电力电气自动化中无功补偿技术的应用

马 俊
四川郎酒股份有限公司 四川 泸州 646000

摘 要 在电力系统运行过程中，由于多重因素的共同作用，不可避免地会产生电能损耗现象。这种损耗不仅造成用户和企业的经济损失，更对电力行业的可持续发展构成阻碍。针对这一现状，工程技术人员应当积极运用无功补偿技术，以提升电力资源的利用效率。该技术的实施能够有效增强电气自动化系统的运行效能，大幅削减无功功率的损耗，进而减轻电网运行压力。同时，无功补偿技术还能提升电气设备的运行可靠性和工作稳定性，有效防止电压波动和电网故障对设备造成的损害。然而，将无功补偿技术与电气自动化系统进行整合是一项需要持续投入的复杂工程，要求从业人员不断积累实践经验，吸收先进技术理念，科学选用智能补偿装置，并结合我国电力行业的具体发展状况进行针对性优化，从而推动电力行业实现高质量、可持续的发展目标。

关键词 电力电气自动化；无功补偿技术；应用

Application of Reactive Power Compensation Technology in Power Electrical Automation

Ma Jun
Sichuan Langjiu Co., Ltd., Luzhou 646000, Sichuan Province, China

Abstract During the operation of power systems, electrical energy loss inevitably occurs due to the combined effect of multiple factors. This loss not only causes economic damage to users and enterprises but also hinders the sustainable development of the power industry. In response to this situation, engineering technicians should actively apply reactive power compensation technology to enhance the utilization efficiency of power resources. The implementation of this technology can effectively improve the operational efficiency of electrical automation systems, significantly reduce reactive power losses, and thereby alleviate the operational pressure on the power grid. Furthermore, reactive power compensation technology can enhance the operational reliability and stability of electrical equipment, effectively preventing damage caused by voltage fluctuations and grid faults. However, integrating reactive power compensation technology with electrical automation systems is a complex endeavor requiring continuous investment. It demands that practitioners accumulate practical experience, absorb advanced technological concepts, scientifically select intelligent compensation devices, and carry out targeted optimizations in accordance with the specific development status of China's power industry, thereby promoting the high-quality and sustainable development goals of the power sector.

Key words Power Electrical Automation; Reactive Power Compensation Technology; Application

在电力网络运行过程中，无功功率的调控对于保障电网安全稳定、优化整体效能以及维持电力系统正常运转具有关键作用。电网负荷的频繁变化以及输电线路中存在的阻抗特性往往会导致电压不稳定现象，而通过合理的无功补偿措施可以有效平抑这些波动，降低电网运行压力，使电力系统在负荷高峰期和突发情况下保持可靠供电。

1 无功补偿技术概述

无功补偿技术对保障电力系统平稳运行具有决定性作用，其核心功能在于协调电网与用电设备之间的能量交互。通过部署电容器组、同步调相机等无功补偿装置，能够显著优化供电品质，减少能源损耗，进而提升整体电网运行效能。现阶段主流补偿方案及其特性可归纳为：①动态无功补偿装置（SVG）。该装置具备实时响应能力，可根据电网无功需求动态调整输出功率，有效抑制电网损耗，增强电能输送效率。②并联电容器。作为经典补偿手段，其结构简单且维护成本低廉，特别适合负荷波动较小的电网环境。通过并联接入方式，该装置能够直接抵消系统无功分量，改善功率因数指标，控制线路能耗。③同步调相机。采用机械传动结构，具备较强的无功调节能力，通常应用于大容量补偿场景。借助精确的励磁控制技术，该设备可双向调节无功功率，灵活应对各类电网工况，为系统稳定运行提供可靠保障。无功补偿策略的制订需因地制宜，理想的解决方案应兼顾技术性能与经济性，实现最优

配置。故在方案选型过程中，需全面评估各类补偿技术特性，准确诊断电网运行状态，确保所选方案既能满足技术要求，又符合经济效益原则[1]。

2 无功补偿技术的特征分析

2.1 对电压进行分散控制

通过科学部署无功补偿装置，能够将无功功率的分布调整至多个节点，进而有效调控电压水平。这种分布式调控方式的突出优点在于能够依据电网实际运行状况，在不同位置实施无功补偿，确保整个电力网络的电压维持在理想区间。电压超出上限可能引发设备超负荷运行甚至损毁，而电压不足则会造成设备工作异常。借助无功补偿装置的优化配置，可以维持电压的稳定状态，抑制电网中的电压波动现象，从而提升设备运行的可靠性和稳定性。

2.2 提升电网电能质量

借助智能无功补偿装置，可有效优化电网运行质量，显著改善终端用户的用电体验。面对日益增长的电力需求，该技术依托专用设备实现无功功率的智能化管理。电网系统中配置的无功补偿装置配合先进控制技术，能够同步提升供电效能与电能品质。

2.3 供电服务区域化

在电力网络运行过程中，无功补偿装置的部署策略需要结合供电区域的特性进行差异化设计。通过有针对性地为不同供电区域配备合适的无功补偿装置，能够显著改善电能质量并提升系统运行效率，同时有效控制无功功率的损耗。这种区域化配置方案的核心在于根据各区域的用电特性和负荷需求，对无功补偿装置进行精准匹配。具体而言：在工业生产环境中，需要依据各类生产机械的负荷特性，选用恰当的无功补偿装置，这样既能保障供电质量，又能降低系统无功损耗；对于商业场所，则要根据商业建筑的用电特征，动态调整补偿装置的配置方案，在保证供电可靠性的前提下提升能源利用效率；而在居民区，则需综合考虑社区用电规律，科学实施无功补偿措施，既确保供电稳定性，又避免不必要的能源消耗。采用这种区域化的无功补偿策略，能够使电力网络的功率因数维持在最佳状态，防止因功率因数异常导致的设备损坏或运行故障。此外，基于区域特征的补偿方案还能有效调节系统无功潮流，抑制电压波动，从而增强整个电力网络的运行稳定性[2]。

3 电力电气自动化中无功补偿技术应用

3.1 回路电流平衡中的无功补偿

在电力网络运行过程中，为保持电路中的电流稳定状态，减少电能输送过程中的能量损耗，必须采用智能无功补偿技术对功率因数进行实时调节。实际操作中，可以配置电容补偿柜、并联式电容组等补偿设备，为用电装置提供所需的无功功率支持，确保功率需求得到满足。同时，补偿设备的安装位置应当结合负荷分布特点进行合理布置。另外，需要针对不同情况采取差异化处理方式，依据电流实时波动特性实施精准补偿，达成动态调节目标，从而提升补偿效能。

3.2 配电网管理中的无功补偿

在电力分配网络的管理过程中，由于覆盖区域广阔，容易形成电磁感应负荷现象，造成电流相位落后于电压波形，进而引发感性无功功率问题，使得供电系统的功率因数持续下降，对电网的平稳运行构成严重威胁。为解决这一状况，需要采用智能化的无功功率调节技术。具体实施时可采取固定与可变两种调节方式。固定调节方法主要是在电路中加装补偿设备，而可变调节方式则是通过增设动态无功补偿装置来提升系统运行时的无功调节能力，精准调控功率因数，确保电力网络的稳定运行。在配电网络的终端用户侧部署低压智能无功补偿设备，能够有效弥补用户内部负荷的无功损耗。该设备通过实时检测用户接入端的功率因数数值，智能控制低压电容器的投入与切除，达成“就地调节”的目标，减少从用户端向配电网输送的无功功率，从而降低线路的能量损耗[3]。

3.3 工业用电负荷的智能调节

在工业生产环境中，感性负载占据较大比重，且负载变化幅度显著（例如，电动机启停操作、电弧炉周期性冶炼过程），需要采用动态无功补偿技术实时响应无功需求变化，防止补偿量不足或补偿过度现象发生。工厂设备中电动机运转时会吸收大量感性无功功率。在电动机控制设备附近配置与电机功率相适应的智能无功补偿装置，借助电流传感器检测电机运行电流，当电动机启动工作时，控制系统立即接入补偿电容，抵消电动机的无功消耗；当电动机停止工作时，自动断开补偿电容，避免无效损耗。电弧炉在冶炼作业时，电弧电流呈现剧烈波动的特性，引发无功功率急剧变化，常规固定补偿设备难以实现快速响应。选用由可控硅控制电抗器（TCR）与可控硅投切电容器（TSC）构成的静止型动态无功补偿装置（SVC），能够实现毫秒级快速无功调节。该装置通过智能监控系统持续检测电弧炉的无功功率与供电电压，动态调整TCR的触发角度来吸收感性无功，或者切换TSC组产生容性无功，迅速稳定系统无功平衡，有效控制电压波动和谐波干扰。

3.4 智能型无功补偿设备应用分析

在电力网络持续扩展和可再生能源并网规模增长的背景下，常规无功补偿设备已无法适应电网动态调节需求。新型智能无功补偿设备（包括SVG、STATCOM等）凭借其毫秒级响应特性、高精度补偿能力和稳定运行表现获得广泛应用。这些设备通过持续采集电网运行数据，配合智能控制策略和自动化管理系统，完成动态无功功率的优化分配。具体而言，在配电网络环节，智能补偿设备可有效缓解电压骤变和闪变现象，显著改善终端用户的用电品质；而在输电系统和变电站应用中，其快速调节特性能够大幅增强电网稳定性和供电连续性。随着当前人工智能与大数据分析技术的进步，智能无功补偿设备已具备自学习调节和前瞻性控制功能，为打造智能化、高效率的电力供应体系提供了重要技术支撑[4]。

3.5 单频谐振滤波器

单调谐滤波器作为电力系统无功补偿的重要手段，其核心功能在于对特定频率谐波电流的精准调控。该装置通过选择性滤除电网中的谐波分量，不仅改善了电能传输质量，还显著提升了系统运行效率。从技术原理来看，谐波电流的长期存在会引发多重负面效应：首先，设备绝缘材料在谐波作用下容易产生过热现象，加速设备老化进程；其次，谐波扰动会破坏电网电压波形，造成电压闪变等电能质量问题；最后，谐波分量会导致系统功率因数恶化，增加线路损耗。单调谐滤波器的应用有效解决了这些问题，其谐振特性使其能够针对特定次谐波进行深度抑制，从而维持电网电压稳定，降低设备运行温度，同时优化系统功率因数。这种装置通过减少谐波污染，显著降低了电网的无功损耗，为电力系统的经济高效运行提供了可靠保障。

3.6 真空断路器

在电力系统无功补偿领域，真空断路器发挥着重要的调控作用。该设备的应用需重点关注以下核心要素。①作为电力系统的关键保护装置，真空断路器能够有效监控各类电气设备运行状态，包括发电机、变压器及电动机等，当检测到异常电流或故障信号时，可立即执行分断操作，避免设备遭受不可逆损坏。②在无功功率管理方面，真空断路器具备独特的调控功能。这种不产生实际功率消耗的无功，虽然不会影响功率计量，但会造成能源损耗和电能质量恶化。借助真空断路器的智能调节，能够实现无功功率的精细化管理，显著改善功率因数指标。③该设备具备毫秒级故障隔离能力，可有效遏制电力故障的蔓延趋势，大幅提升供电可靠性。同时，其还能优化系统内的无功功率分布，抑制电压波动幅度，确保电网运行稳定性。④通过科学配置真空断路器参数，可建立精准的无功补偿机制。功率因数作为评估电能利用效率的核心参数，其提升将直接降低线路损耗，优化整个电力网络的能源使用效率[5]。

3.7 固定滤波器、电容器与电抗器结合

首先，非线性负载产生的谐波电流会引发电压波形畸变和三相电流不平衡。采用固定式滤波装置能够显著削弱谐波干扰，从而改善电网供电品质和运行效能。其次，无功功率作为电力网络中的无功分量，虽然不直接消耗电能，但会造成能源损耗和供电质量恶化。通过科学配置电容器组与电抗器，能够精准调控无功功率流动，有效提升系统功率因数与能源利用率。最后，在实际工程应用中，固定滤波器与无功补偿装置可实现协同运行。具体表现为：滤波装置负责消除电网谐波污染，而电容器和电抗器则通过调节无功功率分布来维持功率因数的稳定与优化[6]。

4 结束语

在电气自动化领域，无功补偿技术的优化应用发挥着不可忽视的关键作用。该技术能够显著提升电力系统的功率因数水平，有效降低电网中的无功功率损耗，从而增强电网运行的稳定性与可靠性。合理运用无功补偿装置可以大幅降低电力系统能耗，实现能源使用效率的显著提升。同时，这项技术还能优化电能质量参数，降低电气设备发生故障的概率，并有效延长设备的使用寿命。由此可见，科学配置无功补偿装置对于提升电气自动化系统性能具有重要价值。

参考文献

[1]王小龙,刘爱华,刘雪吉.提高大电流温升试验系统效力的补偿技术研究[J].电器与能效管理技术,2023(3):69-72.

[2]吴文志.电气自动化中无功补偿技术及其应用探究[J].自动化应用,2023,64(5):215-217.

[3]仲军.自动化系统中的无功补偿技术应用[J].集成电路应用,2023,40(2):315-317.

[4]韩冬.电气自动化中无功补偿技术及其应用探究[J].科技与创新,2022(18):47-49.

[5]张睿琪,李梦骄,杨洪明,等.动态无功补偿设备支撑高比例新能源系统电压稳定能力分析[J].湖南电力,2024,44(4):27-33,81.

[6]胡春林,谭振国,曾佳佳,等.工业用双馈发电机的无功功率控制方法[J].电子设计工程,2024,32(15):86-89,94.

（本文编辑 曹 阳）