

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2016.01.11

# 便携式低温恒温槽的研制及性能试验

王晓璐, 吕国义, 郑敏

(中航工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

**摘要:** 设计了一种便携式低温恒温槽。采用微型压缩机制冷和侧搅拌技术, 提高了设备便携性, 扩展了工作区有效插入深度。其控制温度范围为  $-40 \sim 95\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 有效工作区域为液面下  $70 \sim 220\text{ mm}$ , 在  $0 \sim 95\text{ }^{\circ}\text{C}$  范围内温度均匀性达到  $10\text{ mK}$  量级。在  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  时, 温度均匀性优于  $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 可用于短型温度传感器的现场校准。

**关键词:** 便携式低温恒温槽; 现场校准; 有效工作区; 短型温度传感器

**中图分类号:** TB942

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5795(2016)01-0044-02

## Development of A Portable Low Temperature Thermostat

WANG Xiaolu, LYU Guoyi, ZHENG Min

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

**Abstract:** The paper introduces a portable low temperature thermostat. Based on principles of compressor refrigeration and the side stirring structure, we effectively enhance the portability of the equipment and increase the effective depth of working region. The temperate homogeneity of this thermostat is less than  $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}$  at  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  and reaches  $10\text{ mK}$ -scale with the measurement range from  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ , and the effective work area is from  $70\text{ mm}$  to  $220\text{ mm}$  under the surface. It can meet the requirement of the field calibration of short-model temperature sensors.

**Key words:** portable low temperature thermostat; field calibration; effective work area; short-model temperature sensor.

## 0 引言

近年来, 在工业生产及科学研究过程中, 各类传感器的需求量不断增大, 使用者对其性能要求也在不断提高。许多传感器由于形状复杂、难以拆卸、送检工期较长, 特别是一些感温段短小、准确度要求较高的短型温度传感器<sup>[1]</sup>, 现场校准的需求日益迫切。因此, 研制一种携带轻便、性能稳定的恒温热源具有重要的实际意义。

干体式校验炉和恒温槽作为常用的两种现场恒温源在性能和使用便利性方面各具优势。干体式校验炉便于携带, 但其传热效果较差, 且均匀温区与炉口距离较远, 不适于短型温度传感器校准。常规恒温槽具有波动度小、温差好、热传导效果好等性能优点, 但体积、重量较大, 制约了其现场校准的使用, 而且传统的磁力搅拌设计, 影响了计量器具插入深度。提高恒温槽的便携性是一个重要的研究方向<sup>[2-3]</sup>, 近年来国内很多技术人员, 根据不同的原理和实际需求研制了各类恒温槽, 但在便携性或性能方面还不能完全满足现场需求。

本文采用微型压缩机制冷, 结合侧搅拌的设计,

研制了一种便携式低温恒温槽, 能够提供一个温度均匀且稳定的环境, 在满足现场校准指标要求的基础上, 缩小了设备体积, 提高了设备的便携性, 可以解决  $-40 \sim 95\text{ }^{\circ}\text{C}$  温度区间内短型温度传感器现场校准问题。

## 1 结构与原理

便携式低温恒温槽主要由槽体、搅拌系统、控温系统、加热系统和制冷系统组成, 如图 1 所示。

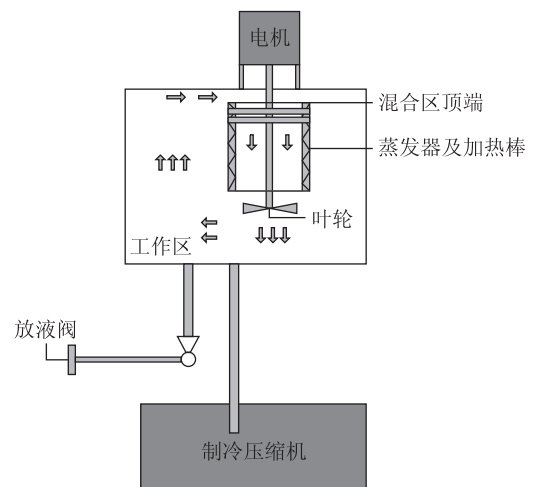


图1 便携式低温恒温槽结构

收稿日期: 2015-12-25

作者简介: 王晓璐(1988-), 女, 助理工程师, 从事热工测试专业研究工作。

槽体分混合区与工作区，槽体内腔及面板都选用不锈钢材料，有效地避免了腐蚀、生锈等现象。混合区的作用是通过布置在其侧面的冷却蒸发器和加热棒对介质调温，并经特殊设计的结构使其混合均匀。工作区具有很好的均匀度，用于校准温度传感器。

恒温槽采用侧搅拌设计，将搅拌电机置于工作腔体的侧面，槽体内介质经过叶轮搅拌器的推动，使介质从混合区顶端向下流动，在蒸发器及加热棒的作用下，将介质在混合区充分混合并达到合适的温度，通过强烈搅拌，推动介质从底部流出，导流送入工作区，加快了介质的对流。由于工作区底部介质的流速与温度均高于工作区上部，会推动上部介质再次进入混合区，不断往复，可在工作区内得到一个温度稳定、温场均匀的液体空间。这种方式可以避免恒温槽采用原有磁力搅拌技术引起的温场不均匀、波动性大，以及槽体底部搅拌扇叶影响计量器具的插入深度等问题。

控温系统选用0.1级温控仪及精密Pt100铂电阻传感器进行温度控制，将控温传感器置于工作介质中，实时反馈介质温度，通过温度变化，控制加热系统和制冷系统工作，达到控温效果。装配前对控温传感器进行性能筛选，确保准确度满足要求，稳定性好。

加热系统采用螺旋加热棒加热，增加了热传递的接触面积。能够覆盖整个液体的混合区，通过控制加热棒输出功率，最终达到设定温度。

制冷系统选用滚动转子式微型压缩机，余隙容积小、容积效率较高，并配有缓冲装置，可以减小外部环境对制冷系统干扰，既保证了冷源的平稳输出，又大大缩小了制冷系统的体积。

通过以上优化设计，可以大大减小整机外形尺寸和重量。

## 2 确定便携式低温恒温槽有效工作区上、下水平面

在工作区内插入一支标准铂电阻温度计，深度为液面下1/2处，固定在参考位置 $O$ ，使用另一支标准铂电阻温度计作为移动温度计，以工作腔液面下方60 mm处作为起始平面，在以10 mm为间隔的平面上测试不同温度下各个平面的温差 $R_i(i)$  ( $i$ 表示移动温度计感温端头部与工作腔液面的距离)，选择该平面在不同温度点下温差最大值作为该平面均匀性 $R(i)$ ，试验过程及标准铂电阻布置如图2所示，测量温度点为-40，0，20，95℃。

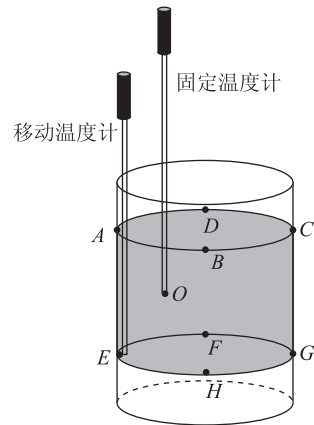


图2 确定有效工作区操作示意图

测试数据如图3所示。

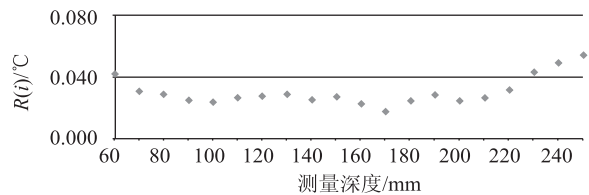


图3 有效工作区数据分析

在4个温度测试点中，-40℃时槽子的各项指标差距最大，其他温度点的指标均要优于-40℃。从图3中可以看出，70~220 mm区间之内各平面的均匀性不超过0.040℃，我们选取70 mm为工作区上水平面，220 mm为工作区下水平面。

## 3 恒温槽波动度、均匀性测试

依据JJF1030-2010《恒温槽技术性能测试规范》中的测试方法<sup>[4]</sup>，对便携式低温恒温槽的波动度、均匀性等指标进行测试，测试结果如表1所示。

表1 便携式低温恒温槽波动度及均匀性试验结果

设定温度/℃	波动度 /(℃· 10 min <sup>-1</sup> )	上水平面 均匀性/℃	下水平面 均匀性/℃	垂直温场 均匀性/℃
-40	0.027	0.030	0.31	0.053
0	0.020	0.003	0.007	0.017
20	0.018	0.004	0.005	0.006
95	0.019	0.008	0.007	0.010

通过分析得知，温度波动度不超过0.03℃/10 min。在0，20，95℃时，均匀性接近常规实验室恒温

(下转第49页)

基于本次试验的结果, 厂家接受了我们的建议, 并在其后续新产品的设计上固化了我们在结构设计上的建议, 比如该公司之后研发的 CA-YD-125A 型传感器, 其加速度值  $\leq 2 \times 10^5 \text{ m/s}^2$  的新产品上就采用了新的外壳结构设计(安装面均匀光滑无凸台)。

#### 4.2 校准试验二的解决措施

对 988 型传感器而言, 将胶木连接块换为金属连接块, 并用螺钉紧固进行背对背安装, 如图 8 所示, 以增大系统的刚性。在比较校准装置上按规程重新进行了校准, 校准结果如表 4 所示, 传感器灵敏度的幅值线性度变为 5.6%, 符合规程要求, 这个结果也验证了之前的分析过程是正确的。



图 8 1175#传感器金属块转接安装方式

## 5 结论

在冲击传感器的校准过程中, 传感器的安装方式会对校准结果产生很大的影响。传感器的安装底座应

(上接第 45 页)

槽水平; 而在  $-40^\circ\text{C}$  时, 由于搅拌不够充分, 介质粘度变大致使性能变差, 上、下水平面温度均匀性为  $0.03^\circ\text{C}$  左右, 垂直温场均匀性小于  $0.06^\circ\text{C}$ 。

## 4 结论

采用微型制冷和侧搅拌技术研制的便携式低温恒温槽, 各项技术指标与实验室使用的恒温槽相比在下限  $-40^\circ\text{C}$  略差一些, 但是作为现场校准设备已可解决  $-40 \sim 95^\circ\text{C}$  温度范围内的复杂温度传感器难以校准的问题。在校准时, 对于允差较大的温度传感器可直接使用该恒温槽作为标准器; 而对于允差较小的温度传

该光滑平整, 无凸起, 无明显缺陷和倾斜, 从而保证

表 4 灵敏度幅值线性度(金属块连接)

加速度值/ $g$	灵敏度/ $(\text{pC} \cdot g^{-1})$
1942.2	0.3743
3829.1	0.3773
5120.0	0.3768
8722.6	0.3853
9407.4	0.3869
10530.3	0.3918
幅值线性度/%	5.6
冲击灵敏度/ $(\text{pC} \cdot g^{-1})$	0.382

测量过程中传感器受到均匀的冲击载荷。基于本次校准试验结果的分析, 我们给出的建议也帮助厂家优化了冲击传感器的结构设计, 并在后续新产品的设计上固化了我们在传感器安装面设计上的建议。

使用转接块连接时, 应尽量选用质量小, 接触刚度较大的金属连接块, 以一定预紧力将传感器进行背对背的安装, 以保证测量过程中冲击传感器工作在其工作频率范围内, 这样才能得到正确的测量结果。

#### 参 考 文 献

- [1] 洪宝林. 力学计量[M]. 北京: 原子能出版社, 2002.
- [2] 李科杰. 传感技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1989.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局. JJG 233-2008 压电加速度计检定规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [4] 武强. ZWB 157-2001 冲击加速度计检定规程[S]. 绵阳: 中国工程物理研究院, 2001.
- [5] 胡向东. 传感器与检测技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.

感器, 可以配接标准铂电阻温度计做标准器开展校准工作。

#### 参 考 文 献

- [1] 李玉华, 单纯利, 时阳, 等. 航空发动机短型温度传感器校准[J]. 计测技术, 2007, 27(S1): 69-71.
- [2] 王涛, 李艾华, 王旭平, 等. 一种小型化便携式恒温槽的设计[J]. 计量与测试技术, 2012(8): 3-4.
- [3] 刘建文, 徐仲玉, 马红梅, 等. 一种新的高精度低温恒温槽的研制[J]. 实验室研究与探索, 2009(4): 198-200.
- [4] 国家质量技术监督局. JJF1030-2010 恒温槽技术性能测试规范[S]. 北京: 中国计量出版社, 2010.