

从社会计算到社会制造： 一场即将来临的产业革命*

文 / 王飞跃

中国科学院自动化研究所 北京 100190

【摘要】 通过社会计算,社会制造可以使得传统的企业转变为能主动感知并且响应用户大规模定制需求的智能企业。社会制造的关键就是主动、实时地将社会需求与社会制造能力有机地衔接起来,从而有效地实现需求和供应之间的相互转化过程。为此,必须把社会计算和社会制造这两个密切相关的新兴领域有机地结合起来,将互联网、物联网和物流网与3D打印机组成的社会制造网络无缝连接,通过众包等方式使社会民众充分参与产品的整个制造过程,促成个性化、实时化、经济化的生产和消费模式,形成新的产业革命。

【关键词】 3D打印,加式制造,社会制造,社会计算,网群运动组织,平行系统

DOI 10.3969/j.issn.1000-3045.2012.06.002

1 引言

源自快速成型和快速制造,以3D打印技术为核心手段的加式制造(Additive Manufacturing),被许多人认为是一项将要改变世界的破坏性新技术,已引起全球性的关注。2012年3月,英国《经济学人》杂志以第三次工业革命为主题,宣称3D打印技术即将引发新一轮的工业革命浪潮,并认为生产制造将从大型、复杂、昂贵的传统工业过程中分离出来,凡是能接上电源的任何计算机都能够成为灵巧的生产工厂;人类将以新的方式合

作进行生产制造,制造过程与管理模式将发生深刻变革,目前的制造格局必将被打破,未来的制造业将再次回流到先进发达国家。

在过去的几个月,包括《纽约时报》在内的多家美国媒体持续就3D打印技术的新进展及应用进行报道,以详实的案例为佐证,直白地宣称“天将变了”,美国制造,出口中国的新时代即将来临!众多由年轻创业者发起且具有鲜明创意的加式制造企业,落户于以虚拟经济著称的纽约曼哈顿城区。2008年该地引发了世界性的经济大滑坡,然而,这些企业仍保持快速发展,拉动了萧条的经济。据美国商务部国际贸易管理局最近发布的报告,纽约城区2011年的出口额居全美之冠,从2010年的850亿美元上升到2011年的1050亿美

* 本研究受国家自然科学基金 平行管理 重点项目(71232006)、
平行控制 重点项目(61233001)的资助
修改稿收到日期 2012年11月11日

元,创历史新高。

目前,我国在高精小型3D打印机的生产方面几乎是空白,仅有几家海外产品的代理。如何应对这一局面,是我国制造业乃至整个国家层面必须认真考虑的重大问题。近期有关部门已加大了对一些特定领域的快速成型与制造技术的支持力度,对于3D打印与加式制造,许多部门和企业亦表现出了极大兴趣。

我们认为:快速成型和3D打印机是加式制造行业的重要组成部分,正如计算机之于信息行业。以信息行业的发展历程来讲,快速成型相当于20世纪60年代的专用和大型计算机,而3D打印机则是20世纪70年代的个人PC和苹果台型计算机。令人担心的是,我们在加式制造这一领域目前所处的地位,差不多就是半个世纪前我们在世界信息行业所处的地位!

显然,我们必须尽快补上快速成型和3D打印机这一课,但我们切不可忘记信息行业在个人计算机出现之后浪潮般的发展进程:Microsoft的快速崛起,随之而来的Oracle、Yahoo、Amazon、eBay、Google、Facebook、Twitter,国内的百度、阿里巴巴、QQ和微博等等。以目前加式制造的发展情况判断,3D打印机之后,必将是社会制造的迅猛发展。社会制造对加式制造行业而言,就是信息行业从Microsoft至Amazon再到Google和Twitter的一体化合成,可视为虚拟网络世界与真实物理世界的首次完美结合。因此,在关于快速成型和3D打印机之大量媒体渲染的背后,社会制造才应当是我们关注的要点,否则,我们可能将错失良机,一误再误,代价难以估量。

在社会制造的环境中,消费者与企业通过网络世界能够随时随地参加到生产流程之中,社会需求与社会生产能力将实时有效

地结合在一起,想法到产品(Mind to Product),需求就是搜索,搜索就是制造,制造就是消费,将成为现实。因此,社会制造必将极大地刺激社会需求,同时有效地提升整个社会的参与程度,其直接结果就是社会就业率的大幅度提高。一言蔽之,社会制造对于提高我国制造业的竞争力、加速产业升级和转型、扩大社会内需、繁荣国家经济,具有至关重要的战略意义。

加速发展社会制造产业,不但能够解除我国长期以来在模具和材料工业落后受制于人的不利局面,还可使我国蓬勃发展的社会媒体和网络文化得到进一步的升华,使其成为促进社会经济科学发展的有力工具:从被动到主动,从消极到积极。在这方面,社会计算研究将发挥关键性的作用,从专注社会舆情分析到满足社会经济需求,为社会制造的发展与成功提供有力保障。

2 从减式制造到加式制造:历史与现状

加式制造是相对于减式制造而言的,二者过去都不是严格意义下的制造专业术语。所谓减式制造,即通过模具、车铣等机械加工技术与工具将原材料转化成产品的工艺过程与设备的总称,其特征为利用缩削、减少材料来生产部件。自古以来,减式制造就是人类生产的主要方式,更是现代制造工业的基础。

近10年来,随着快速成型、快速制造、3D打印等技术的成熟与普及,加式制造已成为日益风行的制造专业术语。在很多文献中,将加式制造等同于3D打印技术,但实际上3D打印只是实现加式制造的一种方式。加式制造的主要特征就是利用逐层增加材料的方式生产各种产品,无需模具,因此也被称为无形制造技术(简称FF或FFF)。

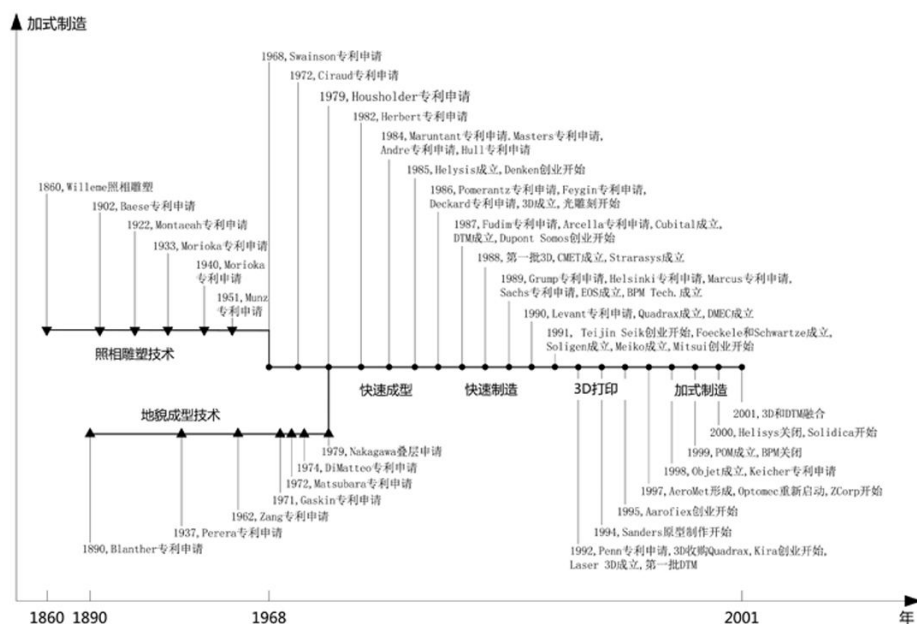


中国科学院

基于3-D模型数据,通常采用与减式制造技术相反的逐层叠加的方式,结合材料来生产物体的过程。实际上,加式制造的思想也是自古有之。从远古时期至今,房舍楼宇的构建技术始终体现了加式制造的思想。工业时代早期,就有许多加式制造的技术和专利出现。根据美国学者所查出的世界上相关加式制造专利和技术,图1展示了加式制造的早期发展历史。由此图可以看出,现代加式制造有两个源头:照相雕塑(Photoculpture)技术和地貌成形(Topography)技术,分别始于1860年法国人Willeme的多照相机实体雕塑专利和1890年美国Blancher的分层应急地貌图专利(图2)。我们认为,照相雕塑更接近从3-D模型数据产生物体的过程,因此更能体现加式制造的思想。特别是1951年Munz的专利,十分清楚地展示了现代立体印刷(Stereolithography)的特征(图2c)。

文献和数据都表明 ,加式制造已从早期快速成型发展成为具有广泛应用前景的新型制造技术 ,而且被许多专家认为是一种革命性的制造技术。目前 ,加式制造已在武器装备、空间系统、飞机部件、医用器件、电子电路以及家用电器及装

3D 打印是加式制造的主体和研发应用的前沿,这也是为什么多数专业与非专业的讨论中都把3D打印与加式



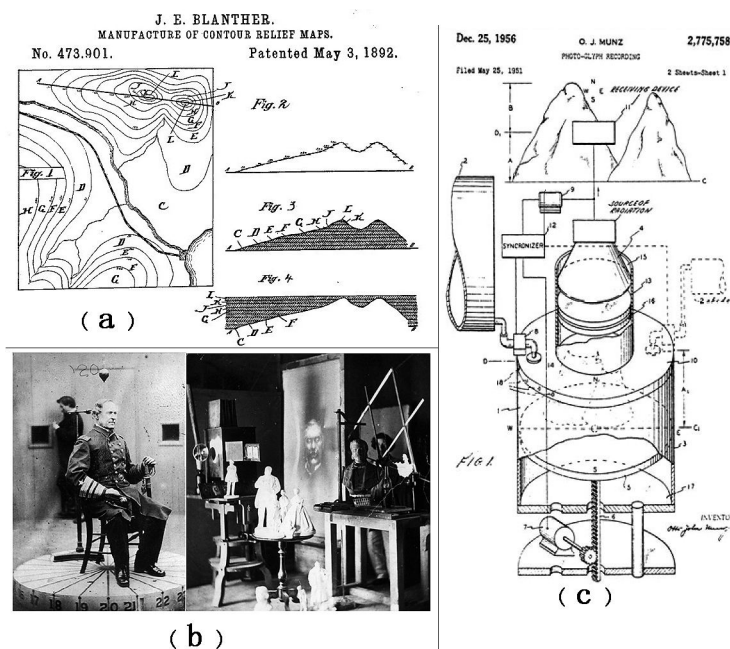


图2 加式制造的源起专利(a) Willeme专利 (b) Blather专利 (c) Munz专利

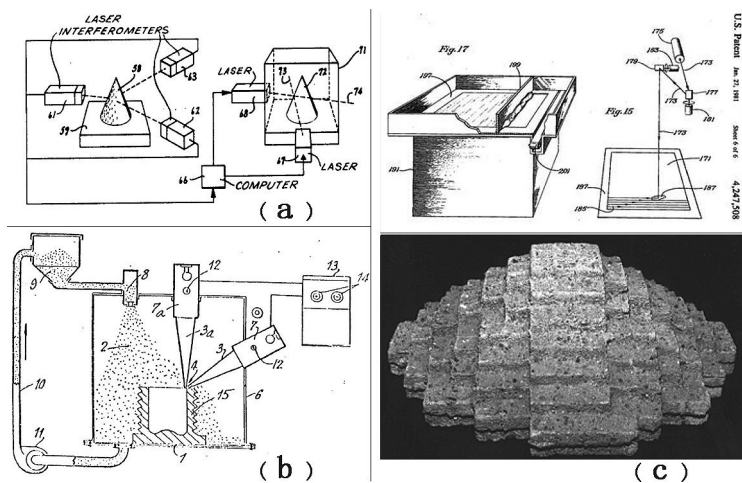


图3 现代加式制造的起步 (a) Swainson的光化学SFF系统 (b) Ciraud的粉末沉积SFF过程 (c) Housholder的粉末烧结SFF过程及初始产品

制造技术等同的原因所在。然而,无论是从逻辑角度还是从手段而言,都应把3D打印看成是实现加式制造的一种途径,特别是加式制造本身与纳米制造和未来的原子制造有着更深刻的内在关联,因此也有更长的发展阶段和更大的发展空间(图4)。不过,在未来的10年甚至20年里,我们几乎可以把

3D打印与加式制造等而视之。

表1给出了美国科技政策研究所就3D打印技术按过程、主要厂商、所用材料和典型市场进行的初步调查结果。一般而言,对3D打印过程和设备的分类主要是根据下列特性:

所使用的材料;制造部件的速度;生产部件的精度和表面质量;生产部件的材料特性;机器和材料的成本;与操作复杂性相关的安全性和可适性;其他性能如多颜色、易回收等。

目前,3D打印主要应用于小批量生产以及小尺寸、高价值、高复杂度和高难度部件等的制造,从而消除制造过程对部件模具和机器工具的需求,实现降低成本、缩短工期的目的。3D打印的市场可粗分为原型制造、工具制造、直接部件制造和部件维修等。

目前,3D打印仍面临着许多技术上的挑战,

美国2011年的Wohlers报告和IDA综述将主要问题归纳为以下7个方面:材料的刻画;材料的研制;过程控制问题;过程的建模与分析;机器的验证与标准;机器的模块化构造与组合;设计工具与软件。

除对这些技术上的挑战之外,欧美日等国还兴起了许多综合性的研发课题与方

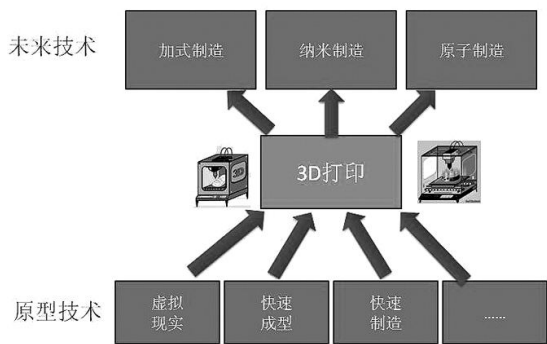


图4 3D打印与加式制造

盟第六框架项目大航空航天组件快速生产 Rapo-lac (Rapid Production of Large Aerospace Components) ,全程专注航空航天的 SMD(Shaped Metal Deposition)技术等。其次 ,欧洲工业界也主动组织形成 3D 打印产业群 ,开发加式制造的市场。一度形成原始创新技术源于美国 ,但其后的研发和应用及商业化却是由欧盟等国家完成的局面。

近年来 ,美国明显加大加快了对 3D 打印技术研发的组织力度 ,但仍是和企业及科研机构等半政府半民间的组织为主导力量。2009 年 ,

以美国相关大学为主的 加式制造路线 (RAM) 研讨会就未来 5 10 年的技术发展进行了广泛的讨论 ,并发表了较有影响的路线图研讨报告。根据这一报告的建议 ,由爱迪生焊接研究所 (EWI) 牵头于 2010 年成立 加式制造共同体 AMC (Additive Manufacturing Consortium) ,试图将

表1 3D打印技术类型与属性

工艺过程	公司	材料	市场
Vat Photopolymerization	3D Systems (US), Envisiontec(Germany)	Photopolymers	Prototyping
Material Jetting	Objet (Israel), 3D Systems (US), Solidscape (US)	Polymers, Waxes	Prototyping Casting Patterns
Binder Jetting	3D Systems (US), ExOne (US), Voxeljet (Germany) Stratasys (US),	Polymers, Metals, Foundry Sand	Prototyping, Casting Molds, Direct Part
Material Extrusion	Bits from Bytes, RepRap	Polymers	Prototyping
Powder Bed Fusion	EOS (Germany), 3D Systems (US), Arcam(Sweden)	Polymers, Metals	Prototyping, Direct Part
Sheet Lamination	Fabrisonic(US), Mcor(Ireland)	Paper, Metals	Prototyping , Direct Part
Directed Energy Deposition	Optomec(US), POM(US)	Metals	Repair,Direct Part

向。如 :能源和电子器件 ;奇特结构 ;轻质结构与部件 ;三维扫描成像 ;生物医学打印技术 ;环境影响与冲击。

尽管美国在 3D 打印的整体技术上领先全球 ,但在基础研究设施、研发组织和政府支持上 ,欧盟明显领先。首先 ,欧盟在政府研发方面的投入要大于美国(不计不公开的国防军事投入) ,著名的大型合作项目包括英国的加式制造创新中心、欧

相关的制造商与供应商同大学与研究机构联结成为一个互动良性促进发展的生态组织 ,共同解决 3D 打印技术中还存在着的大量问题。AMC 目前已有 30 余家企业、研究所、大学、军方和政府等机构成员 ,以金属材料的加式制造技术为主 ,每季度活动一次。目前 ,AMC 整合 EWI 及其成员的设备、技术和专业知识 ,初步构成了一个分布式、网

络化的加式制造 国家实验平台中心 NTBC (National Test Bed Center)。AMC和NTBC的使命就是提高3D打印加式制造技术的成熟度,促进相应的产业投资,在全美范围内将这一新兴的制造方式早日转化为主流的制造方式。自2011年起,AMC每年都向其会员发布加式制造的现状报告。此外,近3年来美国政府、军方及企业还多次组织3D打印技术的有奖挑战大赛,希望以此加速相关技术的发展、应用和普及。

4 从社会计算到社会制造：产业革命的基础与动力

2012年9月19日,著名科技杂志Wired的主编Anderson以危言耸听般的标题*The New MakerBot Replicator Might Just Change Your World*(新的MakerBot Replicator或将改变你的世界)描述了新型3D打印机的进展情况。根据该报道,MakerBot公司推出的低端3D打印机Replicator 2的价格仅为2 199美元,高端的Replicator 2X也只有2 799美元,并且,几年后价格可能会降到99美元;届时,每个人都将拥有3D打印机,比计算机还要普及。在2011年美国加式制造现状的许多报告中,3D打印的个人使用和世界范围的应用已被列为最新的发展趋势。

这意味着什么?为什么说这将改变我们的世界?

这意味着 长尾效应 常态化将在生活和产业中成为现实,意味着个性化的规模化 and 经济化,意味着社会制造时代的来临:在这个时代里,社会需求将同社会制造能力实时无缝地衔接,搜索就是制造,搜索就是生产,搜索就是消费。原因十分简单,减式制造依靠规模生产降低成本,但绝大多数的需求并不需要规模生产,属长尾范围,过去只能由手工制作或归为奢侈品来满足,而现在

可以通过3D打印技术高质量且经济地解决。3D打印成本的下降和应用的普及,意味着加式制造的Microsoft、Oracle、Yahoo、Amazon、Google、QQ、阿里巴巴、Facebook、Twitter和微博时代的同时到来。正如Google依靠大规模的计算机服务器阵列来满足人们信息搜索的需求,从而改变人类生活与工作方式一样,我们可以设想未来的3D打印机组成大规模的制造阵列,实时方便地满足人类对各种个性化产品的物质需求,进而更加深刻地改变我们生活的社会,这就是为什么3D打印将改变我们的世界,这就是为什么社会制造将带来一场产业革命。

至今,人们尚未对社会制造的确切含义进行深入的探讨,我们不妨从国外两个典型的社会制造公司入手,考察其内容和意义。

Shapeways:该公司于2007年创立于荷兰,后将总部移至美国纽约市,至今已获数千万美元的风险投资。2012年10月,该公司位于纽约皇后区的未来工厂投入运营。未来工厂里的机器就是50台工业3D打印机,通过Facebook和Twitter等社交媒体,接受客户的各种产品的三维设计方案,并在数天内完成产品的打印生产,然后寄送给客户。同时,该公司还为商家和设计者设立平台,使他们可以利用公司的3D打印机生产并销售自己设计或收集的产品,目前该公司已有近15万个平台会员,6 000余名设计者,至2012年6月20日,已打印了100多万个3D产品。

Quirky:该公司于2009年成立于美国纽约,至今已获近亿美元的风险基金,创始人Ben Kaufman今年仅25岁。Quirky的特色是众包:公司通过Facebook和Twitter等社交媒体接收公众提交的产品设计思路,并由公司的注册用户进行评论和投票表决,如此每



中国科学院

周挑选出一个产品进行3D打印生产,参加产品设计和修正过程的众包人员可分享30%的营业额。公司还进一步将众包设计改进的过程同时转化为通过社交媒体来推荐相应产品的过程,创造性地拓展了销售市场。目前,该公司每年仅生产60种产品,产品的提交费由最初的99美元降至现在的约10美元,公司的注册用户每月以20%的速度增长,现已达6.5万人,而网上社区注册用户达26万。2012年公司有望获利100万美元,已向发明者支付了200多万美元的授权费。Quirky的一个成功例子是一位中学生所设计的Pivot Power插线板,今年已获50万美元的净收入,该中学生的收入超过5万美元。

可见,社会制造最大的特色就是消费者可将需求直接转化为产品,即从想法到产品,并使得任何人都可通过社交媒体和众包等形式参与其设计、改进、宣传、推广、营销等过程,并可以分享其产品的利润。简言之,社会制造就是利用3D打印、网络技术和社交媒体,通过众包等方式让社会民众充分参与产品的全生命制造过程,实现个性化、实时化、经济化的生产和消费模式。

在社会制造的环境下,大批3D打印机形成制造网络,并与互联网、物联网和物流网无缝连接,形成复杂的社会制造网络系统,实时满足人们的各种需求(图5)。

搜索是社会制造的核心,其实质内容就是社会计算,传统的企业将转变为能主动感知并且响应用户大规模个性化需求的智能企业,否则无法生存。

社会制造的关键问题就是如何主动、及时地将社会需求与社会制造能力有机地衔接起来,从而有效地完成从需求到供应之间的相互转化过程。为此,我们必须实现从社会计算到社会制造的转换,将两个密切相关的新兴领域有机地结合起来。网络空间和社会媒体的环境,不但是催生这两个领域的基本条件,更为完成相应的整合任务提供了有利的保障。

首先,社会计算为社会制造提供了主动及时掌握社会需求的必要手段,从而能够在大数据时代环境下直接用数据研究考察各类问题。其次,社会制造涉及人的行为与需求,对许多问题由于时间、经济、法律和道德上的原因无法进行传统的实验,而社会计算能以计算实验的方式弥补这一缺陷。最后,社会计算的平行管理与控制可为落实社会制造的运营和支持各种决策提供有效的操作平台。

特别是,作为目前社会制造的核心手段之众包,也正是社会计算目前的核心研究内容。众包源于中国的“人肉搜索”现象,可以被认为是工程化的“人肉搜索”,而“人肉搜索”是社会化的众包,

两者是从不同角度认识的同一概念。一般而言,社会民众可以通过 人肉搜索 的独立方式寻求满足自己需要的社会制造企业,而企业可以通过众包的方式有效地完成产品的提出、设计、评价和营销等任务(图 6a)。图 7 给出通过 人肉搜索 或众包的方式完成从社会需求到社会制造的过程。

在此基础上,我们还进一步提出网群运动组织 CMOs (Cyber Movement Organizations) 的概念(图 6b)来刻画动态网民群体,从而能够精确地满足社会制造的各种需要。CMO 的概念源自社会学的社会运动组

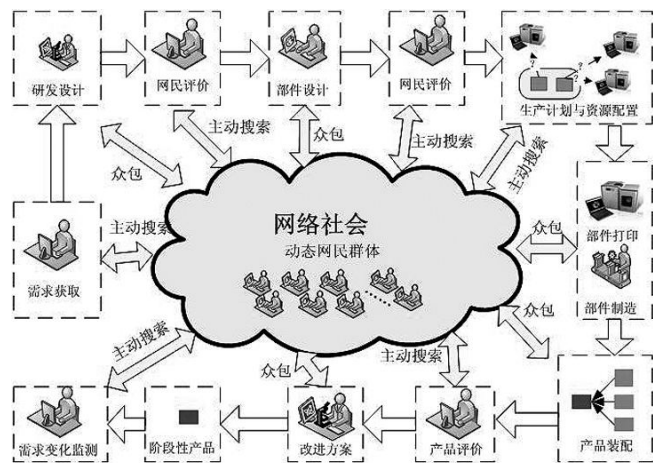


图5 社会制造的网络与过程

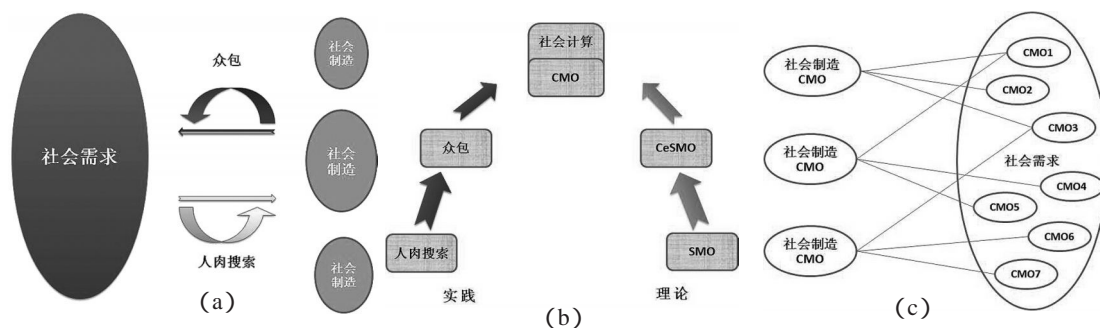


图6 网群运动组织CMO、社会需求、社会制造

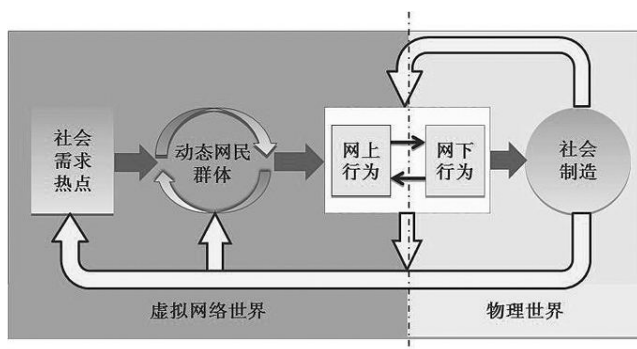


图7 基于CMO的社会需求与社会制造能力转换

的制造方式,社会制造企业其生产过程具有3个鲜明的特性:

免费的多样性 (Variety is Free): 把每个产品做的不同与把它们做成同样之间无成本差异。

免费的复杂性 (Complexity is Free): 像打印一个简单塑料方块一样便宜且方便地打印一个具有精巧小组件和繁琐细节的产品。

免费的柔韧性 (Flexibility is Free): 在生产过程开始后,改变一个产品只是意味着程序的简单改变。

必须指出的是,这3个加式制造的免费特性,要想在传统制造中获得,须付出很大的代价。

然而,这些特性也将不可避免地使真正的社会制造过程变得极其动态、多样、复杂且不确定。因此,我们需要新的理念、系统和方法来管理和运作社会制造企业,这就是提出社会制造平行运营和管理的原因。

基于针对复杂系统的ACP(人工系统+计算实验+平行执行)理论,图8给出社会制造的平行控制与管理系统的研究框架。这一框架以社会制造企业和承载网群运动组织CMO的互联网为对象,以现代物流网络为支撑,以3D打印加式制造设备为依托,形成一类支持集设计、生产、制造、推介、消费为一体的新型智能制造产业模式。这对

织(SMO)和网络促生的SMO(即CeSMO),对于社会制造而言,可以直接将CMO解释成客户运动组织(Customer Movement Organization)。掌控相关CMO,将是实现从社会需求到社会制造之间有效转化的关键所在(图6c)。将来,一个社会制造企业能否成功,一定取决于其掌控CMO的手段和能力。

总之,社会计算是社会制造在3D打印技术之后,整合Microsoft、Oracle、Yahoo、Amazon、eBay、Google、百度、阿里巴巴、Facebook、Twitter、QQ、微博等理念与实践的关键,是社会制造成为未来智能生产企业之基础的必由之路。只有在社会制造过程中,真正地嵌入社会计算方法,加式制造才能真正完成一场伟大的产业革命。

5 社会制造的平行运营与管理

尽管社会制造企业仅有短短几年的历史,但正如Anderson所指出的,相对于传统



中国科学院

于我国生产企业降低成本、提高利润,进而提高我国制造业中的整体竞争力、实现产业升级具有重要意义。

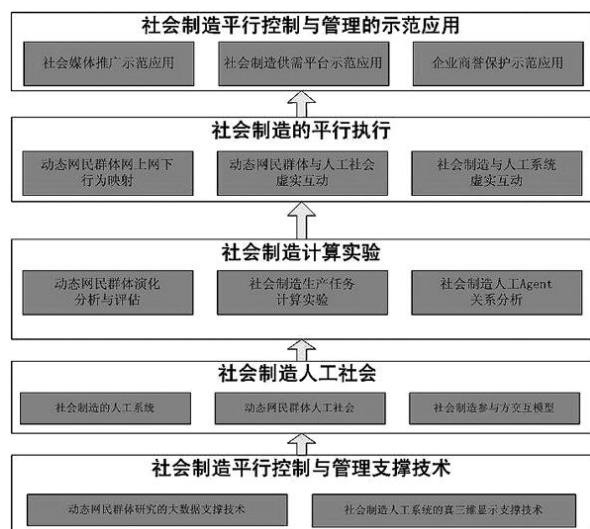


图8 社会制造的平行控制与管理研究框架

社会制造的平行控制与管理研究系统主要由5部分组成,简介如下。

(1)社会制造的人工社会。图9给出社会制造的人工系统架构,主要包括:社会制造中网群运动组织CMO的人工社会构建,社会制造的人工系统构建,社会制造参与各方的交互模型。这里的主

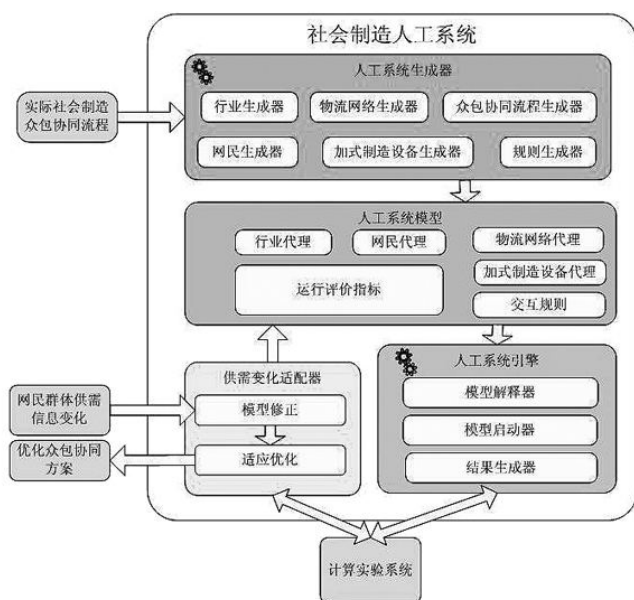


图9 社会制造的人工系统架构

要任务是建立需求热点和相关CMO网上网下行为的演化模型,并研究其复杂网络结构特性与社交媒体信息传播机制间的关系,从而为社会制造的控制与管理提供决策依据。

(2)社会制造的计算实验。图10描述社会制造中的计算实验过程,主要包括:生产任务的计算实验,生产全过程的优化跟踪、分析评价、动态演化,CMO的演化分析与评估,CMO对突发事件的动态响应模拟及预处理模拟,CMO的管理机制与策略的分析与评估,探索网络社会中热点形成机理及发展规律,3D打印制造分布协作机制评估与性能分析,3D打印制造分布协作机制对突发事故的动态相应模拟及预处理机制模拟,3D打印制造负载均衡与批量优化方法,物流过程优化与跟踪方法,等等。

(3)社会制造的平行执行。图11描述社会制造中的平行执行过程,主要内容包括:社会制造人工系统与真实系统的虚实互动机制,网络社会与真实社会的互动调节与反馈机制,CMO人工系统与真实系统之间的互动调节与反馈机制,分布式协作的3D打印人工系统与真实系统的互动调节与反馈机制等等。主要任务包括:研究CMO与真实社会交易行为的相互影响与反馈机理,社会制造中虚实系统的互动演化和反馈调节,为真实社会中基于CMO的社会制造决策提供支持。

(4)社会制造的支撑技术:云计算、物联网、大数据。由于存在于社交媒体上的CMO涉及大数据的动态性、多样性、虚实交互性、复杂性和不确定性等特点,如何从大数据中获得有用的信息,并从中挖掘出CMO的一般规律是一个极具挑战性的问题。我们必须以物联云计算的手段,采用机器学习、数据挖掘、模式识别、人工智能等领域的理论、技术、方法,研发可计算的智能社交媒体数据信息处理的机制,进而支撑处理CMO的计算模型。主要研究内容如图12所示。

6 回顾与展望

2007年,在参加编写《中国至2050年先进制造科技发展路线图》的过程中,加式制造引起了我们的注意,但当时由于专家意见不一致,特别是人力、物力和时间的缺乏,只能将加式制造作为实验室的一个跟踪课题予以关注。2010年,我们向有关部门提出将社会制造作为重点方向立项的建议,但最终的决策是首先加强快速成型系统的研发与完善。2011年,中科院复杂系统管理与控制国家重点实验室获国家批准成立,我们即决定将社会计算与社会制造有机地结合,作为国家重点实验室新的研究方向,以此重新组织我们在控制和自动化领域的力量,重塑我们该领域的传统影响。之后,实验室成立了以年轻科研人员为主的社会制造攻坚团队,配合相关企业,研发从社会计算到社会制造的核心方法和系统平台。

然而,3D打印技术和社会制造的发展速度却大大超过我们的预期。以目前的国际发展态势,我们必须立即大力度大规模地启动社会制造的研发和产业化进程,否则就难以保持我国目前在制造业的优势和地位,无法维持我国的竞争力,更难以实现真正的产业升级和转型。

很明显,社会制造是计算机和互联网引发的信息革命之后的又一场产业革命,而且

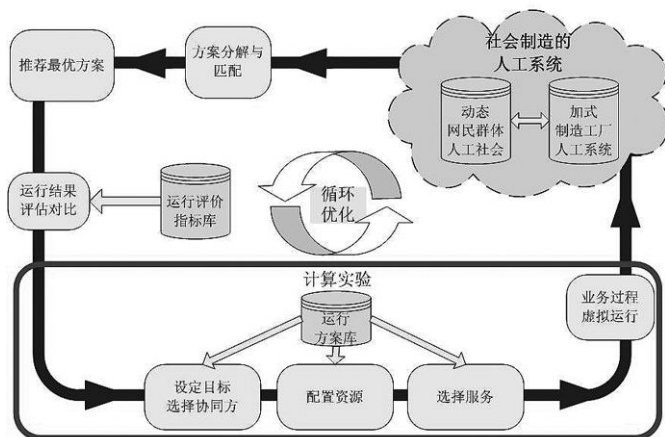


图10 社会制造的计算实验

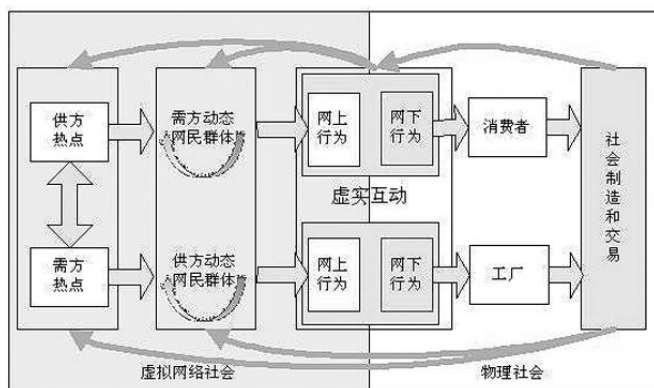


图11 社会制造中的平行执行过程

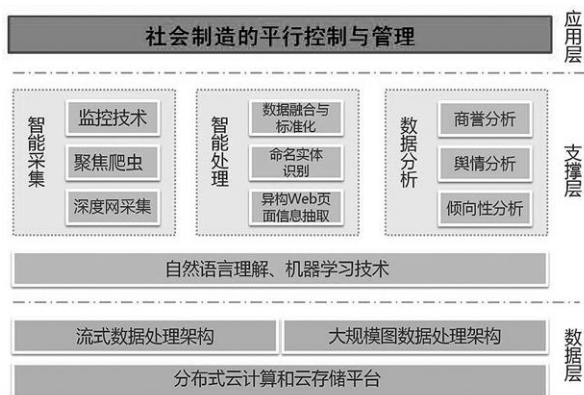


图12 社会制造的大数据处理

(5)社会制造的系统设计。图13和图14分别给出面向服务的社会制造平行系统之体系结构和运营框架,描述了各个层次结构及其功能。

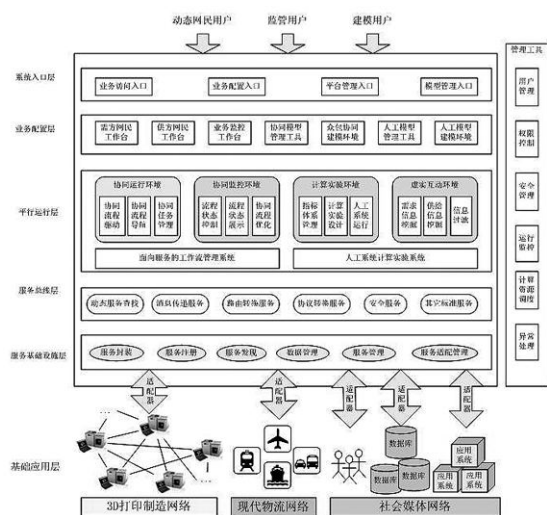


图 13 社会制造的平行控制与管理体系统结构

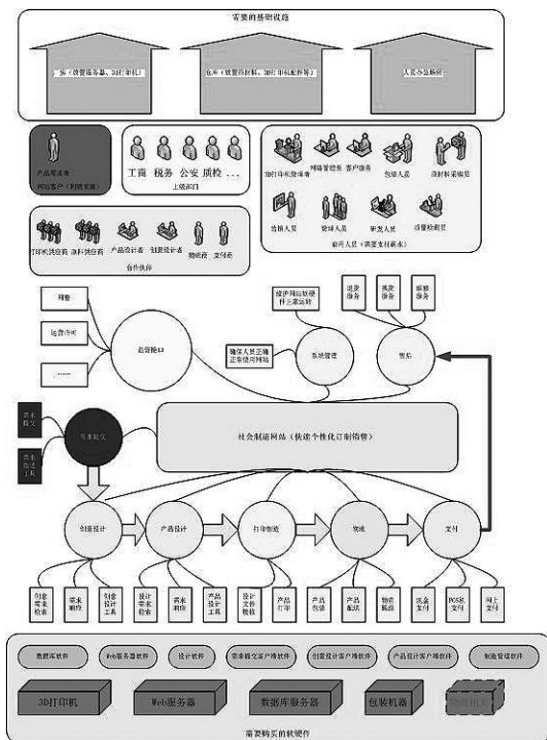


图 14 社会制造系统的运营架构

是一场虚实结合的革命,其规模和速度都将是前所未有的,意义重大,并更具挑战性。这场革命对从业人员的素质与专业水平以及运营环境的要求都与我们现行的教育科研和产业管理体制有明显的冲突。如不认真应对,轻则可能发生西方国家所期望的制造业从中国等发展中国家向发达国家回流的现象,重则严重影响中华民族的复兴伟业。

致谢 本项工作得到了中科院复杂系统管理与控制国家重点实验室社会制造团队和中国人民解放军总装备部有关人员的大力支持,在此深表感谢。

主要参考文献

- 1 王飞跃. 加式制造与智能产业 3D 打印、人肉搜索、社会计算与社会制造. 中科院社会计算与平行管理中心报告. 2009.
- 2 王飞跃, 刘建军等. 3D 打印与加式制造现状报告. 2012.
- 3 David Bourell et al. A Brief History of Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead, RapidTech 2009: US-Turkey Workshop on Rapid Technologies, 2009.
- 4 Justin Scott, Nayanee Gupta, Christopher Weber et al. Additive Manufacturing: Status and Opportunities. Science and Technology Policy Institute, March 2012.
- 5 David Bourell et al. Roadmap for Additive Manufacturing: Identifying the Future of Freeform Processing, at Austin, TX, 2009.
- 6 Terry Wohlers. Wohlers Report 2011: Additive Manufacturing and 3D Printing, State of the Industry.Ft.Collins, CO: Wohlers Associates, 2011.
- 7 Fink C W. An Overview of Additive Manufacturing, Part I. AMMTIAC Quarterly, 2009, 4(2): 7-11.
- 8 President Obama to Announce New Efforts to Support Manufacturing Innovation, Encourage Insourcing. March 9, 2012. Available from <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2012/03/09/president-obama-announce-new-efforts-support-manufacturing-innovation-en>
- 9 王飞跃. 从一无所有到万象所归 : 人工社会与复杂系统研究. 科学时报, 2004.
- 10 王飞跃. 社会计算 科学·技术·人文. 中国科学院院刊, 2005, 20(5) 370-376.
- 11 王飞跃. 知识产生方式和科技决策支持的重大变革 面向大数据和开源信息的科技态势解析与决策服务, 中国科学院院刊, 2012, 27(3): 527-537.
- 12 王飞跃. 基于社会计算和平行系统的动态网民群体研究. 上海理工大学学报, 2011, 33(1): 8-17.
- 13 Wang Feiyue. Toward a Paradigm Shift in Social Computing: The ACP Approach IEEE Intelligent Systems, 2007, 22, (5):65-67.

- 14 Wang Feiyue. Social Manufacturing and Intelligent Enterprises: From Cyber-Physical Systems to Cyber-Physical-Social Systems. The 25th International Conference on Industrial, Engineering and Applications of Applied Intelligent Systems ,Dalian, Liaoning, June, 2012.
- 15 王飞跃. 自动化与智能产业——从社会计算到社会制造. 2012年全国第十七届自动化应用技术学术交流会, 吉林市, 2012年8月.
- 16 Wang Feiyue. From Social Computing to Social Manufacturing: A New Frontier in Cyber-Physical-Social Space. The 2nd International Conference on Social Computing and Its Applications, Xiangtan, Hunan, 2012.
- 17 中科院先进制造战略研究组. 中国至2050年先进制造科技发展路线图. 北京: 科学出版社, 2009.
- 18 张杰, 王涛, 王晓等. 社会运动组织与网群运动组织, 杭州: 浙江大学出版社, 2012.
- 19 商秀芹, 刘建军, 王飞跃等. 社会制造的平行控制与管理, 杭州: 浙江大学出版社, 2012.
- 20 秦蕊, 刘建军等. 3D打印机与加式制造: 现状与发展. 杭州: 浙江大学出版社, 2012年.
- 21 王飞跃等. 社会制造发展路线图, 2012.



中国科学院

From Social Computing to Social Manufacturing: The Coming Industrial Revolution and New Frontier in Cyber-Physical-Social Space

Wang Feiyue

(The State Key Laboratory of Management and Control for Complex Systems,
Institute of Automation, CAS 100190 Beijing)

Abstract Through social computing, social manufacturing can transform traditional enterprises to intelligent enterprises that can actively sense and respond to customers' individualized needs in massive scale. The key to the success of the social manufacturing is to integrate effectively social demands and production capacity in real time. To this end, it is imperative to combine the two emerging fields of social computing and social manufacturing, and to connect seamlessly Internet and logistic networks with 3D printing based manufacturing networks, so that customers can participate fully in the whole life cycle of production processes through crowdsourcing, eventually leading to an industrial revolution and new lifestyle in cyber-physical-social space.

Keywords 3D printing, additive manufacturing, social manufacturing, social computing, Cyber movement organizations, parallel systems

王飞跃 中科院自动化所复杂系统管理与控制国家重点实验室研究员。主要研究领域为复杂系统的智能控制理论与方法。自20世纪80年代,提出并建立了智能系统的协调结构和理论、语言动力学理论、代理控制方法、ACP方法等,发起并开拓了社会计算、平行控制、平行管理等新的交叉学科研究领域。现任IEEE会刊*IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*、*IEEE Intelligent Systems*和《自动化学报》的主编。E-mail: feiyue@ieee.org