

现代机械制造技术及其发展趋势

王世敬 温 筠*

(石油大学(华东)机电工程学院)

摘要 简述了机械制造技术的发展历程,国内外现代机械制造技术的现状及最新成就与进展,我国在发展现代机械制造技术的基本情况、差距及动向。在大量研究分析的基础上,预测了21世纪机械制造技术的3个发展方向:(1)全球化,其技术基础是网络化、标准化和集成化;(2)虚拟化,即设计过程中的拟实技术和制造过程中的虚拟技术;(3)绿色化,即通过绿色生产过程(绿色设计、绿色材料、绿色设备、绿色工艺、绿色包装、绿色管理)生产出产品,使用完后经绿色处理后加以回收利用。

关键词 机械制造 现状 发展趋势

机械制造技术的发展历程

机械制造业是国民经济最重要的基础产业,而机械制造技术的不断创新则是机械工业发展的技术基础和动力。

机械制造业发展至今,按其生产方式的变化可划分为:

(1) 劳动密集型生产方式。手工制作及早期的工业生产均属于这种方式。

(2) 设备密集型生产方式。这是一种随着运输机械、施工机械和机床等大规模工业化生产的出现而产生的生产方式。汽车、拖拉机、轴承等大批量生产中的刚性生产流水线均属于这种生产方式。

(3) 信息密集型生产方式。从20世纪初期开始出现了数控机床、加工中心等新型机电一体化加工设备。它实现了人与机器设备之间的信息交流,机器设备可通过获得的信息,快速、准确地实现加工,继而产生了使用这些典型设备的生产方式。

(4) 知识密集型生产方式。这种生产方式是制造理念的飞跃,把单向的产品制造链组成为有机的制造系统,其中的物流系统、信息流系统、能量流

系统等相互依赖、相互作用、相互协调。这种制造系统不单能与人进行信息交流,而且本身具有专家系统、数据库等必要的解决问题的知识,使其能在获取较少信息的情况下完成加工要求。柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)是这种生产方式的典型代表。

(5) 智能密集型生产方式。这是目前正在研究和实施的一种全新的生产方式。它试图使用制造系统本身具有的人工智能,并引入了新的制造哲理和组织形式。因此,这种制造技术能够快速响应市场的变化,超前地开发产品,实现多品种产品的全过程管理。这种制造技术的实施,将使人们梦寐以求的“无图纸加工”、“无人化加工”、“无害化加工”成为可能。目前正在研究的智能制造系统(IMS)、智能型计算机集成制造系统(I-CIMS)、敏捷制造等就属于这种生产方式。

现代制造技术的涵义相当广泛。一般认为,现代制造技术是以传统制造技术与计算机技术、信息技术、自动控制技术等现代高新技术交叉融合的结果,是一个集机械、电子、信息、材料与管理技术于一体的新型交叉学科,它使制造技术的技术内涵和水平发生了质的变化。因此,凡是那些能够融合

* 温 筠, 讲师, 生于1972年, 1998年毕业于石油大学(华东)石油机械工程专业, 获硕士学位。现从事机械设计制造工艺的教学和科研工作。地址:(257062)山东省东营市。电话:(0546)8392093(H)。第一作者王世敬简介见本刊2002年第8期。

(收稿日期:2002-04-05; 修改稿收到日期:2002-05-31)

当代科学进步的最新成果,最能发挥人和设备的潜力,最能体现现代制造水平的制造技术均称为现代制造技术,它给传统的机械制造业带来了勃勃生机。

现代机械制造技术的现状

1. 国外情况

在制造业自动化发展方面,发达国家机械制造技术已经达到相当水平,实现了机械制造系统自动化。产品设计普遍采用计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助产品工程(CAE)和计算机仿真等手段,企业管理采用了科学的规范化的管理方法和手段,在加工技术方面也实现了底层的自动化,包括广泛地采用加工中心(或数控技术)、自动引导小车(AGV)等。在这个基础上再提高制造系统的自动化水平,对于改善企业的TQCS(T——尽量缩短产品的交货时间或提早新产品上市时间、Q——提高产品质量、C——降低产品成本、S——提高服务水平)已无明显的作用。因此,近10余年来,发达国家主要从具有全新制造理念的制造系统自动化方面寻找出路,提出了一系列新的制造系统,如计算机集成制造系统、智能制造系统、敏捷制造、并行工程等^[1]。

(1) 计算机集成制造系统 它是在自动化技术、信息技术和制造技术的基础上,通过计算机及软件,将制造厂全部生产活动有关的各种分散的自动化系统有机地集成起来,并适合于多品种、中小批量生产的总体高效率、高柔性的制造系统。

计算机集成制造系统在概念上,主要强调两点:首先在功能上,它包含了一个工厂的全部生产经营活动,即从市场预测、产品设计、加工工艺、制造、管理至售后服务以及报废处理的全部活动。因此它比传统的工厂自动化的范围要大得多,是一个复杂的大系统,是工厂自动化的发展方向。其次,在集成上,它涉及的自动化不是工厂各个环节的自动化的简单叠加,而是在计算机网络和分布式数据库支持下的有机集成。这种集成主要体现在以信息和功能为特征的技术集成,即信息集成和功能集成,以便缩短产品开发周期、提高质量、降低成本。

计算机集成制造是一种概念、一种哲理,是指导制造业应用计算机技术、信息技术走向更高阶段的一种思想方法、技术途径和生产模式,它代表了当代制造技术的最高水平。

(2) 智能制造系统 是指将专家系统、模糊推

理、人工神经网络等人工智能技术应用到制造系统中,以解决复杂的决策问题,提高制造系统的水平和实用性。人工智能的作用是要代替熟练工人的技艺,学习工程技术人员的实践经验和知识,并用于解决生产中的实际问题,从而将工人、工程技术人员多年来积累起来的丰富而又宝贵的实践经验保存下来,在实际的生产中长期发挥作用。

智能制造系统的核心技术是具有人工智能,柔性制造—集成制造—智能制造是现代制造技术发展的三个阶段。

(3) 并行工程 又称同步工程或同期工程,是针对传统的产品串行开发(“需求分析—概念设计—详细设计—过程设计—加工制造—试验检测—设计修改”的流程,称为产品从设计到制造的串行生产模式)过程而提出的一个概念、一种哲理和方法。

并行工程是集成地、并行地设计产品及其相关各种过程的系统方法,该方法要求开发人员在设计开始就考虑产品整个生命周期中,从概念的形成到产品报废处理的所有因素,包括质量、成本、进度计划和用户要求。并行工程通过组成多学科的产品开发群组协同工作,利用各种计算机辅助工具等手段,使产品开发的各个阶段,既有一定的时序又能并行,同时采用上、下游的各种因素共同决策产品开发各阶段工作的方式,使产品开发的早期就能及时发现产品开发全过程中的问题,从而缩短产品开发周期,提高产品质量,降低成本,增加企业竞争能力,并行工程强调在集成环境下的并行工作,因此,它是CIMS进一步发展的方向。

(4) 敏捷制造 又称灵活制造、迅速制造和灵活制造等,它是将柔性生产技术、熟练掌握生产技能和有知识的劳动力与促进企业内部和企业之间相互合作的灵活管理集成在一起,通过所建立的共同基础结构,对迅速改变或无法预见的消费者需求和市场时机作出快速响应。市场的快速响应是敏捷制造的核心。

敏捷制造的基本原理是采用标准化和专业化的计算机网络和信息集成基础结构,以分布式结构连接各类企业,构成虚拟制造环境,以竞争合作为原则,在虚拟制造环境内动态选择合作伙伴,并通过组成虚拟企业来适应持续多变、无法预料的市场变化。

敏捷制造的核心是虚拟公司,虚拟公司映射为虚拟制造系统,虚拟制造系统^[2]是敏捷制造的关键。

敏捷制造是一种战略决策,它能使各合作伙伴

既保证各自的利益, 又能获得共同利益的一种全新的生产组织模式和制造模式, 目前敏捷制造仍在发展研究中。

2 国内情况

我国机械制造技术水平与发达国家相比还非常低, 大约落后 20 年。近十几年来, 我国大力推广应用 CIMS 技术, 20 世纪 90 年代初期已建成研究环境, 包括有 CIMS 实验工程中心和 7 个开放实验室。在全国范围内, 部署了 CIMS 的若干研究项目, 诸如 CIMS 软件工程与标准化、开放式系统结构与发展战略, CIMS 总体与集成技术、产品设计自动化、工艺设计自动化、柔性制造技术、管理与决策信息系统、质量保证技术、网络与数据库技术以及系统理论和方法等专题。各项研究均取得了丰硕成果, 获得不同程度的进展。

但大部分大型机械制造企业和绝大部分中小型机械制造企业主要限于 CAD 和管理信息系统, 因底层(车间层)基础自动化还十分薄弱, 数控机床由于编程复杂, 还没有真正发挥作用。加工中心无论是数量还是利用率都很低。可编程控制器的使用并不普及, 工业机器人的应用还很有限。因此, 做好基础自动化的工作仍是我国制造企业一项十分紧迫而艰巨的任务。我们在看到国际上制造业发展趋势的同时, 还要立足于我国的实际情况, 扎扎实实地把基础自动化工作搞上去, 才能在稳步前进的基础上开展制造业自动化系统的研究与应用。

石油机械制造业目前也存在相当多的问题, 其根本原因在于管理思想和管理模式的落后, 以及信息技术应用的落后。虽然许多企业不同程度地采用了一些信息技术, 但多属“技术孤岛”式的单项技术, 未能实现整个制造系统的有机集成。因此, 加速石油机械制造业的信息化, 大力采用先进的管理思想和管理模式, 应用信息技术 CIMS 应用工程, 实现跨越式发展, 是从根本上改变石油机械制造业落后状况的有效途径^[1]。

为使我国尽快走向工厂自动化, 促进中国机械制造业转向市场机制, 参与国际竞争, 张曙教授根据在引进先进技术的同时, 从必须改革生产组织的角度出发, 提出了“独立制造岛”新的生产模式。独立制造岛^[3]的技术构思是: 以 GT (成组技术) 为基础, 以 NC 机床为核心, 强调信息流的自动化和以人为中心的生产模式, 它的特征是: 组织、人员和技术三者的有机集成, 面向车间, 权力下放, 综合治理, 并以获经济效益为主要目标。

在近几年, 已有一些大中型骨干企业实施了工厂 CIMS 工程, 如成都飞机工业公司以国家 CIMS 实验工程为技术依托, 和清华大学、南京航空航天大学、西北工业大学等单位合作开发了计算机集成制造系统工程。在公司的计算机网络和分布式数据库支持下, 由管理信息系统、质量信息系统、工程信息系统和车间自动化系统有机集成, 形成了一个计算机辅助经营、设计、管理、制造的初步集成系统, 以满足航空产品研制和多品种小批量生产的需要。

原中国石油天然气总公司从 1995 年起, 便在江汉钻头厂实施 CIMS 工程, 其中一期工程已于 1996 年完成, 在 2000 年完成了二期工程。两期工程实施以来该厂各年度净利润增长明显。

现代机械制造技术的发展趋势

现代机械制造技术的发展主要表现在两个方向上: 一是精密工程技术, 以超精密加工的前沿部分、微细加工、纳米技术为代表, 将进入微型机械电子技术和微型机器人的时代; 二是机械制造的高度自动化, 以 CIMS 和敏捷制造等的进一步发展为代表。

超精密加工的加工精度在 2000 年已达到 $0.001 \mu\text{m}$ (1 nm), 在 21 世纪初开发的分子束生长技术、离子注入技术和材料合成、扫描隧道工程 (STE) 可使加工精度达到 $0.0003 \sim 0.0001 \mu\text{m}$ ($0.3 \sim 0.1 \text{ nm}$), 现在精密工程正向其终极目标——原子级精度的加工逼近, 也就是说, 可以做到移动原子级别的加工。加工设备正向着高精、高速、多能、复合、控制智能化、安全环保等方向发展, 在结构布局上也已突破了传统机床原有的格式。日本 Mazak 公司在产品综合样本中展示出一种未来机床, 该机床在外形上犹如太空飞行器, 加工过程中噪音、油污、粉尘等将不再给环境带来危害。

随着技术、经济、信息、营销的全球化, 我国加入 WTO, 纵观 21 世纪的制造业的发展趋势, 可用三化来概括, 即全球化、虚拟化和绿色化。这也是我国石油装备制造业未来发展的方向。

1. 全球化

制造的全球化, 可以说是 21 世纪机械制造业自动化最重要的发展趋势^[1]。

近年来, 在各种工业领域中, 国际化经营不仅成为大公司而且已是中小规模企业取得成功的重要因素。这一方面, 由于国际和国内市场上的竞争越

来越激烈,例如在机械制造业中,国内外已有不少企业,甚至是知名度很高的企业,在这种无情的竞争中纷纷落败,有的倒闭,有的被兼并。不少暂时还在国内市场上占有份额的企业,不得不扩展新的市场。另一方面,由于网络通讯技术的快速发展,提供了技术信息交流、产品开发和经营管理的国际化手段,推动了企业向着既竞争又合作的方向发展。这种发展进一步激化了国际间市场的竞争。这两个原因的相互作用,已成为全球化制造业发展的动力。全球化制造的第一个技术基础是网络化、标准化和集成化。

由于网络通讯技术的迅速发展和普及,正在给企业的生产和经营活动带来了革命性的变革。产品设计、物料选择、零件制造、市场开拓与产品销售都可以异地或跨越国界进行,实现制造的全球化。

第二个技术基础是集成化与标准化。异地制造实际上是实现产品信息集成、功能集成、过程集成和企业集成。实现集成的基础与关键是标准化,可以说没有标准化就没有全球化。

2 虚拟化

虚拟化是指设计过程中的拟实技术和制造过程中的虚拟技术。虚拟化可以大大加快产品的开发速度和减少开发的^[2]风险。

产品设计中的拟实技术指面向产品的结构和性能分析技术,以优化产品本身性能和成本为目标,包括产品的运动仿真和干涉检验、动力学分析、造型设计、人机工程学分析、强度和刚度有限元计算等。

制造过程中的虚拟技术指面向产品生产过程的模拟和检验,检验产品的可加工性、加工方法和工艺的合理性,以优化产品的制造工艺、保证产品质量、生产周期和最低成本为目标,进行生产过程计划、组织管理、车间调度、供应链及物流设计的建模和仿真。

虚拟化的核心是计算机仿真。通过仿真软件来模拟真实系统,以保证产品设计和产品工艺的合理性,保证产品制造的成功和生产周期,发现设计、生产中不可避免的缺陷和错误。

虚拟化软件有可能形成 21 世纪大的软件产业。

3 绿色化

已经颁布实施的 ISO9000 系列国际质量标准和 ISO 14000 国际环保标准为制造业提出了一个新的课题,就是快速实现制造的绿色化。绿色制造则

通过绿色生产过程(绿色设计、绿色材料、绿色设备、绿色工艺、绿色包装、绿色管理)生产出绿色产品,产品使用完以后再通过绿色处理后加以回收利用。采用绿色制造能最大限度地减少制造对环境的负面影响,同时原材料和能源的利用效率能达到最高^[4]。

如何最有效地利用资源和最低限度的产生环境污染,是摆在制造企业面前的一个重大课题。绿色制造实质上是人类社会可持续发展战略在现代制造业的体现,也是未来制造业自动化系统必须考虑的重要问题。目前绿色制造技术有以下几个方面。

(1) 精密成形技术 成形制造技术包括铸造、焊接、塑性加工等。精密成形技术包括:精密铸造(湿膜精密成形铸造、刚型精密成形铸造、高精度造芯)、精密锻压(冷湿精密成形、精密冲裁)、精密热塑性成形、精密焊接与切割等。

(2) 无切削液加工 无切削液加工的主要应用领域是机械加工行业,无切削液加工简化了工艺、减少了成本并消除了冷却液带来的一系列问题,如废液排放和回收等等。

(3) 快速成形技术 快速原型零件制造技术(RPM),其设计突破了传统加工技术所采用的材料去除的原则,而采用添加、累积的原理。其代表性技术有分层实体制造(LOM),熔化沉积制造(FDM)等等。

以上这些技术之所以都被归于绿色制造工艺,是因为这些工艺和技术不仅减少了原材料和能源的耗用量或缩短了开发周期、减少了成本,而且有些工艺的改进对环境起到保护作用。这一切除了工艺革新外,还必须依靠信息技术,通过计算机的模拟、仿真,实现绿色制造。

参 考 文 献

- 1 黄志潜. 加速石油机械制造业信息化实现跨越式发展(一). 石油机械, 2000, 28(10): 1~5
- 2 冯晓江译. 虚拟制造综述. 现代科技译丛, 1998, (1): 7~8
- 3 白明光. 先进制造技术的发展趋势及先进制造模式. 北京机械工业学院学报, 1999, (2): 10~14
- 4 裴宏杰. 绝色机械加工的研究现状及其发展. 机械设计与制造工程, 2001, (5): 1~2

(本文编辑 任建民)

Related technology of the production tubing of the ultrashort—radius radial system (URRS), including welding method and equipment, and assessing method of welding process and mechanical performance of welded joint, is investigated. Based on the research and test, tubes used are domestically produced, and corresponding welding materials, process and quality test are normalized, and a stable, reliable operating and quality guarantee system is established.

Subject Concept Terms ultrashort—radius radial system production tube welding evaluation

Wang Weiyong(*Petroleum Engineering Dept. of Jiangnan Petroleum University, Jingzhou City, Hubei Province*), Zhang Gongshe, Hu Rong, et al. **Fuzzy comprehensive evaluating method to determine stabilization position of rod string.** *CPM*, 2002, 30(11): 13~14, 27

The space between the sucker rod centralizers is often designed too small, and this will lead to large friction when the rod run upward and cause piston effect while rod running downward. A fuzzy comprehensive evaluating method, concerning hole deviation angle, azimuth, curvature of hole trajectory, variable rate of inclination and azimuth, and downhole friction resistance, is presented. The method regards downhole friction resistance as main factor and gives it maximal weighing value. A formula to compute friction resistance is presented. The method is applied to determine positions of 12 rod centralizers in a well of Shengli Oilfield.

Subject Concept Terms deviated well sucker rod centralizer installation position fuzzy evaluation

Su Wenxian(*Chemical Machinery Research Institute, Zhejiang University, Hangzhou*), Zheng Jinyang, Chen Zhiping, et al. **Study of the maximum allowable temperature difference for thick wall cylindrical shell under inner pressure(Part II).** *CPM*, 2002, 30(11): 15~18

Based on stress classifying and assessing, the maximum allowable temperature difference between inner and outer surface of thick wall cylindrical shell, which is in stable temperature field and suffers inner pressure and radical temperature difference, is studied. The study shows that thick wall cylindrical shell with heat insulation layer can satisfy strength requirement under high temperature working condition, and the combined stress caused by inner pressure and temperature difference must be computed when the temperature difference is beyond maximum allowable value. The shortcoming of stress classification is discussed.

Subject Concept Terms inner pressure cylindrical shell temperature difference
combined stress stress classification

Li Wenhua(*Thermo—electric Plant of Tianjin Petrochemical Company, Tianjiri*), Sheng Zengshun. **Development and application of whet—slate used for machining pump barrel.** *CPM*, 2002, 30(11): 19~20, 51

The powerful honing process is introduced. In consideration of the characteristics of pump barrel honing process, a new type of whet—slate is developed. Application shows that the quality of the pump barrel honing with the new whet—slate can satisfy the requirements of both the Chinese standard SY/T5059 and the API Spec 11 AX.

Subject Concept Terms subsurface pump pump barrel honing whet—slate

Wang Shijing(*Mechano—electronic Engineering Institute, University of Petroleum, Dongying City, Shandong*)

Province), Wen Jun. **Developing tendency of modern machine manufacturing technology.** *CPM*, 2002, 30(11): 21~24

The history, current status, new achievements and advances of modern machine manufacturing technology are described briefly. Its developing tendency is forecasted as follows: (1) network—, standardization— and integration—based globalization; (2) virtual manufacturing; (3) contamination—free production.

Subject Concept Terms machine manufacturing current status developing tendency

Wan Liping (Southwest Petroleum Institute, Nanchong City, Sichuan Province), Zhao Lizhi, Chen Erding, et al. **Skid—mounted oilfield wastewater treating unit** *CPM*, 2002, 30(11): 25~27

To solve the problem of wastewater discharging, a new oilfield wastewater treating unit is developed. In the unit, a five—step treating process is used. The unit is suitable for intermittent operation with small displacement and can realize optimal combination of treating processes according to the characteristics of on—site wastewater pollution. The unit is transported with two trucks. Its treating capacity is 100 m³/d, and COD of the water in the outlet is less than 150 mg/L.

Subject Concept Terms oilfield wastewater wastewater treating unit skid—mounted unit processing technology

Li Zhisheng (Oil Production Engineering Technology Institute, Zhongyuan Petroleum Exploration Bureau, Puyang City, Henan Province), Zhou Jibin, Li Jiri, et al. **Development and application of integrated two—stage packer.** *CPM*, 2002, 30(11): 28~29

To remove the plugging of the perforation, a integrated two—stage packer combining hydraulic compressing and locking action is developed. The configuration and working principle of the packer is described. The packer can be used to seal multiple layers in one trip and to carry out acid squeezing of thin layers. Field application shows that completely successful operation was achieved.

Subject Concept Terms packer plugging removal structural analysis

Liu Zhihe (Research Institute of Drilling Technology, Shengli Petroleum Administration, Dongying City, Shandong Province), Xie Guifang, Wang Wei. **Development and field application of Model SLYb—8100 coring tool.** *CPM*, 2002, 30(11): 30~31, 45

A new coring tool is developed and applied to coring operation. The configuration and working principle is described. A MC nylon liner is designed to reduce entering resistance of the core and prevent the core from plugging. The field application results show that the coring tool can be used for coring operation of middle—hard formations in the offshore oil field.

Subject Concept Terms coring tool design feature field test

Wang Xuejia (Drilling and Production Technology Development and Service Center of Dagang Oilfield Group, Tianjin). **Failure analysis on stress corrosion and longitudinal cracking of Model S—135 drill pipe.** *CPM*, 2002, 30(11): 32~34

Failure analysis of a broken part of Model S—135 drill pipe is carried out to find out the actual factor causing