电力系统无功补偿技术应用研究

余振龙

（宁夏龙源新能源有限公司，宁夏 银川 750002）

摘 要 随着新型电力系统建设工作持续推进，风电、光伏新能源机组大规模并入电网，系统容易出现无功供需失衡的情况，继而引发电压波动、电网损耗增大等一系列问题，对电网运行稳定性和电能质量造成不良影响。在电网运行过程中，无功补偿是改善电网调压效果、降低线路损耗、优化系统运行状态的关键技术手段。本文梳理了无功补偿的基本原理与实际作用，对比分析了不同类型无功补偿设备的运行特性，结合宁夏地区风光电源集中并网的实际运行特点，总结了当前新能源场站无功补偿运行中存在的各类问题，并针对性提出了优化改进方案，旨在为新能源场站调控方式改造提供参考，助力新型电力系统实现平稳运行。

关键词 电力系统；无功补偿；新能源并网；电网优化

中图分类号：TM714.3 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.30.007

0 引言

随着国内“双碳”目标推进，风电、光伏并网规模不断增大，传统以火电为主的电网结构发生明显改变。新能源出力受气象条件影响较大，波动、随机性强，容易造成电网无功供需失衡，引发电压偏移、谐波畸变、网损升高等问题，严重时还会造成机组脱网，影响电网安全稳定运行。宁夏地区风光资源富集，新能源电站集中并网、外送距离远，电压调控压力较大。宁夏龙源新能源所属风光电站也普遍存在出力波动引发的无功失衡、局部电压不稳等运行问题。无功补偿能够就地平衡无功功率，改善新能源并网带来的电能质量缺陷。基于上述现场问题，本文结合各类无功补偿技术的应用特点，依托场站实际运行情况，梳理现有技术短板并提出相应优化对策，为电网无功精细调控及新能源稳定运行提供参考。

1 电力系统无功补偿概述

1.1 无功补偿基本原理

电力系统中，有功功率可以对外做功，无功功率不直接做功，用来建立设备电磁场，却会影响电压与输电效率。变压器、线路这类感性设备，以及新能源配套电力电子装置，运行时都会消耗、扰动无功，容易造成系统无功失衡。

无功补偿一般遵循就地平衡原则，通过并联容性或感性装置，按需补充、吸收无功，调整无功潮流，以此提高功率因数、稳定电压、减少线路损耗并抑制谐波[1]。

1.2 无功补偿的核心作用

系统无功水平决定电压状态，合理补偿能够平抑电压波动，满足新能源场站多变的运行工况。无功短缺会拉低功率因数、增大线路电流与网损，无功补偿可减少无功电流，提升电网运行效益。

无功功率会占用输变电设备容量，补偿后可释放设备容量，增强有功输送能力。另外，新能源并网易带来谐波与电压闪变，不少新型补偿装置在调节无功功率的同时，也能改善这类电能质量问题。

2 电力系统无功补偿技术类型及应用特点

2.1 传统静态无功补偿技术

传统静态无功补偿设备结构简单、造价低廉，日常运维与检修操作难度低、成本少，适配传统电网的运维模式。但该类设备的核心短板是不具备动态主动调控能力，仅能输出固定容量的无功功率，仅适用于负荷运行平稳、无功波动幅度小的传统配电网场景，无法适配新能源电网的动态运行需求。

并联电容器补偿是目前电力系统中应用最广泛的基础无功补偿方式，技术原理成熟，通过在电网节点并联电容器组，输出容性无功抵消系统感性无功，实现无功平衡。该技术具备投资成本低、设备运行能耗小、现场安装调试便捷等优势，综合应用性价比高。但受技术特性限制，其补偿容量固定不可调，无法适配新能源出力随机波动带来的动态无功变化，且补偿效果受电网电压影响极大，电网电压偏低时补偿效能会大

作者简介：余振龙（1992-），男，本科，助理工程师，研究方向：电气设备技术与运维管理。

幅衰减，因此仅可作为电网基础无功兜底补偿手段[2]。

并联电抗器补偿主要应用于电网轻载运行、长距离输电场景，核心作用是吸收系统过剩的容性无功，杜绝电网空载、轻载工况下的工频电压超标问题。宁夏新能源基地普遍存在远距离输电工况，线路空载、轻载时极易出现末端电压异常抬升现象，并联电抗器可有效改善该问题，是区域新能源送出线路、高压输电线路治理无功过剩的核心设备。

2.2 现代动态无功补偿技术

动态无功补偿技术依托电力电子器件完成无功调节工作，能够实现无功功率的连续、可调控制，设备响应速度快、调控精度更高。面对新能源并网带来的间歇性、波动性无功扰动，这类技术的适配性更好，也是目前新能源场站、智能电网建设中最核心的无功补偿方式。

静止无功补偿器（SVC）依靠晶闸管等电力电子器件完成动态无功调节，能够根据电网实时的无功变化，自主调整补偿容量。和传统静态设备相比，SVC的响应速度更快，可以有效抑制电网电压波动和闪变问题，一般适用于工矿企业负荷、常规变电站以及中小型新能源场站。但从实际运行情况来看，SVC设备运行过程中会产生一定的谐波，调压区间也比较有限，在新能源高渗透率的电网中，运行适配性并不是很理想。

静止无功发生器（SVG）是性能更优的新一代动态无功补偿设备，采用全控型电力电子器件，可实现双向无功快速调节，既能输出容性无功，也能吸收感性无功。该设备响应速度快、谐波抑制效果好、调压精度高，而且运行过程中的能量损耗较低。对比SVC设备，SVG可以更好地适配新能源大幅出力波动的场景，能够实时跟踪风光机组的出力变化，快速平衡系统无功功率。目前，宁夏地区的大型风电、光伏电站，基本都以SVG作为主要的无功补偿设备[3]。

有源电力滤波器（APF）的功能相对多元，不仅可以完成无功补偿工作，还具备良好的谐波治理能力。设备可以针对性补偿系统瞬时无功，抑制电网中的各次谐波，有效解决新能源变流器、变频设备运行引发的各类电能质量问题，大多应用在对电能质量要求较高的新能源集中并网区域。

3 新能源场景下无功补偿技术应用现存问题

3.1 补偿设备配置不合理

一些建成时间较早的新能源场站仍在使用固定电容器补偿装置。这类设备补偿容量固定，难以匹配风光出力的随机波动。风光大发时容易无功过剩、电压越限；出力低谷阶段又会无功不足，造成电压偏低。不少场站补偿容量设计存在问题，容量偏大造成浪费，偏小又达不到补偿要求，加上设备布设点位规划欠佳，难以实现无功就地平衡，局部无功潮流紊乱，降损效果不理想。

3.2 多设备协同调控能力不足

多数场站的SVC、SVG、电容器组单独运行，缺少联动控制策略。新能源机组自带变流器具备无功调节能力，但调控逻辑和外部补偿设备不一致，容易发生补偿重复、响应滞后、调控冲突等现象。无功资源没能得到充分利用，面对新能源并网带来的复杂无功扰动，整体调控效果并不理想。

3.3 设备运维与智能化水平偏低

传统补偿设备自动化程度低，投切依靠人工，响应慢，调控精度有限。部分场站对设备运维不够重视，老化、元器件故障等问题不能及时排查处理，造成补偿精度下降、设备故障变多。很多场站缺少完整的智能监测预警系统，不能实时监测电压、无功的动态变化，无功调控大多凭经验，很难实现精细的自适应调节。

3.4 谐波与无功耦合问题突出

新能源依靠电力电子变流器并网，运行时会产生谐波。谐波会干扰补偿设备，带来无功计算偏差。传统补偿装置只负责调节无功，无法同步治理谐波。谐波和无功扰动叠加在一起，会持续降低电能质量，威胁电网安全运行。

4 电力系统无功补偿技术应用优化策略

4.1 科学优化补偿设备选型与配置

无功补偿可以采用静态与动态补偿相结合的方案，依据各节点工况选配设备。负荷平稳、无功波动小的节点，可保留电容器、电抗器这类静态设备维持基础无功平衡；风光场站这类无功波动大的节点，应更换老旧装置，优先选用SVG、APF等动态补偿设备。

结合宁夏新能源集中并网、远距离外送的特点，测算场站无功需求，合理确定补偿容量与设备位置，实现无功就地平衡，降低远距离输送产生的网损。同时需结合区域电网负荷峰谷特性、新能源发电时序规律开展精细化选型，规避单一设备适配性差、补偿冗余或不足的问题。针对宁夏地区风电、光伏集中连片开发的格局，差异化配置高低压补偿设备，兼顾低负荷夜间工况与满发日间工况的无功需求，大幅提升设备利用率，减少无效投资与设备闲置损耗[4]。龙源孟家湾330 kV升压站在设计时就采用该方案，场站单台主变35 kV侧配置30Mvar电容器做基础无功支撑，搭配±30Mvar的SVG负责动态调节。静态设备托底，

SVG 快速平抑短时波动，改善白天电压偏高、夜间无功不足的问题，保障母线电压稳定在合格范围。

4.2 构建多设备协同无功调控体系

想要提升无功调控效果，需要整合新能源机组变流器、SVC、SVG、电容器组等所有可利用的无功资源，搭建一体化的协同调控平台，统一各类补偿设备的调控逻辑和运行参数。结合电网实时的电压、无功功率、机组出力等运行数据，制定分层、分级的调控方案，让静态设备负责基础无功兜底补偿，动态设备实时跟踪瞬时无功波动，通过两种设备相互配合，提升整体调控效果。

依托电网调度自动化系统实现全域数据互通，打破各类补偿设备独立运行、数据孤岛的弊端，按照“全网统筹、场站分级、设备联动”的原则划分调控层级。针对新能源出力随机性、间歇性特征，设定差异化调控阈值，优先响应动态设备快速调节能力，静态设备滞后兜底，避免频繁投切造成设备损耗，彻底解决传统模式下多设备调控紊乱、补偿滞后、资源浪费的问题。通过这种协同控制模式，能够有效解决多设备调控冲突、重复补偿等问题，提升电网无功响应速度和调控精度，更好地适配新能源出力波动的运行特性[5]。

4.3 提升无功补偿智能化运维水平

现阶段，智能化技术已经广泛应用于电力行业，各新能源场站可依托大数据、物联网等技术，搭建无功补偿智能监测调控系统，实时采集电网电压、无功功率、补偿设备运行状态等关键数据，实现无功扰动自动识别、设备自动投切、故障提前预警的智能化运行模式。

可引入人工智能算法对海量运行数据进行分析研判，精准预判新能源出力波动与无功负荷变化趋势，实现补偿设备的前置性、预判性调控，摆脱传统被动调控的局限。同时，搭建远程运维监控终端，实现设备运行状态全天候在线监测，自动生成运维报表与故障处置方案，缩短故障排查与处理时长，大幅提升无功补偿系统的运行可靠性与智能化管控效率。另外，还需要建立常态化的设备运维检修制度，定期对补偿设备、输电线路、控制系统进行检修和参数校准，及时更换老化、损坏的元器件，保证设备能够稳定、精准运行。除此之外，还要加强运维人员的专业技能培训，提升工作人员的无功调控和设备运维能力，减少人为操作失误引发的电网运行问题。

4.4 实现无功补偿与谐波协同治理

针对新能源并网后谐波与无功扰动相互耦合的问题，单一的无功补偿或谐波治理方式效果有限。各场站可采用无功补偿与谐波治理相结合的一体化改造方案，大力推广 SVG、APF 等多功能复合补偿设备，在完成动态无功调控的基础上，同步滤除电网谐波、抑制电压闪变问题。

新能源并网设备中的变流器、逆变器极易产生谐波污染，且谐波会加剧无功功率损耗、造成电压畸变，形成恶性循环。一体化治理模式可同步兼顾无功平衡与谐波抑制，针对性治理 3 次、5 次、7 次电网主要谐波，有效改善电网波形质量。同时，结合场站谐波实测数据优化治理策略，避免过度治理增加设备能耗，实现电能质量治理与电网经济运行双向兼顾[6]。另外，可通过优化设备控制算法的方式，提升补偿设备在谐波干扰环境下的运行稳定性，减少谐波造成的补偿偏差，从多维度改善新能源并网电能质量，保障电网安全稳定运行。

5 结束语

新型电力系统建设中，无功补偿技术可稳定电压、降低网损，改善电能质量，保障新能源安全并网。新能源大规模接入后，系统无功扰动变得更加复杂多变，传统静态补偿方式已经难以适配电网运行要求。本文梳理了各类无功补偿技术特点，结合宁夏新能源场站现场情况，总结出设备配置不合理、多设备协同调控差、智能化运维不足、谐波无功耦合等问题，并给出对应的优化方案。新能源企业应当根据场站工况优化补偿方案，借助智能调控手段改善并网电能质量，维持电网稳定运行，助力新能源产业发展与“双碳”目标落地。

参考文献：

[1] 林燕.无功补偿技术在电力电气自动化中的应用[C]//广西大学广西县域经济发展研究院.第三届数字技术赋能工程建设领域数字化转型学术交流会论文集.2026.

[2] 雷浩,叶晓辉,胡文.1000MW 火力发电机组锅炉段配电系统动态无功补偿技术研究[J].电气技术与经济,2026(01):24-27.

[3] 秦铭远.电力变电无功补偿技术在电力系统故障检测中的应用探析[J].电子元器件与信息技术,2026,10(01):46-49.

[4] 陈思远,葛骏颜.电力系统中无功功率补偿技术优化研究[J].电工技术,2026(01):188-190.

[5] 刘鑫,王金鹏.电气自动化中无功补偿技术的应用研究[J].仪器仪表用户,2026,33(01):27-29.

[6] 尚博,尚伶.无功补偿技术在电力电气自动化中的应用[J].光源与照明,2025(12):254-256.