

使用结构完整性仪表在线自校验跟踪科里奥利流量计腐蚀

结构完整性仪表在线自校验在腐蚀应用中增值

高准科里奥利流量仪表用于多种应用中。在大多数应用中，流量计绝对不会发生磨损。然而，科里奥利流量计非常有效以至有时用于腐蚀应用，这样就只能维持一至两年。这种腐蚀会降低流量仪表测量流量和密度的精度。管壁的磨损同样会造成安全危害。关于更多在腐蚀环境中使用科里奥利流量计的信息，请参阅白皮书 #00992：《因为发生腐蚀 — 材料选择的最佳实践》。

结构完整性仪表在线自校验 (SIMV) 是高准支持的性能，使客户可以对流量和密度标定进行就地校验。校验流量和密度标定可以提高腐蚀应用中的精度。通常在这些应用中，SIMV 还校验流管的完整性，并能增强以基于日历约束的流量计的生命周期管理。

本白皮书描述了仪表在线自校验是如何在腐蚀性流体环境中用于监控流量计状态的。讨论了一次在高准进行的对刻意腐蚀并仔细标定的仪表的试验，证实确定了劲度与标定常数的关系。本书还讨论了仪表在线自校验的检测能力。最后，本书讨论了为什么使其他诊断参数、驱动增益和阻尼不反映流管的腐蚀情况。

科里奥利仪表背景

本书假定读者熟悉科里奥利流量计的操作。对密度和流量测量陌生的读者请先浏览高准网址，www.emersonprocess.com/micromotion，并运行 TUTOR 应用程序。

本书还假定读者熟悉高准结构完整性仪表在线自校验。需要有关仪表在线自校验的信息的读者可参考白皮书 #00948 — 《使用结构完整性仪表在线自校验检验科里奥利流量计》，该书提供了仪表在线自校验理论和操作的背景。

仪表在线自校验和流管劲度

请回忆一下，仪表在线自校验跟踪流管劲度并将其与在流量计标定时测量的工厂基准劲度比较。

仪表在线自校验评估流管有效段的情况。只存在于支管或管道非有效段中的腐蚀不会影响测量或仪表在线自校验测量的劲度。

上文所述的白皮书说明了管道劲度如何与流量标定系数 (FCF) 及密度测量相关。科里奥利仪表没有移动部件和流体不会腐蚀流管的事实导致管道劲度不变。人们希望在大多数应用中管道劲度不会发生变化。这种稳定的管道劲度意味着原始的、基于工厂的流量和密度标定在仪表整个使用寿命中保持正确。

仪表在线自校验显示了劲度在仪表使用寿命中与工厂基准劲度一致，加强了标定的稳定性。通过监控和比较当前劲度与工厂劲度，可以确定密度和质量流量的测量是否正确。当使用一种清洁、相容的流体时，管道的尺寸和材料属性不会从工厂状态改变。

当科里奥利流量计用于不相容的、腐蚀性流体，情况发生了变化。这些腐蚀性的流体会蚀刻管壁。工程力学定义了管道劲度取决于流管的尺寸和几何结构。管道尺寸、管壁厚度和形态决定了总体劲度。管壁被蚀刻时，管道劲度就改变了。

理解管道劲度如何被腐蚀性流体影响对在这些应用中减少停工期及保持测量准确非常重要。

仪表在线自校验在腐蚀性环境中的运用

科里奥利流量计适合大多数应用中的过程流体。通常一个科里奥利仪表的使用寿命超过 10 年。在其使用寿命中，科里奥利流量计不会改变流量和密度标定。这种稳定性是科里奥利仪表的性能之一。

在一小部分市场中，科里奥利流量计用于没有兼容的流管材料的腐蚀性环境。在这些应用中，科里奥利仪表有时被损坏，每 6 至 24 个月就需要更换。在这些环境中，腐蚀性流体与金属流管发生反应，一些反应会真的“腐蚀”掉管道并降低管壁厚度。这种材料的减少会引起质量流和密度测量错误。最坏的情况是，管壁腐蚀非常严重以至形成一个管道缺口。

为量化这些不利条件的影响，高准进行了一些测试，在测试中刻意腐蚀流管壁并跟踪劲度和标定的变化。这些测试的结果深入阐述了流量和密度测量与仪表自校验结果间的关系。

试验结果

高准使用了一种强酸来腐蚀科里奥利流量仪表。我们使用了王水，这是一种腐蚀性非常强的硝酸与盐酸的混合物，与不锈钢流管不兼容。在仅仅五分钟内，该酸就对管壁造成了严重的腐蚀。这种在流管壁上的腐蚀降低了劲度并改变了标定。

我们又继续腐蚀了仪表四次。每次腐蚀重复时，我们多次在空气和水中进行仪表在线自校验跟踪劲度。我们同样在每次腐蚀重复时进行流量和密度标定。

图 1 显示了仪表在线自校验结果，绘制了仪表被腐蚀时劲度变化的百分比（也被称作仪表在线自校验“劲度不确定度”）。该图表显示了空气和水中的仪表在线自校验。同预料的一样，图表中的数据证实了对过程流体而言，劲度没有差别。

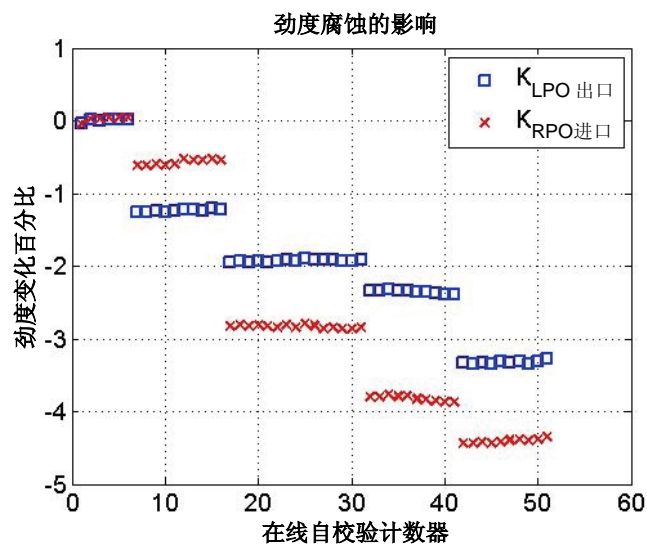


图 1 劲度改变与腐蚀

前几个数据点是在仪表被腐蚀前在线自校验得出的。劲度与工厂基准没有区别。

第二套数据点显示劲度损失了大约 1%。仪表在线自校验计算拾感器入口和出口的劲度，如图 1 所示分别用红色的 x 和蓝色方块表示。

对于第一次腐蚀重复，我们碰巧使酸反向流动。当我们准备均匀地腐蚀仪表时，可以发现拾感器出口 (LPO) 的劲度减少多于拾感器入口处。因为反向流动，拾感器出口实际上是拾感器入口的上游。这个数据表明了仪表上游侧的腐蚀确实多于下游侧。

然后我们再次腐蚀仪表，这一次使流动方向正常，重复在线自校验和检定。这次可以发现拾感器入口 (RPO) — 当前是拾感器上游 — 腐蚀情况比拾感器下游严重。尽管我们不能使仪表均匀腐蚀，我们可以重复在仪表上游侧较严重腐蚀的作用。

接着我们又重复了两次这个过程。可以发现腐蚀继续，劲度降低了大约 4%。

在讨论劲度对标定因素的影响之前，让我们先讨论仪表在线自校验对劲度变化的检测能力。

仪表在线自校验的规格界限和错误警报

熟悉仪表在线自校验的读者知道劲度不确定度的规格界限是 $\pm 4\%$ 。参见图 1，只有最后一组腐蚀条件超出规格。那么，我们如何证明可以在其他腐蚀条件下，所有数据点在规格内时，检测劲度变化呢？

让我们从为什么规格界限是 $\pm 4\%$ 开始。观察图 1 中的数据，可以发现每组腐蚀条件下的数据变化很小。这些数据是在实验室条件下获取的，也就是说，小流量，低压，稳定的流体和环境温度。在实验室条件下，劲度测量的变量优于精度规格。

客户可在温度和温度梯度不稳定、压力变化大和流动噪声巨大的现场条件下收集仪表在线自校验数据。仪表在线自校验补偿温度，但温度梯度可能造成由于残余的未补偿的温度误差而导致劲度判断的偏离或变化加大。压力会引起等同于密度对压力影响的实际劲度变化。这是劲度测量没有对压力进行补偿。较高流量（大于额定流量的 60%）下的流动噪声会极大地扩大劲度测量的标准偏差。我们不能对这种流动噪声补偿测量。

考虑到所有的这些场效应，我们将在整个场效应范围内的劲度不确定度的 3 σ 变化量化为 4%。

因为希望仪表标定不发生变化，所以需要将错误警报降到最少，即在仪表没有发生变化时却指示发生了变化。因此，当规格界限为 4% 时，只会出现约为 0.1% 时间的错误警报。因为 FCF 的稳定性，相比检测一个真正的劲度变化，我们更关心错误警报。

通过进行一系列的在线自校验，用户可以运用许多统计方法评估劲度平均值是否发生变化。读者可能熟悉趋势分析、t- 检验和统计过程控制等。这些方法使得除运用严格的规格界限方法外可以检测小的变化。所有的这些方法依赖于获取一组数据点而不是一个单独的测量。

仪表在线自校验检测能力

对于这些腐蚀测试，高准精确地在每组腐蚀条件下获取一组测量。然后我们应用统计方法显示了劲度确实是在每组腐蚀条件下发生变化。统计方法显示变化巨大，尽管其仍小于 4% 的规格界限。

图 2 显示图 1 中的数据被绘制成有误差线的平均值，指出了变化。我们为这些误差线选择三个标准偏差。这种 3 σ （三西格玛）方法在统计学中很常见，包括了约 99.9% 的数据变化。

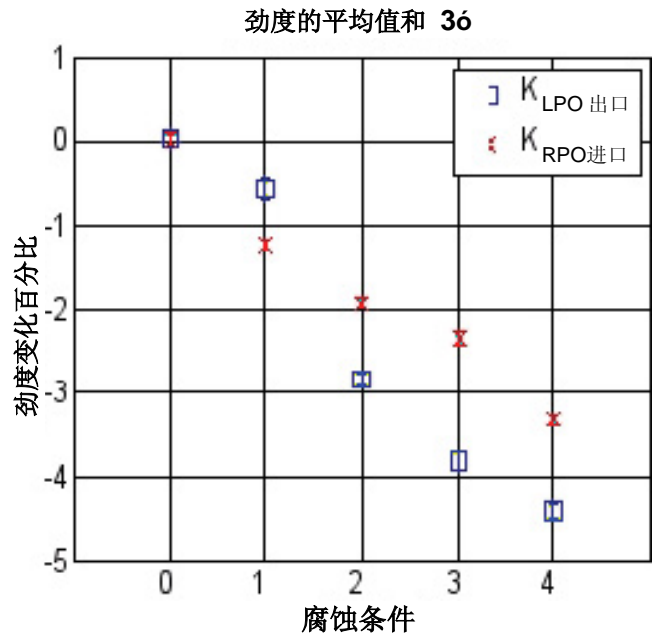


图 2 劲度变化的平均值和误差线

没有使用统计方程，图 2 的误差线显示在我们的测试条件下数据变化大约 0.1%，与流量计的精度规格一致。该图用有力的统计数据明确显示劲度在每组腐蚀条件下都发生变化。图 2 还显示了拾传感器入口和出口腐蚀情况不同。

讨论过规格界限和检验能力，让我们回头去研究腐蚀引起的劲度变化对标定的影响。

劲度变化与流量标定因素 (FCF) 变化有关

每次腐蚀后，都对仪表进行流量和密度标定。图 3 标出了相对于劲度变化百分比的 FCF 变化百分比。注意，图中的右检测和左检测劲度都被标绘出来。该图显示当劲度下降，FCF 也下降。一个较小的 FCF 意味着给定流量会有更多的流量信号，例如会认为管道变薄。

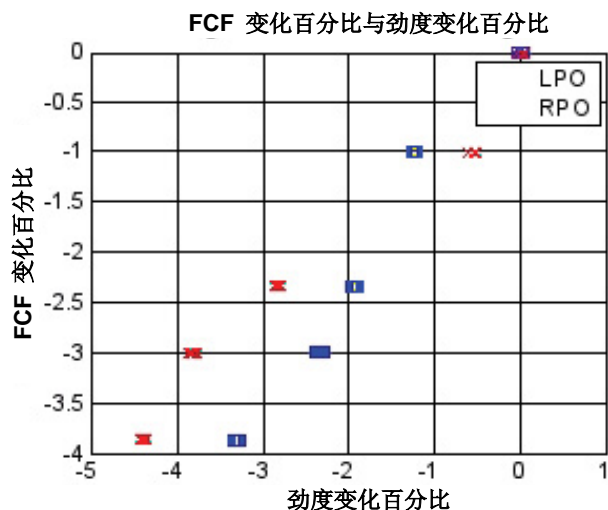


图 3 FCF 变化与劲度变化

图 3 显示 FCF 变化与劲度平均值变化有 1:1 的对应关系。因为劲度变化不均匀，所以认为不会出现这样 1:1 的对应关系。

图 3 显示仪表在线自校验可检测到流量标定因素非常小的变化。

FCF 变化如何引起质量流量误差?

腐蚀引起的 FCF 减小当然会导致质量流量误差。图 4 显示了质量流量一般误差百分比与质量流量图表。可以发现，在所有情况下腐蚀都会导致流量正误差，符合管道变薄和 FCF 减小。观察图表更多的细节，质量流量误差显示了流量标定因素变化和零点变化的混合效应。如果只有 FCF 发生变化，在每组腐蚀条件下，质量流量误差都是水平的直线。如果只有零点误差，高流量数据会接近零误差而低流量数据会偏离显示零点变化的影响。

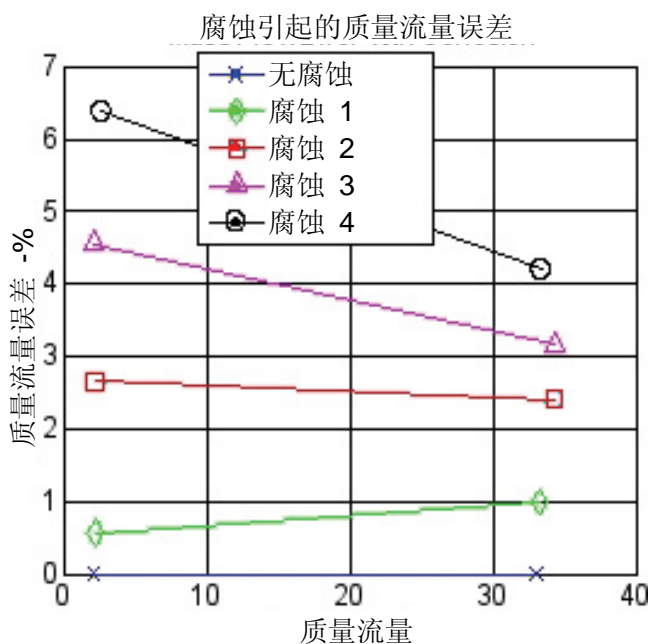


图 4 质量流量误差与质量流量

因为已在两种质量流量下测量质量流量误差，我们可以区分流量标定因素变化的影响与腐蚀引起的零点偏移的影响。图 5 显示了在 10 ns 有腐蚀引起的零点偏移。

零点偏移的影响不在本书讨论的范围内。这足以说明腐蚀的不均匀性导致流管的不匀称，破坏了精确加工的流管的统一标准。这种不匀称对零点有一定的影响，尽管影响较小。

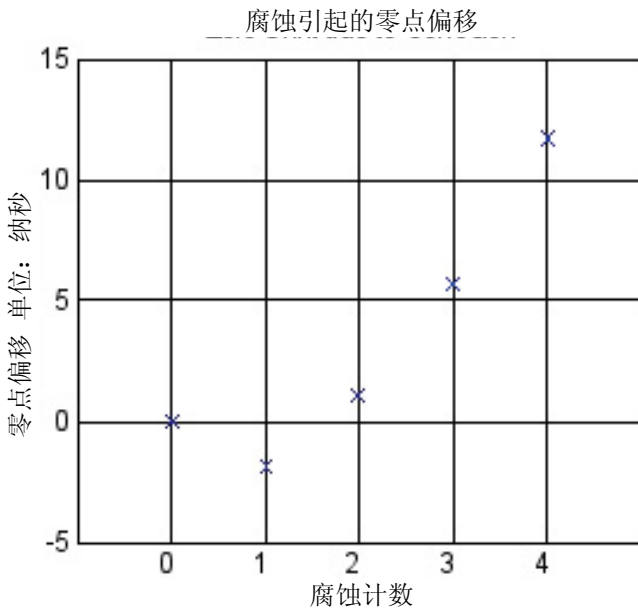


图 5 腐蚀引起的零点偏移

现在来关注腐蚀引起的密度测量变化。

腐蚀引起的密度变化

熟悉科里奥利密度测量的读者知道这是一种不依赖质量流量测量的单独测量。温度补偿瞬时频率读数用于测量流体密度。等式 1 显示频率与劲度除以总质量的平方根成比例。密度测量假定劲度与流管质量不变化，并且所有频率变化均由流体质量变化导致。密度测量一个隐含的假设是流管的内部体积也不发生变化。

$$\text{频率} \propto \sqrt{\frac{\text{劲度}}{\text{质量}_{\text{管道}} + \text{质量}_{\text{液体}}}}$$

等式 1 频度与劲度和质量的关系

然而，在我们的腐蚀案例中，违背了这些假设条件。对管壁的刻蚀改变了管道的劲度、质量，并因为管壁厚度减少导致内部尺寸加大而造成内部体积改变。这种内部体积加大的附效应造成了密度测量的附加误差。

让我们更加深入地研究腐蚀对密度测量的影响。因为频率是密度测量的一个基本参数，我们绘制腐蚀引起的频率变化与劲度变化的图。图 6 将右检测和左检测劲度变化的平均值作为横坐标。取这两个值的平均数可以更好地测量腐蚀引起的动态结构变化，因此与频率变化关联更自然。图表标出了腐蚀引起的空气中频率变化和水中频率变化。如果流管只用劲度发生变化，由等式 1 可以得知 4% 的劲度减少会导致大约 2% 的频率加大。图 6 表明频率变化小于 -1.5%。如上所述，管道质量也会减少。管道质量减少会使频率加大，部分抵消了腐蚀造成的减小。

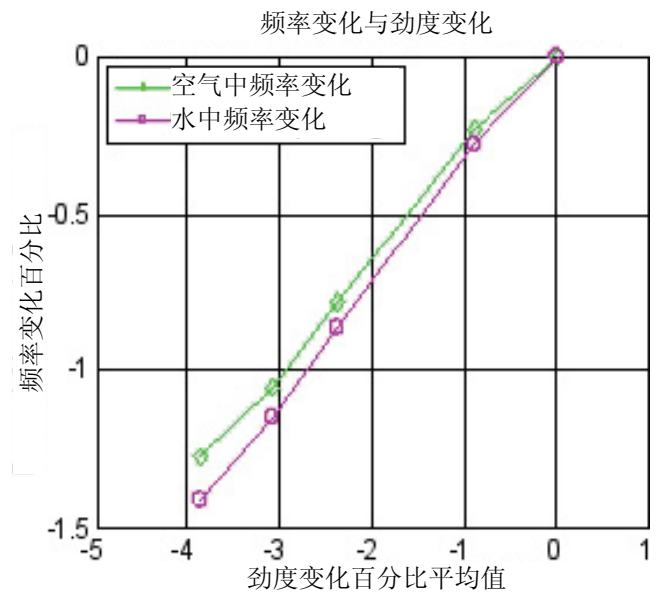


图 6 频率变化与劲度变化

请同样注意空气中频率的减小少于水中频率。这种频率变化的差别表面管道体积发生了变化。管道体积的增加使流体质量变大，从而导致管道频率减小，减小的幅度大于空气填充的管道。

劲度变化引起频率减小符合工程直觉知识。现在让我们在图 7 中将这变化与密度测量误差联系起来。横坐标同样为劲度变化的平均值。但现在我们可以发现密度误差与劲度减小成正比，与频率减小相关。图 7 标绘了水和空气中的密度误差，单位为克/立方厘米。

科里奥利仪表的使用者会发现对于气体的密度解决方案不是非常好，所以在实际应用中空气密度误差没有意义，但在这里却用于说明劲度变化的影响。如上所述，我们运用统计方法得出了一个可靠的空气密度测量误差。同样请注意，密度误差的数值取决于传感器尺寸。这个数值有代表性，但却可能因传感器尺寸不同而不同。

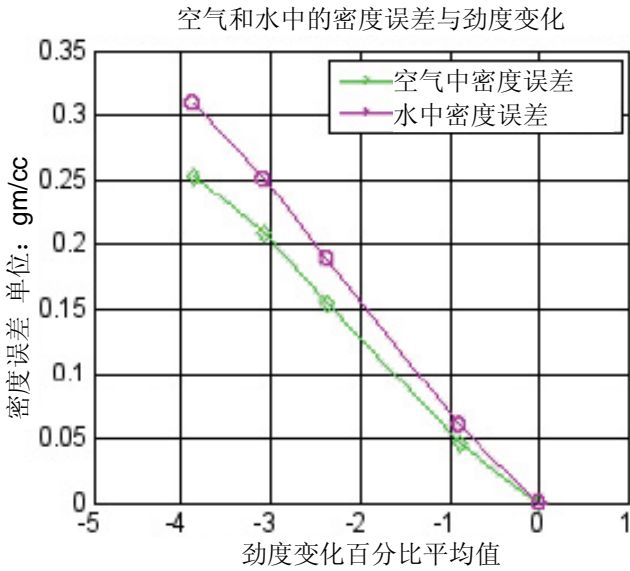


图 7 密度误差与劲度变化

再次发现由于管道体积加大，水中密度误差大于空气中密度误差。也许很奇怪，很小的 4% 的劲度减小造成了很大的 0.3 gm/cc 的密度误差，水中的密度误差为 30%。但这些数字是正确的，是密度测量的物理过程固有的。

这包括了对腐蚀影响过程参数测量的讨论。我们已经说明了劲度是如何与流量和密度测量直接联系，以及劲度的这些变化是如何直接影响这两个测量的。这种劲度和标定之间的直接关联使得仪表在线自校验是检测腐蚀的一个很好的方法。

人们曾经认为阻尼测量是检测腐蚀的好方法。但在试验中我们没有发现这种情况属实。

驱动增益或阻尼预示腐蚀吗？

讨论阻尼通常也需要了解驱动增益。驱动增益是共振时测量的驱动线圈的电流，该线圈产生力使流管振动。驱动增益因为对过程流体极端敏感，所以成为很好的空气携入的诊断途径。然而，因为驱动增益的变化很可能映射过程流体变化，这种对过程流体的敏感性使驱动增益不能很好地检测腐蚀。再次重申，过程条件的诊断途径不一定有好的设备诊断能力。

我们在进行腐蚀测试时跟踪驱动增益。图 8 显示，在仪表被腐蚀的整个在线自校验过程中，驱动增益基本不变。还表明正如预料一样，驱动增益随过程流体变化而变化，在水中稍微大于在空气中。

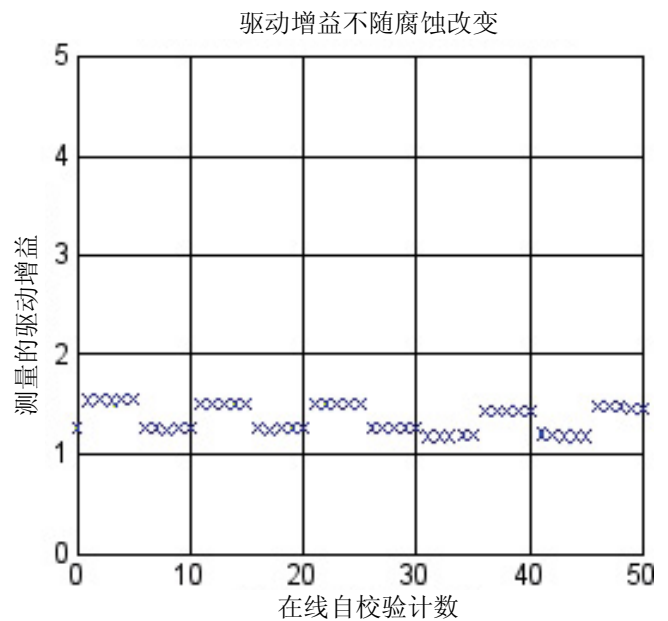


图 8 驱动增益与在线自校验计数

这种仪表在线自校验的数学算法要求评估阻尼系数。图 9 标绘了腐蚀测试中标准阻尼变化。因为阻尼跟踪驱动增益，我们发现阻尼在水中略微高于在空气中，与图 8 中的驱动增益图相符。但是请注意，阻尼系数不随腐蚀改变。

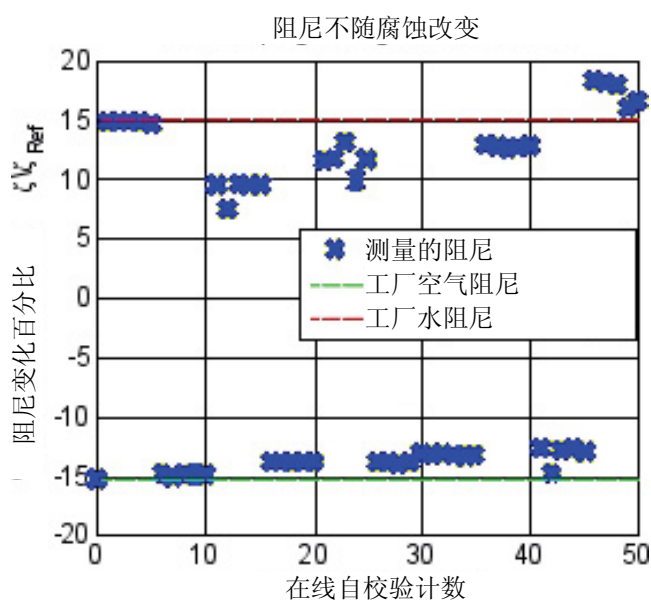


图 9 阻尼变化与在线自校验计数

因为阻尼不是很好的流管变化的诊断途径，又对过程条件非常敏感，高准选择不在于仪表在线自校验用户界面介绍它。

总结

结构完整性仪表在线自校验使客户可以监控科里奥利质量流量计的物理状态。大多数情况下我们认为流管的物理状态不会随仪表的使用寿命退化。然而，我们已经表明在腐蚀条件下，仪表在线自校验可以很好地检测流管变化。

本书讨论了为什么仪表在线自校验的规格界限被定为 4%。说明了如何通过仪表在线自校验的统计数据，在 4% 的水平以下仍然能检测到变化。

本书还讨论了为什么驱动增益和阻尼不是理想的检测腐蚀的诊断途径。

流量、密度测量和管道劲度间的直接关系意味着劲度的变化会导致过程测量的误差。在腐蚀条件下使用科里奥利流量计的客户可以用仪表在线自校验跟踪仪表工作状态，保持测量的准确性并确保仪表的完整性。

 www.micromotion.com

© 2009 高准公司 保留所有权利

Micro Motion 和 Emerson 标志是艾默生电气公司的商标和服务商标。Micro Motion、ELITE、MVD、ProLink、MVD Direct Connect 和 PlantWeb 均为艾默生过程管理家族中某一公司的商标。所有其它商标均为各自公司之资产。

高准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，但是我们并非进行性能索赔或过程建议。高准不但保或保证所介绍之任何信息、产品和过程的准确性、完整性、及时性、可靠性以及有用性，也不对其承担任何法律责任。我们保留对产品规格随时更改或改进的权利。如有更改，恕不另行通知。如要获取实际产品信息或建议，请联系您的当地高准代表。

艾默生过程控制有限公司
上海市浦东新区新金桥路1277号
邮编：201206
电话：86-21-2892 9000
传真：86-21-2892 9001
服务热线：400-820-1996（免费）

北京办事处
北京市朝阳区雅宝路10号
凯威大厦十三层
邮编：100020
电话：86-10-5821 1188
传真：86-10-5821 1100

广州办事处
广州市东风中路410-412号
健力宝大厦2107室
邮编：510030
电话：86-20-8348 6098
传真：86-20-8348 6137

艾默生过程控制流量技术有限公司
江苏南京江宁区兴民南路111号
邮编：211100
电话：86-25-5117 7888
传真：86-25-5117 7999

