

先进制造技术发展现状及趋势分析

李锡柱

(内江师范学院物理与电子信息工程学院 四川 内江 641199)

摘要: 先进制造技术是推动经济发展强有力的抓手。文章通过对先进制造技术的内涵阐述,分析了先进制造技术的发展现状及其发展趋势,得出先进制造技术正朝着数字化、网络化、智能化、绿色化方向发展。

关键词: 先进制造技术; 并行工程; 绿色设计; 精密制造

0 引言

先进制造技术是将多种技术(机械工程、电子、自动化、信息)结合在一起的技术、设备和系统的总称。先进制造技术包括计算机辅助设计、计算机辅助制造、集成制造系统、智能制造、绿色制造和虚拟制造等。先进制造技术的核心是整合企业的资源,畅通生产的流程,实现优质高效的清洁生产,使产品满足用户个性化和多样化的需求,提高企业的竞争力^[1-3]。

21世纪是以知识、信息为中心,以资源、环境为特征的新时代。然而,中国的制造业在知识、信息、环境和资源等各个方面都面临着严峻的挑战。这就要求企业采用新的技术、材料和工艺来满足市场需求。具体表现为:从以科技为本,到以人为本;由金字塔型的多层级生产方式转变为平面型的网络型生产方式;从以往的连续作业模式转向平行作业模式;由职能分工的静态组织模式向群组工作模式的动态自主管理模式转换;由数量为先的竞争战略到以品质为先的转换。其中柔性制造、模块化制造、智能制造、敏捷制造、精益生产以及大规模定制等先进的制造模式就是这种转型的结果^[4]。

自20世纪40年代末,美国提出“先进制造技术”概念以来,先进制造技术迅速发展。当今世界主要发达国家都把发展先进制造技术作为国家战略

来实施。日本、德国等国家先后制定了国家战略计划,在国家层面上大力扶持先进制造技术的研究开发与应用^[5]。近年来,我国也相继制定相关发展规划,明确提出推进高技术研究,重点攻克现代集成制造系统、机器人制造、飞机制造等先进制造技术和航空航天技术。中国工程院、中国科学院以及北京、上海、武汉等地的科研院所及高校都组织力量开展了先进制造技术的研究与应用。

1 先进制造技术的组成

1.1 计算机集成制造技术

计算机集成制造(CIMS)是制造业的一场深刻变革。CIMS的实质是将计算机技术、网络技术、通信技术等信息技术与企业的设计、工艺、生产车间以及供销和管理部门集成有机的整体,使各部分能相互协调地运作,以提高产品品质,缩短产品开发周期,提高生产效率,提高企业竞争力的新生产管理^[6]。CIMS体系结构包括生产/制造系统、硬事务处理系统、技术设计系统、软事务处理系统、信息服务系统以及决策管理系统。目前,CIMS已在美国、日本、德国、法国等国家快速发展。

1.2 并行工程

在计算机技术、信息技术、通信技术和自动化技术高度发达的今天,通过对产品数据进行快速而有效地收集、处理、分析和反馈,可以对产品设计

过程进行有效控制和管理^[7]。并行工程是一种全新的设计和制造理念。其核心内容是将产品开发过程分解成若干个并行的设计和制造单元,采用并行的设计、制造方法,且对其进行有效的集成和管理^[8]。在并行工程理念指导下,产品开发人员在设计阶段就考虑到产品的制造过程,从而避免了传统设计模式下生产准备时间长、设计质量不高等问题^[9]。目前,并行工程已成为制造业发展的重要管理方法之一。

1.3 绿色设计

绿色设计的内容涵盖了从设计理念到生产制造、使用以及废弃后的回收、再利用和处理过程^[10]。绿色设计可以从源头避免污染,节约资源与能源。绿色设计是在确保产品的品质和使用年限的基础上,对产品的材质、结构等多方面要素做出相应调整,解决传统常规设计中存在的不足,更好地满足有关环保要求^[11]。

绿色设计理念符合经济效益、生态效益和社会效益,实现了这三种理念的协调统一^[12, 13]。绿色设计可以节约原材料的使用,减少制造过程中对能源的消耗,对环境的保护产生积极影响^[14]。以机械行业为例,在机械生产制造以及对传统机械制造技术改进方面,充分运用绿色制造技术,遵循节约、节能、绿色环保等理念,都可以在确保产品品质的前提下,有效提高产品的性能和价值,以实现企业的可持续发展^[15]。

1.4 超精密加工技术

超精密加工技术将现代电子技术、计算机技术、测量与传感器技术相结合而形成的新型高精度制造技术。在这一技术领域,可以分为以下等级:精密、超精密和纳米制造^[16]。超精密和精密加工包括超声波、激光、电火花、电解、离子束以及电子束加工方式等^[17]。超精密加工技术的发展趋势是高质量、高精度和高效率^[18]。研究发现,高射水流特种精密加工技术适用于高硬度、高脆性、难加工材料,以及复合材料、钢筋混凝土、陶瓷和石材等的切割加工。王先逵等^[16]指出,精密特种加工是先进制造技术的重要发展方向。

1.5 柔性制造

FMS将微电子技术、计算机技术、数控技术、精密机械加工技术、自动化技术等先进技术有机地融为一体^[19, 20]。柔性制造系统最早由美国提出,是指在满足一定工艺的要求下,实现最大生产率和最高质量的一种自动化生产系统。目前,国际上在柔性制造技术方面发展较快的是日本。我国在这一领域起步较晚,在20世纪80年代中期开始研究与应用柔性制造技术,并取得了一定的成果。我国第一条柔性制造系统是北京机床研究所于1986年从日本富士通法兰克公司引进的。

2 趋势分析

我国是制造业大国,要想实现我国制造业由大变强的目标,必须依靠技术的创新。目前,我国在先进制造领域已经取得了长足进步,但与发达国家相比还有较大差距,尤其是在企业信息化建设、新产品开发、装备自动化等方面存在较大差距。为此,必须确立更为清晰的发展方向,加强对高端制造技术的研究与开发,力争在高端制造技术上有所突破。未来我国先进制造技术的发展将呈现出以下趋势。

2.1 更加注重数字化、网络化和智能化

随着生产技术的不断进步,生产设备的数字化、网络化、智能化已成为生产技术发展的必然要求。制造技术的数字化是指以产品全生命周期的相关数据为基础,在计算机虚拟环境中,对整个生产过程进行仿真、评估和优化,并进一步扩展到整个产品生命周期的新型生产组织方式。

网络化制造技术是指制造企业基于网络技术开展产品设计、制造、销售、采购、管理等一系列活动的总称^[21]。制造技术的智能化是指对制造系统中的各种要素、各要素之间以及制造系统与环境之间的相互作用和相互影响,通过模型预测、自主决策和控制等智能活动实现对制造过程中各种现象、问题进行预测、推理和判断,使制造过程向自适应、自组织、自学习方向发展^[22]。

在数字化、网络化和智能化的基础上，研究人员开发出多项新技术提升产品的质量，如柔性制造系统（FMS）、敏捷制造系统（APS）、并行工程（CE）、敏捷供应链（SCM）等。同时，也应清醒地认识到，先进制造技术处于快速发展阶段，当前数字技术和网络技术日新月异，因此，应该加强对数字化、网络化和智能化技术的研究和开发，努力使先进制造技术更加成熟，不断提高我国制造业的国际竞争力。

2.2 更加注重节能降耗、绿色环保和资源综合利用

为了保护环境，需要积极研发绿色制造技术，在生产中注重节能环保、实现可持续发展将成为未来制造业的一个重要发展方向。例如以竹子为原材料，经过特殊加工处理之后的竹纤维，利用竹缠绕技术制作成高铁车厢。该材料具有远超不锈钢的强度和刚度，以及造价低、质量轻等特点，同时还具备防水、防潮、防火阻燃的功能^[23]。

我国颁布的《国家创新驱动发展战略纲要》明确提出发展智能绿色制造技术，推动制造业向价值链高端攀升。对传统制造业进行全面绿色改造，实现由粗放型制造向集约型制造的转变。绿色制造技术主要包括节能环保、资源综合利用和可持续发展技术。其中，节能环保技术是指在制造过程中采用先进的节能、降耗、减排等技术措施，以降低能耗、减少污染排放；资源综合利用技术主要指对制造过程中产生的固体废弃物进行回收利用或能量回收，以提高资源利用效率；可持续发展技术则主要指对可再生能源进行综合利用和开发，以实现制造业与环境的和谐发展。

2.3 更加注重生产过程控制

随着信息技术的快速发展，制造系统正在从局部优化向全局优化转变，而全局优化的关键在于生产过程控制。

一方面，在信息技术的支持下，制造系统将以更快的速度、更高的效率进行数据采集，同时以更加多样化的方式与其他系统进行交互，从而使整个制造系统更加灵活和高效。另一方面，信息技术还可以对生产过程进行监控，及时发现生产过程中存在

的问题并及时处理，有效地保证产品质量。

先进制造技术研究的一个重要方面就是控制系统。在制造系统中，控制系统是最基础、最重要的组成部分。近年来，由于信息技术的快速发展和广泛应用，控制系统也在发生着巨大变化。传统控制系统已经不能满足现代制造要求，新一代控制系统将成为未来制造技术发展的主流。在新型制造系统中，信息技术可以使生产过程更加智能化和自动化。同时，新一代控制系统具有更高的灵活性、适应性和开放性，不仅可以提高制造效率和质量，降低成本，而且可以促进产品设计、生产、销售等环节的协调发展。

2.4 制造模式不断创新

传统的制造模式是建立在人工经验和手工操作的基础上，这种方式使得产品质量难以保证、生产效率低下，对企业的发展产生了严重的制约。先进制造技术的应用使得产品质量和生产效率都得到了提高，产品制造模式也从传统的以手工操作转向了以自动化控制为主的制造模式。在信息技术和人工智能技术快速发展的背景下，制造模式不断创新，提升了企业的生产效率，降低了企业生产成本。先进制造技术支持下的智能化生产方式是未来发展的方向。

传统制造业正在向智能化和信息化方向发展，企业也开始应用智能设备进行生产活动。在积极推动智能制造的背景下，我国企业通过“机器换人”和智能制造等方式来提高生产效率和产品质量。

近年来，先进制造模式也在不断创新。一方面，通过大数据、人工智能等新一代信息技术来提高产品设计和生产效率；另一方面，利用互联网、物联网等先进信息技术来实现企业和用户之间的无缝连接。新一代信息技术与先进制造技术相互融合，推动了先进制造模式创新。例如，工业互联网平台和智能制造系统能够将企业内部和外部的各种资源进行有效整合，实现资源共享和高效利用。

2.5 制造系统不断优化

先进制造系统是由人、机、料、法、环等各种要素组成的具有一定功能的有机整体，其任务是使制

造过程具有更高的效率和效益。它是由各种要素在一定的结构形式下组成的统一整体，是一种复杂的系统，主要由产品设计、工艺规划、生产控制和管理组成。先进制造系统在新产品研发阶段，通过应用先进制造技术对产品设计进行优化，可显著缩短产品研发周期并提高产品质量。

先进制造技术在工业制造中的应用范围非常广泛。例如，在汽车制造业中应用的柔性装配系统、机器人技术、智能化生产线和精益生产等，都属于先进制造技术的范畴。在智能制造方面，有工业互联网理念，通过集成信息技术与网络技术、智能设备和传感器等实现工业产品全生命周期管理和服务。在绿色制造方面，有绿色设计、绿色生产等一系列先进制造技术。在服务型制造方面，有从产品设计到使用寿命结束全生命周期的服务理念。总之，先进制造技术的研究不仅促进了我国制造业的转型升级和提质增效，而且对全球制造业转型升级发挥了重要作用。

3 结语

随着全球化的发展，面对激烈的国际竞争，中国应顺应新技术革命的潮流，采用先进的制造技术，从制造大国向制造强国转变。采用先进的制造技术是决定中国能否在全球竞争中保持优势的关键因素。因此，发展先进制造技术具有重要的战略意义。

基金项目：内江师范学院科研校级项目：螺旋轴流式混输泵的均混机理研究与优化设计（编号：2020YB23）。

参考文献：

[1] 杨青, 钟书华, 柳婷. 国外先进制造技术 (AMT) 的发展研究: 一个文献综述 [J]. 科学管理研究, 2021, 39 (04): 150-158.

[2] Wang H Y, Diao J L. On Characteristics and Development Trend of Advanced Manufacturing Technology [J]. Advanced Materials Resear

ch, 2013, 712-715: 3195-3198.

[3] 周佳军, 姚锡凡. 先进制造技术与新工业革命 [J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21 (08): 1963-1978.

[4] 丁伯慧, 张付英. 先进制造技术与模式的研究综述 [J]. 机电一体化, 2003 (03): 10-13.

[5] 毕学工, 李九林, 李鹏, 等. 德国工业 4.0、中国制造 2025 与智能冶金浅议 [J]. 钢铁, 2016, 51 (03): 1-8+26.

[6] 武永利, 袁溟. 武美萍. 机械制造技术新发展及其在我国的研究和应用 [J]. 航天工艺, 2003 (01): 5-7+11.

[7] 焦卫东, 张耀宗, 刘长红, 等. 浅谈并行工程在机械产品开发中的应用 [J]. 矿山机械, 2003 (09): 55-57+3.

[8] 王宗彦, 虞国军, 吴淑芳, 等. 面向并行工程的机械产品参数化协同设计 [J]. 中南大学学报 (自然科学版), 2013, 44 (02): 552-557.

[9] 薛进学, 孔庆华. 机械设计制造中的并行工程 [J]. 矿山机械, 2006 (12): 98-101.

[10] 周玉兰. 现代机械设计发展方向与设计方法 [J]. 农机使用与维修, 2023 (06): 90-92.

[11] 刘劲威. 绿色设计在机械制造中的应用 [J]. 中国新技术新产品, 2019 (20): 41-42.

[12] 王伟. 先进制造技术中的设计技术综述 [J]. 天津成人高等学校联合学报, 2003 (04): 109-111.

[13] 杜训刚. 绿色设计理念在机械设计制造中的应用 [J]. 中外企业家, 2020 (07): 141-142.

[14] 容隶莹. 绿色理念在机械设计制造中的应用 [J]. 农家参谋, 2019 (21): 166.

[15] 王娜娜. 关于机械制造过程中绿色制造技术应用研究 [J]. 科技风, 2020 (16): 164.

[16] 王先逵, 赵彤. 精密特种加工是先进制造技术的重要发展方向 [J]. 电加工与模具, 2002 (01): 1-4.

[17] 方静. 现代机械的先进加工工艺与制造技术综述 [J]. 机械管理开发, 2018, 33 (08): 245-246.

[18] 简金辉, 焦锋. 超精密加工技术研究现状及发展趋势 [J]. 机械研究与应用, 2009, 22 (01): 4-8.

[19] 周崇义. 加工中心与柔性制造系统高新技术综述 [J]. 株洲工学院学报, 1994 (01): 57-63.

[20] 王宁生. 柔性制造系统 (FMS) 综述 [J]. 工业控制计算机,

1990(05):3-6.

[21] 顾寄南. 网络化制造技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004:10-18.

[22] 严隽薇. 现代集成制造系统概论——理念、方法、技术、设计与实施 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007:272-281.

[23] 范猛, 韦金银. 可持续发展背景下绿色环保设计理念研究 [J]. 绿色包装, 2003(08):73-76.

作者简介: 李锡柱 (1990.02-), 男, 白族, 云南大理人, 硕士研究生, 实验师, 研究方向: 先进制造技术。

(上接第 16 页)

control systems[J]. Journal of the Franklin Institute, 2014, 351(4):1831-1865.

[12] 魏徐正. 基于阻抗滑模控制器的系泊机械臂力/位置控制研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2020.

[13] 周曾成. 水下机械手滑模变结构控制方法研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2020.

[14] Emna Kolsi Gdoura, Moez Feki, Nabil Derbel. Sliding mode control of a hydraulic servo system position using adaptive sliding surface and adaptive gain[J]. International Journal of Modelling, Identification and

Control, 2015, 23(3):248-259.

[15] 孙凯. 基于滑模变结构控制的焊接机器人系统研究与开发 [D]. 沈阳: 东北大学, 2020.

作者简介: 李亚楠 (1998.08-), 女, 汉族, 河北石家庄人, 本科, 研究方向: 仪器科学与技术; 刘历博 (1996.03-), 女, 汉族, 河北张家口人, 硕士研究生, 助理工程师, 研究方向: 机械控制; 张雅宁 (1997.07-), 女, 汉族, 山西大同人, 本科, 研究方向: 控制科学与工程。