

人工智能技术在智能制造中的典型应用场景与标准体系研究

李瑞琪¹, 韦莎¹, 程雨航¹, 侯宝存²

(1. 中国电子技术标准化研究院, 北京 100007; 2. 北京航天智造科技发展有限公司, 北京 100039)

摘要: 针对人工智能在智能制造领域应用不断深入的趋势, 本文基于企业关键绩效指标 (KPI) 的定义, 分析了智能制造的系统实现形式, 并进一步讨论了人工智能技术在智能制造中的主要作用; 通过梳理人工智能在智能制造中的典型应用场景, 从生命周期维度提出了人工智能在智能制造中的应用地图, 总结了人工智能在智能制造应用中的共性技术, 并以生产环节为例说明了人工智能技术对企业的影响; 最后, 提出了人工智能在智能制造中的标准体系。

关键词: 人工智能; 智能制造; 企业关键绩效指标; 标准化

中图分类号: T-1 **文献标识码:** A

Research on Typical Application Scenarios and Standards System of Artificial Intelligence in Intelligent Manufacturing

Li Ruiqi¹, Wei Sha¹, Cheng Yuhang¹, Hou Baocui²

(1. China Electronics Standardization Institute, Beijing 100007, China; 2. Beijing Aerospace Intelligent Manufacturing Technology Development Co., Ltd., Beijing 100039, China)

Abstract: In terms of the artificial intelligence (AI) application in intelligent manufacturing, this paper analyzes the system realization form of intelligent manufacturing based on the definition of enterprise's key performance indicators (KPI), and further discusses the main role of AI in intelligent manufacturing. Based on the typical application scenarios of AI in intelligent manufacturing, this paper puts forward the application map of AI in intelligent manufacturing from the life cycle dimension, summarizes the common technologies in AI application to intelligent manufacturing, and illustrates the influence of AI on enterprises by taking production as an example. Finally, this paper puts forward the standards system of AI in intelligent manufacturing.

Keywords: artificial intelligence; intelligent manufacturing; enterprise's KPI; standardization

一、前言

近年来, 随着人工智能与制造业的融合逐渐深

化, 人工智能在智能制造中的应用不断增加, 美国、德国、法国等制造强国纷纷出台相关政策支持人工智能的发展。我国也于 2017 年 8 月发布《新一代

收稿日期: 2018-06-05; 修回日期: 2018-07-06

通讯作者: 韦莎, 中国电子技术标准化研究院, 高级工程师, 主要从事智能制造标准研究、人工智能在智能制造中的应用及相关标准研究;
E-mail: weisha@cesi.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“新一代人工智能引领下的智能制造研究”(2017-ZD-08-03)

本刊网址: www.enginsci.cn

人工智能发展规划》及《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划（2018—2020 年）》，其中明确指出“以信息技术与制造技术深度融合为主线，以新一代人工智能技术的产业化和集成应用为重点，推进人工智能和制造业深度融合，加快我国的制造强国和网络强国建设”。

但是，当前我国人工智能在智能制造中的应用水平与国外相比仍有较大差距，并且缺乏相关的标准支撑。因此，迫切需要在梳理人工智能在智能制造中典型应用场景的基础上，总结人工智能在智能制造中的应用体系，分析当前存在的问题与未来发展趋势，研究其中所涉及的共性技术及相关应用对企业关键绩效指标（KPI）的影响，并进一步构建人工智能在智能制造领域的标准体系。这对推动人工智能与我国制造业的深度融合，提升我国的智能制造水平，完善我国智能制造标准体系均具有重要意义。

二、智能制造系统架构与实现

（一）智能制造系统架构

根据新一代智能制造技术机理 [1] 中的分析可知，与传统制造系统相比，第一代和第二代智能制造系统在人和物理系统之间增加了信息系统，人的部分感知、分析、决策功能向信息系统复制迁移，人进而可以通过信息系统来控制物理系统，以代替人类完成更多的体力劳动。然而，新一代智能制造系统的本质特征是其信息系统在第一代和第二代智

能制造系统的基础上增加了认知和学习的功能，信息系统不仅具有感知、计算分析与控制能力，还具有学习提升、产生知识的能力。

新一代智能制造系统架构如图 1 所示。

（二）智能制造的关键绩效指标

新一代智能制造系统通过集成人、信息系统和物理系统的优势，使企业的工作效率、质量与稳定性均得以显著提升；通过将人类相关制造经验和知识转移到信息系统，还能够有效提高人类知识的传承和利用效率。根据文献 [2,3] 可知，企业的 KPI 是衡量企业性能的一种量化管理指标，因此，智能制造系统对企业的影响可以用各项 KPI 来描述，其中主要包括良品率、效率、设备综合效率指数（OEE）、交付周期等。例如，OEE 表现的是设备实际生产能力相对于理论产能的比率 [4,5]。

（三）智能制造系统的实现探索

企业是智能制造系统的载体，通过建设智能制造系统提升企业的盈利能力和竞争力也是企业转型升级的基本诉求之一。综合上述因素，基于图 1 所示的新一代智能制造系统架构、企业系统层级及企业关键绩效指标等，智能制造系统的实现形势可以通过以企业为核心的闭环系统来表述，如图 2 所示。

在图 2 所示的智能制造系统的实现探索中，企业在市场需求驱动下，深入挖掘客户个性化需求，并在产品生命周期过程中不断监测企业的各项关键

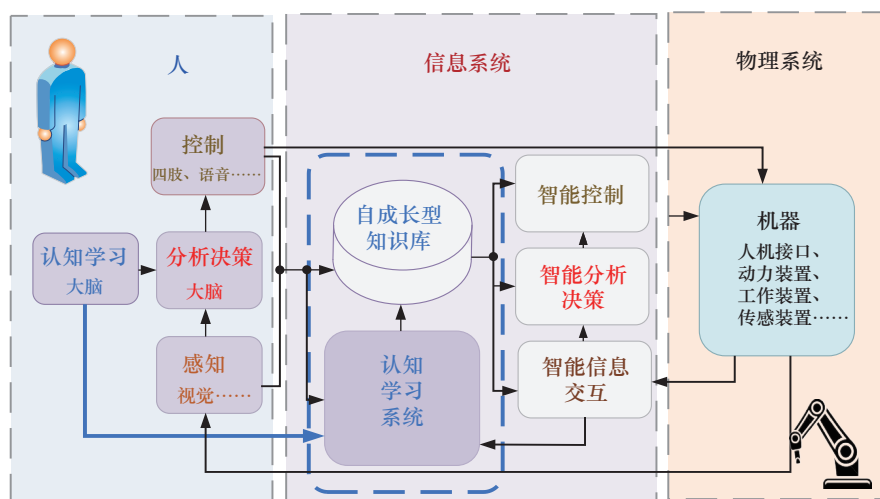


图 1 新一代智能制造系统架构 [1]

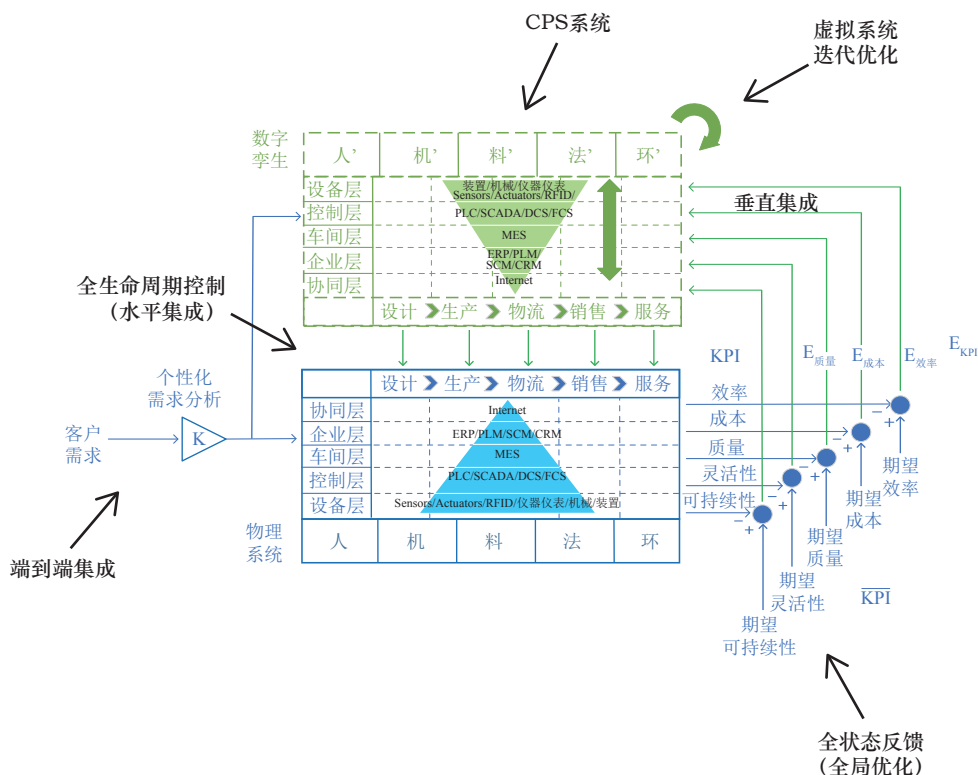


图2 智能制造系统的实现探索

注：RFID：射频识别；PLC：可编程逻辑控制器；SCADA：数据采集与监视控制系统；DCS：分布式控制系统；FCS：现场总线控制系统；MES：制造企业生产过程执行系统；ERP：企业资源计划；PLM：产品生命周期管理；SCM：供应链管理；CRM：客户关系管理；CPS：信息物理系统。

绩效指标及其与期望指标之间的偏差。基于以上信息及企业自身生产、管理等数据，在信息系统中进行信息的集成与融合，分析企业存在的问题并通过虚拟仿真验证等方式迭代优化得出改善相应问题的策略，进而对实际产品设计、生产、物流等全生命周期各环节进行调整，最终实现水平集成、垂直集成、端到端集成，提高企业的各项 KPI、盈利能力与竞争力。

(四) 人工智能技术在智能制造中的主要作用

人工智能技术在图2中各环节的应用是新一代智能制造系统实现的基础。在需求分析环节，客户画像、舆情分析等人工智能技术的应用可以提升企业对生产个性化需求分析的准确性，从而提升企业的生存能力；在企业关键绩效指标分析方面，成品过程效率分析、物流能效分析、分销商行为分析、客户抱怨求解等人工智能技术的应用能够为企业隐性问题的挖掘提供依据；在企业运行优化方面，先进生产排程、生产线布置优化、工艺分析与优化、成品仓优化等人工智能技术的应用能够为企业在生产、物流等环节的优化调整提供辅助决策；在产品

生命周期控制方面，基于增强现实技术（AR）的人员培训、智能在线检测等人工智能技术的应用能够提升产品在设计、生产等环节的效率与质量。

综上所述，人工智能技术在智能制造系统各环节中的应用能够推动制造系统的效率和产品的质量提升至新的水平；为企业运行提供优化和决策依据，减小企业人员工作强度，提升企业各项关键绩效指标；促进制造业企业向自感知、自决策与自执行的方向发展。

三、人工智能技术在智能制造中的典型应用场景

(一) 典型应用矩阵

根据上文的分析可知，人工智能技术在智能制造领域已经实现了一定范围的应用。通过综合考虑相关应用在产品生命周期所处位置以及对产品全面质量管理关键要素的影响，图3从产品生命周期与人、机、料、法、环等关键要素两个维度给出了人工智能在智能制造中的典型应用矩阵。

由图3可知，当前人工智能在智能制造中应用

	设计	生产	物流	销售	服务
人	人员资质能力图谱 文档搜索优化 设计整理及优化 生产线布置优化 文档库管理、协同 研发过程和流程优化	产品生产指导 基于AR的人员培训 生产经验的累积和总结 从经验到实训的闭环 特定生产环节的优化	辅助供应链管理 基于在线监测大数据 的云评价及智能推送 物流设计辅导 实时物流数据智能 推送	企业产品营销 需求/销量预测 分销商行为分析 客户画像 销售成本效率优化	基于AR的设备维修维护 舆情分析 服务计划匹配 客户抱怨求解
机	产品持续改进 产品立项模拟 资源共享 多专业协同	智能实时质量检测 智能生产过程监控 工业设施优化 机器人协作与感知 生产信息透明化管理 与决策 人机结合	物品包装检测系统 成品无损检测 入出厂物流求解	产品虚拟体验设备 销售过程分析及 优化 销售分析工具	设备预测性维护与服务 服务效果总结 服务数据分析
料	产品质量预测 生产效果预测 成品过程效率分析	持续质量管理 企业资源规划 成品仓优化 来料字符检测 生产数据库优化 质量数据库	原材料价格预测 采购提前期预测 采购流程优化 来料质量预测 物流优化工具	清仓定价 物料调拨优化 销售合同在线审定 风险评估	备件备件预防性服务 服务数据库管理 运维图像处理 运维数据标记 一体化设计到一体化 运维的协同
法	设计规则库	制造系统分析与决策 一贯制管理 制造过程及装配线规划 动态智能排产 质量分析 工艺实时分析与优化 能源流优化	效能工具 供应商健康评级 采购行为健康评级 物流能效分析	业务支撑自动化 精准营销	售后服务时间优化 重复劳动（常规巡检、 辅助工序）效率提升
环	项目评审优化 环境影响效能分析	能耗与环境分析 污染物实时监控 全生产环节环境提升	物流对于场外交通 负荷分析		恶劣工序、废物回收等 优化

图 3 人工智能在智能制造中的典型应用矩阵

所涉及的共性技术包括：机器学习、生物特征识别、计算机视觉、自然语言处理与知识图谱等。同时，上述应用主要围绕产品质量检测、工艺分析与优化等特定及重复性的问题，并为企业管理者或车间运维人员提供辅助优化与辅助决策以提升企业的效率和减小人员的工作强度。

(二) 人工智能在生产环节的典型应用

人工智能的典型应用包括：基于 AR 的人员培训、预测性维护、动态智能排产、智能在线检测及能耗与环境分析等。

针对基于 AR 的人员培训，传统的培训方式由于缺乏灵活性、活动性、难以理解、成本高等因素严重影响了学员的培训效果。AR 设备能够为学员提供实时可见、现场分步骤的指导，从而改善上述问题，尤其是在产品组装等领域。通过将图纸转换为可视三维模型，指导操作人员完成所需的步骤。以波音公司为例，基于 AR 的 Boeing 737 引擎装配及故障检修系统，提高了装配效率约 20%，提升了一次装配正确率约 24% [6,7]。

针对预测性维护，当传统生产线的生产设备出现故障报警时可能已经生产了大量的不合格品，给整个企业带来损失。预测性维护依据实时采集的设备运行数据，通过机器学习算法辨识故障信号，从而实现对故障设备的提前感知与维护，最终减少设备所需的维护时间与费用，提高设备利用率，避免因设备故障所引起的损失 [8,9]。

针对动态智能排产，传统的人工排产方式通常工作强度较大，对人员依赖度较高，而且由于工序繁多还有可能导致生产计划不合理、效率低。智能排产系统通过机器学习算法等帮助企业进行资源和系统的整合、集成与优化，实现动态最优化的排程，进而帮助企业实现按需生产，提高运行效率，缩短产品周期，提升企业的产能。以电梯制造企业为例，动态智能排产系统可以将计划制定的时间缩短 75% [10,11]。

针对智能在线检测，传统的产品表面缺陷、内部隐裂、边缘缺损等缺陷的检测主要依靠人眼判断，由于工作强度高，容易引起操作人员的疲劳，从而导致次品率高，尤其在芯片行业、家电行业、纺织

行业等。智能在线检测技术依据传感器采集的产品照片，通过计算机视觉算法检测残次品，从而提高产品检测速度及质量，避免因漏检、错检所引起的损失。以芯片企业为例，该项应用的实施可以大幅降低次品率，同时通过分析次品原因还可以降低产品的报废率，并优化产品设计与生产工艺达到进一步降低测试成本的目的 [12]。

四、人工智能技术在智能制造中的标准体系研究

(一) 人工智能技术在智能制造中的标准体系

随着人工智能技术、新一代信息技术、制造专业新技术在智能制造领域的深度融合，人工智能标准可以用于指导人工智能技术在生命周期各环节中的应用，并确保其在智能制造应用中的可靠性与安全性，以满足制造全生命周期活动的智能化发展需求。

针对当前人工智能技术在智能制造中应用不断增多的现状，人工智能标准研制的迫切性与必要性日益凸显。依据《国家智能制造标准体系建设指南(2018年版)》(征求意见稿)，人工智能应用标准包括场景描述与定义标准、知识库标准、性能评估标准，以及智能在线检测、基于群体智能的个性化创新设计、协同研发群智空间、智能云生产、智能协同保障与供应营销服务链等应用标准。根据人工智能在智能制造中的典型应用场景与所涉及的共性技

术，结合智能制造中对相关应用的安全性、互联互通等要求，上述人工智能应用标准可以进一步展开为如图4所示的人工智能在智能制造中的标准体系结构，包括基础共性、基础范式、平台资源、核心技术、工业应用五部分内容。

(二) 在研标准研究进展

国际标准化组织 (ISO)、国际电工委员会 (IEC)、国际标准化组织 / 国际电工委员会第一联合技术委员会 (ISO/IEC JTC1)、国际电信联盟电信标准分局 (ITU-T)、电气和电子工程师协会 (IEEE) 等国际标准化组织，以及全国信息技术标准化委员会、全国工业过程测量控制和自动化标准化技术委员会、全国自动化系统与集成标准化技术委员会等国内标准化组织在人工智能领域标准化方面已开展了大量的工作，发布了《信息技术 词汇 第 28 部分：人工智能 基本概念与专家系统》《信息技术 词汇 第 29 部分：人工智能 语音识别与合成》《信息技术 词汇 第 31 部分：人工智能 机器学习》《信息技术 词汇 第 34 部分：人工智能 神经网络》等一系列国家标准，并启动了自主系统的透明度、数据隐私处理、算法偏差注意事项等标准项目 [13]。

目前，人工智能在智能制造领域的相关标准仍相对较少。由中国电子技术标准化研究院等提报的两项 IEEE 标准提案《智能制造 基于机器视觉的在线检测通用要求》(Standard for General Requirements of Online Detection based on Machine Vision in

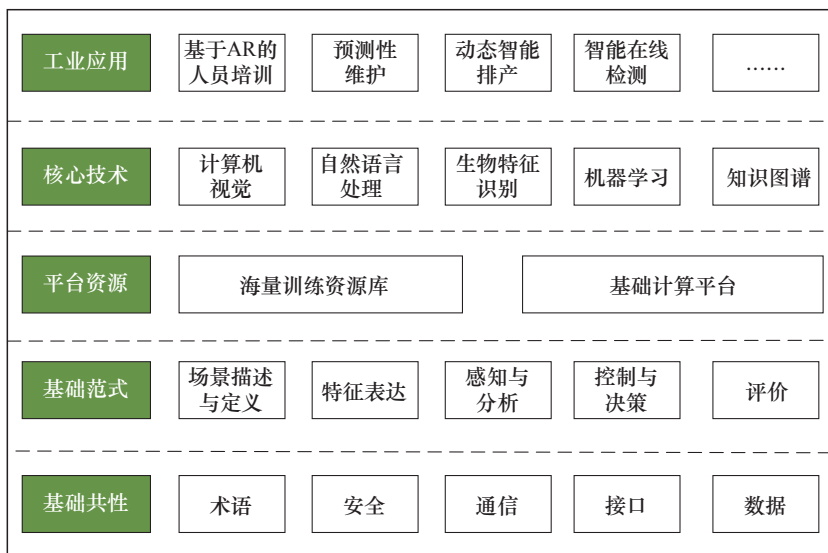


图4 人工智能在智能制造中的标准体系结构图

Intelligent Manufacturing) 于 2017 年 12 月 7 日在新标准委员会会议 (IEEE NesCOM) 上通过审查并正式获批立项 (项目编号: P2671)。

五、结语

人工智能技术对推动我国新一代智能制造系统的发展起着关键作用, 也对企业 KPI 的提升具有重要意义, 而且已经在产品生命周期的各个环节中实现了诸多应用。但是, 智能制造领域中的人工智能标准仍然相对较少, 无法满足当前人工智能技术的标准化需求, 并制约着我国人工智能应用的有序、规范、健康发展。我国智能制造标准化工作的快速推进为人工智能在智能制造中的应用提供了良好的基础, 下一步, 围绕人工智能技术在智能制造中的应用现状及未来发展需求, 并结合《新一代人工智能发展规划》《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划 (2018—2020 年)》《国家智能制造标准体系建设指南 (2018 年版)》(征求意见稿) 等重要文件中的要求部署, 有待重点开展场景描述与定义、知识库、性能评估、典型工业应用等相关标准研究, 加速推动我国制造业的转型升级。

参考文献

- [1] Zhou J, Li P G, Zhou Y H, et al. Toward new-generation intelligent manufacturing [J]. *Engineering*, 2018, 4(1): 11–20.
- [2] 沈清泓. 企业制造执行系统和关键性能指标评估技术研究 [D]. 杭州: 浙江大学(博士毕业论文), 2013.
Shen Q H. Research on manufacturing execution system and performance index indicator evaluation technology of enterprise [D]. Hangzhou: Zhejiang University (Doctoral dissertation), 2013.
- [3] Jovan V, Zorzut S. Use of key performance indicators in production management [C]. Bangkok: Cybernetics and Intelligent Systems, 2006.
- [4] Godfrey P. Overall equipment effectiveness [J]. *Manufacturing Engineer*, 2002, 81(3): 109–112.
- [5] Hansen R C. Overall equipment effectiveness: A powerful production/maintenance tool for increased profits [M]. New York: Industrial Press Inc., 2001.
- [6] Rios H, González E, Rodriguez C, et al. A mobile solution to enhance training and execution of troubleshooting techniques of the engine air bleed system on Boeing 737 [J]. *Procedia Computer Science*, 2013, 25: 161–170.
- [7] 尹旭悦, 范秀敏, 王磊, 等. 航天产品装配作业增强现实引导训练系统及应用 [J]. *航空制造技术*, 2018, 61(1/2): 48–53.
Yin X Y, Fan X M, Wang L, et al. Augmented reality training system for aerospace product assembly process guidance and its application [J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2018, 61(1/2): 48–53.
- [8] 涂忆柳, 李晓东. 维修工程管理研究与发展综述 [J]. *工业工程与管理*, 2004, 9(4): 7–12.
Tu Y L, Li X D. Review on the research and development of maintenance engineering management [J]. *Industrial Engineering and Management*, 2004, 9(4): 7–12.
- [9] 高宏力, 李登万, 许明恒. 基于人工智能的丝杠寿命预测技术 [J]. *西南交通大学学报*, 2010, 45(5): 685–691.
Gao H L, Li D W, Xu M H. Intelligent monitoring system for screw life evaluation [J]. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 2010, 45(5): 685–691.
- [10] 谭辉, 张洪伟, 朱丽. APS 系统中基于改进的遗传算法的分布式排产研究 [J]. *计算机应用研究*, 2005, 22(6): 76–79.
Tan H, Zhang H W, Zhu L. Research of distributed scheduling based on modified GA in APS [J]. *Application Research of Computers*, 2005, 22(6): 76–79.
- [11] Xu K, Li S, Zheng S. The value and governance of industrial big data [J]. *Modern Management*, 2017, 7(5): 245–252.
- [12] 郑金驹, 李文龙, 王瑜辉, 等. QFP 芯片外观视觉检测系统及检测方法 [J]. *中国机械工程*, 2013, 24(3): 290–294, 301.
Zheng J J, Li W L, Wang Y H, et al. QFP chip visual inspection system and its inspection method [J]. *China Mechanical Engineering*, 2013, 24(3): 290–294, 301.
- [13] 中国电子技术标准化研究院. 人工智能标准化白皮书 (2018 版) [R]. 北京: 中国电子技术标准化研究院, 2018.
China Electronics Standardization Institute. White paper on artificial intelligence standardization (2018) [R]. Beijing: China Electronics Standardization Institute, 2018.