

文章编号: 1674-8085(2015)03-0013-04

干井炉的轴向温度分布对现场温度校准影响的实验研究

*张婧瑜¹, 安 巍², 姜熙成³

(1.上海市质量监督检验技术研究院, 上海 201114; 2.同济大学机械与能源工程学院, 上海 200093; 3.朝鲜平壤建筑综合大学, 朝鲜, 平壤)

摘 要: 针对干井炉易受被校温度探头长度尺寸的影响, 无法满足其始终在井底部被测量的条件问题, 实验选用 FLUKE 干井炉, 在不同校准温度下, 改变标准铂电阻插入干井炉的深度。研究发现, 在同一校准温度下, 轴向由井底到井口方向的温度梯度值会不断增加, 靠近井口处的温度准确性差, 尽量避免在该位置校准温度探头。此外, 随着校准温度的升高, 校准温度与环境差别增大, 干井炉温度偏差通常会增加, 其轴向最大温差也会升高。当校准温度比较高时, 轴向温度的不均匀性对其测温准确性的影响比较大, 不可忽略。

关键词: 干井炉; 校准温度; 插入深度; 轴向温度; 温度梯度

中图分类号: O357.5⁺4

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1674-8085.2015.03.003

EXPERIMENT RESEARCH IN THE TEMPERATURE CALIBRATION UNDER THE INFLUENCE OF AXIAL TEMPERATURE DISTRIBUTION OF THE DRY-WELL THERMOMETER CALIBRATOR

*ZHANG Jing-yu¹, AN Wei², JIANG Xi-cheng³

(1. The Shanghai Quality Supervision and Inspection Institute of Technology, Shanghai 201114, China;

2. College of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 200093, China; 3. Pyongyang Architectural University, DPRK Pyongyang)

Abstract: Dry-well thermometer calibrators are widely used in enterprises for on-site or online temperature calibrations. By the influence of the length of the temperature probes, which could not always be located at the bottom of the well, the axial temperature distribution of dry-well thermometer calibrators is one of the important factors to affect the measurement accuracy. Using the dry-well thermometer calibrator from FLUKE, the temperature distributions in working conditions with various temperature levels were measured by changing the depth of the standard platinum resistance inserted into the well. By analyzing the relationship between the calibration temperatures and the axial temperature distribution, some problems could be found out, which could provide more comprehensive and reliable experimental data for its application in the field of temperature calibration to improve the measurement accuracy.

Key words: dry-well thermometer calibrator; calibration temperature; insertion depth; axial temperature; temperature gradient

收稿日期: 2014-10-28; 修改日期: 2015-01-29

作者简介: *张婧瑜(1988-), 女, 陕西人, 硕士生, 主要从事温度计量校准研究(E-mail: zjysmile88@163.com);

安 巍(1975-), 男, 山西人, 副教授, 博士, 主要从事热辐射、太阳能利用及微尺度传热的研究(E-mail: anwei@tongji.edu.cn);

姜熙成(1975-), 男, 朝鲜人, 讲师, 主要从事建筑空调节能技术等相关研究(E-mail: ganghuisong@126.com).

0 引言

干井炉即干体式温度校准器,以空气作为校准介质。近年来,随着工业生产自动化程度的不断提高,工业现场温度校准需求正日益增多^[1-2]。企业中许多重要设备的温度探头与测温系统一体化,很难拆装后将其送至实验室进行校准。为满足企业需求,也为更加准确地测量整个系统的温度,就需要进行现场温度校准。相比于不便于携带,升降温慢,以液体作为校准介质的传统检定炉槽^[3],干井炉以其无污染、操作简单、便于携带,升降温快、可用温度范围宽等优点^[4],被广泛应用于食品、石化、制药、半导体和其他制造业的企业现场计量和在线校准^[5]。但针对市场上长短不一的温度探头^[6-7],干井炉测温的准确性一直是困扰现场温度校准人员的问题,其中干井炉轴向温度分布是影响其准确性的重要因素之一。

目前对于干井炉的研究主要围绕测量稳定性^[8]、现场温度校准方法^[9]、温度分布均匀性^[10]等方面展开。干井炉轴向温度的均匀性引起了学者的重视,但大部分的实验以温度探头距离井底 50 mm 以内的温度分布为主^[11],较为系统的分析不同校准温度下干井炉轴向温度分布情况的实验比较少见。因此本文通过实验分析校准温度与干井炉轴向温度分布的关系,希望能为干井炉在现场温度校准中的应用提供更全面可靠的实验数据,以提高现场计量的准确性。

1 实验方法

1.1 实验台搭建

选用美国福禄克现场计量干井炉 FLUKE 9144 (目前国内大部分省计量院和科研院所均选用该品牌,性能稳定,精确度高)作为研究对象,测量范围为(50~660)℃。内置测温仪的准确度范围为 $\pm 0.01^{\circ}\text{C} \sim \pm 0.07^{\circ}\text{C}$,均温块井深 150 mm。测温设备选用二等标准铂电阻配 FLUKE 1502A 测温仪(精度 $\pm 0.021^{\circ}\text{C}@500^{\circ}\text{C}$)。实验台如下图所示:



图 1 实验台实物图

Fig.1 Laboratory furniture

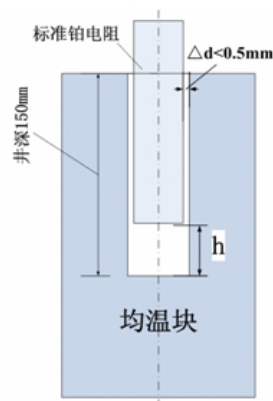


图 2 测温示意图

Fig.2 Schematic of measurement

1.2 实验测试过程

实验室环境温度为 $(24 \pm 1)^{\circ}\text{C}$,湿度为 $(60 \pm 5)\%\text{RH}$ 。标准铂电阻外径与测温孔孔径的间隙 $\Delta d < 0.5 \text{ mm}$,铂电阻与均温块井底的距离为 h (如图 2 所示)。

干井炉校准温度分别为 50°C 、 200°C 、 350°C 和 500°C ,在不同的校准点,测量 h 分别为 0 mm、50 mm 和 100 mm 时的实际温度值。为减小测量误差,提高测量的准确性,在测试过程中,待干井炉到达校准温度(即设定温度)并稳定 30 min 后,每隔 1 min 读取一次温度,共读取 15 次,取算术平均值作为此工况下的实测温度值。此外,在实验测试过程中使用同一根标准铂电阻,并在同一个测温孔内进行测温,以减少标准铂电阻与干井炉径向均匀性所引起的测量误差。

2 实验数据分析

分别对不同校准温度和标准铂电阻插入干井炉深度的工况进行实验研究。下面从两个方面对实验结果进行分析,实验数据如表 1 所示:

表 1 实验数据

Table 1 Experimental data

h/mm \ 实测温度/ $^{\circ}\text{C}$	校准温度/ $^{\circ}\text{C}$			
	50	200	350	500
0	50.05	199.74	349.80	499.63
50	49.98	198.69	347.53	495.38
100	49.31	194.19	339.91	483.85

2.1 一校准温度下, 铂电阻插入深度对测温准确性的影响

图 3 中的(a)、(b)、(c)、(d)分别表示校准温度为 50 ℃、200 ℃、350 ℃和 500 ℃时, 铂电阻插入深度与测温准确性的关系。可以发现, 实测温度随着铂电阻距井底距离 h 的增加而不断减少, 且不呈线性变化。 h 由 50 mm 增至 100 mm 所对应实测

温度的降低程度明显高于 h , 由 0 mm 增至 50 mm 时对应温度的降低程度。干井炉的轴向温度为非线性变化, 由井底到井口方向的温度梯度可表示为下式, 单位为 ℃/mm。

$$\text{grad}t = - dt/dh \quad (1)$$

dt —该方向上温度的减少量, ℃;

dh —距井底距离的增加量, mm。

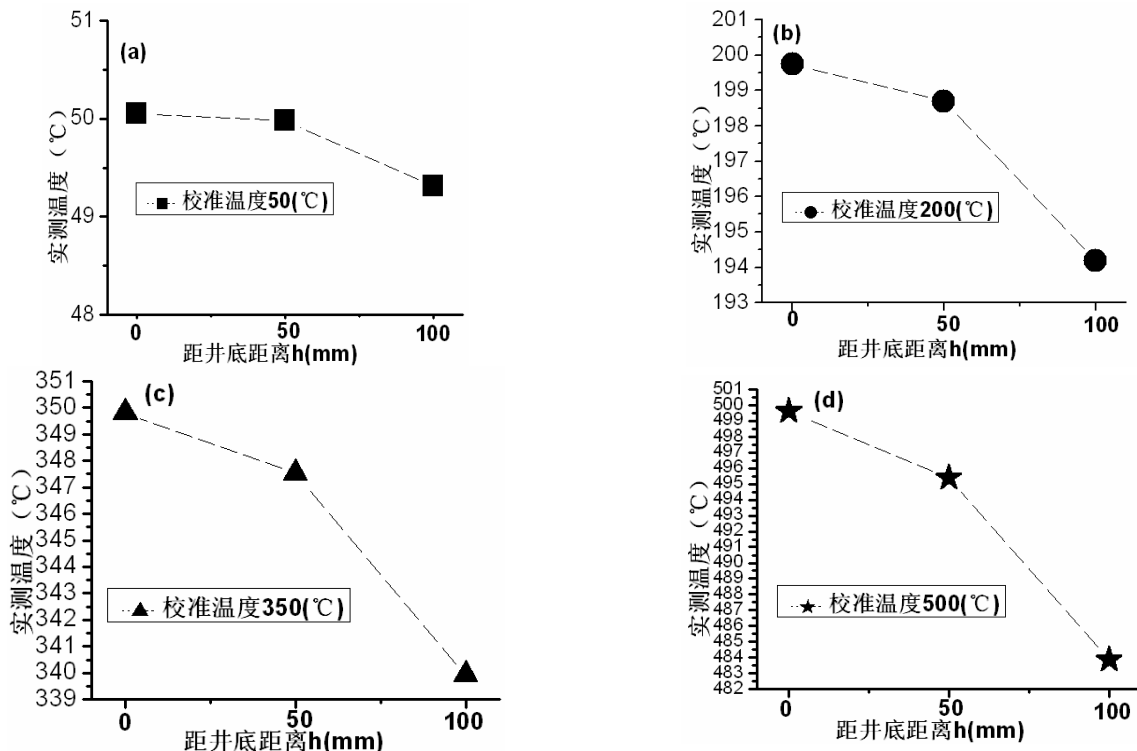


图 3 铂电阻插入深度对温度测量的影响
Fig. 3 Influence of insertion depth on thermometry

可以发现由井底到井口方向的温度梯度值会不断增加, 即沿着该方向, 降温幅度不断增大。产生这一现象的原因大体有三方面: 1. 温度计的感温区深度不尽相同, 因此所感测的就是感温区内不同轴向位置的温度, 从而引起测量误差; 2. 井底热量要经过辐射和对流换热才能传递给探头, 测温点离井底越远, 热损耗就越大; 3. 测温点越靠近井口位置, 温度计的感温区越易受环境温度及其它条件的变化而影响其准确性。

2.2 同一插入深度下, 校准温度对测温准确性的影响

观察图 4 可以发现: 随着校准温度的升高, 干井炉的轴向最大温差 (见式 (2)) 会越来越大。校准温度为 50 ℃时, 轴向最大温差仅为 0.74 ℃, 而当校准温度为 500 ℃时, 轴向最大温差骤升为 15.78 ℃。

$$\Delta T_{MAX} = T_0 - T_{100} \quad (2)$$

其中: ΔT_{MAX} —轴向最大温差, ℃;

T_0 —实测温度($h=0$ mm), ℃;

T_{100} —实测温度($h=100$ mm), ℃;

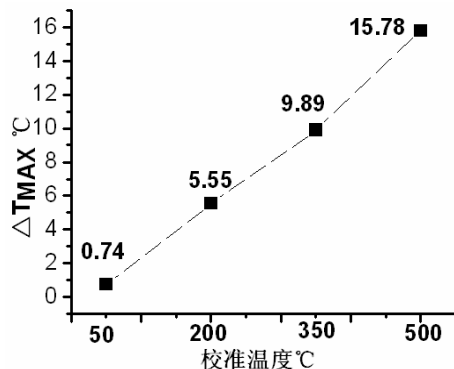


图 4 各校准点的轴向最大温差
Fig. 4 Maximum axial temperature difference

同时还可以发现:随着校准温度的不断升高,距离井底越远位置($h=100\text{ mm}$)处的实测温度与井底实测温度的偏差也会越来越大。如图5所示,以 $h=0\text{ mm}$ 的实测温度为基准,随着校准温度的增加, $h=100\text{ mm}$ 处的实测温度会越来越偏离 $h=0\text{ mm}$ 的曲线。

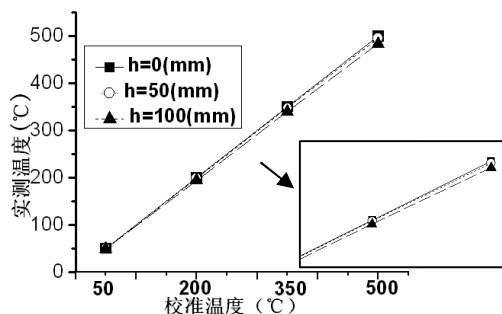


图5 校准温度点对温度测量的影响

Fig.5 Influence of calibration temperature on thermometry

温度测量可以在任何温度下进行,但当干井炉的校准温度与环境差别过大时,温度偏差通常会增加。当使用干井炉校准较低温度时,实测值的准确性受轴向温度分布影响较小。但当校准温度比较高时,轴向温度的不均匀性对其测温准确性的影响比较大,不可忽略。

综上所述,在使用干井炉进行现场温度校准时,应注意以下两点问题:1. 因为由井底到井口方向的降温幅度会不断增大,温度探头插入深度应尽量靠近井底进行测温,尽量避免在井口附近校准温度探头;2. 当温度探头比较短时($<100\text{ mm}$),校准温度对温度准确性的影响较大。校准温度越接近环境温度,测温的准确性越高。校准温度比较高时,温度偏差会加大,此时不建议再使用干井炉进行较短温度探头的校准。

3 结论

井炉被广泛应用于企业现场和在线温度校准,但受被校温度探头长度尺寸的影响,无法满足其始终在井底部被测量的条件,因此干井炉的轴向温度分布是影响其测温准确性的重要因素之一。本文通过实验研究了干井炉的校准温度和轴向温度分布的关系,找出现场校准中应该注意的问题,为干井炉在现场温度校准中的应用提供更全面可靠的实验数据,为提高现场温度校准的准确性提供了实验数据和应用参考。

参考文献:

- [1] 张继培. 温度计量技术进展近况[J]. 上海计量测试技术, 2002, 29(1):4-9.
- [2] Nicolas J V, White D R. Traceable Temperatures: An Introduction to Temperature Measurement and Calibration [M]. New York: John Wiley & Sons, 1994: 173.
- [3] JJF 1030-2010, 恒温槽技术性能测试规范[S].
- [4] JJF 1257-2010, 干体式温度校准器校准方法[S].
- [5] 赵晶. 干井式温度校验器校准方法的研究[J]. 中国测试技术, 2007, 33(4): 44-46.
- [6] JJG 351-1996, 工业用廉金属热电偶检定规程[S].
- [7] JJG 160-2007, 标准铂电阻温度计检定规程[S].
- [8] 李婧, 巨鹏飞, 刘树勇. 干井炉温度稳定性校准方法研究[J]. 计测技术, 2010, 30(增刊): 67-68.
- [9] 黄晓铮, 王莉. 干井炉在现场测温校准装置中的应用[J]. 计测技术, 2007, 27(增刊): 35-39.
- [10] 王敏. 干井炉孔间温差校准方法研究[J]. 工业计量, 2006, 16(3): 30-33.
- [11] 王莉. 干井式温度校验器校准方法研究[J]. 计测技术, 2006, 26(3): 41-42.