

机械工厂节能改造中的能源管理系统设计

窦 丁 赵桂林 张 岩 杨 锴 杜 泽

中联西北工程设计研究院有限公司 陕西 西安 710077

摘要: 机械工厂作为高能耗行业,能源管理粗放,存在数据滞后、管控缺失等问题。本文剖析其能源消耗现状与特点,阐述能源管理系统设计的必要性与目标,围绕实用性等原则设计总体架构,包括分层架构、硬件选型配置及软件模块。研究数据采集与融合、分析与挖掘、通信、信息安全等关键技术,助力系统高效运行,实现能源精细化管控、高效利用与绿色发展,提升工厂竞争力。

关键词: 机械工厂;节能改造;能源管理系统;系统设计

引言:在国家“双碳”战略推进下,工业领域节能降碳压力剧增,机械工厂作为高能耗典型代表,面临严格能耗管控与环保考核。当前其能源管理普遍粗放,传统模式难满足合规需求,且存在数据滞后、管控缺失等痛点,导致能源效率低、运营成本高。设计一套科学完善的能源管理系统,实现能耗数据实时监测、分析与预警,优化生产调度、提升设备运维水平,成为机械工厂绿色低碳、可持续发展的必然选择。

1 机械工厂能源消耗现状与问题分析

1.1 机械工厂主要能源消耗类型与分布

机械工厂作为高能耗工业领域的典型代表,能源消耗类型呈现多元化特征,且分布具有明显的生产导向性。主要消耗能源包括电力、煤炭、天然气、柴油以及少量新能源(如太阳能辅助供电),其中电力消耗占比最高,约占总能耗的55%-70%,主要用于机床加工、风机水泵运转、照明及自动化设备运行等核心生产环节。煤炭和天然气主要用于生产用热、设备预热及冬季采暖,占总能耗的20%-30%,多集中在锅炉房、热处理车间等区域。柴油主要用于叉车、运输车辆等物流设备,占比约5%-10%,分布于厂区仓储、车间物料转运线路^[1]。另外,部分工厂引入的生物质能、余热回收利用等能源形式占比偏低但呈上升趋势。从分布来看,生产车间能耗占全厂总能耗的80%以上,其中精密加工车间、热处理车间能耗密度最高,办公区域、辅助设施能耗占比不足20%,整体分布不均衡,核心生产环节是能源消耗的主要载体。

1.2 能源消耗特点与规律

机械工厂能源消耗受生产计划、设备状态、工艺要求等多种因素影响,呈现出鲜明的阶段性、波动性和关联性特点。从时间规律来看,能耗呈现“工作日高、节假日低”“白天高、夜间低”的特征,工作日生产时段(8:00-20:00)能耗占当日总能耗的75%以上,其中上午

10:00-12:00、下午14:00-16:00为能耗峰值,主要因核心生产设备满负荷运转、各类辅助系统同步运行所致;夜间及节假日仅保留必要的设备保温、应急照明,能耗降至最低。从生产关联来看,能耗与产量呈正相关但非线性,产量低于阈值时,设备空载会导致单位产品能耗大幅上升;热加工工艺单位能耗是普通机加工的3-5倍。能耗存在季节性波动,冬季因采暖需求,总能耗比夏季高出15%-25%;老旧设备能耗偏高,同类设备因维护水平不同,能耗差异可达20%左右,整体呈现“高消耗、不均衡、效率低”的规律。

2 能源管理系统设计的必要性与目标

2.1 能源管理系统设计的必要性

当前机械工厂能源管理普遍存在粗放化问题,设计一套科学完善的能源管理系统具有极强的现实必要性和紧迫性。一方面,国家“双碳”战略推进下,工业领域节能降碳压力加大,机械工厂作为高能耗行业,面临严格的能耗管控和环保考核,传统人工统计、经验调控模式已无法满足合规需求。另一方面,现有管理存在数据滞后、管控缺失等痛点,多数工厂仅能统计总能耗,无法精准掌握各车间、设备实时能耗,难以定位浪费点,导致能源效率低、运营成本高。另外,工厂生产工艺复杂、能耗环节分散,人工管控难以实现全方位精细化监管,易出现能源泄漏、设备空载浪费等问题。完善的能源管理系统可实现能耗数据实时监测、分析和预警,助力优化生产调度、提升设备运维水平,降低成本、提升竞争力,是工厂绿色低碳、可持续发展的必然选择。

2.2 能源管理系统设计目标

机械工厂能源管理系统设计围绕“精细化管控、高效化利用、绿色化发展”核心,明确四大具体目标,确保系统兼具实用性、科学性和可扩展性。一是实现能源数据全流程精准管控,构建覆盖采购、存储、消耗、回

收全环节的采集体系,实时监测各类能源消耗数据,采集精度达98%以上,消除数据滞后和统计误差,为决策提供支撑^[2]。二是提升能源利用效率,通过数据分析挖掘节能潜力,优化能源分配,实现供需平衡,力争系统投用后综合能效提升8%-12%,单位产品能耗下降10%以上。三是实现智能化调控,搭建预警机制,异常响应时间不超过5分钟,支持远程调控,减少人工干预。四是满足合规与可持续需求,规范能耗数据统计上报,符合国家考核要求,为后续节能改造、新能源替代提供数据支撑,助力绿色低碳生产。

3 能源管理系统总体架构设计

3.1 系统设计原则

机械工厂能源管理系统设计遵循“实用性、可靠性、经济性、可扩展性、智能化”五大核心原则,确保适配工厂生产实际、长期稳定发挥实效。实用性优先,结合生产工艺和管理痛点,聚焦数据采集、能耗分析、智能调控等核心需求,避免冗余功能,确保操作便捷、贴合实际,无需复杂培训即可使用。可靠性是基础,硬件选用工业级产品,具备抗干扰、耐高温、防故障能力,软件采用成熟架构,支持24小时不间断运行,数据存储安全,故障发生率每年不超过3次。经济性兼顾节能与成本,优先选用高性价比软硬件,简化架构,降低前期投入和后期运维成本,确保节能效益远超投入。可扩展性适配工厂发展,采用模块化设计,支持新增能源类型、扩展监测点位和升级功能。智能化提升效能,融入数据分析、智能预警等功能,实现能源管理从“被动统计”向“主动管控”转变。

3.2 系统总体架构

结合机械工厂能源消耗特点和管理需求,能源管理系统总体架构采用分层设计,自上而下分为感知层、传输层、平台层和应用层,各层独立运行且相互联动,确保高效稳定。感知层为数据采集终端,部署于各车间、能耗设备和存储区域,由智能电表、燃气表、传感器等组成,实时采集能耗、设备运行及环境参数,实现全方位无死角采集。传输层采用“有线+无线”融合模式,以太网、RS485总线保障固定设备数据稳定传输,LoRa、5G技术适配移动和偏远点位,加密传输确保数据安全。平台层为核心枢纽,包含数据中心、云计算和数据分析模块,实现数据规范整理、深度挖掘和智能调度。应用层面向用户,涵盖能耗监测、智能预警、报表统计等功能模块,提供可视化界面,满足不同层级管理需求。

3.3 系统硬件选型与配置

系统硬件选型与配置严格遵循设计原则,结合机械

工厂生产环境恶劣、设备繁多、能耗点位分散等特点,优先选用工业级、高可靠、高兼容产品,兼顾经济性和可扩展性。感知层,智能电表选用0.5S级工业款,支持实时采集电参数和远程报警,适配高低压系统;燃气表、流量计选用耐腐蚀高精度设备,支持数据实时上传;传感器选用抗干扰耐高温款,适配车间恶劣环境。传输层,选用工业级千兆交换机和LoRa、5G双模无线网关,满足多设备传输和不同区域需求。平台层,配置工业级机架式服务器和磁盘阵列,确保数据存储处理高效、安全,搭配UPS保障突发停电时系统正常运行。硬件部署结合厂区布局和能耗点位,合理规划安装位置,确保采集精准、传输稳定^[3]。

3.4 系统软件设计

系统软件设计基于模块化架构,采用Java编程语言开发,结合大数据、云计算技术,确保兼容性、稳定性和可扩展性,贴合工厂能源管理需求,实现功能全面、操作便捷。软件包含七大核心模块:数据采集模块对接感知层设备,支持多种通信协议,实现能耗数据实时采集和批量导入;数据处理模块整理清洗原始数据,剔除异常、补充缺失,加密存储并冗余备份;数据分析模块采用大数据算法,进行趋势、对比、异常分析,挖掘节能潜力并生成报告;智能预警模块根据预设阈值,通过多种方式发出能源和设备异常预警;报表统计模块支持自定义格式,自动生成各类能耗报表;设备管理模块实现能耗设备全生命周期管理;权限管理模块按角色分配权限,保障数据安全。

4 机械工厂节能改造中的能源管理系统关键技术研究

4.1 数据采集与融合技术

数据采集与融合技术堪称能源管理系统高效运行的基石,也是机械工厂节能改造进程中不可或缺的关键技术。在传统模式下,能耗数据采集存在诸多弊端,如采集不全面、精准度欠佳,数据之间相互孤立形成“数据孤岛”,难以实现有效整合与利用。而该技术旨在解决这些问题,达成能源数据的一体化整合。具体而言,采用“定点+移动”的采集模式。对于核心设备和关键计量节点,部署高精度固定采集设备,这些设备能够实现对能耗数据的实时连续采集,确保数据的完整性和及时性。针对移动和临时点位,则运用便携式设备进行补充采集,有效消除采集盲区。同时,该技术具备强大的兼容性,可兼容多种通信协议,能够无缝对接工厂现有的各类设备,无需大规模更换设备,大大降低了改造成本。在数据融合方面,运用多源算法,将感知层采集到的各类能源数据,与生产计划、设备运行状态、环境参数等数据进行

深度整合。通过这一过程,剔除冗余数据、修正异常数据,实现数据的互补优化。如此一来,成功打破“数据孤岛”的壁垒,实现能耗数据与生产数据的联动分析,精准定位能源浪费点,为节能改造提供精准且有力的支撑,显著提升数据的利用率和分析的准确性。

4.2 数据分析与挖掘技术

数据分析与挖掘技术是推动能源精细化管理、深度挖掘节能潜力的核心要素。在机械工厂的运营中,会产生海量的能耗数据,通过对这些数据进行深度剖析,能够发现能源消耗的内在规律、精准识别高能耗环节、科学预测能耗发展趋势,从而为节能改造提供坚实可靠的科学依据。该技术结合大数据与机器学习技术,构建多维度分析模型。其中,能耗趋势模型借助历史数据,对不同时段、不同工况下的能耗变化进行精准预测,为能源采购计划的制定和生产调度的合理安排提供重要参考。单位产品能耗模型通过对比不同批次产品、不同设备的能耗情况,清晰呈现出能耗差异,为工艺改进和设备优化改造指明明确方向。设备能耗异常模型则实时监测设备运行参数,建立正常能耗阈值体系,一旦发现异常能耗情况,能够及时识别并深入分析原因,有效避免因设备故障导致的能源浪费。另外,该技术还致力于挖掘能耗与生产、设备、环境之间的潜在关联,基于这些关联提出具有针对性的节能方案,助力实现能源的精准管控,全面提升节能改造的实际效果,推动机械工厂向绿色、高效、可持续发展的方向。

4.3 通信技术

通信技术是能源管理系统数据传输的核心载体,直接影响传输稳定性、实时性和安全性,是机械工厂节能改造中系统高效运行的关键。结合工厂厂区大、能耗点位散、生产环境复杂等特点,采用“有线+无线”融合架构,兼顾稳定与灵活。有线通信采用以太网、RS485总线,以太网速率快、带宽高,适配核心区域大量数据传输;RS485抗干扰、传输远,适配偏远恶劣区域。无线通信采用LoRa和5G技术,LoRa低功耗、传输远,适配移动和分散点位,部署灵活成本低;5G速率快、延迟低,适配核

心设备实时监测和远程调控。同时采用AES加密技术,全程加密传输数据,搭配冗余通信链路,故障时自动切换备用链路,确保数据传输不中断、安全稳定。

4.4 信息安全技术

信息安全技术是能源管理系统稳定运行的重要保障,随着系统接入设备和传输数据增多,尤其是与工厂生产、管理系统联动后,安全风险提升,成为节能改造的关键支撑技术^[4]。围绕数据、设备、网络安全三大核心,构建全方位防护体系。数据安全方面,采用加密存储、冗余备份、访问控制技术,保护敏感数据不泄露,定期备份确保故障可快速恢复,按角色分配访问权限。设备安全方面,对感知层、传输层硬件进行安全加固,定期升级固件、扫描漏洞,设置安全密码并监测设备异常,及时处理安全隐患。网络安全方面,部署防火墙、IDS、IPS等设备,阻挡非法访问和攻击,划分网络区域实现隔离,定期检测维护、修复漏洞,确保系统网络安全稳定,为节能改造提供可靠支撑。

结束语

机械工厂能源管理系统设计,从现状分析到架构搭建,再到关键技术研究,形成了一套完整方案。通过科学设计,可实现能源数据全流程精准管控、提升利用率、智能化调控及满足合规可持续需求。未来,随着技术发展,系统需持续优化升级,以更好适应工厂发展变化,进一步提升节能效果,为机械工厂绿色转型与可持续发展提供更有力的支撑。

参考文献

- [1]顾欣,马洪康,孙世亮.机械设备制造工厂照智能控制系统[J].灯与照明,2025,49(5):24-26.
- [2]乔志,王妍彦.机械自动化在提升塑料制品工厂生产效率和节能水平中的作用研究[J].塑料工业,2024,52(9):171.
- [3]芝浦机械在静冈二工厂举办展览,为节能减排和创造贡献力量[J].世界制造技术与装备市场,2025(3):41.
- [4]常凯源.机械设计制造及其自动化的节能设计思想探讨[J].时代汽车,2022(9):157-158.