

# 电气工程及其自动化无功补偿技术的应用

蒙绍举

(广西城市职业大学, 广西 崇左 532100)

**摘要** 随着电力系统的快速发展, 电气设备的种类与数量持续增多, 非线性负荷大量接入电网, 使得电网的无功功率需求发生显著变化, 给电网的稳定运行带来了严峻挑战, 电气工程及其自动化无功补偿技术的应用, 可以稳定系统电压, 降低线路损耗, 并优化电力资源的分配与利用。无论是传统的工业配电场景, 还是新兴的电力电子应用领域, 无功补偿技术都扮演着不可或缺的角色。本文主要阐述了电气工程及其自动化无功补偿技术的应用意义, 并从配电网管理、真空断路器、回路电流平衡等方面提出了相应的措施, 以期为相关人员提供参考。

**关键词** 电气工程; 自动化无功补偿技术; 配电网管理; 回路电流平衡; 真空断路器

中图分类号: TM76

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.21.002

## 0 引言

无功补偿技术在电气工程领域得到了广泛的应用, 企业可以在输电线路中适当位置安装并联电抗器、串联电容器等无功补偿设备, 改善输电线路的电压稳定性, 还可以在配电网中应用智能型无功补偿装置, 满足各类用电设备的正常运行需求。此外, 在新能源发电领域应顺应时代的发展节奏, 积极推广应用无功补偿技术。在风电场中配备无功补偿系统, 稳定风电场接入点的电压; 光伏电站中应用有源电力滤波器结合无功补偿装置, 满足电网接入标准, 减少对电网设备的损害。

## 1 电气工程及其自动化无功补偿技术的应用意义

### 1.1 改善电网供电质量

电气工程及其自动化无功补偿技术的应用, 可以实现企业实时监测电网中的无功功率变化, 并迅速调整补偿装置的输出, 进而维持系统电压在规定范围内。如在大型工厂中, 众多设备同时运行会导致无功功率需求大幅波动, 通过无功补偿装置, 可根据设备运行状态实时调整无功输出, 当系统中无功功率不足时, 可避免电压过度下降; 当无功功率过剩时, 可以防止电压过度升高, 进而将电压稳定在额定值附近, 确保生产设备正常运行。无功补偿可以有效减少电压畸变和闪变现象, 对谐波进行滤波和补偿, 改善电压波形质量, 电力工程中大量的非线性负载会产生严重的谐波干扰, 影响其他设备的正常运行, 采用无功补偿技术后, 可以提高电能质量。此外, 无功功率在电力系统中的传输会造成线路电流增大, 在远距离输电的电力系统中, 如果不进行无功补偿, 无功功率会在输电

线路上产生较大的电流, 导致线路损耗增加, 通过在合适的位置安装无功补偿装置, 可使无功功率在本地得到补偿, 减少线路电流, 降低线路损耗<sup>[1]</sup>。

### 1.2 保障电力系统安全稳定运行

无功补偿技术的应用, 可以促使工作人员根据电力系统需求, 实时、动态地提供或吸收无功功率, 确保电力系统在不同运行工况下, 保持无功功率的平衡, 从而稳定系统电压, 避免设备损坏、系统崩溃等严重后果。当电力系统受到较大扰动, 如短路故障、大型设备突然启停等, 系统的无功功率需求会发生突变, 无功补偿装置具有快速响应的特性, 能够在极短时间内检测到系统无功功率的变化, 并迅速调整输出, 为系统提供额外的无功支持或吸收多余的无功功率。无功补偿可以有效调节系统中的无功功率分布, 避免无功功率在系统中的不合理流动引起的电压偏移, 通过合理配置无功补偿装置, 能够将系统电压控制在设备允许的范围内, 减少过电压和欠电压对设备的损害。例如: 在雷雨天气时, 电网可能会受到雷击等外部干扰而出现过电压现象, 无功补偿装置可以通过吸收多余的无功能量, 限制过电压的幅值, 保护电气设备的安全运行。无功电流流过设备时, 会在设备的电阻中产生焦耳损耗, 导致设备发热, 而且通过减少系统中的无功电流, 降低了设备的焦耳损耗, 从而减少了设备的温升。

### 1.3 促进节能减排和可持续发展

传统的火力发电是污染物排放的主要来源之一, 通过无功补偿技术的应用, 可以降低电力系统的能源

消耗,间接减少了煤炭等化石燃料的燃烧,进而改善空气质量和环境质量。无功补偿技术对于新能源的接入和消纳也起到了关键作用,新能源发电具有间歇性和波动性的特点,无功补偿装置可以快速响应新能源发电的无功功率变化,为其提供稳定的支撑和补偿,促进新能源的顺利并网和消纳,在风力发电和光伏发电集中的地区,通过配置合适的无功补偿装置,可以有效解决新能源发电接入电网带来的电压波动、谐波等问题,提高新能源在电网中的渗透率,推动能源结构的清洁化转型,减少对传统化石能源的依赖,降低环境污染。在城市供电系统中,应用无功补偿技术,可以降低线路损耗和变压器损耗,提高供电质量和可靠性,同时减少了对电力设施的投资和建设需求,还可以为电力市场的竞争和发展创造良好的条件,促进电力市场的多元化和健康发展<sup>[2]</sup>。

## 2 电气工程及其自动化无功补偿技术的应用

### 2.1 在配电网管理中的应用

配电网规划初期,企业应准确预测无功负荷,采用基于大数据分析的无功负荷预测模型,收集区域内历史用电数据、企业用电设备信息等数据,还可以利用聚类分析对不同类型的企业的无功负荷特性进行分类,建立无功负荷预测数据库,通过仿真计算不同无功补偿方案下的电压质量、线损率等指标,最大限度地发挥无功补偿设备的效能,如对于负荷密集区域,预留较大的无功补偿容量。企业应根据配电网的拓扑结构和负荷分布,选择合适的无功补偿装置,考虑电容器组、静止无功补偿器和静止无功发生器等应用特点,合理布局无功补偿点,遵循“分层分区、就地平衡”的原则,考虑装置的安装空间、散热条件以及与其他设备的配合等因素,还应将无功补偿装置的接入与配电网的整体设计相结合,考虑无功补偿装置与变压器、开关柜等设备的协同工作,避免因无功补偿引起的谐波放大等问题,影响设备的正常运行。企业应安装智能无功补偿控制系统,实时采集配电网的电压、功率因数等参数,根据预设的控制策略自动投切电容器组。无功补偿设备长期运行可能出现故障或性能下降,影响其补偿效果,企业应定期维护和管理,建立无功补偿设备状态监测与维护体系,通过在电容器组上安装温度传感器和压力传感器,实时监测电容器的温度和内部压力,积极采用故障诊断技术及时发现设备潜在问题,进而延长无功补偿设备的使用寿命,提高设备的运行可靠性<sup>[3]</sup>。

### 2.2 在回路电流平衡中的应用

在电网中,由电源供给负载的电功率形式包括有功功率、无功功率,无功功率的存在对于电气设备的运行是必要的,但过多的无功功率会对电网产生负面影响,因此,需要通过无功补偿技术来平衡无功功率,使电网更加稳定、高效地运行。企业应对电气回路的参数进行详细测量,通过电力仪表获得回路的总电压、总电流、有功功率和无功功率等参数,根据测量得到的参数计算功率因数,评估回路的电流不平衡度,进而确定无功补偿的容量和方式,若功率因数较低且主要是感性负载导致的无功缺失,优先考虑并联电容器补偿,若回路中存在谐波问题,还应考虑采用滤波型无功补偿装置,进而在补偿无功功率的同时,有效抑制特定次谐波,防止对其他设备的不良影响。在选择合适的无功补偿装置型号时,对于较小容量的家庭或小型商业场所,可以选择家用型的无功补偿电容器组;对于中大容量的工业配电系统,选择专用的电力电容器组或 SVG 等动态补偿装置,安装无功补偿装置时充分考虑其安装位置和连接方式,在连接过程中,要确保连接牢固,接线正确,同时注意电容器组的放电问题,若采用电力电子器件的无功补偿装置,应按照设备的安装说明书进行安装,保证装置的散热条件良好。完成安装后,应对无功补偿装置进行调试,开展外观检查工作,确保装置无损坏、接线正确,然后通电测试,观察装置是否正常启动和运行。在调试过程中,监测回路的电压、电流、功率因数等参数,检查补偿效果是否达到预期目标,并对调试过程中出现的问题进行优化处理,若发现补偿装置出现过补或欠补的情况,要重新调整装置的补偿参数<sup>[4]</sup>。

### 2.3 在真空断路器中的应用

真空断路器具有灭弧能力强、维护量小等优点,在中低压配电系统中得到广泛应用,然而在其运行过程中,由于其内部结构以及连接的负载特性,会产生一定的无功功率。无功电流会导致一系列问题,如增加线路损耗、降低功率因数、影响电压质量等,无功补偿技术应用于真空断路器中,可以有效改善其运行性能,稳定断路器的工作电压,减少无功电流在系统中的流动。企业应利用电容器和电抗器的组合,通过调谐滤波器或串联谐振等方式,对电网中的无功功率进行动态补偿,该组合方式可以根据负载的变化自动调整无功输出,保持系统功率因数的稳定,如在大型工业用电系统中,通过并联电容器和电抗器的混合装

置,实现对冲击性负荷的快速响应和无功补偿。企业应在真空断路器的电源进线侧或出线侧并联适当容量的电容器,其容量选择应根据真空断路器所带负载的无功功率需求来确定,并联电容器可以采用集中补偿、分组补偿或就地补偿的方式,在某些情况下,为了防止电容器投入时产生谐波放大等问题,可以在电容器支路串联电抗器。源电力滤波器应用在对电能质量要求较高的场所,不仅具有无功补偿功能,还能有效抑制谐波电流,在数据中心、精密制造工厂等,通过检测电网中的谐波分量,并产生与之相位相反的补偿电流注入电网,从而达到滤除谐波和补偿无功的目的,可以提升供电质量和系统效率。此外,电抗率是电抗器的重要参数,一般选择电抗率为6%~13%的电抗器与电容器配合,电容器和电抗器的连接顺序一般为电抗器在前,电容器在后,保证在电容器投入之前,电抗器先对可能出现的涌流起到限制作用。为了确保无功补偿装置与真空断路器的协调运行,应配备完善的保护和控制装置,如设置过流保护、过压保护、欠压保护等,防止因补偿装置故障而引发的过流、过压等问题对真空断路器造成损害,通过控制装置实现对补偿装置的自动投切控制,根据系统的无功功率需求和电压状态,实时调整补偿容量,确保补偿效果最佳<sup>[5]</sup>。

#### 2.4 在故障诊断中的应用

在电力系统中,输电线路短路故障会导致大量的无功功率在故障点涌入系统,使系统的无功分布发生改变。无功补偿技术可以为故障诊断提供重要的信息,在实际应用中,企业应安装无功功率传感器在电力系统的关键节点,如变电站的母线、输电线路的两端等,实时采集无功功率的数据,并将其传输到监控系统。在正常运行状态下,无功功率应该在一定的范围内波动。当系统发生故障时,如输电线路短路或断路,无功功率会出现明显的突变。企业还应根据系统的运行特性和历史数据,设定无功功率的上限和下限阈值,当实时监测的无功功率超出这个阈值范围时,监控系统会发出警报,提示可能存在故障,同时结合其他电气量的变化,进一步判断故障的类型和位置,对于无功补偿电容器组,采用先进的监测技术来检测其内部的健康状况,通过监测电容器的电容值、介质损耗因数等参数,判断电容器是否存在老化、受潮或损坏的情况。电抗器在无功补偿系统中主要用于限制电容器的合闸涌流和抑制谐波,企业通过监测电抗器的电流、电压、温度等参数,可以诊断其是否存在故障,结合

电抗器的振动和噪声信号分析,可以更准确地诊断故障原因。在无功功率监测过程中应确保数据的准确性,传感器的选择和安装位置应合理,进而避免受到外界电磁干扰的影响,采用具有高分辨率和高精度的传感器,并且定期对其进行校准和维护,同时在数据传输过程中,应采取屏蔽电缆、信号滤波等抗干扰措施,确保监测数据的真实性和可靠性。在实际故障诊断中,还应综合考虑多个电气参数的变化情况,这样才能准确地判断故障类型和位置。随着技术的发展,企业在故障诊断中的应用中,可以与其他先进的诊断技术相结合,如结合小波分析、神经网络等智能诊断方法,对无功功率和其他电气参数的数据进行更深入的分析 and 处理,利用这些智能算法的强大模式识别能力,提高故障诊断的智能化水平<sup>[6]</sup>。

### 3 结束语

无功补偿技术作为电气工程及其自动化领域的关键手段,可有效维持电压稳定,提升电能质量。企业应重视该技术在配电网管理、故障诊断中的应用,如在供电系统中安装无功补偿装置,提高电能利用效率,减少电费开支,积极采用专门的电弧炉无功补偿系统,减少电弧炉对电网的不良影响。此外,企业应深刻认识到其在不同场景下的优势与不足,不断进行技术创新与改进,引进先进的监测手段,积极采用智能控制算法,更好地满足复杂多变的电力系统运行需求。

### 参考文献:

- [1] 郑昕. 自动化技术在无功补偿系统中的应用[J]. 电子技术, 2025, 54(01): 346-347.
- [2] 陈玉超. 电气工程及其自动化无功补偿技术的应用研究[J]. 科技资讯, 2024, 22(20): 123-125.
- [3] 李海鹏. 电气工程及其自动化无功补偿技术的应用[C]// 冶金工业教育资源开发中心, 中国钢协职业培训中心. 第13届钢铁行业职业教育培训优秀多媒体课件活动系列研讨会: 电力工程与技术创新论文集. 张家口彬锦建筑工程机械租赁有限公司, 2024.
- [4] 倪佳佳. 电气工程及其自动化无功补偿技术的应用[J]. 光源与照明, 2024(03): 231-233.
- [5] 张焱焱. 电力电子技术在电气工程中的实践应用[J]. 集成电路应用, 2023, 40(12): 362-364.
- [6] 葛文鑫. 电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用[J]. 光源与照明, 2023(04): 189-191.