

国外机械工业基本情况

机 构 学

陕西机械学院 主编

机械工业出版社

一九八六

出版说明

机械工业肩负着为国民经济各部门提供技术装备的重任。为适应四化建设的需要，必须大力发展机械工业。上质量、上品种、上水平，提高经济效益，是今后一个时期机械工业的战略任务。为了借鉴国外机械工业的发展道路、措施方法和经验教训，了解国外机械工业的生产、技术和管理水平，以便探索我国机械工业具有自己特色的发展道路，我们组织编写了第三轮《国外机械工业基本情况》。这一轮是在前两轮的基础上，更全面、系统地介绍了国外机械工业的行业、企业、生产技术和科学研究等方面的综合情况，着重报道了国外机械工业七十年代末和八十年代初的水平以及本世纪末的发展趋向。

第三轮《国外机械工业基本情况》共一百余分册，参加组织编写的主编单位包括研究院所、工厂和高等院校共一百余个，编写人员达一千余人。本书为《机构学》分册，是由陕西机械学院曹惟庆主编，参加编写的有：第一章陕西机械学院曹惟庆北京朝阳区职工大学许栌生；第二章上海交通大学分校周仁；第三章西安交通大学徐曾荫、蒋希诚；第四章北京航空学院陈宁新；第五章陕西机械学院齐维浩；第六章陕西机械学院周菁；第七章唐山科技学院张策、陕西机械学院阮忠唐；第八章上海机械学院朱邦贤；第九章中国纺织大学华大年、章文俊；第十章陕西机械学院霍荆平；第十一章西北工业大学傅则绍。责任编辑冯宗青、张绪江。

机械工业部科学技术情报研究所

目 录

第一章 国外机构学近况综述	1
一、机构结构理论	1
二、平面连杆机构	2
三、空间连杆机构	3
四、凸轮机构	4
五、机构动力学	4
六、周转轮系	6
七、组合机构	6
八、机构优化设计	7
附录一 查阅国外机构学文献的几种主要文摘、题录、索引简介	8
附录二 登载机构学文献的几种主要国外期刊	9
附录三 国外机构学的有关著作	11
附录四 国外机构学学术会议和查找方法简介	17
第二章 机构结构理论	26
一、对六十年代以来到七十年代中的简单回顾	26
二、现状概述	27
三、结束语	36
第三章 平面连杆机构	38
一、平面多自由度、多杆机构的分析和综合方面	38
二、平面四连杆机构综合中某些实用问题的研究	41
三、电子计算机的引入, 开拓了平面连杆机构研究的新途径	44
四、平面连杆机构综合理论在实践中被广泛地应用	46
第四章 空间连杆机构	49
一、空间连杆机构的结构分析与运动分析	49
二、空间机构的运动综合	54
三、空间连杆机构动力学	58
第五章 凸轮机构	67
一、凸轮机构从动件运动曲线的研究	67
二、平面凸轮机构的运动分析和运动几何学	68
三、平面凸轮机构的设计	70
四、凸轮机构动力学的一般研究	71
五、内燃机(高速)凸轮机构动力学研究	77
六、凸轮机构的计算机辅助设计	87
七、空间凸轮机构	89
第六章 机构动力学	96
一、简介	96
二、机构的刚体动力学	96

三、机构的弹性动力学	100
第七章 周转轮系	109
一、概述	109
二、用信号流程图法进行复式轮系的运动分析	112
三、用图论法确定多路轮系中的载荷	118
第八章 机构最优化设计	124
一、前言	124
二、现状概述	124
三、发展趋势	143
第九章 组合机构	148
一、概述	148
二、齿轮-连杆机构	149
三、凸轮-连杆机构	167
四、凸轮-齿轮-连杆机构	170
五、带挠性件的组合机构	175
第十章 实验及测试技术	181
第十一章 机构学展望	185

第一章 国外机构学近况综述

机构学是一门基础技术科学，是研究机构结构理论、运动学及动力学的综合性学科。它来源于机械设计制造中的实践总结，同时机构学的研究又推动了机械工业的发展。随着生产过程的完全自动化及向高精度、高速度、高效率发展的总趋势，就要求设计出更多的新机构来与之适应。由于电子计算机的运算速度与容量的高度发展，促使机构学获得很大的进展。另一方面机器人技术对于机构学亦提出了更高更新的要求。因之近十年来，机构学的开发研究工作显得非常活跃。多种数学工具的引入，也丰富了机构学的研究方法。例如，新的机构结构形式的开拓；电子计算机辅助设计的应用渗透到了机构学各个领域；高速机构动力学的发展；空间机构理论的深入研究等等。这些充分说明机械学正面临着一个非常开阔的境界，并日益显示出它的重要作用。现在就某些专题对国外机构学的研究现况作一概括的综述。

一、机构结构理论

1. 平面机构结构分析与综合比较成熟，主要表现于：

分析方面

1) 较完善的活动度公式；

2) Accyp 组，机构组成理论。并相应的提出 Accyp 点运动分析法；

3) 用图论矩阵表示机械运动链得到机械链网络图形，基本参数与运动链之间的函数关系；

4) 用拆杆、拆副及推广到拆运动链的方法，把复杂杆组转化为简单杆组。或用杆组外副约束与内副约束互相转化的方法把复杂杆组转化为简单杆组，从而简化运动分析与力计算，这种方法适用于各种阿苏尔组机构，也适用于不属于阿苏尔组的机构和液压式驱动机构。

综合方面

1) 给出 $W = 1$ 的由 R 副、 P 副构成的单闭链的全部结构类型及其分类运动特征；

2) 给出 $W = 0$ 的由 R 副、 P 副构成的单闭廓的全部结构类型，及其转化为 $W = 1$ 的单闭链时杆长的特定长度；

3) 给出 $W = 1$ ，七杆以内可能和全部复链结构类型，近年来已有用图论方法应用于机构结构综合；

4) 给出 Accyp 组八杆以内可能有的全部复链结构类型。

平面机构的结构综合的这些成果是以较准确实用的平面结构公式和揭示的机构组成规律为前导的；

5) 齿轮连杆机构的类型综合。六杆及八杆组成的凸轮连杆机构；

6) 机械网络系统的约束方程的研究，机械瞬态特性的研究。

2. 与平面机构相比较，空间机构的结构分析和综合差距甚大，关键在于对结构分析方面的认识和揭示其组成规律方面不够深入。目前在空间机构结构理论方面已有的成就及研究现状如下：

空间单闭链结构分析与综合

- 1) 具有普遍意义的活动度定义;
- 2) 对于过约束机构的分类, 无过约束机构, 一般过约束机构, 特殊过约束机构;
- 3) 确定环路中独立位移方程式的 ξ 值的各种方法: 虚位移方程系数矩阵求秩法, 螺旋系数法, 位移方程组独立方程数确定法、图论中的关联矩阵法, Dementberg 法, 约束函数法;
- 4) 用 H 、 R 、 P 副组成的单闭链 $W = 1$ 的无过约束机构只有 4 类, 一般过约束单闭链共 70 种, 它们相应于 830 个运动链。而由 R 、 P 副组成的单闭链只有 18 种, 由 R 副组成的只有 5 种;
- 5) 综合出 $W = 0$ 的一般过约束单闭链共有 94 种, 在特定几何条件下, 它们可能转化为 $W = 1$ 的特殊过约束机构。因此 94 种类型即可能成为特殊过约束单闭链的全部结构类型。研究发现新的特殊过约束单闭链及其存在的充要条件, 是空间结构理论研究的重要课题之一。

空间复链的结构分析与运动学

- 1) 关于准确实用、能用于结构分析和结构综合, 且各回路具有不同过约束的空间复链结构公式的研究;
- 2) 空间复链网络构成及其网络类型的研究;
- 3) 空间复链结构组成规律, 即运动副在复链网络上分布规律的研究;
- 4) 空间复链过封闭约束存在的充要条件及其基本类型的研究;
- 5) 空间复链局部自由度存在的充要条件问题;
- 6) 空间复链结构综合方法的研究, 显然是以前述课题研究为基础的。

3. 关于结构理论的深入发展

结构理论研究的更进一步发展, 应包括:

- 1) 将结构综合得到的各种类型的机构按运动学、动力学特性进行分类, 为生产或设计新机构提供理论依据。特别是研究具有实用价值较大的新机构问题;
- 2) 以结构理论为基础, 建立相应的运动学分析与综合, 动力学分析与综合的具有普遍意义而又较简单的方法, 以使结构理论、运动学、动力学三个部分成为一个整体系统。

这些较深入的问题, 在平面机构中已经得到部分解决, 在空间机构也已开始探索解决的途径。

二、平面连杆机构

平面连杆机构是一种已研究得比较充分, 成熟的机构。其分析与综合的方法也比较完整、严密。但随着生产过程的完全自动化、高效率、高精度的总趋势, 就要求能设计出更多、更好的新机构来适应。平面连杆机构由于其结构简单、制造比较方便且具有优良的性能, 而往往首先被机械设计师们所选用。因而从七十年代末期到八十年代初期的七、八年中仍有显著进展。其主要方面可归纳如下:

1. 随着工厂自动化的发展, 要求机构能完成复杂、精确的运动以及其他特殊要求, 但一般的平面四连杆机构难于满足。故机构学家较多的注意到利用多杆、多自由度的平面连杆机构来实现这些要求, 从而提出了许多这类机构的运动分析和综合方法的研究论文。此外, 还引入了图论等数学工具, 对机构进行分类, 探讨每类机构可能组成的结构形式及其特点进

一步研究其运动分析和综合方法。从目前情况看来, 其中还有许多问题, 有待进一步的研究。

2. 随着工业的发展, 许多机器的运转速度日益提高, 因此提高机器效率等的实际问题也不断提出, 促进了平面四连杆机构的分析与综合向实用化方向深入发展。例如, 怎样使四杆机构具有最佳的传动条件, 以提高机构的效率。因而相应提出了“具有最佳传动角的铰链四杆机构的综合”、“以动力传动角作为目标函数的四机构综合”等的研究论文。

3. 随着电子计算机的普及, 机构分析和综合也已经普遍使用电子计算机。故目前的趋势是编制适用范围大, 计算时间短、使用方便的通用性软件。

但是由于机构综合的数学模型, 均是非线性方程, 虽然可以采用数值解或最优化技术, 但是往往要在计算机中进行较长时间的叠代运算, 然后才能求得解。因而怎样缩短计算时间并能得到一个接近全局最优的解, 是计算机引入平面连杆机构综合后提出的新课题。解决上述课题的主要关键大致有二个方面, 一是改进计算方法, 提供新的有效计算程序; 一是怎样利用机构学的理论, 提供一个合适的机构初值, 根据这个初值经过优化计算得出一个接近全局最优的解。

4. 在研究方法上, 虽然由于电子计算机的普及, 用解析法综合机构已越来越普遍。但是几何图解法的研究仍在继续深入, 因为几何图解法有简明、直观的几何概念, 与实际机构比较接近, 往往能给人提供某些解决问题的启示。因而在很多论文中均把研究的实际机构先变换成几何图形, 在图解分析的基础上, 再建立起数学模型进行分析求解。因而几何图解法在机构综合中仍具有重要的地位。

5. 从大量的资料来看, 近年来运用机构学的成果来改进现有机械的论文在增多, 这是资本主义国家商业竞争的一个侧面。例如纺织机械上投梭机构的改进、起重机吊臂机构的改进、街道用运输小车转弯机构的改进、回旋加速器上分离器机构的改进……等等。

在上述的前几个方向方面, 我国学著均有相应的论文发表, 论文的水平也比较接近。但在应用机构综合理论, 改进我国机械产品方面, 看到的成果不多, 亟待改进。

三、空间连杆机构

与平面机构相比, 空间机构结构复杂, 内容丰富, 尽管几十年来空间连杆机构的研究有了巨大进展, 目前仍是机构学研究中最活跃的领域之一。近几年来, 空间机构的研究继续向纵深方向发展, 从对单环机构的研究已经扩展到多环机构的研究, 但目前仍主要是对单环机构系统深入的研究。新的研究方法和多种形式数学工具的引入给空间机构的研究开拓了广阔的前景。

结构分析与综合是空间机构研究的基础理论。机构组成原理的线性分析方法(如用线性空间理论和用刚体运动的瞬时螺旋轴概念研究空间机构的自由度等)在单环机构中比较成熟, 现已主要转向多环机构方面。单环机构中对过约束机构的研究仍是最令人感兴趣的题目之一。过约束机构在空间机构中占有重要地位, 对过约束机构组成原理的探讨有助于对空间机构结构本质的认识。虽然多年来这一题目引起了许多学者的瞩目, 并已取得相当成就, 但基本问题尚未能完全解决。目前仅系统地导出了四杆过约束机构的全部类型, 五杆和六杆过约束机构仍处于不断的探索之中, 在这方面线素几何学的理论对于过约束机构的研究发挥了并将继续发挥重要作用。

对各类空间单环机构的位移代数分析是机构运动分析中首先要解决的问题。空间7-R机构位移输入—输出方程的导出,标志着主要类型的单环机构位移代数分析的难题已经基本解决。对于单环机构中复杂的环路方程间的联系也有了进一步的认识。位移的数值分析方法在单环和多环机构中都进行了新的探讨。对于反映空间刚体运动重要特征的瞬时螺旋轴以及连杆运动的重要几何特性也进行了广泛的研究。

单环低副机构的运动综合有了进一步的发展,已经提出了各种单环低副机构综合的数学模型,并建立了实用的设计方程及计算程序。对某些空间机构的 Burmester 线以及机构的函数综合与刚体位置导引等问题都有文献进行了不同程度的论述。此外,在机构运动综合中,为保证综合出的位置在解集的同一支上的“分支”问题,以及按指定顺序依次通过指定位置的“序”问题也进行了探讨。

函数逼近理论在空间机构的近似综合中得到了进一步的发展。尤其是优化方法,不但可以达到运动综合的要求,还可以通过相应的目标函数及约束集考虑其他设计要求,因此这一方法正在空间机构的设计中逐步推广。

用对偶数的形式把空间的力和力矩表示为一个二元力,在空间连杆机构的动力分析中得到了推广应用。用这种形式已给出了空间机构的动力学方程式,并应用于某些具体机构的动力分析。有些机构的动力分析还进一步考虑了连杆的弹性变形。近几年来,空间机构的动力平衡研究受到了广泛的重视,有的文献还进一步进行了机构的综合优化平衡。总之,空间机构的动力分析正在逐步走向实用阶段。

四、凸 轮 机 构

凸轮机构的分析与设计中比较成熟的内容是平面凸轮机构的运动学与动力学两部分。运动学部分包括运动曲线的研究,凸轮机构的运动分析与运动几何学,其中包括了利用专门图表计算凸轮的最大压力角和最小曲率半径。动力学部分包括凸轮机构考虑了振动的廓线设计,凸轮曲线的动力效应,凸轮从动件系统的模拟设计,考虑制造误差和间歇对传动性能的影响。另外,还有凸轮设计中的磨擦学分析,以及有关凸轮材料和润滑的设计等的研究。以上这些内容在专门论著中已有报导。此外有用于多次停歇的新型凸轮连杆机构的研究,用于平面凸轮和从动件杆件系统的计算和计算机辅助系统的研究。

关于从动件运动曲线的研究,目前对于多项式凸轮寻求能满足任何运动要求的通用多项式表达。另外已有提出组合曲线的概念,所谓通用凸轮曲线的探讨。除了基本的常用曲线之外对于凸轮曲线的组合、修正、多项式凸轮, Fourier Series 曲线作了详尽的讨论。

凸轮廓线设计在解析法中目前已引入有限元分析,优化技术。

从动件系统的力学模型的研究考虑了多自由度模型分析,高速从动件系统模型分析。

电子计算机辅助设计应用于凸轮机构已经有比较全面的程序结构。

空间凸轮机构的报导则有:关于分度凸轮的分类及设计问题;关于压力角、接触情况、曲率(包括干涉)等的计算。

五、机 构 动 力 学

在机构中,力的计算近几年来进行的研究工作有下列诸方面新的发展:

1. 多闭廓机构的动态静力学分析及动力分析,用拆杆的方法。

2. 过约束机构中力的计算问题。在机构中有过约束时，在若干外力和外力矩作用之下是属于静不定机械系统。为了找出铰链中的力及力矩，需要用静力及动力平衡方程式，此外尚需用弹性平衡条件。

3. 运动副中的摩擦效应对于传送机构性能影响之研究。

考虑摩擦是根据库伦定律、机构运动方程式及约束反力方程式之推导。库伦摩擦不仅决定于机械系统的运动，且决定于系统中的约束反力，但在一般分析力学的原理、在进行运动方程式推导时，可不考虑约束反力，因为如果要考虑约束反力，则计算非常繁复，甚至难以全面地解决库伦摩擦的问题。

4. 运动副的间隙会引起冲击，从而增加动力载荷，结果是加速了磨损，降低了精度，增大了噪音、振动及疲劳失效。严格控制间隙则增加了制造成本。在机械设计中希望在有间隙的情况之下不致于有内部冲击。这方面的研究是尝试在一定的间隙分布情况下使运动副中免受冲击。

5. 摆动力和摆动力矩的平衡（机构平衡问题）。

1) 摆动力和摆动力矩的完全平衡

机构达到摆动力完全平衡时，该机构的总质心不动，因之关于配重选择是很重要的。

平面机构配重数选择的研究所得到的结论是对于没有特殊结构的 n 杆机构可以用 $\frac{n}{2}$ 个配重以达到平衡。关于这个问题，国内学者的研究结果得到相同的结论，且得到了空间机构配重数的结果。另外，为了使轴承中受力，摆动力矩及驱动力偶矩得到最佳效果，选择加配重的构件必须尽可能的靠近固定铰链。从平面机构质量中心轨迹研究中得到了关于配重影响摆动力及摆动力矩平衡的若干性质。

在机构摆动力完全平衡的基础上，要达到摆动力矩完全平衡，需要有特殊的配重结构。这在实用上往往不易做到，而只是达到摆动力矩的部分平衡。

摆动力完全平衡的配重数是 $n - 2$ ，因之可以选择加配重的构件，这样就有可能对摆动力矩作优化处理。例如缝纫机输线四杆机构经过优化后使缝纫机的速度由3200转上升到4000转。

除直接考虑摆动力矩外，尚可考虑在摆动力完全平衡的四杆机构中降低角动量的波动，也可考虑在机构中，构件尺度不变的前提下，输出构件及连杆的质量分布保持在某一范围内可达到摆动力矩的最小均方值等等。

2) 摆动力及摆动力矩之部分平衡

机构在运转中各构件的角加速度可以用输入件转角的富里哀级数表达，可用计算决定其截项后的保收值。

当输入构件有最佳配重时，可以使一般平面机构得到部分摆动力平衡，也可得摆动力的谐函数及摆动力矩的部分平衡。

在高速、重载机构中的构件已不是刚体，因此在机构学中发展了弹性构件动力学的研究。这已经成为当前机械原理工作中的一个主题，有很多专家在这方面做了很有价值的工作。

关于这方面的论著有弹性体动力特性的研究，其中包括闭式链机构挠性构件动力学研究及开式结构的分析，已普遍应用于机械手、生物工程（骨骼），农业（树振动）的研究。对

于机构，机器人结构系统承受非线性力及阻尼时的弹性动力学研究。

罗马尼亚学者研究了双杆组的弹性动力分析，把实际机构的偏移类比于转换机构的速度，求出了各种双杆组的角度及直线的基本偏移量，其中包含了构件元素的横向及纵向振动。

当机构作用在承受液体中的运动及动力分析计算，所谓粘滞体弹性动力学的研究。

在凸轮机构中凸轮挠性从动件的热弹性模型试验中考虑了凸轮热变形问题。考虑热动力分析及构件热变形问题是属于热弹性动力学的（KITED）的研究内容。在凸轮机构中考虑动力效应、弹性变形及热变形问题时的凸轮廓线设计。

六、周 转 轮 系

在周转轮系的研究中应用图论进行结构分析及分类，目前有运用信号流程图法进行复式轮系的运动分析与功率流程分析。对于周转轮系的效率计算及功率流，各轴上扭矩计算是很重要的，因为在周转轮系中机械效率往往很低，装配后常发生不能在低效率中工作或甚至不能旋转的毛病，为了避免这些缺陷在设计时必须事先计算理论效率值和作用在各轴上的扭矩值。为了设计的方便需要有各种形式的行星轮系和差动轮系的速比、效率和轴扭矩等计算公式，做成一览表就能使设计现场容易无误的使用。另外在行星轮系中内齿轮用得较多，因之要充分研究渐开线和次摆线的干涉等问题。行星轮系的浮动均载装置的研究对于提高机构使用寿命，改善振动及噪音有相当的意义。

七、组 合 机 构

组合机构的研究在近10年来的进展是迅速的，出现了不少专著与专利。归纳起来有下列几个方面：

1. 目前在组合机构的结构类型方面有多方面的进展。

1) 对于有些组合机构的类型综合方面有了较详细的探讨，如齿轮连杆机构的型综合的研究。

2) 组合机构一般由两种基本机构组合而成，近年来研究三种基本机构组成的组合机构，如凸轮、齿轮、连杆等。

3) 带挠性件的差动机构在纺织等行业中应用较多，能完成二自由度的运动综合，这种组合机构有着广泛的用途。

4) 空间组合机构的研究已经有了个别品种的详细理论分析，目前已有双齿轮球面五杆机构的设计的论文发表。这标志着组合机构的研究正在蓬勃的进展。空间组合机构可以做到位置紧凑、体积小，能达到的运动型式也较多，因之这方面的发展正是方兴未艾，有不少生长点可以探讨。

2. 在组合机构的分析及综合方面正向纵深方向发展，例如对于停顿性质的探讨，研究了多阶停顿条件；在运动特性上研究了跃度曲线；目前已开始引向动力特性的研究，如关于传动角的探讨。双齿轮五杆机构传动角的优化设计是典型的实例，已经研制出设计方便的图表。另外优化设计也已发展到组合机构的运动学设计。

3. 由于组合机构能达到的运动特性不是单一的基本机构所能实现的，它弥补了机构运动学中在各种机械行业如轻工业、纺织、印刷等生产上的运动学要求，因之十分需要研究开

发。就广义来说组合机构除了刚性机构的组合以外，尚应包括机、电、液等的组合机构，这种新型的组合机构的开发研究亦是很值得探讨的。

八、机构优化设计

优化设计方法给机构学的研究提供了一个有力的工具，很多用常规方法不容易解决甚至无法解决的问题，应用优化技术后往往迎刃而解。另一方面，机构学研究者们在应用优化技术的同时又不断地发展了这门技术，提出了许多新的理论和方法，使优化技术更趋完善。

在最近10年内机构优化设计有着迅速发展的趋势，主要可分为两个方面，一方面是优化理论及技术的发展，再一方面是优化技术在机构学中应用的推广。

1. 罚函数法是应用最多的一种优化方法，但是外点罚函数法仅当罚参数充分大时才逼近最优解，运算所需时间较长；而内点法则需要一个满足所有约束条件的初始点，设计者往往为找这样的点而费一番功夫。用新的罚函数法克服了上述不足之处。它既非外点又非内点罚函数，不需要严格选择初始点，却能从可行域的内部逼近最优解，这个方法是对罚函数法的重要改进。

关于优化的初始点问题，提出了对初始点本身进行优化的想法，就是把所有的约束条件构成一个目标函数，若约束条件满足时能使这目标函数为零，此点必在可行域内。用优化方法求出使用目标函数为零的设计变量，然后再转入正常的优化程序。

优化设计要进行大量的反复计算，耗费较多的计算机时间，这似乎是优化方法的固有特点。有一些研究者想改变这种状况，希望找到能很快求得结果的方法，用不迭代的直接求解法或者虽有迭代过程，应用付里叶级数及泰勒级数后使迭代计算时间很短，这样还可以保证机构运动的连续性，克服用精确点法综合时可能产生的分支（Branching）问题。

寻求一种通用的优化方法，能够用于各种机构的各种运动类型。有的学者提出了运动学单元的概念，并给出了两种运动学单元——两端铰接的杆和带滑动副的杆——的方程及其一阶偏导矩阵，以便在优化时计算误差函数和梯度。

在寻求最优解时，一般只要找到一个满足要求的局部最优解就可以了，而有时却需要求得全局最优解。但若为此而搜索全部可行域则费时太多，甚至不可能。有的学者提出了对目标函数的一些简单的剖析，对于求全局最优解的问题是非常有用的，在某些情况下大大地减少了搜索工作量。

对于较复杂的机构综合问题，设计变量往往很多，对此有的文献采用了分层优化的方法，通过引入一定的中间变量，将优化问题分成几个较小规模的子问题来处理，对每个子系统优化后再进行最终的优化。这样做的好处之一是使程序可以在小型微机上运行。

总之，优化技术及理论的发展主要集中在两个方面，一是探索更完善的优化方法，以使用方便，收敛性好，运算时间短为目标；另一方面是力求准备建立通用的优化程序，以便使机构优化设计进入广泛的工程实用阶段。

2. 在机构优化设计领域中，最近10年来机构运动学的优化向纵深发展，机构动力学的研究已进一步获得应用且有明显的进展，四杆机构平衡振动问题的优化设计从刚性机构引向弹性构件的优化设计，凸轮机构的弹性动力学优化设计，高速槽轮机构的优化设计等问题都已有深入的研究。另外，平面机构的优化设计在连杆机构方面已由四杆发展到六杆机构及多杆多回路机构的优化设计。齿轮、凸轮、轮系、间歇运动机构等全面的扩展到各种机构领域，同

时空间机构的优化设计已发展到空间四杆机构, 球面机构, 蜗轮蜗杆的优化设计问题的研究。

参 考 文 献

- [1] K. V. Frolov, Achievements and Problems of Modern Theory of Machines, Proceeding of 6th World Congress on The Theory of Machines and Mechanisms, 1983, pp. 5-7.
- [2] B. Roth, Multi-degree of Freedom Mechanical Systems, *ibid.* 1987, pp. 1-4.
- [3] L. Maunder, Theory and Practice, Proceeding of 5th World Congress on The Theory of Machines and Mechanisms, 1979, pp. 1-7.
- [4] I. I. Artobolevskii, General Problems in the Theory of Machines and Mechanisms, MMT Vol. 10. No 2/3, 1975, pp. 125-130.
- [5] I. I. Artobolevskii, Past, Present and Future of The Theory of Machines and Mechanisms, MMT vol. 11. No. 6, 1976, pp. 353-361.
- [6] Fan. Y. Chen, Mechanics of Design of Cam Mechanisms, Pergamon Press. 1982.
- [7] R. R. Root, K. M. Ragsdell, Survey of Optimization Methods Applied to the Design of Mechanisms, Trans. ASME (B), vol. 98, No. 3, 1976, pp. 1036-1041.
- [8] K. H. Hunt, Geometry—The Key to Mechanical Movements, MMT. vol. 11, No. 2, 1976, pp. 79-89.
- [9] 雨角宗晴, 遊星歯車を差動歯車の設計計算法, 株式会社産経出版社, 1986.
- [10] N. I. Constatinescu, V. Zamfir., The Concept of Structural Group in the Analysis and Synthesis of Barrad and Geared Mechanisms, Proceeding of 5th World Congress on The Theory of Mechanisms and Mechanisms, 1979, pp. 462-465.
- [11] T. W. Lee and F. Freudenstein, Design of Geared 5 Bar Mechanisms for Unlimited Crank Rotations and Optimum Transmission, MMT vol. 13. 1978, pp. 235-244.
- [12] J. Duffy, Analysis of Mechanisms and Robot Manipulators, London Arnold Ltd. 1978.

附录一 查阅国外机构学文献的几种 主要文摘、题录、索引简介

1. 国外科技资料馆藏目录, 北京中国科学技术情报研究所编, 科学技术文献出版社出版。其机械制造、动力工程与电工分册(81年前为双月刊, 82年起改为月刊)和数学、力学分册(双月刊), 有原文献题目和中文译名, 期刊名称、卷数、页次、年份及馆藏资料分类索取号等。

2. 机械制造文摘, 科学技术文献出版社重庆分社出版, 58年创刊, 66年9月停刊, 73年四季度复刊, 为双月刊, 在通用机械零件和机构栏目中有国外机构学的文献题目、文摘、出处、年、卷、期、页等。77年起本栏删去, 有关内容列入相应专业部分。82年起成立零件和传动分册, 月刊。

3. 国外科技资料目录——机械工程, 机械工业部技术情报所出版, 月刊。80年创刊, 该刊是题录形式的检索刊物, 专门报道该所近期馆藏的特种文献, 如国际会议报告, 国外学会、协会发表的论文, 学术团体讲演论文, 新到国外图书等文献资料, 月报导量千余条文献, 其中有机构学、机械手、摩擦学等方面很多新的文献资料。

4. British Technology Index, 英国伦敦 The Library Association 出版, 有月刊和

年刊两种。按文献标题第一个英文字目分类，无摘要。

5. The Engineering Index, 为美国工程索引公司 (Engineering Index, Inc.) 于 1884 年编辑出版的检索期刊, 1906 年正式定名为《工程索引》, 有月刊和年刊两种, 按文献类别的第一个英文字母分类查找, 有文献内容的英文摘要, 并有作者索引。

6. 科学技术文献速报, 日本科学技术情报センター (JICST) 出版, 半月刊, 在机械工学编 (75 年前为工学一般、机械工学编) 中的机械工学一般、机械要素和计测器械等栏目中载有机构学文献的日、原文标题和日文摘要等。每年还出版一本年度目录汇编 (年間索引), 按专题或主题词分类。

7. 机械工学年鉴, 日本机械学会编, 年刊, 在机械要素栏中载有机构学方面文献的综合报导。

8. Реферативный Журнал, 苏联科学院全苏科技情报研究所出版, 月刊, 其第 48 分册 Машиностроительные материалы, Конструкции и Расчет деталей машин, Газопривод 中机械零件栏内载有机构学方面的俄、原文标题和文摘等内容。本文摘有年度文献题目索引。

附录二 登载机构学文献的 几种主要国外期刊

(一) 英国出版的

1. Mechanism and Machine Theory, 原名 Journal of Mechanisms, 1972 年第 7 卷起改称现名, 为国际机器理论与机构学联合会 (IFTOMM) 的学术刊物, 原为季刊, 1975 年后改为双月刊。

2. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 月刊, 系英国机械工程师学会会报。

3. International Journal of Mechanical Science, 月刊, European Publishing Corp. Ltd. 出版。

4. Bulletin of Mechanical Engineering Education, 曼彻斯特科技学院主办。

(二) 美国出版的

1. Machine Design, 半月刊, Penton/IPC 出版。

2. Product Engineering, 月刊, McGraw-Hill 出版。

3. Mechanical Engineering, 月刊, 由美国机械工程师协会主办。

4. Transaction of the ASME, 季刊, 系美国机械工程师协会会报。1959 年起分辑出版, 其中与机构学有关的, 如:

(1) Series B, Journal of Engineering for Industry.

(2) Series E, Journal of Applied Mechanics.

(3) Series F, Journal of Lubrication Technology. 此书由 1984 年改名为 Journal of Tribology.

(4) Series J, 又分为几辑出版, 其中 Journal of Mechanical Design. 此书由 1983 年改名为 Journal of Vibration, Acoustics, Stress and Reliability in Design. 及 Journal of Mechanisms, Transmissions and Automation in Design.

5. ASME Paper, 美国机械工程师协会会议论文, 单行本。

(三) 日本国出版的

1. 日本機械学会論文集 (C編), 月刊, 日本机械工程师学会主办。
2. Bulletin of the JSME, 月刊, 日本机械工程师学会用英文出版的会报。
3. 日本機械学会誌, 月刊, 日本机械工程师学会主办。
4. 機械設計, 月刊, 東京日刊工業新聞社出版。
5. 機械の研究, 月刊, 東京養賢堂出版。
6. 自動化技術, 月刊, 東京工業調査会出版。
7. 精密機械, 月刊, 日本精密機械学会出版的会誌。
8. 機械技術研究所所報, 双月刊。茨城県機械技術研究所出版。
9. 機械研ニュース, 月刊。茨城県機械技術研究所出版。

(四) 苏联出版的

1. Машиновезение, 月刊, (1965年起发行)。苏联科学院机械研究所出版。
2. 《Известия Высший Учебный Завезений》 (Машиностроение), 月刊, (1958年开始发行)。莫斯科鲍曼工大主编。
3. 《Известия Высший Учебный Завезений СССР》 (Приборостроение), 月刊, (1958年开始发行)。列宁格勒工大主编。
4. Вестник Машиностроения, 月刊, (1921年开始发行)。
5. Механика Машин, 每年2~4册, 不定期。苏联科学院机械研究所主编。
6. Теория Механизмов и Машин, Харьков: Виша школа, 每年2册, 不定期, (1965年开始发行)。
7. Труды института машиновезения семинар по Теория машин и механизмов АН. СССР, 每年2~4册, 不定期, (1966年后停刊), 苏联科学院机械研究所出版。

(五) 联邦德国出版的

1. Konstruktion (im Maschinen-Apparateund Gerätebau), 月刊, 德国工程师学会 (VDI) 主办。
2. VDI-Zeitschrift, 半月刊, 德国工程师学会主办。
3. VDI-Berichte, 系德国工程师学会主办的不定期专集。
4. Feinwerktechnik und Messtechnik, 月刊, 德国工程师学会主办。
5. Industrie-Anzeiger, 每三天一期的快报, 在埃森出版。
6. Die Maschine-Internationale Zeitchrift für Fertigungstechnik und Konstruktion, 月刊。
7. A. G. T. Dokumentation-Antriebs + Getriebe-Technik · Hydraulik · Puenmatik, Verdichter · Dichtungen · Armaturen, 季刊。

以上两种均 Herausgeber und Verlag, A.G.T. Verlag Thum GmbH. 出版。

(六) 民主德国出版的

1. Maschinenbautechnik, 月刊, 民主德国机制协会柏林技术委员会 (VEB) 主办。

附录三 国外机构学的有关著作

(一) 机构学的发展史与文献目录

1. J. de Groot, *Bibliography on Kinematics*, 荷兰英德哈文技术大学出版, 1970。该书编有从 1525~1969 年间的运动学文献目录约 7000 种。文献目录分成按年月顺序排列和按文字 (共分九种) 排列两种形式。并有用拉丁字母排列的作者姓名表。

2. K. Hain, *Angewandte Getriebelehre*, VDI-Verlag, 1961。书中列出机构学文献 2364 种。

3. А. Н. Боголюбов, *Развитие проблемы механика машин-библиография*, 基辅出版, 1967。书中列有从 1700~1964 年间在机构学领域中的文献 4631 种, 作者姓名索引 1617 种。

4. Л. Н. Боголюбов, *Теория механизмов и машин в историческом развитии ее идей*, 《Наука》, 1976。书中介绍 19 世纪至 20 世纪初的机构学家及其成就。

5. Л. Н. Боголюбов, *Теория механизмов и машин в историческом развитии ее идей*, 《Наука》, 1976, (464 页)。

6. А. Т. Григорьян, *Механика от античности до наших дней (增订 2 版)*, 《Наука》, 1974, (479 页)。

(二) 机构学专著与教材

1. 用英文出版的

(1) A. Svboda, *Computing Mechanisms and Linkages*, McGraw-Hill, 1948。

(2) D. C. Tao, *Applied Linkage Synthesis*, Addison-Wesley, 1964, (141 页)。

(3) R. S. Hartenberg, J. Denavit, *Kinematic Synthesis of Linkage*, McGraw-Hill, 1964, (435 页)。

(4) J. S. Beggs, *Advanced Mechanisms*, Macmillan, 1966。

(5) D. C. Tao, *Fundamentals of Applied Kinematics*, Addison-Wesley, 1967。

(6) J. Hirschhorn, *Kinematics and Dynamics of Plane Mechanisms*, McGraw-Hill, 1962, (365 页), (澳)。

(7) J. Hirschhorn, *Dynamics of Machinery*, Branes & Noble, 1968, (澳)。

(8) S. Molian, *The Design of Cam Mechanisms and Linkage*, 1968, (英)。

(9) L. D. Ruzinov, *Design of Mechanisms by Geometric Transformations*, Hiffe Book Ltd, 1968, (荷)。

(10) J. E. Shigley, *Kinematic Analysis of Mechanisms*, McGraw-Hill, 1969。

(11) G. H. Martin, *Kinematics and Dynamics of Machines*, McGraw-Hill, 1969。

(12) C. E. Wilson, J. W. Mischeis, *Mechanism Design-Oriented Kinematics*, Chicago 出版, 1969。

(13) C. N. Neklutin, *Mechanisms and Cams for Automatic Machines*, American Elsevier Publishing Co., 1969。

(14) C. W. McIarnan, *Equations for Four-Bar Linkage Function Generators*,

1970.

(15) R. C. Johnson, Mechanical Design Synthesis with Optimization Application, New York VNR, 1971.

(16) D. Lent, Analysis and Design of Mechanism (第2版), Prentice-Hill, 1970.

(17) J. M. Prentis, Dynamics of Mechanical Systems, Longman Group Ltd., 1970.

(18) G. G. Herzl, Aerospace Mechanisms Series, California, 1971.

(19) J. H. Bickford, Mechanisms for Intermittent Motion, New York Industrial Press 出版, 1972.

(20) A. J. Ramous, Applied Kinematics, Prentice-Hill, 1972.

(21) A. H. Soni, Mechanism Synthesis and Analysis, McGraw-Hill, 1974.

(22) G. H. Ryder, Mechanics of Machines, 1975.

(23) E. A. Dijksman, Motion Geometry of Mechanisms, Cambridge University Press, 1976.

(24) R. Holmes, The Characteristics of Mechanical Engineering Systems, Pergamon Press, 1977.

(25) H. H. Mabie, F. W. Ocvirk, Mechanisms and Dynamics of Machinery (第3版), N. Y. John Wiley & Sons, 1978, (530页)。

(26) K. H. Hunt, Kinematic Geometry of Mechanisms, Clarendon Press, Oxford, 1978, (465页), (澳)。

(27) C. H. Suh, C. W. Radcliffe, Kinematics and Mechanisms Design, N. Y. John Wiley & Sons, 1978, (443页)。

(28) H. R. Harrison, T. Nettleton, Principles of Engineering Mechanics, London Arnold Ltd., 1978, (英)。

(29) J. Duffy, Analysis of Mechanisms and Robot Manipulators, London Arnold Ltd., 1978, (英)。

(30) F. W. Ocvirk, H. H. Mabie, Mechanisms and Dynamics of Machinery, John Wiley & Sons, 1978, (610页)。

(31) O. Bottema, B. Roth, Theoretical Kinematics, North-Holland, Austerdom, 1979, (558页)。

(32) J. E. Shigley, J. J. Uicker, Theory of Machines and Mechanisms, McGraw-Hill, 1980, (577页)。

(33) J. M. Prentis 等, Dynamics of Mechanical Systems (第2版), John Wiley & Sons, 1980, (486页)。

(33) D. L. Ryan, Computer-aided Kinetics for Machine Design, 1981, (美)。

(34) G. H. Hartin, kinematics and Dynamics of Machines, McGraw-Hill, 1982, (492页)。

(35) S. Molian, Mechanism Design-An introductory text, Cambridge Univer-

sity press, 1982, (158頁), (英)。

(36) J. Angeles, Matrix Methods in Applied Kinematics, U. A. M., 1978, (墨西哥)。

2. 用日文出版的

- (1) 機械のしくみ, 藤川健治著, 東京ダイヤモンド社, 1971, (153頁)。
- (2) 機構学, 洼田雅南著, 森北, 1972。
- (3) 機構学, 系島寛典, 東京パワ社, 1974。
- (4) 機構学のアプローチ, 斎藤二郎著, 東京大河出版, 1976, (161頁)。
- (5) 機構学 (3版2印), 丹羽重光, 東京丸善株式会社, 1976。
- (6) 着想メカニズム設計, 和田忠太著, 東京テクノ, 1976, (256頁)。
- (7) 回転機械のつりあわせ, 三輪修三、下村玄共著, 東京コロナ社, 1976, (247頁)。
- (8) 機構図学 (新編機械工学講座11), 佃勉, 東京コロナ社, 1976, (255頁)。
- (9) 自動機械機構学, 牧野洋, 東京日刊工業新聞社, 1976。
- (10) 機構学 (大学講座機械工学9), 多多良瑞一、小川鉦一共著, 森正弘編, 東京共立出版, 1977, (236頁)。
- (11) 機構学 (第4版), 山川出雲, 東京朝倉書店, 1975。
- (12) 機構運動学, 浅野永一, 東京啓学社, 1977, (151頁)。
- (13) 機構学大要 (第11版), 酒井高男, 東京養賢堂, 1977, (168頁)。
- (14) 回転体の力学, 三輪修三訳, 東京森北出版, 1978, (198頁)。(原书名 R. Gasch、H. pfitzner, Rotordynamik Eine Einführung)。
- (15) 機構学、太田博, 東京共立出版社, 1978, (205頁)。
- (16) 機構学および機械力学, 北郷薫、玉置正恭共著, 東京工学図書, 1978年第4版, (405頁)。
- (17) (精解) 機構学の基礎, 佃勉著, 現代工学社, 1980, (251頁)。
- (18) 機構学の基礎, 稻見辰夫, 東京啓学社, 1980, (227頁)。
- (19) 機構学 (第7版), 小川浩, 東京朝倉書店, 1982, (289頁)。
- (20) 機構学, 安田仁彦, コロメ社, 1983, (210頁)。
- (21) 図解メカニカルハンド, 加藤一郎編著, 1977。

3. 用俄文出版的

- (1) И. И. Артоболевский, Механизмы (Пособие для инженеров, Конструкторов и изобретателей «Акад. Наук СССР», 1951, (1175頁)。
- (2) В. В. Добровольский, Теория механизмов-2-е изд перераб. и Лоп-Машгиз, 1953, (472頁)。
- (3) А. С. Коренько, Л. Н. Кременштейн, Теория механизмов и машин, 1955, (574頁)。
- (4) Г. Г. Баранов, Дурс Теория Механизмов и машин, 1958。
- (5) Н. И. Колчин, М. С. Мовнин, Теория механзмов и машин, 1962。
- (6) С. И. Артоболевский, Теория механизмов и машин, «высшая школа»,