

液压

简化容积泵运转工况模拟

利用软件对流体状态进行数字仿真是计算流体机械能量的重要工具。但在实际应用中，此工具却常常被边界条件所限制。因此，在对容积泵进行流体仿真时，采用了内嵌边界方法。

文 | Jürgen Schiffer

尽管数字化的流体仿真技术是流体机械重要而可靠的设计与计算工具，但在实际应用中总会受到一些限制，尤其是对 2D 或 3D 容积泵进行模拟时更是如此。由于流场形状复杂，而且变化多端，因此要完成完全贴合实际情况的流体仿真网络过程和计算过程十分繁复，可谓困难重重。因此，人们往往会选择更简单的一维和零维流体仿真方法，虽然准确度不够。

适用于容积泵的多维 CFD 模拟方法

如果想要对容积泵工作时的所有动作进行检验分析，就必需使用更准确的仿真工具。这种方法就是基于 2D 或者 3D 的 CFD 模拟方法。在实际应用中，人们很少关注 CFD，因为在容积泵中存在很多流体现象，可能同时出现很多需要解决的任务：随时间变化的不稳定流动太强；出现的紊流要求有相应的数学模型；转子与泵体间极小的间隙要求计算机有很强的间隙分辨率（Spaltauflösung）；狭窄区和缝隙区从紊流到层流的主流场的过渡；由转子几何形状决定的吸入侧开启过

程中出现的气蚀现象；与旋转角度有关的复杂横截面封闭空间内不断变化的流量空间。

种类决定流体仿真方法

为了解决容积泵运转工作时复杂流量过程中的模拟计算问题，需要选择适于此类泵的特殊模拟方法。在现有的众多流体仿真方法中只有少数几个是数字仿真方法，而这些也可以在商业化的 CFD 软件包中找到。

适用于对运转中的容积泵进行

CFD 模拟仿真的方法主要有两类。其一是常用的 ALE 拉格朗日 - 欧拉描述的有限元分析，其包含了在流体技术领域使用的“移动网格法”。在这种方法中，描述液流空间的计算网络随着每一个时间点都在变化；因此可以同时表示转子的转子、齿轮啮合或者类似运动的变形。在变形较大的地方还增加或者减少了一些小的计算单元。

“FD 虚拟区域方法”是一类能够完全按照对比的方式对容积泵运转情况进行模拟的流体仿真方法。本文介

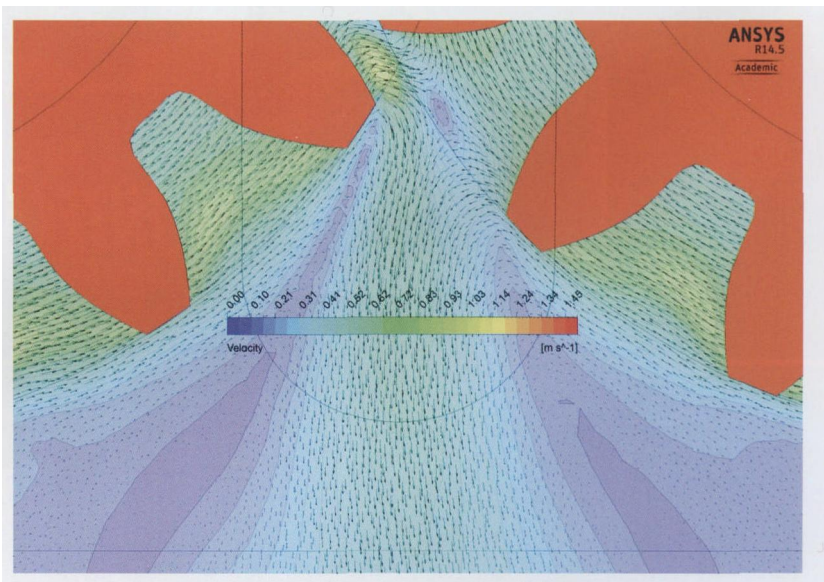


图 1 内嵌边界法是一种适于对工作着的容积泵进行模拟仿真的方法

绍的能够精确完成流体仿真的内嵌边界法就是其中的一种方法（图 1）。

复杂几何运动时流体仿真的简单计算

利用 Ansys CFX 12.1 版流体分析和仿真软件首次实现了用内嵌边界法有效的对复杂几何运动的流体进行流体仿真和分析。在使用这一方法时，原则上需要两个 CFD 域：一方面要有一个能够描述整个泵体内产生的流体，另一方面要为流体单独定义一个内嵌边界。然后将运转的流体嵌入到泵体之内，这样就能得出流体和固体计算网络重叠的区域了。

Ansys CFX 软件能够识别流体和固体计算网络重叠的区域；并在这种情况下自动添加描述泵体内流动过程的纳维 - 斯托克斯方程（机械力及惯性力）。在它们的作用下，容积泵的转子出现旋转运动。在转子边缘处表示的是转子的运动速度。这样就可以清楚计算出固体是如何影响泵体内的流体流动的。

无需在特定时步重新网格化

采用 Ansys CFX 软件的优点

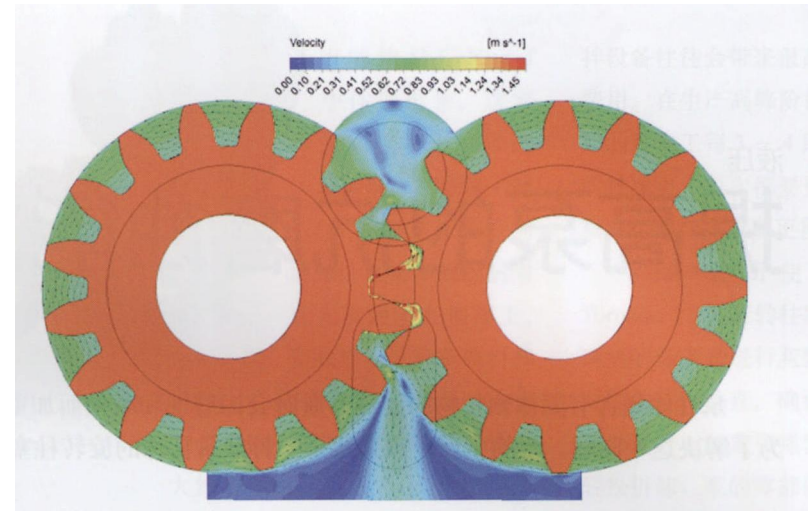


图 3 利用 CFD 计算的齿轮泵中间部分的速度曲线和矢量曲线

是：省略了移动网格法需在特定时步进行的复杂而耗时的重新网格化。当有了相应的计算网格分辨率时，可以短时间的在一个不变的流体网络中使用。当利用内嵌边界法进行 CFD 计算时应注意根据使用情况选择正确的计算网络，计算网络在高压和高速范围空间内的分辨率应有合适的清晰度。瞬变流仿真的时步大小也要给予高度关注。

因此，建议在要求较高的 CFD 仿真分析开始前首先找到最佳数学模型。这样才能获得与机械试验最具可比性的仿真结果。利用 CFD 数字仿真可实现的重度精度很

高，以旋转活塞为例，输送特性曲线与效率曲线的误差范围可控制在 ±3%。利用该方法获得的转子泵的速度曲线和矢量图参见图 2。这里，转子的位置可以是转子间隙完全封闭的任意位置，从而可以得到转子泵输出端为最大压力时的流体仿真情况。

微型齿轮泵的计算结果也类似。但要注意：齿轮泵轮齿的啮合质量对仿真分析的结果有着非常重要的影响（图 3）。在内嵌边界法的帮助下，可以利用 PIV 粒子成像测速技术清楚的再现连续吸油和压油过程中吸油腔和压油腔的涡流。

工作时合适的仿真工具

利用内置边界法 CFD 仿真分析得到的结果表明：这是一种适于对工作中的容积泵进行仿真分析的工具。合理设置 CFD 软件系统，可以完成压力差、质量流、不均匀性以及脉动强度的仿真分析；与试验检测分析的结果最大误差不超过 5%。

然而 CFD 仿真分析方法也存在缺陷，表现为：内置嵌入壁的处理不足，可导致低估外力和扭矩对内置边界的作用。加强边界壁的处理后，新版 Ansys CFX 软件将在这一应用领域中做出更大贡献。[1]

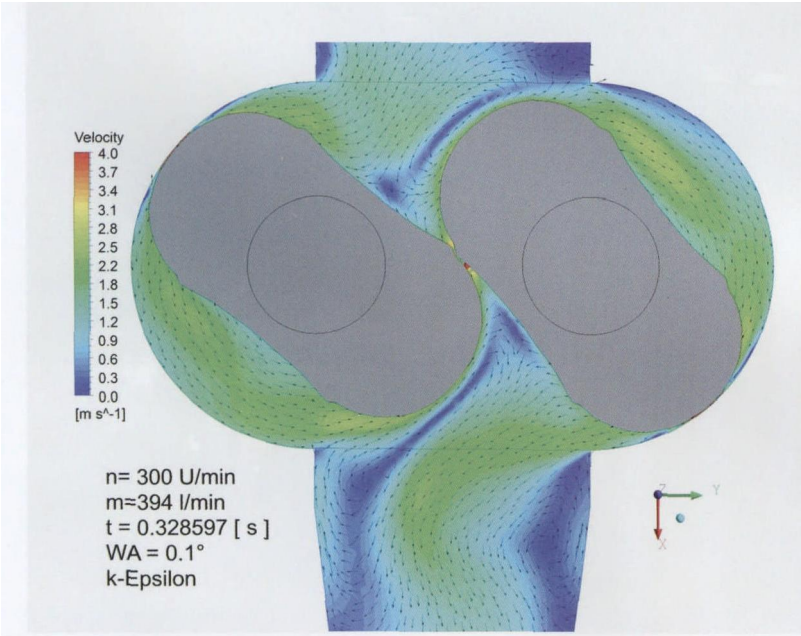


图 2 利用 CFD 计算的转子泵中间部分速度曲线和矢量曲线