



应用型数控、模具专业基础课系列教材

机械设计基础

蔡南武 / 主编

Jixie * Sheji
Jichu

华中科技大学出版社

<http://press.hust.edu.cn>

应用型数控、模具专业基础课系列教材

机械设计基础

主 编	蔡南武			
副主编	王兴山	肖 红	夏传艳	
参 编	毛 文	赵 瑾		
主 审	李 钝			

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/蔡南武 主编

武汉:华中科技大学出版社,2005年9月

ISBN 7-5609-3517-6

I. 机…

II. ①蔡… ②王… ③肖… ④夏…

III. 机械设计-基础理论-高等学校-教材

IV. TH12

机械设计基础

蔡南武 主编

责任编辑:叶见欣

封面设计:刘 卉

责任校对:吴 晗

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华大图文设计室

印 刷:湖北恒泰印务有限公司

开本:787×960 1/16

印张:19.25

字数:345 000

版次:2005年9月第1版

印次:2005年9月第1次印刷

定价:28.80元

ISBN 7-5609-3517-6/TH·144

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

机械设计基础是高等专科学校机械类、机电类、近机类专业必修的一门技术基础课,它在教学中起着承前启后的作用,为学生学习后续的专业课打下必要的基础。它主要研究机械中常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本设计原理和计算方法,以及材料的选用等内容。

本书共分 17 章,第 1 章~第 7 章属于机械原理部分,主要介绍连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系等常用机构;第 8 章为机械零件设计概论;第 9 章~第 17 章属于机械零件部分,主要介绍螺栓、齿轮、蜗杆、轴、轴承等通用零件。

本书内容详细,图文并茂,重点讲述实用性知识。另外,书中配有适量的例题和习题。

本书可作为高等专科学校、高等职业学校、成人高等学校机械类和近机类各专业的教材,也可供其他各专业教师和广大工程技术人员参考。

前 言

机械设计基础是高等专科学校机械类、机电类、近机类专业必修的一门技术基础课。它主要研究机械中常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本设计原理和计算方法,以及材料的选择等内容。本课程的作用在于培养学生掌握机械设计的基本知识、基本理论和基本方法;培养学生具备机械设计中基本机构和一般通用零部件的设计能力;为学生学习后续的专业课和今后从事设计工作打下坚实的基础。

本书具有以下特点:①较多地介绍应用知识与经验,减少一些理论性较强的知识;②全部采用最新的国家标准;③增强综合应用能力的培养。

本书可作为高等专科学校、高等职业学校、成人高等学校机械类和近机类各专业的教材,也可供其他各专业教师和广大工程技术人员参考。

本书中带 * 的内容为选学内容,可视学时多少和专业的需要作取舍。

参加本书编写工作的有:蔡南武(第 10、11、14、15 章)、王兴山(第 8 章)、肖红(第 16、17 章)、夏传艳(第 1、2、3、4、9 章)、赵瑾(第 5、6、7 章)、毛文(第 12、13 章)。全书由蔡南武任主编,王兴山、肖红、夏传艳任副主编。

本书由武汉大学李钝教授担任主审,在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限,本书难免存在一些缺点和不妥之处,恳请广大师生、读者批评指正。

编 者

2005 年 3 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 机械设计基础的研究对象与内容	(1)
1.2 机械设计基础的性质与任务	(3)
1.3 机械设计的基本要求 and 一般步骤	(3)
第 2 章 平面机构	(6)
2.1 平面机构运动副及其分类	(6)
2.2 平面机构运动简图	(8)
2.3 平面机构的自由度	(11)
习题	(16)
第 3 章 平面连杆机构	(18)
3.1 平面连杆机构的特点和应用	(18)
3.2 平面连杆机构的基本形式	(19)
3.3 平面四杆机构的演化	(22)
3.4 平面四杆机构的工作特性	(25)
3.5 平面四杆机构的设计	(30)
习题	(37)
第 4 章 凸轮机构	(40)
4.1 凸轮机构的应用与分类	(40)
4.2 从动件常用运动规律	(42)
4.3 凸轮轮廓曲线的设计	(48)
4.4 凸轮机构设计中的几个问题	(53)
习题	(58)
第 5 章 齿轮机构	(60)
5.1 齿轮机构的分类和特点	(60)
5.2 齿廓啮合基本定律	(61)
5.3 渐开线齿廓及其啮合特性	(62)
5.4 渐开线齿轮各部分的名称及尺寸	(64)
5.5 渐开线标准齿轮啮合	(67)
5.6 渐开线齿轮的切齿原理	(70)
5.7 根切现象及最少齿数	(72)

* 5.8 变位齿轮传动概述	(74)
5.9 斜齿圆柱齿轮机构	(76)
5.10 直齿圆锥齿轮机构	(82)
习题	(85)
第 6 章 轮系	(87)
6.1 轮系的功用及分类	(87)
6.2 定轴轮系的传动比	(88)
6.3 周转轮系的传动比	(90)
* 6.4 混合轮系简介	(92)
习题	(93)
第 7 章 其他常用机构简介	(96)
7.1 螺旋机构	(96)
7.2 棘轮机构	(97)
7.3 槽轮机构	(100)
习题	(101)
第 8 章 机械零件设计概论	(103)
8.1 概述	(103)
8.2 机械零件的主要失效形式和设计计算准则	(105)
8.3 机械零件的强度	(107)
8.4 机械零件的常用材料及其选择	(111)
8.5 机械零件的结构工艺性及标准化	(113)
习题	(114)
第 9 章 连接	(115)
9.1 螺纹	(115)
9.2 螺纹连接	(119)
9.3 螺纹连接的强度计算	(124)
9.4 螺纹连接结构设计应注意的问题	(130)
9.5 键连接和花键连接	(134)
9.6 销连接及其他连接	(139)
习题	(142)
第 10 章 带传动	(144)
10.1 带传动的类型和特点	(144)
10.2 带传动的基本理论	(145)
10.3 V 带及 V 带轮	(149)

10.4	V 带传动的设计计算	(154)
10.5	带传动的张紧、使用与维护	(161)
	习题	(164)
第 11 章	链传动	(165)
11.1	链传动的类型和特点	(165)
11.2	滚子链及其链轮	(166)
11.3	滚子链传动的运动特性	(169)
11.4	滚子链传动的设计计算	(171)
11.5	链传动的布置、张紧及润滑	(178)
	习题	(179)
第 12 章	齿轮传动	(180)
12.1	齿轮传动的失效形式、设计准则和齿轮材料	(180)
12.2	直齿圆柱齿轮传动的作用力及计算载荷	(185)
12.3	直齿圆柱齿轮传动的强度计算	(187)
12.4	斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	(191)
12.5	直齿圆锥齿轮传动的强度计算	(193)
12.6	设计实例	(195)
12.7	齿轮的结构和润滑	(199)
	习题	(202)
第 13 章	蜗杆传动	(204)
13.1	蜗杆传动的特点和类型	(204)
13.2	蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	(205)
13.3	蜗杆传动的受力分析	(208)
13.4	蜗杆传动的失效形式、材料和结构	(209)
13.5	蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	(212)
	习题	(214)
第 14 章	轴	(216)
14.1	轴的分类和设计要求	(216)
14.2	轴的材料	(218)
14.3	轴的基本直径的估算	(220)
14.4	轴的结构设计	(221)
14.5	轴的强度校核计算	(227)
* 14.6	轴的刚度和振动稳定性概念	(233)
	习题	(235)

第 15 章 滑动轴承	(236)
15.1 滑动轴承的摩擦状态及应用特点	(236)
15.2 滑动轴承的结构及材料	(237)
15.3 边界摩擦滑动轴承和混合摩擦滑动轴承的计算	(244)
15.4 润滑剂及润滑装置	(246)
* 15.5 液体摩擦滑动轴承简介	(252)
习题	(254)
第 16 章 滚动轴承	(255)
16.1 概述	(255)
16.2 滚动轴承的类型、代号及其选择	(257)
16.3 滚动轴承的失效形式和设计准则	(266)
16.4 滚动轴承的寿命计算	(267)
16.5 滚动轴承的组合设计	(276)
习题	(284)
第 17 章 联轴器 离合器 弹簧	(286)
17.1 联轴器	(286)
17.2 离合器	(293)
17.3 弹簧简介	(295)
习题	(297)
参考文献	(298)

第 1 章 绪 论

人类在长期的生产实践中创造和发展了机械。早在古代,人类就将杠杆、楔和滚子等简单机械用于建筑和运输。16 世纪的第一次工业革命和 19 世纪欧洲的工业革命形成了机械工业并使之得到迅猛发展。

在我国,机械的创造、发展和使用有着悠久的历史。三千年前就出现了简单的纺织机。二千年前已把绳轮、凸轮等用于生产作业器具。汉代以后的指南针中利用了齿轮和轮系传动。东汉张衡将杠杆机构巧妙地使用在候风地动仪上。元朝有利用曲柄、滑块和飞轮组成的纺织机。

目前,我国不但能设计制造大型、精密、成套和高新技术的设备,而且在为数不少的科技部门中已接近和赶上先进工业国家水平,有的已处于领先地位。同时还建立了学科齐全、装备精良的机械科学设计和研究部门。

机械化是社会生产率发展水平的重要标志。在各个部门实现机械化、自动化,利用机械来代替和减轻人们的体力劳动甚至脑力劳动,不断提高生产率,这对我国进行现代化强国的建设有着极其重要的意义。因此,与机械密切相关的一些工科类专业的学生,学习“机械设计基础”等机械学科的课程是十分必要的。

1.1 机械设计基础的研究对象与内容

机械是机器和机构的总称。

在生产实践和日常生活中,广泛地使用了各种机器。常见的洗衣机、电风扇、机床、汽车、起重机、内燃机等都是机器。

机器具有下列特征:

- ① 是多种人为实物的组合;
- ② 各运动单元具有确定的相对运动;
- ③ 能完成有效的机械功或实现能量的转换。

如图 1-1 所示的单缸内燃机,就是一部机器。它由机架 1、曲柄 2、连杆 3、活塞 4、进气阀 5、排气阀 6、推杆 7、凸轮 8 及齿轮 9、10 组成。当燃气推动活塞 4 作往复运动时,连杆 3 使曲柄 2 作连续转动,从而将燃气的热能转化为曲柄转动的机械能。齿轮、凸轮和推杆的作用是按一定的运动规律按时启闭阀门,以吸入新鲜气和排出

废气。这种内燃机可视为由三种机构组成：①由活塞4、连杆3、曲柄2和机架1组成的曲柄滑块机构，它将活塞的往复运动转变为曲柄的连续转动。②由齿轮9、10和机架1组成的齿轮机构，其作用是改变转速的大小和转动的方向。③由凸轮8、推杆7和机架1构成的凸轮机构，它将凸轮的连续转动变为推杆的往复运动。

由此可见，机器是由几个机构组成的系统。最简单的机器只有一个机构，如电动机。

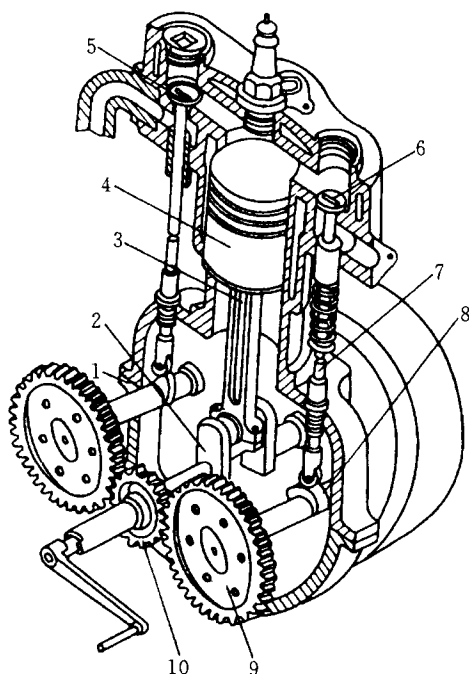


图 1-1 单缸内燃机

1—机架；2—曲柄；3—连杆；4—活塞；5—进气阀；
6—排气阀；7—推杆；8—凸轮；9、10—齿轮

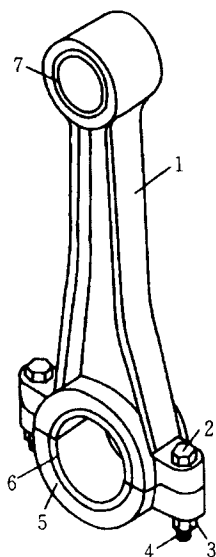


图 1-2 内燃机连杆

1—连杆体；2—螺栓；3—螺母；4—开口销；
5—连杆盖；6—轴瓦；7—轴套

若干个具有确定相对运动的构件的组合称为机构。机构只具有机器的前两个特征。组成机构的各个相对运动部件称为构件。构件可以是单一的整体，也可以是几个零件的刚性组合。如图 1-1 所示的单缸内燃机的连杆，由于制造和装配的原因，它由如图 1-2 所示的连杆体 1、螺栓 2、螺母 3、开口销 4、连杆盖 5、轴瓦 6、轴套 7 等多个零件组成。由此可见，构件是运动基本单元，零件是制造基本单元。

机器中普遍使用的机构称为常用机构，如平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系等。

各种机械中普遍使用的零件称为通用零件，如齿轮、螺栓、轴、弹簧等。只在某一类型机械中使用的零件称为专用零件，如汽轮机中的叶片、内燃机中的活塞等。

本课程作为机械设计的基础,主要介绍机械中常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、使用与维护、标准和规范以及设计计算的基本方法和材料的选择等。虽然每一种机械都有一些专门的问题,需要专门的课程来研究,但各种机械也有共性问题,本课程研究的就是这些共性问题。这些内容对于专用机械和专用零件也具有指导意义。

1.2 机械设计基础的性质与任务

“机械设计基础”是高等专科学校机类或近机类各专业的一门重要的技术基础课。

在现代化生产中,不仅在机械制造部门,而且在动力、采矿、冶金、石油、化工、建筑、轻纺、食品工业等各部门的工程技术人员,都将经常接触各种类型的机械,因此,他们都应该具备一定的机械设计基础知识。

本课程的主要任务是使学生具有如下能力。

- ① 掌握机构的结构、运动特性的基本知识,初步具有分析和设计基本机构的能力。
- ② 掌握通用机械零件的工作原理、特点和设计计算的基础知识。
- ③ 获得一些正确使用、维护设备和故障分析的能力。
- ④ 具有运用标准、规范、手册、图册等有关技术资料的能力。

“机械设计基础”本身是许多理论和实践知识综合应用的课程,在整个课程体系中又具有从理论性课程过渡到结合工程实际的设计课程、从基础课程过渡到专业课程的承前启后的桥梁作用。

1.3 机械设计的基本要求和一般步骤

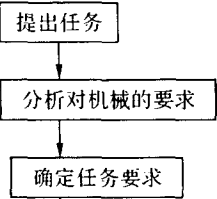
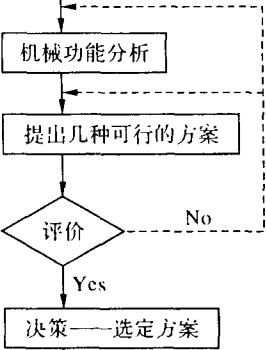
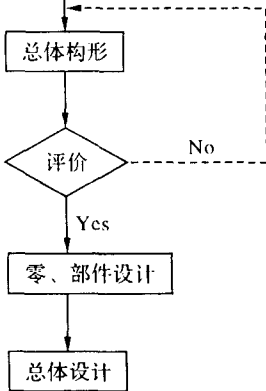
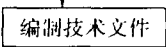
机械设计应满足下列基本要求。

- ① 产品具有满足用户要求的功能,并且产品的功能能达到最优。
- ② 产品的工艺性好。产品的工艺性是指产品的加工和装配是否可行、合理、经济。因此,设计人员必须全面关心产品的加工、装配,以及包装、运输的整个过程。
- ③ 产品能满足使用和维护要求。保证产品在预定工作期限内安全可靠、操作简便、维护方便。还要考虑工作区域的空间分配、通风条件、照明、开关及手柄和脚踏的位置与尺寸、操作者的体力、安全保护等问题。
- ④ 产品的社会效益好,经济效益高。既要使产品得到社会的认可,又要使产品的成本低,效率高。
- ⑤ 产品设计有创造性。既要认真选择原有成功的机构,又要大胆摒弃旧的,创

造新的结构。

机械设计过程,大致可以分为四个阶段,即计划、方案设计、技术设计和技术文件编制,如表 1-1 所示。

表 1-1 设计机械的一般步骤

设计的阶段	工作步骤	阶段的目标
计 划	 <pre> graph TD A[提出任务] --> B[分析对机械的要求] B --> C[确定任务要求] </pre>	设计任务书
方案设计	 <pre> graph TD D[机械功能分析] --> E[提出几种可行的方案] E --> F{评价} F -- No --> E F -- Yes --> G[决策——选定方案] </pre>	提出原理性的设计方案——原理图或机器运动简图
技术设计	 <pre> graph TD H[总体构形] --> I{评价} I -- No --> H I -- Yes --> J[零、部件设计] J --> K[总体设计] </pre>	总体设计草图及部件装配草图,并绘制出零件图、部件装配图及总装配图
技术文件编制	 <pre> graph TD L[编制技术文件] </pre>	编制计算说明书、使用说明书、工艺文件等

计划阶段是一个预备阶段,应对所设计机械的市场情况做充分的调查研究和分析。通过分析,明确机械所应具有的功能,并为下一步的决策提出由环境、经济、加工以及时限等各个方面确定的约束条件。在此基础上,明确地写出设计任务书的全面要求及细节,最后形成设计任务书,作为本阶段的总结。设计任务书大体上应包括:机械的功能,制造要求方面的估计,基本使用要求,经济性的估计,以及完成设计任务的时限估计等。此时,对这些设计要求及条件一般只能是给出一个合理的范围,而不是准确的数字。

方案设计阶段对设计的成败起关键作用。本阶段包括机械的功能分析、设计方案的提出与评价、方案的选定等。机械的功能分析,就是对设计任务书提出的机械功能中必须达到的要求、最低要求及希望达到的要求进行综合分析,最后确定出功能参数。在此基础上,提出可能采用的多种方案。然后从技术方面和经济方面对这些方案进行综合评价,最后进行决策,即确定一个原理简图或机构运动简图作为下一步技术设计的依据。

技术设计阶段的目标是产生总装配图、部件装配图及零件图。首先进行零、部件和总装配的草图设计,在草图设计过程中确定出各部件及其零件的外形、基本尺寸和相互关系尺寸(如装配尺寸、配合尺寸等)。草图设计完以后,即可根据草图中已确定的零件基本尺寸,设计零件的工作图。最后按定型的零件工作图的结构及尺寸,重新绘制部件装配图及总装配图。

技术文件编制阶段主要是完成机械的设计计算说明书、使用说明书、标准件明细表等技术文件的编制工作。

机械设计的基本规律就是“设计—评价—再设计”。其实,整个设计过程就是按“需求”产生机器的概念,提出概念模型(用符号描述的机器——机器简图),然后将最可行的概念模型转变成为具有物理结构尺寸的结构模型。这个过程是逐步地、反复地、渐进地进行的。即使在产品投入市场后,也要进行跟踪调查,根据用户的反馈信息,对产品进行不断地改进和完善。

第2章 平面机构

各运动构件均在同一平面内或相互平行平面内运动的机构,称为平面机构。平面机构应用很广泛。

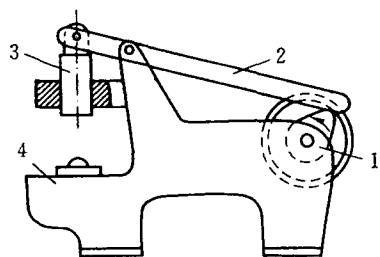


图 2-1 不能运动的构件组合

1—凸轮;2—杠杆;3—冲头;
4—机架

机构是由若干个具有确定相对运动的构件组成的,但是若干个构件的任意组合,并不一定能成为机构。如图 2-1 所示,设计者的思路是:由凸轮 1 推动杠杆 2 使冲头 3 上下运动,以完成冲压工作。但不难看出,构件 1、2、3 和 4 构成的是不能运动的构件组合,所以不能称为机构。

由此可见,构件组合必须具备一定的条件才能成为机构。

机构及构件的实际外形往往是比较复杂的,工程上常用以简单线条和符号绘制的

机构运动简图来表示机构的运动关系。

本章将主要讨论平面机构具有确定运动的条件及平面机构运动简图的绘制方法。

2.1 平面机构运动副及其分类

构件组成机构时,每个构件都以一定的方式与其他构件相连接,这种连接是能产生一定相对运动的连接。两构件直接接触并能产生一定相对运动的连接称为运动副。平面机构中,构成运动副的各构件的运动均为平面运动,这种运动副称为平面运动副。

2.1.1 构件的自由度及其约束

1. 构件的自由度

如图 2-2 所示,构件有三个独立运动的可能性,即沿 x 轴、 y 轴方向的移动和在 xOy 平面内的转动。构件的这种可能出现的独立运动的空间称为自由度。构件的位

置可以用其上任意一点 A 的 x 坐标、 y 坐标及其上任一直线 AB 的倾角 α 来确定, x 、 y 及 α 为三个独立的运动参数。由上述可知: 构件的自由度数等于构件的独立运动参数, 即一个作平面运动的自由构件有三个自由度。

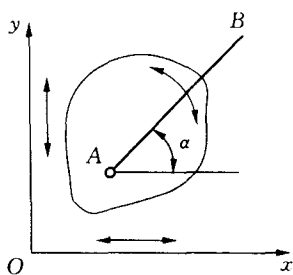


图 2-2 平面构件的自由度

2. 运动副的约束

当一个构件与其他构件相互连接时, 其相对运动将受到限制。对构件独立运动所加的限制称为约束。约束增多, 构件的自由度就减少, 约束的数目与构件的连接形式有关, 构件每增加一个约束, 便失去一个自由度。

2.1.2 运动副的种类

1. 低副

两构件通过面接触所构成的运动副称为低副。低副按其相对运动形式又分为转动副和移动副两种。

在图 2-3(a)、(b) 所示构件 1、2 组成的运动副中, 两构件只能绕 x 轴相对转动, 沿 z 轴、 y 轴方向的相对移动受到约束。这种使组成运动副的两构件只能产生相对转动的连接称为转动副或称铰链。图 2-3(a) 所示转动副, 使一个构件是固定的, 称为固定铰链(或称机架); 图 2-3(b) 所示构件 1、2 组成的转动副, 使两个构件都未固定, 这种连接称为活动铰链。

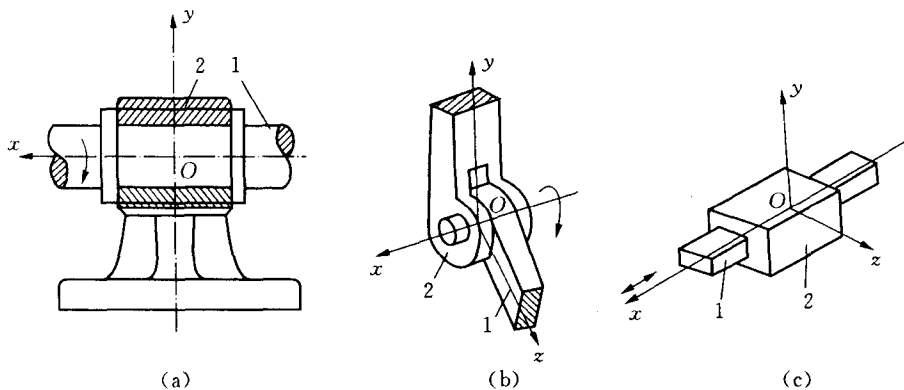


图 2-3 平面低副

图 2-3(c) 所示构件 1、2 只能沿 x 轴方向作相对移动, 沿 y 轴方向的相对移动和绕 z 轴的相对转动均受到约束。这种使两构件只能产生相对移动的运动副称为移动副。

转动副只能在一个平面内相对转动, 移动副只能沿某一个轴线方向移动。因此, 一个低副引入两个约束, 即减少两个自由度。

2. 高副

两构件通过点或线接触所构成的运动副称为高副。

如图 2-4 所示, 两构件组成高副, 彼此间可沿接触处切线 $t-t$ 方向作相对移动和在平面内作相对转动。而沿法线 $n-n$ 方向的相对移动受到约束。所以一个高副引入一个约束, 即减少一个自由度。

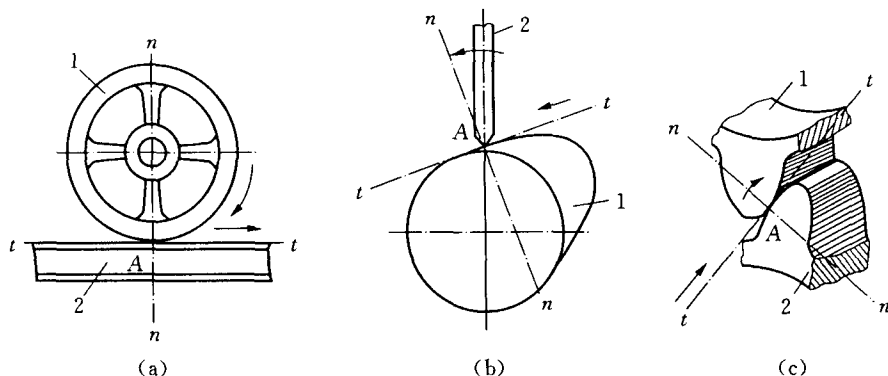


图 2-4 平面高副

2.2 平面机构运动简图

在设计新机构或对已有机构进行分析研究时, 首先要画出简图来表明机构的运动情况。从运动学的观点看, 各种机构都是由多个构件通过运动副连接而成, 而机构的运动取决于构件的数目、运动副的类型及数量和构件的相对位置。所以, 为了使问题简化, 在研究机构的运动时, 可以不考虑那些与运动无关的构件外形和运动副的具体结构, 仅用简单的线条和符号表示构件和运动副, 并按比例定出各运动副的相对位置。这种表明机构各构件间相对运动关系的简单图形称为机构运动简图。