

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2018.04.04

# 均温块在热电偶校准中的应用探讨

李朝, 刘戎, 侯运安

(中国航发西安航空发动机有限公司, 陕西 西安 710021)

**摘要:** 通过试验数据的比较与分析, 阐述了均温块对提高管式炉温场性能、改善铠装廉金属热电偶校准结果准确度方面的显著作用, 并对均温块的使用方法进行了探讨。

**关键词:** 均温块; 热电偶校准; 温场一致性

**中图分类号:** TB94

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5795(2018)04-0017-03

## Application of Temperature Block in Thermocouple Calibration

LI Zhao, LIU Rong, HOU Yunan

( AECC Xi'an Aero-Engine Co. Ltd, Xi'an 710021, China )

**Abstract:** Through the comparison and analysis of test result, this paper indicates that the temperature block can greatly improve calibration furnace's uniformity and sheathed thermocouple calibration accuracy. It also discusses how to use the block in actual work.

**Key words:** temperature block; thermocouple calibration; temperature uniformity

## 0 引言

热电偶的校准通常是将标准和被校热电偶捆扎在一起, 放入管式炉合格温场中用比较法完成的。管式炉温场一致性是保证校准结果准确性的重要因素。在 JJF 1637-2017《廉金属热电偶校准规范》和 JJF 1262-2010《铠装热电偶校准规范》中, 对管式炉轴向温场和径向温场都有着明确的要求<sup>[1-2]</sup>。为了更好地保证热电偶校准时的温场一致性, 规范中提出了均温块的概念, 以改善炉温性能。但在实际工作中, 由于校准人员的重视程度不足, 均温块的使用没有得到很好的推广。本文通过试验数据的对比分析, 证明均温块对热电偶校准质量的重要影响, 并对其在实际工作中的应用进行了探讨。

## 1 均温块的结构

热电偶管式炉专用均温块是采用高温合金材料(一般为镍铬合金)制作而成的均温装置, 主要用来在廉金属热电偶(特别是铠装廉金属热电偶)校准时起均温作用, 提高管式炉温场均匀性, 最高使用温度 1200℃。根据被校准对象不同, 均温块的结构有所不同: 单孔型均温块在中心开有一个单孔, 使用时将普通廉金属热电偶捆扎成束后放入孔内, 如图 1(a)所示; 多孔型均温块开有多个测试孔, 使用时将铠装热电偶直接插

入孔中, 无需捆扎, 控温孔可以和测试孔开在一面, 也可以开在均温块的背面, 所有开孔均为盲孔, 如图 1(b)所示。本试验中将炉口处的挡板和均温块做成一体结构, 如图 1(c)所示, 可以方便均温块在炉内的定位, 也便于温场测试时进行转动。

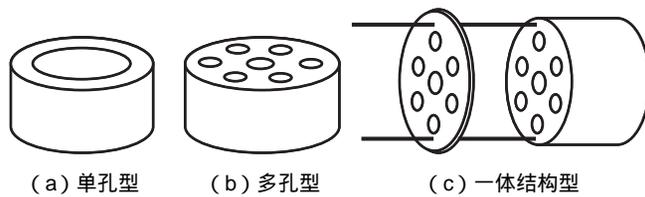


图 1 均温块结构图

## 2 管式炉温场测试数据比较

### 2.1 带均温块时温场测试数据

选取一台管式炉(编号 17061364), 在 1000℃下对其带均温块时的温场一致性进行测试。测试方法如下:

将均温块置于管式炉中心位置, 用 2 支二等标准铂铑 10-铂热电偶作为测试偶。轴向温场测试时, 一支插入均温块周边任一孔底部作为固定热电偶, 另一支插入中心孔中作为移动热电偶。由孔底开始向外, 测试 30 mm 距离内温度一致性。径向温度场的测试采用微差法, 先把移动热电偶和固定热电偶的负极在参考端短接, 之后将移动热电偶正极接测量仪器“+”,

固定热电偶正极接测量仪器“-”；然后将 2 支测试偶同时插入均温块中心孔底部，测得微差值，作为径向温场测试时“0”点位置的读数；再测试径向温场上、下、左、右位置和中心孔在孔底处的温度一致性。

带均温块时轴向与径向温场测试示意图分别如图 2 和图 3 所示，测试结果如表 1 所示。由于均温块测试孔为盲孔，故测试结果为由孔底向外各点的数据。

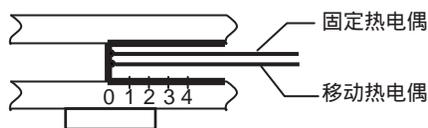


图 2 轴向温度场测试示意图

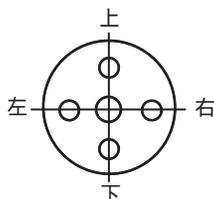


图 3 径向温度场测试示意图

表 1 带均温块时温度场测试结果

|    | 位置/cm | 温度分布/℃ | 温度差/℃                 |
|----|-------|--------|-----------------------|
| 轴向 | 0     | 0      | 0.3(距均温块孔底 0~3 cm 之间) |
|    | 1     | 0.2    |                       |
|    | 2     | 0.1    |                       |
|    | 3     | -0.1   |                       |
| 径向 | 上     | 0.1    | 0.2                   |
|    | 右     | 0.2    |                       |
|    | 下     | 0.2    |                       |
|    | 左     | 0.2    |                       |
|    | 0     | 0      |                       |

### 2.2 未带均温块时温场测试数据

对同一台管式炉，按 JJF 1184 - 2007《热电偶检定炉温度场测试技术规范》的要求，在未置入均温块时，对其 1000 ℃ 时轴向温场和径向温场进行测试<sup>[3]</sup>，测试结果如表 2 所示。

由于带均温块时测试的是 0~3 cm 的温场一致性，因此只比较两次测量管式炉同一侧温场的温度均匀性。从温场测试结果得出，均温块内 0~3 cm 温度场一致性可达 0.3 ℃，而未使用均温块时 0~3 cm 的温度场一致性为 0.8 ℃。从实验数据可知使用均匀块后炉温均匀性有了明显提升，这主要缘于金属良好的导热性能。

### 3 热电偶校准数据比较与分析

通过对热电偶在不同管式炉内、不同状态下的校准数据比较，可以进一步证明均温块在校准中具有重要作用。

表 2 未带均温块时温度场测试结果

|    | 位置/cm | 温度分布/℃ | 温度差/℃               |
|----|-------|--------|---------------------|
| 轴向 | -3    | 0.7    | 1.0<br>(-3~3 cm 之间) |
|    | -2    | -0.2   |                     |
|    | -1    | 0.0    |                     |
|    | 0     | 0.0    |                     |
|    | 1     | 0.3    |                     |
|    | 2     | 0.7    |                     |
|    | 3     | 0.8    |                     |
| 径向 | 上     | 0.3    | 0.3                 |
|    | 右     | 0.3    |                     |
|    | 下     | 0.3    |                     |
|    | 左     | 0.2    |                     |
|    | 0     | 0      |                     |

试验前，先对带均温块管式炉控温参数进行整理，获取相应 PID 参数，按区域 PID 方法执行温度控制<sup>[4]</sup>。

试验在两台管式炉中分别进行，管式炉编号分别为 17081504，160517。校准时，先将均温块置于其中一台管式炉内，将标准热电偶插入中心孔底部，被校热电偶插入均温块周边任意孔底部，获取一组校准数据；然后，将均温块置于另一台管式炉中，再次对这两支热电偶进行校准，观察不同炉子之间校准结果的差异。校准结果见表 3。

表 3 带均温块时热电偶校准数据

| 炉号       | 热电偶编号 | 各校准点误差/℃ |     |     | 一致性/℃ |
|----------|-------|----------|-----|-----|-------|
|          |       | 300      | 500 | 700 |       |
| 17081504 | 128   | -0.4     | 0.7 | 1.0 | 0.3   |
| 160517   | 128   | -0.5     | 0.4 | 1.1 |       |
| 17081504 | 130   | -0.1     | 0.1 | 0.4 | 0.3   |
| 160517   | 130   | -0.4     | 0.1 | 0.6 |       |

为进行数据比较，在两台管式炉中，采用不带均温块的方式，分别对热电偶进行校准，校准工作用同一支标准热电偶完成，以便更好地观察均温块对热电偶校准结果的影响。校准结果见表 4。

从表 3、表 4 中可以看出，未配均温块时，同一支热电偶在两台管式炉中的校准结果最大相差 0.9 ℃；配均温块后，同一支热电偶校准结果最大相差 0.3 ℃，热电偶校准结果一致性得到明显改善。

表 4 未带均温块时热电偶校准数据

| 炉号       | 热电偶编号 | 校准点与误差/℃ |      |     | 一致性/℃ |
|----------|-------|----------|------|-----|-------|
|          |       | 300      | 500  | 700 |       |
| 17081504 | 128   | -0.2     | 0.6  | 1.9 | 0.9   |
| 160517   | 128   | -0.1     | -0.3 | 1.1 |       |
| 17081504 | 130   | -0.1     | 0.0  | 1.2 | 0.8   |
| 160517   | 130   | -0.6     | -0.8 | 0.6 |       |

在实际工作中发现,当热电偶捆扎成束装炉后,由于捆扎的形状和热电偶本身的热传导特性会对炉温均匀性产生影响。而通过加入均温块可有效改善热电偶对炉温均匀性的影响,提高管式炉合格温区内的温场性能。并且均温块相当于在炉内装载了一个负载,可减少温度波动对热电偶校准带来的影响。

带均温块校准热电偶时需注意以下几点:①均温块使用的前提条件是管式炉本身要有合格的温场,不能片面强调均温块的作用而忽视管式炉本身温场的重要性;②带均温块后,管式炉的控温滞后性增加,应对带均温块管式炉控温参数进行整定,匹配相应PID参数,适当延长恒温时间,获取更好的测量结果;③校准时,需要对热电偶的插入深度做出标记,当热电偶位置偏出时能及时发现问题并调整。

#### 4 均温块在特殊结构热电偶校准中的应用

均温块不仅能够改善温场,还能改善检定或校准热电偶时的换热情况。在实际使用中,对于一些异形热电偶,用常规的捆扎方法往往无法校准。而均温块的使用,可以提高管式炉对特殊结构热电偶的校准能力。

1)在真空热处理设备中,由于工作温度较高,需要用贵金属热电偶进行控温和温场测试。为保证气密性,有时会采用不可拆卸的陶瓷封装结构,无法将偶丝抽出来进行校准。通过X光检测可以发现,这类热电偶的测量端和陶瓷管顶部之间往往具有一定的空隙。在与标准热电偶捆扎在一起进行校准时,由于无法获知测量端在瓷管内的具体位置,导致校准结果误差较大。对于这种情况,可以参考铠装热电偶的校准方法,将热电偶插入均温块中进行校准。由于均温块本身具有较好的孔间温度一致性,可以获得准确可靠的校准结果。但由于贵金属热电偶校准温度较高,需要综合考虑均温块的使用温度,采用合适的高温合金块。

2)发动机试验用热电偶因考虑气流流速影响,一般在感温端附近设计有进气孔和排气孔,使气流以一定的速度流过测量端。某发动机T3热电偶结构如图4所示。

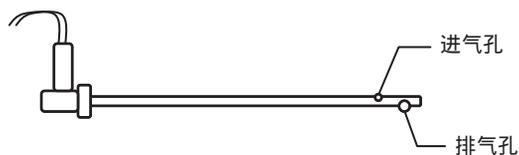


图4 T3热电偶结构

该型热电偶结构特殊,因此校准时对温度场有着较高要求;并且这类热电偶一般直径比较粗,捆扎装炉后会明显改变管式炉温场,造成校准时受热不均匀,

带来较大测量误差,按常规方法无法准确校准。通过设计制作符合其结构特点的专用均温块,实现T3热电偶静态温度特性校准。该均温块的开孔尺寸略大于热电偶直径,孔深也随之增加,保证热电偶插入均温块的深度与孔径之比满足要求。由于均温块内部的传热方式主要以导热为主,高温时金属内部温度分布均匀,受温度波动影响小,故能够提供一个稳定且均匀的温场。试验结果表明:将均温块应用于T3热电偶的校准中是有效且可靠的。为了取得更好的校准结果,还可以将标准热电偶套上与被校偶相似的外加金属保护管,使二者辐射性能相接近<sup>[5]</sup>。

3)对于一些因固定卡套和接口法兰等原因无法和标准热电偶从同一侧放入炉内校准的热电偶,可以考虑从均温块两侧开孔,孔底置于炉内相同截面处,从管式炉两端分别插入,完成校准工作。这种情况下需要提前对均温块两侧温度一致性进行测试,确认满足使用要求后,方可实施校准。

#### 5 结束语

均温块作为辅助装置,与管式炉配套使用,是改善温场性能的重要手段,对于提高热电偶校准精度作用突出。可以显著减小测量结果的不确定度,在对热电偶进行合格判定和修正值引用时效果明显。合理地使用均温块,能够对热电偶校准中遇到的问题提供更广泛的解决思路。广大计量人员应充分认识到均温块作用的重要性,使其在温度计量领域的应用更加广泛与深入。

#### 参考文献

- [1] JJF 1637-2017 廉金属热电偶校准规范[S]. 2017.
- [2] JJF 1262-2010 铠装热电偶校准规范[S]. 2010.
- [3] JJF 1184-2007 热电偶检定炉温度场测试技术规范[S]. 2007.
- [4] 姜忠良. 温度的测量与控制[M]. 北京:清华大学出版社, 2005.
- [5] 杨秀英. 航空短型热电偶自动检测装置技术研究[J]. 仪器仪表学报. 2005, 26(8): 374-376.

收稿日期: 2018-02-07; 修回日期: 2018-04-16

#### 作者简介

李朝(1986-),男,陕西西安人,工程师,主要从事热学计量与化学计量领域的研究。

