

先进制造技术

Advanced Manufacturing Technology

胡瑞安

(海南新大洲摩托车研究所先进制造技术部,教授 琼山市 571127)

胡海英

(华南理工大学、中科院计算所 CAD 开放实验室 北京 100080)

一、发展先进制造技术的背景

制造是人类创造产品的过程,是人们通过综合运用科学技术知识,使物质、能量、信息转变为物质产品或知识产品的活动。制造业是人类物质财富的最大创造者,也是经济发展的重要部门。19 世纪的产业革命是基于熟练劳动(人的经验和技术应用)的。200 年来,制造技术有了很大的变化。特别是 20 世纪 80 年代到 90 年代,生产环境的动态变化,市场竞争激烈,科学技术飞速进步,全球市场的形成和发展,使制造业经历新的变革。它体现在以下几方面:

(1)市场的动态、多变,用户需求的多样化、个性化,使得制造生产越来越具有多品种、小批量的消费特点,产品的生命周期缩短,供货期成为主要竞争因素;

(2)由于市场的国际化,生产能力(资本、信息和技术)向全球扩散,企业面临严酷的生存竞争问题,产品走向国际市场,使国际竞争非常剧烈;

(3)产品技术含量提高,国际竞争紧密地依赖于制造技术的竞争;

(4)由于全球市场的形成,制造系统的规模与复杂性增加了,集中统一的信息系统仅对规模较小的制造有效,对于大规模的、更复杂的动态的制造系统,要求高级的、完全新的制造信息系统,以适应动态多变的市場要求。制造系统模式趋于开放、自律、分散的模式。

生产环境的这些变化,促使生产技术与生产系统不断发展,制造技术已理论化、体系化为一门工程学科,并发展为在国民经济中举足轻重的一个产业部门。

先进制造技术(Advanced Manufacturing Technology,简称 AMT)是制造业为了适应现代生产环境及市场的动态变化,通过不断吸收科学技术

最新成果,并将其综合应用于制造生产的全过程的新兴的技术群,目的是实现优质、高效、低消耗、精良、敏捷的制造自动化和智能化。

二、先进制造技术的内容与范畴

先进制造技术,包括制造技术(超高速、超精密和微细加工技术)和制造系统(制造的自动化和智能化)两个范畴。

先进制造技术的最大特点是机械制造科学与电子、信息、管理科学相结合,并作为“市场—产品设计—制造—市场”的整体概念。从技术上讲,它有以下特征:

(1)面向工业应用,具有明显的需求导向;

(2)以生产有竞争力的优质产品为目标;

(3)是基于知识和智能的技术;

(4)满足环保和生态平衡的要求,以面向环境设计(DFE)和制造为特征;

(5)具有广泛性、系统性和集成性,它覆盖整个产品设计、加工、销售使用、售后服务等全过程;计算技术、自动化技术、材料科学、测控技术、管理技术的有机融合,使先进制造技术成为能有效控制整个生产过程的物质流、信息流、能量流的系统工程;

(6)是技术与管理紧密结合的产物,充分重视生产过程管理体制的合理化与最佳化,以便对市场快速反应,求得最佳的技术经济效益。

先进制造技术具体内容如下:

(1)主体技术:制造技术的核心,又可细分为以下两个基本技术群。

一是面向制造自动化与智能化的技术群,设计与制造中的计算机辅助技术(CAX),制造过程的建模与仿真技术,计算机柔性制造/集成制造/IMS/VM 技术等。

二是制造工艺技术群(有关加工/装配的技术群),这是在传统制造技术的基础上向超高速、超精

密和微细方向发展的技术群,包括材料生产工艺、精密加工工艺、成型工艺、铸造工艺、锻冲工艺、焊接工艺、装配工艺、检测技术、制造工艺和装备等。

(2)支撑技术:是支持设计和制造工艺的基础性的核心技术,用以保证并改善主体技术的协调运行,包括用于制造生产准备的技术/工具群,如信息技术、机床与工具、传感器与控制技术和技术标准等;

(3)制造技术基础设施:是使制造技术适应企业应用环境,充分发挥其功能以取得最佳效益的有关措施,包括用于制造生产准备的技术/工具群、质量管理、全局监督与基准评价、教育与培训、技术的获取和利用等。

先进制造技术目前需要研究的课题包括:制造技术与制造系统的理论、方法与系统模式的研究;制造与设计信息的描述、分析、传递、控制与显示;先进的制造成形理论与方法研究;先进制造加工技术(超精微细加工/特种加工与测量技术研究);制造自动化技术(先进制造环境下的数控与机器人技术);拟实制造(Virtual Manufacturing)研究;管理科学与制造技术的融合研究。

三、美国、日本、韩国发展先进制造技术的计划与若干措施

1991年,美国政府发表的跨世纪的国家关键技术发展战略,列举了6大技术领域中的22个关键项目,如制造领域的柔性计算机集成制造、制造系统管理技术、智能加工设备、微米和纳米级制造等,信息领域的计算机建模与计算机模拟等。1994年被定为美国制造技术年,并明确先进制造技术是唯一重点扶植的科技领域,拟建立100个国家级研究中心。

美国政府出面组织、协调、支持,成立国家制造科学中心(NCMS)和制造信息资源中心(MIRC);并实施先进制造技术计划(AMT Project)、美国国家科学基金会(NSF)的先进制造技术专项计划和制造技术中心计划(MTC)。1994年投入13.5亿美元,进行新一代智能制造系统(单元)研究、集成工具的开发和基础设施工作。

此外,由NIST(美国国家标准与技术研究所)、SANDIA国家实验室和NSF(美国自然科学基金会)支持的大学和企业联合研究中心,对拟实制造技术开展研究。

智能制造技术(IMS)计划,是日本提出的一项为期10年的国际合作研究计划,由日本、美国、加拿大、西欧等国共同参加,1992年开始实施。IMS国际合作研究的主要内容包括:全球制造企业集成技术;自律分散型控制系统;产品快速开发技术;知识

系统化技术;流程工业的无污染制造技术;全球化同步工程技术等项目的研究。

G.7计划(高级先进技术国家计划)是韩国提出的一项研究计划,其目标是2000年达到世界一流水平,在21世纪初加入7国集团。G.7计划中,先进制造技术是其中7项先进技术之一。这是一个集市场需求、设计、制造和销售于一体的系统,目的是改善质量和生产率,提高全球竞争能力。G.7计划的内容包括:共性基础技术;新一代加工系统(加工技术等);先进装配和检验技术;系统集成技术和智能技术。

四、先进制造技术的相关领域及在我国的发展

1. 计算机辅助技术(CAX)应用工程

从“七五”计划开始,计算机辅助技术在我国即受到各方面的重视。我国“七五”、“八五”计划实施以来,CAX技术有了广泛发展。它的目标是,强调独立自主开发,争取在2000年达到发达国家90年代水平。

CAX应用性强,密切结合具体制造企业,意义重大,特别是作为先进制造技术的前期工作的一部分,CAX是极为重要的基础。

自80年代以来,国内CAX的技术开发工作主要包括:引进了大量国外软件和硬件,并在使用中进行二次开发;研制和移植了若干CAD/CAM软件;开发了具有自主知识产权的CAD软件,如PICAD、开目CAD等。

90年代以来,国外在CAX技术开发中提出的若干新思想,在我国学术界已受到重视并在研制中采纳。

2. 制造工程中的计算机模拟——拟实制造

计算机模拟方法一开始就在产品的制造工程中得到了应用。在飞机制造业中,为了模拟机翼和机身周围的气流,发展了计算空气动力学,在超级计算机的虚拟空间中进行各种实验研究。这种虚拟风洞甚至可以研究传统风洞不可能测量与研究的气动流型的详情,提供以往实验未能揭示的新内容。计算机模拟不仅正在改变着传统的科研方式,而且使制造模式产生重大变革。

值得注意的是产品的拟实制造工程。在计算机上,通过建立产品的模型,显示产品的制造过程,以便在制造之前,预先估计产品的功能及可制造性,以及制造全过程中可能存在的问题及其影响。在先进制造技术中,称这种方法为拟实制造。

拟实制造是先进制造技术的前沿和先导。拟实制造系统中,要求对生产和制造活动进行全面建模,包括企业的现有活动,以及未来企业的活动建

模。数学建模,即构造研究对象的数学模型,是拟实制造的重要环节。数学方程从数量的角度反映对象的有关参数及其关系、固有特性和运动规律,是客观事物行为方式的高度抽象的表示形式。

在拟实制造工程中,产品的实现过程往往与并行工程结合进行,也就是在完成设计前,同时完成对不同方案的筛选、比较,确定机床布置,物流及成本、周转时间、单元成本、资金等。拟实制造大大加强了企业的生产柔性、人员组织的柔性和销售的柔性,并能估计各种可能产生的负面效应。

3. 制造工程的集成化(CIMS)

CIMS 是指用计算机通过信息集成实现现代化的生产制造,以求得企业的总体效益。

CIMS 在功能上包含了一个工厂的全部生产与经营活动。它不仅是设备和物的计算机化+系统的自动化,而且主要是以信息集成为特征的、系统的有机集成。用 CIMS 方法组织生产,除了加工制造过程的自动化,还必须使设计过程、管理决策过程采用先进技术并使企业体制、运行机制作相应变革,因此 CIMS 是组织现代化生产的一种哲理,其目的是高效益、高柔性。

CIMS 是一个包含各种单元自动化技术在内的,以信息集成为主线的综合自动化系统。其组成包括:工程设计自动化分系统、管理信息分系统、制造自动化分系统、质量保证分系统、工程数据库、网络等。目前各实施方案差别甚大。根据企业的目标和约束条件,有的是其中的一个子集,有的也比较全面。FMS 是 CIMS 在车间级的基本生产组织形式之一。

由于企业性质不同,CIMS 的实现也各异。如:机械制造企业属于离散型,在实现 CIMS 上,与流程型生产的企业,必然是不同的。企业的生产和经营目标不同,基础条件不同、实现 CIMS 的方式方法、过程与结果也是不同的。但技术上,许多相关技术具有共性。

CIMS 得到了“863 计划”的不少资助,已进行了 10 年的工作。“八五”期间在一些企业中投资搞 CIMS 试验工程,成功和失败兼有,但其中也有选点不当的情况。个别企业本身就是一个亏损单位,在市场竞争中已露败绩,让它们去搞高新技术试点确实很成问题。因此在“九五”计划中,国家科委将在经济发达地区布点(如广东省和江苏省),选择若干生产较好的企业作为推广 CIMS 的试点单位。

CIMS 发展中存在若干值得商榷的问题。信息时代生产环境的变化,使制造业面临新的契机,从早期的 NC/MC(加工中心)/FMS 发展到今天的 CIMS。CIMS 一度曾使美国在高技术信息化方面居领先地位,并发展成世界性的热门技术,但这种现行的集中管理自动化和生产的无人化也遇到了一

些困难,这就促使人们找寻更好的制造模式,例如,IMS 和后来发展的生物型制造系统(BMS:Bionic-Manufacturing)等。

4. 制造工程的自动化与智能化——智能制造

市场的全球化、资本和产品的流动性扩大,技术革新的发展,导致技术扩散、转移大大加快,国际化的趋势使制造业面临必须解决的若干新问题:具有专门技能的人才缺乏;大量信息资源有待开发;制造环境的动态化、决策的复杂度提高,制造系统的柔性要求提高;要求专家们在更大范围内更及时地合作。制造业如何适应这种全局化、整体化的要求?实践表明:制造过程的自动化程度,受制于制造系统的自组织能力与智能水平;制造中的专家群体,通过知识源的组织合作,才能有效发挥作用。以上因素导致 80 年代中、后期兴起的由 CIMS 向智能制造(Intelligent Manufacturing System:IMS)的方向发展。

目前 IMS 的研究有两大趋向,即追求高精度高质量,向超精密、微细加工发展;追求高速度与效率,向自动化发展。

自动化程度的进一步提高,有赖于制造系统的自组织能力,这涉及一系列理论、技术和社会问题,其核心问题是“智能化”。IMS 是指制造工业的各环节,以一种高柔性、高集成的方式,通过计算机模拟人类专家的知识与经验,进行分析、判断、构思、推理并决策。

IMS 目前尚无正式的定义。一般认为 IMS 的目标是取代并延伸制造环境中人的部分脑力劳动,收集、存储、完善、继承、发展、共享人类专家的制造智能,谋求人/机融合,有效利用一切知识活动,通过知识库、数据库、计算机网络,柔性地将企业从订货、设计、生产到销售的全部活动集成,力求提高整体效益的生产系统。

根据日本国际合作计划对 IMS 的解释,智能制造主要研究智能活动、智能机器及其两者的融合。其关键技术是制造智能的理论和制造智能处理技术。IMS 以智能、信息为中心,理论上,它把制造建立在坚实的科学基础上;在实践上,强调对制造工具的柔性集成能力,最终使制造系统成为一个自适应、自学习、自修复、自组织的控制系统。

IMS 近期的研究包括:

- (1)IMS 的设计策略和开发环境,重视设计的标准化、模块化、通用化;
- (2)IMS 的理论基础与设计技术;
- (3)制造智能的理论与处理技术,如智能自律分散型生产系统研究等;
- (4)制造过程中的评价,如市场、设计、生产、经济、功能、报价的评价等。

IMS 是新型制造系统的形式之一。从订货、开

发、设计生产、物流、经管全过程中,使各种设备、生产线实现自律化,把它们作为整体的一部分而相互协调。

与 CIMS 相比,IMS 更强调:人的创造性与解决问题的能力;充分利用制造知识,生产系统具有向人类专家学习的能力;系统采用自律分散的控制模式。

5. 先进制造环境下的合理化技术管理工程

合理化工程是先进制造技术中的一种提高企业竞争能力的有效方法,是面向 21 世纪企业设计、制造管理的新技术,把 TQCSF(即时间/质量/成本/服务/柔性)作为成功企业的关键因素。

在先进制造技术中,LOAF 和 CIMS 是国外提出的,而合理化工程则是我国与德国共同合作提出的。国家科委、中国科学院均极重视,大力给予支持。目前正在杭州气轮机厂实施此项合理化工程计划。中国科学院、清华大学等都在分别筹备成立合理化工程研究中心和先进制造技术研究中心。

五、AMT 当前存在的若干问题

先进制造技术并不是各个先进单元技术的堆积与迭加,而是各个单项技术在先进制造哲理下的有机集成。目前在软件集成与大型计算机软件设计中存在若干瓶颈问题。如 CIM 系统采用集中/统一的系统模式,将导致系统的硬化(柔性差);在数据的标准化等方面,存在许多困难。

智能 CAD 研究,一度使 CAD 研究者兴奋不已,80 年代开始我国一些高校作过不少工作,但经过多年研究,实用成果不很多,与预期的要求尚有很大差距,如 CAD 软件不是万能的,许多地方限制了设计人员创造性的发挥。专家认为,现代化制造过程面临的是一个复杂系统,在十分复杂的系统中,如果没有人的参与,至少在现阶段是不可能完成的。人工智能研究遇到的困难,终于使人们又回到现实中来。

自动化的原意是用机器代替人,但是现在还是离不开人。最近有报道,在日本的一些无人化工厂中,已经离去的工人们又回到了自动化生产线上。人的回归,促使人机结合的工程方案得到发展。

(上接第 41 页)

吸引投资、交换技术、开辟原料和销售渠道及在国外开设企业、生产专利产品的手段。另外,在生产、经营、销售领域内,应采取一切可能的手段,例如规模化生产、建立销售网、广告宣传及必要的营销手段,最大限度地利用专利的保护期,以谋求最大的市场利益。

主要参考文献

六. 结合我国国情与企业实际 发展先进制造技术

对于国内发展较快的制造企业,若已具备推行先进制造技术的条件,建议组织有关人员就先进制造技术的现状、必要性、可行性及实施方案进行分析与论证,然后有计划、分阶段地逐步进行先进制造技术的试点,为此笔者建议:

(1)在当前,首先应搞好 CAD 应用工程,加强计算机辅助工业设计(CAID)的应用开发,这是提高产品竞争力的关键。

(2)继续开展 CAPP、CAE、CAM 应用工程的有关工作,使制造上一台阶。这是实施先进制造技术的重要基础。

(3)将管理科学与制造技术融合,在企业中引进并实施 MRPII(制造资源计划)及 ERP(企业资源计划)。

(4)开展先进制造技术的基础研究,如制造技术与制造系统的理论、方法与系统模式的研究,制造与设计信息的描述、分析、传递、控制与显示,虚拟制造研究,先进的制造成形理论与方法研究,制造加工、精密加工和特种加工技术研究,先进制造环境下的 NC 与机器人技术研究。

(5)结合产品,开展拟实制造研究。这是先进制造技术的前沿和先导,也是我国跨世纪先进制造技术基础的优先领域之一。

(6)在一些有条件的企业试行先进制造技术环境下的合理化管理工程,建立相应的基地。

(7)建立一个覆盖本企业的工程数据库系统,作为先进制造技术的一个支持系统。

(8)在一些企业建立柔性自动化车间,逐步实施并建立效益型低集成制造系统。

(9)逐步开展 LAF 制造研究,即精良生产(Lean)、敏捷制造(Agile)和柔性(Flexible)制造技术。这是一种高层次的制造系统,也是未来 21 世纪的生产方式。其所包含的技术有:新型、快速原型制造技术;多维、分级 CAD/CAM 技术;制造监控与故障诊断技术等。

(10)选择和构造适合于企业自身要求的计算机及有关软硬件系统。 (责任编辑 肖庆山)

[1]袁德,“市场经济与企业专利战略”,《市场经济与科技进步》,1995 年 11 月

[2]吴贵生等,《专利战略概论》,中国专利局专利工作管理部编,1996 年 8 月

[3]吕莹,《“863”计划专利保护现状及高科技专利战略的研究》,清华大学硕士学位论文,1997 年 5 月

(责任编辑 王宏章)