

一、背景

国家质检总局于 2010 年和 2011 年先后修订了涉及水银温度计的两个检定规程，即 JJG161-2010《标准水银温度计》和 JJG130-2011《工作用玻璃体温度计》(以下简称“新规程”)。新规程对检定设备和方法提出了更高的要求。首先，对于电设备要求准确度提高。配套标准铂电阻温度计使用的电测设备相对误差要求 $\leq 3 \times 10^{-5}$ ；其次，对于水三相点设备的使用更加明确和严格。要求检测二等标准铂电阻的 R_{tp} 值变化，并使用新测得的 R_{tp} 值计算温度。具体内容可参见规程中对应部分的内容。

本文将对相关设备的一些要点和主要问题进行解析，帮助我们正确选择和使用这些设备，可靠、有效地完成检定工作。

二、设备选择中应注意的问题

1. 方案的系统性、完整性

在标准水银温度计标准装置和标准水银温度计检定装置中，最主要的两种设备是测温设备和水三相点。其功能、性能、技术指标、特点以及性价比是直接影响到检定结果和实际工作的重要因素。规程所需的各种设备在市场上五花八门，参差不齐。目前多数厂家只能提供部分产品，没有完整、系统的解决方案，经常是靠东拼西凑来应付用户需求。这将给用户带来各种各样的潜在问题，例如仪器配套附件不完整、各种仪器匹配工作不好、兼容工作可靠性差等问题。一旦发生问题，常会因为各家设备厂商互相推卸责任，使用户难以得到有效和全面的服务，对开展工作产生巨大影响。这就要求计量单位的相关人员在进行方案选择时必须考虑方案的系统性、全面型、兼容性。选择可以提供全套解决方案的厂家，确保获得可靠的产品和服务。

2. 电测(测温)设备

配套标准铂电阻温度计使用的电测设备主要有数字多用表、新型精密测温电桥和传统直流(交流)比较仪测温电桥 3 种。由于市面上常见的六位半、七位半数字表在准确度方面都达不到新规程的要求，所以大部分用户不考虑此类设备，除非使用八位半的数字多用表。

测温电桥是目前大部分用户选择的电测仪器，但市面上各种测温电桥或电阻测温仪种类众多，

技术指标五花八门。如何理解、如何选择，是计量人员面临的问题。

(1)关于“准确度”

我们在选择测温电桥时，要问的第一个问题就是“这台仪器的精度(准确度)是多少”。虽然传统意义上认为测温电桥是“最准”的设备，但实际上，使用测温电桥仅是“可能达到最好的准确度”。

测温电桥与一般数字多用表不同，测温电桥通常给出的“ 2×10^{-6} ”(2ppm)、“ 0.1×10^{-6} ”(0.1ppm)等，大多指的是其自身的电阻比测量准确度，而不是最终的电阻测量准确度。而新规程中规定的“电测设备相对误差要求 $\leq 3 \times 10^{-5}$ ”，要求的是最终的电阻测量准确度。测温电桥在实际工作中，必须配以内置或外置的参考电阻，才能得到最终结果。而参考电阻的一年期准确度指标往往要比电桥自身的指标低1~2个数量级。所以，单看测温电桥自身的“精度”是没有意义的，大部分高精度测温电桥自身的准确度都足够高，重要的是要选择满足要求的参考电阻一起配套使用。

(2)技术指标的“描述方法”

不确定度分析是计量检定人员经常进行的工作。要完成一个完整的不确定度分析，最终要对标准不确定度进行扩展，即乘以2，得到 $k=2$ 的扩展不确定度。然而各仪器厂家所提供的仪器技术指标却并非如此。有些厂家能够给出的是仪器 $k=2$ (95%置信概率)的扩展不确定度技术指标，有些仪器厂家却是用“精度”这个词语，模糊地表示其性能，而对于用户来讲，仪器真正的性能无从得知。

所以，在选择配套的电测设备时，必须确认厂家提供的指标表示的是扩展不确定度。

(3)测量速度

类别	技术指标	
电测 仪表	<p>1594A/1595A 超级电阻测温仪</p>  <p>技术指标(95% 置信概率,1 年): 电阻测量不确定度准确度:读数的 4×10^{-6} (4ppm) (0-400Ω) 分辨率:0.1-0.000001 内置 5 个恒温参考电阻:1Ω, 10Ω, 25Ω, 100Ω, 10kΩ 电阻比准确度: 1594A: 0.24×10^{-6} (0.24ppm) (电阻比 4 以内小于 0.8×10^{-6} (0.8ppm)) 1595A: 0.06×10^{-6} (0.06ppm) (电阻比 4 以内小于 0.24×10^{-6} (0.24ppm)) 测量速度: 最高准确度:2 秒/次;最高速度:1 秒/次 主机包含 4 个测量通道;中文彩色液晶屏幕</p>	<p>1529 四通道铂电阻测温仪</p>  <p>技术指标(95% 置信概率,1 年): 电阻测量不确定度:读数的 25×10^{-6} (25ppm) 分辨率:0.0001Ω 测量通道:4 通道铂电阻"体积小,精度高 内置 90 温标公式,直观显示温度、电阻 多种统计功能 电池供电,现场使用 DWF 专利接线端子,方便易用</p>
	<p>5901B-G 小型水三相点瓶 9210 自动冻制/保存装置 扩展不确定度 ($k=2$): $<0.0002^{\circ}\text{C}$ 复现性:0.00005$^{\circ}\text{C}$ 外径 \times 总高 (mm):30 \times 180 内径 (mm):8 浸入深度:118mm (水表面到井底部) 与 VSMOW 偏差的影响 $\pm 14 \mu\text{K}$</p> 	<p>5901D-G 传统水三相点瓶 7312 水三相点瓶保存槽 扩展不确定度 ($k=2$): $<0.0002^{\circ}\text{C}$ 复现性:0.00005$^{\circ}\text{C}$ 外径 \times 总高 (mm):30 \times 180 内径 (mm):8 浸入深度:118mm (水表面到井底部) 与 VSMOW 偏差的影响 $\pm 14 \mu\text{K}$</p> 
水三 相点 系统		

<CTSM> 表 1 福禄克水三相点系统及高精度测温仪</CTSM>

检定水银温度计时所使用的热源，大多为恒温槽。所以，配套使用的电测设备要求有较高的测量速度，才能“跟得上”恒温槽的波动情况，测量到实际温度。然而，传统的直流测温电桥测量速度较慢。虽然有电桥号称可以达到最快 1 秒 1 次的测量速度，但这是无法达到其最高测量准确度。要达到最高的准确度时，测量最快速度约为每次 8~10 秒。性能较好的交流测温电桥测量速度较快，但对于一般计量用户来讲，其价格相当昂贵，难以承受。

所以，测量速度与测量准确度不能割裂，必须给出达到最高准确度时的测量速度指标才有实际意义。

(4)多通道测量与自热效应

众所周知，标准铂电阻温度计存在自热效应。在进行实际测量时，必须确保标准铂电阻温度计已经通以足够长时间的电流，使其已经达到自热平衡状态。在进行多通道测量时，如果使用手动机械式切换开关选择通道，势必大大降低工作效率。使用多通道的，具有待机电流功能的测温电桥，可以使各个测量通道的铂电阻始终处于自热平衡状态，不仅可以大大提高测量速度，更重要的是保证了测量结果的准确性，消除了自热误差。

(5)具体使用

使用传统测温电桥，通常得到的直接结果是电阻比，需要用户自己计算电阻或温度。目前传统

测温电桥通常配套计算机和通信软件来解决这个问题，在计算机上用软件来读取电阻或温度值，但操作起来并不是很方便，对操作人员的要求较高。使用新型的高精度电阻测温仪，可以直接在仪器屏幕上显示多通道的测量电阻比，或电阻值、温度值，不同颜色的温度曲线，可以给实际工作带来极大方便。

3.水三相点

凡是使用标准铂电阻作为参考的温度计量检定工作，一直强调水三相点的重要性。定期监测标准铂电阻温度计 R_{tp} 值的漂移情况，并用新测得的 R_{tp} 值计算温度，以提高量值传递数据的准确性和可靠性。然而，受困于传统水三相点的制作方法相对比较麻烦，担心制作过程中将其“冻裂”或“打破”，很多计量人员不经常使用水三相点，其水三相点瓶处于“常温长期保存”状态。

实际上，真正“最准确”、使用时间“最长”的水三相点，还是使用传统方法冻制的水三相点。即用液氮或干冰手工冻制，这样做出的冰套最实、最好。从实际工作的角度出发，目前越来越多的用户开始选择自动冻制的水三相点设备。这种方法通常是将水三相点瓶放置于低于 0°C (通常是 -5°C) 的热源中一定时间，如干式炉或液槽中。然后取出摇晃，获得水三相点状态。这种方法所采用的原理是一种物理现象，称为“过冷”。使用福禄克公司的小型水三相点设备，操作方便、可靠性高，(15~20)min 即可获得水三相点，可使用(6~8)h，满足一天工作使用。随用随冻，使用方便。

三、新水银温度计规程解决方案

针对最新的规程，福禄克公司可以提供全面的解决方案，满足不同用户的需求。电测设备选择 1594/1595 超级电阻测温仪，不仅全面满足规程需求，同时可以满足日后开展标准铂电阻检定的要求，性价比最高。也可选择四通道高精度铂电阻测温仪 1529，满足规程要求，轻巧便携，更加经济。

水三相点瓶可以选择小型水三相点瓶，其特点是自动冻制，随用随冻，且插入深度足够。如果需要更高的准确度，可以选择大型水三相点瓶和相应的保存装置，可获得长达两个月以上的保存时间。

四、要点综述

1.新的水银温度计检定规程要求实测二等铂电阻的水三相点，实质意义就是没有水三相点就无法建标。

2.测量二等标准铂电阻温度计的测温仪表的准确度是 30×10^{-6} (30ppm)。传统的六位半和七位半数字表无法达到要求。

3.高精度的专业测温仪表就可以满足要求，测温电桥可以满足准确度的要求，但是由于测量速度慢，并不适合在恒温槽里使用。而且取决于参考电阻的选择。