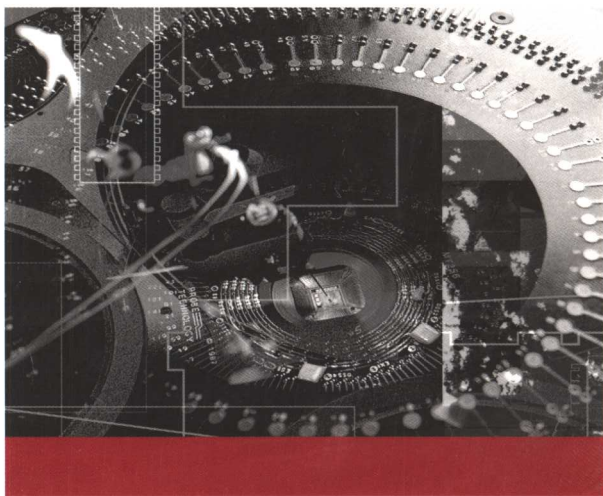


高等职业技能操作与实训教材

仪表维修技术

张应龙 主编



Chemical Industry Press



化学工业出版社
教材出版中心

高等职业技能操作与实训教材

仪表维修技术

张应龙 主编

李金伴 陆一心 主审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

仪表维修技术/张应龙主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 10

高等职业技能操作与实训教材

ISBN 7-5025-7788-2

I. 仪… II. 张… III. 仪表-维修-高等学校: 技术学院-教材 IV. TH707

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 125714 号

高等职业技能操作与实训教材

仪表维修技术

张应龙 主编

李金伴 陆一心 主审

责任编辑: 张建茹 陈 丽

责任校对: 于志岩

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

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

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 14 1/4 字数 431 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7788-2

定 价: 24.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

为了培养机械工程专业的高级技术人才，满足广大机械工程类从事精密仪器、仪表维修行业的工程技术人员业务学习而编写了本书。

本书从基本理论和基本技术两方面展开叙述，注重理论和实践的紧密结合。在内容安排上，既保留了有价值的经典理论和技术，又反映了近年来精密仪器、仪表维修的新理论、新工艺和新技术，本书较全面、系统，突出了“新颖”和“实用”的特点。

本书共12章，内容包括仪表维修的基本知识；仪表的维护、检修工作；万用表与钳形电表的原理使用和检修以及电压表、电子示波器、数字频率计、电子电位差计、压力表、流量计、各类常用显示与记录仪表、智能化仪表的检修等。

本书第一章由王萍、张应龙编写，第十章由王萍编写，其余各章节由张应龙编写，全书由张应龙统稿。在编写过程中，参阅了有关教材、资料和文献，在此对有关专家、学者和作者表示衷心感谢。

在本书的编写过程中，江苏大学陆一心教授、李金伴教授和王维新高级工程师、杨宁川技师给予了精心的指导和热情的帮助，提出了许多宝贵的意见，全书由江苏大学李金伴、陆一心教授担任主审，在此谨向他们表示衷心感谢。

由于编者水平所限，编写时间比较仓促，书中不足在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2005年7月

目 录

第一章 仪表维修的基本知识	1
第一节 仪表的分类与组成	1
第二节 仪表的品质指标	3
第三节 仪表的测量误差	5
第四节 常用电气元器件及电路图	9
第五节 机械识图基础知识	26
第六节 仪表钳工工艺基础	42
第七节 模/数转换 (A/D) 及集散控制系统 (DCS) 基础知识	53
第二章 仪表的维护工作	66
第一节 仪表维护工作概述	66
第二节 仪表的维护标准	67
第三节 仪表的日常维护	69
第四节 仪表的调试和校准	73
第三章 仪表的检修工作	80
第一节 仪表检修的工作内容	80
第二节 仪表检修的基本程序和步骤	81
第三节 仪表检修的基本方法	90
第四节 常用的仪表维修工具和设备	97
第五节 常用的仪表维修材料	100
第四章 万用表与钳形电表的原理、使用 and 检修	101
第一节 指针式万用表的基本结构和工作原理	101
第二节 万用表的常规使用	113
第三节 表头的一般检修	121
第四节 指针式万用表的常见故障检修	125
第五节 数字万用表的性能指标和特点	128
第六节 数字万用表的工作原理和使用	137
第七节 数字万用表的常见故障检修	144
第八节 数字万用表的误差计算和调试	154

第九节	钳形电表的组成、使用和故障检修	164
第五章	电压表的检修	170
第一节	电子电压表的基本原理	170
第二节	电子电压表的检修程序	177
第三节	电子电压表的常见故障检修	178
第四节	DA-16 型晶体管毫伏表的故障检修	181
第五节	电子电压表的调试与校准	185
第六节	数字电压表的结构类型和工作原理	186
第七节	数字电压表的常见故障检修	191
第八节	数字电压表的调试与校准	203
第六章	电子示波器的检修	205
第一节	电子示波器的基本原理	205
第二节	SR-8 型电子示波器的技术特性	210
第三节	电子示波器的使用方法	216
第四节	电子示波器的常见故障检修	221
第五节	电子示波器的调试与校准	235
第七章	数字频率计的检修	241
第一节	数字频率计的基本原理和组成	241
第二节	数字频率计的检修程序	245
第三节	数字频率计的常见故障检修	251
第四节	数字频率计的定量测试	260
第八章	电子电位差计的检修	262
第一节	电子电位差计的基本原理和结构	262
第二节	电子电位差计在测量和控制温度过程中的故障分析	277
第三节	电子电位差计的常见故障检修	292
第四节	电子电位差计的定期检修和检定	326
第九章	压力表的检修	337
第一节	压力表的分类	337
第二节	压力表的选用、校验和安装	341
第三节	压力表的常见故障检修	347
第十章	流量测量仪表的检修	351
第一节	流量测量仪表的分类和使用特点	351
第二节	差压流量计的结构原理和安装	362
第三节	差压流量计的常见故障分析	370
第四节	差压流量计的温度和压力补偿	374

第十一章 各类常用显示与记录仪表	377
第一节 磁电式显示与记录仪表	377
第二节 自动平衡式显示与记录仪表	386
第三节 数字显示技术及仪表	393
第四节 计算机图形显示技术	400
第十二章 智能化仪表的检修	407
第一节 智能化仪表的概述	407
第二节 智能化仪表的应用实例	414
第三节 智能化仪表的常见故障检修	426
第四节 智能化仪表的调试方法	433
第五节 智能化仪表的抗干扰技术	438
主要参考文献	464

第一章 仪表维修的基本知识

第一节 仪表的分类与组成

一、仪表的分类

仪表的覆盖面很广，分类方法也很多，根据不同的原则可以进行相应的分类，但仪表的任何一种分类方法均不能将所有仪表分门别类地划分得井井有条，它们中间互有渗透，彼此沟通。按仪表的性质来分类，可分为力学、分析、电子、光学、光电、电磁等仪表；按仪表所使用的能源分类，可以分为气动仪表、电动仪表和液动仪表（很少见）；按仪表组合形式，可以分为基地式仪表、单元组合仪表和综合控制装置；按仪表安装形式，可以分为现场仪表、盘装仪表和架装仪表；随着微处理机的蓬勃发展，根据仪表有否引入微处理机（器）又可分为智能仪表与非智能仪表。根据仪表信号的形式可分为模拟仪表和数字仪表。

工业生产中所用的仪表主要用来对各种参数进行测量和控制，其结构与形式是多种多样的，可以根据不同的原则进行相应的分类。常见的分类方法有如下几种。

1. 根据被测参数的不同来分类

这是最常见的分类方法。工业检测仪表通常可以分为温度测量仪表、压力测量仪表、流量测量仪表、物位测量仪表、机械量测量仪表、工业分析仪表等。其中，机械量测量仪表和工业分析仪表还可根据被测的具体参数进一步划分，如转速表、加速度计、pH计、溶解氧测定仪等。

2. 根据检测原理或检测元件的不同来分类

可分为弹簧管压力表、活塞式压力计、靶式流量计、转子流量计、电磁流量计、超声波流量计等。

3. 根据仪表输出信号的特点与形式来分类

可大致分为以下几种。

(1) 开关报警式 当被测参数的大小达到某一定值时, 仪表发出开关信号或报警。例如, 一氧化碳报警器, 当室内空气中的 CO 含量达到一定数值时, 即可发出报警信号。又如, 安装在管道中的流量开关, 可以判断管道中是否有流体流动, 在食品发酵工业和其他化工类生产过程中, 可用作进料指示器和保险装置。

(2) 模拟式 检测仪表的输出信号是连续变化的模拟量。例如, 各种指针式仪表以及笔式记录仪表等。

(3) 数字式 检测仪表的输出信号是离散的数字量。由于以数字形式给出测量结果, 避免了人为的读数误差, 而且其输出信号便于和计算机连接进行数据处理及实现数控加工。

(4) 远传变送式 这类检测仪表常称为变送器, 是一种单元组合式仪表。它与其他单元组合仪表(如调节单元、显示单元等)之间以统一标准信号联系, 一般用于工业生产过程的在线检测和自动控制系统中。根据所使用的能源不同, 变送器分为气动和电动两种。

气动变送器以干燥、洁净的压缩空气作能源, 它可将各种被测参数(如温度、压力、流量, 液位等)转换成 $0.02 \sim 0.1 \text{ MPa}$ 的气压信号, 以便传送给调节、显示等单元组合式仪表, 供指示、记录或调节。气动变送器的结构比较简单, 工作比较可靠, 对电磁场、放射线及温度、湿度等环境影响的抗干扰能力较强, 能防火防爆, 价格也比较便宜。其缺点是响应速度较慢, 传送距离受到限制, 与计算机连接比较困难。

电动变送器以电为能源, 信号之间联系比较方便, 适用于远距离传送, 便于和电子计算机连接, 近年来又增加了防爆功能更有利于安全使用。其缺点是投资一般较高, 受温度、湿度、电磁场和放射线的干扰影响较大。电动变送器能将各种被测参数转换成 $0 \sim 10 \text{ mA DC}$ 或 $4 \sim 20 \text{ mA DC}$ 的统一标准信号, 以便传送给自动控制系统中的其他单元(其中 $4 \sim 20 \text{ mA}$ 直流电流为国际标准信号)。

二、仪表的基本组成

仪表的基本组成一般可分为以下几部分。

1. 感受部分

感受部分的作用是感受被测参数的变化，拾取原始信号，并把它转换成放大部分或显示部分所能接受的信号传递出去。有时又将感受部分称为检测元件或传感器。例如，弹簧管压力表中的弹簧管，热电高温计中的热电偶等，就是感受部分。在许多非电量电测仪表中，常常是依靠仪表的感受部分将被测的非电量转换成电量。感受部分是检测仪表的必不可少的重要组成部分，因为如果连原始信号都无法拾取，也就谈不上对信号的进一步处理了。

2. 转换放大部分

转换放大部分的作用一是将感受部分输出的微弱信号进行放大，以便于传输和显示；二是为便于进行信号处理而进行的模-数（A/D）或数-模（D/A）转换。此外，如果感受部分的输出信号是非电量，而显示记录部分要求输入电信号时，还需在转换放大部分完成非电量-电量的转换。

3. 显示记录部分

显示记录部分的作用是显示或记录被测参数的测量结果。常见的显示记录部件有指针表盘、记录器、数字显示器、打印机、荧光屏图形显示器等。

4. 数据处理部分

一些比较复杂的检测仪表，在其感受信号至最终显示之间，有时还有一套数据加工和处理环节，包括计算、校正环节等。

第二节 仪表的品质指标

仪表的品质指标主要包括以下几个方面。

1. 精度等级

在正常使用条件下，仪表测量结果的准确程度叫仪表的准确度。在工业测量中，为了便于表示仪表的质量，通常用准确度等级来表示仪表的准确程度。仪表准确度习惯上称精度，准确度等级习惯上称精度等级。

精度等级是说明仪表的测量精确度的指标。按照国家统一规定的允许误差大小可将仪表的精确度划分为若干等级。所谓允许误差，是指仪表在规定的正常情况下允许的相对百分误差（即归算误

差)的最大值,即

$$\text{允许误差} = \pm \frac{\text{仪表的最大绝对误差值}}{\text{仪表的测量范围}} \times 100\%$$

仪表的精度等级就是将该仪表的允许误差的“±”号及“%”号去掉后的数值。例如,某压力表的允许误差为±1.0%,则该压力表的精度等级即为1.0级。

精度等级是衡量仪表质量优劣的重要指标之一。仪表的精度等级已经系列化,中国工业仪表等级一般划分为0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0七个等级,并标志在仪表刻度标尺或铭牌上。在工业生产现场使用的检测仪表大都是0.5级以下的。在选用仪表的精度等级时,应根据实际需要,不能片面追求高精度,以免造成浪费。

按照国家标准的规定,在正常工作条件下使用仪表时,仪表的实际误差应小于或等于该表精度等级(在仪表标度盘上注明)所允许的误差范围。

2. 示值范围

示值范围又称量程,即仪表所能指示的被测量值的上限值与下限值之差。示值范围应根据被测参数的大小来选择,其上限值应当高于被测参数的最大可能值;为了保证测量的精确度,所测参数的数值不能太接近于仪表示值范围的下限值,一般以不低于仪表全量程的1/3为宜。仪表示值范围的数值也已标准化、系列化,一般可在相应的产品目录中查到。

3. 示值稳定性

示值稳定性又称示值变差,它指的是在外界条件不变的情况下,对同一个被测数值进行重复测量时,仪表指示值的最大变化范围。示值稳定性反映了仪表的可靠程度。对于含有弹性元件的仪表,造成示值不稳定的重要原因是由于存在迟滞现象,因此示值变差的大小通常也采用下式来计算,并要求计算所得的百分数不得超过仪表的允许误差。

$$\Delta_i = \frac{\Delta_{\max}}{y_{F \cdot S}} \times 100\%$$

式中 Δ_t ——迟滞（滞后）；

$\Delta_{\max}$ ——输出值在正反行程间的最大差值；

$y_{F.S}$ ——满量程输出。

此外，当仪表用于温度波动较大的环境中或长时间地连续工作时，还应考虑其温度稳定性和长时间工作稳定性（零点漂移）。

4. 输出-输入特性

当被测参数处于稳定状态时，应当考虑仪表的线性度、灵敏度、分辨率等静态特性。当测量快速变化的参数时，则应考虑仪表的动态特性。常用的两个动态品质指标是时间常数（或响应时间）和滞后时间。例如，在采用热电偶的测温系统中，由于带有保护套管的热电偶的热惯性，从而表现为具有长达几十秒的时间常数；又如，在工业气体分析中，被分析气体往往先要流经取样装置才能进入传感器，从而需要一段时间，这就是滞后时间。显然，由于滞后时间的存在，将会带来更大的动态误差。

第三节 仪表的测量误差

在检测过程中，由于所选用的仪表精确度有限，实验手段不够完善，环境中存在各种干扰因素，以及检测技术水平的限制等原因，必然使测量值和真实值之间存在着一定的差值，这个差值称为测量误差。由于误差自始至终存在于一切科学实验和检测之中，因此，被检测量的真值永远是难于得到的，这就是所谓的误差公理。寻求测量误差的目的就在于用来判断测量结果的可靠程度。

研究检测过程中出现的误差即测量误差，不论是在理论上还是在实践中都有如下的现实意义：

① 可合理确定检测结果的误差。误差理论是检测技术的基础理论，它研究误差的性质、特点及所服从的规律，可见，误差理论和实际应用是紧密联系的，对解决生产实际问题有指导意义；

② 可正确地认识误差的性质，分析产生误差的原因，采取措施以达到减少误差的目的；

③ 有助于正确处理实验数据，合理计算测量结果，以便在一定的条件下，得到最接近于真实值的最佳结果；

④ 有助于合理选择试验仪表，确定测量条件及测量方法，使能在较经济的条件下，得到预期的结果；

⑤ 有利于评价控制系统的各种控制规律的优劣。

一、误差的表示方法

在实际检测中，测量误差的表示方法有多种，最常用的有绝对误差、相对误差和引用误差。

1. 绝对误差

表示误差的基本方程式为

$$\Delta = x - x_0$$

式中 Δ ——绝对误差；

x_0 ——被测量的真值；

x ——测量值。

公式中表明，为了计算绝对误差，必须先知道真值。因此，求真值的问题成为误差理论的一个重要问题。

真值是指严格定义的量的理论值，一个量的真值是一个理论概念。因为任何可得到的值都是通过测量获得的，与理论值总有差异，因此为了研究和计算方便，在实际工作中常用约定值来代替真值。常把下面的量规定为真值。

(1) 理论真值 例如，平面三角形的内角之和恒为 180° 。

(2) 计量学约定真值 国际计量大会的决议已定义了长度、质量、时间、电流强度、热力学温度、发光强度及物质的量等七大基本单位。凡是满足有关规定条件复现出的数值即为计量学约定真值。

(3) 标准器的相对真值 在有些情况下，可以认为高一级标准器的测量值是低一级标准器或普通仪表的测量值之相对真值。

采用绝对误差表示测量误差不能很好说明测量质量的好坏。例如，温度测量的绝对误差 $\Delta = 1^\circ\text{C}$ ，若对人体温测量来说，则误差过大，而对钢水温度测量来说，它则是目前尚达不到的最佳测量结果。然而，绝对误差说明了测量值离真值的大小，它能够说明测量的精确度，故它一般适用于标准仪表的校准，在校准工作中，常用到修正值 c ，其定义为

$$c\Delta = x_0 - x$$

公式表明，修正值与绝对值误差在数值上相等，而符号相反，其实际含义是真值等于测量值加上修正值，这样使用起来更方便些。

2. 相对误差

被测量的绝对误差与真值之比，称为相对误差 δ ，一般用百分数表示

$$\delta = \frac{\Delta}{x_0} \times 100\%$$

用相对误差表示法比绝对误差表示法最突出的优点是能够更好说明测量质量的好坏。但在实际应用中，由于被测量的真值 x_0 是不知道的，使利用上式计算相对误差也不方便，而且在使用仪表测量时，一般不宜测量过小的量，而多用于接近上限的量，如 $2/3$ 的量程处，因此用下面介绍的引用误差来评价仪表的质量更为方便。

3. 引用误差及最大引用误差

测量的绝对误差与仪表的满量程之比，称为仪表的引用误差 r ，它常以百分数表示

$$r = \frac{\Delta}{L} \times 100\%$$

式中 L ——仪表的满量程值。

比较相对误差和引用误差的公式可知，引用误差是相对误差的一种特殊形式而已，用满量程 L 代替真值 x_0 ，在使用上方便多了。然而，实践证明，在仪表测量范围的各个示值的绝对误差 Δ 都是不同的，因此引用误差仍与仪表的具体示值 x 有关，使用仍不方便。为此，又引入最大引用误差的概念，即能克服上述的不足，又更好地说明了误差的测量精度。所以它常被用来确定仪表的精度等级。

在规定条件下，当被测量平稳增加或减少时，在仪表全量程内所测得各示值的绝对误差（取绝对值）的最大者与满量程的比值之百分数，称为仪表的最大引用误差 $r_{\max}$ ，即

$$r_{\max} = \frac{|\Delta|_{\max}}{L} \times 100\% = \frac{|x - x_0|_{\max}}{L} \times 100\%$$

最大引用误差是仪表基本误差的主要形式，它能更可靠地表明仪表的测量精确度，故是仪表最主要的质量指标。

二、测量误差的分类

由于各种客观及主观原因，任何测量过程必然存在误差，根据测量误差的性质及产生的原因，测量误差分为三类。

1. 系统误差

在同一条件下，多次重复测量同一量时，误差的大小和符号保持不变或按一定规律变化，这种误差称为系统误差。系统误差主要是由于检测装置本身在使用中变形、未调到理想状态、电源电压下降等原因造成的有规律的误差。一般可通过实验或分析的方法查明其产生的原因，因此，它是可以预测的，也是可以消除的。系统误差的大小表明测量结果的准确度。系统误差来源是：传感器误差、放大器和传输线等器件非线性误差、数据采集系统误差、数学模型误差及校准定标误差。

2. 随机误差

在同一条件下，多次重复测量同一量时，误差的大小、符号均无规律变化，这种误差称为随机误差。随机误差是由于许多偶然的因素所引起的综合结果。其平均值随观测次数的增加而逐渐趋于零的误差。随机误差来源：机械干扰（振动与冲击）、温度和湿度干扰、电磁场变化、放电噪声、光和空气、振动干扰及系统元件噪声等；它既不能用实验方法消去，也不能修正。然而，它的变化虽无一定规律可循，难以预测，但是在多次的重复测量时，其总体服从统计规律。实践证明，随机误差的统计特性绝大多数服从正态分布，从随机误差的统计规律中可了解到它的分布特性，并能对其大小及测量结果的可靠性等作出估计。此外随机误差的大小表明测量结果的精密度。

3. 疏失误差

明显歪曲测量结果的误差，称为疏失误差。这种误差是由于观测者对仪表的不了解或因思想不集中，疏忽大意导致错误的读数，就数值大小而言，通常它明显地超过正常条件下的系统误差和随机

误差。含有疏失误差的测量值称为坏值或异常值。正常的测量结果中不应含有坏值，应予以剔除，但不是主观随便除去，必须根据统计检验方法的某些准则判断那个测量值是坏值，然后科学地舍弃之。

为了减少上述误差的影响，可以在软件、硬件设计中采用技术措施。

由上所述，测量坏值必须除去，即正常的测量结果中不能包含有疏失误差，因此在误差分析中，要研究的误差项只有系统误差和随机误差两种，这是两种产生原因不同，特点也完全不一样的测量误差。在测量过程中，它们往往又是混合在一起的，两者的合成称为综合误差。综合误差能较全面地说明测量的质量情况，它的大小反映了测量的精确度。

第四节 常用电气元器件及电路图

一、电子电路基本元器件

1. 电阻

电阻在电子电路中是用得最多的元件之一。它在电路中常用来控制电流、分配电压。电阻的文字符号用字母“R”表示。

电阻按结构形式分，有固定电阻、可变电阻两大类。

固定电阻的种类比较多，按材料不同，主要有碳质电阻、碳膜电阻、线绕电阻等。固定电阻的电阻值是固定不变的，在电路图中的图形符号如图 1-1 (a) 所示。

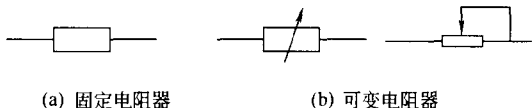


图 1-1 电阻器图形符号

可变电阻主要是指可调电阻、电位器。它们的阻值可以在某一个范围内变化，在电路图中的图形符号如图 1-1 (b) 所示。

电阻按用途的不同，可分为精密电阻、高频电阻、高压电阻、

大功率电阻、热敏电阻、熔断器等。常见的电阻如图 1-2 所示。

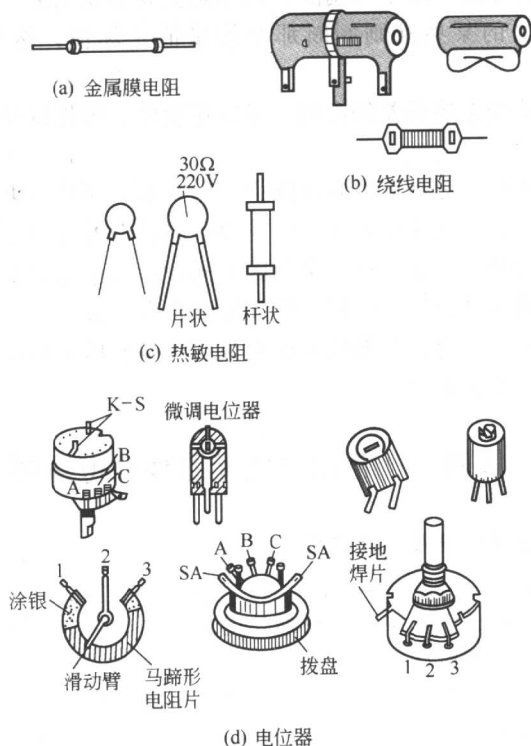


图 1-2 常见电阻的外形

电阻的国际单位是 Ω (欧姆), 其单位除 Ω 外, 还有 $k\Omega$ (千欧)、 $M\Omega$ (兆欧), 它们之间的换算关系为

$$1k\Omega = 1000\Omega = 10^3\Omega$$

$$1M\Omega = 1000k\Omega = 10^6\Omega$$

2. 电容器

电容器是由两个金属板中间夹有绝缘材料构成的。

电容器在电路中具有隔断直流电、通过交流电的作用, 常用于级间耦合、滤波、去耦、旁路及信号调谐等方面, 是电子电路中不