

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2018.03.026

欢迎按以下格式引用:杨帆,周济人,朱红耕,等.CFD技术在水泵及水泵站课程教学中的应用探讨[J].高等建筑教育,2018,27(3):116-120.

CFD技术在水泵及水泵站课程教学中的应用探讨

杨帆,周济人,朱红耕,成 立

(扬州大学水利与能源动力工程学院,江苏扬州 225127)

摘要:结合当前水泵及水泵站课程教学现状,提出将CFD(Computational Fluid Dynamics)技术应用于水泵及水泵站理论课程教学中的构想,分析了CFD技术应用于水泵及水泵站理论课程教学的可行性及其优点,并就CFD技术如何应用于水泵及水泵站理论课程教学进行了案例分析,实践表明:将CFD技术应用于水泵及水泵站课堂教学可达到激发学生学习热情,增强课堂教学表现力和教学效果,有利于科研与教学的相互促进。

关键词:水泵及水泵站;CFD;课程教学;应用

中图分类号:G642.0;TV1

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2018)03-0116-05

计算流体力学(Computational Fluid Dynamics,简称“CFD”)是20世纪60年代伴随计算机技术和数值计算技术的发展而迅速崛起的学科,CFD技术具有成本低、周期短、速度快等特点。通过CFD技术,利用计算机分析并显示流场中的现象,可达到在较短时间内预测流场的目的。目前,学术界、工业界都已公认CFD技术是解决流动和传热相关问题强有力的工具。在当前高校的课程教学中,以CFD技术为代表的数值模拟技术已被部分教学工作者引入到本科生的理论教学和实践教学中,如:将TopoDrive、Flownet and Matlab数值模拟技术应用于水文地质学基础课程中^[1];将CFD技术引入到数值传热学的基础理论教学中^[2];将ANSYS软件应用于材料力学的理论教学中^[3-4];将数值模拟技术应用于工程流体力学课程和焊接技术实验课程的教学^[5-6]。通过调研实际教学效果可知:将CFD等数值模拟技术引入课程教学对于提高教学质量、增强学生学习兴趣、改善教学效果有积极作用。

水泵及水泵站课程是扬州大学水利水电工程、农业水利工程专业的一门重要专业核心课。通过学习该课程,学生应掌握水泵的基本理论、基本性能和水泵的选型配套原则与方法,掌握泵装置内部流动的特点及流态改善方法,掌握泵房设计的基本原则与方法,为泵站工程的设计与管理奠定坚实基础。水泵及水泵站课程教学中涉及大量的流体动力学问题,恰当采用CFD技术结合课程理论

收稿日期:2017-09-20

基金项目:扬州大学教学改革研究项目(YZUIX2017-18B);中央财政支持地方高校发展专项资金项目

作者简介:杨帆(1985—),男,扬州大学水利与能源动力工程学院副教授,博士,主要从事水利水电工程专业教学及科学研究,(E-mail)fanyang@yzu.edu.cn。

教学开展水泵及水泵站工程流体动力学问题的分析,通过 CFD 技术仿真泵站水流运动,可将水泵及泵装置内部流场的细部流动信息形象直观地展现出来,并能逼真地再现泵站实际流动过程,以此激发学生的学习热情,提高学习效率,增强学习的主动性和积极性,提升自主学习能力,深化对课程知识的理解。为此笔者就 CFD 技术应用于水泵及水泵站理论课程教学进行了实践探讨,以为同行教学提供参考和启发。

一、水泵及水泵站课程教学现状

水泵及水泵站课程共分为基础理论、工程应用及实践技能三大模块。课程理论教学共 40 个学时,基础理论教学主要内容包括泵的构造、泵的能量性能、泵的气蚀性能、水泵的工况调节及水泵的选型配套。工程应用主要包括泵站工程规划、泵房、进水建筑物和出水建筑物等。实践技能分为两部分:一是课程实验,包括水泵拆装、水泵的能量性能试验、水泵的气蚀性能试验、水泵进出水结构的流动演示与测试;二是课程设计,在给定流量、水位组合的前提下完成水泵的选型配套和建筑物设计。

课程内容广、理论性及应用性强。通过日常的教学发现,学生对于水泵的基本性能,特别是水泵的气蚀性能难以掌握,泵装置内部流动情况较为抽象,学生理解困难。针对这些教学难点,在现有条件下,教师采用视频播放、PPT 图片展示结合课堂讲解进行教学。但有的视频内容过于陈旧,未能及时更新且更新难度较大,为解决上述问题,笔者尝试在教学过程中将 CFD 技术应用于水泵及水泵站的理论课程教学中,并对此做分析讨论,以供借鉴。

二、CFD 技术应用于课程教学的益处

CFD 技术就是利用计算机求解描述流体流动,具有模拟各种不同工况泵站水流运动特性等优点。结合当前学生的思维特点、学习习惯和 CFD 数值模拟技术的优势,将 CFD 技术应用于水泵及水泵站课程教学的益处主要有以下 5 个方面。

(一)有利于培养学生的探索求知欲

学生通过大二春季的认识实习已了解水泵及水泵站的作用,但水泵及水泵站课程在大三春季开设,认识实习和理论教学之间间隔约 1 年,水泵及水泵站的结构及其理论对于学生来说依然是陌生、新鲜且神秘的,通过采用 CFD 技术给出各种典型泵装置内流场、泵站进水建筑物、泵站出水建筑物的三维动

画,达到吸引学生,启发学生思考,培养学生的探索精神及独立思考解决问题的能力,激发学生的自主学习热情。

(二)有助于培养学生的自学能力

基于泵站实际工程问题,采用 CFD 技术模拟现有泵站流场结构存在的问题,通过 CFD 动画展示让学生明白不良流态对泵站运行的实际影响,阐述改善泵站不良流态的基本思想,通过学生课后自主学习,查找资料给出合理解决改善不良流态的措施,并通过 CFD 技术模拟评判自己所提出的改善措施能否起到作用,以此培养学生的自学能力。这不仅要求学生自学 CFD 软件,还需要通过知网、万方等数据库查找相关文献资料给出解决问题的理论依据。通过这样的锻炼,增强学生自主查找文献,独立发现、研究及解决问题的能力。

(三)有助于培养学生的计算机应用能力

通过介绍 CFD 技术优势、CFD 技术在水泵及水泵站内流场的模拟形态、实际工程应用案例,以及设计院对 CFD 技术人员的需求,激发学生学习计算机的兴趣。掌握 CFD 软件是完成水泵及水泵站课程作业的前提之一,掌握 CFD 软件就需要学生自主安装 CFD 软件,学习建模等基本操作,在软件的安装、学习及应用过程中,学生的计算机应用能力得到显著提升。

(四)有助于提高学生的学习兴趣

水泵及水泵站课程涉及概念多、公式推导多,理论分析多,尤其是讲授到水泵的基本方程时,学生往往对课程失去了兴趣。采用 CFD 技术模拟水泵内部水流运行状态,并结合叶槽中液流瞬时变化情况与作用力,给出三维非定常动画,吸引学生,从而提高学生对课程的学习兴趣。在观看 CFD 模拟动画的过程中,结合教师的讲解,学生可较好地理解和掌握知识点,达到寓教于乐的目的。

(五)有益于教师将科研与教学相统一

CFD 数值模拟技术是当前学术界开展科学研究的主要工具之一,也是工程界辅助工程项目预研的重要手段,CFD 数值模拟技术已成为该领域专业教师必备的技能,教师通过将 CFD 技术在科研中的应用案例引入理论课堂教学,让学生了解当前研究的热点及难点,激发学习热情,同时也避免了理论课程教学无延伸拓展内容的尴尬,有利于在理论教学中发现新问题,达到科研与教学的相互促进、相互

统一。

三、CFD 技术应用于课程教学的可行性

(一) 商用 CFD 软件为理论教学提供了基础条件

CFD 数值模拟技术已发展近 70 年,以往 CFD 数值模拟需要用户根据求解问题自己编程写计算程序,耗时长,且程序的通用性较差,较难精准求解复杂的三维流动问题。随着商用 CFD 软件的问世及快速发展,CFD 数值模拟技术应用于本科课程教学已成为可能。当前一些高水平研究型高校已将 CFD 商用软件的应用列入到本科实践教学课程安排中,如:武汉大学水利水电工程本科专业的实践教学增加了水利水电工程专业软件的专业选修课,工程力学本科专业中设置了大型有限元软件应用实践的专业课程^[7],这些都表明了在水泵及水泵站的本科教学中应用 CFD 技术是可行的。以学校本科教学使用的 ANSYS CFX 商用软件为例,CFX 软件是全球第一个通过 ISO9001 质量认证的大型商业 CFD 软件,该软件具有精确的数值算法,快速稳健的求解技术和丰富的物理模型,可满足水泵及水泵站日常本科教学需求。

(二) 软硬件设施为 CFD 技术的应用提供了保障

学校现已购入 ANSYS CFX、Fluent、X-flow 等专业的商用 CFD 软件,为本科教学应用 CFD 技术提供了支撑。学院设有计算机房,拥有众多服务器和工作站,计算机房可同时容纳 80 余名学生,为 CFD 技术的辅助教学实践提供了场地及计算机硬件条件保障。学院还增设了计算机中心,为快速求解教学内容中常规工程流动问题提供了保障,可满足 CFD 技术应用于水泵及水泵站课程理论教学的实际需求,便于学生自主探索与学习。

(三) 学生的计算机应用水平为学生自主学习提供了智力保障

计算机现已成为大学生的标配之一,水泵及水泵站课程于大三下学期开设,所有学生均已通过国家或江苏省的计算机二级考试,每年有约 30% 的学生通过国家计算机三级或江苏省计算机三级考试,这些数据均表明了当前学生拥有较好的计算机应用水平和编程能力,为学生自主学习 CFD 软件提供了智力保障。学生通过自学,在任课教师的帮助指导下能较快地掌握 CFD 软件的基本功能,具备解决常

规流动问题的能力。对于求解常规的流动问题,商用 ANSYS CFX 软件已将网格处理 ICM CFD、前处理 CFX-Pre、求解 CFX-Solver 和后处理 CFX-Post 设置为 4 个独立的功能模块,学生通过自学结合教师辅导便可掌握该软件的使用方法和基本的边界条件设置。

(四) 教师的专业技能为 CFD 技术应用于理论教学提供了智力支撑

水泵及水泵站的任课教师均能熟练应用 CFD 软件,每位任课教师均发表过采用 CFD 软件求解分析及泵装置内流的学术论文^[8-10],教师具有丰富的使用 CFD 软件的经验,并可针对特殊工程流动问题进行二次开发。任课教师均有主持泵及泵装置水力性能等方面研究课题的经历,这些研究经验为 CFD 技术应用于水泵及水泵站理论教学提供了足够的智力支撑。

四、CFD 技术在课程教学的应用案例

目前,CFD 数值模拟常用的商用软件有 ANSYS Fluent, ANSYS CFX, Flow-3D, Star-CD 以及 Phoenix 等,每款软件的操作流程基本相同,为便于理论课程教学统一和 CFD 软件的问题讨论,规定学生选择 ANSYS CFX 软件作为自学对象。

(一) 水泵汽蚀性能的教学

当讲授水泵汽蚀性能时,水泵产生汽蚀时叶轮和液体间的能量交换受到干扰和破坏,在外特性上表现为流量、扬程和效率的迅速下降,甚至断流,教师往往通过语言描述这一现象,学生无法达到真正理解。为了让学生理解水泵受汽蚀影响特性曲线下降的来龙去脉,以及气泡体积的变化过程,加深学生对水泵汽蚀特征的理解和记忆,利用 CFD 技术对水泵汽蚀现象进行流场三维仿真,模拟混流泵叶轮表面气泡的变化过程,如图 1 所示。通过观察气泡体积的变化,用丰富的色彩、形象的图像和动态的画面,逼真地演示水泵汽蚀变化过程,再结合教师的课程讲解加深学生对水泵汽蚀原理的理解和掌握。

(二) 泵站前池流态及改善措施

当教师讲授到泵站前池流态时,侧向进水前池的水流与进水池水流方向正交或斜交,易形成回流或旋涡,流态分布不均匀,应尽量避免,仅在地形条件比较狭窄、正向进水难以布置的情况下才考虑采用。选择侧向进水前池就需要对侧向进水前池内部流态进行分析,这时教师往往通过“侧向进水前池宜

设分水导流设施,并应通过水工模型进行验证”以此带过,因侧向进水流态的整流措施及效果很难通过口述让学生明白,结合 CFD 技术进行分析和阐述,教学效果显而易见。教师可结合工程实际构建三维

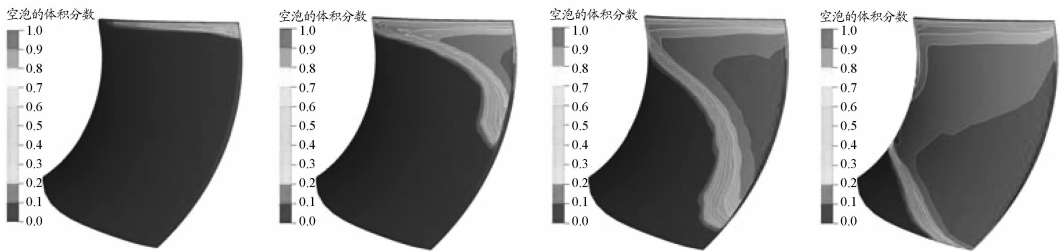


图1 混流泵叶片表面的空泡变化过程

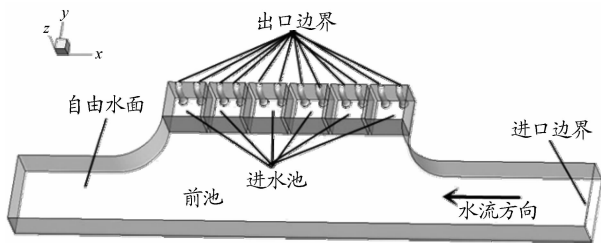


图2 侧向进水前池三维模型

经过教学实践,学生提出了菱形导流墩、弧形导流墙、Y形整流墩、非等高底坎及直立墙等多种措施,并对各种措施开展了流场分析工作,评估各种整流措施对流态的改善效果。在分析整流措施效果的同时,可将前池、进水池性能的评判指标相结合,学生自主计算评判指标函数,并对此进行分析,以充分发挥学生的主观能动性,增强自主学习的能力。

(三)进水池基本流态教学

当讲授第10章第3节进水池基本流态时,教师往往结合课本中已有的进水池内部流态图进行文字阐述,此时大多数学生会将书上的这段描述文字用笔做出标记,采用了死记硬背的方式记住进水池内部流动特征,可当进水池几何尺寸变化时进水池内

模型,如图2所示,采用 CFD 技术对其流场进行数值计算,并将计算结果展示给学生,让学生观察哪些区域存在旋涡等不良流态,并通过查找资料找到改善不良流态的方法。

部流态是否相同,至今尚未有学生对此提出问题,但当讲授到进水池内旋涡分类时,依据进水池旋涡发生的位置分为附底涡、附壁涡和水面涡三种类型,此时学生往往对前面进水池基本流态的表述和课本中提供的进水池内部流态图产生疑问,为何在进水池基本流态的描述文字中未提及旋涡问题,那么在何种条件下进水池内部才不会产生旋涡?为此,教师往往复述课本中的文字表述,学生并不能做到真正理解。面对这样的教学问题,可采用 CFD 技术对进水池的内流场进行数值模拟,探讨进水池的几何参数的变化对进水池内流场及旋涡产生的影响规律,教师可通过分组,让学生采用 CFD 技术分析几何参数变化对进水池内流场的影响,并通过 PPT 汇报分析研究结果,图3所示为课堂教学中采用 CFD 技术研究分析不同喇叭管悬空高时封闭式进水池内部流态。通过直观展示,学生对进水池内部流态的差异有了认识和理解,在实际的操作和分析过程中,会对进水池基本流态和进水池的控制参数有清晰的理解,抛弃了以往单一口述的授课方式,让学生在探索中掌握进水池基本流动规律。

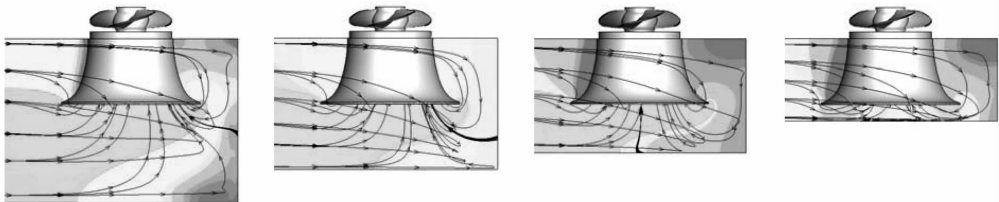


图3 不同悬空高封闭式进水池内部流线图

(四)出水水道水力性能教学

在讲授出水水道时,出水水道的水力损失在水泵总扬程中所占的比例较大,对泵装置能量性能的影响较为明显,内容的讲授往往至此结束,学生在脑海中可能仅保存了“影响大”的印象,至于原因却未能详细阐述分析。结合 CFD 技术对泵装置出水水道进行数

值模拟,通过细部流场的展示和水力损失的计算让学生明白原因,通过 CFD 技术将出水水道进口处流线图展示给学生,如图4所示,让学生通过观察判别哪张图是泵站出水水道的进口流线图,哪张图是非泵站出水水道的进口流线图,启发学生思考为何相同的出水水道有进口流场及压力分布的差异。

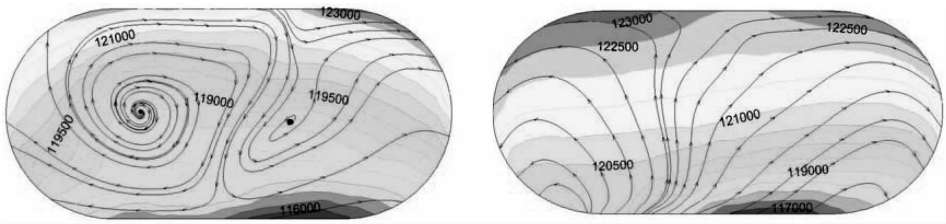


图4 出水流道进口面的流线图

通过 CFD 技术结合水泵及水泵站课程的教学内容,设置特定的背景问题,让学生应用 ANSYS CFX 软件建模求解分析,提高了学生解决问题的能力,激发了学生自主学习的兴趣,对水泵及水泵站课程中知识点的认识更加清晰。任课教师通过 CFD 技术可将水泵及水泵站流态的讲授内容形象地呈现给学生,让学生直观地感受到水泵及水泵站内部流态的特征,提高了学生对水泵及水泵站课程的喜爱程度和自主学习的兴趣,有益于促进任课教师对水泵及水泵站前沿问题及工程问题的思考。

五、结语

在分析 CFD 技术应用于水泵及水泵站课程教学的可行性及优势的基础上,尝试将 CFD 技术应用于理论教学中,结合实际教学工作进行了举例分析。通过教学实践表明,利用 CFD 技术将水泵及水泵站进出水建筑物内部水流运动状态直观展示,将理论性强的内容形象化和动态化,该方法不仅开阔了学生的视野,激发了学生对该课程的学习热情,加深了学生对理论知识的理解,达到了增强课堂教学表现力和教学效果的目的,有利于教学与科研相互促进,共同提高。

参考文献:

- [1] 施小清,吴剑锋. 水文地质学基础课程的数值模拟可视化教学探讨[J]. 中国地质教学,2014(4):75-79.
- [2] 杜敏,王助良. CFD 技术在数值传热学教学中的应用[J]. 中国电力教育,2012(33):58-59.
- [3] 考四明,卢小雨,宫能平. 数值模拟在材料力学教学中的应用[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,2014,39(12):209-211.
- [4] 祝捷,刘京红,张晓天,等. 基于数值模拟的材料力学教学导入法[J]. 河北农业大学学报,2011(4):468-470.
- [5] 蒋光彪,殷水平,陈胜铭,等. CFD 软件及源程序辅助工程流体力学课程教学的探索与实践[J]. 高等建筑教育,2015,24(5):154-157.
- [6] 李美艳,韩涛,韩彬,等. 数值模拟在焊接技术实验课教学中的应用[J]. 实验技术与管理,2015,32(10):52-55,59.
- [7] 武汉大学本科人才培养方案[Z]. 武汉大学本科生院编,2013.
- [8] 杨帆,赵浩儒,刘超,等. 涡带工况下轴流泵装置内部流动特性数值分析[J]. 应用基础与工程科学学报,2017,25(4):670-678.
- [9] 周济人,仲召伟,梁金栋,等. 侧向进水泵站前池整流三维数值模拟[J]. 灌溉排水学报,2015,24(10):53-54.
- [10] 朱红耕,戴龙洋,张仁田,等. 新型竖井贯流泵装置研发与数值分析[J]. 排灌机械工程学报,2011,29(5):418-422.

Exploration on application of CFD in course teaching of pump and pumping station

YANG Fan, ZHOU Jiren, ZHU Honggeng, CHENG Li

(School of Hydraulic, Energy and Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, P. R. China)

Abstract: According to the status of the course teaching of pump and pumping station, the CFD (Computational Fluid Dynamics) technology is put forward to be used in the course teaching of pump and pumping station. The feasibility and advantage of using CFD in the course teaching are analyzed. Case analysis about how to use CFD in the course teaching of pump and pumping station is given. The practice has shown that this method can stimulate the students' learning interest and improve the quality of course teaching. It is beneficial to mutual nurturing of scientific research and teaching.

Keywords: pump and pumping station; CFD; course teaching; application