

提高电力系统稳定性电气自动化解决方案研究

梅晓亮 曹明刚 吴 强 李海明 张 娜

内蒙古包钢庆华煤化工有限公司 内蒙古 巴彦淖尔 014400

【摘要】：电力系统的稳定性受到多方面的因素影响，包括负荷波动、发电机性能、输电线路的阻抗、控制系统与保护装置的作用、扰动的性质、系统的频率和电压调节能力等。为了确保电力系统的稳定运行，需要对这些因素进行全面监控与调度，并通过合理的设计和应急措施应对可能的故障和扰动。本文结合提高电力系统稳定性电气自动化解决方案进行分析，以供参考。

【关键词】：电力系统稳定性；电气自动化；解决方案

DOI:10.12417/3041-0630.25.08.002

1 电力系统稳定性的影响因素

1.1 负荷特性

电力系统的负荷在不同时间段会有变化，特别是在高峰负荷和低谷负荷期间。如果负荷变化过快，可能会造成系统的频率波动或电压不稳，影响系统的稳定性。如电动机负荷、大型工业负荷等，其启动和停止过程会引起电流波动和瞬时功率变化，进而影响电网的稳定性。电力系统中的发电机作为稳定性的重要因素之一，其调速和功率调节能力会影响系统的稳定性。如果发电机调速不当，可能导致频率或电压波动，影响系统的动态稳定性。发电机的励磁控制系统直接影响发电机的输出电压，如果励磁系统不稳定或响应滞后，可能会导致电压失稳。

1.2 输电线路特性

输电线路的电阻和电抗影响电力的传输能力，较长的输电线路会有较大的电抗，可能导致系统的暂态稳定性下降，容易发生电压跌落、短路等问题。长距离输电会影响系统的电压分布，尤其是高压直流输电（HVDC）和高压交流输电（HVAC）系统的稳定性。例如频率调节、功率调度等自动化系统，可以帮助维持系统稳定。系统如果缺乏有效的控制和调节，可能因为在负荷波动或故障发生时无法快速恢复稳定。在电力系统出现故障时，保护装置能够及时切除故障部分，防止故障蔓延，但如果保护装置设置不合理或响应滞后，也可能加剧系统的不稳定性。

1.3 系统的拓扑结构

电力系统的网架结构对稳定性有很大的影响。如果电网结构松散或过于复杂，可能导致系统在故障发生时不能有效恢复。大型电力系统如果存在许多弱连接部分，可能容易受到扰动影响。如果电网内部缺乏足够的备用通道和连接点，一旦发生故障，可能无法快速恢复，影响系统的稳定性。电力系统中的故障如短路、开路、发电机停机等，会对系统造成不同程度的冲击。短路故障尤其会引起瞬时电流剧烈波动，影响电力系

统的稳定性。大规模的扰动（例如多个发电机突然停运、线路大规模跳闸等）可能导致系统的暂态稳定性受到威胁，甚至引发系统大规模崩溃。

1.4 电网的频率和电压调节能力

电力系统的频率通常需要维持在一个相对恒定的范围内。频率过高或过低会影响设备的正常运行，严重时可能导致设备损坏或系统崩溃。频率调节不足时，系统稳定性会受到威胁。电网中的电压波动会影响电力传输的效率和设备的运行。如果电压波动过大，会导致电力传输效率降低，甚至设备损坏。如果负荷预测和发电计划不合理，可能会导致某些时段负荷过高或者发电不足，从而引起频率和电压的不稳定，影响系统的整体稳定性。电力系统需要保证一定的备用发电容量，尤其是在发生故障时，可以迅速调度备用电源恢复系统的正常运行。如果备用容量不足，会影响系统的恢复能力。

2 提高电力系统稳定性电气自动化解决方案

2.1 实时监控与数据采集系统

在电力系统的各个重要节点（如发电机、变电站、输电线路、负荷点等）安装高精度的传感器，实时采集电流、电压、频率、功率等关键数据。这些数据为系统的状态评估和实时监控提供基础。结合物联网技术，通过 SCADA（数据采集与监控系统）平台或 EMS（能源管理系统）进行数据传输和集中管理，实时监控系统的运行状况，及时发现异常情况。

2.2 自动化调度与负荷管理

自动化调度系统对电力系统进行实时优化，调整发电机的输出功率和负荷分配，确保电力系统的稳定运行。例如，当负荷波动较大时，自动调度系统能够根据预设的策略进行发电机启停调度，避免负荷过载或频率不稳定。通过负荷预测模型，预测系统的负荷需求，提前安排发电和调度。同时，实施需求响应（DR）管理，鼓励用户根据电网负荷状况调整自己的用电行为，实现电力需求的平衡。

2.3 智能保护与故障诊断

传统的保护装置往往只是在发生故障时进行切断，而智能保护装置通过更精确的故障检测与定位，可以快速响应并减少误动作。例如，基于数字保护继电器和微机保护设备，可以在故障发生时精确判断故障类型并及时切除故障区域，防止故障蔓延。通过故障录波仪、智能监控和数据分析，实时检测电力系统的运行状况。一旦发生故障，系统可以通过自动化的故障诊断功能，快速定位故障点并提供处理方案，从而缩短停运时间，提高系统恢复速度。

2.4 自愈与自动恢复系统

自愈电网技术通过对电力系统中出现的故障进行快速定位和自动切除故障，且在局部区域故障消除后能自动恢复电网的正常运行。例如，采用环网自动化设备，当出现故障时，系统能够根据预定的逻辑自动进行电源重配置，避免对大范围用户造成影响。通过实时监控和自动化重构系统，电网可以在发生故障时自动切换电源或调整负荷分配，避免系统大规模停运。通过重构策略，减少故障影响，提升系统的稳定性。

2.5 发电机与电网的自动化调节

发电机的输出功率调节对电力系统稳定性至关重要。自动化调节系统（如自动频率控制系统、自动电压调节系统）可以实时调整发电机输出，保持系统的频率和电压稳定。例如，在系统频率降低时，自动化系统会自动调节发电机的功率输出，增加电网的稳定性。通过自动无功功率补偿装置，实时调节电网的无功功率，保持电网电压稳定。静态和动态无功功率补偿设备（如静止无功补偿器 SVC、静态同步补偿器 STATCOM）可以快速响应电压波动，避免电网电压崩溃。

2.6 分布式能源与储能系统的集成

随着可再生能源（如风能、太阳能）的逐步接入电网，分布式发电系统的优化调度成为提高电力系统稳定性关键。自

动化控制系统能够合理调度分布式能源与传统发电的输出，确保电网稳定运行。通过集成大规模储能系统（如锂电池储能系统），可以在负荷波动或发电缺口时提供调节作用。储能系统可以在负荷低谷时储能，在负荷高峰时释放能量，平衡电网负荷，降低系统波动，提高电网稳定性。通过安装自动电压调节设备（如电压调节器、SVC、STATCOM）来保持电网电压在正常范围内。电力质量监测与管理系统可以实时检测电压、频率等电网参数，自动调整电网中的设备，保持电压的稳定。自动化设备可以检测并消除电力系统中的谐波、闪变、频率偏差等电力质量问题，从而提高电力系统的可靠性和稳定性。

2.7 大数据与人工智能的应用

大数据分析通过对电力系统运行的大量历史数据进行分析，可以优化系统运行策略、提高设备的调度效率和运行安全。大数据技术能够挖掘出潜在的风险点和薄弱环节，从而提前做出预警。应用机器学习和人工智能算法对电力系统进行建模，进行故障预测、负荷预测、系统优化调度等任务。AI 系统可以帮助分析电力系统的运行数据，识别可能导致系统不稳定的因素，并自动调整运行参数。通过采用电力系统仿真技术，可以模拟电力系统在各种扰动和故障情况下的响应，从而预测和评估不同操作策略的效果。仿真结果可以为电网调度和维护提供决策支持，优化电网配置和调度方案。通过优化算法和数学模型，对发电机的出力、负荷的调度以及电网的运行状态进行最优控制，确保电力系统在最优状态下运行，提升系统的稳定性和经济性。

3 总结

为了提高电力系统的稳定性，电气自动化技术可以通过多种手段进行优化和改善。这些技术方案可以增强电力系统的实时监控、自动调节、故障诊断和恢复能力，确保系统在受到扰动或故障时，能够快速恢复正常运行，减少故障发生的频率和影响。通过电气自动化技术的应用，可以提高电力系统的稳定性，保证其在正常运行和扰动情况下都能够高效、安全地工作。

参考文献：

- [1] 化工电力系统生产运行中电气自动化技术分析.张子亮;苟中杰;张晓明;李良良.中国石油和化工标准与质量,2024(13).
- [2] 电力系统中电气自动化技术的应用.谢凯.电子技术与软件工程,2018(24).
- [3] 电气自动化技术在电力系统中的应用探析.柴源;李子恩;朱啟强;王晓冬;连进牛.电子制作,2019(04).