

丝网直径对网垫级阻力性能的影响分析

孙 涛, 王 松, 孙海鸥

(哈尔滨工程大学 动力与核能工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 为了研究船用进气滤清器中网丝直径对网垫级阻力性能的影响, 利用简化后的二维丝网模型, 并引入周期性边界条件控制计算域的相对尺度, 分别对网丝直径不同的两种丝网组成的网垫级进行数值模拟, 经过多个工况的计算模拟后, 给出了相应模型的阻力特性曲线。在专用小型风洞实验台上进行了两种网垫级的阻力特性实验, 将实验结果与数值模拟结果进行比较, 验证了数值模拟具有的高精度, 为网垫级阻力特性的预估提供了有价值的参考依据, 丰富了网垫级数值模拟的内容。

关 键 词: 船用进气滤清器; 网垫级; 网丝直径; 阻力特性; 数值模拟; 实验研究

中图分类号: O241 文献标识码: A

1 引 言

由于船用动力系统的可靠性受到日益的重视, 对船用进气滤清器的性能要求也越来越高, 网垫级作为进气滤清器的重要组成部分, 其性能关系到整体滤器性能的优劣, 因此, 对网垫级性能的研究就很重要, 并已得到研究者的广泛关注。

由于实验条件的限制, 本文只研究了网丝直径为 0.08 mm 和 0.11 mm, 厚度均为 80 mm 的两种网垫级的阻力性能, 在数值模拟其阻力特性的同时, 通过实验进行验证, 进而将数值模拟与实验研究进行对比, 验证数值模拟方法的可行性, 为以后新型船用进气滤清器的性能预估提供了一种方便快捷并有较高精度的分析手段。

2 数值计算方法

2.1 数学模型

引入 Boussinesq 假设, 流场可由忽略质量力的可压粘性气体平均 Navier-Stokes 方程来描述, 对于可压流, 状态方程也是控制方程的一部分:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = \nabla \cdot (-pI + \Gamma) \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} E) = \nabla \cdot [(-pI + \Gamma) \cdot \vec{v}] - \nabla \cdot \vec{q} \quad (3)$$

$$p/\rho = RT \quad (4)$$

式中: $I = \{\delta_{ij}\}$ 为单位张量; $\Gamma = \{\tau_{ij}\}$ 为单位粘性应力张量, 对于牛顿流体, 有:

$$\tau_{ij} = (\mu + \mu_t) \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] - \frac{2}{3} (\mu + \mu_t) \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \quad (5)$$

式中: $\vec{v} = \{q_i\}$ 为热流矢量, 假设流体遵从 Fourier 传热定律, 则有: $\vec{q} = -\kappa \nabla T$, 而 $E = e + \frac{1}{2} \vec{v} \cdot \vec{v}$ 为质量流体的总能量。

式中: ρ —密度; v —速度矢量; p —压力; e —单位质量内能; k —热传导系数; T —温度; μ —分子粘性系数; μ_t —湍流粘性系数。

控制方程中的涡旋粘性系数 μ_t 用标准 $k-\epsilon$ 湍流模型来模化, 从而使整个方程封闭。湍动能 k 和湍动能耗散率 ϵ 的运输方程为:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + G_{1\epsilon}$$

$$\frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (7)$$

式中: G_k —基于平均速度梯度的湍动能生成项, 则:

$$G_k = -\rho \overline{u_i u_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i}$$

若与 Boussinesq 假设相一致, 则:

$$G_k = \mu_t S^2$$

在此, $S \equiv \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}$ 为平均应变率张量的模, 平均应变率张量由下式给出:

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

忽略重力影响时, 决定于浮力的湍流生成 G_b 为零。

由 Sarkar 建议的模拟可压缩湍流脉动膨胀对总体耗散率的贡献的表达式为:

$$Y_M = \rho \epsilon 2M_t^2$$

式中: M_t —湍流马赫数, 由下式给出:

$$M_t = \sqrt{k/a^2}$$

式中: a 为当地音速。

涡旋粘性系数 μ_t 由 k 和 ϵ 表示为:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (8)$$

常数 $C_{1\epsilon}$ 、 $C_{2\epsilon}$ 、 C_μ 以及 k 和 ϵ 的湍流普朗特数 σ_k 和 σ_ϵ 的值由 B. E. Launder 和 D. B. Spalding 给出:

$$C_{1\epsilon} = 1.44, C_{2\epsilon} = 1.92, C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0,$$

$$\sigma_\epsilon = 1.3.$$

2.2 网垫级计算方案

船用气水分离器网垫级由几十层以上的丝网叠加而成, 丝网网孔尺度为毫米量级, 丝网网丝直径 d 为忽米量级, 网孔尺度一般为网丝直径的几十倍。两者尺度如此悬殊给数值计算的网格划分带来了困

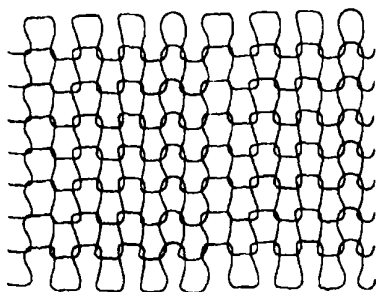


图 1 一般形状的丝网

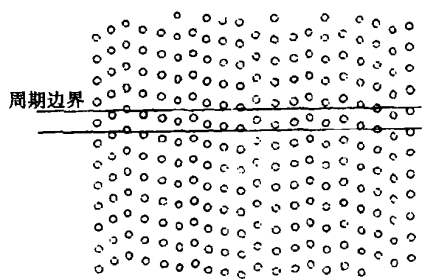


图 2 简化后的二维多层丝网

要难点。为使网垫级数值计算成为可能, 需要对网垫级的结构作计算模型上的相应简化。图 1 和图 2 反映了文献[1]中所提出的简化方法。图 1 为一般编织形状的单层丝网示意图, 其纵横两个方向的平均网格间距分别为 L_1 和 L_2 , 由这两个平均值可以将丝网标准化成相同网丝直径下的网丝正交排列型式; 再将丝网网丝由交叉排列简化为单方向排列即实现了三维向二维的简化, 周期边界的应用使计算量得以有效控制, 如图 2 所示。简化后的丝网网丝间距由下式决定:

$$L = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2 - d}$$

2.3 边界条件

进出口及壁面边界条件给定如下:

进口: 速度, 法向气流方向;

出口: 出气压力 101 325 Pa;

丝网壁面: 绝热, 无滑移。

3 结果及分析

为了真实反映网丝附近流动状况, 计算域采用非结构化网格, 在网丝周围进行了局部加密, 在网格划分中还利用了非均匀网格划分方案, 既保证数值计算精度又可以控制计算量。图 3 为局部的丝网计算域网格。

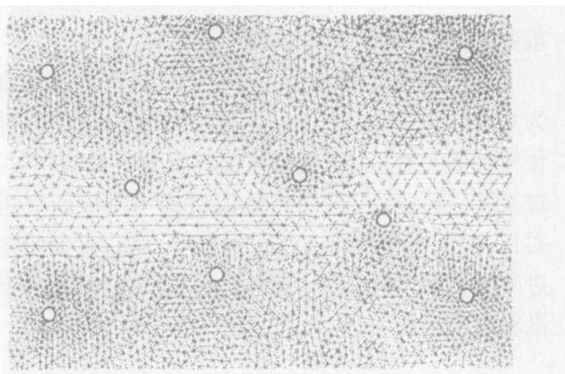


图 3 丝网计算域网格(局部)

本文计算了网丝直径为 0.08 mm 和 0.11 mm 的两种丝网, 图 4~图 6 是网垫级的速度、静压及总压分布图。网垫级计算域的确定是将数十层二维丝网依次等距排列构成网垫级, 丝网间的网丝错位是随机的, 每层丝网的网丝间距都为相同的常数, 利用间距大小等于网丝间距的两条平行线(见图 2)作为周期性边界, 便可将计算域的通流限定为网丝间距尺

难, 因为要想使网格疏密能够反映网丝的尺度, 总体网格数就会大得惊人, 这成为网垫级数值计算的主

度,从而为兼顾计算域网格尺度能很好地反映网丝尺度,同时计算域网格数目又不过于庞大而使计算无法进行奠定基础。可见,周期性边界条件的建立对网格生成提出了特定的要求。

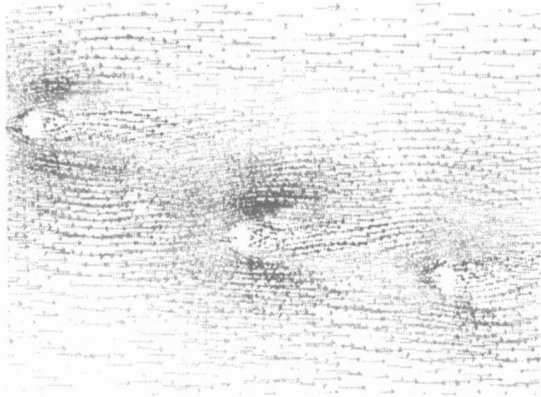


图4 网垫级速度矢量分布(局部)

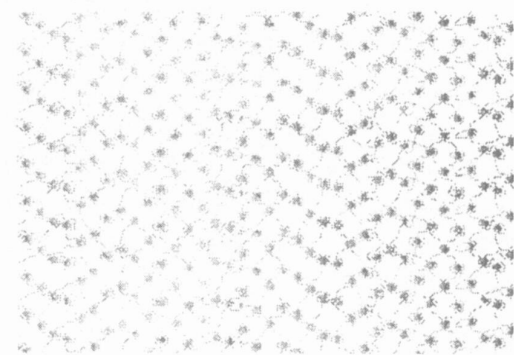


图5 网垫级静压等值线分布(局部)

一种网丝,随着流动速度的提高,流动的湍流强度都在不断增强,直接表现为湍动能和湍流耗散率在不断的增大。在相同速度条件下,直径大的丝网要比直径小的丝网流动更紊乱,即湍动能和湍流耗散率稍大一些。出口截面0~0.4 mm处的湍动能和湍流耗散率高于平均水平,是由于此处距离计算域内的丝网比较近的缘故。

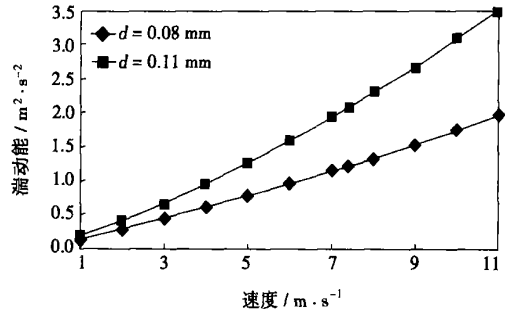


图7 出口截面湍动能与速度关系

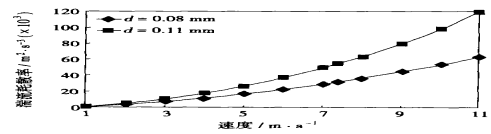


图8 出口截面湍流耗散率与速度关系

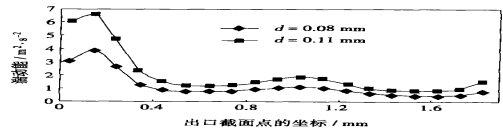


图9 出口截面湍动能分布(V=7.4 m/s)

图8 出口截面湍流耗散率与速度关系

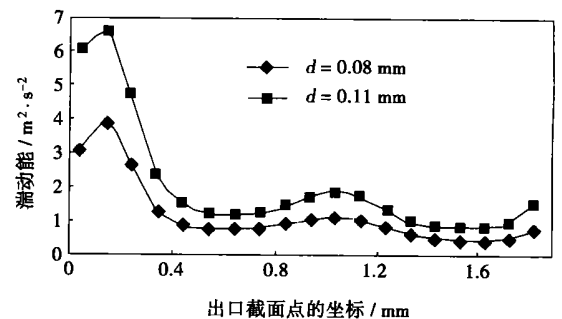


图9 出口截面湍动能分布(V=7.4 m/s)

4 实验研究

为了对计算结果进行验证,对两种形状的网垫级在小型风洞上进行了阻力特性的测量,风洞结构如图11所示。

图7和图8是两种丝网在各种不同速度下丝网出口截面湍动能 k 和湍流耗散率 ϵ 的分布图;图9和图10是速度为额定工作状态下 ($V=7.4 \text{ m/s}$) 出口截面的 k 值和 ϵ 的分布图。从图中可知,对于每

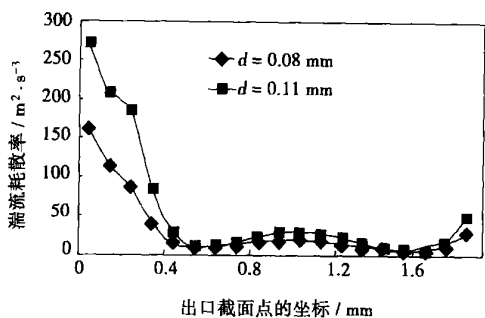


图 10 出口截面湍流耗散率分布($V=7.4 \text{ m/s}$)

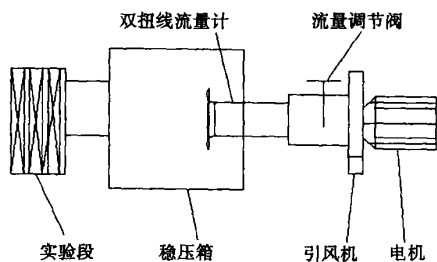


图 11 小型实验风洞示意图

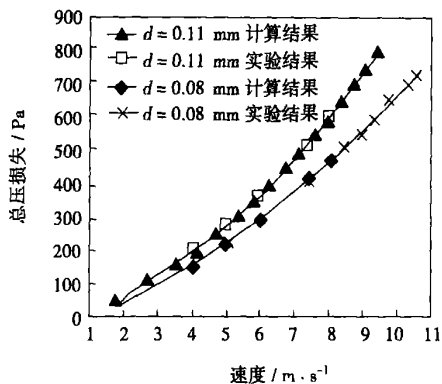


图 12 网垫级阻力特性

实验过程如下: 记录环境温度和大气压; 接通电机电源, 引风机开始抽气, 打开流量调节阀到一定位置, 记录双扭线流量计和接在稳压箱上的总压测量仪的读数; 改变流量调节阀位置, 重复上述步骤直到实验结束, 一般要测量 5~10 个工况点; 整理实验数据。

图 12 给出了两种不同直径网垫级阻力特性的数值模拟计算值与实验值。对比表明, 总压损失计算值与实验值在 3~10 m/s 的进口速度范围内绝对误差不得超过 17 Pa, 可见数值模拟结果具有较高精度。

5 结论

运用简化的二维网垫级模型, 对两种不同丝网的阻力特性进行了数值模拟, 模型的正确选择是数值模拟成功的关键。由结果可知, 网丝的直径对网垫级阻力的影响是很明显的, 对于两种网丝直径只差 0.03 mm 的丝网, 在额定工况下总压损失相差 123.5 Pa。由于网垫级占整体进气滤清器阻力的一半以上, 故分析网垫级的阻力特性对于降低整体进气滤清器的阻力, 提高过滤性能具有很重要的意义。

从数值模拟和实验结果的对比可以看出, 阻力特性数值计算具有的高精度, 可使今后的进气滤清器实验工作主要放在分离效率的研究上, 这不仅可以帮助缩短进气滤清器的研制周期, 而且能够提高气水分离器的性能优化设计水平。

参考文献:

- [1] 孙海鸥. 船用气水分离器数值模拟及实验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2000.
- [2] 吴江航, 韩庆书. 计算流体力学的理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [3] 罗奇 P.J. 计算流体动力学[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [4] 马铁犹. 计算流体动力学[M]. 北京: 科学航空学院出版社, 1986.

(何静芳 编辑)

《热科学与技术》简介

《热科学与技术》由大连理工大学主办, 依托于中国教育学会工程热物理专业委员会, 它以推动高等学校热科学研究的发展、促进这门学科与工程实践相结合和开展国内外学术交流为办刊宗旨, 主要刊登我国高等院校师生及其相关科研院所、生产企业在热科学与技术领域的最新研究与技术开发成果, 特别注意接收高层次研究生培养中完成的高水平学术论文。刊登内容包括工程热力学、传热传质学、燃烧学、热流体力学、能源与环境、新能源、能源净化技术、热能工程、制冷与空调、热物理量测和能源系统工程等领域的学术论文、评论性和综合性文章及相关领域的国内外学术动态。读者对象主要为工程热物理、热能动力、制冷、空调、新能源、建筑节能等领域的研究人员、工程技术人员、高等院校师生和管理工作者。

欢迎惠寄稿件与订阅。

联系地址: 大连市凌工 2 号大连理工大学《热科学与技术》编辑部;

电话: 0411-84707963 E-mail: jst@dlut.edu.cn 邮发代号: 8-262

丝网直径对网垫级阻力性能的影响分析 = **An Analysis of the Influence of Wire Mesh Diameter on the Resistance Performance of a Mesh Pad Grid** [刊, 汉] / SUN Tao, WANG Song, SUN Hai-ou (Institute of Power & Nuclear Energy Engineering under the Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2005, 20(6). — 611 ~ 614

To study the impact of wire mesh diameter in a marine inlet-air filtration device on the resistance performance of a mesh pad grid, a simplified two-dimensional wire mesh model was utilized and cyclic boundary conditions were introduced to control the relative dimensions in a computation domain. A numerical simulation was conducted of the mesh pad grid featuring two kinds of wire mesh diameter. After the computation simulation of several operating conditions obtained were the resistance characteristic curves of corresponding models. The resistance characteristic tests of two kinds of mesh pad grid were carried out on a dedicated small-size wind-tunnel test rig. A comparison of the test results with those of numerical simulation has demonstrated the high precision specific to the numerical simulation, thus providing a valuable reference basis for predicting the resistance characteristics of the mesh pad grid and enriching the content of its numerical simulation. **Key words:** mesh pad grid, wire mesh diameter, resistance characteristics, numerical simulation, experimental investigation

流化床内非等密度双组分颗粒流动特性的研究 = **A Study of the Flow Characteristics of Non-isodensity and Dual-component Particulates in a Fluidized Bed** [刊, 汉] / LIU Yang, LIU Wen-tie, HE Yu-rong, et al (College of Energy Source Sciences and Engineering under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2005, 20(6). — 615 ~ 618

On the basis of particulate dynamics and gas-solid two-phase hydrodynamics set up was a movement-collision decoupled model for the dense gas-solid two-phase and non-isodensity dual-component particulates in a fluidized bed. By using a hard sphere simulation method the collision among particulates was studied with a large eddy simulation method being employed to study gas-phase turbulent flows. A single-particulate movement equation was established based on Newton's second law. Newton's third law was applied to determine the two-way coupling resulting from the interaction of particulate phase and gas phase. A numerical simulation was performed for the gas-solid two-phase flow of the non-isodensity dual-component particulates in a two-dimensional bubbling fluidized bed. The calculation results indicate that the recovery factor of particulate elasticity may have an impact on laminar flow characteristics. **Key words:** non-isodensity dual-component particulate, fluidized bed, hard sphere model, large eddy simulation, laminar flow

基于SDG推理规则和定量分析的故障诊断技术 = **Fault Diagnosis Technology Based On the Reasoning Rules of SDG (Sign Directed Graph) and a Quantitative Analysis** [刊, 汉] / CAO Wen-liang, WANG Bing-shu, MA Liang-yu, et al (Institute of Control Science & Engineering under the North China University of Electric Power, Baoding, China, Post Code: 071003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2005, 20(6). — 619 ~ 623

SDG (Sign Directed Graph) is a kind of fault diagnosis method based on a qualitative model and cause-and-effect analysis. As the low efficiency of an initial algorithm is unfit for a practical large-scale process, the authors have put forward a method for transforming a SDG model into a series of rules. Thus, it is possible not only to greatly enhance diagnosis speed and precision, but also to combine with an existing diagnosis expert system. During a diagnostic process a qualita-