

王嘉莹, 王宇豪, 陆志波, 等. 智慧水务跨学科人工智能实践教学模式的构建与应用[J]. 净水技术, 2026, 45(3): 197-204.

Wang J Y, Wang Y H, Lu Z B, et al. Constructon and application of interdisciplinary artificial intelligence practice and teaching model in smart water [J]. Water Purification Technology, 2026, 45(3): 197-204.

智慧水务跨学科人工智能实践教学模式的构建与应用

王嘉莹¹, 王宇豪², 陆志波¹, 颜合想², 史俊^{2,*}

(1. 同济大学创新创业学院, 上海 200092; 2. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘要 【目的】智慧水务作为融合大数据、物联网、智能控制等技术的跨学科领域,已成为保障供排水安全稳定运行、提升水务管理智能化水平、实现降本增效的核心支撑。随着人工智能(AI)技术的快速发展及其在水务工程中的广泛应用,培养非计算机专业学生的智慧水务实践能力已成为高校环境类学科实践教学改革的重要议题。然而,当前智慧水务方向跨学科本科生的实践培养仍面临严峻挑战,普遍存在学生计算与编程等知识储备不足、AI技术实践课程内容与水务专业需求不匹配、教学资源与试验平台相对匮乏等问题,均限制了学生开展智慧水务工程实践的深度与广度。【方法】基于以上核心困境,本文基于认知负荷与建构主义学习理论,结合智慧水务项目的复杂性与本科生学习特点,系统构建了适应于智慧水务项目培养需求的“感知-解构-迭代”的人工智能实践教学模式,以循序渐进的方式引导学生完成从问题理解到模型应用的全过程学习。【结果】以“供水管网漏损定位”为典型智慧水务应用案例,本文具体呈现了该模式在教学目标设定、教学内容组织及教学实施流程中的具体实现路径。并从理论自洽性、教学设计精准性以及能力迁移的普适性等方面论证了该模式的应用价值与推广潜力。【结论】本文为破解智慧水务AI实践教学难题提供了从理论构建到教学实践的系统性解决方案。

关键词 智慧水务 跨学科教育 人工智能实践教学模式 感知-解构-迭代 案例示范

中图分类号: G712; TP18 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-0177(2026)03-0197-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.03.021

Constructon and Application of Interdisciplinary Artificial Intelligence Practice and Teaching Model in Smart Water

Wang Jiaying¹, Wang Yuhao², Lu Zhibo¹, Yan Hexiang², Shi Jun^{2,*}

(1. School of Innovation and Entrepreneurship, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract [Objective] Smart water management has emerged as one of the core fields in securing water supply and optimizing water treatment by integrating big data, the internet of things, and intelligent control. As rapid development of artificial intelligence (AI) technology and its wide application in water engineering, developing smart water practical competencies for non-computer specialty students has become a key priority in the pedagogical reform of environmental engineering practical training. However, practical training of interdisciplinary undergraduate students in smart water management faces several significant challenges, including insufficient foundational programming skills among students, a mismatch between AI course content and the professional needs, and limited teaching resources and experimental platforms, which hinder the depth and breadth of practical learning. [Methods] This paper systematically addressed these challenges, specifically the issues of low motivation, high cognitive load, and the theory-practice gap. From the perspective of cognitive load and constructivist learning theories, a core teaching model based on the "perception-deconstruction-iteration" framework was proposed. [Results] Using the typical case of "water supply pipeline leakage location", this paper outlined the implementation approach of the model in terms of teaching objectives, content, and processes. The application value and potential for wider dissemination of the model were discussed from the perspectives of theoretical self-consistency, design precision, and transferability. [Conclusion] This paper provides a comprehensive solution that bridges the theoretical and practical aspects of

[收稿日期] 2025-11-29

[作者简介] 王嘉莹(1987—),女,主要从事供水管网水质保障及工程实践等工作,E-mail:18614@tongji.edu.cn。

[通信作者] 史俊(1983—),女,高级工程师,主要从事水处理技术、环境虚拟仿真试验等工作,E-mail:shijun215@tongji.edu.cn。

implementing in the domain of water management education.

Keywords smart water interdisciplinary education artificial intelligence practice and teaching mode perception-deconstruction-iteration case demonstration

人工智能(AI)作为引领新一轮科技革命和产业变革的核心驱动力,正在推动社会各领域向智能化方向发展。水务系统是我国重点基础设施组成部分,在城市日常运行、生态环境保护以及公共安全等方面发挥着不可替代的作用。近年来,智慧水务的发展已逐步从初期的大屏幕可视化展示阶段,迈入具有实际价值的工程实践阶段。AI技术在水资源调度、实时水力/水质预测、管网漏损/爆管诊断等方面的应用不断深化,日益成为提升水务系统运行效能、优化企业运营成本结构、促进行业绿色低碳发展的有效支撑。

基于智慧水务的发展,传统的“水务工程”人才培养模式已难以满足行业对复合型人才的需求。仅仅掌握单纯的水务专业知识无法直接支撑目前智慧水务中的大数据、机器学习和智能决策等功能运行;而若仅有计算机/数据科学背景,会缺乏对水务业务流程、行业规范等专业的深刻理解。因此,培养既懂水务业务又能熟练运用AI的跨学科人才,已成为智慧水务行业实现技术突破和规模化应用的根本。然而,在智慧水务相关的实际本科教学过程中,环境学科学学生普遍存在编程基础薄弱、学习动机偏向解决专业领域精准功能等现象。因此,环境学科的人才培养核心目标应为赋能学生运用AI工具解决水务领域实际问题的能力,即培养“AI+X”型的应用型、交叉型人才(“X”为水务领域),而非培养算法研发者,实现相关领域“问题-技术-落地”的闭环^[1-3]。

面向智慧水务的本科实践教学面临3大瓶颈:首先,跨学科背景的学生面临编程和数据能力薄弱等问题^[4],AI基础素养有待加强,此外,当进入高年级智慧水务实习阶段时,容易导致学生在面对真实业务时认知负荷加重^[5],从而影响实践成效,挫伤学生学习的信心;其次,AI实践中内容与专业需求脱节,现行跨学科AI教学中所使用的案例集中于机器学习的通用任务(如鸢尾花分类,泰坦尼克号生存率分析等),未能充分融入水务行业的实际业务问题。学生难以在课堂中直观体验AI技术与行业诉求的直接联系,从而易导致学生学习动力不足^[6-7];最后,实践教学资源与试验平台支撑不足,

如AI实践教学的硬件与算力资源较为匮乏,同时,缺乏针对智慧水务领域的标注数据集和项目案例,致使学生难以实现完整的项目解析。

近年来,面向非计算机专业的AI实践教学探索逐步深入。以学习产出的教育模式课程重构(OBE)、项目式学习(PBL)等教学创新方法不断涌现^[6],为跨学科的实践教学提供了宝贵经验。然而,聚焦于智慧水务领域,现有AI实践教学模式多侧重于宏观理念与技术介绍,在应对学生学习动机不足、认知超载、学用分离等核心问题方面,尚缺乏从理论到实践可操作性高的教学路径。

针对上述问题,本文基于“核心模式构建-实际案例设计-模式价值阐释”,以建构主义学习理论和认知负荷理论为理论基础,以智慧水务本科人才实践培养为目标展开研究,面向对象主要为已完成部分专业课程学习的大二和大三学生。建构主义学习理论强调学习是在原有知识经验基础上,通过与外界交互而主动建构新知识的过程;认知负荷理论关注学生在学习过程中的有限记忆,目的是通过优化教学设计和信息呈现方式,减少无效的认知负荷,提升学习效率。本文处于行动研究的“计划与设计”环节,初步提出“感知-解构-迭代”三段式实践教学模式,着力于将上述教学理念转化为可执行的操作路径,为后续的教学实施与效果评估提供框架基础,以适应智慧水务行业对跨领域复合人才的迫切需求。

1 “感知-解构-迭代”核心模式构建

本文以“感知-解构-迭代”为核心,围绕“问题驱动、能力导向、低门槛高成效”的实践教学目标,系统设计了面向智慧水务跨学科的本科实践课程教学方案,引导学生将AI技术与水务专业深度融合,同时辅助学生建立AI系统思维与伦理意识,实现环境学科学学生的AI创新能力的提升。

1.1 理论基石与模式框架

“感知-解构-迭代”实践教学模式基于建构主义学习理论与认知负荷理论(表1),分为“感知”“解构”“迭代”3个核心要素(图1)。

表 1 “感知-解构-迭代”模式的理论与实践对应关系
Tab. 1 Theory-Practice Correlation of the "Perception-Deconstruction-Iteration" Mode

教学瓶颈	模式要素	依托的理论	具体教学干预
学习动机不足	感知	建构主义	重构教学时序,代码先行,通过直观结果激发探究兴趣
认知负荷过高	解构	认知负荷理论	将复杂项目模块化,降低单步认知负担,聚焦核心概念
学用脱节	迭代	建构主义	设计“运行-观察-预测/调整-讲解”微循环,让学生在项目调试、方案比较中主动建构知识体系

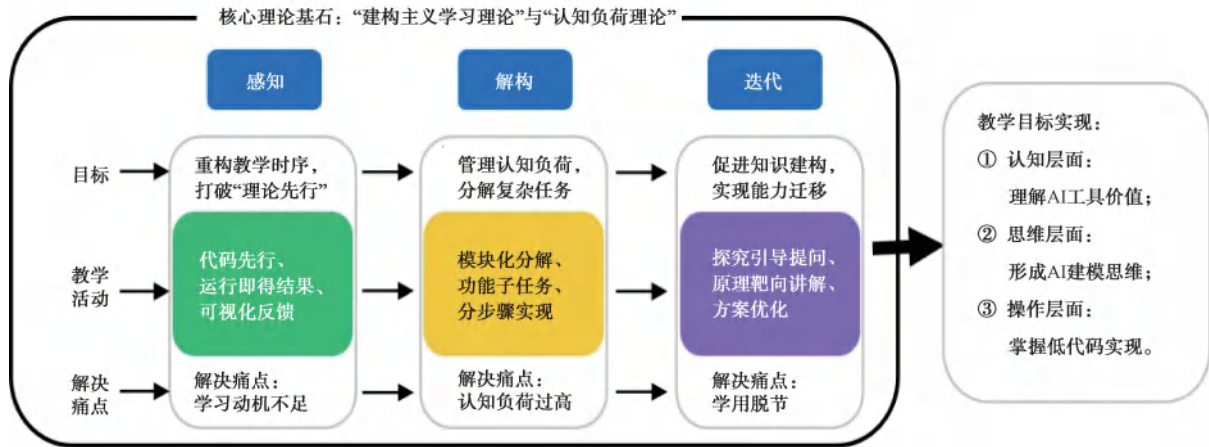


图 1 “感知-解构-迭代”实践教学模式结构图

Fig. 1 Structural Diagram of the "Perception-Deconstruction-Iteration" Practice and Teaching Mode

建构主义学习理论强调学习是学习者的主动建构过程^[8],研究模式设计了“感知”要素,通过重构教学时序,打破实践中“理论先行”的传统,让学生在最小化概念铺垫后首先运行代码、观察直观结果,快速激发学生的好奇心和探究欲,有效解决“学习动机不足”的问题,“感知”策略符合人类从具象到抽象的认知规律,可引导学生从“被动接受者”向“主动探索者”的转变^[9]。认知负荷理论指出学习者的工作记忆资源有限,因此教学设计需通过信息优化的呈现方式管理认知负荷^[5],研究模式设计了“解构”要素,旨在将复杂的 AI 智慧水务项目拆解为功能内聚、逻辑连贯的 N 个子任务模块,从而降低学生在项目执行中面临的认知负荷程度,辅助学生将有限的学习记忆资源集中于理解 N 个核心概念与逻辑关系,克服“认知负荷过高”的难题。此外,研究模式在“感知”和“解构”的基础上,延伸出“迭代”要素,目的是基于智慧水务的专业问题,围绕每个被解构的子任务模块,实现“运行观察-引导提问与预测-原理阐释”的微循环上升,确保学生在每一步都有明确的任务,最终构成为学生主动的学习环境,使其在解决真实水务问题的同时,不断深化

对 AI 原理及其领域应用的理解,解决“学用脱节”问题。

1.2 教学目标

教学目标的偏差会直接导致实践课程目标与学生实际需求的错位。跨学科的 AI 实践课程应遵循“以学生为中心”的教学理念,不能简单定位为“计算机专业课的简化版本”。智慧水务背景下环境学科的 AI 实践课程目标应定义为跨学科 AI 应用能力 (AI+智慧水务) 的培养,划分为认知层、思维层、操作层的逐级递进层次。

1.2.1 认知层

认知层的目的是引导学生将 AI 技术定位为具有实用价值的辅助工具,克服对算法“黑箱”的潜在“恐惧”,辅助学生系统掌握 AI 在智慧水务典型场景(如水质预测,管网调度,模型构建)中的应用,掌握 AI 技术输入与输出之间的映射关系,同时培养学生对技术局限性与伦理约束的认识。

1.2.2 思维层

在思维层面,重点培养学生将水务领域的复杂问题(如城市内涝风险预警、供水管网优化调度)转化为可被 AI 处理的结构化任务的能力。引导学生

学会将专业问题分解为明确的输入数据形式、预期输出目标及适配的模型类型等。思维层面教学的核心目标为借助典型案例的剖析与训练,增强学生以实际业务需求为目的,精准界定问题范围、选取适当数据与方法,形成可落地 AI 解决方案的综合素养。

1.2.3 操作层

操作层在符合数据安全规范的水务脱敏业务数据基础上,借助低代码、可视化平台(如 Python、Orange 等),引导学生完成从数据到模型再到决策支持的全流程 AI 实践。操作层面的教学重点:一方面培养学生运用现有工具进行数据清洗、特征提取、模型训练与结果可视化的实际操作能力;另一方面贯彻“代码先行”理念,教师提供经过实践验证且注释详尽的代码模块,避免学生从零编写复杂算法所带来的畏难情绪,降低技术门槛。项目导向学习可以增强学生的实践能力^[10]。保障项目实践成效,同时助力学生深入理解 AI 工作流程的内在逻辑。

1.3 课程内容体系

为系统化培养学生的跨学科 AI 应用能力,基于“感知-解构-迭代”核心实践教学模式,构建了从基础原理到案例解析的课程内容体系。

1.3.1 基础原理层

在实践教学环节,结合智慧水务领域的数据特征与应用需求,教师应聚焦支撑 AI 应用核心概念的讲解,遵循代码教学的“最小必要”化原则,主动规避冗长的数学推导与算法细节剖析。基础原理层重点建议涵盖以下内容:(1)数据预处理的关键步骤(如缺失值处理与数据标准化等);(2)常用机器学习任务类型与水务场景中的适用性(如回归、分类、聚类等);(3)模型评估常用指标(如平均绝对误差、准确率、轮廓系数等)的解析。通过基础原理层的理论精炼,辅助学生以较短时间掌握智慧水务 AI 实践所需的概念基础,为后续应用操作奠定必要知识框架。

1.3.2 案例解析层

案例库是实践教学方案的核心载体,构建的案例均应来源于智慧水务真实业务场景,并设计为轻量化、模块化、动态更新的可复用教学单元。案例按难度程度分为 3 类。

(1)回归问题:基于历史监测数据的单参数,如流速、压力、氨氮等预测,通过掌握时间序列数据的预处理方法、达到常用回归模型(如线性回

归、随机森林)的调用与评估,理解特征对预测结果的影响。

(2)分类问题:基于多源传感器数据的综合预测,如压力、流量、声波的供水管网漏损点识别,处理实际中常见的多元数据集,学习不同分类算法(决策树、支持向量机等)的适用场景,并掌握提升模型性能的技巧。

(3)聚类与优化:基于多技术的融合和系统优化,如用户用水行为数据的智能分区与计量管理,综合运用聚类算法进行用户画像划分,并结合简单的优化模型,提出针对不同分区的调压节能策略。

1.4 教学流程

基于“体验优先、问题驱动”理念,跨学科智慧水务实践课程教学流程应将完整智慧水务单个 AI 项目解构为一系列功能内聚、逻辑连贯、具备即用特性的代码模块,通过“感知-解构-迭代”3 阶段,引导学生实现从感性认知到抽象理解的提升。

1.4.1 课前准备(代码模块化分解)

在实践课程开始前,教师需对完整项目代码进行模块化重构,将其按功能拆解为若干相互独立且逻辑连贯的单元,构建结构清晰的代码资源包。典型模块划分包括:数据加载与可视化、特征提取与筛选、模型训练与评估、结果可视化。每一模块均配备详尽的代码注释,并附有项目预期运行效果图示,为课堂中的分步骤探究式学习提供结构化支持。

1.4.2 课中实施(分步探究循环)

实践课中采用“运行-观察-预测/调整-讲解”4 步循环推进机制,着重于学生实践,引导学生通过实际运行与结果即时反馈,深化对 AI 技术与水务业务之间的内在联系,具体实施如下。

(1)代码分发与结果输出:按照教学逻辑依次分发代码模块,学生直接运行并观察输出结果(如生成的压力异常区域空间分布图),建立对水务实际问题的直观认知。

(2)问题引导与思维激发:基于代码运行结果,教师提出具有启发性的专业问题,如“哪些区域可能为漏损高风险区?”“压力异常与管网拓扑、用水模式之间存在何种关联?”等,以激发学生结合业务背景进行深入思考。

(3)迭代拼接与能力递进:学生在理解当前模块功能的基础上,推荐其采用不同算法或参数设置进行结果差异性对比,鼓励学生自主选择下一步的

优化方向;依次获取后续代码单元,重复“运行-观察-思考-讲解”的循环过程,逐步将分散的“积木”整合为完整的智慧水务 AI 解决方案。

(4) 靶向讲解与认知升华:针对学生在实践中普遍存在的困惑,教师聚焦核心概念与关键原理进行精讲,帮助学生实现从具体操作体验到抽象理论认知的跃迁。

(5) 结果讨论与工程优化:在关键模块完成后,组织小组讨论,学生展示结果,并围绕“何种方案更适合实际水务场景”进行评估,强化学生将技术方案与工程实际、经济成本等约束条件相结合的综合实践能力。

1.4.3 课后延伸(能力迁移应用)

通过开放式的拓展任务,鼓励学生在已有课中工作基础上进行参数调整、算法替换、数据扩展等尝试,助力学生巩固课堂所学,提升其将 AI 方法迁移到新场景的创新能力,完成从“学会”到“会用”的关键转变。

1.5 评价优化

应构建涵盖多维度、量化效果与优化提升的评价体系,形成“设计-实施-评估-改进”的闭环提升机制,用于评估实践教学模式的实际成效,保障教学体系持续完善。

针对学生成绩的多维度评价包括:(1)项目报告评价:要求学生在完成智慧水务案例后提交分析报告,考查其技术文档撰写与业务结果解读能力;(2)小组协作展示:通过团队汇报形式评估学生在跨学科情境下的沟通表达能力与协同合作素养;(3)代码仓库追踪:借助版本管理工具记录学生从模块运行到自主调优的过程,客观呈现技术能力的发展轨迹。课程效果的量化评价中,实行课前课后对比方法,在实践教学单元开始前,通过问卷调查采集学生对 AI 技术的认知基础与学习态度;在同一教学单元结束后,采用相同问卷并结合多维度评价结果进行课程效果分析,综合解析实践课程在认知理解、思维方法与操作技能等方面的教学效果。此外,收集学生对案例难易程度适配、工具平台适用性及教学节奏安排等方面的反馈意见,为后续案例资源的迭代与教学流程的优化提供依据。

2 “感知-解构-迭代”模式在智慧水务实践教学中的实现路径

本节是前述实践教学模式的具象化,以一个完

整的教学设计案例——“供水管网漏损定位”,阐述“感知-解构-迭代”模式在单一实践教学单元中的具体实现路径。

2.1 案例背景与目标

2.1.1 案例背景

供水管网漏损问题长期困扰水务行业,造成了大量的水资源损失,直接提高了供水企业的运营成本。传统的漏损检测手段主要依赖人工听音等经验方法,存在检测效率有限、人力投入大等局限。随着智慧水务建设的推进,基于压力、流量等多源传感器数据,借助 AI 技术,实现高效、精准的漏损定位,已成为行业数字化转型中的重要研究方向。

2.1.2 实践教学目标

通过本案例实践,力求达成 3 个层面的教学目标。

(1) 认知层面:引导学生理解如何将传感器采集的压力、流量异常数据与可能的漏损空间位置建立关联,认知数据驱动方法在智慧水务中的实际价值。

(2) 思维层面:培养学生将“管网漏损定位”这一具体业务需求,转化为“多特征分类或回归问题”的抽象建模思维能力。

(3) 操作层面:锻炼学生运用低代码工具,独立完成从数据预处理到漏损风险空间可视化输出的全流程实践操作。

2.2 教学实施条件

本实践教学案例建议安排 4 个课时(180 min)。在配备多媒体教学系统的教室进行,学生自带笔记本电脑。软件环境需预装 Python(集成 NumPy, Pandas, Scikit-learn, Matplotlib 等库)、Orange 及 Jupyter Notebook 等开发工具。教学所用数据均为经脱敏处理的水务传感器数据集,并在课前分发至学生。

2.3 模式应用

基于“感知-解构-迭代”,以供水管网多源传感器(压力、流量)数据融合为核心,实现从漏损检测到定位的全流程 AI 实践,如表 2 与图 2 所示。

3 模式价值论证

与传统“理论先行,综合试验”的教学路径相比,本文构建的“感知-解构-迭代”教学模式实现了 4 个维度的显著优化(表 3)。该模式不仅完成了

表 2 “感知-解构-迭代”模式在漏损定位案例中的实现
Tab. 2 “Perception-Deconstruction-Iteration” Mode: Application in a Case Study of Leakage Locations

教学环节	案例对应内容	教学目的与能力培养
感知 (代码先行)	提供数据读取与可视化代码模板,学生直接运行可看到流量、压力等模拟数据曲线	消除对 AI 技术的陌生感,通过即时代码反馈激发兴趣;掌握时间序列数据的初步处理与可视化方法
解构 (分步骤实现)	模块 1:数据融合 多源传感器数据(压力、流量、噪声)对齐与特征提取 模块 2:漏损识别 使用聚类或分类算法区分正常与漏损状态 模块 3:漏损定位 基于压力梯度或神经网络映射确定漏损管段位置	培养系统拆解能力与自主探究能力;把复杂漏损定位任务分解为数据融合、识别、定位 3 个可编码的子问题;在每一模块,要求学生尝试修改至少一个关键参数或特征组合,观察并记录对结果的影响
迭代 (迭代提升)	循环 1:仅使用压力数据,定位误差较大;引导学生分析原因(单一信号不足以抗干扰) 循环 2:加入流量数据,通过特征融合提升定位精度;学生对比 2 次结果,理解多源信息融合的价值;此外,学生需设计特征融合策略,并对比融合前后的精度差异 循环 3:引入水力模型,进一步优化,并讨论在实际独立计量区域中部署的可行性	重点培养学生两方面的专业素养:一是通过多轮结果对比,使其切身感受“多源传感器协同”如何逐步提升漏损定位的精确度与可靠性;二是引导其建立工程化思维,在追求技术精度的同时,充分考虑实际部署中的经济性与可行性约束

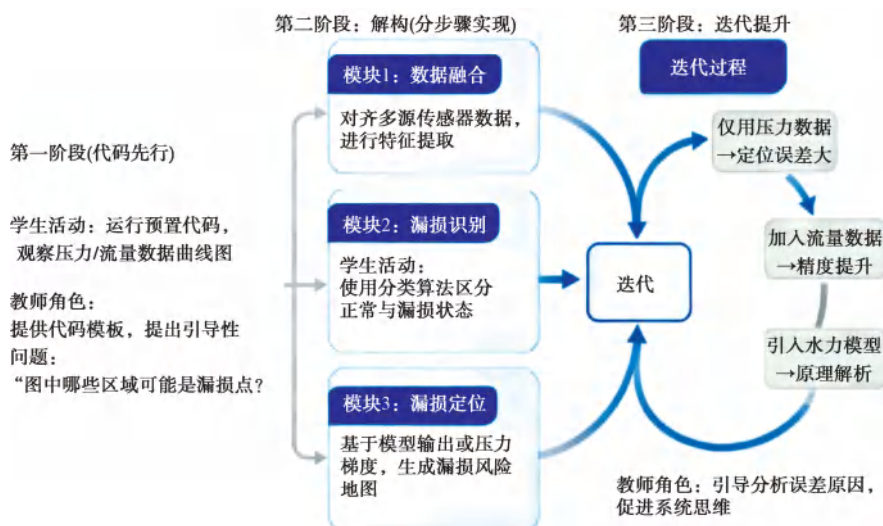


图 2 “供水管网漏损定位”教学案例实施路径

Fig. 2 Teaching Implementation Path of Case Study for the "Water Supply Pipeline Leakage Location"

表 3 传统模式与“感知-解构-迭代”模式的核心对比
Tab. 3 Core Comparison between Traditional Mode and "Perception-Deconstruction-Iteration" Mode

教学瓶颈	传统模式	“感知-解构-迭代”模式
教学时序	理论先行,后验证	代码先行,从感知引发理论需求
任务结构	呈现完整、复杂的综合项目	解构为功能内聚的模块化“积木”
学习逻辑	演绎与验证	迭代与建构
师生角色	教师主导,学生跟随	教师引导,学生主体

从知识单向传递向认知主动建构的转变,还将教学任务从综合性试验拆解为模块化探究过程,同时推动教学评价由结果导向转为过程性迭代评估。为各类“AI+X”交叉学科的实践课程体系设计提供了具有可迁移性的方法论支撑。

3.1 理论自洽性

构建的实践教学模式中:“感知”对应动机激发;“解构”对应负荷管理;“迭代”对应知识建构。三者协同,共同完成了教学瓶颈问题解答、教学模式优化、教学效果循环提升的闭环逻辑,保证了模式内

在的科学性与自洽性。

3.2 设计精准性

宏观层,构建的“感知-解构-迭代”核心模式,确保了教学的系统性与专业性,提供了实施的路线。微观层,案例设计展示了模式在单一教学单元中落地的精细流程。二者结合证明了本模式设计的系统性与可操作性。

3.3 迁移普适性

“感知-解构-迭代”实践教学模式具有良好的跨学科迁移潜力。其模块化的课程架构具备较强的可扩展性,可通过替换不同领域的专业案例(即“AI+X”中的“X”)快速适配相关专业领域的实践教学场景,为各类“AI+X”交叉学科的实践教学改革提供可借鉴的实施范式。

4 结论与展望

本文针对智慧水务跨学科 AI 教学的核心困境,构建了“感知-解构-迭代”实践教学模式。该模式理论根基坚实,通过重构教学时序、解构复杂任务与设计探究情境等,应对了跨专业学生面临的动机、负荷与脱节 3 大难题。通过“供水管网漏损定位”案例设计,将理论模式具象化为可操作的实践教学实施方案。然而,本文存在一定局限性,作为行动研究的第一轮“计划”阶段,侧重于实践教学模式的系统构建与典型案例的路径设计,模式的有效性尚待后续“行动”与“观察”环节的实证检验。未来研究将在以下方面深入推进:开展实践教学实证行动研究,将本模式应用于实际课堂(如面向环境学科大三学生的《智慧水务导论》实践环节),通过收集学习行为数据与成果,对模式的有效性进行量化验证与迭代优化;开发集成模块化代码库与学习分析功能的云端一体化教学平台,以提供更精准的个性化学习支持;推动构建跨学科教学团队,设计与计算机领域深度融合的“AI+X”项目案例库,进一步验证与完善智慧水务本科实践教学模式。

参考文献

- [1] 阎世梁,王银玲,王敏,等. 基于“人工智能+X”的复合型人才培养探索与实践[J]. 中国教育信息化, 2025, 31(5): 119-128.
Yan S L, Wang Y L, Wang M, et al. Exploration and practice of compound talents cultivation empowered by “AI+X” [J]. Chinese Journal of ICT in Education, 2025, 31(5): 119-128.
- [2] 张悦周,孙绍华,张庭浩,等. 面向非专业类学生的人工智能课程设计及教学模式[J]. 高等工程教育研究, 2024(6): 22-27.
Zhang Y Z, Sun S H, Zhang T H, et al. Artificial intelligence course design and teaching models for non-major students [J]. Research in Higher Education of Engineering, 2024(6): 22-27.
- [3] 齐明洋,南锦顺,刘志东. 应用型高校“人工智能+电气专业”复合型人才培养体系构建研究[J]. 江苏科技信息, 2022, 39(33): 25-27, 32.
Qi M Y, Nan J S, Liu Z D. Research on the construction of “artificial intelligence + electrical specialty” compound talents training system in applied colleges and universities system in applied universities [J]. Jiangsu Science and Technology Information, 2022, 39(33): 25-27, 32.
- [4] 张一铭,张俊勃,戴栋,等. 基于设计思维从零到一建设电气工程专业跨学科课程:以《人工智能》课程为例[J]. 中国电机工程学报, 2023, 43(23): 9374-9382.
Zhang Y M, Zhang J B, Dai D, et al. Building an interdisciplinary course of electrical engineering from zero to one based on design thinking: Taking “artificial intelligence” course as an example [J]. Proceedings of the CSEE, 2023, 43(23): 9374-9382.
- [5] Sweller J. Cognitive load during problem solving; Effects on learning [J]. Cognitive Science, 1988, 12(2): 257-285.
- [6] 杨婧,张晶,杨沛. 基于 OBE 的面向非计算机专业的人工智能导论课程教学改革[J]. 中国成人教育, 2023(9): 49-53.
Yang J, Zhang J, Yang P. Teaching reform of introduction to artificial intelligence for non-computer majors based on OBE [J]. China Adult Education, 2023(9): 49-53.
- [7] 刘利华,武海霞,赵珮君,等. AI 赋能《农田水利学》课程教学创新的探索与实践[J]. 创新教育研究, 2025, 13(7): 409-413.
Liu L H, Wu H X, Zhao P J, et al. Exploration and practice of AI-empowered classroom teaching innovation in “Irrigation and Drainage Engineering” [J]. Creative Education Studies, 2025, 13(7): 409-413.
- [8] 芙蓉. 建构主义视角下人工智能赋能研究生教学探索——以《统计调查》为例[J]. 社会科学前沿, 2025(5): 89-94.
Guan R. Exploration of artificial intelligence-enabled postgraduate teaching from the perspective of constructivism—Taking statistical survey as an example [J]. Advances in Social Sciences, 2025(5): 89-94.
- [9] Liao Y Y, Shu X Y, Shi R D, et al. High-quality giving-a-fish or teaching-to-fish: AI service empowerment in university programming education research [J]. Proceedings: Computer

- Science, 2025, 3: 0004. DOI: 10. 55092/pcs20250004.
- [10] 尹家波, 田晶, 杨光. 人工智能技术在水利学科的应用与教学实践[J]. 教育进展, 2024(9): 1427-1432.
- Yin J B, Tian J, Yang G. Application and teaching practice of artificial intelligence in hydraulic engineering[J]. Advances in Education, 2024(9): 1427-1432.

(上接第 196 页)

- [15] 焦燕, 孟小莉, 吴东霞. 基于絮体结构调控的絮凝减缓超滤膜污染[J]. 净水技术, 2024, 43(9): 130-135.
- Jiao Y, Meng X L, Wu D X. Flocculation mitigation for ultrafiltration membrane fouling based on floc structure regulation [J]. Water Purification Technology, 2024, 43(9): 130-135.
- [16] 鄢碧鹏, 丁杨杨. 悬浮区对竖流沉淀效果影响研究[J]. 工业水处理, 2024, 44(8): 156-161.
- Yan B P, Ding Y Y. Study on the influence of suspension layer on treatment effect of vertical flow sedimentation[J]. Industrial Water Treatment, 2024, 44(8): 156-161.
- [17] B. 曼德尔布洛特. 分形对象——形、机遇和维数[M]. 文志英, 苏虹, 译. 北京: 世界图书出版公司北京公司, 1999.
- Benoit M. Les objets fractals[M]. trans by Wen Z Y, Su H. Beijing: Beijing World Publishing Corporation, 1999.