

**实践教学与基地建设**

# 基于计算机辅助学习的土工试验虚拟仿真实验教学设计与方法

李亚军，徐能雄，张彬

中国地质大学（北京）工程技术学院，北京 100083

**摘要：**本文介绍了一种土工试验的课程设计框架，力争产生实质性的试验教学环节的创新与变革。该框架基于计算机辅助教学，可以极大提高学生的理解程度、参与度以及参与试验环节的积极性。同时，它还可以在学时和空间约束的情况下优化使用紧缺的教学和试验设备等资源，并且在“停课不停学”背景下的在线网络教学方面也可以发挥强有力的作用。

**关键词：**计算机辅助学习；土工试验；虚拟仿真；教学设计

**中图分类号：**G642

**文献标识码：**A

**文章编号：**1006-9372 (2020) 03-0116-07

**DOI:**10.16244/j.cnki.1006-9372.2020.03.027

**Title:** Instructional Design and Methods for Virtual Simulation Experiment in Geotechnical Laboratory Test Based on Computer-Aided Learning

**Authors:** LI Ya-jun, XU Neng-xiong, ZHANG Bin

**Keywords:** computer-aided learning; geotechnical laboratory test; virtual simulation; instructional design

自 20 世纪初岩土工程学科形成以来，各教育机构的土工试验的教学方式鲜有变化。总体来说，实践性教学环节普遍比较乏味，不能够很好地吸引学生。实验教学资源有限，教学期限固定，学生常常必须以分组的形式进行实验课程的学习。由于本科班级及学生数量的增加，组内的学生数量也越来越多，如笔者所在的中国地质大学（北京），学生人数多的时候甚至每组有 6~7 人的情况，这些因素直接导致学生参与度不高。大多数土工试验要求学生做一系列的实验操作任务，一些学生，特别是态度不够积极的学生，在实验时仅仅是观看组内其他学生的操作，并没有进行有效的学习。同时，土木工程专业本科培养计划对实验课程的学时一再压缩，例如笔者所在的工程技术学院土木工程专业，要求学生在一周工作日之内做完所有的基本试验内容。再加上实验室场

地可容纳的人数与可供同时使用的试验设备数量有限、实验室专业技术人员不足等因素，使得土工试验的教学质量一直得不到显著的提升。

实验教学环节中的实操工作是工科学生的一大显著特点，也是必备技能之一，具有不可替代性。理想的实践教学应该帮助学生提高对岩土工程的学习兴趣与动机，同时还能够加深他们对土力学基本知识和理论概念的认识与理解<sup>[1]</sup>。另一方面，优秀的团队协作与解决问题的能力对学生走向社会工作非常必要，良好的实验工作能够给学生提供一个与他人一起协作分析和解决工程问题的机会。因此，实践教学环节对一个学校乃至一个国家培养优秀的年轻工程师意义重大，可以帮助他们养成有益于未来职业发展的良好习惯。

绝大部分岩土工程界的教育者和工业界的从

---

收稿日期：2020-03-20。

基金项目：中国地质大学（北京）教学研究与教学改革专项经费；中国地质大学（北京）教学研究与教学改革项目（JGYB201703）；中国地质大学（北京）本科教学质量提升计划项目（2019，2020）。

作者简介：李亚军，男，讲师，主要从事岩土工程、地下水力学等教学和研究工作。

投稿网址：[www.chinageoeducation.net.cn](http://www.chinageoeducation.net.cn) 联系邮箱：[bjb3162@cugb.edu.cn](mailto:bjb3162@cugb.edu.cn)

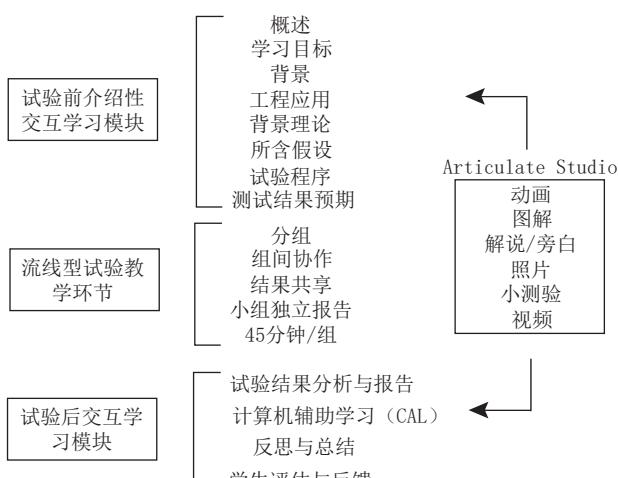
引用格式：李亚军，徐能雄，张彬. 基于计算机辅助学习的土工试验虚拟仿真实验教学设计与方法 [J]. 中国地质教育，2020，29 (3): 116-122.

业者都认为, 对岩土工程专业的学生来说, 实验学习经历是他们整个学习经历中不可或缺的一部分。但是, 如何设计实验室的实践教学、最大化学生参与度是亟须回答的问题。另外, 为了保证培养质量, 实验学时的分配、实践教学资源的优化利用也都是需要我们关注和解决的重要问题。本文以土木工程专业的土工试验为例, 介绍一种新的实践教学框架和虚拟仿真教学资源, 以期能够营造一个高效的、学生参与度高的土工试验教学理念, 同时介绍了此部分教学资源的建立过程。在当前数字化的时代, 本文介绍的虚拟仿真实践教学理念将帮助解决许多实验教学环节的主要问题, 保证教学质量, 特别是在当前新冠肺炎疫情影响要求“停课不停学”的理念下, 本文提出的教学框架将发挥很大的作用。

### 一、土工试验实践教学框架

本文提出的实践教学框架包括三个部分: (1) 试验前介绍性互动学习模块 (Interactive Learning Module, Pre-ILM); (2) 流线型试验教学环节 (Streamlined Laboratory Component, SLC); (3) 试验后互动学习模块 (Interactive Learning Module, Post-ILM), 如图 1 所示。

目前已有 8 个试验模块: 筛分试验、液塑限试验、比重计试验、击实试验、直剪试验、三轴试验、固结试验、土坝渗流试验。其中, 筛分试验、液塑限试验和比重计试验属于土体分类试验, 主要测试土体的物理指标; 直剪试验和三轴试验属于土体强度试验, 主要测试土体的力学强度指标。各试验模块的五大类划分如表 1 所示。



(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>  
图 1 土工试验实践教学框架

表 1 土工试验的实验教学模块

试验类型	试验设备图片示例
土体分类试验 (筛分试验、液塑限试验、比重计试验)	
土体压缩试验 (击实试验)	
土体强度试验 (直剪试验、三轴试验)	
土体固结试验 (固结试验)	
土体渗流试验 (土坝渗流试验)	

### 二、试验前介绍性互动学习模块

实践教学框架的第一个组成部分主要是为了在进行实验之前给学生进行一个基本的背景介绍, 使学生在后续的实验环节中更加专注, 从而提高学生的参与性和流动性。2020 年, 多媒体软件的流行为交互学习提供了更多选择, 包括学习通等在线课程建设平台、Articulate Studio 电子课件制作工具 (如 Articulate Engage、Articulate Presenter、Articulate Quizmaker)、Captivate、Raptivity 等。这使得各个领域的专家学者可以基于常规的微软 Powerpoint 文件很快地搭建电子课件对象, 同时可以插入视频或音频旁白, 如 Adobe Flash 交互和测验。这些都为快速高效地建立、发布和管理教学资料提供了极为便利的条件。国外学者称采用这些多媒体演示文稿可以提高学生的参与度, 通过提供一个合适和主动的学习环境而改善学生的学习体验<sup>[2]</sup>。本文采用的是 Articulate 软件设计的教学框架, 最新的 Articulate Studio 支持输出为 HTML5 格式。图 2 为通过该软件设计的

学习对象示例，该学习对象的好处在于学生可以自由地选择学习内容和自由支配其学习时间进行某个试验课题的学习。如图2所示，学生可从学习目标、土的三相组成、粗粒土、细粒土、颗粒分布、颗粒形状、颗粒大小、级配曲线、均匀系数、曲率系数等方面针对土体分类进行学习。同时，该课件还配有音频旁白，模拟真实课堂，方便学生学习和理解。学生还可以时刻进行回放观看学习。特别地，对于一些学校有部分国际学生的情况，这种学习模式可以帮助他们克服传统学习方式中由于语言障碍无法一次听懂的困难。

该模块包括几个方面：(1)学习目标(图3)；

(2)前言和背景介绍，包括真实工程背景、试验相应的工程应用、测试的一些历史知识和相关的假设条件；(3)试验目的；(4)试样的制备；(5)实验设备和操作程序(视频和旁白，图4)；(6)测试数据示例、相应的公式和计算(图5)；(7)结果预期；(8)测验；(9)实验报告要求。

此部分非常重要的一点是，学生对学习模块中的一些概念的理解可以通过ILM中内嵌的测验来评估。如图6所示，它通过Articulate Quizmaker制作，可以作为学生理解关键概念的辅助。

为了与数字网络学习的目标达成一致，让学生能够在方便的时间更加方便地获取在线教学资

图2 试验前介绍性互动学习模块示例(筛分试验)



图 4 固结不排水三轴试验视频 (介绍实验设备及其操作)

The screenshot shows a software interface for soil classification. The title bar reads 'Pre\_Laboratory\_Soil\_Classification\_Part\_3 (10:22 / 10:48)' and '试验前-土体分类第三部分'. The main window is titled '结果(2)' (Results 2). Below it, a table displays test data for a hydrometer test. The columns include '已过时间 t (min)', '比重计读数 R'\_k, '真正读数 R\_k', '有效深度 H\_k (mm)', '修正后的读数 R\_d', '等效粒径 D (mm)', and '% 比D细的粒径 K (%)'. The data is as follows:

已过时间 t (min)	比重计读数 R'_k	真正读数 R_k	有效深度 H_k (mm)	修正后的读数 R_d	等效粒径 D (mm)	% 比D细的粒径 K (%)
0.5	22	22.5	121.8	22.3	63.7	71.6
1	21.5	22	123.8	21.8	45.4	70.0
2	20	20.5	130.0	20.3	32.9	65.2
4	18	18.5	138.2	18.3	24.0	58.8
8	16	16.5	146.4	16.3	17.5	52.4
15	14	14.5	154.6	14.3	13.1	45.9
30	12	12.5	162.8	12.3	9.5	39.5
60	10	10.5	171.0	10.3	6.9	33.1
120	8	8.5	179.2	8.3	5.0	26.7
240	6	6.5	187.4	6.3	3.6	20.2
450	4	4.5	195.6	4.3	2.7	13.8
1440	1	1.5	207.9	1.3	1.6	4.2

图 5 土体分类第三部分测试数据及其相关计算表格 (以比重计试验为例)

The screenshot shows an interactive learning module for soil classification. The title bar reads 'Soil Classification Part 1- Pre-laboratory Interactive Learning Module (03:43 / 14:27)' and '土的分类第一部分-试验前互动学习模块 (ILM)'. The main window contains a question: '请从下列选项中选出决定粗粒土工特性的选项:' (Please select the options that determine the engineering properties of coarse-grained soils). The options are listed as checkboxes:

- 固体颗粒尺寸
- 固体颗粒形状
- 固体颗粒的颗粒分布
- 固体颗粒的相对密度
- 固体颗粒的温度
- 固体颗粒的电阻率和导电性

At the bottom right is a 'SUBMIT' button.

源，同时能够帮助学生以他们自己的节奏学习，本文设计的 ILM 可以通过学校的网络教学平台上传至云端，也可以通过钉钉等在线会议软件上传至师生群，供学生随时学习。

### 三、流线型试验教学环节

传统的土工试验教学中，很多情况下分组试验时有甚至 7 人每组的情况。而且一些试验比较费时，比如液塑限试验需要至少 1.5 个小时。本文提出的流线型试验更加聚焦，不需要太多的试验技术人员的支持（如制样和试验过程中的辅导），同时在实验室容纳人数有限和试验设备数量不足的情况下也可以快速完成试验。

例如，在一维固结试验中，传统实施办法是每个学生小组做数次试验来获取固结曲线上的 6~8 个试验点，每一个试验点需要 15~30 分钟的时间来完成，这些还是在黏土中加入砂土的情况或者试样的厚度比常规试样薄的情况下。而实际上，很多黏土常常需要更长的固结时间，因此时间成本很高，在学时规定的时间范围内难以完成。而这个试验的测试过程很简单，也很容易理解，学生完全没有必要全程跟踪，因此，可以采用流线型的模式把实验室的时间减小到 45 分钟~1 小时。即每组学生只测固结曲线上的 1~2 个点，下一个小组再测得不同压力下的另外两个点，以此类推，经过 3 个小时左右的时间就可以获取整个固结曲线。接着，学生可以共享获得的试验数据进行相关的分析，从而获取要求的参数并且撰写实验报告。这样的方法不仅提高了学习效率，还为学生提供了进行组间协作的机会。同时，由于每组学生进行试验的时间减少，相应地每组学生的数量就可以减少到 3~4 人，从而提高每个学生的参与度。这样的流线型的模式还可以用于三轴试验等其他受到试验设备数量限制的试验教学中。

### 四、试验后互动学习模块

试验前互动学习模块是为学生做试验做好准备，而试验后互动学习模块是为了帮助学生分析试验数据和报告试验结果，同时巩固理论，并再次确认关键的学习目标。

试验后互动学习模块的一个重要特点是基于计算机的辅助学习，即 Computer Assisted Learning (CAL)。国外对这一方法的应用始于 1990 年左右<sup>[2-3]</sup>。CAL 相比传统的学习方式有很多优势<sup>[4]</sup>：(1) 它可以通过虚拟试验的方式来进行

实验，还可以设计不同的情况来让学生观察不同参数情况下试验的变化；(2) 提高学生的某一试验项目的参与度，并且让学生思考；(3) 学生可以根据自己的节奏进行学习，而不需要严格随着某一课程时间表；(4) 可以自动跟踪学生的学习进度和学习难点范围；(5) 可以缓解紧缺的教学资源（如实验室、试验设备、试验场地）造成的问题。当然，CAL 也不能完全代替传统的教学方法，但它可以辅助学生改善学习体验和提高学习效率。本文借鉴了 Geotechnical Courseware<sup>[2]</sup>、英国 Geotechnical CAL、CATIGE (Computer Aided Teaching in Geotechnical Engineering) 和代尔夫特理工大学 TU Delft 的相关 CAL 方式<sup>[3]</sup>。

试验后互动学习模块是在 CATIGE 的基础开发的，它相当于前述五类试验由 5 个程序组成来进行虚拟仿真试验。学生可以通过程序可视化界面 (GUI) 和程序进行交互，因此需要提供输入参数数值，这样可以提高学生的学习主动性。同时，该模块可以让学生对参数的范围及其对土体物理力学特性的影响有一定了解，而且不需要花实验室真正全部做试验的时间（大多数情况下也不具备现实条件）。同时为了该模块有较好的可移植性，该程序采用 C# 编写，方便不同平台包括移动端（如 IOS 和 Android 平板）的学习。另外，该程序还留有添加其他土体类型的接口，如果学生想对另一地区的另一种土质进行虚拟仿真试验，可以自由地添加另外一种土质。

图 7 为击实试验的程序界面及虚拟仿真试验的几个示例步骤，该程序有两种试验类型，即常规标准击实试验和修正击实试验，程序内置了 6 种土体类型，学生可以进行选择，同时整个试验过程程序界面中都有相应的动画展示，让学生有一个清晰的认识。程序引导学生直至整个击实试验结束并且绘制标准击实试验曲线。与在实验室类似，学生可以改变土体的含水量进行重复试验，从而获取多个击实曲线点。随后，程序要求学生进行最优含水量和最大干密度的估计。同样，对不同的土体可以重复上述步骤，这样学生就能够对比不同土体的击实曲线从而加深对基本土力学内容的根本性理解，同时还能优化有限教学资源和设备的使用。

### 五、总结

土工试验是土木工程专业大学教育的必备核心实验课程。传统的土工试验教学方法存在许多

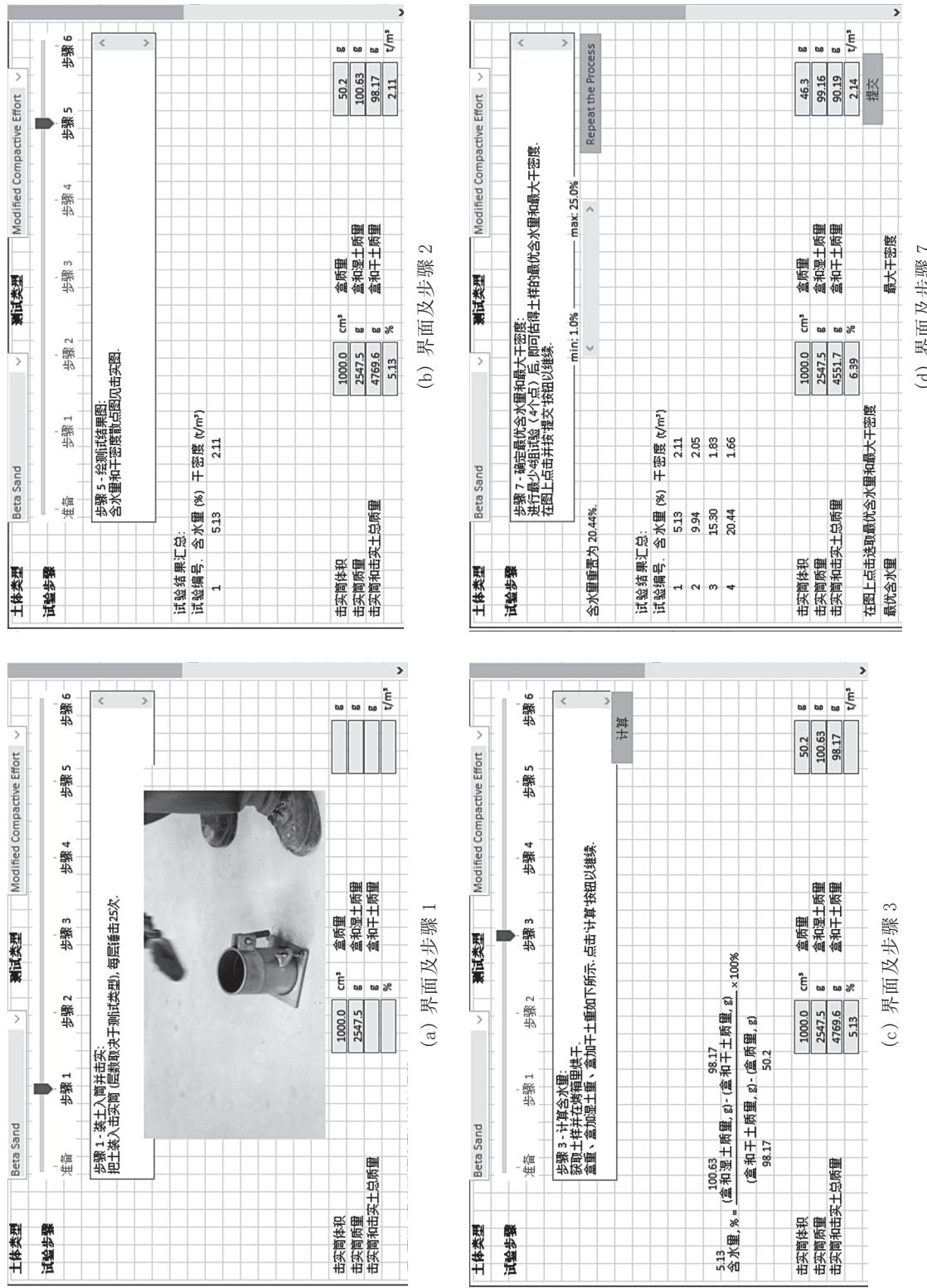


图 7 实试验虚拟仿真实验程序 Proctor

问题，如等待实验结束和观察土样的反应时间过长、分组组员人数过多、实验演示人员不足、参与度高的学习资料欠缺等，造成学生在实验室里的参与度不高，影响学习效果。本文介绍了一种基于计算机辅助教学的互动学习框架，主要由三部分组成：(1)试验前互动学习模块；(2)流线型试验教学环节；(3)试验后互动学习模块。土工试验的五大类试验都进行了包括学习目标、试验教学环节的核心和学习任务等方面模块化构建。第一和第三互动学习模块由 Articulate 电子学习软件设计和制作，可以很大程度地提高学生的参与度。同时通过对对应的五个程序实现了土工试验的虚拟仿真教学及试验后期的报告分析评估，能够极大地帮助土木工程专业本科生更加深刻地理解土力学基本原理和概念。本文的教学设计和教学方法可以在高效完成土工试验教学的同时改善学

生的学习成效。同时，它在“停课不停学”背景下的在线网络教学方面也可以发挥强大的作用。

本文在传统的土工试验实验室实操教学模式的基础上，探讨了结合计算机辅助教学的混合教学模式，有效结合了实操教学与计算机辅助虚拟仿真教学的优点。几点认识如下：(1)传统的实操教学仍然是实践教学的不可或缺的组成部分；(2)基于 CAL 的虚拟仿真教学（包括试验前试验后的互动学习模块）可以有效地提高学生的学习效果；(3)结合以上两种教学方法的混合式教学模式比任一单一的教学模式效果更好；(4)实操教学之前的互动性学习可以有效地提高学生对整个试验过程的认识和理解，而不是盲目地被告知要进行怎样的操作；(5)实操教学之后的互动性学习可以帮助学生加深对土工问题的理解，从而达到和土力学课程的高效高质量结合。

#### 参考文献：

- [1] 张彬, 徐能雄, 张中俭. 地质灾害治理与监测预警实践教学基地建设与应用 [J]. 中国地质教育, 2020, 29 (1): 111-114.
- [2] Budhu M. Soil Mechanics and Foundations [M]. New York: John Wiley & Sons, 2006.
- [3] Verruijt A. Geotechnical Software by Arnold Verruijt [EB/OL]. [2020-03-01]. <http://geo.verruijt.net/>.