



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/eng



Topic Insights

智能流程制造最新进展

R. N. Lumley^{a,b}

^a Senior Technical Specialist, A.W. Bell Pty. Ltd., Dandenong South, VIC 3175, Australia

^b Adjunct Professor, La Trobe University, Melbourne, VIC 3086, Australia

智能流程制造是现代工业工程中不可或缺且不断发展的一部分，它可以简单描述为传统制造和用于处理动态全球市场的现代技术密集型制造的交叉领域。除了提高质量[1]和确保及时交付之外，降低制造过程的运营成本也是长期以来的一个目标[通常称为“质量、成本、交期”（QCD [2]）]。QCD一直是一项杰出的提议，也是一种不断发展的制造工业管理方法，而如物联网（IOT）、大数据分析、信息物理融合系统的集成（如数字孪生），虚拟现实、增强现实、混合现实的使用，以及人工智能（AI）的潜在利用[3]等诸多新的技术集成，共同促进了上述目标在更短的时间内，以更可靠、灵活的方式得以实现。因此，产品开发创新周期越来越短，从而使产品更快进入市场，并为早期适应行业提供了竞争优势。这些技术的真正作用是能够有效分析制造环境，更快地优化工艺，并基于累积的信息[4]促进决策制定，从而降低运营风险。然后，鲁棒的企业资源规划（ERP）系统可以利用此反馈信息实现闭环控制，并逐步实现制造环境的自我优化。

供应链是流程工业智能制造的关键组成部分，并且可以推测的是如果没有制造企业真正的系统集成，就无法实现供应链。在这里，“内在互联性”的概念是指在供应链中，甚至在劳动力市场中，可以根据简单的模型或原则预测的不足或过剩。这是因为可跨材料、过程和劳动力需求进行沟通的系统可以确保不足不会影响生产，过剩不会造成不必要的成本和损耗。通过包括人力资源和员工培训在内的ERP系统的正确利用和集成，可

以在资本投资之前建立整个供应链，并且可以在成本、交期和质量的基础上对其进行优化，换句话说，在每个参数的任意加权下真正地实现供应链的优化。因而，可以从整体上看待供应链模型，并且在未来，我们可以利用区块链等技术进一步实现物流管理和高效供应网络的建立，因而说明它将带来巨大的机遇[5]。

在制造战略分析中需要考虑一些关键类别。标准和制造参数的严格遵守是智能制造的关键驱动因素，并且在许多方面，将标准本身集成到制造工厂中是下一代自动化的关键。例如，在ISO 9001:2015和AS9100D:2016等重要的制造标准的最新修订中，风险评估及其管理方式都有重大转变。与特定部门相关的制造标准着重于过程或结果，因而很容易理解，未来内在关联的制造业必然会将两者结合起来。AI辅助决策显然是降低风险和改善结果的关键因素。因此，这种互联性也必须产生可连续评估的数据。产品性能是流程工业智能制造领域的一个可度量的属性和关键指标。例如，通过技术密集型方案启动零缺陷计划（ZDP）[6,7]可以同时提高产品的可靠性和交付及时性。因为不合格的产品会增加产品的总成本并延长交付周期，所以所谓的“质量成本”，实际上指的是劣质产品的成本[8]。利用日益先进的统计技术的大数据分析可能是验证或发起改进的合理方法，但与此同时，它们也是能够区分或识别出原本无法检测的不一致性及其影响差异的合理方法。

产品的特性通常由制造过程的灵活性来表征。尽管最小化产品线的特性无疑是具有成本效益的，但智能制

造要求那些补充产品基本功能的属性能够快速修改，从而在不影响成本的情况下满足客户的个性化需求。增材制造是大规模定制化生产的一个明显例子，分散生产是其中一个明显的结果。例如，现在在一些工程产品中已经可以使用增材制造生产零部件[9]。

产品或流程的可靠性是对其在给定的时间范围内停止按原定计划运行的可能性的度量。随着产品的老化，其可靠性相应降低。如果产品的耐久性高于预期所需操作，可靠性可相应延长。尽管产品的可靠性、耐用性和质量作为整体紧密相联，但在流程工业智能制造的背景下，可靠性实际上是一种最小化停机时间的能力，并以一种更具战略性和最优性的方式对制造设施本身进行预测性或预防性维护。这种预测分析使得智能传感器成为可靠性的一个日益重要的部分，因为在制造操作中，延长设备和装置的可用寿命尤为重要。以这种方式使用智能传感器可以实现设备和装置本身在重大故障或事故发生之前通知负责团队，从而在不影响生产的情况下进行和计划定期维护。此外，智能预测系统的概念可以减低运营费用，因而具备显著的成本优势。在特定环境中，当达到某些可能是安全关键的阈值时，对决策的快速响应变得非常紧迫。对此，使用AI增强的决策和增强现实的机会越来越多，例如，专家可以在最短的时间内远距离对补救措施提供建议[10]。

在本期人工智能赋能流程制造专题中，尚超和You概述了制造业中数据分析和机器学习的应用现状，并同时研究了数据的可解释性至关重要的被动应用（如软测量或监控），以及系统功能至关重要的主动应用（如过程控制和决策）。Litster和Bogle研究了流程工业智能制造在食品、药品、农产品和化学产品等产品生产中的机遇。在这些工业生产过程中，数字化、大数据和预测模型可用于开发供应链中的解决方案，从而保证及时交付和产品质量。Zhong等介绍了一种基于知识的聚乙烯生产操作优化系统，并演示了该方法如何同时改进和调节过程。

为了加快决策过程，岳伟超等利用一种强化模糊认知图，解决了如何优化铝还原电池电解质中添加氟化铝（ AlF_3 ）的问题。他们提出，建立的模型对 AlF_3 的添加过程有自动决策的潜力。毛帅等展示了使用AI方法来考虑知识获取和基于知识的推理的实用性，从而为动态

风险评估和AI增强的决策提供了有效的策略。尤其是在化工生产行业中，事件预警的机会是一个值得关注的焦点。Plehiers等研究了四个深度学习的人工神经网络的框架，以对（石脑油）蒸汽裂解装置废水成分进行准确预测，实现其经济、环境上的双重效益。

为了识别苯甲酸和乙醇酯化反应的动力学模型，Pankajakshan等提出了一种在线多目标实验设计方法。该方法为存在多个约束条件的实验设计提供了最佳的折中方案。该策略包括一个决策步骤，其在解决问题的同时最小化过程所消耗材料的成本。Zhou等回顾了大数据在减少材料研究发现时间方面存在的巨大优势，并将注意力转向使用机器学习加速实验结果交付，从而有助于在需要实验工作验证结果之前，有充裕的时间初步评估新材料。最后，刘松崧和Papageorgiou提供了用于抗体生产过程多尺度优化的实验程序的结果，其中建立并评估了多层模型，从而可能降低该过程的成本。

总而言之，本期人工智能赋能流程制造专题呈现了9篇重要的论文，这些论文从一系列不同的主题出发，举例说明了流程工业智能制造是如何被用来生产改良产品，加速工业研究，降低风险和成本，解决日益复杂的工程问题，以及协助重点制造业进行决策。

References

- [1] Garvin DA. Competing on the eight dimensions of quality [Internet]. Boston: Harvard Business Publishing; 1987 [cited 2019 Aug 1]. Available from: <https://hbr.org/1987/11/competing-on-the-eight-dimensions-of-quality>.
- [2] QCD: measuring manufacturing performance [Internet]. London: UK Department of Trade and Industry; 2004 [cited 2019 Aug 1]. Available from: <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20050302023119/http://www.dti.gov.uk/bestpractice/assets/qcd.pdf>.
- [3] Walsh T, Levy N, Bell G, Elliott A, Maclaurin J, Mareels IMY, et al. The effective and ethical development of artificial intelligence: an opportunity to improve our wellbeing. Melbourne: Australian Council of Learned Academies; 2019.
- [4] Zhong RY, Xu X, Klotz E, Newman ST. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: A Review. *Engineering* 2017;3:616–30.
- [5] Marr B. How blockchain will transform the supply chain and logistics industry [Internet]. Jersey City: Forbes; 2018 Mar 23 [cited 2019 Aug 1]. Available from: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/03/23/how-blockchain-will-transform-the-supply-chain-and-logistics-industry/#774a62715fec>.
- [6] Bouchard S. Data analytics driving quality improvements [Internet]. 2018 Mar 12 [cited 2019 Aug 1]. Available from: <http://asq.org/asd/2018/04/qualitycontrol/data-analytics-driving-quality-improvements.pdf>.
- [7] Eleftheriadis RJ, Myklebust O. A guideline of quality steps towards zero defect manufacturing in industry. In: Proceedings of the 2016 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management; 2016 Sep 23–25; Detroit, MI, USA, 2016. p. 332–40.
- [8] Anderson DM. Build-to-order & mass customization, the ultimate supply chain Management and lean manufacturing strategy for low-cost on-demand production without forecasts or inventory. Cambria: CIM Press; 2004.
- [9] spare-parts-3d.com [Internet]. Singapore: Spareparts 3D; c2018 [cited 2019 Aug 1]. Available from: <https://spare-parts-3d.com/>.
- [10] Potter K. Augmented reality becoming a focus in maintenance technology [Internet]. Noida: Geospatial Media and Communications; 2019 Jan 16 [cited 2019 Aug 1]. Available from: <https://www.geospatialworld.net/>