

电力拖动系统运行稳定性优化与故障防控技术研究

陈玉贵、刘少华

摘要：电力拖动系统是工业生产、轨道交通及电力装备的核心动力驱动单元，系统稳态运行能力直接决定设备作业连续性与供电运行安全性。受电网电压扰动、负载突变、器件老化及控制参数失配等多重因素影响，电力拖动系统易出现转速震荡、转矩波动、稳态偏差超标等失稳现象，诱发电气故障与机械故障，造成生产停机与设备损耗。本文深入剖析电力拖动系统失稳诱因与典型故障机理，系统梳理系统稳定性优化关键技术，构建全流程故障防控体系，结合现场运行工况提出针对性优化方案与防控策略。

关键词：电力拖动系统；运行稳定性；参数优化

1 引言

电力拖动系统依托电能与机械能的转化实现设备驱动，广泛应用于冶金、矿山、化工、轨道交通等关键领域，是现代化工业体系的基础动力单元。系统由电动机、调速装置、控制单元、传动机构及保护装置组成，运行过程始终处于电气参数与机械参数动态耦合状态。复杂工业场景下的频繁负载切换、电网谐波冲击、温漂老化问题，会持续干扰系统稳态运行状态，导致动态响应滞后、转速脉动、转矩失衡等稳定性劣化问题。

现阶段多数工业现场仍采用传统固定参数控制模式，缺乏动态自适应调节能力，故障处置多依赖事后检修，前置防控能力薄弱。基于工程运行痛点，本文系统性开展电力拖动系统稳定性优化与故障防控技术研究，明确失稳诱因，优化控制策略，构建全周期防控体系，提升系统抗干扰性能与运行可靠性。

2 电力拖动系统失稳机理与典型故障分析

2.1 系统运行失稳核心机理

电网侧扰动是系统失稳的重要诱因，电网电压跌落、三相不平衡、谐波畸变会造成电动机输入电能质量劣化，导致定子电流畸变、电磁转矩脉动增大，破坏系统转矩平衡关系，引发转速周期性震荡。负载侧扰动多体现为工业设备启停、工况切换带来的负载突变，瞬时负载冲击会造成系统动态响应失衡，出

现超调量大、调节时间延长、稳态误差增大等失稳特征。

控制侧扰动源于控制参数匹配不合理、器件温漂与模块老化，固定控制参数无法适配动态工况变化，导致闭环调节精度下降，系统动态响应特性劣化。机械层面的传动间隙、轴承磨损、转子偏心等问题，会引发机械振动与力矩波动，进一步加剧电气参数波动，形成机电耦合失稳恶性循环。

2.2 系统典型运行故障

结合现场运行数据，电力拖动系统高发故障可分为电气故障与机械故障两类。电气故障主要包含绕组过热、相间短路、逆变器功率器件击穿、电流震荡过载等，多由电能质量劣化、控制失稳、谐波累积引发。机械故障以转子振动超标、传动机构磨损、轴承卡滞为主，多由转矩波动、转速失稳、负载冲击导致。

各类故障并非独立发生，系统稳定性衰减会大幅提升故障发生概率，故障出现后又反向加剧失稳程度，形成恶性循环，最终造成设备停机、器件烧毁等严重生产事故。

3 电力拖动系统运行稳定性优化技术

电网侧扰动是系统失稳的重要外部诱因，通过配置有源滤波装置可有效抑制电网高次谐波，消除谐波造成的定子电流畸变问题，保障输入电压与电流波形的完整性与稳定性。依托动态无功补偿装置完成无功功率动态调节，平衡三相负载运行参数，削弱三相电压不对称引发的电磁转矩脉动，配合高精度电网稳压装置抑制电压瞬变与电压跌落现象，从供电源头降低电网扰动对拖动系统稳态运行的冲击影响。传统固定参数闭环控制模式适配性较差，难以应对复杂工况的动态变化，本文采用动态自适应调速控制策略，依托系统实时负载状态、转速偏差及电流波动数据，完成控制参数的动态修正。优化转速电流双闭环控制整体逻辑，提升系统动态响应速率，缩短负载突变后的调节时长，有效抑制转速超调与持续震荡现象。引入模糊调节机制适配工业场景普遍存在的非线性扰动，弥补传统控制算法对复杂工况适配性不足的短板，显著提升系统稳态控制精度。机电参数匹配状态直接决定系统机电耦合运行品质，结合设备额定工况与极限运行工况，优化电机容量、传动比、调速区间的匹配关系，规

参数冗余不足、工况匹配失衡等问题。常态化开展编码器与各类传感设备精度校准工作，消除信号采集偏差引发的控制失准问题，优化机械传动结构装配精度，减少传动间隙、转子偏心及轴承磨损带来的机械振动，降低机电耦合扰动强度，实现电气控制与机械传动的协同稳定运行。为进一步强化系统抗扰性能，在调速控制程序中嵌入扰动观测机制，实时识别电网扰动与负载扰动信号，通过前置补偿调节实现扰动提前抑制。优化功率器件散热结构与运行工况，削弱温度漂移对控制精度的负面影响，保障设备在高温、长时间连续运行工况下的稳定性。

4 电力拖动系统故障防控技术体系构建

系统构建覆盖状态监测、前置防控、故障处置、事后复盘的全周期故障防控技术体系，实现设备运维从被动检修向主动预判防控的转型。依托多维度监测思路搭建系统全参数监测体系，实时采集设备运行转速、输出转矩、三相电流、工作温度、壳体振动幅值等核心参数，建立分级参数阈值预警机制。基于现场运行大数据构建标准化故障特征数据库，精准识别系统轻微震荡、电流波形畸变、运行温度异常等早期隐性故障，实现故障前置预警，避免微小隐患持续累积演变为系统性运行故障。结合工业现场工况管控需求，建立分级工况管理机制，严格管控设备超载运行、频繁启停、超负荷工况切换等违规运行模式，最大限度减少瞬时负载冲击对系统稳定性的破坏。落实常态化设备巡检与参数校准制度，及时排查器件老化、信号偏移、机械磨损等潜在隐患，常态化开展电能质量检测与治理工作，从运行工况、设备本体、供电环境多维度阻断故障滋生条件。完善系统智能化故障处置体系，优化电气保护分级逻辑，针对设备过载、过压、欠流、震荡失稳等差异化故障类型，匹配对应的保护策略，通过分级限流、智能降速、紧急停机等方式防止故障扩散扩大。依托大数据分析 with 智能定位技术，快速锁定故障点位与核心诱因，缩短故障排查与处置时长，提升系统故障自愈能力与快速恢复运行能力。建立系统运行与故障专项台账，全面记录设备失稳现象、故障类型、处置方案及优化措施，持续积累工况运行数据。定期开展系统运行稳定性复盘分析，针对高频扰动问题与高发故障类型，迭代优化控制参数与运维管理方案，形成完整闭环优化机制，持续提升电力拖动系统整体运行可靠性与工况适配性。

5 工程应用效果分析

系统部署选择了某矿山，并开展为期三个月的工业试验。应用前系统存在负载切换时转速震荡明显、稳态偏差偏大、月度故障停机次数较多等问题。应用优化控制策略与全周期防控体系后，系统转速稳态精度显著提升，负载突变调节时间大幅缩短，转矩脉动现象得到有效抑制。

现场运行数据显示，系统运行震荡故障率大幅下降，设备非计划停机时长减少，电能利用率与设备作业效率显著提升。工程实践证明，该套优化与防控技术可有效适配复杂工业工况，显著改善电力拖动系统稳定性，具备良好的工程推广价值。

参考文献

[1]孟凡斌.电力拖动系统故障诊断的实时监测与智能预测方法[J/OL].中文科技期刊数据库工程技术,2024,(20):59-59.