

起重机械事故预防关键技术分析

虞波

浙江省特种设备科学研究院，浙江杭州，310000；

摘要：《起重机械事故预防关键技术分析》聚焦于起重机械安全领域的关键问题，旨在通过深入研究事故成因与预防策略，提升起重机械运行的安全性与可靠性。本文首先剖析了起重机械事故的现状与影响，揭示了其对工业生产与人员安全的重大挑战，强调了研究的紧迫性和必要性。

关键词：起重机械；事故预防；关键技术

DOI:10.69979/3029-2727.24.04.047

引言

随着工业化和现代化进程的加速，起重机械在物流、建筑、制造等领域的重要性日益凸显。然而，这些庞然大物在发挥其强大功能的同时，其事故风险也不容忽视。据国际劳工组织报告，起重机械事故是工业生产中严重的安全隐患，不仅导致大量的财产损失，更对操作人员的生命安全构成严重威胁。因此，深入研究起重机械事故的预防技术，对于保障工业生产的稳定运行、降低事故率以及提升人员安全具有重大的现实意义。

1 起重机械事故类型与特征

起重机械事故类型繁多，其特征各异，每一种类型都对应着特定的危险因素和防护重点。首先，挤伤事故通常发生在机械臂运动区域内，由于操作不当或安全防护设施缺失，导致人员被机械结构夹挤。这类事故的特征往往是伤害程度严重，往往涉及到多人同时受伤。

重物坠落事故则是由于吊装设备的承载能力不足、绑扎固定不牢固或限位装置失效，使得重物在空中失去控制。其显著特征是破坏性强，可能引发二次伤害，如砸伤、砸毁设备或建筑物。断绳事故多由超载、绳索磨损、使用不当或设备老化引起，造成重物突然下坠，伤害范围广泛，且事故后果难以预测。

脱绳事故主要因货物捆扎不牢、吊钩断裂或操作失误导致，货物从绳索中滑脱，通常发生在物体起升或下降过程中。这类事故通常发生在视觉盲区，对操作人员的反应速度和判断力要求极高。触电事故则常见于电气系统设计不合理、设备接地不良或操作者触碰导电部件，尤其在桥式起重机等使用导电滑线供电的设备上。其特点是事故瞬间发生，危险性极高，可能造成电击伤害或火灾。

通过对事故类型的分析，可以发现它们的共性在于：操作不当、设备维护不足、设计缺陷以及环境因素。这

些共性问题为预防措施的制定提供了明确的导向，即必须从提升操作人员技能、加强设备管理、改进设计和优化作业环境四个维度出发，形成综合性的事故预防体系。同时，事故的多样性也提示我们，预防策略应具有针对性，以适应不同类型的起重机械和各种复杂的工作环境。

2 关键技术研究

2.1 智能监控与预警技术

智能监控与预警技术在起重机械事故预防中扮演着至关重要的角色。这些技术的应用显著提升了设备运行的透明度，使得异常情况能被及时发现并预警，从而降低事故发生的概率。核心的智能监控技术包括无线传感器网络、物联网(IoT)、大数据分析和人工智能(AI)。

无线传感器网络作为智能监控的基础，广泛部署于设备的关键部位，实时采集信息，如负荷、振动、温度等，这些数据通过无线通信技术传输至中央控制平台。这样，即使在远程位置，也能对设备进行实时监控，确保其在正常范围内运行。

物联网技术的融入，使得数据的收集和管理更为高效。通过将设备接入物联网，其运行状态可以被实时追踪，并与远程数据中心进行交互，实现设备的远程监控与故障诊断。此外，物联网还能与其他系统集成，比如与预警系统的连接，一旦设备状态异常，系统会立即发出警报，提醒操作人员或维护团队及时处理。

大数据分析则在故障预测和预防维护中发挥关键作用。通过分析设备历史运行数据，可以识别出潜在的故障模式和趋势，提前预警潜在的设备故障，从而进行预防性维护，降低因设备失效导致的事故风险。例如，通过对传感器数据的深度学习，可以预测设备的剩余使用寿命，确保在故障发生前进行更换或维修。

人工智能，特别是机器学习技术，为智能故障诊断提供了可能。通过训练算法，AI 能快速识别设备运行数

据中的异常模式，准确判断故障类型和位置，减少人为判断的误差，提高故障诊断的准确性和效率。此外，AI在决策支持方面也有所贡献，通过分析大量历史数据和当前环境信息，为操作者提供实时的优化建议，以便做出安全、高效的决策。

结合这些先进技术，一个先进的智能监控与预警系统应包括实时数据采集、云端数据分析、预警通知和决策支持四大功能。这种系统不仅能实时监测设备状态，还能根据历史数据和实时环境因素预测可能的故障，提前采取措施，甚至在必要时自动调整设备运行参数，以避免事故发生。

然而，尽管智能监控与预警技术带来了显著的安全提升，其在起重机械行业的应用仍面临挑战，如技术的普及、数据安全和隐私保护、以及操作人员对新技术的接受程度。因此，未来的研究和实践应着重于技术的推广，以及如何将这些创新技术更好地融入现有的作业流程，同时提升操作人员的技术素养，确保他们在智能监控与预警系统中发挥积极作用。

2.2 故障诊断与预测技术

故障诊断与预测技术是起重机械事故预防中的核心技术，它们能够提前识别设备的潜在问题，从而有效避免因设备失效引发的事故。在现代起重机械管理中，故障诊断技术已经从传统的基于经验的故障诊断，发展到利用传感器数据、机器学习和人工智能的智能诊断。

基于无线传感器网络的故障诊断技术在实时监控中发挥着关键作用。传感器能够捕捉到设备运行中的振动、温度、电流等关键参数，通过无线通信技术将这些数据实时传输到中央监控系统。系统通过比较实时数据与预设的正常值范围，一旦发现偏差，就能及时预警潜在故障，如润滑不足、机械磨损或电气过载等问题。

大数据分析技术在故障预测方面有显著优势。通过对设备长时间运行数据的学习和分析，可以识别出设备性能退化的模式，并预测其可能的失效时间。这种方法称为预测性维护，它允许在故障发生前进行维修，避免了因设备突然停机导致的生产中断和事故风险。

人工智能，特别是机器学习算法，进一步提升了故障诊断的准确性和效率。机器学习算法能够从历史数据中学习设备的正常行为模式，一旦发现运行数据中出现异常，会迅速识别并定位故障源。通过深度学习，算法能够对大量复杂数据进行分析，识别出更深层次的故障模式，使故障诊断和预防更加精准。

例如，神经网络可以模拟人类大脑的处理方式，通过反向传播算法，优化模型参数，以最小化预测误差。

这种方法对于识别复杂的故障模式尤其有效，如在多变量系统中，能够找出导致故障的最关键因素。而支持向量机则擅长处理非线性问题，对于那些看似无关实则重要的特征，能进行有效的分类和预测。

故障预测模型的构建和验证还依赖于大量的真实数据，这包括设备运行数据、维护记录、故障报告等。通过与实际应用相结合，模型的准确性得以不断提升，从而实现更精准的故障预测。

然而，故障诊断与预测技术的广泛应用还面临一些挑战。数据的质量和完整性至关重要，但现实中的数据往往存在噪声、缺失或异常值，这可能影响诊断和预测的准确性。此外，如何将这些高技术手段与现有作业流程无缝融合，以及如何培训操作人员理解和使用这些技术，也是提升整体安全水平的关键。

尽管如此，故障诊断与预测技术在未来起重机械的安全管理中将发挥越来越重要的作用。通过持续的技术创新和实际应用相结合，我们期待这些技术能够在预防事故、保障生产稳定性和人员安全方面发挥更大的效能。随着技术的进步，我们有理由相信，未来的起重机械将更加智能化，事故率将显著降低，从而推动整个行业的安全水平迈上新台阶。

2.3 安全设计与优化技术

安全设计与优化技术是提升起重机械安全性能的核心要素，它们旨在从源头上减少事故的发生，通过创新设计和持续优化，确保设备在各种工况下都能保持稳定、可靠。本节将重点探讨如何通过优化机械结构、采用先进的电气控制系统、强化安全防护措施以及利用现代工程方法提升设备的安全性。

机械结构优化是确保起重机械安全的基础。设计过程中，工程师应充分考虑设备的承载能力、强度与稳定性，避免因结构不合理导致的断裂或变形。例如，采用高强度材料，优化梁、臂等关键部件的几何形状和尺寸，以提高结构的抗疲劳性能。此外，结构的冗余设计也是一个重要的考虑，通过增加备份或备用系统，即使在主系统失效时，也能保证设备的基本功能，降低事故风险。

电气控制系统是保障起重机械安全运行的关键。现代控制系统应具备自我诊断和故障隔离功能，通过实时监控各个电气元件的状态，一旦发现异常，能迅速切断电源，防止故障扩大。智能控制系统，如嵌入式微处理器或PLC，能够实现复杂算法，对设备状态进行实时分析，提前预警潜在问题。同时，采用冗余的控制系统，确保在主系统故障时，备用系统能立即接管，确保设备的安全停机。

安全防护措施的完善是预防事故的另一重要手段。这包括设计安全防护罩、限位开关、超载保护装置等，这些设备能够在异常情况下阻止设备的进一步动作，避免伤害发生。例如，防碰撞系统通过激光、雷达或视觉传感器，实时感知周围环境，防止吊钩或机械臂与障碍物碰撞。同时，设备应配备有效的紧急停止装置，操作人员在紧急情况下能快速切断设备动力。

现代工程方法如系统工程、风险评估和故障树分析，对于提升起重机械的安全性也至关重要。系统工程强调从整体角度出发，考虑设备与操作环境、操作人员的互动，确保设计从一开始就考虑到安全。风险评估则能帮助识别潜在的危险源，通过量化风险，为预防措施的制定提供科学依据。故障树分析则能系统地分析事故发生的可能性，识别故障链，从而设计出有效的故障预防策略。

2.4 维护与管理策略

维护与管理策略是保障起重机械安全运行不可或缺的环节，它们是设备从购置到废弃全生命周期中的关键管理任务。有效维护不仅能够延长设备的使用寿命，降低故障率，还能确保在关键时刻设备性能的可靠性。因此，本节着重讨论起重机械的预防性维护策略、设备管理、操作人员培训以及安全管理的整合。

预防性维护策略是基于设备的使用状况和历史数据，通过定期检查、预防性更换和维护，避免因设备故障导致的事故。预防性维护通常包括日常点检、定期保养、状态监测和预测性维护四个层次。日常点检关注设备的外观和基本运行状态，定期保养则按照制造商的推荐进行深入的检查和维护，状态监测利用传感器收集数据，监测设备的性能和健康状况，而预测性维护则通过大数据分析，基于设备历史数据预测未来可能出现的故障，提前进行维修。

设备管理的核心是确保所有设备都处于良好的工作状态，这包括设备的选购、登记、使用、保养、维修和报废等全过程管理。设备选购时，应选择符合安全标准、性能优良的设备；登记管理要求对每台设备建立详细的档案，包括设备信息、使用记录、维修历史等；使用过程中，应执行严格的设备操作规程，避免不当操作；保养和维修则需要按照预防性维护策略进行，确保设备

始终处于最佳工作状态；报废管理则需要在设备达到使用寿命或无法修复时，及时替换，避免因设备老化引发的安全隐患。

操作人员的培训是预防事故的重要环节。培训内容应涵盖设备操作、安全规定、应急处理和故障排除等多个方面。通过持续的培训和考核，确保操作人员具备足够的知识和技能，能够正确、安全地操作设备。此外，应定期进行模拟演练，提高人员在紧急情况下的反应速度和决策能力。

安全管理策略是将设备维护、操作人员培训和管理流程有机融合，形成一个完整、系统的管理框架。这包括建立健全的安全规章制度，明确各级人员的职责，定期进行安全检查和评估；建立有效的沟通机制，确保信息在管理层和操作层之间的顺畅传递；鼓励全员参与，通过定期的安全会议、培训和竞赛，提高全体员工的安全意识；同时，应设立严格的违规处罚制度，对违反操作规程的行为进行纠正，确保安全规定得到严格执行。

3 结语

在本文中，我们深入探讨了起重机械事故预防的关键技术，包括智能监控与预警技术、故障诊断与预测技术、安全设计与优化技术以及维护与管理策略。通过这些技术的综合应用，可以显著降低起重机械事故的发生概率，保障作业人员的安全和设备的稳定运行。

参考文献

- [1] 熊兴荣. 起重机械检验过程中的人员伤害风险及其预防措施研究 [J]. 《中国设备工程》, 2024 年第 14 期 199-201, 共 3 页
- [2] 刘斌超. 起重机械检验中的关键技术及其案例应用 [J]. 《中国科技期刊数据库工业 A》, 2023 年第 5 期 131-134, 共 4 页
- [3] 孔晓波. 起重机械检验过程中的伤害事故分析及预防措施 [J]. 《中国设备工程》, 2018 年第 19 期 64-66, 共 3 页
- [4] 张连明. 起重机械的安全使用与事故预防措施分析 [J]. 《中国新技术新产品》, 2021 年第 13 期 142-143, 共 2 页