

● SHIYONG DIANLU SHOUCE

# 实用电路手册

杨宝清 宋文贵 主编



机械工业出版社  
China Machine Press

# 实 用 电 路 手 册

杨宝清 宋文贵 主编



机 械 工 业 出 版 社

本手册全面系统地介绍了各类实用电路,既有基本理论知识,又有电路结构、工作原理和使用、维修知识。内容丰富、应用面广、适用性强。全书共分为十三章:第一章介绍电路理论基础;第二至第六章介绍电源、振荡、放大、变换处理、数字电路等基本电路知识;第七至第十三章介绍单片机、电气传动、电参数测量、照明、非电量监测、家用电器、数控机床等实用电路。

本手册适于电路设计和维护人员以及有关专业的工程技术人员和高等院校师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

实用电路手册/杨宝清,宋文贵主编. —北京:机械工业出版社,2002.5  
ISBN 7-111-09828-5

I. 实… II. ①杨…②宋… III. 电路-技术手册  
IV. TM13-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 002916 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
责任编辑:高金生 版式设计:霍永明 责任校对:张 佳 韩 晶  
封面设计:陈 沛 责任印制:付方敏  
北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行  
2002 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷  
787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·46.75 印张·2 插页·1609 千字  
0 001—4 000 册  
定价:76.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527  
封面无防伪标均为盗版

**主编：**杨宝清 宋文贵

**主审：**田大超

**编审委员会委员**(以姓氏笔划为序)：

王 丹 田大超 刘凤春 李 平 宋文贵 杨宝清  
张继和 赵永成

**参加编写人员**(以章为序)：

刘凤春 刘 娆 刘蕴红 黄 彬 王丽颖 王 丹  
李 平 张继和 丁镇生 孙 国 潘晓萍 赵永成  
冯锡洲 李方训

# 前 言

随着科学技术的发展,电路技术日益显示出其重要作用。工农业生产、科学研究、商贸金融、社会管理乃至人们的日常生活等都离不开电路技术。机械、材料、信息、微电子、生物、能源、测控、仪器仪表、航天、海洋等几乎所有的学科和技术领域都与电路技术密切关联。因此,掌握一定的实用电路知识,不仅是电专业人员的需要,而且是几乎所有专业人员和使用者的需要。为此,我们组织编写了《实用电路手册》一书,供广大科学工作者、工程技术人员、高等院校师生及有关人员学习参考。

《实用电路手册》系统地阐述了电路理论基础,电源电路、振荡电路、放大电路、变换处理电路、数字电路、单片机电路、传动电路、电量测量电路、非电量监测电路、机床电路和照明电路等实用电路的原理、使用及维护问题。本手册内容丰富,应用面广,适用性强;既有基本理论,又有电路的工作原理和使用、维修知识;本手册体现了电子技术和电气技术、弱电技术和强电技术在实际应用中的有机结合。《手册》中所采用的概念、名词术语、电工图形符号、文字符号均采用最新国家标准。《手册》力图以工具书的形式,使读者能够达到既使用方便,又简明实用的目的。

本手册由杨宝清、宋文贵主编。全书由田大超教授主审。参加编写的人员(以章为序)有:刘凤春(第一章)、刘尧(第二章)、刘蕴红(第三章)、黄彬(第四章)、王丽颖(第五章)、王丹(第六、十、十二章)、李平(第七章)、张继和(第八章)、丁镇生(第九章)、孙国、潘晓萍(第十章)、赵永成、冯锡洲、李方训(第十三章)。另外,丁彦闯、贾世锋、张庆平、田徽、刘英明、娜日等同志也参加《手册》部分的编写和整理工作。

本手册在编写过程中得到了作者单位的大力支持和帮助,一些专家学者提出了宝贵的意见和建议,在此一并表示感谢。

由于本手册涉及的知识内容广泛,而我们的水平有限,经验不足,调研不够全面,错误和不当之处在所难免,恳切希望广大读者批评指正。

《实用电路手册》编审委员会

# 目 录

前言

## 第一章 理论基础 ..... 1

### 第一节 名词术语与标准 ..... 1

一、名词术语 ..... 1

二、常用单位与换算 ..... 5

三、电气图用图形符号及文字符号 ..... 9

### 第二节 电路理论 ..... 17

一、电路分析基础 ..... 17

二、线性动态电路(暂态分析) ..... 24

三、二端口网络 ..... 25

四、网络图论和矩阵分析法 ..... 27

五、非线性电阻电路 ..... 28

### 第三节 电子电路基础 ..... 30

一、直流稳压电源电路 ..... 30

二、放大电路基础 ..... 33

三、数字电路基础 ..... 47

四、数模与模数转换 ..... 55

五、频率合成 ..... 55

### 第四节 电路元器件 ..... 56

一、电阻元件 ..... 56

二、电容元件 ..... 59

三、电感元件 ..... 61

四、半导体器件 ..... 63

### 第五节 电路图阅读方法 ..... 68

参考文献 ..... 69

## 第二章 电源电路 ..... 70

### 第一节 直流电源电路 ..... 70

一、整流电路及其使用与维护 ..... 70

二、直流线性稳压电源电路及其故障分析 ..... 79

三、线性集成稳压电源电路及其使用与维护 ..... 90

四、开关型直流稳压电源电路及其使用与维护 ..... 111

五、直流稳流电源电路及其使用 ..... 128

### 第二节 交流电源电路 ..... 147

一、小型移动式交流电源电路及其维护 ..... 147

二、交流稳压电源电路及其使用与维护 ..... 150

三、逆变电源电路及其使用与维护 ..... 155

四、变频电源电路及其使用与维护 ..... 162

### 第三节 特种电源电路 ..... 167

一、UPS 电源电路及其使用与维护 ..... 167

二、充电器电路及其使用与维护 ..... 174

三、高压电源电路 ..... 179

四、数字控制型和微机控制型电源电路 ..... 184

参考文献 ..... 188

## 第三章 振荡电路 ..... 189

### 第一节 正弦波振荡电路 ..... 189

一、LC 正弦波振荡电路 ..... 189

二、RC 正弦波振荡电路 ..... 192

三、石英晶体振荡电路 ..... 196

四、正弦波振荡电路的故障分析 ..... 198

五、石英晶体的使用注意事项 ..... 199

### 第二节 非正弦波振荡电路 ..... 199

一、自激多谐振荡电路及故障分析 ..... 199

二、间歇振荡电路及其使用与维修时应注意的问题 ..... 205

三、负阻振荡电路及故障分析 ..... 206

四、函数波形发生电路及其检测与维护 ..... 208

五、特种波形发生电路及其使用 ..... 211

### 第三节 其他振荡电路 ..... 213

一、专用集成电路组成的振荡电路及维修 ..... 213

二、压控振荡电路及其使用 ..... 216

三、频率合成电路及使用 ..... 219

### 第四节 振荡电路的实际应用 ..... 228

一、在计量和检测技术中的应用 ..... 228

二、日常生活及工农业领域中的应用 ..... 231

三、医疗领域中的应用 ..... 235

四、无线电中的应用 ..... 237

### 第五节 振荡电路设计及检测时应注意的问题 ..... 239

一、振荡电路设计时应注意的问题 ..... 239

二、振荡电路检测与调整时应注意的问题 ..... 241

## 第四章 放大电路 ..... 242

|                          |     |                           |     |
|--------------------------|-----|---------------------------|-----|
| 第一节 放大电路基础理论 .....       | 242 | 第四节 箝位、比较、定时电路 .....      | 302 |
| 一、多级放大电路 .....           | 242 | 一、箝位电路及其使用 .....          | 302 |
| 二、负反馈放大电路 .....          | 246 | 二、比较电路及其使用 .....          | 307 |
| 第二节 集成运算放大器 .....        | 249 | 三、定时电路及其使用 .....          | 314 |
| 一、集成运放的符号、组成及主要参数 .....  | 249 | 第五节 调制、解调电路 .....         | 317 |
| 二、集成运放的电路构成 .....        | 250 | 一、振幅调制、检波电路及其使用 .....     | 317 |
| 三、集成放大器电路实例 .....        | 253 | 二、角度调制与解调电路及其使用 .....     | 323 |
| 四、各种专用放大器的特点 .....       | 253 | 第六节 有源滤波电路 .....          | 328 |
| 第三节 集成运放的应用 .....        | 254 | 一、滤波电路及其特点 .....          | 328 |
| 一、基本运算电路 .....           | 254 | 二、各类滤波电路 .....            | 329 |
| 二、信号处理电路 .....           | 256 | 参考文献 .....                | 334 |
| 三、信号发生电路 .....           | 260 | <b>第六章 数字电路</b> .....     | 336 |
| 第四节 放大电路的调试及故障诊断 .....   | 263 | 第一节 编码、译码电路及其应用 .....     | 336 |
| 一、放大电路的调试 .....          | 263 | 一、编码与编码器电路 .....          | 336 |
| 二、调试中的常见故障及相应措施 .....    | 264 | 二、译码和译码器电路 .....          | 340 |
| 第五节 测量系统常用放大电路 .....     | 266 | 三、应用电路 .....              | 341 |
| 一、测量放大器电路原理、             |     | 第二节 数据选择器、数据分配器和模拟        |     |
| 使用及故障诊断 .....            | 266 | 开关及应用电路 .....             | 352 |
| 二、电桥放大器电路原理、             |     | 一、数据选择器和数据分配器 .....       | 352 |
| 使用及故障诊断 .....            | 269 | 二、模拟开关 .....              | 352 |
| 三、隔离放大器原理、使用及故障诊断 .....  | 271 | 三、应用电路 .....              | 353 |
| 参考文献 .....               | 273 | 第三节 计数与运算电路 .....         | 358 |
| <b>第五章 变换处理电路</b> .....  | 274 | 一、计数器 .....               | 358 |
| 第一节 电压与电流之间的线性变换电路 ..... | 274 | 二、运算电路 .....              | 359 |
| 一、电压/电流变换电路及其使用 .....    | 274 | 三、计数器应用电路设计的一般方法 .....    | 359 |
| 二、电流/电压变换电路及其使用 .....    | 277 | 四、应用电路 .....              | 360 |
| 第二节 电压/频率变换电路 .....      | 279 | 第四节 数字信号的长线传输电路 .....     | 374 |
| 一、简单的电压/频率变换             |     | 一、长线传输的几个问题 .....         | 374 |
| 电路及其使用 .....             | 279 | 二、线电路的两种基本类型 .....        | 376 |
| 二、恢复式电压/频率变换             |     | 三、应用电路 .....              | 376 |
| 电路及其使用 .....             | 280 | 第五节 可编程逻辑器件(PLD)的         |     |
| 三、电荷恢复式电压/频率变换           |     | 开发应用 .....                | 383 |
| 电路及其使用 .....             | 282 | 一、PLD 可编程逻辑器件的            |     |
| 四、反馈式电压/频率变换             |     | 基本结构和工作原理 .....           | 383 |
| 电路及其使用 .....             | 284 | 二、可编程逻辑器件的应用设计 .....      | 390 |
| 五、集成化电压/频率变换电路 .....     | 285 | 参考文献 .....                | 397 |
| 第三节 模拟运算电路 .....         | 286 | <b>第七章 单片机电路</b> .....    | 398 |
| 一、加减法运算电路及其使用 .....      | 286 | 第一节 单片机内部逻辑电路及外部引脚 .....  | 398 |
| 二、模拟乘除法运算电路及其使用 .....    | 288 | 一、8051 单片机内部逻辑电路及引脚 ..... | 398 |
| 三、模拟积分运算电路及其使用与维护 .....  | 294 | 二、AT89C51 单片机内部           |     |
| 四、模拟微分运算电路及其使用 .....     | 296 | 逻辑电路及引脚 .....             | 399 |
| 五、比例积分、比例微分和比例微积分        |     | 三、AT89C2051 单片机内部逻辑       |     |
| 运算电路及其使用 .....           | 297 | 电路及引脚 .....               | 400 |
| 六、对数和指数运算电路及其使用 .....    | 298 | 四、PIC16C71 单片机内部逻辑        |     |
| 七、绝对值运算电路及其使用 .....      | 301 | 电路及引脚 .....               | 401 |

|                                      |     |                                                            |     |
|--------------------------------------|-----|------------------------------------------------------------|-----|
| 第二节 单片机应用电路 .....                    | 402 | 第一节 电压测量电路 .....                                           | 559 |
| 一、电话自动计费电路 .....                     | 402 | 一、由 ICL7106 组成的 $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表基本电路及使用与维修 .....      | 459 |
| 二、智能电能测量电路 .....                     | 404 | 二、由 ICL7107 构成的 $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表电路及使用与维修 .....        | 460 |
| 三、电子配料秤电路 .....                      | 406 | 三、由 MC14433 构成的 $3\frac{1}{2}$ 位 LED 显示数字电压表电路及使用与维修 ..... | 462 |
| 四、压力测控电路 .....                       | 408 | 四、由 ICL7135 构成的 $4\frac{1}{2}$ 位数字电压表电路及使用 .....           | 465 |
| 五、温度控制电路 .....                       | 411 | 五、ICL7129 构成的 $4\frac{1}{2}$ 位数字电压表电路及使用与维修 .....          | 467 |
| 六、数字式温度计电路 .....                     | 414 | 六、ICL7139 构成的 $3\frac{3}{4}$ 位自动量程数字多用表电路及使用与维修 .....      | 470 |
| 七、电子时钟电路 .....                       | 414 | 七、数字电压/数字多用测量电路的调试 .....                                   | 473 |
| 八、步进电动机驱动的单片机控制电路 ..                 | 416 | 八、数字电压/数字多用测量电路维修 .....                                    | 477 |
| 九、四通道数字电压表电路 .....                   | 419 | 九、数字多用表高频电压测量探头电路 ..                                       | 481 |
| 参考文献 .....                           | 419 | 十、有效值电压测量电路 .....                                          | 482 |
| <b>第八章 电气传动电路</b> .....              | 420 | 十一、真有效值数字电压表基本电路及使用与维修 .....                               | 483 |
| 第一节 三相异步电动机的基本知识 .....               | 420 | 十二、袖珍式多量程有效值数字电压测量电路及使用与维修 .....                           | 485 |
| 第二节 三相异步电动机典型控制线路 .....              | 421 | 第二节 电流测量电路 .....                                           | 486 |
| 一、具有正反向点动功能的正反转控制线路 .....            | 421 | 一、微电流表电路及使用与维护 .....                                       | 486 |
| 二、工作台自动往复控制线路 .....                  | 422 | 二、使用注意事项 .....                                             | 486 |
| 三、三相异步电动机 Y- $\Delta$ 换接起动控制线路 ..... | 422 | 三、多量程微电流表电路及使用与维修 ..                                       | 486 |
| 四、具有双向延时停留的自动往复运动控制线路 .....          | 422 | 四、纳安(nA)电流电路 .....                                         | 487 |
| 五、横梁自动升降控制线路 .....                   | 423 | 五、皮安(pA)电流测量电路(1)及使用与维修 .....                              | 487 |
| 六、具有双向反接制动功能的控制线路 ..                 | 424 | 六、皮安(pA)电流测量电路(2) .....                                    | 487 |
| 第三节 三相异步电动机实用控制线路 .....              | 425 | 第三节 电阻测量电路 .....                                           | 487 |
| 一、C650 普通车床继电器接触电气控制线路 .....         | 425 | 一、线性欧姆表电路及使用与维修 .....                                      | 487 |
| 二、C650 普通车床的可编程序控制器(PLC)控制系统 .....   | 428 | 二、线性刻度的电阻测量电路 .....                                        | 488 |
| 三、T68 镗床继电器接触控制电气原理线路 .....          | 431 | 三、线性电阻表电路 .....                                            | 488 |
| 四、T68 普通镗床的 PLC 控制系统 .....           | 434 | 四、低阻欧姆表电路及使用与维修 .....                                      | 489 |
| 五、Z3040 摇臂钻床电气控制线路 .....             | 437 | 五、低阻数字欧姆表电路 .....                                          | 490 |
| 六、Z3040 摇臂钻床的 PLC 控制系统 .....         | 440 | 六、具有 A/D 的高阻测量电路及使用与维修 .....                               | 490 |
| 七、X52K 立式铣床电气控制线路 .....              | 441 | 七、间接测量超高阻值——数字电导表电路 .....                                  | 491 |
| 八、X52K 立式铣床的 PLC 控制系统 .....          | 446 | 八、绝缘电阻测试电路 .....                                           | 492 |
| 九、YG3780 型分度蜗轮滚齿机电气控制线路原理与维修 .....   | 448 |                                                            |     |
| 十、YG3780 型分度蜗轮滚齿机 PLC 控制系统 .....     | 450 |                                                            |     |
| 十一、MG7125 高精度磨床电气控制原理、维护及应用 .....    | 451 |                                                            |     |
| 十二、MG7125 高精度磨床 PLC 控制系统 .....       | 452 |                                                            |     |
| <b>第九章 电参数测量电路</b> .....             | 459 |                                                            |     |

|                                         |     |                                 |     |
|-----------------------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| 九、在线电阻测量电路 .....                        | 493 | 第三节 舞厅、舞台装饰灯电路与<br>广告照明电路 ..... | 559 |
| 十、具有 A/D 芯片的在线电阻<br>测量电路 .....          | 493 | 一、舞厅装饰灯电路 .....                 | 559 |
| 第四节 电容测量电路 .....                        | 494 | 二、舞台照明电路 .....                  | 562 |
| 一、三位数字电容表电路及<br>使用与维修 .....             | 494 | 三、广告照明电路 .....                  | 564 |
| 二、数字电容测量电路 .....                        | 496 | 参考文献 .....                      | 572 |
| 三、小容量电容测试电路及使用 .....                    | 497 | <b>第十一章 非电量监测电路</b> .....       | 573 |
| 四、线性电容/电压转换电路 .....                     | 498 | 第一节 湿度监测电路 .....                | 573 |
| 五、容抗法测量电容的数字显示电路 .....                  | 499 | 一、典型湿度监测电路 .....                | 573 |
| 六、大容量电容测试电路 .....                       | 501 | 二、其他湿度监测电路 .....                | 575 |
| 第五节 电感测量电路 .....                        | 502 | 第二节 气体监测电路 .....                | 580 |
| 一、电感测量电路及使用与维修 .....                    | 502 | 一、燃气体监测、报警电路 .....              | 581 |
| 二、马克斯韦尔(MaxWell)电桥电路 .....              | 503 | 二、酒精气体监测电路 .....                | 584 |
| 三、测量电感的四种电桥电路 .....                     | 504 | 三、烟雾检测电路 .....                  | 586 |
| 四、测量互感的三种电路 .....                       | 505 | 四、气体泄漏检测电路 .....                | 586 |
| 第六节 阻抗测量电路 .....                        | 505 | 五、其他气体监测电路 .....                | 589 |
| 第七节 频率测量电路 .....                        | 506 | 第三节 红外线和光监测电路 .....             | 591 |
| 一、线性频率测试电路 .....                        | 506 | 一、红外线监测电路 .....                 | 591 |
| 二、电源频率测量电路 .....                        | 506 | 二、其他光监测电路 .....                 | 595 |
| 三、模拟频率测试电路 .....                        | 506 | 第四节 声和超声监测电路 .....              | 597 |
| 四、数字频率计数电路 .....                        | 507 | 一、声压监测电路 .....                  | 597 |
| 第八节 相位测量电路 .....                        | 509 | 二、助听器电路 .....                   | 598 |
| 一、相位测试电路 .....                          | 509 | 三、声控电路 .....                    | 598 |
| 二、 $0 \sim \pm 180^\circ$ 相位差测量电路 ..... | 510 | 四、超声波控制电路 .....                 | 601 |
| 三、数字式相位计电路 .....                        | 510 | 第五节 位置和位移检测电路 .....             | 604 |
| 第九节 场强测量电路 .....                        | 512 | 一、位置检测电路 .....                  | 604 |
| 一、简易场强计电路 .....                         | 512 | 二、位移检测电路 .....                  | 606 |
| 二、简单的场强计电路 .....                        | 512 | 第六节 速度和角速度检测电路 .....            | 611 |
| 三、灵敏的场强计电路 .....                        | 513 | 一、速度和转速检测电路 .....               | 611 |
| 四、微波场强计电路 .....                         | 513 | 二、角速度传感器电路 .....                | 615 |
| 第十节 功率测量电路 .....                        | 513 | 第七节 压力和力检测电路 .....              | 615 |
| 一、三相电源平均功率测量电路 .....                    | 513 | 一、电阻应变片测力电路 .....               | 615 |
| 二、音频功率表电路 .....                         | 513 | 二、半导体压阻式传感器电路 .....             | 616 |
| 参考文献 .....                              | 514 | 三、光纤微压传感器电路 .....               | 618 |
| <b>第十章 照明电路</b> .....                   | 515 | 四、触压传感器电路 .....                 | 620 |
| 第一节 普通照明电路 .....                        | 515 | 五、光纤微弯损耗式拉压<br>传感系统的检测电路 .....  | 620 |
| 一、常用照明装置的接入电路 .....                     | 515 | 第八节 振动和冲击检测电路 .....             | 621 |
| 二、照明控制电路 .....                          | 517 | 一、振动和冲击感知电路 .....               | 621 |
| 三、照明供电方式 .....                          | 519 | 二、压电式测振电路 .....                 | 622 |
| 四、照明调光电路 .....                          | 522 | 三、伺服式加速度计电路 .....               | 623 |
| 五、荧光灯实用电路 .....                         | 534 | 四、磁电式测振电路 .....                 | 625 |
| 第二节 装饰彩灯与闪光灯电路 .....                    | 539 | 五、电阻应变式测振电路 .....               | 625 |
| 一、装饰彩灯电路 .....                          | 539 | 六、光纤传输三维压电加速度计电路 .....          | 626 |
| 二、闪光装饰与照明电路 .....                       | 552 | 七、振动试验台电路 .....                 | 626 |

|                                 |     |                                      |     |
|---------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|
| 八、光纤振动传感器的测量电路 .....            | 627 | 二、电饭锅电路及故障分析 .....                   | 686 |
| 第九节 温度测控电路 .....                | 629 | 三、微波炉电路与维护 .....                     | 689 |
| 一、热电偶测温电路及使用与维护 .....           | 629 | 四、电烤箱电路与故障分析 .....                   | 693 |
| 二、热敏电阻温度测控电路及<br>使用与维护 .....    | 632 | 五、电暖器电路与故障分析 .....                   | 694 |
| 三、铂电阻及配套电路 .....                | 638 | 六、电热毯电路与使用注意事项 .....                 | 696 |
| 四、铂电阻数显测温电路 .....               | 639 | 七、洗碗机与电子消毒柜电路及<br>故障分析 .....         | 697 |
| 五、热胀式温度监控电路、使用及维护 ..            | 644 | 第四节 电子游戏机电路 .....                    | 698 |
| 六、PN 结温度传感器测温电路 .....           | 645 | 一、中央处理器电路 .....                      | 698 |
| 七、集成化半导体测温电路 .....              | 649 | 二、图像处理器(PPU)单元电路 .....               | 698 |
| 八、辐射式测温电路 .....                 | 652 | 三、接口电路 .....                         | 699 |
| 九、智能温度传感器及固体温度<br>继电器测温电路 ..... | 654 | 四、射频调制电路 .....                       | 700 |
| 十、80 点温度巡回测控电路 .....            | 657 | 五、制式转换电路 .....                       | 700 |
| 第十节 PID 调节电路 .....              | 659 | 六、电源电路 .....                         | 701 |
| 一、作用与特点 .....                   | 659 | 七、时钟电路 .....                         | 701 |
| 二、简单的 PID 调节电路 .....            | 659 | 八、光电枪电路 .....                        | 703 |
| 三、集成运放组成的大参数<br>PID 调节电路 .....  | 660 | 九、控制盒电路 .....                        | 703 |
| 第十一节 其他检测电路 .....               | 661 | 十、游戏卡电路 .....                        | 703 |
| 一、磁场检测电路 .....                  | 661 | 第五节 其他家用电子电器电路 .....                 | 704 |
| 二、简单测重电路 .....                  | 661 | 一、电子点火器电路及故障分析 .....                 | 704 |
| 三、煤气灶熄灭报警电路 .....               | 661 | 二、石英钟电路及<br>故障分析 .....               | 706 |
| 四、汽车排放废气分析器电路 .....             | 661 | 三、保安类电路 .....                        | 707 |
| 五、汽车前灯自动调光器电路 .....             | 662 | 参考文献 .....                           | 714 |
| 六、汽车水箱水温指示器电路 .....             | 662 | 第十三章 数控机床的典型电路 .....                 | 715 |
| 七、结冰报警器电路 .....                 | 662 | 第一节 坐标轴的驱动电路 .....                   | 715 |
| 八、汽车停车场用照明自动控制器电路 ..            | 662 | 一、步进电动机的驱动电路 .....                   | 715 |
| 九、脉搏检测电路 .....                  | 662 | 二、直流伺服电动机的驱动电路 .....                 | 715 |
| 十、呼吸气流监视电路 .....                | 664 | 三、模拟式交流电动机的驱动电路 .....                | 716 |
| 十一、电磁流量计电路 .....                | 664 | 四、数字式交流伺服电动机的驱动电路 ..                 | 716 |
| 十二、热线式呼吸流量计电路 .....             | 665 | 第二节 主轴变速控制电路 .....                   | 719 |
| 十三、热气流控制装置的电路 .....             | 665 | 一、机械手动变速主轴的控制电路 .....                | 719 |
| 十四、伺服容积型流量计电路 .....             | 665 | 二、两个电磁离合器与双速电动机组合的主<br>轴变速控制电路 ..... | 721 |
| 参考文献 .....                      | 666 | 三、五个电磁离合器组合的<br>主轴变速控制电路 .....       | 721 |
| 第十二章 家用电器电路 .....               | 667 | 四、变频器主轴变速控制电路 .....                  | 724 |
| 第一节 冰箱与空调器电路 .....              | 667 | 第三节 刀台转位控制电路 .....                   |     |
| 一、冰箱电路及其故障与维修 .....             | 667 | 一、电动机反转锁紧式刀台的转位控制电<br>路(单执行元件) ..... | 726 |
| 二、家用空调器电路 .....                 | 670 | 二、能耗制动锁紧刀台的转位控制电路(单<br>执行元件) .....   | 726 |
| 第二节 电动类家用电器电路 .....             | 673 | 三、多执行元件刀台的转位控制电路 .....               | 728 |
| 一、洗衣机电路及故障分析 .....              | 673 | 第四节 动力卡盘控制电路 .....                   | 732 |
| 二、电风扇电路及故障分析 .....              | 678 | 一、电动卡盘控制电路 .....                     | 732 |
| 三、吸尘器电路及故障分析 .....              | 681 |                                      |     |
| 第三节 电热类家用电器电路 .....             | 682 |                                      |     |
| 一、电磁灶电路 .....                   | 682 |                                      |     |

---

|                   |     |                  |     |
|-------------------|-----|------------------|-----|
| 二、液压卡盘控制电路 .....  | 732 | 二、开门断电电路 .....   | 736 |
| 第五节 其他控制电路 .....  | 735 | 三、常用的抗干扰电路 ..... | 736 |
| 一、位置极限与急停电路 ..... | 735 |                  |     |

# 第一章 理论基础

## 第一节 名词术语与标准

### 一、名词术语

**电路：**由若干个电气设备或器件按照一定方式组合起来构成的电流通路叫做电路或电网络(简称网络)。

**集中参数电路：**由集中参数元件构成的电路，即电路的能量损耗、电场储能和磁场储能这三种过程是分别集中在电阻元件、电容元件和电感元件中进行的。

**分布参数电路：**由分布参数构成的电路，即电路中的电阻、电感和电容是连续分布的。

**等效电路：**用理想元件组成的网络来描述电路性能的一种模型。

**支路：**在集中参数电路中每一个二端元件构成一条支路。

**节点：**在集中参数电路中，每条支路的端点叫做节点。二个或两个以上的支路接于一点时此连接点只算作一个节点。通常把仅仅关联两条支路的节点叫做简单节点，也称为结点。

**回路：**在集中参数电路中，由若干支路构成的其中每一个节点与两条支路而且只与两条支路相连接的闭合路径叫做回路。

**网孔：**在集中参数电路中，未被其他支路分割的单孔回路叫做网孔。

**电流：**电流的大小等于单位时间内流过导体给定截面的电荷量，电流的方向规定为正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向。

**电压：**电路中 a、b 两点之间的电压等于电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点时所做的功。

**电位：**电路中某点的电位等于电场力把单位正电荷从该点移动到参考点时所做的功。

**电动势：**把单位正电荷经电源内部从电源的负极移动到电源的正极时非静电力所做的功。在表示有源元件时，电动势即为理想电压源的端电压。

**反电动势：**有反抗电流通过趋势的电动势，如直流电动机中的感应电动势。

**直流电流：**方向不随时间变化的电流，直流电流又可以分为恒定直流电流和脉动直流电流。恒定直流

电流的大小和方向均不随时间变化；脉动直流电流的大小是时间的函数。

**直流电压：**方向不随时间变化的电压，直流电压又可以分为恒定直流电压和脉动直流电压。恒定直流电压的大小和方向均不随时间变化；脉动直流电压的大小是时间的函数。

**交流电：**大小和方向随时间作周期性变化，并且在一个周期内的平均值为零的电压、电流和电动势统称为交流电。工程上所用的交流电主要指正弦交流电。

**交流电流：**大小和方向随时间作周期性变化，并且在一个周期内的平均值为零的电流。

**交流电压：**大小和方向随时间作周期性变化，并且在一个周期内的平均值为零的电压。

**正弦交流电流：**大小随时间按正弦规律变化的交流电流。

**正弦交流电压：**大小随时间按正弦规律变化的交流电压。

**周期量：**在自变量的相隔某一间隔处完全重复的量。

**周期：**周期量完成一次变化所需用的时间称为周期。

**频率：**周期量每秒内完成的周期数称为频率。

**角频率：**正弦电量每秒内所变化的电角度，用弧度表示。角频率在数值上等于  $2\pi$  与频率的乘积。

**基波(分量)：**周期量的傅里叶级数中序数为 1 的分量(或称为一次谐波)。该分量与原周期函数具有相同的频率。

**谐波(分量)：**周期量的傅里叶级数中序数大于 1 的分量。

**瞬时值：**在给定时刻一个时间变量的函数值。

**最大值(幅值)：**时间变量的最大瞬时值。

**有效值(方均根值)：**与周期电流的平均做功能力等效的直流电流的值。有效值在数值上等于该周期电流瞬时值的平方在一个周期内的平均值的平方根，即方均根值。正弦交流电量的有效值等于其最大值除以  $\sqrt{2}$ 。

**相位：**正弦电量  $A_m \sin(\omega t + \phi)$  的辐角  $(\omega t + \phi)$  称为相位，其中  $\phi$  称为初相位或初相角。

**相量：**是表示正弦量的复数，分为有效值相量和

幅值相量。有效值相量的模等于该正弦量的有效值, 辐角等于该正弦量的初相位; 幅值相量的模等于该正弦量的幅值, 辐角等于该正弦量的初相位。

瞬时功率: 任意的二端网络其端口电压瞬时值  $u(t)$  与电流瞬时值  $i(t)$  的乘积, 即  $p = u(t)i(t)$  (电压与电流取一致性参考方向)。

有功功率: 一个周期内的瞬时功率的平均值, 即  $P = (\int_0^T p dt) / T$ 。

无功功率(正弦电压和电流的): 电路与电源之间能量往返交换的最大速率。感性负载的无功功率为正值, 容性负载的无功功率为负值。

视在功率: 任意的二端网络其端口电压有效值  $U$  与电流有效值  $I$  的乘积, 即  $S = UI$ 。

功率因数: 有功功率与视在功率的比值, 即  $\lambda = \cos \phi = P / S$ 。

复功率(正弦电压和电流的): 电压有效值相量与电流有效值相量的共轭复数的乘积。复功率的实部等于有功功率, 虚部等于无功功率。复功率的模为视在功率, 辐角为电压与电流的相位差。

电路元件: 在一定条件下能够足够准确地反映实际电路及其部件的主要电磁性能的抽象模型。

理想电路元件: 由一个单一参数描述的电路元件。简称理想元件。

无源电路元件: 所吸收的能量只能是正值或零值的电路元件, 简称无源元件。

有源电路元件: 其等效电路中含有电源的电路元件, 简称有源元件。

线性元件: 端电压和端电流之间的关系由线性算子决定的电路元件。

线性电路: 由线性元件和独立源构成的电路。

电阻器: 用来提供电阻的器件。

理想电阻器: 瞬时电压与瞬时电流成正比的理想二端电路元件。

电阻元件: 用以模拟电阻器和其他实际部件的电阻特性的电路模型, 其端电压与端电流之间的关系可用代数方程  $f(u, i) = 0$  来描述。

电阻(理想电阻器的): 用以反映能量损耗的电路参数。

电导(理想电阻器的): 电阻的倒数。

电感器: 用来提供电感的器件。

理想电感器: 其瞬时电压与瞬时电流对时间的导数成正比的理想二端电路元件。

电感元件: 用以模拟电感线圈和其他实际部件的电感特性的电路模型。

电感(理想电感器的): 用以反映磁场储能性质的电路参数。

感抗: 电感电压有效值(或幅值)与电流有效值(或幅值)之比。该参数只能用于稳态正弦交流电路。

电容器: 用来提供电容的器件。

理想电容器: 其瞬时电流与瞬时电压对时间的导数成正比的理想二端电路元件。

电容元件: 用以模拟电容器和其他实际部件的电容特性的电路模型。

电容(理想电容器的): 用以反映电场储能性质的电路参数。

容抗: 电容电压有效值(或幅值)与电流有效值(或幅值)之比。该参数只能用于稳态正弦交流电路。

复数阻抗: 无源二端元件(或网络)上的电压相量与电流相量之比。其实部称为等效电阻, 其虚部称为等效电抗; 复数阻抗的模称为阻抗, 辐角称为阻抗角。在不会引起混淆的情况下, 复数阻抗可以简称为阻抗。该参数只能用于稳态正弦交流电路。

复数导纳: 无源二端元件(或网络)上的电流相量与电压相量之比。其实部称为等效电导, 其虚部称为等效电纳。该参数只能用于稳态正弦交流电路。

理想电压源: 是一个二端元件, 其端电压在任意瞬时与其端电流无关, 或为恒定值, 或为固定规律的时间函数, 简称恒压源。

理想电流源: 是一个二端元件, 其端电流在任意瞬时与其端电压无关, 或为恒定值, 或为固定规律的时间函数, 简称恒流源。

独立电压源: 可用一个与电路中所有电流和电压无关的理想电压源同一个无源元件相串联来表示的有源元件, 简称电压源。

独立电流源: 可用一个与电路中所有电流和电压无关的理想电流源同一个无源元件相并联来表示的有源元件, 简称电流源。

受控电压源: 其电动势受电路另一部分的电压或电流控制的电压源。

受控电流源: 其电激流受电路另一部分的电压或电流控制的电流源。

激励: 由信号源输入电路的信号或由电源(非信号源)输入电路的电压和电流。

响应: 经过电路传输或处理后输出的信号。而由任何激励源在电路任一部分引起的电压、电流也可以称为响应。

噪声: 任何无用信号。引申之, 可指在有用频带内的任何无用的骚扰。

端口: 网络中的一对端, 其一端输入的电流与另

一端输出的电流是相等的。

一端口网络：具有两个端的网络或具有多于两个端的网络，但有关的只是其中两个端(作为一个端口)的性能。同义词：单口网络或二端网络。

二端口网络：由两对端组成两个端口的网络。同义词：双口网络。

$n$  端口网络：(1)有  $n$  对端组成  $n$  个端口的网络；(2)具有多于  $2n$  个端的网络，但有关的只是其中的  $2n$  个端(作为  $n$  个端口)的性能。

L 形网络：如图 1-1 所示的网络。

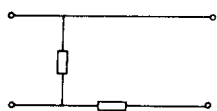


图 1-1 L 形网络

$\Gamma$  形网络：如图 1-2 所示的网络。

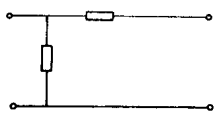


图 1-2  $\Gamma$  形网络

T 形网络：如图 1-3 所示的网络。

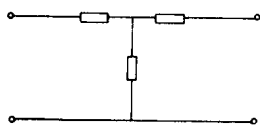


图 1-3 T 形网络

$\pi$  形网络：如图 1-4 所示的网络。

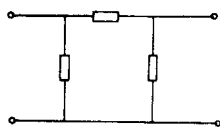


图 1-4  $\pi$  形网络

X 形网络：如图 1-5 所示的网络。

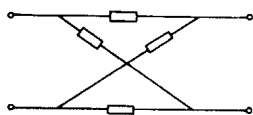


图 1-5 X 形网络

桥接 T 形网络：如图 1-6 所示的网络。

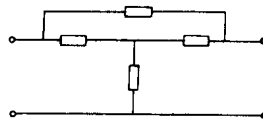


图 1-6 桥接 T 形网络

双 T 形网络：由两个 T 形网络的相应端并联组成的二端口网络。

梯形网络：串联连接若干 L 形网络组成的二端口网络。

互易二端口网络：满足互易定理的二端口网络。

理想变压器(理想变量器)：一个端口的瞬时电压与电流的乘积等于另一个端口的瞬时电压与电流的乘积的一种互易二端口元件。

回转器：一个端口的瞬时电压与电流的乘积等于另一个端口的瞬时电压与电流乘积的负值的一种无源二端口元件。

负阻抗变换器：是将一个阻抗(或元件参数)按一定比例进行变换并改变其符号的一种二端口元件。

耦合：两个原本没有电气连接的电路因互感的作用而产生了相互影响，从而可以使能量从一个电路传送到另一个电路。

磁感应强度(磁通密度)：是表示磁场内某点的磁场强弱和方向的物理量。磁感应强度是一个矢量，其大小等于单位长度的导体通过单位电流时在磁场中所受到的力。如果磁场中各点的磁感应强度都相同，则该磁场为均匀磁场。

磁通量：磁感应强度与垂直于磁场方向的面积的乘积称为通过该面积的磁通量。

磁场强度：也是表示磁场内某点的磁场强弱和方向的物理量。安培环路定律指出“磁场强度沿任意闭合回路的线积分等于通过由该闭合回路围成的曲面的传导电流的代数和”。

绝对磁导率(磁导率)：是表示磁介质磁性能的物理量，定义为磁感应强度与磁场强度之比。

磁常数：即真空中的磁导率。

相对磁导率：磁介质的绝对磁导率与磁常数之比。

磁化曲线：表示磁介质的磁感应强度(或磁通量)与磁场强度(或励磁电流)的关系的曲线。

磁滞：磁感应强度的变化总是滞后于磁场强度的变化的现象称为磁滞。

剩磁：当磁场强度(或励磁电流)降为零时，铁磁介质中的仍然保留的磁感应强度称为剩磁。

矫顽力：要消除铁磁介质中的剩磁所需施加的反向磁场强度称为矫顽力。

磁饱和：当铁磁介质的磁场强度增加到一定值后，其磁感应强度不再随着磁场强度的增加而增加的状态称为磁饱和。

磁性物质：能由磁场来磁化或改变磁化强度的物质。

铁磁性物质：在外磁场的作用下，内部将产生很大的附加磁场的物质。铁磁性物质具有高导磁性、磁饱和性和磁滞性。铁磁性物质又可分为下面三种。

软磁材料：其磁滞回线细长，矫顽力小，易于磁化也易于去磁。

永磁材料(硬磁材料)：其磁滞回线较宽，矫顽力大，剩磁也大。

矩磁材料：其磁滞回线接近矩形，矫顽力较小，剩磁较大。

磁损耗：磁性物质从时变磁场中吸收并以热的形式耗散的功率。磁损耗包括涡流损耗和磁滞损耗。

涡流损耗：由涡流所产生的磁损耗。

磁滞损耗：由磁滞所产生的磁损耗。

磁路：由铁磁材料等构成的磁通的路径。

磁通势：磁场强度沿任意闭合回路的线积分，其数值等于与该闭合回路交链的电流的代数和(注：曾经称为磁动势)。

磁阻：是表示磁路对磁通具有阻碍作用的物理量，其数值等于磁通势与磁通的比值。

漏磁通：磁路中的磁通不通过预定路径的部分。

磁通链：穿过线圈各匝的磁通量的代数和。

电磁感应：产生感应电压的现象。

自感现象：由通过电路自身的电流变化在该电路中产生的电磁感应现象。

互感现象：由一个电路的电流变化而在另一个电路中产生的电磁感应现象。

导体：具有能在电场的作用下移动的自由电荷的物体。

半导体：是导电能力介于导体和绝缘体之间的物质。价带内的空穴参与导电是半导体导电与导体导电的最大差别，而且自由电子和空穴的浓度在一定温度范围内随温度的升高而增加，也可以通过掺杂来改变载流子的浓度。

超导体：在足够低的温度和足够弱的电场下，电阻率为零的物质。

光导体：当吸收光子时其电导率就增大的物质。

半导体器件：利用半导体的导电性能制成的各种电子器件。

光电器件：由于吸收光子发射而形成其基本特性的一种器件。

气体导电：传导电流通过电离气体的现象。

电子雪崩：由自由载流子触发而引起的载流子的累积，简称雪崩。

电击穿：由于电场的作用，绝缘媒质的全部或部分突然变成导电媒质的过程。

额定值：一般由制造厂为元器件或设备在特定条件下所规定的量值。

标称值：用以标志、识别元器件或设备的适当的近视量值。

额定电流(电机或电器的)：订在电机或电器技术条件中，并据此计算电机或电器的温升和运行情况的电流数值。

额定电压(电机或电器的)：订在电机或电器技术条件中，并由之计算电机或电器所用的试验条件和运行时的电压限度的电压。

额定频率(电机或电器的)：订在电机或电器技术条件中，并由之计算电机或电器所用的试验条件和运行时的频率限度的频率。

温升：某一点的温度与参比温度之差。

电压调整率：设备在空载和满载时输出电压的差与空载输出电压之比，一般用百分数表示。此定义不适用于变流器专业。

负载(负荷)：指吸收功率的器件或器件输出的功率。

满载：由额定运行条件所规定的最大负载值。

效率：输出功率与输入功率之比，通常用百分数表示。

损耗：器件的输入功率与输出功率之差。

主电路：用于完成主要功能的电路。

辅助电路：用于完成辅助功能的电路。

控制电路：用以操纵主电路和辅助电路中的器件和设备的电路。

信号电路：供信号灯及用于信号的其它电器的一种辅助电路。

保护电路：以保护为目的的一种辅助电路。

谐振电路：为了利用谐振现象而以电感线圈和电容器等部件组成的电路。

微分电路：输出电压与输入电压的变化率近似成正比的电路。

积分电路：输出电压与输入电压的时间积分近似成正比的电路。

稳压电路：利用电子元件的自动调节作用，使电压基本稳定的电路。

表 1-1 国际单位制的基本单位

| 物 理 量 | 单 位 名 称  | 单 位 符 号 |
|-------|----------|---------|
| 长度    | 米        | m       |
| 质量    | 千克, (公斤) | kg      |
| 时间    | 秒        | s       |
| 电流    | 安[培]     | A       |
| 热力学温度 | 开[尔文]    | K       |
| 物质的量  | 摩[尔]     | mol     |
| 发光强度  | 坎[德拉]    | cd      |

我国法定计量单位有以下几种。

(1) 国际单位制(SI)

1) 国际单位制的基本单位 见表 1-1。

2) 国际单位制的辅助单位 见表 1-2。

表 1-2 国际单位制的辅助单位

| 物 理 量 | 单 位 名 称 | 单 位 符 号 |
|-------|---------|---------|
| 平面角   | 弧度      | rad     |
| 立体角   | 球面度     | sr      |

## 二、常用单位与换算

### (一) 法定计量单位

3) 国际单位制中具有专门名称的导出单位 见表 1-3。

表 1-3 国际单位制中具有专门名称的导出单位

| 物 理 量         | 单位名称   | 单位符号        | 单位意义        | 单 位 定 义                                    |
|---------------|--------|-------------|-------------|--------------------------------------------|
| 频率            | 赫[兹]   | Hz          |             | $s^{-1}$                                   |
| 力、重力          | 牛[顿]   | N           |             | $m \cdot kg \cdot s^{-2}$                  |
| 压力、压强、应力      | 帕[斯卡]  | Pa          | $N/m^2$     | $m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$             |
| 能[量]、功、热量     | 焦[耳]   | J           | $N \cdot m$ | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$                |
| 功率、辐[射能]通量    | 瓦[特]   | W           | $J/s$       | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$                |
| 电荷[量]         | 库[仑]   | C           |             | $s \cdot A$                                |
| 电压、电位、电动势     | 伏[特]   | V           | $W/A$       | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$   |
| 电容            | 法[拉]   | F           | $C/V$       | $m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$ |
| 电阻            | 欧[姆]   | $\Omega$    | $V/A$       | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$   |
| 电导            | 西[门子]  | S           | $A/V$       | $m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$ |
| 磁通[量]         | 韦[伯]   | Wb          | $V \cdot s$ | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$   |
| 磁感应强度 磁通[量]密度 | 特[斯拉]  | T           | $Wb/m^2$    | $kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$             |
| 电感            | 亨[利]   | H           | $Wb/A$      | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$   |
| 摄氏温度          | 摄氏度    | $^{\circ}C$ |             | K                                          |
| 光通量           | 流[明]   | lm          |             | $cd \cdot sr$                              |
| [光]照度         | 勒[克斯]  | lx          | $lm/m^2$    | $m^{-2} \cdot cd \cdot sr$                 |
| [放射性]活度       | 贝可[勒尔] | Bq          |             | $s^{-1}$                                   |
| 吸收剂量          | 戈[瑞]   | Gy          | $J/kg$      | $m^2 \cdot s^{-2}$                         |
| 剂量当量          | 希[沃特]  | Sv          | $J/kg$      | $m^2 \cdot s^{-2}$                         |

(2) 国家选定的非国际单位制单位 见表 1-4。

表 1-4 国家选定的非国际单位制单位

| 物 理 量 | 单 位 名 称 | 单 位 符 号 | 单 位 定 义                                                            |
|-------|---------|---------|--------------------------------------------------------------------|
| 时 间   | 分       | min     | $1\text{ min} = 60\text{ s}$                                       |
|       | [小]时    | h       | $1\text{ h} = 60\text{ min} = 3600\text{ s}$                       |
|       | 天、(日)   | d       | $1\text{ d} = 24\text{ h} = 86400\text{ s}$                        |
| 〔平面〕角 | 度       | (°)     | $1^\circ = (\pi/180)\text{ rad}$                                   |
|       | [角]分    | (')     | $1' = (1/60)^\circ = (\pi/10800)\text{ rad}$                       |
|       | [角]秒    | (")     | $1'' = (1/60)' = (\pi/648000)\text{ rad}$                          |
| 体积、容积 | 升       | L, (l)  | $1\text{ L} = 1\text{ dm}^3 = 10^{-3}\text{ m}^3$                  |
| 质量    | 吨       | t       | $1\text{ t} = 10^3\text{ kg}$                                      |
|       | 原子质量单位  | u       | $1\text{ u} \approx 1.6605655 \times 10^{-27}\text{ kg}$           |
| 旋转速度  | 转每分     | r/min   | $1\text{ r/min} = (1/60)\text{ s}^{-1}$                            |
| 长度    | 海里      | n mile  | $1\text{ n mile} = 1852\text{ m}$ (只用于航程)                          |
| 速度    | 节       | kn      | $1\text{ kn} = 1\text{ n mile/h} = (1852/3600)\text{ m/s}$ (只用于航程) |
| 能     | 电子伏     | eV      | $1\text{ eV} \approx 1.6021892 \times 10^{-19}\text{ J}$           |
| 级差    | 分贝      | dB      |                                                                    |
| 线密度   | 特〔克斯〕   | tex     | $1\text{ tex} = 10^{-6}\text{ kg/m}$                               |

注：1. 平面角单位度、分、秒符号，在组合单位中应采用(°)、(')、(")的形式。例如：(°)/s 而不用°/s。

2. 以上表格中凡带方括号的，去掉方括号就为全称；去掉方括号和方括号内的字时为简称(下同)。

3. 以上表格中同一量中带圆括号者为备用名称和备用符号(下同)。

(3) 组合形式的单位 由国际单位制和国家选定 (4) 由词头和上述单位构成的十进倍数和分数单位的非国际单位制单位两种单位组合形式的单位。 位 词头见表 1-5。

表 1-5 用于构成十进制倍数和分数单位的词头

| 因 数       | 词 头 名 称 |       | 符 号 | 因 数        | 词 头 名 称 |       | 符 号   |
|-----------|---------|-------|-----|------------|---------|-------|-------|
|           | 原文(法)   | 中 文   |     |            | 原文(法)   | 中 文   |       |
| $10^{18}$ | exa     | 艾〔可萨〕 | E   | $10^{-1}$  | deci    | 分     | d     |
| $10^{15}$ | peta    | 拍〔它〕  | P   | $10^{-2}$  | centi   | 厘     | c     |
| $10^{12}$ | tera    | 太〔拉〕  | T   | $10^{-3}$  | milli   | 毫     | m     |
| $10^9$    | giga    | 吉〔咖〕  | G   | $10^{-6}$  | micro   | 微     | $\mu$ |
| $10^6$    | mega    | 兆     | M   | $10^{-9}$  | nano    | 纳〔诺〕  | n     |
| $10^3$    | kilo    | 千     | k   | $10^{-12}$ | pico    | 皮〔可〕  | p     |
| $10^2$    | hecto   | 百     | h   | $10^{-15}$ | femto   | 飞〔母托〕 | f     |
| $10^1$    | deca    | 十     | da  | $10^{-18}$ | atto    | 阿〔托〕  | a     |