

文章编号: 1000-7598 (2011) 02-0435-06

# 顺层岩体边坡开挖过程模型试验

唐红梅<sup>1,2</sup>, 陈洪凯<sup>1,2</sup>, 曹卫文<sup>2</sup>

(1.重庆大学 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400040; 2.重庆交通大学 岩土工程研究所, 重庆 400074)

**摘 要:** 边坡开挖引起的变形及应力调整规律是边坡安全监控的科学依据, 模型试验是揭示公路高切坡变形与应力变化规律的重要途径, 针对巫山至巫溪公路 k88 段岩体高边坡, 通过相似模型试验探讨边坡开挖过程中坡内位移和应力变化规律。通过相似材料试验获得了模型试验相似材料, 配合比“硼砂:水:砂:水泥:石膏”为 0.01:1:7.705:0.384:0.900, 构建了几何相似比 1:30 的物理试验模型, 提出了与实际工程一致的边坡 3 次开挖工况。试验结果表明, 开挖过程中高切坡位移峰值突增现象显著, 达到稳定状态的时间 4 d 左右, 而应力则成波动衰减状态, 10 d 以后仍然存在衰减趋势; 基于开挖过程中边坡变形和应力的不一致性及应力调整的持续性变化规律, 提出了岩质边坡以三维应力监测为主、位移监测为辅的边坡监测优化方案。

**关 键 词:** 道路工程; 顺层岩体边坡; 开挖; 位移及应力变化规律; 模型试验

中图分类号: P 642.22; U 418.5

文献标识码: A

## Model experiment in excavation of rock bedding slope

TANG Hong-mei<sup>1,2</sup>, CHEN Hong-kai<sup>1,2</sup>, CAO Wei-wen<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory for the Exploitation of Southwestern Resources & the Environmental Disaster Control Engineering, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Institute of Geotechnical Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract:** The variation principle of deformation and stress triggered by excavation of slope often provide the scientific basis for safety monitoring of slope. Model experiment is an important way of displaying evolution of displacement and stress of high-cutting slope along highway. Taking K88+725 High-cutting Slope that locates in second-grade highway from Chongqing Wushan County to Wuxi County as the prototype, this paper approaches evolution of displacement and stress of slope excavation from similarity model experiment, and obtains Similarity material proportion is that borax: water: sand: cement: plaster is 0.01:1:7.705:0.384:0.900. Using physical model of 1:30 geometry, is divided the excavation of the model into 3 stages according to the actual construction process. The results indicate that the displacement peak is rising suddenly and it will remains steady after 4 days; but stress displays weakening fluctuatly; it will sustain weakening after 10 days. Based on difference of evolution of displacement and stress and continue of stress of slope excavation, the proposal that 3D stresses is principal monitoring and displacement monitoring is minor, is put forward.

**Key words:** road engineering; rock bedding slope; excavation; evolution of displacement and stress; model experiment

## 1 引 言

边坡变形破坏机制与稳定性分析是岩土力学及工程地质学的一个经典研究方向, 也是国民经济建设中经常涉及的环境岩土工程问题。Richard 等<sup>[1]</sup>认为, 河流下切、斜坡演化后退、地表夷平是 Davis 和 King 两种地貌演化理论的总体思路, 均具有连续性和渐变性, 而二者的本质差异为斜坡演化后退机理, 前者借鉴达尔文生物进化论思路, 强调一个地区地貌演化的宏观过程, King 理论主要针对干旱、半干旱地区斜坡在风蚀及热力作用下的均匀后退;

Tommasi 等<sup>[2]</sup>通过地质调查并采用 GPR 方法分析了缓倾角侏罗纪薄层灰岩的屈曲现象, 并通过数值模拟探讨了屈曲的形成机制, 认为地下水压力是边坡产生屈曲变形的的主要原因; Braathen 等<sup>[3]</sup>认为, 北欧挪威境内岩石边坡破坏与软质泥岩密切相关, 提出了边坡破坏的地质力学模型; 陈祖煜<sup>[4]</sup>运用岩土力学和工程地质方法系统, 建立了研制边坡稳定性分析的理论体系; 谷栓成等<sup>[5]</sup>和张慧梅<sup>[6]</sup>采用压杆原理, 建立了反倾向岩质边坡屈曲破坏的力学机制; 薛守义等<sup>[7]</sup>利用块体力学方法, 推导出层状和块状岩体边坡地震滑动位移微分方程式; 孙国富等<sup>[8]</sup>分

收稿日期: 2010-03-02

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 50678182); 重庆市重点自然科学基金 (No. 2008BA0015)。

第一作者简介: 唐红梅, 女, 1968 年生, 博士研究生, 研究员, 从事地质灾害、岩土工程及结构安全研究。E-mail: hmtang6778@sina.com

析了陡倾角外倾层状岩体边坡的破坏机制; Broadbent 等<sup>[9]</sup>对岩石边坡破坏的流变特性进行了分析, 提出了边坡流变模型; 刘宪权等<sup>[10]</sup>分析了岩体边坡的渐进性破坏过程; 王家臣等<sup>[11]</sup>建立了边坡渐进性破坏过程的三维随机分析模型; 张嘎等<sup>[12]</sup>通过离心模型试验, 陈亚军等<sup>[13]</sup>应用底摩擦仪较系统地揭示了均质土坡的变形及破坏过程; 针对安徽芜(湖)铜(陵)高速公路高边坡, 金培杰等<sup>[14]</sup>分析了层状碎裂结构岩体、顺倾层层状结构和块状岩体结构的破坏模式, 探讨了破碎结构岩体边坡的变形模式; 肖克强等<sup>[15]</sup>发现, 地震荷载下顺层岩体边坡的位移并不随坡高增加而单调增大, 坡高约 100 m 时位移达到最大值, 坡高超高 100 m 位移反而有所降低; 黄润秋<sup>[16]</sup>提出了滑移-拉裂-剪断“3 段式”机制、“挡墙溃屈”机制、倾倒变形机制、压缩-倾倒变形机制、阶梯状蠕滑-拉裂机制等 5 种高边坡破坏机制; 冯文凯等<sup>[17]</sup>利用底摩擦仪方法, 再现了某边坡变形破坏的全过程, 并对不同阶段的变形及最终破坏机制进行了分析, 得出缓倾顺层边坡属滑移-压致拉裂型破坏; 冯君等<sup>[18]</sup>利用地质模型试验方法, 选取渝怀铁路上某一典型顺层边坡, 对开挖边坡松动区范围进行了确定; 陈从新等<sup>[19]</sup>运用相似理论原理, 建立了地质力学模型, 分析了不同倾角情况下开挖顺层岩体边坡的稳定性, 得出了层面强度越大, 边坡越稳定, 岩层倾角越小, 边坡越稳定的结论; 黄润秋等<sup>[20]</sup>在汤屯高速公路顺层边坡现场工程地质条件系统调查的基础上, 对边坡的岩体结构类型及其成因机制、结构面与坡面组合特征进行细致研究, 并运用 FLAC3D 数值模拟手段得出了该公路顺层岩体边坡的变形机制, 并提出了相应的处治措施。

前述研究成果宏观上反映了开挖岩体边坡的变形失稳规律, 但基本未从微观的角度分析开挖过程中边坡所发生的力学行为。本文针对巫山-巫溪公路 k88 段岩体高边坡, 通过相似模型试验探讨边坡开挖过程中坡内关键部位位移、应力变化规律, 为进一步实施开挖边坡稳定性分析及安全预报提供科学借鉴。

## 2 工程概况

工程路段是重庆市巫山县至巫溪县二级公路 k88+720~k88+750 段。区内山体发育, 属低山斜坡地貌, 坡度为  $22^{\circ} \sim 33^{\circ}$ , 坡向为  $135^{\circ}$ , 本区属朝阳-官阳背斜南翼, 以单斜构造为主, 未发现断层及次级褶皱, 岩体较完整, 岩层产状为  $169^{\circ} \angle$

$24^{\circ}$ , 开挖后公路左侧将形成 15~26 m 顺层边坡, 右侧将形成 3~13 m 的反倾边坡。场地内出露地层主要为第四系全新统残坡积碎石土 ( $Q_{4el+dl}$ ) 及三叠系中统巴东组 ( $T_{2b3}$ ) 泥灰岩。

碎石土 ( $Q_{4el+dl}$ ): 松散~稍密, 干~稍湿, 以泥灰岩碎块石为主, 呈强~弱风化状, 形状不规则, 粒径为 2~15 cm, 含量为 60%, 土石比为 3:7, 土质不均匀。分布于斜坡中下部, 厚 0.5~1.4 m。

三叠系中统巴东组 ( $T_{2b3}$ ) 泥灰岩: 隐晶结构, 厚层状构造, 以方解石、黏土矿物为主, 岩芯呈短柱状, 柱状, 强风化岩体岩芯质中硬, 现场调查没有发现层间结构面有充填物质存在, 层厚 1.5 m 左右。

选取 k88+725 段面作为试验对象 (图 1), 左边坡分两级开挖, 第 1 级高度为 10 m, 第 2 级高度为 11.4 m, 开挖坡比为 1:0.3。右边切坡分一级开挖高度为 10.0 m, 第 2 级高度为 1.2 m, 开挖坡比为 1:0.3, 最大开挖深度为 13.99 m, 路基加附属设施宽度为 10.8 m。

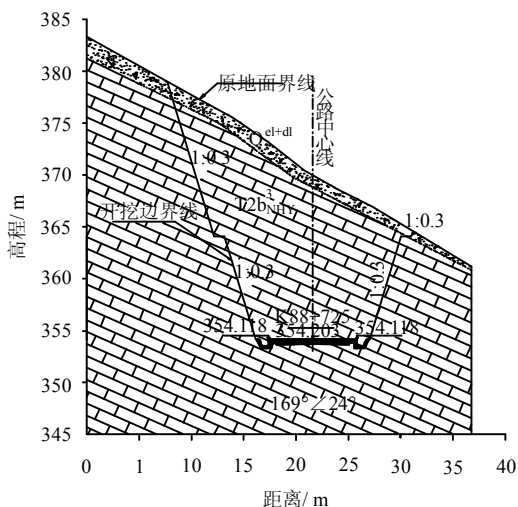


图 1 k88+725 地质剖面及设计方案

Fig.1 Geological profile k88+725 section and design scheme

## 3 模型试验方案

### 3.1 试验模型

本模型采用与实际工程路堑边坡为 1:30 的几何相似比, 模型左侧高 150.00 cm, 右侧高 59.43 cm, 宽 200 cm, 长 80 cm。用石膏-水泥砂浆预制岩层, 层间距为 5 cm, 倾角为  $24^{\circ}$ , 层间无填充。路堑分两级开挖左边坡 (坡比为 1:0.3), 中间设置一个平台; 右边坡 (坡比为 1:0.3), 中间设置一个平台。模型公路路基及两侧的排水等设施的总宽度为 36.33 cm, 第 1 级与第 2 级之间的平台宽度为 3.30 cm, 最大开

挖深度为 46.66 cm, 左边坡最大高度为 62.32 cm, 其中第 1 级为 33.33 cm, 第 2 级为 38.25 cm, 右边坡最大高度为 33.84 cm, 其中第 1 级为 33.33 cm, 第 2 级为 4.04 cm, 见图 2。

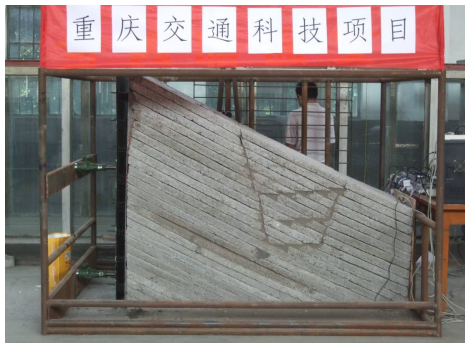


图 2 k88+725 试验模型  
Fig.2 Experimental model of k88+725

工程路段泥灰岩泊松比  $\mu = 0.28$ , 为满足相似条件, 则模型试验材料的泊松比必须达到或接近  $\mu = 0.28$ , 才能使试验精度较高。本次试验是采用石膏-水泥-砂加添加剂混合材料作为相似材料, 在实验室反复配比, 并做成试件试压, 得出了相应配合比参数, 见表 1。通过 5 组材料参数的对比分析, 得出第 1 组配比材料最适合做此次模型试验的相似材料。

表 1 模型试验相似材料设计

Table 1 Similarity material design of model experiment

| 配比<br>编号 | 硼砂:水:砂:水泥:石膏             | 重度<br>/(kN/m <sup>3</sup> ) | 抗压强度<br>/MPa | 弹性模量<br>/kPa | 泊松比     |
|----------|--------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|---------|
| 1        | 0.01:1:7.705:0.384:0.900 | 20                          | 1.35         | 16.50        | 0.285 5 |
| 2        | 0.01:1:7.705:0.642:0.642 | 20                          | 2.73         | 45.22        | 0.285 9 |
| 3        | 0.01:1:7.870:0.337:0.787 | 20                          | 1.32         | 20.00        | 0.269 2 |
| 4        | 0.01:1:7.990:0.699:0.300 | 20                          | 1.46         | 25.80        | 0.223 7 |
| 5        | 0.01:1:7.705:0.900:0.384 | 20                          | 1.35         | 29.35        | 0.215 5 |

### 3.2 水平荷载加载方法

由于该模型试验采用相似材料, 则不考虑自重应力, 仅考虑水平荷载。预制模型试验钢架其前部和底部固定, 后部用钢板固定在模型表面, 通过在钢板和模型钢架之间再用弹簧, 通过千斤顶施加水平荷载, 共 7 根弹簧模拟全部自重应力, 见图 3。

### 3.3 测试方法

试验模型制作时, 沿相应层面和坡体内的指定位置即板横向中心线, 埋设预埋件外挂百分表, 用以监测坡内位移, 见图 4。测试开挖施工条件下坡体内的变形规律, 并在不同层面上贴上应变片, 见图 5, 采用静态应变仪连续采集各测点的应变值,

获取开挖卸荷条件下边坡内应力调整规律。模型边坡按照 3 次开挖, 如图 6 所示。

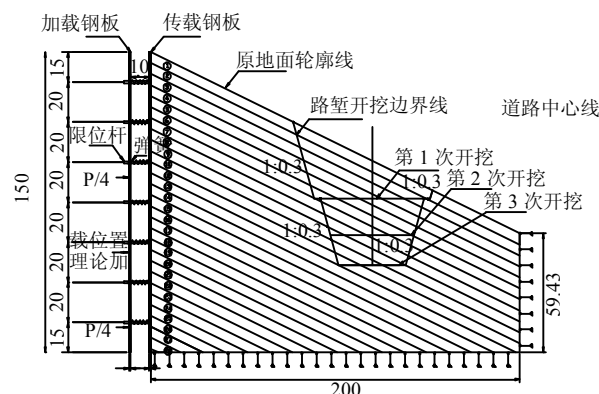


图 3 试验模型加载装置 (单位: cm)  
Fig.3 Loading equipment of experimental model (unit: cm)

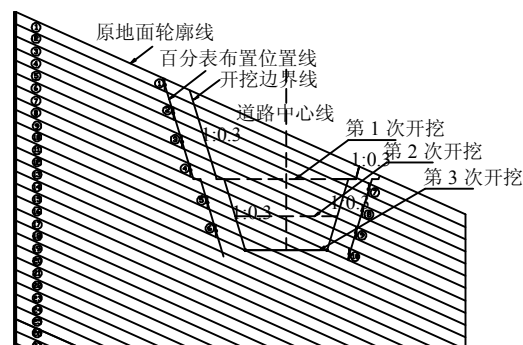


图 4 试验模型位移测点布置  
Fig.4 Positions of displacement observation in experimental model

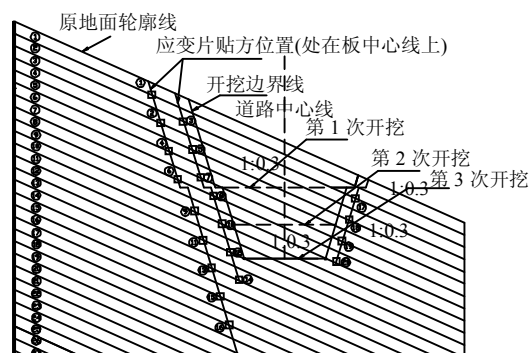


图 5 试验模型应力测点布置  
Fig.5 Positions of stress observation in experimental model

## 4 试验结果分析

### 4.1 位移变化过程

2008 年 9 月 29 日, 2008 年 10 月 4 日和 2008 年 10 月 10 日下午进行模型边坡开挖, 得到边坡水平位移曲线 (图 7) 和竖向位移曲线 (图 8)。位移

曲线表明,边坡开挖时无论是水平位移还是竖向位移均存在突变现象,在边坡同一点水平位移显著大于竖向位移。最大位移出现在坡顶位置(1<sup>#</sup>测点),水平位移和竖向位移分别达 13.21 mm 和 5.94 mm,坡顶出现明显的拉张裂缝。对比 3 次开挖后相对位移的增长量,第 1、2 次开挖位移增长量最为明显,开挖位移变化主要是在开挖后较短时间(5 h 内)内完成,随后位移变化不太明显,每一次开挖后 4 d 左右位移基本上趋于稳定。



(a) 第 1 阶段开挖



(b) 第 2 阶段



(c) 第 3 阶段

图 6 开挖

Fig.6 Step excavation

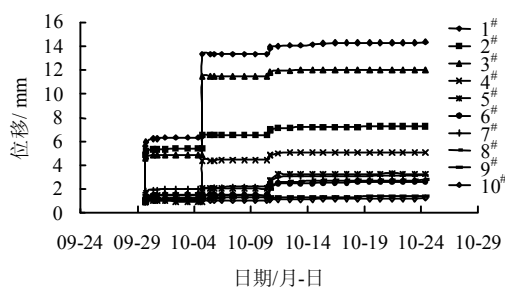


图 7 模型开挖过程中边坡水平位移曲线

Fig.7 Level displacement curves of slope in excavation of experimental model

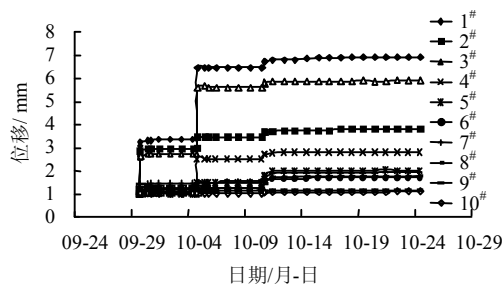
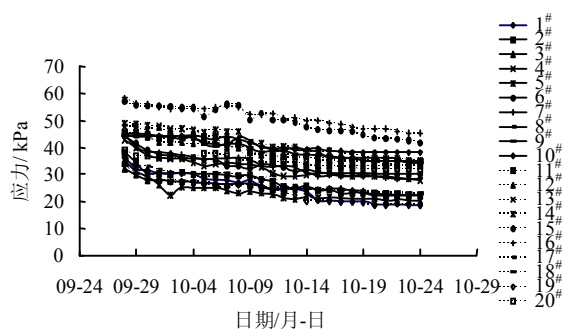


图 8 模型开挖过程中边坡竖向位移曲线

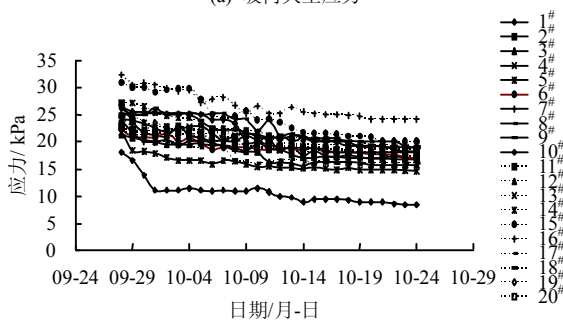
Fig.8 Vertical displacement curves of slope in excavation of experimental model in excavation of experimental model

## 4.2 应力变化过程

2008 年 9 月 25 日将应变片与数据采集仪相接,用 4 d 时间将边坡初始应力调整到稳定状态,自此开始逐步实施边坡开挖,连续观测到 2008 年 10 月 23 日,历时 30 d,得到 330 多万组数据,整理得到开挖过程中边坡内大小主应力变化曲线,见图 9。从应力曲线发现,边坡开挖过程中坡内应力调整过程复杂,应力衰减具有波动现象,不存在如位移表现出来的突变特征。从应力释放率来看,第 2 级坡上的量测点应力释放率最大,如 1<sup>#</sup>测点大应力从初始状态的 36.50 kPa 下降到 18.73 kPa,释放率达到了 48.5%,其他测点应力释放率一般在 30%左右。但随着开挖过程结束,坡内应力波动变化幅度逐渐减小,但持续时间长,10 d 后应力仍有微弱衰减趋势。



(a) 坡内大主应力



(b) 坡内小主应力

图 9 模型开挖过程中变化曲线

Fig.9 Stress curves of slope in excavation of experimental model

由于根据相似理论推导得出该试验模型的应力相似比  $C_\sigma = 36$ , 则实际模型相应部位的应力为试验结果的 36 倍, 但变化趋势相同<sup>[21]</sup>。

## 5 讨 论

边坡开挖卸荷, 变形增大, 应力调整已经是人所共知的岩土力学基本问题, 但针对公路高切坡, 相关技术规范规定采取分层开挖, 目前多数学者均关注开挖以后的边坡稳定性态<sup>[4, 18]</sup>及破坏机制<sup>[8, 12, 20]</sup>, 基本未探讨边坡分层开挖产生的变形及应力调整规律。本文对公路高边坡实施的分层开挖模型试验结果表明, 边坡位移对开挖过程反映比较敏感, 量值突增现象显著; 而应力调整则远比位移复杂, 存在显著的波动现象, 越接近坡脚波动越明显, 达到稳定状态所需的时间是位移稳定时间的 2 倍以上。边坡开挖过程中位移和应力反映的不一致性特征警示我们, 目前相关技术规范主要通过对边坡位移监测来监控边坡的安全性存在一定风险, 尤其是岩质边坡, 存在突发性失稳的地质安全隐患, 因此, 以三维应力监测为主、位移监测为辅的边坡监测方案应该是揭示边坡安全性态的有效途径。

## 6 结 论

(1) 依托实际工程, 按照相似理论并通过相似材料敏感性试验构建了公路高切坡物理试验模型, 详细描述了模型水平荷载施加方法、变形及应力测试方案, 给出了与工程施工方案吻合的 3 步开挖工况。

(2) 高切坡多工况开挖过程中, 位移峰值突增现象显著, 每次开挖后 4 d 左右变形区域稳定, 而应力调整随开挖过程的变化要复杂得多, 存在波动调整现象, 开挖过程结束 10 d 后坡内应力仍有衰减趋势, 表现出了边坡开挖在变形和应力方面显现的不一致性和应力调整的持续性。

(3) 基于模型试验揭示的边坡变形和应力变化规律, 提出了岩质边坡以三维应力监测为主、位移监测为辅的边坡监测优化方案。

## 参 考 文 献

- [1] RICHARD J C, STANLEY A S, DAVID E S. Geomorphology[M]. Cambridge: University Press of Cambridge, 1984.
- [2] PAOLO TOMMASI, LUCA VERRUCCI, PAOLO CAMPEDEL, et al. Buckling of high natural slopes: The case of Lavini di Marco (Trento-Italy)[J]. **Engineering Geology**, 2009, 2(2): 1—16.
- [3] BRAATHEN A, BLIKRA L H, KARLSEN S S. Rock-slope failure in Norway: type, geometry, deformation mechanisms and stability[J]. **Norwegian Journal of Geology**, 2004, 84: 67—88.
- [4] 陈祖煜, 汪小刚, 杨健, 等. 岩质边坡稳定分析——原理·方法·程序[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [5] 谷栓成, 张士兵. 岩石高边坡弯曲破坏的力学分析[J]. 西安科技学院学报, 2003, 23(1): 10—13.
- [6] GU Shuan-cheng, ZHANG Shi -bing. A force analysis of flexural failure of high rockmass slope[J]. **Journal of Xi'an University of Science and Technology**, 2003, 23(1): 10—13.
- [7] 张慧梅. 板裂介质岩体边坡的后屈曲性态[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2007, 22(4): 73—76.
- [8] ZHANG Hui-mei. Post-buckling behavior of rockmass slope sheet crack[J]. **Journal of Hunan University of Science & Technology (Natural Science Edition)**, 2007, 22(4): 73—76.
- [9] 薛守义, 王思敬, 刘建中. 块状岩体边坡地震滑动位移分析[J]. 工程地质学报, 1997, 5(2): 131—136.
- [10] XUE Shou-yi, WANG Si-jin, LIU Jian-zhong. Analysis of sliding displacements of rockmass slopes earthquake[J]. **Journal of Engineering Geology**, 1997, 5(2): 131—136.
- [11] 孙国富, 刘维宁, 陶运军, 等. 陡倾外层状岩石边坡的破坏机制与开挖模拟[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(6): 697—701.
- [12] SUN Guo-fu, LIU Wei-ning, TAO Yun-jun, et al. Failure mechanism and modeling of excavation effect for steep over-dip stratified rock slope[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2003, 25(6): 697—701.
- [13] BROADBENT C D. Rheology aspects of rock slope failure[C]//Proceedings of 13th Symp on Rock Mechanics. Illinois: [s. n.], 1971.
- [14] 刘宪权, 朱建明, 冯锦艳, 等. 水平厚煤层露井联合开采下边坡破坏机理[J]. 煤炭学报, 2008, 33(12): 1346—1350.
- [15] LIU Xian-quan, ZHU Jian-ming, FENG Jin-yan, et al. Mechanism of the slope failure of horizontal thick coal seam under the condition of combined mining[J]. **Journal of China Coal Society**, 2008, 33(12): 1346—1350.
- [16] 王家臣, 谭文辉. 边坡渐进破坏三维随机分析[J]. 煤炭学报, 1997, 22(1): 27—31.
- [17] WANG Jia-chen, TAN Wen-hui. Three dimensional

- stochastic analysis of slope progressive failure[J]. **Journal of China Coal Society**, 1997, 22(1): 27—31.
- [12] 张嘎, 王爱霞, 牟太平, 等. 边坡破坏过程离心模型试验的应力位移场研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(10): 2637—2641.
- ZHANG Ga, WANG Ai-xia, MU Tai-ping, et al. Study of stress and displacement fields in centrifuge modeling of slope progressive failure[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2008, 29(10): 2637—2641.
- [13] 陈亚军, 王家臣, 常来山, 等. 节理岩体边坡渐进破坏的试验研究[J]. 金属矿山, 2005, (8): 11—13.
- CHEN Ya-jun, WANG Jia-chen, CHANG Lai-shan, et al. Experimental research on progressive failure of jointed rock slope[J]. **Metal Mine**, 2005, (8): 1—13.
- [14] 金培杰, 李晓军, 戴玉, 等. 安徽芜(湖)—铜(陵)高速公路高边坡岩体结构特征与稳定性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(3): 30—34.
- JIN Pei-jie, LI Xiao-jun, DAI Yu, et al. The characteristic and the stability analysis of the high rock slope in Wuhu-Tongling Expressway, Anhui Province[J]. **The Chinese Journal of Geological Hazard and Control**, 2007, 18(3): 30—34.
- [15] 肖克强, 李海波, 刘亚群, 等. 地震荷载作用下顺层岩体边坡变形特征分析[J]. 岩土力学, 2007, 28(8): 1557—1564.
- XIAO Ke-qiang, LI Hai-bo, LIU Ya-qun, et al. Study on deformation characteristics of bedding slopes under earthquake[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2007, 28(8): 1557—1564.
- [16] 黄润秋. 岩石高边坡发育的动力过程及其稳定性控制[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(8): 1525—1544.
- HUANG Run-qiu. Geodynamical process and stability control of high rock slope development[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2008, 27(8): 1525—1544.
- [17] 冯文凯, 石豫川, 柴贺军, 等. 缓倾角层状高边坡变形破坏机制物理模拟研究[J]. 中国公路学报, 2004, 17(2): 32—36.
- FENG Wen-kai, SHI Yu-chuan, CHAI He-jun, et al. Study of mechanism of deformation failure of a low-angle bedded high slope with physical simulation method[J]. **China Journal of Highway and Transport**, 2004, 17(2): 32—36.
- [18] 冯君, 周德培, 李安洪. 顺层岩质边坡开挖稳定性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(9): 1474—1478.
- FENG Jun, ZHOU De-pei, LI An-hong. Research on stability of rock bedded slopes[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2005, 24(9): 1474—1478.
- [19] 陈从新, 黄平路, 卢增木. 岩层倾角影响顺层岩石边坡稳定性的模型试验研究[J]. 岩土力学, 2007, 28(3): 476—486.
- CHEN Cong-xin, HUANG Ping-lu, LU Zeng-mu. Study on correlation between stability of consequent rock slope and obliquity of rock layer by simulation experiment[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2007, 28(3): 476—486.
- [20] 黄润秋, 赵建军, 巨能攀, 等. 汤屯高速公路顺层岩质边坡变形机制分析及治理对策研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(2): 239—346.
- HUANG Run-qiu, ZHAO Jian-jun, JU Neng-pan, et al. Study on deformation mechanism and control method of bedding rock slope along Tang-Tun expressway[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2007, 26(2): 239—346.
- [21] 曹卫文. 顺层岩体边坡开挖过程模型试验[硕士学位论文 D]. 重庆: 重庆交通大学, 2009.

### ISRM Rock Dynamics Workshop 在中科院武汉岩土所召开

由国际岩石力学学会岩石动力学委员会发起, 中国科学院武汉岩土力学研究所承办的“ISRM Rock Dynamics Workshop”(国际岩石力学学会岩石动力学研讨会)于2010年12月11—13日在武汉岩土所召开, 来自新加坡、加拿大、美国、澳大利亚、挪威及国内中南大学、大连理工大学、武汉大学、武汉理工大学、同济大学、中国科学技术大学、南京大学、西北核技术研究所、长江科学院、武汉岩土所等单位从事岩石动力学研究的著名专家、学者30多人出席了本次研讨会。会议主要内容是交流岩石动力学最新研究成果, 对“Suggested Methods for Determining the Dynamic Strength Parameters and Fracture Toughness of Rock Materials”展开讨论并提出修改意见。

(信息来源: 中科院武汉岩土所网站)