

# 虚实结合加科教融合土力学实践教学模式探讨

郑海君 肖先焯 蔡国军 刘汉香 方燕 张莲花

成都理工大学环境与土木工程学院；地质工程国家级实验教学示范中心；地质与岩土工程国家级虚拟仿真实验教学中心，  
四川 成都 610059

**摘要：**高等学校工科人才培养过程中，实践教学是十分重要的环节，关系到人才培养质量。探求新的实验教学模式，是提高实践教学水平重要出路。以我校国家级地质工程实验教学示范中心土力学实验室开设的“三轴压缩试验”项目为例，详细介绍了线下教学思路与科教融合、线上教学演示与操作流程、师生互动、教学效果与反思等，重点阐述了线上教学与线下教学相结合的优势，并与传统教学手段做了对比分析。结果认为，“线上线下虚实结合加科教融合”的实验教学模式是当前实验教学改革发展的新理念，应鼓励将更多实验项目与该模式融合，极大程度地推动高等工科院校实验教学发展。

**关键词：**实验教学；三轴压缩实验；虚实结合；科教融合

## 1. 引言

应用型本科人才的培养强调学生实践动手操作能力和解决实际工程问题的能力，这就要求人才培养单位创新实践教学手段和方法，加强学生对工程技术问题和科学问题的认识。在新工科背景下，加强工程教育的主要途径就是要创新教育方法与加强实践教学<sup>[1-2]</sup>。针对工科类专业人才的培养，在各大高校层面要转变教学观念，改革实践教学模式及方法，以加快培养创新型与应用型科技人才<sup>[3-4]</sup>。通过建立教学实验平台和创新实验项目、实践教学方法和建立实习基地等措施完善实践教学环节，可有效地保证人才培养的共性基础<sup>[5-6]</sup>。

传统土力学实验教学，主要教学内容为验证理论知识和相关仪器设备的实际操作技能培养，教学过程均是以实验室指导老师为主导，学生按照老师的要求，按部就班来完成，学生并没有发挥其主动性，在实践教学中的获得感较低<sup>[7]</sup>。单纯线上教学由于时空的阻隔，师生之间缺乏有效的交流方式和互动，缺少了动手操作过程，数据结果千篇一律，没有试验课的亲身体验感，课堂效果大打折扣，严重影响学生对实验课程学习的积极性。

因此，单纯的线上或线下教学模式，实践教学效果均较差。在这样的背景下，实验教学的改革和人才培养模式的深化是必然趋势，同时线下教学应注重科教融合培养，因此

提出了以线上线下虚实结合加科教融合的土力学实验课程教学模式<sup>[8-9]</sup>，为培养卓越的新时代地质工程专业人才提供新的教学方法。

## 2. 线上线下虚实结合实践教学理念及构建

### 2.1 线上线下虚实结合教学理念

随着虚拟现实技术和计算模拟技术的不断发展，虚拟仿真越来越受关注，成为各大高校提高实践教学质量的主要手段之一。但毕竟是虚拟实践，距现场实践仍有很大的差别<sup>[10-11]</sup>。因此将现场实践操作和虚拟仿真相结合，必然会成为现阶段高等教育实践教学的重点研究课题和发展方向<sup>[12]</sup>。线下实验教学是学生理论联系实际的重要环节，对于某些比较复杂的综合性实验，就需要多名学生通力合作才能完成，这对于锻炼学生的团队协作精神意义重大。因此，将线下实物实验和虚拟仿真模拟实验相结合，为学生提供全方位的、具体的实验操作平台和实操体验，将直接提高学生对实验项目的理解和对创新性试验以及工程实际问题的思考。

### 2.2 线上线下虚实结合教学模式构建

为了解决当前土力学实践中问题，基于多年的教学经验，提出了“线上线下虚实结合”的新型实践教学方法。在新的实践教学模式中，将虚拟仿真实验与实体实操实验相结合，将实验课程目标任务在线上 and 线下进行合理分配，形成以“学生为主体，教师为主导”的高效实践课堂<sup>[13]</sup>，教

学模式流程如图 1 所示。

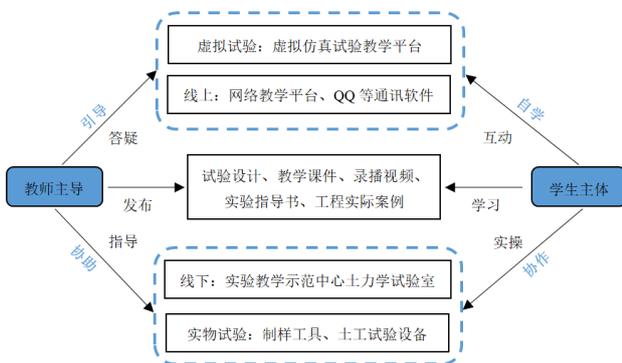


图 1 “线上线下虚实结合”土力学实验教学模式流程图

表 1 三轴压缩试验教学开展内容设计

	课前预习	课中实操	课后拓展
实验要求	1 学习教学课件 1 观看录播视频 1 虚拟试验操作 1 线上师生互动	1 流程说明及分组 1 试样制备 1 仪器操作及数据记录 1 数据初步处理	1 数据处理模块 1 打印成果图表 1 报告整理 1 创新实验设计
开展平台	虚拟试验和网络教学平台	土力学实验室	虚拟试验和网络教学平台
教学资源	教学课件、实验指导书、录播视频、虚拟试验使用说明	演示、教学课件、土力学实验仪器设备、实验指导书	数据处理模块使用说明

同时增设实验数据处理模块，使数据处理过程方便快捷，同时生成图片美观、结果准确，提高了实验数据处理的效率和准确率，这也是学生在今后工程应用中必须掌握的技能。

### 3.2 教学实施

(1) 首先教师需引导学生通过教学课件和录播视频自主预习相关的理论知识，进入虚拟实验中心进行虚拟试验操作，了解试验流程及具体操作，根据已开设的基本物理实验项目搜集整理非粘性土的相关物理性质指标，分小组制定实验方案。同时教师需利用碎片化时间进行答疑解惑和督导，审核实验方案并提出可行性建议。通过网络资源互动交流并反馈预习结果，教师可初步掌握学生观看视频、PPT 等相关预习资料的进度以及虚拟试验操作情况，学生预习情况以及在线上交流的活跃度可作为过程性考评的一部分。

(2) 在线下开展实验课前老师针对学生线上教学情况统计结果，着重对学生在网络上反映的问题以及在实验操作流程中的关键步骤进行介绍和展示，学生无疑问后便可根据课前设计好的试验方案，选取非粘性土样，从试样筛取到制备、调试仪器到开始试验，整个过程中教师只需巡回指导，对实操过程中的问题以及实验方案的改进等方面进行师生互动

## 3. 虚实结合加科教融合实践教学模式实施

### 3.1 教学准备

混合式实践教学在具体实施中亦结合翻转课堂模式，即调整课堂内外的时间分配，要求学生先在课外自主学习与实验项目相关的基本理论知识，线下有限的学时内更多的宝贵时间进行师生互动和深入探讨，从而达到更好的教学效果<sup>[14]</sup>。现以我校国家级实验教学示范中心所开设的综合性试验项目“土的三轴压缩实验”为例，将虚实结合加科教融合新教学思路贯穿至实验教学中。教学开展按照课前线上预习、课中实物实操、课后拓展创新三个环节设计，实验要求及开展内容情况如表 1 所示。

交流。

(3) 通过实操学生获得实验数据后，可进入试验数据处理模块进行初步计算分析，发现异常数据后及时修正，课后再使用数据处理模块进行最终分析并得出合理的实验结论。下面以三轴压缩试验数据处理模块为例讲解具体操作。

在剪切破坏面上，最大、最小主应力和存在如下关系见式 1。

$$\sigma_1 = \frac{2c \cos \varphi + \sigma_3(1 + \sin \varphi)}{1 - \sin \varphi} \quad (\text{式 } 1)$$

通过线下实际操作获得土样在不同围压  $\sigma_3$  下的最大主应力  $\sigma_1$ ，模板自动绘制  $\sigma_3 \sim \sigma_1$  关系曲线，通过线性相关得到直线方程，直线的斜率  $K (\tan \varphi)$  与内摩擦角  $\varphi$  的关系见式 2，根据  $K$  值即可反算  $\varphi$  为  $9.07^\circ$ 。由式 1 可知，当  $\sigma_3$  为 0 时， $\sigma_1$  即为截距  $b$ ，根据  $\varphi$  和  $b$  即可反算得出内聚力  $c$  值。

$$K = \tan \varphi = \frac{(1 + \sin \varphi)}{(1 - \sin \varphi)} \quad (\text{式 } 2)$$

绘制莫尔破坏应力圆时，将圆心记为  $O$ ，半径记为  $R$ ，角度增量的弧度记为  $\alpha$ ，则应力圆上各点的横坐标  $x$  和纵坐标  $y$  的计算公式见式 3 和式 4。

$$x = O + R \times \cos \alpha \quad (\text{式 } 3)$$

$$y = R \times \sin \alpha \quad (\text{式 } 4)$$

数据处理模块可自动生成莫尔圆的数据源，绘制三级围压下的莫尔破坏应力圆并拟合包络线，其截距和斜率即为抗剪强度参数，结果与通过计算得到的数据完全吻合。即课后学生进入数据处理模块，输入最大主应力得出成果图表及结论，再通过线上教学反馈处理结果，教师确认无误即可打印出图，作为实验报告的成果部分提交。

(4) 此外教师可引导学生结合工程项目开展对比实验研究，例如某地基基础在施工前后，由于含水率以及其他基本物理指标的变化对力学参数的影响；改变试样尺寸的大小进行尺寸效应分析等。针对不同土体性质的特殊与复杂性，也可结合工程实际，各小组分别设计制定实验方案。通过方案设计与实施，更加提高学生对本实验的兴趣，同时对摩尔库伦强度理论也会理解的更为透彻。通过科研项目实验内容的融入与实施，更加强了实验教学的目的，即让学生所学知识从理论到实践，再从实践反馈到理论的升华<sup>[15]</sup>。

(5) 通过线上预习~线下操作~线上数据处理及反馈，整个过程师生不断进行互动交流，后续学生还可通过教师上传的相关理论知识总结和视频进一步巩固吸收，为后续开展创新试验、科技立项、编写毕业论文以及将来从事科研和生产工作打下一定的实践基础。

### 3.3 教学对象

土力学实验课程面向本院 6 个专业的本科学生开设，年均学时为 448 学时，其中独立设课学时数为 320 学时。针对地质、岩土工程和城市地下空间专业学生开设的土力学实验为独立设课课程，学时为 16 学时，学分为 1 学分，可以看出土力学实验课程在教学体系里面具有重要地位。土力学实验教学环节对学生掌握土力学相关的理论知识和专业技能具有重要的帮助。

### 3.4 教学评价

依据成都理工大学教学质量综合评价与分析平台（表 2），通过学生评价和问卷可及时收集学生关于教学的反馈和建议，反馈结果统计为后续课程教学的改进提供了非常重要的依据。

表 2 教学质量综合评价与分析体系

评价对象	评价类型及占比	评价内容
评学	过程性评价 30%	线上（10%）：课件、音视频、虚拟仿真试验、数据处理模块、师生互动 线下（20%）：考勤、纪律、操作能力、环境与仪器维护、师生互动
	最终评价 70%	实验报告：基本内容 20%，数据记录、处理、绘图及结论占 80%
评教	问卷调查	管理、教学方法、内容、上课状态、表达、演示、引导与拓展、互动等

### 3.5 教学效果

通过我校 2016 级和 2022 级土力学实验成绩各分数段的占比（图 2）可以看出，相比传统的线下教学，新的教学方法使学生成绩整体大幅提高。这与学生对本实验课程的兴趣及重视程度的提升密不可分，也充分体现本教学方法的先进性。

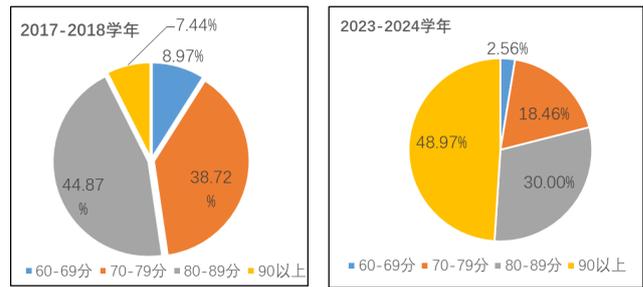


图 2 2016 级和 2022 级土力学实验成绩各分数段占比

## 4. 结论

虚实结合加科教融合的混合教学模式在教学方法上既显示了教师的主导作用，同时也突出了学生的主体地位，实现了线下实操教学与在线学习的互补，激发了学有余力的学生开展创新实验研究的积极性，同时也达到了良好的教学效果。

把传统土力学实践理论和工程技术的实际应用相结合，在理论实践项目课程的基础上，紧密结合项目实践进行创新性实验，进一步增加了实践内涵，知识入课题、项目入实践，更是学生得以理论联系实际，从而提高了学生对知识的掌握。同时增加了数据处理分析模块，充分运用先进计算机技术，促进课堂从知识传授向能力训练的过渡。

虚实结合加以科教融合创新实践教学模式将是未来各大高校实验室建设的发展方向，同时对推进现代信息技术与教育教学深度融合，加快传统实践课程的教学模式向研究型教学模式转换起到一定的作用。

#### 参考文献:

- [1] 教育部高等教育司. 关于开展新工科研究与实践的通知 [Z]. 教高司函〔2017〕6号. 2017.
- [2] 李金波, 许兴亮, 李永武, 等. 西部地方院校实验教学示范中心建设实践与探索 [J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(3): 235-238.
- [3] 张鹏, 刘春娟, 宋琨, 等. 高校地质工程专业人才培养现状与对策分析 [J]. 教育教学论坛, 2017, (9): 198-199.
- [4] 邱宗荫. 高等学校实验室工作实现跨越式发展的几点思考 [J]. 实验室研究与探索, 2003, 22(2): 1-3.
- [5] 黄雨, 包扬娟, 赵宪忠, 等. 推进地质工程专业改革加快卓越工程人才培养 [J]. 中国地质教育, 2015(1): 24-27.
- [6] 朱良华, 杨诚. 城市地质灾害治理研究现状与述评 [J]. 生态经济, 2014(1): 356-359.
- [7] 王宏宇, 丁建宁, 许桢英, 等. 虚实结合实践教学现状分析与发展探究 [J]. 实验技术与管理, 2021, 38(7): 11-16.
- [8] 李巍, 朱家伟. 基于线上线下混合模式的“通信原理”课程教学改革研究 [J]. 无线互联科技, 2019, 16(19): 5-7.
- [9] 宋莎. 基于虚拟仿真实验教学平台的化工类专业应用创新型人才培养模式 [J]. 化学教育: 中英文, 2019, 40(22): 74-78.
- [10] 陈颖, 叶松. 基于校企合作的应用型地方高校虚拟仿真实实践教学探索 [J]. 铜陵学院学报, 2019(6): 114-118.
- [11] 张连峰, 王栋. 基于虚拟现实技术的高职院校实践教学基地构建 [J]. 教育与职业, 2012(24): 164-165.
- [12] 郭楚文, 王利军, 韩东太. 本科实践教学虚实结合实验平台的构建 [J]. 教育与职业, 2016(11): 99-101.
- [13] 冯凌云, 王彩芳, 郭灿彬. “线上线下, 虚实结合”的工业机器人实践教学模式设计与实现 [J]. 实验技术与管理, 2021, 38(1): 217-222.
- [14] 林雪燕, 潘菊素. 基于翻转课堂的混合式教学模式设计与实现 [J]. 中国职业技术教育, 2016(2): 15-20.
- [15] 肖先焯, 蔡国军, 虞修竟. 喀斯特间歇泉模拟装置的研制 [J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(5): 82-86.

#### 作者简介:

郑海君 (1979-), 女, 汉族, 辽宁人, 成都理工大学环境与土木工程学院实验师, 硕士研究生, 研究方向为土力学实验教学与岩土体稳定性研究。

#### 基金项目:

2024-2026 年成都理工大学高等教育人才培养质量和教学改革项目 (JG2430040, JG2430034)、地质灾害防治与地质环境保护全国重点实验室自由探索课题 (SKLGP40100-20233006)。