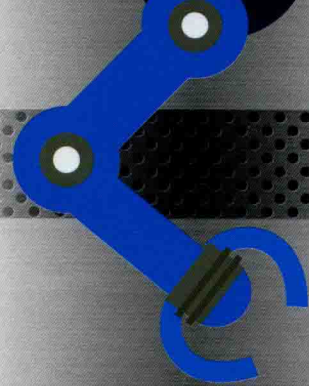


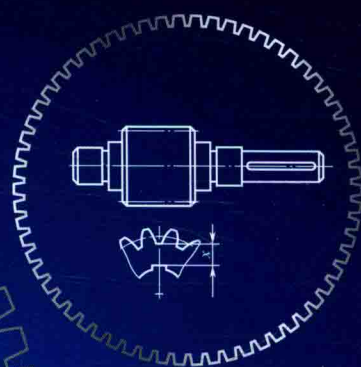
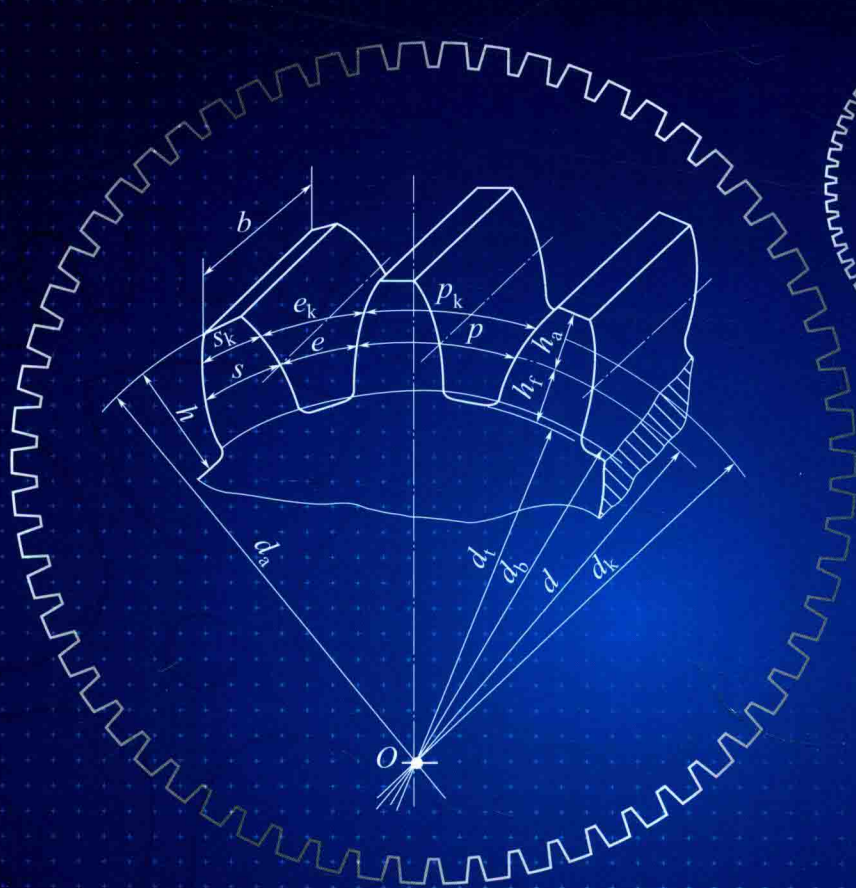


高职高专“十三五”规划教材

机械设计基础



蔡广新 主编



JIXIE
SHEJI
JICHU



化学工业出版社



高职高专“十三五”规划教材

机械设计基础



蔡广新 主 编

邹克武 赵海贤 宋晓明 向承翔 副主编

姚九成 主 审



JIXIE
SHEJI
JICHU



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是针对高职高专院校应用型技能人才培养需要编写的。全书共分 12 单元, 主要阐述了一般机械中常用机构和通用零件的组成、工作原理、运动特性及有关设计计算等内容, 并列举了大量的实例, 便于理解。每单元后附有适量的习题。为方便教学, 配套电子课件。

本书可作为高职高专机械类、近机械类各专业机械设计基础课程的教学用书, 也可作为相关技术人员参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础/蔡广新主编. —北京: 化学工业出版社, 2016.5

高职高专“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-26458-9

I. ①机… II. ①蔡… III. ①机械设计-高等职业教育-教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 046423 号

责任编辑: 韩庆利 于 卉

装帧设计: 史利平

责任校对: 宋 夏

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 11½ 字数 282 千字 2016 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD

本书是为了突出高职高专特色,满足高职高专人才培养的需要,结合编者多年教学经验编写而成的,可作为高职高专机械类及近机械类各专业机械设计基础课程的教材。

本书的主要特点如下:

(1) 本书充分考虑目前高职高专学校生源状况,从培养实用型技能人才出发,基本知识点的选取以“必需”、“够用”为度,没有过多的理论推导,删减了传统“机械设计基础”课程中不常用的部分内容;为突出学以致用,例题的选择紧密结合工程实际,以培养学生分析问题和解决实际问题的能力。

(2) 本书在叙述上着重强调基本概念、基本理论和基本方法,力求做到层次分明、循序渐进、通俗易懂,以使学学生易于理解和掌握。

(3) 为便于学生自学,习题形式为判断题、选择题和综合题,几乎覆盖了所有的知识点,使学生能够检查对基本内容的掌握程度,发现学习中存在的问题。

(4) 所用标准均为最新的国家标准。

参加本书编写的人员有:承德石油高等专科学校蔡广新(单元一、单元六)、邹克武(单元二)、赵海贤(单元四)、王雍钧(单元五)、关晓东(单元七)、宋晓明(单元八)、丰烨(单元九)、谢颖(单元十二),重庆三峡职业学院向承翔(单元三),青海高等职业技术学院飞尚才(单元十)、李志强(单元十一),本书由蔡广新任主编,邹克武、赵海贤、宋晓明、向承翔任副主编,本书由承德石油高等专科学校姚九成教授审阅。

本书在编写过程中,编者参阅了有关教材和文献资料,在此表示衷心感谢。

本书配套电子课件,可赠送给用本书作为授课教材的院校和老师,如果需要,可登录 www.cipedu.com.cn 下载。

由于编者的水平和实践知识所限,书中难免有欠妥之处,恳请使用本书的教师和读者提出宝贵意见。

编者



◎ 单元一 绪论

1

课题一	机器的组成及其特征	1
课题二	机械设计的基本要求及一般程序	3
课题三	机械设计基础课程的内容、性质和任务	4
习题		5

◎ 单元二 平面机构的运动简图及自由度

7

课题一	运动副及其分类	7
课题二	平面机构的运动简图	9
课题三	平面机构的自由度	10
习题		14

◎ 单元三 平面连杆机构

16

课题一	铰链四杆机构的基本类型及其演化	16
课题二	平面四杆机构的基本特性	22
课题三	平面四杆机构的设计	25
习题		28

◎ 单元四 凸轮机构

30

课题一	凸轮机构的应用与分类	30
课题二	常用的从动件运动规律	32
课题三	用图解法设计盘形凸轮轮廓曲线	35
课题四	设计凸轮机构应注意的问题	39
课题五	凸轮机构的材料和结构	41
习题		43

◎ 单元五	带传动和链传动	45
课题一	带传动的类型和应用	45
课题二	普通 V 带和 V 带轮	46
课题三	带传动的工作能力分析	49
课题四	普通 V 带传动的设计	51
课题五	带传动的张紧、安装和维护	58
课题六	链传动简介	59
	习题	62
◎ 单元六	齿轮传动	65
课题一	齿轮传动的类型和特点	65
课题二	渐开线齿廓	67
课题三	渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸	69
课题四	标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	73
课题五	渐开线齿轮的加工方法及根切现象	74
课题六	轮齿的失效形式和齿轮的材料	77
课题七	标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	81
课题八	渐开线斜齿圆柱齿轮传动	89
课题九	齿轮的结构设计及齿轮传动的润滑	95
课题十	其他齿轮传动简介	96
	习题	98
◎ 单元七	齿轮系	102
课题一	定轴轮系传动比的计算	102
课题二	行星轮系传动比的计算	104
	习题	111
◎ 单元八	连接	114
课题一	螺纹连接	114
课题二	键连接	119
课题三	其他连接	123
	习题	124
◎ 单元九	轴	126
课题一	轴的分类及材料	126
课题二	轴的结构设计	127

课题三	轴的强度校核	132
习题		136

单元十 轴承 138

课题一	滑动轴承	138
课题二	滚动轴承的构造及类型	143
课题三	滚动轴承的代号及类型选择	145
课题四	滚动轴承的寿命计算	147
课题五	滚动轴承的组合设计	154
习题		158

单元十一 联轴器和离合器 160

课题一	联轴器	160
课题二	离合器	163
习题		165

单元十二 课程实验 166

实验一	机构运动简图测绘	166
实验二	带传动试验	167
实验三	齿轮参数的测定	169
实验四	齿轮展成原理	171
实验五	常用机构的运动演示	172
实验六	常用机械零件及传动演示	173

附录 174

参考文献 176

单元一 绪论

机械设计是人类长期生产实践中一项重要的创造性活动，同时也是一门应用科学，是研究机械类产品的设计、开发、改造，以满足经济发展和社会需求的科学。在现代日常生活和生产活动中，机械起着非常重要的作用。机械的设计制造水平是体现一个国家的技术水平乃至综合国力的重要方面，而机械的应用水平则是衡量一个国家的技术水平和现代化的重要标志之一。机械设计涉及工程技术的各个领域，如运输、能源、化工、军事、建筑等都离不开机械设备。因此，对于现代从事机械、机电类工作的应用型技术人员，学习和掌握一定的机械设计基础知识是非常必要的。

课题一 机器的组成及其特征

一、机器与机构

机器是执行机械运动和信息转换的装置，用来变换或传递能量、物料与信息，以代替或减轻人的体力和脑力劳动。日常生活和工作中接触到的缝纫机、洗衣机、自行车、汽车，工业生产中的机床、纺织机、起重机、机器人等等，都是机器。机器的种类繁多，其结构、功用各异，但从机器的组成来分析，它们有着共同之处，传统意义的机器有三个共同的特征：

- (1) 都是人为的实体组合；
- (2) 各实体间具有确定的相对运动；
- (3) 能实现能量的转换或完成有用的机械功。

同时具备这三个特征的构件组合体称为机器，仅具备前两个特征的多构件组合体称为机构。如图 1-1 所示的单缸内燃机，其结构虽然简单，但是一部典型机器。它是由活塞、连杆、曲轴、齿轮、凸轮、顶杆及汽缸体等组成，它们分别构成了连杆机构、齿轮机构和凸轮机构，如图 1-2 所示。任何复杂的多缸内燃机，其基本结构和原理与单缸内燃机相同，只不过把单缸变成多缸而已。内燃机的功能是将燃料的热能转化为曲轴转动的机械能，其中连杆机构将燃料燃烧时体积迅速膨胀而使活塞产生的直线移动转化为曲轴的转动；凸轮机构用来控制适时启闭进气阀和排气阀；齿轮机构保证进、排气阀与活塞之间形成协调动作。由此可见，

机器是由机构组成的，从运动观点来看两者并无差别，工程上把机器与机构统称为机械。

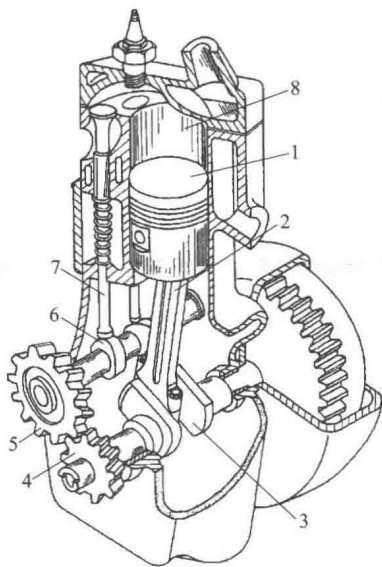


图 1-1 单缸内燃机

1—活塞；2—连杆；3—曲轴；4,5—齿轮；
6—凸轮；7—顶杆；8—汽缸体

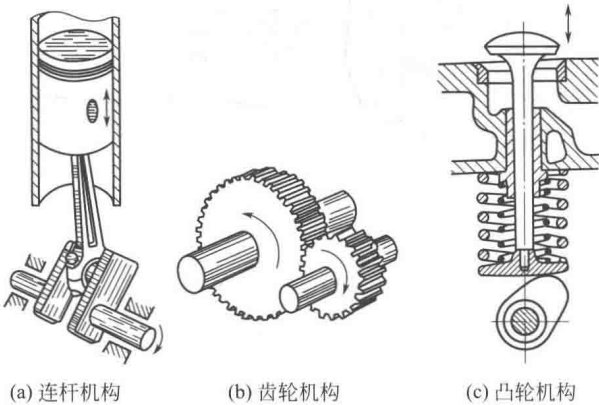


图 1-2 组成内燃机的机构

机器一般由原动部分、传动部分、执行部分所组成，有的机器还需控制系统和辅助系统等。机器的组成与功能见表 1-1。

表 1-1 机器的组成与功能

组 成	功 能
原动部分	给机器提供动力,如电动机
传动部分	通常用于实现运动形式的变化或速度及动力的转换,由一些机构(连杆机构、凸轮机构等)或传动形式(带传动、齿轮传动等)组成
执行部分	完成工作任务
辅助部分	指机器的润滑、控制、检测、照明等部分

根据用途的不同，机器可分为动力机器（电动机、内燃机、发电机等）、加工机器（金属切削机床、轧钢机、织布机等）、运输机器（升降机、起重机、汽车等）、信息机器（电视机、计算机、复印机等）。

二、构件、零件与部件

组成机械的各个相对运动的实体称为构件；机械中不可拆的最小单元称为零件，需要独立加工获得，它是组成构件的基本单元。构件可以是单一零件，如内燃机的曲轴（图 1-3），也可以是由多个零件组成的一个刚性整体，如内燃机的连杆（图 1-4）。由此可见，构件是机械中的运动单元，零件是机械中的制造单元。

零件又可分为两类：一类是在各种机器中都可能用到的零件，称为通用零件，如螺母、螺栓、齿轮、轴、凸轮、链轮等；另一类则是在特定类型机器中才能用到的零件，称为专用零件，如曲轴、活塞、叶片等。

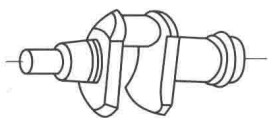


图 1-3 曲轴

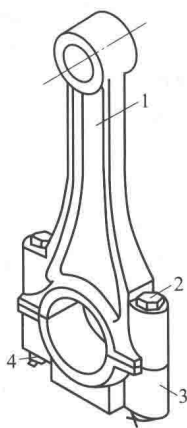


图 1-4 连杆

1—连杆体；2—螺栓；3—连杆盖；4—螺母

为实现一定的运动转换或完成某一工作要求，把若干构件组装到一起的合体称为部件。部件与构件是有区别的，部件中的各零件之间不一定具有刚性联系。部件也可分为通用部件与专用部件。如减速器、滚动轴承和联轴器等属于通用部件，而汽车转向器等则属于专用部件。把一台机器划分为若干个部件，其目的是有利于设计、制造、运输、安装和维修。

课题二 机械设计的基本要求及一般程序

一、机械设计的基本要求

机械设计是机械生产的第一步，是影响机械产品制造过程和产品性能的重要环节。尽管设计的机械种类很多，但其设计的基本要求大致相同，主要有以下几方面：

1. 预定功能的要求

要求所设计的机械应具有预期的使用功能，以满足人们某方面的需要。预定功能要求包括：运动性能、动力性能、基本技术指标及外形结构等方面。主要靠正确选择机器的工作原理，正确设计或选择原动机、传动机构和执行机构以及合理配置辅助系统和控制系统来保证。

2. 安全可靠与强度、寿命的要求

安全可靠是机械正常工作的必要条件，因此，设计的机械必须保证在规定的工作期限内和规定的工作条件下，能够可靠地工作，防止个别零件的破坏或失效而影响正常运行。为此，应使所设计的机械零件结构合理并满足强度、刚度、耐磨性、耐热性、振动稳定性及其寿命等方面的要求。

3. 经济性要求

机械的经济性是一个综合指标，它体现在机械设计、制造和使用全过程中，设计制造经济性表现为机械的成本低；使用经济性表现为高生产率、高效率、较少的能源、原材料和辅助材料消耗，以及低的管理和维护费用等。

提高设计、制造经济性的措施主要有：运用现代设计方法，使设计参数最优化；最大限

度采用零件标准化、部件通用化、产品系列化；合理选用材料，改善零件的结构工艺性，尽量采用新材料、新结构、新工艺和新技术，使其用料少、质量轻、加工费用低、易于装配。

提高使用经济性的主要措施有：提高机械的自动化程度，以提高生产率；选用高效率的传动系统和支撑装置，以降低能源消耗；采用适当的防护、润滑装置，以延长机械的使用寿命等。

4. 操作使用要求

机械设计应符合人机工程学原理，使操作简便省力，避免连续重复动作，减轻操作时的劳动强度和疲劳；改善操作者的工作环境，降低机器工作时的振动与噪声，防止有毒有害物质渗漏。

5. 其他特殊要求

有些机械各自还有本身的特殊要求，如航空航天产品要求质量轻、飞行阻力小，医药、食品、纺织等机械要求保证一定的清洁度，防止污染产品，机床应在规定的使用期限内保持精度，经常搬动的机械应便于安装、拆卸和运输等。

二、机械设计的一般程序

机械设计并没有一个统一的固定程序，应视实际情况确定设计方法和步骤，通常按下列一般程序进行。

1. 提出和制定产品设计任务书

根据市场或用户的使用要求，在调查研究的基础上，确定设计任务书，对所设计机械的功能要求、性能指标、结构形式、主要技术参数、工作条件、生产批量等做出明确的规定。设计任务书是进行设计、调试和验收的主要依据。

2. 总体方案设计

根据设计任务书的要求，本着技术先进、使用可靠、经济合理的原则，拟定出一种能够实现机械功能要求的总体布置、传动方案和机构简图等。同时可进行液压、电器控制系统的方案设计。

3. 技术设计

根据总体设计方案的要求，对其主要零部件进行工作能力计算，并考虑结构设计上的需要，确定主要零部件的几何参数和基本尺寸。然后根据已确定的结构方案和主要零部件的基本尺寸，绘制机械的装配图、部件装配图和零件工作图。然后编写设计计算说明书、使用说明书、标准件明细表等。

4. 样机的试制和鉴定

经过专家和有关部门对设计资料进行审定认可后，进行样机的试制，样机制成后，可通过生产运行进行性能测试，然后便可组织鉴定，进行全面的经济评价。

鉴定通过后即可根据市场需求组织生产。至此，机械设计工作才告完成。

课题三 机械设计基础课程的内容、性质和任务



本课程的基本内容可分为机械原理和机械零件设计两大部分，主要讲述机械中的常用机构和通用零部件的工作原理、运动特点、结构特点、基本设计理论和计算方法，讲述常用零部件的选用和维护等共性问题。

本课程是工科类各专业的一门重要专业基础课,它综合应用高等数学、工程力学、金属工艺学等先修课程的基础理论知识,结合生产实践知识,解决常用机构及通用零部件的分析和设计问题。

本课程的任务为:

- (1) 掌握机构的结构、运动特性,初步具有分析和设计常用机构的能力。
- (2) 掌握标准和通用机械零部件的工作原理、结构特点、设计计算、选用和维护等基本知识,并初步具有设计机械传动装置的能力。
- (3) 具有运用标准、规范、手册、图册等有关技术资料的能力。
- (4) 获得本学科实验技能的初步训练。

总之,本课程是理论性和实践性都很强的机械类及近机械类专业的主干课程之一。通过本课程的学习,应使学生了解使用、维护和管理常用机械设备的一些基础知识,初步具备设计机械传动和运用手册设计简单机械的能力,为学习有关专业机械设备课程和应用型技术工作奠定必要的基础。



习 题

一、判断题

1. 构件和零件都是运动单元。()
2. 机构就是具有确定相对运动的实体组合。()
3. 机器是机械与机构的总称。()
4. 车床、颚式破碎机、减速器都是机器。()
5. 零件是机械的最小单元。()
6. 螺栓、轴、轴承都是通用零件。()
7. 内燃机中的曲轴、活塞、凸轮都是专用零件。()
8. 机构的作用是传递或转换运动形式。()
9. 机构可以是单个零件,也可以是由多个零件组成的一个刚性整体。()
10. 部件中的各零件之间不一定具有刚性联系。()

二、选择题

1. 在机械中属于制造单元的是_____。
A. 零件 B. 构件 C. 部件
2. 在机械中各运动单元称为_____。
A. 零件 B. 构件 C. 部件
3. 各部分之间具有确定相对运动的构件的合体称为_____。
A. 机器 B. 机构 C. 机械
4. 机构与机器的主要区别是_____。
A. 各运动单元间具有确定的相对运动
B. 机器能变换运动形式
C. 机器能完成有用的机械功或转换机械能

5. 部件是由机器中若干零件所组成的_____单元体。

- A. 运动 B. 装配 C. 制造

6. 在内燃机曲柄连杆机构中, 连杆是由连杆盖、连杆体、螺栓及螺母组成。其中, 连杆属于_____, 连杆体、连杆盖属于_____。

- A. 零件 B. 构件 C. 部件

7. 在自行车车轮轴、链轮、内燃机中的曲轴、减速器中的齿轮和电风扇叶片中, 有_____种是通用零件。

- A. 2 B. 3 C. 4

8. 轿车的车轮属于机器的_____。

- A. 原动部分 B. 传动部分 C. 执行部分

9. 在各种机器中都可能用到的零件, 称为_____零件。

- A. 通用 B. 专用 C. 标准

10. 机械设计基础课程的任务是_____。

- A. 研究机器中的通用零、部件和常用机构的设计问题
B. 研究常用机器的设计问题
C. 研究机器的设计和机器的加工

单元二

平面机构的运动简图及自由度

若机构中所有构件在同一平面或相互平行的平面内运动,则该机构称为平面机构。实际机构一般由外形和结构都较复杂的构件(零件)组成。图 2-1(a) 为颚式破碎机的实际机构图(实物图),实物图看起来直观明了,但要分析破碎机的工作原理和进行运动分析就很难进行,所以需要一种能说明机构运动原理的简单图形——机构运动简图 [图 2-1(c)]。因此,掌握正确绘制机构运动简图的方法是必要的。图 2-1(b) 是破碎机的结构示意图。

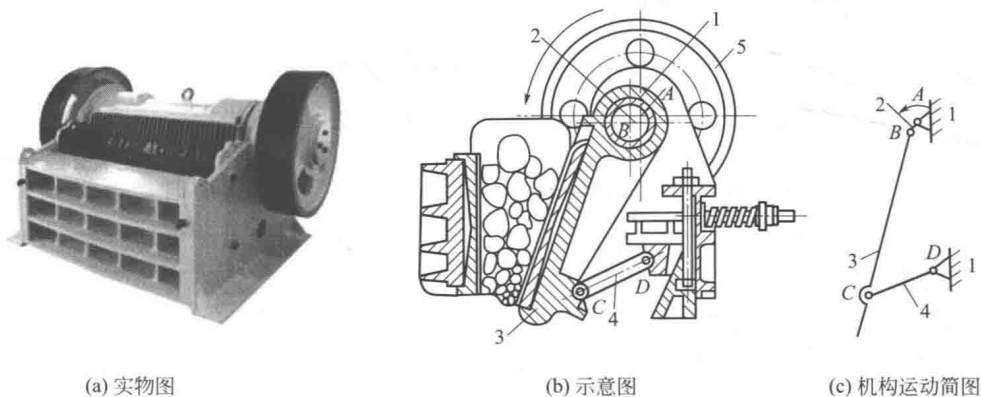


图 2-1 颚式破碎机

1—机架; 2—偏心轴; 3—动颚板; 4—肘板; 5—带轮

课题一 运动副及其分类

组成机构的所有构件都应具有确定的相对运动。为此,各构件之间必须以某种方式连接起来,但这种连接不同于焊接、铆接之类的刚性连接,它既要使彼此连接的两构件的运动加以限制,又允许其间产生相对运动。这种两个构件直接接触并能保持一定相对运动的可动连接称为运动副。

运动副中的两构件接触形式不同,其限制的运动也不同,其接触形式不外乎有点、线、面三种形式。两构件通过面接触而组成的运动副称为低副,通过点或线的形式相接触而组成的运动副称为高副。

根据组成运动副的两构件之间的相对运动是平面运动还是空间运动,运动副可分为平面运动副和空间运动副。

1. 平面低副

根据两构件间允许的相对运动形式不同,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能绕某一轴线在一个平面内作相对转动的运动副称为转动副,又称为铰链。如图 2-2(a) 所示,构件 1 与构件 2 之间通过面接触而组成转动副。内燃机的曲轴与连杆、曲轴与机架、连杆与活塞之间都组成转动副。

(2) 移动副 组成运动副的两个构件只能沿某一方向作相对直线运动,这种运动副称为移动副。如图 2-2(b) 所示,构件 1 与构件 2 之间通过四个平面接触组成移动副,这两个构件只能产生沿轴线的相对移动。内燃机中的活塞与汽缸之间组成移动副。

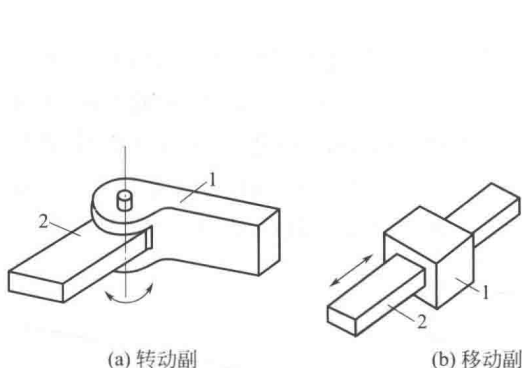


图 2-2 低副

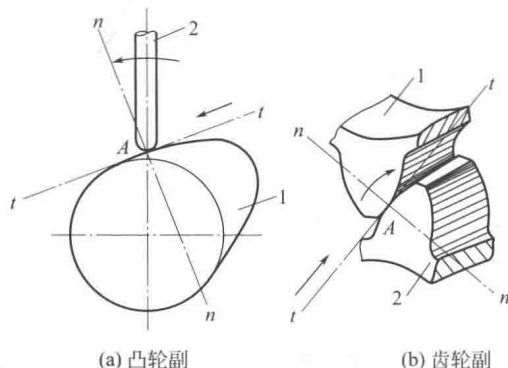


图 2-3 高副

由于低副中两构件之间的接触为面接触,因此,承受相同载荷时,压强较低,不易磨损。

2. 平面高副

如图 2-3 所示的齿轮副和凸轮副都是高副,显然,图 (a)、(b) 中构件 2 都可以相对于构件 1 绕接触点 A 转动,同时又可以沿接触点的切线 $t-t$ 方向移动,只有沿公法线 $n-n$ 方向的运动受到限制。由于高副中两个构件之间的接触为点或线接触,其接触部分的压强较高,故容易磨损。

除上述常见的平面运动副外,常用的运动副还有螺旋副和球面副,如图 2-4 所示,称为空间运动副。

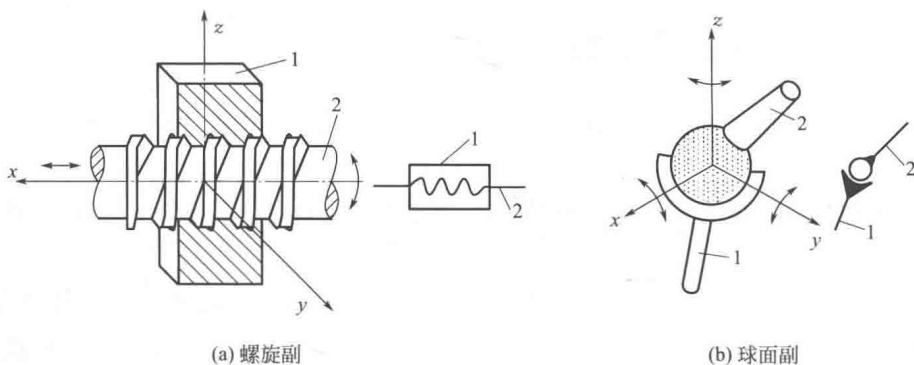


图 2-4 空间运动副

课题二 平面机构的运动简图

由于机构的运动特性只与构件的数目、运动副的类型和数目以及它们之间相对位置的尺寸有关，而与构件的形状、截面尺寸及运动副的具体结构无关。所以，在分析机构运动时，为了简化问题，便于研究，常常可以不考虑与运动无关的因素，而用一些规定的简单线条和符号表示构件和运动副，并按一定比例确定运动副的相对位置，这种用规定的简化画法简明表达机构中各构件运动关系的图形称为机构运动简图。利用机构运动简图可以表达一部复杂机器的传动原理，可以进行机构的运动和动力分析。

一、平面机构的组成

根据机构工作时构件的运动情况不同，可将构件分为机架、主动件和从动件三类。机构中固定不动的构件称为机架，它用来支承其他活动构件；机构中接受外部给定运动规律的活动构件称为主动件或原动件，一般与机架相连；机构中随主动件而运动的其他全部活动构件称为从动件。

二、机构运动简图的符号

对于轴、杆等构件，常用线段表示；若构件固连在一起，则涂以焊接记号；图中画有一组平行短斜线的构件代表机架。转动副即为固定铰链和中间铰链；移动副为滑块在直线或槽中移动；表示高副时要绘出两构件接触处的轮廓线形状。

表 2-1 为机构运动简图的常用符号。

表 2-1 机构运动简图常用符号

名称		简图符号	名称		简图符号	
构件	杆、轴		机架	基本符号		
	三副构件			机架是转动副的一部分		
				机架是移动副的一部分		
	构件的固定连接		平面高副	齿轮副外啮合		
平面低副	转动副			齿轮副内啮合		
	移动副			凸轮副		

三、机构运动简图的绘制

机构运动简图的绘制方法和步骤如下:

(1) 观察机构的实际结构, 分析机构的运动情况, 找出机构的固定件 (机架)、原动件和从动件。

(2) 从原动件开始, 按运动传递路线, 分清构件间相对运动的性质, 确定运动副的类型。

(3) 以与机构运动平面相平行的平面作为绘制运动简图的平面, 用规定的符号和线条按比例尺绘制在此平面上, 得到的图形即为机构运动简图。

【例 2-1】 绘制图 1-1 所示内燃机的机构运动简图。

解 (1) 分析结构, 确定机架、原动件和从动件

由图 1-1 可知, 壳体和汽缸体 8 是一个整体, 在内燃机中起机架的作用, 汽缸体内的活塞 1 是原动件, 连杆 2、曲轴 3 和与之相固连的齿轮 4、齿轮 5、凸轮 6 和顶杆 7 是从动件。

(2) 按运动传递路线和相对运动的性质确定运动副的类型

该机构的运动由活塞 1 输入, 活塞 1 与汽缸组成移动副; 活塞 1 与连杆 2、连杆 2 与曲轴 3、曲轴 3 与壳体之间组成转动副。

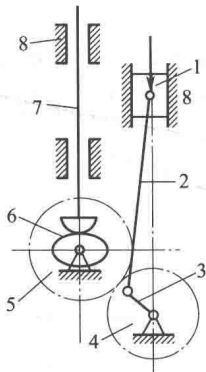


图 2-5 内燃机机构运动简图

1—活塞; 2—连杆; 3—曲轴;
4, 5—齿轮; 6—凸轮;
7—顶杆; 8—机架

运动经齿轮 4 传到齿轮 5, 它们之间是线接触, 组成高副; 齿轮 5 与机架组成转动副; 齿轮 5 与凸轮 6 连在同一轴上, 为一个构件, 凸轮 6 与顶杆 7 之间是点或线接触, 组成高副; 顶杆 7 与机架 8 组成移动副。

(3) 选择视图平面和比例尺, 用规定符号和线条绘制机构运动简图

由于内燃机的主运动机构是平面运动, 故取其运动平面为视图平面, 选择适当的绘图比例尺用规定符号和线条画出所有构件和运动副, 即可得到内燃机的机构运动简图 (图 2-5), 图中标有箭头的构件 1 表示该构件是原动件。

由齿轮轮廓接触组成的高副, 在绘制机构运动简图时常用其节圆相切来表示, 节圆如图 2-5 中的点画线所示。

课题三 平面机构的自由度

一、构件的自由度

一个自由构件在作平面运动时, 有三种独立运动的可能性。如图 2-6 所示, 在 xOy 坐标系所在平面内, 构件 S 可沿 x 轴或 y 轴方向移动, 也可绕任意一点 A 转动。这种可能出现的独立运动的数目称为构件的自由度。由此可知, 一个作平面运动的自由构件有 3 个自由度。

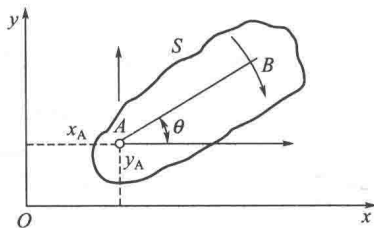


图 2-6 构件的自由度