

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2026.03.011

欢迎按以下格式引用:乐慧琳,刘瑾,朱淳,等.面向新工科的岩石力学实验课程教学改革探索[J].高等建筑教育,2026,35(3):88-94.

面向新工科的岩石力学实验课程 教学改革探索

乐慧琳,刘瑾,朱淳,黄国娇

(河海大学地球科学与工程学院,江苏南京 210000)

摘要:在新工科建设背景下,岩石力学实验教学作为培养本科生工程实践能力的关键环节,正面临内容脱离工程实际、试样制备前序环节缺失、教学手段单一等问题。为此,提出了一套多维协同的教学改革方案。一是引入工程案例驱动教学,强化理论与实际工程的深度融合,激发学生的探索欲与求知欲;二是依托高校建立网络课堂,开展线上与线下混合式教学模式,并邀请工程项目负责人授课,以丰富教学资源;三是引入人工智能数据处理方法,提升实验数据分析效率与准确性。该改革方案在河海大学地质工程专业实验课程的教学实践表明,改革有效重塑了学习体验,显著提升了学生解决实际工程问题的能力,为具有创新精神的复合型人才培养提供了重要支撑。

关键词:需求导向;岩石力学实验;教学改革;人工智能

中图分类号:G642

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2026)03-0088-07

岩石力学实验课程是探究岩石力学、揭示其强度与变形破裂特性的核心实践环节^[1-3]。作为岩土、地质及石油工程等领域的基础课程^[4-5],该课程具备理论知识与实际工程深度融合的属性,对学生的综合操作与理论运用能力提出了较高要求^[6-7]。在当前经济社会发展和高等教育改革的大背景下,推动岩石力学实验课程改革以适应国家经济转型和科技创新需求已显得尤为迫切。随着新工科建设的推进,该课程的教学目标逐步向学生工程应用能力与跨学科综合素养转变。然而,当前教学现状与这一培养目标明显错位,具体表现为:岩石采集与试样制备环节缺失、教学内容与复杂工程场景脱节、实验数据分析手段单一。这些问题不仅制约了课程教学质量的提升,更阻碍了学生工程实践能力的培养。因此,针对上述问题进行有效的教学改革,不仅是破解现实困境的需要,更是激发学生探究热情、锤炼其解决复杂工程问题能力,进而赋能高素质工程技术人才培养的必然选择。

修回日期:2025-02-18

基金项目:国家自然科学基金青年基金(42007256);教育部学位与研究生教育发展中心主题案例(ZT-2410294006);地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室开放基金(SKLG2023K009)

作者简介:乐慧琳,副教授,博士,主要从事岩土体稳定性研究,(E-mail)lehuilin@hhu.edu.cn。

一、岩石力学实验课程特点

岩石力学实验是河海大学地质工程专业大三学年开设的专业必修基础课程,共20个学时。课程旨在强化学生的实验技能与数据分析能力,并促使其深化对岩石力学理论的认识。在课程内容设置上,涵盖了从基础物理性质(密度与含水率)到力学强度特性(单轴压缩、直剪、巴西劈裂、点荷载)的系列实验。教学过程以“系统讲解+实践操作”为主,侧重于使学生明确实验目的、熟悉仪器原理、规范操作步骤,进而帮助学生掌握实验的基本流程与技术要领,为后续专业课程与工程实践筑牢根基。该课程主要呈现以下特点。

(一) 操作规范与数据解析能力并重

岩石力学实验课程对学生规范化操作与复杂数据解析设定了较高标准。在操作层面,要求学生需要熟练掌握从岩石采集、试样制备到密度和强度测定等一系列实验操作;在数据处理层面,面对实验生成的大量数据,学生需跨越基础的数据录入,进阶运用描述性统计和方差分析等统计学方法,并熟练借助Origin等专业软件进行数据清洗、可视化建模与报告生成。这种综合技能要求,旨在提升学生处理复杂工程数据的能力,为后续学习和实际工程应用打下基础。

(二) 理论知识与实验结合紧密

通过岩石力学实验,不仅可以获取岩石物理力学参数,而且理论知识得以物化验证与逆向反演。强度、变形、断裂等岩石力学理论不仅是实验设计的先导,更是解析异常数据、赋予实验结果物理意义的核心密钥。唯有将理论模型引入实验分析,学生可以更加精确地获得实验参数数据,实现从表象操作到底层逻辑的认知跨越,真正提升其综合分析素养。

(三) 实验体系的多维性与工况复杂性

岩石力学实验的多样性体现在不同的实验目的、实验条件和实验方法下,可以得到不同的实验结果,这种多维性赋予岩石力学实验在研究岩石物理力学特性时极大的灵活性与适应性。其多维性主要体现在以下三个方面:一是实验目的导向性,针对强度、变形、裂隙等不同诉求,需要定制化匹配实验方案,以获得满足实际需要的实验结果^[8-9];二是条件依赖性,温度、湿度及加载速率等边界条件的微调会引起实验结果和参数的不同^[10-12];三是实验方法多样性,涵盖压缩、拉伸、剪切、弯曲、冻融等多种实验方法,需要依据具体场景精准选择^[13]。这种多维性赋予课程极高灵活性的同时,也大幅增加了教学设计难度。

(四) 全生命周期工程应用导向

岩石力学实验课程内容深度嵌入岩土工程、石油工程、地质工程及地震学等领域,实验获得的结果与参数在实际工程应用中具有重要价值。不仅是评估岩石工程性质与应用价值的前置依据,更是贯穿工程全生命周期的决策支撑。在勘探设计阶段,为开采方法及支护措施提供基准参数;在施工阶段,指导工艺动态调整以保障安全质量;在工程监测阶段,通过对动态参数的反演分析预警岩体失稳风险,进而保障工程运行的安全与稳定。因此,该课程是连接基础理论与复杂工程现场的桥梁,其实践价值直接关乎学生解决实际工程问题能力的养成。

二、岩石力学实验课程教学现状

(一) 试样制备前置环节缺失

岩石力学实验的样本通常来源于砂岩、石灰岩、花岗岩等不同类型的岩石。不同类型的岩石具有不同的物理力学特性,因而在进行岩石力学实验时,必须考虑样本的类型与特点,然而,当前岩石

力学实验课程普遍缺乏对岩石采集与试样制备过程的详细讲解及样品展示环节。此外,学生大多处于被动接受实验的状态,其使用的岩石样本通常是教师提前准备好的。这种教学安排使学生难以深入理解岩石样本的特点及其物理力学性质,无法调动学生探索实验材料的热情,从而难以培养其根据实际情况选取合适岩石样本并进行试样制备的能力,进而影响他们在实际工程中的应用能力。

(二) 数据处理手段单一

传统岩石力学实验的数据处理局限于图表法、线性回归及基础统计分析等传统手段。多数学生依赖人工计算与手动绘制图表,采用简单数学模型进行数据拟合与分析。尽管这些方法可以完成基本的数据处理任务,但它们缺乏足够的灵活性和效率,无法处理复杂的数据或进行更精细的分析。当前的数据处理方式较为单一,依赖于人工操作,容易引起误差并导致处理结果不全面。随着人工智能技术的不断发展,亟须引入机器学习等前沿算法辅助数据处理。这不仅能突破传统方法的局限,大幅提升数据挖掘的精度与效率,更能引导学生探索AI技术在岩石力学领域的应用边界,在锻炼其复杂问题解决能力的同时,有效培育其实践创新思维。

(三) 与实际工程联系不够紧密

现有岩石力学实验课程偏重理论讲解与基础实验操作演示,普遍存在“重理论、轻工程实践”的现象,鲜有实际工程案例的深度介入。这导致学生往往“知其然而不知其所以然”,仅停留在完成了实验步骤的层面,未能深刻认知岩样的特殊性、选择某种岩样进行实验的理由、实验数据对工程设计的影响等核心问题,进而缺乏对工程实际需求的敏感度。为此,教学设计中应有有机融入实际工程案例,构建“实验—工程”的双向映射。通过还原真实工程场景,赋予实验数据明确的应用价值,从而激发学生的探索欲,全面提升其工程素养与综合创新能力。

三、教学改革思路及实践

(一) 课程与工程案例深度融合

针对当前岩石力学实验课程与实际工程联系不够紧密的问题,本次教学以提升学生工程应用与实操能力为导向,提出“实验教学+工程案例”的融合方式。以河海大学为例,具体实施路径如下。

1. 依托产学研合作,强化岩样采集与制备认知

河海大学与中国电建集团华东、贵阳、西北勘测设计研究院等大型工程单位建立了紧密的产学研合作关系。结合共建单位在建大型工程项目的实际需求(如获取岩石密度、单轴抗压强度、弹性模量等关键力学参数),学校明确设计端的参数应用场景,并委托共建单位的实验中心,将现场岩石体按规范切割成实验用试样供教学使用。同时,学校与企业合作录制高质量的“现场采样—制样全流程”教学视频,直观展示工程背景与设计参数要求。线上视频学习后,教师带领学生在校内实验室参观钻样机及岩样成品(如图1所示),总计0.5学时。通过教学视频与线下实验室参观,帮助学生建立从“工程现场”到“实验室台”的直观认知。

2. 依托工程需求,推动实验方案自主设计

为培养学生解决复杂工程问题的能力,教学中引入与具体工程项目相关的背景信息。教师将设计人员的实际需求转化为系统化的教学案例,详细剖析岩石的抗压强度、弹性模量、泊松比等参数在隧道开挖等具体场景中的工程意义。在此过程中,引导学生从被动的实验执行者向设计的主导者转变。教师依据不同工程需求,通过案例分析与小组讨论等形式,启发学生反推并自主设计实验方案。鼓励学生在探讨中优化测试流程,学生更好地掌握从理论学习到实际工程应用的转化过程,为其未来的工程实践打下坚实的基础。



图1 制样设备及成品

3. 对接大纲要求,规范实验实施与数据采集

在明确工程目标和自主设计方案后,实验紧扣教学大纲要求展开,涵盖单轴压缩实验、巴西劈裂实验及直剪实验等。在实践操作环节,教师重点展示核心步骤与规范(如试验机校准、加载速率设置、应力—应变数据实时记录等)。学生在教师的指导下全流程独立完成操作,获取所需的岩石力学参数。这种基于真实工程需求的实操训练,不仅夯实了学生的实验技能,更深化了其对岩石力学参数工程中应用价值的理解。

(二) 线上线下混合式教学拓展

为进一步拓宽学生的工程视野,学校采用“线上线下课程相结合”的混合式教学模式,打破传统课堂的时空局限。

(1)企业导师线上授课。部分共建单位的员工担任河海大学研究生基地导师,充分利用企业导师的工程实践经验,安排为1学时的线上专题授课。企业导师依托大型工程项目资源进行在线实景演示,直观展示前沿实验设备与多样化测试手段,并系统讲解从工程需求提出到实验测试响应的内在逻辑。

(2)厘清数据到设计的转化路径。在线上课程中,企业导师以实际工程项目为依托,剖析地形地貌、地质构造、地层岩性等关键工程地质条件,并结合案例阐述岩石力学实验结果如何直接为工程设计提供数据支撑。这种宏观与微观相结合的讲解,有效提升了学生对实验数据工程应用属性的认知。

(3)构建探索式互动情境。混合式教学强调启发与互动。企业导师在线上积极引导学生在“岩样选取、测试方法优选、结果与设计契合度”等方面展开深度思考与提问。通过师生问答与探究,帮助学生跳出“唯数据论”的思维局限,建立实验数据服务于工程安全与稳定的全局观。

(4)打造视频学习资源库。将企业导师的线上授课、实验演示案例分析录制存档,构建专属“岩石力学工程案例视频学习库”。该资源库上线课程平台后,不仅方便学生随时回看、巩固实操流程,还能作为动态更新的数字资产,持续吸纳最新工程案例,保障教学内容的时代性与前沿性。

(三) 传统数据处理与人工智能相结合

岩石力学实验往往伴随着大量实验数据的产生,课程在夯实传统数据处理基本功的前提下,顺应技术发展趋势,引入人工智能辅助分析手段^[14-15],以拓展学生的跨学科视野。以岩石直剪实验为例阐述具体实践。

(1)夯实基础:传统数据处理方法。传统直剪实验数据分析中,首先根据实验数据绘制每组法向应力下的剪应力—位移曲线,确定切向峰值应力 τ_{max} 。随后,以法向应力 σ 为横坐标,切向峰值应力 τ_{max} 为纵坐标绘制散点图,通过人工拟合获取摩尔库仑强度包络线,进而根据拟合直线的斜率和截距,计算内摩擦角 φ 和粘聚力 c 。如图2所示,传统拟合计算 $\varphi=22.4^\circ$, $c=1.45$ MPa。此过程高

度依赖人工拟合曲线,容易出现主观误差。

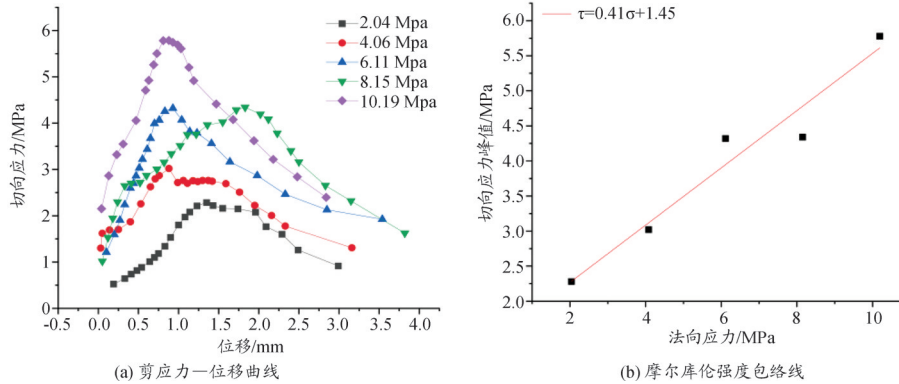


图2 传统手段处理直剪实验数据展示图

(2)技术赋能:人工智能辅助与拟合优化。受实验误差、试样制备缺陷或数据记录偏差影响,原始数据中常潜伏异常值(如图2中法向应力8.15 MPa下的数据点偏离整体规律),传统方法下学生往往难以敏锐察觉。教学中引入机器学习异常值识别算法,自动剔除无效数据;继而调用Python简单线性回归工具进行曲线优化拟合。修正后的参数显著改善(φ 提升至 26.4° , c 修正为1.39 MPa)。通过前后结果对比,学生无需钻研底层算法代码,即可直观感受到AI技术在滤除噪声、优化拟合方面的巨大优势。

(3)理念升华:复合型思维培养的意义。在掌握传统数据处理技术的基础上,引入人工智能进行岩石力学实验数据的处理,在提升分析精度与效率的同时,为学生提供了接触前沿计算机技术的窗口。

表1展示了该环节的具体教学设计思路,其核心环节为“知其用,不求算法细节”。通过弱化公式推导、强化效果对比,有效培养了学生在土木工程与人工智能交叉领域的复合型思维,为其未来应对复杂工程大数据分析奠定创新基础。

表1 教学设计思路

教学内容	方法	工具
导入与激发兴趣	展示“错误数据点导致拟合偏差”的直观图例,引发学生思考	屏幕投影
传统数据处理讲解	回顾直剪实验数据的拟合流程,讲解如何手动绘图并计算 φ 和 c	PPT+黑板
学生动手练习	提供一组实验数据,学生独立绘图与计算内摩擦角与粘聚力	数据纸+计算器
AI工具应用介绍	介绍异常值识别与线性回归(仅从用途角度)	Python脚本演示
实操演示	教师操作AI脚本:输入数据→输出拟合结果(图表+参数),学生观察并记录对比结果	屏幕投影
成果比较与讨论	对比传统与AI方法结果,讨论何时使用AI更合适	小组讨论
总结与提问	强调AI的优势和局限,引导学生思考未来如何使用AI辅助实验分析	回顾要点PPT

四、评价实践效果

岩石力学实验教学改革历经2年,为评价教学改革成效,面向参与课程改革的本科生开展了问卷调查,共回收有效问卷86份。问卷共设置了13题,其中,教学改革效果评价9题,教学改革建议4题。部分教学改革效果评价及建议的调查结果如图3所示。通过调查问卷结果分析,教学改革实践效果可归纳为以下四点。

一是学生对教学改革效果比较认可。学生普遍认为,将课程与实际工程案例相结合有效调动

了学习主动性。通过线上线下课程的融合教学,学生对岩石力学实验课程的重要性有了更深刻的认识,实践热情显著提升。课程改革后,学生从被动接受知识转变为主动参与实验设计和操作的实践主体,动手能力明显增强。

二是课程注重实验操作技能与理论知识的有机融合。课程不仅培养了学生的实验操作技能,使其掌握岩石力学实验的基本方法和技巧,还在实验过程中系统地回顾和强化了相关理论知识。这种理论与实验相结合的教学模式,不仅提升了学生分析和解决问题的能力,还深化了他们对岩石力学基本原理的理解与应用,为后续课程学习和实际工程应用奠定了坚实基础。

三是多元化数据处理手段成效显著。学生表示,通过引入人工智能等先进数据处理方法,他们在数据分析能力方面取得了明显进步,思维视野得到拓展。与以往单一的统计分析方法相比,学生意识到人工智能在数据处理中的独特优势,能够为实验分析提供强大的技术支持。调查结果充分体现了学生对教学中引入人工智能的肯定。

四是学生对课程发展提出更多期待。学生建议加强多学科融合,引入更先进的实验技术,拓展实验内容,为未来研究开拓思路。他们希望丰富学习资源,将学习范围从基本的岩石力学性质测试扩展到更广阔的领域,这反映了学生对岩石力学实验教学的更高要求。

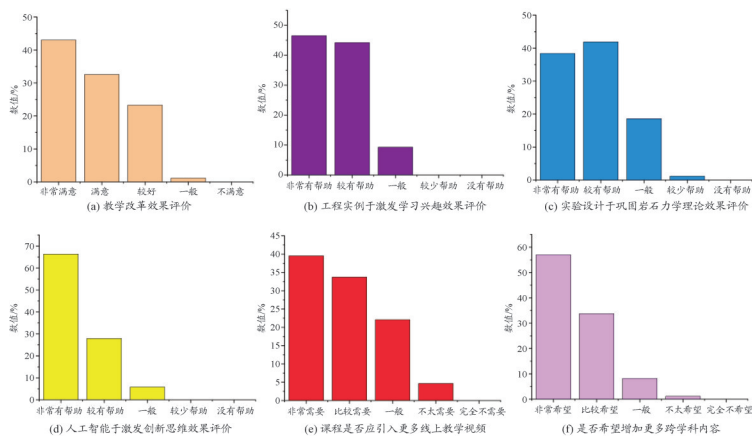


图3 教学改革评价及建议的调查结果

五、结语

通过对本科生岩石力学实验课程教学现状的深入分析,结合教学实践与学生反馈,本文提出了一系列教学改革思路与具体实施措施。教学改革的核心内容可归纳为以下三个方面。一是,课程与工程案例深度融合,激发学生的探索欲。通过将实验教学与具体工程背景对接,帮助学生更好地理解岩石力学的应用价值。此举不仅加深学生对实验内容的认识,还能激发其探索精神和求知欲,促使学生从实践中主动学习。二是,线上线下课程相结合,提升实践热情和操作能力。高校通过邀请企业导师进行线上授课,介绍项目的地质背景、设计需求及岩石力学参数的实际应用。这种多元化的教学方式使学生能够深入理解工程实践需求,激发其主动学习和操作实验的兴趣,提高实际应用能力。三是,引入人工智能数据处理技术,培养复合型人才。传统的数据处理方法已逐渐难以满足日益增长的数据分析需求,将人工智能技术应用于岩石力学实验的数据处理与分析,不仅能提高数据处理的自动化程度和精准度,还能促使学生掌握跨学科的知识与技能,培养学科交叉的复合型人才。

通过实施上述教学改革措施,学生不仅能够更深刻地理解地质工程和土木工程领域的实际需

求,而且在实验设计、数据处理及团队协作等方面的综合素质也得到了显著提升。借此改革契机,岩石力学实验课程将打破传统课堂局限,致力于为国家培养高素质工程技术人才,为岩土、地质、石油等工程领域的发展注入源源不断的生力军,进而赋能学科建设与技术创新。

参考文献:

- [1] 关凯,朱万成,刘洪磊,等.新工科课程教学设计与实践——以东北大学应用岩石力学课程为例[J].高教学刊,2022,8(6):71-75.
- [2] 勾攀峰,宋常胜.岩石力学课程的教学改革与实践[J].教书育人,2009(15):82-83.
- [3] 薛亚东,黄宏伟,李元白,等.以需求为导向的研究生教学改革探索——以高等岩石力学课程为例[J].高等建筑教育,2022,31(3):81-88.
- [4] 黄明奎.岩石力学课程数值实验教学探索[J].高等建筑教育,2009,18(4):129-132.
- [5] 曹文科.课程思政融入石油工程岩石力学教学的探索与实践[J].现代职业教育,2022(25):154-156.
- [6] 马建兴,马强.岩石力学实验课的教学改革研究[J].实验室科学,2011,14(2):32-34.
- [7] 吴姜.岩石力学实验教学改革探讨[J].长春教育学院学报,2012,28(8):102-103.
- [8] 潘文韬,杨文波,吴枋胤,等.基于单三轴试验与直剪试验的层状软岩模拟[J].岩土力学,2022,43(12):3437-3452.
- [9] 吴福宝.云母石英片岩片理面力学特征试验研究[J].岩土工程学报,2019,41(S1):117-120.
- [10] 田世轩,郭保华,孙杰豪,等.不同边界条件下剪切速率对类岩石节理剪切力学特性的影响[J].岩土力学,2023,44(2):541-551.
- [11] 刘婕,丛宇,张黎明,等.花岗岩真三轴加、卸载破坏的微观损伤机制研究[J].中南大学学报(自然科学版),2021,52(8):2677-2688.
- [12] 李浩然,王子恒,孟世荣,等.高温三轴应力下大理岩损伤演化与声发射活动特征研究[J].岩土力学,2021,42(10):2672-2682.
- [13] 陈新瑞,宋玲,孙雯,等.季节冻土区含砂低液限黏土冻融过程试验研究[J].水资源与水工程学报,2020,31(2):225-234,242.
- [14] 林永贵,王海波,魏立新,等.基于机器学习的岩石节理面力学性能分析及预测[J].人民长江,2024,55(7):240-246.
- [15] 李连崇,梁正召,马天辉,等.高性能计算技术在岩石力学课程教学中的应用[J].高等建筑教育,2010,19(1):126-130.

Exploration of teaching reform in rock mechanics experimental course oriented to emerging engineering education

LE Huilin, LIU Jin, ZHU Chun, HUANG Guojiao

(School of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing 210000, P. R. China)

Abstract: Under the background of emerging engineering education, the experimental teaching of rock mechanics is an important link to cultivate undergraduates' practical ability, which is faced with problems such as the lack of integration between teaching content and practical needs, the lack of rock collection and sample preparation processes, and the single teaching methods. This paper proposes a multi-dimensional collaborative teaching reform scheme. First, introduce engineering case-driven teaching to strengthen the in-depth integration of theories and practical engineering, and stimulate students' desire for exploration and knowledge. Second, rely on universities to build online classrooms, adopt an online and offline blended teaching mode, and invite project leaders to give lectures to enrich teaching resources. Third, introduce artificial intelligence data processing methods to improve the efficiency and accuracy of experimental data analysis. The teaching practice of this reform in the experimental courses of geological engineering at Hohai University shows that the reform has effectively reshaped students' learning experience and remarkably improved their ability to solve practical engineering problems, providing important support for the cultivation of composite talents with innovative spirit.

Key words: demand oriented; rock mechanics test; teaching reform; artificial intelligence

(责任编辑 邓云)