



高职高专“十一五”规划教材

JIXIE SHEJI

机械设计

曹 苹 主编



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

机械 设计

曹 苹 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是根据教育部有关《高职高专教育机械设计课程教学基本要求》以及目前教学改革发展的要求编写的,突出高等职业教育的特点,并贯彻最新的国家标准。

全书共 13 章,包括绪论、平面机构的运动简图及自由度、平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、连接、带传动和链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轮系、轴、轴承、联轴器和离合器等内容。各章配有一定数量的习题,以便供学习时选用。

本书可作为高职高专院校、成人高校的机械类或近机类各专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计/曹萃主编. —北京:化学工业出版社, 2009. 4
高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-04713-7

I. 机… II. 曹… III. 机械设计-高等学校: 技术学校教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 010921 号

责任编辑: 高 钰
责任校对: 陶燕华

文字编辑: 张绪瑞
装帧设计: 韩 飞

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: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13½ 字数 348 千字 2009 年 4 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: 22.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是根据教育部有关《高职高专教育机械设计课程教学基本要求》和新近颁布的国家有关标准编写而成的。主要适用于高职高专院校机械类或近机类各专业教学用书,参考学时为70~100学时。

本书编写在内容选取上以必需、够用为度,理论推导从简,突出叙述基本知识、基本理论和基本计算方法的应用。强化工程意识培养,尽可能将更多的工程实例引入到教材中,使理论知识与工程实践的联系更加紧密,有利于提高读者分析问题和解决问题的能力。

参加本书编写的有苏州市职业大学曹苹(第1章、第7~9章、第11章、第12章),苏州市职业大学茆琦(第2~4章),苏州市职业大学张骥(第5章、第6章、第10章、第13章),由曹苹担任主编,茆琦担任副主编。

本书承苏州市职业大学郑志祥教授认真审阅,并对本书的编写提出了许多宝贵的修改意见,对提高本书质量起了很大作用,对此致以衷心感谢!

由于编者水平有限,疏漏欠妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2009年3月

目 录

1 绪论	1	3.4.3 用解析法按给定连架杆对应位置 设计四杆机构	23
1.1 机械设计研究的对象	1	习题	24
1.2 机械设计的基本要求和机械零件 设计的一般步骤	2	4 凸轮机构	27
1.2.1 机械设计的基本要求	2	4.1 概述	27
1.2.2 机械零件设计的一般步骤	2	4.1.1 凸轮机构的应用和特点	27
1.3 本课程的内容、性质和任务	3	4.1.2 凸轮机构的分类	27
习题	3	4.1.3 凸轮和滚子的材料	28
2 平面机构的运动简图及自由度	4	4.2 从动件常用运动规律	28
2.1 概述	4	4.2.1 平面凸轮机构的基本尺寸和 运动参数	28
2.2 机构的组成	4	4.2.2 从动件常用运动规律	29
2.2.1 运动副	4	4.3 凸轮轮廓曲线的设计	31
2.2.2 运动链和机构	5	4.3.1 反转法原理	31
2.3 平面机构运动简图	6	4.3.2 图解法设计凸轮轮廓曲线	31
2.3.1 机构运动简图	6	4.4 凸轮机构基本尺寸的确定	32
2.3.2 机构运动简图的绘制	7	4.4.1 凸轮机构的压力角	32
2.4 平面机构自由度	8	4.4.2 基圆半径的确定	33
2.4.1 机构自由度的计算	8	4.4.3 滚子半径的确定	33
2.4.2 机构具有确定运动的条件	8	4.4.4 平底长度的确定	34
2.4.3 计算平面机构自由度时应注意 的特殊问题	8	习题	34
习题	11	5 间歇运动机构	35
3 平面连杆机构	14	5.1 概述	35
3.1 概述	14	5.2 棘轮机构	35
3.2 平面连杆机构的基本形式及其演化	14	5.2.1 棘轮机构的工作原理和类型	35
3.2.1 平面连杆机构的基本形式	14	5.2.2 棘轮机构的特点和应用	37
3.2.2 平面连杆机构的演化	16	5.3 槽轮机构	37
3.3 平面连杆机构的基本特性	18	5.3.1 槽轮机构的工作原理和类型	37
3.3.1 铰链四杆机构有曲柄的条件	18	5.3.2 槽轮机构的特点和应用	38
3.3.2 急回特性	19	5.4 不完全齿轮机构	39
3.3.3 压力角和传动角	19	5.4.1 不完全齿轮机构的工作原理和 类型	39
3.3.4 死点位置	20	5.4.2 不完全齿轮机构的特点和应用	39
3.4 平面四杆机构的设计	22	习题	40
3.4.1 按给定连杆的位置设计四 杆机构	22	6 连接	41
3.4.2 按给定行程速度变化系数 K 设计 四杆机构	22	6.1 概述	41
		6.2 螺纹连接	41

6.2.1 螺纹	41	8.6.1 变位齿轮及其分类	94
6.2.2 螺纹连接的主要类型和 预紧、防松	43	8.6.2 变位齿轮的几何尺寸	95
6.2.3 螺栓组连接的结构设计	46	8.6.3 变位齿轮传动类型	95
6.3 键连接和花键连接	47	8.7 齿轮传动的失效形式和计算准则	96
6.3.1 键连接的类型	47	8.7.1 齿轮传动的失效形式	96
6.3.2 平键连接的选用和强度校核	50	8.7.2 齿轮传动的计算准则	98
6.3.3 花键连接	51	8.8 常用齿轮材料及其热处理	98
6.4 销连接	52	8.9 直齿圆柱齿轮传动的载荷计算	100
习题	53	8.9.1 轮齿受力分析	100
7 带传动和链传动	54	8.9.2 计算载荷与载荷系数	101
7.1 带传动	54	8.10 标准直齿圆柱齿轮传动的强度 计算	101
7.1.1 概述	54	8.10.1 齿面接触疲劳强度计算	101
7.1.2 V带和V带带轮	55	8.10.2 齿根弯曲疲劳强度计算	103
7.1.3 带传动的工作情况分析	58	8.11 直齿圆柱齿轮传动的设计步骤	105
7.1.4 V带传动的设计计算	62	8.11.1 主要参数选择	105
7.1.5 带传动的张紧和维护	70	8.11.2 许用应力	106
7.2 链传动	73	8.11.3 齿轮传动的设计计算步骤	108
7.2.1 概述	73	8.11.4 齿轮传动的精度等级选择	110
7.2.2 滚子链和链轮	73	8.12 标准斜齿圆柱齿轮传动	113
7.2.3 滚子链传动的设计计算	75	8.12.1 斜齿圆柱齿轮齿廓曲面的形成 及其主要啮合特点	113
7.2.4 链传动的布置、张紧和润滑	79	8.12.2 斜齿圆柱齿轮的基本参数及 几何尺寸计算	114
习题	81	8.12.3 斜齿圆柱齿轮的正确啮合条件 与重合度	115
8 齿轮传动	82	8.12.4 轮齿受力分析	116
8.1 概述	82	8.12.5 齿面接触疲劳强度计算	116
8.1.1 齿轮传动的特点	82	8.12.6 齿根弯曲疲劳强度计算	117
8.1.2 齿轮传动的分类	82	8.13 标准直齿圆锥齿轮传动	120
8.2 渐开线齿廓及其啮合特性	83	8.13.1 直齿圆锥齿轮传动概述	120
8.2.1 齿廓实现定传动比传动的条件	83	8.13.2 直齿圆锥齿轮的基本参数及几何 尺寸计算	120
8.2.2 渐开线齿廓	84	8.13.3 轮齿受力分析	122
8.2.3 渐开线齿廓的啮合特性	86	8.13.4 齿面接触疲劳强度计算	122
8.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本 参数及几何尺寸计算	87	8.13.5 齿根弯曲疲劳强度计算	123
8.3.1 外齿轮	87	8.14 齿轮的结构和齿轮传动润滑	123
8.3.2 内齿轮	89	8.14.1 齿轮结构设计	123
8.3.3 齿条	89	8.14.2 齿轮传动润滑	125
8.4 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	89	习题	126
8.4.1 渐开线直齿圆柱齿轮正确啮合 条件	89	9 蜗杆传动	128
8.4.2 渐开线齿轮传动的重合度	90	9.1 概述	128
8.5 渐开线齿轮的切削加工及根切现象	91	9.1.1 蜗杆传动的特点及应用	128
8.5.1 齿廓切削基本原理	91	9.1.2 蜗杆传动的类型	128
8.5.2 齿轮加工的检验尺寸	92	9.2 普通圆柱蜗杆传动的基本参数及几何 尺寸计算	129
8.5.3 渐开线齿廓的根切现象和标准齿 轮不发生根切的最少齿数	93		
8.6 变位齿轮传动	94		

9.2.1 基本参数及其选择	129	11.4.1 轴的弯曲刚度校核计算	165
9.2.2 几何尺寸计算	131	11.4.2 轴的扭转刚度校核计算	165
9.3 蜗杆传动的工作情况分析	131	习题	165
9.3.1 蜗杆传动的受力分析	131	12 轴承	168
9.3.2 齿面的滑动速度及蜗轮旋转方向的确定	132	12.1 概述	168
9.4 蜗杆传动的失效形式、计算准则及材料选择	133	12.2 滚动轴承的结构、类型及特点	168
9.4.1 失效形式和计算准则	133	12.2.1 滚动轴承的结构	168
9.4.2 材料选择	133	12.2.2 滚动轴承的常用类型、特点和应用	169
9.5 普通圆柱蜗杆传动的强度计算	134	12.3 滚动轴承的代号及类型选择	172
9.5.1 蜗轮齿面接触疲劳强度计算	134	12.3.1 滚动轴承的代号	172
9.5.2 蜗轮齿根弯曲疲劳强度计算	135	12.3.2 滚动轴承类型的选择	174
9.6 蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计算	136	12.4 滚动轴承的工作情况分析 & 计算	174
9.6.1 蜗杆传动的效率	136	12.4.1 滚动轴承的主要失效形式和计算准则	174
9.6.2 蜗杆传动的润滑	137	12.4.2 滚动轴承的寿命计算	175
9.6.3 蜗杆传动的热平衡计算	137	12.4.3 滚动轴承的当量动载荷	177
9.7 普通圆柱蜗杆和蜗轮的结构设计	138	12.4.4 角接触向心轴承的轴向载荷 F_a 的确定	178
9.7.1 普通圆柱蜗杆结构	138	12.5 滚动轴承的静强度计算	180
9.7.2 蜗轮结构	138	12.6 滚动轴承的极限转速	182
习题	140	12.7 滚动轴承的组合设计	185
10 轮系	142	12.7.1 轴承套圈的周向固定和配合	185
10.1 概述	142	12.7.2 轴承套圈的轴向固定	186
10.2 定轴轮系及其传动比	142	12.7.3 轴系的轴向定位	186
10.2.1 平面定轴轮系的传动比	143	12.7.4 轴系的轴向调整	189
10.2.2 空间定轴轮系的传动比	143	12.7.5 轴承的安装和拆卸	189
10.3 周转轮系及其传动比	144	12.7.6 滚动轴承的预紧	189
10.3.1 周转轮系传动比计算的基本思路	144	12.7.7 滚动轴承的润滑和密封	190
10.3.2 周转轮系传动比的计算方法	144	12.8 滑动轴承概述	192
10.4 复合轮系及其传动比	145	12.8.1 滑动轴承的类型	192
10.5 轮系的应用	146	12.8.2 滑动轴承的结构	192
习题	149	12.8.3 轴瓦结构和轴承材料	193
11 轴	151	12.8.4 滑动轴承的润滑	196
11.1 概述	151	习题	198
11.1.1 轴的分类、特点和应用	151	13 联轴器和离合器	199
11.1.2 轴的材料及其选用	152	13.1 概述	199
11.2 轴的结构设计	153	13.2 联轴器	199
11.2.1 轴的结构设计应考虑的主要因素	153	13.2.1 刚性联轴器	200
11.2.2 提高轴的强度和刚度的措施	157	13.2.2 挠性联轴器	201
11.3 轴的强度计算	157	13.3 离合器	203
11.3.1 按扭转强度计算	158	13.3.1 牙嵌离合器	203
11.3.2 按弯扭合成强度计算	158	13.3.2 圆盘摩擦离合器	204
11.4 轴的刚度计算概念	164	13.3.3 超越离合器	205
		习题	206
		参考文献	207

1 绪 论

1.1 机械设计研究的对象

在现代生产和日常生活中,广泛应用着各种各样的机器。如图 1-1 所示的单缸四冲程内燃机。它由汽缸体 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。燃气推动活塞往复运动,经连杆转变为曲轴连续的转动。通过齿轮间的啮合,将曲轴的运动传给凸轮轴,凸轮和顶杆用来启闭进气阀和排气阀,分别控制进气和排气,将燃气的热能转换成曲轴转动的机械能。

又如全自动洗衣机主要由机体、电动机、叶轮、控制电路组成。当接通电源后,操作控制按钮,驱动电动机经带传动使叶轮回转,搅动洗涤液实现洗涤。一旦设置好程序,全自动洗衣机就会自动完成洗涤、清洗、甩干等洗衣的全过程。

内燃机和洗衣机都叫机器,机器的种类多种多样,它们的结构、用途各不相同,但它们都是由各种机构组合而成的。

机构是能实现运动传递或变换的系统,如内燃机中的活塞、连杆、曲轴和汽缸体组成的连杆机构将活塞的移动转换成曲轴的转动;由凸轮、顶杆和汽缸体组成的凸轮机构将凸轮的转动转换成顶杆的移动;由一对齿轮和汽缸体组成的齿轮机构将曲轴的转动传给凸轮轴并可改变转速的大小和方向。而由一个或多个机构组成的机器不仅能变换运动,还能变换机械能或完成有用的功。但从结构和运动观点来看,机器和机构并无差别,所以把机器和机构统称为机械。

随着科学技术的发展,机械的含义已突破了传统的概念,它不仅能传递运动和动力,而且能传递信息;不仅能代替人的体力劳动,还能代替人的脑力劳动,如智能机器人、电子计算机等。机构也不仅仅由刚体组成,气体或液体也可参与运动的传递或变化。

机械中不可拆卸的基本单元称为零件,如齿轮、轴、凸轮等,它是制造的单元体。机械中的运动单元称为构件,它可以是一个零件,也可以由几个无相对运动的零件组成,如连杆由连杆头、连杆体、螺栓和螺母等组成,如图 1-2 所示。机械中由若干个零件装配而成能完成特定任务的一个独立组成部分叫部件,它可以是一个构件如连杆,也可以由多个构件组成,如轴承、联轴器等。若干个部件根据功能又可组成机器的原动部分、传动部分、执行部

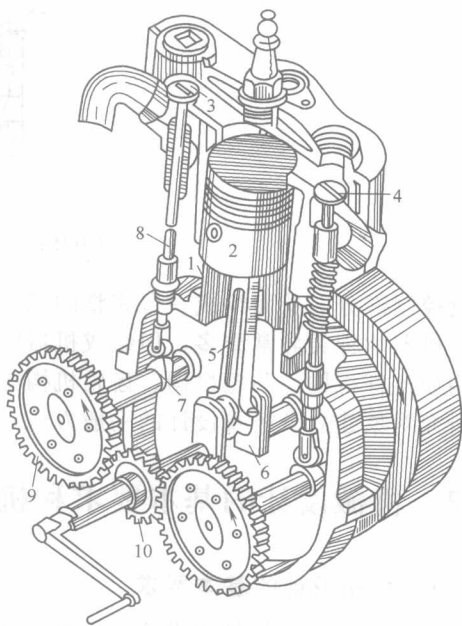


图 1-1 单缸内燃机

- 1—汽缸体; 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

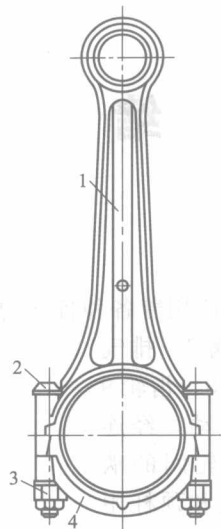


图 1-2 连杆
1—连杆体；2—螺栓；3—螺母；4—连杆头

分及控制部分，从而组成一台完整的机器。

机器的种类异常繁多，但组成机器的机构种类却是有限的，因此，以各种机械中的常用机构如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构等以及通用零部件（如螺钉、齿轮、带、轴承等）作为研究对象建立分析及设计的一般方法，可为各类具体机器的研究打下基础。

1.2 机械设计的基本要求和机械零件设计的一般步骤

1.2.1 机械设计的基本要求

机械设计是指规划和设计实现预定功能的新机械或改进原有机器的性能。其设计的基本要求如下。

(1) 功能性要求

要使机械能实现预定的功用和性能指标，并保证在预定的工作期限内能可靠地工作。

(2) 经济性要求

要使机械的设计、制造、使用和维护的费用少，而且工作效率高。

(3) 使用性能要求

要使设计的机械操作方便、省力、安全、可靠。

(4) 其他要求

要使设计的机械便于安装、拆卸和运输，还要考虑环境保护等。

1.2.2 机械零件设计的一般步骤

机械零件设计是本课程研究的主要内容之一，其设计步骤如下。

① 根据零件的功能要求，选定零件的类型。

② 分析零件的工作情况，确定作用在零件上的载荷。

③ 根据工作情况分析，判定零件的失效形式，从而确定其计算准则。

④ 进行主要参数选择，根据计算准则求出零件的主要尺寸，选择材料，考虑热处理及

结构工艺性要求。

⑤ 进行结构设计。

⑥ 绘制零件工作图，制订技术要求，编写计算说明书和有关技术文件。

这些设计步骤对于不同的零件和工作条件可以有所不同。此外，在设计过程中有些步骤又是相互交错、反复进行的。

1.3 本课程的内容、性质和任务

本课程研究的对象就是机械中的常用机构和通用零部件，研究它们的工作原理、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的选用和维护。这是一门技术基础课，它综合运用高等数学、工程力学、机械制图、机械制造基础、互换性与测量技术等基础知识，解决常用机构和通用零部件的分析和设计问题。

通过本课程的学习，应使学生达到下列基本要求。

① 掌握常用机构的结构、运动特性和设计方法，初步具有分析、选择和设计常用机构的能力。

② 掌握通用零件的设计方法，初步具备设计机械传动装置的能力。

③ 具有运用标准、规范、手册、图册和查阅有关技术资料的能力。

④ 获得实验技能的基本训练。

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之一，具有承上启下的作用，是机械工程师和机械管理工程师的必修课程。

习 题

1-1 本课程研究的对象是什么？主要内容是什么？

1-2 本课程的性质和任务是什么？

1-3 解释下列名词：机器与机构；构件与零件。

1-4 日常生活中，使用的自行车、缝纫机、电视机、照相机等是机器还是机构？为什么？

2 平面机构的运动简图及自由度

2.1 概述

机构由构件组成,各构件之间具有确定的相对运动。然而机构中的构件任意拼凑起来不一定能够运动。为此,讨论构件究竟应该如何组合才能运动,在什么条件下才具有确定的相对运动就尤为必要。本章要研究机构运动的可能性及其具有确定运动的条件,同时通过机构分析来掌握正确绘制机构运动简图的方法。

所有构件都在同一平面或平行平面内运动的机构称为平面机构。由于常见机构大多数是平面机构,故本章只讨论平面机构。

2.2 机构的组成

2.2.1 运动副

一个作平面运动的自由构件具有三个独立运动。如图 2-1 所示,构件 S 在 Oxy 坐标系中可以绕 A 点转动,也可以随 A 点沿 x 轴或 y 轴移动。构件具有的独立运动参数的数目称为自由度。一个作平面运动的自由构件具有三个自由度。

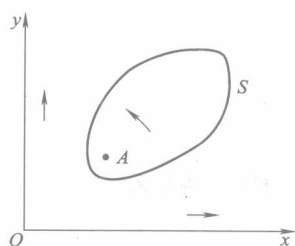


图 2-1 平面运动构件的自由度

在机构中每个构件都要以一定的方式与其他构件相互连接。通常把使两构件直接接触并能产生一定相对运动的连接称为运动副。当构件组成运动副后,就限制了两构件间的独立运动,自由度便随之减少,运动副限制构件独立运动的作用称为约束。运动副引入的约束数和构件失去的自由度数相等。

两构件组成运动副,其接触的形式有点、线或面接触。按照接触形式的不同,通常把运动副分为低副和高副两类。

(1) 低副

两构件通过面接触组成的运动副称为低副。平面机构中的低副有转动副和移动副两种。

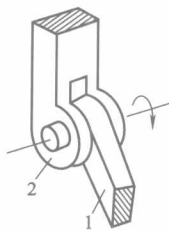


图 2-2 转动副

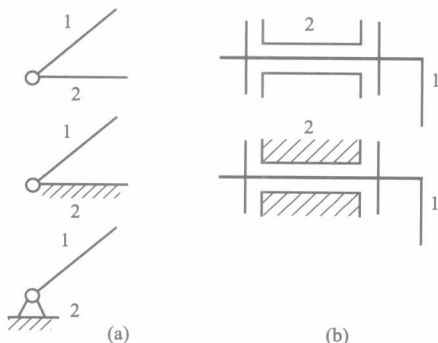


图 2-3 转动副的符号

① 转动副 两构件之间只作相对转动的运动副称为转动副或回转副,如图 2-2 所示。内燃机的活塞与连杆、连杆与曲轴组成的运动副是转动副(图 1-1)。转动副可用图 2-3 所示符号表示。图 2-3 (a) 中用圆圈表示转动副,其圆心代表相对转动轴线垂直于纸面。图 2-3 (b) 表示转动副轴线位于纸平面内。图中有剖面线的构件表示固定构件(即机架)。

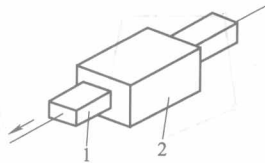


图 2-4 移动副

② 移动副 两构件之间只作相对移动的运动副称为移动副,如图 2-4 所示。内燃机的活塞与汽缸体组成的运动副是移动副(图 1-1)。移动副可用图 2-5 所示符号表示。

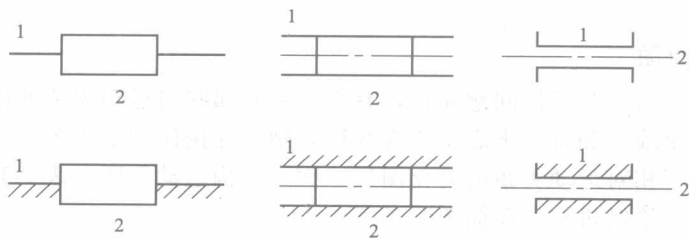


图 2-5 移动副的符号

由上述可知,平面机构中的低副引入两个约束,而仅保留一个自由度。

(2) 高副

两构件通过点或线接触组成的运动副称为高副。图 2-6 (a) 所示为凸轮机构,凸轮 1 和从动件 2 在从动件尖顶处构成了点接触,形成高副。该运动副只限制了从动件 2 沿接触点公法线 nn 方向的相对移动,允许构件 2 沿公切线 tt 作相对移动和绕接触点作相对转动。图 2-6 (b) 为齿轮机构的一部分,齿轮 1 与齿轮 2 在 A 点接触构成线接触,形成高副。高副并没有固定的表示符号,它一般可用两构件在接触处的实际轮廓曲线来表示。由此可知,平面机构中的高副引入一个约束,而保留两个自由度。

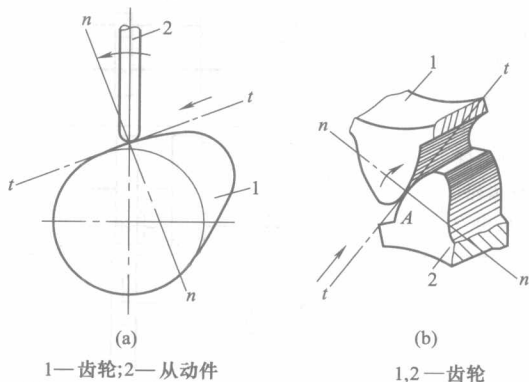


图 2-6 平面高副

2.2.2 运动链和机构

两个以上的构件通过运动副连接而成的系统称为运动链,如图 2-7 所示。如果组成运动链的各构件未构成首末封闭的系统,则称为开式运动链,简称开链,如图 2-7 (a) 所示。如果组成运动链的各构件构成首末封闭的系统,则称为闭式运动链,简称闭链,如图 2-7 (b) 所示。传统的机械中以闭式运动链为多,但是开式运动链也逐渐增多,例如生产线中的机械手和机器人的应用。

在闭式运动链中,将某一构件加以固定,而让另一个(或几个)构件按给定的运动规律相对于固定构件运动,若运动链中其余各构件都能得到确定的相对运动,则此运动链成为机构,如图 2-8 所示。机构中固定不动的构件称为机架,按照给定运动规律独立运动的构件称为原动件(或主动件);而其余活动构件称为从动件。

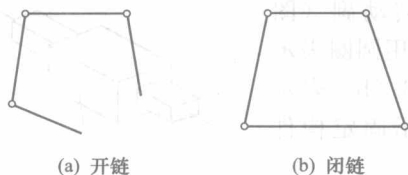


图 2-7 运动链

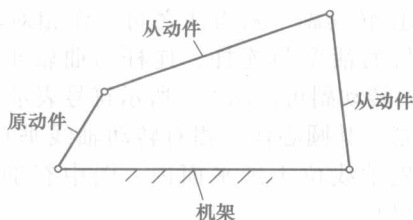


图 2-8 机构

2.3 平面机构运动简图

2.3.1 机构运动简图

在研究机构运动时，为了使问题简化，有必要撇开那些与运动无关的构件外形和运动副具体构造，仅用简单线条和符号来表示构件和运动副，并按比例定出各运动副的位置。这种表明机构中各构件间相对运动关系的简化图形，称为机构运动简图。表 2-1 为部分常用机构运动简图的符号，供绘制机构运动简图时参考。

表 2-1 部分常用机构运动简图符号 (摘自 GB/T 4460—84)

名 称	代 表 符 号	名 称	代 表 符 号
杆的固定连接		链传动	
零件与轴的固定		外啮合圆柱齿轮机构	
轴 承	普通轴承	内啮合圆柱齿轮机构	
	滚动轴承	齿轮齿条传动	
	推力滚动轴承	圆锥齿轮机构	
联轴器	可移式联轴器	蜗杆蜗轮传动	
离合器	摩擦式	凸轮从动件	
制动器		尖顶	
在支架上的电动机		曲面	
带传动		滚子	
		螺杆传动整体螺母	

由以上分析可知,机构运动简图应与原机构具有完全相同的运动特性,因而可以根据该图对机构进行运动及动力分析。若有时只是为了定性地表明机构的运动状况,不需要借助简图求解机构的运动参数,也可以不严格按比例来绘制,这种简图称为机构示意图。

2.3.2 机构运动简图的绘制

机构运动简图的绘制步骤如下。

① 分析机构的动作原理、组成情况和运动情况,确定其组成的各构件,识别机架、原动件和从动件。

② 沿着运动传递路线,逐一分析每两个构件间相对运动的性质,以确定运动副的类型和数目。

③ 选择恰当的运动简图的视图平面和长度比例尺 μ_l 。选择机构中多数构件的运动平面为视图平面,必要时也可选择两个或两个以上的视图平面,然后将其展示到同一图面上。作图时还要选用一定的长度比例尺 μ_l [$\mu_l = \text{实际尺寸 (m)} / \text{图示长度 (mm)}$]。

以下通过实例来说明绘制平面机构运动简图的步骤和方法。

【例 2-1】 试绘制图 2-9 (a) 所示内燃机曲柄滑块机构的运动简图。

解: ① 找出机构的机架、原动件和从动件。内燃机的汽缸体 1 是机架,活塞 4 是原动件(爆发冲程时),连杆 3、曲柄 2 为从动件。

② 分析机构的运动,确定各构件间的运动副类型。当活塞 4 作往复运动时,曲柄 2 作回转运动,所以活塞 4 和机架 1 组成移动副;活塞 4 和连杆 3,连杆 3 和曲柄 2,曲柄 2 和机架 1 共组成三个转动副。

③ 选择视图平面和比例尺。选曲柄的运动平面为投影面,已能清楚地反映各构件的运动,不必再添辅助平面。根据图纸的大小和实际机构的大小,选择适当的长度比例尺 μ_l 绘制出机构运动简图,如图 2-9 (b) 所示。

【例 2-2】 绘制图 2-10 (a) 所示活塞泵的机构运动简图。

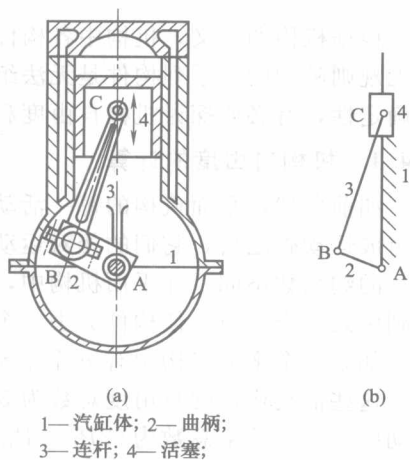


图 2-9 内燃机及其机构运动简图

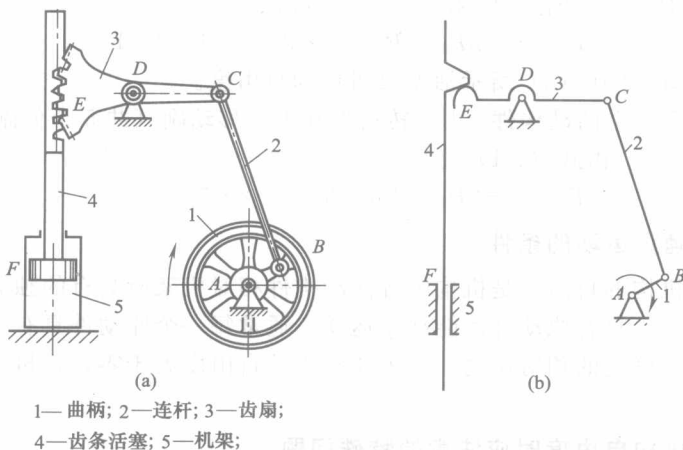


图 2-10 活塞泵及其机构运动简图

解：运用上题讲述的步骤和方法来解题。

首先活塞泵由曲柄 1、连杆 2、齿扇 3、齿条活塞 4 和机架 5 五个构件组成。曲柄 1 是原动件，连杆 2、齿扇 3、齿条活塞 4 是从动件。当原动件曲柄 1 回转时，齿条活塞 4 在汽缸中往复运动。

各构件之间的运动副关系如下：构件 1 和 5，1 和 2，2 和 3，3 和 5 之间为相对转动，分别构成 A、B、C、D 转动副。构件 3 的轮齿与构件 4 的齿条构成平面高副 E。构件 4 与 5 之间为相对移动，构成移动副 F。

选取适当比例尺，按图 2-10 (a) 尺寸，定出 A、B、C、D、E、F 的相对位置，用构件和运动副的规定符号画出机构运动简图，在原动件上标注箭头，如图 2-10 (b) 所示。

2.4 平面机构自由度

根据机构的定义，机构中各构件之间应具有确定的相对运动。显然，不能产生相对运动或无规则乱动的一系列构件是无法组成机构的。为了使组合起来的构件能产生运动并具有运动确定性，有必要探讨机构自由度和机构具有确定运动的条件。

2.4.1 机构自由度的计算

如前所述，平面机构的每一活动构件在未组成运动副之前，都有三个自由度。当两个构件组成运动副之后，它们的相对运动就受到约束，相应的自由度数减少，不同种类的运动副引入的约束数不同。在平面机构中，每个低副引入两个约束，使构件失去两个自由度；每个高副引入一个约束，使构件失去一个自由度。

如果一个平面机构中有 n 个活动构件， P_L 个低副与 P_H 个高副。在未用运动副连接之前，这些活动构件的自由度总数为 $3n$ 。当用 P_L 个低副与 P_H 个高副连接组成机构之后，则运动副引入的约束总数为 $(2P_L + P_H)$ 。因此，活动构件的自由度总数减去运动副引入的约束总数就是机构的自由度数，以 F 表示，则有

$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (2-1)$$

式 (2-1) 就是计算平面机构自由度的公式。

【例 2-3】 计算图 2-9 (a) 所示内燃机曲柄滑块机构的自由度。

解：由图可知该机构共有 3 个活动构件，3 个转动副和 1 个移动副（共 4 个低副），没有高副。即 $n=3$ ， $P_L=4$ ， $P_H=0$ 。由式 (2-1) 可得

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

【例 2-4】 计算图 2-10 (a) 所示活塞泵机构的自由度。

解：活塞泵具有 4 个活动构件，4 个转动副和 1 个移动副（共 5 个低副），1 个高副。即 $n=4$ ， $P_L=5$ ， $P_H=1$ 。由式 (2-1) 可得

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 1 = 1$$

2.4.2 机构具有确定运动的条件

由前述可知，机构的自由度是机构中各活动构件相对机架所具有的独立运动个数。从动件是不能独立运动的，只有原动件才能独立运动。通常每一个原动件具有一个独立运动，因此，要使机构间具有确定的相对运动，必须使机构的自由度大于零，且机构的原动件数等于机构的自由度。

2.4.3 计算平面机构自由度时应注意的特殊问题

在计算平面机构自由度时，还有一些应注意的特殊问题必须正确处理，否则得不到正确

的结果。现将应注意的特殊问题简述如下。

(1) 复合铰链

两个以上构件在同一处以转动副相连接，所构成的运动副称为复合铰链。如图 2-11 (a) 所示为三个构件在一起以转动副相连接而成的复合铰链。由图 2-11 (b) 可以看出，这三个构件共构成了两个转动副。同理，若有 k 个构件在同一处形成复合铰链，应该构成 $(k-1)$ 个转动副。在计算机构自由度时应注意识别复合铰链，以免把转动副的个数算错。

【例 2-5】 计算图 2-12 所示铰链八杆机构的自由度。

解：由图可知，该机构在 A、B、D、E 点均为含两个转动副的复合铰链，而在 C、F 点各有一个转动副。所以该机构 $n=7$ ， $P_L=10$ ， $P_H=0$ 。由式 (2-1) 可得

$$F=3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1$$

(2) 局部自由度

若机构中某些构件所具有的自由度仅与其自身的局部运动有关，并不影响其他构件的运动，则称这种自由度为局部自由度，在计算机构自由度时应将局部自由度排除。

如图 2-13 (a) 所示的凸轮机构，为了减小接触面间的摩擦和磨损，在从动件端部安装了滚子。可以看出，滚子绕其自身轴线的转动并不影响其他构件的运动，所以滚子绕其中心的转动是一个局部自由度。

对图 2-13 (a) 所示机构如果直接用式 (2-1) 计算自由度，因 $n=3$ ， $P_L=3$ ， $P_H=1$ ，故 $F=3 \times 3 - 2 \times 3 - 1 = 2$ 。但机构的实际自由度为 1（因为该机构若要有确定运动，只需 1 个原动件），计算结果中包含了一个滚子的局部自由度。为了在计算机构自由度时排除这个局部自由度，可设想将滚子与从动件焊成一体（转动副 B 也随之消失），转化成图 2-13 (b) 所示形式。在该图中， $n=2$ ， $P_L=2$ ， $P_H=1$ ，故 $F=3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1$ ，与机构的实际自由度相等。

(3) 虚约束

在实际机械中，为了改善构件的受力情况，增加机构的刚度，或为了保证机械运动的顺利进行，有时需要增加一些构件或运动副，但加入的这些构件和运动副产生的约束对机构的实际运动并不会产生任何影响。这种对机构运动实际上不起独立限制作用的重复约束称为虚约束。在计算机构自由度时应当将虚约束除去不计。

平面机构中的虚约束常出现在下列场合。

① 轨迹重合。在机构中，若将两构件在连接点处拆

开，两构件上连接点处的运动轨迹重合，则该连接带入虚约束。如图 2-14 (b) 所示机构中，若将杆 3 和杆 5 在 E 点拆开，因为杆 3 上 E 点的轨迹和杆 5 上 E 点的轨迹重合，所以

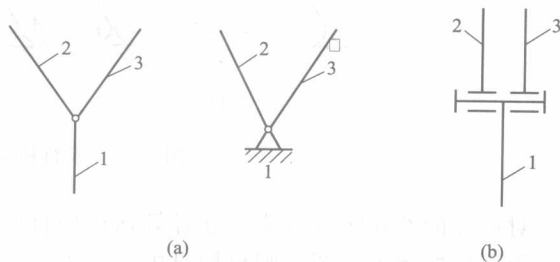


图 2-11 复合铰链

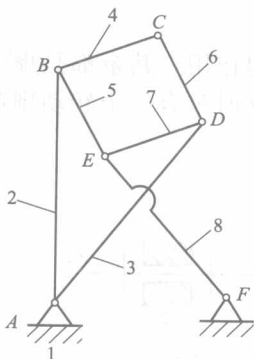


图 2-12 铰链八杆机构

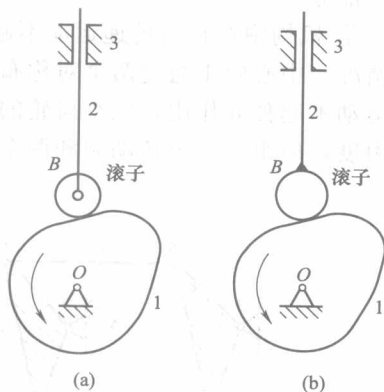


图 2-13 局部自由度

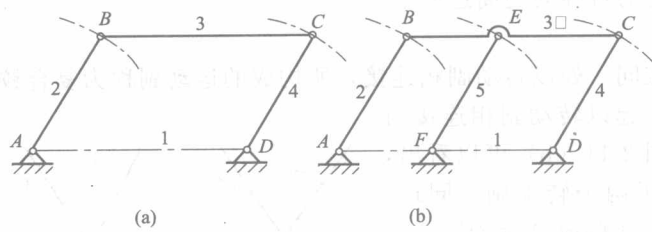


图 2-14 平行机构中的虚约束

杆 5 对杆 3 的约束为虚约束。在计算该机构自由度时，应当先去除杆 5，即转化成如图 2-14 (a) 所示机构运动简图，则机构自由度为 $F=3\times 3-2\times 4-0=1$ 。若不除去虚约束，直接按图 2-14 (b) 计算自由度，得到 $F=3\times 4-2\times 6-0=0$ ，这显然是错误的。

② 两构件间组成多个重复运动副。当两构件之间组成多个导路平行的移动副时，只有一个移动副起作用，其余都是虚约束。如图 2-15 中，顶杆 1 与汽缸体 2 之间组成两个导路平行的移动副，其中之一为虚约束。

当两构件之间组成多个轴线重合的转动副时，只有一个转动副起作用，其余都是虚约束。如图 2-16 中，为了增加轴的刚度，与机架组成了三个转动副，这时只有一个转动副起作用，其余均为虚约束。

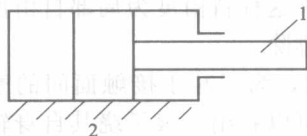


图 2-15 两构件组成多个移动副
1—顶杆；2—汽缸体

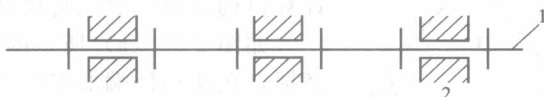


图 2-16 两构件组成多个转动副

③ 两点间距离不变。在机构运动过程中，如果两构件上两点之间的距离始终保持不变，将两点间用一个构件和两个转动副相连，由此而形成的约束也是虚约束，如图 2-17 所示的虚线部分。

④ 机构中存在对传递运动不起独立作用的对称部分。如图 2-18 所示轮系，为了改善受力情况，中心轮 1 通过两个对称布置的小齿轮 2 和 2' 驱动内齿轮 3。其中有一个小齿轮对传递运动不起独立作用，该小齿轮的加入，使机构增加了一个虚约束（加入一个构件增加三个自由度，但组成一个转动副和两个高副，将会共引入四个约束）。

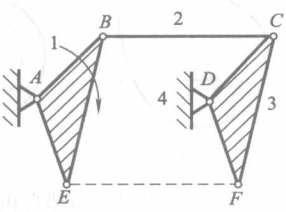


图 2-17 两点间距离始终不变的虚约束

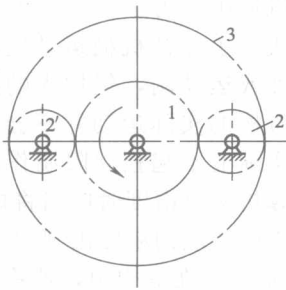


图 2-18 对称结构的虚约束
1—中心轮；2，2'—小齿轮；3—内齿轮