



普通高等学校机械基础课程规划教材

机械设计基础

● 主 编 王莉静 李从清



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

普通高等学校机械基础课程规划教材

机械设计基础

主 编 王莉静 李从清
副主编 张玲莉 李建军 陈远华
田东红 侯妍妍

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书是根据高等院校人才培养目标、教育部制定的机械设计基础课程教学基本要求和最新国家标准,并总结多年的教学经验和教改实践经验编写而成的。

全书共分15章,较详尽地介绍了机械设计常用的基础知识,内容包括:① 常用机构的类型、特点、功用及其在实践中的应用,常用机构设计的基本知识及其运动学与力学特性的分析方法;② 常用机械零件设计的基本知识及选用原则;③ 机械系统设计方案。各章配有相应的例题、思考与练习题,主体围绕减速器设计。与本书配套的《机械设计基础课程设计指导书(第二版)》(张玲莉主编)已由华中科技大学出版社出版。为了方便教学,本书还配有免费电子教案,如有需要,可以和华中科技大学出版社联系(联系电话:027-87544529;电子邮箱:171447782@qq.com)。

本书可作为高等工科院校近机类各专业“机械设计基础”课程的教材,也可供有关专业的教师、学生和工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/王莉静,李从清主编. —武汉:华中科技大学出版社,2015.10
普通高等学校机械基础课程规划教材
ISBN 978-7-5680-1318-5

I. ①机… II. ①王… ②李… III. ①机械设计-高等学校-教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第253777号

机械设计基础

王莉静 李从清 主编

Jixie Sheji Jichu

策划编辑:万亚军

责任编辑:刘 飞

封面设计:原色设计

责任校对:李 琴

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321913

录 排:武汉三月禾文化传播有限公司

印 刷:武汉市籍缘印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:15.25

字 数:384千字

版 次:2016年1月第1版第1次印刷

定 价:29.80元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

“机械设计基础”是近机类和非机类各工程专业的专业基础课程。为了适应培养 21 世纪应用型工程技术人才的需要,更好地为工程应用服务,编者在十几年理论教学和实践教学经验的基础上,结合国内外优秀同类教材内容,以及机械工程领域不断涌现的新知识、新技术和新应用,编写了本书。

本书的特点体现在如下几个方面。

(1) 理论教学与实践教学并行。

根据教育部制定的《高等学校本科机械基础课程教学基本要求》,为满足企业对机械工程师,以及学科、教学和社会等方面的要求,本书在体系和章节内容上作了精心编排,内容力求与实践课程(机械设计基础课程设计)同步展开,以更加有利于培养学生分析问题和进行机械设计的能力。

(2) 精简内容。

删减一些文字,简化一些公式,达到削枝固杆的目的。整体把握机械系统,以机械设计基本理论和方法,常见机构和典型机械传动设计为出发点,着重介绍了通用零部件的设计和计算与常见机构的运动分析和设计,以期达到用较少学时学完机械设计基础知识的目的。

(3) 注重创新。

在结构上和内容上体现思想性、科学性和先进性,与工程实践联系密切,应用实例丰富。同时反映机械工程领域不断涌现的新知识、新技术和新应用。

(4) 适用面广。

本书适用面广,可以适用于 32 学时、48 学时和 66 学时不同专业要求的学生学习。教师可以根据要求进行内容取舍。

此外,为了便于教学和学生学学习,在每一章中附有一定量的例题和习题。本书还有配套的《机械设计基础课程设计指导书(第二版)》(张玲莉主编),该书已由华中科技大学出版社出版。本书还配有免费电子教案,如有需要,可以和华中科技大学出版社联系(联系电话:027-87544529;电子邮箱:171447782@qq.com)。

参加本书编写工作的是天津城建大学控制与机械工程学院机械设计制造及自动化系的教师,他们都具有丰富的理论教学和实践教学经验。本书由王莉静、李从清任主编,张玲莉、李建军、陈远华、田东红、侯妍妍任副主编。王莉静负责统稿并编写绪论、第 6 章、第 12~14 章和附录,李从清负责全书审查并编写第 7 章,张玲莉编写第 1 章、第 2 章,李建军编写第 5 章、第 15 章,陈远华编写第 4 章,田东红编写第 8 章、第 10 章、第 11 章,侯妍妍编写第 3 章、第 9 章。

本书的编写得到了华中科技大学出版社的大力支持,对此表示感谢。
限于水平,书中难免会出现错误和不当之处,欢迎读者批评指正。

编 者

2015年9月

目 录

绪论	(1)
0.1 本课程的研究对象和内容	(1)
0.2 机械设计的基本要求和一般程序	(3)
0.3 机械零件的主要失效形式与设计准则	(4)
思考与练习题	(6)
第 1 章 平面机构的结构分析	(7)
1.1 平面机构的组成	(7)
1.2 平面机构运动简图	(9)
1.3 平面机构的自由度	(13)
1.4 平面机构的速度分析	(17)
思考与练习题	(20)
第 2 章 平面连杆机构	(23)
2.1 平面四杆机构的基本类型及其演化	(23)
2.2 平面四杆机构的工作特性	(31)
2.3 平面四杆机构的设计	(35)
思考与练习题	(37)
第 3 章 凸轮机构	(39)
3.1 凸轮机构的应用与类型	(39)
3.2 从动件基本运动规律	(41)
3.3 凸轮机构压力角及基本尺寸的确定	(45)
3.4 图解法设计凸轮轮廓	(46)
思考与练习题	(48)
第 4 章 齿轮机构	(50)
4.1 概述	(50)
4.2 齿廓啮合基本定律	(51)
4.3 渐开线齿廓	(52)
4.4 渐开线标准齿轮的基本参数、标准和几何尺寸	(54)
4.5 渐开线标准齿轮的啮合	(57)
4.6 渐开线齿轮的加工方法和根切现象	(59)
4.7 平行轴斜齿轮机构	(62)
4.8 锥齿轮机构	(66)
思考与练习题	(69)

第 5 章 轮系	(70)
5.1 轮系的类型	(70)
5.2 定轴轮系传动比	(71)
5.3 周转轮系传动比	(74)
5.4 复合轮系传动比	(76)
5.5 轮系的应用	(78)
思考与练习题	(81)
第 6 章 间歇运动机构	(83)
6.1 棘轮机构	(83)
6.2 槽轮机构	(85)
6.3 不完全齿轮机构	(86)
6.4 凸轮式间歇运动机构	(87)
思考与练习题	(88)
第 7 章 齿轮传动	(89)
7.1 齿轮的失效形式	(89)
7.2 齿轮材料及其热处理	(90)
7.3 齿轮传动精度	(92)
7.4 直齿圆柱齿轮传动的计算载荷	(93)
7.5 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	(94)
7.6 斜齿圆柱齿轮传动	(99)
7.7 直齿锥齿轮传动	(102)
7.8 齿轮结构设计	(104)
7.9 齿轮传动的效率和润滑	(106)
思考与练习题	(107)
第 8 章 连接	(109)
8.1 螺纹参数	(109)
8.2 常用螺纹的特性及其应用	(111)
8.3 螺纹连接类型及其预紧和防松	(113)
8.4 螺栓连接的强度计算	(118)
8.5 提高螺栓连接强度的措施	(123)
8.6 键连接	(125)
8.7 销连接	(130)
思考与练习题	(131)
第 9 章 蜗杆传动	(133)
9.1 蜗杆传动的类型及特点	(133)
9.2 圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	(135)
9.3 蜗杆传动的失效形式、材料和结构	(138)
9.4 圆柱蜗杆传动的受力分析	(140)
9.5 圆柱蜗杆传动的强度计算	(140)
9.6 蜗杆传动的效率和热平衡	(143)

思考与练习题	(146)
第 10 章 带传动	(148)
10.1 带传动概述	(148)
10.2 带传动的工作情况分析	(151)
10.3 V 带传动的设计计算	(153)
10.4 V 带轮的结构	(162)
思考与练习题	(164)
第 11 章 链传动	(166)
11.1 链传动的结构和标准	(166)
11.2 链传动的运动特性	(169)
11.3 滚子链传动的设计	(170)
11.4 链传动的合理布置和润滑	(173)
思考与练习题	(175)
第 12 章 轴	(177)
12.1 概述	(177)
12.2 轴的常用材料	(179)
12.3 轴的结构设计	(180)
12.4 轴的强度计算	(184)
12.5 轴的刚度计算	(188)
思考与练习题	(189)
第 13 章 滚动轴承	(191)
13.1 滚动轴承的组成	(191)
13.2 滚动轴承的类型及主要性能	(192)
13.3 滚动轴承代号	(195)
13.4 滚动轴承的选择计算	(198)
13.5 滚动轴承的组合设计、润滑与密封	(205)
思考与练习题	(209)
第 14 章 滑动轴承	(211)
14.1 滑动轴承的基本类型	(211)
14.2 滑动轴承材料	(213)
14.3 滑动轴承的润滑和动压润滑基本原理	(215)
思考与练习题	(218)
第 15 章 联轴器、离合器和制动器	(219)
15.1 概述	(219)
15.2 联轴器	(219)
15.3 离合器	(224)
15.4 制动器	(228)
思考与练习题	(229)
附录	(230)
参考文献	(232)

绪 论

0.1 本课程的研究对象和内容

在现代生产和日常生活中,机器已成为代替或减轻人类劳动、提高劳动生产率和产品质量的主要工具。机器的发展程度是衡量一个国家工业水平的重要标志之一。日常生活中常见的机器有洗衣机、电动机、机床、汽车和机器人等。机器是执行机械运动的装置,用来转换或传递能量、物料、信息。机器的种类繁多,其结构形式和用途也各不相同,但它们却有许多共同的特征。

1. 机器

图 0.1 所示为单缸内燃机的工作原理:① 活塞 2 下行,进气阀 3 开启,混合气体进入气缸 1;② 活塞 2 上行,气阀 3、4 关闭,混合气体被压缩,并在顶部被点燃;③ 高压燃烧气体推动活塞 2 下行,气阀 3、4 关闭;④ 活塞 2 上行,排气阀 4 开启,废气被排出气缸 1。这样,就把热能转换为曲轴回转的机械能。

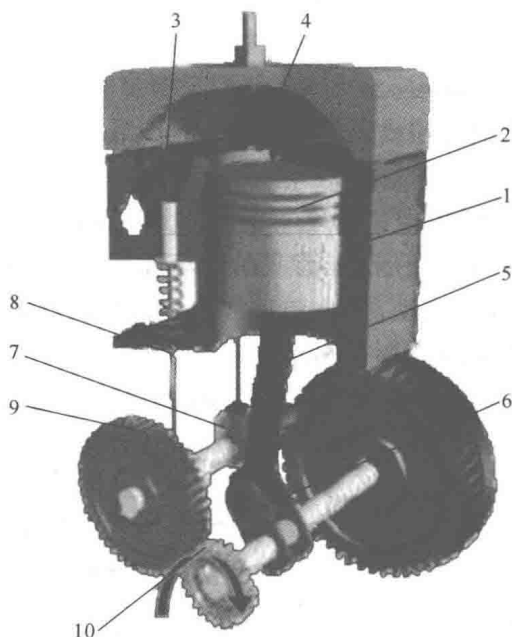


图 0.1 单缸内燃机

1—气缸;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

组成内燃机各部分的作用如下。

(1) 活塞的往复运动通过连杆转变为曲轴的连续转动,该组合体称为曲柄滑块机构。

(2) 凸轮和顶杆用来启闭进气阀和排气阀,称为凸轮机构。

(3) 在曲轴与凸轮轴之间安装了齿数比为 $1:2$ 的齿轮,称为齿轮机构,这样能保证曲轴每转两周,进、排气阀各启闭一次。

图 0.2 洗衣机的工作原理:① 电动机 2 带动小带轮 3 转动,再通过带 4 带动大带轮 5 转动;② 大带轮 5 通过减速器 6 带动波轮 7 转动,并将波轮 7 的转速降下来。

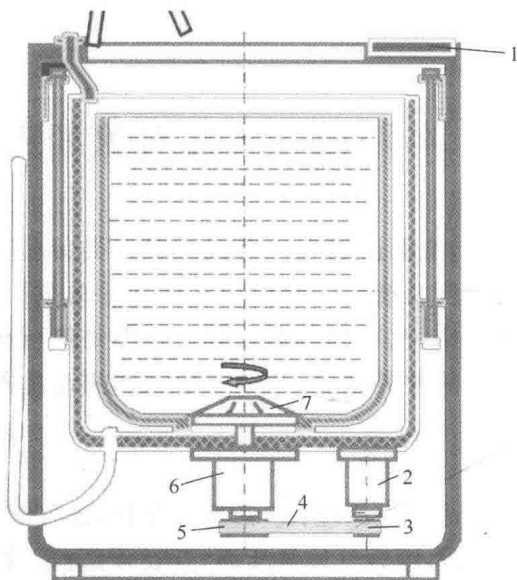


图 0.2 自动洗衣机

1—控制面板;2—电动机;3—小带轮;4—带;5—大带轮;6—减速器;7—波轮

从以上两实例可以看出,机器通常具有三个共同特征。

(1) 人为的实物组合体。

(2) 各部分具有确定的相对运动。

(3) 具备代替或减轻人类劳动或完成能量转换的作用。

2. 机器的组成

就功能而言,一般机器包含以下四个基本组成部分(见图 0.3)。

(1) 原动部分:是工作机动力的来源,常见的原动机是电动机和内燃机。

(2) 控制部分:保证机器的启动、停止和正常协调动作,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。

(3) 执行部分:完成预定的动作,通过位于传动路线的终点。

(4) 传动部分:连接原动机和执行部分的中间部分。

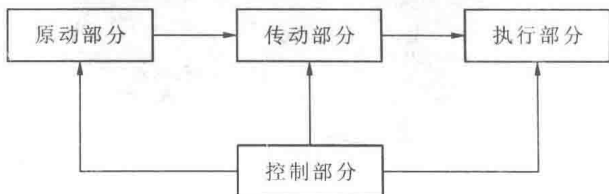


图 0.3 机器的组成示意图

机器的传动部分和执行部分通常由各种机构组成,是机器的主体。一部机器可以包含一

个或若干个机构。任意复杂的机器都是由若干组机构按一定规律组合而成的。

3. 机构、构件和零件

1) 机构

机构是指只能实现运动和力的传递与转换的装置,如连杆机构、凸轮机构和齿轮机构等。机构具有的共有特征:① 人为的实物组合体;② 各部分具有确定的相对运动。机构是由一些相对独立运动的单元体组成的。

2) 构件

构件是运动的单元。

3) 零件

零件是制造的单元。通常可分为如下类型。

(1) 通用零件:在各种机器中都经常使用的零件,如螺栓、齿轮、轴等。

(2) 专用零件:仅在特定类型机器中使用的零件,如汽轮机的叶片、内燃机的活塞等。

机器由机构组成,机构由构件组成。构件可以是单一的整体,也可以是由几个零件组成的刚性结构。图 0.1 的单缸内燃机由曲柄滑块机构、凸轮机构和齿轮机构组成;齿轮机构由齿轮 9、齿轮 10 等构件组成;齿轮 9 构件由齿轮、轴和键等零件组成。

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,还包括电气、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,还具有转换或传递能量、物料、信息的功能。因此,习惯上用“机械”一词作为机器和机构的总称。

0.2 机械设计的基本要求和一般程序

1. 机械设计的基本要求

机械设计是为了实现机器的某些特定功能而进行的创造过程。它包含运用机械设计的基本知识、基本理论和基本方法开发新机器设备和改进现有机器设备的两种设计方式。机械设计通常应满足的基本要求如下。

(1) 使用要求:设计的机器必须能实现预定的使用功能。

(2) 可靠性要求:是指机器能在规定的条件和规定的使用期限内,完成所规定功能的能力。为保证机器工作的可靠性,机械设计主要考虑以下因素:① 强度;② 刚度;③ 耐磨性;④ 避免产生共振。

(3) 运动和动力性能要求:设计的机器必须具有一定的运动和动力性能。

(4) 经济性要求:是一个综合指标,主要体现在机器的设计、制造和使用的全过程,包括设计制造经济性和使用经济性。

2. 机械设计的主要内容

机械设计主要包括以下内容。

(1) 确定机器的工作原理,选择合理的机构,拟定合理的设计方案。

(2) 进行运动分析和动力分析,计算作用在各构件上的载荷。

(3) 进行零部件工作能力计算、总体设计和结构设计。

3. 机械设计的一般设计程序

一部机器的诞生,从感到某种需要、萌生设计念头、明确设计要求开始,经过设计、制造、

鉴定直到产品定型,是一个复杂、细致的过程。总体来说,机械设计过程主要包括计划、方案设计、技术设计和技术文件编制四个阶段。

(1) 在计划阶段,应对所设计机器的需求情况做充分的调查研究和分析。通过分析,进一步明确机器所应具有的功能,并为以后的决策提出由环境、经济、加工以及时限等各方面所确定的约束条件。在此基础上,明确地写出设计任务的全面要求及细节,最后形成设计任务书。设计任务书主要包括:机器所具有的功能,经济性及环保性估计,制造要求方面的大致估计,基本使用要求,以及完成设计任务的预计期限等。这一阶段对这些要求和条件只能给出一个合理的大概范围,而不是准确的数字。

(2) 根据不同的工作原理,可以拟定出多种不同执行机构的具体方案。例如,对于切削螺纹来说,既可以采用工件只做旋转运动而刀具做直线运动来切削螺纹(如在普通车床上切削螺纹);也可以使工件不动而刀具做转动和移动来切削螺纹(如用板牙加工螺纹)。也就是说,对于同一种工作原理,可能产生几种不同的结构方案。

(3) 通过对已选定的设计方案进行运动学和动力学分析,从而确定机构和零件的功能参数;计算零件的工作能力,确定机器的主要结构尺寸;绘制机器总装配图、部件装配图和零件图。

(4) 通常要编制的技术文件有:机器的设计说明书、使用说明书、标准件和易损件明细表等。

0.3 机械零件的主要失效形式与设计准则

1. 机械零件的主要失效形式

机械零件丧失工作能力或达不到设计要求性能时,称为失效。机械零件的主要失效形式如下。

1) 断裂

机械零件的断裂通常有以下两种情况:

- ① 在外载荷作用下,零件某一危险截面上的应力超过其强度极限时将发生断裂;
- ② 在循环变应力作用下,零件某一危险截面上的应力超过其疲劳强度而发生疲劳断裂。

2) 过量变形

过量变形包括过大的弹性变形和塑性变形。

3) 表面失效

① 点蚀:在变化的表面接触应力作用下,点接触或线接触的接触表面累积产生麻点形状的损伤现象。

② 胶合:在重载作用下,润滑失效致使金属实体直接接触,而过高的温度使滚动或滑动的接触表面黏着并撕裂的现象。

③ 磨损:在磨粒作用下或零件表面很粗糙的情况下,无密封、相对运动的滑动表面将会发生严重的磨损现象。

4) 非正常工作条件引起的失效

有些零件只有在一定的工作条件下才能正常工作,若破坏了这些必备条件则将发生不同类型的失效。

所以说,失效并不简单地等同于零件的破坏。

2. 机械零件的设计准则

上述机械零件失效的原因主要与强度、刚度、耐磨性、振动稳定性和温度等有关。同一零件对于不同失效形式的承载能力各不相同,因此根据零件不同的失效原因建立其工作能力的判定条件,作为其设计准则。机械零件的设计准则主要包括以下几种。

1) 强度准则

强度主要是针对零件的整体断裂失效、塑性变形失效和点蚀失效而言。

$$\begin{cases} \sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S} \\ \tau \leq [\tau] = \frac{\tau_{\text{lim}}}{S} \end{cases} \quad (0-1)$$

式中: σ, τ ——危险截面处的正应力和切应力;

$[\sigma], [\tau]$ ——材料的许用正应力和许用切应力;

σ_{lim} ——极限正应力和极限切应力;

S ——安全系数。

2) 刚度准则

刚度是零件抵抗弹性变形的能力。

$$\begin{cases} y \leq [y] \\ \theta \leq [\theta] \\ \varphi \leq [\varphi] \end{cases} \quad (0-2)$$

式中: y, θ, φ ——零件的挠度、偏转角和扭转角;

$[y], [\theta], [\varphi]$ ——许用挠度、许用偏转角和许用扭转角。

3) 寿命准则

影响零件寿命的主要失效形式有腐蚀、磨损和疲劳。对于滚动轴承的校核通常采用疲劳寿命准则。

4) 耐磨性准则

耐磨性是指零件抗磨损的能力。

$$\begin{cases} p \leq [p] \\ pv \leq [pv] \end{cases} \quad (0-3)$$

式中: p, v ——工作表面上的压强和线速度;

$[p], [pv]$ ——材料的许用压强和 pv 许用值。

3. 机械零件设计的一般步骤

机械零件是组成机器的基本要素。零件种类的不同,其具体的设计步骤也不一样,但通常可按下列步骤进行。

- (1) 根据零件功能要求、使用条件和载荷性质等选择零件的类型和结构。
- (2) 分析零件的工作情况,计算作用在零件上的载荷。
- (3) 根据零件的工作条件和对零件的特殊要求等,选择合适的材料和热处理方法。
- (4) 根据工作情况分析零件的可能失效形式,选定相应的设计准则。
- (5) 根据设计准则计算并确定零件的主要尺寸。
- (6) 根据工艺性要求和标准化要求等进行零件的结构设计。

(7) 对于重要的零件,结构设计完成后还应进行精确的校核计算,若不合适,应对结构设计进行修正。

(8) 绘制零件图,制订技术要求,编写计算说明书和有关技术文件。

思考与练习题

- 0.1 请举例说明机器的组成。
- 0.2 请说明机器的特点。
- 0.3 什么是构件、机构和零件? 请举例说明它们之间的联系和区别。
- 0.4 机械零件的设计准则主要有哪些?

第 1 章 平面机构的结构分析

1.1 平面机构的组成

机构作为机器的主体,主要用来传递运动、动力或改变运动形式、轨迹,以实现预期的机械运动。

若机构中所有构件均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。本章讨论平面机构。

1.1.1 构件

1. 构件分类

机构是由一系列具有确定相对运动的构件组成的。从运动的角度看,构件是机构运动的最小单元。

机构中的构件按其运动性质不同,可分为三类。

1) 固定构件(机架)

机构中相对固定不动的构件称为固定构件,是用来支承其他活动构件(运动构件)的,如图 1.1 中的杆 4。

2) 原动件(主动件)

运动规律已知的活动构件称为原动件。其运动和动力是由外界输入的,又称为输入构件,一般与机架相连,如图 1.1 中的杆 1。一个机构可以有一个或几个原动件。

3) 从动件

机构中随原动件运动而运动的其余活动构件称为从动件。其中输出预期运动的从动件称为输出构件,如图 1.1 中的杆 3。其他从动件则起传递运动作用,如图 1.1 中的杆 2。

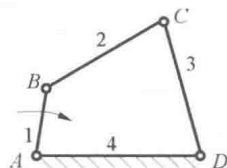


图 1.1 四杆机构

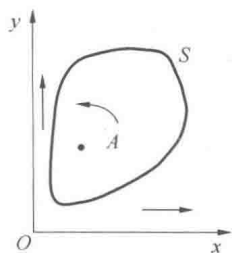


图 1.2 平面机构的自由度

2. 构件的自由度

相对于参考系,构件所具有独立运动的个数称为构件的自由度。如图 1.2 所示,在 Oxy 坐标系中,构件 S 可以随其上任意点 A 沿 x 轴、 y 轴方向移动和绕点 A 转动,即构件 S 具有 3 个自由度。

1.1.2 运动副及其分类

机构由构件组成,而构件之间具有一定的连接方式。两构件

直接接触并能产生相对运动的连接,称为运动副。按照两构件接触的点、线或面方式,通常把运动副分为低副和高副。

1. 低副

两构件通过面接触所组成的运动副称为低副。根据两构件产生相对运动方式的不同,低副又可分为转动副和移动副。

1) 转动副

组成运动副的两构件只允许在某一个平面内做相对转动,这种运动副称为转动副,或称为铰链。

在图 1.3 中,构件 1 与构件 2 以圆柱面接触,两构件只能在 Oxy 平面内绕 z 轴转动。即只有一个自由度,而限制了另外两个方向的相对移动。也就是说,转动副引入两个约束而保留一个自由度。

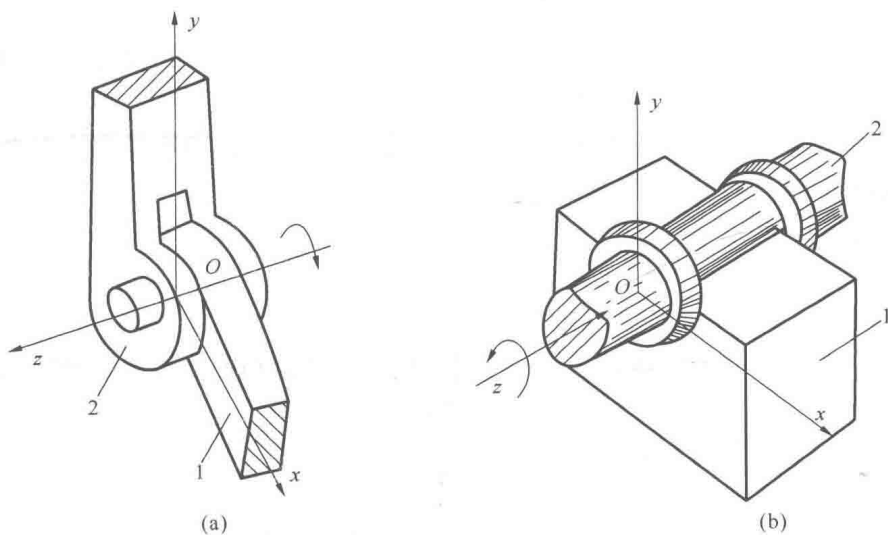


图 1.3 转动副

2) 移动副

组成运动副的两构件只允许沿某一轴线相对移动,这种运动副称为移动副。

在图 1.4 中,构件 1 和 2 只能沿着 x 轴相对移动。即只有一个自由度,而限制了垂直于 x 轴方向的相对移动和在该平面内的相对转动。也就是说,移动副也引入两个约束而保留一个自由度。

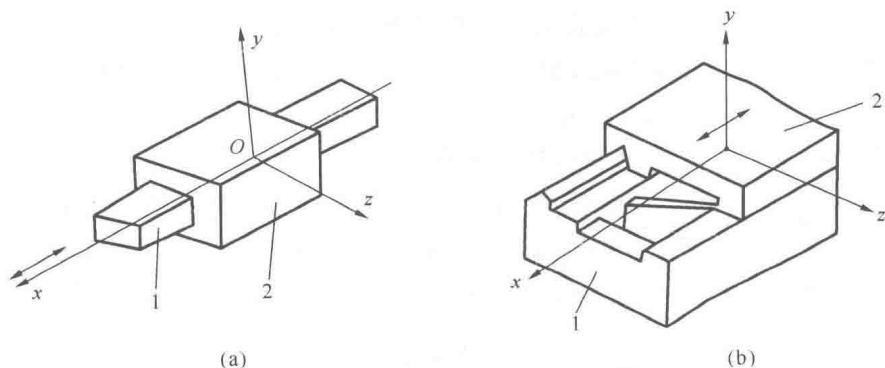


图 1.4 移动副

2. 高副

两构件通过点或线接触所组成的运动副称为高副。在图 1.5(a)所示的凸轮机构中,凸轮 1 与从动件杆 2 之间为点接触;图 1.5(b)所示的齿轮机构中,轮齿 1 和 2 之间为线接触。它们的相对运动是绕点 A 的转动和沿切线 $t-t$ 方向的移动,限制了沿点 A 切线 $n-n$ 方向的移动。也就是说,高副引入一个约束,而保留两个自由度。

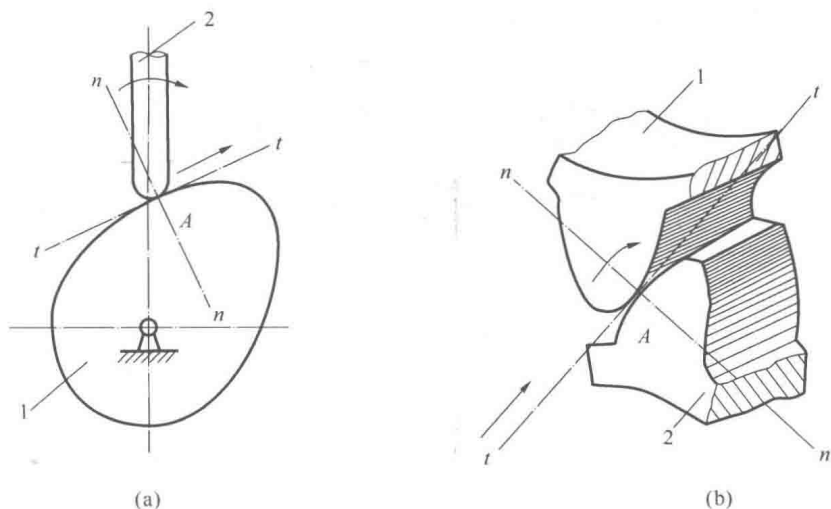


图 1.5 高副

上述为平面运动副。图 1.6 中的两构件 1 和 2 之间的相对运动是空间运动,属于空间运动副。

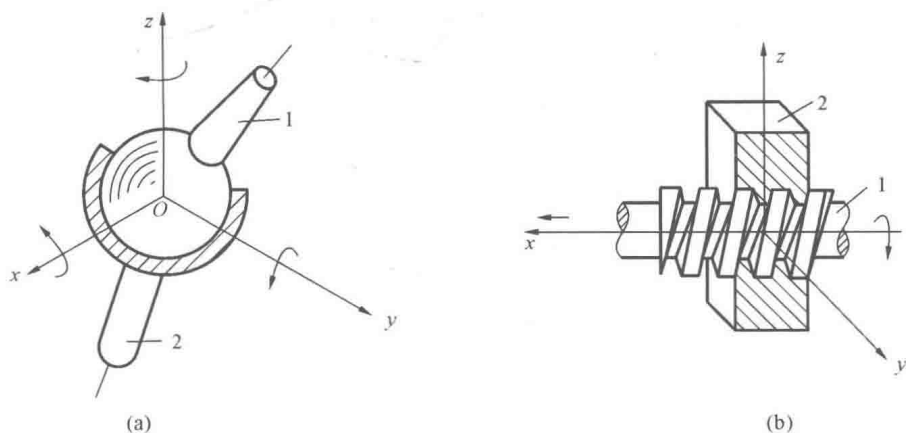


图 1.6 空间运动副

(a) 球面副 (b) 螺旋副

1.2 平面机构运动简图

机构中实际构件的外形和结构往往很复杂,因此在研究机构运动时,为使研究对象简化,仅用简单线条和符号来表示构件和运动副,并按一定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和运动特征的简化图形,称为机构运动简图。