

# 线缆测试仪输出电压校准方法研究

何洪波 叶峻江 李春龙

(广东省计量科学研究院东莞计量院 东莞 523330)

**摘要:** 线缆测试仪输出电压具有内阻高、时间短等特点,传统的方法不能满足校准的要求,从而导致结果不准确。为解决这些问题,该文在制定 JJF 1457-2014 的过程中,选取典型线缆测试仪进行源内阻实验,选取常用的电压表进行响应时间实验。实验证明,线缆测试仪内部电压源阻抗大约为  $10\text{ k}\Omega\sim 2\text{ M}\Omega$ ,电压表响应时间约为  $0.5\sim 1.0\text{ s}$ 。通过实验,获得了应选用内阻高于  $1\text{ G}\Omega$  以及响应时间应小于被校仪器输出电压持续时间的标准电压表的结论。

**关键词:** 校准;线缆测试仪;测试电压

**中图分类号:** TM933.2    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 470.4017

## The calibration method for cable tester output voltage

He Hongbo Ye Junjiang Li Chunlong

(Dongguan Institute of Guangdong Institute of Metrology, Dongguan 523330, China)

**Abstract:** Cable tester output voltage has the features of high resistance and short time, the traditional calibration methods can not meet the requirements, leading to inaccurate results. To solve these problems, the authors in the process of developed JJF 1457-2014, select typical cable testers to source internal resistance test, select common voltmeters to response time test. Experiments show that the cable testers internal source impedance of approximately  $10\text{ k}\Omega\sim 2\text{ M}\Omega$ , voltmeter response time of approximately  $(0.5\sim 1.0)\text{ s}$ . Through experiments, has reached the conclusions that the standard voltmeters internal resistance should be higher than  $1\text{ G}\Omega$  and the response time should be less than the output voltage duration of the instrument was been calibrated.

**Keywords:** calibration; cable tester; test voltage

## 1 引言

线缆(线束)测试仪是自动测试各种电子线材及其连接器低频电气参数的智能仪器,广泛应用于线缆、线束及排线等生产企业<sup>[1]</sup>。它能根据客户提供的产品样板,自动检查出不符合产品样板要求的线材,并能准确判断故障原因及故障点位置。它可以对线缆进行交直流耐电压、泄漏电流、导通阻抗、绝缘阻抗和线间电容等功能的测试。按照 UL 758<sup>[2]</sup> 标准的要求,线缆的电气性能测试,包括导通电阻、绝缘电阻、耐电压、电容等项目,因此用于电缆测量的线缆测试仪由交直流耐电压测量、绝缘电阻测量、线缆直流电阻测量、线间电容测量等测量单元组成<sup>[3]</sup>。它通过开关矩阵切换测量功能到相应测试接点,其测试接点一般为 32 点以上,为了提高工作效率,其切换时间很短。其绝缘电阻、线缆直流电阻及线间电容均可通过常规的校准方法<sup>[4-5]</sup> 进行校准,但是输出的测试电压具有内阻高,测试时间短等特点,因

此,应选择正确的标准电压表才能满足输出电压的校准要求。

在我国,根据工作原理的不同,使用 3 个检定规程对测量绝缘电阻测试仪输出电压的标准电压表技术要求进行规定。其中 JJG 622-1997 绝缘电阻表<sup>[6]</sup>规定标准电压表的输入电阻不小于被检绝缘电阻表中值电阻 20 倍,准确度不低于 1.5 级;JJG 690-2003 高绝缘电阻测试仪<sup>[7]</sup>规定标准电压表的输入阻抗大于被检高阻计电源内阻 1 000 倍,误差小于被检高阻计等级指标的 1/5;JJG 1005-2005 电子式绝缘电阻表<sup>[8]</sup>及一些常用电子式绝缘电阻表的测量方法<sup>[9]</sup>规定标准电压表的输入电阻应大于被检表中值电压或跌落电压电阻的 50 倍。

线缆测试仪有 2 种输出测试电压,一种是进行绝缘电阻测试的直流电压;另一种是进行耐电压测试的交直流电压。线缆测试仪相邻测试接点的距离最小为 2.54 mm,在仪器内部通过小型继电器切换测试电压与测试接点,测试时间可在

0.01~10 s之间连续可调,部分线缆测试仪每个测试接点最长测试时间仅1 s。绝缘电阻测量一般从100 k $\Omega$ ~200 M $\Omega$ 仅一个量程,输出阻抗比较高。因此线缆测试仪输出电压的特点是:电压一般在1.5 kV以下,电源容量小,测试速度快。综上所述,标准电压表必须满足输入阻抗高,响应时间短等特点。为此,选取了3种标准器对4种典型线缆测试仪分别进行了负载电阻对输出电压影响试验及标准电压表响应时间试验,确定了输出电压的校准方法及标准电压表的选取原则。

## 2 线缆测试仪施加高压方法

线缆测试仪一般采用“二分快速”、“奇对偶”、“所有对地”和“一对其他”等快速测量的方式对被测线缆进行高压测试。“奇对偶”、“所有对地”和“一对其他”等测试方法只对特定的测试接点进行测量,“二分快速”采用二分法对测试接点进行测试,仅需进行6次扫描就可以完成64芯被测线缆组合所有测试接点组合的高压测试。线缆测试仪在两条平行导线之间施加高压,2根导线与地端都存在电压差。如果没有采取隔离措施,直接将标准电压表连接到被校仪器,有可能使被校仪器的电压源对地短路,从而导致测试不通过或者损毁仪器的情况出现。因此,校准线缆测试仪输出电压时,应将线缆测试仪的测试导线与地端进行隔离。使用示波器对线缆测试仪高压测量的波形如图1所示<sup>[10-11]</sup>,其中线缆测试仪测试电压设置为500 V,测试时间设置为1 s。

由图1可见,线缆测试仪通过短时间内施加到被测线缆上的测试电压,对被测线缆进行绝缘电阻测量或者耐压电压测量。



图1 线缆测试仪直流高压测试波形

## 3 电压测量影响量

电压测量准确度受电压表自身准确度、温湿度、电压表内阻及电压表响应时间等因素影响。按照校准的原则,电压表的最大允差应为被校仪器最大允差的1/3或以下,在校准输出电压前就必须根据被校仪器准确度选择相应的标准电压表。同时,在实验室环境下,温湿度都必须满足校准的要求,对测量结果的影响基本可以忽略。因此,主要根据线缆测试仪输出电压的特点,讨论电压表内阻及响应时间对电压测量的影响。

### 3.1 电压表内阻的影响

标准电压表并不是理想的内阻无穷大的电压表,它的内部通过电压分压器将被校电压调理到电压表头的测量范围之内,电压分压器的输入阻抗就是标准电压表的内阻,它与被校电压源的输出电阻组成分压电路。根据欧姆定律,标准电压表测量准确度受其输入阻抗及电压源阻抗的影响。理论上说,标准电压表的内阻越大越好,但实际上,高内阻的电压表存在准确度低、响应时间长及价格昂贵等缺点,JJF 1457-2014<sup>[3]</sup>对交直流电压表的要求为第6.2.1条,“电压测量范围:10 V~2 kV输入阻抗应不低于1 000 M $\Omega$ ”,以下通过实验说明该条款的技术原因。

#### 3.1.1 实验框图

实验线路连接如图2所示,图中 $V_1$ 为线缆测试仪内置电压源, $R_1$ 为电压源的内阻。 $R_3$ 为高阻箱, $C_1$ 为标准电压表寄生电容, $R_2$ 为标准电压表内阻, $M1$ 为理想标准电压表。在测试的过程中,通过调节 $R_3$ 的阻值模拟不同内阻电压表测量源的输出电压。

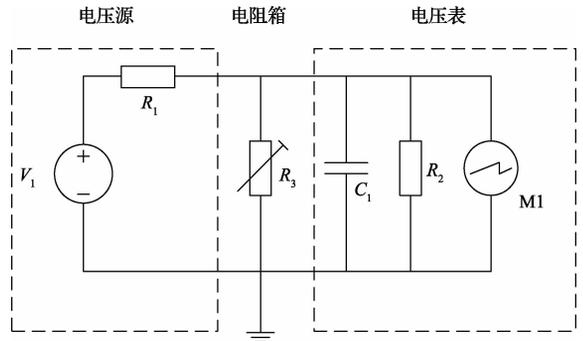


图2 内阻试验接线

由图1可得, $M1$ 的直流电压指示值如式(1)。 $R_3 = \infty$ 时,相当于标准电压表直接连接到被校电压源。

$$M1 = V_1 \frac{R_2 \times R_3}{R_2 \times R_3 + R_1 \times (R_2 + R_3)} \quad (1)$$

### 3.1.2 实验使用仪器

采用以下3种标准器进行比较:

1) ZX119-8型内置高压表高阻箱, 其技术特征为: 电压1级, 电压表内阻6 GΩ, 电阻0.2级;

2) 149-10A型数字高压表, 其技术特征为 ACV 1级, DCV 0.5级, 内阻1 GΩ;

3) 187型数字多用表, 其技术特征为 ACV 0.4级, DCV 0.05级, 内阻10 MΩ。

选用4种具有代表性的被测仪器, 其型号如下:

①6600HV型线缆测试仪;

②CT8681型线缆测试仪;

③LX-650型线缆测试仪;

④8720型线缆测试仪。

其中①号和②号只有绝缘电阻测试功能, ③号和④号既有绝缘电阻测量功能又有耐电压测试功能。

### 3.1.3 实验数据

改变 $R_3$ 电阻值, 读取电压表指示值, 结果分别如表1~4所示。

表1 6600HV型线缆测试仪试验

标称电压 100V		标称电压 500V		标称电压 650V	
负载电阻/MΩ	电压示值/V	负载电阻/MΩ	电压示值/V	负载电阻/MΩ	电压示值/V
≥1 000	112	≥1 000	546	≥1 000	696
100	111	100	541	100	690
10	102	10	498	10	636
1	76	1	370	1	562
0.094	56	0.124	275	0.163	348

表2 CT8681型线缆测试仪试验

标称电压 200V		标称电压 700V	
负载电阻/MΩ	电压示值/V	负载电阻/MΩ	电压示值/V
≥1 000	202	≥1 000	700
100	200	100	696
10	191	10	693
1	125	1	536
0.59	100	0.28	350

表3 LX-650型线缆测试仪试验

标称电压 DC 100V		标称电压 DC 1000V		标称电压 AC 100V		标称电压 AC 700V	
负载电阻/MΩ	电压示值/V	负载电阻/MΩ	电压示值/V	负载电阻/MΩ	电压示值/V	负载电阻/MΩ	电压示值/V
≥1 000	105	≥1 000	1006	≥1 000	101	≥1 000	702
100	105	100	1 003	100	101	100	702
10	103	10	975	10	101	10	702
1	85	1	738	1	100	1	695
0.23	53	0.37	503	0.018	51	0.13	351

表 4 8720 型线缆测试仪试验

标称电压 DC 100V		标称电压 DC 1000V		标称电压 AC 100V		标称电压 AC 700V	
负载电阻/MΩ	电压示值/V	负载电阻/MΩ	电压示值/V	负载电阻/MΩ	电压示值/V	负载电阻/MΩ	电压示值/V
≥1 000	225	≥1 000	695	≥1 000	100	≥1 000	503
100	206	100	690	100	98	100	503
10	182	10	668	10	85	10	499
1	163	1	543	1	80	1	486
0.38	112	0.27	347	0.020	50	0.064	251

3.1.4 小 结

根据戴维南定律,以上 4 种型号的线缆测试仪在不同的输出电压及不同的负载阻抗时其源阻抗并不相同,由表 1~4 的数据计算可得,用于绝缘电阻测试的直流电压源阻抗约为 0.1~1 MΩ,用于耐电压试验的交流电压源阻抗约为 10 kΩ~2 MΩ。

3.2 电压表响应时间的试验

如果线缆测试仪输出电压持续时间短于标准电压表的响应时间,标准电压表就不能获得准确稳定的指示值。数字电压表的响应时间主要取决于以下 3 个因素:

1) 数字电压表为提高准确度,降低干扰,一般采用积分的原理,积分时间与分辨率相关,分辨率越高,响应时间越长;

2) 测量源阻抗高的电压源,响应时间还与电压源输出阻抗及电压表寄生电容有关,其时间常数公式由式(2)决定;

3) 对于交流信号,要在电压表输入端对信号进行整流和滤波,因此会比测量直流的响应时间长。

$$\tau = RC \tag{2}$$

试验线路连接图如图 3 所示。其中  $V_1$  为标准电压源,S1 为信号发生器, $R_1$  及  $R_4$  为高值电阻,在这里分别取 3.1 试验计算的源阻抗中间值 0.5 MΩ。 $C_1$ 、 $R_2$  及 M1 定义与图 2 相同。对于不同的标准器,其寄生电容  $C_1$  量值不同,使用 LCR 电桥在电压输入端测量,ZX119-8 为 10 nF,

149-10A 及 187 均小于 100 pF。因此,在  $R_1$  为 2 MΩ 的情况下,ZX119-8 的输入时间常数为 0.02 s,149-10A 及 187 均小于 1 ms。

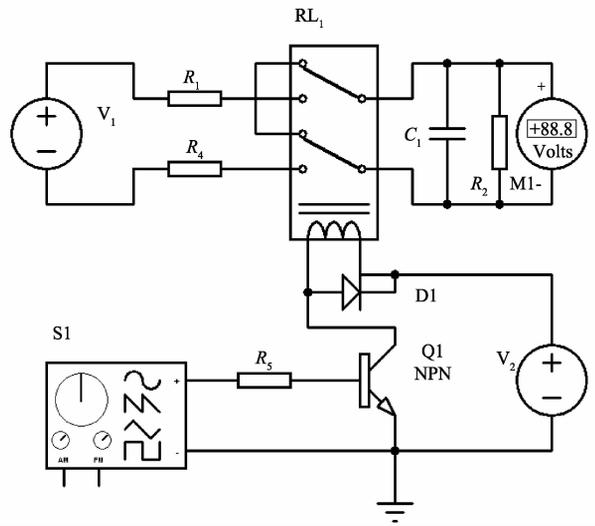


图 3 时间响应试验接线

通过调节 S1 输出的脉冲宽度,可以控制施加到 M1 的高压时间。由短至长调节 S1 的脉冲宽度,每个时间点连续测量 20 次 M1 指示值,与稳态指示值相比较,如果其差值超出 M1 的最大允差在 1 次以内( $p=95\%$ ),则 S1 的脉冲宽度为 M1 响应时间。测量结果如表 5 所示。

表 5 电压表响应时间及指示值

电压表型号	输入量 DC 1 kV		输入量 AC 1 kV(50 Hz)	
	稳定时间/s	指示值/kV	稳定时间/s	指示值/kV
ZX119-8	0.5	1 000	0.6	1 403
149-10A	0.5	998	0.6	995
187	0.7	901	1.0	888

注:以上测量结果仅与被测样品有关

由表5可见,校准线缆测试仪输出电压时,标准电压表响应时间受时间常数影响很小,其主要影响量是积分时间和交流滤波时间。由于ZX119-8的交流电压测量采用半波整流和电容滤波的原理,因此在测量交流电压时显示峰值。187数字电压表的内阻约为 $10\text{ M}\Omega$ ,测量阻抗为 $1\text{ M}\Omega$ 的电压源时指示值偏低。

## 4 结 论

由以上实验可得,随着负载变化,4种线缆测试仪电压源内阻的变化范围为 $10\text{ k}\Omega\sim 2\text{ M}\Omega$ ,当采用 $1\text{ G}\Omega$ 及以上内阻的电压表时,内阻对校准结果的影响最大为 $0.2\%$ ,小于被校仪器最大允差的 $10\%$ 。而采用 $10\text{ M}\Omega$ 内阻的数字多用表测量时,影响最大的情况下内阻造成的误差达到 $15\%$ ,已经远远超出被校仪器的最大允差。因此,仅测量直流输出电压时可以选用ZX119-8型和149-10A数字电压表;如果需要测量交流输出电压时,仅有149-10A数字电压表能够满足校准的要求。同时,在测量电压源的输出电压时,被校仪器输出电压持续时间必须超过标准电压表的响应时间,才能获得准确的测量结果。通过3.2的试验,在校准输出电压时,被校仪器的电压输出时间设置 $1.0\text{ s}$ 以上,就可以获得比较准确的结果。

线缆测试仪属于智能型多功能仪器,输出电压具有内阻高及时间短等特点,本文通过实验,确定输出电压的校准方法及标准器选型的基本原则。在校准规范编写过程中,参观了部分线缆测试仪生产企业时,发现有的企业使用数字多用表调节线缆测试仪的测试电压,标准表内阻对测量结果的影响甚至超过了线缆测试仪输出电压的最大允差,从而导致产品输出电压偏高,因此有必要通过国家校准规范的实施,规范线缆测试仪输出电压的测量方法。

## 参考文献

- [1] 杨奋为. 新型线束导通检测仪的应用[J]. 机电元件, 2002, 22(01): 51-53.
- [2] UL 758-2014 Standard for Appliance Wiring Material[S]. UNDERWRITERS LABORATORIES INC, 2014.
- [3] JJF 1457-2014 线缆测试仪校准规范[S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局, 2014.
- [4] 何韵. 线材测试仪(导通机)的校准方法介绍[J]. 计量与测试技术, 2007, 34(8): 7-10.
- [5] 丁伏林, 陈海燕. 线材测试仪的校准方法[A]. 江苏省计量测试学会 2005 年论文集, 2005: 29-31.
- [6] JJG 622-1997, 绝缘电阻表检定规程[S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局, 1997.
- [7] JJG 690-2003, 高绝缘电阻测量仪(高阻计)检定规程[S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局, 2003.
- [8] JJG 1005-2005, 电子式绝缘电阻表检定规程[S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局, 2005.
- [9] 王晓俊, 周杏鹏, 王毅, 等. 一种宽量程高精度绝缘电阻测量仪设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2012, 26(2): 155-160.
- [10] 潘洋, 詹国钟, 糜坚平, 等. 冲击高压用数字示波器动态局部非线性评介方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(12): 2690-2695.
- [11] 刘璇. 聚焦数字示波器-数字示波器浅谈(一)[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(1): 2-6.

## 作者简介

何洪波, 高级工程师。主要从事电学、无线电及时间频率计量技术的研究, 是 JJF 1457-2014《线缆测试仪校准规范》的主要起草人。

E-mail: ELCHB@21cn.com