

不同截流程度下涡街流量计的流动特性研究

宋佳亿 李斌 陈洁 樊辰阳 黄绍锋
(上海大学机电工程与自动化学院 上海 200072)

摘要: 对于涡街流量计的旋涡发生体的仿真研究主要集中在形状和尺寸上,但在现场复杂工况环境的情况下,发生体的位置并不是固定不变的,会存在安装偏差。为了很好的分析发生体安装偏差带来的信号强度发生变化的问题,确定不影响信号强度的最大偏差角度,采用三角柱型发生体,在 Ansys+Workbench+FLUENT 数值仿真软件平台环境下,根据涡街流量计的实际物理结构尺寸建立仿真模型,并对其进行网格划分、求解,将仿真得到的升、阻力频率相比较,得出阻力频率正好是升力频率的2倍,表明可以利用 FLUENT 软件对涡街流量计进行三维流场数值仿真。最后利用 FLUENT 软件,通过改变管截面与截流面的夹角,在低、中、高速流速下,对其进行取压,将得到的信号强度和频谱分布进行比较分析,得出夹角与信号强度的关系:夹角在 $1^{\circ}\sim 7^{\circ}$ 范围,对信号强度的影响不大,超过 7° 以后影响变大。

关键词: 涡街流量计; FLUENT; 数值仿真; 截流夹角

中图分类号: TP391.1 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1040

Characteristics of vortex flowmeter under different closure degree

Song Jiayi Li Bin Chen Jie Fan Chenyang Huang Shaofeng

(School of Mechatronic Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: At present, the research of vortex shedder focused on shedder shape and size, but in the field of complex environmental conditions, the location of shedder is not fixed, there will have a certain amount of error. For a good analysis of problems about changed signal strength with spectrum brought by misalignment of the vortex shedder, the simulation model is built based on the actual physical vortex flowmeter size with the shape called triangular prism of vortex shedder by using Ansys+Workbench+FLUENT software. Then divided the simulation model into grids and get the result. After comparing the frequency of lift force with drag force, concluded that the Resistance frequency is as twice as the Lift frequency. The simulator result shows that use FLUENT to numerical simulation is feasible. Compare and analysis the signal strength with spectrum distribution at low, medium and high velocity by changing the angle between the surface of the pipe cross-section and closure. Thus we obtains the relationship between the angle of the signal strength: The effect on the signal strength is small when angle in the range of 1 degree to 7 degrees, and larger impact more than 7 degrees.

Keywords: vortex flowmeter; FLUENT; numerical simulation; closure angle

1 引言

随着计算机技术、数值计算技术的发展,现代模拟仿真技术计算流体力学(computational fluid dynamics, CFD)也随之而生^[1]。它是对纯理论和纯实验方法很好的促进和补充。CFD作为一门新兴学科,它力求通过数值实验替代实物实验,采用虚拟流场来模拟真实流场内部的流体流动情况,从而使得实验研究更加方便,研究场景更加丰富可编程^[2-5]。

FLUENT 软件提供了多种基于非结构化网格的复杂

物理模型,并针对不同物理问题的流动特点创建出不同的数值解法^[6]。用户可根据实际需求自由选择,以便在计算速度、稳定性和精度等方面达到最佳,提高设计效率。

关于涡街流量计的发生体数值模拟研究,主要集中在涡街发生体形状和尺寸上^[7-10]。Yamasaki 指出发生体的形状与几何参数和涡街流量计的流量特性(仪表系数、线性度、重复性、测量范围)与阻力特性存在相当大的关联关系。S. C. Luo 等人研究旋涡发生体尾缘形状以及迎流角度对涡街性能的影响,在风洞和水槽实验中,得出在全长相等的

情况下,旋涡强度随尾缘夹角的增大而减小。彭杰纲等人在 50 mm 口径管道气流量实验中,通过对不同尾缘夹角角度的旋涡发生体进行实验研究,得出旋涡发生体尾缘的夹角为 41.8° 时具有很好的线性度。贾云飞等人通过对二维涡街流场中的压力场进行数值仿真研究,得出 T 形发生体产生的旋涡信号的强度要优于三角柱发生体。

涡街流量计利用流体振动原理进行流量测量^[11]。选取了应力式涡街流量计进行研究。它通过压电检测元件获取电压频率,再根据流体流量与涡街频率成正比得出被测流量。在过去的涡街流量计研究中,一直将研究重点放在真实流场实验中,但这需要重复更换口径、调节流量,大大降低了工作效率。为解决此问题,采用三维涡街流场数值分析的方法对内部流场的变化进行研究。

通过 FLUENT 软件对三维涡街流场进行数值仿真,并将不同流速下的升、阻力系数进行比较,验证数值仿真可行性。并通过改变管截面与截面之间的夹角,在低、中、高速流速下,进行取压,最终得出随着夹角的不同,信号强度不同。夹角在 $1^\circ \sim 7^\circ$ 范围,对信号强度的衰减影响不大,超过 7° 以后对信号强度影响变大,并随着流速的增加,趋势越来越强。

2 升、阻力系数

旋涡脱落时,流体施加给柱体一个垂直于主流的周期性交变作用力,称为升力^[12]。由于柱体两侧交替的释放旋涡时,刚释放完涡流的一侧柱面,扰流改善,侧面总压力降低;将要释放涡流的另一侧柱面,扰流较差,侧面总压力较大,从而形成一个作用在三角柱上、方向总是指向刚释放完涡流那一侧的作用力,所以升力的交变频率和旋涡的脱落频率一致,升力的变化规律和旋涡的变化规律一致,因而通过监视柱面上的升力变化规律,可以反映旋涡脱落规律。

阻力系数反映的是柱体迎流方向上的作用力变化情况,每当柱体两侧不管哪一边的释放旋涡一次,迎流方向上的作用力都会随压力变化有规律地变化一次,因此,升力系数变化的一个周期内,阻力系数变化为两个周期。

3 三维涡街流场模拟的可行性分析

3.1 几何建模与网格划分

图 1 是在 ANSYS Workbench 中建立的三维涡街流量计几何模型。其中管道口径 50 mm,管道长 1 000 mm,旋

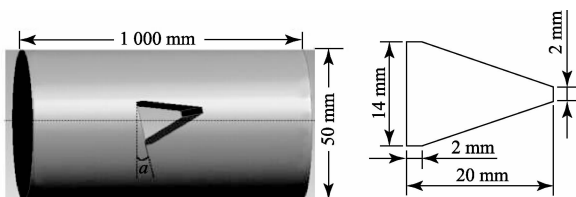


图 1 涡街流量计的几何模型

涡发生体截面宽度 14 mm^[12],管截面与截面夹角为 α 。

对几何模型进行非结构网格划分,作为数值模拟的载体,如图 2 所示。

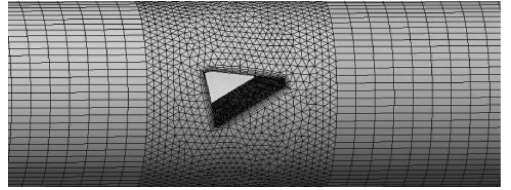


图 2 涡街流量计的网格划分

3.2 仿真参数设置

在 FLUENT 中,三维涡街流场参数设置如下:

- 1) 流体:空气(air);
- 2) 湍流模型:Renormalization-group (RNG) $k-\epsilon$ 模型;
- 3) 边界条件

①流速入口边界:根据需要设置不同流速、湍流动能和耗散率;

②压力出口边界:零压;

4) 求解器:基于压力的三维双精度瞬态求解器;

5) 数值计算过程:SIMPLE 算法。

3.3 升、阻力变化频率的计算结果及分析

图 3 所示速度等值。三维涡街流场在夹角为 0° ,入口流速为 5 m/s 的情况下的速度等值线图。



图 3 速度等值线图

通过仿真模拟,图 4 给出流速 $u=5$ m/s 时,作用在三角柱上的升力系数和阻力系数变化曲线。由图 5 升力系数的 FFT 曲线可以看出其频率为 $F_L=87.92$ Hz。从图 6 阻力系数的 FFT 曲线可以看出其频率为 $F_D=176.43$ Hz,约为升力系数变化频率的 2 倍。

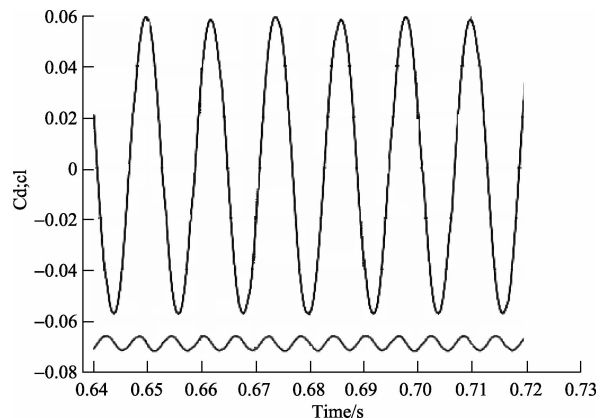


图 4 升、阻力系数曲线

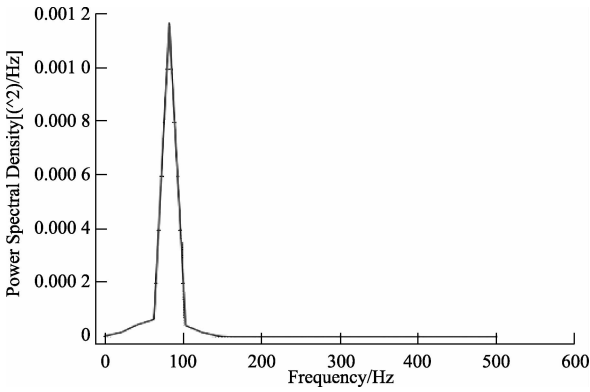


图5 升力系数 FFT 曲线

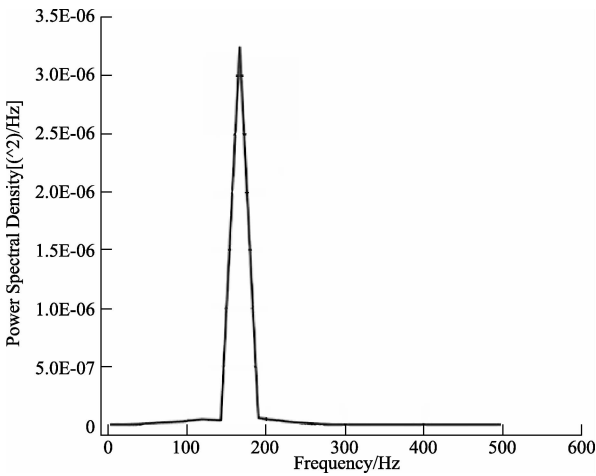


图6 阻力系数 FFT 曲线

为了验证将 FLUENT 用于涡街流量计的三维流场仿真的可行性,对不同流速下的升、阻力频率进行比较,如表 1 所示。可以看出阻力系数变化频率是升力系数变化频率的 2 倍,说明用 FLUENT 进行涡街流量计的三维仿真是可行的。

表 1 不同夹角、不同流速下的信号强度

流速/ $m \cdot s^{-1}$	升力频率 /Hz	阻力频率 /Hz	倍数 (阻力频率 /升力频率)
10	176.06	353.70	2.009
20	351.83	693.11	1.970
30	527.92	1 048.98	1.987
40	703.94	1 481.79	2.105
50	880.52	1 848.21	2.099
60	1 055.16	2 089.22	1.980
70	1 231.03	2 489.14	2.022

4 仿真结果

基于上述通过升、阻力变化频率的关系验证出利用 FLUENT 对三维涡街流场进行仿真是可行的。本节应用 FLUENT 对截流夹角、流速和信号强度之间的关系进行了仿真研究。分别取 7 m/s、40 m/s 和 70 m/s 的流速, α 的角度在 $0^\circ \sim 10^\circ$ 范围内取值(发生体的安装偏差一般不会超过 10°),进行数值仿真。记录信号强度,如表 2 所示。

表 2 不同夹角、不同流速下的信号强度

夹角	流速/ $m \cdot s^{-1}$		
	7	40	70
0°	1.98	218.64	384.53
1°	1.98	217.92	382.78
2°	1.98	216.88	380.14
3°	1.97	215.52	377.12
4°	1.96	214.19	373.31
5°	1.95	212.86	368.69
6°	1.93	211.43	362.35
7°	1.90	209.74	352.84
8°	1.78	191.42	319.98
9°	1.59	168.67	274.99
10°	1.37	137.47	213.97

将表 2 的数据绘制成图 7,将图 7 中流速为 7 m/s 的数据放大如图 8 所示。观察图 7、8,可以直观的反应出夹角、流速与信号强度的关系变化。通过对比这 3 张图可以看出,信号强度随着夹角、流速的不同而不同。并从图中得出结论:

- 1) 涡街的信号强度与流速成正比,随着流速的增加,旋涡脱落频率信号强度会显著增加。
- 2) 在流速相同的情况下,随着夹角的增大,信号强度逐渐减小,并随着夹角的增大,信号强度的衰减程度也逐渐增大。夹角在 $1^\circ \sim 7^\circ$ 范围,对信号强度的衰减影响不大,可忽略,超过 7° 以后对信号强度影响变大,不可忽略。
- 3) 在夹角相同的情况下,随着流速的增大,信号强度衰减趋势越来越明显。

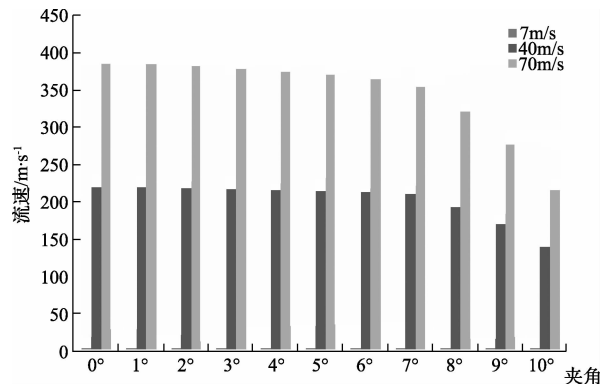


图 7 不同流速下不同夹角的信号强度

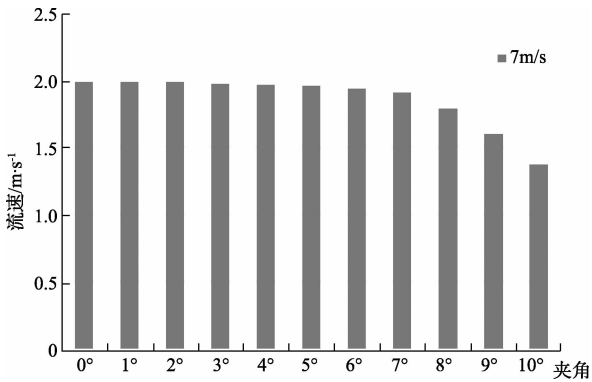


图8 7m/s流速下不同夹角的信号强度

5 结 论

流场仿真在涡街流量计的设计和完善中正变得越来越重要,它通过理论支持指导仿真的可实施性,并将仿真结论用于实验中,提高效率。通过模拟三维涡街流场三角柱绕流现象,将升、阻力频率进行对比,验证了可将FLUENT用于三维涡街流场的仿真中。并从不同流速和不同截流夹角两方面分别考虑,对比分析了三维涡街信号的信号强度,得出夹角在 $1^{\circ}\sim 7^{\circ}$ 范围,对信号强度的影响不大,超过了 7° 以后影响变大。从而为以后的实验做出理论指导。进一步的研究可以通过对不同形状的旋涡发生体取不同截流夹角和不同流速进行仿真对比研究。

参考文献

- [1] 陈雷. 点评多国仪器展中的传感器[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(2): 19-23.
- [2] 陈洁, 余诗诗, 李斌, 等. 基于双阈值比较法超声波流量计信号处理[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(11): 1024-1033.

- [3] 陈建, 孙晓颖, 林琳, 等. 一种高精度超声波到达时刻的检测方法[J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(11): 2422-2427.
- [4] 齐永龙, 文波. 一种无线车辆检测传感器的设计[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(1): 50-53.
- [5] 马立玲, 郭坤, 王军政. 液体超声流量测量中的传播时间精度分析[J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(5): 1028-1034.
- [6] 徐传燕, 丁康, 林慧斌, 等. 离散频谱分析比值校正法幅值和相位的抗噪性分析[J]. 振动工程学报, 2011, 24(6): 633-638.
- [7] 胡岳, 张涛. 涡街流量计梯形旋涡发生体的研究[J]. 化工自动化及仪表, 2012, 39(5): 580-582.
- [8] 孙宏军, 徐冠群. 基于相角判据的 Rife 算法的涡街信号处理方法[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(12): 2860-2866.
- [9] 江文斌, 秦会斌, 邵李焕, 等. 基于经典谱估计改进方法的涡街流量计[J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(1): 229-234.
- [10] 罗清林, 徐科军, 刘三山. 基于快速傅里叶变换的低功耗两线制涡街流量计[J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24(7): 692-697.
- [11] 邵永红, 沈天飞, 李诚. 小波滤波法在涡街流量计中的应用[J]. 电子测量技术, 2011, 34(11): 101-103.
- [12] 许文达, 张涛, 毕英, 等. 气体可压缩性对涡街流量计计量性能影响分析[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(9): 797-802.

作者简介

宋佳忆, 在读硕士研究生。主要研究方向为涡街流量计三维流场仿真, 涡街流量计流量检测等。

E-mail: songjiayi0611@163.com