



面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

国家工科基础课程教学基地机械基础系列教材

机械设计

龙振宇 主编

43



机械工业出版社
China Machine Press



面向 21 世纪课程教材
国家工科基础课程教学基地机械基础系列教材

机 械 设 计

主 编 龙振宇
副主编 姚顺培
参 编 汪海云 李 俊
李良军 宁先雄
主 审 吴鹿鸣



机 械 工 业 出 版 社

本书包括机械设计总论, 联接, 机械传动, 轴系零、部件, 其他零、部件共五篇十八章。在保留传统内容的基础上, 对相应的内容进行了整合, 并通过对案例进行多方案分析、比较, 培养学生独立分析能力、综合设计和创新能力。

本书可作为高等工科院校机械类及相关专业的教材, 也可供有关专业师生及工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计/龙振宇主编. —北京: 机械工业出版社, 2002. 7

国家工科基础课程教学基地机械基础系列教材

ISBN 7-111-10010-7

I. 机... II. 龙... III. 机械设计—高等学校—教材

IV. TH12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 048760 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 王霄飞 冯 铤 版式设计: 冉晓华 责任校对: 张 媛

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 路 琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·13.75 印张·537 千字

0 001—4 000 册

定价: 30.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

封面无防伪标均为盗版

国家工科基础课程教学基地机械基础系列 教材编审委员会

主 任：唐一科

副 主 任：刘昌明 何玉林 黄茂林

顾 问：杨叔子

主编人员：丁 一 祖业发 黄茂林 龙振宇 刘天模 袁绩乾
赵月望 陈国聪 何玉林 吕仲文 杨学元 秦 伟
李文贵

审稿人员：常 明 华中科技大学

张 策 天津大学

吴鹿鸣 西南交通大学

杨治国 四川大学

李建保 清华大学

林萍华 东南大学

张春林 北京理工大学

何援军 上海交通大学

谭建荣 浙江大学

张济生 重庆大学

(排名不分先后)

策划单位：机械工业出版社 重庆大学

序

为了适应 21 世纪我国现代化建设的需要,培养高质量的工程科学技术人才,教育部从 1996 年开始实施了“面向 21 世纪高等工程教育教学内容和课程体系改革计划”,接着又决定建设国家工科基础课程教学基地,这些措施推动了教育改革的深入发展,形成了一批有特色的课程体系和系列教材。由重庆大学国家工科基础课程机械基础教学基地组织编写、机械工业出版社出版的“国家工科基础课程教学基地机械基础系列教材”就是其中之一。这套系列教材是国内众多资深教授的支持、指导和数十位长期从事教学和教学改革的教师辛勤劳动的结果,能够满足机械类专业人才培养的要求。

这套系列教材紧密结合“机械类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”、“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”两个面向 21 世纪重大教学改革项目和国家工科基础课程机械基础教学基地建设,集中反映了重庆大学等高校围绕人才培养,在改革机械基础课程体系和教学内容方面所取得的成果。

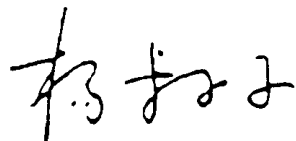
这套系列教材的特色在于将机械基础系列课程分为设计基础和制造基础两类课群;以拓宽基础、培养学生综合应用机械基础理论与现代设计分析方法进行机械设计和创新为宗旨,遵循认知规律,明确课程定位,突破各课程自身的传统体系,基本上实现了系列课程的整体优化;通过《机械认识实践》的实践教学,帮助学生建立机械的感性认识。制造基础课群则对原机械制造的冷、热加工专业课程进行了整合和改造,建立了适合宽口径大机械专业的三个知识点——“机械制造技术基础”、“材料成形工艺基础”和“工程材料”。设计基础课群对传统的“机械设计”及“机械原理”进行了大胆的尝试性整合;展示了在“机械创新设计”思维的引导下,运用“计算机图形学”、“机械 CAD/CAE 技术基础”等现代设计方法和手段进行机械设计的主线。

这套系列教材较好地体现了面向 21 世纪机械类专业人才培养模式改革的思路,对机械类专业机械基础系列课程体系及教学内容的改革进行了富有成效的探索与实践。机械工业出版社出版这套教材,实为一件很有意义的事,为全国机械基础课程体系的教改与教学提供又一套很有特色的教材。

当然,这套系列教材还需要在教学改革和教学实践中经受检验、不断完善;以

结出我国教育改革的硕果。是为序。

中国科学院院士
重庆大学机械传动国家重点实验室学术委员会主任
华中科技大学教授



2001年6月16日

前 言

为了适应新世纪培养高素质、创造型机械科技人才的需要,重庆大学国家工科基础课程机械基础教学基地组织编写了机械基础系列教材。这套教材编写的整个过程就是我们完成教育部面向 21 世纪高等教育教学内容和课程体系改革计划中“机械类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”、“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”两个项目的过程。我们按照新世纪机械专业人才应该具备的能力、素质和知识结构,研究制定了机械类专业人才培养方案及教学内容体系和与之相适应的机械基础系列课程体系及教学内容,并在 97、98、99 级本科教学中经过实践,所以这套教材反映了我们教学改革成果。

这套系列教材特色在于将机械基础系列课程分为设计基础和制造基础两类课群,对原机械制造工艺、金属切削机床、金属切削刀具、夹具、铸造、锻压等专业课程进行了整合和改造,编写了适合宽口径机械专业的《机械制造技术基础》、《材料成形工艺基础》和《工程材料》;增设了以参观和实践为主的《机械认识实践》课程;《现代机械制图》把投影制图和计算机绘图作为重点,并将其贯穿于全书;以设计为主线,重新规划了机械设计基础的体系结构,把齿轮机构的原理与设计有机融合,放在《机械设计》教材中,将《机械原理》的重点定位于机构的运动学、动力学和机械系统运动方案的分析与设计,并将《机械设计》安排在《机械原理》之前开出;增加了《计算机图形学》、《机械 CAD/CAE 应用技术基础》等计算机应用技术基础教材,反映了现代科学技术的新发展,引导学生应用现代设计方法和手段进行机械设计;增加了《机械创新设计》,介绍创新方法,启发创新思维。

按照机械基础系列课程改革的总体思路我们编写了这本教材。本教材以综合设计能力的培养为主线,以机械设计的基本理论、基本知识和基本设计计算方法为主要内容,并增强工程的实践性,以利于对学生实践应用能力和创新能力的培养。

按照教学内容改革的要求,在教材的编写中,我们在强调“三基”的前提下,以成熟的基本理论内容为主,增强教材的工程实践性,如从典型机械(带式输送机)实例入手,通过对机械传动、机械传动系统进行多方案分析、比较和综合设计来培养学生独立分析能力、综合设计和创新能力。

在教材中保留了传统的教学内容,但着重阐明概念,讲清思路,简化理论推

导。为便于自学,对某些理论推导用小号字表达。为拓宽学生知识面,适应科技的飞速发展,教材适当简介现代设计方法及新型传动。由于教学改革将“机械设计”课程安排在“机械原理”之前,于是将原“机械原理”中齿轮机构及螺旋副等的有关内容编写在本教材中,这就保持了学习的连续性和完整性。

教材的编写以现行国家标准及规范为依据,如渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法(GB/T3480—1997),滚动轴承代号(GB/T272—1993),滚动轴承表示法(GB/T4459.7—1998),滚动轴承额定动载荷和额定寿命(GB/T6391—1995),滚动轴承额定静负荷(GB/T4662—1993)等。

参加本书编写的有龙振宇[绪论、第二章、第三篇综述、第九章(机械零件内容)、第十章、第十二章、第十八章],姚顺培(第三章、第十三章、第十四章、第十五章),汪海云(第六章、第八章、第十一章),李俊(第四章、第五章、第十六章、第十七章),李良军(第一章、第七章),宁先雄[第九章(机械原理内容)]。本书由龙振宇任主编,姚顺培任副主编。

本书由吴鹿鸣教授主审,并对全书提出了许多宝贵意见和建议。在编写过程中还得到何小柏教授的大力支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平和时间所限,书中误漏之处在所难免,欢迎广大读者给予批评指正。

编者

2002.2.2

目 录

序	
前言	
绪论	1
第一节 机械的组成及基本术语	1
第二节 本课程的研究对象、主要内容、性质和任务	4
第三节 本课程的特点和学习方法	5
讨论题	6
思考题	6

第一篇 机械设计总论

第一章 机械零件设计的基础知识及设计方法简介	7
第一节 机械设计的主要内容和设计的一般程序	7
第二节 机械零件的设计方法	8
第三节 机械零件应满足的基本要求及设计的一般步骤	11
第四节 机械零件的主要失效形式	12
第五节 机械零件的工作能力准则	13
第六节 许用安全系数的选择	15
第七节 载荷和应力的分类	16
第八节 机械零件的体积强度	18
第九节 机械零件的接触强度	29
思考题	31
第二章 摩擦、磨损及润滑概述	33
第一节 摩擦	33
第二节 磨损	38
第三节 润滑	41
思考题	51

第二篇 联 接

第三章 螺纹联接	52
第一节 螺纹及螺纹参数	52
第二节 螺旋副的受力分析、效率和自锁	54
第三节 螺纹联接的主要类型和标准联接件	57

第四节 螺纹联接的拧紧和防松	63
第五节 螺栓组联接的受力分析	67
第六节 螺纹联接的失效形式和计算准则	71
第七节 螺栓联接的强度计算	72
第八节 提高螺纹联接强度的措施	81
讨论题	85
思考题及习题	86
第四章 键、花键、销、形面联接和过盈配合	88
第一节 键联接	88
第二节 花键联接	92
第三节 销联接	95
第四节 形面联接	97
第五节 过盈配合联接	97
思考题及习题	99
第五章 铆接、焊接和胶接	100
第一节 铆接	100
第二节 焊接	103
第三节 胶接	108

第三篇 机械传动

思考题及习题	118
第六章 摩擦轮传动	119
第一节 概述	119
第二节 摩擦轮传动	119
第三节 牵引传动简介	121
思考题	123
第七章 带传动	124
第一节 概述	124
第二节 带传动的受力分析及运动特性	128
第三节 普通 V 带传动的设计	133
第四节 同步带传动设计简介	145
讨论题	146
思考题及习题	146
第八章 链传动	148
第一节 概述	148
第二节 链传动的运动特性	153
第三节 链传动的受力分析和作用在轴上的载荷	155
第四节 滚子链传动的设计计算	156

第五节 链传动的合理布置和张紧方法	162
讨论题	164
思考题及习题	164
第九章 齿轮传动	166
第一节 概述	166
第二节 齿廓啮合基本定律	169
第三节 渐开线齿廓齿轮传动	170
第四节 渐开线齿轮的加工	177
第五节 根切现象、最少齿数及变位齿轮	179
第六节 齿轮的损伤形式及齿轮传动的设计准则	183
第七节 齿轮常用材料	186
第八节 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	188
第九节 设计参数、许用应力	200
第十节 齿轮传动的精度	206
第十一节 斜齿圆柱齿轮传动	214
第十二节 直齿锥齿轮传动	226
第十三节 变载荷时齿轮的疲劳强度计算和短期过载时的静强度计算	234
第十四节 齿轮传动的效率和润滑	235
第十五节 齿轮结构	236
第十六节 圆弧齿圆柱齿轮传动简介	239
讨论题	240
思考题及习题	241
第十章 蜗杆传动	244
第一节 概 述	244
第二节 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	247
第三节 蜗杆传动的滑动速度和效率	252
第四节 蜗杆传动的失效形式和材料选择	255
第五节 蜗杆传动的受力分析及计算载荷	256
第六节 普通圆柱蜗杆传动的承载能力计算	258
第七节 圆柱蜗杆的刚度计算	261
第八节 蜗杆传动的润滑与热平衡计算	261
第九节 蜗杆与蜗轮的结构设计	263
讨论题	267
思考题及习题	268
第十一章 螺旋传动	271
第一节 概述	271
第二节 滑动螺旋传动的设计	271
第三节 其他螺旋传动简介	275

讨论题	277
思考题及习题	277
第十二章 机械传动类型的选择	278
讨论题	280
思考题	281

第四篇 轴系零、部件

第十三章 轴	282
第一节 概述	282
第二节 轴的材料	284
第三节 轴直径的初步估算	285
第四节 轴的结构设计	287
第五节 轴的强度校核计算	294
第六节 轴的刚度计算	298
第七节 轴的振动计算	299
讨论题	311
思考题及习题	312
第十四章 滚动轴承	315
第一节 概述	315
第二节 滚动轴承的主要类型和代号	317
第三节 滚动轴承的类型选择	325
第四节 滚动轴承的尺寸选择计算	325
第五节 滚动轴承的组合设计	337
讨论题	350
思考题及习题	352
第十五章 滑动轴承	354
第一节 概 述	354
第二节 径向滑动轴承的结构形式	355
第三节 轴瓦的材料和结构	357
第四节 润滑剂和润滑方法	363
第五节 混合摩擦径向滑动轴承的设计计算	367
第六节 液体动压径向滑动轴承的设计计算	368
第七节 其他滑动轴承简介	382
第八节 滑动轴承和滚动轴承的比较	388
讨论题	389
思考题及习题	389
第十六章 联轴器、离合器及制动器	391
第一节 联轴器	391

第二节	离合器	399
第三节	制动器	403
思考题及习题		404
 第五篇 其他零、部件		
第十七章	弹簧	405
第一节	概述	405
第二节	圆柱螺旋压缩（拉伸）弹簧的设计	407
第三节	受变载荷作用弹簧的疲劳强度验算	412
第四节	圆柱螺旋扭转弹簧的设计计算	415
第五节	其他类型弹簧简介	417
思考题及习题		419
第十八章	减速器和无级变速器	420
第一节	减速器	420
第二节	无级变速器	424
思考题		427
参考文献		428

绪 论

机械是人类进行生产以减轻体力劳动和提高劳动生产率的主要劳动工具。现代化的机械装备能最大限度地提高劳动生产率和产品质量，而且便于对生产进行科学管理以实现产品的标准化、系列化和通用化。机械工业能为国民经济各部门提供最先进的成套机械装备并且促进技术改造，从而起到促进国民经济的高速发展和加速我国现代化建设的作用。机械工业发展的程度是衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志之一。

第一节 机械的组成及基本术语

一、机械的组成

机械是机器与机构的统称。

(一) 机器

在工作和日常生活中，我们见到过很多机器，如摩托车、汽车、内燃机、洗衣机、缝纫机，各种加工机床，打印机、起重运输机、机器人等。

就其功能而言，一台完整的机器通常由原动部分、传动部分、执行（工作）部分和控制部分以及辅助部分（润滑、电气、监测等）组成。原动部分、传动部分及执行部分是机器中的主体。

原动部分是机器工作的动力源。它可以是人力、畜力、风力、水力、热力、磁力和电力等。现代机器中使用的原动机大多是电动机和热力机（内燃机、燃气轮机等），而电动机应用更为广泛。

执行（工作）部分是直接完成机器预期功能的部分。如洗衣机中的波轮，带式运输机中的卷筒及运输带，塔式起重机中的卷筒、钢丝绳、吊钩等。

传动部分是用来解决原动部分与执行部分之间的运动形式、转矩、转速不同之矛盾，以实现机器预期的运动及传递动力的要求。机器的功能各异，要求的运动参数和运动形式多不相同，要克服的工作阻力也不一样，但原动机的运动参数、运动形式和动力参数范围是有限和确定的，这些往往不能满足执行部分的要求。而传动部分在机器中的作用就是解决这两部分之间的矛盾，把原动机的运动参数、运动形式和动力参数变换为机器执行部分所需要的运动参数，运动形式和动力参数。如机床中的带传动、齿轮传动，摩托车中的链传动等等。机器的传动部分大多使用机械传动，还可使用液压传动、气压传动和电力传动。本教材仅介绍机械设备

中常用的机械传动装置。

如图 0-1 所示为内燃机的结构图。它是由缸体 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。当燃气推动活塞作往复移动时,通过连杆使曲轴连续转动,从而将燃气的热能不断地转换为曲轴的机械能。凸轮和顶杆用于启闭进气阀和排气阀。为保证曲轴每转两周,进、排气阀各启、闭一次,曲轴与凸轮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,就将热能转换为曲轴回转的机械能。

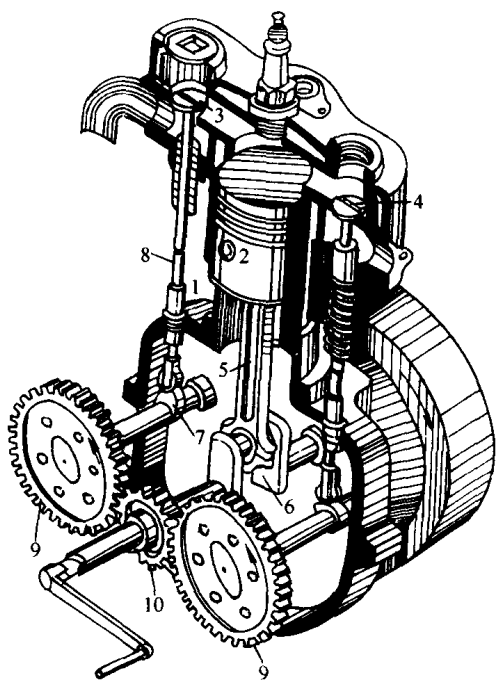


图 0-1 内燃机

1—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

如图 0-2 所示为离心浇铸机。它是由电动机 1、传动带 2 及金属铸型 3 组成。当电动机通过带传动带动金属铸型按工作所需的转速旋转时,注入铸型的金属液(或塑料液)将因离心作用贴附于型壁上,冷却后形成致密的薄壁筒形铸件。

如图 0-3 所示为颚式破碎机。它是由电动机(图中未示出)、带传动(图中只示出大带轮 1)、偏心轴 2、动颚 3、肘板 4 和机架 5 组成。当电动机通过带传动带动偏心轴 2 绕轴线 A 转动时,驱使输出构件动颚 3 作平面运动,从而将矿石轧碎。

从以上实例可以看出,所有机器均具有下列 3 个共同的特征:

- 1) 它们是人为的实体组合。
- 2) 组合体的运动实体之间具有确定的相对运动。
- 3) 它们用来代替或减轻人类的体力和脑力劳动,去完成有用的机械功(如起重机、金属切削机床等)、转换机械能(如电动机、内燃机等)和传递能量、物料,提供或转换信息(钟表、运输机、打字机、发报机等)。

综上所述,满足上述 3 个特征的实体组合称为机器。

(二) 机构

机构只具备机器的前两个特征。即机构是人为的实体组合,各组合的运动实体之间具有确定的相对运动。常用的机构有连杆机构、凸轮机构、齿轮机构等等。

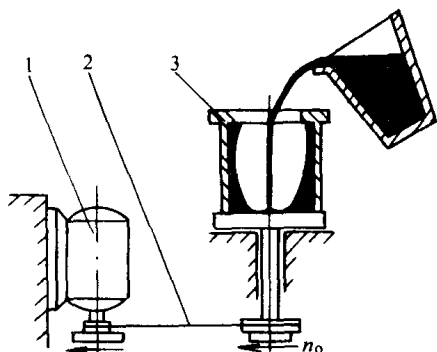


图 0-2 离心浇铸机

1—电动机 2—传动带 3—金属铸型

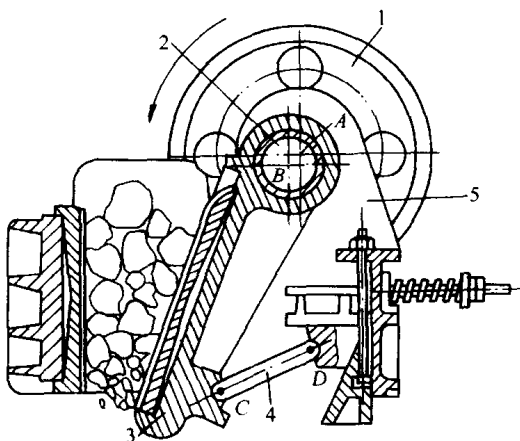


图 0-3 颚式破碎机

1—大带轮 2—偏心轴 3—动颚 4—肘板 5—机架

二、基本术语

（一）机械零件及部件

1. 机械零件

组成机械的基本制造单元称为机械零件。如机械中的轴、齿轮（整体式）、螺钉、螺母、键等。

2. 部件

为完成同一功能在结构上组合在一起，协同工作的零件的总成称为部件。如机械中的联轴器、减速器、滚动轴承等。

机械中的零、部件通常又分为两大类：在各种机器中都普遍使用的零、部件称为通用机械零、部件，如齿轮、滚动轴承等；只在某些特定类型的机器中才使用的零、部件称为专用机械零、部件，如曲轴、纺锭等。本教材只介绍通用机械零、部件的有关设计内容。

（二）构件

组成机械的各相对运动实体称为构件。构件即为机械中的运动单元。构件可以是一个零件，如实心式齿轮、带轮、蜗杆等，也可以是若干个零件的刚性组合结构，如图 0-4 所示内燃机中的连杆由分别加工的连杆体 1、连杆头 2、轴瓦 3 和 4、1—连杆体 2—连杆头 3、4—轴瓦 5—螺栓 6—螺母等零件刚性组合为一个构件。

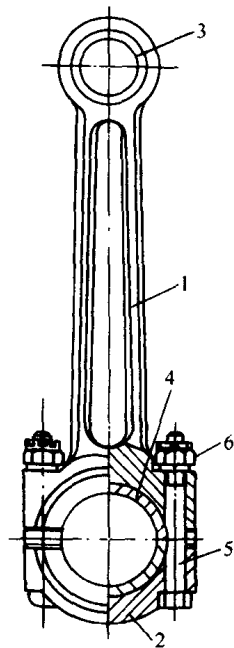


图 0-4 连杆

1—连杆体 2—连杆头
3、4—轴瓦 5—螺栓
6—螺母

（三）标准件

经过优选、简化、统一，并给以标准代号的零件和部件称为标准零、部件。如螺栓、螺母、键、滚动轴承、联轴器等。

（四）运动副

两个构件之间直接接触又有一定相对运动的活动联接称为运动副。按照两构件的接触情况，通常把运动副分为低副和高副。

1. 低副

两构件为面接触的运动副称为低副。低副又分为转动副（又称铰链，如内燃机中的曲轴与连杆组成的转动副）和移动副（如内燃机中的活塞与气缸体组成的移动副）。

2. 高副

两构件通过点或线接触组成的运动副称为高副。如图 0-5a 所示车轮与钢轨组成高副，如图 0-5b 所示内燃机中齿轮轮齿间的接触组成高副。

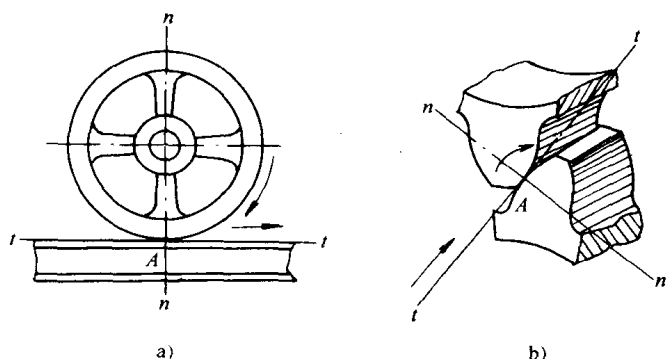


图 0-5 平面高副

第二节 本课程的研究对象、主要内容、性质和任务

一、本课程研究的对象及主要内容

本课程的研究对象主要是通用性的机械传动装置及普通条件下工作的一般参数的通用机械零、部件。专用机械零、部件和在特殊工作条件（如高速、高压、高温、低温等）及有特殊要求（如结构、体积等）的通用零、部件则在有关专业课中研究。

本课程的主要内容常用联接（如螺纹联接、键联接、焊胶联接等）、常用的机械传动（带传动、链传动、齿轮和蜗杆传动等）、轴系零、部件（轴、轴承、联轴器）和弹簧等的工作原理、结构特点、基本的设计理论和计算方法以及某些标准件的选择方法。

二、本课程的性质和任务

“机械设计”是一门培养学生具有机械设计能力的技术基础课。在机械类专业教学计划中，它是主要课程。在这门课程中，将综合运用已学过的高等数学、机械制图、材料成形技术基础、机械制造基础、工程材料及热处理、公差及技术测量、理论力学、材料力学、电工学等多方面的知识来解决一般通用的机械零、部