

地下水动力学综合实验教学模式构建与实践探索

陈婷¹, 张建军^{2*}, 章艳红¹, 韦红钢¹

1. 东华理工大学 水资源与环境工程学院, 江西 南昌 330013

2. 东华理工大学 地球与行星科学学院, 江西 南昌 330013

DOI: 10.61369/ETR.2026160032

摘 要：“地下水水动力学”是地下水科学与工程、水文与水资源专业的核心课程，其实践性决定了实验教学在其中占据至关重要的地位。传统地下水水动力学实验以孤立验证性内容为主，难以培养学生综合能力与创新思维，亟需探索综合性实验设计。该设计整合多学科知识，打造贯穿式实验项目，实施全过程考核，引导学生以“概化模型”认知复杂地质体，打通基础实验知识与实际问题的壁垒，激发学习热情，提升科研创新与工程问题解决能力，构建以学生为中心、综合项目为载体的“教学做”一体化教学模式。

关键词：地下水动力学；综合性实验；裘布依公式；教学模式

Construction and Practice Exploration of Teaching Mode of Comprehensive Experiment Design of Groundwater Dynamics

Chen Ting¹, Zhang Jianjun^{2*}, Zhang Yanhong¹, Wei Honggang¹

1.School of Water Resources and Environmental Engineering, East China University of Technology, Nanchang, Jiangxi 330013

2.School of Earth and Planetary Sciences, East China University of Technology, Nanchang, Jiangxi 330013

Abstract : Groundwater hydrodynamics is a core course in groundwater science and engineering and hydrology and water resources. Its practical nature determines that experimental teaching plays a crucial role in it. Traditional groundwater hydrodynamics experiments mainly focus on isolated verification content, which is difficult to cultivate students' comprehensive abilities and innovative thinking. It is urgent to explore comprehensive experimental designs. This design integrates multi-disciplinary knowledge, creates a through-line experimental project, implements full-process assessment, guides students to understand complex geological bodies with "generalized models", breaks down the barriers between basic experimental knowledge and practical problems, stimulates learning enthusiasm, enhances scientific research innovation and engineering problem-solving abilities, and builds a student-centered, comprehensive project-based "teaching, learning and doing" integrated teaching model.

Keywords : groundwater dynamics; comprehensive experiment; Dupuit formula; teaching mode

引言

地下水动力学是研究地下水在多孔介质中运动规律的学科,是地下水科学与工程、水文与水资源工程等专业核心必修课程^[1,2],其以达西定律为基础,涵盖大量偏微分方程及其推导求解。该课程理论性强、内容抽象,常被学生视为学习难点^[3-5]。课程旨在使学生掌握地下水运动的基本概念、基本定律和数学模型,并能应用于水量、水质等实际问题的识别分析。

传统教学偏重理论推导与公式讲解, 导致数学基础薄弱的学生难以理解核心概念, 更无法将理论应用于实践, 教学效果事倍功半^[3,6]。作为理论教学的必要补充, 实验课本应化解这一矛盾, 但传统实验安排同样存在局限: 多为演示性或验证性实验(如观察抽水现象), 项目间相互独立, 内容碎片化。这种“按方抓药”的实验模式, 虽便于组织和实施, 却易导致学生被动操作、机械记录, 难以培养关联知识、解决复杂问题的综合能力与创新意识^[7]。

随着工程教育认证推进和“新工科”建设发展,高校更加注重学生的创新能力、实践能力和跨学科整合能力培养^[8,9]。如何将传统单一模式的实验教学转变为系统性强、学科交叉融合的综合综合性实验项目,已成为地下水动力学实验教学改革的核心问题。将贴近生产实际

基金项目：2024年度东华理工大学实践教学类建设项目“地下水动力学综合性实验设计的教学方法研究”（DHSY-202422）。

作者简介:

陈婷(1987-),女,蒙古族,内蒙古通辽人,硕士,东华理工大学水资源与环境工程学院实验师,主要从事水文地质、环境地质方面研究;

张建军 (1987—), 男, 四川遂宁人, 博士, 东华理工大学地球与行星科学学院讲师, 主要从事矿床地质方面研究。

的科研项目转化为综合性教学实验项目，是解决这一问题的有效途径。通过前沿技术手段，将学术研究与基础技能训练有机融合，利用其研究性和应用性，打破固定实验项目的传统思路，将科学思维引入课堂，激发学生学习热情和科研创新能力^[10]。

基于上述背景，以“裘布依型潜水稳定流井流”经典理论模型为对象，对其进行综合性、设计性教学化改造，构建全新实验教学模式，以期在有限教学时空内最大化提升学生的实践能力和综合素养^[11]。

一、综合性实验教学模式的构建理念与核心目标

（一）构建理念

本教学改革是对实验教育理念、内容和方法的系统性重构，基于以下核心理念：

1. 成果导向教育（OBE）理念：教学设计反向始于学生毕业时应具备的核心能力，以确保所有教学活动服务于能力达成^[12,13]。

2. 建构自主学习理论：强调学习是学生主动建构知识的过程，教学应为学生创设真实、复杂的学习情境，让学生通过探索、协作和问题解决构建知识体系。

3. “教学做”合一思想：打破理论讲授、实验演示、学生操作相互分离的状态，将三者融为一体，在做中学，在学中做，实现知行合一。

（二）核心目标

基于以上理念，该综合性实验教学模式设定三个层次的核心目标：

1. 知识能力层面：学生深入理解并掌握地下水动力学基本概念、原理与分析方法，特别是达西定律、裘布依微分方程及其推导、稳定流条件、渗透系数、水跃现象等，形成分析与解决相关问题的系统性思维框架。

2. 科研素质层面：培养学生掌握科学的学习方法与自主学习的能力（如文献检索、综述撰写），能够综合运用所学理论知识剖析实际问题，并提出解决思路与技术看案；在实验过程中，在培养学生掌握实验基本操作、基本技能和基本知识的同时，培养其严谨的科学态度、强烈的创新意识及与团队的协作能力。

3. 价值导向层面：通过实际工程案例引入思政元素，引导学生树立作为地下水工作者的社会责任感和家国情怀，培养运用科学知识解决工程问题的伦理与素养。

二、综合性实验教学的内容设计与实施路径

该模式的核心是将经典的“裘布依型潜水稳定流井流实验”从验证性实验升级为多学科交叉、多环节贯通的综合性设计型实验项目。

（一）实验内容的综合性设计

改革后的实验整合了普通地质学、矿物岩石学、水力学、水文地质学基础等多学科知识体系。

1. 实验目的重构：从单一的“验证裘布依公式”转变为巩固包气带、渗透系数、入渗补给、稳定流、观测孔等基本概念，了解扇形渗流砂槽装置的结构及其模拟地质体的概化过程；掌握不

同条件下求取渗透系数和降水入渗强度的方法；利用实验数据，运用裘布依公式计算观测孔水位理论值，并与实测值对比，分析误差来源，深化对公式适用前提的理解；完成从实验设计、数据采集、整理分析到报告撰写的全流程训练。

2. 实验原理的深化：要求学生不仅会用裘布依公式，更要深刻理解其假定条件（均质、各向同性、水平隔水底板、圆柱形含水层、外侧定水头边界（补给边界）、无垂向补给、稳定流、服从达西定律），这些条件是实验结果是否可靠的理论基石，也是引导学生思考模型与真实世界差异的关键。

3. 实验装置与流程的拓展：使用圆心角为30°扇形渗流砂槽模拟“圆岛模型”，既节省了空间与材料，又完全符合理论模型的比例关系。实验流程包括准备阶段（选取不同粒径石英砂模拟不同渗透性含水层）、操作阶段（在调节水位、测量流量和水位的同时，观察并记录井壁处的“水跃”现象，讨论其对计算结果的影响）、探究阶段（改变介质或边界条件，观察流场变化，对比不同条件下的数据结果，探究含水层特性对地下水运动的影响）。

（二）“教学做”一体化实施路径

综合性实验教学以学生为主体、教师为主导，实施路径包含四个阶段：

1. 文献调研与报告制作：教师提前下达任务书，学生自行分组，选定主体后自主查阅文献，制作PPT。此环节旨在培养学生的自主学习能力、信息整合能力和合作协同意识，让学生了解国内外裘布依公式的应用研究动态，为实验设计打好理论基础。教师做好引导和答疑的工作。

2. 实验方案设计与汇报：各小组撰写详细的实验方案，包括题目、研究背景与意义、实验内容、技术路线、实验步骤、预期成果、数据处理方法以及可能遇到的问题等，用以培养学生归纳总结能力和表达能力。围绕公式运用、实验方法等知识，组织学生相互提问，观察学生对知识的吸收和运用能力，及对前面基础和综合实验的结合能力，进而引导学生尊重其他同学的学习成果。这一环节模拟了科研项目申报和毕业论文开题的完整流程，培养了学生的规划能力、逻辑思维能力。教师在此过程中可通过提问引导其思考方案的可行性与安全性。

3. 实验实施与数据分析：经教师审核后，从仪器的熟悉、砂样的装填、水位的调节到数据的测量，由学生独立完成。教师负责巡视指导，关注实验操作的安全规范性，及时指出错误操作，引导学生自我纠错。实验的独立操作过程，锻炼了其实践操作能力、团队协作能力和解决突发问题的能力。

4. 报告撰写与结题答辩：实验结束后，学生完成一份综合研究报告，对实验结果误差、现象成因、模型假定与实际差异等进行深入分析。最后以小组为单位进行结题答辩，全面展示其研究

成果。至此，学生完成了一个微型科研项目的全周期训练，其数据分析、写作和表达能力得到了全面升华。

三、全过程多维度的考核评价体系改革

为适应综合性实验要求，考核方式从“一份报告定成绩”向全过程、多维度评价转变^[14,15]，主要包括：

1. 安全防范意识（10%）：由于项目的整个实施环节均由学生独立完成，为杜绝实验安全事故发生，考核将以项目实施为主，安全、规范操作为辅，重在培养学生的安全防范意识；
2. 文献调研与开题表现（30%）：根据文献调研质量、开题报告内容及答辩表现考核学生的自主学习能力；
3. 实验实施过程（40%）：根据实验的完成情况，考核学生实验操作的有序性、团队协作能力、解决问题的主动性和数据记录的严谨性；
4. 最终成果（20%）：根据报告的学术规范性、讨论的深刻性及结题答辩表现，考核学生数据分析和归纳总结能力。

考核方式采用教师评价与小组互评相结合，通过现场观察、随时提问、报告评阅等多种手段，真实、全面反映学生的知识掌握水平和能力获得情况。

四、教学改革成效的预期对比

（一）教师教学方法的转变与提升

在综合实验实施的过程中，教师从知识的灌输者、实验的演示者，转变为学习环境的创设者、知识探究的引导者和教学过程的组织者。教师须主动走出舒适圈，打破传统的思维定式，更新

教学观念，将学生的学习需求和困惑放在首位，投入更多精力研究教学方法、整合科研资源来设计贯通基础知识的综合性实验。在整个教学周期中，其教学水平与课程建设能力得到实质性提高，对学生学习过程的关注从结果延伸到每一个细节，对学生的指导也将变得更加精细化、个性化。

（二）学生学习效果的多维度升华

学生不再是任务的被动执行者，而是项目的主动设计者和执行者，为完成项目，他们必须主动学习、积极思考、协作攻关，学习动机和内驱力被极大激发。通过完整的项目，学生将地下水动力学中零散的概念、公式和实验技能有机地串联起来，形成了系统性的知识网络，深刻理解了基础实验与综合应用之间的内在关联。通过对误差的分析、对模型假定的思考，学生不再机械地套用公式，而是真正理解了公式的物理意义和适用边界，学会了批判性思维。学生亲身体会了“文献查阅→提出方案→实验验证→分析总结”的完整科研流程，科研创新意识和能力得到了提前启蒙和锻炼，为其未来的毕业论文设计和科学研究打下了坚实基础。

五、结语

地下水动力学课程的综合性实验教学改革以“裘布依实验”为突破口，构建以学生为中心、以综合项目为载体、以能力达成为目标的“教学做”一体化新模式。通过经典验证性实验的综合性改造，辅以全过程、多元化考核评价体系，有效解决传统实验教学存在的问题。综合性实验教学需不断探索与改进，深化产教融合，将企业实际工程问题引入实验项目，使人才培养更贴近行业需求。

参考文献

- [1] 曾献奎，祝晓彬，吴吉春. “地下水动力学”线上线下混合式教学改革与实践[J]. 教育教学论坛，2022(47): 69–72.
- [2] 肖先焯，张强，蔡国军，等. 承压井抽水动态实验仪与地下水动力学实验教学[J]. 实验技术与管理，2020(12): 112–117.
- [3] 童新，高瑞忠，贾德彬，等. “地下水动力学”课程建设新途径及其实践探讨[J]. 教育教学论坛，2023(8): 79–82.
- [4] 杨雪，时鹏，魏娜，等. “地下水动力学”现代化教学方法的改进探讨[J]. 教育教学论坛，2024(36): 61–64.
- [5] 张晓博，刘延锋，成建梅. 室内一野外一虚拟仿真混合教学探索与思考——以“地下水动力学”抽水试验为例[J]. 教育教学论坛，2022(47): 141–144.
- [6] 肖先焯，许模，蔡国军，等. 抽水试验模型与地下水动力学实验教学[J]. 实验室研究与探索，2014(1): 164–168.
- [7] 刘守强，曾一凡，崔芳鹏，等. 基于能力导向的地下水动力学教学实践初探[J]. 教育现代化，2019(33): 65–66, 70.
- [8] 王友，张海波，陈雷，等. 工程教育专业认证下的“有限元分析”课程实验教学项目开发探索[J]. 南方农机，2022(14): 182–185.
- [9] 罗建男，辛欣. 基于新工科理念的《地下水动力学》课程教学改革[J]. 科技资讯，2022(9): 172–175.
- [10] 梁志明，邓洪波，李斌，等. 通信电子线路课程项目合作开发实验教学模式[J]. 中国现代教育装备，2021(5): 45–48.
- [11] 赵锐锐，成建梅，刘延锋，等. “地下水动力学”课程线上线下混合式教学实践与反思[J]. 中国地质教育，2022(4): 94–98.
- [12] 章艳红，罗跃，吴吉春，等. “大思政”与新工科背景下水文地质类课程改革与实践——以“地下水动力学”课程为例[J]. 教育教学论坛，2024(16): 117–120.
- [13] 徐树媛. OBE理念下“地下水动力学”课程思政体系建设与实践路径探索[J]. 中国地质教育，2024(3): 50–53.
- [14] 刘宏伟，孙新国. 创新型机械综合实验项目的开发及教学研究[J]. 教书育人，2013(33): 106–108.
- [15] 周丹，韦雪娇. 微生物资源开发学综合性实验的设计与教学实践——以微生物絮凝剂综合实验项目设计为例[J]. 贵州师范学院学报，2021(12): 20–26.