

“工业 4.0”不能照搬

“制造 3.0”：“中国制造”升级的战略选择

房丰洲



【摘要】制造业是国民经济的基础，是推动经济和社会发展的支柱产业。为加速实现“中国制造”升级为“优质制造”，必须在制造领域寻找新的突破口，实现制造业的跨越式发展。“制造 3.0”不同于传统的制造，其理论远远超出常规制造的理论和技术范畴，更多地依赖于新的科学原理和理论基础，对我国在下一轮国际竞争中获得优势地位具有战略意义。

【关键词】工业 4.0 制造 3.0 原子尺度制造 **【中图分类号】**F423.1 **【文献标识码】**A

中国制造发展战略不能照搬“工业4.0”

18世纪中叶人类开启工业文明以来，制造业作为社会创造物质财富的主要渠道，成为各国经济持续稳定发展的支柱产业。纵观近现代世界史，大国的兴起均始于制造业，当今世界强国都是制造强国。自新中国成立尤其是改革开放以来，我国的制造业有了显著的发展，无论是制造业规模还是制造技术水平都有显著的提高。着眼未来，中国要从经济大国迈向经济强国，首先要成为制造业强国。

“工业4.0”近期受到各国政府、产业界及学术界

的高度关注，今年5月，中国国务院印发《中国制造2025》，为我国建设现代化的工业强国描绘出清晰的路线图。“工业4.0”这一概念最早出现在2011年德国举行的汉诺威工业博览会上，一经提出就迅速在欧盟工业领域内引起了极大关注。随后在德国政府推出的《高技术战略2020》中，“工业4.0”被列为十大未来项目之一，旨在支持工业领域进行新一代革命性技术的研发与创新，以此奠定德国在关键技术上的国际领先地位，夯实德国作为技术经济强国的核心竞争力。

根据德国“工业4.0”的划分方法，人类社会已经历了三次工业革命。第一次工业革命始于1784年瓦特



对蒸汽机的改良，以蒸汽机为动力的纺织机彻底改变了产品的生产方式。第二次工业革命始于1870年，美国辛辛那提屠宰场的第一条生产线将人类带入分工明确、大批量生产的流水线模式和“电气时代”。第三次工业革命始于1969年可编程控制器的出现，使制造过程不断自动化，机器不仅取代了相当比例的体力劳动，而且还替代了部分脑力劳动。“工业4.0”被认为是在前三次工业革命的基础上进一步深化，基于“信息物理系统”（Cyber Physical System）实现新的制造方式。信息物理系统是指通过传感网络紧密连接现实世界，将网络空间的高级计算能力有效运用于现实世界中，从而在生产制造过程中，与设计、开发、生产有关的所有数据将通过传感器采集并进行分析，最终实现在产品、生产设施的全生命周期中的智能管理和智能生产。这意味着未来工业生产组织方式将向定制化、分散化、融合化转变，将使得互联网企业与工业企业的边界逐渐被打破，生产企业与服务企业的边界日益模糊。

中国业界对“工业4.0”的关注热度不亚于其他国家和地区，这表明中国产业界对新一轮科技革新和产业变革的高度敏感。“工业4.0”作为新的工业生产模式，对中国工业转型升级具有重要的借鉴意义。虽然目前中国是全球最大的制造国，但在制造基础、制造技术、制造体系等方面与德、美、日等国仍有很大差距，高档装备从母机到生产设备仍需依赖进口。公开数据显示，仅2013年我国高档装备进口额就超过千亿元。自动化过程中所需的基础芯片，2013年进口额也已达两千多亿人民币。同时，国内的绝大多数工厂还处于劳动密集的“规模化流水线”的“工业2.0”时代，尚未踏入大规模自动化生产的“工业3.0”时代，数十万人集聚的富士康代工厂似乎可以被视为当前中国制造业主要形态的缩影。

基于目前的中国国情，从总体上追求“工业4.0”，也许时机尚未成熟。如果把中德两国工业现状比作两座外表差异不大的房子，若一座房子拟为扩展空间在上面加盖一层，另一座也参照加盖一层，结果可能未必相同。因为第一座的地基可能深入地下若干米，增

高一层依然稳固，而另一座若起于地面，增高一层后，原有房子将存在倾倒的可能。但是如果我们尝试在继续加固现有房子的基础上，将部分力量投入另一座新房的建设，也许会出现新的景象。

制造技术的范式创新：“制造3.0”

人类文明与制造业的发展密切相关。早在石器时代，人类就开始利用石器作为劳动工具制作生活和生产用品，到了青铜器和铁器时代，为了满足以农业为主的自然经济的需要，人们开始采矿、冶金和锻造工具，并开始制造纺织机械、水利机械、运输车辆等。在此后相当长的时期内，人类主要以手工作坊的形式生产制造工具及各种用品，在重复制造各种劳动工具的过程中，逐渐产生工具定型化倾向，开始了简单的分工作业。这是作为一种艺术而存在和发展的制造技术第一阶段，即“制造1.0”。

将制造从一种工匠活动转变为一种技术起源于因蒸汽机的发明而开启的工业革命。机械技术与蒸汽技术相结合，产生了近代工业化的制造方式，机器制造方式逐步取代手工制造方式并形成规模。自这次工业革命之后，机床制造业在欧洲和美国经历了较长一段时间的蓬勃发展，机床业中逐步的标准化、精度的不断提高以及功率更大的机床的出现，给其他金属类产品制造提供了良好的基础。而后，随着发电机和电动机的发明，电气化使电作为新的动力源大大改变了机器结构和生产效率。由于当时战争的不断爆发和持续，加速了枪炮等武器的研制和生产，枪支生产和机床发明的交互作用导致了制造中很重要的一个概念——互换性的出现，每一个零部件在制造时都需满足严格的一致性。1931年，亨利·福特正是基于互换性标准化技术建立了具有划时代意义的汽车装配生产线，实现了以刚性自动化为特征的大规模生产方式。1952年，美国麻省理工学院研制出世界上第一台数控铣床，由此标志着制造领域中数控时代的开始，数控化使机械产品的功能和性能产生质的飞跃。随着制造技术的不断发展，基于经典力学的制造基

基础理论得到了形成、发展,并日趋完善。传统加工中材料的去除已从毫米、微米发展到纳米尺度。宏观上讲,可以把它们统称为制造技术发展的第二个阶段——基于机器精度的可控制造时代,即“制造2.0”。

制造的核心技术之一是加工,当加工的尺度从微米、纳米向着原子尺度逼近时,出现了原子量级的材料去除、迁移或增加,传统的加工理论已经无法解释这一尺度下发生的现象和效应。这也标志着制造技术将从以经典力学、宏观统计分析和工程经验为主要特征的现代制造技术,走向基于多学科综合交叉集成的下一代制造技术。这种原子或近原子尺度的制造(Atomic or Close-to-atomic Scale Manufacturing),简称为ACSM制造,即“制造3.0”。其主要特征:其一,制造对象与过程设计跨越宏观、微观和纳观直接作用于原子本身。产品的几何尺寸是宏观的,但却要在原子尺度上实现制造体的轮廓及表面形貌。其二,制造过程中表面/界面效应占主导作用。原子或近原子尺度材料去除、迁移或增加的物理与化学反应等一系列过程均发生在固/液/气相的作用界面上。其三,制造过程中原子/分子的行为决定于量子效应。随着制造对象尺度和精度趋向原子或近原子量级,制造科学与技术的研究方法需由宏观的实验统计向趋于物质基本组成粒子的相互作用机制转变。

回顾制造业的发展过程,亚毫米级制造精度使蒸汽机革命在英国成功,并使英国一度成为“日不落帝国”;微米级制造精度适应了电气和电子产品的制造,造就了美国、欧洲和日本的经济快速发展。“制造3.0”(ACSM制造)有望在制造领域带来科学和技术的变革,为我国实现由制造大国向制造强国的转变提供了历史机遇。


“制造3.0”是“中国制造”升级的战略选择

电子管出现后,曾经是电路系统中的核心元件,但随之被晶体管完全取代。微芯片的诞生可以说创造了一个时代,芯片的集成度正在快速发展,其线宽也从32

纳米、22纳米向着11纳米发展。晶体管特征尺寸的缩小也不是无限制的,目前尖端的制造工艺已经基本接近极限值,若超出极限值,材料的物理、化学性能将发生质的变化,电子的运动不再遵循经典物理,开始呈现量子态。这种情况下,电子具有概率所呈现出的波特特性,出现隧穿效应,“穿过”原本不可能穿过的绝缘节点,现行的半导体器件将无法工作。利用量子科学开发出基于量子芯片的新信息处理机制,即量子计算机,它的处理速度从理论上讲是传统电子计算机的上万亿倍,其可靠性、运算速度以及精密度几近完美,一台量子计算机的功能可完全等同于几个巨型超级计算机的功能总和,它的优越性是传统计算机技术所无法比拟和想象的。可以预见,量子芯片的时代在不远的将来一定会到来。

如果在晶体管出现之前,我们下大气力投入电子管制造的研究、开发与产业化,一旦晶体管出现,无论我们做出怎样的前期努力,都将付之东流。同样,我们也付出巨大努力在微电子芯片制造的研究、开发与产业化,力求赶超发达国家已经达到的技术水准。若干年后,当量子芯片出现后,我们不得不进入另一轮的追赶。

无论是量子芯片,抑或是其他我们没有预见到的新的革命性元器件,当它们形成产品时,对新一代制造技术的需求将是必然。而作为下一代制造技术的代表,“制造3.0”的启动、策划与实施,将对我们国家的战略发展起到积极的支撑作用。

“制造3.0”是下一代制造技术,预示着制造技术新的革命性阶段,对我国在下一轮国际竞争中获得优势地位具有战略意义。建议国家相关决策部门启动论证与规划,并列为国家重点研发计划。

(作者为天津大学精密仪器与光电子工程学院教授,长江学者特聘教授,“973”计划项目首席科学家)

【参考文献】

国务院关于印发《中国制造2025》的通知,中国政府网,2015年05月08日。

责编/周素丽 张寒(见习) 美编/于珊