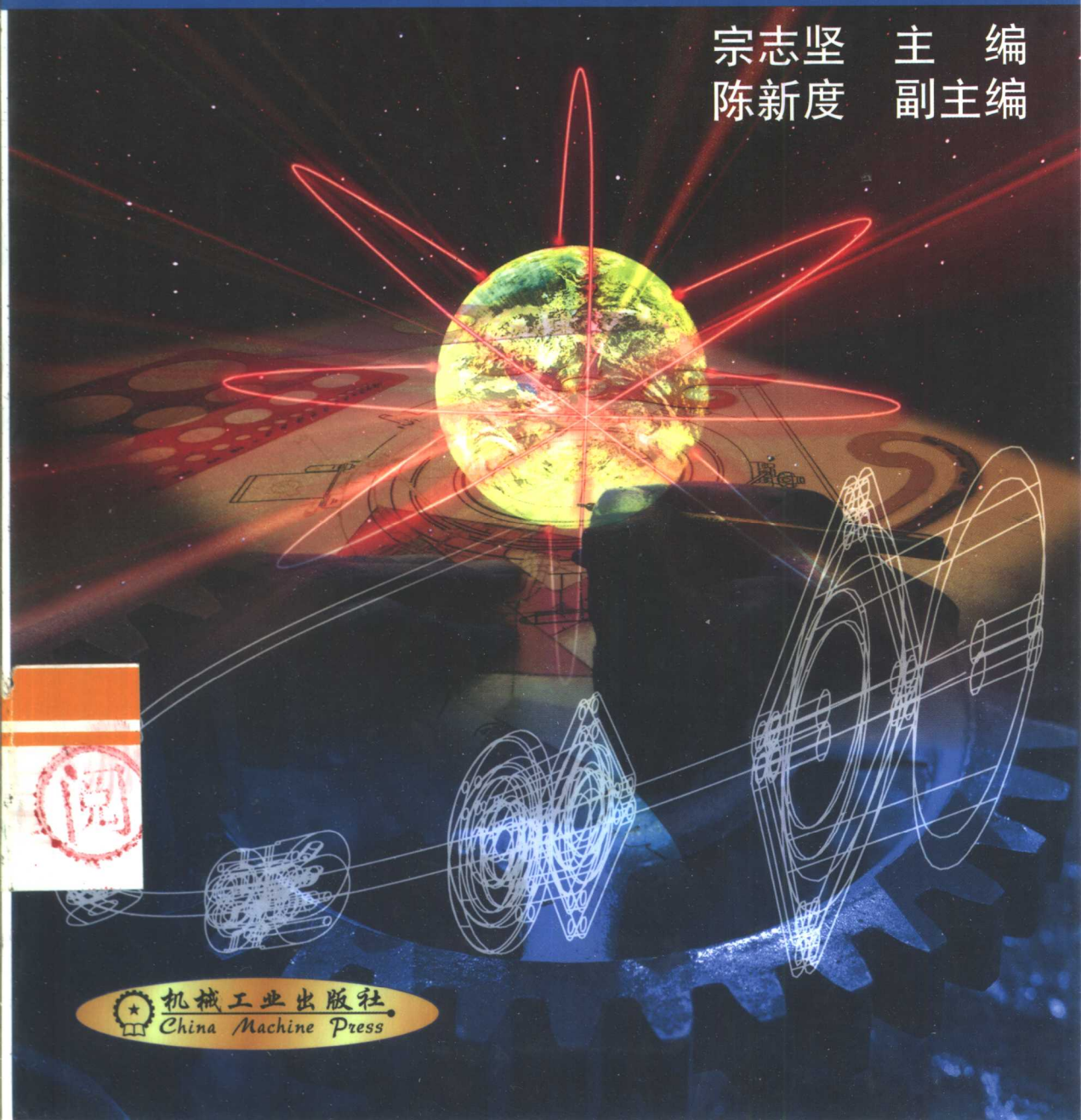




高职高专机电工程类规划教材

CAD/CAM 技术

宗志坚 主 编
陈新度 副主编



机械工业出版社
China Machine Press

高职高专机电工程类规划教材

CAD/CAM 技术

广东省教育厅组编

主 编 宗志坚

副主编 陈新度

参 编 周宏甫 王锦红

主 审 陈伯贤



机械工业出版社

本书系统讲述 CAD/CAM 技术的基础概念、基本方法和应用实例。内容包括 CAD/CAM 的基本概念和系统组成, CAD 技术基础, 特征造型技术, 装配建模技术, 曲面造型技术, CAM 技术基础, 数控加工编程技术和 MasterCAM 编程实例等。

本书在保持内容的系统性的基础上, 突出内容的新颖性、广泛性和实用性, 在介绍 CAD/CAM 的应用技术和方法的同时, 结合流行的 MDT 和 MasterCAM 详细展开了应用实践。

本书可作为机械工程、电气工程专业的本科生、高等职业技术学院学生的教材, 也可作为广大从事 CAD/CAM 技术研究和工程应用的技术人员的参考书和培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

CAD/CAM 技术/宗志坚主编 - 北京: 机械工业出版社, 2000.10

高职高专机电工程类规划教材

ISBN 7-111-08501-9

I. C… II. 宗… III ①计算机辅助设计-高等教育: 职业教育-教材②计算机辅助制造-高等教育: 职业教育-教材 IV. TP391-7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 55013 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 邓海平 版式设计: 霍永明 责任校对: 孙志筠

封面设计: 姚毅 责任印制: 郭景龙

中国农业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5 · 9.5 印张 · 368 千字

0 001—4 000 册

定价: 23.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

广东省高职高专机电工程类规划教材

编 委 会 名 单

主 任	杨开乔				
副主任	谢存禧	高文龙			
委 员	杨开乔	谢存禧	高文龙	蔡 敏	邵 明
	司徒忠	何友义	曾文光	蔡昌荣	卢 勇
	龚洵禹	林晓新	吴 勇	程中元	戚长政
	刘晓顺	赵小平	卢晓春	姚嘉五	吴念香
	郑建辉				
秘 书	邵 明	吴念香	郑建辉		

序

高等职业教育是我国高等教育改革和发展的新生事物，是我国高等教育不可缺少的重要组成部分。20世纪90年代以来，党中央、国务院十分重视高职高专教育，制定了一系列政策和措施，有效地推动了高职高专教育的改革和发展。中共中央、国务院《关于深化教育改革，全面推进素质教育的决定》中明确指出：“要大力发展高等职业教育，培养一大批具有必要理论知识和较强实践能力，生产、建设、管理、服务第一线和农村急需的专门人才”。为我国高等职业教育的改革和发展指明了方向。近年来，我省全面贯彻国家高职发展的“三改一补”方针，采取“三多一改”的办法（即多形式、多模式、多机制和改革）发展高等职业教育，使高职高专教育出现了生机勃勃的发展势头，到目前为止，全省有独立设置的职业技术学院13所，9所本科院校举办了二级职业技术学院，10多所普通专科学校、20多所成人高校举办了高职专业，全省高职高专在校生10多万人，初步形成了具有一定办学特色的高等职业教育体系，成为我省高等教育的重要组成部分。

由于高等职业教育成规模发展的时间较短，教学体系尚不成熟，许多问题，诸如教学计划、教学内容、实践基地建设、“双师”队伍建设、教材建设等，尚在研究、摸索阶段。尤其是高职高专的教材较少，给教学工作和人才培养造成了一定的困难。解决好这些问题，将有利于高等职业教育的进一步改革和发展。为此，广东省教育厅十分重视高职高专教材建设。我们采取了统筹规划，分步实施的办法，积极组织有关高职院校教师分专业、分系列开展高职高专教材的编写工作。本套高职高专机电工程类规划教材的编写出版，就是我们在高职教材建设方面的一个积极尝试。这套教材共17门，由我厅和国家机械工业局教编室、机械工业出版社联合组织编写。在编写过程中，全体编写人员、责任编辑、编委会成员倾注了大量的心血。本套教材较好地贯彻了职业性、实用性、系统性、超前性、地方性的编写原则，具有较明显的职教特色和地方特色，将有助于学生专业理论的学习和应用技能的训练和提高，适用于高等职业院校、专科学校和成人高校机电类专业使用。

这套教材的编写出版，将填补我省高职教育专业教材的空白，并对我省高等职业教育的进一步改革和发展产生积极而深远的影响。同时，我们也希望通过这

套教材的出版发行，能为我国高等职业教育的改革和发展尽一份微薄之力，并为我国高职教育教材园地的建设增添一朵绚丽的小花。

广东省教育厅

二〇〇〇年八月二十五日

前 言

当前,企业中的产品开发活动非常活跃,表现在两个方面,一是开发的产品种类越来越多,二是产品开发手段推陈出新。企业为了生存和发展,必须不断地开发符合市场需求的产品,而且要永不止息地追求 TQCS,即:在最短的时间内(Time),以最小的成本(Cost),向市场推出质量最好的产品(Quality),同时,为用户提供最好的服务(Serve)。

以 CAD/CAM 为代表的先进制造技术的出现,为企业的产品开发插上了新的翅膀,先进制造技术正深刻地变革着沿袭了几十年甚至上百年的传统开发模式,在各个领域获得迅速推广应用,它的应用水平已经成为衡量企业综合实力的重要标志。

为了加快制造业的现代化进程,国家连续在近三个“五年计划”中极力倡导和引导企业开展 CAD/CAM 的应用推广,一大批地区和企业已经完成或正在开展“甩图版”工程,一些技术水平较先进的企业正在全面开展 CIMS(计算机集成制造系统)的应用推广工作。可以预料,随着市场竞争的日趋激烈,以 CAD/CAM 技术为代表的先进制造技术在我国的应用推广进程会进一步加快。在这种背景下,如何及时地、深入地、全面地掌握 CAD/CAM 技术,就成为摆在工程技术人员面前的重要任务。可以说,不能很好地掌握这门先进技术,就不能适应现代社会的变化和需求,就有被历史淘汰的危险。

以 CAD/CAM 为题材的技术书籍已经不少。这些书籍大致可以分为两类:一类侧重于 CAD/CAM 的理论,另一类则完全是 CAD/CAM 应用手册的翻译或翻版,迄今为止,读者难于找到一本既注重理论基础,又具有实践指导意义的关于 CAD/CAM 的技术书籍。针对这种现象,本书定位于编写一种介于两者之间,即在理论基础之上,重点突出 CAD/CAM 的概念、应用方法和应用技巧,并结合具体的 CAD/CAM 软件进行实践练习的技术教材。目前流行的 CAD/CAM 软件众多,不同的软件有不同的特点,但是其主要功能、基本方法却是相同的,因此,本书以应用普及性、技术代表性和资源丰富性为原则,选择 MDT 和 MasterCAM 为本书的 CAD/CAM 实践应用背景。为了避免局限性,书中力求阐述 CAD/CAM 技术共性的内容,避免拘泥于个性内容。相信本书的定位和内容体系会给您带来耳目一新的感觉,并对您真正地掌握和应用 CAD/CAM 技术提供帮助。

本书由广州大学宗志坚博士担任主编,广东工业大学陈新度博士担任副主编。各章分工如下:第一、三、四、五章由宗志坚编写,韶关大学的王锦红讲师

参加了第三章的编写，第二章由陈新度编写，第六、七、八章由华南理工大学的周宏甫博士编写，由宗志坚整理补充；广州大学的萧仲敏等同志协助出图。

全书由广东工业大学的陈伯贤教授主审，在此表示感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中不足、漏误之处在所难免，敬请批评指正。

编 者
于广州

目 录

序

前言

第一章 概 述	1
1.1 CAD/CAM 基本概念	1
1.1.1 经典产品开发模式	1
1.1.2 现代产品开发模式	4
1.1.3 CAD/CAM 的主要功能	6
1.2 CAD/CAM 系统组成	8
1.2.1 CAD/CAM 系统的运行环境	8
1.2.2 CAD/CAM 的硬件	8
1.2.3 CAD/CAM 的软件环境	12
1.2.4 CAD/CAM 对用户的要求	14
1.2.5 配置 CAD/CAM 系统	15
1.3 CAD/CAM 技术应用现状及发展趋势	16
1.3.1 CAD/CAM 技术在我国的应用现状	16
1.3.2 CAD/CAM 技术的发展趋势	20
思考题	21
第二章 CAD 技术基础	22
2.1 图形技术	22
2.1.1 窗口-视区变换	22
2.1.2 图形变换	23
2.1.3 图形的裁剪	28
2.1.4 图形的消隐	31
2.2 几何造型技术	35
2.2.1 布尔运算	35
2.2.2 形体的表示方法	39
2.2.3 特征造型技术	42
2.2.4 参数化技术	45
2.3 曲线曲面技术	46
2.3.1 Bezier 曲线和曲面	46
2.3.2 B 样条曲线与曲面	51
2.3.3 曲线曲面的连续性	54

2.4 交互技术	55
2.4.1 用户界面	55
2.4.2 常见交互技术及其应用	58
2.5 系统接口技术	61
2.5.1 产品数据交换接口	61
2.5.2 产品数据模型的描述方法	62
2.5.3 产品数据交换标准	63
思考题	66
第三章 特征造型技术	68
3.1 特征造型基本概念	68
3.1.1 特征建模技术	68
3.1.2 参数化技术	70
3.1.3 数据库联动技术	74
3.2 特征造型基本方法	74
3.2.1 特征分析	75
3.2.2 特征种类及生成方法	76
3.2.3 约束分析	82
3.2.4 设计变量及表驱动技术	83
3.2.5 特征管理	85
3.3 MDT 特征造型的应用	87
3.3.1 MDT 特征造型基本过程	87
3.3.2 齿轮轴的实体造型	87
3.3.3 齿轮的实体造型	92
3.3.4 减速箱箱体实体造型	95
3.3.5 Solid Edge 特征造型的应用	101
3.3.6 生成工程图	103
思考题	109
第四章 装配建模技术	114
4.1 装配建模技术中的基本概念	114
4.1.1 装配约束技术	114
4.1.2 装配树	117
4.1.3 装配模型的管理	120
4.1.4 装配模型分析及使用	121
4.2 装配建模的一般方法和技巧	123
4.2.1 自下向上的装配设计	123
4.2.2 自上向下的装配设计	125
4.2.3 自中向外的装配设计	126
4.3 装配建模技术的应用	126

4.3.1	MDT 中的常用装配命令	127
4.3.2	减速箱的全局参数化方案设计	129
4.3.3	减速箱的装配	130
4.3.4	自中向外的装配设计实例	137
	思考题	140
第五章	曲面造型	142
5.1	曲面设计概述	142
5.1.1	曲面造型基础	142
5.1.2	AutoSurf 的曲线、曲面特性	150
5.2	曲面设计方法	155
5.2.1	曲面设计主要过程	155
5.2.2	造型数据点的测量技术	157
5.2.3	几种不同的曲面设计策略	161
5.3	曲面设计应用	165
5.3.1	基本曲面的构造	165
5.3.2	基本曲面的编辑与修改	168
5.3.3	产品的概念设计	175
5.3.4	摩托车外形模型设计	184
	思考题	191
第六章	CAM 技术基础	192
6.1	数控编程基础	192
6.1.1	数控机床及其工作原理	192
6.1.2	数控机床编程的步骤和内容	194
6.1.3	数控程序的构成	195
6.1.4	数控编程的基本指令	197
6.1.5	数控编程的方法	200
6.1.6	数控编程的现状和发展趋向	202
6.2	数控工作原理	205
6.2.1	数控基本原理	205
6.2.2	坐标系、编程零点和对刀点	208
6.2.3	刀补	210
6.2.4	插补的概念	215
6.2.5	逐点比较法	215
6.2.6	数字积分法	219
6.2.7	时间分割直线插补算法	222
6.3	数控加工工艺基础	224
6.3.1	CNC 机床的选择	224
6.3.2	加工工序的划分	224

6.3.3 工件的装卡方式	225
6.3.4 对刀点与换刀点的确定	225
6.3.5 选择走刀路线	225
6.3.6 加工刀具选择	226
6.3.7 切削用量的确定	227
6.3.8 程序编制中的误差控制	227
思考题	228
第七章 数控加工编程技术	229
7.1 数控铣床编程技术	229
7.1.1 数控铣床坐标系	229
7.1.2 数控铣床编程特点	231
7.1.3 数控铣床编程代码及应用	232
7.1.4 二维轮廓的数学处理	239
7.2 数控车床编程技术	241
7.2.1 车床坐标系	241
7.2.2 数控车床编程特点	242
7.2.3 数控车床加工参数的选择	243
7.2.4 数控车床编程规则	243
7.2.5 数控车削常用指令的编程方法	245
7.2.6 车削加工常用方法	246
7.2.7 子程序	248
7.3 多坐标数控编程技术	249
7.3.1 多坐标数控编程概述	249
7.3.2 参数线加工法	249
7.3.3 截面线加工方法	254
7.3.4 三坐标球形刀多面体曲面加工方法	255
7.3.5 曲面交线加工方法	255
7.3.6 曲面间过渡区域加工方法	257
7.3.7 曲面腔槽加工方法	257
思考题	259
第八章 MasterCAM 编程实例	260
8.1 图形交互自动编程原理和功能	260
8.1.1 概述	260
8.1.2 加工过程的仿真	263
8.2 MasterCAM 介绍	267
8.2.1 MasterCAM 的几种主要特性	267
8.2.2 MasterCAM 系统主功能表	268
8.2.3 MasterCAM 的基本绘图命令	271

8.2.4 Master CAM 系统的 CAM 功能	275
8.3 Master CAM 的 CAM 实例	280
8.3.1 二维数控加工的若干实例	280
8.3.2 叶轮实例	286
思考题	288
参考文献	289

第一章 概 述

1.1 CAD/CAM 基本概念

企业的存在是以产品为基础的，企业的性质不同，其产品形态和功能也不相同，例如，信息业的产品是信息以及围绕信息而展开的信息服务、信息处理软件、信息接收和发送设备。制造业是国民经济的支柱产业，其产品种类非常丰富，但是，制造业的产品有一个共同特点，就是它以具有一定结构形状的材料为基体，综合光、机、电、液等媒介协调工作，以实现特定的功能。为了企业的生存和发展，企业必须不断地开发符合市场需求的产品，而且要永不止息地追求TQCS，即：在最短的时间内（Time），以最小的成本（Cost），向市场推出质量最好的产品（Quality），同时，为用户提供最好的服务（Serve）。

因此可以说，企业的各种经营活动都是围绕产品而展开的，产品开发是企业的核心活动之一。随着社会的发展，产品开发的方法和技术手段发生了深刻变化，开发出的产品水平也日益提高，在机械制造业，以计算机技术为核心的信息技术的引入，导致了产品开发从传统开发模式向现代开发模式的巨大转变。

1.1.1 经典产品开发模式

1. 开发过程

机械制造业属于传统产业，经过百多年的实践，经典的机电产品开发活动可以用流程图 1-1 表示。

（1）需求分析 这是产品开发活动的源泉和动力，所有的产品都是起源于市场需求，没有需求就没有产品开发活动。市场上对产品的需求包括两大类：

1) 改进需求。改进的需求主要来自三方面：来自于用户，来自于竞争者，来自于技术革新。根据改进需求而开展的产品开发，通常属于改型设计或产品的更新换代。这是一类最常见的产品开发类型。

2) 全新需求。这种需求无法从任何现有的产品或类似产品中、或从这些产品的改进设计中得到满足，无论是在功能上、使用方法上，还是从设计制造

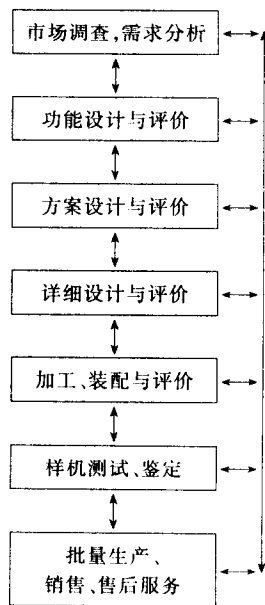


图 1-1 经典产品开发模式

方法上都不同于现在的或过去的产品，因此，必须开展全新的产品开发。这种全新的需求也同样来自于市场，但是和改进需求相比较有两点显著不同：①主动性。根据市场和技术的变化，由开发者主动去构思；②超前性。表现在技术上，需要一个成熟过程；表现在市场上，需要一个宣传和引导过程。基于这种需求的产品开发通常称为创新开发，这种活动具有很大的风险，但同时又具有巨大的市场潜力。

这一部分工作主要由市场部组织策划，并及时与技术部沟通，最终向企业领导提供完整的需求分析报告。

(2) 功能设计与评价 这一阶段的主要任务是确定产品开发目标，对新产品进行定位。这一步工作的重要性是可想而知的，假如产品定位不准，功能不能符合市场要求，那么整个开发活动不可能取得成功。活动内容主要包括：①功能设计——详细定义产品的各种功能。功能定义以先进、实用为原则，最大限度地满足市场需求；②性能设计——规定产品的性能。根据不同的产品类型，具体指标不同，但是效率、环保、经济性、安全性、可靠性是一些通用指标；③操作设计。在产品推出之前，必须明确产品的使用方法和使用环境要求，通常采用人体工学原理，非常细致地开展操作设计，最大限度地考虑到使用的舒适性和方便性。

这一部分工作主要由企业领导、市场部负责人、技术部负责人共同参与完成。

(3) 方案设计与评价 主要包括两部分内容：

1) 原理设计。提出不同的工作原理来实现产品功能，并对不同的工作原理进行分析比较。可以说，原理设计水平基本上限定了产品的整体技术水平。

2) 总体布局及外观设计。针对不同的设计原理，确定产品的主要参数和总体布局结构，并进一步设计产品的外观造型。必须高度重视外观设计（又称工业设计），这是提高产品竞争力的重要手段。

这一部分工作主要由技术部（设计与制造）、市场部、财务部共同参与完成，并由企业领导组织评价，做出方案选择。

(4) 详细设计与分析 这是整个产品开发过程中最主要的、也是最重要的活动，正是通过详细设计来具体实现产品的功能和性能要求。详细设计的内容非常丰富，主要包括：①运动设计与实验；②零件设计与计算；③部件设计与分析；④零部件的装配设计与分析；⑤出图。

这一部分工作主要由设计工程师参与完成。

(5) 加工与装配 根据详细设计图样，进行：①工艺设计。确定零件的加工方法、加工工艺路线、加工设备和加工参数，制定部件的装配工艺（包括装配步骤、装配工具及检验要求），这一部分工作主要由工艺师参与完成；②制造与检验。由工人根据设计图样、工艺规程和加工文件实施加工，并由检验人员控制加工质量；③部件装配和整机装配。由工人把零件装配成部件，再把部件装配成整机。

到这一步，产品逐渐地由抽象形式转化成具体结构，也正是在这一步，会出现各种各样的问题，如设计问题、工艺问题、制造问题、装配问题。

(6) 样机测试、鉴定 对最终产品进行整机测试，包括功能测试、性能测试、操作测试，全面检查设计是否达到最初提出的设计要求。测试合格后，根据企业经营计划，部署并实施批量生产。

2. 开发特点

从以上分析中可以看出机械产品开发过程具有以下特点：

(1) 活动的串行性 在上一项活动未开展以前，无法开展下一项活动。

(2) 活动的交叉性 每一项活动都不是孤立的，相互之间有复杂的影响关系，表现在：

1) 自上而下的继承性。上游的结果，无论是正确的结果或错误的结果，都将带入下游活动。

2) 自下而上的约束性。在开展上游活动时必须周密预测下游活动的可能性，也就是说，下游活动对上游活动构成了限制；另一方面，为了保证下游活动的正确，难免对上游活动进行修改。

总之，产品开发是一个复杂的、动态的、反复的过程，产品开发需要多个部门、全体参与人员的协调行动。

3. 手工开发中存在的问题

应该说，这一经典开发模式本身并没有多大问题，但是，在传统的产品开发活动中，主要是采用手工及较原始的手段来实施产品开发。比如说，在外观设计中只能进行平面设计，无法获得立体效果；在零件设计中，还是大量采用手工制图方法绘制二维设计图形，再辅助一些经验性的计算，很难准确了解零件的机械性能；对复杂的产品，例如运动机构，在产品加工出来之前很难了解机构的实际运动情况，很难事先了解机构在运动中会不会出现干涉碰撞；在制造过程中，还是采取普通机床进行切削加工，很难完成复杂零件的加工；另一方面，当产品制造或装配以后一旦发现有问题，很难进行设计修改。

采用传统的手工方法进行产品开发的主要缺陷可以归纳如下：

1) 可预见性差。由于人工手段的限制，对后续活动中的问题很难准确预测。

2) 可修改性差。由于修改的代价大，周期长，涉及的部门多，返工修改非常困难。

3) 精确性差。在设计计算和模型分析中，采用了大量的经验计算、类比和估算。

4) 协调性差。某个环节的修改很难及时反映到有关的其他部门，开发活动之间、开发部门之间很难协调。

5) 绘图质量差。大量的手工绘图。

这些缺陷的综合效果就是导致产品开发周期长、产品质量差、开发费用高，显然，传统的开发方法和开发手段不利于企业的 TQCS 目标，面对日益剧烈的市场竞争，采用一切可以利用的高新技术改造产品开发过程、提高产品开发水平，已经成为制造业当务之急。

1.1.2 现代产品开发模式

1. 现代产品开发过程

在经典开发模式基础上，引入计算机技术和现代设计方法，形成了现代产品开发模式，该模式如图 1-2 表示。图 1-2 中的方框代表开发活动，实线代表活动的正向开展顺序，虚线代表活动的反馈开展顺序。

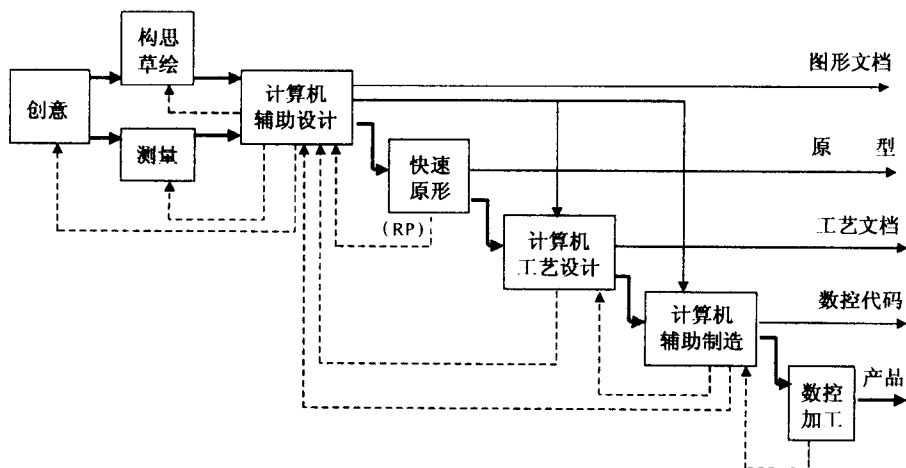


图 1-2 现代产品开发模式

(1) 创意 即需求分析，并进行功能设计，这一部分仍主要由人工完成，在条件具备时也可以采用人工智能和专家系统辅助完成。

(2) 构思、草绘 即开展总体方案设计、原理设计和工业设计。方案设计和原理设计在条件具备时可以由方案设计专家系统辅助完成；工业设计在 2D 和 3D 工业设计软件的辅助下，结合人工的创造性工作完成产品外观造型。

(3) 测量 测量产品样件或创作的实物原形，获得计算机数据，以便后续设计。这一部分工作主要在坐标测量设备上完成，典型的坐标测量设备有接触式三坐标测量仪、接触式多自由度测量臂、激光测量仪等，在这些测量设备上同时配备了功能强大的测量软件系统，配合测量硬件完成测量任务。

(4) 计算机辅助设计 应用计算机开展详细设计、分析与计算。这是现代产品开发模式中最有代表性的活动，几乎所有的设计活动，例如零件设计、零件计算与分析，部件装配等等，都在计算机中完成，在设计现场，几乎见不到任何设