

数字地形测量虚实融合实验教学AI创新实践

邓小东^{1,2} 张俊^{1*} 董敏¹ 张显云¹ 汪泓¹

1. 贵州大学矿业学院, 中国·贵州 贵阳 550025

2. 浙江大学环境与资源学院农业遥感与信息技术应用研究所, 中国·浙江 杭州 310058

摘要: 针对数字地形测量学实验教学中仪器分项训练割裂、虚拟操作与真实外业脱节、智能工具弱化工程判断等问题, 依据教材“控制测量—碎部采集—数字成图—成果质检”的任务逻辑, 构建以数字化地形图产品质量为主线、虚拟预演与真实测量相衔接的实验教学模式。人工智能仅嵌入学情诊断、异常提示和规则质检三个节点, 原始观测、核心计算与成果责任仍由学生和教师承担; 以任务书、原始数据和质检记录形成可追溯证据。阶段性实践显示, 该模式能够前移程序性错误发现环节, 促进学生由仪器操作转向测量方案、数据质量和成果解释。研究为智能测绘背景下数字地形测量学实验教学提供了紧扣课程内容、边界清晰的实施路径。

关键词: 人工智能; 数字地形测量学; 虚实融合; 实验教学; 智能测绘

Digital topographic surveying virtual–real integration experimental teaching and AI innovation practice

Deng Xiaodong^{1,2}, Zhang Jun^{1*}, Dong Min¹, Zhang Xianyun¹, Wang Hong¹

1. College of Mining, Guizhou University, China Guizhou Guiyang 550025

2. Institute of Agricultural Remote Sensing and Information Technology Application, College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, China Zhejiang Hangzhou 310058

Abstract: In response to problems in digital topographic surveying lab teaching—like fragmented instrument training, disconnects between virtual practice and real-field work, and smart tools weakening engineering judgment—this study builds a lab teaching model based on the textbook workflow: “control survey—detail collection—digital mapping—result quality check.” The model focuses on the quality of digital topographic products and connects virtual rehearsal with real measurements. AI is only embedded at three points: learning diagnosis, anomaly alerts, and rule-based quality checks, while original observations, core calculations, and final responsibilities still lie with students and teachers. Task sheets, raw data, and quality check records provide traceable evidence. Stage-by-stage practice shows this model moves error detection earlier in the process and helps students shift focus from just operating instruments to thinking about survey plans, data quality, and result interpretation. The study offers a clear, content-focused path for digital topographic surveying labs in the era of smart surveying.

Keywords: Artificial intelligence; Digital topographic surveying; Virtual–real integration; Experimental teaching; Intelligent surveying and mapping

0 引言

数字地形测量学是测绘工程专业由基础测量走向智能测绘的重要课程^[1]。然而, 实验教学仍常按仪器类型分项展开: 学生能完成全站仪或 GNSS RTK 操作, 却难以解释设站、编码和漏测如何影响后续成图; 虚拟平台多训练标准流程, 真实测区中的遮挡、多路径、地物取舍和团队协作又难以在屏幕内替代^[2]。人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 可提高诊断和质检效率, 着力解决数字地形学实验教学过程中存在的任务断点、场景断点、责任断点等。数字地形测量学虚实融合实验教学改革与实践在保持真实测量

的主体地位、虚拟训练的容错价值和 AI 工具的清晰边界, 将 AI 限定为“提示者”和“检查者”, 以虚拟预演降低数字地形测量过程中的程序性试错, 以真实测量训练现场判断, 以原始数据和质检记录证明学习结果, 形成面向数字地形产品质量的虚实融合实验教学路径。

1 人工智能背景下实验教学的主要矛盾

数字化测图实验教学多按“水准仪、经纬仪、全站仪、GNSS RTK、三维扫描、无人机”等设备依次展开, 教学终点多止于“完成观测”或“地形图绘制”^[1]。然而, 真实生产强调的是贯穿全工程生命周期的闭环数据链——

从任务解析与技术设计,到控制布网、外业采集、坐标转换、误差检核、要素编码与数字化成图,最终完成成果汇交,要求全流程数据无缝衔接。现有虚拟仿真多聚焦设备认知、按键操作和规范流程,能够缓解设备不足、实验时段有限等问题,但难以解决三个难题:(1)虚拟训练结束后重新开始真实任务,训练记录没有转化为外业准入依据;(2)虚拟案例长期停留在理想情景;(3)平台自动评分偏重步骤是否完成,对测站选择、气象条件、遮挡、多路径和团队协作等现场判断覆盖不足。虚拟域与真实域只有共享任务编号、数据版本和评价证据,才能构成互相校验的学习环境。学生完成仪器操作后,常依赖软件成图,对原始记录完整性、粗差识别、参数设置和质量报告关注不足。人工智能若直接给出异常点或错误修复建议,可能掩盖学生对误差来源的理解。数字地形测绘成果具有可追溯属性,实验课程通过要求学生保留原始观测、质检结果和人工核验结果,使“得到一个结果”转变为“能够证明结果可信”。以最终数字地形图图件、报告和仪器操作考核为主的评价,难以区分独立完成、团队合作,也无法识别学生从错误中修正方案的能力。虚拟仿真具备记录操作序列、训练时间和错误类型的条件,真实外业又能提供观测手簿和复测记录。二者应共同形成证据链。尤其在生成式人工智能参与后,评分对象还应包括提示词、模型输出、事实核验、人工修改和责任说明,评价重点由“是否使用人工智能”转向“是否规范、透明且有判断地使用人工智能”。

2 虚实融合实验教学框架

2.1 目标与原则

数字地形测量学实验课程目标聚焦三项能力:规范完

成控制与碎部测量,形成可用于成图的真实数据;依据闭合差、点位精度、要素完整性和拓扑关系解释成果质量;能够核验而非照搬 AI 提示。教学遵循“能实不虚、虚为实备、以质验学”原则:可安全实施的设站、观测和补测必须在真实测区完成;高频误操作、低频异常和风险场景先在虚拟环境中预演;最终评价以真实数据、成果质量和解释证据为准。

2.2 模块化框架

如图 1 所示,平台围绕数字地形测量学实验任务设置控制与基准、碎部采集、数字成图和成果质检四个模块。AI 不另设泛化模块,只在学情诊断、异常提示、规则质检和证据反馈处嵌入。虚拟预演、真实外业和智能质检依次推进,底层系统统一管理任务编号、原始观测、处理版本和质检结论。

3 教学实施与 AI 嵌入边界

3.1 按教材任务链组织实验

以校园典型测区为共同数据底座,学生依次完成技术设计、图根控制、全站仪或 RTK 碎部采集、数字成图和成果验收。各模块共用控制点、测站号、要素编码和文件命名,前一环节的数据直接进入后一环节;发现闭合差超限、要素漏测或高程异常时,必须回溯到原始观测并决定重算、补测或复测。具体组织见表 1。

3.2 三阶段五步闭环

课前阶段包括 AI 学情诊断和虚拟预演。诊断对象限于规范、误差概念、仪器结构和数据格式,教师据此配置训练任务;虚拟预演重点设置对中整平、后视点错选、棱镜常数、编码遗漏和遮挡等可重复情景,达到准入要求后进入外业。课中阶段完成真实设站、控制与碎部观测,实

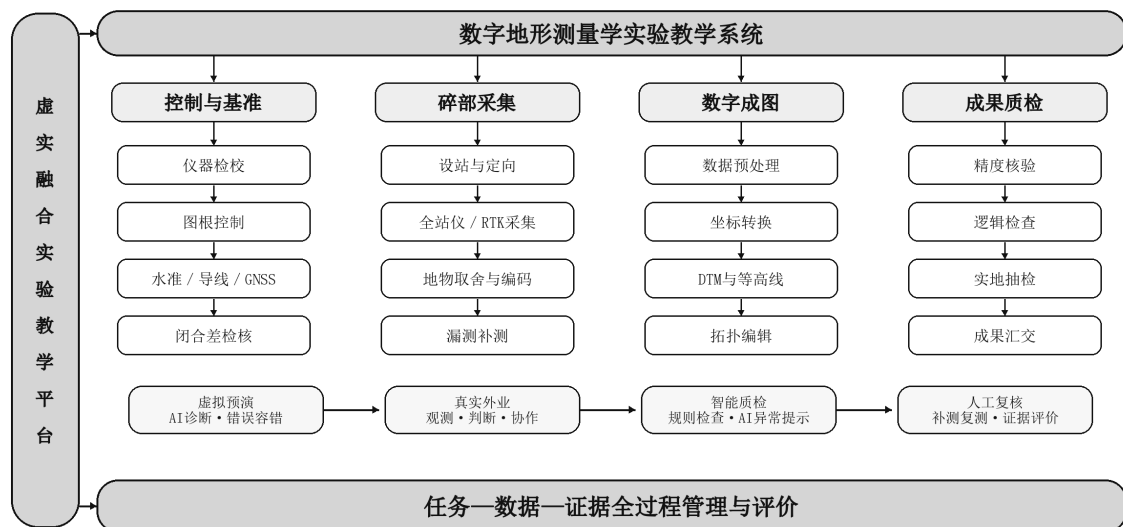


图1 人工智能赋能的数字地形测量学虚实融合实验教学框架

表1 教材任务链下的虚实融合实验组织

模块	教材核心任务	虚实衔接	AI作用边界
控制与基准	仪器检校、图根控制、水准/导线/GNSS、闭合差检核	虚拟网形与超限情景预演；现场踏勘、布网、观测和复测	提示超限位置和可能原因；不代替平差计算与限差判断
碎部采集	设站定向、全站仪/RTK采集、地物取舍、要素编码	虚拟编码与漏测训练；真实测区采集、草图和补测	检查缺码、重复点和逻辑冲突；不得生成虚假测点
数字化成图	数据预处理、坐标转换、DTM/等高线、拓扑编辑	标准案例练习后处理真实观测；版本差异全过程保留	筛查异常点与拓扑错误；阈值和参数由学生确认
成果质检	精度核验、实地抽检、质量报告、成果汇交	系统预检—人工复核—必要时复测—整改闭环	生成问题清单和反馈；不直接作出成果合格结论

行岗位轮换和双人复核，原始文件直接由设备导出并保留时间戳。课后阶段由规则程序检查闭合差、字段、重复点和拓扑关系，AI 筛查异常并说明依据，学生对照手簿、草图和现场照片复核，必要时返回测区补测；最终以错误证据修正下一轮虚拟案例。

3.3 AI 仅服务于诊断、质检和反馈

AI 使用须同时提交调用说明、原始输出、核验依据和修改记录。其可以解释规范条款、定位疑似异常和生成质检清单，但不得代写观测手簿、构造测点、替代核心计算或决定成果是否合格。规则明确的限差与拓扑检查优先使用确定性程序；涉及测站选择、地物取舍、异常归因和复测决策时，由学生说明、教师审核。由此，AI 是嵌入测量过程的质量助手，而不是脱离课程内容的独立学习目标。这与生成式人工智能应坚持透明、可追溯和人类最终负责的教育治理要求一致。

4 过程证据评价与阶段性观察

4.1 评价指向产品质量和工程判断

评价由虚拟预演与错误修正（15%）、外业操作与原始记录（35%）、数据处理与成果质量（30%）、AI 使用审计（10%）、任务协作与反思证据（10%）构成。平台记录用于还原过程，教师负责判断工程解释和真实性，AI 不直接给分。每组提交成果包与过程包：前者包括控制成果、数字地形图和质量报告，后者包括任务书、原始数据、草图、版本记录、质检问题及整改依据。

4.2 成效与局限

阶段性教学观察表明，虚拟预演能够在外业前暴露程序性错误，真实作业更集中于环境判断和团队协作；统一任务编号和数据版本后，拓扑断裂、高程突变等问题可追溯至测站、原始点和处理参数，学生由“修改图形”转向“解释并修正数据”。该结论目前主要来自过程记录和教师观察，尚不能替代严格的学习增益检验。后续应设置同等

难度任务，采用前后测、评分者一致性和延迟迁移评价，检验模式对精度意识、独立判断及 AI 依赖的长期影响。已有同类研究也表明，虚实结合只有与产业规范、真实数据和形成性评价协同时，才能转化为岗位能力^[9]。

5 结语

数字地形测量学的智能化改革应回到数字地形产品形成过程。本文以教材作业链重组实验内容，用虚拟预演服务真实测量，用 AI 诊断与质检强化而不替代工程判断，并以原始观测、处理版本和质检记录构成证据闭环。该模式突出了人工智能、数字地形测量学、虚实融合、实验教学和智能测绘之间的内在联系，也为后续开展可量化的教学效果研究奠定了任务与数据基础。

参考文献：

[1] 邹进贵，冯水玖，王健等. 数字地形测量学[M]. 3ed. 武汉：武汉大学出版社.

[2] 袁德宝，孙文彬，蒋金豹等. 虚拟仿真在测量学教学中的实践和探索[J]. 北京测绘，2019, 33(5): 604-7.

[3] 邓鑫洁，姜树辉，郭宝宇等. 基于“课赛融通”的虚拟仿真数字测图教学平台在数字测图实训中的应用[J]. 测绘通报，2023(3): 173-7.

基金项目：教育部产学合作协同育人项目“误差理论与测量平差基础课程思政及教学改革与实践”（240704718244016）；贵州大学测绘工程国家级一流本科专业建设项目；2021 年度贵州大学测绘工程国家级一流专业建设项目；2020 年度贵州省一流本科专业建设项目。

作者简介：邓小东（1989-），男，陕西商洛人，博士研究生，实验师，研究方向：主要从事数字地形测量学教学和研究。

* 通讯作者：张俊（1976-），男，宁夏中宁人，博士，贵州大学矿业学院副教授，硕士生导师，研究方向：主要从事测绘类专业课程教学研究。