

科里奥利质量流量计零点漂移分析及解决对策

吴步坤*

(广东省惠州市质量计量监督检测所, 惠州 516000)

摘要: **目的** 解决科里奥利质量流量计零点漂移问题。**方法** 采用基于 Prolink 工控软件的零点校准方法, 对型号为 CMF 的质量流量计进行了计量检测并对其进行调零, 获得了示值误差及重复性等数据。**结果** 调零前, 测得科里奥利质量流量计的示值误差为 -0.85%, 经计算存在零点漂移。在经过调零校准后, 流量计的示值误差为 -0.12%, 计量性能符合准确度等级所规定的要求。**结论** 使用 Prolink 工控软件对流量计进行零点值调整后, 可消除零点漂移对流量计相位差偏移的影响, 从而提升流量计的计量准确度。

关键词: 科里奥利质量流量计; 零点; 零点漂移; 计量; 校准

The zero-point drift analysis and solutions of coriolis mass flowmeter

WU Bu-Kun*

(Guangdong Huizhou Quality & Measuring Supervision Testing Institute, Huizhou 516000, China)

ABSTRACT: Objective To solve the zero drift problem of Coriolis mass flowmeter. **Methods** The zero calibration method based on Prolink industrial control software was used to measure and zero the CMF mass flowmeter, and data on indication error and repeatability were obtained. **Results** Before zeroing, the reading error of the Coriolis mass flowmeter was measured to be -0.85%, and it was calculated that there was zero drift. After zero calibration, the indication error of the flowmeter is -0.12%, and the measurement performance meets the requirements of the accuracy level. **Conclusion** After using Prolink industrial control software to adjust the zero value of the flowmeter, the influence of zero drift on the phase difference offset of the flowmeter can be eliminated, thereby improving the measurement accuracy of the flowmeter.

KEY WORDS: coriolis mass flowmeter; zero point; zero point drift; measurement; calibration

0 引言

科里奥利质量流量计 (coriolis mass flowmeter, CMF), 是一种基于流体在振动管道中流动时产生的科里奥利效应来直接测量质量流量的高精度仪器。而科里奥利质量流量计作为一种能够直接测量质量流量的计量器具, 其具有高精度、可靠性高、测量范围广等优点, 已成为现代工业质量流量测量的重要仪器。

质量流量计的零点漂移是一个常见的引起质量流量偏差的问题, 通常由多种因素引起, 包括工艺原因、安装不规范等因素, 环境温度的变化也可能通过影响密度从而影响最终的流量。实际中通常使用调整零点、调整小流量切除值、打开段塞流功能等手段来解决, 以确保测量仪器的准确性和可靠性。本文提出一种解决零点漂移的方法, 通过使用高精度的静态质量法水流量标准装置对科里奥利质量流量计测量获得实验数据, 通过分析并计算出零点偏差的偏移值, 结合实际中通过 Prolink 工控

软件输入零点修正值对科里奥利质量流量计进行调零, 从而消除零点漂移对科里奥利质量流量计计量性能的影响, 保证了流量计性能的可靠, 并就零点漂移原因和解决方案展开讨论。

1 材料与方法

1.1 仪器

科里奥利质量流量计 (CMF400 型号, 艾默生过程控制流量技术有限公司)。

1.2 科里奥利质量流量计的工作原理

当流体以恒定流速通过振动管道时, 测量管在力的作用下发生摆动, 从而产生正弦波。两侧的检测器将检测到不同相位的信号。流量变送器通过测量左右两侧正弦波之间的时差, 并乘以流量标定系数, 便可确定流体的质量流量, 此时差与质量流量成正比。流量为零时, 两根管道同相地发生振动。有流量时, 科里奥利力促使管道发生弯曲, 从而引发相偏移。工作原理图如图 1 所示。

* 通信作者: 吴步坤, 助理工程师, 检定员, 研究方向为流量计量。E-mail: 1346863749@qq.com

* Corresponding author: WU Bu-Kun, Assistant Engineer, Inspector, Guangdong Huizhou Quality & Measuring Supervision Testing Institute, Huizhou 516000, China. E-mail: 1346863749@qq.com

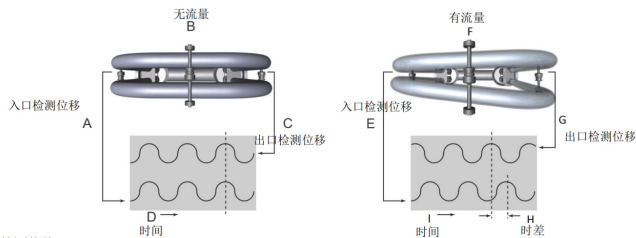


图1 原理图

Fig.1 Schematic diagram

固定在管道两臂上的检测传感器，其产生的正弦波形的感应电动势在管道形变的作用下，会出现正比于管道形变大小的相位差。根据 $F=ma$ ，通过检测相位差的大小，可推导出质量流量的大小。质量流量计算公式为^[1]：

$$Q_m = \text{Flow.Cal} \times (\Delta t - K_{zero})$$

式中： Q_m 为质量流量；Flow.Cal 为流量计流量标定常数，表示每产生 $1 \mu s$ 相位差时所对应的质量流量； Δt 为相位差； K_{zero} 为流量计在无流量时的相位差。在实际使用中，一旦科里奥利质量流量计管道之间固定的用力不均匀，就会导致传感器法兰和管道中心轴不在同一轴线上，最终引起检定误差^[2]。

1.3 方法

检定装置为静态质量法水流量标准装置，在关闭装置阀门后，按照调零的流程我们先关闭被测流量计出口端调节阀，再关闭入口段调节阀，静置 10 min，确保介质处于完全静止状态。待流量计中的流体稳定下来后再进行调零，确保介质处于完全静止状态，避免管道中的涡流或振动影响调零结果。调零期间应观察流量计显示密度是否稳定，无论流量大小，理论上密度都应处于一个稳定值。调零可以连续进行两次或多次，如果活零点值最终稳定在一个很小的数值，且零点标准偏差在一定范围内波动，则可认为调零成功，如图 2。

而传统的调零方法是无法量化的，基于 Prolink 工控软件的调零方法可以通过计算零点漂移产生的相位差，对科里奥利质

量流量计进行调整，实际操作中将相位差手动输入 Prolink 的零点值栏后进行应用，待活零点流量稳定后进行调零。

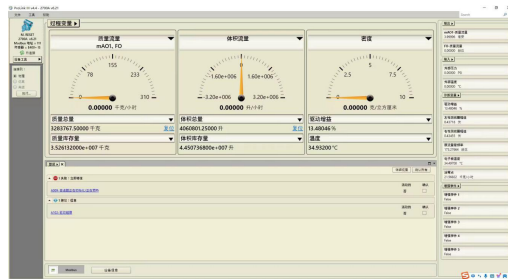


图2 Prolink 操作界面

Fig.2 Prolink operating interface

2 结果与分析

2.1 零点漂移对流量计的影响及调零

以一台生产自艾默生的 CMF400 型号的 0.15 级科里奥利质量流量计为例进行实验，比较调零前后的数据来说明试验流量范围为 20~200 t/h，选用计量标准为精度 0.05 级的静态质量法水流量标准装置，检定介质为水。选取的流量点为 q_{max} 、 $0.5q_{max}$ 、 $0.2q_{max}$ 、 $0.1q_{max}$ 四个流量点，即 200、100、40、20 t/h。测得结果如表 1 所示。

表1 流量计的测试数据
Table 1 Test data of flowmeter

流量点(t/h)	示值误差(%)	重复性(%)
200	-0.10	0.01
100	-0.16	0.03
40	-0.42	0.07
20	-0.85	0.03

在排除了其他可能存在的因素外，示值误差随流量的增大而减小，这非常符合零点漂移的特征。接下来我们将所测得的误差乘以流量即可得到实际的质量流量差值，见表 2。

表2 计算并调整误差量
Table 2 Calculate and adjust the amount of error

流量(t/h)	调整前误差(%)	流量(g/s)	误差量(g/s)	调整量(g/s)	调整后误差量(g/s)	流量(g/s)	调整后误差(%)
200	-0.10	55555.6	-55.56	47.22	-8.333	55602.78	-0.01
100	-0.16	27777.8	-44.44	47.22	2.778	27825.00	0.01
40	-0.42	11111.1	-46.67	47.22	0.556	11158.33	0.00
20	-0.85	5555.6	-47.22	47.22	0	5602.78	0.00

将调整量带入各个流量点后会得到一组各流量调整后的误差量，即各流量点同时调整 47.22 g/s，因为零点漂移对各个流量点的影响是一致的。如果说现在存在一台 50 kg 零点漂移的流量计，那么理论上在每个流量点测得误差应该都存在 50 kg 的偏差。所以如果每个流量点都调整 50 kg 的话，理论上流量计的误差将降到允许误差范围之内。

从表 2 可知，在调整零点流量后，各流量点的误差均在流量计的允许误差范围内，即通过计算得到调整流量来调整零点的方式是可行的。通过质量流量计的工作原理可知，当测量管道中的介质完全处于静止状态时，其管道两侧的相位差理论上应该为零。

所以，以最小流量为基准所有流量点的调整量为 47.22 g/s，查得该流量计的流量标定系数为 4433.6，调整量除以流量标定系数后即可得到 0.01065 μs ，即零点需调整的相位差。

接下来我们将对流量计进行调零。在确保介质处于完全静止状态，0.01065 μs 手动输入 Prolink 的零点值栏后进行应用，待活零点流量稳定后进行调零。活零点流量稳定后便可以再次对其进行检测，测得结果如表 3 所示。

由表 3 可以看出，该质量流量计经过调零后，其各个流量点的示值误差和重复性均符合检定规程中对 0.15 级标准的要求。所以基于 Prolink 的零点调零方法对质量流量计进行调零能有效减低零点漂移引起的计量误差，使质量流量计数值更加精准。通过计算零点漂移所产生的相位差并进行调整的调零是有效可行的。

2.2 流量范围对误差的影响

规程中规定，检定流量点为 q_{max} 、 $0.5q_{max}$ 、 $0.2q_{max}$ 、 q_{min} 。其中 q_{min} 未指明具体的流量点，实际操作中可以选取 $0.1q_{max}$ 来表示。在实际操作中，我们会发现，选取一台量程为 0~200 m³/h

的科里奥利质量流量计，选择 $0.1q_{\max}$ 以下流量即 $0\sim 20\text{ m}^3/\text{h}$ 之间进行检测时，误差会逐渐变大甚至超出流量计自身的允许误差，即使该流量计本身计量性能良好。而当流量大于 $0.1q_{\max}$ 时，流量计的误差会开始减小，并逐步趋于稳定于某个数值附近。对 5 台相同规格的流量计进行检测，结果如表 4 所示。我们发现在调零前，即使流量计本身不存在较大的零点漂移，若选取的流量点较小，误差就可能超出检定规程对允许误差的要求。所以，在实际使用中，流量应尽量控制在 q_{\max} 的 20% 以上，以保持科里奥利流量计良好的计量性能^[3]。

表 3 调整后误差
Table 3 Error after adjustment

流量点(t/h)	示值误差(%)	重复性(%)
200	-0.08	0.02
100	-0.08	0.01
40	-0.10	0.01
20	-0.12	0.02

表 4 各流量计测试数据
Table 4 Test data of flowmeters

流量(t/h)	流量计 1	流量计 2	流量计 3	流量计 4	流量计 5
200	0.12	0.08	0.11	0.12	0.08
100	0.10	0.08	0.14	0.10	0.09
40	0.13	0.11	0.14	0.15	0.13
20	0.20	0.12	0.18	0.22	0.13

3 讨论与结论

3.1 零点漂移的概述及零点校准

在 ProLink 软件中，零点校准的流程被大大简化。操作人员只需按照软件提示的步骤进行，即可自动完成校零工作。这种便捷的操作流程使得零点校准工作变得快速且准确。软件通过精确地控制和计算，能够确保零点校准的结果达到非常高的精度，并且可保存上次的零点值，如果调零效果不理想可以调出上次的结果。可方便科研人员或工程师更有效地消除零点漂移对流量计的影响。

3.2 质量流量计零点及其产生的原因

质量流量计的零点，是指当测量管道内充满液体介质且流量为零时，所检测到的相位差的平均值。零点可以反映流量计的测量准确度，如果零点偏差较大，将直接影响到流量计的计量结果。零点漂移是影响科里奥利质量流量计测量精度和仪器性能稳定性的重要因素^[4-6]。零点产生的原因有很多。(1) 静电干扰：静电干扰是导致零点漂移的一个重要因素，尤其是在一些特定环境下，静电积累可能对传感器的电子元器件产生影响。(2) 温度和压力变化：质量流量计对环境的温度和压力十分敏感，这些参数的变化会直接影响流量计的测量结果，导致产生零点漂移。(3) 机械振动：质量流量计如果在测量过程中受到机械振动的影响，可能导致其内部传感器零部件发生微小位移，从而影响测量结果。(4) 安装不规范：质量流量计安装不规范可能会产生应力，这会导致零点产生偏移。

质量流量计零点漂移是一个复杂的问题，可能由多种因素引起。为了确保流量计的测量精度和稳定性，需要综合考虑环境因素、操作规范、流量计本身因素以及流体特性变化等多方面因素，并采取相应的处理措施，如减少静电干扰、避免外源性的机械振动等方法。通过定期校准、改善环境条件、规范操作、检查维护以及软件调零等方法可以有效地减少或消除零点漂移现象的发生^[7]。

3.3 质量流量计零点校准

零点漂移会直接影响质量流量计的计量性能，因此用于贸易计量的质量流量计，不能在使用期间调零。一般情况下，调零应在检定前进行，先进行调零，再进行检定。但如果质量流量计存在贸易纠纷，应先进行检定，保存好调零前的检定数据后，再进行调零，调零再次检定后保存数据。因为零点校准不像流量标定系数，为具体的量值，不便于溯源，所以调零前需与客户进行沟通，以免产生不必要的困扰。

如果想验证零点漂移对质量流量计计量性能的影响，则需要对流量计进行调零。调零期间应观察流量计显示密度是否稳定，无论流量大小，理论上密度都应处于一个稳定值^[9-10]。调零可以连续进行两次或多次，如果活零点值最终稳定在一个很小的数值，且零点标准偏差在一定范围内波动，则可认为调零成功。对于科里奥利质量流量计共有 3 种调零方法：变送器调零、HART 协议手操器调零以及利用 ProLink 软件调零。变送器和手操器调零简单快捷，适合日常操作。而利用 ProLink 软件调零，可以清晰直观地查看各种参数，如密度、流量标定系数、活零点流量等，操作简洁，方便查看相关参数。前两者有个共性都是等待流量计内流量静止时不产生振动再进行调零，无法量化的反应零点漂移和调零对流量计带来的影响。

长期存在的零点漂移会导致测量误差逐渐累积，影响后续的数据分析和处理。解决零点漂移可以及时消除这种误差累积，保证测量数据的连续性和准确性。科里奥利质量流量计使用十分广泛，测量数据的可靠性至关重要。本研究通过使用 ProLink 软件对流量计进行零点调零，可以确保流量计的准确性和可靠性，为后续的数据分析和决策提供有力支持。对各种情况制定具体的解决方案，能有效地消除科里奥利质量流量计零点漂移带来的影响。通过定期检查和解决零点漂移问题，可以及时发现并处理潜在的故障隐患，从而延长流量计的使用寿命，减少不必要的维修和更换费用，进而促进能源和化工行业企业的有序发展。

参考文献

- [1] 苏育豪. 艾默生质量流量计零点影响分析[J]. 石油工业技术监督, 2018, 34(07): 35-37.
- [2] 齐晓霞. 质量流量计的原理及应用[J]. 仪器仪表用户, 2016, 23(04): 44-46.
- [3] 耿丽媛, 李广. 影响科氏流量计测量精度的原因及处理措施[J]. 管道技术与设备, 2014, (01): 18-20.
- [4] 慕江源. 科氏质量流量计发展及应用现状[J]. 中国仪器仪表, 2011, (07): 60-62.
- [5] 罗凡, 甘蓉, 赵普俊, 等. 科氏质量流量计传感器零点模型研究及应用[J]. 仪器仪表学报, 2021, 41(08): 15-23.
- [6] 王项杰. 流量计在工业生产中的应用[J]. 科技与企业, 2016, (08): 222.
- [7] 陈锦聪. 科里奥利质量流量计的测量原理及应用[J]. 青岛科技大学学报(自然科学版), 2015, 36(S2): 236-237.
- [8] 钱浩, 傅海斌, 陈野军, 等. 影响科里奥利质量流量计计量误差的常见因素及解决方案[J]. 上海计量测试, 2022, 49(06): 19-22.
- [9] 刘洁, 卢佳豪, 孔令飞, 等. 温度对科里奥利质量流量计零点漂移的影响[J]. 仪表与自动化装置, 2024, 39(06): 127-131.
- [10] 张浩. 科里奥利质量流量计检定中问题分析与处理[J]. 化工管理, 2016, (24): 70.

作者简介

吴步坤，助理工程师，检定员，研究方向为流量计量。