

# 用涡轮流量计测量多相流流量

钟兴福<sup>1</sup> 吴应湘<sup>1</sup> 田树祥<sup>2</sup> 郑之初<sup>1</sup> 赖英旭<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(中国科学院力学研究所 北京 100080) <sup>2</sup>(大庆油田测试技术服务分公司 大庆 163412)

**摘要** 对涡轮流量传感器进行了理论分析,给出了涡轮流量计仪表常数的计算方法,讨论了获得较大固有仪表常数  $K_0$  时涡轮传感器结构参数(如叶片数、涡轮半径、口径等)的优化组合问题,通过多相流动实验,总结出  $K_0$  与流动密度之间的实验关系,由此给出用涡轮流量计测量多相流的半理论半经验公式,并在油井多相流测量中得到了实际应用,符合较好。

**关键词** 涡轮流量计 测量 多相流 流量

## Flow Rate Measurement in Multiphase Flow Using Turbine Flow-meter

Zhong Xingfu<sup>1</sup> Wu Yingxiang<sup>1</sup> Tian Shuxiang<sup>2</sup> Zheng Zhichu<sup>1</sup> Lai Yingxu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

<sup>2</sup>(Daqing Oilfield Logging and Testing Services Company, Daqing 163412, China)

**Abstract** Turbine flow-meter factor  $K$  is deduced by theoretical analysis of turbine transducer firstly. Secondly, discussed how to make a maximum  $K$  by arranging transducer parameters. Thirdly, carried out an empirical relationship between  $K$  and flow density based on multiphase flow experiment. Finally, presented a semi-physical and statistical expression used for measuring or estimating multiphase flow rate.

**Key words** Turbine flow-meter Measurement Multiphase flow Flow rate

## 1 引 言

工业生产过程参数(如温度、压力等)检测中,以流量和各相持率测量最为复杂,是较难测量的两个参数,因而,引起了工程技术人员的兴趣。随着工业的发展,被测对象不再限于单相,而要对多相流、混合状态的流量进行测量。测量多相流的技术难度要比单相流体的精确测量大得多,知道单相流体的密度、粘度及测量装置的几何结构,便可以对单相流进行定量分析。如果能利用多相流中每一相的上述各物理量对多相流进行测量得话,就很方便。但遗憾的是,多相流体的特性远比单相流体的特性复杂得多,如各组分之间不能均匀混合、混合流体的异常性、流型转变,相对速度、流体性质、管道结构、流动方向等因素将导致涡轮流量传感器响应特性的改变。

涡轮流量传感器和显示仪表组成的涡轮流量计以良好的重复性、宽广的线性工作区和高精度而受到用户的欢迎。涡轮流量计在测量单相时,工作稳定性较好,但在多相流动时,由于各相的速度、粘度、局部持率

等因素,影响涡轮转速。按常规,同一流量所对应的涡轮转速保持不变,即仪器常数不变。但在多相流动时,即使在总流量保持不变的情况下,混合流体的密度发生变化,也会引起涡轮转速的很大变化。由于在多相流动中,涡轮响应特性发生了变化,目前面临的问题是涡轮流量传感器是否能成功地应用于多相流的测量及如何设计用于多相流测量的涡轮流量传感器。就此问题,这里,首先对涡轮传感器进行了理论分析,然后给出三相流动中涡轮流量计的实验响应特性,最后总结出用涡轮流量计测量多相流流量的半理论半经验公式。

## 2 涡轮流量计测量原理

### 2.1 流量计的响应方程

涡轮流量计通过涡轮转数反映被测流量的大小,涡轮转数  $N$  与流量  $Q$  之间的关系可以表示为:

$$N = K(Q - q) \quad (1)$$

式中  $K$ ——仪表常数

$q$ ——启动流量,通过标定获得

### 2.2 涡轮流量计固有仪表常数的理论计算

涡轮流量计固有仪表常数  $K_0$  主要与涡轮传感器结构参数有关。(图1),  $K_0$  可按下式计算<sup>[1]</sup>:

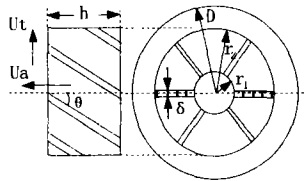


图1 涡轮叶片及叶栅夹角示意图

$$K_0 = \frac{4 \sin \theta}{\pi(r_1 + r_2) [(D^2 - 4\pi r_1^2) \pi \cos \theta - 4nh\delta]} \quad (2)$$

式中  $\theta, n, r_1, r_2, h, \delta, D$  是与涡轮结构有关的常数。由式

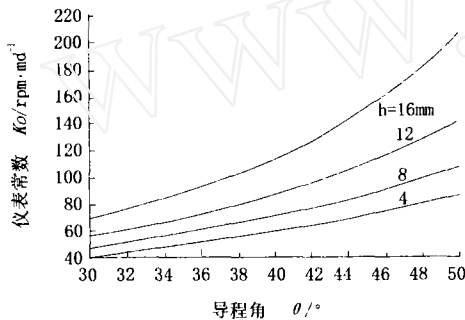


图2 涡轮叶片高度和导程角对  $K_0$  的影响

(2)可见,对确定的涡轮流量传感器,易知口径  $D$  大,  $K_0$  值小;叶片数  $n$  大,  $K_0$  值大等。如果要获得较大的仪表常数,就要对涡轮传感器的结构参数进行优化设计,从图(2)可以看出,叶片高度  $h$  增加,  $K_0$  增大;导程角增大,  $K_0$  增大。对于  $\phi 19$  的过环空大排量涡轮流量计而言,由上式计算得  $K_0 = 74.567 \text{ rpm/m}^3/\text{d}$ ,而水中标定的  $K_w = 78.89 \text{ rpm/m}^3/\text{d}$ ,表1给出不同口径和不同导程角下涡轮流量计固有仪表常数的计算值。

表1 不同口径下涡轮流量计固有仪表常数理论值

$\theta$	$K_0(\text{rpm}/\text{m}^3/\text{d})$			
D	45	49	52	55
20	65.738	76.673	86.398	97.892
19	74.567	87.133	98.358	111.68

### 3 涡轮流量计在多相流中的响应实验

实验在以空气、柴油和水为介质的三相流动模拟装置中进行,透明的井筒内径为 125mm,流体全部集流后

进入流量计。实验发现,总流量相等,但流动密度不等的实验,  $K_0$  值变化较大;流动密度相等,总流量不等的实验,  $K_0$  值变化较小(图3)。多相流动中涡轮仪器常数校正因子  $C_k$  与流动密度  $\rho_n$  之间的统计关系为  $C_k = \rho_n^{0.5}$ 。

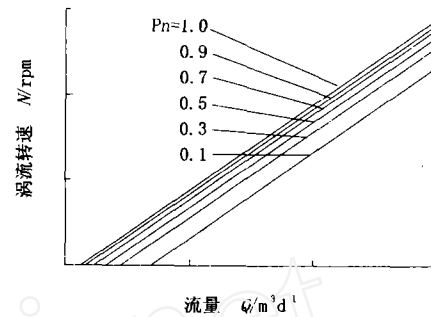


图3 涡轮流量计在多相流中的响应图

### 4 多相流流量测量

由于机械加工及安装工艺等方面的原因,按涡轮流量计固有仪表常数设计的涡轮,必须在水中标定后才能使用,设水中标定的涡轮仪表常数为  $K_w$ ,则通过上述理论计算和实验,归纳总结出涡轮流量计在多相流动中的响应方程为:

$$Q = N/K + q \quad (3)$$

$$K = K_w + K_0(\rho_n^{0.5} - 1) \quad (4)$$

式中  $K_w$ ——为水中标定的仪表常数

如果用全集流型涡轮流量计测得涡轮转数  $N$ ,在标准计量装置上通过标定获得  $K_w$  和  $q$ ,结合辅助参数  $\rho_n$ ,就可以用公式(3)计算出多相流总量。用(3)式在油井的油、气、水多相流流量测量中得到了实际应用,计算误差在 5% 以内。

### 5 结论

通过理论计算和多相流实验,总结出了涡轮流量计仪器常数在多相流动中的实验关系,结合理论和实验,给出了用涡轮流量计测量多相流总流量的半经验半理论关系式,实际应用证明该方法可行。

#### 参考文献

- 1 Xingfu Zhong, Shiqi Wu, Yanhua Li. The response of spinner flow-meter in vertical multiphase flow. Proceedings 8th International Conference of Flow Measurement, Oct. 1996, Beijing, China.