

风光互补发电系统电气匹配策略及能效提升研究

张力强

华电新能源集团股份有限公司山西分公司, 山西 太原 030024

DOI:10.61369/WCEST.2026040024

摘 要 : 风光互补发电系统依靠风能和太阳能资源互补的特点来克服单一新能源发电出力波动的缺点, 是分布式新能源发电的主要形式。电气匹配性能直接影响系统内部功率分配、设备协同工作和整体发电效率, 目前大部分风光互补系统存在着源载匹配失衡、设备参数不匹配、控制协同性差、能量损耗大等问题。本文以实际运行工况为依托, 对风光互补发电系统电气结构及运行方式加以梳理, 剖析系统电气匹配出现的各种故障隐患和运行不足, 从机组参数匹配、功率耦合匹配、控制策略匹配、电路架构匹配四个方面提出相应的优化措施, 并结合能效提升技术手段, 通过工况运行对比来检验优化效果, 从而有效地提高系统发电利用率和运行稳定性, 为风光互补发电系统工程应用及升级改造提供操作依据。

关 键 词 : 风光互补; 发电系统; 电气匹配; 能效提升

Research on Electrical Matching Strategy and Energy Efficiency Enhancement of Wind-Solar Hybrid Power Generation System

Zhang Liqiang

Shanxi Branch of Huadian New Energy Group Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi 030024

Abstract : The wind-solar hybrid power generation system relies on the complementary characteristics of wind energy and solar energy resources to overcome the shortcomings of fluctuating output of a single new energy power generation. It is the main form of distributed new energy power generation. The electrical matching performance directly affects the power distribution within the system, the coordinated operation of equipment, and the overall power generation efficiency. Currently, most wind-solar hybrid systems have problems such as imbalance in source-load matching, mismatch in equipment parameters, poor control coordination, and high energy loss. Based on the actual operating conditions, this paper sorts out the electrical structure and operation mode of the wind-solar hybrid power generation system, analyzes various fault hazards and operational deficiencies in the electrical matching of the system, and proposes corresponding optimization measures from four aspects: unit parameter matching, power coupling matching, control strategy matching, and circuit architecture matching. Combined with energy efficiency improvement technical means, the optimization effect is verified through operation condition comparison, thereby effectively improving the system's power generation utilization rate and operational stability, and providing operational basis for the application and upgrading of wind-solar hybrid power generation systems.

Keywords : wind-solar hybrid; power generation system; electrical matching; energy efficiency enhancement

引言

新能源发电规模化推进电力能源结构不断改善, 单一的风电、光伏发电模式受到自然资源的限制较大, 出力具有很强的随机性和间歇性, 不能实现持续稳定的供电。风光互补发电系统将风力发电和光伏发电设备结合起来, 利用昼夜、天气等资源的互补特性, 较好地平滑发电功率的波动, 适合于分布式供电、离网供电等各种场合。电气系统是风光互补机组能量转换和功率传输的主要载体, 各个设备之间电气配合情况的好坏直接决定系统损耗、供电稳定性和发电能效。目前很多投运的风光互补发电系统存在着参数匹配不合理、功率调度滞后、设备协同偏差等实际运行问题, 造成新能源资源浪费、设备损耗增大、供电可靠性降低。根据实际运行中的问题来开展风光互补发电系统电气匹配策略优化和能效提高的研究, 可以有效地解决系统运行的不足, 提高新能源发电的利用率, 有很强的工程应用价值。

一、风光互补发电系统电气匹配现存实际问题

（一）机组容量参数匹配不合理

大部分风光互补系统前期设备配置没有准确的工况计算依据，风电和光伏机组的容量配比比较随意，不能适应当地的资源条件和负载要求。一些地区风能资源丰富但是配置了小容量风电机组，造成风能资源不能得到充分利用，发电总功率达不到预期目标。部分区域光照条件好但是光伏机组容量小，太阳能利用率低。同时储能设备容量和发电机组、负载需求不匹配，储能容量过大造成设备闲置、成本浪费，储能容量过小不能有效地储存多余电能，造成大量的新能源电量白白消耗掉。机组参数不匹配直接造成系统发电结构失衡，资源利用率大大降低，不能发挥风光互补的优势。

（二）源荷功率动态匹配失衡

由于风光资源具有随机性，因此系统发电功率会随时间而变化，同时负载用电需求也有峰谷的变化特点，使得系统源荷动态匹配变得比较困难。日常运行时经常出现发电功率大于负载需求的现象，多余电能不能及时消耗掉，造成新能源资源的浪费。用电高峰时期容易造成发电功率不够、储能补能跟不上，从而造成负载供电电压低、供电不稳。现有的系统没有动态功率调节功能，不能根据实时的风光资源和负载工况来快速调节发电输出功率，造成功率供需失衡现象时有发生。长期的源荷不匹配会造成储能设备经常性地充放电操作，从而缩短储能设备的使用寿命，并且还会造成系统无效能耗的增加。

（三）变流设备电气适配性不足

风电和光伏发电的原始电能参数存在着较大的差别，风电出力的交流电参数变化幅度大，光伏出力的直流电稳定性差，对变流设备的适应性要求高。目前部分系统配置的逆变器、变流器设备参数固定，不能适应双机组不同电能输出特性。变流设备的工作区间狭窄，风光机组出力变化时，设备的转换效率会急剧降低，电能转换过程中的损耗也会增大。同时部分变流设备响应速度慢，不能及时对发电功率的变化作出反应而进行参数的调节，造成输出电能电压、频率超差，不但会降低负载供电质量，还会造成部分电能损耗，从而降低整个系统的能效^[1]。

二、风光互补发电系统电气匹配优化策略

（一）工况适配型机组容量匹配优化

根据项目所在地风光资源分布规律和实际负载用电特性，准确计算出优化风电、光伏、储能机组的容量配比。对统计的区域全年风速、光照时长、辐射强度进行分析，得到风光资源优势时段及平均出力参数，进而对风电机组和光伏机组的装机容量进行合理规划，使两种资源得到最优化利用。根据负载日均用电量、用电峰值、用电时段特点来选择相应的储能设备，保证储能系统可以完全消纳多余的电能，可以弥补功率缺口。摒弃固定配比模式，按照工况需求动态调节设备容量组合，防止单类设备容量过大或者过小，消除机组参数匹配失衡状况，筑牢系统高效运转根基。

（二）动态化源荷功率匹配优化

搭建起实时功率监测及动态调节系统，使发电端、储能端、负载端功率达到精准匹配的目的。依靠电气监测设备对机组发电功率、储能剩余容量、负载实时用电功率进行实时采集，从而创建起动态功率平衡模型。发电功率过剩时，控制系统会立即降低机组的出力，并且开启储能充电模式，完全消化多余的电能，从而削减资源浪费。发电功率不足时，先调用储能系统放出电量来弥补供电缺口，保证负载的供电稳定。用电低谷时段降低机组发电出力，用电高峰时段最大限度地发挥风光发电的优势，采用动态功率调节的方式达到全时段的源荷功率平衡，减少系统无效能耗。

（三）自适应变流设备匹配优化

设计出一种自适应变流设备，可以对风光双机组的特性进行匹配，提高电能转换的效率。选用宽工作区间、高效率的智能逆变器和变流器，适应风电、光伏不同的电能输出参数，扩大设备的有效工作范围。改善变流设备控制程序，在机组出力发生变化时，自动调节转换参数、工作频率、输出电压，提高电能转换效率。根据风电出力波动大这一特点，对变流器稳压稳频控制逻辑进行优化，针对光伏间歇性发电的特点，提高逆变器的快速响应能力，减小电能转换过程中产生的损耗，提高电能输出质量和转换效率。

（四）多单元协同控制匹配优化

重构系统的协同控制逻辑，使风电、光伏、储能、负载等多单元准确匹配、同步工作。对主控系统数据采集模块进行优化，提高电气参数的采集精度和实时性，给调度决策提供准确的数据支持。细化多工况控制策略，对晴天、阴天、夜间、极端天气等不同的场景设置专门的机组启停、功率分配、储能充放电逻辑。统一各个单元设备的通信和控制时序，保证风电光伏出力调节、储能切换、负载匹配同步联动，防止出现设备运行冲突。设置协同纠错机制，对各个单元运行产生的误差进行及时纠正，使整个系统达到协调配合的最佳状态，保证系统的正常有序运转。

（五）线路辅件电气匹配优化

根据系统最大工作电流、额定功率参数来准确选择各种电气辅件和传输线路，提高硬件的电气匹配度。重新计算系统的电流负载，更换适合线径的传输线缆，消除线路过载引起的发热，减小线路传输损耗。更换额定参数匹配的开关、熔断器、保护设备，防止由于设备误动、拒动造成系统运行安全事故的发生。改善线路布置的设计，缩减线路长度，统一走线位置，削减线路电阻及接触损耗^[2]。定期检查线路、辅件运行情况，及时更换老化或者不合适设备，改进系统硬件电气匹配性能，减小设备磨损、电能损耗。

三、基于电气匹配优化的系统能效提升措施

（一）优化最大功率跟踪控制

在电气匹配优化的基础上，对风光机组最大功率跟踪控制模块进行升级，提高资源的捕获以及发电效率。根据风电和光伏的不同出力特性，对不同的跟踪算法进行优化，提高复杂工况下最大功率点的识别精度。减少传统算法跟踪滞后、误跟踪问题，保证机组在

各种工况下一直保持最优出力状态。根据系统电气匹配参数，同步调节跟踪阈值和响应速度，满足机组容量、负载要求，最大限度地发挥风光发电潜力，提高系统的发电量和能源利用率。

（二）降低系统各类运行损耗

依靠精确的电气匹配体系，从各方面降低系统的运行损耗。通过机组容量和功率的匹配优化来减少机组空载运行、轻载运行造成的无效损耗。利用自适应变流设备来优化电能转换过程中的功率损耗，提高转换效率。依靠线路和辅件匹配改进来减小传输过程中的热损耗和阻抗损耗^[3]。采用源荷动态平衡调度来避免电能的浪费、储能频繁损耗。多维度损耗管控互相配合，可降低系统全流程的能耗，提高风光能源向可用电能转化的效率。

（三）优化储能系统充放电管理

根据系统的电气匹配逻辑来制定出详细的储能充放电管理方案，提高储能的利用率。按照风光发电出力规律和负载用电时段特点来安排储能的充电和放电操作。当风光出力充足、负载需求低时，平稳地完成储能的充电工作，防止出现电量浪费的情况。风光出力不足，负载需求高时，精准快速补能保证供电稳定。杜绝储能过充过放、频繁启停等不合理的运行状态，减小储能设备能量损耗和寿命损耗，提高储能系统的循环利用率，从而提高整个系统的供电能效。

（四）完善系统故障智能管控

建立以电气参数匹配为基础的故障智能识别和控制体系，减少由于故障造成的停机以及异常能耗。依靠实时的电气数据监测，准确地找到由于参数不匹配所造成的电压波动、功率失衡、设备过载等异常情况。对设备运行中的隐患提前预估，发出调控指令，改变运行参数，防止小问题变成大故障。缩短系统故障停机时间，增加设备连续工作时间，减少在发生故障时所引起的不必要的能耗以及设备损坏现象，从而确保整个系统长久地、稳定地发挥其应有的发电效率^[4]。

四、优化后系统运行能效对比分析

（一）发电资源利用率对比

选择同工况、同装机容量的传统系统和优化后的系统，用三个月的时间做运行对比测试。从测试结果可以看出，经过优化后的系统对于风光资源的捕获能力得到了明显提高，风电、光伏机组无效闲置的时间也大大缩短了。传统的系统由于参数匹配不协调、调度滞后，造成风光资源平均利用率低，大量的自然资源不能被利用。优化后的系统依靠准确的机组容量匹配和动态功率调度，可以很好地适应各种自然工况，风光资源利用率得到明显提高，系统整体发电量比优化前有稳定的增长，新能源浪费问题得到有效的解决。

参考文献

- [1] 吴海涛, 郭吉祥, 夏俊兵, 等. 风光互补制氢系统的优化设计与性能分析 [J]. 石化技术, 2025, 32(11): 229–231.
- [2] 吴峰, 李杨. 大规模水风光互补调度模式探析 [J]. 水电与抽水蓄能, 2024, 10(2): 8–12.
- [3] 晏创. 基于人工智能算法的风光互补发电系统优化设计与实现 [J]. 电气技术与经济, 2024(7): 95–97.
- [4] 李贺. 风光发电系统在建筑电气智能化中的应用研究 [J]. 自动化应用, 2025, 66(9): 108–110.
- [5] 邢雅献, 常青. 风光发电综合监测与分析系统的研究 [J]. 机电工程技术, 2025, 54(21): 102–108.

（二）系统电能损耗对比

经过全过程的数据对比分析，可以得出改进后的系统各个部分的电能损耗都大大降低。机组发电环节的空载损耗、轻载损耗明显下降，电能转换环节依靠自适应变流设备，转换损耗不断降低，线路传输环节的热损耗和阻抗损耗得到控制。传统的系统全流程电能损耗高，是造成能效低的主要原因。经过优化的电气匹配体系可以使得各个设备、各个工况之间能够准确地相适应，系统的总能耗大幅度减少，电能的有效利用率明显提高，能量的转化和传递效率达到最佳状态。

（三）供电稳定性与连续性对比

优化前的系统容易出现功率供需不匹配、设备运行冲突、电压波动等问题，供电稳定性差，每月因供电异常而停机2~3次。优化后的系统各个单元之间协同匹配精度提高，动态功率平衡效果好，负载端电压、电流参数波动范围在标准范围内。系统故障次数、异常停机时间大大减少，全天候供电连续性明显提高。稳定运行状态减少故障检修能耗和设备损耗，给系统长期高效运行提供保障，达到能效和稳定性同时提高的目的。

（四）储能利用效率对比

储能系统的充放电时间安排不合理，造成无效充放电和电量闲置的情况发生，储能循环利用率低。优化之后依靠精细化功率匹配调度，储能系统充放电操作精确适应系统发电和负载需求，每一个充放电都可以有效地消纳多余的电能或者弥补供电缺口。储能设备无效工作时间大大减少，设备损耗降低，电量利用率提高，储能系统调峰、储电、稳流的作用得到充分发挥，系统整体运行能效和供电经济性得到明显提高^[5]。

五、结论

风光互补发电系统电气匹配性能的好坏直接影响到系统的稳定性以及发电效率，目前大部分投入运行的系统存在机组参数配比不合理、源荷功率失衡、变流设备不匹配、协同控制精度不高、线路辅件匹配差等问题。本文根据系统实际运行工况，从机组容量、功率耦合、设备适配、协同控制、硬件配置等几个方面来优化电气匹配策略，并且提出最大功率跟踪优化、损耗控制、储能精细化管理、故障智能防控等一系列能效提升措施。经运行对比可知，改进后的系统风光资源利用率提高，电能转换率高，储能利用效率高，系统能耗低，供电稳定性、连续性好。本次优化方案符合实际工程运行要求，可以较好地改善风光互补发电系统能效问题，为同类新能源发电系统优化升级提供操作参考。