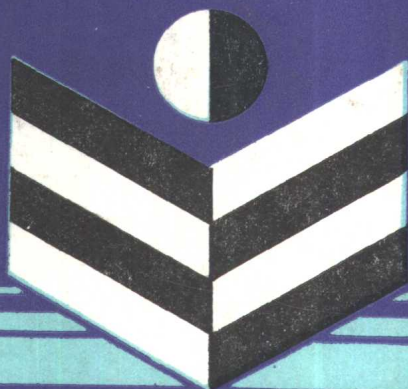


[苏] B.A.尤金 Г.А.巴尔索夫 Ю.Н.邱宾 等编 张永安 译 叶达钧 校

机械原理习题集



-44

中国建筑工业出版社

机械原理习题集

[苏] B.A.尤金 Г.А.巴尔索夫 Ю.Н.邱宾 等编

张永安 译 叶达钧 校

中国建筑工业出版社

本书系根据苏联高等学校出版社1982年出版的《机构和机械原理习题集》一书译出。

本书包括机构的结构和分类基础、机构的运动综合和分析以及机构和机器动力学等三篇。本习题集着重研究了具有各种低副和高副的空间机构、行星机构和凸轮机构的运动综合与分析等问题，特别注意利用电子计算机解题并指出程序设计的要点。在每一章中都概述了有关理论的一些基本概念，引入了计算所必需的参考资料，并列举了一些在工程实践中遇到的典型问题的解法。

本书已被苏联高等和中等专业教育部批准为高等工科院校的教学参考书。本书可供我国高等学校机械类专业师生、函授生及研究生参考。

В.А.ЮДИН, Г.А.БАРСОВ, Ю.Н.ЧУПИН
СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ВЫСШАЯ ШКОЛА МОСКВА 1982

机械原理习题集

张永安 译 叶达钧 校

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 8 $\frac{1}{2}$ 字数: 234千字

1986年12月第一版 1986年12月第一次印刷

印数: 1—6,890册 定价: 2.05元

统一书号: 15040·5136

译者序

由B.A.尤金、Г.А.巴尔索夫、Ю.Н.邱宾等人编的《机构和机械原理习题集》第二版(第一版于1963年出版)是根据苏联高等和中等专业教育部批准的机器制造专业新的教学大纲编写的,并被苏联高等和中等专业教育部批准为高等工科院校的教学参考书。在习题集的每一章中均对有关的基本理论和计算所需的公式及参考资料进行了简要的概括和阐述,对工程中的一些典型例题提供了较为详尽的解法和必要的说明,最后精选了工程实践中的一些习题并给以答案。这不但有利于学生自学和系统地复习巩固所学的知识,而且给教师教学提供了很大的方便。本书的内容已远超过习题集的范畴,实为根据新的教学大纲指导教与学的一本教学参考书。

作者把提高学生独立解决各种现代自动机的综合和分析问题的能力作为编写本书的主要目的,这对于发展学生智力、培养创新人材具有非常重要的意义。

作者十分重视解析法,特别注意利用电子计算机解题并指出程序设计的要点,还对解题的最优方案进行了探讨。由于图解法概念清晰,直观易懂,所以在本书中仍予以保留。

从内容上看,本书特别强调了空间机构、凸轮机构和行星机构,因为这些机构已越来越广泛地应用于自动化机器上。对于一般教材中传统的占很大篇幅的齿轮机构则作了很大的删减,机构动力学部分有所加强。在本书中增加了一些在一般教材中很少见到的内容,例如:变结构机构的结构分析;空间机构的运动综合与分析;解析法确定凸轮最小半径;解析法确定凸轮理论廓线上任一点的曲率半径;用图解法进行轮系的运动分析;三构件螺旋

副机构的分析和综合；凸轮机构高副力封闭时弹簧特性的选择；采用能量—转动惯量曲线来确定飞轮的等效转动惯量等。

在翻译过程中，凡已发现的原书中的遗漏和错误，都尽力予以补正，同时加注说明。对于印刷中的明显遗漏和错误，则直接给以订正，不再注明。由于译校者水平有限，译本中错误缺点在所难免，殷切希望各位读者批评指正。

本书译稿完成后，由洛阳工学院丁锡康副教授进行了仔细的审阅，提出了许多宝贵修改意见，本书在翻译过程中承蒙清华大学张世民教授的热情帮助与指导，在此一并致谢。

译 者

1985年10月

作 者 序

在编写《机构与机械原理习题集》第二版时（第一版于1963年出版），选用了工程设计实际中的一些习题，这些习题适用于根据苏联高等和中等专业教育部批准的高等学校机器制造专业新教学大纲所讲述的课程。

作者把培养学生独立解决各种现代自动机的综合和分析问题的能力作为编写本书的目的。

在本书的每一章中，引用了在机器制造实践中所遇问题的解决方法，给出了计算所必需的基本关系式和参考资料。对于在设计实践中已被广泛采用的利用电子计算机的解析法给予了很大的注意，研究了解题的最优方案。要求采用更复杂方法和更深理论知识习题则用“*”号表示。

现在，计算技术已广泛地深入到教学过程中。在本习题集中引入了用ALGOL-60语言进行程序设计的例题和习题。作者认为读者已经掌握了用这种语言进行程序设计的基本原理。

本习题集包括机构的分类、机构的结构分析和综合（第一章），机构的运动分析和综合（第二～第八章）以及机构的动力分析和综合（第九～十三章）等内容。

习题集是整套教学参考资料的组成部分，这套参考资料是由荣获劳动红旗勋章的莫斯科化工机械制造学院《机构和机械原理》教研室编写的，学生需用的所有学习资料都包括在这套参考资料中（以前出版了教学参考材料[7]、实验室实习教材[8]、课程设计指导[9]等）。

作者感谢审稿人——莫斯科食品工业技术学院《机构和机械原理》教研室教授、科学技术博士 В.В.Гортинском 和副教授

Ю.А.Дружинин 对书稿的宝贵批评意见，这些意见使本习题集更臻完善。

作者将以感激的心情接受读者的批评和对本书今后改进的意见。

目 录

第一篇 机构的结构及分类基础

第一章 机构的结构	1
第一节 基本概念	1
第二节 机构的结构综合	5

第二篇 机构的运动综合与分析

第二章 连杆机构的综合	18
第一节 低副机构设计的基本问题	18
第二节 在电子计算机上解题	22
第三章 连杆机构的运动分析	37
第一节 速度图和加速度图法	37
第二节 运动分析的解析法	40
第四章 凸轮机构的综合	66
第一节 啮合基本定律、滑动速度	66
第二节 推杆运动规律的选择	67
第三节 滚子推杆凸轮机构基本尺寸的确定	73
第四节 平底推杆凸轮机构基本尺寸的确定 (Геронимус法)	86
第五节 凸轮廓线的运动设计。移动滚子 推杆凸轮理论廓线的解析法设计	87
第六节 凸轮理论廓线曲率半径的确定	92
第七节 空间凸轮机构的综合	100
第五章 凸轮机构的运动分析	110
第一节 分析方法	110
第六章 齿轮啮合的综合	118

第一节	渐开线圆柱齿轮传动的几何学	118
第二节	原始齿廓移距的渐开线圆柱齿轮传动的几何学	122
第三节	渐开线斜齿圆柱齿轮的计算	129
第四节	圆锥齿轮基本尺寸和啮合要素的计算	132
第七章	齿轮机构的运动分析与综合	135
第一节	定轴齿轮机构的运动学	135
第二节	动轴平面齿轮机构(周转齿轮机构)的运动学	139
第三节	定轴空间齿轮机构的运动学	147
第四节	动轴空间齿轮机构的运动学	149
第五节	谐波齿轮啮合行星减速器的运动学	153
第八章	三构件螺旋副机构的分析与综合	160

第三篇 机构和机器动力学

第九章	机构中力的计算	165
第一节	基本原理,问题的提出	165
第二节	机构构件惯性力的确定	167
第三节	连杆机构的力的计算	168
第四节	高副机构的力的计算	173
第五节	凸轮机构高副封闭弹簧特性的选择	179
第十章	运动副中的摩擦及机构效率的计算	186
第一节	摩擦的类型。移动副中的摩擦	186
第二节	转动副中的摩擦	187
第三节	螺旋副中的摩擦	190
第四节	滚动摩擦	191
第五节	柔韧体的摩擦	193
第六节	效率的计算	193
第七节	考虑低副中摩擦时平面连杆机构的力的计算	195
第八节	考虑摩擦时凸轮机构的力的计算	197
第九节	齿轮啮合中的摩擦和损失系数的计算。行星齿轮减速器的效率	203
第十节	蜗杆减速器的效率	204

第十一章	机组动力学.....	218
第一节	机器的机械特性。力和力矩的换算.....	218
第二节	质量和转动惯量的换算.....	220
第三节	机组构件运动的确定.....	221
第十二章	机组主轴转速的调节.....	238
第一节	概述.....	238
第二节	机组主轴周期性转速波动的调节.....	239
第十三章	机构的平衡.....	251
第一节	回转质量的平衡.....	251
第二节	在构件上装置平衡重来平衡机构.....	254
第三节	用装置平衡重的齿轮来平衡曲柄 滑块机构的往复移动质量.....	255
附录		262
参考文献		270

第一篇

机构的结构及分类基础

第一章 机构的结构

第一节 基本概念

机构的结构是机械原理教程中研究机构组成原理的一章。将一个或几个实体的运动转换成另外几个实体所需运动的若干实体的组合称为机构。具有相对运动的两接触构件的联接称为运动副。组成运动副的两实体中的每一个实体称为构件。两构件形成运动副时，构件上直接接触的面、线或点的总和称为运动副元素。

按照构件相对运动的活动度来分，运动副有1级、2级、3级、4级和5级运动副。按照几何特征，运动副可分为低副和高副。低副中构件以面接触，高副中构件则以点或线接触。

低副可以是回转副(a, e)、移动副(b)、螺旋副(d)和球面副($ж, з$) (表1-1)。高副可以简单地表示为曲线轮廓与另一个曲线轮廓相接触的形式($с, в$)。后一类运动副可在齿轮($с$)、凸轮($в$)和其它机构中遇到。

为了使运动副元素保持接触，运动副必须封闭。封闭可分为几何封闭和力封闭。

低副大部分采用几何封闭。高副中的力封闭可用重力或弹簧的弹力来实现。

运动链的规定表示方法如图1-1所示。

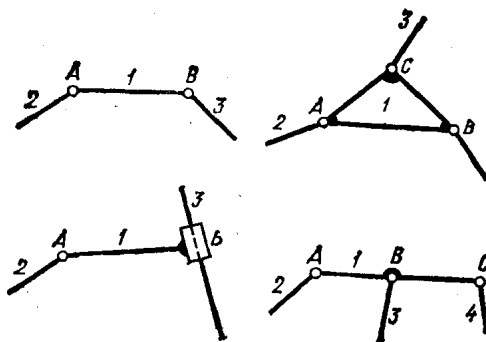


图 1-1

运动副可按照约束条件和剩余活动度的数目进行分类。众所周知，空间中的自由物体具有六个活动度。阻碍物体自由运动的限制称为约束条件。

两构件组成运动副，其相对运动受到一定的限制（约束条件），约束数不可能大于 5，因为约束数为 6 时构件间没有相对运动，即运动副转化为刚性联接。

根据构件相对运动时约束条件数或剩余活动度数，运动副分为 5 级：

运动副的级	1	2	3	4	5
约束条件数 U	1	2	3	4	5
剩余活动度 W	5	4	3	2	1

低副（表 1-1）可为 5 级副（ a, b, d ）、4 级副（ $e, ж$ ）和 3 级副（ $з$ ）。一构件沿着另一构件作带有滑动的滚动所形成的高副属于 4 级副（ e, z ）。

若干构件用运动副相互联接而成的系统称为运动链。

具有给定运动的构件称为主动件，此运动通过机构转换成其余构件——从动件所需的运动。空间机构的活动度按 Малышев 公式确定：

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1 \quad (1-1)$$

表 1-1

运动副的级	约束条件数	运动副种类、活动度	平面运动副	运动副的级	约束条件数	运动副种类、活动度	空间运动副
5	5	1		5	5	1	
5	5	1		4	4	2	
4	4	2		4	4	2	
4	4	2		3	3	3	

式中

n ——可动构件数；

p_5 、 p_4 、 p_3 、 p_2 和 p_1 ——相应的 5 级、4 级、3 级、2 级和 1 级运动副数。

平面机构的活动度按 Чебышев 公式确定：

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 \quad (1-2)$$

对于楔块（滑块）机构按公式 $W = 2n - p_5$ 确定。

具有低副的平面机构（图 1-2）可分解为：

- 1) 主动件，每一个主动件通过回转副（ a ）或移动副（ b ）与机架相联，并具有一个活动度（ $W = 1$ ）；

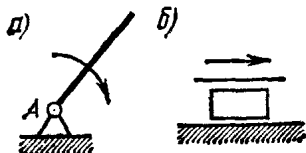


图 1-2

- 2) 运动链或杆组，其活动度为零（ $W = 0$ ）。

杆组中构件数和运动副数可由式（1-2）确定

$$W = 3n - 2p_5 = 0 \quad (1-3)$$

由此得

$$n = 2p_5/3 \text{ 和 } p_5 = 3n/2 \quad (1-4)$$

由式（1-4）可知，杆组中构件数应为偶数，而运动副数应为 3 的倍数。大多数的平面低副机构是由二级杆组（图 1-3）构成，某些平面低副机构含有三级杆组（图 1-4）。

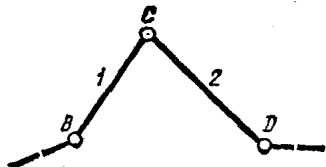


图 1-3

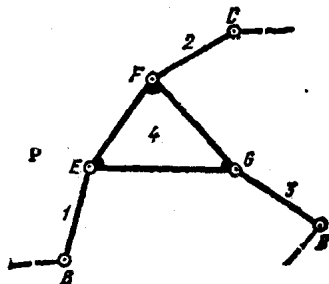


图 1-4

第二节 机构的结构综合

上面所述的每一个杆组若与机架相联，则成为刚性系统（图1-5，a，b）。若二级组用一个运动副与主动件相联，而用另一个运动副与机架相联，则可获得如图1-6，a所示的机构。同样可获得由主动件和三级组所构成的机构（图1-6，b）。

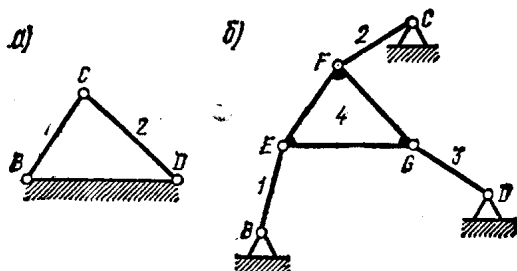


图 1-5

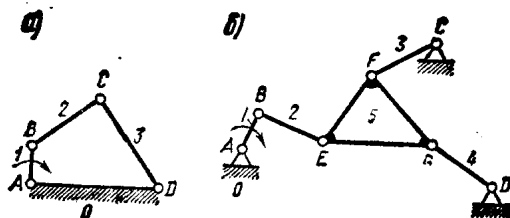


图 1-6

依次将二级组（图1-3）中的回转副用移动副代换，还可获得该杆组四种不同的变型，其中最常遇到的是带有一个移动副的杆组（图1-7）。三级组的多种变型是由移动副和回转副的不同组合而得到的。其中之一如图1-8所示。

研究机构结构时，必须分出主动件，并将机构运动链分解成最简单的杆组。机构运动链的构成特征可用其结构式表示。例如，式 $I \rightarrow II(2-3) \rightarrow II(4-5)$ 表示机构是依次联接两个二级

组而形成的；式 $I \rightarrow II(2-3) \rightarrow III(4-5-6-7)$ 说明机构是依次联接二级组 $II(2-3)$ 、三级组 $III(4-5-6-7)$ 而形成的。

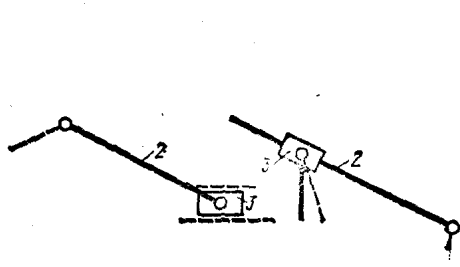


图 1-7

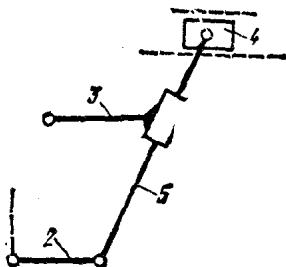


图 1-8

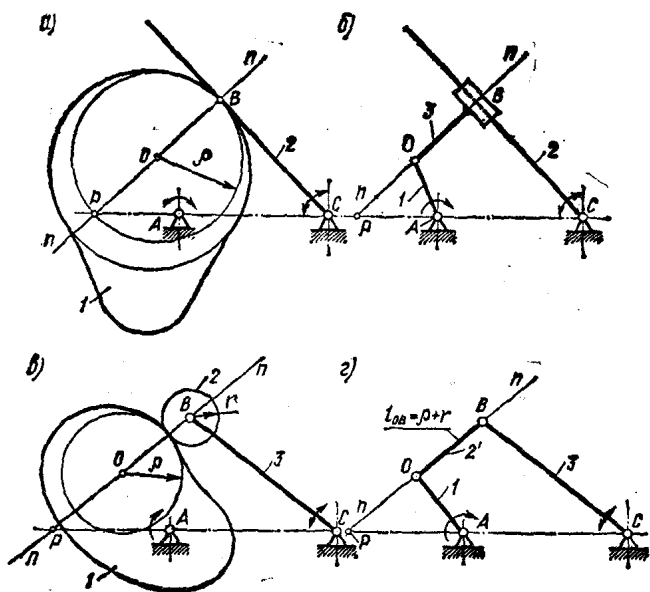


图 1-9

在高副机构分类时，可容易地将高副用低副代换，并获得能分解成主动件和从动杆组的低副机构。一个高副可用两个低副代换，低副的几何中心与高副元素的曲率中心（图1-9）相重合。

高副用低副代换后，代换机构中将出现一个假想的构件*。

现将带有一个高副的实际机构的简图（图 1-9, a, б）转换成代换的四杆机构的简图（图 1-9, в, г）。

在高副机构中，活动度为零的最简单的杆组是带有一个低副和一个高副的构件。与机构结构式相应的从动杆组（二级组或三级组）的联接顺序表明了机构运动分析的顺序，而其反顺序则表明了机构的力的计算顺序。

机构的结构综合是以“层层相加”法或将活动度为零的杆组联接到机构的已有运动链上为基础的。

今以顺序联接杆组进行压力机结构的综合作为例子来研究。

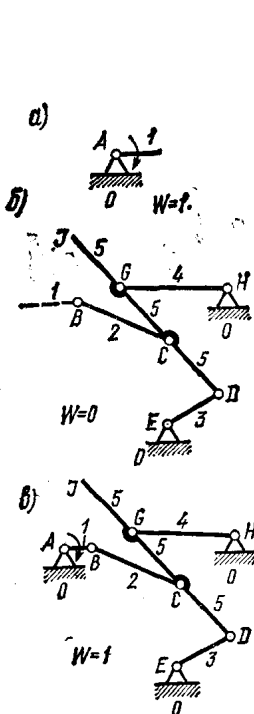


图 1-10

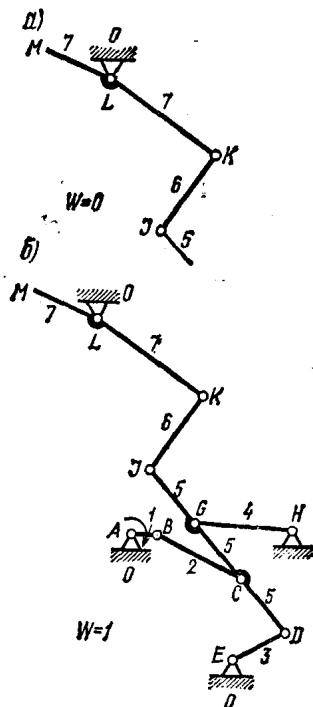


图 1-11

* Юдин В.А., Пемрокас Л.В., Теория Механизмов и машин, М., 1977,