导热误差对温度测量的影响

蔡 静 杨永军 廖 理 王 毅

(北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘 要: 为了研究直型传感器的导热误差,设计了可同时测量气流温度、支座上部温度和支座下部温度 3个测点的传感器,其中测点 1和 3可根据研究的需要上下移动,并建立了理论模型,推导了导热误差的计算公式.为了避免辐射误差对导热误差的影响,采取根部加热的办法,研究了马赫数、支座温度、长径比对导热误差的影响,得到了可供参考的数据,并将导热误差的计算公式应用到气流流速较低时 (Ma= 0.1)高温水冷耙某点的导热误差的计算中,计算结果与测量结果误差小于 10%.考虑导热误差对测温的影响时,应综合长径比和支座温度两方面的因素,将长径比是否大于 10作为衡量是否考虑导热误差的唯一标准是不全面的.

关 键 词: 温度测量; 导热误差; 误差修正

中图分类号: TK 311

文献标识码: A 文章编号: 1001-5965(2008) 11-1353-03

Conductive error influence on temperature measurement

Cai Jing Yang Yongjun Liao Li Wang Yi

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

Abstract To study the conductive error of straight sensor, a special sensor was designed, which can measure 3 points' temperature, air flow, downside and upside of the bracket. The first and the third point were movable to meet the need of study. The theory model was set up and conductive correct coefficient formula was deducted. To avoid the influence of radiation error, a method of boot-heating was adopted to study the influence of Ma, bottom temperature and long-diameter ratio to conductive error, and useful datum were received. Conductive correct coefficient formula was applied to calculate conductive error of high-temperature-water-cooled harrow when the air flow velocity was low (Ma= 0.1). The relative error was little than 10%. It pointed out that when considering the conductive error on temperature measurement, it is not comprehensive that whether long-diameter ratio is larger than 10 or not, bottom temperature is also an important thing.

Key words temperature measurement; conductive error; error correction

导热误差普遍存在,一般而言,只要传感器感温部与传感器间存在温差,就存在导热误差,温差越大,导热误差越大.

在先进航空和航天技术的研究及型号任务的研制过程中,经常会遇到高温、高速气流温度测试的问题[1].通常这一类测试工作条件苛刻,而对测试准确性要求严格,如要求准确测试涡轮前、涡轮后和加力燃烧室出口等处的气流温度[2].目前国内航空工业总公司各研究所为解决这个问题,研制了气冷、水冷高温热电偶耙.但由于壳体为气冷或水冷,会引入较大导热误差,而导热误差的大小很难正确估算,由于在高温测量中,辐射误差相对于导热误差而言所占份额较大,各测试单位一般采用忽略导热误差的方法以简化计算,在这种情况下,温度传感器的导热误差校准变得尤为必要.同理,在高温情况下,受辐射误差的影响,很难将导热误差从总测温偏差中分离,使校准工作面临很大的困难,一般也是采用忽略导热误差的方

收稿日期: 2008-01-22

基金项目: 国家"十五"重点课题资助项目 (G052001C002)

作者简介: 蔡 静 (1976-),女,河北石家庄人,博士生, caijing@cimm.com.cn

法. 针对这一情况, 本文专门设计了导热误差专用传感器, 并研究了不同气流速度、不同的长径比以及根部温度对导热误差的影响.

1 传感器和测试系统

1.1 导热误差用温度传感器

本文主要针对直型传感器进行导热误差的试验研究. 直型传感器的结构形式示意图如图 1所示.

头部偶丝长度根据长径比要求确定. 偶丝直径为 0.8mm, 传感器的内部结构示意图如图 2所示. 导热误差试验用传感器具有 3个测点, 用于测量不同部位的温度. 测点 1的测量值为传感器的指示温度; 测点 2用于测量传感器支座上部温度; 测点 3是活动的, 其位置随加热套的位置变化, 用于测量加热处的温度, 即传感器支座下部温度.

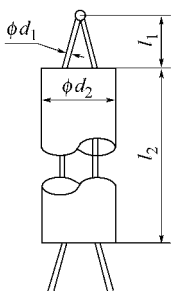


图 1 直型传感器结构示意图

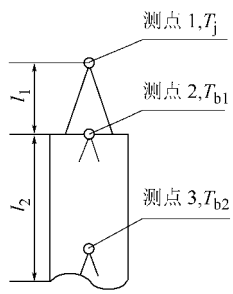


图 2 导热误差试验用传感器内部结构示意图

1.2 测试系统

导热误差试验在北京长城计量测试技术研究所的动态温度校准试验室常温校准风洞上进行, 示意图见图 3.

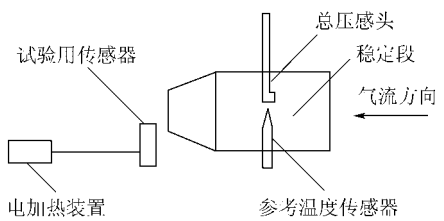


图 3 试验装置示意图

在常温风洞上进行该试验有 2个优点: ①辐射所带来的影响可以忽略; ②试验设备安装比较简单, 易于实现. 常温风洞核心区气流总压不均匀度≤0.2%, 气流静压不均匀度≤0.1%.

2 理论基础

温度传感器的散热既有对流换热又有沿程导热, 在稳态和忽略辐射误差的情况下, 根据传感器的结构特点, 首先针对热电偶部分和支座部分分别计算导热修正系数, 然后将导热修正系数综合起来.

热电偶部分导热修正系数:

$$H_1 = \frac{1}{\mathrm{ch}(m_1 l_1)} = \frac{T_g - T_j}{T_g - T_{b1}} \tag{1}$$

支座部分导热修正系数:

$$H_2 = \frac{1}{\mathrm{ch}(m_2 l_2)} = \frac{T_g - T_{b1}}{T_g - T_b} \tag{2}$$

传感器的导热修正系数:

$$H = H_1 \times H_2 = \frac{T_g - T_j}{T_g - T_b} = \frac{1}{\mathrm{ch}(m_1 l_1)} \times \frac{1}{\mathrm{ch}(m_2 l_2)} \tag{3}$$

传感器的导热误差:

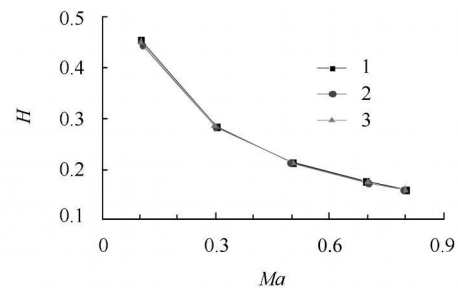
$$\sigma = H(T_g - T_b) \tag{4}$$

式中, $m = \sqrt{\frac{\alpha U}{\lambda f}}$; α 为对流换热系数, W/(m^2·K); U 为热电偶截面周长, m; λ 为热电偶导热系数, W/(m·K); f 为热电偶截面积, m^2; H 为导热修正系数; T_g 为气流有效温度, K; T_j 为气流指示温度, K; T_b 为根部温度, K; l_1 为测量端伸出长度, m; l_2 为保护套管长度, m.

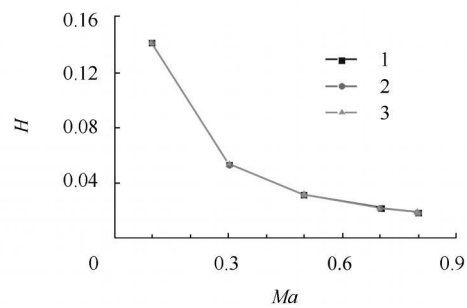
3 结果与讨论

3.1 Ma、长径比、支座温度对 H 的影响

图 4表示的是不同的长径比条件下, 马赫数 Ma 对导热修正系数 H 的影响.



a 长径比为 6



b 长径比为 15

图 4 H 随 M a变化关系曲线

1) 不同的支座温度对 H 的影响

图中系列 1, 2, 3分别对应于不同的根部加热温度 T_{b2}, 由于支座采用氧化铝材料, 导热系数比较小, 从图 4a中可以看出, 改变加热温度, 对支座温度的贡献不大, 今后应考虑采用导热系数较大的支座材料进行导热误差试验.

2) Ma 对 H 的影响

对于不同的长径比, 伴随 Ma 的增加, H 逐渐减小, 这是因为随着气流流动速度的增加, 对流换热逐渐增强, 对流换热系数逐渐变大, 而导热系数不变, 因此, 相对来说对流换热的热阻逐渐减小, 导热热阻逐渐增大, 导热对测温的影响越来越小, 故 H 逐渐减小.

3) 长径比对 H 的影响

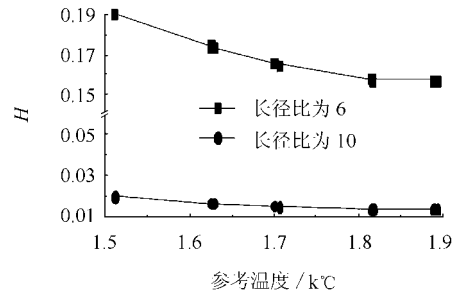
比较图 4a和图 4b可以看出, 被校热电偶长径比由 6变到 15后, H 显著降低, 对于不同的长径比, 随 Ma 的增加 Ma = 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.8, H 分别是原来的 31.1%, 17.9%, 14.8%, 12.4%, 12%.

由于导热误差 σ较小, 基本上小于 1℃, 很难准确测得, 故测量结果的误差较大. 随 Ma 的增加, σ逐渐减小, σ小是由于支座温度与环境温度相差较小决定的, 但由于加热功率的限制和温度传感器支座材料导热系数的限制, 很难获得更高的支座温度. 由式 (4)可知 σ的值由 H 和有效温度与支座温度的差两部分决定的. 通常, 对于相同的长径比和根部加热量, 随 Ma 的增加, H 降低. 但是由于 Ma 对有效温度和支座温度的影响程度不同, 从图 4b中可以看出, Ma 对有效温度的影响远大于对支座温度的影响, 因此, 随 Ma 的增加, 虽然 H 呈下降趋势, |σ|仍有可能呈上升趋势.

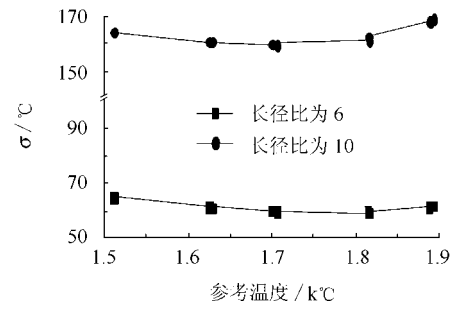
3.2 高温水冷耙导热误差计算

航空发动机燃烧室出口多采用高温水冷耙进行温度测量, 在 Ma 较低时, 测温偏差主要由辐射误差和导热误差两部分组成, 本文采用式 (3)计算了 Ma = 0.1, 参考温度与支座温度相差 850~1 050℃时高温水冷耙的导热修正系数和导热误差. 如图 5所示.

由图 5可以看到, 当被测气流温度与支座温度相差较大时, 导热误差的值是相当可观的, 尤其是在长径比比较小的情况下. 如图 5中数据所示, 当气流温度在 1 500~1 900℃之间, 长径比为 6时, 导热误差为 159~168℃, 约占总测温偏差的 50%~70%不等; 计算表明, 当长径比增大到 10时, 导热修正系数显著降低, 导热误差将降为 60~70℃, 占总测温偏差的 20%左右, 与试验结果的相对误差小于 10%. 由此可见, 增加传感器的长径比, 可以显著减小测温的导热误差, 但由于传感器支座温度与参考温度相差较大, 仍会存在较大的导热误差, 在这种情况下, 不论传感器的长径比如何, 都必须考虑对导热误差进行修正. 然而目前由于导热误差的试验和计算都不成熟, 在各主机厂所大都采用忽略导热误差, 只考虑辐射误差的方法, 这种做法必然会对测量结果的使用造成影响, 如评价燃烧室的效率时[3].



a 导热修正系数示意图



b 导热误差示意图

图 5 高温水冷耙的导热修正系数和导热误差

4 结束语

1) 采用根部加热的方法在常温风洞上进行了导热误差校准试验, 有效避免了辐射误差的影响;

2) 定性研究了不同马赫数和长径比条件下的导热修正系数及导热误差, 并提供了可供参考的数据, 为进一步研究导热误差问题奠定了理论和试验基础;

3) 计算了高温水冷耙某点的导热误差, 结果表明当参考温度与支座温度相差较大时, 尽管传感器的长径比已经增加到 10, 但仍然会产生几十摄氏度的测温偏差, 因此考虑导热误差对测温的影响时, 应综合长径比和支座温度两方面的因素, 将长径比是否大于 10作为衡量是否考虑导热误差的唯一标准是不全面的.

(下转第 1363页)

3 结束语

在蒙皮的拉伸成形中, 模具型面的设计显得尤为重要, 这就迫切需要详细而有效的模具型面设计方法来指导型面设计. 在拉形过程中使板料各个位置的变形均匀, 是本文提出的“截面线等长”模具型面设计方法的一个出发点和所要达到的目标. 有限元仿真是模具设计过程中的重要辅助手段, 用来验证模具型面设计的是否合理, 对寻求型面改进方案也有着重要的帮助. “截面线等长”设计方法结合有限元仿真技术, 在复杂蒙皮拉形模具型面设计中发挥了很大的作用.

参考文献 (References)

[1] 《航空制造工程手册》总编委会. 航空制造工程手册: 飞机工艺装备 [M]. 北京: 航空工业出版社, 1994: 525- 542
Aeronautics Manufacture Engineering Manual Compilation Group. Aeronautics manufacture engineering manual: aircraft processing tools[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 1994: 525- 542 (in Chinese)

[2] 李奇涵, 王科飞, 王立威. 基于数值模拟技术的板料冲压成形模具开发 [J]. 新技术新工艺, 2005(8): 6- 8
Li Qihan, Wang Kefei, Wang Liwei. Exploitation of sheet metal forming die based on numerical simulation[J]. New Technology & New Process, 2005(8): 6- 8(in Chinese)

[3] Gan W, Wagoner R H. Die design method for sheet springback [J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2004, 46 (7): 1097- 1113

[4] Schenk O, Hillmann M. Optimal design of metal forming die surfaces with evolution strategies[J]. Computers & Structures, 2004, 82(20/21): 1695- 1705

[5] Firat M. Computer aided analysis and design of sheet metal forming processes: part III: stamping die-face design[J]. Materials & Design, 2007, 28(4): 1311- 1320

[6] Liu W, Yang Y. Multi-objective optimization of an auto panel drawing die face design by mesh morphing[J]. Computer-Aided Design, 2007, 39(10): 863- 869

[7] 李卫东, 万敏, 韩金全. 飞机蒙皮数字化拉形系统 ASSFCAE [J]. 航空制造技术, 2007, 291(增刊): 498- 503
Li Weidong, Wan Min, Han Jinquan. Numerical stretch forming system for aircraft skin[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2007, 291(Supplement): 498- 503(in Chinese)

(责任编辑: 文丽芳)

(上接第 **1355**页)

参考文献 (References)

[1] 李海燕, 赵俭. 温度传感器动态校准研究 [J]. 计测技术, 2008 (1): 1- 3, 6
Li Haiyan, Zhao Jian. The research of dynamic calibration for temperature probes[J]. Metrology & Measurement Technology, 2008 (1): 1- 3, 6(in Chinese)

[2] 钟华贵, 吉洪湖, 李继保. 燃气分析测量高温燃气温度的方法 [J]. 航空动力学报, 2005, 20(3): 460- 466
Zhong Huagui, Ji Honghu, Li Jibao. Methods for gas temperature measurement by gas analysis[J]. Journal of Aerospace Power, 2005, 20(3): 460- 466(in Chinese)

[3] 雷雨冰, 赵坚行, 周峰轮. 环形燃烧室性能计算 [J]. 工程热物理学报, 2002 (5): 53- 57
Lei Yubing, Zhao Jianxing, Zhou Fenglun. Three-dimensional gas turbine combustor performance modeling[J]. 2002(5): 53- 57(in Chinese)

[4] 樊尚春, 吕俊芳, 张庆荣, 等. 航空测试系统 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005
Fan Shangchun, Lü Junfang, Zhang Qingrong, et al. Aviation measurement system[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2005(in Chinese)

[5] 机械设计手册编委会. 机械设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004
Mechanical Design Manul Complie Committee. Mechanical design manul[M]. Beijing: Mechanical Industry Publishing House, 2004(in Chinese)

(责任编辑: 文丽芳)