

doi: 10.11835/j.issn.1005-2909.2019.04.014

欢迎按以下格式引用: 郝艳红. 本科流体力学课程中引入 CFD 内容的探索与实践[J]. 高等建筑教育, 2019, 28(4): 85-89.

# 本科流体力学课程中引入 CFD 内容的探索与实践

郝艳红

(北京交通大学 土木建筑工程学院, 北京 100044)

**摘要:**流体力学是大部分工科学生的专业基础必修课,计算流体力学软件是流体力学科学与工程研究的重要工具。首先,论证流体力学教学中适当引入计算流体力学的必要性;其次,从理论基础、教学条件、学时安排、教学内容、学时分配和考核办法等方面论证了在流体力学教学中适当引入计算流体力学的可行性;最后,为了激发学生的学习积极性和主动性,提升教学质量,尝试性地在教学中引入了计算流体力学。结果表明,引入计算流体力学后能激发学生对流体力学的兴趣,提高学生的学习能力,培养学生的创新性思维,拓宽学生的知识面,加深学生对基本理论的理解,从而提高教学质量,学生期末成绩明显提高。文章提出的流体力学课程改革新思路,为今后引入计算流体力学教学提供了必要的准备和参考。

**关键词:**流体力学;计算流体力学;课程教学

**中图分类号:**G642

**文献标志码:**A

**文章编号:**1005-2909(2019)03-0085-05

流体力学是研究流体在各种力作用下的平衡和机械运动规律,及其在工程中的实际应用的一门学科。在许多领域都有着广泛的应用,比如航空、电力、水利及交通运输等<sup>[1]</sup>。该课程为大部分工科学生的专业基础必修课,要求学生掌握流体力学的基本概念和原理,并能解决工程中的实际问题,课程内容比较抽象、难懂。学生普遍认为该课程较难,内容难以理解,导致学习主动性不高。如何提高学生的学习积极性,以提升教学质量是教师一直探讨的问题<sup>[2-6]</sup>,也成为了一大挑战。

随着计算机的发展,计算流体力学(CFD)技术日趋成熟。CFD是流体力学的一个分支,通过计算机来求解流体的流动问题。与传统的实验相比,数值模拟成本低、周期短、可重复性高、获得的数据较为完整,因此CFD得到了广泛的应用。求解流动的CFD软件多种多样,如FLUENT、STAR-CCM+、CFX,等等。

CFD的结果可以通过图像、动画或视频的形式,从时间和空间维度定量地描述流场,从而将抽

修回日期:2018-09-12

作者简介:郝艳红(1980—),女,北京交通大学土木建筑工程学院副教授,博士(后),主要从事流体力学相关研究,(E-mail)yhxi@bjtu.edu.cn。

象的概念和理论转化为形象生动的画面。在流体力学教学中引入 CFD,可以帮助学生较快地建立感性认识,更好地理解流体流动变化的复杂规律,提高学生的学习兴趣。

## 一、教学中引入 CFD 的必要性

笔者所在的学校,面向大三本科生设置了大学生创新创业项目,由科研一线的老师从科研角度设置题目,并带领学生进行研究性创新,全年级约有一半的学生成功申请该类项目。学生研究流动问题,则需要运用流体力学的基本原理再辅以计算流体力学作技术支撑。此外,本科生进入四年级后即将进行毕业设计,教学中若引入了计算流体力学,学生可以较为容易地进入研究状态,获得较多的研究成果。再次,学生毕业之后,无论是进入工作岗位还是继续深造,掌握计算流体力学的基本方法,将有助于学生求解实际工程问题,培养创新思想,使之较快较好地适应工作环境。

在国内,绝大多数学校都没有直接将 CFD 纳入本科教学,但是很多教师已经认识到了 CFD 在教学中的重要意义,主动将 CFD 计算结果应用于流体力学教学,取得了比较好的效果<sup>[7-11]</sup>。但是,以图形画面或动画的形式向学生展示结果,没有让学生参与其中,求解怎样的流动方程,设置怎样的边界条件,计算流体力学的工作原理,等等,对于这些问题学生不得而知,因此失去了深入了解流动机理的机会。鉴于此,建议可适当将 CFD 加入教学中。

## 二、教学中引入 CFD 的可行性分析

### (一) 理论基础

通过学习流体力学课程,学生基本掌握了描述流体及其运动的基本概念、规律和方程,如实际流体的粘性、层流紊流模型、边界层及绕流理论、定常非定常流动、可压缩不可压缩、动量方程、能量方程以及流线、速度场和压力场等,这些分散到各个章节的概念和方程单独理解有些困难,且不易记住。在用 CFD 软件求解一个流体力学问题的过程中,每个物理条件及物性参数的选择,每个结果的获得与分析基本上都是基于这些知识,因此,学生完全可以自己动手用 CFD 软件求解流体力学问题,通过简单的流体流动的例子将流体力学的知识点全部串起来,这样就可以将传统的概念灌输转化为实例教学,通过模拟结果让学生感受到具有“立体感”的流体力学,便于透彻理解和深刻记忆。

### (二) 教学条件

目前,北京交通大学拥有多个机房并配置了多个节点的服务器,购买并安装了多个计算流体软件,如 FLUENT、STAR-CCM+/CD、Phoenics 等,可以进行高性能的 CFD 数值模拟计算,已经全部面向学生开放,可以满足学生的计算需求,并有专门的教师负责维护与指导。

此外,购买软件时附带了大量的学习资料和软件的帮助文件,详细介绍该软件的基本原理和使用方法,并提供了大量的算例。比如 STAR-CCM+软件,例题库丰富,涵盖了各种流动问题,学生既可以从中学学习软件的入门计算,也可以从中学到流体力学各个知识点的应用方法,加深对流体力学各个知识的理解。

再次,学校负责教授流体力学的教师长期奋战在科研一线,长期使用 CFD 软件对科研问题进行数值模拟计算,对 CFD 软件非常熟悉,完全可以担负讲解 CFD 的任务。

### (三) 学时安排

根据专业的不同,学校流体力学的课时数也不同。土木工程和环境工程专业的理论学时

数分别为 32 和 48 学时,教学内容主要为基础理论。这两个专业均可增加 16 学时的 CFD 课程,并安排在基础理论之后,便于学生将流体力学中各个知识点串连起来,形成体系,也便于学生理解 CFD 的基本原理。

#### (四) 教学内容及学时分配

增加 CFD 教学之后,教学内容及学时分配如表 1 所示。

表 1 教学内容及学时分配

| 章节  | 教学内容        | 学时 |
|-----|-------------|----|
| 第一章 | CFD 概述      | 2  |
| 第二章 | CFD 流程      | 2  |
| 第三章 | 商业软件的基本操作   | 2  |
| 第四章 | 简单流动的上机操作计算 | 10 |

在上机操作环节,课堂教学演示时尽量选取简单的实际生活中的流动,简单流动可以减少计算时间,而数值模拟实际生活中的流动,则可以提高学生的学习兴趣 and 探索精神。布置课外任务时,可以在课堂教学的基础上,变换几何模型、边界条件、物理条件等,以巩固课堂所学内容。为了开阔学生的视野、培养学生独立创新的能力,也可以探索性地将部分简单的科研任务布置给学生,并加以指导。部分教材可由流体力学课题组老师负责编写及校正。

#### (五) 考核办法

现目前的考核主要采用卷面为主、作业和实验为辅的评定方法,增加 CFD 教学内容之后,应该增加对该部分内容的考核,可采取提交计算报告或小论文的方式,要求学生详细介绍数值模拟时采用的初始条件、边界条件、物性参数和物理模型设定、计算结果的分析等。将数值计算的成绩按照一定的比例计入总成绩,一方面可以调动学生学习课程的积极性,另一方面也可以全面考查学生的掌握情况和综合水平。

### 三、教学尝试

在以往的教学过程中,笔者均会应用 STAR-CCM+ 软件对流体力学中的一些基本流动现象进行数值模拟分析,通过图片和动画演示的方式展示结果,可以清晰地表明流动规律,体现流动特征,帮助学生建立清晰的物理概念,缩短认知过程,取得了良好的教学效果。

学校流体力学课程安排在大三上半学期,而在 2016—2017 学年第一学期,笔者有幸指导了一项大学生创新创业项目,共有 3 名学生参加。此项目要求学生用 CFD 软件 STAR-CCM+ 对流动问题进行数值模拟计算。这 3 名学生一边学习流体力学课程,一边学习 STAR-CCM+ 软件,并自发地对课程中的流动现象进行了数值模拟,如变换雷诺数模拟管内层流、紊流,提取了过流断面速度剖面图;模拟了变截面管道内的流动,通过提取速度结果,得到了变截面附近的旋涡图,明白了在截面突变处机械能发生了损失,更好地理解了局部阻力损失等。

笔者惊讶于学生的探索精神,将 CFD 引入课堂教学中。经与学生商量,在课程结束后的第一个周末增加了 6 个学时的 CFD 内容,学生自带笔记本,每人事先安装了 STAR-CCM+ 程序。此次 CFD 课程,概要讲解了 CFD 的基本原理和流程、STAR-CCM+ 的基本操作、管内流动的数值模拟。由于时间紧,未准备参考教材,笔者直接提供事先做好的模型和事先确定的计算域,针对实际流体和理想

流体、定常与非定常流动、可压缩不可压缩流动、层流紊流模型等,详细介绍了物理条件、边界条件、初始条件的选择方法及依据。虽然安排的学时数不多,且是在周末增加的内容,但这一尝试仍然引起了学生的极大兴趣。

为了检验引入 CFD 教学的效果,对近几年考试成绩进行了分析,如表 2 所示。其中 2011—2013 级均没有引入 CFD 教学,2014 级为引入 CFD 教学的年级。2014 级引入 CFD 的时间段为作业成绩统计后和期末考试前,即 2011—2014 级的作业平均得分均是在未引入 CFD 的情况下获得的,而 2014 年的期末平均得分是引入 CFD 的情况下获得的。表 2 表明,各个年级的作业平均得分相差最大为 0.2 分,表明学生的综合素质相仿。2014 级期末考试的平均得分较以往有了一定的提高,在课程目标 1 中,学生平均得分有了突破,达到了 7.3 分;课程目标 2 中达到了 28.5 分;课程目标 3 中达到了 14.1 分。2011—2013 级的总体课程达成度分别为 0.75、0.75 和 0.74,引入 CFD 教学后 2014 级达到了 0.77。在任课教师、学生综合素质和期末考试考题难度相当的情况下,学生的平均分有所提高,引入 CFD 教学初显成效。

表 2 达成度分析

| 课程目标  | 2011 级 (133 人) |      |        | 2012 级 (62 人) |         |      | 2013 级 (62 人) |       |         | 2014 级 (64 人) |        |       |         |     |      |      |
|-------|----------------|------|--------|---------------|---------|------|---------------|-------|---------|---------------|--------|-------|---------|-----|------|------|
|       | 达成途径           | 目标分值 | 学生平均得分 | 达成度结果         | 达成途径    | 目标分值 | 学生平均得分        | 达成度结果 | 达成途径    | 目标分值          | 学生平均得分 | 达成度结果 |         |     |      |      |
| 1     | 作业(1)          | 5    | 4.6    | 0.75          | 作业(1)   | 5    | 4.4           | 0.75  | 作业(1)   | 5             | 4.5    | 0.74  | 作业(1)   | 5   | 4.4  |      |
|       | 期末考试(1)        | 10   | 6.7    |               | 期末考试(1) | 10   | 6.9           |       | 期末考试(1) | 10            | 6.6    |       | 期末考试(1) | 10  | 7.3  |      |
| 2     | 作业(2)          | 10   | 8.4    | 0.73          | 作业(2)   | 10   | 8.4           | 0.73  | 作业(2)   | 10            | 8.5    | 0.71  | 作业(2)   | 10  | 8.4  |      |
|       | 实验(1)          | 2    | 2.0    |               | 实验(1)   | 2    | 2.0           |       | 实验(1)   | 2             | 2.0    |       | 实验(1)   | 2   | 2.0  |      |
|       | 期末考试(2)        | 40   | 27.3   |               | 期末考试(2) | 40   | 27.8          |       | 期末考试(2) | 40            | 27     |       | 期末考试(2) | 40  | 28.5 |      |
| 3     | 作业(3)          | 5    | 4.2    | 0.72          | 作业(3)   | 5    | 4.0           | 0.72  | 作业(3)   | 5             | 4.0    | 0.69  | 作业(3)   | 5   | 4.2  |      |
|       | 期末考试(3)        | 20   | 13.7   |               | 期末考试(3) | 20   | 13.9          |       | 期末考试(3) | 20            | 13.3   |       | 期末考试(3) | 20  | 14.1 |      |
| 4     | 实验(2)          | 8    | 7.6    | 0.95          | 实验(2)   | 8    | 7.4           | 0.93  | 实验(2)   | 8             | 7.8    | 0.98  | 实验(2)   | 8   | 7.6  | 0.95 |
| 总体达成度 |                | 100  | 74.5   | 0.75          |         | 100  | 74.8          | 0.75  |         | 100           | 73.7   | 0.74  |         | 100 | 76.6 | 0.77 |

注:课程目标 1 为掌握流体力学的基本概念、基本假设和基本原理;课程目标 2 为掌握流体力学的基本方程,建立和分析求解方法;课程目标 3 为能够对工程系统进行计算分析;课程目标 4 为培养学生应用流体力学理论解决工程实际问题的能力

## 四、结语

创新型人才的培养对本科生教学提出了新的要求和挑战,计算机技术的发展为开展 CFD 教学提供了强大的技术支持和保障。在本科生流体力学教学中,适当引入 CFD 教学是流体力学课程建设的需要和发展趋势,有利于激发学生的学习兴趣,提高学生的学习能力,培养学生的创新性思维,加深学生对基础理论的理解,也有利于拓宽学生的知识面。

### 参考文献:

- [1]李玉柱,苑明顺.流体力学[M].2版.北京:高等教育出版社,2008.
- [2]杨扬,张勤星,王利霞,等.工科流体力学教学方法与改革[J].大学教育,2015,4(5):129-130.

- [3]陶海升. 流体力学课程教学与课程考核改革的实践[J]. 教育教学论坛, 2015(17): 91-93.
- [4]陈庆光, 张明辉, 朱绪力, 等. 流体力学课程教学中几个基本概念的教学方法[J]. 力学与实践, 2015, 37(1): 138-141.
- [5]许栋, 及春宁, 白玉川, 等. 基于生活实践的工程流体力学启发性教学初探[J]. 力学与实践, 2016, 38(2): 195-198.
- [6]曲洋, 李辉, 田文杰, 等. 应用型本科院校工程流体力学课程改革与实践[J]. 山东化工, 2017, 46(11): 160-161.
- [7]譙雯, 周云开. FLOW-3D 在流体力学教学改革中的应用及探讨[J]. 高教学刊, 2017(8): 77-78,80.
- [8]李宝宽, 荣文杰, 刘中秋, 等. 在工程流体力学教学中引入 CFD 工程案例的探讨[J]. 力学与实践, 2018, 40(1): 93-95.
- [9]王东屏, 贾颖, 梁志博. 计算流体力学(CFD)在流体力学教学中的应用[J]. 教育现代化, 2016, 3(34): 146-147,154.
- [10]赵玉新, 刘伟. 计算流体力学软件在流体力学专业教学中的应用[J]. 教育教学论坛, 2016(11): 248-250.
- [11]谢翠丽, 倪玲英. 计算流体力学在工程流体力学课程中的应用与实践[J]. 力学与实践, 2017, 39(5): 503-505,495.

## Exploration and practice of fluid mechanics course adding computational fluid dynamics for undergraduates

XI Yanhong

(School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, P. R. China)

**Abstract:** Fluid mechanics is a major course of the most students in engineering specialty. Computational fluid dynamics software is an important tool in the study of fluid mechanics science and engineering. Firstly, the necessity of adding the contents of computational dynamics to undergraduate learning is discussed. Secondly, the feasibility of adding the contents of computational dynamics to undergraduate learning is discussed in the theoretical basis, teaching conditions, class hours, teaching content and class hour allocation and assessment methods. Finally, the preliminary attempt has carried in the teaching process in order to stimulate students' learning enthusiasm and initiative, to improve the quality of teaching. The results show that the students' interest was stimulated, the understanding of basic theory was deepened and the teaching effect was improved after adding the contents of computational fluid dynamics to undergraduate learning. Compared with the past, the students' final average score has improved. The new ways of teaching reform about this curriculum are put forward in this paper on the basis of in-depth research and analysis of the main problems existing in the teaching practice.

**Key words:** fluid mechanics; computational fluid dynamics; course teaching

(责任编辑 梁远华)