

大学生创新实验对岩石力学教学的促进作用

赵延林,王 敏

(湖南科技大学 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室;能源与安全工程学院,湖南 湘潭 411201)

摘 要:分析了岩石力学实验教学中涉及的重要岩石理论、岩石力学实验教学中存在的问题以及国内学者对岩石力学实验教学研究的成果。重点介绍了两个大学生创新项目的研究过程及相关的实验结果。大学生创新性实验,培养了学生独立思考、独立学习、独立处理数据和独立得出实验结果的各种能力,培养了大学生科技写作的能力。提出大学生岩石力学实验教学的一些希望:加大大学生创新实验的资金投入,旨在培养大学生创新能力和学习兴趣。

关键词:创新能力培养;岩石力学实验教学;大学生创新实验

中图分类号:G642.0 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-5884(2014)01-0146-03

1 大学生岩石力学实验教学研究背景及现状

岩石力学是采矿、土木建筑、水力水电、铁道、公路、地质、地震等众多领域的基础学科^[1],因此,岩石力学是相关专业的基石,岩石力学教学对于相关专业显得尤为重要。

目前,岩石力学中最重要的岩石理论有摩尔强度理论和格里菲斯强度准则,其中又以摩尔强度理论为重点展开,该理论贯穿岩石破坏、结构面破坏和岩石地下工程的相关章节。摩尔库伦理论认为:到极限状态时,滑动平面上的剪应力达到一个取决于正应力与材料性质的最大值。并且通过摩尔强度包络线判定岩石中的一点是否会发生剪切破坏,即摩尔强度理论将岩石的破坏定性为剪切破坏。但摩尔库伦准则没有考虑中间主应力的影响(众多研究已表明中间主应力对岩石的强度有影响)。与此相对应的是拉破坏准则,即格里菲斯强度准则。格里菲斯认为,诸如钢和玻璃之类的脆性岩石的材料,其断裂的起因是分布在材料中的微小裂纹尖端有拉应力集中,并在不考虑摩擦对压缩下闭合裂纹的影响和椭圆裂纹将从最大拉应力集中点开始扩展的情况下,将格里菲斯强度理论推广到压缩试验中,但格里菲斯强度理论主要用于脆性岩石材料,而对于一般的岩石材料,格里菲斯强度准则并不适用。

为能很好地帮助学生理解摩尔库伦理论,化抽象为具体,岩石力学课程教学任务中设置了6课时物理实验教学。课程教学中物理力学实验包括:岩石的单轴压缩实验、巴西劈裂实验和变角度剪切实验,主要围绕岩石试样的内聚力及内摩擦角的求得而展开。其中,岩石的单

轴压缩实验主要是测试岩石在轴向压力的作用下出现压缩破坏时单位棉结上所承受的荷载,也就是试样破坏时的最大荷载与垂直和加荷方向试样面积之比^[2]。巴西劈裂实验用一个实心的圆柱试样,使其受径向压缩线荷载直至破坏,根据 Boursinesq 半无限体上作用集中力的解析解,求得试样破坏时作用在试样中心的最大拉应力,即岩石的单轴抗拉强度。通过单轴压缩实验和巴西劈裂实验可以得到岩石试样的单轴抗压强度和单轴抗拉强度,根据得到的两个强度作出相应的摩尔应力圆和两圆的摩尔包络线,即可求出岩石试样的内聚力及内摩擦角。变角度剪切实验则是另一种求得岩石试样内聚力及内摩擦角的方法,该方法采用立方体岩石试样,使用不同角度的抗剪夹具,测得岩石试样破坏时的最大荷载,求出对应的正应力和剪应力,以正应力为横坐标,剪应力为纵坐标,求得多组数据的线性拟合曲线,求出该曲线的斜率及纵截距,即求得岩石试样的内聚力和内摩擦角。

岩石力学课程教学的3个力学实验围绕摩尔库伦准则展开,其实验目的是为了求得岩石试样的内聚力和内摩擦角。其中主要存在的问题表现为:课程安排的岩石力学实验均为验证性实验,按照课本上实验步骤即可顺利完成实验,学生创新性思维受到限制。

针对岩石力学实验中存在的上述问题,国内学者对岩石力学实验教学进行研究并取得了一些成果。马建新、马强^[3]从岩石力学实验课教学改革、岩石力学实验在实践中的应用、教学成果追求高质量、课程建设研究几方面提出了一些看法。吴姜^[4]依托已有的教学体系,将实验项目进行优化组合,减少验证性实验,注重实验的综合

性、设计性、创新性和整体性,鼓励学生在完成基本实验的基础上参加创新实验等科研活动,为学生个性发展创造条件。黄明奎^[5]针对目前教学经费紧张、实验设备不足、实验教学设备陈旧等问题,主张采用数值模拟研究的方法进行相关的岩石力学实验课程教学。王述红、唐春安、朱万成等^[6]通过介绍数值实验的基本原理和方法,利用计算及方法实施岩石力学实验,结合 RFPA 软件教学,取得了较好的教学效果。李连崇、梁正召、马天辉等^[7]主张激发学生的思维能力和创造力,鼓励学生自发设计模型进行数值模拟分析,便于学生理解和掌握教学内容。数值模拟实验具有可重复性及经济性特点,在岩石力学实验教学中被广泛采用,但是,由于编程者对于理论认识有限,很难得到一些真实且符合实际的实验结果。

笔者通过指导学生申请创新性实验研究项目,加大对大学生岩石力学物理实验的投入,并结合相应的数值模拟软件对物理实验进行验证,提高了学生对岩石力学课程的兴趣,并取得了一定的成果。

2 创新实验的研究过程及成果

蠕变模型在岩石力学中占有重要地位,岩石力学教材中介绍了一些岩石流变模型,对其本构方程、蠕变方程、卸载方程进行了推导,面对大量的公式推导和数据模型,学生对于岩石的蠕变特性只有一个抽象的概念。同时,岩石的结构面也是岩石力学重要的内容之一,结构面对岩体的力学性质有着重要的影响。因此,在这两方面展开相关的实验研究具有一定的必要性。

下文介绍湖南省大学生研究性和创新性实验资助项目“类岩石节理面剪切变形特征和破坏机制实验研究”(KDSC1101)及“多级加载条件下岩石流变特性研究”(KDSC1001)的实验过程及取得的一些成果。

2.1 类岩石节理面剪切变形特征和破坏机制实验研究 (KDSC1101)

本实验研究规则齿形节理面在不同法向应力下的剪切作用,对剪切变形曲线以及不同起伏度节理面的剪切变形进行相关研究,研究节理面的剪切变形、破坏特性、破坏模式。在此基础之上提出抗剪强度与节理起伏角、剪切速率和法向应力之间的函数关系。

在笔者的帮助及带领下,学生制作了 C425 号快硬水泥作为凝结剂,水灰比为 1: 2.5,制作出 200 mm × 150 mm × 30 mm 的试样,并将厚度为 1 mm 的钢片插入设定预制裂纹处,待试样养护 12 h 后,取出钢片,试件脱模后将试样于自来水中养护 28 d 得到预制岩石试样,并将试样表面打磨平整。

为研究剪切作用下类岩石断续裂纹的岩桥破裂机理,在剪切面上布置多条断续裂纹以研究不同岩桥长度下断续裂纹岩桥的破坏规律,实验采用的断续裂纹长度为 40 mm,倾角分别为 15°、30°、45°、60°,裂纹条数分别取为 3、4、5 条,每一种试件各加工 5 个。加工试件的同时,对 RYL-600 剪切流变仪进行相应的改造,方便岩石试样的加载。

采用 RYL-600 剪切流变仪对岩石试样进行加载,岩石试样上下端加法向压力,岩石试样左下端部固定,右上端部加载剪切应力,如图 1 所示。

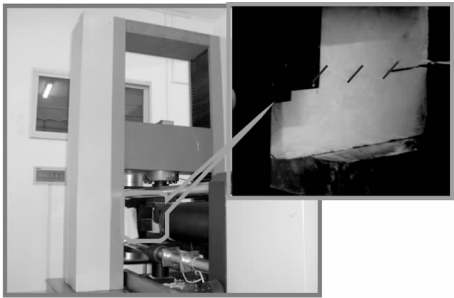


图 1 剪切作用下断续裂纹的岩桥断裂实验

在实验过程中,对最终破坏的岩石试样进行拍照(如图 2),通过电脑、传感器和控制器对试样加载过程中的直剪力-剪位移曲线予以记录(如图 3),便于实验结果分析。



图 2 试样破坏图

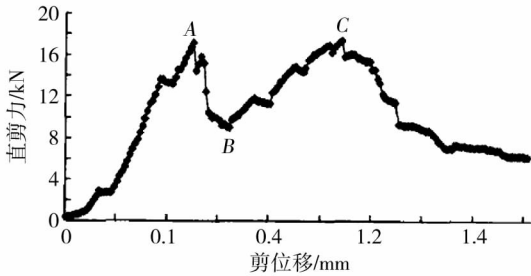


图 3 剪切应力与剪应变关系曲线

学生自学 FLAC^{3D} 软件,针对断续裂纹岩桥破坏规律进行数值模拟研究,采用剪切软化 Mohr-Coulomb 模型模拟类岩石材料,采用 interface 单元的 Colomb 剪切模型模拟断续节理的滑移屈服和剪胀效应。

通过该大学生创新项目,学生对类岩石节理面剪切变形有更为直观的了解,并且在此过程中,培养了学生的创新能力、自学能力、动手能力及对于软件的自学能力,同时也提高了学生的科技写作能力(在期刊上发表文章 1 篇^[8])。

2.2 多级加载条件下岩石流变特性研究 (KDSC1001)

岩石的流变理论是岩石力学教学中的重点和难点,教材花费了大量的篇幅着重介绍了圣维南体、马克斯威尔体、开尔文体、广义开尔文体等等,并对各个模型的本构方程、蠕变方程、卸载方程予以了相应的公式推导。考虑到流变实验的时间和费用,所以岩石力学实验课程教

学中没有设置相应的流变实验课程,造成学生对于流变模型的认识和了解停留在理论层面上。

针对学生在学习流变知识方面存在的一些问题,笔者带领学生进行相应的流变实验,通过物理实验提高学生对流变模型中模型的辨识能力和对数据的分析能力。

岩石取自于牛马司水头矿,将该岩样加工成高度为100 mm、直径为50 mm的标准圆柱形试件,打磨试件表面使其光滑平整,避免加载过程中出现应力集中。

其加载分为4个阶段,分别为21 MPa、26 MPa、31 MPa和36 MPa,每一阶段的加载时间预设为5 h。如果时间超过5 h,且应变变化率 <0.001 mm/h,那么则进入下一阶段载荷的加载;如果应变变化率 >0.001 mm/h则加载继续,直至应变变化率 <0.001 mm/h。其加载仪器为岩石剪切流变仪 RYL-600。

通过实验可得实验的试件应变曲线,如图4所示。

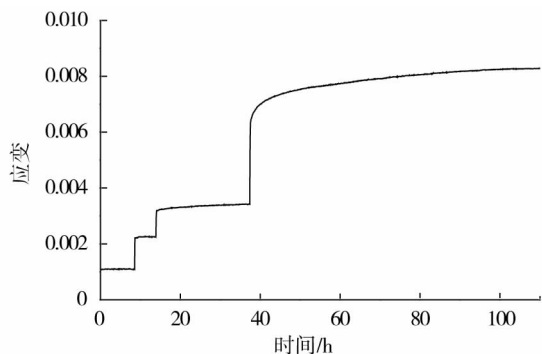


图4 应变-时间曲线

对图4中曲线的4个阶段进行详细的分析,分析其曲线的特征,对岩石蠕变本构模型中可能含有的元件进行辨识。通过对4个阶段的4条曲线在加载过程中表现出的特性进行分析发现,伯格斯模型能很好地反映该岩石在加载过程中的蠕变特性。根据伯格斯模型的蠕变方程,结合实验数据,拟合出4个阶段参数值。

此实验对学生的数据处理学习有较大的帮助,学生根据已有的数据得出一些重要的结论,得出一些定量的式子。尤其是对4个阶段的数据分析,对蠕变本构模型中可能含有的一些元件进行辨识的过程,不仅要求学生具有扎实的理论知识,并且培养了学生灵活运用知识的能力,将所学的理论知识运用到实际,从而进一步巩固所学知识,做到学以致用,同时,也提高了学生的科技写作能力(发表科技论文1篇^[9])。

3 结 语

岩石力学实验主要以验证性实验为主,对于激发学生的创新能力和独立思考能力有限,因此,加大对岩石力学实验的资金投入,进行创新性实验可以有效地推动现有的岩石力学实验课程教学的发展。同时,要改变传统的实验思路,在整个实验过程中,老师只需扮演指导的角色并给出建设性意见,至于实验的方法大可根据学生自有的想法实施,实验结果由学生自行总结。对于已有的数据和实验现象学生可以根据自己所学知识进行处理,形成以学生为主的实验方式。以学生为主,体现在实验过程中实验想法的构思,岩石试样的制备、实验方法的制定、实验数据结果分析等均以学生为主体,重在培养学生创新能力,将本专业理论知识学习、实验及创新能力的培养结合起来。同时,应加大大学生创新性实验平台,学习知识不应该停留在理论阶段。

参考文献:

- [1] 蔡美峰,何满朝,刘东燕.岩石力学与工程[M].北京:科学出版社,2002.
- [2] 赵文.岩石力学[M].长沙:中南大学出版社,2010.
- [3] 马建新,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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 王述红,唐春安,朱万成,等.数值试验在岩石力学实验教学中的应用[J].实验技术与管理,2003,20(6):140-143.
- [7] 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.
- [8] 张庆伦,赵延林,刘杰,等.剪切作用下类岩石断续裂纹岩桥破裂实验与数值分析[J].矿业工程研究,2012,20(2):32-36.
- [9] 王敏,万文,赵延林.牛马司水头矿粉砂岩分级加载条件下的流变特性[J].矿业工程研究,2012,27(3):39-43.

(责任校对 许中坚)