

# 气体超声波流量计的研究

陈书洗 张耀华<sup>1)</sup>

(中国科学院合肥智能机械研究所)

钱以诚

(四川石油勘察规划设计院)

## 摘 要

本文介绍一种具有单板微型计算机和声阻抗匹配换能器的超声波流量计。该仪器克服了时差法的温度效应。试验结果表明仪器的测量误差在 $\pm 0.6\%$ 之内。

## 一、概 述

超声波流量测量是在声速测量的基础上发展起来的新技术。七十年代起出现了气体超声波流量计<sup>[1,2,3]</sup>。作者研制的气体超声波流量计基本原理如图1所示。流体的流速与超声波在流体中的顺流方向和逆流方向的传播时间差存在着线性关系。计算机由测量声波在顺流和逆流方向传播的时间,可以计算出流体流速和流量等待测数据。当管道中的流速为 $V$ ,在顺流方向,换能器 $T_1$ 发出的声脉冲以 $C + V \cos \theta$ 的速度通过声路 $L$ 并由换能器 $T_2$ 接收。在逆流方向,换能器 $T_2$ 发出的声脉冲以 $C - V \cos \theta$ 的速度通过同一声路并由换能器 $T_1$ 接收。超声波在声路上的顺流和逆流的传播时间可分别表示为:

$$t_d = \frac{L}{C + V \cos \theta}, \quad (1)$$

$$t_u = \frac{L}{C - V \cos \theta}. \quad (2)$$

式中 $C$ 为介质的声速; $\theta$ 为声路与管道轴线之夹角。

因为 $C^2 \gg v^2$ ,由上式求得流体在声路上的线平均速度:

$$V_L = \frac{1}{L} \int_0^L V(l) dl = \frac{L}{2 \cos \theta} \left( \frac{1}{t_d} - \frac{1}{t_u} \right). \quad (3)$$

由此可见,这种方法和频差法一样,流速 $V_L$ 与 $\left( \frac{1}{t_d} - \frac{1}{t_u} \right)$ 有关而与声速无关,即与介质的物理参数无关,克服了直接时差法的温度效应,在不增加温度补偿装置的情况下保证了仪器的测量精度。

由仪器测出的流速为沿管道直径方向的线平均流速,其流速呈抛物线或对数规律分

本文于1980年10月25日收到。

1) 四川石油管理局输气处冯大中和合肥智能机械所巫昊、朱翠华、黄怀萍、马士中、段忆生等同志参加过这项工作。

布。速度分布图主要由雷诺数  $R_e$  决定。因此,式(3)须经流体动力学修正。

设管道截面积为  $A$ , 沿管道截面的平均流速  $\bar{V}_a$  与流量  $Q$  有如下关系:

$$\bar{V}_a = \frac{Q}{A} = \frac{\iint_{(A)} V(A) dA}{A}$$

或 
$$\bar{V}_a = \frac{2}{R^2} \int_0^R V(r) r dr, \tag{4}$$

则  $\bar{V}_a$  与  $V_L$  有如下关系:

$$K = \frac{V_L}{\bar{V}_a} = \frac{\frac{1}{2R} \int_{-R}^R V(r) dr}{\frac{2}{R^2} \int_0^R V(r) r dr} \tag{5}$$

$K$  为流体动力学校正系数;  $r$  为管道截面上任一点至管壁的距离;  $R$  为管道的半径。

根据文献 [4] 所给出的  $K$  值修正的面平均速度  $\bar{V}_a$  就是所要求的管道内流速, 而流体的体积流量应表示为:

$$Q = \frac{\pi R^2 V_L}{K} \tag{6}$$

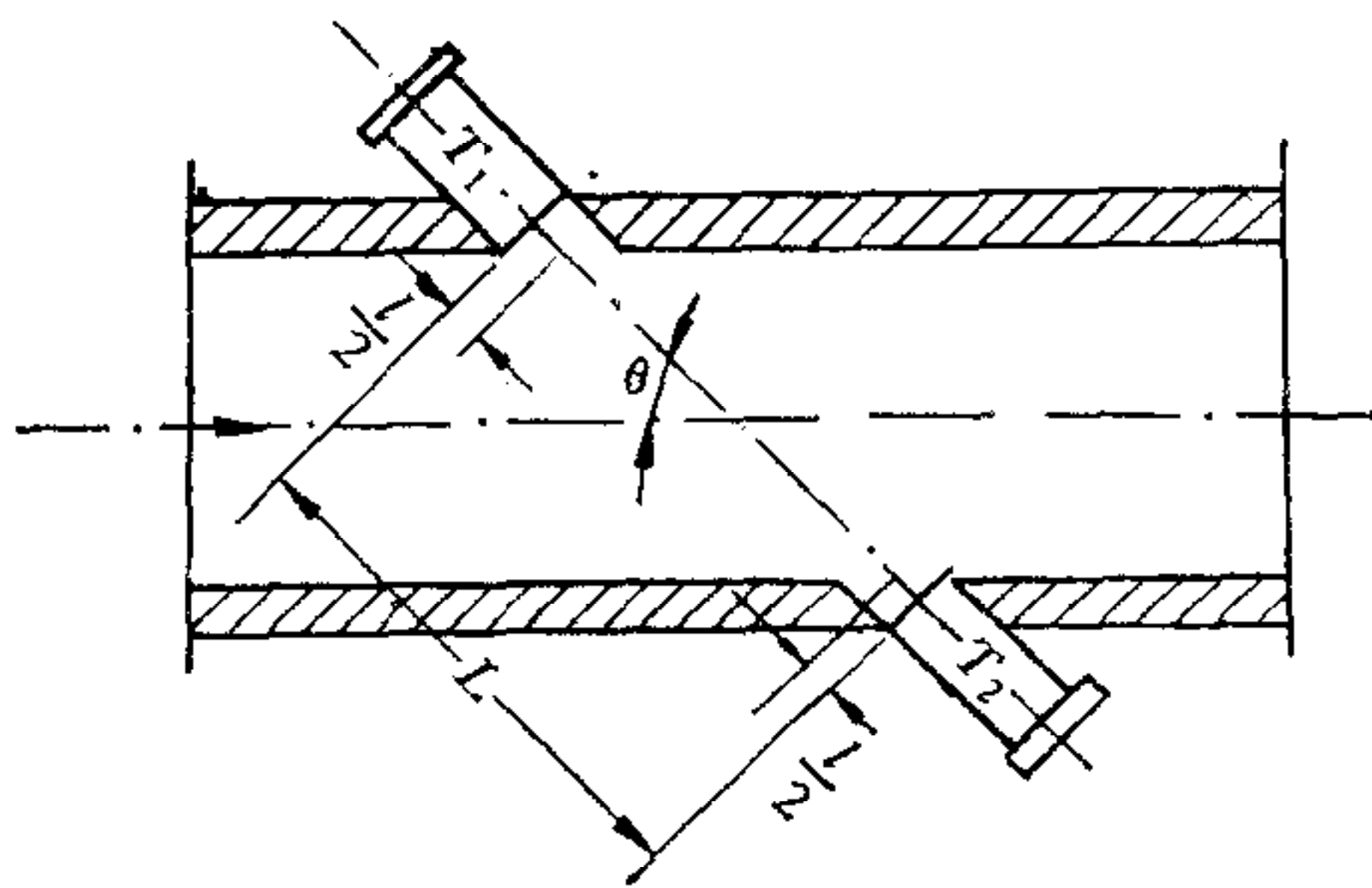


图 1 原理图

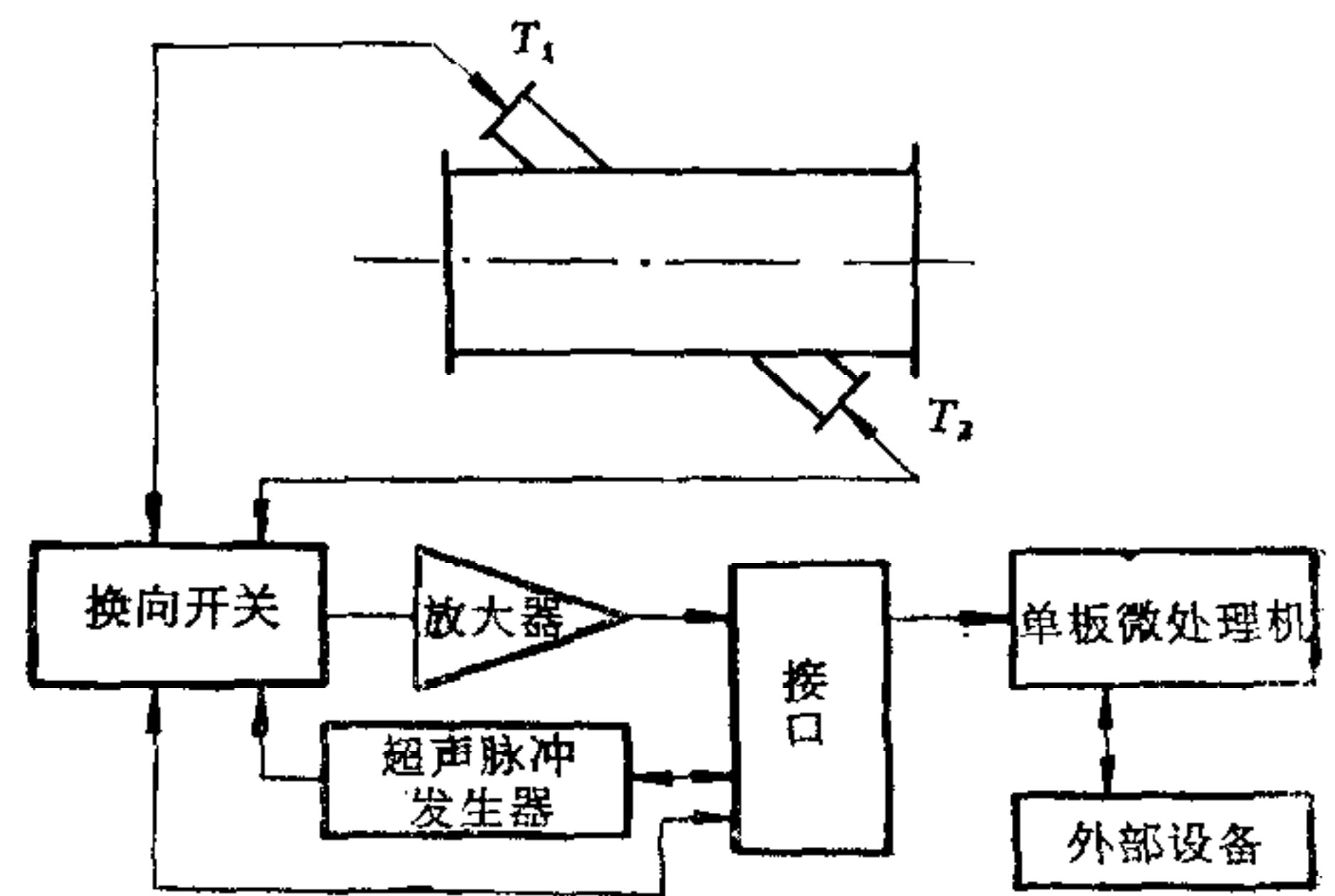


图 2 仪器结构框图

## 二、仪 器 结 构

图 2 为超声流量计结构框图。仪器由检测部件、超声发生器、接收放大器、微型计算机部件、接口以及外部设备组成。检测部件采用单声路结构。换能器  $T_1$  和  $T_2$  兼作发射和接收超声波之用, 由换向开关转换之。

换能器选用收、发兼用型锆钛酸铅压电陶瓷片, 即 SF 型的 PZT。压电片的厚度为 10 毫米, 其固有频率为 200kHz。由声学原理可知, 压电陶瓷与气体介质存在着严重的声失配问题。为了克服声特性阻抗失配问题, 作者研制了具有阻抗匹配层作为过渡层的换能器。过渡层用适量的聚四氟乙烯细粉与环氧树脂混合加工制成, 具有较低的特性阻抗

$z \doteq 20\sqrt{z_1 z_2}$ , 约为  $2 \times 10^6$  公斤/米<sup>2</sup>·秒。过渡层厚度  $d = \frac{\lambda}{4}$ 。经试验, 在同样电功率驱动下, 具有过渡层的换能器和不加过渡层的换能器相比较, 可使接收信号幅度提高

32db.

仪器在微型计算机控制下测量  $t_d$  和  $t_u$ . 在顺流周期中, 由微型机的程序控制, 超声发生器产生 10 个电脉冲, 同时加到换能器和计时电路, 计时开始. 当声脉冲经过声路  $L$  后, 换能器  $T_2$  接收到的声波信号前沿经放大后关闭计时电路, 测得一次顺流时间  $t_d$ . 微型机通过给定的程序进行 10 个循环的测量, 并接受所测得的  $\Sigma t_d$ .

同理, 在逆流周期中, 测出 10 次逆流传播时间  $\Sigma t_u$ . 待 20 次传播时间测量结束, 微型机以给定的程序自动地对测得的线流速进行修正, 最终给出流速和流量. 软件中还安排有误测信号剔除程序, 以保证仪器的可靠性.

测量结果由 8 位液晶显示管显示, 同时由 I/O 接口将结果数据送到 CRT 显示器和 15 位微型打印机.

### 三、实 验

本仪器的试验除在实验室作常压试验外, 又在压力为 9—25 公斤/厘米<sup>2</sup> 的天然气管道上进行过现场试验.

图 3 为本系统的实验装置. 实验校正装置采用标准孔板流量计. 孔板截面比  $m = 0.4$  和  $m = 0.16$ . 压力及差压记录仪器分别用过微压计, CW-430 差压计和 0.3 级压力表. 温度计用半导体点温计和水银温度计.

检测器管长 900 毫米, 管道直径 200 毫米. 安装超声换能器的支管与主管道轴线的夹角  $\theta$  为  $45^\circ$ . 探头不伸入主管道内, 不会干扰流体的流场分布. 为保证试验的准确性, 实验管道的上游管段长  $30D$ , 下游管段长  $15D$ . 孔板流量计安装在检测器的下游, 检测器上游装有整流器.

图 4 是本仪器的实验结果. 试验在 5 米/秒至 25 米/秒范围内进行测试. 用超声波流量计测量的流速与用标准孔板流量计测量的流速对比结果, 其误差在  $\pm 0.6\%$  以内.

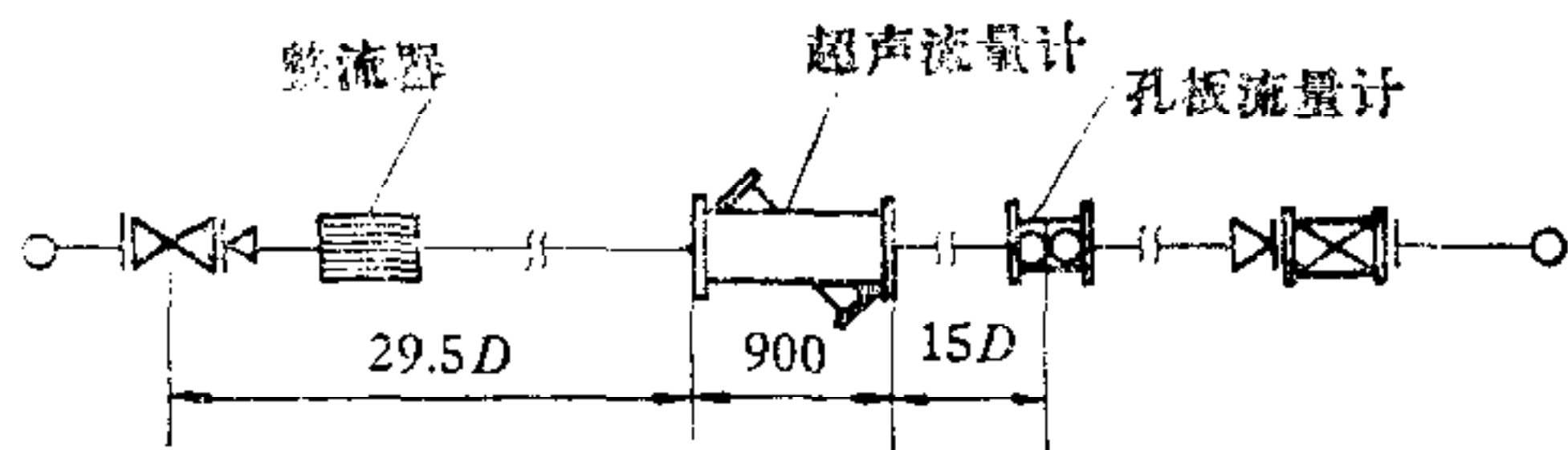


图 3 实验校正装置

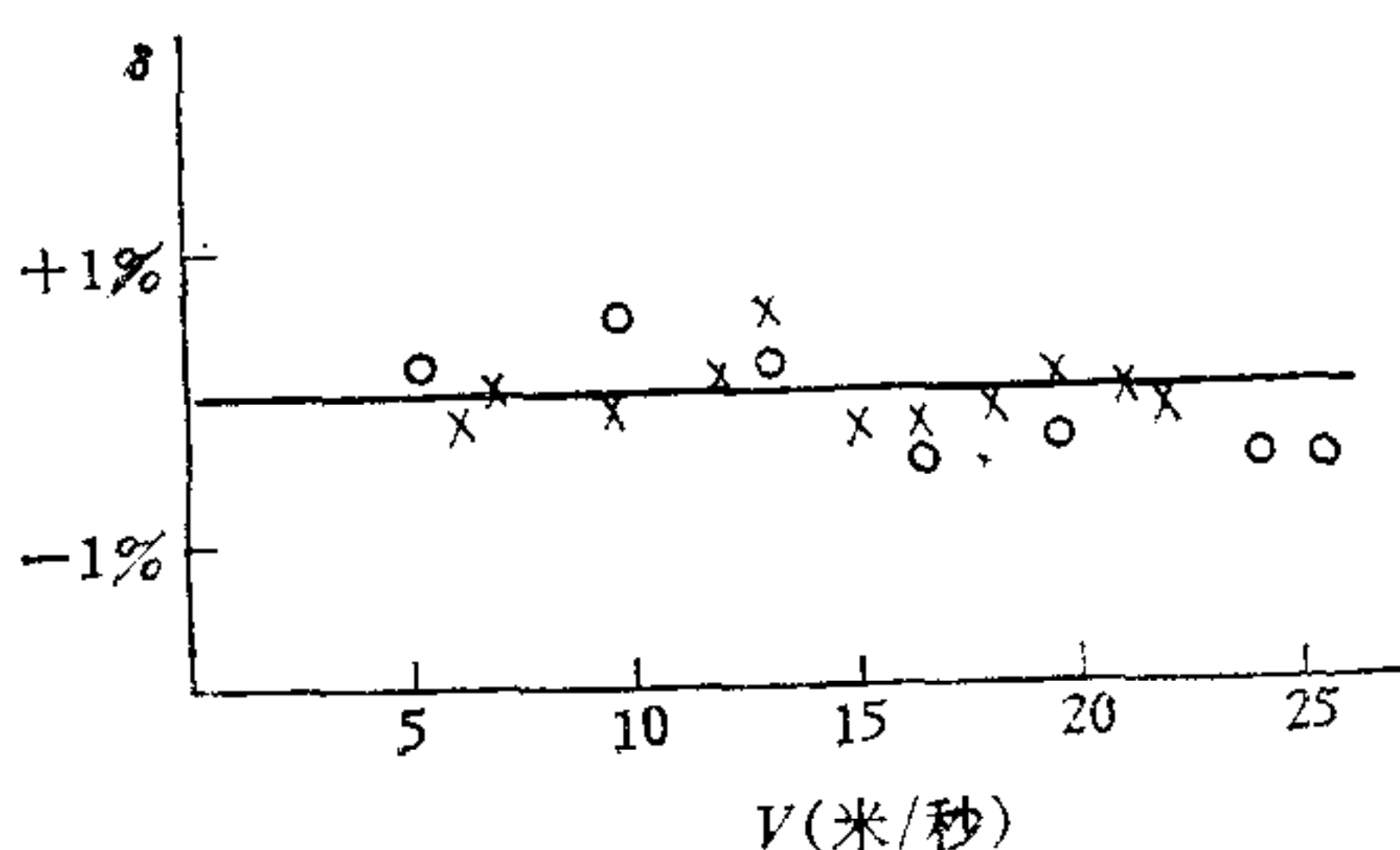


图 5 误差曲线

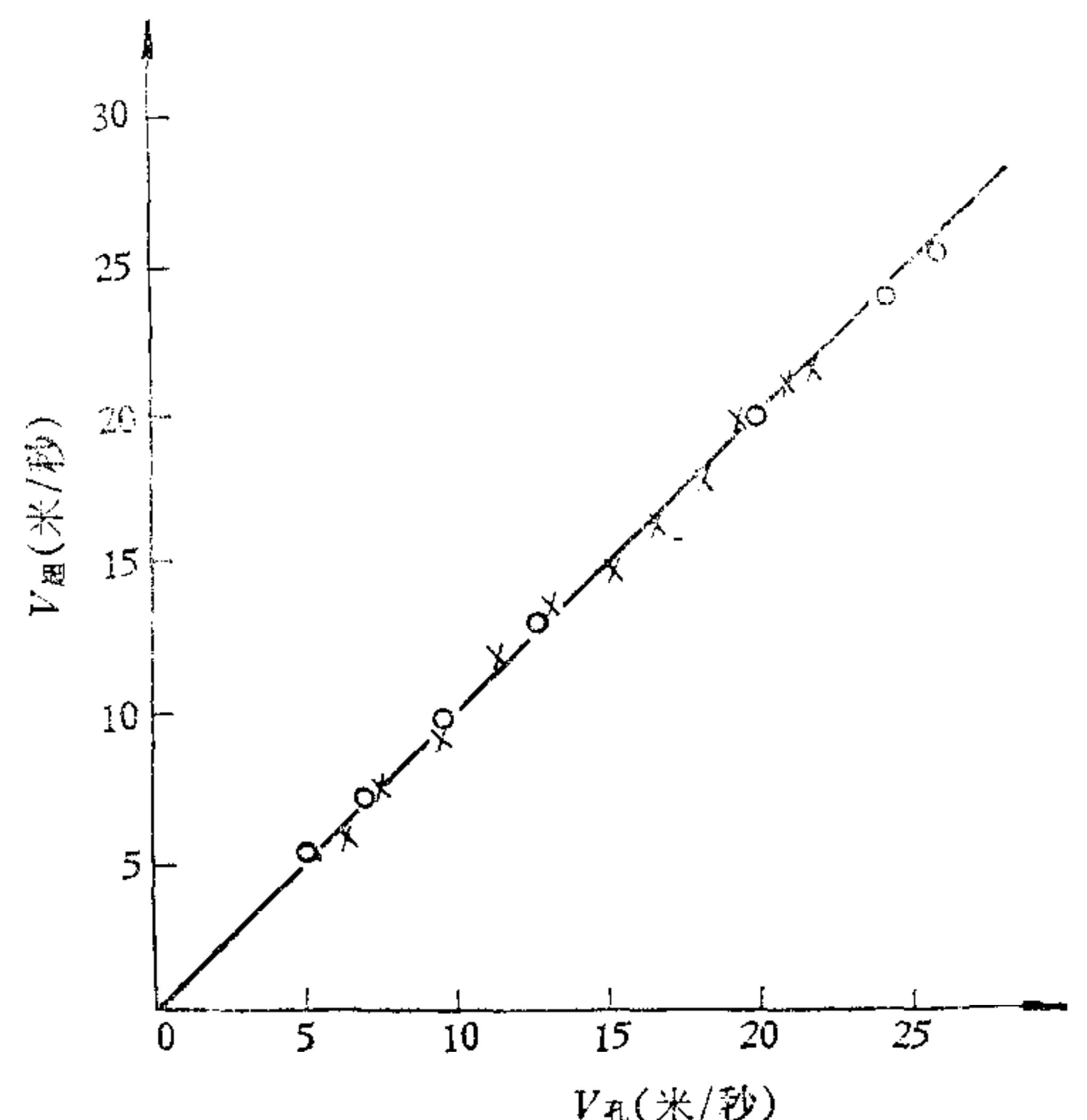


图 4 现场实验测试曲线

系统刻度误差示于图 5。

## 四、结 论

(1) 试验表明, 压电式换能器探头有较高的收发效率, 保证有较高的信号首波前沿, 可以适用于气体超声波流量计。

(2) 由天然气输送管道上的实验校正装置求得的流速校正系数符合文献 [4] 给出的理论经验校正曲线。系统软件还安排了校正系数的自动修正程序, 可满足较大流速范围内的测量准确性。

(3) 采用微型计算机构成流量计, 由计算机进行测量控制、系数修正和数据处理, 提高了仪器的灵活性和可靠性。本仪器既克服了直接时差法的温度效应, 也不会出现“声环”法所存在的零流速时的频率相互牵制效应和因信号丢失时所产生的“停振”现象。此外, 由于同时测量了流速和声速, 可以通过计算机计算出介质密度, 从而达到质量流量测量的目的。作者已在这方面做了试验, 有新的进展。这种带“电脑”的测量仪器, 其结构简单可靠, 功能丰富, 使用方便。这是一般超声波流量计难以达到的优点。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Scapa. Lab. Inc. Ultrasonics, 11, 1973, 55—56.
- [ 2 ] Bert Cook F., Energy Pipelines and System, March, 1974, 33—38.
- [ 3 ] 内海秀雄, 计量研究报告, 26(1977), No. 1.
- [ 4 ] Биргер Г. И. Измерительная Техника, №.10, 1962, 53—55.

# THE DEVELOPMENT OF A GAS ULTRASONIC FLOWMETER

CHEN SHUXI ZHANG YAOHUA

(Hefei Research Institute of Intelligent Machines, Academia Sinica)

QIAN YICHENG

(Sichuan Designing Institute of Petroleum Prospecting and Programming)

## ABSTRACT

A gas ultrasonic flowmeter with a built-in  $\mu\text{c}$  and an ultrasonic transducer of matched impedance is developed. Data are processed by the  $\mu\text{c}$ , so the problem of the temperature effect of the time method was improved. The results of the test show that measurement error is within  $\pm 0.6\%$ .