

[数字仿真]

ABB 公司借助数字孪生模型提升电磁流量计的性能

文/印度班加罗尔ABB公司 Subhashish Dasgupta Vinay Kariwala

ABB公司的流量测量产品采用了最先进的流量传感技术。数字孪生工具以多物理场仿真为基础，可以改进流量计设计并预测其在实际工况下的性能。ABB公司借助新型数字孪生工具，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工作性能。

过去10年，新技术和数字化浪潮已经对液体相关的传统制造行业（例如水及废水的运输和处理）产生了显著的影响。随着新兴技术的广泛应用，ABB 公司的研究团队正在致力于开发高性能、低成本的工具，以帮助用户增强他们的竞争优势。由于数字孪生技术可以在研发初期检测物理问题并准确预测结果，因此可以帮助他们实现这一目标。ABB 公司正在努力抓住机遇，应用数字孪生技术改进流量计产品研发，以应对各种工艺挑战。他们正以前所未有的速度创造价值，以满足客户日益增长的需求。

电磁流量计

要在整个生产过程中达到高性能标准，离不开可靠准确的仪器。40 多年来，ABB 公司一直致力于产品开发，并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，如图1所示。

为了同时满足控制成本和产品性能的高标准要求，ABB 公司通过将长期积累的理论基础与新的建模技术相结合，不断探索并提升电磁流量计的性能和价值。

电磁流量计通过法拉第电磁感应原理确定液体的流速。当导电液体（如水）流经的管道内存

在磁场时，管道横截面上会产生感应电动势，如图2所示。电动势与流量或流速成正比，通过测量感应电动势，即可以估计流量。感应电动势与流体速度的比值称为灵敏度，其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。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性能。



图1 ABB公司的电磁流量计

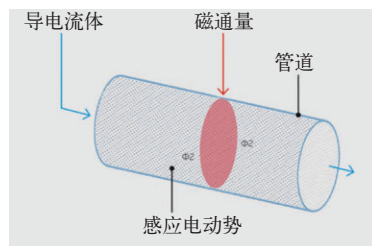


图2 磁通量与运动导电液体相互作用产生的感应电动势与流体速度成正比

数字孪生

如果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，最大程度降低测试需求，将会怎样呢？显然，这样可以大幅提升生产力和产品性能。为了实现这一目标，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模型。该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，并通过模拟获得的过程知识来理解产品性能的复杂性，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。

多物理场建模

在有限元分析建模中，模拟对象的几何结构首先会被离散成相对较小的有限空间；然后，设置计算模型所需的材料属性、工作条件和边界条件等信息；最后，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模拟复杂的过程。传统的实验室测试方法会因依赖于设备中使用的传感器的数量和位置而受到限制，不仅成本高昂，而且难以实现过程工业应用。相比之下，高性能计算可以持续获取新的进展，并且不断降低成本。使用有限元分析可以轻松地对基于物理场的各种复杂方程进行迭代求解。

因此，ABB公司选择创建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。

多物理场耦合

研究人员先使用CAD软件构建了电磁流量计的几何模型，如图3a所示，然后将几何结构（或称计算域）离散化为极小单元，并在此基础上求解方程，如图3b所示。他们建立了多种不同设计和尺寸的流量计样品模型，如图3c所示。

将两个主要物理现象（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性的工作。研究人员通过求解麦克

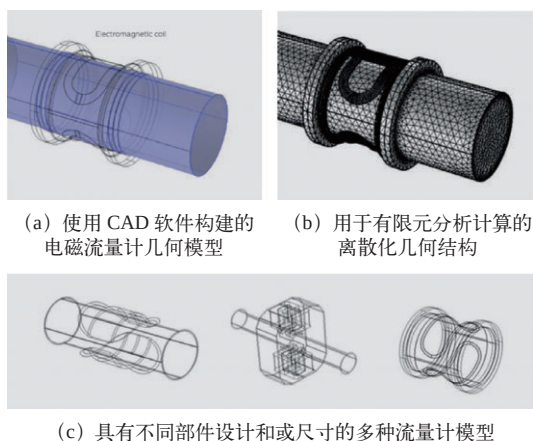


图3 电磁流量计模型

斯韦方程来分析电磁学问题。他们使用这些方程初步计算了计算域内的磁通密度，如图4a所示，并通过求解各种流动条件下的质量和动量守恒方程分析管道内的流体流动，如图4b所示。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，从而计算出磁通量与流体速度相互作用所产生的感应电动势，如图4c所示。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，如图5所示。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。通过详细的计算最终输出一个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。

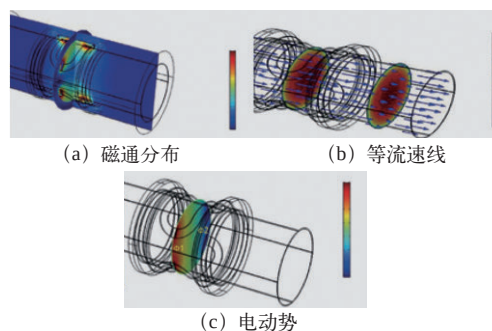


图4 相关物理现象的定性评估（红色表示最大值）

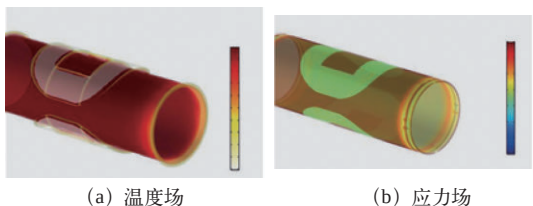


图5 热应力场和水力应力场的定性分析（红色表示最大值）

物理测试不仅成本高昂，而且费时费力，建模的显著优势在于能够最大程度减少测试需求。ABB公司的研究人员在2017年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高度一致，达95%。这表明建立真实世界的准确虚拟模型并可以将其用作预测工具，如图6所示。除了预测灵敏度，该模型还可以预测流量计的线性度，即可以预测灵敏度随流量变化的恒定性（测量准确度）。数字孪生不仅是测试阶段的一个工具，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。

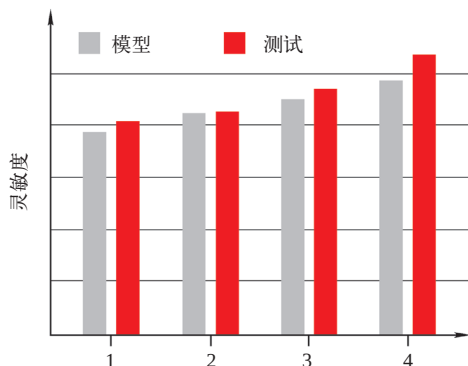


图6 对多种不同的流量计进行建模

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准确度，同时还可以降低制造成本。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

尽可能提升性能，同时减少材料的使用量，是产品开发的主要目标。借助数字孪生模型，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，如图7所示；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

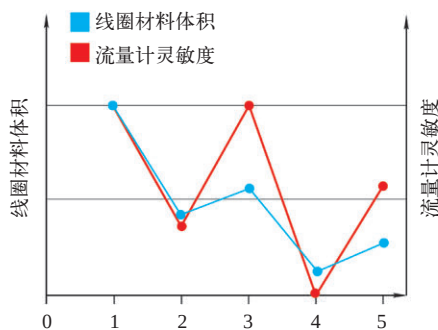


图7 为优化线圈设计而执行的迭代建模

新的设计方案对大型流量计的开发具有重要的价值。ABB公司近期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挑战，即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，从而影响到测量的准确度。因此，了解管道特征对流量计性能的系统影响非常重要。ABB公司的研究人员对流量计数字孪生模型进行了扩展，在其中加入了客户管道系统。如图8所示

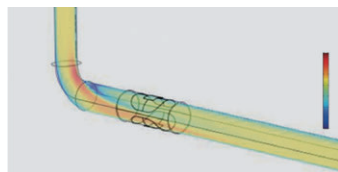


图8 通过模拟安装在客户管道系统中的电磁流量计，可以预测流量计测量被扭曲的流体时的性能

ABB公司通过研究流量修正在提高测量准确度方面所起的作用，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，该仿真工具在预测流量计性能方面表现出了高度的准确性，使工程师能够优化流量计的设计。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，这也为提高测量准确度开辟了新的道路。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效率。EA

Originally published in ABB Review (2018.02)

(收稿日期：2020.08.13)

(编辑：朱金凤)