

# 钢铁企业煤气流量测量

——alpha6000 超声波气体流量计在煤气测量中的应用

孔令海 市场经理 德菲电气（北京）有限公司

**文章摘要:** 气体能源是钢铁企业广泛使用的能源，但对气体能源流量的测量却存在很大的难度，特别是焦炉煤气流量，其测量难度更大。本文详细介绍了 alpha6000 超声波气体流量计的测量原理及产品特性。以及在钢铁行业的成功应用案例进行了分析介绍。

**关键词:** 气体能源 焦炉煤气 焦油 萘 甲烷 自相关 alpha6000 超声波气体流量计 难度

**文章内容：**

## 0 概述

计量领域中，流体流量的检测是各行各业加强能源管理、进行财务结算、经济核算、效益分析评价以至决策的重要依据。也是企业监控生产过程，使其优质、高效、安全、平稳运行、改善环境的重要手段。

随着国家《“十二五”节能减排规划》的推出，降低能源消耗强度、控制能源消费成为企业发展首要考虑的问题，这就促使企业对能源管理进行有效地量化管理，建立有效地能源运营机制，以适应社会主义市场经济要求的节能长效机制。钢铁生产的燃料消费成本占总成本的 41%，投入的一次能源约有 40% 转变成为工艺副产煤气，对副产煤气的充分、合理利用成为降低能源消耗的关键所在。对它的流量测量也就显得至关重要。

## 1 钢铁行业煤气流量测量现状

### 1.1 钢铁行业气体能源

**1.1.1 天然气。** 发热值高，含杂质少是冶金工业的一种理想燃料。主要成分是甲烷、乙烷、丙烷等低级烃类，另外还含有一定数量的氮、二氧化碳等惰性气体，有的还含有硫化氢及氦等稀有气体。天然气可作为高发热值煤气单独使用，也可与其他煤气混合使用，用作平炉、加热炉等的燃料，也可用作高炉喷吹的燃料。

**1.1.2 液化石油气。** 用途同天然气，但多作后备能源。

**1.1.3 高炉煤气。** 用作高炉热风炉、焦炉、加热炉和锅炉的燃料。高炉煤气发热量低，多与焦炉煤气混合使用。

**1.1.4 焦炉煤气。** 用作焦炉本身和加热炉等的燃料，也可作民用燃料。

**1.1.5 转炉煤气。** 目前国外虽普遍安装回收转炉煤气的设备，但因经济原因，多数工厂把回收煤气燃烧放散，未加利用。

**1.1.6 蒸汽、压缩空气**

气体能源是钢铁企业广泛使用的能源，但对气体能源流量的测量却存在很大的难度，尤其是焦炉煤气，其测量难度更大。

### 1.2 煤气流量测量难点

**1.2.1 含有大量粉尘、颗粒、焦油、萘等杂质。**

焦炉煤气中除了含有氢，甲烷，乙烷，乙烯等成分外，还含有焦油，萘，氮的水化合物。这些成分含量虽少，却会产生不利于测量的作用。它们很容易从煤气中分离出来，在管道内壁和管内其它构件表面凝结并聚集起来，使流量测量仪表无法正常工作。如焦油会敷在测量设备的检测元件上，萘会以固体结晶析出堵塞设备。

随外界温度变化会引起低温结晶现象；冬季时期，煤气中的水分容易引起冻结。

### 1.2.2 气体成分混合多变复杂。

混合煤气系统是钢铁联合企业中应用极为普遍的能源供应系统，钢铁企业的混合煤气系统一般是由高炉煤气、焦炉煤气和转炉煤气等多组分混合而成焦炉煤气含有  $H_2$  (55-60%) ,  $CH_4$  (23-27%) ,  $CO$  (5-8%) ,  $CO_2$  (1.5-3.0%) ,  $N_2$  (3-7%) ,  $O_2$  (<0.5%) ,  $CmHn$  (2-4%) ; 密度为 0.45-0.50 Kg/Nm<sup>3</sup>。

### 1.2.3 气体流速比较低，流量变化不稳定。

## 1.3 现状

这些测量对象流体压力低、流速低、密度低、管径大，要准确测量有一定的难度。尤其是煤气，往往含水量、含尘量较高。有的还含有焦油，有的煤气管道内有排不尽的水，这些都要要求仪表有适应能力，不能因为凝液析出而影响测量，不能因灰尘而发生故障。

在国内、外都有在特脏流体的情况下，常规 V 形锥流量计或孔板流量计测量失败的实例发生。如南京某钢铁公司使用国外公司的常规 V 形锥流量计测量焦炉煤气，因测压通道被焦油粘附、萘结晶堵塞而导致失败；山东钢铁公司使用国内某公司的常规 V 形锥流量计测量焦炉煤气，因萘结晶、水凝液结冰导致冬季不能正常工作而被迫拆除。

## 1.4 国内钢铁行业常用流量计局限性

### 1.4.1 孔板、V 锥、文丘里管流量计、各种巴类流量计

原理：差压原理。节流元件置于工艺管道内，管道内流体在通过该节流件时，在节流件前后将产生一定的压力差。对于一定形状和尺寸的节流件、一定的测压位置和前后直管段、一定的流体参数情况下，节流件前后的差压  $P$  与流量  $Q$  之间关系符合伯努利方程。通过测量差压值求得流量。

流通介质受节流元件影响，有压损。

节流元件与测量介质接触，介质中的粉尘、颗粒等杂质会粘附在节流元件上。会造成流量计测压孔堵塞、节流件变形，严重的甚至造成流体不能在管道流通的恶劣情况。

安装、维护量大。在线维护比较困难。

### 1.4.2 涡街流量计

在流体中设置三角柱型旋涡发生体，则从旋涡发生体两侧交替地产生有规则的旋涡，这种旋涡称为卡门旋涡，在一定范围内旋涡分离频率与流量成正比。

涡街流量计主要用于工业管道介质流体的流量测量，如气体、液体、蒸气等多种介质。其特点是压力损失小，量程范围大，精度高，在测量工况体积流量时几乎不受流体密度、压力、温度等参数的影响。

对流速有一定要求，低流速是经常低于测量下限。产生挂料时，影响仪表精度。在线维护困难。

### 1.4.3 靶式流量计

当介质在测量管中流动时，因其自身的动能通过阻流件（靶）时而产生的压差，并对阻流件有一作用力，其作用力的大小与介质流速的平方成正比，阻流件靶接受的作用力  $F$ ，经刚性连接的传递件（测杆）传至电容式传感器，电容式传感器产生电压信号输出。

靶式传感器与测量介质接触，产生挂料；受到工艺介质的腐蚀，造成传感器性能变化，使得测量数据失真。

### 1.4.4 超声波流量计

介质在管道中流速与超声波沿介质顺流和逆流传播的时间差存在着线性关系，只要分别测出超声波沿顺流和逆流传播的时间，就可以依据线性关系得到沿管道路径上各点流速的瞬时平均流速。

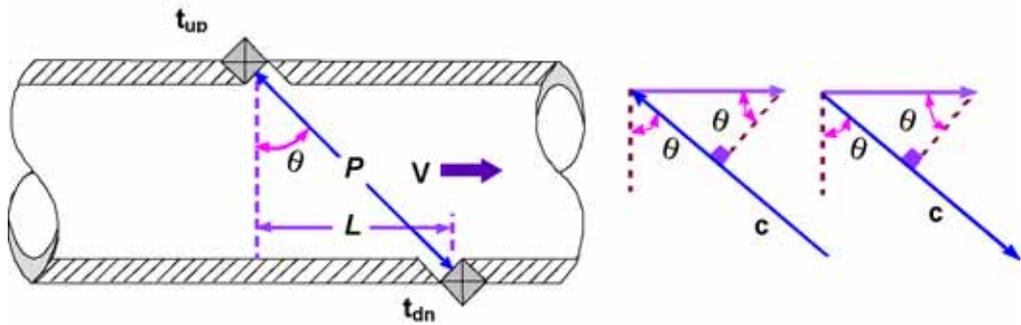
超声波气体流量计具有如下特征:1)可以双向测量.2)实现了非介入在线测量,无论被测气体有无毒性,对仪器均无损害,达到无损检测.3)无阻力,无压力损失,不影响气体流动参数和状态,不受气体本身性质影响.4)无活动部件,无磨损,无堵塞隐患,无需清洗.5)量程比大,1:10~1:350,无论气体流速处于慢速或快速状态,均可较精确测量.6)可以不断流拆装,维护,安装调试简单,一人便可操作,在线检修极为方便,维护成本低.7)适应性较强,可在潮湿(湿度:100%),粉尘,腐蚀,振动等环境下长期稳定地工作,一次安装,长久使用,维修量少而简单,传感器寿命可达10-15年.8)无放射性,对人体无害.9)通用性强,可单独工作或接入各种能源管理系统,实现流量科学管理.10)且有超高的灵敏度和长久的稳定性.

## 2 alpha6000 超声波流量计

alpha6000 超声波流量计是针对高湿、低压、低流速、大管径工业或市政现场状况开发的一种流量仪表,满足市政、工业测量需求.通用性强,可单独工作或接入各种能源管理系统,实现流量科学管理.

### 2.1 原理

超声波在流体中的传播速度与流体流动速度有关,据此,可以实现流量测量.超声波的发射和接收采用双探头方式.可以互换使用或进行双向收发.如下图所示,两个超声波传感器相向安装于气体管道的上下游,上游传感器向下游传感器发射超声波,传输时间被定义为 $t_{dn}$ ;反过来,下游传感器向上游传感器发射超声波,传输时间被定义为 $t_{up}$ .这两个时间的差值可以被用来计算气体流速.



$$t_{up} = \frac{P}{c}$$

$$t_{dn} = \frac{P}{c}$$

$$\Delta t \leq \langle \text{没有气流} \rangle = 0$$

$$t_{up} = \frac{P}{c - V \sin \theta}$$

$$t_{dn} = \frac{P}{c + V \sin \theta}$$

$$\Delta t \leq \langle \text{有气流} \rangle$$

- $V$  = 气体流速
- $c$  = 声波传输速率
- $P$  = 声波行程
- $L$  = 超声波传感器轴距
- $\theta$  = 声波传输夹角

流速计算公式如下：

$$\therefore V = \frac{P^2}{2L} \left( \frac{1}{t_{dn}} - \frac{1}{t_{up}} \right) = \frac{P^2}{2L} \left( \frac{t_{up} - t_{dn}}{t_{dn} \times t_{up}} \right)$$

当然，实际的计算还要进行复杂的补偿运算，最终计算出实际的流速  $V_{act}$ 。

流量计算公式如下：

$$Q_{act} = V_{act} \cdot A = \frac{\pi D^2}{4} \cdot V_{act} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{1}{K} V$$

$Q_{act}$  = 实际流量

A = 管道截面积

D = 管道内径

K = 补偿参数

## 2.2 独特优势

**2.2.1 自相关检波技术** 设超声波信号为  $S(n)$ ，噪声干扰信号为  $U(n)$ 。即实际采样得到的信号  $X(n) = S(n) + U(n)$ 。假定  $S(n)$  是周期性的。周期为  $M$ ， $X(n)$  的采样长度为  $N$ ，且  $N \gg M$ ，那么  $S(n)$  的自相关函数为：

$$\begin{aligned} r_x(m) &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} [S(n) + U(n)][S(n+m) + U(n+m)] \\ &= r_s(m) + r_{us}(m) + r_{su}(m) + r_u(m) \end{aligned}$$

式中， $r_{us}(M)$  和  $r_{su}(M)$  是  $S(n)$  和  $U(n)$  互相关函数，因为噪声信号是随机产生的，和超声波信号不相关的。这两项近似为零。 $r_u(M)$  是噪声干扰信号  $U(n)$  的自相关函数。它的值主要集中在  $m=0$  处。 $M > 0$  后迅速降低。因此若信号  $S(n)$  是以  $M$  为周期的。那么  $r_s(M)$  也是以  $M$  为周期的。且在  $m=0, M, 2M, \dots$  处出现峰值。由此可见，采样信号的自相关函数  $r_x(M)$  近似等于超声波信号  $r_s(M)$  的自相关函数，噪声干扰的信号基本被消除。

**Alpha6000** 超声波气体流量计采用自相关检波技术，有效克服管道振动和阀门开闭等原因造成的噪音干扰，大大提高了仪表的抗干扰能力。使仪表可以适应工业现场的恶劣条件。

**2.2.2 全数字化电子单元** 电子单元采用最新的微电子技术和元件，极大地减少了二次仪表的电子元件的数量。采用数字算法程序，使仪表信号处理更精确，运算速度更快。也增加了二次仪表的抗干扰能力。

**2.2.3 先进的传感器** 超声波传感器采用耐腐蚀不锈钢外壳，可以测量工业和市政过程中的各种气体流量，特氟龙面不易粘附，对于湿气、脏气、混合气体介质有很好的适应性。精选频率、波束角、和发射功率，可以解决大管径、低压、低流速的测量难题。测量时，传感器表面与过程气体接触，有测量管式和插入式两种安装方式。

**2.2.4 低维护、低运行费用** 传感器没有可造成堵塞或聚集残留物得部件，没有被磨损的运动部件，很少需要日常维护，插入式传感器通过球阀组建安装，可以方便的实现在线插拔。方便维护。特殊场合应用可选传感器

空气/氮气吹扫装置，该装置也可防止温度突变对传感器的影响。传感器对流体不产生阻碍，从而消除了其他流量计由压损造成的能量损失和高维护问题，并能承受周期性热胀冷缩带来的应力问题。

**2.2.5 高精度** 精度可达到  $\pm 1 \sim \pm 2\%$  的读数（经过在线标定可以达到更高），宽量程比可达 150:1。变送器有单通道和双通道两种选择，双通道通过两个通道求和平均，可以提高测量稳定性、准确性，同时仪表具有双向测量能力。根据用户需求，附加温度、压力测量，计算质量流量，提高准确度。

温度压力自动补偿方式

无补偿:  $Q_v = Q_s$

温度自动补偿:

$$Q_s = [273.15K / (t + 273.15K)] \times Q_v$$

压力自动补偿:

$$Q_p = [(P + 101.325kPa) / 101.325kPa] \times Q_s$$

温度、压力自动补偿:

$$Q_{p,t} = [(p + 101.325kPa) / 101.325kPa] \times [273.15K / (t + 273.15K)] \times Q_s$$

式中:  $Q_{p,t}$  为当时工况下的气体体积流量,  $m^3/h$ ;  $t$  为温度,  $^{\circ}C$  (标准状态下为 273.15K);  $p$  为压力, kPa (一个标准大气压为 101.325kPa)。

## 2.3 安装原则

**2.3.1** 选择安装管段对测试精度影响很大，为了得到较高的测量精度，尽量选择标准测量管。

**2.3.2** 对于精度要求不高，管径过大或现场条件所限（如钢铁厂煤气），可以选择插入式安装。

**2.3.3** 所选管段应避开干扰和涡流这两种对测量精度影响较大的情况；传感器测量点要选择距上游 10 倍直径，下游 5 倍直径以内均匀直管段,没有任何阀门等干扰。

**2.3.4** 管道周围有足够的空间，便于现场人员操作。

**2.3.5** 传感器一般按 60 度角插入管道，要求严格对中。对于新项目或可以断流的管道，采用刚性好的直金属管来保证传感器管座在焊接时是对中的；对于不能停气的管道，采用专门的工具来保证带压焊接时，传感器安装时对中的。

## 3 包钢现场案例介绍

包钢是我国重要的钢铁工业基地和全国最大的稀土生产、科研基地，是内蒙古自治区最大的工业企业。包钢始终以高度的社会责任感节约资源、保护环境。坚持以科技和管理创新为支撑，实现由侧重硬件装备水平提升向注重硬件与“软实力”提升并重的转变；坚持以节能减排为重点，实现由初见成效向全面系统改进转变。

### 3.1 包钢现场情况介绍

包钢公司煤气总管流量是一个老大难的问题，为了解决这一问题，试用了多个厂家的产品，仍无法解决该流量的检测问题。尤其是使用一个星期之后，检测探头便被带粘性的物质给粘住了，根本无法检测到实际流量值，而节流装置亦无法解决堵塞问题。造成堵塞后，由于生产特殊性，不能停产进行维护，致使仪表搁置在那里不能使用。抱着试试看，与我们公司取得联系，先安装一套试用，结果令我们非常满意。随后又连续安装了 3 套流量计。

### 3.2 施工方案介绍

#### 3.2.1 选择合适的测量点

超声波流量计的安装是所有流量计的安装中最简单便捷的，只要选择一个合适的测量点，把测量点处的管道参数输入到流量计中，然后把传感器正确安装在管道上即可。

选择测量点时要求选择流体流畅、分布均匀的直管段，为了保证测量精度。一般应遵循下列原则：

- 测量点要选择距上游 10 倍直径，下游 5 倍直径以内均匀直管段,没有任何阀门等干扰。
- 要保证测量点处的温度在可工作范围以内。

### 3.2.2 正确安装传感器

#### a 定位

依据管道参数，计算出安装距离（由于采用插入式传感器，使用直接测量方式，即 Z 安装方式）定出两个传感器的位置，安装距离为两个传感器的中心距。

#### b 开孔

请专业施工队伍使用的专用开孔工具可以使传感器在不断流的情况下安装，保证了生产的正常稳定运行，并使之达到日后使用维护要求。

#### c 安装球阀座

采用专用固定夹具，保证管座对中，将球阀座直接焊在管道外壁上，(焊前将焊点附近的管道表面处理干净)焊接时注意一定不要夹杂气孔，以防漏气，甚至断裂。将球阀座上缠好生料带，拧上球阀。

#### d 传感器的装入

将传感器从球阀内径插入，直至传感器前端伸出管道内壁，调整好传感器的角度，紧固好锁紧螺母,最后将线接好，用硅橡胶密封接线处。

### 3.2.3 正确安装变送器

变送器安装非常简单，在距传感器一定的范围内，选择适合维护、检查的安装地点。正确固定安装即可。

### 3.2.4 检查安装

#### a 检查

检查仪表接线是否正确；电源是否符合要求。通电检查仪表输入参数必须正确，否则流量计不可能正常工作。

#### b 信号强度

信号强度是指上下游两个方向上接收信号的强度。Alpha6000 使用 1~9 的数字表示相对的信号强度。1 表示收不到信号；9 表示最大的信号度。一般情况下，信号强度越大，测量值越稳定可信，越能长时间可靠的运行。

安装时应尽量调整探头的位置，使一对传感器对正，确保得到最大的信号强度。系统正常工作的条件是两个方向上的信号强度大于 60.0。当信号强度太低时，应重新检查探头的安装位置、安装间距以及管道是否适合安装。

#### c 传播时间、时差

“传播时间,时差”能反应安装是否合适，因为流量计内部的测量运算是基于这两个参数的，所以当“时差”示数波动太大时，所显示的流量及流速也将跳变厉害，出现这种情况说明信号质量太差，可能是管路条件差，探头安装不合适或者参数输入有误。

在通常情况下，时差的波动应小于  $\pm 20\%$ 。但当管径太小或流速很低时，时差的波动可能稍大些。

#### d 传输时间比

传输时间比是用于确认探头安装间距是否正确。在安装正确的情况下传输比应为  $100 \pm 3$ 。

当传输比超出  $100 \pm 3$  的范围时，应检查参数输入是否正确、探头的安装距离是否与 M25 中所显示的数据一致、探头是否安装在管道轴线的同一直线上、安装点的管道是否椭圆变形等。

e 安装结束时，要将仪器重新上电，并检查结果是否正确。

确认流量计是否正常可靠的工作：信号强度越大、流量计越能长时间可靠工作，其显示的流量值可信度越高。如果环境电磁干扰太大或是接受信号太低，则显示的流量值可信度就差，长时间可靠工作的可能性就越小。

### 3.3 效果评价

包钢煤气总管流量计于 2010 年 4 月安装后，运行状态一直很好，运行期间，几乎没有进行维护。所测量数据及时准确反映了现场工艺生产状况，德菲 alpha6000 超声波气体流量计在包钢的成功使用，为包钢相关职能部门降低能源消耗强度、控制能源消费提供了可靠的依据。也为同行业提供了现实的成功案例。

后期我们逐步又改造了 3 台流量计，目前各仪表运行正常。

参考文献：1、[谭里平](#) 《水钢科技》2003 年 第 2 期相关文献

2、《钢铁行业节能减排方向及措施》 08-12-24

3. 《alpha6000 产品说明书》 刘海琴 译