

高职高专机电及电气类“十三五”规划教材

机械设计基础



主编 牟清举 郑 钢 陈佰江



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高职高专机电及电气类“十三五”规划教材

机械设计基础

主 编 牟清举 郑 钢 陈佰江
副主编 王 新 强 军 乔旭安

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是根据教育部《高职高专教育机械设计基础课程教学基本要求》，采用最新国家标准，按项目教学法的思路进行编写的。

全书共分 11 个项目，内容包括：机械设计基础知识、平面机构分析、凸轮机构设计、齿轮传动设计、蜗杆传动设计、间歇运动机构设计、轮系、挠性传动设计、连接设计、轴及轴承设计、机械传动系统设计。

本书结合高等职业技术教育的特点，简化过多的理论介绍，注重理论联系实际，加强学生实践技能和综合能力的培养，使其尽快掌握机械设计的基本理论和基本技能。另外，在每一项目的后面还附有任务总结和课后思考，可供学生课后参考和进行练习。

本书可作为高职院校机械类、机电类、模具类和近机械类专业教材，还可作为中等职业技术教育相关专业教材和在职职工的培训教材，也可作为有关技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/牟清举，郑钢，陈佰江主编. —西安：西安电子科技大学出版社，2016.7

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3870 - 6

I. ① 机… II. ① 牟… ② 郑… ③ 陈… III. ① 机械设计—高等教育—教材 IV. ① TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 217735 号

策 划 王 飞 刘小莉

责任编辑 马武装

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2016 年 7 月第 1 版 2016 年 7 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 16.5

字 数 391 千字

印 数 1~2000 册

定 价 35.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3870 - 6/TH

XDUP 4162001 - 1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜，谨防盗版。

前 言

本书是根据教育部《高职高专教育机械设计基础课程教学基本要求》和新近颁布的国家有关标准编写而成的。

本书从培养实用型技能人才应具有的基本技能出发,坚持“以应用为目的,以必需、够用为度”的编写原则,并适当考虑知识的连续性和学生今后继续学习的需要,在内容上对传统模式做了一定改革,增加了实训教学内容。

本书对基本理论的讲解,力求深入浅出,着重讲解典型机构、主要零部件的性能特点及设计方法,介绍了常用机构及零部件的使用方法。书中采用了最新国家和行业标准,内容简明扼要,理论联系实际,突出能力培养。参考学时为64~96学时。

本书内容按项目教学法、任务引领的思路组织,力求探索当前职业教育的新形式,强调对学生职业技能实际应用能力的培养,内容和形式全部焕然一新。全书共11个项目,内容包括机械设计基础知识、平面机构分析、凸轮机构设计、齿轮传动设计、蜗杆传动设计、间歇运动机构设计、轮系、挠性传动设计、连接设计、轴及轴承设计、机械传动系统设计。项目下设有任务,并根据每个任务的特点,设计了相应的技能训练;每个项目设有项目目标,每个任务设有任务导入、相关知识、任务实施、任务总结及课后思考题,以帮助学生掌握和巩固所学内容,提高应用所学理论知识解决实际问题的能力。

本书可作为高职院校机械类、机电类、模具类、近机械类各专业教材,也可作为专科学校、职工大学、成人教育相关专业的教学用书,还可供有关工程技术人员参考。

本书由重庆科创职业学院牟清举、郑钢、陈佰江主编,王新、强军、乔旭安任副主编。其中项目一由乔旭安编写,项目二、项目四和项目五由牟清举编写,项目三由陈佰江编写,项目六由强军编写,项目七由王新编写,项目八至项目十一由郑钢编写。全书由牟清举统稿。

在本书编写过程中,编者参考了有关文献,在此对这些文献的作者表示衷

心的感谢！由于编者编写水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2016 年 1 月

目 录

项目一 机械设计基础知识	1
任务一 机械的组成	1
任务二 机械设计的性质及基本要求	4
项目二 平面机构分析	7
任务一 平面机构的组成及平面机构运动简图绘制	7
任务二 平面机构自由度的计算	15
任务三 平面机构的组成原理及结构分析	20
任务四 平面连杆机构	22
项目三 凸轮机构设计	35
任务一 凸轮机构应用	35
任务二 凸轮轮廓曲线设计	39
任务三 凸轮机构基本尺寸确定	46
任务四 半自动机床中的凸轮机构	49
项目四 齿轮传动设计	54
任务一 齿轮啮合基本定律	54
任务二 渐开线标准直齿圆柱齿轮	62
任务三 齿轮传动的失效形式和设计原则	67
任务四 标准直齿圆柱齿轮的设计计算	75
任务五 其他齿轮传动	83
项目五 蜗杆传动设计	104
任务一 圆柱蜗杆传动的几何尺寸计算	104
任务二 普通圆柱蜗杆的设计计算	111
项目六 间歇运动机构设计	121
任务一 棘轮机构	121
任务二 槽轮机构	127
任务三 其他间歇运动机构	131
项目七 轮系	136
任务一 轮系的分类及应用	136

任务二 轮系的传动及传动比计算 142

项目八 挠性传动设计 153

 任务一 带传动设计 153

 任务二 链传动设计 171

项目九 连接设计..... 189

 任务一 螺纹连接设计 189

 任务二 螺旋传动设计 208

 任务三 其他连接设计 211

项目十 轴及轴承设计 217

 任务一 轴的设计 217

 任务二 滚动轴承设计 224

 任务三 滑动轴承设计 235

项目十一 机械传动系统设计 243

 任务一 机械运转调速与平衡 243

 任务二 机械传动系统设计与实例 246

参考文献 257

项目一 机械设计基础知识



项目目标

知识目标

- (1) 掌握机械、机器、机构、构件、零件、部件等基本概念。
- (2) 掌握机器与机构、构件与零件的区别。
- (3) 掌握机械的组成。

能力目标

会判断机器和机构。

任务一 机械的组成



任务导入

图 1-1 所示为单缸内燃机,说明单缸内燃机的组成及其工作原理。

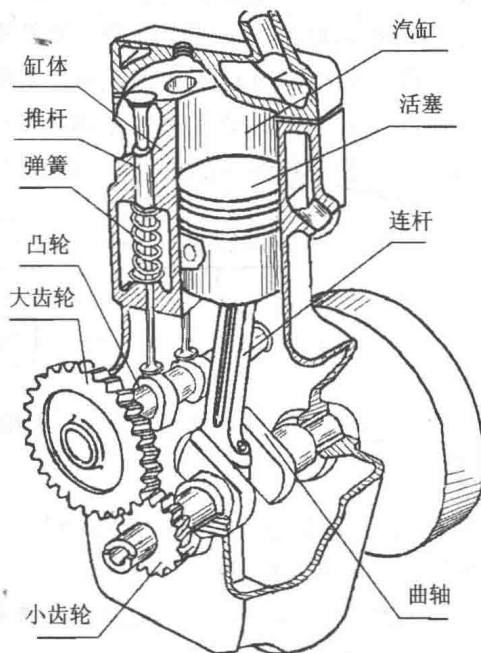
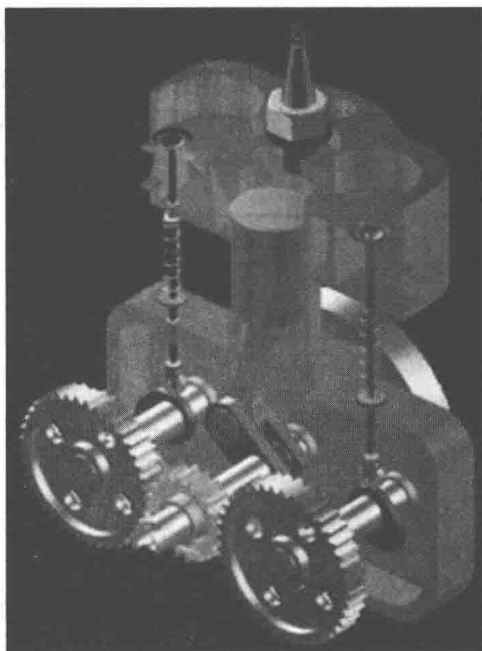


图 1-1 单缸内燃机

任务实施

一、机械的概念

机械是机器和机构的总称。

1. 机器

机器是由若干个机构构成的组合体,是根据某种使用要求而设计的一种执行机械运动的装置,用来代替或减轻人类的劳动强度,改善劳动条件,提高劳动生产率。

随着工业的发展,机械产品的种类愈来愈多,常见的有工业上的内燃机、各类机床、运输车辆、起重机、农用机器、发电机以及生活中的洗衣机、缝纫机等。图 1-1 所示为单缸内燃机,它由缸体、活塞、连杆、曲轴、齿轮和凸轮、弹簧、进/排气阀推杆等组成。当燃气推动活塞时,通过连杆将运动传至曲轴,使曲轴连续转动从而将燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。为了保证曲轴连续转动,要求通过进气阀与排气阀将可燃气吸入和废气排出汽缸,而进气阀和排气阀的启闭又是通过凸轮、推杆、弹簧等来实现的。

机器的主要特征是:

- (1) 它是人为的实物组合;
- (2) 各实物间具有确定的相对运动;
- (3) 能完成有效的机械功(如机床)或转换机械能以及实现信息传递和变换的功能,以代替或减轻人类的劳动。

机器分为原动机和工作机。原动机用于实现能量转换(如内燃机、蒸汽机、电动机等),种类有限;工作机用于完成有用功(如机床等),种类繁多。

工作机由原动机部分、工作部分、传动部分和控制部分组成。原动机部分是工作机动力的来源,最常见的是电动机和内燃机。工作部分用于完成预定的动作,位于传动路线的终点。传动部分是连接原动机和工作部分的中间部分。控制部分用于保证机器的启动、停止和正常协调动作。各部分的关系如图 1-2 所示。

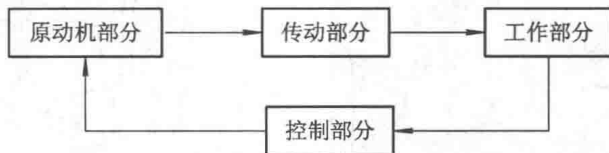


图 1-2 工作机各组成部分之间的关系

2. 机构

机构是由构件组成,用来传递运动和动力或改变运动形式的装置,如图 1-3 所示的连杆机构和图 1-4 所示的齿轮机构。

只有确定的相对运动,而不能代替人做有用的机械功的构件组合称为机构。例如,摩托车是机器,而自行车是机构。

机构分为通用机构和专用机构。通用机构的用途广泛,如齿轮机构、连杆机构等。专用机构只能用于特定场合,如钟表的擒纵机构。

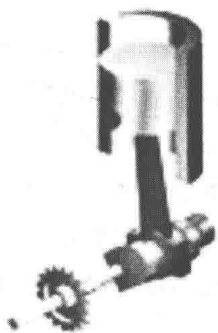


图 1-3 连杆机构

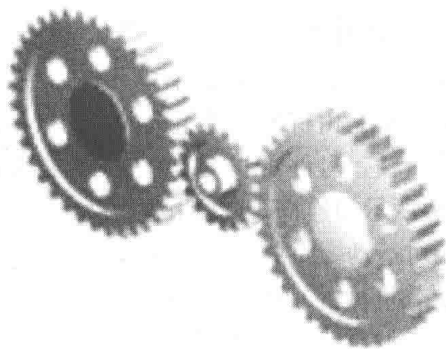


图 1-4 齿轮机构

任何复杂的机器都是由若干组机构按一定规律组合而成的。实际机器的种类有成千上万种，但机构的种类有限。机器与机构的关系类似于化合物与化学元素的关系。

由机器与机构的共有特征可知：机器与机构在结构和运动方面并无区别（仅作用不同），故统称为机械。

二、机械中的构件、零件及部件

1. 构件

构件是具有各自特定运动的运动单元。

机构是由构件组成的，构件在机构中具有独立的运动特性，在机械中形成一个运动整体。图 1-5(a)所示的内燃机是由活塞、连杆、曲轴和汽缸等构件构成的一个典型的曲柄滑块机构，其中，原动件活塞作直线往复运动，通过连杆带动曲轴作连续转动。

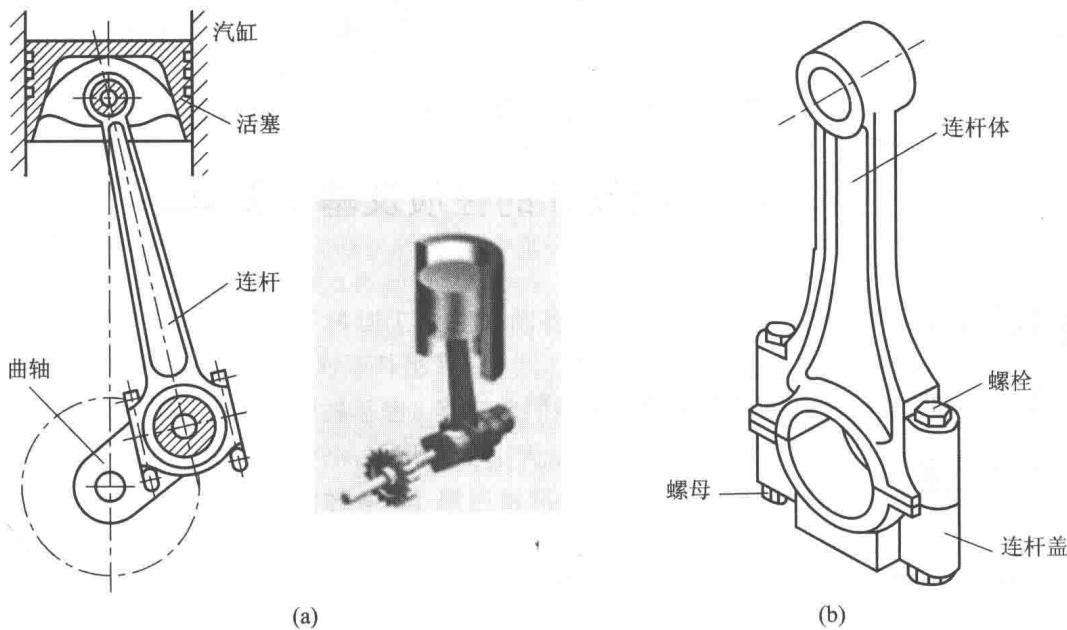


图 1-5 内燃机中的曲柄滑块机构和连杆

2. 零件

1) 零件的概念

零件是机械加工的最小单元体。

机械都是由机械零件组成的。机械零件是指机械中每一个单独加工的单元体,如图1-1所示的曲轴。构件可以是单一的机械零件,也可以是若干机械零件的刚性组合。例如图1-5(b)所示的连杆,它是由连杆体、连杆盖、螺栓和螺母等零件组合而成的。这些零件之间没有相对运动,是一个运动整体,故属一个构件。因此,构件是运动的单元,零件是制造单元。

随着机械的功能和类型日益增多,作为组成机械的最基本单元的零件更是多种多样。通常将机械零件分为通用机械零件和专用机械零件两大类。

2) 零件与构件的关系

一个构件可以是一个零件,也可以是若干个零件的刚性组合体。

3. 部件

1) 部件的概念

部件是为完成同一工作,由若干个零件组成的协同工作组合体,如减速器、主轴箱、车床尾座等。

2) 部件与构件的区别

部件与构件的区别是各组成零件之间有相对运动。

4. 机器、机构、构件和零件的关系

机器、机构、构件和零件的关系如图1-6所示。

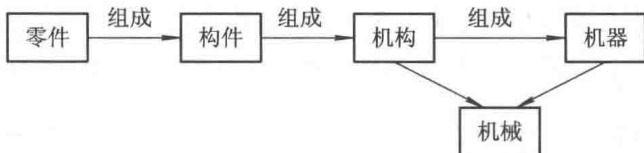


图 1-6 机器、机构、构件和零件的关系

任务二 机械设计的性质及基本要求



任务导入

机械设计的基本要求及一般程序是什么?



任务实施

一、机械设计课程的内容、性质和任务

1. 机械设计课程的内容

(1) 研究各种常用机构和机械传动的结构、工作特点、运动和动力特性及其设计计算

方法;

(2) 从强度、刚度、寿命、结构工艺性和材料选择等方面,研究通用零部件的设计计算方法;

(3) 研究机械零部件的工作能力和计算准则,分析机械零件设计的基本要求和一般步骤。

2. 机械设计课程的性质

本课程是介于基础课程与专业课程之间的主干课程,综合性应用性很强,是培养学生具有一定设计能力的技术基础课程。

3. 机械设计课程的任务

本课程的主要任务是通过课堂学习、习题、课程设计和课程实验、实训等教学环节,使学生达到如下学习目标:

(1) 掌握物体机械运动的一般规律及常用机构的工作原理、运动特性和运动设计的方法。

(2) 掌握构件承载能力的计算方法及通用零部件的原理分析、设计计算方法和选用的基本知识。

(3) 树立正确的设计思想,了解机械设计的一般规律。

(4) 初步具备一般简单机械的维护、改进和设计能力。

(5) 具有运用标准、规范、手册以及查阅有关技术资料的能力。

二、机械设计的基本要求

1. 使用要求

按强度条件设计的零件,当其尺寸和重量都受限制时,应选用强度较高的材料;按刚度条件设计的零件,应选用弹性模量较大的材料;若零件表面接触应力较高(如齿轮),应选用可以进行表面强化处理的材料(如调质钢、渗碳钢)。此外,对容易磨损的零件(如蜗轮),应选用耐磨性好的材料;对滑动摩擦下工作的零件(如滑动轴承),应选用减摩性好的材料;对高温下工作的零件,应选用耐热材料;对腐蚀性介质中工作的零件,应选用耐腐蚀材料。

2. 工艺要求

工艺要求是指选择冷、热加工性能好的材料。零件加工应考虑到零件结构的复杂程度、尺寸大小和毛坯类别。对于外形复杂、尺寸较大的零件,若采用铸造毛坯,则应采用铸造性能好的材料;若采用焊接毛坯,则应选用焊接性能好的低碳钢,因为含碳量超过0.3%的钢难以焊接;对于尺寸较小、外形简单、大量生产的零件,适合冲压或模锻,应选用延展性较好的材料;需要热处理的零件,所选材料应有良好的热处理性能。此外,还要考虑材料的易加工性,包括零件热处理后的易加工性。

3. 经济性要求

经济性是一项综合性的指标,要求零件设计和制造的成本低,生产效率高,能源与材料的消耗少,维护和管理的费用低等。

在机械的成本中,材料费用约占 30% 以上,有的甚至达到 50%,可见选用廉价材料有重大的意义。选用廉价材料,节约原材料,特别是节约贵重材料,是机械设计的一个基本原则。为了使零件最经济地制造出来,不仅要考虑原材料的价格,还要考虑零件制造费用。为此,可采取如下具体措施:

(1) 尽量采用高强度铸铁(如球墨铸铁)来代替钢材,用工程塑料或粉末冶金材料代替有色金属材料。

(2) 采用热处理(包括化学热处理)或表面强化(如喷丸、滚压等)工艺,充分发挥和利用材料潜在的力学性能。

(3) 合理采用表面镀层(如镀铬、镀铜、喷涂减摩层、发黑等)方法,以减少和延缓腐蚀或磨损的速度,延长零件的使用寿命。

(4) 采用组合式零件结构,在零件的工作部分使用贵重材料,其他非直接工作部分则可采用廉价的材料。例如大直径的蜗轮,常采用青铜齿圈和铸铁轮芯的组合式结构,以节约大量的有色金属。

(5) 改善工艺方法,提高材料利用率,降低成本。例如采用冷镦锥齿轮代替齿形刨削加工,实现无切削加工。

(6) 用我国富有元素(锰、硅、硼、钼、钒、钛等)的合金钢代替稀有元素(铬、镍等)的合金钢。在选用材料时,还应注意本国、本地区、本企业的材料供应情况,尽可能就地取材,减少采购和管理费用。

4. 劳动和环境保护要求

在设计机器的时候,应符合劳动保护法规的要求。机器的操作系统要简便、安全和可靠,要有利于减轻操作人员的劳动强度。

5. 其他特殊要求

在设计机器的时候,还应满足某些特殊的要求。如食品机械必须保持清洁,不能污染食品等。

总之,尽量做到结构上可靠,工艺上可能,经济上合理。

三、机械零件设计的一般过程

机械零件是组成机器的基本要素,其设计是机器设计中极其重要且工作量较大的设计环节。设计机械零件的一般步骤如下:

(1) 建立零件的受力模型。根据简化计算方法,确定作用在零件上的载荷。

(2) 根据零件功能的要求选定零件的类型与结构。

(3) 根据零件的工作条件及零件的特殊要求,选择零件材料及热处理方法。

(4) 根据零件的工作情况的分析,判定零件的失效形式,从而确定其设计准则。

(5) 选择零件的主要参数,并根据设计准则计算零件的主要尺寸。

(6) 进行零件的结构设计。这是零件设计中极为重要的设计内容,往往设计工作量较大。

(7) 结构设计完成后,必要时要进行强度校核计算。如果不满足强度的要求,则应修改结构设计。

(8) 绘制零件工作图, 编写计算说明书及有关技术文件。



任务总结

- (1) 明确机器、机构、构件、零件的概念及它们之间的关系。
- (2) 了解机械设计的基本要求及机械零件设计的一般过程。



课后思考

- 1-1 机器与机构具有哪些共同的特征?
- 1-2 机器、机构与机械有什么区别?
- 1-3 机械设计的一般过程通常分哪几个阶段? 各个阶段的主要内容是什么?
- 1-4 机械设计的基本要求应包括哪些方面?
- 1-5 机械零件设计的一般步骤有哪些?

项目二 平面机构分析



项目目标

知识目标

- (1) 掌握四杆机构的基本形式、演化及应用。
- (2) 掌握曲柄存在条件、传动角 γ 、压力角 α 、死点、急回特性、极位夹角和行程速比系数等物理含义, 并熟练掌握其确定方法。
- (3) 掌握按连杆二组位置、三组位置, 连架杆三组对应位置, 行程速比系数设计四杆机构的原理与方法。
- (4) 掌握运动副、运动链与机构的概念及其区别, 运动链自由度的计算及确定成为机构的条件。

能力目标

能绘制机构运动简图, 能够设计铰链四杆机构。

任务一 平面机构的组成及平面机构运动简图绘制



任务导入

掌握图 2-1 中平面机构的组成及其运动简图的绘制。

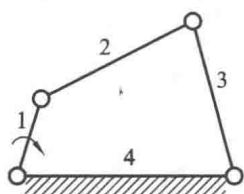


图 2-1 平面机构

任务实施

一、平面机构的组成

平面机构是所有构件都在同一平面或相互平行的平面内运动的机构。机构中的构件只有通过一定的方式相互联接起来，并且满足一定的条件才能传递确定的运动和动力，如图 2-1 所示。

1. 运动副

运动副是两个构件直接接触组成的，能产生某些相对运动的连接。必备的条件是两个构件、直接接触、有相对运动，三个条件，缺一不可。运动副元素中直接接触的部分可以是点、线、面，例如：凸轮、齿轮齿廓、活塞与缸套等，如图 2-2 所示。

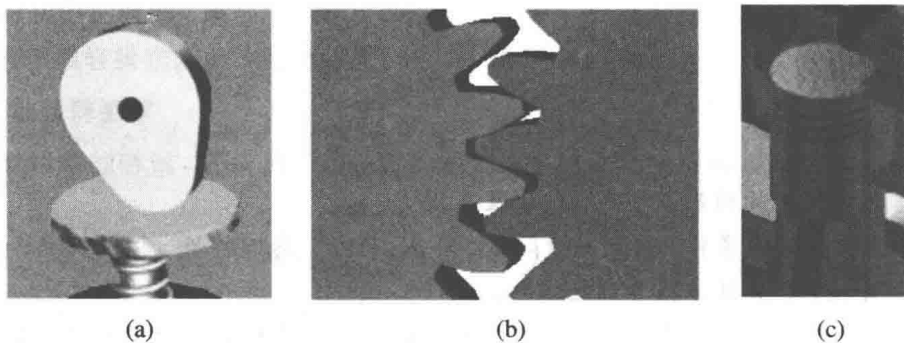


图 2-2 运动副

(a) 凸轮；(b) 齿轮齿廓；(c) 活塞与缸套

2. 运动副的分类

运动副根据两构件之间的相对运动分为平面运动副和空间运动副；根据两构件之间的接触情况分为高副和低副。

1) 高副

两个构件之间通过点或线接触而组成的运动副称为高副。图 2-3(a)所示的是凸轮 1 与从动件 2 通过点接触组成的高副，图 2-3(b)所示的是齿轮 1 和齿轮 2 通过线接触组成的高副。当两个构件组成高副时，构件 1 相对于构件 2 既可沿接触点 A 的公切线 $t-t$ 方向作相对移动，又可在接触点 A 绕垂直于运动平面的轴线作相对转动，即两个构件之间可产生两个独立的相对运动。

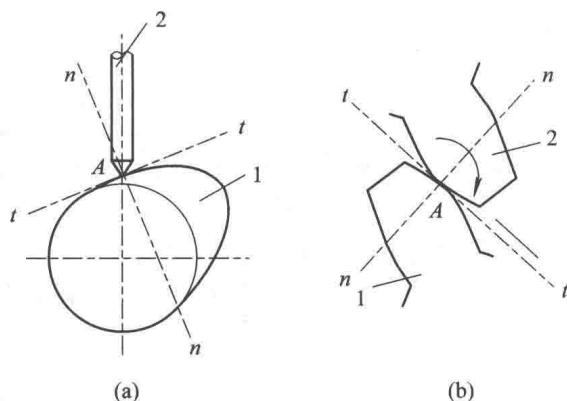


图 2-3 高副

此外, 常有的运动副如球面副(如图 2-4(a)所示), 螺旋副(如图 2-4(b)所示)都是空间运动副。

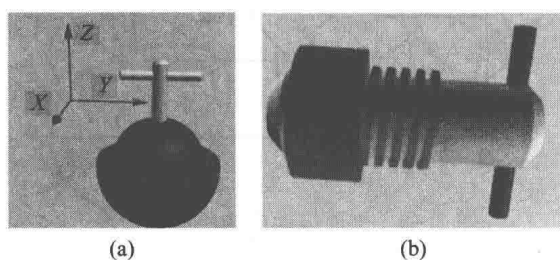


图 2-4 空间运动副
(a) 球面副; (b) 螺旋副

2) 低副

在平面机构中, 两个构件通过面接触而组成的运动副称为低副。

根据两个构件之间的相对运动形式, 低副又可分为转动副和移动副。

若组成运动副的两个构件只能沿某一轴线作相对转动, 则这种运动副称为转动副或回转副, 又称为铰链, 如图 2-5(a)中构件 1 与构件 2 组成的是转动副。

若组成运动副的两个构件只能沿着某一直线作相对移动, 则这种运动副称为移动副, 如图 2-5(b)中构件 1 与构件 2 组成的是移动副。

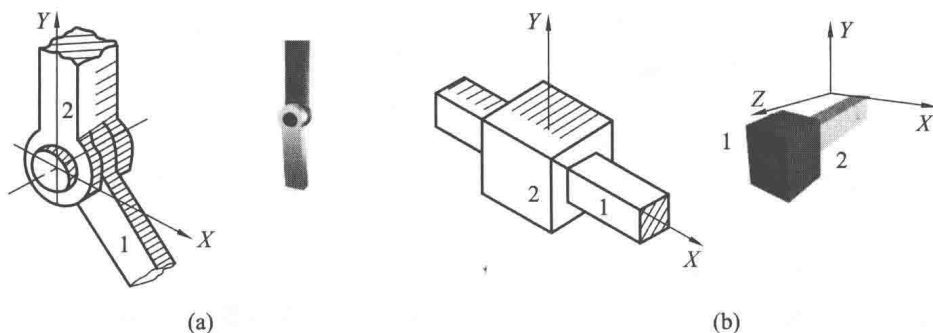


图 2-5 低副

二、平面机构运动简图的绘制

1. 自由度和约束

(1) 自由度。自由度是构件所具有的独立运动的数目(或独立位置参变量)。

在三维空间内自由运动的构件具有六个度。

作平面运动的构件(如图 2-6 所示)则只有三个自由度,这三个自由度可以用三个独立的参数 x 、 y 和角度 θ 表示。质点 A : (x_A, y_A) 具有两个自由度;构件 AB : (x_A, y_A, θ) 具有三个自由度。

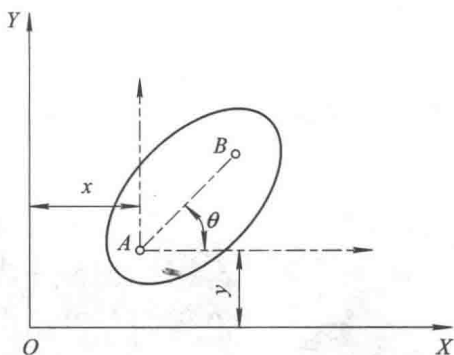


图 2-6 平面运动的构件的自由度

(2) 约束。约束是对构件独立运动所加的限制。每形成一个约束,便减少一个自由度。

2. 运动副简图绘制

(1) 转动副简图绘制,如图 2-7 所示。

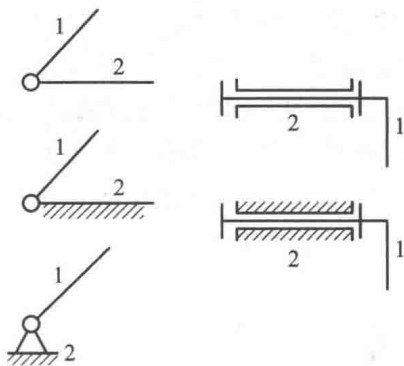


图 2-7 转动副简图绘制

这些转动副引入了两个约束(沿 x 、 y 方向移动),保留了一个自由度(在 xOy 平面内转动)。

(2) 移动副简图绘制,如图 2-8 所示。

这些移动副引入了两个约束(沿 y 方向移动及 xOy 平面内转动),保留了一个自由度(在 x 方向移动)。

结论:面接触的运动副——平面低副引入两个约束,保留一个自由度。