

467

TG750.2
R44

计算机辅助夹具设计

融亦鸣 朱耀祥 罗振璧 著



机械工业出版社

本书在对夹具结构和性能进行分析的基础上运用几何推理和分析验证技术,根据加工零件设计图和工艺信息,进行夹具计算机辅助设计(CAFD)和验证,以求得到可直接用于生产实际的夹具设计图和相关文件。第1~3章主要介绍夹具和CAFD技术的发展历程,以三维几何为基础阐明了夹具设计原理,以及现代组合夹具的基本知识。第4~7章介绍了CAFD的三代系统和当前研究情况。第8~12章的几个专题作为夹具设计分析、校核的依据,并为最终优化设计奠定基础。第13章介绍CAD/CAM集成的夹具规划和安装规划。

本书供夹具设计人员和工艺人员参考,也可供高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助夹具设计/融亦鸣等著. —北京:机械工业出版社, 2002.1
ISBN 7-111-09611-8

I. 计… II. 融… III. 夹具-计算机辅助设计 IV. TG750.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第088523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:熊万武 版式设计:霍永明 责任校对:韩晶

封面设计:鞠杨 责任印制:付方敏

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2002年2月第1版·第1次印刷

1000mm×1400mm B5·10.125印张·394千字

0 001—4 000册

定价:25.00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

序 言

人类的第一项发明就是选取锋利的石块作为工具。从旧石器时代开始,工具成为人类文明进步的标志。机器、机床和相关工艺装备都是工具的延伸和扩展。20 世纪制造业的历史证明,无论机器、机床和工艺装备以及它们组成的制造系统如何革新和改进,工具(含夹具、刀具、辅具、量仪与量具)的功能并未削弱,它们的革新从未停止过。

制造业中尤其是机械制造业,在产品生产过程中按照特定工艺,不论其生产规模如何,都需要种类繁多的工具或称作工艺装备(Tooling),而制造业产品的质量、生产率、成本以及柔性无不与工具有关。工具或工艺装备的应用是产品生产过程的一个组成部分,非此不足以完成制造。随着制造业的全球化,竞争空前激烈,新产品上市的速度成为竞争的一个焦点。因此,如何压缩工具或工艺装备设计所需要的生产准备时间及设计制作成本,成了计算机辅助工艺装备(Computer Aided Tooling 简称 CAT)研究的重要领域。夹具和模具是各类工具中最复杂和随产品不同而专用化程度最高的工艺设备。其中模具 CAD 研究开始较早,并已在市场上出现了一些商品化设计软件,在部分模具设计过程中得到了不同程度的应用。但对夹具来说情况不是这样,虽然 20 世纪 70 年代开始出现了研究工作,20 世纪 80 年代以后夹具设计理论的研究和 CAD 系统的开发变成国际上制造研究的一个热点,但其时离开真能用于生产实际的商品化软件尚有不小的距离。柔性制造系统(FMS)的扩大应用,计算机集成制造系统(CIMS)的兴起,对实用化夹具设计软件提出了更为迫切的需求。

从 20 世纪 60 年代开始,本书作者就从槽系组合夹具到孔系组合夹具进行了研究和开发,对组合夹具从理论到生产应用都连续地做了大量工作,促进了我国组合夹具应用和行业的发展。鉴于计算机技术日渐成熟,微型计算机性能的提高,在经过了一段时间准备以后,从我国第七个五年计划开始,结合“数控机床 CAD”攻关项目,我们开始了以微机为平台的槽系组合夹具 CAD 软件的研究开发工作;到 20 世纪 90 年代初期在清华大学 CIMS 实验工程研究中心(ERC/CIMS)又进行了以工作站为平台的孔系组合夹具 CAD 软件的开发。与此同时,20 世纪 90 年代以来,由美国 NSF、SME 经费资助和美国 blüco 夹具公司产品支持为契机,先后在美国南伊利诺伊大学(SIUC)和吴士脱工学院(WPI)开始了历时十年并至今仍在继续进行的夹具 CAD 的研究开发和工业应用。已在微机和工作站上对夹具 CAD 进行了较大规模的理论分析、研究、实验和软件系统的

开发工作,取得了显著的成效;并完成了以 Autocad、solidwork 等为支持软件的微机版和 Pro/E、UG-II 等为支持软件的工作站版的孔系组合夹具的准商品化软件。这些软件已在美国 Ingersoll 机床公司、Pratt & Whitney 发动机公司得到应用,并在 Caterpillar 工程机械公司、GM、Ford 汽车公司继续推广。

CAFD 的早期开发是建立在成组技术 (GT) 的基础上,通过相似夹具的查找,利用 CAD 的图形库和操作功能来实现 CAFD。嗣后将基于人工智能思想的专家系统应用于夹具设计,进行定位方案、夹具元件选择的决策,但是规则本身并不能生成夹具设计,缺乏与 CAD 系统的直接联系,就不能处理复杂的几何信息。接着又有以运动学分析为主的定位点、夹紧点的确定工作,以及借有限元分析工件变形,对支承点位置进行优化的工作。但所有这些,都不能生成夹具设计的结构图形,而且分析也是不全面的。在我们的工作中,侧重于夹具结构、性能分析、运用几何推理和分析验证技术。基于加工零件设计图和工艺信息,进行夹具的设计和验证,力求得到可直接用于生产实际的夹具设计图和相关文件。

多年的工作在计算机辅助夹具设计 (CAFD) 领域已经形成了我们自己的理论体系和软件系统,不仅能用于组合夹具,而且可应用于专用夹具、可调整夹具 (包括成组夹具) 的设计;不仅可用于机械加工夹具,也可用于焊接、装配等其它工艺过程的夹具设计。出版此书的目的是将这些研究开发成果奉献出来以推动我国计算机辅助夹具设计 (CAFD) 技术的发展,本书既可作为满足相关专业高年级本科生、研究生的教材,也可作为 CAD/CAM 领域研究开发人员、制造工程师和高校相关专业教师的参考书。本书第 1、2、3 章主要介绍了夹具和计算机辅助夹具设计 (CAFD) 技术的发展历程,以三维几何为基础阐明了夹具设计原理,以及现代组合夹具的基本知识。第 4~7 这四章介绍了计算机辅助夹具设计 (CAFD) 技术开发过程中的三代系统和当前研究情况。第 8~12 章是 CAFD 的专题研究,作为夹具设计的分析、校核依据,并为最终优化设计奠定基础。最后第 13 章既是 CAFD 和 CAD、CAM 中其他部分集成的基础,涉及制造系统规划、设计等领域,也是 CAFD 技术进一步发展的方向。本书均以孔系组合夹具为对象来阐明原理和算法,这不仅是我们已经开发出准商品化的计算机辅助孔系组合夹具设计软件包,更因为组合夹具元件少并且全部标准化,便于系统的研究和开发。不论何种类型夹具其基本原理都是相同的,只要对系统结构和算法作些变化,再对各类夹具的专门问题作一些补充的研究,如对专用夹具中夹具体生成的研究,同样能开发出计算机辅助专用夹具设计软件包 (现已有这方面的文章发表) 和计算机辅助可调整夹具 (包括成组夹具) 设计软件包。

夹具设计本质上是一种经验设计,现有的任何类型的机械设计,不论是机床、汽车,还是农业机械、工程机械、轻工机械等也都摆脱不掉经验设计的重要影响。但是,由于各类机械大都规模大、结构复杂、系统综合,在 CAD 技术飞

速发展的今天, 应该如何建立 CAD 设计系统并对设计结果进行校核优化, 仍是一个有待解决和许多学者关切并研究的课题。夹具虽小, 但 CAFD 的研究和开发也可为大中型机械 CAD 系统的开发提供有益的经验和借鉴。20 世纪 90 年代初本书作者在 West Lafayette 访问美国 Purdue 大学工业工程系华裔学者刘中鸿教授时, 不约而同地得出了这一结论。

从开始涉足 CAFD 到本书出版已经过去 15 年了, 经过前后三代人的努力, 我们特别感谢先后在中国清华大学、北京机械工业学院和美国南伊利诺伊大学 (SIUC)、吴士脱工学院 (WPI) 就读的数十位学生、研究生和访问学者共同奋发努力和开创性的工作, 才得以完成此书的主要内容。从本书的参考文献中可以看到他们的名字而不在这一列举了。本书总结了 1997 年以前的研究工作, 目前我们的研究仍在继续进行, 并向着夹具结构设计 (组合夹具和专用夹具)、设计校验和优化, 以及夹具设计规划即 CAD/CAM 集成的方向发展。

本书已由美国 Marcel Dekker 公司在美国出版了本书的英文版 (Computer-aided Fixture Design, 1999)。为了便于我国广大读者阅读, 在机械工业出版社大力支持下出版了中文版。和英文版不同之处是, 中文版针对中国读者的情况重新改写了第 1 章, 增加了各类柔性夹具的图形; 从第 4 章到第 13 章, 对每章引言及有关前人的研究作了更为简炼和清晰的阐明; 此外, 还更正了原英文版中少数公式和图中的错误; 最后重新整理了中、外参考文献。在所整理的英文文献中, 包含了近 20 年来在研究计算机辅助夹具设计领域中出现的重要文章, 是颇有价值的较完整的参考资料。应该向读者说明的是, 因为所做的研究工作是分别在中国和美国进行的, 所以书中所用长度计量单位既用法定计量单位也用英制计量单位。为了避免统一成法定计量单位后发生不圆整或不对应的情况, 因此, 中文版两种单位制并存, 希望读者鉴谅。值此 21 世纪开始, 我们仅以此书作为向新世纪献上的一份薄礼。

限于作者的学识, 如有错误、疏漏或不当之处尚祈广大读者不吝指出, 则不胜感激。

融亦鸣 朱耀祥 罗振璧
1999 年岁尾 北京清华园

目 录

序言

第 1 章 导论	1
1.1 夹具	1
1.2 NC 加工中使用的夹具	2
1.3 柔性夹具	3
1.4 计算机辅助夹具设计	9
第 2 章 夹具设计原理	11
2.1 夹具设计的基本要求	11
2.2 工件定位原理和定位误差	12
2.3 夹紧原理与夹紧力计算	26
2.4 夹具设计过程	36
第 3 章 组合夹具	38
3.1 组合夹具的发展过程和使用后的技术经济效益	38
3.2 槽系组合夹具系统	40
3.3 孔系组合夹具系统	46
3.4 使用组合夹具的成本分析	53
3.5 使用组合夹具的管理工作	56
第 4 章 交互式计算机辅助夹具设计	59
4.1 I-CAFD 系统的总体结构	59
4.2 定位/夹紧模式分析和分类	61
4.3 夹具元件的选择	69
4.4 工件信息的提取与处理	71
4.5 夹具元件的装配	75
4.6 I-CAFD 系统应用举例	80
第 5 章 基于成组技术 (GT) 的计算机辅助夹具设计	89
5.1 引言	89
5.2 夹具设计过程分析	91
5.3 夹具结构分析	92
5.4 装夹特征分析	94
5.5 装夹特征信息的表达	97
5.6 夹具设计相似性分析	99
5.7 系统实施	101

第 6 章	组合夹具结构的自动化设计	111
6.1	引言	111
6.2	组合夹具结构分析	112
6.3	建立组合夹具元件装配关系数据库 (MFEARDB)	119
6.4	组合夹具结构自动化设计	131
6.5	组合夹具结构设计实例	138
第 7 章	基于约束的夹具装配建模与设计	142
7.1	引言	142
7.2	基于约束的装配建模	144
7.3	基于约束的组合夹具设计	153
7.4	基于约束的夹具设计实施	158
第 8 章	组合夹具自动化设计的几何分析	164
8.1	引言	164
8.2	几何约束条件	167
8.3	装配分析	171
8.4	三维夹具结构	178
8.5	定位精度分析	181
8.6	夹紧规划	185
8.7	夹具可及性	189
8.8	小结	190
第 9 章	装夹精度分析和校核	192
9.1	引言	192
9.2	加工精度分析	193
9.3	定位误差分析	209
9.4	夹具设计中的定位精度校核	222
9.5	小结	223
第 10 章	装夹表面可及性分析	224
10.1	引言	224
10.2	对装夹表面的基本要求	225
10.3	可及性分析	226
10.4	装夹表面可及性分析的实施	234
10.5	小结	238
第 11 章	装夹刚度和装夹稳定性校验	239
11.1	装夹刚度	239
11.2	槽系组合夹具的装夹刚度	241
11.3	孔系组合夹具的装夹刚度	249
11.4	装夹稳定性校验	252
第 12 章	自动校验夹具设计的快速干涉检查算法	262

12.1	引言	262
12.2	在夹具元件和刀具路径之间检测干涉	265
12.3	夹具元件之间的干涉检验	277
12.4	有关算法的改进	278
12.5	干涉检验的实施	280
第 13 章	与 CAD/CAM 集成的夹具规划和安装规划	284
13.1	引言	284
13.2	制造特征	285
13.3	夹具规划	290
13.4	安装规划	301
13.5	小结	306
参考文献		307

第 1 章 导 论

不论是传统制造，还是现代制造系统，夹具都是十分重要的。夹具对加工质量、生产率和产品成本都有直接的影响。花费在夹具设计和制造的时间不论在改进现有产品或开发新产品中，在生产周期中都占有较大的比重。所以，制造业中非常重视对夹具的研究（Thompson, 1986）。

1.1 夹具

夹具广泛用于各种制造工序中，用以将工件定位并牢固地夹持在一定的位位置，以便按照产品设计规定完成要求的制造过程，并因不同的批量如单件、成批和大量生产而使用 and 开发不同的夹具。在加工过程中工件的几何精度主要取决于工件对机床的相对位置，严格地说必须在机床、刀具、夹具和工件之间保持正确的相对位置关系，才能保证工件各加工表面间相互位置精度。显然，对夹具的基本要求就是将工件定位并固定在给定的位置，并在机床工作台上有一定的方位。为了将工件定位，经常用定位件和支承件与工件定位表面相接触以限制工件包括移动和旋转在内的六个自由度。为了将工件固定在夹具上，常用夹紧来抵消切削力，以保持工件位置的稳定。

工件的定位表面可以是平面，外圆柱面，内圆柱面，夹具中的定位方法有三个平面，一面两孔、二面一孔和长短 V 形块等。夹紧方法可分成侧面压紧和顶面压紧，形成垂向和侧向夹紧力和摩擦力。除了满足基本夹紧要求，除夹具的制造精度外，夹具还应有足够的刚度以抵抗加工时的变形和振动。应该仔细选择夹紧方法和夹紧位置以便可靠地夹持工件。

夹具设计中，除要保证基本要求外，还要满足其他的要求，如保证夹具的生产率（如容易装卸工件，采用半自动或自动夹紧装置，切屑容易排除），为减少薄壁件变形的专门设计，操作简单并安全（如对贵重工件采用防误功能的元件），有效降低成本（考虑夹具材料和制造过程，优先选用标准元件）。因此，夹具设计是一个复杂的过程，在手工设计夹具中，这些基本原理应用于具体夹具设计中主要取决于设计者的经验。从夹具设计人员的经验中收集和表达这些知识是开发计算机辅助夹具设计（CAFD）系统中一个关键。

生产批量的大小通常是决定装夹方法和夹具结构的重要因素。大量生产中特别强调高效装夹，这可以大大提高生产率和经济效益。此时即使夹具成本高昂，

设计制造时间长，但分摊在每个工件上的成本还是很低的，此时夹具中效率比柔性更为重要。所以大量生产中广泛使用专用夹具，夹具设计中在特定工序下对夹具结构考虑得很完美，例如，为了减少辅助时间采用快速装卸工件和自动夹紧装置。作为制造工艺装备的一部分，专用夹具对推动制造系统自动化，特别在汽车工业中作出很大的贡献。由于大量生产的性质，将工艺过程分为许多简单的工序在不同的机床上进行，并用连续的工件传输流水线连接在一起，这就是基于工序分散的工艺过程。专用夹具是专门为每一道工序根据其操作性质设计的夹具结构。所以，每一工序都能快速进行并容易保证工件的工序公差。使用专用夹具的主要问题是缺乏柔性和需要很长的设计制造周期。一旦修改产品设计（例如形状和尺寸有了改变），有关的专用夹具就不能再使用而报废，从这一意义上说，专用夹具是一种一次性使用的夹具。对今日的汽车工业而言已经需要在一定范围内具有柔性的夹具，以便适应产品的变化。

单件小批生产中的情况就不一样，因为要制造几何形状和加工要求多种多样的零件，夹具的柔性就变得十分重要，不能忽视夹具设计和制造的成本和生产周期，因为他们在总的生产成本和生产准备周期中占有较高的比例。当更加重视夹具的基本要求而放松对夹具的辅助功能要求时，需要设计制造时间短同时又更经济的夹具。专用夹具在经济上是不可行的，而使用通用夹具如虎钳和可替换卡爪的卡盘（带有可重复使用的钳口）；多数情况下，遇到复杂的装夹任务时可以用专用的钳口和卡爪，当然设计制造这些专用件时也要花费许多时间和不少资金。当不采用这些专用件时，就需要在这些通用夹具中花费大量时间和努力来测量和校正工件的位置，以便和机床，主轴对准。所以为了对不同的几何形状的工件都能进行装夹，就应该开发应用其他柔性装夹方法和夹具。

随着计算机辅助设计制造技术的发展（CAD/CAM），特别是制造业中愈来愈多使用计算机数控（CNC）机床和加工中心，产品的开发更趋向于广泛的多品种和小批量。由于产品的生产周期愈来愈短，制造厂商更加意识到需要柔性制造系统（FMS），通过无需增加库存而减少送货时间，达到保持竞争力和增加利润的能力。近年来由一台或超过一台的 CNC 机床或加工中心的柔性制造单元（FMC）得到快速发展，使用 CNC 机床，在修改产品设计时，只要变更 NC 程序加工工艺就能随之变化，而 NC 程序借助于计算机辅助编程系统只要花一天或数个小时的时间就能完成修改。刀具是高度标准化的，随时可以从市场采购。如果还使用现有夹具或不用柔性夹具，FMS 就不能实现真正的柔性，所以在 FMS 和计算机集成制造系统（CIMS）中迫切需要能适应产品变化的柔性夹具。

1.2 NC 加工中使用的夹具

随着 CNC 机床和加工中心在生产中的普遍使用，机械制造的各行各业中纷

纷用 CNC 机床加工各种机械的主要零部件如机座、箱体等。这类零部件精度要求高，在产品的总工时中占有很大比重。数控加工后不仅质量容易保证，也提高了生产率，缩短了交货时间。所以机械加工的过程中愈来愈多采用工序集中而摒弃分散。在加工中心上，工件在一次安装条件下，完成过去要多道工序才能完成的多个加工表面。粗精加工往往可以在同一机床上进行。很多复杂的工件，在普通机床上完成基准加工后，在不超过 3 次安装条件下在加工中心上就能完成全部加工。现代的五面加工中心，用精基准定位后，原则上一次安装就能完成工件的全部加工。根据不同的生产条件普通机床和加工中心（或 CNC 机床）混合使用和工序的高度集中将是新世纪机械加工工艺的大势所趋。

现代 CNC 机床既具有很大柔性也是高度自动化的，一切 CNC 机床和加工中心都有控制精密运动和多种加工的能力。例如，加工中心具有 3 轴或多轴控制用以在给定的位置上对工件进行钻、镗和铣削加工，切削深度（背吃刀量）和进给距离都能作精确的控制。通过多线段对曲线的逼近可以加工曲面。带有转台的加工中心还可以实现刀具和工件之间空间角度的加工。加工中心都带有刀库，根据程序可实现自动换刀。藉助于转台在一次安装下可以加工不同方向上的多个表面。因为机床各轴都有高精度进给伺服系统，所以工件加工后的精度远远超过了普通机床的加工精度。

CNC 机床的上述特点对夹具设计产生了直接的影响，传统夹具以专用夹具为代表主要有 4 种功能，即定位、夹紧、导向和对刀。由于 NC 系统的准确控制和精密机床传动中小摩擦和零间隙的实现，以及采用传统转塔车床工艺中钻孔的方法，不用导向钻套也可得到较高的孔的位置精度。此外，编程中可以决定刀具的正确位置，而且加工中心还具备触头和测量的功能，铣刀的对刀就能轻而易举地得到解决。此外，一次安装下的多工步加工，不同加工部位之间的尺寸公差和位置误差都由机床代替夹具来保证。可见，在 CNC 机床和加工中心上使用的夹具，只需要具备定位和夹紧两种功能就能满足要求。“夹具”一词在英文中用“Jig and Fixture”两个词来表示，前者指钻模，现在既然不用钻模，当前夹具文献中也只看到“Fixture”或“Fixturing”一词了。夹具中取消了导向和对刀功能就使夹具种类减少，结构简化，这些都有利于 CAFD 系统的实现。

1.3 柔性夹具

一般来说，柔性夹具是指用同一夹具系统装夹定位在形状与尺寸上有所变化的多种工件。但是工件变化可以在小范围，即在相似的形状和尺寸变动不大的范围内，也可在大范围，即零件形状完全不同，尺寸变化也很大。所以，柔性概念是含糊的，没有明确的定义和界限。笼统地说，就指与 NC 机床、加工中心配合

使用的、具有加工多种不同工件能力的夹具。自 20 世纪 80 年代后柔性夹具的研究开发主要沿原理和结构均有创新和传统夹具创新两大方向发展。表 1-1 为当前研究和应用的柔性夹具的工作原理和分类的简表。

表 1-1 现代柔性夹具原理方法及分类表

分类	柔性工作原理	子分类
组合夹具	标准元件的机械装配	槽系组合夹具 孔系组合夹具
可调整夹具	在通用或专用夹具基础上更换元件和调节元件的位置	通用可调夹具 专用可调夹具
模块化程序控制式夹具	用伺服控制机构变动元件的位置	双转台回转式 可移动拇指式
适应性夹具	将定位元件或夹紧元件分解为更小的元素以适应工件的形状连续变化	涡轮叶片式 弯曲长轴式
相变材料夹具	材料物理性质的变化	真相变材料夹具 伪相变材料流态床夹具
仿生抓夹式夹具	形状记忆合金	用于机器人终端器 也可用于夹具

1.3.1 原理和结构均有创新的柔性夹具

(1) 相变和伪相变式柔性夹具 一些材料具有可控的相变物理性质（即从液相到固相，再变回液相），可以应用在柔性夹具中，相变的机制一般是热效应或电磁感应。所用材料有铋基低熔点合金，聚丙烯腈类高分子聚合物等。相变机制必须易于控制，相变材料（简称介质）必须对工件和人无害（Hazen, 1990）。这类夹具通常都有一个充满介质的容器，当材料液相时将工件埋入液体中，然后改变条件（如升温或降温），在液相变成固相时，将零件夹持并固定，然后进行加工。加工结束后再将介质恢复成液相，就可将工件取出。由于升降温容易引起工件的热变形而影响精度。因此，现正研究用电场或磁场控制介质。介质在固态下的强度与刚度是柔性夹具应用的关键。图 1-1 为用叶片曲面定位加工叶片根部榫头的封装块式柔性夹具。图中先将叶片用相变材料在模具中安装并固化，然后从模具中取出工件封装块，将封装块安装在夹具中加工叶片根部榫头，最后再通过介质相变后，取出加工完毕的叶片。

为了避免热致相变的负面效果，又研究出伪相变材料，这是用颗粒液态床来模拟相变材料的双相性质（Thompson, 1985; Lange, 1989）。其基本原理来自真空密封袋装咖啡。图 1-2 为流态床式夹具，床中布满细小金属颗粒，床底有一多孔板，板下为进气口。床中放入标准夹具元件，元件埋在颗粒中，当关闭进气

口时, 由于重力颗粒形成块状固体并辅以液压压板压紧, 犹如夯实。将工件定位夹紧后就可加工工件, 加工后打开进气口, 压缩空气进入并松开压板, 颗粒恢复成松散状就可取出工件。此类夹具, 目前只能用于曲面定位或加工力轻微的精加工等少数情况, 许多问题尚待研究。

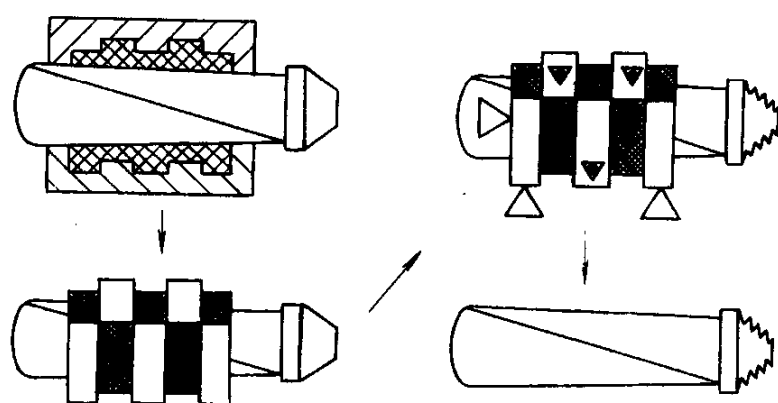


图 1-1 封装块式相变材料夹具

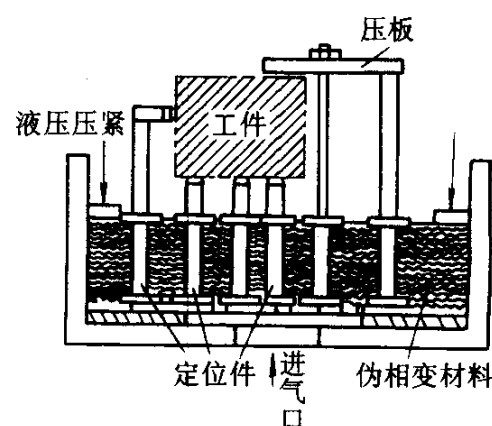


图 1-2 伪相变材料流态床式夹具

(2) 适应性夹具 所谓适应性夹具是指夹紧元件能自动适应工件形状的夹具, 是一种被动式的装置。当夹紧时能改变形状与工件相适应。图 1-3 为带有多叶片的虎钳, 一个钳口是固定的, 另一个钳口由穿在转轴上的多叶片组成, 当其他运动受限制时叶片可绕轴自由转动以适应工件形状。可用于夹持横截面不规则变化的长工件, 所以此类夹具也只适合带有曲面的或特定的工件。

(3) 模块化程序控制式夹具 一类由数字控制的定位件、夹紧件和支承件组成的装置, 可以放在机床工作台上或代替机床工作台, 然后通过程序作出多种不同布局的机电控制式夹具已研究开发并用于 FMS 中 (Tuffentsammer, 1981)。图 1-4 即为此种带底面和侧面双回转台的数控夹紧装置, 适用于同类箱体的安装。先根据某一箱体定位、夹紧的要求编制程序, 运行程序后, 将底部 4 个定位支承和侧面 2 个支承元件, 通过回转台的主辅回转运动, 调整到箱体要求的定位处, 夹具顶部的 4 个夹紧液压缸也同时调整到要求的夹紧位置, 然后将箱体工件安放到定位支承上, 最后由顶部液压缸活塞下移, 将箱体夹紧, 图 1-5 即为此种夹具应用情况。图中的 NC 机床上, 已由此夹具代替机床工作台。此类夹具的机构复杂, 体积庞大, 成本高昂, 并未得到实际应用。20 世纪 90 年代以后将以上概念小型化, 将其设计成标准的带可移动拇指的 NC 模块 (Chan, 1993), 其机械结构见图 1-6。标准模块有 4 个拇指作为定位或夹紧点以便和工件表面作多点接触。每一拇指可在 x 、 y 两个方向上分别移动, 每两个拇指由一传动箱驱动, 两个传动箱由一个伺服电动机驱动, 电动机由计算机编程控制。这样一个伺服电动机能分别驱动 4 个拇指, 因为每一拇指有 2 个独立的运动, 标准的 4 拇指模块包含 4 个接触点和 8 个自由度。除多指模块外, 此夹紧系统还包含: 1 个液压缸

或气缸，为安装多指模块和液压缸的基础板，以及一套包括软件和硬件的可编程控制系统。控制系统可根据夹具布局和要求作出重组。图 1-7 为用 2 个标准模块对一具有不规则表面的工件作定位，再用另一多指模块作夹紧。此种夹具同样因为结构太复杂，成本过高，而柔性有限，不容易在生产中普及。总之，近 20 年来对柔性夹具国际上作过多种研究和探索，但尚没有找到结构上、经济上、实用性上能与传统夹具中已具柔性的一些夹具相匹敌的新型夹具。

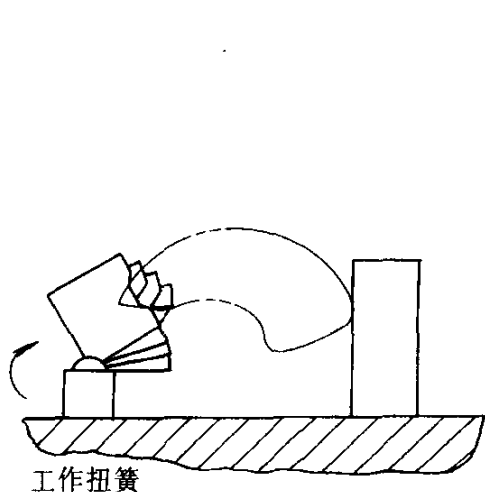


图 1-3 多叶适应性虎钳

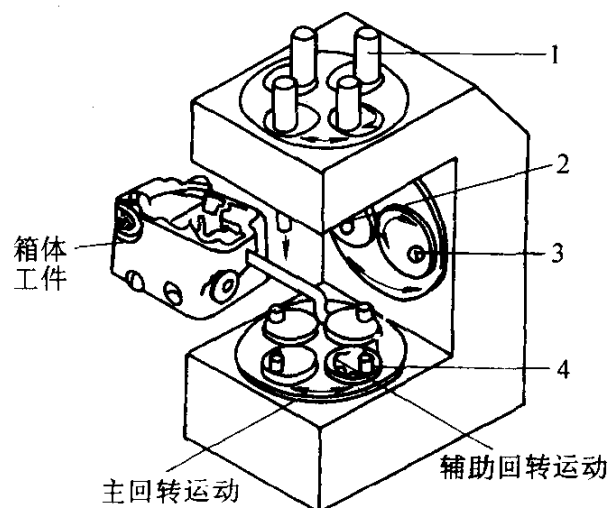


图 1-4 双回转数控夹紧装置

1—液压夹紧液压缸 2—夹紧元件
3—侧向定位元件 4—定位元件

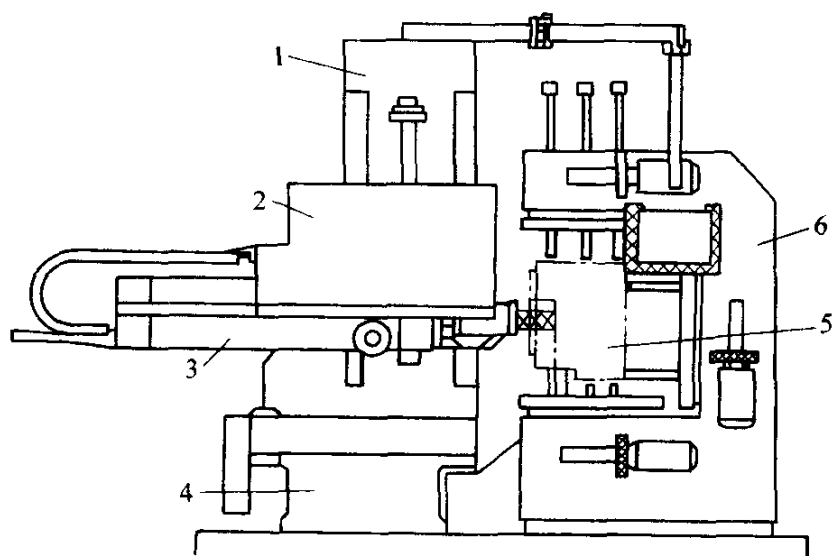


图 1-5 采用数控夹紧装置的加工中心

1—立柱 2—主轴箱滑板 3—带通用镗铣头的主轴箱 4—床身 5—工件 6—数控夹紧装置

1.3.2 传统夹具的创新

(1) 可调整夹具 传统夹具中，可调整夹具可以适应小范围的柔性，而可调整夹具的使用往往和成组生产组织密切相关，因此也常称为成组夹具。图 1-8 为用于铣削拨叉类零件的叉脚平面的零件组（见图 1-8a）和可调整夹具图（见图 1-

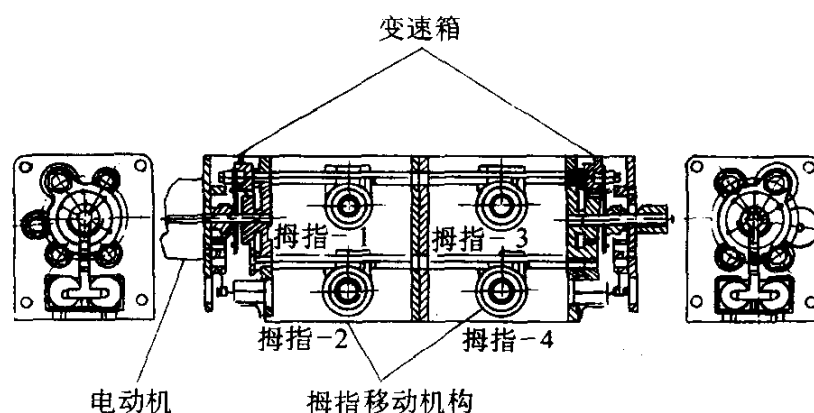


图 1-6 多拇指模块机械结构及夹具布局

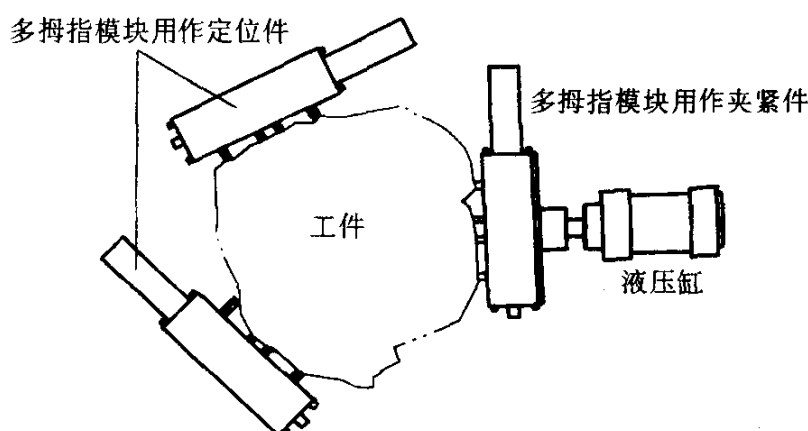


图 1-7 NC 拇指式模块夹具

8b)。由图 1-8a 可见，零件组除用主孔及其端面定位外还以拨叉的外侧面定位；夹紧力除将主孔压紧端面外，还尽量靠近加工表面。图 1-8b 所示可调整夹具由夹具体 1，可更换元件（用 KH 代号表示），可调整元件（用 KT 代号表示）及其他元件组成。KH1 是主要定位元件，它可以按不同工件的孔的大小和长短而更换并可沿垂直方向调整。为防止切削时振动，在接近叉口面加工处设置两个可调节的双向浮动夹紧机构。图 1-8c 为加工同组不同零件时，更换不同主要定位元件 KH1 及其相关元件 KH2、KH3 的调整示例图。由于现代生产已经由按库存生产改成按订单生产，和产品种类市场需求的不确定性，不容易组织成组生产，而且可调整钻模的应用日益减少，因而可调整夹具的应用受到限制。

(2) 组合夹具 传统的槽系组合夹具因装配调整时间长、材料贵、加工精度高、配套元件多、初置费用高，在市场上也逐步受到冷落。自 20 世纪 80 年代以来，原理相同只是元件结构和组装方式不同的孔系组合夹具，因其易于装配、材料廉价、加工方便、配套元件少、成本低、性能好而受到国内外市场的青睐，成为和加工中心、FMS 配套的主要夹具，一跃成为当代柔性夹具的主流。孔系组合夹具的组装需要知识广博、经验丰富和技术熟练的人员，这正是当前工厂最缺少的，不仅我国如此，国外更严重稀缺，所以这一背景是推动 CAFD 系统研究

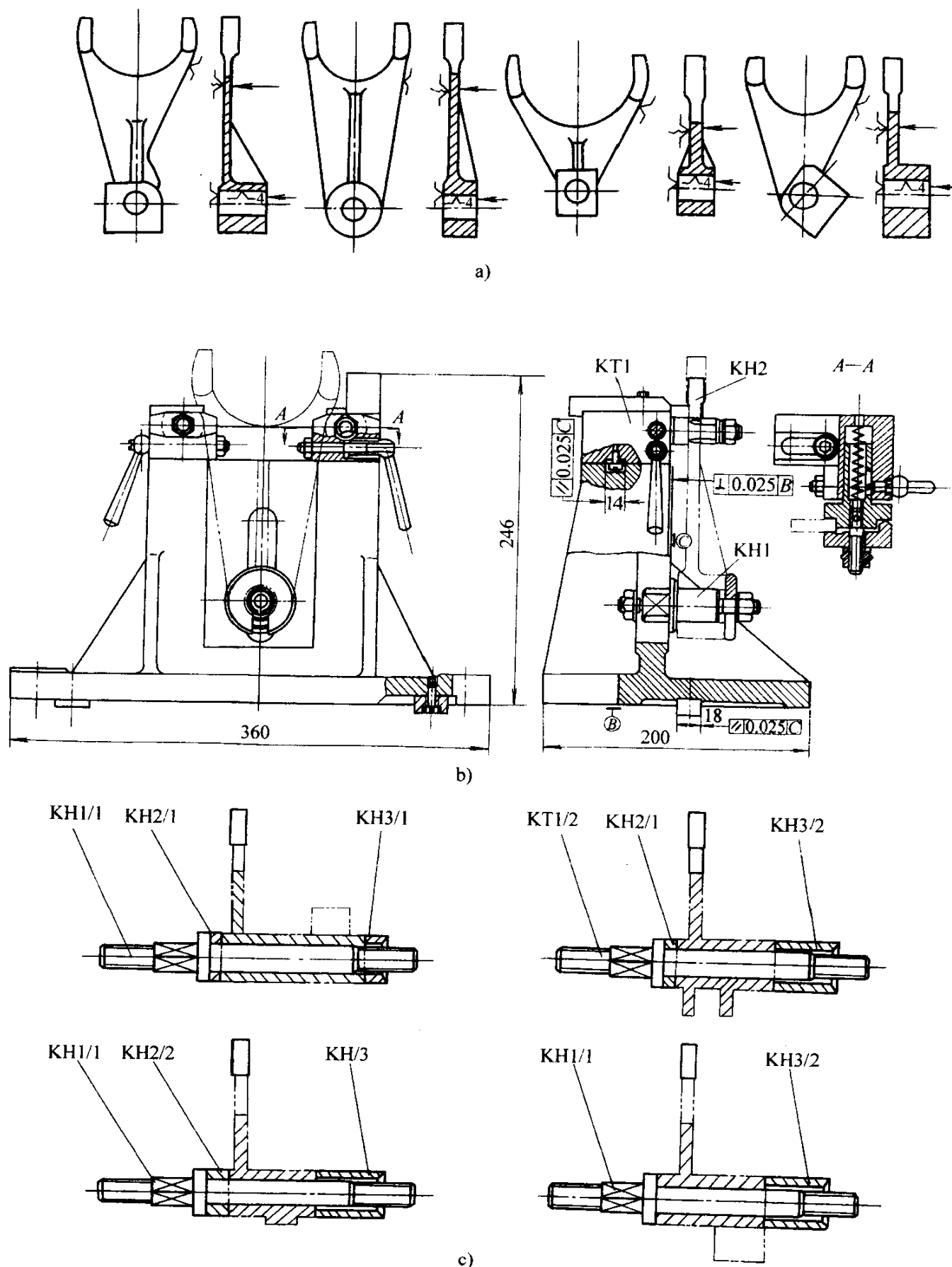


图 1-8 铣拨叉平面可调整夹具

a) 铣拨叉口平面零件组代表件 b) 铣拨叉口平面的可调整夹具 c) 铣削不同零件时调整示意图

开发的强劲动力。此外，在焊接生产中也在推广焊接组合夹具，坐标测量机需要用测量组合夹具，新一代轻巧、灵活、连接方便的夹具液压装置也已推出，说明传统夹具创新仍是现代柔性夹具的主流。有关组合夹具将在另一章中详加讨论，此处不再赘述。

1.4 计算机辅助夹具设计

CAD/CAM 系统中，CAFD 以其本身特点是相对独立的一部分，并和其他部分尤其是和 CAPP 紧密连接。广义地说，CAFD 是属于新兴的计算机辅助工艺装备 CAT (Computer Aided Tooling) 范畴。现在准确地说是 CAPP 和 CAFD 共同构成 CAD 和 CAM 的接口，而 CAPP 和 CAFD 又是彼此相互提供信息和作出决策的两个独立系统。

从文献上可见，个别俄罗斯学者在 20 世纪 70 年代开始了夹具 CAD 的工作，由于计算机硬件和软件的落后，进一步发展受到很大的阻碍。20 世纪 80 年代欧美学者投入这一工作，80 年代中期以后我国也开始进行研究。与 20 世纪 80 年代初 CAD 软件的水平相配合，第一代 CAFD 系统是交互式设计系统 (I—CAFD)。设计人员简单应用 CAD 软件的图形功能，建立一个标准夹具元件数据库，用以在计算机屏幕上装配成夹具图。后来加上了定位方法选择，工件信息检索，元件选择，元件安装等模块，成为一个独立的系统。由于现代商品化 CAD 软件在屏幕上针对夹具几何图形的操作还是费时的，所以 I—CAFD 在工业上应用还是有价值的。20 世纪 80 年代中期后，根据变异式和生成式两种不同的方法产生了基于成组技术 (GT) 和基于知识的两类主要的 CAFD 系统，这是第二代 CAFD。基于 GT 的 CAFD 有一个夹具设计信息的编码系统，系统中应包含零件几何形状的信息，零件装夹信息，即定位、夹紧及工件工艺操作的信息等。由夹具编码系统在典型夹具图形库中检索出相似夹具，经手工修改成合乎需要的夹具 (Gandhi and Thompson, 1986; Zhu, 1988; Rong, 1992)。在作者研究开发的基于 GT 的 CAFD 中，由于装夹信息十分复杂，我们将这部分代码由线性码结构改成矩阵码结构。其次，对如何评价夹具间相似性定义了相似系数，以便检索出库中最相似的夹具，作最少的修改。基于知识的 CAFD，主要是搜集人类夹具专家的知识整理成知识库中的各种规则，然后通过专家系统推理机得到各种决策。这类系统主要解决定位、夹紧方法的选择，位置的确定。有的系统已经搜集和整理了上千条的规则，但因工件的多样性和夹具设计的复杂性，也只能设计工件形状极简单的夹具 (Pham, 1990; Markus, 1984)。另一类是，根据运动学分析和一系列设计规则来作自动化夹具设计 (Mani, 1988; Chou., 1989; Menassa, 1990)。同样，也只能用于工件几何形状规则且简单的简单夹具。20 世纪 90 年