

# 智能制造的技术与经济逻辑

郭朝晖

(优也商务信息咨询有限公司, 上海 201702)

**摘要:** 本文针对我国工业企业推进智能制造时面临的困惑, 研究了促进相关技术深入应用的方法。通过调研和对比分析发现, 企业的困惑本质上是技术的经济性差。推进技术应用的关键是提高技术经济性, 而管理落后、质量要求低等问题, 往往是制约技术经济性的普遍性原因。要解决技术经济性问题, 需要在业务层面制定转型升级的战略目标、面向高质量发展, 才能带动技术经济性。将智能制造相关技术用于管理水平的提升、补上企业的短板, 也能提高技术经济性。

**关键词:** 智能制造; 工业互联网; 工业 4.0; 赛博空间

**中图分类号:** T09   **文献标识码:** A

## Technological and Economical Logic for Intelligent Manufacturing

Guo Zhaohui

(Yo-i Technology Co., Ltd., Shanghai 201702, China)

**Abstract:** Focusing on the difficulties domestic industrial enterprises are facing while promoting intelligent manufacturing, this article introduces the methods for facilitating in-depth application of related technologies. It is shown through research and comparison, that the fundamental cause of these difficulties is the poor economic efficiency of technology. Therefore, the key to promote the application of certain technology is to improve the economic efficiency of technology. Besides, problems such as out-dated management levels and low requirements for quality are the general causes restraining the economic efficiency of technology. To promote the economic efficiency of technology, strategic goals have to be set for technological transformation and upgrading on a business level, and a higher quality standard should also be set. Meanwhile, intelligent manufacturing related technologies can be used to promote the management level and to address the weaknesses of the enterprises, thus to improve the economic efficiency of technology.

**Keywords:** smart manufacture; industrial Internet; Industrial 4.0; Cyberspace

最近几年, 智能制造成为整个社会的热点话题。但是, 只有少数企业走上了成功之路, 多数企业仍然处于摸索和彷徨之中, 面临各种各样的困惑。本文从技术经济性的角度, 分析导致这些困惑的原因和对策。

### 一、智能制造与企业的困惑

观察智能制造 (smart manufacture) 的角度很多, 其中之一是 ICT 技术 (Information Communication

收稿日期: 2018-06-12; 修回日期: 2018-06-25

通讯作者: 郭朝晖, 优也商务信息咨询有限公司, 教授级工程师, 长期从事自动控制、数据分析与建模等工作;

E-mail: math8601@hotmail.com

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

Technology) 在制造业的应用与深度融合。然而, 有的企业采用了大量智能设备, 但经济上却不合算; 有的企业引入了制造执行系统 (MES)、企业资源计划系统 (ERP) 等信息系统, 发挥的作用却不理想; 有的企业收集了大量的数据, 却难以从中发现有价值的知识。这些困惑的本质, 其实都是技术经济性问题。

技术先进与经济性好并不是一回事。“创新理论之父”熊彼特很早就强调: 发明并不等于创新, 只有将发明用于经济活动并且取得成功才是创新。在他看来, 创新是企业家对人力、设备、技术等资源的重新配置, 以取得更好的经济效果。新技术为要素配置提供了新的选项, 但盲目配置新技术也不能取得更好的经济性。

从比较优势来看, 中国的竞争力往往与“廉价劳动力”的优势有关。例如, 比亚迪股份有限公司在 20 世纪 90 年代生产镍铬电池时, 自动化程度远低于日本同行。但依靠劳动力优势, 其生产成本却比日本同行低了 40%。自动化、智能化的优势之一是降低劳动力成本, 而这一优势与中国劳动力相对廉价相矛盾。故而中国企业推进智能制造时, 会遇到比发达国家更多的困惑。

## 二、需求驱动与应用场景

“要雪中送炭, 不要锦上添花”是企业配置技术资源的一个原则性要求。一般来说, 在企业有强烈需求时, 技术才具备经济性。需求不是抽象的, 而是来源于具体的业务和应用场景。业务场景不同, 需求强度就不同、技术带来的价值增量就不一样。例如, 把工业互联网和大数据分析技术用于飞机发动机的实时监控, 可以创造可观的价值, 但把同样的技术用在廉价的玩具飞机上, 就难以具备经济性; 定制化生产相关技术在钢铁企业的价值大, 在石化行业的价值小。

推进智能制造的关键, 是找到经济性合适的场景。经济性好的场景, 往往不能局限于让机器代替人的工作, 而是要有其他的“附加值”: 机器做得比人更好或帮助人做得更好。在这些场景里, 人的工作效果往往受制于生理约束, 尤其是脑力约束。一般来说, 企业对质量效率要求越高、业务涉及范围越广、复杂性越高、信息变化越快, 对脑力的挑战就越大。越是复

杂的场景往往越适合推进智能化。所以, 先进企业往往容易找到合适的场景, 而落后企业却较难找到。

中国企业常常处于产业链和市场的中低端, 对质量要求不高, 劳动力廉价; 研发和服务业务比重相对较小, 这些都不利于智能制造相关技术的应用。所以, 国内企业在推进智能制造时面临的困惑, 背后的原因往往是适合这些技术的场景少、技术缺乏用武之地。

## 三、转型升级与技术应用

企业推进智能制造的困惑, 本质上往往是难以找到合适的场景, 使得相关技术成为屠龙之技。要消除这种困惑, 出路在于主动地创造、建立相关的场景, 为相关技术的应用创造条件。这种创造场景的活动, 就是人们常说的“转型升级”。所谓“转型升级”, 就是工作流程、组织结构、商业模式的创新, 是资源的重新配置, 也是质量效率的提高、研发服务等业务的增强、市场定位的改变。

一般认为, 企业转型升级的目的是为了提高企业的竞争力, 而相关技术只是支撑转型升级的手段。“转型升级为技术应用创造条件”的观点, 其实意味着两者互为因果。对企业来说, “转型升级”是战略问题, 而相关技术应用是战术问题。ICT 技术的发展, 为企业的转型升级创造了外部条件。但对具体企业来说, 只有转型升级战略明确后, 才能有技术策划的空间。换个角度来看, 智能制造本质上是 ICT 技术与制造业的“深度融合”。所谓“深度融合”意味着 ICT 技术不是服务于现有业务, 而是促进业务本身的创新和改变。没有业务创新, ICT 技术的应用也就难以深入、也就不是真正的“深度融合”。本文强调“转型升级为技术应用创造条件”, 就是强调业务创新才能带动、牵引智能制造相关技术的应用。

很多企业推进智能制造时遇到困惑, 一个重要的原因是习惯于从技术而不是转型升级的视野看问题, 这样就看不到技术应用的空间。要解决这种困惑, 推进智能制造首先是企业家考虑的问题, 而不是技术人员的责任。技术人员往往只能从特定业务场景考虑问题, 企业家则能从全局考虑问题, 设想新的业务场景和目标。战略目标清楚了, 技术也就有了用武之地。

企业的实践和探索, 也证明了这个道理。红领服饰股份有限公司在智能化上的表现是能够“在流水线

上进行定制化生产”。这种生产模式让车间内的物流配送和人员管理变得非常复杂，对管理者的脑力造成严峻的挑战。红领服饰股份有限公司用智能化的手段管理车间物流、评价工人操作、动态配置工位，比人工管理要高效得多。于是，ICT 相关技术在这些场景下做到了“雪中送炭”，具备了经济性。尚品家居有限公司的业务是定制化家居。定制化生产家居会给设计、设计与生产的协同提出巨大的挑战。而尚品家居有限公司采用的大数据技术，实现了产品设计相关知识的共享、避免了重复设计、提升了设计与生产之间的协同性，成为“雪中送炭”的技术。

#### 四、智能制造的发展逻辑

智能制造的意义在于对人类本身的解放。机器逐渐取代人类做那些枯燥、费力、危险、肮脏、有害等工作，而人类自己去做有创造性、有乐趣、有利于自我实现的工作。这样，逐步让“劳动成为人的第一需要”走向现实。从技术原理上看，推进过程有赖于人机关系的逐渐改变：人类越来越多的工作是控制和完善赛博空间（Cyberspace），进而通过赛博空间控制物质世界。随着赛博空间智能化水平的提升，人类直接、实时操控赛博空间的工作会逐步减少，更多转而从建设、完善赛博空间的工作 [1]。

我们需要强调的是：上述原理必须具备技术可行性并实现经济可行性，才能健康发展。为此，需要研究技术和经济可行性发展的逻辑。我们知道，数字化是信息处理和传输的前提。所以，数字化可为智能化奠定技术可行性的基础。互联网突破了物理空间对人类感觉器官对信息感知的约束，有能力对更多的资源进行感知和配置。可配置的资源越多，优化配置的选项就越多、经济潜力也就越大。这样就涉及到了经济可行性的问题。随着赛博空间可支配的资源增多，资源配置的复杂度也会增大，甚至超出人类大脑的生理极限。这时，用智能化的手段来代替人类的感知和决策，就能产生更好的经济效益。中国工程院《中国智能制造发展战略研究报告》中，将智能制造的发展过程看作以数字化、网络化、智能化为代表的，三个基本范式的演进，体现了这种变化的过程 [2]。换个角度讲，数字化是基础，网络化提升了经济潜力，而智能化促使经济潜力变现。

德国工业 4.0 体系就体现了这样一种逻辑 [3]。互

联网加强了企业与用户、供应链的联系，促进了部门、工序和设备的协同，本质上都属于资源配置能力的增强。利用这种能力，推进流水线上的个性化定制。而个性化定制带来各方面业务的复杂性，人类大脑的信息处理能力受到了挑战。这时，信息物理系统（CPS）等智能化技术就起到了“雪中送炭”的作用。

在推进智能化的过程中，信息感知和决策都离不开数字化的知识，而知识的数字化是推进智能制造的核心任务之一。在这个过程中，工业大数据让“知识生产”的技术和经济可行性显著提升，故而能够成为推进智能制造的重要使能技术。

随着赛博空间的不断拓展、完善，工业大数据应运而生。随着数据的质量、完备性、覆盖场景的增加，“知识生产”的技术可行性不断提升。在大数据的背景下，通过机器学习，有些知识不再需要人工写代码就可以赋予机器，实现了从“授之以鱼”到“授之以渔”的重大改变。随着数据条件的改善和相关技术的成熟，用数据“生产知识”的效率和质量会不断上升，涉及范围会逐渐增大，而成本却不断降低，从而让经济可行性越来越好。

互联网不仅为大数据的产生奠定了基础，还进一步促进了知识的共享。美国通用电气公司（GE）通过工业互联网服务于飞机发动机维护，本质上就是基于大数据的知识共享 [4]。互联网背景下的知识共享，让数据和知识的价值倍增，进一步促进知识生产的经济性。而智能化是以知识为基础的，故而能从技术上促进智能化的发展。

总之，从数字化到智能化的发展过程中，互联网的深度应用是关键桥梁，保证智能化沿着经济性更好的方向发展。从这个角度来看，我国最近推动的工业互联网平台和工业 APP 工作，是让工业互联网更具经济性的手段。

#### 五、中国特色与政策期待

智能制造成为全国乃至全球热点的主要原因，并不是理论和原理的进步，而是技术经济性发生了逆转，遇到了产业化应用的拐点。推进智能制造的主要困难，并非技术原理深奥难懂，而是技术经济性难以落实。技术经济性难以落实的原因，往往不在技术本身，而在技术应用的场景。

适合于智能制造的场景，与我们的国情有关 [5]。

与发达国家相比，我国的技术和管理水平相对较低、研发和提供高端服务的能力较低、劳动者的技能和素质相对较差，但劳动力成本相对较低、市场规模巨大。我国推进智能制造，必须做到“扬长补短”。根据我国的国情，“用机器简单地代替人的劳动”未必具备良好的经济性。现实中，很多成功的案例（如红领服饰股份有限公司）并不简单地排斥体力劳动者。现在我国每年约有 800 万大学生毕业，为智能制造提供了大量的廉价白领。作为接近 14 亿人口的大国，充分发挥人的作用就是“扬长”。

根据笔者调研，部分企业人为因素导致的损失远多于企业的利润。如果能用智能化的技术代替人、帮助人、监控人，就会取得很好的经济效益。例如，机器代人可以减少人的操作失误，信息集成可以减少部门之间无效的扯皮，透明化可以促进扁平化管理、让高层领导有能力直接关注到基层的问题。用 ICT 技术提升管理水平，就是一种“补短”。

在现实中，人们往往倾向于掩盖由于自己过失导致的价值损失。所以，对企业的领导人来说，管理问题导致的损失往往是隐藏的。要改变这些现象，企业往往需要首先进行组织流程和制度的变革、改变利益关系。这在本质上也证明了“深度融合”和“转型升级”的必要性。

从社会发展的趋势来看，企业的劳动效率和响应速度需要提高、业务重心要向服务和研发偏移、产品定位要向高端发展，才能提高经营业绩和竞争力。但企业推进智能制造、促进转型升级的目的，归根到底还是为了满足市场需求、适应外部环境。

企业外部环境的好坏，需要政府担负应尽的责任。过去对消费者权益保护不够，劣质产品才会大行其道，甚至导致某些行业的产品质量的逆向淘汰。在这样的市场环境下，高质量不具备经济性，就不利于企业走向高端、也不利于智能制造技术的推进。国家有必要制定出更加严苛的质量标准和消费者权益保护制度，

倒逼企业自觉追求高质量。只有坚持高质量发展的路线，中国制造才有前途。

## 六、结语

我国正处在经济转型和人口发展的拐点时期，会对智能制造技术产生巨大的需求。但只有将这种需求转化成企业的经济利益，才能真正促进技术的发展。为此，政府必须营造更加健康的、有利于高质量发展的市场环境，而企业也要自觉进行战略转型和提升管理水平，才能为相关技术的应用创造条件。如果把智能制造看成单纯的技术问题，视野就会受到局限，推进过程中必然也会遭遇各种困难。

## 致谢

特别感谢国务院发展研究中心王晓明博士、许召元博士，武汉市政策研究室樊志宏博士，走向智能研究院赵敏和宁振波院长提出的宝贵意见。

## 参考文献

- [1] 胡虎, 赵敏, 宁振波, 等. 三体智能革命 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2016.  
Hu H, Zhao M, Ning Z B, et al. Three-body intelligence revolution [M]. Beijing: China Machine Press, 2016.
- [2] Kagermann H, Wahlster W, Helbig J. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0 [R]. München: National Academy of Science and Engineering(acatech), 2013.
- [3] Evans P C, Annunziata M. Industrial Internet: Pushing the boundaries of minds and machines [J]. Science Reports of Kanazawa University, 2012(1-2): 1-23.
- [4] Zhou J, Li P G, Zhou Y H, et al. Toward new-generation intelligent manufacturing [J]. Engineering, 2018, 4(1): 11-20.
- [5] 国务院发展研究中心课题组. 借鉴德国工业4.0 推动中国制造业转型升级 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.  
Development Research Centre of the State Council. Drive the transformation and upgrading of China's manufacturing industry by drawing on the experiences of Germany's Industry 4.0 [M]. Beijing: China Machine Press, 2018.