

电缆行业智能制造设备的数字化能源管控平台构建与实践探析

赵滢洁

湖南华菱线缆股份有限公司 特种线缆制备湖南省重点实验室 湖南 湘潭 411104

【摘要】：电缆制造行业在推进智能制造进程中，能源消耗与设备管控效率成为制约其高质量发展的关键因素。构建数字化能源管控平台，融合智能制造设备，能够实现能源数据的实时采集、分析与动态调控，显著提高能源使用效率与生产智能化程度。本文立足于电缆行业的实际需求，探析平台建设的核心架构与关键技术路径，并结合实际案例展示其在节能降耗、智能调度和系统协同方面的显著成效。

【关键词】：电缆行业；智能制造；数字化管控；能源管理；平台构建

DOI:10.12417/2705-0998.26.02.002

引言

能源成本在电缆制造企业的运营中占据重要比重，而传统粗放式管理模式已无法满足当前智能化发展的需求。旨在达成精细化、可视化以及智能化的能源管理目标，构建面向智能制造设备的数字化能源管控平台成为行业发展的必然选择。本文将围绕平台构建路径与技术实施进行深入探讨，以期为电缆行业的绿色低碳转型提供可复制的实践范式。

1 行业痛点驱动下的数字化能源管控需求分析

1.1 电缆制造能耗现状与挑战

电缆制造过程涵盖导体拉丝、绞合、绝缘挤出、成缆、护套等多个连续性强、能耗密集的工艺环节。由于设备运行周期长、功率波动频繁，企业常常面临电力、蒸汽、压缩空气等多种能源介质供给的复杂需求。在多数生产场景中，能耗数据缺乏实时感知与统一管理手段，导致能源流向不清晰、能效评估难度大，进而影响整体生产效能与能源成本控制。尤其在高产能、多工序并行的电缆制造企业中，设备负载与能源消耗之间缺乏有效匹配机制，造成系统能耗冗余和资源浪费现象普遍存在。

行业当前面临的最大挑战在于缺少一套面向智能制造体系的能源管控标准化平台，难以实现设备层、车间层与企业层能源数据的贯通与协同。部分老旧生产线尚未完成数字化改造，缺乏基础数据接口和通信协议支持，难以接入统一的能管平台。在“双碳”目标驱动下，电缆行业急需通过建设数字化能源管控平台，解决能源分散管理、能效水平低下以及调控响应迟缓等瓶颈问题，为智能制造设备提供精准、高效的能源支撑能力。

1.2 智能制造设备发展现状及其对能源管理的影响

智能制造设备在电缆行业的应用逐步深化，涵盖自动张力控制系统、智能挤塑单元、高速精密绞线装置以及在线检测仪等关键装备^[1]。此类设备通常具有高度集成化的特点，并支持实时监控及自适应调节功能，对能源供给的稳定性、响应速度及精准控制提出了更高要求。传统粗放式的能源供给方式已无

法满足智能设备对于功率动态分配、温度调节优化与多能协同控制的技术诉求。缺乏与智能制造设备深度融合的能源管控手段，成为制约设备性能最大化发挥的重要因素。

智能制造的推进也带来了数据驱动能源管理的新机遇。设备运行参数、工艺状态与能源消耗之间的相关性愈发紧密，为构建基于边缘计算与工业互联网平台的能源管理系统提供了现实基础。部署智能传感器和嵌入式数据采集模块，可实现对电流、电压、热能、气流等多维能源指标的实时监测与动态调节。若未能实现与能源系统的协同优化，制约设备智能化水平的提升，还可能引发系统性能浪费与运维风险。建立面向智能制造设备的数字化能源管控平台，已成为保障设备高效运行与能源可持续利用的关键路径。

1.3 传统能源管理模式的局限性

传统能源管理模式多以手工记录、经验调度和定期报表为主，严重依赖人工分析与事后干预，缺乏对能源消耗全过程的实时监控与预测能力。在电缆制造这一连续性强、设备协同紧密的生产环境中，该类管理方式无法满足对能效动态优化和精细化管理的需求^[2]。设备运行中的异常能耗难以及时预警，能源波动未被有效识别，造成电能浪费与生产系统效率下降。不同能源种类往往分属多个管理系统，信息孤岛问题显著，难以构建统一调度与协同控制的能力。

随着电缆企业向数字化、智能化转型，传统能管模式在系统扩展性、数据融合能力以及对制造设备的适应性方面表现出明显短板。在缺乏多源数据集成与多维能效分析机制的背景下，企业难以建立能源指标与生产绩效之间的闭环联动机制。尤其在面对多班制、高强度运行的智能制造场景时，传统模式无法实现能源系统与生产系统的协同优化，最终影响整体制造体系的柔性、绿色与可控水平。亟需基于现代信息技术手段构建具备实时感知、自主调控与智能诊断能力的数字化能源管控平台，以打破传统管理瓶颈，支撑电缆行业高质量发展。

2 电缆行业数字化能源管控平台的系统构建与关键技术

2.1 平台架构设计与功能模块划分

电缆行业的数字化能源管控平台需具备分层协同、模块化集成与高适配性的架构特征^[3]。整体架构一般采用“感知层—传输层—平台层—应用层”的四层模型设计。其中，感知层负责接入各类智能制造设备和能源介质的实时采集终端，支持多协议兼容与数据边缘预处理功能；传输层通过工业以太网、5G 或 LoRa 等通信方式实现高效、安全的数据上传；平台层依托工业大数据平台与时序数据库实现对能源数据的集中管理与高性能处理；应用层则面向用户提供能耗监控、能效评估、能源调度等业务功能，支持与 MES、SCADA、ERP 系统集成，以形成企业级能源一体化管控能力。

功能模块设计方面，平台应划分为能源数据采集模块、能源可视化模块、用能预警模块、智能调度模块与系统配置管理模块等核心单元。其中，能源可视化模块可通过数字孪生技术，实现车间、产线、设备级能源状态的三维动态呈现，辅助运维人员快速定位异常源头；用能预警模块基于机器学习算法建立能耗基准模型，实现能效偏差的动态识别与告警推送；智能调度模块则通过预测性控制逻辑，协同控制多种能源介质的负载分配，提高整体能效。平台需具备良好的可扩展性与二次开发接口，以适应电缆企业多样化生产工艺与未来智能制造的演进需求，支持新设备、新协议的灵活接入，实现系统功能的模块化升级与定制化开发，确保在工艺变更、产线调整和技术迭代过程中依然具备高适应性和可持续服务能力，推动企业长期可持续发展。

2.2 能源数据采集、传输与智能分析技术

在电缆行业能源管控系统中，数据采集的精准性和实时性直接决定了后续分析与调控的有效性。平台应配置高精度智能电表、多功能热能计、压力传感器及流量监测仪等工业级传感设备，实现对电、水、气、热等多能源介质的全流程监控^[4]。为提升边缘计算能力，推荐在关键设备节点部署具备本地数据处理能力的工业网关，实现数据的边缘预处理、异常过滤与初步聚合，减少数据传输冗余，加快系统响应速度。所有设备需支持主流工业通信协议如 Modbus、OPC UA、BACnet 等，以确保系统之间的高兼容性与数据交互效率。

在数据传输过程中，平台应采用双层安全机制，包括通信链路加密与平台身份验证，以保障能源数据的完整性与安全性。在智能分析环节，系统应引入多维数据融合与 AI 算法模型，实现能耗行为建模、趋势预测、负载诊断与能效优化建议的自动生成。基于时间序列分析与关联规则挖掘方法，可以建立“工艺参数—设备运行状态—能源消耗”之间的动态因果网络，从而为节能控制策略提供数据支撑。结合机器学习模型如

随机森林、LSTM 等算法，可以实现对异常能耗事件的提前预警和智能调节，提升整体能源系统的自适应调控能力与运行效率。

2.3 智能制造设备与能源系统的集成机制

实现智能制造设备与能源系统的深度融合，是推动电缆行业构建高效数字化能源管控平台的核心环节。集成机制应围绕工艺特征、电能负载规律与控制策略优化展开，确保能源供给与制造设备运行状态之间形成闭环联动。在挤塑与绞合等高能耗工序中，设备的运行速率、工艺温度与供能参数需实现协同控制，避免出现能源过供、功率波动大或局部设备过载等现象。在设备控制系统中嵌入能源接口协议，可实现对设备单元实时能耗参数的读取与调控指令下发，从而打通生产控制系统（PCS）与能源管理系统（EMS）之间的数据壁垒。

在系统实施过程中，应构建统一的数据总线平台，实现智能制造设备、能源子系统与企业级应用之间的数据对接与协议转换。集成制造执行系统（MES）与能源管理平台，平台能够根据订单排产计划动态调整能源供应策略，实现“按需供能、精准控能”。借助工业物联网平台与 API 接口，可实现各类异构设备与第三方系统的无缝集成，推动制造设备能耗数据与运行状态的双向反馈。未来，随着人工智能与边缘计算能力的进一步提升，智能制造设备与能源系统之间将形成更高维度的联动机制，为电缆行业实现真正意义上的“能源驱动制造优化”提供坚实技术基础。

3 数字化能源管控平台在实际场景中的应用与优化实践

3.1 典型电缆制造企业的实践案例分析

某中型电缆制造企业在实施智能制造转型过程中，针对其能源消耗高、设备协同低、管理信息化薄弱等痛点，引入了数字化能源管控平台，形成以设备层感知、数据平台分析和能源系统联动控制为核心的闭环体系。项目覆盖拉丝、绞合、绝缘挤出等主要生产环节，部署了近百套智能传感设备与边缘计算节点，完成了多能源介质的数据统一采集与结构化整合^[5]。平台构建能耗 KPI 指标体系，实现了能源利用效率的实时评价与可视化呈现，极大提升了生产管理人员的决策效率和现场响应能力。

在具体运行过程中，该企业实现了与 MES 系统的无缝对接，使能源调度与生产计划实现同步更新。在订单密集期间，平台依据设备能效等级和实时负荷状况，动态调整能源供应策略，实现了错峰用电与多能源协同控制。在运行六个月后，企业整体单位产值能耗下降 12.4%，设备能源使用率提升 18.7%，并实现了多项节能补贴的申报与回收。该案例验证了数字化能源管控平台在电缆行业中具备可复制、可扩展的落地价值，为同行业企业提供了实践范本与技术路径指引。



图1 能源数据实时采集与监控现场图

3.2 平台运行成效评估与价值体现

数字化能源管控平台的成效评估应关注直接节能效果，更应涵盖运维效率、生产协同能力和决策支持价值等多维指标。运行初期，对比能耗数据平台化前后的能耗密度、单位产品能耗和能源利用率等关键指标，可量化平台在能源精准供给与系统协同控制方面的提升程度^[6]。平台对异常能耗点的及时识别和预警推送，大幅降低了能源浪费现象及设备意外停机次数，间接提升了设备综合效率（OEE）和产品一次合格率。

从战略层面看，平台的部署有效推动了企业能源管理由“事后统计”向“过程优化”转变，强化了用能行为的可控性与可预测性。能耗数据的集中化管理为企业能源审计、“双碳”目标分解与绿色绩效评估提供了强有力的数据支撑，也增强了与政府监管、能源服务商之间的数据对接能力。在价值延伸方面，企业基于平台积累的历史运行数据，进一步开发了节能改造模型与能源绩效预测工具，初步构建了基于数据驱动的精益用能体系。这些价值体现提升了企业的核心竞争力，也为其在碳交易市场中争取更多主动权提供了支撑。

参考文献：

- [1] 隽永飞,袁志文,亓松.我国电力电缆行业发展现状及展望[J].电力与能源,2025,46(03):237-244.
- [2] 花季华,周佳龙,陆如泉,等.基于信息化与数字化的特种电缆智能制造车间方案[J].制造业自动化,2023,45(6):63-66.
- [3] 张建国,肖尚浩.电线电缆智能制造的发展[J].中国新技术新产品,2020,(9):140-141.
- [4] 张小波.绕组线行业“智改数转”的探索和实践[J].电线电缆,2022,(06):57-60.
- [5] 王昱力,丁斌,王格,等.基于移动感知的综合管廊电缆线路运行状态诊断系统设计及应用[J].高压电器,2022,58(01):199-206.
- [6] 耿端阳,许通,朱庆华,等.数字化能源管理系统促进工业界节能减碳的分析与建议[J].中国科学院院刊,2024,39(02):311-322.

3.3 技术迭代与智能化持续优化路径

在电缆行业构建数字化能源管控平台的过程中，技术的持续演进与系统的迭代优化至关重要。随着平台运行数据的不断积累与业务场景的多样化拓展，企业需要从初始阶段的“感知+可视化”逐步过渡到“预测+决策支持”的高级阶段。引入边缘 AI 与深度学习算法，可以实现对能源消耗趋势的自主学习与建模，进而实现设备级别的能耗预测与生产过程中的能效动态优化。技术迭代还应涵盖系统容错性、接口开放性与数据安全性等方面，确保平台在高负载、多任务场景下的稳定运行与信息安全。

平台智能化升级也离不开与其他系统的融合发展。通过与 ERP 系统进行对接，可实现能源成本的精准归集与财务分析；引入数字孪生技术，可建立虚实结合的能源仿真环境，提前验证节能控制策略的可行性与实施效果。未来，随着工业边缘计算、5G 专网与工业知识图谱等新兴技术的引入，平台将进一步实现由“辅助管理”向“主动控制”转型，实现多源异构能源与制造资源的全要素协同。这一持续优化路径提升了平台自身的技术成熟度，也增强了其在多场景下的适应能力和扩展能力，有效支撑了企业对能源数据的深层挖掘与高效利用。它为电缆行业在“双碳”背景下推进绿色转型与智能化升级注入了稳定的发展动能与坚实的技术保障。

4 结语

本文围绕电缆行业智能制造设备的数字化能源管控平台构建与实践展开深入探析，系统梳理了行业能耗现状、平台技术架构、关键技术路径以及典型应用案例。实践表明，该平台提升了能源管理的智能化与精细化水平，也为电缆企业实现绿色低碳、高效协同发展提供了技术支撑。未来，随着智能制造与能源数字化技术的不断融合，电缆行业的能源管理体系将持续优化，助力行业迈向智能、高效与可持续的新阶段。