

计算流体力学课程改革的几点思考*

韩翔希 张美娜 翟煜 符妃

(北部湾大学机械与船舶海洋工程学院 广西钦州 535000)

摘要: 计算流体力学 (Computational Fluid Dynamics, 简称CFD) 是高等院校工科专业必修的一门专业基础课, 它是建立在物理、数学与计算机基础之上的一门综合性较强的独立学科。随着计算机技术的高速发展, CFD软件技术已成为解决实际工程问题必不可少的工具。为了使计算流体力学教学顺应时代发展的要求, 本文将围绕教学内容、教学方法、考核方法等方面进行有益的改革思考, 旨在激发学生对于计算流体力学课程的学习兴趣, 培养学生的创新意识与创新精神。

关键词: 流体力学 计算流体力学 教学改革

中图分类号: G642; O35-4 **文献标识码:** A

DOI: 10.12218/j.issn.2095-4743.2022.30.166

引言

流体力学是研究流体的运动规律及应用的一门学科, 它的主要任务是研究流体所遵循的宏观运动规律以及流体和周围物体间的相互作用^[1]。流体力学作为一门严密的科学, 是随着经典力学建立了速度、加速度、力、流场等概念, 以及质量、动量、能量三个守恒定律的发展奠定之后, 才逐步形成的。流体力学学科如今形成了理论分析、实验测量或数值计算三足鼎立的局面。理论分析称为理论流体力学方法, 是根据流体运动的普遍规律, 如质量守恒、动量守恒、能量守恒等, 利用数学分析的手段, 研究流体的运动, 解释已知的现象, 预测可能发生的结果。实验测量称为实验流体力学方法, 是利用相似理论建立实验模型, 选择流动介质, 来直接测量得到流动参数, 找到经验性规律。然后, 根据模型实验所得的数据用因次分析和相似变换方法, 换算出原型的数据。数值计算称为计算流体力学方法, 是根据理论分析的方法建立数学模型, 选择合适的计算方法, 利用商业软件或自主开发程序在计算机上求解数学方程, 得出结果, 用实验方法加以验证。

计算流体力学是在流体力学基础上发展起来的重要分支, 在解决工程实际问题中, 有着广泛的应用。国内许多专业, 如土木工程、机械工程、船舶与海洋工程、能源与动力工程、生物医学工程等均开设了计算流体力学课程。然而, 由于该课程的特点是理论性强、概念多、数学公式难以掌握, 造成学生对于计算流体力学课程学习的积极性并不高,

甚至产生了畏难厌学情绪。例如, 学生想要理解课本中的一个概念, 首先要读懂由力学、数学原理推导出的流体力学公式。学生即便能理解推导所得的复杂的数学公式, 也未必能够做到真正理解数学公式背后所代表的物理含义^[2]。基于以上问题, 应将探究性学习引入计算流体力学课程的学习中, 将理论学习与工程实例相结合, 激发学生的学习兴趣, 培养学生自主发现问题、解决问题的能力, 提升学生的创新精神与创新意识。

一、探究性学习引入计算流体力学的必要性

传统计算流体力学课程的讲授方法是以“教师为中心”^[3], 教师作为课堂知识的传授者, 从纳维斯托克斯方程组的推导开始讲授, 接着是插值算法、稳定性理论、收敛性理论和数值扩散理论等, 而学生作为学习的被动者, 只能接受教师灌输知识。这种传统的教学模式, 不仅使学生对计算流体力学课程的学习产生厌倦情绪, 而且在一定程度上也抹杀了学生对计算流体力学问题该有的创新性思考, 不利于创新人才的培养。因此, 对于这种“填鸭式”教学模式, 应予以摒弃。探究性学习是指, 学生在学科领域内或现实生活情境中, 选取某个问题作为突破点, 通过一系列的探究学习活动, 从而获得知识, 掌握方法。探究式学习的整个过程需要根据不同的学生、不同的年代、不同的结果, 不断反思进行相应的调整。这里面包含了一个循环, 叫作疑问、行动、反思。这种以问题为导向的开放式学习过程, 真正贯彻了以“学生为主体”的教育理念, 学生由过去的被动学习转变

*基金项目: 广西研究生教育创新计划项目 (JGY2021222, JGY2022298)。

为主动学习,由过去的“要我学”转变为“我要学”^[3]。此外,探究性学习鼓励学生要积极发现问题、提出问题、思考问题、解决问题。学生通过这个学习过程,不仅加深了对知识的理解,而且在学以致用过程中获得一定的成就感,进一步激发的学习兴趣。

二、基础理论与CFD软件相结合的教学方法

CFD学习路径也取决于最终目标或工作的性质。学习CFD的人群大致可以分为两类:一是CFD开发者,二是CFD应用工程师。CFD开发人员是编写与CFD相关的计算机程序/代码的人。开发人员的主要目标是编写自己或他人用于CFD分析的计算机程序/代码。CFD应用工程师是使用现有的程序/代码/软件来分析工程问题的人。应用工程师使用CFD作为分析、设计和优化工程设备的工具。但CFD开发人员和应用工程师的学习路径并没有完全不同。学习道路上的最初几个阶段对双方都是必须和必要的。在后期,开发人员开始专注于数值方案、编程语言等,应用工程师开始专注于学习不同的CFD软件,并使用它们解决各种工程问题。对于船舶与海洋工程专业的学生而言,CFD主要是解决流体流动和海洋结构物水动力的问题。CFD软件总会给出一些结果。解释结果的正确与否是CFD工程师的责任。要正确地做到这一点,学生必须对流体动力学有很好的认识。我认为,CFD只是用更多的见解和准确的数据验证了一个人的想法。如果一个人对物理的思考和理解一开始就不正确,CFD结果可能对他是没用的。为了确保一个人正确使用CFD软件并得到可靠的结果,必须具有较强的流体动力学基础,较为深刻地理解CFD的基本方程。

因此,计算流体力学课程学习的第一阶段是明确流体力学的基础知识。虽然有部分研究生已经在本科阶段学习了流体力学课程,但是我强烈建议在开始计算流体力学课程学习之前,再一次学习流体力学课程。当然,如果仅仅是为了学习计算流体力学课程,并不需要看完所有的流体力学课程,只需要了解基本概念、控制方程的推导、方程中每一项的物理意义以及为简化控制方程所做的简化和假设。从长远来看,将优秀的CFD工程师与普通工程师区分开来的是一个人对CFD基础的理解。而这一阶段也被认为是较难跨越的阶段之一。学习者总是被复杂的方程、数值方法等所困扰。如果想成为CFD应用工程师,不需要是方程数学和数值方法的专家。如果一个人对数学和数值方法有深刻的理解,这是一件很好的事情,但不是必需的,必须理解的是整个方程,它的术语和物理意义,还需要知道数值格式的限制性,以及在哪儿

里使用什么格式。所以从物理的角度来看待每个概念,而不是专注于数学。

对于理论的学习,可以借鉴波士顿大学机械工程系Lorena Barba教授于2009年至2013年期间所教授的计算流体力学课程,将二维的Navier-Stokes方程的求解分解成12个任务。通过编写12个任务的代码,学习有限差分法和Navier-Stokes方程各项的特点和离散方法。任务1到任务4为一维的算例代码编写:(1)具有阶跃函数初始条件(IC)和适当边界条件(BC)的线性对流项求解;具有相同的IC/BC的及具有锯齿IC和周期BC的;(2)非线性对流项求解,(3)仅扩散项求解;(4) Burgers方程求解。任务5到任务10为二维的算例代码编写:(5)具有平方函数IC和适当BC的线性对流项求解;相同的IC/BC的;(6)非线性对流项求解,(7)仅扩散项求解;(8) Burgers方程求解;(9)具有零IC和Neumann和Dirichlet BC的Laplace方程;(10)二维Poisson方程求解。任务11到任务12为二维的Navier-Stokes方程求解:(11)空腔流动问题;(12)沟道流动问题。通过这12个任务指导学生,使学生可以较为系统地学习如何求解二维的Navier-Stokes方程,通过这12个任务的学习对于学生构建计算工具箱、建立对数值方法的理解以及完整的CFD算例的模拟都产生良好的作用,为他们进一步分析和使用现有的CFD工具奠定了良好的基础。

为了培养CFD应用工程师,还需要增加CFD软件模拟技术的学习内容,通过几种不同经典的CFD算例,学习CFD软件的基本操作和相关技术。同时,计算流体力学的基础概念抽象、难理解等问题,如梯度、散度、旋度、流线、迹线等计算流体力学课程的重要基本概念,书本教材上经常会使用数学公式或抽象语言来描述,学生理解这类的基础概念时较为困难。教师教授相关知识时,可以采用CFD软件进行辅助教学。当借助CFD软件开展教学时,上述概念可以通过云图、矢量图等直观显示出来,有助于学生更容易地理解这些基础理论知识^[4]。在教学实践中,我们发现,学生专注于学习解决方案和后期处理。这是CFD中具有吸引力和有趣的步骤,但CFD结果的准确性在于网格划分的合理性。要成为一名优秀的CFD工程师,必须学习网格划分技术。所以,在教学过程中,还需要根据具体的教学内容选择合适的计算案例,才能发挥CFD软件自身优势以获得更好的教学效果。具体可通过层流圆管流动、NACA0012翼型风洞模拟计算、方块落水(滑移网格和重叠网格)、波浪模拟、柔性挡板的流致振动模拟等经典算例,让学生熟悉计算流体力学的模型建立、网格划分、计算设置、结果分析等内容,从而增强学生

在工程中遇到的计算流体力学问题的解决能力。

总体来说,针对计算流体力学课程基础理论与实践脱节的现状,以解决常见工程实际问题为出发点,应将商用CFD软件技术的学习引入计算流体力学课程中^[5]。因此,应进行如下调整。

(1) 计算流体力学这门课所阐述的基本流体力学知识和所依赖的数理基础是不可改变的,教师可通过探究性学习引领学生学习理论知识,尤其是有限差分法、有限元法、有限体积分析法等的学习,为CFD软件的应用打下坚实的基础。

(2) 从学以致用角度出发,单有理论学习是远远不够的,还应加入CFD软件的学习。因此,教师应带领学生进行算例练习,以巩固理论知识的应用。选取实际工程的典型案例,从几何建模、网格划分、物理性质设置、计算模型及边界条件的选择、计算参数选取以及计算数据的处理分析等方面^[6],系统学习CFD软件。

三、考核方法

结合新课改的要求,计算流体力学的考核方式不能再用一张试卷来定性学生的学习情况。考核方式应由大论文与期末试题两部分组成。由教师提供题库,学生可从题库中自由选择感兴趣的题目。教师可事先了解学生的专业背景及导师研究方向,为学生选题提供建议性指导。为了提高论文质量同时培养学生的团队意识,教师可将学生分为3-5人为一组,自由组合共同完成论文作业。提交作业后,教师选择合适的时间地点,采取现场提问的方式,请学生对自己的论文内容进行讲解,保证小组内每个成员都有被提问的机会,教师对学生提交的作业及组内成员回答问题的情况进行评分。这样既能综合考查学生对计算流体力学课程学习的掌握情况,又能使使学生结合自己的研究课题,动手解决一个CFD工程算例。

结语

为改变以往计算流体力学课程传统教学模式的弊端,对计算流体力学课程的教学从改革的必要性、教学内容与方法、考核方法等三方面进行思考和实践,提出通过将二维的

Navier-Stokes方程的求解分解成12个任务,编写12个任务的代码实现流体流动的基本偏微分方程的解决方案,从而学习计算流体力学的理论基础,并通过工程上典型的计算流体力学应用的案例,让学生具备应用计算流体力学知识解决工程实践的能力。该教学模式可以激发学生的学习兴趣,提高教学效果,培养学生的创新精神与创新意识,有助于帮助学生成为CFD开发者或CFD应用工程师,从而成为适应现代工程领域需要的高质量应用型人才。

参考文献

- [1]陈东阳,顾超杰,杨俊伟.流体力学课程实践性教学探索[J].科教论坛,2020:34-35.
- [2]彭维红,张海翔.CFD软件在流体力学教学中的应用[J].亚太教育,2016(07):69.
- [3]唐群国,陈晶田,谭琼.基于CFD的探究性学习在“工程流体力学”教学中的应用[J].大学教育,2020:7-9.
- [4]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[A].教育教学论坛,2016,(11):248-250.
- [5]赵琴.国外本科流体力学实验教学[J].力学与实践,2014,36(5):660-663.
- [6]王文斌,胡笑涛,马孝义.“计算流体力学”课程教学改革方法探索[J].教育教学论坛,2014(49):191-192.

作者简介

韩翔希(1987.2—),男,汉族,山东潍坊市,研究生(博士),副教授,研究方向:船舶与海洋工程水动力学。

张美娜(1995.8—),女,汉族,山东德州市,硕士研究生,研究方向:海洋结构物设计制造。

翟煜(1997.9—),男,汉族,江苏省扬州市,硕士研究生,研究方向:海洋结构物设计制造。

符妃(1988.7—),女,汉族,广西钦州市,研究生(硕士),助理研究员,研究方向:海洋结构物设计制造。