



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪高职高专规划教材

第2版

机械设计基础

JIXIE SHEJI JICHU

孙敬华 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



配电子课件

本书是根据教育部“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”编写要求和机械类、机电类相关专业“机械设计基础”课程教学基本要求,并结合近几年专业课程改革和发展的实际情况编写的。全书共14章,主要内容有:机械设计基础概论、平面机构、平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、带传动与链传动、齿轮传动、蜗杆传动和螺旋传动、轮系、机件的连接、轴、轴承、联轴器与离合器、机械设计基础综合实训等。

本书可作为高等职业技术教育机械类、机电类及近机械类各相关专业“机械设计基础”课程教材,也可作为自学用书及有关工程技术人员的参考书。

本书配有电子课件,凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 下载。咨询邮箱: cmpgaozhi@sina.com。咨询电话:010-88379375。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/孙敬华主编. —2版. —北京:机械工业出版社,2013.1
普通高等教育“十一五”国家级规划教材 21世纪高职高专规划教材
ISBN 978-7-111-41221-2

I. ①机… II. ①孙… 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(2013)第011895号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王海峰 责任编辑:王德艳

版式设计:霍永明 责任校对:樊钟英 李婷

封面设计:赵颖喆 责任印制:乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2013年4月第2版第1次印刷

184mm×260mm·18印张·440千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-41221-2

定价:32.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

目 录

第2版前言

第1版前言

第1章 机械设计基础概论..... 1

1.1 机械及其组成 1

1.2 机械设计概述 3

1.3 机械零部件设计的主要要求 4

1.4 现代机械设计思想和方法简介 5

复习思考题 6

实训项目 机械的认识 6

第2章 平面机构 7

2.1 运动副 7

2.2 平面机构运动简图 9

2.3 平面机构的自由度 11

复习思考题 15

实训项目 平面机构运动简图绘制 16

第3章 平面连杆机构..... 18

3.1 铰链四杆机构的基本形式 18

3.2 铰链四杆机构的演化 20

3.3 铰链四杆机构的基本特性 22

3.4 平面四杆机构的设计 27

复习思考题 29

实训项目 设计平面四杆机构 31

第4章 凸轮机构 32

4.1 凸轮机构的类型及应用 32

4.2 从动件的运动规律 35

4.3 盘形凸轮轮廓的设计 38

4.4 凸轮机构基本尺寸的确定 42

复习思考题 44

实训项目 设计盘形凸轮轮廓 46

第5章 间歇运动机构..... 47

5.1 棘轮机构 47

5.2 槽轮机构 50

5.3 不完全齿轮机构 52

复习思考题 53

实训项目 间歇运动机构认识 54

第6章 带传动与链传动 55

6.1 带传动概述 55

6.2 普通V带和V带轮 56

6.3 带传动的基本理论 61

6.4 V带传动的设计 65

6.5 带传动的安装、维护和张紧 71

6.6 链传动概述 73

6.7 链传动的运动特性 74

6.8 滚子链及其链轮 76

6.9 滚子链传动的设计计算 80

6.10 链传动的布置、张紧和润滑 85

复习思考题 89

实训项目一 V带传动设计 90

实训项目二 链传动设计 90

第7章 齿轮传动 92

7.1 齿轮传动的特点和分类 92

7.2 渐开线及渐开线齿廓 93

7.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本
参数及几何尺寸 95

7.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合
传动分析 97

7.5 渐开线直齿圆柱齿轮的加工 98

7.6 齿轮传动的设计基础 100

7.7 直齿圆柱齿轮的强度计算 102

7.8 渐开线直齿圆柱齿轮传动的设计 108

7.9 变位齿轮传动 113

7.10 斜齿圆柱齿轮传动 116

7.11 直齿锥齿轮传动 121

复习思考题 123

实训项目 齿轮传动设计 124

第8章 蜗杆传动和螺旋传动 125

8.1 蜗杆传动的特点和类型	125	第 11 章 轴	179
8.2 蜗杆传动的主要参数 和几何尺寸	128	11.1 轴的分类及材料选择	179
8.3 蜗杆传动设计基础	131	11.2 轴的结构设计	182
8.4 蜗杆传动的计算	133	11.3 轴的强度计算	186
8.5 螺旋传动	138	11.4 轴的设计举例	189
复习思考题	141	复习思考题	192
实训项目 蜗杆传动设计	143	实训项目 轴的设计计算	193
第 9 章 轮系	144	第 12 章 轴承	194
9.1 概述	144	12.1 滑动轴承	194
9.2 定轴轮系	145	12.2 滚动轴承	206
9.3 周转轮系	147	复习思考题	227
9.4 混合轮系	150	实训项目 滚动轴承的选择和计算	228
9.5 轮系的应用	151	第 13 章 联轴器与离合器	229
复习思考题	154	13.1 概述	229
实训项目 轮系的认识	156	13.2 联轴器	230
第 10 章 机件的连接	157	13.3 离合器	234
10.1 螺纹	157	复习思考题	237
10.2 螺纹连接	159	第 14 章 机械设计基础综合实训	238
10.3 螺栓连接的强度计算和结构设计	164	14.1 减速器结构分析及拆装实训	238
10.4 轴毂连接	169	14.2 课程设计	240
10.5 其他连接	175	复习思考题	267
复习思考题	177	实训项目 带式输送机传动装置设计	268
实训项目 螺纹连接件的选择和螺纹 中径的测量	178	附录 常见名词术语中英文对照表	270
		参考文献	277

第1章 机械设计基础概论

【内容提要】 本章主要介绍了机械的基本概念，机械设计的基本知识。

【目标要求】 通过本章学习，要求学生了解机械、机器、机构、构件和零件的基本概念；了解机械设计的基本规律。

【重点难点】 机械、机器、机构、构件和零件的相互关系。

1.1 机械及其组成

通常把机器和机构统称为机械。机械是人类改造自然、社会进步和发展的主要工具。机械工业的生产水平是一个国家现代化建设水平的主要标志之一，它肩负着为国民经济各个部门提供技术装备和促进技术改造的重要任务，在现代化建设的进程中起着主导和决定性的作用。

1.1.1 机构和机器

(1) 机构 机构是用来传递运动和力的、有一个构件为机架的、用运动副连接起来的构件系统。图 1-1 所示为单缸四冲程内燃机，它由齿轮 1 和 2、凸轮 3、排气门 4、进气门 5、气缸体 6、活塞 7、连杆 8、曲轴 9 组成。当热能转化的机械能推动活塞作直线往复运动时，经连杆使曲轴作连续转动，这样就把活塞的直线运动转变为曲轴的转动，将燃气的热能转换为曲轴转动的机械能，其中气缸、活塞、连杆、曲轴组成曲柄滑块机构。凸轮和气门驱动组件是用来开启和关闭进气门和排气门的，凸轮、机架以及气门驱动组件组成凸轮机构。在曲轴和凸轮轴之间两个齿轮的齿数比为 1:2，使其曲轴转两周时，进排气门各启闭一次，齿轮和机架组成齿轮传动机构。

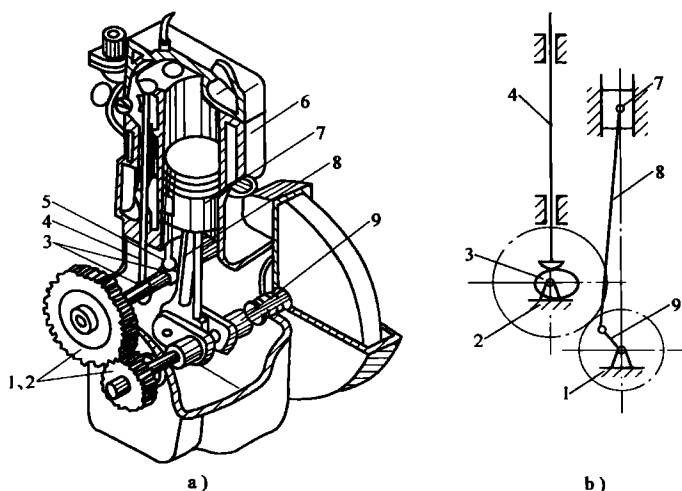


图 1-1 单缸四冲程内燃机

a) 结构简图 b) 机构运动简图

1、2—齿轮 3—凸轮 4—排气门 5—进气门 6—气缸体 7—活塞 8—连杆 9—曲轴

(2) 机器 机器是执行机械运动的装置,用来变换或传递能量、物流和信息。各种机器尽管有着不同的构造、形式和用途,然而都具有下列三个共同特征:①机器是人为的多种实体的组合。②各部分之间具有确定的相对运动。③能完成有效的机械功或实现能量的转换。

作为一部完整的机器,要完成预期的工作,从功能和系统的角度来看,一般主要由五部分组成,如图 1-2 所示。

1) 动力系统。动力系统是机械的动力来源,其作用是把其他形式的能量转变为机械能,以驱动机械运动,并对外(或对内)做功,如电动机、内燃机等。

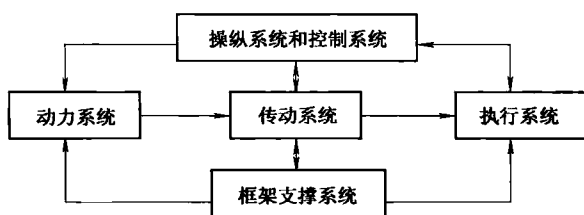


图 1-2 机器的组成

2) 执行系统。执行系统是直接完成机械预定功能的部分,也就是工作部分,如机床的主轴和刀架、起重机的吊钩、挖掘机的挖斗机构等。

3) 传动系统。传动系统是将运动和动力传递给执行部分的中间环节,它可以改变运动速度,转换运动形式,以满足工作部分的各种要求,如减速器将高速转动变为低速转动,螺旋机构将旋转运动转换成直线运动。

4) 操纵和控制系统。操纵与控制系统是用来操纵和控制机械的其他部分,使操作者能随时实现或停止各项功能,如机器的起动、运动速度和方向的改变、机器的停止和监测等,通常包括机械和电子控制系统。

5) 框架支撑系统。框架支撑系统是用来安装和支撑其他系统的部分。

并不是所有的机器都具有上述五个部分,有的甚至只有动力系统和执行系统,如水泵、砂轮机等。有些复杂的机器,除具有上述五个部分,还有润滑、显示和照明装置等。

1.1.2 构件和零件

(1) 构件 组成机构的各个相对运动部分称为构件。构件是运动的单元体,构件可以是单一的整体,如凸轮、齿轮、活塞等,也可以是多个零件组成的刚性结构,如图 1-1 所示曲轴 9 和齿轮 1 作为一个整体转动,它们构成一个构件,但在加工时是两个不同的零件。

(2) 零件 零件是制造的单元体。零件有通用零件,如螺母、齿轮、键等。在少数机械中使用的零件称为专用零件,如内燃机的曲轴,汽轮机中的叶片等。

1.1.3 现代机器及其主要特征

随着伺服驱动技术、检测传感技术、自动控制技术、信息处理技术、材料及精密机械技术、系统总体技术的飞速发展,传统机械在产品结构和生产系统等方面也发生了质的变化,形成了一个崭新的现代机械工业。现代机器已经成为一个以机械技术为基础,以电子技术为核心的高新技术综合系统。

现代机器是由计算机信息网络协调与控制的,用于完成包括机械力、运动和能量转换动力学任务的机械和(或)机电部件相互联系的系统。计算机在现代机器中起协调控制的核心作用,从而实现现代机器的执行机械运动,完成有用功和能量的转换功能。

1.2 机械设计概述

1.2.1 机械设计的基本要求

机械设计是机械产品研制开发的一个重要环节,其最终目的是为市场提供优质、高效、价廉物美的机械产品,在市场竞争中取得优势,赢得用户,取得良好的经济效益。

产品的质量和经济效益取决于设计、制造和管理的综合水平,而产品设计则是关键。没有高质量的设计,就不可能有高质量的产品;没有经济观念的设计者,不可能设计出性能价格比较好的产品。据统计,产品质量事故约有50%是设计不当造成的;产品的成本60%~70%取决于设计。因此,在机械产品设计中,特别强调和重视从系统的观点出发,合理地确定系统的功能;重视机电技术的有机结合,注意新技术、新工艺及新材料等的应用;努力提高产品的可靠性、经济性及安全性。机械设计时,必须从机械的整体出发,满足以下基本要求:

- 1) 功能性要求。设计的机械应在规定的条件下、规定的寿命期限内,有效地实现预期的全部功能。
- 2) 经济性要求。在市场经济环境下,经济性要求贯穿于机械设计全过程,应当合理选用原材料,确定适当的精度要求,减少设计和制造的周期。
- 3) 结构工艺性要求。结构工艺性要求是指在一定的生产条件下,采用合理的结构,便于制造、装配和维护,尽可能采用标准零部件。
- 4) 安全性要求。要树立“安全第一”的思想,避免设备过载,确保设备安全;设置完善可靠的防护装置,确保人身安全;还要有利于环境保护。
- 5) 其他方面的要求。如可靠性等因素。

1.2.2 机械设计的类型

机械设计是一项创造性劳动,同时也是对已有成功经验的继承过程。根据实际情况的不同,机械设计可分为以下三种类型:

(1) 开发性设计 开发性设计是指机械产品的工作原理和具体结构等在完全未知的情况下,应用成熟的科学技术或经过试验证明是可行的新技术,开发设计新产品,这是一种完全创新的设计。

产品的开发性设计过程大致包括方案设计、规划设计、技术设计、施工设计及改造设计等五个阶段。

机械系统的方案设计是机械设计过程的重要内容,是决定机械产品质量、水平、性能和经济效益的关键。机械系统方案设计包括以下几项内容:

- 1) 功能原理设计。根据产品所要实现的功能,提出一些工作原理方案及相应的工艺动作构思,这一过程就是功能原理设计。
- 2) 机械运动原理设计。机械运动原理设计是根据功能原理方案设计中提出的工艺动作过程及各动作的运动规律要求,选择若干种类的机构,用一定的顺序把它们组合成一个机构系统,该系统能合理地、可靠地完成上述工艺动作过程。
- 3) 机构运动简图设计。根据各工艺动作的运动规律和运动协调条件,确定机构运动方案中各机构的运动尺寸。上述表达机构系统的各机构结构形式、相互间连接情况及运动尺寸的图就是机构运动简图。机构运动简图设计又称为机构的尺度综合。

(2) 适应性设计 适应性设计是指在现有机械产品的工作原理、设计方案不变的前提下, 仅对局部作变更或增加附加功能, 在结构上作相应调整, 使产品更能满足使用要求的过程。

(3) 变形设计 变形设计是指机械产品的工作原理和功能结构不变, 为了适应工艺条件或使用要求, 改变产品的具体参数和结构的设计。

1.3 机械零部件设计的主要要求

1.3.1 设计的主要内容和要求

机械零部件设计是机械设计的重要组成部分, 机械运动方案中的机构和构件只有通过零部件设计, 才能变成用于加工的零件工作图和部件装配图。同时它也是机械总体设计的基础。机械零部件设计的主要内容包括: 根据运动方案设计和总体设计的要求, 明确零部件的工作要求、性能、参数等, 选择零部件的结构形状、材料、精度等, 进行失效分析和工作能力计算, 画出零件图和部件装配图。

机械产品整机应满足的要求是由零部件设计所决定的, 机械零部件设计应满足如下要求:

1) 工作能力要求。包括零部件的强度、刚度、寿命、耐磨性、耐热性、振动稳定性及精度等。

2) 工艺性要求。零部件的加工、装配应具有良好的工艺性, 维修方便。

3) 经济性要求。主要是指在保证零部件生产质量的前提下, 尽可能降低生产成本。

此外, 还要满足噪声控制、防腐性能、不污染环境等环境保护要求和安全要求等。以上要求往往互相制约, 需全面综合考虑。

1.3.2 机械零件的材料选用

机械零件所用的材料是各种各样的, 即使同一种零件也可以选择不同的材料。因此, 如何选择零件的材料是零件设计的重要一环。设计零件应以零件承受工作载荷的能力为主, 综合考虑其他因素, 合理地选择材料。如零件受力较大且有较大的冲击载荷, 工作速度较高, 可靠性要求较高, 而且要求零件的尺寸较小、重量较轻, 应采用高强度合金钢制造, 并应进行热处理及精加工。

机械零件的使用要求主要有以下几点:

1) 零件承受工作载荷的能力主要从载荷的特点、强度及刚度等方面考虑。

2) 零件的工作条件(运动速度等)及工作环境(温度、湿度、腐蚀等)。

3) 耐磨性、寿命、可靠性等要求。

4) 零件尺寸和质量的要求。

1.3.3 机械零件设计的一般步骤

随着先进设计技术的应用, 机械零件设计步骤也在发生变化。一般设计步骤如下:

1) 根据零件在机械中的地位和作用, 选择零件的类型和结构。

2) 分析零件的载荷性质, 拟订零件的计算简图, 计算作用在零件上的载荷。

3) 根据零件的工作条件及对零件的特殊要求, 选择适当的材料。

4) 分析零件可能出现的失效形式, 决定计算准则和许用应力。

5) 确定零件的主要几何尺寸, 综合考虑零件的材料、承载以及加工装配工艺和经济性

等因素,参照有关标准、技术规范以及经验公式,确定全部结构尺寸。

6) 绘制零件工作图并确定零件精度和技术要求。

上述设计步骤和内容不是一成不变的,在实际工作中,可根据具体任务和条件的不同而改变。在一般机械中,只有部分主要零件需要通过计算确定其尺寸,而许多零件则根据结构工艺上的要求,采用经验数据或参照规范进行设计,或使用标准件。

1.4 现代机械设计思想和方法简介

1.4.1 传统机械设计的局限性

机械设计是人类为了实现某种预期的目标而进行的一种创造性活动。传统机械设计的特点是以长期经验积累为基础,通过力学、数学建模及试验等所形成的经验公式、图表、标准及规范作为依据,运用条件性计算或类比等方法进行设计。传统设计在长期运用中得到不断的完善和提高,目前在大多数情况下传统设计仍然是有效的设计方法。

1.4.2 现代机械设计思想

近年来,由于科学和技术迅速发展,特别是计算机技术和信息技术的发展和应用,给机械产品设计和制造带来革命性的变化。另一方面,随着社会进步和人类文明的发展,现代机械产品设计不能仅考虑产品本身,还要充分考虑对系统和环境的影响;不仅要考虑当前,还需考虑长远发展。

例如汽车设计,不仅要考虑汽车本身的有关技术问题,还要考虑使用者的安全、舒适、操作方便等;此外,还需考虑燃料供应、废气排放污染、车辆存放、道路发展、报废处理等,甚至要考虑地球有限的能源和原料的合理利用问题。

总之,机械设计已进入现代设计阶段,它要求在继承和发展传统设计的基础上,将自然科学、现代技术、社会科学及艺术等有关知识有机地融合在一起,形成一门崭新的设计知识体系。

1.4.3 现代机械设计方法

随着科学技术的发展,各学科的交叉和渗透,机械设计理论和方法已逐渐成为一门崭新的学科。以下简要介绍机械设计方法的新发展。

(1) 人一机一环境的交互 从“人一机一环境”的系统观及可持续发展战略出发,现代机械设计必须全面考虑、综合平衡、妥善处理系统的各种问题。

(2) 现代设计理论和方法 机械学理论和方法(包括机构学、机械动力学、摩擦学、机械结构强度学、传动机械学等)及计算机辅助分析(有限元法、模态分析、专家系统等)的不断发展,对机械的方案设计、运动设计、动力设计、工作能力(强度、变形、振动、摩擦与润滑等)设计等关键技术问题能做出很好的处理,一系列新型的设计准则和方法正在形成。

(3) 可靠性设计 现代机械产品的可靠性已成为其市场竞争力的关键指标之一。可靠性设计是综合可靠性数学、可靠性物理及可靠性工程等学科知识的新兴设计方法。它研究产品全寿命周期内质量指标变化规律,对零部件和整个系统进行可靠性设计。

(4) 优化设计 机械产品设计的过程就是一个优化的过程。产品的优化是一个从宏观到微观,从全局到局部,从总体方案到零部件设计的优化过程,即可分为参数优化、结构优化及总体方案优化三个层次。对于三者优化的处理方法还有所不同,但随优化理论和计算机

技术的发展,优化方法体系将日趋完善。

(5) 计算机辅助设计 计算机辅助设计(CAD)是把计算机技术引入设计过程,利用计算机完成选型、计算、绘图及其他作业的现代设计方法。CAD技术促使机械设计发生了巨大的变化,并成为现代机械设计的重要组成部分。目前,CAD技术向更深、更广的方向发展,主要表现为以下几个方面:

- 1) 基于专家系统的智能CAD。
- 2) CAD系统集成化,CAD与CAM(计算机辅助制造)的集成系统(CAD/CAM)。
- 3) 动态三维造型技术。
- 4) 基于并行工程,面向制造的设计技术(DFM)。
- 5) 分布式网络CAD系统。

复习思考题

一、思考题

1. 何谓构件和零件?试举例说明。
2. 机械、机器和机构有何异同?
3. 机械设计的基本要求是什么?
4. 机械零件设计的一般步骤是什么?

二、选择题

1. 机械是_____的总称。
A. 机器和机构 B. 机器和构件 C. 机构和零件 D. 构件和零件
2. 不是零件使用性能要求的是_____。
A. 强度 B. 切削加工性 C. 耐磨性 D. 耐蚀性

实训项目 机械的认识

一、实训目的

初步了解“机械设计基础”课程所研究的各种常用零件的结构、类型、特点及应用,以及常用机构的结构、类型、特点及应用;增强对各种零部件的结构以及机构与机器的感性认识。

二、实训内容

1. 陈列室展示各种常用机械零件的模型,学生通过观察各种展示的零件、实训指导教师现场介绍和答疑,从而增强同学对机械零件的感性认识。并通过展示的机械设备、机器模型等,使学生们清楚知道机器的基本组成要素是机械零件。

2. 陈列室展示各种常用机构的模型,通过模型的动态展示,增强学生对机构与机器的感性认识。实训指导教师只作简单介绍,提出问题,供学生思考,学生通过观察,增加对常用机构的结构、类型、特点的理解,培养对本课程学习的兴趣。

三、实训方法和步骤

1. 阅读和掌握教材中相关部分的理论知识。
2. 现场观察各种模型结构及其运动规律和特点。
3. 完成实验报告。

第2章 平面机构

【内容提要】 本章主要介绍平面机构运动副的概念、分类、表示方法及对构件运动的约束形式；运动链自由度及其计算方法；运动链成为机构应满足的条件；平面机构运动简图的绘制方法。

【目标要求】 通过本章的学习，要求了解构件是如何组成机构的；熟悉平面机构中的各种运动副及其表示方法，通过运动副连接的两构件间的运动形式；掌握平面运动链的自由度分析、计算，并能判断运动链是否能够成为机构；能够绘制简单的平面机构运动简图。

【重点难点】 本章重点为平面运动链自由度的计算，运动链成为机构的条件，平面机构运动简图的绘制。本章难点为虚约束的概念。

各种构件均在同一平面内或相互平行平面内运动的机构，称为平面机构。组成平面机构的构件有三种：

1) 固定件。固定不动，用以支撑机构中的其他构件，又称为机架。一个机构中，只能有一个固定件或机架，其余都是活动构件。研究机构中其余活动构件的运动时，通常以固定构件作为参考坐标系。

2) 原动件。机构必须由外界输入运动后才能运动。按外界输入的给定运动规律而运动的构件称为原动件。机构中的原动件通常只是一个，有时也可以超过一个。

3) 从动件。随原动件运动而运动的其余活动构件称为从动件。在从动件中，输出预期运动的从动件称为输出构件。

2.1 运动副

2.1.1 构件的自由度及其约束

机构是构件的人为组合，各构件间具有确定的相对运动。构件的运动是指构件的位置、速度和加速度等参数的变化。如图2-1所示，在 xOy 坐标系中，构件 S 有3个独立运动的可能性，即沿 x 轴、 y 轴方向移动和绕其上任意一点 A 的转动。我们把构件可能出现的独立运动的数目称为自由度。所以，一个作平面运动的自由构件有三个自由度。

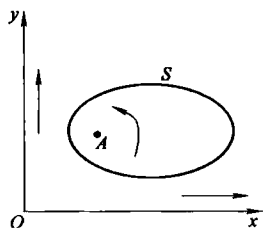


图2-1 平面构件的自由度

当一个构件与其他构件相互连接时，某些独立运动将受到限制，对构件独立运动所加的限制称为约束。约束增多，构件的自由度将减少，约束的数目与构件的连接形式有关。构件每增加一个约束，便失去一个自由度。

2.1.2 运动副

两个或两个以上的构件直接接触并能产生确定的相对运动的连接称为运动副。

图2-2所示的活塞式发动机中，活塞4与缸体1之间、连杆3与曲柄2之间、凸轮8与推杆7之间以及主动齿轮10与从动齿轮9之间的连接都形成运动副。

(1) 低副 两构件通过面接触所构成的运动副称为低副, 低副有移动副和转动副等。当组成运动副的两构件 1 和 2 只能沿某一直线相对移动时, 这种运动副称为移动副, 如图 2-3 所示。若组成运动副的两构件 1 和 2 只能绕同一轴线作相对转动, 这种运动副称为转动副, 如图 2-4 所示。

转动副只能在一个平面内相对转动, 移动副只能沿某一轴线方向移动。因此, 一个低副引入两个约束, 即减少两个自由度。

(2) 高副 两构件通过点接触或线接触组成的运动副称为高副。图 2-5a 所示凸轮 1 与从动件 2 以及图 2-5b 所示齿轮 1 与齿轮 2 在接触点 A 处组成的运动副都是高副。构件 1、2 组成高副后, 彼此间的相对运动是沿接触点公切线 $t-t$ 方向相对移动和在平面内的相对转动; 而沿接触点公法线 $n-n$ 方向的相对移动受到约束。所以, 一个高副引入一个约束, 减少一个自由度。

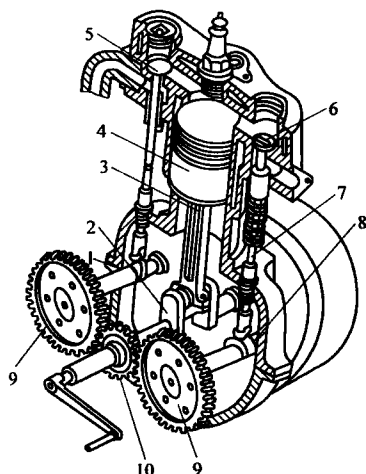


图 2-2 活塞式发动机

1—缸体 2—曲柄 3—连杆 4—活塞
5—进气门 6—排气门 7—推杆
8—凸轮 9—从动齿轮 10—主动齿轮

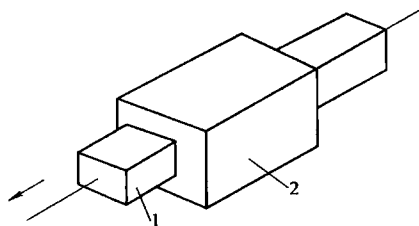


图 2-3 移动副

1、2—构件

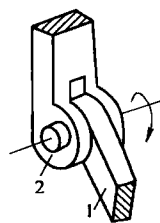


图 2-4 转动副

1、2—构件

(3) 运动副的表示 由于机构之间的相对运动仅由构件及其运动副的类型, 相对位置决定, 而与其实际结构无关, 所以常用规定的线条或符号表示构件和运动副。移动副的表示方法如图 2-6 所示; 转动副的表示方法如图 2-7 所示; 高副的表示方法如图 2-8 所示。其中有斜线的部分表示固定构件, 1、2 表示转动件。

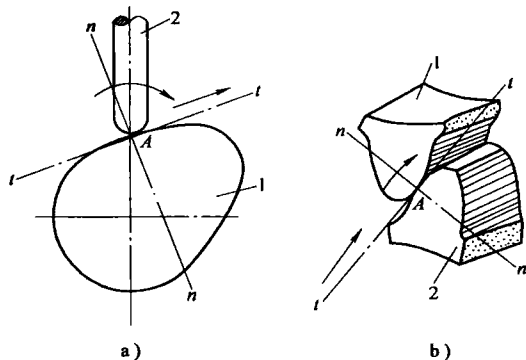


图 2-5 高副

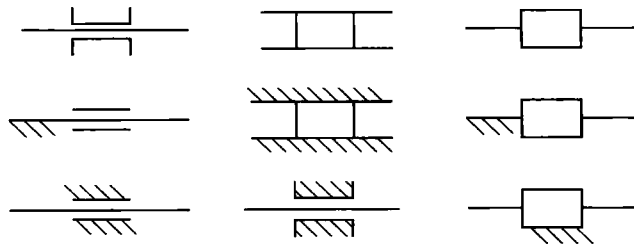


图 2-6 移动副的表示方法

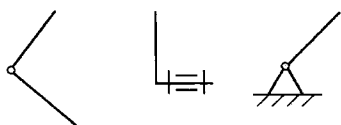


图 2-7 转动副的表示方法

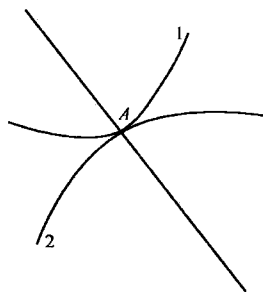


图 2-8 高副的表示方法

2.2 平面机构运动简图

在研究机构运动时，为了使问题简化，可用简单线条和符号表示构件和运动副，并按比例定出各运动副的位置。这种表明机构各构件间相对运动关系的简单图形称为机构运动简图。

2.2.1 平面机构运动简图绘制步骤

- 1) 分析机构运动。分清固定件、主动件和从动件，确定构件及运动副的类型及数目。
- 2) 适当选择投影面和机构位置。对于平面机构投影面即为各构件的运动平面。机构位置以各构件和运动副相互遮挡最少的位置为最佳。
- 3) 适当选择作图比例尺 $\mu_l = \frac{\text{实际尺寸 (m)}}{\text{图示尺寸 (mm)}}$ 。

- 4) 按从主动件到从动件的顺序方向画出各构件及其运动副。

图 2-9 所示为一颚式破碎机，主体机构由机架 1、偏心轴 2、动颚 3、肘板 4 等 4 个构件以转动副连接组合而成。当偏心轴 2 在带轮 5 的带动下绕轴心 A 转动时，驱使动颚 3 作平面运动，而将矿石轧碎。图中所示的排料口调整机构 6，在破碎机工作时静止不动，故在简图绘制时，视它与机架为同一固定构件。

现以该颚式破碎机为例，说明机构运动简图的绘制步骤。

1) 找出原动件、从动件和固定件。由图可知，机构运动由带轮 5 输入，而带轮 5 和偏心轴 2 连成一体（属同一构件），绕轴心 A 转动，所以偏心轴 2 为原动件，动颚 3（工作部分）和肘板 4 为从动件，机架 1 为固定件，该机构共有 4 个构件。

2) 由原动件开始，顺着运动的传递，分析各构件之间相对运动的性质，从而确定运动副数目及其类型。偏心轴 2 与机架 1、偏心轴 2 与动颚 3、动颚 3 与肘板 4、肘板 4 与机架 1 均组成转动副，该机构共有 4 个转动副。

3) 选择适当的绘图面，并且选定机构运动的一个瞬时位置来绘制机构运动简图。若一个平面视图不能表达清楚运动传递关系，可另加辅助视图。图 2-9a 所示为绘图面和机构运动的瞬时位置，它较好地表达了机构运动的传递关系，因此可按此位置绘制运动简图。

4) 选择适当的比例尺，绘制运动简图。按选定的比例尺，确定各运动副的相对位置，并按规定表示符号绘出运动副，如图 2-9b 所示的 A、B、C、D（转动副 B 虽然半径大于偏心距 AB，但运动简图只表示相对运动性质，不表示具体结构，所以转动副 B 与其他转动副

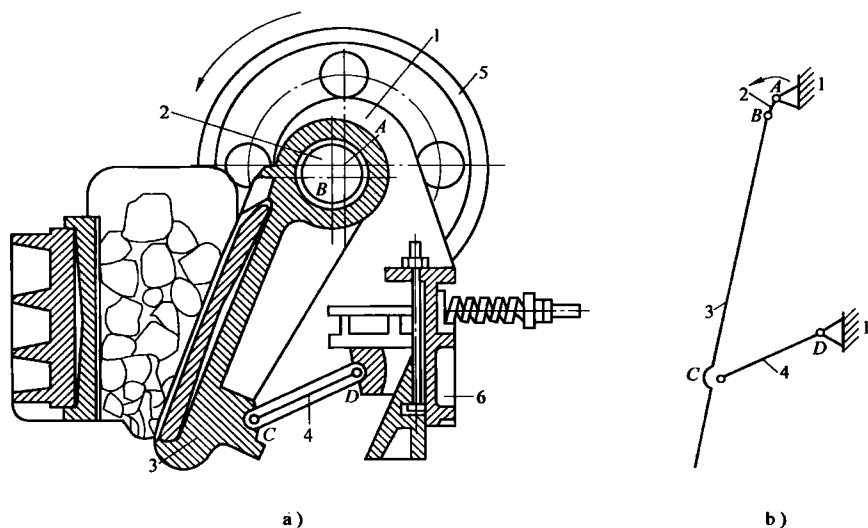


图 2-9 颚式破碎机及其机构运动简图

a) 结构图 b) 运动简图

1—机架 2—偏心轴 3—动颚 4—肘板 5—带轮 6—排料口调整机构

用同样大小的圆圈表示)。然后用直线(或曲线)将同一构件上的运动副相连接来代表构件。连接 A 、 B 为偏心轴 2, 连接 B 、 C 为动颚 3, 连接 C 、 D 为肘板 4, 并在机架 1 上画出斜线, 在原动件 2 上标出指示运动方向的箭头, 这样便绘出如图 2-9b 所示的破碎机主体机构运动简图。

2.2.2 绘图时应注意的问题

- 1) 同一个构件上有若干个转动副, 如图 2-10a 所示。
- 2) 在两个构件上有 3 个低副, 如图 2-10b 所示。
- 3) 当两构件瞬时交叉时, 在交叉处应将其中一个画成如图 2-10c 所示的形状。

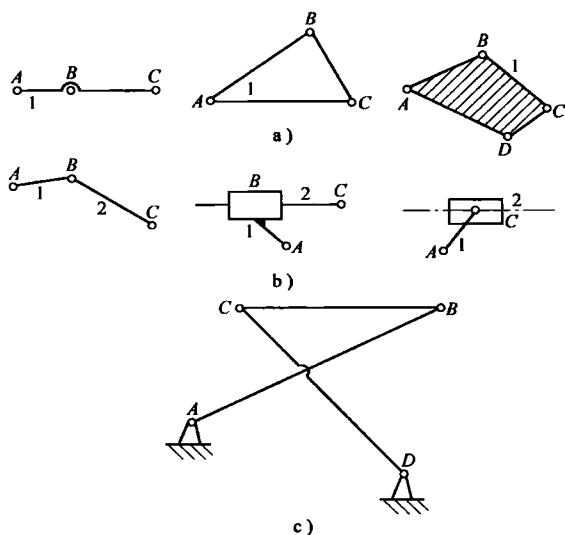


图 2-10 机构简图符号示例

在绘制机构运动简图时, 机构的瞬时位置选择不同, 所绘制的机构运动简图的图形也不同。若机构位置选择不当时, 构件间会产生互相遮挡、交叉, 使图形不易辨认。为清楚地表达各构件的相互关系, 应当选择恰当的机构运动瞬时位置来绘图。

例 2-1 绘出图 2-11a 所示抽水唧筒的机构运动简图。

解 1) 分析机构的运动, 判别构件的类型及数目。图示抽水唧筒由手柄 1、杆件 2、活塞(图中未画出)及活塞杆 3 和抽水筒 4 共 4 个构件组成, 其中抽水筒 4 是固定件, 手柄 1

是原动件，其余构件是从动件。

2) 分析各构件间运动副的类型和数目。手柄 1 绕抽水筒 4 上 A 点转动，二者在 A 点形成转动副；手柄 1 和杆件 2 在 B 点以及杆件 2 和活塞杆 3 在 C 点分别形成转动副；活塞杆 3 与抽水筒 4 之间形成移动副。

3) 选择视图平面。通常选择平行于构件运动的平面作为视图面，如图 2-11b 所示。

4) 确定比例尺。比例尺应根据实际机构和图幅大小来适当选取。

5) 用规定的构件和运动副符号绘制机构运动简图。先画出抽水筒 4 和手柄 1 的转动副中心 A 及活塞杆 3 的移动导路直线 Ax，然后按比例画出手柄 1 和杆件 2 的转动副中心 B 及杆件 2 和活塞杆 3 的转动副中心 C，最后用构件和运动副的符号把各点连接起来，如图 2-11b 所示即为所绘制的抽水唧筒机构运动简图。

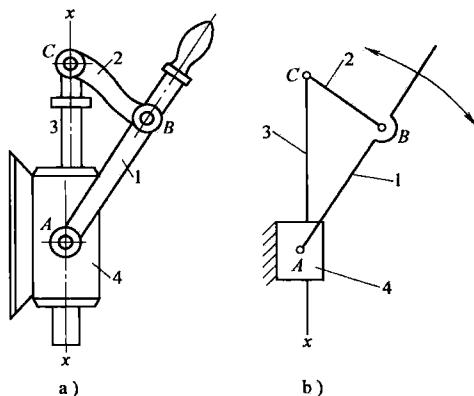


图 2-11 抽水唧筒及其机构运动简图

a) 结构图 b) 运动简图

1—手柄 2—杆件 3—活塞杆 4—抽水筒

2.3 平面机构的自由度

各构件之间用运动副连接构成的系统称为运动链。运动链能够成为机构的条件是，运动链中各构件的相对运动必须确定。为了判断运动链能否成为机构，需要确定运动链的自由度，并找出运动链成为机构的条件。

2.3.1 平面机构自由度计算

在一个运动链中，除去固定件，其余活动构件的数目为 n 个。一个不受任何约束的构件在平面中有 3 个自由度，故一个运动链中活动构件在平面共具有 $3n$ 个自由度。当两构件用运动副连接后，其运动受到约束，自由度将减少。自由度减少的数目应等于运动副引入的约束数目。平面运动链中，每个低副引入的约束数为 2，每个高副引入的约束数为 1。因此，对于平面运动链，若各构件之间共构成了 P_l 个低副和 P_h 个高副，则它们共引入 $(2P_l + P_h)$ 个约束。则机构的自由度数 F 为

$$F = 3n - 2P_l - P_h \quad (2-1)$$

式中 F ——机构的自由度数；

n ——活动构件的数目；

P_l ——低副的数目；

P_h ——高副的数目。

2.3.2 运动链成为机构的条件

机构的自由度也即是运动链具有独立运动的个数。由式 (2-1) 可知，运动链要运动，自由度数 F 必大于零。通常运动链中每个原动件具有一个独立运动，如图 2-12 所示，原动件 AB 与固定件以转动副相连，只能绕 A 转动；原动件滑块与固定件组成移动副，只能相对机架直线移动。因此，机构自由度数必定与原动件的数目相等。

图 2-13 所示的运动链，由 3 个构件和 3 个转动副组成。若将构件 3 定为固定件，则 $n =$

2, $P_l = 3$, $P_h = 0$, 由式 (2-1) 可知, 其自由度数为 $F = 3n - 2P_l - P_h = 3 \times 2 - 2 \times 3 - 0 = 0$, 表明该运动链中各构件之间无相对运动而成为一个刚性构件。

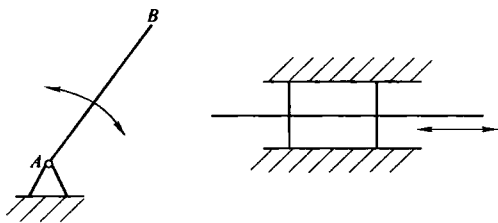


图 2-12 原动件具有一个独立运动

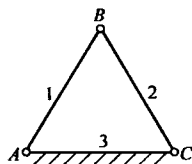


图 2-13 三构件运动链

图 2-14 所示的运动链中, 取构件 4 为固定件, 则 $n = 3$, $P_l = 4$, $P_h = 0$, 由式 (2-1) 可知, 其自由度数为 $F = 3n - 2P_l - P_h = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$, 表明该运动链若取一个构件为原动件, 其他构件则有确定的相对运动, 即该运动链为机构。

图 2-15 所示的运动链中, 取构件 5 为机架, 则 $n = 4$, $P_l = 5$, $P_h = 0$, 由式 (2-1) 可知, 其自由度数为 $F = 3n - 2P_l - P_h = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 0 = 2$, 表明该运动链若给定两个原动件 (如左右两个连架杆), 则能够成为机构, 如果只给定一个原动件, 其余 3 个活动构件的运动将不能确定。

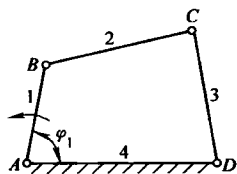


图 2-14 四构件运动链

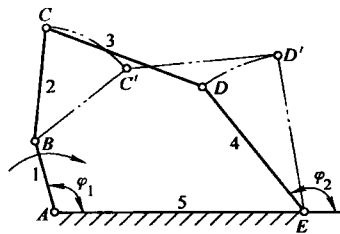


图 2-15 五构件运动链

2.3.3 计算自由度时应注意的问题

在计算自由度时, 除要正确理解公式中各参数的含义外, 还要正确处理以下三种情况:

(1) 复合铰链 两个以上的构件在同一轴线上以转动副相连接时, 将构成复合铰链。

如图 2-16a 所示, 构件 1 与构件 2、3 组成两个转动副。当两个转动副的轴线间距离缩小到零时, 两轴线重合, 便得到如图 2-16b 所示的复合铰链, 其侧视图如图 2-16c 所示。这

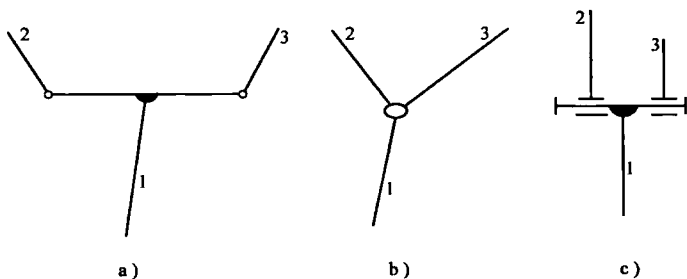


图 2-16 复合铰链

是由三个构件组成的包含两个转动副的复合铰链, 不要错当作一个转动副来计算。由此可知, 由 K 个构件组成的复合铰链, 应当包含有 $K - 1$ 个转动副。

例 2-2 计算图 2-17 所示连杆机构的自由度。

解 在该机构中, $n=7$, $P_1=6$, $P_h=0$, 由式 (2-1) 可知, 其自由度数为

$$F=3n-2P_1-P_h=3\times 7-2\times 6-0=9$$

从计算结果看, 似乎该运动链需要 9 个原动件才能成为机构, 结论显然是错误的 (运动链还不足 9 个构件), 实际只需一个原动件即可。问题在 A、B、C、D 这几点处, 均是三个构件用一个转动副连接, 都应构成两个转动副。所以, 该运动链实际的低副数为 $P_1=10$, 由式 (2-1) 可知, 该机构的自由度数为

$$F=3n-2P_1-P_h=3\times 7-2\times 10-0=1$$

自由度数与向运动链引入的原动件数相等, 所以该运动链是机构。

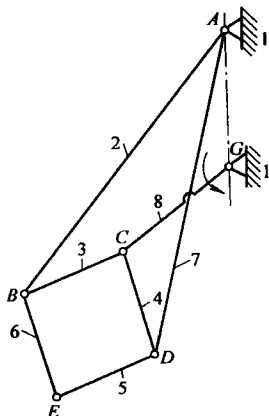


图 2-17 连杆机构

(2) 局部自由度 在机构中某些构件的局部运动, 并不影响整个机构的运动, 这种与整个机构运动无关的自由度称为局部自由度。在计算机构自由度时, 局部自由度可以不计。

例 2-3 计算如图 2-18 所示凸轮机构的自由度。

解 图 2-18a 所示凸轮机构, 加入滚子 3 可使高副接触的滑动摩擦变成滚动摩擦, 从而减少摩擦力。用式 (2-1) 直接计算其自由度 $F=3n-2P_1-P_h=3\times 3-2\times 3-1=2$ 。从计算结果看, 该机构需要两个原动件, 但从机构本身看, 如果将凸轮 1 作为原动件, 构件 2 必然有确定的相对运动。因此, 实际上应该是 $F=1$ 。这是由于滚子 3 转动与否, 对整个机构的运动并无影响。滚子 3 的这种不影响整个机构运动的多余自由度称为局部自由度, 在计算机构自由度时可以去除不计。如右图所示, 把滚子 3 看成是和构件 2 焊在一起的一个构件, 则 $n=2$, $P_1=2$, $P_h=1$, 由式 (2-1) 可知, 该机构的自由度数为

$$F=3n-2P_1-P_h=3\times 2-2\times 2-1=1$$

即当凸轮 1 为原动件时, 从动件的运动是确定的。

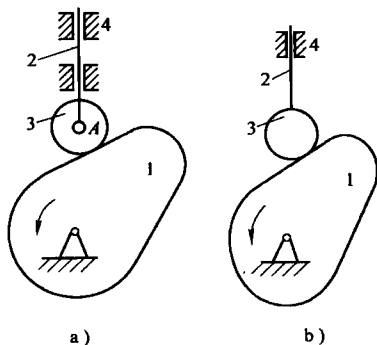


图 2-18 凸轮机构

1—凸轮 2—构件 3—滚子 4—机架

(3) 虚约束 在运动副引入的约束中, 有些约束对机构自由度的影响是重复的, 这些在机构中与其他约束重复而不起限制运动作用的约束称为虚约束, 或称为消极约束。计算机构自由度时可以不计。

虚约束是在特定的几何条件下出现的, 平面机构中的虚约束常出现在下列场合:

1) 两个构件之间组成多个导路平行的移动副, 在计算机构的自由度时, 只能按一个移动副计算, 其他均为虚约束。图 2-18a 所示构件 2 和机架 4 组成两个移动副, 有一个是重复约束, 应按图 2-18b 计算自由度。

2) 如图 2-19 所示, 当两构件 (件 1、2) 构成多个转动副, 且轴线互相重合时 (A、B 两处), 则只有一个转动副起约束作用, 其余转动副都是虚约束。

3) 如图 2-20 所示, 如果机构中两活动构件上某两点的距离始终保持不变, 此时若用具