

# 用于测量石油天然气管道流量的复合式传感器\*

吕惠民<sup>1</sup> 刘志存<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(西安理工大学应用物理系 西安 710048) <sup>2</sup>(陕西师范大学物理学院 西安 710062)

**摘要** 基于流体力学皮托管测量流体流速的原理,提出了一种用于测量流体流速的复合式传感器,由一个静压和一个差压传感器构成。介绍了这种新型传感器的测量原理、结构设计和芯片制作,并列举了实验数据。此传感器能同时显示流体的静压和差压,并且实现了智能化,能被用于无人流体观测站。

**关键词** 油气管道 流 速 压力传感器 多用途传感器

## A Compound Type of Sensor for Measuring Oil-gas Flow in Pipe

Lv Huimin<sup>1</sup> Liu Zhicun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

<sup>2</sup>(Shanxi Teachers University, Xi'an 710062, China)

**Abstract** On the basis of the Pitot tube principle used for measuring fluid velocity in hydromechanics, a kind of compound sensor (consisting of one pressure sensor, and one pressure difference sensor) used for measuring velocity of fluid is developed. It deals with the measuring principle of the new type of sensor, the structural design and manufacturing of the sensor and chips, and lists the experimental results. This sensor can display the fluid pressure and pressure difference at the same time, beside this sensor has intellectualization to be used in unmanned fluid observation station.

**Key words** Oil-gas pipeline Current velocity Pressure sensor Multi-variable sensor

合理调配。

## 1 引 言

我国虽然幅员辽阔,自然资源丰富,但分布严重不均。为了使我国的经济能持续高速发展,我国已经启动了南水北调,西气东输等重大工程。由此引出如石油、天然气和水等自然资源如何安全输送的问题。

早在上个世纪中叶,就有人预言本世纪是传感器的时代<sup>[1]</sup>。为此,基于流体力学中皮托(Pitot)管测量流体流速的原理,文中提出一种可用于测量流体流速、流量的多用途复合式压力传感器,以便为实现各个现场观测站无人化,信息传输、接收、处理智能化。在输送管道的不同地方分别安装智能化的传感器对输送的石油、天然气、水等流体进行在线就地监测,在发生跑、冒、漏、盗等现象时能及时处

## 2 监测原理

### 2.1 测量的理论基础

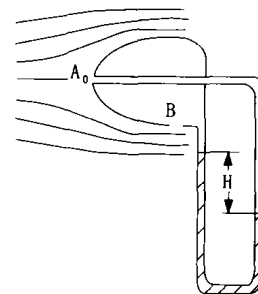


图 1 皮托管测压原理

\* 本文于 2003 年 5 月收到。

图 1 所示的皮托管是一种测量流体(气体、液体等)流速的装置。开口 A 迎向流体,是一个速度  $V_A=0$  的驻点;开口 B 在皮托管的侧壁上,其外流速  $V_B$  可近似认为是待测的流速  $V$ ,由 U 形管压差计测得的压差  $\Delta P$  可以求得待测流体的流速<sup>[2]</sup>:

$$V \approx V_B = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (1)$$

### 2.2 监控系统结构模式选取

本系统采用集中监控模式。每个现场监控传感器单元均具有智能化特性(自动完成数据采集、储存、处理和发送),各个监控单元可以独立监测本地输送管道内流体(石油、天然气、水等)的静压、差压、流速、流量,并将相应信号通过电子信号处理器直接发送给中央监控单元。

其特点是模式中各现场监控单元各自独立,互不影响,易于确定管道故障位置。

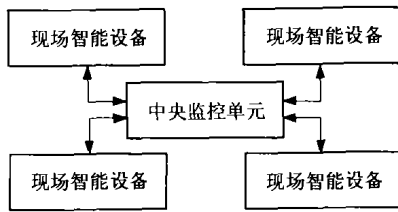


图 2 监控系统结构模式

### 3 传感器的结构与工作原理

图 3 为复合式压力传感器结构示意图。它主要由传感器机体和电子信号处理器两部分组成;P 是矩形差压传感器芯片,Q 是圆形静压传感器芯片。M1、M2 是用不锈钢类材料制成的波纹状弹性膜片,保护芯片免受流体内杂质的腐蚀或撞击,同时将外部压力通过传压介质(硅油)直接、或通过 T 形圆孔中的传压介质间接传递给差压和静压传感器芯片;T 表示电子信号处理器,用以处理来自静压和差压传感器芯片的输出电压信号。此信号不仅反映出侧面压力的大小,也可由此得出此时传感器所处液面下的深度。而且可以得到 A 孔和 B 孔的压力差  $\Delta P$ ,将其代入公式(1)即可得到流体的流动速度和流量。

### 4 传感器芯片设计

传感器静压和差压芯片均采用半导体压阻式芯

片,各电阻均沿(110)晶面平行分布。

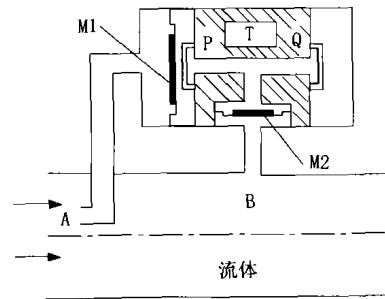


图 3 复合式传感器结构示意图

#### 4.1 静压芯片参数设置

如图 4 所示,静压传感器采用圆形膜片,设计量程为  $0 \sim 1.5\text{MPa}$ ,有效半径  $2\text{mm}$ ,厚度为  $300\mu\text{m}$ 。P 型硼电阻的表面掺杂浓度为  $2.0 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ,扩散结深  $3.0\mu\text{m}$ ,宽度  $4.0\mu\text{m}$ 。将圆形膜片用阳极静电键合法粘结于内径为  $4.1\text{mm}$  的用硼硅玻璃作成的硅杯的底面上,从而形成静压传感器。

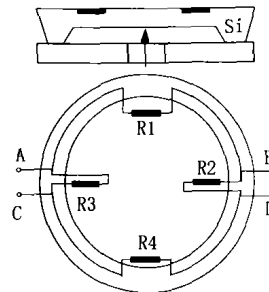


图 4 静压芯片结构示意图

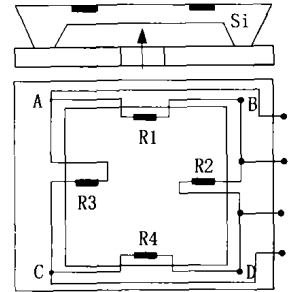


图 5 差压芯片结构示意图

#### 4.2 差压芯片参数设置

图 5 为差压传感器芯片内部结构,设计量程为  $0 \sim 100\text{kPa}$ 。要使传感器在较大量程范围内(适应不同流速的待测流体)都有较高的灵敏度,尤其作用在差压传感器膜片上的压力较小时,对传感器的灵敏度要求较高,因此膜片不能加工得太厚。但是,测小流速或较大深度的小压差时,一般流体都具有较高的静压,圆形膜片容易引起大挠度下的非线性效应,或将膜片压破,因此笔者在此选用矩形平膜片,并采用硼硅玻璃作成的硅杯用静电键合的方法将其四周加厚,以提高膜片的超负荷能力。

矩形平膜片尺寸为  $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ ,厚度  $350\mu\text{m}$ 。P 型硼电阻的表面掺杂浓度  $4.0 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ,扩散结深  $3.0\mu\text{m}$ ,宽度  $4.0\mu\text{m}$ 。

#### 4.3 对输出漂移的考虑

表1 静压传感器实验数据

	P/MPa	0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
1	out/mV	3.82	32.46	61.09	89.70	118.27	146.81
	out/mV	3.80	32.44	61.07	89.68	118.25	146.81
2	out/mV	3.80	32.45	61.08	89.71	118.27	146.79
	out/mV	3.81	32.42	61.06	89.69	118.26	146.79

表2 差压传感器实验数据

	P/kPa	0	20	40	60	80	100
1	out/mV	5.73	41.94	78.21	114.43	150.61	186.73
	out/mV	5.74	41.96	78.23	114.44	150.62	186.73
2	out/mV	5.74	41.95	78.22	114.42	150.60	186.71
	out/mV	5.75	41.93	78.19	114.40	150.58	186.71

表3 复合传感器的静态特性

非线性误差		迟滞误差		重复性误差	
静压	差压	静压	差压	静压	差压
≤±0.063%	≤±0.058%	≤0.050%	≤0.065%	≤0.052%	≤0.066%

利用半导体力敏传感器一般都存在输出漂移现象<sup>[3]</sup>,这种漂移现象主要由两种因素引起:一是供给电压;二是环境温度。

对于供给电压,根据 Yicai Sun, Xinyu Sun 等人<sup>[4]</sup>于1997年的研究成果可知,供给电压为8.862V时,传感器输出电信号的漂移现象可降低到最低程度。

文献[5]给出了不同掺杂浓度的P型应变电阻的灵敏度随温度变化的曲线,由此可知在0~125℃范围内,重掺杂P型应变电阻的阻值基本不随温度变化。因此,不论是静压,还是差压芯片,笔者均采用重掺杂P型硼扩散电阻,以尽量减小流体温度对输出电信号的影响。

### 5 测试结果

表1~3是对传感器的静压和差压芯片的测试结果,以及复合传感器的静态特性,恒压源电压为8.862V。

### 6 结束语

从传感器的实验数据来看,静压、差压传感器的线

性度、迟滞和重复性等各项特性都比较理想,这表明此复合式传感器是比较理想的测量石油、天然气、水等流体流速的电子元件。而且在均匀流体中,如果已知管道横截面积,还可以直接显示流体流量。

另外,由于此传感器具有一定的智能性,可以使各观测站向无人化发展。同时,此传感器也适合于航空、航天、气象等领域,测量空气速度等。

### 参考文献

- 1 李科杰. 传感器最新进展和技术动向[J]. 传感器世界, 1996, (5): 13~15.
- 2 赵凯华, 罗蔚茵. 新概念物理教程(力学)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1996.
- 3 M. Akber, M. Shanblatt. Temperature compensation of piezoresistive pressure sensor[J]. Sensors and Actuators A, 1992, (33): 155~162.
- 4 Yicai Sun, Xinyu Sun, Bing Sun, et al. Electric drift of the bridge offset for pressure sensors and its utilization [J]. Sensors and Actuators A, 1997, (58): 249~256.
- 5 陶宝祺, 王妮. 电阻应变式传感器[M]. 北京: 国防工业出版社, 1993.