

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2015.05.18

多功能过程校验仪的检定及问题探讨

姜海飞

(中航工业金城南京机电液压工程研究中心, 江苏 南京 211106)

摘 要: 多功能过程校验仪越来越多地应用于现场校验, 为现场检修维护人员提供了方便。由于在检定过程中的一些认识上的问题, 计量人员在检定过程中往往不能选择合适的标准仪器, 本文通过对多功能过程校验仪检定过程中出现的问题进行分析, 提出了检定过程中标准仪器选择和使用的一些看法, 并对热电偶输出与测量功能的检定提出了一些建议。

关键词: 多功能过程校验仪; 检定; 标准器; 温度补偿

中图分类号: TB94

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2015)05-0074-04

Discussion on Calibration and Problems of Multifunction Process Calibrators

JIANG Haifei

(Nanjing Engineering Institute of Aircraft Systems, Jincheng, AVIC, Nanjing 211106, China)

Abstract: Multifunction process calibrators are more and more applied to on-site verification and calibration, facilitating the on-site maintenance. Because of some problems in the process of calibration, measurement operators are often unable to select appropriate instruments. This paper presents some ideas on the selection and use of the standard instruments in the calibration process, and proposes some suggestions on thermocouple outputs and verification of measurement functions.

Key words: multifunction process calibrator; calibration; standard device; temperature compensation

0 引言

大型企事业单位的现场测量仪表有成千上万台, 这些仪表均需通过计量标准仪表来进行检定与校验, 以确定其测量精度是否满足要求。计量标准仪表的准确度直接影响了现场测量仪表的在线运行质量, 如果对其检定、使用不当, 将会造成仪表计量不准, 导致对被测参数的误判断, 甚至影响生产。

多功能过程校验仪是现场校验应用较多的一种计量标准仪表, 笔者根据从事计量仪表检定和使用的一些经验, 提出检定和使用多功能过程校验仪时易出现的问题和应注意的事项。

1 多功能过程校验仪的功能及工作原理

多功能过程校验仪具有测量和输出两种功能, 校验仪可以测量和模拟热电阻的类型通常有 Pt100, Pt500, Pt1000, Cu50, Cu100 等; 测量和模拟热电偶的类型通常有 B, S, R, K, N, E, J, T 等; 测量和

模拟过程信号输出的直流电流为 4 ~ 20 mA, 直流电压 1 ~ 5 V, 频率 1 Hz ~ 10 kHz, 电阻 10 Ω ~ 4 k Ω 等。

校准仪设置在测量状态时, 可以与压力模块连接以测量压力, 相当于一块数字压力表; 可以与热电阻或热电偶连接以测量温度, 相当于一台数字温度指示仪。校准仪在连接热电偶温度时, 通常具有内置参考端温度自动补偿功能, 可以不用冷端补偿器直接与热电偶连接。有些校准仪能手动切换补偿功能。校准仪设置在输出状态时, 可以与压力模块连接以测量压力, 配上一台手泵相当于一台压力校验仪; 可以模拟各种热电阻、热电偶和温度变送器输出相应的标准电信号以校准温度二次仪表。通常以数字键盘的形式设定模拟的温度值, 也可以用最小步进方式增加或递减温度以适用于模拟式温度二次仪表的校准。校准仪在模拟热电偶输出时, 通常也具有参考端温度自动补偿功能, 使模拟热电偶的输出呈参考端温度为输出端子处温度的电势。有些校准仪能手动切换补偿功能。

多功能过程校验仪由测量电路、电平放大、信号转换电路、控制电路、比较电路、显示电路和输出电

收稿日期: 2015-07-24

作者简介: 姜海飞(1984-), 男, 工程师, 从事电学计量工作。

路等组成,图1是其测量原理框图。

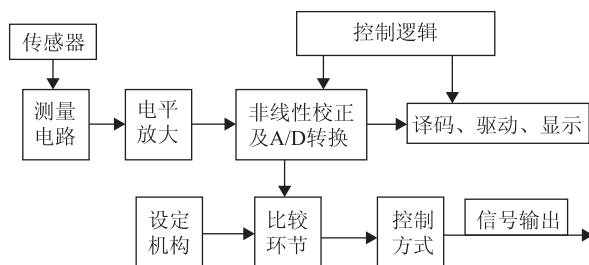


图1 多功能过程校验仪测量原理图

多功能过程校验仪显示清晰直观,一表多能,使用方便,与模拟表相比,各项性能指标均有大幅度提高。但根据其工作原理,这类仪表的不足之处是易受电磁干扰、环境温度影响大、温度补偿功能差,需要在使用中加以注意。

2 多功能过程校验仪检定中的问题及对策

多功能过程校验仪检定项目多,所使用的标准仪器也比较多。DCV表、ACV表、DCI表、DCV源、DCI源需根据1/4到1/10的原则选择合适的校准源或校准表,OHM表则要选择合适校准源或电阻箱,OHM源选择合适电阻表,同时应注意激励电流的匹配问题;频率表和频率源要选择合适信号源和频率计,不能选择多功能校准源和数字多用表,因为这两种标准器的频率参数一般是未经溯源的。

回路电流变送器需要24V电源,许多校验仪可提供24V电源,可以用标准电流源检定校验仪。大多数电流表的顺从电压有限(低于10V),检定时应该将过程校验仪的内部24V禁止。也可以用标准电流表加电阻箱检定校验仪,有些校验仪不能禁止24V电源时,设置电阻值在250Ω~6kΩ范围内,不能过低,否则过大电流会损坏校验仪,接线方法如图2所示。

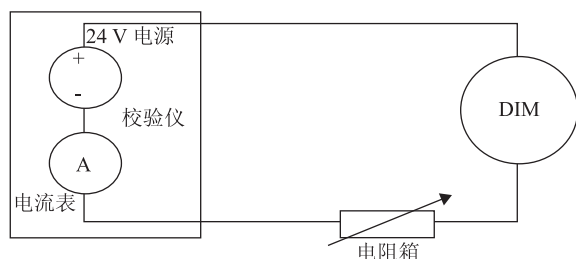


图2 不能禁止24V输出的回路电流输出检定

校验仪可以测量热电阻,显示对应的温度,此时,校验仪就相当于一个电阻测温仪;校准电阻测温仪相

当于校准一台欧姆表,校验仪电阻测温不确定度一般为0.05~0.2℃,相当于不确定度为0.02%~0.1%的电阻测温仪。校验仪可以用两线、三线、四线连接方式测量,测量两线电阻时引线误差可以用两线电阻补偿输出方式来抵消引线电阻的影响;三线电阻测量时要保证三根引线电阻相等(粗细相等,长度一致),三线只是针对测量仪器,标准电阻仍是两线;检定校验仪四线热电阻测量功能时,校验器最好也是四线,可以抵消引线电阻的影响。

JJF1309-2011《温度校准仪校准规范》给出的标准仪器及配套设备的选择方案^[1]中,热电偶测量功能选择0.001级~0.05级的直流低电势电位差计或标准直流电压源,直流电压的测量范围为0~100mV,满足这一指标的标准直流电压源很多,但要对热电偶的测量功能进行全量程检定,则要模拟10mV以下的电压,像5720A之类的多功能校准源上级机构给出的溯源范围是10mV以上,那么要满足检定条件需要加上低热电势分压箱,但是很少单位会配备这种分压箱。可以采用一种新的方法,即:采用欧姆定律形式,电流通过标准电阻来定标,测量线路如图3。所有仪器的接地端连接在一起并通过一点接地。E为可调稳压电源或恒流源。电源的稳定性很重要,无论采用稳压源还是恒流源,其稳定性至少要比被校仪表准确度高一个数量级。由于测量线路中电流很小(约1mA),此处电源也可以是直流标准电压源,如采用Fluke 5700A, Wavetek 4808多功能校准源(负载电流均大于20mA)。R₁, R₂, R₃为一等标准电阻,其标称值分别为1000Ω, 10Ω及1Ω。V₁, V₂(或V₃)分别接作标准用的数字多用表(如Fluke公司的8508A、Wavetek公司的1281数字表等)和待检定校验仪热电偶测量功能。检定热电偶测量功能对应电压10mV以下时,测量端接入R₂端,检定热电偶测量功能对应电压1mV以下时,测量端接入R₃端。

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1} V_1 \text{ 或 } V_3 = \frac{R_3}{R_1} V_1 \quad (1)$$

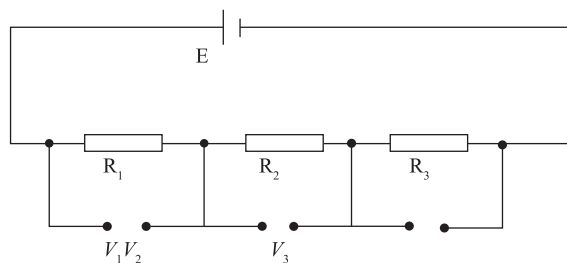


图3 直流小电压数字表检定线路图

3 多功能过程校验仪温度部分检定

检定模拟输出热电阻信号的多功能过程校验仪可以依据国家检定规程中的方法,采用四根专用连接导线连接校验仪和测量标准器,即可得出它输出的电阻信号基本误差,再依据分度表可以得到不同分度下的温度误差。

检定模拟热电偶信号输出的多功能过程校验仪可以分别对直流毫伏信号输出基本误差和冷端测量误差进行检定,有人提出采用下面的方法来检定多功能过程校验仪,对于直流毫伏输出误差依据 JJG445-86《直流标准电压源检定规程》^[2] 连接测量标准器进行检定,测量标准器检定接线图如图 4 所示,将数字多用表置于 mV 档,选择相应的 mV 量程,并接到被检定仪表的模拟热电偶输出端。检定方法采用 JJG617-1996《数字温度指示调节仪检定规程》^[3] 中测量被检点输出电量法:从下限开始增大输出信号(上行程时),由数字多用表分别测量被校仪表模拟热电偶输出各被检点温度值所对应的电量值,直至上限;然后减小输入信号(下行程时),由数字多用表分别测量被校仪表模拟热电偶输出各被检点温度值所对应的电量值,直至下限,取测量中误差最大的作为该仪表的最大基本误差。该基本误差按式(2)计算。

$$\Delta t = [X_d - (X_i + e)] / \left(\frac{\Delta A}{\Delta t} \right)_{ii} \quad (2)$$

式中: Δt 为换算成温度值的基本误差,℃; X_d 为被检仪表输出的温度值所对应的电压/电阻值, mV 或 Ω ; X_i 为数字多用表测量的电压/电阻值, mV 或 Ω ; 对具有参考温度自动补偿的仪表, e 表示补偿导线参考温度时的修正值, mV, 不具有参考端温度自动补偿的仪表 e 为 0; ΔA 为用电压/电阻值表示的基本误差, mV 或 Ω ; $\left(\frac{\Delta A}{\Delta t} \right)_{ii}$ 为检定点的温度变化率, mV/℃ 或 $\Omega/℃$ 。

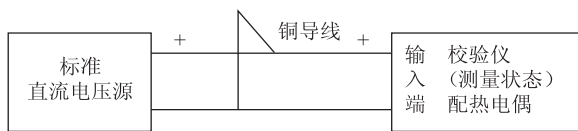


图4 校准仪测量状态时配热电偶
(无参考端温度自动补偿)的检定连接图

测量功能采用 JJG617-1996 中的“输入被检点温度标称电量法”(又称“输入基准法”)。测量标准器检定接线图如图 5 所示,从下限开始增大输入信号(上行程时),分别给校验仪输入各被检点温度所对应的标称

电量值,读取校验仪的示值,直至上限;然后减小输入信号(下行程时),分别给校验仪输入各被检点温度所对应的标称电量值,读取校验仪的示值,直至下限作为一个测量循环。共进行两个循环的测量。如果校验仪选择在热电偶测量温度时设置在参考温度自动补偿状态,则给校验仪输入的信号应是被校点温度对应的标称电势值减去补偿导线修正值。每个检定点有 4 个测量值,取 4 次测量的平均值与检定点温度之差作为该检定点的示值误差,即

$$\Delta_i = \bar{t}_d - t_s \quad (3)$$

式中: Δ_i 为各检定点的示值误差,℃; $\bar{t}_d$ 为校验仪示值平均值,℃; t_s 为检定点温度值,℃。

按图 5 接线时,示值误差的计算公式应为 $\Delta_i = \bar{t}_d - (t_s + \frac{e}{S_i})$ 。其中 S_i 为各检定点温度的微分电势。由于操作时给校验仪的输入信号为检定点温度对应的标称电势值减去补偿导线修正值,从而得到式(3)的示值误差计算公式。

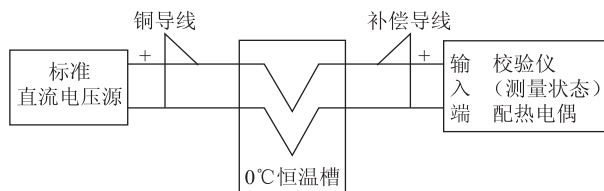


图5 校准仪测量状态时配热电偶
(具有参考端温度自动补偿)的检定连接图(0℃)

这种方法对于那些测量精度不高的仪表适用,但是对于多功能过程校验仪这种高精度仪器来说,所测得的误差中包括了恒温槽和补偿导线的测量误差,不确定度分量较大。尤其是补偿导线由于稳定性、材料等原因本身的误差就比较大,精密级的补偿导线也要达到 $2\mu\text{V}$ 而且由于补偿导线的修正值采用的都是 $20℃$ 时的修正值,而实际冷端温度可能与 $20℃$ 存在一定的差异,存在一定误差,因而无论配备再好的测量标准器,整套检定装置的不确定度也无法得到有效提高。

多功能过程校验仪通常都具有检定多种分度号热电偶的功能,按上述方法必须对每一种分度号的热电偶进行检定,这在实际工作中工作量巨大,难以做到,而且在技术上也毫无必要。因为不论什么分度号的热电偶的温度输出都是由直流电压输出和冷端补偿组成的。

所以,本文认为对于检定热电偶信号输出的多功能过程校验仪适宜分别对直流毫伏信号输出基本误差

和冷端补偿误差进行检定,对于直流毫伏输出误差的校准可以依据 JJG 445 - 1986《直流标准电压源检定规程》连接测量标准器进行检定,而对于冷端补偿误差可以采用以下方法进行检定。

4 多功能过程校验仪温度补偿检定方法

如图 6,采用一个可以调节温度的恒温槽来代替零度恒温槽,该恒温槽的偏差要求不高,但是均匀性不得大于 0.05°C ,以保证测量精度。将恒温槽的初始温度 20°C ,任选一分度号的补偿导线,补偿导线的一端短接后插入恒温槽,另一端接入被检的温度校验仪冷端输入端。另外采用标准铂电阻温度计及相应测量仪表(或者标准水银温度计)测量槽温,铂电阻温度计感温元件端应该与补偿导线短接端保持同一高度并尽量接近。待槽温和被检冷端温度恒定后,测量此时补偿导线参考端的热电势值 E_1 ,按式(4)换算成温度 Δt_1 。

$$\Delta t_1 = \frac{E_1}{S_{t_0}} \quad (4)$$

式中: S_{t_0} 表示该分度号热电偶在 20°C 时的微分电动势。

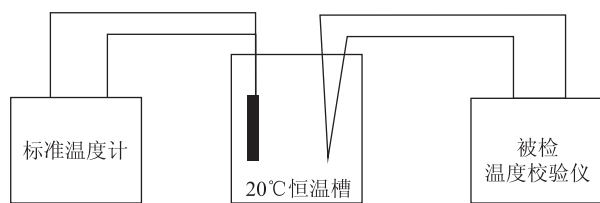


图6 校准仪测量状态时配热电偶
(具有参考端温度自动补偿)的检定连接图(20°C)

将恒温槽温度调整为 $t_1 = t_0 - \Delta t_1$,待槽温恒定后,再测量补偿导线的热电动势值 E_2 ,重复以上步骤,直到热电动势值 E_2 或 Δt_1 接近零(或者小于一定值,一般可取 $\Delta t_1 < 0.1^{\circ}\text{C}$),即认为恒温槽的槽温与冷端温度一致。此时将被检温度校验仪转换至测温档,读取仪表指示值 t_d 和标准温度计读数 $t_{\text{标}}$ 。然后,将补偿导线参考端拆下后接上铜导线,放入恒温槽中,补偿导线的短接端和参考端放置在同一深度并尽量接近,铜导线的两端同时接到测量标准器上,测量补偿导线的热电动势 Δ_e 。并按照式(5)得出该温度校验仪的冷端补偿误差 $\Delta_{\text{补}}$ 。

$$\Delta_{\text{补}} = (t_d - t_{\text{标}})S_{t_{\text{标}}} - \Delta_e \quad (5)$$

式中: $\Delta_{\text{补}}$ 为被检仪器的冷端补偿误差, mV; t_d 为被检仪器读取的温度示值, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{标}}$ 为标准温度计读取的温度值, $^{\circ}\text{C}$; $S_{t_{\text{标}}}$ 为该分度号热电偶在标准温度计所示温度

时的微分电动势, mV/ $^{\circ}\text{C}$; Δ_e 为补偿导线实际温度下的修正值, mV。

所得出的冷端补偿误差,根据热电偶的分度表可以分别得出不同分度号热电偶换算出的温度值。这样检定结果就分成了温度校验仪的直流毫伏信号输出误差和冷端补偿误差,最大限度地减少了冷端测量和补偿导线引起的误差。

温度校验仪的最后基本误差按式(6)计算:

$$\Delta t = \frac{\Delta_A + \Delta_{\text{补}}}{(\Delta_A / \Delta t)_{t_i}} \quad (6)$$

式中: Δt 为温度校验仪换算成温度的基本误差, $^{\circ}\text{C}$; Δ_A 为电量程输出指示误差, mV 或 Ω ; $\Delta_{\text{补}}$ 为热电偶输出时的冷端补偿误差, mV,在校准非热电偶输出时,此项为 0; Δt 的最后结果应按照数据修约规则化整到与温度校验仪该功能档的分辨力一致。

5 结论

本文介绍了多功能过程校验仪的工作原理及主要功能,对多功能过程校验仪在检定过程中如何正确地选择标准器提出了一些建议,对检定过程中可能会遇到的问题提出了解决方案。通过对多功能过程校验仪的电量输出误差和冷端补偿误差的分别测量,对于高准确度多功能过程校验仪可以更加方便、准确地测量其误差,达到检定的目的。其检定的测量不确定度实际只是由两部分组成:电量输出的不确定度和冷端补偿的不确定度。其中,电量输出的不确定度与冷端补偿的不确定度相比通常较小,在输出热电偶信号时,可以通过两者的合成得到热工仪表校验仪在各个分度时的测量不确定度,并且通过对冷端补偿误差的更精确测量来检定高精度多功能过程校验仪。对类似的多功能过程校验仪而言,笔者认为不必把所有的功能面面俱到的进行检定,要根据用户的使用要求进行针对性的检定,满足用户使用方便是用户送检的心愿,也是我们的最终目的。

参考文献

- [1] 国家质量监督检验检疫总局. JJF1309 - 2011 温度校准仪校准规范[S]. 北京:中国计量出版社, 2011.
- [2] 国家技术监督局. JJG445 - 86 直流标准电压源检定规程[S]. 北京:中国计量出版社, 1986.
- [3] 国家技术监督局. JJG617 - 1996 数字温度指示调节仪检定规程[S]. 北京:中国计量出版社, 1996.