

## 常用仪器仪表

### 知识目标

- (1) 能够叙述常用电工仪表,如电压表、电流表、万用表、兆欧表的结构和使用方法。
- (2) 能够叙述常用电工电子仪器以及 NI ELVIS II + 实验平台的面板结构、旋钮、按键功能及使用方法。
- (3) 了解电工电子技术实验测量过程中产生的误差及分析方法。

### 技能目标

会正确使用常用电工电子技术实验仪表,如电压表、电流表、万用表及兆欧表测量相关的参数;能熟练使用 NI ELVIS II + 实验平台。

## 1.1 电工电子技术实验测量基础

### 1.1.1 电工电子技术实验测量概述

在电工电子技术实验中,需要用电工电子测量仪表进行测量,测量内容包括电压、电流、电阻、电功率和电能等。电工电子测量仪表还可以与变换装置配合,间接测量多种非电量,如磁通、温度、压力、流量、速度、水位和机械变形等。电工电子测量仪表保证了生产过程的合理操作和用电设备的顺利工作,同时也为科学研究提供了便利的条件。

电工电子测量技术的应用之所以能在现代各种测量技术中占有重要的地位,是因为它具有以下主要优点。

- (1) 电工电子测量仪表结构简单、使用方便,并且有较高的准确度。
- (2) 可将电工电子测量仪表灵活地安装在需要进行测量的地方,并可实现传动记录。
- (3) 可解决远距离的测量问题,为集中管理和控制提供了条件。
- (4) 能利用电工电子测量的方法对非电量进行测量。

### 1.1.2 常用电工电子技术测量仪表的分类

电工电子技术实验测量仪表种类繁多,分类方法也很多。常用的电工电子技术实验测量仪表一般按照以下几方面分类。

#### 1. 按被测量的种类分类

按被测量的种类,常用的电工电子技术实验测量仪表可分为安培表、伏特表、瓦特表、电

能表、相位表、频率表和欧姆表等,如表 1-1 所示。

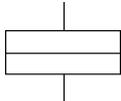
表 1-1 常用的电工电子技术实验测量仪表按被测量的种类分类

被测量的种类	仪表名称	符 号
电 流	安培表	$\textcircled{A}$
	毫安表	$\textcircled{\text{mA}}$
电 压	伏特表	$\textcircled{V}$
	千伏表	$\textcircled{\text{kV}}$
电 功 率	瓦特表	$\textcircled{W}$
	千瓦表	$\textcircled{\text{kW}}$
电 能	电能表	$\boxed{\text{kWh}}$
相位差	相位表	$\textcircled{\phi}$
频 率	频率表	$\textcircled{f}$
电 阻	欧姆表	$\textcircled{\Omega}$
	兆欧表	$\textcircled{\text{M}\Omega}$

## 2. 按工作原理分类

按工作原理,常用的电工电子技术实验测量仪表可分为磁电式、电磁式、电动式、铁磁电动式、静电式、感应式、热电式、整流式和电子式。最常用的主要有磁电式、电磁式、电动式和整流式,如表 1-2 所示。

表 1-2 常用的电工电子技术实验测量仪表按工作原理分类

形 式	符 号	被测量的种类	电流的种类与频率
磁电式		电流、电压、电阻	直流
电磁式		电流、电压	直流及工频交流
电动式		电流、电压、电功率、功率因数、电能	直流及工频交流与较高频率的交流

续表

形式	符号	被测量的种类	电流的种类与频率
整流式		电流、电压	工频交流与较高频率的交流

### 3. 按测量电流的种类分类

按测量电流的种类,常用的电工电子技术实验测量仪表可分为直流仪表、交流仪表和交直流两用仪表。

### 4. 按准确度分类

准确度是电工电子技术实验测量仪表的主要特性之一。仪表的准确度与其误差有关。无论仪表制造得如何精确,其读数和被测量的实际值之间总是存在误差。

根据国家标准,直读式电工电子技术测量仪表的准确度分为0.1级、0.2级、0.5级、1.0级、1.5级、2.5级和5.0级,这些数字就表示仪表的相对误差。通常,0.1级和0.2级仪表作为标准仪表,0.5级至1.5级仪表用于实验室测量,1.5级至5.0级仪表用于工程测量。

在仪表上通常都标有表示仪表的形式、准确度的等级、电流的种类以及仪表的绝缘耐压强度和放置位置等符号,如表1-3所示。

表 1-3 电工电子测量仪表上的常用符号

符号	意义
—	直流
~	交流
≈	交直流
3~或≈	三相交流
 2kV	仪表绝缘试验电压 2000V
↑	仪表直立放置
→	仪表水平放置
∠60°	仪表倾斜 60°放置

#### 1.1.3 电工电子技术测量误差

由于电工电子技术测量仪器仪表的不准确、测量方法的不完善以及测量环境、测量人员本身等各种因素造成的影响,测量结果与被测量的真实值之间总是存在差别,这种差别称为测量误差。在相同条件下多次测量同一个量时,误差的绝对值和符号保持恒定,或在条件改变时,与某一个或几个因素成函数关系的有规律误差称为系统误差。

## 1. 系统误差的分类

系统误差按其来源,可分为以下几类。

(1) 基本误差。基本误差是指测量仪器仪表本身结构和制作上的不完善,使其准确度受到限制而产生的误差。

(2) 附加误差。附加误差是指测量仪器仪表使用时安装不当或未能满足所规定的条件而产生的误差。

(3) 方法误差。方法误差是指测量方法不完善或测量所依据的理论不完善等造成的误差,又称为理论误差。

(4) 个人误差。个人误差是指测量人员经验不足,观察、读数不准确而导致的误差。这类误差往往因人而异,并且与测量人员当时的心理和生理状态密切相关。

系统误差表明了测量结果偏离真实值的程度,系统误差越小,测量结果越准确。

## 2. 减小系统误差的方法

(1) 减小仪器仪表误差。测量前,应将全部量具和仪器仪表进行校准,并确定它们的修正值,在数据处理过程中进行误差修正。此外,还应尽量检查各种影响量,如温度、湿度、电磁场等对仪器仪表示值的影响,确定各种修正公式、曲线或表格。

(2) 减小装置误差。根据测量仪器仪表的使用技术条件,仔细检查全部测量仪器仪表的调定和安放情况,如将仪表的指针调零、将仪器仪表按规定位置安放、环境温度符合标准、除地磁以外没有外来电磁场的影响等。

# 1.2 电工电子技术实验常用仪表仪器

## 1.2.1 电流表

电流测量使用电流表作为测量仪表。常用直流电流表外形如图 1-1 所示,交流电流表外形如图 1-2 所示。



图 1-1 直流电流表



图 1-2 交流电流表

## 1. 直流电流的测量

测量直流电流时,电流表应与负载串联在直流电路中,如图 1-3 所示。接线时需要注意仪表的极性和量程。必须使用电流表的正端钮接被测电路的高电位端,负端钮接被测电路

的低电位端,在仪表允许的量程范围内测量。测量直流大电流应配有分流器,如图 1-4 所示。在使用带有分流器的仪表测量时,应将分流器的电流端钮(外侧两个端钮)串接入电路中,表头由外附定值导线接在分流器的电位端钮上(外附定值导线需与仪表、分流器配套)。

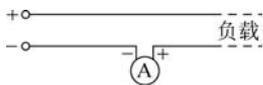


图 1-3 电流表直接接入法

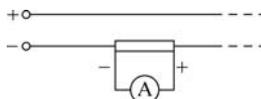


图 1-4 带有分流器的接入法

## 2. 交流电流的测量

使用交流电流表测量交流电流时,同样应与负荷串联在电路中。与直流电流表不同的是,交流电流表不分极性,如图 1-5 所示。因交流电流表线圈的线径和游丝截面很小,不能测量较大的电流,如需要扩大量程,可加接电流互感器,其接线如图 1-6 所示。通常电气工程中配电流互感器使用的交流电流表量程为 5A。表盘上的读数在出厂前已按电流互感器比率(变比)标出,可直接读出被测电流值。

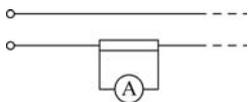


图 1-5 电流表测量交流电

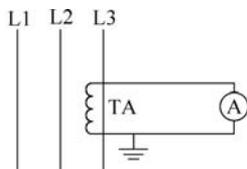


图 1-6 接入交流互感器测量交流电

## 3. 注意事项

- (1) 使用直流电流表和交流电流表测量电流时极性不能接反,否则会使电流表的指针反向偏转。交流电流表如果测量高压电路的电流时,电流表应串接在被测电路的低电位端。
- (2) 要根据被测电流的大小选择适当的仪表,如安培表、毫安表或微安表。在测量前应对电流的大小进行估计,当不知被测电流的大致数值时,先使用较大量程的电流表试测,然后根据指针偏转的情况,转换适当量程的仪表。

### 1.2.2 电压表

电压测量使用电压表作为测量仪表,常用直流电压表、交流电压表外形如图 1-7 和图 1-8 所示。

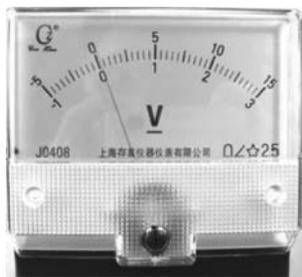


图 1-7 直流电压表



图 1-8 交流电压表

## 1. 直流电压的测量

测量直流电压时,电压表应并联在线路中测量。测量时应注意仪表的极性标记,将标“+”的一端接线路的高电位点,“-”端接线路的低电位点,以免指针反转而损坏仪表。如需扩大直流电压表的量程,无论是磁电式、电磁式还是电动式仪表,均可在电压表外串联分压电阻,所串分压电阻越大,量程越大。

## 2. 交流电压的测量

测量交流电压时,电压表应并联在线路中测量。电压表不分极性,只需要在测量量程范围内直接并联到被测电路即可,接线如图 1-9 所示。若测量较高的交流电压,如 600V 以上时,一般需要配合电压互感器进行测量。如需扩大交流电压表量程,无论是磁电式仪表还是电磁式仪表均可加接电压互感器,如图 1-10 所示。电气工程中,所用电压互感器按测量电压等级不同,有不同的标准电压比率,如 3000/100V、6000/100V 等。配用电压互感器的电压表量程一般为 100V,选择时,根据被测电路电压等级和电压表自身量程合理配合使用。读数时,电压表表盘刻度值已按电压互感器比率折算,可直接读取。

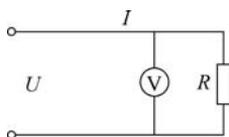


图 1-9 电压表直接接入法

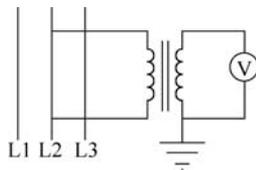


图 1-10 接入电压互感器测量交流电压

## 3. 电压表使用注意事项

测量时应根据被测电压的大小选用电压表的量程,量程要大于被测线路的电压,否则有可能损坏仪表。

### 1.2.3 万用表介绍

万用表又称为复用表、多用表、三用表、繁用表等,是电工工作过程中不可缺少的测量仪表。万用表按显示方式分为指针式万用表和数字式万用表,是一种多功能、多量程的测量仪表。一般万用表可测量直流电流、直流电压、交流电流、交流电压、电阻(含判断导线的通断)和音频电平,有的还可以测量电容量、电感量及半导体的一些参数(如  $\beta$ )。下面将详细介绍应用广泛的 MF47 型指针式万用表的结构原理和使用方法,然后介绍数字式万用表的使用方法。

### 1. 指针式万用表

MF47 型指针式万用表,如图 1-11 所示。

#### 1) 万用表的构造

万用表由表头、测量电路及转换开关 3 个主要部分组成。

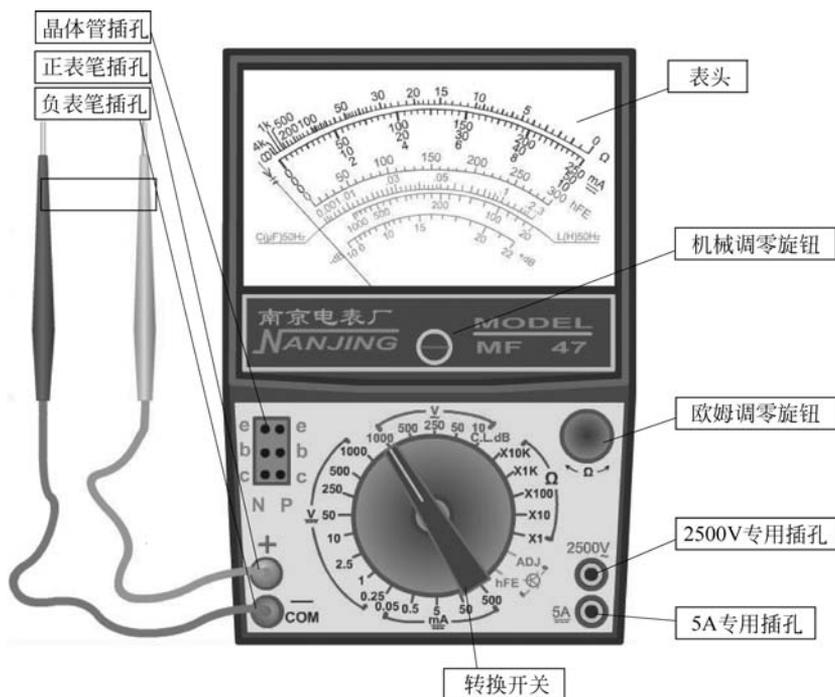


图 1-11 MF47 型指针式万用表实物

(1) 万用表包括表头和表盘。

万用表表头是一只电磁式仪表,用来指示被测量的数值。表头灵敏度指针满刻度偏转时,流过表头线圈的是直流电流。万用表性能的好坏很大程度取决于表头的灵敏度,灵敏度越高,其内阻越大,万用表性能也就越好。

万用表表盘除了有与各种测量项目相对应的 6 条标度尺外,还附有各种符号。正确识读标度尺并且理解表盘符号、字母、数字的含义,是使用和维修万用表的基础。

万用表表盘有的标度尺刻度是均匀的,如直流电压、直流电流和交流电压共用标度尺;有的刻度是不均匀的,如电阻、晶体管共射极直流电流放大系数  $h_{FE}$ 、电感、电容及音频电平标度尺等。其形状如图 1-12 所示。

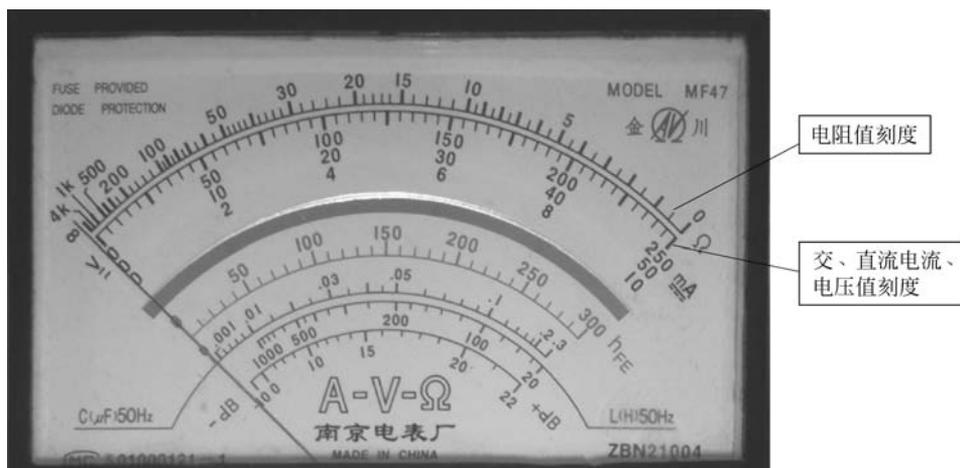


图 1-12 MF47 型万用表表盘

第一条刻度: 电阻值刻度(读数时从右向左读); 第二条刻度: 交、直流电压、电流值刻度(读数时从左向右读)

(2) 万用表转换开关。万用表转换开关用来选择各种不同的测量电路,以满足不同量程的测量要求,如图 1-13 所示。当转换开关处在不同位置时,其相应的固定触点就闭合,万用表就可按各种不同的量程进行测量。万用表的面板上装有标度尺、转换开关旋钮、调零旋钮及端钮(或插孔)等。

### 2) MF47 型万用表标度尺的读法

MF47 型万用表有 6 条标度尺,分别代表了各自的测量项目。其上又用不同的数字及单位标出了相应项目的不同量程。

在均匀标度尺上读取数据时,如遇到指针停留在两条刻度线之间的某个位置,应将两条刻度线之间的距离等分后再估读一个数据。

在欧姆标度尺上只有一组数字,为测量电阻专用。转换开关选择  $R \times 1$  挡时,在标度尺上直接读取数据。在选择其他挡位时,应乘以相应的倍率。例如,选择  $R \times 1K$  挡时,就要对已读取的数据乘以  $1000\Omega$ 。这里要指出的是:欧姆标度尺的刻度是不均匀的,当指针停留在两条刻度线之间的某个位置时,估读数据要根据左边和右边刻度缩小或扩大趋势进行估计,尽量减小读数误差。

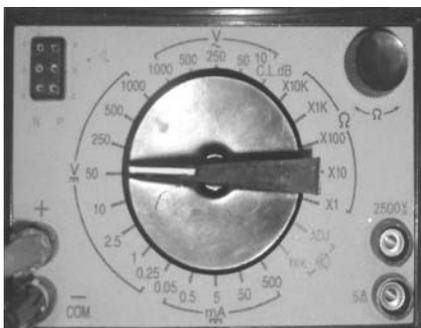


图 1-13 转换开关

### 3) 指针式万用表使用注意事项

(1) 使用前要认真阅读说明书,充分了解万用表的性能,正确理解表盘上各种符号和字母的含义及各条标度尺的读法,了解和熟悉转换开关等部件的作用和用法。

(2) 使用前需观察表头指针是否处于零位(电压、电流标度尺的零点),若不在零位,则应调整表头下方的机械调零旋钮,使其为零,否则测量结果不准确。

(3) 进行测量前先检查红、黑表笔连接的位置是否正确。红色表笔接到红色接线柱或标有“+”号的插孔内,黑色表笔接到黑色接线柱或标有“-”号的插孔内,不能接反,否则在测量直流电量时会因正负极的反接而使指针反转,损坏表头部件。

(4) 在表笔连接被测电路之前,一定要查看所选挡位与测量对象是否相符,误用挡位和量程,不但得不到测量结果,反而会损坏万用表。万用表损坏往往就是上述原因造成的。

(5) 测量时须用右手握住两支表笔,手指不要触及表笔的金属部分和被测元器件。

(6) 测量时若需转换量程,必须在表笔离开电路后才能进行,否则选择开关转动产生的电弧会烧坏选择开关的触点,造成接触不良。

(7) 在实际测量中经常要测量多种电量,测量前要注意根据每次测量任务把选择开关转换到相应的挡位和量程,这是初学者最容易忽略的环节。

(8) 测量前要根据被测量的项目和大小,把转换开关拨到合适的位置。量程的选择应尽量使表头指针偏转到刻度尺满刻度偏转  $2/3$  左右。如果事先无法估计被测量的大小,可从最大量程挡逐渐减小到合适的挡位。每次拿起表笔准备测量时,一定要再次核对测量项目,检查量程是否拨对、拨准。

(9) 测量完毕,应将转换开关拨到最高交流电压挡。如果长期不使用,应将万用表内的电池拆下放好。

#### 4) 机械式万用表测量电阻的方法

(1) 使用前的准备工作如下。

① 安好电池(注意电池正、负极)。

② 插好表笔。“-”口插黑表笔;“+”口插红表笔。

③ 机械调零。万用表在测量前应注意水平放置,表头指针应处于交直流挡标尺的零刻度线上,否则读数会产生较大的误差。若不在零位,应通过机械调零的方法(即使用小旋具调整表头下方机械调零旋钮)使指针回到零位。

④ 量程的选择。

第一步:试测。先粗略估计所测电阻阻值,再选择合适的量程。如果被测电阻不能估计其值,一般情况下将开关拨至  $R \times 100$  或  $R \times 1K$  的位置进行初测,然后看指针是否停在中线附近,如果是则说明挡位合适;如果指针靠近零,则要减小挡位;如果指针靠近无穷大,则要增大挡位。

第二步:选择正确挡位。测量时,指针停在中间或附近。

⑤ 欧姆调零。正确选择量程以后在正式测量之前必须调零,否则测量值会存在误差。方法:将红、黑两表笔短接,看指针是否指在零刻度位置,如果没有则调节欧姆调零旋钮,使其指在零刻度位置。重新换挡以后,在正式测量之前必须再次调零。

(2) 连接电阻测量。万用表两表笔并接在所测电阻两端进行测量。测量接在电路中的电阻时,须断开电阻的一端或断开与被测电阻并联的所有电路,此外还必须断开电源,对电解电容进行放电,不能带电测量电阻,被测电阻不能有并联支路,如图 1-14 所示。被测电阻值=表盘电阻读数 $\times$ 挡位倍率。图 1-15 所示为错误的测量方法,双手接触电阻的两端,相当于并联了一个人体的电阻。



图 1-14 电阻的正确测量方法

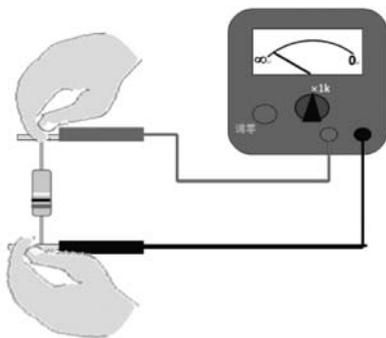


图 1-15 电阻的错误测量方法

#### 5) 机械式万用表电流的测量

测量直流电流时,用转换开关选择适当的直流电流量程,将万用表串联到被测电路中进行测量。测量时注意正、负极性必须正确,应按电流从正到负的方向,即红表笔流入、黑表笔流出。测量大于 500mA 的电流时,应将红表笔插到“5A”插孔内。

#### 6) 机械式万用表电压的测量

测量电压时,用转换开关选择适当的电压量程,将万用表并联在被测电路上进行测量。

测量直流电压时,正、负极性必须正确,红表笔应接被测电路的高电位端,黑表笔接低电位端。测量大于500V的电压时,应使用高压测试棒,插在“2500V”插孔内,并注意安全。交流电压的刻度值为交流电压的有效值。被测交、直流电压值,在表盘的相应量程刻度线上读出。

## 2. 数字式万用表

数字式万用表根据模拟量与数字量之间的转换完成测量,它可以通过数字把测量结果显示出来。因为数字式仪表灵敏度高、准确度高、显示清晰、过载能力强、便于携带、使用更简单,所以应用非常广泛。数字式测量仪表可用来测量交流电压、直流电压、交流电流、直流电流、电阻、电容、频率、二极管及通断测试等工作。

### 1) 数字式万用表的结构

数字式万用表主要由直流数字电压表(DVM)和功能转换器构成,其中数字电压表由数字部分及模拟部分构成,主要包括 A/D(模拟/数字)转换器、显示器(LCD)、逻辑控制电路等。数字式万用表的外观及面板功能如图 1-16 所示,面板上的符号说明如图 1-17 所示。

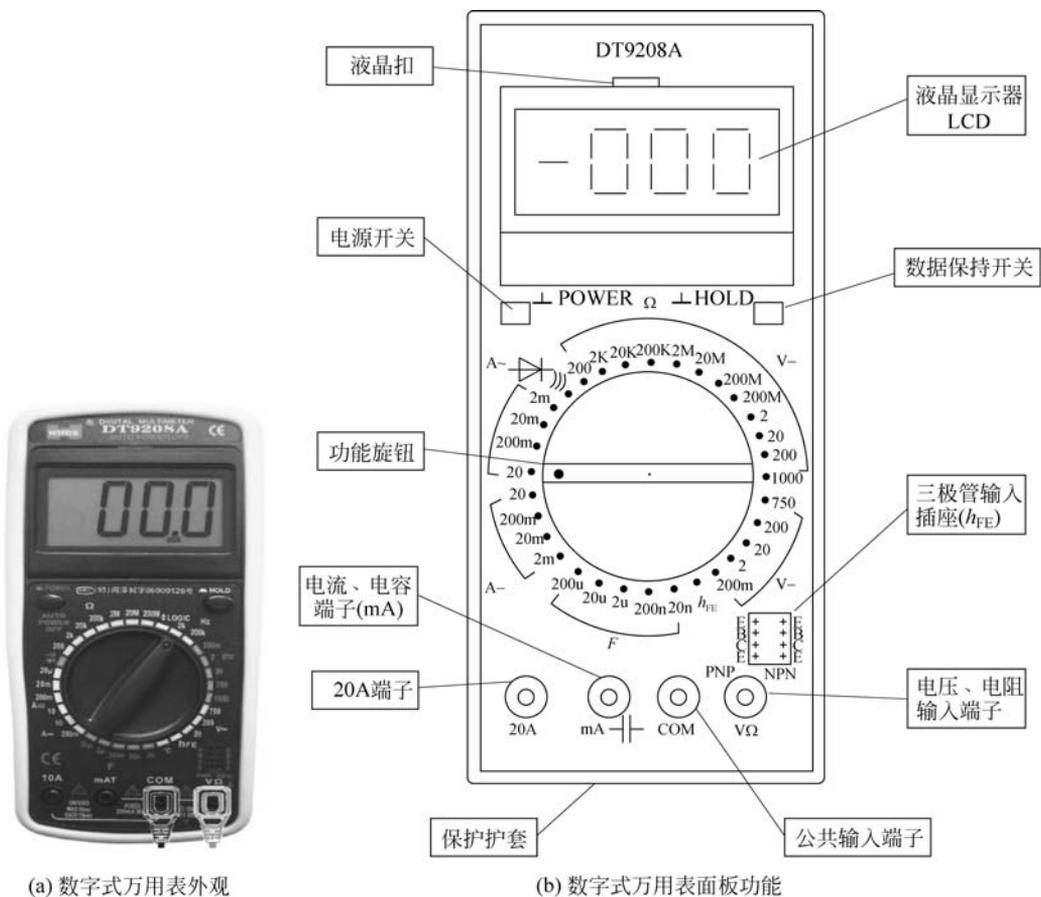


图 1-16 数字式万用表