浅谈湿度对湿煤气流量计量影响

北京博思达新世纪测控技术有限公司　　周国祥　100029

摘要：煤气中的水蒸汽对煤气流量计量有很大影响，本文依据相关标准对气体湿度、干（湿）煤气密度、干（湿）煤气流量等问题做了进一步的讨论，阐明了对气体进行湿度修正的必要性。

关键词：湿气体流量测量　湿度修正　干（湿）煤气密度　干（湿）煤气流量

1．概述

虽然民用煤气已在我国许多城镇被天然气取代，但在工业（特别是冶金行业）中仍大量用煤气作燃料。煤气在生产过程中要进行水洗，造成煤气中含有水蒸汽，水蒸汽的存在对煤气流量的测量带来不容忽视的影响，这是长期以来在煤气流量计量中困扰用户的问题之一。

其实，湿度对流量测量的影响及解决办法在国标 GB/T18215-2000《城镇人工煤气主管道流量测量》有明确的描述，只不过在实践中对标准的理解存在偏差，以致造成在湿煤气计量中量值偏差大的问题。因此，本文根据我们对标准的理解，浅析湿度对湿煤气流量计量的影响。

为了搞清湿度对流量测量的影响，我们要先清楚几个概念：

1.1 如何得到湿度：湿度有绝对湿度和相对湿度之分，上述标准给出了有关相对湿度的计算公式，如何得到相对湿度之值呢？一般说来要用湿度计测量，在输送过程中，由于温度、压力的变化，湿度也在变化，在不同流量测量点湿度也不同，要安装许多湿度计显然是不现实的，我们可认为经水洗后的煤气其相对湿度为100％，根据测量点的温度、压力，用标准提供的湿度计算公式将水洗后的煤气湿度换算成测量点的煤气湿度。

1.2 分清干煤气、湿煤气、湿煤气中干部分的区别

干煤气：相对湿度为 0 的煤气

湿煤气：煤气中含有水蒸汽，即湿度不为 0 的煤气

湿煤气中干部分：湿煤气中排出了水蒸汽的部分

1.3 讨论的湿煤气都是单相流，即析出的水认为被排出管外，管内只存在煤气及水蒸汽。

2．煤气密度计算

2.1 干煤气密度计算

煤气是由多种气体组成的混和物，把这些气体称为组份。煤气的主要成份有：H2、CO、CH4、CO2、N2、O2、CmHn

CmHn 我們称为不饱和烃。

由于生产煤气的工艺不同，煤气的组分有很大差异。

干煤气密度计算

设工作绝压力为 $P_1(MPa)$,工作温度为 $t1(°C)$,则

$$T_1 = t_1 + 273.15(K) \quad \text{（1）}$$

$$\rho_{20} = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i \rho_{20i}}{\sum_{i=1}^{N} x_i} \quad \text{（2）}$$

$$\rho_{g1} = \rho_{20} \frac{P_1}{0.101325} \frac{293.15}{T_1} \frac{1}{Z_1} (kg/m^3) \quad \text{（3）}$$

式中：ρ_{20i}；煤气中 i 组份在标况下(20℃,0.101325MPa)密度

ρ_{20}：标况干煤气密度

ρ_{g1}：工况干煤气密度

2.2 湿煤气密度

$$\rho_1 = \rho_{20} \frac{P_1 - \varphi_1 P_{s\max}}{0.101325} \frac{293.15}{T_1} \frac{1}{Z_1} + \varphi_1 \rho_{s\max} (kg/m^3) \quad \text{（4）}$$

式中：ρ_1：工况湿煤气密度

φ_1：工况湿煤气的相对湿度（%）

$P_{s\max}, \rho_{s\max}$：工况水蒸汽的最大可能蒸气压力，最大可能蒸气密度

$P_{s\max}, \rho_{s\max}$ 是这样确定的，当 $t_1 < 100(°C)$，且管道压力（绝）大于 1 个大气压力时 $P_{s\max}$ 就等于饱和蒸汽压力，$\rho_{s\max}$ 就等于饱和蒸汽密度。

2.3 在实际测量中，往往容易用干煤气的密度代替湿煤气的密度，在用差压式仪表测量流量时会带来误差，特别是温度越高，影响越明显。

3．湿度的换算

上述计算中φ_1是指在流量测量点附近测得的工况相对湿度,但在实际中，湿度的测量点与流量测量点可能相距很远，中间还可能存在其它设备，此时，应考虑湿度测量点的状态与流量测量点状态的差异,进行换算，或者说，已知某一状态下的湿度，求另一状态下的湿度，按下式计算

$$\varphi_1 = \varphi_2 \frac{P_1 T_2 \rho_{2s\max}}{P_2 T_1 \rho_{1s\max}} = \varphi_2 \frac{P_1 T_2 P_{2s\max}}{P_2 T_1 P_{1s\max}} \Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda \quad (5)$$

式中：角标为 1 的表状态 1 的参数，角标 2 的表状态 2 的参数，P 是绝压，T 是热力学温度。

4．煤气流量计算

4.1 煤气工况流量计算

煤气的工况流量计算方法起决于用何种流量仪表，对差压式流量计因流量与煤气密度有关，所以对干煤气应用干煤气的密度进行计算，对湿煤气应用湿煤气的密度进行计算。

4.2 煤气标况流量计算

4.2.1 干煤气标况流量计算

$$q_{vn} = q_{v1} \frac{P_1}{0.101325} \frac{T_n}{T_1} \frac{Z_n}{Z_1} \Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda \quad (6)$$

式中：角标为 1 的表工况参数，角标为 n 表标况参数。

4.2.2 湿煤气标况流量计算：可用下式计算

$$q_{vn} = q_{v1} \frac{P_1 - \varphi_1 P_{s1\max}}{P_n - \varphi_n P_{sn\max}} \frac{T_n}{T_1} \frac{Z_n}{Z_1} \Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda \quad (7)$$

角标 1、n 分别为工况及标况湿气体参数

4.2.3 标况湿煤气中干部分流量计算

$$q_{vng} = q_{v1} \frac{P_1 - \varphi_1 P_{s\max}}{0.101325} \frac{T_n}{T_1} \frac{Z_n}{Z_1} \Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda \quad (8)$$

式中：

q_{v1}：工况湿气体流量

q_{vng}：标况湿气体中干部分流量

φ_1：工况煤气的相对湿度

$P_{s\max}$：工况水蒸汽的最大可能蒸汽压，可查饱和蒸汽性质表得到

同理，标况湿煤气中干部分的量为已知，可以把它换算成工况湿煤气量

$$q_{v1} = q_{vng} \frac{0.101325}{P_1 - \varphi_1 P_{s\max}} \frac{T_1}{T_n} \frac{Z_1}{Z_n} \Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda \quad (9)$$

可见，同一标况湿煤气中干部分的量，换算成工况湿煤气量时，湿度的的变化将带来煤气量的变化，当工作温度升高时，影响更为明显。举例说明：

例，管道 DN=250，安装一台角接取压孔板 β =0.5,

被测流体为焦炉煤气，湿度为 $\varphi_1 = 100(\%)$

标况干煤气密度为 $\rho_{gn} = 0.45(kg/m^3)$

夏季流体温度 t1=80(℃),压力 P1=0.11(MPa)

冬季流体温度 t2=40(℃),压力 P2=0.11(MPa)

设标况湿煤气中干部分流量为 $q_{vn} = 3000(m^3/h)$

最大可能蒸汽压力 $P_{s1\max} = 0.04736(MPa), P_{s2\max} = 0.007375(MPa)$

最大可能蒸汽密度 $\rho_{s1\max} = 0.2933(kg/m^3), \rho_{s2\max} = 0.05115(kg/m^3)$

工况湿煤气密度为

$$\rho_1 = 0.45 \frac{0.11 - 1\times 0.04736}{0.101325} \frac{293.15}{353.15} + 1\times 0.2933 = 0.5242(kg/m^3)$$

$$\rho_2 = 0.45 \frac{0.11 - 1\times 0.007375}{0.101325} \frac{293.15}{313.15} + 1\times 0.05115 = 0.4778(kg/m^3)$$

工况湿煤气流量为

$$q_{v1} = 3000 \frac{0.101325}{0.11 - 1\times 0.04736} \frac{353.15}{293.15} = 5846(m^3/h)$$

$$q_{v2} = 3000 \frac{0.101325}{0.11 - 1\times 0.007375} \frac{313.15}{293.15} = 3164.1(m^3/h)$$

结果分析：

在标况湿煤气中干部分流量不变条件下,夏季与冬季工况湿气体流量相差很大,相应差压输出也相差很多

$$\Delta P_1 = 12653(Pa)$$
$$\Delta P_2 = 3197(Pa)$$

所以如不进行密度、湿度补偿，仅从差压看夏季与冬季的量将相差很大。

综上所述，煤气中的水蒸汽对煤气量值的准确性影响很大，其它含有水蒸汽

的气体（天然气、空气等）也同样存在这样的问题，因此，必须在气体流量计量中考虑湿度修正，用干气进行结算，才能使煤气（或其它气体）计量做到科学、公平。随着计量仪表技术的发展，现代仪表已完全可以具备这些功能，这为提高工业现场煤气和其它气体的计量与管理水平打下技术基础。

参考文献：

(1)GB/T2424-1981《流量测量节流装置》

(2)GB/T18215-2000《城镇人工煤气主管道流量测量》