



现代制造

技术手册

清华大学 王先逵 主编

国防工业出版社

现代制造技术手册

清华大学 王先逵 主编

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

现代制造技术手册/王先逵主编. - 北京:国防工业出版社,2001.1

ISBN 7-118-02192-X

I. 现… II. 王… III. 工业技术-手册 IV. T-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 69722 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 83 $\frac{1}{2}$ 2222 千字

2001 年 1 月第 1 版 2001 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:138.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

《现代制造技术手册》

编委会

主 编 王先逵

副主编 高钟毓

参编者 (以姓氏笔画为序)

才德蓉 王先逵 成 晔 许隆文

李安平 汪劲松 吴秋峰 杨毅华

张 昆 张 嵘 段广洪 赵长德

唐锡宽 高钟毓 徐家球 黄纯颖

董景新

责任编辑 邢海鹰 唐应恒

前 言

人是各种技术的创造者,又是各种组织机构的创建者;人是工具的制造者,又是社会的人。在某些情况下,社会对新技术有需求,借以改善自然资源的利用和竞争能力,这是一种拉力;在另一些情况下,新技术对社会是一种推力,全新的技术、材料和产品,打开了人们的眼界,扩散了人们的能力,提供了新的经济效益。因此,人类的各种技术和各种社会组织活动之间,一直有着相互影响。新技术影响了社会力量和价值观念的改变,而社会又促进了技术革新,从而使技术能够有新的机遇、新的活力和新的领域。

目前,许多工业领域产生了新技术,并正在使用这些新技术,我们正处于一个技术革命的新时代。当前,世界上的尖端技术研究可分为6个领域,它们是生命科学、物质和材料科学、信息和电子科学、海洋和地球科学、能源科学、生产和机械科学。而未来的主导技术是信息通信技术、工厂自动化技术、办公室自动化技术、新材料技术、生物工程技术、卫生医疗技术等6个。它们的共同特点是跨学科的综合技术,都是以制造技术作为基础、作为支柱的。

制造技术已经是生产、国际经济竞争、产品革新的一种新的手段,世界上所有国家都在寻求、获得、开发和利用它。它正被看做是国家经济上获得成功的关键因素。美国在1994年底出版了《21世纪制造企业战略》报告,它是美国国防部根据国会要求拟定一个较长时期的制造技术规划而委托里海大学编制的。报告中提出了制造企业战略,其中心思想是美国重新认识了制造技术的重要性,并打算在2006年以前夺回其制造业在世界上的领先地位。

现在,各工业化国家都把制造技术视为当代科技和生产发展最为活跃的领域与国际间科技和生产竞争的主战场,制订了一系列振兴计划,建立了世界级制造技术中心,纷纷把先进制造技术,即现代制造技术列为国家关键技术和优先发展领域。我国早已把先进制造技术列为第九个五年计划的发展重点,在高等学校的211工程中也列入优先发展的行列。在这样一个历史时期,出版一本《现代制造技术手册》是十分必要的,也是适时的。一个以现代制造技术为中心的科技竞争已经展开,一个以现代制造技术为重点的工业革命已经到来,我们愿以这本手册来奉献一点微薄的力量。

该手册编写历时三载,在编写过程中,力图贯彻以下各点:

1. 反映现代制造技术

近几年来,现代制造技术在市场需求的驱动下发展很快,出现了柔性制造、集成制造、并行工程、虚拟制造、绿色制造、生物制造(Bio-manufacturing)、智能制造、全球制造等新概念、新技术。手册力图反映这些新成就以体现先进性。

2. 机电一体化

现代产品,从小型传感器到大型数控机床,都是典型的机电结合产物。手册以机电结合、机电并重为基本原则,试图给读者提供进行机电一体化产品设计和制造的思路、方法和基本知识。

3. 制造系统概念

信息技术、控制论、系统工程、数控技术等与制造技术的结合,出现了制造系统,形成了现代制造工程学。手册突出了制造系统的概念,以机械、电工、电子计算机为基础,论述了机械制造系

统,体现了科学性。

4. 理论联系实际

手册按“基本、常用、关键、发展”的精神,从实用出发,概括专业技术的精华;采用基础、技术基础、技术3层结构,使基础理论与专业知识密切结合,并尽量应用公式、数据、图表,使文、图、表有机结合,突出了实用性。

5. 标准与术语

科技名词术语、代(符)号、量和单位等贯彻现行国家标准。

本手册共分3篇22章,各章编写者如下:

- 第1章 清华大学王先逵教授
- 第2章 清华大学黄纯颖教授 北京联合大学建材轻工学院李安平教授
- 第3章 清华大学才德蓉教授
- 第4章 清华大学才德蓉教授
- 第5章 清华大学张嵘讲师董景新副教授
- 第6章 清华大学唐锡宽教授
- 第7章 清华大学杨毅华副教授
- 第8章 清华大学董景新副教授
- 第9章 清华大学赵长德教授
- 第10章 清华大学董景新副教授
- 第11章 清华大学高钟毓教授
- 第12章 清华大学高钟毓教授
- 第13章 清华大学张昆教授
- 第14章 清华大学汪劲松教授
- 第15章 清华大学段广洪教授
- 第16章 清华大学许隆文教授
- 第17章 清华大学王先逵教授
- 第18章 清华大学王先逵教授
- 第19章 清华大学成晔副教授
- 第20章 清华大学吴秋峰教授
- 第21章 清华大学徐家球教授
- 第22章 清华大学王先逵教授

手册由王先逵教授担任主编,高钟毓教授担任副主编。

手册可供具有中等文化程度以上的机械、电气专业工程技术人员、研究人员、科技管理人员参考,同时又是一部高等工科院校相关专业师生的教学参考书。

在手册的编写过程中,得到了不少单位和同志的指导和帮助,得到了国防工业出版社的大力协助和支持,在此表示衷心感谢。

由于制造技术涉及的领域很广,发展又十分迅速,作者的水平有限,对手册中的缺点和不足之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2000年1月于清华园

内 容 简 介

本手册是为了适应我国先进制造技术、机电一体化技术的发展需求而编写的。全书分为基础、技术基础、技术 3 篇共 22 章,内容包括常用机械零件、常用电路、集成电路、电力电子器件等机电基础知识;机械传动技术、传感器与检测技术、电气传动技术、工业微型计算机系统、可编程序控制器、计算机控制技术、可编程序控制技术等有关机、电、计算机的技术基础知识;数控机床、机器人技术、柔性制造系统技术、计算机辅助设计、计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助制造、计算机辅助检测、管理信息系统、自动装配系统等现代制造技术;最后论述了制造技术的新发展。手册内容体现了科学性、先进性、实用性,取材的深度和广度按“基本、常用、关键、发展”的精神,从实用出发,力求文、图、表有机结合,做到“简明扼要、深入浅出、直观易懂、归类便查”。手册可供具有中等文化程度以上机械、电气专业工程技术人员、研究人员、科技管理人员使用,同时又是高等工科院校相关专业师生的一部重要的教学参考书。

目 录

第1篇 基础篇

第1章 总论	1
1.1 制造技术的重要性及其发展	1
1.2 制造系统工程的形成	2
1.3 现代制造技术的特点	7
1.4 现代制造技术的内容和发展方向	8
第2章 常用机械零件	32
2.1 传动件	32
2.2 轴系	97
2.3 联接件	130
2.4 其他零部件	148
2.5 结构设计	162
第3章 常用电路	178
3.1 模拟电路	178
3.2 数字电路	197
3.3 抗干扰电路	227
第4章 集成电路在测量与控制系统中的应用	228
4.1 集成电路概述	228
4.2 集成运算放大器的应用	229
4.3 集成功率放大器	234
4.4 集成稳压电源	237
4.5 信号发生器电路	249
4.6 锁相环电路	257
4.7 有源滤波器	261
4.8 数字显示	273
第5章 电力电子器件	280
5.1 功率二极管	280
5.2 双极型功率晶体管	284
5.3 晶闸管	288

5.4	功率场效应晶体管(VDMOS)	298
5.5	绝缘栅双极型晶体管(IGBT)	308
5.6	其他电力电子器件	314
5.7	可控整流器	316
5.8	PWM 功率放大器	323
5.9	逆变器	326
5.10	DC/DC 变换线路	329
5.11	变频器	337

第 2 篇 技术基础篇

第 6 章	机械传动	340
6.1	机械运动的变换形式	340
6.2	按运动变换形式选择机构	346
6.3	功能要求选择机构	382
6.4	机械运动方案设计	392
第 7 章	传感器与检测技术	420
7.1	位移传感器	421
7.2	速度传感器	440
7.3	加速度传感器	445
7.4	力传感器	456
7.5	温度传感器	459
7.6	检测电路	467
7.7	信号分析	483
第 8 章	电动传动技术	494
8.1	电气执行部件分类	494
8.2	直流电动机	495
8.3	交流电动机	509
8.4	无刷电动机	515
8.5	步进电动机	517
8.6	直线电动机和平面电动机	527
8.7	调速系统	530
8.8	位置伺服系统	538
8.9	电液伺服系统	539
第 9 章	工业微型计算机系统	542
9.1	概述	542
9.2	各种总线工业控制机	549

9.3	单片计算机	570
9.4	工业微机网络	587
9.5	工业微机系统应用展望	594
第 10 章	可编程序控制器	601
10.1	概述	601
10.2	PLC 的组成及作用	601
10.3	PLC 的工作原理和工作过程	604
10.4	PLC 的技术性能指标	605
10.5	PLC 的分类	614
10.6	PLC 的指令	615
10.7	PLC 的主要功能	617
10.8	PLC 的编程方法	619
10.9	PLC 的故障和抗干扰问题	625
10.10	PLC 的应用实例	627
第 11 章	计算机控制技术	639
11.1	概述	639
11.2	伺服系统原理方案	641
11.3	系统数学模型	645
11.4	采样器与数据保持器	649
11.5	z 变换技术	653
11.6	脉冲传递函数	659
11.7	系统性能分析	663
11.8	数字控制器设计	672
11.9	多轴交叉耦合控制	677
11.10	无误差跟踪控制器	681
11.11	最优及自适应控制器	690
11.12	数字控制器的实现	697
第 12 章	可编程顺序控制技术	707
12.1	概述	707
12.2	系统原理方案	708
12.3	逻辑分析方法——布尔代数	709
12.4	逻辑分析方法——梯形图	712
12.5	逻辑编程基础	715
12.6	顺序控制逻辑设计——开关表法	719
12.7	顺序控制逻辑设计——状态图法	725
12.8	顺序控制逻辑设计——流程图法	728

第3篇 技术篇

第13章 数控机床	732
13.1 绪论	732
13.2 计算机数字控制(CNC)装置	742
13.3 数控机床的程序编制	759
13.4 数控机床的伺服系统	777
13.5 数控机床的机械结构	791
第14章 工业机器人技术	832
14.1 概述	832
14.2 技术规范	835
14.3 机器人机械系统结构	846
14.4 机器人运动学与动力学	851
14.5 机器人的控制	865
14.6 工业机器人传感技术	877
14.7 工业机器人编程及语言	884
14.8 应用与发展	889
第15章 柔性制造系统技术	895
15.1 概述	895
15.2 FMS的组成	899
15.3 FMS的设计技术	909
15.4 FMS实施步骤	912
15.5 FMS在国内机械制造工业中的应用	914
第16章 计算机辅助设计(CAD)	917
16.1 概述	917
16.2 计算机图形系统	922
16.3 几何造型和产品造型技术	931
16.4 AutoCAD软件	939
16.5 有限元分析与优化设计	958
16.6 产品数据表达与交换技术	964
16.7 工程数据库(EDB)	970
第17章 计算机辅助工艺过程设计	974
17.1 概述	974
17.2 计算机辅助工艺过程设计的支持环境	980
17.3 计算机辅助工艺过程设计系统结构	996
17.4 零件信息描述	1002
17.5 工艺设计的决策方式	1023

17.6	计算机辅助工艺过程设计的原理和方法	1073
17.7	计算机辅助工艺过程设计的发展	1082
第 18 章	计算机辅助制造	1087
18.1	概述	1087
18.2	计算机辅助成组技术	1089
18.3	计算机辅助数控加工程序编制	1121
18.4	加工仿真	1127
18.5	计算机辅助机床夹具设计	1131
18.6	计算机辅助制造中的刀具系统	1142
第 19 章	计算机辅助质量控制	1159
19.1	集成质量控制的系统概念	1159
19.2	质量检测	1165
19.3	坐标测量技术与坐标测量机	1167
19.4	加工过程的监测技术	1187
19.5	柔性制造系统故障诊断	1202
第 20 章	管理信息系统	1206
20.1	管理信息基础概念	1206
20.2	管理信息系统的结构	1211
20.3	管理信息系统的开发	1220
20.4	管理信息系统案例	1234
第 21 章	自动装配系统	1241
21.1	概述	1241
21.2	装配系统规划	1244
21.3	材料传送系统	1252
21.4	装配工作站	1264
第 22 章	制造技术的新发展	1270
22.1	计算机集成制造系统	1270
22.2	并行工程	1290
22.3	快速成形制造	1301
22.4	现代生产模式	1306
22.5	产品的生命周期和清洁生产	1312
22.6	制造技术的过去、现在和未来	1314
	参考文献	1319

第 1 篇 基础篇

第 1 章 总 论

1.1 制造技术的重要性及其发展

1.1.1 制造技术的重要性

制造技术是当代科学技术发展最为活跃的领域,是国际间产品革新、生产发展、经济竞争的重要手段,各工业化国家纷纷把先进制造技术列为国家的高新关键技术和优先发展项目,给予了极大的重视和关注。美国,这个在世界上制造技术长期处于领先地位的国家,近年来已感到了巨大的威胁。根据日本科学技术厅对日美尖端技术比较进行的调查,在生命科学、物质和材料科学、信息和电子科学、海洋和地球科学、能源科学、生产和机械科学 6 个尖端技术研究领域中,日本在生产和机械科学处于领先地位,而其余 5 个领域均落后于美国。美国在 1994 年底出版了《21 世纪制造企业战略》报告,它是美国国防部根据国会要求拟定一个较长时期的制造技术规划而委托里海(Lehigh)大学编制的,报告中提出了制造企业战略,中心思想是在 2006 年以前夺回美国制造业在世界上的领先地位。

制造技术的重要性主要体现在以下几方面:①制造业是各种产业的支柱工业,各种产业的发展有赖于制造业的支持,其中包括尖端、专用设备的提供,高水平通用设备的供应等,例如计算机工业发展与印刷线路板、集成电路芯片的制造水平关系密切,需要制造业提供高水平的印刷线路板和大规模集成电路芯片等生产设备。因此,各种产业的水平和发展将会受到制造技术的水平和发展的制约。②在国际国内经济竞争中,根据市场需求做出快速响应和决策的能力是十分重要的,它取决于制造技术的水平。强有力的制造技术可以快速推出具有世界水平的全新产品,并能提供给世界各地。③国家在经济上的独立性、在工业上的自力更生能力在很大程度上体现在制造技术的水平上。高精技术产品、关键设备能够自己提供,而不依赖进口是国家经济独立、工业上自力更生能力的重要标志,高超的制造技术水平不仅可以满足国内市场的需求,而且可以出口创汇,增强国力,提高国际地位。

1.1.2 制造技术的发展

制造技术已经是生产、国际经济竞争、产品革新的一种重要手段,所有国家都在寻求、获得、开发和利用它。它正被看作是现代国家经济上获得成功的关键因素。制造技术已经不是单纯的

产品设计、制造工艺和生产组织管理,它是一个从产品概念开始到最终产品形成的集成活动和系统,是一个功能体系和信息处理系统。实际上,它是一个包括产品需求、设计开发、生产、销售、使用、处理等整个产品生命周期的大系统。从宏观上来说,制造技术已经进入计算机辅助制造的时代,它是通过一个计算机分级结构网络来监测、控制和管理制造过程各个阶段的工作,其中包括生产管理与控制、工程分析与设计、财会与供销等方面。

美国从 50 年代以来只重视高技术和军用技术的发展,忽视了制造技术的作用,严重影响了其国民经济的增长和国际经济竞争中的竞争力。80 年代初,美国开始反省,美国在关于工业竞争的总统委员会的报告指出:美国在重要的、高速增长的技术市场上失利的一个重要原因是美国没有把自己的技术应用到制造上。据美国国家生产力委员会调查,在企业生产力构成中,制造技术的作用占 62%。世界上所有的国家,特别是经济比较发达的国家,都非常重视制造技术的发展,以日本和德国最为突出。我国的近邻日本在第二次世界大战后一直对制造技术十分重视,先后提出了“技术立国”和“新技术立国”的道路。并且狠狠抓住了精密工程和制造系统自动化这两个制造技术的关键,突出了以人为中心的先进管理,人、技术和经营管理的三结合,使日本在战后的短短 30 年里,一跃而成为经济大国。

我国的制造技术经过 40 多年的发展,已进入了发展最迅速、实力增强最快的新阶段。由于机械产品是装备国民经济各部门的物质基础,强大而完整的机械工业是国家现代化、实现社会进步的必要条件。通过分析,其关键问题是要发展现代制造技术,从而制订了发展先进制造技术的规划。

现在,各工业化国家都把制造技术视为当代科技发展最为活跃的领域和国际间科技竞争的主战场,制订了一系列振兴计划,建立了世界级制造技术中心,纷纷把先进制造技术列为国家关键技术和优先发展领域,一个以现代制造技术为中心的科技竞争已经在发达国家之间展开,一个以现代制造技术为重点的工业革命已经到来,这就是第三次工业革命。

1.2 制造系统工程的形成

1.2.1 现代制造系统工程学的形成

以控制论和系统工程学为工具,用系统的观点进行分析和研究制造过程,出现了制造系统的概念,并形成了现代制造系统工程学。因此,现代制造系统工程学是计算机技术、数控技术、控制论及系统工程学与制造技术相结合的产物。物质系统、能量系统、信息系统是组成制造系统的 3 个基本要素,其中,信息系统的引入是形成制造系统最关键的要素。

制造系统工程学是在 20 世纪 70 年代后期逐渐发展形成的一门新兴学科,它使制造过程建立在更加科学的基础上,给予制造领域以系统的描绘。

在图 1-1 中,将制造系统分为物质系统、能量系统和信息系统,由于工件材料的流动要有机床、工艺装备、装卸、运输、存储等系统的支持,它们都属于物质的流动,故物质系统又分为加工系统、物料系统和检验系统,加工系统是指机床、刀具、夹具、工件所组成的直接改变工件的形状、尺寸、性质等生产过程;组成加工系统的各个部分,其存储、运输、装卸由物料系统完成;加工质量由检验系统检测。整个制造系统由信息系统进行控制和监视。整个制造系统所需能量由能量系统提供,并进行能量的自动转换和分配输送。

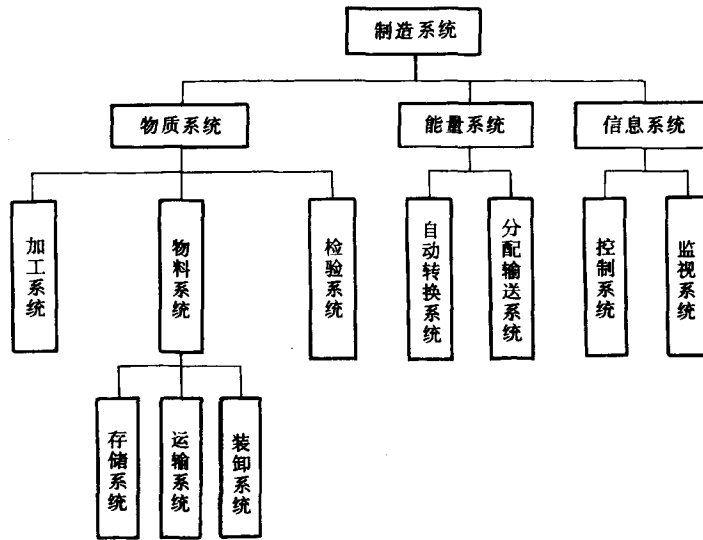


图 1-1 制造系统组成图

1.2.2 制造系统的形态学模式

利用形态学的方法来研究制造系统,将制造过程的形式和结构用几个相互有关的“流动系统”来描述就是制造系统的形态学模式,它给予了制造领域以系统而相互连贯的描绘。制造过程通常可定义为生产对象几何形状和材料性能上的变化,产生任何变化必须具备原材料、能源和信息 3 个基本要素。根据制造过程的主要任务,它或者是一个基本要素变化的过程,或者是几个基本要素兼有的变化过程。制造过程的形态学模式就是建立在材料流系统、能量流系统和信息流系统这 3 个基本要素上,如图 1-2 所示。

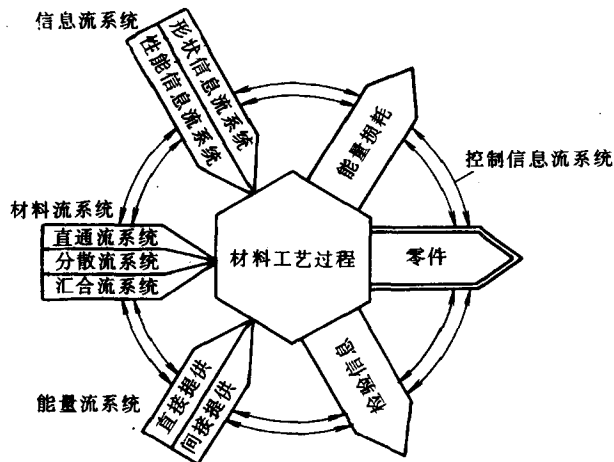


图 1-2 材料的制造过程模式

一、材料流系统

简称材料系统或物质系统,它可分为 3 种主要类型。

1. 直通流系统

指在制造过程中,材料的质量恒定过程,即工件的初始质量等于或接近最终质量,如锻造、铸造、滚轧、粉末冶金等。

2. 分散流系统

指在制造过程中,材料的质量减少过程,即靠去除材料来获得几何形状和尺寸的改变,如切削、磨削、电加工等。

3. 汇合流系统

指在制造过程中,材料的增加过程,它包括结合加工和装配过程。结合加工系指附着(如镀膜、镀层、涂敷等覆盖和涂层工艺)、注入(如渗炭、渗氮等改变材料表层性质的工艺)、接合(如焊接、粘接、机械固定等)。装配过程是指各个零件的汇合而成为机械产品的过程。

除上述3种流系统外,尚有辅助流系统,如润滑、冷却液及填料等。

材料流系统与材料的状态、成分、性质等情况有关。

材料流系统的基本制造过程是指使生产对象的几何形状和材料性能发生变化的过程,可分为机械过程、热过程和化学过程3种类型。一个制造过程通常系由一系列基本工艺过程所组成,任一基本过程可划分为准备、成形、后期处理3个阶段,其中成形阶段为主要基本过程,准备和后期处理阶段为次要基本过程。

二、能量流系统

简称能量系统,可分为刀具/模具系统和设备系统两个分支,前者尚包括夹具、检具等工艺准备,主要是向材料提供能量及中介质的应用;后者主要是由设备提供具有一定特性的某种类型的能量。能量流的特征可看作是能量的供给、传递、转换或丧失。能量的种类有机械能、热能、化学能和电能。能量转换(传递)介质的状态有刚性、弹性、塑性、流体、颗粒、气体等。能量的产生方式有直接和间接两种,前者是由工件本身直接产生,如工件材料中的质量力:重力、加速度、磁场等;后者是由工件之外通过介质而产生,其产生方式有两种方式:①转换介质与工件之间的相对运动;②通过工件材料之中的质量差。以上所述的能量产生方式都是指其基本制造过程为机械过程。尚有热过程中的被加工材料直接产生热量,以及通过热传导、热辐射、对流等间接产生热量,还有化学过程中通过化学反应产生的能量。

三、信息流系统

简称信息系统,它包括几何形状信息流系统和性能信息流系统。某一材料的某种几何形状和性能可被描述为材料形状和性能的信息。几何形状和材料性能的变化过程,可通过能量流使改变形状和性能的信息流,作用在材料流上以表现其特征,因此,最终的形状和性能信息等于初始信息与加工过程中施加于形状和性能变化信息的总和。如改变材料外形的信息产生于刀具或模具的某种外形轮廓以及工件材料与刀具或模具之间的相对运动方式。

信息流系统的要素有表面成形原理和运动方式。表面成形原理有4种:

1. 自由成形(FF)

转换介质不包含所要求的几何形状,表面和几何形状由应力场形成,如扭转成形(麻花钻的扭转成形构成螺旋槽)。

2. 二维成形(TDF)

转换介质包含所要求的几何形状的一个点或一个面,意味着要求有两个相对运动去加工这一表面,如车削加工。

3. 一维成形(ODF)

转换介质包含一个所要求表面的信号发生器(一条线或沿这条线的表面积),意味着加工这些表面必须有一个相对运动,如带锻、滚轧。

4. 整体成形(TF)

转换介质包含(在一个或几个零件中)所要求形状的整体运动,意味着无需相对运动,如冲击锻、水压胀孔。

以上4种表面成形原理如图1-3所示。

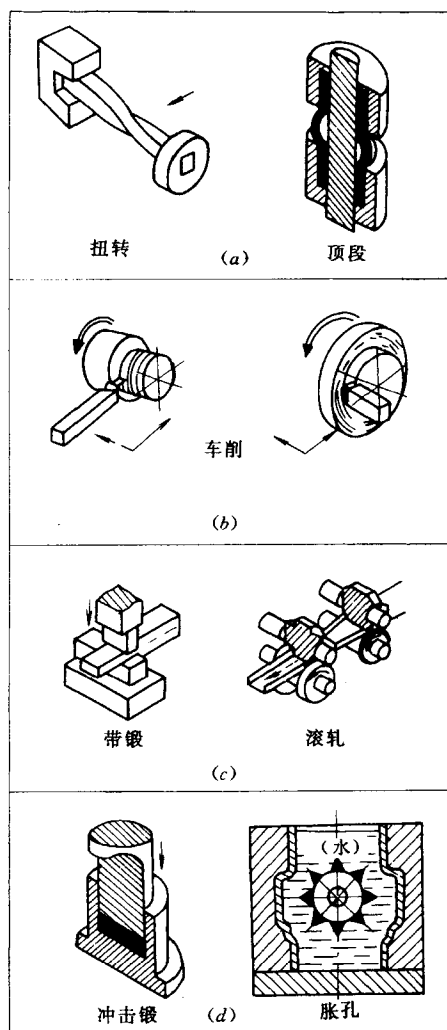


图1-3 表面成形原理

(a)自由成形;(b)二维成形;(c)一维成形;(d)整体成形。

信息流系统的运动方式包括材料运动方式和刀具、模具运动方式,它们的具体运动有平移、转动、复合运动或无运动。

3种流系统之间适当的相互作用便产生出所需零件,其间的相互作用是由控制信息来操纵的。图1-4表示制造过程的形态学模式和结构。

形态学模式突破了制造工程局限在孤立地论述各种加工方法的旧体系,抓住了材料、能量、信息在运动中的变化和作用,对各种工艺方法进行综合分析和横向比较,能迅速对制造过程作出可行性和局限性的评价。形态学是生物学的一个分支,用来处理动植物的形式和结构,制造工程不像动植物那样是一个完整的有机整体,它是一个离散事件的集合体。但它以工件材料为主线,科学地描述了制造系统工程,激发和丰富了人们的想象力,为制造工程的科学化开辟了新途径。