

核电站电动执行机械驱动中的电气控制原理

Electrical Control Principles in Electric Mechanical Drive of Nuclear Power Plants

杨华文 王明哲

Huawen Yang Mingzhe Wang

大亚湾核电运营管理有限责任公司 中国·广东 深圳 518124

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518124, China

摘要: 论文深入研究核电站电动执行机构, 分析了其机械部分和电气部分的结构与工作原理。通过对核岛电动执行机构运行模式和故障排查的探讨, 揭示了其在正常运行和应急情况下的关键特性。着重讨论了结构优化与设备改造的方向, 包括改进机械部分和电气控制系统的升级。本研究旨在为核电站电动执行机构的运行和优化提供全面理论支持。

Abstract: This paper studies the electric actuator of nuclear power plant, and analyzes the structure and working principle of its mechanical and electrical parts. By discussing the operation mode and troubleshooting of nuclear island electric actuator, it reveals the key characteristics in normal operation and emergency situations. The direction of structural optimization and equipment modification, including improved mechanical part and upgrading of electrical control system. This study aims to provide comprehensive theoretical support for the operation and optimization of nuclear power plant electric actuators.

关键词: 核电站; 电动执行机构; 机械部分; 电气控制系统; 结构优化

Keywords: nuclear power plant; electric actuator; mechanical part; electrical control system; structure optimization

DOI: 10.12346/etr.v6i3.9199

1 引言

随着科技的不断发展, 核电站作为清洁能源的代表之一, 其自动化控制系统的关键组成部分——电动执行机构, 扮演着至关重要的角色。机械部分和电气部分的协同工作, 直接影响到核电站的安全性、稳定性以及能源效率。本论文旨在通过对核电站电动执行机构的深入研究, 探讨其工作原理、结构优化和设备改造的方向, 为核电站运行和维护提供理论支持。

2 核电站电动执行机构概述

2.1 机械部分

机械部分作为电动执行机构的物理基础, 其结构和工作原理直接影响到核电站的运行效能。在机械结构方面, 核电站电动执行机构包括一系列关键组件, 这些组件的合理设计是确保机械系统正常运转的基础。机械结构的设计原理需要

综合考虑运动传递机制和负载适应性, 以保证在不同工作条件下机械部分的稳定性和可靠性。工作原理则是机械部分的核心, 通过深入分析运动传递机制, 可以更好地理解核电站电动执行机构的动作过程。这方面的研究有助于揭示电动执行机构在正常运行模式和应急模式下的行为, 为后续的设备故障排查提供基础。

2.2 电气部分

电气部分是核电站电动执行机构的智能控制中枢, 承担着控制系统和电气连接的重要任务。在控制系统方面, 核电站采用不同类型的控制器, 而控制策略则直接关系到整个系统的性能。了解控制系统的类型和工作原理, 可以为电动执行机构的智能化控制提供深入理解。电气连接是电动执行机构的神经网络, 电缆的布局和接线图的设计对于电气系统的稳定运行至关重要。深入分析电气连接的细节, 揭示其中的关键因素, 为后续的电气系统升级和改造提供理论依据。

【作者简介】杨华文 (1986-), 男, 中国贵州金沙人, 本科, 工程师, 从事核反应堆运行研究。

3 核岛电动执行机构的工作原理分析

3.1 运行模式

在核电站的运行中，正常运行模式和应急模式是电动执行机构关键参与的两种不同工作状态，它们分别对系统的日常维护 and 安全性有着重要的影响。在正常运行模式下，核岛电动执行机构按照预定的程序和控制策略执行各种动作。这包括根据系统需求实现精确的位置和速度控制，以确保核电站的各个部分协同工作。深入理解正常运行模式对于系统的日常维护和性能优化至关重要。通过对电动执行机构在正常工作条件下的行为进行详尽的分析，可以不断改进控制策略，提高系统的效率和稳定性。通过实时监测电动执行机构的性能指标，可以及时发现并解决潜在问题，确保核电站的可靠运行^[1]。

而当面临应急情况时，应急模式成为核电站安全性的最后保障。在应急模式下，核岛电动执行机构需要迅速而可靠地响应，执行预定的应急程序，以保障核电站和周边环境的安全。理解应急模式的工作原理对于制定和测试紧急情况下的应对措施至关重要。这包括确保电动执行机构能够在紧急情况下迅速切换到安全状态，执行紧急关闭或其他关键动作，以最小化潜在的风险和损害。应急模式的有效运行需要系统能够在最短时间内做出正确的决策和执行相应的动作，这对于确保核电站在面对各种紧急情况时具有高度的应变能力至关重要。

3.2 故障检测与排查

核岛电动执行机构可能在运行过程中面临各种常见故障，这些故障涵盖了机械部分和电气部分可能出现的问题。在机械部分，常见故障包括零部件的磨损和润滑不良，而电气部分可能遇到电缆连接问题、控制器故障等。深刻理解这些故障的本质对于快速而有效地进行排查和修复至关重要，这直接关系到核电站的运行稳定性和设备寿命。在机械部分的排查中，首先需要关注零部件的磨损情况。采用振动分析仪等先进检测工具，对电动执行机构的机械结构进行全面的振动分析。通过监测和分析振动的频率和幅度，可以识别出潜在的机械故障点，比如轴承的异常磨损或不平衡。同时，使用红外热像仪等设备对机械部分进行热检测，有助于发现润滑不良、摩擦过热等问题，提前预防机械部分的故障。

对于电气部分的排查，需要关注电缆连接和控制器的状态。使用电气测试设备对电缆连接进行检测，确保连接牢固、无松动或腐蚀。同时，通过分析控制信号的稳定性和电气部分的工作状态，可以发现潜在的电气故障，比如控制器的故障或电缆断路。对电气部分的绝缘状态进行监测，可以及早发现潜在的绝缘故障，确保电气系统的安全可靠性。故障排查的方法需要综合运用机械工程和电气工程的知识，同时依赖于先进的检测工具和技术。定期的故障排查和预防性维护是确保核电站电动执行机构正常运行的关键步骤。通过建立完善的故障排查体系，核电站能够及时发现并解决潜在问

题，保障设备的长期可靠运行。这种系统性的维护策略有助于提高核电站的运行效率，降低维护成本，从而提高核电站的整体竞争力^[2]。

4 结构优化与设备改造

4.1 改进机械部分

在核电站的机械部分结构设计中，新材料的广泛应用被认为是提升电动执行机构性能的至关重要的因素之一。随着科技的不断发展，新型材料的引入为核电站机械部分带来了巨大的改进潜力。这些新材料的特性包括但不限于提高零部件的强度、耐磨性和耐腐蚀性，从而显著延长机械部分的使用寿命。举例而言，采用先进的复合材料是一项极具前瞻性的选择，因为它不仅能有效减轻结构负荷，还能在提高机械传动效率的同时确保系统的整体性能。这样的创新性材料应用不仅仅关乎电动执行机构的性能提升，更关系到整个核电站的安全和稳定运行。

除了新材料的应用之外，结构设计的优化也是改进机械部分的另一重要方向。通过采用先进的工程设计工具和仿真技术，可以对电动执行机构的结构进行精确的分析和优化。这种优化设计的目标在于提高系统的稳定性、精度和适应性，以确保核电站在各种工况下都能够高效运行。这不仅包括日常运行时的正常工作条件，还包括突发事件和极端工况下的应对能力。优化的结构设计能够使电动执行机构更加灵活应对不同的工作要求，从而提高整个核电站的运行效率。这种改进不仅能够增加系统的可靠性，还有助于降低维护成本和延长设备的使用寿命。因此，结合新材料的应用和结构设计的优化，核电站的机械部分将能够更好地适应复杂多变的工作环境，为清洁能源的生产和供应提供更可靠的支持。

4.2 电气控制系统升级

电气控制系统的升级在提升核电站电动执行机构的智能化和响应速度方面扮演着至关重要的角色。随着科技的迅猛发展，引入先进的控制算法成为改善系统性能的有效途径，其中模型预测控制（MPC）和人工智能算法等新一代技术傲视群雄。这些算法不仅能够优化控制策略，提高系统的动态性能，还能够适应核电站复杂多变的工作环境，从而实现更高效的能源利用。升级电气控制系统不仅仅关注性能提升，更需要关心系统的安全性。核电站的运行基石就是电气控制系统的稳定性和可靠性。在升级过程中，特别需要采用冗余设计和先进的故障检测与隔离技术等安全性提升措施，以确保在意外情况下系统可以迅速做出响应，保障核电站的正常运行，最终关系到人员和环境的安全^[3]。

电气控制系统升级的一个重要目标是实现电动执行机构的更高智能化水平，使其能够更加灵活、智能地适应不同的操作需求。这不仅能够提高核电站的整体运行效率，还有望降低运行成本，使核电站更具竞争力。为了迎接这一新的发展机遇，对电动执行机构的结构进行深度优化和设备的全面

改造势在必行。在这个过程中，深入的理论研究和工程实践是不可或缺的。只有通过科学的理论支撑和实践经验总结，才能确保升级方案的科学性和可行性。因此，理论研究人员和工程师需要共同努力，深入挖掘电气控制系统升级的潜力，为核电站的可持续发展和清洁能源的生产提供更为坚实的技术支持。在这个不断演进的领域中，电动执行机构的升级将为核能行业带来更加广阔的前景。

5 理论支持与应用

5.1 设备性能提升

设备性能提升一直是核电站技术发展的关键焦点之一，其主要目标之一是通过提高核电站电动执行机构的效率，实现系统的整体运行效能显著改善。为达到这一目标，需要进行深入的结构优化和电气控制系统升级。在结构优化方面，工程师们采用了先进的材料和设计理念，通过对核电站电动执行机构的机械部分进行深度分析和调整，有效减少了摩擦和能量损耗。这种优化不仅仅提高了执行机构的运行效率，还延长了其使用寿命，减少了设备维护频率，为核电站的可靠性和稳定性提供了有力支持。

同时，电气控制系统的升级也是设备性能提升的重要一环。通过引入先进的自动化技术和智能控制算法，电气控制系统得以更加精准地监测和调节核电站的运行状态。这种高度智能化的控制系统使得核电站能够更灵活地响应各种工况和负载变化，提高了系统的适应性和鲁棒性。升级后的电气控制系统还具有更强大的故障检测和诊断能力，进一步提升了核电站的安全性和可维护性。设备性能的提升不仅仅关乎技术创新，更涉及全面的系统集成和协同优化。在结构优化和电气控制系统升级的基础上，工程团队还通过全面的系统仿真和优化分析，精细调整了核电站各个子系统之间的协同工作，最大限度地发挥了各部分的协同效应，使得整个核电站的综合性能得到了进一步提升。

从能源效率的角度看，这一系列的设备性能提升措施不仅在理论上实现了节能目标，也在实际运行中取得了显著的成果。通过应用先进的电气控制系统和高效的机械部分设计，核电站电动执行机构的能耗得以有效降低。这不仅有助于降低运行成本，提高了核电站的经济效益，同时也符合当前环保理念，为清洁能源的发展贡献一份力量。值得注意的是，设备性能提升不仅在技术领域取得了显著进展，同时也在推动核电站产业的可持续发展方面发挥了积极作用。通过不断提升核电站的整体效能，不仅延长了设备的使用寿命，减少了资源的消耗，还为核电站的未来更新换代和扩建奠定了坚实基础。这为核电站的可持续发展注入了新的活力，使

其在能源领域的地位更加稳固。

5.2 设备可靠性增强

为了进一步提高设备可靠性，工程师们在维护计划的制定过程中注重了多方面的考虑。他们可以通过实地观察和技术分析，全面了解了电动执行机构的工作环境、负荷变化等因素，以便更准确地预测设备的寿命和故障概率。可以采用先进的监测技术，实时监控设备运行状态，通过传感器获取大量数据，为设备健康状况提供全面、实时的信息。设备可靠性的改进需要进行系统性的评估，以确保实际效果符合预期。通过监测设备的运行数据，分析维护记录，可以对可靠性改进的效果进行定量和定性的评估。这有助于不断优化维护策略，提高核电站电动执行机构的整体稳定性。同时，建立完善的故障诊断系统，能够在发生问题时迅速定位并解决，进一步提升设备的可靠性水平，确保核电站的安全运行。

在预防性维护措施中，对于电动执行机构的润滑是至关重要的一环。合理的润滑方案可以有效减少摩擦和磨损，延长设备寿命，提高运行效率。工程师们选择了高性能的润滑材料，并制定了精细的润滑计划，确保每个润滑点都得到适当的维护。利用先进的润滑监测技术，可以实时监测润滑油的质量和状态，及时发现异常，防止因润滑不足或油质劣化而引起的故障。故障诊断系统的建立也是设备可靠性增强的关键一步。通过引入先进的传感器和监测设备，可以实时监测电动执行机构各个部分的工作状态。一旦发现异常，系统能够迅速发出警报并提供详细的故障信息，帮助维护人员快速准确地定位问题所在。在故障发生时，系统还能够提供相应的应急措施和维修建议，降低了故障排除的时间和难度。

6 结语

通过对核电站电动执行机构的综合研究，本论文对其工作原理进行了深刻的剖析。结构优化方面，改进机械部分采用新材料并优化设计，从而提高了系统的稳定性和寿命。电气控制系统升级方面，应用先进的控制算法和安全性提升措施，使得电动执行机构更加灵活智能且具备更高的安全性。理论支持与应用方面，通过实际改造核电站电动执行机构，使其性能得到显著提升，能耗降低，可靠性明显增强。

参考文献

- [1] 孙强,李蔚蔚.核电站电动执行器力矩抖动原因及改造方法[J].设备管理与维修,2018(18):87-88.
- [2] 陈根,陈宝龙,朱瑄.一种核级电动执行机构的机械老化试验[J].仪器仪表用户,2020,27(11):57-60.
- [3] 杨琦,朱涛涛,佟洁.核电站智能型电动执行机构数据库探索与运用[J].仪器仪表用户,2023,30(11):33-36+25.