

# Dubbel

---

## 机械工程手册

(第一卷)

W. Beitz und K.-H. Küttner

张 维 张淑英等 译

清华大学出版社 施普林格出版社

# Dubbel

# 机械工程手册

第一卷

W. Beitz K.-H. Küttner 主编

张维 张淑英 等译



清华大学出版社

Springer - Verlag



## 简 介

本书根据德国施普林格出版公司 1987 年出版的《Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau》(第 16 版)译成。

《Dubbel - 机械工程手册》是数代德国机械工程专家知识的结晶。它既是一本内容丰富精致的教科书,又是一本机械工程师们必不可少的工具书。

全书包括机械工程的基础理论、设计技术、工艺技术以及应用于机械工程领域的电子技术、测量技术、控制技术和计算机技术等。

《Dubbel - 机械工程手册》中文版分三卷。第一卷为基础理论部分,包括数学、力学、应力应变理论、工程热力学及金属材料学等。原文各篇内容均由相应领域的专家写成,除简明扼要的理论部分外,还包括大量的图表、数据以及解决相关问题的方法等。各篇间内容彼此独立,并有各自的页码体系。

Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau  
16., Korrigierte und ergänzte Auflage  
W. Beitz K. - H. Küttner  
ISBN 3-540-18009-5

© Copyright, 1987 Springer-  
Verlag Berlin Heidelberg



Dubbel 机械工程手册 (第一卷)

张 维 张淑英 等译  
清华大学出版社出版  
北京 清华园

© Copyright, 1991 Springer-  
Verlag Berlin Heidelberg  
& Tsinghua University Press  
Beijing



中国科学院印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

开本: 787×1092 1/16 印张: 57 字数: 1780 千字

1991 年 6 月第 1 版

1991 年 6 月第 1 次印刷

印数: 0001~3000

定价: 67.00 元

ISBN 7-302-00564-8 / TH · 20 Tsinghua University Press Beijing

ISBN 7-540-18168-7 Springer-Verlag Berlin Heidelberg

ISBN 0-387-18168-7 Springer-Verlag New York



## 译 者 的 话

德文 DUBBEL 手册是一本世界著名的机械工程手册, 自 1914 年第一版问世以来, 已经历了 74 年. 在此期间, 科学技术有了巨大的变化. DUBBEL 手册也随着时代的进展, 做了多次的改编和修订, 使它总是能够反映科学技术的最新成就, 从而受到机械工业界和教育界的广泛欢迎. 直至 1943 年的第 9 版, DUBBEL 本人一直亲自主持改编的工作. 战后, 1951 年的第 11 版和 1963 年的第 12 版又做了较大的修改和补充, 以反映战后二十年有关机械工程的新成就. 由于 60 年代和 70 年代科学技术经历了迅猛发展, Springer 出版公司决定请柏林工业大学 (*Technische Universität Berlin*) BEITZ 教授和柏林专门高等工业学校 (*Fachhoch Schule Berlin*) KÜTTNER 教授为主编对 DUBBEL 手册做一次彻底的改编. 可以说 DUBBEL 历次的版本是机械工程近一个世纪以来的进步和更新的真实写照. 1981 年出版的 14 版除原有个别章保留并修改外, 新增加了 6 章(见第 14 版前言), 因而新版的 DUBBEL 较前 13 版的面貌大大改观.

1985 年和 1987 年, 主编又组织作者对各章进行了小修改, 以反映近十年来新的技术发展.

作为一个手册, 我们认为它具有几个特点:

1. 它历史悠久. 经过几十年的考验, 不断改编, 说明它的内容是符合广大机械工程师的需要.

2. 实用性强. 它包含了大量实际工作中需要的数据, 使用者可以迅速找到待定的由实验或经验获得的各种系数和数据, 并包括了许多实用的方法. 各种原理所占篇幅不多, 但关键部分却都可以在其中找到. 这些内容集中在一本书中, 使得工程师们可以省时并获得极大的方便.

3. 内容涉及的面广, 且又精练而深入.

4. 内容新颖. 老的、已过时的内容及时在历次改编中加以剔除、更新. 尤其是与规范、标准和原则有关的内容和参考资料都在 16 版中一一加以订正, 务求反映 80 年代、甚至 1987 年的最新水平.

5. 作为一本涉及整个机械工程领域的手册. 原书只有 1400 多页, 但它所包含的信息量却极大, 使每一万字中的信息密度超过其他同类手册.

6. 各章分别由本专业的权威撰写, 个别章(如机械零件章)因涉及面极广, 则分别由几位权威执笔, 因而保证了书中各章节均达到高水平. 但各章内容又能互相呼应, 反映了当代科学技术相互关系密切、和在发展中跨学科的特点. 这对于从事实际生产工作的工程师特别适用.

在翻译工作进行期间, DUBBEL 德文版又出版了 1985 年的第 15 版和 1987 年的 16 版. 为了使中国读者能得到最新版本, 翻译组在收到 16 版后, 决定将原译文与新版核对, 使中文版成为德文 16 版的译本.

20/83/02

为了适应读者的需要和方便读者，翻译组决定 DUBBEL 手册中文版分三卷出版。第一卷为基础部分；第二卷为机械设计部分；第三卷为机械制造及其他。并在每卷后面编排了中德专业名词索引，以利读者。

DUBBEL 手册是一本世界上著名的机械工程手册，它既是为在第一线工作的工程师日常的参考用，又可做为高等工科院校的师生在教学和学习中使用。希望本书的出版能对我国的机械工业生产和教学起到良好的促进作用。

现在，手册的第一卷即将出版。第二卷和第三卷亦将陆续出版。

张 维

1988.1.20 北京

## 第14版序言

67年以来 DUBBEL 手册一直是机械制造领域中有关重要的基础理论以及关于产品和制造技术的一本教科书、参考书和使用手册。本书一方面可被从事实际工作的工程师当作参考资料来使用以解决具体的工程问题，另一方面可被大专院校的学生在他们学习、进修和深造时用作参考书。从本书读者范围的广度也反映出编者和作者丰富的专业经验，这些经验是从他们的教学、科研以及所负责的实际工程工作中总结出来的。

编者和作者十分注意在第14版中保存 DUBBEL 手册原有的优点。由于许多原先的作者已经去世或因年岁太高而离开了本书的工作，至今所剩下的老作者只有七位。因此必须针对以前的版本重新组织一套人员班子，实际上等于出版一本新的手册。在修订本版期间，我们沉痛地获悉两位新的作者 Klapp 教授和 Victor 教授去世的消息，然而他们的文稿已经由他们自己在生前完成了。

机械制造领域中多种多样的工程活动和专业范围、知识的巨大增长以及本书所要满足的多重目标要求编者和作者在整理本书材料时紧密合作。在编辑过程中必须选出那些重要的基础理论以及各学科所必要的、普遍适用的可靠内容。尽管由于篇幅所限不得不将内容集中在那些重要的和通用的方面，但是也收集整理了许多最新的科研成果和发展；没有这些新的内容，本书便不可能在工程实际和教学中得到广泛的应用。选择材料的出发点是使学生能容易地从整个机械制造领域中获取最必需的知识。此外，从事实际工作的工程师也应该在不需其它参考资料辅助的情况下能从本书中获取完整的工具和手段来解决他们所遇到的工程问题。在本书那些不属于他们专业的范围中，也要使他们对其中的内容能得到快速的了解。因而有关制造技术的阐述内容首先并不是针对操作工程师而是为负责制造的设计师安排的；而运输技术这一部分不仅应该满足起重装置设计师的要求，而且主要地要满足操作工程师的要求，因为他们必须共同来设计和选择他们的运输机械。

本书将有助于解决在制造和应用机械产品（设备、机器、装置和仪器）中所遇到的问题，从产品销售计划、研究、开发、设计、工作准备、标准化、材料核算、制造、安装和质量检验直到使用、监测和维修。

我们把以前版本的编排分类形式作为基础保留下来。这次新添加的内容有：

- “设计技术基础”，对工程活动和辅助手段用设计方法学的观点加以分析并作合理化设计。
- “热工装置制造”，介绍在许多专业范围中使用的热传递装置。
- “声学”，研究消除噪音方面的基本理论。
- “空调技术”，解决民用住房和工矿厂房的环境舒适问题以及节能问题。
- “储藏技术”，这是运输技术和材料流的最重要的分科。
- “测量技术”，研究对自动化、控制技术和科研起重要影响的基本理论。

此外，对某些传统的部分如“设计元件”、“活塞机械”、“液压机械”、“机器动力学”、“能源经济”、“制造技术”、“汽车”及“电子数据处理”等重新作了编排和扩展。

#### IV 第14版序言

在上一版中仍然单独成一部分的“制冷技术”已分开并入空调技术和热力学两部分中。

由于篇幅所限，因此不能够考虑到机械制造的所有领域，例如精密技术、印刷术、包装机械和纺织机械、航空、航天和造船技术等领域就没有被考虑到。在选择材料时，DUBBEL 手册的历史演变过程是起决定作用的。

根据参考书和手册的特点，本书在正文中和内容丰富的附录中收集了大量的数据（材料特性值和标准值）以及工作表格、标准摘录和其它的工作参考资料。但是这些数据既不是完全的也不能满足读者在学习和工作中提出的所有要求。因而要求读者在遇到具体问题去参考有关手册和表格，尤其是标准和材料的物理和化学特性值。

每章中的参考文献已经作了很大扩充并已分为“一般参考文献”和“专门参考文献”两部分。其中一般参考文献向读者介绍各专业有关基础理论、概貌及标准的著作，而专门参考文献则对各专业的内容作详细的介绍。为此不再专门加注附注。然而对于本书的使用尤其是应用书中的计算方法来说，并不一定要用到参考文献的内容。更确切地说，参考文献应该能为学习者提供广泛的信息；使他能了解所在专业当前的知识状况。

每章标题的英文译名希望能帮助学生和实际工作者了解有关的英文文献，同时也能使外国读者容易地使用 DUBBEL 手册。使用指南应能帮助读者正确利用各章、各部分之间名目繁多的提示和横向参考，帮助理解缩写词符和包括附录在内的章节结构。由于国内外标准的不一致性以及各专业不同的符号使用习惯，因而在某些场合下不可避免地会对同一概念使用不同的符号或名称。

第 14 版的印刷形式已完全改变了。采用大的开本，每页分两列的形式和新的字体。尽管书的内容扩展了，但原先分为两卷的版本已合并成一卷的形式。这些措施肯定使 DUBBEL 手册的内容更加清晰、更易被利用，因而也就更为读者所喜欢使用。

编者和出版社感谢读者对我们提出的所有意见。

编者还感谢所有参加本书工作的人员：感谢作者因为篇幅所限及必须与其它章节协调而在写稿时所作的细致而周密的考虑和服从整体的态度，感谢 Springer 出版社的协作人员在编辑处理繁重的文稿和图样中所作的出色工作以及对本书的装璜，感谢印刷所在印制本书的各阶段中所表现的细致入微的工作精神。最后还要感谢老一辈的编者和作者，正是他们认真负责的工作奠定了 DUBBEL 取得成功的基础，这一成功必将伴随着现在的第 14 版得到进一步的巩固和发展。

柏林，1981 年夏

W. Beitz K. - H. Küttner

## 第16版序言

本手册在第14版的基础上重新确定的结构、主题的编排以及各部分所设置的重点已证明是卓有成效的：如此众多的大专院校学生以及从事实际工作的工程师买了这本DUBBEL手册，使得编者在适当的时间里有机会进一步考虑和调整本手册的大纲，使各部分文章的内容更切合实际。

在编排上不能再有任何改动，只对文章部分地作了更新修订，由于篇幅的限制因此对细节没能作详细解释。

为提高本书的使用价值，将书末的一般性附表减少为基本数据表格；大部分表格被安排到各自所属的章中去了。这样便取消了原先文本中对有关图表附录的提示。各部分内容分开标注页数，以便使读者更容易了解各部分的梗概。

另外还附加了一张重要的词首字母缩写词表，这些词使用得越来越多；扩大了工程控制设备的参考文献目录。

在修订第15版的期间，我们沉痛地哀悼G. Stute教授的逝世，而在进行第16版的准备工作期间，本书多年的作者G. Liedtke先生又不幸离我们而去了。

死者所留下的工作分别由K. Tönshoff教授来修订H. Victor教授的文稿，而由G. Pritschow教授来修订G. Stute教授写的文稿。

本手册末尾附有一节“来自工业界的信息”，其中登载了工业界重要企业的名称。登载这种广告的目的是为了介绍各种不同型号的工业产品及其生产厂商。此外，这种广告还能起稳定本书价格的作用。

最后要感谢我们的读者：他们对本书的提示、建议和建设性的批评意见对编者是个很大的支持；我们殷切地期待着他们进一步的批评和鼓励。由于种种原因，对读者向我们提出的各种要求和希望不能予以全部满足，还望能得到他们的谅解。

我们还要再次感谢参加本书工作的所有人员，感谢他们认真负责的合作。没有他们的这些工作，DUBBEL手册的成功也是不可能的。

柏林，1987年夏

W. Beitz K. - H. Küttner



## DUBBEL 机械工程手册中文版序言

DUBBEL 机械工程手册在说德语国家中是供大专院校师生和从事实际工作的工程师所使用的一本机械工程方面的权威著作。本书在解决工程问题时是一本不可缺少的参考书，同时也是机械制造各专业有关基本理论和方法方面宝贵的资料来源。

最近的十多年里，德中关系在机械工程领域的各个方面都得到了极其深入的发展。这不仅体现在两国科技工作者的频繁交换、院校合作与签订科研项目合同等方面，也体现在两国各专业组织间的合作协议以及工业界大量的合资企业的建立方面。

在发展上述活动的同时，信息交换也极为活跃。在这方面，科技出版界担负着一个重要的任务。处于国际出版界领先地位的 Springer 出版社很早就同中华人民共和国发展了友好的关系，已经出版了许多中文版的专业书刊。

中文版 DUBBEL 机械工程手册的发行无疑代表了这种友好关系发展中的一个高潮，因为它的出现能使广大的中国读者直接了解到德国技术的现状。这一信息流也许还可以通过出版一种出自同一信息源的中文期刊来加以改善和补充。

感谢译者们所付出的辛勤劳动，因为对于他们来说，要将许多新的概念和处理方式完全用合适的中文来加以表达，这肯定不是件容易的事情。同样也对装帧和出版本书的出版社表示衷心的感谢！

主 编  
W. Beitz

## 目 录

|                            |    |                                                                   |    |
|----------------------------|----|-------------------------------------------------------------------|----|
| <b>A 数学</b> .....          | 1  | 3.1.2 线性相关与基                                                      | 19 |
| <b>1 集合, 函数与布尔代数</b> ..... | 4  | 3.1.3 向量的坐标表示                                                     | 20 |
| 1.1 集合 .....               | 4  | 3.1.4 内积(无向积)                                                     | 20 |
| 1.1.1 集合的概念                | 4  | 3.1.5 外积(有向积)                                                     | 21 |
| 1.1.2 集合间的关系               | 4  | 3.1.6 混合积                                                         | 21 |
| 1.1.3 集合的联结                | 4  | 3.1.7 三重矢积与多重积                                                    | 22 |
| 1.1.4 笛卡儿积——直积与叉积          | 5  | <b>3.2 实 <math>n</math> 维向量空间 <math>\mathbb{R}^n</math></b> ..... | 22 |
| 1.2 函数                     | 5  | 3.2.1 实欧氏空间(Euklid 空间)                                            | 23 |
| 1.3 布尔代数                   | 6  | 3.2.2 行列式                                                         | 23 |
| 1.3.1 基本概念                 | 6  | 3.2.3 Cramer 规则                                                   | 25 |
| 1.3.2 二元布尔代数               | 6  | 3.2.4 矩阵与线性变换                                                     | 26 |
| <b>2 数</b> .....           | 8  | 3.2.5 线性方程组                                                       | 28 |
| 2.1 实数 .....               | 8  | <b>4 几何学</b> .....                                                | 30 |
| 2.1.1 引言                   | 8  | 4.1 平面几何学 .....                                                   | 30 |
| 2.1.2 实数的基本定理              | 8  | 4.1.1 点、直线、射线、线段、<br>多边形                                          | 30 |
| 2.1.3 绝对值                  | 9  | 4.1.2 平面的定向                                                       | 30 |
| 2.1.4 平均值与不等式              | 10 | 4.1.3 角                                                           | 30 |
| 2.1.5 幂, 根, 对数             | 10 | 4.1.4 射线诸定理                                                       | 31 |
| 2.1.6 数的进位制表示              | 10 | 4.1.5 相似性                                                         | 31 |
| 2.1.7 无穷序列和级数, 二项式定理       | 11 | 4.1.6 线段的分割                                                       | 32 |
| 2.1.8 无穷实数列与无穷级数           | 12 | 4.1.7 Pythagoras 定理(商高定理)                                         | 32 |
| 2.2 复数 .....               | 14 | <b>4.2 三角学</b> .....                                              | 33 |
| 2.2.1 复数及其几何表示             | 14 | 4.2.1 测角术                                                         | 33 |
| 2.2.2 加与乘                  | 14 | 4.2.2 三角形的解算与面积的计算                                                | 39 |
| 2.2.3 极坐标表示, 绝对值(模)        | 15 | <b>4.3 立体几何学</b> .....                                            | 40 |
| 2.2.4 幂与根                  | 15 | 4.3.1 空间内的点、直线与平面                                                 | 42 |
| 2.3 方程 .....               | 16 | 4.3.2 立体、体积                                                       | 42 |
| 2.3.1 代数方程                 | 16 | 4.3.3 多面体                                                         | 42 |
| 2.3.2 多项式                  | 17 | 4.3.4 多面体的表面积和体积                                                  | 45 |
| 2.3.3 超越方程                 | 18 | 4.3.5 简单旋转体的表面积和体积                                                | 46 |
| <b>3 线性代数</b> .....        | 18 | 4.3.6 Guldin 法则                                                   | 46 |
| 3.1 向量代数 .....             | 18 |                                                                   |    |
| 3.1.1 向量及其性质               | 18 |                                                                   |    |

|                          |    |                           |     |
|--------------------------|----|---------------------------|-----|
| 4.4 画法几何学                | 46 | 6.1.15 无理代数函数与超越函数的积分     | 77  |
| 4.4.1 各种投影的比较            | 46 | 6.1.16 广义积分               | 80  |
| 4.4.2 正交二面投影             | 47 | 6.1.17 积分的几何应用            | 81  |
| 4.4.3 轴测投影               | 48 | 6.1.18 函数项无穷级数            | 81  |
| 5 解析几何                   | 51 | 6.2 多个实变数的实值函数            | 87  |
| 5.1 平面解析几何               | 51 | 6.2.1 基本概念                | 87  |
| 5.1.1 笛卡儿坐标系             | 51 | 6.2.2 极限值与连续性             | 88  |
| 5.1.2 线段                 | 51 | 6.2.3 偏导数                 | 88  |
| 5.1.3 三角形                | 52 | 6.2.4 函数的积分表示与二次积分        | 92  |
| 5.1.4 角                  | 52 | 6.2.5 二重积分与三重积分           | 92  |
| 5.1.5 直线                 | 52 | 7 曲线与曲面, 向量分析             | 96  |
| 5.1.6 坐标变换               | 53 | 7.1 平面曲线                  | 96  |
| 5.1.7 圆锥截线               | 54 | 7.1.1 基本概念                | 96  |
| 5.1.8 一般圆锥截线方程           | 57 | 7.1.2 切线与法线               | 97  |
| 5.2 空间解析几何               | 59 | 7.1.3 弧长                  | 98  |
| 5.2.1 笛卡儿坐标系             | 59 | 7.1.4 曲率                  | 99  |
| 5.2.2 线段                 | 59 | 7.1.5 曲线族的包络              | 100 |
| 5.2.3 三角形与四面体            | 60 | 7.1.6 特殊平面曲线              | 101 |
| 5.2.4 直线                 | 60 | 7.1.7 曲线积分                | 104 |
| 5.2.5 平面                 | 61 | 7.2 空间曲线                  | 106 |
| 5.2.6 坐标变换               | 62 | 7.2.1 基本概念                | 106 |
| 6 微分与积分                  | 63 | 7.2.2 切线与弧长               | 106 |
| 6.1 一个实自变量的实值函数          | 63 | 7.2.3 曲线积分                | 107 |
| 6.1.1 基本概念               | 63 | 7.3 曲面                    | 108 |
| 6.1.2 基本函数               | 64 | 7.3.1 基本概念                | 108 |
| 6.1.3 函数的分类              | 65 | 7.3.2 切平面                 | 109 |
| 6.1.4 极限值与连续性            | 66 | 7.3.3 曲面积分                | 110 |
| 6.1.5 函数的导数              | 67 | 7.4 向量分析                  | 111 |
| 6.1.6 微分                 | 68 | 7.4.1 基本概念                | 111 |
| 6.1.7 关于可微函数的定理          | 69 | 7.4.2 $\nabla$ (Nabla) 算子 | 112 |
| 6.1.8 可微函数的单调性、凸性与极值     | 71 | 7.4.3 积分定理                | 112 |
| 6.1.9 利用微分求极限值           | 72 | 8 微分方程                    | 114 |
| 6.1.10 定积分               | 73 | 8.1 常微分方程                 | 114 |
| 6.1.11 积分函数, 原函数与微积分基本定理 | 74 | 8.1.1 基本概念                | 114 |
| 6.1.12 不定积分              | 74 | 8.1.2 一阶微分方程              | 114 |
| 6.1.13 积分法               | 74 | 8.1.3 $n$ 阶微分方程           | 117 |
| 6.1.14 有理函数的积分           | 76 | 8.1.4 线性方程                | 117 |

|                            |     |                                  |     |
|----------------------------|-----|----------------------------------|-----|
| 8.1.5 常系数线性微分方程 .....      | 119 | 10.2.2 三元算图 .....                | 148 |
| 8.1.6 常系数线性微分方程组 .....     | 120 | 10.2.3 多于三个变元的算图 .....           | 151 |
| 8.1.7 边值问题 .....           | 123 | 10.3 非线性方程根的数值计算 .....           | 151 |
| 8.1.8 固有值问题 .....          | 124 | 10.3.1 迭代法 .....                 | 152 |
| 8.2 偏微分方程 .....            | 125 | 10.3.2 Newton 迭代法 .....          | 153 |
| 8.2.1 二阶线性偏微分方程 .....      | 125 | 10.3.3 割线法与试位法 .....             | 153 |
| 8.2.2 分离变量 .....           | 126 | 10.3.4 收敛的阶 .....                | 153 |
| 8.2.3 初始条件与边界条件 .....      | 126 | 10.3.5 精度问题 .....                | 154 |
| 9 观测数据的处理 .....            | 128 | 10.4 插值法 .....                   | 154 |
| 9.1 组合论 .....              | 128 | 10.4.1 问题的提出,解的存在性<br>与唯一性 ..... | 154 |
| 9.1.1 全排列 .....            | 128 | 10.4.2 Lagrange 插值法 .....        | 154 |
| 9.1.2 选排列 .....            | 129 | 10.4.3 Newton 插值法 .....          | 155 |
| 9.1.3 组合 .....             | 129 | 10.4.4 多项式计算的 Horner 方案 .....    | 156 |
| 9.2 误差的计算 .....            | 129 | 10.5 线性方程组的解 .....               | 157 |
| 9.2.1 误差的类型 .....          | 129 | 10.5.1 Gauss 消去法 .....           | 157 |
| 9.2.2 系统误差的传播 .....        | 130 | 10.6 数值积分法 .....                 | 159 |
| 9.3 最小二乘法 .....            | 130 | 10.6.1 Newton-Cotes 公式 .....     | 159 |
| 9.3.1 基础 .....             | 130 | 10.6.2 作图积分法 .....               | 161 |
| 9.3.2 相同精度直接量测数据的处理 .....  | 130 | 10.6.3 差分算子 .....                | 162 |
| 9.3.3 随机误差的传播 .....        | 132 | 10.7 微分方程的数值解 .....              | 163 |
| 9.3.4 不同精度直接量测数据的处理 .....  | 132 | 10.7.1 初始值问题的提法 .....            | 163 |
| 9.4 概率论 .....              | 133 | 10.7.2 Euler 折线法 .....           | 163 |
| 9.4.1 概率的定义和定理 .....       | 133 | 10.7.3 Runge-Kutta 法 .....       | 164 |
| 9.4.2 随机变量与分布函数 .....      | 140 | 10.8 线性规划 .....                  | 165 |
| 9.4.3 分布函数的参数 .....        | 140 | 10.8.1 二元问题的图解法 .....            | 166 |
| 9.4.4 一些特殊的分布函数 .....      | 142 | 10.8.2 单纯形法 .....                | 166 |
| 9.5 统计学 .....              | 143 | 10.9 非线性规划 .....                 | 169 |
| 9.5.1 频率分布 .....           | 143 | 10.9.1 问题的提出 .....               | 169 |
| 9.5.2 均值、方差与标准差的计算 .....   | 143 | 10.9.2 一些特殊算法 .....              | 170 |
| 9.5.3 回归与相关 .....          | 145 | 11 附录 A: 图与表 .....               | 171 |
| 10 实用数学 .....              | 146 | B 力学 .....                       | 1   |
| 10.1 函数的图形表示 .....         | 146 | 1 刚体静力学 .....                    | 1   |
| 10.1.1 函数的图象 .....         | 146 | 1.1 概述 .....                     | 1   |
| 10.1.2 函数尺 .....           | 146 | 1.2 汇交力系的合成和分解 .....             | 2   |
| 10.1.3 平面直角坐标系中的函数曲线 ..... | 147 | 1.2.1 平面力系 .....                 | 2   |
| 10.2 算图(诺模图) .....         | 148 | 1.2.2 空间力系 .....                 | 3   |
| 10.2.1 二元算图 .....          | 148 |                                  |     |

## X 目 录

|        |             |    |       |                       |    |
|--------|-------------|----|-------|-----------------------|----|
| 1.3    | 非汇交力系的合成和分解 | 5  | 3     | 动力学                   | 34 |
| 1.3.1  | 平面力系        | 5  | 3.1   | 能量概念——功、功率、效率         | 34 |
| 1.3.2  | 空间力系        | 6  | 3.2   | 质点和平动物体的动力学           | 36 |
| 1.4    | 力的平衡及平衡条件   | 7  | 3.2.1 | 牛顿动力学定律(牛顿第二定律)       | 36 |
| 1.4.1  | 空间力系        | 7  | 3.2.2 | 功与能方程                 | 36 |
| 1.4.2  | 平面力系        | 7  | 3.2.3 | 动量定律                  | 37 |
| 1.4.3  | 虚功原理        | 8  | 3.2.4 | 达伦倍尔原理和导向运动           | 37 |
| 1.4.4  | 平衡的种类       | 8  | 3.2.5 | 冲量矩定律(面积律)和旋转<br>冲量定律 | 37 |
| 1.4.5  | 安定性         | 9  | 3.3   | 质点系动力学                | 38 |
| 1.5    | 支承分类,分离原理   | 9  | 3.3.1 | 重心定律                  | 38 |
| 1.6    | 作用于物体的支承反力  | 10 | 3.3.2 | 功和能原理                 | 38 |
| 1.6.1  | 平面问题        | 10 | 3.3.3 | 冲量定律                  | 39 |
| 1.6.2  | 空间物体        | 11 | 3.3.4 | 达伦倍尔原理和受约束力的运动        | 39 |
| 1.7    | 刚体系         | 12 | 3.3.5 | 冲量矩定律和旋转冲量定律          | 40 |
| 1.8    | 桁架          | 13 | 3.3.6 | 拉格朗日方程                | 40 |
| 1.8.1  | 平面桁架        | 13 | 3.3.7 | 哈密尔顿原理                | 40 |
| 1.8.2  | 空间桁架        | 15 | 3.3.8 | 变质量系统                 | 41 |
| 1.9    | 绳索和链        | 15 | 3.4   | 刚体动力学                 | 41 |
| 1.9.1  | 自重下的绳索(链线)  | 16 | 3.4.1 | 刚体绕固定轴的转动             | 41 |
| 1.9.2  | 均匀分布载荷下的绳索  | 16 | 3.4.2 | 质量惯性矩                 | 42 |
| 1.9.3  | 有单个载荷的绳索    | 17 | 3.4.3 | 刚体一般平面运动              | 43 |
| 1.10   | 重心(质心)      | 17 | 3.4.4 | 一般空间运动                | 46 |
| 1.11   | 摩擦          | 20 | 3.5   | 相对运动动力学               | 48 |
| 1.11.1 | 静摩擦和滑动摩擦    | 20 | 3.6   | 碰撞                    | 48 |
| 1.11.2 | 动摩擦和静摩擦的应用  | 21 | 3.6.1 | 正碰撞                   | 48 |
| 1.11.3 | 滚动阻力        | 22 | 3.6.2 | 同心斜碰撞                 | 49 |
| 1.11.4 | 滑轮阻力        | 22 | 3.6.3 | 非同心碰撞                 | 49 |
| 2      | 运动学         | 23 | 3.6.4 | 旋转碰撞                  | 49 |
| 2.1    | 质点的运动       | 23 | 4     | 振动学                   | 50 |
| 2.1.1  | 引言          | 23 | 4.1   | 一个自由度的振动              | 50 |
| 2.1.2  | 平面运动        | 25 | 4.1.1 | 自由无阻尼振动               | 50 |
| 2.1.3  | 空间运动        | 27 | 4.1.2 | 自由阻尼振动                | 51 |
| 2.2    | 刚体运动        | 28 | 4.1.3 | 无阻尼强迫振动               | 52 |
| 2.2.1  | 平动(平移、位移)   | 28 | 4.1.4 | 强迫阻尼振动                | 53 |
| 2.2.2  | 转动(旋转运动、旋转) | 28 | 4.1.5 | 临界转速和简支轴的弯曲振动         | 54 |
| 2.2.3  | 刚体的一般运动     | 29 | 4.2   | 多自由度系统(耦合振动)          | 54 |
|        |             |    | 4.2.1 | 二个或多个自由度的自由振动         | 54 |

|       |                        |    |
|-------|------------------------|----|
| 4.2.2 | 二个或多个自由度的强迫振动          | 55 |
| 4.2.3 | 无阻尼系统特征频率的计算           | 56 |
| 4.2.4 | 连续介质振动                 | 56 |
| 4.3   | 非线性振动                  | 59 |
| 4.3.1 | 具有非线性弹簧特性线或恢复力的振子      | 59 |
| 4.3.2 | 有周期系数的振动(变线性振动)        | 60 |
| 5     | 水静力学(液体静力学)            | 60 |
| 6     | 水动力学和空气动力学(流体力学、流体动力学) | 62 |
| 6.1   | 理想流体的一维运动              | 63 |
| 6.1.1 | 定常流动情况时伯努利方程的应用        | 64 |
| 6.1.2 | 伯努利方程对不定常情况的应用         | 64 |
| 6.2   | 粘性牛顿流体的一维运动(管道水力学)     | 65 |
| 6.2.1 | 圆截面管内定常层流              | 65 |
| 6.2.2 | 圆截面管内定常湍流              | 66 |
| 6.2.3 | 非圆截面管道内的流动             | 67 |
| 6.2.4 | 通过特殊管道元件和结构时的流动损失      | 67 |
| 6.2.5 | 容器的定常泄流                | 70 |
| 6.2.6 | 通过明渠的定常流               | 71 |
| 6.2.7 | 粘性牛顿流体的不定常流动           | 71 |
| 6.2.8 | 自由射流                   | 71 |
| 6.3   | 非牛顿流体的一维流动             | 71 |
| 6.4   | 流动的不可压流体的作用力           | 72 |
| 6.4.1 | 冲量定律                   | 72 |
| 6.4.2 | 应用                     | 73 |
| 6.5   | 理想流体的多维流动              | 74 |
| 6.5.1 | 基本方程                   | 74 |
| 6.5.2 | 位势流                    | 75 |
| 6.6   | 粘性流体的多维流动              | 77 |
| 6.6.1 | 纳维-斯托克斯运动方程            | 77 |
| 6.6.2 | 小雷诺数(层流)情况的一些解         | 77 |
| 6.6.3 | 边界层理论                  | 78 |
| 6.6.4 | 物体的流动阻力                | 79 |
| 6.6.5 | 机翼和叶片                  | 81 |

|       |           |    |
|-------|-----------|----|
| 6.6.6 | 翼栅中翼片和翼剖面 | 82 |
|-------|-----------|----|

|       |                      |    |
|-------|----------------------|----|
| 7     | 相似力学                 | 83 |
| 7.1   | 引言                   | 83 |
| 7.2   | 相似律(模型律)             | 84 |
| 7.2.1 | 静力学相似                | 84 |
| 7.2.2 | 动力相似                 | 85 |
| 7.2.3 | 热相似                  | 86 |
| 7.2.4 | 单位分析(量纲分析)和 $\pi$ 定律 | 86 |

## C 材料力学 1

### 1 基本原理 1

#### 1.1 应力和应变 1

##### 1.1.1 应力 1

##### 1.1.2 变形 4

##### 1.1.3 变形能 5

#### 1.2 材料的力学性能 5

#### 1.3 强度理论和折算应力 7

##### 1.3.1 最大正应力理论 7

##### 1.3.2 最大剪应力理论 7

##### 1.3.3 最大形变能理论 7

##### 1.3.4 推广的剪应力理论 8

##### 1.3.5 巴赫的受载比 8

### 2 杆状构件应力 8

#### 2.1 拉伸和压缩 8

##### 2.1.1 等截面受等轴向力的直杆 8

##### 2.1.2 受变轴向力的直杆 9

##### 2.1.3 变截面直杆 9

##### 2.1.4 带缺口的直杆 9

##### 2.1.5 受温度影响的直杆 9

#### 2.2 剪切 9

#### 2.3 面接触力和孔面上的压力 10

##### 2.3.1 平面 10

##### 2.3.2 曲面 10

#### 2.4 弯曲 10

##### 2.4.1 内力(截面力):法向力、剪力、弯矩 10

##### 2.4.2 平面直梁的内力 11

##### 2.4.3 平面折线形梁和平面曲梁的内力 14



## XII 目 录

|                          |    |                             |    |
|--------------------------|----|-----------------------------|----|
| 2.4.4 空间梁的内力             | 14 | 5.2.1 实心圆盘                  | 50 |
| 2.4.5 直梁的弯曲应力            | 15 | 5.2.2 环形圆盘                  | 50 |
| 2.4.6 直梁的剪应力和剪切中心        | 20 | 5.2.3 有孔的无限板                | 50 |
| 2.4.7 强曲梁的弯曲应力           | 23 | 5.2.4 受集中力的楔形板              | 51 |
| 2.4.8 梁的挠度               | 24 | 5.3 壳体                      | 51 |
| 2.4.9 弯矩引起的变形能和用能量法求个别挠度 | 32 | 5.3.1 柔软旋转对称壳体和在内压下的薄膜应力    | 51 |
| 2.5 扭转                   | 33 | 5.3.2 抗弯壳体                  | 51 |
| 2.5.1 等直径圆截面杆            | 33 | 6 旋转构件在离心力作用下的动应力           | 53 |
| 2.5.2 变直径圆截面杆            | 34 | 6.1 旋转杆                     | 53 |
| 2.5.3 薄壁空心截面 (Bredt 公式)  | 34 | 6.2 旋转薄壁圆环或圆筒               | 53 |
| 2.5.4 任意形状截面的杆           | 35 | 6.3 旋转盘                     | 53 |
| 2.5.5 截面翘曲受阻的(有翘曲力的)扭转   | 37 | 6.3.1 等厚实心盘                 | 53 |
| 2.6 组合应力                 | 38 | 6.3.2 等厚环形盘                 | 53 |
| 2.6.1 弯曲与轴向力             | 38 | 6.3.3 等强度盘                  | 54 |
| 2.6.2 弯曲与剪切              | 38 | 6.3.4 变厚度盘                  | 54 |
| 2.6.3 弯曲与扭转              | 39 | 6.3.5 厚壁旋转圆筒                | 54 |
| 2.6.4 轴向力与扭转             | 39 | 7 稳定问题                      | 55 |
| 2.6.5 剪切与扭转              | 39 | 7.1 屈曲                      | 55 |
| 2.6.6 弯曲与轴向力以及剪切和扭转      | 39 | 7.1.1 在弹性(欧拉)范围内的屈曲         | 55 |
| 2.7 静不定系统                | 39 | 7.1.2 在非弹性(Tetmajer-)范围内的屈曲 | 56 |
| 3 弹性理论                   | 43 | 7.1.3 $\omega$ -方法          | 56 |
| 3.1 引论                   | 43 | 7.1.4 计算屈曲载荷的近似法            | 57 |
| 3.2 旋转对称应力状态             | 44 | 7.1.5 受非等值轴向力的变截面杆          | 58 |
| 3.3 平面应力状态               | 45 | 7.1.6 环、框架和杆系的屈曲            | 58 |
| 4 两物体的接触应力(赫兹 Hertz 公式)  | 46 | 7.1.7 弯扭屈曲                  | 58 |
| 4.1 圆球                   | 46 | 7.2 侧倾(侧向屈曲)                | 59 |
| 4.2 柱形体                  | 47 | 7.2.1 长方形截面的梁               | 59 |
| 4.3 任意曲面                 | 47 | 7.2.2 工字截面梁                 | 59 |
| 5 面状结构                   | 48 | 7.3 皱曲                      | 59 |
| 5.1 平板                   | 48 | 7.3.1 平板的皱曲                 | 59 |
| 5.1.1 长方形板               | 48 | 7.3.2 壳体的皱曲                 | 61 |
| 5.1.2 圆板                 | 49 | 7.3.3 在非弹性(塑性)范围内的皱曲应力      | 62 |
| 5.1.3 椭圆板                | 49 | 8 有限元法                      | 62 |
| 5.1.4 等边三角板              | 49 | 9 塑性理论                      | 64 |
| 5.1.5 板的温度应力             | 50 | 9.1 一般原理                    | 64 |
| 5.2 平盘                   | 50 | 9.2 应用                      | 65 |

|                       |    |                               |    |
|-----------------------|----|-------------------------------|----|
| 9.2.1 长方形截面梁的变曲 ..... | 65 | 8.3.3 节流 .....                | 10 |
| 9.2.2 空间和平面应力状态 ..... | 66 | 8.4 循环过程 .....                | 10 |
| 10 附录 C:图与表 .....     | 68 | 8.4.1 Carnot 循环 .....         | 10 |
| D 热力学 .....           | 1  | 8.4.2 Otto 循环 .....           | 11 |
| 1 热力学系统 .....         | 1  | 8.4.3 Diesel 循环 .....         | 11 |
| 2 定律 .....            | 2  | 8.4.4 Seiliger 循环 .....       | 11 |
| 3 热力状态参数 .....        | 2  | 8.4.5 Ericsson 循环 .....       | 11 |
| 3.1 温度 .....          | 2  | 8.4.6 Ackeret-Keller 循环 ..... | 11 |
| 3.1.1 温度标尺 .....      | 2  | 8.4.7 Joule 循环 .....          | 12 |
| 3.1.2 热膨胀 .....       | 2  | 9 蒸汽 .....                    | 12 |
| 3.2 压力 .....          | 3  | 9.1 蒸发 .....                  | 12 |
| 3.3 体积 .....          | 3  | 9.2 蒸汽的状态参量 .....             | 13 |
| 4 热和功 .....           | 3  | 9.3 蒸汽的状态方程 .....             | 13 |
| 4.1 热容 .....          | 3  | 9.4 蒸汽的状态图 .....              | 15 |
| 4.2 潜热 .....          | 4  | 10 溶解, 升华 .....               | 15 |
| 4.3 混合物的温度 .....      | 4  | 11 气体混合物 .....                | 15 |
| 4.4 膨胀功 .....         | 5  | 11.1 道尔顿定律 .....              | 15 |
| 4.5 技术功 .....         | 5  | 11.2 理想气体混合物的状态方程 .....       | 15 |
| 4.6 焓 .....           | 5  | 11.3 气体-蒸汽混合物 .....           | 16 |
| 5 可逆和不可逆过程 .....      | 5  | 11.4 湿空气 .....                | 16 |
| 6 第二定律 .....          | 6  | 11.4.1 湿空气的摩尔图 .....          | 17 |
| 7 量热状态参量 .....        | 6  | 11.4.2 湿空气的状态变化 .....         | 17 |
| 7.1 内能 .....          | 6  | 12 传热 .....                   | 19 |
| 7.2 焓 .....           | 6  | 12.1 导热 .....                 | 19 |
| 7.3 熵 .....           | 6  | 12.1.1 平壁的稳定导热 .....          | 19 |
| 8 状态和状态变化 .....       | 7  | 12.1.2 圆桶壁的稳定导热 .....         | 19 |
| 8.1 理想气体的状态方程 .....   | 7  | 12.1.3 球壁的稳定导热 .....          | 19 |
| 8.1.1 热力状态方程 .....    | 7  | 12.2 对流和热量转移 .....            | 19 |
| 8.1.2 量热状态方程 .....    | 8  | 12.2.1 无集态变化时的放热 .....        | 20 |
| 8.2 状态图 .....         | 8  | 12.2.2 凝结和蒸发时的放热 .....        | 22 |
| 8.3 理想气体的状态变化 .....   | 8  | 12.3 辐射 .....                 | 22 |
| 8.3.1 理论上的状态变化 .....  | 8  | 12.3.1 斯蒂芬-玻尔兹曼定律 .....       | 22 |
| 8.3.2 多变过程 .....      | 9  | 12.3.2 克希霍夫定律 .....           | 23 |
|                       |    | 12.3.3 兰贝尔定律 .....            | 23 |
|                       |    | 12.3.4 辐射换热 .....             | 23 |
|                       |    | 12.3.5 气体辐射 .....             | 23 |

|                                        |    |                                     |    |
|----------------------------------------|----|-------------------------------------|----|
| 12.4 传热 .....                          | 23 | 能力 .....                            | 16 |
| 13 热源与热的产生 .....                       | 24 | 1.6.3 工件在任意受载下的承载能力<br>(工作强度) ..... | 17 |
| 13.1 热源 .....                          | 24 | 1.6.4 在蠕变条件工件的承载能力 .....            | 18 |
| 13.2 燃料燃烧产生的热量 .....                   | 24 | 1.6.5 安全程度的近似值(安全系数) .....          | 19 |
| 13.2.1 燃料 .....                        | 24 | 2 材料检验 .....                        | 23 |
| 13.2.2 热值 .....                        | 25 | 2.1 基础理论 .....                      | 23 |
| 13.2.3 燃烧 .....                        | 26 | 2.1.1 取样 .....                      | 23 |
| 13.2.4 燃烧温度 .....                      | 27 | 2.1.2 试验数据处理 .....                  | 23 |
| 14 气体的流动 .....                         | 27 | 2.2 试验方法 .....                      | 24 |
| 15 附录 D: 图与表 .....                     | 29 | 2.2.1 拉伸试验 .....                    | 24 |
| E 材料工程 .....                           | 1  | 2.2.2 压缩试验 .....                    | 26 |
| 1 材料性能和工件性能的基础 .....                   | 2  | 2.2.3 弯曲试验 .....                    | 27 |
| 1.1 加载方式和应力状态 .....                    | 2  | 2.2.4 硬度试验方法 .....                  | 27 |
| 1.1.1 基本加载类型 .....                     | 2  | 2.2.5 弯曲冲击试验 .....                  | 28 |
| 1.1.2 在受力面上的载荷类型 .....                 | 2  | 2.2.6 断裂力学试验 .....                  | 29 |
| 1.1.3 内应力引起的载荷状态 .....                 | 2  | 2.2.7 化学试验和物理试验 .....               | 30 |
| 1.2 失效原因 .....                         | 3  | 2.2.8 金相试验 .....                    | 30 |
| 1.2.1 机械应力引起的失效类型 .....                | 3  | 2.2.9 工艺试验 .....                    | 31 |
| 1.2.2 强度理论 .....                       | 5  | 2.2.10 无损试验 .....                   | 31 |
| 1.2.3 在复杂应力下的失效类型 .....                | 6  | 2.2.11 持久试验 .....                   | 32 |
| 1.3 材料的设计参数 .....                      | 7  | 3 材料的性能和用途 .....                    | 33 |
| 1.3.1 静载荷 .....                        | 7  | 3.1 铁基材料 .....                      | 33 |
| 1.3.2 动载荷 .....                        | 7  | 3.1.1 铁碳平衡图 .....                   | 33 |
| 1.3.3 韧性特征值和断裂韧性特征值 .....              | 9  | 3.1.2 钢的制造 .....                    | 35 |
| 1.4 材料结构、制造方法和环境因素对<br>强度韧性性能的影响 ..... | 10 | 3.1.3 钢的热处理 .....                   | 36 |
| 1.4.1 冶金因素 .....                       | 11 | 3.1.4 钢 .....                       | 39 |
| 1.4.2 工艺的影响 .....                      | 11 | 3.1.5 铸铁 .....                      | 49 |
| 1.4.3 表面效应 .....                       | 12 | 3.2 有色金属 .....                      | 50 |
| 1.4.4 环境影响 .....                       | 12 | 3.2.1 铜及其合金 .....                   | 50 |
| 1.5 强度性能 and 设计形状 .....                | 13 | 3.2.2 铝及其合金 .....                   | 53 |
| 1.5.1 形状对静强度性能的影响 .....                | 13 | 3.2.3 镁合金 .....                     | 54 |
| 1.5.2 形状对疲劳性能的影响 .....                 | 14 | 3.2.4 钛合金 .....                     | 55 |
| 1.6 结构件的承载能力 .....                     | 16 | 3.2.5 镍及其合金 .....                   | 55 |
| 1.6.1 静载荷 .....                        | 16 | 3.2.6 锌及其合金 .....                   | 55 |
| 1.6.2 在单级疲劳载荷下工件的承载                    |    | 3.2.7 铅 .....                       | 56 |
|                                        |    | 3.2.8 锡 .....                       | 56 |
|                                        |    | 3.2.9 金属上的涂层 .....                  | 56 |