

# 船用流量平衡阀声学性能仿真预测研究

周爱民<sup>1</sup>, 朱求源<sup>1</sup>, 徐宇哲<sup>1</sup>, 李树勋<sup>2</sup>

(1. 武汉第二船舶设计研究所, 湖北 武汉 430064;

2. 兰州理工大学机械工业泵及特殊阀门工程研究中心, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 应用 Solidworks 软件对某型船用流量平衡阀流道结构进行优化设计, 首先将几何模型导入 Fluent 软件中进行压力场和速度场仿真分析计算, 获取改进后的阀体三维模型。进一步利用 Ansys 软件和声学分析软件 LMS 预测了流量平衡阀在不同工作压差和阀芯位移下流道的噪声和振动特性曲线, 分析结果表明: 阀体噪声和振动随着工作压差和阀芯位移的增加而变大。本文对于冷水系统各类阀门减振降噪设计具有一定的指导意义。

**关键词:** 流量平衡阀; 噪声与振动; CFD 仿真

**中图分类号:** TH137 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-7649(2018)02-0115-04 **doi:** 10.3404/j.issn.1672-7649.2018.02.022

## Acoustic performance simulation prediction research of marine flow balancing valve

ZHOU Ai-min<sup>1</sup>, ZHU Qiu-yuan<sup>1</sup>, XU Yu-zhe<sup>1</sup>, LI Shu-xun<sup>2</sup>

(1. Wuhan Second Ship Design and Research Institute, Wuhan 430064, China; 2. Machinery Industry Pump and Special Valve Engineering Research Center, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** This paper establishes an optimization design of the channel structure for some marine flow balancing valve with Solidworks software. Firstly valve geometrical model has been imported in the Fluent CFD software to simulate the distribution of pressure and velocity field which can obtain the improved 3D valve model. Moreover the noise and vibration curve of the valve channel under different pressure difference and valve core displacement have been predicted with ANSYS and LMS software. The results show that the valve noise and vibration become larger with the increase of above factors. This paper provides the reference for the design vibration and noise reduction in water system valves.

**Key words:** flow balancing valve; noise and vibration; CFD simulation

## 0 引言

船舶冷水系统管网设计中, 各主管路、支管路冷水用户设置了多种类型的阀门, 其主要功能是对管网内流体的流量、压阻和流动方向进行调节和控制, 维持系统流量的动态平衡, 从安全、声隐身的角度出发对各种阀门的性能进行分析十分必要。文献[1-4]已证明, 阀门附近的漩涡是阀门产生流噪声的主要原因, 并且随着阀门开度的变化, 阀门附近漩涡的尺度增大, 涡量变大, 噪声增加, 成为影响整个系统噪声指标的主要因素。目前, 在船舶领域内对于各类不同介质用阀门的声学特性研究日益重视, 基本设计路线为噪声源分析→声学结构优化↔CFD强度校核与仿真→试验台架验证。但由于阀门结构、边界条件及模型

计算方程的复杂性, 对其声学性能进行较为可信的 CFD 仿真预测比较困难, 相关文献较少。其中文献[5-6]以某型蒸汽管路截止阀为研究对象, 通过 CFD 数值模拟研究了阀门内部蒸汽流场的分布状态以及阀门流噪声的频谱特性, 分析了阀门作为蒸汽管路中噪声源的声源特性。文献[7]采用 CFD 技术优化了某通海阀内流道结构, 有效提高阀内最低压力、降低阀内最高流速和阀内最高湍动能、消除漩涡。这些成果对于研究低噪声阀门的声学性能有一定的借鉴。

为验证所设计的某型船用流量平衡阀流道结构是否满足声学特性要求, 本文借助有限元分析软件 Ansys、计算流体力学 CFD 软件 Fluent 和 CFX、振动噪声专业分析软件 LMS Virtual.Lab, 建立了阀体流道三维几何模型, 预测了该阀阀体在不同压差和阀芯位移下

收稿日期: 2017-03-17

作者简介: 周爱民(1979-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事船舶大气环境控制系统研究。

的噪声和振动总振级，研究成果可用于指导后续低噪声阀件的系列化设计。

### 1 模型构建及仿真计算

#### 1.1 模型的建立

选取的某型流量平衡阀主要参数为 DN50，额定流量 10 m<sup>3</sup>/h，工作压差为 14~220 kPa，其内部流道模型如图 1 所示。

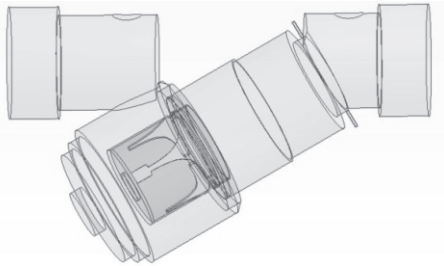


图 1 流量平衡阀内部流量模型

Fig. 1 Internal flow model of flow balancing valve

根据对该阀进行流量特性仿真分析，得到不同阀芯位移下的流量曲线如图 2 所示。

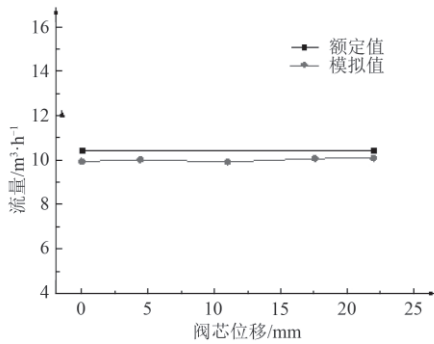


图 2 流量平衡阀在不同阀芯位移下流量曲线图

Fig. 2 Flow characteristic curve of flow balancing valve under different valve core displacement

利用 SolidWorks 三维实体建模软件，建立阀体流道三维模型，流道模型网格由 ICFM CFD 软件划分生成。由于阀内腔形状和流动状态复杂，采用自适应网格划分方法生成阀内流动区域贴体网格。阀体采用四面体/混合网格进行划分。并且对流动变化剧烈区域如：阀入口处流道、阀芯端部流道都进行了加密处理。

流量平衡阀流道模型的网格结构如图 3 所示模型建立后计算方程的选取及计算过程详见文献[5]。

#### 1.2 不同开度下压力场及速度场分析

对流量平衡阀流道模型在 Ansys CFX 中进行模拟求解，以水为介质，模拟计算 3 种压差（55 kPa，110 kPa，220 kPa）下阀体流道内部在不同开度下的压力和速度分布云图，如图 4~图 9 所示。

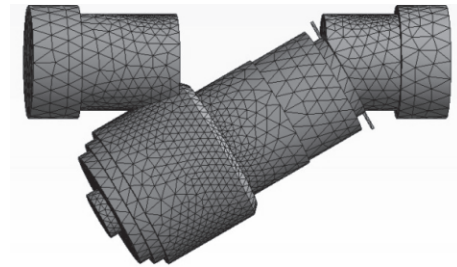


图 3 流量平衡阀流道网格模型图

Fig. 3 Channel grid model drawing of flow balancing valve

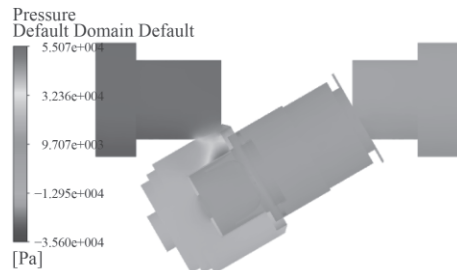


图 4 阀体压差 55 kPa 时压力云图

Fig. 4 Pressure distribution drawing of valve under 55 kPa pressure difference

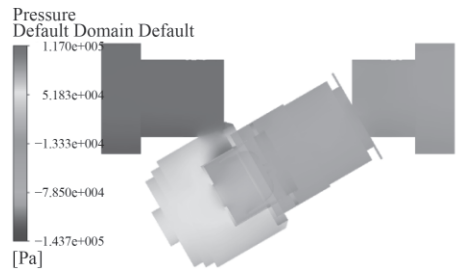


图 5 阀体压差 110 kPa 时压力云图

Fig. 5 Pressure distribution drawing of valve under 110 kPa pressure difference

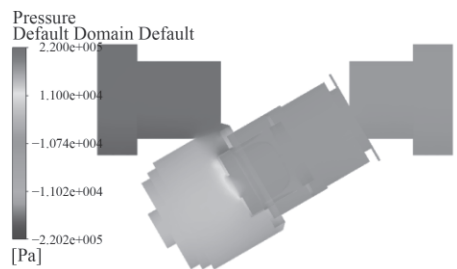


图 6 阀体压差 220 kPa 时压力云图

Fig. 6 Pressure distribution drawing of valve under 220 kPa pressure difference

由图 4~图 6 可以看出，平衡阀在不同压差下进口流道压力分布相对较高，最大压力出现在阀体入口及阀芯节流处，经过阀胆节流后的流体压力分布均匀，且压力相对较小。

由图 7~图 9 可以看出，阀芯形线处流速最大，出现流线集中，主要是阀芯开口形线节流的影响，压差

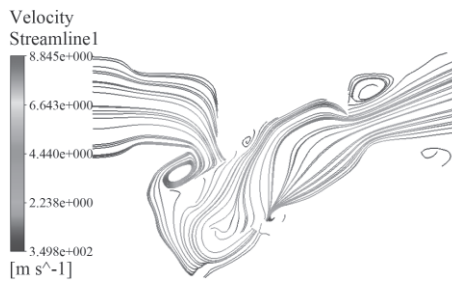


图 7 阀体压差 55 kPa 时速度云图

Fig. 7 Velocity distribution drawing of valve under 55 kPa pressure difference

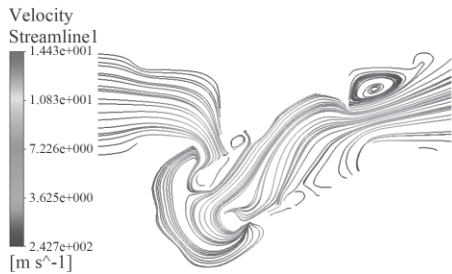


图 8 阀体压差 110 kPa 时速度云图

Fig. 8 Velocity distribution drawing of valve under 110 kPa pressure difference

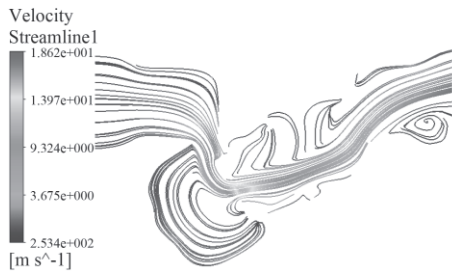


图 9 阀体压差 220 kPa 时速度云图

Fig. 9 Velocity distribution drawing of valve under 220 kPa pressure difference

越大, 阀芯相对行程越大, 通流面积越小, 最大流速也逐渐增大。

针对阀体结构三维模型的仿真可为阀体内部流道结构优化提供理论依据, 为下一步开展阀体声学性能计算提供基础。

## 2 流量平衡阀声学性能预测

### 2.1 噪声性能仿真预测

#### 2.1.1 噪声预测基本理论

阀体噪声采用理论公式进行预测计算, 其具体方法为: 利用 CFD 软件 Fluent 对阀在预测工况下的流场进行数值模拟, 获得阀的流量系数及预测工况下的流量值; 再根据标准 IEC 60534-8-4-2005 中的典型阀门的噪声预测公式进行噪声的理论计算。

外部 1 m 处 A 计权声压级:

$$L_{pAe,1m} = L_{pi} + TL_{cav} - 10 \lg \left( \frac{D_i + 2t_p + 2}{D_i + 2t_p} \right) \quad (1)$$

#### 2.1.2 工作工况的噪声预测

对该平衡阀而言, 不同压差下阀芯位移不同, 其阀芯行程由阀前后压差决定, 按照噪声随阀体工作压力变化的关联性, 通过 B-spline 插值法拟合得到噪声随工作压力变化曲线, 如图 10 所示。

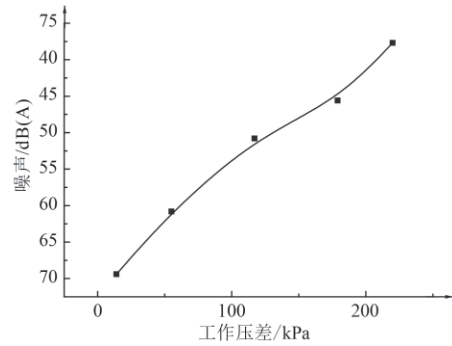


图 10 不同工作压力下噪声曲线

Fig. 10 Noise curve under working pressure difference

## 2.2 总振级性能预测

### 2.2.1 总振级预测基本理论

#### 1) CFD 软件计算瞬态流场

采用 LMS Virtual.Lab 软件和 CFD 软件相结合的方式, 基于直接边界元法对阀门声学性能进行预测。将优化后的系统管路—阀体模型导入 CFD 软件, 利用 CFX 模块模拟得到流体流动稳态信息, 然后对流体进行瞬态分析, 对于管、阀等非旋转机械, 根据标准<sup>[8-9]</sup>定义 0 ~ 300 Hz 的频率范围可覆盖管道所有的振动频率, 对流体瞬态初始条件进行设定, 得到流体压力脉动时域信息, 图 11 为流道全开 (阀芯位移最大时) 流体耦合面压力 1 s 时的压力脉动云图。

#### 2) LMS 软件计算阀体振动

将上述管—阀三维模型导入 LMS 软件, 利用软件

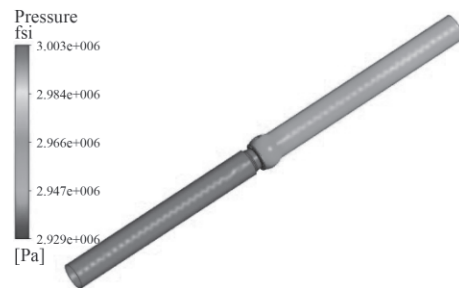


图 11 流道全开时流体耦合面压力脉动云图

Fig. 11 Pressure pulsation drawing of fluid coupling under channel 100% opening degree

自带网格划分模块对其进行网格划分, 网格模型如图 12, 其中原点为振动监测点。

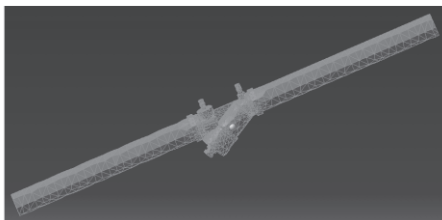


图 12 管—阀系统网格划分模型

Fig. 12 The grid subdivision model of tube-valve system

将管道两端固定, 利用直接边界元法 (BEM) 对耦合面加速度信息传递进行模拟, 得到管-阀壁面的频域加速度幅值 (dB), 图 13 为阀全关 (0 行程时) 频率 100.2 Hz 的管-阀壁面加速度幅值 (dB)。由图 13 可知, 频率 100.2 Hz 时阀体壁面的加速度振动幅值最大, 最大值为 -5.74 dB, 由于管道两端固定, 管-阀结构越接近固定端处, 其振动加速度幅值越小。

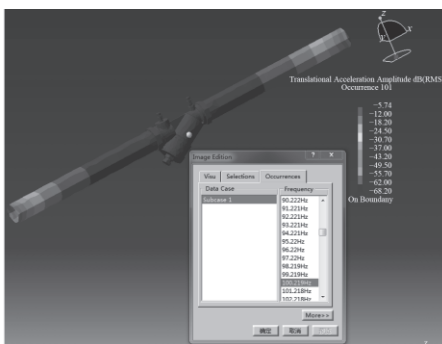


图 13 全关时频率 100.2 Hz 的壁面加速度振动幅值

Fig. 13 Wall vibration acceleration amplitude under 100.2 Hz

### 2.2.2 工作工况的总振级预测

对阀体流道同一监测点不同阀芯位移 (0~25 mm) 下的振动加速度进行仿真, 得到不同位移下的总振级, 其图形如图 14 所示, 可知阀芯位移最大时阀门总振级最大, 最大值为 133.5 dB。

## 3 结 语

本文在某型船用低噪声流量平衡阀流道结构优化的基础上, 应用 Solidworks 软件对阀内流道建立了三维几何模型, 导入计算流体动力学软件 Fluent 中进行压力场和速度场仿真分析计算, 为开展低噪声阀件结构设计提供一定的理论依据。

针对各类阀件在船舶冷水系统管路减振降噪方面的突出问题, 利用 Ansys 软件和声学分析软件 LMS 预测了典型流量平衡阀流道在不同工作压差和阀芯位

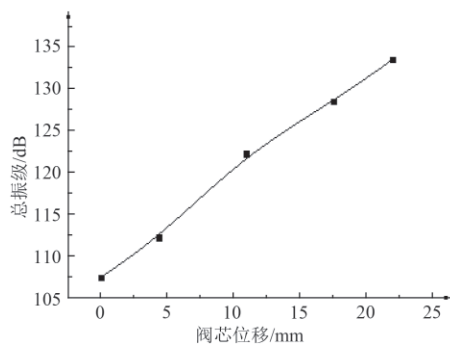


图 14 总振级随阀芯位移变化曲线

Fig. 14 Vibration curve under different valve core displacement

移下声学性能指标, 获取了阀体在全频率段的压力幅值和振动加速度值, 并进一步拟合了阀体在不同因素下的噪声和振动特性曲线, 对于冷水系统各类阀件减振降噪设计具有一定的意义。

## 参考文献:

- [1] 李红梅, 李静巍. 调节阀的噪声与治理[J]. 阀门, 2002(5): 32-35.  
LI Hong-mei, LI Jing-wei. Noise and treatment of control valve[J]. Valve, 2002(5): 32-35.
- [2] 梁向东. 船舶管路中高频振动成因分析及控制策略研究[J]. 噪声与振动控制, 2009, 6: 101-103.  
LIANG Xiang-dong. Cause analysis of high and medium frequency vibration in ship pipelines and its control scheme[J]. Noise and Vibration Control, 2009, 6: 101-103.
- [3] 蔡标华, 郑海斌. 海水系统噪声分析及其减振降噪措施综述[J]. 舰船科学技术, 2009, 31(12): 114-117.  
CAI Biao-hua, ZHENG Hai-bin. The noise analysis and control measures review in seawater system[J]. Ship Science and Technology, 2009, 31(12): 114-117.
- [4] 廖庆斌, 王晓东, 马士虎. 舰船管路系统振动和噪声源机理分析[J]. 舰船科学技术, 2010, 32(4): 23-27.  
LIAO Qing-bin, WANG Xiao-dong, MA Shi-hu. Mechanism analysis of noise and vibration sources on naval piping system[J]. Ship Science and Technology, 2010, 32(4): 23-27.
- [5] 王翎. 蒸汽管路阀门流动与噪声源特性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2011.
- [6] 徐峥, 王德忠, 张继革, 等. 主蒸汽隔离阀管系振动与噪声分析[J]. 上海交通大学学报, 2010, 44(1): 95-100.  
XU Zheng, WANG De-zhong, ZHANG Ji-ge, et al. Analysis for vibration and noise problem of main steam isolation valve with pipelines[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2010, 44(1): 95-100.
- [7] 刘海丰. 基于 CFD 技术的高压通海阀内流道优化[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2013.
- [8] DL/T1103-2009, 核电站管道振动测试与评估[S].
- [9] DLT292-2011, 火力发电厂汽水管路振动控制导则[S].
- [10] GB/T 17213. 14-2005, 工业过程控制阀第 8-2 部分: 噪声的考虑实验室内测量液动流流经控制阀产生的噪声[S].