

工业电气设备能效优化与能源计量管理

庞吉瑞

宁夏正亿成智能科技有限公司 宁夏 银川 750001

摘要：工业电气设备是工业能耗的核心载体，当前企业普遍存在设备老旧低效、运行管控粗放、计量管理不完善等问题，能源浪费现象突出。本文结合工业设备能耗理论与能效优化原理，系统分析电机、变压器等主流设备能耗现状及能效、计量管理短板，探究设备升级、工况调控、智能赋能等核心优化技术，从硬件、制度、数据应用多维度构建计量管理优化体系，提出全方位落地保障策略，助力工业节能降耗与能效精细化管控。

关键词：工业电气设备；能效优化；能源计量管理

引言：双碳背景下，工业节能降耗、提质增效成为工业高质量发展的核心任务，电气设备能耗管控是工业节能的关键环节。当前多数工业企业电气设备能效偏低，粗放式运行与落后的计量管理模式，导致无效能耗居高不下，制约企业绿色低碳发展。为解决设备能耗浪费、计量数据失效、能效管控滞后等问题，本文立足相关理论与技术基础，剖析现存核心问题，探索高效的能效优化技术与标准化计量管理体系，为工业能源精细化管控提供实践参考。

1 相关理论与技术基础

1.1 工业电气设备能耗理论

(1) 工业电气设备能耗构成：工业电气设备运行能耗由四类核心损耗构成，是能源消耗的核心载体。有功损耗为设备做功过程中有效能量损耗，直接参与生产能量转换；无功损耗源于设备电磁运行过程，无直接生产做功作用，易造成能源浪费；空载损耗是设备通电待机、无负载运行时的固定能耗；负载损耗为设备带载作业时，随负载变化产生的动态能耗，四类损耗共同决定设备整体能耗水平。(2) 设备能耗影响因素：设备长期运行产生的老化问题，会降低运行效率、增大能耗损耗；复杂多变的生产运行工况，会干扰设备稳定运行，造成能耗波动；操作人员不规范的操作行为，会打破设备最优运行状态；负载匹配失衡会引发设备过载或轻载运行，大幅降低能源利用效率，是能耗偏高的重要诱因。

1.2 能效优化核心理论

(1) 能效匹配原理：核心是实现设备运行负载与生产工况的动态最优匹配，根据生产需求实时适配设备运行参数。同时遵循供需能耗平衡理论，协调能源供给与生产能耗需求，规避能源供给过剩或供给不足问题，最大化提升能源利用效率。(2) 节能降耗基本准则：以精细化调控为基础，精准管控设备运行能耗细节；依托智

能化技术实现动态降耗，适配多变生产场景；通过设备能效升级改造，从硬件层面降低基础能耗，构建全方位节能降耗体系。

1.3 能源计量管理基础体系

(1) 能源计量核心内涵：涵盖能源数据采集、统计、分析、全流程管控，核心目标是精准掌握设备能耗规律，为能效优化、能耗管控提供真实可靠的数据支撑，实现能源可视化、规范化管理。(2) 能源计量管理相关标准：严格遵循国家工业能源计量规范，统一计量流程与数据标准；依据电气设备能效评定标准，量化设备能效等级，为设备改造、能耗考核提供合规依据。

(3) 智能计量技术基础：依托传感器实时采集能耗数据，借助物联网实现数据远程传输与同步汇总，通过大数据技术完成数据挖掘与分析，解决传统计量精度低、滞后性强的问题，支撑智能能耗管控^[1]。

2 工业电气设备能耗现状及现存问题分析

2.1 主流工业电气设备能耗现状

(1) 电机及拖动设备能耗现状：电机作为工业生产中应用最广泛的拖动设备，整体能耗占工业用电比重极高。目前多数工矿企业仍存在大量普通低效电机，长期持续运行，普遍存在转换效率低、能量损耗大的问题，是工业生产高能耗的主要源头之一。(2) 变压器、配电设备能耗现状：输配电系统是能源传输的核心载体，配电设备在电能转换和输送过程中会产生固定损耗与动态损耗。大量老旧变压器长期超期服役，绝缘性能下降、运行损耗激增，普遍存在能耗超标问题，造成持续性的电能浪费。(3) 变频、工控系统能耗现状：现阶段多数企业的智能变频与工控系统未实现精细化适配，无法根据生产负荷、工况变化实时调整运行参数。设备工况匹配度较差，频繁出现参数冗余运行情况，产生大量无效能耗，未能充分发挥智能设备的节能优势。

2.2 工业电气设备能效存在的核心问题

(1) 设备层面: 众多企业老旧低效设备存量大, 更新迭代滞后, 设备整体能效等级偏低。同时设备选型缺乏科学规划, 与实际生产工况匹配度不足, 加之长期运行磨损老化, 损耗持续加剧, 大幅降低能源利用率。

(2) 运行层面: 生产运行中设备空载、轻载现象十分普遍, 无效运行时长占比高。企业多采用粗放式运行管控模式, 未建立动态能效调控机制, 无法根据生产负荷变化实时调整设备运行状态, 能耗浪费问题突出。(3) 维护层面: 企业普遍重生产、轻维护, 缺乏常态化的能效专项维护机制。日常检修仅排查设备故障, 忽视能耗损耗检测, 设备微小故障长期累积, 导致运行能耗持续升高, 形成持续性能源损耗^[2]。

2.3 能源计量管理现存短板

(1) 计量设备层面: 部分企业计量仪器设备老旧老化, 测量精度不足, 数据误差较大。同时计量点位布局不合理、覆盖不全面, 存在监测盲区, 无法完整采集设备全时段能耗数据。(2) 管理体系层面: 能源计量管理制度不完善, 岗位职责划分模糊, 缺乏标准化、规范化的管控流程。日常计量工作随意性较强, 难以保障计量数据的真实性、完整性与规范性。(3) 数据应用层面: 企业对计量数据的利用较为单一, 仅用于基础用电统计与成本核算。未深度挖掘数据价值, 无法依托数据开展能耗分析、隐患排查与能效优化, 计量数据利用率极低。

3 工业电气设备能效优化关键技术研究

3.1 设备本体能效优化技术

(1) 设备升级改造: 设备本体更新升级是降低基础能耗、提升能效的核心手段。针对企业现存大量老旧、低效、超期服役的电气设备, 需开展系统性替换改造工作。通过选用高效率节能电机、低损耗节能变压器等新型能效设备, 替代传统高能耗设备。新型节能设备具备能量转换率高、固有损耗低、运行稳定性强等优势, 可从硬件源头降低设备基础能耗, 有效解决老旧设备能效衰减、能耗超标的问题, 大幅提升设备基础运行能效。

(2) 设备结构优化: 电气设备的固有能耗与内部结构、散热设计密切相关。通过优化设备内部电磁结构、绕组布局与铁芯参数, 能够有效降低设备运行过程中的铁损、铜损等固有损耗。同时, 优化设备散热系统结构, 改善设备散热效率, 避免设备因长期高温运行出现性能衰减、损耗加剧的问题, 稳定设备运行效率, 实现设备本体持续性节能降耗。

3.2 运行工况能效优化技术

(1) 变频调速节能技术: 传统电气设备多为恒速

运行, 无法适配生产负载动态变化, 轻载工况下存在严重能耗浪费。变频调速技术可根据生产负荷、工况需求动态调节设备运行转速与输出功率, 实时匹配生产实际需求, 使设备始终处于最优运行工况, 有效减少设备轻载、空载状态下的无效能耗, 是工业现场应用最广泛的节能技术之一。(2) 无功补偿优化技术: 工业电气设备多为感性负载, 运行过程中会产生大量无功功率, 导致电网功率因数偏低、无功损耗增大。通过精准动态无功补偿技术, 可实时平衡电网无功功率, 提升系统功率因数, 降低线路传输损耗与设备发热损耗, 改善电网运行质量, 实现电气系统整体能效提升^[3]。(3) 负载均衡调控技术: 工业生产多设备协同运行模式下, 易出现负载分配不均、局部设备过载或空载运行的问题。负载均衡调控技术通过科学规划多设备运行时序与负荷分配, 均衡各设备运行负载, 规避单设备过载高耗、空载耗能等现象, 优化整体生产运行模式, 减少工况不合理造成的能源浪费。

3.3 智能能效优化技术应用

(1) 基于大数据的能耗监测优化: 依托传感器与物联网技术, 实时全面采集各类电气设备的运行能耗、工况参数, 通过大数据技术对海量数据进行汇总、筛选与深度分析。精准定位生产过程中的高能耗节点、异常耗能设备及低效运行工况, 为能效优化改造、运行调控调整提供精准的数据支撑, 实现精细化能耗治理。(2) 智能控制系统优化: 搭建智能化自动能效调控系统, 整合设备运行数据与生产工况数据, 建立智能调控模型。系统可根据生产任务、负载变化、能耗状态自主调整设备运行参数, 实现电气设备自适应、智能化节能运行, 彻底改变传统人工粗放调控模式, 大幅提升工业电气系统的节能管控水平与运行能效。

4 能源计量管理体系优化与落地策略

4.1 完善能源计量硬件配置体系

(1) 优化计量点位布局: 针对企业原有计量点位分散、覆盖不全、存在监测盲区等问题, 结合车间生产布局、电气设备分布及配电回路结构, 系统性优化计量点位布设。全面覆盖各类生产电气设备、高低压配电回路及独立生产单元, 实现能耗监测无死角, 精准区分单设备、单区域能耗数据, 为精细化能耗管控奠定硬件基础。(2) 升级智能计量设备: 淘汰老旧精度低、稳定性差的传统计量仪器, 批量更换高精度智能电表、智能能耗传感器等新型计量设备。新型设备可精准捕捉微小能耗变化, 有效降低计量误差, 同时支持全天候不间断监测, 摆脱传统人工抄表的滞后性与误差问题, 保障能

耗数据采集的精准性与连续性^[4]。(3)搭建计量数据传输网络:依托成熟的物联网技术,搭建专属、稳定的能耗数据传输网络,整合各类计量终端设备。实现能耗数据的实时汇总、远程传输与同步存储,打通设备端与管理端的数据通道,构建高效、稳定的数字化数据传输体系,为后续数据分析与智能管控提供数据支撑。

4.2 构建标准化能源计量管理制度体系

(1)建立计量设备运维制度:制定常态化计量设备运维机制,明确设备定期巡检、校准、维护、更换周期。定期对智能传感器、电表等计量设备进行精度校验与故障排查,及时修复异常设备,从制度层面保障计量设备稳定运行,确保采集数据真实精准。(2)制定能耗数据管控规范:统一能耗数据采集、统计、核对、归档及分析的全流程标准,规范数据处理流程,杜绝数据篡改、遗漏、误差等问题。形成标准化、规范化的数据管控体系,保障能耗数据的完整性、时效性与规范性,提升能源计量管理的专业性。(3)建立岗位权责与考核机制:细化能源计量管理岗位职责,明确操作人员、运维人员、管理人员的工作内容与责任边界。同时将能耗管控成效、计量数据质量、设备运维情况纳入员工绩效考核,强化人员责任意识,倒逼各项计量管理工作落地落实。

4.3 深化计量数据赋能能效优化应用

(1)能耗数据统计与分析:依托精准的计量数据库,对设备日、月、季度能耗数据进行系统化统计与深度分析,梳理不同工况、不同时段和设备能耗规律。精准识别设备空载耗能、工况适配失衡、设备老化异常等能耗问题,为能效优化提供数据依据。(2)数据驱动能效优化整改:针对数据分析挖掘出的高能耗节点和设备运行短板,结合生产实际制定精准化、针对性的节能整改方案。精准落实设备改造、工况调控、负载优化等措施,改变传统盲目节能的模式,实现数据驱动下的精准降耗、高效提质。(3)搭建能耗预警机制:基于实时计量数据搭建智能能耗预警体系,设定设备正常能耗阈值。系统可实时监测能耗数据变化,当出现能耗异常飙升、故障耗能等问题时自动预警,帮助管理人员及时排

查隐患,杜绝持续性能源浪费,实现能耗事前防控、动态治理^[5]。

4.4 能效优化与计量管理一体化落地保障措施

(1)技术保障:组建专业的电气技术与能耗管理团队,负责智能计量系统、节能设备的安装调试、日常运维与技术升级。及时解决系统运行、设备适配中的技术问题,保障能效优化技术与计量管理体系稳定落地、长效运行。(2)制度保障:结合企业生产现状,完善能源计量、能耗管控、设备运维等相关规章制度,补齐原有管理漏洞。以标准化制度规范日常能效优化与计量管理工作,形成规范化、常态化的能源管理模式。(3)人员保障:定期开展专项技能培训,覆盖设备操作、智能计量设备使用、能耗数据分析、节能管控等核心内容。全面提升工作人员的专业能力与节能管理意识,打造专业化管理队伍,为体系落地提供充足的人力支撑。

结束语

本文系统性梳理工业电气设备能耗规律与能效优化逻辑,针对设备、运行、维护及计量管理四大短板,提出设备改造、工况优化、智能赋能的能效提升技术,搭建了软硬件结合、制度完善、数据赋能的能源计量管理体系。通过技术、制度、人员多维度保障,可有效解决工业电气设备高能耗问题,实现能源精准管控与高效利用,助力企业降本增效,为工业领域绿色节能、低碳转型提供切实可行的技术与方案。

参考文献

- [1]张晓明,王丽娟.先进监测与控制技术在电气设备中的应用[J].自动化与仪表,2023,45(7):124-127.
- [2]李华,刘强.能源管理系统在工业生产中的关键作用[J].环保与可持续发展,2021,8(2):34-42.
- [3]赵亮,杨林.先进监测与控制技术在电力工程中的应用[J].电力系统管理,2024,38(9):222-228.
- [4]张天林.电气节能技术在石油化工工程设计中的实践研究[J].石化技术,2024,31(9):144-146.
- [5]殷淑萍,洪晶亮.工业电气设计中电气节能措施探析[J].现代工业经济和信息化,2024,14(5):132-137.