

# 智能化万用压力及三维流场测量系统开发

金春强 简森夫 李昌勇\*

(南京化工大学材料科学与工程学院, 南京, 210009)

**摘要** 介绍了近年来研制成的一种高精度、智能化的万用压力及三维流场测量系统。该系统由五孔探针、差压传感器、专用高速 AD - DA 接口、PC 微机及配套软件包构成, 采用全菜单提示选择工作方式, 使流场测量成为简单、方便、快速、高精度的智能化测量过程。实际测试应用证明了其优良特性。

**关键词** 三维流场 智能化 测量系统 冷模试验

**中图分类号** TQ 016.52

测量气体三维流场的方法有激光多普勒频移法、热线风速计法和五孔探针法等。激光法和热线法由于价格昂贵、容易损坏、使用不便及测量条件要求高等因素而难以得到广泛应用。在工程研究中最常用五孔球形探针法。传统的五孔探针法是对每一测点用 U 型微压计测量各孔间压力, 需要人工读数、查图、校正等多项繁杂数据处理过程, 而设备空间流场分布的测定, 一般需要数百个点, 测量时间长, 效率低, 测量精度低。为了解决这些问题, 作者在原有的基础上研制了用五孔探针、差压传感器、PC 微机、快速采样接口及配套软件包构成的智能化万用压力及气体三维流场测量系统(The measuring system for gas flowfield and pressures, 简称为 MSGFP), 解决了原测量系统的不足, 真正使流场测量成为简单、方便、快速、高精度的智能化测量过程。

## 1 智能化 MSGFP 的构成

智能化 MSGFP 由精密差压传感器、优化电路设计、高速 AD - DA 接口、PC 微机及配套软件包构成。配用五孔探针构成三维流场测量系统, 配用测压探头构成智能化万用压力测量系统。

五孔球形探针进行测量是基于流体绕流球体的原理<sup>[1]</sup>。五孔球形探针(结构见图 1)放入气体流场中, 气体绕流经过直径为 5 mm 的探头球面上的五个内径均为 0.5 mm 的感压孔时, 球体表面感应的

压力与气体运动方向存在确定的函数关系。当绕支柄轴线转动五孔探针, 使 4、5 孔连接的压差传感器平衡时(即  $P_4 = P_5$ ), 气体来流方向处在 1、2、3 孔所在平面内, 并与 4、5 孔对称, 利用探针的方向刻度盘可确定来流方向与水平面的夹角。根据预先标定得到  $K$  - 曲线和孔 1、2、3、4 各感受的压力值, 可计算得到另外一个角度和校正系数  $K_3 - K_1, K_2 - K_4, K_2$ , 据此可求得气流速度的模:

$$|\vec{U}| = \sqrt{\frac{2(P_3 - P_1)}{(K_3 - K_1)}} = \sqrt{\frac{2(P_2 - P_4)}{(K_2 - K_4)}}$$

在柱面坐标下可按下式计算各速度分量:

$$\text{轴向风速 } U_z = |\vec{U}| \sin \alpha \cos \beta$$

$$\text{切向风速 } U_t = |\vec{U}| \cos \alpha \cos \beta$$

$$\text{径向风速 } U_r = |\vec{U}| \sin \beta$$

由此原理研究开发的智能化 MSGFP 的测量原理框图, 见图 2。五孔探针探测的压力模拟信号送入压差传感器转变为直流电信号。经转换电路调整后, 输入积分型 AD - DA 接口进行模 - 数转换, 输出数字电信号传入 PC 微机处理计算。本测量系统有下述特点:

(1) 智能化万用压力及三维流场测量系统, 采用优化的设计电路、高精度差压传感器并采取温度补偿措施, 使压力测量系统稳定、精度高, 并可同时进行 4 ~ 32 路压力测量数据采集。

(2) 计算机采用 PC 微机, 有较大的彩色显示屏幕可供显示大量的测量信息和操作提示, 使观察和操作更加简便; 由于内存容量大、机器运算速度快,

\* 收稿日期: 1999 - 05 - 26

使数据处理能力大大提高,即时测量,即时处理出结果。

(3) 采用积分型 AD - DA 接口板,分辨率高、抗干扰能力强,测量精度高。

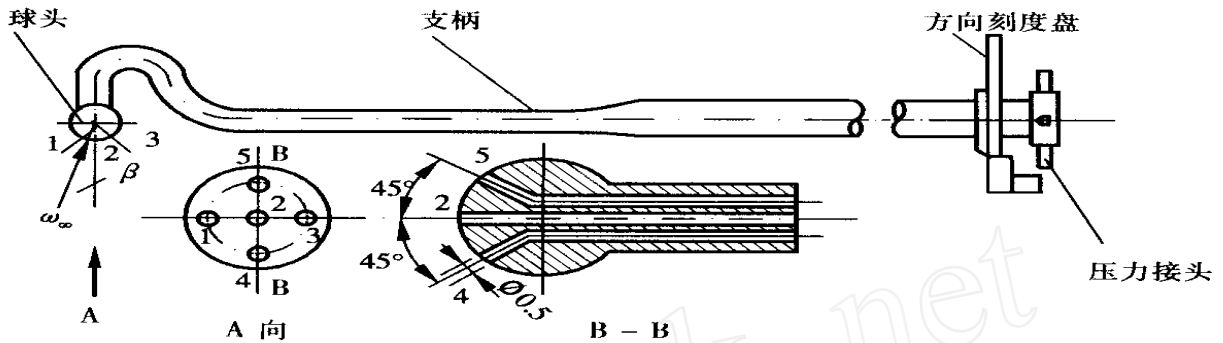


图 1 五孔球形探针

Fig 1 The spherical five - hole probe

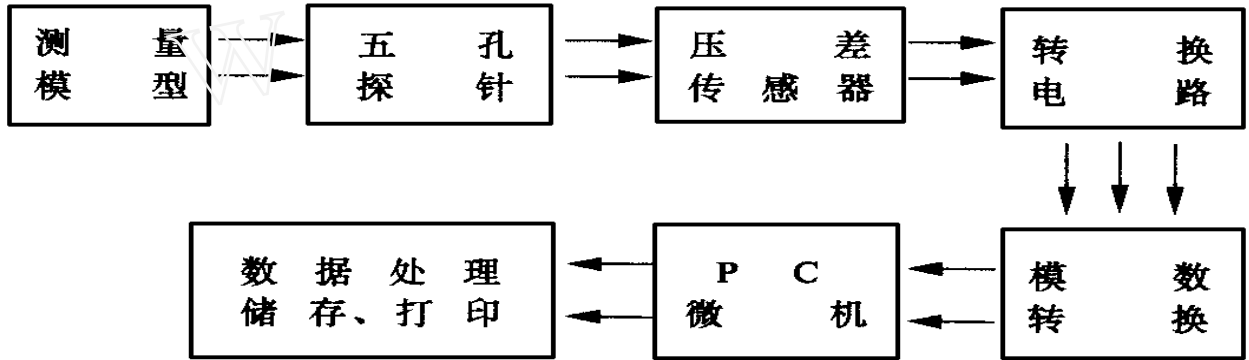


图 2 流场测量过程原理框图

Fig. 2 The chart of measuring principle for gas flow - field

(4) 系统压力测量部分自带 AD 转换,采用通用接口接入系统,不用在微机中插卡,适用于任何 PC 类微机。

(5) 采用数据文件形式存储测量数据及计算结果,可以随时以数据表或图形方式显示和打印各个测量断面的三维速度和压力分布情况。

(6) 配备标定、测量、绘图、计算打印等一系列程序构成的软件包,使用方便、实用,可按使用者的意愿进行系统标定、打印和测量。

(7) 采用全菜单提示选择工作方式和窗口显示技术,使用者可在屏幕操作提示下工作,具有简便、快速和灵活的特点。

(8) 配备压力及流速测量程序,可以测量管道风速、系统或设备压降等,同时还可测量多点压力或流速,兼具多种功能。

## 2 软件简介

本系统主体软件有主菜单选择程序、气体三维流场主测量程序、传感器系统标定程序、数据处理程序等。开机时系统自动进入菜单选择程序,根据屏幕提示选择进入所需的主体程序。

气体三维流场主测量软件的程序框图如图 3 所示。软件包括设置、测量、计算和输出四个模块。使用者在屏幕提示下工作,非常灵活方便。

设置模块用来设定模型名称、工况和测点位置等参数。计算机显示设置参数,各参数可根据实际情况随时重新设置。

测量模块用来完成测定功能。设置完成后进入测量,屏幕上不断显示当前测量值,绕支柄轴线转动五孔探针,使 4、5 孔连接的压差传感器平衡时(即  $P_4 = P_5$ ),按键采集数据测量停止。

计算模块用来将采集的数据进行计算处理,为防止出错,配有检查错误程序可自动报错重新测量,计算的正确结果存盘。

输出模块用来汇集测量计算的结果,列成压力分布、速度分布表或绘成压力分布、速度分布曲线,按操作者意愿储存或打印输出。

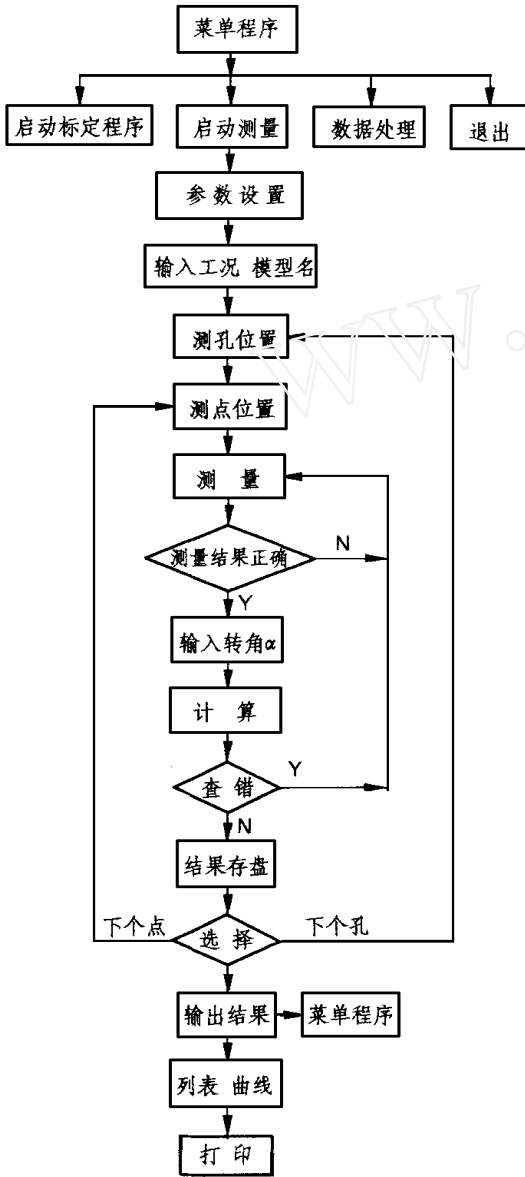


图3 流场测量主程序框图

Fig. 3 Flowchart of main program for measuring flow field

传感器系统标定程序用来对压差传感器、信号调理电路及模数转换整个系统进行标定。数据处理程序用来对测量计算的结果,按要求处理成表格、曲线和三维流场分布图,供研究者分析研究。

### 3 应用实例

NKSV 分解炉是我国从日本川崎公司引进的水泥热工设备,但实际应用效果并不理想。为了反求该设备性能,我们对 NKSV 分解炉进行了冷模试验研究<sup>[2]</sup>。图4是用智能化万用压力及气体三维流场测量系统测得的流场分布图,图中虚线为 NKSV 分解炉模型结构,将其内部空间分为 17 个截面,共计 420 个测点。模型结构内曲线分别为轴向风速  $U_z$ 、切向风速  $U_t$ 、径向风速  $U_r$  沿每个截面的变化曲线。

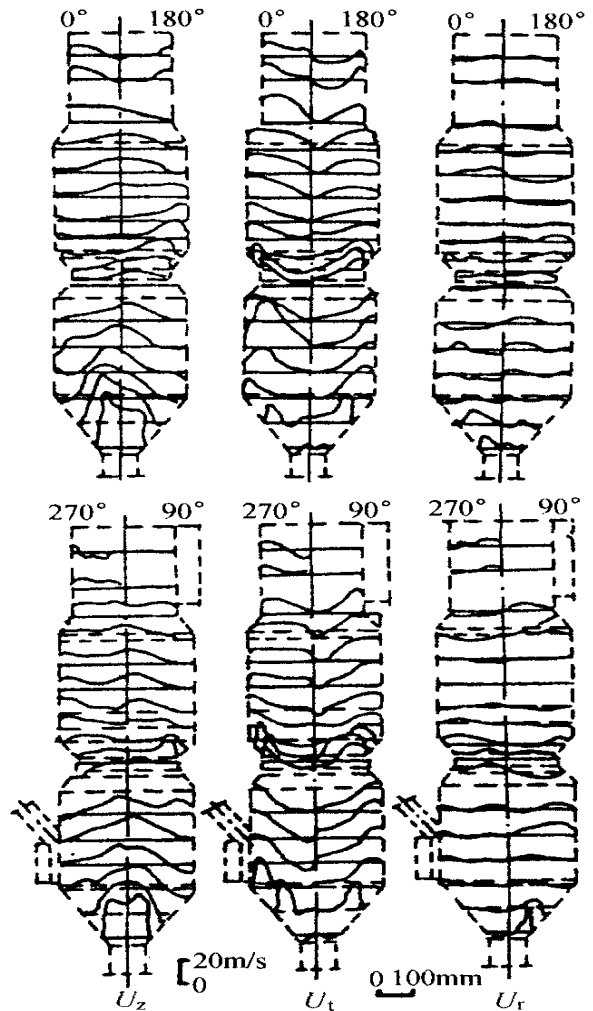


图4 NKSV 分解炉气体三维流场

Fig. 4 The gas flow field of NKSV calciner

从流场图可以看出,分解炉缩口以下区域(下钵)中,喷腾气流与旋转气流基本上分层流动的,外旋而内喷。中心区喷腾效应明显,轴向风速  $U_z$  较大且沿程递减,进风口附近类似克虏伯立筒的核

心区,上部则类似于喷柱区。只是由于旋流进风的不对称性而使得  $U_z$  的分布也呈现出不对称性。切线风速  $U_t$  较大但基本上只影响到近壁区域,对中心区( $0 \sim 0.5D$ )则影响微弱。径向风速  $U_r$  值较小,对物料运动的影响也很小。因而该钵的气流运动相当于水平切向流与垂直喷腾流的简单迭加,两者间的相互干扰较弱。这种流动状态,容易对物料的分散与均布产生不利影响,恶化燃烧与反应的环境。中心区的物料被吹散后较难以向壁面迁移,很快便为中心气流携出分解炉,而喷腾气流中以空气为主,氧含量低,因而该钵内煤粉的燃烧与碳酸盐分解反应的条件不够理想。旋流强度过大、物料分散、混合不够好、生料及煤粉在分解炉内的有效停留时间过短,是该分解炉存在的主要问题。实际加料试验及生产情况均证实了上述分析结果的正确性。

从上面分析看出,虽然流场分布比较复杂,但采用了智能化 MSGFP,仍可以高效、快速地完成试验测试工作,并且其精度能够较好地满足工程试验研究的要求。这个测例进一步说明了该智能化测量系

统确实具有操作简单、快速、高精度的特点。

#### 4 结束语

智能化 MSGFP 研制出来已有多年来,该系统成功地应用于三通道、四通道喷煤管气体动力学的冷模试验、多种分解炉和预热器的试验反求及评述,滇西、华新、山西、耀县等多家水泥厂预分解系统的综合诊断研究等科研项目。实践证明,它具有操作简便、快速、高精度等优点,它的测量结果可随时用计算机以数表或图形的方式提供给研究者,给测量与研究带来极大便利。希望更多的科研人员使用这个智能化测量系统,提高工作效率和测量水平,通过不断改进使这个系统更加完善,拓宽应用范围。

#### 参 考 文 献

- 1 郑洽徐,鲁钟琪.流体力学.北京:机械工业出版社,1980
- 2 金春强,李昌勇.NKSV分解炉气固两相运动规律的研究.江苏建材,1998(3):18

## DEVELOPMENT OF INTELLIGENT SYSTEM FOR MEASURING MULTI - POINT PRESSURE AND THREE - DIMENSIONAL FLOW FIELD

*Jin Chunqiang Jian Miaofu Li Changyong*

(College of Materials Science and Engineering, Nanjing University of Chemical Technology,  
Nanjing, 210009, China)

**Abstract** The measurement of three - dimensional gas flow pattern is one of the principal subjects in engineering research of silicate industry. The authors introduced a high accurate system for measuring multi - point pressure and three dimensional flow field, developed in recent years. The system consists of a five - hole measuring probe, pressure sensors, special AD - DA interface, PC and a set of soft - wares. The application of menu function selection and the table or plot presentation of measured data, as well as the perfect functions of the soft - wares made the measuring process into a simple, rapid, convenient and accurate intelligent process.

**Key words** three dimensional flow field intelligent measuring system model test