



机械工程  
手册



# 机 械 工 程 手 册

## 第 2 卷 基 础 理 论 (二)

机械工程手册  
电机工程手册 编辑委员会



机 械 工 业 出 版

《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品等六个部分,共七十九篇,二千余万字,分为十四卷。

本书为《机械工程手册》第2卷基础理论(二),内容包括流体力学、热工学、电工基础与工业电子学、声学、光学、标准化等六篇。

本书供从事机械工程的广大技术人员查阅使用,也可供其他有关人员参考。

## 机 械 工 程 手 册

### 第2卷 基 础 理 论 (二)

机械工程手册  
电机工程手册 编辑委员会 编

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)  
(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16·印张 39<sup>1</sup>/<sub>4</sub>·插页 2·字数 1157 千字

1982年10月北京第一版·1982年10月北京第一次印刷

印数 00,001—24,800·定价 5.20元

\*

统一书号: 15033·4668

封面设计 王 伦

## 编辑委员会

主任委员：沈 鸿

副主任委员：周建南 汪道涵 张 维 史洪志

委员(按姓氏笔划为序)：叶 铮 孙 琪 许力以 张 影  
张大奇 陈文全 陈元直 寿尔康 金实遽 施泽均 俞宗瑞  
陶亨咸 翁迪民 章洪深 曹维廉 程 光

### 《机械工程手册》特约编辑

(按姓氏笔划为序)

丁 淳 马恒昌 万定国 王万钧 王补宣 支少炎 史绍熙 匡 襄  
朱广颐 朱景梓 刘庆和 刘晋春 孙珍宝 余 俊 李 策 李 焱  
李兴贵 李庆春 李华敏 陈力展 陈士梁 杜庆华 张作梅 张明之  
张国良 张德庆 张鼎丞 杨绍侃 闵学熊 邱宣怀 吴敬业 沈增祚  
孟少农 孟宪源 郑林庆 林宗棠 范景春 金福长 祝大年 胡茂弘  
陶 炜 陶正耀 陶鼎文 徐 灏 高文彬 郭可谦 郭芷荣 凌业勤  
袁裕生 曹 泛 黄明慎 程干亨 舒光冀 蔡习传 薛景瑄

### 《机械工程手册》编辑及编辑组负责人

(按姓氏笔划为序)

王力中 王光大 王兴垣 王自新 王树勋 王崇云 王德维 冯子珮  
叶克明 刘 镇 刘向亭 朱亚冠 许绍高 曲彩云 任赞黄 陈 湖  
陈文全 陈元直 陈庚文 陈国威 张 端 张大奇 张劲华 张继铎  
张斌如 陆元章 杨谷芬 余果慈 李荫成 李增佐 吴恕三 吴曾评  
郑秉衡 施泽均 姚洪朴 钱寿福 徐佳瑞 黄克孚 崔克明 康振章  
曹敬曾 谢 健 栗 滋 韩云岑 韩丙告 韩宗贵 蒋聚培 蔡德洪

## 序

期望已久的《机械工程手册》和《电机工程手册》终于分卷合订成册,正式出版了。这是对我国机电工程科学技术领域的一个贡献。两部手册的编写队伍,由国内有专长、有经验的学者、专家所组成。这两部手册扼要地总结了我国机电工程各主要方面的科学技术成就,同时也吸收了一些国外的成熟经验。聚沙成塔,集腋成裘。名为手册,实则巨著。

读书不易,写书颇难,写工具书更难,写综合性工具书可谓难中之难。为了编好两部“立足全局,勾划概貌,反映共性,突出重点”,而又全面的、完整的、彼此协调的手册,同志们做了很大努力,从无到有,诸事草创,困难重重,艰辛备尝。恰似唐朝韩愈所说的:“贪多务得,细大不捐。焚膏油以继晷,恒兀兀以穷年。”值此合订本出版之际,我谨向各主编单位、各编写单位和印刷出版单位,向数以千计的全体编审同志,向遍及全国的为两部手册提供资料和其他方便条件的单位和同志们,表示衷心的感谢。

两部手册的第一版,现在完成了。对编写者来说,已经有了成果。而对阅读手册的工厂、学校、院所、机关同志们来说,还只是两朵鲜花。在成千上万人的应用中使鲜花结成果实——发展机电工程科学技术事业,为现代化建设服务——才是更丰硕的成果。这才是我们的目的。

一般说来,工具书分两种类型:一种是综合性的,一种是专业性的。综合性的工具书从广度来说是较为全面的,从深度来说是不足的;而专业性的工具书则反之。二者各有所长,相辅相成。我们这两部手

册是综合性的工具书, 主要供从事技术工作的各类人员查阅使用。对于搞专业性技术工作的人员来说, 还可从中猎取相邻专业和其他有关专业的知识, 帮助他们从专业分工的局限性中开拓思路, 从科学技术各个环节的相互联系上, 综合地、全面地研究和解决技术问题。也唯有以渊博的科学技术知识作为基础, 才能不断创新。在编写这两部手册时, 考虑到专业手册还比较少, 而且一时又出不了那么多, 因此在内容的深度上也予以顾及, 以适当满足专业工作的需要。所以, 它的篇幅已经超过一般常见的综合性手册了。实践是检验真理的唯一标准。我们将严肃认真地听取广大读者的反映和意见, 作为评价和改进两部手册的主要依据。国外这类工具书已经有了几十年、甚至百余年的历史, 而我们则刚刚开始。现在是从无到有, 将来是精益求精。让我们在新的长征途中, 戮力同心, 再接再厉, 去完成时代赋予我们的光荣使命。

机械工程手册  
电机工程手册 编辑委员会主任委员 沈 鸿

一九八二年 北京

## 编 辑 说 明

一、《机械工程手册》、《电机工程手册》的分卷合订工作是在试用本的基础上进行的。试用本的编写工作始于一九七三年,一九七七年以后陆续出版发行,一九八一年出齐。这次分卷合订主要做了三方面工作:一是在技术内容上做了订正;二是尽可能用已颁布的新标准取代老标准;三是按卷编制了索引。

二、《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品等六个部分,共七十九篇,二千余万字,分为十四卷。《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化等七个部分,共五十篇,一千余万字,分为九卷。

三、参加这两部手册编写工作的,有全国许多地区和部门的工厂、科研设计院所、高等院校,近五百个单位,作者两千余人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员,更为广泛。各篇在编写、协调、审查、定稿等环节中,既注意发挥学者、专家的骨干作用,又注意集中群众的智慧和力量。

四、这两部手册因系初版,囿于条件,所采用的名词、术语、符号、代号以及单位制,尚有不尽统一之处。此外,内容上也有重复、遗漏、甚至错误的地方;在设计、印刷、装帧等方面也还存在一些问题。我们将通过手册的不断修订再版,逐步改进。

五、手册合订本的署名,采用单位和个人相结合的方式。各篇的主编单位、编写单位和主编、编写人均按篇署名,置于相应篇的前面。编写人的署名以其编写的章号为序。特约编辑以姓氏笔划为序,集中署于卷首。编辑(包括总编辑、副总编辑)及编辑组负责人亦按姓氏笔划为序,署于卷首。

另外,参加两部手册编写、审查、组织、协调的单位和同志还很多,恕不一一署名。

机 械 工 程 手 册  
电 机 工 程 手 册 编辑委员会编辑组

# 目 录

序

编辑说明

## 第5篇 流体力学

常用符号

### 第1章 流体的物理性质

- 1 流体的重度和密度 .....5-1
  - 1.1 气体的重度和密度 .....5-1
  - 1.2 液体的重度和密度 .....5-3
  - 1.3 混合流体的重度和密度 .....5-6
- 2 流体的压缩性和膨胀性 .....5-6
  - 2.1 压缩性 .....5-6
  - 2.2 膨胀性 .....5-6
- 3 流体的粘性 .....5-6
  - 3.1 常用的几种流体粘度 .....5-7
  - 3.2 气体的粘度 .....5-7
  - 3.3 液体的粘度 .....5-9
  - 3.4 混合流体的粘度 .....5-11
- 4 表面张力和毛细现象 .....5-12
  - 4.1 表面张力 .....5-12
  - 4.2 毛细现象 .....5-13

### 第2章 基本概念

- 1 作用于流体的力和应力 .....5-13
  - 1.1 质量力和表面力 .....5-13
  - 1.2 应力 .....5-13
  - 1.3 流体的压力、静压、动压和总压 .....5-14
  - 1.4 绝对压力、表压力和真空压力 .....5-14
  - 1.5 流体压力的单位 .....5-14
- 2 流 场 .....5-15
  - 2.1 研究流动的两种方法 .....5-15
  - 2.2 迹线、流线、流谱和流管 .....5-15
  - 2.3 流体的速度和加速度 .....5-15
  - 2.4 平均流速和流量 .....5-16
- 3 粘性流体和理想流体 .....5-16
  - 3.1 粘性流体和内摩擦定律 .....5-16
  - 3.2 理想流体 .....5-17
- 4 可压缩流体和不可压缩流体 .....5-17

- 5 一元、二元和三元流动 .....5-17
- 6 定常流动和非定常流动 .....5-18
- 7 有旋流动和无旋流动 .....5-18
  - 7.1 概述 .....5-18
  - 7.2 涡线、涡管和涡管强度 .....5-18
  - 7.3 涡街 .....5-19
  - 7.4 速度环量 .....5-19
- 8 层流、湍流和雷诺数 .....5-19
  - 8.1 层流和湍流 .....5-19
  - 8.2 雷诺数和临界雷诺数 .....5-20
  - 8.3 水力直径 .....5-21
- 9 声速和马赫数 .....5-21
  - 9.1 声速 .....5-21
  - 9.2 几种气体的绝热指数、气体常数、声速及声速常数 .....5-22
  - 9.3 马赫数 .....5-22
  - 9.4 亚声速流与超声速流的根本差别、马赫锥 .....5-22

### 第3章 基本方程

- 1 连续性方程 .....5-23
- 2 运动方程 .....5-23
  - 2.1 欧拉运动方程 .....5-23
  - 2.2 纳维尔-斯托克斯方程 .....5-24
- 3 伯努利方程 .....5-25
  - 3.1 动能修正系数 .....5-25
  - 3.2 不可压缩流体的伯努利方程 .....5-25
  - 3.3 可压缩流体的伯努利方程 .....5-27
  - 3.4 相对定常流的伯努利方程 .....5-27
  - 3.5 非定常粘性不可压缩流体的伯努利方程 .....5-27
- 4 状态方程和过程方程 .....5-28
- 5 动量方程 .....5-28
  - 5.1 一般流动的动量方程 .....5-28



## VIII 目 录

|                       |      |
|-----------------------|------|
| 5.2 定常管流的动量方程 .....   | 5-29 |
| 6 动量矩方程 .....         | 5-29 |
| 6.1 一般流动的动量矩方程 .....  | 5-29 |
| 6.2 定常管流的动量矩方程 .....  | 5-29 |
| 6.3 相对定常流的动量矩方程 ..... | 5-30 |

### 第4章 静 止 液 体

|                       |      |
|-----------------------|------|
| 1 流体平衡微分方程 .....      | 5-30 |
| 2 静止液体内的压力 .....      | 5-30 |
| 2.1 压力特性 .....        | 5-30 |
| 2.2 压力计算公式 .....      | 5-31 |
| 2.3 帕斯卡定律 .....       | 5-31 |
| 2.4 等压面和连通器 .....     | 5-31 |
| 2.5 液柱式测压计 .....      | 5-31 |
| 3 静止液体作用在壁面上的力 .....  | 5-32 |
| 3.1 作用在平面壁上的力 .....   | 5-32 |
| 3.2 作用在柱形曲面壁上的力 ..... | 5-34 |
| 4 阿基米德原理 .....        | 5-35 |
| 5 相对静止液体的压力 .....     | 5-35 |

### 第5章 流动阻力和低速管流

|                         |      |
|-------------------------|------|
| 1 流动阻力 .....            | 5-36 |
| 2 管内流动的阻力计算 .....       | 5-37 |
| 2.1 水头损失及其计算公式 .....    | 5-37 |
| 2.2 流动光滑管和粗糙管 .....     | 5-37 |
| 2.3 沿程阻力系数 .....        | 5-37 |
| 2.4 局部阻力系数 .....        | 5-40 |
| 2.5 流动起始段的阻力系数 .....    | 5-48 |
| 2.6 压缩性对阻力损失的影响 .....   | 5-49 |
| 3 管路的设计计算 .....         | 5-51 |
| 3.1 概述 .....            | 5-51 |
| 3.2 管径的确定和允许流速 .....    | 5-52 |
| 3.3 简单管路的计算 .....       | 5-52 |
| 3.4 复杂管路的计算 .....       | 5-53 |
| 4 绕流物体的阻力 .....         | 5-54 |
| 4.1 阻力系数 .....          | 5-54 |
| 4.2 几种不同形状物体的阻力系数 ..... | 5-55 |
| 5 高分子减阻 .....           | 5-59 |

### 第6章 缝隙流动、出流、射流和水锤

|              |      |
|--------------|------|
| 1 缝隙流动 ..... | 5-60 |
|--------------|------|

|                      |      |
|----------------------|------|
| 1.1 平行板间的缝隙流动 .....  | 5-60 |
| 1.2 倾斜板间的缝隙流动 .....  | 5-60 |
| 1.3 平行圆盘间的缝隙流动 ..... | 5-60 |
| 1.4 环形缝隙流动 .....     | 5-60 |
| 1.5 夹缝出流 .....       | 5-60 |
| 1.6 细长圆管内的层流流动 ..... | 5-60 |
| 2 出 流 .....          | 5-65 |
| 2.1 薄壁小孔口出流 .....    | 5-65 |
| 2.2 管嘴出流 .....       | 5-66 |
| 3 自由射流 .....         | 5-67 |
| 3.1 作用在壁面上的力 .....   | 5-67 |
| 3.2 射程 .....         | 5-67 |
| 4 水 锤 .....          | 5-69 |
| 4.1 水锤现象 .....       | 5-69 |
| 4.2 水锤压力波的传播速度 ..... | 5-70 |
| 4.3 水锤压力 .....       | 5-70 |
| 4.4 防止或减弱水锤的措施 ..... | 5-71 |

### 第7章 管内高速气体流动

|                        |      |
|------------------------|------|
| 1 管内等熵流动 .....         | 5-71 |
| 1.1 基本方程 .....         | 5-71 |
| 1.2 流速随管道断面的变化规律 ..... | 5-72 |
| 1.3 壅塞 .....           | 5-72 |
| 1.4 流动特性 .....         | 5-72 |
| 1.5 滞止参数和临界参数 .....    | 5-73 |
| 1.6 计算公式和图表 .....      | 5-73 |
| 1.7 摩擦的影响 .....        | 5-74 |
| 2 喷管内的等熵流动 .....       | 5-75 |
| 2.1 渐缩喷管 .....         | 5-75 |
| 2.2 缩放喷管 .....         | 5-77 |
| 3 斜切口内的流动 .....        | 5-80 |
| 3.1 流动分析 .....         | 5-80 |
| 3.2 气流偏转角的计算 .....     | 5-80 |
| 3.3 最大膨胀能力 .....       | 5-80 |
| 4 激 波 .....            | 5-80 |
| 4.1 正激波 .....          | 5-81 |
| 4.2 斜激波 .....          | 5-82 |
| 4.3 脱体激波 .....         | 5-84 |

### 第8章 平面流动

|                    |      |
|--------------------|------|
| 1 速度势、流函数和流网 ..... | 5-85 |
|--------------------|------|

|                          |      |
|--------------------------|------|
| 1.1 速度势 .....            | 5-85 |
| 1.2 流函数 .....            | 5-85 |
| 1.3 流网 .....             | 5-86 |
| 2 复势和复速度 .....           | 5-87 |
| 2.1 复势、复速度和共轭速度 .....    | 5-87 |
| 2.2 几种简单流动的复势 .....      | 5-87 |
| 2.3 几种复合流动的复势 .....      | 5-90 |
| 3 圆柱绕流 .....             | 5-91 |
| 4 保角变换法原理 .....          | 5-92 |
| 4.1 概述 .....             | 5-92 |
| 4.2 变换函数 .....           | 5-92 |
| 4.3 作用在物体上的力和力矩 .....    | 5-93 |
| 5 库塔-儒可夫斯基升力定理 .....     | 5-93 |
| 5.1 升力定理 .....           | 5-93 |
| 5.2 库塔-儒可夫斯基条件 .....     | 5-93 |
| 6 翼型绕流 .....             | 5-94 |
| 6.1 基本参数 .....           | 5-94 |
| 6.2 几何参数对气动性能的影响 .....   | 5-95 |
| 6.3 几种翼型的气动性能 .....      | 5-95 |
| 7 亚声速流的近似法则 .....        | 5-96 |
| 7.1 戈泰法则 .....           | 5-96 |
| 7.2 普朗特-葛劳渥特法则 .....     | 5-96 |
| 7.3 卡门-钱学森压力系数修正公式 ..... | 5-96 |
| 8 临界马赫数 .....            | 5-98 |

## 第9章 边界层内的流动

|                   |       |
|-------------------|-------|
| 1 概 述 .....       | 5-98  |
| 1.1 边界层的特性 .....  | 5-98  |
| 1.2 边界层的转换 .....  | 5-99  |
| 1.3 边界层的分离 .....  | 5-99  |
| 2 边界层的几种厚度 .....  | 5-100 |
| 3 边界层方程 .....     | 5-101 |
| 3.1 层流边界层方程 ..... | 5-101 |
| 3.2 湍流边界层方程 ..... | 5-101 |
| 4 边界层积分关系式 .....  | 5-101 |
| 4.1 动量积分关系式 ..... | 5-102 |
| 4.2 能量积分关系式 ..... | 5-102 |
| 5 不可压缩平板边界层 ..... | 5-102 |
| 6 可压缩平板边界层 .....  | 5-103 |
| 6.1 层流边界层 .....   | 5-104 |
| 6.2 湍流边界层 .....   | 5-105 |

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 7 温度边界层 .....                 | 5-105 |
| 7.1 普朗特数、复温系数、努赛尔数和史坦顿数 ..... | 5-105 |
| 7.2 温度边界层的厚度和特性 .....         | 5-106 |
| 7.3 平板温度边界层 .....             | 5-107 |

## 第10章 叶 栅 绕 流

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 1 概 述 .....                | 5-108 |
| 1.1 叶栅类型 .....             | 5-108 |
| 1.2 叶栅绕流的基本参数 .....        | 5-109 |
| 1.3 叶栅绕流问题的类型 .....        | 5-111 |
| 1.4 等价叶栅 .....             | 5-111 |
| 2 平面叶栅绕流分析 .....           | 5-111 |
| 2.1 基本流动特性 .....           | 5-111 |
| 2.2 叶栅参数变化对流动的影响 .....     | 5-112 |
| 2.3 最小损失进流角 .....          | 5-113 |
| 3 作用在平面叶栅上的力和叶栅功率 .....    | 5-114 |
| 3.1 作用在平面叶栅上的力 .....       | 5-114 |
| 3.2 广义库塔-儒可夫斯基条件 .....     | 5-114 |
| 3.3 叶栅的功率 .....            | 5-115 |
| 4 平面叶栅绕流的升力修正系数 .....      | 5-115 |
| 4.1 平板叶栅的升力修正系数 .....      | 5-115 |
| 4.2 圆弧板叶栅的升力修正系数 .....     | 5-115 |
| 5 平面叶栅绕流的几种解法 .....        | 5-116 |
| 5.1 升力法 .....              | 5-116 |
| 5.2 流道法 .....              | 5-116 |
| 5.3 平均流动法 .....            | 5-118 |
| 5.4 奇点法 .....              | 5-119 |
| 6 空间叶栅绕流的基本方程 .....        | 5-120 |
| 6.1 空间叶栅绕流的特点 .....        | 5-120 |
| 6.2 实际叶栅绕流的简化 .....        | 5-121 |
| 6.3 空间叶栅绕流的简化基本方程 .....    | 5-121 |
| 6.4 几点结论 .....             | 5-122 |
| 7 两类相对流面理论 .....           | 5-123 |
| 7.1 概述 .....               | 5-123 |
| 7.2 两类相对流面的简化理论 .....      | 5-123 |
| 7.3 $S_2$ 相对流面上的主要方程 ..... | 5-124 |
| 7.4 $S_1$ 相对流面上的主要方程 ..... | 5-126 |
| 8 径向平衡方程和间隙站内的流动方程 .....   | 5-128 |

## X 目 录

|                 |       |
|-----------------|-------|
| 8.1 径向平衡方程      | 5-128 |
| 8.2 叶栅间隙站内的流动方程 | 5-129 |
| 9 空间叶栅绕流问题的几种解法 | 5-129 |
| 9.1 概述          | 5-129 |
| 9.2 有限差分法       | 5-129 |
| 9.3 流线迭代法       | 5-130 |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 9.4 选定流线法                  | 5-131 |
| 9.5 有限元法                   | 5-133 |
| 附表 I 等熵流气动函数表( $k=1.4$ )   | 5-134 |
| 附表 II 有关 $k$ 的各项计算值        | 5-140 |
| 附表 III 正激波气动函数表( $k=1.4$ ) | 5-141 |
| 参考文献                       | 5-145 |

## 第 6 篇 热 工 学

### 常用符号

### 第 1 章 气体与蒸汽的热力性质

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| 1 基本定义                      | 6-1  |
| 2 理想气体的热力性质                 | 6-3  |
| 3 实际气体的热力性质                 | 6-7  |
| 3.1 实际气体状态方程                | 6-8  |
| 3.2 实际气体热力性质的近似计算<br>(对比态法) | 6-8  |
| 3.3 实际气体热力性质的实验值            | 6-12 |
| 4 混合气体的热力性质                 | 6-14 |
| 4.1 理想混合气体的热力性质             | 6-14 |
| 4.2 实际混合气体的热力性质             | 6-16 |
| 5 水蒸汽及其热力性质                 | 6-16 |
| 5.1 基本定义                    | 6-18 |
| 5.2 水蒸汽热力性质图表               | 6-19 |
| 6 湿空气                       | 6-27 |
| 6.1 湿空气的热力性质及有关定义           | 6-27 |
| 6.2 湿空气的 $H-d$ 图            | 6-28 |

### 第 2 章 热力学基本定律及其应用

|                          |      |
|--------------------------|------|
| 1 热力学第一定律及其应用            | 6-29 |
| 1.1 静止系与流动系的能量转换关系式      | 6-29 |
| 1.2 可逆过程                 | 6-30 |
| 1.3 热力学第一定律的应用           | 6-30 |
| 2 热力学第二定律及其应用            | 6-35 |
| 2.1 卡诺循环及其热经济指标          | 6-35 |
| 2.2 热力学温标和熵              | 6-35 |
| 2.3 热力学第二定律在热力分析中的<br>应用 | 6-36 |

### 第 3 章 导 热

|           |      |
|-----------|------|
| 1 导热的基本定律 | 6-38 |
|-----------|------|

|               |      |
|---------------|------|
| 2 导热系数        | 6-38 |
| 3 稳定导热的实用计算   | 6-41 |
| 4 长杆导热        | 6-45 |
| 5 肋片(散热片)     | 6-45 |
| 5.1 肋化的目的     | 6-45 |
| 5.2 肋壁的传热     | 6-45 |
| 5.3 肋片的选择     | 6-47 |
| 6 不稳定导热       | 6-48 |
| 6.1 大平壁       | 6-48 |
| 6.2 长圆柱体      | 6-49 |
| 6.3 球体        | 6-49 |
| 6.4 其他简单形状的物体 | 6-49 |

### 第 4 章 对 流 放 热

|                      |      |
|----------------------|------|
| 1 对流传热概说             | 6-51 |
| 1.1 影响对流传热的因素        | 6-51 |
| 1.2 对流传热的计算          | 6-51 |
| 1.3 对流传热的强化          | 6-52 |
| 2 强制对流传热             | 6-53 |
| 2.1 强制对流的放热计算        | 6-53 |
| 2.2 气体、水、水蒸汽和油类的热性质表 | 6-58 |
| 3 自然对流传热             | 6-62 |
| 3.1 大空间自然对流传热        | 6-62 |
| 3.2 有限空间自然对流传热       | 6-65 |
| 4 凝结放热               | 6-65 |
| 5 沸腾放热               | 6-67 |

### 第 5 章 辐 射 换 热

|              |      |
|--------------|------|
| 1 物体的辐射性质    | 6-68 |
| 2 固体表面间的辐射换热 | 6-68 |
| 3 遮热板        | 6-76 |
| 4 气体辐射       | 6-76 |

**第6章 传热与表面式换热器热计算**

- 1 传热过程 .....6-78
  - 1.1 传热系数 .....6-78
  - 1.2 平均温差 .....6-78
  - 1.3 传热过程的强化 .....6-82
- 2 表面式换热器的热计算 .....6-82
  - 2.1 平均温差法 .....6-83
  - 2.2 传热单元数法 .....6-83
  - 2.3 污垢热阻 .....6-85
  - 2.4 传热系数的大致范围 .....6-86

**第7章 燃料与燃烧基本概念**

- 1 燃 料 .....6-87
  - 1.1 燃料的成分 .....6-87
  - 1.2 发热量 .....6-88

- 1.3 燃料特性 .....6-89
- 2 燃烧计算 .....6-97
  - 2.1 理论空气量 .....6-97
  - 2.2 烟气的容积 .....6-97
  - 2.3 燃料特性系数和理论最大  $RO_2$  值 .....6-97
  - 2.4 由烟气分析结果计算过剩空气系数 .....6-98
  - 2.5 理论燃烧温度 .....6-98
- 3 燃烧基本概念 .....6-98
  - 3.1 燃烧过程中的主要化学规律 .....6-98
  - 3.2 燃料的着火 .....6-99
  - 3.3 气体燃料的燃烧 .....6-101
  - 3.4 液体燃料的燃烧 .....6-103
  - 3.5 固体燃料的燃烧 .....6-104
  - 3.6 点火和火焰稳定 .....6-105
- 参考文献 .....6-106

**第7篇 电工基础与工业电子学****常用符号****第1章 电和磁的基本量和基本定律**

- 1 电和磁的基本量 .....7-1
  - 1.1 电场和电场强度 .....7-1
  - 1.2 电位、电压和电动势 .....7-1
  - 1.3 电流强度和电流密度 .....7-1
  - 1.4 电功和电功率 .....7-1
  - 1.5 击穿电压和击穿强度 .....7-2
  - 1.6 磁场、磁感应强度、磁通量和磁链 .....7-2
  - 1.7 磁导率和磁场强度 .....7-2
  - 1.8 磁动势、磁压、磁阻和磁导 .....7-2
- 2 电路参数 .....7-3
  - 2.1 电阻和电导 .....7-3
  - 2.2 电感 .....7-3
  - 2.3 电容 .....7-5
  - 2.4 单一元件的伏安关系及电压、电流正方向的规定 .....7-5
- 3 电和磁的基本定律 .....7-7
  - 3.1 右手螺旋定则 .....7-7
  - 3.2 安培定律-电磁力 .....7-7

- 3.3 电磁感应定律 .....7-7
- 3.4 全电流定律 .....7-8
- 3.5 焦耳-楞次定律 .....7-8
- 3.6 欧姆定律 .....7-8
- 3.7 基尔霍夫定律 .....7-8

**章2章 正弦交流电路**

- 1 正弦交流电 .....7-9
  - 1.1 周期、频率和角频率 .....7-9
  - 1.2 相位(相角)和相位差(相角位) .....7-10
  - 1.3 有效值 .....7-10
  - 1.4 平均值 .....7-10
- 2 正弦量的表示法 .....7-10
  - 2.1 旋转矢量表示法 .....7-10
  - 2.2 复数符号法 .....7-11
- 3 纯电阻、纯电感与纯电容的  
交流电路 .....7-11
- 4 电阻、电感、电容串联和并联的  
交流电路 .....7-11
- 5 功率和功率因数 .....7-11
- 6 三相正弦交流电路 .....7-16
  - 6.1 三相电源的联接 .....7-16

## XII 目 录

|                   |      |
|-------------------|------|
| 6.2 三相负载的联接 ..... | 7-16 |
|-------------------|------|

### 第3章 电路计算方法

|                                  |      |
|----------------------------------|------|
| 1 支路电流法 .....                    | 7-16 |
| 2 回路电流法 .....                    | 7-16 |
| 3 节点电位法 .....                    | 7-17 |
| 4 叠加原理 .....                     | 7-18 |
| 5 等效电源定理 .....                   | 7-18 |
| 5.1 电流源和电压源 .....                | 7-18 |
| 5.2 等效电源定理 .....                 | 7-18 |
| 5.3 电压源和电流源的互换 .....             | 7-19 |
| 6 星形网络和三角形网络的<br>等效互换 .....      | 7-19 |
| 7 四端网络(双口网络) .....               | 7-19 |
| 7.1 无源四端网络的 $Y$ 方程和 $Y$ 参数 ..... | 7-20 |
| 7.2 无源四端网络的 $H$ 方程和 $H$ 参数 ..... | 7-21 |
| 7.3 含源四端网络 .....                 | 7-21 |
| 8 非线性电阻电路 .....                  | 7-22 |
| 8.1 非线性电阻的伏安特性 .....             | 7-22 |
| 8.2 非线性电阻电路的计算方法 .....           | 7-22 |

### 第4章 非正弦交流电路

|                                |      |
|--------------------------------|------|
| 1 非正弦周期量的谐波分析 .....            | 7-23 |
| 1.1 非正弦周期量展开为傅里叶级数 .....       | 7-23 |
| 1.2 幅度频谱和相位频谱 .....            | 7-24 |
| 1.3 谐波分量对波形的影响 .....           | 7-24 |
| 2 谐波分析实例 .....                 | 7-24 |
| 2.1 几种常见波形的谐波分析 .....          | 7-24 |
| 2.2 周期矩形脉冲的频谱 .....            | 7-24 |
| 3 非正弦周期量的有效值和平均值 .....         | 7-26 |
| 4 波形因数、波顶因数和畸变因数 .....         | 7-26 |
| 5 非正弦交流电路的计算 .....             | 7-27 |
| 6 非正弦交流电路的有功功率和<br>等效正弦量 ..... | 7-28 |
| 6.1 有功功率 .....                 | 7-28 |
| 6.2 等效正弦量 .....                | 7-28 |

### 第5章 RC 和 RLC 电路对 正弦激励的频率响应

|                    |      |
|--------------------|------|
| 1 RC 电路的频率特性 ..... | 7-28 |
|--------------------|------|

|                                    |      |
|------------------------------------|------|
| 1.1 RC 电路频率特性的物理概念和<br>数字表达式 ..... | 7-28 |
| 1.2 几种 RC 电路的频率特性 .....            | 7-2  |
| 2 RLC 串联电路的正弦响应——<br>串联谐振 .....    | 7-30 |
| 2.1 电路的响应特性 .....                  | 7-30 |
| 2.2 串联谐振及其主要特点 .....               | 7-31 |
| 2.3 品质因数和通频带 .....                 | 7-31 |
| 3 RL 和 C 并联电路的正弦响应——<br>并联谐振 ..... | 7-31 |
| 3.1 电路的响应特性 .....                  | 7-31 |
| 3.2 并联谐振及其主要特点 .....               | 7-32 |
| 3.3 调节并联谐振电路阻抗的方法 .....            | 7-32 |
| 4 耦合谐振电路的正弦响应 .....                | 7-33 |

### 第6章 RC 和 RL 电路对阶跃和 冲激信号的时间响应

|                                  |      |
|----------------------------------|------|
| 1 阶跃信号和冲激信号 .....                | 7-34 |
| 2 RC 和 RL 电路对阶跃信号的时间<br>响应 ..... | 7-35 |
| 2.1 开闭定律 .....                   | 7-35 |
| 2.2 单一元件对阶跃信号的时间响应 .....         | 7-37 |
| 2.3 RC 电路对阶跃信号的时间响应 .....        | 7-37 |
| 2.4 RL 电路对阶跃信号的时间响应 .....        | 7-38 |
| 3 RC 和 RL 电路对冲激信号的时间<br>响应 ..... | 7-38 |
| 3.1 单一元件对冲激信号的时间响应 .....         | 7-38 |
| 3.2 RC 电路对冲激信号的时间响应 .....        | 7-38 |
| 3.3 RL 电路对冲激信号的时间响应 .....        | 7-41 |
| 4 RLC 电路对冲激信号的时间响<br>应 .....     | 7-41 |
| 4.1 RLC 串联电路对冲激信号的时间响<br>应 ..... | 7-41 |
| 4.2 RLC 并联电路对冲激信号的时间响<br>应 ..... | 7-42 |
| 5 RC 电路对矩形脉冲信号的时间响<br>应 .....    | 7-42 |
| 5.1 RC 微分电路——杜阿密尔积分的应<br>用 ..... | 7-42 |
| 5.2 RC 积分电路——褶积积分的应用 .....       | 7-44 |



|                         |      |
|-------------------------|------|
| 5.3 RC 电路的拉氏变换分析法 ..... | 7-45 |
|-------------------------|------|

## 第 7 章 磁路和铁心线圈电路

|                           |      |
|---------------------------|------|
| 1 磁性材料的基本磁性能 .....        | 7-46 |
| 1.1 磁化曲线 .....            | 7-46 |
| 1.2 磁滞回线 .....            | 7-46 |
| 1.3 磁滞损耗和涡流损耗 .....       | 7-46 |
| 1.4 磁性材料的分类和主要用途 .....    | 7-47 |
| 2 磁路和磁路定律 .....           | 7-48 |
| 2.1 磁路的组成 .....           | 7-48 |
| 2.2 磁路的欧姆定律 .....         | 7-48 |
| 2.3 磁路的基尔霍夫定律 .....       | 7-48 |
| 3 直流磁路的计算 .....           | 7-48 |
| 3.1 已知磁通求磁动势计算步骤 .....    | 7-48 |
| 3.2 已知磁动势求磁通 .....        | 7-48 |
| 4 直流电磁铁 .....             | 7-48 |
| 4.1 直流电磁铁的吸力计算 .....      | 7-48 |
| 4.2 直流电磁铁的特点 .....        | 7-49 |
| 5 交流铁心线圈电路 .....          | 7-49 |
| 5.1 电压平衡方程式 .....         | 7-49 |
| 5.2 等效电路 .....            | 7-50 |
| 6 交流电磁铁 .....             | 7-51 |
| 6.1 交流电磁铁的吸力计算 .....      | 7-51 |
| 6.2 电磁铁铁心截面的计算 .....      | 7-51 |
| 6.3 电磁铁线圈匝数和励磁电流的计算 ..... | 7-51 |
| 6.4 交流电磁铁的特点 .....        | 7-51 |
| 7 变压器的基本原理 .....          | 7-51 |

## 第 8 章 常用半导体器件

|                     |      |
|---------------------|------|
| 1 P-N 结 .....       | 7-52 |
| 2 晶体二极管 .....       | 7-53 |
| 2.1 伏安特性 .....      | 7-53 |
| 2.2 主要参数 .....      | 7-54 |
| 3 稳压二极管 .....       | 7-54 |
| 4 发光二极管和光敏二极管 ..... | 7-55 |
| 5 双极型晶体管 .....      | 7-56 |
| 5.1 结构和电流放大作用 ..... | 7-56 |
| 5.2 特性曲线 .....      | 7-56 |
| 5.3 常用参数 .....      | 7-57 |
| 5.4 开关参数 .....      | 7-58 |
| 6 场效应晶体管 .....      | 7-58 |

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 6.1 结型场效应管的结构和原理 .....     | 7-58 |
| 6.2 MOS 型场效应管的结构和原理 .....  | 7-60 |
| 6.3 主要参数 .....             | 7-60 |
| 6.4 特性曲线 .....             | 7-60 |
| 6.5 场效应管使用注意事项 .....       | 7-61 |
| 7 单晶体管 .....               | 7-61 |
| 7.1 工作原理和伏安特性 .....        | 7-61 |
| 7.2 主要参数 .....             | 7-62 |
| 8 硅晶体闸流管 .....             | 7-62 |
| 8.1 普通硅晶闸管结构、原理及伏安特性 ..... | 7-62 |
| 8.2 普通硅晶闸管主要参数 .....       | 7-63 |
| 8.3 特殊硅晶闸管 .....           | 7-63 |

## 第 9 章 低频放大器

|                              |      |
|------------------------------|------|
| 1 放大器的三种组态及其基本<br>工作原理 ..... | 7-64 |
| 1.1 三种组态 .....               | 7-64 |
| 1.2 单级交流放大器基本工作原理 .....      | 7-64 |
| 2 交流放大器的主要指标 .....           | 7-65 |
| 2.1 放大倍数 .....               | 7-65 |
| 2.2 非线性失真系数 .....            | 7-65 |
| 2.3 频率特性 .....               | 7-65 |
| 2.4 输入电阻和输出电阻 .....          | 7-65 |
| 3 晶体管的微变等效电路 .....           | 7-65 |
| 3.1 T 型等效电路 .....            | 7-65 |
| 3.2 $h$ 参数等效电路 .....         | 7-66 |
| 3.3 场效应管微变等效电路 .....         | 7-67 |
| 4 偏置与稳定 .....                | 7-67 |
| 4.1 静态工作点对放大器工作的影响 .....     | 7-67 |
| 4.2 稳定系数 $S$ .....           | 7-67 |
| 4.3 常用偏置电路 .....             | 7-67 |
| 4.4 场效应管偏置电路 .....           | 7-69 |
| 5 低频放大器分析方法 .....            | 7-70 |
| 5.1 图解法 .....                | 7-70 |
| 5.2 等效电路计算法 .....            | 7-71 |
| 6 多级放大器 .....                | 7-72 |
| 6.1 级间耦合方式 .....             | 7-72 |
| 6.2 分析方法 .....               | 7-72 |
| 6.3 电路安排原则 .....             | 7-74 |
| 6.4 自激的产生和消除 .....           | 7-74 |
| 7 负反馈 .....                  | 7-74 |

## XIV 目 录

|                        |      |
|------------------------|------|
| 7.1 反馈的基本概念 .....      | 7-74 |
| 7.2 负反馈的四种类型 .....     | 7-75 |
| 7.3 负反馈对放大器性能的影响 ..... | 7-75 |
| 7.4 几种典型的反馈放大器电路 ..... | 7-77 |
| 7.5 反馈放大器分析 .....      | 7-78 |
| 7.6 射极输出器 .....        | 7-79 |
| 8 功率放大器 .....          | 7-80 |
| 8.1 变压器耦合的功率放大器 .....  | 7-80 |
| 8.2 无变压器耦合功率放大器 .....  | 7-81 |
| 8.3 集成功率放大器 .....      | 7-83 |
| 9 选频放大器 .....          | 7-83 |
| 9.1 选频放大器的主要指标 .....   | 7-83 |
| 9.2 选频放大器电路 .....      | 7-84 |

## 第10章 直流放大器

|                       |      |
|-----------------------|------|
| 1 零点漂移 .....          | 7-86 |
| 1.1 零点漂移的产生 .....     | 7-86 |
| 1.2 零点漂移的克服 .....     | 7-86 |
| 1.3 衡量漂移的指标 .....     | 7-86 |
| 2 差动放大器 .....         | 7-86 |
| 2.1 工作原理 .....        | 7-86 |
| 2.2 共模抑制比 .....       | 7-87 |
| 2.3 具有恒流源的差动放大器 ..... | 7-87 |
| 2.4 差动放大器的几种接法 .....  | 7-87 |
| 2.5 差动放大器的调零 .....    | 7-87 |
| 3 调制型直流放大器 .....      | 7-89 |
| 3.1 工作原理 .....        | 7-89 |
| 3.2 调制器 .....         | 7-90 |
| 3.3 解调器 .....         | 7-90 |

## 第11章 集成运算放大器

|                          |      |
|--------------------------|------|
| 1 集成运算放大器简介 .....        | 7-91 |
| 2 集成运算放大器主要参数 .....      | 7-92 |
| 3 集成运算放大器的等效电路及符号 .....  | 7-93 |
| 4 集成运算放大器的反馈特性 .....     | 7-93 |
| 5 集成运算放大器组成的模拟运算电路 ..... | 7-93 |
| 5.1 比例放大器 .....          | 7-93 |
| 5.2 加法器 .....            | 7-95 |
| 5.3 减法器 .....            | 7-95 |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| 5.4 积分器 .....                | 7-96 |
| 5.5 微分器 .....                | 7-96 |
| 5.6 对数放大器和反对数放大器 .....       | 7-96 |
| 6 比例-积分-微分器 (PID 放大器) .....  | 7-96 |
| 6.1 比例积分器 .....              | 7-96 |
| 6.2 比例微分器 .....              | 7-97 |
| 6.3 PID 放大器 .....            | 7-97 |
| 7 集成运算放大器在调制型直流放大器中的应用 ..... | 7-97 |
| 7.1 单通道式 .....               | 7-97 |
| 7.2 双通道式 .....               | 7-97 |
| 8 运算放大器用于有源滤波器 .....         | 7-98 |
| 9 集成运算放大器应用中的几个问题 .....      | 7-98 |

## 第12章 正弦波振荡器

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 1 正弦波振荡器的原理和振荡条件 ..... | 7-99  |
| 1.1 工作原理 .....         | 7-99  |
| 1.2 振荡条件 .....         | 7-100 |
| 2 频率稳定度 .....          | 7-100 |
| 3 LC 正弦波振荡器 .....      | 7-100 |
| 3.1 变压器反馈振荡电路 .....    | 7-100 |
| 3.2 电感反馈振荡电路 .....     | 7-100 |
| 3.3 电容反馈振荡电路 .....     | 7-100 |
| 4 石英晶体振荡器 .....        | 7-102 |
| 4.1 石英晶体谐振器 .....      | 7-102 |
| 4.2 并联型石英晶体振荡器 .....   | 7-102 |
| 4.3 串联型石英晶体振荡器 .....   | 7-102 |
| 5 RC 正弦波振荡器 .....      | 7-103 |
| 5.1 RC 移相式振荡器 .....    | 7-103 |
| 5.2 文氏电桥振荡器 .....      | 7-103 |

## 第13章 晶体管脉冲电路

|                    |       |
|--------------------|-------|
| 1 脉冲的主要参数 .....    | 7-104 |
| 2 削波器与箝位器 .....    | 7-104 |
| 2.1 削波器(限幅器) ..... | 7-104 |
| 2.2 箝位器 .....      | 7-104 |
| 3 反相器 .....        | 7-107 |
| 4 双稳态触发器 .....     | 7-107 |
| 5 单稳态触发器 .....     | 7-107 |

- 6 无稳态触发器(多谐振荡器) .....7-109
- 7 施密脱触发器(射极耦合触发器)···7-109
- 8 脉冲功率放大器 .....7-110

## 第14章 半导体数字集成电路

- 1 基本逻辑门 .....7-111
- 2 高阈值逻辑(HTL)门电路 .....7-112
  - 2.1 电路结构和基本原理 .....7-112
  - 2.2 基本参数 .....7-113
  - 2.3 抗扰度 .....7-113
- 3 晶体管-晶体管逻辑(TTL)门电路 .....7-114
  - 3.1 电路的结构和基本原理 .....7-114
  - 3.2 基本参数和抗扰度 .....7-114
  - 3.3 TTL的“与”扩展器、“与或”扩展器和驱动器 .....7-115
- 4 PMOS 门电路 .....7-115
  - 4.1 PMOS “与非”门电路 .....7-115
  - 4.2 PMOS “或非”门电路 .....7-116
  - 4.3 PMOS 传送门 .....7-116
- 5 CMOS 门电路 .....7-116
  - 5.1 CMOS “与非”门电路 .....7-116
  - 5.2 CMOS “或非”门电路 .....7-116
  - 5.3 CMOS 传输门及模拟门 .....7-117
- 6 用“与非”门电路(或“或非”门电路)构成其他各种逻辑门电路 .....7-117
- 7 用“与非”门电路(或“或非”门电路)构成的触发器 .....7-117
  - 7.1 R-S 触发器 .....7-117
  - 7.2 时钟 R-S 触发器 .....7-118
  - 7.3 维持阻塞触发器 .....7-118
  - 7.4 主-从触发器 .....7-119
  - 7.5 准静态触发器 .....7-119
  - 7.6 用“与非”门电路构成的无稳态触发器 .....7-119
  - 7.7 用“与非”门电路构成单稳态触发器 .....7-119
  - 7.8 施密脱触发器 .....7-119
- 8 集成电路触发器 .....7-120
  - 8.1 D 触发器 .....7-121
  - 8.2 T 触发器 .....7-121
  - 8.3 J-K 触发器 .....7-121

- 8.4 集成电路触发器的相互转换 .....7-121
- 9 计数器 .....7-122
  - 9.1 二进制计数器 .....7-122
  - 9.2 N 进制计数器 .....7-123
  - 9.3 十进制计数器 .....7-123
- 10 移位寄存器 .....7-126
- 11 译码器 .....7-126
  - 11.1 二极管矩阵译码器 .....7-126
  - 11.2 集成电路译码器举例 .....7-126
  - 11.3 顺序脉冲分配器 .....7-127
- 12 数据选择器 .....7-127
- 13 数字-模拟转换器(D/A) .....7-128
- 14 HTL, TTL, MOS 集成电路间的电平转换 .....7-128
- 15 显示 .....7-128
  - 15.1 辉光数码管显示 .....7-128
  - 15.2 荧光数码管显示 .....7-128
- 16 半加器和半减器 .....7-129
- 17 全加器和全减器 .....7-129
  - 17.1 全加器 .....7-129
  - 17.2 全加减器 .....7-130
- 18 大规模集成电路(LSI) .....7-130
  - 18.1 半导体存储器 .....7-131
  - 18.2 逻辑电路 .....7-132
  - 18.3 微处理器 .....7-132
  - 18.4 微型计算机 .....7-134
  - 18.5 LSI 电路在机电工业中的应用 .....7-134

## 第15章 半导体整流和直流稳压电路

- 1 整流电路 .....7-134
  - 1.1 基本原理 .....7-134
  - 1.2 整流电路的基本电量关系 .....7-136
  - 1.3 各种整流电路的特点 .....7-136
- 2 滤波电路 .....7-138
  - 2.1 基本原理 .....7-140
  - 2.2 各种滤波电路的特点 .....7-140
- 3 半导体直流稳压电路 .....7-141
  - 3.1 稳压电路的主要性能参数 .....7-141
  - 3.2 稳压管稳压电路 .....7-141
  - 3.3 连续调整串联型稳压电路 .....7-142
  - 3.4 开关型稳压电路 .....7-146

**第16章 硅晶体闸流管电路**

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 1 可控整流的主电路 .....       | 7-147 |
| 1.1 单相桥式半控整流电路 .....   | 7-147 |
| 1.2 三相桥式全控整流电路 .....   | 7-147 |
| 1.3 电感对可控整流电路的影响 ..... | 7-152 |
| 1.4 反电势负载 .....        | 7-153 |
| 1.5 可控整流电路的逆变状态 .....  | 7-154 |
| 1.6 可逆整流电路 .....       | 7-155 |
| 2 硅晶闸管的触发电路 .....      | 7-155 |
| 2.1 阻容移相桥触发电路 .....    | 7-156 |
| 2.2 单结晶体管触发电路 .....    | 7-156 |
| 2.3 锯齿波移相控制的触发电路 ..... | 7-156 |
| 3 逆变器 .....            | 7-158 |
| 3.1 串联逆变器 .....        | 7-158 |

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 3.2 并联逆变器 .....       | 7-159 |
| 4 交流调压器 .....         | 7-160 |
| 4.1 单相交流调压器 .....     | 7-160 |
| 4.2 三相交流调压器 .....     | 7-161 |
| 5 无触点开关和直流斩波器 .....   | 7-161 |
| 5.1 单相交流无触点开关 .....   | 7-161 |
| 5.2 三相交流无触点开关 .....   | 7-161 |
| 5.3 直流无触点开关 .....     | 7-162 |
| 5.4 直流斩波器 .....       | 7-162 |
| 6 普通硅晶闸管的串并联和保护 ..... | 7-163 |
| 6.1 硅晶闸管的串联和均压 .....  | 7-163 |
| 6.2 硅晶闸管的并联和均流 .....  | 7-163 |
| 6.3 硅晶闸管的过电流保护 .....  | 7-163 |
| 6.4 硅晶闸管的过电压保护 .....  | 7-163 |
| 参考文献 .....            | 7-164 |

**第8篇 声 学**

## 常用符号

**章1章 声学基础**

|                         |      |
|-------------------------|------|
| 1 声波、声谱 .....           | 8-1  |
| 2 声 速 .....             | 8-2  |
| 2.1 气体的声速 .....         | 8-2  |
| 2.2 液体的声速 .....         | 8-2  |
| 2.3 固体的声速 .....         | 8-2  |
| 3 波动方程 .....            | 8-2  |
| 3.1 运动方程 .....          | 8-2  |
| 3.2 波动方程 .....          | 8-7  |
| 4 声学的某些量 .....          | 8-7  |
| 5 声波的反射和折射 .....        | 8-8  |
| 5.1 反射和折射定律 .....       | 8-8  |
| 5.2 三层介质的垂直入射情况 .....   | 8-8  |
| 5.3 两层介质斜入射时的波型变换 ..... | 8-9  |
| 5.4 面积突变时的垂直入射情况 .....  | 8-9  |
| 6 声波的干涉、声驻波 .....       | 8-10 |
| 6.1 声波的干涉 .....         | 8-10 |
| 6.2 声驻波 .....           | 8-10 |
| 7 声波的衍射、指向性、声全息 .....   | 8-11 |
| 7.1 声波的衍射 .....         | 8-11 |
| 7.2 声辐射器的指向特性 .....     | 8-11 |
| 7.3 声全息 .....           | 8-13 |

|                        |      |
|------------------------|------|
| 8 声波的衰减 .....          | 8-13 |
| 8.1 衰减系数 .....         | 8-13 |
| 8.2 流体介质中的声波吸收 .....   | 8-13 |
| 8.3 散射衰减 .....         | 8-14 |
| 8.4 流体和固体介质的衰减系数 ..... | 8-14 |
| 9 多普勒效应 .....          | 8-17 |

**第2章 超声及其应用**

|                        |      |
|------------------------|------|
| 1 超声电源(超声发生器) .....    | 8-18 |
| 2 磁致伸缩换能器 .....        | 8-18 |
| 2.1 磁致伸缩效应 .....       | 8-18 |
| 2.2 磁致伸缩换能器的振动模式 ..... | 8-19 |
| 2.3 磁致伸缩材料 .....       | 8-19 |
| 3 压电换能器 .....          | 8-20 |
| 3.1 压电效应 .....         | 8-20 |
| 3.2 压电参数 .....         | 8-20 |
| 3.3 压电方程 .....         | 8-20 |
| 3.4 压电体振动模的计算 .....    | 8-20 |
| 3.5 压电材料 .....         | 8-20 |
| 4 变幅杆 .....            | 8-28 |
| 4.1 变幅杆的作用 .....       | 8-28 |
| 4.2 变幅杆的主要参数 .....     | 8-28 |
| 4.3 单一型常用变幅杆 .....     | 8-28 |
| 4.4 变幅杆材料 .....        | 8-28 |