

机电系统可靠性设计与评估方法研究

牛芳霞

中显众安建设集团有限公司 甘肃兰州

【摘要】机电系统在现代工业和军事领域中扮演着至关重要的角色，其可靠性直接影响到系统的整体性能和安全性。如何通过科学的设计方法提高机电系统的可靠性，已成为研究的核心问题。本文通过分析机电系统的可靠性特点，提出了适应性强、实施性高的可靠性设计方法，并结合评估技术深入探讨了提高机电系统可靠性的途径。通过合理的设计和有效的评估，机电系统的故障率能够显著降低，系统运行效率大大提升。本文还针对现有技术的局限性提出了优化方案，为未来机电系统的可靠性设计提供了新的思路 and 方向。

【关键词】机电系统；可靠性设计；可靠性评估；故障率；系统优化

【收稿日期】2025 年 4 月 12 日

【出刊日期】2025 年 5 月 15 日

【DOI】10.12208/j.jeea.20250155

Research on reliability design and evaluation methods of mechatronic systems

Fangxia Niu

Zhongyu Zhong'an Construction Group Co., Ltd, Lanzhou, Gansu

【Abstract】 Mechatronic systems play a crucial role in modern industrial and military fields, and their reliability directly affects the overall performance and safety of the systems. Therefore, how to improve the reliability of mechatronic systems through scientific design methods has become a core research issue. By analyzing the reliability characteristics of mechatronic systems, this paper proposes a reliability design method with strong adaptability and high implementability, and explores in depth the approaches to improve the reliability of mechatronic systems in combination with evaluation technologies. Through reasonable design and effective evaluation, the failure rate of mechatronic systems can be significantly reduced, and the system operation efficiency can be greatly improved. This paper also puts forward optimization schemes for the limitations of existing technologies, providing new ideas and directions for the reliability design of mechatronic systems in the future.

【Keywords】 Mechatronic systems; Reliability design; Reliability evaluation; Failure rate; System optimization

引言

机电系统广泛应用于各行各业，是支撑现代生产与技术发展的重要组成部分。随着技术的不断进步，机电系统的复杂性与功能性日益增加，如何确保其可靠性已成为研究和应用中的一个关键问题。高可靠性的机电系统不仅能够有效提高生产效率，减少故障发生率，还能显著降低维护成本，保障系统的稳定性和安全性。深入研究机电系统的可靠性设计与评估方法，成为提升系统性能和延长使用寿命的重要课题。本文旨在探讨当前机电系统可靠性设计的最新进展，提出新的评估方法，并探讨如何在实际应用中提高机电系统的整体可靠性，为相关领域的工程实践提供理论依据。

1 机电系统可靠性设计的基本理论与方法

机电系统的可靠性设计旨在确保系统在特定条件

下持续稳定运行，完成预期任务。设计过程中，首先需明确系统性能要求和工作环境特征，识别可能的故障模式及其发生机制。可靠性设计理论包括故障模式分析、失效机制研究和寿命预测等。设计人员应根据系统环境和任务需求，运用科学方法对各组件进行可靠性优化，确保系统长期稳定运行。这一过程不仅依赖于材料选择和部件设计，还涉及系统各部分的协同工作，如结构、控制和动力设计等。通过综合考虑这些因素，可以有效预防因设计缺陷或结构不合理导致的高故障率，提高系统的整体可靠性。

机电系统的可靠性设计方法主要包括冗余设计、容错设计、质量控制和可靠性分析等技术手段。冗余设计是在关键部件或功能模块中采用多个备份组件，在一个组件发生故障时，另一个组件可以接替其工作，确

保系统不会因为单点故障而停止运行。容错设计则注重系统在面对部分故障时,仍能维持其功能,避免整个系统的崩溃^[1]。质量控制则侧重于从设计初期开始就确保各项部件符合高标准的生产要求,通过严格的生产检测和质量管理减少因生产缺陷导致的故障。可靠性分析则利用数学模型对系统进行模拟,预测系统在长期运行中的可靠性水平,并通过改进设计来提高其可靠性。通过这些方法的综合应用,可以有效提高机电系统的稳定性和安全性。

机电系统的可靠性设计面临的挑战也不容忽视。随着科技的进步,机电系统的复杂性不断增加,系统中各部件之间的交互关系和依赖性变得更加紧密,导致故障传播的路径更加复杂。如何在系统设计阶段精确识别潜在的故障点,并通过合理的设计手段来减小故障风险,是可靠性设计中亟待解决的问题。随着环境变化和工作条件的复杂化,系统可能会面临不同的应力、温度、湿度等外部因素的干扰,这些因素也可能影响系统的可靠性。如何在多种复杂条件下进行可靠性设计,确保系统在实际环境中也能稳定运行,仍然是一个值得深入研究的课题。

2 机电系统可靠性评估的关键技术与流程

机电系统的可靠性评估是对系统在实际运行中是否能达到预期性能目标的分析和预测。可靠性评估通常依赖于各种定量分析方法,结合历史数据和实验数据,对系统的可靠性进行估算和验证。常见的评估技术包括故障树分析(FTA)、失效模式与影响分析(FMEA)、蒙特卡洛模拟、寿命测试等。通过这些技术,工程师可以识别出潜在的失效模式,评估每种失效模式的发生概率,并计算系统的可靠性指标,如平均无故障时间(MTBF)和故障率等。

故障树分析是通过构建一个系统失效的逻辑模型,分析系统中可能导致失败的不同路径和原因,识别出关键的故障事件,并评估其对整个系统的影响。失效模式与影响分析则侧重于逐一分析系统各部件可能出现的失效模式及其对系统整体性能的影响,从而提出针对性的改进措施。蒙特卡洛模拟则通过对系统各项参数进行随机采样,进行大量的计算模拟,得到系统的可靠性分布情况,能够帮助设计人员对系统进行全面的可靠性评估。这些技术可以有效辅助系统设计人员预测系统在复杂工作条件下的可靠性表现,识别潜在的风险点。

可靠性评估的过程中,数据的获取和分析是一项非常关键的任务。评估过程需要大量的可靠性数据支

撑,包括系统的故障历史数据、工作环境数据以及各部件的失效模式数据。为了确保评估结果的准确性,必须采用合适的统计方法对数据进行处理,并进行合理的推断和验证。在数据较为匮乏的情况下,如何通过实验或仿真得到有效的评估结果,是可靠性评估面临的一大挑战^[2]。评估过程中还需要考虑到系统在长期运行中的退化效应以及环境变化的影响,这对评估的精确性提出了更高的要求。如何在实际应用中利用先进的评估技术,结合准确的数据和实验结果,提高评估的准确性,是当前机电系统可靠性评估技术亟待解决的问题。

3 提高机电系统可靠性的优化设计策略

提高机电系统可靠性的优化设计策略是通过一系列设计手段和技术方法,改善系统各部分的性能,降低故障发生率,从而提升系统的可靠性。优化设计的关键在于通过合理配置各个设计参数、选用合适的材料与组件、优化部件结构等多方面的手段,最大程度地减少系统在使用过程中出现故障的概率。冗余设计、材料选择优化和结构改进是常用的优化策略。

冗余设计被广泛应用于机电系统的可靠性优化中。通过增加冗余组件,即使在某个部件发生故障时,系统仍能维持正常运行。冗余设计不仅可以提高系统的整体可靠性,还可以显著降低系统故障时的停机时间。针对某些高风险的关键部件,如动力装置、控制模块等,冗余设计尤为重要。通过合理的冗余设计,可以有效避免单点故障导致整个系统的崩溃,确保系统具备更高的安全性与稳定性。优化设计还可以通过提高系统容错能力,使得系统在面对小范围的失效时,能够自动调整运行状态,继续完成任务,减少对系统的影响。

材料选择和结构设计是机电系统可靠性优化的关键因素。不同材料的性能差异直接影响部件的使用寿命和稳定性,因此必须根据工作环境和负荷要求,选择高强度、耐腐蚀、抗疲劳等优质材料。合理的结构设计有助于提升负荷能力,减少应力集中,降低部件失效风险。在设计中,通过精确计算与优化,确保各部件之间的协同工作,使系统在高负载、高温度和振动等复杂工况下稳定运行^[3-7]。智能化故障诊断与监测系统的设计也至关重要,能够实时监控系统状态,提前发现潜在故障并进行维护。通过预测性维护技术,系统的故障趋势可以被有效预测,从而调整维护计划,降低故障率。综合运用这些策略,机电系统的可靠性得到显著提升,确保系统的长期稳定与安全运行。

4 机电系统可靠性设计与评估的应用案例分析

机电系统的可靠性设计与评估已经广泛应用于多

个行业和领域,尤其是在航空航天、汽车制造、能源及交通等高风险、高技术要求的行业中。通过案例分析,我们可以更直观地了解可靠性设计与评估在实际应用中的具体实施方法及其效果。以某型飞机动力系统为例,该系统采用了多项可靠性设计策略,包括冗余设计、容错设计、结构优化等,确保了在极端环境下的运行稳定性。在实际评估过程中,通过故障树分析和蒙特卡洛模拟等方法,对系统进行了全面的可靠性评估,预测了系统在不同工作条件下的故障概率,并通过调整设计方案,成功降低了系统的故障率。该案例展示了如何通过综合运用可靠性设计与评估技术,提高高复杂度系统的可靠性。

另一个典型的应用案例来自于汽车行业。为了确保汽车在各种工况下的安全性和稳定性,汽车制造商在设计阶段采用了多种可靠性优化策略,包括结构设计优化、材料选择和冗余设计等。在可靠性评估阶段,通过实验测试与仿真分析相结合,评估了整车在不同路况、温度、湿度等条件下的表现,成功识别了系统中的薄弱环节^[8]。基于评估结果,工程师对相关部件进行了优化改进,从而显著提高了整车的可靠性。在汽车生产过程中,制造商还结合了大数据分析机器学习技术,进行故障预测与智能化维护,进一步提升了车辆的长期可靠性。这一案例表明,可靠性设计与评估在实际应用中的关键作用,以及技术手段的不断进步如何推动系统可靠性的提升。

在能源领域,尤其是风力发电系统的设计与评估也采用了先进的可靠性设计方法。风力发电机组的复杂性和高运行成本要求其具备极高的可靠性。在设计阶段,工程师通过对机组各部件的可靠性分析,选用了耐腐蚀、抗风压的高强度材料,并采用了冗余设计和容错技术。在评估过程中,通过寿命预测和故障树分析等方法,识别了机组在长期运行中的潜在故障点,并提前采取了针对性的改进措施。该案例强调了在高风险能源系统中,可靠性设计与评估的不可或缺性,通过这些技术的应用,成功延长了系统的使用寿命,并提高了整体效能。

5 结语

机电系统的可靠性设计与评估是确保系统稳定、高效运行的关键环节。通过合理的设计方法、优化的材料选择和结构设计,以及先进的评估技术,能够显著提高系统的可靠性,降低故障率,延长使用寿命。随着技术的不断进步,可靠性设计与评估方法将不断发展,为各类机电系统提供更加精确和有效的解决方案。在未来的工程实践中,如何结合实际需求、应对复杂环境挑战,进一步提升机电系统的可靠性,将是研究和应用的重要方向。

参考文献

- [1] 王永国,马威,赵君.直升机机电管理系统应用与发展探析[J].中国军转民,2025,(07):41-42.
- [2] 侣庆民,李俊艳.基于 BO-LSTM 的飞机机电系统可靠性预测与预警[J].山东航空学院学报,2025,42(02):1-8.
- [3] 王嘉,姜露露,陶友瑞,等.交变载荷下基于电流信号的机电系统可靠性建模与评估[J].机械工程学报,2024,60(22):437-446.
- [4] 邹志丰,邹爱妮.机电一体化设计在设备制造中的应用[J].中国战略新兴产业,2024,(23):158-160.
- [5] 王博.基于性能退化的复杂机电系统可靠性评估[D].电子科技大学,2023.
- [6] 崔子梓,史寅栋,冯超,等.复杂机电系统可靠性预计方法探讨[J].环境技术,2022,40(01):57-60.
- [7] 徐锦顺,胡亮,卢小军.机载机电参数显示控制装置可靠性提升研究[J].电子技术与软件工程,2022,(04):142-145.
- [8] 阚延鹏,陈玉,刘永明,等.基于 BP 神经网络对复杂机电系统可靠性的评估[J].安徽工程大学学报,2021,36(02):34-40.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS