基于实际运行数据的“光热 + 光伏”基地厂用电率优化策略研究

司　睿

中能方胜 (湖北) 人力资源有限公司　湖北　武汉　430000

摘　要：“光热 + 光伏”耦合发电是新能源规模化开发的主流技术形式，多设备联动、多工况切换的运行特点，容易滋生各类隐性厂用电损耗，大幅降低发电系统运行能效。行业统计数据显示：塔式熔盐光热电站常规厂用电率区间为 10%～15%，常规光伏电站仅 3%～5%。本文以电站实际运行数据为基础，搭建完整的耦合基地运行数据体系，挖掘不同发电模式下的用电数据特征，厘清光伏单元、光热单元及多单元耦合联动工况的能耗影响机制。依托各类场景下的能耗波动规律，细化设备精细化管控、运行工况优化、多系统协同调度的分层优化手段，配套设备适配整改、调度流程完善、动态迭代更新的保障体系，能够有效适配耦合电站复杂的运行场景，为新能源耦合基地厂用电能耗管控提供可靠技术支撑。

关键词：光热光伏耦合；厂用电率；能耗优化；运行调度；动态适配

引言：新能源产业持续升级，多能源耦合发电架构得到广泛应用，光热与光伏互补融合的发电方式，可有效平抑新能源出力波动，提升发电系统的供电稳定性与可靠性。多元设备组合与灵活工况切换的运行模式，让耦合基地厂用电损耗的产生机理更为复杂，设备空转、工况错配、系统调度失衡等问题，不断造成无效电能消耗，影响电站整体运行经济效益。深度挖掘运行数据中蕴含的能耗变化规律，梳理不同运行环节的能耗诱因，搭建适配耦合发电场景的能耗优化体系，有效提升新能源电站能耗管控水平，助力发电系统实现高效、经济、稳定运行。

1 “光热 + 光伏”耦合基地运行数据体系构建

1.1 耦合发电系统运行结构梳理

光热与光伏耦合发电体系由两类功能、机理各不相同的发电单元组合构成，需先细化拆解各单元的硬件配置、设备功能及独立运行机理。光伏发电单元以光伏组件、逆变器、汇流箱为核心设备，依靠光能辐照完成光电转换，输出电能具备随机性、波动性的运行特点[1]。光热发电单元涵盖聚光装置、储热设备、换热系统及汽轮发电设备，通过光热转换、热量存储与热能发电的流程完成供能，可依托储热模块实现电能输出的平稳调控。明确两类发电单元的独立运行模式后，深度拆解单元间的联动运行逻辑，厘清电能互补、负荷调配、启停配合的核心运行关系。聚焦基地厂用电消耗场景，定位耗电核心设备与关键运行环节，覆盖发电辅助设备、温控系统、运维配套设备及储能调控设备等载体。按照系统功能与运行属性，完成厂用电消耗的维度划分，为后续数据体系搭建奠定结构基础。

1.2 实际运行数据筛选原则与维度划分

耦合发电基地的运行工况复杂、数据采集类型多样，原始运行数据夹杂大量无效信息，需要结合电站实际运行特性建立规范的筛选标准。依托设备运行阈值、工况稳定区间、系统运行规范，剔除采集异常、数值超限、信号中断等无效数据，去除环境干扰、设备调试、故障停机阶段的冗余干扰数据，保障留存数据的真实性与有效性。立足耦合发电系统的全运行流程，搭建全方位、分层级的厂用电数据框架。从设备运行维度统计各类发电设备、辅助用电设备的基础运行数据。从工况状态维度记录系统启停、负荷高低、运行稳态、动态调节等工况信息。从负荷联动维度捕捉不同发电单元负荷配比、电能输送、功率调配的相关数据。从时序变化维度采集不同时段、不同季节的发电与耗电动态数据，实现耦合基地运行数据的全覆盖分类。

1.3 厂用电关键影响数据特征提取

厂用电消耗会随耦合系统运行状态动态波动，想要精准掌握能耗规律，需基于全运行周期数据挖掘核心关联特征。分别研究光伏单元单独发电、光热单元单独发电的独立运行工况，统计两类工况下厂用电的消耗规律与数据表现。对比分析单元耦合运行状态下的用电数据变化，梳理独立运行与耦合运行模式下的数据差异，精准捕捉不同运行场景的用电波动特征。逐一研判各类运

行数据对厂用电消耗的作用关系，区分正向影响、反向影响及间接影响的数据类型，明确辐照强度、设备运行功率、储热调度状态、系统负荷配比等核心数据的影响权重。提炼可表征厂用电消耗变化的关键特征指标，形成适配耦合发电基地的用电数据特征体系，为后续能耗分析与优化调控提供精准的数据支撑。

2 “光热 + 光伏”基地厂用电消耗影响机制分析

2.1 光伏单元厂用电消耗影响因素分析

光伏单元厂用电能耗主要来源于阵列辅助设备、逆变系统及各类监控运维配套设备，整体能耗水平随外部环境与设备运行状态产生动态变化。光照条件是左右光伏系统运行状态的核心外部因素，昼夜更替、阴晴变换及季节更迭带来的光照时序变化，会直接改变光伏组件发电效率，间接影响逆变设备、监测设备的能耗输出。设备长期运行会产生性能衰减、线路损耗等问题，不同运行年限、运维状态的设备，能耗表现存在明显区别。日常运行过程中的常态运维、短时启停、负荷切换等工作模式，也会改变系统整体能耗水平。通过梳理各设备模块的能耗变化特征，可清晰掌握光伏单元内部各环节厂用电的波动规律与变化逻辑。

2.2 光热单元厂用电消耗影响因素分析

光热单元整体设备结构更为复杂，厂用电消耗集中于镜场追踪、熔盐循环、换热辅助及温控保障四大核心系统。集热工况的动态调整会直接改变镜场追踪设备的运行负荷，集热效率高低对应不同的设备运行能耗[2]。熔盐介质的循环流量、运行压力、换热温度等工况参数发生变动，会牵动循环泵、换热辅助设备的功率调整，产生差异化能耗表现。设备持续投入运行的过程中，机械损耗与持续耗电会稳步累积，拉长运行时长会提升整体厂用电消耗总量。系统从待机、低负荷运行到高负荷换热的工况切换过程，会伴随设备功率的阶梯式调整，形成阶段性的能耗波动，完整覆盖光热单元能耗的核心影响逻辑。

2.3 光热光伏耦合运行用电交互影响机制

两类发电单元独立运行的能耗规律相对单一，耦合协同运行后会形成全新的用电交互关系，衍生出独特的能耗波动特征。基地整体负荷配比会根据发电效率动态调整，光伏出力充足时可调整光热单元运行负荷，光热储热释能阶段可弥补光伏出力短板，负荷匹配调整过程会改变各单元辅助设备的运行状态。昼夜及季节的时序变化，会让两类单元交替承担主力发电任务，各系统辅助用电设备随之切换运行状态，形成时序化能耗变化特点。单元启停节奏的相互适配，会让整套基地设备的运行工况持续变动，打破单一单元稳定运行的能耗状态。以此厘清耦合工况下厂用电消耗的波动成因，总结多设备联动的能耗变化规律。

3 “光热 + 光伏”基地厂用电率针对性优化策略

3.1 光伏单元厂用电精细化管控优化策略

光伏单元冗余能耗多来自辅助设备无序启停、逆变工况匹配不足。针对清扫、冷却、监测等阵列辅机，依托沙戈荒风沙运行特征，结合光照出力区间规划运行时段，缩减弱光、发电低谷时段设备空载时长，削减无效耗电。针对逆变系统，依据辐照强度划分差异化运行模式，低辐照工况启用低功耗运行逻辑，降低空载固有损耗。建立分场景标准化管控流程，对常态发电、负荷波动、停机待机制定专项规范，约束设备频繁误启、长时间空载等粗放运行行为。依托光伏单元基础厂用电率 3% ~ 5% 的基准区间，以精细化管控压缩各类辅助设备无效能耗，稳定压低光伏单元厂用电损耗，提升光电转换整体运行能效。整套管控手段落地门槛低，可快速消除光伏侧隐性空耗，为全厂厂用电率优化打下基础。

3.2 光热单元厂用电运行模式优化策略

光热单元厂用电率基准区间为 10% ~ 15%，能耗集中在镜场、熔盐循环、换热、温控四大系统。镜场优化依据太阳高度角阈值调整追踪逻辑，未达有效集热角度时定日镜切回回平待机，消除低辐照时段持续追踪空耗。熔盐循环推行冷盐泵分时启停，晨间光伏起发后单泵先行充盐，流量达标再投运第二台；傍晚辐照稳定下行时可单泵运行制热盐，多云波动工况保持双泵保障吸热器安全。温控系统落实电伴热分级温控，停运时长≤ 5 天维持常规温度，5 ~ 10 天降温至 50℃，停运超 10 天全线统一 50℃保温，同步减少调温泵频繁启停耗电。结合启动、稳态、停运保温三阶段差异化能耗特征匹配运行策略，分场景调节设备投运规模与运行时长，实现光热侧辅机能耗精细化管控。

3.3 光热光伏耦合协同运行优化策略

沙戈荒一体化项目光热光伏配比为 1:4 ~ 1:8，耦合错配是全厂能耗偏高核心诱因。调度遵循“错峰启停、光伏代网”原则，将机组暖管、上水、充盐等全部启动工序集中在 9:00-16:00 光伏大发窗口，自发电力覆盖启动高耗电，减少电网外购厂用电。在管道热应力安全边界内压缩暖管时长，降低辅机同步空转损耗，并网节点匹配分时电价实现低成本启动、高峰满发增收。统一全厂辅机调度标准，落实辅机错峰运行，制水、镜场校准、

化学冲洗等非紧急作业全部安排在日间光伏高峰；电锅炉昼夜差异化温控，温度切换操作在光伏出力消退前完成。整合两类单元辅机运行逻辑，随全厂出力动态调整设备投运强度，消解工况错配带来的能耗增量，协同压低全厂综合厂用电率，提升耦合基地整体运行经济性。

4 厂用电率优化策略落地保障与运行适配优化

4.1 优化策略的设备运行适配调整

光热光伏耦合发电基地设备体系繁杂，不同品类、型号的发电及辅助设备拥有独立的参数阈值与运行区间，固定不变的优化方案难以适配现场复杂的设备运行状态。降耗策略的稳定落地，需要结合基地设备真实运行特质完成全方位适配整改[3]。系统梳理光伏逆变设备、阵列辅助装置、光热镜场追踪设备、熔盐循环泵及温控设备的额定工况、可调参数范围与负荷承载能力，按照设备性能差异细化优化执行标准。针对光照强弱变化、储释热交替、负荷峰谷转换等不同时序运行场景，细化设备启停管控、功率调节、负荷配比的执行细节。调整各类优化手段的实施尺度，规避通用方案与现场设备不匹配导致的优化失效或能耗反弹问题。设备层级的精细化适配调整，可保障各类优化举措贴合基地作业实际，具备稳定落地的实操条件。

4.2 基地运行调度流程优化完善

设备参数与运行模式的优化调整属于阶段性技术整改，长期稳定的降耗效果需要依靠标准化、常态化的调度管理制度维系。深度围绕厂用电降耗的核心逻辑，对基地现有运维调度体系进行全面优化升级。重新规划机组日常调度管控体系，梳理设备启停审批、负荷动态调节、日常巡检养护的全链条作业流程，修正传统调度模式中能耗冗余的作业环节。细化系统高低负荷转换、单元工况切换、设备启停更替过程中的管理规范，明确各类运行场景下的操作标准、管控重点及执行细则。将光伏精细化管控、光热工况优化、多单元协同配比等节能核心内容，深度融入基地日常运维体系。搭建围绕能耗优化为核心的常态化运行管控模式，编制《经济调度运行指引》专项作业指导书，把厂用电率、综合厂用电率两项分层指标作为核心管控指标，纳入每日生产例会、值际竞赛、月度绩效考核，明确各岗位节能操作权责，让节能管控融入每一项运维工作，以制度化约束稳固降耗成果，持续压缩系统无效用电损耗。

4.3 动态运行适配优化机制构建

耦合发电基地的外部光照资源、环境温度及内部机组出力状态始终处于动态变化过程，静态不变的优化方案无法适配长期波动的运行工况，容易出现优化效果弱化、能耗指标回弹等问题。依托基地长期积累的海量运行数据，结合数据呈现的时序演变规律，搭建可自主迭代更新的动态适配优化机制。持续采集存储设备能耗、机组出力、环境参数、工况状态等核心运行数据，深度挖掘工况波动与厂用电消耗的内在关联。依托实时运行状态与工况变化趋势，灵活微调各单元优化方案的调控参数、运行逻辑与调度规则，主动适配系统运行状态的动态变化。持续更新优化策略的执行标准，不断挖掘耦合发电系统的降耗空间，形成数据采集、状态研判、策略微调、效果复盘的闭环管控体系。固定建立厂用电月度分析例会制度，追踪指标时序趋势，针对能耗异常波动开展根因诊断，形成“分析—优化—验证—固化”循环，经现场验证有效的优化操作及时纳入运行规程，实现厂用电率的长效、持续优化管控。

结束语

工作内容涵盖耦合发电基地数据体系搭建、能耗影响机制剖析、分层优化策略设计以及长效落地保障体系构建，全面覆盖厂用电能耗管控的关键运行环节。结合光热、光伏独立运行及耦合联动的差异化能耗特性，形成适配多场景的精细化能耗管控方案，兼顾设备运行适配性与系统调度的长效稳定性。动态迭代的优化机制可适配电站复杂多变的运行工况，持续挖掘耦合发电系统的节能降耗潜力，为同类型新能源耦合电站的能耗提质增效工作提供成熟的技术参考。

参考文献

[1] 薛金金, 张龙, 吴梁玉, 等. 光伏-光热-风冷热泵式供能植物工厂空调系统设计 [J]. 新能源科技,2024,5(2):20-25.

[2] 孙舸洵. 耦合氢储能的光伏光热发电系统方案设计与运行优化 [D]. 北京: 华北电力大学,2023.

[3] 孙科, 赵书强, 李志伟. 风电—光伏—光热发电系统联合优化运行研究 [J]. 华北电力大学学报（自然科学版）,2024,51(2):70-79,89.