

井流模拟虚实结合实验教学模式探索与实践

孙晓庆 马喆 郝洋 姜振蛟*

吉林大学 新能源与环境学院

摘要：井流模拟实验是支撑水文地质学科专业基础教学的重要实践环节，熟练掌握抽水井与观测井的设置方案，完成水位与流量数据的观测，深化理解降落漏斗的形成过程等是井流实验的主要内容，然而实际教学中多受限于实验条件，无法为学生带来具象化的实验体验。在教育数字化浪潮推动下，借助虚拟仿真技术及信息化实验设备研制，实现虚实结合的实验教学模式，有助于突破实验条件的限制，提升井流实验的教学效果。基于此，本文重点阐述数字化圆岛型井流模拟设备研制，并基于线上预习模块、线下实操模块与综合考核体系，设计虚实结合的实验教学方法，以期教育数字化背景下的工科实践教学模式改革提供借鉴。

关键词：数字化；设备研制；虚拟仿真；虚实结合；实验教学

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6288.2024.11.046

引言

从社会发展来看，数字化是重要的时代发展趋势^[1-2]。党的二十大报告提出了“推进教育数字化，建设全民终身学习的学习型社会、学习型大国”，在数字技术的迭代式发展中，一场属于高等教育领域的数字化转型正在进行^[2-3]。教育数字化是我国开辟教育发展新赛道和塑造教育发展新优势的重要突破口，是推动教育高质量发展，建设教育强国的重要引擎^[4-5]。教育数字化转型是指使用数字技术和数字战略，推动教育领域全方位的变革与创新，促进新的组织运行能力，形成全新的教育生态^[6]。持续深化信息技术与实验教学融合创新，旨在提升学生的创新创造素养，进一步推动教育高质量发展^[7]。

新工科建设作为高等教育高质量发展引领力量，是“产业数字化和数字产业化”新常态下主动教育变革的重要内容^[8-9]。新工科是信息数字技术驱动的动态演化的知识生产模型，与数字技术互生互进^[10]。新工科是导向，社会需求是目标，课程设置要以实践能力提高为核心，将理论性和应用性相融合，强化案例分析和实践教学^[11-12]。根据实践课程的教学内容及其环境所采用的教学手段，实现由工作领域向学习领域的转变。然而，多年来落后陈旧的教学模式，固定的实验讲义、实验操作及实验任务等，学生进行实验课程内容学习的主动性与积极性差等，亟待需要研发数字化实践教学设备，充分发挥数字化教育优势，跟随社会发展趋势，同时结合虚拟仿真实验，开展实践教学预习模块，与传统实验教学虚实结合，相互补充，将切实提高教学能力，拓展实践领域，丰富教学内容，创新与提升实验实践教学模式与水平，实现实验教学手段和教学模式的数字化变革。

综上所述，基于教育数字化理念，设计信息化实验教学设备，融合线上虚拟仿真实验教学手段，积极开展线上线下数字化实践教学模式改革，进一步推动教育的

高质量发展十分必要。由此，本文拟研制数字化圆岛型井流模拟设备，融合线上虚拟仿真实践模块，综合设计井流模拟实践教学环节，充分展现教育数字化理念指导下的新工科实践教学内容，有望为促进学生的自主探究和深度学习，增强创新能力等提供有效途径。

一、井流模拟实验虚实结合教学模式

地下水向完整井运动理论教学是地下水动力学专业课程的主要内容之一，而井流模拟实验是支撑该理论知识的重要实践教学环节^[13-14]，包括潜水井流和承压水井流。因井流运动发生在地面以下，在实践教学过程中若利用数字化技术手段如虚拟仿真等，结合实验装置模拟，可极大提升学生对实验现象的直观认识，激发学生学习的主动性。基于虚实结合的数字化教学理念，为实现工科实践教学的高质量发展，设计了井流模拟实验虚实结合的教学模式，包括线上虚拟仿真预习模块、线下自动化设备实操模块及综合考核体系，设计结构见图1。

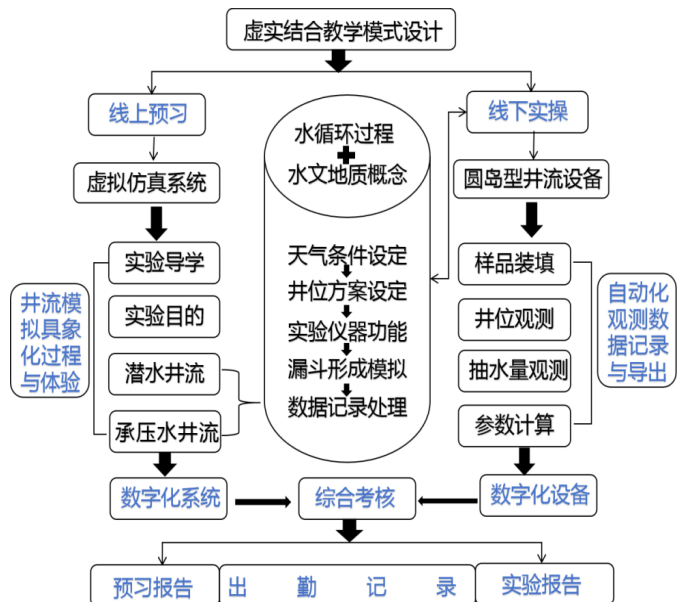


图1 井流模拟实验虚实结合教学模式设计概念

井流模拟实验的线上预习采用渗流运动实验虚拟仿真平台的井流实验部分,为开展线下数字化实验教学环节,研制了圆岛型井流模拟装置,设计了自动化实验数据监测、记录与导出功能。

二、圆岛型井流模拟实验设备研制

(一) 设备设计目的

依据含水层地下水向完整井运动基础理论,概化抽水井和观测井及含水介质布设条件,基于信息化传感技术设计圆岛形井流模拟实验装置,设备设计为可拆卸组装,根据不同的实验目的装填不同类型的含水层结构,理想化的圆岛型装置形态,有助于水文地质参数计算。规避原有井流装置实验条件单一、难于调整改进的不足,选择适合于室内实验模拟操作的中小尺寸,研制操作灵活,易于观测且准确性高的井流模拟观测系统装置。

(二) 设备设计功能

基于井流模拟实验项目内容,选择合适渗透性的含水层介质材料,按照一定的容重装填井流模拟实验装

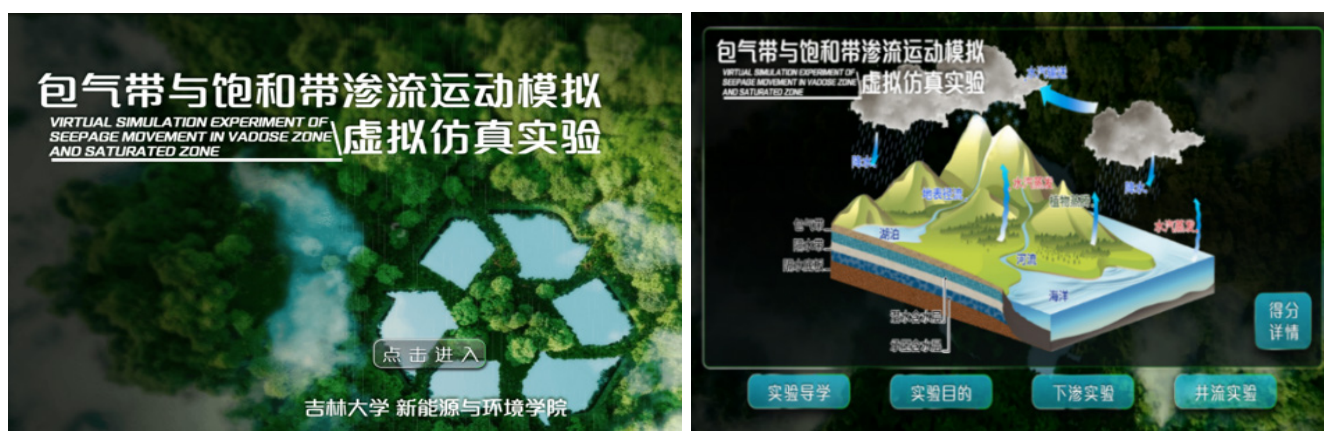
置的渗流模拟槽,按照实验设计,在圆岛中心布设抽水井,设置大中小不同抽水流量,设计观测井,记录圆岛距离抽水井不同位置的水位数据,利用自动获取的多时段实验数据,采用地下水向井运动的经验公式,计算获得含水介质的渗透系数等水文地质参数,对比3-4次计算结果,刻画装置的测量误差,测试监测数据远程传输功能。

三、圆岛型井流模拟实验教学实现

(一) 井流模拟线上预习模块

线上虚拟仿真实训,要求学生能够从流域尺度认识井流模拟实验的意义,在认识自然界水循环基础上,针对流域地开展多方案抽水井与观测井组合方案下的井流实验,从选择实验环境、熟悉实验仪器、确定实验方案等基础上,开展虚拟井流实验。

虚拟仿真系统主界面及目录显示如图2所示。点击图2(a)显示的“点击进入”按钮,进入图2(b)显示的目录界面,点击图中的各个功能子模块,可进入对应的实验内容中开展学习。本实验中不使用下渗实验模块。



(a) 平台主界面

(b) 目录界面

图2 虚拟仿真实验系统

针对选定的抽水井与观测井多种组合的实验方案,结合实验过程的监测数据,选择适合的地下水向井运动理论公式,获取含水层水文地质参数,形成成果报告。线上为线下的预实验,通过线上,熟悉开展野外获取水文地质参数的实验方式,为线下室内实验奠定基础。

(二) 井流模拟线下实操模块

线下实验室操作,在线上虚拟仿真实训基础上,采用圆岛型井流实验装置,设计含水层结构,装填介质,按照给定的抽水井与观测井组合方案,开展井流实验,观测水位降落漏斗形成过程,对比虚拟实训中的降落漏斗,深入认识井流过程,基于实验获取井流量与水位等数据,选择适合的地下水向井运动理论公式,计算获取含水层水文地质参数,形成成果报告。

实验步骤如下:

1) 含水层结构设计及装填介质。

自行设计含水层结构,选取适合的介质材料,装填模拟装置,构建潜水、承压水或混合含水层结构,做好井流模拟实验开展的准备工作。

2) 开展井流模拟实验过程,获取相关数据。

基于装填的含水层结构,利用自动测算的圆岛型装置,设置抽水井流量,开展定流量下的井流模拟过程,自动记录实验过程中的抽水井流量、监测井位置及水位变化数据。

3) 基于相关数据,计算含水层渗透系数等水文地质参数。

利用实验数据,依据设计的含水层结构,选择合适的地下水向井运动理论公式,获取含水层相关水文地质参数。

实验装置及监测见图 3。



(a) 样品装填 - 潜水 (b) 样品装填 - 承压水

图 3 井流模拟线下实验实操过程

结语

在教育数字化理念指导下,研制了自动化监测的圆岛型井流模拟设备,结合线上虚拟仿真实训,开展了线上预习模块、线下实操模块与综合考核体系的虚实教学模式改革,充分展现了教育数字化理念指导下的新工科实践教学内容。井流模拟线上虚拟仿真系统,涵盖了实验导学、实验目的及潜水与承压水井流实验,实验内容包括实验开展的理论基础、野外实验装置介绍、实验环境及抽水井与观测井多方案设计等,此外,可分别针对潜水与承压水含水层模拟降落漏斗的形成过程,采用数字化教学手段,为学生提供井流实验的具象化体验,加深对地下水向井运动的理解,为线下实操提供良好的预习效果。为深化数字化教育理念,采用研制的信息化圆岛型井流模拟装置,实现潜水及承压水井流过程中流量和水位的自动化监测与获取,完整实现从含水层设计、装样、饱水、抽水等实验全过程实践操练。综合线上预习与线下实操的虚实结合教学模式,设计考核体系,全方位考核学生的专业实践能力,为推动水文地质学科的教育数字化进程提供教学模式改革借鉴。

参考文献

[1] 杜晓丽, 杨明哲, 尹子杰, 等. 全堵塞周期内透水砖路面的下渗-产流模型研究 [J]. 水资源保护, 2023, 39 (05): 25-31+98.

[2] 孙哲, 甘雨洋. 数字化赋能高等教育在线教学高质量发展的现实基础与优化路径 [J]. 现代教育管理, 2023, (12): 122-128.

[3] 钟志贤, 杨佳, 张义, 等. 国际数字化转型框架研究: 比较与镜鉴 [J]. 中国电化教育, 2024, (02): 79-88.

ZHONG Z X, YANG J, ZHANG Y, et al. Research on International Digital Transformation Frameworks: Comparison and Reference [J].

International Comparative Study of Digital Education, 2024, (02): 79-88. (in Chinese)

[4] 杨峰, 宋涛, 杨文胜. 实验教学数字化转型的区域探索 [J]. 中国现代教育装备, 2023, (24): 8-10.

[5] 俞飞, 陈荣, 伊力塔, 等. 基于生态校园虚拟数字化的实验教学平台建设探索 [J]. 实验技术与管理, 2020, 37 (09): 266-269.

[6] 张忠华. 数字中国战略与中国式教育数字化研究 [J]. 中国教育信息化, 2023, 29 (02): 3-14.

[7] 邱丽原, 孙伟超. 仿真技术用于实验教学改革的思考与实践 [J]. 实验技术与管理, 2019, 36 (12): 157-160+196.

[8] 陈浪城, 杨月榕, 林烈青, 等. 教育数字化转型背景下新工科实验竞赛实施路径 [J]. 实验室研究与探索, 2023, 42 (10): 174-180+195.

[9] 孙华, 冯立, 袁慧, 等. 数字化转型中新工科的内在探究和实证研究——基于双创教育教学体系的评价和效果分析 [J]. 天津电大学报 2023, 27 (04): 68-74.

[10] 曾德惠, 杨春雷, 范奎, 等. 新工科背景下机械数字化设计能力培养体系的构建与实践 [J]. 湖北民族大学学报 (自然科学版), 2023, 41 (04): 553-560.

[11] 梁小勇, 靳静, 赵全胜. 新工科背景下智能建造创新型人才培养探索与实践 [J]. 创新创业理论研究与实践, 2023, 6 (19): 142-145.

[12] 胡克用, 杨华云, 王李冬. 基于“三步递进、三环融合”的新工科创新人才培养体系构建研究 [J]. 高教学刊, 2023, 9 (14): 65-68+73.

[13] 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, 37 (12): 112-117.

[14] 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.

基金项目: 吉林大学实验技术项目 (SYXM2023b029); 吉林省高等教育教学改革研究 (一般) 课题 (JGJX2022D26); 吉林大学校级教学改革研究 (一般) 课题 (2021XZC069); 吉林省高等教育教学改革研究 (重点) 课题 (JLJY202157106481); 吉林大学校级教学改革研究 (重点) 课题 (2021XZD044); 吉林省自然科学基金项目 (20220101173JC).

作者简介: 孙晓庆 (1986-), 女, 吉林松原人, 博士, 高级实验师, 主要从事土壤水盐迁移机理与地下水运动的教学及研究工作.

通讯作者: 姜振蛟 (1986-), 男, 辽宁普兰店人, 博士, 教授, 主要从事储层表征与多场耦合模拟技术的研究工作.