

浮子流量计在线校准不确定度分析

徐榕培 蔡锐波 林 轩 陈玮娴 (广东省揭阳市质量计量监督检测所, 广东 揭阳 522031)

摘要: 以高精度超声波流量计为标准器, 选取适当管路位置对浮子流量计进行在线比对校准, 减少设备拆卸安装、搬运过程的人力消耗和停工停产的损耗, 避免介质流失污染和器具损耗, 高效便捷地完成了浮子流量计的量值溯源, 满足用户了生产、质量控制的需求。

关键词: 超声波流量计; 浮子流量计; 在线

1 前言

浮子流量计是企业生产、科研过程常见的流量计量器具之一, 也是一种使用历史较为悠久的计量器具。浮子流量计广泛应用于以气体、液体等流动态为介质的工业流量测量, 具备构造简单、造价经济实惠、稳定性能良好等优势而被广泛应用。浮子流量计使用过程中安装于生产工艺管路通道中, 实时监测指示数据, 定期溯源拆卸送检必然在某种程度上影响用户正常工作开展, 并且拆卸安装过程流程繁琐, 容易造成介质流失污染及管道接口损坏^[1]。本方法通过分析超声波流量计在线比对^[2]的不确定度, 确保便捷、高效地对浮子流量计完成在线溯源校准, 可满足用户生产科研的质量保证需求, 同时提高检测效率, 具有明显的经济价值和社会效益。

2 工作原理

超声波流量计主要是应用超声波脉冲在介质流动过程中顺逆流传播速度的差异进行测量^[3], 其准确度等级为 0.5 级。配套游标卡尺测量管道外径和超声波测厚仪测量管道壁厚。

3 校准结果不确定度分析

以一台稳定性良好的浮子流量计 (编号: 15324, 介质: 水, 准确度等级: 4.0 级, 型号规格: DN25、(40~400)L/h) 为分析样本进行不确定度分析。

3.1 数学模型

$$e = \frac{Q - Q_A}{Q_A} = \frac{Q}{Q_A} - 1, \quad Q_A = v \times S, \quad S = \frac{\pi \times D^2}{4}, \quad D = L - 2\delta$$

式中: e —被校流量计的相对示值误差, %; Q —校准时被校流量计的流量值, m^3/h ; Q_A —标准器示值, m^3/h ; v —标准器流速示值, m^3/h ; S —标准器安装位置管道通道截面面积, m^2 ; L —管道外径, m ; D —管道内直径, m ; δ —管道壁厚, m 。

根据不确定度传播定律可得出:

$$u_{tc} = \sqrt{u_c^2(Q) + u_c^2(Q_A)} = \sqrt{c_1^2 u_c^2(Q) + c_2^2 u_c^2(v) + c_3^2 u_c^2(S)}$$

3.2 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial e}{\partial Q} = \frac{1}{vS} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial e}{\partial v} = -\frac{Q}{v^2 S} = -1, \quad c_3 = \frac{\partial e}{\partial S} = -\frac{Q}{vS^2} = -1$$

3.3 输入量的标准不确定度评定

不确定度分量包括被检流量计引入的不确定度 $u(Q)$; 标准装置引入的不确定度分为标准器允差引入的不确定度 $u(v)$ 和管道内直径测量引入的不确定度 $u(L)$ 。

被检流量计引入的不确定度 $u(Q)$ 可分为测量重复性引入的不确定度 $u_1(Q)$ 和被检流量计读数分辨率引入的不确定度 $u_2(Q)$ 。

3.4 测量不确定度评定

3.4.1 测量重复性引入的不确定度 $u_1(Q)$

在校准方法规定的条件下对浮子流量计进行 300L/h 点进行 10 次校准, 其校准结果如下:

表 1 浮子流量计校准结果

次序	1	2	3	4	5
结果 x (m^3/h)	0.305	0.305	0.310	0.305	0.305
次序	6	7	8	9	10
结果 x (m^3/h)	0.305	0.310	0.305	0.305	0.305

测量结果算数平均值:

$$\bar{x} = 0.3060 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

实验标准差:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{10 - 1}} = 0.002108 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

因实际测量过程中进行 3 次检测, 故标准不确定度:

$$u_1(Q) = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.001217 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

3.4.2 被检流量计读数分辨率引入的不确定度 $u_2(Q)$

被检流量计最小分度值为 $0.010 \text{ m}^3/\text{h}$, 其分辨率为 $0.005 \text{ m}^3/\text{h}$, 半区间宽度为 $a = 0.0025 \text{ m}^3/\text{h}$, 区间内呈均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_2(Q) = \frac{a}{\sqrt{3}} = 0.001443 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

由于测量重复性引入的不确定度 $u_1(Q)$ 测量出的数据可以认为包含了检流量计分辨力引入的误差, 被检流量计读数分辨率引入的不确定度 $u_2(Q)$ 明显大于测量重复性引入的不确定度 $u_1(Q)$, 故最终只取被检流量计读数分辨率引入的不确定度 $u_2(Q)$ 作为被检流量计引入的相对标准不确定度, 即:

$$u_r(Q) = \frac{u_2(Q)}{\bar{x}} = 0.001443 / 0.3060 = 0.472\%$$

3.4.3 标准器允差引入的相对不确定度 $u_r(v)$

标准器超声流量计为 0.5 级, 其分辨率引入的不确定度远小于其误差引入的不确定度, 故忽略不计, 流速测最大允许误差为 $\pm 0.5\%$, 半区间宽度 $a = 0.5\%$, 区间内呈均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_r(v) = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.289\%$$

3.4.4 管道内截面积测量引入的相对不确定度 $u_r(Q)$

管道内截面积测量引入的不确定度包括管道内直径测量引入的不确定度 $u(L)$ 和管道壁厚度测量引入的不确定度 $u(\delta)$ 。

管道内直径测量引入的不确定度 $u(L)$:

管道外直径用游标卡尺测得管外直径为 30.58mm, 其测量不确定度 $U=0.01\text{mm}$, $k=2$, 则:

$$u_1(L) = \frac{0.01/1000}{2} = 0.000005 \text{ (m)}$$

管道外周长测量时, 管道油漆层厚度、锈蚀和管道均匀度等因素引入的不确定度约 0.00008m, 区间内呈均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_2(L) = \frac{0.00008}{\sqrt{3}} = 0.00004619 \text{ (m)}$$

$u_1(L)$ 与 $u_2(L)$ 互相独立切灵敏度系数为 1, 故:

$$u(L) = \sqrt{u_1^2(L) + u_2^2(L)} = 0.00004646 \text{ (m)}$$

管道壁厚测量引入的不确定度 $u(\delta)$:

超声波测厚仪测得厚度 $\delta = 2.77\text{mm}$, 其测量引入的不确定度可从测厚仪证书中获得, 测厚仪分辨率为 0.01mm, 最大误差为 $\pm 0.05\text{mm}$, 区间内呈均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_1(\delta) = \frac{0.05/1000}{\sqrt{3}} = 0.00002887 \text{ (m)}$$

由于管道油漆层厚度、管道表面不规则、管道积垢等因素引入的不确定度结果约为 0.05mm, 则:

$$u_2(\delta) = \frac{0.05/1000}{\sqrt{3}} = 0.00002887 \text{ (m)}$$

$u_1(\delta)$ 与 $u_2(\delta)$ 互相独立切灵敏度系数为 1, 故:

$$u(\delta) = \sqrt{u_1^2(\delta) + u_2^2(\delta)} = 0.00004028 \text{ (m)}$$

管道内截面测量引入的相对不确定度 $u_r(S)$:

根据计算公式可得出:

$$u_r(S) = 2u_r(D) = \frac{2u(D)}{D}, \quad u(D) = \sqrt{u^2(L) + 4u^2(\delta)}$$

则:

$$u(D) = \sqrt{u^2(L) + 4u^2(\delta)} = 0.00009300 \text{ (m)}$$

$$u_r(S) = 2u_r(D) = \frac{2u(D)}{D} = 0.608\%$$

3.5 合成相对标准不确定度的评定

表 2 标准不确定度汇总表

符号	不确定度来源	输入相对不确定度	灵敏系数 c_i	合成不确定度的贡献 $ c_i u_i $
$u_r(Q)$	被检流量计	0.472%	1	0.472%
$u_r(v)$	标准装置	0.289%	-1	0.289%
$u_r(S)$	管道内截面测量	0.608%	-1	0.608%

故合成标准相对不确定度:

$$u_{rc} = \sqrt{u_r^2(Q) + u_r^2(v) + u_r^2(S)} = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2} = 0.822\%$$

3.6 扩展相对不确定度的评定

取包含因子 $k=2$, 在线校准结果的扩展不确定度为:

$$U_{rel} = 2u_{rc} = 1.6\% \quad (k=2)$$

综上所述, 结合现场实际校准情况进行测量的分析结果, 在线校准结果的扩展不确定度 U_{rel} 略大于 1/3MPE, 在确保现场具备合适宜稳定的环境条件下, 使用高精度超声波流量计在线对浮子流量计进行校准具有较高的实际应用价值。现场环境条件、标准器安装状态、管路分布及介质流动状态等对实际测量结果都具有较明显的影响, 实际测量应尽可能进行调整比较, 以获取较为合适的测量数据。使用在线校准的方法, 不但节约时间、人力及损耗, 在线校准一定程度上更贴近浮子流量计实际使用的状态, 能够更客观测量出实际使用过程中流量计的数据。

参考文献:

[1] 姜继生. 水流量仪表在线校准方法研讨 [J]. 计量与测试技术, 2012, 39(1): 24-26.

(上接第 248 页) 合程度。实验数据表明: 在保温时间不断增加的前提下, 焦炭的微晶层间距是先减小而后增加。当保温时间处于 2.5h 时, 焦炭层间距最小, 石墨化度最高。

2.4 升温速率的影响

2.4.1 对焦炭质量的影响

原料为干燥的配合煤, 炼焦终温设定为 1150℃, 保温时间设置为 2.5h, 同时设定不同的升温速率, 在这一实验条件下进行炼焦试验。经实验得到了以下结果: 当升温速率持续增加, 焦炭的抗碎强度和反应后强度的状态是先增加而后减小, 耐磨强度和反应性的状态是先减小而后增加。抗碎强度和反应后强度的最大值为 87.7% 和 54.1%, 耐磨强度和反应性的最小值为 9.6% 和 32.4%, 这四项最值都是在升温速率为 2.5℃/min 的情况下产生的。以 2.5℃/min 为区分点, 当升温速率没有达到这一状态时, 煤料的黏结性增加, 焦炭的冷/热强度都会产生优化; 当升温速率高于这一状态时, 焦炭裂纹增加, 冷热强度都会下降。

2.4.2 对焦炭微晶结构的影响

由实验数据显示, (002) 峰整体状态为先增加而后保持基本不变, 这表明了升温速率的增加, 让焦炭的定向程度更好; (100) 峰的整体没有明显的变化, 这表明了升温速率的增加, 不会影响焦炭的缩合程度。实验数据表明: 在升温速率不断增加的前提下, 焦炭的微晶层间距是先减

小而后增加。当升温速率处 2.5℃/min 时, 焦炭层间距最小, 石墨化度最高。

3 结论

经过本次实验, 得出了以下结论: ①焦炭质量的改进, 可以通过优化炼焦加热制度的方式来开展。焦炭的抗碎强度、反应后强度与炼焦的加热制度有着直接的影响, 当加热制度处于增加状态时, 前者的状态时先增加后减小; 与此同时焦炭的耐磨强度和反应性在加热制度增加的状态下, 会呈现出先减小后增加的情况; ②加热制度影响着焦炭的微晶结构, 这一影响也是比较直接的。焦炭的微晶层间距在加热制度增加的状态下, 呈现出降低的态势, 同时石墨化程度和焦炭结构强度是增加的状态; ③ 5kg 焦炉的标准下, 要想达到焦炭质量的最优化, 炼焦终温需为 1150℃、保温时间需为 2.5h、升温速率需为 2.5℃/min。

参考文献:

[1] 杜庆海, 王超, 王旭, 赵锋, 肖泽坚. 加热速度对焦炭质量影响研究 [J]. 鞍钢技术, 2020(03): 11-15.
 [2] 张雪红, 石隆基, 薛改凤, 魏编. 干燥煤炼焦对循环氨水用量和剩余氨水产生量的影响计算 [J]. 煤化工, 2020, 48(02): 57-59+63.
 [3] 王伟. 炼焦煤干燥预热的研究 [J]. 化工管理, 2020(07): 156-157.