

“研究生教育创新工程”化工类研究生教学用书

化工传递过程

谢舜韶 谷和平 肖人卓 编著

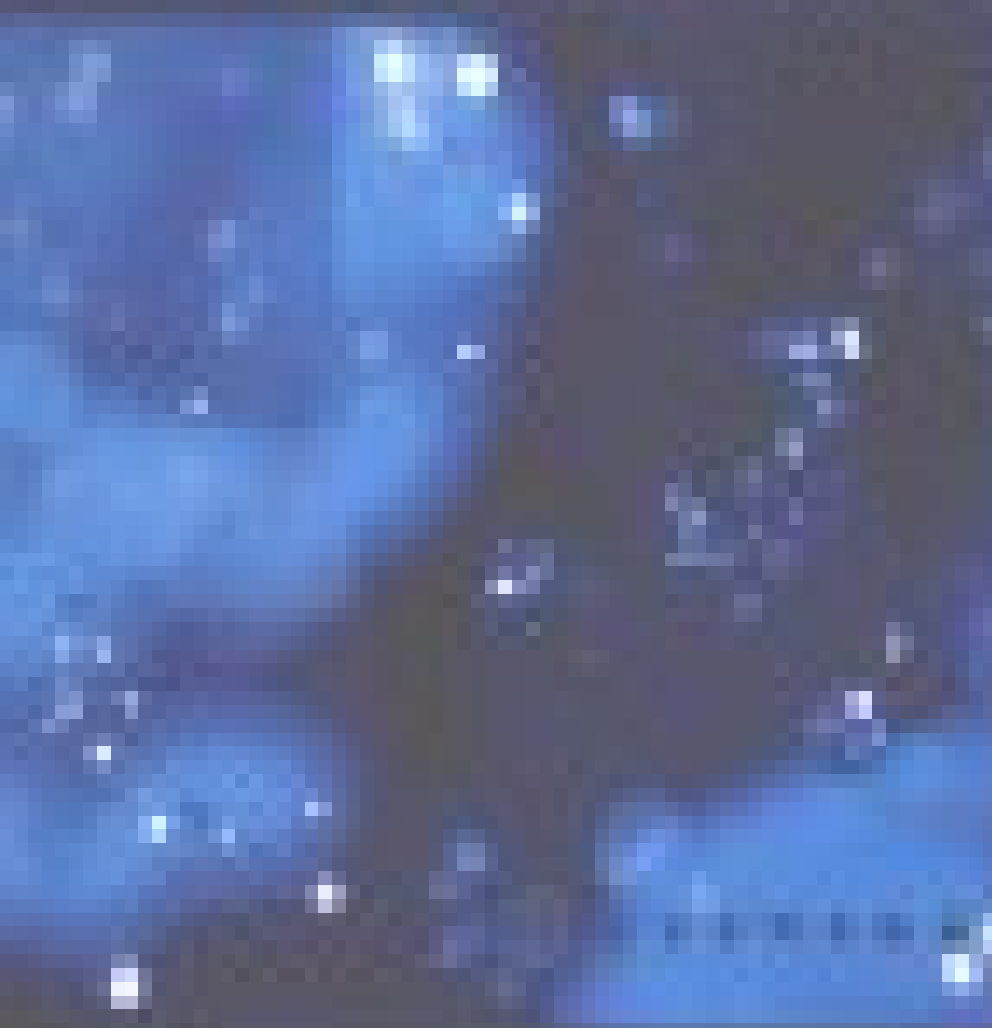


化学工业出版社

THE UNIVERSITY OF CHINA PRESS

化工传递过程

第二版 下册 传热学 第四版



本书是“研究生教育创新工程”化工类研究生教学用书
系列中的一本，主要介绍化工类研究生课程的教学内容
和教学方法，可作为化工类研究生课程的教学参考书
和自学材料。本书共分五章，第一章介绍化工类研
究生课程的教学特点，第二章介绍化工类研究生
课程的教学内容，第三章介绍化工类研究生课程
的教学方法，第四章介绍化工类研究生课程的
考核方法，第五章介绍化工类研究生课程的
教学评价。

“研究生教育创新工程”化工类研究生教学用书

化工传递过程

谢舜韶 谷和平 肖人卓 编著

ISBN 7-100-10131-4



化学工业出版社

·北京·

本书着重阐述动量、热量和质量的传递实质和规律,以及传递过程中强度量分布和传递速率。内容上既重视基本概念原理和方法的阐述,亦重视与化工过程实际的联系。本书的第1、2章属基本理论,回顾和充实传递过程原理,采用数学张量对基本方程加以描述,并无重复之感;第3、4章介绍传递过程原理求解方法,均以方法或类型为纲,以化工实际为例,力求三传类比,传热传质合议。对于近年来日兴的数值解法,作者对有限差分法和有限单元法均予介绍,以弥补分析解法的不足;第5、6章针对化工领域极为重要的传质过程,着重探讨了相界面性质、相界面张力、Maragoni效应、相界面的毛细现象、界面两侧的工况即传递通量关系、相际传递模型以及对热质同时传递和具有化学变化的传递过程,引入新的进展。本书各章都附有习题。

本书可作为化学工程与技术等过程学科的硕士研究生和博士研究生教材。同时,对石油化工、冶金工程、轻化工、高分子化工、生物工程、环境工程等有关专业的研究人员和高校教师也是一本适合的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

化工传递过程/谢舜韶,谷和平,肖人卓编著. —北京:
化学工业出版社,2007.7

“研究生教育创新工程”化工类研究生教学用书
ISBN 978-7-122-00814-5

I. 化… II. ①谢…②谷…③肖… III. 化工过程-传递-
研究生-教材 IV. TQ021

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第101214号

责任编辑:徐雅妮 陈丽
责任校对:周梦华

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京市振南印刷有限责任公司

装订:三河市市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张17¼ 字数426千字 2008年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686)

售后服务:010-64518899

网址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:35.00元

版权所有 违者必究

代 前 言

注塑机广泛应用在汽车零件、电子、建材、家电、仪器仪表、日用品、文具、五金、玩具、通信器材、容器、医疗器械等的制造领域。目前注塑机用户主要集中在珠江三角洲和长江三角洲地区，向北扩展的趋势也越来越明显。随着我国制造业的迅猛发展，从事注塑机操作和维修的人员数量不断增加，培养这方面的技能人才成为一种社会需求。

东莞位居粤港经济圈中心，被誉为“中国制造业名城”，这里的注塑机用户数量居全国前列。根据东莞市劳动局的相关规定，注塑机操作与维修为必须持国家职业资格证书方能上岗就业的工种。东莞联合技工学校从市场需求出发，在全国率先开办了自动化与注塑工程专业，开展短期培训以及三年制中级技工、高级技工和成人高专、大专学历教育，致力于推动社会技术进步，落实劳动保障部门关于持证上岗的政策规定，为经济发展培养中、高级注塑机操作和维修人才。

作为该校校长，我十分欣喜地看到我校自动化与注塑工程专业的学科带头人李忠文老师的又一新作出版。电气工程师出身的李忠文老师具有多年工厂企业操作经验和技校教学经验；近年来在搞好教学的同时，潜心于技术总结和学术研究，在机电控制与维修、注塑机应用等领域陆续出版了一系列专著和教材。这些著作无不是来自长期机电维修实践所得经验和资料，在业界有着广泛的影响。

为培养适应现代技术要求的中高级技能人才，李忠文老师、朱国宪老师和年立官机械师从多年的实践和教学经验出发，编写了本书。本书围绕注塑机维修所需的知识和技能，介绍了必要的电子电路基础知识，讲解了注塑机的机械构造、液压控制和电气控制，对注塑机的常见故障判断和处理进行了总结，并附有有关技能鉴定测试试题。本书内容简洁易懂，初中起点就可学习本书内容。本书与《注塑机操作与调校实用教程》内容各有侧重，读者可以在学习完后者，并且对注塑机的结构和操作有了一些感性认识后再学习本书，也可以单独学习本书。本书可以作为注塑机维修中级、高级操作人员的教材，也可供相关技术人员参考。

本书编者对专业知识和技术的了解可能不尽全面，本书不妥之处在所难免，还望专家和读者不吝指出。在专业建设过程中，我们还将陆续推出更多教材和参考书，在探索如何培养自动化与注塑工程专业人才的道路上继续努力，欢迎业内专家多提宝贵意见。

黄淮东
二零零七年九月

目 录

第 1 章 电子电路	1
1.1 组成电子电路的元器件	1
1.1.1 电阻器	1
1.1.1.1 电阻器主要技术参数	2
1.1.1.2 电位器	6
1.1.1.3 特殊电阻器	7
1.1.2 电容器	8
1.1.2.1 电容器主要技术参数	8
1.1.2.2 电容器主要技术参数标识方法	9
1.1.3 电感器	10
1.1.3.1 电感器主要技术参数	11
1.1.3.2 电感器主要技术参数标识方法	12
1.1.4 变压器	13
1.1.5 二极管	14
1.1.6 特殊二极管	16
1.1.7 三极管	19
1.1.7.1 三极管主要技术参数	20
1.1.7.2 复合三极管	20
1.1.7.3 场效应管	21
1.1.7.4 光电三极管	23
1.1.8 三端稳压器	23
1.1.9 光电耦合器	29
1.1.10 电磁继电器	31
1.1.11 脉冲译码器	32
1.1.12 接近开关	33
1.1.13 电子尺	34
1.1.14 集成电路	35
1.1.14.1 模拟集成运算放大器	36
1.1.14.2 数字集成电路芯片	38
1.2 电子电路分析	43
1.2.1 电源电路分析	43
1.2.2 开关电路分析	44
复习思考题	45
第 2 章 电子元器件的选用	47
2.1 阻容元器件	47
2.1.1 电阻器	47

2.1.2	电阻器的质量鉴别与使用	48
2.1.3	电位器	49
2.1.4	电位器的质量鉴别与使用	51
2.1.5	电容器	51
2.1.6	电容器的质量鉴别与使用	53
2.1.7	电感器	53
2.1.8	电感器的质量鉴别与使用	55
2.2	晶体二极管、三极管器件	55
2.2.1	晶体二极管、三极管型号	55
2.2.2	晶体管技术参数	58
2.2.3	晶体二极管检测方法	59
2.2.4	晶体三极管检测方法	60
2.2.5	晶体管使用注意事项	64
2.3	半导体集成电路	66
2.3.1	半导体集成电路型号和分类	66
2.3.2	半导体集成电路的检测与使用	68
	复习思考题	69
第3章	电气电路	70
3.1	电气电路基本知识	70
3.2	低压电器基本知识	70
3.2.1	常用低压电器元件	71
3.2.1.1	低压开关	71
3.2.1.2	低压断路器	74
3.2.1.3	主令电器	74
3.2.1.4	接触器	77
3.2.1.5	继电器	77
3.2.1.6	熔断器	80
3.2.2	电动机的选择和保护	83
3.2.3	电气控制基本电路	84
3.2.3.1	具有过载保护的启动、停止电路	84
3.2.3.2	电加热自动控制电路	85
3.2.3.3	正反转电路	86
3.2.3.4	星形/三角形(Y/ Δ)换接降压启动电路	86
3.2.3.5	其他控制电路	87
3.3	电器元件应用及检修要点	90
	复习思考题	94
第4章	注塑机控制系统	95
4.1	注塑机组成和参数	95
4.1.1	注塑机的基本结构	95
4.1.2	注塑机的工作过程	96
4.1.3	注塑机的规格表示及技术参数	97

4.1.4	注塑机液压传动系统	99
4.2	注塑机电气控制(继电器控制类型)	109
4.2.1	主电机启动电路	109
4.2.2	电加热自动控制电路	112
4.2.3	注塑机的主要器件及电路分析	113
4.3	注塑机电子电器控制(Z80单板机控制类型)	119
4.3.1	主电路控制过程	119
4.3.2	加热电路	119
4.3.3	电源电路	121
4.3.4	单板机控制系统	121
4.4	注塑机电脑程序控制器控制(双8085单板机控制类型)	126
4.4.1	电脑程序控制器面板	127
4.4.2	注塑机的操作及参数预置	130
4.5	注塑机工业电脑程序控制器控制	138
4.5.1	工业电脑程序控制器面板	138
4.5.2	注塑机的操作与参数预置	141
	复习思考题	151
第5章	注塑机机械、液压及电气装置	152
5.1	震雄注塑机机械、液压和电气装置	152
5.1.1	机械部分	152
5.1.2	液压部分	155
5.1.3	电气部分	159
5.2	力劲注塑机机械、液压和电气装置	162
5.2.1	机械部分	162
5.2.2	液压部分	162
5.2.3	电气部分	167
	复习思考题	176
第6章	注塑机常见故障及维修方法	177
6.1	注塑机维修方法	177
6.1.1	注塑机安全装置检修要点	177
6.1.2	发热筒及加热电路检修要点	177
6.1.3	主电机及控制电路检修要点	178
6.1.4	油掣阀与电路检修要点	179
6.1.5	I/O电子电路板与电路的检修	182
6.1.6	电子放大板电路及其维修	184
6.1.7	电源电子板电路检修	186
6.1.8	油掣组合单元	187
6.1.9	比例流量、压力的调校	188
6.1.10	程控器电路的维修方法	191
6.2	注塑机常见故障与处理方法	192
6.2.1	注塑机的检修方法	192

6.2.2	注塑机常见故障及处理	193
6.2.3	注塑机常见故障判断程序及故障处理	195
6.2.4	注塑机常见故障与处理实例	195
6.3	检测电子电路板简易装置制作及调校方法	204
6.3.1	检测	204
6.3.2	自制检测装置	205
6.4	电子电路板维修实例	207
	复习思考题	213
附录 1	初、中级注塑机维修工技能鉴定复习题	214
	参考答案	225
附录 2	初级注塑机维修工技能鉴定试题	228
	参考答案	233
附录 3	中级注塑机维修工技能鉴定试题	234
	参考答案	238
附录 4	可编程序控制部分 (PLC) 试题 (中级注塑机维修工附加)	239
	参考答案	240
附录 5	注塑机维修实操题 A	242
	参考答案和评分标准	243
附录 6	注塑机维修实操题 B	246
	参考答案	248
附录 7	注塑机维修实操题 C	250
	评分标准	253

第1章 电子电路

电子电路应用广泛，种类繁多，举不胜举，按电子电路的基本功能可分四大类型电路：整流电路、开关电路、放大电路和振荡电路。注塑机控制电路中亦包含了这四大类型的电子电路。熟练掌握这四大类型电路的基本工作原理和维修方法，并能举一反三，融会贯通，这对于从事注塑机维修工作的人员来说是必备的基础。

1.1 组成电子电路的元器件

图 1-1 是综合电子电路原理，它包括了许多电子元器件，组成了三种电路。首先它是由变压器、整流二极管、电解电容器、三端稳压器、LED 发光二极管等元件组成的理想电源电路。再由开关 S_2 控制电位器、三极管、二极管、高灵敏继电器 J 组成的开关放大电路来控制继电器的工作状态。继电器的常开触点控制是由单结管、电阻和电容器组成的振荡电路控制可控硅，可控硅又对灯泡进行功率控制。这个电子电路的组成，涉及的是分立的电子元器件。了解电子元器件特性，对于理解电子电路的工作原理十分有益。

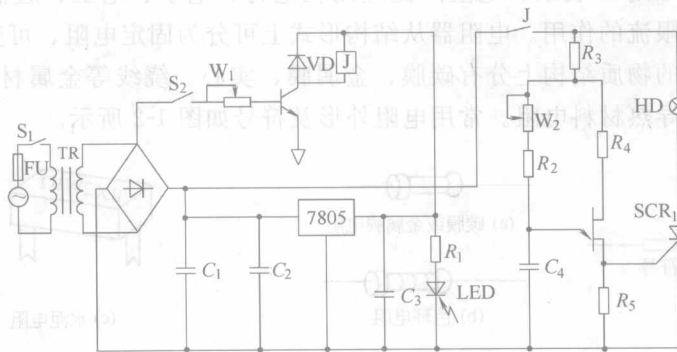


图 1-1 综合电子电路

本章还将对注塑机电子电路中常用的其他类型的电子元器件进行了介绍，如光电耦合器、双向可控硅、固态继电器、接近开关、拨盘开关、光学解码器、电子尺、模拟集成电路芯片、数字集成电路芯片等。了解电子元器件的功能、作用及特性，熟悉电子元器件的技术参数、器件类型、使用条件及注意事项，以便在实际维修过程中，应用这些电子元器件的基本基础知识，对电子元器件进行检查测量、分析判断、器件替换，提高实际维修的技术水平。

1.1.1 电阻器

电阻器简称电阻，电阻是组成电子电路的最基本的分立元件。电阻在电路中对通过的电

流产生阻碍作用。导体的电阻 R 与导体横截面面积 S 成反比，与导体长度 L 成正比，还与导体的电阻率 ρ 成正比，其关系如下

$$R = \rho L / S$$

式中 ρ 是电阻率或电阻系数，是与材料性质有关的物理量。电阻率的大小等于长度 1m，截面面积 1mm^2 的导体在一定温度下的电阻值，其单位是欧·米 ($\Omega \cdot \text{m}$)。表 1-1 是几种材料在 20°C 时的电阻率。

表 1-1 几种材料在 20°C 时的电阻率

种类	材料	电阻率/ $\Omega \cdot \text{m}$	主要用途
金属	银	1.6×10^{-8}	导线镀银
	铜	1.7×10^{-8}	制造各种导线
	铝	2.9×10^{-8}	制造各种导线
	钨	5.3×10^{-8}	电灯灯丝、电器触头
	铁	10×10^{-7}	电工材料、钢材
合金	锰铜 85%铜,12%锰,3%镍	4.4×10^{-7}	制造滑线、标准电阻
	康铜 54%铜,46%镍	5.0×10^{-7}	制造滑线、标准电阻
	铝铬铁电阻丝	1.2×10^{-6}	电炉丝
半导体	硒、锗、硅等	$10^{-4} \sim 10^7$	制造晶体管、晶闸管
绝缘体	赛璐珞	10^8	电器绝缘
	电木塑料	$10^{10} \sim 10^{14}$	电器外壳、绝缘支架
	橡胶	$10^{13} \sim 10^{16}$	绝缘手套、鞋、垫

常用的电阻就是利用高电阻率的材料经过一定工艺加工制成的，其电阻阻值是一个常数。电阻的文字符号用 R 表示。电阻广泛应用在电力、电子、电工、通信等技术中，可以起到分压、分流和限流的作用。电阻器从结构形式上可分为固定电阻、可变电阻和电位器三种类型；从电阻器的物质结构上分有碳膜、金属膜、实心、绕线等金属材料电阻和热敏正、负温度系数电阻等导热材料电阻。常用电阻外形及符号如图 1-2 所示。

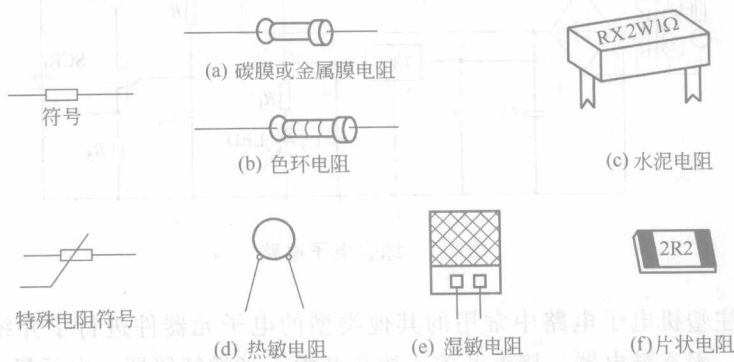


图 1-2 电阻器的符号和外形

1.1.1.1 电阻器主要技术参数

(1) 电阻器主要技术参数 电阻器主要技术参数有标称阻值、额定功率、温度系数和精度等级等。

① 标称阻值 电阻器的标称电阻值一般按标准系列规定的阻值制造。每只合格的电阻都标有电阻值。电阻器标称阻值的标准单位是欧姆，用 Ω 表示，常用的还有千欧 ($\text{k}\Omega$)、兆

欧 (MΩ), 其单位换算是

$$1\text{M}\Omega = 1000\text{k}\Omega = 1000000\Omega$$

标称电阻值即普通电阻的阻值系列由 E24 系列规定的阻值决定。表 1-2 是普通固定电阻的 E24 系列阻值。不同误差等级的电阻有不同数目的标称值, 误差越小, 精度越高, 标称阻值越多。

表 1-2 E24 系列阻值

精度	标称阻值系列/ Ω							
±5%	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0
	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3
	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1
±10%	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9
	4.7	5.6	6.8	8.2				
±20%	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8		

② 额定功率 电阻的额定功率是指在规定的环境温度下, 电阻器所允许消耗的最大功率。电阻是耗能元件, 额定功率实质上是指在正常工作条件下, 向周围空气散发的热量。

电阻器额定功率常用标志图来表示, 如图 1-3 所示。电路图中额定功率小于 1W 的电阻器一般不标出额定功率符号标志, 大于 10W 的电阻器可以用数字加单位直接标出。

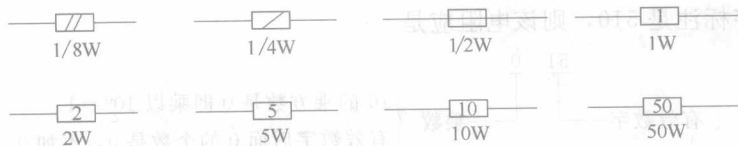


图 1-3 电阻器额定功率标志

③ 温度系数 电阻器的阻值会随温度的变化而略有变化。温度升高或降低 1℃ 所引起电阻值的相对变化称为电阻的温度系数。温度系数是衡量电阻稳定性能的标准。如果温度系数小, 则表明电阻器的稳定性好。

④ 精度等级 电阻器的精度等级是指电阻器的实际阻值与标称阻值之间所允许的最大偏差范围。工业电子电气广泛应用的通用电阻器规定有七级, 常用的三级精度如下。

I 级精度等级 误差 ±5%。

II 级精度等级 误差 ±10%。

III 级精度等级 误差 ±20%。

精密电阻器的精度要求高、偏差范围小, 允许偏差有 ±0.5%、±2%、±1%、±0.05% 等, 最精密的电阻器精度等级的误差范围可达 ±0.001%。

(2) 电阻器技术参数的标志方法及有关规定 电阻器的标称阻值和精度等级是电阻器重要的技术参数, 通常都要标注在电阻器的表面上, 其标注方法常用的有文字符号直标法、数字标注法和色环标注法。

① 文字符号直标法 一般直标法是用油墨或染料将阻值参数印在电阻器表面上, 大功率电阻常采用这种方法进行参数标注。

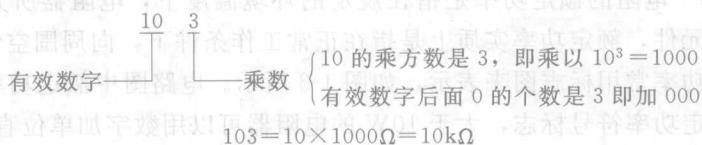
② 数字标注法 电阻器的标称阻值用阿拉伯数字进行标注, 阻值单位采用欧姆 (Ω)。常用三位数字来表示。前两位数字表示标称阻值的有效数字。第三位数字是有效数字后面 0

的个数，或者理解为乘以 10 的乘方数。数字标注见表 1-3。

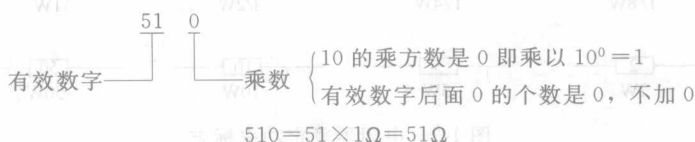
表 1-3 电阻值的数字标注

有效数字		乘数	
第一位数字	第二位数字	第三位数字	代表意义
1	1	1	$10^1=10$
2	2	2	$10^2=100$
3	3	3	$10^3=1000$
4	4	4	$10^4=10000$
5	5	5	$10^5=100000$
9	9	9	$10^9=1000000000$
0	0	0	$10^0=1$

例如一电阻数字标注为 331，那么它的阻值有效数字为 33，乘数是 1 表示为 10 的 1 次方，或者理解为有效数字后面 0 的个数是 1，根据乘积关系该电阻是 330Ω 。又例如一电阻数字标注是 103，则该电阻阻值如下。



一电阻数字标注是 510，则该电阻应是



③ 色标法 电子电气电路中广泛采用色环标注法来标注电阻器的标称阻值。读取色环电阻阻值，要记住色环颜色及色环道的含义。表 1-4 是固定电阻器色环颜色的规定。

表 1-4 固定电阻器色环颜色的规定

颜色	有效数字	乘数	允许精度误差
银	—	$10^{-2}=0.01$	$\pm 10\%$
金	—	$10^{-1}=0.1$	$\pm 5\%$
黑	0	$10^0=1$	—
棕	1	$10^1=10$	$\pm 1\%$
红	2	$10^2=100$	$\pm 2\%$
橙	3	$10^3=1000$	—
黄	4	$10^4=10000$	—
绿	5	$10^5=100000$	$\pm 0.5\%$
蓝	6	$10^6=1000000$	$\pm 0.2\%$
紫	7	$10^7=10000000$	$\pm 0.1\%$
灰	8	$10^8=100000000$	—
白	9	$10^9=1000000000$	—
无色	—	—	$\pm 20\%$

规定的色环颜色用来表示标称电阻阻值和精度误差范围。常用四色环带和五色环带来标志电阻阻值。图 1-4 是色环电阻表示，图 1-4(a) 表示四色环带电阻、图 1-4(b) 表示五色环

带电阻。色环带位于电阻器的表面，并且靠近引线一端排列，每一色带表示一个数字或精度误差。在四色环带中，规定靠近引线一端的第一个和第二个色环带用来表示标称阻值的有效数字，第三个色环带专门用来表示前面有效数字乘以 10 的方次或有效数字后面 0 的个数，第四个色环带用来表示该电阻器标称阻值允许的精度误差。图 1-4(a) 中第一色环带是黄色，表示 4；第二色环带是紫色，表示 7；第三色环带是黑色，表示 0；第四色环带是银色，表示是精度在 $\pm 10\%$ 误差。那么图中四色环电阻应是 $47\Omega \pm 10\%$ 。在五色环带中，规定靠近引线一端的第一个、第二个和第三个色环带用来表示标称电阻的有效数字，第四色环带专门用来表示前三位有效数字乘以 10 的方次或有效数字后面 0 的个数，第五个色环带用来表示该电阻器标称阻值允许的精度误差。图 1-4(b) 表示的五色环带电阻中，第一色环带是棕色，表示 1；第二色环带是红色，表示 2；第三色环带是黑色，表示 0，那么有效数字就是 120。第四色环带是橙色，表示 3。第五色环带是金色，表示是精度误差在 $\pm 5\%$ 。那么有效数字就应乘以 10 的 3 次方或有效数字后面 0 的个数是 3。该五色环带电阻的标称阻值是 $120k\Omega \pm 5\%$ 。



图 1-4 色环电阻表示

(3) 电阻排组元件 在实际应用中，还会广泛用到电阻排组元件，电阻排组是将一组阻值相同的电阻连在一起，集成而成的元件，又称电阻排。电阻排焊接加工制作方便，电路板空间紧凑，尤其在微机控制电路、程控器控制电路中作为上拉电阻或下拉电阻最为适宜。图 1-5 是电阻排组的外形和等效电阻。

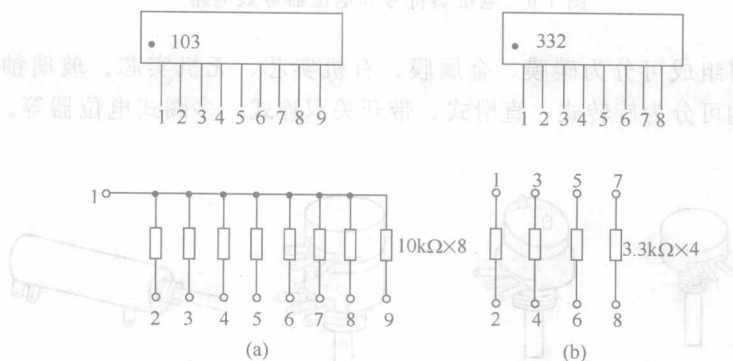


图 1-5 电阻排组的外形和等效电路

电阻排组的引脚有奇数只脚和偶数只脚，图 1-5(a) 是奇数只脚的电阻排组，带点的标志是开始标志，引脚顺序排列，从等效电阻图可以知道，引脚 1 用于接通电源，接通正电源常称作上拉电阻，接通负电源称作下拉电阻，其余排脚按序排列，均为 $10k\Omega$ 电阻；图 1-5(b) 是偶数只脚的电阻排组，引脚是按顺序头（进入）尾（输出）方式排列的，两两引脚构成一个电阻功能，其电阻阻值均为标称阻值，即 $3.3k\Omega$ 。

1.1.1.2 电位器

电位器是常用的可调电子元件，包括可变电阻器。电位器有三个外接引出端，其中两个外接端 1 和外接端 2 之间的电阻值为最大，等于标称阻值，相当于一个固定电阻器。外接端 3 是中间抽头，连接在电位器内部的一个可活动的臂上。从外接端 1 到外接端 3 测得的阻值，加上从外接端 2 到外接端 3 测得的阻值，等于电位器的总固定电阻值。外接端 3 在电位器总阻值范围内连续可调，调节外接端 3 时，其余两个外接端的电阻值都会改变，但总的电阻值保持不变。电位器的文字符号用 R_P 表示，符号及等效电路如图 1-6 所示。图 1-6(a) 中，电位器阻值变化范围为 $0 \leq R_{13} \leq R_P$ ； $0 \leq R_{23} \leq R_P$ ；图 1-6(b) 中电位器滑在上极限端， $R_{31} = 0$ ， $R_{32} = R_P$ ；图 1-6(c) 中电位器滑在下极限端， $R_{32} = 0$ ， $R_{31} = R_P$ 。

电位器在电路中主要用作分压器和变阻器使用，主要技术参数同电阻器，即标称阻值、额定功率、精度等级等。

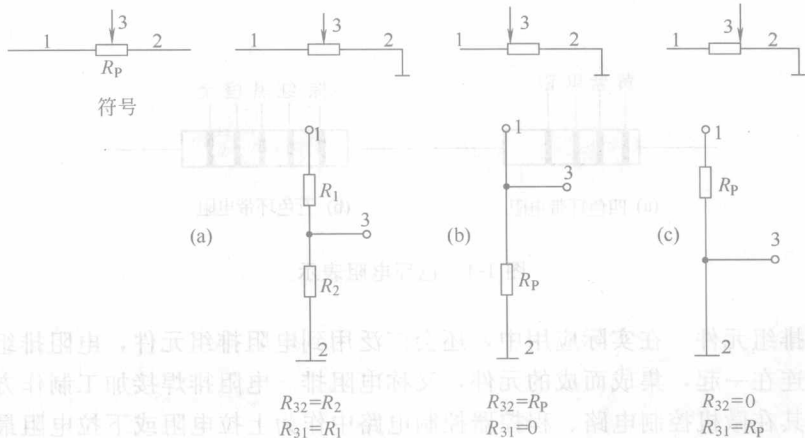


图 1-6 电位器符号和电位器等效电路

电位器按材料组成可分为碳膜、金属膜、有机实芯、无机实芯、玻璃釉、绕线电位器等。电位器按结构可分为旋转式、直滑式、带开关双连式、多圈式电位器等。图 1-7 是常用电位器的外形。

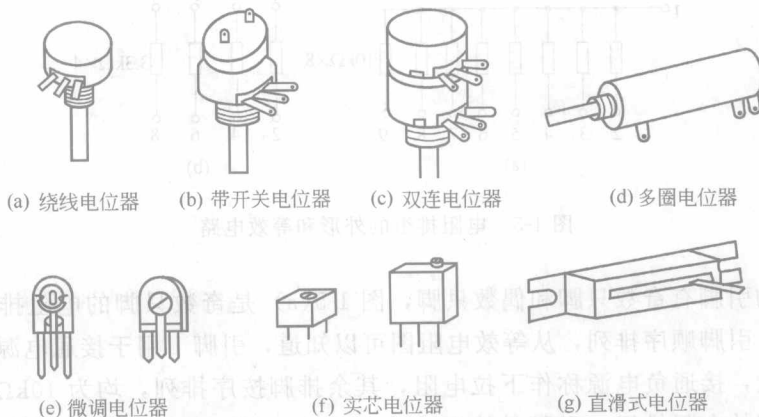


图 1-7 常用电位器的外形

1.1.1.3 特殊电阻器

特殊电阻器主要是指敏感型电阻器，常用的有压敏电阻、热敏电阻、光敏电阻、力敏电阻、气敏电阻、磁敏电阻、湿敏电阻等，用符号 M 表示，类别见表 1-5。

表 1-5 特殊电阻器

符 号	类 别	符 号	类 别
F	负温度系数热敏电阻	L	力敏电阻
Z	正温度系数热敏电阻	C	磁敏电阻
G	光敏电阻	S	湿敏电阻
Y	压敏电阻	Q	气敏电阻

敏感型电阻器主要指电特性对温度、湿度、压力、电磁感应、气体浓度等外界条件的物理量反应敏感的元器件，它可以将这些物理量转换成电信号、制成各种传感器或器件，还可进行放大和处理，以实现自动控制。常用的几种敏感型电阻器如图 1-8 所示。

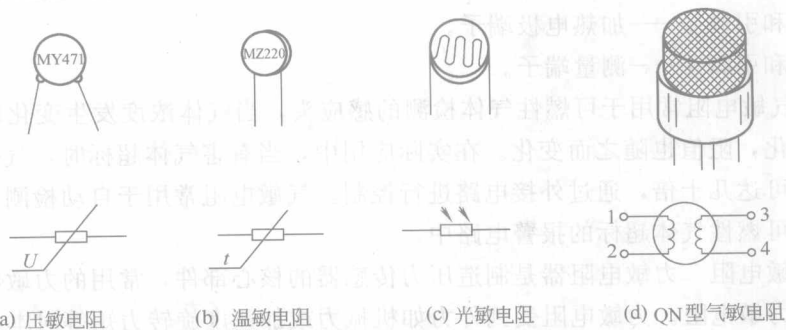


图 1-8 常用的几种敏感型电阻器

(1) 压敏电阻 压敏电阻外形及符号如图 1-8(a) 所示，压敏电阻文字符号用 RV 来表示。压敏电阻器是利用半导体材料的非线性特性原理制成的。是多晶半导体器件。其特点是压敏电阻器对外加电压感应非常迅速和敏感。当外加电压达到压敏电阻器的临界值时即达到标称额定值时，其电阻值会急剧变化，反应速度极其快速。压敏电阻器的阻值在外加电压没有达到额定电压值时，呈现出很高的阻值，趋于无穷大；当外加电压超过额定电压值时，电阻值急剧变小，超过临界极限值将导致过流过压保护装置动作，起到过电压保护、抑制浪涌电压、削波、限幅、吸收电能和防雷击等作用。电路中由于各种原因产生的瞬时电压或瞬时电流会超过正常电压和电流值的许多倍，而所超过的时间很短，被称为浪涌电压或浪涌电流。压敏电阻在一定温度范围内，其两端能承受的电压值称为标称电压或耐压。而这两个参数是压敏电阻的主要电气参数。压敏电阻反应时间快速，达到纳秒级。所以，压敏电阻具有耐浪涌电压大、抑制过电压能力强、反应速度快、温度特性好、可靠性高的优点，被广泛应用在交流电路和直流电路的保护回路中。

(2) 热敏电阻 热敏电阻外形及符号如图 1-8(b) 所示，热敏电阻文字符号用 RT 来表示。热敏电阻器是由钛酸钡材料，掺杂能改变居里点温度的物质铅或锶和加入极微量的导电杂质稀土元素镧，经过研磨、压型、高温烧结而成的复合钛酸盐的 N 型半导体瓷体，大多是单晶或多晶半导体器件。其特点是热敏电阻在达到特定温度前，电阻值随温度变化较缓慢，当越过一定的温度时，其阻值急剧增大。这个温度称为居里点温度。热敏电阻利用居里点温

度及阻值变化敏感材料制成，温度升高电阻阻值增大称为正温度系数；温度升高电阻阻值减小称为负温度系数。热敏电阻常用于温度补偿、自动保护、自动测温、电机过热保护及电气设备软启动等场合。

(3) 光敏电阻 光敏电阻外形及符号如图 1-8(c) 所示。光敏电阻器是由半导体硒化镉、硫化铅、硫化锌等材料制成的。利用半导体的光电导特性原理，当射入强光线时，光敏电阻的阻值减小；当射入弱光线时，光敏电阻的阻值增大。光敏电阻还具有灵敏度高、电气性能稳定、制作工艺简单等特点。根据不同光源可分为：红外光光敏电阻、可见光光敏电阻、紫外线光敏电阻等。光敏电阻在有光照射下，产生的亮阻阻值很小，在没有光照射下，产生的暗阻阻值较大。光敏电阻电流随电压呈现线性变化，在自动控制、光电控制、自动检测、通信及报警电路中广泛应用。

(4) 气敏电阻 气敏电阻外形及符号如图 1-8(d) 所示。气敏电阻是利用某种半导体在加热状态下，其表面吸入特定气体，并在发生氧化或还原反应后，产生离子，导致其电阻率发生改变的一种器件。气敏电阻器的文字符号用 Q 来表示，图示气敏电阻的引脚如下。

引脚 1 和引脚 2——加热电极端子。

引脚 3 和引脚 4——测量端子。

QN 型气敏电阻常用于可燃性气体检测的感应头，当气体浓度发生变化时，外接负载电压随之而变化，阻值也随之而变化。在实际应用中，当有害气体超标时，气敏电阻阻值急剧变化，幅度可达几十倍，通过外接电路进行控制。气敏电阻常用于自动检测、自动控制以及有害气体、可燃性气体超标的报警电路中。

(5) 力敏电阻 力敏电阻器是制造压力传感器的核心部件，常用的力敏电阻有金属应变片和半导体力敏电阻。力敏电阻受到外力如机械力或加速度旋转力矩等时本身电阻阻值发生变化。实际应用中常采用力敏电阻组成惠斯登电桥电路的传感器，将力敏电阻参数变化转换为电信号参数变化。力敏电阻在组成电桥电路时，桥臂输出保持平衡。在受到外力作用时，各金属应变片受力作用，产生不同的变化，其阻值也发生变化，电路桥臂输出电压信号也发生变化。变化的结果和受力大小有关，受力越大，电路桥臂输出电压信号幅度越大。总之通过力敏电阻组成的桥臂电路，将外力作用的非电信号变成电信号，通过放大和处理，实现对外力等物理量的自动监视和自动控制。

1.1.2 电容器

电容器是一种能储存电能的元件，电容器是由两块金属电极和中间的电解质绝缘材料夹层构成。在两金属电极上加上电压时，电容器就会存储电荷，进行充电；加上负载时，电容器就会释放电荷，进行放电。电容器还具有阻隔直流电、允许通过交流电的特点，常用于滤波电路、耦合电路、旁路电路、反馈电路、定时及振荡电路中。电容器的文字符号用 C 表示，符号及外形如图 1-9 所示。

图 1-9 中电容器按结构形式分为：固定电容器、可变电容器和微调电容器三类，固定电容器又分为无极性电容器和有极性电容器。电容器按所用绝缘材料可分为：固体无机介质电容器、固体有机介质电容器、电解电容器、气体介质电容器等类型。

1.1.2.1 电容器主要技术参数

电容器主要技术参数有额定工作电压、标称容量、精度等级等。

(1) 额定工作电压 电容器的额定工作电压是指在规定的环境温度下，电容器在电解质