

电气系统能源管理与优化技术规范

王 辉 罗京朋
山东鲁南矿业有限公司 山东 临沂 276000

摘 要：本文围绕电气系统能源管理与优化，详细阐述其核心构成、能耗特征及相关基础理论，系统调研工业、公共建筑等典型场景的管理现状，深入剖析管理体系、技术应用层面存在的突出问题及成因。基于科学性、实用性、针对性等原则，构建涵盖管理体系、能耗监测、全生命周期管理及优化技术的完整规范，明确实施保障措施，为企业规范能源管理、提升能效、推动分布式能源协同应用提供可落地指引，助力实现节能降耗与绿色发展目标。

关键词：电气系统；能源管理；优化技术规范

引言：随着“双碳”目标的深入推进，电气系统作为各类场景能源消耗的核心载体，其能效水平直接关系企业绿色转型成效与全社会能源利用效率。当前，我国电气系统能源管理普遍存在体系不完善、技术应用不规范、系统协同不足等问题，造成大量能源浪费。为规范管理流程、优化技术应用，破解行业现存痛点，结合行业实际现状与相关基础理论，制定本技术规范，为各类场景电气系统能源管理与优化提供统一标准和实操依据。

1 电气系统能源管理与优化相关基础理论

1.1 电气系统核心构成与能源消耗特征

(1) 电气系统核心构成：主要包括四大核心模块，供电系统作为能源传输枢纽，负责将电网电能转化为适配各类设备的电压等级并稳定输送；用电设备是能耗终端，涵盖动力、照明、控制等各类用电单元；监测控制系统实时采集能耗数据、监控设备运行状态，为管理优化提供数据支撑；分布式能源接入模块用于整合光伏、风电等新能源，实现多能源互补，提升能源利用灵活性。(2) 能源消耗特征：不同场景能耗分布差异显著，工业场景以动力设备能耗为主，负荷波动大且持续时间长；公共建筑场景侧重照明、空调等设备，能耗随使用时段、季节变化明显。能耗主要受三类因素影响，设备效率直接决定能源转化损耗，运行工况偏离设计参数会加剧能耗浪费，负载匹配度不足则会导致能源利用效率大幅下降。

1.2 能源管理相关基础理论

(1) 全生命周期能源管理理论：核心是贯穿电气设备规划、采购、运行、维护、报废的全流程能耗管控，强调从源头规避高能耗设备选型，运行中动态调控能耗，维护时减少设备损耗，报废阶段实现资源回收，形成“事前预防、事中控制、事后优化”的闭环管理理念。(2) 系统能效优化理论：秉持“机—电—负载—工况”全系统能效最优理念，打破单一设备优化的局限，注重各环节协

同匹配。能值理论作为重要评价工具，通过量化不同能源的能值大小，科学评估电气系统各环节能效水平，为优化方案制定提供客观依据^[1]。

1.3 电气系统优化技术基础

(1) 传统优化技术：变频调速通过调节设备运行频率，适配负载变化，减少无效能耗；无功补偿技术补偿电网无功功率，降低线路损耗，提升供电效率；负荷均衡分配通过合理调配各回路负载，避免局部过载或轻载，保障系统稳定高效运行。(2) 智能优化技术：人工智能、数字孪生、物联网等技术为电气系统优化提供新路径，物联网实现能耗与设备状态的全面感知，数字孪生构建系统虚拟镜像用于模拟优化，深度强化学习技术通过自主学习运行规律，实现能耗调控的智能化、自适应，为复杂电气系统优化提供技术支撑。

2 电气系统能源管理现状及存在的问题分析

2.1 电气系统能源管理现状调研

(1) 调研对象与范围：本次调研聚焦电气系统能耗集中、管理需求突出的典型场景，选取不同规模工业企业涵盖制造业、加工业等、公共建筑包括写字楼、医院、学校、商场等，的电气系统作为核心调研对象，覆盖供电、用电设备、监测控制等全环节，确保调研结果具有代表性和普遍性，能够反映当前电气系统能源管理的整体水平。(2) 调研内容与结果：调研重点围绕能源管理体系建设、能耗监测水平、现有优化措施及实施效果展开。结果显示，多数大型企业已初步建立基础能源管理体系，但中小企业仍存在体系缺失现象；能耗监测方面，部分场景仅实现核心设备能耗采集，缺乏全系统、实时化监测能力；现有优化措施以传统变频调速、无功补偿为主，智能优化技术应用较少，整体实施效果参差不齐，部分企业因措施不规范，未能实现预期节能目标。

2.2 能源管理层面的问题

(1) 管理体系不完善:多数中小企业缺乏专门的能源管理机构和专业管理人员,未明确各部门、各岗位的能源管理职责,能源管理工作缺乏系统性规划,未将其纳入企业整体管理体系,导致能耗管控无章可循、责任落实不到位。(2) 监测与数据管理薄弱:能耗数据采集存在片面性,仅覆盖少数关键设备,缺乏对末端用电设备、辅助系统的能耗采集,且数据采集滞后,无法实现实时监测;同时,缺乏有效的数据分析与应用机制,采集的数据未能转化为优化决策依据,难以发现能耗浪费隐患。(3) 管理理念落后:多数企业仍秉持“重设备运行、轻能效管控”的理念,过度关注设备能否正常运转,忽视能耗节约与能效提升;缺乏全生命周期能效管理意识,在设备采购、维护、报废等环节未充分考虑能耗因素,导致全流程能耗浪费^[2]。

2.3 技术层面存在的问题

(1) 设备能效水平偏低:部分在用电气设备未达到国家节能标准,尤其是部分中小企业仍在使用老旧高耗能设备,设备更新换代滞后;同时,部分设备关键零部件性能衰减,未及时检修更换,进一步降低了设备能效,增加了能源消耗。(2) 优化技术应用不充分:传统优化技术应用不规范,如无功补偿装置配置不合理、变频调速参数设置不当,未能充分发挥节能作用;智能优化技术,如数字孪生、人工智能,因推广力度不足、企业认知不够,应用范围有限,且部分企业存在负载与设备匹配度差的问题,导致能源利用效率偏低。(3) 系统协同性不足:供电系统与用电设备、分布式能源接入模块协同运行不畅,缺乏有效的联动调控机制;源网荷储互动能力弱,分布式能源出力波动无法及时适配用电负荷变化,供电系统与末端负载衔接不紧密,导致系统整体能效下降。

2.4 问题成因分析

(1) 主观因素:企业管理者节能意识不足,对电气系统能源管理与优化的重要性认识不够,片面追求生产效益和短期利益,忽视长期节能效益;在能源管理与优化方面的资金、人力投入不足,导致相关工作难以推进。(2) 客观因素:智能优化技术研发与应用成本较高,中小企业难以承担;电气系统能源管理与优化的技术标准不够明确,缺乏统一的规范指引;专业技术人才短缺,缺乏既懂电气技术、又懂能源管理的复合型人才;相关政策引导力度有待加强,激励机制不完善,难以充分调动企业开展能源管理与优化工作的积极性。

3 电气系统能源管理与优化技术规范构建

3.1 规范构建原则与目标

(1) 构建原则:坚持科学性原则,以电气系统能源管理与优化相关基础理论为支撑,结合实际调研结果,确保规范内容符合行业技术发展规律;秉持实用性原则,聚焦工业、公共建筑等典型场景,规范内容通俗易懂、可操作,便于企业落地执行;突出针对性原则,针对当前能源管理与技术应用中存在的突出问题,制定针对性解决方案;兼顾前瞻性原则,充分考虑智能优化技术、分布式能源发展趋势,为未来技术升级预留空间。同时,兼顾技术可行性与经济合理性,在保障规范科学性的基础上,结合不同规模企业的实际能力,制定差异化要求,确保规范可落地、可推广。(2) 构建目标:明确电气系统能源管理的具体要求,规范企业能源管理流程,填补当前管理体系不健全、职责不明确的空白;规范各类优化技术的应用流程,明确技术适用场景、操作标准,避免技术应用不规范、效果不佳的问题;最终实现多重目标,即通过规范实施,推动电气系统能耗显著降低,提升能源利用效率,保障供电系统与用电设备稳定、安全运行,同时促进分布式能源与电气系统的协同高效运行,助力企业实现节能降耗、绿色发展。

3.2 电气系统能源管理规范

(1) 管理体系规范:明确企业需建立专门的能源管理组织机构,配备专业管理人员,明确各级管理岗位的职责分工,形成“决策层统筹、管理层执行、基层落实”的分级管理体系;建立跨部门协同机制,加强生产、运维、管理等部门的沟通协作,确保能源管理工作全方位推进;制定能源管理工作计划、管理制度和考核标准,将能源管理工作纳入企业整体管理体系,实现规范化、常态化管理。(2) 能耗监测与数据管理规范:规定能耗数据采集范围,覆盖供电系统、末端用电设备、分布式能源接入模块等全环节,确保数据采集全面无遗漏;明确采集频率与精度要求,核心设备能耗数据实时采集,普通设备按规定周期采集,数据精度符合行业标准;建立完善的数据存储、分析与应用流程,规范数据存储格式与保存期限,利用数据分析工具挖掘能耗规律、识别浪费隐患,为能源优化决策提供数据支撑^[3]。(3) 全生命周期管理规范:涵盖电气设备全流程管理要求,设备选型阶段需优先选用节能型设备,符合国家节能标准;安装调试阶段需严格遵循施工规范,确保设备安装质量与运行安全性;运行维护阶段需制定定期巡检、维护计划,及时排查设备故障、衰减问题,降低能耗损耗;节能改造阶段需结合设备运行状态与能耗数据,制定科学的改造方案;报废处置阶段需规范设备回收流程,实现资源循环利用,减少环境影响。

3.3 电气系统能源优化技术规范

(1) 传统优化技术应用规范: 明确变频调速、无功补偿、负荷调整等传统技术的适用场景, 变频调速技术主要用于负荷波动较大的动力设备, 无功补偿技术适用于供配电系统无功损耗较大的场景, 负荷调整技术用于平衡各回路负载; 规定各技术的操作流程与参数标准, 变频调速需根据负载变化合理调节运行频率, 无功补偿装置需按电网参数精准配置, 负荷调整需遵循“均衡分配、避免过载”的原则, 确保技术充分发挥节能效果。

(2) 智能优化技术应用规范: 明确智能监测、智能调控、数字孪生等智能技术的部署要求, 智能监测设备需覆盖关键环节, 实现实时监测与异常报警; 智能调控系统需与监测系统联动, 实现能耗的自适应调控; 数字孪生技术需构建电气系统虚拟镜像, 模拟运行工况并优化调控方案。同时, 规定各技术的运行标准与维护规范, 定期对智能设备进行校准、维护, 确保设备稳定运行, 保障智能优化技术的有效应用。

(3) 分布式能源与电气系统协同优化规范: 明确分布式光伏、风电等新能源接入电气系统的优化原则, 兼顾能源利用效率与系统稳定性; 规定接入技术要求, 明确分布式能源接入的容量、电压等级、接入方式, 确保与供配电系统兼容; 建立协同调控机制, 实现分布式能源出力与用电负荷的动态匹配, 提升源网荷储互动能力, 促进新能源高效利用, 降低传统能源消耗^[4]。

3.4 规范实施保障措施

(1) 技术保障: 建立健全技术支撑体系, 加强与科研机构、行业龙头企业的合作, 推动电气系统能源优化技术的研发、升级和转化; 加强专业技术人才培养, 开展能源管理、优化技术应用等相关培训, 提升管理人员、技术人员的专业素养和实操能力; 建立技术咨询与服务机制, 为企业规范实施提供全方位技术指导, 及时解决实施过程中遇到的技术难题, 保障规范顺利落地。

(2) 管理保障: 完善监督考核机制, 成立专门的监督检查小组, 定

期对企业规范实施情况进行全面检查、专项督查, 及时发现并督促整改问题; 将能效指标、规范执行情况纳入企业绩效考核体系, 明确考核标准、评分细则和奖惩措施, 对规范实施到位、节能效果显著的企业给予表彰奖励, 对未按规范执行、能耗超标企业进行约谈、督促整改, 倒逼企业落实规范要求^[5]。

(3) 经济保障: 明确资金投入渠道, 鼓励企业加大电气系统能源管理与优化技术的资金投入, 同时积极争取政府专项补贴、税收优惠等政策支持; 大力推广合同能源管理、节能服务外包等市场化模式, 吸引社会资本参与企业节能改造, 降低企业资金压力; 建立节能效益分享机制, 明确企业与合作方的效益分配比例, 激发企业实施规范、开展节能改造的积极性和主动性, 确保规范长期有效实施。

结束语

本技术规范立足电气系统能源管理与优化的实际需求, 整合相关基础理论、行业现状分析与实践应用经验, 明确了具体管理要求、技术应用标准及全方位保障措施, 针对性解决当前行业存在的突出问题。规范的落地实施, 可有效降低电气系统能耗、提升能源利用效率, 推动分布式能源与电气系统协同高效发展。后续需结合技术迭代与企业实际需求, 持续优化规范内容, 助力行业实现节能降耗、绿色低碳的高质量发展。

参考文献

- [1]丁佳文.节能设计理念覆盖下电气工程自动化技术的发展[J].中国科技期刊数据库 工业A,2024,8(11):136-139.
- [2]孙晓华.节能环保技术在电气工程中的应用研究[J].通信电源技术,2024,41(10):109-111.
- [3]田飞.电气节能技术在石油化工工程设计中的应用[J].化工设计通讯,2021,47(10):220-223.
- [4]赵辰.市政工程电气系统节能降耗技术措施探讨[J].住宅与房地产,2025,13(S1):125-127.
- [5]姜盛祥.浅析电气自动化工程中的节能设计技术[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2023,9(2):170-175.