

煤气流量测量现场检测难题 实例分析

Field Detection Problem Example Analysis of Coal Gas Flow Measurement

文_贾敬华 中石化上海工程有限公司
纪纲 纪波峰 上海同欣自动化仪表有限公司

煤气是一种比较脏的介质，既有灰尘又有水，有的测量点还含有焦油，为流量测量带来很大困难。

本文通过介绍解决检测难题的工厂实例供大家参考，
同时通过分析也了解到煤气流量检测确切是一大难题。

上海铁合金厂解决阿牛巴流量计只正常测量两小时的难题

■ 存在问题

上海某铁合金厂用阿牛巴流量计测量进入焙铬矿窑炉的煤气流量，仪表投入运行后两小时之内指示正常，但以后流量示值就降到零，再也没有升起来过，引压管排污也排不出液体。

■ 分析与诊断

(1) 工艺流程和仪表安装

该测量点的煤气，来自电炉的荒煤气，由于该煤气中灰尘含量较高，所以净化过程中先经水洗工序。煤气中的水份含量达饱和状态，即相对湿度为100%。甚至管道底部还有少量分层流动的水。

煤气管水平铺设，差压变送器安装在与煤气管同一个标高。而且阿牛巴正负压管根部阀后还设置有冷凝圈。如图1所示。

(2) 流量计指示零的原因

从图1分析，原设计是将该测量点当干气体处理，但被测流体中水汽是客观存在的，冷凝水在针形阀和冷凝圈内都会聚集，影响差压信号的传递。由于此类煤气都是低压输送，所以，低静压、低流速、大管径是它们的共同特点。又由于这个特点，使得阿牛巴输出的差压信号很小，一般只有几十帕到

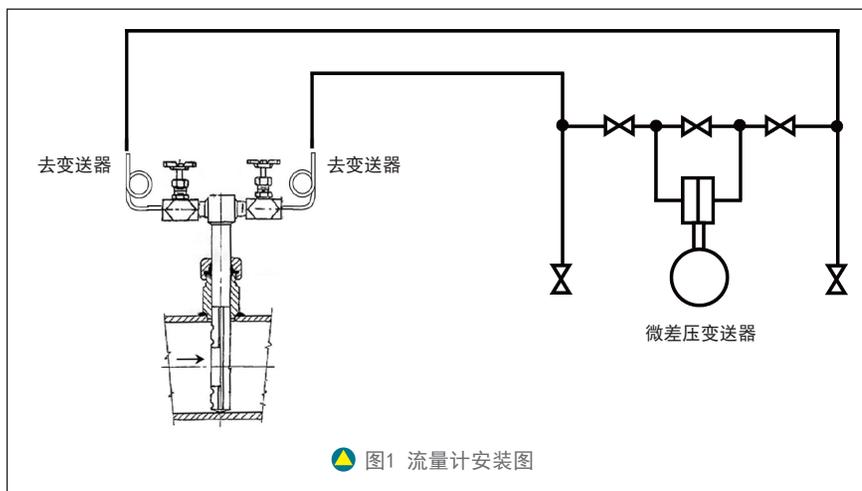


图1 流量计安装图

二百帕。有关文献表明^[3]，当流体为常温常压的空气时，如果流速为10m/s，差压只有62.5Pa。如果流速为20m/s，差压也只有250Pa，这样，差压信号管内的一滴水，将差压信号传输通道封住，就足以将此差压信号全部抵消掉。

(3) 差压信号管内为什么排不出水

用排污扫线的方法将冷凝水从针形阀、冷凝圈内吹扫出去，从排污口排出，必须克服冷凝圈后面的高度差，但煤气管内静压太低，一般只有10kPa左右，无法将水滴扫尽，因此，导压管内一旦积水，就使流量示值无法恢复正常。

■ 改进方法

(1) 防止导压管内积水的措施

对该阿牛巴流量计进行改进的首要任务，是防止差压信号导压管内及差压变送器高低压室内积水。

① 阿牛巴流量计本体的改进

市场上采购的阿牛巴流量计，本体结构一般为两个侧面取压，并配针形切断阀^[4]，如图1所示。由于针形阀的通径较小，而且低进高出的结构也不适合测量湿气体，这就为冷凝水在通道内的聚集创造了条件。

改进的方法一是将侧面开孔改为顶部开孔。二是将针形切断阀改为球阀^[5]。

② 差压变送器安装方式的改进

差压变送器安装位置如果低于阿牛巴取压阀的最高点，就要担心湿气体在高低压室内析出冷凝水。所以，将差

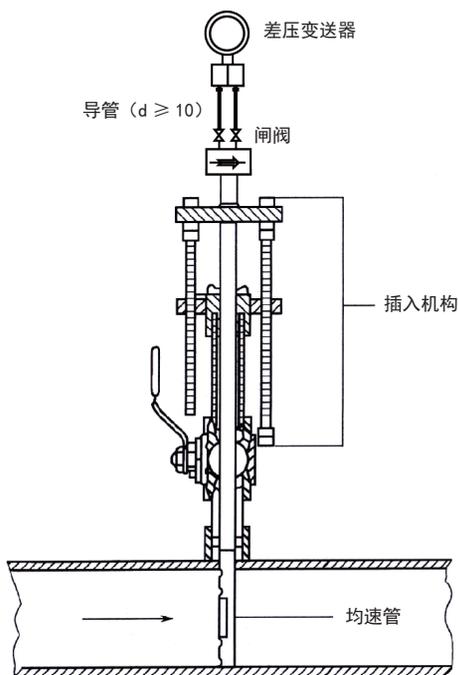


图2 用阿牛巴流量计测量湿煤气流量

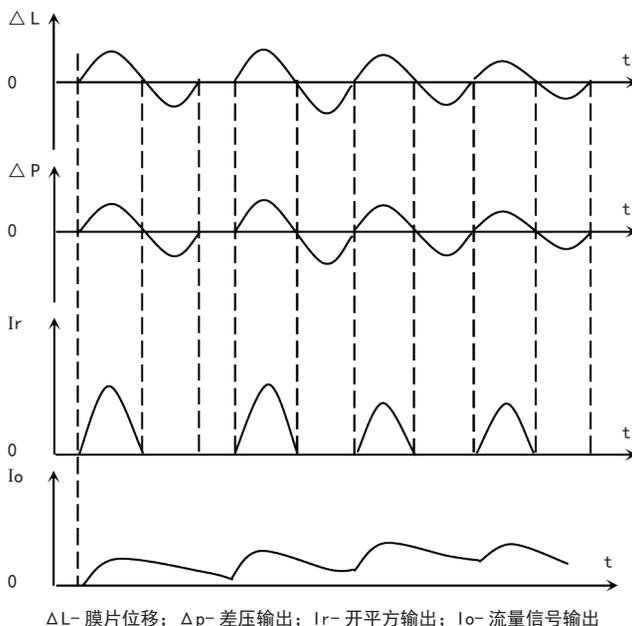


图3 振动引起差压式流量计零点升高

压变送器安装在阿牛巴的上方，并且将差压变送器的差压信号接入口布置在下方，这样，在高低压室内即使生成冷凝液，依靠其自身重力也能顺畅地流回母管[6]。

③ 不设三阀组

目前市场上供应的定型三阀组（或五阀组）用来测量湿气体时，通道内部易积水，因为其通径较小，流路复杂。积水量不多，对于标准差压装置等差压信号幅值较大的测量点来说，这点积水引起的差压信号传递失真完全可以忽略，但对阿牛巴流量计，因差压信号实在太小，这点积水完全可以使得流量示值大相径庭。

不设三阀组唯一感到不便的是校对零点，这时只能将两个根部阀关闭，并将差压变送器上两个排气阀放空通大气实现校零。

(2) 增设球阀^[7]

由于煤气中难免还有些灰尘、污垢，容易堵塞取压孔，所以增设切断用球阀，以便实现不断流拆卸，清洗阿牛巴检测管。

改进后的系统如图2所示。

(3) 防结冰的措施

为了防止冰冻季节导压管内冷凝水结冰，球阀和检测杆的外露部分均采用伴热保温。

■ 反馈的信息

该计量点作了上述改进后，仪表能长期稳定运行。每三个月抽出检测杆检查清洗一次，也曾发生过检测杆上取压孔被堵事件。

■ 讨论

(1) 关于差压变送器的安装^[6]

微差压变送器安装地点应尽量避免振动。与均速管配用的微差压变送器，其差压测量范围很小，膜盒面积较大，对振动非常敏感，受振动以后膜片受到相应的作用力，因而输出信号产生相应的变化。变送器受振动而产生的零位输出表现为随机特征，但是振动越剧烈变送器输出的代表差压的电流信号上下摆动的幅度也越大。在被测流量相对较高时，差压的这种上下摆动不会对流量测量结果造成严重后果，因为差压的均值没有变，但在被测流量为零时，则会造成流量零位升高，因为此振动干扰信号的正值经开方后，相对值放大了若干倍，而其负值经开方后输出为零，最后使流量零点示值升高，见图3，这就

是振动导致这种流量计零点升高的本质原因。

振动引起的这种流量零点升高容易给人以错觉，因为它同由于安装位置倾斜等因素引起的零点漂移叠加在一起。其实，振动引起的差压输出变化是双向的，其时间均值倒可能为零，所以当流量为常用流量值时，这种振动的影响只表现为流量示值上下摆动，其平均值基本不变。如果急于将仪表零位调低，倒是引起正常测量时的示值偏低。

振动引起的流量计零点示值升高与变送器安装位置倾斜等原因引起的零点漂移在流量计示值变化规律上也有明显的区别，后者表现为示值虽不为零但很稳定或只随时间缓慢地变化，而前者表现为频繁地摆动。由于难以将这两种影响共同作用的结果拆开来，所以最好的办法是选择一处振动小的地方安装差压变送器。

消除或减小振动对差压式流量计零点影响的另一个有效方法是为差压变送器选择适当的阻尼时间，也可在二次表的流量信号输入端增设阻容滤波环节。

微差压变送器还应避免阳光的直

接照射。由于阳光直接照射使表体的向阳侧温度升高，而背阳侧温度却较低，这一温差引起变送器某些零部件几何尺寸及其他有关参数产生不对称变化，导致变送器零位出现明显漂移。这种漂移还与时间有关，因为不同的时刻太阳照在表体的不同部位：上午照在表体的东面；中午照在表体的南面；下午照在表体的西面。

(2) 煤气流量测量的特点^{[9][11]}

① 流体静压低、流速低，允许压损小，一般不允许用缩小管径的方法提高流速。

② 流体湿度高，有些测量对象还带少量水，在管道底部作分层流动。

③ 有的测量对象氢含量高，流体密度小，用涡街流量计测量时，信号较弱。

④ 煤气发生炉、焦炉等产出的煤气一般带焦油之类粘稠物，有的还带一定数量尘埃。

⑤ 测量点位于压气机出口时，存在一定的流动脉动。

⑥ 流体属易燃易爆介质，仪表有防爆要求。

⑦ 从小到大各种管径都有。

⑧ 最小流量与最大流量差异悬殊。

⑨ 用于贸易结算的系统，计量精确度要求高；作为一般监视和过程控制的系统，精确度要求则低一些。

(3) 国家标准规定的主要内容^[9]

2000年国家质量技术监督局发布了GB/T 18215.1《城镇人工煤气主要管道流量测量 第一部分：采用标准孔板节流装置的方法》，对煤气流量测量中的有关技术问题作了规定，其中：

① 对流体的要求：“应是均匀的和单相（或可以认为是单相）的流体”。

② 煤气在净化过程中都经过洗涤，因此一般水分含量都呈饱和状态，相对湿度为100%。

③ 用于贸易结算的测量系统准确度一般应优于2.5级。基本误差限以示值的百分比表示。

④ 煤气流量定义为湿气体中的干

部分。

⑤ 测量结果以体积流量表示，并换算到标准状态。标准状态的定义除了一般取101.325kPa、20℃之外，还兼顾煤气行业的传统，也可取供需双方协商的其他温压和湿度。

⑥ 差压装置采用多管并联形式。

⑦ 在存在流动脉动的情况下，对测量平均流量提出了以下措施：

a、在管线上采用衰减措施，安装滤波器（由容器及管阻组成）；

b、仪表检测件尽量远离脉动源；

c、采用尽量大的 β 和 Δp ，在测量处减小管道直径；

d、管线、仪表支架安装牢固；

e、两根差压引压管阻力对称。

上海宝钢集团解决文丘里管测量煤气流量示值渐高难题

■ 现象

宝钢集团所属薄板厂测量煤气流量，因担心孔板流量计积灰影响精确度，所以改选文丘里管，但使用半年之后，流量示值逐渐偏高，于是在停车检修时将文丘里管拆开检查，发现文丘里管内壁连同喉部结了一层含灰尘的焦油。

■ 误差分析

对于经典文丘里管，前后直管段内壁结垢，可以认为对测量结果无影响，因为其流出系数与管道内径无关，所以只要考虑其喉部结垢引起的误差。

例如管道内径 $D=1000\text{mm}$ ，喉部内径 $d=700\text{mm}$ ，喉部结垢 5mm 后，其流通截面积约比原来减小 $2/70$ ，则流量示值增大 $2.84\%R$ 。

■ 处理方法

据提问者介绍，检修时发现喉部结垢厚度约 5mm ，而且不是坚韧无比难以清理。而是用煤油就可清洗干净。这可能与被测流体中杂质的组成有关。喉部结垢厚度也不很厚，可能与流体流过喉部时流速较高有关。

由于喉部结垢无法避免，而对沉积物进行清洗又不可能经常进行，所以可对结垢速率进行估算，并定期对结垢引起的流量测量误差进行修正。例如每

年停车检修一次，检修时测得结垢厚度为 5mm ，12个月平均每个月流量示值升高值为 $0.24\%R$ 。

重庆钢铁集团解决圆缺孔板流量计测量煤气流量受结垢影响难题

■ 现象

重庆钢铁集团所属某工厂，用圆缺孔板测量高炉煤气流量，在使用数年将差压装置拆下清洗时发现，孔板圆缺部分高度的 $1/8\sim 1/6$ 被堆积物占据^[10]，对流量测量影响如何？

■ 分析

圆缺孔板在钢厂的煤气流量测量中，应用十分普遍，这是因为钢厂的煤气管内带水严重。水平管道底部分层流动的水，流经圆缺孔板时不会在孔板前积滞，是圆缺孔板的最大优点。

但是圆缺孔板前后直管段内壁也会结垢，如图4所示，从而对流量测量造成影响。这种影响主要包括两个部分，其一是使节流件开孔面积与管道截面积之比 m 发生变化对流量测量的影响，其二是圆缺孔有效面积变小对流量测量的影响。前者影响与标准孔板相似。但在管道截面积缩小的同时，圆缺孔有效面积也缩小一些。因此 m 变化不大。例如有一副 $DN1000$ 的圆缺孔板， m 为 0.49 ，管道内壁被均匀结了一层 20mm 厚的沉积物后，管道截面积减小为 0.7238m^2 ，而圆缺孔面积约减小为 0.3547m^2 ，（将圆缺孔圆弧看作与管道圆弧相切），所以， β 仍为 0.49 。

后者的影响较大，因为无沉积物时，开孔面积为 0.3848m^2 ，而沉积物厚度为 20mm 时，开孔有效面积为 0.3547m^2 ，约为无沉积物时的 92.18% ，因此仪表示值约偏高 8.5% 。

实际计算时，因为圆缺孔半径为管道半径的 0.98 ， 20mm 厚的沉积层仅有 10mm 阻挡了圆缺孔，所以实际影响只有 8.5% 的一半。

■ 讨论

(1) 防止圆缺孔板安装处管道积水引起测量误差

钢铁厂炉子的类型很多，随着炉

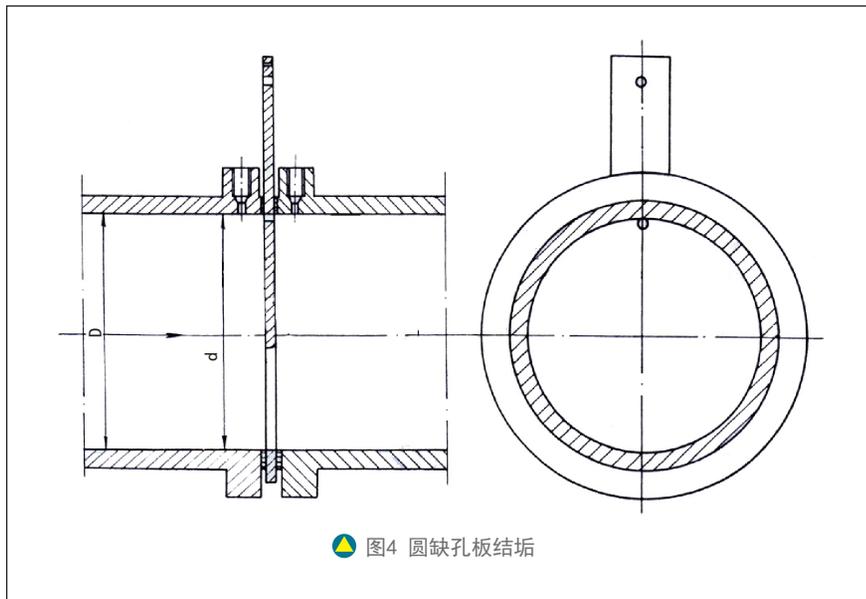


图4 圆缺孔板结垢

子的类型不同和流量计安装在不同的管段，流经节流件的煤气携带的杂质也不同。前面的一段讨论的是煤气中带有较多的灰尘和焦油，以致在圆缺孔处结垢，引起流量测量误差。这一段讨论的是圆缺孔板处管道内积水引起测量误差。

圆缺孔板的优点是在节流件的下部开有圆缺口，流体中如果有较多的水，则可在水平管道的底部从节流件前经圆缺口顺利地流到下游，不影响流量测量。

这是理想的情况，实际情况并不那么理想。在检修时拆下节流件观察往往发现圆缺口处积水的痕迹。

圆缺孔板安装处，管道底部积水的原因有两个。其一是水平管道并非真正水平，在相邻两个支架之间，水平管道总有一定的挠度，于是在两个支架中点处，就成为积水最深处。其二是煤气在大管道内流动，静压低流速低，无法依靠气体的流动将积水带往下游。

杜绝圆缺孔板安装处管道积水的措施有两个，一是将圆缺孔板的安装地点选在靠近支架处，另一是设法使该安

装地点附近的管道保持适当的坡度，上游高下游低，让水在该安装地点无法停留。

(2) 防止差压信号传输通道和差压变送器高低压室内积水

防止差压信号传输通道和差压变送器高低压室内积水的措施有两个，一是差压信号从差压装置的上方引出。二是引压管坡度、根部阀选型和差压变送器安装按图2的方法设计。

南京某钢铁厂解决威力巴流量计测量煤气流量示值偏高15%难题

■ 存在问题

南京某钢厂用威力巴流量计测量炼钢炉产生的煤气流量，压力十几kPa，已进行温度压力补偿。工艺专业人员认为，测量结果偏高15%。

■ 分析与诊断

(1) 关于测量任务

笔者受理了此项咨询。笔者反问提问者，现在流量计所显示的流量是湿煤气的总流量还是湿煤气中的干部分流量，提问者不清楚。

在钢厂，炼铁炉炼钢炉等都要产出很多煤气，在这些煤气从炉中导出时，流体温度很高，煤气在管道中一面流动，一面经管壁散发热量，温度降低，当温度降低到一定数值时，煤气中的水汽达到饱和状态。再往下游流动，煤气温度进一步降低，煤气中可能会出现悬浮在气体中的微小水滴，成为湿煤气。这些小水滴与煤气均匀混合在一起，流向下游。煤气温度再降低后，水平管道底部就会出现分层流动的水[11]。这部分水贴在水平管道的底部流到下游，不对测量结果产生影响。而混在煤气中的水汽和均匀悬浮在煤气中的小水滴却会使流量计示值偏高。

提问者后来请供应商查阅了所咨询的测量点的计算书，结果被告知显示的是湿煤气的总量。后来根据工艺专业的意图，将测量任务修改为湿煤气的干部分流量，重新计算，在流量二次表中也作了相应修改，修改完毕，流量计显示的流量值与工艺专业的理论值基本相符，从而解决了问题。

(2) 为什么要测量湿煤气的干部分流量

炼钢炉流出的煤气在管道中输送温度逐渐降低，煤气中的水汽含量在达到饱和程度后，其中的水汽含量仍然在变化，它是煤气温度的函数，如表1所示，但它包含的发热量（热值）却保持不变，这是因为能够提供热量的干部分没有变化，所以测量湿煤气的干部分流量更有意义。湿煤气中的水汽对煤气的发热量（每标准立方米煤气所能提供的发热量）毫无贡献，不仅如此，在燃烧时水汽还要带走热量，因为燃烧之后的烟气温度总是比进入燃烧室的煤气温度高的缘故。工艺专业在利用化学反应方程式计算炼钢炉出口的煤气流量时，也剔除了其中的水。所以，只有计算出湿煤气中的干部分流量，才能与他们的数据相吻合。

表1 空气中水分饱和含量^[1]

空气温度 t (°C)	0	10	20	30	40	50	60	70	80
饱和水蒸气压力 p _s (kPa)	0.6080	1.2258	2.3340	4.2463	7.3746	12.337	19.917	31.156	47.356
饱和水蒸气密度 ρ (kg/m ³)	0.0048	0.0094	0.0173	0.0304	0.0512	0.083	0.1302	0.1982	0.2934

(3) 湿煤气的干部分计算

采用差压法测量煤气流量,与干气体流量测量的最大差别除了扣除湿煤气中的水蒸气之外,还要计入煤气中的水蒸气含量变化之后,流体密度也发生了变化,从而影响流量示值。

下面是湿煤气干部分流量测量所用的必要公式,这些公式不仅为湿煤气的干部分计算提供依据,而且也为实际工况偏离设计工况后,对因此而引入的误差进行校正提供依据。

① 流量计算公式

用阿牛巴流量计测量湿煤气流量时,湿煤气的质量流量可用公式(1)计算[12]:

$$q_m = A \alpha \varepsilon_1 \sqrt{2 \Delta p \rho_1} \quad (1)$$

式(1)中:

q_m ——质量流量, kg/s;

A ——流通截面积, m^2 ;

α ——流量系数;

ε_1 ——节流件正端取压口平面上的可膨胀性系数;

Δp ——差压, Pa;

ρ_1 ——节流件正端取压口平面上的流体密度, kg/m^3 。

式(1)中, ε_1 用公式(2)计算[2]:

$$\varepsilon_1 = 1 - (0.351 + 0.256 \beta^4 + 0.93 \beta^8) \times [1 - (P_2/P_1)^{1/k}] \quad (2)$$

式(2)中:

κ ——等熵指数;

P_1 ——节流件正端取压口绝对压力,

Pa;

P_2 ——节流件负端取压口绝对压力

($P_2 = P_1 - \Delta p$), Pa。

② 煤气密度计算公式^[6]

a、标准状态下湿煤气的密度按公式(3)计算:

$$\rho_n = \rho_{gn} + \rho_{sn} \quad (3)$$

$$\rho_{sn} = f(t_n) \quad (4)$$

式(3)、(4)中:

ρ_{gn} ——湿煤气在标准状态下干部分的密度, kg/m^3 ;

ρ_{sn} ——湿煤气在标准状态下湿部分的密度, kg/m^3 (由查表1得);

t_n ——标准状态温度, $^{\circ}C$ 。

b、煤气在标准状态下干部分的密

度 ρ_{gn} 用公式(5)计算:

$$\rho_{gn} = \sum_{i=1}^n X_i \rho_{gni} \quad (5)$$

式(5)中: X_i ——煤气各组分的体积百分数, %;

ρ_{gni} ——煤气各组分在标准状态下的密度, kg/m^3 。(由查表1得^[8])。

c、工作状态下湿煤气的密度按(6)计算:

$$\rho_1 = \rho_{g1} + \rho_{s1} \quad (6)$$

式(6)中:

ρ_{g1} ——湿煤气在工作状态下干部分的密度, kg/m^3 ;

ρ_{s1} ——湿煤气在工作状态下湿部分的密度, kg/m^3 。

ρ_{g1} 和 ρ_{s1} 分别按公式(7)和(8)计算。

$$\rho_{g1} = \frac{P_1 - \phi_1 P_{s1max}}{P_n} \times \frac{T_n}{T_1} \times \frac{Z_n}{Z_1} \times \rho_{gn} \quad (7)$$

$$\rho_{s1} = \phi_1 \rho_{s1max} \quad (8)$$

$$\rho_{s1max} = f(t_1) \quad (9)$$

式(7)、(8)、(9)中:

P_n 、 P_1 ——标准状态和工作状态下气体绝对压力, Pa;

Z_n 、 Z_1 ——标准状态和工作状态下气体压缩系数;

T_n 、 T_1 ——标准状态和工作状态下气体温度, K;

P_{s1max} ——工作状态下,饱和水蒸气压力, $P_{s1max} = f(t_1)$, 由 t_1 查表1得;

ρ_{s1max} ——工作状态下,饱和水蒸气密度, kg/m^3 , $\rho_{s1max} = f(t_1)$, 由 t_1 查表1得;

ϕ_1 ——工作状态下,湿煤气的相对湿度(一般取100%);

t_1 ——节流件正端取压口平面处的流体温度, $^{\circ}C$ 。

将(7)和(8)代入(6)得:

$$\rho_1 = \frac{P_1 - \phi_1 P_{s1max}}{P_n} \times \frac{T_n}{T_1} \times \frac{Z_n}{Z_1} \times \rho_{gn} + \psi_1 \rho_{s1max} \quad (10)$$

③ 湿煤气工作状态下体积流量的计算

$$q_{v1} = q_{vn} \frac{P_n}{P_1 - P_{s1max}} \times \frac{T_1}{T_n} \times \frac{Z_1}{Z_n} \quad (11)$$

式(11)中的符号与式(7)(8)(9)相同。

④ 湿煤气工作状态质量流量的计算

$$q_m = q_{v1} \times \rho_1 \quad (12)$$

求得 q_m 和 ρ_1 后,就可利用式(1)计算差压上限。

⑤ 湿煤气流量计的温度压力补偿
气体温度和压力变化后,湿气体干部分在标准状态下的流量可用式(13)进行补偿。

$$q'_{vn} = q_{vn} \frac{P'_1 - P'_{s1max}}{P_1 - P_{s1max}} \times \frac{\varepsilon'_1}{\varepsilon_1} \times \frac{T_1}{T'_1} \times \frac{Z_1}{Z'_1} \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho'_1}} \quad (13)$$

式(13)中:带“'”符号者为实际使用工况条件下的参数,不带“'”为设计工况所对应的参数(q_{vn} 为设计工况所对应的体积流量)。

式(13),由于工况变化, ρ_1 已经从式(10)所表示的值变成式(14)所表示的值。

$$\rho'_1 = \frac{P'_1 - \psi'_1 P'_{s1max}}{P_n} \times \frac{T_n}{T'_1} \times \frac{Z_n}{Z'_1} \rho_{gn} + \rho'_{s1max} \quad (14)$$

$$\rho'_{s1max} = f(T'_1) \quad (15)$$

因此,将式(14)代入式(13)就可得到完整的补偿公式。

$$q'_{vn} = q_{vn} \frac{P'_1 - P'_{s1max}}{P_1 - P_{s1max}} \times \frac{\varepsilon'_1}{\varepsilon_1} \times \frac{T_1}{T'_1} \times \frac{Z_1}{Z'_1} \times \left[\rho_1 / \left(\frac{P'_1 - P'_{s1max}}{P_n} \times \frac{T_n}{T'_1} \times \frac{Z_n}{Z'_1} \rho_{gn} + \rho'_{s1max} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

式(16)中:

q'_{vn} ——经过补偿的湿气体干部分体积流量, Nm^3/h ;

q_{vn} ——设计状态湿气体干部分体

积流量, Nm³/h;

P'_1 ——工作状态节流件正端取压口气体压力, MPa (实测值);

P'_{s1max} ——工作状态下水蒸气压力, kPa (由 T'_1 查表1得);

P_1 ——设计状态节流件正端取压口气体压力, MPa (查孔板计算书得);

P_{s1max} ——设计状态下水蒸气压力, kPa (由 T_1 查表1得);

ε'_1 ——工作状态流体可膨胀性系数 (按式(2)计算得);

ε_1 ——设计状态流体可膨胀性系数 (查孔板计算书得);

T_1 ——设计状态气体热力学温度, K ($T_1 = t_1 + 273.16$, 查孔板计算书得);

T'_1 ——工作状态气体热力学温度, K (由气体温度实测值换算得);

Z_1 ——设计状态气体压缩系数 (查孔板计算书得);

Z'_1 ——工作状态气体压缩系数 (设置或自动计算^[6]);

ρ_1 ——设计状态节流件正端取压口气体密度, kg/m³;

P_n ——标准状态气体压力, 101.325kPa;

T_n ——标准状态气体热力学温度, K (293.16K);

Z_n ——标准状态气体压缩系数 ($Z_n = 1.0000$);

ρ_{gn} ——标准状态干煤气密度, kg/m³。

上述计算可以在流量演算器或DCS中完成。 **IWM**

本文参考资料

- [1] 王森, 纪纲. 仪表常用数据手册. 第二版. 北京: 化学工业出版社, 2006
- [2] GB/T 2624-2006 用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量
- [3] [日] 川田裕朗, 小宫勤一, 山崎弘郎编著. 罗泰, 王金玉, 谢纪绩, 韩立德, 洪启德译. 流量测量手册. 中国计量出版社, 1982
- [4] 毛新业. 均速管流量计. 北京: 中国计量出版社, 1984.
- [5] 林鸿稼, 刘军. 湿煤气流量测量的一种方法. 98工业仪表与自动化学术会议论文集. 杭州: 1998, 137-142
- [6] 纪纲. 流量测量仪表应用技巧. 第二版. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [7] 曹王剑. 含有杂质的煤气流量测量. 自动化仪表, 1993, (12)
- [8] GB/T 18215.1-2000城镇人工煤气主要管道流量测量. 第一部分: 采用标准节流装置的方法
- [9] 贺正勤. T型阿牛巴流量计. 第六届工业仪表与自动化学术会议论文集, 上海: 2005(6)
- [10] 戴祯建. 差压式流量计在大管道煤气计量中的应用. 自动化仪表, 2002, 20 (4): 25-28
- [11] 纪纲, 纪波峰. 流量测量系统远程诊断集锦. 北京: 化学工业出版社, 2012
- [12] JB/T 5325-91 均速管流量传感器

本文参与有奖征文评选

欢迎您对本文发表评论, 也希望您能参与《仪表世界》有奖征文活动, 期待您的来稿!
评论和投稿请发送至:
iwm@jixunmedia.com



本文发表在《仪表世界》2015年10月号