



Topic Insights

智能制造的新趋势

高亮^a, Weiming Shen^b, 李新宇^a

^a The State Key Laboratory of Digital Manufacturing Equipment and Technology, School of Mechanical Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China

^b National Research Council, Ottawa, ON K1A 0R6, Canada

智能制造已成为世界制造业发展的一大趋势, 受到了越来越多工业发达国家的重视。例如, 美国提出了工业互联网和新一代机器人等智能制造发展规划; 德国发布了“工业4.0”规划, 将通过智能制造提升本国制造业的竞争力; 欧盟及日本、韩国、中国等制造业大国也纷纷制定了适合本国国情的智能制造国家战略。显然, 智能制造已成为制造业发展的重要方向。

本期智能制造专题包含10篇论文, 包括两篇观点论文和8篇研究论文, 由来自中国、美国、英国、瑞典、日本、新加坡和澳大利亚等国的有影响力专家撰写。这些论文涵盖了智能制造的很多方面, 包括从智能科学到智能制造的人工智能技术分析、关于智能制造设计的思考、面向新一代智能制造的人-信息-物理系统、数字孪生和信息物理系统的分析与比较、情境感知智能产品的设计、智能机床、激光焊接状态的在线监测技术、加工过程的异常诊断技术、制造系统的工业大数据分析技术, 以及推进中国企业智能制造技术升级的路线等。

Wang的观点论文重点分析了从智能科学到智能制造的人工智能技术。首先简要介绍了人工智能的发展历史, 然后给出了人工智能在制造业中的代表性案例, 最后, 指出了智能制造的机遇和挑战。该论文认为人工智能与最新信息技术给智能制造带来的新机遇包括: ①远程实时监控与低时延控制; ②通过优化的工艺规划与调度实现零缺陷加工; ③考虑成本效益和安全的资产预测维护; ④供应链的全面规划与整体控制等。预计在未来几年内, 复杂性和不确定性仍将是制造业面临的主要挑

战。然而, 人工智能可为这些挑战的解决提供有效方法。

Rosen的观点论文认为智能制造设计是智能制造背景下智能产品和服务的设计, 特别是针对新一代智能制造系统。本文提出了一种智能制造设计框架。该框架包含两个方面: 一是面向可能性和机会的设计, 以此来探索新的设计理念、产品和服务; 二是面向约束的设计, 以寻求避免制造过程局限性所带来的约束。

周济等的论文从人-信息-物理系统(HCPS)的角度回顾了智能制造的发展历程。在HCPS中, 物理系统是主体, 信息系统是主导, 人是主宰。同时, HCPS揭示了智能制造的技术机理, 也构成了智能制造的技术体系。实施智能制造的实质就是构建与应用各种不同用途、不同层次的HCPS。本文重点探讨了面向新一代智能制造的HCPS的内涵、特征、技术体系、实现架构以及面临的挑战。

陶飞等的论文分析和比较了面向智能制造和工业4.0的数字孪生与信息物理系统之间的相同点和不同点。数字孪生与信息物理系统对于智能制造而言都很重要, 均得到广泛关注。该论文从多个方面分析了数字孪生与信息物理系统的不同点和相关性, 以帮助其他研究者更好地理解和使用数字孪生和信息物理系统。

Liu等的论文提出了一种结构化设计框架, 用以支持情境感知智能产品的生物启发式设计。该框架以功能-行为-结构理论为基础, 定义了结构化设计过程, 借助各种生物启发支持不同的概念设计活动, 如问题形成、结构重构、行为重构和功能重构。该框架也包含了

一些现有的设计方法和新兴的设计工具。最后，通过一个案例分析，阐明了如何利用该框架重新设计机器人吸尘器，使其更具有情境感知能力。

陈吉红等的论文揭示了机床从手动机床演化到智能机床的三个阶段（数控机床、互联网机床以及智能机床），详细分析了智能机床的自主感知与连接、自主学习与建模、自主优化与决策和自主控制与执行这四项智能化控制的实现原理，提出了智能机床通过数据学习形成并积累知识的本质特征，独创发明了指令域分析方法、物理和大数据混合建模技术、i代码和双码联控等关键使能技术。基于以上研究，研制了智能数控系统和智能机床工业样机。

张艳喜等的论文开发了一个激光焊接状态的在线监控系统。激光焊接过程中的焊接状态在线监测十分重要，它可以帮助提高焊接接头的强度和焊接效率。本文基于焊接过程的实时量化特征建立了焊接状态监测的深度信念网络模型，并采用遗传算法对所提出的深度信念网络模型参数进行优化。实验结果表明该深度信念网络模型具有良好的精度和鲁棒性。

Liang等开发了一个数据驱动异常诊断系统，以帮助实现数控加工的零缺陷。该系统能连续采集动态加工过程中的功率等状态监测数据。本文设计了一种预处理机制来实现数据的去噪和规范化。同时，本文还从监测数据中提取了重要特征，并定义了异常识别阈值。并基于历史数据，采用果蝇优化算法对阈值进行了优化，以实现更精确的检测。通过实例研究，验证了该系统的可行性和有效性。

汪俊亮等提出了一种基于雾计算的工业大数据集成与共享方法（Fog-IBDIS），采用云端与边缘端协作的方式，实现工业数据的分布式本地处理，在多源数据的分析中保障了源数据的私密性与安全性。首先，在云端设计了任务流图，将多源数据分析过程分解成多个子任务；其次，设计了子任务管理、编译和运行控制、数据集成传输、基本算法库和管理组件五个模块，实现子任务的本地边缘端处理；最后，以飞机制造过程为例，对Fog-IBDIS的运行过程进行了验证，其通过边缘与云端的协作方式，将多来源数据分析任务分解至本地执行，通过中间结果的传输串联实现工业大数据的分析，可保障原始数据的私密性与安全性。

周源等的论文旨在探索中国企业的智能制造技术升级路线，通过多个案例研究，对中国5个制造企业的智能制造实施案例进行比较分析，数据来源包括半结构化访谈和档案数据，提出了基于三个基本范式的智能制造技术升级路线分析模型，总结出推进智能制造的技术升级路线——“并行推进、融合发展”。本文所阐释的技术升级路线有利于指导制造企业、决策者和投资者选择适合自己的智能制造推进路径。

我们感谢所有作者对本期智能制造专题所作的贡献。我们也要感谢所有的审稿人，感谢他们严谨的审稿，感谢他们富有洞察力和建设性的意见。我们还要感谢*Engineering*编辑部对本期智能制造专题的大力支持。未来，我们相信将有越来越多的人工智能和大数据技术应用于制造业的方方面面。这些将驱动制造系统向敏捷响应、高质高效、个性定制、绿色健康、舒适人性的方向发展。