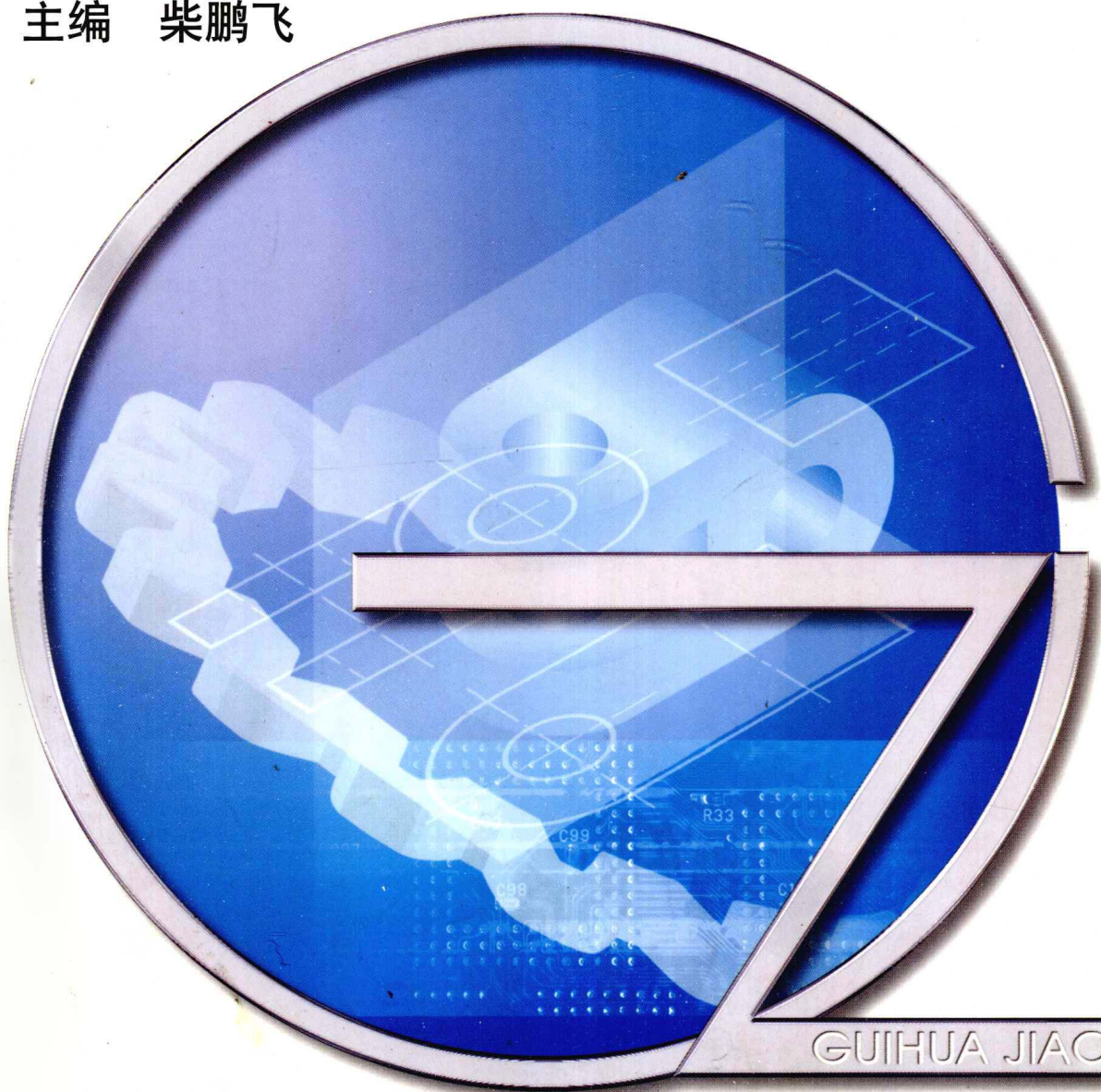




专业基础课
高职高专规划教材

机械设计基础

教育部机械职业教育教学指导委员会 组编
中国机械工业教育协会
主编 柴鹏飞



GUIHUA JIAOCAI



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

giz



高 职 高 专 规 划 教 材

机 械 设 计 基 础

教育部机械职业教育教学指导委员会
中 国 机 械 工 业 教 育 协 会 组编

主 编 柴鹏飞
副主编 鲍光明 倪震明
参 编 姜丽华 王 玉 王晨光
主 审 陈爱玲

机 械 工 业 出 版 社

本书是教育部职业教育与成人教育推荐教材,为高职高专教育机电类的技术基础课教材。本书主要介绍常用机构的工作原理、运动特性、设计方法、应用场合及选择和通用零件在一般工作条件下的工作原理、结构特点、使用要求、设计原理与选用的方法等内容。全书共十七章,每章后附有本章主要内容归纳和适量的习题。

本书考虑目前高职教育的生源状况,从培养学生具有初步的工程实践技能出发,在内容的选取上,遵循“必需与够用”的编写原则,既保证基本内容够用,又注重知识的工程实用性,以培养学生分析问题和解决问题的工程实践能力;在内容的编排上,考虑与先修课知识的连贯性,章节的编排按学生认知的习惯,先机构后零件,先单件后组合,便于学生的自学和教师组织教学。本书侧重于五年制高职师生使用,三年制高职师生也可选用。

本书可作为高等职业技术学院机电、机械、近机类各专业的教材,也可以作为高等专科学校、成人高等教育学校用书及有关工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/柴鹏飞主编. —北京:机械工业出版社, 2004.8

高职高专规划教材

ISBN 7-111-15106-2

I. 机... II. 柴... 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(2004)第 083641 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:王世刚 王英杰 责任编辑:王海峰等 版式设计:张世琴

责任校对:张晓蓉

封面设计:姚毅

责任印制:施红

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 10 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·17.5 印张·432 千字

定价:26.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

机电类高等职业技术教育教材建设 领导小组人员名单

顾问：郝广发

组长：杨黎明

成员：刘亚琴 李超群 惠新才 王世刚
姜立增 李向东 刘大康 鲍风雨
储克森 薛 涛

专业基础课教材编审委员会名单

苏群荣 胡家秀 薛 涛 刘魁敏 杜伟明
邱 敏 夏奇兵 李怀甫 柴鹏飞 田 鸣
许文茂 赵建彬 王世刚

前 言

本书是根据由教育部机械职业教育教学指导委员会与中国机械工业教育协会联合成立的高职教材建设领导小组制定的机电类高等职业技术教育专业教学计划及教材编写计划编写的。

本书从培养实用型技能人才应具有的基本技能出发,本着“必需与够用”的编写原则,在教材内容的取舍上,充分考虑目前职业学校的生源状况,力求实用、够用,并适当考虑知识的连续性和学生今后继续学习的需要。本书每章附有主要内容归纳,便于学生整理和复习每一章的内容。习题以判断题、选择题、综合题的形式出现,既考虑了知识点的覆盖面,又考虑了学生做题和教师批阅的方便。习题数量适中,便于教师根据教学需要安排。

参加本书编写的人员有:太原理工大学长治学院柴鹏飞(第一章、第十四章、第十五章)、山西机电职业技术学院倪震明(第二章、第十二章、第十三章)、河北机电职业技术学院王玉(第三章、第八章、第十七章)、太原理工大学长治学院王晨光(第四章、第五章、第七章)、安徽机电职业技术学院鲍光明(第六章)、辽宁机电职业技术学院姜丽华(第九章、第十章、第十一章、第十六章)。本书由柴鹏飞任主编,鲍光明、倪震明任副主编。

本书由河北化工医药职业技术学院陈爱玲副教授担任主审。陈爱玲副教授认真细致地审阅了本书,提出很多宝贵的修改意见和建议,编者对此谨致深切的谢意。

本书的所有编者在编写过程中得到所在学校的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者的水平和实践知识所限,虽经几次改稿,但仍可能有误漏和不妥之处,恳请使用本书的广大教师和读者批评指正。

编者

目 录

前言

第一章 绪论 1

第一节 本课程的性质和研究的对象 1

第二节 本课程的内容和任务 2

第三节 本课程的学习方法 2

第四节 机械设计概述 3

本章主要内容 5

第二章 平面机构的运动简图

及自由度 6

第一节 运动副及其分类 6

第二节 平面机构运动简图 7

第三节 平面机构的自由度 9

本章主要内容 13

习题 13

第三章 平面连杆机构 16

第一节 铰链四杆机构 16

第二节 铰链四杆机构中曲柄存在的条件
及其基本类型的判别 19

第三节 铰链四杆机构的演化 20

第四节 平面连杆机构设计中的
几个问题 23

第五节 平面连杆机构的设计方法 26

本章主要内容 30

习题 31

第四章 凸轮机构 33

第一节 概述 33

第二节 从动件常用运动规律 35

第三节 图解法设计凸轮轮廓 39

第四节 凸轮机构设计中的几个问题 43

本章主要内容 47

习题 47

第五章 其他常用机构 49

第一节 棘轮机构 49

第二节 槽轮机构 52

第三节 不完全齿轮机构简介 54

第四节 螺旋机构 55

本章主要内容 62

习题 63

第六章 圆柱齿轮传动 65

第一节 齿轮传动的特点与分类 65

第二节 渐开线齿廓及啮合特性 66

第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的主要
参数和基本尺寸 69

第四节 标准直齿圆柱齿轮啮合传动 71

第五节 标准直齿圆柱齿轮的公法线长度和
分度圆弦齿厚 73

第六节 渐开线齿轮加工原理和根切 75

第七节 变位直齿圆柱齿轮传动 77

第八节 圆柱齿轮精度 79

第九节 轮齿的失效分析和材料选用 82

第十节 标准直齿圆柱齿轮传动的
疲劳强度计算 85

第十一节 斜齿圆柱齿轮传动 91

第十二节 圆柱齿轮的结构设计和齿轮
传动的维护 99

本章主要内容 102

习题 103

第七章 其他齿轮传动 107

第一节 直齿锥齿轮传动 107

第二节 蜗杆传动 112

第三节 锥齿轮及蜗杆和蜗轮的结构 121

本章主要内容 124

习题 125

第八章 齿轮系 128

第一节 齿轮系及其分类 128

第二节 定轴轮系传动比的计算 129

第三节 行星轮系传动比的计算 131

第四节 组合轮系传动比的计算 134

第五节 轮系的应用 136

第六节 少齿差行星轮系和谐波齿轮传动		第五节 液体摩擦滑动轴承简介	214
简介	139	第六节 滚动轴承的结构、类型和特点	215
本章主要内容	140	第七节 滚动轴承的代号	217
习题	141	第八节 滚动轴承类型的选择	220
第九章 带传动	144	第九节 滚动轴承的失效形式和 设计准则	221
第一节 概述	144	第十节 滚动轴承的寿命计算	221
第二节 V带和带轮	145	第十一节 滚动轴承的静载荷计算	227
第三节 带传动的工作情况分析	149	第十二节 滚动轴承的极限转速	229
第四节 V带传动的设计计算	151	第十三节 滚动轴承的组合设计	229
第五节 带传动的张紧、安装与维护	158	第十四节 滚动轴承的配合与装拆	233
本章主要内容	159	本章主要内容	234
习题	159	习题	234
第十章 链传动	161	第十四章 机械的润滑与密封	236
第一节 概述	161	第一节 摩擦与磨损	236
第二节 滚子链传动的设计	165	第二节 润滑	237
第三节 链传动的布置、张紧与润滑	168	第三节 密封装置	242
本章主要内容	170	本章主要内容	244
习题	170	习题	244
第十一章 联接	172	第十五章 联轴器、离合器及制动器	246
第一节 螺纹联接	172	第一节 联轴器	246
第二节 键和花键联接	184	第二节 离合器	250
第三节 销联接	189	第三节 制动器	252
第四节 其他常用联接	189	本章主要内容	253
本章主要内容	193	习题	253
习题	193	第十六章 弹簧	255
第十二章 轴	195	第一节 弹簧的功用和类型	255
第一节 轴的分类与材料	195	第二节 弹簧的材料与制造	256
第二节 轴的结构设计	197	第三节 圆柱形螺旋弹簧设计	257
第三节 轴的强度校核	202	本章主要内容	261
第四节 轴的刚度计算	206	习题	261
本章主要内容	207	第十七章 机械的平衡与调速	263
习题	207	第一节 回转件的平衡	263
第十三章 轴承	209	第二节 机械速度波动的调节	267
第一节 轴承的功用与类型	209	本章主要内容	270
第二节 滑动轴承的主要类型和结构	209	习题	271
第三节 轴瓦结构和轴承的材料	211	参考文献	273
第四节 非液体摩擦滑动轴承的计算	213		

第一章 绪 论

在现代日常生活和生产活动中，人们广泛使用着各种各样的机械。在机械发展方面，我国人民有着光辉的成就；汉朝张衡的候风地动仪、西汉时期的指南车和记里鼓车、元朝黄道婆的织布机、秦始皇陵发掘出土的大型彩绘铜车马等都是我国劳动人民智慧的结晶，充分显示了我国劳动人民卓越的创造才能。机械的发展程度、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。为了更好地运用、研究、发展机械，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重要的。

第一节 本课程的性质和研究对象

一、本课程的性质

机械设计基础是一门介于基础课和专业课之间的重要的设计性技术基础课程，本课程培养学生分析、选择常见机构和选择、设计一般工作条件下常用参数范围内的通用零、部件的能力，起着“从理论过渡到实际、从基础过渡到专业”的承先启后的桥梁作用。

二、本课程研究的对象

本课程研究的对象是机械。机械是机器与机构的总称。

机器是执行机械运动和信息转换的装置，机器的种类繁多，其用途和结构形式也不尽相同。机器的组成有三个共同的特征：①人为的实物组合体；②各运动单元间具有确定的相对运动；③能代替人类做有用的机械功或进行能量转换。现代机器的内涵还应包括机器能进行信息处理、影像处理等功能。图 1-1 所示为一卷扬机，电动机 1 带动减速传动装置 3（此处为二级齿轮减速器），通过联轴器使卷筒 5 缓慢转动，使绕在卷筒上的钢索完成悬吊工作任务。图 1-2 所示为一颚式破碎机，电动机 1 通过带传动装置(2、3、4)带动偏心轮 5 转动，使得动颚板 6 作往复摆动，与定颚板 7 共同实现压碎物料的工作任务。

由上述两实例分析可知，机器一般由原动装置、传动装置、执行装置三大部分组成。一般机械中最常见的原动装置为电动机，为机器提供动力；传动装置通常由一些机构(连杆机构、凸轮机构等)或传动(带传动、齿轮传动等)组成，实现运动形式或速度的改变及动力的传递；执行装置是机器完成工作任务的重要组成部分。

机构是具有确定的相对运动，能实现一定运动

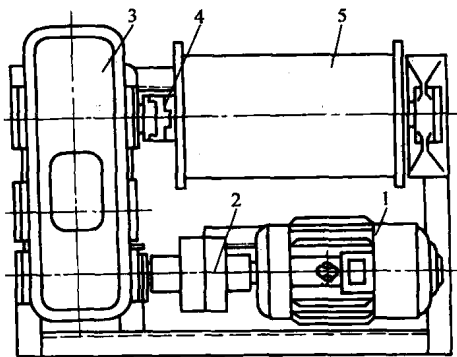


图 1-1 卷扬机

1—电动机 2、4—联轴器 3—齿轮减速器
5—卷筒

形式转换或动力传递的实物组合体。从功能上看,机构和机器的根本区别是机构只能传递运动或动力,一般不直接做有用的机械功或进行能量转换。因此,一般说来,机构是机器的重要组成部分,一般机器是由单个或多个机构再加辅助设备组成的。从构成和运动的角度看,机器和机构也无本质的区别,故工程实践中将机器和机构统称为“机械”。

组成机构的具有相对运动的实物称为构件,构件是机构运动的最小单元。机械制造中不可拆的最小单元称为零件,零件是组成构件的基本部分。一个构件可以只

由一个零件组成,也可由多个零件组成。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组合体称为部件。

零件按作用分为两类:一类是通用零件,是各种机器中经常使用的零件,如螺栓、传动带、齿轮等;一类是专用零件,只在一些特定的机器中使用,如曲轴、叶片等。

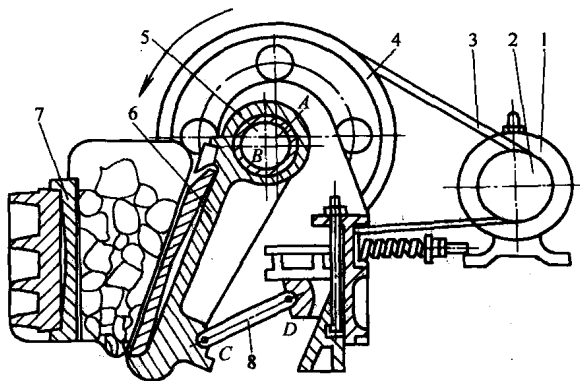


图 1-2 颚式破碎机

1—电动机 2、4—带轮 3—V带 5—偏心轮 6—动颚板
7—定颚板与机架 8—肘板

第二节 本课程的内容和任务

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,是综合应用各先修课程的基础理论知识,结合生产实践知识,研究机械中的常见机构和一般工作条件下的常用参数范围内的通用零、部件,研究其工作原理、特点、应用、结构和基本设计理论、基本计算方法,研究机械设计的一般原则和设计步骤,研究常用零部件的选用和维护等共性问题。因此,本课程是工科类各专业一门重要的技术基础课。

通过本课程的学习和实践性实训,要求达到:

- (1) 了解使用、维护和管理常用机械设备的一些基础知识。
- (2) 初步掌握常用机构的性能、应用场合、使用维护等基础知识。
- (3) 具备正确选择常用机械零件的类型、代号等基础知识。
- (4) 初步具备设计机械传动和运用手册设计简单机械的能力。
- (5) 为学习有关专业机械设备和参与应用型技术工作奠定必要的基础。

第三节 本课程的学习方法

本课程是一门介于基础课和专业课之间的具有设计性的专业基础课,是从理论性、系统性较强的基础课向实践性较强的专业课过渡的转折点。本课程的性质决定它与先修课程有许

多不同的地方,体现在概念多、公式多、符号多、名词多、图表多和系统性差、逻辑性差等方面,因此,本课程的学习方法不同于先修课程,要想学好本课程就要多观察、多分析日常生活和工程实践中的机械实例,要理论联系实际。要深入到工厂了解和熟悉生产一线常用零部件的材料、加工方法、选择原则及设备的维护方法等生产实践知识。除传统的学习方法外,需要注意三个问题:

- (1) 转折——理论联系实际。
- (2) 明确——设计并非计算。
- (3) 认清——范例并非标准。

通过学习本课程有关机械设计的基本知识,提高分析能力和综合能力,特别要注重实践能力和创新能力的培养,加强技能训练,全面提高自身素质和综合职业技能。

第四节 机械设计概述

机械设计是根据社会需求所提出的机械设计任务,综合应用当代各种先进技术成果,运用各种适用的设计方法,设计出满足使用要求,技术先进、经济合理、外形美观、综合性能好,并能集中反映先进生产力的产品;也可能是在原有的机械设备基础上作局部改进,以优化结构,增大机械的工作能力,提高效率,降低能耗,减少污染等,这些都是机械设计范畴应考虑的问题。机械设计是一门综合的技术,是一项复杂、细致和科学性很强的工作,涉及许多方面,要设计出合格的产品,必须兼顾众多因素。下面简述几个与机械设计有关的基本问题。

一、机械设计应满足的基本要求

使用要求——具有可靠的稳定的工作性能,达到设计要求。使用要求包括功能要求和可靠性要求。

经济要求——要达到机器本身成本低,用该机器生产的产品成本也要低。

安全要求——保证人身安全,操作方便、省力。

外观要求——造型应美观、协调。

此外还有:噪声、起重、运输、卫生、防腐蚀、防冻等方面的要求。

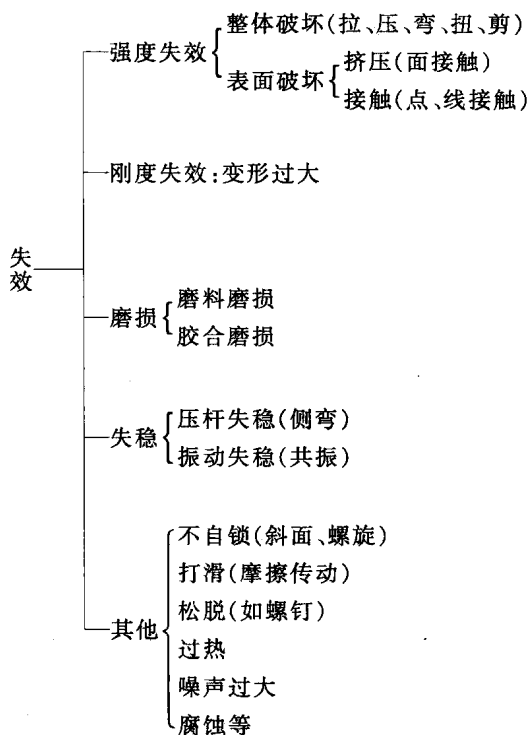
二、机械零件的失效形式和设计准则

1. 零件的失效形式

失效——零件失去设计时指定的效能称为零件失效。

失效和破坏并不是一回事,失效并不等于破坏,也就是有些零件理论上是失效了,如齿轮的齿面点蚀、胶合、磨损等失效形式出现后,零件还可以工作,只不过是工作的状况不如原来的好,可能会出现噪声等。一般情况下零件破坏后就不能再工作了,也可以说破坏是绝对的失效,如齿轮的轮齿折断是失效,也是破坏。

常见的零件失效形式分列如下:



具体的失效形式有：①整体断裂；②过大的残余变形；③零件的表面破坏(腐蚀、磨损、接触疲劳)。失效尤其以腐蚀、磨损、疲劳破坏为主(有资料介绍在 1378 项机械零件的失效中，腐蚀、磨损、疲劳破坏占 73.88%，断裂仅占 4.79%)。

2. 零件的工作能力准则

设计中，衡量机械零件工作能力的指标称为机械零件的工作能力准则。

包括以下内容：

(1) 强度 零件抵抗破坏的能力。强度又可分为体积强度和表面强度两种。表面强度又可分为表面挤压强度与表面接触强度。

(2) 刚度 零件抵抗变形的能力。

(3) 耐磨性 零件抵抗磨损的能力。

(4) 耐热性 零件能承受热量的能力。

(5) 可靠性 零件能持久可靠地工作的能力。

(6) 振动稳定性 机器工作时不能发生超过允许的振动现象。

3. 机械零件的计算准则

$$\text{强度: } \sigma \leq \frac{\sigma_{\lim}}{s}$$

$$\text{刚度: } \gamma \leq [\gamma]$$

耐磨性、耐热性在强度计算中，只考虑其对强度影响的程度，没有单独的计算公式。

振动稳定性：工作频率应与零件的固有频率错开。

可靠性的衡量指标是可靠度，不同的设备有不同的要求，可靠度与安全系数的选取有关系，选取安全系数时，可根据零件影响设备安全的程度不同取不同的安全系数。

4. 设计步骤

机械设计方法很多，既有传统的设计方法，也有现代的设计方法，这里不详细论述，只简单介绍常用机械零件的设计方法：

- (1) 根据使用要求，选择零件的类型和结构。
- (2) 根据工作要求，计算零件上载荷。
- (3) 根据工作条件，选择材料。
- (4) 确定计算准则，计算出零件的基本尺寸。
- (5) 结构设计。
- (6) 校核计算。
- (7) 写说明书。

在机械设计和制造的过程中，有些零件如螺栓、滚动轴承等应用范围广，用量大，为便于专业化制造，这些零件都制作成标准件，由专门生产厂生产。对于同一产品，为了符合不同的使用要求，生产若干同类型不同尺寸或不同规格的产品，作为系列产品生产以满足不同用户的需求。不同规格的产品使用相同类型的零件，以使零件的互用更为方便，也是机械设计应考虑的事情。因此，在机械零件设计中，还应注意标准化、系列化、通用化。

本章主要内容

机械设计基础是一门介于基础课和专业课之间的重要的设计性的技术基础课程，起着“从理论过渡到实际、从基础过渡到专业”的承先启后的桥梁作用。

机器的三个特征：①人为的实物组合体；②各运动单元间具有确定的相对运动；③能代替人类做有用的机械功或进行能量转换。

机构是具有确定的相对运动，能实现一定运动形式转换或动力传递的实物组合体。

零件是制造的最小单元，构件是机构运动的最小单元，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组合体称为部件。

零件失去设计时指定的效能称为零件失效。

衡量机械零件工作能力的指标称为机械零件的工作能力准则。

第二章 平面机构的运动简图及自由度

机构是由两个以上构件用运动副联接起来，并具有确定相对运动的构件系统。而仅仅以运动副形式联接，不能产生确定相对运动的构件组合则不能称其为机构。平面机构是指机构中所有运动部分均在同一平面或相互平行的平面内运动。工程上常见的机构大多属于平面机构，所以，本章仅限于讨论平面机构。

第一节 运动副及其分类

组成机构的每个构件都要以一定的方式与其他构件相互联接，这种联接不是固定的，而是通过联接，各构件之间仍能有一定的相对运动。机构中使两个构件直接接触并能产生一定相对运动的联接，称为运动副。例如，自行车上车轮与轴的联接，链轮与链条的联接等，都构成运动副。平面机构中，构成运动副的各构件的运动均为平面运动，故该运动副称为平面运动副。

根据运动副接触形式的不同，可将运动副分为两类：

1. 高副

两构件通过点或线接触所构成的运动副称为高副，如图 2-1a 中凸轮与推杆(点接触)，图 2-1b 中齿轮轮齿间的啮合(线接触)。

2. 低副

两构件通过面接触所构成的运动副称为低副，平面低副按其相对运动形式又可分为转动副和移动副。

(1) 转动副 两构件间只能产生相对转动的运动副称为转动副，如图 2-2a 所示。

(2) 移动副 两构件间只能产生相对移动的运动副称为移动副，如图 2-2b 所示。

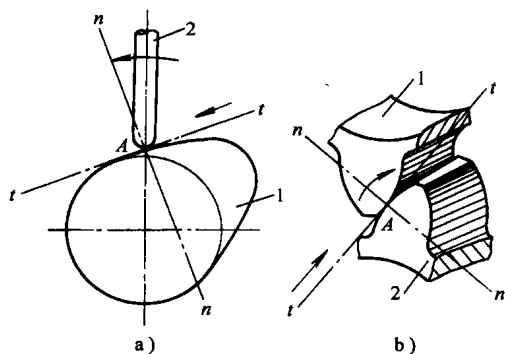


图 2-1 平面高副

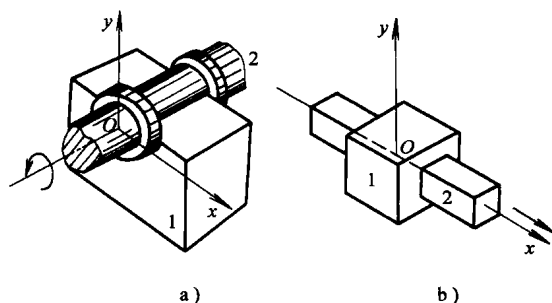


图 2-2 平面低副

第二节 平面机构运动简图

在研究或设计机构时,为了减少和避免机构复杂的结构外形对运动分析带来的不便和混乱,我们可以不考虑机构中与运动无关的因素,仅用简单的线条和符号来表示构件和运动副,并按比例画出各运动副的相对位置。这种用规定符号和简单线条表示机构各构件之间相对运动及运动特征的图形称为机构运动简图。

机构运动简图所表示的主要内容有:机构类型、构件数目、运动副的类型和数目以及运动尺寸等。

对于只为了表示机构的组成及运动情况,而不严格按照比例绘制的简图,称为机构示意图。

一、构件及运动副的表示方法

1. 构件

构件是组成机构的运动单元,在机器中往往是将若干个零件刚性地联接在一起,使它们成为一个独立运动的单元体,如自行车前轮的钢圈与辐条、车把与前叉等以刚性联接成为一个整体的运动单元。

在机构运动简图中,构件均用直线或小方框表示(如图 2-3a、b 所示),图 2-3c、d 表示参与形成两个运动副的构件,图 2-3e、f 表示参与形成三个运动副的构件。

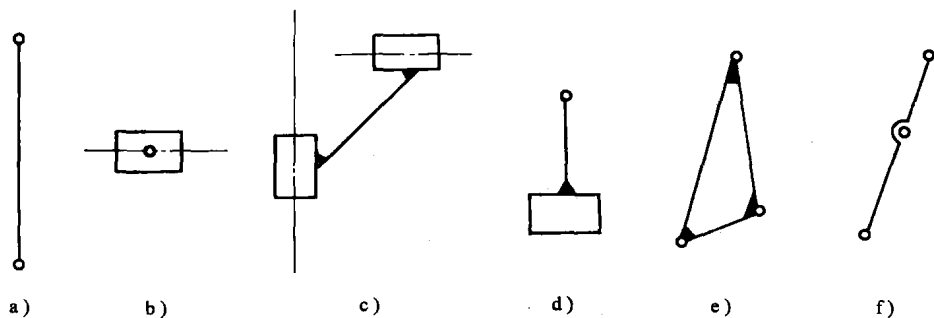


图 2-3 构件的表示方法

2. 转动副

两构件组成转动副时,表示方法如图 2-4 所示,圆圈表示转动副,其圆心必须与回转轴线重合,带斜线的表示固定构件(又称机架)。

3. 移动副

两构件组成移动副的表示方法如图 2-5 所示。

4. 平面高副

两构件组成平面高副的表示方法如图 2-6 所示,图 a 为凸轮副,图 b、c 为齿轮副。

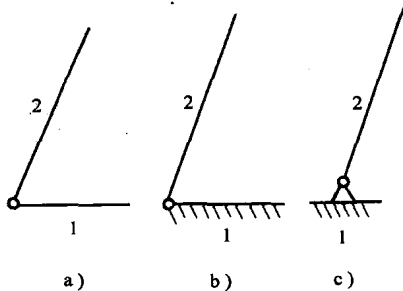


图 2-4 转动副的表示方法

二、平面机构运动简图的绘制

绘制平面机构运动简图一般应按下列步骤进行:

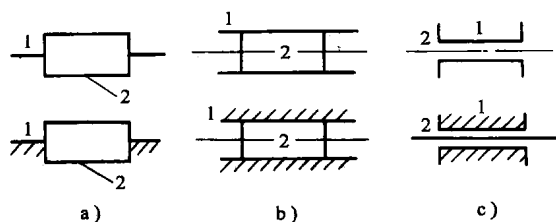


图 2-5 移动副的表示方法

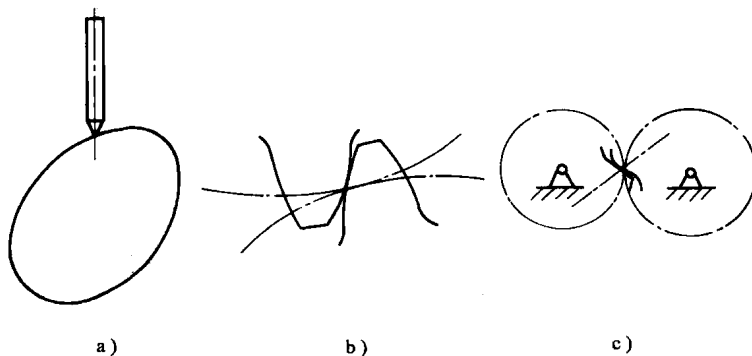


图 2-6 高副的表示方法

- (1) 分析机构的组成，明确主动构件、从动构件和机架，并将构件用数字编号。
- (2) 从主动构件开始，沿运动传递路线，分析各构件间运动副的类型，并确定各构件的运动性质。
- (3) 选择视图平面及机构运动简图位置。
- (4) 选择适当比例，按照各运动副间的距离和相对位置，用规定的符号将各运动副画出。然后用线条将同一构件上的运动副联接起来。

例 2-1 试绘制图 2-7a 所示颚式破碎机的机构运动简图。

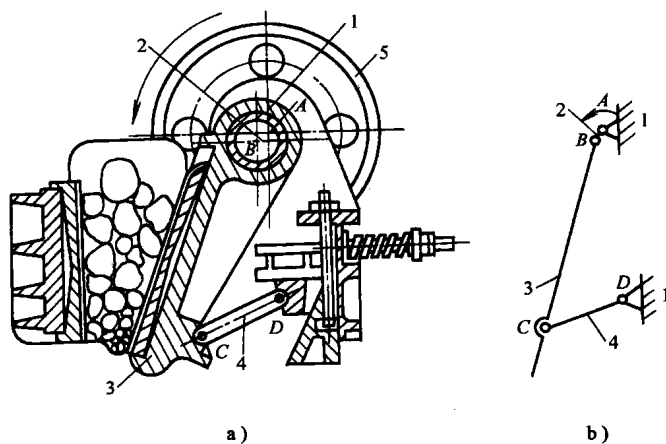


图 2-7 颚式破碎机及其机构运动简图

1—机架 2—偏心轴 3—动颚板 4—肋板 5—惯性轮

解 1) 颚式破碎机主体机构由机架 1 (固定构件)、偏心轴 2 (原动件)、动颚板 3 (工作执行件) 和肋板 4 共四个构件组成, 惯性轮 5 与机构运动分析无关, 故不作考虑。

2) 当偏心轴绕轴线 A 转动时, 驱使动颚板 3 作平面运动, 从而将矿石轧碎。偏心轴与机架 1 组成转动副 A , 偏心轴与动颚板 3 组成转动副 B , 肋板 4 与动颚板 3 组成转动副 C , 肋板 4 与机架组成转动副 D 。

3) 图 2-7a 已清楚地表达出各构件间的运动关系, 所以选择此平面为视图平面, 同时选定转动副 A 的位置。

(5) 按适当的比例, 根据各转动副之间的尺寸和位置关系, 画出转动副 B 、 C 和 D 的位置, 再用线段和符号绘制出机构运动简图, 如图 2-7b 所示。

第三节 平面机构的自由度

一、构件的自由度

在平面运动中, 一个自由构件具有三个独立的运动, 如图 2-8 所示, 即沿 x 轴和 y 轴的移动以及在 xOy 平面内的转动。构件的这三个独立运动称为自由度, 作平面运动的自由构件有三个自由度。

二、运动副对构件的约束

构件通过运动副联接后, 某些独立运动将受到限制, 自由度随之减少, 这种对构件独立运动的限制称为约束。每引入一个约束, 构件就减少一个自由度, 运动副的类型不同, 引入的约束数目也不等。如图 2-2a 所示, 转动副约束了构件沿 x 轴和 y 轴方向的移动, 只保留了一个转动自由度; 图 b 所示移动副限制了构件沿 y 轴方向的移动和在 xOy 平面内的转动, 只保留了一个沿 x 轴方向的移动自由度; 如图 2-1 所示, 高副只约束了沿接触处公法线方向的移动, 保留了绕接触点的转动和沿接触处公切线方向的移动。由此可知, 在平面机构中, 平面低副具有两个约束, 平面高副具有一个约束。

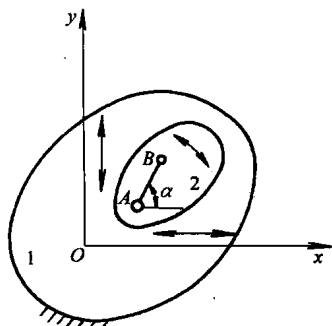


图 2-8 构件的自由度

三、平面机构的自由度

1. 平面机构自由度的计算公式

设一个平面机构有 N 个构件, 其中必有一个机架 (固定构件, 自由度为零), 故活动构件数为 $n = N - 1$ 。在未用运动副联接之前, 这些活动构件共有 $3n$ 个自由度, 当用运动副将活动构件联接起来后, 自由度则随之减少。如果用 P_L 个低副、 P_H 个高副将活动构件联接起来, 由于每个低副限制 2 个自由度, 每个高副限制 1 个自由度, 则该机构剩余的自由度数 F 为:

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

式(2-1)就是平面机构自由度的计算公式。

例 2-2 求图 2-9 所示凸轮机构的自由度。

解 该机构的活动构件数 $n = 2$, 低副数 $P_L = 2$, 高副数 $P_H = 1$,

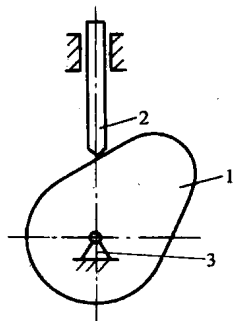


图 2-9 凸轮机构

故

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

例 2-3 求图 2-7 颚式破碎机构的自由度。

解 该机构的活动构件数 $n = 3$ ，低副数 $P_L = 4$ ，高副数 $P_H = 0$ ，故机构的自由度为

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

2. 平面机构具有确定运动的条件

机构的自由度就是机构所具有的独立运动的参数个数。由于原动件和机架相联，受低副约束后只有一个独立运动参数。而从动件靠原动件带动，本身不具有独立运动。因此，机构的自由度必定与原动件数目相等。

如果机构自由度等于零，如图 2-10 所示，则构件组合在一起形成刚性结构，各构件之间没有相对运动，故不能构成机构。

如果原动件数少于自由度数，则机构就会出现运动不确定的现象，如图 2-11 所示。

如果原动件数大于自由度数，则机构中最薄弱的构件或运动副可能被破坏，如图 2-12 所示。

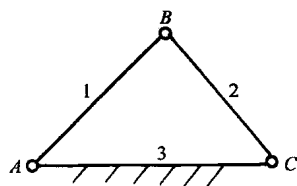


图 2-10 桁架

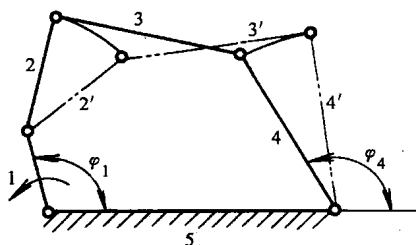


图 2-11 原动件数 < 自由度数

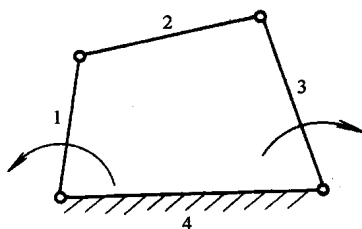


图 2-12 原动件数 > 自由度数

综上所述，机构具有确定运动的条件是：机构的自由度数大于零且等于原动件的数目。

3. 计算平面机构自由度时应注意的问题

在应用式(2-1)计算平面机构的自由度时，对下面几种情况必须加以注意：

(1) 复合铰链 两个以上的构件在一处以转动副相联所构成的运动副，称为复合铰链，如图 2-13 所示是三个构件在一处构成复合铰链。

从侧视图 2-13b 可以看出，构件 1 分别与构件 2 和构件 3 构成两个转动副。依此类推，如果有 k 个构件同在一处以转动副相联，则应有 $k-1$ 个转动副。

例 2-4 计算图 2-14 所示摇筛机构的自由度，并判断该机构是否具有确定的运动。

解 机构中有 5 个活动构件，A、B、D、E、F 处各有 1 个转动

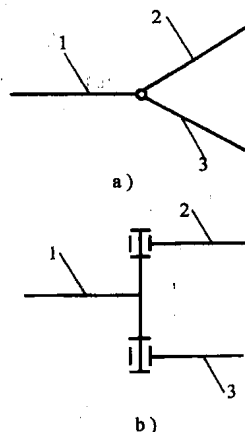


图 2-13 复合铰链