

8508A 新型数字多用表校准方法研究

罗春妹¹ 赵文峰²

(1. 工程师 航天科技集团公司 514 所, 100080)

(2. 高级工程师 航天科技集团公司 514 所, 100080)

摘要 本文介绍了一种新型的 $8\frac{1}{2}$ 位数字多用表 8508A 及其校准方法。文中简述了该仪器的基本技术性能, 介绍了对其主要功能进行校准所需要的标准设备和校准过程, 给出了采用上述校准方法对校准结果产生影响的 uncertainty 分析及 uncertainty 分量的合成。

关键词 数字多用表 校准 uncertainty 标准

1 概述

数字多用表 (DMM) 是指可以直接测量电压、电流、电阻或其它电参量, 其功能可以任意组合并以十进制数字显示被测量的电测量仪表, 它通常具有直流电压、交流电压、直流电流、交流电流、电阻等五种测量功能。数字多用表把电子技术、计算机技术、自动化技术的成果与精密电测量技术密切结合在一起, 成为当前仪器仪表与计量领域中应用最广泛的一种设备。

数字多用表的电路结构以直流数字电压表 (DVM) 为基础, 与电压-电流转换器、电压-电阻转换器和交流转换器一起形成多功能测量能力。典型的直流数字电压表通常由输入电路、衰减器、切换开关、前置放大器、标准电压源、A/D 变换器、时钟发生器、电子计数器、数字译码显示器、逻辑控制电路以及供电电源等组成, 其核心部件就是 A/D 变换器。按 A/D 变换器的不同原理, 数字电压表可分为比较型、积分型、斜波型与复合型等。

8508A 型数字多用表具有 $8\frac{1}{2}$ 位直流电压显示能力, 采用复合型多斜波 A/D 变换器。

与现有 $8\frac{1}{2}$ 位数字多用表 1281、3458A 等相比, 其电流测量功能增加了 20A 量程, 可以直接测量 20A 交直流电流信号, 测量交流电压信号的频率范围向下扩展到 1Hz, 测量交流电流的频率范围为 1Hz—100kHz, 也向两端进行了延伸, 其电阻测量功能增加了 2Ω 、 20Ω 和 200Ω 三个量程。8508A 主要技术指标如表 1 所示。

表 1 8508A 的主要技术指标

功能	量程	最小分辨力	最优允许误差极限 $\pm (a \cdot \text{读数} + b \cdot \text{量程}) \times 10^{-6}$	
			1a	24h
DCV	200mV--1000V	1nV	2.7+0.2	0.5+0.2
DCI	200 μ A-20A	10pA	6.5+2.0	5.5+2.0
ACV	200mV--1000V 1Hz—1MHz	100nV	60+10	30+10
ACI	200 μ A-20A 1Hz—100kHz	100pA	250+100	200+100
OHM	2 Ω —20G Ω	10n Ω	7.0+0.25	1.0+0.25

2 校准用设备

校准 8508A 所需的主要标准设备有：固态电压标准 4910(732A)、多功能校准器 5720A (5700A、4808)、参考分压箱 4902S (720A)、交直流电压转换标准 792A、交直流转换分流器 A40、跨导放大器 514A (5220A)、大功率标准电阻 BZ6 (9320)、742 系列标准电阻 (BZ3 系列)、数字多用表 1281 (3458A) 和直流高值标准电阻器 1560 等。各设备主要用途见表 2。

表 2 校准 8508A 所需的主要标准设备表

标准设备名称	建议型号	替代型号	应用的校准项目
固态电压标准	4910	732A、732B	DCV
多功能校准器	5720A	5700A、4808	DCV、DCI、ACV、ACI
分压箱	4902S	720A、752A	DCV
数字多用表	1281	8508A、3458A	DCI、ACV、ACI
交直流电压转换标准	792A	5790A	ACV、ACI
分流器	A40	--	ACI
标准电阻	742	BZ3	DCI、OHM
跨导放大器	514A	5220	DCI、ACI
大功率标准电阻	BZ6	9320	DCI
直流高值电阻器	1560	9331	OHM

要求校准时实验室的环境温度为：20℃±1℃；相对湿度：60%±15%；无外电场、外磁场影响，无离子辐射影响。被校数字多用表 8508A 和其它标准设备通电预热 4 小时以上，直流和电阻功能校准采用低热电势测试线，交流功能校准采用尽量短的交流专用测试线。

3 校准方法

3.1 直流电压校准

8508A 直流电压功能的校准根据量程不同，有两种情况。其 2V、20V 量程可以利用固态电压标准 4910 的输出直接完成，连线图如图 1 所示。

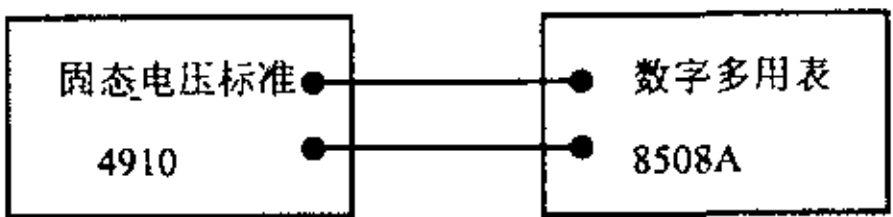


图 1 8508A 直流电压 2V、20V 量程校准连线图

对直流电压的其它量程，利用多功能校准器和参考分压箱来完成校准。方法如下：首先按图 2 所示连接相关设备，多功能校准器采用四线输出方式，分别输出 100V、1000V，选择分压箱分压比为 10:1 和 100:1，使分压后的输出为 10V，以校准后的 8508A 示值为标准值调整多功能校准器的 100V、1000V 输出值；然后将多功能校准器与 8508A 直接连接，用校准后的多功能校准器为标准对 8508A 的 200V、1000V 量程进行校准。



图 2 8508A 直流电压 200V、1000V 量程校准连线图

3.2 直流电流校准

8508A 直流电流的校准采用标准电流源法。由多功能校准器输出电流信号给 8508A，将标准电阻串联在电流回路中，用数字电压表 1281 测量电阻两端电压，即可对多功能校准器输出电流进行校准和调整，用调整后的电流值作为标准值对 8508A 直流电流进行校准。2A 以下量程的电流可以直接由多功能校准器 5720A 输出；校准 20A 量程时，由多功能校准器 5720A 提供基准输入电压给跨导放大器 514A，跨导放大器输出校准用的标准电流值。校准连线如图 3 所示。

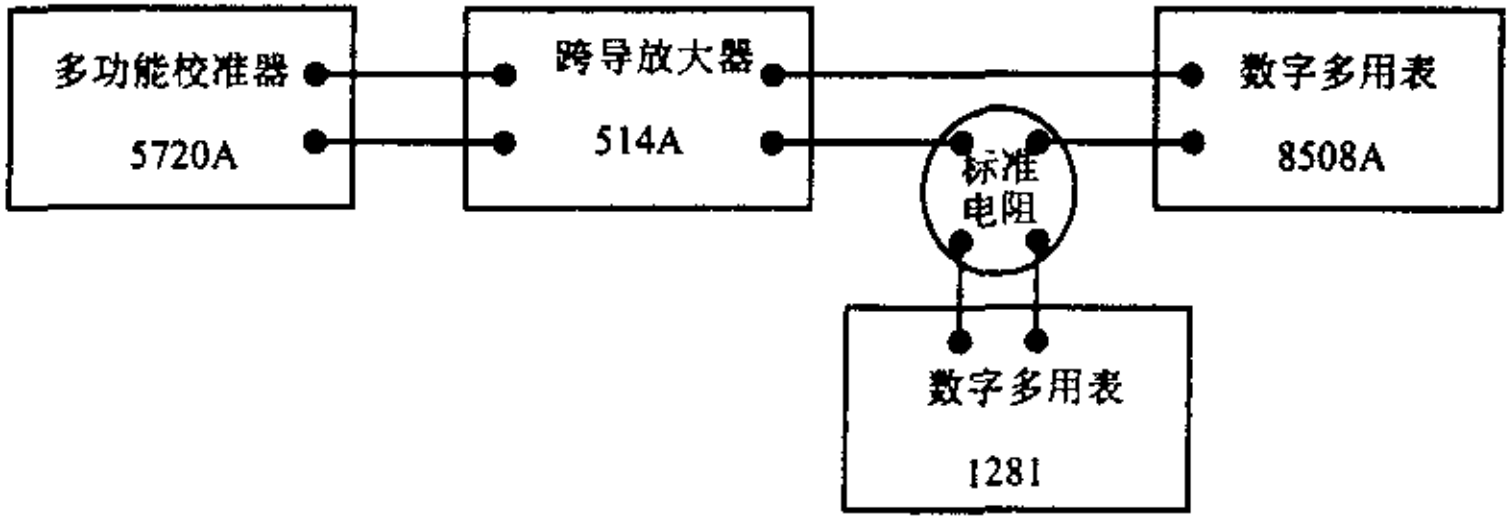


图 3 8508A 直流电流 20A 量程校准连线图

3.3 交流电压校准

8508A 交流电压功能的校准采用交直流转换法和标准源法，即首先以多功能校准器的直流电压量值为标准值，利用交直流信号热效应相等的原理，通过交直流转换标准设备 792A，对多功能校准器的交流电压进行调整；然后用调整过的多功能校准器的交流电压量值作为标准信号对 8508A 交流电压功能进行校准，校准连线图见图 4。

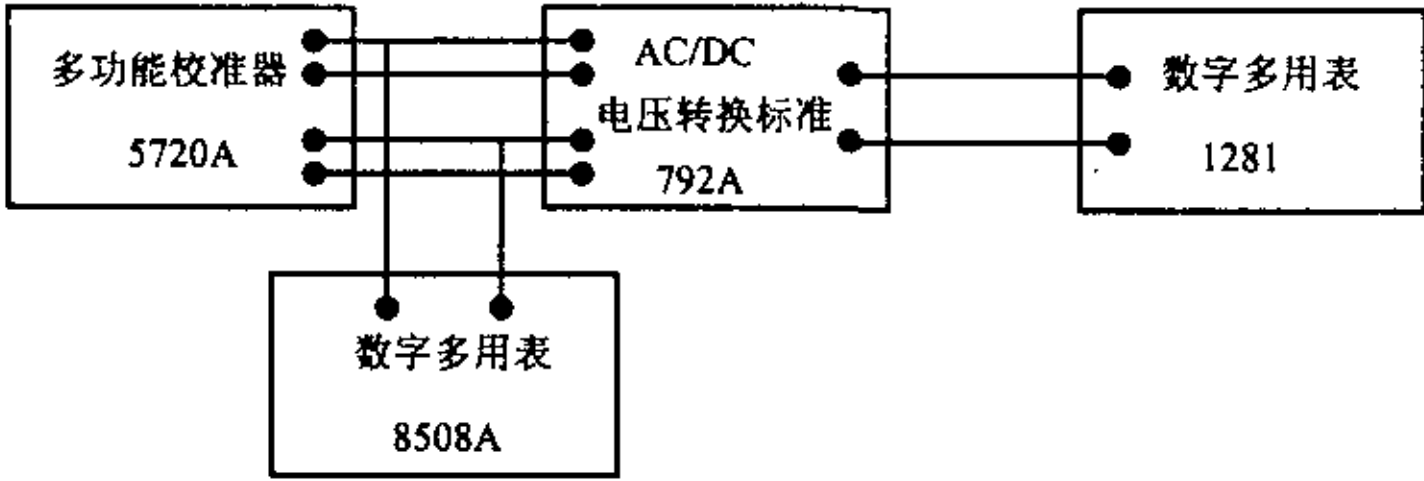


图 4 8508A 交流电压校准连接图

3.4 交流电流校准

8508A 交流电流功能的校准方法如下：首先以多功能校准器的直流电流量值为标准值，利用交直流信号热效应相等的原理，通过交直流转换标准设备 792A 和分流器 A40，对多功能校准器的交流电流量值进行调整；被校数字多用表的电流端钮串联在电流回路中，用调整过的多功能校准器的交流电流量值作为标准信号对 8508A 交流电流功能进行校准，校准连线图见图 5。

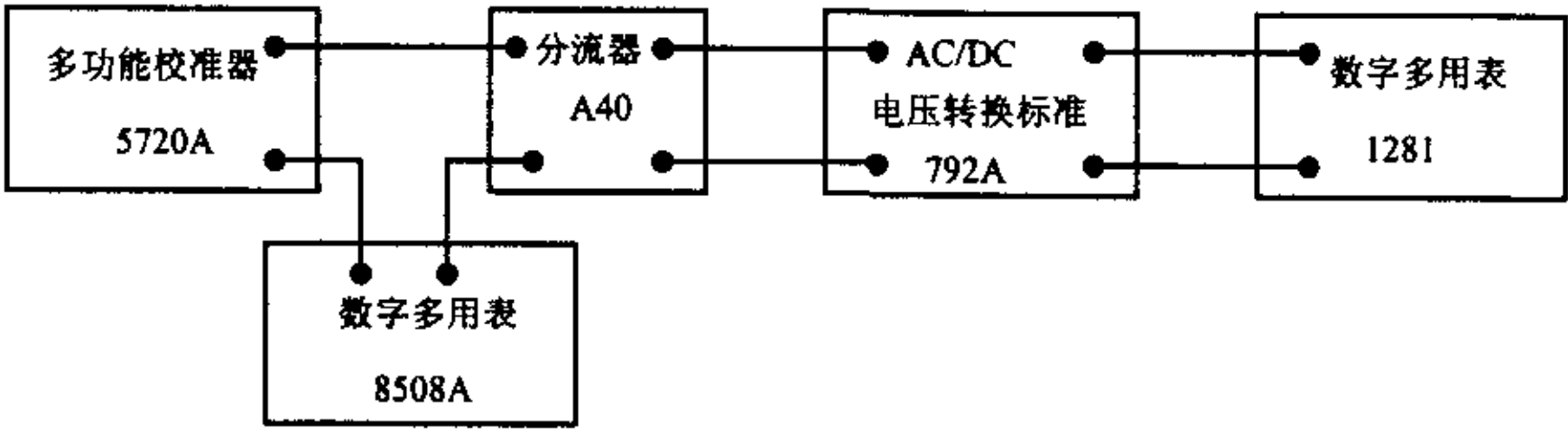


图 5 8508A 交流电流校准连接图

3.5 电阻功能校准

用标准电阻器和高值标准电阻器可以完成 8508A 电阻功能的校准，其中 $100\text{k}\Omega$ 以下量程的阻值应对四线电阻测量和两线电阻测量方式分别进行校准或调整， $1\text{M}\Omega$ 以上量程在两线测量方式下进行校准。校准连线图见图 6。

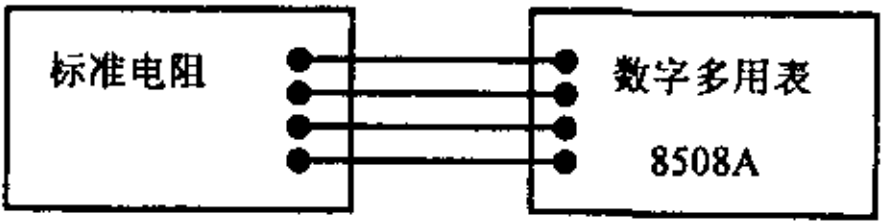


图 6 8508A 四线电阻测量校准连接图

4 不确定度分析

以直流电压功能为例对影响校准结果的不确定度分量进行分析。其它功能各量程测量不确定度的分析方法与此相同，不再赘述。

4.1 直流电压 1V 和 10V 量程

此时测量为直接测量，与测量结果有关的设备有固态电压标准和被测数字电压表。对测量结果构成影响的不确定度分量有：

1. 固态电压标准 4910 的年允许误差极限相对值为 1.5×10^{-6} ，是按 B 类方法评定的不确定度分量， $k=2.58$ ， $p=99\%$ ， $u_{B1}=1.5 \times 10^{-6}/2.58$ 。
2. 测试端接触热电势变化引入的相对不确定度为 1×10^{-7} ，是按 B 类方法评定的不确定度分量， $k=2.58$ ， $p=99\%$ ， $u_{B2}=1 \times 10^{-7}/2.58$ 。
3. 测量重复性引入的相对不确定度分量 3×10^{-8} ，是按 A 类方法评定的不确定度分量， $u_A=3 \times 10^{-8}$ 。

上述各不确定度分量独立不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_C = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_{Bi}^2 + \sum_{j=1}^n u_{Aj}^2}$$
$$= 5.8 \times 10^{-7}$$

相对扩展不确定度 $U = 1.2 \times 10^{-6}$ ($k=2$ ， $p=95\%$)

4.2 直流电压 100V 和 1000V 量程

与测量结果有关的设备有固态电压标准、多功能标准源、分压箱和被测数字电压表。对测量结果构成影响的不确定度分量有：

1. 固态电压标准 4910 的年允许误差极限相对值为 1.5×10^{-6} ，是按 B 类方法评定的不确定度分量， $k=2.58$ ， $p=99\%$ ， $u_{B1}=1.5 \times 10^{-6}/2.58$ 。
2. 5720A 直流电压 24h 校准不确定度相对值为 1.0×10^{-6} ，是按 B 类方法评定的不确定度分量， $k=2.58$ ， $p=99\%$ ， $u_{B2}=1.0 \times 10^{-6}/2.58$ 。
3. 分压箱分压比不准确引入的相对不确定度分量为 2×10^{-7} ，是按 B 类方法评定的不确定度分量， $k=2.58$ ， $p=99\%$ ， $u_{B3}=2 \times 10^{-7}/2.58$ 。
4. 8508A 直流电压 10V 量程 24h 校准不确定度相对值为 1.1×10^{-6} ，是按 B 类方法评定的不确定度分量， $k=2.58$ ， $p=99\%$ ， $u_{B4}=1.1 \times 10^{-6}/2.58$ 。
5. 测试端接触热电势变化引入的不确定度 1×10^{-8} ，是按 B 类方法评定的不确定度分量， $k=2.58$ ， $p=99\%$ ， $u_{B5}=1 \times 10^{-8}/2.58$ 。
6. 5720A 分辨力引入的不确定度属按 B 类方法评定的不确定度分量， $u_{B6}=1 \times 10^{-7}/\sqrt{12}$ 。
7. 由多次测量重复性引入的相对不确定度分量为 5.7×10^{-8} ，是按 A 类方法评定的不确定度分量， $u_A=5.7 \times 10^{-8}$ 。

上述各不确定度分量独立不相关，则合成相对标准不确定度为：

$$u_C = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_{Bi}^2 + \sum_{j=1}^n u_{Aj}^2}$$

$$= 8.2 \times 10^{-7}$$

相对扩展不确定度 $U = 1.6 \times 10^{-6}$ ($k=2$, $p=95\%$)

5 结语

作者已经利用上述方法对多台 8508A 型数字多用表进行过校准和测量, 通过上述分析可见所用测量标准的不确定度能够满足对 8508A 的计量和校准需求。目前越来越多的计量机构已经开始将 8508A 型数字多用表作为其计量标准设备, 相信随着认识水平和标准设备技术性能的不断提高, 8508A 数字多用表的校准方法将不断得以完善。