

計測技術

第34卷

1
2014

METROLOGY & MEASUREMENT TECHNOLOGY

第34卷

成都开谱电子科技有限公司

——提供高精密电容标准、电感标准的设计和制造

成都开谱电子科技有限公司, 是专业从事电学计量器具的研发单位。凭借在电学计量领域的先进技术和制造经验, 专注于标准电容器、标准电容箱、标准电感器、标准电感箱以及相关配套设备的设计与生产, 旨在为您提供国际一流的计量标准。

CH-12 标准电容器

- 标准电容量: 1pF、10pF、100pF、1nF、10nF、100nF、1 μ F、10 μ F、100 μ F。
- 允许误差极限: 1pF—1 μ F: $\pm 0.02\%$
10 μ F—100 μ F: $\pm 0.05\%$
- 输出方式: 四端对输出



CH-11 高准确度标准电容器



- 标准电容量: 1pF、10pF、100pF、1nF、10nF、100nF、1 μ F。
- 允许误差极限: 1pF—100pF、1nF: ± 15 ppm
10nF: ± 25 ppm
100nF: ± 50 ppm
1 μ F: ± 100 ppm
- 输出方式: 三端输出

CH-16 精密十进位标准电容箱



- 零位电容量: $C_0 \leq 0.000005$ pF
- 电容量范围: 1pF—1.111110 μ F(六位十进制); 最小步进量: 1pF
- 允许误差极限: $\pm 0.03\%$
- 输出方式: 三端输出



ZK-2716A 精密十进位电感箱

- 电感量范围: 1 μ H~1.111110H
- 最大允许误差: $\pm 0.05\%L + 0.05$ μ H
- 最小步进量: 1 μ H
- 输出方式: 三端或四端对输出

ZK-2717 标准电感箱 (1、5进制)



- 电感量范围: 1 μ H~1000H
- 最大允许误差:
1 μ H~500mH: $\pm 0.05\%L + 0.05$ μ H
1H~1000H: $\pm 0.2\%$
- 输出方式: 三端或四端对输出

ZK-2712 标准电感器



- 标准电感量: 100 μ H、1mH、10mH、100mH、1H
- 允许误差极限: 100 μ H: $\pm 0.05\%$
1mH、10mH、100mH、1H: $\pm 0.02\%$
- 输出方式: 三端或四端对输出

本公司还提供以下产品:

CH-14型 精密十进位标准电容箱; CH-14A型 精密十进位标准电容箱;
CH14-B型 精密十进位标准电容箱; CH16-B型 精密十进位标准电容箱;
ZK-2710型 低频模拟标准电感器; ZK-2711型 高频模拟标准电感器;
ZK-2718型 高精度标准电感箱; 请登录www.kaip.cn了解更多详情……

成都开谱电子科技有限公司

联系人: 金先生 手机: 13608233082

电话: 028-69692021 传真: 028-83255619

地址: 成都市高新区 网址: www.Kaip.cn

电子邮件: jinpan2000@tom.com cdkpdz@gmail.com

KAIP

計測技術

JI CE JI SHU

1958 年创刊 双月刊

2014 年第 34 卷第 1 期(总第 201 期)

2014 年 2 月 28 日出版

《计测技术》第四届编辑委员会

主 任: 曹英杰

副 主 任: 张 力 张广军 陈 刚

特邀委员: (以姓氏笔画为序)

王立鼎 叶声华 李天初 张彦仲
张钟华 俞鸿儒

委 员: (以姓氏笔画为序)

于 梅 王子钢 王 雪 王 路
王德友 石小江 冯克明 龙祖洪
伍 凡 巩 岩 刘 民 朱振宇
朱崇全 张书练 张志民 张宝珠
李玉龙 邵 力 沙定国 陈大为
陈 兴 陈 明 陈京桦 陈 霞
何 闻 何 昭 周自力 周伦彬
周维虎 杨春涛 费业泰 段宇宁
郭俊杰 赵维谦 梁志国 韩春好
谭久彬 蔡小斌 廖 理 樊尚春

主管单位: 中国航空工业集团公司

主办单位: 中国航空工业集团公司

北京长城计量测试技术研究所

编辑出版: 《计测技术》编辑部

社 长: 孙千军

主 编: 陈 霞

副 社 长: 杜 江 (兼广告负责人)

编 辑: 张 进 韩 冰 隗 硕

英文编辑: 李莉萍

电 话: (010) 62457159 (编辑部)

(010) 62457160 (广告部)

传 真: (010) 62457159

通讯地址: 北京市海淀区 1066 信箱杂志社

邮政编码: 100095

E-mail: mmt304@126.com

网 址: www.jicejishu.com

印 刷: 北京国防印刷厂

国内总发行: 北京报刊发行局

邮发代号: 80-441

国外发行: 中国国际图书贸易集团有限公司
北京 399 信箱 (100048)

发行代号: BM7117

刊 号: ISSN 1674-5795
CN 11-5347/TB

广告经营许可证: 京海工商广字第 0341 号

国内定价: 10 元/册; 国外定价: 8 美元/册

版权声明: 凡投稿本刊或允许本刊登载的作品, 均视为作者已同意将其作品刊载于本刊网络版或电子版, 其使用费已包含在本刊所付稿酬中。作者如不同意, 投稿时敬请说明。

目 次

综合评述

超声波测温技术在高温气流温场测量中的应用

..... 常蕾 赵俭 (1)

理论与实践

离心-温度复合试验箱温度场模拟分析

..... 赵智忠 孟晓风 赵晓明 (5)

基于视觉信息的无人机自主着陆过程姿态角简化计算方法

..... 曾志远 许瑛 (10)

时差法测频问题分析与修正 易韦韦 (13)

新技术与新仪器

GZ-10 型高精度数字式表面电阻测试仪的研制 孔令刚 (15)

基于 SYSTEM II 的新型微波中功率计量系统

..... 闫道广 陈志宇 (19)

压缩天然气 (CNG) 加气柱检定系统研究

..... 张朋 朱永宏 张柯 曹玲芝 (22)

用于压力传感器测试的自动压力控制系统的研制 王洋 (26)

计量、测试与校准

双纵模 He-Ne 激光器的热稳频技术研究

..... 陈正超 李华丰 朱国勤 (31)

基于成像式照度探测的光源光强分布测量

..... 唐翠荣 刘军 王珊珊 左勇 武文彬 (35)

基于磁性液体的岩样总体积测试方法

..... 鲍云杰 鲍芳 李志明 (39)

三轴转台轴线垂直度的测试方法 王玉田 (42)

以坐标测量方法评价矩形花键位置度的快速判定

..... 王睿超 张彦君 (45)

计量信息化与管理

基于 CATIA V5 自由曲面测量采点方法研究与软件开发

..... 黄梦莉 (49)

基于 PXI 总线的数字表网络自动测试系统

..... 尹丽云 许兴明 王心元 (53)

浅析如何发挥计量技术机构在企业能源计量工作中的作用

..... 钟蓓 (57)

经验与体会

测长仪校准规范使用中要注意的一个问题

..... 常青 常晟 (60)

一种用于气体活塞式压力计标准装置的期间核查方法

..... 张贤 李鑫武 (62)

动态与信息

多波段拉曼-荧光激光雷达系统可用于雾霾探测 (48) 福祿克推出新型压力校准

产品满足仪器仪表技术人员的准确度和量程需求 (56) Fluke 推出节能专用电能

记录仪 F1730 免费试用活动 (64) 《化学分析计量》2014 年第 1 期目次 (65)

《宇航计测技术》2014 年第 1 期目次 (65) 国防科技工业计量培训考核资料

(66) 2013 年颁布的国家计量技术法规目录 (67) 2014 年颁布的国家计量技术

法规目录 (部分) (69) 第十四届全国压力计量与测试技术学术交流会征文通知

(70) 第十五届中国湿度与水分学术交流会会议及征集论文通知 (第一次) (71)

第十三届全国敏感元件与传感器学术会议 (STC2014) 征文及会议通知 (72)

Main Contents

Survey and Review

- (1) Application of Ultrasonic Thermometry in Measuring Temperature Field of High-temperature Gas Flow CHANG Lei, ZHAO Jian

Theory and Practice

- (5) Simulation on Temperature Fields of a Test Chamber Combined by Centrifugal Situation and Temperature ZHAO Zhizhong, MENG Xiaofeng, ZHAO Xiaoming
- (10) Research on Estimation of Attitude of Vision-based Autonomous Navigation to the Landing of the UAV ZENG Zhiyuan, XU Ying
- (13) Analysis and Correction on Frequency Measurement Based on Time Difference Method YI Weiwei

New Technology and Instrument

- (15) Development of GZ-10 High-precision Digital Surface Resistance Tester KONG Linggang
- (19) New-type Microwave Medium Power Metrological System Based on SYSTEM II YAN Daoguang, CHEN Zhiyu
- (22) Research on Compressed Natural Gas (CNG) Plus Column Verification System ZHANG Peng, ZHU Yonghong, ZHANG Ke, CAO Lingzhi
- (26) Development on Automatic Pressure Control System for Pressure Sensor Test WANG Yang

Metrology, Measurement and Calibration

- (31) Reach on Thermal Frequency Stabilization Technology of Double Longitudinal Mode He-Ne Laser CHEN Zhengchao, LI Huafeng, ZHU Guoqin
- (35) Measurement of Luminous Intensity Based on Imaging Illumination Detect TANG Cuirong, LIU Jun, WANG Shanshan, ZOU Yong, WU Wenbin
- (39) Method of Measuring Total Volume of Rock Samples Based on Magnetic Fluid BAO Yunjie, BAO Fang, LI Zhiming
- (42) The Method of Measuring Perpendicularities of Three-axis Turntable WANG Yutian
- (45) The Fast Evaluation of Rectangular Spline Position Degrees with CMM WANG Ruichao, ZHANG Yanjun

Measurement Information Technology and Management

- (49) Method Study and Software Development of Points Arrangement in Free Curved Surface Measurement Based on CATIA V5 HUANG Mengli
- (53) Web-based Automatic Test System of DMM Based on PXI YIN Liyun, XU Xingming, WANG Xinyuan
- (57) Elementary Analysis on the Role of Measurement Technology Institutions in Enterprise Energy Measurement Work ZHONG Heng

METROLOGY & MEASUREMENT TECHNOLOGY

(Bimonthly)

Vol. 34 No. 1 2014 (Total No. 201)

4th Editorial Committee

Chairman CAO Yingjie

Vice Chairmen

ZHANG Li ZHANG Guangjun CHEN Gang

Invited Editorial Committee Members

WANG Liding YE Shenghua
LI Tianchu ZHANG Yanzhong
ZHANG Zhonghua YU Hongru

Editorial Committee Members

YU Mei WANG Zigang WANG Xue
WANG Lu WANG Deyou SHI Xiaojiang
FENG Keming LONG Zuhong WU Fan
GON Yan LIU Min ZHU Zhenyu
ZHU Chongquan ZHANG Shulian
ZHANG Zhimin ZHANG Baozhu
LI Yulong SHAO Li SHA Dingguo
CHEN Dawei CHEN Xing CHEN Ming
CHEN Jinghua CHEN Xia HE Wen
HE Zhao ZHOU Zili ZHOU Lunbin
ZHOU Weihua YANG Chuntao FEI Yetai
DUAN Yuning GUO Junjie ZHAO Weiqian
LIANG Zhiguo HAN Chunhao TAN Jiubin
CAI Xiaobin LIAO Li FAN Shangchun

Sponsor: Changcheng Institute of Metrology & Measurement

Editor & Publisher: Editorial Department
House of Metrology & Measurement Technology

Address: P. O. Box 1066, Beijing 100095, P. R. China

Chief Editor: CHEN Xia

Printing: Printing House of Beijing National Defence

Distributed abroad by: China International Book Trading Corporation (P. O. Box 399, Beijing 100048, China)

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2014.01.01

超声波测温技术在高温气流温场测量中的应用

常蕾, 赵俭

(中航工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 对瞬态变化的高温气流温场温度的准确测量一直是工程测量中的难点, 超声波测温技术作为一种新型的非接触式测温方法, 其测温原理简单, 响应速度快, 便于工程安装, 可用于多种特殊工况下温度的测量。但由于超声信号在传播过程中的衰减及温场外界条件的干扰问题, 使得超声波测温技术还未有广泛应用, 目前仍处于研究试验阶段。本文介绍了超声波测温技术的发展历史及测温原理, 对超声波测温技术目前存在的问题进行了分析, 对超声波测温技术的发展进行了展望。

关键词: 超声波; 测温; 高温气流; 温场

中图分类号: TB942

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795 (2014) 01-0001-04

Application of Ultrasonic Thermometry in Measuring Temperature Field of High-temperature Gas Flow

CHANG Lei, ZHAO Jian

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

Abstract: It has always been difficult to measure precisely the temperature field of transient high-temperature gas flow in engineering surveying. The new ultrasonic thermometry is a non-contact technology with simple measurement principles and fast response. It can be installed easily and is adaptable to various special conditions. But due to ultrasonic attenuation in signal propagation and external interferences of temperature field, this technology has not been widely used and is still in the stage of research testing. This article describes the development history and working principles of the technology, analyzes its existing problems, and looks into the future of its development.

Key words: ultrasonic; thermometry; high-temperature gas flow; temperature field

0 引言

高温气流温场由于温度变化快、气流流动情况复杂、噪声干扰强、待测环境条件恶劣, 其温度的准确实时测量及温度场的重建一直是工程测量中的难点。目前高温气流温场测量主要采用传统的接触式测温方法, 接触式测温响应时间慢, 不能实时反映整个温场的温度; 同时接触式测温破坏气流温场环境, 产生较大的辐射及导热误差, 不利于传感器的安装与更换。超声波测温技术作为一种非接触式测温手段, 其测量温度范围宽, 对温场干扰小, 便于传感器布置, 实时的反应气流温场的瞬态变化, 能够解决强腐蚀、强电磁干扰及振动等特殊环境下气流温度的连续测量, 广泛应用于等离子体室、核反应堆、汽轮进气、惰性气

体、温度标准等领域的高温气流温度测量^[1]。

超声波测温法作为一种新型的高温气流温场测量手段在国外已得到许多应用, 国内科研人员也越来越重视超声测温技术在高温气流温度测量方面的工程应用。本文主要介绍超声测温技术的研究现状, 超声测温在高温气流温场测量方面的应用前景, 同时对超声测温技术存在的问题进行了分析。

1 超声波测温技术发展历史与现状

1.1 国外超声波测温技术发展

早在上世纪 60 年代美国人便开始了超声波测温技术的研究, L. C. Lyn - Nworth 等人开展了超声传感技术在测量固体、液体及气体温度方面的研究工作, 其主要研究方法是超声脉冲回声法, 待测温场的温度均在 1000 K 以上。上世纪 70 年代, 英国的 J. F. W. bell 研究了基于声波谐振频率与温度关系的固态声温度计, 该固态声温度计主要用于真空或惰性气体环境中温度的测量, 标志着超声波测温技术的研究逐步进入应用

收稿日期: 2013-10-20; 收修改稿日期: 2014-02-09

基金项目: 航空科学基金资助项目 (20112244003)

作者简介: 常蕾 (1983-), 女, 工程师, 硕士, 从事特种测温及研究工作。

研究阶段^[2]。上世纪 90 年代,美国的 S. C. Wilkins 采用单晶坩制作超声波温度计,该温度计超声信号衰减减小、超声信号回声稳定,可测量 3200 K 的温度,测温的准确性较好^[3];D. W. Varela 使用超声波温度计实现了工业及实验室加热炉温度的准确测量,其测量温度范围从室温到 3000 °C,响应时间快、稳定性好、使用寿命长,该温度计的研究突破了超声波测温的理论和实验室研究阶段,使得超声波温度计的研制进入到工业应用领域^[3];加拿大多伦多大学的 I. D. Sommerville 教授通过对超声波检测液态金属质量的研究,提出了应用超声技术测量液态金属温度的可行性,并做了大量的试验,测量出感应炉中液态铝的温度^[2]。

近年来,国外学者对于超声波测温技术的研究已经很深入,美国、英国和日本的许多研究机构及公司已经生产出大量的超声波温度计,在医用医疗、锅炉炉温、管道气体温度等方面的测量中得到了广泛的应用。上世纪 90 年代,日本山田健夫等人采用 MHz 以上的超声波研制出的超声波医用诊断装置,测量人体内脏温度,其测量误差达到 ± 0.5 °C^[2]。本世纪初,美国的一些公司将超声波温度计逐步从实验室研究阶段带入到产品化阶段,美国的圣迪亚试验室研制的超声波温度计测量锅炉炉温,测量温度可达 2845 °C,误差达到 ± 1 °C^[3]。美国的 SEI 公司将研制的 Biolerwatch 系列声学温度计用于测量大型火力发电厂中锅炉内部温度场的分布情况,温度测量范围 300 ~ 2700 °C,1200 °C 以上测量误差可达 2 °C^[3]。英国的 CODEL 公司生产出声学测温装置,通过在待测温区表面大量布置传感器可实现大型烟气管道中某一截面气体温度的实时测量,1000 °C 以上温度场温度重建误差小于 10 °C^[3]。

1.2 国内超声波测温技术发展

国内对超声波测温技术的具体应用研究较少,近几年的发展速度也比较慢。上世纪 90 年代,燕山大学检测教研室采用铅铋酸铅材料制成超声波探头,对封闭装置燃烧气体温度的测量进行了初步探索,大量试验证明了通过检测超声波频率的变化来测量气体温度的方法是可行的,但是该超声探头只能接受单一频率超声波,并且测温距离受温度变化的影响较大,探头不耐高温,测量高温气体环境还需要对超声探头进行冷却^[4]。直至本世纪初,国内高校的一些研究机构开始专注于超声测温系统的研究,通过待测温场逆问题的求解实现了气流温度场的重建工作,其中,华中科技大学的何其伟、李言钦等人设计了一套声学检测平台,实现炉膛温度场重建检测,特别针对炉膛声波飞

行时间的测量设计了专门的硬件系统^[5];沈阳工业大学的颜华等人提出了一种互相关和插值运算的方法对超声波飞渡时间进行测量,在不考虑噪声条件下,对超声波采样信号的互相关函数进行插值计算,实现了超声波飞渡时间的高精度测量,该方法虽然只是理论研究,但对提高超声波法温度场测量精度具有重要的实际意义^[6];华北电力大学安连锁教授对温度场的声学测量重建方法进行了基础性的研究,使用费马原理研究了声波在二维空间中的传播路径问题^[7];东北大学邵福群教授从声源信号发生形式、温度场重建算法到温度场测量实验系统构成等进行了一定的研究和实验^[1],取得了一定的成绩,同时在声学测温系统和重建算法上开展了一定的工作,对基于有限级数展开和正则化分析的复杂温度场的图像重建算法进行了研究。

在我国,对于超声波测温方面的研究还处在对国外研究现状的分析与报道阶段,本世纪初才开始展开超声波测温技术实际应用的研究,目前国内使用的超声波温度计还都依靠从国外进口,我国自主研制的超声测温测试系统还都处于实验室研究阶段,还未有成熟的产品投入到市场,而我们又急需解决惰性气体高温、窑炉炉温、航空发动机燃烧室出口温度等特殊工况下温度场的测量问题,因此,测量超声测温技术的研究具有巨大的研究价值和市场应用前景。

2 超声波测温技术原理研究

超声波测温技术的原理是基于声波在气体混合物内的传播速度是绝对温度的第一函数^[8],在实际工程测量过程中,气体组分对声波在温场中的传播速度影响较小,声速的变化范围较小,因此,声波传播速度仅是气流温场绝对温度的单值函数。声速 c 和温度 T 之间的函数关系式为

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{m}} = Z \sqrt{T} \quad (1)$$

式中: c 为声波的传播速度, m/s; γ 为气体介质定压比热与定容比热之比值(质量热容比); R 为摩尔气体常数; m 为气体的摩尔质量; T 为气体绝对温度, K; Z 为特定的气体常数, $Z = \sqrt{\frac{\gamma R}{m}}$, 通常对烟道混合气体为 19.08, 对空气为 20.05。

声波在介质中的传播速度取决于气体的温度及声波的传播路径。在实际测量中,将两个声波收发器置于待测温度场两侧,发射的声波及接收的声波在温场内形成一条声学路径,如图 1 所示。

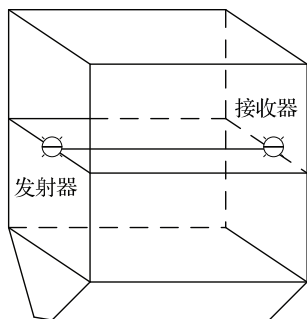


图1 声波测量温场示意图

待测温场的空间结构已知，声波收发器两者之间的距离 d 通过测量得到，测定声波在其飞渡距离 d 所用的时间 Δt ，便可求得声波在该传播路径上的平均速度，即

$$c_1 = \frac{d}{\Delta t} = Z \sqrt{T_1} \quad (2)$$

根据式 (2)，可以得出声波传播路径上介质的平均温度值，有

$$T_1 = \left(\frac{d}{Z \Delta t} \right)^2 - 273.15 \quad (3)$$

式中： d 为发射装置和接收装置之间的距离，m； Δt 为声波飞行时间，s； Z 为该气体介质常数； T_1 为路径上的平均温度，℃。

通常在工程实践中，声波发射及接收器之间的距离、被测气体的气体常数都是已知的，因此只要确定声波的飞行时间便可获得该条路径上的平均温度，从而重建出被测温场。

3 超声测温技术存在的问题

近年来，随着超声波测温技术的不断发展，各国学者开始专注于气流温场重建技术的研究工作。采用超声波测温方法与计算机图像重建技术相结合，重建出锅炉、电厂等封闭炉内气流温场，取得了一定的进展，但还有些关键技术问题需要解决，

3.1 声波信号的选择

目前声波信号源的选择主要有两种：单一频率信号和宽带频率信号。对于单一频率声波信号，声波飞行时间测量的上限受信号源频率的限制（最长延时不能大于信号源的一个周期，产生较大的测量误差），并且由相关分析理论可知：窄带信号的相关函数衰减慢，宽带信号衰减快，只适合于小空间内声波信号的测量。目前常用的宽带信号形式主要有：噪声信号和扫频信号，宽带信号不受声波信号延时、声波信号周期等因素的限制，声波飞渡时间计算准确。但由于扫频信号

频率不固定，在某一测温时刻有可能与待测温场的某些噪声信号形成共振，对测量结果产生影响。沈阳工业大学的彭珍等人采用噪声信号计算三种噪声比信号在单峰对称温场的声波飞渡时间，重建出待测环境的温场^[9]。

3.2 超声波飞渡时间研究

互相关分析计算超声波飞渡时间是基于互相关函数寻峰原则，超声波飞渡时间测量示意图如图2所示。为重建某条声波飞行路径上的平均温度，在待测气流温场两端安装一对麦克风，两个麦克风之间的距离为 d ，在理想状态下待测温场不存在噪声干扰，麦克风1发射声波信号 $f(t)$ ，麦克风2接收声波信号 $f(t - \Delta t)$ ， Δt 为声波信号由麦克风1处传播到麦克风2处所用时间。



图2 超声波飞渡时间

麦克风1的输出电信号为 $x(t)$ ，忽略噪声影响，则 $x(t) = k_1 f(t)$ ；麦克风2的输出电信号为 $y(t)$ ，忽略噪声影响，则 $y(t) = k_2 f(t - \Delta t)$ 。其中， k_1 和 k_2 为系数。

将麦克风1、2输出的电信号 $x(t)$ 和 $y(t)$ 进行互相关分析计算， $x(t)$ 和 $y(t)$ 的互相关函数为

$$R_{xy}(\tau) = \frac{1}{T_0} \lim_{T_0 \rightarrow \infty} \int_0^{T_0} k_1 f(t) f(t - \Delta t + \tau) dt \quad (4)$$

当 $\tau = \tau_m = \Delta t$ 时， $x(t)$ 与 $y(t)$ 的相关性最强，互相关函数值取最大值。互相关函数峰值处所对应的时间 τ_m 即为超声波从麦克风1传输到麦克风2所用的时间 Δt 。找出互相关函数的峰值点所对应的时间 Δt 即为声波的飞渡时间。

超声波测温技术研究中超声信号在测量路径中飞渡时间的精确测量是影响气流温场准确测量的重要因素^[10]。对于声波飞渡时间的测量，主要采用互相关算法分析计算得到，超声飞渡时间测量不准确主要受采样点数、采样间隔、声波的自相关性、环境噪声的影响较大，华北电力大学的宋志强采用互相关法准确的辨识炉膛燃烧空间内传播的声波信号，消除背景噪声的干扰，计算声波飞渡时间，同时采用快速互相关与抽样率变换相结合的声波飞行时间估计方法提到测量的精度，得到较好的效果^[11]；东北大学的孙小平采用线性插值和三次样条插值方法计算飞渡时间，通过仿

真数据验证了该方法的有效性,降低等效采样间隔,提高了测温精度^[12]。

3.3 信号衰减

超声信号在传播过程中,声波信号会有一定的衰减,频率越高衰减的越快,声波的有效传播距离变短,因此超声测温首先要解决超声信号接收时由于衰减过快而接收不到的问题。实际测温中,在超声探测器后接入功率放大器或利用待测温场的噪声信号减小声波信号衰减的影响。

日本 gifu 大学的 J. Lu, D. Wakai 等人从理论上分析了声波信号衰减对测温结果的影响^[8],通过对声波信号的功率放大测量出电站锅炉内的燃烧温度,结果表明,考虑到信号衰减影响后重建出的温度场精度得到有效改善,其测温结果与插入式热电偶测温结果保持一致。美国 Nevada 大学的 J. A. Kleppe 研究开发的声学高温测量系统,利用声发射及接收探测器周围的声场压缩待测锅炉内的燃气,产生 500 ~ 2000 Hz 的宽频带波噪声,采用该噪声作为测温系统的声源有效地解决了声波信号的衰减问题^[7]。

3.4 噪声干扰

超声测温技术将超声探头布置在待测温场周围,其传感器受带测温场电磁干扰的影响较小,但被测气流温场的背景噪声对超声信号造成的干扰较为严重,尤其若是噪声信号与声波探测器发出信号一致,会引起声波的共振,从而破坏整个测温系统。

对于锅炉炉温、航空发动机燃烧室出口温度等特殊工况下气流温度场的测量,气流温场的背景噪声复杂,对于噪声信号的剔除,超声信号的发射及待求超声信号的提取都存在较大困难,较高的信噪比会造成声波飞渡时间计算的不准确,从而影响测温的可靠性。

在实际测温过程中,针对噪声信号的测量问题,美国电力研究院及英国发电委员会使用高温环境下噪声测量系统对电站内锅炉进行了炉膛燃烧噪声的诊断实验,测出了高温炉中噪声的频率^[13]。华北电力大学的沈国清教授采用小波分析法对锅炉内冷态及热态气流中的声场进行了研究,通过分析得到锅炉内噪声的产生机理,获得了噪声信号的特性,通过对待测温场的噪声频率的预先探测,在设计超声波探测器时可以避开噪声的声波频段从而解决噪声干扰问题^[7]。

3.5 弯曲效应

在温度均匀的气流温场内,超声信号在温场内的传播路径按直线处理,温度测量结果比较准确可靠。

实际工程测量过程中,高温气流温场的温度分布是不均匀的,声波在温场传播时会沿着温度高的路线传播,即产生声波的“弯曲效应”。考虑声波弯曲效应对测温准确性的影响,在温度场重建过程中必然会造成部分模型化误差。

针对“弯曲效应”问题,沈国清提出了三角形前向展开法及 ART 相结合的算法,其算法简单,只需要对声波路径进行多次迭代,但由于其迭代次数较多,计算时间较长,实际应用时对温度场的测量有一定的延时,不能实时反映待测温场的实际情况;田丰、邵福群等人提出了声波传播“弯曲效应”路径补偿算法^[14],该算法求解过程复杂,需要计算大量的偏微分方程组,但该算法能有效解决声波传播路径的弯曲问题,提高了温场重建精度,能够保证温度场的实时测量;杜富瑞等提出了声波传播路径多点插值算法,该算法利用声波折射原理,从声波的实际传播路径入手,通过大量的多点差值对声波的路径进行模拟,实现了弯曲路径的自动修正,在 1200 °C 以上温场重建误差在 -5 ~ +5 °C 范围内^[15]。

4 总结

超声波测温技术由于其测温原理简单、测温响应时间快(可完成实时测量)、温度测量精度高、测量对象不受空间范围限制(可测范围几毫米到几十米),越来越受到国内外科研人员的重视,尤其在高温气流温度场重建方面应用广泛。超声波测温技术近年来发展快速,其声波信号的衰减及弯曲效应问题得到了较好的解决,但待测温场的噪声干扰、粉尘污染等问题一直是测量中的难点,急需解决。

参考文献

- [1] 田丰,邵福群,王福利.声学法工业炉温度场检测的现状与关键技术[J].煤炭科学技术,2002,30(6):49-52.
- [2] Said A. Alzebeda, Alexander N. Kalashnikov, Ultrasonic Sensing of Temperature of Liquids Using Inexpensive Narrowband Piezoelectric Transducers [J]. Measurement Science & Technology, 2010, 57(12): 2704-2711.
- [3] J. -L. Shih, M. Kobayashi. Flexible Ultrasonic Transducers for Structural Health Monitoring of Pipes at High Temperatures [C] // Ultrasonics Symposium (IUS), 2009 IEEE International. [s.l.]: IEEE, 2009, 681-684.
- [4] 郑德忠,齐广学,胡春海.超声波测量气体温度的研究[J].传感技术学报,1993,8(3):62-64.

(下转第9页)

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2014.01.02

离心-温度复合试验箱温度场模拟分析

赵智忠¹, 孟晓风¹, 赵晓明²

(1. 北京航空航天大学 仪器科学与光电工程学院, 北京 100191; 2. 中国人民解放军 93708 部队, 北京 101399)

摘 要: 对离心-温度复合试验箱中离心环境对温度场均匀性影响进行了模拟研究, 并分析了结构条件对温度均匀性的改善效果。研究了离心-温度复合条件下的控制方程, 以此为基础采用有限元分析的方法, 对不同结构条件的温度场分析了温度均匀性差异, 并提出了进一步改善温度均匀性的方法。结果表明, 离心环境下的科氏力对空气流场轴向运动的影响会导致试验箱内温度均匀性差异, 试验箱中加入风扇和导流装置能够有效改善内部温度均匀性。

关键词: 离心; 温度; 复合试验箱; 温度场; 均匀性; 模拟

中图分类号: TB942; TP273

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795 (2014) 01-0005-05

Simulation on Temperature Fields of a Test Chamber Combined by Centrifugal Situation and Temperature

ZHAO Zhizhong¹, MENG Xiaofeng¹, ZHAO Xiaoming²

(1. School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China ;

2. No. 93708 of PLA, Beijing 101399, China)

Abstract: The effect of centrifugal situation on temperature fields of a test chamber combined by centrifugal situation and temperature is simulated and researched. The improvement of structural modification on the evenness of temperature fields was also studied. On the basis of hydrodynamic heat transfer equations, the condition of temperature fields in the test chamber was simulated in the condition of centrifugal accelerations with and without structural modification by using finite element analysis method. The differences of temperature fields evenness were analyzed and the improvement methods were proposed. The results show that Coriolis component of centrifugal acceleration can affect the axial distribution of fluid field in the test chamber, which is responsible for the unevenness of temperature fields. The installation of convection fan and flow guiding device can effectively improve the evenness of temperature fields of the test chamber under centrifugal acceleration condition.

Key words: centrifugal; temperature; combined test chamber; temperature fields; evenness; simulation

0 引言

加速度计作为惯导系统的主要的惯性仪表, 其精度直接影响惯性系统的精度^[1]。环境温度是影响加速度计准确度的重要因素, 研究环境温度对加速度计准确度的影响规律, 是提高加速度计测试和使用准确度的重要手段。本文介绍一种用于离心-温度复合条件下加速度计校准的温度试验箱, 从理论上分析控制方程, 并通过数值仿真模拟出装置内部的流场与温度分布, 以验证文中提出的温度均匀性改善措施的实际效果; 分析加入风扇、导流罩以及风扇不同转速下的温度场分布规律。本

文需要实现试验箱内部温度分布方差达到 0.002 以下。

1 系统整体结构

图 1 为试验箱工作结构示意图, 坐标系中 z 方向为离心机臂轴向, y 方向为反重力方向, x 方向为水平方向。试验箱安装在离心机上, 被校准的惯性器件安装在试验箱内。当离心机开始转动时, 惯性器件获得离

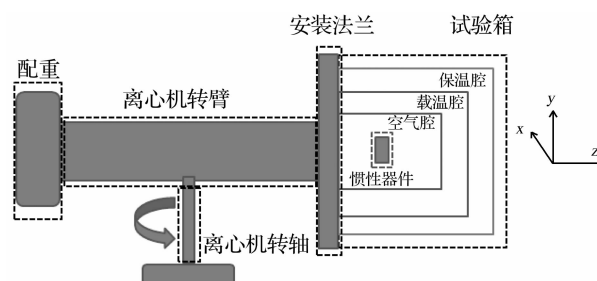


图 1 试验箱工作结构示意图

收稿日期: 2013-10-14

基金项目: 国家“十二五”技术基础项目 (J052012B001)

作者简介: 赵智忠 (1987-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为测控技术; 孟晓风 (1955-), 男, 江苏滨海人, 教授, 主要研究方向为测试计量技术、信号处理。

心加速度。同时对试验箱进行温度控制,当试验箱内温度达到预定温度时,惯性器件即可同时在预定离心加速度和温度条件下进行计量校准,从而实现离心-温度复合计量校准。

温度试验箱为一个三层封闭空间结构,三层腔体都为圆筒空腔。内层为空气腔,是被校加速度计的安裝空间;中层为载温腔,由载温液填充,可以进行温度控制和保温作用;外层为保温腔,由保温材料填充,进一步为试验箱保温。

2 试验箱简化物理模型

图 2 为试验箱进行仿真模拟的基础简化物理模型,其中:封闭的空心圆柱腔作为整个空气腔的壁面;离心风扇用于搅拌空气,这里是对已知的风扇进行逆向建模得到;导流罩用于为空气腔建造一个良好的风道,其轴视图如图所示;由于在实际测量时,内部的被测加速度计通电后会有热量生成,所以模拟为内热源。

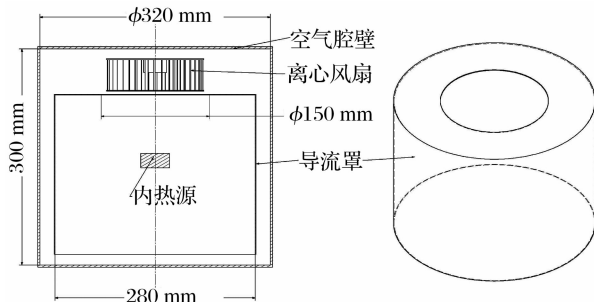


图 2 试验箱的基础简化物理模型

2.1 控制方程

为节约计算资源,将现有条件简化,假设条件:

- 1) 离心机作匀速圆周运动;
- 2) 温度箱内流体为可忽略粘性耗散作用的稳态低速流^[2];
- 3) 温度箱内流体为定压比热;
- 4) 温度箱内流体为非辐射性气体,忽略辐射效应的影响;
- 5) 由于密度随温度变化不大,采用 Boussinesq 近似假设^[3]。

由上述条件假设可得到对流换热基本方程^[2]。

1) 连续性方程

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \mathbf{v}_r) = 0 \quad (1)$$

式中: t 为时间; ρ 为密度; $\mathbf{v}_r = (v_{rx}, v_{ry}, v_{rz})$ 为相对速度向量。

2) 动量方程

$$\frac{\partial(\rho \mathbf{v}_r)}{\partial t} + \rho \mathbf{v}_r \operatorname{div}(\mathbf{v}_r) = \operatorname{div}(\mu \operatorname{grad} \mathbf{v}_r) - \nabla p + \mathbf{B} + \mathbf{V} \quad (2)$$

式中: μ 为粘度; p 为压强; $\mathbf{B}$ 为单位容积内的体积力; $\mathbf{V}$ 为除去 $\operatorname{div}(\mu \operatorname{grad} \mathbf{v}_r)$ 所表示粘力项之外的其它所有粘力项。在离心力场条件下,由式(2)可推导得到

$$\mathbf{B} = -\rho[2\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}_r + \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}) + \mathbf{a}_e + \mathbf{g}]$$

式中: $\boldsymbol{\omega}$ 为离心机的角速度向量; $\mathbf{r}$ 为半径径向向量; $\mathbf{a}_e$ 为牵连加速度; $\mathbf{v}_e$ 为牵连速度。故

$$\mathbf{a}_e = \frac{d\mathbf{v}_e}{dt}$$

可得最终动量方程为

$$\frac{\partial(\rho \mathbf{v}_r)}{\partial t} + \rho \mathbf{v}_r \operatorname{div}(\mathbf{v}_r) = \operatorname{div}(\mu \operatorname{grad} \mathbf{v}_r) - \nabla p - \rho[2\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}_r + \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}) + \mathbf{a}_e + \mathbf{g}] + \mathbf{V} \quad (5)$$

从以上方程可以看出, $-\rho[2\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}_r + \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r})]$ 即为离心运动所引起的附加力项,其中 $2\rho(\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}_r)$ 为科氏力项。

3) 能量方程

$$\operatorname{div}(\rho \mathbf{v}_r T) = \operatorname{div}\left(\frac{k}{c_p} \operatorname{grad} T\right) + \frac{S_h}{c_p} \quad (6)$$

式中: T 为温度; k 为导热系数; c_p 为定压比热容; S_h 为容积发热率。

2.2 边界条件

为充分比较各种条件下的模拟结果,本文采用了三种模型,如图 3 所示。模型所对应的结构状态如表 1 所示。三种模型除因结构有无所涉及的边界条件外其它完全相同,整个腔体为封闭腔,所以流体没有出口以及入口边界条件。由于载温液具有惯性,外壁的顶部及四周视为恒温自由流体与材料为钢的壁面进行热交换,外壁底部为装置的最大温度耗散处,综合实际的传热情况后整合为一个对流系数,利用恒室温自由流对流与底部对流换热;导流罩壁设定为流固耦合面,材料为钢;热源的发热功率为 1.5 W,固定功率向四周散热。另外,离心风扇转速及离心机转速都为固定值。

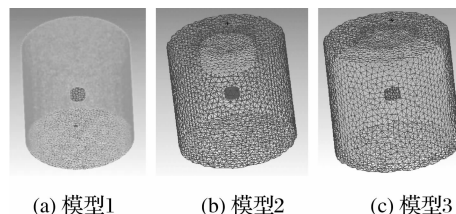


图 3 试验箱的三种模型网格划分

表1 试验箱的三种模型结构

模型	是否含风扇	是否含导流罩
1	否	否
2	是	否
3	是	是

3 离心环境下的温度均匀性仿真模拟

本文的仿真模拟是在 ICEM 下进行非结构网格划分,然后在 Fluent 软件下,利用流场与温度场的耦合原理计算完成。其中作为关键部分的离心风扇通过 CATIA 对实物风扇进行逆向建模完成,它能够体现出风扇附近的紊乱流场分布,对流场的分布能够更为明了。在计算过程中,采用的是标准 $k-\varepsilon$ 湍流模型。由于基本控温原理相同,这里仅对表2中条件进行模拟分析。

表2 仿真模拟条件列表

条件	是否含离心风扇	是否含导流罩	离心风扇转速/rpm
1	否	否	无
2	是	否	1000
3	是	是	1000
4	是	是	2000
5	是	是	3000

图4 为各模型中流场域内所有节点的温度以 z 为变量的分布情况。

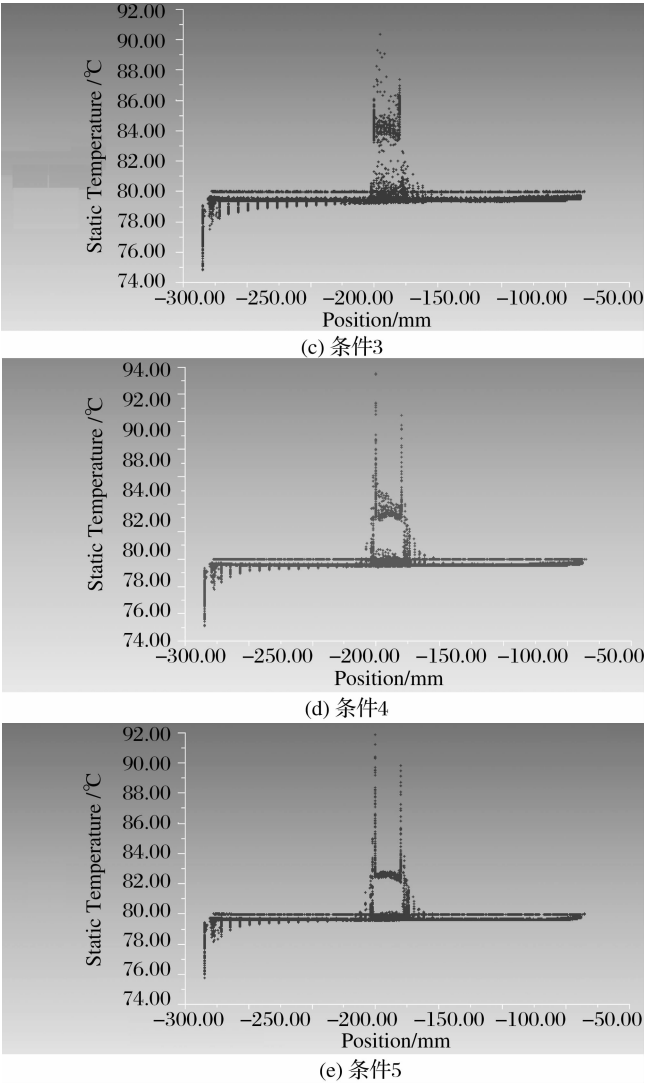
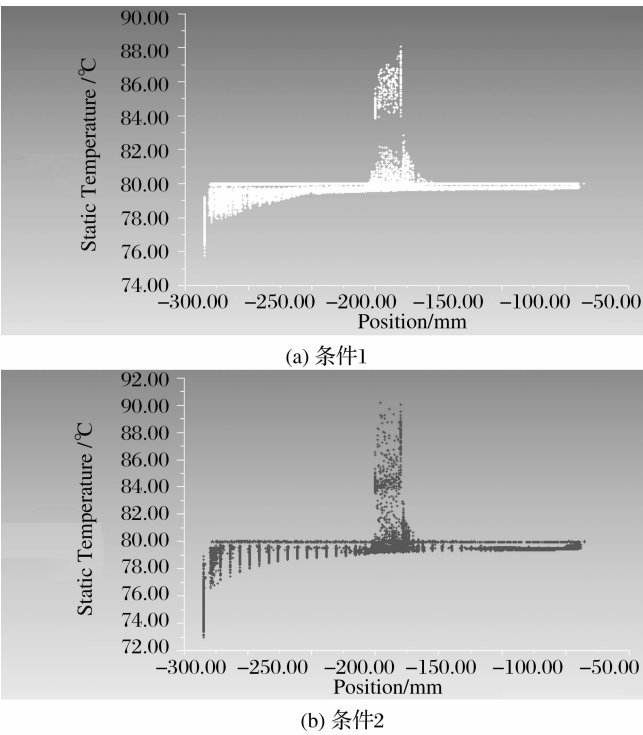


图4 z 向温度分布点图

将各条件下温度结果数据导入 Matlab 计算,结果见表3。

表3 温度平均值与方差结果

条件	温度平均值/℃	温度方差/℃
1	79.69	0.7550
2	79.48	0.0059
3	79.47	0.0056
4	79.58	0.0033
5	79.63	0.0011

从图4中可以直观看出,各节点温度集中程度越来越高,而通过表3的数据可以得到验证:随着温度方差的递减,节点温度值就越向平均值集中,温度均

匀性从条件1到5也越来越好。在条件5中的结果达到了本文中要求的温度均匀性指标。

4 温度均匀性分析总结

本文的主要目的,便是找出一种合理的途径使空气腔内的温度均匀性得到改善,以满足温度环境的测量要求。主要有以下几点:

- 1) 试验箱中载温油作为液体自身能够在高低温下保持良好的导热性,将壁面作为加热面对空气腔进行加热,极大提高了加热面积,可有效提高温度均匀性;
- 2) 通过风扇使温度箱内空气进行强迫对流换热;
- 3) 离心式风扇可增加空气中湍流的产生;
- 4) 增加导流气罩,加快换热速率,从而使得壁面上的速度梯度增加,热边界层厚度减薄。

4.1 模拟结果分析

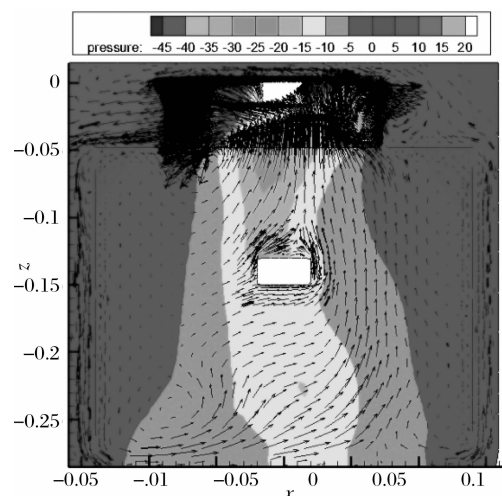
由于在离心加速度以及风扇的吸力作用下,气流会产生强烈的 z 向运动(x 向运动较弱),在这种情况下产生了科氏力,科氏力便可能导致气流场紊乱。为了使结果更为直观,采用了在条件3与条件5下 xoz 平面的对比图,如图5所示,在这个平面下可最大限度地观测到科氏力的影响。

通过图5(a),(b)两图可以看出,整个流场是由离心风扇转动将其下方的空气抽入,从侧面的风扇叶片排出。由于大量空气挤压作用形成高压,空气从外壁与导流罩构成的环形管道空间向下运动,在到达底部时进入空气罩内,并与外壁底部接触。由于离心风扇抽入空气在其下方所形成的低压区,空气会从底部向上进入低压区继续供离心风扇抽取,以此形成循环。

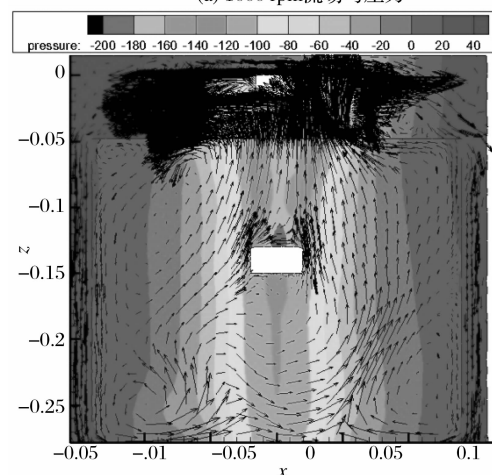
对于图5(a),由于风扇的转速不够,所以在左侧的导流罩出口处的气流速度不足,其上方形成的低压区不足以形成旋涡,在气流形成向上的气流后就由于科氏力的作用向右上方运动,导致在左侧部分的气流没有得到良好的搅拌,因此最左侧区域因扰动较少保持低速从而形成一个压力区。往中部靠近,由于风扇转动造成的低压区使得气流补充,但由于流速有限,所以在这之间形成了一个范围较大的压力区。而右侧区域也由于气流未能充分搅拌,所以最右侧形成了一个压力区。往中部靠近,遇到低速过渡气流从而产生了一个范围较大的压力区。所以整体上,图5(a)中压力分布被分成了几个大区;而图5(b)相对于图5(a)整体流速更大,在两侧的气流都有一定程度的回流,使空气得到充分的搅拌,所以压力过渡平缓,直

到靠近中部才由于流速的增大产生强烈的压力变化,形成大压力梯度。

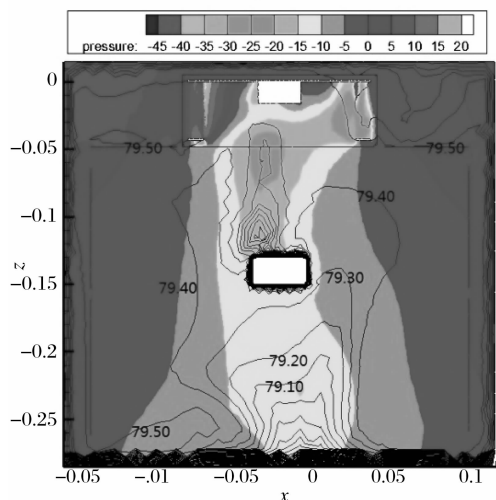
由于模型处于低速情况,空气都近似看作不可压缩流,所以可不考虑密度变化。通过完全气体状态方程^[4]可以知道,这时候温度与压力分布相似。从图5



(a) 1000 rpm 流场与压力



(b) 3000 rpm 流场与压力



(c) 1000 rpm 压力与等温线

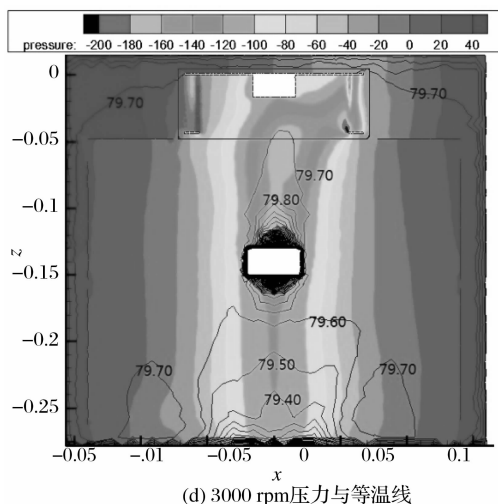


图5 1000 rpm 与 3000 rpm 对比图

(c), (d) 中可以看出, 压力的分布情况与温度的分布情况基本符合, 所以造成了两种情况下温度分布的差异情况。从温度等温线可以看出, 在 3000 rpm 的情况下, 该平面上的温度均匀性明显优于 1000 rpm 的情况下的温度均匀性, 这也与表 2 中的结果数据是一致的。

4.2 温度均匀性进一步改善的途径

1) 在空气腔内壁加入扰流柱。增加流体中的扰动是许多强化换热表面开发的依据^[5]。加入扰流柱后, 不仅有助于湍流的产生, 从而增加换热, 也可以增加壁面的换热面积, 使换热面增大。

2) 调整热源的位置。从流场图 (图 5 (a), (b)) 中可以看到, 由于热源的位置问题, 导致流线受其影响很大, 从而导致内部压强分布产生变化, 使得温度分布也受到影响。

通过加速度计的安装夹具可以调整加速度计在试验箱内的位置, 合理设置热源位置会使得温度均匀性进一步改善。

3) 加大电机功率, 增加风扇转速。从表 3 中可以看出, 当风扇的转速增大时, 整个流场的温度均匀性增加。更大的风扇转速可以使内部流场出现更大范围的湍流, 处于湍流状态下的流体, 由于存在不同温度的流体质点的漩涡运动与混合, 其传热速率较大, 也会使温度均匀性得到改善。

5 结论

经过以上模拟结果及理论分析, 可以确定文中提出的温度均匀性改善措施是有效的, 流场受到科氏力的影响可以提高风扇的转速进行抑制。同时, 文中提出了进一步改善温度均匀性的途径: 在空气腔内壁加入扰流柱; 调整热源的位置; 加大电机功率, 增加风扇转速。

参考文献

- [1] 任思聪. 实用惯导系统原理 [M]. 北京: 宇航出版社, 1988: 35-37.
- [2] 帕坦卡 SV. 传热与流体流动的数值计算 [M]. 张政, 译. 北京: 科学出版社, 1984: 13-25.
- [3] 陆书圣. 多参数复合环境试验装置中气压场控制技术的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- [4] 周俊杰, 徐国权, 张华俊. Fluent 工程技术与实例分析 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010: 14-17.
- [5] 陶文铨, 何雅玲. 对流换热及其强化的理论与试验研究最新进展 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2005: 13-15.

(上接第 4 页)

- [5] 何其伟, 於正前. 炉膛速度场声学检测装置 [J]. 自动化与仪器仪表, 2003, 10 (2): 41-45.
- [6] 颜华, 彭珍. 基于互相关和插值运算的声波飞行时间测量 [J]. 沈阳工业大学学报, 2008, 30 (6): 662-666.
- [7] 沈国清, 安连锁, 姜根山. 炉膛烟气温度声学测量方法的研究与进展 [J]. 仪器仪表学报, 2003, 24 (4): 555-558.
- [8] 王魁汉. 温度测量技术的现状及展望 [J]. 基础自动化, 1997, 16 (4): 1-6.
- [9] 彭珍. 声学法温度场检测技术研究 [D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2008.
- [10] 杨理践, 景晓斐, 宫照广. 输气管道音波泄漏检测技术的研究 [J]. 沈阳工业大学学报, 2007, 29 (1): 70-73, 102.

- [11] 宋志强, 李铁华, 李海涛. 声学法锅炉温度场检测技术的应用 [J]. 广东电力, 2004, 17 (6): 10-14.
- [12] 孙小平, 田丰, 刘立云, 等. 基于声波传感器的炉内温度测量方法研究 [J]. 仪表技术与传感器, 2005 (2): 26-28.
- [13] Holstein P, Raabe A, Muller R, et al. Acoustic tomography on the basis of travel time measurement [J]. Measurement Science & Technology, 2004, 15 (6): 1240-1248.
- [14] 田丰, 邵福群, 王福利, 等. 基于弯曲路径的复杂温度场重建算法仿真研究 [J]. 系统仿真学报, 2003, 15 (5): 621-623.
- [15] 杜富瑞, 张民, 施旭东, 等. 基于声波传播路径模拟的温度场重建算法研究 [J]. 计算机与现代化, 2011 (9): 22-27.

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2014.01.03

基于视觉信息的无人机自主着陆过程姿态角简化计算方法

曾志远¹, 许瑛²

(1. 南昌航空大学 航空制造工程学院, 江西 南昌 330063; 2. 南昌航空大学 飞行器工程学院, 江西 南昌 330063)

摘 要: 研究了一种基于地平线算法的无人机着陆过程中姿态角估算的改进方法。通过地面坐标系到摄像机坐标系的转换矩阵、机体坐标系到摄像机坐标系的变换矩阵、机体坐标系到地面坐标系的变换矩阵求解, 确定无人机的姿态信息; 利用无人机着陆过程中跑道的图像地平线和跑道数据等特征提取, 在获取摄像机姿态角的基础上, 计算无人机的滚转角和俯仰角, 用跑道特征来估算无人机偏航角; 通过矩阵变换解算出无人机的姿态角, 并通过仿真进行了实验验证。该方法对摄像机的安装位置没有特殊的要求, 解除了传统方法对摄像机安装位置的限制, 简化了无人机姿态信息的求解方法。

关键词: 无人机; 姿态信息; 安装位置; 算法

中图分类号: TB922; V279

文献标识码: A

文章编号: 1675-5795 (2014) 01-0010-03

Research on Estimation of Attitude of Vision-based Autonomous Navigation to the Landing of the UAV

ZENG Zhiyuan¹, XU Ying²

(1. School of Aeronautical Manufacturing Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China;

2. School of Aircraft Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

Abstract: Studies were made for improving the estimation of attitude angles during the landing of the UAV based on a new horizon detection algorithm. We used the transfer matrixes from ground coordinate system to the camera coordinate system, body coordinate system to the camera coordinate system and body coordinate system to the ground coordinates to determine the UAV attitude. After extracting the features of horizon and the runway from the pictures and analyzing the relationships between the horizon and runway characteristics and UAV attitude angle, we estimated the UAV roll angle and pitch angle and used the characteristics of the runway to estimate the UAV yaw angle on base of acquiring the attitude angle of the camera. Matrix transformation is used to calculate the attitude angle of the UAV and stimulation was carried out to verify the results. It is estimated that there is no special requirements on the installation position of the camera. As a result, it is feasible to remove restrictions on the installation location of the camera and simplify the method to estimate the UAV attitude information.

Key words: UAV; attitude information; installation location; algorithm

0 引言

无人机自主着陆是无人机研究中的难点之一。为了能够实现自主着陆, 无人机必须具备自主导航的能力^[1-2]。目前, 无人机的自主导航技术主要有惯性导航和 GPS 导航等。其中, 惯性导航在给定了初始条件后, 不需要外部参照就可确定当前位置、方向及速度,

不受到外界的影响, 但其定位误差是随时间积累的累积误差, 精度受到惯导系统的影响且无法单独使用; GPS 导航能够全天候提供准确的定位, 但其容易受到电磁干扰, 所以 GPS 导航并不是严格意义下的自主导航^[3-5]。随着计算机视觉技术和摄像机硬件的发展, 视觉导航由于其完全自主且无源等特点被越来越多地应用在无人机自主着陆的研究中。在视觉导航中, 很多研究者采用地平线算法来估算无人机的姿态角^[1,6-7]。他们首先假设无人机的 by_bz_b 平面与摄像机的像平面平行, 然后通过获得的地平线的参数可以得到无人机的滚转角和俯仰角。在获得滚转角和俯仰角的前提下, 通过图像中的跑道的两条边界直线可以确

收稿日期: 2013-12-11; 收修稿日期: 2014-01-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51365042)

作者简介: 曾志远 (1989-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为数字化设计与制造; 许瑛 (1962-), 女, 教授, 硕士生导师, 研究方向为飞机装配自动化连接技术。

定无人机的偏航角。采用此种方法,对摄像机的安装位置有一定的限制。

本文提出了一种无人机姿态角估算方法。首先,在无人机获得跑道图像后,通过视觉系统提取出跑道和地平线特征,对摄像机的姿态角进行估算;然后,通过矩阵转换求得无人机的姿态角。该方法不用确保无人机的 by_bz_b 平面与摄像机的像平面平行,摄像机的位置可以任意安装而不受到限制。

1 视觉导航系统原理

采用视觉导航技术实现无人机自主着陆必须用到摄像机。因为摄像机的作用是用来拍摄无人机着陆过程中图像的,所以除了设计要求外,对摄像机的安装位置没有其他要求。伴随着无人机的着陆,无人机上的摄像机会拍摄到着陆过程中的一系列图像。研究所拍摄到的图像特征后,我们发现图像中主要包括了天空、跑道和跑道周围的景物,而且图像中显著的两个特征是地平线和跑道的边界线。

摄像机获取图像后,首先进行图像分割,将数字图像细分为多个像素的集合,这样可以简化图像的表示形式,使图像更容易理解和分析。然后对图像中的地平线和跑道特征进行提取,接着就可以根据提取出来的特征,对无人机的姿态角进行估算。如图1所示。

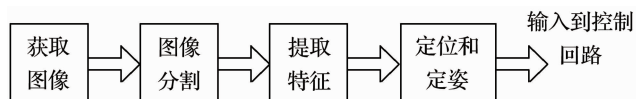


图1 图像处理过程

2 无人机坐标系的建立

无人机的坐标系如图2所示。 g 为绝对坐标系的原点, x_g 轴的方向与跑道中心线方向相同, z_g 轴与跑道平面垂直且方向向下, y_g 轴与 x_g 、 z_g 轴满足右手定则; b 为无人机机体坐标系的原点, bx_b 轴与 gx_gy_g 平面的夹角即为俯仰角, bx_b 轴在 gx_gy_g 平面的投影与 gx_g 的夹角即为偏航角, bz_b 轴与包含 bx_b 轴的铅垂平面的夹角即为滚转角; c 为摄像机坐标系的原点, x_c 轴与摄像机光轴平行; D 为跑道上任意一点。

3 摄像机姿态角的计算

3.1 滚转角的计算

建立如图3所示的像平面坐标系,图中直线 H 为对相片进行图像处理得到的地平线,平面 V 为过轴

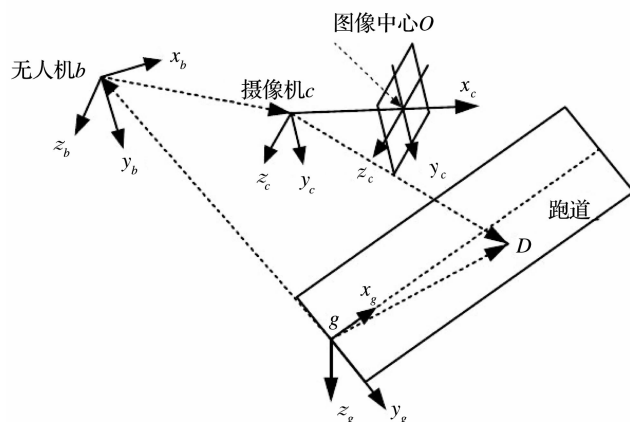


图2 无人机坐标系

x_c 且与地平线 H 垂直的平面。由滚转角的定义,滚转角为 Oz_c 轴与包含 Ox_c 轴的铅垂平面的夹角,方向与 Ox_c 轴方向一致,右滚转为正。所以,图中角 ϕ_c 即为所求的滚转角,大小为地平线 H 与 y_c 轴的夹角或与 y_c 轴平行的像平面一条边的夹角。

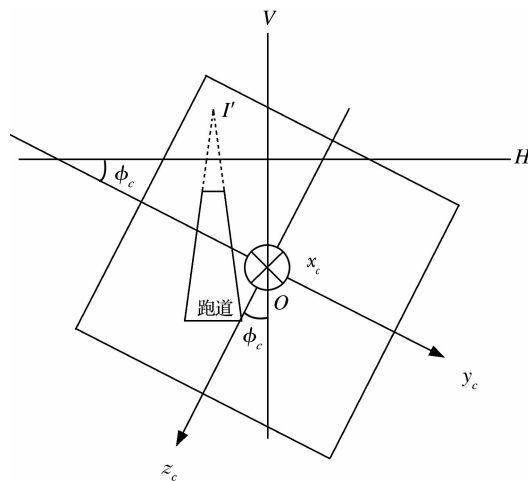


图3 摄像机滚转角

3.2 俯仰角计算

图3中,地平线 H 用参数 (ϕ_c, σ) 来表示。其中, ϕ_c 为地平线 H 相对于所得图像中 y_c 轴的角度, ϕ_c 的范围为 $-\frac{\pi}{2} \sim \frac{\pi}{2}$; σ 表示地平线以上的图像面积占整个图像面积的百分比,范围为 $0\% \sim 100\%$ 。

对于俯仰角的估算,从图像中提取出来的跑道特征来估算摄像机的俯仰角^[8]:

$$\theta_c = \arctan \frac{(\sigma - 0.5) W d_y \cos \phi_c}{f} - \arccos \frac{r}{r + h} \quad (1)$$

式中: W 为图像中的纵向像素点的数目; d_y 为一个像

素的纵向长度; f 为摄像机的焦距; r 为地球半径; h 为无人机进场时的初始高度。

3.3 偏航角估算

在图 3 中, 像中心 O 的坐标为 (O_u, O_v) , 图像中灭点 I' 的坐标为 (I'_u, I'_v) 。将 I' 点绕 O 点旋转一滚转角 ϕ 得到 I'' , 坐标为 (I''_u, I''_v) , h' 为 I'' 到 O 点的距离^[9]。则估算方法如下:

$$\psi_c = \arctan\{h' \sin[\arctan[(I''_u - O_u)/(I''_v - O_v)]]/f\} \times \operatorname{sgn}(I''_u - O_u) (\pi/180) \quad (2)$$

式中:

$$\operatorname{sgn}(I''_u - O_u) = \begin{cases} 1, & I''_u - O_u < 0 \\ 0, & I''_u - O_u = 0 \\ -1, & I''_u - O_u > 0 \end{cases} \quad (3)$$

4 飞机姿态角的计算

根据前文已经估算出的摄像机的三个姿态角 ϕ_c , θ_c , ψ_c , 代入公式 (4) 就可以求出地面坐标系到摄像

机坐标系的转换矩阵 $S_{c/g}$, 结果为

$$S_{c/g} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_4 & a_5 & a_6 \\ a_7 & a_8 & a_9 \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中: $a_1 = \cos\theta_c \cos\psi_c$

$$a_2 = \cos\theta_c \sin\psi_c$$

$$a_3 = -\sin\theta_c$$

$$a_4 = \sin\phi_c \sin\theta_c \cos\psi_c - \cos\phi_c \sin\psi_c$$

$$a_5 = \sin\phi_c \sin\theta_c \sin\psi_c + \cos\phi_c \cos\psi_c$$

$$a_6 = \sin\phi_c \cos\theta_c$$

$$a_7 = \cos\phi_c \sin\theta_c \cos\psi_c + \sin\phi_c \sin\psi_c$$

$$a_8 = \cos\phi_c \sin\theta_c \sin\psi_c - \sin\phi_c \cos\psi_c$$

$$a_9 = \cos\phi_c \cos\theta_c$$

当摄像机固定在无人机上时, 摄像机的坐标系相对于无人机坐标系的位置是固定的, 因此摄像机坐标系在无人机坐标系下的姿态角: 滚转角 $\phi_{c/b}$, 俯仰角 $\theta_{c/b}$ 和偏航角 $\psi_{c/b}$ 为固定值。由此可以得到无人机坐标系到摄像机坐标系的变换矩阵为常数矩阵 $S_{c/b}$ 。表示为

$$S_{c/b} = \begin{bmatrix} \cos\theta_{c/b} \cos\psi_{c/b} & \cos\theta_{c/b} \sin\psi_{c/b} & -\sin\theta_{c/b} \\ \sin\phi_{c/b} \sin\theta_{c/b} \cos\psi_{c/b} - \cos\phi_{c/b} \sin\psi_{c/b} & \sin\phi_{c/b} \sin\theta_{c/b} \sin\psi_{c/b} + \cos\phi_{c/b} \cos\psi_{c/b} & \sin\phi_{c/b} \cos\theta_{c/b} \\ \cos\phi_{c/b} \sin\theta_{c/b} \cos\psi_{c/b} + \sin\phi_{c/b} \sin\psi_{c/b} & \cos\phi_{c/b} \sin\theta_{c/b} \sin\psi_{c/b} - \sin\phi_{c/b} \cos\psi_{c/b} & \cos\phi_{c/b} \cos\theta_{c/b} \end{bmatrix} \quad (5)$$

变换矩阵之间存在着如下关系:

$$S_{c/g} = S_{c/b} S_{b/g} \quad (6)$$

把式 (4) 求出的地面坐标系到摄像机坐标系的转

换矩阵 $S_{c/g}$ 和常数矩阵 $S_{c/b}$ 代入到式 (6) 中, 即可求出机体坐标系到地面坐标系的变换矩阵 $S_{b/g}$ 。可以表示为

$$S_{b/g} = \begin{bmatrix} \cos\theta_b \cos\psi_b & \cos\theta_b \sin\psi_b & -\sin\theta_b \\ \sin\phi_b \sin\theta_b \cos\psi_b - \cos\phi_b \sin\psi_b & \sin\phi_b \sin\theta_b \sin\psi_b + \cos\phi_b \cos\psi_b & \sin\phi_b \cos\theta_b \\ \cos\phi_b \sin\theta_b \cos\psi_b + \sin\phi_b \sin\psi_b & \cos\phi_b \sin\theta_b \sin\psi_b - \sin\phi_b \cos\psi_b & \cos\phi_b \cos\theta_b \end{bmatrix} \quad (7)$$

很容易看出, 矩阵中第一行和第三列之间存在如下的关系:

$$S_{b/g}(1,2)/S_{b/g}(1,1) = \tan\psi_b \quad (8)$$

$$S_{b/g}(1,3) = -\sin\theta_b \quad (9)$$

$$S_{b/g}(2,3)/S_{b/g}(3,3) = \tan\phi_b \quad (10)$$

由公式 (8)、公式 (9) 和公式 (10) 可以得到无人机的偏航角, 俯仰角和滚转角的估算式, 其结果为

$$\psi_b = \arctan(S_{b/g}(1,2)/S_{b/g}(1,1)) \frac{\pi}{180} \quad (11)$$

$$\theta_b = \arcsin(-S_{b/g}(1,3)) \frac{\pi}{180} \quad (12)$$

$$\phi_b = \arctan(S_{b/g}(2,3)/S_{b/g}(3,3)) \frac{\pi}{180} \quad (13)$$

所以, 求出机体坐标系到地面坐标系的变换矩阵 $S_{b/g}$, 然后把 $S_{b/g}$ 中的元素代入式 (11)、式 (12) 和式 (13) 中, 即可估算出无人机的三个姿态角。

5 算例验证

无人机获取跑道的图像后, 首先提取出图像中的地平线和跑道的特征方程如表 1 所示。

表 1 提取出的直线方程

序号	地平线直线方程	跑道右边缘直线方程	跑道左边缘直线方程
1	$Y = 0.0030X - 0.6326$	$Y = -1.0553X + 0.1880$	$Y = 3.2123X - 2.4041$
2	$Y = 0.0016X - 0.7867$	$Y = -1.0834X + 0.3815$	$Y = 2.9710X - 3.4457$
3	$Y = 0.0360X - 0.6800$	$Y = -0.9247X + 0.5948$	$Y = 1.0070X - 0.9281$

(下转第 25 页)

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2014.01.04

时差法测频问题分析与修正

易韦韦

(中国西安卫星测控中心, 陕西 西安 710043)

摘要: 针对现行的 JJG 292-2009《铷原子频率标准检定规程》中采用时差法测量得出相对平均频率偏差的方法在两种特殊情况下可能会出现错误的问题, 从原理上分析了产生错误的原因, 推导得到了满足各种情况的计算公式, 并通过具体数值例子说明本文讨论的必要性。

关键词: 时差法; 测频; 相对平均频率偏差

中图分类号: TB939

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795 (2014) 01-0013-02

Analysis and Correction on Frequency Measurement Based on Time Difference Method

YI Weiwei

(China Xi'an Satellite Control Center, Xi'an 710043, China)

Abstract: The time difference method is used to calculate the average frequency relative bias according to the current JJG 292-2009 Verification Regulation of Rubidium Frequency Standards. But this method will make mistakes in two special cases. For solving the problem, the special causes are analyzed, the corrected formulae are deduced for different cases and the necessity of the discussion is stated by means of the numerical examples.

Key words: time difference method; frequency measurement; average frequency relative bias

0 引言

现行的 JJG 292-2009《铷原子频率标准检定规程》指出可采用时差法对铷原子频率标准的开机特性、日频率漂移率、频率复现性和频率准确度进行检定, 并给出了相应的数据处理及计算方法^[1]。但在一些特殊情况下, 规程给出的用时差法计算平均频率偏差的方法可能出现错误, 本文针对这一问题, 探讨了时差法测频的数据处理分析方法, 给出了较为完善的计算公式。

1 时差法原理

JJG 292-2009 规程阐述了时差法测量频率准确度的原理 (如图 1 所示): 计数器测量两个输入秒脉冲 (1PPS) 的时差, 被检铷频标的 1PPS 作为启动信号, 参考频标的 1PPS 作为停止信号, 连续测量两次, 两次的间隔 $\tau = 300$ s, 测得的时差值分别为 X_1 和 X_2 , 按式 (1) 计算相对平均频率偏差^[1-3]

$$y = \frac{X_2 - X_1}{300} = \frac{f_x - f_0}{f_0} = a \times 10^{-n} \quad (1)$$

收稿日期: 2013-08-17; 收修改稿日期: 2013-09-25

作者简介: 易韦韦 (1980-), 男, 江西宜春人, 工程师, 博士, 主要研究方向为时间频率计量。

式中: f_0 为被检频标的频率标称值; f_x 为被检频标的频率输出值; $a \times 10^{-n}$ 为所计算结果的科学计数法表述。

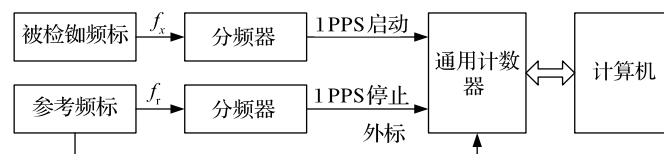


图1 时差法测频原理

根据式 (1) 计算结果可进一步得到频率准确度^[1]

$$A = ([|a|] + 1) \times 10^{-n} \quad (2)$$

2 存在问题及解决方法

JJG 292-2009 规程规定所能检定铷原子频标频率准确度范围为 $2 \times 10^{-10} \sim 5 \times 10^{-11}$ ^[1], 根据式 (2) 和 (1) 可得相对平均频率偏差范围为^[4]

$$y \in (-2 \times 10^{-10}, -4 \times 10^{-11}] \cup [4 \times 10^{-11}, 2 \times 10^{-10}) \quad (3)$$

$$f_x = (y + 1)f_0 \quad (4)$$

由于 $y \neq 0$, 因此被检铷频标经分频器输出的 1PPS 不准确, 1PPS 对应的实际间隔值 ΔT 为^[5]

$$\Delta T = 1/(y + 1) \quad (5)$$

图 2 为时差法测频时序图。图中垂直于时间轴的高线表示参考频标转化输出的 1PPS 信号（两高线间隔为标准 1s），矮线为被检铷频标转化输出的 1PPS。 t_1 时刻开始测量， t_3 时刻结束测量，即 $t_3 - t_1 = 300$ s。两次测量的时差值分别为图中 X_1 和 X_2 。下面讨论图 2 所示三种情况下时差测频结果。由于 300 s 内两个频标稳定性带来的干扰非常小，因此下面的分析中将其忽略。

依据时差法测频原理及式 (5) 和图 2 可得

$$t_4 - t_2 = 300/(y+1) \quad (6)$$

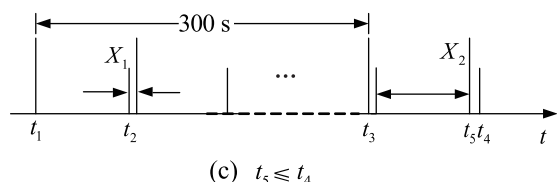
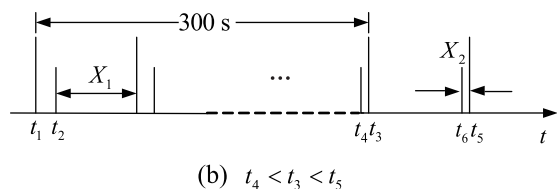
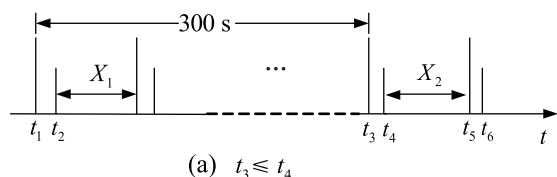


图 2 时差法测频时序图

2.1 当 $t_3 \leq t_4$ 时

这是最为普通、最为常见的一种形式。依据图 2 (a) 所示各时刻关系，可得第二次测量的时差值 X_2 和实际的时间间隔 τ 分别为

$$X_2 = t_5 - t_4 = X_1 + 300y/(y+1), \tau \approx 300 \text{ s} \quad (7)$$

结合式 (3) 和式 (7) 可得，当 $t_3 \leq t_4$ 时， $X_2 - X_1 = 300y/(y+1)$ 的取值范围为 $((-6 \times 10^{-8} \text{ s}, -1.2 \times 10^{-8} \text{ s}) \cup (1.2 \times 10^{-8} \text{ s}, 6 \times 10^{-8} \text{ s}))$ 。

这种情况下，采用式 (1) 可以得到正确的结果为

$$\tilde{y} = (X_2 - X_1)/300 = y/(y+1) \approx y \quad (8)$$

2.2 当 $t_4 < t_3 < t_5$ 时

由式 (6) 可知此时 $y > 0$ ，且

$$0 < (1 - X_1) \leq (300 - 300/(y+1))$$

简化上式可得

$$(1 - 300y/(y+1)) \leq X_1 < 1 \quad (9)$$

由式 (3) 可知， $|y|$ 的值很小，所以 $X_1 \rightarrow 1$ 。

依据图 2 (b) 所示各时刻关系，第二次测量的时差值 X_2 和实际的时间间隔 τ 分别为

$$X_2 = t_5 - t_6 = -1 + X_1 + 301y/(y+1), \tau \approx 301 \text{ s} \quad (10)$$

因 $X_1 \rightarrow 1$ ，所以可见 $X_2 \rightarrow 0$ 。结合式 (3)，(9) 和 (10) 可得，当 $t_4 < t_3 < t_5$ 时， $X_2 - X_1 = -1 + 301y/(y+1)$ 的取值范围为 $(-0.999\,999\,988 \text{ s}, -0.999\,999\,940 \text{ s})$ 。

相对平均频率偏差按照 (1) 式的计算结果 $\tilde{y}$ 为

$$\tilde{y} = (X_2 - X_1)/300 = (-1 + 301y/(y+1))/300$$

显然这是错误的。实际上其值应为

$$\tilde{y} = (X_2 - (X_1 - 1))/301 = y/(y+1) \approx y \quad (11)$$

2.3 当 $t_5 \leq t_4$ 时

由式 (6) 可知此时 $y < 0$ ，且

$$0 < X_1 \leq (300/(y+1) - 300) \quad (12)$$

由式 (3) 可知， $|y|$ 的值很小，所以 $X_1 \rightarrow 0$ 。

依据图 2 (c) 所示各时刻关系，第二次测量的时差值 X_2 和实际的时间间隔 τ 分别为

$$X_2 = 1 + X_1 + 299y/(y+1), \tau \approx 299 \text{ s} \quad (13)$$

因 $X_1 \rightarrow 0$ ，所以可见 $X_2 \rightarrow 1$ 。结合式 (3)，(12) 和 (13) 可得，当 $t_5 \leq t_4$ 时， $X_2 - X_1 = 1 + 299y/(y+1)$ 的取值范围为 $(0.999\,999\,940 \text{ s}, 0.999\,999\,988 \text{ s})$ 。

显然，采用式 (1) 无法计算出正确的测频结果。而应该采用下式计算

$$\tilde{y} = ((X_2 - 1) - X_1)/299 = y/(y+1) \approx y \quad (14)$$

2.4 合成公式

依据上述分析，将式 (3)，(9)，(11) 和 (14) 结合，得到下面的时差法计算相对平均频率偏差的公式，有

$$\tilde{y} = \begin{cases} \frac{(\Delta X + 1)}{\tau + 1}, & \Delta X \in (-0.999\,999\,988 \text{ s}, -0.999\,999\,940 \text{ s}) \\ \frac{\Delta X}{\tau}, & \Delta X \in (-6 \times 10^{-8} \text{ s}, -1.2 \times 10^{-8} \text{ s}) \cup (1.2 \times 10^{-8} \text{ s}, 6 \times 10^{-8} \text{ s}) \\ \frac{(\Delta X - 1)}{\tau - 1}, & \Delta X \in (0.999\,999\,940 \text{ s}, 0.999\,999\,988 \text{ s}) \end{cases} \quad (15)$$

(下转第 18 页)

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2014.01.05

GZ-10 型高精度数字式表面电阻测试仪的研制

孔令刚^{1,2}

(1. 中煤科工集团重庆研究院, 重庆 400037; 2. 瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室, 重庆 400037)

摘 要: 静电火花是煤矿、加气站等有危险气体场所发生爆炸的主要点火源之一。为防止静电火花产生, 关键是设备和材料必须具有抗静电性能, 而评价聚合物制品抗静电性能的主要方法是用表面电阻测试仪测量其表面电阻。本文介绍了研制的新型 GZ-10 型高精度数字式表面电阻测试仪的系统组成及硬件设计。该表面电阻测试仪采用低阻档和高阻档两组测试电路, 高阻档测试电路测量双取样电阻的电压, 低阻档电路采用比例法, 克服了普通表面电阻测试仪因被测电压或电流的变化而变化的缺点, 保证了测量的准确性。

关键词: 高精度; 数字式; 表面电阻; 测试仪

中图分类号: TB971

文献标识码: B

文章编号: 1674-5795 (2014) 01-0015-04

Development of GZ-10 High-precision Digital Surface Resistance Tester

KONG Linggang^{1,2}

(1. Chongqing Research Institute of China Coal Technology and Engineering Group, Chongqing 400037, China; 2. State Key Laboratory of Gas Disaster Monitoring and Emergency Technology, Chongqing 400037, China)

Abstract: Static electricity spark is one of the main ignition sources in such dangerous places as coal mines and gas stations with the potential of gas explosion. The key measure to prevent the generation of electrostatic spark is to ensure that the equipment and materials be antistatic. For evaluating their antistatic performance, the main method is to measure the surface resistance of polymer products with high resistance meters. This paper introduced the system composition and hardware design of the new GZ-10 high-precision digital surface resistance tester. This tester is composed of two testing circuits; one for low resistance and the other for high resistance. The high-resistance testing circuit adopts the way of measuring voltage of double sampling resistors, and the low-resistance testing circuit adopts proportional method. It can overcome the disadvantages of common surface resistance testers which change with the variation of the measured voltage or current, and can ensure the measurement accuracy.

Key words: high-precision; digital; surface resistance; tester

0 引言

科学技术的发展推动了非金属材料在各行各业的广泛应用。非金属材料以其质轻、耐腐蚀、高抗冲击性、易加工、性价比优等特点逐渐发展成“以塑代钢”的一个新兴产业, 并取得了良好的社会效益。非金属材料为高分子聚合物, 其显著特点是易产生静电集聚。大量事故调查分析表明, 静电火花是煤矿、化工等有危险气体场所发生爆炸的主要点火源之一。在石油、化工、电子、橡胶、塑料等行业中, 防静电是预防事故发生的重要内容^[1]; 在煤炭行业, 控制静电

火花是有效控制瓦斯、煤尘爆炸事故的主要手段之一。控制静电火花的关键在于设备和材料必须具有抗静电性能, 聚合物制品的抗静电性能主要是用表面电阻测试仪测量聚合物制品的表面电阻来评价。

模拟式表面电阻测试仪和一些常用的数字式表面电阻测试仪的工作原理是测量电压 U 固定, 通过测量取样标准电阻上的电压 U_s 来得到被测电阻值 R_x 。其计算公式为 $R_x = R_s \cdot U / U_s$ ^[2], 式中 R_s 为取样标准电阻值。由于 R_x 是与 U_s 成反比, 所以电阻的显示值是非线性的, 即电阻无穷大时, 电压为零。对于模拟式表面电阻测试仪, 表头的零位处是 ∞ , 此处的刻度非常密, 分辨力很低, 整个刻度是非线性的。又由于测量不同的电阻时, 其电压也会有些变化, 所以普通的表面电阻测试仪的精度是很难提高的。这就给危险气体场所埋下了静电火花事故的隐患。

收稿日期: 2013-10-14; 收修改稿日期: 2013-12-10

作者简介: 孔令刚 (1969-), 男, 高级工程师, 主要从事煤矿安全检测技术的研究工作。

研制高精度的聚合物制品抗静电性表面电阻测试仪, 有利于加强聚合物制品抗静电安全性检验, 预防静电的产生, 促进安全生产。

1 系统设计

本仪器由单片机进行控制和运算, 被测电阻通过测试电路测量, 然后经阻抗变换及放大, 信号送给模数转换器进行 A/D 转换, 并将得到的数字信号送给单片机, 通过软件设计能够实现电阻阻值的判断测量, 最后通过显示电路将被测电阻显示出来, 系统框图如图 1 所示。

为了准确测量待测电阻, GZ-10 型高精度数字式表面电阻测试仪内部设计了两套测试电路, 通过测量转换档位开关来切换。当待测电阻小于 $2\text{ M}\Omega$ 时, 采用低阻档测试电路测量; 当待测电阻大于或等于 $2\text{ M}\Omega$ 时, 采用高阻档测试电路测量。

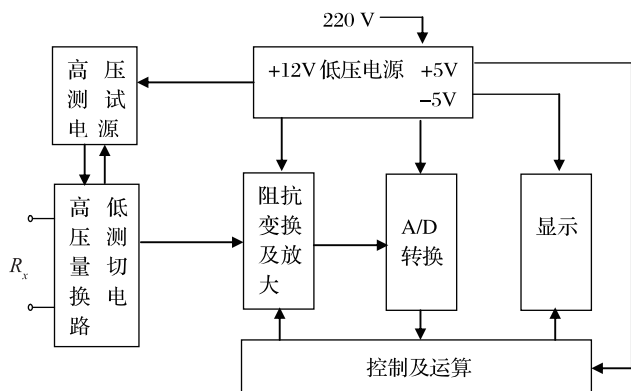


图1 系统组成框图

2 硬件设计

2.1 电源

低压电源采用 GZM-H45T5 + 12 - 5R 成品开关电源, 可提供 -5 V , $+5\text{ V}$ 和 $+12\text{ V}$ 直流电源供仪器使用。

高压测试电源采用 LHPSIMDAC 型可调高压模块, 其输入电压为 12 V 的直流电, 直流高压输出在 $0 \sim 1100\text{ V}$ 范围内用电位器连续可调。根据仪表要求, 采用电阻分压分段调节, 使输出为 $50, 100, 250, 500, 1000\text{ V}$ 等各档。输出短路电流为 3 mA 。

2.2 高阻档测量电路

采用测量双取样电阻的电压来计算被测电阻的方法, 如图 2 所示。 U 为测试电压, R_x 为待测未知电阻, R_1 为降压电阻, R_{01} 和 R_{x0} 为取样电阻, U_0 和 U_{x0} 为取样

电压, 则

$$R_x = \frac{U_0}{U_{x0}} \left(\frac{R_1 + R_{01}}{R_{01}} \right) R_{x0} - R_{x0} \quad (1)$$

令 $\left(\frac{R_1 + R_{01}}{R_{01}} \right) R_{x0} = k$ (k 值与该档电阻值有关), 则

$$R_x = k \frac{U_0}{U_{x0}} - R_{x0} \quad (2)$$

当 $k \gg R_{x0}$ 时

$$R_x = k \frac{U_0}{U_{x0}} \quad (3)$$

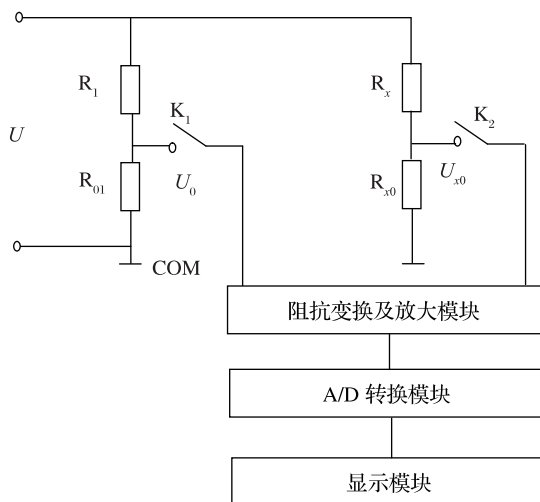


图2 高阻档测量电路

即 k 值仅与电路的电阻值有关, 当电路调定时, k 值也不会再变, 档位一定时 k 值可调节成该档 10 的整数幂。如 $k = 10\,000$, 则 $R_x = \frac{U_0}{U_{x0}} \times 10^4$ 。 U_0 和 U_{x0} 经电子

开关 K_1 和 K_2 相继送入 A/D 转换电路转换成数字量, 再经程序控制器作除法运算得到 U_0 和 U_{x0} 的比值, 即待测电阻的数字量, 根据档位 (即 k 值大小) 确定其幂指数。因此, 待测电阻 R_x 仅与当时所测得的 U_0 和 U_{x0} 的比值及 k 值有关, 不像普通表面电阻测试仪那样因被测电压或电流的变化而变, 所以其测量精度很高。

2.3 低阻档测量电路

低阻档采用比例法测量电路, 如图 3 所示。 R_0 为基准电阻, R_x 为待测电阻, 采用 7135 的双积分 A/D 转换器, U_{in} 为输入电压, U_{ref} 为基准电压, N 为输出值 (数值), 则

$$N = 20\,000 \frac{R_x}{R_0} \quad (4)$$

改变基准电阻 R_0 , 即可改变待测电阻档位, 如取 R_0 为 $20\,000\ \Omega$ 时, A/D 转换器的输出值 $N = R_x$, 即输

出值就是待测电阻值。通过档位改变 R_0 ，如 $R_0 = 2\ 000\ \Omega$ 时， $N = 10R_x$ ，即输出值是 10 倍待测电阻，只需改变小数点位置即可。因此，待测电阻值 R_x 仅与基准电阻值 R_0 有关，不像普通表面电阻测试仪那样因被测电压或电流的变化而变，所以，选用高精度的基准电阻可提高其测量精度。

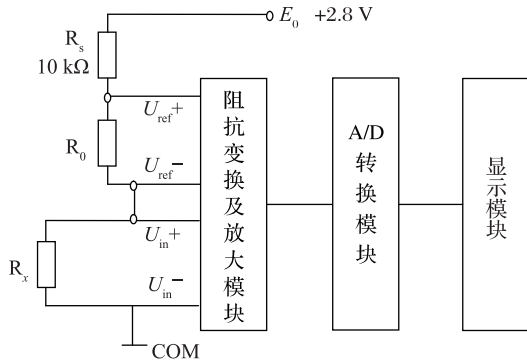


图3 低阻档测量电路

2.4 阻抗变换及放大模块

为提高仪器的输入阻抗、减少其分流作用带来的测量误差，仪器采用了静电级运放集成电路 OPA128 进行阻抗变换。为测量大于 10^{12} 以上的电阻，在阻抗变换级后连接了可编程放大器 OGA204U，通过改变可编程放大器的 A_0 ， A_1 的输入电平，使可编程放大器增益从 1，10，100 到 1 000 可调，从而方便程序判别和控制。

2.5 A/D 转换模块

整个仪器的测量精度的提高以及测量速度的提升，还取决于模数转换电路^[3]。本仪器采用 ICL7135 双积分式 4 位半 A/D 转换器，由单片微机控制其 A/D 转换及数据运算处理，并将结果送显示模块显示。

2.6 显示模块

数码显示优于模拟显示或发光二极管显示，因为模拟显示较难读数，而发光二极管显示较难确定量级^[4]。本仪器显示模块由显示驱动集成电路 HD7279 与 6 位 LED 数码管构成，其中 1 英寸（25.4 mm）LED 数码管 4 位显示待测电阻值，0.3 英寸（7.62 mm）LED 数码管 2 位显示待测电阻的幂（即方次）。

2.7 低阻值测量转换档位开关和高阻值测量转换档位开关

1) 在测量 $2\ M\Omega$ 以下电阻时，低阻值测量转换档位开关通过切换不同的基准电阻 R_0 的电阻值，以改变其测量范围；当转换至大于 $2\ M\Omega$ 档，即改变电路连接，切换到高阻值测量档。

2) 高阻值测量转换档位开关根据测试电压换档并进行控制：①切换高压测试电源的分档电阻值；②切换测试电压的降压电阻的电阻值 R_1 和取样电阻的电阻值 R_{01} ；③切换待测电阻的取样电阻的电阻值 R_{x0} ，通过高低阻值换档开关切换，使待测电阻在合适的档位达到准确测量的目的。

3 样机测试

研制的 GZ-10 型高精度数字式表面电阻测试仪通过了法定计量检定机构的性能测试，测试结果如表 1。

表 1 GZ-10 型高精度数字式表面电阻测试仪误差测试结果

测试档位	标准值/ Ω	仪器显示值/ Ω	相对误差/%
低电压测试档	5.00000×10^4	4.9600×10^4	0.8
	1.00000×10^5	9.9620×10^4	0.38
	1.50000×10^5	1.4915×10^5	0.57
50 V 电压测试档	1.00000×10^6	1.0353×10^6	3.5
	2.00000×10^6	2.0067×10^6	0.34
	5.00000×10^6	4.927×10^6	1.46
	10.0000×10^6	9.817×10^6	1.83
100 V 电压测试档	1.00000×10^7	1.0322×10^7	3.22
	2.00000×10^7	2.0172×10^7	0.86
	5.00000×10^7	4.985×10^7	0.3
	10.0000×10^7	9.975×10^7	0.25
250 V 电压测试档	1.00000×10^8	1.0215×10^8	2.15
	2.00000×10^8	2.0026×10^8	0.13
	5.00000×10^8	4.954×10^8	0.92
	10.0000×10^8	9.910×10^8	0.9
500 V 电压测试档	1.00000×10^9	1.0207×10^9	2.07
	2.00000×10^9	2.0023×10^9	0.12
	5.00000×10^9	4.959×10^9	0.82
	10.0000×10^9	9.925×10^9	0.75
1 000 V 电压测试档	1.00000×10^{10}	1.0124×10^{10}	1.2
	1.30000×10^{10}	1.3036×10^{10}	0.28

测试结果表明，该表面电阻测试仪的测试相对误差小于等于 3.5%，精度较高。

4 结语

GZ-10 型高精度数字式表面电阻测试仪采用低阻档和高阻档两组测试电路进行分段测量,待测电阻值 R_x 不随被测电压或电流的变化而变化,因而保证了表面电阻测量的准确性;采用 ICL7135 A/D 转换器和单片微机控制其 A/D 转换及数据运算,并使用数码管显示测量结果,显示迅速且读数方便。

参 考 文 献

- [1] 开胜. BL-87 型数字高阻计通过技术鉴定 [J]. 劳动保护, 1988 (6): 40.
- [2] 林学江. 高阻计和高阻测试技术 [J]. 电测与仪表, 1987 (11): 42.
- [3] 刘艳云, 付华良. 基于 STC89C54RD 单片机和 AD574 的高精度电阻测试仪的设计 [J]. 电子测试, 2013 (9): 46.
- [4] 郑芝明. 浅谈表面电阻测试仪 [J]. 科学之友, 2012 (4): 22.

(上接第 14 页)

式中: $\Delta X = X_2 - X_1$, $\tau = 300$ s。

式 (15) 是针对 JJG 292 - 2009《铷原子频率标准》检定规程推导得出的, 其中 ΔX 的取值范围只是针对式 (3) 所限定的范围给出的。

事实上, 式 (15) 可以进一步扩展其应用范围。

1) 被检件的相对平均频率偏差范围可扩展。当被检件的相对平均频率偏差范围与式 (3) 不一致时, 可采用前文分析方法修正 ΔX 取值范围, 从而使得式 (15) 仍然适用。实际应用中, 可以人为地设置较宽的相对平均频率偏差范围, 得到宽松的 ΔX 取值范围, 从而提高式 (15) 的适用范围。

2) 测量时间间隔可扩展。式 (15) 对应的测量时间间隔 τ 为 300 s。当 $\tau \neq 300$ s 时, 采用前文分析方法修正 ΔX 取值范围, 同时将分母修正 (例如时间间隔为 1 天, τ 修正为 86400 s), 修正后, 式 (15) 仍然适用。

3) 被检频率标准类型可扩展。当被检件为非铷原子频率标准时, 例如为石英晶体频率标准或其它原子频率标准, 若测量过程中使用了时差法, 在修正了 τ 值和 ΔX 取值范围后, 均可使用式 (15) 得到正确的相对平均频率偏差。

3 例证

1) 设 $y > 0$, 第一个时差值 $X_1 = 0.999\,999\,995$ s, 由式 (3) 和式 (10) 可得 300 s 后测量的第二个时差值 X_2 范围约为 (7 ns, 55 ns)。采用检定规程给出的公式 (1) 得到被测频标的相对平均频率偏差结果为 $y \approx -3.3 \times 10^{-3}$, 显然结果错误。采用式 (15) 得到正

确结果为 $4 \times 10^{-11} < y < 2 \times 10^{-10}$ 。

2) 设 $y < 0$, 第一个时差值 $X_1 = 5$ ns, 由式 (3) 和式 (13) 可得 300 s 后测量的第二个时差值 X_2 范围约为 (0.999 999 945 s, 0.999 999 993 s)。采用规程中给出的式 (1) 得到被测频标的相对平均频率偏差结果为 $y \approx 3.3 \times 10^{-3}$, 显然结果错误。采用式 (15) 得到正确结果为 $-2 \times 10^{-10} < y < -4 \times 10^{-11}$ 。

4 结论

本文结合 JJG 292 - 2009《铷原子频率标准检定规程》, 从原理上详细分析了时差法测量后相对平均频率偏差的计算方法, 推导出在两种特殊情况下应用规程的计算公式, 可能导致差错, 并给出了改进表达式, 并通过具体数值例子进行了说明。本文结论可进一步推广至其它频率标准的相对平均频率偏差的时差法测量。

参 考 文 献

- [1] 国家质量监督检验检疫总局. JJG 292 - 2009 铷原子频率标准检定规程 [S]. 北京: 中国计量出版社, 2009.
- [2] 李宗扬. 时间频率计量 [M]. 北京: 原子能出版社, 2002.
- [3] 卡特肖夫 P. 时间和频率 [M]. 漆贯荣, 沈韦, 郑恒秋, 等译. 临潼: 中国科学院陕西天文台, 1982.
- [4] 童宝润. 时间统一技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- [5] 李孝辉, 杨旭海, 刘娅, 等. 时间频率信号的精密测量 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2014.01.06

基于 SYSTEM II 的新型微波中功率计量系统

闫道广^{1,2}, 陈志宇²

(1. 北京理工大学, 北京 100081; 2. 中国人民解放军 92493 部队, 辽宁 葫芦岛 125000)

摘 要: SYSTEM II 功率传递系统是微波小功率计量领域内应用比较广泛的测试系统之一, 通过对传统中功率计量方法的分析研究, 提出了利用 SYSTEM II 功率传递系统实现中功率计量的构建方案。采用低反射系数等效信号源结构, 构成反射系数小、输出稳定、输出电平可调的中功率等效信号源; 采用中功率衰减器和 SYSTEM II 功率传递系统中含有的高精度终端式小功率座构成中功率传递标准, 通过交替比较法, 实现微波中功率计的高精度自动校准。

关键词: SYSTEM II; 功率传递系统; 中功率; 校准

中图分类号: TB973; TM931

文献标识码: B

文章编号: 1674-5795 (2014) 01-0019-03

New-type Microwave Medium Power Metrological System Based on SYSTEM II

YAN Daoguang^{1,2}, CHEN Zhiyu²

(1. Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 2. No. 92493 of PLA, Huludao 125000, China)

Abstract: SYSTEM II power transfer system is one of widely used schemes in field of calibration for microwave power sensors. By analyzing the theory of the SYSTEM II and traditional calibration method of medium power, a scheme was brought forward to develop calibration of medium power using SYSTEM II power transfer system. Low reflectance equivalent signal source is adopted to make medium power equivalent signal source with low reflectance, steady output and adjustable output electrical level. Medium power attenuator and the high-precision terminal power sensor in SYSTEM II power transfer system are used to make medium power transfer standard. By means of alternate comparison, the high-precision automatic calibration can be realized for medium power sensors.

Key words: SYSTEM II; power transfer system; medium power; calibration

0 引言

随着大型雷达、无线通信等装备的大量应用, 对微波中、大功率计量的需求日益增多, 目前, 各计量技术机构普遍采用传统的中功率计量方法开展工作, 但受制于方法的“先天缺陷”, 精度普遍不高。SYSTEM II 型微波功率传感器自动校准系统是美国 TEGAM 公司的产品, 该系统利用单定向耦合器法的校准原理, 可实现各种通过式及终端式小功率传感器的自动校准。本文通过对传统中功率计量方法的研究分析, 本文提出一种新型的微波中功率计量系统, 借鉴 SYSTEM II 功率传递系统低反射等效信号源结构, 通过对输出功率电平的闭环稳幅控制实现各种中功率传感器的校准, 与传统方法相比, 具有稳定性好、精度高等优势^[1-3]。

1 系统构建方案

传统的中功率计量方法, 一般有交替比较法、衰减器法、定向耦合器法三种, 形式上分为采用闭环控制回路和不采用闭环反馈控制回路两种^[4]。若组成闭环反馈回路, 可充分利用低反射系数等效信号源结构, 系统稳定, 失配误差小、精度有保证, 但需要配备 PIN 调制器, 系统构建存在一定难度; 若不构成闭环控制回路, 由于功率放大器的增益随着频率的变化有着较大的变化, 容易造成以下两个方面的问题: 一是在变换不同的频率点时, 需要根据该频点的增益值设定微波信号源输出电平, 稍有不慎就容易导致功率放大器的输出信号过大使被测功率传感器过载甚至损坏, 增大了设备安全的风险, 同时反复地调整信号源输出电平增加了测试工作的繁琐程度; 二是功率放大器输出信号稳定性差, 失配误差较大, 校准难以达到高的精度。

通过对 SYSTEM II 型微波功率传感器自动校准系统

收稿日期: 2013-07-24; 收修改稿日期: 2013-12-10

作者简介: 闫道广 (1978-), 男, 河南新乡人, 工程师, 在读硕士研究生, 主要从事微波计量与测试技术研究。

的构成原理以及微波中功率计量方法的分析研究,在现有的 SYSTEM II 功率传递系统硬件的基础上,提出了基于 SYSTEM II 的微波中功率计量方案。如图 1 所示。新型的微波中功率计量系统实现了低反射系数等

效信号源结构,系统的输出电平可自动稳定在预先设定的输出功率值,无须频繁调整信号源的输出电平,等效信号源输出端反射系数仅由定向耦合器的性能决定,可以在一定程度上减少失配误差^[5-7]。

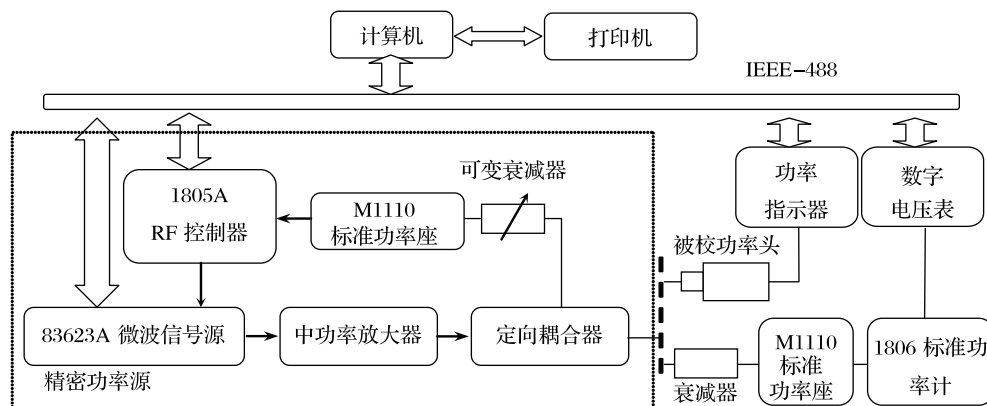


图 1 使用 SYSTEM II 功率传递系统进行中功率校准原理框图

该方案基于交替比较法的原理,微波信号经功率放大器放大后,通过一个高耦合度的定向耦合器,该耦合器的耦合输出端通过一个可变衰减器后接至 M1110 标准功率座,通过射频控制器后形成一个闭环的反馈回路,即微波信号源、中功率放大器、定向耦合器、可变衰减器、功率座、射频控制器如图 1 连接,构成了低反射系数等效信号源结构(图 1 中虚线框所示),在耦合器的主臂输出端口构成一个输出信号电平稳定的等效信号源。通过调节可变衰减器的衰减量值来调节耦合器输出到 M1110 标准功率座信号电平的大小,从而通过 1805A 射频控制器控制等效信号源输出电平的大小^[8-10]。

由于定向耦合器在不同功率量值的耦合度不具规律性,所以不易通过 M1110 标准功率座和定向耦合器的耦合度对耦合器主臂输出端的功率量值进行定度,只是提供一个稳定的中功率源,以定向耦合器的主臂输出端作为测试端面。对于配置完整的 SYSTEM II 功率传递系统,可利用其组成部分中的 M1110 终端式标准功率座和双桥高精度功率计,配合中功率衰减器、直流数字电压表构成标准中功率计来校准被校功率座。其中标准功率座 M1110 的校准因子由上级计量检定部门给出。对于没有配置 M1110 标准功率座的情况,可以采用普通的小功率计(如 E4412A + E4416)配合中功率衰减器构成标准中功率计,只是精度略低于 M1110 构成的标准中功率计。

当等效信号源输出端口连接的是 M1110 标准功率座和标准中功率衰减器构成的标准中功率计时,则入

射到标准功率计的功率值 P_i 可由直流数字电压表读数、M1110 功率座的校准因子和衰减器的衰减值计算而得^[5]。当 1805A 的射频开关处于“OFF”状态时,在电压表上读取电压值 V_1 ,当其射频开关处于“ON”状态时,待 1805A 平衡指示重新回到零之后,由电压表上读取电压 V_2 ,则有

$$P_i = 10^{A/10} \left(\frac{V_1^2 - V_2^2}{R} / K_s \right) \quad (3)$$

式中: A 为衰减器的校准值; R 为 200Ω ; K_s 为 M1110 标准功率座的校准因子。

对于采用普通小功率计的系统, P_i 就是功率指示器的示值经与中功率衰减器衰减量计算后的功率值。

当接上被校的中功率传感器时,在对应的功率指示器上读出功率示值 P_u ,即可求得被校中功率传感器的校准因子 K_u ,计算公式^[5]为

$$K_u = P_u / P_i \quad (4)$$

2 系统性能分析

实际测试中,系统的主要设备组成如表 1 所示。

2.1 频率范围

系统的频率范围主要取决于微波信号源的频率范围和功率放大器的频率范围。根据表 1 的设备技术性分析,该系统的频率范围为 $80 \text{ MHz} \sim 18 \text{ GHz}$ 。

2.2 功率范围

对于功率的测试范围调整,可以通过调整步进衰

表 1 系统主要设备构成

设备名称	型号	生产厂家	主要技术性能
微波信号源	83623A	美国 hp	10 MHz ~ 20 GHz
功率放大器	TWAL0418 - 40/50ECM	德国 Bonn	4 ~ 18 GHz, Gain≥46 dB
功率放大器	BLWA0842 - 100/40DS	德国 Bonn	80 MHz ~ 4.2 GHz, Gain≥46 dB
射频控制器	1805A	美国 WE	± (0.1% × P + 5 μW)
标准功率座	M1110	美国 WE	10 MHz ~ 18 GHz, 1.1% ~ 2.1%
标准功率计	1806	美国 WE	± (0.03% × P + 2 μW)
标准衰减器	48 - 40 - 43	美国 Aeroflex	DC ~ 18 GHz, 40 dB

减器的量值来调节。实际测试中,定向耦合器直接采用功率放大器的 Forward 监控输出端口(耦合度约为 40 dB),可变衰减器采用 Agilent 公司 8494B 步进衰减器。当设定微波信号源输出电平为 5 dBm 时,通过调整可变衰减器的衰减量,闭环控制回路锁定后,可使等效信号源稳定输出在 39.5 ~ 46.5 dBm 范围内的若干电平点上,绝对功率相当于 9 ~ 45 W,基本上满足了市场上常见中功率传感器校准的电平需求。如表 2 所示。

表 2 等效信号源输出电平设置表

信号源输出 电平/dBm	1805A 设定直流替代 功率值/mW	可变衰减器 衰减量/dB	等效信号源 输出电平/dBm
-5.0	0.5	0	39.5 (相当于 9 W)
-5.0	0.5	1	40.5 (相当于 11 W)
-5.0	0.5	2	41.5 (相当于 14 W)
-5.0	0.5	3	42.5 (相当于 18 W)
-5.0	0.5	4	43.5 (相当于 22 W)
-5.0	0.5	5	44.5 (相当于 28 W)
-5.0	0.5	6	45.5 (相当于 35 W)
-5.0	0.5	7	46.5 (相当于 45 W)

通过改变 1805A 设置的直流替代功率值,可以组合变化出更多不同的电平点。经实际测试,系统的功率范围为 1 ~ 40 W。

使用手动调节的步进式衰减器,由于调节过程中是机械连接,会出现瞬间断开的现象,结果是等效信号源输出电平远远超出预想值,容易对被测器件造成损坏,需要特别注意。如果换为程控可变衰减器,如 Agilent 公司的 8494H,则可杜绝这一问题。如果使用连续可调的衰减器,即可使等效信号源的输出电平连续可调。

2.3 校准因子的测量不确定度

根据新型微波中功率计量系统的构成原理,结合实际重复性考核测试结果,对系统不确定度分析如表 3 所示。

计量系统的合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + u_{B4}^2 + u_{B5}^2 + u_{B6}^2 + u_{B7}^2}$$

扩展不确定度

$$U = ku_c (k = 2)$$

由表 3 中给出的各不确定度分量值,经计算可得系统的扩展不确定度为 3.7% ~ 6.3% (k = 2)。

表 3 系统不确定度来源分析

序号	不确定度来源	类别	分量值/%
1	各种随机影响引入的不确定度 u_A	A 类	0.18 ~ 0.24
2	标准功率座 M1110 校准因子测量不准引入的不确定度 u_{B1}	B 类	0.55 ~ 1.05
3	标准衰减器 48 - 40 - 43 衰减量测量不准引入的不确定度 u_{B2}	B 类	1.4
4	标准衰减器 48 - 40 - 43 电平系数引入的不确定度 u_{B3}	B 类	0.92
5	标准衰减器 48 - 40 - 43 温度系数引入的不确定度 u_{B4}	B 类	0.18
6	精密功率计测量不准引入的不确定度 u_{B5}	B 类	0.29
7	由功率放大器和中功率衰减器不匹配引入的不确定度 u_{B6}	B 类	0.35 ~ 1.80
8	由标准功率座和中功率衰减器不匹配引入的不确定度 u_{B7}	B 类	0.34 ~ 1.62

(下转第 30 页)

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2014.01.07

压缩天然气(CNG)加气柱检定系统研究

张朋¹, 朱永宏², 张柯², 曹玲芝¹

(1. 郑州轻工业学院, 河南 郑州 450002, 2. 河南省计量科学研究院, 河南 郑州 450008)

摘要: 以 DSP (TMS320F28335) 芯片为核心, 采用高精度 A/D 对传感器的输出信号进行实时采集, 结合现代信号处理算法, 精确计算出相位差和频率, 利用 DSP 快速运算功能, 算出被测流体的密度和质量流量等信息, 并在上位机上采用 delphi 语言开发用户界面, 解决了大流量、高压下信号的实时采集和流量变化幅度较大等难题。实验结果表明: 该系统有效提高了系统的稳定性和测量准确度, 大大缩短了系统的响应时间。

关键词: 压缩天然气; 加气柱; 相位差

中图分类号: TB937

文献标识码: B

文章编号: 1674-5795 (2014) 01-0022-04

Research on Compressed Natural Gas (CNG) Plus Column Verification System

ZHANG Peng¹, ZHU Yonghong², ZHANG Ke², CAO Lingzhi¹

(1. Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China; 2. Henan Province Institute of Metrology, Zhengzhou 450008, China)

Abstract: The DSP chip (TMS320F28335) is used as the core, and the real-time acquisition of the output signal of sensors is realized with the high-precision A/D converter. Combined with the modern signal processing algorithm, the phase difference and frequency can be calculated accurately. With the fast operation function of the DSP chip, the information of the flow body such as the density and mass flow rate can also be calculated, which can also be displayed on the PC interface compiled with the Delphi language. The problems such as the real-time acquisition and great changes in flow under big flow and high pressure are solved in the system. Experimental results show that the response time of the system is shortened and the stability measurement accuracy of the system are enhanced effectively.

Key words: compressed natural gas; plus column; phase difference

0 引言

压缩天然气一般是通过加气柱给撬车大罐里加气的, 流速较大, 给撬车加气后运输到子站用来给普通汽车加气。加气机的计量准确关系到贸易双方的利益, 所以加气机的计量检定工作备受广大消费者的关注。加气机检定装置是对加气机进行现场检定、校准的一套装置。国内普遍使用的加气机检定装置存在着体积庞大、用户界面不尽友好、量程小等缺点, 其流量范围为 0~30 m³/h。由于 CNG 加气柱、卸气柱的流量范围为 0~500 m³/h, 加气压力 25 MPa, 所以现行的装置难以对 CNG 加气柱的流量开展精确有效的计量检定

工作, 以致经常造成贸易纠纷。为减少贸易纠纷, 亟需建立 CNG 加气柱的计量检定系统。

1 影响流量测量的因素及解决办法

1.1 高压、高流速对流量测量的影响

在现场测量 CNG 时, 由于气体的密度低, 必须要在很高的压力和很高的流速下才能达到规定的质量流量值, 在高压、高流速下, 高速气体通过流量计会引起较严重的噪声, 磁电传感器易受到环境噪声的干扰。这就要求所使用的磁电传感器的测量范围大、精度高、抗干扰性能强。将两路传感器正弦信号的相位差转换成为相应的电压信号的同时, 为使磁电传感器输出的振幅幅度足够大, 趋于平稳, 采用基准电压源(传感器的稳压供电电源) 解决这个问题。

1.2 流体压力对流量测量的影响

首先考虑流体的压力不应超过规定的工作压力, 其次考虑静压变化的影响^[1]。压力的变化影响测量管绷紧程度和布登效应的程度, 并破坏测量管不对称的原零点偏置, 同时流体压力的作用使测量管变硬; 流

收稿日期: 2013-11-08

作者简介: 张朋 (1987-), 男, 硕士研究生, 专业研究方向为测试计量技术及仪器; 朱永宏, 男, 高级工程师, 博士, 研究方向: 流量计量; 曹玲芝, 女, 教授, 硕士生导师, 博士, 研究方向: 控制理论及应用, 网络化测试技术及运用。

体压力和测量管的刚度成正比, 由于刚度的增加, 使得材料的弹性模量增大, 其流量将增大; 此外, 压力的变化也会引起管子尺寸的变化, 从而影响其灵敏度。故此在高压情况下, 流体压力对其测量准确度的影响是不可忽略的, 压力补偿问题也是必不可少的。在现场测量时, 磁电传感器将对当前工况的温度和压力信号进行采集后, 送入 DSP, 按预先植入 DSP 内的温度、压力补偿数学模型, 计算并显示出补偿后的实时流量。

补偿数学模型为

$$Q = Q_0 \left[\frac{C_1(p + C_2)}{T + C_3} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式中: Q 为补偿后流量; p 为压力; T 为温度; $C_1, C_2,$

C_3 为常数系数; Q_0 为补偿前流量。

1.3 机械振动对流量测量的影响

在高压、高流速下, 其振动会增强。为了减少外部机械振动的影响, 采用隔离振动的支撑架和振动管间用柔性管连接, 避免振动频率与工作频率 (800 ~ 1000 Hz) 相同。

2 系统组成

该系统由流量管、激振器 (驱动模块)、磁电传感器 (在流量管流入端和流出端各安装一个)、数字信号处理模块、通讯模块、温度补偿模块、4 ~ 20 mA 及脉冲输出模块组成, 其系统硬件框图如图 1 所示。

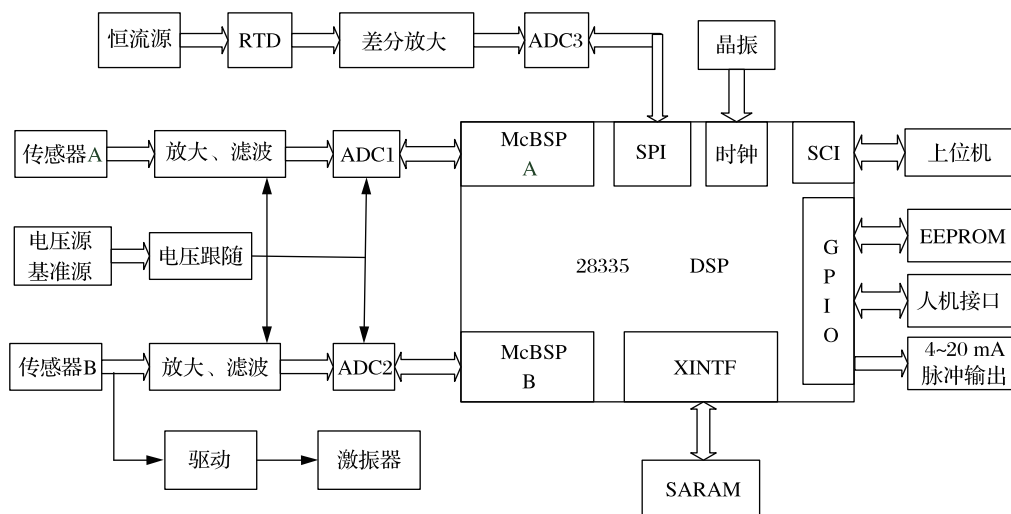


图1 系统硬件框图

本系统以 DSP 芯片 TMS320F28335 为核心, 采用磁电传感器对流量信号进行采集, 经放大、滤波、A/D 转换等, 送入 DSP, 采用滑动 Goertzel 算法 (SGA), 将信号 $x(n)$ 按傅里叶展开为 $x(n) = a(n) \sin(n\omega) + b(n) \cos(n\omega)$, 其中信号的相位 $\varphi(n) = \arctan[b(n)/a(n)]$, 则相位差计算公式为 $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$, 精确计算出相位差和频率, 利用 DSP 快速运算功能, 计算出被测流体的密度和质量流量等信息。与上位机进行通信, 进行数据的再处理、储存等工作。

3 软件设计

下位机流程图如图 2 所示, 根据相位差计算流量, 经温度、压力补偿后, 计算出补偿后的流量, 再将数据发送给上位机。上位机采用 Delphi 语言开发操作界面, 在流量区 (高压、低压) 增加了瞬时流量曲线, 此曲线可以直观地实时显示出在此高压下的瞬时流量的走向, 并计算检定数据的误差及重复性以及判断

并显示检定结果。上位机流程图如图 3 所示。

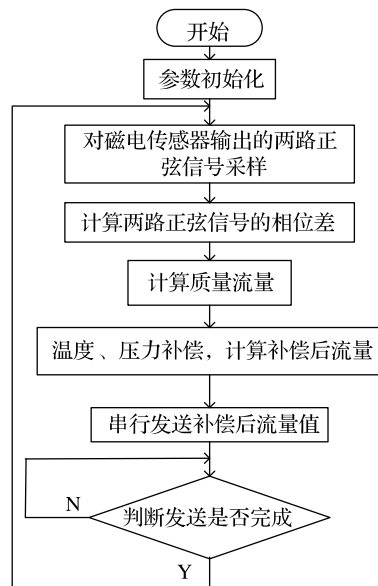


图2 下位机流程图

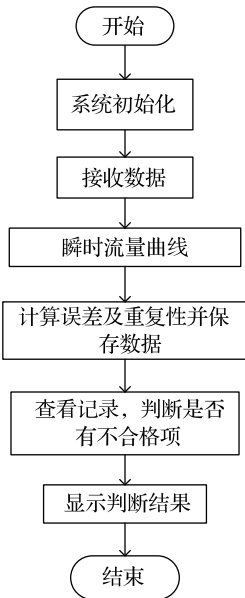


图 3 上位机流程图

4 现场测试

为了验证本系统的稳定性和测量准确度，我们通过设置不同的压力（5 MPa 和 18 MPa），采用质量法（标准）对比的方法对 CNG 加气柱检定系统进行了现场测试。每个压力下测量三次，其测量数据分别如表 1、表 2 所示。

表 1 5 MPa 压力下的实验数据

系统质量 流量/ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	标准质量 流量/ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	示值 误差/%	重复 性/%
12.753	12.746	0.055	0.005
12.698	12.691	0.055	
12.713	12.707	0.047	
13.022	13.015	0.054	0.001
13.104	13.097	0.053	
13.054	13.047	0.054	
12.975	12.968	0.054	0.005
12.981	12.975	0.046	
12.899	12.893	0.046	

表 2 18 MPa 压力下的实验数据

系统质量 流量/ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	标准质量 流量/ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	示值 误差/%	重复 性/%
27.458	27.446	0.044	0.002
27.503	27.491	0.044	
27.497	27.486	0.040	
28.005	27.993	0.043	0.002
28.016	28.003	0.046	
28.061	28.048	0.046	
27.896	27.883	0.047	0.002
27.905	27.893	0.043	
27.911	27.899	0.043	

由表 1、表 2 可以看出，本系统在现场检定时有良好的稳定性，其误差优于 0.1%，重复性优于 0.05%，均符合现场测量的要求。根据表 1、表 2 可分别画出在不同压力下的加气柱系统（实线）和标准值（虚线）的流量曲线，如图 4，图 5 所示。根据图形可看出两曲线非常接近，其误差也非常小，稳定性好。

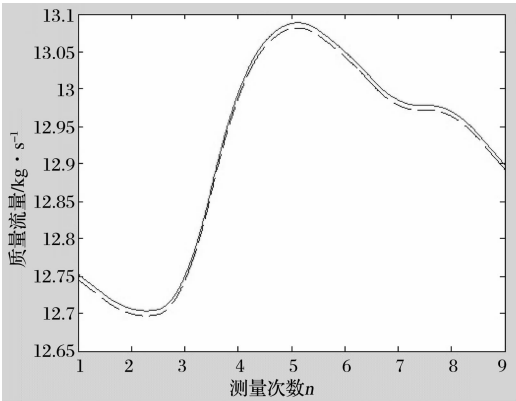


图 4 压力 5 MPa 下的流量曲线图

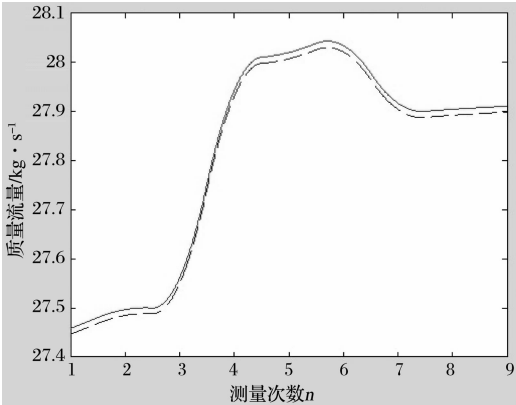


图 5 压力 18 MPa 下的流量曲线图

在不同压力下, 体积流量随时间的变化情况, 可由瞬时流量曲线给出, 如图 6 所示。

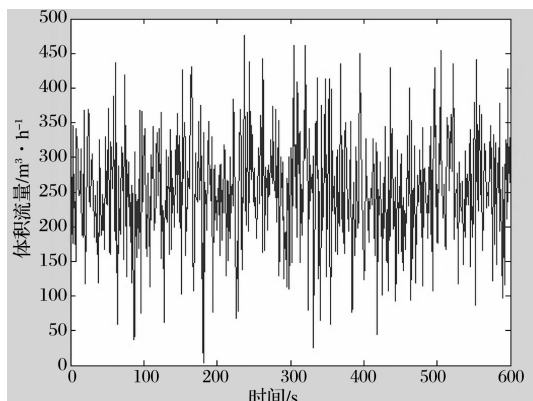


图 6 瞬时流量曲线

由图 6 可知, 系统的测量范围为 $0 \sim 500 \text{ m}^3/\text{h}$, 测量范围之大, 是其它加气机计量装置所不及的, 现场测试结果符合本系统设计的要求。

(上接第 12 页)

其中, 图像大小为 $300\text{ mm} \times 200\text{ mm}$, $f = 9\text{ mm}$, 一个像素在图像物理坐标系中的尺寸为 $\text{d}x = \text{d}y = 0.034\text{ mm}$ 。把已经获得的数据代入到上面的算法中, 使用 Matlab 2012a 即可分别求出无人机的三个姿态角, 如表 2 所示。

表2 姿态角计算结果

序号	滚转角/rad	俯仰角/rad	偏航角/rad
1	-0.0173	-0.0112	-0.0377
2	-0.0159	-0.0058	-0.0006
3	-0.0503	-0.0666	-0.0175

6 结束语

本文提出了一种无人机自主着陆过程中姿态角的估算方法, 结合矩阵变换对地平线算法进行了改进, 与改进前算法相比, 此算法对摄像机安装位置没有特殊的要求。仿真计算结果证明其能估算出无人机的姿态角, 并且具有更好的适应性。

参考文献

- [1] Lin Xinhua , Cao Yunfeng . Research on the application of vision-based autonomous navigation to the landing of the UAV [J] . Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng, 2003, 5253: 385 - 388.

5 结束语

本文采用基准源解决了在高压、高流速下传感器幅值变化不稳定的问题以及现场振动对测量的影响和压力补偿等问题,通过进行现场测试,证明了本系统的稳定性良好,测量范围大,测量准确度优于 0.1% ,重复性优于 0.05% 。测试结果符合现场计量的要求。

参考文献

- [1] 李刚, 李蒲生. 罗斯蒙特质量流量计测量原理及应用[J]. 炼油与化工, 2004 (4): 43-47.
- [2] 徐科军, 于翠欣, 苏建徽, 等. 基于 DSP 的科氏质量流量计信号处理系统[J]. 仪器仪表学报, 2002, 23 (2): 170-178.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局. JJG996-2012 压缩天然气加气机检定规程[S]. 北京: 中国计量出版社, 2012.

- [2] 沈宁, 唐大全, 李飞. 无人机视觉导航中的图像处理及位姿解算 [J]. 光电技术应用, 2012, 27 (6): 60-64.
- [3] Doehler H U, Korn B R. Autonomous infrared-based guidance system for approach and landing [J]. Proc. SPIE, 2004, 5424: 140-147.
- [4] Tang Daquan, Zhang Hongyue. Vision Based Navigation Algorithm for Autonomic Landing of UAV without Heading & Attitude Sensors [C] // 3th International IEEE Conference on Signal-Image Technologies and Internet-Based System. [S. l.]: IEEE, 2008: 972-978.
- [5] 付丙岛, 丁文锐, 王广彪, 等. 用于飞行器视觉导航的地平线检测算法 [J]. 北京航空航天大学学报, 2011, 37 (7): 849-854.
- [6] Saripalli S, Montgomery J F, Sukhatme G S. Vision-based Autonomous Landing of an Unmanned Aerial Vehicle [C] // Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Automation. Washington: IEEE, 2002: 2799-2804.
- [7] 刘新华. 基于视觉的无人机着陆姿态检测和跑道识别 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2004.
- [8] 刘兴华, 曹云峰, 刘新华. 计算机视觉在无人机着陆中的应用 [J]. 航空计测技术, 2004, 24 (6): 1-3.
- [9] 李红, 柴洪林, 彭嘉雄. 基于视觉的无人机姿态角估计 [J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35 (6): 4-7.

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2014.01.08

用于压力传感器测试的自动压力控制系统的研制

王洋

(中航工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 主要介绍了自动压力控制系统的硬件组成, 比例控制及其改进方法在压力系统中的应用以及软件算法的实现。使用比例控制技术与模糊控制理论对压力系统进行设计, 利用 LabVIEW 软件实现系统压力产生算法, 并对系统各部分及整体的控制过程进行了详细的试验研究。

关键词: 压力控制系统; 比例控制技术; LabVIEW

中图分类号: TB935; TH823

文献标识码: B

文章编号: 1674-5795 (2014) 01-0026-05

Development on Automatic Pressure Control System for Pressure Sensor Test

WANG Yang

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

Abstract: This paper mainly introduces the hardware of automatic pressure control system, the application of proportional control and improved method in the pressure control system, and the realization of the software algorithm. Proportional control technology and fuzzy control theory are adopted to design the pressure control system, and the algorithm for pressure generation is realized with LabView. The different parts of the system and the whole control process are also investigated in detail.

Key words: pressure control system; proportional control technology; LabVIEW

0 引言

随着自动控制技术的发展, 精密气压产生与控制技术的应用越来越广泛。而传统的阀门控制器控制精度不够, 运行速度缓慢, 且价格昂贵, 已不能满足精密气压产生与控制的要求。

国内外气体压力控制装置相同点在于, 装置的测量准确度、测量范围取决于标准压力传感器。数字式压力控制器通常由压力源、标准压力传感器、压力控制系统、数据采集模块、通讯接口等几大部分组成, 可用于压力变送器、压力传感器、数字压力计等电量或数字量输出仪器的校准。世界各国先后推出了可自动控制的高准确度的数字压力控制器, 而国产的数字压力控制器还较少, 其不确定度在 0.05 % 左右。进口的气体压力控制器价格在十万元人民币以上, 控制响应时间 5 s 左右。

1 系统总体设计

1.1 国内外方案比较

压力控制系统关键的部分就是对气体压力实现自

动控制, 下面分析几种典型压力控制方案的优缺点。

1) 变容积控制

通过改变密闭容器内气体的体积来改变输出压力。此方法的优点是不需要外部气源, 在小范围表压力和小疏空压力时有较好的控制准确度; 缺点是可变容器内气体压力变化靠活塞的移动来实现, 因此密封是一大难题, 而且在变容积控制过程中, 系统与外界环境存在热交换, 温度的变化会反过来影响系统内的压力, 气体变化介于等温与绝热过程中间, 难以建立理想的数学模型, 增加控制难度。

2) 伺服阀控制

伺服阀控制是依靠伺服阀开度和方向的变化, 改变压力容器内压力的变化速度和压力值, 从而达到控制目的。应用伺服阀作为压力控制部件的优点是装置结构相对简单, 具有较好的控制准确度和响应速度; 缺点是难以实现较高压力的控制, 伺服阀往往都是成品, 不一定适合课题所需压力范围, 且成本较高。

3) 比例阀控制

电气比例压力阀是近年来研制的一种机电一体化元件, 它在控制性能上比气动比例阀有了较大的改进。电气比例阀以滑阀为主, 用比例电磁铁直接控制阀芯的位移, 使得阀门的开度与控制电压成比例。通过比

收稿日期: 2013-11-25

作者简介: 王洋 (1984-), 女, 助理工程师, 从事光栅光纤传感器应用与校准的研究工作。

例阀开度的变化,控制压力容器内压力的升降速度和压力值。用比例阀作为压力控制部件的优点是装置结构相对简单,且具有较好的控制准确度和响应速度;缺点是可控压力范围较小。

4) 流量结合电磁阀控制

电磁阀在气压控制过程中比较常用,它在工业控制系统中起到调整介质的方向、流量、速度和其他的参数作用。电磁阀种类多,不同的电磁阀在控制系统的不同位置发挥作用,最常用的是单向阀、安全阀、方向控制阀、速度调节阀等。用电磁阀作为压力控制部件的优点是:电磁阀作为一种理想的电-气控制转换组件,只有“开”、“关”两种极限工作状态,目的是确保某一管路的开通与截止;不存在准确度很高的间歇配合,消除了多种非线性因素,如死区、干摩擦等的影响,利用电磁阀的开度固定这一特点,为便于控制,可对进气阀、排气阀入口和出口的压差进行控制,使其近似维持恒定值。

1.2 技术指标

鉴于以上方案中所出现的问题,研制了用于压力传感器测试的自动压力控制系统,以解决传统的阀门控制器控制精度不够、运行速度缓慢且价格昂贵的缺点。自动压力控制系统具体的技术指标为:压力测量范围为 $0 \sim 360 \text{ kPa}$;允许误差为 $\pm 0.18 \text{ kPa}$;控制稳定性为 $\pm 0.05\% \text{ FS}/30 \text{ s}$;控制响应时间 $\leq 3 \text{ s}$ 。

1.3 系统模型建立

自动控制是指在没有人直接参与的情况下,利用外加的设备或装置(称控制装置或控制器),使机器、设备或生产过程(统称被控对象)的某个工作状态或参数(即被控制量)自动地按照预定的规律运行。为了实现各种复杂的控制任务,首先要将被控制对象和控制装置按照一定的方式连接起来,组成一个有机的总体,这就是自动控制系统。在自动控制系统中,被控对象的输出量即被控量是要求严格加以控制的物理量,它可以要求保持为某一恒定值,例如温度、压力等;而控制装置则是对被控对象施加控制作用的机构的总体,它可以采用不同的原理和方式对被控对象进行控制,但最基本的一种是基于反馈控制原理的反馈控制系统。

一个完整的过程控制系统图一般有调节器(控制器)、执行器、被控过程和测量变送器四个环节。因此本系统模型初步设计构图由控制器和执行器、压力容器和测量采集部分组成。系统模型设计方框图如图1所示。图1是一个简单的反馈控制系统。

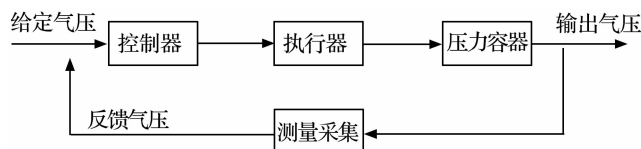


图1 系统模型设计方框图

1.4 系统组成

所谓压力控制系统就是利用管道或容器中的介质压力作为被控制量,从而保证输出一个恒定气压的反馈控制系统。气体压力控制过程实际上是密闭容腔的充放气过程。本压力控制系统主要由压力源、控制模块、比例控制部分、常开电磁阀、密封气容、标准压力传感器、D/A模块组成的气路及电路控制系统(包含继电器卡)、PC/104主板,显示终端等几大部分组成。系统结构图如图2所示。

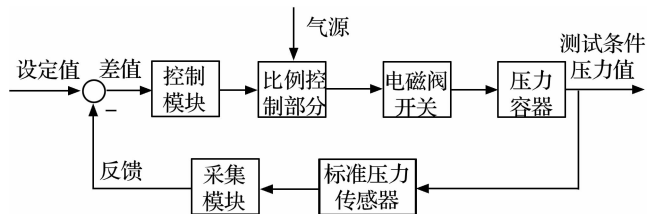


图2 系统结构示意图

1.5 原理介绍

自动压力控制系统工作原理为:给定目标压力值,系统的控制器给比例控制系统发送电压控制信号,比例控制系统通过内部传感器输出的信号控制内部的进气和排气电磁阀开关调整容器内气体压力得到与目标压力相近的当前压力值,再通过D/A模块对标准传感器输出的信号进行采集。目标压力值以模拟量的方式输入控制器中,与采集到的标准传感器值进行比较,实现实时控制密闭容腔气体压力的目的,从而得到高精度的气体标准压力。

2 系统硬件设计与实现

PC/104主板在装置中起界面显示、功能选择、参数输入、数据采集、控制量输出、数据处理、存储等功能。它在结构、硬件、软件上与标准PC总线兼容,采用模块化设计方法,大大缩小了体积,并采用CMOS芯片,功耗较低。采用PC/104作为核心中央处理器,可以将主要精力放在软件和接口的设计上,风险小,大大缩短开发周期,体现最新技术。

显示终端在整个装置中起着与人交流的桥梁作用,

通过对其进行界面设计,使其不仅具有生动的基本界面图片、文字和控制器状态显示功能,而且还有单位选择、参数设定与目标压力值输入等功能。

电路控制系统作为装置的数据采集、数据比较、“命令”传达工具,能快速采集压力传感器反馈的当前压力所对应的电压值,并与输入的电压信号比较,响应 PC/104 主板传来的开关控制信号,只需对继电器端口地址写入控制数据即可控制相应阀门的开关动作,以实现气路中电磁阀的控制,从而实现对装置输出压力的控制。

该压力控制系统的关键问题是压力的测量和控制。压力的测量准确度取决于选用的标准压力传感器。因而在标准传感器选型确定的情况下,采用何种方案控制压力就成为设计的核心问题。本系统采用的压力传感器,量程 0 ~ 360 kPa,最大允许误差为 $\pm 0.04\%$ FS。

气路控制系统用来快速、准确并稳定的将系统内压力控制在用户指定的压力点上。压力调节过程中的关键在于确定设定压力点所需的气体量。控制过程中,首先通过控制系统判断校准系统的容积(包括:控制器自身、被检器、管路),然后根据设定的控制规律对气路中阀门的开闭进行控制,充/放气,从而达到设定的目标压力值。该系统采用两个电磁阀和压力传感器配合的方式进行气路设计,其气路设计如图 3 所示。

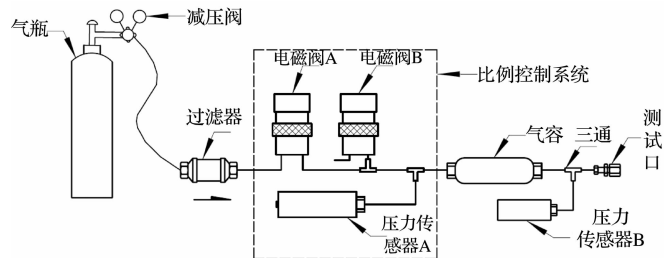


图 3 系统气路设计图

压力传感器 A 和电磁阀 A、B 共同组成比例控制系统。

压力传感器的作用是测量系统压力。传感器的准确度和稳定性直接影响到装置的测量和控制不确定度及控制响应时间。气路中共设计了两只不同的传感器,分别为:压力传感器 A 准确度等级为 0.05 级,输出为 0 ~ 10 V;压力传感器 B 准确度等级为 0.02 级,数字输出,同样用作压力测量,此传感器在 0 ~ 50 °C 范围内进行了全温度补偿,可有效消除温度变化对测量准确度的影响。

结合电路控制系统描述压力控制过程:输出的压

力与输入的电信号成比例,压力是靠两个电磁阀来控制。其中电磁阀 A 的作用是进气控制,电磁阀 B 用于排气控制。压力传感器 1 用来测量输出的压力,并对电路控制提供反馈电压信号。反馈回的信号跟输入的命令信号相比较。两个信号的差值使其中一个电磁阀动作,或者打开使流量进入,或者让气体排出系统。准确的压力依靠控制这两个电磁阀来实现。当控制响应时间需要小于 3 s,实现快速控制压力的目的,就需要牺牲整套系统的测量准确度,此时气路中不需要压力传感器 B,仅用压力传感器 A 的测量准确度来决定整个系统的测量准确度。若想实现更高的测量准确度,气路中需要 A、B 两只传感器共同作用,首先需要比例控制系统对输出压力进行控制,接着利用压力传感器 B 对系统压力进行测量,并进一步的微调,调整对比例控制系统输入的电信号,经过多次信息反馈和循环控制后,达到目标压力。

3 系统软件设计与介绍

3.1 软件开发工具 LabVIEW 简介

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench 实验室虚拟仪器工作平台)是目前较为成功、应用广泛的虚拟仪器软件开发环境,最新版本为 LabVIEW 8.6。LabVIEW 8.6 是一个高效的图形化程序设计环境,结合了简单易用的图形式开发环境与灵活强大的 G 编程语言;提供了一个直觉式的环境,与测量紧密结合,在这个平台上,各种领域的专业工程师和科学家们通过定义和连接代表各种功能模块的图标来方便迅速地建立高水平的应用程序;支持多种系统平台,在任何一个平台上开发的 LabVIEW 应用程序可直接移植到其它平台上。

3.2 系统流程图

自动压力控制系统的系统流程图如图 4 所示,比例控制算法流程图如图 5 所示。

3.3 系统软件功能介绍及程序实现

3.3.1 手动控制

手动控制用于压力传感器的单点测试。操作方法:手动输入单点的目标压力值,点击确定键,系统开始控制加/减压力,并将当前压力值实时显示在主界面的数值显示区内,若当前压力值误差达到系统要求的误差 $\pm 0.05\%$ FS 时,显示平衡压力(格式: * 当前压力值)。

3.3.2 自动控制

为了实现连续点的压力控制和测量,本系统添加

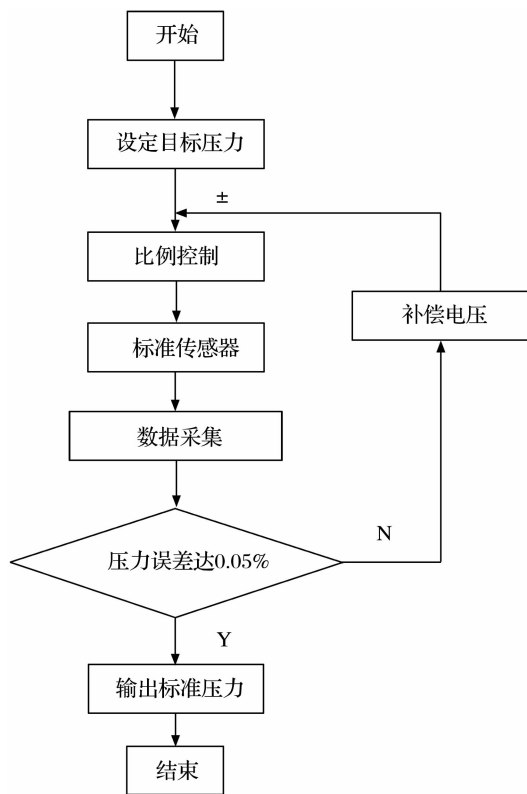


图4 系统流程图

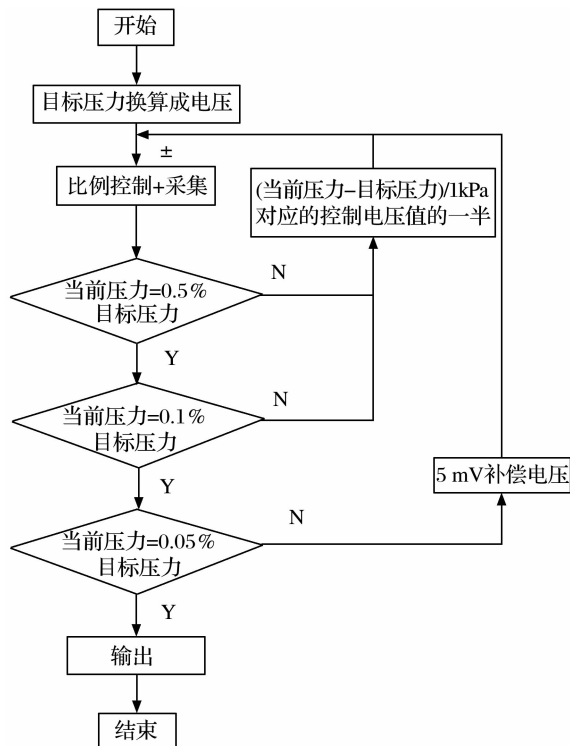


图5 比例控制算法流程图

了自动控制功能，在主界面的功能区点击自动功能键，输入需要测试的压力范围、点数、测试循环次数、单点稳定时间，系统即可自动加/减压，实现连续自动的压力控制和测量，并在自动控制界面上显示循环控制的当前压力值组及其曲线。

3.3.3 内部校准

为了避免比例控制部分传感器的漂移，得到更好的压力线性曲线，本系统加入了内部校准功能。

3.3.4 外部校准

为了避免标准传感器的漂移，得到更好的压力线性曲线，本系统加入了外部校准功能，外部校准需要用户接入标准压力源，对系统标准压力传感器进行校准。

3.3.5 远程控制

为了方便用户使用，本系统特别加入了远程控制程序，用户可以方便的通过远程命令使用计算机对本仪器进行控制。

远程命令格式如下：

手动控制命令：#P***U**。命令中：P*** 代表目标压力值；U** 代表压力单位，其中 ** 代表压力单位代号。

自动控制命令：#A***-*** S** C** T** U**。命令中：A 代表自动；***-*** 代表自动控制的压力范围；S** 代表选取的点数；C** 代表循环次数；T** 代表单点稳定时间；U** 代表压力单位。

内部校准命令：#IS**。命令中：I 代表内部校准；S** 代表校准的点数。

4 系统测试试验

在量程范围内，平均选取 10 个压力点进行测试，实验数据如表 1 所示，测试试验表明，该压力控制系统满足技术指标要求。误差 $-0.18 \sim +0.18$ kPa，控制稳定性 $\pm 0.05\%$ FS/30 s，控制响应时间 ≤ 3 s。

表1 系统测试试验 kPa

序号	目标压力	测试压力	偏差
1	36	36.035	0.035
2	72	72.070	0.070
3	108	107.930	-0.0070
4	144	144.141	0.141
5	180	180.000	0
6	216	216.035	0.035
7	252	252.146	0.146
8	288	288.081	0.081
9	324	324.116	0.116
10	360	359.824	-0.002

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2014.01.09

双纵模 He-Ne 激光器的热稳频技术研究

陈正超, 李华丰, 朱国勤

(中航工业北京长城计量测试技术研究所 计量与校准技术重点实验室, 北京 100095)

摘要: 介绍了双纵模 He-Ne 激光器的热稳频技术原理, 设计了热稳频控制系统, 并进行了相关的实验。根据实验结果可知, 本热稳频系统实现了将两个纵模频率稳定在增益曲线中心频率对称位置和不对称位置上。根据拍频结果可知, 当稳定在对称位置上时, 激光器的频率稳定度达 10^{-10} 量级; 当稳定在不对称位置上、维持频率稳定度 10^{-10} 量级时, 激光器输出单纵模的功率最高达总功率的 80%。

关键词: He-Ne 激光器; 热稳频; 非对称稳频

中图分类号: TB939; TN248.2

文献标识码: B

文章编号: 1674-5795 (2014) 01-0031-04

Reach on Thermal Frequency Stabilization Technology of Double Longitudinal Mode He-Ne Laser

CHEN Zhengchao, LI Huafeng, ZHU Guoqin

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

Abstract: The principle of thermal frequency stabilization technology of double-longitudinal-mode He-Ne laser is introduced and the control system is designed in this paper. Related experiments were carried on. According to the experiments, the two modes of frequency can be stabilized on symmetric and asymmetric positions of the gain curve. According to the beat frequency tests, when the two modes are stabilized on symmetric position, the frequency stability of He-Ne laser is on the magnitude of 10^{-10} ; and when the two modes are stabilized on asymmetric position and the frequency stability maintains on the magnitude of 10^{-10} , the biggest power of single longitudinal mode is 80% of the total power.

Key words: He-Ne laser; thermal frequency stabilization; asymmetric frequency stabilization

0 引言

He-Ne 激光器的稳频方法主要有: 饱和吸收稳频法、塞曼效应稳频法、兰姆凹陷稳频法和双纵模热稳频法等^[1]。其中, 双纵模热稳频法是 He-Ne 激光器稳频技术的研究热点。热稳频方法是通过直接控制放电管中等离子体的温度来调节激光器的腔长, 进而稳定激光器输出的光频^[1-3]。热稳频方法既不需要在激光器上安装 PZT (压电晶体), 也无需外加磁场, 激光器谐振腔对材料的热膨胀系数要求较小, 且实现无调制输出, 因此热稳频激光器的成本低于兰姆凹陷稳频和塞曼稳频激光器。采用双纵模热稳频的 He-Ne 激光器谐振腔内存在两个纵模同时振荡, 可输出频差在 500 MHz 以上的双频激光, 这能满足激光干涉测量中对高

速测量的要求; 同时, 也可以利用偏振器件滤除一个纵模, 使激光器输出单频稳频激光, 以满足对激光的单色性要求高的干涉和计量等领域的需求^[4], 但此时激光器的输出功率仅为总功率的一半。

本文介绍一种双纵模 He-Ne 激光器的热稳频控制系统。根据需要, 该系统可以将激光器的两个纵模频率稳定在增益曲线中心频率 ν_c 的对称位置上, 实现双纵模稳频输出; 同时也可以将两个纵模频率稳定在增益曲线中心频率 ν_c 的不对称位置上, 使其中一个纵模的功率远大于另一个纵模的功率, 利用偏振器件将较小功率的纵模滤除, 提高单个纵模的输出功率, 从而实现基于双纵模稳频的单频输出 He-Ne 激光器。

1 理论分析

He-Ne 激光器在振荡输出激光时, 输出纵模数与谐振腔长度有关。受激辐射的 He-Ne 激光纵模 (对应某一确定的共振频率) 一定是偏振光; 同时, 相邻纵模的偏振方向不是任意的, 而是相互垂直的^[5]。其中, 纵模频率计算公式^[6-7]为

收稿日期: 2013-11-19; 收修改稿日期: 2013-12-30

基金项目: 国家“十二五”技术基础计量科研项目 (J052011A002)

作者简介: 陈正超 (1987-), 男, 硕士研究生, 主要从事自动控制研究工作; 李华丰, 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向为自动控制。

$$\nu = \frac{qc}{2nL} \quad (1)$$

式中： c 为光在真空中的传播速度； n 为谐振腔内的折射率； L 为谐振腔的几何长度； q 为谐振腔内的纵模序数。对 (1) 式进行微分有^[1,7]

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = -\frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta n}{n} \quad (2)$$

由式 (2) 可知，频率稳定度由腔长 L 的变化和折射率 n 的变化共同来决定。稳频技术的实质是保持谐振腔光学长度和腔内折射率的稳定性。对于内腔式 He-Ne 激光器，激光器中使用的工作物质是气体，气体的折射率虽然受放电参量等因素的影响，但在电流稳定的情况下变化不大，对频率稳定的影响很小^[8]。因此，内腔式 He-Ne 激光器的频率稳定性主要是通过控制激光谐振腔的腔长来实现的。

由式 (1) 可知，谐振腔内的纵模间隔与腔长有关，因此双纵模热稳频方法对 He-Ne 激光器的腔长有特定的要求，必须保证谐振腔内同时存在 2 到 3 个纵模。一般 He-Ne 激光器的谱线为非均匀加宽型，其多普勒线宽为 1500 MHz^[9]。当谐振腔的腔长满足条件 $100 \text{ mm} < L < 300 \text{ mm}$ 时，谐振腔内存在 2 个纵模同时振荡的可能性。

当双纵模激光器的两个纵模稳定在增益曲线中心频率的对称位置上时，两个纵模的光功率相等；由于模式竞争使两个纵模偏离增益曲线中心频率的对称位置时，两个纵模的光功率不再相等。激光器工作时，由于模式竞争，在不加控制的情况下只有一个模式占主导地位，但不久又被相邻的模式所取代，通过精确控制谐振腔的长度，使腔长的变化总是有利于模式竞争中处于弱势的那个纵模，使双纵模对称于中心频率，并且稳定在对称点上，从而实现稳频激光的输出。

如图 1 所示，激光器增益曲线上，只存在两个纵模 ν_q 和 ν_{q+1} 的振荡，通过控制腔长，使 ν_q 在 $\nu'_q \sim \nu''_q$ 的范围内振荡， ν_{q+1} 在 $\nu'_{q+1} \sim \nu''_{q+1}$ 的范围内振荡，从而

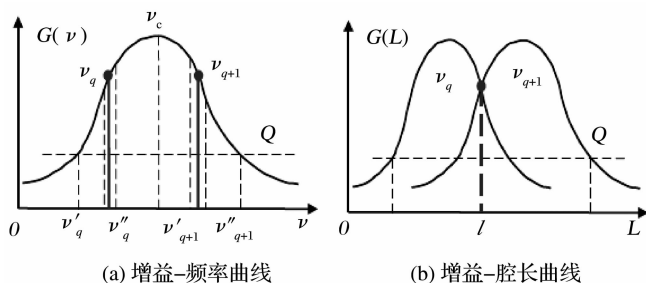


图 1 双纵模 He-Ne 的对称稳频

实现双纵模热稳频，此时两个纵模的功率相等，且 ν_q 和 ν_{q+1} 对称于中心频率 ν_c 。

同时，也可以调整两个纵模输出功率的差值关系，使其不为零，则激光器的两个纵模将稳定在不对称于增益曲线中心频率 ν_c 的位置上，如图 2 所示。

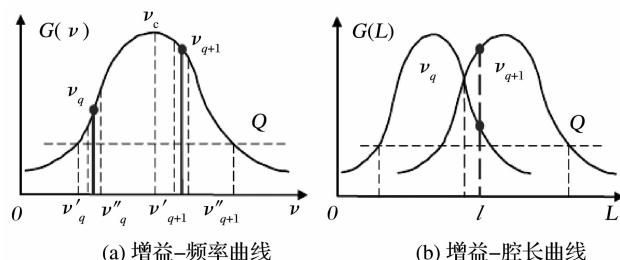


图 2 双纵模 He-Ne 的非对称稳频

2 稳频系统结构设计

双纵模 He-Ne 激光器热稳频方案整体结构如图 3 所示。整体方案由两部分组成：纵模分离光路和稳频控制硬件电路。纵模分离光路由 BS（分光棱镜）、PBS（偏振分光棱镜）和反射镜组成，主要用于将双纵模 He-Ne 激光器的两个纵模分离，以便于利用 PIN 光电二极管分别对两个纵模的光功率进行采集。光路中的 BS 的分光比为 9:1，可将激光器输出的光分成两束，功率较大的透射光束作为激光器的输出光，而功率较小反射光束用于稳频。

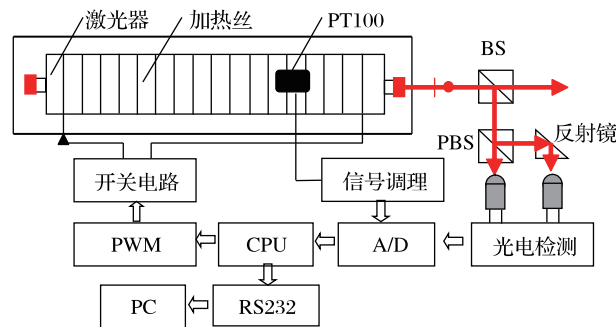


图 3 热稳频系统整体结构图

硬件控制电路是稳频系统的核心，主要实现激光器纵模功率和激光管壁温度的采集，并通过 PID 控制算法，及脉宽调制技术完成激光器的稳频控制。硬件控制电路是以单片机为核心的数字控制器，主要包括单片机及其外围电路、传感器测量电路、A/D 转换芯片和 PWM 控制信号输出及三极管开关电路。

当激光纵模处于增益曲线中心获得单模输出时，该纵模的功率即为激光器的输出功率，约为 1 mW；当双纵模对称于中心频率时，则每个纵模的输出功率为

0.5 mW。由此可以粗略估算出两个纵模的功率之差与稳频后频率复现性的量级。以纵模功率与频率近似呈线性关系来估算,可以得出 500 μ W/514 MHz,即约为 1 μ W/ MHz。由于氦氖激光器的增益曲线为高斯曲线,在功率稳定点处曲线的斜率更大,可达 2 μ W/ MHz 的量级。当频率复现性为 10^{-8} 量级时,频率变化为 ± 5 MHz。因此当频率复现性优于 10^{-8} 量级时,功率变化应小于 10 μ W,相当于一个纵模功率的 2%。若需要得到更高的复现性,则需要将纵模功率的变化范围限定在更小的范围内。由上述可知,为了达到预定的频率复现性,激光器纵模功率探测电路的分辨力应优于纵模功率的 2%。本系统中,光电检测电路的 A/D 有效分辨力为 16 位,单个纵模功率的相对分辨力优于 0.1%。为了精确控制温度,PWM 加热电路的驱动电压应有足够的精度,本系统的驱动电压的误差约为 20 mV。

3 稳频实验结果及分析

本热稳频控制实验包括将两个纵模稳定在增益曲线中心频率对称位置和不对称位置两部分。由图 1 可知,当纵模频率稳定在对称位置时,增益曲线上对应的两个点的斜率大小相等,方向相反;由图 2 可知,当频率稳定在不对称位置上时,增益曲线上对应的两个点的斜率方向相反,但大小不再相等。通过热稳频控制实验,本文将分析频率稳定在不同点上时,激光器的频率稳定性的变化情况。

激光器频率稳定在光功率信号差值 e 不同点的稳频控制误差曲线如图 4 所示,参数如表 1 所示。图 5 为光功率信号差值 e 和其波动范围 Δe 的关系,由图 5 可知,随着 e 的增大,其波动范围也将增大,这将影响激光器的频率稳定度。

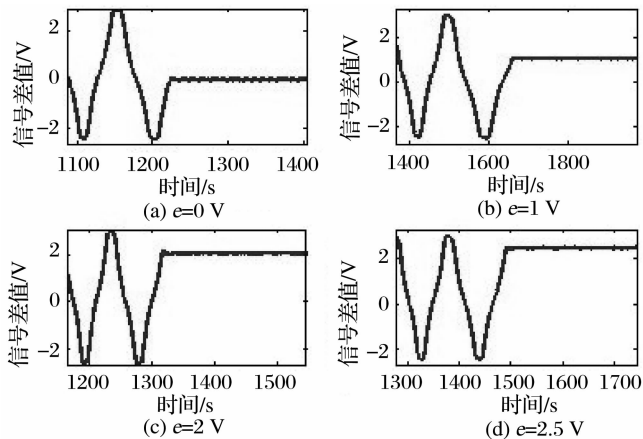


图 4 不同 e 值的稳频控制曲线

表 1 激光器的频率稳定在不同功率差值的参数对比

e	$\Delta e/\text{mV}$	$\eta_{\Delta e}/\%$	$\eta/\%$
0	15	0.3	50
1	22.5	0.45	68.2
2	30	0.6	83.5
2.5	50	1	92

注: Δe 为激光器频率稳定在某个 e 值时功率信号差值在 e 附近的漂移范围; $\eta_{\Delta e}$ 为相对漂移量; η 为功率较大纵模占激光器总输出功率的百分比。

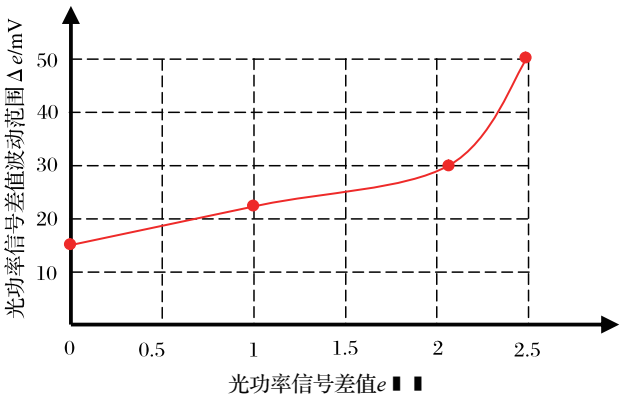


图 5 光强差 e 和 Δe 的关系

为了精确测量本热稳频激光器的频率稳定度及分析功率信号差值 e 的变化对频率稳定度的影响,本文将通过拍频实验来测量纵模功率信号差值不同时激光器的频率稳定度,参考的稳频激光器为本所的国家激光频率副基准。拍频实验中将测量功率信号差值为 $e = 0 \text{ V}$, $e = 2 \text{ V}$ 和 $e = 2.7 \text{ V}$ 时激光器的频率稳定度。拍频实验结果如图 6 和表 2 所示。图 6 所示为激光器频率稳定在不同位置时,积分时间(取样时间)和被测

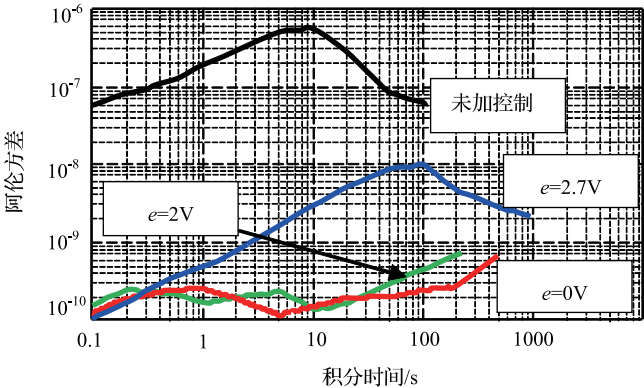


图 6 稳频后激光器的阿伦方差

激光器的阿伦方差关系曲线；表 2 为图 6 中对应取样时间在 0.1, 1, 10 s 和 100 s 点上时，稳频激光器的频率稳定度、不确定度数值以及拍频测量时间和功率较大的纵模频率占总功率的百分比 η 。

表 2 纵模频率稳定在不同位置时的频率稳定度

τ/s	未控制	0 V	2 V	2.7 V
0.1	5.7×10^{-8}	1.7×10^{-10}	1.5×10^{-10}	9.6×10^{-11}
1	1.9×10^{-7}	4.7×10^{-10}	1.6×10^{-10}	4.5×10^{-10}
10	6.0×10^{-7}	3.9×10^{-10}	1.4×10^{-10}	2.9×10^{-9}
100	6.5×10^{-8}	2.9×10^{-10}	4.5×10^{-10}	9.3×10^{-9}
不确定度 (0.1 s)	2.5×10^{-6}	6.6×10^{-8}	9.4×10^{-9}	1.6×10^{-7}
$\eta/\%$	—	50	83	92 ~ 95
拍频时间 /min	—	190	34	75

注： τ 为取样时间。

由图 6 可知，和未加稳频控制相比，加入稳频控制后，激光器的频率稳定度和不确定度均得到提高。当两个纵模稳定在对称位置时，此时光功率信号差值 $e=0$ V，拍频曲线如图 6 中所示，取样时间在 $0.1 \text{ s} \leq \tau \leq 100 \text{ s}$ 范围内时激光器的频率稳定度均能达到 10^{-10} 量级，此时单个纵模的功率为 50%；当两个纵模稳定在不对称位置且信号差值 $e=2$ V 时，拍频曲线如图 6 所示，取样时间在 $0.1 \text{ s} \leq \tau \leq 100 \text{ s}$ 范围内时频率稳定度均能达到 10^{-10} 量级，此时功率较大的纵模的功率可达 83%。通过和 $e=0$ V 时的拍频曲线比较可知，此时功率信号差值增大到 2 V 时对频率稳定性影响较小。当功率信号差值 $e=2.7$ V 时，拍频曲线如图 6 所示，与 $e=0$ V 和 $e=2$ V 时相比，在取样时间 $0.1 \text{ s} \leq \tau \leq 100 \text{ s}$ 范围内，频率稳定度变化较大，说明功率信号差值的继续增大对频率稳定性产生了明显的影响，但仍然能得到 10^{-9} 量级的稳定度，此时较大纵模的功率约为 92% ~ 95%。

对于上述拍频实验数据中，当功率信号差值 $e>2$ V（对应功率较大的纵模频率占总功率的百分比 $\eta>83\%$ ）时，频率稳定性下降明显，这可能是由于随着两个纵模的光功率差值增大，增益曲线上两个纵模频率所对应点的变化差异引起的，如图 2 所示，这个问题将在进一步的实验中进行讨论。

4 小结

通过本文的实验结果及分析可知：

1) 该系统实现了双纵模的对称稳频，和未加控制时相比，加入稳频控制系统后，激光器的频率稳定度明显提高，取样时间间隔为 $0.1 \text{ s} \leq \tau \leq 100 \text{ s}$ 时，激光器的稳频稳定度均为 10^{-10} 量级。

2) 当激光器的两个纵模频率稳定在不对称于增益曲线中心频率的位置上，且频率稳定度在 $0.1 \text{ s} \leq \tau \leq 100 \text{ s}$ 的取样时间间隔内维持 10^{-10} 量级时，本系统得到了单个纵模功率达总功率 80% 的稳频激光。

参 考 文 献

- [1] 钟亮, 黄伟. He-Ne 激光稳频技术现状与发展 [J]. 机械, 2006, 33 (9): 25-27.
- [2] TaeBong Eom, HyunSeung Choi, and SunKyu Lee. Frequency stabilization of an internal mirror He-Ne laser by digital control [J]. Rev. Sci. Instrum, 2002, 73 (1): 221-224.
- [3] Jin Qian, Zhongyou Liu, Chunying Shi, et al. Frequency stabilization of internal-mirror He-Ne lasers by air cooling [J]. APPLIED OPTICS, 2012, 51 (25): 6084-6088.
- [4] 赵绥堂, 游大江. He-Ne 多纵模激光器改为单纵模激光器工作时其物理机制的研讨 [J]. 激光与红外, 1987 (5): 27-30.
- [5] 白燕羽, 朱璐莱, 吕小强, 等. 智能双纵模激光稳频系统的研究 [J]. 中国测试, 2012, 38 (1): 110-112.
- [6] 王丽霞. 基于纵模拍频控制的激光稳频技术 [D]. 上海: 华东师范大学, 2007.
- [7] 梁晶, 龙兴武. 双纵模 He-Ne 激光器的拍频稳定度分析 [J]. 光学学报, 2009, 29 (5): 1301-1304.
- [8] 愈宽新, 江铁良, 赵启大. 激光原理与激光技术 [M]. 北京: 北京工业大学出版社, 1998.
- [9] 喻洪平, 吴斌, 莫莉. 基于 He-Ne 双频激光干涉的大尺寸精密检测技术 [J]. 工具技术, 2009, 43 (6): 119-120.

订阅本刊可通过邮局或直接与编辑部联系。

邮发代号: 80-441。全年定价 60 元。

欢迎订阅!

本刊优先刊登受各类基金资助产出的论文。

欢迎赐稿!

欢迎发布技术和产品信息!

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2014.01.10

基于成像式照度探测的光源光强分布测量

唐翠荣¹, 刘军¹, 王珊珊², 左勇¹, 武文彬¹

(1. 中航工业北京长城计量测试技术研究所 长度研究室, 北京 100095; 2. 北京理工大学, 北京 100081)

摘要: 基于成像式照度探测的光源光强空间分布特性测量方法以其量值准确、大幅消除背景光干扰等优点, 受到人们的广泛关注。本文根据成像式照度探测原理设计了一套光源光强空间分布特性检测装置, 通过实验测试了该检测系统, 并总结了测量位置与光强空间分布测量误差之间的关系。该系统具有很好的实用价值。

关键词: 光强测量; 成像式照度探测; 影响因素分析

中图分类号: TB92; O432.2

文献标识码: B

文章编号: 1674-5795 (2014) 01-0035-04

Measurement of Luminous Intensity Based on Imaging Illumination Detect

TANG Cuirong¹, LIU Jun¹, WANG Shanshan², ZUO Yong¹, WU Wenbin¹

(1. Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China; 2. Beijing University of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: In the field of space light intensity measurement, the method based on imaging illumination detect has many outstanding merits, such as accurate measurement and anti-back light interference, and it has attracted broad attention. Based on this theory, a new system for the measurement is developed. The system was tested by experiments, and conclusion was made on the relationship between the measurement positions and the measurement errors of luminous intensity. The system is of high practical values.

Key words: luminous intensity measurement; imaging illumination detection; influence analysis

0 引言

目前光源光强测量多为测量与光源相距一定距离处的光照度, 根据 $I = EL^2$ 平方反比定律计算出光源光强。照度的测量方法为: 将标定过的光电探测器放置在待测的空间位置, 根据需要的探测方式对准光源进行测量。该方法的测量精度普遍较低, 主要原因为没有排除空间内杂散光的影响、光源对准精度较低等。如果在暗室实验室中进行测量, 又不能满足诸如铁路信号灯、机场助航灯、舰载机光学着舰引导系统等大口径、远作用距离光源的测量需求。为了解决这一问题, 本文基于成像式照度探测的光源光强测量理论, 设计了一套光源光强空间分布的测量系统, 通过实验分析了其测量精度和对空间内杂散光的消除能力, 并得出了测量位置与测量精度之间的关系。

1 检测原理与系统

1.1 成像式照度探测原理

国内外测试空间光强分布较常用的方法是: 在空

间布置多个光探测器, 根据被测灯具的形状将探测器摆放成球面或柱面的形状, 利用多路采集卡进行数据采集^[1]。其光度探测单元根据所需的探测方式对准光源进行测量。当被测光源为大口径、大发光角度并且需要远距离应用的光源类型时, 该方法存在的主要问题为测试空间内杂光的抑制率较低和探测器无法精确按照实验要求对准被测光源, 从而导致测量结果精度降级。为了解决这个问题, 进一步提高光强测量精度, 可采用成像式照度探测光强测量方法。

成像式照度测量原理图如图 1 所示。其与普通测量的主要区别是在照度探头前加装了成像透镜, 从而使以规定方式进入成像透镜的光通量能够聚焦到照度探头。

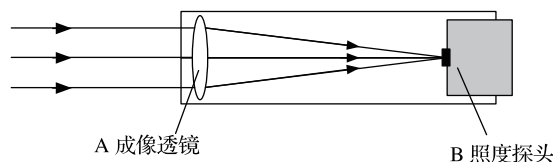


图 1 成像式照度测量原理图

成像式照度探测具有以下几个优点^[2]:

1) 提高到达照度探头的光通量 (达到 S_A/S_B 倍,

收稿日期: 2013-11-14; 收修改稿日期: 2013-12-19

基金项目: 国家“十一五”技术基础科研项目 (J052009B002)

作者简介: 唐翠荣 (1961-), 女, 工程师, 从事几何量计量与测试技术研究工作。

S_A 为成像透镜的通光面积, S_B 为照度探头的光敏面积)。当测量距离较远、照度较小时, 在照度探头灵敏度一定的情况下, 提高探头捕获的光通量, 对保障测量精度有很重要的意义。

2) 提高检测系统对杂散光的抗干扰能力。在环境较差, 特别是在室外工作时, 环境光的干扰是难以避免的。采用成像式照度探测结构, 只有视场中以特定方向传播的光才能到达照度探头。对于杂散光, 对光学系统内表面做发黑处理和添加消杂光螺纹, 其就会被吸收, 可以有效地消除杂散光的干扰。

3) 系统简化, 便于使用。进行光强检测时, 需要按要求瞄准待测光源。通过设计可以使测量和瞄准共用一个光学系统, 这样可以简化系统提高瞄准精度, 并且不用随测量距离变化修改瞄准轴, 使用方便。参考光学结构如图2所示。

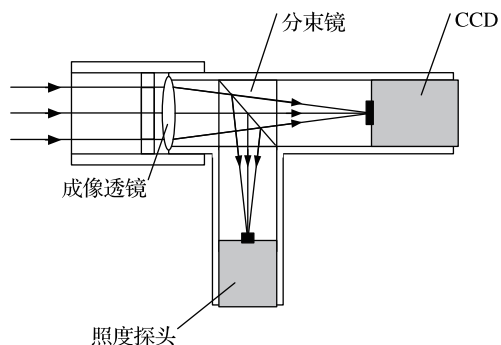


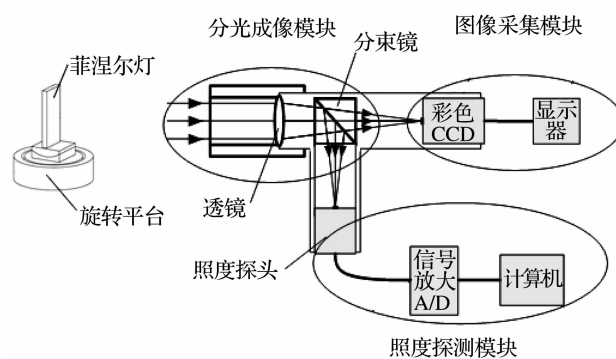
图2 成像式照度测量和瞄准一体化光路示意图

1.2 成像式照度探测系统

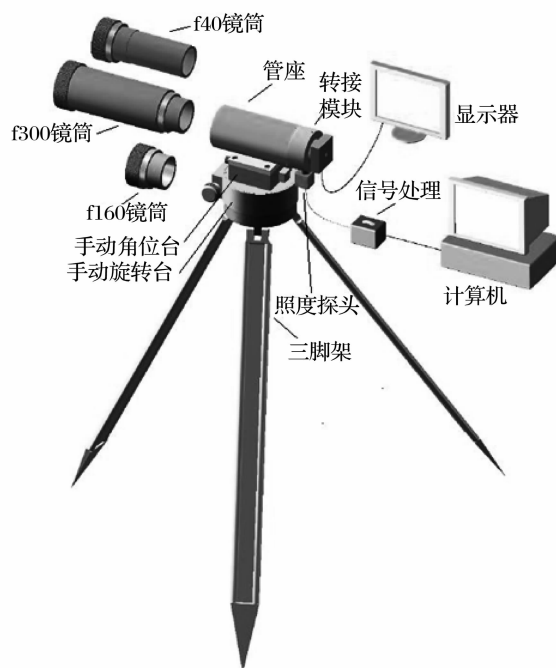
根据以上原理设计探测系统。系统测试对象选择菲涅尔光源。菲涅尔光源以发光强度大、均匀性高、方向性好、作用距离远等优点获得越来越广泛的应用。菲涅尔光源具有很明显的光强边界, 在边缘位置光强下降的很快, 通过探测系统获得光源中心和边缘的光强测量结果与其理论值之间的对比能直观地检测测量系统的性能。因此无论从实际应用方面还是性能分析方面, 菲涅尔光源都是较为理想的测试对象。

分布光度计一般分为5种, 传感器旋转式分布光度计、灯具旋转式分布光度计、双镜式分布光度计、圆周运动反光镜式分布光度计和中心旋转反光镜式分布光度计等^[3]。根据瞄准精度和与菲涅尔光源配合使用两方面考虑, 选择灯具旋转式光强分布测量方法。

综上设计成像式照度探测系统, 如图3所示, 主要包括分光成像模块、图像采集模块、照度探测模块。



(a) 系统原理图



(b) 系统实物3D图

图3 成像式照度探测系统

2 实验过程及结果分析

2.1 实验过程

实验目的: 测量菲涅尔光源光强空间分布、杂光衰减率, 分析影响测量精度因素。实验方式为灯具旋转式分布光度计光强测量方式, 测量步长选择为 0.1° 。菲涅尔灯固定放置在角度标准系统平台上, 其主要参数为: 承载能力: 50 kg (含安装卡具); 转角范围: $-360^\circ \sim +360^\circ$ 连续; 定位误差: $\pm 2''$ 。光源选择口径为20 cm的圆形发光面菲涅尔光源, 采用稳压稳流电源为其供电, 保证发光的均匀一致性。测量距离为5 m。

2.2 光源光强空间分布分析

测量结果如图4所示。

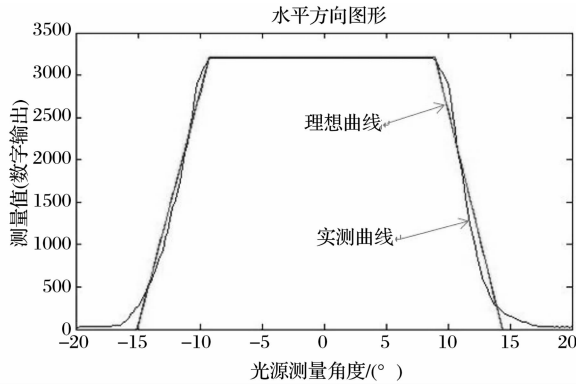


图4 光源光强空间分布

图4中,直线为非涅尔光源理想发光曲线,由于测量距离不是无限远,因此理想发光曲线下边缘斜率不为无限大。光源测量角度为光源对准探测器的角度。测量值为本测量系统输出的数字值,经过系统标定之后转化为照度值,根据实验位置关系可以推算得到光源光强值,该系统输出数字值与光源光强为线性关系。高次曲线为实际测量值。

由图可知,实际测量光强最大值与理想值基本重合,但由于测量距离较远,在传输过程中,存在光能损失,所以不完全重合。在发光角度 15° 以上时,理想光强为0,由于实验是在实验室内进行,存在光的室内不规则散射问题,因此该范围内的实际测量值为室内散射光。在下降边缘处,实际测量曲线与理想曲线很接近,说明该系统对光源光强空间分布测量准确。在下降边缘测试曲线与理想曲线的相关系数为0.9626,符合国家对电光源发光强度所规定的检测要求。

2.3 杂光衰减率分析

在相同实验条件下,通过对比光源未照射时成像式照度探测系统所测得的照度值与该实验系统去掉成像系统之后测得的照度值,分析该系统对空间杂散光衰减率。

成像式照度探测系统读数 $E_1 = 16 \text{ lx}$,直接测量读数 $E_2 = 2205 \text{ lx}$ 。杂散光衰减率为

$$\eta = \frac{E_2 - E_1}{E_2} = 99.27\%$$

3 影响测量精度因素分析

3.1 光强测量精度与测量位置关系分析

当前很多光源的口径较大,在测量时不能近似为点光源,而作为面光源参与分析。对于发光面为圆形的非涅尔光源,当其发光面为朗伯体时,在距光源一定距离处测得的发光强度可以表示为

$$I = E \cdot l^2 = L_0 l^2 \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^r \frac{l \cos \theta (l - \rho \sin \theta \cos \varphi)}{(l^2 + \rho^2 - 2l\rho \sin \theta \cos \varphi)^2} \rho d\rho$$

式中: E 为照度值; l 为测量距离; r 为光源半径; L_0 为光源距测量点的距离; θ 为测量角度; ρ , φ 为测量点所在位置的极坐标。相对测量误差 ε 为发光强度的真值减去测量值所得的差值与真值之比。当照度计位于光源发光面中心法线上时,发光强度测量相对误差 ε 与相对测量距离 l/r 关系如图5所示。

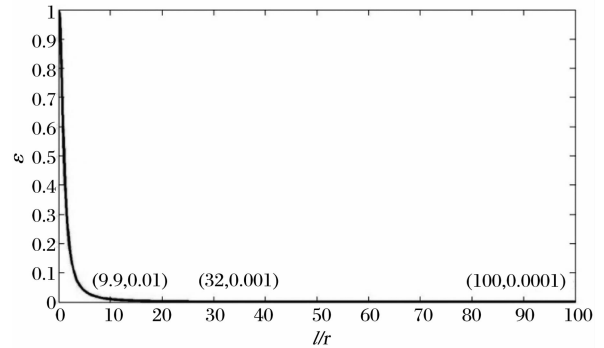


图5 发光强度测量误差与相对测量距离关系

从图5中可以得出,照度探头位于光源发光面法线上时,随着相对测量距离的增大,相对测量误差急剧减小。在光强检测时,应当根据对测量精度的要求,选择相应的相对测量距离。

当照度探头位于发光面中心法线以外时,不同相对测量距离时发光强度测量误差 ε 如表1所示。

表1 不同相对测量距离发光强度测量误差

$\theta / (^{\circ})$	$\varepsilon / \%$		
	$l/r = 10$	$l/r = 25$	$l/r = 100$
0	0.990	0.160	0.01 000
-5 ~ +5	0.975	0.157	0.00 985
-10 ~ +10	0.932	0.150	0.00 940
-15 ~ +15	0.860	0.138	0.00 865
-20 ~ +20	0.762	0.122	0.00 766

从表1可以得出:①同一个测量方向的测量误差 ε 随相对测量距离 l/r 的增大迅速减小;②相对测量距离 l/r 相等时,测量误差随测量角度 θ 的增大而逐渐减小,即当 θ 在 $-20^{\circ} \sim +20^{\circ}$ 变化时,在边缘测量发光强度的精度比在中心测量时高。

3.2 光强角度分布精度与测量位置关系分析

非涅尔光源结构如图6所示,发光面位于非涅尔透镜焦平面,灯丝发出的光通过非涅尔透镜形成一束平行光,用于远距离的指示作用。由于灯丝具有一定的尺寸,灯丝边缘发出的光通过非涅尔透镜后形成的光柱不与光轴平行,因此非涅尔灯的出射光线具有一

定的发散角度。

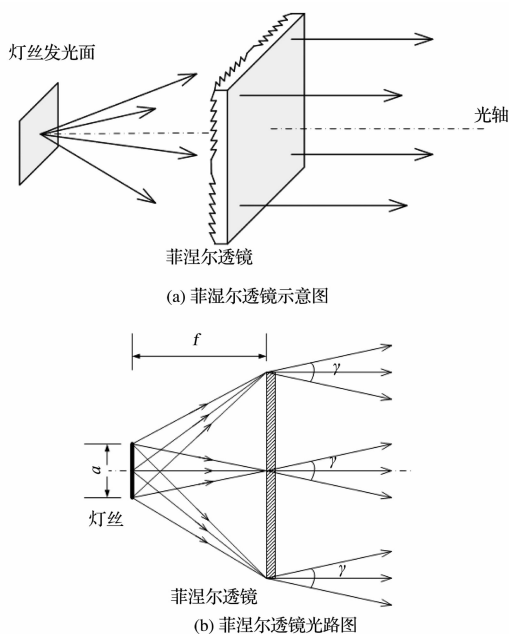


图6 菲涅尔光源发光示意图

理想菲涅尔光源光强空间分布, 当角度大于 $\gamma/2$ 时光强为 0, 小于 $\gamma/2$ 时光强为平均分布, γ 为光源发光的发散角。当发散角 γ 为 1° 时, 在不同相对距离下对菲涅尔光源进行测量, 以相对光强随角度分布关系作图, 如图 7 所示。图 7 中, l/b 为相对测量距离, b 为菲涅尔透镜的边长; I_θ/I_0 为相对光强值, I_θ 表示测量角度为 θ 时的光强; I_0 为 $\theta=0$ 时的光强。

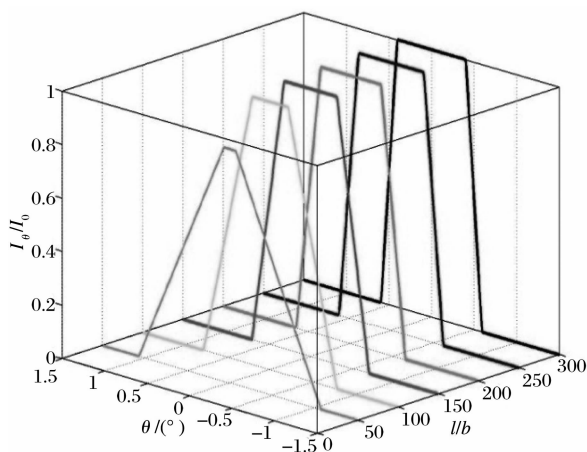


图7 不同相对距离下相对光强随角度分布 ($\gamma=1^\circ$)

从图 7 中可以得出: ①相对测量距离越小, 中心相对发光强度测量误差越大, 随相对测量距离的增大, 逐渐趋于真值; ②随着相对测量距离的增大, 相对发光强度边界越来越陡峭, 也越接近真实值; ③相

对测量距离越大, 发光面相对光强分布曲线越接近其上各点的相对光强分布。

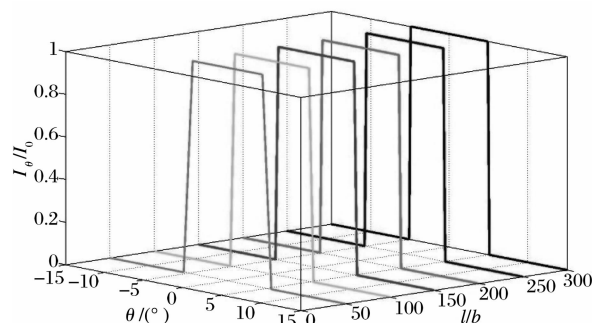


图8 不同相对距离下相对光强随角度分布 ($\gamma=10^\circ$)

图 8 为光束发散角 γ 为 10° 时不同相对距离下测量得到的相对光强分布。比较图 7 与图 8, 通过分析得出: ①在相对测量距离 l/b 一定的情况下, 对于不同光束发散角的菲涅尔信号灯, 其边界相对发光强度随测量角度 θ 的变化率是相等的。也就是说, 相对发光强度分布测量误差只与相对测量距离 l/b 有关, 而与信号灯本身的光束发散角 γ 无关; ②信号灯边界发光强度变化曲线斜率正比于相对测量距离。如表 2 为不同相对测量距离下信号灯光束边界的相对光强变化斜率。

表2 不同相对测量距离下边界相对光强变化斜率

l/b	50	100	150	200	250	300
k	0.87	1.74	2.62	3.49	4.36	5.23

其中斜率 k 的计算公式为

$$k = \frac{\Delta I_\theta}{I_0 \cdot \Delta \theta} = \frac{I_{\theta+\Delta \theta} - I_\theta}{I_0 \cdot \Delta \theta}$$

因此, 要保证光源光强空间分布测量的准确性, 就需要在较大的相对距离下测量。

4 结论

本文通过分析成像式照度探测光强原理, 设计了光源光强空间分布测量系统。通过实验证明该系统具有测量精度高、对空间杂散光抑制率高等突出优点。进一步分析影响光源光强测量精度和光源光强空间角度分布精度的主要因素, 得出了相对测量位置与测量精度之间的关系, 本文研究结果对光源光强空间分布的测量具有很好的实用价值。

参考文献

- [1] 王修岩, 李宗帅, 乔辉. 基于三自由度搭载机构的助航灯具光强检测系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (12): 2385-2387. (下转第 48 页)

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2014.01.11

基于磁性液体的岩样总体积测试方法

鲍云杰^{1,2}, 鲍芳^{1,2}, 李志明^{1,2}

(1. 中石化石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151;

2. 中石化油气成藏重点实验室, 江苏 无锡 214151)

摘要: 针对现有浮力法测定岩样总体积受人为因素影响大, 以及丈量法测定岩样总体积对岩样外形严格限定的缺点, 提出了岩样总体积测试的双密度测定计算公式。在实验验证的基础上, 利用磁性液体在磁场作用下密度可变、可控的特性, 探索设计了基于磁性液体的岩样总体积测定装置, 建立了基于磁性液体的岩样总体积测定方法和流程。这种新方法对于减小测定岩样总体积过程中的人为误差、提高测试精度等方面均具有一定的优势, 具有良好的推广应用前景。

关键词: 岩样总体积; 磁性液体; 测定装置

中图分类号: TE135.1

文献标识码: B

文章编号: 1674-5795 (2014) 01-0039-03

Method of Measuring Total Volume of Rock Samples Based on Magnetic Fluid

BAO Yunjie^{1,2}, BAO Fang^{1,2}, LI Zhiming^{1,2}

(1. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, Sinopec, Wuxi 214151, China;

2. Sinopec Key Laboratory of Petroleum Accumulation Mechanisms, Wuxi 214151, China)

Abstract: The existing buoyancy method of measuring the total volume of rock samples is artificially influenced and the dimension measurement method for determining the total volume of rock samples has strict limitation on the shape of rock samples. For solving these problems, a dual density determination formula is proposed to test the total volume of rock samples. Based on experiments, the properties that magnetic fluid density is variable and controllable in the magnetic field is used to design a measuring device for testing total volume of rock samples based on magnetic fluid and to establish methods and processes for measuring the total volume of rock samples based on magnetic fluid. This new method has some advantages in reducing the artificial errors and improving test accuracy in the measurement process, and has good application prospects.

Key words: total volume of rock sample; magnetic fluid; measuring device

0 引言

岩样孔隙度的分析测试是油气地质研究的一项重要基础工作。当前实验室岩样孔隙度测定过程中, 应用较多的是测定岩样总体积、骨架体积和孔隙体积中的两个参数之后, 按照孔隙度定义计算岩样孔隙度。岩样总体积的测定, 是岩样孔隙度测定的重要环节, 现有岩样总体积测定方法主要有以下两种。①浮力法: 称取岩样在已知比重的煤油中的重量, 将岩样从煤油中取出, 擦除岩样表面的煤油, 称取岩样在空气中的重量。岩样在空气中和在煤油中重量的差值, 除以煤油的比重, 就可以得到岩样的总体积。②丈量法: 当

待测岩样外形为规则形状时, 丈量几何尺寸后按体积计算公式计算岩样的体积。

为提高岩样孔隙度测试精度、工作效率, 前人进行了众多的研究探索。黄福堂等 1995 年公开了一种总体积测定气体法^[1]: 岩心夹持器内橡胶衬套, 每次测量样品时, 以抽真空的方法, 使橡胶衬套贴紧岩样, 尽量接近真实。用以波-马定律为基础的气体平衡法, 测量出岩样和橡胶衬套的体积, 再减去橡胶衬套的体积, 就可以得到岩样的总体积。沈亚光 (2001) 研制了数字自动滴定仪及与其配套的液位传感器, 使岩屑体积测定过程实现了自动化^[2]。

随着页岩油气勘探开发研究工作的深入, 岩样总体积测量的对象发生了很大变化, 泥岩、页岩等岩样的测试工作量越来越大。与泥岩、页岩易于破碎的特点相比, 现有岩样总体积测定技术存在以下不

收稿日期: 2013-11-03

作者简介: 鲍云杰 (1963-), 男, 内蒙古赤峰人, 高级工程师, 主要从事储盖层测试等方面的研究。

足：①取得外形规则的岩样比较困难，使丈量法的应用受到限制；②在浮力法中，在称取液体浸泡后岩样在空气中的重量时，要擦除岩样表面的煤油，在此过程中，由于岩样表面形态复杂，擦除到什么程度，怎样擦除合理，受人为因素影响很大；③黄福堂等提出的气体法中，由于岩样表面形态复杂，岩心夹持器内橡胶衬套存在因有死角而不能贴紧岩样的风险，从而使岩样的总体积偏大；④沈亚光提出的方法中，其关键是以液位传感器控制液体滴定，“液滴”的大小对测定精度存在一定的影响，同时，没有考虑岩屑为多孔材料，会有一些水进入到孔隙系统中，从而造成误差。

1 岩样总体积双密度计算方法及原理性实验

1.1 岩样总体积双密度计算方法

依据阿基米德原理，浸没在液体中的物体受到向上的浮力，浮力的大小等于物体排开液体的重量。

假设将岩样浸没到第一种液体中，则其受到的浮力为

$$F_1 = D_1 \times V = G_{01} - G_1 \quad (1)$$

假设再将同一岩样浸没到第二种液体中，则其受到的浮力为

$$F_2 = D_2 \times V = G_{02} - G_2 \quad (2)$$

式 (1)，(2) 中： F_1 ， F_2 为受到的浮力，g； D_1 ， D_2 为第一、第二种液体的密度，g/cm³； V 是岩样的总体积，cm³； G_{01} ， G_{02} 是岩样在空气中重量，g； G_1 ， G_2 是岩样在第一、第二种液体中的重量，g。

由公式 (1) 和 (2) 可得

$$V = [(G_2 - G_1) + (G_{01} - G_{02})] / (D_1 - D_2) \quad (3)$$

由公式 (3) 可见，当 $G_{01} = G_{02}$ 时，测得岩样在密度分别为 D_1 ， D_2 的两种液体中的重量 G_1 ， G_2 ，就可以计算岩样的总体积 V 。这一过程可以理解为将待测岩样放到两种不同密度液体中分别称重，进而计算岩样总体积，简称岩样总体积双密度测定方法。

1.2 实验与结果分析

为验证上述计算方法的合理性，开展了原理性实验。实验样品采用已知体积的 7 个不锈钢圆片，以电子天平分别称取不锈钢圆片在水中、煤油中的重量，水和煤油的密度分别为 1.0，0.8 g/cm³。最后以公式 (3) 计算体积。

从表 1 和图 1 来看，测量计算体积值与标称体积接近，最大误差 5.2%，复相关系数达 0.9993，说明这种方法是可行的。但也应该注意到，上述实验所用

样品为不锈钢圆片，是一种无孔的材料，能够满足 $G_{01} = G_{02}$ 的要求，这一点与岩样存在明显差异。为将该方法应用于岩样，本文引入磁性液体并设计了配套装置。

表 1 实验数据表

样品 编号	煤油中 重/g	水中 重/g	计算体 积/cm ³	标称体 积/cm ³	体积误 差/%
1	104.138	101.25	14.44	15.2355	5.2
2	68.97	66.979	9.955	10.0871	1.3
3	35.257	34.236	5.105	5.1552	0.9
4	17.439	16.941	2.49	2.5498	2.3
5	11.244	10.912	1.66	1.6438	0.9
6	7.839	7.612	1.135	1.1466	1
7	1.558	1.513	0.225	0.2287	1.6

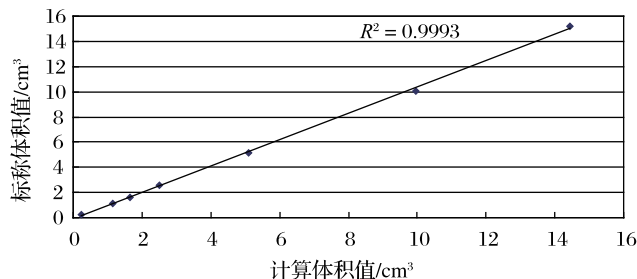


图 1 计算体积值与标称体积值交汇图

2 装置的原理与测试流程

2.1 装置的原理

磁性液体是一种特殊的流体，既有一般流体的流动性、稳定性，又具有磁性。特别是在外加磁场的作用下，其密度可以按照预期进行变化^[3-6]，变化之后的密度称为表观密度，去掉外加磁场后，其密度又恢复到原有密度，即满足 $G_{01} - G_{02} = 0$ 的条件。利用磁性液体的这种特性，即可以用双密度法测定岩样的总体积。

关于磁性液体表观密度的调节和控制，前人已有许多实验研究成果，通过调节电源的电流可以使磁液体的表观密度达到设计值^[6]，如图 2 所示。

由于磁性液体具有较强的稳定性，故在配制或购置磁性液体后，可以用实验的方法建立电流（或电压）与磁性液体表观密度的定量关系。这样在操作过程中，只需合理选择电流和（或电压）就可以使磁性液体表观密度达到预期的设计值，而不需重复、频繁测

定。按照上述思路,测试装置包括以下单元,如图3所示。

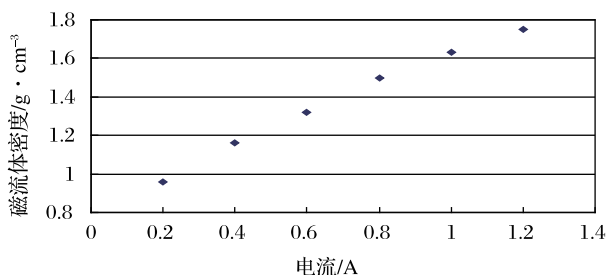


图2 表观密度与电流的相关性

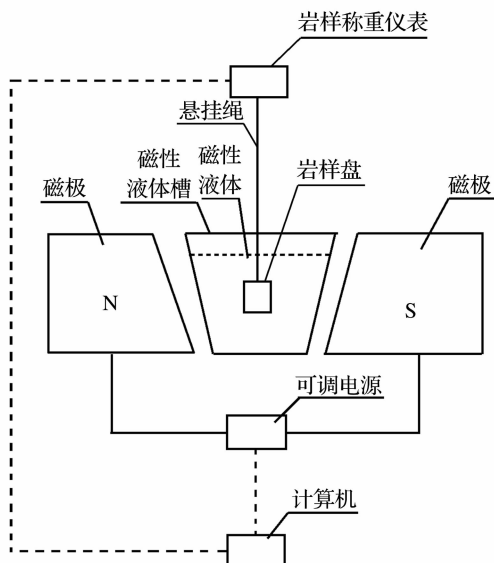


图3 岩样总体积测定装置组成示意图

图3中一对磁极与可调电源连接,通过计算机控制调节电源,实现磁性液体槽中磁性液体表观密度达到设计值的目的。岩样盘用于盛装岩样,由非磁性材料加工而成,如塑料、玻璃等。悬挂绳是非磁性材料,如尼龙等,悬挂绳与岩样称重仪表连接,称取岩样的重量,系统有扣除岩样盘和岩样盘悬挂绳重量的功能,自动记录岩样的重量。计算机(或单片机)用于电源控制、重量数据采集、总体积计算等。

2.2 操作流程

- 1) 岩样烘干;
- 2) 将岩样放入干燥器,冷却至室温;
- 3) 将岩样放入磁性液体中浸泡,磁性液体密度为 D_1 , 已知;
- 4) 将岩样放到样品盘中,将样品盘放到盛有同种磁性液体的槽中,并保持被磁性液体浸没状态,放入

深度值固定;

- 5) 测定此时岩样的重量,记为 G_1 ;
- 6) 施加磁场,调节电源使磁性液体表观密度达到设计值 D_2 ;
- 7) 测定此时岩样的重量,记为 G_2 ;
- 8) 计算岩样总体积 $V = (G_2 - G_1) / (D_1 - D_2)$ 。

从操作过程来看,这一方法只需将岩样放置到磁性液体中,分别测定岩样在施加磁场前后岩样的重量,即可完成岩样总体积测定。对岩样外形没有特定要求,特别是规避了擦除样品表面水(或煤油)这一最容易导致人为误差的环节,从而提高测试精度。

3 结论

基于磁性液体的双密度岩样总体积测定方法可以对岩样总体积进行测定,具有较明显的技术优势。对岩样的外形没有特殊要求,对于泥岩、页岩等岩样具有广泛的适用性。规避了人工擦除岩样表面液体的环节,避免了人为误差的产生,提高了岩样总体积测试精度。可以对碎屑状岩样进行总体积测试,使岩样孔隙度测试由块状扩展到碎屑状,更好地满足地质研究工作的需要。

参考文献

- [1] 黄福堂,吴西湖,程先梅. KXD-1型孔隙度自动测定仪的研制与实验[J]. 大庆石油地质与开发, 1995, 14(3): 72-74.
- [2] 沈亚光. 岩屑体积自动测量装置[J]. 录井技术, 2001, 12(1): 55-56, 70.
- [3] 吴健,夏聪,王松,等. 非磁性颗粒在磁流体选矿中的动力学模型[J]. 矿山机械, 2010, 38(11): 91-94.
- [4] 郭铁梁,李海宝. 磁流体静力选矿中非磁性矿粒的磁浮力分析[J]. 金属矿山, 2009(4): 35-39.
- [5] 李艳琴,董桂馥. 横向磁场中磁性液体表观密度研究[J]. 实验技术与管理, 2013, 30(6): 28-30.
- [6] 李学惠,张萍,袁学德,等. 磁流体表观密度与外磁场间变化规律研究[J]. 稀有金属材料与工程, 2005, 34(5): 688-690.

QC检测仪器网

全 新 上 线

欢迎点击 查看更多 精彩内容

WWW.QCtester.com

更便于 搜寻仪器、专业展会、专业期刊

更多 行业信息、供求信息

咨询电话: 010-64385345

传真: 010-64374736

E-mail: qctester@126.com

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2014.01.12

三轴转台轴线垂直度的测试方法

王玉田

(哈尔滨博实自动化股份有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150078)

摘 要: 为了测量中环轴、内环轴不能全回转的三轴转台回转轴线的垂直度误差, 设计了利用自准直仪和平面反射镜将有限回转轴系轴线引出的方法。根据自准直仪读数与平面反射镜对回转轴线的垂直度误差、自准直仪的光轴与回转轴线的平行度误差之间的关系, 利用最小二乘法引出外环轴处于不同位置时的中环轴轴线、内环轴轴线, 实现了三轴转台轴线垂直度的测量。

关键词: 自准直仪; 垂直度; 三轴转台; 平面反射镜

中图分类号: TB922; 0435.1

文献标识码: B

文章编号: 1674-5795 (2014) 01-0042-03

The Method of Measuring Perpendicularities of Three-axis Turntable

WANG Yutian

(Harbin Boshi Automation CO., LTD., Harbin 150078, China)

Abstract: In order to measure axis perpendicularity errors of three-axis turntable whose inner axis and middle axis cannot rotate in full circle, a method of leading out the axis lines of limited rotating axis system was designed by using an autocollimator and reflected mirrors. According to the relationships among the readouts of the autocollimator, the perpendicularity errors of mirror planes versus corresponding axis lines, and the parallelism errors of axis lines versus the optic axis line of the autocollimator, least square method was used to lead out the middle axis lines and inner axis line while the outer axis is in different positions. Finally the measurement of axis perpendicularities is realized.

Key words: autocollimator; perpendicularity; three-axis turntable; reflected mirrors

0 引言

垂直度误差是机床、精密轴系轴线相互位置度的重要技术指标^[1-4]。某三轴转台由于结构的限制, 中环轴和内环轴不能够全回转, 回转范围仅 $-45^\circ \sim +45^\circ$, 不能采用文献 [3] 中的水平仪翻转法来测量垂直度误差。为了解决此类三轴转台的垂直度测试问题, 本文提出一种简便、易行的方法, 中环轴轴线与外环轴轴线的垂直测试采用平面镜翻转法^[4], 内环轴轴线和中环轴轴线的垂直度测试则采用在内环轴和中环轴轴端各安装一平面反射镜、用另外一台自准直仪和一台正 24 面棱体监视外环轴准确旋转 90° , 然后拟合出中环轴轴线与内环轴轴线, 根据这两轴线的一致性来测量中环轴与内环轴的垂直度误差。

1 测试系统及原理

如图 1 所示, 三轴转台由外环轴、中环轴、内环轴轴系组成, 要求测量其内环轴轴线与中环轴轴线的垂直度、中环轴轴线与外环轴轴线的垂直度。整个测试系统由两台自准直仪、正 24 面棱体、3 块平面反射镜组成。

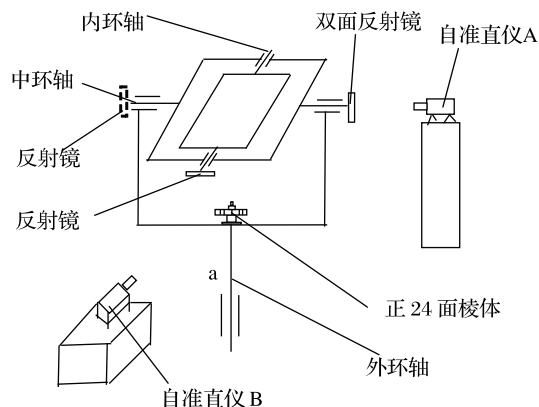


图 1 三轴转台轴线垂直度测试示意图

收稿日期: 2013-10-20; 收修改稿日期: 2013-11-25

作者简介: 王玉田 (1955-), 男, 工程师, 主要研究方向为工程机械。

1.1 中环轴轴线与外环轴的垂直度测试

在中环轴轴端安装一平面双面反射镜（如果没有通光孔，可以在中环轴两端各安装一平面反射镜，效果是一样的）。用自准直仪对准平面反射镜，通过转动中环轴观测反射镜在自准直仪视场中的反射像的轨迹调整平面反射镜与中环轴轴线垂直，然后使自准直仪的敏感方向绕水平轴的转动方向（俯仰方向），旋转中环轴从 $-45^\circ \sim +45^\circ$ 每隔 5° 记录自准直仪的读数。在忽略回转误差的情况下，自准直仪的读数应为

$$f(\beta) = \Delta\theta_{y1} + \Delta\phi_c \cos\beta + \Delta\phi_s \sin\beta + \varepsilon_1 \quad (1)$$

式中： $\Delta\theta_{y1}$ 为自准直仪光轴与中环轴轴线（此时外环轴处于 0° ）的平行度误差，在自准直仪的视场中表现为在竖直方向偏离视场中心的距离大小； $\Delta\phi_c$ 和 $\Delta\phi_s$ 为镜面对轴线的垂直度误差； ε_1 为残余误差。如果将外环轴准确转动 180° ，自准直仪不动，使双面镜（或另一端的平面反射镜）的另一面对准自准直仪，采用同样的方法，设自准直仪的读数为

$$g(\beta) = \Delta\theta_{y2} + \Delta\phi_c \cos\beta + \Delta\phi_s \sin\beta + \varepsilon_2 \quad (2)$$

式中： $\Delta\theta_{y2}$ 为自准直仪光轴与中环轴轴线（此时外环轴处于 180° ）的平行度误差； $\Delta\phi_c$ 和 $\Delta\phi_s$ 为双面镜的另一面对中环轴轴线的垂直度误差； ε_2 为残余误差。

如果中环轴与外环轴垂直，则由公式（1），（2）得到的 $\Delta\theta_{y1}$ 和 $\Delta\theta_{y2}$ 应相等，如果不等则中环轴与外环轴不垂直，中环轴与外环轴轴线垂直度为

$$\Delta\theta_{mo} = \frac{|\Delta\theta_{y2} - \Delta\theta_{y1}|}{2} \quad (3)$$

1.2 中环轴轴线与内环轴的垂直度测试

因为中环轴不能全回转，不能用翻转法测量内环轴轴线与中环轴轴线的垂直度。采用的方法如图 1 所示，将自准直仪的敏感方向置于绕竖直轴的旋转方向（偏航方向），对准中环轴轴端的平面反射镜，然后将另一自准直仪对准正 24 面棱体，并固定外环轴不动，最后旋转中环轴从 $-45^\circ \sim +45^\circ$ 每隔 5° 记录自准直仪的读数。忽略轴系的回转误差后，自准直仪的读数为

$$u(\beta) = \Delta\theta_{x1} + \Delta\lambda_c \cos\beta + \Delta\lambda_s \sin\beta + \varepsilon_3 \quad (4)$$

式中： $\Delta\theta_{x1}$ 为自准直仪光轴与中环轴轴线（此时外环轴处于 0° ）的平行度误差，在自准直仪的视场中表现为在水平方向偏离视场中心的距离大小； $\Delta\lambda_c$ 和 $\Delta\lambda_s$ 为镜面对中环轴轴线的垂直度误差； ε_3 为残余误差。如果将外环轴准确转动 90° ，自准直仪仍然不动，使内环轴轴端的平面反射镜对准自准直仪，采用同样的方法进行测量，设自准直仪的读数为

$$v(\gamma) = \Delta\theta_{x2} + \Delta\eta_c \cos\gamma + \Delta\eta_s \sin\gamma + \varepsilon_4 \quad (5)$$

式中： $\Delta\theta_{x2}$ 为自准直仪光轴与内环轴轴线（此时外环轴处于 90° ）的平行度误差； $\Delta\eta_c$ 和 $\Delta\eta_s$ 为镜面对内环轴轴线的垂直度误差； ε_4 为残余误差。如果由公式（4），（5）得到的 $\Delta\theta_{x1}$ 和 $\Delta\theta_{x2}$ 不一致，则表明中环轴和内环轴不垂直，中环轴与内环轴轴线垂直度为

$$\Delta\theta_{mi} = |\Delta\theta_{x2} - \Delta\theta_{x1}| \quad (6)$$

2 数据处理

对于公式（1），（2），（4），（5）中的常数项，如果相应的轴系能够在 360° 内旋转，则可以采用求平均值的方法获取。但由于轴系不能整周回转，可采用最小二乘拟合法求取常数项^[5]。比如针对公式（1），要辨识的系数为 $\Delta\theta_{y1}$ ， $\Delta\phi_c$ 和 $\Delta\phi_s$ 。则根据自准直仪的读数 $f(-45^\circ)$ ， $f(-40^\circ)$ ， $f(-35^\circ)$ ， $\dots$ ， $f(+45^\circ)$ ，可得

$$\begin{bmatrix} f(-45^\circ) \\ f(-40^\circ) \\ f(-35^\circ) \\ \vdots \\ f(+45^\circ) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cos(-45^\circ) & \sin(-45^\circ) \\ 1 & \cos(-40^\circ) & \sin(-40^\circ) \\ 1 & \cos(-35^\circ) & \sin(-35^\circ) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \cos(+45^\circ) & \sin(+45^\circ) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta_{y1} \\ \Delta\phi_c \\ \Delta\phi_s \end{bmatrix} + \varepsilon_1 \quad (7)$$

写成矩阵形式

$$\mathbf{y} = \Phi \mathbf{x} + \varepsilon_1 \quad (8)$$

则要辨识的系数的最小二乘估计^[5]为

$$\hat{\mathbf{x}} = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T \mathbf{y} \quad (9)$$

采用此方法可以辨识公式（1），（2），（4），（5）中的常数项。然后根据公式（3）和（6）计算出中外、中内环轴轴线的垂直度。

3 测试实例

按照前面所述的方法，将外环轴置于 0° 不动，自准直仪对准的敏感方向为俯仰方向，且对准中环轴的平面反射镜，中环轴每隔 5° 等角度间隔从 -45° 旋转至 $+45^\circ$ ，记录自准直仪的读数填于表 1。然后外环轴置于 180° 不动，自准直仪对准中环轴的双面反射镜的另一面，同样记录自准直仪的读数于表 1。

按照公式（9）及表 1 的数据，可得

$$\Delta\theta_{y1} = 2.45'' , \Delta\phi_c = -2.36'' , \Delta\phi_s = -2.64''$$

同理

$$\Delta\theta_{y2} = 10.43'' , \Delta\phi_c = -2.62'' , \Delta\phi_s = 1.38''$$

表1 中环轴轴线与外环轴轴线垂直度测试数据
(自准直仪敏感俯仰角变化)

中环轴位置/ (°)	外环轴 0° 自准直仪读数/ (")	外环轴 180° 自准直仪读数/ (")
-45	2.56	7.65
-40	2.30	7.37
-35	2.06	7.59
-30	1.72	7.43
-25	1.52	7.35
-20	1.25	7.47
-15	0.79	7.64
-10	0.53	7.73
-5	0.46	7.74
0	0.16	7.89
5	-0.18	8.07
10	-0.37	7.96
15	-0.67	8.18
20	-0.71	8.28
25	-0.84	8.51
30	-0.91	8.87
35	-1.00	9.10
40	-1.00	9.40
45	-1.04	9.59

表2 中环轴轴线与内环轴轴线垂直度测试数据
(自准直仪敏感偏航角变化)

中环轴 (或内环轴) 位置/ (°)	外环轴 0°转中环 自准直仪读数/ (")	外环轴 180°转内环 自准直仪读数/ (")
-45	-0.19	-7.67
-40	-0.13	-7.49
-35	-0.17	-7.37
-30	-0.20	-7.19
-25	-0.01	-7.04
-20	-0.05	-6.87
-15	0.09	-6.58
-10	0.31	-6.55
-5	0.59	-6.16
0	0.92	-6.02
5	1.24	-5.88
10	1.52	-5.57
15	2.04	-5.40
20	2.33	-5.22
25	2.75	-5.02
30	3.28	-4.81
35	3.75	-4.43
40	4.16	-4.23
45	4.43	-4.15

根据公式 (3), 中环轴与外环轴轴线的垂直度为

$$\Delta\theta_{mo} = \frac{|\Delta\theta_{y2} - \Delta\theta_{y1}|}{2} = 4.0''$$

将外环轴置于 0° 不动, 自准直仪对准的敏感方向为偏航方向, 且对准中环轴的平面反射镜, 中环轴每隔 5° 等角度间隔从 -45° 旋转至 +45°, 记录自准直仪的读数填于表 2。然后外环轴置于 90° 不动, 自准直仪对准内环轴轴端的反射镜, 内环轴每隔 5° 等角度间隔从 -45° 旋转至 +45°, 同样记录自准直仪的读数于表 2。

按照上述最小二乘法, 辨识出下面的系数

$$\Delta\theta_{x1} = 5.41'', \Delta\lambda_c = -4.50'', \Delta\lambda_s = 3.37''$$

$$\Delta\theta_{x2} = -5.47'', \Delta\eta_c = -0.58'', \Delta\eta_s = 2.48''$$

则根据公式 (6), 中环轴与内环轴的轴线垂直度为

$$\Delta\theta_{mi} = |\Delta\theta_{x2} - \Delta\theta_{x1}| = 10.9''$$

根据公式 (9), 令 $B = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T$, 本文中,

$$B B^T = \begin{bmatrix} 4.4876 & -4.9853 & 0 \\ -4.9853 & 5.6039 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2642 \end{bmatrix}$$

公式 (1), (2), (4), (5) 中忽略了相应轴系的倾角回转误差, 认为它们是包含于残余误差中, 一般情况下, 精密轴系回转误差小于 1'', 表现为二次或以上谐波误差, 这里将它视为自准直仪的测量数据引入的不确定度, 上述 4 个常系数的辨识不确定度为 $\sqrt{4.4876} \times 1'' = 2.1''$ 。根据误差合成原理^[5] 和公式 (3) 和 (6), 则中外环轴轴线垂直度的测量不确定度为 2.1''。中内环轴轴线垂直度的测量不确定度为 $\sqrt{2} \times 2.1'' = 3.0''$, 要想提高垂直度的测量精度, 应增加测量点数或增加角度的旋转范围。

(下转第 52 页)

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2014.01.13

以坐标测量方法评价矩形花键位置度的快速判定

王睿超, 张彦君

(陕西渭河工模具总厂 中心计量室, 陕西 宝鸡 722405)

摘要: 探讨了用三坐标测量机准确测量矩形花键位置度公差的原理和基本方法。从花键的联结配合介绍了评价矩形花键位置度的重要性和传统的评价测量方法, 以实际生产中齿轮矩形花键为例阐明了三坐标测量键槽位置度的数学原理并提出一种新的数据处理方法来评价工件。

关键词: 花键; 三坐标; 位置度

中图分类号: TB92; TH131.4

文献标识码: B

文章编号: 1674-5795 (2014) 01-0045-04

The Fast Evaluation of Rectangular Spline Position Degrees with CMM

WANG Ruichao, ZHANG Yanjun

(The Center Measuring Room of Shaanxi Weihe Tool Works, Baoji 722405, China)

Abstract: This paper mainly discusses about the principles and basic methods of using CMM to accurately measure the tolerance of rectangular spline position. The paper starts with the introduction about the value and the traditional assessment and measuring methodology of rectangular spline position while emphasizing on its connection and Coordination. Then the paper illustrates the mathematical principles of rectangular spline position use by CMM while taking the rectangular spline as an example? and in the end concludes with a new data processing method, with which we can assess the workpiece more effectively.

Key words: rectangular spline; CMM; position degrees

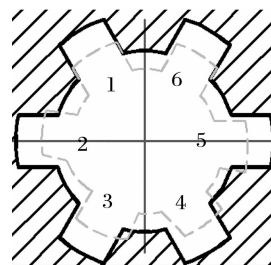
0 引言

矩形花键在军、民两用谐波减速器以及精密齿轮的设计中屡见不鲜。花键的作用是联结齿轮传动件以传递运动, 要求相配合的内外花键间各键齿应准确、精密的配合在一起, 故对各键齿中心面给出位置度要求, 准确地评价键齿中心面的位置度对于花键配合尤为重要。

1 花键位置度评价的必要性

如图1所示, 花键联结采用小径定心。假设内、外花键各部分的实际尺寸合格, 内花键(粗实线)定心表面和键槽侧面的形状和位置都正确, 而外花键(虚线)定心表面各部分不同轴线、各键不等分或者不对称, 这相当于外花键轮廓尺寸增大, 造成它与内花键干涉, 从而使内花键与外花键装配后不能获得配合代号表示的配合性质, 甚至根本无法装配, 并且使键(键槽)侧面受载不均匀。同样, 内花键位置误差的存

在相当于内花键轮廓尺寸减少, 也会造成它与外花键干涉, 也不能正确安装。因此对内、外花键必须分别规定形位公差, 以保证花键联结精度和强度的要求。



1 - 键位置正确; 2, 3, 4, 5, 6 - 位置不正确

图1 花键联结示意图

影响内、外花键的装配和精度的主要是其位置误差, 包括键(键槽)两侧面的中心平面对小径定心表面轴线的对称度误差, 键(键槽)的等分度误差以及键(键槽)侧面对小径定心表面轴线的平行度误差和大径表面轴线对小径定心表面轴线的同轴度误差。在这些误差中花键的对称度误差和等分度误差对于花键联结安装影响是最大的, 而这两者通常用位置度公差来控制。

收稿日期: 2013-11-18; 收修改稿日期: 2013-11-26

作者简介: 王睿超(1986-), 男, 助理工程师, 主要研究方向为几何量测量。

2 传统的检验方法

GB/T1801-1999《极限与配合公差带和配合的选择》规定花键小径定心表面采用包容要求,各键(键槽)位置度公差与键宽度(键槽宽度)公差的关系采用最大实体要求,而且该位置度公差与小径定心表面尺寸公差的关系也采用最大实体要求时,为了保证花键装配型式的要求,传统的检验方式是采用花键塞规和花键环规(都是全形通规)分别检验内、外花键的实际尺寸和形位误差,花键量规能自由通过实际被测花键,这样才能表示小径表面和键(键槽)两侧的实际轮廓都在各自应遵守的边界范围内,位置度误差才算合格^[1]。

GB/T1144-2001《矩形花键尺寸、公差和检验》中详细介绍了单项检验法检验位置度。一般单件小批生产时,采用单项测量,规定键(键槽)两侧面的中心对称面对小径定心表面轴线的对称度公差和等分度公差来代替位置度公差,且对称度公差与键(键槽)宽度公差及小径定心表面尺寸公差的关系皆采用独立原则。对于花键的等分度,花键各键(键槽)沿360°圆周均匀分布为它们的理想位置,允许它们偏离理想位置的最大值的二倍为花键均匀分布公差值,其数值与花键对称度公差相同,所以花键的等分度公差在图样上不必标出^[2]。

3 三坐标检验方法

实际生产中的齿轮矩形花键种类繁多,依据 GB/T10919-2006《矩形花键量规》的规定^[3],要制造大量花键量规很不方便,故我们采用三坐标测量机来评定花键的位置度误差。一方面可以准确快速得到数据;另一方面采用更加合理的方法评价位置度可以正确判断一个工件的合格与否。

如图2示齿轮的矩形花键,首先测量花键的端面作为基准平面,再测量直径为26 mm的圆,将其圆心设为原点,量测任一键槽左右两侧取对称点,将原点与对称点连的3D直线设为基准轴(x , y 轴皆可,以下举例设为 y 轴),测量另一键槽取中点,坐标系对 z 轴旋转60°,得知第二个键槽对称点的 x 坐标值,代入位置度公式 $2\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$,以此类推。上文讲到花键的位置度公差由等分度公差和对称度公差来控制,故测量时我们无要求在键槽两侧面测得的对称点在同一圆周上,根据几何知识易知:从理论上讲即使不在同一圆周上的两侧面点其对称点也是过键槽对称中心

面的。因此测量时我们不用考虑测量的对称点的圆周半径有多大(即位置度公式中的 y 值),只考虑其单一 x 轴向的变化,所以公式中 Δy 为零,故所测量的位置度即为两倍的 x 坐标值即可^[4]。

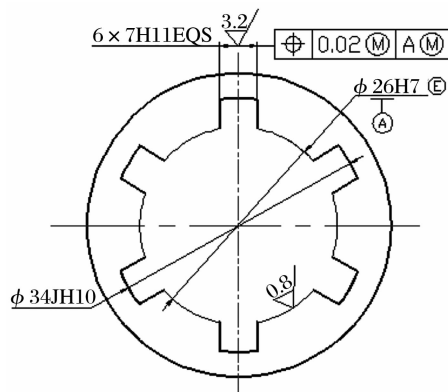


图2 齿轮矩形花键

测量过程如图3所示,原点与A键槽中心连线为 x 轴,A和B键槽夹角为60°。图4(a)中坐标系绕着 z 轴旋转60°,若键槽间分度夹角正确, y 轴将会准确指向B键槽中心,在 y 轴上的任意一点 x 轴坐标均为零;图4(b)中坐标系绕着 z 轴旋转60°, y 轴与B键槽的中心有一定的间隙,这个间隙的大小就是B键槽中心的 x 坐标,其2倍即为该键槽位置度。

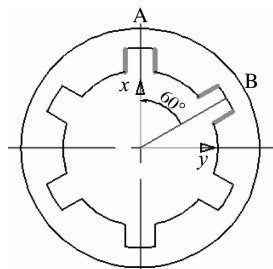


图3 坐标系没有旋转

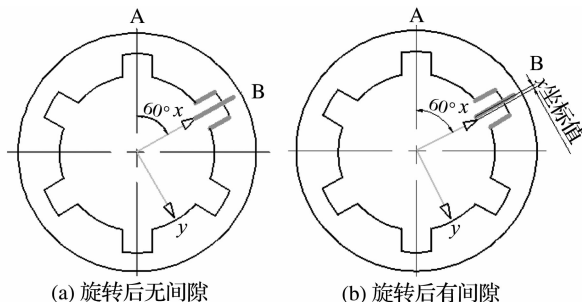


图4 坐标系旋转60°

4 新的数据处理方法

4.1 建立数学模型

针对三坐标测量出来位置度公差以及花键 x 坐标的偏离值, 我们提出一种新的数据处理方法, 假设对于 n 个均布的矩形花键, 其位置度公差为 p , 所有花键的位置度为 $(0, m_1, m_2, \cdots, m_n)$, 各花键的中心相对于 x 轴的偏差量分别为 $(0, x_1, x_2, \cdots, x_n)$, x 的值有正负之分^[5]。

在一组偏差中找到最大正偏差 x_i 和最大负偏差 x_j 。

1) 若 $|x_i| > |x_j|$ 且 $|x_i| + |x_j| \leq p$ 。通过 $\left| |x_i| - \frac{p}{2} \right|$ 的大小, 可知最大正偏差与位置度要求的允差上限的差值, 这个差值即是该组偏差中的最大偏差。故将坐标系的轴线向正方向调整 $\left| |x_i| - \frac{p}{2} \right|$, 将正方向的最大偏差调整到允差上限, 其余偏差的绝对值均小于 $|x_i|$, 肯定调整至允差范围内。

2) 若 $|x_i| < |x_j|$ 且 $|x_i| + |x_j| \leq p$ 。通过 $\left| |x_j| - \frac{p}{2} \right|$ 的大小, 可知最大负偏差与位置度要求的允差下限的差值, 这个差值即是该组偏差中的最大偏差。故将坐标系的轴线向负方向调整 $\left| |x_j| - \frac{p}{2} \right|$, 将负方向的最大偏差调整到允差下限, 其余偏差的绝对值均小于 $|x_j|$, 肯定调整至允差范围内。

3) 若 $|x_i| = |x_j|$ 且 $|x_i| + |x_j| \leq p$ 。通过 1), 2) 显然易得, 无论将坐标系轴线调整 $\left| |x_i| - \frac{p}{2} \right|$ 或 $\left| |x_j| - \frac{p}{2} \right|$, 刚好使最大正偏差调整至允差上限, 最大负偏差调整至允差下限, 其余偏差均在允差范围内。

4) 若 $|x_i| + |x_j| > p$, 无论怎样调整都不能保证最大正偏差和最大负偏差同时调整至允差范围内。则此时工件不合格, 需返修。

上述数学模型计算过程可通过图 5 计算流程图来实现。

4.2 具体实例

在示例产品中的花键位置度公差为 0.02 mm, 测量的结果如表 1 所示。

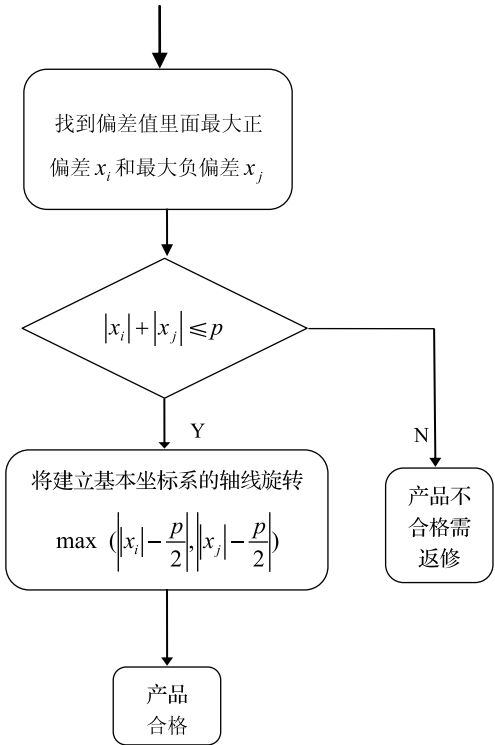


图 5 计算流程图

表 1 各花键的位置度公差及 x 轴的偏差值

花键	位置度/mm	x 轴偏差值/mm	图纸要求公差值/mm	合格与否
1	0	0	0.02	基本坐标系轴线不参与计算
2	0.026	+0.013		超差
3	0.024	+0.012		超差
4	0.020	+0.010		合格
5	0.012	-0.006		合格
6	0.010	-0.005		合格

通过表 1 可以观察到, 在测量的 6 个花键位置度中, 2, 3 两个花键均超差, 应当判定为不合格。可以进一步通过计算流程图来二次判定一下, 从 5 个偏差中比较大小可筛选出正方向的最大偏差为 +0.013 mm, 负方向的最大偏差值为 -0.006 mm, 因为两数的绝对值之和 0.019 mm < 0.02 mm, 故这个花键属于可调整范围。代入公式 $\max \left(\left| |x_i| - \frac{p}{2} \right|, \left| |x_j| - \frac{p}{2} \right| \right)$, 可以得出需要调整的 x 值为 0.004 mm 且为 x 的负方向。调整以后各花键的位置度及 x 轴偏差值如表 2 所示。

表 2 调整后各花键的位置度公差及 x 轴的偏差值

花键	位置度/mm	x 轴偏差值/mm	图纸要求公差值/mm	合格与否
1	0	0		基本坐标系轴线不参与计算
2	0.018	+0.009		合格
3	0.016	+0.008	0.02	合格
4	0.012	+0.006		合格
5	0.020	-0.010		合格
6	0.018	-0.009		合格

显然,经坐标旋转后评价得各个花键的位置度均在要求的公差范围内,这样在花键联结时可以正确安装不会发生干涉。这种评价方式的核心思想就是找出各花键中偏差最大的那个值,通过调整基本坐标系将它控制在最大允许偏差值的上、下限,且坐标轴的旋转方向由最大偏差值的方向决定。

5 结论

通过上述齿轮矩形花键位置度的评价过程,我们发现:对于圆周分布的矩形花键,当评价出来的各键(键槽)位置度不完全在公差范围内时,不能草率地将

工件判定为不合格,要观察各键(键槽)相对于基准轴线偏差量的规律,如果都朝同一个方向的有大小基本相等的偏差量,就要考虑轴线选择的问题,需要将轴线直接向反方向旋转。如果评价出来的位置度正负不一,就需采取上述的计算流程来确定旋转量和旋转方向。这种新的评价方式在种类繁多的齿轮矩形花键测量中屡试不爽,同时这种评价方式对于存在圆周分布孔的法兰盘类工件的测量与安装也具备指导意义。

参 考 文 献

- [1] 国家质量技术监督局. GB/T1801-1999 极限与配合公差带和配合的选择 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [2] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T1144-2001 矩形花键尺寸、公差和检验 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T10919-2006 矩形花键量规 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [4] 傅成昌, 傅晓燕. 形位公差应用技术问答 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [5] 蔡司工业测量部. 蔡司三坐标用户手册 [Z]. 上海: 蔡司公司, 2007.

(上接第 38 页)

- [2] 左勇, 武文彬, 徐晓波. 基于成像式照度探测的非涅尔光学助降系统检测方法研究 [J]. 机械工程师, 2012 (7): 92-94.
- [3] 陆小建, 徐明泉, 张建明, 等. LED 光源的光谱功率分布 [J]. 光学技术, 2011, 37 (S0): 56-59.
- [4] 任豪, 王巧彬, 李康业, 等. LED 光源光强空间分布特性的快速测试 [J]. 光学仪器, 2008, 30 (6): 6-9.
- [5] 谢菡. 光源检测相关专利简介 [J]. 中国照明电器, 2011 (3): 29-30.
- [6] Ohno Y. NIST Measurement services: Photometric Calibrations [R/OL]. NIST Special Publication 250-37, 1997. [2013-09-12]. <http://www.nist.gov/calibrations/upload/sp250-37.pdf>.
- [7] CIE. CIE 191: 2010 Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance [R/OL]. [2013-09-20]. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/col.20669/full?globalMessage=0>.
- [8] 郑世鹏, 郭晓亮, 张磊. 测试距离对 LED 灯具光强检测精度的影响 [J]. 重庆理工大学学报: 自然科学版, 2010, 24 (2): 95-98.
- [9] 王云岭, 高建树, 王立文. 助航灯光光强检测数据处理方法研究 [J]. 中国民航大学学报, 2008, 26 (4): 22-24.

多波段拉曼-荧光激光雷达系统 可用于雾霾探测

近日,兰州大学教授黄建平带领科研团队研制出我国首个多波段拉曼-荧光激光雷达系统。该系统不仅可用于大气雾霾探测的研究及预警,还可用于卫星数据校正、气象观测等领域。

“多波段拉曼-荧光激光雷达系统用高功率激光器向天空同时发射三束激光,也就是三个波段。紫外激光与大气颗粒物作用之后,就会释放出荧光,利用大口径的望远镜接收被大气反射回来的信号,共有 38 个波段。黄建平介绍说,“印度科学家拉曼发现了光和粒子的相互作用,在这种作用后,光的波长和频率会发生变化。对接收到的信号进行分光、提取和探测,根据其变化的多少,就可以知道这种物质的化学成分是什么,也就可以进一步分析大气污染物的重要性质,尤其是对人体有害的有机物。”

课题组成员黄忠伟解释说:“大家现在都关心雾霾天气,但对于雾霾的成因、成分等问题的认识都还不够,多波段拉曼-荧光激光雷达系统能够连续工作并探测到不同高度的雾霾变化数据,而且精度很高。”

摘自“中国计量测控网”

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2014.01.14

基于 CATIA V5 自由曲面测量采点 方法研究与软件开发

黄梦莉

(中航飞机西安飞机分公司, 陕西 西安 710089)

摘 要: 提出了三种自由曲面布点规则, 分别是参网格法、UV 等分法、等参截面法, 并以 CATIA V5 为平台, 应用 VC#工具, 开发了一套专用数据提取软件, 生成可供 CMM 直接使用的文件格式。实验证明, 该软件是高效可靠的。

关键词: 自由曲面; 布点规则; CATIA V5; 数据提取; CMM

中图分类号: TB92; TP311.52

文献标识码: B

文章编号: 1674-5795 (2014) 01-0049-04

Method Study and Software Development of Points Arrangement in Free Curved Surface Measurement Based on CATIA V5

HUANG Mengli

(AVIC Xi'an Aircraft Industry (Group) Company LTD, Xi'an 710089, China)

Abstract: This essay provides three kinds of points arrangement rules on free curved surface: the grid method, UV equisection method and isoparametric section method. Based on the CATIA V5, this author developed a special data gathering software with VC# tool. The format of the files produced by the software is directly feasible for the three Coordinates Measuring Machine (CMM). Experimental results show that this software is effective and reliable.

Key words: free curved surface; points arrangement rule; CATIA V5; data gathering; CMM

0 引言

目前, 先进的测量软件可以利用 CAD 模型直接测量, 但是由于其不具备 CAD 软件的造型、分析功能, 对于飞机各类零件和工装的曲线、曲面的测量, 根本不能构造出符合企业质量文件要求的测量点, 例如, 沿某一方向的最高点、最低点或是切点、拐点, 并且在曲率大处加密采点。

CATIA V5 是 IBM/DS 基于 Windows 核心开发的高端 CAD/CAE/CAM 系统, 作为国内外各大飞机制造企业的首选软件, 它具有统一的用户界面、数据管理以及兼容的数据库和应用程序接口, 并拥有 20 多个独立的模块。测量人员按照检测计划要求, 依据相关质量文件规定在 CATIA V5 下构建测量点, 并提取输出成标准格式, 可供各种测量设备直接使用。

虽然应用 CATIA V5 的线框和曲面设计功能模块, 可以构建符合规则要求的测量点, 但是人工构建测量点的过程是一件十分繁琐的事情, 对于 1000 多测量点的模胎, 至少需要工作 2 h, 并且经常出现多取点、少取点等现象。为了实现曲面测量的自动采点, 必须开发一套基于 CATIA V5 的测量理论数据自动提取软件, 在确保工作质量的同时, 最大程度地提高工作效率。

1 软件设计

CATIA 开发接口是通过两种方式与外部程序通信: 进程内应用程序 (In-process Application) 方式和进程外应用程序 (Out-process Application) 方式。由于进程内应用程序是使用脚本开发, 不利于程序功能的扩展。本软件采用进程外应用程序方式, 利用 CATIA V5 提供的 COM 接口, 用 VC#进行开发实现。

本软件将为测量理论数据的自动提取与集中存储提供解决方案。将每个产品的数据提取作为一项任务来处理, 每个产品可能有多处部位需要检测, 每个部

收稿日期: 2013-10-16; 收修稿日期: 2013-11-28

作者简介: 黄梦莉 (1976-), 女, 陕西礼泉人, 工程师, 主要从事计量检测工作。

位的测量理论数据作为单独一个数据集管理,这样可以形成一个结构树。其中任务管理具有新建、打开、保存、打印、页面设置、字体设置、打印内容设置、发布等功能。通过将产品数模、测量理论数据、布点草图等存储在一个XML文件中,可以实现测量理论数据的集中管理,改变了以往数据、数模、打印草图分散存储的现状,方便后续的数据管理工作。该软件的主界面如图1所示。

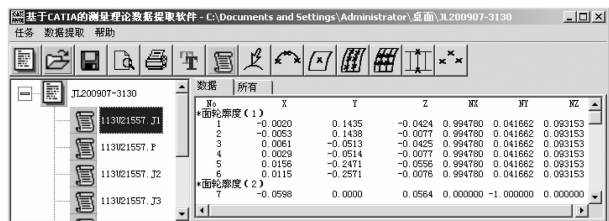


图1 软件主界面

本软件按照测量理论数据提取工作流程,采用模块化、参数化的方法进行设计,主要包括测量点分布、测量点排序、测量点提取等功能。为实现曲面测量理论数据的自动提取,需要解决以下关键技术:

- 1) 针对不同曲面设计布点算法,实现在各类面上的自动布点。
- 2) 控制测量点的构建顺序,保证与测量顺序一致,避免后续人工排序。
- 3) 通过三维空间几何变换,实现测量数据从原始坐标系到测量坐标系的转换,并且输出成XYZIJK格式。

2 软件实现

2.1 曲面自动布点

根据曲面类型不同,可以采用三种布点方法。一是等参网格法;二是UV等分法;三是等参截面法。其中等参网格法是目前被许多软件采用的方法,包括CATIA, UG, PC-DMIS以及SA等软件,它对于标准几何体可以直接通过创建等参线的方式,在曲面上划分网格,创建测量点。而对于非标准的几何体或边界不规则的曲面,只能采用UV等分法或截面法,其中UV等分法适用于曲率变化较小的光滑曲面,而截面法则适用于扫描面或拉深面。

2.1.1 等参网格法

等参网格法的用户界面如图2所示。首先分别沿两个方向创建等参曲线网格,然后创建网格交点即为要测量的点,这种方法适用于规则的零件外形测量。布点效果如图3所示。



图2 等参网格法界面



图3 等参网格法布点效果图

2.1.2 UV等分法。

UV等分法界面如图4所示。首先分别沿U, V方向构建等分平面,然后用等分平面对测量面划分网格,网格的交点即为要测量的点。其中“缩进”参数是指测量点偏离曲面边缘的距离。可以点击“U方向按钮”改变U的正方向,同理可以改变V的正方向,通过改变U, V的正方向可以改变测量点的构建顺序,分析时按照测量点的构建顺序输出。这种方法对于测量曲面变化不大的模胎比较适用。布点效果如图5所示。

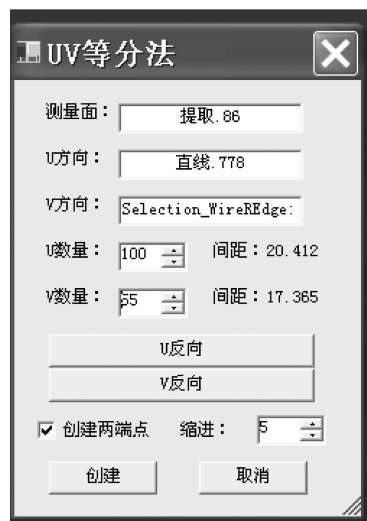


图4 UV等分法界面

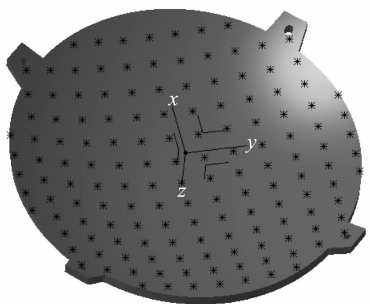


图5 UV等分法布点效果图

2.1.3 截面法

等参截面法的用户界面如图6所示。首先根据引导曲线的几何特征和截面参数构建平面，然后用平面与测量面相交构建截面曲线，最后根据截面曲线的几何特征和取点参数构建测量点。通过改变引导线的方向可以改变截面的构建顺序，在分析时通过改变各条截面曲线的采点方向，调整测量点的构建顺序，保证测量的顺序与构建点的顺序一致。布点效果如图7所示。

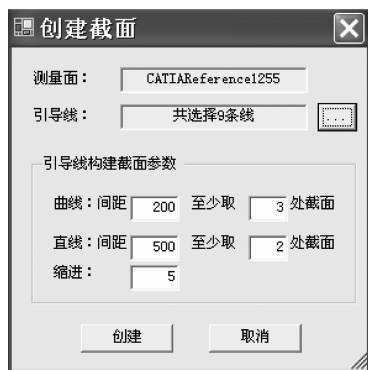


图6 截面法界面

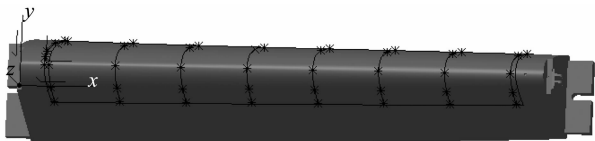


图7 截面法自动布点效果图

2.2 测量顺序的规划

在利用等参格法、UV等分法及截面法构造测量点时，为方便测量必须控制测量点的顺序，可先根据截面线进行分组然后按最近确定测量点顺序^[3]。现以截面法为例说明测量点顺序的规划。利用截面法在被测面曲面上构造截面曲线，如图8所示，可人为确定第一条曲线的起始方向，然后程序自动按最近原则距离确定后续截面曲线及方向，构建的测量点的效果如图9所示。

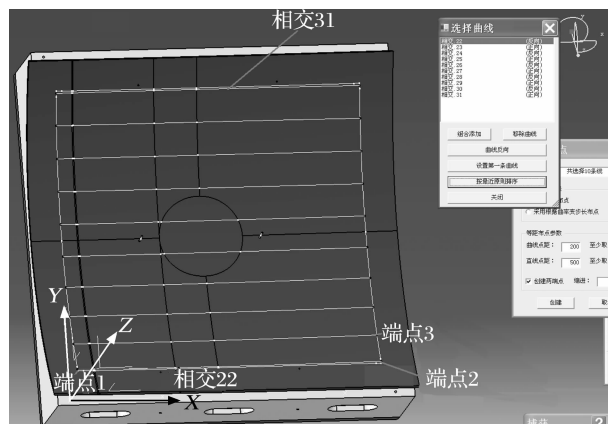


图8 截面法构建曲线的顺序

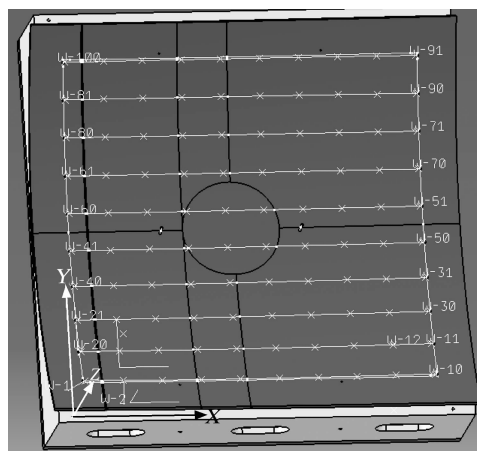


图9 测量点规划效果图

2.3 生成XYZIJK文件

通过三维空间几何变换，实现测量数据从原始坐标系到测量坐标系的转换，并且输出成XYZIJK格式。CMM在测量零件时，需要对测尖给一个球头半径的补偿，而补偿方向是支撑面上在该点处的法向，因此确定测量点不仅需要给出坐标值，还需要给出支撑面在该点处的单位法向量^[4]。通常原始坐标系统OXYZ和测量坐标系统TUVW不是同一坐标系，可以通过三维图形转换方法，将测量点在原始坐标系的位置通过基本变换矩阵转换到测量坐标系下^[5]，通过计算得到以下公式：

$$T_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -T_x & -T_y & -T_z & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{T}_2 = \begin{bmatrix} U_X & V_X & W_X & 0 \\ U_Y & V_Y & W_Y & 0 \\ U_Z & V_Z & W_Z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$(I, J, K, 1) \ T_2 = (I', J', K', 1)$$

在 CATIA 下生成每个测量点数据必须经历以下步骤：首先必须选择被测曲面，用 AddNewProject 方法构造测量点到该支撑面的法向投影点，用 AddNewLineNormal 方法构造支撑面在测量点处的法向直线，对投影各点用 GetCoordinates 方法获取点坐标，对法向直线

4 结论

4) 采用最小二乘法进行数据处理, 得出中环轴和

3 结束语

参考文献:

- 外环轴轴线垂直度的测量不确定度为 2.1", 内环轴和中环轴轴线垂直度的测量不确定度为 3.0"。

参考文献

- [1] 陈安, 谢明红. 数控机床垂直度误差分析与软件补偿[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2008 (1): 61-64.
- [2] 贾宏进, 秦石乔, 胡浩军, 等. 轴系倾角回转误差与垂直度测量方法[J]. 计量技术, 2008 (11): 25-28.
- [3] 任顺清, 陈希军, 袁建军. 三轴转台垂直度误差的测试与分离技术[J]. 计量技术, 2002 (5): 6-9.
- [4] 国防科学技术工业委员会. GJB 1801-93 惯性技术测试设备主要性能试验方法[S]. 北京: 国防科工委军标发行部, 1994.
- [5] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2014.01.15

基于 PXI 总线的数字表网络自动测试系统

尹丽云, 许兴明, 王心元

(北京无线电计量测试研究所, 北京 100039)

摘 要: 应用 PXI 总线设备、局域网和 LabVIEW 设计实现了一种基于 PXI 总线的数字表网络自动测试系统。结果表明, 该设计方案能够完成自动测试的核心功能, 依据实验室要求自动生成固定格式的证书, 并达到了可靠性强、测试精度高等实验室计量校准与检定的要求。

关键词: 虚拟仪器; 网络化自动测试; 数字多用表; PXI; LabVIEW

中图分类号: TB971; TP274

文献标识码: B

文章编号: 1674-5795 (2014) 01-0053-04

Web-based Automatic Test System of DMM Based on PXI

YIN Liyun, XU Xingming, WANG Xinyuan

(Beijing Institute of Radio Metrology and Measurement, Beijing 100039, China)

Abstract: A web-based PXI automatic test system is designed and realized with the adoption of PXI device, LAN and LabVIEW. The results show that the system is able to complete the kernel functions of automatic test and to create certificates according to the laboratory requirements. The basic performance of this automatic test system has met the laboratory calibration and verification requirements on high reliability and precision.

Key words: virtual instrument; web-based automatic test; DMM; PXI; LabVIEW

0 引言

仪器的计量校准检定是恢复、保持设备性能指标, 保证测量准确可靠的技术手段。随着电子技术的迅速发展和广泛应用, 仪器的测量范围越来越广, 测量的速度和精度要求也越来越严格^[1]。对于需要多台仪器、测试参数较复杂的测试项目, 依靠传统的测试方法, 不仅测量效率低, 而且无法保证测量的可靠性。移动计量保障车是对不便于送到实验室的仪器设备进行检定, 为各单位科研试验任务或突发事件的计量需求提供设施和技术保障的重要设备。计量车内同时配备数字表、数据采集器、示波器、信号发生器等多种设备, 为了便于对仪器的控制管理, 保障车内多采用局域网的控制方式。针对计量保障车内空间有限、设备复杂的布局, 对 PXI 数字表模块的检定, 本文设计了一种基于 PXI 总线的数字表网络自动测试系统。该系统以 LabVIEW 作为测试软件开发平台, 利用多功能校准源 5520A 实现自动测试。

收稿日期: 2013-06-27; 收修改稿日期: 2013-09-01

作者简介: 尹丽云 (1979-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事电学计量测试工作。

1 系统组成和工作原理

系统用两台计算机完成对被测数字表模块的自动测试, 其中主控计算机控制校准源 5520A, 负责数据的处理和证书报告的生成, 客户端计算机负责把从数字表采集来的数据通过局域网传输至主控机进行数据处理。

1.1 系统组成

本系统由 5520A 多功能校准源、GPIB 接口卡、被检数字多用表 (以 PXI-4060 数字表模块为例)、PXI 机箱、主控计算机、客户端计算机组成。多功能校准源 5520A 用来校准 6 位半以下的数字仪表, 同时它本身带有 GPIB 接口, 为仪器的可编程性创造了条件。PXI-4060 是 NI 公司生产的一款 5 位半的数字多用表, 具有通用测量功能。该模块附带的 NI-DMM 驱动软件多采用 LabVIEW 编程, 编程时可以调用已有的程序模块, 提高编程效率^[2]。主控计算机作为计量系统的控制中心, 客户计算机通过 PXI 总线来完成对数字表的控制。接口卡选用 NI 公司的 USB-GPIB 接口卡, 该卡作为控制卡, 在自动测试系统中广泛使用。

1.2 工作原理

通过计算机对可编程的 5520A 型多功能校准源和

数字多用表 PXI-4060 进行程控, 实现对数字多用表模块的自动检测。将校准源的标准电压、电流、电阻等信号程控输出, 分别加到被检数字多用表模块上, 然后通过客户端计算机上安装的 PXI 接口卡和 MXI 电缆进行数据采集。利用 LabVIEW 基于 C/S 模式编写 TCP/IP 通信的服务器端和客户端应用程序, TCP/IP 网络 VI 能够与远程应用程序建立通信。主控计算机控制多功能校准源输出相应的信号。客户端计算机将采集的数据传送到主控计算机进行数据处理和超差判断。自动检定系统的原理框图如图 1 所示。

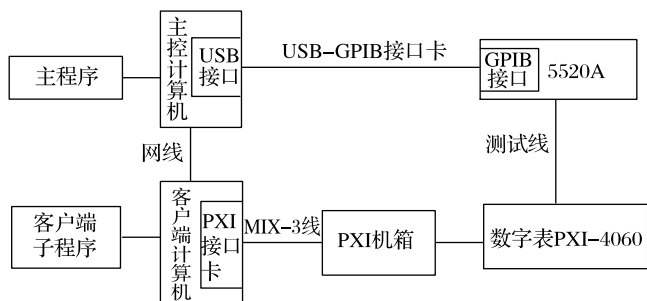


图 1 自动检定系统原理框图

由于校准器 5520A 与数字表 PXI-4060 距离较远, 需采用较长的连接线。为了降低引线上的影响, 在测量 10 kΩ 以下的低量程电阻时, 采用四线测量法消除引线电阻的影响。在测量交流电压时采用双绞屏蔽线缆, 把电磁干扰对交流电压测量的影响降到最低。

2 系统软件设计

数字表网络自动测试系统软件主要实现仪表检定过程的参数设置、数据管理和鉴定证书打印等功能。利用 NI 公司的可视化编程工具 LabVIEW, 将系统软件的功能按模块化实现, 并通过用户界面和后台应用程序的组织方法, 将软件的功能与具体业务需求有机地结合在一起, 设计出一套检定管理程序。

2.1 界面及功能设计

用户界面主要实现自动测试系统软件运行的初始参数设置、测试功能选择、测试过程数据显示和测试结果处理操作等人机对话, 系统前面板示意图如图 2 所示。

测试系统运行之前, 必须对系统中的各程控仪器进行硬件地址和软件参数信息设置。GPIB 设备地址范围在 1~31 之间, 校准源 5520A 地址设置应该与仪器的实际地址保持一致, 图 2 中相应的设定 5520A 的地



图 2 系统前面板示意图

址为 4。同时还应该设置被检数字表模块所在计算机的 IP 地址, 以确保两台计算机之间的数据通信正常进行。仪器地址和 IP 地址设置完毕后, 还要指定信息文件存储路径和文件名称, 以确保信息文件调用的准确性。

测试系统采用模块化编程, 首先将仪器的各种功能模块化, 然后根据需要选择相应的模块来实现特定的要求。模块化方法虽然开发工作量大, 但使用简单, 且便于升级和更改。本测试系统对 PXI-4060 实现了 DCV, ACV, OHM, ACI, DCI 5 种测试功能, 如图 3 所示。用户可以选择任意一项功能执行测试, 也可以根据需求将 5 个测量模块作为一个整体系统, 实现整体综合测试。



图 3 系统选项测试界面示意图

在测试检定过程中, 为了更直观监视实时测量动态, 被检仪器的量程、实际测量值、各测试点的允许误差、实际误差及测量结论全部在前面板上以表格形式显示出来。当判定不合格时, 计算机发出响声提醒操作者, 并在屏幕上用红色显示“超差”, 在超差点前加 * 表示超差。

测试系统运行完毕后, 可根据证书上超差点的情况和超差数值, 对被检数字表的超差量程进行

校准。

测试前进行信息录入,如仪器的编号、送检单位等。设置完毕,点击左上角的测试进入测试界面,选择测试项目进行相应的测试。按照模块化的思路,将主程序分为单项测试和综合测试,其中单项测试界面示意图如图3所示。

单项测试将 5 个主要功能模块放置在自动检定程序的前面板上, 根据需从主程序界面调用模块进行检定。综合测试程序实现对数字表各功能的依次检定。当测试完毕后, 系统把信息存储文件中包含的相关信息导入证书中。

2.2 应用程序设计

在设计程序时要依据检定规程和检定技术, 掌握标准源和被检表的技术指标和程控指令^[3]。本测试系统对数字表模块的 5 个功能进行检定, 依据检定规程 JJG315-83, JJG598-89, JJG34-1999, JJG35-1999, JJG724-91, 对应于数字表的交直流电压、交直流电流和电阻等 5 个基本功能的数据校准。程序设计流程图和部分数据采集程序如图 4、5 所示。

程序设计分主程序和客户端子程序两部分实现，主程序实现界面参数设置、功能选择和数据显示等功能，客户端子程序实现对主程序选择设置功能的详细实现。客户端子程序从主程序接收数据信息对数字表模块进行相应的配置。系统工作时需要同时运行主程序和客户端子程序。子程序根据 TCP/IP 协议与主程序建立连接后，接受主程序发送过来的字符串，对数字表进行功能的设置和量程的选择，同时把数字表的读数发送回至主程序，进行数据后续判断和处理。

2.3 证书生成

通信协议让程序指定需要发送或接受的数据,并指定出发地和目的地位置,通过 LabVIEW 内置的 DDE 和 ActiveX 协议满足通信的需要^[4]。Excel 预先编制出符合标准的证书模板,利用 LabVIEW 的通信功能把采集的数据传递到 Excel 表格中预先设定好的位置。当需要打印生成证书时,调用 Excel 中固化的程序把相关文本信息中的内容导入指定格式的证书中^[5]。

3 实验结果

对 PXI-4060 数字表模块分别采用自动测试系统和手动测试方法进行数据采集。测试比较结果如表 1 所示。

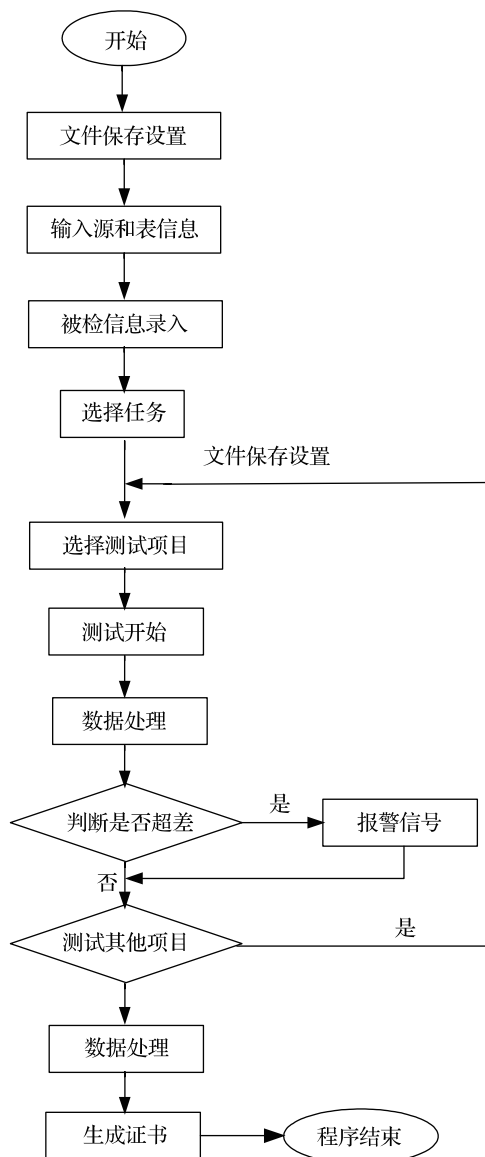


图 4 程序设计流程图

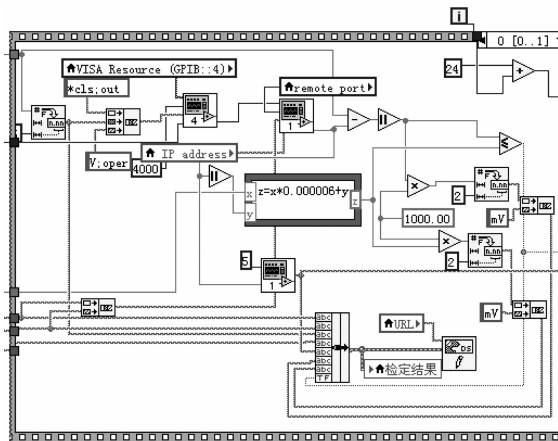


图5 部分数据采集程序

表 1 PXI-4060 部分数据测试结果

功能	量程	标准值	手动测试结果	自动测试结果	允许误差极限
DCV	2 V	2.00000 V	1.99994 V	1.99995 V	±0.35 mV
	200 mV	100.000 mV	99.998 mV	99.997 mV	±6 μV
DCI	20 mA	20.0000 mA	20.0006 mA	20.0009 mA	±18.4 μA
	200 mA	100.000 mA	100.013 mA	100.010 mA	±94 μA
ACV	250V (100 Hz)	250.000 V	249.899 V	249.912 V	±2.23V (100 Hz)
	200 mV (100 Hz)	150.000 mV	150.010 mV	150.007 mV	±1.56 mV (100 Hz)
ACI	20 mA (1 kHz)	20.0000 mA	20.0078 mA	20.0092 mA	±234 μA (1 kHz)
	200 mA (1 kHz)	100.000 mA	100.009 mA	100.011 mA	±1.6 mA (1 kHz)
R	200 Ω	100.000 Ω	99.988 Ω	99.986 Ω	±227 mΩ
	2 kΩ	1.00000 kΩ	0.99989 kΩ	0.99991 kΩ	±0.47 Ω

由表 1 可以看出，两种测试方法的结果基本一致。实验结果表明，本文设计的自动测试系统完全可以满足对数字表模块的电压、电流、电阻等电学参量的测试，数据准确可靠。

4 结束语

本自动测试系统按照数字多用表计量检定规程采用直接测量法，具有数字化、自动化、规范化、标准化等特点。系统突出的优点是采用了模块化设计思想，被检数字表每一个功能的检定程序都被设计为一个功能模块，方便系统中增加新型表的自动检定程序。该测试系统已应用在总参某计量站，为完成计量测试任务起到了重要作用。

参 考 文 献

[1] 张钟华. 现代计量测试技术的进展 [J]. 中国计量学院学报, 2006, 17 (1): 1-6.

[2] 徐杨梅, 许宝杰, 徐小力. 虚拟仪器环境下 PXI 总线远程测控系统研究 [J]. 计算机测量与控制, 2005 (13): 123-124.

[3] 黄琦志, 黄琦兰, 李轲. 基于 GPIB 接口的数字多用表自动化检定系统 [J]. 计量技术, 2005 (7): 42-44.

[4] 陈锡辉. LabVIEW 8.20 程序设计从入门到精通 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.

[5] 王晓兰. 基于 LabVIEW 的自动测试系统中动态报表的生成方法 [J]. 测控技术, 2008, 27 (9): 63-64.

福禄克推出新型压力校准产品满足仪器仪表技术人员的准确度和量程需求

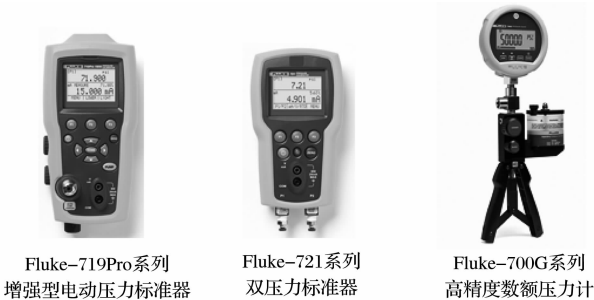
2014 年 01 月 21 日，中国北京消息——福禄克公司进一步丰富其精密压力校准产品线，推出新款 700G 系列精密压力计和两款新型压力校准器：FLUKE® 719PRO 和 721 双量程压力校准器。量程从 0.36 至 10,000 PSI，具有 18 种不同的工程单位可选，允许用户对仪表进行定制，以满足客户各种特殊的压力校准需求。从此，仪器仪表、过程及工厂维护技术人员能够拥有完备的校准设备，坚固耐用、值得信赖。

700G 系列精密压力计的压力量程为 10 inH₂O/20 mbar 至 10,000 psi/690 bar，0.05% 的新绝压测量准确度，以及新参考级表压测量准确度达 0.04%。700G 系列精密压力计与 Fluke 700PTPK 或 700HTPK 配合使用时，即可实现完备的压力测试解决方案，使用 PTP-1 气压泵时压力可达 600 psi (40 bar)，使用 HTP-2 液压泵时压力高达 10,000 psi (690 bar)。现在，Fluke 700G 系列精密压力计提供三年质保。

719Pro 自动压力校准器是校准高准确度变送器、压力开关和压力计的理想测试工具。719Pro 具有高准确度压力测量功能以及内置电动压力泵，可产生高达 300 psi (20 bar) 的

压力，无需外部手操泵。该校准器还可测量、模拟和输出 4~20 mA 环路电流信号，也可测量高达 30 V 直流电压。其内置 24 V 环路电源可为被调变送器供电。

Fluke721 双量程压力校准器带有两个隔离的压力传感器，使技术人员能够利用一款工具同时进行静压和差压测量，支持气体贸易结算应用。配置该校准器时，可选择 16 psi (1.1 bar) 或 36 psi (2.48 bar) 低压传感器，然后从 7 种高压量程中进行选择，包括：100, 300, 500, 1000, 1500, 3000, 5000 psi (6.9, 20, 24.5, 69, 103.4, 200, 345 bar)。



(陈娟 报道)

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2014.01.16

浅析如何发挥计量技术机构在企业能源 计量工作中的作用

钟衡

(中航工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘 要: 根据当前国家工业发展状况和能源利用形势, 介绍了计量技术在节能减排工作中的重要作用, 阐述了能源计量工作的重要性, 提出了计量技术机构为推动企业能源计量工作开展的工作设想及发展思路。

关键词: 计量; 能源计量; 重要性; 发展思路

中图分类号: TB9

文献标识码: C

文章编号: 1674-5795 (2014) 01-0057-03

Elementary Analysis on the Role of Measurement Technology Institutions in Enterprise Energy Measurement Work

ZHONG Heng

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

Abstract: According to the current national industrial development status and the situation of energy utilization, the importance of measuring technology and its important role in energy conservation and emissions reduction are introduced. A tentative plan and developing ideas are proposed for measurement technology institutions to carry out the work of energy measurement in enterprises.

Key words: metrology; energy measurement; importance; development ideas

0 引言

随着我国经济的快速发展, 对能源的需求量越来越大, 能源资源匮乏和环境污染也日益凸显。但是对于人类居住的地球而言, 能源资源的储量是有限的, 如何更为有效地利用和节约有限的能源资源变得极为重要。就工业生产而言, 计量采集数据的准确与否, 直接影响企业生产和管理的运行成本, 能源计量更是如此, 随着企业加强能源管理工作, 从完成节能减排目标的考核、制定用能设备能耗定额考核、分析耗能单元能源利用效率, 都需要依靠以计量为基础建立的数据链的支持。因此, 如何有效地发挥计量在企业能源计量工作中“感知和计数”的作用, 是计量技术机构值得探讨和研究的。

1 能源计量工作的重要性

能源计量是指在能源流程中, 对各环节的数量、

质量、性能参数、相关的特征参数等进行检测、度量 and 计算, 它包含力学量、化学量、光学量、热工量等的计量, 其作用是为了确定用能对象的能源利用完善程度。能源计量的重要性主要有以下几个方面:

1) 能源计量是企业搞好能源管理工作的基础。企业通过绘制各用能点的网络图, 对用能设备能源利用率进行有效监测, 量化企业用能单元能耗定额考核指标, 为企业进行能源统计和落实能耗定额考核奠定坚实的基础。

2) 能源计量为企业有效计量节能技改提供技术支撑。企业通过规范能源计量工作, 从建立和完善能源计量器具台账入手, 通过提高用能单位、次级用能单位和重点用能设备计量器具的配备率、受检率和合格率, 为企业有效计量节能技改、更好地使用新能源和新工艺提供方向性的支持和保障。

3) 能源计量是企业推进精细化管理、达到企业节能降耗增益的基础。企业通过充分利用能源计量工作推动企业精细化管理工作的有序开展, 解决企业“电糊涂、水糊涂、煤糊涂、气糊涂”等问题, 避免计量糊涂的结果导致的管理糊涂, 使企业节能降耗增益真

收稿日期: 2013-08-19; 收修稿日期: 2013-10-16

作者简介: 钟衡 (1974-), 女, 广东新会人, 工程师, 现从事计量管理工作。

正落在实处。

4) 新时期下能源计量工作是指把计量引入到企业产品设计、生产和使用中,即运用计量测试手段,通过对企业产品设计(即工艺参数)、产品生产(即质量控制参数)和产品使用(即性能参数)中关键量的计量,在保证产品质量的前提下达到最优的设计效果、生产效果和使用效果。

2 企业能源计量工作的现状及解决方法

2.1 企业能源计量工作的现状

1) 从思想层面上讲,多数企业能源计量工作处于被动管理状态,企业员工对能源计量工作意识淡薄。如调研中发现某电厂未配备合理的流量计,也未对流量计进行有效溯源,造成企业能源成本核算模糊,运行成本居高不下。

调研中还发现,有些国有企业未对用能设备的能耗使用情况进行定期检测,导致能源使用上的极大浪费。如对某厂的一批热处理电炉使用性能和产品单耗进行现场测试发现:该批热处理电炉多数为五六十年代制造和投产的热处理设备,由于控制方式老化,在测试空炉损耗功率过程中各相邻阶段时间内耗电量达到稳态的时间较长,测试结果显示该批热处理电炉空炉损耗较大,测试结果的平均值超过考核指标近 1.8 倍(见表 1)。

表 1 某批热处理电炉空炉损耗功率比测试结果平均值

序号	设备名称	环境条件	测试结果 平均值/%	考核指标 /%
1	台车炉	25.2℃, 46.3% RH	54.2	≤23
2	气体渗碳炉	24.4℃, 46.4% RH	36.2	≤23
3	箱式电阻炉	27.4℃, 45.1% RH	56.4	≤35

在对该批热处理电炉进行空炉升温时间测试时发现,其测试结果平均值(见表 2)超过考核指标近 3 倍,说明电阻炉在升温过程中,炉体表面的蓄热损失较大,这种运行情况必然导致电阻炉在生产过程中消耗的电能较多。

表 2 某批热处理电炉空炉升温时间测试结果平均值

序号	设备名称	环境条件	测试结果 平均值/h	考核指标 /h
1	台车炉	25.2℃, 46.3% RH	5.5	≤1.5
2	气体渗碳炉	24.4℃, 46.4% RH	2.8	≤1.0
3	箱式电阻炉	27.4℃, 45.1% RH	3.0	≤1.0

在产品能耗测试中还发现,该批热处理电炉加工的工件多是为军品服务,由于工作需要,经常出现紧急加工的工件,但工件数量多为小批量或单一零件加工,使得热处理电炉在加工生产过程中经常处于小负荷、装载量较低的生产状态。这种生产状态必然会造成生产过程中能源的极大浪费,经现场测试显示产品可比用电单耗的测试结果平均值远远高于考核指标近 11 倍(见表 3)。

表 3 某批热处理电炉产品可比用电单耗测试结果平均值

序号	设备名称	环境条件	测试结果 平均值 /kW·h·kg ⁻¹	考核指标 /kW·h·kg ⁻¹
1	台车炉	25.2℃, 46.3% RH	11.161	0.53 ~ 0.65
2	气体渗碳炉	24.4℃, 46.4% RH	4.746	1.23 ~ 1.40
3	箱式电阻炉	27.4℃, 45.1% RH	8.222	0.48 ~ 0.60

通过对该厂热处理电炉使用性能及产品单耗的有效检测,使该厂能源管理部门对其用能设备使用情况有了清晰的认识,为其下一步制订淘汰落后产能和改进工艺计划提供了有力的数据支撑。

2) 从管理层面上讲,多数企业存在能源管理人员岗位职责、分工不明确,缺乏对计量知识的了解和培训;个别企业能源计量的规章制度不健全、执行力度不到位。如个别企业存在能源计量器具台账不完善,有的企业虽然配备了计量仪器仪表,但没有相关人员对其进行定期维护、保养,出现仪器仪表损坏不能及时发现或更换等现象,这样造成了计量仪器仪表的完好率较低,导致能源统计数据可靠性差等问题。

3) 从技术层面上讲,个别企业生产线上的计量仪器仪表存在装卸困难,无法满足送检溯源的要求,而国内又没有适用的精确可靠的在线检测手段和方法^[1](如流量计量);有些企业为了节省资金,降低维护成本,对计量仪器仪表不能按期送检,使部分计量设施形同虚设;还有些企业随着生产技术、工艺的进步,不断从国外购置先进的计量仪器仪表,但在国内又无法进行有效溯源。

2.2 解决方法

笔者依据近些年从事行业节能管理工作的经验,对企业加强能源计量管理工作提出如下建议和解决方法。

1) 从观念上转变,从增强企业能源管理人员能源计量管理意识入手,形成自上而下全员参与的意识 and 氛围。加强企业员工对计量知识的了解,通过宣传和

培训不断提升企业能源管理人员和技术人员的综合素质和业务水平。有效引导企业通过加强能源计量管理工作,达到降低生产运行成本,提升产品质量和经济效益的目的。

2) 从夯实企业能源计量管理的基础工作入手。一方面,通过逐步建立能源计量管理工作的长效机制,明确人员岗位职责分工,完善奖惩办法;另一方面,通过提升计量仪器仪表的配备率、受检率和完好率,加强对用能设备能源使用状况的有效检测和计量,推进企业能耗定额考核管理工作的有序开展。

3) 从加强地方监管机构的监管力度入手。积极开展企业能源计量器具配备率、受检率和完好率的普查活动,对企业高能耗的设备开展现场节能监测服务(如锅炉、电机、热处理电炉、供配电系统等),对国家明令淘汰的高耗能机电设备(产品)坚决停产和报废。如某厂通过对其热处理电炉进行节能监测后,运用节能技术改造、设备更换及改进生产管理模式等手段,使该厂热处理车间用电量连续两个季度节约了约 $3 \times 10^5 \text{ kW} \cdot \text{h}$,较同期相比降低用电量达到 15%,节能降耗效果显著。

4) 从加强信息化建设入手,形成能源计量的信息化,网络化^[2],建立企业能源管理信息平台。对企业能源物资从采集、运输和生产等环节实施在线监视和测量,掌握和分析能源计量数据及相关控制参数之间的动态变化规律,对生产过程能源统计数据进行修正和补充,实现生产过程的优化控制^[3]。

3 设想及发展思路

能源计量作为企业能源管理工作的基础内容,在“十二五”期间已纳入地方政府对计量主管部门和企业的责任目标和考核体系,笔者根据在计量技术机构多年从事计量管理工作的经验,提出如下工作设想和发展思路。

3.1 开展能源计量器具在线检测技术、检测装置和新型节能产品计量方法的应用研究

1) 结合企业能源计量管理工作需要,积极开展能源计量器具在线检测技术和检测装置的应用研究,逐步解决企业由于计量仪器仪表拆卸困难,不能有效溯源等问题。如开展废气全排量的流量计量、高压电能在线动态计量技术、燃料电池输入的氢气流量测量技术的研究。

2) 发挥计量技术机构资源优势,协同企业共同研究直接服务于用能单位的特殊能源计量技术和新型节能产品计量的需求。如针对企业产品、工艺的不同研

究温度计量控制系统的在线校准技术等。

3.2 加强计量技术机构的人才培养和技术能力建设

1) 强化计量技术机构现场人员的测试水平和技术能力,培养一批懂得企业能源管理的复合型计量人员。

2) 积极探索和建立适用于企业能源计量的检测方法和社会公用计量标准,如:大口径水表在线检测方法的研究;针对水、油、天然气的贸易结算研制的气体、液体流量检定装置。

3) 为满足对企业用能单元、耗能设备现场监测的需要,扩充便携式检测仪器仪表,如:燃烧效率分析仪(CO , CO_2 , NO_x 等)、多功能数字风速仪、手持式电能质量分析仪、压力校验仪、温度测试仪表、便携式超声波液体流量计和烟气分析仪等。

3.3 积极探索新的能源计量管理模式

改变企业以计量器具配备、计量器具检定为核心的单一管理模式^[3],计量技术机构应加强对获取的能源计量数据应用能力的研究。一是用数据说话,通过对关键量值的优化来实现企业产品的最优设计;二是协助企业建立能源数据信息平台,通过对企业能源从入到出整个使用过程能源数据的监控,找到能源使用过程或管理过程的漏洞,对其梳理和改进。

4 结束语

“十一五”时期,国家为了提升能源计量监督管理工作、提升能源计量检测技术能力和水平,落实和实现各级地方政府节能减排目标,批准建立了 21 家国家城市能源计量中心。按照国家质检总局全面推进国家城市能源计量中心建设的发展思路,到 2015 年,国家城市能源计量中心要辐射全国。在国家能源计量管理工作的新思路、新模式下,计量技术机构只有找准在企业能源计量工作中的定位和发展方向,充分发挥其在人员、设备、方法、技术能力上的优势,充分认识到计量工作对企业用能活动的基础保障和促进作用,才能逐步走出一条计量工作服务行业产业发展的新路子。

参考文献

- [1] 张万路. 能源的科学计量与能源节约 [R/OL]. 北京: 全国节能监测管理中心, [2013-08-10]. <http://www.docin.com/p-446227724.html>.
- [2] 阮立华. 能源计量在节能工作中的重要作用 [J]. 计量与测试技术, 2011 (3): 17-19.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局. 国家城市能源计量中心建设指导意见 [EB/OL]. [2013-10-10]. http://jls.aqsiq.gov.cn/jldt/tzgg/201208/t20120822_229348.htm.

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2014.01.17

测长仪校准规范使用中要注意的一个问题

常青¹, 常晟²

(1. 中国赛宝实验室, 广东 广州 510610; 2. 西京学院 机械系机械与自动化, 陕西 西安 710049)

摘 要: 针对数字显示类测量仪器在测量中可能存在的缺陷, 从其所使用的光栅传感器特性分析, 对其细分误差带来的测量结果差异进行研究; 为测长仪校准规范如何保证数显测长仪量值准确, 给出具体评价方法, 并就数显测长仪在使用和校准时出现的问题进行了分析和讨论, 给出了解决办法。

关键词: 光栅传感器; 细分误差; 校准规范; 数显测长仪

中图分类号: TB921

文献标识码: B

文章编号: 1674-5795 (2014) 01-0060-02

0 引言

已经颁布施行的 JJF1189-2008《测长仪校准规范》在规范测长仪(含数显类)的校准方法、保证其量值准确传递方面起到了重要作用。从量值传递(溯源)的角度看, 它简化了 JJG55-1984《测长仪检定规程》的具体要求, 增加了对于数显测长仪校准的规定, 降低了测长仪量值传递(溯源)的工作量, 提高了工作效率, 受到了同行们的好评。

随着量仪行业光机电一体化技术的发展, 原有的光学机械式读数测长仪逐渐被数字显示的测长仪所取代, 因此, 在本次规范的制定中, 从适用范围上增加了数显测长仪的校准要求, 这对于原规程是一个进步, 也使得大量出现的数显测长仪在实际使用中, 具有了规范的量值溯源方法, 从而保证了数显测长仪对于产品尺寸测量的准确度。

1 发现问题

由于数显测长仪的自身特性, 在校准规范中没有对数显装置的细分特性进行明确要求, 使得数显测长仪在实际使用中, 对测量结果的准确度带来一些意外的影响, 使测量数据的可靠性产生疑问, 特别是在 $\phi 10$ mm 以下的针规直径中, 很多测量值会与实际结果不一致。使用某型号的数显测长仪(机身号 ZH0101), 针对 1 mm 点附近的仪器示值误差进行的验证, 对相应被测样品(量块)进行测量。仪器示值误差结果见表 1,

其中示值误差已进行修正。

表 1 测量 1 mm 时的示值误差

标准量块/mm	1.000	1.001	1.003	1.004	1.005	1.006	1.007	1.009	1.010
仪器示值误差/ μm	-0.2	-0.6	-0.6	-0.6	-0.2	0.3	0.3	0.4	-0.1

可以看出在 1 mm 点附近给出的仪器示值误差的最大差值达到 $1.0 \mu\text{m}$, 并且在 1.000 mm 和 1.001 mm 两点的示值误差的差异为 $0.4 \mu\text{m}$, 1.009 mm 和 1.010 mm 两点的示值误差的差异为 $0.5 \mu\text{m}$, 这种情况对实际测量, 影响会很大。

同样再选择两块标称尺寸为 10.24 mm 的量块, 经过偏差修正后, 一块实际值为 10.2400 mm, 一块 10.2398 mm, 同时在数显测长仪测量范围中的三个位置进行测量, 测量数据见表 2。

表 2 不同部位测量的仪器示值误差

测量位置	示值误差/ μm		差异/ μm
	10.2400 mm 量块	10.2398 mm 量块	
位置 1 (左)	-0.2	+0.2	0.4
位置 2 (中)	0.0	-0.2	0.2
位置 3 (右)	+0.1	-0.2	0.3

由此可见, 不止在 1 mm 附近, 在其他测量点上也存在类似的情况, 只要是标准量块的实际值在微米量级不为 0 时, 测量时其相近点的仪器示值误差就会有明显差异, 这应该是数显装置所特有的, 须引起注意。

上述的数显测长仪, 按照测长仪校准规范中 6.3 条, 即“示值范围 ≤ 1000 mm 的测长仪, 选取 5 个量块, 其最小长度为 10 mm, 最大长度不小于示值范围

收稿日期: 2013-07-02; 收修改稿日期: 2013-10-14

作者简介: 常青 (1963-), 男, 高级工程师, 研究方向为几何量测量。

的90%，其余量块的尺寸应是校准点间隔基本均匀。……”^[1]的要求进行校准。针对以上表述，再加上原有检定规程的影响，校准测长仪示值误差时，都基本上选择标称值为整数的量块，在本例所述的两台数显测长仪，示值误差的校准点均选为10, 30, 50, 70 mm和90 mm，对于小数尺寸则没有校准，从理论上讲是符合校准规范要求的，并且经过校准，两台数显测长仪的示值误差均在 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 以内。

但是，从表1所述的数显测长仪示值误差校准结果看，带小数位的被测对象，其相邻点示值误差的最大差值达 $1.0 \mu\text{m}$ ，并且按照仪器出厂指标中最大允许误差 $(0.5 + L/100) \mu\text{m}$ 的要求，个别点的示值误差也超过了相应的要求，出现该问题的原因，就是数显装置的细分误差引起的^[2]，而细分误差的影响可以通过对数显装置的结构特点进行叙述加以说明。

2 原因分析

测长仪的数显装置由光栅传感器^[3]构成，目前常用的光栅类型有50线/mm、100线/mm和120线/mm几种，正是由于光栅传感器的这一特性，其输出特性的转换函数曲线并不是连续平滑的，而是具有很多离散的细密波纹^[4]。从数学上讲，一个函数曲线上如果有离散的细密波纹，此曲线就不是光滑的，而不光滑的曲线是不能进行微分运算的（即误差大小和方向不易控制和判定）。因为在有离散微小波纹的曲线上，在很微小区域内，曲线的斜率就有可能发生急剧变化（细分误差产生的原因）。所以光栅传感器无论分辨力有多高，示值变动性多么稳定，都存在由此细密波纹带来的斜率误差（细分误差）。

当然，这类的误差，不会超过波纹本身的幅值，它与所使用的光栅栅距有关，栅距越密，其可能带来的斜率误差也就越小，反之就越大。从目前已有的数据看，根据不同的光栅传感器的栅距，国内外光栅传感器的这类误差基本在几十纳米到几百纳米左右，对于一般准确度的测量没有明显影响，而对于准确度较高的测量该影响就很明显了。

如果仪器使用了计算机技术，则对于转换函数曲线不光滑的传感器的示值误差，制造厂一般有能力在量程内的有限多个点上用计算机修正^[5]，但问题是使用者需要在全量程内的无限多点上使用仪器。因此，在实际测量中，测量点有可能落在有效量程内的任何点上。从目前的技术可行性上讲，对光栅传感器转换函数中的大量离散的细密波纹全部修正是不可能的。

通过以上叙述，可以看出数显测长仪使用的光栅传感器，也同样会存在其自身的斜率误差（即细分误差）问题，如果每毫米的线数少，或者所使用的光栅传感器性能一般，则会带来明显的细分误差，对带有小数结果的影响就体现出来，使测量结果存在差异，这也是表1中两台同型号的数显测长仪对同一对象进行测量时，得到了不同的测量结果，其原因是两台数显测长仪具有不同的细分误差所致。

3 解决办法

基于以上原因，为了保证数显测长仪的量值准确可靠，及更加合理地使用JJF1189-2008《测长仪校准规范》，有必要在数显测长仪的校准中，增加对数显测长仪数显装置细分误差的控制。具体做法是校准示值误差时，在选择5个标准量块的尺寸时，不要单纯以整数标称值的量块做为校准用的标准，而应该辅之以整数后带有小数尺寸的量块做标准，对于小数尺寸，最好是具有微米标称值。

此外，也可以在选择5个整数标称值的量块校准示值误差后，再选择相应的微米尺寸量块对数显测长仪的示值误差进行校准，尺寸的选择建议量块标称值带有1, 3, 5, 7, 9 μm 。如1.001, 1.003, …, 1.009 mm，因为通常使用的100线/mm光栅传感器，其刻线间隔为0.01 mm，即 $10 \mu\text{m}$ 。这样，在一个栅距转换中，上述的五块量块基本均匀分布于一个栅距的5个位置，就可以很好地体现数显装置的细分误差，这样经过校准的数显测长仪则基本上保证了量值准确，同时也不违背JJF1189-2008《测长仪校准规范》的具体规定。

4 说明

以上是在使用JJF1189-2008《测长仪校准规范》中发现的细分误差问题，由于细分误差不能像示值误差一样对测量结果进行修正，因此，在实际使用中一定要保证细分误差是已知可控的，否则将给后续的测量准确度带来不可知的影响。

经过表1所述的实验验证，我们重新确定了数显测长仪的测量对象，尽量以整数测量为主，对于带有小数的测量对象，则要加以区分，如针规直径的测量，如果针规直径的标称值在小数点后1位及以内，则可以不考虑该仪器细分误差的影响；如果标称值为小数点后2位，则对测量结果需要做一定的验证，以排除

（下转第64页）

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2014.01.18

一种用于气体活塞式压力计标准装置的期间核查方法

张贤, 李鑫武

(中航工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘 要: 期间核查是指测量仪器在两次校准或检定的间隔期内对测量仪器的状态进行的核查。本文介绍了一种适用于气体活塞式压力计标准装置的期间核查方法, 即采用平均值-标准偏差控制图对该标准装置的测量过程进行统计分析, 以确认测量过程是否处于稳定受控状态。

关键词: 期间核查; 标准偏差; 控制图

中图分类号: TB935

文献标识码: B

文章编号: 1674-5795 (2014) 01-0062-03

0 引言

为保持测量标准和校准、检测设备校准状态的可信度, 按照实验室认可准则的要求, 应对测量仪器值在规定的时间内是否保持其最大允许误差或扩展不确定度或准确度等级在规定的范围内进行核查, 我们实验室依据计量标准考核的要求对气体活塞式压力标准器实施定期期间核查, 本文就针对在核查过程中根据所选择的核查程序和核查标准取得的核查数据进行分析, 绘制了分析用核查控制图, 确定了气体活塞式压力计核查控制图的中心线 CL、控制上限 UCL 和控制下限 LCL, 根据异常判断准则, 核实了本装置在测量过程中一直处于稳定受控状态。

1 前期准备

1.1 测量标准核查方法

根据 GJB 2749A-2009《军事计量测量标准建立与保持通用要求》, 对测量标准的核查共有 6 种方法, 对准确度较高并且重要的参考标准的核查一般推荐采用核查标准进行统计控制, 由于气体活塞式压力计标准装置是压力实验室 0.005 级标准, 核查方法采用对固定的核查标准 (数字压力计) 进行连续的定期观测, 由定期观测结果计算得到统计控制量绘制统计控制图, 对测量标准装置的测量过程进行连续和长期的统计控制。

1.2 核查标准的选择

依据本专业的具体情况, 选择和气体活塞式压力计标准装置相应测量范围的数字压力计作为核查标准, 该核查标准经过性能试验, 其稳定性、重复性满足要求, 且有足够高的分辨力, 其主要技术指标水平接近被核查测量标准; 该核查标准被选定后一直作为保留样品, 没有随意变更过, 有利于对期间核查结果的分析处理。

1.3 核查间隔的确定

由于气体活塞式压力计标准装置本身具备长期稳定性好的优势, 又是实验室 0.005 级工作基准装置, 使用频度偏少, 压力量值变化的风险很小, 所以我们选择该台标准装置进行期间核查的间隔为 1 年, 如果核查图的变化趋势发生异常, 随时缩短核查间隔。

1.4 预备数据的取得

预备数据是用来建立分析用控制图的基本取样数据, 目的是用来判断已有的测量过程或测量阶段是否处于统计控制状态。根据要求, 建立控制用控制图要求独立测量组数大于 20 组, 如数量不足, 可以在完成 6 组以上测量后建立初步分析用控制图。从 2006 年以

表 1 预备数据的取得条件

标准装置名称	0.005 级气体活塞式压力计标准装置	标准装置编号	G881
制造厂家	航空 304 所	准确度等级	0.005 级
核查标准	数字压力计	核查标准编号	3465570
制造厂家	GE	准确度等级	0.01 级
环境温度	20.5℃	相对湿度	31%

收稿日期: 2013-12-20

作者简介: 张贤 (1980-), 女, 工程师, 主要从事压力计量技术工作。

来, 每年采用在重复性条件下, 由 0.005 级气体活塞式压力计对固定的核查标准在 200 kPa 点做 10 次独立重复测量, 从 2006 年到 2013 年共得到 8 组数据, 见表 1、表 2。

表 2 2006 年到 2013 年的 8 组预备数据

时间	测量值/kPa										子组平均值/kPa	子组标准偏差/kPa
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
2006 年	199.999	199.998	200.000	199.998	199.999	199.998	199.999	199.998	199.999	199.999	199.9987	6.749×10^{-4}
2007 年	199.998	199.999	199.999	199.998	199.998	199.999	199.998	199.998	199.999	199.999	199.9985	5.270×10^{-4}
2008 年	199.998	199.999	199.999	199.999	199.998	199.999	199.999	200.000	199.999	199.998	199.9988	6.324×10^{-4}
2009 年	199.998	199.999	200.000	199.999	199.999	200.000	199.999	199.998	199.999	199.998	199.9989	7.378×10^{-4}
2010 年	199.997	199.998	199.998	199.999	200.001	200.000	199.999	200.000	199.999	199.998	199.9989	11.972×10^{-4}
2011 年	199.998	199.999	199.997	200.000	200.001	199.999	199.997	200.000	199.998	199.999	199.9988	13.165×10^{-4}
2012 年	199.998	199.999	200.000	200.000	199.999	200.000	199.998	199.999	199.997	199.999	199.9989	9.944×10^{-4}
2013 年	199.997	199.999	200.000	199.999	199.999	200.000	199.998	199.999	199.998	199.999	199.9988	9.189×10^{-4}

2 建立控制图

2.1 控制图的分类

在测量过程控制中常用的控制图有平均值控制图、中位值控制图、标准偏差控制图和极差控制图。由于平均值控制图和中位值控制图主要用于判断测量过程中是否受到不受控的系统效应的影响, 标准偏差控制图和极差控制图主要用于判断测量过程是否受到不受控的随机效应的影响, 而平均值控制图和标准偏差控制图比中位值控制图和极差控制图具有更高的检出率, 所以我们选择平均值控制图和标准偏差控制图联合使用, 分别用来控制气体活塞式压力计标准装置测量过程中的系统效应和随机效应。

2.2 设计原理

根据中心极限定理, 取多次测量结果的平均值作为测量结果, 则该测量结果的分布接近于正态分布, 对于正态分布, 测量结果位于分布中心 μ 附近 $\mu \pm 3\sigma$ 区间的概率高达 99.73%, 所以将该区域作为需要控制的区域。控制图由一个直角坐标系构成, 以 μ 作为控制的中心线, 以 $\mu + 3\sigma$ 作为控制上限 (UCL), 以 $\mu - 3\sigma$ 作为控制下限 (LCL)。

2.3 核查控制线的确定

根据《JJF1033-2008〈计量标准考核规范〉实施指南》中第三篇测量过程的统计控制图设计原理, 当采用平均值-标准偏差控制图 ($\bar{x}-s$ 图) 对测量标准装置进行核查时, 应根据获得的统计测量数据计算: 每个子组的平均值 $\bar{x}$, 每个子组的试验标准偏差 s , 各

子组间的平均值 $\bar{\bar{x}}$ 和实验标准差的平均值 $\bar{s}$ 。
标准偏差控制图的中心线: $CL = \bar{s} = 8.8 \times 10^{-4}$
标准偏差控制图的控制上限: $UCL = B_4 \bar{s} = 1.716 \times 8.8 \times 10^{-4} = 1.51 \times 10^{-3}$
标准偏差控制图的控制下限: $LCL = B_3 \bar{s} = 0.284 \times 8.8 \times 10^{-4} = 2.5 \times 10^{-4}$
平均值控制图的中心线: $CL = \bar{\bar{x}} = 199.9987$
平均值控制图的控制上限: $UCL = \bar{\bar{x}} + A_3 \bar{s} = 199.998787 + 0.975 \times 8.8 \times 10^{-4} = 199.9996$
平均值控制图的控制下限: $LCL = \bar{\bar{x}} - A_3 \bar{s} = 199.998787 - 0.975 \times 8.8 \times 10^{-4} = 199.9979$

其中, A_3, B_3, B_4 值查《JJF 1033-2008〈计量标准考核规范〉实施指南》中控制图控制限系数表。

2.4 绘制核查结果统计图

如图 1、图 2 所示, 控制图中分为 6 个区, 每个区的宽度均相当于采用统计控制量的标准偏差 σ , 6 个区自上而下分别标记为 a, b, c, c, b, a , 测量点出现在中心线两侧 a 区之外, 表示测量过程出现异常; 测量点出现在中心线两侧 a 区内的概率仅为 4.28%, 此时

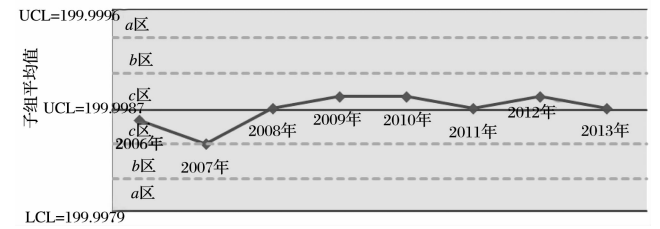


图 1 气体活塞式压力计标准装置平均值控制图

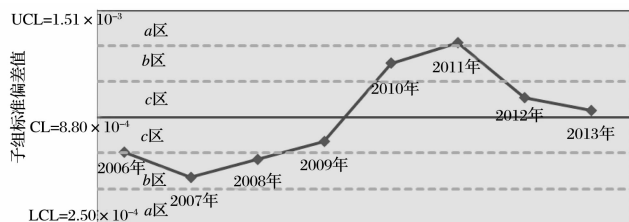


图2 气体活塞式压力计标准装置标准偏差控制图

应引起警戒,缩短核查间隔,密切关注后续变化;测量点出现在中心线两侧**b**区内的概率为27.18%;测量点出现在中心线两侧**c**区内的概率为68.27%。

3 核查结果异常的判定

3.1 判定原则

控制图异常分析的主要表现分为测量点超出控制界限和测量点的分布不随机两类。由于目前核查数据只有8组,建立的是初步分析用控制图,对于气体活塞式压力计平均值-标准偏差控制图异常的判断,参照国际标准 ISO 8258:1991 和国家标准 GB/T 4091-2001 总结的8种判断依据并做了严格修改,异常情况的具体表现为:测量点出现在**a**区外;连续6个测量点出现单调递增或递减的趋势;连续3个测量点中有两点出现在中心线同一侧**a**区中;连续5个测量点中有4点出现在中心线同一侧的**b**区或**a**区中;连续8个

测量点出现在中心线两侧并且全部不在**c**区内;连续8个测量点出现在中心线的同一侧;连续8个测量点出现上下交替排列;连续8个测量点出现在中心线两侧的**c**区中。

3.2 结果判定

由气体活塞式压力计标准装置平均值-标准偏差控制图可以看出,两幅统计核查控制图中都没有出现任何异常情况,核查数据证明该装置的测量结果始终受控,校准状态在有效期内正常可信。

4 结束语

通过由历年的期间核查数据建立的分析控制图,可以方便对0.005级气体活塞式压力计基准装置的测量过程进行异常判断,立即寻找产生异常的原因并加以消除,使其测量过程长期处于统计控制状态,保证压力量值的传递准确可靠。

参考文献

- [1] 中国人民解放军总装备部技术基础管理中心. GJB 2749A-2009 军事计量测量标准建立与保持通用要求[S]. 2009.
- [2] 全国计量标准、计量检定人员考核委员会. JJF 1033-2008《计量标准考核规范》实施指南[M]. 北京:中国计量出版社, 2008.

(上接第61页)

仪器细分误差的影响,当然如果有更好准确度的仪器,则不考虑用此类数显测长仪进行测量;对于标称值是小数点后3位及以上的,该类型数显测长仪则不可以使用。

参考文献

- [1] 国家质量监督检验检疫总局. JJF 1189-2008 测长仪校准规范[S]. 北京:中国计量出版社, 2008.
- [2] 水文. 长度测量用光栅传感器的误差分析[J]. 工具技术, 1984(9): 44-46.
- [3] 何道清, 张禾, 湛海云. 传感器与传感器技术[M]. 北京:科学出版社, 2008.
- [4] 杨进堂, 杨庆辉. 莫尔条纹动态细分误差的测量[J]. 计量技术, 1998(7): 14-16.
- [5] 胡章芳, 应俊. 减小光栅传感器测量信号误差的研究[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版, 2007, 19(6): 697-701.

Fluke 推出节能专用电能记录仪 F1730 免费试用活动

福禄克测试仪器(上海)有限公司新近推出了节能专用三相电能记录仪 Fluke 1730 免费试用活动。此次活动是为庆祝 Fluke 1730 三相电能记录仪成功上市而开展,面向多学科专业人员以及工程师群体,可以为更多专业人员带来更直观的电能量记录体验,同时帮助他们制定和实施成本节约策略。

据了解,为便于更多的工程师能够试用这款记录仪,Fluke 公司此次的活动将持续至2014年6月30日,共分为三部分——免费试用部分、反馈送礼部分以及有奖征文部分,申请试用只需在线填写申请单即可,试用后完成反馈问卷还将获得 Fluke 纪念品。感兴趣的读者可登陆福禄克官方网站了解详情。

(陈娟 报道)

欢迎订阅 《化学分析计量》 邮发代号 24-138

《化学分析计量》，国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物，双月刊，大16开本，单月20日出版。国际刊号：ISSN 1008-6145，国内刊号：CN37-1315/O6。《化学分析计量》是中国科技核心期刊、美国《化学文摘》(CA)千种表收录期刊、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊，中国石油和化工行业优秀期刊、中国兵器工业优秀期刊、山东省优秀期刊。2014年单价15元，全年90元。您可通过邮局或银行汇款向《化学分析计量》杂志社办理订阅手续，欲订阅过刊或合订本、合订本光盘的读者直接向杂志社订阅。

地址：山东省济南市108信箱杂志社

邮编：250031

电话：(0531) 85878132, 85878278

E-mail: anameter@126.com

网址：www.cam1992.com

《化学分析计量》2014年第1期目次

标准物质

高效液相色谱仪蒸发光散射检测器校准用标准物质的选择

密度检定液配制及注意事项

分析测试

柱前衍生-高效液相色谱法测定白刺果中氨基酸含量

间二氯苯纯度的测定

HPLC-MS/MS法测定南美白对虾苗中硝基呋喃类代谢物残留

离子色谱法同时测定大气降水中的5种阴离子

高效液相色谱-光电二极管阵列法测定虾青素的含量

染整处理对棉纺织品农药残留量影响的研究

铝表面自组装端羟基聚酯胺膜的XPS和STM表征

聚酯类食品包装材料中二氧化钛在食品模拟物中的迁移规律

固相萃取-HPLC-ICP/MS法测定水中的烷基汞

ICP-OES法测定八氧化三铋中杂质元素钨

气相色谱-质谱法快速测定塑料中磷酸三甲苯酯异构体

碱化底液消除水负峰离子色谱法测定水中F⁻、Cl⁻等7种阴离子

GC-MS法测定白酒中邻苯二甲酸二丁酯和邻苯二甲酸二(2-乙基)己酯

差示扫描量热法测定草酸艾司西酞普兰纯度

电感耦合等离子体发射光谱法测定二氧化铀中痕量磷和硅元素

热脱附/气相色谱-质谱法检测新装修房内不同状态空气中TVOC

硫脲络合-火焰原子吸收光谱法测定低硅铝合金中的银含量

红外碳硫分析仪测定耐火材料中碳化硅的含量

分子吸收分光光度法测定辉钼矿中钼的不确定度评定

空气中苯系物测定有关问题的探讨

计量技术

质量控制图在监视直读光谱仪检测数据稳定性中的应用

荧光淬灭法溶解氧测定仪校准方法的研究

可燃气体检测报警器计量检定与计量管理的探讨

实验室管理

仿真饰品中镍释放量测定能力验证的组织与实施

理化分析测试实验室仪器设备的管理

仪器设备

口腔气体检测仪校准装置的研制

渗透压摩尔浓度测定仪示值误差测量结果不确定度评定

综述

免疫胶体金技术的应用与展望

绿色化学在基层检验室有机废液处理中的应用

《宇航计测技术》2014年第1期目次

宽带梳状谱发生器校准技术研究

激励功率对高功率微波相位测量通道相位特性影响实验研究

基于DDS的通用扫频源设计

基于脉冲调制的卫星射频测试系统变频链路群延时参数校准

谐振式液体密度传感器的频率解算方法研究

CPT铯原子钟4596MHz信号源设计与分析

基于容栅技术数显力矩扳手无线通信系统的设计

专用捷变频信号源校准系统研制

北斗系统时BDT解析

远地时钟比对数据消噪方法研究

基于阻尼系数控制算法的时间驾驭方法研究

一种基于时间梳技术的高频正弦信号相位差测量方法

基于序列红外图像的弹道导弹中段目标检测跟踪方法

周期极化磷酸氧钛钾晶体倍频特性实验研究

基于DO30多功能校准仪的自动化计量检定系统设计

航天发动机多余物自动检测系统

低功耗环境监测系统设计与实现

国防科技工业计量培训考核资料

名 称		单价
GJB6465 - 2008 《计量人员资格鉴定与认证》		18
国防初级计量师计量基础知识考试大纲		10
几何量 专业考 试大纲	合订本	45
	长度基标准器具	10
	工程参量	15
	通用量具	10
	角度	15
	几何量仪器	15
热学 专业 考试 大纲	合订本	40
	接触式测温类	10
	非接触式测温类	15
	湿度	15
力学 专业 考试 大纲	特种测温类	10
	合订本	60
	质量	10
	振动冲击与转速	15
	硬度	10
	容量	10
	力值与扭矩	15
	压力与真空	15
	流体与流速	10
电磁学 专业 考试 大纲	合订本	40
	交直流电压	10
	电气安全与工程测量	10
	数字与模拟仪表	10
	直流电阻与交流阻抗	10
	交直流功率与电能	10
无电电 子学 专业 考试 大纲	磁学	10
	合订本	55
	微波参数	15
	信号发生与分析	10
	场强与干扰	10
	电磁兼容	10
	高低频参数	10
	脉冲与通信参数	10
时间频率 专业考试 大纲	电子元件参数	10
	合订本	15
	长期特性参数	10
声学专业 专业考试 大纲	短期特性参数	10
	合订本	20
	水声	15
电离辐射 专业考试 大纲	空气声	15
	合订本	20
	辐射剂量	10
	放射性核素	10
中子		10

名 称		单价
光学专业 考试大纲	合订本	65
	辐射度	10
	激光参数	10
	光度与光谱光度	10
	激光夜视参数	10
	成像光学	10
	光学材料参数	10
	光电探测器件	10
	光电测量仪器	10
	光纤与光纤器件	10
化学专业 考试大纲	合订本	70
	无机成分量	10
	有机成分量	10
	气体成分量	10
	物化特性量	10
	化学工程量	10
	防化特性量	10
	火炸药燃烧特性量	10
	火炸药理化特性量	10
	火炸药安全特性量	10
	火炸药爆炸特性量	10

教材名称	定价 (元)
计量技术基础	80.00
计量管理基础	52.00
几何量计量 (上、下)	115.00
热学计量	84.00
力学计量 (上、下)	174.00
电磁学计量 (上、下)	144.00
无线电电子学 (上、下)	144.00
时间频率计量	48.00
电离辐射计量	70.00
光学计量 (上、下)	127.00
声学计量	76.00
化学计量 (上、下)	131.00
国防军工计量建标报告的撰写与审核	8.00
国防军工计量基础知识	16.00
国防军工计量考核要求	16.00
建立测量标准技术报告实例汇编	30.00
国防军工计量法规手册	8.00
国防科技工业计量标准器具考核规范 (试行)	8.00
宣贯材料	20.00
测量不确定度评定培训教材	30.00

2013 年颁布的国家计量技术法规目录

1. 计量检定规程

现行规程号	规程名称	被代替规程规范号	定价
JJG49 - 2013	弹性元件式精密压力表和真空表检定规程	JJG49 - 1999	21.00
JJG52 - 2013	弹性元件式一般压力表、压力真空表和真空表检定规程	JJG52 - 1999, JJG573 - 2003	18.00
JJG112 - 2013	金属洛氏硬度计 (A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T 标尺) 检定规程	JJG112 - 2003	
JJG113 - 2013	标准金属洛氏硬度块 (A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T 标尺) 检定规程	JJG113 - 2003	
JJG117 - 2013	平板检定规程	JJG117 - 2005	36.00
JJG141 - 2013	工作用贵金属热电偶检定规程	JJG141 - 2000	27.00
JJG158 - 2013	补偿式微压计检定规程	JJG158 - 1994	21.00
JJG308 - 2013	射频电压表检定规程	JJG279 - 1981, JJG308 - 1983, JJG319 - 1983	18.00
JJG338 - 2013	电荷放大器检定规程	JJG338 - 1997	
JJG610 - 2013	A 型巴氏硬度计检定规程	JJG610 - 1989	
JJG631 - 2013	氨氮自动监测仪检定规程	JJG631 - 2004	21.00
JJG656 - 2013	硝酸盐氮自动监测仪检定规程	JJG656 - 1990	21.00
JJG773 - 2013	医用 γ 射线后装近距离治疗辐射源检定规程	JJG773 - 1992	24.00
JJG797 - 2013	扭矩扳子检定仪检定规程	JJG797 - 1992	21.00
JJG813 - 2013	光纤光功率计检定规程	JJG813 - 93	21.00
JJG825 - 2013	测氦仪检定规程	JJG825 - 1993	18.00
JJG853 - 2013	低本底 α 、 β 测量仪检定规程	JJG853 - 1993	18.00
JJG858 - 2013	标准铑铁电阻温度计检定规程	JJG858 - 1994	18.00
JJG927 - 2013	轮胎压力表检定规程	JJG927 - 1997	18.00
JJG944 - 2013	金属韦氏硬度计检定规程	JJG944 - 1999	21.00
JJG956 - 2013	大气采样器检定规程	JJG956 - 2000	21.00
JJG965 - 2013	通信用光功率计检定规程	JJG965 - 2001	24.00
JJG1010 - 2013	电子停车计时收费表检定规程	JJG1010 - 2006	21.00
JJG1079 - 2013	铁路轨道信号测试设备综合校验装置检定规程		24.00
JJG1080 - 2013	铁路机车车辆车轮检查器检定规程		21.00
JJG1081.1 - 2013	铁路机车车辆轮径量具检定规程第 1 部分: 轮径尺		18.00
JJG1081.2 - 2013	铁路机车车辆轮径量具检定规程第 2 部分: 轮径测量器		18.00
JJG1082.1 - 2013	铁路机车车辆轮径量具检具检定规程第 1 部分: 轮径尺检具		16.00
JJG1082.2 - 2013	铁路机车车辆轮径量具检具检定规程第 2 部分: 轮径测量器检具		18.00
JJG1083 - 2013	锚固试验机检定规程		18.00
JJG1084 - 2013	数字式气压计检定规程		21.00
JJG1085 - 2013	标准电能表检定规程	JJG596 - 1999 标准电能表部分	27.00
JJG1086 - 2013	气体活塞式压力计检定规程		27.00
JJG1087 - 2013	矿用氧气检测报警器检定规程		21.00
JJG1088 - 2013	角膜曲率计用计量标准器检定规程		18.00
JJG1089 - 2013	渗透压摩尔浓度测定仪检定规程		
JJG1090 - 2013	铁路轨道检查仪检定规程		
JJG1091 - 2013	铁路轨道检查仪检定台检定规程		

现行规程号	规程名称	被代替规程规范号	定价
JJG1092-2013	机车速度表检定规程		
JJG1093-2013	矿用一氧化碳检测报警器检定规程		
JJG1094-2013	总磷总氮水质在线分析仪检定规程		

2. 计量技术规范

现行规范号	规范名称	被代替规范规范号	定价
JJF1261.7-2013	平板电视能源效率标识计量检测规则		39.00
JJF1261.8-2013	电动洗衣机能源效率标识计量检测规则		45.00
JJF1261.9-2013	家用燃气快速热水器和燃气采暖热水炉能源效率标识计量检测规则		45.00
JJF1261.10-2013	家用和类似用途微波炉能源效率标识计量检测规则		36.00
JJF1261.11-2013	家用太阳能热水系统能源效率标识计量检测规则		36.00
JJF1261.12-2013	微型计算机能源效率标识计量检测规则		
JJF1386-2013	中功率计校准规范		27.00
JJF1387-2013	矢量示波器校准规范		30.00
JJF1388-2013	数字脑电图机及脑电地形图仪型式评价大纲		36.00
JJF1389-2013	数字心电图机型式评价大纲		42.00
JJF1390-2013	脑电图机型式评价大纲		42.00
JJF1391-2013	心电图机型式评价大纲		36.00
JJF1392-2013	动态（可移动）心电图机型式评价大纲		36.00
JJF1393-2013	心电监护仪型式评价大纲		30.00
JJF1394-2013	无线测距仪校准规范		45.00
JJF1395-2013	音频分析仪校准规范		27.00
JJF1396-2013	频谱分析仪校准规范	JJG501-2000	48.00
JJF1397-2013	静电放电模拟器校准规范		21.00
JJF1398-2013	燃油加油机制造计量器具许可考核必备条件	JJF1061-1999	18.00
JJF1399-2013	膜式燃气表制造计量器具许可考核必备条件	“煤气表制造计量器具许可证考核必备条件”	24.00
JJF1400-2013	时间继电器测试仪校准规范		21.00
JJF1401-2013	振弦式频率读数仪校准规范		21.00
JJF1402-2013	生物显微镜校准规范		21.00
JJF1403-2013	全球导航卫星系统（GNSS）接收机（时间测量型）校准规范		33.00
JJF1404-2013	大气采样器型式评价大纲		39.00
JJF1405-2013	总有机碳分析仪型式评价大纲		36.00
JJF1406-2013	地面激光扫描仪校准规范		21.00
JJF1407-2013	WBGT 指数仪温度计校准规范		21.00
JJF1408-2013	关节臂式坐标测量机校准规范		
JJF1409-2013	表面温度计校准规范	JJG364-1994	21.00
JJF1410-2013	丝杠动态行程测量仪校准规范	JJG671-1990	
JJF1411-2013	测量内尺寸千分尺校准规范	JJF1091-2002	30.00
JJF1412-2013	临床用变色体温计校准规范		21.00
JJF1413-2013	轮胎压力表型式评价大纲		27.00
JJF1414-2013	弹性元件式精密压力表和真空表型式评价大纲		24.00
JJF1415-2013	弹性元件式一般压力表、压力真空表和真空表型式评价大纲		39.00
JJF1416-2013	数字式压力计型式评价大纲		36.00
JJF1417-2013	压陷式眼压计型式评价大纲		21.00

现行规范号	规范名称	被代替规范规程号	定价
JJF1418-2013	压力控制器型式评价大纲		36.00
JJF1419-2013	浮标式氧气吸入器型式评价大纲		21.00
JJF1420-2013	血压计和血压表型式评价大纲		18.00
JJF1421-2013	一氧化碳检测报警器型式评价大纲		39.00
JJF1422-2013	坐标测量球校准规范		21.00
JJF1423-2013	π 尺校准规范		24.00
JJF1424-2013	氨氮自动检测仪型式评价大纲		36.00
JJF1425-2013	硝酸盐氮自动监测仪型式评价大纲		39.00
JJF1426-2013	双离心机法线加速度计动态特性校准规范		30.00
JJF1427-2013	微机电 (MEMS) 线加速度计校准规范		27.00
JJF1428-2013	光纤偏振模色散测试仪校准规范		21.00
JJF1429-2013	红外乳腺检查仪校准规范		18.00
JJF1430-2013	X 射线计时器校准规范		
JJF1431-2013	风电场用磁电式风速传感器校准规范		
JJF1432-2013	医用诊断 X 射线非介入曝光时间表校准规范		
JJF1433-2013	氯气检测报警仪标准规范		
JJF1434-2013	热量表 (功能表) 制造计量器具许可考核必备条件	“热能表制造计量器具许可证考核必备案件”	
JJF1435-2013	水表制造计量器具许可考核必备条件	“水表制造计量器具许可证考核必备案件”	18.00
JJF1436-2013	超声硬度计校准规范	JJG654-1990	18.00
JJF1437-2013	示波器电压探头校准规范		
JJF1438-2013	彩色多普勒超声诊断仪 (血流测量部分) 校准规范		
JJF1439-2013	静力触探仪校准规范		
JJF1440-2013	混合式油罐测量系统校准规范		
JJF1441-2013	覆膜电极溶解氧测定仪型式评价大纲		

3. 计量检定系统表

现行检定系统表号	检定系统表名称	被代替检定系统表号	定价
JJG2015-2013	脉冲波形参数计量器具检定系统表	JJG2015-1987	16.00
JJG2071-2013	(-2.5~2.5) kPa 压力计量器具检定系统表	JJG2071-1990	16.00

2014 年颁布的国家计量技术法规目录 (部分)

现行规程规范号	规程规范名称	被代替规程规范号	定价
JJG776-2014	微波辐射与泄露测量仪检定规程	JJG776-1992	
JJG1095-2014	环境噪声自动监测仪检定规程		
JJF1015-2014	计量器具型式评价通用规范	JJF1015-2002	
JJF1016-2014	计量器具型式评价大纲编写导则	JJF1016-2009	
JJF1022-2014	计量标准命名与分类编码	JJF1022-1991	
JJF1442-2014	宽带同轴噪声发生器校准规范		
JJF1443-2014	LTE 数字移动通信综合测试仪校准规范		
JJF1444-2014	直流比较仪式测温电桥校准规范		
JJF1445-2014	落锤式冲击试验机校准规范		
JJF1446-2014	阻抗管校准规范 (传递函数法)		

注: 2013, 2014 年国家计量技术法规目录由中国船舶工业第 6354 研究所杨清廉收集整理, 特此致谢!

第十四届全国压力计量与测试技术学术交流会征文通知

为了加强国内计量技术机构、高等院校、科研院所和有关仪器制造企业的技术交流,促进压力计量与测试技术的发展,中国计量测试学会压力计量专业委员会拟于 2014 年 9 月召开“第十四届全国压力计量与测试技术学术交流会”。本次会议向国内外相关领域的科研、教学及生产工作者广泛征集论文,由会议组委会聘请专家负责论文的审阅工作。审查通过的论文将在中文核心期刊《计测技术》上以增刊形式出版。《计测技术》是计量测试领域影响力较大的全国性技术期刊,国内外公开发行,刊名由聂荣臻元帅亲笔题写。

本次会议由中国计量测试学会压力计量专业委员会主办,会议时间及地点另行通知。

本届大会组委会指定《计测技术》杂志及线上媒体“中国计量测控网(www.jlck.cn)”作为本届大会的专业媒体,独家承担本届会议论文出版、企业宣传及网络推广方面的专项工作。

一、征文内容

1. 压力计量测试技术发展现状和趋势;
2. 压力计量测试新技术、新理论、新方法;
3. 压力计量标准装置研究、压力量值溯源与传递技术、压力现场与在线校准技术;
4. 新型压力仪表及其在线工业测量仪器、新型压力敏感器件及工艺装备、新型压力传感器技术;
5. 动态压力测量与信号恢复技术、特殊及极端条件下压力测量技术、流场测量与显示技术、压力测量不确定度评定与误差分析;

6. 武器装备试验压力测试技术;

7. 电力、石油石化、气象、汽车、材料、医疗等领域压力计量测试技术;

8. 航空航天、兵器、船舶、核工业、电子等领域压力计量测试技术;

9. 其他关于压力测量与控制的研究成果等。

二、征文要求

1. 符合征文内容的学术论文、研究报告,未在国内外公开发行的刊物上发表过。

2. 全文尽量不超过 8000 字(包括图表)。正文前请附不少于 200 字的中文摘要、关键词;文题下方写明作者姓名、单位名称和邮政编码,在文后注明第一作者出生年、性别、职称和学历(硕士及以上)、所从事的工作或研究方向。

3. 作者文责自负,涉及保密部分,要求自行解密处理,论文保密审查由作者本人及单位负责。

4. 建议文章选用 Word 文字处理软件进行编排处理,版芯设计为 A4 尺寸,双栏排;文中物理量用斜体,矢量及矩阵符号用黑斜体,单位符号和词头用正体;图、表、照片要精选,三者宽度尽量不超过 8.5 cm;参考文献引用要准确,应包括主要作者、文献题名、出版地、出版者、出版年,如果是期刊文章,应注明刊名,年卷(期)号、起止页码。具体参考格式如下:

[1] 吴今培. 智能故障诊断与专家系统 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.

[2] 武云. 数据采集系统中的触发设计 [J]. 计算机测量与控制, 2004, 12 (4): 6-9.

5. 提交的论文,请作者自留底稿,来稿一律不退。来稿请附上详细通信地址(含邮编)及电话号码(手机、E-mail 信箱等),以便及时联系。

6. 论文提交的截止日期为: 2014 年 5 月 30 日。论文请以附件形式发送电子邮件至《计测技术》编辑部邮箱 yali304@126.com,注明压力会议投稿。

7. 2014 年 6 月 20 日以前通知作者文章是否被录用。论文录用后,将向作者发送电子版录用通知,每篇论文(不超过 4 页, 8000 字)收取版面费 1000 元,超过 4 页每页增收 300 元。

三、组委会联系人

其他未尽事宜请与组委会联系,联系方式如下:

1. 李程 通讯地址: 北京市海淀区温泉镇航空三〇四所力学研究室, 邮编: 100095

电话: 010-62457141 E-mail: licheng@cimm.com.cn

2. 悦进 通讯地址: 北京市北三环东路 18 号中国计量科学研究院热工所, 邮编: 100013

电话: 010-64525116 E-mail: yuej@nim.ac.cn

中国计量测试学会压力计量专业委员会

2014 年 1 月 16 日

第十五届中国湿度与水分学术交流会 会议及征集论文通知（第一次）

一、会议宗旨

由中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所、《计测技术》杂志社和中国计量测控网联合举办第十五届中国湿度与水分学术交流会。本次会议宗旨是促进我国湿度与水分科学技术的发展；促进湿度与水分科学技术与经济的结合；提高湿度与水分计量与测试技术水平，为我国湿度与水分行业和领域工作者提供一个交流平台。

本届会议将开展学术交流并展示湿度、温度、水分和气湿敏测试仪器方面的最新产品。报告最新技术成果，就有关湿度和水分方面的检定规程和校准规范进行宣讲。

欢迎各有关单位和个人撰写论文、交流产品信息。欢迎各方面的人士光临会议。

二、会议组织

主办单位：中国仪器仪表学会湿度与水分专业委员会

承办单位：中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所

协办单位：《计测技术》杂志社，中国计量测控网

三、时间地点

拟定会议召开时间、地点：2014年9月17日~19日重庆；会务费：1200元/人

四、会议内容

1. 大会报告：由国内业内专家对湿度、温度、水分、传感器和气湿敏等相关领域的技术进展及市场趋势做综述性的专题报告。

2. 技术交流：湿度、温度、水分、传感器和气湿敏传感技术进行交流。

3. 规程宣贯：由标准起草人、标准考核员就有关湿度与水分专业检定规程和校准规范进行宣讲、技术培训。

4. 产品展示：大会主会场设置新产品展览展示台。

5. 表彰活动：评选优秀论文，并对入选的优秀论文颁发〈优秀论文证书〉。

6. 学会活动：召开湿度与水分专业委员会十五届第一次全体委员会议。

五、会议技术交流

1. 本次学术交流会主要就以下几方面征文。

湿度、温度、水分和气湿敏传感技术；新方法、新原理的研究；标准仪器、校准测试方法的研究；仪器应用研究和对仪器的改进；测量结果的误差分析；国际湿度、水分和气湿敏传感技术新方法、新原理、新标准的最新进展。

2. 论文要求

1) 符合会议内容的学术论文、研究报告等均在应征之列，已在公开发行的刊物上发表的论文不再征集。

2) 来稿用 word 排版，图片、公式清晰规范，符合一般投稿要求，全文一般不超过 8000 字。正文前请附中文摘要、关键词；文题下方写明作者姓名、单位名称和邮政编码，在首页下方注明第一作者出生年、性别、职称和学历（硕士及以上）、所从事的工作或研究方向。

3) 涉及秘密事项的，请作者与所在单位保密部门解密处置，文责自负。

4) 会议论文由中文核心期刊《计测技术》以增刊形式出版。2014年7月30日前通知作者文章是否被录用，对录用论文的作者发送电子版录用通知，每篇论文（不超过4页，8000字）收取版面费1000元，超过4页每页增收300元。

请将论文发至组委会专设邮箱：chinashidu2014@163.com

会议论文截稿日期为2014年7月17日。

有关会议事项我们将及时在中国湿度网（www.chinashidu.com.cn）和中国计量测控网（www.jlek.cn）网站上及时公布。

六、联系方式

会议筹备组联系电话

冯燕 010-62457145 手机：15001281300 邮箱 chinashidu2014@163.com

中国仪器仪表学会分析仪器学会

湿度与水分专业委员会

2013年12月20日

第十三届全国敏感元件与传感器学术会议 (STC2014)

征文及会议通知

全国敏感元件与传感器学术会议 (Sensors and Transducers Conference of China, 以下简称“STC 学术会议”)是由我国敏感元件与传感器技术领域内全国性的学术组织、国家重点研究单位联合主办的大型专业会议,两年一届,至今已成功举办了十二届,得到国内同行的高度认可。STC 学术会议的历次成功举办,不但全面展示了我国敏感元件与传感器领域不断提高的技术实力和生产力水平,而且对其发展的各个阶段都起到了极大的促进作用,同时,作为我国敏感元件与传感器领域内规模最大、参会范围最广、涵盖议题最全、水平最高、影响最为深远的全国性学术会议,已成为我国此领域内产学研交流及合作的重要平台。

第十三届 STC 学术会议,由全国敏感元件与传感器学术团体联合组织委员会等八家学术机构主办,中航工业太原航空仪表有限公司和北京航空航天大学负责承办。本届会议以“创新驱动为引领、加快推进产学研用相结合,搭建高校、科研机构和企业沟通桥梁”为主题,同时与 2014 中国(国际)传感器创新大赛携手,为其提供专门的分会场,充分展示我国传感器的阶段创新成果。大会将于 2014 年 10 月在山西省太原市召开,届时,全国将有 300 名左右来自敏感元件与传感器领域的专家、学者和企业代表等与会代表参加此次学术盛会。本届会议除了为我国敏感元件和传感器领域的专家、学者和企业家搭建学术交流和产学研合作平台外,更注重探讨在国家“十二五”规划中传感技术与新兴产业的融合发展,分享传感器产业化方面的成果和经验。

一、征文范围(包括但不限于)

1. 传感器的基础技术及理论;
2. 功能敏感材料;
3. 传感器制备工艺技术(包括物理敏、化学敏、生物敏、光敏、气敏等各类敏感元件及传感器);
4. 传感器测试技术与工艺装备;
5. 传感器的应用与产业化;
6. 新材料及纳米传感器研究;
7. 物联网技术的研究与应用。

二、投稿须知

1. 投稿地址: stc2014@163.com。
2. 所投稿件必须为作者原创且未经公开发表,如涉及版权问题,责任由作者自负。
3. 论文应有较高的学术水平和参考价值,内容充实,富于创新。
4. 稿件涉密问题,由作者单位自行审查,责任由作者自负。
5. 受国家项目资助的论文请注明项目名称和编号。
6. 为促进交流,会议期间将制作《STC2014 学术会议通讯手册》,请作者在来稿时,附寄一份作者简介,包括:作者姓名、所在单位、简历、通讯地址、邮编、联系电话、Email 等。
7. 论文和摘要请通过 Email 方式投稿,来稿请排版成 word 档,小五号字、单倍行距,并提供摘要和 3-5 个关键词。来稿摘要要翻译成相应的英语,摘要字数以 300 左右为宜。
8. 应征稿件一律不退,请自留底稿。
9. 本次录用的论文将通过论文集形式出版发行(含光盘一张)。
10. 在征得作者本人同意的情况下,会议程序委员会经过审稿,对适合在《仪器仪表学报》、《电子测量与仪器学报》、《传感技术学报》、《计测技术》、《测控技术》等刊物发表的论文,推荐给相应的刊物发表。相关事宜由刊物与作者具体联系。

三、征文重要日期表

1. 第一次论文摘要截止日期: 2013 年 11 月 30 日
2. 第一次论文截止日期: 2014 年 2 月 28 日

四、会议时间、地点

时间: 2014 年 10 月 10 日—13 日

地址: 山西省太原市太航大酒店(地址: 山西省太原市亲贤北街 94 号), 酒店电话: 0351-7589327。

五、参会说明

1. 请拟将参会的人员(投稿和未投稿人员)填写《STC2014 学术会议回执》(附件一)。
2. 本次会议将对参会的学生代表减半收取注册费,学生代表请填写《STC2014 注册费减免申请表》(附件二)。
3. 是否同意推荐到刊物的选择(附件三)。

索要这三份附件可与《计测技术》编辑部联系。电话: 010-62457159, 63457160;

Email: mmt304@126.com。

六、STC2014 学术会议联系信息

地址: 北京航空航天大学仪器光电学院测控系

单位: 北京航空航天大学

电话: 010-82316625

Email: stc2014@163.com(推荐方式,主题请注明“参会”或“投稿”)

邮 编: 100191

收件人: 李成

传 真: