

融合野外监测与数据分析的水文学教学体系 优化与能力导向教学改革研究

高红凯, 雍磊磊

华东师范大学地理科学学院, 上海 200241

DOI:10.61369/ETI.2025070021

摘要 : 随着水文学的发展和多学科交叉, 水文学课程教学在课程内容更新、实验实践以及学生综合能力培养方面面临挑战。为满足新时代对水文人才综合素质和创新能力的要求, 本文以稳定同位素示踪技术为例, 探讨融合野外监测与数据分析在教学体系中的路径。通过梳理同位素水文理论, 构建了涵盖理论教学、实验操作、案例分析和综合提升的四层次模块。在教学改革中, 引入野外采样、实验操作和案例分析, 增强学生对复杂水文过程的定量理解和分析能力。该体系推动了从知识传授向能力培养的转变, 提升了学生专业认知和科研兴趣。研究为水文学课程现代化、结构优化和教学创新提供了实践路径, 也为复合型水文人才培养模式的改革提供了参考。

关键词 : 野外监测; 室内分析; 同位素水文; 水文学教学改革; 能力导向; 课程体系优化

Research on the Optimization of Hydrology Teaching System and Competency-Oriented Educational Reform through the Integration of Field Monitoring and Data Analysis

Gao Hongkai, Yong Leilei

School of Geographical Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241

Abstract : With the development of hydrology and increasing interdisciplinary integration, hydrology education faces challenges in curriculum updating, experimental support, and student competency development. To meet the growing demands for comprehensive qualities and innovative abilities in hydrological professionals in the new era, this study takes stable isotope tracing technology as an example to explore pathways for integrating field monitoring and data analysis into the teaching system. By systematically reviewing isotope hydrology theory, techniques, and typical applications, a four-level teaching framework encompassing theoretical instruction, experimental training, case analysis, and comprehensive skill enhancement is established. In the teaching reform, field sampling, laboratory practice, and representative watershed case studies are introduced to strengthen students' quantitative understanding and analytical abilities regarding complex hydrological processes. This system promotes the shift of objectives from knowledge transmission to competency development, enhancing students' professional awareness and research interest. The study provides a practical pathway for modernizing hydrology curricula, optimizing course structures, and innovating teaching methods, offering valuable references for reforming the cultivation model of interdisciplinary hydrological professionals.

Keywords : field monitoring; data analysis; isotope hydrology; hydrology education reform; competency-oriented approach; curriculum system optimization

引言

随着全球气候变化和人类活动干预, 水资源的时空分布格局及其动态演变日趋复杂, 水文学研究面临新的机遇与挑战^[1]。近年来, 水文学加强学科交叉, 推动理论和技术创新。在新时代创新人才培养导向下, 迫切需要将野外监测与数据分析等实践环节有机融入教学全过程, 推动课程从知识传授向能力导向转型, 构建契合国家战略与行业需求的复合型人才培养新范式。

项目信息:

国家重点研发计划项目(2024YFE0113200); 国家自然科学基金项目(42471040)

作者简介: 高红凯(1984—), 男, 河南濮阳人, 博士, 教授, 研究方向: 流域水文模型方向。

传统水文学教学侧重理论传授，课程内容相对固定，缺乏前沿技术探索和实践能力的培养^[2]。在依赖多源数据与复杂模型的现代水文学研究背景下，学生对复杂水文过程的理解与分析能力亟需提升。同时，教学方式单一，难以激发学生科研兴趣和创新潜力，难以满足新时代对水文人才综合素质和创新能力的要求。由此，优化教学体系，创新内容与方法，推动能力导向的教学改革，成为亟待解决的重要课题。

稳定同位素作为水的“指纹”，凭借其独特的理化特性，有效识别水文过程中的水源、路径和储存变化，成为水文学教学中理论与实践结合的重要工具^[3-4]。将该技术融入教学体系，不仅丰富理论内容，还通过实验操作、数据分析与案例研讨提升学生的实践与综合分析能力。结合同位素信息的水文指示意义与典型流域案例，显著增强学生对复杂水文系统的定量认知，推动理论与实践的深度融合与协同发展。

本研究以稳定同位素示踪技术为例，系统梳理其水文学理论基础，构建涵盖理论教学、实验操作、案例分析及综合能力提升的多层次教学模块，推动教学模式由传统的知识传授向能力培养转变。通过教学改革实践，旨在提升学生的专业认知和科研兴趣，培养具备创新能力与跨学科视野的复合型水文人才。

一、稳定同位素示踪技术在水文学教学中的理论基础与应用潜力

（一）稳定同位素技术原理及其在水文学中的应用前景

稳定同位素技术利用水中氢（¹H、²H）和氧（¹⁶O、¹⁸O）同位素丰度的自然变化，通过分析不同水体蒸发、凝结、融化和入渗等过程中的同位素分馏效应，实现径流水源划分、流动路径和储存过程的追踪与定量^[5]。其核心原理在于分馏过程会导致轻重同位素表现出系统性差异^[6]。正是这种机制，使不同水体具备独特且可辨识的“指纹”信息，为揭示复杂水文过程提供了可靠的科学依据。

目前，稳定同位素技术已从实验室扩展到野外观测和水文模型集成，展现出广阔应用前景。其典型应用涵盖流域水源划分、蒸散发定量、土壤水分迁移及地下水补给机制识别，尤其在水文数据难以获取的寒冷地区表现突出^[7]。近年来，同位素信息被整合到分布式水文模型中，用于参数识别、机制解析和提升模型模拟能力^[8]。在科研研究应用的基础上，稳定同位素技术也能为水文学教学改革提供前沿内容和实践机会，从研究设计—野外采样—室内实验—数据分析—成果转化的链条式教学范式，有助于促进复合型水文人才培养。

（二）当前教学体系的技术短板与整合潜力

传统水文学教学体系主要依赖经验公式和简单水文模型，侧重宏观描述和线性分析。虽然能够传授基本理论，但面对水文系统的复杂性和空间异质性，传统方法难以满足学生对过程—机制—响应的系统性理解，导致分析和解决实际问题的能力不足。此外，教学中缺乏示踪技术和定量分析工具的有效整合，内容单一，实践案例和数据支持匮乏，难以激发学生科研兴趣与创新潜力。此外，跨学科交叉不足，也限制了学生跨领域解决问题的能力。

稳定同位素示踪技术作为揭示水文过程微观机制的重要工具，能够捕捉水分来源、流动路径和储存变化，弥补了传统教学

中定量分析和过程识别的缺陷。其对水文过程的指示性，使其在水源贡献、蒸散发分割、地下水补给排放等关键水文过程识别中极具优势，为学生提供了直观且量化的过程解析视角，促进理论与实践深度融合^[9]。

将稳定同位素技术融入教学，既丰富了课程内容，提升科学性和前沿性，也通过野外采样、室内实验、数据分析和案例研讨培养学生的动手能力、数据处理及综合分析能力。同时，有助于构建跨学科教学平台，推动水文学与大气科学、生态学、环境科学、地球化学等多学科交叉融合，拓宽学生的学科视野与创新思维。

二、能力导向性多层次教学体系构建

（一）当前教学体系的技术短板与整合潜力

在“新地学”发展趋势下，水文学教学正由传统的知识传授模式向能力导向转型，教学目标逐步从基础理论灌输，转向注重学生在实践中分析与解决地理现象的综合能力培养^[10]。这一转变契合当今水文系统日益复杂、研究手段快速更新的学科发展背景。

为适应这一趋势，水文学教学体系亟需围绕“问题驱动、过程导向”的理念重构教学内容与方法，从传授固定知识向培养学生理解水文过程机制、掌握定量分析与方法论能力转变。在此背景下，稳定同位素技术具备良好的教学融合潜力。通过结合野外采样、室内试验、数据分析与典型流域案例，可构建以水文现象为导向的教学情景，帮助学生建立从数据获取、实验分析、到过程解析的科学思维链条。同时，结合探究式教学方式，如同位素水文模型构建与研讨，能够有效促进学生的创新思维与批判性思维，增强其从原始数据中提取信息并构建过程模型的能力。

优化后的教学体系打破了地理学、水文学、环境科学与地球化学等学科之间的壁垒，构建多维度的知识网络与分析框架。融合式教学模式在提升学生综合素养方面展现出显著优势，特别是

在复杂地理背景与多源信息条件下，有助于培养其系统思维能力和实践操作水平。

（二）多层次课程模块设计与内容体系构建

为培养学生野外监测与数据分析能力，增强水文学教学中的系统性与实践深度，以稳定同位素为实例，构建以“基础—应用—综合”为导向的四层次教学模块，有助于实现从知识掌握向能力培养的有序推进。

1. 理论教学模块

围绕稳定同位素水文的基本原理及其在水文过程中的指示意义，系统讲授其在流域水源划分、蒸散发估算和地下水补给等典型应用中的方法与技术，夯实学生的理论基础。

2. 实验操作模块

通过标准化流程训练学生开展水样采集、前处理与同位素数据分析，规范实验操作，掌握关键仪器使用方法，提升数据获取与质量控制能力。

3. 案例分析模块

引入典型流域案例，组织学生围绕水文现象开展专题研讨，依托获取的实验数据完成水源定量识别与分析，强化学生理论联系实际的能力，提升其综合运用专业知识解决实际问题的水平。

4. 综合提升模块

通过设定综合性研究任务，组织学生以小组形式协作开展学习，引导其构建简单的物理模型，整合水文观测、稳定同位素及遥感数据，开展水文过程识别与模拟分析。在解决实际问题的过程中，全面提升学生的团队协作能力、系统思维能力和科学表达能力。

四层模块由浅入深、层层递进，构建起从概念理解到技能掌握再到综合应用的教学链条，有效支撑学生专业能力的系统构建与创新能力的持续提升。

（三）教学内容与组织方式创新

在教育理念不断演进的时代背景下，水文学教学亟需在内容与组织方式上实现系统创新，以适应多样化学习需求与复杂系统认知能力的培养。围绕稳定同位素技术的融入，教学内容应摒弃简单的知识传授，转向模块化、多维度设计，系统整合理论基础、技术方法、实践技能与综合分析，构建递进式学习路径。

教学组织方面，融合任务导向模式，推动教学从灌输式转向探究式。通过数字资源提前学习基础知识，课堂聚焦于问题研讨与案例推演，强化学生的主动学习能力与协同思维。结合典型流域案例，设置具有一定挑战性的课程任务，引导学生掌握稳定同位素在水文过程识别中的关键方法。在此基础上，教学进一步延伸至课后，通过组织野外观测、实验操作与数据建模等实践环节，构建“野外采样—实验分析—结果解释”的教学闭环，全面提升学生从数据获取到机制认知的综合能力。

为保障教学质量，还需建立涵盖理论知识掌握、技能应用与思维能力等多维度的科学评估与反馈机制，实现全过程、多层次

的能力监测与持续提升。通过教学内容与组织方式的系统创新，构建契合未来需求的高质量水文学教学新范式，推动学生实现从知识积累向能力成长的转变。

三、教学改革实践与评估

（一）教学改革实施路径与组织保障

教学改革坚持“课程—平台—实践”三位一体路径，以课程内容为核心，系统重构教学体系，将野外监测与数据分析融入水文学课堂，形成结构清晰、层次分明的课程体系。充分整合院校现有实验平台与科研资源，构建跨学科、多层次的教师团队，组建涵盖水文学、气象学、生态学、环境科学等领域的教师团队，促进跨学科合作与经验交流，构建多元化教学支持体系。建立各交叉学科之间科学的教学管理与评价机制，推动改革规范实施与动态优化。

改革采取试点推进，先行开展试点班级水文学课程和实验改革，收集反馈意见过程中持续改进，确保教学改革实施路径切实有效。依托资源整合与组织保障，教学内容与实践体系稳步推进，不断促进教学质量整体提升。

（二）学生能力提升与教学反馈分析

通过教学前后测评、问卷调查及教师课堂观察的综合评价，学生在各个能力方面均表现出显著提升。首先，学生对水文过程的复杂性及其多尺度特征有了更深入的理解，能够从系统论视角全面分析水文现象。其次，学生的实验设计与数据分析处理能力显著增强，能够独立制定采样方案、开展数据采集及实验分析，体现出扎实的实践操作能力。此外，学生在科学表达和科研方案撰写方面也有明显进步，能够逻辑清晰地阐述研究科学问题及解决思路。

教学反馈显示，改革后的课程内容更加富有挑战性和启发性，显著激发了学生的学习主动性和探索欲望。许多学生反映，通过数据分析、案例研讨与任务驱动的学习模式，课堂参与度明显提升，批判性思维和创新意识得到加强。同时，教师观察到学生在团队协作和跨学科交流中的积极表现，整体科研素养和综合分析能力得以提升。

总体来看，教学改革显著提升了学生的理论与实践能力，激发了科研热情和自主探索精神，为打造具备创新思维与跨学科能力的高素质水文人才奠定了坚实基础。

（三）改革成效的推广价值与反思

本次教学改革体系具备较强的可复制性和推广潜力，适用于地学及环境科学等相关专业的教学创新。通过模块化设计和多元教学手段，改革显著提升了学生的理论素养与实践能力，促进了跨学科视野的培养，为其他专业课程优化提供借鉴。然而，实施过程中也暴露出资源配置不足、师资体系不完善以及学生基础差异较大等问题，影响了教学效果的全面发挥。未来应加强教学资

源整合,完善实验平台与数字化教学支持,提升教师的专业能力与教学方法培训,同时针对学生差异制定灵活多样的评估机制。通过持续优化教学体系和管理模式,推动教学改革的深入发展,实现高质量人才培养的目标。

四、结束语

本研究聚焦野外监测与数据分析在水文学教学中的融合与能力导向改革,以稳定同位素示踪技术为实例,构建了涵盖理论教

学、实验操作、案例分析及综合能力提升的多层次教学模块。通过引入野外采样、室内试验、数据分析和案例研讨,促进学生复杂水文过程的定量理解和实践能力的提升,实现教学目标由知识传授向能力培养的转变。教学改革不仅激发了学生的科研兴趣与主动学习热情,还拓展了其跨学科视野与创新能力。该改革体系具备较强的推广价值,为地学及环境科学等相关专业课程优化提供了有益参考。

参考文献

- [1] 李峰平, 章光新, 董李勤. 气候变化对水循环与水资源的影响研究综述 [J]. 2013, 33(4): 457-464.
- [2] 郑天元, 刘涛, 郑西来, 等. 基于 OBE 理念的环境水文地质学实验课程教学改革策略 [J]. 高教学刊, 2025, 11(06): 140-143.
- [3] 徐庆, 左海军. 稳定同位素在流域生态系统水文过程研究中的应用 [J]. 世界林业研究, 2020, 33(01): 8-13.
- [4] 刘治平. 搞好实验教学, 提高水化学的教学质量 [J]. 教学与研究, 1989, (02): 16-17.
- [5] 李忠义, 金昱仕, 庄志猛, 等. 稳定同位素技术在水域生态系统研究中的应用 [J]. 生态学报, 2005, (11): 260-268.
- [6] 张玉翠, 孙宏勇, 沈彦俊, 等. 氢氧稳定同位素技术在生态系统水分耗散中的应用研究进展 [J]. 地理科学, 2012, 32(03): 289-293.
- [7] 汪集场, 陈建生, 陆宝宏, 等. 同位素水文学的若干回顾与展望 [J]. 河海大学学报(自然科学版), 2015, 43(05): 406-413.
- [8] 李宗省, 张百娟, 冯起, 等. 我国西部高寒山区同位素生态水文研究进展 [J]. 地球科学, 2023, 48(03): 1156-1178.
- [9] 何天豪, 高红凯, 李向应, 等. 水稳定同位素示踪的冰川流域水文模拟及不确定性研究——以乌鲁木齐河源 1 号冰川为例 [J]. 冰川冻土, 2021, 43(04): 1130-1143.
- [10] 孙龙, 陈利顶, 杨磊. 基于氢氧同位素技术的流域水源涵养研究进展 [J]. 生态学报, 2020, 40(24): 8872-8881.
- [11] 蒋继文, 马书馨. 基于 "CBL—PBL—Seminar" 教学模式的高校水文学课程案例教学探讨 [J]. 文存阅刊, 2024(28): 61-63.