

· 学科进展 ·

# 流程工业实现跨越式发展的必由之路\*

桂卫华<sup>1</sup> 王成红<sup>2\*\*</sup> 谢永芳<sup>1</sup> 宋 苏<sup>2</sup> 孟庆峰<sup>2</sup> 丁进良<sup>3</sup>

(1. 中南大学, 长沙 410083; 2. 国家自然科学基金委员会, 北京 100085; 3. 东北大学, 沈阳 110819)

[摘要] 本文基于以流程工业知识自动化为主题的“双清论坛”讨论内容, 阐述了我国流程工业的发展现状、存在的问题、发展目标以及实现目标的技术途径, 介绍了“流程工业知识自动化”的科学内涵、国内外研究现状以及深入开展流程工业知识自动化研究的重要意义, 并在最后给出了本期论坛凝练和总结出的7个方面的科学问题以及相关的政策建议。

[关键词] 流程工业; 高效化; 知识自动化; 工业认知网络; 全流程智能优化

DOI:10.16262/j.cnki.1000-8217.2015.05.005

2014年5月5日至6日, 国家自然科学基金委员会在长沙举办了主题为“流程工业知识自动化”的第113期双清论坛, 来自全国相关单位的34名专家学者参加了研讨。会议分析了我国流程工业知识自动化的研发与应用现状, 讨论了开展流程工业知识自动化技术研发及应用的意义, 分析了目前存在的主要科学问题并提出了相关的政策建议。

## 1 我国流程工业的现状存在的主要问题

流程工业(主要指钢铁、石化、有色和建材等原材料工业)是国民经济和社会发展的支柱产业, 在国民经济中占有重要地位。经过数十年的发展, 我国已成为世界上门类最齐全规模最庞大的流程工业大国, 流程工业的生产工艺、生产装备和生产自动化水平都得到了大幅度提升。但应看到, 我国流程工业单位GDP能耗、物耗和污染物排放较发达国家仍有较大差距, 高端制造偏少与智能制造水平偏低的局面仍然没有大的改变, 整体上依然不能算作流程工业强国。我国流程工业企业现阶段存在的主要问题可以概括为如下几个层面<sup>[1-5]</sup>。

### 1.1 生产工艺和生产设备层面

流程工业的显著特点是: 原料变化频繁, 工况波动剧烈; 生产过程涉及物理化学反应, 机理复杂; 生产过程连续, 不能停顿, 任一工序出现问题必然会影响整个生产线和最终的产品质量; 原料成分、设备状

态、工艺参数和产品质量等要么不能实时检测要么不能全面检测。流程工业的上述特点突出地表现为测量(数字化)难、建模难、控制难和优化运行难。设备控制系统指令仍需靠知识型工作者给定, 自动化程度低; 大多数设备监控系统仅仅具有工况异常方面的报警功能, 没有故障诊断能力, 且没有与控制系统进行一体化设计, 不能实现故障情况下的自愈控制, 安全运行存在隐患。此外, 生产工艺参数选择和生产流程变更仍需靠知识型工作者完成, 实时性差、反应缓慢且很难做到最优。

### 1.2 生产计划和生产调度层面

流程工业企业的生产计划编制和调度策略制定是一个复杂的迭代过程, 需要统筹考虑人、机、物、能源以及时间和空间等各种生产要素, 给出可行的组织和实施方案。由于缺乏全面、准确和实时的生产要素数据获取能力, 缺乏安全、可靠的数据传输、汇聚和融合技术, 缺乏高效的数据分析、知识关联与推演等方法, 尽管目前许多流程工业企业采用了各种先进的调度软件, 但实际的生产计划和调度仍然依赖人工经验, 随意性大且不够精确, 常使企业综合生产指标偏离预定目标范围, 造成产品质量差、生产成本低、资源消耗大等后果。调度系统与设备控制系统独立, 需靠工程师凭经验协调调度与控制的矛盾, 很难做到优化运行。

收稿日期: 2014-12-08; 修回日期: 2015-05-29

\* 本文根据第113期双清论坛的研讨内容整理。

\*\* 通信作者, Email: wangch@nsfc.gov.cn

### 1.3 生产经营决策层面

流程工业企业是人机物高度融合的复杂开放系统,生产经营决策不仅涉及企业内部的生产,而且涉及企业外部的生存环境、国家相关政策法令以及动态变化的国际市场。目前,企业内部的信息系统及与外部相连的互联网络还不能够自动、全面、快速地感知企业内外部与生产经营相关的各种数据、信息和知识,还不能够快速处理多源异构大数据以及不同领域不同层次的关联知识,还不能够对生产行为和国际市场变化进行实时计算和预测,进而也不可能自动给出可供选择的、优良的生产经营决策集合。总而言之,企业的重大生产经营活动主要靠企业领导人凭自身的经验和知识进行决策。显然,这种决策带有盲目性和非最优性,决策失败并带来严重后果的例子时常发生。

### 1.4 信息化系统方面

目前,我国流程工业信息化系统主要采用的是由PCS(过程控制系统)、MES(制造执行系统)和ERP(企业资源规划系统)构成的三层体系结构。这种体系结构尚存在诸多问题,主要体现在以下几个方面:

(1) 智能化程度低,从底层生产控制到上层管理,每一层都需要大量的人工干预,缺乏智能机制;MES中所涉及的信息及决策过程非常复杂,大多数情况下仅是一个替代经验管理方式的系统平台;难以保证生产过程的高效和优化。

(2) 各层次功能相对独立,无法实现各种终端的互联,一些信息交互不畅,忽略了不同生产过程之间以及调度管理信息间的紧密联系,使大量的信息和知识得不到有效利用。

(3) 集成性还没有完全解决,MES各功能子系统之间以及MES与企业其他相关信息系统之间缺乏必要的集成,导致MES作为制造引擎的功能未能得到充分发挥。

(4) MES实时性不强,缺乏准确完整的数据采集与信息反馈机制,多源信息融合和复杂信息处理等功能非常弱。

(5) 绝大多数MES通常只关注生产执行的核心作用,对企业的维护运行、质量运行和库存运行等重视不够,难以满足现代制造业一体化管理的需求。

(6) 系统的可配置性、可重构性、可扩展性较差,很难应对业务流程的变更或重组,严重制约着MES的推广和应用。

(7) 我国流程工业企业普遍存在着现场总线、

工业以太网和互联网等多种网络形式且各网络互不兼容,信息的开放、共享和可用性较差,部分信息传输的实时性得不到保证。

总之,我国流程工业两化融合的现有技术和平台无法满足高水平智能优化制造的要求。

上述各方面问题看起来纷乱复杂,但其共性和根本之处在于:如何构建一种集灵敏感知、综合分析、准确判断和自主执行等于一体的高度智能化的信息物理网络,并由该网络自动执行流程工业企业各个层面上的之前只有人才可以完成的知识型工作。我们将上述网络及相关功能实现技术统称为“流程工业知识自动化”技术。

## 2 流程工业知识自动化的研发与应用现状

2013年5月,全球著名咨询公司麦肯锡研究所在题为“颠覆性技术:先进技术将改变生活、商业和全球经济”的报告中列出了12项改变全球经济和未来社会的颠覆性技术,其中知识型工作自动化位列第二。知识型工作自动化的要义是将人的知识型工作通过机器自动完成。近几年来,能够实现灵敏感知、自律计算、自愈诊断、自主决策和自动执行的认知网络正在逐渐成为计算机科学领域的研究热点。2012年,美国通用电气公司(General Electronic Company,简称GE公司)提出了工业互联网概念,智能机器、高级分析与工作中的人是工业互联网的三要素。工业互联网提出的智能机器和高级分析也是流程工业知识自动化不可缺少的,但工业互联网不能认知和处理工作人员所从事的知识型工作,其理念与技术更适合于离散制造业<sup>[6-10,12,13]</sup>。

### 2.1 流程工业知识自动化的科学内涵

在综合研究和分析大数据、云计算、知识型工作自动化、工业互联网和认知网络的基础上,我国学者于2013年10月提出了知识自动化技术的概念。粗略地讲,知识自动化技术是面向人机物三元融合复杂开放系统的新一代网络化信息物理系统(工业认知网络)技术,它将人的知识型工作、智能技术、3C(现代计算机、通讯和控制)技术等与工业实体相结合,研发数据与知识的全面与灵敏感知、可靠与安全传输、自律与高效计算技术,研发人机物三元融合系统动态行为分析、预测与决策技术,研发故障预警、自诊断、自修复与系统自重构技术,研发全局及全过程优化运行和动态调整等技术,实现之前只有知识型工作者才可以完成的复杂分析、精确判断和创新决策等工作。

工业认知网络是我国学者在物联网、工业互联网和认知网络等的基础上,并结合近几年提出和发展的云计算、大数据、知识型工作自动化以及我国流程工业的特点所提出的一种全新的工业互连网络。流程工业认知网络是一个基于流程全面感知的网络化智能系统,要求网络各个节点具有超强的智能分析和认知计算能力;该网络不但能够自动感知、传输、分析和计算来自物理世界的信息,还能够自动感知、关联、处理和计算来自知识型工作者的经验性知识;该网络还需具有协同分析、综合判断、自主执行和全局优化运行的能力。因此,在工业互联网的基础上,进一步实现对人的认知和理解,在交互过程中自动获取人所掌握的知识并同其他知识相结合,将企业中一切与知识自动化相关的活动嵌入到网络中,不断提高网络的感知、分析计算、判断决策、行为控制与应变能力,逐步构建工业认知网络是流程工业知识自动化所必需的。

前述分析表明,流程工业知识自动化的内涵涉及两个方面:(1)人的经验性知识表示、获取、关联、处理和应用;(2)在工业互联网的基础上构建一种功能更强的网络——工业认知网络,该网络除具有工业互联网的功能外,还要具有自动感知、关联、处理和计算来自知识型工作者的经验性知识。两者缺一不可,构成一个整体。没有前者,工业认知网络不能称为认知网络;没有后者,前者很难开展深入研究并取得实效。

## 2.2 流程工业知识自动获取、处理与应用研究现状

流程工业知识主要涉及:(1)数据(包括各种传感器数据)中隐含的知识;(2)生产过程机理知识;(3)经营、管理与操作中的经验性知识;(4)政策法规与国际协议和标准等方面的知识。

知识自动获取与处理的前提是:(1)知识表示。其中,经验性知识表示是人工智能领域最根本和最困难的问题之一。(2)知识关联和整合。将不同领域知识型工作者的经验性知识关联起来用于决策、计划和调度等是流程工业企业经营和生产离不开的手段,目前只有靠人才能够做到。(3)知识推理和计算。传统的基于专家库、启发式规则库以及各种逻辑的知识推理和计算方法虽已在生产调度和设备控制等方面得到了部分应用,但复杂和不完备知识的推理和计算问题仍停留在理论探讨层面,且研究成果极少。(4)知识重组和新知识发现。这方面的研究成果更少。

在知识获取和处理方面,相关研究领域涉及语

义网络、机器学习、关联规则挖掘、人工神经网络、统计分析、模糊与粗糙集以及基于事例的推理等方法。由于实际流程工业中数据样本的质量和数量难以保证,工业过程决策规则的获取等仍是主要难题,完备知识自动获取的案例还不多见。在面向流程工业知识获取系统的开发方面,美国 Honeywell 公司开发的 Experion 过程知识系统是第一个基于知识的工业自动化系统。美国 AspenTech 公司在 AspenD-MC 软件中运用框架式知识表示方法建立了流程知识模型。德国西门子公司研制的 SIMETAL CIS VAIQ 计算机辅助质量控制系统,利用知识库组件为过程专家及工艺流程工程师提供有关生产和产品质量预测专门知识。

在基于知识的系统建模、控制与优化等应用方面,流程工业过程建模、控制与优化技术已成为流程工业消除“瓶颈”制约,增效创收的重要支撑技术。流程工业过程建模研究逐渐向多尺度、多维度和多目标方向拓展。传统的建模方法很难适用于机理复杂、关联耦合严重、随机因素众多的实际生产过程。基于数据、机理和知识的建模方法正逐渐被流程工业领域认可和采用。实际工业生产中,原料变化、设备老化等原因往往会引起过程特性发生变化,导致模型精度下降。发展融合知识与大数据的模型评价、性能分析与校正方法已成为国际过程控制领域研究的热点之一。过程和环境的不确定性是流程工业生产的重要特点,过程控制器对被控对象模型要有“学习”和“改进”能力,对环境与扰动的变化要有“适应”和“鲁棒”能力。智能控制技术以其自适应和自学习能力受到了广泛关注,产生了以模糊控制和神经网络控制为主且数量众多的控制方法。智能控制在近年来的广泛应用和发展有目共睹,但其分析、设计及在实际应用中还存在许多重要问题亟待解决。流程工业企业的各个层面均会涉及优化问题,如:控制优化,调度优化,决策优化和运行优化等。优化方法各种各样,成果繁多,且已在流程工业的不同层面得到了较好的应用,但是面向企业生产经营全过程优化运行的建模、分析、计算及动态调整的理论和技术仍是没有且亟待解决的重大科学问题。

## 2.3 流程工业信息化系统的研发与应用现状

流程工业知识自动化的实施载体是信息网络,通过信息网络实时获取各种知识,并对知识进行智能化分析和利用。目前,我国少数大型流程工业企业已构建了由过程控制系统、制造执行系统和管理

信息系统所组成的三层信息网络,大部分中小企业的信息化系统还处于碎片化局部应用阶段,信息化与工业化深度融合的路还很长。

物联网的出现深化了传感器网络的内涵并对其应用进行了拓展。物联网在工业领域的应用称为工业物联网,为生产过程优化控制、设备监控维护、环保监测及能源和供应链管理等提供了更为广阔的信息空间。物联网的应用研究在欧美等国得到了高度重视,2009年美国将物联网列为振兴经济的重点技术;同年,欧盟发表了物联网行动计划;我国无锡创建了物联网研究院,众多高校、研究所投入了大量资源进行相关研究。

美、德等发达国家高度重视提升制造业整体竞争力。2006年2月,美国发布了《美国竞争力计划》,该计划指出,提高制造业竞争力的核心高技术是信息物理系统(Cyber Physical System,简称CPS)技术。CPS通过3C技术与工业实体有机融合,实现系统各单元实时感知、动态控制和信息服务,可使系统更加可靠、高效和实时协调运行。2007年,美国总统科学技术咨询委员会建议联邦政府把CPS作为网络与信息技术中的优先资助领域。德国将CPS与智能技术相结合,提出了面向离散制造业的工业4.0计划,借以保持德国在离散制造业上的国际领先地位。与强调感知的物联网相比,CPS强调信息世界与物理世界的协调和沟通,其计算能力和各系统间的协同能力更强。从2009年开始,CPS逐渐引起国内相关研究部门及企业界的关注。但总的说来,目前国内对CPS的研究还处于起步和探索阶段,成果非常有限。

2012年,GE公司提出了工业互联网概念。工业互联网是工业物联网与计算机互联网的深度融合。目前,工业互联网的理论研究及在流程工业中的应用成果还很少,国内相关研究部门及企业界已开始重视工业互联网研发的发展。

### 3 开展流程工业知识自动化技术研发及应用的意義

#### 3.1 我国流程工业的未来发展目标与需求

流程工业企业的未来目标是实现企业全局及生产经营全过程的高效化与绿色化。流程工业高效化和绿色化的关键是实现生产工艺优化和生产全流程整体优化。生产工艺优化包括工艺参数优化和生产流程优化,可以提高产品质量和附加值,可以提高安全运行性能,可以部分地降低物耗、能耗和污染物排

放,为实现生产全流程高效化与绿色化奠定基础。生产全流程整体优化是指在全球市场和原材料变化时,以企业全局和生产经营全过程的高效化与绿色化为目标,使原材料采购、经营决策、计划调度、工艺参数选择以及生产全流程控制实现无缝集成优化。生产工艺优化和生产全流程整体优化一直是世界范围内的难题。

我们将“以企业全局及生产经营全过程的高效化与绿色化为目标,以生产工艺优化和生产全流程整体优化为特征的制造模式”称为智能优化制造。实现流程工业智能优化制造就需要实时获取全局及全过程方方面面的数据,并对各类数据进行分析 and 整合;需要统筹全部生产经营要素,关联多领域多层次知识,并基于数据、机理和知识建立全局及全过程动态优化模型;需要对全局优化模型进行实时计算,并对各种决策、计划和操作等进行动态调整。由此可知,流程工业企业要想实现上述目标,没有大数据、云计算、知识工程、虚拟制造及在此之上构建的工业认知网络的支持是不可能的。

智能优化制造是我国流程工业从根本上实现转型升级和由大变强的必由之路,而流程工业知识自动化技术则是该必由之路的基石和不可或缺的桥梁<sup>[1-3,13,14]</sup>。

#### 3.2 我国流程工业发展面临的挑战和机遇

在当代全球化市场竞争环境下以及流程工业生产高效化、绿色化和智能化的需求下,我国流程工业面临着巨大的挑战。首先是我国流程工业生产用的资源能源条件特殊,原料性质与成分变化大、生产过程与环境复杂,带来了高能耗、高排放和低回收率问题。企业过去引进的国外一些先进工艺、模型、技术和系统难以适应国内生产条件,工艺和装备的进一步改进越来越难,后续发展必须依靠自主创新和升级。从信息化角度看,目前我国流程工业企业存在信息分散、孤立和滞后问题,与物流、能流脱节;前后工序及上下层之间信息脱节;调度手段落后,缺乏统一、高效与智能型的信息化体系支撑。特别地,由于生产过程还没有完全实现数字化,加之缺乏知识自动化基础理论研究和关键技术储备,流程工业企业智能优化制造的目标目前还无法实现。

与此同时,我国流程工业也面临着前所未有的发展机遇。首先,我国最重要的流程工业企业已经拥有先进的生产工艺和良好的生产设备,基础自动化和生产管理信息化已达较高水平;从事经营决策、生产管理、工艺研发和设备运行等方面的知识工作

者积累了丰富的经验,可以提供大量的数据和知识;中国流程工业门类齐全、产业规模庞大,具有不可替代的技术创新环境,具有迫切的高端化、低碳化和智能化的改造需求。其次,国家两化深度融合计划必将在政策、资金和措施方面,在加强产学研密切合作、共同推进流程工业知识自动化方面发挥不可替代的作用。再者,我国拥有技术力量雄厚的流程工业自动化研发队伍,研发知识自动化及相关的智能优化制造技术的各种条件已经具备,只要组织得当、措施有力,就可大有作为。

### 3.3 开展流程工业知识自动化技术研究及应用的重大意义

知识自动表示、获取、关联、重组、处理和应用是人工智能领域一些基础性和根本性科学问题,开展此类问题研究对推动人工智能发展具有巨大的推动作用,同时也可作为基于数据、机理和知识的建模、优化和控制等提供理论和方法支撑。流程工业企业中的决策、计划和调度等的自动化和精细化实现过程一方面迫切需要开展此类问题研究,另一方面也可作为此类问题研究提供绝佳的应用背景和真实可靠的验证环境。

工业认知网络不同于工业互联网,更不同于计算机互联网络。其研发内容涉及:流程工业生产各个环节、各个阶段的数据获取和灵敏感知问题,即基础数字化问题;网络关键节点多功能一体化设计和高智能化实现问题;网络体系结构与安全运行机制问题;网络管理和控制问题;核心算法和嵌入式软件问题;以及大数据实时处理和云计算等问题。开展工业认知网络及实现技术研究不仅可以深化和拓展互联网技术研究及应用、进而推动信息科学技术发展,而且可以极大地推进两化融合向深度和广度发展,为我国流程工业向高效化、绿色化和高端化方向发展做出历史性贡献。

因此,深入开展流程工业知识自动化研究对促进人工智能、信息科学,特别对促进我国流程工业实现由大到强的根本性转变具有极其重要的意义。

## 4 主要科学问题与相关政策建议

### 4.1 主要科学问题

通过深入研讨,与会专家凝练出了如下7个方面的科学问题:

(1) 流程工业灵敏感知的基础理论和关键技术。重点研究:原料成分、工艺参数、设备状态与产品质量的快速检测理论和技术;非物理量的数字化

理论、方法和实现技术;物质转化过程中特征参量软测量理论和实现技术;数据校正、滤波、清洗与标准化理论和技术。为对流程工业企业生产经营全过程的全面与灵敏感知,为构建工业认知网络奠定基础。

(2) 流程工业知识表示与自动获取的基础理论和技术。重点研究:知识型工作者经验性知识的表示与自动获取的理论、方法和实现技术;从生产和管理大数据中自动提取语义知识的理论和技术;构建流程工业知识体系和大规模知识库。为提高决策、计划和调度等的效率、精准度和自动化水平奠定基础。

(3) 流程工业知识处理与应用的基础理论和关键技术。重点研究:知识型工作者经验性知识的关联、整合与推理的理论、方法和实现技术;多源异构知识的统一表示、重组与新知识发现的理论、方法和实现技术;面向决策、计划和调度的知识关联与推理的理论、方法和实现技术,为构建工业认知网络提供相应技术。

(4) 工业认知网络基础理论与关键技术。重点研究:网络关键节点多功能一体化设计与高智能实现技术;网络体系架构、互联机制与网络安全技术;网络物理设备、控制系统与认知计算系统之间的协调与协同技术;网络自感知、自计算、自配置与自调节技术;网络资源实时监控、故障诊断与自愈控制技术;工业云计算和大数据处理技术;网络多层次、开放式、标准化应用服务技术。

(5) 工业认知网络环境下的人机物协调理论与技术。重点研究:工业认知网络环境下的人机物关系与行为模式分析技术;工业认知网络环境下的人机物柔性化交互方法与技术;工业认知网络环境下的人机物自适应协同与介入技术。

(6) 流程工业知识自动化应用理论与技术。重点研究:基于知识和大数据的多尺度、多维度系统建模理论与技术;基于知识和大数据的模型验证和更新的理论与技术;基于知识和大数据的精细控制与安全运行的理论与技术;基于知识和大数据的计划、决策和控制一体化理论与技术。

(7) 工业认知网络构建与知识自动化技术示范应用。面向典型流程工业企业,研发相关的知识自动化技术,构建工业认知主网络,实现调度、决策、感知与控制一体化示范应用,实现大范围优化运行与动态实时调整示范应用,使企业取得显著经济与社会效益。

## 4.2 相关政策建议

流程工业知识自动化研发涉及基础理论研究、关键技术突破、工程实施和示范应用各个层面,亟需加强政策支持、资金与研发力量投入,加快推动我国流程工业知识自动化健康发展。为此建议:

(1) 将“流程工业知识自动化基础理论与关键技术”列为国家自然科学基金委员会重大研究计划,尽快组织立项论证研讨和汇报,争取早日立项。

(2) 加强与相关部委沟通,协调基础研究计划、国家重点研发计划、两化深度融合推进计划等各类国家科技研究计划,从流程工业知识自动化基础理论研究、关键技术攻关、产品研制到重点示范应用进行统一部署。

(3) 选择有示范作用的重点企业,联合相关的国家重点实验室、国家工程技术中心,形成稳固的研发与工程实施队伍,取得一批世界领先的研究成果与核心技术,将示范企业打造成世界领先企业,实现我国流程工业跨越式发展。

致谢 秘书组成员杨再跃、赵珺、罗娜、王晓丽等为本期论坛的成功召开作出了重要贡献,深表谢忱。

## 参 考 文 献

- [1] 柴天佑,金以慧,任德祥等. 基于三层结构的流程工业现代集成制造系统. 控制工程, 2002, 9(3): 1—6.
- [2] 柴天佑,郑秉霖,胡毅等. 制造执行系统的研究现状和发展趋势. 控制工程, 2005, 12(6): 505—510.
- [3] 胡毅,于东,刘明烈. 工业控制网络的研究现状及发展趋势. 计算机科学, 2010, 37(1): 23—27.
- [4] Feng L, Li T, Ruan D, et al. A vague-rough set approach for uncertain knowledge acquisition. Knowledge-Based Systems. 2011, 24(6): 837—843.
- [5] Lee J, Bagheri B, Kao HA. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry4. 0-based manufacturing systems. ScienceDirect, Manufacturing Letters 3, 2015, 18—23.
- [6] Manyika J, Chui M, Bughin J, et al. Disruptive Technologies: Advances That Will Transform Life, Business, and the Global Economy. McKinsey Global Institute, 2013, 12—17.
- [7] Experion PKS, Honeywell. <https://www.honeywellprocess.com/en-US/explore/products/control-monitoring-and-safety-systems/integrated-control-and-safety-systems/experion-pks/Pages/default.aspx>.
- [8] Chen Y, Chen Y. Demand-driven knowledge acquisition method for enhancing domain ontology integrity. Computers in Industry. 2014, 65(7): 1085—1106.
- [9] Continuous bloom/beam-blank casting solutions. <http://www.industry.siemens.com/datapool/industry/industry-solutions/metals/simetal/en/Continuous-Bloom-Beam-Blank-en.pdf>.
- [10] Wolf W. Cyber-physical systems. Embedded computing, 2009, 88—89.
- [11] Evans PC, Annunziata M. Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines. November 26, 2012. [http://www.ge.com/europe/downloads/IndustrialInternet\\_AEuropeanPerspective.pdf](http://www.ge.com/europe/downloads/IndustrialInternet_AEuropeanPerspective.pdf).
- [12] New “Industrial Internet” Report From GE Finds That Combination of Networks and Machines Could Add \$ 10 to \$ 15 Trillion to Global GDP. <http://www.gereports.com/post/76430585563/new-industrial-internet-report-from-ge-finds>.
- [13] 中国工程院咨询服务中心编译工业 4.0 工作组. 把握德国制造业的未来——实施“工业 4.0”攻略的建议(中文版). 德国联邦教育研究部, 2013, 9: 27—32.

## The necessary way to realize great-leap-forward development of process industries

Weihua Gui<sup>1</sup> Cheng hong Wang<sup>2</sup> Yoong fang Xie<sup>1</sup>  
Su Song<sup>2</sup> Qingfeng Meng<sup>2</sup> Jinliang Ding<sup>3</sup>

(1. Central South University, Changsha 410083; 2. National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085;  
3. Northeastern University, Shenyang 110819)

**Abstract** Based on the 113th Shuangqing Forum entitled “Knowledge Automation of Process Industries”, we expound the state-of-the-art, existing problems, development goals and the technological ways achieving the goals. We also present the scientific connotation of “Knowledge Automation of Process Industries” in detail, research status in mainland China and abroad, and significance of further studies on the knowledge automation of process industries. We finally summarize 7 scientific problems and related policies and suggestions.

**Key words** process industry; high efficiency; knowledge automation; industrial cognitive networks; plant-wide intelligent optimization