

Application of reactive power compensation technology in high and low voltage power supply system

Hengyi Liang

Guangxi Beibu Gulf International Container Terminal Co., Ltd., Qinzhou, Guangxi, 535000, China

Abstract

Since the reform and opening up, China's power grid system construction has made remarkable achievements in the continuous advancement. The realization of these results is inseparable from the optimization and upgrading of electrical equipment and the wide application of reactive power compensation technology. In this paper, the basic principle of reactive power compensation technology, different types of reactive power compensation devices and their specific applications in high and low voltage power supply systems are discussed in depth. By analyzing the influence of reactive power compensation technology on system stability, voltage quality and power factor, this paper expounds its key role in modern power system, and shows the application effect of reactive power compensation technology with practical cases. Finally, combined with the development trend of smart grid, the future development direction of reactive power compensation technology is prospected, which aims to provide reference for the optimal operation of power system.

Keywords

high and low voltage power supply system; reactive power compensation; applications

无功补偿技术在高低压供电系统中的应用

梁恒溢

广西北部湾国际集装箱码头有限公司, 中国·广西 钦州 535000

摘要

改革开放以来,我国电网系统建设在持续推进中取得了令人瞩目的显著成果。这些成果的实现,离不开电气设备的优化升级以及无功补偿技术的广泛应用。本文深入探讨了无功补偿技术的基本原理、不同类型的无功补偿装置及其在高低压供电系统中的具体应用。通过分析无功补偿技术对系统稳定性、电压质量、功率因数等方面的影响,阐述了其在现代电力系统中的关键作用,并结合实际案例展示了无功补偿技术的应用效果。最后,结合智能电网发展趋势,展望了无功补偿技术的未来发展方向,旨在为电力系统的优化运行提供参考。

关键词

高低压供电系统; 无功补偿; 应用

1 引言

随着经济的迅猛发展和工业化进程的加速推进,电能供需矛盾日益凸显,无功功率管理已成为保障电网安全稳定运行的关键环节。无功补偿技术通过在电力系统中提供或吸收无功功率,有效解决了由感性负载导致的功率因数降低、线路损耗增加和电压质量下降等问题。在高低压供电系统中,合理配置无功补偿装置不仅能显著提升电能利用效率,降低供电成本,还能改善供电质量,延长设备使用寿命。

2 无功补偿原理

无功功率是稳定电压和确保感性设备正常运行的关键因素。无功补偿技术是电力系统中用于平衡无功功率、提高功率因数的关键技术手段。从物理本质上看,无功功率并不直接做功,而是用于建立电气设备中的电磁场,完成电能与磁能之间的相互转换。电网中的变压器、电抗器等设备在正常运行时都需要无功功率的支持。这些设备依靠无功功率来维持其磁场,从而实现电能的传输和转换。如果这些设备得不到足够的无功功率,其运行状态就会受到影响,甚至可能导致设备损坏。如果不进行无功补偿,电力系统会出现一系列问题。首先,输电线路的功率因数会增加,这意味着线路中有更多的无功功率在流动,降低了线路的传输效率。其次,供电末端的电压会降低,影响用户的正常用电。最后,电能损耗会增大,这不仅浪费了宝贵的能源资源,还增加了电力

【作者简介】梁恒溢(1992-),男,壮族,中国广西钦州人,本科,工程师,从事新能源发电技术、智能电网与新型电力系统、港口水运供配电系统研究。

企业的运营成本。为了解决这些问题，电力系统中通常会采用无功补偿技术。通过并联安装电容器等器件或成套无功补偿装置，可以降低电网电源向负荷设备提供的无功功率。这样一来，感性负荷所消耗的无功功率就得到了补偿，从而提高了供电效率。

3 高低压供电系统中无功补偿技术的作用

高压供电系统的无功补偿与低压系统相比具有显著差异。从技术参数看，高压补偿装置需承受更高电压等级（通常为 35kV 及以上），单组容量更大（可达数十 MVar），对设备绝缘性能和可靠性要求极高。从系统影响看，高压补偿直接关系到区域电网的电压稳定，不当补偿可能引发系统振荡或电压崩溃等严重事故。高压无功补偿需遵循“分层分区”原则：分层指按电压等级实施补偿，500kV 及以上电网以维持电压稳定为主，220kV 及以下电网以平衡无功流动为主；分区指在各供电区域内实现无功基本平衡，减少无功功率的远距离传输。这种补偿策略可有效降低电网损耗，避免无功功率的“倒送”现象

在高低压供电系统中，电气设备的稳定运行与滤波补偿、无功补偿技术的紧密结合显得尤为关键。这种结合不仅确保了系统的平稳运行，还在很大程度上优化了电力系统的整体性能。无功补偿技术具有稳定电压、强化系统控制、提高能源利用效率以及有效控制谐波等多重功效。在电力系统中，无功功率是造成电压损失的主要原因之一。因此，选择适当的无功补偿设施对于维护电网的电能质量至关重要。为了更加有效地应用无功补偿技术，通常会将电容器并入到无功负荷较为集中的部位，既可以减少因无功功率流动而引起的电压不稳定问题，还可以显著降低电能损耗。通过这种方式，不仅能够提高电能的传输效率，还能在很大程度上提升电能的整体质量。^[1]

4 低压供电系统无功补偿方式

在补偿方式选择上，低压系统通常采用分级补偿策略：

①集中补偿：在配电变压器低压侧安装补偿装置，优点是管理方便，缺点是无法降低配电线路的无功电流；②分组补偿：在车间或大型用电设备附近安装补偿装置，补偿效果较好；③就地补偿：直接与单台电动机等负载并联，补偿效果最佳但投资较高；

4.1 集中补偿

在变电站的变压器出口母线上，通常会选择集中安装补偿设备，以便向该母线上所连接的各种负荷提供所需的无功功率。这种集中补偿方案在实际应用中展现出了诸多优势，包括其易于安装的特性。由于补偿设备集中在一处，因此可以大大简化安装过程，减少施工难度和时间成本。此外，集中补偿方案还具有补偿容量易控的特点。通过对补偿设备的精确配置和调整，可以实现对无功功率的精确补偿，从而避免过量或不足的情况。这种精确控制不仅有助于维持电力

系统的稳定运行，还可以提高电能质量，减少能源浪费。在安全经济方面，集中补偿方案同样表现出色。由于补偿设备的集中安装和管理，可以降低设备的故障率和维护成本。同时，由于减少了无功功率的传输损耗，还可以为企业节约一定的能源成本。

4.2 分散补偿

分散补偿作为一种重要的无功功率补偿方式，在变电站的电力系统中发挥着不可替代的作用。这种补偿方式，补偿设备安装在变电站不同电压等级的母线上，以实现各个电压等级负荷所需无功功率的精准补偿。通过分散补偿，各个电压等级的负荷能够以最短的路径获取到所需的无功功率。与集中补偿方案相比，这种方式能够显著降低功率损耗，提高能源利用效率。由于无功功率在传输过程中会产生一定的损耗，而分散补偿减少了无功功率的传输距离，因此能够有效地减少这种损耗。分散补偿主要适用于规模较大且电压等级较多的配电系统，在这样的系统中，由于负荷分布广泛、电压等级多样，采用分散补偿方式可以更加灵活地满足不同负荷对无功功率的需求。同时，分散补偿也有助于提高电力系统的稳定性和可靠性，确保各个电压等级的负荷都能够得到及时、有效的无功支持。

4.3 就地补偿

无功功率补偿设备的安装位置和配置方式，对于其补偿效果具有至关重要的影响。在电力系统中，不同的补偿方案适用于不同的负荷需求和应用场景。就地补偿方案，作为一种常见的无功功率补偿方式，主要适用于单个大容量负荷的需求。这种方案能够将补偿设备直接安装在负荷附近，从而提供最为直接和快速的无功支持。然而，就地补偿方案对安装场地的要求较高，通常需要较大的空间和合适的环境条件。同时，由于设备的集中安装和配置，工程造价也相对较高。为了克服单一补偿方案的局限性，满足不同场合下的负荷无功功率需求，实际应用中常采用多重形式并用的补偿方案。^[2]例如，将高压补偿与低压补偿相结合，可以同时满足不同电压等级负荷的补偿需求；将集中补偿与分散补偿相结合，则可以在确保整体补偿效果的同时，提高补偿的灵活性和效率。

5 无功补偿技术在高低压供电系统中的应用

5.1 优化高低压供电系统的无功补偿

在进行无功补偿之前，设定补偿点是至关重要的环节。在 10kV 电网的操作中，无功均匀分布法是一种常用的方法。根据这种方法的原则，线路的最佳补偿点应该选择在线路总长的 2/3 处。这样的布局可以确保无功功率在整个线路中的分布更加均匀，从而提高电能的传输效率和质量。同时，最佳补偿量也应根据线路的实际情况进行确定，一般约为线路中无功总需求量的 2/3 左右。这样的补偿量既能够满足系统的需求，又不会造成过度的浪费。对于 2/3 补偿线路中的无功电荷来说，补偿点的选择更是关键。经过科学计算和分

析,发现将补偿点设置在全线路长的2/3处是最为理想的方案。这样做可以使得无功流动降低到最低水平,同时有功损耗和电压值也能够保持在最小范围内。这种布局方式不仅能够达到理想的无功补偿效果,还能够提高系统的稳定性和可靠性。然而,需要注意的是,无功补偿并非越多越好。过度的无功补偿不仅无法带来额外的节能效果,反而可能会对设备的安全运行产生负面影响。例如,过多的无功功率可能会导致设备过热、损坏等问题。

5.2 高压供电系统使用无功补偿装置的分析

主要补偿装置类型:

高压供电系统中常见的无功补偿装置包括以下几种类型:同步调相机是传统的动态无功补偿设备,通过调节励磁电流改变输出无功功率。其优点是调节范围宽(可提供容性和感性无功),具有惯性支持能力;缺点是响应速度较慢

(秒级)、损耗大(约1.5%~3%)、维护复杂。随着电力电子技术进步,同步调相机在新建工程中已较少采用。

静止无功补偿器(SVC):采用晶闸管控制电抗器(TCR)与固定电容器(FC)的组合结构,通过调节晶闸管导通角实现无功功率连续调节。典型SVC响应时间为1~2个周波(20~40ms),动态性能优于同步调相机,但存在谐波产生问题,通常需要配套滤波装置。

静止同步补偿器(STATCOM):也称静止无功发生器(SVG),是新一代高压动态无功补偿装置。基于全控型电力电子器件(如IGBT)的电压源逆变技术,STATCOM可快速(响应时间<10ms)且连续地提供容性或感性无功。与SVC相比,STATCOM具有体积小、谐波含量低、无功输出不受系统电压影响等显著优势,特别适用于弱电网和新能源场站的无功支撑。

表:高压无功补偿装置性能比较

装置类型	响应时间	调节范围	谐波影响	损耗率(%)	典型应用场景
同步调相机	1~5s	-Q~+Q	无	1.5~3.0	传统枢纽变电站
SVC(TCR+FC)	20~40ms	-Q~+Q	较大	0.5~1.2	工业负荷波动大的变电站
STATCOM/SVG	<10ms	-Q~+Q	极小	0.8~1.5	新能源场站、弱电网节点
并联电容器组	0.5~2s	+Q only	无	0.05~0.1	无功缺额大的变电站

6 新能源并网中的高压补偿应用

随着可再生能源比例不断提高,高压无功补偿在新能源并网领域展现出新的应用价值。^[1]以南方电网为例,新能源装机容量突破2100万千瓦后,潮流逆向流动导致电压越限和谐波污染问题突出。南方电网公司开发的“源—网—荷—储”协同控制系统,通过秒级动态电压调整 and 智能无功补偿,将电压合格率提升至100%,线损率从5.5%降至3.25%。该系统创新性地采用了多模型串联融合算法,将数据精度提升至98.7%,实现了对分布式电源并网点电压波动的精准预测和快速补偿。当光伏出力突增导致电压越限时,系统可在2秒内自动启动储能消纳、调节逆变器出力,并通过智能电容器组实现无功补偿,使配电网运行可靠率提升0.2%,设备寿命延长10%。这一案例展示了高压无功补偿技术在适应新型电力系统需求方面的关键作用。

7 无功补偿技术的发展趋势

随着智能电网技术的发展,无功补偿技术将更加智能化和自动化。通过引入先进的传感器、控制器和通信技术,实现对无功补偿装置的实时监测和自动控制,提高电网的运行效率和可靠性。未来,新型无功补偿装置的研发将成为研

究热点。例如,基于新型电力电子器件的无功补偿装置将具有更高的性能和更低的损耗,能够更好地满足现代电力系统的需求。分布式无功补偿技术将得到更广泛的应用,通过在配电网中合理布置分布式无功补偿装置,可以实现对无功功率的就地补偿,减少无功功率的远距离传输,降低系统损耗,提高供电质量。

8 结语

无功补偿技术在高低压供电系统中的广泛应用,不仅提高了电力系统的运行效率,还有效地解决了远距离输电过程中的能耗难题。随着电网建设的不断发展,我们应继续深化无功补偿技术的研究与应用,推动其与现代电网技术的融合发展,以更好地满足我国日益增长的电网发展需求。

参考文献

- [1] 李红伟.无功补偿技术在高低压供电系统中的应用[J].硅谷,2014,7(15):2.
- [2] 王亮,彭永.无功补偿技术在高低压供电系统中的应用[J].工程技术:全文版:00210-00210[2024-01-01].
- [3] 王旭伟,WANG,Xu-wei,等.无功补偿技术在煤矿井下供电系统中的应用[J].机电工程技术,2017,46(9):3