

## 使用结构完整性流量计校验技术校验科里奥利流量计

## 增强型核心处理器成就了流量计校准的新校验方法

流量测量装置最常见的维护操作是校验其校准情况。例如，通过校验增压变送器的零位值和范围值来检查孔板流量测量。不幸的是，这不是流量测量校准，它仅仅是一种简单的校验，校验增压测量这一组成部分是否处于容差范围内。

高准科里奥利流量计被广泛应用，特别是因为它们的校准一直非常稳定。尽管如此，校准仍需要定期校验，例如校验其是否符合 ISO 要求。为了满足这种客户需要，高准引入了一种称为结构完整性流量计校验的新技术。结构完整性流量计校验使用高准的新增强型核心处理器进行流量和密度校准的现场校验。结构完整性流量计校验是孔板增压校验的一种改进，因为结构完整性流量计校验能够校验流量管，也可以校验电子情况。

本文件旨在介绍结构完整性流量计的基础技术，同时回答某些常见的问题。

## 科里奥利流量计校准因数

了解如何进行流量计校验的第一步是检查科里奥利流量计如何测量流体密度和质量流量。

## 密度测量

科里奥利流量计可被认为是一种简单的弹性体系统（图 1）。流量管的质量加上流体的质量构成传感器的总质量。流量管发挥弹簧的功用。通过弹性体系统的频率测量密度。

简单弹性体系统亦即科里奥利流量计的特点是共振或振动的固有频率。共振频率与刚度同质量比值的平方根成正比，如等式 1 所示。

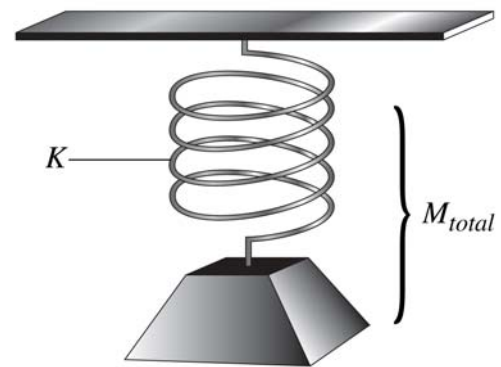


图 1 弹簧体系统

$$\text{频率} = \propto \sqrt{\frac{\text{刚度}}{\text{总质量}}}$$

等式 1

由于等式 1 的总质量由流体质量和流量管质量构成，可以重写等式 1，将流体质量独立出来，如等式 2 所示。等式 2 是所有科里奥利流量计进行密度测量的基础。科里奥利流量计得共振频率随着流体质量（密度）的改变而改变。因此，流体密度可以根据共振频率的变化来测定。同时要注意，等式 2 引入了其他两个参数，即刚度 (K) 以及流量管质量 ( $M_t$ )。这些参数必须保持一致，从而保证密度测量的准确性。

$$M_f \propto \frac{K}{f^2} - M_t$$

等式 2

等式 2 显示了流体密度测量与流量管质量和流量管刚度这两个流量管属性的关系。这些流量管属性对于该校验方法非常重要，以下将对它们进行简要说明。流量管质量是流量管制造材料的质量。流量管刚度（先前由弹簧刚度模拟）是一个参数，用于测量流量管相对于施加负载的位移。等式 3 是刚度  $K$  的简单等式。

$$K = \frac{\text{作用力}}{\text{位移}}$$

等式 3

### 流量测量

刚度也是一个质量流量测量的一个重要参数。图 2 给出了科里奥利流量计的简单示意图。在该图中，质量从左边进入单直管中，从右边出来，可通过速度矢量 ( $v$ ) 看出来。流量管在其共振频率下振动，图中流量管显示向上移动。从图中可看出，在入口侧，质量将抵抗流量管运动并对流量管施加一个向下的作用力。在出口测，情况刚好相反。流体的流动将增加因向上作用力而引起的流量运动。这两个作用力大小相等，方向相反，是给产品命名的科里奥利 (Coriolis) 力。

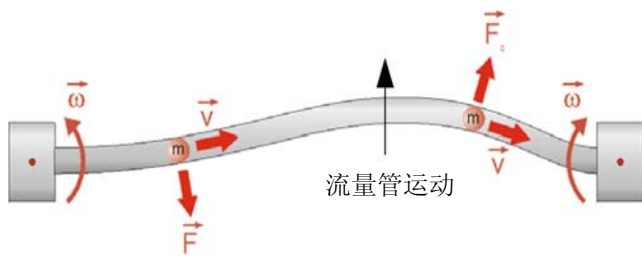


图 2 科里奥利“扭曲”

科里奥利力传递振动流量管上的附加位移。可以从图中看出，科里奥利力引起了中点周围的流量管“扭曲”。扭曲的量与科里奥利力（进而与质量流量）以及流量管的刚度成比例。质量流量测量以及密度测量的准确性取决于保持恒定的流量管刚度。

### 流量管刚度的确定

流量管刚度是保证流量和密度测量准确性的一个关键参数。这就引出了两个基本问题：如何测量流量管刚度以及可以改变流量管刚度的因素有哪些？

工程力学从管道尺寸和材料属性方面定义流量管刚度。流量管直径、壁厚以及总体几何结构是关键尺寸参数。很明显，大直径流量管的刚度要大于小直径流量管的刚度。如果流量管的直径相同，则增加壁厚将增加刚度。总体外形、高度以及宽度也会影响刚度。

材料属性也是影响流量管刚度的一个因素。钛管的刚度大于塑料管的刚度，而钢管的刚度要大于钛管的刚度。

设计新科里奥利流量计时，流量管直径和壁厚、总高度以及宽度和材料截面都必须仔细考虑。除了确定传感器的刚度外，这些属性还是确定传感器对质量流量和密度测量的敏感度的重要设计特点。

当一种清洁、相容的流体流动时，流量管的尺寸和材料属性不因工厂状态的改变而改变。如前面所述，流量和密度校准因数直接取决于流量管的刚度。因此，现场监控刚度就可以确定流量或密度测量性能是否降低。

### 对科里奥利流量计校准的冲击

在正常操作情况下，流量管属性不会改变，因而流量和密度校准因数将保持不变。然而，在某些工艺操作条件下，流量管属性可能会发生变化。腐蚀或侵蚀流量管的流体将改变流量管的壁厚。

- 当管道发生腐蚀情况时，总壁厚均匀减小。
- 侵蚀对管道入口侧的影响通常与对出口侧的影响不同，从而引起壁厚的缩减不均匀。

无论流量管材料的损耗是均匀还是不均匀，它都会引起流量管刚度的降低，使流量和密度测量都受到影响。为检测到出现腐蚀或侵蚀情况可能最终引起流量管破裂。

其他类型的损坏也可能改变流量管的属性。例如，高于传感器额定压力的流体压力会加大流量管的外径并改变总体几何外形。这种类型的损坏将改变流量管刚度，从而引起流量和密度测量的误差。

### 流量管刚度的测量

密度和流量校准因数对流量管刚度的依赖性已确定无误。与密度测量相同，刚度测量基于科里奥利流量计可以模拟为简单弹性体系统（图 1）这一前提。

假定向图 1 的质量施加一个依赖于时间的作用力（正弦）。该质量发生的位移（系统的运动）完全通过能量的守恒来测定。当弹簧拉伸时，它储存了势能。当质量移动时，它储存动能，给系统供给能量需要施加作用力。势能是弹簧刚度和位移的产物，而动能则是质量和加速度的产物。如果是正弦曲线运动，则加速度定义为振动频率的平方值乘以位移。此能量守恒可以表述为等式 4。

$$M \times D(t) \times f^2 - K \times D(t) = F(t)$$

等式 4

等式 4 中的  $M$  和  $K$  先前已被定义为质量和刚度， $D(t)$  为正弦位移， $F(t)$  为正弦作用力。等式 4 的首项是系统的动能（质量  $\times$  加速度）。第二项为系统的势能（力  $\times$  位移）。等式右边表示系统的能量输入。

通过等式 4 可以观察到三个有趣的问题。在  $f \approx 0$  这样一个很低的频率下，动能基本上为零，而等式则简化为对刚度的定义，先前定义为力与位移的比值（等式 3）。在  $f$  趋向于无穷大这样一个很高的频率下，动能处于支配地位，而等式 4 则成为牛顿运动定律的表达式（质量  $\times$  加速度 = 力）。观察到的最后一点是，存在动能和势能相等的一个频率。该频率称为共振频率，它是密度测量的基础（等式 1）。

从等式 4 中我们可以看出，弹性体系统的运动随着激发频率的不同而不同，它取决于该系统的质量和刚度。由于科里奥利流量计作为简单弹性体系统进行工作，以下一点也很明显：在多种频率下引入一个作用力并监视发生的位移，这样就可以测量科里奥利流量计的刚度。这一点毫无疑问，而且它是基于刚度工作的校验工具的基础。

图 3 显示了科里奥利流量计相对于不同频率下恒定作用力而发生的位移。科里奥利流量计的刚度与零频率下的位移相对应。该曲线的波峰与共振频率相对应；该频率就是需要极小力来维持振动的频率。需要产生图 3 所示曲线的所有工作是在若干频率下引入一个作用力。从切实可行的立场而言，使用接近于共振频率的力最容易，因为需要产生运动的这个力和能量很小，可以基于此响应对零频率下的刚度进行评估。这实际上是进行刚度测量的基础，它通过图 3 中的测试音加以说明。

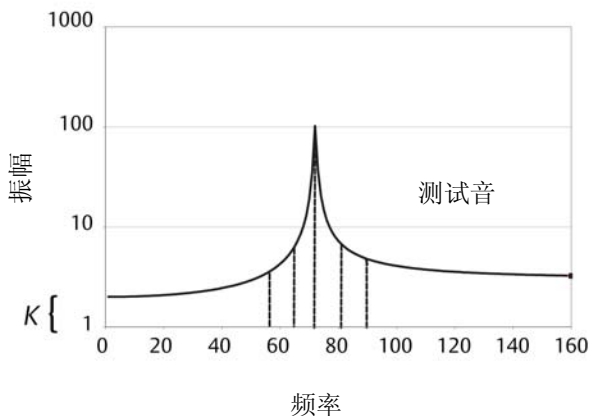


图 3 频率响应功能

## 检测校准随着结构完整性方法的变化

已证明流量计的校准因数取决于流量管的刚度，而通过流量计校验的结构完整性方法可以非常准确地测出此刚度。这一信息如何检测校准因数的变化呢？流量计校验的结构完整性方法在高准工厂的校准过程中开始使用。结构刚度的基准值从高准的常规流量和密度校准过程中得出。该基准值被称为“工厂”刚度测量值。

将流量计安装完毕后进行的现场客户校验与基准值进行比较，从而确定刚度是否与工厂值有所不同。刚度的变化表明质量流量和密度测量已受到影响，应执行验证或重新校准程序。

验证程序包括将高准流量计的流量输出与另一个测量装置进行比较。这种二级流量校准器可以是石油工业常用的校准装置，也可以是一种著名的优良标准仪表。有时也使用称重等其他精度较低的测量方法。

重新校准涉及到主要流量标准 — 通常为独立的实验室或高准工厂。

刚度的变化也可能表明需要检查流量计的物理完整性。出现的腐蚀、侵蚀或损坏可能导致刚度的改变。流量计的物理完整性可利用管道镜通过目视检查的方法进行检查。

## 流量计校验确认准确的密度和流量测量

通常情况下，对于绝大多数的应用而言，科里奥利流量计在其使用寿命内不会发生改变。流量计可在符合工厂准确度要求的情况下在现场运行 10 年以上而不会出现校准变化。显示刚度发生变化的流量计校验可确认流量计符合流量和密度准确性的工厂规范。此外，当流量计校验通过时，客户可确信流量管的物理完整性未遭到损坏。

如果传感器因腐蚀或侵蚀的影响而遭到损坏，将会检测到刚度出现变化。因为刚度与流量和密度校准之间基本上存在 1:1 的关系，刚度的变化将告知操作员需要对流量计进行验证。但是，应注意这种关系不是精确的，它取决于流量计的几何结构以及损坏的类型（统一损坏还是局部损坏）。

## 流量计校验期间的工艺操作条件

结构完整性的流量计校验基本上不需要什么特殊工艺操作条件。工艺流体的密度无关紧要，因为工艺流体的密度只对传感器的质量产生影响。刚度不受质量的影响。

流量计校验也对流体温度进行补偿。流量计校验工作将在流量计的整个指定温度范围内进行。

进行流量计校验时不需要停止流动。在特殊情况下，处于极高的流速时流动噪声会干扰流量计校验程序，此时需要降低流量。

尽管不必停止流动来进行校验，执行校验程序时仍不可获取过程变量。可以将过程变量设为默认值或报警值，或者将其设为校验期间可保持的最后值。

测量期间的过程稳定性非常重要。对过程稳定性的计算将可检查测量期间流速、密度或温度是否出现重大变化。快速的变化过程或环境条件可能导致校验无效。在重新进行校验前客户应确保过程工艺操作条件和环境温度达到平衡。

### 流量计校验期间的电子检查

为了进行准确的刚度测量，还需要电子装置或软件的正确工作。在检查流量管的刚度以前，流量计校验程序将对电子装置进行回送测试，测试期间输出直接转化为输入。因此，成功的校验不仅确保了结构没有发生变化，而且确保电子装置正常工作。

### 配置、零位及输出检查

即使电子装置和结构都正常，客户仍可能得出不正确的流量读数。如果校准因数或流量计因数出现偏离工厂设置的变化，流量和/或密度测量就可能出现误差。客户应确认变送器中的因数为出现有意或无意的变化。

即便校验通过，流量计重新调零不正确也可能导致流量测量不正确。在稳定条件下给科里奥利流量计正确调零非常重要。高准 ELITE® 科里奥利流量计仅在非常特殊的情况下才需要重新调零。

2.5 版或更高版本的 ProLink® II 进行的流量计校验会自动检查配置或零位的变化。如果检测到发生变化，客户将被告知。

输出接线和定标不通过流量计校验的方法来检查。从变送器到另一台装置的线路断裂将检测不到。毫安电流或频率的定标不正确也可能引起测量误差，而该误差将不能通过流量计校验的方法检测出来。ProLink® II 提供其他几种检查输出完整性的工具。

### 客户可获得的好处

结构完整性流量计校验利用一种简单而强大的工具校验流量计性能，并在安全、性能以及质量检查方面使流量计客户受惠颇丰。

结构完整性流量计校验帮助客户排除过程停机故障，降低设备维护成本，提高工产安全性。此外，经过校验的流量计性能使产品的质量更高，并减少了浪费及再加工。

### 概述

流量计校验的结构完整性方法利用运动的基础物理性，确保了高准流量计进行准确的过程测量。当与科里奥利流量计的固有可靠性相结合时，通过排除了传统上需要检查流量计性能而支付的成本和所做的工作，让客户的投资回报率达到最大化。

 [www.micromotion.com](http://www.micromotion.com)



高准 (Micro Motion) 支持 PlantWeb® 的现场结构, 是一种使用能共同使用的开放式装置和系统创建未来过程解决方案的不可不断该井的方法。

ELITE, ProLink, and the Micro Motion logo are registered trademarks, and MVD and MVD Direct Connect are trademarks of Micro Motion, Inc., Boulder, Colorado. The Emerson logo is a trademark of Emerson Electric Co. All other trademarks are property of their respective owners.

高准 (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, 但是我们并非进行性能索赔或过程建议。高准不担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。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  
中国流量中心: 800-8201996 (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 410-41 号  
健力宝大厦 2107 室  
邮编: 510030  
电话: 86-20-8348 6098  
传真: 86-20-8348 6137

#### 乌鲁木齐办事处

乌鲁木齐市西北路 39 号  
银都大厦 605 室  
邮编: 830000  
电话: 86-991-458 0605  
传真: 86-991-452 7551

#### 西安办事处

西安市长乐西路 8 号  
金花饭店 351 室  
邮编: 710032  
电话: 86-29-8325 5563  
传真: 86-29-8325 5076

