

作者：高准公司 TIMOTHY J. CUNNINGHAM

使用智能仪表自校验进行腐蚀检测：案例研究

技术信息

 www.micromotion.com

摘要

高精度科里奥利测量需使用内径相同的传感器流量管，且需该内径的精确值。随着时间的推移，流经流量管的腐蚀性介质会影响流量管的一致性，使其内径增大，同时使其刚度减小。此外，晶间腐蚀虽不会对流量管的内径造成影响，但会影响流量管刚度及其标定。在上述两种情况都会导致测量精度降低。

为最大程度地提高长期精度，应选择由具有最佳耐腐蚀性介质能力的材料制成的传感器流量管，同时应调整过程，使腐蚀作用降至最低。在采取上述措施以减轻腐蚀的情况下，使用智能仪表自校验功能可持续确保测量的完整性。

如果腐蚀作用不可避免，则应频繁运行智能仪表自校验程序，并进行趋势分析，以评估腐蚀进度并制定传感器寿命到期计划。

腐蚀问题

腐蚀对科里奥利仪表测量的影响

一般情况下，除非流量管在某些方面受损，否则科里奥利传感器的精度不会发生变化。腐蚀是受损形式之一，在某种程度上可进行预测和控制。

腐蚀的正式定义为金属或合金与环境之间产生相互作用而引起的退化。腐蚀表现为流量管材料的损耗，分为全面腐蚀、局部腐蚀和晶间腐蚀。

在全面腐蚀情况下，传感器流量管的厚度和质量以相当均匀的方式变薄、变轻。因此，传感器流量管的刚度和质量发生变化，因而工厂确定的流量和密度标定系数不再适用。开展现场标定也许能够对全面腐蚀进行弥补。但务必要确保流量管的变化不会对过程密封产生影响。

局部腐蚀（例如流量管内表面的点蚀或裂化）可导致流量管的刚度和质量更不规则且难以预测。此类损坏还会影响工厂标定系数的适用性。与全面腐蚀相同，如果局部腐蚀发展到疲劳开裂程度，则可能导致仪表故障。

晶间腐蚀是一种能够对晶界产生侵蚀的局部腐蚀，会引起穿透管壁的裂纹状缺陷。晶间腐蚀不会影响传感器流量管的内径，但会影响流量管刚度。

出现上述三种形式的腐蚀时，测量精度都会降低。然而，腐蚀及其影响都是逐步产生的，因此即使存在一定程度的腐蚀，还是有可能达到测量精度要求的。

腐蚀原因

与腐蚀相关的主要因素包括：

- 过程介质与流量管材料的组合
- 过程介质的浓度
- 流量和温度等过程特性
- 过程条件变化，如温度波动、浓度变化或存在杂质
- 操作因数，如清洗液和清洗操作
- 过程介质中颗粒的加剧作用
- 传感器振动（循环负载）对局部腐蚀的加剧作用

上述因素以非线性方式相互作用。例如，某种介质在某一特定温度和流量以下可能与某种流量管材料兼容，但当使用其他流量管材料时，则适用于不同的温度范围。

尽管传感器外壳或暴露在外的电子部件可能或受到周围环境的影响，但总体而言，周围环境并不属于传感器流量管腐蚀的相关因素。



预防或控制腐蚀的方法

预防腐蚀的最佳实践包括：

- 分析过程：被测介质、温度、流量等
- 选择最适合过程的材料
- 将过程控制在可接受的限值范围内
- 管理清洁和转换等操作因素

许多管道系统在设计时仅考虑了全面腐蚀情况。有人认为管道所选用的材料也适用于传感器流量管，这种想法是错误的。选择传感器流量管材料之前，请参阅

高准腐蚀指南。

部分过程中，腐蚀不可避免。在此情况下，目标就是对其进行管理。在非腐蚀性过程中，高准传感器的使用寿命可能长达 10 年或更长。而在腐蚀性过程中，其使用寿命会缩短。在腐蚀性过程中，可通过监控腐蚀进度或监测测量精度，并在必要时更换传感器来实现科里奥利仪表测量的优势。接下来，我们将探讨腐蚀检测这一话题。

腐蚀检测

腐蚀检测存在固有的困难。传统的方法是在使用装置之前和之后分别对其称重，这种方法仅可检测出已出现的腐蚀，而无法确定腐蚀类型或位置。一种替代方法就是直接检查内表面，内表面上存在以下问题：

- 接近：如要使用孔径仪来检查内表面，您可能需要停止过程，拆卸传感器，并对传感器进行清洁、吹扫或去污。如采用其他类型的检查，您可能需要打开传感器外壳，甚至需切入传感器流量管，传感器基本上会因此被毁坏。
- 可见性：腐蚀的影响可能已达到晶间或分子层面，需使用专门仪表才可检测出。
- 仪表：腐蚀影响可能非常轻微，需使用极其灵敏的仪表进行检测。

使用高准公司研发的智能仪表自校验技术，无需拆除传感器即可检测出上述三种形式的腐蚀，即全面腐蚀、局部腐蚀和晶间腐蚀，即便是在被测介质流经流量管的情况下亦可。

智能仪表自校验工具可以一组已知频率驱动传感器流量管，分析响应情况，计算流量管刚度值，并将其与工厂基准值进行比较。智能仪表自校验工具对传感器响应的非常微小的变化都很敏感，且无需拆卸传感器和过程停机。

传感器出现故障的原因

曾有客户报告其高准 ELITE CMF200M 传感器出现的一个问题。他们发现其密度读数会随着时间的推移而出现偏差，且指出驱动增益不稳定。当时的被测介质为 60% 的硝酸，测量的平均温度约为 35°C。

可靠性工程实验室分析

高准可靠性工程实验室对上述传感器进行了初步检验和功能试验，结果如下：

- 无严重损坏或使用不当迹象
- 通过了高温功能试验
- 驱动增益稳定、合格
- 传感器输出稳定性良好
- 法兰两面及内部出现褪色现象：参见图 1

实验室随后对传感器进行了流量精度和密度精度试验。传感器在整个流量范围内的流量正误差约为 0.5%。流量正误差保持一致，流量管刚度降低。如上文所述，科里奥利传感器基本上不得出现 FCF 偏差。FCF 偏差表明传感器必定已受损。考虑到过程条件，传感器受损最可能的原因就是腐蚀。

密度测试表明误差约为 0.0035 g/cm³，且均为正误差。这还说明流量管刚度降低。密度标定可能会因涂层或腐蚀而出现偏差。如密度标定出现偏差，则必须对仪表进行进一步研究，并检查过程条件。

因此随后使用智能仪表自校验工具对仪表性能进行了评估。智能仪表自校验表明，传感器刚度与出厂值相比，减小了约 0.3%。

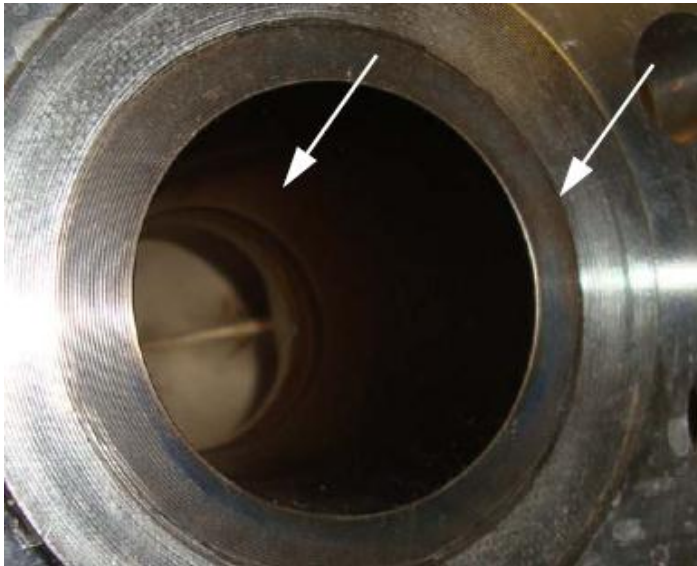


图 1：法兰褪色

这些细微偏差尽管处于规格限值范围内，但在统计上却很显著，表明流量管刚度的减小量大于 0.3%。

遗憾的是，无法获取传感器在使用期间的仪表校验数据。我们可以合理假设，如果存在上述仪表校验数据，则趋势将一目了然，客户因此能够在现场确定问题之所在，并及时采取校正性措施。

流量和密度标定发生显著变化，且仪表校验持续出现偏差，这表明传感器流量管必定产生了物理变化。综合考虑上述情况及法兰变色现象，腐蚀可能即为原因之所在。

冶金实验室分析

此时，传感器的外壳已被拆除，传感器被送至高准冶金实验室，以便对其流量通道进行破坏性分析。分析结果如下所述：

- 使用霍尔效应仪进行测量发现，传感器任意位置的壁厚均处于规定的限值范围内。
- 两处过程连接的接液流量通道中均出现明显变黑现象（如之前分析中所见）。
- 流量管内表面出现明显变黑现象。
- 摄影分析和电子显微照相分析显示，内表面呈现出网状类似裂纹的特征。腐蚀作用主要发生在晶界处，该处整颗晶粒从表面脱落（参见图 2）。

- 通过截面分析发现，晶间腐蚀深度已达到管壁厚度的 1.6%（参见图 3）。
- 金相分析表明，流量管材料或撑杆钎焊接头中无内在异常。
- 能量色散谱显示，传感器材料为规定使用的 316L 不锈钢。

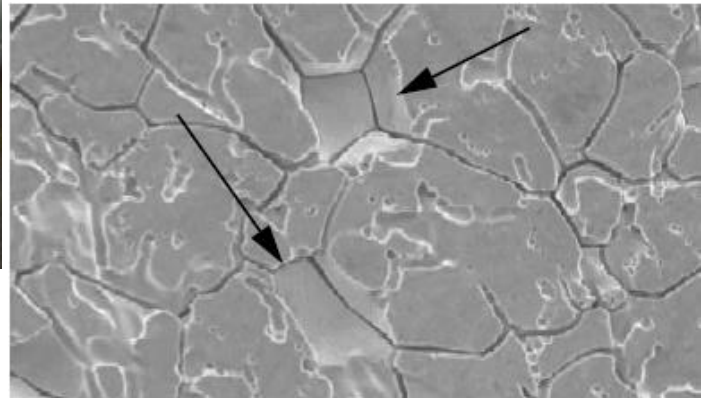


图 2：带有脱落晶粒的网状裂纹



图 3：截面分析所示的晶间腐蚀

试验结论

存在腐蚀损坏。按“高准腐蚀指南”所述，传感器流量管材料与所报告的过程条件不兼容，如图 4 中的突出显示行所示。（X = 不兼容）

科里奥利仪表的材料兼容性

介质名称	温度 (°C)		浓度 (%wt)		材料的兼容性					备注
	低	高	低	高	SS	HY	TZ	TA	TI	
硝酸 ⁽¹⁾	-18	10	0	75	O	O	O	O	O	304L O
硝酸 ⁽¹⁾	-16	10	75	100	O	O	O	O	O	304L O
硝酸 ⁽¹⁾	10	24	0	70	O	X	O	O	O	304L O
硝酸 ⁽¹⁾	10	24	70	100	O	X	O	O	O	304L O
硝酸 ⁽¹⁾	24	38	0	20	O	O	O	O	O	304L O
硝酸 ⁽¹⁾	24	38	20	50	O	X	O	O	O	304L O
硝酸 ⁽¹⁾	24	38	50	90	X	X	O	O	O	304L O
硝酸 ⁽¹⁾	24	38	90	100	X	X	O	O	O	304L X
硝酸 ⁽¹⁾	33	52	0	10	O	O	O	O	O	304L O
硝酸 ⁽¹⁾	38	52	10	40	O	X	O	O	O	304L O
硝酸 ⁽¹⁾	38	52	40	80	X	X	O	O	O	304L X
硝酸 ⁽¹⁾	38	52	60	100	X	X	O	O	O	304L X
硝酸 ⁽¹⁾	52	66	0	30	O	X	O	O	O	304L O
硝酸 ⁽¹⁾	52	66	30	70	X	X	O	O	O	304L O
硝酸 ⁽¹⁾	52	66	70	100	X	X	X	O	O	304L X
硝酸 ⁽¹⁾	66	80	0	20	O	X	O	O	X	304L O
硝酸 ⁽¹⁾	66	80	20	45	X	X	O	O	X	304L O
硝酸 ⁽¹⁾	66	80	45	55	X	X	X	O	X	304L O
硝酸 ⁽¹⁾	66	80	56	100	X	X	X	O	X	304L X
硝酸 ⁽¹⁾	60	93	0	45	X	X	O	O	X	304L X
硝酸 ⁽¹⁾	60	93	46	100	X	X	X	O	X	304L X
硝酸 ⁽¹⁾	93	163	0	100	X	X	X	O	X	304L X

图 4: 硝酸的材料兼容性数据 (取自“高准腐蚀指南”)

尽管对于这种不兼容材料是如何被投入使用的，高准无从得知，但由于用户将通用型备用仪表用于特定应用中，此类错误还是会时不时出现。

如“高准腐蚀指南”中所述，更适于用作传感器流量管材料的有钽、钛、带有乙基聚四氟乙烯衬里的 316L 不锈钢或 304L 不锈钢。

此外，智能仪表自校验工具还可用于监测测量性能和检测腐蚀进度。如果该应用中采用了智能仪表自校验工具，则腐蚀情况有可能会被及早检测出，且材料不兼容问题也会得到校正。客户将能够在测量精度降至不可接受的水平之前以及“传感器故障”实际发生之前制定好传感器更换计划。智能仪表自校验工具不会对测量过程产生干扰，且其中包含一台调度器，因而无需操作员的干预。ProLink II 具有的趋势预测功能可确保在一段时间内轻松进行跟踪。

智能仪表自校验工具适用于该过程中的任何传感器，尤其适用于已知与被测介质不兼容的传感器。

最佳实践

对于可能产生腐蚀作用的过程，高准建议采取以下措施：

- 选择传感器时，参阅“高准腐蚀指南”。
- 就“高准腐蚀指南”中所谈论的因素对您的过程进行分析。
- 提供过程变化裕量。
- 聘请高准兼容性专家帮您检查过程和传感器选项。
- 定期运行智能仪表自校验程序。根据您的特定过程和被测介质制定计划表。
- 出现任何过程扰乱或可疑事件后均应运行智能仪表自校验程序。
- 如果预计会产生腐蚀作用，或已知传感器必定会出现故障，则请勿依赖智能仪表自校验算法中的 4% 故障报警功能。此时应使用趋势预测和其他统计技术来观察传感器响应的变化。

使用智能仪表自校验工具让您的传感器发挥最大功效

如此案例研究中所述，智能仪表自校验对微小影响非常敏感。即使传感器满足智能仪表自校验算法的 4% 规格限值的要求，结果持续出现偏差也应使客户意识到出现了问题。

智能仪表自校验无需过程停机，也无需拆除传感器。内置的调度器使用户能够根据需要频繁执行试验，而无需操作员的干预。ProLink II 具有的趋势预测功能可帮助客户预测并在需要时做好更换准备。此外，20 个最新试验结果可存储于装置中，可用于客户首选的数据分析程序中。

智能仪表自校验是一款非常有效的腐蚀检测工具，但其用途不仅限于腐蚀检测。智能仪表自校验可检测侵蚀作用、传感器流量管的意外损坏以及可影响测量精度的多种其他情况。

实际上，如果传感器未通过智能仪表自校验试验，则在短期内，与确定传感器不合格的原因相比，恢复测量精度、使过程正常进行可能更为重要。就此处介绍的客户案例而言，智能仪表自校验将足以确定是否需要更换传感器。开展大量的实验室试验仅出于诊断目的。

概要

腐蚀是导致测量误差和传感器故障的可能原因之一。在部分情况下,可采取措施防止产生腐蚀;在其他情况下,最佳解决方案是对腐蚀情况进行监测并制定传感器更换计划。

由于各种原因,仅采用标准技术方法来监测腐蚀情况是不够的。高准研发的智能仪表自校验工具可通过非侵入式试验来检测传感器流量管的腐蚀情况以及其他类型的损坏。智能仪表自校验程序可定期运行,无需操作员的干预。实践证明,智能仪表自校验工具可检测到的最小变化达到 0.3%。

作者

Timothy J. Cunningham 是高准公司的首席工程师。他曾任应用研究团队的技术和项目主管,将基于刚度的仪表校验技术推向市场。他在高准科里奥利流量计的研究、分析、设计和试验方面拥有超过 20 年的丰富经验。**Timothy J. Cunningham** 具备结构力学、有限元分析、数字信号处理和计算机辅助工程专业背景。

关于其他信息

“高准腐蚀指南”可从高准网站获取。

下文阐述了腐蚀作用对不同材料的影响:

- Berry, Gerry. “Strategies for Proper Material Selection.” *Flow Control*, 2007 年 3 月, 第 XIII 卷, 第 3 版。

高准网站上发布了以下关于仪表校验的白皮书:

- Cunningham, Timothy J. *Using Structural Integrity Meter Verification to Track Corrosion in Coriolis Flowmeters*. 高准白皮书: WP-001196。
- Cunningham, Timothy J., Chuck Stack, and Chris Connor. *Using Structural Integrity Meter Verification to Verify Coriolis Flowmeters*. 高准白皮书: WP-00948。

以下论文探讨了仪表校验和流量管刚度:

- Cunningham, Timothy J. *An in-situ verification technology for Coriolis flowmeters*. 论文发表于 ISSFM 7, 2009 年 8 月。
- Cunningham, Timothy J. *Allow Coriolis Meter Verification to reduce your ERCDD Directive 17 Proving Costs*. 论文发表于 CSHM 2010。

 www.micromotion.com

© 2012 Micro Motion, Inc. 版权所有。

Micro Motion 和 Emerson 标志是艾默生电气公司的注册商标和服务商标。Micro Motion、ELITE、MVD、ProLink、MVD Direct Connect 以及 PlantWeb 均为艾默生过程管理子公司的标志。所有其他商标归其各自所有者所有。

Micro Motion 所提供的本出版物仅作参考之用。虽然已尽力确保本出版物内容准确，但是本出版物并非对性能进行保证或对过程提出建议。对于本处所介绍之任何信息、产品和过程的准确性、完整性、及时性、可靠性以及有用性，Micro Motion 不担保，保证或承担任何法律责任。未经许可不得擅自使用。我们保留在任意时间修改、完善产品的设计和规格而不作任何通知的权利。如要获取实际产品信息或建议，请联系您的当地 Micro Motion 代表。

高准（美国）公司
全球总部
7070 Winchester Circle
Boulder, CO 80301
电话：+1 303-527-5200
+1 800-522-6277
传真：+1 303-530-8459

高准（欧洲）公司
艾默生过程管理
Neonstraat 1
6718 WX Ede
The Netherlands
电话：+31 (0) 318 495 555
传真：+31 (0) 318 495 556

高准（日本）公司
艾默生过程管理
1-2-5, Higashi Shinagawa
Shinagawa-ku
Tokyo 140-0002 Japan
电话：+81 3 5769-6803
传真：+81 3 5769-6844

高准（亚洲）公司
艾默生过程管理
1 Pandan Crescent
Singapore 128461
Republic of Singapore
电话：+656777-8211
传真：+81 6770-8003

