

AI图像识别与CT可视化技术在岩石力学学科教融合中的实践应用

李文睿^{1,2}, 欧阳容宽¹, 杨雪玲¹

1. 河南理工大学, 河南 焦作 454000

2. 煤炭安全生产与清洁高效利用省部共建协同创新中心, 河南 焦作 454000

摘要：科教融合是促进现代高等教育提升教学质量和人才培养的必由途径。着眼于岩石力学学科教融合实践过程中的教学方案和内容设计, 该文详细论述了AI图像识别与CT可视化技术在岩石力学教学中的实践应用。引导学生对岩石结构认识由表观定性深入到结构定量, 指导学生结合AI图像识别算法完成岩石图像识别模型训练与小程序开发, 真正实现了课程理论知识与实践操作的深度融合, 深化了学生对岩石力学基本概念和理论知识的理解, 为促进工程地质学科类课程的教学改革提供了借鉴和参考。

关键词：图像识别; 可视化; 岩石力学; 科教融合; 模型训练

Practical application of AI image recognition and CT visualization technology in the science-education integration of rock mechanics

Li Wenrui^{1,2}, Ouyang Rongkuan¹, Yang Xueling¹

1. Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000

2. Provincial and Ministerial Collaborative Innovation Center for Safe Production and Clean & Efficient Utilization of Coal, Jiaozuo, Henan 454000

Abstract : The integration of science and education is an inevitable path to enhance teaching quality and talent cultivation in modern higher education. Focusing on the design of teaching plans and content during the practical process of integrating science and education in rock mechanics, this paper elaborates on the practical application of AI image recognition and CT visualization technology in rock mechanics teaching. It guides students to deepen their understanding of rock structure from apparent qualitative analysis to structural quantitative analysis, instructs them to complete rock image recognition model training and mini-program development using AI image recognition algorithms, truly achieving a deep integration of theoretical course knowledge with practical operation. This approach has deepened students' understanding of the basic concepts and theoretical knowledge of rock mechanics, providing insights and references for promoting the teaching reform of engineering geology courses.

Keywords : image recognition; visualization; rock mechanics; integration of teaching and research; model training

引言

在当今高等教育的多元化与交叉融合趋势下, 科教融合是现代高等教育发展的必然趋势, 已成为提升教学质量、培养创新型人才的重要途径^[1]。对于高校教学的要求体现在通过整合科研与教学资源, 将最新的科研成果、科研方法和科研思维融入教学过程^[2], 推动科研与教学的良性互动, 从而培养出专业知识掌握扎实, 具备创新能力的高素质人才^[3-4]。

岩石力学是地质工程、石油工程与土木工程大类学科的核心课程。传统的岩石力学教学过程是单线思维的知识点传授, 课程前半段是大量地质类专业名词的定义及解释, 中段是岩石物理力学性质的特征参数定义和应力-应变实验, 后段是各类岩石强度准则、本构模型的纯理论讲解推导。从教学过程反馈来看, 学生普遍轻视前半段内容, 更多是以了解科普类知识的心态来学习, 知识掌握比较浅薄; 后续的中段理论学习逐渐开始松懈, 出现专业性理论与前段经验性认知相互混淆的矛盾; 后段, 随着大量专业数学模型及流-固耦合理论公式教学推进, 多数学生由于知识理解不深入, 知识点衔接不紧密从而出现了知识体系混乱、理解断层的现象, 甚至出现厌学、弃学情绪, 最终影响到教学质量和人才培养。显然, 线性的教学方式已不适应当前高校课堂, 亟待寻求更为有效的教学模式。

当前, 计算机、物理、化学和农学等专业领域都在积极探索高校教学的科教融合方式及路径, 实现以研促教、教研相长的最终目

基金项目: 河南理工大学本科教研教改项目“人工智能与矿山岩石力学课程的融合与实践”(编号: 712301/013/001/012)。

第一作者(通讯作者)简介: 李文睿(1994-), 男, 汉族, 河南省济源人, 工学博士, 讲师, 硕士生导师。主要从事矿山安全领域的矿井灾害防治和非常规天然气开采方面的教学与研究。邮箱: li3wenrui123@163.com

的^[5-9]。立足于工程试验分析和理论拓展的课程知识体系，成为高校科教融合的最佳切入点^[10-11]。岩石力学作为工程应用型课程，依托于多学科知识交叉的实验技术与理论，为教学改革和实践提供了广阔前景。例如，通过显微扫描技术可以辅助岩石冻融性质的理论教学^[12]，通过计算机断层扫描（CT）可视化技术，可辅助采矿工程的岩体结构认知实践教学，培养学生从宏观到微观的科学思维视角^[13]。此外，人工智能（AI）技术的快速发展进一步加快了岩石学科教融合的步伐^[14]。例如，基于AI图像识别技术实现对砂粒微纹理的自动化分析^[15]，将显著赋能岩石结构认知教学、拓展学生科学视野。

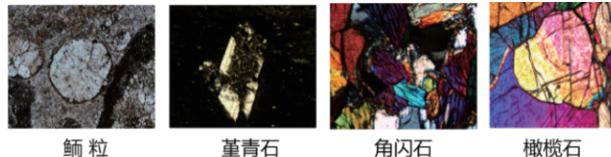
目前，在笔者所担任的课程教学中，开展了基于岩石物性特征、力学参数和课程知识图谱搭建的教学工作，以及岩石结构可视化图像与AI图像处理技术融合的科教融合试验，教学反馈效果优异，远超预期。进一步，将积极探索岩石可视化结构与AI图像识别的课程教学设计优化，最终建立贯穿岩石力学基础理论与先进技术融合的示范课程。本文将主要阐述该课程教学实施理念、组织形式及流程，为完善课程改革提供参考与借鉴。

一、基于视觉图像的岩石结构教学

(二) 岩石表观结构的量化分析

(一) 岩石表观特征定性认识

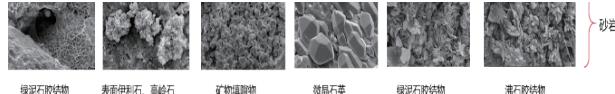
在岩石力学性质分析和工程设计的教学过程中，岩石表观定性认识具有至关重要的意义。通过在课堂上直观呈现各类岩石的整体结构图片与高清视频资料，包括沉积岩、火成岩和变质岩等多种类型。学生将直接了解到岩石丰富的外观特征，如不同岩石的颜色、纹理和层理等基本特征。如图1所示，在展示鲕粒、堇青石、角闪石、橄榄石等岩石的图片时，学生能够迅速形成对这些岩石外观的直观印象，进而具备初步区分不同类型岩石的能力。



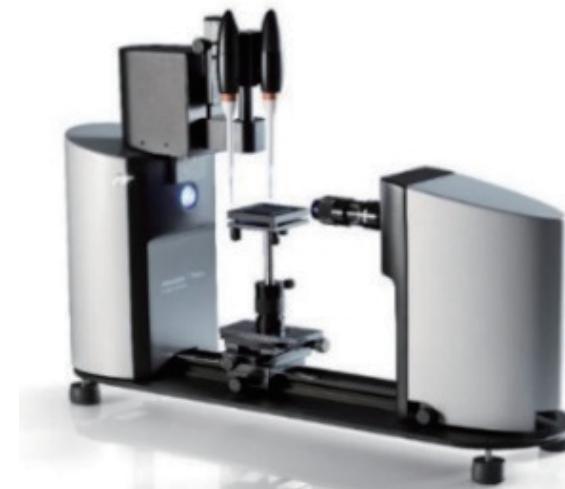
> 图1 不同种类岩石的颜色、纹理

进一步，将岩石矿物的显微结构及形貌图像通过课堂大屏幕直观呈现，引导学生全面认识岩石内结构形貌特征是教学中的重要环节（如图2所示）。前述环节，学生通过观察岩石的表观特征已经初步构建起了岩石类型认知框架，在此，结合岩石内部显微结构，例如孔隙、颗粒形态和层理性等微观特征，最终在脑海中形成一套分类和识别不同岩石类型的方法，为后续岩石的力学性质学习奠定了基础。

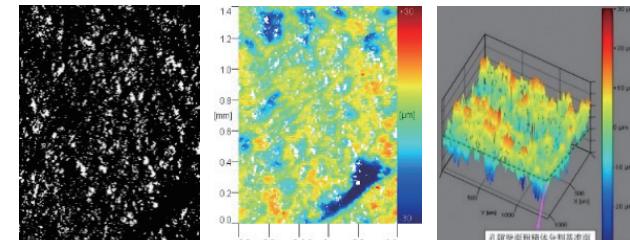
从教学意义来看，岩石表观定性认识是学生接触岩石力学知识的第一堂课。学生能够准确区分岩石类别和特征，是后续深入学习岩体宏观力学性质和复杂破坏机理的铺垫，由表及里的岩石表观图像展示将极大丰富课堂内容，避免了纯文字描述的枯燥乏味。



> 图2 岩石矿物微纳尺度结构及形貌特征



(a) 粗糙形貌的3D扫描成像仪



(b) 煤岩粗糙结构体的可视化分析

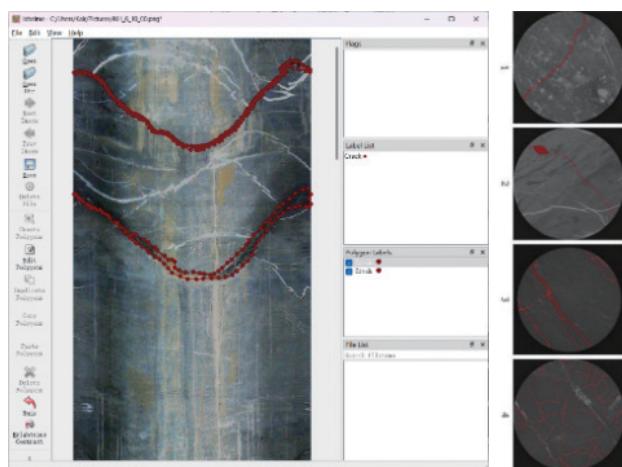
在岩石表面性质教学方面，采用粗糙形貌的3D扫描成像设备（如图3a所示），对取自煤体孔隙内壁的煤片展开微米级3D形貌结构扫描分析，以获取煤表面精确的微观结构信息。随后，利用设备自带软件将煤表面微观结构数据进行处理，生成直观的二维和三维图像（如图3b所示）。通过MATLAB编程对二维结构图像进行二值化处理，能够清晰地反映出煤表面的粗糙投影图（白色斑点部分为光滑无粗糙区域，暗部为粗糙结构分布区域）。通过计算粗糙结构投影总面积占整个平面面积的比例，可实现对煤表面粗糙分布的定量表征；进一步，通过粗糙元高度差异（三维立体图像色彩变化）和基准线划分，将可以计算微观粗糙体的等效高度、平均高度，实现对岩石表观结构的量化分析^[16]。

这种基于结构参数的理论定义讲解和动手操作求取过程，鼓励了学生运用定量的思维来深入认识岩石复杂的表观特征，是对课堂理论知识的深化和迁移，对于激发学生的探索兴趣十分有益。

二、基于深度学习的岩石结构识别

(一) 岩石内部结构可视化

岩石结构面成因复杂，其自然特征会在外部环境影响下发生变化，在教学过程中将复杂的岩石结构参数描述转化为直观的图像理解，不仅有助于学生理解岩石结构复杂性的量化表达，还能够极大地激发对岩石力学领域前沿技术的探索欲望。为加深学生对岩石结构面特征中线密度、体密度和节理面分布等参数的理解，教学中引入了基于深度学习的岩石结构识别案例^[17]。如图4所示，左图是煤层钻孔内窥仪拍到的图像，右图是实验室CT扫描得到的岩心图片，无论是钻孔内围岩表面图像，还是岩心CT切片微观图像，利用深度学习算法都能够自动且精准地识别出岩石微观结构特征并对其进行标注。



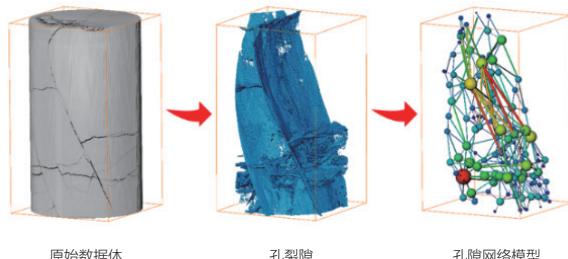
> 图4 钻孔裂隙标注及岩心CT裂隙结构识别结果

(二) 结构参数量化分析

煤体内部的孔隙结构较为复杂，存在孤立和连通两种孔隙类型。孤立孔隙在三维空间中的连通性较差，对于试样的渗透性基本没有促进作用。因此，引导学生剔除模型中的孤立孔隙，只保留煤样内部相互连通的孔隙，通过这种方式，不仅能够清晰地描述煤体中孤立孔隙的大小和分布情况，还能够准确地计算出孤立孔隙数量在煤体孔隙总量中所占的比例。

首先，指导学生将煤样的CT扫描切片导入专业软件Avizo中，以获取包含煤样内部结构原始信息的原数据体，为后续分析做基础。接着，指导学生运用软件自带阈值分割技术，基于灰度差异精确分离煤样内部的孔裂隙，锻炼学生们具备扎实的图像处理知识和细致的操作技能。随后，进一步调用Avizo软件中的目标分离和生成模块，计算孔隙空间的孔喉分布，并利用可视化指令生成等效孔隙网络模型，从而深入理解孔隙连通性和分布特征^[18]（如图5所示）。

通过实践不仅锻炼了学生的实验操作技能，还培养了对媒体

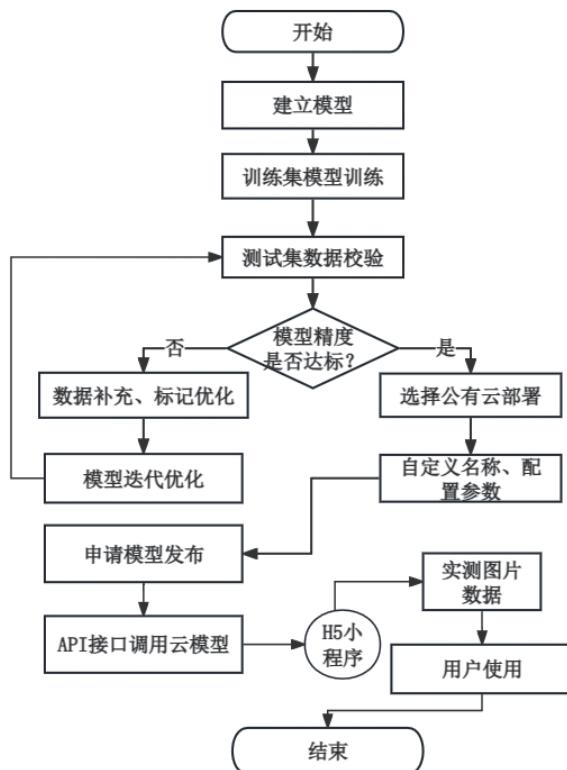


> 图5 孔隙网络模型构建流程

的孔隙结构特征以及相关物理性质进行数据分析的能力和科学思维。进一步，剪切变形、拉伸变形、渗透率各向异性等力学、渗流性质的认识也可借岩石结构变化进行深入讲解，帮助学生深刻理解岩石特性与其力学行为之间的内在联系，阐述岩石的力学行为和失效机制。

三、基于AI图像处理的应用程序开发

第一阶段：AI模型训练与指导。在基于百度EASyDL平台的无代码开发环境中，引领学生导入采集的岩石图像数据，利用图像标注功能，按照图像分类-物体检测-图像分割三个层级对岩石图像进行逐渐细化认知；然后，利用百度平台内置的数据增强算法进行图像数据的增强扩充；最后，利用平台通用图像识别算法进行图像识别模型训练和调优，不断提升模型的识别精度。在教师与学生的紧密合作过程中，通过细致入微的讲解与实操演示，教师传授了机器学习的基础理论和AI模型训练的核心技巧，学生逐步掌握了如何根据岩石的纹理、层理、节理等复杂特征来

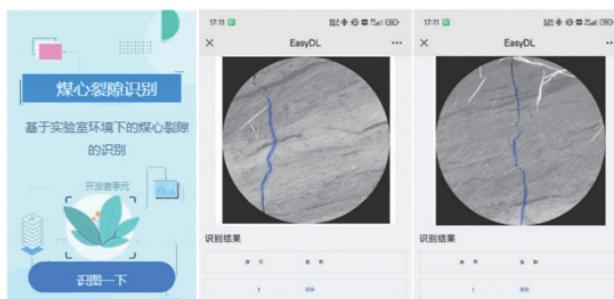


> 图6 图像识别小程序建立与应用

构建、优化图像识别模型，培养了解决实际问题的能力。

第二阶段：H5程序应用开发与指导。在成功训练出高精度的岩石结构特征识别AI模型后，引导学生将这一成果转化成实际应用。在教学实践中，学生利用云服务提供的API接口，将AI模型无缝集成到了一款用户友好的H5程序应用中。在此过程中，学生们不仅学会了如何设计符合用户需求的界面和功能，还深入了解了从模型训练到应用部署的全链条流程。通过反复测试与优化，成功打造出一个简单且易于使用的煤岩结构识别应用程序。

第三阶段：实际应用与成果展示。当H5程序应用提交并通过审核，教师便可组织学生进行实际测试和应用。学生们只需简单扫描小程序二维码，即可在智能手机等移动端设备上轻松使用该程序进行煤岩图片的扫描与识别，实时查看并保存识别结果，这一创新应用不仅实现了岩石结构特征识别的智能化和移动化，更赋予课堂趣味性。



> 图7 岩石结构识别小程序开发及识别效果

借助EASYDL无代码编程平台，学生不仅了解了AI图像识别的核心原理和应用方法，还亲身体验到AI技术对知识迁移的赋能潜力，帮助学生深化专业知识理解。后续，基于此的科创培育项目帮助学生在科技创新比赛中屡获佳绩，有效促进了教育与科研的深度融合，培育了科教融合的成果。

四、结束语

- 围绕岩石表观、内部结构特征，孔隙裂隙结构连通性几何建模和岩石微结构AI图像识别的岩石力学教学设计，显著提升了学生对岩石力学基本概念、理论知识的理解和掌握程度，锻炼了学生从简单图形深入理解岩石结构和力学特性的定性、定量分析方法，培养了科学思维意识，在提升教学质量的同时有效促进了科教融合实践。

- 课程中引入的基于深度学习的岩石图像识别案例，为学生提供了一个将理论知识与实践操作相结合的平台；通过进一步的图像识别模型训练、部署和优化，学生掌握了如何运用先进人工智能技术手段进行数据分析，有效培养学生拓展学科交叉知识。

- 本文所开展的岩石力学教融合课程实践，不仅丰富了教学内容和方法，还为地质工程领域的教育改革提供了新的思路和借鉴，为激发学生对岩石力学领域前沿科技的兴趣与探索精神，培养运用多学科知识解决实际问题的能力和综合分析能力起到了示范作用。

参考文献

- [1] 教育部办公厅关于印发《未来技术学院建设指南（试行）》的通知 [J]. 中华人民共和国教育部公报, 2020(05):7-10.
- [2] 徐艳茹, 刘继安, 郑润廷. 共生理论视域下跨组织科教融合育人模式解析 [J]. 高等教育研究, 2024, 45(06):79-89.
- [3] 蔡力, 南云, 宁豆豆, 等. 教育、科技、人才融合发展背景下未来科技领域拔尖创新人才培养路径探索 [J]. 高教学刊, 2024, 10(35):1-4.
- [4] 黄昭明, 朱天宇, 王利, 等. 科教融合理念下高校科研成果转化成教学资源探究 [J]. 安徽工业大学学报（社会科学版）, 2024, 41(03):103-106.
- [5] 朱柱, 张小国, 王春萌, 等. 科教融合背景下数字图像处理课程“答辩式”翻转教学探索 [J]. 科教文汇, 2024(23):89-94.
- [6] 丁珏, 杨小权, 胡国辉, 等. 深化科教融合与产教协同提升力学专业实践教育的实效性 [J]. 高教学刊, 2024, 10(34):97-100.
- [7] 左彪, 张旖芝, 陈铮凯, 等. 强化学术牵引, 深化科教融合: 创新化学本科人才培养的探索与实践 [J]. 大学化学, 2024, 39(11):38-43.
- [8] 叶清, 幸娇萍, 邢浩, 等. 基于OBE理念、学科交叉与科教融合的新文科人才培养路径探索——以江西农业大学为例 [J]. 高教学刊, 2024, 10(34):152-155.
- [9] 王守宇, 张鹏. “专业课+科研训练”科教融合教学模式改革实践 [J]. 高教学刊, 2024, 10(32):140-143.
- [10] 彭诚, 邹长春, 肖亮, 等. 基于科教融合的“岩石物理学”课程设计与探索 [J]. 科教导刊, 2022(28):101-104.
- [11] 孙建, 赵光明, 刘增辉, 等. 《矿山岩石力学》典型案例库建设与教学实践 [J]. 河北工程大学学报（社会科学版）, 2020, 37(04):97-102.
- [12] 吕志涛, 曾祥太, 刘伟平, 等. 显微摄像技术在岩石冻融力学性质实验教学中的应用 [J]. 实验技术与管理, 2024:1-10.
- [13] 刘鹏, 鞠杨, 毛灵涛. 可视化实验方法在采矿工程实践教学中的应用 [J]. 高教学刊, 2023, 9(18):126-129.
- [14] 张博, 秦晓辉, 徐超华. 生成式人工智能在岩体力学教学中的应用与挑战 [J]. 科教导刊, 2024(22):114-116.
- [15] Hasson M, Marvin M C, Lapotre M G A. Automated determination of transport and depositional environments in sand and sandstones. [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2024, 121(40):e1887312175.
- [16] 王登科, 李文容, 魏建平, 等. 基于分形表征的粗糙微纳米孔隙瓦斯气体传输方程 [J]. 煤炭学报, 2019, 44(11):3432-3440.
- [17] 王登科, 房禹, 魏建平, 等. 基于深度学习的煤岩 Micro-CT 裂隙智能提取与应用 [J]. 煤炭学报, 2024, 49(08):3439-3452.
- [18] 赵建鹏, 崔利凯, 陈惠, 等. 基于CT扫描数字岩心的岩石微观结构定量表征方法 [J]. 现代地质, 2020, 34(6):1205-1213.