



SHIYOU

中等专业学校教学用书

机械设计基础

岳平山 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书内容包括平面机构、凸轮机构、间歇运动机构、螺纹联接和螺旋传动、键及销联接、带传动、链传动、齿轮传动、轮系、轴、轴承、联轴器与离合器、回转构件的平衡、机械零件的计算机辅助设计。

本书力求通俗易懂、分量适当、突出实用性、简化或避免繁琐的推导或论证。为适合中专特点，将机械原理与机械零件两门课程融为一体编排，称作机械设计基础。

本书主要适用于中等专业学校近机械类各专业的教材，也可作为职工中专、自学者及有关工程技术人员的参考书。

机 械 设 计 基 础

岳平山 主编

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 18³/₄印张 463千字 印1-4,000

1990年4月北京第1版 1990年4月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0253-1/TE · 249

定价：3.35元

前 言

本书是根据1986年11月石油工业部教育司批准制订的中等专业学校“机械设计基础教学大纲”并参照1987年2月全国中等专业学校机械原理与机械零件课程组审订的中等专业学校四年制近机类“机械原理及机械零件教学大纲”编写的。

由于学制和招生对象的改变(改四年制,招收初中毕业生),急需能够满足教学要求的教材,石油工业部中等专业学校机械设计基础学科组于1985年11月在重庆会议上,建议石油部组织部属中专编写近机类专业《机械设计基础》教材,随即得到石油部的支持和批准。

本书正是从适应新的招生对象的要求出发,经过两年时间的现场调查研究和搜集资料而编写出来的。为便于组织教学,将机械原理与机械零件两部分内容融合在一起,按着常用机构的结构特点、运动分析、设计方法;通用零件的工作原理、结构、特点、设计方法;回转构件的平衡;机械零件的计算机辅助设计等四个方面的内容依次编排。为了符合循序渐进、由浅入深的认识规律,将键联接一章置于通用零件之始;螺旋传动附在螺纹联接之后;将齿轮机构与齿轮传动合并为齿轮传动一章,使啮合原理与承载能力的计算紧密相连;将减速器和轮系合为一章。为了适应中等专业学校培养“应用型”人材的培养目标的要求,本书吸收了大量生产实践中的实例,除石油工业外,还引进了机械、化工、冶金、建筑等方面的实例;本书注重基本概念的建立,阐述问题力求简洁明了,以生产实际中的应用为重点,为此,适当简化了某些公式的推导,或者干脆只给出某些计算公式而不作推导。为便于学生预习和复习,每章开头扼要介绍本章讲述主要内容,并提出基本要求,使学生初步了解本章内容梗概,明确重点。每章末尾编有思考题和习题,供学生思考和练习,限于篇幅,在部分章末尾安排了标准化试题,供教师编选作业与考题参考。书中还反映了一些最新科技信息。为适应教师的教学要求,力求教材能够得心应手,书中还反映了各校多年教学经验的结晶。

书中平面机构的运动简图及自由度、圆弧齿轮传动简介、回转构件的平衡、机械零件的计算机辅助设计等为选学内容。考虑到油田矿场机械中,大量应用圆弧齿轮,所以本书简介了这方面内容,各校选用时可酌定取舍。

本书由辽河石油学校岳平山(绪论、第九章、第十一章的减速器部分)、胜利石油学校孟宪亮(第一、二章)、大港石油学校彭德音(第三、七章)、大庆石油学校崔金林(第四、六章)、甘肃石油学校李永源(第五、十二章)、华北石油学校孟庆云(第八、十五章)、新疆石油学校范更生(第十、十一章的轮系部分)、重庆石油学校安纲传(第十三、十七章)、承德石油学校王兆常(第十四章)、中原石油学校李彩生(第十六章)等编写。由岳平山担任主编。

北京钢铁学院张英会教授、沈阳黄金学院孙振帮同志担任主审。承蒙两位主审对书稿先后两次审阅,提出了大量宝贵意见,为本书较为完善作出了重大贡献,编者表示衷心感谢。

由于编者水平有限,经验不足,书中定有不少缺点甚至谬误之处,热诚希望读者批评指正。

编者

1987年12月

目 录

绪论	(1)
第一章 平面机构运动简图及其自由度	(4)
第一节 运动副及其分类	(4)
第二节 平面机构运动简图	(6)
第三节 平面机构自由度的计算	(9)
第二章 平面连杆机构	(15)
第一节 铰链四杆机构的基本型式及应用	(15)
第二节 平面连杆机构的演化型式	(20)
第三节 平面四杆机构的基本性质	(23)
第四节 平面四杆机构的运动设计	(26)
第三章 凸轮机构	(30)
第一节 凸轮机构的应用与分类	(30)
第二节 从动件的常用运动规律	(32)
第三节 盘形凸轮轮廓曲线的画法	(36)
第四节 凸轮机构设计中的几个问题	(39)
第四章 间歇运动机构	(43)
第一节 棘轮机构	(43)
第二节 槽轮机构	(46)
第五章 键、花键及销联接	(49)
第一节 键联接的类型、特点和工作原理	(49)
第二节 平键联接的尺寸选择与强度验算	(52)
第三节 花键联接	(55)
第四节 销联接	(56)
第六章 螺纹联接和螺旋传动	(58)
第一节 螺纹的形成、主要参数及类型	(58)
第二节 螺旋副的受力分析、效率和自锁	(61)
第三节 螺纹联接的基本类型及螺纹联接件	(63)
第四节 螺纹联接的预紧和防松	(66)
第五节 螺栓联接的强度计算	(69)
第六节 螺旋传动	(75)
第七章 带传动	(79)
第一节 带传动的工作原理、特点和应用	(79)
第二节 三角胶带的构造和标准及三角带轮	(80)
第三节 带传动的工作情况分析	(84)
第四节 三角胶带传动的设计计算	(87)

第五节 三角带传动的张紧、安装和维护	(96)
第八章 链传动	(98)
第一节 链传动的工作原理、特点及应用	(98)
第二节 套筒滚子链与链轮	(98)
第三节 链传动的运动不均匀性	(101)
第四节 链传动的失效形式与设计计算	(103)
第五节 链传动的使用和润滑	(106)
第九章 齿轮传动	(111)
第一节 齿轮传动的特点和类型	(111)
第二节 齿廓啮合基本定律	(112)
第三节 渐开线齿廓	(113)
第四节 渐开线标准直齿轮的几何参数与几何尺寸	(115)
第五节 一对渐开线齿轮的啮合传动	(117)
第六节 渐开线齿轮的切齿原理和根切现象	(119)
第七节 标准直齿圆柱齿轮的公法线长度和固定弦齿厚	(122)
第八节 齿轮精度简介	(125)
第九节 轮齿的失效与齿轮材料	(126)
第十节 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	(129)
第十一节 斜齿圆柱齿轮传动	(138)
第十二节 圆柱齿轮的结构	(146)
第十三节 变位直齿圆柱齿轮传动	(150)
第十四节 直齿圆锥齿轮传动	(157)
第十五节 圆弧齿轮传动	(163)
第十章 蜗杆传动	(170)
第一节 蜗杆传动的特点和类型	(170)
第二节 蜗杆传动的主要参数、几何尺寸与结构	(172)
第三节 蜗杆传动的受力分析、失效形式与材料	(176)
第四节 蜗杆传动的强度计算	(178)
第五节 蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计算	(178)
第十一章 轮系和减速器	(182)
第一节 轮系的类型和应用	(182)
第二节 定轴轮系的传动比计算	(182)
第三节 动轴轮系传动比的计算	(185)
第四节 减速器简介	(188)
第十二章 轴	(195)
第一节 概述	(195)
第二节 轴的结构设计	(198)
第三节 轴的强度计算	(201)
第四节 转轴设计举例	(204)
第十三章 滑动轴承	(210)

第一节 概述	(210)
第二节 滑动轴承的结构	(211)
第三节 润滑剂和润滑装置	(216)
第四节 非液体摩擦滑动轴承的设计计算	(221)
第五节 液体摩擦滑动轴承简介	(222)
第十四章 滚动轴承	(226)
第一节 滚动轴承的结构、代号、类型及特性	(226)
第二节 滚动轴承类型选择	(231)
第三节 滚动轴承尺寸选择	(231)
第四节 滚动轴承组合设计	(244)
第十五章 联轴器与离合器	(250)
第一节 联轴器与离合器的功用和分类	(250)
第二节 联轴器	(251)
第三节 离合器	(258)
第十六章 回转构件的平衡	(262)
第一节 回转构件及其平衡的目的	(262)
第二节 回转构件平衡的基本原理	(262)
第三节 静平衡与动平衡的试验方法	(267)
第十七章 机械零件的计算机辅助设计	(273)
第一节 计算机辅助设计的意义和方法	(273)
第二节 三角胶带传动的计算机辅助设计	(275)
第三节 齿轮传动的计算机辅助设计	(280)
参考文献	(289)

绪 论

绪论部分主要介绍本课程研究的内容、性质和任务。为了说明这些问题，首先介绍了两台具体的机器，并给出了零件、构件、机构、机器等一些概念。通过绪论部分的学习，对本课程有个总体认识，增强学好本课的信心和兴趣，在学习方法上适应技术基础课的特点，既用前导课中的理论和知识，又要综合考虑实际工程问题的主要要求。

一、机械的基本概念

为了减轻繁重的体力和脑力劳动，提高劳动生产率与工作效率，人们通过长期的生产实践逐渐创造了机器。虽然机器的种类繁多，用途不一，但它的组成却有共同性。图 0-1 所示为一石油矿场用的抽油机，为了能从井底抽出原油，利用在井底作往复运动的深井抽油泵来实现。抽油泵由抽油杆与悬绳器 7 相连，它属于工作机；抽油泵的动力由电动机 1 供给，它是原动机；原动机的旋转运动通过三角带传动 12、减速器 11 及四连杆机构（由 2、3、5、8 等件组成）等传动机构，变换成一定速度和力量的驴头 6 的往复运动，通过悬绳器 7 带动抽油杆来实现往复的抽油运动。

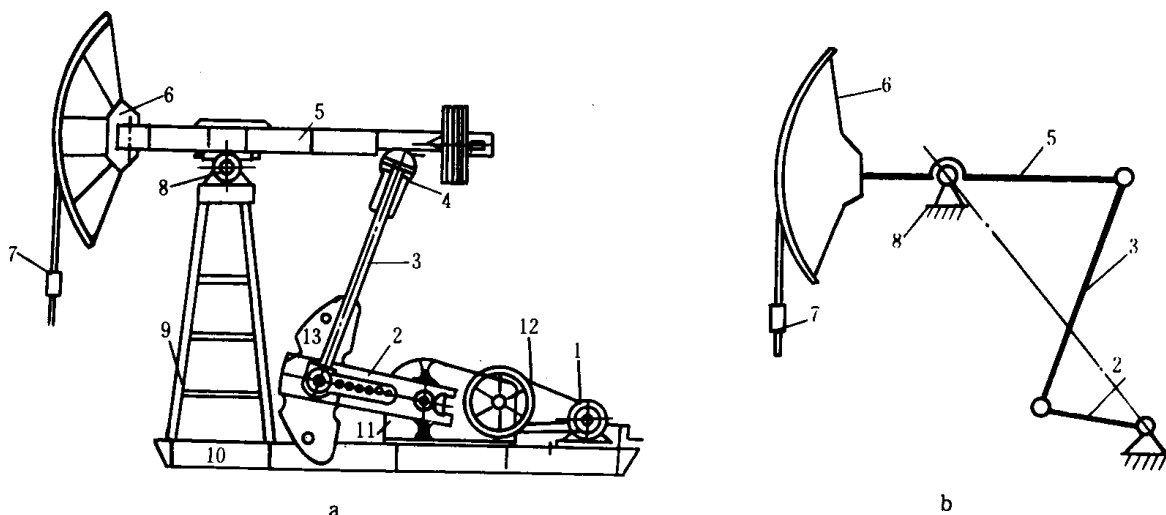


图 0-1 抽油机

又如图 0-2 所示为一内燃机，主要由气缸 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4、齿轮 5 和 6、凸轮 7、进气阀推杆 8、排气阀（在图中未画出）等组成。燃气推动活塞 2 在气缸 1 中作直线移动，通过连杆 3 使曲轴 4 作连续转动，从而将燃气的热能转换为机械能。

从以上两种机器可以看出，机器具有以下特征：

- (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) 它能做有用的机械功或转换能量。

凡同时具有以上三个特征的机械称为机器，仅有前两个特征的机械则称为机构。若不考虑机器在作功和能量转换方面所起的作用，仅从结构和运动观点来看，机器和机构并无区

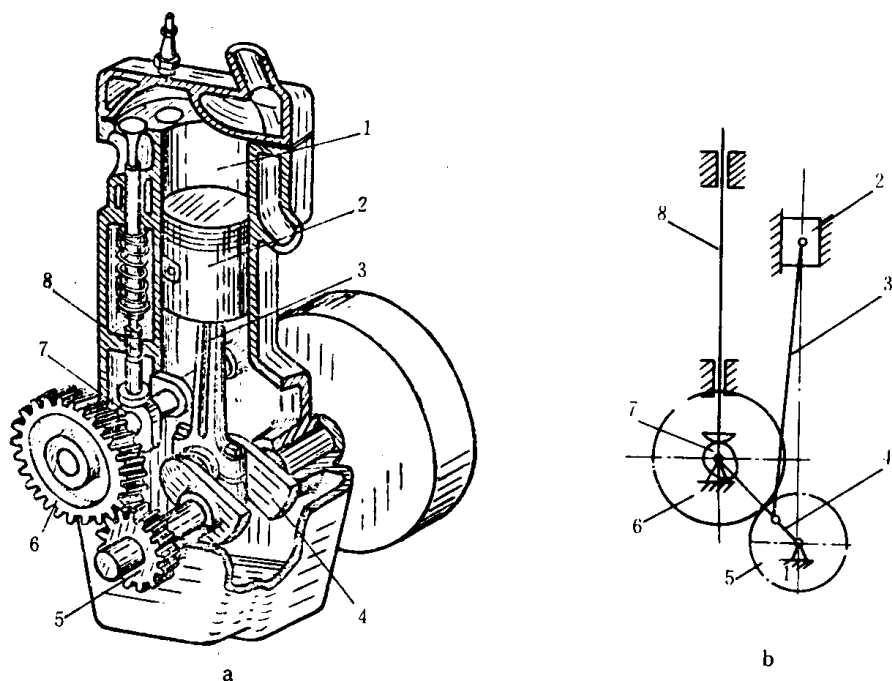


图 0-2 内燃机

别。所以常以机械作为机器与机构的总称。

组成机械各人为的实体之间具有确定的相对运动，各实体为运动整体，该运动整体称为构件。构件可以是单一零件的运动整体，也可以是多个零件组成的刚性结构。如图 0-2 所示内燃机的曲轴，它是单一元件的运动构件；而齿轮与轴用键联接组成的运动整体为一个构件。可见，构件是运动的单元，零件是制造的单元。机械中的零件可分为两类。一类称为通用零件，它在各种机械中都能经常遇到，如齿轮、螺钉、轴等；另一类称为专用零件，它只出现于某种机械中，如叶轮的叶片，内燃机的曲轴等。

一台完整的机器，如抽油机一般由原动机、传动机构、工作机三部分组成。原动机是动力的来源，如电动机、内燃机、蒸汽机、液压马达等；工作机是直接完成生产任务的部分，其结构型式随机器的用途而不同；传动机构是将原动机的运动和动力传到工作机的中间环节，它将原动机传来的运动速度、运动形式、运动方向和转矩大小，改变成工作机所需要的型式。原动机与工作机是有关专业课所研究的内容，而本课程则着重研究传动机构的内容。

随着微电子技术的发展，电脑在人类的生产和生活中得到了广泛的应用，从而使机器的概念增加了新的含义。机器不仅能做功或转换能量，还能传递或改变信息，不仅能减轻或代替人的体力劳动，还能减轻人的脑力劳动。从传统的机器的概念，到现代用电脑控制的各种机床及机器人等由软件和硬件组成的系统，都称为机器。所以，概括起来，机器是能够传递或改变物体的形状、位置、能量及事物信息的工具。

现代科学技术的发展，加强了各个学科领域间的相互影响、相互渗透。在机械学和电子学之间出现了电子机械学，工程中则出现了机电一体化。由过去的人围着机器转，到现代出现的数控、程控的柔性加工单元和柔性加工系统，从而出现了自动机床、自动生产线、自动化车间等，使机械的发展呈现了广阔的前景。

在机械工程与机械设计学科方面，我们中华民族对人类做出了重大贡献，五千年悠久的文明史中，机械方面的发明创造永载史册。五千年前就出现了简单的纺织机械：夏朝的奚仲

创造了有辐的车轮；晋朝的水碾已经应用了凸轮原理；西汉的指南针和记里鼓车都采用齿轮系传动；西汉后期发明的起重辘轳已经利用差动原理；东汉时期发明的水排已利用连杆机构；张衡发明了候风地动仪；宋朝时期创造了圆锥齿轮传动原理，并应用于水转翻车机构。

随着机械工程的发明创造，出现了机械学。如明朝王征所作的《诸器图》、宋应星所著《天工开物》等就是其中的代表作。

由于我国漫长的封建社会，近代又加上帝国主义入侵而变成半封建半殖民地社会，使机械工业停滞不前，在世界上处于落后地位。

新中国成立以后，特别是在党的十一届三中全会以后，在中国共产党的领导下，我国的社会主义四个现代化事业有了健康稳步地发展，能够设计和制造高级、大型、精密、尖端产品，建立了门类齐全的机械设计与机械研究的专门机构与部门。

为了加快社会主义四个现代化建设的步伐，必须对现有机械设备进行全面技术改造，设计与制造出自动化程度高的先进设备。因此，本课程将对中等专业学校学生未来的工作有着不可忽视的作用。

二、本课程的主要任务与作用

机械设计基础课的主要任务是：研究常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和计算方法。

本课程的主要作用是：为从事石油、化工、动力、采矿、冶金、土建、轻纺、食品工业等各部门工作的基层技术人员与管理人员，提供机械方面的基础知识；为有关专业的学生学习专业机械设备课程提供必要的理论基础；使工程技术人员，了解各种机械的传动原理、设备的正确使用和维护、设备事故与零件失效分析方面的基本知识；培养学生运用手册标准等资料设计简单传动装置的能力，为技术革新和设备改造创造条件。

三、本课程的学习方法与基本要求

本课程是一门技术基础课，具有承上启下的作用，几乎用到在校学生以前所学过的各门课程的知识，解决机构的运动学及动力学特性，机械零件所受的载荷和应力，选择合适的材料与热处理方式，确定零件的尺寸和形状，选择合理的公差配合，绘制有必要技术条件的工作图等。它考虑的实际因素多，实用性强，涉及面广。所以，学生应尽快熟悉本课特点，改变以往课程单一化的学习方法，适应本课程应用各门课的多元化、综合性、实践性的特点，掌握课程内容的规律和主线。各章内容的安排，大体上是：首先分析零件的工作原理、结构特点、载荷的性质、大小；然后分析零件的应力状态及失效形式；建立承载能力的计算准则及相应的工作能力计算公式；计算零件的几何尺寸；进行结构设计并完成工作图。

培养设计能力，单靠读、看、想不行，必须经过动手实践才能获得真本领，所以，学生必须独立完成作业，每一个习题，即是一个小的设计题目。学生还必须独立完成课程设计任务。通过实践性环节培养设计能力，在实践中熟练，在熟练中把知识“活”起来。

第一章 平面机构运动简图及其自由度

机构的重要特征是各构件之间都必须具有确定的相对运动，如图 1-1a 所示的三铰接杆，各杆件不能相对运动，所以它不是机构。图 1-1b 所示的四铰接杆，当杆 2 按一定规律运动时，其余各杆都具有确定的运动，所以称为四杆机构。图 1-1c 所示的五铰接杆，当仅有杆 2 按一定规律运动时，其余各杆的运动都是不确定的，也不能称为机构。由此可知，构件只有按一定条件才能组合成机构，绝不是随意拼凑的。因此，研究构件的组合在什么条件下才能成为机构，对于分析或设计机构是非常重要的。

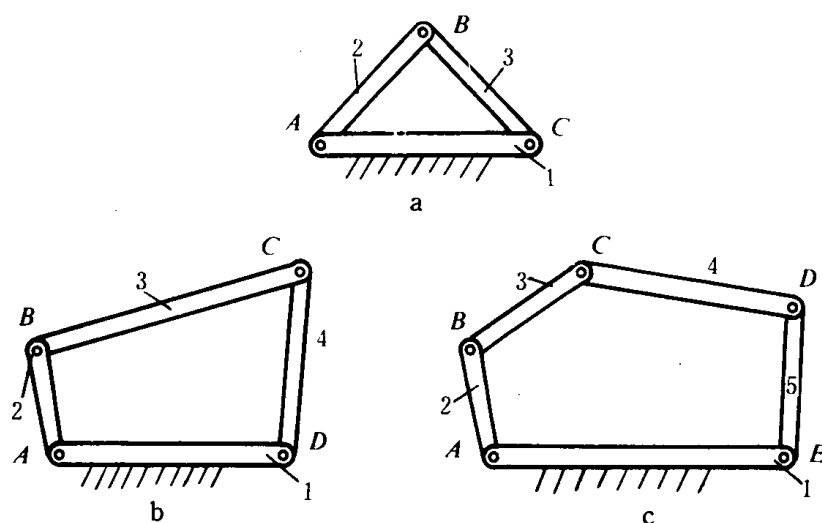


图 1-1 组成机构的条件

构件在同一平面内或相互平行的平面内运动的机构称为平面机构，否则称为空间机构。本章主要介绍平面机构运动简图的绘制。要求学生初步掌握平面机构运动简图的绘制方法，了解计算平面机构自由度的目的和方法。

第一节 运动副及其分类

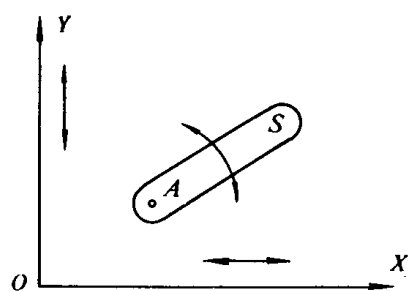


图 1-2 构件的自由度

构件在未装配成机构之前，都是自由构件。如图 1-2 所示的构件 s ，在 XOY 坐标系中，构件 s 可随任一点 A 沿 X 轴线或 Y 轴线移动和绕该点转动。构件的这种可能出现的独立的自由运动称为构件的自由度。一个作平面运动的自由构件有三个自由度。

构件在装配成机构之后，各构件都以某种方式与其他构件相互联接（如内燃机中活塞与气缸、连杆与活塞的相互联接）。这种联接使构件保留一定的自由度，同时也失去了某些自由度。两构件之间的这种具有确定相对运动

的可动联接,称为运动副。

如果组成运动副的两构件间的相对运动为平面运动,则该运动副为平面运动副。平面运动副是靠构件的直接接触实现的,按接触方式的不同,可分为低副和高副两种。

一、低副

两构件之间通过面接触而构成的运动副,称为平面低副。平面低副可分为转动副和移动副两种。

1. 转动副

如图 1-3a、b 所示,构件 1 和构件 2 组成以铰链联接的运动副。两构件之间只能绕轴线相互自由转动,而沿 X 轴和 Y 轴方向的相对移动自由度则被限制了。这种两构件只能在一个平面内作相对转动的运动副,称为转动副或称铰链。若转动副的两构件之一是固定的,则称该转动副为固定铰链(如图 1-1b 中的 A 、 D);若转动副的两个构件都是活动的,则称该转动副为活动铰链(如图 1-1b 中的 B 、 C)。

2. 移动副

如图 1-3c 所示,构件 1 和构件 2 只能沿某一轴线(X 或 Y 轴线)相互自由移动,而沿另一轴线的相互自由移动和在 XOY 平面内相互转动的自由度则被限制了。这种两个构件只能沿某一轴线相互移动的运动副,称为移动副。

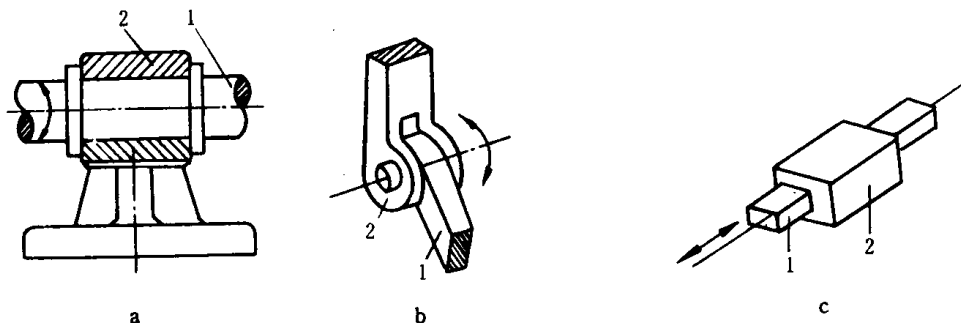


图 1-3 转动副与移动副

二、平面高副

两构件以点接触或线接触所构成的平面运动副,称为平面高副。如图 1-4a 所示的凸轮机构,凸轮 1 和从动件 2 是以点 A 接触构成高副的。它们的相对运动是转动和沿切线 tt 作移动,而沿过接触点 A 的凸轮轮廓线的法线 nn 移动的自由度则被限制了。图 1-4b 所示的齿轮机构的齿廓之间,通过线接触的方式组成平面高副。

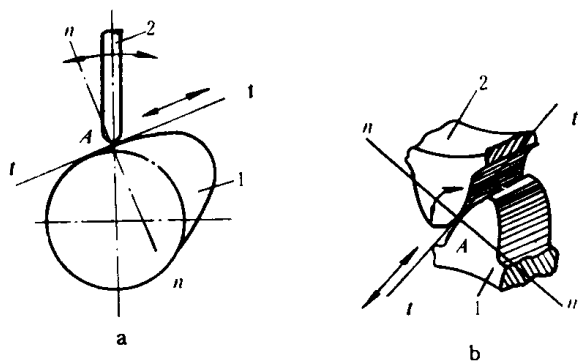


图 1-4 凸轮副与齿轮副

上面讨论的都是平面运动副,在常用的运动副中还有球面副(图 1-5a)和螺旋副(图 1-5b)等,它们都是空间运动副。

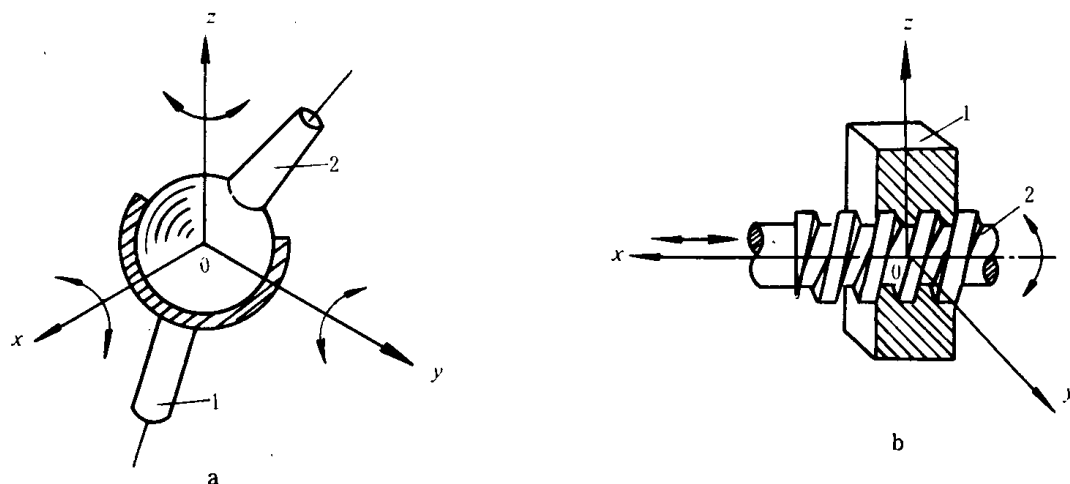


图 1-5 球面副与螺旋副

第二节 平面机构运动简图

为了便于研究机构的运动，工程上常常撇开那些与运动无关的因素（如构件的结构、断面尺寸、构件组成以及运动副的具体结构等），只根据机构的运动尺寸，按一定比例尺给出各个运动副的位置，用规定的运动副符号和简单的线条，画出反映机构运动情况的简单图形，称为机构运动简图。

机构运动简图应当将构件数目、运动副的数目和种类、主要运动尺寸和构件的类型表达清楚。

一、运动副的表示方法

图 1-6 为两构件组成转动副的几种表示方法。小圆圈表示转动副，构件 1 和构件 2 用线段表示。图 a 表示两活动构件组成转动副；图 b 为两构件之一是固定件（机架），固定件上画有斜线。

图 1-7 为两构件组成移动副的几种表示方法。

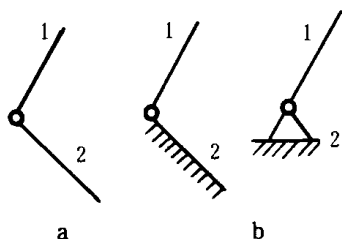


图 1-6 转动副

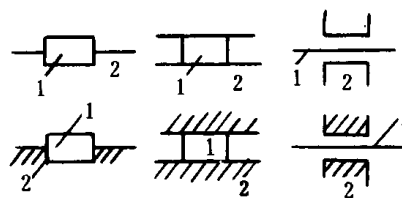


图 1-7 移动副

图 1-8a 为两构件组成高副的一般表示方法。画高副时，应将构件接触部分的曲线轮廓画出。图 1-8b 为圆柱齿轮、滚子和凸轮的表示方法。

在图 1-9 中，图 a 表示可能组成两个转动副的构件；图 b 表示可能组成一个转动副和一个移动副的构件；图 c 表示可能组成三个转动副的构件。如果三个转动副在一条直线上，可用图 d 表示。

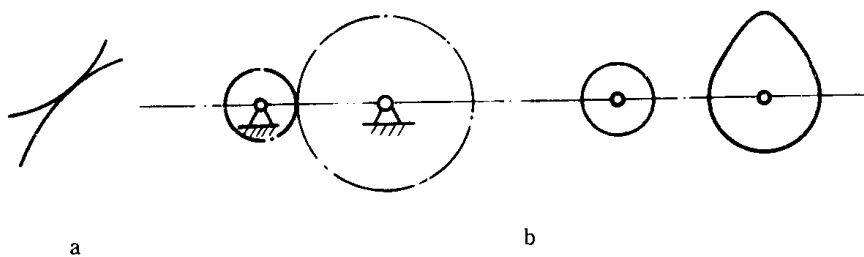


图 1-8 高副

二、绘制机构运动简图

绘制机构运动简图时，首先找出机构中的机架、原动件和从动件。然后沿着传动路线，分析各构件的作用，确定构件和运动副的数目、性质。再选择能够清楚表达构件运动关系的视图平面。最后以适当的比例尺用规定符号和线条绘制机构运动简图。验算机构自由度，分析机构是否合理。

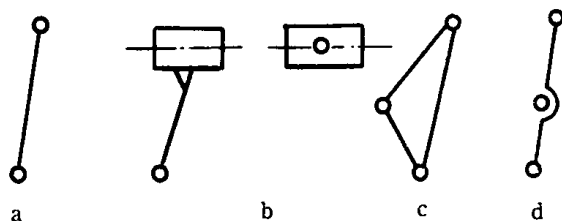


图1-9 可能组成运动副的构件

例 1-1 绘制图 1-10a 所示颚式破碎机的机构运动简图。

解：(1) 经分析可知，图中机架 1 是固定件，与机架固联的定颚板 6 当然也为固定件。偏心轴 2 为原动件。动颚板 3 和肘板 4 为从动件。带轮 5 与偏心轴固联将外部运动传给偏心轴。

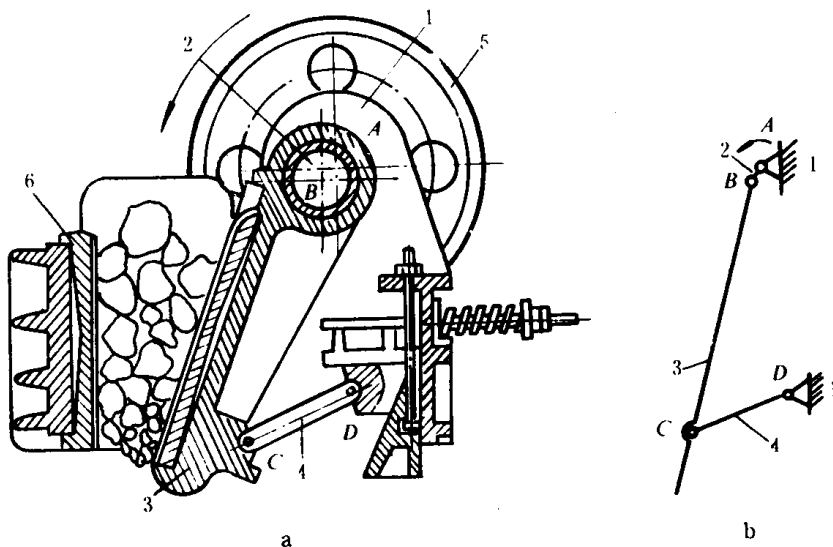


图 1-10 颚式破碎机

(2) 由原动件开始，按传动顺序经分析可知，机构中共有四个构件，构成四个转动副。

(3) 合理选择视图平面。图 1-10b 是以平行于机构运动平面所选择的视图平面。

(4) 选取适当的比例尺，定出各运动副的相对位置，绘制机构运动简图。首先画出偏心轴 2 与机架 1 组成的转动副中心 A 和肘板 4 与机架 1 组成的转动副中心 D 。再画出偏心轴 2 与动颚板 3 组成的转动副中心 B ， A 与 B 之间的距离就是偏心轴的偏心距 e 。而后再定出动

颚板 3 与肘板 4 组成的转动副中心 C 。最后用构件和运动副的规定符号连成机构运动简图 (图 1-10b)。

例 1-2 绘制图 1-11a 所示的小型往复式气体压缩机的机构运动简图。

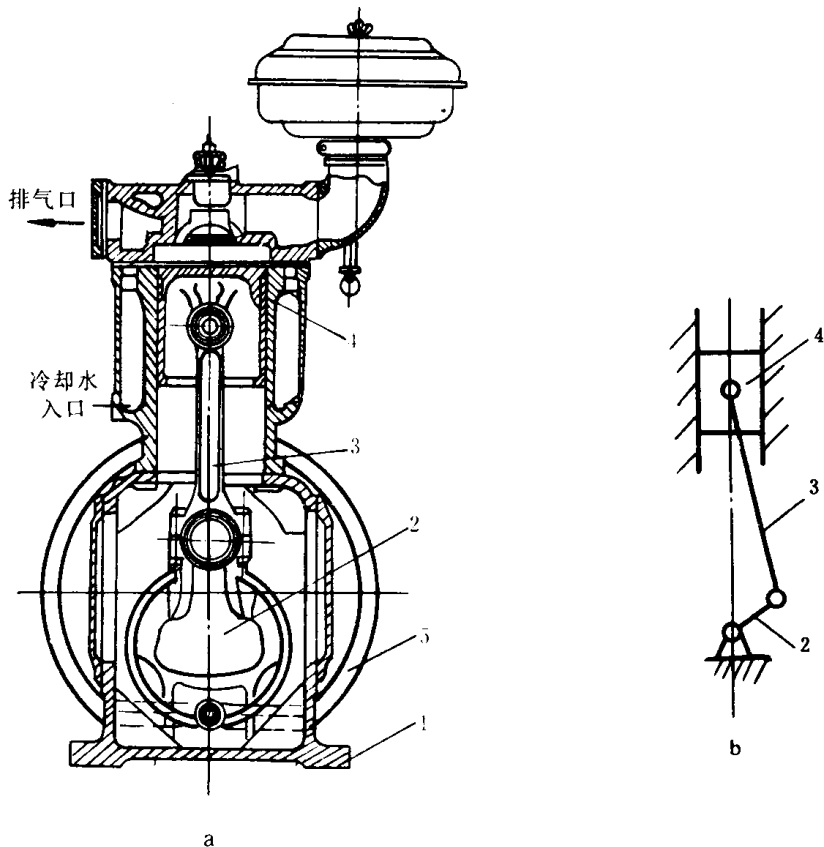


图 1-11 小型往复式气体压缩机

解：(1) 压缩机机体为机架 1；带轮 5 与曲轴 2 固联，将外部运动传给曲轴 2，则曲轴 2 为原动件；连杆 3 和活塞 4 是从动件。

(2) 机架与曲轴、曲轴与连杆、连杆与活塞都组成转动副；活塞与气缸组成移动副；由于气缸与机体固联，应将气缸视为机架。经分析可知，机构中共有四个构件，组成三个转动副和一个移动副。

(3) 选择平行于构件运动的平面为视图平面。

(4) 选取适当的比例尺定出各运动副的相对位置，绘制机构运动简图 (图 1-11b)。

例 1-3 绘制图 0-1a 所示的游梁式抽油机的机构运动简图。

解：(1) 抽油机机体为机架 8；曲柄 2 为原动件，它是由减速器 11 中的齿轮带动的。连杆 3 和游梁 5 是从动件。

(2) 机架与曲柄、连杆与曲柄、游梁与连杆、游梁与机架均以转动副联接。经分析可知，机构中共有四个构件，组成四个转动副。

(3) 选择平行于构件运动的平面为视图平面。

(4) 选取适当的比例尺，定出各运动副的相对位置，用规定符号和线条画出机构运动简图 (图 0-1b 所示)。

第三节 平面机构自由度的计算

一、平面机构的自由度

如前所述,一个作平面运动的自由构件,具有三个自由度。但在机构中引入了运动副之后,将会限制两构件之间的相对运动,使构件自由度的数目减少。引入不同的运动副,被限制的自由度数不同。如转动副(图1-3a)就限制了两个移动自由度,只保留一个转动自由度。如移动副(图1-3c)就限制了一个移动自由度和一个转动自由度,只保留一个移动自由度。而高副(图1-4)都是只限制了沿接触处公法线方向的一个移动自由度,保留了一个转动自由度和一个移动自由度。由此可知,引入一个低副,就使构件失去两个自由度,保留一个自由度。引入一个高副,就使构件失去一个自由度,保留两个自由度。

若一个平面机构中的构件数为 N ,其中必有一个是固定件(机架),固定件的自由度为零,则机构中活动构件数为 $n=N-1$ 。在引入运动副之前,所有构件应有 $3n$ 个自由度。若机构中引入低副的数目为 p_L ,高副的数目为 p_H ,则机构中引入的全部运动副将使机构中所有活动构件的自由度总数失去 $2p_L+p_H$ 个自由度。所以,活动构件的自由度总数减去由运动副的限制而失去的自由度总数就是该机构自由度数,以 F 表示,则平面机构的自由度

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

现在应用式(1-1)来计算图1-12中四杆机构和五杆机构的自由度。

在四杆机构中,活动构件数 $n=3$,低副数 $p_L=4$,由式(1-1)可得机构的活动度为

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

在五杆机构中,活动构件数 $n=4$,低副数 $p_L=5$,由式(1-1)可得机构的活动度为

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

显然上述机构的活动度都大于零,机构是能够运动的。但是,机构仅仅能够运动是不够的,还必须具有确定的运动,才能满足生产的需要。由于每个原动件具有一个自由度,所以,当机构有一个自由度时,需要有一个原动件,当机构自由度数为2时,就需要有两个原动件。由此可知,机构具有确定运动的条件是:机构的原动件数目必须与机构的自由度相等。

上述的四杆机构,若连架杆2为原动件,当杆2处在图中 AB 位置时,杆3杆4必然分别处在 BC 和 CD 两个位置上,机构的运动是完全确定的。在五杆机构中,若只有连架杆2为原动件,机构的运动是不能确定的。因为杆2运动时,机构中的杆3杆4杆5可以不受杆2的限制而自由运动。例如杆2处在 AB 位置时,杆3杆4杆5可以处在图b中实线位置,也可以处在虚线位置。但是,当另一连架杆5也为原动件,且按给定的运动规律运动时,则机构的运动就是完全确定的了。

如果原动件数多于自由度数,如图1-12a所示的四杆机构中,使构件2和构件4均为原动件,将会使机构卡死或破坏。

例1-4 试计算图1-10颚式破碎机主体机构的活动度。

解:在该机构中,活动构件数目 $n=3$ 共有四个转动副,即 $p_L=4$,没有高副,由式(1-1)可得机构的活动度为

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

此机构只有一个自由度。偏心轴为原动件,原动件数等于机构的自由度数,所以机构的运动是确定的。当偏心轴在带轮的带动下作转动时,各活动构件均作确定的相对运动。

从计算结果看, 该机构须有三个原动件, 运动才是确定的。但实际上只有曲柄 2 一个原动件就够了。出现这种情况, 是因为统计运动副时, 将 B 处当成一个转动副, 而实际上在 B 处是由三个构件组成的两个转动副重合在一起。故在 B 处应为两个转动副, 即低副数应为 $p_L = 7$ 。则机构的自由度应为

$$F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1$$

这样原动件数等于自由度数, 机构具有确定运动。

同一轴线上有两个以上构件用转动副联接的这种铰链称为复合铰链(图 1-15)。如果由 m 个构件组成复合铰链, 则其转动副数应为 $m-1$ 个。

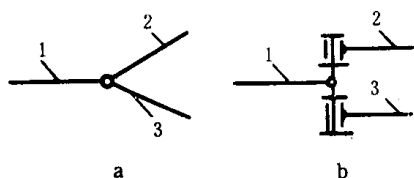


图 1-15 复合铰链

2. 局部自由度

图 1-16a 所示为滚子从动件凸轮机构的机构运动简图。若取活动构件数 $n=3$, 低副数 $p_L=3$, 高副数 $p_H=1$ 。由式 (1-1) 可得机构的自由度为

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

从计算结果看, 该机构应有两个原动件才有确定运动。但实际上只有凸轮 2 一个原动件, 机构的运动就确定了。出现这种情况, 是因为滚子 4 绕 B 点转动与否, 对整个机构的运动并无影响, 即仅从传递运动来看, 滚子 4 的转动是多余的。因此, 我们将某些不影响整个机构运动的自由度, 称为局部自由度, 在计算机构自由度时, 应将其略去不计。如图 1-16b 中假定将滚子 4 和构件 3 焊成一体, 滚子不再转动, 这样就去掉了滚子绕 B 点转动的一个局部自由度。这时机构的活动构件数 $n=2$, 低副数 $p_L=2$, 高副数 $p_H=1$ 。由式 (1-1) 可得机构的自由度为

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

从计算结果可知, 原动件数等于自由度数。

3. 虚约束

图 1-17a 所示为移动式摆动筛的机构运动简图, 其中 $DE \parallel FG$, $DF \parallel EG$ 。机构中活动构件数 $n=5$, 低副数 $p_L=7$ 。由式 (1-1) 可得机构的自由度为

$$F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1$$

由计算可知, 仅有构件 2 为原动件时, 机构的运动就是确定的。

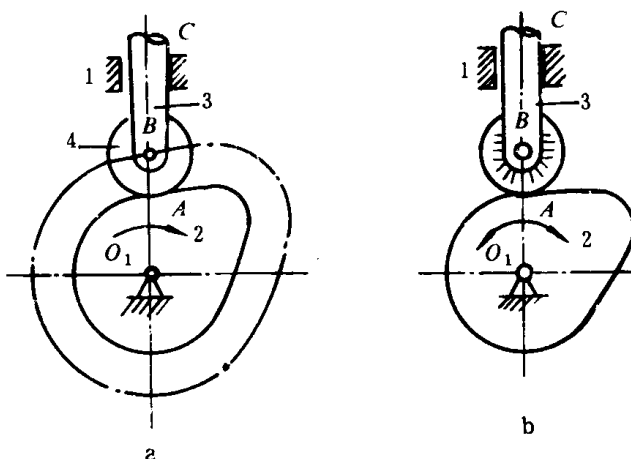


图 1-16 滚子从动件凸轮机构

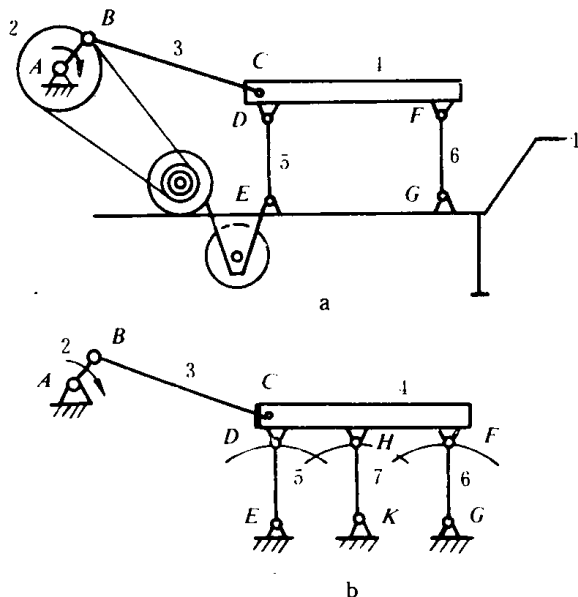


图 1-17 移动式摆动筛机构运动简图