机械设计基础

主　编　滕　启
副主编　米　洁　张志强　王科社
主　审　吴宗泽

中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

机械设计基础

主　编　滕　启

副主编　米　洁　张志强　王科社

参　编　孙江宏　黄小龙　严　乐　侯悦民

王雪艳　高　宏　王立勇　秦　彪

刘衍萍　曹丽娟

主　审　吴宗泽

中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书针对“机械设计基础”课程具有分散性、综合性和实践性的特点，通过“纲要网络”图表，即通过方框流程线等将各个概念和知识的相互关系及主要内容简明扼要、形象直观地表达出来，让学生从烦琐的笔记中、教师从重复的背记劳动中解脱出来，使教师“教”与学生“学”达到完美结合。

本书是作者多年来坚持在一线教学中使用的图示教学法的经验总结，其教学方法是经实践证明了的有效的教学方法。本书共分17章，包括平面机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、传动机构、轴、轴承、联轴器和离合器等内容。

本书可作为近机类、非机类专业普通高校本科、专科的教材，也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

机械设计基础/滕启主编. —北京：中国电力出版社，2012.8
ISBN 978-7-5123-3420-5

Ⅰ.①机… Ⅱ.①滕… Ⅲ.①机械设计 Ⅳ.①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字（2012）第196342**号**

中国电力出版社出版发行
北京市东城区北京站西街19**号** 100005 http://www.cepp.sgcc.com.cn
责任编辑：杨淑玲 责任印制：蔺义舟 责任校对：常燕昆
北京雁林吉兆印刷有限公司印刷·各地新华书店经售
2013**年**5**月第**1**版·第**1**次印刷**
787mm×1092mm 1/16·15.25**印张·**372**千字**
定价：36.00元

敬告读者
本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换
版权专有 翻印必究

序

滕启等教师多年来坚持在“机械设计基础”和“机械设计”讲课中使用图示教学法，并不断改进、充实和提高，形成了一整套教学方法。本书就是他们多年来教学实践经验的总结。经对这本书仔细阅读以后，我感觉到作者对《机械设计基础》中各主要章节的内容、各种主要零部件的设计理论和方法都进行了深入的分析和研究。

“机械设计基础”课程中的计算方法各有特色，其基本原理、计算公式、主要参数、所用资料差别很大，初学者往往感到学习有很多困难。而本书把各种常用零部件的主要内容、基本理论、设计方法、设计步骤和所用公式用图表清楚地展示给读者，使读者一目了然。

作者在编写此书的同时，还制作出与其内容和形式相配套的彩色课件。利用一体化的课件和教材进行教学，并以本书的图表作为主线，可以引导学生更好地听课、自学、复习、完成作业、进行设计等。这样就增强了本课程的系统性和实用性。学生运用此书便于学习、理解和掌握知识。经过一段时间以后如果有所遗忘，也便于查找和使用。书中还附有一些习题，对学生的自学和复习有检查和引导作用。

本书是一种很好的教学方法的研究和尝试，已经在教学实践中取得了初步的成果，受到了学生的欢迎。本书也可供从事该课程和“机械设计”课程的其他教师阅读和参考。30 多年来，本书作者在对此课程进行认真教学的同时，还孜孜不倦地对该课程进行了深入的研究，他们的这种精神是值得我们认真学习的，希望有更多的教师从事教学研究，把“机械设计基础”课程的教学内容和方法不断提高，与时俱进，满足时代的要求。

随着我国与世界其他国家联系和贸易的发展，要求我国的机械产品具有国际市场竞争能力，因此必须加强自主创新能力。我国的政策是加大对自主创新投入，着力突破制约经济社会发展的关键技术。加快建设国家的创新体系，支持基础研究、前沿技术研究和社会公益性技术研究等。引导和支持创新要素向企业集聚，促进教学成果向现实生产力转化。在这一情况下，迫切要求我国机械设计水平有较大的提高，急需培养大量的高级机械设计人才，以创新精神设计出符合市场需求、具有强大竞争能力的新机械产品，使我国机械行业能够迅速摆脱落后状态。本书的工作为提高“机械设计基础”教学质量，培养高质量的设计人员提供了一个有价值的工具。

清华大学教授 吴宗泽

前　言

乌克兰教育家沙塔洛夫经过30多年的试验研究，提出了一种新的教学法。我国天津教科院王敏勤研究员对和谐教学法进行了几十年的实践和研究。我们在学习上述教法的基础上吸收了其适合大学的“纲要信号”图示教学内容和有关教学思想；同时受到了计算机框图的启发，并结合大学教学及本课程的相关特点，提出了“纲要网络”图示教学法（以下简称图示教法）。

此教学法的主要优点是：可让学生从烦琐的笔记中，让教师从重复背记的劳动中共同解脱出来，使“教”和“学”成为愉快的劳动。

图示教法的核心是“纲要网络”图表，此图表是一种由文字、图形、公式、方框、流程线和表格等组成的教学辅助工具。这种图表通过流程线等将各个概念和知识的相互关系及主要内容简明扼要、形象直观地表达出来。

对于“机械设计基础”课因其具有分散性、综合性及实践性和公式多、概念多及图表多等特点，给教学工作带来不小的困难和难度，于是在本课程教学中探索新教法更加迫切、必要和实用。

本书是以图表为纲进行编写的。它是我们34年来在应用上述教法进行教学的基础上，对编制的图表不断进行修改和完善的基础上，配合相应的文字叙述、说明和计算而成的。

在图示教法的实验研究和本书的编写过程中，得到了清华大学吴宗泽教授、北京航空航天大学郭可谦教授、东南大学杨可桢教授和王敏勤研究员及北京信息科技大学刘相权老师的热情关心和具体指导，在此一并表示感谢。

参加本书编写的有北京信息科技大学的滕启、米洁、张志强、王科社、孙江宏、严乐、黄小龙、侯悦民、王雪艳、高宏、王立勇、秦彪，华北电力大学的刘衍平和大连海洋大学的曹丽娟。

全书由滕启担任主编，米洁、张志强、王科社担任副主编。清华大学的吴宗泽教授担任主审并为此书写了序，他对书稿提出了很多宝贵的修改意见，编者对此深表谢意。

本书既可作为近机类、非机类专业普通高校本科、专科及职大、业大的教材，也可作为成人高考选用教材，还可用于研究生考试、工程技术人员和工人的学习参考用书。

由于此教法新颖，故在本书的编写过程中难免有一些缺憾和不足，敬请各位专家、同行、读者和学生批评指正。如需课件，请与课件编者滕启教授联系，来信请发邮箱：tengqi70@sina.com 或 yangs_l@sina.com。

编者

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

目　录

序
前言
第一章　绪论…… 1
　第一节　机械设计基础研究的对象…… 1
　第二节　机械设计基础的教学内容和地位…… 3
　第三节　机械设计的基本要求和一般过程…… 4
第二章　平面机构概述…… 5
　第一节　平面机构运动简图…… 5
　第二节　机构具有确定运动的条件…… 8
　习题 …… 12
第三章　平面连杆机构 …… 13
　第一节　概述 …… 13
　第二节　铰链四杆机构的基本形式和特征 …… 13
　第三节　铰链四杆机构有整转副条件 …… 17
　第四节　铰链四杆机构的演化 …… 19
　第五节　平面四杆机构的设计 …… 21
　习题 …… 23
第四章　凸轮机构 …… 25
　第一节　概述 …… 25
　第二节　从动件的常用运动规律 …… 28
　第三节　图解法设计凸轮轮廓 …… 30
　第四节　凸轮机构的压力角和基本尺寸 …… 34
　习题 …… 35
第五章　齿轮机构 …… 36
　第一节　齿轮机构的特点和类型 …… 36
　第二节　渐开线的形成和特性 …… 37
　第三节　渐开线标准齿轮各部分的名称及尺寸 …… 38
　第四节　渐开线齿廓满足定角速比传动的条件 …… 41
　第五节　渐开线标准齿轮的啮合 …… 44
　第六节　渐开线齿轮的切齿原理 …… 48
　第七节　根切、最少齿数及变位齿轮 …… 52
　第八节　平行轴斜齿轮机构 …… 55
　第九节　锥齿轮机构 …… 60
　习题 …… 61
第六章　轮系 …… 63
　第一节　轮系及其分类 …… 63
　第二节　定轴轮系及其传动比 …… 63
　第三节　周转轮系及其传动比 …… 65
　习题 …… 69
第七章　机械的平衡 …… 71
　第一节　概述 …… 71
　第二节　刚性转子的静平衡 …… 71
　第三节　刚性转子的动平衡 …… 73
　习题 …… 76
第八章　机械零件设计概论 …… 77
　第一节　机械零件设计概述 …… 77
　第二节　机械零件的强度 …… 78
　第三节　机械零件的耐磨性 …… 82
　第四节　机械制造常用材料及其选择 …… 83
　第五节　机械零件的工艺性及标准化 …… 86
　习题 …… 87
第九章　螺纹连接和螺旋传动 …… 88
　第一节　概述 …… 88
　第二节　螺纹连接 …… 89
　第三节　螺栓连接的强度计算 …… 93
　第四节　螺旋传动…… 102
　习题…… 102

第十章　键、花键、销及其他连接…… 104
第一节　键连接…… 104
第二节　花键连接…… 107
第三节　销及其他连接…… 109
习题…… 111
第十一章　带传动和链传动…… 112
第一节　机械传动概述…… 112
第二节　带传动概述…… 113
第三节　带传动工作情况的分析…… 116
第四节　V 带传动的设计计算 …… 121
第五节　V 带轮设计 …… 127
第六节　V 带传动的张紧装置 …… 129
第七节　链传动简介…… 131
习题…… 135
第十二章　齿轮传动…… 137
第一节　齿轮传动的失效形式及设计准则…… 137
第二节　齿轮材料及热处理…… 140
第三节　齿轮传动的计算载荷…… 142
第四节　标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算…… 142
第五节　齿轮传动的设计参数、许用应力与精度选择…… 146
第六节　标准斜齿圆柱齿轮传动的强度计算…… 150
第七节　标准锥齿轮传动的强度计算…… 151
第八节　齿轮的构造…… 152
第九节　齿轮传动的润滑…… 154
习题…… 157
第十三章　蜗杆传动…… 160
第一节　蜗杆传动的类型…… 160
第二节　普通圆柱蜗杆传动的主要参数及几何尺寸计算…… 161
第三节　普通圆柱蜗杆传动承载能力计算…… 164
第四节　蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计算…… 170
第五节　普通圆柱蜗杆蜗轮结构…… 172
习题…… 173
第十四章　轴…… 175
第一节　轴的功用和类型…… 175
第二节　轴的材料…… 177
第三节　轴的结构设计…… 178
第四节　轴的强度计算…… 182
第五节　轴的刚度计算…… 187
习题…… 190
第十五章　滑动轴承…… 192
第一节　摩擦状态…… 192
第二节　滑动轴承的结构形式…… 194
第三节　轴瓦及轴承衬材料…… 196
第四节　润滑剂和润滑装置…… 197
第五节　非液体润滑滑动轴承的计算…… 201
第六节　液体动压润滑基本原理…… 203
习题…… 205
第十六章　滚动轴承 …… 206
第一节　概述…… 206
第二节　滚动轴承的主要类型及代号…… 207
第三节　滚动轴承性能指标及轴承类型选择…… 211
第四节　滚动轴承的寿命计算…… 213
第五节　滚动轴承的静载荷计算…… 221
第六节　轴承装置设计…… 223
习题…… 227
第十七章　联轴器和离合器 …… 229
第一节　概述…… 229
第二节　联轴器的分类…… 229
第三节　联轴器的选择…… 232
第四节　离合器…… 233
习题…… 235
参考文献…… 236
后记…… 237

第一章　绪　　论

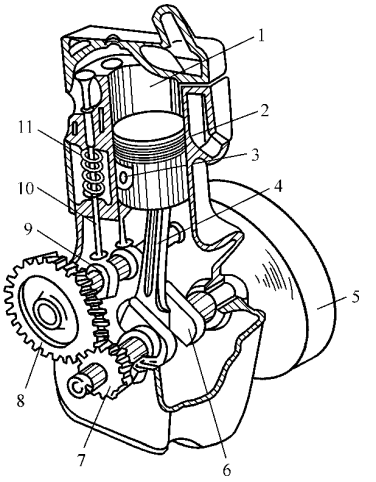
第一节　机械设计基础研究的对象

机械是人类生产斗争的重要武器，是社会生产力发展的重要尺度。机械工业素有“工业的心脏”之称，因而机械设计基础是工科很多专业的一门重要的技术基础课。本书涵盖了机械原理和机械设计的内容，主要研究常用构件和通用零部件的设计问题。

一、机器的类型

机器通常有两大类，一类是做有效机械功的机器，另一类是转换机械能的机器。

图 1-1 的内燃机即为后一类机器，其中图（a）为结构图，图（b）为机构运动简图。具



(a)　　(b)

图 1-1　单缸四冲程内燃机

体结构组成是：气缸 1、活塞 2、活塞销 3、连杆 4、飞轮 5、曲轴 6、小齿轮 7、大齿轮 8、凸轮 9、进气阀推杆 10 和弹簧 11 等。工作时气缸内被压缩的油和空气的混合气体爆燃推动活塞 2，活塞顶部所受推力经活塞销 3 推动连杆 4，由连杆 4 推动曲轴 6 转动。于是把燃气燃烧产生的热能转化为曲轴 6 转动的机械能。大、小齿轮的齿数相差一倍，于是小齿轮 7 转两周，大齿轮 8 转一周，即活塞往返运动两次（即四个冲程），气阀启闭一次，内燃机完

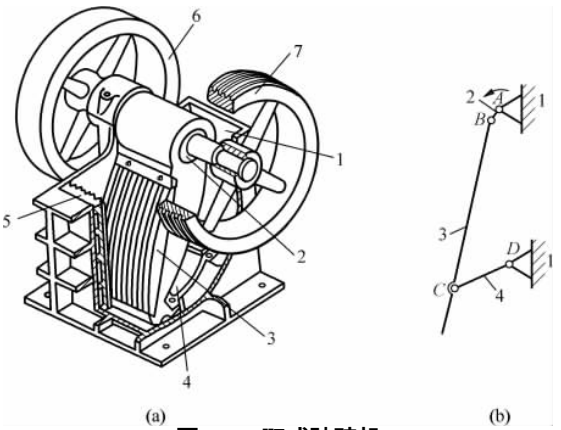


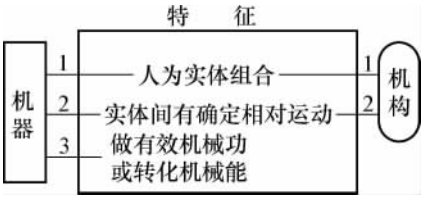
图 1-2　颚式破碎机

成一个完整的循环。

图 1-2 为颚式破碎机，主要由机架 1、偏心轴 2、动颚 3 和衬板 4 等构成。由电动机通过 V 带传动（图中未画）带动大带轮 7（此轮与偏心轴的右端固连，左端与飞轮 6 固连），于是就带动偏心轴 2 转动，偏心轴 2 的驱动和衬板 4 制约使动颚 3 实现给定的摆动，致使动颚 3 与固连在机架 1 上的定颚 5 形成挤压运动，最终实现对物料如矿石的破碎而做机械功。

二、机械的特征

通过对以上两种机器的分析可见，尽管它们的结构形式、功能和性能特点各不相同，但都具有以下三个特征，见图表 1-1。只具备两个特征者称为机构。



图表 1-1 机器和机构具有的特征

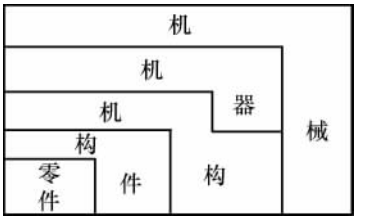
三、机械的组成

（1）机器。各行各业所使用的各类机器极其繁多，如洗衣机、发电机、拖拉机等。

（2）机构。各类机构也有很多种，如曲柄滑块机构、凸轮机构、齿轮机构等。

（3）机械。一般常以机械来作为机器和机构的总称，见图表 1-2。

（4）构件。构成机械的各个人为的实体称为构件。构件可以是单一的整体构件（图 1-3），也可是由几个零件组成的刚体结构（图 1-4）。实际制造时，由于结构、工艺等方面的要求，先分别加工出连杆体 1，连杆盖 2，轴瓦 3、4、5，螺栓 6，螺母 7 和开口销 8 等零件，然后组装成刚性构件连杆。



图表 1-2 机械的组成

（5）零件。由以上分析，零件和构件的区别是：构件是运动的单元，零件是制造的单元。按用途零件又可分为通用零件和专用零件。凡各类机械都常使用的零件称为通用零件，如齿轮、螺母、轴、平键等；只在一定类型机械中应用的零件称为专用零件，如曲轴、连杆、自行车瓦圈、汽轮机叶片等。

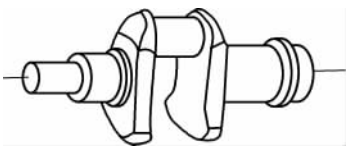


图 1-3 内燃机曲轴

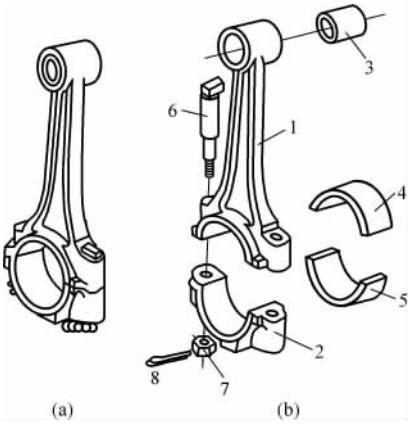
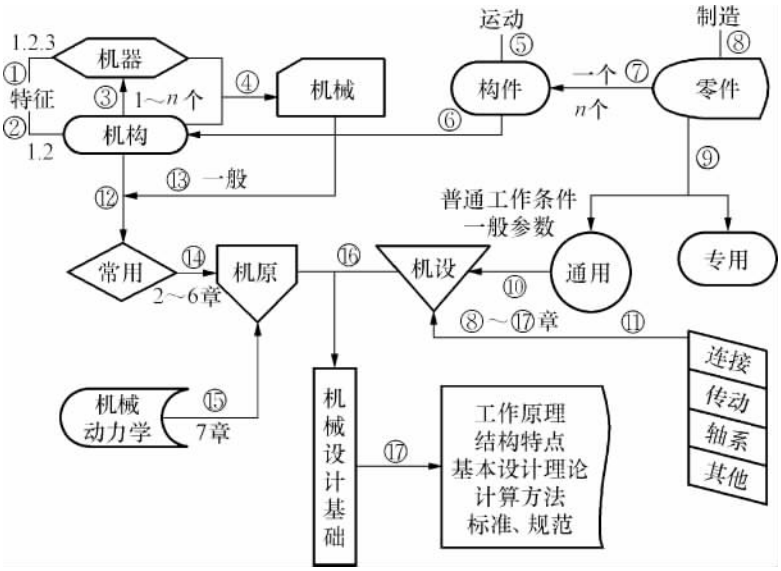


图 1-4 连杆

综上所述（图表 1-2），构件是由一个或若干个零件，机构是由若干个构件，机器是由一个或若干个机构所组成的。机械是机构和机器的总称。

第二节　机械设计基础的教学内容和地位

一、机械设计基础研究的内容（图表 1-3）



图表 1-3　机械设计基础的内容

图表 1-3 以带圈的序号为流程线的顺序，简述了本教材研究的机械原理和机械设计的内容。

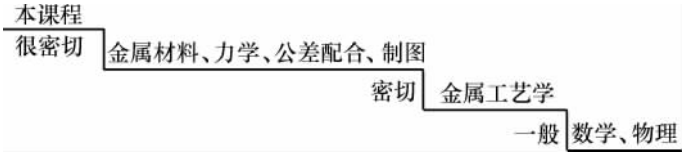
（1）常用机构。包括齿轮机构、凸轮机构、曲柄滑块机构、导杆机构等。

（2）机械动力学。含飞轮设计（本教材未介绍）和机械的平衡等。

（3）通用零件。

本课程只研究：①普通工作条件：转速 n、速度 v、功率 P、温度 t（环境、工作）大小适宜的场合。②一般参数：指零件的几何尺寸不大适宜时。研究内容含连接、传动、轴系、其他等。

二、与其他课程的关系（图表 1-4）



图表 1-4　与相关课程的关系

三、学习目的和重要性

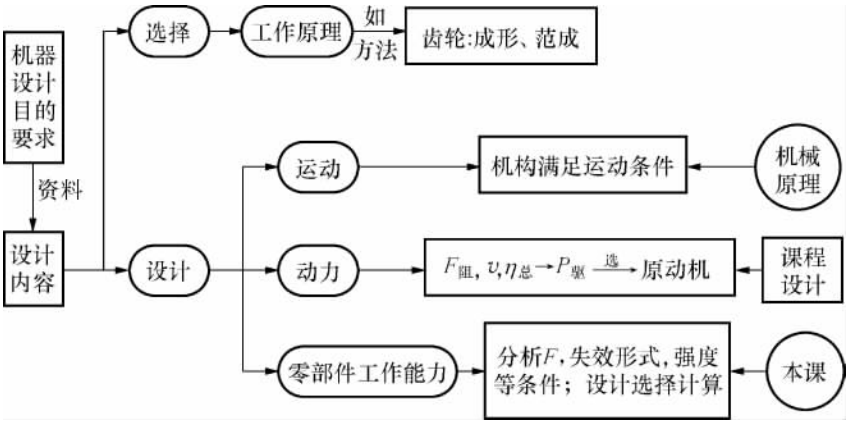
本课程的内容不仅是机械专业人员所必须掌握的，同时对于近机类和非机类专业的学生，同样需要学习和了解。本书介绍的机械原理和通用机械设计方面的知识，一方面可为专业机械设计打基础，另一方面也可提高各类工程技术人员的综合素质。

第三节 机械设计的基本要求和一般过程

一、基本要求

对所设计的机械在满足预期功能的情况下，还能达到性能好、效率高、成本低、安全可靠、操作方便、维修简单、造型美观等要求。

二、主要内容（图表 1-5）

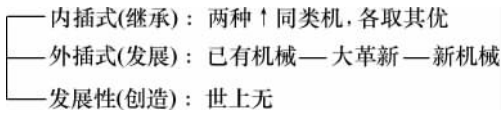


图表 1-5 机械设计内容

见图表 1-5，齿轮加工有两种方法可供选择。动力设计：由已知的阻力（$F_{阻}$）、速度（v）、总效率（$\eta_{总}$）计算出所需的驱动功率 $P_{驱}$；按此放大圆整选择电动机的功率。

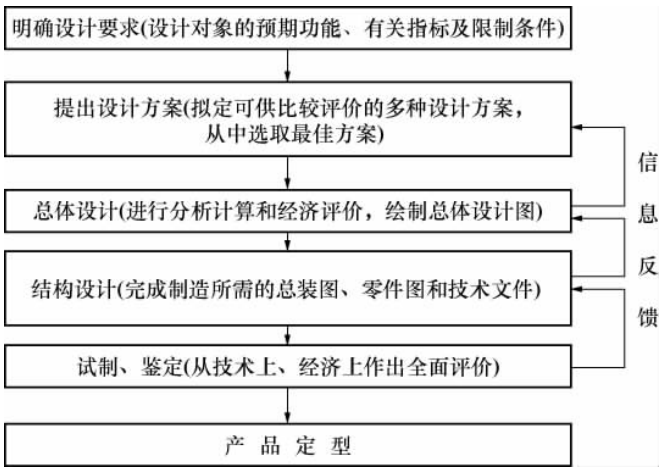
设计说明：设计过程是分析矛盾，抓主要矛盾和解决矛盾的过程（如精度高和成本低的矛盾；强度高刚度好与体积、重量小的矛盾等）。

三、设计分类（图表 1-6）



图表 1-6 三类设计

四、一般过程（以减速器为例说明，见图表 1-7）

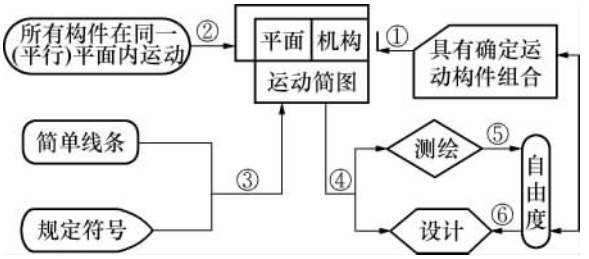


图表 1-7 一般设计过程

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

第二章　平 面 机 构 概 述

本章首先介绍运动副的概念及分类，随之叙述运动简图的绘制，之后由此简图计算机构的自由度并判断机构的运动是否确定，并为日后设计机构打下相应的基础。平面机构概述见图表 2-1。



图表 2-1　平面机构概述

第一节　平面机构运动简图

机构是由构件和运动副组成的。运动副是连接构件活动的纽带。

一、运动副

1. 自由度

作平面运动的机构，其每个构件的独立运动可分解为沿两个坐标轴的平移和绕坐标原点的旋转，即共有三个自由度，如图 2-1 所示。

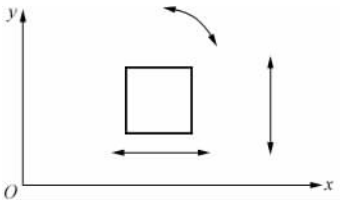
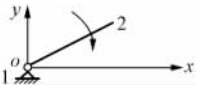
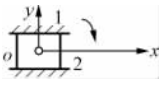


图 2-1　平面运动构件的自由度

2. 运动副分类（表 2-1）

表 2-1　　运 动 副 分 类

类别	运　动　副 （两构件直接接触，相对运动→连接）	接触	自由度	
			限制	具有
低副	转动 	面	2	1
	移动 			
高副	凸轮副 　齿轮副	点、线	1	2

常见运动副形式如图 2-2 所示。按接触情况分类，面接触称为低副，如回转副、移动

副，构件每引入一个低副，将限制两个自由度，还保留一个自由度。点、线接触称为高副，如凸轮副、齿轮副等，构件每引入一个高副，将限制一个自由度，还保留两个自由度。

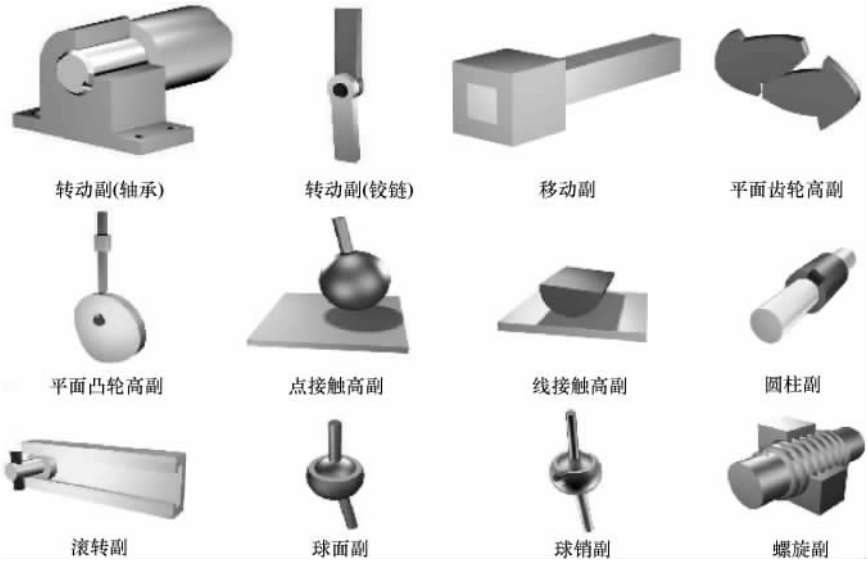


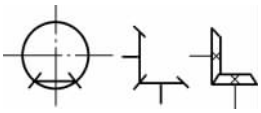
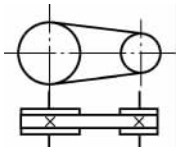
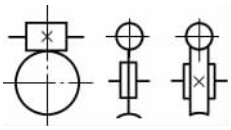
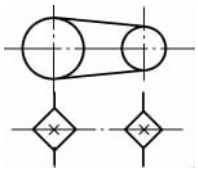
图 2-2 常见运动副形式

3. **运动副表示法**（**表** 2-2）

表 2-2 **运动副表示法**（**摘自** GB 4460—1984）

名称	符　号	名称	符　号
固定构件		凸轮机构	
两副元素构件		棘轮机构	
三副元素构件		外啮合圆柱齿轮机构	
转动副		内啮合圆柱齿轮机构	
移动副		齿轮齿条机构	
平面高副			

续表

名称	符　　号	名称	符　　号
圆锥齿轮机构		带传动	 类型符号 标注在带的上方 V带　圆带　平带 ▽　○　—
蜗杆蜗轮机构		链传动	 类型符号 标注在轮轴连心线上方 滚子链 ⋕ 齿形链 W

二、机构运动简图

1. 机构运动简图

在对机构进行分析时，为简便起见，常只需用简单的线条和规定的符号，并按比例画出的图形，称为机构运动简图。

当设计一个机械产品时，设计者通常使用机构运动简图构思初步设计方案，并进行运动和受力分析。

2. 机构运动简图的绘制

例 2-1　图 1-2（a）为颚式破碎机的剖面图，偏心轴 2 绕轴心连续回转，通过衬板 4 的制约带动动颚 3 摆动，从而将石料轧碎。试绘制机构运动简图。

1）分析运动传递关系并计算构件个数。飞轮 6 和带轮 7 旋转，带动偏心轴 2 回转（注意：偏心轴应简化成杆 2），并通过摇杆（衬板）4 的制约带动动颚（构件）3 摆动。此机构共有 4 个构件，其中构件 1 为固定机架。

2）分析运动副类型及个数。共有 4 个转动副，即 A：1-2，B：2-3，C：3-4，D：4-1。

3）选择视图平面和比例尺。选择机构运动平面为视图平面，依据比例确定转动副位置，用线条连接转动副，如图 1-2（b）所示。

例 2-2　试绘制图 1-1 内燃机的机构运动简图。

1）识别运动传递路线，并计算具有独立运动构件的个数。由图 1-1（a）可知运动传递路线为：活塞 2—连杆 4—曲轴 6（与小齿轮 7 为一体）—大齿轮 8（与凸轮 9 为一体）—进气阀推杆 10，构件个数为 8，其中一个为机架（气缸 1）。

2）辨识运动副类型及个数。从机架与原动件开始，逐个考察每两个构件之间的连接关系。移动副有 2 个，即 A：1-2、B：1-10（从图中看 C 处还有一个移动副 1-10，B、C 两移动副的作用是重复的，故按一个计）；转动副有 4 个，即 D：2-4、E：4-6、F：6-1，G：9-1；齿轮高副有 1 个，即 H：7-8；凸轮高副有 1 个，即 I：9-10。需要注意的是有的构件是组件，如小齿轮 7 和曲轴 6 固连为一个构件，大齿轮 8 和凸轮 9 固连为一个构件。

3）选择视图平面，确定绘图比例尺。为了表示齿轮啮合关系及凸轮 9 和推杆 10 的运动关系，选择与齿轮和凸轮平面平行的平面作为视图平面。将机构运动固定在一个非特殊的确定位置，然后依据机构实际位置按照比例绘出运动副位置，用线条连接运动副，

如图 1-1（b）所示。

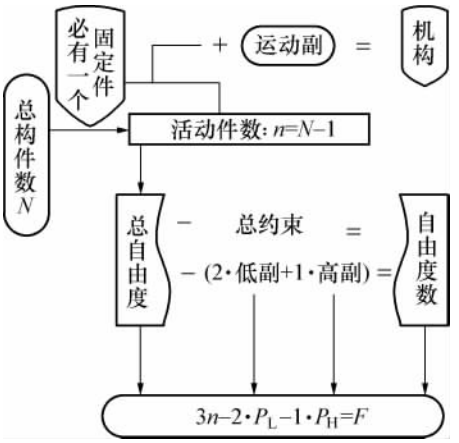
第二节 机构具有确定运动的条件

一、平面机构的自由度

1. 约束与自由度

在平面机构中，每个低副引入了两个约束，使机构丧失两个自由度；每个高副引入了一个约束，使机构丧失一个自由度。

2. 机构自由度的计算（图表 2-2）



图表 2-2 机构自由度的计算公式

在任一确定的机构中，其总构件数为 N，其中必有一个固定件（机架），其余的为活动件，其数量为 n 等于 $N-1$。机构正是由各构件和相应的运动副所组成的。要求某机构的自由度，首先要求出各构件即各活动构件的自由度。又已知作平面运动的机构，其每个活动构件有三个自由度，于是可得出其总自由度数为 $3n$。因机构中引进了多个运动副，如 P_L 个低副、P_H 个高副，每个低副和高副分别引入两个和一个约束，使机构丧失两个或一个自由度。于是可得出某一机构的自由度数等于各活动构件的总自由度数 F 减去总约束数即减去 2 倍的低副数和 1 倍的高副数，即得出下式

$$F = 3n - 2P_L - P_H \tag{2-1}$$

3. 机构运动的判断（图表 2-3）

4. 计算机构自由度 F

分别计算以下各机构的自由度，并判断其运动是否确定。

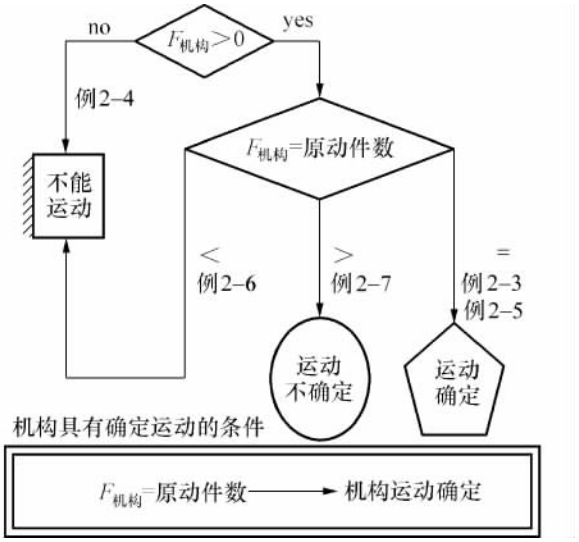
例 2-3 如图 2-3 所示。

解：总构件数 $N=4$，活动构件数 $n=3$，低副个数 $P_L=4$（以①②…表示，以下同），高副个数 $P_H=0$，机构自由度（数）$F=3n-2P_L-P_H=3\times3-2\times4-1\times0=1$。因为 $F=$原动件数$=1$，所以运动确定。

例 2-4 如图 2-4 所示。

解：$n=2$，$P_L=3$，$P_H=0$，$F=3n-2P_L-P_H=3\times2-2\times3-1\times0=0$。

因为 $F=0$，所以不能运动。



图表 2-3 机构运动确定与否的判断

例 2-5　如图 2-5 所示。

解： $n=3$，$P_L=4$，$P_H=0$，$F=3n-2P_L-P_H=3\times3-2\times4-1\times0=1$。

因为 $F=$**原动件数**$=1$，

所以运动确定。

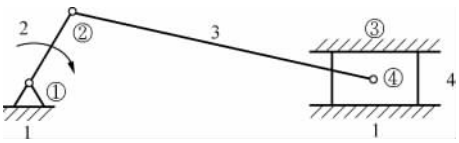


图 2-3

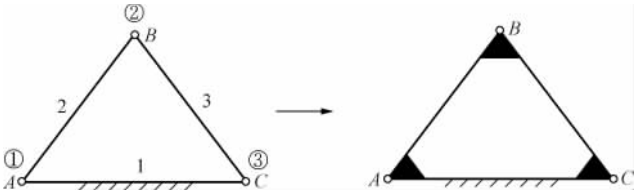


图 2-4

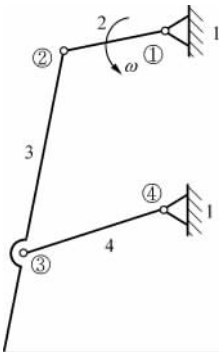


图 2-5

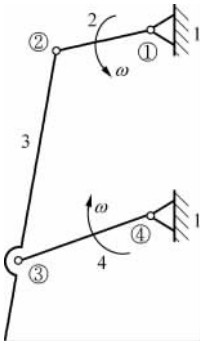


图 2-6

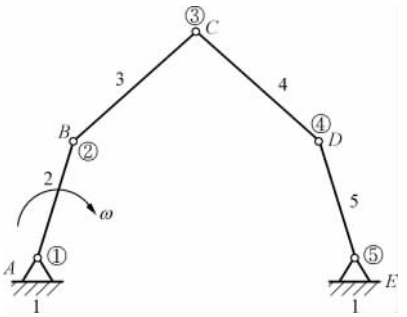


图 2-7

例 2-6　如图 2-6 所示。

解： $n=3$，$P_L=4$，$P_H=0$，

$F=3n-2P_L-P_H=3\times3-2\times4-1\times0=1$。

因为 $F<$**原动件数**$=2$，

所以不能运动。

例 2-7　如图 2-7 所示。

解： $n=4$，$P_L=5$，$P_H=0$，

$F=3n-2P_L-P_H=3\times4-2\times5-1\times0=2$。

因为 $F>$**原动件数**$=1$，

所以运动不确定。

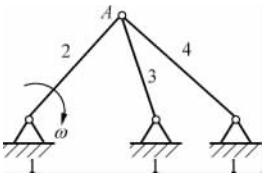
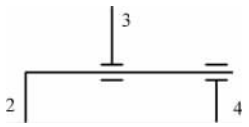
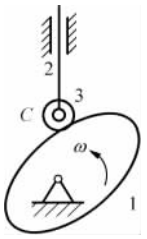
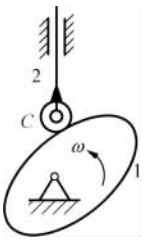
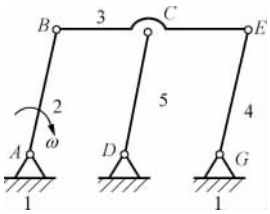
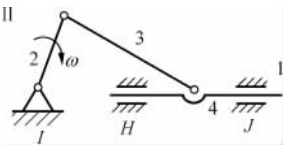
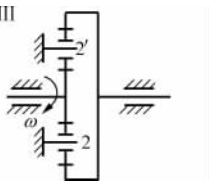
二、计算平面机构自由度的注意事项

1. **注意事项内容**（**表** 2-3）

（1）**复合铰链。见表** 2-3，**三个构件在** A **处构成转动副，假如我们依然认为此处为一个转动副时，计算出其自由度** $F'=1$，**又知此机构的原动件数为** 1，**故可得其运动确定的结论。显然此结论是错误的，原因即出在铰链** A，**多于两个构件在一处构成转动副，称为复合铰链。又由表中说明栏的图可知，此时在** A **处应有两个转动副。于是在表的更正栏中计算其**

自由度时应在 A 处计入两个低副，致使此机构的自由度 F 应等于 -1。

表 2-3 机构自由度注意事项

项目	误 例	说 明	更 正
复合铰链	 $F'=3\times3-2\times4=1$	实际：不能运动 A 点的侧视图：  m 杆交 A，应有（$m-1$）个回转副	$F=3\times3-2\times5$ $=-1$
局部自由度	 $F'=3\times3-2\times3-1=2$	实际：运动确定 	(1) $F=F'-1=1$ (2)“焊死”推杆 $F=3\times2-2\times2-1$ $=1$
虚约束	I  $L_{AB}=L_{CD}=L_{EG}$ $F'=3\times4-2\times6=0$	实际：可动运动确定 有的约束如 C、D 对机构 F 的影响是重复的，去掉 5 杆及 C、D 副，3 杆 C 点运动轨迹不变（见图 2-8）	按假定去掉 5 杆及 C、D 副计算： $F=3\times3-2\times4$ $=1$
	II  $F'=3\times3-2\times5=-1$	实际：可动且运动确定 H、J 副有一多余［见图 2-9（a）］	假定去掉 H、J 副之一计算： $F=3\times3-2\times4$ $=1$
	III  $F'=3\times4-2\times4-4=0$	实际：可动且运动确定 2、2′ 轮有一多余 （见图 2-10）	去掉其一，如去 2′轮计算： $F=3\times3-2\times3-2$ $=1$

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com