

Engineering Fluid Mechanics Teaching with Practical Engineering Examples and CFD Technology

Mingming Mao*, Yongqi Liu#, Ruixiang Liu, Bin Zheng, Xiaoni Qi

School of Transportation and Vehicle Engineering, Shandong University of Technology, Zibo Shandong
Email: #shandongmao@163.com

Received: Sep. 30th, 2016; accepted: Oct. 24th, 2016; published: Oct. 27th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In this paper, the CFD technology and the analysis of a practical engineering example are combined in the teaching of engineering fluid mechanics. Through the numerical simulation of the practical engineering example, the flow field is visualized and the abstract theoretical knowledge becomes more vivid, which is beneficial to the students' understanding and learning. The flow analysis of the engineering example includes many theoretical knowledge points and improves the students' comprehensive ability and innovative thinking. A swirl mixer is taken as an example for numerical simulation and its internal flow field is analyzed. The analysis involves many theoretical points, such as Bernoulli equation, total pressure, static pressure, streamline and vortex, *et al.* So these knowledge points are digested and the understanding is deepened. Therefore, the engineering fluid mechanics teaching with practical engineering examples and CFD technology is a good teaching method, which enhances the traditional teaching mode with multimedia and blackboard and improves the teaching effect compared with previous injection teaching, and is worthy of discussing and trying.

Keywords

CFD Technology, Engineering Fluid Mechanics, Numerical Simulation, Practical Engineering Examples

*第一作者。

#通讯作者。

结合工程实例和CFD技术 进行工程流体力学教学

毛明明*, 刘永启#, 刘瑞祥, 郑 斌, 齐晓霓

山东理工大学交通与车辆工程学院, 山东 淄博

Email: #shandongmao@163.com

收稿日期: 2016年9月30日; 录用日期: 2016年10月24日; 发布日期: 2016年10月27日

摘 要

本文提出将CFD技术和工程实例分析融合在工程流体力学教学中, 通过CFD技术对工程实例进行数值模拟, 将其流场进行直观形象的展示, 使抽象的理论知识变得形象具体, 有利于学生理解并激发学习兴趣。对工程实例的流动分析囊括多个理论知识点, 提高学生对理论知识的综合运用能力和创新思维。本文以一个旋流混合器为例, 对其进行数值模拟并分析其内部流场, 分析过程中运用了伯努利方程、总压、静压、流线和旋涡等多个工程流体力学知识点, 将这些知识点进行融会贯通, 加深了对理论知识的理解。因此, 结合工程实例和CFD技术为工程流体力学课程提供了有利的教学手段, 提升了传统多媒体加板书的教学模式, 改善了以往的注入式教学效果, 是值得探讨和尝试的教学方式。

关键词

CFD技术, 工程流体力学, 数值模拟, 工程实例

1. 引言

“工程流体力学”属于力学范畴, 它主要研究流体本身的静止状态和运动状态, 以及流体和固体墙壁间有相对运动时的相互作用和流动的规律[1][2]。“工程流体力学”是石油工程、油气储运工程、制冷专业和建筑环境等专业重要的专业基础课, 在多种学科中起着非常重要的作用。

由于“工程流体力学”对高等数学基础的要求较高, 并与工程实际结合密切, 在教学实践中学生普遍反映该课程理论抽象, 概念和方程较多, 理论与工程实践结合难度较大。总之, 在传统的注入式教学模式, 对学生来说, “工程流体力学”是一门非常难学的课程。

随着计算机科学的发展, 计算流体动力学(简称 CFD)技术日趋成熟, CFD 软件得到了较广泛的应用, 已成为解决各种流动现象的有力工具, 可以将实际复杂抽象的流动问题直观的再现出来, 非常适合在教学中应用。过去只能靠实验手段才能得到的某些结果, 现在已经完全可以借助于 CFD 技术的数值模拟来准确获取。因此, 可以考虑在工程流体力学的教学中, 将某些流动问题通过 CFD 模拟, 直观展示流动现象, 从而将抽象的概念、理论变成形象的画面, 便于学生对所学内容的深入理解, 也有利于提高学生的学习兴趣。

2. CFD 技术介绍

CFD 技术是指通过计算机数值计算和图像显示, 对包含有流体流动和传热等相关物理现象的系统所

做的分析[3][4]。CFD 可以看作是在流动基本方程(质量守恒方程、动量守恒方程和能量守恒方程)控制下对流动的数值模拟。通过这种数值模拟,我们可以得到极其复杂问题的流场内各个位置上的基本物理量(如速度、压力、温度、浓度等)的分布,以及这些物理量随时间的变化情况,确定旋涡分布特性、空化特性及脱流区等。还可据此算出相关的其他物理量,如旋转式流体机械的转矩、水力损失和效率等。

传统的流体流动问题的研究方法主要包括实验测量方法和理论分析方法。实验测量方法借助测量仪器对流动参数进行测量,所得测量结果真实可信,但实验往往受到模型尺寸、流场扰动、人身安全和测量精度等因素的限制,有时可能很难通过实验方法得到结果。并且,实验还会遇到经费投入、人力和物力的巨大耗费及周期长等许多困难。理论分析方法所得结果具有普遍性,各种影响因素清晰可见,是指导实验研究和验证新的数值计算方法的理论基础。它往往要求对计算对象进行抽象和简化,才有可能得出理论解,只有少数流动才能给出解析结果。CFD 方法克服了前面两种方法的弱点,在计算机上实现一个特定的计算,就好像在计算机上做一次物理实验。例如,机翼的绕流,通过计算并将其结果在屏幕上显示,就可以看到流场的各种细节,如激波的运动和强度、旋涡的生成与传播、流动的分流、表面的压力分布、受力大小及其随时间的变化等。数值模拟可以形象地再现流动情景,与做实验没有什么区别。

3. CFD 解决问题的步骤

CFD 分析解决流动问题的步骤流程如下:① 建立物理模型:把实际的流动问题通过相关的物理定律概括和抽象为满足实际情况的物理表征。② 建立数学模型:对物理模型进行抽象简化并数学描写。③ 确定边界条件与初始条件:给定所研究对象在过程开始时刻及求解区域的边界上所求解的变量或其导数随地点和时间的变化规律。④ 划分计算网格:使用网格将控制方程在空间区域上进行离散。⑤ 建立离散方程:在求解域内将控制流动的偏微分方程组离散为代数方程组。⑥ 离散边界条件与初始条件:将连续的初始条件和边界条件转化为特定网格节点上的值。⑦ 给定求解控制参数:给定流体的物理参数、紊流模型的经验系数和迭代计算的控制精度等参数。⑧ 求解离散方程:采用数值方法求解代数方程组。⑨ 判断解的收敛性:对解的收敛性随时进行监视,并在系统达到指定精度后,结束迭代过程。⑩ 显示和输出计算结果。

4. 工程实例与教学相结合

工程流体力学课程处于学生从基础课学习向专业课学习的转换阶段,为专业课程的学习奠定坚实基础,起着承上启下的重要作用。因此,学习该门课程不仅要让学生掌握住流体力学的基本概念、公式等基础理论,还要注重培养学员理论联系实际,分析解决问题的能力,为学生专业课的学习以及从事工程技术工作奠定良好的基础[5][6]。

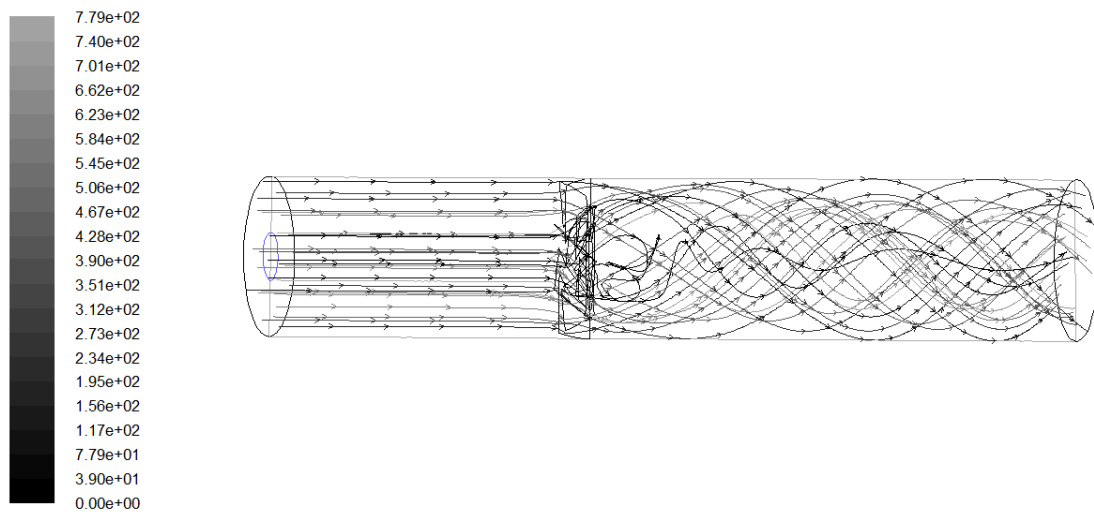
工程流体力学是航天航空、水利、能源、环境、机械、土木等学科的一门专业基础课,如能在教学过程中引进与专业相关的工程实例,引导学生进行实际工程流动问题的分析和解决,则非常有利于学生利用相应的理论解决专业课过程中所遇到的实际问题。否则,如果工程流体力学理论教学与实际工程问题相脱离,则学生不能学以致用,只会感到理论知识枯燥乏味。另一方面,可以为学生提供较为简单的科研问题让学生进行浅显的研究,这样将科研问题与教学相结合,不但可以提高学生的学习兴趣,并且可以培养学生的创新和实践能力。

5. 工程实例 CFD 演示

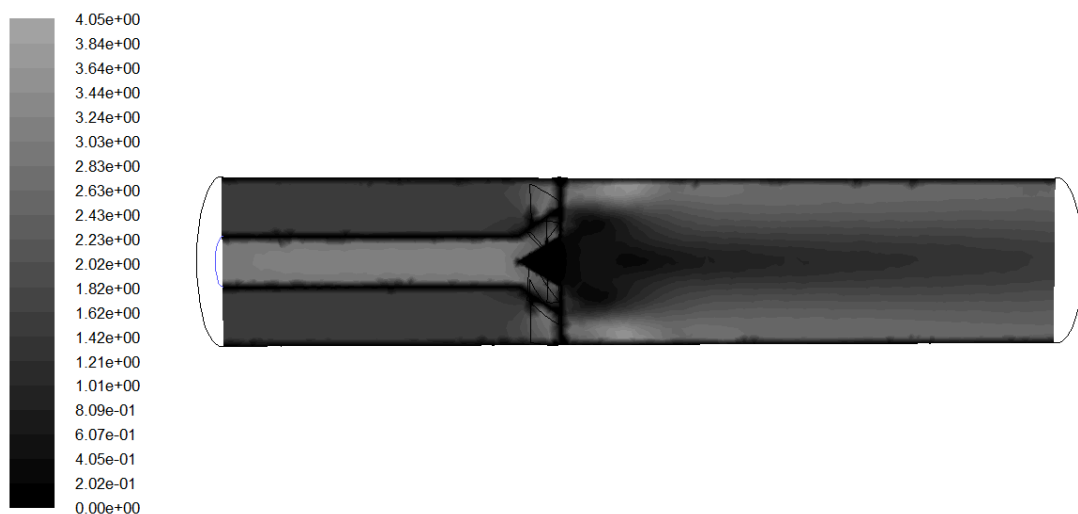
根据伯努利方程,流体在实际流动过程中会发生压强势能和动能的相互转化,并且不可避免总会产生沿程损失,牵扯到总压和静压的概念。利用欧拉法和拉格朗日法对流体运动进行分析,提出了流线和迹线等基本概念。势流和旋涡理论中提出了有旋和无旋流动的概念。这些概念对于没有接触过实际流动

分析的学生比较抽象，不容易理解。这里以一个旋流混合器为例，通过商业软件 Fluent 进行数值模拟，直观的展示混合器的内部流场。该混合器的结构主要由内部的扩张管和外部的圆管组成，内部扩张管流出的高浓度气体和外部圆管的低浓度气体进行均匀掺混。扩张管的内部和外侧还安装了旋流叶片，使内、外管的流体产生旋流，加速流体的均匀掺混。

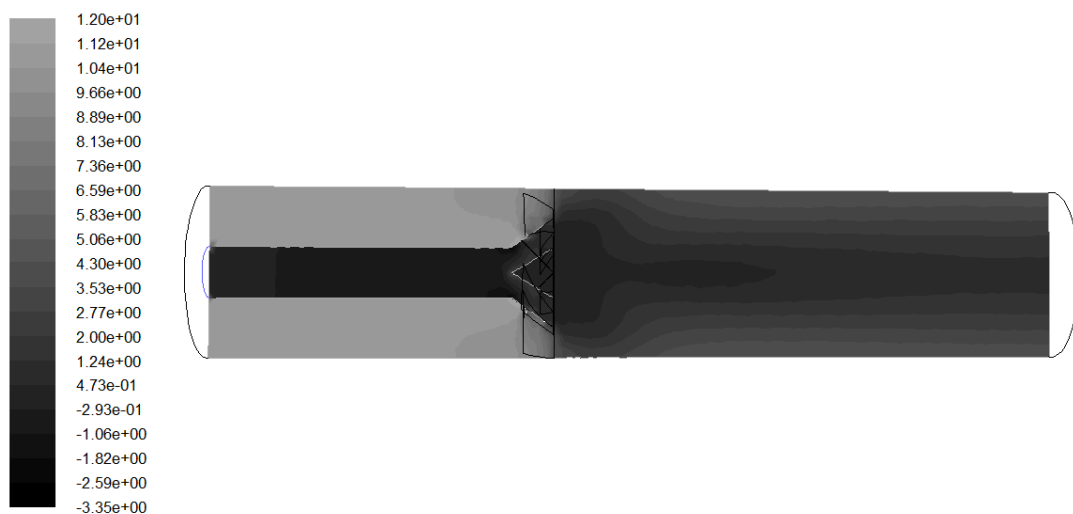
图 1(a)、图 1(b)、图 1(c)和图 1(d)分别为混合器内部流动的流线图以及中心截面上的速度、静压和总压分布。通过图 1(a)，学生能够很容易理解流体质点在混合器的内管和扩张管的流动轨迹，并且发现混合器内管的出口出现了旋涡，下游掺混的过程中为明显的有旋流动。图 1(b)和图 1(c)直观的显示出混合器内部的速度和静压分布情况，可以让学生分析流动过程中压强势能和动能的相互转化规律。在内管扩张段的上游，内管和扩张管的流体速度和静压沿流动基本不变，这是因为流动截面没有发生变化，并且流动损失很小。在内管的扩张口处，外管流体的流动截面减小，速度增大，静压减小，动能转化为压强势能，而内管流体的流动截面增大，速度减小，静压增大，压强势能转化为动能。这样学生对伯努利方程中的能量转化有了直观的体会。在扩张管的出口，由于外管流体对内管流体的卷吸，产生了强度非



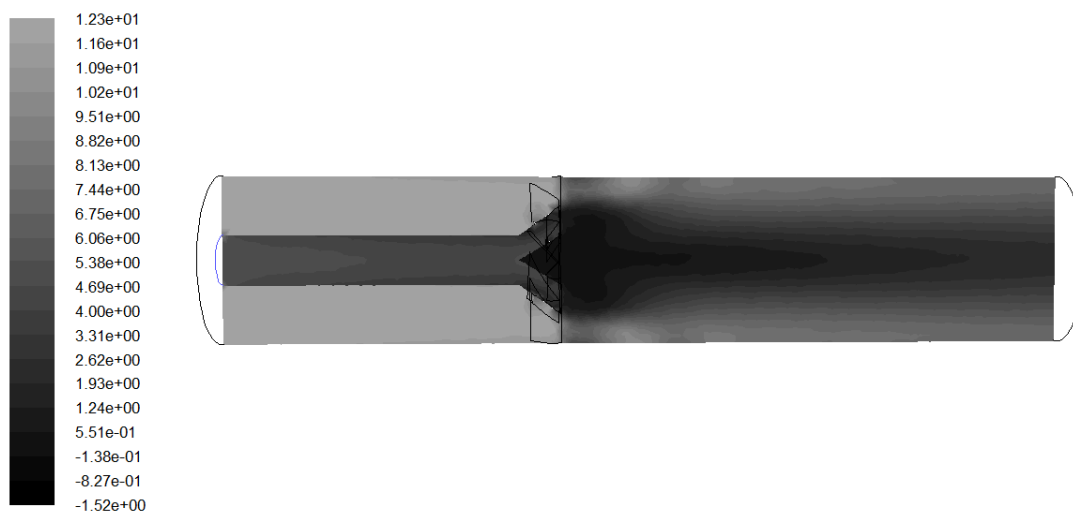
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 1. The flow parameters distribution of the mixer; (a) Streamline; (b) Velocity distribution; (c) Static pressure distribution; (d) Total pressure distribution

图 1. 混合器的流动参数分布; (a) 流线图; (b) 速度分布图; (c) 静压分布图; (d) 总压分布图

常大的旋涡。通过图 1(b)和图 1(c)可以看到旋涡的中心速度和静压最小，由中心向外速度和静压逐渐增大。旋涡的下游为掺混后的有旋流动，流场特点仍为中心的速度和静压最低，外侧的速度和静压逐渐升高，使学生对旋涡和有旋流动的特征有了深入的理解。

图 1(d)中沿程总压的变化清晰的展现流动的损失情况，可以看出在扩张口的上游，内管和外管内的总压沿程变化很小，流动损失很少，为缓变流。而在扩张口处，内、外管的流动截面均发生了明显的变化，从而产生了较大的总压损失，为急变流。在旋涡和有旋流动的中心总压非常低，这是因为流体在有旋流动中的强烈剪切和摩擦将机械能转变为热能耗散掉，使总压随之降低。学生可以通过总压的变化把握流场中总压损失的产生原因和分布情况。

通过图 1 中混合器流场的分析可以将多个工程流体力学知识点融会贯通，提高学生对理论知识的综合运用能力。这个算例还可以将混合器的入口边界条件方便的改变，从而使流场的特征转变，让学生对

多个入口条件下的混合器流场进行对比分析, 并总结和思考, 研究怎样改变混合器的几何结构使流场参数分布达到最优, 获得最佳的混合性能并尽量降低总压损失, 提升学生的创新能力和对实际工程问题的分析解决能力。

6. 结束语

在工程流体力学的教学中, 利用 CFD 技术将工程实例的流动问题向学生进行直观的展现, 可以使抽象的理论知识变得形象具体, 有利于学生理解并激发学习兴趣。另外, 工程实例中的流动分析通常是多个工程流体力学理论知识点的综合运用, 可以提高学生的综合分析能力和创新思维。因此, 结合工程实例和 CFD 技术为工程流体力学课程提供了有利的教学手段, 提升了传统多媒体加板书的教学模式, 改善了以往的注入式教学效果, 是值得探讨和尝试的教学方式。

基金项目

山东省高等学校省级精品课程项目(2012BK239)资助。

参考文献 (References)

- [1] 菲尼莫, 弗朗茨尼. 流体力学及其工程应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [2] 孙文策, 刘宏升. 工程流体力学[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2012.
- [3] 王福军. 计算流体动力学分析—CFD 软件原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [4] 约翰 D. 安德森. 计算流体力学基础及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [5] 李楠, 张财红. 工程流体力学课程应用化教学改革研究[J]. 教学研究, 2014, 37(3): 81-84.
- [6] 李小川, 黄痒永. 工程流体力学教学改革模式的探索与实践[J]. 中国现代教育装备, 2012(19): 61-67.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ve@hanspub.org