

“SHIERWU” GUIHUAJIAOCAI—JIDIANLEI
“十二五”规划教材·机电类

机械设计基础

主 编 耿玉香 叶 巍 付 强
主 审 郑春禄



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

机械设计基础

主 编 耿玉香 叶 巍 付 强
副主编 齐玉珍 张艳杰 胡凤英
参 编 黄文怡
主 审 郑春禄



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容简介

本书将机械原理、机械零件与工程力学有机地结合在一起。对教学内容精心选择、合理安排。全书共由 14 个项目组成,包括机械设计概论、平面机构分析、平面连杆机构、凸轮机构、间歇机构、螺纹连接、带传动、链传动、轴、齿轮传动、蜗杆传动、齿轮系、轴承和其他常用零部件等。各项目配有一定数量的思考题和习题供学习时使用。前后排序符合学生认知规律,从简单到复杂,从单一到综合排列,引入工程实例,增强生产情境,涵盖了机构、机械传动、机械零件等机械设计的基本知识。本书适用于高职高专制造类专业,也可用于中等职业学校机械类专业和相关职工培训的教材或教参。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/耿玉香,叶巍,付强主编. —西安:
西安交通大学出版社, 2014.9
ISBN 978-7-5605-6718-1

I. ①机… II. ①耿… ②叶… ③付… III. ①机械设
计 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 201515 号

书 名	机械设计基础
主 编	耿玉香 叶巍 付强
责任编辑	季苏平

出版发行	西安交通大学出版社
	(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址	http://www.xjtpress.com
电 话	(029) 82668315 (029) 82669096 (总编办)
传 真	(029) 82668280
印 刷	北京市龙展印刷有限公司

开 本	787mm×1092mm	1/16	印 张	18.875	字 数	470 千字
版次印次	2014 年 9 月第 1 版 2014 年 9 月 1 第 1 次印刷					
书 号	ISBN 978-7-5605-6718-1/TH·105					
定 价	42.00 元					

图书如有印装质量问题,请与印厂联系调换。电话:(010) 89565588
投稿热线:(029) 86224954
读者信箱:jdjgy@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

序 言

本书为适应高等职业技术教育的项目化课程改革而编写，以满足制造类专业机械设计基础课程进行基于工作过程改革的需要。通过项目化教材推进高等职业技术教育改革进程，提高高端技能型人才的培养质量。

机械设计基础是制造类专业开设的一门技术基础课程。本课程担当着培养学生基本工程能力的重要任务，是实践性很强的课程。教学目的是培养学生的机构、机械传动、机械零件等机械设计的基本知识及分析工程问题的基本方法，为学习后续课程和从事机械设计与制造、数控技术、机电一体化技术、车辆技术等相关岗位的工作奠定必要的基础。此外，在素质教育方面，还担当着培养学生严肃认真、一丝不苟工作作风的任务，在高等职业教育中，对培养应用型、技能型人才具有重要的作用。

本书将机械原理、机械零件与工程力学有机地结合在一起。对教学内容精心选择、合理安排。全书共由 14 个项目组成，包括机械设计概论、平面机构分析、平面连杆机构、凸轮机构、间歇机构、螺纹连接、带传动、链传动、轴、齿轮传动、蜗杆传动、齿轮系、轴承和其他常用零部件等。各项目配有一定数量的思考题和习题供学习时使用。前后排序符合学生认知规律，从简单到复杂，从单一到综合排列，引入工程实例，增强生产情境，涵盖了机构、机械传动、机械零件等机械设计的基本知识。

本教材适用于高职高专制造类专业，也可用于中等职业学校机械类专业和职工培训的教材或教参。

本书由沧州职业技术学院耿玉香教授、沧州职业技术学院叶巍、辽宁省交通高等专科学校付强主编，沧州职业技术学院齐玉珍、张艳杰、马鞍山职业技术学院胡凤英任副主编，黑龙江八一农垦大学黄文怡参加了编写。本书由沧州职业技术学院郑春禄教授主审。由于水平有限，书中难免有缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

2014 年 5 月

目 录

项目 1 机械设计概论	(1)
1.1 机器的组成及特征	(1)
1.2 本课程的内容、性质和任务	(2)
1.3 学习方法	(2)
1.4 机械设计的基本要求	(2)
1.5 机械设计的内容与步骤	(3)
1.6 机械零件的失效分析及设计计算准则	(5)
1.7 机械零件设计的标准化、系列化及通用化	(6)
习题	(6)
项目 2 平面机构分析	(7)
2.1 平面机构的组成	(7)
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)
项目 3 平面连杆机构	(18)
3.1 刚体的基本运动	(18)
3.2 点的合成运动	(22)
3.3 刚体的平面运动	(25)
3.4 平面连杆机构	(28)
3.5 平面连杆机构的类型及转化	(30)
3.6 平面四杆机构的基本特性	(38)
3.7 平面四杆机构的设计	(42)
3.8 平面连杆机构的静力学	(45)
3.9 力矩与力偶	(47)
3.10 约束与约束反力	(49)
3.11 物体的受力图	(52)
3.12 平面任意力系向一点简化	(54)
3.13 杆件的轴向拉伸与压缩	(57)
3.14 压杆稳定	(64)
习题	(70)
项目 4 凸轮机构	(76)
4.1 概 述	(76)
4.2 常用的从动件运动规律	(78)
4.3 盘形凸轮轮廓设计	(82)
4.4 凸轮机构基本尺寸的确定	(84)

习题	(86)
项目 5 间歇运动机构	(88)
5.1 棘轮机构	(88)
5.2 槽轮机构	(91)
习题	(93)
项目 6 螺纹连接	(95)
6.1 摩擦	(95)
6.2 螺纹连接的基本知识	(98)
6.3 螺纹连接的预紧与防松	(103)
6.4 螺栓组连接的结构设计	(105)
习题	(108)
项目 7 带传动	(110)
7.1 概述	(110)
7.2 V 带的标准及带轮的结构	(112)
7.3 带传动的工作原理	(114)
7.4 普通 V 带传动设计	(118)
习题	(125)
项目 8 链传动	(126)
8.1 链传动的特点、类型与应用	(126)
8.2 滚子链	(127)
8.3 链传动的运动特性	(131)
8.4 滚子链传动的失效形式	(132)
8.5 链传动的布置、张紧及润滑	(133)
习题	(135)
项目 9 轴	(136)
9.1 圆轴扭转	(136)
9.2 弯曲	(141)
9.3 组合变形	(150)
9.4 轴的分类和材料	(152)
9.5 轴的结构设计	(154)
9.6 轴的强度计算	(160)
9.7 轴的设计	(162)
思考题	(163)
习题	(164)
项目 10 齿轮传动	(165)
10.1 齿轮传动的特点和类型	(165)
10.2 齿廓啮合基本定律	(167)
10.3 渐开线齿轮的齿廓及其传动比	(168)
10.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的主要参数和几何尺寸	(170)

10.5	渐开线标准直齿齿轮的啮合传动	(173)
10.6	渐开线齿轮的加工方法及根切现象	(178)
10.7	变位齿轮传动	(181)
10.8	轮齿常见的失效形式和设计准则	(184)
10.9	轮齿的常用材料及其选择原则	(186)
10.10	渐开线标准直齿圆柱齿轮传动的设计	(188)
10.11	平行轴斜齿圆柱齿轮传动	(196)
10.12	直齿圆锥齿轮传动	(202)
10.13	齿轮的结构设计及齿轮传动的润滑	(207)
10.14	标准齿轮传动的设计计算	(211)
	思考题	(213)
	习题	(214)
项目 11	蜗杆传动	(215)
11.1	蜗杆传动的类型和特点	(215)
11.2	蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	(216)
11.3	蜗杆传动的失效形式、材料和结构	(220)
11.4	蜗杆传动的强度计算	(222)
11.5	蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	(225)
11.6	普通圆柱蜗杆传动的安装与维护	(229)
	思考题	(230)
	习题	(231)
项目 12	齿轮系	(233)
12.1	齿轮系的分类	(233)
12.2	定轴齿轮系传动比的计算	(234)
12.3	行星齿轮系传动比的计算	(236)
12.4	齿轮系的应用	(239)
12.5	减速器	(241)
	习题	(243)
项目 13	轴承	(245)
13.1	滑动轴承	(245)
13.2	滑动轴承的结构和材料	(245)
13.3	滑动轴承的润滑	(248)
13.4	滚动轴承的构造、类型及特点	(251)
13.5	滚动轴承的代号及类型选择	(255)
13.6	滚动轴承的工作情况分析 & 计算	(257)
13.7	滚动轴承的组合设计	(265)
13.8	滚动轴承的维护和使用	(270)
13.9	滚动轴承与滑动轴承的比较	(273)
	思考题	(275)

习题	(276)
项目 14 其他常用零、部件	(277)
14.1 剪切与挤压的实用计算	(277)
14.2 联轴器的类型与应用	(278)
14.3 离合器的类型与应用	(283)
14.4 弹簧	(286)
14.5 键连接	(286)
14.6 销连接	(292)
思考题	(293)
参考文献	(294)

项目 1 机械设计概论

1.1 机器的组成及特征

人类通过长期的生产实践,创造和发展了机器。在日常生活中,常见的机器有自行车、缝纫机、洗衣机、搅面机等;在生产活动中,常见的机器有汽车、拖拉机、各种机床、内燃机等。

机器的类型很多,用途也各不相同,但仔细分析,可以发现它们都有共同的特征。

例如图 1-1 所示的搅面机,它是由曲柄 2、搅面棒(连杆)3、摇杆 4 和机架 1 组成的,当曲柄转动时,搅面棒上 E 点处便能模仿人手搅面,同时容器 5 绕 z 轴转动,从而将面粉搅拌均匀。

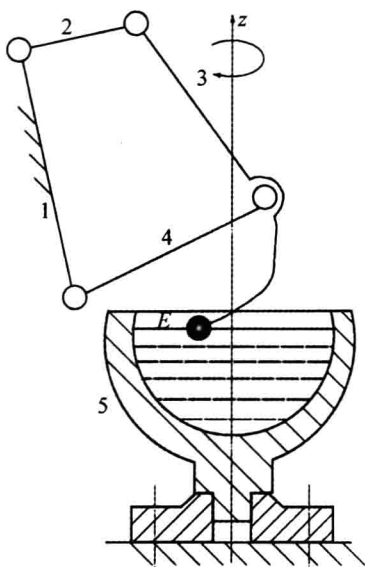


图 1-1 搅面机

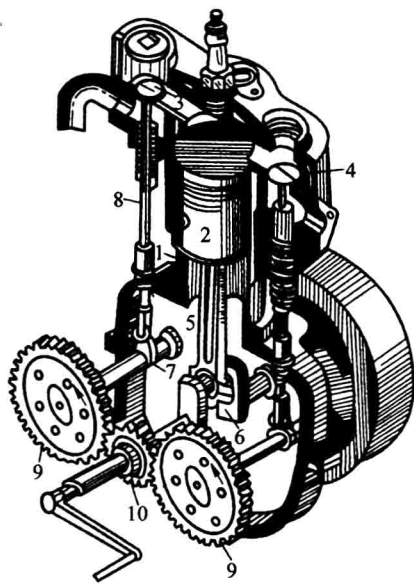


图 1-2 单缸内燃机

又如图 1-2 所示为单缸内燃机,它由气缸体 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。通过燃气在气缸内的进气—压缩—做功—排气过程,使其燃烧的热能转变为曲柄转动的机械能。

由以上两个实例可以说明,机器具有三个共同特征:

(1)它们都是人为的各个实物的组合。

(2)各个实物之间具有确定的相对运动。

(3)它们都能代替或减轻人类的劳动,去完成机械功(如搅面机搅面)或转换机械能(如内燃机将热能转换为机械能)。

机构具有机器的前两个特征,但不具有第三个特征,若不讨论做机械功或转换机械能方面的问题,机器便可看作机构。这时,搅面机称为连杆机构;内燃机的主体部分也称为连杆机构,进排气控制部分称为凸轮机构,传动部分称为齿轮机构,整个内燃机就是由这几个基本机构组成的。

由于机器和机构在组成和运动方面是相同的,所以习惯上把机器和机构统称为机械。

常用机构有连杆机构、凸轮机构、齿轮机构等。

1.2 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:

(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,是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。

1.3 学习方法

本课程是从理论性、系统性很强的基础课和专业基础课向实践性较强的专业课过渡的一个重要转折点。因此,学生学习本课程时必须在学习方法上有所转变,应注意以下几个特点:

(1)本课程将多门先修课程的基本理论应用到实际中去,解决有关实际问题,因此,先修课程的掌握程度直接影响到本课程的学习。

(2)学生一接触本课程就会产生“没有系统性”、“逻辑性差”等错觉,这是由于学生习惯了基础课的系统性所造成的。本课程中,虽然不同研究对象所涉及的理论基础不相同,且相互之间无多大关系,但最终的研究目的只有一个,即设计出能应用的机构、零件等。本课程的各部分都是按照工作原理、结构、强度计算、使用维护的顺序介绍的,有其自身的系统性,学习时应注意这一特点。

1.4 机械设计的基本要求

1.4.1 设计机械零件的基本要求

零件工作可靠并且成本低廉是设计机械零件应满足的基本要求。

零件的工作能力是指在一定的工作条件下抵抗可能出现的失效的能力,对载荷而言称为承载能力。

成本低廉需要注意以下几点:

(1)合理选择材料,降低材料费用。

(2)保证良好的工艺性,减少制造费用。

(3)尽量采用标准化、通用化设计,简化设计过程,从而降低成本。

1.4.2 设计机械的基本要求

(1)实现预定功能。

(2)满足可靠性要求。

(3)满足经济性要求。

(4)操作方便、工作安全。

(5)造型美观、减少污染。

满足可靠性要求:机械产品的可靠性是由组成机械的零部件的可靠性保证的。只有零部件的可靠性高,才能使系统的可靠性高。机械系统的零部件越多,其可靠度越低。为此,要尽量减少机械系统的零件数目,并对系统可靠性有关键影响的零件,必须保证其必要的可靠性。

满足经济性要求:设计的机械产品应先进,功能强,生产效率高,成本低,使用维护方便,在产品寿命周期内用最低的成本实现产品的预定功能。

确保安全性要求:要能保证操作者的安全和机械设备的安全,以及保证设备对周围环境无危害,要设置过载保护、安全互锁等装置。

推行标准化要求:设计的机械产品规格、参数符合国家标准,零部件应最大限度地与同类产品互换通用,产品应成系列发展,推行标准化、系列化、通用化,提高标准化程度和水平。

体现工艺造型美观要求:重视产品的工艺造型设计,不仅要功能强、价格低,而且外型美观、实用,使产品在市场上富有竞争力。

1.5 机械设计的内容与步骤

1.5.1 机械设计的内容

机械设计常规方法可分为理论设计、经验设计和模型设计。

1.5.2 机械设计的步骤

机械设计的过程可分为以下几个阶段:

1. 产品规划

产品规划的主要工作是提出设计任务和明确设计要求,这是机械产品设计首先需要解决的问题。通常是根据生产和市场需求提出的。此时,对所要设计的机械只是个模糊的概念。图 1-3 所示是这一阶段的任务。

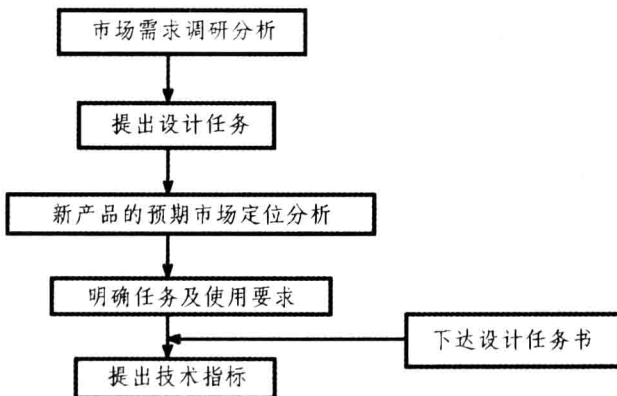


图 1-3 产品规划流程图

2. 方案设计阶段

方案设计包括机械系统总体方案设计、传动系统方案设计、控制系统方案设计和辅助系统设计。在满足设计任务书中具体要求的前提下,由设计人员构思出多种可行方案并进行分析比较,从中优先选出一种功能满足要求、工作性能可靠、结构设计可行以及成本低廉的方案。图 1-4 所示为这一阶段的任务。

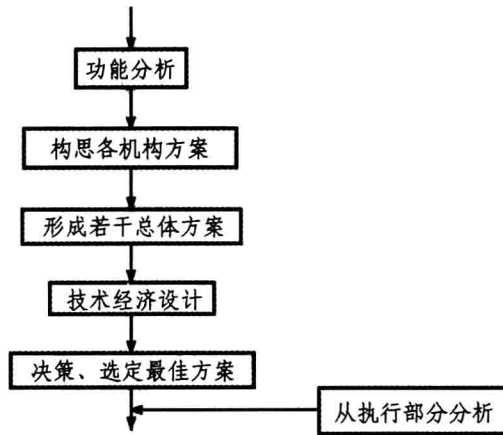


图 1-4 方案设计流程图

3. 技术设计阶段

机械的结构和技术设计是根据机构运动简图提出合理的结构设计方案，进行产品的总体结构设计、部件和零件设计及绘制全部生产图纸，编制设计计算说明书、机械使用说明书、标准件明细表等技术文件。图 1-5 是这一阶段的任务。

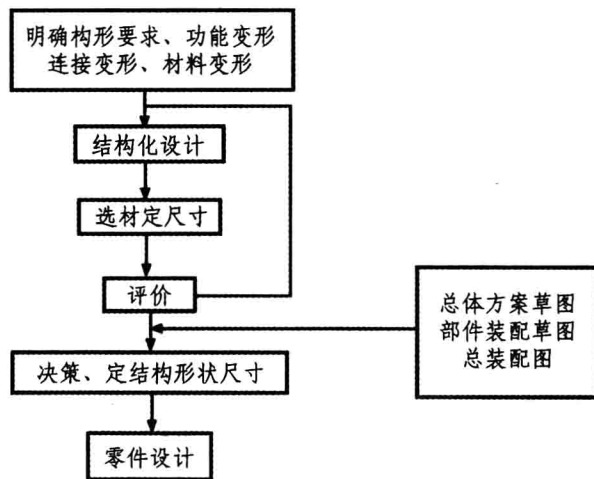


图 1-5 技术设计流程图

4. 施工、设计、文件编制

在完成产品基本设计的基础上，根据设计任务书，拟定评价标准和指标体系，对设计方案进行评估、审查、决策，以进一步改进和完善设计，提高产品的实用性、可靠性和经济性。图 1-6 是这一阶段的任务。

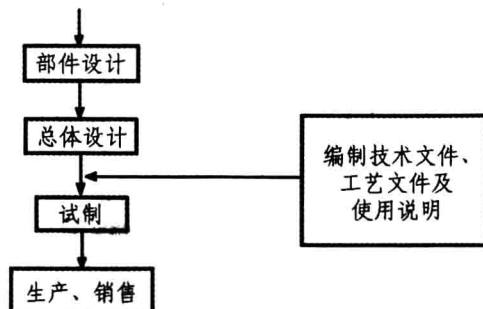


图 1-6 施工、设计、文件编制流程图

1.6 机械零件的失效分析及设计计算准则

零件不能正常工作的原因是什么?

表明机械零件工作能力的因素有哪些? 满足机械零件使用功能要求的计算准则包含了哪些内容? 请你和我们一起来分析一下。

机械零件丧失预定功能或预定功能指标降低至许用值以下的现象,称为机械零件的失效。强度不够所引起的破坏是最常见的零件失效形式,但不是零件失效的唯一形式。设计零件所依据的计算准则是与零件的失效形式紧密联系在一起,针对不同的失效形式,提出不同的计算准则。

1.6.1 失效分析

机械零件最常见的失效形式大致有以下几种。

1) 磨损

相对运动的零件表面因摩擦的存在,而导致零件表面材料的逐渐丧失。

2) 表面压溃

零件表面质量不高或硬度不够时,在外载荷作用下出现的碎裂现象称为表面压溃。

3) 塑性变形

零件上的应力超过了材料的屈服极限时,零件会发生塑性变形。

4) 打滑

靠表面摩擦力保持工作能力的带传动,当传递的有效圆周力超过临界摩擦力时,就将发生打滑失效。

5) 疲劳点蚀

作用在零件上的脉动循环变应力超过其接触疲劳极限时,出现疲劳裂纹。裂纹逐渐扩大,使表面金属小片剥落,形成疲劳点蚀。

6) 胶合

两相对运动的零件在高速重载的作用下,常因接触区温升过高而使润滑油失效,使两零件直接接触,以至局部相互粘结,又被撕裂的现象称为胶合。

7) 断裂

零件在外载荷作用下,某一危险截面上的应力超过零件的强度极限时会发生断裂。零件在循环变应力作用下,危险截面上的应力超过零件的疲劳强度时会产生疲劳断裂。

8) 振动失效

高速运转的零件,当其转速等于或接近零件的自振频率时,会发生共振,使振幅急剧增大,导致零件及系统在短时期破坏。

9) 过量弹性变形

零件在载荷作用下产生的弹性变形超过了机器工作性能允许的极限值时,会使机器的工作精度降低,以至不能正常工作。

1.6.2 设计计算准则

零件抵抗失效的安全工作限度称为零件的工作能力。在实际工作中,同一种零件可能有几种不同的失效形式,对应于各种失效形式,就会有不同的工作能力。根据不同失效原因

建立起来的工作能力判定条件,称为零件的设计计算准则。主要包括以下几种:

(1)强度准则。强度是指零件在载荷作用下抵抗断裂、塑性变形及表面失效的能力。强度的判定准则:零件在危险截面处的最大应力不应超过允许的限度。

(2)刚度计算准则。刚度是指零件受载后抵抗弹性变形的能力。刚度计算准则:零件在载荷作用下产生的弹性变形量应小于或等于机器工作性能允许的极限值。

(3)耐磨准则。设计时应使零件的磨损量在预定限度内,不超过允许量。

(4)散热性准则。根据热平衡条件,工作温度不应超过许用工作温度。

(5)可靠性准则。零件的可靠度用零件在规定的使用条件下,在规定的时间内能正常工作的概率来表示,即用在规定的寿命时间内连续工作的件数占总件数的百分比表示。如有 N_T 个零件在预期寿命内只有 N_s 个零件能连续正常工作,则其系统的可靠度为 $R = N_s/N_T$ 。

1.7 机械零件设计的标准化、系列化及通用化

按规定标准生产的零件称为标准件。标准化给机械制造带来的好处如下:

(1)能以最先进的方法在专门化工厂中,对那些用途最广的零件进行大量的集中的制造,以提高质量,降低成本。

(2)统一了材料和零件的性能指标,使其能够进行比较,并提高了零件性能的可靠性。

(3)采用了标准结构及零部件,可以简化设计工作,缩短设计周期,提高设计质量。另外,也同时简化了机器的维修工作。

通用化是指在不同规格的同类产品或不同类产品中采用同一结构和尺寸的零部件,以减少零部件的种类,简化生产管理过程,降低成本和缩短生产周期。



习 题

- 1-1 机械设计的基本要求是什么?
- 1-2 简述机械设计的内容与步骤。
- 1-3 机械零件的失效形式是什么?
- 1-4 何谓机械零件设计的标准化、系列化及通用化?

项目 2 平面机构分析

2.1 平面机构的组成

2.1.1 运动副

使两个构件直接接触并能产生一定相对运动的连接称为运动副。例如，轴承中的滚动体与内外圈的滚道、滑块与导槽，如图 2-1(a)、(b)所示。它们之间既保持了直接接触，又能产生一定的相对运动，因此都构成了运动副。

1. 低副

两构件通过面接触组成的运动副称为低副。根据低副构件间相对运动的形式不同，又分为转动副和移动副。

(1) 转动副：若组成运动副的两个构件只能在一个平面内做相对转动，则称为转动副，也称铰链。如图 2-2 所示，构件 1 与构件 2 圆柱面接触，构件 1(或 2)可相对构件 2(或 1)转动，两者组成转动副。两构件中如有一个构件固定不动，则称为固定铰链，如图 2-2(a)所示；二者均能转动，则称为活动铰链，如图 2-2(b)所示。

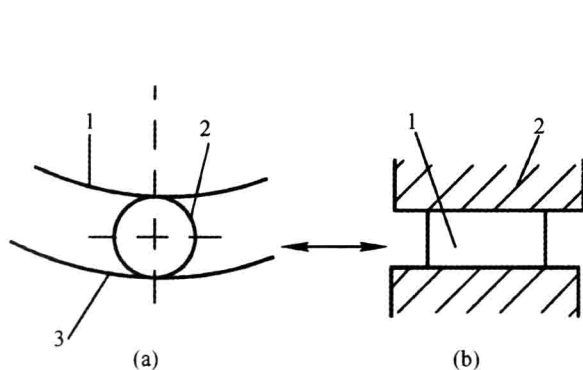


图 2-1 运动副

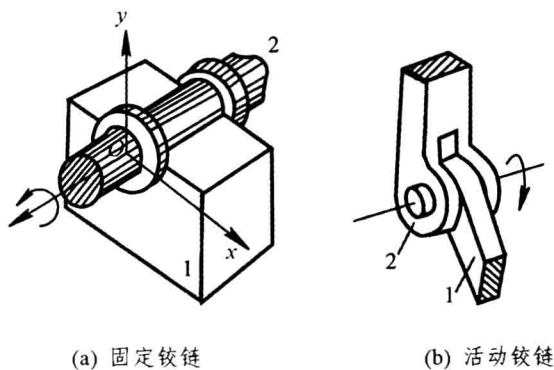


图 2-2 转动副

(2) 移动副：若组成运动副的两个构件只能沿轴线相对移动，则称为移动副。如图 2-3 所示，构件 1 和构件 2 以棱柱面接触，构件 1 可相对构件 2 沿轴线移动，两者组成移动副。

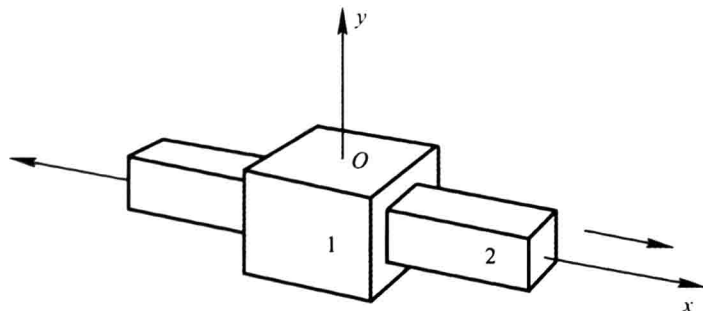


图 2-3 移动副

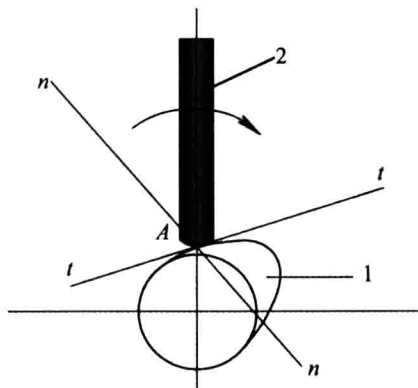


图 2-4 高副

2. 高副

两构件通过点、线接触所构成的运动副称为高副。如图 2-4 中的凸轮 1 与顶杆 2，两构件间的相对运动为接触处切线 $t-t$ 方向的相对移动和在平面内的相对转动。构件 1 与构件 2 在直接接触处组成高副。

2.1.2 运动链

两个以上构件以运动副连接而成的系统称为运动链。若组成运动链的各构件形成首尾封闭的系统，则称为封闭运动链，简称闭链，如图 2-5(a)、(b) 所示；若组成运动链的各构件未形成首尾封闭的系统，则称为开式运动链，简称开链，如图 2-5(c) 所示。

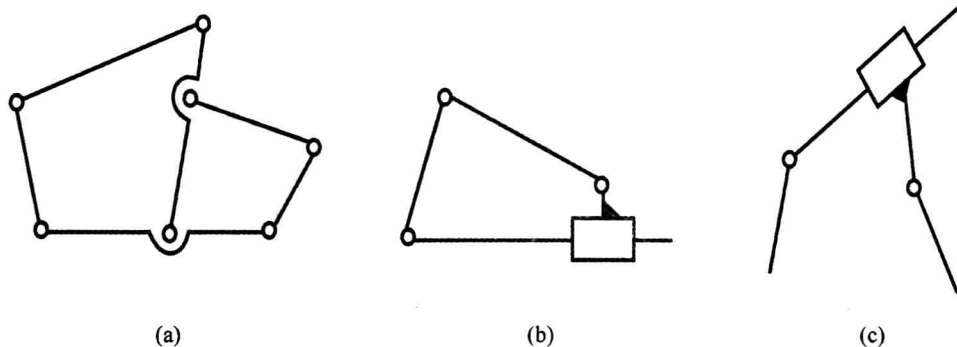


图 2-5 运动链

2.1.3 机构的组成

在运动链中，若将某一构件加以固定，且当一个或几个可动构件按照给定的规律独立运动时，其余构件也随之做一定的运动，这种运动链称为机构。

机构中固定不动的构件称为机架，它用来支承机构中的可动构件。按照给定的运动规律独立运动的构件称为原动件或主动件，它是机构中输入运动或动力的构件，又称为输入构件。其余的可动构件则称为从动件。由此可见，机构是由原动件、从动件和机架三部分组成的。

2.2 平面机构运动简图

2.2.1 平面机构的表示方法

1. 运动副的表示方法

1) 转动副

两构件组成转动副的表示方法如图 2-6 所示。圆圈用来表示转动副，其圆心代表相对转动轴线。若组成转动副的两个构件都是活动件，则用图 2-6(a) 表示；若其中一个为机架，则在代表机架的构件上加上斜线，如图 2-6(b)、(c) 所示。

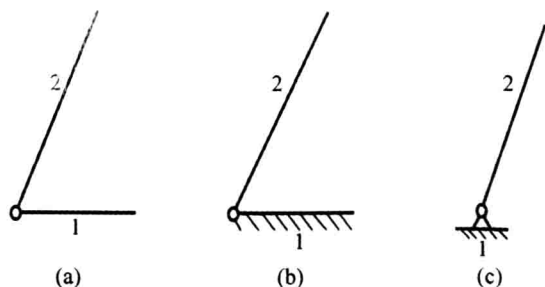


图 2-6 转动副的表示方法

2) 移动副

两构件组成移动副的表示方法如图 2-7 所示。移动副的导路必须与相对移动方向一致。

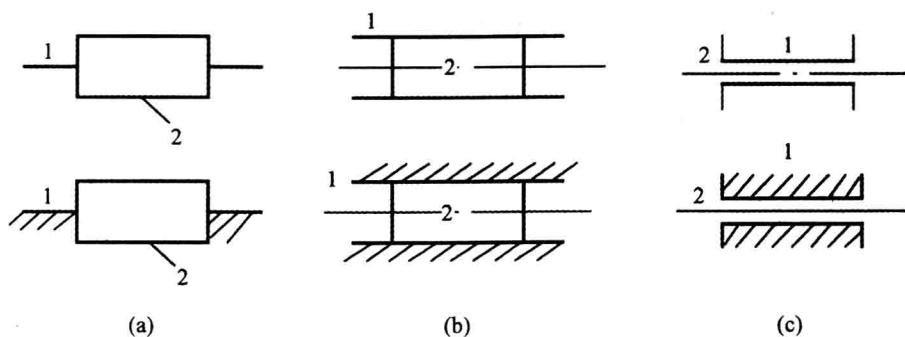


图 2-7 移动副的表示方法

3) 平面高副

两构件组成高副的表示方法如图 2-8 所示。其运动简图中应画出两构件接触处的曲线轮廓。

2. 构件的表示方法

构件的表示方法如图 2-9 所示。构件可用直线、三角形或方块等图形表示。图 2-9(a) 表示参与组成两个转动副的构件；图 2-9(b) 表示参与组成一个转动副和一个移动副的构件；图 2-9(c) 表示参与组成三个转动副的构件，它一般用三角形表示，在三角形内加剖面线或在三个内角上涂上焊缝标记，表明三角形为一个构件；若三个转动副在同一直线上，则可用跨越半圆符号来连接直线，如图 2-9(d) 所示。

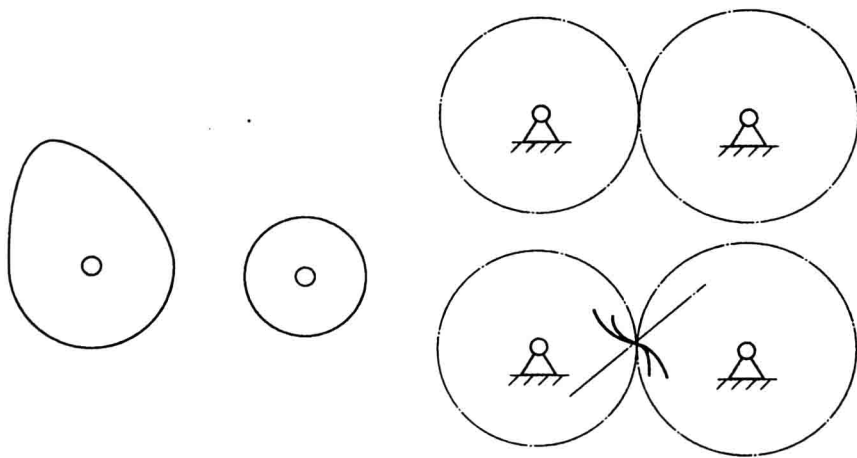


图 2-8 高副的表示方法

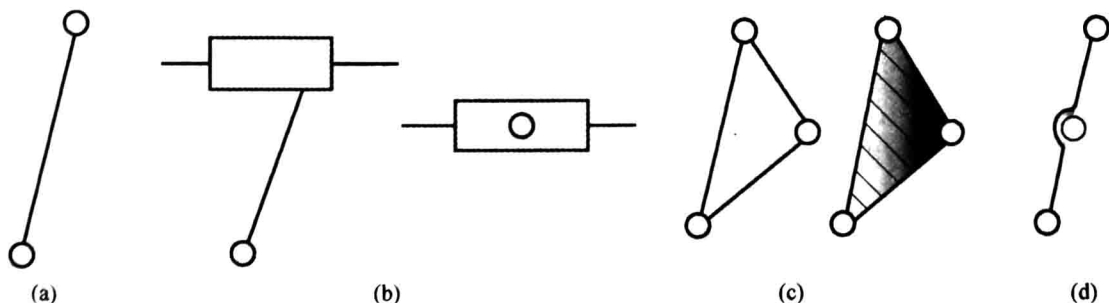


图 2-9 构件的表示法