

# 电力运行中的无功补偿与电压控制策略

侯凯明

华能(甘肃)新能源有限公司 甘肃 兰州 730000

**摘要:** 无功补偿与电压控制是保障电力系统安全稳定运行的关键技术。并联电容器、同步调相机等多种无功补偿装置,通过动态调节无功功率,有效降低网络损耗、提升功率因数。电压控制策略则依托变压器分接头调整、发电机励磁电流改变等手段,实现系统电压的精准调控。研究表明,将多种无功补偿设备与控制策略有机结合,可显著提升电力系统的电能质量与运行效率,为电网的可靠供电提供坚实保障。

**关键词:** 电力运行;无功补偿;电压控制策略

## 引言

随着现代社会对电能需求的持续增长以及电力系统规模的不断扩大,无功补偿与电压控制已成为电力领域研究的重要课题。在电力传输与分配过程中,无功功率的不合理分布会导致线路损耗增加、电压水平下降,严重威胁电网的安全稳定运行。本文围绕无功补偿与电压控制策略展开深入探讨,分析并联电容器、静止无功补偿器等装置的应用原理,研究变压器分接头调整、励磁电流改变等控制手段,旨在为提升电力系统运行性能提供理论与实践参考。

### 1 电力系统中无功补偿与电压控制的重要性

电力系统中无功补偿与电压控制是保障电能质量、提升系统运行效率与稳定性的核心环节。无功功率在交流电力传输中虽不直接参与能量转换,但其存在对维持电网电压水平、降低线路损耗、提高设备利用率具有关键作用。当系统中无功功率不足时,电压会显著下降,导致用电设备无法正常工作,甚至引发电机过热、绝缘老化等问题,严重时可能造成大面积停电事故。合理配置无功补偿装置,能够动态平衡无功功率的供需关系,确保电压稳定在额定范围内,为各类负荷提供可靠的电力供应。电压波动不仅影响用户端的用电体验,还会对电网的安全运行构成威胁。过高的电压会加速设备绝缘材料的老化,缩短设备使用寿命;过低的电压则可能导致工业生产线效率降低、产品质量下降。通过精确的电压控制手段,如调节变压器分接头、投切无功补偿电容器组等,可以有效抑制电压偏差,保障敏感设备的正常运行,避免因电压异常引发的连锁故障。无功补偿与电压控制的协同优化还能显著提升电力系统的经济性。合理的无功分布可减少线路和变压器的无功传输,降低电网的网损率,提高能源利用效率。稳定的电压水平能够减少设备启动时的冲击电流,延长设备寿命,降低维护

成本。在新能源大规模接入的背景下,无功补偿与电压控制技术的创新应用,还能有效缓解分布式电源出力波动对电网电压的影响,提升系统对可再生能源的消纳能力。随着智能电网技术的发展,无功补偿与电压控制正朝着自动化、智能化的方向演进。基于实时监测数据的动态调节策略,能够更精准地响应系统状态变化,实现无功功率的按需分配与电压的精细控制。这不仅为电力系统的安全稳定运行提供了坚实保障,也为构建高效、清洁、灵活的现代能源体系奠定了技术基础。

## 2 无功补偿在电力运行中的应用

### 2.1 并联电容器补偿

并联电容器补偿是电力系统中应用广泛且历史悠久的无功补偿方式,其基于电容元件“通交流、隔直流”的特性,通过与电力系统并联接入,向系统提供容性无功功率。在交流电路中,并联电容器能与感性负荷产生的感性无功功率相互抵消,使系统无功功率达到平衡状态。当系统负荷呈现感性时,电流滞后于电压,并联电容器释放无功电流,补充系统所需无功,提升功率因数,减少线路中的无功传输,从而降低线路和变压器的有功损耗。从结构与安装角度来看,并联电容器装置结构相对简单,主要由电容器组、串联电抗器、断路器、熔断器等构成。其可灵活配置于变电站、配电线路及大型工业用户侧,根据负荷变化投切电容器组,实现无功功率的动态调节。在配电网中,将并联电容器分散安装在靠近负荷侧的位置,能够有效改善末端电压质量,减少因无功传输导致的电压降落,保障用户端设备正常运行。该补偿方式也存在一定局限性,由于电容器的容性无功输出与端电压平方成正比,当系统电压下降时,其补偿能力减弱,难以在系统电压严重跌落时提供有效支撑<sup>[1]</sup>。

### 2.2 同步调相机补偿

同步调相机本质上是空载运行的同步电动机,在电

力系统中主要发挥无功功率动态调节与电压支撑的作用。通过调节同步调相机的励磁电流,可使其工作在过励或欠励状态,过励时输出感性无功功率,等效为无功电源,为系统提供电压支持;欠励时吸收感性无功功率,相当于无功负荷,从而调节系统无功平衡。其运行过程中,能够快速响应系统无功需求变化,尤其在系统发生短路故障或电压骤降时,可瞬间输出大量无功功率,维持故障点附近的电压稳定,提高电力系统的暂态稳定性。同步调相机具备较强的过载能力,在短时间内可输出数倍于额定容量的无功功率,且输出无功功率的调节范围较宽。不过,该设备需要专门的励磁系统和启动设备,投资成本较高,运行维护复杂,需消耗一定的有功功率维持自身运转,经济性相对较差。随着电力电子技术的发展,其应用受到新型静止型无功补偿装置的冲击,但在一些对电压稳定性和动态无功支撑要求极高的特大型枢纽变电站、长距离输电系统中,同步调相机仍凭借其大容量、高可靠性的特点,发挥着不可替代的作用。

### 2.3 静止无功补偿器(SVC)

静止无功补偿器(SVC)是基于电力电子技术的一种动态无功补偿装置,主要由晶闸管控制电抗器(TCR)、晶闸管投切电容器(TSC)以及滤波器等部分组成,通过控制晶闸管的触发角,实现对无功功率的快速、连续调节。TCR可连续调节感性无功功率,TSC则能快速投切电容器组,提供离散的容性无功功率,两者配合可在较宽范围内实现无功功率的灵活补偿。当系统无功需求增加时,TCR减小触发角,增加感性无功吸收;当系统无功过剩时,TSC投入电容器组,输出容性无功。SVC具有响应速度快(响应时间一般在几十毫秒以内)、调节范围大、可连续平滑调节等优点,能够快速跟踪负荷无功变化,有效抑制电压波动和闪变,改善电能质量。其适用于负荷波动频繁的场所,如电弧炉、轧钢机等冲击性负荷接入的电网,可显著提高系统的稳定性和供电可靠性。SVC属于阻抗型补偿装置,其输出无功功率与系统电压密切相关,当系统电压降低时,补偿能力随之下降,且在运行过程中会产生一定的谐波,需要配套安装滤波器进行谐波治理<sup>[2]</sup>。

### 2.4 静止同步补偿器(STATCOM)

静止同步补偿器(STATCOM)又称静止无功发生器,是一种基于电压源换流器(VSC)的第二代静止型无功补偿装置,代表了现代无功补偿技术的发展方向。STATCOM通过全控型电力电子器件(如绝缘栅双极晶体管IGBT)构成的电压源换流器,将直流侧电容的直流电

能转换为交流电能,根据系统需求灵活控制输出无功功率的大小和方向。与传统无功补偿装置不同,STATCOM不依赖于系统电压提供无功,其输出无功电流基本不受系统电压影响,在系统电压严重下降时仍能保持较高的无功输出能力,具备更强的电压支撑能力。该装置响应速度极快,响应时间可达几毫秒,能够对系统无功需求进行快速、精确的动态补偿,有效抑制电压波动和三相不平衡。在功能上,STATCOM不仅可实现无功补偿,还能进行谐波治理、三相不平衡调节等,极大提升了电能质量。其模块化设计使其容量易于扩展,可适用于不同规模的电力系统。在新能源并网场景中,STATCOM能够快速补偿分布式电源出力波动带来的无功变化,稳定并网点电压,提高电网对可再生能源的消纳能力,是智能电网建设中不可或缺的关键设备。

## 3 电力运行中的电压控制策略分析

### 3.1 调整变压器分接头

(1)调整变压器分接头是实现电压控制的常用手段,通过改变变压器绕组匝数比来调节输出电压。变压器分接头位于绕组的特定位置,可在一定范围内调整绕组匝数。当系统电压偏低时,降低分接头档位,减少高压侧绕组匝数,根据电磁感应原理,在相同输入电压下,低压侧输出电压相应升高;反之,系统电压过高时,升高分接头档位,增加高压侧绕组匝数,使低压侧输出电压降低。(2)该方法具有操作相对简单、无需额外复杂设备投入的优势,在配电网和变电站中广泛应用。其能有效应对负荷变化导致的电压波动,通过对分接头的精细调节,将电压稳定在合理区间内。此方式属于有级调节,调节范围有限,且调节过程中需停电操作,存在一定局限性,难以满足系统快速变化的电压控制需求。(3)实际应用中,分接头的调整需综合考虑系统潮流分布、负荷特性以及上下级电网的电压配合等因素。通过实时监测系统电压、电流等参数,结合电力系统运行状态分析,精确计算分接头调整档位,以达到优化电压分布、提升电能质量的目的,保障电力系统稳定运行。

### 3.2 改变发电机励磁电流

(1)改变发电机励磁电流是直接影响发电机端电压的重要电压控制策略。发电机的励磁系统通过调节励磁电流大小,改变发电机转子磁场强度。根据同步发电机的运行原理,当励磁电流增大时,转子磁场增强,在定子绕组中感应出的电动势增大,进而使发电机端电压升高;反之,减小励磁电流,转子磁场减弱,发电机端电压降低。(2)这种控制方式响应速度较快,可实现对发

电机端电压的连续调节。在电力系统正常运行时,能够跟随负荷变化动态调整电压,维持系统电压稳定。在系统发生故障导致电压波动时,快速调节励磁电流,可有效提高电力系统的暂态稳定性,增强系统抵御故障的能力。(3)改变发电机励磁电流的调节范围受发电机自身参数和励磁系统容量限制。过度增加励磁电流可能导致发电机转子过热、绝缘老化,甚至威胁设备安全。实际应用中,需结合发电机运行工况、系统无功需求以及电压控制目标,合理控制励磁电流,确保发电机安全稳定运行的同时,实现对系统电压的有效调节<sup>[3]</sup>。

### 3.3 优化无功功率分布

(1)优化无功功率分布是提升电力系统电压稳定性和运行效率的核心途径。在电力系统中,无功功率的合理分配至关重要,它直接影响着电压水平和线路损耗。为了实现无功功率的就地平衡,减少其在输电线路上的传输,降低线路压降,进而稳定负荷端电压,我们需要合理配置无功补偿装置。例如,在靠近负荷侧安装并联电容器、静止无功补偿器等设备,这些装置能够有效提高功率因数,改善电压质量,确保电力系统的稳定运行。(2)从系统全局角度出发,对无功电源和负荷进行优化规划是实现无功功率均衡分布的关键。我们需要充分考虑不同区域的负荷特性和无功需求差异,合理布局无功补偿设备,避免无功功率的长距离输送。这样不仅能显著提高电压质量,还能有效降低电网的有功损耗,提高电力系统的整体经济性。(3)在实际运行中,我们应借助先进的监测和分析技术,实时掌握系统无功功率的分布情况。通过结合电力系统潮流计算,动态调整无功补偿设备的投入和退出,以及发电机的无功出力,实现无功功率的最优分布,为系统的稳定运行提供坚实保障,同时提升电能传输效率。

### 3.4 协调控制多种手段

(1)协调控制多种手段是应对复杂电力系统电压控制需求的有效方法。由于单一的电压控制手段存在局限性,将调整变压器分接头、改变发电机励磁电流、优化

无功功率分布以及运用各种无功补偿装置等多种方式有机结合,可充分发挥各自优势,弥补不足。例如,在系统电压波动初期,优先通过快速响应的无功补偿装置进行动态无功调节,初步稳定电压。(2)依据系统运行状态和电压控制目标,制定合理的协调控制策略。在负荷变化缓慢阶段,利用调整变压器分接头进行电压的精细调节;当系统发生较大扰动时,迅速改变发电机励磁电流,提高系统暂态稳定性。结合优化无功功率分布,确保各区域电压稳定,实现对系统电压的全方位、多层次控制。(3)借助智能控制系统和先进的通信技术,实时采集系统各节点的电压、电流、功率等数据,通过精确的算法和模型,对多种控制手段进行协同调度。根据不同工况和控制需求,动态调整各控制手段的优先级和调节量,实现电力系统电压的精准控制,保障系统安全、稳定、高效运行<sup>[4]</sup>。

### 结语

综上所述,无功补偿与电压控制在电力系统运行中占据核心地位。各类无功补偿装置凭借独特的技术优势,在不同场景下发挥着调节无功功率的重要作用;多样化的电压控制策略则为维持系统电压稳定提供了有效途径。未来,随着电力电子技术的飞速发展,需进一步探索无功补偿与电压控制的智能化、协同化方案,以适应新型电力系统高可靠性、高灵活性的发展需求,推动电力行业的可持续发展。

### 参考文献

- [1]刘微.电力电容器中的无功补偿技术优化[J].造纸装备及材料,2025,54(2):109-111.
- [2]魏小斌,傅莲,李卫涛.智能无功补偿技术在电力自动化中的应用[J].通信电源技术,2024,41(12):73-75.
- [3]何向国,张天保,李哲,等.风光火打捆系统无功配置与电压控制策略研究[J].电气应用,2024,43(11):10-16.
- [4]李彦君,刘友波,冉金周,等.深度学习驱动的电网无功-电压优化控制策略模型[J].电测与仪表,2023,60(11):165-173.