

PROCEEDINGS OF THE SECOND NATIONAL
CONFERENCE ON ROCK DYNAMICS

第二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 SECOND NATIONAL
CONFERENCE ON ROCK DYNAMICS

第二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

宜昌·1990年10月

内 容 简 介

本论文集选自1990年召开的“第二届全国岩石动力学学术会议”上交流的论文。它基本代表了我国目前岩石动力学研究的状况与水平。是建国以来国内在该学科方面首次出版的论文选集。

本论文集共选编论文55篇,内容包括:岩石动态力学性质与本构关系,岩石中应力波传播与衰减规律,岩石动态断裂与破岩机理,岩石动力学在工程中的应用,应力波理论在桩基工程中的应用,试验设备与技术六大部分。资料新颖,内容丰富,具有一定的实用价值。

本论文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。

第二届全国岩石动力学学术会议论文集

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
武汉水利电力学院印刷厂印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 35.5+0.6 字数: 1080千字
1991年10月第一版 1991年10月第一次印刷
印数: 201—500

ISBN 7-301-030-055-5 P·17 定价: 20.60元

前 言

第二届全国岩石动力学学术会议将于十一月八日~十三日在宜昌市召开,这次会议在中国岩石力学与工程学会领导下由岩石动力学专业委员会主办,并得到了葛洲坝水电工程学院,武汉水利电力学院,中国科学院武汉岩土力学研究所的支持和帮助。

近年来,随着我国经济建设和能源开发,规模巨大的地面和地下岩石工程日益增多,在工程建设中遇到了大量复杂的岩石力学问题,其中不少是岩石动力学方面的问题。广大岩石力学、岩石动力学工作者,通过广泛的岩石力学理论分析和试验研究,成功地解决了或正在解决着这些问题,像防护工程方面的爆炸冲击应力波传播及岩石—结构相互作用问题,大型水电站高地应力区的岩爆问题,煤矿的冲击地压、煤和瓦斯突出的问题,重大工程和矿山开采中各种控制爆破的理论和实践问题……等,还有建筑工程地基处理中的桩基质量和承载力的动测技术问题,亦是岩石动力学工作者正在试验研究解决中的重大问题。

为了总结交流经验,通过全国酝酿推荐,会议收到了来自全国各行业各部门的论文摘要共68篇。经过中国岩石力学与工程学会岩石动力学专业委员会组织了论文评议,选取了其中55篇,分别归纳为岩石动态力学性质与本构关系、岩体中应力波传播与衰减规律、岩石动态断裂与破坏机理、岩石动力学在工程中的应用、应力波理论在桩基工程中的应用、试验设备与技术六个专题,汇编成集,这些论文都是当前岩石动力学研究前沿的经验、成果。其中不少代表着我国岩石动力学的当前水平。我相信会议的召开和论文的出版,必将进一步加强学术交流促进我国岩石动力学的发展,使岩石动力学在我国实现社会主义现代化经济建设和国防建设中发挥更大的作用。

衷心地感谢对成功地举行这次会议和出版论文集做出贡献的各方人士,向会议筹备工作的全体成员,向葛洲坝水电工程学院、武汉水利电力学院、中国科学院武汉岩土力学研究所等单位表示衷心的感谢。

中国岩石力学与工程学会付理事长
岩石动力学专业委员会主任委员

王武林

90.9.15

《第二届全国岩石动力学学术会议论文集》

编 辑 委 员 会

主编 王武林

编委 王武林 孙 钧 黄理兴

侯发亮 盘 石 鲁先元

审订 黄理兴 侯发亮 王敏强

赞 助 单 位

中国科学院武汉岩土力学研究所

武汉水利电力学院

葛洲坝水电工程学院

长江三峡链、黄指挥部

长江科学院岩基室

冶金部建筑研究总院抗震所

RSM桩基信号检测分析仪(武汉岩土力学研究所)

目 录

特 邀 报 告

链子崖危岩体工程地质特性简介

刘国森 谢子云 (1)

一、岩石动态力学性质与本构关系

块状岩体振动模型与动力反应分析方法 薛守义、王思敬、张镜新 (3)

✓ 岩石的全程应力应变曲线及岩爆倾向指数分析
..... 侯发亮、宋一乐、李永勇 (21)

在核爆荷载作用下地下岩层中圆形复合衬砌的弹塑性动力响应
..... 史维粉、杨科之 (28)

闪云斜长花岗岩在单轴压缩状态下AE活动的规律研究
..... 邵庆云、鲁先元 (33)

岩石动态与静态杨氏模量的对比测量研究
..... 耿乃光、郝晋升、李纪汉、刘晓红、方亚如 (50)

水泥冲击绝热线测量 杨慕松 (55)

二、岩体中应力波传播与衰减规律

地下封闭爆炸的地表剥裂 林俊德 (65)

岩石中应力波传播特性的实验研究 席道瑛、谢 瑞 (74)

岩土中应力波传播规律 杨仁华、李茂生 (84)

冲积土中爆炸地震效应的实验研究
..... 耿乃光、刘长泰、喻明德、孙天泽 (95)

冲击凿入系统效率的研究 单仁亮、杨永琦、赵统武 (103)

柱状装药应力波衰减规律的模型试验研究 李守巨 (111)

柱状装药爆炸应力场的计算机数值模拟 李守巨、何庆志 (117)

岩体内爆炸冲击波的理论研究 张 奇 (126)

锻锤冲击下岩石地基振动波的传播和衰减	邓安福	(114)
--------------------------	-----	-------

三 岩石动态断裂与破岩机理

岩石动态断裂韧性和位移张开量的测定	舒金和、徐小荷、唐春安	(115)
含结构面岩体预裂爆破研究	高文学、刘清荣	(150)
岩石断裂的微观机理研究	秦四清、李造鼎、林韵梅	(160)
动态碎岩机理的实验研究	林丽川、高森、丁向宇	(172)
光面爆破断裂成缝机理的研究	张立国、李守巨、何庆志	(191)
钢筋混凝土框架结构承重立柱爆高计算	吴文伟、王来贵	(183)
钢筋混凝土框架结构的控制爆破设计程序研究	汪浩、黄伟、陈东鲍	(193)
矿岩结构面与地下中深孔爆破	陶纪南、张占国、张克利、黎培中	(20)
施工工作面炸药爆炸对浇注混凝土结构物初凝时间的影响	刘增荣	(214)
径向聚能药包切割岩石爆破参数的计算	费鸿禄、何庆志、李守巨	(227)
广东核电站结构基础开挖控制爆破	尹国	(233)
断裂力学在岩爆分析中的应用	肖望强、侯发亮	(244)

四、岩石动力学在工程中的应用

核爆情况下防空地下室与外部管线的相对运动及其接合研究	孙钧	(25)
冲击地压、煤和瓦斯突出的统一失稳理论探讨	章梦涛、徐曾和、潘一山、赵阳升	(266)
根据钻孔崩落资料确定江苏地区深部地壳应力方向	吴少武、许忠淮、高阿甲、张绍治	(276)
土坝孔隙水压力产生、扩散和消散的三维有效应力动力分析及程序实现	郑颖人、吴胜元、张德徽	(288)
岩体渗流水动力参数的反演分析	周志芳	(304)
用Kaiser效应测定地应力的几个问题的探讨	邓荣贵、傅小敏	(312)
无底柱分段崩落法下盘地压的研究	曹祥海	(321)
冲击地压失稳理论及其应用	徐曾和、章梦涛	(312)

采区内圈定冲击地压危险区域的研究	靳钟铭、赵阳升、贺军、康天合、张惠轩 (341)
地下洞室岩爆发生的失稳模式及判别准则	潘一山、徐曾和、章梦涛 (353)
某城市越江隧道结构的抗震性能设计与加固	孙 钧 (364)
深圳地应力状态及其区域稳定性评价	张景寿 (374)
清江隔河岩水利枢纽坝基建基面弹性波速度分区的试验研究	鲁先元、汪天翼 (386)
采用声波技术勘测链子崖危岩体力学特性的研究	黄理兴、吴亚平 (392)
G型加载途径下岩石的声发射及超声波衰减特性	徐东强、周昌达、许昭永 (401)
某大型地下工程岩土特性及有关动参数的测试问题	张金富 (411)
云南省部份岩石力学特性动静对比及相关分析	阮 福 (418)
天生桥隧洞岩爆与掌子面附近的应力关系	宋一乐、侯发亮 (424)

五、应力波理论在桩基工程中的应用

凯斯法测定桩基承载力	王武林 (436)
锤击波动法测定桩基完整性的理论与实践	黄理兴 (451)
关于桩基动测中应力波速的探讨	张用谦、陈原辉、赵 滨 (465)
应力波法判断桩基质量的计算机模拟	胡景坤 (470)
挖孔桩在基坑开挖中的应用	蔡长庚 (479)
桩基动测中的信号增强技术	程乐平、何纪风、刘明贵、张启敏 杨燕军 (485)

六、试验设备与技术

三轴SHPB装置的研究	王 林、于亚伦 (492)
土中速度传感器的动力匹配问题初探	俞儒一、王永根 (499)
大型多用液压试验机研制及用途分析	梁政国、潘宝海、杨翠凡 (509)

CONTENTS

Special Subject Report

The brief introduction of the engineering geology feature of the dangerous rock masses at Lian ziya	Liu GuoLin Xie Shouyi	(1)
---	--------------------------	-------

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

The Vibrating modets of black rockmass and dynamic response-analytic methods	Xue Shouyi Wang Sijing Zhang Jingjian	(9)
The complete stress-strain response on the rock and anatysis of rock burst tendency inndex	Hou FaLiang Shong YiLe Sang Dayong	(21)
Elastic-plastic dynamic responses on circular complex linings of underground rock layers under nuclears explosion loadings ...	Shi Weifeng Yang Keyuang	(29)
The study of law of amphibloe-plagioclase-granite's AE behaviour in uniaxial compressive state	Sao qingyun Nu Xianyun	(33)
Comparative measuremental study on dynamic and static Young's modulus of rocks	Gen Naiguang	
..... Hao Jinsheng Li Jihan Liu Xiaohong Fang Yaru		(50)
Measurements of the hugoniont for the cement	Yang Musong	(55)

Part II : The law of propagation and attenuation of stress wave in rockmass

The surface spatt of closed underground explosion	Lin Junde	(65)
---	-----------	--------

Experimental study of propagational properties of stress wave in rock	Xi Daoying Xie Duan	(74)
The law of stress wave propagation in rock and soil	Yang Renhua Li Maosheng	(84)
The experimental study on seismic effect of explosion in alluvial soil	Geng Naiguang Liu Changtai Yu Mingde Sun Tianze	(95)
The study of impact system efficiency	Shan Renliang Yang Yongqi Zhao Tongwu	(103)
Model test study about the stress wave attenuation law of cylindrical charge	Li shouju	(111)
Computer simulation of blasting stress field under the cylindrical charge	Li Shouju He Qingzhi	(117)
The theoretical research on explosion shock wave in rock body	Zhang Q	(126)
Propagation and attenuation of vibration waves in rock base under hammer-producing shock	Ben Aili	(134)

Part II : The mechanism of rock dynamic fracture and breaking rock

Determination of dynamic fracture toughness and the groove opening displacement for rock	Shu Jinhe Xu xiaohe Tang Chunan	(143)
Study of the pre-splitting blasting in rockmass with constructting faces	Gao Wengxue Liu Qingrong	(150)
Research on rock fracture micro-mechanism	Qin Siqing Li Zaoding Lin Yunmei	(160)
An experimental study of dynamic breaking rock mechanism	Lin Lichuan Gao Sen Ding Xiangyu	(170)
Study about the mechanism of making-crack in the smooth blasting	Zhang Liguo Li Shouju He Qingzhi	(181)

Blast-high calculation of load-carrying upright column of frame construction of reinforced concrete	Wu Wenwei Wang Laigui	(188)
Research for program design of control blasting of reinforced concrete frame structures	Wang Hao Huang Wei Cheng Dongbao	(198)
Structural faces of mineral rockmass and blasting in the middle- deep holes	Tao jinan Zhang Zhanguo Zhang Keli Li peizhong	(205)
The effect of the initial coagulating time of the pouring concrete construction by the explosion on the construction face	Liu Zengrong	(214)
Calculation for the parameters of cutting rock by radial accumulating energy charges	Fei Hongnu He Qingzhi Li Souju	(227)
Controlled Blasting of structural base excavation for Guang Dong Nuclear Power Station	Ying Guo	(233)
Application of the fracture mechanics in the rockburst	Xiao Wangqiang Hou Faliang	(244)

Part IV : The application of rock dynamics in engineering

Study on the relative movement and joint of air defence cellar and outside pipeline under nuclear explosion	Sun Jun	(255)
The inquire into instable theory on coal rock burst and outburst	Zhang Mengtao Xu zenghe Pan Yisan Zhao Yongsheng	(266)
The Orientation of crustal stress determined from borehole breakouts in Jiangsu Area	Wu Shaowu Xu Zhong huai Gao Ajia Zhang Shouzhi	(276)

3-D dynamic analysis of generation diffusion and dissipation of pore-water pressure in earth dam and realization of program Zheng Yinren Wu Shengyuan Zheng Decheng	(288)
Inversion computation of mechanical parameter of seepage in fissured rockmass Zhou Zhifang	(304)
The study of several problems of measurement for stress of rock in effect of Kaiser Deng Ronggui Fu Xiaomin	(312)
A study of foot wall underground pressure of sublevelled caving method Cao Xianghai	(321)
The instability theory for coal rock burst and application Xu Zenghe Zhang Mengtao	(332)
Study on enclose dangerous sections of pressure bump in working section Jin Zhongming Zhao Yuangsheng He Jun Kang Tianhe Zhang Huixuan	(341)
Instability model of underground chamber under rock burst and it's criterion Pan Yisan Xu Zenghe Zhang Mengtao	(353)
Design of anti-seismic properties for across river tunnel in one city and it's reinforcement Sun Jun	(364)
Ground stress state and it's evaluation of local regional stability in Shenzhen Zhang Jinshou	(386)
Experimental study of region classification by elastic wave velocity for the dam foundation face of Qingjiang-Geheyan hydro-junction Lu Xianyuan Wang Tianyi	(386)
Measuring mechanical character of dangerous rockmasses at Lianziya with acoustic wave technology Huang Lixing Wu Yaping	(392)
Characteristics of acoustic emission and attenuation of ultrasonic wave at the stress paths of G model in rocks Xu Dongqiang Zhou Changda Xu Zhaoyong	(401)
The test problem of dynamic parameter and specific property about rock and soil in one big underground engineering Zhang Jinfu	(411)

The correlative analysis and contrast dynamic with static state about some rocks parameter in Yunan	Yuan Fu	(418)
The relations between rockburst and stresses around the stope in Tien sheng qiao tunnels	Song Yile Hou Fatiang	(421)

Part V : The application of the stress-wave theory in pilefoundation engineering

Determination of bearing capacity for piles with Case method	Wang Wulin	(436)
Theory and practice of dynamic testing piles complete character by the hammer striking method	Huang Lixing	(451)
The Discussion on velocity of stress-wave in dynamic test of pited foundation	Zhang Yongqian Chen Yuanhui Zhao Bin	(465)
Analog analysis of stress wave method testing for pile-fault	Hu Jingkun	(470)
The application of digging hole piles in excavating basic pit	Chai Zhanggern	(479)
The technology of signal strengthen in pited foundation measure	Chen Leping He Jifen Liu Minggui Zhang qimin Yang Yanjun	(485)

Part VI : The experiment equipment and technology

The study of triaxial SHPB equipment	Wang Lin Yu Yatun	(492)
Preliminary study on dynamic matching for velocity transducers in soil	Yu Ruyi Wang Yonggeng	(499)
The manufacture and effect analysis on large multipurpose hydraulic pressure test machine	Liang Zhengguo Pan Baohai Yang Cuifan	(509)

特 邀 报 告

链子崖危岩体工程地质特性简介

刘国霖、谢守益

(葛洲坝水电工程学院)

提 要

具上硬下软双层结构的外倾陡坡, 受侧向结构面切割的无联结巨形块体, 存有顺软层滑移崩滑的危险, 由于侧向承压面产状变化和鼓凹程度的差异, 形成锁闭点, 造成暂时的稳定状态, 但蠕变和蠕变中的瞬时烈变迹象明显, 是长江三峡地区应尽快防治的大型地质灾害之一。以企以最小的投入, 获最优的结果。

一、前 言

链子崖危岩体位于长江三峡的西陵峡西段兵书宝剑峡出口段的南岸, 与新滩滑坡隔江对峙, 紧锁长江黄金水道的咽喉, 成为长江上的著名险滩河段, 历史上曾多次发生崩滑断航、碍航事件, 现南北向700多米长的陡崖地段, 有众多肢解陡崖岩体的宽大深切裂缝, 直观险象丛生, 由于 $T_8 \sim T_{12}$ 缝段的威胁最大, 其失稳不但危及长江航运, 对两岸人民经济建设生命安全也有极大影响, 并威胁着三峡水电站施工的安全, 是悬在领导和人民头上的危石。这些裂缝, 经20多年的连续长期观测, 其年变率为2~3mm/年, 88年7月26日, 民工曾惊闻 T_8 缝的岩体撕裂声, 水马门陡崖壁的中下部产生了鼓凸变形的剪张破坏, 这些均显示了裂缝变形加剧。国务院采纳了一些专家的建议, 批准了对这一地质灾害的防治, 开展了勘测试验和设计工作。本处断续进行了二十多年的调查研究工作, 有连续完整的监测成果, 区内不但露头完好, 且有一定量洞孔勘探工程, 资料十分丰富, 加上有大小失稳块体蠕变位移的自然试验, 提供了宝贵信息和准确的力学参数, 可成为世界上较完美的工程地质博物馆, 也应是地质工程成功应用的场所, 可展现我国较高一流水平的成果。

二、地质背景

(一)、地形地貌及自然条件

链子崖危岩区属黄陵背斜西翼，是碳酸盐岩所构成的中高山区。就研究区而言，是单斜构造所形成的南北向单面山系，长江大约成 115° 流向南东，近于横穿岩层走向，为横向谷，故链子崖单面山系的岩层倾向上游，以较缓的视倾角偏向河床。本段河床横断面呈V型嶂谷，70米高程江面宽约300米，江底深达3~18米，两岸边坡陡达 $65\sim 70^{\circ}$ ，链子崖顶高程为180~500米，崖高约60~100米。链子崖东侧为志留系砂页岩层所形成的山间中低山洼地，故顺江方向成明显的阶梯状地形，由东向西有近南北向展布的天池河，猴子岭，筲箕洼三级宽缓斜坡。筲箕洼、猴子岭分别立于链子崖上下，筲箕洼斜坡长1300米，宽200~400米，缓坡基底基本受层面控制，基底面上堆积了古崩滑堆积块体，形成了 $25\sim 30^{\circ}$ 的自然斜坡。北有长江割切，东有中低洼地展布，使链子崖的北东两侧成为高60~100多米的临空自由面。

本区属亚热带季风气候区，具平均气温高、空气湿润，降雨充沛，少冰雪严寒的特点，区内降雨时段相对集中，雨季为5~9月，雨量占年雨量的66~70%，常形成局部暴雨中心，日降雨量达111.1~149.3mm。长江水量丰沛、变化巨大，江水位变幅新滩为38米。

(二)、地层构造

1. 地层

本区出露了S-P的各系地层，表部为第四系堆积。志留系中统纱帽群的杂色砂页岩层展布于东侧中低山地带，泥盆系中统云台观组厚层石英砂岩与石炭系中统黄龙组的厚层白云质灰岩等组成链子崖东侧的次一级陡崖，此陡崖之上即为二叠系下统马鞍山组煤系地层所形成的缓坡，上述四组地层之间均为平行不整合接触。

链子崖由厚192米多的二叠系下统栖霞组灰岩组成，坚硬的栖霞灰岩与下伏软弱的马鞍山组煤系组成了链子崖上硬下软成二元结构的高陡边坡。

马鞍山组煤系地层，厚1.6~4.2米，底部为古风化残留的黄褐色泥岩，下为炭质泥岩、页岩、砂岩和灰岩；中为炭质泥岩夹1~4煤层和灰岩透镜体，煤层多为扁豆状，厚0.3~0.7米，薄者仅0.1米；上部为炭质泥岩、页岩，厚1米左右，层间挤压强烈，在顶部及中部有挤压破碎带形成的泥化夹层，在泥化夹层的界面上，有光滑的摩擦镜面和多期擦痕以及石膏结晶体，节理发育，完整性差，破碎强烈，具散体结构特性，其力学强度低，易软化泥化，且连续性好，是构成底面滑移的优势面，也是危岩体变形破坏的最终底界，是危岩体稳定分析中的关键层(001)。

栖霞灰岩下部为中厚层至厚层瘤状灰岩夹薄层钙质页岩，总厚为28米左右。其中钙质页岩分布持续稳定，但厚度变化大，厚仅5~20厘米，因瘤状灰岩层面的起伏差大，爬坡角陡，不易构成危岩体的底界，仅在个别极端情况下成为不稳定楔块的底界。

中部为厚至巨厚层状灰岩夹含炭泥质灰岩和泥质条带灰岩，总厚85米左右，中含厚度大于20厘米，分布稳定的含炭钙质页岩软层3层，编为201，202，203层，已具错动下滑特性，是岩体中失稳破坏的破裂结构面。

上部，底层为18米左右的厚至巨厚层状灰岩，其最底层的含炭钙质页岩连续性好，分布稳定，编号为301，亦已具错动滑移特性，是岩体中失稳破坏的破裂结构面。

上部中间为厚37米左右的中厚层疙瘩状灰岩夹薄至中厚层钙质泥岩、页岩，其下部厚44厘米，延伸稳定的泥岩层401与402是表层岩体顺层蠕滑的滑移面。

上部上层为厚24米左右，厚至巨厚层与中厚层至厚层疙瘩状灰岩夹薄至中厚层钙质泥岩。

二叠系下统茅口组灰岩，分布于九子撵母沟以西的鸡公岭地区。

2. 构造

区内属单斜构造，岩层产状基本稳定，近崖边产状为走向北30度东倾向北西、倾角29~30度，向南则变为北50度东倾向北西、倾角30~32度。宏观的产状为北37度东倾向北西、倾角30度。

区内断层少而小，规模属Ⅲ—Ⅳ级结构面，以近南北向倾向东的陡倾断层为主；近东西向倾向北的陡倾断层次之；北北东向倾向南东，倾角70~80度的断层亦有展布。这些断层大多构成了危岩性的边界切割面。

区内裂隙以走向近东西倾向南，倾角75~90度的裂隙组最发育；近南北倾向东，倾角75~90度的节理组亦有频繁展布，此两组裂隙，构成了大小不同规模危岩体的切割边界。走向北北西，倾向北东，倾角75角左右，与走向北东，倾南东或北西，倾角60度左右的裂隙，常成为前两组裂隙发育的追踪面。

本区由于受有近期差异性断裂活动的仙女山、九湾溪断层的活动影响，基岩受Ⅵ度地震影响的峰值水平加速度，用100年超越概率5%条件下 $1.48 \text{伽} (\text{m/sec}^2)$ 。

三、物理地质环境

倾角30度以上的单斜构造所组成的地形，又有成层的软弱夹层分布，在溪流刻切了下部支撑岩体后，其本身就成为很好的滑移场，形成顺层的滑坡。所以研究区，特别是筒窑洼斜坡上，有雷劈石滑坡堆积体，这是对研究区的潜在威胁。

九子撵母沟的下切，不单造成箐箕洼斜坡的滑移场，也造成了西侧由茅口灰岩等所组成的更高一级的陡崖，这级陡崖，在向东的卸荷作用下，在400米高程以上，产生一系列崩积锥，以近崩积裙的形式展布。在400米高程以下，则为鸡公岭座滑体。这一大的座滑体中，又有一些小的复式座滑现象。西侧的座滑应影响九子撵母沟的发育。从九子撵母沟的刻切深度与小青滩的两条溪沟相比，明显不协调。九子撵母沟似已被迫东迁过。

链子崖本身，也由于向北和向东临空面的卸荷作用以及采煤挖空，造成下虚上实，发生不均匀沉陷变形等原因，产生了向北向东的一些崩塌。如1524年，在北侧水马门产生20万方的大崩塌，崩塌体分布面积约7000平方米，堆积体中心最大厚达50米。崩积方向为北15度东，这一巨石杂陈的堆积体，在120米高程以下，对陡崖有一定的支撑作用。东侧猴子岭亦有3处醒目的新崩积体，最大的是300米高程以上，长约200米，宽约100米，体积约10万方，呈不规则扇形分布的巨大块石崩积体，块度由10~1000余立方米，普遍架空无充填。次为150~300米高程之间，长140米，宽60米，体积约4万方的崩塌体，呈不规则长条状分布，长轴方向为北40度东，显示了崩塌滚动特性。最小的崩塌体，位于黄龙灰岩陡壁下，90~135米高程之间，长80米，宽20米，呈长舌状分布，体积仅1万立方米。由下而上，规模由小而大，显示了链子崖陡崖由北而南，变形崩塌的差异特性。也可阐明向东的崩塌，对长江航运影响甚微。

由链子崖的平面形态，水马门式的崩塌变化，说明链子崖陡壁是由北而南，由西而东呈位错式的累进发展。

四、主要工程地质问题

险象丛生的链子崖在南北长约700米、东西宽30~180米范围内，被17个裂缝组计62条深大裂缝所肢解，形成了南、北、中较为直观的三个不稳定块体区。

1. 南区： $T_0 \sim T_6$ 缝段。 $T_0 \sim T_6$ 及其支缝，纵横切割构成网状系统，裂隙宽，切割大多已深达煤层。 $T_0 \sim T_5$ 缝，呈北40~60度西展布，水平延伸短，全部终止于西边界的南北向 T_6 缝。近期的宏观变形有： T_0 缝明显增宽加长，形成地表覆盖层下陷， $T_0 \sim T_6$ 缝有明显拉张和下沉闭合的不同变化，所有观测点均显示有强裂下沉现象，展示了这86万方被肢解切割的岩体，有失稳产生崩滑的可能。但本处临空面是反倾方向，产生滑移的可能性不大。只能在不均匀沉陷条件下，产生累进式的倾倒崩塌。由于崖脚已有大的架空块石堆积层作为垫层，不会派生冲击式滑坡，其失稳的危害不大。在进行全面防治工程时，可放到后期进行。