

智能制造的概念与推进策略

郭朝晖¹,刘胜²

1. 上海优也信息科技有限公司,上海 200122

2. 中国科学院自动化研究所,复杂系统管理与控制国家重点实验室,北京 100190

摘要 介绍了智能制造相关概念的内涵、发展及学术流派。智能制造的发展,受到现实需求、技术水平等外部条件和约束的影响。这些条件和约束,决定智能制造相关技术和经济可行性。企业在推动智能制造的过程中,必须考虑自身技术条件,避免盲目追求技术的新颖性,才能保证智能制造的健康发展。

关键词 智能制造;人工智能;平行系统;赛博物理系统

最近几年,智能制造成为学术界和企业界共同关注的热点问题。尽管如此,人们对智能制造概念本身的认识却未达成共识,并存在诸多模糊的认识。企业界的推进过程更是遇到多方面的困惑。本文针对这些问题,进行分析和讨论。

1 智能制造的概念

汉语中的“智能制造”对应两种英文表述,分别是 smart manufacture 和 intelligent manufacture。其中, intelligent manufacture 的提法出现更早,但多数场合指的却是 smart manufacture。在中国工程院《中国智能制造发展战略研究报告》中,把智能制造分成3种递进发展的范式:数字化制造、数字化网络化制造和新一代智能制造。smart manufacture 主要对应数字化网络化制造,而 intelligent manufacture 则对应新一代智能制造^[1-2]。

在党的十九大报告中明确指出,要促进工业互联网的应用。重点是推进数字化网络化制造。因此,有必要对 smart manufacture 进行进一步解释。其字面含

义是赋予企业快速响应内部和外部变化的能力。快速响应之所以重要,是因为市场竞争日趋激烈,使得响应速度越来越重要^[3-5]。

从目标上看,smart manufacture 与 flexible manufacturing(柔性制造)相似。但从手段上看,前者侧重用 ICT(信息通信技术)的应用。与传统信息化相比往往需要对设备、组织、流程、工作方式、商业模式等方面的改造,而不是单纯的 ICT 技术应用。因此,smart manufacture 往往被理解为 ICT 技术与制造业的“深度融合”。一般来说,智能制造不仅涉及制造相关的过程,智能服务和智能产品也常常被纳入智能制造的范畴^[6-7]。

可以用4个基本要点理解上述智能制造的内在逻辑:ICT技术的深入应用是智能制造的出发点;价值创造是智能制造的目的和归宿;快速响应变化是智能制造的外部特征;协同、共享和重用是智能制造进行价值创造的内在机制。

1) 强调“ICT技术的深入应用是智能制造的出发点”,是因为智能制造的历史机遇是 ICT 技术的发展带

收稿日期:2018-08-11;修回日期:2018-10-31

基金项目:国家自然科学基金项目(61533019,91720000,61702519,61806198,61773381,61773382);国家重点研发计划项目(2018YFB1004803,2018YFB1004800)

作者简介:郭朝晖,教授级高级工程师,研究方向为自动化及数据分析,电子信箱:13301688797@163.com;刘胜(通信作者),副研究员,研究方向为组合优化及智慧企业,电子信箱:sheng.liu@ia.ac.cn

引用格式:郭朝晖,刘胜. 智能制造的概念与推进策略[J]. 科技导报,2018,36(21):56-62;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2018.21.006

来的,要避免把智能化与传统的自动化、信息化混淆起来,从而忽视真正的智能化工作、丧失历史的机遇。智能化相关思想并不是现在才有的,但只有在ICT技术高度发达的条件下,过去的设想才能具备技术和经济可行性。

2) 提出“价值创造是智能制造的目的和归宿”的背景,是反对为技术而技术、盲目采用先进而无用的东西。这种担忧不是“杞人忧天”,而是已经有了蔓延的可能。为此,智能制造必须以服务于企业真实的业务需求。很多企业智能化的需求是隐含的。推进智能制造往往需要企业进行转型升级,改变生产经营方式,才能找到合适的场景,以便于创造价值。这就是ICT技术与工业“深度融合”的含义。

3) “快速响应变化是智能制造的外部特征”。随着的竞争不断加强,快速响应的重要性越来越大。例如,在手机、汽车等行业,快速响应的价值体现在新产品上市的速度上。推出新一代产品的快慢,很大程度上决定了企业的盈利情况。在另外一些对原料价格敏感的行业,快速响应供应链变化的能力决定企业的盈亏。所以,智能制造最重要的作用之一就是加快响应速度。

4) “协同、共享和重用是智能制造进行价值创造的内在机制”。ICT技术能够显著促进人与人、机器与机器、人与机器、企业与企业、部门与部门之间的协同。减少时间上的耽搁、减少界面上的失误。还可以通过物质、人、知识或信息的共享来降低成本、提高效率和质量。在智能制造时代,知识的重用变得越来越重要。例如,通过模块的重用,可以减少研发过程不必要的时间和资金投入,并有利于提高质量、降低成本,提高经济性,并支撑快速响应。

智能制造有很多典型的模式或体系,其中最著名的是德国工业4.0和美国工业互联网^[8-10]。

2 智能制造与人工智能、自动化

随着人工智能技术的迅速发展,图像、语音识别等技术开始广泛用于生产制造的过程,帮助人类从枯燥、恶劣的工作环境中解放出来,意义重大。故而,有人认为“智能制造就是人工智能在制造业的应用”。但这个观点并不准确、且非常容易对公众产生误导。

人工智能传统上有3个学派。符号主义又称计算机学派,侧重模拟大脑的逻辑推理功能;联接主义又称

人工神经元学派,侧重模拟脑的结构,擅长知识的学习;行为主义又称控制论学派,侧重模拟脑体的协同、追求知行合一。在很多学术场合下,人工智能专指前面两个学派。以深度学习为代表的所谓“新一代人工智能”就是联接学派发展而来^[11-13]。

然而,与智能制造联系最紧密的应是控制论学派。控制论的主要思想可追溯到20世纪40年代维纳的《控制论》。维纳研究了动物和机器的差别,认为动物区别于机器的一个显著特征是对信息的感知和处理;动物能随时感知外部环境的各种变化而调整自己的行为,而不像多数机器那样只按既定的逻辑顺序执行^[14-15]。这一理论的实质就是主张将感知、决策和执行3个要素统一起来。

维纳的思想随着工具手段的发展促进着理论和实践的进步。“感知”和“决策”本质上是针对信息的,而“执行”最终是针对物质实体的。所以,两者的统一需要将信息和物理联系起来。这种思想在瓦特蒸汽机中就有体现。但是,蒸汽机的感知和计算,是用机械装置这种物理实体实现的。这种实现方法非常巧妙,却不具一般性、难以推广。这种约束直到弱电的出现,信息的感知和计算可以用弱电来实现,并转化成强电来驱动物理实体。于是,依靠“电”这种手段,把信息领域和物理领域联系起来。控制论就是在这种背景下产生的。控制理论中,经典的模型是用传递函数、状态方程描述的。某种意义上说,这种模型的广泛使用与最初的技术手段有关,控制器往往是用电感、电容等电子元件搭建的。这种模型虽然简单,但应用上还是有局限性的。到了计算机时代,能描述的数学模型大大拓展、具有了一般性。后来,互联网的应用又使得人们对资源的可观、可控能力大大提升,进而把人类带入了智能制造的时代。因此,智能化和自动化的理论一脉相承,但实现手段有极大的改善。

从经济学上看,可观、可控能力的提升,导致资源配置能力的加强、进而导致经济性的改善。具体表现为,传统自动化往往局限于较小空间范围内,而智能制造能够实现跨区域、跨部门乃至跨企业的大尺度控制和优化。例如,上海优也信息科技有限公司在山东某钢厂的工作,实现了煤气产生方、使用方和缓冲方的实时优化调控。技术原理虽然容易理解,但相关设备分布在几平方千米的范围内,离开互联网的支撑,是不具备技术可行性的。所以,ICT基础技术条件的改变是推

进自动化走向智能化的关键因素。

相比而言,自动化偏重代替人的体力劳动,而智能化则偏重代替人的脑力劳动,也就是决策。这也是两者的一个重要区别。因此,知识的数字化、模型化、软件化,促进机器的认知和决策能力,是智能制造的关键技术。

3 智能制造的典型流派:工业4.0

工业4.0的概念是德国工程院2013年提出的^[6]。其标志性特征可以归纳为“具备个性化定制生产能力的自动化流水线”。这个特征是理解工业4.0的一把钥匙,能把技术的经济性和对技术需求联系起来,从而帮助人们理解工业4.0是如何把技术可行性和经济可行性统一起来的。从技术上看,工业4.0的生产模式继承了流水线低成本、高效率的优点,又克服了流水线在产品变化时灵活性差的缺点。从经济上看,满足个性化需求可以获得更好的经济价值。可以设想,如果用传统生产方式进行定制化生产,产品设计、工艺设计、生产组织的时间和经济效益都难以保证、甚至不具备经济性。

工业4.0的生产方式对生产组织、销售采购、设计服务等业务造成极大的挑战。而智能化的特长,恰恰适合应对这些挑战。例如,通过对模块、工艺知识的重用,可以显著减少研发和试生产的时间;通过信息的横向集成应对销售采购和供应链方面的挑战;通过纵向集成应对生产组织管理的挑战;通过端到端集成应对设计服务业务上的挑战。再如,个性化生产导致生产组织和调度非常复杂,需要采用赛博物理系统(CPS)技术才能解决。

推进工业4.0是个长期的过程,企业要根据自身的需求推动,不必被概念所束缚。工厂的自动化、定制化的程度可高可低,关键是有利于促进企业的竞争力。事实上,由于行业 and 地区的发展不均衡,自动化、定制化程度和难度都有显著差别。例如,在钢铁行业,由于自动化程度高、产品切换简单、物料跟踪相对容易,先进企业在几十年前就具备了定制化生产的能力。但是,在某些离散制造业,产品切换非常复杂,甚至要进行流水线的改造。在这些行业,推动自动化的难度都很大,智能化就更难了。事实上,德国提出工业4.0的背景主要针对这些相对困难的离散制造业。在离散制

造业,数字化相关技术的发展,能将过去困难的问题变得容易^[8-9]。

有观点认为,工业4.0是工业3.0发展成熟之后的结果。现在看来,这种观点是片面的,可能会阻碍人们有益的探索。事实上,红领制衣是在人工操作的流水线上从事个性化定制,从工业2.0向4.0进军。西门子成都工厂号称“工业3.8”工厂,能够在流水线上切换产品类型,但工厂的人工操作同样也很多。应该注意到,虽然两个企业都有大量的人工操作,但车间内的物流配送都是自动化的。由于定制化生产的物流很复杂,没有自动化、智能化的支撑,管理上就很难搞好。这种模式有一定的代表性,值得很多企业学习和关注。

有人认为,工业4.0发展到一定程度,必然取代工业1.0~3.0。但工业4.0只是工业技术发展 to 一定程度的标志性成果,并不意味着所有企业都采用工业4.0的生产方式。其实,发达国家的高端制造业,现在也并非完全处于工业3.0阶段,很多高端设备、奢侈品要靠手工制造。而且工业1.0~4.0各有优势、会长期共存。所以,企业是否推进工业4.0的生产模式,关键要看经济上是否合算。

4 智能制造的典型流派:工业互联网

工业互联网是美国GE公司在2012年提出的概念,后来影响了美国乃至世界范围内的企业。相比之下,工业4.0体系以车间的生产过程为核心,而工业互联网侧重更大范围的协同。

工业互联网思想在实践过程中产生。维修人员很早就发现,通过互联网远程诊断医疗设备的状态,可以显著提高工作效率、降低维修成本。后来有人把这样的想法用于飞机发动机状态的诊断和维护。类似案例促成了工业互联网思想的产生。故而,有人把设备的“预测式维护”当成工业互联网技术应用的标志性场景之一。工业互联网强调实时连接“智能机器”“高级分析”和“工作人员”3种要素。其中,智能机器是安装各种传感器、控制器和软件的机器;高级分析是包含各种专业领域知识的数据分析算法;工作人员是指通过互联网参与设计、操作、维护等工作的各类工作人员。

美国GE公司意识到,工业互联网可以帮助制造企业向服务业延伸和转型。故而,GE公司试图借助这种潮流,通过帮助其他制造企业转型,实现GE公司自身

从“制造企业”到“软件企业”的转型。GE公司著名的工业互联网平台 Predix 就是在这种思想下产生的。但GE在推动 Predix 时有些操之过急,导致技术的投入产出比不合适,遇到了不少的麻烦。

5 智能制造的中国观点

“流水线上的个性化定制”和“设备预测式维护”常被看作工业4.0、工业互联网的“标签式特征”。然而,多数企业未必需要个性化定制、多数设备也未必能够做到预测式维护。这些问题给很多企业带来了困惑。面对这些困惑,需要更加深入的思考。

人类努力工作的目的,是为了人类自身更幸福。而当经济发展到一定的程度,人类开始追求更好的工作环境。这时,更人性化的工作环境意味着对优秀人才的吸引力更大,故而能为企业带来经济价值,因此可以从人类如何工作的角度,分析未来工业的明天。

事实上,国内有多家科技团队,不约而同地从“人”的角度,分析了智能制造未来的发展思路。

平行系统的概念来源于2004年王飞跃发表的《平行系统方法与复杂系统的管理和控制》^[9]文章中。平行系统采用复杂系统研究中的“多重世界”观点,对复杂系统进行建模时,不再以与实际复杂系统的逼近程度作为唯一标准,并将平行系统看作是实际复杂系统的一种可能的替代形式和实现方式,实际复杂系统的行为与平行系统的行为“不同”但却“等价”。对于复杂的制造系统,如石化生产、机床制造等,通过建立与实际系统平行运行的人工制造系统,并在人工系统上虚拟运行和优化生产方案,利用虚拟系统培训员工、预测实际系统维修维护节点,形成平行制造系统,可以为企业节省成本、提高效率。在平行工业时代,一方面,企业可以借助虚实系统的平行演化及闭环反馈,协同优化管理系统内部流程执行、生产制造以及资源调度。另一方面,基于知识自动化技术,社会情报服务系统实时将数据转化为客户需求,快速响应市场变化,同时通过任务分解、快速重组、众包等方式集合小微创新和群体智慧来创造产品,从而减少投放时间、增加市场份额。同时,网民借助物联网、互联网、移动互联网的无缝连接,表达自身个性化需求及创意,可全面参与产品创新的整个生产制造流程,实现实时化、个性化、大规模的“灵敏”移动“智造”。这种平行工业时代的制造模式称

之为平行制造^[14]。

2016年,宁振波等^[1]提出“三体智能”的思想,从物理实体、意识人体、数字虚体之间联接融合的角度,观察智能的发展路径。2017年,周济等^[2]提出 HCPS(human-cyber-physical systems,人-信息-物理系统)的思想,提出人借助赛博(Cyber)空间改变人与物理世界的关系。

与国外相关理论对比,这些思想的相似度很高,都着眼于人在智能制造发展过程中的作用和角色。这些思想虽然抽象,却是有操作性的。其发展的逻辑,可以从互联网的应用谈起。

随着自动化的发展和广泛应用,人类逐渐摆脱繁重的体力劳动。在此基础上,又可以通过互联网让人体逐渐远离危险、恶劣的工作现场。换句话说,工作人员可以通过赛博空间来管控物理世界。

人类通过这种方式工作时,本质上起到了决策算法的作用。于是,计算机代替人类决策的可能性进一步提升。决策的基础是知识和信息,拥有更多知识和信息的主体,有条件做出更优的决策。在传统工业阶段,人类的很多信息是通过感觉器官获得的,而机器获得的信息有限。这时,人类具有信息优势,故有条件做出更优的决策。但是,在新的工作模式下,人类从现场获得的所有信息都是从计算机获得的,人类的信息优势不再了。这时,只要计算机补上“知识”的短板,并具有处理信息能力更强、更快的优势,就可能获得更加显著的“决策优势”。所以,在进一步的发展过程中,人类会把越来越多的知识赋予计算机。另外,随着数据的不断积累,将逐步进入工业大数据时代,计算机主动获得知识的能力也会越来越强。这样发展下去,机器代替人类决策的能力将会越来越强,在某些场景下甚至超越人类本身。这样,人类将进入“新一代智能制造”阶段,或真正的 intelligent manufacture 时代。

在这个时代,人类将会脱离对 Cyber 空间的实时控制,有利于摆脱紧张、枯燥的脑力劳动,进而从事具有创造性的、对 Cyber 空间的完善性工作,为 Cyber 空间注入新的知识。

一定程度上,新一轮工业革命中的智能制造就是综合利用搜索技术、先进的生产制造技术、社会服务应用(社交媒体)及泛在的移动终端设备,通过众包等方式让社会民众充分参与产品的全生命周期生产制造过程,实现实时化、个性化、大规模创新和“敏捷移动智

造”,或称社会智造。不久的将来,一个企业的竞争力和实力,很大程度上可能并不取决于其外在规模与资产的大小,而取决于其掌控动态网群组织(cyber movement organization, CMO)的手段和能力,取决于其对虚实互动的认识、实践和效率,取决于与其伴生的人工企业之规模和深度。工业化和信息化的深度融合必将是平行工厂、平行企业、平行制造的应用和普及^[17-21]。

6 智能制造推进路径的策划

“ICT技术与制造业的深度融合”是认识智能制造的一个角度。然而,很多企业发现,采用了机器人设备,成本增加了,效益却没有增加;收集了大量的数据,却难以发现有价值的知识;降低了劳动者的工作强度,却没有产出更多的价值。这让很多企业陷入困惑。

上述现象的本质,是技术的经济性差、没有取得经济上的成功。事实上,技术先进与经济性好并不是一回事。经济学家熊彼特很早就意识到这个问题,他指出: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为创新。

推动智能制造健康发展,关键是要让技术具备良好的经济性。为了提高经济性,新技术的采用“要雪中送炭,不要锦上添花”。企业对技术有强烈需求时,技术才具备经济性。这个原则,在智能制造时代仍然成立。

企业需求不是抽象的,而是来源于具体业务场景。业务场景不同,需求的强度就不同、带来的价值就不一样。例如,GE公司的技术用在飞机发动机上具备经济性,但用在廉价玩具飞机上可能就不具备经济性。从趋势上看,先进技术用在高端产业的价值大、用在低端产业的价值就小。中国的低端产业多、比例大,这是中国企业推进智能制造时困惑更多的原因。

具体地看,鉴于中国低端制造业相对较多、劳动力成本相对较低的国情,智能制造不能只是着眼于让机器代替人的工作,更要着眼于帮助人更高效地工作、让机器做得比人更好。在适合智能制造的场景中,人类的工作效果往往受制于生理约束、尤其是脑力约束。这时,智能制造的技术优势就容易转化成经济优势。智能制造的相关理论,都会针对一个复杂的Cyber空间、涉及极其复杂的协同工作和大量资源的实时调动。这时,决策过程的复杂性就会冲击人的脑力极

限。所以,用智能化的手段,就能把相关问题管理的更好,进而可以创造更多的价值。

中国企业的困惑往往是因为难以找到适合智能制造技术的场景。对此,企业家应该主动改变企业本身来创造新的业务场景。这种工作实际上是为智能技术的应用创造了合适的需求。这样才是ICT技术与制造业的“深度融合”。而“创造场景”的活动本质上就是所谓的“转型升级”。转型升级是工作流程、组织结构、业务模式、商业模式的改变,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。

智能制造能够推进企业转型升级。这种现象可以换个角度表述,转型升级为智能制造技术创造需求和合适的应用场景。从这个角度认识的意义在于,推进智能制造首先应该是企业家考虑的战略问题,而不是技术人员负责的技术问题。技术人员往往只能从固有的业务场景考虑问题,自然会遇到很多困惑。企业家考虑清楚了,才能建立适合智能制造的业务场景,为技术创造需求。当然,企业转型升级并非为了应用智能制造技术,而是为了适应社会发展和市场的需要、提高企业的经济性。

7 企业推进智能制造的外部环境

很多人意识到,智能制造的很多理念、理论和技术其实“并不先进”,几十年前就有人提出过、研究过、实践过。事实正是这样,从根本上说,变化的不是人的思想,而是社会需求和技术条件。这些变化使得相关技术的经济性发生了本质性的变化。

从技术可行性方面看,随着ICT技术的发展,计算机和互联网的性能越来越好。过去很多无法实时感知、实时处理的信息已有实现的条件。同时,相关技术成本的降低、互联网可配置资源的增加,也使得很多场景的技术经济性发生逆转。

从需求角度看,国家的经济转型、老龄化等挑战,为推进智能制造带来了巨大的需求和动力。改革开放40年来,中低端制造业几乎全面过剩、市场竞争越来越激烈。在此背景下,企业必须提高质量、加强创新和服务能力、提高快速响应能力。同时,劳动力市场也由“无限供给”变成了“供不应求”,企业的劳动力成本不断上升。在可以预见的未来,两种趋势将越来越严重,并影响经济的发展速度。如果不能提高劳动生产率和

产品附加值,中国的经济发展就会停滞、乃至衰退。这是中国必须推进智能制造、加快企业转型升级的根本原因。

企业转型升级的方向,要遵从社会和市场发展的规律、避免方向的偏离。就此而言,无论是社会需求还是技术能力,都需要企业更加重视产品质量。企业必须抛弃过去重成本、轻质量的观念和传统,也不能抛开基本的质量要求满足个性化需求。事实上,个性化定制往往针对质量要求较高的人群。所以,用低质量的产品去满足个性化需求,往往与经济背道而驰。

企业的转型升级还要把握好节奏、要结合具体的国情,不能盲目地减人、提高自动化智能化程度。劳动者素质相对较差、管理水平相对较低是中国企业普遍存在的问题。部分企业因人力因素导致的失误远远多于企业的利润。所以,用智能化的技术兼顾代替人、帮助人、管理人,就会得到很好的经济效果。

然而,人们往往倾向于掩盖与自己相关的“跑冒滴漏”。所以,对管理者来说,价值损失往往是隐藏的。要改变这些现象,企业通常需要首先进行组织流程和制度的变革、改变利益关系。这在本质上也是一种转型升级。

8 结论

从某种意义上说,转型升级和ICT相关技术的应用是一体两面。但在实际运作过程中,却是由不同层级的人员来实施的。如果两者的协同互动处理不好,就很难推动。显然,企业转型升级的目的不是为了应用智能制造的相关技术,而是为了适应市场和环境的变化。因此,转型升级的方向,首先应该由企业家来把握。从技术经济性的角度看智能制造,绝不是单纯的科技问题,而是要看到企业管理、社会发展等方面的问题。只有在这样的视野下,才能避免片面地认识问题。

智能制造的目的是创造价值,对智能制造的研究应该围绕着技术如何创造价值展开、而不是沉溺于学术概念。这就要理解智能制造创造价值的逻辑。从手段上看,智能制造可以看作ICT技术与制造业的深度融合,也就是用ICT技术提升企业相关业务的经济性。提升经济性的方式一般是促进企业相关业务活动中的多方协同、资源共享、知识重用。

智能制造的推进往往是一个困难的过程,这个过

程通常与企业转型升级过程相伴。技术应用都是需要付出成本的,只有将技术用于合适的场景,创造的价值才能超过成本的支出。对中国很多企业来说,这样的场景并不是天生存在的,需要通过转型升级才能创造出来。

参考文献(References)

- [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 Hu, Zhao Min, Ning Zhenbo, et al. Three-body intelligence revolution[M]. Beijing: China Mechine Press, 2016.
- [2] Zhou J, Li P G, Zhou Y H, et al. Toward new-generation intelligent manufacturing[J]. Engineering, 2018, 4(1): 11-20.
- [3] 王飞跃. 平行系统方法与复杂系统的管理和控制[J]. 控制与决策, 2004, 19(5): 485-489, 514.
Wang Feiyue. Parallel system methods for management and control of complex systems[J]. Control and Decision, 2004, 19(5): 485-489, 514.
- [4] 王飞跃. 社会计算: 科学·技术·人文[J]. 中国科学院院刊, 2005, 20(5): 370-376.
Wang Feiyue. Social computing: Science, technology and humanities[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2005, 20(5): 370-376.
- [5] Wang F Y. Toward a paradigm shift in social computing: The ACP approach [J]. IEEE Intelligent Systems, 2007, 22(5): 65-67.
- [6] Wang F Y. Social manufacturing and intelligent enterprises: From cyber-physical systems to cyber physical-social systems [R]. Dalian: The 25th International Conference on Industrial, Engineering and Applications of Applied Intelligent Systems, 2012.
- [7] Wang F Y. From social computing to social manufacturing: A new frontier in cyber-physical social space[R]. Xiangtan: The 2nd International Conference on Social Computing and Its Applications, 2012.
- [8] Wang F Y. Scanning the issue and beyond: Toward ITS knowledge automation[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2014, 15(1): 1-5.
- [9] Wang F Y. Scanning the issue and beyond: Computational transportation and transportation 5.0[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2014, 15(5): 1861-1868.
- [10] 王飞跃. 复杂性研究与智能产业: 平行企业和工业 5.0[R]. 上海: 2014 控制工程师峰会, 2014.
Wang Feiyue. Complexity research and intelligent industry: Parallel enterprises and industrial 5.0[R]. Shanghai: 2014 Control Engineers Summit, 2014.

- [11] 柴天佑, 丁进良, 王宏, 等. 复杂工业过程运行的混合智能优化控制方法[J]. 自动化学报, 2008, 34(5): 505-515.
Chai Tianyou, Ding Jinliang, Wang Hong, et al. Hybrid intelligent optimal control method for operation of complex industrial processes[J]. Acta Automatica Sinica, 2008, 34(5): 505-515.
- [12] Fink C W. An overview of additive manufacturing, Part I[J]. Ammtiac Quarterly, 2009, 4(2): 7-11.
- [13] 柴天佑. 生产制造全流程优化控制对控制与优化理论方法的挑战[J]. 自动化学报, 2009, 35(6): 641-649.
Chai Tianyou. Challenges of optimal control for plant-wide production processes in terms of control and optimization theories[J]. Acta Automatica Sinica, 2009, 35(6): 641-649.
- [14] Wang F Y. The emergence of intelligent enterprises: From CPS to CPSS[J]. IEEE Intelligent Systems, 2010, 25(4): 85-88.
- [15] 王飞跃. 基于社会计算和平行系统的动态网民群体研究[J]. 上海理工大学学报, 2011, 33(1): 8-17.
Wang Feiyue. Study on cyber enabled social movement organizations based on social computing and parallel systems[J]. Journal of University of Shanghai for Science and Technology, 2011, 33(1): 8-17.
- [16] 王飞跃. 大数据与智能化情报: 情报 5.0 和平行情报系统[R]. 北京: 大数据与知识定制论坛, 2014.
Wang Feiyue. Big data and intelligent intelligence: Intelligence 5.0 and parallel intelligent systems[R]. Beijing: 2014 Big Data and Knowledge Customization Forum, 2014.
- [17] 王飞跃. 平行控制: 数据驱动的计算控制方法[J]. 自动化学报, 2013, 39(4): 293-302.
Wang Feiyue. Parallel control: A method for data-driven and computational control[J]. Acta Automatica Sinica, 2013, 39(4): 293-302.
- [18] 王飞跃. 指控 5.0: 平行时代的智能指挥与控制[J]. 指挥与控制学报, 2015, 1(1): 107-120.
Wang Feiyue. CC 5.0: Intelligent command and control systems in the parallel age[J]. Journal of Command and Control, 2015, 1(1): 107-120.
- [19] 王飞跃, 王晓, 袁勇, 等. 社会计算与计算社会: 智慧社会的基础与必然[J]. 科学通报, 2015, 60(5-6): 460-469.
Wang Feiyue, Wang Xiao, Yuan Yong, et al. Social computing and computational societies: The foundation and consequence of smart societies[J]. Chinese Science Bulletin, 2015, 60(5-6): 460-469.
- [20] 王飞跃. 计算实验方法与复杂系统行为分析和决策评估[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(5): 893-897.
Wang Feiyue. Computational experiments for behavior analysis and decision evaluation of complex systems[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(5): 893-897.
- [21] 王飞跃, 杨坚, 韩双双, 等. 基于平行系统理论的平行网络架构[J]. 指挥与控制学报, 2016, 2(1): 71-77.
Wang Feiyue, Yang Jian, Han Shuangshuang, et al. The framework of parallel network based on the parallel system theory[J]. Journal of Command and Control, 2016, 2(1): 71-77.

Concept and promotion strategy of intelligent manufacturing

GUO Chaohui¹, LIU Sheng²

1. Shanghai Yo-i Information Technology Ltd. Company, Shanghai 200122, China

2. State Key Laboratory of Management and Control for Complex Systems; Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract This paper addresses the basic issues in intelligent manufacturing, from fundamental concepts to planning and implementation, with respect to the technical and economic feasibility. In the process of promoting intelligent manufacturing, enterprises should take their own technical conditions into account, avoiding blindly pursuing the technology novelty. Only in this way can we ensure a sound development of the intelligent manufacturing.

Keywords intelligent manufacturing; artificial intelligence; parallel system; cyber-physical systems ●



(责任编辑 傅雪)