



国际机械工程先进技术译丛

CRC Press
Taylor & Francis Group

计算机辅助 注射模设计和制造

Computer-Aided Injection Mold Design and Manufacture

J. Y. H. Fuh

Y. F. Zhang

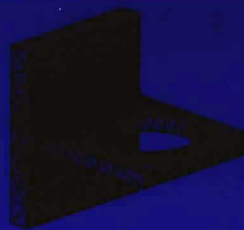
(新加坡)

A. Y. C. Nee

M. W. Fu

编著

徐佩弦 译



5-39



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TQ320.5-39
F830

技术译丛

计算机辅助注射模 设计和制造

(新加坡) J. Y. H. Fuh

Y. F. Zhang

A. Y. C. Nee

M. W. Fu 编著

徐佩弦 译

TQ320.5-39

F830



机械工业出版社

本书所述注射模具包括塑料注射模具和金属压铸模具。本书介绍了 CAD/CAM/CAE 最新的研究和发展成果,详细陈述了三维的注射模具智能化设计的计算机技术,描述了这些常用应用软件的结构和功能,主要内容包括塑料注射模具设计和装配、模具智能设计和装配、半自动金属压铸模具设计、CAE 在模具设计中的应用、计算机辅助模具制造的工艺规程、注射模具的早期成本概算、模具设计的 IMOLD 和 IMOLD-Works 软件介绍。

本书可作为 CAXA、原 UG、Pro/E 和 CATIA 等三维应用软件用户,以及注射模具设计和制造人员的参考书,也可作为模具智能设计的入门参考书。

Computer-Aided Injection Mold Design And Manufacture/by J. Y. H. fuh, Y. F. Zhang, A. Y. C. Nee, M. W. Fu/ISBN: 0-8447-5314-3

Copyright©2004 by Marcel Dekker, Inc. All right reserved.

China Machine Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体翻译版由机械工业出版社独家出版并在中国大陆地区销售。

未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

本书封面贴有 Taylor & francis 公司防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2008-4354

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机辅助注射模设计和制造/ (新加坡) 付 (Fuh, J. Y. H.) 等编著; 徐佩弦译. —北京: 机械工业出版社, 2009. 12

(国际机械工程先进技术译丛)

书名原文: Computer-aided injection mold design and manufacture

ISBN 978 - 7 - 111 - 29058 - 2

I. 计… II. ①付…②徐… III. ①塑料模具 - 计算机辅助设计②塑料模具 - 计算机辅助制造 IV. TQ320. 5 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 208986 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 陈保华 责任编辑: 崔滋恩 版式设计: 霍永明

封面设计: 鞠 杨 责任校对: 程俊巧 责任印制: 乔 宇

北京京丰印刷厂印刷

2010 年 1 月第 1 版 · 第 1 次印刷

169mm × 239mm · 19 印张 · 366 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 29058 - 2

定价: 52.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

译者序

20世纪90年代以来,计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助设计(CAD)和以有限元数值分析为基础的计算机辅助工程(CAE)都有了很大发展,目前已经被机械工程技术人員掌握和应用。近年来,高级的三维软件又开发了新的注射模具智能化模块。这种注射模具专家系统,从注射制品的三维造型开始进行注射充模流动等工艺分析,到模具装配体集成、模具零件加工的工艺规程优化和数控编程、早期的注射模具制造报价成本概算等,都能在计算机辅助下高效率完成。

在模具工程所有工作量中,设计工作占了20%,CAM编程占了8%。设计工作的一半与型芯和型腔设计有关。以高智慧的模具设计知识、模具生产和设计信息的数据库及三维实体造型和集成的计算机技术为基础,半自动地进行模具优化设计,提高了设计质量。如今网络信息技术的发展,支持和延伸了注射模具的CAD,使注射模具的设计和制造向前迈进了一大步。

本书所述的注射模具,包括塑料注射模和金属压铸模。书中介绍了CAD/CAM/CAE最新的发展和研究成果,详细陈述了三维注射模具智能化设计的计算机辅助技术,介绍了这些常用应用软件的结构和功能。

第1章概述了CAD/CAM技术对模具设计和制造的重要性及在产业中的影响,并讨论了存在的关键技术问题。第2章和第3章描述了塑料注射模具设计智能化专家系统的功能,阐述了分型面确定、型腔的数目和布局确定、型腔和型芯的优化设计、流道和浇口设计、模架选择、顶出脱模机构设计和冷却系统布置等。对侧向分型确定、外侧滑块机构和内滑杆抽芯机构的特征设计,也都给予了说明和示例。从成型特征的识别到模具装配体的集成,用注射模具的设计理论和计算机技术,阐述了智能化专家系统的研究和发展过程。第4章阐述了金属压铸模具的计算机智能化设计方法和步骤,以金属熔料为注射对象,全面介绍了压铸模专家模块的设计功能。第5章讨论了CAE和计算机数值分析在模具设计方面的应用。阐明了注射模具的流动、冷却、收缩和翘曲分析对提高制品和模具设计质量的意义。第6章深入讨论了计算机辅助模具制造和加工。对选择刀具、刀具路径生成和电火花加工中的电极设计等给予了完整的描述。这些内容对注射模具的CAM用户用数控技术加工复杂模具零件,满足高速切削加工要求,都有很大的用处。第7章的内容是计算机辅助工艺系统在模具制造应用方面的发展,讨论了应用计算机技术实现工艺规程的优化问题,并着重分析了侧滑块和内滑杆的工

艺规程。第8章介绍了早期的注射模具制造成本概算的研究。第9章给出了塑料注射模和金属压铸模两个模具智能化设计系统的实例。

本书原著者是新加坡国立大学的 J. Y. H. Fun 等几位教授，他们是注射模具的 CAD/CAM/CAE 方面的专家。本书全面而深入地介绍了他们的研究成果，在计算机辅助注射模智能化设计系统的运算法则、执行方法、系统结构等方面，有详细描述。CAXA、UG、Pro/E 和 CATIA 等三维应用软件用户，为了掌握高级三维应用软件，需阅读成堆操作手册。而本书能帮助他们更深入地理解这些软件。本书可为注射模具设计和制造者提供更有效的信息，也可以作为一本模具智能化设计入门的基础教材。

译者力求在理解的基础上，将文字处理得清晰、明确和流畅。对原著在注射模具技术和计算机技术的专业用语，按国内流行的习惯词语译出，公式、数据和商业信息等基本照搬，极少数难以理解的内容，在语句上作拘谨直译。译文中差错和缺憾在所难免，敬请读者谅解并给予批评指正。

华东理工大学高分子材料系 徐佩弦

序 言

模具制造是精密制造行业的重要组成部分。计算机、家用电器、医疗器械、汽车等消费类产品零部件的 70% 都由模具成型制造。目前, 缩短设计和制造周期、保证制品达到精确的尺寸和位置要求、实现全面的质量管理及快速的设计、灵活的修改等方面已经成为模具制造行业的发展瓶颈。为保持竞争优势, 迫切需要使设计过程自动化, 从而缩短周期和降低制造成本。近 20 年的 CAD/CAM 技术的发展对提高模具工程效率具有十分重要的意义。其综合的设计、分析和制造等功能, 对工程实践产生了巨大的影响。

尽管 CAD/CAM 技术在工程中有着广泛的应用, 但它在模具设计和制造中受到了相关方面的制约。现在, 很多制造厂都试用采用三维的 CAD 软件进行模具设计来提高生产力, 但软件的操作手册令人畏惧, 使得这些设计软件运用起来既耗时又易出错, 缺乏全自动或者半自动的系统。因此, 自 20 世纪 90 年代以来, 计算机辅助注射模设计系统, CADIMDS (computer-aided injection mold design systems) 的发展是一种必然趋势, 也成为了工业界和学术界的研究热点。

本书的写作目的, 是介绍塑料注射模和金属压铸模设计和制造方面最新的研究和发展水平。希望它能促进计算机辅助注射模设计系统 CADIMDS 的应用, 并促进这个关键领域有更大的发展。尽管大部分 CAD/CAM 供应商在积极开发模具设计和制造的应用模块, 但依然有许多技术问题需要解决。8 年来, 作者在新加坡国立大学, 进行关于模具智能设计技术方面的研究。在此期间的许多重要发现, 都写进了本书。模具设计智能化和集成系统的发展及商品化, 在本书各章节都有详细的陈述。对这个系统结构体系的介绍及详细的技术描述, 对 CADIMDS 在 CAD/CAM 市场上的发展十分有用。

第 1 章介绍了 CAD/CAM 技术在模具设计, 如工、夹具和注射模具设计等方面的历史背景, 突出了研究和发展成就的重要性及其在产业中的影响, 对瓶颈问题和技术疑问也有详尽的叙述。第 2 章介绍了塑料注射模及其模具设计的主要概念, 陈述了包括型腔、型芯、流道和浇口设计, 模架选择, 顶出脱模机构设计, 以及冷却系统布置等设计过程。关于注射件分型面和分型方向优化, 以及型腔和型芯的生成方面, 也都给予了说明和示例。侧向分型和内、外侧抽芯机构的特征设计是该章的重点。第 3 章主要介绍了全自动系统的模具智能设计及其集成技术。优化注射件的成型方向和分型面的线路及成型表面的计算法则等, 都通过具有代表性的例子来说明。第 4 章陈述了半自动的压铸模具的设计方法。它和塑料

注射模具的设计步骤是类似的，只不过它注射的是金属而已，如铝、镁等合金。参变量和基准面的设计步骤和方法，在这一章也有提及。

关于 CAE 和计算机分析在模具设计方面的应用，在第 5 章进行了介绍。这一章填补了注射模具设计和制造的空白，使得 CAD/CAM/CAE 系统在模具制造设计方面的应用更加完整。第 6 章讨论了模具制造和加工，包括型腔及型芯部件的细节，重点是如何来选择刀具，以保证在三轴加工中的切削自如。本章对电火花加工中的电极设计也有完整的描述。这些内容对于设计和使用数控技术加工复杂注射模的 CAM 用户有极大的用处。第 7 章的内容是计算机辅助工艺过程，CAPP 在模具制造方面的应用与发展。相关的步骤、执行及其模式等内容在这一章也有提及。模具制造工艺的编制和模具制造成本的初步估测等内容都在第 8 章。基于 UNIX 平台和 Windows 平台的模具智能化设计系统的案例研究，其相关内容都在第 9 章中给出。Windows 平台下，模具设计系统和参数化的造型设计系统的原理，都在本章通过示例得到了诠释。执行的细节也通过许多工程实例来体现。

模具成型和成型技术对大部分工程材料，金属和塑料的处理十分重要。本书还介绍了注射模具 CAD/CAM/CAE 方面的研究者、研究组织及相关大学，也尽可能全面和深入陈述他们的研究成果，并聚焦在能够产生全自动或半自动的计算机辅助注射模具设计系统，CADIMDS 的运算法则、执行方法、系统结构等方面。本书也试图为设计者和创新者在这个具有挑战性领域，提供有效的信息。本书可以作为一本设计手册或者作为模具智能设计的入门导读。我们真诚地期望通过这本书，让研究和工业领域在 CAD/CAM/CAE 关键技术方面，获得更大的成就。希望本书能够有益于整个工程领域。

J. Y. H. Fuh

Y. F. Zhang

A. Y. C. Nee

M. W. Fu

致 谢

我们受惠于下面所列举的个人和组织，正是在他们慷慨的支持，新加坡国立大学才能在过去 8 年里在模具智能设计及其研究方面取得了一定的成果，本书的出版才成为可能。

1) 新加坡国立大学 NUS (The National University of Singapore) 工程学院和机械工程系提供了研究基金，建立并指导模具研究小组，提供了相关资源。

2) 新加坡国立大学支持启动公司 (Manusoft Technology Pte. Ltd) 在工业企业和 CAD/CAM 团体中，帮助推广技术方面的研究结果。

3) 原名为国立科学技术部 NSTB (The National Science and Technology Board)，现更名为新加坡科学、技术和研究机构 (The for Science, Technology and Research. A*Star, Singapore)，主持了 IMOLD[®] 产品方面的关键研究项目。

4) K. S. Lee 副教授协同指导了一些学生实验，共同研究了各种试验项目，并对新加坡国立大学附属公司的启动做出很大贡献。

5) M. Rahman 副教授在协同指导和小组研究讨论方面有贡献。

6) Mr. Kok Ann、Mr. Victor Gan、Mr. Zhiqiang Zhao、Mr. Ying Wang、Mr. P. Sameer、Mr. LeshuLing 和 Mr. Xilin Liu，从软件公司提供了模具设计研究方案和图片。

7) Dr. Xiaogao Ye、Dr. Xiaoming Ding、Dr. Shenghui Wu、Dr. Li Kong、Dr. Liping Zhang、Dr. M. R. Alam、Dr. Yifen Sun 和 Ms Guohua Ma，提供了自己的部分研究结果。

最后，向我们的家庭成员表达谢意。感谢他们在整个出版期间给予的支持。他们的理解和支持对于这本书的完成来说是无价的。

J. Y. H. Fuh

Y. F. Zhang

A. Y. C. Nee

M. W. Fu

目 录

译者序

序言

致谢

第 1 章 概述	1
1.1 CAD/CAM 技术在模具加工中的应用	1
1.1.1 夹具设计	1
1.1.2 模塑成型和模具设计	3
1.2 注射模具方面的 CAD/CAM	5
1.2.1 塑料注射模具	6
1.2.2 金属压铸模具	7
1.3 综述	7
参考文献	8
第 2 章 塑料注射模具设计和装配	9
2.1 概述	9
2.2 塑料注射模具设计	10
2.2.1 注射成型及其模具	10
2.2.2 注射模具设计过程	12
2.2.3 模具设计的要点	14
2.2.4 模具的装配	23
2.3 模具的设计方法	24
2.3.1 模具的开发过程	24
2.3.2 自上而下和自下而上的设计方法	25
2.4 计算机辅助注射模具设计及装配	25
2.4.1 计算机辅助注射模具设计简介	25
2.4.2 注射模具的装配模型	26
2.5 综述	30
参考文献	31
第 3 章 模具智能设计和装配	33
3.1 概述	33
3.2 基于特征和关联的注射模具设计	34
3.2.1 特征建模	34
3.2.2 注射模具的装配	36

3.3 注射模装配的表述	39
3.3.1 面向对象建模的概念和要点	39
3.3.2 模具装配对象的引导	40
3.4 型芯和型腔的优化设计	43
3.4.1 最佳分型方向	43
3.4.2 分型线的产生	49
3.4.3 分型表面的确定	56
3.4.4 型芯和型腔的自动生成	59
3.5 型腔布局的自动设计	61
3.5.1 型腔数目和布局	61
3.5.2 多型腔的自动布局	65
3.6 成型特征的识别和推理	69
3.6.1 成型特征的分类和定义	69
3.6.2 成型特征的识别	70
3.6.3 提取成型特征的方向和范围	71
3.6.4 实体模型的图形表述	74
3.6.5 认知算法	82
3.7 侧滑块和内滑杆的侧型芯生成	84
3.7.1 侧滑块和内滑杆机构	85
3.7.2 侧型芯设计	86
3.7.3 识别型芯和型腔的成型	87
3.7.4 侧型芯的自动生成	89
3.8 系统实施和个案研究	91
3.8.1 系统结构	92
3.8.2 开发平台和编程语言	92
3.8.3 功能模块和图形的用户界面	93
3.8.4 应用实例	98
3.9 综述	103
参考文献	103
第4章 半自动金属压铸模具设计	106
4.1 概述	106
4.2 压铸模具设计原理	107
4.2.1 压铸模具设计	107
4.2.2 浇口和流道系统设计	109
4.2.3 模架设计	110
4.3 计算机辅助压铸模具设计	110
4.3.1 压铸模具的自动化设计	111
4.3.2 浇注系统的计算机辅助设计	111

4.4 型腔布局和浇注系统设计	112
4.4.1 型腔数目的确定	112
4.4.2 型腔布局的自动生成	114
4.4.3 确定浇注系统参数	115
4.4.4 浇注系统特征的设计	121
4.4.5 压铸件上浇口几何体的放置	124
4.4.6 注射套、主流道套和推料筒设计	124
4.5 模架设计	126
4.5.1 模架	126
4.5.2 模架结构和变量	126
4.5.3 参量化模架的装配模型创建	127
4.5.4 模架数据库的创建	128
4.5.5 模架的自动生成	129
4.6 型芯和型腔的生成	129
4.7 模具零件的自动裁减	129
4.8 系统的执行和实例	131
4.8.1 开发平台和语言	131
4.8.2 系统结构——模具向导	132
4.8.3 实例	136
4.9 综述	145
参考文献	145
第5章 CAE 在模具设计中的应用	147
5.1 概述	147
5.2 CAE 分析的功能和过程	149
5.2.1 分析过程	149
5.2.2 CAE 功能	150
5.3 CAE 在模具发展中的地位	150
5.4 CAE 在模具发展中的作用	152
5.4.1 CAE 的含义	152
5.4.2 注射制品设计的 CAE	155
5.4.3 模具设计的 CAE	156
5.4.4 工艺设计的 CAE	157
5.4.5 CAE 保证制品质量	158
5.5 应用实例	159
5.5.1 注射模的冷却分析	160
5.5.2 压铸过程的模拟	165
5.6 模具设计 CAE 的新挑战	168
5.7 综述	170

参考文献	170
第 6 章 计算机辅助注射模具与压铸模具制造	172
6.1 概述	172
6.2 模具加工过程的干涉检测	173
6.2.1 切削加工中的干涉	174
6.2.2 干涉的检测方法	174
6.3 三轴立式铣刀的干涉检测	179
6.3.1 局部干涉和球体干涉	180
6.3.2 示例说明	190
6.4 刀具的优化选择	190
6.4.1 前期工作	191
6.4.2 选择标准	192
6.4.3 加工时间和区域	194
6.4.4 步距和加工时间的预测	195
6.4.5 刀具选择算法	196
6.5 计算机辅助电极设计和加工	197
6.5.1 概述	197
6.5.2 EDM 电极设计原理	199
6.5.3 电极工具的设计	200
6.5.4 电极夹持部的设计	205
6.5.5 尖角干涉的检测	206
6.5.6 示例说明	210
6.6 模具设计修改和刀具路径的更新	214
6.6.1 概述	214
6.6.2 基本概念和理论	214
6.6.3 建议算法	215
6.6.4 示例说明	219
6.7 综述	220
参考文献	221
第 7 章 计算机辅助模具制造的工艺规程	224
7.1 概述	224
7.2 CAPP 优化模式的探讨	226
7.3 侧向滑块和内滑杆抽芯机构的 CAPP	227
7.3.1 侧向滑块和内滑杆抽芯机构的设计	227
7.3.2 混合的 CAPP 处理方法	228
7.3.3 工艺规程问题阐述	230
7.3.4 工艺规程的优化技术	232
7.3.5 讨论	237

7.4 系统的执行和示例	237
7.4.1 IMOLD-CAPP 系统	237
7.4.2 示例	241
7.5 综述	243
参考文献	244
第 8 章 注射模具的早期成本概算	245
8.1 概述	245
8.2 神经网络的近似成本函数法	246
8.3 注射模具中与成本相关的因素	249
8.4 神经网络训练	256
8.4.1 神经网络的构建	256
8.4.2 训练过程	257
8.4.3 训练和验证结果	258
8.4.4 不同成本范围的神经网络	260
8.5 综述	262
参考文献	262
第 9 章 个案研究：模具设计的 IMOLD[®] 和 IMOLD-Works	264
9.1 模具智能设计和装配系统	264
9.1.1 模具设计系统的基础知识	264
9.1.2 IMOLD [®] 概要	265
9.1.3 开发平台	267
9.1.4 功能模块	267
9.2 模具设计视窗和装配系统	271
9.2.1 三维 CAD 视窗系统	272
9.2.2 系统的执行	277
9.2.3 图形的用户界面 GUI	278
9.2.4 压铸模的视窗设计系统	282
9.2.5 示例说明	283
9.3 综述	286
参考文献	287
模具的专用术语	288

第 1 章 概 述

1.1 CAD/CAM 技术在模具加工中的应用

模具工程是制造工程中的重要组成部分。任何现有加工方法的直接改进或新技术的导入，都可显著提高生产效率和产品质量，并缩短设计和加工时间。这些改进将增强制造企业的竞争力，并使他们在竞争者面前保持优势。模具设计制造是制造加工业的一个重要领域。没有合适的模具，制造加工过程就会变得残缺，整体加工就会效率低下。模具设计师需要有熟练的技术和多年的实际设计经验。他们通过学习和实践获得知识，实际设计经验多于深入的科学分析和研究所获得的经验。随着 20 世纪 80 年代初期 CAD/CAM/CAE 工具的导入和电脑应用的加深，这一模式发生了迅速的改变。CAD/CAM/CAE 技术会在模具工业中，在缩短设计和制造周期方面，发挥越来越重要的作用。

本章将介绍 CAD /CAM 技术在模具设计方面应用的历史背景，着重介绍其在该领域的一些研究和发展成就。一方面是在本书的后面章节中将要讨论到的注射模和压铸模设计技术。另一方面是模具加工中的夹具设计技术，将讨论夹具在加工中的方向、位置和支承部件的设计等。所有这些方面，过去都依赖经验丰富的模具设计师。然而，不幸的是，由于这些必要的技能需要较长时间去获取，使得年轻一代不想加入到这个行业中，导致模具人才在全世界都是短缺的。

1.1.1 夹具设计

1. 简介

夹具是辅助加工、装配、检测及其他加工操作中常用的机械装置。这种装置以一种可以预测和重复的方式，确定和保持工件间的相互关联，保证设计要求的位置和方向。随着 CNC 技术性能的增强，多轴数控加工机床能够执行相关操作并能减少装夹加工工序，使设计夹具的任务变得稍微简单。可是，制造新夹具依然需要应对更快的响应时间，以缩短设计和制造周期。柔性制造系统，FMS 的迅速发展和应用增加了对万能夹具的需求。因为缺乏灵活性，而且重复使用效率低，使得使用多年的传统夹具已经不能满足现代制造业的要求。对于更小的批量和更快投产的要求，具有标准组件和灵活性的标准夹具，在自动化制造系统中替代专用夹具优势极为明显。

标准夹具是由底座、定位件、支撑件和紧固件等标准元件组成的。这些元件已被设计成拆卸后可重复使用的结构，能够装配到一起而不需要额外的加工操作^[1]。应用标准夹具的主要优势在于它们的灵活性，且能够减少预期的制造时间和成本。夹具设计的自动化，尤其是基孔制的采用，是基于标准夹具的概念的^[2,3,4]。这主要是因为标准夹具具有下列特征：

- 1) 可预测和有限数目的定位和支撑位置，能引导寻找并确定最适宜的精确位置。
- 2) 装配和拆卸轻松，且使采用机器人装置完成自动装配成为可能。
- 3) 由于采用有限数目的元件组合，使专门的设计规则相应减少。

2. 计算机辅助夹具设计

对夹具设计导入计算机辅助完成的研究始于 20 世纪 70 年代末、80 年代初。最初，交互式或半自动的夹具设计技术是建立在商业的 CAD/CAM 系统和专用的工具系统上的。计算机辅助设计标准夹具见图 1-1。其主要步骤和夹具的结构有关，还有其他方面分析，如工件、夹具、切削刀具间的交互作用等。

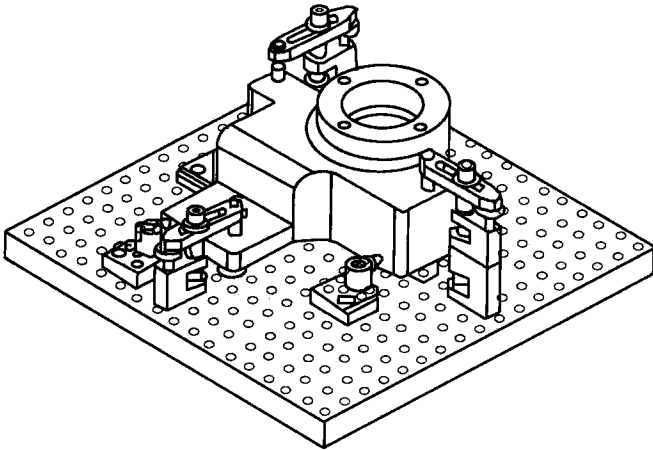


图 1-1 计算机辅助设计标准夹具^[2]

全面的夹具研究应当包括多方面的计算分析，包括几何学、运动学、力学及变形的分析计算。下面将对这些方面的研究作一个大纲式的表述。设计一个智能型的夹具，也能够综合借鉴这些分析的工具。

(1) 几何学分析

几何学分析和夹具的设想及空间推理关系紧密。它决定了夹具元件的选择种类和数量，如定位和固定元件、基准平面的要求等。这些分析也包括了工件和夹具元件及切削刀具间干涉的检查。

早期的夹具研究大多包括几何学分析和夹具构架的综合分析，却对相关的运动学分析和变形分析关注较少。

(2) 运动学分析

运动学分析用来确定夹具结构，是否能够对工件提供正确的定位和完全的约束。

先前的夹具设计工作在标准夹具设计和制造中很少自动提供全面的夹具元件数据库和有效的装配方案。标准夹具的装配就是配置夹具元件，比如将定位元件、夹紧元件和支承件，根据夹具的原理装配在底座上。装配标准夹具是定位、支承和紧固点的确定，也是夹具自动化设计的关键点和难点。

(3) 力学分析

夹具工作时要承受不同作用的力，有惯性力、重力、切削力和夹紧力等。前面三种力较容易预知。而夹紧力则随着工件大小、受力点、加工程序等条件的不同而不同。

众所周知，把夹具里所有作用力进行完全的分析是件困难的任务。因为存在有大量夹具零件的不确定性问题。当摩擦力计入计算时，这个问题就变得更加的复杂。因为静摩擦的大小和方向都是未知的。夹紧力分析方面的最新成就可以查阅参考文献 [5, 6]。

(4) 变形分析

由于复合力的相互作用，工件的变形可以描述为各种因素的综合。首先，工件会在高速切削力和夹紧力的作用下变形。其次，如果工件的支承和定位零件没有足够的刚度来抵御上述力的作用，该工件也会变形。已经公开的文献资料都假设工件的变形，主要由上述的第一种情况产生的。最有效的工件变形和夹紧力分析是有限元分析法。

1.1.2 模塑成型和模具设计

模塑生产和成型模具制造是个重要的支柱产业。在消费类产品中，70%的非标准件的成型制造与模具有关。模塑制品具有批量小、种类多的特点。设计和制造周期短、尺寸精度和质量要求高，以及设计的迅速变更等，已经成为模塑和模具工业发展的瓶颈。模塑和模具制造厂都希望在国内和国际市场上保持它们的领先优势，都通过采用先进的制造设备、自动化的制造方法及提高工人的技术水平等手段来努力缩短制造周期。

在1909年，贝尔克兰德和他的同事用甲醛和苯酚合成了一种命名为酚醛树脂的合成新材料，标志着塑料材料开始应用。现在习惯使用的塑料，是指能模塑成复杂形状的有机合成材料。塑料件的结构可以设计得比金属铸造件和冲压件更复杂，更细致。而且塑料制品的批量成本低，订货至交货时间短。实际上，几乎

每个平常的产品上都有塑料件，因此塑料注射模有大量的需求。

在塑料注射成型过程中，注射前需要在模具之外容器中通过加热和机械剪切，使塑料材料变成粘流态。接着在外部高压作用下将其注入模具。两半模具在锁模压力作用下，液态软化的塑料会冷却固化。开模后将注射件脱出。接着整个循环重新开始。注射件的精确度、冷却效率及循环时间等，依赖于模具设计及其注射操作的控制参数。图 1-2 所示为注射模具的型腔和嵌入型芯。

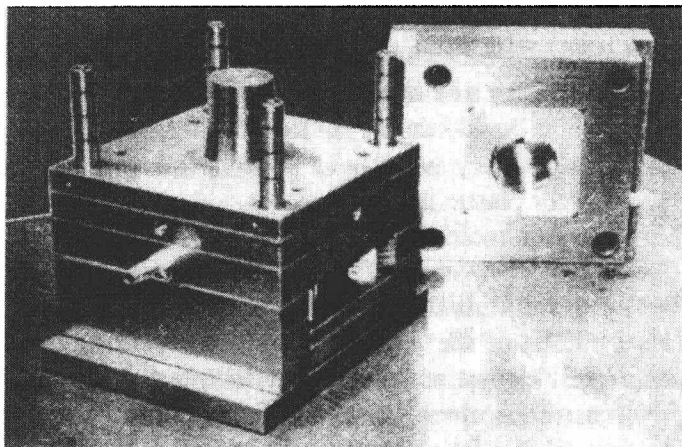


图 1-2 注射模具的型腔和嵌入型芯

过去，成型制造在很大程度上是凭经验的积累，依赖于富有技能的技工。他们经过学徒训练，并通过数年的实践，获得专门的技术。年轻的一代不愿意经过长时间的培训，他们更加青睐于其他工种。经过培训的技工正在迅速地减少。随着 20 世纪 70 年代末期 CAD/CAM 技术的引进，这一情形在某些领域内已经得到改善。模具制造在很大程度上，已经从个人获取知识，变更到基于计算机智能系统取得知识。但同其他制造领域的计算机应用相比较，模具设计进步较为缓慢。最近，应用于模具制造和成型产业的商品化软件已经出现。

在模具制造工业方面，最新的计算机辅助制造的研究数据显示^[8]，模具设计占了在模具工程所有工作的 20%，CAM 编程占了 8%。这 20% 左右的设计工作的一半，与型芯与型腔的设计有关。剩余的工作和模架的选择及准备用于制造的模型有关。通过这个分析可以看出，模具设计是模具工程中最主要的部分。设计工作的高度集中，使得许多软件系统聚焦于从模具设计角度提供解决方案。这些软件系统能够从多个设计角度帮助工程师完成设计，如自动化的分型面确定、型芯和型腔的设计、流道和浇口的确定、模具内部的温度分布的分析、模内塑料熔体的流动分析及不同模架选用的效用等。