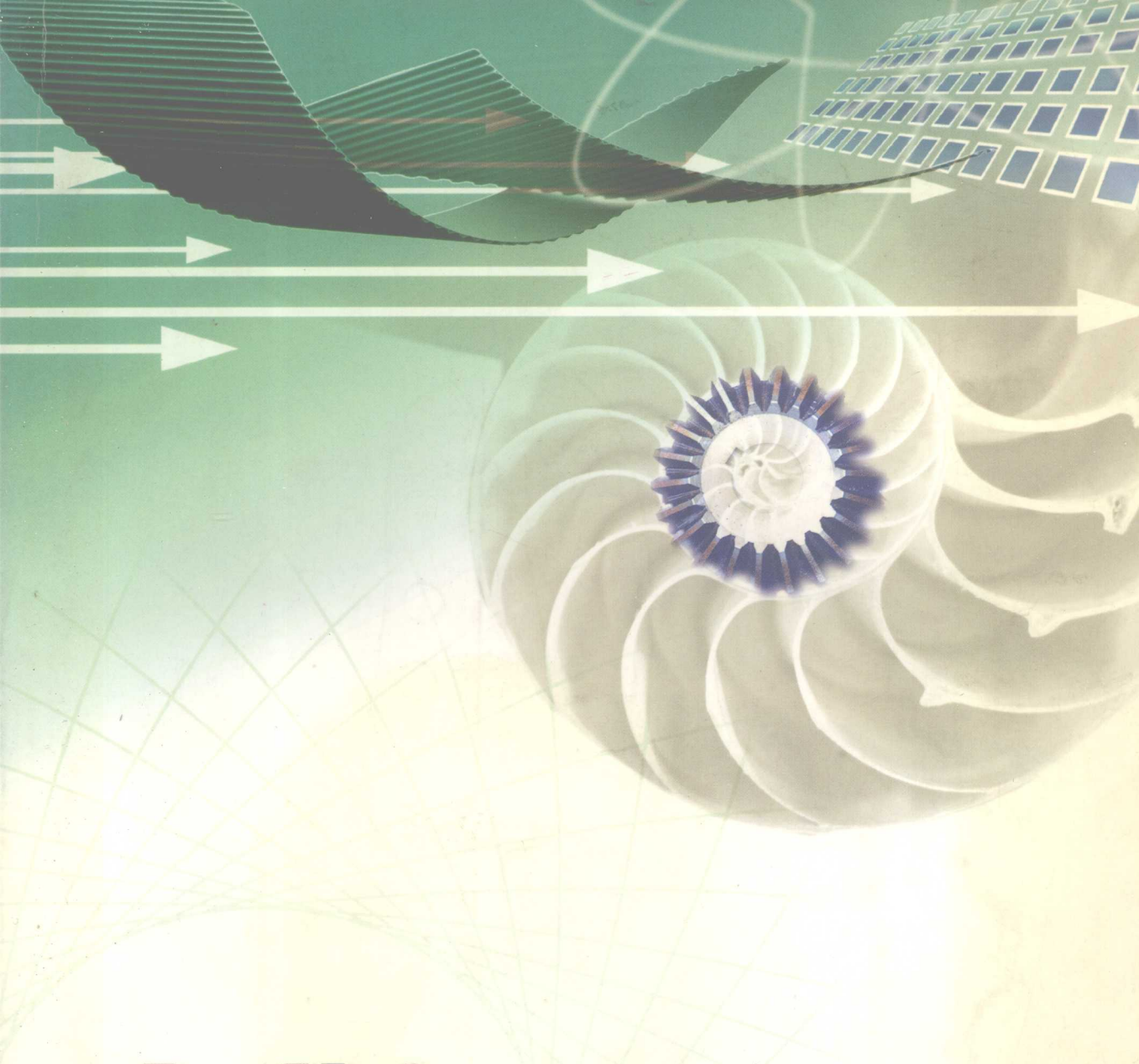




直摆组合凸轮机构 分析图谱

◎ 主编 周全申



河南大学出版社
HENAN UNIVERSITY PRESS

TH112. 2-64

1

直摆组合凸轮机构 分析图谱

主编 周全申

河南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

直摆组合凸轮机构分析图谱/周全申主编. —开封:河南
大学出版社, 2004. 8

ISBN 7-81091-224-0

I. 直… II. 周… III. 凸轮机构-结构分析-图谱
IV. TH112.2-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 060720 号

出 版 人:王刘纯

责任编辑:陈国剑

责任校对:吉 安

责任印制:苗 卉

封面设计:宋贺峰

出 版 河南大学出版社

地址:河南省开封市明伦街 85 号

邮政编码:475001

电话:0378-2864669(事业部)

0378-2825001(营销部)

网址:www.hupress.com

E-mail:bangong@hupress.com

经 销 河南省新华书店

排 版 黄河水利委员会印刷厂

印 刷 河南省诚和印刷有限公司

版 次 2004 年 9 月 1 版

印 次 2004 年 9 月 1 次印刷

开 本 787mm×1 092mm 1/16

印 张 10.75

字 数 255 千字

印 数 1 000 册

ISBN 7-81091-224-0 / O·136

定价:19.80 元

(本书如有印装质量问题请与河南大学出版社营销部联系调换)

内 容 提 要

通过对连杆机构及凸轮机构较系统的分析,提出了一种用摆动从动件凸轮机构与直动从动件凸轮机构组成的联动凸轮机构,用以实现控制从动点沿预期平面曲线运动的思想,并且利用计算机辅助完成了该联动凸轮机构的设计.利用该机构,可以较准确地实现平面连杆机构不易实现的平面曲线.

本书汇编了大量的直、摆组合凸轮机构摆杆曲线图谱,供设计时选用.

序 言

人类创造、发明机构和机器的历史十分悠久.随着近代科学技术的飞速发展,机构和机器理论已经发展成为一门重要的技术基础学科.工业生产对新型工作机、机械手、机器人的需要,有力地促进了新机构、新机器的发明,也使得机构学出现了许多新分支,如广义机构学、机器人机构学、微型机构学、仿生机构学等.机械技术与微电子学、计算机科学、控制技术、信息科学、生物科学、材料科学的交叉、融会和综合,极大地推动了新的设计理论和新的设计方法的发展.随着对自动化生产过程中的机构学问题的深入研究,人们创造出许多适合自动机上应用的新刚体机构,还创造出许多与电、磁、液压、气动、激光和红外线等相结合的新机构.

进一步完善传统典型机构的分析和综合方法,例如实现预期轨迹的机构类型和设计方法的创新,仍是值得研究的课题.其中,组合机构由于结构简单而又能实现单一机构无法实现的运动要求,因而在农业机械、纺织机械、包装机械、冶金机械中得到了广泛应用.目前,对于组合机构的组成原理、基本类型、功能等方面均有比较系统的研究,对于各种组合机构的最优化设计的研究也日益加强.

在机械化、自动化技术中,经常要求某些从动件精确地以预期的运动规律沿某一预期的运动轨迹运动,那么能否利用尽可能简单的机构来实现这一目的呢?或者说能否利用简单的组合机构,将主动件的匀速转动转化成为从动件上某点以预期的运动规律沿预期轨迹运动呢?这是机构学上一个很有意义的课题.本书提出的一种由直动从动件凸轮机构与摆动从动件凸轮机构组成的联动机构,即属于能实现上述功能的一种新型机构.

对直、摆组合凸轮机构的研究,即使在自动控制技术高度发展的今天也具有实际意义.第一,直、摆组合凸轮机构是一种新的机构类型,其结构紧凑、新颖.对该机构及其摆杆曲线图谱的研究,丰富了机械设计理论及机构学内容,适应了在设计方面许多学者致力于寻求凸轮机构的精确解和使凸轮曲线多样化及从动件轨迹多样化要求.第二,仿造连杆曲线图谱,汇编大量的直、摆组合凸轮机构摆杆曲线图谱,可用于指导直、摆组合凸轮机构的实际应用.与连杆曲线图谱相比较,摆杆曲线能够实现的曲线形式更加丰富,并可以较为精确地实现从动点按预期的运动规律沿预期的曲线运动.第三,直、摆组合凸轮机构可以应用于工业生产的许多方面,如专用线切割机床,专用电火花加工机床,专用焊接、焊切机械手,专用几何测量仪器、行程控制机构及各类轻工机械等.因此,对直、摆组合凸轮机构进行深入研究有较大的理论意义与现实意义.

我们的研究得到了河南省自然科学基金资助.本书总结了该机构的应用计算机辅助设计(CAD)及计算机辅助制造(CAM)的初步研究成果.绪言、第1章、第2章、第5章由周全申撰写,第4章、第5章由邢普撰写,第3章、第5章由潘家宇撰写,全书部分插图及文字修订由姚明印完成.全书最后由周全申负责审定、统稿及定稿.

在本书的撰写过程中,得到了合肥工业大学赵韩教授、郑州机械研究所王长路高级工程师的帮助.他们做了全文审阅,并提出许多建设性修改意见.在此向他们表示衷心感谢!

编著者

2004年4月于河南工业大学

目 录

0 绪论	(1)
0.1 凸轮机构的研究和发展概况	(1)
0.2 与本书有关的研究领域	(2)
1 直摆组合凸轮机构的提出	(9)
1.1 连杆机构	(9)
1.2 组合凸轮机构	(12)
1.3 凸轮列表廓形的数学处理	(15)
1.4 本分析图谱的主要研究内容及技术难点	(16)
2 直摆组合凸轮机构设计	(18)
2.1 直摆组合凸轮机构设计基本思想	(19)
2.2 直摆组合凸轮机构设计步骤	(19)
2.3 直摆组合凸轮机构压力角分析	(24)
2.4 设计举例	(27)
3 凸轮廓线的加工	(31)
3.1 凸轮廓线加工常用算法分析	(33)
3.2 双圆弧编程算法	(36)
4 直摆组合凸轮机构计算机设计及仿真	(46)
4.1 计算机设计及仿真编程软件和语言	(46)
4.2 直摆组合凸轮机构设计及仿真软件	(47)
4.3 直摆组合凸轮机构的计算机设计	(49)
4.4 直摆组合凸轮机构动态仿真	(66)
4.5 计算机设计及仿真中的技术处理	(70)
5 直摆组合凸轮机构分析图谱	(72)
5.1 典型曲线	(72)
5.2 实用曲线	(114)
5.3 离散点曲线	(152)
6 结束语	(162)
参考文献	(163)
附光盘一张	

0 绪论

0.1 凸轮机构的研究和发展概况

凸轮机构几乎可以实现无限多种的从动件运动规律,它广泛应用于各种自动机床和自动装置中,如纺织机械、计算机、印刷机、食品加工机械、内燃机以及其他各种自动机械和控制系统中.自 20 世纪 50 年代以来,随着计算机技术和各种数值方法的发展,人们对凸轮机构的研究也逐步扩展与深入.

在欧美各国,已有很多学者为凸轮机构的研究做出了贡献,他们发表或出版了许多论文和专著.1984 年以来,在凸轮机构研究上做了较多工作的学者有, A. P. Pisano(在摩擦及其试验方面), S. Tascan(在稳定性方面), V. D. Borisov(在计算机辅助设计方面), H. J. Wendenivski(在计算机辅助制造方面)和 J. Angeles(在优化设计方面)等. P. W. Jensen 在专著^[1]中列出了 1908~1984 年发表的 1 817 篇关于凸轮机构研究的论文题目,基本上包括了 1984 年以前可以找到的有记载的文献资料.根据该书和 1984 年以后出版的 *Engineering Index Annual*,我们对欧美各国自 1950 年以来在各研究方向所发表的论文数量作了粗略的统计^[2](见表 0-1).虽然这种统计比较粗糙,论文的归类也不尽准确,但基本上反映了欧美各国 40 年来凸轮机构研究的总体情况.

日本在第二次世界大战以后致力于发展实用的自动设备,特别重视对凸轮机构的研究.在日本,有很多从事凸轮机构研究的专家,早期有小川洁、中开英一等,现在有牧野洋、西冈雅夫、筱原茂之等.日本还有许多专门生产凸轮机构的公司,如大冢凸轮公司、三共制作所、协和凸轮公司等.日本经常举行专门讨论凸轮机构的学术会议,在有关的国际性刊物上也经常发表登凸轮研究的论文.日本学者特别注重将各方面的研究成果应用到实际产品的开发中去,如他们充分认识到凸轮机构作为控制机构具有高速下的稳定性、优良的再现性、良好的运动特性和可靠性、易于实现同步控制、刚度高等优越性,因而十分重视将凸轮机构与电子技术相结合,在控制机构上作广泛的研究,以拓宽凸轮机构的用途.

我国对凸轮机构的应用和研究已有多年的历史,目前仍在继续扩展和深入.在应用方面,我国正在大力发展包装机械、食品机械等自动化设备.在这些设备中,都要用到各种形式的凸轮机构.在研究方面,近年来也有相当大的进展,一些专著^[3-5]相继出版.在 1983 年全国第三届机构学学术讨论会上,关于凸轮机构的论文共有 8 篇,涉及设计、运动规律、分析、凸轮廓线的综合等四个研究方向;到了 1988 年的第六届会议,共有凸轮机构方面的论文 20 篇,凸轮-连杆机构方面的论文 2 篇,增加的研究方向有动力学、振动、优化设计等;1990 年的第七届会议上,共有凸轮机构方面的论文 22 篇,还有含凸轮的组合机构方面的论文 6 篇,增加了误差分析、CAD/CAM 等研究方向.在汽车、内燃机、机械制造等有关领域,也有很多关于研究凸轮机构的内容.此外,我国在凸轮机构的共轭曲面原理、CAD 和专家系统等方面,也有所研究.由此可见,我国对凸轮机构的研究是在不断发展的.但是,与先进国家比较,

我国对凸轮机构的研究仍有较大差距,特别是在振动、加工、产品开发等方面.

表 0-1 欧美国家 1950 年以来在各研究方向发表的论文数量

年度 研究方向	1950~1959	1960~1969	1970~1979	1980~1988
从动件运动规律	21	31	17	9
几何学	23	25	9	7
运动分析和力分析	26	54	31	7
设计	90	100	60	30
计算机辅助设计和分析	3	8	7	10
优化设计		3	19	13
NC,CNC,CAM*		7	14	11
滚子从动件	3	1	1	2
稳定性	1	1	1	
动力学、振动	22	26	34	11
摩擦与效率	2	3	3	4
误差与精度	3	5	9	11
加工与刀具	79	39	14	16
测量	7	12	9	9
润滑	4		3	3
磨损	4	8	6	
材料	14	4	1	1
试验	2	4	2	2
应用	52	44	11	3
合 计	365	365	251	144

* NC—数字控制;CNC—计算机数字控制;CAM—计算机辅助制造.

综上所述,虽然已有很多学者对凸轮机构的研究作了相当多的工作,但在各研究方向仍有许多可继续进行的工作,有一些研究方向还有待开发.

0.2 与本书有关的研究领域

0.2.1 对凸轮机构的运动特性和动力特性的研究

凸轮机构动力学的基本内容,包括凸轮机构推杆运动规律的研究、凸轮机构的动力分析、凸轮机构动力学模型的建立、凸轮—从动件系统运动方程的建立、凸轮机构的动力响应、凸轮机构的动力综合等.

Mitchell^[6]首先做了凸轮提升阀机构动力学的实验研究.他记录了三种基本运动规律(抛物线、简谐运动、摆线运动)的从动件振动特性.

有了较好的实验装备后,通过内燃机气阀推杆实际效应的研究证实,在高速情况下气阀推杆的运动与按静态算出的理论值有较大差别.

对气阀推杆振动的认识,导致了对它们的大量研究,后来人们又试图得出各种各样的修正凸轮曲线.修正抛物线运动规律、修正摆线运动规律^[7]、梯形运动规律、修正梯形运动规律^[8]和修正正弦运动规律^[9]均是这方面研究的例子,有人还建议用衰减调和级数作凸轮曲线^[10].

美国著名机构学教授 Fan. Y. Chen(美籍华人)对凸轮机构运动学和动力学研究作出了相当大贡献,他撰写的凸轮方面的专著^[11]在国际上被誉为权威著作.

0.2.2 新机构及其机构理论的研究

机械技术与微电子学、计算机科学、控制技术、信息科学、生物科学、材料科学、人文科学以及社会科学的交叉、融会和综合,促进了机构学许多新分支的出现,也推动了新的设计理论和方法的发展.如机构学与微电子学、电磁学、材料科学、计算机技术、控制技术等学科交叉形成了微型机械,机构学与生物学结合形成了仿生机械等.因而,研究特殊条件下的新型机构已显得十分迫切.例如,失重状态下的机构、深海作业的机构、航空航天机构的机构、柔顺机构、微型机构、带式凸轮机构、动定机构及仿生机构等各种新型机构不断涌现,突破了机构学的一些传统观念,且应用前景广泛,对其工作原理及设计方法都需要作进一步的研究^[12,13].

新机构是指机构的新构造,包含组成机构的构件数目、运动副数目和运动副类型及其相互配置等,在机构选型、改进现有机构、创造新机构、消化引进设备时,都需要进行机构结构理论方面的研究.

进一步完善传统典型机构的综合方法,例如实现轨迹的连杆机构、摆动从动件的盘状凸轮机构和圆柱凸轮机构、组合机构、周转轮系等的类型和设计方法等,仍是值得研究的课题.国内外许多学者在凸轮设计新方法方面做了大量的工作^[14-19].其中,组合机械由于结构简单而又能实现单一机构无法实现的运动要求,因此近年来在农业机械、纺织机械、包装机械、冶金机械中的应用日广.常用的有凸轮-凸轮机构、齿轮-连杆机构、凸轮-连杆机构、齿轮-凸轮机构、变连杆凸轮-连杆机构^[20].目前,对于组合机构的组成原理、基本类型、功能等方面均有比较系统的研究,对于各种组合机构的最优化设计的研究也日益加强.在机构设计方面,许多学者致力于寻求凸轮机构的精确解和使凸轮曲线多样化及从动件轨迹多样化,以适应新的要求.

1992年,笔者曾在北京参观了由国际上几十家公司举办的食品机械展览会,看到了由日本 PHEON 公司研制的馒头生产线照片(图 0-1)及录像.其中,一种馒头推送机构引起了我的兴趣.从录像上看,它的推板走如图 0-2 所示的曲线.图中, l_1 是直线,速度从匀加速变为匀减速;A 点是一个停点,停止时间大约占一个循环周期的 1/4 左右; l_2 是一个近似椭圆的弧线,运行速度较快,抬起的高度刚好是 1 个馒头的高度.这是利用一种组合机构完成的动作.

0.2.3 凸轮机构最优化设计

近 20 年来,机构最优化设计的研究得到了迅速的发展,机构最优化设计已成为机构综合中普遍适用的方法和主要发展方向.机构优化设计大致包括以下步骤:①根据设计要求确定设计准则和设计变量;②给出数学模型,确定设计约束,建立目标函数;③探索最优化途径,优选设计变量;④最优化方案的确定.

最优化方法很多,对于机械优化设计问题(大多属于非线性规划问题),一般可以分为无约束最优化方法和约束最优化方法两类.在机械设计中,无约束最优化方法主要有坐标轮换

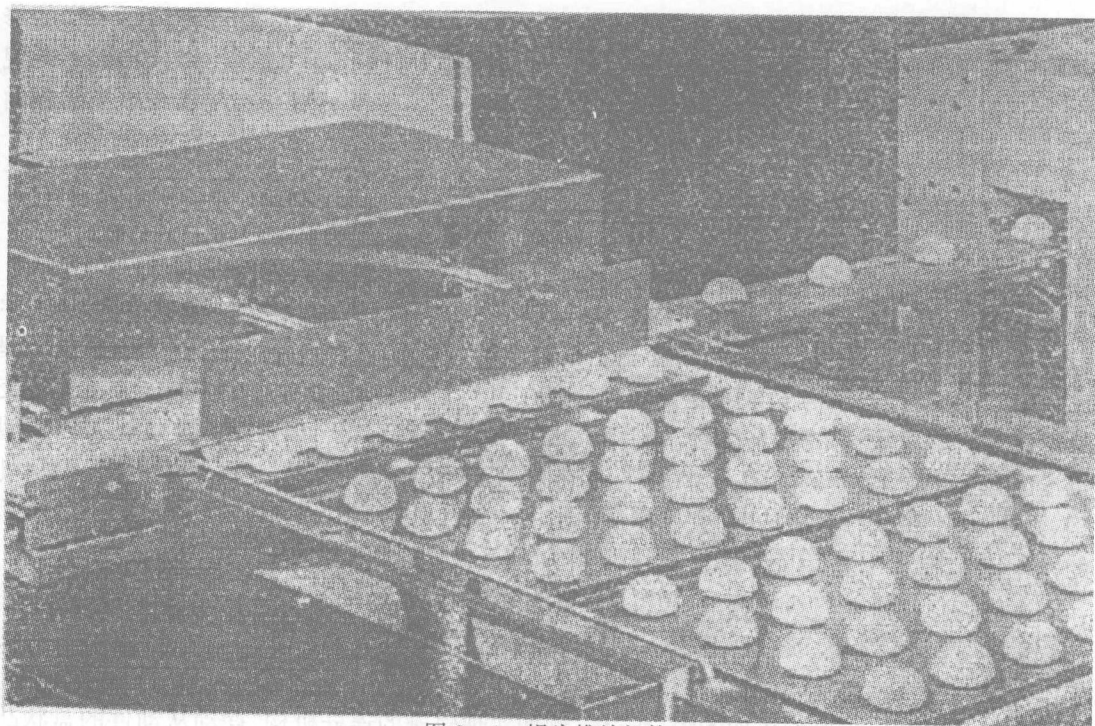


图 0-1 馒头堆放机构

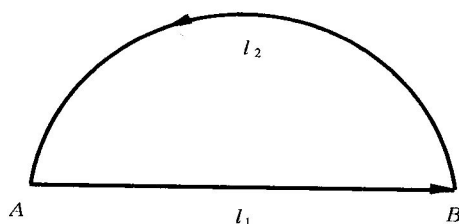


图 0-2 运动轨迹

法、鲍威尔方法、共轭梯度法、变尺度法等；约束最优化方法主要有惩罚函数法、随机方向搜索法、复合形法、遗传算法、可行方向法及其他改进算法等^[21,22]。

当最优化方法应用于凸轮-从动件机构时，可把凸轮-从动件系统的某些特性作为目标函数或评价函数，然后通过改变凸轮的参数(包括

改变凸轮廓线的参数)，同时满足一组给定的约束条件(等式或不等式的约束条件)，以达到优化。约束条件用有界函数来表示，也就是说当约束函数值在边界范围以内时，就满足条件。

凸轮设计者最感兴趣的凸轮特性，是参数的性质。残余振动和作用于从动件上的力取决于时间(或凸轮转角)以及凸轮的速度；压力角和曲率半径也依赖于凸轮的转角。

Kwakernaak 和 Smit^[23]已经提出了一种搜索凸轮廓线的方法，可使从动件具有有限的速度、加速度和跃度值，并在规定的凸轮速度范围内具有最小的残余振动。Kanzaki 和 Itao^[24]对高速电传打印机的字模定位凸轮也提出了一套设计方法，用一个单自由度系统来模拟凸轮从动件机构，并采用拉普拉斯变换来求解。该方法将降低凸轮升程范围内的残余振动，使绝大多数升程处的残余振动等于零。

在 Berzak^[25]最近的著作中，采用动力多项式凸轮设计法对凸轮从动件系统进行优化综合，用一个多项式函数来描述凸轮从动件所期望的输出运动。在设计过程中，为了考虑系统的惯性力和柔度，系统仍然用单自由度模型来模拟，列出的方程可用拉普拉斯变换法求解。输出运动所规定的约束条件是，两端点处的速度、加速度为零和位移的限制；优化方法实质

上是系统各特性系数之间的一种权衡。

另外,在 Sermon 和 Liniecki^[26]的著作中,还涉及凸轮系统优化设计的研究。他们提出的方案,是要设计一种受压力角和最大表面接触应力的限制的最小体积的凸轮。在线性系统模型的基础上,Sandler^[27]提出了利用随机过程的频谱理论来优化综合凸轮系统。Fan, Y. Chen 和 Shah^[28]已利用序列随机矢量法论述了几何参数的优化设计问题。赵韩^[29]用包络原理和共轭曲面原理推导了凸轮机构运动几何学的通用解析公式,以满足建立通用凸轮机构优化设计系统的需要。

从凸轮机构设计的基本内容可以看出,优化设计能够帮助凸轮机构的设计者解决很多问题。目前,已有很多科技工作者在这方面做了大量的工作^[30~37]。可以预料,对凸轮系统最优化方面问题的关注程度将会进一步加强。

0.2.4 发展通用的智能化 CAD 系统及专家系统

1) CAD 技术的发展过程

① 第一次 CAD 技术革命——曲面造型系统

进入 20 世纪 70 年代,飞机和汽车工业中遇到了大量的自由曲面问题。法国人提出的贝赛尔算法,使人们用计算机处理曲线及曲面问题变得可行,同时也使得法国达索飞机制造公司的开发者们,能在二维绘图系统 CADAM 的基础上,开发出以表面模型为特点的自由曲面建模方法,推出了三维曲面造型系统 CATIA。它的出现,标志着计算机辅助设计技术从单纯模仿工程图样的三视图模式中解放出来,首次实现以计算机完整描述产品零件的主要信息,同时也使得 CAD 技术的开发有了现实基础。

② 第二次 CAD 技术革命——实体造型技术

基于对于 CAD/CAE 一体化技术发展的探索,SDRC (Structural Dynamics Research Corporation)于 1979 年发布了世界上第一个完全基于实体造型技术的大型 CAD/CAE 软件——I-DEAS。实体造型技术能够精确表达零件的全部属性,在理论上有助于统一 CAD、CAE、CAM 的模型表达,给设计带来了惊人的方便,它代表着未来 CAD 技术的发展方向。

③ 第三次 CAD 技术革命——参数化技术

进入 20 世纪 90 年代,参数化技术变得比较成熟起来,充分体现出它在许多通用件、零部件设计上存在的简便易行的优势。可以认为,参数化技术的应用主导了 CAD 发展史上的第三次技术革命。

④ 第四次 CAD 技术革命——变量化技术

1990 年以前,SDRC 的开发人员发现了参数化技术尚有许多不足之处。沿着这个思路,在对现有各种造型技术进行了充分的分析和比较以后,一个更新颖大胆的设想产生了。他们以参数化技术为蓝本,提出了一种比参数化技术更为先进的实体造型技术——变量化技术,作为今后的开发,并就此形成了一整套独特的变量化造型理论及软件开发方法。变量化技术既保持了参数化技术的原有优点,同时又克服了它的不足之处,它的成功应用为 CAD 技术的发展提供了更大的空间和机遇。无疑,变量化技术成就了 SDRC,也驱动了 CAD 发展的第四次技术革命。

目前流行的 CAD 技术基础理论,主要是以 Pro/E 为代表的参数化造型理论和以 SDRC/I-DEAS 为代表的变量化造型理论,两大流派都属于基于约束的实体造型技术。只有这两种理论,在近十年产生并且赢得了广泛的认同。

⑤ CAD 在我国的发展

国内的高等院校和科研所在 CAD 支撑和应用软件的开发上担任了极其重要的角色. 在优化设计方面, 华中理工大学的优化程度库 OPB 及机械零部件的优化设计程序早在 20 世纪 80 年代末就在工矿企业中得到推广, 对广大工程技术人员了解和使用 CAD 技术起到了促进作用. 在二维交互绘图系统方面, 不少自主知识产权的软件, 如 GH-MDS 和 GH-InterCAD、PICAD、开目 CAD、凯图 CAD-Tool 等, 都已经在国内行业中推广使用. 其中, 由清华大学和华中理工大学共同研制的 GH-MDS 可以和 AutoCAD 的 12 版基本兼容, 而 InterCAD、开目 CAD 和凯图均出自华中理工大学机械工程学院. 在本维造型和几何设计方面, 北京航空航天大学的 PANDA、金银花系统, 清华大学和华中理工大学共同研制的 CAD MIS 等都实现了参数化特征造型、曲面造型、数控加工和有限元分析的集成, 但商品化程度还比较低. 在有限元分析方面, 大连理工大学研制出了分析软件 IFEAS 并与华中理工大学的有限元前后处理系统 GH-FEM 实现了集成. 在数控编程方面, 南京航空航天大学的超人 CAD/CAM、华中理工大学的 GHNC 均可实现复杂曲面的造型和数控代码的自生成和加工仿真. 工程数据库, 有浙江大学的 OSCAR、华中理工大学的 GH-EDBMS 等. 另外, 在应用领域, 如通用机械零件设计、冲压和注射模具设计和制造、汽车外形设计、汽轮机叶片设计分析等方面, 我国均研制出了实用的 CAD 软件.

CAD 技术的纵向发展概况, 如图 0-3 所示.

2) 凸轮机构设计的专家系统

凸轮机构的 CAD 系统虽然可以帮助设计人员摆脱繁重的计算与绘图工作, 但凸轮机构设计在很大程度上依赖设计者的经验. 这是 CAD 系统所不能解决的问题, 而专家系统则在这方面有独特的功用.

凸轮设计专家系统是一个复杂的设计型专家系统. 它要求除具有一般专家系统所具备的知识获取、表示推理求解策略外, 尚需具有解决在工艺设计及决策中特殊知识的获取和描述, 如零件信息(几何拓扑信息、工艺信息、检测信息、表面质量信息等)的获取和表示, 加工资源信息(设备及工具、人员及技术水平等)的获取和表示, 以及图形、NC 加工指令、加工过程动态模拟的表示与生成. 国内外研制了多种类型的专家系统开发工具, 从不同的层次、不同角度解决专家系统中的共性问题, 如知识表达方式、知识获取、知识检验、知识求解和推理解释等, 使开发者把主要精力集中在知识选取和整理方面, 建立相应的知识库. 以“推理+知识”为特征的凸轮设计专家系统的组成如图 0-4 所示.

0.2.5 凸轮的数控加工技术

数控技术用于凸轮机构已有一定的历史, 它是 CAM 的重要组成部分.

1) 数控机床的发展概况

数控机床的研制最早是从美国开始的. 1952 年, 帕森斯公司和麻省理工学院合作研制成功了第一台三坐标数控铣床. 这是一台采用专用计算机进行运算与控制 and 直线插补与轮廓控制的数控铣床. 此时的数控系统为第一代数控系统(NC).

20 世纪 80 年代, 数控机床进一步发展. 近年来, 又出现了功能更强的数控系统. 具有代表性的数控系统有如下一些.

① 计算机直接数控系统(CNC)

可把这种系统理解为用一台微型通用电子计算机直接管理和控制一群数控机床, 故又

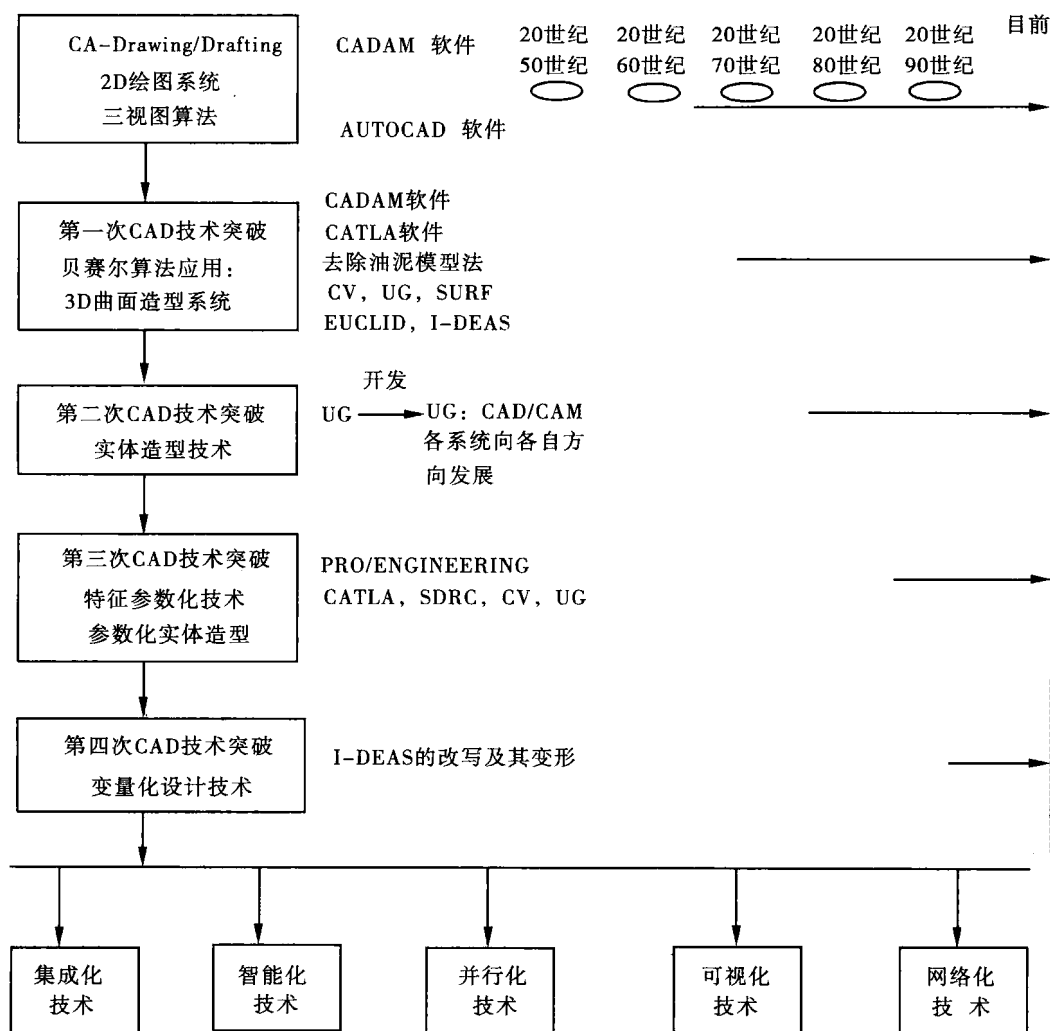


图 0-3 源于 20 世纪 50 年代末的 CAD 技术发展概况

称群控.其特点是,使用计算机对生产过程加强管理,使程序编制、生产准备与计划安排等工作和机床工作协调一致,以提高各个数控机床的使用效率.

② 自适应控制机床(AC)

如果控制系统能对实际加工中的各种加工状态的参数及时地测量,并反馈给机床进行修正,则可使切削过程随时都处在最佳状态,就称其为自适应控制机床.

③ 柔性制造系统(FMS)和柔性制造单元(FMC)

随着计算机技术的发展,计算机辅助设计(CAD)与计算机辅助制造(CAM)系统的研制成功,使生产管理实现计算机化,出现了用 NC 设备及自动化措施组成的一种生产系统.它完全能满足大、中、小批量生产的要求,而且十分灵活,能迅速调整以适应零件尺寸的变化,故称为柔性制造系统,

④ 计算机集成制造系统(CIMS)

为实现整个生产过程的自动化,人们正在着手研制包括设计、工艺、加工、装配、检验等

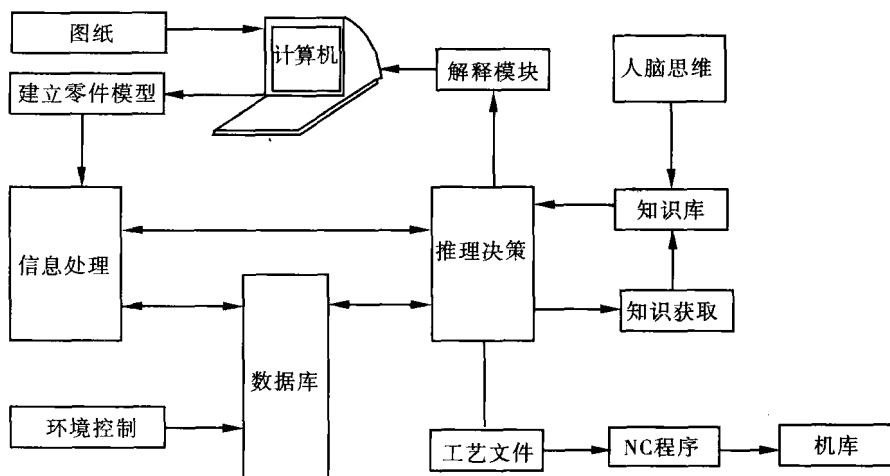


图 0-4 凸轮设计专家系统的组成

全过程都由计算机控制的集成制造生系统.其中,凸轮加工是 CIMS 的重要组成部分^[38].

2) 我国数控机床发展概况

我国数控机床的研制始于 1958 年,由清华大学研制出了最早的样机.随后,不少高等院校、研究单位和工厂都着手数控机床的研制工作,并制成了三坐标数控铣床,在生产中发挥了一定的作用.1966 年,我国诞生了第一台用于直线—圆弧插补的晶体管数控系统,即第二代数控系统.1970 年初,集成电路数控系统研制成功,我国开始生产第三代数控系统.1980 年以来,我国数控机床发展很快,品种增多,其中有数控车床、数控铣床、各种类型的加工中心、数控压力机、数控坐标磨床、柔性加工单元和柔性制造系统等.近年来,由于引进了国外数控系统与伺服系统的制造技术,我国数控机床的品种、数量和质量都得到了迅速发展.目前,我国已有几十家机床厂能生产不同类型的数控机床和加工中心机床,除供应国内市场外,有的已销往国外.同时,我国还制订了数控机床的有关技术标准,在编程方面也开发出了一些手工编程代码和自动编程语言^[39-41],在各个工业部门,数控机床已得到了广泛的应用.

3) 数控机床的发展趋势

从数控技术水平看,高精度(定位精度为微米级或纳米级)、高速度(主轴转速 10 000 r/min,快速进给 24 m/min,换刀时间 2~3 s)、高柔性(多主轴、多工位、多刀库)、多功能(立卧并用、复合加工)和高自动化(自动上下料、自动接近、自动测量和通讯功能)是数控机床的重要发展趋势.

在数控系统方面,目前世界上几个著名的数控装置生产厂家,诸如日本的 FANUC、德国的 SIEMNS 和美国的 AB 公司,其产品都向系列化、模块化、高性能和成套性方面发展.它们的数控系统都采用了 16 位或 32 位微处理器、标准总线及软件模块和硬件模块结构,内存容量扩大到 1 兆字节以上,机床分辨率可达 0.1 μm ,高速进给可达 100 m/min,控制轴数可达 16 个,并采用先进的电装工艺.

在驱动系统方面,交流驱动系统发展迅速.交流传动系统已由模拟式向数字式方向发展,以运算放大器等模拟器件为主的控制器正在被以微处理器为主的数字集成元件所取代,从而克服了零点漂移、温度漂移等弱点.

1 直摆组合凸轮机构的提出

1.1 连杆机构

连杆机构是应用极其广泛的机构.它是一种低副机构,具有运动副处压强小、磨损轻、易于保证加工精度以及能由本身几何形状保证运动副封闭等优点.那么,满足上述要求的运动轨迹能否由连杆机构准确地实现呢?解决这一问题的传统方法主要有两种.

1) 实验法

实验法是一种比较直观而又简单易行的方法.

观察图 1-1,设预期实现的轨迹为 $y=f(x)$.做实验时,准备两个构件——构件 1 和构件 2,使它们铰接在 B 点.其中,构件 1 的长度 a 可调;构件 2 上具有若干分支,各个分支的长度可调,相互之间的夹角也可调.

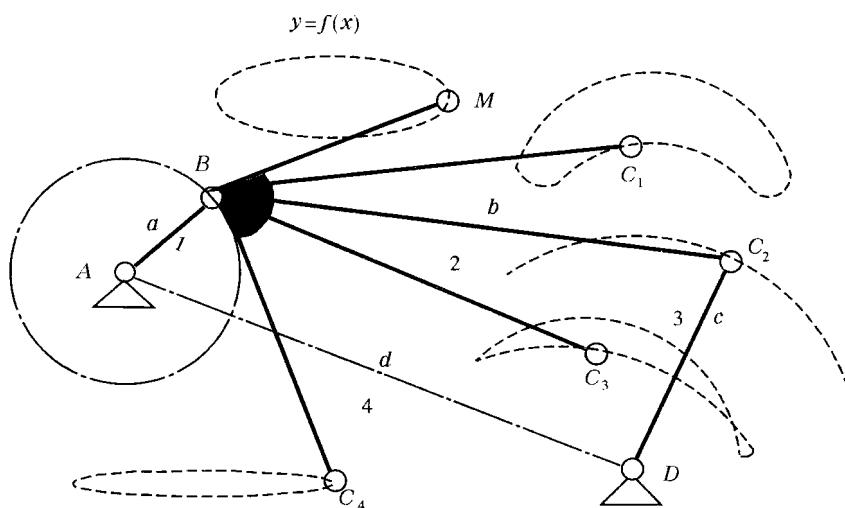


图 1-1 实验法示意图

确定了构件 1 的长度及分支杆 BM 的长度后,使构件 2 上的点 M 沿所给曲线移动一周.与此同时,构件 2 上的点 C_1, C_2, C_3, C_4 将描出各自相应的曲线.从这些曲线中寻找一条近似圆弧曲线(或近似直线),则此圆弧曲线的圆心 D 即为摇杆 CD 的固定转轴.这里, C_2D 为摇杆, BC_2 即为连杆长度 b , C_2D 即为摇杆长度 c , AD 为机架长度 d .

实际实验时,如果找不到满意曲线,则可调整构件 2 的其他各个分支的长度及与分支杆 BM 的夹角,或者另行选择 A 点的位置,重新进行实验求解.这一过程是比较困难的.

由于实验法找到的圆弧是近似圆弧,用几何作图法确定其圆心,所以,以此圆心作圆与近似圆弧有三个交点.这就是说,实际四杆机构连杆上的 M 点画出的曲线仅能与预期曲线

三处重合,故用实验法得到的结果误差较大。

人们也可以通过实验的方法得到许多连杆曲线图谱,如果已知要实现的轨迹方程 $y=f(x)$,便可利用连杆曲线图谱来确定各个杆的长度及从动点在连杆上的位置。图 1-2 是根据 $y=f(x)$ 的形状,从 G. A. Langnas 与 G. L. Nalshang 合编的《四连杆机构分析图谱》中选出的^[42]。该书共收集了 760 幅连杆曲线图谱,每幅图谱对应于一种尺寸的曲柄摇杆机构,并给出该机构的连杆上一列点所形成的一组连杆曲线。这一列点的位置如图 1-2 右下角的小图所示。如规定曲柄长度为 1 个单位,则有下列比例:

$$\text{曲柄:连杆:摇杆:机架}=1:2:1.5:2.$$

观察这幅图谱,可以发现每条曲线是由 72 段短线组成的,短线之间的间隔是主动曲柄转 5° 时的位移量。若主动曲柄以匀速转动时,可以粗略地定出动点的瞬时速度或在某一区间的平均速度。

如果选择其中某条曲线为预期的轨迹,则在其上某点 A 的瞬时速度

$$v_A = \frac{u s_A \omega}{5^\circ}. \quad (1-1)$$

式中, u 为比例系数(mm/比例单位); s_A 为 A 处的线段间隔长度(比例单位); ω 为主动曲柄的角速度($^\circ$ /s); v_A 的单位为 mm/s. A, B 区间的平均速度

$$v_{AB} = \frac{\sum_{i=1}^n u s_i}{n \cdot 5^\circ} \omega. \quad (1-2)$$

式中, n 为 A, B 区间短线的个数; s_i 为 A, B 区间某一处线段间隔长度(比例单位); u, v_{AB} 的单位同上式。

虽然连杆曲线图谱中收集了大量的连杆曲线,但是一般很难找到与预期曲线一样的曲线。如果要准确实现从动点以某种运动规律沿预期曲线运动,是不能通过分析连杆曲线图谱得到的。

2) 解析法

解析法是对表征机构尺寸参数和运动参数的关系进行求解,从而确定出各项待定参数,再利用求出的各项参数,设计出所需的实现规定要求运动的连杆机构。随着计算机的应用,该方法也得到了广泛的应用。

在解析法中,预期曲线可以两种方式给出:一是如图 1-3 所示的方程 $y=f(x)$ 形式;二是如表 1-1 所示的离散点 $\{x_i, y_i\}_0^n$ 形式。

表 1-1 中, φ 表示曲柄转角,故每一个离散点 $\{x_i, y_i\}$ 对应于一个曲柄转角 φ_i ,也即每一个曲柄转角 φ_i 实现对应的一个离散位置点 $\{x_i, y_i\}$,而二者之间的对应关系则由所需的动点运动规律来确定。所以,可以用预期实现曲线上的位置点或离散点,通过组成一定的方程组求解,得到相应的连杆机构的各项参数,从而设计出所需的连杆机构。既然是方程组就要分析方程中的待定参数的数目,即非线性方程组的维数。

根据图 1-4 中各参数的几何位置关系,可以推出以下关系式:

$$\left. \begin{aligned} x_M &= x_A + L_1 \cos(\varphi + \psi + \eta) + L_5 \cos(\theta + \delta + \eta); \\ y_M &= y_A + L_1 \sin(\varphi + \psi + \eta) + L_5 \sin(\theta + \delta + \eta). \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

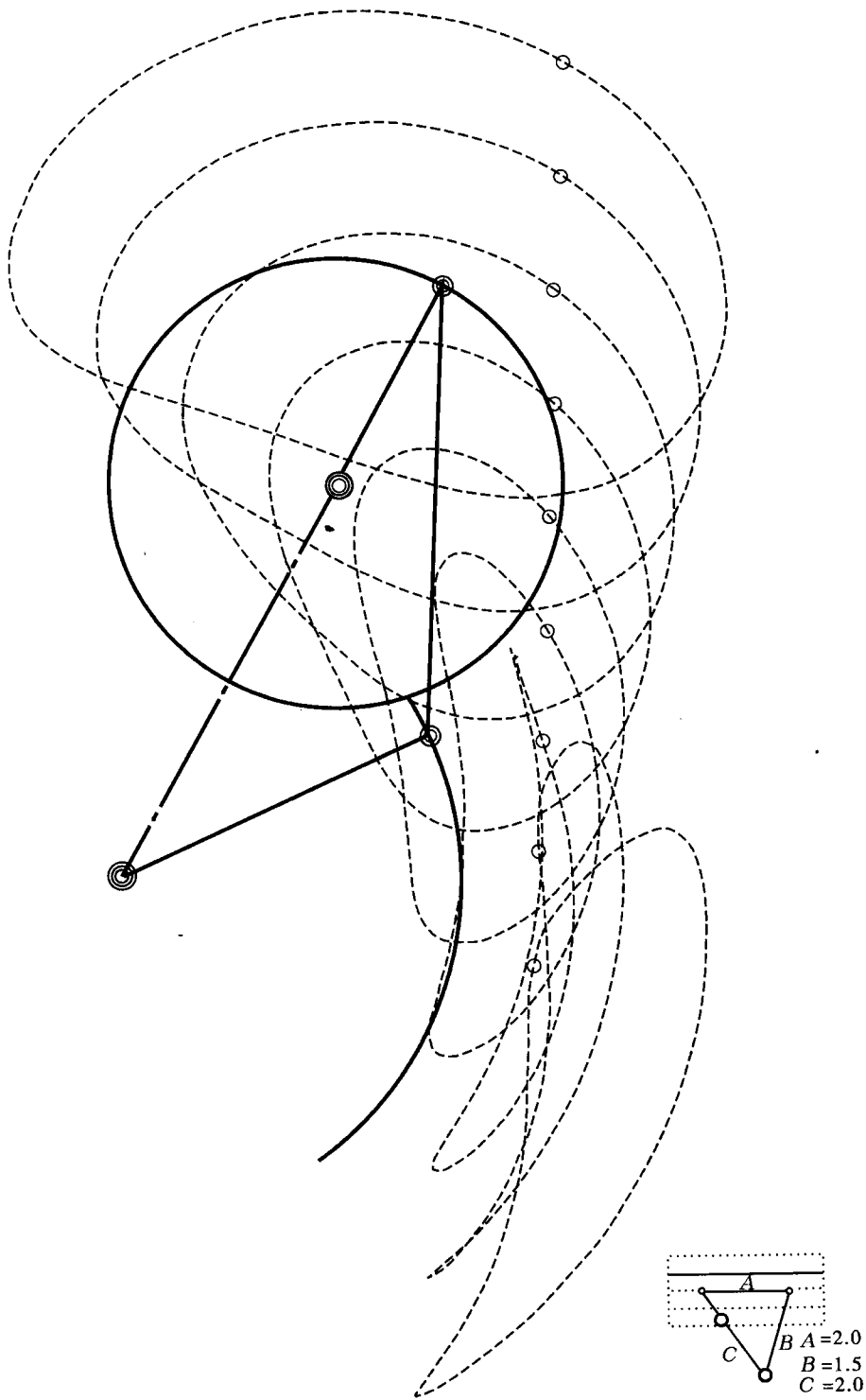


图 1-2 连杆曲线图谱