

123

7-11.3.2-43
243

高等学校教材

机械 设计

彭文生 李志明 黄华梁 主编

高等教育出版社

内容提要

本书是根据有关课程的“课程教学基本要求”和“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”有关文件的精神,为了适应当前教学改革的发展趋势和培养宽口径机械类专业人才需要而编写的一本新教材。

全书共四篇二十三章:第一篇机械设计总论(第一章);第二篇机械传动设计(第二至九章);第三篇机械零部件设计(第十至十九章);第四篇机械创新及系统设计(第二十至二十三章)。

本书可作为高等工业学校机械类专业机械原理课程与机械设计课程合并开课或分别开课的教材,也可供有关专业的工程技术人员参考。

本书还有配套的《机械设计习题集》(侯玉英,孙立鹏主编)和《机械设计课程设计》(席伟光,杨光,李波主编)教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计/彭文生等主编. —北京:高等教育出版社,
2002.8

工科本科机械类专业

ISBN 7-04-011078-4

I.机... II.彭... III.机械设计-高等学校-教材 IV.TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 037568 号

机械设计

彭文生 李志明 黄华梁 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 北京机工印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 32

字 数 780 000

版 次 2002 年 8 月第 1 版

印 次 2002 年 8 月第 1 次印刷

定 价 36.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本书是根据有关课程的“课程教学基本要求”和“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”有关文件精神,为了适应当前教学改革的发展趋势和我国加入 WTO 后培养宽口径机械类专业人才的需要而编写的一本新教材。其主要特点是:

1. 突破原有课程的界限。将机械原理、机械设计、设计方法学、机械创新设计等课程的有关内容,精心进行了重组、融合及整体优化,按照“机械设计总论——传动机构设计——机械零部件设计——机械创新及系统设计”的新体系划分篇章,以加强课程的整体性和系统性。例如,本书内容的编排顺序为:从机械系统的组成和运动简图设计到机械传动及其零部件设计、机械创新设计、机械系统运动方案设计和机械传动系统设计。

2. 以系统分析和综合设计能力的培养为主线,突出创新能力的培养和总体方案的设计,并将这一思想贯穿于全书的始终。机械系统总体方案设计是最具有创新性的一个设计环节。例如,在“机械设计总论”中,从整体设计思想出发,阐述了机械设计中的一些共性内容,而在以后各章具体机构及零部件设计计算时,都联系到具体机械的工况与技术要求,进行系统分析和综合设计能力的训练。另外,对机械创新设计及系统设计有专章阐述。主要章均增加一节“设计实例分析及设计时应注意的事项”,旨在培养学生的综合设计能力。

3. 为了适应科学技术和经济发展的需要,本书在内容方面进行了大胆的改革。例如增加了机械创新设计、现代设计方法概述、机械系统的运动方案设计、机械系统设计综述等四章内容。对传统教材的内容进行了推陈出新。例如增加了应用日广的几种新型减速器和无级变速器、施必牢螺母、点线啮合齿轮、新型蜗杆传动、变速轴承、虚拟现实设计等新内容。

4. 为了加强对学生结构设计能力的培养,本书将机械零部件设计中有关结构设计及密封内容,集中在“机械零部件结构设计”和“机械零部件的密封装置”两章,抓住共同特点,通过典型实例的正误对比分析及创新设计实例分析,培养学生的结构创新设计能力。

5. 合理处理传统教学内容与现代教学内容的关系。精选“三基”内容,注意少而精原则,淡化公式的演绎和推导,适当压缩篇幅,尽量避免重复,以适应学时减少的需要。

6. 为了适应经济全球化、培养大学生的国际化意识及一些大学正在推行的“双语教学”的需要,本书在书末列出了各章常用的名词术语的中英文对照,共收录 600 余词条。

7. 本书还有配套的《机械设计习题集》和《机械设计课程设计》教材,更方便教与学。

本书带“*”的章节为选学内容或延伸内容,使用时可根据学时和学生实际情况酌情取舍。

本书分四篇共二十三章。参加本书编写工作的有:武汉理工大学彭文生(兼职教授)(第一、五章及 § 20-4、§ 20-5 实例 4),常建娥(第六章),李志明(第十一章),张予川(第十五章),林财和(第十六章),韩少军、杨光(第十七章);武汉科技大学李佳(第二章),闻欣荣(第四章);湖北工学院魏兵(第三章),王为(第八章);洛阳工学院田同海(第七章),舒寅清(第九章);沈阳大学吴杰(第十章);广西大学龙有亮(第十二章),黄华梁(第二十三章);南华大学王剑彬(第十三章);华南

理工大学朱文坚(第十四、十八章),李杞仪(第二十二章);包头钢铁学院杨建鸣(第一章部分内容),李强(第十九、二十一章及第五章部分内容);南昌大学刘莹(第二十章 § 20-1 ~ § 20-3 及 § 20-5 实例 1、2、3)。全书由彭文生、李志明、黄华梁担任主编,朱文坚、常建娥、舒寅清、王为担任副主编。

本书承武汉理工大学王均荣教授、武汉科技大学孔建益教授审阅,他们提出了许多宝贵意见和建议,作者在此表示衷心的感谢。

由于作者的水平和时间所限,误漏之处在所难免,诚恳欢迎广大读者批评指正。

作者

2001 年 8 月

目 录

第一篇 机械设计总论

第一章 机械设计总论	2	§ 1-6 机械设计中的摩擦、磨损和 润滑	26
§ 1-1 机械设计概述	2	§ 1-7 机械设计的基本要求和一般 程序	37
§ 1-2 平面机构的组成原理及具有确定 运动的条件	5	§ 1-8 机械零件的工作能力和计算 准则	39
§ 1-3 平面机构自由度的计算	9		
§ 1-4 机构中的摩擦、效率和自锁	13		
§ 1-5 机械设计中的强度	18		

第二篇 机械传动设计

第二章 平面连杆机构及其设计	44	§ 5-2 齿轮齿廓	97
§ 2-1 平面四杆机构的基本型式	44	§ 5-3 齿轮各部分的名称及几何尺寸 计算	101
§ 2-2 平面四杆机构的基本特性	46	§ 5-4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮 合传动	104
§ 2-3 平面四杆机构的演化	50	* § 5-5 渐开线齿轮的切齿原理及变位 齿轮传动	108
§ 2-4 平面连杆机构的运动分析	52	§ 5-6 齿轮传动的受力分析、失效形 式及计算准则	115
§ 2-5 平面连杆机构的设计	57	§ 5-7 齿轮材料及许用应力	122
* § 2-6 多杆机构简介	60	§ 5-8 直齿圆柱齿轮传动的强度 计算	128
* § 2-7 空间连杆机构简介	62	§ 5-9 斜齿圆柱齿轮传动的设计 特点	135
第三章 凸轮机构及其设计	64	* § 5-10 直齿锥齿轮传动的设计特点	140
§ 3-1 凸轮机构的应用及分类	64	* § 5-11 其他齿轮传动简介	146
§ 3-2 从动件的常用运动规律及其 选择	66	* § 5-12 齿轮传动的润滑	150
§ 3-3 图解法设计凸轮轮廓曲线	73	* § 5-13 齿轮传动的发展趋势简介	151
§ 3-4 解析法设计凸轮轮廓曲线	77	§ 5-14 齿轮传动设计的实例分析及 设计时应注意的事项	152
§ 3-5 凸轮机构设计时应注意的事项 及实例分析	81	第六章 蜗杆传动设计	157
第四章 步进机构及其设计	87	§ 6-1 蜗杆传动的类型及特点	157
§ 4-1 棘轮机构设计	87	§ 6-2 普通圆柱蜗杆传动的主要参数	
§ 4-2 槽轮机构设计	90		
§ 4-3 不完全齿轮机构设计	92		
* § 4-4 凸轮式步进运动机构简介	94		
第五章 齿轮传动设计	96		
§ 5-1 概述	96		

及几何关系	161
§ 6-3 蜗杆传动的失效形式、材料选择 及受力分析	166
§ 6-4 普通圆柱蜗杆传动的设计 计算	167
* § 6-5 圆弧圆柱蜗杆传动的设计计算	170
§ 6-6 蜗杆传动的效率、润滑及热平 衡计算	176
§ 6-7 蜗杆传动设计的实例分析及设 计时应注意的事项	180
第七章 轮系、减速器和无级变速器	183
§ 7-1 轮系	183
* § 7-2 减速器简介及选用	192
* § 7-3 无级变速器简介	199
第八章 带传动设计	206

§ 8-1 带传动概述	206
§ 8-2 带传动的基本理论	209
§ 8-3 V带传动设计	213
§ 8-4 同步带传动设计	221
* § 8-5 其他带传动简介	225
§ 8-6 V带传动设计的实例分析及设 计时应注意的事项	226
第九章 链传动设计	229
§ 9-1 链传动概述	229
§ 9-2 链传动的运动特性和受力 分析	232
§ 9-3 滚子链传动设计	234
* § 9-4 链传动的润滑、布置和张紧	241
§ 9-5 链传动设计的实例分析及设计 时应注意的事项	241

第三篇 机械零部件设计

第十章 轴毂连接设计	246
§ 10-1 键连接	246
§ 10-2 花键连接	250
* § 10-3 无键连接简介	252
第十一章 螺纹连接和螺旋传动	254
§ 11-1 螺纹	254
§ 11-2 螺纹连接	256
§ 11-3 单个螺栓连接的强度计算	261
§ 11-4 螺栓组连接的设计	268
* § 11-5 提高螺栓连接强度的措施	273
* § 11-6 螺纹连接设计的实例分析及 设计时应注意的事项	276
* § 11-7 滑动螺旋传动设计	279
* § 11-8 滚动螺旋传动简介	280
* § 11-9 静压螺旋传动简介	281
第十二章 轴的设计	283
§ 12-1 概述	283
§ 12-2 轴的结构设计	286
§ 12-3 轴的强度和刚度计算	291
§ 12-4 轴设计的实例分析及设计时应 注意的事项	299
第十三章 联轴器、离合器和制动器	306
§ 13-1 联轴器	306
§ 13-2 离合器	311

* § 13-3 制动器简介	315
第十四章 滑动轴承设计	317
§ 14-1 滑动轴承的类型和结构形式	317
§ 14-2 轴瓦的结构、材料和滑动轴承 的润滑	319
§ 14-3 非液体摩擦滑动轴承的设计	322
§ 14-4 液体摩擦径向滑动轴承的 设计	324
§ 14-5 径向滑动轴承设计的实例分析 及设计时应注意的事项	331
* § 14-6 其他滑动轴承简介	334
第十五章 滚动轴承及其组合设计	339
§ 15-1 滚动轴承的主要类型、代号及 其选择	339
§ 15-2 滚动轴承的载荷、应力、失效 及计算准则	347
§ 15-3 滚动轴承的寿命计算	349
§ 15-4 滚动轴承部件的组合设计	359
§ 15-5 滚动轴承设计的实例分析及 设计时应注意的事项	368
* § 15-6 滚动导轨简介	371
第十六章 防振、缓冲零件概述	373
§ 16-1 弹簧设计概述	373
§ 16-2 圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的	

设计计算	378	§ 18-1 机械零部件结构设计基础	
* § 16-3 圆柱螺旋扭转弹簧的设计	386	知识	405
* § 16-4 防振装置简介	387	* § 18-2 轮类零件的结构设计	411
* § 16-5 缓冲装置简介	388	* § 18-3 机械零部件结构设计典型实	
第十七章 机械系统的动力学分析	390	例分析	415
§ 17-1 平面机构力分析	390	第十九章 机械零部件的密封装置	420
§ 17-2 机械的运转和速度波动的		§ 19-1 常用密封装置的类型	420
调节	394	§ 19-2 密封设计和选择应注意的	
§ 17-3 机械的平衡	400	事项	425
第十八章 常用机械零部件结构设计 ...	405		
第四篇 机械创新及系统设计			
第二十章 机械创新设计	428	§ 22-1 机构的选型	460
§ 20-1 常规设计与创新设计	428	§ 22-2 机构构型的创新设计方法	465
§ 20-2 创造性思维	430	§ 22-3 运动方案设计的实例分析及	
§ 20-3 创新设计的基本原理	435	评价	472
§ 20-4 创新设计方法	436	第二十三章 机械系统设计综述	474
* § 20-5 机械创新设计的实例分析	443	§ 23-1 现代机械系统的组成	474
第二十一章 现代设计方法概述	451	* § 23-2 机械系统的设计任务和设计	
§ 21-1 现代设计方法概述	451	方法	475
§ 21-2 虚拟设计及其应用	454	* § 23-3 机械系统的构思设计方法	477
* § 21-3 其他现代设计方法简介	457	* § 23-4 机械传动系统方案的设计	483
第二十二章 机械系统的运动方案		§ 23-5 机械传动系统方案设计的实例	
设计	460	分析及评价	487
机械设计名词术语中英文对照	493		
主要参考文献	502		

第一篇

机械设计总论

本篇概括地阐明机械设计概述,平面机构的组成原理及具有确定运动的条件、平面机构的自由度计算等,机构中的摩擦、效率和自锁,机械设计中的载荷、应力和强度,机械设计中的摩擦、磨损和润滑,机械设计的工作能力和计算准则等内容,即阐述机械设计中的一些共性问题。

第一章 机械设计总论

§ 1-1 机械设计概述

在我国古代,“机”、“器”、“械”都有不同的含义。“机械”通常指各种机巧的装置,“机器”的主要含义是机械装置。至近代,“机械(Machinery)”已成为各种机械装置的泛称,其含义包括“机器(Machine)”。“机械设计(Machine Design)”即为各种机械装置的设计,特别是装置的机巧之处,用现代语言来说,即为“机械创新设计”。

一、机械的组成

在长期的生产实践中,人们创造发明了各种机械,如电动机、内燃机、机床、汽车、火车、飞机、轮船等等。

机械的种类繁多,其构造、性能和用途各不相同。但从机械的组成分析,又有其共同点,即它们都是由一些典型的机构、机械零部件及控制操作系统所组成。例如图 1-1 所示的半自动多轴钻床,它由电动机传送出的运动与动力,经带传动 1 及齿轮箱中的齿轮传动(图中未绘出),一方面带动钻头旋转,另一方面经齿轮传动 2、轴 3、滑动轴承 4、万向联轴器 5、蜗杆传动 9、弹簧 8、凸轮机构(主要由推杆 6、凸轮 7 和机架组成),推动工件左右移动,达到钻孔的目的。

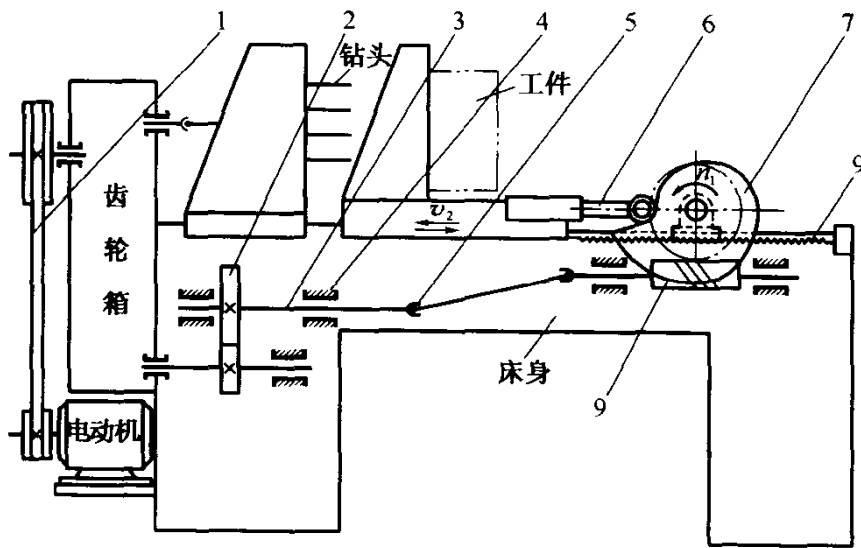


图 1-1 半自动多轴钻床

又如图 1-2 所示的内燃机,它由气缸体(机架)1、曲轴 2、连杆 3、活塞 4、进气阀 5、排气阀 6、推杆 7、凸轮 8 及齿轮 9、10 等组成。当燃气推动活塞 4 作往复移动时,通过连杆 3 使曲轴 2 作连续转动,从而将燃气的热能转换为曲轴的机械能。为了保证曲轴 2 连续转动,通过齿轮、凸轮、推杆和弹簧等的作用,按一定的运动规律启闭阀门,以输入燃气和排出废气。细加分析此种内燃机由三种机构组成:1)由机架 1、曲轴 2、连杆 3 和活塞 4 构成的曲柄滑块机构,它将活塞的往复移

动转变为曲轴的连续转动;2)由机架 1、凸轮 8 和推杆 7 构成的凸轮机构,它将凸轮的连续转动转变为推杆的往复移动;3)由机架 1、齿轮 9、10 构成的齿轮机构,其作用是改变转速的大小和方向。

又如起重运输机械、冶金矿山机械、轻纺食品机械等,它们的用途、功能要求、工作原理和构造各不相同,但一般都由原动机、工作部分、传动部分和操纵控制系统所组成。而对于较复杂和自动化程度高的机械,往往还包括完成各种功能的信息处理、传递系统。

从上述示例可知:凡能实现确定的机械运动,又能作有用的机械功或完成能量、物料和信息转换和传递的装置,称为**机器**,如颚式破碎机(图 1-6)、内燃机(图 1-2)、多轴钻床(图 1-1)等。若只能传递运动和力者,则称为**机构**,如连杆机构、齿轮机构等。但从运动观点来看,两者之间并无区别,所以,通常将**机器**和**机构**统称为**机械**。而组成机械的相对运动单元,称为**构件**。构件可以是单一的零件,也可以是由几个零件组成的刚性结构。构件与零件的区别在于:构件是运动的单元,而零件是制造的单元。

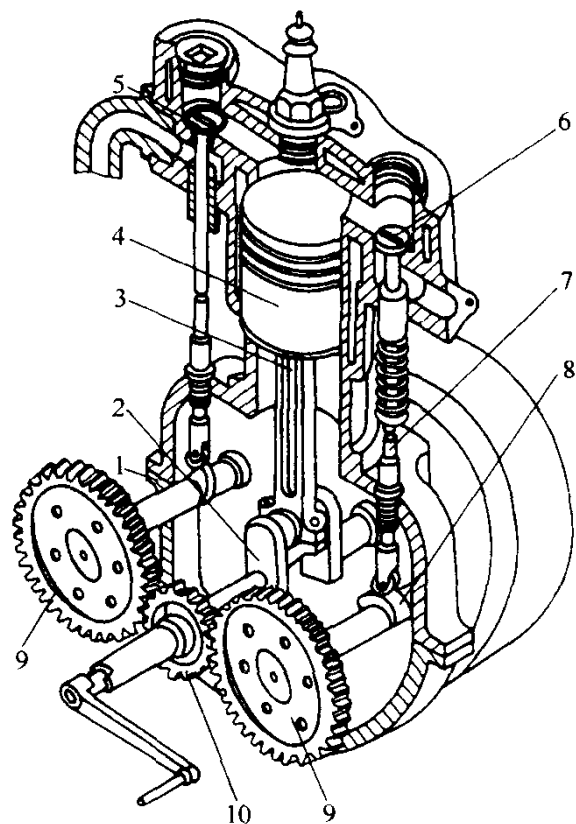


图 1-2 单缸内燃机

各种机械中普遍使用的机构,称为**常用机构**,如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、步进机构等。各种机械中普遍使用的零件,称为**通用零件**,如螺钉、轴、轴承、齿轮、弹簧等。只在某一类型机器中使用的零件,称为**专用零件**,如内燃机的活塞、曲轴,汽轮机的叶片等。

二、“机械设计”教材变迁的历史和现状

事物发展的规律往往是螺旋式上升的,而“机械设计”教材变迁的历史也符合这一规律。新中国成立 50 余年来,“机械设计”教材的变迁,经历了如下四个阶段。

第一阶段(解放前至 1953 年前后),全国各大学普遍沿用欧美教材,书名《机械设计》(Machine Design),它包括“机械原理”、“机械零件”及部分热机等方面的内容。其特点是内容涵盖面广,着重实用,但理论深度较浅。

第二阶段(1953 年至 1960 年前后),普遍使用翻译的前苏联教材,将原来欧美的“机械设计”教材的相关内容分为《机械原理》、《机械零件》,并分别设课。

第三阶段(1960 年前后至 1995 年),采用由国内学者主编的《机械原理》、《机械零件》(后改名“机械设计”)教材。这些教材在理论分析深度及内容阐述的详细程度方面都高于国外教材。

第四阶段(1988 年前后至今),为多种教材并存、改革力度加大的阶段。它又可分为前期和近期两类教材。

前期,一些省与地区教研会也组织编写了系列教材,其特点为:1)内容上的衔接性好,避免了相关教材之间不必要的重复;2)教学针对性强,融入了编者长期积累的教学经验,便于教与学。

由于教育部从 1996 年制定的“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”及“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”等课题的实施,不仅推动了

教学内容和课程体系的改革,也推动了新一轮教材的建设。近期教材建设是在全国进行专业调整后,要求“扩宽专业口径”,“淡化专业意识、拓宽基础,加强素质教育和能力培养(特别是创新设计能力培养)”,以及压缩学时等情况下进行的。一些《机械原理》、《机械设计》教材在内容和体系上更新较多。一些大学已将原《机械原理》、《机械设计》进行了有机的合并,重组为新的《机械设计》教材。还有些大学将“互换性”或“机械系统设计”或“机械创新设计”等课程内容的部分或全部纳入到新编《机械设计》教材之中。

本书是根据 21 世纪人才培养的要求和当前教学改革的需要,将原来的“机械原理”、“机械设计”两门课程的内容及“机械创新设计”、“设计方法学”、“机械系统设计”等有关内容,精心进行了重组、融合和整体优化,构成新的《机械设计》教材。

三、本课程的研究对象、性质和任务

1. 本课程在国民经济中的地位和作用

我国加入世界贸易组织(WTO)意味着我们的国家以至每一个人,都面临着充满竞争的全球化知识经济时代的机遇和挑战。国民经济的各个生产部门,都要求尽早实现机械化、自动化和信息化。因此,时代对机械设计工作者和本课程都提出了更新、更高的要求。

机械设计是为了满足机器的某些特定的功能要求而进行的创造性过程,即应用新的原理或新的概念,开发创造出新的产品,或对现有机器局部进行创造性的改革。设计是创造性的劳动,创造就是创新。迎接未来科学技术的挑战,最重要的是要坚持创新、勇于创新。

为了创造性地设计并制造出高质量的成套设备,以满足国民经济发展和出口的需要,就要培养千百万高素质的人才。从事机械设计的人员应具备的素质是:1)广博的理论基础;2)丰富的实践经验;3)高度的责任感和严谨的工作作风;4)强烈的创新意识和创造性的思维能力;5)虚心学习和不断进取的创业精神。

2. 本课程的性质和任务

机械设计课程是培养机械工程类专业学生机械设计能力的重要技术基础课,是学习专业课程和从事机械设计的基础。

本课程的主要任务是:1)培养学生正确的设计思想和创造性思维的方法,了解和贯彻执行国家的技术经济政策;2)掌握常用机构的结构、原理、运动特性和机械动力学的基本知识,初步具有分析和设计常用机构的能力,并能正确设计和确定机械运动方案;3)掌握通用机械零件的工作原理、特点、选用和设计计算的基本知识,具有设计机械传动装置和简单机械的能力;4)培养学生运用各类标准、规范、手册、图册、CAD 及网络信息等资料,对设计方案(或构思图)具有自我思考、判断和决策的能力。

3. 本课程的学习方法

本课程是一门设计性质的重要技术基础课,在从基础理论课程学习过渡到专业课程学习的过程中,起着承上启下的作用。特别是新的宽口径专业调整之后,要求淡化专业意识,拓展基础,本课程就更显现出其重要性。本课程涉及内容甚广,许多问题的解答不是唯一的,而是有多种方案可供选择及评价决策。因此,学习时要尽快适应本课程的特点。现将本课程的学习方法简述如下:

(1) 紧密联系生产实际,联系机构及整体机械系统进行分析。

(2) 努力培养自己的创新思维能力和解决工程实际问题的能力。按解决工程实际问题的思

维方法及创新模式努力培养和提高自己的创新设计能力。

(3) 把握每章的重点及分析处理问题的思路和基本方法。本课程中分析问题和解决问题的思路和方法,也正是解决工程实际问题中常用的思路和方法。

§ 1-2 平面机构的组成原理及具有确定运动的条件

机构是用运动副连接起来的、有一个构件为机架的构件系统。机构是用来传递运动和动力的构件的组合。然而,机构中构件的随意组合,不一定具有确定的运动,甚至构件之间根本不能产生相对运动。符合什么条件其运动才是确定的,这显然是研究现有机构或创新设计新机构首先要解决的问题。

如果组成机构的各可动构件都在同一平面或相互平行的平面内运动,则这类机构称为平面机构,否则就称为空间机构。

机械中实际的机构,其结构往往是较复杂的。在工程上常用规定的符号绘制机构的运动简图,以表达机构各构件之间的运动关系。借用机构运动简图来分析机构的运动和特性,能使问题既简单又明了。因此,机构运动简图的绘制方法,是应该掌握的内容。

由于机械中广泛采用平面机构,所以,本节只讨论平面机构运动简图的绘制及其具有确定运动的条件。

一、运动副

机构中使两构件相互接触而又允许产生某些相对运动的活动连接称为运动副,而两构件上直接参加接触构成运动副的部分称为运动副元素。例如图 1-2 所示的内燃机中气缸与活塞的连接,它们既相互接触,同时又允许活塞相对于气缸往复移动,这种活动连接就是运动副。

两个构件组成运动副,其接触部分不外乎是点、线或面,而构件之间允许产生的相对运动与它们的接触情况有关。按照接触情况,通常把运动副分为低副和高副两大类。

1. 低副

两构件为面接触的运动副称为低副。低副又分为转动副和移动副。

(1) 转动副 若运动副只允许两构件作相对转动,则称为转动副或回转副,又称铰链。如图 1-3a 所示的轴 1 与轴承 2,轴 1 可绕轴线 $O-O$ 相对转动而组成转动副,它有一个构件是固定

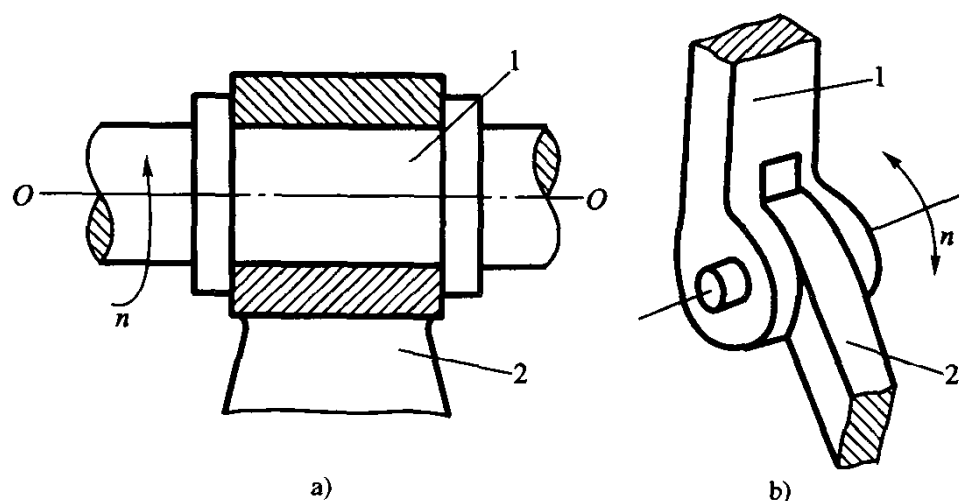


图 1-3 转动副

的,称为固定铰链。图 1-3b 所示构件 1 与构件 2 也组成转动副,由于它的两个构件均未固定,故称为活动铰链。

(2) 移动副 若运动副只允许两构件作相对移动,则称为移动副。如图 1-4 所示,构件 1 与构件 2 可沿方向线 $x-x$ 相对移动而组成移动副。

2. 高副

两构件为点或线接触的运动副称为高副。它们允许的相对运动是绕瞬时接触的点或线转动和沿瞬时接触处的公切线 $t-t$ 滑动,如图 1-5 所示。图 1-5a 为凸轮 1 与从动件 2 组成的高副,图 1-5b 为轮齿 1 与轮齿 2 所组成的高副。

上述各运动副中,两构件之间的相对运动均为平面运动,统称为平面运动副。若两构件之间的相对运动为空间运动,则称为空间运动副。空间运动副参见 § 2-6。

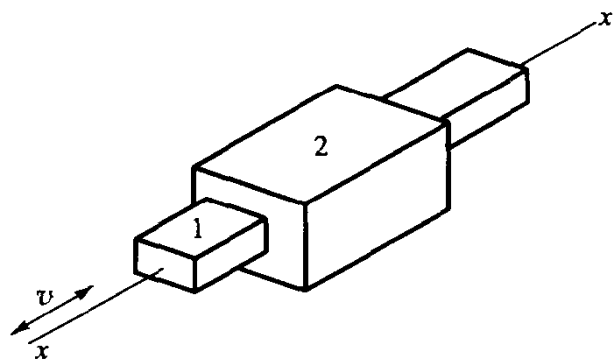


图 1-4 移动副

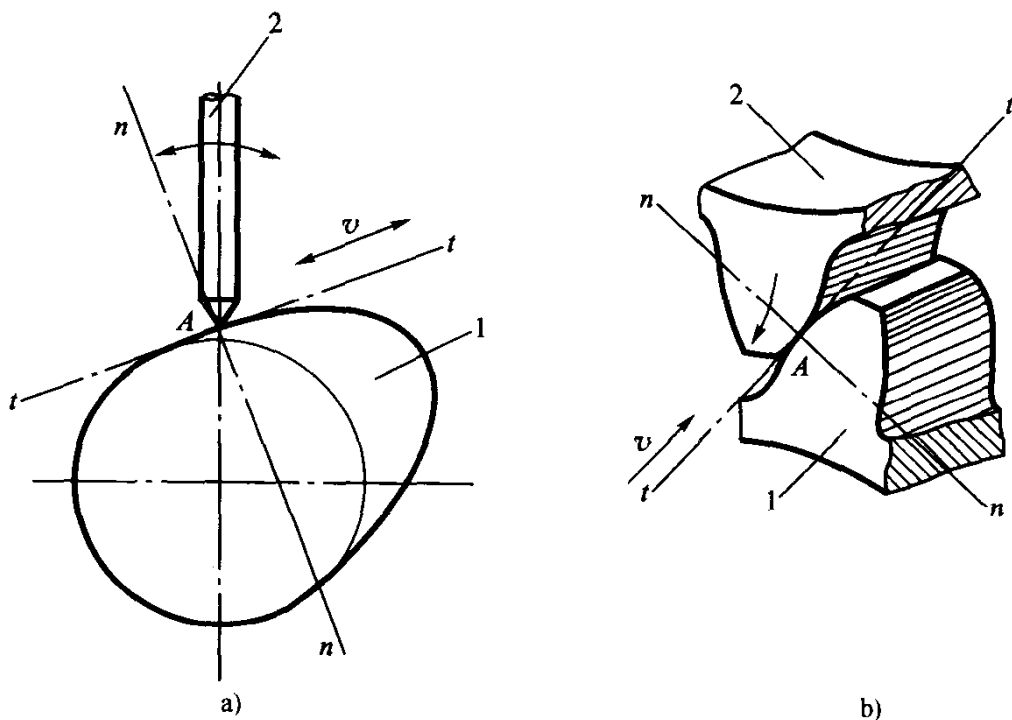


图 1-5 高副

二、平面机构运动简图

用规定的符号,绘出能准确表达机构各构件之间的相对运动关系及运动特征的简单图形,称为机构运动简图。为了能清晰地表达出与原机构完全相同的运动特征,在机构运动简图中,要求定出对机构运动有影响的关键尺寸(如运动副之间的相对位置等),而对运动没有影响的尺寸(如构件的形状、截面尺寸等),可以忽略。

GB/T 4460—1984 规定了用于机构运动简图的图示符号。现摘录其中一部分列于表 1-1。表中二副元素构件和三副元素构件指的是具有两个和三个运动副元素的构件。

绘制机构运动简图的一般步骤如下:

(1) 分析机构运动,找出固定件(机架)、原动件和从动件。

表 1-1 用于机构运动简图的图示符号(摘自 GB/T 4460—1984)

名 称	符 号	名 称	符 号
转动副		链传动	
棱柱副 (移动副)		外啮合圆柱 齿轮机构 (高副)	
二副元素构件		齿 轮 齿 条 (高副)	
三副元素构件		内啮合圆柱 齿轮传动	
杆的固定连接		锥齿轮 传动	
电动机		蜗 轮 与 圆 柱 蜗 杆 传 动	
径向普通轴承		联 轴 器	
单向径向、推 力普通轴承		弹性联轴器	
凸轮机构 (高副)		制 动 器	
带传动			

(2) 从原动件开始,按照运动的传递顺序,分析各构件之间相对运动的性质;确定活动构件数目、运动副的类型和数目。

(3) 选择适当的视图平面和适当的机构运动瞬时位置。

(4) 选择比例尺 μ_1 (cm/mm, m/mm), 定出各运动副之间的相对位置, 用规定符号绘制机构运动简图。

下面举例说明机构运动简图的绘制方法。

例 1-1 试绘制图 1-6a 所示颚式破碎机主体的机构运动简图。

解 (1) 颚式破碎机的带轮 5 和偏心轴 2 一起绕回转中心 A 转动时, 偏心轴 2 带动动颚 3 运动。由于在动颚与机架 1 之间装有肘板 4, 动颚运动时不断挫挤矿石。由此分析可知, 该机构是由机架 1、原动件偏心轴 2、从动件动颚 3 和肘板 4 等四个构件组成。

(2) 偏心轴 2 与机架 1 组成转动副 A, 偏心轴 2 与动颚 3 组成转动副 B, 动颚 3 与肘板 4 组成转动副 C, 肘板 4 与机架 1 组成转动副 D。整个机构共有四个转动副。

(3) 图 1-6a 所示视图平面和机构运动的瞬时位置, 能够清楚地表达各构件的运动关系, 所以按此绘制机构运动简图。

(4) 选定转动副 A 的位置, 然后根据各转动副中心间的尺寸, 按选定比例尺确定转动副 B、C 及 D 的位置。最后用规定符号绘出机构运动简图, 见图 1-6b。

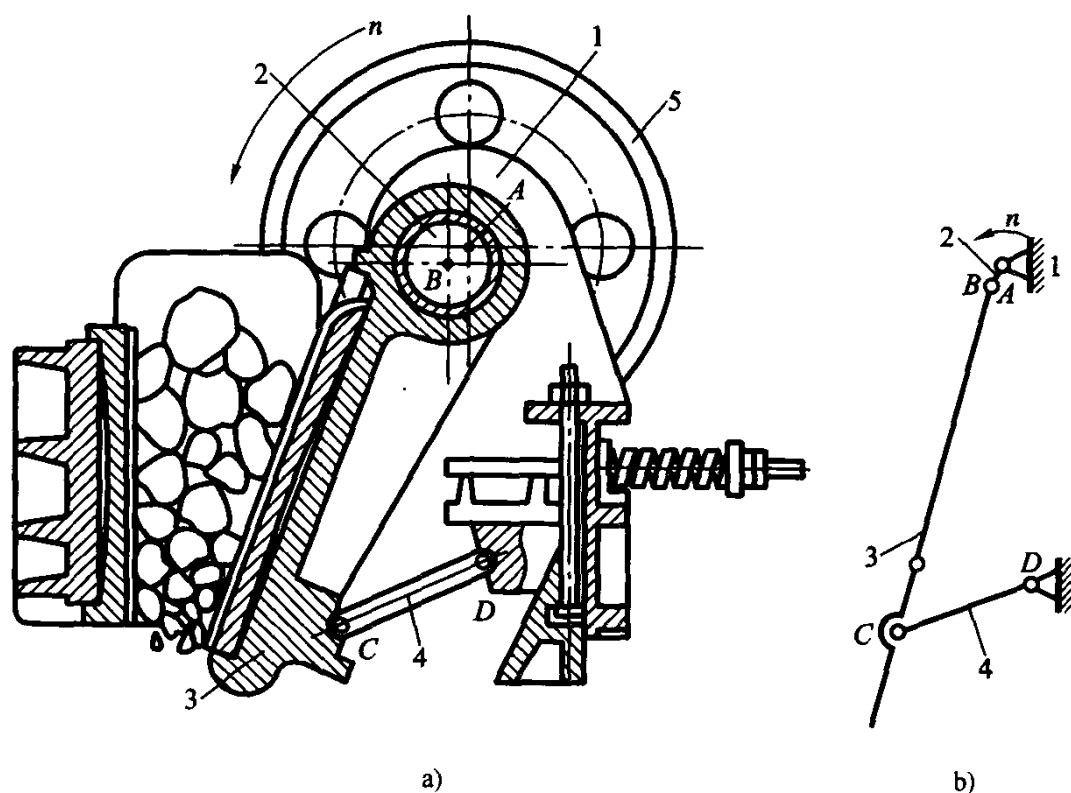


图 1-6 颚式破碎机

说明: 1) 动颚 3 与偏心轴 2 是绕 2 的几何中心 B 相对转动, 而偏心轴 2 绕机架 1 的回转是以 A 为中心的。故图 1-6b 所示的机构运动简图与原机构运动情况完全相同。2) 由于转动副 B 可绕转动副 A 回转 360° , 所以转动副 B 要选适当位置, 避免构件互相重叠或交叉, 以使运动简图能清晰表达出各构件之间的关系。

从上述分析可知, 任何一个机构随着原动件位置的改变, 可以绘出一系列相应位置的机构运动简图。而所绘的运动简图应视为机构运动过程中的某一瞬时状态。

三、平面机构具有确定运动的条件

如前所述, 机构是用运动副连接起来的、有一个构件为机架的构件系统。而所谓机构具有确

定运动,是指该机构中所有构件,在任一瞬时的运动都是完全确定的。那么,用运动副连接起来的构件组合应具备什么条件,其运动才是确定的呢? 为了回答这个问题,下面用几个实例来讨论。

图 1-7 所示为三个构件用转动副相连接的三铰接杆组合。虽是若干构件的组合,但却是不能运动的构件组合体(桁架),因而三铰接杆组合不能成为机构。

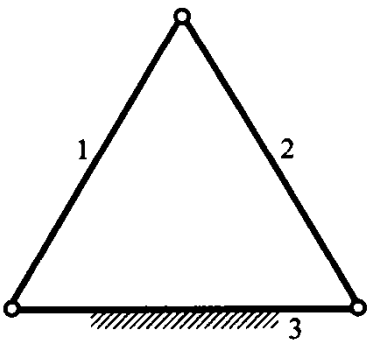


图 1-7 三铰接杆组合

图 1-8 所示为四个构件用转动副连接的铰接四杆机构。在此机构中,不难看出,构件 1 绕 A 回转, B 点的轨迹为圆;构件 3 绕 D 点回转, C 点的转迹为圆弧。由几何关系可知,构件 1 位置确定,则构件 2、3 位置也是确定的。即若给定一个独立的运动参数,如构件 1 的角位移规律 $\varphi_1 = \varphi_1(t)$,此时构件 2、3 的运动便是完全确定的。

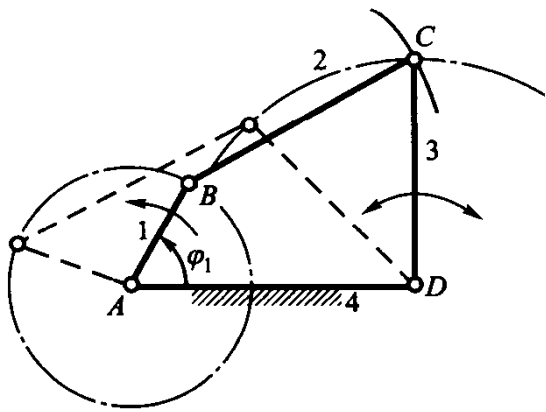


图 1-8 四杆机构

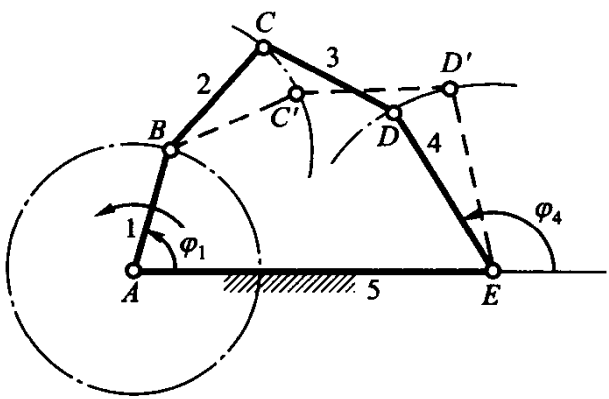


图 1-9 五杆机构

图 1-9 所示为铰接五杆机构。在此机构中,用类似上述方法分析可知,如果也只给定一个独立的运动参数 $\varphi_1 = \varphi_1(t)$,此时构件 2、3、4 的运动显然不能确定。因为当构件 1 处于位置 AB 时,构件 2、3、4 可以处于位置 BC 、 CD 及 DE ,也可处于位置 BC' 、 $C'D'$ 、 $D'E$,或者处于其他位置,即运动不是确定的。但是,如果再给定另一个独立的运动参数 $\varphi_4 = \varphi_4(t)$,即同时给定两个独立的运动参数,则构件 2、3 的位置便是确定的,即铰接五杆机构的运动便是完全确定的。

使机构具有确定运动所必须给定的独立运动参数的数目,称为机构的自由度。由上面的分析可知,铰接四杆机构的自由度为 1,而铰接五杆机构的自由度为 2。也可这样来叙述,如果机构的自由度为 1,则只要给定一个独立的运动参数,其所有构件的运动便是完全确定的;如果机构的自由度为 2,则必须同时给定两个独立的运动参数,其所有构件的运动才是完全确定的。其余依此类推。

按照独立的运动参数给定的运动规律运动的构件,称为原动件。一般而言,动力源只能给予构件一个独立的运动参数(如回转或移动),所以,独立运动参数的个数与原动件个数是相同的。由此可知,要使机构具有确定的运动,机构的原动件个数应等于机构的自由度的数目。这就是机构具有确定运动的条件。

§ 1-3 平面机构自由度的计算

由前节可知,机构具有确定运动的条件是机构的原动件个数等于机构自由度的数目。如果

机构的自由度为 1, 则机构只需一个原动件, 运动便是确定的; 如果机构的自由度为 2, 则机构需两个原动件, 运动才是确定的。

一、平面机构自由度的计算

平面机构的每个构件, 在未用运动副与其他构件连接之前, 都有三个自由度。如图 1-10 所示, 在未用运动副连接之前, 构件 1 相对于构件 2 (坐标系 Oxy 固定于构件 2 上) 具有沿 x 轴、 y 轴方向的两个移动和绕垂直于平面 xOy 的轴线的一个转动。同理, 如果机构有 n 个活动构件, 在都未用运动副与其他构件连接之前, 将有 $3n$ 个自由度。但当构件用运动副连接之后, 它们的相对运动将受到约束, 失去一些自由度。不同类型的运动副, 由于引入的约束数目不同, 即失去的自由度数不同, 保留的自由度数也不相同。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, 仅保留一个自由度 (构件的相对转动或移动); 每个高副引入一个约束, 使构件失去一个自由度, 保留两个自由度 (构件绕接触处的相对转动和沿接触处公切线 $t-t$ 方向的相对滑动)。

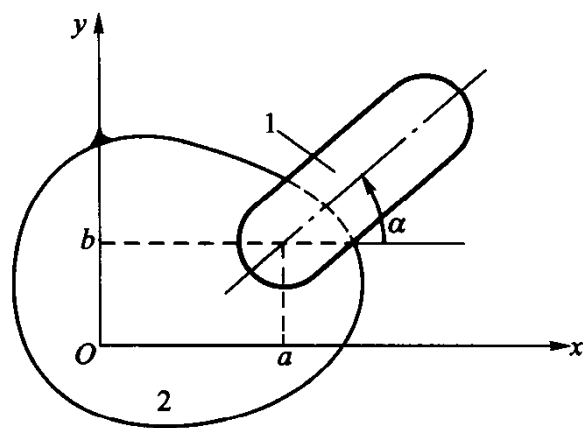


图 1-10 构件的自由度

若一个平面机构共有 N 个构件, 除去固定件, 则机构中的活动构件数 $n = N - 1$ 。若在机构中共有 P_l 个低副, P_h 个高副, 那么机构将失去 $2P_l + P_h$ 个自由度, 所以, 该机构的自由度 F 应为活动构件的自由度总数减去失去的自由度数, 即

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

式(1-1)为平面机构自由度的计算公式。下面举例说明公式的应用。

例 1-2 试计算图 1-6b 所示颚式破碎机主体机构的自由度。

解 该机构为铰接四杆机构, 其中构件 1 为机架, 所以, 该机构的活动构件数 $n = N - 1 = 4 - 1 = 3$, 低副个数 $P_l = 4$, 高副个数 $P_h = 0$ 。按式(1-1)求得机构的自由度为

$$F = 3n - 2P_l - P_h = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

即此机构有一个自由度。所以, 当构件 2 按一定规律回转时, 其余构件都具有确定的运动。

例 1-3 图 1-11 为牛头刨床的主体机构运动简图。该机构把齿轮 2 的回转运动改变为滑枕 6 的移动。试求该机构的自由度。

解 该机构的活动构件数 $n = 5$, 低副个数 $P_l = 7$, 高副个数 $P_h = 0$ 。所以, 该机构的自由度 F 为

$$F = 3n - 2P_l - P_h = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1$$

在机构中, 构件 2 为原动件, 故机构的运动是确定的。

二、计算机构自由度时应注意的几种情况

计算机构自由度时, 遇到下述几种情况必须加以注意, 否则将会得出与实际不符的答案。

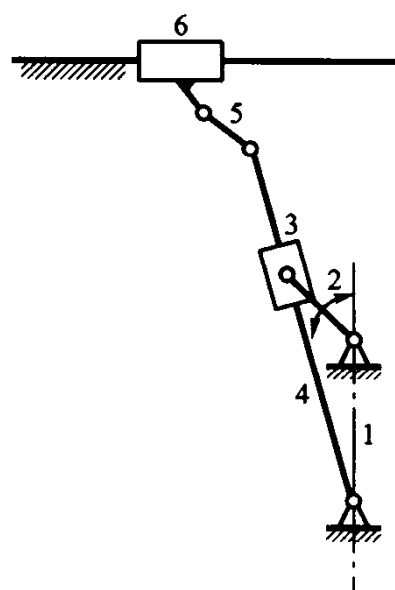


图 1-11 牛头刨床机构