

机构设计

修订版

傅则绍 卢子馨 主编

石油大学出版社

TH112

F92

(2)

机 构 设 计

修订版

傅则绍 卢子馨 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

石油大学出版社

444475

图书在版编目(CIP)数据

机构设计/傅则绍,卢子馨编著. —2版. —东营:石油
大学出版社,1993.12(1998.5重印)

ISBN 7-5636-1107-X

I. 机… II. ①傅… ②卢… III. 机构综合 IV. TH112

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 13369 号

机构设计

修订版

傅则绍 卢子馨 主编

出版者:石油大学出版社(山东东营,邮编 257062)

印刷者:山东昌邑市印刷厂

发行者:石油大学出版社(电话 0546-8392563)

开 本:850×1168 1/32 印张:12.25 字数:318千字

版 次:1998年5月第2版 1998年5月第2次印刷

印 数:3001~6000册

定 价:18.00元

DZS3 / S

内 容 提 要

本书是在第一版(1993年版)的基础上,总结几年来教学实践之经验修订而成的。

全书主要阐述机构的设计理论与方法。除绪论外共分八章:平面机构的类型综合、平面连杆机构、空间连杆机构、机器人机构、高副机构设计的理论基础、凸轮机构、齿轮机构、组合机构与机构的变异。

本书可作为高等工科院校机械设计及制造专业的专业课教材、机械类其他专业本科高年级学生及研究生的必修或选修课教材,也可供有关专业的教师及工程技术人员参考。

前 言

本书的第一版曾获中国石油天然气总公司“石油高校第三届优秀教材”奖。这次的修订本被列入中国石油天然气总公司“九五”教材规划。

本书在第一版的基础上,修订时考虑以下几点:

1. 本书主要是培养学生掌握机构设计的理论与方法,注重开阔学生的设计思路,提高其设计能力。

2. 考虑到1996年石油大学出版社出版的《机构设计解题指南与习题集》一书是与本书配套使用的,因此,这两本书在内容、章节顺序和公式等方面,力求相互呼应,以便教与学。

3. 本书仍按60学时编写,由于各校授课时数不同,使用时有的只能选用书中的部分章节,因此在修编时既注意到各章节的内在联系,又注意到保持各章的相对独立性,俾使在选讲时不致发生前后脱节现象。

修订本增编了平面机构的类型综合作为第一章,而绪论则不列章号。其他各章均按上述的修编原则作了相应的修订。

参加这次编写的有:西安石油学院傅则绍教授(绪论、第八章);石油大学卢子馨教授(第一章);大连理工大学肖大准教授(第二章);四川联合大学张眉教授、徐礼钜教授(第三、第四章);金华职业技术学院乐可锡博士(第五章);吉林工业大学胡秉辰教授(第六章)和合肥工业大学王厚宽教授(第七章)。并由傅则绍、卢子馨担任主编。

本书承西北工业大学陈作模教授审阅,提出了许多宝贵意见

与建议,我们在此表示衷心的感谢。

由于水平所限,书中漏误欠妥之处在所难免,敬请有关教师 and 广大读者不吝指正。

编 者

1998 年元月

目 录

绪论	(1)
§ 0-1 本课程研究的对象、内容和方法	(1)
§ 0-2 学习本课程的目的	(4)
第一章 平面机构的类型综合	(5)
§ 1-1 机构综合引言	(5)
§ 1-2 单自由度平面连杆机构的类型综合	(7)
§ 1-3 平面连杆机构及其杆组的基本概念	(14)
§ 1-4 平面杆组的类型综合	(23)
习题	(34)
第二章 平面连杆机构	(36)
§ 2-1 概述	(36)
§ 2-2 复数的基本知识	(41)
§ 2-3 运动分析的一般方法	(44)
§ 2-4 平面四杆机构的精确点综合	(49)
§ 2-5 平面多杆机构的精确点综合	(73)
§ 2-6 平面连杆机构的近似综合	(76)
§ 2-7 曲率分析及其在连杆机构综合中的应用	(90)
习题	(103)
第三章 空间连杆机构	(110)
§ 3-1 概述	(110)
§ 3-2 空间连杆机构的结构分析	(115)
§ 3-3 坐标变换与方向余弦矩阵基础	(124)
§ 3-4 空间连杆机构的位移分析	(134)
§ 3-5 空间连杆机构的综合	(149)

习题.....	(157)
第四章 机器人机构.....	(163)
§ 4-1 概述	(163)
§ 4-2 机器人位置和姿态分析	(165)
§ 4-3 机器人间接位置问题的求解	(180)
习题.....	(193)
第五章 高副机构设计的理论基础.....	(198)
§ 5-1 瞬心线的形成及其性质	(198)
§ 5-2 瞬心线机构的设计	(202)
§ 5-3 空间相对运动及其螺旋轴	(212)
§ 5-4 瞬轴面机构和节面机构	(217)
§ 5-5 共轭曲线的形成及其性质	(224)
§ 5-6 共轭曲线机构的设计	(226)
§ 5-7 空间共轭曲面机构的设计	(237)
习题.....	(243)
第六章 凸轮机构.....	(246)
§ 6-1 从动件运动规律及其选择	(246)
§ 6-2 盘状凸轮廓线的设计	(257)
§ 6-3 盘状凸轮机构基本尺寸的确定	(270)
§ 6-4 凸轮机构力分析及按效率确定凸轮机构的基本 尺寸	(283)
§ 6-5 圆柱凸轮机构的设计	(289)
§ 6-6 高速凸轮机构	(293)
习题.....	(301)
第七章 齿轮机构.....	(303)
§ 7-1 周转轮系的几种基本形式	(303)
§ 7-2 周转轮系的力矩计算和功率流	(305)
§ 7-3 封闭式周转轮系中的功率流	(311)
§ 7-4 周转轮系的效率	(317)

§ 7-5 渐开线少齿差行星传动	(321)
§ 7-6 链条少齿差行星传动	(328)
§ 7-7 行星变速器	(335)
习题	(347)
第八章 组合机构与机构的变异	(350)
§ 8-1 组合机构的组合方式	(350)
§ 8-2 组合机构的运动分析	(355)
§ 8-3 组合机构的综合	(360)
§ 8-4 机构的变异	(370)
习题	(377)
主要参考文献	(379)

绪 论

§ 0-1 本课程研究的对象、内容和方法

本课程在机械原理课程的基础上,从深度和广度两方面进行了必要的开拓,是机械原理的后续课和提高课。

新中国成立后,随着机械工业的日益发展和教学改革的不深入,机械原理课程的内容也日臻完善。从建国初期编写的机械原理教材中可以看出,当时机械原理课程的内容充其量只不过是简单的机构学。经过将近半个世纪的变革,今天的机械原理课程,除了有较为充实的机构学内容外,还有机械动力学和优化设计等方面的内容。它所研究的不仅仅是机构的分析与综合,还考虑到整个机械传动系统的综合、机构的选型以及机械优化设计等一系列问题。但机械原理毕竟是一门技术基础课,它的任务在于使学生掌握一些机械学的基本理论、基本知识和基本技能,所以当前机械原理课程所介绍的内容,虽有一定的广度,但仍属于“三基”知识范畴。按照国家教委 1995 年批准的“机械原理课程教学基本要求”的规定,机械原理课课内的总学时为 65 至 80。在这样的授课学时内,要兼顾到课程的深度与广度这两个方面是比较困难的。同时机械原理的授课时间一般都安排在第三学期、第四学期或稍后些,这个时期学生还处在低年级阶段,有许多课程还没有学到,知识还很不全面,因此很难把机械原理中某些内容讲深讲透。基于上述原因,机械原理课程的内容只能在广度方面进行开拓,而在深度方面却受到制约。但这对机械设计与制造专业的学生来说,仅仅具备机械原理课程所提供的机械基础知识,显然是很不够的。

在英美和日本等国家中,有些学校将机械原理课程分段设课,即分为“初级”和“高级”两段。初级课程与我国当前的机械原理相似,着重于“三基”,着重于广度的开拓,它作为机械专业学生的必修课和相关专业学生的选修课,安排在低年级学习。高级课程则着重于深度的挖掘,涉及到该领域的先进水平,安排在高年级学习。

在我国机械设计与制造专业的教学计划中,有关机械原理高级课程的内容是分别单独设课的,如机械优化设计、机械动力学和机构设计等。

一、本课程研究的对象

顾名思义,机构设计课程研究的对象是机构。

关于机构至今还没有一个确切的、为大家所公认的定义。18世纪中叶,蒸汽机的发明,促进了欧洲的产业革命。尔后,涌现出大批的机构,而这些机构的构件一般都是刚体,于是定义“机构是用来把一个或多个刚体的运动,变换成其他刚体所需运动的刚性系统”。因此,“机构是刚性构件组合体”的概念一直沿袭至今。但由于科学技术的发展,近年来,液、气、光、电等都参与了运动的变换,因而出现了液压机构、气动机构、光电机构以及光、机、电、气、液等组合的机构。现代的机构已超出了刚体的范畴,而不能再认为机构就是刚性构件的组合体。

变换运动是机构的特征,没有运动变换的装置就不能称其为机构。为了与液压机构、气动机构和光电机构等相区别,我们将全部由刚体构件所组成的运动变换系统称为刚体机构。刚体机构有其固有的优点,如传动准确、可靠等等,因而在目前还很难被其他类型的机构所代替。在现代机械传动中,刚体机构仍占主导地位,所以,本课程所研究的机构仍限于刚体机构(以后简称为机构)。

二、本课程研究的内容

本课程研究的内容就是机械原理中机构分析与综合的部分,而从深度和广度上加以开拓。具体地说,本课程所研究的内容可以

分为两部分：

1. 常用基本机构的分析与综合

如连杆机构、瞬心线机构、共轭曲线机构、凸轮机构及其他常用传动机构的分析与综合。

2. 组合机构与机构的变异

随着生产过程的高度机械化和自动化，对机械输出杆的运动形式有多种多样的要求，对其动力性能的要求也愈来愈高，而单一的基本机构已很难满足这些要求。如单一的凸轮机构不能实现从动件具有一定规律的整周运动；连杆机构无法实现从动杆精确的长期停歇和产生任意形式的轨迹曲线；圆形齿轮机构只能实现定传动比的整周转动或移动等。因此，将几种单一的基本机构按一定方式适当组合形成组合机构，或把机构的某些运动尺寸或结构加以改变而形成变异结构，从而满足生产对机械提出的多种多样的运动要求和更为理想的动力性能要求。

三、本课程研究的方法

对于机构，主要研究以下两个方面的问题：一是机构的分析，就是根据给定的机构简图，研究机构的运动特性和动力特性；二是机构的综合，就是根据预期的运动特性和动力特性，设计机构的运动简图。显然任何机构的综合问题也都是机构分析问题的逆命题。

从机构设计的观点来说，分析是综合的基础，分析的目的是为了综合。当然，从机构综合所得到的机构运动简图要变成生产上实用的机构，还需要考虑其他许多问题，特别是机构的结构问题，如在周转轮系的设计中，结构的优劣就决定着设计的成败。因此，本书除了对基本机构进行分析与综合之外，还涉及到某些机构的结构问题。为此，本书定名为《机构设计》，以区别于一般的《机构学》。

研究机构分析与综合的方法有图解法和解析法。图解法比较直观，可从图形中看出机构传动的几何原理，以及传动时的运动特性和动力特性。但图解法一般精度较低，而且在三维空间中很难用制图法求解。解析法适用范围广，解算精度高，但计算比较复杂。近

年来,由于电子计算机的普遍应用和数学工具的日臻完善,为用解析法研究机构的分析与综合提供了极为有利的条件,故本书主要采用解析法,研究机构的分析与综合问题。虽然个别章节中也提到图解法,但只是用来说明机构传动的几何原理,作为解析法的“引子”而已。

§ 0-2 学习本课程的目的

在了解了本课程研究的对象和内容之后,对于学习本课程的目的是不难理解的。机器的类型尽管繁多,其动作也很复杂,经过对各种机器的剖析,我们可以看出,即使非常复杂的机器,其机械部分总是由一些简单的机构所组成。即使由机械、电子与计算机等部分所组成的现代的机电一体化产品,其机械部分也无非是各种机构的组合体,例如现代的机器人,虽然“心脏”部分是微机控制系统,但其手、脚等执行部分则是机构的组合体。显然,要使现代的机器日臻完善,除了提高电子、计算机与控制技术之外,机构的设计质量与制造精度的提高也是一个关键问题。目前机器人的严重缺点之一,就在于手的夹持机构和脚的行走机构自由度过多,结构过于复杂,以至难以控制。在现代的机器中有大量的机构设计问题值得研究。

总而言之,简单的机器其本身就是机构的组合体。现代先进的机器其执行装置一般都是机械的,而机械部分也是机构的组合体。所以说机构是机器的基础,机器是离不开机构的。毫无疑问,没有丰富的机构设计知识,是难以设计出高质量的机器的。机械设计与制造专业的学生要学好这门课程,其道理也就在于此。

第一章 平面机构的类型综合

§ 1-1 机构综合引言

一、机构综合

机构的综合一般包括机构的数综合、型综合、尺度综合和控制综合等内容。

(1) 数综合 是指在满足机构预定自由度的条件下,确定组成该类机构的构件数目和不同类型的运动副数目的过程。

(2) 型综合 是指在给定构件数目、运动副数目及其类型的条件下,通过不同的组合方式,确定机构不同结构型式的过程。然而,凡满足机构自由度要求的机构结构型式往往不止一种,从中遴选出最能符合实际工作要求的机构结构型式,称为机构的选型。

由于以上两种综合,均在给定机构自由度的条件下,或是确定组成该类机构的构件数目、运动副数目及其类型,或是再进而确定出机构的不同结构型式,因此,对于连杆机构来说,往往将其并称为机构的类型综合。

(3) 尺度综合 是指当机构的结构型式选定后,在满足其执行构件运动要求的条件下,确定出机构尺度参数的过程。由于这种综合仅确定机构的运动尺度参数而未考虑其中构造的强度、刚度及具体结构,因而与通常所说的“机构设计”意义等同。

(4) 控制综合 是指在机构执行构件的位置和姿态已经事先拟定的情况下,确定出机构各运动关节的运动参数数值的过程。以上诸参数值可作为对相应作动器进行实时控制和协调工作的依据,以便实现其执行构件的位姿要求。

二、机构类型综合

广义地讲,机构的类型综合即研究机构的组成学,而研究的意义有如下两点。

(1) 研究机构运动的可能性及其具有确定运动的条件 显然,机构是由若干构件通过不同联结形式组合,并使各构件间具有确定相对运动的强制运动链。而要使这一强制运动链能够运动且其各构件间的相对运动得以确定,则与组成该强制运动链的构件数目、构件间的联联结形式及其排列,以及某些构件间的相对尺寸存在着密不可分的内在联系。因此,研究机构组成的目的之一,就在于探讨上述内在联系的规律性,进而将其作为机构结构分析的理论基础。

(2) 研究机构结构型式的选优问题 如上所述,在给定构件数目和运动副数目及其类型的条件下,通过不同的组合方式,确定出能够完成确定运动方式的机构结构型式将不止一种,而不同的机构结构型式又各有其不同的运动学和动力学特性。因此,这就为设计出先进的新颖的机构结构型式提供了可资择优的可能性方案。显然,为了择优,其前提是必须提供完整的机构结构的各种类型以便进行比较。而提供完整的机构结构的各种类型的过程就是机构的类型综合。

机构的类型综合是机构的创意性设计,也是机构前述其他综合的先导。它可分为平面闭合机构的类型综合和空间闭合机构的类型综合。在这两种闭合机构的类型综合中又以单自由度的机构类型综合为基础,因此,本章仅介绍单自由度平面机构的类型综合。

§ 1-2 单自由度平面连杆机构的类型综合

在平面机构中,由于平面高副可以低代,且低副机构较低代前的高副机构结构类型多且复杂,因此,对平面连杆机构的类型综合可以代表平面机构的类型综合。

一、机构类型综合的基本思路

在单自由度的平面连杆机构中,若将其机架的 3 个约束解除,则所得的平面闭式链的自由度必然为 4。因此,完全可以用具有 4 个自由度的闭式链的类型综合,去代替单自由度的平面连杆机构的类型综合。

现设一平面闭式链中的构件数为 n ,组成该运动链的低副数为 p ,则该闭式平面运动链中的杆、副关系应满足

$$3n - 2p = 4 \quad (1-1)$$

若在以上 n 个构件中,设双副杆的数目为 n_2 ,三副杆的数目为 n_3 , i 副杆的数目为 n_i , $\dots$,则有式:

$$\sum n_i = n_2 + n_3 + \dots + n_i + \dots = n \quad (1-2)$$

如图 1-1 所示,由于运动链为闭式运动链,所以在数构件 n_i 的数目时,每个运动副均数过 2 遍。例如:

对于图(a) $n_2=4, p=4$

对于图(b)、(c) $n_2=4, n_3=2, p=7$

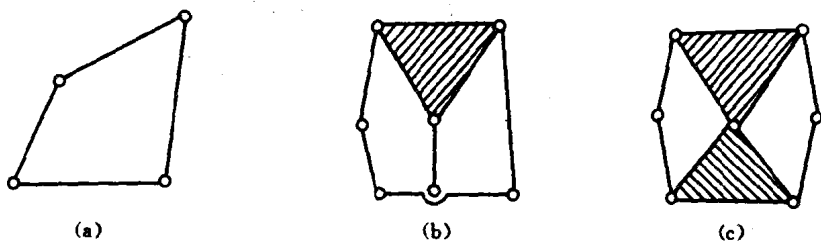


图 1-1

于是由归纳法可知,其杆、副之间又有如下关系:

$$\sum in_i = 2n_2 + 3n_3 + \cdots + in_i + \cdots = 2p \quad (1-3)$$

又由欧拉(Euler)方程可知,独立的闭环数目 L 与运动副数目 p 及构件数目 n 的关系为

$$L = p - n + 1 \quad (1-4)$$

将式(1-4)代入式(1-1)可得

$$p = 3L + 1 \quad (1-5)$$

显然,满足式(1-1)和式(1-5)的运动链将有无穷多个。各参数值的变化,可探得有以下递增规律:

n : 2, 4, 6, 8, 10 —— 以 2 递增

p : 1, 4, 7, 10, 13 —— 以 3 递增

L : 0, 1, 2, 3, 4 —— 以 1 递增

其中,第一列: $n=2, p=1, L=0$,为单自由度机构解除机架 3 个约束后的开式链。其基本结构型式只有一种,如图 1-2(a)所示。

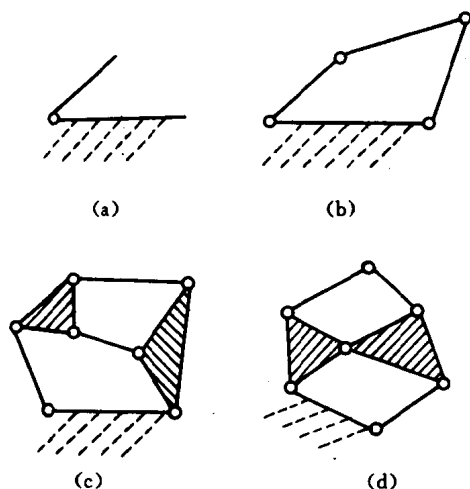


图 1-2

第二列: $n=4, p=4, L=1$,为单自由度机构解除机架 3 个约束后的闭式单环链。其基本结构型式也只有一种,即为最常见的铰