

21世纪高等学校精品规划教材

机械设计基础

■ 戴晓光 袁琪 主编

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

TH11/55

2009

21 世纪高等学校精品规划教材

机械设计基础

戴晓光 袁 琪 主编

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

全书内容共 14 章: 绪论, 平面机构的运动简图及自由度, 平面连杆机构, 凸轮机构, 间歇运动机构, 挠性传动, 齿轮传动, 蜗杆传动, 齿轮系, 螺纹连接, 轴及轴毂连接, 轴承, 联轴器、离合器与制动器, 机械的平衡和调速。本教材在满足各有关专业对该课程要求的前提下, 力求重点突出、繁简得当、语言通达。书中尽量采用新的国家标准; 同时对有关章节做了适当的合并; 对复杂的公式进行了合理简化。

本书可作为高等院校机械设计基础课程的教材, 也可供有关工程技术人员参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础/戴晓光, 袁琪主编. —北京: 北京理工大学出版社,
2009. 7

ISBN 978 - 7 - 5640 - 2432 - 1

I. 机… II. ①戴…②袁… III. 机械设计 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 111674 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 16.25

字 数 / 332 千字

版 次 / 2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 1500 册

定 价 / 30.00 元

责任校对 / 申玉琴

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

本书从培养基本技能出发，并适当考虑知识的连续性和学生今后继续学习的需要。通过本课程的学习，可以获得认识、使用和维修机械装备的基本知识，并具有运用机械设计图册、标准、规范、手册及设计简单机械装置的能力，为深入学习有关专业机械装备的课程和提高分析解决机械工程技术问题的能力奠定必要的基础。

本教材在满足各有关专业对该课程要求的前提下，力求重点突出、繁简得当、语言通达。书中尽量采用新的国家标准；同时对有关章节做了适当的合并；对复杂的公式进行了合理简化。全书内容共 14 章：绪论，平面机构的运动简图及自由度，平面连杆机构，凸轮机构，间歇运动机构，挠性传动，齿轮传动，蜗杆传动，齿轮系，螺纹连接，轴及轴毂连接，轴承，联轴器、离合器与制动器，机械的平衡和调速。

本书可作为高等院校机械设计基础课程的教材，也可供有关工程技术人员参考使用。

由于编者水平有限，缺点、错误在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	(1)
§ 0—1 机器的组成及特征	(1)
§ 0—2 本课程的内容、性质和任务	(3)
§ 0—3 机械设计的基本要求及一般程序	(4)
第一章 平面机构的运动简图及自由度	(7)
§ 1—1 平面机构的组成	(8)
§ 1—2 平面结构运动简图	(10)
§ 1—3 平面机构的自由度	(13)
习题	(17)
第二章 平面连杆机构	(20)
§ 2—1 概述	(20)
§ 2—2 铰链四杆机构的基本形式及演化	(21)
§ 2—3 铰链四杆机构的基本特征	(27)
§ 2—4 平面四杆机构的设计	(32)
习题	(36)
第三章 凸轮机构	(38)
§ 3—1 凸轮机构的应用与分类	(38)
§ 3—2 常用的从动件运动规律	(40)
§ 3—3 用图解法设计盘形凸轮轮廓曲线	(46)
§ 3—4 设计凸轮机构应注意的问题	(51)
习题	(54)
第四章 间歇运动机构	(56)
§ 4—1 棘轮机构	(56)
§ 4—2 槽轮机构	(58)
§ 4—3 其他间歇运动机构简介	(61)



习题	(63)
第五章 挠性传动	(64)
§ 5—1 带传动的类型和应用	(64)
§ 5—2 V 带和 V 带轮	(66)
§ 5—3 带传动的受力分析和应力分析	(72)
§ 5—4 带传动的弹性滑动和传动比	(74)
§ 5—5 普通 V 带传动的设计	(74)
§ 5—6 带传动的张紧和维护	(86)
§ 5—7 链传动的特点和应用	(88)
§ 5—8 滚子链和链轮	(89)
§ 5—9 链传动的主要参数及其选择	(92)
§ 5—10 链传动的布置、张紧与维护	(93)
习题	(96)
第六章 齿轮传动	(98)
§ 6—1 齿轮传动的类型、特点、基本要求和精度	(98)
§ 6—2 齿廓啮合基本定律	(100)
§ 6—3 渐开线及渐开线标准直齿圆柱齿轮	(101)
§ 6—4 渐开线齿轮的啮合传动	(105)
§ 6—5 渐开线齿轮的加工方法及根切现象	(109)
§ 6—6 轮齿的失效和齿轮的材料	(112)
§ 6—7 直齿圆柱齿轮传动的设计	(115)
§ 6—8 斜齿圆柱齿轮传动	(122)
§ 6—9 直齿圆锥齿轮传动	(130)
§ 6—10 齿轮的结构设计	(135)
习题	(137)
第七章 蜗杆传动	(140)
§ 7—1 蜗杆传动的类型和特点	(140)
§ 7—2 蜗杆传动的基本参数与几何尺寸	(142)
§ 7—3 蜗杆传动的失效形式、材料及结构	(146)
§ 7—4 蜗杆传动的强度计算	(148)
§ 7—5 蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计算	(151)

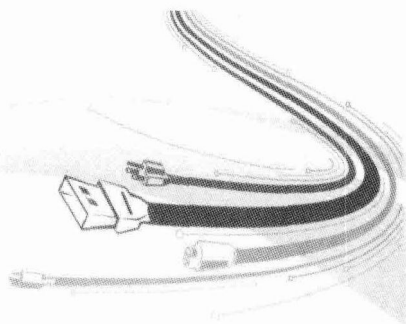


习题	(154)
第八章 齿轮系	(155)
§ 8—1 齿轮系的类型	(155)
§ 8—2 定轴齿轮系传动比的计算	(156)
§ 8—3 行星齿轮系传动比的计算	(159)
§ 8—4 齿轮系的功用	(164)
习题	(166)
第九章 螺纹联接	(168)
§ 9—1 螺纹联接的基本知识	(168)
§ 9—2 螺纹的效率和自锁	(171)
§ 9—3 螺纹联接的基本类型及其预紧和防松	(173)
§ 9—4 螺纹联接的强度计算	(178)
习题	(187)
第十章 轴及轴毂联接	(189)
§ 10—1 概述	(189)
§ 10—2 轴的结构设计	(192)
§ 10—3 轴的设计计算	(198)
§ 10—4 轴毂联接	(203)
习题	(209)
第十一章 轴承	(210)
§ 11—1 滑动轴承	(210)
§ 11—2 滚动轴承的结构、类型和特点	(214)
§ 11—3 滚动轴承的代号及类型选择	(217)
§ 11—4 滚动轴承的寿命计算	(220)
§ 11—5 滚动轴承的组合设计	(225)
习题	(229)
第十二章 联轴器、离合器与制动器	(231)
§ 12—1 联轴器	(231)
§ 12—2 离合器	(237)

§ 12—3 制动器	(241)
习题	(242)

第十三章 机械的平衡和调速	(243)
§ 13—1 刚性转子的静平衡和动平衡	(243)
§ 13—2 机械的速度波动及其调节原理	(248)
习题	(251)

绪 论



§ 0—1 机器的组成及特征

在现代生产和日常生活中，人们广泛使用着各种机器。机器已成为代替或减轻人类劳动、提高劳动生产率的主要手段。使用机器的水平是衡量一个国家现代化程度的重要标志。

机器是执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物料、信息。凡将其他形式能量变换为机械能的机器称为原动机。如内燃机将热能变换为机械能，电动机将电能变换为机械能，它们都是原动机。凡利用机械能去变换或传递能量、物料、信息的机器称为工作机。如发电机将机械能变换为电能，起重机传递物料，金属切削机床变换物料外形，录音机变换和传递信息，它们都属于工作机。

图 0-1 所示为单缸四冲程内燃机。它是由气缸体 1、活塞 2、进气阀 3、排气阀 4、连杆 5、曲轴 6、凸轮 7、顶杆 8、齿轮 9 和 10 等组成。燃气推动活塞往复运动，经连杆转变为曲轴的连续转动。凸轮和顶杆是用来启闭进气阀和排气阀的。为了保证曲轴每转两周进、排气阀各启闭一次，曲轴与凸轮轴之间安装了齿数比为 1:2 的齿轮。这样，当燃气推动活塞运动时，各构件协调地动作，进、排气阀有规律地启闭，加上汽化、点火等装置的配合，就把热能转换为曲轴回轮的机械能。

图 0-2 所示为一工业机器人。它由铰接臂机械手 1、计算机控制台 2、液压装置 3 和电力装置 4 组成。当机械手的大臂、小臂和手按指令有规律地运动时，手端夹持器（图中未示出）便将物料运送到预定的位置。在这部机器中，机械手是传递运动和执行任务的装置，是机器的主体部分，电力装置和液压装置提供动力，计算机控制台实施控制。

从以上两例可以看出，机器的主体部分是由许多运动构件组成的。用来传递运动和力，有一个构件为机架，用构件间能够相对运动的连接方式组成的构件系统称为机构。在一般情况下，为了传递运动和力，机构各构件间应具有确定的相对运动。例如在图 0-1 所示的内燃机中，活塞、连杆、曲轴和气缸体组成一个曲柄滑块机构，将活塞的往复运动变为曲柄的

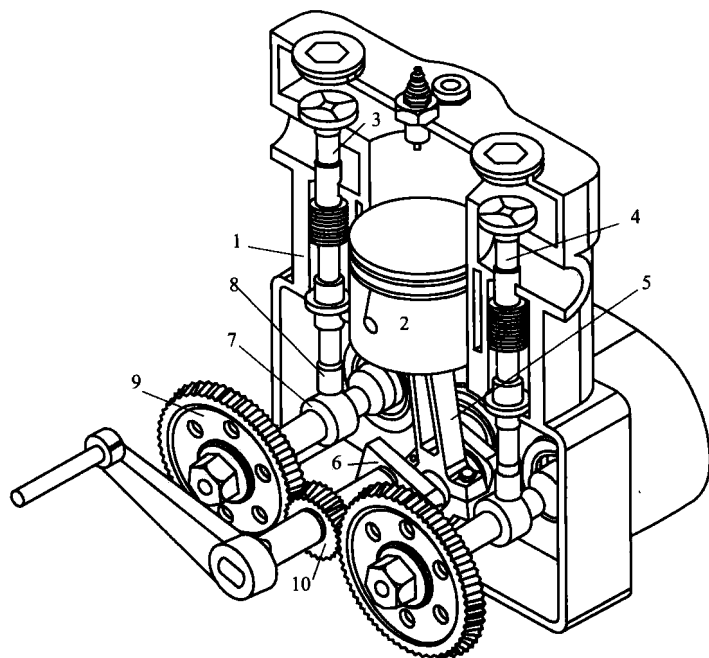


图 0-1 内燃机

1—气缸体；2—活塞；3—进气阀；4—排气阀；5—连杆；6—曲轴；7—凸轮；8—顶杆；9，10—齿轮

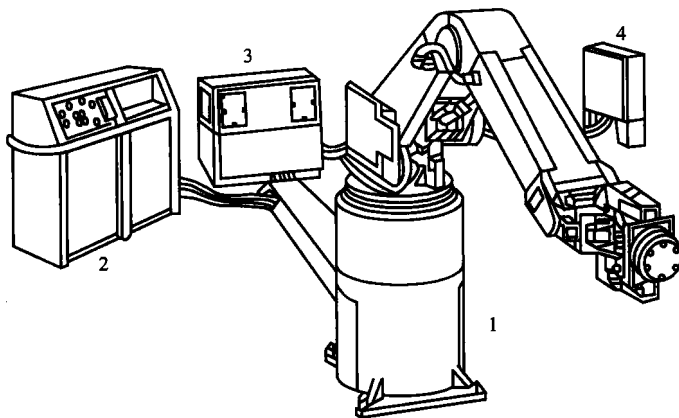


图 0-2 工业机器人

1—铰接臂机械手；2—计算机控制台；3—液压装置；4—电力装置

连续转动。凸轮、顶杆和气缸体组成凸轮机构，将凸轮轴的连续转动变为顶杆有规律的间歇运动。曲轴和凸轮轴上的齿轮与气缸体组成齿轮机构，使两轴保持一定的速比。

机器的主体部分是由机构组成的。一部机器可包含一个或若干个机构。例如鼓风机、电

动机只包含一个机构，而内燃机则包含曲柄滑块机构、凸轮机构、齿轮机构等若干个机构。机器中最常用的机构有连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系和间歇运动机构等。

就功能而言，一般机器包含四个基本组成部分：动力部分、传动部分、控制部分、执行部分。动力部分可采用人力、畜力、风力、液力、电力、热力、磁力、压缩空气等作动力源。其中利用电力和热力的原动机（电动机和内燃机）使用最广。传动部分和执行部分由各种机构组成，是机器的主体。控制部分包括计算机、传感器、电气装置、液压系统、气压系统，还包括各种控制机构。例如内燃机中的凸轮机构便是用于控制气阀启闭的控制机构。由于信息技术的飞速发展，近代机器的控制部分中，计算机系统已居于主导地位。

机构与机器的区别在于：机构只是一个构件系统，而机器除构件系统之外，还包含电气、液压等其他装置；机构只用于传递运动和力，而机器除传递运动和力之外，还具有变换或传递能量、物料、信息的功能。但是，在研究构件的运动和受力情况时，机器与机构并无差别。因此，习惯上用“机械”一词作为机器和机构的总称。

构件是运动的单元。它可以是单一的整体，也可以是由几个零件组成的刚性结构。如图 0-3 所示内燃机的连杆就是由连杆体 1、螺栓 2、螺母 3 和连杆盖 4 等几个零件组成的。这些零件之间没有相对运动，构成一个运动单元，成为一个构件。零件是制造的单元。机械中的零件可分为两类：一类称为通用零件，它在许多机械中都会遇到，如齿轮、螺钉、轴、弹簧等；另一类称为专用零件，它只出现于某些特定机械之中，如汽轮机的叶片、内燃机的活塞等。

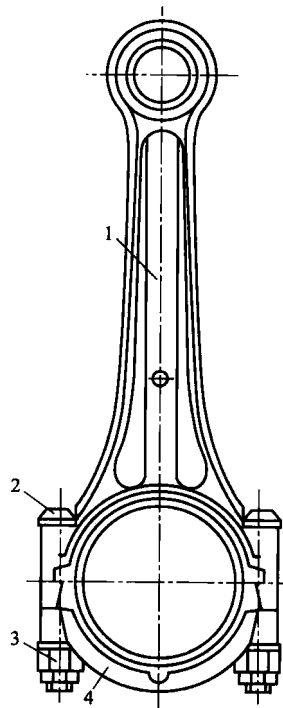


图 0-3 连杆

1—连杆体；2—螺栓；
3—螺母；4—连杆盖

§ 0—2 本课程的内容、性质和任务

本课程研究的对象为机械中的常用机构及一般工作条件下和常用参数范围内的通用零部件，研究其工作原理、结构特点、运动和动力性能、基本设计理论、计算方法以及一些零部件的选用和维护。本课程是一门重要的专业基础课，综合应用各先修课程的基础理论和生产知识，解决常用机构及通用零部件的分析和设计问题。

本课程的任务是：

- (1) 使学生了解常用机构及通用零部件的工作原理、类型、特点及应用等基本知识。
- (2) 使学生掌握常用机构的基本理论和设计方法、掌握通用零部件的失效形式、设计



准则与设计方法。

(3) 使学生具备机械设计实验技能和设计简单机械及传动装置的基本技能。

总之,本课程是理论性和实践性都很强的机械类及近机类专业的主干课程之一,在教学中具有承上启下的作用,是机械工程师及机械管理工程师的必修课程。

§ 0—3 机械设计的基本要求及一般程序

一、机械设计的基本要求

机械的类型很多,但其设计的基本要求大致相同,主要有以下几方面:

1. 预定功能的要求

功能要求是指被设计机器的功用和性能指标。

设计机器的基本出发点是实现预定的功能要求。为此,必须正确选择机器的工作原理、机构的类型和机械传动方案。

一般机器的预定功能要求包括:运动性能、动力性能、基本技术指标及外形结构等方面。

2. 安全可靠与强度、寿命的要求

安全可靠是机器正常工作的必要条件,因此,设计的机器必须保证在预定的工作期限内能够可靠地工作,防止个别零件的破坏或失效而影响正常运行。为此,应使所设计的机器零件结构合理并满足强度、刚度、耐磨性、耐热性、振动稳定性及其寿命等方面的要求。

3. 经济性要求

设计机器时,应考虑在实现预定功能和保证安全可靠的前提下尽可能做到经济合理,力求投入的费用少,工作效率高且维修简便等。

由于机器的经济性是一个综合性指标,它与设计、制造和使用等各方面有关。为此,设计者需要注意:良好的工艺性、合理的选材、尽可能实现三化(零件标准化、部件通用化、产品系列化),以最大限度地提高经济效益。

目前,价值工程方法可将产品的经济性、技术要求和功能要求统一起来,并以功能分析为中心,力求使产品具有必要的功能和最低成本,以获得最佳经济效果。价值工程这门新兴的边缘学科,将在机械设计中得到日益广泛的应用。详细内容可参阅有关文献及专著。

4. 操作使用要求

设计的机器要力求操作方便,最大限度地减少工人操作时的体力和脑力消耗,改善操作者的工作环境,降低机器噪声,净化废气、废液及灰尘,使其对环境的污染和公害尽可能小。



5. 其他特殊要求

某些机器还有一些特殊要求。例如：机床应能在规定的使用期限内保持精度；经常搬动的机器（如塔式起重机、钻探机等），要求便于安装、拆卸和运输；食品、医药、纺织等机械有不得污染产品的要求等。

总之，必须根据所要设计的机器的实际情况，分清应满足的各项设计要求的主、次程度，切忌简单照搬或乱提要求。

二、机械设计的一般程序

机械设计没有一成不变的程序，应根据具体情况而定。这里仅介绍一般设计程序。

1. 提出和制定产品设计任务书

首先应根据用户的需要与要求，确定所要设计机器的功能和有关指标，研究分析其实现的可能性，然后确定设计课题，制订产品设计任务书。在设计任务书中应注明产品的用途、主要技术经济指标（生产率、能耗、重量、目标成本等）、使用条件、设计承担者和预定的设计周期等。

2. 总体方案设计

根据设计任务书，进行调查研究，了解国内外有关的技术经济信息。分析有关产品，参阅有关技术资料，并充分了解用户意见、制造厂的技术设备及工艺能力等。在此基础上确定实现预定功能的机器工作原理，拟定出总体设计方案；进行运动和动力分析，从工作原理上论证设计任务的可行性，必要时对某些技术经济指标作适当修改，然后绘制机构简图。同时可进行液压、电器控制系统的方案设计。

3. 技术设计

在总体方案设计的基础上，确定机器各部分的结构和尺寸，绘制总装配图、部件装配图和零件图。为此，必须对所有零件（标准件除外）进行结构设计，并对主要零件的工作能力进行计算，即进行机械零件设计。

机械零件设计是本课程研究的主要内容之一，其设计步骤如下：

- (1) 根据机器零件的使用要求，选择零件的类型与结构。
- (2) 根据机器的工作要求，分析零件的工作情况，确定作用在零件上的载荷。
- (3) 根据零件的工作条件（包含对零件的特殊要求，例如耐高温、耐腐蚀等），考虑材料的性能、供应情况、经济因素等，合理选择零件的材料。
- (4) 根据零件可能出现的失效形式，确定其计算准则，并通过计算，确定零件的主要尺寸。
- (5) 根据零件的主要尺寸及工艺性、标准化等要求，进行零件的结构设计。
- (6) 绘制零件工作图，制订技术要求。

注意，以上这些内容可在绘制总装配图、部件装配图及零件图的过程中交错、反复进

行,同时进行润滑设计;然后编写设计说明书、有关的技术文件及标准件、外购件的明细表。

4. 样机的试制和鉴定

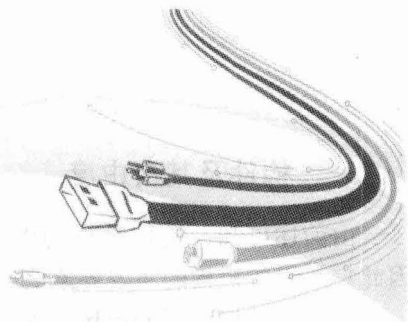
设计的机器是否能满足预定功能要求,则需要进行样机的试制和鉴定。样机制成后,可通过生产运行,进行性能测试;然后便可组织鉴定,进行全面的技术经济评价。这主要包括动力特性审查、标准化审查、工艺审查、成本预测等,同时对设计可进行适当修改,以继续完善设计方案;必要时进行小批量生产。

5. 产品的正式投产

在样机的试制与鉴定通过的基础上,才可进行产品的正式投产。将机器的全套设计图纸(总装图、部装图、零件图、电气原理图、液压传动系统图、安装地基图、备件图等)和全套技术文件(设计任务书、设计计算说明书、试验鉴定报告、零件明细表、产品质量标准、产品检验规范、包装运输技术条件等)提交产品定型鉴定会评审。在评审通过后,才能由有关职能部门下达任务,进行批量生产。

第一章

平面机构的运动简图及自由度



机构的主要作用之一是传递和变换运动。然而机构中的构件任意拼凑起来是不一定具有确定运动的。图 1-1 (a) 是一个三构件的组合物，但各构件之间无相对运动，所以它不是机构。图 1-1 (b) 所示为五构件组合物，当只给定构件 1 的运动规律时，其余构件的运动并不确定。为此，构件究竟应如何组合，才能运动？在什么条件下才具有确定的相对运动？这对分析现有机构或创新机构是很重要的。

若组成机构的所有构件都在同一平面或相互平行的平面内运动，则称该机构为平面机构，否则称为空间机构。实际机构一般由外形和结构都较复杂的构件组成。为了便于分析和研究机构，常用机构运动简图来表示，图 1-1 (c) 是图 0-1 所示内燃机中曲柄连杆机构的机构运动简图。因此掌握正确地绘制机构运动简图的方法是必要的。本章仅讨论平面机构的情况。

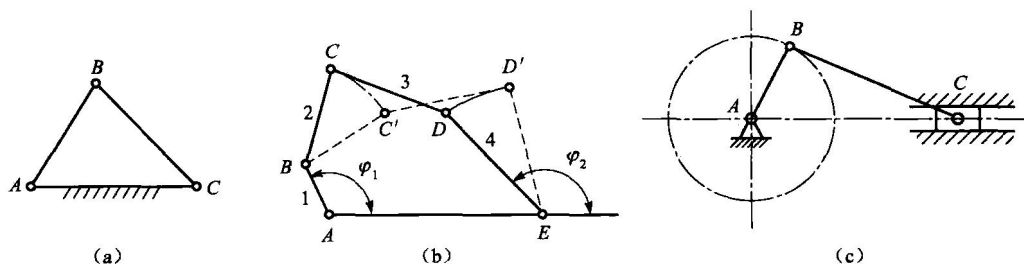


图 1-1 构件组合物

(a) 三构件组合物；(b) 五构件组合物；(c) 机构运动简图



§ 1—1 平面机构的组成

一、构件及其自由度

由前述可知,构件是机构中具有相对运动的单元体,因此它是组成机构的主要要素之一。

自由度是构件可能出现的独立运动。任何一个构件在空间自由运动时皆有六个自由度。它可表达为在直角坐标系内沿着三个坐标轴的移动和绕三个坐标轴的转动。而对于一个作平面运动的构件,则只有三个自由度,如图 1-2 所示,构件 AB 可以在 xOy 平面内绕任一点 A 转动,也可沿 x 轴或 y 轴方向移动。

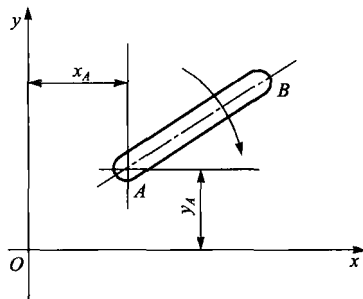


图 1-2 构件的自由度

二、约束与运动副

对物体运动的限制称为约束。机构中的构件由于相互连接,其独立运动受到约束。为此,必然失去一些自由度,但又保留一些自由度。构件失去的自由度与它受到的约束条件数相等。如:平面机构中的任一构件若都在图 1-2 中 xOy 平面内运动,则这些构件皆失去三个自由度,即受到三个公共约束(沿垂直于运动平面轴线的移动和绕 x 轴、 y 轴的转动均被约束)。因此,当这些构件相互连接组成机构时,至少又要引入一个约束,但最多只能引入两个约束,这是因为这些构件的自由度皆为 3 的缘故。

当构件组成机构时,每个构件都以一定的型式与其他构件相互连接,且相互连接的两构件间保留着一定的相对运动。这种使两构件直接接触而又彼此有一定的相对运动的连接称为运动副。组成运动副的两构件在相对运动中可能参加接触的点、线、面称为运动副元素。显然,运动副也是组成机构的主要要素。

三、运动副的分类

根据组成运动副两构件之间的接触特性,运动副可分为低副和高副。

1. 低副

两构件之间通过面接触形成的运动副称为低副。根据它们之间的相对运动是转动还是移动,又可分为转动副和移动副。

(1) 转动副若组成运动副的两构件之间只能绕某一轴线作相对转动,这种运动副称为转动副。由圆柱销和销孔及其两端面所构成的转动副称为铰链,如图 1-3 所示。图中有一构件(如构件 1)是固定的,称为固定铰链。若没有构件固定,则称为活动铰链。图 0-1



所示发动机中,曲轴轴颈与缸体轴承座组成固定铰链;活塞与连杆组成活动铰链。它们皆为转动副的一种具体形式。

(2) 移动副若组成运动副的两构件只能沿某一轴线作相对直线移动,这种运动副称为移动副,如图 1-4 所示。活塞与气缸体所组成的运动副即为移动副,如图 0-1 所示。

由上述可知,平面机构中的低副引入两个约束,仅保留一个自由度。

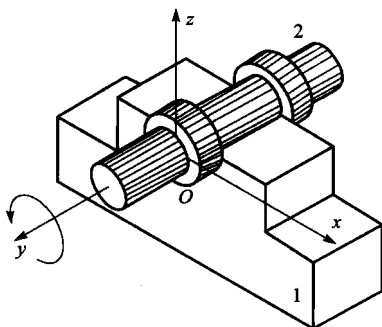


图 1-3 转动副

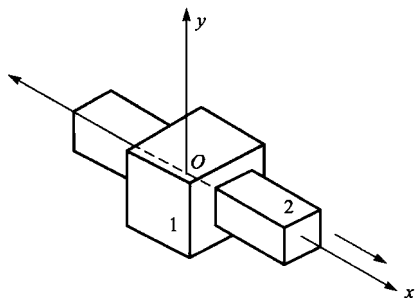


图 1-4 移动副

2. 高副

两构件之间通过点或线接触组成的运动副称为高副。如图 1-5 (a) 所示,凸轮 1 与从动件 2, 图 1-5 (b) 所示轮齿 1 与轮齿 2 皆在其接触处分别组成高副。

在平面机构中两构件组成高副后,保留的自由度为 2。如图 1-5 (b) 所示,轮齿 1 与轮齿 2 组成的高副中,轮齿 1 沿公法线 $n-n$ 方向的移动受到约束,而轮齿 1 相对于轮齿 2 则既可沿接触点 C 的切线 $t-t$ 方向移动,同时还可绕 C 点转动。图 1-5 (a) 中的尖顶从动件与凸轮组成的高副,也可如此分析。由此可知,平面机构中的高副引入一个约束,而保留两个自由度。

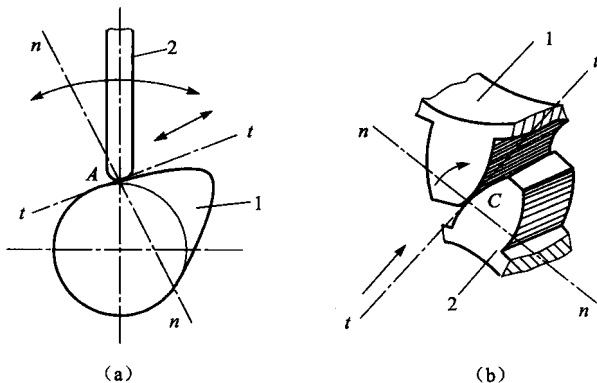


图 1-5 高副