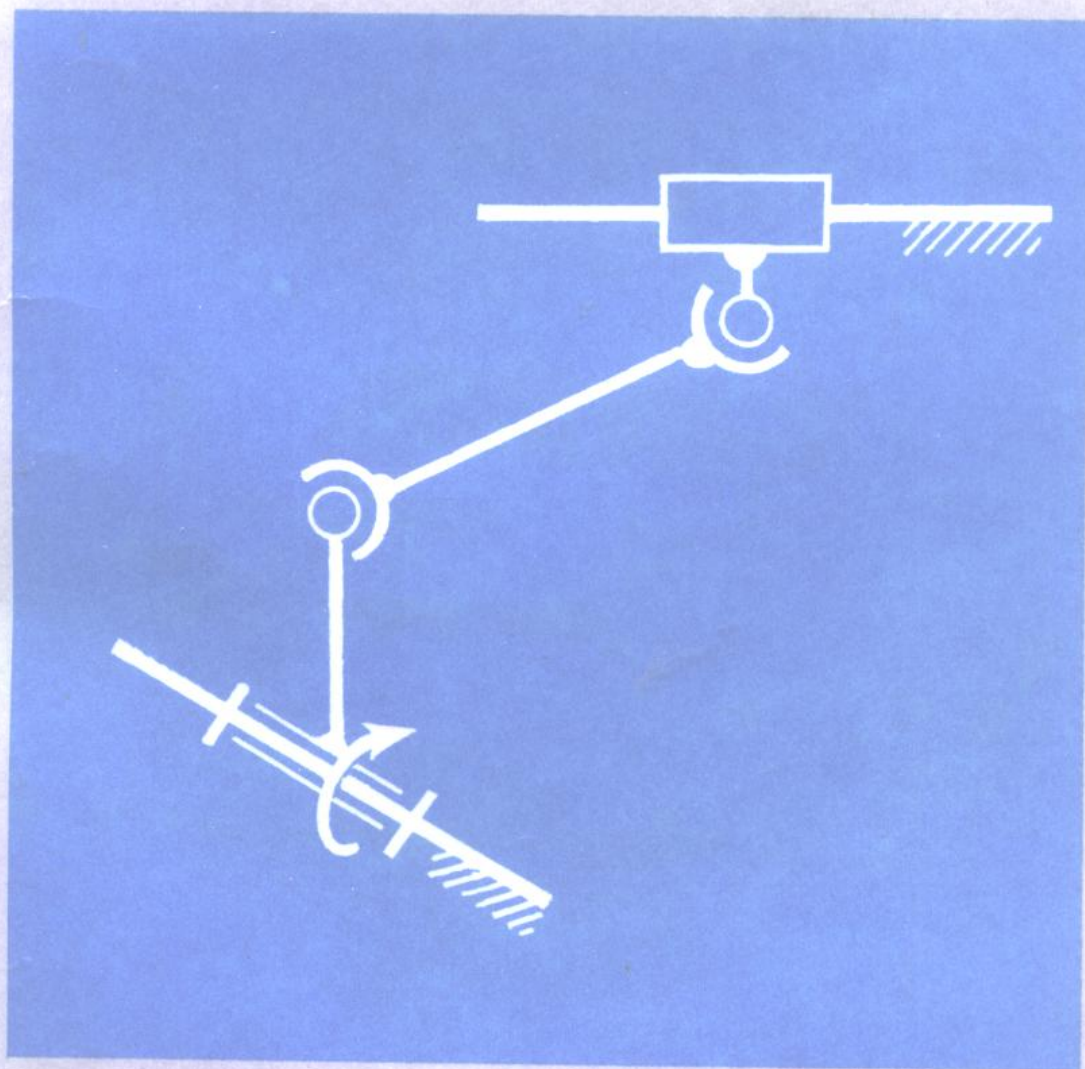


机械原理

〔俄〕K.B.弗罗洛夫 主编

刘作毅 张永安 金孚文 译
朱建平 李宗斌



高等教育出版社

493677

机 械 原 理

[俄] K.B. 弗罗洛夫 主编

刘作毅 张永安 金孚文 译
朱建平 李宗斌

高等教育出版社

译 者 序

现代机器向高速度、高精度、高效率和自动化方向的发展,给机构和机器的设计理论、方法和手段提出了一系列新课题,这些课题的顺利解决与现代计算机技术、测试技术、控制技术、优化理论、机构及机器动力学、噪声控制、可靠性理论、机械手和机器人技术等密切相关。为了适应现代科学技术的发展,作为机构和机器设计基础理论和方法的机械原理课程,无论在内容上还是教学方法上都需要进行重大的改革。

由前苏联科学院院士 K. B. 弗罗洛夫教授主编、莫斯科鲍曼高等工业学校机械原理教研室集体编写的《机械原理》教科书,既概括了数十年来该校在机械原理课程教学方面的经验,也反映了他们所进行的课程改革的某些特点,值得借鉴。

全书除绪论和第一章外分为两篇,共计十八章。绪论中简要回顾了机械原理学科的发展史。第一章概括了机械原理学科面临的主要研究课题。第一篇(第二章至第十章)阐述了确定机构、机器和机器系统运动及动力特性的一般方法,着重介绍机构的组成、运动特性、力分析和平衡,机械中的摩擦及磨损计算,考虑构件弹性时机器的运动分析,以及机器的振动和防振。第二篇(第十一章至第十八章)阐述典型机构的设计方法,讨论低副机构的运动综合,机械手—机器人机构的综合及某些动力学问题,高副机构的综合方法,齿轮传动,齿轮系,间歇运动机构,凸轮机构,以及机构系统的运动控制。全书介绍的确定机构参数的方法有图解法、图解解析法和计算机解析法。

本书译者分工如下。张永安(洛阳工业高等专科学校):绪论、第五章、第十二章至第十五章;金孚安(西安交通大学):第二章、第六章至第八章;朱建平(洛阳工业高等专科学校):第三章、第四章;李宗斌(西北轻工业学院):第十一章;刘作毅(广东工学院):序言、第一章、第九章、第十章、第十六章至第十八章。全书由刘作毅担任主译。

由于译者水平有限,译文中难免有不当或错误之处,祈望读者予以指正,在此先致谢意。

在翻译本书过程中,得到卢锡畴、梁桂明和叶达君等同志的帮助,特此致谢。

刘作毅

1992 年

序 言

本书可作为高等工业学校学生的教科书。本教程是根据莫斯科鲍曼高等工业学校数十年来该课程的教学经验编写而成的。考虑到科学技术变革时期工程教育方面的重大变化,本书不论在内容上还是在教学方法上都对传统教程进行了重要的改革。

机械原理课程以学生的数学和力学知识为基础,其先修课程有高等数学、理论力学、算法语言与程序设计。

本课程是专用机器设计这类专业课程的科学基础,其任务归结如下:

使学生掌握分析和设计机器及仪器机构的一般方法;

使学生了解利用机构实现运动的一般原理及机器中各机构之间的相互作用,后者决定了机械系统的运动及动力特性;

使学生掌握设计机器及机构的系统方法,并根据给定的工作条件求解机构的最佳参数;

培养学生编制用电子计算机进行参数计算的算法与程序及完成具体计算的技能;

培养学生使用测试仪器确定机械的运动及动力参数的技能。

本书是在主编 K.B. 弗罗洛夫院士的指导下,由莫斯科鲍曼高等工业学校机械原理教研室集体编写而成的。各章节的分工如下: K.B. 弗罗洛夫——第 1、10 章, C.A. 波波夫——第 3、12、16、17、18 章、§2.6、§2.7、§7.1、§14.1, A.K. 穆萨托夫——第 4、9 章、§7.2、§7.3、§7.4, Д.М. 卢基切夫——第 8、11 章、§2.1 ~ §2.5, H.E. 列梅佐娃——§14.2, B.A. 尼科诺罗夫——§15.1 ~ §15.4, H.A. 斯克沃尔佐娃——§15.5, A.K. 穆萨托夫和 B.M. 阿科皮亚——第 5 章, A.K. 穆萨托夫、A.A. 萨维奥洛娃和 Г.Н. 彼得罗夫——第 6 章, H.A. 斯克沃尔佐娃和 A.K. 穆萨托夫——第 13 章, K.B. 弗罗洛夫和 Д.М. 卢基切夫——绪论及结束语。

作者对莫斯科鲍曼高等工业学校机械原理教研室全体合作人员给予的协助和提出的有益建议,以及审阅人在审稿中付出的劳动和提出的批评表示衷心感谢。

作者

目 录

译者序	1
序言	1
绪论	1
第一章 机械原理研究的课题	4

第一篇 确定机构、机器和机器系统运动与动力特性的一般方法

第二章 机构的组成	9	§ 4.7 非稳定状态,在只与速度有关的力作用下机构速度的变化规律	116
§ 2.1 基本定义	9	§ 4.8 非稳定状态,在既与位置又与速度有关的力和力矩作用下机构速度的变化规律	118
§ 2.2 运动副的分类	11	§ 4.9 稳定状态,机构运动的不均匀性	121
§ 2.3 机构的类型和机构简图	12	§ 4.10 稳定状态,动力综合和分析的梅尔察洛夫法	122
§ 2.4 机构的结构公式	18	§ 4.11 稳定状态,考虑速度对作用力影响时的动力分析和综合	127
§ 2.5 机构的结构分析和综合,虚约束对机器的工作能力和可靠性的影响	20	第五章 机构的力计算	133
§ 2.6 运动副中的局部虚约束	25	§ 5.1 力计算的一般方法	133
§ 2.7 环虚约束和最优结构的机构综合	30	§ 5.2 连杆机构力计算的图解法	137
第三章 机构的运动特性	37	§ 5.3 连杆机构力计算的解析法	140
§ 3.1 输入构件和输出构件的运动学及机构的传递函数	37	第六章 机构的平衡	149
§ 3.2 平面连杆机构的位置图、速度图和加速度图	41	§ 6.1 机构不平衡的类型,静平衡	149
§ 3.3 利用电子计算机确定平面连杆机构运动传递函数的解析法	59	§ 6.2 力矩平衡	154
§ 3.4 图解微积分和数值微积分的应用	77	§ 6.3 转子的不平衡及其类型	155
§ 3.5 平面高副机构的运动特性	84	§ 6.4 转子的动平衡设计	157
§ 3.6 空间机构的运动特性	89	§ 6.5 转子的静平衡和动平衡	159
第四章 具有刚性构件的机器的运动研究	102	第七章 机械中的摩擦	165
§ 4.1 机器中作用的力及其特征	102	§ 7.1 外摩擦的类型和特性	165
§ 4.2 机器的动力学模型	105	§ 7.2 考虑摩擦时运动副中的作用力	168
§ 4.3 力的转化	106	§ 7.3 考虑摩擦时机机构的力计算	171
§ 4.4 质量的转化	110	§ 7.4 摩擦的能量损失,机械效率	173
§ 4.5 机构的运动方程	112	第八章 运动副元素的磨损计算	177
§ 4.6 非稳定状态,在只与位置有关的力作用下机构速度的变化规律	114	§ 8.1 磨损的评定准则	177
		§ 8.2 低副和高副元素的磨损计算	180

第九章 考虑构件弹性时机器的运动分析	184	§ 10.3 振动分析	199
§ 9.1 机器的动力学模型	184	§ 10.4 防振的基本方法	202
§ 9.2 机器的稳定运动	188	§ 10.5 振动阻尼,机械系统的耗散特性	202
§ 9.3 构件弹性的影响	192	§ 10.6 隔振原理,单自由度防振系统	205
第十章 机器的振动和防振	195	§ 10.7 动力减振	208
§ 10.1 振源和防振对象	195	§ 10.8 粘性摩擦和干摩擦吸振器	216
§ 10.2 机械作用对技术设施和人的影响	198	§ 10.9 冲击减振器	218
		§ 10.10 主动防振系统的基本原理图	219

第二篇 机构基本结构简图的设计方法

第十一章 低副机构运动简图的综合, 机器人—机械手机构	223	§ 13.5 渐开线齿轮传动	274
§ 11.1 平面四杆机构中曲柄存在的条件	223	§ 13.6 齿轮传动的质量指标,计算变位系数的选择	277
§ 11.2 四杆机构按构件两个位置的综合	225	第十四章 空间齿轮传动	282
§ 11.3 四杆机构按构件三个位置的综合	229	§ 14.1 圆锥齿轮传动	282
§ 11.4 机构按构件平均速度和按输出构件平均速度变化系数的综合	232	§ 14.2 双曲面齿轮传动	291
§ 11.5 机械手、机械手装置及其应用范围	235	第十五章 齿轮系	297
§ 11.6 机械手的技术指标	237	§ 15.1 定轴齿轮系	297
§ 11.7 机械手的控制系统	242	§ 15.2 行星齿轮机构	301
§ 11.8 机械手的某些动力学问题	246	§ 15.3 行星机构简图的选择及其运动特性	305
第十二章 高副机构的综合方法	249	§ 15.4 行星机构齿轮齿数的确定	312
§ 12.1 啮合基本定律	249	§ 15.5 谐波齿轮传动	317
§ 12.2 共轭廓线的滑动速度	253	第十六章 输出构件间歇运动机构	323
§ 12.3 高副传递运动时的压力角	255	§ 16.1 齿轮机构和棘轮机构	323
§ 12.4 共轭廓线综合的图解法	256	§ 16.2 槽轮机构	325
§ 12.5 廓线啮合基本方程的微分形式	258	§ 16.3 准停顿连杆机构	328
§ 12.6 产形面	260	第十七章 凸轮机构	330
第十三章 圆柱齿轮传动	263	§ 17.1 凸轮机构的类型及其特点	330
§ 13.1 齿轮的要素	263	§ 17.2 从动件的运动规律及其选择	332
§ 13.2 渐开线啮合的要素和性质	267	§ 17.3 压力角和运动副中力的增加系数	335
§ 13.3 机床啮合的基本原理,齿条式机床啮合	269	§ 17.4 按给定的许用压力角确定凸轮机构尺寸	336
§ 13.4 轮齿的根切和变尖	273	§ 17.5 按凸轮轮廓的凸性条件确定凸轮的轮廓尺寸	344
		§ 17.6 盘形凸轮轮廓坐标的确定	345
		§ 17.7 圆柱凸轮机构	351
		§ 17.8 凸轮机构构件的弹性对从动件运动	

规律和凸轮轮廓形状的影响	352	§ 18.1 机构运动的程序控制系统	355
第十八章 机构系统运动的控制	355	§ 18.2 机构系统的循环图	360
参考文献			366

绪 论

为了尽快更新和改造生产设备,提高机械化和自动化水平,要加速发展机器制造业和提高其技术水平。制造适应现代高效率、高精度、高可靠性和经济性等要求的各种新型机器、仪器、装置、自动化设备和自动线,是以基础科学和应用科学的成就为基础的。

机械原理是研究各种机构的结构、动力分析与综合的一般方法和研究机械学的科学。须着重指出的是,机械原理中所阐述的方法适用于各种机构的设计,而与机构的技术使命和机器工作过程的物理性质无关。

机械原理课程实质上是未来工程师学习专业的入门课程,因此具有一定的工程针对性。它广泛地使用了现代数学工具,并研究求解机构分析与综合问题的各种实际方法,这些方法有采用电子计算机的解析法,以及图解法和图解解析法。

机器是完成机械运动,实现能量、物料和信息变换,代替或减轻人的体力劳动和脑力劳动的一种装置。工作机(金属加工机床及机组、锻压设备、轧机、铸造设备等)用以改变原材料和毛坯的形状、尺寸、性质和状态。运输机械和传送装置使重物、工具、人及其它物体以要求的速度在空间移动。动力机械使能量发生转换。信息机将输入的信息进行变换,以监督、调节和控制运动。

机器以完成有规律的机械运动实现自己的工作过程。这些运动的载体就是机构。所以,机构是由许多刚体组成的系统,这些刚体通过接触而可动地联接起来,并相对于其中之一的机架以所要求的确定形式运动。多数机构的功用是完成刚体机械运动的变换。

历史梗概 最简单的机构(如杠杆机构、齿轮机构等)很久以前就已为人们所知;为了减轻人的劳动和提高劳动生产率,对机构的研究、改进和它在实际中的应用经历了一个逐步发展的过程。

众所周知,文艺复兴时代的著名文艺活动家和学者达·芬奇(1452 ~ 1519)研究了织布机、印刷机和木材加工机机构的结构设计,并试图用实验法确定摩擦系数。意大利医生兼数学家 G. 卡当(1501 ~ 1576)研究了钟表和磨粉机机构的运动。法国学者 G. 阿蒙通(1663 ~ 1705)和 C. 库仑(1736 ~ 1806)首先提出了确定静摩擦力和滑动摩擦力的公式。

杰出的数学家和力学家、教授、彼得堡科学院院士、850 篇科学论著的作者 L. 欧拉(1707 ~ 1783),诞生于瑞士,在俄国生活和工作了 30 年,他解决了刚体运动学和动力学的一系列问题,研究了弹性体的振动和稳定性,并从事过应用力学问题的研究,特别研究了齿轮轮齿的各种齿形,并得出了渐开线是最有发展前途的齿廓曲线的结论。

著名的俄国机械学家和发明家 И. И. 波尔祖诺夫(1728 ~ 1766)首次研究了双缸蒸汽机的机构设计(遗憾的是他没有设计成功),设计了锅炉供水自动调节器、水和蒸汽供给装置以及其它机构。卓越的机械学家 И. И. 库利宾(1735 ~ 1818)发明了有名的“蛋壳形”钟,这在当时是最复杂的自动动作机构。

由于作为工业部门的机器制造业的发展,要求深入探讨通用的科学方法,以研究和设计组成机器的各种机构。这些方法帮助创造了当时最完善的、以最佳方式实现所需功用的机器。大

家知道,机器制造业作为一个工业部门在18世纪才开始形成,而在19世纪很快发展起来,特别是在英国和美国。

俄国第一批机器制造厂出现于18世纪,到1861年已超过100家,而在1900年大约有1417家。但是,在伟大的十月社会主义革命之前,俄国的机器制造业无论在发展水平上还是生产规模上都是落后的,机器的一半从国外进口。只有在苏维埃政权年代才发展了强大的机器制造业,成功地制造了各种机械,这些机械不亚于国外的先进产品,甚至在某些方面超过了它们。

高速发展的苏联机器制造业是保证伟大卫国战争胜利的因素之一。现在在许多其它的国民经济部门中,机器制造业正在顺利地解决加速国家科技进步的任务。

称为“应用力学”的机械原理,作为一门学科开始形成于19世纪初,而且当时主要研究的是机构的结构、运动和动力分析的方法。从19世纪中叶开始,机械原理中机构综合的一般方法才获得发展。例如,著名的俄国学者、数学家、力学家П.Л.切贝舍夫院士(1821~1894)发表了15篇连杆机构结构和综合方面的论著,并根据研究出来的方法发明和制成了40余种新机构。这些机构可实现给定的轨迹,当其它构件运动时可实现某些构件的瞬时停歇等。平面机构的结构公式现在称为切贝舍夫公式。

德国学者F.格拉斯霍夫(1826~1893)给出了平面连杆机构综合时构件回转条件的数学公式。英国数学家J.西耳魏斯特尔(1814~1897)和S.罗伯茨(1827~1913)研究了曲线变换连杆机构(比例绘图仪)原理。

И.А.维什涅格拉茨基(1831~1895)是著名的自动调节原理奠基人之一,他设计了许多机械(如自动压力机、起重机、水泵调节器等),在任彼得堡工学院教授时创立了机器设计学派。

广泛用于各种机器中的齿轮机构的综合方法,其特点是具有一定的复杂性。许多学者在这方面曾进行过研究。法国几何学家T.奥利维(1793~1858)论证了借助于发生平面进行平面啮合和空间啮合的共轭齿面的综合方法。英国学者R.威利斯(1800~1875)证明了平面啮合的基本原理,并提出了研究行星齿轮机构的解析法。德国机械学家F.雷罗(1829~1905)研究了共轭齿廓综合的图解法,即现在著名的“法线法”。雷罗还是机构结构学和运动学许多论著的作者。俄国学者X.И.戈赫曼(1851~1916)是首先发表啮合分析原理著作的作者之一。

“俄罗斯航空之父”H.E.茹可夫斯基(1847~1921)以自己的论著对机器动力学作出了巨大的贡献。他不仅是现代空气动力学的奠基人,而且是应用力学和机器过程调节原理等许多论著的作者。

H.П.彼得罗夫(1836~1920)奠定了液体动压润滑理论的基础。B.П.戈里亚奇金(1868~1935)研究了农业机械计算和设计的理论基础,这些机械设计计算的复杂性在于,它们的执行机构必须复现人手的运动。他们两人的论著促进了机械学的发展。

俄国学者Л.В.阿苏尔(1878~1920)发现了平面多杆机构结构的一般规律性,现在已被用于它们的分析和综合中。他还研究出复杂连杆机构运动分析的“特殊点”法。A.П.马雷舍夫(1879~1962)提出了用于复杂平面机构和空间机构的结构分析和综合的理论。

И.И.阿尔托包列夫斯基(1905~1977)对作为整个机器制造理论的机械学的形成作出了重要贡献。他是机械原理苏联学派的组织者;他撰写了大量的关于机构结构学、运动学和综合、机器动力学和自动机原理方面的论著、教科书等,这些论著和教科书已得到世界公认。

И.И.阿尔托包列夫斯基的学生和继承人——A.П.别索诺夫、B.A.季诺维也夫

(1899 ~ 1975)、Н. И. 列维茨基、Н. В. 乌姆诺夫、С. А. 切尔库季诺夫和许多其他学者——用自己的论著促进了机器动力学(包括声响动力学)、机构最优综合、自动机原理和机械原理其它方面的进一步发展。

在 30 年代及其以后的年代, 机构精度理论创始人之一的 Н. Г. 布鲁耶维奇, 空间机构运动学论著的作者 Г. Г. 巴拉诺夫(1899 ~ 1968), 研究过具有弹性构件机构和重载机械机构的动力分析一般方法的 С. Н. 科热夫尼柯夫等都以自己的研究成果对机械原理作出了巨大的贡献。

应该提到苏联历史最悠久的教研室之一——莫斯科鲍曼高等工业学校机械原理教研室学者的论著。在这里, Ф. Е. 奥尔洛夫(1843 ~ 1892)开设了应用力学课程, 并于 1872 年首次开始讲授。此后, 该课程在教学法和理论方面不断地进行了完善和加深: Д. С. 泽尔诺夫(1860 ~ 1922)扩充了传动理论; Н. И. 梅尔察洛夫(1866 ~ 1948)把空间机构理论补充到平面机构的运动分析中, 并研究出简单可靠的飞轮计算方法; Л. П. 斯米尔诺夫(1877 ~ 1954)把研究机构运动学和机器动力学的图解法统一成为一个严格的系统; В. А. 加夫里连科(1899 ~ 1977)研究了渐开线齿轮传动理论; Л. Н. 列舍托夫发展了凸轮机构理论, 并奠定了自动调整机构理论的基础。

目前教研室全体人员正在致力于完善机械原理课程。新技术的飞速发展对高等教育提出了新的问题。因此, 在机械原理课程中引入了新的内容, 它们是磨损、构件弹性对机构运动的影响、振动和防振、机械手设计、机构系统的控制等。这些内容已在教科书的相应章节中进行了阐述。

第一章 机械原理研究的课题

无论把当今的技术时代称为宇宙时代或者自动化时代，还是称为原子时代或者电子时代，机器过去是、现在仍然是技术进步的基础。机器制造业是国民经济的主导部门，它为许多其它国民经济部门制造机器、机械装置及设备，它是这些部门的物质技术基础。机器制造业的发展水平和机器的完善程度在很大程度上决定了社会劳动生产率和人民的生活水平。因此，在苏联的经济和社会发展规划中规划了机器制造业要超前发展。机器制造业面临的任务是：开发高效节能和节材工艺的新型机器、机构和自动化装置；保证国民经济各部门的机器和机构具有必要的可靠性及寿命；提高这些部门的经济效益和生产率。

机器制造业面临的课题极其复杂。机器应当坚固，工作可靠，效率高，同时要轻巧，材料及能源消耗最少，不污染环境，满足技术美学和人机工程学的要求。为了顺利解决这些课题，制造满足现代要求的优良机器，机器制造部门的专业人员应当具备多学科的基础知识，其中包括机械原理。

机构运动简图是真实机器结构的“骨骼”。设计机器的第一阶段和主要阶段是选择和设计机构简图。下一个设计阶段是结构设计，确定机器零件的尺寸和材料。设计的最后一个阶段是选择各种结构的制造方法与设备。根据以上简要叙述可知，第一阶段是决定性的，它是后两个设计阶段的基础。因此，把机械原理看成机器设计的理论基础是毫不夸张的。

现代的机械原理是一门综合性学科，其中机器的结构、运动学和动力学、机器的分析和综合等问题同优化设计及控制问题紧密交错。

现代技术发展的基本方向之一是各种生产形式都实现自动化。机器人技术系统将对解决这一课题作出重要贡献。在科学幻想作品中诞生的“机器人”一词已变成了流行的科学术语，它代表了一种高级的组织技术系统，不仅能完成各种机械操作，还能独立地解决操作中出现的某些逻辑问题的综合。

现在，工业上已有多种型式的机器人技术系统在完成装载、堆垛和装配最简单部件的工作(图 1.1)。如果给机器人配备机械手 1 和 2，以及外部环境状态和加工对象性质方面的信息接收与处理系统(图 1.2)，那末，所收集到的信息就可用于以后实现预定程序的过程中。

有关工艺过程、环境状态和被控对象在空间相互位置方面的大量信息为各类操作的自动化开辟了广阔的可能性，这些操作包括复杂形状零件的焊接、零件布置密集的部件的装配等精密操作。同时，机器人技术系统从进入工位的成套零件中选出所需零件，并可调整运输流程。归根到底，正是这种机器人技术系统成为将各工艺操作联接成统一的全自动生产线的单元。这里所说的生产自动化，不是指那些为了生产特定类型的产品而制造的专用自动机，而是指那些广泛使用的通用数控设备，调整这种设备实质上归结为更换加工程序。

只有以电子计算技术为基础建立的多级控制系统才能使这类生产实现正常的无故障工作功能。研究机器和控制计算机的协调工作，编制所需的算法和程序，也是机械原理的任务之一。

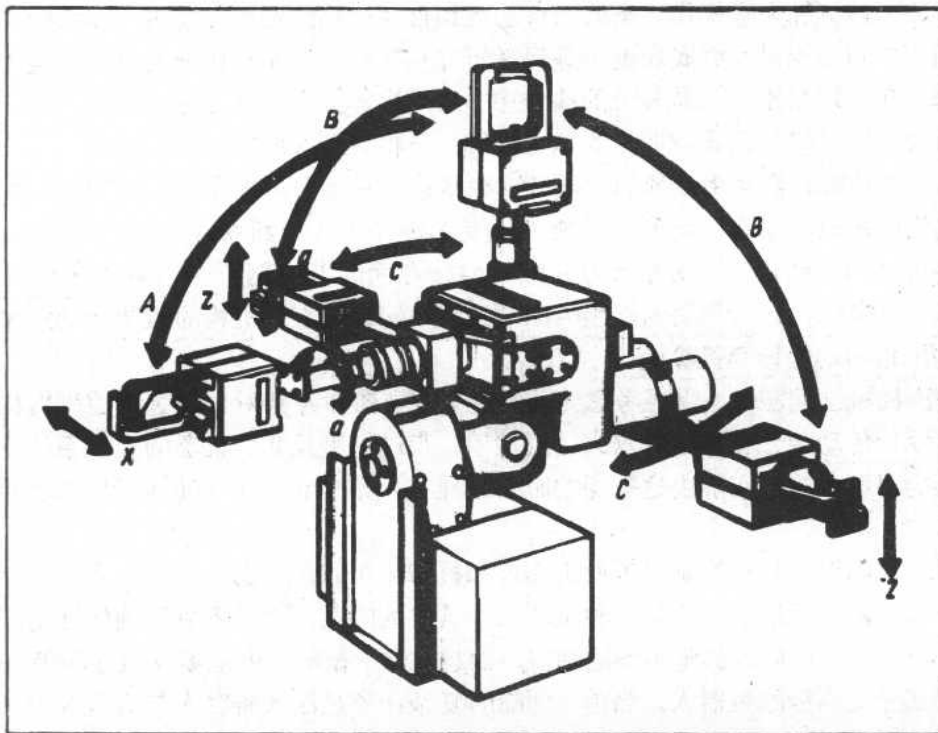


图 1.1

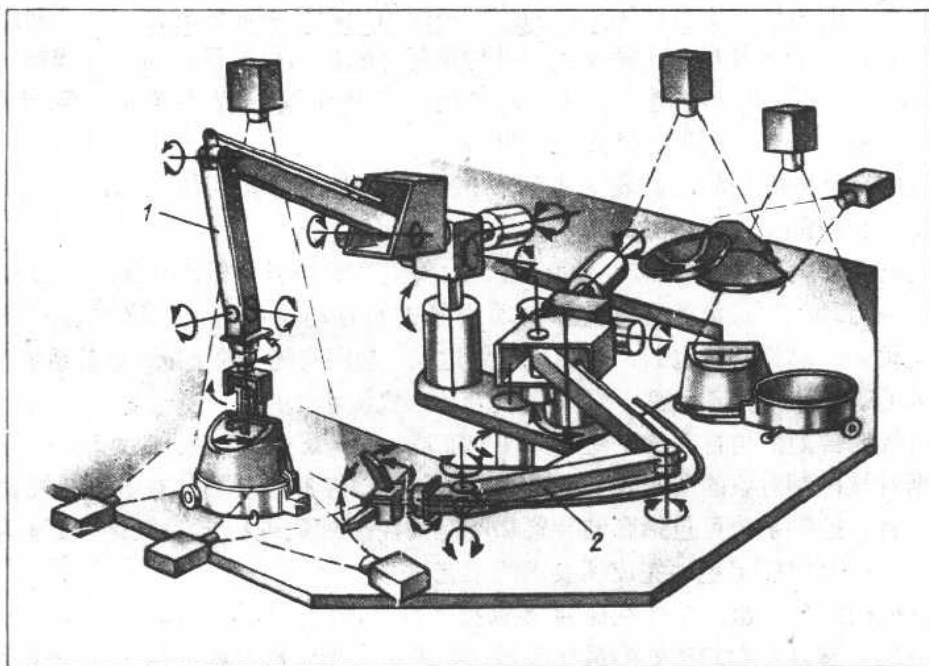


图 1.2

利用具有程序控制的自动机械手，可以复现被加工对象的运输及其在加工机器中的夹紧和拆卸、包装、分装、检测等大量操作。类似的自动机和自动化系统业已并将进一步获得广泛应用，它们不仅用于宇宙、深海、海底和地下等科学研究和作业中，而且还把人类从繁重的体力劳动中解放出来。在一切繁重而又易疲劳的操作中，使用机器人代替人工操作具有重大的社会意义，这样，人的作用仅仅是完成创造性的脑力控制，并将其送入所需的信息系统。

通常，自动机和自动化系统的工作机构在结构上是多自由度空间运动链(见图 1.2)，在这方面，现代机械原理面临一系列新课题，它涉及到机器人、机械手、步进机械和其它机器及系统中各种机构在结构、运动和动力分析与综合方面的新课题。应当解决工作机构运动的稳定性问题，研究机构运动周期内产生的振动过程，探讨与工作机构的最佳运动规律有关的问题，拟定这些机构运动的计算机算法。

在解决机械学问题时，需要考虑传动装置的主要参数及其对传动装置控制机构动力学方面的影响。设计传动装置和拟定机器人、机械手、步进机械及其它机器的控制系统是制造这类机器最重要的课题之一。在解决这些课题时要求建立可靠性高、具有最佳尺寸及惯性小、调速范围广的系统。

由操作者或程序装置控制的工业机器人和机械手可归属于第一代机器人。目前，应当迅速推进下一代机器人的研制工作，这种机器人应具有人的某些感觉器官，例如触觉、听觉、视觉及嗅觉，甚至可以反应人感觉不到的信息，如超声波、振动、电磁场及温度场等。具有人工智能的装置属于更高级的机器人。当前，面临的复杂任务是深入研究人与机器人的交流方式，揭示“人—机器人系统”中操作者的特性，以及探讨人与具有不同自动化程度的机器人之间功能的分配。这样，就为创制护理机器人和外科手术机器人等开辟了前景。

电子计算机的出现对于自动化生产的控制系统的确起了革命性的作用。借助于电子计算机可以分析多自由度的多杆机构，解决各种机构及复杂的自动机的优化与综合问题，解决多判据和多参数机器装置的设计问题，实现对大多数现代化机器的程序控制，控制具有机械手、机器人、步进机械等生物机械式装置的新机器。

新制造的自动机应当满足高效率地完成预定工艺过程的要求，具有自动控制功能，最大限度地把人从监视机器的工作中解放出来。

为了提高劳动生产率，增加产品的产量，改善生产的经济指标，不仅要制造自动机，而且要建立向无人自动工厂过渡的各种流水自动线形式的自动机系统。在这些自动线上，基本工艺过程同运输、产品检验、包装、成品统计等过程一起联成统一的系统。这种系统可以是配备有工业机器人的普通直线式流水线、转子式或者环形式流水线。

即将出现的自动机与自动化系统的突出特征是，根据众多的参数、判据和指标对其进行高级控制。根据对被控制对象的要求及其工作条件的不同，控制系统可具有电气、气动、液压及机械式逻辑元件。控制系统可包括存储装置和能对被控制对象进行自动微调及适应控制的装置，当外界条件变化时仍能出色地完成所要求的工艺过程。

在解决机构综合问题时，往往碰到多判据系统，所以，综合问题一般与寻求最优方案有关。寻求最优方案或者它们所处的最优区域，要求进一步发展机构的最优综合理论。解决这类问题照例只能借助于电子计算机，这就需要编制相应的算法和程序。

在传动机构的分析和综合方面有大量的课题。这里首先应提到的是必须进一步发展齿轮啮合,尤其是空间齿轮啮合的综合问题。还要进一步发展具有行星装置和差动装置的复杂齿轮减速器的设计理论和方法。谐波传动综合的理论和方法发展很快。几乎所有的工业部门都需要具有无级变速功能的可靠机构。应当发展槽轮机构、棘轮机构、杠杆机构等实现间歇运动的机构理论。

作为从动机构的传动装置的综合是机械原理研究的一个基本问题,应当在利用现代的计算机算法和计算技术的基础上按新方法加以解决。这种传动装置首先是应用很广的具有直线或回转运动的液压或气动传动系统。至于系统最佳结构的选择,在设计的第一阶段应当依靠的是:在广泛使用人—机对话条件下设计人员迅速增长的知识和经验,各种具有最优(而不是随意选定的)参数的结构的比较,有关可以采用某一方案最大可能性的信息的积累。

近几十年来,机器的工作速度大大提高了,这不仅增加了作用在机器构件和工作机构上的动载荷,并且也显著提高了振动及其引起的噪声量级。任何机器在工作时都伴随有振动,因此,近年来在机械原理课程中也研究机器的防振及其噪声量级的降低问题。同时应当指出,研究“人—机器—环境”系统的动力学也成为机械原理的内容。对于现代高速运输装置、飞行器以及利用振动原理工作的机器等的操作人员而言,这一课题对制定操作人员有效的防振措施具有特别的现实意义。在这些机器中,利用共振和振动效应可以制造出经济效益和生产率很高的机器,用于加工坚硬的矿石,振动磨细、搅拌、分离和运输粒料,振动成型及振捣钢筋混凝土制品等。

提高自动机的动力、载荷及速度特性和对其精度与可靠性的高要求,决定了近几年机器在稳态及过渡状态下动态研究和计算方法的发展。对运输机械、起重机械、振动机械等而言,研究它们的不稳定状态具有特殊的意义。

工程上具有很大意义的是研究具有变质量构件的机器的动力学,例如在输送装置、装卸机、印刷机械、绕线机等工作机上,被处理对象的质量在不断变化。不仅质量,在某些情况下,机构的结构本身也可能发生变化。

振动问题在机器动力学的研究中具有特别重要的意义。一方面要通过研制有抗振性结构的机器和机构与振动作斗争,另一方面,则要利用振动的共振效应去实现各种工艺过程,并研制出具有所要求运动特性的新型振动机构。

如前所述,所有的机器在工作中都产生振动,这往往成为阻碍某一技术领域进一步发展的原因。例如,进一步提高高速转子机器的速度受到转子和轴承支座抗振性的限制,提高汽轮机和燃气轮机的功率受到最后几级叶片振动的限制,建造大型直升机受到工作桨叶振动的限制,提高金属切削机床的精度受到切削刀具和床身振动的限制,而建立精度及可靠性高的自动控制系统则受到其中某些元件振荡的限制。

振动在结构中引起很大的应力,从而导致结构破坏,主要是疲劳性破坏,结果造成严重事故。

振动是有害的噪声源。噪声不仅对人体的生理器官产生不良影响,而且使材料产生所谓的声响疲劳。振动使机器、机构和控制系统元件的基本运动偏离预定的运动规律,产生预定运动规律的不稳定现象,并且往往导致整个系统出现故障。

机器的振动对人体产生直接的生理影响,降低人的功能性活力和工作能力,损伤人体的某些器官。

与此同时,强度不大和在规定时间内作用的振动对人体可能产生良好影响。众所周知,在治疗疾病时振动刺激、振动按摩,以及有效的振动生理作用等方法,都使用了专门的振动机构和装置,在这方面为新的研究课题开辟了广阔的前景。

振动起有益作用的新型机器称为振动原理作用机器。由于利用共振效应得到了经济效益,近年来这种机器在各个技术领域获得了广泛应用。按振动原理工作的机器、仪器、设备及实验台可以完成各种工艺过程。

振动科学所研究的是寻查和测量振动以及尽量降低振动强度的方法。与此同时,在无法完全消除振动时,振动科学可以给出确定其影响的方法,例如,振幅的计算(以便根据有关材料疲劳损伤累积条件查明机器的寿命),隔置噪声方法,以及确定许用动载荷作用量的方法。为了获得关于某一机器状态的信息,监测振动是避免发生事故的最可靠的诊断手段。

研究和预报机器的寿命(即根据某些指标,机器工作到不容许继续使用状态前的工作时间)具有十分重要的意义。根据强度指标,寿命完全取决于破坏(在机器制造业中主要取决于疲劳破坏)。根据噪声或振动指标,寿命则取决于容许的振幅值等。监测振动随时间的变化几乎是对机器的工作寿命作出可靠的预测评定、避免发生事故的唯一手段。

另一项解决重要的社会问题的机器动力学课题是机器的声响动力学,即探讨在机器中产生噪声的原因和噪声源,并研究将一定量级的噪声进行完全或部分隔置的机器动力学问题。

现代数学方法及电子计算技术的发展可以解决上述一系列问题,然而,在进一步完善研究方法,使现代数学与机械原理更加靠拢方面还有很多工作要做。

考虑机器中构件的弹性可以揭示复杂运动链中的振动现象,确定作用在构件和运动副上的实际载荷,提出避免发生共振的建议,减轻产生的振动及解决机构预定运动规律的精度问题。由于高速机器的出现,自动平衡的方法获得了进一步发展。

近十年来,人们对空间机构理论,包括对它的动力学的兴趣大大增加,因为这类机构的应用日益广泛,特别是在那些与采用机器人和机械手有关的课题及宇航装置对接的课题中更是如此。在这一领域内,研究了多自由度空间机构运动的描述方法及其受力分析,解决了这类系统的平衡与振动方面的若干问题。

机械原理最重要的任务仍将是发展各种机器及机构特性的实验研究方法。在生产运行的条件下,利用电子计算机自动记录实验信息并对它进行处理,这样来对自动化机器系统进行实验研究具有特殊的意义。可以预料,动态研究仪器将得到进一步发展,这是由自动化任务决定的,作为研究对象的现代化机器随时间快速进行的动态过程这一特征也促进了这种发展。现代动态研究的突出特点是具有综合特性。这种研究既采用实际对象(在实验室、生产及使用条件下),又利用电子计算机通过数学模拟的方法广泛地进行。保证所获取的信息具有必要精度的实验设计方法也得到了发展。

实验动力学的发展为研究和完善工业自动化设备的检测和诊断方法准备了条件。应在制定那些决定机构工作能力及其故障状态特征的客观性质量判据的基础上,研究适合于自动机、工业机器人和机械手、发动机、飞行器等工程诊断方法。

第一篇 确定机构、机器和机器系统运动与动力特性的一般方法

第二章 机构的组成

机构是一个刚体系统。所以,机构的组成(结构)既可以十分简单,又可以相当复杂和多种多样。机构的组成决定了它的一些最重要的特性,如机构所实现的运动的类型,变换运动的方式,自由度等。将各独立刚体联接成一个统一的系统形成机构,这时要引进约束。约束在机构结构中的正确分布在很大程度上保证了机构的可靠使用。因此,在设计时需要从众多的各种形式的机构中,挑选出最合适的一种机构,并正确选择它的基本结构元素。为此,首先需要知道现代各种机构的基本类型、结构特性及其组成规律。

§2.1 基本定义

组成机构的刚体称为构件。这里所说的刚体既包括绝对刚体,也包括可变形体和挠性体。在机构理论中,液体和气体不是构件。构件或者是一个零件,或者是联接成一个刚性系统的多个零件的总和。构件可按其结构特征区分(如曲轴、连杆、活塞、齿轮等),也可按其运动特性区分。例如:绕定轴作整周转动的构件称为曲柄,作非整周转动的称为摇杆;作往复直线移动的构件称为滑块等。机构的固定构件简称机架,对于运输机(特别是飞行器)机构,机架固定的概念是相对的,因为这时机架本身也在运动。例如,图 2.1a 所示为原动机——内燃机,在气缸 4 (固定构件——机架)中气体压力作用下,活塞 3 (按其运动性质是滑块)的移动通过连杆 2 变换为曲轴(曲柄)1 的转动;在曲轴 1 上作用有一定载荷(阻力矩)。图 2.1b 是内燃机的机构简图。

两个相接触构件的活动联接(图 2.2)称为运动副(简称副)。运动副中一个构件与另一个构件相邻接(接触)的面、线和点的总和称为运动副元素。为了使运动副元素始终保持接触,运动副必须用几何方法(依靠构件的结构形状)或力的方法(依靠重力、弹性力、液体或气体压力等)封闭。

由于力是通过运动副由一个构件向另一个构件传递的,所以,运动副在很大程度上决定了机器的工作能力和可靠性。由于相对运动,在运动副中产生摩擦,运动副元素处于承载状态和磨损过程中。例如,当图 2.1a 所示的内燃机机构工作时,气缸体的内壁和活塞环、曲轴 1 的主轴颈 A、连杆轴颈 B 等处都发生磨损。因此,在设计机器时,正确选择运动副的类型,确定它的几何形状和尺寸,合理选择结构材料和润滑剂,都是很重要的。

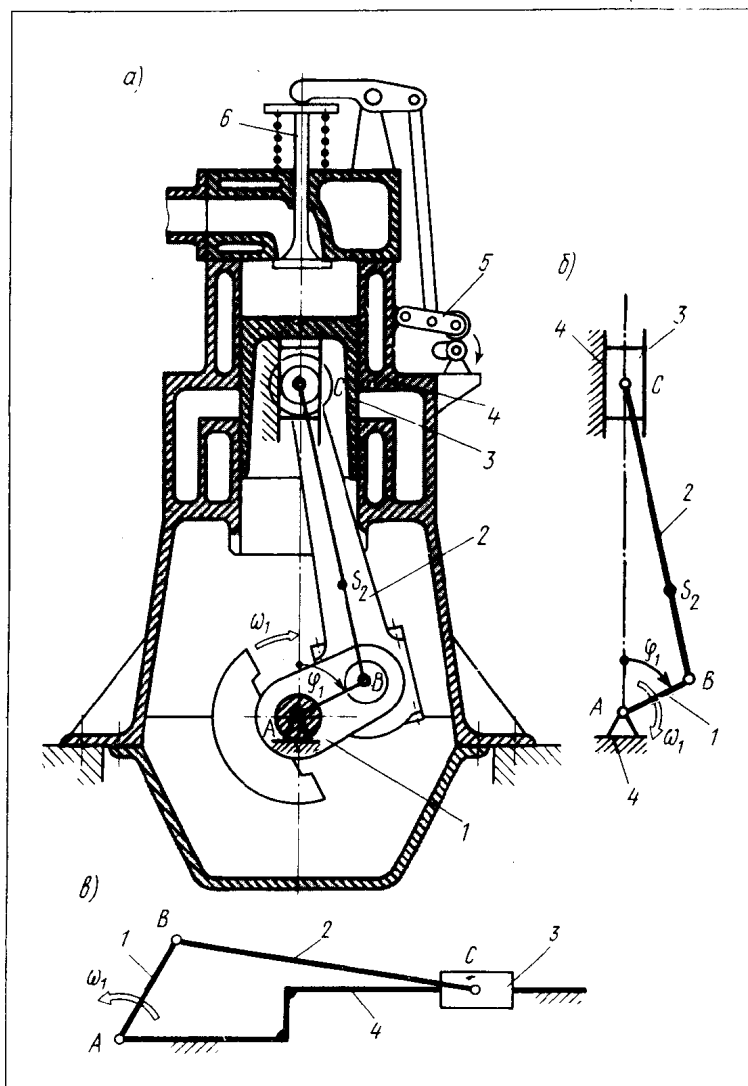


图 2.1

彼此组成运动副的构件系统称为运动链。运动链分为闭式运动链和开式运动链。在闭式运动链中，每一个构件至少有两个运动副。在开式运动链中，有的构件只有一个运动副。借助术语“运动链”，可以给机构定义如下：机构是一个运动链，这个运动链包含一个固定构件(机架)，并且运动链的自由度数等于描述运动链相对机架位置的广义坐标数。例如，在单自由度($W=1$)的内燃机曲柄滑块机构简图(图 2.1 b)中，用构件 1 的角坐标 φ_1 表示机构的这一广义坐标，求导后 $\dot{\varphi}_1 = \omega_1$ 是构件 1 的角速度。

在机构简图上用剖面线表示固定构件。构件分为输入构件和输出构件。实现机构预定运动的构件称为输出构件。若传给构件的运动通过机构变换成输出构件所需的运动，则该构件称为输入构件。输入构件的数目一般等于机构的自由度数，即广义坐标数，但是也可能不相等。

机构的图形表示分为机构简图(原理图)和机构运动简图，前者采用规定的符号表示构件和