

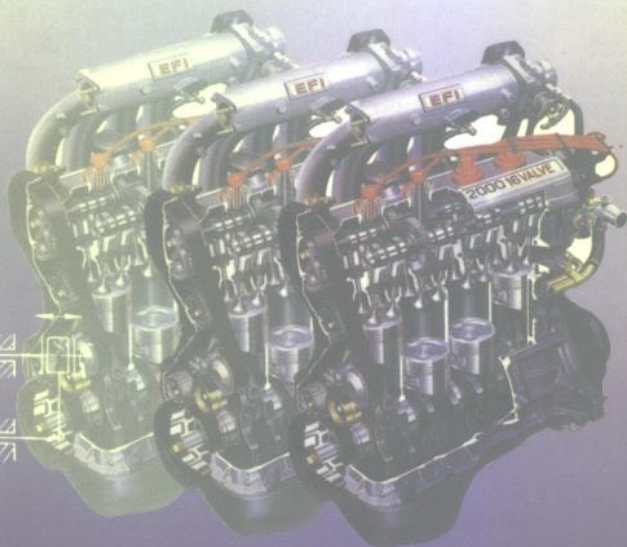
机构设计丛书

组合机构设计

《机构设计丛书》编审委员会 编

吕庸厚 编著

上海科学技术出版社



TH 112

L91

395058

机构设计丛书

组合机构设计

《机构设计丛书》编审委员会 编

吕庸厚 编著



上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书共六章。第一章为组合机构的类型和应用。第二、三、四章分别叙述齿轮-连杆机构、凸轮-连杆机构、齿轮-凸轮机构的设计。第五章叙述各种串联式组合机构的设计。第六章阐明组合机构按运动要求的选型。书中引述了设计的优化方法,列举了典型的设计实例,给出了设计线图,从而省去繁复的计算,使设计简捷。

本书供机械设计师、从事技术改造和革新的工程技术人员阅读,亦供大学机械专业的师生参考。

D253/11
责任编辑 钮国俊

机构设计丛书

组合机构设计

《机构设计丛书》编审委员会 编

上海科学技术出版社出版、发行

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所经销 浙江农业大学印刷厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 12 插页 4 字数 313,000

1996 年 12 月第 1 版 1996 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—3,000

ISBN 7-5323-4036-8/TH·80

定价:21.00 元

编审委员会名单

雷天觉 张启先 路甬祥

邹慧君 李华敏 徐振华 华大年

谢存禧 殷鸿梁 吕庸厚

丛 书 序

照传统说法，一切机器都可分为三部分，动力源、传动和执行机构。一切机器的作用不外两点，一是利用能量来代替微弱的人力、畜力，另一则用机器的运动来代替人手的动作。虽然两者都是为了减轻劳动，可是它们发展的历史却很不一样。能源开发是近代的成就，应该说由水车开始，而且从历史眼光看其发展并不能说很快，一般是量变。用机器运动来代替手工动作则历史长得多，而且进步也比较大。只要比较一下上古制陶器的陶车和近代在人的大脑中进行外科手术的机器人便清楚了。这可能是因为能源开发虽然艰巨，其目标却是单一的。用机器运动代替人工劳动，目的是多种多样的，随着人类生活的发展而不断变化。因此形成很多复杂的行业。

到底机器的哪部分是用来产生代替人手的动作呢？事实上这和传统的原则性的说法略有不同。倘机器要执行的动作非常简单，则动力源—传动—执行这划分还是对的。但近代机器常极复杂，对它要求的动作也非常精细而且复杂（且不说人工智能问题）。这种精细复杂的运动常常要从传动中获得。这就使机器的传动部分和执行部分的界限模糊了，同时也使传动成为更复杂的技术。表面上好像很简单的问题，做起来可能会很困难。我常常喜欢提一个历史上的例，这里再说一次：当瓦特设计他的蒸汽机时，他需要一个直线运动来带动阀门。从表面看这是一个很简单的问题，在今天用一个导轨便成了。但在那时的加工设备和润滑技术，还不能制出导轨，而须用连杆。但瓦特想不出这样一种连杆，便要求格拉斯哥大学的数学家们帮忙，但数学家们也想不到。后来事情传开了，竟发现全世界的数学家都解决不了这问题。瓦特只得用了一个近似的直线机构。这问题直到瓦特死后几十年，才由一位法国数学家解决

了。这一事说明了在机器上对传动机构要求之高和问题解决之难。只要机器还在使用，传动机构也必然要继续发展。

传动机构的类型很多，而且还在不断增加。特别是近年来在高精技术领域，各种类型传动（齿轮、凸轮、连杆、液压、气动、电动）常联合使用。最近趋势是在使用液压气动时，传动介质和轴承润滑和压力常联为一体，这就使技术更加复杂。在这种情况下，我们迫切需要一部包括各种传动（最好还包括摩擦学）的专著。目前对每种类型传动的论著并不少，有的也很深入。但却没见过将各种传动（机构）汇为一书的。上海科学技术出版社出版的“机构设计丛书”是这种类型专著的第一次出现，很希望它能满足读者的上述需求。当然，将各种传动融会贯通、形成一体是需要时间的，但这套书总是一个很好开端。丛书计七题，依次是《机构系统设计》、《齿轮机构设计》、《凸轮机构设计》、《连杆机构设计》、《空间机构设计》、《间歇运动机构设计》及《组合机构设计》。由于它包括了各种传动，而且篇幅很大、内容比较详尽、阅读方便；又由于它是由一个统一的编审委员会领导下完成的，易于作到理论协调、体例一致。估计本书将成为前沿设计和生产工作者很欢迎的书。

笔者希冀本书在我国机械工业中起良好作用！

高子宽

九四年十月十九日

前 言

随着生产的发展以及机械化、自动化程度的提高,单一的基本机构诸如简单的连杆机构、凸轮机构和齿轮机构等,往往不能满足复杂多样的自动机和自动生产线的要求,而须借助由多个或多种基本机构组成的组合机构来实现。目前,组合机构已在各种自动机或自动生产线上得到广泛的应用。

由于组合机构的结构较复杂,设计计算亦繁复,曾增加对它研究的困难。近年来,运用了电子计算机和采用了最优化方法,极大地推进了它的研究进展。因此,今后一定会有更多更新的组合机构出现,适应日趋现代化的生产需求。

早在本世纪 40 年代,有关组合机构运动分析与综合的论文国际上已有发表。我国起步较晚,近 20 年才陆续发表这方面的论文,但全面而系统地论述组合机构的专著,迄今未见正式出版。因而作者尝试着编写出版这一题目的单行本,在一定程度上是个初创性的工作。

全书共分六章。第一章概述组合机构的类型及其应用。第二、三和四章分别详述齿轮与连杆、凸轮与连杆、齿轮与凸轮的封闭式(包括装载式)组合机构的运动分析和设计计算。第五章专门介绍串联式组合机构的设计。末章讨论组合机构按运动要求的选型。

这样的编排,兴许有助于读者掌握组合机构的基本原理和设计方法,并从中发现和创造新的机构。在设计中除采用优化方法和新的传动质量指标外,还从实用的角度出发,绘制了设计线图,使设计者易于选择设计参数,避开繁复的计算,使设计简捷,并举设计计算的实例。因此本书将有利于机械设计人员、广大技术改造和革新者掌握组合机构的原理、应用和设计,并在生产实际中推广应用组合机构。

书中部分内容曾在机械原理教师研讨班、无锡轻工大学研究生班和机械专业本科生班上讲解过多次,故仍可作教材或教学参考书。

本书属《机构设计丛书》的第七种,即最后一种,与丛书的其他原稿一样,经编审委员会审定。韩鸣和谈稚军为本书绘图,张勤协助整理书稿,在此一并表示感谢。

作者

1995年9月于无锡

目 录

前言	1
第一章 组合机构概述	1
§ 1-1 组合机构的兴起	1
一、回转运动	1
二、往复运动	1
三、间歇运动	2
四、点的运动轨迹	3
§ 1-2 基本机构的定义	5
§ 1-3 组合机构的类型	7
一、按组合机构的基本机构种类分类	7
二、按组合机构组成的结构型式分类	7
§ 1-4 组合机构的运动特性	18
一、串联式组合机构的运动特性	18
二、封闭式组合机构的运动特性	18
三、并联式组合机构的运动特性	19
四、装载式组合机构的运动特性	19
第二章 齿轮-连杆机构	21
§ 2-1 齿轮-连杆机构的应用	21
一、实现变速回转运动	21
二、实现定传动比的等速回转运动	21
三、实现大摆角、大行程和一端停歇的往复运动	21
四、实现两连架杆数对对应位置和再现函数	23
五、近似实现给定的轨迹	23
六、实现刚体导引	23

§ 2-2 齿轮-连杆机构的组成规则	24
§ 2-3 齿轮-四杆机构的运动分析	27
一、齿轮-铰链四杆机构的运动分析	28
二、齿轮-曲柄滑块机构的运动分析	34
三、齿轮-导杆和齿轮-摇块机构的运动分析	37
四、齿轮-曲柄移动导杆机构	39
§ 2-4 齿轮-四杆机构的步进角、平均角速度比和设计选型	39
一、齿轮-四杆机构的步进角和平均角速度比	39
二、按平均角速度比选型	43
§ 2-5 实现 $I=1$ 变速回转运动的非回归式齿轮-曲柄摇杆机构设计	49
一、具体机构的运动分析	49
二、机构运动性质	52
三、机构设计	55
§ 2-6 实现 I 为一般值的变速回转运动的非回归式齿轮-曲柄摇杆机构设计	63
一、实现 $I>0$ 的简单型式的非回归式齿轮-曲柄摇杆机构	63
二、实现 $I<0$ 的简单型式的非回归式齿轮-曲柄摇杆机构	74
§ 2-7 实现 $I=1$ 变速回转运动的非回归式齿轮-双曲柄机构设计	83
一、具体机构的运动分析	83
二、机构运动性质	85
§ 2-8 实现 I 为一般值的变速回转运动的回归式齿轮-铰链四杆机构的设计	91
一、机构的运动分析	91
二、 $I=1$ 最简型式的回归式齿轮-双曲柄机构设计	93
三、 $I\neq 1$ 最简型式的回归式齿轮-曲柄摇杆机构设计	97
§ 2-9 实现扩大往复运动摆角的非回归式齿轮-铰链四杆机构	99
一、实现扩大往复运动摆角的实用意义	99

二、最简型式的非回归式齿轮-曲柄摇杆机构	102
三、最简型式的非回归式齿轮-双摇杆机构	107
§ 2-10 回归式齿轮-曲柄滑块和齿轮-导杆机构设计	109
一、最简型式的回归式齿轮-对心曲柄滑块机构	109
二、最简型式的回归式齿轮-导杆机构	117
§ 2-11 实现长时间近似停歇的齿轮-导杆机构设计	130
一、机构运动分析	130
二、具体机构设计	132
三、机构的停歇精度	137
§ 2-12 齿轮-五杆机构设计	141
一、概述	141
二、摆线参数方程和同一摆线的两种形式	144
三、具体机构设计	149
§ 2-13 再现函数的齿轮-连杆机构	166
一、齿轮-连杆机构的封闭矢量方程式	166
二、精确实现给定函数的点的数目	170
三、高次综合	176
§ 2-14 再现点的轨迹和刚体导引的齿轮-连杆机构	180
§ 2-15 压力角、传动角和机构传动质量	186
一、齿轮-连杆机构的传动角	186
二、压力角和传动角作为衡量机构传动质量指标的不足	189
三、齿轮-连杆机构的当量压力角 α' 和机构传动质量	194
第三章 凸轮-连杆机构	195
§ 3-1 凸轮-连杆机构的应用	195
§ 3-2 机构传动质量指标	197
一、直动从动件机构的传动质量指标	197
二、摆动从动件机构的传动质量指标	200
三、按传动质量指标 η' 设计直动从动件盘状凸轮机构举例	203
§ 3-3 变连杆长度的凸轮-连杆机构设计	206
一、固定凸轮-连杆机构	206

二、转动凸轮-连杆机构	217
§ 3-4 变曲柄长度的凸轮-连杆机构设计	225
一、设计基本原理	225
二、设计计算	227
三、判断设计优劣的标准	230
§ 3-5 实现运动轨迹的凸轮-连杆机构及其设计	234
一、按直角坐标的运动组合	235
二、按极坐标的运动组合	240
三、按广义坐标的运动组合	243
§ 3-6 实现轨迹的凸轮-连杆机构及其设计	250
一、按广义坐标的运动组合实现轨迹的两种方案和机构型式	250
二、设计计算	253
三、其他型式	255
§ 3-7 同时实现运动轨迹和执行构件姿态的凸轮-连杆机构 及其设计	257
第四章 齿轮-凸轮机构	261
§ 4-1 齿轮-凸轮机构的应用	261
§ 4-2 实现给定运动规律的变速回转运动的平面齿轮-凸轮 机构	261
一、固定凸轮的齿轮-凸轮机构	262
二、凸轮与行星轮固联的齿轮-凸轮机构	270
§ 4-3 实现给定运动规律的变速回转运动的空间齿轮-凸轮 机构	277
一、圆锥齿轮组成的齿轮-凸轮机构	277
二、蜗杆蜗轮组成的齿轮-凸轮机构	278
§ 4-4 实现给定轨迹的齿轮-凸轮机构	283
一、曲线导槽的理论曲线的确定	283
二、回程轨迹的确定	287
三、工作行程的进入角和退出角	289
四、抓片构件 3 上的压力角	291

五、机构参数及尺寸的确定	293
第五章 串联式组合机构	295
§ 5-1 连杆-连杆串联式组合机构	295
一、机构的应用	295
二、实现近似停歇的连杆-连杆机构设计	297
三、实现近似等速运动的连杆-连杆机构	307
§ 5-2 连杆-槽轮串联式组合机构	312
一、槽轮机构的动停时间比和机器生产率	312
二、曲柄滑块-槽轮机构	313
三、转动导杆-槽轮机构	328
§ 5-3 槽轮-槽轮串联式组合机构	337
一、槽轮-槽轮机构消除柔性冲击的条件	337
二、运动特性	338
三、动停时间比	341
四、输出槽轮槽数少的弥补措施	343
§ 5-4 凸轮-连杆串联式组合机构	345
一、凸轮-连杆串联式机构的应用	345
二、实现往复摆动的凸轮-连杆串联式机构	345
三、实现往复移动的凸轮-连杆串联式机构	352
§ 5-5 齿轮-连杆和齿轮-凸轮串联式组合机构	354
第六章 组合机构按运动要求选型	358
§ 6-1 输出构件作变速回转运动	358
一、要求严格实现给定运动规律(包括转速)的情况	358
二、无严格要求运动规律的情况	358
§ 6-2 输出构件作具有停歇的步进运动	362
一、在一定时间内近似停歇的步进运动	362
二、在一定时间内停止不动的步进运动	363
§ 6-3 扩大输出构件往复运动的摆角和动程	364
一、扩大摆角	364

二、扩大往复移动的动程	365
§ 6-4 实现轨迹	366
一、精确实现给定轨迹 $y=f(x)$	366
二、精确实现给定运动轨迹 $x=f_1(t), y=f_2(t)$	366
三、精确实现运动轨迹和姿态	367
四、精确实现轨迹和姿态	367
五、近似实现轨迹的同时保证姿态	367
参考文献	368

第一章 组合机构概述

§ 1-1 组合机构的兴起

机器可用来减轻人们繁重的体力劳动,它的执行机构就需要实现人们在劳动中的各种动作:转动、往复移动和摆动、间歇运动以及预期的轨迹等。随着生产的发展,以及机械化和自动化程度的提高,不仅对上述运动形式,还对其运动规律和动力性能都提出了更高的要求。于是简单的齿轮、连杆和凸轮等机构有时便不能满足上述需要。下面就以原动件为转动的机构为例,如输出件的运动为:

一、回转运动

齿轮(包括椭圆齿轮、蜗杆和蜗轮)、双曲柄和转动导杆机构虽能传递匀速和变速转动,但无法实现任意给定运动规律的转动,而需要采用如图 1-1 所示的齿轮和凸轮组合而成的组合机构。其中系杆 3 为原动件,齿轮 1 为输出件,如行星齿轮 2 和系杆 3 间无相对运动存在,则齿轮 1 和系杆 3 角速度相同。今由于固定凸轮的作用,行星轮 2 相对系杆 3 产生往复摆动,使齿轮 1 得到预期的变速转动。

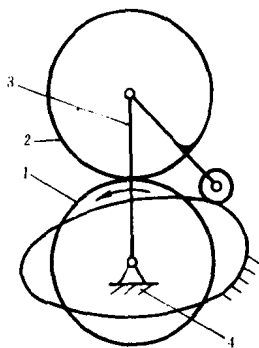


图 1-1 实现变速转动的
齿轮凸轮组合机构

二、往复运动

连杆机构不能精确地实现任意给定的运动规律,虽凸轮机构能使输出构件得到任意给定的运动规律,但对

(一) 摆动从动杆盘状凸轮

摆动从动杆的摆角有限制,要小于两倍许用压力角,一般只用

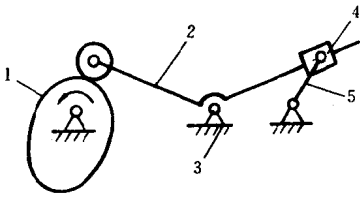


图 1-2 凸轮导杆组合机构

到 50° 。为了实现给定运动规律，大于上述摆角的往复运动需要采用扩大摆角的机构。图 1-2 所示的凸轮和导杆组成的组合机构，便是其中的一种方案。

(二) 直动从动杆盘状凸轮

在图 1-3 所示的凸轮机构中，

其纵向尺寸等于 $(3h + 2r_0 + l + \Delta)$ ，此处 h 为从动杆的升程， r_0 为基圆半径， l 为导轨长度， Δ 为避免构件相碰应留的间距。 l 还不能小，否则机构的效率会很低，因此这种凸轮的纵向尺寸常为 $(5 \sim 6)h$ 。当 h 较大时，纵向尺寸会很大，故需采用图 1-4 所示的固定凸轮和连杆组成的或图 1-5 所示的凸轮和连杆组成的组合机构。

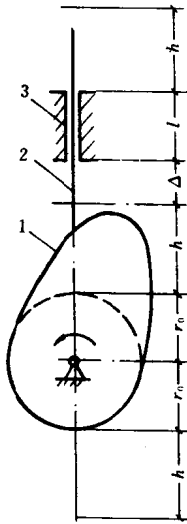


图 1-3 直动从动杆盘状凸轮的纵向尺寸

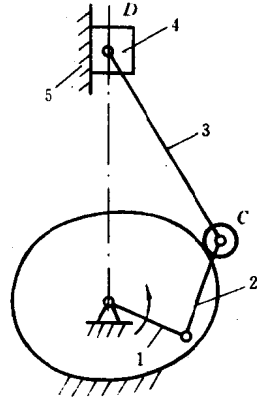


图 1-4 固定凸轮连杆组合机构

三、间歇运动

一般槽轮机构的槽数和它的运动系数 τ 有固定的关系。在槽

数一定时,采用如图 1-6 所示的曲柄滑块和槽轮(图中仅画出一个槽)组成的组合机构,改变曲柄滑块机构构件的长度便可使 τ 值在相当大的范围内变动。

又如需要实现短暂停歇或长时间近似停歇的间歇运动,便可采用齿轮连杆组合机构。图 1-7 所示的组合机构,其输出齿轮 5 便能实现短暂停歇的间歇运动。实现长时间近似停歇的组合机构,见后面的图 2-62。

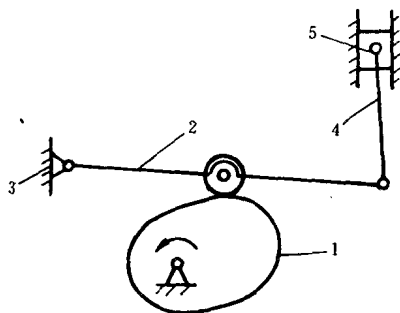


图 1-5 凸轮连杆组合机构

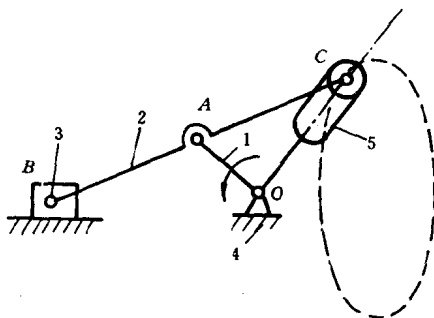


图 1-6 曲柄滑块槽轮组合机构

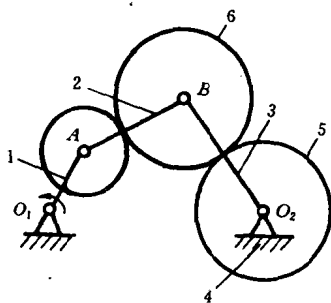


图 1-7 实现短暂停歇的齿轮连杆组合机构

四、点的运动轨迹

用铰链四杆机构连杆上的点来实现给定轨迹是比较困难的,特别是要精确实现它或同时还要保证点的给定速度(运动规律)那