

ABB 公司借助数字孪生模型提升电磁流量计的性能

ABB 公司的流量测量产品反映了流量传感技术的最新发展动态, 他们借助新型的数字孪生工具实现了在虚拟环境中模拟真实的流量计, 从而能够预测电磁流量计的性能。这个以多物理场建模为基础的数字孪生工具实现了流量计设计的改进和在实际工况下的性能预测。

作者 **SUBHASHISH DASGUPTA** , **VINAY KARIWALA**

在过去的 10 年里, 新技术和数字化浪潮已经对液体相关的传统制造行业(如水和废水的运输和处理)产生了显著的影响。随着这些新兴的技术变得越来越实用并被人们广泛接受, ABB 公司的研究团队开始致力于为客户提供高性能、低成本的工具, 以帮助用户增强他们的竞争优势。数字孪生技术可以通过尽早检测物理问题并准确预测结果来实现这一目标。展望未来, ABB 正努力抓住机遇, 通过应用数字孪生技术改进流量计产品, 以应对各种工艺挑战。他们正以前所未有的速度迈向价值经营, 超越客户不断增长的期望。

⇒ 电磁流量计

要在整个生产过程中达到高性能标准, 离不开可靠精确的仪器。40 多年来, ABB 公司一直致力于产品开发, 提供系统解决方案和服务, 已经成为全球水行业的可靠合作伙伴。ABB 公司生产的电磁流量计精确耐用, 以其卓越的性能成为工业生产过程中的重要工具(图 1A)。

电磁流量计在 ABB 的流量测量产品

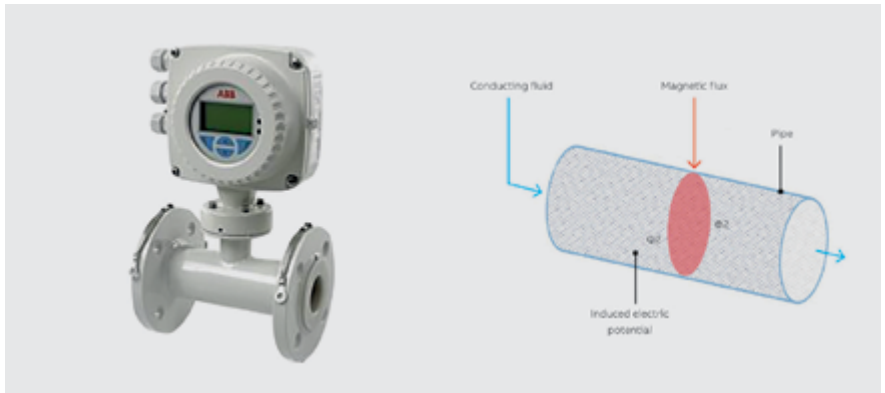


图 1. (A) ABB 公司的电磁流量计; (B) 磁通量与运动导电液体的相互作用产生的感应电势 (Φ_1) 与流体速度成正比 $\Phi_1 - \Phi_2$ 。图注: Conducting fluid - 导电液体; Magnetic flux - 磁通量; Included electric potential - 感应电势; Pipe - 管道

组合中占有重要的份额, 具有安装简单、几乎不产生压降、测量精度高等一系列独特的优势, 吸引着众多从事运输或处理导电液体的客户。不仅如此, 电磁流量计的性能不易受到温度、压力或密度变化的影响, 也不受微小的流量波动的影响, 并且其测量与流体流动方向无关。在宽流量范围内, 测量误差可以控制在 $\pm 0.2\%$ 以内, 能够在低流速下进行精确测量。

为了在控制成本的同时满足产品性能

的高标准, ABB 公司不断探索能够改进电磁流量计产品性能的各种方法。该公司将长期积累的流量计物理知识与新的建模技术相结合, 不断努力提升现有流量计的性能和价值。

电磁流量计是通过法拉第电磁感应原理来确定液体的流速。当导电液体(如水)流经的管道内有磁场存在时, 管道横截面上会产生感应电势或电动势(图 1B)。电动势与流量或流速成比例, 通过测量感应电

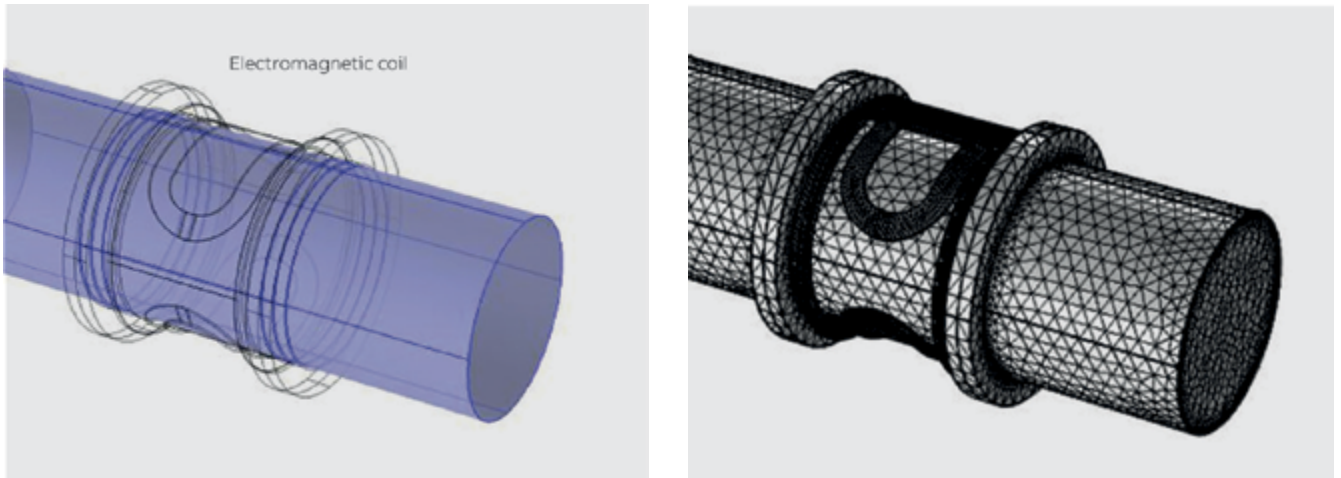


图 2. (A) 使用 CAD 软件构建的电磁流量计几何模型; (B) 用于有限元分析计算的离散化几何结构。

动势, 就可以估计流量。感应电动势与流体速度的比值为灵敏度, 这一属性与校准系数有关。预测灵敏度非常重要, 然而预测由条件变化引起的灵敏度变化同样关键。我们必须从产品安全的角度评估可能影响流量计工作的热和结构特性, 并评估流量计在恶劣条件下的表现。

⇒ 数字孪生概念

如果我们可以根据物理过程的相关理论知识开发出一款模型, 用来预测流量计的性能, 能够最大程度地降低测试需求, 将会怎样呢? 这样的结果意味着生产力和产品性能的大幅提升。ABB 开发了一款基于多物理场有限元分析技术的电磁流量计

软件模型来实现这一目标。这个模型也称为数字孪生模型, 可以在虚拟世界中呈现与现实世界中一模一样的物体。研究人员可以借此模拟一个物体在现实世界中的真实行为, 并基于由此获得的过程知识来理解性能的复杂性, 检测潜在问题, 进而改进设计方案。通过仿真获取的这些信息还可以用于构建实际的产品。数字孪生模型几乎可以在虚拟世界中模拟任何工况, 能够真实可靠地反映现实世界中发生的实际情况。

⇒ 多物理场模型

在有限元分析建模中, 对象的几何结构会离散成相对较小的有限空间。计算模

型提供了材料属性、工作条件和边界条件等信息, 然后通过在有限域上求解基于物理场的方程得到相关参数。通过使用这种方法, 研究人员可以得到三维信息和所需的时变信息, 并据此对石油、天然气和航空等行业的设备进行性能预测和设计改进。与传统测试方法相比, 使用有限元建模方法可以轻松理解复杂的过程。实验室测试方法因其依赖于设备中使用的传感器

“ABB 公司开发了一款基于多物理场有限元分析技术的电磁流量计软件模型来实现这一目标。”

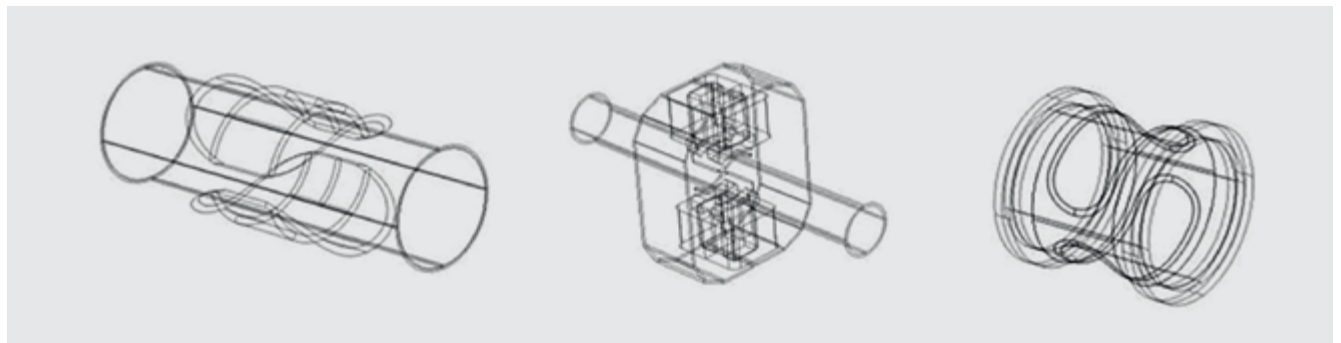


图 2. (C) 具有不同部件设计和/或尺寸的多流量计模型。

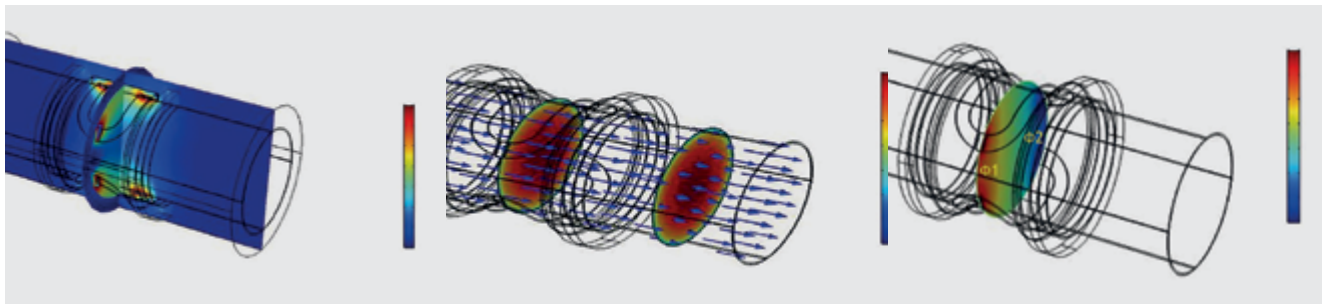


图 3. 相关物理现象的定性评估, 红色表示最大值。(A) 磁通分布; (B) 等流速线; (C) 电势。

的数量和位置而受到限制, 这种方法不仅成本高昂, 而且难以实现过程工业应用。相比之下, 高性能计算持续取得新的进展, 并且成本不断降低, 使用有限元分析可以轻松对基于物理场的各种复杂方程进行迭代求解。

ABB 选择了电磁流量计多物理场模型来改进其原本已经非常卓越的流量计产品。

⇒ 多种物理现象的耦合

研究人员最初使用 CAD 软件构建了电磁流量计的几何模型 (图 2A)。然后将

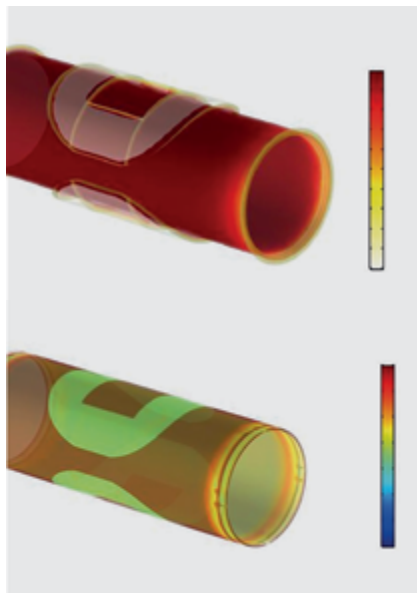


图 4. 热应力场和水力应力场的定性分析, 红色表示最大值。(A) 温度场; (B) 应力场。

几何结构 (或称计算域) 离散化为极小单元, 并在此基础上求解方程 (图 2B)。他们建立了多种不同设计和尺寸的流量计样品模型 (图 2C)。

将两个主要现象 (电磁学和流体动力学) 以及其他各种物理现象耦合到单个模型中是一项极具挑战的工作。研究人员通过求解麦克斯韦方程来分析电磁学问题。

这些方程初步计算了计算域内的磁通密度 (图 3A)。

通过求解各种流动条件下的质量和动量守恒方程来分析管道内的流体流动 (图 3B)。接着, 使用从法拉第电磁感应定律推导出的洛伦兹方程对磁场和流场进行积分, 从而计算磁通量与流体速度相互作用所产生的感应电动势 (图 3C)。模型的主要输出结果是灵敏度 (即感应电动势与流体速度的比值)。为了得到全面的分析结果, 研究人员还使用该模型求解了热传

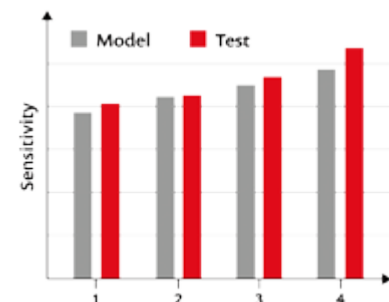


图 5. 研究人员对多种不同的流量计进行建模, 并将模型输出结果与测试数据进行比较。

导和结构动力学参数, 计算作用在管壁上的热应力和液压应力 (图 4)。这种先进的仿真技术对于预测严苛条件对流量计健康的影响至关重要, 例如高温和/或高压液体通过管道时产生的影响。这些详尽的计算最终带来了一款完善的流量计多物理场模型, 可以用来预测产品性能以及可能出现的故障。

物理测试不仅成本高昂, 而且费时费力, 建模的明显优势在于能够最大程度地减少测试需求。ABB 公司的研究人员在 2017 年就已经成功模拟了几款设计独特、具有不同尺寸的流量计。模型计算的灵敏度与现场测试得到的灵敏度的一致性高达 95% —— 建立真实世界的精确虚拟模型并将其用作预测工具 (图 5)。除了预测灵敏度, 这个模型还可以预测流量计的线性度, 也就是可以预测灵敏度随流量变化的恒定

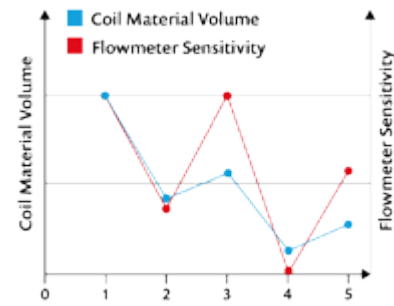


图 6. 为优化线圈设计而执行的迭代建模。图注: Coil Material Volume - 线圈材料体积; Flowmeter Sensitivity - 流量计灵敏度

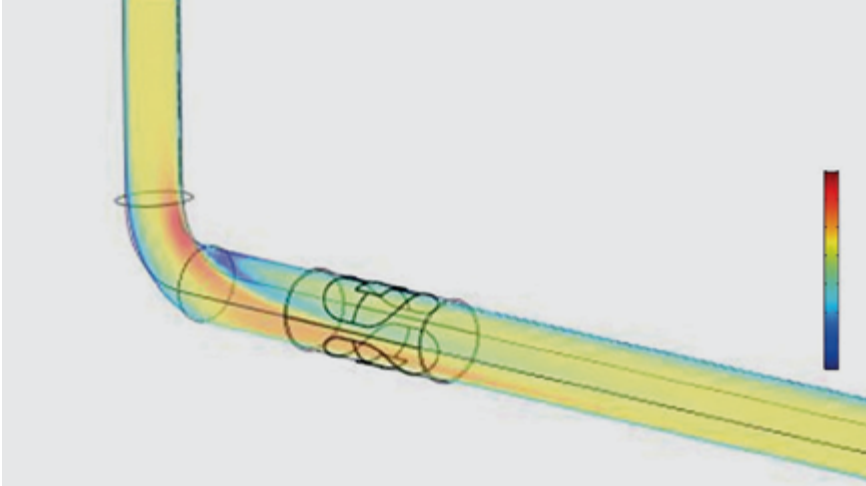


图 7. 通过模拟安装在客户管道系统中的电磁流量计,可以预测流量计在测量被扭曲的流体时的性能。

性(测量精度)。数字孪生概念不仅是测试阶段的一个工具,而且还被广泛用于修改流量计的现有设计,以提高产品质量。通过将新颖的部件设计和创新理念融入模型,可以对流量计性能的改进做出评估。

研究人员发现,改进的流量计比现有的流量计产品性能更加优越,这为以后的设计改进奠定了基础。在流量计开发工作中应用数字孪生模型,可以提升流量计的灵敏度以及测量精度,同时可以降低制造成本。ABB 公司目前正在测试多种流量计原型样机,并结合各种设计修改方案对一些创新想法的可行性进行评估。

⇒ 事半功倍

产品开发的主要目标是尽可能提升性能的同时减少材料的使用。借助数字孪生

“数字孪生模型几乎可以在虚拟世界中模拟任何工况,能够真实可靠地反映现实世界中发生的实际情况。”

模型,可以优化流量计的部件设计,降低材料成本。

电磁线圈是流量计中的重要部件,研究人员通过修改线圈,获得了最佳的尺寸和形状,从而使流量计的性能达到最优。他们通过一系列迭代,评估了给定线圈的尺寸变化(图 6);在特定的迭代中,使用明显更少的铜线圈材料可以保持流量计的原始灵敏度。线圈仿真结果表明,新设计在保持原始性能水平的同时,减少了所需的材料用量。由于线圈成本占流量计材料总成本的比重非常大,因此新的设计方案对大型流量计的开发具有特殊的价值。ABB 近期已经针对减少大型流量计的总占用空间提出了解决方案,并已在后续的原型测试阶段对其进行了评估和验证。

⇒ 重现现场条件

开发和测试是产品生命周期的重要阶段,安装阶段也同样存在着其特有的挑战,原因是弯管和阀门等系统功能部件可能会使流体在流动时发生扭曲,从而影响测量的准确度。正因如此,了解管道特征对流量计性能的系统影响非常重要。ABB 公司的

研究人员将流量计数字孪生模型进行了扩展,在其中引入了客户管道系统(图 7)。

ABB 公司通过研究流量修正在提高测量精度方面所起的作用,深入了解了上游弯管等系统功能部件的影响。基于这些信息,他们可以确定流量计在给定管道系统内的最佳安装位置,从而能够校正流量计的读数。

目前,该工具在预测流量计性能方面表现出了高度的准确性,使工程师能够改进流量计的设计。扩展后的模型可以模拟流量计的运行对客户管道系统流量分布的影响方式,这也为提高测量精度开辟了新的道路。不仅如此,数字孪生技术还可以用来指导流量计的现场安装,使水管理等行业能够改善流量控制系统,从根本上提高工业过程的性能。

为了给客户提供最先进的数字化手段,帮助他们实现无与伦比的生产力和性能,ABB 公司投入了大量的精力到开发用于其他制造业的数字孪生模型中。他们致力于实现产品价值最大化,追求生产零缺陷的产品,确保最佳运营,将产品快速推向市场,以及改善运营效率。❖



Subhashish Dasgupta,
印度班加罗尔 ABB 公司
研究中心研究
员



Vinay Kariwala,
印度班加罗尔 ABB 公司
BU 测量与分析部门技术
经理