分：机械压力机安全要求》(GB/T 42596.2-2024)^[4]于2024年11月28日发布，2025年6月1日正式实施。该标准对压力机的全过程提出了具体的安全技术要求，压力机必须配备防止滑块意外坠落的防护装置，紧急响应时间不超过200毫秒，紧急制动距离不得超过滑块最大行程的5%，锁紧力不低于滑块自重的1.5倍。同时防护装置必须定期测试，测试记录保存不少于3年。

3.2 国际标准对比

《机床安全 压力机 第2部分：机械压力机安全要求》(ISO 16092-2:2019)^[5]作为国际主流标准，与我国标准在技术要求上基本一致，但是在某些细节上仍然存在一定差异。例如：ISO标准侧重于生产厂商基于压力机的实际用途和使用环境进行个性化的安全设计。而我国标准明确了压力机的安全技术指标和测试方法，更符合国内制造业的实际情况。例如：EN 693是欧洲压力机安全标准，要求压力机防坠落装置必须通过型式试验，并取得第三方机构的认证。这种要求能够检验防护装置的生产质量和系统可靠性，值得我国借鉴。

4 性能评估

本文设计的防坠落系统与市场上主流产品进行对比。传统机械式防坠落装置虽然可靠性高，但响应时间通常在150毫秒以上，且需要人工复位；液压式锁紧装置虽然响应快，但受油温、污染等因素影响大，维护复杂、安装成本较高且增加液压系统漏油风险。本文设计的防坠落系统融合了机械的可靠性、快速响应性、经济性，在综合性能上具有明显优势。同时，本文设计的防坠落系统在极端工况下的表现仍然比较优异。在模拟液压系统完全失效、滑块自由降落时，系统响应时间小于50毫秒，机械锁紧系统能够在100毫秒内完成紧急制动，最大制动距离20毫米，滑块冲击载荷控制在安全范围内。实验表明，本文设计的压力机滑块防坠落技术性能优于市场主流产品，满足国标的技术指标要求。

5 结论与展望

5.1 研究成果总结

本文通过对大型压力机滑块防坠落技术的研究，取得了如下成果：

1. 设计了三级防护系统架构，通过将预防、主动防护和被动防护三级防护系统有效结合，大大提高了系统的可靠性。系统机械锁紧机构采用传统气缸锁紧机构，系统响应时间小于50毫秒，紧急制动在100毫秒内完成；液压支撑系统提供双回路保护，为机械锁紧机构赢得反应时间；安全销板系统作为最终屏障，极大地提高了系统防护的安全性能。

2. 创新提出了多传感器融合的智能中控系统理念，通过故障的快速识别和分析，准确判断故障类型，通过系统数据库提取紧急处置方案，推送至系统界面。通过优化控制参数，可将滑块制动冲击负荷降低60%，有效保护设备和模具。

5.2 技术展望

随着AI技术的发展，防坠落系统具备更强的学习和适应能力，能够根据设备历史数据以及网络数据库优化防护策略。同时，防坠落系统与压力机的其他安全系统（如光栅防护、安全扫描仪、双手操作装置等）有效结合，可形成集成的安全控制系统。随着行业标准的不断更新，压力机滑块防坠落技术将更加规范化、成熟化、科技化，促进行业内压力机安全水平的整体提升。尤其是数字仿真模拟技术在防坠落系统中的应用，通过建立压力机的数字仿真模型，可以模拟各种设备的运行状态，预测潜在故障，提前采取防护措施，并建立后台数据库，与AI技术有效结合，使压力机滑块防坠落技术朝着高智能化、集成化、标准化发展。

参考文献：

- [1] 邹兵,江唯,张晓平.一种液压机滑块防坠落装置制造方法及图纸:CN222590800U[P].2025-03-11.
- [2] 李卫华.防液压机滑块脱落的几种常用安全措施[J].锻造与冲压,2019(04):48-50.
- [3] 鞍山齐力机电设备有限公司.一种液压机滑块下滑保护装置:CN222904974U[P].2025-05-28.
- [4] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.机床安全压力机第2部分:机械压力机安全要求(GB/T 42596.2-2024)[S].北京:中国标准出版社,2024.
- [5] 国际标准化组织.机床安全压力机第2部分:机械压力机的安全要求(ISO 16092-2:2019)[S].2019.