

浅析钢铁行业煤气计量研究

吴波 李新军 蒋玲

(陕钢集团汉中钢铁有限公司 陕西汉中 724200)

摘要: 钢铁企业的煤气能源消耗约占能源成本的 30%~40%，而在生产过程中产生的焦炉煤气、高炉煤气和转炉煤气又可作为二次能源加以回收利用，能够有效降低能源消耗成本并达到节能环保的目的。因此，提高煤气综合利用率已成为企业节能增效的主攻方向，钢铁企业建立一套数据实时有效、计量准确、有应用分析的能源计量数据管理系统，通过煤气预测与优化调度，企业可以实现合理用能，减少煤气放散，防止环境污染和能源浪费，有效降低企业二次能源成本。

关键词: 煤气计量;计量器具;介质特点;密度;湿度

一、引言

钢铁企业回收煤气具有含水、含尘量高，压力低、流速低、密度低、管径大等特点，使得其准确测量具有一定的难度，我经常采用节流式差压流量计来进行测量，比如孔板流量计、 v 锥流量计等等。但是由于回收煤气中含有一定量的杂质，这些杂质及其淤积在管道阀门的连接处、供气管壁等位置，影响测量的准确性，造成流速测量不准确。因此，制定一套科学、合理的计量方案，对于确保高炉煤气计量数据的准确性具有重要意义。

二、钢铁企业煤气介质的特点

煤气流量测量一直是钢铁企业流量测量的一个难点，通过对比各种流量计在煤气流量测量的应用实践，我们发现，煤气流量之所以难以长期准确地测量，是因为钢铁企业煤气具有其不同常规气体的工况特点所导致的。

钢铁企业煤气的介质特点主要有以下几个方面：

(1) 钢铁企业的煤气含有萘、焦油、饱和水蒸气、微尘杂质，其中的萘与焦油受温度变化影响会在流量传感器本体上形成结晶体与黏附，导致传感器无法正常工作。

(2) 煤气由于有不同气体组成，即便同一种煤气，也会因为原料及生产状况的差异影响其组分，组分的不固定就会影响煤气的实际密度，这也会影响流量计的测量。

(3) 煤气中酸性组分(如 SO_2 、 SO_3 、 H_2S 、 HCl 等)与煤气中的冷凝水混合，形成 pH 值为 1~2 的腐蚀性很强的酸液，专业会对钢材等造成较强的腐蚀。如果所采用的流量计在设计和制造时并没有考虑该方面因素的影响，就会加速流量计的老化磨损，这种现象尤其体现在末端用户。

(4) 管线中煤气的压力较低，流体流动产生的压力损失要求较小导致的后果就是煤气的流速较低，限制了流量计的设计量程范围。尤其是工艺调整较为频繁的终端用户，对流量计的设计量程要求更加苛刻，往往不能满足现场使用的需求。

(5) 煤气计量的难度相对较大。比如高炉煤气，该类煤气中的饭菜含量相对较高，一般情况下每立方米能够达到 15~80g，在利用前必须进行除尘处理，虽然经过除尘，但是每立方米煤气中的含尘量也会达到 5~10g，并且除尘效果也难以得到稳定控制，含尘量的波动就会影响计量的准确性。

煤气的这些介质特点和流量工况特点对流量测量仪表会产生以下影响：

(1) 节流件取压孔和引压管线的堵塞，实际流通管径的缩小、流场变形、取压口偏离流体中心，都会导致煤气压力和差压(流速)测量误差或直接无法测量。

(2) 煤气中酸性组分、水、氧化铁粉尘、萘等腐蚀性介质长期接触流量计本体的关键零部件，容易改变节流件几何尺寸，导致仪表准确度降低

(3) 工况变化导致实际工况密度偏离流量计设计时的密度，实际工况与标准工况的流量测量数据是不同的，煤气的密度不是固定值，而是根据高炉煤气、转炉煤气、焦炉煤气的混合比例来测算的，高炉煤气的密度为 1.29—1.30Kg/Nm³，焦炉煤气的密度为 0.45Kg/Nm³。当这两种煤气混合时，混合煤气的密度会受到混合比例的影响，没有一个固定的密度值，计量公式中就需要根据混合比例补偿修正密度值。

(4) 压力以及温度的影响。与液体相比，气体的压缩性更强，在传输过程中更容易出现波动和变化，这就会影响相关测量仪表的信号输出，致使信号输出呈现不稳定状况，并且气体的密度也会因为温度和压力的变化而呈现函数变化。在具体煤气流量的测量中，温度以及压力等相关参数都可以通过仪器进行测量，通过相应的测量就可以找出温度压力变化所引起的流量误差，之后再对传感器、变送器等相关仪表进行合理的选择，只要其在既定的误差值范围内就能够确保测量的准确性。相关测量仪表的设计和选型都会考虑到温度压力等参数，但是温度压力参数是动态变化的，所以在具体测量时需要做到同步测量。尽可能选择智能化程度高，精度高的变送仪器，这样才能够在煤气转运的过程中实时测量出

相应的温度、压力数据,然后再通过数学模型来计算出需要补偿的温度和压力,对温度、压力工况参数进行科学修正,尽可能控制其对煤气流量的影响,确保流量测量的精确度。

(5) 煤气有干、湿之分。与干煤气相比,湿煤气会因为含水量不同而出现密度变化并且湿度变化并不能够通过常规仪表进行修正,所以在日常测量工作中容易被忽视。然而研究节流装置流量量程和差压间的关系,湿度与流量间存在密切的关系,与该煤气相比,按照100%的煤气计算,二者之间的量程差最高达到20%。钢铁企业现有的煤气回收工艺普遍带有一定的湿度,其对流量测量数据准确性是有影响的。

三、流量计量设备的选用

流量仪表是一种性能强烈依赖于使用条件的仪表。因此,为解决不同条件下各种被测介质的流量测量,气体流量计的选型要考虑的因素很多,其中最重要的就是,必须根据现场介质的特性(密度、粘度、洁净程度等)和流量工况特性(温度、压力、流速范围、流场情况等)来选择合适的流量计。

流量计的选型应遵循以下几个原则:

(1) 计量设备的选型应遵照《计量法》《GB/T 21368-2008 钢铁企业能源计量器具配备和管理要求》的要求,选用仪表的精度要符合现场计量等级对计量器具精度的要求。

(2) 任何流量计都不是万能的,必须根据现场介质的特性(密度、粘度、洁净程度等)和流量特性(温度、压力、流速范围、流场情况等)来选择合适的流量计。

(3) 流量计的设计制造、流量计算方法是否有国家标准和检定规程的支撑、仪表系数的精度能否溯源。

(4) 流量计量设备通常由多个部分组成(一次仪表、二次仪表、PLC/DCS等),除流量计本体外,整个流量测量系统的精度,流量计自身硬件和补偿计算的精度都需要考虑。

(5) 对工艺参数、现场安装条件、直管段等情况准确调研。如管道尺寸、温度、压力、工艺流量范围(当前的和未来可能的)。

(6) 要考虑日后监测、维护的方便性、安全性。

通过总结各种流量计在煤气流量测量上的使用效果我们发现,无论是孔板、喷嘴等标准节流装置,还是匀速管、普通巴类流量计,都不能克服煤气脏污影响。为了适应煤气脏污、含水、腐蚀性强等特征,煤气流量的测量仪表应满足以下几点工艺设计要求:

(1) 流量计的核心部件,如取压探杆、测头装置必须具有防脏污、自排凝结水、产生差压大、差压测量稳定、抗腐蚀能力强、一致性好等特点。

(2) 测压孔径大,防止凝结水堆积、防堵塞能力强。

(3) 减少取压口处的流体漩涡,差压测量稳定而准

确,特别在小流量测量时,精确且稳定。

(4) 安装压损不宜过大,可不停气在线插拔维护。

(5) 具有插入深度调节机构,可对插入深度进行调整,适应安装位置、工艺要求变化的需求。

(6) 带有吹扫接口,可连接吹扫装置,可用蒸汽或氮气进行吹扫,并且清扫过程不会有煤气泄漏。

(7) 流量计各物理连接部位应尽量减少焊缝,减少或消除酸性离子产生的晶间腐蚀。

四、煤气计量仪表的选型要求

现代流量测量技术的发展趋势是传感器硬件与处理软件的融合发展。通过理论模型和大量的试验数据,利用二次仪表的运算和补偿能力,解决小差压测量精度差、混合煤气组分变化大、湿度影响煤气管网计量平衡等问题。在选择煤气记忆量仪表时,需要综合考虑各方面的仪表性能围绕介质流量来选择相对应的仪表。

流量测量二次仪表(包括DCS、PLC、流量计算机等)中,流量计算的模型是一个影响流量测量准确性的非常关键的因素。但是,流量仪表的计算模型都是以软件的形式存在的、看不见、摸不着。所以,这是一个容易被大家所忽略的问题。因此,在企业气体能源计量管理中,建立完整、适用的企业的流量计算标准和模型、验证在用计量仪表计算软件是否准确,是一个非常重要的工作。

目前,主流的流量计算标准和模型主要有两种方式:

(1) 采用DCS/PLC系统信号采集与温压补偿

通过独立的信号采集终端将现场的差压、温度、压力等4—20mA信号汇聚到DCS/PLC系统中,通过特定的计算机语言编程进行数字解码和数据处理,增加相应的量程转换和温压补偿逻辑,从而流量测量的功能。

(2) 采用支持HART协议数字信号流量计算机

以往所用的4—20mA信号分辨率相对较低,并且容易受到干扰衰减等因素的影响,增加测量误差,影响测量结果的准确性。但是利用流量计算机就能够通过

HART协议直接完成变送器差压信号的获取,避免了信号采集中的误差,提高了差压测量的精度。

五、煤气科学计量考虑因素

(1) 湿度补偿对煤气准确计量的影响

湿度对煤气流量计量的影响及解决办法在国标GB/T 2624—81《流量测量节流装置》及GB/T 18215—2000《城镇人工煤气主管道流量测量》都有明确的描述,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。

干煤气密度计算:

$$\rho_{20} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \rho_{20i}}{\sum_{i=1}^N x_i}$$

设工作绝压为P1(MPa),工作温度为t1(℃),则:

$$T_1 = t_1 + 273.15(K)$$

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

ρ_{20i} : 煤气中 i 组分在标况下 (20℃, 0.101325MPa) 密度

ρ_{20} : 标况干煤气密度 Nkg/m^3

ρ_{g1} : 工况干煤气密度 kg/m^3

$$\rho_{g1} = \rho_{20} \frac{P_1 - \phi_1 P_{s\max}}{0.101325} \frac{293.15}{T_1} \frac{1}{Z_1} + \phi_1 \rho_{s\max} (\text{kg/m}^3)$$

度:

ρ_{1} : 工况干煤气密度 kg/m^3

工况湿煤气的相对湿度 (%)

$\phi_1 P_{s\max}$, $\rho_{s\max}$: 工况水蒸气的最大可能蒸汽压力, 最大可能蒸汽密度

$P_{s\max}$, $\rho_{s\max}$: 是这样确定的, 当 $t_1 \leq 100$ (℃), 且管道压力 (绝) 大于 1

大气压时 $P_{s\max}$ 就等于饱和蒸汽压力, $\rho_{s\max}$ 就等于饱和蒸汽密度。

注: 测量中, 常采用干煤气代替湿煤气的密度, 该情况下的测量就会产生误差,

特别是温度越高、误差就越大。

(2) 湿度的换算

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, 中间还可能存在着其他设备, 因此, 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。

已知某一状态下的湿度, 求另一状态下的湿度, 按照下面的公式进行计算:

$$\phi_1 = \phi_2 \frac{P_{T_2} \rho_{2s\max}}{P_2 T_1 \rho_{1s\max}} = \phi_2 \frac{P_{T_2} P_{2s\max}}{P_2 T_1 P_{1s\max}}$$

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

(3) 煤气工况流量计算

$$q_{vm} = q_{v1} \frac{P_1}{0.101325} \frac{T_n}{T_1} \frac{Z_n}{Z_1}$$

煤气的工况流量计算与煤气密度有关, 对于干煤气计算时直接用干煤气的密度进行计算, 对于湿煤气的流量就用湿煤气的密度进行计算

干煤气的标况流量计算公式:

式中: 角标为 1 的代表工况参数, 角标为 n 的代表工况参数。

$$q_{vm} = q_{v1} \frac{P_1 - \phi_1 P_{s1\max}}{P_n - \phi_n P_{sn\max}} \frac{T_n Z_n}{T_1 Z_1}$$

湿煤气的标况流量

计算公式:

式中: 角标为 1 的代表工况湿参数, 角标为 n 的代表工况湿参数

$$q_{vng} = q_{v1} \frac{P_1 - \phi_1 P_{s\max}}{0.101325} \frac{T_n}{T_1} \frac{Z_n}{Z_1}$$

标况湿煤气中干煤

气部分流量的计算公式:

式中: q_{v1} : 工况湿煤气流量; q_{vng} : 工况湿煤气中干煤气部分的流量;

工况煤气的相对湿度; $P_{s\max}$: 工况水蒸气的最大可能蒸汽压力

ϕ_1 因此, 标况湿煤气中干煤气部分的量为已知量, 可以把它换算成工况湿煤气的量,

$$q_{v1} = q_{vng} \frac{0.101325}{P_1 - \phi_1 P_{s\max}} \frac{T_1}{T_n} \frac{Z_1}{Z_n}$$

换算公式为:

当同一标况内, 湿煤气中干煤气部分的量换算成工况湿煤气量时, 煤气量会因为湿度波动而出现明显变化, 并且温度越高, 煤气量变化就越大。

而在标况时煤气中干部分流量不变的条件下, 夏冬季节所测得的流量结果会出现明显差值。因此在测量湿煤气流量时需要进行密度补偿以及湿度补偿。以上计算结果表明在湿煤气中水蒸气对煤气流量测量的准确性影响很大, 因此煤气流量测量中加入了湿度补偿的修正, 用于干煤气计算, 这样才使煤气计量做到科学、准确。

六、结束语

综上所述, 煤气计量作为钢铁企业气体能源计量中最重要的环节, 需要从使用过程中的实践经验出发, 通过分析钢铁企业煤气计量中存在的难点, 从而选择合适的流量计类型, 尽可能消除因煤气质量、工艺环境、计量器具配置等带来的计量误差, 并不断优化计量算法, 能使得能源的计量更加精准, 能源的利用更加高效, 促进企业在节能减排、降本增效方面不断取得实效。

参考文献:

- [1]王秀纯,范锺利,兆春民.浅谈冶金企业煤气平衡[J].中国冶金, 2005, 15(8):728.
- [2]唐新义.三钢煤气平衡基本思路与原则[J].福建能源开发与节约, 1999, (04):17-19.
- [3]鹏程.应用系统节能观点做好钢铁企业煤气平衡[J].中国能源, 2000, (8):37-38.
- [4]孙贻公.大型钢铁联合企业煤气平衡与清洁生产[J].能源技术, 2002, 23(5):215-217.
- [5]黄乐天.梅钢煤气平衡及对策初探[J].宝钢技术, 2002, (5):55-59.