

高等学校教材

# 电工学简明教程

---

秦曾煌 主编



高等教育出版社

高等学校教材

# 电工学简明教程

秦曾煌 主编

高等教育出版社

## 内容简介

本书是参照教育部(前国家教育委员会)1995年颁发的“电工技术(电工学Ⅰ)”和“电子技术(电工学Ⅱ)”两门课程的教学基本要求编写的,并参照编者主编的《电工学》(第五版)作了精选、改写和补充。本书内容包括电路、电动机、可编程控制器、供电、测量、模拟电子电路、数字电子电路以及计算机网络与现代通信技术等。本书可作为高等学校非电类专业少学时电工学课程的教材,也适用于高等职业教育、高等专科及成人高等教育的非电类专业。

本书由哈尔滨工程大学张保郁教授审阅。

## 图书在版编目(CIP)数据

电工学简明教程/秦曾煌主编. —北京:高等教育出版社,2001.12

适用于高等学校工科非电类使用

ISBN 7-04-010189-0

I. 电... II. 秦... III. 电工学—高等学校—教材  
IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第047545号

电工学简明教程

秦曾煌 主编

---

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街55号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

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

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 北京地质印刷厂

开 本 787×960 1/16

版 次 2001年12月第1版

印 张 28

印 次 2001年12月第1次印刷

字 数 520 000

定 价 23.50元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

责任编辑	金春英	
封面设计	于文燕	
责任绘图	黄建英	宗晓梅
版式设计	马静如	
责任校对	朱惠芳	
责任印制	宋克学	

# 前 言

本教材是参照教育部(前国家教育委员会)1995年颁发的“电工技术(电工学Ⅰ)”和“电子技术(电工学Ⅱ)”两门课程的教学基本要求编写的,并参照编者主编的《电工学》(第五版)作了精选、改写和补充。

本书可作为高等学校非电类专业少学时电工学课程的教材,也适用于高等职业教育、高等专科及成人高等教育的非电类专业。该课程总学时约为80学时,其中讲课约为60学时。

本书重点内容是电路、三相异步电动机、继电器接触器控制与可编程控制器、模拟电子电路和数字电子电路。“工业企业供电”和“计算机网络与现代通信技术”两章作为基本知识,是工科大专学生应该了解的内容,不计学时,可让学生自学。“电工测量”一章可结合实验进行教学。打\*号的章节,一般应视专业的需要、学时的多少和学生的实际水平可供教师选讲或学生参考之用。有些内容可在教师指点之下让学生通过自学掌握,不必全在课堂讲授;并建议多使用现代教学手段,以提高教学质量和效率。

本书第6章“可编程控制器”由姜三勇同志编写,第16章“计算机网络与现代通信技术”由沙学军同志编写。他们对本书的支持,作者深表谢意。

本书由哈尔滨工程大学张宝郁教授审阅,提出了宝贵意见和修改建议,在此表示衷心感谢。

由于编者能力有限,见解不多,本书有些内容难免不够妥善,甚至会有错误之处。希望读者,特别是使用本书的教师和同学积极提出批评和改进意见,以便今后修订提高。

编者

2001年5月

# 目 录

## 上篇 电工技术

第 1 章 电路及其分析方法 .....	1
1.1 电路模型 .....	1
1.2 电压和电流的参考方向 .....	2
1.3 电源有载工作、开路与短路 .....	4
1.3.1 电源有载工作 .....	5
1.3.2 电源开路 .....	7
1.3.3 电源短路 .....	7
1.4 基尔霍夫定律 .....	9
1.4.1 基尔霍夫电流定律 .....	10
1.4.2 基尔霍夫电压定律 .....	11
1.5 电阻的串联与并联 .....	13
1.5.1 电阻的串联 .....	14
1.5.2 电阻的并联 .....	14
1.6 支路电流法 .....	17
1.7 叠加原理 .....	19
1.8 电压源与电流源及其等效变换 .....	21
1.8.1 电压源 .....	21
1.8.2 电流源 .....	22
1.8.3 电压源与电流源的等效变换 .....	23
1.9 戴维宁定理 .....	27
1.10 电路中电位的计算 .....	29
1.11 电路的暂态分析 .....	31
1.11.1 电阻元件、电感元件和电容元件 .....	32
1.11.2 储能元件和换路定则 .....	34
1.11.3 RC 电路的暂态分析 .....	35
1.11.4 RL 电路的暂态分析 .....	39
习题 .....	42
第 2 章 正弦交流电路 .....	48

2.1 正弦电压与电流 .....	48
2.1.1 频率与周期 .....	49
2.1.2 幅值与有效值 .....	49
2.1.3 初相位 .....	51
2.2 正弦量的相量表示法 .....	53
2.3 单一参数的交流电路 .....	55
2.3.1 电阻元件的交流电路 .....	55
2.3.2 电感元件的交流电路 .....	57
2.3.3 电容元件的交流电路 .....	60
2.4 电阻、电感与电容元件串联的交流电路 .....	63
2.5 阻抗的串联与并联 .....	67
2.5.1 阻抗的串联 .....	67
2.5.2 阻抗的并联 .....	69
2.6 电路中的谐振 .....	71
2.6.1 串联谐振 .....	71
2.6.2 并联谐振 .....	73
2.7 功率因数的提高 .....	74
2.8 三相电路 .....	77
2.8.1 三相电压 .....	77
2.8.2 三相电路中负载的联接方法 .....	80
2.8.3 三相功率 .....	85
2.9 非正弦周期电压和电流 .....	86
习题 .....	89
<b>第3章 磁路和变压器 .....</b>	<b>96</b>
3.1 磁路及其分析方法 .....	96
3.1.1 磁场的基本物理量 .....	96
3.1.2 磁性材料的磁性能 .....	98
3.1.3 磁路的分析方法 .....	99
3.2 交流铁心线圈电路 .....	100
3.3 变压器 .....	102
3.3.1 变压器的工作原理 .....	102
3.3.2 变压器的外特性 .....	109
3.3.3 变压器的损耗与效率 .....	109
3.3.4 特殊变压器 .....	109
3.3.5 变压器绕组的极性 .....	112
3.4 电磁铁 .....	113
习题 .....	115

<b>第 4 章 电动机</b> .....	118
4.1 三相异步电动机的构造 .....	118
4.2 三相异步电动机的工作原理 .....	120
4.2.1 旋转磁场 .....	120
4.2.2 电动机的转动原理 .....	123
4.2.3 转差率 .....	123
4.3 三相异步电动机的电路分析 .....	124
4.3.1 定子电路 .....	124
4.3.2 转子电路 .....	125
4.4 三相异步电动机的转矩与机械特性 .....	127
4.4.1 转矩公式 .....	127
4.4.2 机械特性曲线 .....	127
4.5 三相异步电动机的起动 .....	130
4.5.1 起动性能 .....	130
4.5.2 起动方法 .....	131
4.6 三相异步电动机的调速 .....	135
4.6.1 变频调速 .....	135
4.6.2 变极调速 .....	136
4.6.3 变转差率调速 .....	137
4.7 三相异步电动机的制动 .....	137
4.7.1 能耗制动 .....	138
4.7.2 反接制动 .....	138
4.8 三相异步电动机的铭牌数据 .....	139
4.9 三相异步电动机的选择 .....	142
4.9.1 功率的选择 .....	143
4.9.2 种类和型式的选择 .....	144
4.9.3 电压和转速的选择 .....	145
4.10 单相异步电动机 .....	145
4.10.1 电容分相式异步电动机 .....	146
4.10.2 罩极式异步电动机 .....	147
* 4.11 直流电动机 .....	148
* 4.12 控制电动机 .....	150
4.12.1 伺服电动机 .....	150
4.12.2 步进电动机 .....	152
习题 .....	155
<b>第 5 章 继电器接触器控制系统</b> .....	157
5.1 常用控制电器 .....	157



5.1.1 组合开关	157
5.1.2 按钮	158
5.1.3 交流接触器	158
5.1.4 中间继电器	159
5.1.5 热继电器	159
5.1.6 熔断器	160
5.1.7 自动空气断路器	161
5.2 笼型电动机直接起动的控制线路	162
5.3 笼型电动机正反转的控制线路	165
5.4 行程控制	166
5.5 时间控制	167
* 5.6 应用举例	170
5.6.1 加热炉自动上料控制线路	170
5.6.2 C620-1 型普通车床控制线路	171
习题	173
<b>第 6 章 可编程控制器</b>	175
6.1 可编程控制器的结构和工作方式	175
6.1.1 可编程控制器的结构及各部分的作用	175
6.1.2 可编程控制器的工作方式	177
6.1.3 可编程控制器的主要技术性能	178
6.2 可编程控制器的程序编制	179
6.2.1 可编程控制器的编程语言	179
6.2.2 可编程控制器的编程原则和方法	181
6.2.3 可编程控制器的指令系统	184
* 6.3 应用举例	197
6.3.1 三相异步电动机 Y- $\Delta$ 换接起动控制	197
6.3.2 加热炉自动上料控制	198
习题	200
<b>第 7 章 工业企业供电与安全用电</b>	203
7.1 发电、输电概述	203
7.2 工业企业配电	205
7.3 安全用电	206
7.3.1 电流对人体的危害	206
7.3.2 触电方式	206
7.3.3 接地和接零	207
7.4 节约用电	209
习题	210

<b>第 8 章 电工测量</b> .....	211
8.1 电工测量仪表的分类 .....	211
8.2 电工测量仪表的型式 .....	214
8.2.1 磁电式仪表 .....	214
8.2.2 电磁式仪表 .....	216
8.2.3 电动式仪表 .....	217
8.3 电流的测量 .....	219
8.4 电压的测量 .....	220
8.5 万用表 .....	221
8.5.1 磁电式万用表 .....	221
8.5.2 数字式万用表 .....	223
8.6 功率的测量 .....	224
8.6.1 单相交流和直流功率的测量 .....	224
8.6.2 三相功率的测量 .....	225
8.7 兆欧表 .....	227
习题 .....	228

## 下篇 电子技术

<b>第 9 章 半导体二极管和三极管</b> .....	231
9.1 半导体的导电特性 .....	231
9.1.1 本征半导体 .....	231
9.1.2 N 型半导体和 P 型半导体 .....	232
9.1.3 PN 结及其单向导电性 .....	232
9.2 半导体二极管 .....	233
9.2.1 基本结构 .....	233
9.2.2 伏安特性 .....	234
9.2.3 主要参数 .....	234
9.3 稳压管 .....	235
9.4 半导体三极管 .....	237
9.4.1 基本结构 .....	237
9.4.2 电流分配和放大原理 .....	238
9.4.3 特性曲线 .....	240
9.4.4 主要参数 .....	243
习题 .....	245
<b>第 10 章 基本放大电路</b> .....	248
10.1 共发射极放大电路的组成 .....	248
10.2 共发射极放大电路的分析 .....	249

10.2.1 静态分析 .....	250
10.2.2 动态分析 .....	251
10.3 静态工作点的稳定 .....	258
10.4 射极输出器 .....	261
10.4.1 静态分析 .....	262
10.4.2 动态分析 .....	262
10.5 差分放大电路 .....	265
10.5.1 静态分析 .....	265
10.5.2 动态分析 .....	266
10.6 互补对称功率放大电路 .....	269
10.6.1 对功率放大电路的基本要求 .....	269
10.6.2 互补对称放大电路 .....	271
10.7 场效应管及其放大电路 .....	272
10.7.1 绝缘栅场效应管 .....	272
10.7.2 场效应管放大电路 .....	276
习题 .....	278
<b>第 11 章 运算放大器</b> .....	<b>281</b>
11.1 运算放大器的简单介绍 .....	281
11.1.1 运算放大器的组成 .....	281
11.1.2 主要参数 .....	283
11.1.3 理想运算放大器及其分析依据 .....	284
11.2 放大电路中的负反馈 .....	286
11.2.1 反馈的基本概念 .....	286
11.2.2 负反馈的类型 .....	287
11.2.3 负反馈对放大电路工作性能的影响 .....	291
11.3 运算放大器在信号运算方面的应用 .....	292
11.3.1 比例运算 .....	292
11.3.2 加法运算 .....	295
11.3.3 减法运算 .....	296
11.3.4 积分运算 .....	297
11.3.5 微分运算 .....	298
11.4 运算放大器在信号处理方面的应用 .....	299
11.4.1 有源滤波器 .....	299
11.4.2 电压比较器 .....	302
11.5 运算放大器在波形产生方面的应用 .....	304
11.5.1 RC 正弦波振荡电路 .....	304
11.5.2 矩形波发生器 .....	306

11.6	集成功率放大器 .....	307
11.7	使用运算放大器应注意的几个问题 .....	308
11.7.1	选用元件 .....	308
11.7.2	消振 .....	308
11.7.3	调零 .....	309
11.7.4	保护 .....	309
11.7.5	扩大输出电流 .....	309
	习题 .....	310
<b>第 12 章</b>	<b>直流稳压电源 .....</b>	<b>315</b>
12.1	整流电路 .....	315
12.2	滤波器 .....	317
12.2.1	电容滤波器(C 滤波器) .....	318
12.2.2	电感电容滤波器(LC 滤波器) .....	319
12.3	直流稳压电源 .....	320
12.3.1	稳压管稳压电路 .....	320
12.3.2	集成稳压电源 .....	321
* 12.4	晶闸管和可控整流电路 .....	323
12.4.1	晶闸管 .....	324
12.4.2	可控整流电路 .....	326
	习题 .....	328
<b>第 13 章</b>	<b>门电路和组合逻辑电路 .....</b>	<b>331</b>
13.1	分立元件门电路 .....	331
13.1.1	门电路的基本概念 .....	331
13.1.2	二极管与门电路 .....	332
13.1.3	二极管或非门电路 .....	333
13.1.4	晶体管非门电路 .....	334
13.2	TTL 门电路 .....	335
13.2.1	TTL 与非门电路 .....	335
* 13.2.2	三态输出与非门电路 .....	338
13.3	CMOS 门电路 .....	339
13.3.1	CMOS 非门电路 .....	339
13.3.2	CMOS 与非门电路 .....	340
13.3.3	CMOS 或非门电路 .....	340
13.4	组合逻辑电路的分析 .....	341
13.4.1	逻辑代数 .....	341
13.4.2	组合逻辑电路的分析 .....	346
13.5	加法器 .....	348

13.5.1 半加器 .....	348
13.5.2 全加器 .....	349
13.6 编码器 .....	351
13.6.1 二-十进制编码器 .....	351
* 13.6.2 优先编码器 .....	352
13.7 译码器和数字显示 .....	354
13.7.1 二进制译码器 .....	354
13.7.2 二-十进制显示译码器 .....	356
* 13.8 半导体存储器和可编程逻辑器件 .....	359
13.8.1 只读存储器的基本结构和工作原理 .....	359
13.8.2 可编程只读存储器 .....	361
13.8.3 可编程逻辑阵列 .....	363
13.8.4 可编程阵列逻辑 .....	363
* 13.9 应用举例 .....	364
13.9.1 故障报警器 .....	364
13.9.2 卡片钥匙式电子锁 .....	364
13.9.3 水位检测电路 .....	365
习题 .....	366
<b>第 14 章 触发器和时序逻辑电路 .....</b>	<b>372</b>
14.1 双稳态触发器 .....	372
14.1.1 RS 触发器 .....	372
14.1.2 JK 触发器 .....	375
14.1.3 D 触发器 .....	377
14.2 寄存器 .....	378
14.2.1 数码寄存器 .....	378
14.2.2 移位寄存器 .....	379
14.3 计数器 .....	380
14.3.1 二进制计数器 .....	380
14.3.2 十进制计数器 .....	382
14.4 由 555 定时器组成的单稳态触发器和无稳态触发器 .....	387
14.4.1 555 定时器 .....	387
14.4.2 由 555 定时器组成的单稳态触发器 .....	388
14.4.3 由 555 定时器组成的多谐振荡器 .....	389
* 14.5 应用举例 .....	391
14.5.1 数字钟 .....	391
14.5.2 四人抢答电路 .....	392
习题 .....	393

<b>* 第 15 章 模拟量和数字量的转换</b> .....	398
15.1 数 - 模转换器 .....	398
15.2 模 - 数转换器 .....	401
习题 .....	404
<b>第 16 章 计算机网络与现代通信技术</b> .....	405
16.1 计算机网络概述 .....	405
16.1.1 计算机网络分类 .....	405
16.1.2 Internet 简介 .....	407
16.2 现代通信技术概述 .....	410
16.2.1 通信系统分类 .....	410
16.2.2 电缆通信与微波中继通信 .....	414
16.2.3 光纤通信 .....	415
16.2.4 卫星通信 .....	416
16.2.5 移动通信 .....	417
16.2.6 现代通信发展趋势 .....	419
习题 .....	420
<b>附录</b> .....	421
附录 A 半导体分立器件型号命名方法 .....	421
附录 B 常用半导体分立器件的参数 .....	422
附录 C 半导体集成器件型号命名方法 .....	425
附录 D 常用半导体集成器件的参数 .....	426
附录 E TTL 门电路、触发器和计数器的部分品种型号 .....	427
附录 F 电阻器标称阻值系列 .....	428
附录 G 常用导电材料的电阻率和电阻温度系数 .....	429
<b>部分习题答案</b> .....	430

# 上篇 电工技术

## 第 1 章 电路及其分析方法

电路是电工技术和电子技术的基础。

本章首先讨论电路的基本概念和基本定律,如电路模型、电压和电流的参考方向、基尔霍夫定律、电源的工作状态以及电路中电位的概念及计算等。这些内容都是分析与计算电路的基础。

其次将扼要地讨论几种常用的电路分析方法,如支路电流法、叠加原理、电压源模型与电流源模型的等效变换和戴维宁定理等。

最后提出电路暂态的概念,介绍用经典法来分析电路的暂态过程。

### 1.1 电路模型

实际电路都是由一些按需要起不同作用的实际电路元件或器件所组成,诸如发电机、变压器、电动机、电池、晶体管以及各种电阻器和电容器等,它们的电磁性质较为复杂。最简单的例如一个白炽灯,它除具有消耗电能的性质(电阻性)外,当通有电流时还会产生磁场,就是它还具有电感性。但电感微小,可忽略不计,于是可认为白炽灯是一电阻元件。

为了便于对实际电路进行分析和用数学描述,将实际元件理想化(或称模型化),即在一定条件下突出其主要的电磁性质,忽略其次要因素,把它近似地看作理想电路元件。由一些理想电路元件所组成的电路,就是实际电路的电路模型,它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。在理想电路元件(今后理想两字常略去不写)中主要有电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等。这些元件分别由相应的参数来表征。例如常用的手电筒,其实际电路元件有干电池、电珠、开关和筒体,电路模型如图 1.1.1 所示。电珠是电阻元件,其参数为电阻  $R$ ;

干电池是电源元件,其参数为电动势  $E$  和内电阻(简称内阻)  $R_0$ ;筒体是联接干电池与电珠的中间环节(还包括开关),其电阻忽略不计,认为是一无电阻的理想导体。

今后所分析的都是指电路模型,简称电路。在电路图中,各种电路元件用规定的图形符号表示。

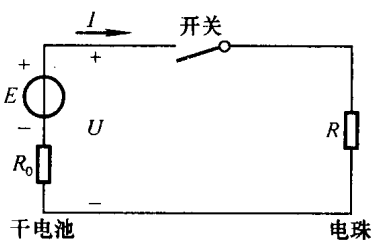


图 1.1.1 手电筒的电路模型

电路中电源或信号源的电压或电流称为激励,它推动电路工作;由于激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。所谓电路分析,就是在已知电路的结构和元件参数的条件下,讨论电路的激励与响应之间的关系。

## 1.2 电压和电流的参考方向

图 1.1.1 是最简单的直流电阻电路,其中  $E$ 、 $U$  和  $R_0$  分别为电源的电动势、端电压和内阻, $R$  为负载电阻。当将开关闭合后,电路中有电流  $I$ 。电流  $I$ 、电压  $U$  和电动势  $E$  是电路的基本物理量,在分析电路时必须要在电路图上用箭标或“+”、“-”来标出它们的方向或极性(如图中所示),才能正确列出电路方程。

关于电压和电流的方向,有实际方向和参考方向之分,要加以区别。

我们习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的方向(实际方向)。电流的方向是客观存在的。但在分析较为复杂的直流电路时,往往难于事先判断某支路中电流的实际方向;对交流讲,其方向随时间而变,在电路图上也无法用一个箭标来表示它的实际方向。为此,在分析与计算电路时,常可任意选定某一方向作为电流的参考方向。所选的电流的参考方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与其参考方向一致时,则电流为正值[图 1.2.1(a)];反之,当电流的实际方向与其参考方向相反时,则电流为负值[图 1.2.1(b)]。因此,在参考方向选定之后,电流之值才有正负之分。

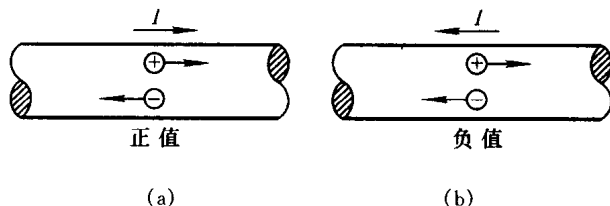
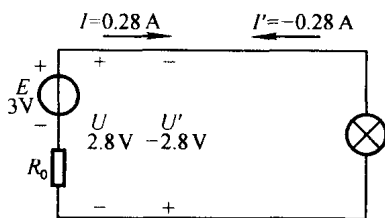


图 1.2.1 电流的参考方向



电压和电动势都是标量,但在分析电路时,和电流一样,我们也说它们具有方向。电压的方向规定为由高电位(“+”极性)端指向低电位(“-”极性)端,即为电位降低的方向。电源电动势的方向规定为在电源内部由低电位(“-”极性)端指向高电位(“+”极性)端,即为电位升高的方向。

在电路图上所标的电流、电压和电动势的方向,一般都是参考方向,它们是正值还是负值,视选定的参考方向而定。例如在图 1.2.2 中,电压  $U$  的参考方向与实际方向一致,故为正值;而  $U'$  的参考方向与实际方向相反,故为负值。两者可写为  $U = -U'$ ; 电流亦然,  $I = -I'$ 。



电压的参考方向除用极性“+”、“-”表示外,也可用双下标表示。例如 a, b 两点间的电压  $U_{ab}$ , 它的参考方向是由 a 指向 b, 也就是说 a 点的参考极性为“+”, b 点的参考极性为“-”。如果参考方向选为由 b 指向 a, 则为  $U_{ba}$ ,  $U_{ab} = -U_{ba}$ 。电流的参考方向也可用双下标表示。

电流的单位是安[培](A)。计量微小电流时,以毫安(mA)或微安( $\mu$ A)为单位。  $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$ ,  $1 \text{ } \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$ 。

电压和电动势的单位是伏[特](V)。计量微小电压时,以毫伏(mV)或微伏( $\mu$ V)为单位;计量高电压时,则以千伏(kV)为单位。

【例 1.2.1】应用欧姆定律对图 1.2.3 的电路列出式子,并求电阻  $R$ ①。

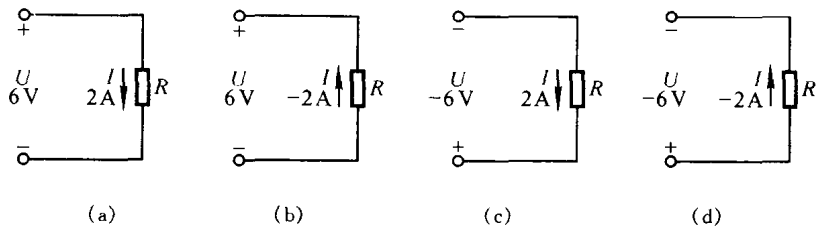


图 1.2.3 例 1.2.1 的电路

【解】通常流过电阻  $R$  的电流  $I$  与电阻两端的电压  $U$  成正比,这就是欧姆定律。应用欧姆定律列式子,要根据电路图所选电压和电流的参考方向。当两者的参考方向一致时,则得

$$U = RI \quad (1.2.1)$$

① 电阻的单位是欧[姆]( $\Omega$ )。计量高电阻时,则以千欧(k $\Omega$ )或兆欧(M $\Omega$ )为单位。  $1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega$ ,  $1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$ 。