

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2015.02.13

IrRh40-IrRh10 高温热电偶热电性能及应用研究

刘丹英, 张贺, 吕国义

(中航工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘 要: 针对常规铱铑-铱热电偶负极铱在测试过程容易断裂的问题, 提出了采用双铱铑合金热电偶改善其机械性能的方法, 并用高温热电偶校准装置对 IrRh40-IrRh10 热电偶的热电特性进行了研究和验证, 表明其热电特性线有良好的线性, 灵敏度约为 $3\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。利用该类型热电偶制作的气流温度传感器, 适用于发动机及导弹等武器装备研制试验中高温气流温度的测量。

关键词: 铱铑热电偶; 高温测量; 热电特性; 校准

中图分类号: TB942

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2015)02-0049-03

Thermoelectric Properties and Application Research of IrRh40-IrRh10 Thermocouples

LIU Danying, ZHANG He, LV Guoyi

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

Abstract: A high temperature measurement method of bi-alloy of iridium and rhodium was put forward to solve the fracture problem of negative pole of conventional iridium-rhodium thermocouples. The experimental results on a high temperature calibration device show that the IrRh40-IrRh10 thermocouples have good linearity, and the sensitivity is about $3\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. An air temperature probe made by this type of thermocouples is suitable for measurement of high-temperature air flow in the engine development.

Key words: iridium rhodium thermocouple; high temperature measurement; thermoelectric property; calibration

0 引言

航空发动机及导弹等武器装备的气流温度是一个重要参量, 对准确评价其技术指标和可靠性有重要意义。目前, 很多型号在研制试验中需要测量的气流温度已超过 1800°C , 而且需要在氧化条件下进行测量, 这已大大超过传统标准分度的高温热电偶的测量上限, 传统热电偶已无法满足测量要求。虽然钨铼热电偶测量上限能达到 2300°C , 但由于只能用于还原性、惰性或真空气氛环境中, 而且其稳定性和重复性较差, 无法满足需要。因此, 迫切需要研制适于 1800°C 以上并在氧化性气氛中使用的热电偶。

铱铑热电偶材料在氧化性气氛中可以使用到 2000°C 以上, 也可适用于真空、惰性气氛, 而且其电势与温度有很好的线性关系, 已在高温测量中得到了应用。但由于常规铱铑-铱热电偶的负极材料为纯金属铱, 脆性较大, 机械性能差, 在测量气流温度时难以

承受气流冲击, 因此限制了其应用。而铱铑合金在高温下其机械性能较铱有明显提高, 因此本文提出采用双铱铑合金热电偶测量高温气流温度的方法, 在高温强度方面明显优于铱铑-铱热电偶, 尽管其热电势较小, 但通过采取高精度的电测设备实现精确测量, 能够满足高温气流的测温需求。

1 Ir-Rh 合金的机械性能及热电特性

1.1 Ir-Rh 合金的耐热性能

在元素周期表中, 铱属于铂族元素。铂族金属中铱的耐热性最差。铱在 $600\sim 700^\circ\text{C}$ 开始氧化, 形成氧化物, 表现为重量增加现象, 但在 1000°C 或更高温度以上时, 由于铱的氧化物挥发, 反而出现重量减小现象, 因此其高温下的耐热性能可由高温挥发失重来衡量。表1是不同含量铱铑合金在高温下的失重情况, 由表中数据可知, 铑含量的增加使铱铑合金失重减小, 大大改进了铱的耐热性, 因此铱铑合金的耐热性较纯铱好。

1.2 Ir-Rh 合金的热电特性

铱铑合金中铑的含量对其热电特性尤为重要, 在

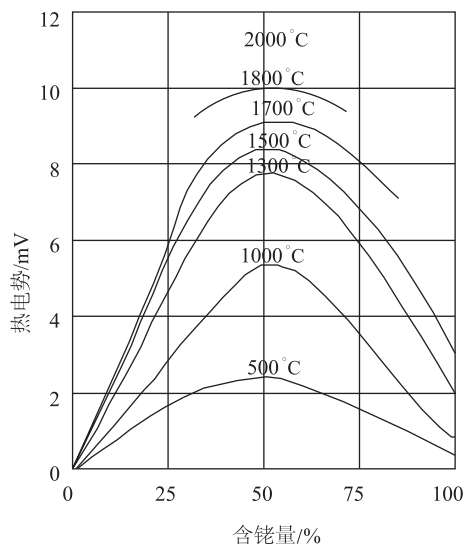
收稿日期: 2015-03-06

作者简介: 刘丹英(1960-), 女, 工程师, 研究方向: 热电偶计量测试技术。

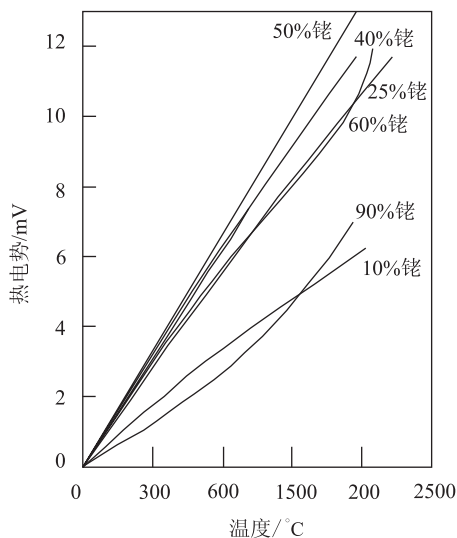
表 1 2000℃保温 1 小时后铱铑合金的失重与铑含量的关系

铑含量/%	0	10	40
失重/%	21.7	14.9	8.5

这方面前人进行了很多研究。根据图 1 可知,含铑量 40%~60% 的合金与铱配成的热电偶热电势较大,灵敏度高,在很宽的温度范围内热电特性线性较好。含铑量 10% 的铱铑合金对铱的热电势信号较小,但其线性也很好。



(a) 铱铑合金热电势与铑含量的关系



(b) 铱铑合金对铱的热电势与温度的关系

图 1 不同含量和不同温度下铱铑合金的热电特性

因此,在双铱铑热电偶材料选择中,正极选择含铑量 40%~60% 比重较为合适,可以得到较大的电势输出。负极选用含铑量 10% 的铱铑合金。其原因主要

有:①含铑量大于 10% 的铱铑合金比纯金属铱容易加工成丝,且韧性大大提高;②与含铑量 40%~60% 的铱铑合金配对可得到更大的热电势;③考虑到铱相比铑价格便宜,且熔点更高,铱铑合金中尽可能降低铑含量,可适当降低成本,提高其使用温度。基于上述考虑,本研究选用的铱铑热电偶正极为 IrRh40,负极为 IrRh10。

2 IrRh40-IrRh10 热电偶热电性能试验

2.1 热电性能试验方法

本文在 500~2000℃ 范围内对 IrRh40-IrRh10 热电偶的热电特性进行了试验和验证。由于 1500℃ 以上没有标准热电偶,所以在 1500℃ 以下采用了卧式检定炉,用标准铂铑 10-铂热电偶和铂铑 30-铂铑 6 热电偶为标准器,参照 JJG141-2013《工作用贵金属热电偶》进行校准。

在 1500℃ 以上采用立式高温热电偶校准装置,以光电高温计为标准器进行校准。参照 ASTM 的 E452-02(2007)《Standard Test Method for Calibration of Refractory Metal Thermocouples Using a Radiation Thermometer》的测试方法,该方法适合一些特殊类型高温热电偶的校准。为了保证校准结果可靠,在实际试验时从 1400℃ 开始,并与卧式检定炉的结果在 1400℃ 和 1500℃ 进行了比较验证。

立式高温热电偶校准装置由中航工业计量所研制建立,主要包括高温炉体、真空系统、充气系统、水冷装置、温度自动控制系统、数据采集系统等几个部分。高温炉体的结构如图 2 所示。热电偶从上端悬置

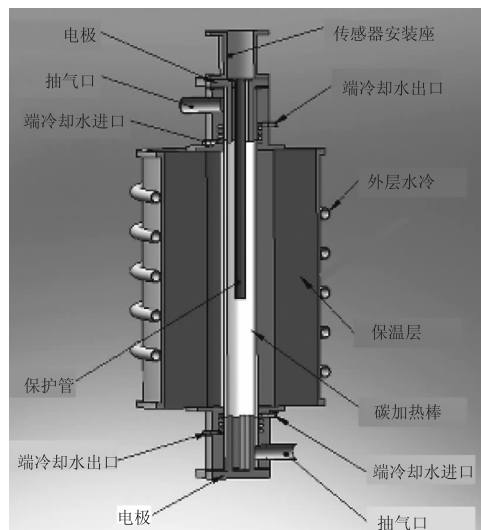


图 2 高温炉体剖面图

于保护管内，测量端位于炉体中部的均匀温区，在保护管的侧面开有一个小型黑体腔，通过炉体侧面的石英窗口用标准光电高温计测量炉体中心区的温度。通过数据采集器采集被测热电偶的电势值，与标准光电高温计的标准温度值进行比较，得到热电偶的示值误差。

2.2 热电性能试验结果

根据上述方法得到 IrRh40-IrRh10 热电偶的热电势输出结果，如表 2 所示。

表 2 IrRh40-IrRh10 热电偶的热电势输出

校准温度 /℃	卧式炉 结果 /mV	立式炉 结果 /mV	平均热 电势 /mV	微分 电势 /(μV·℃ ⁻¹)	两种方法 温差 /℃
500	1.236	/	1.236	/	/
600	1.527	/	1.527	2.9	/
700	1.818	/	1.818	2.9	/
800	2.110	/	2.110	2.9	/
900	2.402	/	2.402	2.9	/
1000	2.694	/	2.694	2.9	/
1100	2.994	/	2.994	3.0	/
1200	3.288	/	3.288	2.9	/
1300	3.586	/	3.586	3.0	/
1400	3.888	3.882	3.885	3.0	-1.9
1500	4.198	4.190	4.194	3.1	-2.8
1600	/	4.508	4.508	3.1	/
1700	/	4.830	4.830	3.2	/
1800	/	5.168	5.168	3.4	/
1900	/	5.498	5.498	3.3	/
2000	/	5.830	5.830	3.3	/

经分析，采用卧式炉校准时，其校准结果不确定度在 1~2.3℃左右；采用立式装置校准时，校准结果不确定度在 0.6%*t* 以内（在校准温度范围内为 8~12℃）。从表 2 可以看出，两种方法在 1400℃和 1500℃时结果差异在 3℃以内，表明试验结果是可靠的。另外从试验结果可以看出，IrRh40-IrRh10 热电偶在 500~2000℃范围内，热电势在 1.2~5.9 mV 之间，微分电势在 2.9~3.4μV/℃之间，具有较好的线性，特别是在 1400℃以下时，线性非常好。虽然与标准分度热电偶或铱铑-铱热电偶相比，其输出电势较小，但由于目前电测设备性能不断提高，选用高精度的电测

设备，是可以满足测量要求的。

3 IrRh40-IrRh10 热电偶的应用实例

为满足某型号发动机的高温测量要求，利用 IrRh40-IrRh10 热电偶制作了气流温度传感器。首先对 IrRh40-IrRh10 热电偶偶丝进行退火消除应力，然后采用磁控溅射方法对偶丝表面进行 ZrO₂ 镀膜处理，以避免热电偶在测量还原气氛的高温燃气时产生催化效应。经上述处理后将偶丝装入双孔氧化镁绝缘管并一起装入保护壳中，偶丝与绝缘瓷管之间、绝缘瓷管与保护壳之间均填充高温粘结剂。

为与传统的铱铑-铱热电偶进行比较，选用了 Ir40Rh-Ir 热电偶材料利用同样的工艺制作了气流温度传感器，在高温热校准风洞上进行吹风试验，结果该热电偶在试验中负极断裂损坏，而 IrRh40-IrRh10 高温传感器未出现异常，表明 IrRh40-IrRh10 适合于高温气流的温度测量。基于以上研究，中航工业计量所申请了“一种增韧型的高温铱铑热电偶”专利，在高温气流温度测量中有较好的应用前景。

4 结论

研究表明，IrRh40-IrRh10 热电偶与铱铑-铱热电偶相比，具有较好的高温机械性能，适合于高温气流等恶劣环境下温度测量。试验表明，在 500~2000℃范围内，热电势在 1.2~5.9mV 之间，微分电势在 2.9~3.4μV/℃之间，具有较好的线性，利用高精度电测仪器可以实现高温气流温度的精密测量，在武器装备研制试验和科学研究中具有较好的应用前景。

参 考 文 献

[1] 黄泽铤. 铱基合金高温热电偶材料[J]. 功能材料, 1973, 4 (S1): 30-49.

[2] 刘毅, 陈登权, 陈家林, 等. Ir 和 IrRh40 合金热电偶丝的显微组织和力学性能研究[J]. 贵金属, 2014, 35(3): 40-44.

[3] 杨永军, 蔡静, 赵俭. 航空发动机研制高温测量技术探讨[J], 计测技术, 2008, 28(S1): 46-48.

[4] 卢邦洪. 铱铑//铱热电偶的高温分度[J]. 贵金属, 1980, 1 (1): 20-26.

[5] 杨永军, 赵俭. 一种增韧型的高温铱铑热电偶: 中国, 102937486A[P]. 2013-02-20.