

电磁自动平衡式智能测力仪

北京航空航天大学 蒋智高歌宁晃

一、前言

在表面减阻试验测量中, 测力方式有多种多样^[1], 但是, 由于它们测力的基本原理是测量在力作用下使弹性元件产生的位移, 这将影响测量摩擦阻力的精度。在悬挂式摩擦阻力系统中^[2, 3]由于位移必然要产生重力分量, 该分量迭加在摩擦力上, 将造成测量误差, 甚至完全“淹没”摩擦力。并且由于位移在试验板前将出现一条缝 (对采用气动滑轨的系统也是如此), 摩擦力越大, 缝越大, 这就造成如下两个缺点: 一是试验板要留一条足够宽的缝, 以适应位移; 二是由于前后缝的存在, 必然要产生额外的压差阻力, 造成测量误差。采用机械式测力天平虽可以消除上述误差, 但是由于机械式测力天平的灵敏度有限, 对于象平板摩擦力这样小的力 (一般为几十克力), 测量误差是较大的。而且机械式天平体积较大, 制造要求高, 安装调试困难, 不易与计算机联机。因此, 为使试验更准确、迅速、便利, 本文作者研制了一种新型测力装置—电磁自动平衡式智能测力仪。它综合了上述传感器灵敏度高和机械式测力天平无位移的优点。整体框图见图 1。

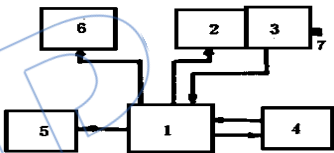


图 1 智能测力仪框图 (1. 单片机
2. 电磁推动器
3. 力敏传感器;
4. 键盘显示; 5. 打印机
6. IBM 计算机; 7. 触头)

二、测力仪的工作原理及设计

本文研制的新型测力仪由传感器, 测量电路和控制系统组成。
1. 传感器 传感器内部分两个部分 (图 2)。前面是力敏感传感器, 可变磁阻式传感器, 形成三节螺线管差动变压器, 衔铁由弹簧片支撑, 具体参数计算见文献 [1]。由于该传感

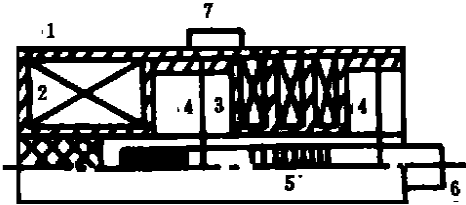


图 2 测力传感器简图 (1. 外壳; 2. 电磁线圈; 3. 三节螺线管
4. 支撑簧片; 5. 衡铁; 6. 触头; 7. 接线盒)

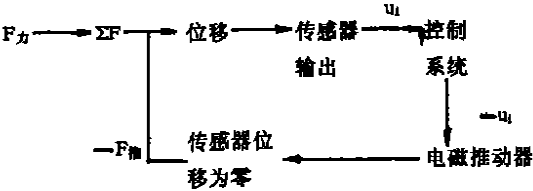


图 3 传感器的工作过程

器不是测量位移, 仅测是否有力存在及力的方向, 因此不必考虑其线性度及精度, 只要求有较好的灵敏度和重复性。力敏传感器的灵敏度为 5mV/g , 重复性为 0.05% 。测力传感器后部为一电磁推动器。当传感器受到外力时, 由控制系统反馈一定的电流给电磁推动器以产生一个反力 $-F$, 使传感器回到平衡位置。由于在平衡位置时, 弹性元件属于小应变, 因此传感器的重复性、精度及线性都得到了保证。电磁推动器根据需要定为: 推力 $0 \sim 70\text{g}$, 通过电流 $0 \sim 0.8\text{A}_{\text{DC}}$ (11.4mA/g)。整个传感器的工作过程如图 3 所示。

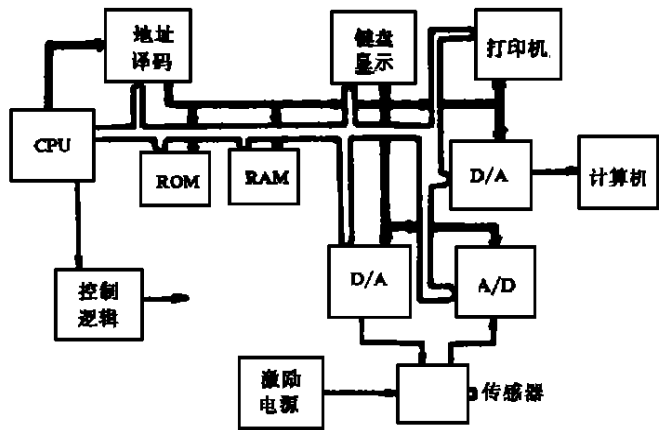


图 4 控制系统框图

2. 测量及支持电路 由于传感器输出的是两组交流信号, 还不能用于计算机处理, 必须将其整流(检波)和放大。本文采用了差动整流电路, 其基本原理为: 两组交流信号经二极管整流, 电容滤波并由电位器调零后送入放大器进行比较放大, 然后输出到计算机处理。

变压器式传感器在正常工作时需要激励电源。经过试验, 输出电压 8V_{pp} , 电流 0.5A_{pp} , 频率 5KHz 的正弦波电源较为合适, 并且输出电压稳定度要求 $< 0.05\%$, 波形失真 $< 0.2\%$ 。

3. 控制系统 传感器的平衡调节需要一个控制系统, 并且该系统还应具有数据处理、显示、打印、参数输入及向上一级计算机传送信号的功能。本文采用单片微处理机完成这些任务^[4,5]。控制系统包括主机, 模数和数模转换, 外设及软件(图 4)。

(1) 硬件 硬件的核心为 8031 单片机^[6], 它与程序存储器、数据存储器及控制电路构成主机。它可以完成数据的实时处理和外设的控制, 并有机地把传感器及所有软硬件结合起来, 形成一个闭合的反馈回路, 达到仪器的智能化。硬件的外设由打印机、显示器及键盘组成, 构成人机对话接口。传感器送出和接收的均为模拟信号, 因此, 模数和数模转换器起着传感器与计算机的接口作用。本文采用 8 位模数转换和 12 位数模转换来实现位移(即力)的信号输入和反馈(即推力)信号的输出。

(2) 软件 测力传感器的平衡调节方法采用了最常用, 速度最快也很有效的 PID 调节法^[7]。在实际控制中, 采用了双模控制法(PID- PD 法), 以提高控制精度。具体控制公式为:

$$\Delta u(k) = K_P \Delta e(k) + \Delta u(k) + K_D [\Delta e(k) - \Delta e(k-1)] / T_s$$

$$\Delta u(k) = \begin{cases} K_I T_s e(k) & e(k) > \epsilon \\ 0 & -\epsilon \leq e(k) \leq \epsilon \\ -K_I T_s e(k) & e(k) < -\epsilon \end{cases}$$

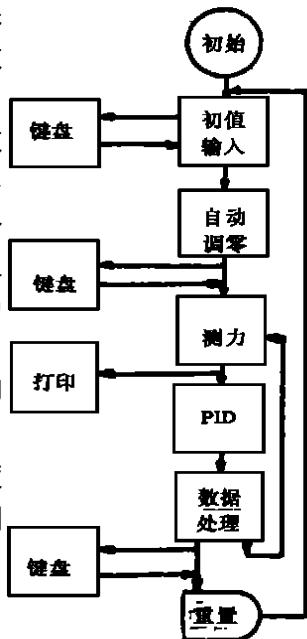


图 5 程序框图

式中, u_k 、 e_k 分别为调节输出信号和误差信号; k 为第 k 次数据, K_P 、 K_I 、 K_D 、 T_s 分别为比例、积分、微分系数和采样时间; Δ 表示差值; ϵ 是由经验确定的一个小量。

除控制软件外, 本测力仪还包括了数据采集、反馈输出、外设控制等监控软件。所有软件由 MCS-51 汇编语言写成, 并固化在 EPROM 芯片上, 开机即自动执行 (程序框图见图 5)。由于单片机主频较高 (6MHz), 并且其语言执行速度很快, 每执行一条语句仅需 $2 \sim 4\mu s$ 。因此, 本文编制的软件, 每执行一次 PID 调节需时 $2 \sim 3\mu s$, 加上其它部分程序的执行, 总的反应时间也不超过 5ms, 加上传感器的惯性作用, 整个调节过程平稳适时。

三、测力仪的标定及应用

1. 测力仪的标定 传感器具有离散性及非线性, 所以, 还必须标定。标定设备如图 6 所示, 用标准砝码标定出传感器的实际曲线, 然后回归为一多项式

$$f(F) = a_0 + a_1 F + a_2 F^2 + \dots + a_n F^n$$

项数 n 由要求的精度和运算速度综合考虑, n 越大, 精度越高。在实际应用中, 若传感器上有预加力 F_0 , 而实际测力为 F_1 , 则实际测得的力为

$$f(F) = f(F_1) - f(F_0)$$

以自动调零实现直接显示实际测力值。

通过标定和实际测试, 本文研制的测力仪达到了如下性能: 精度为 0.5%, 重复性为 0.1%, 反应时间为 5ms, 采样周期为 $100\mu s$ 。并且具有显示、打印、参数输入、向上一级计算机传送信号及构成测力传感器调反馈环等功能。

2. 应用 所研制的测力仪在风洞中测量表面摩擦阻力获得成功。图 7 为平板摩擦阻力测试结果。由图可见, 测量值与计算值^[8]吻合得很好。采用该测力仪还进行了 Riblets 减阻实验, 也得到了很好的结果和精度^[9]。

参 考 文 献

- [1] 袁希光, “传感器技术手册”, 国防工业出版社, 1986 年。
- [2] 蒋智、唐智明、宁晃, “应用于小型风洞的数据采集系统”, 航空动力学报, Vol. 2, No. 2, 1987 年。
- [3] 蒋智、唐智明、高歌、宁晃, “数据采集系统在减阻实验中的应用及初步减阻试验研究”, 中国热物理学会, 1987 年燃烧学术论文集, 学术期刊出版社, 1988 年。
- [4] 韩汝水、隋启水, “信号微处理器及其应用”, 国防工业出版社, 1986 年。
- [5] Zhang Cheng-sheng, Jiang Zhi, “A Development Type of Intelligence Diagnostic Analyser and Its International Machinery Monitoring and Diagnostic Conference”, N. Y., U. S. A., Sept 1989.
- [6] 孙涵芳、徐爱卿, “MCS-51, 96 系列单片机原理及应用”, 北京航空航天大学出版社, 1988 年。
- [7] 张铨, “微计算机在自动控制中的应用”, 国防工业出版社, 1986 年。
- [8] L. 普朗特著, 郭永怀等译, “流体力学概论”, 科学出版社, 1981 年。
- [9] 蒋智、唐智明、高歌、宁晃, “微肋条减阻薄膜在运动用船上的应用”, 中国航空学会第二届动力年会, (CSAA-P-89-119CC), 1989 年。

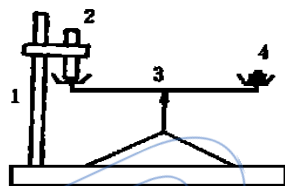


图 6 标定设备示意图
(1. 座标架, 2. 传感器, 3. 天平, 4. 砝码)

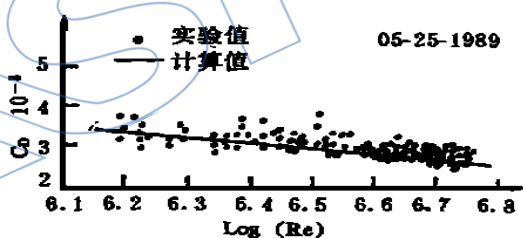


图 7 实测平板摩擦阻力曲线

A SIMILARITY AND INTEGRATION METHOD OF A RECTANGULAR JET

Zhang Zhengke and Jiang Zhengxing
(*Northwestern Polytechnical University*)

ABSTRACT

The similarity laws of a rectangular jet are summarized on the basis of the experimental data in literature. An integration method is also presented for calculating a constant-pressure, compressible rectangular jet to examine the stealth performance of the rectangular jet. The integration method gives a good prediction of the constant-pressure rectangular jet, and the calculated results agree well with the experimental data. A brief analysis of the stealth performance of the rectangular jet is described in the paper as well.

COMBUSTION CHARACTERISTICS OF A DOUBLE SWIRLER COMBUSTOR

Zhang Qingfan and Zhou Biao
(*Nanjing Aeronautical Institute*)

ABSTRACT

The combustion characteristics at atmospheric pressure for a co-axial double swirler combustor have been investigated. The results show that its combustion performances can be significantly improved by increasing properly swirl number for inner swirler, as outer and inner flows are counter-rotating; the annular recirculation zone is a good source for flame stabilization, which is a important factor for extending the weak extinction limit; The temperature distribution at the exit section of the combustor can be controlled by varying fuel-air ratio of outer and inner swirling flows.

DEVELOPMENT OF A INTELLIGENT FORCE METER BY AUTOMATIC ELECTRO-MAGNETIC BALANCING

Jiang Zhi, Gao Ge, Ning Huang
(*Beijing University of Aeronautics and Astronautics*)

ABSTRACT

In wind tunnel measurement of surface drag a force meter with high sensitivity and accuracy is urgently needed. This paper reports the development of the automatically balancing force meter which is a new device not yet seen before. The design principle, software and hardware, and the application of this meter are presented in this paper. Its accuracy is 0.5%, repetition 0.1%, response time 5ms, sampling period 100 μ s.