

电气工程及其自动化供配电系统的节能优化

张 硕

神威药业集团有限公司 河北 石家庄 051430

摘要: 本文聚焦电气工程及其自动化供配电系统的节能优化。先阐述供配电系统基本组成与能耗情况,剖析关键节能指标。接着分析系统能耗分布、典型问题及技术瓶颈。随后从设备、系统、自动化控制三方面提出节能优化策略。最后展望未来,数字孪生技术助力全生命周期管理,区块链技术推动能源交易与需求响应。旨在为供配电系统节能优化提供理论支持与实践参考。

关键词: 电气工程; 供配电系统; 节能优化; 自动化控制

引言: 在能源需求持续增长、节能减排要求日益严格的当下,电气工程及其自动化供配电系统的节能优化意义重大。供配电系统涵盖发电、输电、配电及用电环节,各环节能耗情况复杂。当前,系统运行存在设备老化、参数不合理等诸多能耗问题,且面临监测精度不足等技术瓶颈。因此,深入探究供配电系统节能优化策略,对降低能耗、提高能源利用效率、推动可持续发展具有紧迫性和必要性。

1 供配电系统节能优化理论基础

1.1 供配电系统基本组成与能耗分析

供配电系统基本组成包括发电环节、输电环节、配电环节以及用电环节,每个环节都配备有相应的设备,如发电机、变压器、输电线路、配电柜等。在发电环节,不同类型的发电机组在运行过程中会产生一定的能耗,比如火力发电机组需要消耗煤炭等燃料,同时设备自身运行也会有能量损耗;输电环节中,输电线路存在电阻,电流通过时会产生焦耳热,导致部分电能转化为热能浪费掉,线路越长、电流越大,损耗通常越多;配电环节的变压器在变压过程中,会因铁芯损耗和绕组损耗消耗电能,而且变压器的负载率也会影响能耗情况,负载率过高或过低都可能增加损耗;用电环节中,各类用电设备若存在老旧、低效等问题,也会造成电能的不合理消耗,深入分析各环节组成及能耗情况,是制定节能措施的前提^[1]。

1.2 节能优化关键指标

节能优化关键指标是衡量供配电系统节能效果和运行效率的重要依据,主要包括功率因数、线损率、变压器负载率以及设备运行效率等。功率因数反映了系统中无功功率的占用情况,功率因数过低会导致发电设备和输电线路的利用率降低,增加电能损耗,通常要求供配电系统的功率因数保持在较高水平,如0.9及以上;线损

率是输电和配电环节中电能损耗占总输送电能的比例,降低线损率能够直接减少电能浪费,一般通过优化线路布局、选用低电阻导线等方式来控制线损率;变压器负载率应控制在合理范围内,过高会使变压器损耗增加、寿命缩短,过低则会造成设备资源浪费,通常经济负载率在60%-80%左右;设备运行效率则针对各类用电设备和供配电设备,高效设备能够在相同输出情况下消耗更少电能,这些关键指标共同构成了供配电系统节能优化的评价体系。

2 供配电系统能耗分析与关键问题

2.1 供配电系统组成与能耗分布

供配电系统组成复杂,不同组成部分的能耗分布存在明显差异。从整体来看,系统由电源侧、输配电网络和负荷侧三大部分组成。电源侧包括各类发电厂,其能耗主要来自发电设备的燃料消耗和自身运行损耗,例如火力发电厂的锅炉、汽轮机等设备运行会消耗大量煤炭,同时设备散热、机械摩擦等也会造成能量损失;输配电网络由输电线路、配电线路和变压器等组成,这部分的能耗主要是线路损耗和变压器损耗,输电线路损耗与线路电阻、传输电流的平方成正比,配电线路由于分支多、线路短且负载波动大,能耗分布相对分散,变压器损耗则包括空载损耗和负载损耗,空载损耗主要由铁芯产生,与负载无关,负载损耗则随负载电流变化而变化;负荷侧涵盖工业、商业、居民等各类用电负荷,工业负荷中的大型电机、电炉等设备能耗较高,且部分设备运行效率低下导致能耗浪费,商业负荷中的空调、照明系统在用电高峰期能耗集中,居民负荷则具有随机性和分散性特点,不同负荷类型的能耗分布情况直接影响供配电系统的整体能耗水平,明确各组成部分的能耗分布,有助于针对性制定节能措施^[2]。

2.2 典型能耗问题识别

在供配电系统运行过程中,存在诸多典型能耗问题。一是设备老化导致能耗增加,部分供配电设备如变压器、断路器等使用年限过长,设备性能下降,绝缘性能变差,运行过程中的能量损耗大幅上升,二是系统运行参数不合理,如电压调节不当,电压过高会增加设备的铁损和铜损,电压过低则会导致电机等设备出力不足,增加电流消耗,造成额外能耗,同时功率因数偏低也是常见问题,大量无功功率在系统中传输,增加了输电线路和变压器的损耗;三是负荷分配不均衡,部分区域或线路负荷过高,而其他区域或线路负荷过低,导致高负荷区域设备过载运行,能耗剧增,低负荷区域设备利用率低,造成资源浪费;四是能源管理不完善,缺乏有效的能耗监测和统计手段,无法及时发现能耗异常情况,也难以对各环节能耗进行精准管控。

2.3 节能优化的技术瓶颈

当前供配电系统节能优化面临不少技术瓶颈,制约了节能工作的进一步推进。首先是能耗监测精度不足,虽然部分系统安装了监测设备,但监测点覆盖不够全面,尤其是一些偏远的配电线路和小型用电设备缺乏有效的监测手段,导致无法获取完整的能耗数据,难以进行精准的能耗分析和优化;其次是节能技术的兼容性问题,不同厂家生产的节能设备和控制装置之间缺乏统一的通信标准和接口,导致各设备之间无法实现有效的数据交互和协同控制,形成“信息孤岛”,影响了整体节能效果的发挥;再者是动态优化控制难度大,供配电系统的负荷具有较强的随机性和波动性,如工业负荷随生产计划变化、居民负荷随生活习惯变化等,传统的固定节能策略难以适应负荷的动态变化,无法实时调整系统运行参数以达到最佳节能状态;最后是节能技术的成本较高,一些新型高效的节能设备和技术,如新型高效变压器、数字孪生技术等,前期投入成本较高,部分企业和单位由于资金限制,难以大规模推广应用,这些技术瓶颈需要逐步突破,才能推动供配电系统节能优化工作迈向新台阶。

3 供配电系统节能优化策略

供配电系统节能优化策略是实现系统节能目标的具体行动方案,从设备、系统和自动化控制三个层面构建完善的策略体系。设备级优化聚焦于单个设备的节能改造与选型,系统级优化着眼于整体系统的结构调整与资源配置,自动化控制策略则依托技术手段实现精准调控,三者相互配合、协同作用,能够全面提升供配电系统的节能水平,有效降低能耗,提高系统运行的经济性和可靠性。

3.1 设备级优化

设备级优化是供配电系统节能优化的基础,主要针对系统中的各类设备开展节能改造和选型工作。对于变压器,应优先选用节能型变压器,如非晶合金变压器,其空载损耗比传统硅钢片变压器降低70%以上,同时根据负荷情况合理选择变压器容量,避免“大马拉小车”现象,提高变压器负载率;在输电和配电线路方面,选用导电性能好、电阻值低的导线,如铜导线替代铝导线,减少线路电阻损耗,同时优化线路路径,缩短线路长度,降低线路损耗;对于电机等用电设备,推广使用高效节能电机,高效电机的效率通常比普通电机高出3%~5%,在长期运行过程中能够节省大量电能^[3]。另外,对老旧电机进行节能改造,如更换高效轴承、优化绕组结构等,也能有效降低电机能耗;在照明设备方面,采用LED等高效照明产品替代传统的白炽灯、荧光灯,LED灯具有能耗低、寿命长、光效高等优点,同等照明效果下,LED灯的能耗仅为白炽灯的1/10左右,通过对各类设备的优化,能够从源头减少供配电系统的能耗。

3.2 系统级优化

系统级优化从供配电系统整体出发,通过调整系统结构、优化资源配置等方式实现节能目标。一是优化电网结构,根据负荷分布情况合理规划变电站的位置和容量,减少输电距离,降低输电损耗,同时加强电网的互联互通,提高电网的灵活性和可靠性,当某一区域负荷过高时,可通过互联电网从其他区域调配电能,避免局部设备过载运行;二是合理分配负荷,利用负荷预测技术提前掌握各区域、各时段的负荷变化情况,将负荷均衡分配到不同的线路和设备上,避免部分线路和设备长期处于高负荷状态,提高设备利用率,减少能耗,例如在工业企业中,根据生产工艺要求,合理安排不同设备的运行时间,避开用电高峰期,实现错峰用电;三是推广分布式能源系统,如在工业园区、大型商业综合体等区域建设分布式光伏电站、天然气分布式能源站等,分布式能源系统能够就近为负荷供电,减少电能远距离传输过程中的损耗,同时还能提高能源综合利用效率,例如分布式光伏电站产生的电能可直接供当地企业使用,多余电能接入电网,实现能源的梯级利用;四是加强能源梯级利用,根据不同用户对能源品质的需求,将高品位能源用于满足高要求的用能需求,低品位能源用于供暖、热水供应等低要求用能需求,提高能源利用效率,减少能源浪费。

3.3 自动化控制策略

自动化控制策略借助先进的控制技术和系统,实现

供配电系统的精准调控,提升节能效果。采用智能无功补偿控制,通过安装智能无功补偿装置,实时监测系统的功率因数变化情况,根据无功功率需求自动投入或切除补偿电容组,确保系统功率因数维持在较高水平,减少无功功率传输过程中的损耗,智能无功补偿装置还能根据负荷变化自动调整补偿容量,避免过补偿或欠补偿现象;实施电压无功综合控制,将电压控制和无功补偿相结合,通过自动调节变压器分接头和无功补偿装置,在保证电压质量的同时,实现无功功率的就地平衡,减少无功功率在电网中的流动,降低线损,例如当系统电压偏低时,自动提高变压器分接头位置,同时增加无功补偿容量,使电压恢复到正常范围,且功率因数保持稳定;构建智能电网调度系统,利用大数据、人工智能等技术,对供配电系统的负荷进行精准预测,根据预测结果合理安排发电机组的出力、输电线路的运行方式以及负荷的分配,实现电网的经济调度,例如在负荷低谷时段,减少火电机组的出力,增加水电、风电等清洁能源的上网电量,在负荷高峰时段,合理调配各类电源,确保电网安全稳定运行,同时降低发电成本和能耗;应用远程监控与故障诊断技术,通过远程监控系统实时掌握供配电设备的运行状态,及时发现设备故障隐患并进行预警,安排维修人员及时处理,避免设备故障导致的能耗增加和停电事故,提高系统运行的可靠性和经济性。

4 未来趋势

4.1 数字孪生技术赋能供配电系统全生命周期管理

数字孪生技术为供配电系统构建高一致性虚拟模型,助力全生命周期精细化管理与节能优化。设计阶段,可仿真不同方案的能耗、效率及经济性,选最优方案,避免传统设计缺陷,如变电站设计中模拟设备布局与线路走向对能耗的影响,择能耗最低方案;建设阶段,模型实时对接施工进度与数据,监控质量,确保符合设计,规避施工偏差致投运后额外能耗;运行阶段,模型实时接收物理系统数据,动态仿真分析运行状态,及时发现能耗异常,还能模拟调整方案预测节能效果,如线路损耗异常时,模拟换导线后的能耗变化选最优改造方案;维护与退役阶段,模型记录设备运行数据,分析老化程度与剩余寿命,定科学维护计划,避免维护不当增能耗,设

备退役时评估回收价值,促资源循环,降环境影响,让供配电系统全生命周期节能优化更科学精准高效。

4.2 区块链技术在能源交易与需求响应中的应用前景

区块链技术凭去中心化、透明化、不可篡改特性,在供配电系统能源交易与需求响应领域应用前景广阔,可推动能源市场高效运行与节能优化。能源交易上,能构建去中心化平台,实现分布式能源产销直接交易(peer-to-peer),省中间环节降成本,交易数据实时上链,保透明可追溯防欺诈,如光伏电站所有者可通过平台将余电售给附近用户,双方自主协商电价,过程安全高效;需求响应方面,可实现用电数据安全共享与高效交互,供能方可获取用户实时用电数据,分析习惯与负荷特性,定个性化策略,将激励信息上链保公平及时,用户依响应信号调整用电,如高峰时减高能耗设备使用获奖励^[4]。例夏季高峰,供能方通过平台通知工业用户降负荷,用户调整后,供能方将奖励上链发放,此模式平衡供需,减电网峰谷差,降峰谷负荷过大致的额外能耗,提系统运行效率与经济性,随技术成熟,其应用将更广泛深入。

结束语

电气工程及其自动化供配电系统的节能优化是一项长期且系统的工程。通过设备级、系统级优化以及自动化控制策略的实施,能够有效降低系统能耗,提升运行效率。而数字孪生与区块链等新兴技术的应用,为供配电系统的节能优化带来了新的机遇与方向。未来,应持续探索创新,不断完善节能优化体系,以适应能源发展的新需求,实现供配电系统的高效、绿色、可持续发展。

参考文献

- [1]吕彬彬.电气工程及其自动化供配电系统的节能优化[J].电工技术,2023(z1):271-273,276.
- [2]王彬.电气工程及其自动化供配电系统的节能优化[J].数字化用户,2025(45):106-108.
- [3]邓明名,江俊杰,王文超.电气工程及其自动化供配电系统中节能控制技术的研究[J].电子产品世界,2025,32(8):85-88.
- [4]张增亮.探究电气工程及其自动化供配电系统节能控制策略[J].通讯世界,2024,31(1):85-87.