



## 电气安规认识和测量电气安全性能仪器介绍

### 一、概述

电气安全标准规格是国家强制性认证指标，一般简称“安规”。对制造的装置与电组件有明确的陈述与指导，以提供具有安全与高品质的产品给终端使用者，目的主要是用来防止电击、触电事故、电气火灾、机械与热事故、辐射事故、等对人体造成的伤害。

电子设备的安全标准成为最重要的技术标准之一，自 1952 年 IEC65 号首次公告《电网电源供电的家用和类似一般用途的电子及有关设备的安全要求》并经五版、七次修订以来，全球范围内已形成 IEC 安全标准和美国 UL 安全标准两大体系。同时每个国家都建立了自己本国的电气安全标准(见文章[电源设计与生产的安全结构与安规要求](#)和[世界各国安规标志汇总表](#))，但是大多数的电源供应器制造厂商都使用 IEC、VDE、UL、CSA 安全标准，其中 UL 与 VDE 的安全标准有本质上差异：UL 规格比较集中在防止失火的危险，而 VDE 规格则比较关于操作人员的安全。对于电源供应器而言，VDE 是最严格的电气安全标准。随着全球一体化进程的不断推进，建立与适应 IEC、VDE、UL、CSA、BS、JS 等国际标准或区域性标准是电气安全标准的关键。

在我国，随着人民生活水平不断提高，各类电器、电子设备在全国城乡迅速普及，家用电器的需求量越来越大。这些电器、电子设备的广泛使用，带来的人身事故也相应大大增加，同时也给人们生命财产带来了危害，触电伤亡和电气火灾事故频频发生。因此电器、电子设备的使用安全性这一重要问题，成为决定产品质量的各要素中跃居首要地位，安全标准成为最重要的技术标准之一。我国自 70 年代末期开始制订各类安全标准，80 年代迅速采用或等效采用 IEC 安全标准的国家标准体系；2001 年 IEC61010《测量、控制及试验室用电气设备的安全》重新修订，修订后 IEC 标准重新制订了新国标，更好地实现与国际接轨；2005 年我国加入 WTO 以后，采用了统一的 3C 安全标准(关联文章：[3C 认证电气安规测试仪概述](#))。

安全参数是电子电气测量中非常重要的参数。防触电气是所有安全标准中最基本也是最重要的内容，通常列为产品安全的首项。70 年代末期起各种专用于各类电子、电器产品电气安全性能试验的仪器迅速发展，形成了一个崭新的电子仪器门类，电子电气测量中的安全参数包含交直流耐电压、交直绝缘电阻、接地电阻、泄露电流等参数。电气安全性能试验在电子测量仪器、广播收音机、电视机、各种音频、视频设备及家电产品、低压电器等电子和电器产品的设计、制造、检验、定型和质量认证等各项工作中，首先成为必须、大量且经常进行的重要项目。

下面主要介绍[耐压测试仪](#)、[泄漏电流测试仪](#)、[绝缘电阻测试仪](#)、[接地电阻测试仪](#)等电气安全性能测试仪器：

### 二、耐压测试仪

耐压测试仪也称为耐电压测试仪、介质击穿装置、耐压试验器、电涌绝缘测试仪、高压试验器、介质强度测试仪，是测量各种电器装置、绝缘材料和绝缘结构的耐电压能力的仪器，例如绝缘电缆。耐压测试仪能调整输出需要的交流或直流试验电压和设定击穿（保护）电流。耐压强度也称为耐电压强度、介电强度、介质强度；绝缘物质所能承受而不致遭到破



坏的最高电场强度称耐电压强度。在试验中，被测样品在要求的试验电压作用下达到规定时间时，耐压测试仪自动或被动切断试验电压；一旦出现击穿电流超过设定的击穿（保护）电流，能够自动切断试验电压，并发出声光报警，以确保被测样品不致损坏。耐压测试仪在电气安全参数测试中，可以直观、准确、快速、可靠地测试各种被测对象的受电压、击穿电压、漏电流等电气安全性能指标，并能在 IEC 或国家安全标准规定的测试条件下，进行工频、直流、电涌、冲击波等不同形式的介电性能试验，它的主要作用如下：1、检测绝缘耐压受工作电压或过电压的能力；2、检查电气设备绝缘制造或检修质量；3、排除因原材料、加工或运输对绝缘的损伤，降低产品早期失效率；4、检验绝缘的电气间隙和爬电距离。

耐压测试仪雏形——高压试验器的历史可追溯到很久，但真正形成专门的基本安全试验仪器则是 70 年代后期，在世界范围内大力推广安全标准之后。50 年代中期，初具定时控制及漏电流测试功能的典型产品如前苏联的 UPU-1 型介质击穿试验器，全为电子管电路，且量程单一，主要用于测试电工绝缘材料的抗电强度。70 年代后期，随着 IEC65 发布，日本菊水 (KIKUSUI) 公司发展了 TOS8000 系列耐压测试仪，采用晶体管及集成电路，技术文件明确表明其产品以满足 IEC、JIS、UL 等安全标准为目的。80 年代初，IEC664(1980) 新规定进行标准脉冲波耐压试验，瑞士 HAEFELY 公司立即发展了 P12 型冲击波耐压测试仪。由此可见，耐压安全试验仪器的发展与安全标准的发展同步且不可分割。

整个 60 年代是我国耐压测试仪的初创时期。由于受技术、工艺、元器件等各种因素的限制，品种少，精度低，自身安全性能差，从厂家自我武装用以进行产品或零部件耐压试验的简易试验器起步，少数品种经进一步完善后形成了商品。代表产品是 JC-4 介质击穿装置，但 70 年代耐压测试仪的研制和生产一直停滞不前，1970 年 JC-4 竟成为市场上唯一的耐压仪。我国耐压测试仪转入大批量生产而形成安全试验仪器新门类始于 80 年代初，在各类国家安全标准全面制订并强制执行的大背景下，生产厂家迅速推出大批型号各异的新产品。

海洋仪器 (010-62176775) 主要推出的耐压测试仪为 [OIGPT-9602](#)，售价只有 ¥6000 元左右，该耐压仪具有 0.1~5KV 交流和 0.1~6KV 直流输出电压；交流最大额定负载 100VA (5kV/20mA)，最大额定电流 20mA；直流最大额定负载 25W (5kV/5mA)，最大额定电流 6mA。





## 二、绝缘电阻测试仪

绝缘电阻测试仪是用来测量绝缘电阻大小的仪器。绝缘电阻指用绝缘材料隔开的两部分导体之间的电阻。为了保证电气设备安全运行，应对其不同极性（不同相）的导体之间，或导体与外壳之间的绝缘电阻提出一个最低要求；例如家用电器规定为基本绝缘电阻为  $2M\Omega$ ，加强绝缘电阻为  $7M\Omega$ 。影响绝缘电阻测量值的因素有很多，主要为温度、湿度、测量电压及作用时间、绕组中残存电荷和绝缘的表面状况等。通过测量电气设备的绝缘电阻，我们可以了解以下方面：1、绝缘结构的绝缘性能。由优质绝缘材料组成的合理绝缘结构（或绝缘系统），应具有良好的绝缘性能和较高的绝缘电阻；2、电器产品绝缘处理质量。电器产品绝缘处理不佳，其绝缘性能将明显下降；3、了解绝缘受潮和受污染情况。当电气设备的绝缘受潮及受污染后，其绝缘电阻通常会明显下降；4、检验绝缘是否承受耐电压试验。若在电气设备的绝缘电阻低于某一限值时进行耐电压测试，将会产生较大的试验电流，造成热击穿而损坏电气设备的绝缘，因此，通常情况下，各种试验标准均规定在耐电压试验前，要求先测量绝缘电阻。虽然有些万用表（例如 [OI859CF](#) 等）能够测量到  $50M\Omega$ ，但是万用表测试的激励电压小，电气安全测试用的绝缘电阻测试仪最常见的是兆欧表，用来测量绝缘退化状况的高电阻表，有电池供电、交流供电或手摇供电三种形式，因为最初是手摇供电，传统上俗称“摇表”。



海洋仪器（010-62176775）主要推出的兆欧表为 [OI61-795](#)，售价只有¥5600元，该仪器为手持绝缘电阻表，显示高达4位，具有250V/500V/1000V测试电压，测量绝缘电阻可到  $4000M\Omega$ ，同时还测量导通性、小到  $0.1\Omega$  的接地小电阻和600V交直流电压，更具有自动关机和模拟指针条棒显示，是测量设备和电机绕组绝缘性能的理想仪器。

海洋仪器（010-62176775）主要推出的台式绝缘电阻测试仪为 [OIGPT-9612](#)，售价只有¥6200元，该仪器在测量绝缘电阻的同时，也可测量AC耐压。其显示高达4位，具有50V/100V/250V/500V/1000V测试电压，测量绝缘电阻可到  $2000M\Omega$ ，更具有视窗比较费时，是测量设备和电机绕组绝缘性能的理想仪器。

更多讲述，见文章：[绝缘电阻测试定义和使用](#)

## 三、泄漏电流测试仪

泄漏电流指在没有故障施加电压的情况下，电气中带电相互绝缘的金属零件之间，或带电零件与接地零件之间，通过其周围介质或绝缘表面所形成的电流称为泄漏电流。按照美国UL标准，泄漏电流包括电容耦合电流在内，能从家用电器可触及部分传导的电流。泄漏电流包括两部分：通过绝缘电阻的传导电流  $I_1$  和通过分布电容的位移电流  $I_2$ ，后者容抗为  $X_c = 1/2\pi fc$  与电源频率成反比，分布电容电流随频率升高而增加，所以泄漏电流随电源频率升高而增加。例如：用可控硅供电，其谐波分量使泄漏电流增大。



若考核的是一个电路或一个系统的绝缘性能，这个电流除了包括所有通过绝缘物质而流入大地（或电路外可导电部分）的电流外，还应包括通过电路或系统中的电容性器件（分布电容可视为电容性器件）而流入大地的电流。较长布线会形成较大的分布容量，增大泄漏电流，这一点在不接地的系统中应特别引起注意。

测量泄漏电流原理与测量绝缘电阻基本相同，测量绝缘电阻实际上也是一种泄漏电流，只不过是以电阻形式表示出来。不过正规测量泄漏电流施加的是交流电压，因而，在泄漏电流的成分中包含了容性分量的电流。

在进行耐压测试时，为了保护试验设备和按规定的技术指标测试，也需要确定一个在不破坏被测设备（绝缘材料）的最高电场强度下允许流经被测设备（绝缘材料）最大电流值，这个电流通常也称为泄漏电流，但只是在上述特定场合下使用，请注意区别。

泄漏电流实际上就是电气线路或设备在没有故障和施加电压的作用下，流经绝缘部分的电流。因此，它是衡量电器绝缘性好坏的重要标志之一，是产品安全性能的主要指标。将泄漏电流限制在一个很小值，这对提高产品安全性能具有重要作用。泄漏电流测试仪用于测量电器的工作电源（或其它电源）通过绝缘或分布参数阻抗产生的与工作无关的泄漏电流，其输入阻抗模拟人体的阻抗。泄漏电流测试仪主要由阻抗变换、量程转换、交直流变换、放大、指示装置等组成。有的还具有过流保护、声光报警电路和试验电压调节装置，其指示装置分模拟式和数字式两种。

海洋仪器（010-62176775）主要推出的泄漏电流测试仪为 [OIGLC-9000](#)，售价只有



¥23600 元，该仪器为台式高精度源表，测量泄漏电流最小可到 4.00uA，同时具有 9 种人体阻抗模拟网络（MD）、8 种泄露电流模式等

功能，是测量设备泄漏电流（接触电流和保护导体电流）的理想仪器。

更多讲述，见文章 1: [用漏电流钳表寻找电气设备中的漏电故障](#)

更多讲述，见文章 2: [漏电流钳表新解：通电状态下测量绝缘性能](#)

#### 四、接地电阻测试仪

“接地电阻”定义并不十分明确，有些标准（如家用电器安全标准）指设备内部的接地电阻；有些标准（如接地设计规范）指整个接地装置的电阻。此处指设备内部接地电阻，即一般产品安全标准中所说的接地电阻（或接地阻抗），反映的是设备的各处外露导电部分与设备的总接地端子之间的电阻，一般来讲标准规定这个电阻 $\leq 0.1 \Omega$ 。接地电阻指用电器的绝缘一旦失效，电器外壳等易触及金属部件可能带电，需要有可靠的接地保护电器使用者的安全，接地电阻是衡量电器接地保护可靠的重要指标。

电器设备的接地电阻是指接地线端子的接地触点与易触及金属部件之间的电阻，又称接



触电阻。由于电器设备的接地电阻很小，正常一般在几十毫欧，因此必须采用四端测量才能够消除测量端子引入的引线电阻，得到准确的测量结果；四线连接可以消除引线电阻对测试误差影响，测试设备要尽可能靠近测试点，以便缩短测量引线并尽量减少测试电路中不希望的电阻对测试的影响。

接地电阻可用接地电阻测试仪来测量，一般采用四端测量来消除接触电阻，得到准确的测量结果。接地电阻测试仪由测试电源、测试电路、指示器和报警电路组成。测试电源产生 25A（或 10A）的交流测试电流，测试电路将被测电器取得的电压信号通过放大与转换，由指示器显示，如果测接地电阻大于报警值（例如 0.1Ω 或 0.2Ω），接地电阻测试仪会发出声光报警。

现场应用和电气接地性能中一般使用手持接地电阻测试仪，也称为接地电阻表，俗称摇表，现在大多数接地电阻表都采用电子式，相比于传统的摇表，它们无须手摇、电池供电、测量更准确。接地电阻表有三种测量方法来判断接地电阻的优劣：

1、伏-安法：最传统的测量接地电阻方法，需要两个辅助接地棒（即打地桩）来完成（见图 1）；

2、环路电阻法：测试可直接在插座上完成，无须辅助接地棒，是一种便捷方法，但只适用于 TT 配电系统（见图 2）；

3、钳型接地电阻法：只需要用钳口钳住接地物，便可测量接地电阻，使用中无须辅助接地棒和断开接地极，是一种方便快捷的接地电阻测量方法（见图 3）。其中一般常用第 1 种和第 3 种方法，伏-安法相对来讲比较准确和常用，但是它需要在大地上打辅助接地棒和要有足够的空间和场地来完成打辅助接地等缺点。如果在大的接地系统和形成接地回路的场所（例如楼宇的防雷系统），建议使用钳型接地电阻法。

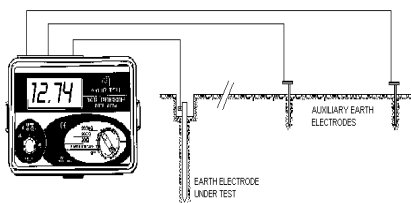


图 1 伏-安法测接地电阻

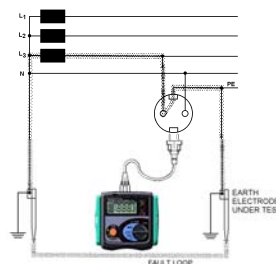


图 2 环路电阻法测接地电阻



图 3 钳型接地电阻法

电阻法

海洋仪器（010-62176775）主要推出的接地电阻测试仪有三种：

1、[OI161-920](#) 钳型接地电阻表（手持式），售价为 ¥9800 元，测量接地电阻可到 1200Ω，同时还测量 30A 泄放电流和 10Ω 电阻以下导通蜂鸣指示，在测量分辨率为 0.01Ω 的接地电阻下，更可以测量交流电流和泄漏电流（含接地线中流动的泄漏电流），更具有 99 个数据存储和背光显示等功能，钳口直径为 32mm，是广泛使用的钳型接地电阻表；



2、[OI61-796](#) 三极接地电阻表（手持式），售价为¥5500 元，测量接地电阻可到 2000  $\Omega$ ，



并且在被测电路中不触发漏电保安器，在测量分辨率为 0.01  $\Omega$  的接地电阻下，更可以测量 0~200V 接地电压，更具有数据保持和 0  $\Omega$  调整等功能，是经济适用的接地电阻表。

3、[OIGCT-9040](#) 交流接地阻抗测试仪（台式），售价为¥12800 元，测量接地电 1.0m  $\Omega$  ~650.0m  $\Omega$ ，具有 40A 交流接地阻抗测试能力，含有上/下限比较、计时器功能。

更多讲述，见文章：[接地电阻的测试方法](#)

总之，随着科学技术的发展，各种安全标准将不断完善，电气安全测试仪器门类也随之发展更新。耐压测试仪已从工频交流和直流，已发展到标准波冲击耐压仪；泄漏电流测试仪从平均值整流发展到真有效值整流；接地电阻测试仪从单重积分已发展到双重积分方式。这些水平的提高，使电气安全测试技术已发展到一个新水平，更好地对电气安规进行测试。

#### 附录：电气安规测试相关俗语

Arc detection/电弧侦测    chemical hazards/化学事故    electric fire/电气火灾  
electric shock/电击    energy hazards/触电事故  
electrical safety tester/电气安规测试器    Leakage current meter 泄漏电流表  
GR ground resistance meter, ground bond tester, ground continuity tester 接地电阻表或接地电阻测试仪    milli-ohm meter 微欧计    withstanding voltage tester 耐压测试仪

mechanical and heat hazards 机械与热事故    radiation hazards 辐射事故

IR insulation tester, insulation resistance tester 绝缘电阻表或绝缘电阻测试仪

TT 方式供电系统：指将电气设备的金属外壳直接接地的保护系统，第一个 T 表示电力系统中性点直接接地；第二个 T 表示负载设备外露不与带电体相接的金属导电部分与大地直接联接，与系统如何接地无关；在 TT 系统中负载的所有接地均称为保护接地。

TN 方式供电系统：将电气设备的金属外壳与工作零线相接的保护系统，称作接零保护系统(TN)

TN-C 方式供电系统：用工作零线兼作接零保护线，称作保护中性线(NPE)。

TN-S 方式供电系统：把工作零线 N 和专用保护线 PE 严格分开的供电系统，适用于工业与民用建筑等低压供电系统。

#### 资料文献：

杨胜兵等《新型接地电阻测试系统研究》，《仪器仪表标准化与计量》第 121 期，2005 年。