

智能工厂与装备制造业转型升级

Smart Factory and the Transformation & Upgrading of Equipment Manufacturing Industry

缪学勤

(上海工业自动化仪表研究院,上海 200233)

摘要: 进入 21 世纪以来,信息与通信技术取得了突破性进展,智能的网络世界与物理世界融合产生了物联网与信息物理融合系统。为了确保制造业世界领先地位,德国首先将信息物理融合系统技术用于制造业,开启了 Industry 4.0 第四次工业革命。全面论述了 Industry 4.0 的愿景与目标、主要内容和采用的双战略,深入分析了智能工厂的体系架构,同时阐述了智能工厂创新联盟正在开展的研发项目。我们应该借鉴 Industry 4.0 智能工厂的理念、方案与路线图,勇于创新,加快我国装备制造业转型升级。

关键词: 物联网 服务网 信息物理融合系统 工业 4.0 智能工厂 装备制造业 转型升级

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A

Abstract: Since the 21st century, information and communication technologies have achieved a breakthrough progress, the collaboration of the smart networking world and the physical world generates the Internet of things and the cyber physical system (CPS). In order to ensure the leading position of manufacturing industry in the world, CPS technology has been firstly applied for manufacturing industry in Germany, and the 4th industrial revolution, Industry 4.0, is started. The vision and goal, main contents, and the dual-strategy of Industry 4.0 are expounded comprehensively, the architecture of smart factory is analyzed thoroughly; in addition, the ongoing research and development projects of the Innovation Alliance of Smart Factory are elaborated. We should learn from the concept, solutions, and the roadmap of Industry 4.0 smart factory, and to be creative, to accelerate the transformation and upgrading of the equipment manufacturing industry in our country.

Keywords: Internet of things Internet of services Cyber physical system Industry 4.0 Smart factory Equipment manufacturing industry Transformation and upgrading

0 引言

进入 21 世纪以来,世界经济出现了新的局面,增长缓慢、波澜起伏。各国为了争夺市场,竞争激烈。为了摆脱危机和实现可持续发展,随着新一代信息技术的发展,各国都在加快研究新的技术,新工业革命正在到来。德国是高度工业化的、以制造业为导向的出口型经济技术强国。为了保持在重要关键技术上的国际顶尖地位,从实际国情出发,德国提出了继蒸汽机的发明、大规模生产和自动化之后的第四次工业革命——Industry 4.0 战略计划。

作为 Industry 4.0 核心的智能工厂,其基本设想是制造的产品集成有动态数字存储器、感知和通信能力,承载着整个供应链和生命周期中所需的各种信息;整

个生产价值链中所集成的生产设施能够实现自组织,以及能够根据当前的状况灵活地决定生产过程。智能工厂的目标是建立一个高度灵活的个性化和数字化的产品与服务的生产模式。在这种模式中,传统的行业界限将消失,并会产生各种新的活动领域和合作形式。

1 信息与通信技术发展遵循“15 年周期定律”

IBM 前首席执行官郭士纳曾提出计算技术每 15 年发生一次变革的观点,这一判断像摩尔定律一样准确,人们把它称为“15 年周期定律”。1965 年前后发生的变革以大型机为标志。1980 年前后以 PC 个人计算机的普及为标志,其间美国施乐公司首席科学家 Mark Weiser 提出“无处不在的计算 (ubiquitous computing)”将成为我们日常生活的一部分。1995 年前后互联网开始普及,计算机与通信技术发生了巨大改变^[1]。在互联网与移动互联网发展的基础上,2010 年前后出现了新一代信息技术。按照美国 ARC 顾问集团的观点,推动产业转型的新兴技术主要是社交媒体技术、移动互联网和物联网技术、云计算技术以及大数据与先进分析技术^[2]。

收稿日期:2014-01-22。

作者缪学勤(1942-),男,教授级高级工程师,中国仪器仪表学会理事。1989 年至 2001 年任国际电工委员会 IEC/SC65C/WG6 现场总线标准委员会委员,1988 年被授予国家级有突出贡献中青年专家,1991 年获国务院特殊津贴。长期从事现场总线、工业实时以太网技术与工业自动化系统研究开发、系统集成和工程应用工作。

① 社交媒体技术:在美国,社交网站的发展驱动了人们对于社交媒体技术在制造领域应用的探索。借助于社交技术,人们可实现快速查找工作所急需的专业知识,能快捷地找到正确的能提供帮助的人,在设计过程中实现全球协同等。同时社交媒体可以满足工厂企业市场营销的品牌建立与提升,获得潜在客户信息等需求。

② 移动互联网与物联网技术:互联网将计算机进行互联互通,移动互联网实现了人与人的联网,彻底改变了人与人的互动方式。随着技术的不断发展,人们进一步希望物理世界也联网,进而实现信息世界与物理世界的交融,于是产生了物联网。

物联网是指通过射频识别(RFID)装置、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备,按约定的协议,将任意物品与互联网相连,进行信息交换和通信,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。

③ 云计算技术:云计算是以虚拟化技术为基础,以按需付费为商业模式,具备弹性扩展、动态分配和资源共享等特点的新型网络化计算模式。在云计算模式下,软件、硬件、平台等IT资源将作为基础设施,以服务的方式提供给使用者。目前,云计算已成为提供各种互联网服务的重要平台。

④ 大数据与先进分析技术:大数据技术是从各种类型的数据中,采用新处理模式快速获得有价值信息的能力,从而实现深度理解、洞察发现与精准决策。它给制造业带来的益处包括优化流程、降低成本与提升营运效率。

如上所述,物联网是在计算机互联网的基础上,利用RFID、无线数据通信等技术,把世界上万事万物连接起来的网络。在这个网络中,物品通过计算机互联网实现物品的自动识别和信息的互联与共享。但在很多应用中,接入网络的设备对其计算能力的要求远非RFID能比。由于物联网中的物品不具备控制和自治能力,通信也大都发生在物品与服务器之间,因此物品之间无法实现协同控制。

2 信息物理融合系统将互联网技术推向一个新高度

为了将控制技术融入互联网,2006年美国国家基金会(NSF)科学家Helen Gill提出了信息物理融合系统(cyber physical system, CPS)概念,将互联网技术的发展推向了一个新的高度。随后,美国发布《美国竞争力计划》,将CPS列为重要研究项目;2007年,美国

总统指导科技顾问委员会将CPS列为优先发展的八大关键信息技术之首;2008年,美国CPS指导小组将CPS应用于能源、交通、国防、医疗、农业等方面。在欧洲,欧盟计划从2007年到2013年在嵌入智能与系统的研究与技术上投入54亿欧元,以期在2016年成为智能电子系统的世界领导者^[3]。

近年来,通过智能手机、电子阅读器、平板电脑等设备连接信息世界与物理世界已经对我们生态系统的发展产生了变革性的影响。利用这些设备和各种技术,物理世界的信息可以无缝地传递到信息世界,在信息世界它被精心加工成对应物理内容的能够适应各种信息的应用和服务,同时还能通过执行器修正,以适应物理世界自身。信息世界与物理世界的互动示意图如图1所示。这就打开了构建创新服务的空间,使周围的物理世界以及其中的社交活动进行更好的理解与互动,通常更能促进物理和社交世界中“扩增感知和互动”的能力。虚拟世界覆盖在物理世界之上,其目标是连续监视物理世界,同时能够产生智能动作使虚拟世界(应用和服务)适应我们的需求。在一个融合的世界中,物理世界产生的动作和信息能够影响个人和社会的行为,它也能影响在虚拟世界中如何处理信息和服务^[4]。由此产生了信息物理融合系统,亦称“工业互联网”。

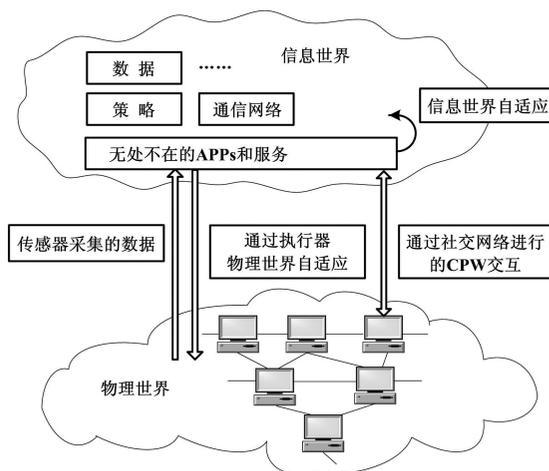


图1 信息世界与物理世界的互动示意图
Fig.1 Schematic diagram of the interactions between cyber world and physical world

从本质上讲,信息物理融合系统(CPS)在物理世界的实体中部署一定的感知和自治能力,使之成为“智能物体”,通过网络设施实现信息传输、协同和处理,实现物与物、人与物之间的互联,从而也实现了虚拟的信息世界与真实的物理世界的融合。从应用角度讲,CPS将打破现有的传感网系统、通信网系统、控制

系统,建立一个多系统互联网操作的动态可控复杂系统。通过物理过程、通信过程、计算过程和控制过程等紧密合作,可以满足多种应用需求。CPS 将使整个世界互联起来,如同互联网改变了人与人互动一样,CPS 将会改变我们与物理世界的互动。

3 信息物理融合系统开启了 Industry 4.0 工业革命

德国是高度工业化的、以制造业为导向的出口型经济技术强国。为了确保制造业世界领先地位,从实际国情出发,德国于 2012 年首先将 CPS 技术创新性地应用于制造工业,提出了基于信息物理融合系统的 Industry 4.0 第四次工业革命战略计划^[5]。

在 Industry 4.0 时代,每个工厂企业都将建立“数字企业平台”,通过开放接口将虚拟环境与基础架构融为一体,从而构成信息物理融合系统(CPS),生产自动化系统将升级为信息物理融合生产系统(cyber physical production system, CPPS)。Industry 4.0 将由集中式控制向分散式增强型控制基本模式转变。在这种模式中,传统的行业界限将消失,并会产生各种新的活动领域和合作形式。创造新价值的过程正在发生改变,产业链分工将被重组,将使人类从

“自动化生产”进入“智能化生产、绿色生产、都市化生产”。

Industry 4.0 将成为智能的网络世界的一部分。在一个智能的网络世界,所有主要工业领域都将感受到它的存在。物联网及其服务推动这些领域产生重大变革,从而产生了能源领域的智能电网,可持续的移动策略(智能汽车、智能仓储)以及健康领域的智能健康。在制造环境中,实现横跨整个价值网络的垂直网络化、端到端工程和水平集成,价值网络上的产品和系统日益智能化。

Industry 4.0 集中于创建智能产品、规范和方法。智能工厂制定 Industry 4.0 的主要细节内容。智能工厂能够管控各种复杂情况,很少发生停车,并能更有效地制造产品。在智能工厂中,人员、机器和资源相互之间进行通信,就像在社交网络一样。智能产品能够知道它们被制造和打算被使用的详细情况。它们主动支持制造过程,回答诸如“什么时候我被加工?”“处理产品的哪一个参数?”“产品被传递到何处?”等问题。智能产品与智能汽车、智能物流和智能电网相对接,将使得智能工厂成为将来智能基础设施的主要部分。这将使常规价值链发生变革,并出现新的业务模式。智能工厂——新的业务模式示意图如图 2 所示。

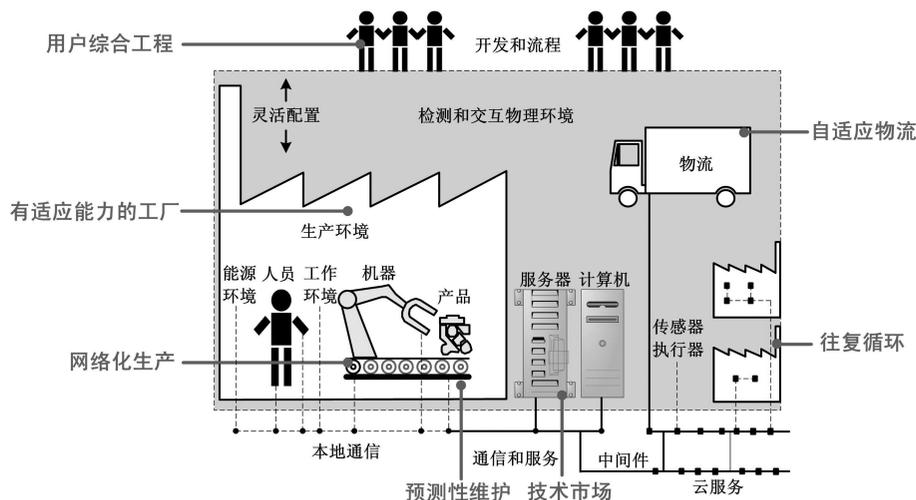


图 2 智能工厂——新的业务模式图

Fig. 2 Smart factory—the novel business model

在实现 Industry 4.0 过程中,目的是通过建立在德国劳动力技能、特长和知识专利基础上的系统创新进程,通过影响现有技术和经济潜能的手段,创建一个最佳的、全面的一揽子解决方案。Industry 4.0 将能够为工程、规划、制造、运行和物流整个过程,提供整套具有更强的灵活性、可靠性以及高质量的标准,从而能够有效创建动态的、实时最佳的、自组织的价值链。该价值

链可以按照诸如成本、可用性和资源消耗等各种准则实现最佳化。

战略创新的 Industry 4.0 将创建一个 CPS 平台。该平台支持工业业务过程的协调,以及用于智能工厂和智能产品生命周期所有方面的相关业务。由这些平台提供的服务和应用,将人员、对象和系统相互连接起来。物联网与服务网示意图如图 3 所示。

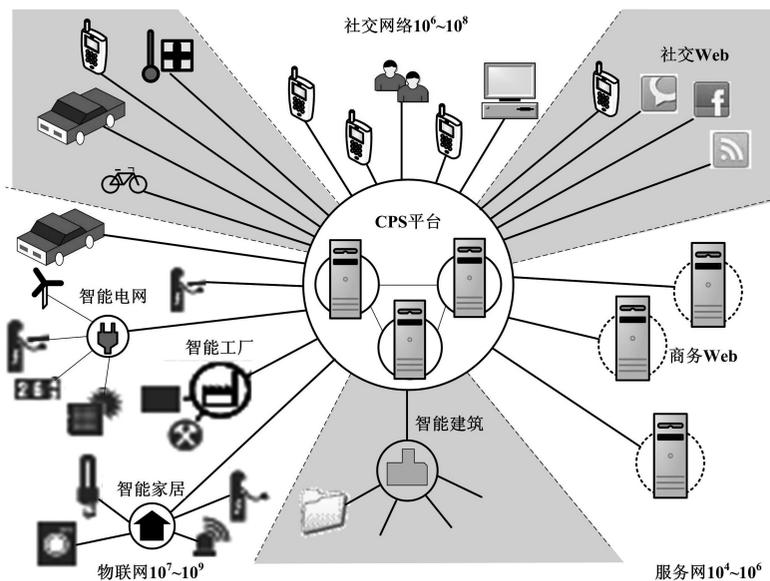


图3 物联网与服务网示意图

Fig. 3 The Internet of things and Internet of services

物联网与服务网具有如下特性。

- ① 通过快速和简单的编排服务和应用(包括基于CPS的软件)提供灵活性;
- ② 按照APP商店模式分配和部署业务流程;
- ③ 整个业务过程具有综合的、安全可靠的后备;
- ④ 由传感器到用户接口的每个环节都能做到功能安全、信息安全和高度可靠;
- ⑤ 支持移动终端设备;
- ⑥ 支持业务网络上的协同制造、服务以及分析和预测过程。

为了实现 Industry 4.0,德国联邦教研部与联邦经济技术部联手,投入高达5亿欧元支持该计划,由德国人工智能研究中心(DFKI)牵头,西门子公司、菲尼克斯电气公司以及SAP公司等23家工业自动化企业参加,组成了“智能工厂创新联盟”。该联盟的目标是研发、演示、应用和分享创新的智能工厂技术,提出融合规划、工程和生产工艺以及相关机电系统的全面解决方案,为智能工厂技术应用于工业生产创造条件^[6]。

4 领导制造业市场和领导装备制造业供应商的双战略

为了确保德国在制造业市场和装备制造业供应商两个方面的领导地位,Industry 4.0采用在制造业布局CPS以及加速CPS技术和产品市场化双战略。Industry 4.0在战略层面能够创建水平价值网络,在业务流程层面(包括工程)提供跨越整个价值链的端到端集成,同时能够实现垂直集成和网络化制造系统,具

体化为以下三方面特征。

(1) 水平集成:为了构建和成功地扩展两个主导的市场,位于不同地方的业务部门构成闭合的全局网络是十分必要的,同时不同的企业之间必须开展紧密合作,这就需要不同的价值创建阶段和产品生命周期及其相应的制造系统的逻辑的、端到端的数字集成。在生产、自动化工程和工厂领域,水平集成是指用于制造和业务规划流程不同阶段的各种工厂系统的集成,其中包括在公司内部和几个不同公司之间的集成。该集成的目标是提供端到端的解决方案。

(2) 端到端系统工程:跨越整个价值链的端到端系统工程包括产品设计和开发、生产规划、生产工程、生产实施以及服务五个阶段,端到端系统工程图如图4所示。

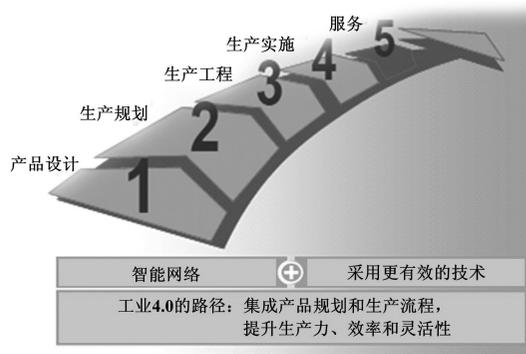


图4 端到端系统工程图

Fig. 4 Engineering drawings of the end-end system

五个阶段的具体任务如下。

① 产品设计和开发:使用 PLM 软件虚拟开发、规划和最佳化,用虚拟原型有效缩短开发时间,对原型进行虚拟分析。

② 生产规划:工业软件和自动化技术集成,用工业软件仿真生产规划并进行最佳化,缩短上市时间。

③ 生产工程:在独立系统之间无缝通信,对所有的自动化任务进行统一的访问,建立统一的信息平台。

④ 生产实施:采用节能和节约资源的部件及其解决方案提高生产效率,通过 MES 系统获得最佳生产性能,采用自动化和驱动集成解决方案。

⑤ 服务:在垂直市场和生产过程知识专利基础上,建立与产品、系统以及应用有关的全生命周期服务,远程诊断与维护能源管理服务,自动化系统功能安全 and 信息安全评估与测试等^[7]。

端到端系统工程需要采用跨越不同技术学科的性能整体性系统工程方法。贯穿工程流程的端到端数字集成,横跨不同的公司和整个产品价值链,同时考虑用户需求,将数字世界和真实世界进行集成。端到端数字系统工程和由此产生的价值链最优化,将意味着用户不再选择由制造商指定的预先定义了性能范围的产品,取而代之的是将单个功能和部件配合,以满足指定的要求。

通过 CPS 实现的基于模型的开发,允许采用一种端到端、模型化的数字方法,它包括从用户需求到产品结构,直至最终产品生产。这就使得在一个端到端系统工程工具链中就能识别和描述所有的依赖关系。基于同一模型能够平行地开发制造系统,这就意味着它与产品的开发始终保持并驾齐驱,其结果是使得制造单批量产品亦能获利成为可能。

(3) 垂直集成和网络制造系统:垂直集成是指为了能够实现端到端的解决方案,在不同层级(例如执行器和传感器、控制、生产、管理、制造和执行以及公司规划级)的各种工厂系统的集成。垂直集成的基础架构就在一个具体的工厂内。在将来的智能工厂中,制造流程的结构将不再是固定的和预先定义的。取而代之,将定义一套 IT 配置规则。该规则依据模型、数据、通信和算法,能够依据各种情况,针对每个处境构建一个特定的结构(拓扑),从而实现制造系统的自组织和重新配置性。为了实现垂直集成,需要确保执行器和传感器信号能够跨越不同层级,一直传送到 ERP 级。

5 智能工厂的体系架构

由于 CPS 信息物理融合系统进入制造和物流的技术集成,以及在工业流程中使用物联网及其服务,从

而产生了创新的工厂系统——智能工厂。完全不同于传统的工厂自动化系统,智能工厂采用面向服务的体系架构,具体体系架构如图 5 所示。

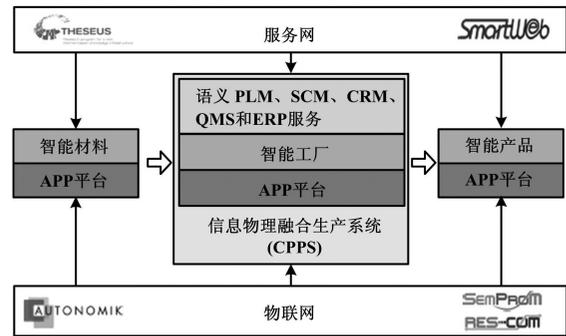


图 5 智能工厂体系架构图

Fig. 5 Architecture of smart factory

从图 5 可以看出,对应于传统自动化系统的现场级,使用物联网技术;对应于控制级,采用 CPPS 信息物理融合生产系统;对应的监控管理级连接到安全可靠和可信的云网络主干网,采用服务互联网提供的服务。

各部分的功能简述如下。

① 基于嵌入式 Internet 技术、无线自组织的机器对机器通信(machine-to-machine, M2M):M2M 通信是基于特定终端行业,以公共无线网络为接入手段,为客户提供机器到机器的通信解决方案,满足客户对生产过程监控、指挥调度、远程数据采集和测量以及远程诊断等方面的信息化需求。M2M 不是简单的数据在机器和机器之间的传输,它是机器之间的一种智能化、交互式通信,即使人们没有实时发送信号,机器也会根据既定程序主动进行通信,并根据所得到的数据智能化地做出选择,对相关设备发出正确的指令。工业控制需要实现智能化、远程化和实时化。随着无线宽带的突破,具有高数据传输速率、低占空比、IP 网络支持以及泛在移动性的 M2M 通信能够提供最佳的承载基础。

② CPPS 信息物理融合生产系统:由于工业控制的可靠性要求非常高,所以生产流程控制采用靠近工厂机器设备的 CPPS 系统。按照 Edward A. Lee 教授的定义:“CPS 是计算过程和物理过程的集成系统,利用嵌入式计算机和网络对物理过程进行监测和控制,并通过反馈环实现计算过程和物理过程的相互影响”^[8]。CPPS 系统是一种网络型嵌入式系统,它将打破在 PC 机时代建立的传统自动化系统的体系架构,从而全面实现分布式智能。

③ 安全可靠和可信的云网络:智能工厂的 IT 设施建立在云计算网络基础上,云计算的本质是一种基

于互联网的服务模式,它类似于远程数据中心。控制室可以理解为私有云,考虑到控制的可靠性要求非常高,为 CPPS 信息物理融合生产系统提供服务的 APPs 平台建立在工厂企业的私有云上。但是一些营运和生产管理,例如 PLM、SCM、CRM、QMS、ERP 以及 MES 的一些功能可以通过云计算网络提供服务,从而可以降低创建和优化基础架构的成本;提升生产管理的智能化水平、高效的跨地域协同以及提高快速响应市场需求的能力等。

④ 基于 CPS 的高级工厂辅助系统:智能工厂创新联盟十分重视将各种无线技术、平板电脑、智能手机以及室内精确定位等很多 IT 领域成熟的最新技术创新地引入新一代工厂系统,形成高级工厂辅助系统。2012 年 4 月,谷歌公司发布了“谷歌眼镜”新产品。这是一款可穿戴移动终端产品。“谷歌眼镜”采用了“扩增实境”技术又称增强现实技术,在“实境”现实基础上,将图像、声音和其他感官增强功能实时添加到真实世界的环境中,以虚拟现实将它扩增,把真实的环境和虚拟的物体实时地叠加到同一个画面或空间,可以使用户充分感知和操控虚拟的立体图像。为此,智能工厂创新联盟专门成立了项目组,经过研究试验,打算将该技术用于工业维护系统,通过头盔式显示器将多种辅助信息显示给用户,包括虚拟仪表的面板、被维修设备的内部结构以及被维修设备零件图等,从而大大提高维护效率。利用这些高级工厂辅助系统,还可以支持、帮助和培训新一代工作人员。

6 结束语

当前,我国装备制造业与世界先进水平相比存在较大差距,产业的效率和效益较低,单位产值的能耗居高不下,人均水平差距巨大,创新能力薄弱。长期以

来,高投入、高消耗、高污染的生产模式已无法延续。为了提升竞争力,保持可持续发展,实现从“中国制造”向“中国创造”转型升级,就必须采用 CPS 信息物理融合系统、物联网与服务网技术,向智能、绿色和高效的智能工厂转型升级。新一代智能工厂系统要求传统的工业自动化技术必须向新一代信息与通信技术开放。自动化技术应该转换它的研究聚焦点,从在各个独立的学科(如分散系统或通信)开展渐近的局部改善性研究,走向整体系统功能的再工程化研究。我们应该借鉴德国提出的新工业革命理念、目标和制定的路线图,打破传统理念,坚持进行持续的技术转型,重视将工业互联网领域成熟的最新技术引入装备制造业领域,勇于创新,加快我国装备制造业转型升级。

参考文献

- [1] 杨刚,沈沛意,郑春红,等. 物联网理论与技术[M]. 北京:科学出版社,2010:2-5.
- [2] Andy C. Transforming industry through new processes and technologies [C]//ARC World Forum,February 2012:2-5.
- [3] 温景容,武穆清,宿景芳. 信息物理融合系统[J]. 自动化学报,2012,38(4):11-22.
- [4] Marco C,Chatschik B. Looking ahead in pervasive computing:challenges and opportunities in the era of cyber physical convergence[J]. Pervasive and Mobile Computing,2012(8):2-21.
- [5] Federal ministry of education and research. Securing the future of German manufacturing industry, recommendations for implementing the strategic initiative Industry 4.0[R]. 2013:19-32.
- [6] Zuhlke D. Smart factory——Towards a factory of things[J]. Annual Reviews in Control,2010,34(1):129-138.
- [7] Siegfried R. Perspectives for competitive industry[C]//Press Conference Hannover Messes,2012:6-22.
- [8] Edward A. Cyber physical system;design challenges[R]. University of California at Berkeley,Technical Report No. UCB/EECS-2008-8, 2008:1-3.



科技期刊中文文摘的撰写

摘要是现代科技论文的必要附加部分,只有极短的文章才能省略。它是帮助读者从浩瀚的信息海洋中能较快、较准地找到他们所需要的科技信息的一种有效工具。摘要一般置于作者及其工作单位之后、关键词之前。

根据 GB/T 6447-1986《文摘编写规则》关于摘要的定义,撰写摘要应注意以下几点。

① 省略“我们”“作者”“笔者”“本文”这样的主语。

② 简短精炼,明确具体。简短,指篇幅短,一般以不超过 200 字为宜(依摘要类型而定);精炼,指摘录出原文的精华,无多余的话;明确具体,指表意明白,不含糊,无空泛、笼统的词语,应有较多而有用的定性和定量的信息。

③ 一般不要交代背景,更不要阐述一般性知识。

④ 格式要规范,一般不分段,尽可能用规范术语,不用非共知共用的符号和术语。不能简单地重复题名中已有的信息,并切忌罗列段落标题来代替摘要。除了实在无变通办法可用以外,一般不出现插图、表格,以及参考文献序号,一般不用数学公式和化学结构式。