

PROCEEDINGS OF THE THIRD NATIONAL
CONFERENCE ON ROCK DYNAMICS

第三届全国岩石动力学学术会议 论文选集

中国岩石力学与工程学会
岩石动力学专业委员会



武汉测绘科技大学出版社

PROCEEDINGS OF THE THIRD NATIONAL
CONFERENCE ON ROCK DYNAMICS

第三届全国岩石动力学学术会议

论文选集

中国岩石力学与工程学会
岩石动力学专业委员会



武汉测绘科技大学出版社

桂林, 1992年10月

内 容 简 介

本论文集选自 1992 年在广西桂林召开的“第三届全国岩石动力学学术会议”上交流的论文,共选编论文 69 篇。内容包括:岩石(体)动态力学性质与本构关系,岩体中波的传播与衰减规律,岩石动态断裂与破岩机理,岩石动力学在工程中的应用,岩爆机理与研究专题,抗基振动新技术及其应用专题六大部份,反映了我国冶金矿山、石油煤炭、水利交通、地质地震、建筑环保、国防科研等部门与系统近年来开展岩石动力学学科方面的研究与应用成果,基本代表了国内目前岩石动力学研究状况与水平,资料新颖、内容丰富,特别是在岩石动力学在工程中的应用与岩爆研究两大部份的文章,研究内容深,应用范围广,具有很强的实用性。

本论文选集可供从事岩土工程建设的广大工程技术人员,从事岩土力学研究的科研人员以及高等院校有关专业的师生参考。

第三届全国岩石动力学学术会议论文选集

中国岩石力学与工程学会 编
岩石动力学专业委员会
责任编辑 凌 雪

武汉测绘科技大学出版社出版发行
武汉水利电力大学印刷厂印刷

开本: 787/1092 毫米 1/16 印张: 38.12 字数: 552 千字

1992 年 11 月第一版, 1992 年 11 月第一次印刷

印 数: 001—400 册

ISBN 7-81030-219-1/P·30 定价: 28.60 元

前 言

《第三届全国岩石动力学学术会议论文选集》在各方面的支持与帮助下如期出版了,它汇集了本次会议有代表性的论文 69 篇,分岩石动态力学性质与本构关系、岩体中波的传播与衰减规律、岩石动态断裂与破岩机理、岩石动力学在工程中的应用、岩爆机理与研究、桩基检测新技术及其应用六大部分,反映了我国冶金矿山、水利交通、石油煤炭、地质地震、建筑环保、国防科研等部门与系统近几年来开展岩石动力学学科方面的研究与应用成果。

本届学术会议交流的论文不仅在数量上比前两届多,而且在内容上、学术水平上也均有提高,许多论文紧紧围绕科技面向国民经济建设这一中心议题,密切结合工程实际,具有很强的实用性。仅岩石动力学在工程中的应用与岩爆机理与研究这两大部分,就有论文 37 篇,占全部论文的一半以上,说明岩石动力学在国民经济建设中有很大的应用市场,范围日益扩大。在收集的论文中,一些基础性研究的论文,研究程度也较深入,并有一定的独到观点与创见。我们希望本次会议的召开与论文集的出版,有助于同行们相互之间的进一步了解,进一步切磋学问,研讨技术,加强合作,将我国岩石动力学学科研究推向一个新的水平,在国民经济建设中发挥更大的作用。

本论文集得以顺利出版,除了作者、编委的辛勤劳动外,应特别感谢中国科学院武汉岩土力学所、武汉水利电力大学、中国矿业大学北京研究生部、石油大学北京研究生部、中国科技大学、武汉测绘科技大学出版社等单位的大力支持,感谢他们为我国岩石动力学学科又出版了一部有意义的技术文集。

中国岩石力学与工程学会
岩石动力学专业委员会
一九九二年十月

《第三届全国岩石动力学学术会议论文集》

编辑委员会

主 任: 王武林

编 委: 王武林 孙 钧 朱可善 侯发亮 黄理兴 鲁先元

审 定: 黄理兴 侯发亮 王敏强

赞 助 单 位

中国科学院武汉岩土力学所

武汉水利电力大学

中国矿业大学北京研究生部

石油大学北京研究生部

中国科学技术大学

中国地质大学

冶金部建筑研究总院

阜新矿院科研所

长江三峡链、黄指挥部

山西矿业学院

西安冶金建筑学院

煤炭科学研究总院北京开采所

89002 部队

RSM 系列桩基信号检测分析仪 (武汉岩土力学所)

KS-2000 系列桩基信号检测分析仪 (武汉科声公司)

目 录

第一部分 岩石(体)动态力学性质与本构关系

散体岩石料层在不同应变率下的动态应力应变关系	宋守志、徐小荷 (1)
冲击荷载下花岗岩的动态本构关系	何翔、信礼田、李占甲等 (11)
岩石的力—位移曲线全过程的机理探讨	席道瑛、余耀国 (21)
含两组结构面模型的超动态试验研究	陈庆寿、何思为 (27)
花岗岩在 $10^2/s$ 应变率下的应力应变关系	楼为涛、张喜华、李豆、魏爱云 (38)
地震条件下岩块、水泥砂浆块静、动摩擦系数及 弹性模量的试验研究	马良筠、田传让、宋逸先、江泉、孙海峰 (46)
一种估算岩石弹性模量的方法	周家惠、楚泽涵、乔文孝 (54)
PVDF 在 Hopkinson 杆上应力测量的应用	郑承来、席道瑛 (57)
岩石类试件的动静态拉断实验技术	张喜华、楼为涛、李豆 (62)
40° 岩石快速压力机增设抗拉装置的研制	徐兆有 (67)
地质力学模型试验数据采集处理系统	黄文云 (74)
围压 SHPB 试验理论与应用	吴德伦、叶晓明、张平 (85)

第二部份: 岩体(石)中波的传播与衰减规律

岩石中声发射波衰减的实验研究	李造鼎、秦四清 (95)
花岗岩破裂中的光脉冲和声发射特征	席道瑛、谢端、周大庄 (103)
岩石在单轴压缩下声发射的特征	席道瑛、黄建华 (110)
声波测井进展	楚泽涵、乔文孝 (116)
岩体中爆破震动波的传播特征	杨桂桐 (125)
II 类岩体中隧洞冲击振动参数的实用计算方法	宋熙太、赵玉祥 (133)
岩石在不同应力波加载下的动态响应	李夕兵、古德生、赖海辉 (142)
球面波在线粘弹性介质中的传播	邓德全、李兆权 (152)

第三部份: 岩石动态断裂与破岩机理

束状炮孔爆破机理动光弹试验研究	杨仁树、杨永琦(162)
爆破裂纹长度与岩石力学指标关系的研究	陶纪南(169)
高应变率下岩石动载特性对爆破效果的影响	于亚伦(180)
岩石爆破破碎的能量分析	郭子庭、吴从师(185)
冲击荷载下岩石破碎机理的研究	单仁亮、杨永琦、赵统武(193)
爆破动载荷折算系数的确定	丁玲方(199)
用分形分析 (Fractal analysis) 研究岩石的断裂破碎和风化 ...	黄国祥、卢巧媛(204)

第四部份: 岩石动力学在工程中的应用

埋藏倾斜基岩对水平地面地震反应的影响 ...	王余庆、焦亦凡、高抱平、周根寿(210)
广州抽水蓄能电站二期地下厂房开挖爆破施工对一期厂房已运行机组 震动影响的实测与安全控制研究	陶履彬、孙钧(216)
用离散元法分析岩质边坡的动力稳定	王光伦、张楚汉、陈昌伟(224)
黄河黑山峡大柳树坝址松动岩体形成机制的平面动力有限元分析	朱济祥、薛堃成、张玉峰、孙滔(237)
一个危岩体变形破坏机理的时程响应分析及地震反应谱分析研究	徐卫亚、赵占朝、蔡德明(251)
攀矿尖山排土场滑坡预报模型的建立与应用	钟长江、李林(262)
动力法在地勘工作中的运用与开拓	刘国霖(267)
跨孔CT层析成像技术在探测工程地质中的应用	姚琦、黄理兴、鲁先元、沈育民、高鹏飞(273)
采用声波技术检测矿山竖井井筒塌方范围与注浆效果	黄理兴、鲁先元(282)
从现场声波测试结果分析地应力的一种途径	张杰、黄理兴、杨春和(289)
长江三峡链子崖危岩体声发射监测	陈开端(297)
钻进碎岩过程中的声发射监测	张大伦、刘宝林(303)
隔河岩水利枢纽基岩动力特性研究	汪天翼、鲁先元(312)

活滑坡滑床带现场大型直剪及声波测试	阮 福(322)
含油量不同的砂岩阻尼特性与动弹模分析	吴亚平(334)
断裂构造隔震效应的初步研究	吴少武、蔡钟业(343)
三峡坝址深风化槽基岩特性研究	鲁先元、汪天翼(352)
估算砂、泥岩岩层孔隙度的新方法	楚泽涵、黄贺雄(358)
控制岩体活动的地质因素分析	阎树魁(368)
承压水上采煤的理论与实践	王作宇、刘鸿泉、王培彝、于树春(375)
冲击荷载下散体岩料的能量耗散与动压固效果	李夕兵、古德生、赖海辉(386)
岩土中传感器动态测量的有关问题	曾辉(392)
硅酸盐素水泥试件的动态拉伸试验	李豆、魏爱云、田若燕(399)

第五部份： 岩爆机理与研究

岩石损伤模型与岩爆机理解释	陈明祥、侯发亮(404)
岩爆的突变理论分析	费鸿禄、徐小荷(412)
岩爆综合理论及其应用	张国、郑永学(422)
岩体系统失稳研究的单位荷载法	赵阳升、孙钧、章梦涛(430)
岩爆数值模拟与预测	陆家佑(436)
岩爆成因再分析及烈度划分探讨	侯发亮、刘小明、王敏强(448)
特深埋门形洞室岩爆及其防治——锦屏岩爆分析	王敏强、侯发亮(458)
冲击地压发生与顶板性质的关系	王淑坤、张万斌(467)
洞室岩爆及其治理分析	王槟、陆家佑(473)
隧洞岩爆机制物理模型试验研究	杨淑清、陆家佑(485)
粘弹塑性介质中钻孔岩爆滞后问题的探讨	徐曾和(495)
中点约束弹性嵌固梁岩爆发生的充要条件	徐曾和(506)
煤爆或岩爆的机理分析	李玉、李国景(517)
锦屏二级水电站引水隧洞岩爆初步研究	单治钢(523)

第六部份: 桩基动测新技术及其应用

一种分析桩—土相互作用的好方法	王武林(538)
桩基完整性检测中桩身缺陷程度的定量评估方法	黄秀云、李金山(548)
桩基检测中承载力预测的试验研究	郭卫东、张用谦、黄国祥、方正忠、陈夫(561)
桩尖打入岩层端承桩动测曲线的探讨	王庆林(571)
完整桩动测导纳响应的数学模型基本特性及其应用	雷林源(577)
桩基质量判释中的频谱分析	牛绍卿(589)
新型桩基分析仪简介	刘明贵、李祺(594)
编后	(597)

CONTENTS

Part I: The nature of the dynamic mechanics of rock and constitutive equation

The dynamic stress – strain relation of bed of rock material under high strain – rates	Song shouzhi, Xu xiaohu (1)
The dynamic constitutive relation of granite under impulsive loading	He xiang , Xin Litian et al (11)
Study of micro – mechanism of the complete F – u curve of rock	Xi Daoying , Yu Yueguo (21)
The study of superdynamic test of the model with two group structure faces	Chen Qing sou, He siwei (27)
The Stress – strain behaviour of granite at high Strain rate (10^{+2} s^{-1})	Lou weitao, Zhang Xihua et al. (38)
The study of dynamic friction coefficients and elastic modulus of rock and cement grout in the earthquake condition	Ma Liangjun, Tian Chuanrang et al. (46)
A method to estimate the elastic modulus of rock	Zhou Jiahui, Chu Zehan, Qiao Wenxiao (54)
Application of PVDF in the measurement of stress on the Hopkinson Bar	Zheng Chenglai, Xi Daoying (57)
Experimental technique rupturing the rock specimens under dynamic and static state	Zhang Xihua, Lou Weitao, Li Dou (62)
The development of getting additional tensile device for 40 [°] rocks rapid loading tester	Xu Zhaoyou (67)
The system of data gather and data processing for the model experiment of geomechanics	Huang Wenyun (74)
The application and test theory of SHPB under confining	

pressureWu Delun, Chu Zehan, Qiao Wenxiao (85)

Part II The Law of propagation and attenuation of wave in rockmass

Measuring the quality factor Q of rock specimens by applying the acoustic
emission technique and the fracture mechanics
methodLi Zaoding , Qin Siqing (95)

Light pulses and characteristics of acoustic emission in fracture of
graniteXi Daoying, Xie Duan , Zhou Da zhuang (103)

Characteristics of acoustic emission of rock under uniaxial
compressionXi Daoying , Huang Jianhua (110)

Progress of acoustic loggingChu Zehan, Qiao Wenxiao (116)

The propagation character of the detonation wave in the
rock mass Yang Guitong (125)

Computational methd of shock parameters on tunnel liners of the
II rock mass.....Song Xitai, Zhao Yuxiang (132)

Dynamic response of rock to impulsive loads with different
waveformsLi Xibing , Gu Desheng, Lai Haihui (142)

Propagation of spherical wave in linear viscosity
mediumDeng Dequan, Li Zhaoquan (152)

Part III The mechanism of rock dynamic fracture and rock breaking

Study on the mechanism of bundle - holes blasting with the dynamic
photoclasticityYang Renshu, Yang Youngqi (162)

Study of the relation between the lenth of explosive crack and the parameters
of rock mechanicsTao Jinan (169)

The influence of the rock dynamic character to explosive effect under
high strain rateYu Yalun (180)

An energy analysis of rock fragmentation by
blasting..... Guo Ziting, Wu congshi (185)

Study of rock breaking mechanism under percussive loads	Shan Renliang , Yang youngqi, Zhao Tongwu (193)
Determination of convert coefficient of blasting dynamic yield	Ding Lingfang (199)
Fractal analysis applied to research failure and weathering in rocks	Huang Gaoxiqng, Lu Qiaoyuan (204)

Part IV The application of rock dynamics in engineering

The effects of underlying inclined bedrock on the seismic response of the upper ground	Y. Q. Wang, Y. F. Jiao, Y. P. Gao, G. S. Zhou. (210)
The study on the critical safety of operating generators in established underground power station which are affected by vibration resulting from the explosion of succeeding openings by site measuement of a pumping hydropower station in Ghuang Zhor	Tao Lubin, Sun Jun (216)
Dynamic stability analysis of rock slopes by distinct element method	Wang Guanglun, Zhang Chuhan, Chen Changwei (224)
The planar dynamic finite element analysis of formation mechanism of loosened rockmass of Daliushu Dam area in Heishan Gorge on Yellow River	Zhu Jixiang, Xue Xicheng et al (227)
The time response analysis of the deformation failure mechanism and the study of the earthquake response spectrum for hazardous rock mass	Xu Weiya , Zao Zancao, Cai De ming (231)
Establishment and application of the landslide forecasting model in Jinshban wasteplite of Panzhihua Mining Co	Zhong CangLin , Li Lin (242)
The application and development of dynamic method in exploration	Liu GuoLin (267)
The application of engineering geological exploration using the method of cross hole and CT tonography	Yao Qi , Huang Li Xing Lu Xianyuan et al (273)

Test of cave—in range and grouting effect in mine shaft	
wall by acoustic wave technology.....	Huang Li Xing, Lu, Xian yuan (282)
A way of the stress analysis from the site measurement of elastic	
wave	Zhang Jie, Huang Lixing, Yang Chunhe (289)
The acoustic emission monitoring of the hazardous rockmass of	
Sansia	Chen Kan Duam (297)
Acoustic emission monitoring of rock drilling	
process	Zhang Dalun, Liu Baolin (303)
Study of dynamic character for the dam foundation of GeHe Yan	
Hydro-Junction	Wang Tianyi, Lu Xianyuan (312)
The direct shear test and sonic measurement on the slipface of active	
slide in site	Ruan Fu (322)
Analysis of the damping character and dynamic elastic modulus of	
sandstone with different oil content	Wu yaping (334)
The initial study of structural fault to cut off the shock	
effect	Wu shao wu, Cai Zhong ye (343)
Study of character for the weathering bed rock of dam foundation	
in Sansia	Lu Xianyuan, Wang Tianyi (352)
A new method for estimating the porosity of sand—shale	
sequence	Chu Zehan, Huang He Xiong (358)
Analysis of geologic elements to control rockmass	
movement	Yan Shukui (368)
Theory and practice of coal mining in the condition of confined	
water ...	Wang Zuoyu, Liu Hong qian Wang peiyi, Yu shunchun (375)
Dynamic reinforcing of bulk rockmass under impulsive	
loads	Lu Xibing, Gu Desheng, Lai Haihui (386)
Relevant problem of transducer dynamic measure in	
rock—soil	Zeng Hui (392)

Dynamic tensile experiment for silicate plain cement

specimensLi Dou , Wei Aiyun, Tian Ruoyan (399)

Part V Study and mechanism of rock blasting

Damage model of rock and mechanism of rock

blasting Chen Mingxiang , Hou Faliang (404)

The sudden change theory of rock blastingFei Hong lu, Xu Xiaohu (412)

Study of the theory of rockburst and it's

application Zhang Guo, Zheng Yongxue (422)

The unit loading method used in the instability study of rock

systemZhao yangsheng , Sun Jun, Zhang Mong Tao (430)

The numerical- analogy and forecast of rockblastingLu Jieyou (436)

Re- analysis of rockburst mechanism and discussion on the gradation of

the rockburst intensity

..... Hou Faliang, Liu Xiao Min, Wang Minchiang (448)

Rockburst in specially buried door- form cavity and its prevention

.....Wang Minchiang, Hou Faliang (458)

The relation between rockburst occuring and the properties of

roofWang Shukun, Zhang Wanbin (467)

The rock blasting in cave and it's harness Wan Bin, Lu Jieyou (473)

Study of physical model of the rock blasting mechanism in

tunnelYang Shuqing , Lu Jieyou(485)

Investigation of the bore rock blasting hysteresis in visco- elastic- plastic

mediumXu Zenghe (495)

The sufficient and necessary condition of rock blasting in the elastic fixing

girder with mid- point restrainedXu Zenghe (506)

Analysis of rock or coal blasting mechanism Li Yu, Li Guojing (517)

Preliminary study of rock burst for the diversion tunnel of Jin Ping II

hydroelectric project Shan Zhigang (523)

Part VI : The new technology of dynamic testing of pile and application

The editorship and application of "new pile wave analysis program"	Wang Wulin (538)
The mothed of ration estimating the extent of defect in the integrity test of pile	Huang Xiuyun, Li Jinshan (548)
Study of forecasting in the pile loading capacity	Wu Weidong, Zheng Yongqian , Huang Guo Xian et al. (561)
The investigation of dynamic test curve of the end support pile	Wang Qinlin (571)
Characteristic and application of admittance response model of the perfect pile	Lei Linyuan (577)
The spectrum analysis in pile quality grade estimation	Niu Zaoqing (588)
The intruduction of new model pile analytical instrument	Liu Minggui , Li qi (594)

岩石料层在不同应变率下的动态应力应变关系

宋守志 徐小荷

(东北工学院)

提 要

用自行研制的散体矿岩动态粉碎性能测试装置, 对岩石料层的动态应力应变关系在 $5.8 \times 10 \sim 1.0 \times 10^3 \text{ S}^{-1}$ 三种应变率下作了实验研究。试验结果表明, 岩石料层粉碎效果依赖于应变率, 随着应变率的提高, 料层粉碎效果得到进一步改善, 其吸收的单位粉碎功所形成的似表面积, 将随之减少。岩石料层的动力特性, 可用 Cristescu 提出的拟线性塑性本构方程来描述。

关键词: 岩石料层, 应变率, 动态本构方程。

一、 引 言

许多粉碎矿岩的机械, 其粉碎力基本上是冲击载荷问题, 冲击载荷是以载荷作用的瞬时性为其特性。试验表明, 在不同的应变率下岩石的动态力学性质, 存在着明显的差异。岩石料层在冲击载荷作用下的动态粉碎过程, 接近于岩石粉碎机械的工况, 研究岩石在不同应变率下的动态本构关系, 具有实际意义。

高应变率下的岩石料层力学性能研究在实验上的主要困难在于: 试验中必须建立一种松散的岩石试验料层动态粉碎性能测试装置; 试验中必须考虑试验装置和试验料层的应力波传播效应; 试验中必须解决试验料层内部微秒量级的动态力学量的测试技术。自从 Kolsky^[1]提出和采用分离式 Hopkinson 杆 (SHB) 研究材料动态力学性质以来, 各种类型的 SHB 冲击试验装置已被广泛用来研究材料在 $10^2 \sim 10^4 \text{ S}^{-1}$ 应变率下的力学性能^[2]。这种测试装置的实质, 是将整体材料试样夹在两段铜杆 (即弹性输入杆和弹性输出杆) 之间, 经驱动杆冲击后, 通过测定弹性输入杆的入射波、反射波和弹性输

* 国家自然科学基金资助项目

出杆的透射波即可计算出材料试样的力学性质和破碎功,但是这种装置不能用于测定松散的岩石料层的动态粉碎性能。

К. И. 西可夫^[3]提出的捣碎筒装置可以测定松散岩石料层的粉碎程度和比功,但是这种测试装置不能捕捉松散的试验物料内部应力应变的瞬变信息;由于靠自由落体获得冲击速度的冲击杆,其提升高度受限制,因此不便于研究应变率对矿岩料层粉碎效果的影响。

各种类型的 SHB 冲击试验装置已被用来研究材料在 $10^2 \sim 10^4 \text{ S}^{-1}$ 应变率下的力学性质,其试验材料除金属外,也包含岩土材料。对于岩土材料,不少学者^[4-6]曾用 SHB 装置在 $10^2 \sim 10^3 \text{ S}^{-1}$ 的应变率范围内作了研究,已有的研究主要集中在整体材料试样,对于松散的岩石料层动载性质有瞬时应力对应变率的敏感性,尚未见报导,这方面的工作有待于展开。本文给出了四种岩石料层的有关实验研究成果。

二、 试验方法

本实验方法依据的基本原理是应力波理论。我们对实验装置做以下假设:

1. 岩石料层在波动过程中的永久位移,属于大变形,因此可以在料层位移曲线测试系统中,忽略冲击杆的小变形。
2. 应力波在料层中往返一次,约百余微秒,在冲击荷载作用的脉冲周期内,至少可往返 7~8 次。料层经应力波多次反射后,使两个界面应力达到平衡,可以忽略波在料层中的传播效应,在粉碎过程中,岩石料层的应力趋于均匀化,应变趋于均匀化。
3. 岩石料层其底部相当于固定端反射。

岩石料层粉碎试验,在自行研制的矿石料层动态粉碎性能测试装置上进行^[7],其结构和测试系统由图 1 所示。为获得不同应变率,试验装置的冲击速度选取三个速度组: 5m/s, 10m/s 和 15m/s。试验料层选取黄砂岩、花岗岩、绿色大理岩和南芬铁矿石等四种岩种。试验物料的粒径为 10~15 毫米。每次试验用料为 100g。每种岩石料层每个速度组作三次实验。

用 PZT 型压电陶瓷制成的压力传感器,埋入试验料层内部,直接捕捉冲击载荷信息。用光池制成的位移传感器,通过冲击杆上的挡光片获取料层位移信息。冲击速度信号由光敏二极管制成的速度传感器获得。

由压电式压力传感器捕捉料层中的载荷信息,经电荷放大器,输入到瞬态波形存储器第 I 通道,并作为内触发信号;位移传感器检测料层位移信号,经前置放大,输入瞬态波形存储器第 II 通道。速度传感器获取的信息,经整形后,由计时器记录时间。