



王 肃 主 编

机 械 设 计 基 础

J I J I E S H E J I J I C H U

大 连 海 运 学 院 出 版 社

高等学校教材

机械设计基础

王 肃 主编

大连海运学院出版社

内 容 提 要

本书系按1986年全国机械原理及机械零件教材编审委员会提出的教学基本要求,在修订船舶轮机管理专业多年使用的讲义的基础上编写而成。本书将机械原理及机械零件有机地结合起来,并根据船舶轮机管理专业的特点,精选内容。本书在教材处理上有自己的特点,如将键联接、轴和联轴器合并成一章“轴及其联接”,加强了螺纹联接的内容并独设为一章;在“滑动轴承与润滑原理”一章系统地理论上介绍了摩擦、润滑及有关问题。

全书共分十四章。包括平面机构组成、凸轮机构、间歇机构、螺纹联接、挠性件传动、齿轮传动、蜗杆传动、轮系、轴及其联接、滚动轴承、滑动轴承与润滑原理、速度调节、回转体的平衡等,内容全面,特别适合于中、少学时 的教学,本书图样全部采用最新机械制图国家标准。

本书可作为船舶管理专业的教材,某些机械类专业及有关工程技术人员也可参考使用。

高等学校教材

机 械 设 计 基 础

王 肃 主 编

大连海运学院出版社出版

(大连凌水桥)

高校联合服务中心发行

大连海运学院出版社印刷厂印刷

责任编辑: 陈景杰

封面设计: 谢心阳

开本: 787×1092

1/16

印张: 18.75

字数: 360 (千字)

1987年12月第一版

1987年12月印刷

印数: 0001—2000

ISBN 7-5632-0018-4/G 2

定价: 3.15元

7 5 0 1 2

前 言

本书基本上是按1986年全国机械原理及机械零件教材编审委员会提出的“教学基本要求”编写的，并根据船舶轮机管理专业特点精选内容，而又保持了内容的系统性和科学性。

本书由大连海运学院王肃同志担任主编，大连工学院郭克强同志担任主审。在教材编写过程中，尽量在内容取舍及举例方面结合轮机管理专业，在设计内容方面作了适当的削减，删掉了机械零件的概论部分，将键联接、轴和联轴器并为一章；而将船舶轮机管理（也包括其它机械管理专业）常用的螺纹联接内容加强并单独设为一章；将滑动轴承、润滑原理及密封装置并为一章，目的在于使同学能在以后工作中对机构中运动副的摩擦、润滑及其有关问题，在理论上有较全面、系统地了解，从而提高对机器的管理、维护水平。本书虽与近机类内容要求和学时安排不尽相同、具有船舶轮机管理专业要求的特点，但也注意到尽量使其具有一定的适应性。

本书是在我院轮机管理专业多年来编写的讲义基础上几经修订，再次再版后又一次编写而成的。

本书可作为本科生教材，也可供函授生使用，为此，我们在保证讲透基本理论及基本概念基础上，尽量做到文字简练，图面清晰，以便于自学。

在本次编写中，力求反映国内外的科学技术新成就，删除了陈旧繁琐的内容。全书贯彻了国家标准，并尽量采用国际通用的符号和角标。图样全部采用了最新机械制图国家标准。

参加本书编写的人员有：刘昌君（第七章）、贾秀桐（第五章、第八章、第十一章）、陈新生（第十章、第十二章、第十四章）、吴勤勤（第三章、第四章、第六章）、张洪国（第十二章）、王肃（绪论、第一章、第二章、第九章）最后由王肃编校全稿，教材中插图系由李运兄同志协助绘制。由于编者水平有限，书中缺点错误难免，殷切希望使用本书的广大读者提出宝贵意见。

编 者

1987年5月

目 录

绪 论	(1)
第一章 平面机构的组成及其具有确定运动的条件	(4)
§ 1—1 平面运动副及其分类	(5)
§ 1—2 平面机构运动简图	(7)
§ 1—3 平面机构具有确定运动的条件	(9)
第二章 平面连杆机构	(14)
§ 2—1 概 述	(14)
§ 2—2 铰链四杆机构的基本型式及其演化	(14)
§ 2—3 平面连杆机构的基本特性	(21)
§ 2—4 平面四杆机构的设计	(24)
第三章 凸轮机构	(28)
§ 3—1 凸轮机构的应用和类型	(28)
§ 3—2 从动件的常用运动规律	(30)
§ 3—3 按给定运动规律设计盘形凸轮轮廓	(32)
§ 3—4 设计凸轮机构应注意的问题	(35)
第四章 间歇运动机构	(38)
§ 4—1 棘轮机构	(38)
§ 4—2 槽轮机构	(42)
§ 4—3 不完全齿轮机构	(45)
第五章 螺纹联接及螺旋传动	(47)
§ 5—1 螺纹、螺纹紧固件及螺纹联接的基本类型	(47)
§ 5—2 螺旋传动的类型及螺纹副的运动分析	(52)
§ 5—3 螺纹副的受力分析、自锁和效率	(54)
§ 5—4 螺纹联接的拧紧与防松	(57)
§ 5—5 螺栓联接的强度计算	(60)
§ 5—6 提高螺栓联接疲劳强度的措施	(67)
§ 5—7 滚动螺旋传动	(69)
第六章 挠性件传动	(71)
§ 6—1 带传动概述	(71)

§ 6—2	带传动工作状况分析	(72)
§ 6—3	三角胶带传动的设计	(79)
§ 6—4	带传动的张紧及维护	(86)
§ 6—5	链传动概述	(89)
§ 6—6	链传动的传动比及运动不均匀性	(91)
§ 6—7	套筒滚子链传动的设计	(92)
§ 6—8	链传动的布置和润滑	(97)
第七章	齿轮传动	(100)
§ 7—1	概 述	(100)
§ 7—2	齿轮传动的齿廓曲线问题	(101)
§ 7—3	渐开线标准直齿圆柱齿轮的主要参数与几何关系	(105)
§ 7—4	一对渐开线齿轮的正确啮合与连续传动	(110)
§ 7—5	渐开线标准齿轮的公法线长度和固定弦齿厚	(111)
§ 7—6	渐开线齿轮的加工方法及根切现象	(113)
§ 7—7	变位齿轮	(118)
§ 7—8	轮齿的失效形式	(120)
§ 7—9	齿轮的常用材料	(122)
§ 7—10	直齿圆柱齿轮的强度计算	(123)
§ 7—11	齿轮传动的精度要求和精度等级	(135)
§ 7—12	圆柱齿轮的结构	(138)
§ 7—13	斜齿圆柱齿轮传动	(139)
§ 7—14	圆弧齿轮传动简介	(147)
§ 7—15	直齿圆锥齿轮传动	(148)
§ 7—16	齿轮的测绘	(153)
第八章	蜗杆传动	(162)
§ 8—1	蜗杆传动的特点及类型	(162)
§ 8—2	蜗杆传动的主要参数与几何尺寸	(164)
§ 8—3	蜗杆传动的材料及结构	(167)
§ 8—4	蜗杆传动的受力分析	(169)
§ 8—5	蜗杆传动的强度计算	(170)
§ 8—6	蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计算	(171)
第九章	轮 系	(176)
§ 9—1	概 述	(176)
§ 9—2	定轴轮系及其传动比计算	(177)
§ 9—3	周转轮系及其传动比计算	(179)
§ 9—4	混合轮系及其传动比计算	(182)

§ 9—5	轮系的功用	(186)
§ 9—6	渐开线少齿差行星减速器、摆线针轮行星减速器	(189)
第十章	轴及其联接	(192)
§ 10—1	概 述	(192)
§ 10—2	轴径的初步估算	(193)
§ 10—3	轴的结构设计	(195)
§ 10—4	轴的强度计算 (弯扭合成法)	(198)
§ 10—5	轴毂联接	(201)
§ 10—6	联轴器和离合器	(205)
第十一章	滚动轴承	(217)
§ 11—1	滚动轴承的结构及分类	(217)
§ 11—2	滚动轴承的类型、特性及代号	(218)
§ 11—3	滚动轴承的选择	(223)
§ 11—4	滚动轴承的组合设计	(233)
第十二章	滑动轴承与润滑原理	(239)
§ 12—1	概 述	(239)
§ 12—2	滑动轴承的结构型式	(240)
§ 12—3	轴瓦的结构和材料	(244)
§ 12—4	润滑剂及其选用原则	(248)
§ 12—5	非液体摩擦滑动轴承的计算	(251)
§ 12—6	流体动压润滑	(253)
§ 12—7	单油楔液体摩擦向心滑动轴承的设计	(256)
§ 12—8	弹性流体动压润滑简介	(262)
§ 12—9	流体静压润滑简介	(266)
§ 12—10	润滑方式	(268)
§ 12—11	密封装置	(271)
第十三章	机械速度波动的调节	(276)
§ 13—1	机械速度波动调节的目的和方法	(276)
§ 13—2	机械运转的平均速度和不均匀系数	(278)
§ 13—3	飞轮设计	(279)
第十四章	回转件的平衡	(283)
§ 14—1	回转件平衡的目的	(283)
§ 14—2	回转件平衡的分析	(284)
§ 14—3	回转件平衡的试验方法	(288)
主要参考文献		(291)

绪 论

“机械设计基础”是由“机械原理”与“机械零件”合并而成。

“机械原理”是“机构和机器原理”的简称，它是一门以研究机构和机器为对象的科学。

机械原理也可以说是创造新机械的科学原理。

在现代生产活动中和日常生活中，经常见到的拖拉机、起重机、汽车、机床、内燃机以及缝纫机、洗衣机等等都是机器，船舶也是由许多机器组成。

机械种类繁多，它们的结构、性能、用途各异，但它们的组成原理是相同的，现以内燃机及脞式破碎机为例说明如下：

图0—1是单缸内燃机的示意图，它由气缸1、活塞2、连杆3、曲轴4、齿轮5和6、凸轮7、进气推杆8（排气阀在图中未表示出来）等组成。燃气推动活塞2在气缸1中作直线往复运动，通过连杆3使曲柄4作连续回转运动。凸轮和顶杆是用来启闭进气阀和排气阀的。两个齿轮的齿数比为1:2，从而保证曲轴转两周时进、排气阀开启一次。由于以上各件实物的协同工作，使燃气的热能不断地转换为机械能。

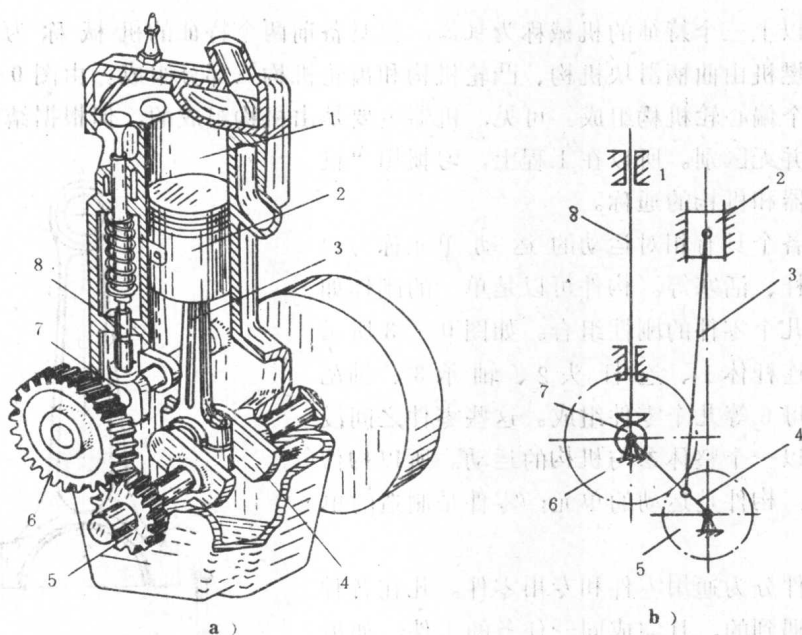


图0—1 单缸内燃机

图0—2所示的脞式破碎机主体是由机架1、偏心轴2（又称曲轴）、动脞3、肘板4等组成。偏心轴2与带轮5固接，当电动机通过三角带驱动带轮5回转时，偏心轴即绕轴4转动，使动脞3作平面运动，从而轧碎动脞与定脞之间的矿石，而作有用的机械功。

通过以上两例，可看出机械具有以下共同特征：

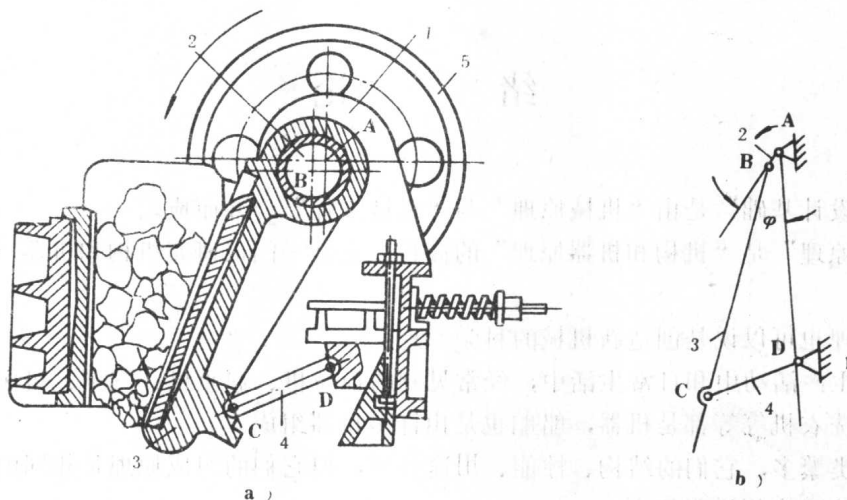


图 0—2 肘式破碎机

1. 它们都是一种人为的实物组合；
2. 它们各部分之间形成各个运动单元。各单元之间具有确定的相对运动；
3. 在生产劳动中，它们能代替或减轻人类的劳动以完成有用的机械功或转换机械能。

凡同时具备以上三个特征的机械称为机器。仅具备前两个特征的机械称为机构。由图 0—1 可知，内燃机由曲柄滑块机构、凸轮机构和齿轮机构三部分组成。由图 0—2 可知，肘式破碎机由一个偏心轮机构组成。可见，机器主要是由机构组成的，但根据结构和运动观点，机器和机构并无区别。所以在工程上，习惯用“机械”一词作为机器和机构的通称。

组成机构的各个具有相对运动的运动单元称为构件。如曲轴、连杆、活塞等。构件可以是单一的刚体如曲轴，也可以是几个零件的刚性组合。如图 0—3 所示的连杆，它是由连杆体 1、连杆头 2、轴承 3、轴瓦 4、螺栓 5、螺母 6 等几个零件组成。这些零件之间没有相对运动，而以一个整体参与机构的运动。所以构件与零件的区别为：构件是运动的单元；零件是制造的单元。

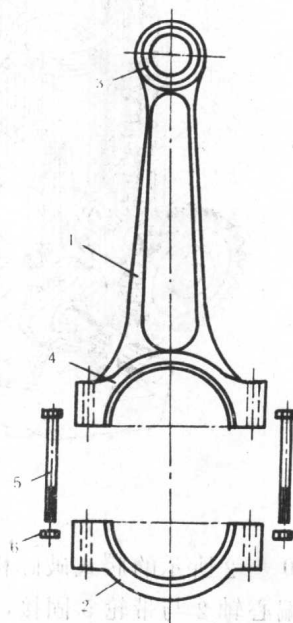


图 0—3 连杆

机械中的零件分为通用零件和专用零件。凡在各种机器中都能经常遇到的，且完成同一任务的零件，如齿轮、螺钉、轴、键、轴承等都称为通用零件；只适用于一定类型机器中的零件，如活塞、连杆、汽轮机叶片等都称为专用零件。

“机械设计基础”这门课主要介绍机械中常用的机构（如平面连杆机构、凸轮机构等）和通用零件的工作

原理、结构特点和基本设计原理及计算方法，以及机器动力学的一些问题（调速和平衡）。同时扼要地介绍零件的国家标准和规范，以及某些标准零件（如滚动轴承）的选用原则和方法，为机械设计提供最基本的知识。

“机械设计基础”是高等工科院校的一门技术基础课。对于管理专业的学生，将来工作虽然是较少直接参加机器设计工作，但是他们应当熟悉机构的基本型式及其运动特性和动力特性。并要搞清各种机构的工作原理及其在机器中的相互作用，以掌握这些知识。任何一台机器在运行过程中，总有可能因机器各部分的运动状态受到破坏而发生故障，从而造成机器损坏和停车。只有熟悉各种机构的运动特性和动力特性的管理工作者才能排除这些故障，并在某种情况下提出新的机构及设计设想。所以，“机械设计基础”不仅是机械制造专业的一门技术基础课，也是与机械应用有关的其它许多工程专业的一门技术基础课。

轮机管理专业的学生通过本课的学习，应该具备使用、维护和改进机械设备的基本知识和分析设备故障的基本能力；并能运用手册设计简单的机械传动，为今后技术革新创造条件，同时为学习专业机械设备提供必要的理论基础。

由于机械设计是许多学科的综合应用，因此，要求学生学习机械设计基础课程之前，必须掌握机械制图、工程力学（理论力学和材料力学），金属材料、制造工艺等方面的有关知识。除此以外许多近代机械设备并非单纯采用机械传动，各专业的工程技术人员还应当了解液压传动、气压传动、电力传动和电子技术等有关知识。

第一章 平面机构的组成及其具有确定运动的条件

平面机构是由许多不在同一平面内而作平面平行运动的构件所组成，且各构件之间具有确定的相对运动。如图 1—1 所示，该机构系由 a 、 b 、 c 、 d 不同平面的四杆和其上的轴与孔(a_d 和 d_a 、 a_b 和 b_a 、 b_c 和 c_b 、 d_c 和 c_d)接触形成的运动副所组成。由此可见，组成机构是有条件的，将许多构件任意拼凑起来是不一定能运动的，即使能运动，其运动也未必是确定的。如图 1—2

(a) 所示是一个三构件的组合物，即使给定一个运动，各构件之间也无相对运动，所以它不是机构，而是桁架。又如图 1—2 (b) 所示为五构件的组合物，当构件 1 按给定的规律运动时，其它构件的运动并不确定，如构件 1 处于图示 AB 位置时，构件 2 既可在 BC 位置，也可在 BC' 位置，所以它的运动是不确定的。那末，机构具有确定运动的条件是什么呢？这就是本章要研究的问题。这个问题对于分析现有机构或创造新机构都是非常重要的。

由于实际机构往往是由外形和结构都很复杂的构件组成，为了研究机构运动方便起见，需要把与运动无关

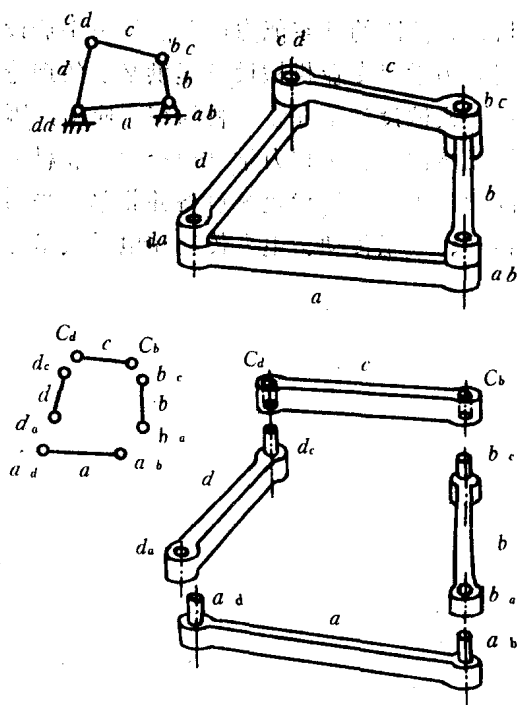


图 1—1 四杆机构

的因素去掉。根据构件联接特征将那些与运动有关的结构及尺寸，用简单的线条和符号绘制出机构运动简图。如图 0—1 (b) 及图 0—2 (b) 所示。掌握正确地绘制机构运动简图的方法也是本章讨论的内容之一。

本章只讨论平面机构，对于空间机构限于篇幅，不予讨论。

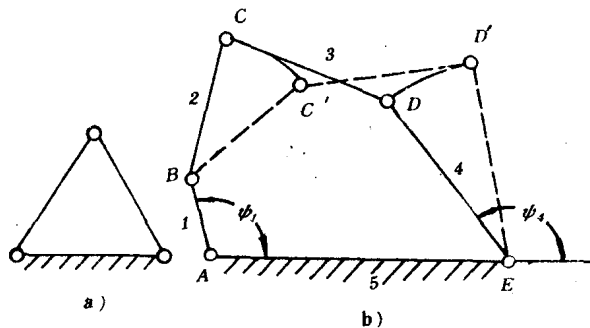


图 1—2 三构件和五构件的组合物

§ 1—1 平面运动副及其分类

机构是由许多构件组合而成。当构件组成机构时，每个构件都以一定的方式与其它构件相互联接。这种联接与铆接、焊接之类的刚性联接不同，它们相互联接的两构件存在着一定的相对运动。这种使两构件直接接触而又彼此有一定的相对运动的联接为运动副。例如图 0—1 的活塞与连杆、活塞与气缸、凸轮与气阀推杆、齿轮与齿轮之间的联接都是运动副，而这些运动副构件之间的接触不外乎点、线、面。两构件形成运动副的重要条件是必须接触且彼此有一定的相对运动。

如图 1—3 所示，在直角坐标系中，构件 AB 可以在 XOY 平面内绕任一点 A 转动，也可沿 X 轴线、 Y 轴线移动，构件的这种独立自由运动称为自由度。因此，作平面运动的自由构件具有三个自由度，但是，当它与另一构件组成运动副后，由于两构件的相互联接，便使该构件的独立运动受到约束，从而失去一些自由度，但仍保留了一些自由度。

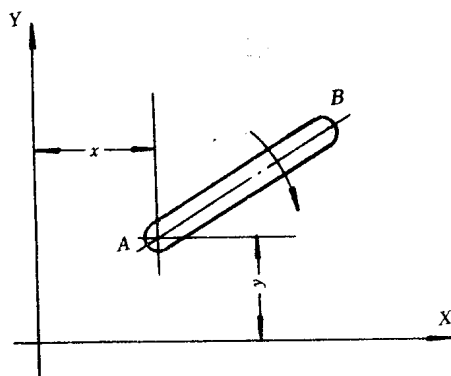


图 1—3 构件的自由度

运动副的型式不同，对运动的约束也不同，因此其保留的自由度也不同。平面机构中的运动副，根据两构件之间的接触方式及其所保留的相对运动的性质可分类如下：

一、低副

两构件之间以面接触而有相互运动所组成的运动副，称为低副。根据它们之间保留的相对运动是转动或移动，又可分为转动副和移动副。

1. 转动副 当两构件组成运动副后，只保留有一个独立的相对转动，而其它两个方向 (X 方向和 Y 方向) 的独立移动均受到约束，这种运动副称为转动副，或称为铰链。图 1—4 (a) 和 (b) 中的构件 1 和构件 2 即组成转动副。图 0—1 (a) 中的活塞与连杆、连杆与曲轴等都组成转动副。

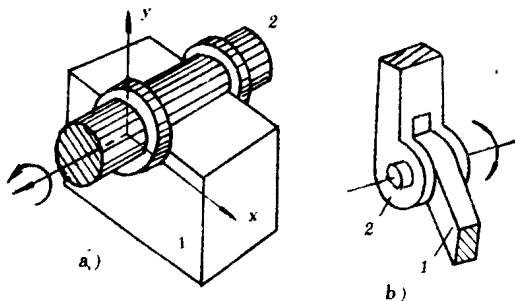


图 1—4 转动副

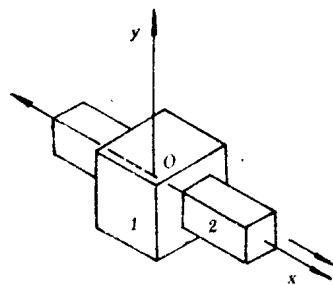


图 1—5 移动副

2. 移动副 当两构件组成运动副后，只保留有沿一个方向独立的相对移动，而另一方

向独立的移动及独立的相对转动受到约束，这种运动副称为移动副。如图 1—5 中的构件 1 与构件 2 即为移动副，图 0—1 (a) 中的活塞与气缸也组成移动副。

综合上述可知，低副具有两个约束而保留一个相对自由度。

二、高副

如果两构件之间是以点或线接触组成的运动副，称为高副。如图 1—6 (a)、(b)、(c) 所示，车轮 1 与滚道 2、凸轮 1 与从动件 2、轮齿 1 与轮齿 2 分别在其接触处都组成高副。

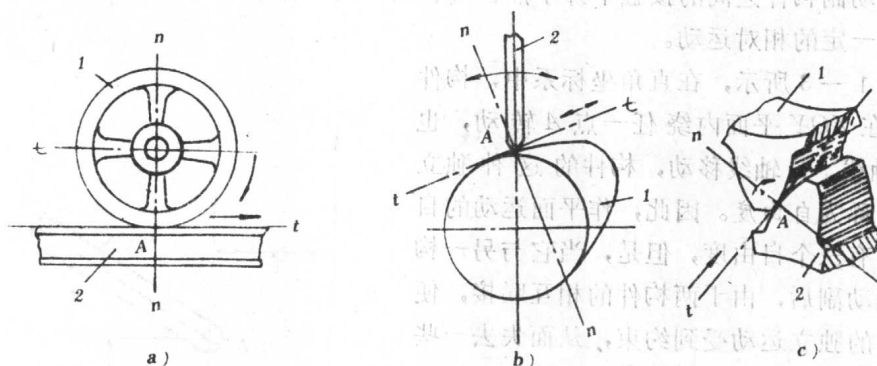


图 1—6 高副

两构件组成高副后，保留的相对运动为转动兼移动。如图 1—6 (c) 中的轮齿 1 与轮齿 2 组成的高副中，轮齿 1 沿公法线方向 $n-n$ 的移动受到约束，但轮齿 1 相对于轮齿 2 可以沿接触处 A 的切线 $t-t$ 方向独立移动，还可以同时绕 A 点独立转动。所以高副具有一个约束而保留两个相对自由度。

由于两构件之间的相对运动仅与其直接接触部分的几何形状有关，而与构件这部分的实际结构无关。因此，为了清晰简便起见，常将构件和运动副用简单的符号表示。

如图 1—7 中，a) 表示转动副、b) 表示移动副、c) 表示高副（画高副简图时，一般应将构件接触部分的外形准确地画出）；d) 表示活动物构件；e) 表示机架即固定件（在构件上应画阴影线）。

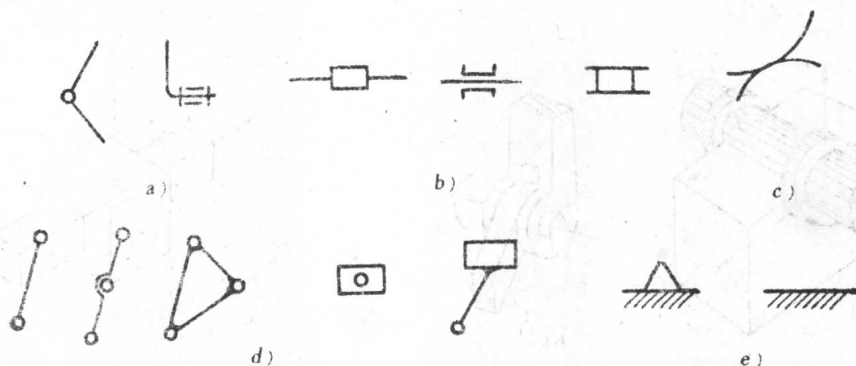


图 1—7 运动副的简单符号

此外，常用的运动副还有球面副（图 1—8）和螺旋副（图 1—9），它们均为空间运

动副，在本章中不作分析介绍。

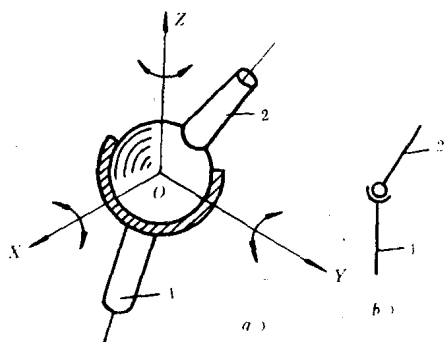


图 1—8 空间运动副

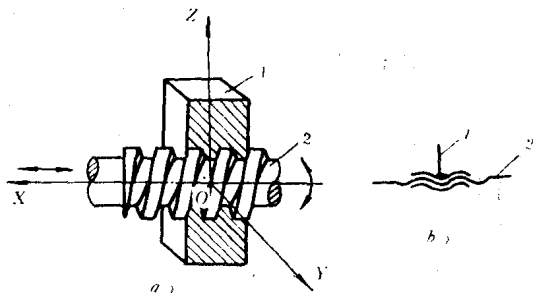


图 1—9 螺旋副

§ 1—2 平面机构运动简图

当我们要对已有机构进行分析研究或要设计新机构时，都必须首先画出机构运动简图。由于机构的运动只与机构中的运动副性质（转动副、移动副或高副等）以及运动副的相对位置（转动副的中心、移动副的中心线、高副接触点的位置等）有关。因此，可以按一定比例确定运动副的位置，并用一些代表运动和构件的简单符号及线条绘制出图形。这个简单的图形能表达机构的运动特征，故称为机构运动简图。

在机构运动简图中，为了准确地表达与原机构完全相同的运动关系，仅要求表示出对机构运动有影响的尺寸，而略去对运动无关的尺寸。

在绘制机构运动简图时，首先必须分析该机构的实际结构与运动情况，确定机构中的固定件（机架）、原动件（运动起始件）和从动件。搞清组成该机构的构件数目及运动副的数目和性质，然后再按一定比例正确地绘制机构运动简图。

下面举例说明机构运动简图的绘制方法。

例 1—1 绘制图 0—2 (a) 所示颚式破碎机的机构运动简图。

解 (1) 分析机构的运动，认清固定件、原动件和从动件。在图示颚式破碎机中，机架 1 是固定件，偏心轴 2 是原动件，剩下的动颚 3 与肘板 4 都是从动件，带轮 5 与偏心轴 2 固联成为一个整体，属于同一构件，无需再计入。

(2) 由原动件开始，按照运动传递的顺序，仔细分析各构件之间相对运动的性质，从而确定构件的数目以及运动副的数目和种类。破碎机中各构件之间的相对运动都是转动。机构中共有四个构件，组成四个转动副。

(3) 合理选择视图，通常选择平行于构件运动的平面作为视图平面，必要时可补充辅助视图，图 0—2 (a) 的视图已能清楚地表示各构件之间的运动传递关系。所以选择此视图平面绘制机构运动简图。

(4) 选择适当的比例尺，定出各运动副之间的相对位置，用构件和运动副的规定符号绘制机构运动简图。

图 0—2 (b) 所示为颚式破碎机的机构运动简图。其绘制过程如下：首先画出偏心轴与

机架组成的回转副中心 A ；其次，按运动副间的相对位置选定比例尺，画出肘板 4 与机架 1 组成的转动副中心 D ，线段 AD 即表示机架的长度。然后再以相同的比例尺定出转动副中心 B 、 C 的位置；最后用构件和运动副的规定符号相连，绘出机构简图。图中 A 与 B 之间的距离称为偏心距，即曲柄的长度，用线段 AB 表示。

需要指出：虽然曲轴 2 与动臂 3 是用一半径大于偏心距 AB 的转动副联接的，但是，由于运动副的规定符号仅与相对运动性质有关，而与所代表运动副的具体结构无关。所以，机构中的四个转动副可用大小相同的四个小圆圈表示。

例 1—2 绘制图 0—1(a) 所示内燃机的机构运动简图。

解 图 0—1(a) 所示内燃机是由曲柄滑块机构（包括气缸 1、活塞 2、连杆 3 和曲轴 4 等构件）、齿轮机构（机体 1、齿轮 5 和 6）、凸轮机构（机体 1、凸轮 7 和进气阀推杆 8）等机构共同组成，其机构运动简图可分别逐步绘制如下：

1. 曲柄滑块机构

(1) 由于气缸 1 与内燃机机体固联，故对整个机构而言是相对静止的固定件；活塞在燃气推动下运动，是原动件；其余的构件都是从动件。

(2) 活塞 2 与气缸 1 之间的相对运动是往复移动，从而组成移动副；活塞 2 与连杆 3、连杆 3 与曲轴 4、曲轴 4 与机体 1 之间的相对运动是转动，所以都组成转动副。

由于在上述四个构件中，有一个移动副和三个转动副，从固定件开始，经原动件到从动件按一定顺序相联，又回到固定件，而形成一个独立的封闭构件组合体，即组成一个独立的机构，称为曲柄滑块机构。

(3) 选择平行于四个构件运动的平面作为视图平面。

(4) 当活塞 2（原动件）相对气缸 1 的位置确定后，选取适当的比例尺用相应的构件和运动副的符号，即可绘出机构运动简图，如图 0—1(b) 所示。

2. 平面齿轮机构

构件 1 是固定件，如图 0—1(b)；齿轮 5 与曲轴 4 固联，因曲轴运动已知，所以齿轮 5 是原动件；齿轮 6 是从动件。

齿轮 5、6 分别相对机架 1 作转动，所以分别组成转动副；齿轮 5、6 之间的齿轮是线接触，组成高副。因此，三个构件用两个转动副和 1 个高副按一定顺序相联，形成一个独立的封闭构件组合体，即平面齿轮机构。

选择齿轮的运动平面作为视图平面，并选用与曲柄滑块机构相同的比例尺，以相应的构件和运动副的符号绘出机构运动简图，如图 0—1(b) 所示。

需要指出：图中由齿轮齿廓接触组成的高副（又称齿轮副），因齿轮常作圆周转动，故两齿轮习惯以其节圆画点划线相切来表示。

3. 平面凸轮机构

平板凸轮 7 与机体 1 组成转动副，并与进气阀推杆 8 组成高副，独立形成一个封闭的构件组合体，即平面凸轮机构，如图 0—1(b) 所示。

选择其视图平面，并用与曲柄滑块机构相同的比例尺，绘出机构运动简图。

由上述可知，内燃机的原动件是活塞 2。齿轮 5 和凸轮 7 的运动均取决于活塞。当活塞 2 的位置一定时，齿轮 5 与凸轮 7 的位置也就确定，这是该瞬时的位置，随着活塞的位置改变，还可画出一系列相应位置的机构运动简图。

§ 1—3 平面机构具有确定运动的条件

一、平面机构的自由度

平面机构的自由度就是机构相对于机架能够产生独立运动的数目。它与组成机构构件的数目、运动副的数目及运动副的类型有关。在分析已有机构及设计新机构时均需进行机构自由度的计算。

由前述已知，任何一个作平面运动的自由构件具有三个自由度，当两个构件组成运动副之后，它们之间的相对运动便受到约束，相应的自由度数目随之减少。如组成的运动副为低副时，构件受到两个约束，失去了两个自由度，而只保留一个自由度；如组成的运动副为高副时，构件受到一个约束，只失去一个自由度，而保留两个自由度。

如果一个平面机构中包含有 n 个活动构件（因为机架作为参考坐标系，所以机架不计在

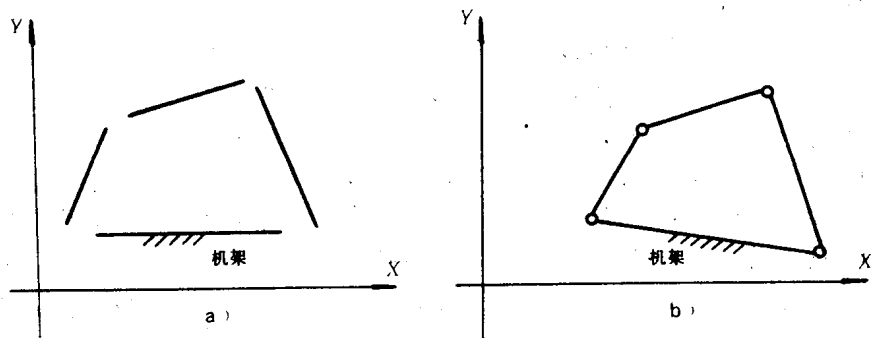


图 1—10 机构的自由度

内），如图 1—10(a) 所示，还有 p_L 个低副和 p_H 个高副（如无高副则 $p_H = 0$ ）。这几个活动构件在未用运动副联接之前共有 $3n$ 个自由度，即能产生 $3n$ 个独立的运动，当用 p_L 个低副和 p_H 个高副联接成机构之后，便受到了 $2p_L + p_H$ 个约束（如图 1—10(b) 及图 1—11 所示）。也就是该机构将失去 $2p_L + p_H$ 个自由度。

显然，整个机构相对机架独立运动的数目，亦即机构的自由度，应等于活动构件自由度的总数减去运动副产生的约束总数，即

$$F = 3n - 2p_L - p_H \quad (1-1)$$

以上就是平面机构自由度的计算公式（即平面机构的结构公式）。由该式可知，要使机构能够运动，其机构的自由度必须大于零。如 F 等于零，该机构将不是机构，而是桁架。

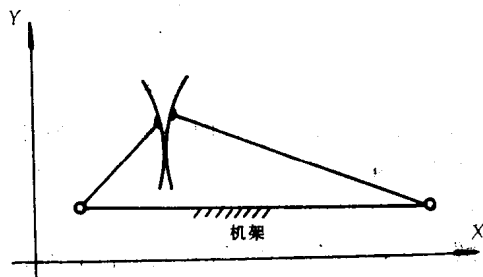


图 1—11 四杆机构

由于机构自由度是机构所具有的独立运动的数目，而机构中的每个原动件具有一个独立运动（如内燃机的活塞具有一个独立的直线运动，破碎机的偏心轴具有一个独立的运动），因此，机构的自由度也是机构应当具有的原动件的数目。

通常机构原动件的数目是可以由设计人员任意给定的。如果给定的原动件数不等于机构

的自由度，那将会出现什么情况呢？下面用几个实例进行分析说明之。

图 1—2(a) 所示的三杆组合体，其 $n=2$ ， $p_L=3$ ， $p_H=0$ ，由式 (1—1) 得

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 2-2\times 3-0=0$$

由于它的自由度为零，所以它是不可能产生相对运动的刚性联结的桁架。

图 0—2(b) 所示的髒式破碎机是一个四杆机构，其 $n=3$ ， $p_L=3$ ， $p_H=0$ ，由式 (1—1) 得

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 3-2\times 4-0=1$$

这个机构的自由度为 1，应当有一个原动件。设构件 2 为原动件，参变数 φ 表示构件 2 的独立运动，则由图可见，每给出一个 φ 的数值，从动件 3、4 便有一个确定的相应位置。也就是说，这个自由度等于 1 的机构在具有一个原动件时可以获得确定的运动。

如果给定这个机构两个原动件（构件 2 和构件 4），则要求构件一方面必须处于原动件 2 所要确定的位置，另一方面又要能够自由运动，显然这是不可能的，这样势必使机构卡死或导致某些构件的损坏。

图 1—2(b) 所示为五杆机构，其 $n=4$ ， $p_L=5$ ， $p_H=0$ 由式 (1—1) 得

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 4-2\times 5-0=2$$

此机构自由度为 2，应当有两个原动件。今假设取构件 1 和 4 为原动件，参变数 φ_1 和 φ_4 分别表示构件 1 和构件 4 的独立运动。由图可见，每给定一组 φ_1 和 φ_4 的数值，从动件 2、3 便有一个确定的相应位置。也就是说，这个自由度等于 2 的机构在具有两个原动件时可以获得确定的运动。如果只给定一个原动件（构件 1），则当 φ_1 给定后，由于 φ_4 不确定，构件 2、3 即可处在实线所示的位置，也可以处于虚线所示位置或其它位置，所以机构的运动是不确定的。

由以上分析可知，机构具有确定的相对运动，其条件为：机构的原动件数目必须等于机构的自由度。

例 1—3 试计算图 0—1 内燃机机构的自由度。

解 图中曲轴 4 与齿轮 5；齿轮 6 与凸轮 7 皆为刚性联接，皆可视为一体。因此，在此机构中， $n=5$ ， $p_L=6$ （其中四个转动副、两个移动副）， $p_H=2$ ，由式 (1—1) 可得

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 5-2\times 6-2=1$$

此机构有一个原动件时运动即可确定。

例 1—4 图 1—12 所示为一差动轮系机构，试计算其自由度。

解 在差动轮系中，活动构件有中心轮 1 和 3、行星轮 2 和转臂 H，即 $n=4$ ；在 A、B 处各组成一个转动副，在 C 处组成两个转动副，即 $p_L=4$ ；在 D、E 处各组成一个高副，即 $p_H=2$ 。由式 (1—1) 可得

$$\begin{aligned} F &= 3n - 2p_L - p_H \\ &= 3\times 4 - 2\times 4 - 2 = 2 \end{aligned}$$

即此机构有两个自由度。要保证机构作确

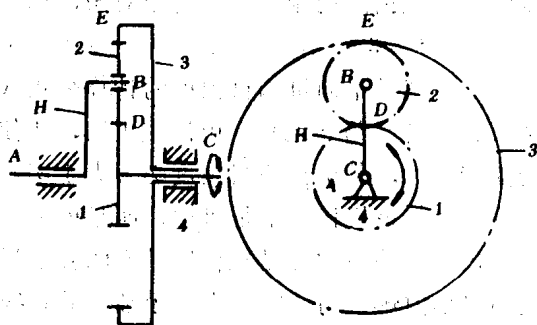


图 1—12 差动轮系