

基于工程能力培养的高等流体力学课程案例库建设^{*}

李 强, 王建军, 章大海, 许伟伟, 王增丽, 王 君

(中国石油大学(华东) 新能源学院, 山东 青岛 266580)

[摘要] 高等流体力学是高校为研究生开设的一门重要专业基础理论课, 由于课程基本概念多且抽象, 学生易陷入复杂的数学公式之中, 而忽视对流动特性物理本质的思考 and 理解。文章从课程案例库建设的必要性切入, 提出课程案例库应注重与学科方向、工程应用技术以及国际化相结合的思路, 并基于生活和工程两个方面介绍了课程案例库建设实践, 通过注重流体力学中物理概念和物理现象的讨论、突出流体力学在工程技术问题中的应用, 激发学生的学习热情和创新性思考, 从而全面提升研究生教育质量。

[关键词] 高等流体力学; 案例库; 工程能力培养; 工程案例

Case Base Construction of Advanced Fluid Mechanics Course Based on Engineering Ability Training

Li Qiang, Wang Jianjun, Zhang Dahai, Xu Weiwei, Wang Zengli, Wang Jun

(College of New Energy, China University of Petroleum, Qingdao 266580, Shandong, China)

Abstract: Advanced fluid mechanics is an important professional basic theory course for postgraduate in universities. The basic concepts of this course are many and abstract, which makes students easily fall into complex mathematical formulas and deviate from the thinking and understanding of the physical essence of flow characteristics. In this paper, taking the necessity of case base construction as a breakthrough point, the idea that course case base should be combined with subject direction, engineering application technology and internationalization is put forward. Based on the two aspects of daily life and engineering, the course case base is constructed to focus on the discussion of physical concepts and physical phenomena in fluid mechanics, highlight the application of fluid mechanics in engineering and technical problems, so as to stimulate students' learning enthusiasm and innovative thinking, and

[作者简介] 李强(1984-), 男, 副教授, 博士。

[通信作者] 李强, E-mail: liqiangsydx@163.com。

^{*} 基金项目: 山东省专业学位研究生教学案例库项目(SDYAL18017, SDYAL19031); 中国石油大学(华东)教改项目(KC-202030)。

comprehensively improve the quality of graduate education.

Key words: Advanced fluid mechanics; Case base; Engineering abilities training; Project case

教育部、国家发展改革委、财政部在《关于深化研究生教育改革的意见》中指出,为了适应经济社会发展的多样化需求,我国研究生教育需要改革教学内容和方式,加强案例教学。《山东省研究生教育质量提升计划》中也提出,研究生教育应不断深化改革,积极引进国外先进的教育、教材和教学案例,以及前沿的教学内容和科学的教学方法,培养研究生的批判性思维和创新精神,提高教学和科研质量。在此背景下,探索研究生课程的案例库建设,对于更好地发挥课程教学在研究生培养中的作用具有重要意义^[1-2]。

高等流体力学是工科专业研究生的一门重要基础课,涉及面广,在工科研究生培养过程中起着至关重要的作用。从课程教材内容来看,张鸣远编著的《高等流体力学》(高等教育出版社)^[3]与吴望一编著的《流体力学》(北京大学出版社)^[4],具有完善的理论体系,但对数学基础的要求偏高,较少涉及工程应用方面的内容。从课程教学方法来看,闫小康等将案例教学法应用到研究生课程高等流体力学教学中,将有关化工学科的工程案例与传统理论教学相结合^[5];陈丽萍等采用互动教学法,强化师生交互过程,并将研究生参与讨论的程度作为考核重点^[6];郑平在分析多相流体力学课程特点的基础上,本着“以学生为主体”的教学宗旨,从创新授课方案、注重实际操作、优化考核方式等方面提出了改革措施^[7]。从课程的国际合作教学情况来看,重庆大学与新加坡国立大学合作,引进流体力学全英文授课,不仅使学生掌握了课程内容,而且使他们了解了课程在工程和科学研究中的应用^[8];北京交通大学借鉴美国马里兰大学的工程流体力学基础和流体力学这两门课的教学理念、教学思想和教学方法,进行了双语教学实践,取得了预期的教学效果^[9];西华大学借鉴美国艾奥瓦大学的流体力学实验教学模式,将实验流体力学和计算流体力学整合成一个教学模块,提升了本校流体力学课程教学质量^[10]。随着科

技的发展和工业生产方式的进步,流体力学方法和技术在工程上的应用越来越广泛,而这正是目前高等流体力学课程教学所要关注的。

一、案例库建设的必要性

不同于本科阶段工程流体力学课程关注的流体性质、流体静力学、流体运动学及动力学基础、相似理论、管路流等基础知识,高等流体力学课程涉及张量知识、涡旋理论、理想流体的无旋运动及黏性流体运动等,概念多且抽象,对学生处理复杂问题能力的要求高,因此学生普遍感觉课程学习比较吃力。在该课程的教学过程中,教师一般先推导出三维流动的一般方程,再根据各种条件和特例得到其他情况下的表达式,这样的教学过程虽然具有较强的逻辑性,但与现代科技发展以及真实的产业需求脱节,无法有效培养学生提出实际流体力学问题的研究方案的能力^[11-12]。如针对流体力学中的湍流运动,教师在讲解时一般从纳维-斯托克斯方程出发,利用平均化运算的法则推导平均物理量满足的方程组,并从湍流的半经验理论角度对方程组进行封闭。学生对此感到较难理解。如果教师能够结合雷诺的圆管水流实验、污染效应分析、血液循环及飞机和轮船周围生成的涡等案例进行阐述,将达到事半功倍的效果。

另外,传统的以教师为主导的单向授课方式注重基本概念的讲解和公式的推导,未涉及企业生产和技术研发中的实际问题。虽然部分高校已开始运用现代化教育技术手段对高等流体力学课程进行改革,但仍然没有形成完善的与工程相结合的教学体系,因此无法满足流体力学领域研究型创新性人才培养的要求,同时制约了研究生教育的发展^[13]。

为此,我们尝试将国际化研究性教学思想引入国内的教学实践中,以与工程和生活息息相关的经典案例为内容,将理论知识和实践相结合,通过案例导入、分组讨论、研究分析完成案例库的研究工作,建设完备的高等流体力学课程教学案例

库,让学生通过学习相关案例,了解流体力学的内涵,从而激发学生的学习兴趣 and 科研创新意识,培养学生解决复杂工程问题的能力。

二、案例库建设思路

高等流体力学课程案例库建设注重流体力学基础知识与学科方向的结合、流体力学理论知识与工程应用技术的结合、中英文案例的结合,以期培养具有国际视野的人才,不断提高教学质量,真正实现教学相长。

在案例库的建设过程中,一是应以流体力学的基础知识传授为基础,针对不同学校、不同学科方向,设置具有专业特色的工程案例,使案例的讲解与研究生培养方案相衔接,同时突出自身的特色,以加深研究生对本学科方向流体力学知识的理解;二是应广泛引用工程案例,将流体力学理论知识与工程应用技术相结合,通过工程案例的分析和讨论,提高学生对流体力学知识的学习兴趣,

增强课堂教学的活跃度,强化学生运用流体力学知识分析和解决问题的能力;三是应考虑双语教学实践的过渡,引入丰富的国内外实际工程案例,通过不同工程领域中英文工程案例的结合,拓展知识范围,提高学生的英语应用能力,为其以后从事科研工作奠定基础。

三、案例库建设与实践

结合高等流体力学课程的特点,课程组制定了以基本流体力学理论为主线,突出工程应用和石油石化特色的案例库建设方针,据此开展高等流体力学课程案例库建设探索。课程案例库主要由与流体力学相关的生活和工程案例组成,其中综合性或设计性案例源自对生活或已获科研成果的总结凝练。目前,任课教师的科研课题都涉及广泛的流体力学知识,将这些课题研究成果转化为教学案例,可以进一步激发学生的学习兴趣,拓展教学实践模式。案例库建设方案如图 1 所示。

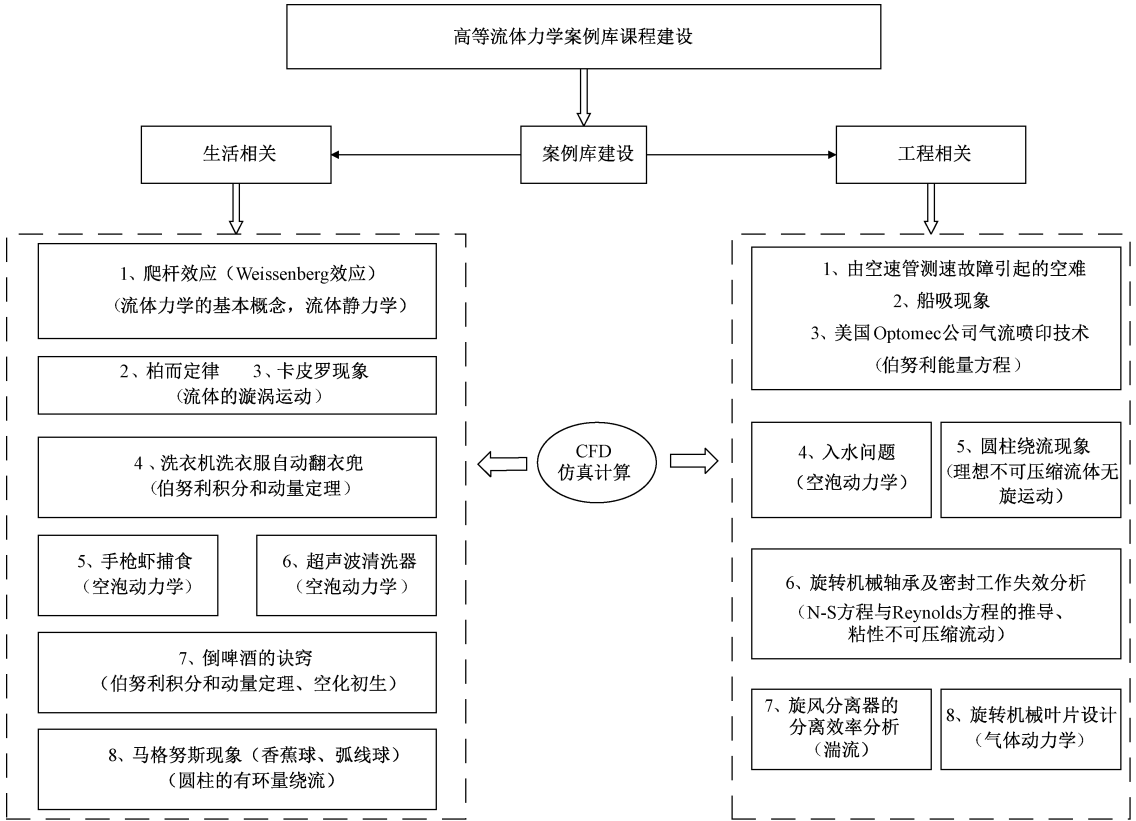


图 1 高等流体力学课程教学案例库建设方案

(一)生活相关案例库建设

生活中与流体力学相关的案例很多,将流体力学知识与日常生活关联起来进行讲解,可以大

大提升研究生对流体力学知识的学习兴趣,提高学习效果。如教师在讲授流体中的涡时,可以引入达·芬奇的素描,引导学生在欣赏著名艺术家

作品之美的同时,从流体力学的角度来思考和研究同一物理现象;针对洗衣机洗的衣服口袋外翻这一常见的现象,利用伯努利方程中速度和压强的关系进行解释;针对倒啤酒时瓶子与杯子的放置位置是如何影响气泡产生的这一问题,用伯努利方程进行详细解释。

(二)工程相关案例库建设

与流体力学相关的工程案例库主要由国内外

的经典案例和专业特色案例组成。分析流体力学相关的经典案例,能够使学生在掌握流体力学知识的前提下,更好地了解流体力学的发展史。专业特色案例主要由课题研究成果转化而来,与研究生的科研方向息息相关,学习这类案例,有利于研究生更早地接触课题的研究方法及研究思路,为后面研究课题的顺利开展奠定基础。部分工程案例库内容如表 1 所示。

表 1 工程案例库部分内容

案例属性	背景案例	流体力学知识	展示方式/语种
经典案例	1. 由空速管测速故障引起的空难(伯根航空 301 号航班空难、法国航空 447 号航班空难、秘鲁航空 603 号航班空难)	伯努利能量方程	视频、图片/英文
	2. 船吸现象		
	3. 美国 Optomec 公司气流喷印技术		
专业特色案例	4. 入水问题(运动员跳水比赛,反潜导弹、鱼雷、深水炸弹等物体从空中进入水中)	空泡动力学	视频、图片/中英文
	5. 圆柱绕流现象(大气洋流、海洋平台)	理想不可压缩流体无旋运动	视频、图片、网页/中英文
	6. 旋转机械轴承及密封工作失效分析	N-S 方程与 Reynolds 方程的推导、黏性不可压缩流动	视频、图片、报告/中英文
	7. 旋风分离器的分离效率分析	湍流	视频、图片、报告/中英文
	8. 旋转机械叶片设计	气体动力学	视频、图片、报告/中英文

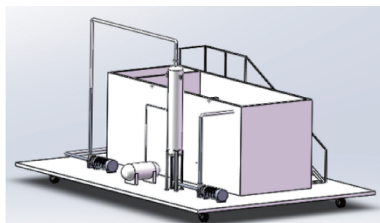
(三)CFD 仿真计算

随着计算机技术的发展,计算流体力学(Computational Fluid Dynamics,简称 CFD)技术逐步应用于工程案例教学,取得了较好的效果^[14]。鉴于此,课题组近年来在研究生高等流体力学课程教学中,开始结合 CFD 技术,将复杂流动现象或者内部流动规律以图片或者视频的形式呈现,使案例库中的工程案例形象化,以便于研究

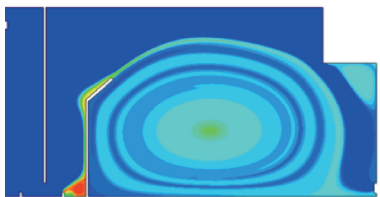
生能直接观察到流动现象。部分 CFD 工程案例如图 2 所示。

四、结束语

针对目前高等流体力学课程存在的基本概念多且抽象、传统授课方式与现代科技发展、真实的产业需求脱节的现状,我们将研究性教学手段引入具体的教学实践中,突出流体力学在工程技术问题中的应用,建设了高等流体力学



(a) 气浮器工程模型



(b) 气浮器二维数值仿真结果

图2 部分 CFD 工程案例

课程教学案例库,在流体力学的经典理论和学科前沿之间搭起一座桥梁,有利于学生通过分组合作、研究分析完成案例库中案例的研究工作,从而提高学生学习流体力学知识的热情,激发学生的学习兴趣 and 科研创新意识,提升学生解决复杂工程问题的能力。

(责任编辑:李丽妍)

参考文献:

- [1] 王战军.加强研究生教育科学研究促进研究生教育改革与发展[J].学位与研究生教育,2014(8):1-5.
- [2] 甘露.当前研究生创新能力培养制约因素及优化研究[D].长沙:湖南大学,2017.
- [3] 张鸣远,景思睿,李国君.高等工程流体力学[M].北京:高等教育出版社,2012.

- [4] 吴望一.流体力学[M].北京:北京大学出版社,2017.
- [5] 闫小康,王利军.化工高等流体力学案例教学研究[J].广州化工,2017,45(21):195-197.
- [6] 陈丽萍,陆青松,程璟涛.优秀研究生课程高等流体力学的建设[J].化工高等教育,2013(4):4-5.
- [7] 郑平.研究生《多相流体力学》课程教学改革的探索与实践[J].海南大学学报(自然科学版),2012,30(3):285-287.
- [8] 陈进,张亚楠.引进《Fluid Mechanics》全英文课程教学的探索与实践[J].机械制造与自动化,2014,43(2):72-74.
- [9] 毛军,梁小燕,Marc Hen.流体力学课程双语教学的实践与思考[J].高等建筑教育,2011,20(4):120-124.
- [10] 赵琴.国外本科流体力学实验教学——以艾奥瓦大学为例[J].力学与实践,2014,36(5):660-663.
- [11] 朱克勤.研究生精品课“高等流体力学”的建设:力学与工程应用(第十三卷)[C].河南:郑州大学出版社,2010:21-22.
- [12] 李艳,张开升,柳枝.以卓越工程师为目标的《工程流体力学》实践教学模式研究[J].教育教学论坛,2017(46):157-158.
- [13] 张永学,师志成,董首评,等.高等流体力学课程改革与实践[J].中国现代教育装备,2010,105(17):66-68.
- [14] 郝飞麟,沈明卫.《高等流体力学专题》课程教学实践与探索[J].中国科教创新导刊,2011(7):132.