

JIGOU YUNDONG KEKAOXING
SHEJI YU FENXI JISHU

机构运动可靠性设计 与分析技术

孙志礼 姬广振 闫玉涛 杨强 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

机构运动可靠性设计与分析技术

孙志礼 姬广振 闫玉涛 杨强 著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

全书共分为7章:第1章绪论;第2章常用机构的运动可靠性分析;第3章串联机器人机构运动可靠性分析;第4章3-TPS(RRR)混联机床运动可靠性分析;第5章Delta型并联机构运动可靠性分析;第6章五轴加工中心机构运动可靠性分析;第7章某航炮自动机动作可靠性分析。

本书可供从事机械产品设计、制造、使用及管理的工程技术人员开展研究工作时的参考,同时也可作为本科生毕业设计及硕士研究生、博士研究生开展科研工作的参考用书。



I. ①孙... III. ①机构运动分析—可靠性—研究 IV. ①TH112

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 159501 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 23 $\frac{3}{4}$ 字数 418 千字

2015 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 69.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

前 言

机构是机械的主体,是机器内部为传递、转换运动或为实现某种特定运动,而由若干零件组成的机械装置,研究各种机械中有关机构的结构、运动和受力等共性问题的学科称为机构学。机构创新是机械系统创新的主体和灵魂,是推动我国科技进步和大力发展自主创新的重要手段。可靠性是产品重要的质量特性之一,反映了产品在使用过程中磨损、刚度、精度等性能指标的保持能力。可靠性就其本质是产品性能的延伸和扩展,是产品出厂后性能随时间变化的评价指标。在现代生产中,可靠性技术已经贯穿到产品的开发、设计、制造、试验、使用、运输、储藏以及保养维修等各个环节,并统称为可靠性工程。

几十年来,机械可靠性工程主要是在强度可靠性、寿命可靠性、风险评价、维修性和安全性等方面做了大量的工作。近年来,伴随着一些新的工程问题的出现,机构可靠性成为国内研究的热点问题之一。如对于一些应用于特殊场合的机构:空间站的飞行器对接机构、卫星侧板的展开机构、进入人体内执行手术的机器人机构、核电站的防止核泄漏安全机构等,如果其可靠性达不到规定的要求,那么后果是不堪设想的。机构可靠性分析技术是以机构学和可靠性学科为理论基础,以常用机构、串联/并联/混联机器人机构、典型工用/民用/军用机械产品主体机构为研究对象,结合有限元、虚拟样机等现代化设计分析技术,围绕机构的性能分析与设计、磨损特性分析、运动精度可靠性及可靠性灵敏度分析等内容开展研究工作。机构可靠性分析有助于了解已有机械产品的动态性能,通过对机构进行可靠性分析,可以在设计阶段进行机构多种设计方案比较与择优,能够计算出某一个原始误差随机性对机构性能影响的大小,从而发现机构中的关键环节,明确提高机构可靠性的重点和方向,为改善机构的设计质量和提高设

计水平提供准确可靠的资料和依据。

全书共分为7章:第1章绪论,第2章常用机构的运动可靠性分析;第3章串联机器人机构运动可靠性分析;第4章3-TPS(RRR)混联机床运动可靠性分析;第5章Delta型并联机构运动可靠性分析;第6章五轴加工中心机构运动可靠性分析;第7章某型航炮自动机动作可靠性分析。

本书是作者近十几年来科学研究成果的总结和浓缩,同时也包含了作者指导的博士后、博士研究生、硕士研究生所做的研究工作。

本书可供从事机械产品设计、制造、使用及管理的工程技术人员开展研究工作时的参考,同时也可作为本科生毕业设计及硕士研究生、博士研究生开展科研工作的参考用书。

由于时间仓促,加之作者水平有限,书中难免存在不妥或疏漏之处,敬请读者批评指正。

作者

2015年3月15日

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 研究机构运动可靠性的意义	1
1.1.2 机构可靠性的分类	2
1.1.3 国内外关于机构运动可靠性的研究现状	2
1.2 机构学基础知识	4
1.2.1 机构学概述	4
1.2.2 典型平面机构	6
1.2.3 空间机构简介	18
1.3 机构运动可靠性设计理论基础	23
1.3.1 运动可靠性的定义	23
1.3.2 机构运动可靠性的设计理论	24
第 2 章 常用机构的运动可靠性分析	29
2.1 概述	29
2.2 曲柄滑块机构运动可靠性模型	29
2.2.1 基本概念	29
2.2.2 理想状态下机构运动关系式	31
2.2.3 考虑横向分布原始误差的可靠性计算模型	32
2.2.4 考虑误差纵向分布建立可靠性计算模型	38
2.2.5 考虑磨损建立随时间变化的可靠性计算模型	41
2.3 盘形凸轮机构运动可靠性模型	48
2.3.1 理想情况下凸轮机构运动分析	48
2.3.2 考虑误差横向分布时凸轮机构运动可靠性分析	49
2.3.3 同时考虑误差纵向分布的凸轮机构运动可靠性分析	53

2.3.4	建立包含磨损的凸轮运动可靠性计算模型	57
2.4	齿轮机构可靠性与齿轮修形技术	62
2.4.1	齿轮机构传递误差理论	62
2.4.2	标准齿轮啮合传递误差的虚拟试验样机	63
2.4.3	修形齿轮的啮合弹性变形虚拟样机	66
2.4.4	计算实例	68
2.4.5	齿轮副随机参数啮合传递误差可靠性及可靠性 敏感度分析	70
第3章	串联机器人机构运动可靠性分析	78
3.1	概述	78
3.1.1	串联机器人机构简介	78
3.1.2	机器人机构的运动误差	79
3.2	串联机器人运动学模型	80
3.2.1	PUMA560 机器人简介	80
3.2.2	创建机器人运动学模型	82
3.2.3	串联机器人自由度分析	91
3.2.4	注意事项	92
3.3	串联机器人运动可靠性仿真	92
3.3.1	概述	92
3.3.2	影响机器人运动可靠性的主要因素	93
3.3.3	模型参数化	94
3.3.4	创建 ADAMS 用户自定义函数	100
3.3.5	运动可靠性仿真	101
3.4	仿真结果分析	110
3.4.1	曲线后处理	111
3.4.2	仿真结果数据	113
3.4.3	计算可靠度	115
3.5	开发运动可靠性仿真模块	118
3.5.1	定制 ADAMS 用户界面	119
3.5.2	定制 VC++ 用户界面	124
3.5.3	模块的使用	125

第 4 章 3-TPS(RRR) 混联机床运动可靠性分析	126
4.1 运动学分析	126
4.1.1 机床机构描述	126
4.1.2 机构的位置反解	127
4.1.3 平行约束机构的位置分析	129
4.1.4 机构的雅可比矩阵	133
4.1.5 工作空间分析	135
4.2 机构静态位姿误差分析	140
4.2.1 并联机床误差的基本分类	140
4.2.2 影响机床加工精度的误差来源	142
4.2.3 位姿误差模型的建立	143
4.2.4 并联机构的误差敏感系数	152
4.3 运动精度可靠性分析	156
4.3.1 基于蒙特卡罗法的 3-TPS(RRR) 混联机床误差分析	156
4.3.2 运动精度可靠性预测与评估	182
第 5 章 Delta 型并联机构运动可靠性分析	185
5.1 Delta 型并联机构运动学分析	185
5.1.1 机构描述	185
5.1.2 机构的位置分析	186
5.1.3 机构的速度及加速度分析	195
5.2 Delta 型并联机构静态位置误差建模	199
5.2.1 Delta 型并联机构位置误差建模方法	199
5.2.2 灵敏度分析	215
5.3 Delta 型并联机构运动可靠性分析	218
5.3.1 机构的运动误差分析	218
5.3.2 机构的运动可靠性分析	220
5.3.3 Delta 型并联机构运动可靠性分析	222
5.3.4 并联机构运动可靠性灵敏度分析	227
5.4 仿真技术在运动可靠性分析中的应用	232
5.4.1 虚拟样机技术在并联机构运动学分析中的应用	232

5.4.2	虚拟样机技术在并联机构运动可靠性研究中的应用	235
5.5	考虑动力学特性的 Delta 型并联机构运动可靠性分析	249
5.5.1	刚—柔混合机构动力学分析理论	249
5.5.2	机构刚—柔混合建模的理论与实现	254
5.5.3	Delta 刚—柔混合机构动力学仿真过程	267
5.5.4	机构运动精度可靠性仿真软件(KRSSM)的开发	281
第 6 章	五轴加工中心机构运动可靠性分析	286
6.1	加工中心机构运动学分析	286
6.1.1	位置、速度和加速度分析	286
6.1.2	加工中心轨迹规划研究	288
6.2	加工中心机构误差建模技术	293
6.2.1	加工中心关节误差计算模型	293
6.2.2	加工中心误差分析模型	298
6.3	加工中心运动精度可靠性分析	308
6.3.1	VMC650 加工中心运动可靠性分析数学模型	308
6.3.2	实例	313
6.4	加工中心进给机构的热特性分析	316
6.4.1	热特性分析的边界条件	316
6.4.2	滚珠丝杠的热特性分析	321
6.4.3	导轨的热特性分析	328
6.5	考虑进给机构热变形时 VMC650 机床运动可靠性分析	333
6.5.1	考虑进给机构热变形时 VMC650 数控机床的误差模型 ..	333
6.5.2	VMC650 数控机床的运动可靠性分析	334
6.5.3	VMC650 数控机床运动可靠度计算软件开发	334
第 7 章	某航炮自动机动作可靠性分析	339
7.1	研究背景及意义	339
7.2	某型航炮的工作原理	340
7.2.1	概述	340
7.2.2	某航炮自动机的基本工作原理	341
7.3	自动机可靠性模型的建立	342

目 录

7.3.1	主要考虑的随机因素	343
7.3.2	机心组参数化模型的建立	343
7.3.3	机心组模型的修改设置	346
7.3.4	机心组可靠性模型的建立	346
7.3.5	机心组动作可靠性的研究对象	348
7.3.6	有关计算和设置	348
7.4	应用 MARSS 分析自动机动作可靠性	350
7.5	自动机动作可靠性的仿真结果	352
7.5.1	仿真结果	352
7.5.2	应用分析	353
参考文献		355

第1章 绪 论

1.1 概 述

1.1.1 研究机构运动可靠性的意义

机构可靠性问题可划分为与承载能力相关的可靠性问题和与运动功能相关的可靠性问题。前者一般可归结为机械结构零部件的可靠性问题,目前已有较成熟的方法;后者与一般机械结构可靠性问题迥然不同,即机构运动可靠性。

运动可靠性是衡量各种系统质量好坏的重要指标。在以往的可靠性研究中较重视其强度或寿命可靠性,而对运动可靠性研究得较少。这样,运动可靠性问题就显得特别突出。例如,在齿轮机构中,各齿轮之间传递的速度并不是理想值,而是在一定范围内以一定的分布规律出现的随机变量。因此,需要给出一个指标,确定速度的允许范围,统计速度变化不超过这个范围的概率,以此衡量该机构传动质量的好坏。在柔性制造生产线上,若各运动部件之间不能相互协调地工作,或者各部件不能及时地在规定的时间内完成自身的功能,将会使整个生产线无法运行。因此,研究系统的运动可靠性具有非常现实的意义。

目前,人们对于机构运动可靠性的研究刚刚开始。有些传统学科的研究方法与动作可靠性研究类似,例如,机构精确度理论和运动误差分析,它着重解决运动可靠性中在给定运动条件下的准确性问题。在机械控制理论中,主要研究动作可靠性中的动态误差的大小。在数控机床的工艺可靠性研究中,主要研究数控机床的变形、磨损、锈蚀,物理性能变化对加工质量的影响。开展机构可靠性研究必须综合地运用机构运动学、机构动力学、机构精度学、摩擦磨损原理及可靠性工程等学科的最新成果。因此,机构可靠性的研究是机构学研究的新领域,也是可靠性技术在机械工程中应用的新课题。

自20世纪60年代以来,以疲劳、寿命为主要失效模式的机械强度可靠性、结构体系可靠性研究得到了很大发展,并迅速应用于工程机械、航空航天、电器设备、桥梁、船舶、土木工程等领域。随着机械向高速精密化、高度自动化发展及导弹空间技术的发展,人们逐渐认识到以机构动作的准确可靠为主要指标的可靠性问题日益突出,因为在很多机械上机构的故障多于结构,尤其是在航空航天

及武器操纵系统方面。例如,飞机起落架收放机构、舱门开闭机构、飞航导弹折叠弹翼机构等,都必须高度可靠,其动作失效将导致机毁人亡或贻误战机的重大事故。70 年代末,苏联有关学者提出了机构可靠性概念,并探讨了飞行器上各种可分离和可转动机构的可靠性分析方法,机构可靠性在 80 年代有了一些基础研究。进入 90 年代,欧美及俄罗斯在机构可靠性研究及应用方面已取得不少进展。例如,飞机起落架不能按要求完成其收放功能的事故;卫星通信设备的可收放天线不能按要求完成其收放功能的事故;军用及民用各种阀门的控制功能失效事故等导致了对机构运动功能可靠性的研究,苏联对此做了一些研究。又如,美国 C-5A 大型军用运输机前缘襟翼的卡住事故,以及各种阀门的卡滞故障,促使了人们对机构防卡可靠性的研究。起落架意外开锁放下事故以及波音 747 客机飞行中舱门自动打开的事故,促使了人们对闭锁系统可靠性的研究。因此,研究机构的运动可靠性具有重要的理论价值和实用意义。

1.1.2 机构可靠性的分类

实际机构的运动规律是由构成机构的各构件的几何形状和尺寸、质量、材料性能,以及作用在机构上的驱动力和工作阻力等因素决定的。对同一类机构,由于制造中质量误差,使用时工作阻力、动力源及维护保养等差异存在,它们的运动参数不尽相同。就是对同一个机构,随着使用地点、环境及使用时间的变化也是一个变量。所以,在上述影响因素为随机变量的情况下,机构运动规律的输出参数也是一个多元随机变量。

根据人们对机构功能要求,机构学可分为机构运动学和机构动力学两方面问题。因此,机构可靠性问题也可分为对应的两大类。

(1) 机构运动精确度可靠性。它是在给定机构主动件运动规律的条件下,研究机构中指定构件上某一点的位移、速度和加速度,以及这些构件的角位移、角速度和角加速度,在各种影响因素等随机变量作用下,达到规定值或落在规定值范围内的概率。

(2) 动力源工作特性的可靠性。包括载荷、惯性、阻尼特性等随机因素,研究机构瞬态运动特性输出参数达到规定值,或在规定区间的可靠性问题。

1.1.3 国内外关于机构运动可靠性的研究现状

机构的构件尺寸公差及运动副间隙可能导致机构输出运动产生显著的机械误差。为了提高机构运动精度,希望在设计时严格规定构件尺寸公差和运动副间隙,但严格的公差和间隙将大大增加制造成本。反之,较大的构件尺寸公差和运动副间隙固然可以降低成本,但随之而来的是机构运动精度的降低。为了解

决设计性能和制造成本之间的矛盾,人们一直致力于机构运动可靠性方面的研究,以尽可能将机构输出运动误差限制在允许范围内。

对于机构运动可靠性的研究主要集中在以下四个方面,其国内外研究现状如下:

(1) 考虑机构原始制造误差的机构运动可靠性研究。关于机构运动精度较为系统的分析与研究,可追溯到1966年H. P. 勃鲁也维奇等人的工作,他们对机构运动误差做了深入的研究,较全面地分析了机构运动副中的原始误差,系统地提出了分析运动副间隙引起的机构输出误差的转换机构法,为机构运动精度可靠性的研究打下了坚实的基础。从概率统计学的角度对机构运动精度进行分析与综合则开始于20世纪80年代中期,比较有代表性的工作有Sandler对齿轮和凸轮等机构的运动精度和动力精度做了深入的研究,就间隙对机构运动的影响采用非线性方法做了分析,并对自适应机构做了一定的研究,对机构可靠性的研究做出了贡献。Rhyu以平面四连杆机构杆长尺寸误差和运动副精度概率分析为基础,开展了基于可靠性的机构优化设计。赵竹青博士开展了机构运动精度可靠性设计方法的研究。张义民等利用随机摄动法和Edgeworth技术方法对平面连杆机构运动精度进行了可靠性分析。

(2) 对于机构运动副间隙对其运动精度影响的研究。以色列学者Lee等对机构运动链的速度和加速度的概率特性进行了分析,成为工程上处理间隙模型的依据;李昌等利用Lee等建立的有效杆长理论模型,基于机械动力学自动分析系统(ADAMS)虚拟环境,对曲柄滑块机构进行了可靠性虚拟实验研究;孙志礼、罗继曼也利用有效杆长理论对曲柄滑块机构、盘形凸轮机构运动可靠性模型进行了研究,得出了相应的研究成果。

(3) 考虑构件弹性变形等因素的机构动力学可靠性研究。考虑到机构朝着轻量化发展,机构中构件的变形尤其是对于构件在工作中出现的动态变形对机构输出运动的影响越来越明显,孟宪举、张策等利用矩阵理论,建立了机构运动精度概率模型和动力精度概率模型,该模型对机构可靠性动力学分析与综合具有重要的指导意义;张策等出版了《弹性连杆机构的分析与设计》一书,黄镇东等出版了《机械动力学》一书,这些专著对于机构动力学研究奠定了理论基础,拓耀飞等将弹性曲柄滑块机构的杆长、截面尺寸、铰链间隙、质量密度、弹性模量等集合、物理参数均视为随机变量,对机构输出运动进行了静态和动态误差分析,考察了机构运动速度对输出运动的影响关系。

(4) 基于计算机仿真实验方法。该方法弥补了机构设计时缺少试验数据积累的难题,主要利用计算机仿真软件,建立机构参数化模型,利用蒙特卡罗(Monte Carlo)理论进行上百万次的模拟计算,然后利用统计方法,得出机构可

靠度结果。纪玉杰博士在对 ADAMS、CAD 软件和 VC++ 之间的协调技术进行研究后,提出了以 ADAMS/View 作为研究平台,建立了机构参数化模型,对机构动作可靠性进行了仿真研究;宋黎对间隙曲柄滑块机构运动误差分析的模拟试验修正法开展了相关研究;陆凤仪等基于杆组理论对连杆机构运动精度及运动仿真研究;陈建军等对平面四杆机构运动精度可靠性进行了分析与数字仿真;武丽梅、耿华基于 ADAMS 方法对曲柄摇杆机构的运动精度进行了仿真研究;周鹰明、赵竹青对平面机构运动精度可靠性进行了理论分析与计算机数字仿真。

1.2 机构学基础知识

1.2.1 机构学概述

机构是机器内部为传递、转换运动或为实现某种特定的运动而由若干零件组成的机械装置。研究各种机械中有关机构的结构、运动和受力等共性问题的学科称为机构学。它是机械设计及理论学科的重要分支,也是机械工程设计、制造、运行、维修的重要基础。

1.2.1.1 机构学研究内容

机构学的研究内容上可分为两个方面:一是对已有机构的研究,即机构分析(结构分析,运动分析和动力分析);二是按要求设计新的机构,即机构综合(结构综合,运动综合和动力综合)。

具体来说,机构学研究包括各种常用机构的结构和运动问题,如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、间歇运动机构、螺旋机构、摩擦\挠性传动机构、组合机构、开式链机构等,研究上述常用机构的共性问题,进行机构分析和机构综合。机构分析包括结构分析、运动学分析和动力学分析。结构分析研究机构的组成并判定其运动可能性;运动学分析考察机构在运动中位移、速度和加速度的变化规律,分析过程中并不考虑各构件质量和受力大小;动力学分析研究作用在机械构件上的力与由此力所产生的运动。掌握机构分析的方法有助于合理使用机器、验证机械设计是否完善等。同时,机构分析也是机构综合的基础。

设计新机器时,需要考虑两个问题:首先,为了完成某一工艺或生产要求应采用什么样的运动;其次,采用何种机构实现上述运动要求,这是机构综合问题。所谓机构综合,就是根据要实现的运动,选定机构的结构类型,确定机构的几何尺寸,然后画出该机构的机构运动简图。对于具有高速或高精度要求的机构综合,为更好地符合实际情况,还应考虑构件弹性变形、构件惯性力和运动副间隙等动力学因素。

1.2.1.2 机构学发展历程简介

传统机构学将机构的概念局限于具有确定运动的刚体构件系统,而且将机构的运动副视为没有间隙。即传统的机构学把机构的运动看作只与其几何约束方式有关,而与受力、质量和时间等因素无关的学科。这种构件为刚体、运动副中无间隙的假设,使机构的运动学和动力学研究大为简化。机构学从其诞生的很长一段时间内,形成了基于上述假设的传统机构学学科体系。

随着科学技术的发展,当今世界又经历了一场新的产业革命。计算机技术、传感技术、控制技术、纳米技术、新材料以及各种新型驱动器和制动器在机器中的广泛应用,使机构和机器的概念发生了深刻的变化。20世纪70年代,日本科学家提出了机械电子学的新概念,认为“机电一体化系统是在机械的主功能、动力功能、信息功能和控制功能上引进微电子技术,并将机械装置与电子装置用相关软件有机结合而构成的系统”。现代机械的主要特征是计算机协调和控制,这是“现代机械”与“传统机械”的区别所在。“现代机械”概念的形成是机构学发展的一个新的里程碑,也是现代机构学形成的重要标志。现代机构学的内涵主要体现在如下几个方面。

(1) 机构的广义化。将构件和运动副广义化,把弹性构件、挠性构件、微小构件等概念引入机构之中。同时对运动副广义化,引入了柔性铰链等概念。对机构的组成进行广义化,把机构系统与驱动元件集成和融合起来,扩展了机构的内涵。

(2) 机构的可控性。利用驱动元件的可控特性,使广义机构的输入按一定规律变化,相应地可以获得可控的机构输出运动,从而扩展了机构的应用范围。机器人机构、微机电系统、可编程机构、混合驱动机构等都是机构可控性的典型应用案例。

(3) 将机构系统设计引入机构学的研究内容。这是机器概念设计以及机械产品创新设计的需要。机器概念设计的核心是确定机械运动方案,也就是机构系统方案的设计。通过机构系统设计理论、方法的研究,使机构学与机械产品创新设计紧密相连,巩固了机构学在机械工程中的地位。

(4) 在机构分析和综合中采用了现代数学工具和计算机辅助设计技术,使机构分析和综合方法得到了深入、广泛的发展,成为机构设计科学。由于机构分析和综合方法的深化,使一些复杂的工程设计问题得到了解决,从而使机构学的应用更为广泛。

1.2.2 典型平面机构

1.2.2.1 平面连杆机构

连杆机构是由若干个刚性构件用低副(转动副、移动副)连接而成的低副机构。它是一种应用十分广泛的机构,如人造卫星太阳能板的展开机构、折叠伞的收放机构以及汽车门的开闭机构等,都是连杆机构。在连杆机构中,若各构件均在相互平行的平面内运动,则称为平面连杆机构;若各运动构件不都在相互平行的平面内运动,则称为空间连杆机构。在平面连杆机构中,结构最简单且应用最广泛的是由四个构件所组成的平面四杆机构。其他由多于四个构件组成的连杆机构可以看成是在四杆机构基础上依次增加杆组而组成。因此,以四杆机构为例,简要介绍平面连杆机构。

1. 平面四杆机构的基本形式

所有运动副均为转动副的平面四杆机构称为铰接四杆机构,它是平面四杆机构的基本形式,其他形式的四杆机构均可认为是它的演化形式。如图 1-1 所示的铰接四杆机构中, AD 为机架,与机架相连接的两个构件 AB 和 CD 称为连架杆,连接两个连架杆的构件 BC 称为连杆。而在连架杆中,能绕固定轴线作整周转动者称为曲柄,不能作整周转动而只能在一定角度范围内摆动者称为摇杆。

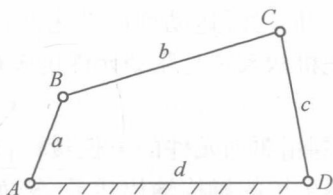


图 1-1 铰接四杆机构

在铰接四杆机构中,按连架杆能否作整周转动,可将铰接四杆机构分为三种基本形式。

1) 曲柄摇杆机构

在铰接四杆机构中,若两连架杆中一个为曲柄,另一个为摇杆,则此四杆机构称为曲柄摇杆机构(图 1-2)。在曲柄摇杆机构中,当曲柄为主动件,摇杆为从动件时,可将曲柄的连续转动转换成摇杆的往复摆动。此种机构广泛地应用在各种机械中,如图 1-3 所示的雷达天线俯仰机构。在曲柄摇杆机构中也有以摇杆为主动件的,如图 1-4 所示的缝纫机踏板机构,就是将主动摇杆 CD 的往复摆动,转换成从动曲柄 AB 的整周转动。

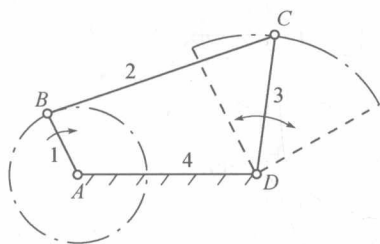


图 1-2 曲柄摇杆机构简图

1—曲柄;2—连杆;3—摇杆;4—机架。

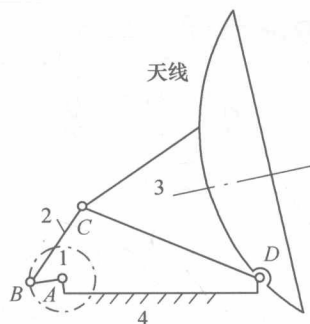


图 1-3 雷达天线的机构简图

1—曲柄;2—连杆;3—摇杆;4—机架。

2) 双曲柄机构

在铰接四杆机构中,若两连架杆均为曲柄,则称为双曲柄机构。这种机构的传动特点是当主动曲柄连续等速转动时,从动曲柄一般作变速转动。图 1-5 所示为惯性筛机构,它利用双曲柄机构 $ABCD$ 中的从动曲柄 3 的变速回转,使筛子 6 具有较大的惯性力,从而达到筛分物料的目的。双曲柄机构的特例是平行四边形机构(图 1-6),若其相对两杆平行且相等,则称为正平行四边形机构,如图 1-6(a)所示。这种机构在运动过程中,两个曲柄不但转向相同而且转速相等,其连杆作平移运动。如图 1-7 所示的蒸汽机车多个驱动轮的联动机构,就是应用平行四边形机构传递运动和动力的。若双曲柄机构中的对边相等但不平行时,则称为反平行四边形机构,若 $a < b$ (图 1-6(b)),则两个曲柄转向相反;若 $a > b$ (图 1-6(c)),则两个曲柄转向相同,但两个曲柄的转速是不等的。如图 1-8 所示的汽车车门机构,即为反平行四边形机构的应用实例,运动时主、从动曲柄作反向转动,使两扇车门同时打开或关闭。

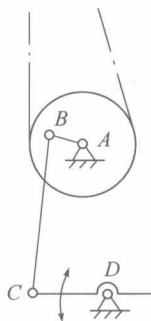


图 1-4 缝纫机踏板机构

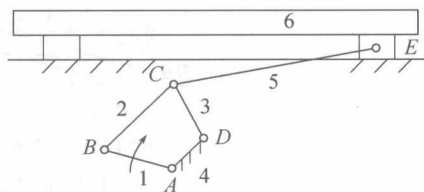


图 1-5 惯性筛机构

1、3—曲柄;2、5—连杆;4—机架;6—筛子。