流体力学与传热学实验教学改革探索

——以文丘里流量计实验为例

刘筱颖 [1,2,3]　李应迪 [1,2]　张河猛 [1,2,3]

1.辽宁工程技术大学 安全科学与工程学院 辽宁 葫芦岛 125105

2.辽宁工程技术大学 矿山热动力灾害与防治教育部重点实验室 辽宁 葫芦岛 125105

3.辽宁工程技术大学 工程与环境研究所 辽宁 葫芦岛 125105

【摘　要】：流体力学与传热学是能源动力类、建筑环境与能源应用工程等专业的重要专业基础课，实验教学是连接理论与工程实践的关键环节。针对课程实验教学中存在的实验内容偏验证、教学组织程式化、虚实结合不足、考核方式单一等问题，以文丘里流量计实验为例，从重构实验内容、建设虚拟仿真资源、引入人工智能辅助教学、改进教学方法、完善考核评价等方面提出改革措施，并将课程思政融入实验教学全过程。试点实践表明，改革有助于激发学生学习主动性，提升实验教学质量，可为同类课程实验教学改革提供参考。

【关键词】：流体力学与传热学；文丘里流量计；实验教学；教学改革；虚实结合

DOI:10.12417/2705-1358.26.16.027

1 引言

流体力学与传热学是能源动力类、建筑环境与能源应用工程等专业的专业基础课，涉及流体流动与热量传递的基本规律，理论性强、概念抽象。实验教学是学生理解流动与传热现象、验证理论知识、形成工程实践能力的重要途径，也是课程体系中不可或缺的实践环节[1]。然而，受实验设备台套数、场地和学时等因素制约，课程实验多以演示性、验证性项目为主，学生按指导书完成规定动作，参与度和探究意识不足，实验内容与工程应用之间存在脱节[1-2]。新工科建设对学生的实践创新能力和解决复杂工程问题能力提出了更高要求，实验教学改革成为课程建设的重要内容[2,4]。

文丘里流量计实验是流体力学与传热学课程中应用连续性方程与能量方程测定管道流量的经典实验，在课程内容中具有承上启下的作用。本文以该实验为改革切入点，在分析教学现状与问题的基础上，从实验内容、教学资源、教学方法、考核评价和人工智能赋能等方面提出改革措施，并结合初步实践进行反思，以期为同类课程的实验教学改革提供参考。

2 实验教学现状与问题

2.1 课程与实验概况

课程内容涵盖流体静力学、流体动力学基础、管内流动与阻力损失、导热、对流换热与辐射换热等。文丘里流量计实验的教学目标包括：了解文丘里流量计的构造与测流原理，掌握用气-水多管压差计量测压差的方法，通过测定收缩段进口与喉部断面的压差计算理论流量，与实测流量比较并率定流量系数，同时观察测压管水头沿程变化，加深对伯努利方程的理解。实验涉及流量调节、压差量测、数据采集与处理等基本技能，是学生接触管道流量测量、体会能量方程工程应用的重要起点。该实验设备简单、现象直观，便于在有限学时内组织实施，测流原理在供热、通风与空调系统的流量计量中应用广泛，工程代表性强。

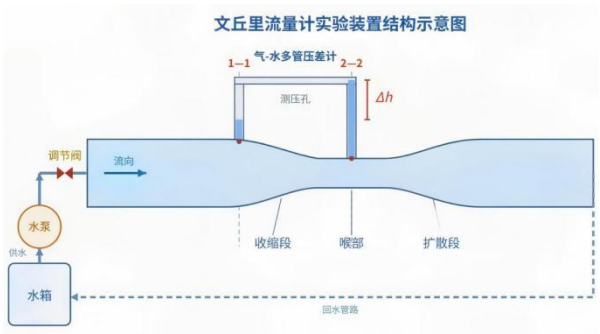


图 1 文丘里流量计实验装置结构示意图（示意）

2.2 存在的主要问题

传统实验教学存在以下不足。实验内容偏验证，目标固定在“测压差、算流量、定系数”，缺少对流量系数随雷诺数变化规律、喉部真空度以及管路阻力损失等问题的深入探究，内容单薄、挑战度不足[4]。教学组织程式化，“课前预习、教师讲解

作者简介：刘筱颖（1994.09-），女，汉族，辽宁沈阳人，硕士，实验师，研究方向：煤自燃防治、CCS/CCUS 等。

、学生操作、提交报告”的流程使学生被动完成规定动作，分组操作时分工不均，部分学生参与度不高[3]。实验资源受限，设备台套数少、多人共用，受安全与工况条件限制难以开展多工况、极端工况实验，虚拟仿真等信息化手段应用不足[1]。考核方式单一，成绩主要依据出勤和实验报告，重结果轻过程，难以反映学生的操作技能、协作表现与思维过程[3]。实验与理论课、后续专业课及工程应用的衔接不够，学生难以形成关联知识网络和系统思维[4]。

3 改革思路与措施

3.1 重构实验内容，增设设计与探究环节

在保留基础验证内容的前提下，将实验任务设计为三个层次。基础层完成文丘里流量计结构认知、压差量测与流量系数测定；提高层设置不同流量工况对比、流量系数与雷诺数关系分析、测量误差来源辨析等探究任务；拓展层鼓励学生自主设计实验方案，如测定喉部极限真空度与最大过流能力、比较文丘里管与孔板流量计的测流特性等[3]。梯度化任务使实验内容由简单到复杂、由验证走向设计，兼顾不同基础学生的学习需求，体现高阶性、创新性与挑战度的要求[4]。

3.2 建设虚拟仿真资源，推进虚实结合

针对设备台套数少、极端工况难以开展的局限，建设文丘里实验虚拟仿真平台，对装置结构进行三维建模，支持学生在虚拟环境中完成预习、参数调节、工况切换与数据处理。教学流程上采用“虚拟先行、实物随后”的安排，虚拟仿真帮助学生提前熟悉装置与操作流程，实物实验保留真实的操作体验，形成以虚助实、虚实融合的混合式教学[1]。虚拟平台还可嵌入供水管网流量计量、工业管道流量监测等工程案例，拓展实验的工程应用视野。平台设置预习自测、仿真操作、数据处理与报告提交等功能模块，便于教师在线掌握学生学习情况。

3.3 引入人工智能，构建智能辅助教学环节

顺应教育数字化转型趋势，将人工智能技术融入实验教学全过程，构建智能辅助教学环节[5]。依托通用大模型与课程知识库建设实验教学智能问答助手，在课前预习和实验过程中为学生提供实时答疑、操作要点提示与常见问题诊断，缓解教师难以兼顾全体学生的矛盾；借助知识图谱与学习行为数据分析，为不同基础的学生推送差异化的预习任务和拓展内容，支撑个性化指导。在实验方案设计与数据处理环节，引导学生合理使用人工智能工具辅助误差分析、规律拟合与方案比较，同时强调对生成内容的批判性审视，避免简单照搬[6]。实验报告采用智能预评与教师复核相结合的方式，提高评价效率，保证评价质量。

3.4 改进教学方法，推行多途径整合式教学

借鉴“学、练、验、用”多途径整合式教学理念，将项目式学习融入实验教学全过程[2]。课前推送微课和预习任务单，要求学生带着问题进入实验室；课中突出学生主体地位，教师以提问引导代替全程讲解，围绕压差读数不稳定、流量系数偏差偏大等典型问题组织讨论；课后布置延伸任务，引导学生结合生活或工程中的文丘里应用实例进行分析汇报，促进知识的迁移与内化。

3.5 完善考核评价，融入课程思政

建立以过程性考核为主的多元评价体系，将课前预习、课堂操作、团队协作、数据质量、报告撰写与答辩表现纳入成绩评定，提高过程考核占比，避免“一报告定成绩”[3]。同时挖掘实验中的思政元素，在仪器操作与数据记录中培养严谨求实的科学态度，在数据处理与分析中强化精益求精的工匠精神，在流量计标定与能源计量应用中树立节能降耗、绿色发展的理念，实现知识传授、能力培养与价值引领的统一[4]。上述改革措施相互支撑、贯穿实验教学全过程，整体实施路径如图 2 所示。



图 2 文丘里流量计实验教学改革路径图（示意）

4 实践成效与反思

改革在课程试点班级实施后，学生的预习主动性、课堂参与度和操作规范性均有改善，实验报告在误差分析与工程应用讨论方面的深度有所提高。课堂观察还显示，学生围绕误差来源和工况影响的提问明显增多，小组内部分工协作更为充分。智能问答助手启用后，教师从重复性答疑中部分解脱，得以将更多精力投入实验指导与方案讨论。为客观评价改革成效，课程组从预习完成率、操作规范达标率、报告优良率和学生满意度等维度进行了初步统计，结果见表 1。

表 1 文丘里流量计实验教学改革前后对比

评价维度	改革前/%	改革后/%
预习完成率	62	91
操作规范达标率	58	85
报告优良率	55	78
学生满意度	68	90

注：PLANNING DATA-replace before submission。表中数据为试点班初步统计结果，样本量有限，仅供说明评价框架，有待扩大样本、规范统计后进一步验证。

改革实践中也暴露出一些需要解决的问题。虚拟仿真平台的建设与维护需要持续的经费和人力投入；设计性实验耗时较长，与有限学时之间存在矛盾；不同基础学生的学习进度差异较大，个性化指导的难度增加。人工智能生成内容的准确性与适用性仍需教师把关，同时需防范学生过度依赖工具而弱化独立思考。后续将结合课程实际，优化实验项目的分层设计与学时分配，完善混合式教学的组织和评价机制，并将积累多轮数据以检验改革成效。

5 结语

本文以文丘里流量计实验为载体，从实验内容、教学资源、教学方法与考核评价四个层面探索了流体力学与传热学课程实验教学改革的路径，并在各环节引入人工智能辅助教学。改革强化了实验内容的层次性与探究性，实现了虚拟资源与实物操作的融合，推动学生由被动接受转向主动探究。实验教学改革是一项系统工程，其成效的巩固依赖于师资队伍建设、平台持续完善与考核机制优化，相关做法仍需在教学实践中接受检验、逐步改进。

参考文献：

[1] 李乃良,杜雪平,王利军.虚拟仿真驱动的混合式流体力学实验教学方法探索[J].力学与实践,2024,46(6):1303-1309.

[2] 李艳,李晋川,郑庭辉,邵冰莓,王柏弋.基于新工科的流体力学多途径整合式教学实践探索[J].实验科学与技术,2021,19(4):101-105.

[3] 赵洪洋,胡鹏,杨志国,黄煜,潘军廷.以能力培养为核心的流体力学实验教学改革[J].实验室科学,2021,24(6):100-103,107.

[4] 罗清海,涂敏,陈国杰,熊军.“两性一度”要求下传热学实验教学改革探索[J].高等建筑教育,2024,33(2):136-142.

[5] 李琰,崔振,王猛,刘伟.AI 驱动的电工电子实验教学改革与创新实践[J].实验科学与技术,2026,24(1):3-10.

[6] 赵雪莹,管一铭,阿光骐,卢大儒,皮妍.人工智能辅助遗传学实验教学的探索与体验[J].遗传,2026,48(5):544-554.