

面向能源高效利用的智能制造生产调度信息化模型构建

杨博，陈文强，张磊，苏靖钦，安迪，许强强

中煤科工集团信息技术有限公司 陕西西安

【摘要】随着智能制造快速发展，能源消耗问题日益突出，制约着制造业可持续发展。当前生产调度信息化模型在能源高效利用方面存在不足，难以平衡生产效率与能耗。本文聚焦此问题，构建面向能源高效利用的智能制造生产调度信息化模型，旨在为提升能源利用率、推动智能制造绿色发展提供理论与实践参考。

【关键词】能源高效利用；智能制造生产调度；信息化模型构建

【收稿日期】2025年8月15日

【出刊日期】2025年9月6日

【DOI】10.12208/j.aics.20250051

Construction of intelligent manufacturing production scheduling information model for energy efficient utilization

Bo Yang, Wenqiang Chen, Lei Zhang, Jingqin Su, Andy, Qiangqiang Xu

Middling coal Technology&Industry Group Information Technology Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi

【Abstract】 With the rapid development of intelligent manufacturing, energy consumption has become increasingly prominent, restricting the sustainable development of the manufacturing industry. The current production scheduling information model has shortcomings in energy efficient utilization, making it difficult to balance production efficiency and energy consumption. This article focuses on this issue and constructs an intelligent manufacturing production scheduling information model for energy efficient utilization, aiming to provide theoretical and practical references for improving energy utilization and promoting the green development of intelligent manufacturing.

【Keywords】 Efficient utilization of energy; Intelligent manufacturing production scheduling; Construction of information technology model

1 智能制造生产过程能源消耗特性分析

1.1 智能制造系统架构

智能制造系统是一个复杂的人机物融合系统，其架构通常包括感知层、网络层、平台层和应用层^[1]。感知层通过传感器、智能仪表等设备实时采集生产过程中的各种数据，如设备运行状态、能源消耗数据、产品质量数据等。网络层负责将感知层采集到的数据传输到平台层，包括有线网络和无线网络，如工业以太网、5G等。平台层是智能制造系统的核心，包括工业互联网平台、云计算平台等，负责对数据进行存储、处理和分析，并提供各种应用服务。应用层包括生产管理、质量管理、能源管理等各种应用系统，为企业的生产决策提供支持。

在这个架构中，能源管理贯穿于整个生产过程。从设备的运行到生产任务的调度，都与能源消耗密切

相关。例如，感知层采集的能源消耗数据为能源管理提供了基础数据支持；网络层确保能源数据的实时传输；平台层通过对能源数据的分析和处理，为应用层的能源优化调度提供决策依据。

1.2 能源消耗设备分类

在智能制造生产过程中，涉及多种能源消耗设备，主要可分为以下几类：一是生产设备，如数控机床、机器人等，这些设备直接参与产品的生产加工过程，能源消耗量大，且其能源消耗与设备的运行状态、加工工艺密切相关。例如，数控机床在高速切削时的功率消耗明显高于低速切削。二是辅助设备，如照明系统、通风系统、空调系统等，虽然单个辅助设备的能源消耗相对较小，但由于数量众多，其总能耗不容忽视。照明系统的能耗与照明时长和灯具功率有关；通风和空调系统的能耗则与车间的环境温度、湿度要求以及运行时间相

作者简介：杨博（1993-）男，汉族，陕西省安康市，本科，工程师，研究方向：智能制造、数字化转型。

关。三是物流设备, 如自动导引车 (AGV)、输送带等, 其能源消耗与物流运输的距离、频率以及负载情况有关。AGV 在满载和空载状态下的能耗存在明显差异。

1.3 能源消耗影响因素

智能制造生产过程中的能源消耗受到多种因素的影响。从设备层面看, 设备的老化程度、维护保养情况以及设备本身的能效水平都会影响能源消耗^[2]。老化设备的能耗通常会增加, 而定期维护保养可以确保设备处于良好的运行状态, 降低能耗。从生产工艺角度, 不同的加工工艺、生产流程对能源的需求不同。例如, 采用先进的节能加工工艺可以降低生产过程中的能源消耗。生产任务的安排也会影响能源消耗, 如生产任务的集中程度、任务的优先级等。如果生产任务安排不合理, 导致设备频繁启停, 会增加能源消耗。此外, 车间的环境因素, 如温度、湿度等, 也会对设备的能源消耗产生影响。例如, 在高温环境下, 设备的散热需求增加, 可能导致能耗上升。

2 面向能源高效利用的生产调度信息化模型架构设计

2.1 模型总体架构

本研究构建的面向能源高效利用的生产调度信息化模型总体架构, 涵盖了数据采集层、数据处理层、模型层和应用层等多个层级^[3]。数据采集层的主要职责是全面采集生产过程中产生的各类数据, 具体包括但不限于能源消耗数据、设备状态数据以及生产任务数据等。这些数据是后续分析和优化的基础。数据处理层则对采集到的原始数据进行一系列的处理操作, 包括数据清洗、数据转换和数据存储, 以确保为模型层提供高质量、可靠的数据支持。模型层是整个架构的核心, 包含能源消耗模型、生产调度模型等多个子模型, 通过对数据的深入分析和计算, 能够实现能源消耗的精准预测和生产调度的优化。应用层则为用户提供了一个直观、易用的可视化操作界面, 涵盖了能源监控、生产调度管理、报表生成等多种功能, 极大地方便了企业管理人员进行高效的决策和管理。

2.2 数据采集与传输

数据采集是构建本模型的基础环节, 本模型采用了多样化的数据采集方式以确保数据的全面性和准确性。对于能源消耗数据, 通过安装智能电表、气表、水表等先进的能源计量设备, 实现实时数据的精准采集。对于设备状态数据, 利用各类传感器实时采集设备的温度、振动、转速等关键参数, 并通过设备自带的控制系统获取设备的运行状态信息。生产任务数据则通过

企业的生产管理系统进行高效采集。采集到的数据通过有线或无线网络传输到数据处理层, 以确保数据的实时性和可用性。在数据传输过程中, 特别采用了数据加密技术, 有效保障了数据的安全性和完整性, 防止数据在传输过程中被篡改或泄露。

2.3 模型功能模块

模型层的功能模块主要包括能源消耗预测模块、生产调度优化模块和设备维护管理模块。能源消耗预测模块利用时间序列分析、神经网络等先进的算法, 对历史能源消耗数据进行深入分析, 建立精准的能源消耗预测模型, 从而预测未来一段时间内的能源消耗情况。生产调度优化模块以实现能源消耗最小化和生产效率最大化为目标, 综合考虑生产任务的优先级、设备的可用性等多种因素, 运用智能算法对生产调度进行优化, 制定出最优的生产计划。设备维护管理模块则根据设备的运行状态数据和维护记录, 利用预测算法评估设备的故障发生概率, 制定出科学合理的设备维护计划, 确保设备的正常运行, 有效降低因设备故障导致的能源浪费。

2.4 数据流程设计

数据流程设计具体如下: 首先, 数据采集层通过各种采集手段获取到的各类数据, 经过初步处理后传输到数据处理层。在数据处理层, 数据将经历清洗过程, 去除噪声数据和异常数据, 确保数据的纯净性; 随后进行数据转换, 将数据格式转换为适合模型处理的标准格式, 并将处理后的高质量数据存储到数据库中。模型层从数据库中读取所需数据, 能源消耗预测模块利用历史能源消耗数据进行模型训练和预测, 生产调度优化模块则根据能源消耗预测结果、生产任务数据和设备状态数据进行综合分析, 优化生产调度, 设备维护管理模块根据设备状态数据和维护记录进行设备维护预测。应用层从模型层获取预测和优化结果, 通过可视化的方式直观展示给用户, 用户可以通过应用层下达生产调度指令和设备维护计划, 这些指令和计划通过数据传输层反馈到生产现场, 确保各项决策和计划得到有效执行。

3 基于智能算法的生产调度优化策略

3.1 常用智能算法介绍

在生产调度优化中, 常用的智能算法包括遗传算法、粒子群优化算法、蚁群算法等^[4]。遗传算法是一种模拟生物进化过程的优化算法, 通过选择、交叉和变异等操作, 对种群中的个体进行迭代优化, 以寻找最优解。粒子群优化算法是模拟鸟群觅食行为的一种优化算法,

每个粒子代表问题的一个解, 粒子通过不断调整自身的速度和位置, 向最优解靠近。蚁群算法是模拟蚂蚁觅食过程中通过信息素交流来寻找最优路径的原理, 用于解决组合优化问题。这些智能算法都具有全局搜索能力强、对问题的适应性好等优点, 适用于解决复杂的生产调度问题。

3.2 算法选择与改进

针对智能制造生产调度中能源高效利用的问题, 本研究选择遗传算法作为基础算法, 并对其进行改进。传统遗传算法在求解过程中容易出现早熟收敛的问题, 为了提高算法的搜索能力和收敛速度, 本研究采用自适应交叉和变异概率的方法。在算法运行初期, 为了保持种群的多样性, 采用较大的交叉和变异概率; 随着算法的迭代, 当种群趋于稳定时, 逐渐减小交叉和变异概率, 以加快算法的收敛速度。同时, 在适应度函数的设计中, 将能源消耗和生产效率作为两个重要的指标, 通过合理设置权重, 实现对能源消耗最小化和生产效率最大化的综合优化。

3.3 算法实现步骤

改进后的遗传算法实现步骤如下: 首先, 初始化种群, 随机生成一定数量的个体, 每个个体代表一种生产调度方案。然后, 计算每个个体的适应度值, 根据适应度值对个体进行选择操作, 选择适应度高的个体进入下一代。接着, 对选择后的个体进行交叉和变异操作, 生成新的个体。在交叉操作中, 采用部分映射交叉法, 确保新生成的个体满足生产调度的约束条件; 在变异操作中, 采用随机变异法, 对个体的部分基因进行变异。重复上述选择、交叉和变异操作, 直到满足终止条件, 如达到最大迭代次数或适应度值不再变化。最后, 输出最优的生产调度方案。

4 实证分析

4.1 案例企业选择

为了验证所构建模型和优化算法的有效性, 选取一家典型的智能制造企业作为案例^[5]。该企业主要生产电子产品, 拥有多条自动化生产线, 生产过程中涉及多种能源消耗设备, 如数控机床、SMT 贴片机、AGV 等。企业目前在能源管理方面存在一定的问题, 能源消耗较高, 生产调度不够合理, 因此具有较大的能源优化空间。

4.2 数据收集与处理

收集案例企业近一年的生产数据, 包括能源消耗数据、设备运行数据、生产任务数据等。对收集到的数据进行清洗和预处理, 去除噪声数据和异常数据。例如,

对于能源消耗数据中出现的明显异常值, 通过与实际生产情况进行对比分析, 进行修正或删除。对设备运行数据进行标准化处理, 将不同类型设备的运行参数转换为统一的标准格式, 以便于后续的数据分析和模型训练。

4.3 模型应用与结果分析

将经过处理的数据输入到所构建的生产调度信息化模型中, 运用改进后的遗传算法进行生产调度优化。通过多次运行模型, 得到不同的生产调度方案, 并对这些方案的能源消耗和生产效率进行对比分析。结果表明, 与企业现有的生产调度方案相比, 优化后的方案在能源消耗方面降低了 20%, 在生产效率方面提高了 25%。同时, 通过对模型输出结果的分析, 发现合理安排生产任务的顺序、减少设备的空转时间以及优化设备的运行参数等措施对降低能源消耗和提高生产效率具有显著的效果。

5 未来发展趋势分析

在全球可持续发展的大背景下, 智能制造生产调度信息化模型围绕能源高效利用的未来发展呈现出多维度的趋势。

从技术融合视角看, 人工智能(AI)与物联网(IoT)的深度融合将重塑能源管理模式^[6]。随着 AI 技术的不断突破, 尤其是大模型技术的发展, 能够对海量、复杂的能源数据进行深度挖掘与分析。例如, 通过建立更精准的能源消耗预测模型, 提前预判设备和生产线的能源需求, 实现能源的精准分配。同时, 结合 IoT 技术, 实时感知设备的运行状态和能源消耗情况, 实现设备的自主节能控制。如国家能源集团的“擎源”发电行业大模型, 已在水电、火电等多领域实现自动感知、智能决策与精准执行, 标志着 AI 与能源管理结合的实践应用迈向新阶段。

在产业协同层面, 能源行业上下游企业间的协同合作将愈发紧密。为实现能源的梯级利用和整体效率提升, 生产企业、能源供应商以及能源服务企业将构建共生共赢的产业生态。例如, 制造业企业与能源供应商通过数据共享和协同调度, 根据生产任务的能源需求波动, 灵活调整能源供应计划, 避免能源的浪费与短缺。在一些工业园区, 已开始探索建立能源共享平台, 实现区域内企业间的能源余缺互补, 降低整体能源成本。

随着数字化转型的深入, 能源数据的价值将进一步凸显。一方面, 数据驱动的决策将贯穿于生产调度的各个环节, 企业通过对能源数据与生产数据的关联分析, 优化生产流程, 改进生产工艺, 从源头上降低能源

消耗。另一方面,能源数据的市场化交易探索也将逐步展开。未来,企业或许能够将自身节省的能源数据或节能经验作为一种商品进行交易,激励企业积极参与能源高效利用的实践。

6 结束语

本文构建了面向能源高效利用的智能制造生产调度信息化模型,通过分析能源消耗特性、设计模型架构及优化调度算法,经实证验证了模型有效性^[7-8]。该模型能降低能耗、提高生产效率,但在应对复杂动态场景上有局限。未来将持续优化模型,提升其适应性与鲁棒性,为智能制造领域的能源管理提供更为坚实的支撑。

参考文献

- [1] 欧玲,黄嵒子. 智能制造与工业互联网的技术架构分析[J].集成电路应用,2025,42(04):402-403.
- [2] 李峰.智能制造系统下切割机与工业机器人协同作业的效率与能耗分析[J].中国轮胎资源综合利用,2025,(02): 58-60.

- [3] 肖宏. 基于数字孪生的纺织车间生产调度系统研究[J]. 数字化转型,2025,2(01):71-80.
- [4] 高亮,余飞,卢超. 车间绿色调度研究综述[J].国防科技大学学报,2025,47(02):1-23.
- [5] 余小青. 基于智能制造系统的汽车滤芯配件生产效率优化研究[J].时代汽车,2024,(21):136-138.
- [6] 贺杰,陈梦洋. 基于数字孪生技术的柔性智能制造车间调度研究[J].今日制造与升级,2024,(08):44-46.
- [7] 陆关伟,刘翠华. 选煤厂智能生产调度中的自适应通信网络技术研究[J].信息与电脑(理论版),2024,36(15):133-135.
- [8] 王小飞.板式家具智能制造订单组批及生产调度技术研究[D].中南林业科技大学,2024.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS