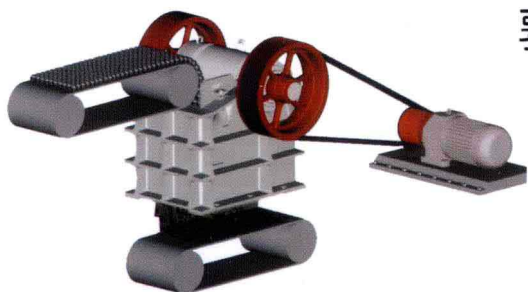


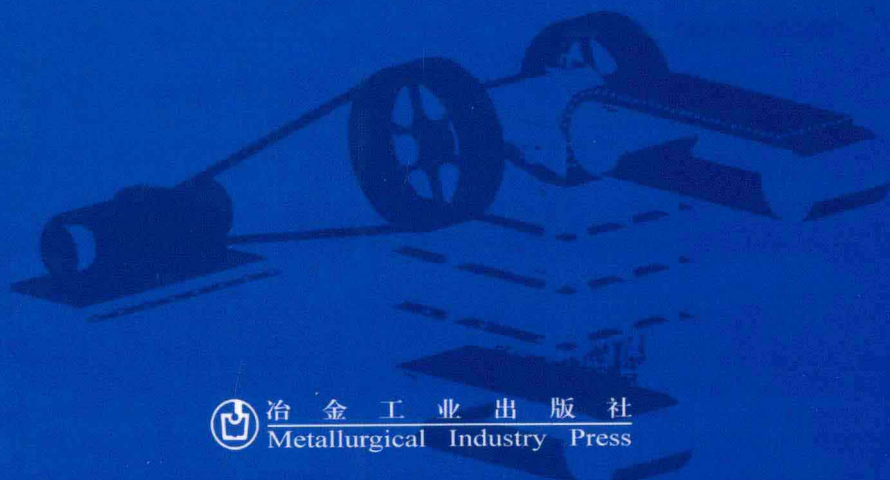
颞式破碎机

现代设计方法

郭年琴 郭 晟 著



Advanced Design Method of Jaw Crusher



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

江西理工大学优秀学术著作出版基金资助

颞式破碎机现代设计方法

郭年琴 郭 晟 著

北 京

冶金工业出版社

2012

内 容 提 要

本书重点阐述了以现代设计方法对颞式破碎机进行设计计算、分析和参数化设计绘图等,并附有计算机程序。书中用多种规格型号的破碎机实际实例来说明其现代设计方法。介绍了颞式破碎机计算机辅助设计,破碎机三维运动学与动力学仿真分析,颞式破碎机机构优化设计方法,颞式破碎机有限元计算方法,并对层压破碎模型与破碎特性进行了研究和实验。本书结合国内生产实际,反映作者多年从事破碎机现代设计方法的经验和成果,同时对国外颞式破碎机发展动向作了扼要介绍。

本书可供从事破碎机机械设计、制造和维修工作的工程技术人员参考,也可供大专院校有关专业师生教学、科研参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

颞式破碎机现代设计方法/郭年琴,郭晟著. —北京:
冶金工业出版社, 2012. 8

ISBN 978-7-5024-5988-8

I. ①颞… II. ①郭… ②郭… III. ①颞式破碎机—
设计 IV. ①TQ175. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 173028 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 张熙莹 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5988-8

北京百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销

2012 年 8 月第 1 版, 2012 年 8 月第 1 次印刷

148mm×210mm; 7.5 印张; 219 千字; 226 页

29.00 元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿信箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100010) 电话: (010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

颚式破碎机由于结构简单、工作可靠、容易制造、使用维修方便，因此被广泛应用于冶金、建材、化工、煤炭、石材等行业原料的破碎。由于破碎物料的需求不断增加，而能源越来越短缺，因此对破碎作业的改善越来越迫切，需要研究高效破碎设备和改进现有破碎设备，以现代设计方法对颚式破碎机进行研究和开发，提高颚式破碎机的性能和产量，提高设计效率和质量，降低成本、缩短产品开发周期。

本书针对颚式破碎机研究设计的若干环节，探讨了颚式破碎机设计的基本理论和设计方法，结合国内生产实际，介绍了研究设计并得到生产实际应用的多种规格的破碎机，反映了作者多年从事破碎机现代设计方法的经验和成果。

本书重点阐述了以现代设计方法对颚式破碎机进行设计计算、分析和参数化设计绘图等，给出了多种规格型号颚式破碎机用现代设计方法设计实例，并附有计算机程序，供读者参考。

本书取材于作者课题组在颚式破碎机设计研究应用的科研实践和相关成果，以及作者学生的硕士学位论文。感谢作者的硕士生刘兵吉、聂周容、黄冬明、黄伟平、刘伟、曹建坤等在完成相关研究课题时付出的辛勤劳动。衷心地感谢曾一起进行项目研究的张岐生、何正惠、李德麟、姚践谦、黄鹏鹏等各位老师。

感谢江西省科技厅给予工业重点计划项目资助以及合作研究单位广东矿山通用机械厂、江西长林机械厂、湖北松兹矿山机械

· II · 前 言

厂、江西铜业集团（德兴）铸造有限公司、江西赣州有色冶金机械有限公司等的支持与资助。感谢江西理工大学给予本书出版的资助。

课题研究以及本书的撰写过程中参考了许多文献资料，在此向其作者表示感谢！

由于作者水平所限，书中不足之处，敬请读者批评指正。

作 者
2012 年 3 月

目 录

1 绪论	1
1.1 国内外破碎机的研究现状及趋势	1
1.1.1 国内外破碎机的研究现状	1
1.1.2 颚式破碎机的发展趋势	2
1.2 现代设计方法分析	4
1.3 现代设计方法的应用	8
1.4 颚式破碎机三维动态模拟与仿真系统	10
1.4.1 系统概述	10
1.4.2 系统设计思想	10
1.4.3 总体方案设计	11
1.4.4 系统运用	13
2 颚式破碎机计算机辅助设计	18
2.1 颚式破碎机机构参数化双向设计	18
2.1.1 正向设计的原理及其数学模型	19
2.1.2 逆向设计原理及其实现过程	26
2.1.3 双向设计的实现过程	26
2.1.4 颚式破碎机机构参数化双向设计系统的组成	27
2.1.5 系统的创建与使用	28
2.1.6 颚式破碎机机构参数化双向设计系统的关键技术	28

2.1.7	机构运动模拟	29
2.2	颚式破碎机工作参数的 CAD 计算	34
2.2.1	偏心轴转数的计算	34
2.2.2	生产率的计算	37
2.2.3	电机功率的计算	39
2.3	主要零部件的 CAD 强度校核	42
2.3.1	破碎力的计算	43
2.3.2	复摆颚式破碎机受力分析	43
2.3.3	主要零件强度的计算	45
2.4	破碎机标准件、易损件的三维参数化设计	62
2.4.1	设计原理与策略	63
2.4.2	标准件的参数化设计	66
2.4.3	易损件的参数化设计	68
2.5	破碎机的三维零件装配模型与动画模拟设计	72
2.5.1	破碎机的三维零件设计	72
2.5.2	破碎机的整机装配建模	75
2.5.3	破碎机破碎矿石过程的动画设计	77
2.6	颚式破碎机设计研究实例	79
2.6.1	负悬挂 PE250 × 400 破碎机设计研制	79
2.6.2	零悬挂 PEX250 × 1000 细碎破碎机设计研制	85
2.6.3	倾斜式 PEQ400 × 600 破碎机设计研制	89
2.6.4	PC5282 新型颚式破碎机设计研制	97
3	破碎机三维运动学与动力学仿真分析	103
3.1	破碎机的运动学仿真分析	103
3.1.1	零部件分类和添加约束	104

3.1.2	载荷的添加	105
3.1.3	材料的选择	106
3.1.4	运动的获得	106
3.1.5	动态仿真	107
3.1.6	仿真结果处理	108
3.2	破碎机的动力学仿真分析	111
4	颚式破碎机机构优化设计方法	114
4.1	破碎机优化设计概述	114
4.2	优化设计数学模型的建立	116
4.2.1	运动分析	116
4.2.2	设计变量	118
4.2.3	目标函数	118
4.2.4	约束条件	119
4.3	优化方法及比较	120
4.3.1	优化方法选取	120
4.3.2	算法比较	120
4.4	结果分析	120
4.5	人机配合, 再次寻优	121
4.6	结论	122
5	颚式破碎机有限元计算方法	124
5.1	概述	124
5.2	有限元分析步骤	125
5.2.1	模型分析与建立	126
5.2.2	单元划分	126

5.2.3	确定边界条件	127
5.2.4	整体分析	127
5.2.5	求解	128
5.3	破碎机动颚有限元分析与测试	128
5.3.1	有限元分析计算	128
5.3.2	电测应力分析	131
5.3.3	综合分析	131
5.4	破碎机机架的有限元分析与测试	133
5.4.1	机架有限元分析	133
5.4.2	复摆颚式破碎机机架应力测定	137
5.4.3	有限元计算结果与电测结果对比	141
5.5	调整座有限元优化设计分析	143
5.5.1	调整座三维实体模型的建立	143
5.5.2	调整座有限元分析	143
5.5.3	调整座结构优化设计	144
5.5.4	结论	146
6	层压破碎模型与破碎特性研究	147
6.1	层压破碎模型研究	147
6.1.1	破碎腔层压破碎三维模型的建立	147
6.1.2	有限元模型的建立	148
6.1.3	力学模型的有限元分析	151
6.1.4	有限元模型分析的二次处理及其动态平衡过程	152
6.1.5	实例与实验破碎特性对比研究	152
6.2	层压破碎三维建模系统研究开发	155
6.2.1	破碎腔三维模型参数化设计	155

6.2.2 散体岩石球体自动装载入破碎腔	156
6.2.3 系统功能与实现	158
6.2.4 结论	161
参考文献	162
附录 1 颚式破碎机运动轨迹计算程序 (C#代码)	166
附录 2 破碎机拉杆弹簧设计与校核程序	173
附录 3 颚式破碎机优化设计程序 (随机方向法)	180
附录 4 颚式破碎机推力板三维参数化设计 VB 程序	188
附录 5 Autolisp 参数化联轴器自动绘图程序	194
附录 6 颚式破碎机有限元设计程序 (八节点等参单元法 FORTRAN 程序)	206

1 绪 论

1.1 国内外破碎机的研究现状及趋势

1.1.1 国内外破碎机的研究现状

自从 1858 年美国 E. W. Blake 发明了简摆颚式破碎机以来，颚式破碎机已有 150 多年的历史，一方面颚式破碎机（包括简摆和复摆）由于具有其他粉碎设备无法替代的优点，仍在广泛使用；另一方面颚式破碎机结构在不断完善，参数在不断优化，性能在不断提高^[1]。

颚式破碎机的主要优点为：结构简单，工作可靠，容易制造，使用维修方便。因此，被广泛地应用于冶金、建材、化工、煤炭、石材等行业原料的破碎。但是，颚式破碎机的缺点也是明显的，其工业结构有待改进，钢耗和能耗以及粉碎工艺过程的生产成本都较高，更值得注意的是，颚式破碎机工作的理论基础——粉碎理论，尽管对其研究的深度和广度在不断地扩展，但至今仍没有出现具有足够有效地指导实际设计、制造和使用的粉碎理论^[2]。

20 世纪 70 年代末以来，国内外各生产厂家先后推出许多新型、高效、节能式颚式破碎机，其特点主要有：

(1) 采用新技术，如 KUE-KEN 公司采用液压调节颚式破碎机排料口尺寸。

(2) 采用新的结构方式，如芬兰 Kone 公司的 BML 系列负支撑复摆颚式破碎机，以及美国 Eagle 公司的低矮颚式破碎机，降低衬板磨损，提高处理能力，降低破碎机的高度。

(3) 采用新的腔形，如美国 Alis-Chalmers 公司生产的双衬板复摆颚式破碎机、日本神户 DYNAJAW 系列颚式破碎机以及北京矿冶研究总院研制的高效节能颚式破碎机等^[3]。俄罗斯圣彼得堡工程科学

院通过对不平衡振动器产生的离心惯性和高频振动对物料进行破碎的研究,研制出了一种具有双动颚结构的振动颚式破碎机,这种破碎机的两个动颚分别在转向相反的两个振动器作用下,绕扭力轴做同步振动。其产品粒度的控制只要通过扭力轴调整振幅就可以实现,破碎比可达4~20。这种振动颚式破碎机不仅可用于露天矿或井下矿坚硬物料的破碎,还能用于对黏性物料的处理^[4]。由北京矿冶研究总院研制的另一种具有双腔结构的破碎机——PSS型双腔双动颚式破碎机,它的动颚有单双耳轴承座镶嵌式结构,两个动颚由同一根轴带动工作^[5]。

(4) 采用新的材质,如采用锰铸钢、镍硬铸铁等,以延长衬板寿命。

(5) 合理的参数匹配,也是近年来不少厂家所关心的问题,参数匹配的合理与否直接影响生产能力、功耗、钢耗以及生产成本等诸多方面。

我国在颚式破碎机的研制上取得了较为丰硕的成果,在一定程度上推动了破碎机行业的发展,只是这些破碎机没能广泛地投入使用。

1.1.2 颚式破碎机的发展趋势

广泛的碎磨处理每年需消耗大量的能源。据有关统计,全国总能耗的11.4%、全国工业能耗的17.5%就来自矿业、建材及其他非金属矿物制品加工。选矿厂总能耗的40%~70%就用于碎磨,总能耗中仅1%~3%用于磨矿所做的有效功。在水泥工业中,粉磨作业就消耗了水泥生产电量总耗的60%~70%,其中的有用功仅占总能耗的1%~3%,大部分的输入能量都以工作中产生的热能和声能的方式浪费了^[6]。此外,碎磨作业还需要消耗大量的耐磨钢材,仅我国,每年消耗了300多万吨的金属耐磨材料,其中仅用于冶金矿山的碎磨机,就消耗了40多万吨的高锰钢板。破碎物料的需求不断增加、贫矿和废料再利用的比重增大、能源越来越短缺,对破碎作业效率的改善越来越迫切。高效破碎设备的研发和现有破碎设备的改进,对破碎作业达到经济、优质、高产、低耗有着极其重要的意义。各国不断地进行研究和改进^[7~12],颚式破碎机的结构不断地被改善,随着科学

技术的发展,颚式破碎机的自动化水平也有所提高。

因此,综合破碎机械发展现状和破碎理论的发展趋势,破碎机械将向以下几个方向发展^[13~17]:

(1) 向大型化发展。资源的整合、企业规模的扩大、生产能力的提高等都进一步促进了破碎机械向大型化发展。颚式破碎机的规格已达 2000mm × 3000mm,旋回破碎机达 2130mm × 4400mm,圆锥破碎机达 3048mm,棒磨机直径达 6m,自磨机直径达 12m 等。设备的大型化有利于提高生产能力,降低投资及运营成本等。

(2) 向轻型、绿色环保、结构简化方向发展。对于矿山机械,简化结构、减轻机重不仅可以降低噪声,还可简化机器润滑、维护和检修等经常性的工作,减少设备故障。例如,组合机架有加工、装配和拆卸方便,并且减低了机架重量的优点。目前,破碎机广泛采用组合机架代替整体机架,并且向着更节省材料、减轻机架的焊接机架发展。

(3) 向机电一体化、智能化发展。从 20 世纪 80 年代开始,高效和节能引起了人们越来越多的重视。科学技术的飞速发展促进了机械与电子的结合,机械技术和信息技术、传感技术、控制技术的结合。同步发展的机电一体化和电子控制技术,有效地推动了破碎设备的机电一体化和智能化的进程。例如,美国美卓矿机的 Lokotrack LT110C 型破碎机就标准配置了 IC500 智能控制系统,可监控并优化整个破碎工艺,发生故障时,可为操作人员提供有关的故障信息。

(4) 向标准化、系列化、通用化发展。这是便于设计、生产和降低成本的有效途径,是工程机械发展的重要趋势。目前,国内外设计有多个系列的破碎机,而且对各系列的零件设计制定了相关标准。这些系列标准为后来设计者提供了有利的参考数据,使破碎机的硬件设计研究更加方便、快捷,为相关优化分析处理节省更多时间,进一步地促进破碎机研究的改善。

(5) 向设计人性化发展。产品设计的人性化越来越受到人们的青睐,机械产品在设计时必须充分地考虑相关工作人员和设备自身的安全。例如美卓 C 系列破碎机配套设计的进料观察防护罩、出料皮带保护器和弹簧防护板等在很大程度上降低了人身和设备事故发生

的可能性，受到用户的肯定。

(6) 向精加工、高材质发展。在传统设备的改进及新设备的研制中，改进加工工艺，引进耐磨材料，能提高破碎机的机体质量和生产能力，减少零件的磨损，不但延长使用寿命，还提高自然资源的利用率。

(7) 向高效、节能方向发展。充分利用现代设计技术对破碎机进行结构优化，得出最优的动颞运动特性，有效提高破碎机的性能，降低功耗等是研究人员不停的追求。目前，市场上已经出现了多种多样的高效破碎机、节能破碎机。随着现代科技的发展，工业要求的不断提高，破碎机械将继续向着高效节能方向前进。

(8) 向新破碎方法的发展。目前，机械破碎法仍是实际生产中用最广泛的破碎方法，然而机械破碎法的能量转换低，产品解离度特性也不好。为了达到节能和提高生产效率的目的，专家们提出了“多碎少磨”的技术原则。当前这项原则的主要方向是指导基于料层粉碎原理的新型破碎机的研制。专家们认为研究破碎理论主要可以从三个方面出发，一是研究强度理论，二是评价破碎效果，三是研究破碎功耗。长期以来，人们不是很明确、很系统地了解粉碎规律，只是在经验应用和统计推测上研究粉碎理论。尽管如此，新破碎方法的研究也一直进行着，如液电效应、热力破碎、电热照射等方法的研究。

1.2 现代设计方法分析

产品的设计是一项复杂的系统工程，随着各种现代设计方法的引入以及计算机、人工、自动控制、网络等各种手段的集成，使这个过程更加复杂。为了管理好这样一个过程，无论对于人工设计还是自动化设计来说，一种高水平的模拟技术是必不可少的。这种技术应该能很好地模拟复杂的系统和设计进程，能反映集成系统的工作流程和结构之间的所有关系。当一个特定系统的模型被建立出来之后，还可用来解释系统的工作过程，并能对功能的实现流程进行确认。设计者们可以在模拟技术的帮助下设计系统、编制程序，并且可以在系统操作的过程中，通过分析模型，发现系统存在的问题，并根据情况修改模型^[18]。

当今,在机械构件和系统的设计中,几乎所有的设计过程中都采用计算机辅助技术。计算机辅助设计的优势已经大大超越了传统的人工设计方式,这个方式的转变意义重大。为了适应不同水平的设计和分析的需求,越来越多的计算方法和软件被开发出来。大量的数值分析方法和技术被用做这些软件开发的基础。不同的计算机软件公司会根据不同的标准和不同的理论开发自己的商业软件。市场上有很多用来进行相同分析的软件系统,这些商业软件可能有不同的特性和操作方法,有它们自己的数据输入、输出格式和交互界面。由于历史的原因、公司的传统以及个人的喜好,对于相同的分析设计过程,不同的设计用户会使用不同类型的软件。

计算机辅助设计系统的主要任务是对产品设计以及制造全过程的信息进行处理。这些信息主要包括设计和制造中的数值计算、设计分析、几何建模、工程绘图、机构分析、计算分析、有限元分析、优化设计、系统动态分析、测试分析、数控编程、动态仿真、计算机辅助工艺设计(CAPP)、工程数据管理等各个方面^[19]。

(1) 几何建模。产品设计构思阶段,系统能描述基本几何实体及实体间的关系;提供基本体素、构造实体的多种造型方法,为用户提供所设计产品的几何形状、大小,进行零件的结构设计以及零部件的装配;能动态地显示二维图形,解决三维几何建模中复杂的空间布局问题;同时还能进行消隐、色彩浓淡处理等。利用几何建模的功能,用户不仅能构造各种产品的几何模型,还能够随时观察、修改模型,或检验零部件装配的结果。

几何建模是计算机辅助设计系统的核心。它为产品的设计、制造提供基本数据,同时为其他模块提供原始信息。几何建模所定义几何模型的信息可供有限元分析、绘图、仿真、加工等模块调用。几何建模模块内,不仅能构造规则形状的产品模型,对于复杂表面的造型,系统可采用曲面造型或雕塑曲面造型的方法,根据给定的离散数据或有关具体工程问题的边界条件来定义、生成、控制和处理过渡曲面,或用扫描的方法得到扫视体,建立曲面的模型。小至U盘插套、手机机壳、液晶显示器机体,大到汽车车身、飞机机翼、巨型船舶舱体等的设计制造,均可采用此种方法。

(2) 工程绘图。很多产品的设计结果都以图形的形式出现, 计算机辅助设计系统中的某些中间结果也是通过图形表达的。计算机辅助设计系统一方面应具备从几何造型的三维图形直接向二维图形转换的功能; 另一方面, 还需有处理二维图形的能力, 包括基本图元的生成、标注尺寸、图形的编辑处理(比例变换、平移、图形拷贝、图形删除等)、显示控制以及附加技术条件等功能, 保证生成符合生产要求, 也符合国家标准的图样文件。

(3) 计算分析。计算机辅助设计系统构造了产品的形状模型之后, 能够根据产品的几何形状计算出产品相应的体积、表面积、质量、重心位置、转动惯量等几何特性和物理特性, 为系统进行工程分析和数值计算提供必要的基本参数。计算机辅助设计系统中的结构分析还需进行应力、温度、位移等计算; 图形处理中需进行变换矩阵的运算; 体素之间要进行交、并、差运算等; 在工艺规程设计中要进行工艺参数的计算。因此, 要求计算机辅助设计系统对各类计算分析的算法要正确、全面, 且数据计算量大, 还要有较高的计算精度。

(4) 有限元分析。有限元分析是一种数值近似解法, 用来解决结构形状比较复杂零件的静态、动态特性, 如强度、振动、热变形、磁场、温度场强度、应力分布状态等的计算分析问题。在进行静态、动态特性分析计算之前, 系统根据产品的结构特点划分网格, 标出单元号、节点号, 并将划分的结果显示在屏幕上; 进行分析计算之后, 将计算结果以图形、文件的形式输出, 例如应力分布图、温度分布图、位移变形曲线等, 使用户方便、直观地看到分析的结果。

(5) 优化设计。系统应具有优化求解的功能, 即在一定条件的约束限制下, 使工程设计中的预定指标达到最优。优化设计包括总体方案的优化、产品零部件结构的优化、工艺参数的优化、可靠性优化等。优化设计是现代设计方法学中的一个重要组成部分。

(6) 计算机辅助工艺设计。工艺设计为产品的加工制造提供指导性的文件, 是 CAD 与 CAM 的中间环节。根据建模后生成的产品信息及制造要求, 决策或自动决策加工该产品所采用的加工方法、加工步骤、加工设备及加工参数。其结果一方面能被生产实际所用, 生成工艺卡片文件; 另一方面能直接输出一些信息, 被 CAM 中的 NC 自

动编程系统接收、识别，直接转换为刀位文件。

(7) 数控编程。数控机床是由计算机控制的，而计算机又必须通过加工程序来控制机床。零件加工程序是控制机床运动的源程序，它提供数控机床各种运动和操作的全部信息，主要有加工工序各坐标的运动行程、速度、联动状态，主轴的转速和转向，刀具的更换，切削液的打开和关断以及排屑等。

数控编程的主要内容有：分析零件图样、确定加工工艺过程、进行数学处理、编写程序清单、制作控制介质、进行程序检查、输入程序以及工件试切等。

(8) 动态仿真。在编制数控程序的过程中出错是经常可能发生的，如输入进给方向的错误、切削深度和机床功率的超载等会导致刀具、机床的损坏。对产品从设计到制造的整个过程进行动态仿真，即在产品设计之后、投入生产之前，可以实时模拟出产品制造的全过程。借助于动态仿真系统，可以将数控程序的执行过程在屏幕上显示出来，从软件上实现零件的试切过程。利用动态仿真系统可以检查程序的结构错误、语法错误和词法错误。动态仿真系统可以动态模拟加工的全过程，还可以对给定的工艺极限值进行监控检测。

在 CAD/CAM 系统内部建立一个工程设计的实际系统模型，如机构、机械手、机器人等，通过进行动态仿真，代替、模拟真实系统的运行，用以预测产品的性能、产品的制造过程和产品的可制造性。如数控加工仿真系统，从软件上实现零件试切的加工模拟，就可避免现场调试带来的人力、物力的投入以及加工设备损坏的风险，减少制造费用，缩短产品设计周期。通常有加工轨迹仿真，机构运动学模拟，机器人仿真，工件、刀具、机床的碰撞、干涉检验等。

(9) 计算机辅助测试技术。这是一门新兴的综合性学科，它所涉及的范围包括微型计算机技术、测量技术、数字信号处理技术、信号的传输和转换技术、抗干扰技术及现代控制理论等。我国对计算机辅助测试理论和实践的研究已有很大发展，取得了很大的成绩，且在科研、生产中得到了十分广泛的应用。

(10) 工程数据管理。CAD/CAM 系统中的数据量大且种类繁多。有几何图形数据、属性语义数据；有产品定义数据、生产控制数据；