

机构设计的 组合与变异方法

田允刚 编著

JIGOU SHEJI DE
ZUHE YU BIANYI
FANGFA

机械工业出版社

本书从机构图例入手，分析机构演化发展的类型及其特点，归纳总结机构结构设计经验，提出结构改进与创新的若干方法。读者对象为机构设计人员，亦可供工科大专院校师生教学参考。

机构设计的组合与变异方法

洪允糖 编著

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

煤炭工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

·*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $11 \frac{3}{8}$ · 字数 247 千字

1982 年 12 月北京第一版 · 1982 年 12 月北京第一次印刷

印数 0,001—8,800 · 定价 1.20 元

*

统一书号：15033 · 4963

前 言

本书主要讨论机构演化发展的类型、效用及特点，并归纳总结机构设计构思的某些经验与方法。全书共介绍和分析了机构结构三百余例，内容比较通俗。

本书不同于常见的机构图例汇编。一般图例汇编仅将各种机构分类罗列，很少从启发设计构思的角度来分析问题；而本书则着重说明机构的组合、变异与创新的某些途径，以利于开扩思路，进行新的设计。由于作者水平有限，许多看法只作提出问题引以讨论，错误之处请批评指正。

本书插图均为机构简图或示意图。有些插图虽具有装配图的形式，但仍属示意图，并不反映实际的零件构造。

本书所引用的机构，在国内出版书刊中，大多数还未见介绍，其中有相当数量直接选自国外专利说明书，可供机构设计人员参考。附录二列出机构索引，以便查找。

资料出处，文献索引号均以方括弧标注，如〔A20〕、〔B3e〕等。专利均注明专利号，如〔C1〕2896213，表示美国专利号2896213。参考文献索引附于书末。

作者在收集资料时，曾得到中国图书进口公司余康临等同志大力协助；在编写过程中，曾就教于西安交通大学姜琪、铁道科学研究院李学荣、北京工业大学白师贤、清华大学张世民及唐锡宽、北京航空学院张启先和北京农业机械化学院孙可宗等位老师，特此致谢。

目 录

第一章 基本知识	1
第一节 机构结构设计的概念和设计方法问题	1
一、机构结构设计的初步概念	1
二、结构改进与创新的方法问题和本书编写目的	2
第二节 名词术语和基本概念	4
一、构件、运动副和机构	4
二、机构的运动参数	5
三、压力角与传动角、锁止压力角	7
第三节 常用机构	9
一、低副机构	9
二、凸轮机构	14
三、几种分度机构	18
第二章 机构的组合	25
第一节 顺序工作的并联组合	27
一、实现比较复杂的运动规律	28
二、产生较大或延续的输出位移	32
三、输出往复运动	36
四、用于过渡过程的辅助子机构	42
第二节 同时工作的并联组合	50
一、平行布置的并联组合	50
二、轴对称布置的并联组合	52
第三节 串联组合	56
一、子机构串接时的相位关系	57

V

二、前置非匀速运动机构	60
三、零瞬时速度的串联效果	63
四、其他应用	66
五、复合函数问题图解方法	68
第四节 其他组合机构	72
一、非简单组合机构	72
二、齿轮四连杆机构	75
三、子机构之间的控制关系	83
四、放射式连接的组合机构	88
第三章 机构的变异 (一)	94
第一节 等效与相当	94
一、等效机构	95
二、相当机构	103
第二节 倒置与扩展	111
一、机构的倒置	112
二、机构的扩展	115
第三节 局部结构改组	120
一、曲柄压力机机构的变异	120
二、槽轮机构驱动结构的变异	125
三、槽轮机构锁止结构的变异	131
四、有近似停歇或瞬间停歇的机构	136
五、运行中可调的机构	139
第四节 结构的移植与模仿	147
一、简单移植	147
二、结构展直	148
三、结构模仿	152
第五节 结构的简化	158
一、传动链的省略与简化	158
二、构件的省略与简化	162

三、其他结构简化设计	171
第六节 凸轮形状变异设计杂例讨论	173
一、多滚子从动杆，两轴异向转动	173
二、多滚子从动杆，两轴同向转动	175
三、多滚子从动杆，输出往复直移运动	178
四、压力角接近于 90° 的凸轮机构	180
五、多滚子主动杆凸轮机构	184
第七节 零件构造的变异设计	186
一、可调、快速成形或快换的凸轮轮廓	186
二、与制造工艺有关的零件构造设计	188
第四章 机构的变异 (二)	193
第一节 变结构机构的概念	193
一、实例	193
二、概念	193
三、变结构机构的逆行与往复	195
第二节 几种自动离合的连接方法	196
一、限动连接	196
二、摩擦连接	197
三、弹性连接	199
四、刚性连接	202
第三节 自动离合连接的应用例	203
一、双从动构件的简化驱动	203
二、复杂运动的简化驱动	208
三、具有突变传动比的杆式机构	213
第四节 可控连接与超越连接	219
一、可控连接	219
二、超越连接	220
三、由超越离合器组成的可控“离合-制动”器	221
第五节 自动变廓高副机构	225

一、单稳变廓结构	225
二、双稳变廓结构	228
三、其他结构	231
第六节 自动换向装置	234
一、具有储能或延时环节的换向装置	234
二、主动构件参与过渡过程的换向装置	237
第五章 一些原理的灵活运用	242
第一节 运动叠加与复合方法的应用	242
一、匀速运动与往复运动叠加	242
二、不同特性非匀速运动的叠加	246
三、同特性运动的叠加	247
四、运动的补偿	254
五、直线及曲线轨迹运动机构	257
第二节 二进制原理的应用	260
一、机械结构的二进制数码	261
二、数-模变换装置	263
第三节 惯性力与重力的积极作用	276
一、用惯性力实现特殊运动	276
二、用离心力改变锤的偏心距	279
三、用离心力和重力控制啮合状态	282
四、用重力驱动的机构	283
第四节 弹性构件的特殊用途	283
一、单向或双向间歇转动机构	284
二、轻型转轴停准机构	288
三、挠曲弹性带机构	289
第五节 摩擦传动及其他	295
一、倾斜滚轮摩擦传动	295
二、高精度挠性传动与摩擦传动	297
三、杆式机构极限位置性质的应用	299

第六章 结构设计的其他问题	304
第一节 关于深入分析有利条件	304
一、充分利用有利因素	304
二、实例	305
三、简易的两轴点定位系统	312
第二节 关于合理确定控制系统的基本类型	317
一、机械结构与电路装置的对比	317
二、以机械方法实现简单程控	319
第三节 结构设计错失举例	325
一、构件之间的运动干涉	325
二、工作状态恶化	328
三、非工作过程中的问题	331
第四节 关于结构设计的概念与提法	332
附录一 双曲柄机构简易图解法	335
附录二 机构索引	342
参考文献	349

机构简图表示方法

单向直线运动



往复直线运动



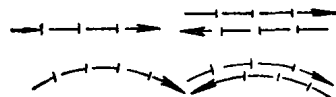
单向回转运动



往复回转运动



各种间歇运动



点的运动轨迹



第一章 基本知识

第一节 机构结构设计的概念和 设计方法问题

一、机构结构设计的初步概念

本书主要讨论机构的结构设计构思问题，故有必要首先说明它的概念。

在机构设计过程中，在确定各构件的几何参数之前，首先要确定机构的原理结构，即确定构件及运动副的类型、数量、基本形状和它们的连接方式。例如，要确定所设计的机构有几个齿轮、杆件、凸轮……，它们如何连接，如何实现运动的传递与变换等。我们将机构设计的这一步骤称为结构设计①。

在结构设计中，设计人员要考虑多方面的要求和条件，包括：

要求实现的运动规律及其调节范围和调节方法；

机构应具有的精度和刚度；

载荷类型及特点；

机构的工作速度；

对动力性能、振动及噪声控制等方面的要求；

① “机构的结构”是指机构的原理结构，并不包括零件设计的结构内容。本书为了避免误解，对于包括零件结构在内的具体结构有时用“构造”一词代替。机构的结构设计的概念与提法问题将在第六章第四节作进一步讨论。

容许占用的空间大小及方位；
使用寿命、维护与润滑条件；
机器制造批量及有关的工艺条件；
等等。

这些要求和条件在不同的设计任务中情况千差万别，故很难用一些简单的公式或准则加以概括[⊖]。

机构的结构设计过程有两种不同的基本类型。其一是从已知的即现成的设计中选择比较符合要求的一种，一般情况下是选用技术上比较成熟的常用机构。另一种是结构的改进与创新，即探索与创造未知的结构，不妨称为“设计新机构”。“选择”与“创造”性质不同。虽然在实际工作中二者往往同时存在，然而在概念上应加以区别。

二、结构改进与创新的方法问题和本书编写目的

结构设计过程主要是一个构思过程，具有很强的经验性质，因而结构设计的方法具有很强的技巧性质。在计算机构的几何参数时，设计人员可以凭借许多比较有效的方法与公式，而在结构设计中，则主要依赖个人的知识、经验及构思。这一点在结构改进与创新中尤为突出。

本书着重讨论结构改进与创新的方法问题，而一般图书及期刊在介绍各种成功的和巧妙的设计时，很少总结创造这些设计的经验与方法。由于机构设计涉及的条件和要求是多方面的，而且情况千变万化，因而一些设计往往只适合于特定的条件。当“常用机构”不符合要求不能搬用时，机构设计人员就需根据实际的要求与条件作出自己的设计。

学习与研究机构结构设计的方法，主要是一个总结经验

⊖ 新近发展了系统工程设计方法及计算机辅助设计方法，但每一种程序只能用于范围狭小而条件相对稳定的某一类专门的设计问题。

的问题。由于对文献资料中各种机构的设计构思问题，很难作切实的考证，因此我们从结构的对比分析着手，来探讨机构的结构改进与创新方法。

从大量设计实例分析可以发现，许多新的设计是由若干个机构组合而成的复合结构，可以称为机构的组合；许多新的设计是从已知设计经过形形色色的改变所得的结果，可以称为机构的变异。机构的组合与变异有多种形式，每种形式又各有其特点与效用。分析与归纳机构组合与变异的各种类型，可以形成相应的各种概念。在实际工作中运用这些概念，就成为设计构思的思路或方法。

从设计实例中还可以发现，有一些新设计属于机构学、力学及数学等原理的灵活运用，从中也可以归纳得到若干概念。

因此，分析归纳机构结构演化发展的类型与特点，可以启发构思、开扩思路，使设计技巧与方法更加灵活丰富。这正是编写本书的主要目的。

不同专业范围的机械，所用机构常具有不同特点，其设计经验亦应有不同内容与表现形式。本书所引图例绝大多数是轻、中载荷往复运动机构与间歇运动机构。所讨论的问题受此条件影响，有相当大的局限性，请读者注意。作者希望以此提出问题引起讨论，共同来总结经验，这也是编写此书的目的之一。

从上述目的出发，本书对所引图例，着重于介绍机构的运动原理。有时也提到某一机构的专门用途，是为了帮助读者从设计背景中了解该机构的特点及设计的依据，并不企图确定它们的适用性和先进性。因此，介绍图例的目的是提出和说明概念，而不是推荐采用。对一个概念，有时引用几个不同的例子，是希望使说明生动一些，以加深印象。总之，

本书是介绍概念与方法的读物，不是手册，希望读者从“掌握概念”与“启发构思”的角度来对待本书内容，以弥补作者水平不高、阐述不透彻的缺陷。

如果读者认为本书所引图例可以作为机构手册的补充材料，则可利用书末附录二查找同类用途的各种图例。

为了便于初学者阅读本书，下面介绍一些基本知识，其中也包括一些较新的材料。

第二节 名词术语和基本概念

一、构件、运动副和机构

(一) **构件**是运动单元体，也称为杆，由一个或若干个机械零件牢固连接组成，各零件之间没有相对运动。

构件与构件之间的活动连接称为**运动副**。

本书主要讨论传动机构，并将传动机构简称为机构。机构由若干构件经运动副连接组成，至少有一个主动构件和一个固定构件即机架。从动构件的运动状态由主动构件的运动状态决定，有时与一定的载荷条件有关[⊖]。

机构的主动构件也称为**输入构件**，与载荷连接的从动构件可称为**输出构件**。

(二) 工作时保持面接触的运动副称为**低副**，接触应力低。工作时为线或点接触的运动副称为**高副**，接触应力高。

由有关构件的几何形状保持接触的运动副(如铰销连接)称为**形封闭运动副**[⊕]。由弹簧力、重力或载荷作用等外力保持接触的运动副(如弹簧加压的从动杆与凸轮之间的连接关

⊖ 为了简化叙述，机构定义采用流行的不够严格的说法。

⊕ 或称闭式运动副。

系)称为**力封闭运动副**⊖。

全由形封闭运动副组成的机构,其从动构件的运动由结构形状来确定的,称为**确动机构**,或称**结构锁合**的机构。有力封闭运动副的机构一般不是确动的,其从动构件的运动部分地依赖外力的作用,称为**外力锁合**的机构。

二、机构的运动参数

(一) 构件的位移(或角位移) y 与时间 t 的关系 $y = y(t)$ 称为**位移函数**。位移函数对时间的一次、二次及三次微商称为**速度** v 、**加速度** a 及**冲击度** j ;

$$v = \frac{dy}{dt}$$

$$a = \frac{d^2 y}{dt^2}$$

$$j = \frac{d^3 y}{dt^3}$$

位移与速度是运动分析的主要参数。

加速度主要用于分析机构运动的惯性力。

对于某些高速机构,冲击度 $j = \frac{d^3 y}{dt^3}$ 是一个重要参数。

冲击度大容易引起机构振动。

现代高速机构要求速度及加速度保持连续,并限制冲击度的数值。例如,间歇运动机构从动构件在转位行程的终端停歇,则要求行程终端的速度及加速度均为0,使它与停歇段函数值($v \equiv 0$, $a \equiv 0$)保持连续。往复运动机构从动构件在行程终端换向回程,则要求行程终端速度为0。加速度(负值,即减速度)可以不为0,但须与回程始端加速度值相等,以保持连续。又如,一般机构在减速过程中容易产生

⊖ 或称开式运动副。

振动。因此，抗振性能要求较高的机构应设法降低减速过程的冲击度数值。

(二) 机构输出构件位移 y 与输入构件位移 x 的关系 $y = y(x)$ 称为**位移关系函数**⊖。

在一般情况下，输入构件作匀速运动，即

$$v_x = \frac{dx}{dt} = \text{常数}$$

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} = 0$$

这时

$$v_y = \frac{dy}{dt} = \frac{dy}{dx} v_x$$

$$a_y = \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{d^2y}{dx^2} v_x^2$$

$$j_y = \frac{d^3y}{dt^3} = \frac{d^3y}{dx^3} v_x^3$$

因此，输出位移对时间的关系可转换为对输入位移的关系，其间只相差常数因子 v_x 、 v_x^2 及 v_x^3 。输出——输入的位移关系仅与机构本身的结构参数有关。

为了叙述简便，在本书讨论中，除特殊情况外，一律假设输入运动为匀速，并笼统的将输出运动的速度、加速度及冲击度理解为对输入位移的关系，即 $\frac{dy}{dx}$ 、 $\frac{d^2y}{dx^2}$ 及 $\frac{d^3y}{dx^3}$ 。

(三) 关于间歇运动机构

间歇运动机构从动构件两个相邻停歇之间的运动过程称为一次**转位**。

从动构件转位一次，主动轴相应的转角称为**转位时间**

⊖ 注意：前面所述的 $y = y(t)$ 为位移函数。

角，简称转位时间。

从动构件停歇一次，主动轴相应的转角称为**停歇时间角**，简称停歇时间。

间歇回转的从动轴，每转动一周 (360°) 的停歇次数(即转位次数)称为**分度数**。从动轴每次转位的角位移称为**分度角**即**转位角**(注意与“转位时间角”的区别)。

从动构件为销轮的间歇回转机构(如本章第三节介绍的共轭凸轮及蜗形凸轮机构)，其从动轮分度角所对应的销柱数称为**销柱通过数**，简称**通过数**。

三、压力角与传动角、锁止压力角

(一) 压力角与传动角

设两运动构件 p 与 q 在运动副 C 处连接(图 1-1)，运动由 p 传至 q 。在 C 处，构件 q 的速度方向为 V ，构件 p 对 q 的作用力方向为 F ，则 V 与 F 或 $-F$ 的夹角 α 称为**压力角**。

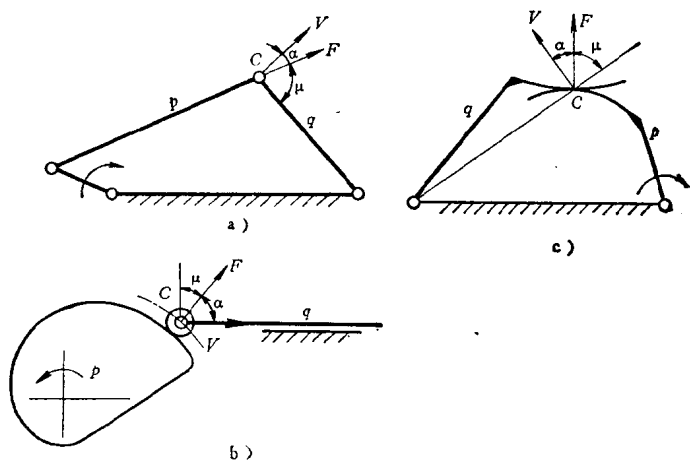


图1-1 传动角与压力角

α 的余角 μ 称为传动角。 $\ominus$

传动角过小（即压力角过大）时，机构的传动状态显著恶化，主要有以下几种情况：

1. 机构运动的摩擦损耗过大，传动效率低。摩擦力甚大时，机构会停止工作（自锁）；

2. 轴承或导轨的约束反作用力过大，设计时难于保证有关零件达到足够的强度或刚度；

3. 传动角过小时，机构的运动对构件形状及尺寸的变化和传动副的间隙非常敏感，因而制造误差、应力变形、必要间隙及自然磨损等不可避免的因素均可能使机构丧失精度。

所以，机构设计应使传动角大于许用数值，即压力角小于许用值。

一般推荐许用传动角 $[\mu]$ 在 30° 至 50° 之间。实际上应考虑多种具体情况，如运动副工作面摩擦系数较大或机构载荷及加速度较大时， $[\mu]$ 取较大值；空载行程中的 $[\mu]$ 值可以很小。第三章图 3-107 是一个极端的例子，其压力角接近于 90° （传动角接近于 0° ）。

（二）锁止压力角

构件 p 使构件 q 不能运动，称为 p 将 q 锁止。设 p 对 q 的锁止作用力 F 作用于 C 处， q 在 C 处被锁止的运动方向为 T ，则锁止压力角为 T 与 $(-F)$ 的夹角 α 。

图 1-2 a) 构件 p 对 q 有两个可能作用的锁止力 F 及 F' ，对应有两个锁止压力角 α 及 α' 。图 b) 连杆 AB 在 N 点附近轨迹近似圆弧（参见第三章图 3-18 及有关说明），杆

$\ominus$ 此定义仅适用于日常工作中常见的多数机构。这里采用这个流行的说法，只是为了简化叙述。

p 对 q 的锁止力沿直线 NC 方向作用，锁止压力角为 α 。

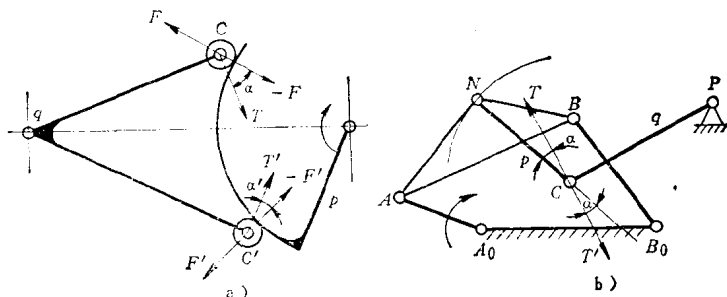


图1-2 锁止压力角

普通槽轮机构的锁止压力角问题见第三节图 1-15 及有关说明。

第三节 常用机构

在讨论机构结构的改进与创新之前，先介绍一些常用“典型”机构的性能特点。它们在机构设计中的重要性有以下两个方面：

1. 它们在技术上比较成熟，一般情况下应优先选用。当常用机构不符合设计要求时，应清楚地了解问题症结之所在，使新机构的设计有明确的目的；

2. 在多数情况下，新的设计是现有各种机构的组合与变异，而现有机构中最重要的是常用机构。

常用机构范围很广，本节只介绍最简单的几种，为以后章节提供必要的准备知识。

一、低副机构

(一) 全部运动副都是低副的机构称为**低副机构**。除有