

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.03.09

高温表面温度计校验仪研制及性能验证

王小龙, 吕国义, 张贺

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 介绍了一种高温表面温度计校验仪, 适应于 50~700 ℃ 较高温度范围内的表面温度计校准。对校验仪的温度均匀度和稳定性进行了测试。该校验仪表面热板具有 $\phi 50\text{mm}$ 的均匀温度场, 在最高使用温度时表面温度均匀度小于 2 ℃, 温场稳定性小于 1 ℃/10min。对高温状态下表面温度校验仪的不确定度进行了评估, 校准数据表明该校验仪可用于高温表面温度计的校准。

关键词: 表面温度; 表面温度计; 表面温度传感器; 表面温度校验仪

中图分类号: TB942

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2017)03-0045-03

Development and Performance Check of the High Temperature Surface Thermometer Calibrator Development and Performance Verification Check

WANG Xiaolong, LV Guoyi, ZHANG He

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: This paper introduces a kind of high temperature surface thermometer calibrator, adapted to the (50~700) ℃ high temperature range of surface thermometer calibration. The temperature uniformity and stability was tested. The hot plate surface of the calibrator has a $\phi 50\text{mm}$ uniform temperature field, and at the highest temperature the surface temperature uniformity is less than 2 ℃ and the stability of the temperature field is less than 1 ℃ / 10 min. The measurement uncertainty of the surface thermometer calibrator is evaluated under high temperature, and the calibration data show that it can be used in high temperature surface thermometer calibration.

Key words: surface temperature; surface thermometer; surface temperature sensor; surface thermometer verification

0 引言

随着科学技术的发展, 接触式表面温度计(以下简称表面温度计)大量应用在能源、化工、纺织、机械、电力、航空航天等需要精确测量表面温度的科研和生产中, 因此对表面温度计的校准需求量也逐渐增多。目前表面温度计校准依据 JJF 1409-2013《表面温度计校准规范》, 但规范适用温度范围最高为 400 ℃, 为满足更高温度的表面温度计校准, 需要将表面温度源的范围延伸至 700 ℃, 解决高温表面温度传感器的溯源。

1 高温表面温度计校验仪结构原理与特点

CIMM-TH-029 是我们根据行业需求设计的一台高温表面温度计校验仪, 该装置可以提供温度范围 50~

700 ℃ 的均匀温场, 在温度 700 ℃ 时, 能满足温度均匀度 $\leq 2\text{℃}$, 稳定性 $\leq \pm 1\text{℃}/10\text{min}$ 。

装置主要由加热体和温度控制系统构成, 如图 1 所示。



图 1 高温表面温度校验仪

高温表面温度计校验仪主要由温度控制系统、加热板、导热板、保温板和温度传感器(标准 S 型热电偶)组成。整体结构如图 2 所示。

收稿日期: 2017-04-18

作者简介: 王小龙(1988-), 男, 工程师, 主要从事温湿度领域的计量测试研究。

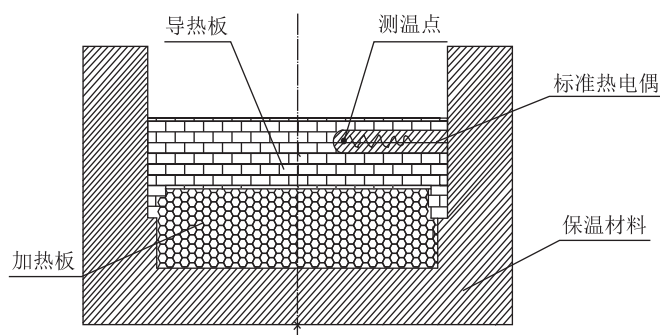


图2 整体结构示意图

高温表面温度计校验仪采用一种新型红外辐射加热板。加热板通过红外辐射方式将能量传出，再通过导热将热量均匀地传递到导热板上，从而在导热板上形成一个均匀的温场。

导热板选用导热性能好且耐高温的合金材料。导热率高，设计功率较大，最快能以 $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度进行升温。满足高温表面温度计校验仪的测试要求。

保温材料选用无机材料玻璃棉，其具有成型好，体积密度小，导热率低，保温绝热，耐腐蚀，化学性能稳定等特点。

根据 JJF 1409-2013《表面温度计校准规范》，在表面源热板的底部应具有外置标准器插孔，标准器测量端与插孔内测温点处接触应良好，如图 3 所示。该装置控温传感器选用 S 型标准热电偶，S 型标准热电偶能够保证装置在高温段的准确度和稳定性。

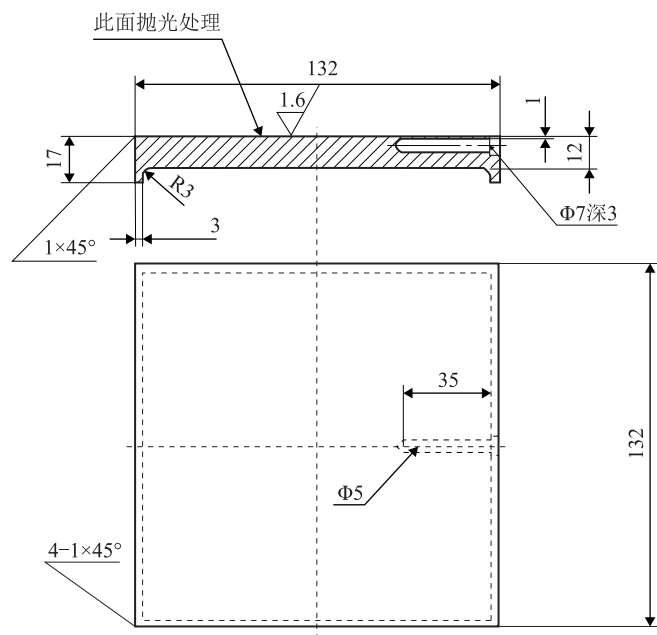


图3 导热平板结构尺寸图

2 高温表面温度计校验仪的技术特性

2.1 温场均匀性

该表面源的加热区直径为 $\phi 100\text{mm}$ 。为确保测试过程中温度均匀性的准确性，使用一块接触面直径为 $\phi 20\text{mm}$ 的自重式表面温度计并配有分辨力为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高精度仪表，参照 JJF 1409-2013《表面温度计校准规范》中的附录 D“表面温度源控温稳定性及温度均匀性测量方法”，在表面源直径为 $\phi 50\text{mm}$ 的有效加热区内进行测试，待表面源控温达到稳定状态后，分别在 O 位置~D 位置进行表面源的温度测试，测量顺序为 O→A→O→B→O→C→O→D→O，各点温度与中心点温度温差的最大值作为温场均匀性，具体如图 4 所示。

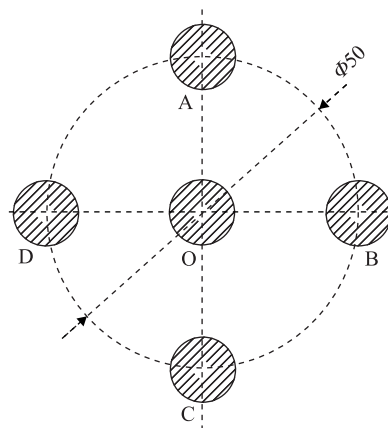


图4 温场均匀性测试点布置

图 5 为此次温场均匀性测试结果。测试结果表明该温度校验仪不仅在 $50\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内均匀度 $\leq 0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，满足 JJF 1409-2013 校准规范 $50\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内均匀性 $\leq 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的要求，而且在温度上限 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，温场均匀性为 $2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，满足高温表面温度计校验仪的使用要求。

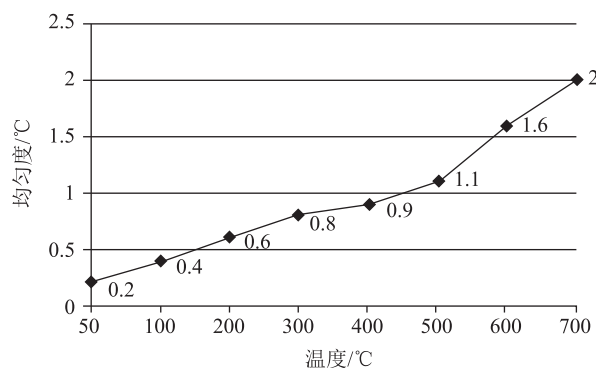


图5 温场均匀性测试结果

2.2 温场稳定性

依据 JJF 1409-2013《表面温度计校准规范》，稳定性指标为 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ min}$ 。测试方法是将自重式表面温度计放在表面源的中心位置，每隔 1 min 记录一次表面温度计仪表的显示值，记录 10 min ，最大值与最小值的差值即为表面温度计校验仪的温场稳定性。测试结果如图 6 所示。校验仪的稳定性为 $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ min}$ ，满足规程要求的稳定性指标。

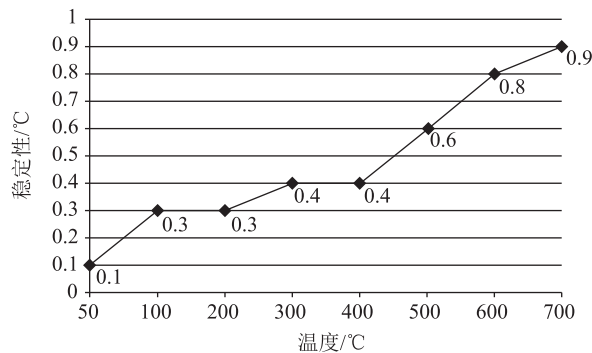


图 6 温场稳定性测试结果

3 不确定度分析

以该高温表面温度计校验仪作为标准源，校准某机构送检的 $50\sim 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 表面温度计。以 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为例，影响高温表面温度计校验仪校准结果的不确定度分量有以下几个方面，如表 1 所示。

综上所述，该高温表面温度计校验仪满足使用要求，可用于高温表面温度计的校准。

4 结论

本文介绍的高温表面温度计校验仪，其导热板采用新型材料，大大提高了表面源的温度范围，具有导热性能好、抗氧化性强、抗腐蚀能力强等优点，可以在 $50\sim 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度范围内实现均匀性 $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，稳定性 $\leq 1\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ min}$ 的要求，可以满足高温表面温度计的校准需求。

表 1 不确定度分量

不确定度来源(x_i)	分布	a_i	k_i	标准不确定度
表面源温场均匀度不确定度分量 u_1	均匀	$2.0\text{ }^{\circ}\text{C}(700\text{ }^{\circ}\text{C})$	$\sqrt{3}$	$1.15\text{ }^{\circ}\text{C}(700\text{ }^{\circ}\text{C})$
校验仪波动度的不确定度分量 u_2	均匀	$1.0\text{ }^{\circ}\text{C}(700\text{ }^{\circ}\text{C})$	$\sqrt{3}$	$0.34\text{ }^{\circ}\text{C}(700\text{ }^{\circ}\text{C})$
测量重复性不确定度分量 u_3	t	$0.34\text{ }^{\circ}\text{C}(700\text{ }^{\circ}\text{C})$	1	$0.11\text{ }^{\circ}\text{C}(700\text{ }^{\circ}\text{C})$
环境温度波动度不确定度分量 u_4	均匀	$0.5\text{ }^{\circ}\text{C}(700\text{ }^{\circ}\text{C})$	$\sqrt{3}$	$0.29\text{ }^{\circ}\text{C}(700\text{ }^{\circ}\text{C})$
S 型标准偶溯源上一级引入的分量 u_5	正态	$0.5\text{ }^{\circ}\text{C}(700\text{ }^{\circ}\text{C})$	2	$0.25\text{ }^{\circ}\text{C}(700\text{ }^{\circ}\text{C})$
校验仪年稳定性引入的不确定度分量 u_6	均匀	$0.25\text{ }^{\circ}\text{C}(700\text{ }^{\circ}\text{C})$	$\sqrt{3}$	$0.14\text{ }^{\circ}\text{C}(700\text{ }^{\circ}\text{C})$
导热板温差引入的不确定度分量 u_7	正态	$0.7\text{ }^{\circ}\text{C}(700\text{ }^{\circ}\text{C})$	3	$0.67\text{ }^{\circ}\text{C}(700\text{ }^{\circ}\text{C})$
合成不确定度 u_c				$1.5\text{ }^{\circ}\text{C}(700\text{ }^{\circ}\text{C})$
扩展不确定度 $U(k=2)$				$3\text{ }^{\circ}\text{C}(700\text{ }^{\circ}\text{C})$

参 考 文 献

[1] 国家质量技术监督局. JJG 1409-2013 表面温度计检定规程 [S]. 北京: 中国计量出版社, 2013.

[2] 国防科工委科技与质量司. 热学计量[M]. 北京: 原子能出版社, 2002.

[3] 贺宗琴. 表面温度测量[M]. 北京: 中国计量出版社, 2009.

[4] 吕国义, 杨新园, 王晓璐, 等. 表面温度传感器校准装置研制[A]. 全国温度测量与控制技术学术交流会, 2012.

[5] 国家质量技术监督局. JJG 364-1994 表面温度计检定规程 [S]. 北京: 中国计量出版社, 1994.