电气工程自动化中谐波抑制与电能质量优化策略研究

毛攀攀

上海勘测设计研究院有限公司　上海　200335

摘　要：电气工程自动化中，“沙戈荒”新能源大基地并网使谐波与电能质量关联紧密。文章先剖析二者核心关联，接着分析谐波产生机理、类型分布及电能质量问题与影响。随后提出优化电网结构、采用高效谐波抑制技术、优化设备选型与运行控制、构建监测与动态优化系统、强化系统协同治理等策略，为保障地区电网稳定运行提供支撑。

关键词：电气工程自动化；谐波抑制；电能质量；沙戈荒；新能源并网

引言：在电气工程自动化蓬勃发展的当下，“沙戈荒”新能源大基地大规模并网成为趋势。然而，谐波问题随之凸显，严重破坏电能质量，影响地区电网稳定运行。深入探究谐波与电能质量的核心关联，剖析谐波产生机理及电能质量现状，进而制定有效的谐波抑制与电能质量优化策略，成为当前亟待解决的关键问题，具有重要的现实意义。

1 电气工程自动化中谐波与电能质量的核心关联

在电气工程自动化系统里，谐波是破坏电能质量的核心诱因，二者在“沙戈荒”新能源大基地并网场景下关联更为紧密，明确关联机制是谐波抑制与电能质量优化的前提。谐波是频率为基波整数倍的正弦波分量，在“沙戈荒”新能源并网中，主要由风电、光储电站配套电力电子设备的非线性特性产生，与新能源出力、地区电网网架特性及自动化系统运行状态相关。“沙戈荒”新能源基地里，风电变流器、光伏逆变器高频开关动作产生的谐波，会引发地区电网电能质量问题，而电能质量下降又会加剧谐波传播放大，形成恶性循环。谐波对电能质量的影响体现在电压畸变等方面，且受新能源出力影响更具随机性与复杂性。深入分析二者关联机制，明确优化重点，能为制定策略、保障地区电网自动化系统稳定运行提供依据[1]。

2 电气工程自动化中谐波产生机理及电能质量现状分析

2.1 谐波产生的核心机理

结合“沙戈荒”新能源大基地建设现状，谐波产生的核心根源是基地内大量风电、光储电站配套电力电子设备的广泛应用，其非线性运行特性与新能源出力波动共同加剧谐波生成。风电变流器、光伏逆变器是主要非线性负荷，二者电流与电压不满足线性关系，运行中会扭曲地区电网正弦波形。其中，光伏逆变器整流、逆变环节的非线性，以及风电变流器的高频开关动作，会产生 2~40 次谐波，低次谐波（3、5、7 次）占比超 60%，影响最为显著。此外，基地新能源系统的电力电子变换器、储能装置充放电控制，以及周边工业辅助设备的非线性运行，会产生谐波叠加，进一步加剧地区电网污染，是电能质量下降的核心诱因。

2.2 谐波的主要类型及分布特征

谐波主要分为电流谐波和电压谐波，在沙戈荒新能源基地接入的地区电网中分布规律明确。电流谐波源于风电、光储电站的非线性设备，幅值与新能源出力、设备状态密切相关，低次谐波（5、7 次）占比高，高次谐波（10kHz~20kHz）易产生辐射干扰且随出力波动。电压谐波由电流谐波在电网阻抗上的压降导致，因沙戈荒电网网架薄弱、阻抗波动大，其幅值与分布不稳定。基地内谐波以低次为主，源于风电变流器、光伏逆变器；周边民用场景谐波分散，高次占比略高。多座电站并联运行会出现谐波叠加，导致局部谐波超标，加剧电能质量下降[2]。

2.3 电气工程自动化中电能质量的核心问题

受沙戈荒新能源基地谐波污染影响，地区电网电能质量存在四大突出问题。一是电压波形畸变，总谐波畸变率超标，且随新能源出力波动动态变化，影响自动化控制精度与新能源并网调度；二是功率因数下降，谐波产生的无效功率叠加出力间歇性导致的无功波动，增加电网损耗，制约新能源消纳；三是电压波动与闪变，出力快速波动引发电流、电压变化，干扰基地精密仪器运行；四是三相不平衡，电站分布式接入导致三相电压、电流幅值不均、相位偏差，降低电机效率，加速设备老化，进一步恶化电能质量。

2.4 电能质量问题的核心影响

电能质量下降对沙戈荒基地电网及自动化系统影响深远，覆盖设备、系统、能源等多层面。设备层面，谐波导致变压器、风机、储能装置等过热老化，缩短寿命、引发故障，还会增大计量误差、增加运维成本；系统层面，干扰自动化调度系统，可能引发谐振产生过电压、过电流，威胁电网稳定与电站并网；能源层面，增加传输与设备损耗，降低新能源消纳效率，违背基地节能初衷；此外，谐波还会干扰通信线路，影响调度与监控信号传输，破坏系统协同运行。

3 电气工程自动化中谐波抑制与电能质量优化策略

3.1 优化电网结构，减少谐波产生与传播

结合“沙戈荒”新能源基地布局与地区电网网架薄弱的现状，优化电网结构是从源头减少谐波产生、抑制谐波传播的基础措施，重点结合风电、光储电站集中接入特点，从电网拓扑设计、阻抗匹配、线路布局三个方面入手，提升地区电网对谐波的抑制能力。在电网拓扑设计方面，根据“沙戈荒”新能源基地负荷集中、出力波动大的特点，合理规划地区电网结构，缩短风电、光储电站与主网的连接距离，减少长距离输电线路，缩短谐波传播路径，降低谐波在传输过程中的放大效应，同步完善 750 千伏等配套送出工程，提升电网接纳能力。采用分区供电模式，将风电、光储电站等非线性负荷与线性负荷分开供电，避免谐波在整个地区电网中扩散。在阻抗匹配方面，合理选择变压器、输电线路的参数，使地区电网阻抗处于合理范围，避免因阻抗不匹配导致谐波放大，同时减少电网阻抗随新能源出力波动的变化幅度，提升电网对谐波的适应能力。在线路布局方面，优化输电线路的敷设方式，减少线路之间的电磁耦合，降低谐波的辐射干扰；对于高频谐波含量较高的风电、光储电站接入节点，采用屏蔽线路，阻断谐波的传播路径。此外，合理配置无功补偿装置，改善电网的功率因数，缓解新能源出力波动引发的功率失衡问题，间接提升电能质量，契合《电能质量管理办法》中“预防为主、综合治理”的方针要求[3]。

3.2 采用高效谐波抑制技术，实现谐波精准治理

针对“沙戈荒”新能源基地谐波动态波动、低次谐波占比高、分布集中的特点，采用高效的谐波抑制技术是实现精准治理的关键，结合谐波的类型、分布特征与新能源出力波动规律，采用无源滤波、有源滤波及混合滤波三种技术，根据地区电网实际需求合理选择应用。无源滤波技术通过电容、电感、电阻等无源元件组成滤波电路，利用其谐振特性对 5 次、7 次等固定频率的低次谐波进行抑制，具有结构简单、成本低、运行可靠等优点，适用于“沙戈荒”基地风电、光储电站低次谐波的初步治理，可根据谐波频率和幅值合理设计参数，避免与电网发生谐振。有源电力滤波器（APF）基于电力电子技术，通过检测电网中的谐波电流，产生与谐波电流大小相等、方向相反的补偿电流，抵消电网中的谐波电流，响应速度快、滤波效果好，可适应新能源出力波动导致的谐波动态变化，适用于非线性负荷波动较大的风电、光储电站接入节点。根据连接方式可分为并联型、串联型和混合型，并联型用于抑制谐波电流，串联型用于抑制谐波电压，混合型结合两者优点，实现全面谐波治理。混合滤波技术将无源滤波与有源滤波相结合，利用无源滤波器滤除主要低次谐波，降低有源滤波器的容量需求，利用有源滤波器处理残余高频谐波和动态变化的谐波，兼顾滤波效果和经济性，是当前“沙戈荒”新能源基地谐波抑制的主流技术方向，可有效解决新能源逆变器谐波超标问题。

3.3 优化设备选型与运行控制，从源头减少谐波产生

结合“沙戈荒”新能源基地风电、光储电站运行特点，设备的选型与运行控制直接影响谐波产生量，通过优化设备选型、改进运行控制方式，从源头减少谐波产生，为电能质量优化奠定基础，契合《电能质量管理办法》中“使用经电能质量特性检测认证的发电设备”的要求。在设备选型方面，优先选择低谐波、高效率的风电变流器、光伏逆变器等电力电子设备，减少非线性设备的谐波排放，选择具备谐波抑制功能的产品，其内部集成先进的滤波电路和控制算法，可有效降低 2~40 次谐波产生量。在电机、变压器等配套设备选型时，选择符合电能质量要求的产品，提升设备对谐波的耐受能力，同时合理选择设备容量，避免设备长期处于轻载或过载状态，减少谐波产生。在运行控制方面，优化“沙戈荒”基地自动化系统的控制策略，改进电力电子设备的运行方式，对变频器采用优化的 PWM 调制策略，直接消除低次谐波，降低谐波总畸变率；对光伏逆变器优化 PFC 控制策略，提升功率因数，减少整流环节谐波产生。加强对风电、光储电站设备的运行监测，及时调整设备运行参数，避免因新能源出力波动导致设备运行异常，产生大量谐波，确保设备始终处于最佳运行状态，从源头控制谐波污染[4]。

3.4 构建电能质量监测与动态优化系统

结合“沙戈荒”新能源基地分布式布局、出力波动大的特点，构建完善的电能质量监测与动态优化系统，

是实现谐波抑制与电能质量持续优化的重要保障，符合《电能质量管理办法》中“配置电能质量在线监测装置”的要求，能够实时掌握地区电网电能质量状况，及时调整优化策略，提升治理效果。电能质量监测系统应覆盖“沙戈荒”新能源基地各风电、光储电站接入节点、地区电网关键节点，通过安装电压、电流传感器等监测设备，实时采集电网的电压、电流、频率、谐波等运行数据，准确识别谐波源的位置、类型和幅值，为谐波抑制和电能质量优化提供数据支撑。监测系统具备数据采集、分析、预警等功能，对采集的数据进行实时处理，计算电能质量评价指标，当谐波含量、电压畸变率等指标超出合理范围时，及时发出预警信号。在动态优化方面，结合监测数据与新能源出力预测数据，构建电能质量动态优化模型，实现优化策略的自适应调整，根据新能源出力波动、谐波分布变化，自动调整滤波装置的运行参数，优化无功补偿容量。引入粒子群优化算法、模糊控制算法等智能算法，对滤波装置、无功补偿装置的参数进行优化，提升优化策略的科学性和有效性。建立电能质量数据档案，总结谐波产生与电能质量变化的规律，为后续优化策略的完善提供依据，实现电能质量的持续提升。

3.5 强化系统协同治理，提升整体优化效果

“沙戈荒”新能源基地接入后的地区电网是一个复杂的有机整体，谐波抑制与电能质量优化不能孤立开展，需强化系统各环节、各设备的协同治理，落实《电能质量管理办法》中“发电、供电和用电各方共同责任”的要求，实现整体优化。一方面，加强谐波抑制技术与无功补偿技术的协同，在抑制谐波的同时，改善电网的功率因数，减少电压波动，提升电能质量的整体水平，缓解新能源出力波动引发的电能质量问题。另一方面，加强“沙戈荒”新能源电站与地区电网的协同，建立二者的协同运行机制，优化新能源电站的接入方式，避免新能源出力波动对地区电网产生过大冲击，同时利用地区电网的调节能力，为新能源电站提供稳定的电源支撑，保障新能源高效消纳。此外，加强不同谐波抑制装置之间的协同，针对“沙戈荒”基地新能源集中接入的特点，优化各装置的运行参数，实现谐波的分区治理、协同抑制，避免出现治理盲区或重复治理。加强电力电子技术、自动化控制技术、智能算法等多种技术的协同，构建全方位、多层次的谐波抑制与电能质量优化体系，结合“风光火热储一体化”模式，实现地区电网整体运行效率和电能质量的同步提升，保障“沙戈荒”新能源大基地稳定有序运行[5]。

结束语：综上所述，针对“沙戈荒”新能源大基地并网带来的谐波与电能质量问题，通过优化电网结构、采用高效谐波抑制技术、优化设备选型与运行控制、构建监测与动态优化系统以及强化系统协同治理等一系列策略，能够有效抑制谐波，提升电能质量。这不仅有助于保障地区电网自动化系统的稳定运行，也为新能源的高效消纳和可持续发展提供了有力保障。

参考文献

[1] 张树. 石油化工电气系统谐波抑制与电能质量提升方案 [J]. 石化技术，2025,32(05):316-318+315.

[2] 陈俊成，陈俊宇. 海洋石油平台电气系统谐波干扰检测与抑制方法 [J]. 中国石油和化工标准与质量，2025,45(01):44-46.

[3] 聂岩. 火电厂谐波抑制措施及设备选型优化研究 [J]. 山东电力高等专科学校学报，2022,25(03):1-4+30.

[4] 陈浩, 海雪微, 温哲人. 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,2025,(01):234-236.

[5] 蔡来梅. 电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用探讨 [J]. 城市建设理论研究 (电子版),2025,(01):5-7.