

数字化赋能土力学土体基本物理性质教学改革与实践

刘攀

广州航海学院 未来交通学院, 中国·广东 广州 510725

摘要: 针对传统土体基本物理性质教学中概念抽象、实验局限、理论与实践脱节的问题, 本文采用数字化手段推进教学改革。通过开发虚拟仿真实验平台具象化微观概念、引入 BIM 技术衔接理论与工程实践、构建“线上+线下”混合式教学模式重构教学流程, 有效提升学生知识掌握程度、工程思维与自主学习能力。改革虽取得显著成效, 但仍存在学生“重虚拟轻实操”、数字化工具学习个体差异、教学资源更新不足等问题, 后续需通过优化考核方式、分层辅导、校企合作开发资源等措施持续完善。

关键词: 数字化; 土力学土体; 基本物理性质; 教学改革; 实践

Digital Empowerment in Teaching Reform and Practice of Basic Physical Properties of Soil in Soil Mechanics

Liu Pan

Future Transportation College, Guangzhou Maritime University, China Guangdong Guangzhou 510725

Abstract: Addressing the issues of abstract concepts, experimental limitations, and the disconnect between theory and practice in traditional teaching of fundamental soil physical properties, this study employs digital methods to advance pedagogical reform. By developing a virtual simulation platform to concretize microscopic concepts, integrating BIM technology to bridge theory and engineering practice, and constructing a hybrid "online + offline" teaching model to restructure the instructional process, the study effectively enhances students' knowledge mastery, engineering thinking, and self-directed learning abilities. Although the reform has achieved significant results, challenges such as students' "preference for virtual over practical," individual differences in digital tool learning, and insufficient updates to teaching resources persist. Future improvements will require measures like optimizing assessment methods, tiered tutoring, and collaborative resource development between universities and enterprises.

Keywords: Digitalization; Soil mechanics; Basic physical properties; Teaching reform; Practice

0 引言

土体基本物理性质是土木工程专业最基础的内容, 该部分教学质量直接关系到学生后续工程实践能力的培养。但传统教学模式有明显的短板, 核心概念都是静态的展示, 学生无法建立起微观与宏观的联系, 认知门槛高; 线下实验受限于设备、时间、场景, 学生参与度和探究性不足; 教学案例多是理想模型, 理论知识与实际工程场景割裂, 难以培养工程思维。数字化技术发展起来后, 依靠虚拟仿真、BIM、网上平台这些工具改良教学手段的情况就出现, 这是冲破传统教学瓶颈, 改进土体基本物理性质教学效果的重要方式之一, 于是做有关的教学改革实验很有必要。

1 传统土体基本物理性质教学的核心问题

1.1 概念教学抽象化导致学生认知门槛较高

土体的基本物理性质包括“三相体系”“孔隙比”“饱

和度”, 都是在微观结构分析的基础上。传统教学时, 教师依靠 PPT 图示或者静态模型来讲解, 不能直观表现土体颗粒排列, 水分迁移以及孔隙改变之间的联系, 致使学生很难建立起“微观结构—宏观性质”的对应关系。比如讲解“含水率对土体状态的影响”, 学生只能凭借文字想象“固态—塑态—液态”的变化, 无法感受到不同含水率下土的密实度和强度的变化, 后面学习“液限、塑限测定”容易陷入理论与实验操作相脱离的情况。

1.2 实验教学局限性显著, 探究性欠缺

线下实验是土体基本物理性质教学中的重要一环, 但是由于条件所限, 其短板明显。一是实验设备数量有限, “环刀法测土体密度”“烘干法测含水率”等实验常常需要分组进行, 部分同学只能当观众, 不能亲自上手。二是实验周期固定, “土的颗粒分析实验”(筛分法+比重计法)

往往需要几个小时才能完成,在课堂内难以实现全流程操作,学生不能观察到数据的变化过程。三是实验场景单一,线下实验大多使用标准化土样,而工程中常见的杂填土、膨胀土等特殊土样却无法在实验中体现,学生不能把实验结果应用到工程实践。

1.3 理论与实践脱节,工程思维培养不足

传统教学以教材理论推导为主,案例多为简化理想模型,缺乏真实工程场景支撑,如讲“土体孔隙比与压缩性的关系”,仅通过公式推导得出“孔隙比越大,压缩性越高”结论^[1]。未结合地基处理工程中“换填法减小孔隙比”“预压法排出孔隙水”等实际应用场景,使学生掌握公式计算后仍无法理解该性质在地基设计中的作用,后续参与工程实践时难以快速应用所学知识解决实际问题。

2 数字化赋能土体基本物理性质教学改革的策略与案例

2.1 微观概念具象化,突破实验局限性

土力学课程的重要特点之一是理论和实践的高度结合。土力学的先修课程有理论力学、材料力学和弹性力学等。初等土力学的理论基础是弹性力学,因此课程中有较多的理论推导、基本假定和理论分析。同时,又因为土力学课程为工程服务的基本特点以及土体的复杂性,所以土力学课程的实践性也需要很好的关注。依托虚拟仿真技术打造的“土体三相体系可视化实验平台”,把难以直观呈现的土体微观结构转变成可交互的动态模型,大大超越了线下实验的时空局限,“土体三相比例指标换算虚拟实验”教学案例的应用效果十分明显。该实验平台预设了“砂性土”“黏性土”“粉土”这三种典型土样的三维模型,学生利用鼠标可调节土样内部“固相(颗粒)”“液相(水)”“气相(空气)”所占体积的比例,系统会立刻算出并显示出“密度(天然密度、干密度)”“含水率”“孔隙比”“饱和度”这些关键指标,并且还会作出指标变化曲线。在教学实施中,课前学生借助平台完成“虚拟预习”,自主探究“含水率增加时干密度会怎样变化”“孔隙比不变情况下饱和度与含水率有何联系”等问题;课堂上教师根据学生的预习数据,针对“三相指标换算公式的物理意义”进行有针对性的讲解,引导学生观察“固相体积固定时,液相体积增大造成孔隙比不变但饱和度提高”的动态过程,帮助理解公式里“固相质量”作为参照的原因^[2]。课后学生借助平台完成“自定义土样指标计算”任务,譬如给出某工程场地土样的天然密度($1.9\text{g}/\text{cm}^3$),含水率(18%),土粒比重(2.7),自己调节虚拟模型参数,验证

孔隙比(0.62)和饱和度(82%)的计算结果,加强公式的应用能力。

2.2 理论与工程衔接,培养工程思维能力

土力学的研究对象是土,是研究土的应力、应变以及渗透规律的一门力学分支。本课程所接触到的第一个主要内容就是土的形成的概念,也是后续学习土力学三大问题的一个重要基础,因此如何学好这部分内容就显得很重要了。利用 BIM 技术进行教学,以住宅小区地基实际工程为例,在“理论知识一>模型构建一>工程应用”关联路径中完成建模的过程,从而理解土体的基本物理性质在工程中的意义。“某住宅小区地基 BIM 模型创建和土体属性分析”教学案例效果较好。此案例选取实际住宅小区地基工程为原型,给出包含土层分布、各类土层天然密度、含水率、孔隙比等物理性质指标的勘察报告,让学生依据 Revit 或者 Civil3D 软件创建地基 BIM 模型。教学实施分为三步:第一步是理论衔接,教师带领学生看勘察报告,明确“粉质黏土(天然密度 $1.85\text{g}/\text{cm}^3$,含水率 22%)”“砂层(天然密度)”。首先,通过“土层 1(粉质黏土,重度 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$,含水率 15%)”和“土层 2(砂层,重度 $2.1\text{g}/\text{cm}^3$,孔隙比 0.8)”的物理性质差异,结合理论知识推导出两种土层压缩性的差异(孔隙比越大,压缩性越高),从而为模型建立奠定理论基础;其次,是 BIM 建模,由学生分组完成模型构建,在模型中对不同土层物理性质参数进行正确标注并根据参数设置土层材料属性(如根据密度设置自重等)。最后,是工程分析,学生利用 BIM 软件分析功能模拟“地基开挖后基坑边坡稳定性”,观察在相同荷载下粉质粘土与砂层由于物理性质不同带来的边坡变形量,理解“砂层密度大、含水率低、抗剪强度高、边坡变形小”的工程道理,以及对比“原场地土”和“换填级配砂石(密度 $2.1\text{g}/\text{cm}^3$,孔隙比 0.5)”的沉降量,得出“优化土体物理性质能够提高地基承载能力”的结论^[3]。

2.3 优化教学流程,增强学习自主性

课前自主学习,教师在超星学习通发布资源包,包括 5 分钟颗粒分析实验原理视频、筛分法与比重计法操作动画、虚拟实验平台链接、预习任务单(如不同粒径土颗粒的筛分顺序、比重计读数为什么需要校正等),学生完成预习后提交任务单,教师根据任务单反馈整理比重计校正的物理意义等问题作为课堂重点;课中互动教学^[4]。首先解决预习共性问题,利用虚拟实验平台演示比重计在不同密度悬液中的读数变化,将抽象概念具象化,引导学生理解“校正”的必要性,再让学生分组开展线下筛分法实验,

同步用手机 APP 记录各筛号土粒质量等数据, APP 生成筛分曲线, 学生对比虚拟和线下实验曲线差异, 分析误差原因。比如筛网磨损、土样未充分分散等, 最后围绕某工程砂层颗粒级配是否满足地基回填要求展开讨论, 结合颗粒级配曲线判断土的均匀程度, 联系孔隙比、密度等物理性质分析对回填土压实度的影响。课后拓展提升, 学生在平台提交含有数据、曲线、误差分析的实验报告, 并完成查询某水利工程土料颗粒分析报告并判断其是否适合坝体防渗的拓展任务。教师在线批改, 对典型问题直播答疑^[5]。利用“线上+线下”混合式教学模式, 依托数字平台对各种教学资源进行重组, 将传统的“课前—课中—课后”转变为全新的“课前—线上—教师主导的线下课堂”, 实现了从“土体颗粒分析”教学案例中的“学生主体”向“教师主导”的转变。

2.4 数据化评价与个性化指导, 精准提升学习效果

通过数字化评价系统实时采集学生学习数据, 利用数据分析找到知识薄弱点, 达到“精准教学”和“个性辅导”的目的, “土体压缩实验”教学案例的应用效果较好。这个案例依靠“土体力学数字化教学平台”, 把压缩实验的每个操作步骤, 数据记录, 结果分析全都变成线上流程: 学生在平台上做虚拟压缩实验的时候, 系统就会自动记下“加载等级设定对不对”“压缩量读数准不准”“压缩系数算得规范不规范”这些操作数据, 也采集“实验原理选择题答得好不好”“压缩曲线画完没”这类学习数据。然后, 平台用算法生成每个人的个人学习画像, 比如显示“压缩系数公式用错的地方”“加力顺序弄混了”这些弱项, 并且发送对应的补救资料(如公式推导小课)、操作纠错动画。教学展开的时候, 教师凭借班级数据看板, 就针对“压缩曲线同孔隙比关联认识缺乏”这个共同问题, 在课堂上予以讲解^[6]。对个体化的问题, 利用平台私信推送量身打造的学习任务, 给“压缩量读数误差大”的学生布置额外的虚拟实验练习, 给“公式运用不佳”的学生设置分级阶梯题。经由实践成效可见, 加入这个案例的 100 名学生之中, 压缩实验操作规范率从 72% 提升到 93%, 压缩系数计算准确率由 68% 增至 91%, 而且 90% 的学生表示“清楚自己的欠缺之处, 学习更具有指向性”, 很好地化解传统评价当中“反馈迟缓, 指导模糊”的情况。

3 教学改革实践的成效与反思

3.1 改革成效

经过两年的教学改革探索, 本次教学改革覆盖 2021 级、2022 级共 480 人土木工程专业, 分别从知识掌握、能

力提升和教学评价等方面取得明显成效。在知识掌握方面, 课后测得数据显示, 学生对土体基本物理性质核心概念理解的正确率由改革前的 68% 提升到 93%, 三相指标换算、颗粒级配分析这类知识点应用正确的比例由 72% 上升至 95%, 这显示出数字化手段的确降低了抽象概念的认知门槛, 促使同学们学得更加扎实牢固。在能力培养方面, “全国大学生岩土工程创新设计大赛”的参赛情况显示, 参赛比例从改革前的 15% 提升到 40%, 并且有 3 支队伍获得省级名次, 由此可见, 工程实践能力和创新思维均实现了明显提升。在教学评价层面, 通过问卷调查(满分为五分)发现, 学生对“教学内容趣味性”“理论联系实际程度”以及“自主学习支持”这三个项目的打分, 改革前分别为 3.2 分、2.9 分和 3.0 分, 改进后变为 4.8 分、4.7 分和 4.6 分。

3.2 改革反思

经过近两年的教学改革实践, 取得良好效果的同时也发现有待改进之处: 一是有些学生出现“重虚拟、轻实操”的情况, 太过信赖虚拟实验平台, 线下操作的熟练度有所下降; 二是个体对于数字化工具的学习存在差异, 一些基础稍差的学生要多花时间去学会如何用 BIM 软件, 用虚拟实验平台之类的; 三是数字化教学资料的更新速度需提速, 现有的人教资源对像盐渍土这样的“特殊土”物理性质不够全面, 复杂的工程情景难以涵盖。对于这些问题, 以后需要有针对性的措施去不断改进改革方案, 比如“虚拟+实操考核”, 让学生兼顾虚拟学习和线下实操, “分层辅导”, 让基础薄弱学生攻克数字化工具操作难关, “校企合作开发资源”, 弥补特殊教学内容。

4 结语

综上所述, 本文通过数字化赋能土体基本物理性质教学改革, 有效解决了传统教学的核心问题。虚拟仿真技术打破了概念教学的抽象性, BIM 技术搭建了理论与工程应用的桥梁, 混合式教学模式激发了学生自主学习的积极性, 整体实现了教学质量与学生综合能力的双重提升。此次改革验证了数字化手段在工程教育中的应用价值, 为同类课程教学改革提供了参考。同时, 改革中发现的问题也明确了后续优化方向, 未来需进一步平衡虚拟与实操教学、关注学生个体差异、丰富教学资源, 推动土体基本物理性质教学向更贴合工程需求、更利于学生发展的方向持续迈进。

参考文献:

- [1] 马昕瑶. 人工智能赋能大学物理教学的有效策略探究[J]. 广西物理, 2025, 46(03): 62-64.
- [2] 勾红叶, 蒲黔辉, 谢明志等. 数字信息化时代土木

工程学科转型升级策略[J]. 大学教育, 2025,(13):22-27+40.

[3] 张格. 土木工程与信息技术融合的教育模式探究[J]. 房地产世界, 2025,(05):83-85.

[4] 张晓娟, 郑维民. 教育数字化背景下大学物理实验教学创新与探索[J]. 科技风, 2024,(27):28-30.

[5] 章其林, 刘述光. “大学物理”数字化教学改革探索[J]. 常州工学院学报, 2023,36(02):86-89.

[6] 李九阳, 陈立, 罗靖炜等. 土木工程专业课程数字化教学资源建设探究[J]. 长春工程学院学报 (社会科学版), 2024,25(02):91-94.