

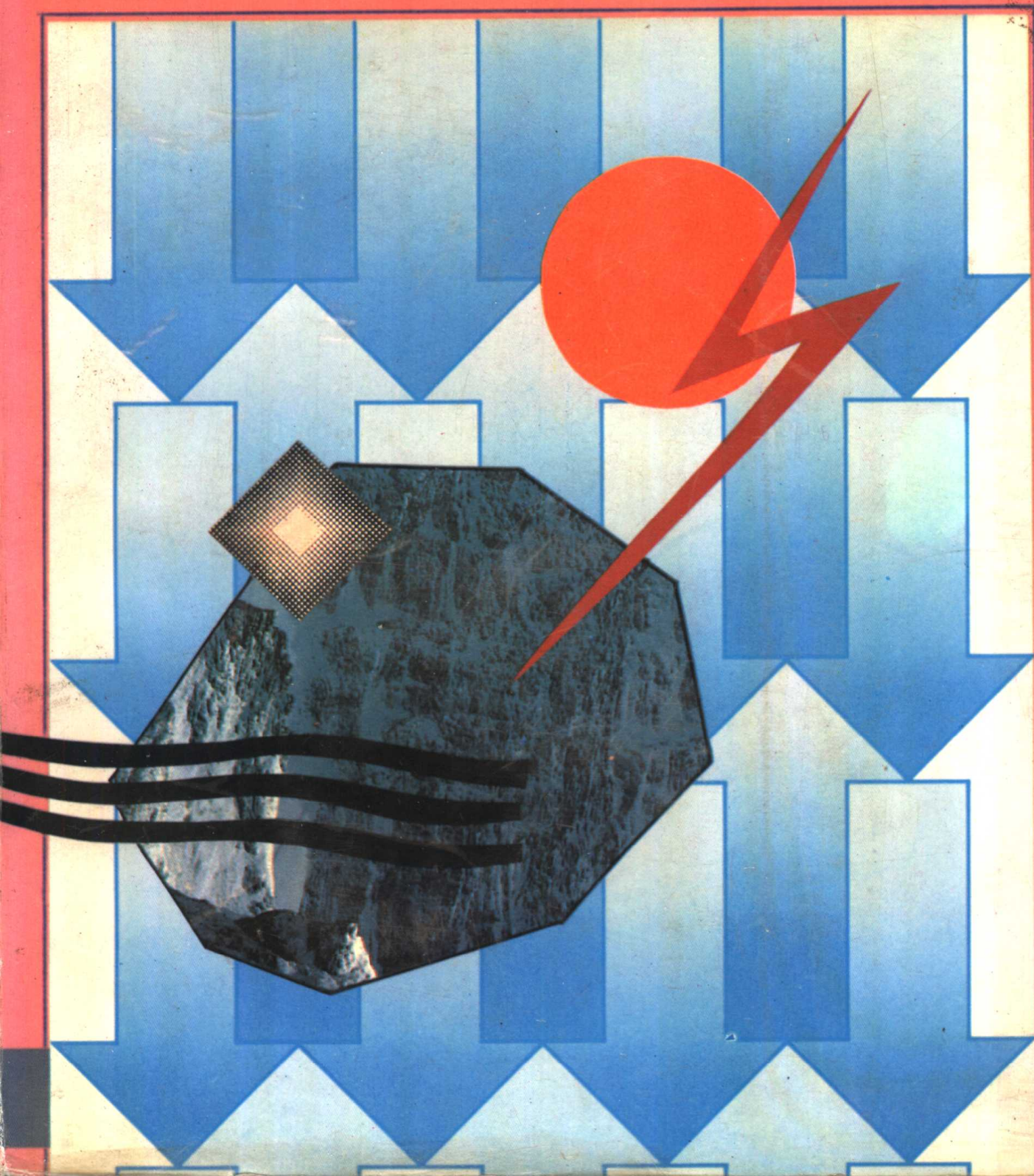
水电与矿业工程中的 岩石力学问题

中国北方岩石力学与工程应用学术会议文集

1991年11月9日—12日 郑州

魏群

主编



科学出版社

水电与矿业工程中的岩石力学问题

中国北方岩石力学与工程应用学术会议文集

1991年11月9日—12日 郑州

科学出版社

内 容 简 介

本书为中国北方岩石力学与工程应用学术会议论文集,收入学术论文105篇。全书内容丰富,涉及面广,反映了我国岩土工程科技工作者近年来在水电与矿业工程中岩石力学问题的研究水平。内容有:综述与专题报告、本构模型与数值方法、工程应用、原形量测与模型试验以及岩土工程稳定性与可靠度,专家系统及反演理论。本书可供有关科研、设计、教工和施工部门的同志在工作中学习、参考。

水电与矿石工程中的岩石力学问题

中国北方岩石力学与工程应用学术会议文集

1991年11月9日—12日 郑州

责任编辑 徐宇星 林 鹏

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100707

河南省郑州信息工程所计算机制版承印

1991年10月第一版 开本: 787×1092 1/16

1991年10月第一次印刷 印张: 51

印 数: 0001—500 字数: 1000 000

ISBN7-03-002868-6/O·539

定 价: 57.00 元

水电与矿业工程中的岩石力学问题

中国北方岩石力学与工程应用学术会议文集

1991年11月9日—12日 郑州

主 办 单 位: 河北省岩石力学与工程学会
河南省岩石力学与工程学会
山东省岩石力学与工程学会
中国岩石力学与工程学会金川分会
中国岩石力学与工程学会大同分会
中国岩石力学与工程学会数学模拟
与物理模拟专业委员会

组织委员会 主任: 张镜剑(以下以姓氏笔画为序)
委员: 马启超 冯 豫 刘同有 许世亮
宋永津 沈光寒 金铭良 周维垣
徐林生 袁澄文 董遵德 穆智宏
魏 群

论文编辑委员会 主编: 魏 群
委员: 马启超 马荫模 刘义学 宋恕夏
宋振 张玉续 张镜剑 郑双良
金铭良 周维垣 周鸿钧 袁澄文

编 委: 张世宝 郑恒祥

序

近几年来,随着我国现代化进程的飞速发展,各类岩土工程日新月异,数值分析与仿真计算、地质力学模型试验等一系列新理论、新方法和新技术在水利水电工程、铁路公路桥隧、煤炭、石油开采、矿山开发、地下建筑、地震及地热开发等岩土工程方面得到了应用,促进了岩石力学的发展。

中国北方岩石力学学术会议就是在这种形势下由河北、河南、山东岩石力学与工程学会、中国岩石力学与工程学会金川分会、大同分会和数学模拟与物理模拟专业委员会联合发起,在中国岩石力学与工程学会和各省科协支持关怀下召开的。这是一件十分可喜的事情。

这本论文集共收选这次会议的 105 篇论文,作者有从事岩土工程多年的专家、教授,也有从事岩土工程的年轻一代,体现了岩土工程后继有人,反映了年轻一代对岩土工程的执着追求。论文的内容主要是数值计算、试验研究以及工程中的应用,涉及到有限元、边界元、散体元、岩体本构数学模拟,结构模型试验,地基处理、边坡稳定、锚喷支护和岩土测试以及与岩石有关的各个领域,内容比较之泛,既有一定的理论深度,又有独特的创见,又直接为生产服务,解决了一些在岩石工程中存在的问题。这本论文集是从事岩土工程方面技术人员辛勤劳动的结晶,从另一个侧面反映了我国岩石力学的发展,可供水利水电、煤炭矿山、工程地质等方面从事岩土工程专业的技术人员参考。

中国北方岩石力学学术会议的召开和这本论文集的出版,无疑会对我国岩石力学的发展和对岩土力学及工程的研究将起促进作用。我相信,从事岩石力学与工程方面的科技工作者今后必定会取得更多的优秀科技成果,为祖国的社会主义建设作出新的贡献。

目 录

第一部分 综述与专题报告

水库岩坡滑坡灾害研究与预测	张镜剑 (3)
岩石力学在煤矿坚硬顶板控制中的应用及展望	宋永津 (7)
山东煤矿岩石力学、矿山压力与岩层控制的发展与展望	沈光寒 (20)
河南省岩石力学与工程学会工作概况及今后展望	董遵德 (24)
金川矿区岩石力学工程与金川岩体稳定性分析法	金 川 (27)
岩石力学数值计算及模型试验专业委员会工作概况 及有关的研究进展	周维垣 陆家佑 (33)
岩体软弱夹层剪切试验若干准则的评述	袁澄文 董遵德 (38)

第二部分 本构模型与数值方法

地下采场矿柱空间稳定性的三维 有限元法分析	孙 钧 陆浩亮 迟建平 (53)
无底柱分段崩落采矿法 采场地压显现规律的有限元法研究	高 谦 (60)
可望推广的一种实用方法 弹性均质条件下三维有限元图谱——位移反分析	杨志法 (67)
煤矿采场顶板破断规律的三维有限元模拟	王可钧 刘保国 (75)
分形几何在岩体断裂损伤力学中的应用	周维垣 剡公瑞 (82)
岩体地应力场的最小二乘边界配点法	马启超 阮 青 (92)
层状节理岩体应力分析中的边界元法	李仲奎 (102)
断层滑动速率的一种数学反演方法	刘 洁 宋惠珍 (111)
论坝基扬压力分析的数学模型	刘 中 张有天 (117)
一种新型的岩石强度准则	陈炽昭 张孟喜 朱文喜 (126)
矿山岩体变形稳定性问题	章梦涛 潘一山 刘成丹 (134)
孔隙水压作用下煤体有效应力 规律的研究	段康廉 赵阳升 张 文 胡耀青 (139)
重力坝深层抗滑稳定可靠度分析	高延伟 黎保琨 (153)
支护荷载反演反安全度预测	刘怀恒 (161)
应用最优化方法确定边坡临界滑面位移	王 青 (169)
“广义虚拟支撑力法”的理论基础	朱合华 杨林德 (175)
层状结构岩体边坡稳定问题判定方法	刘德兴 (180)

对时间序列分析的建模问题初探	郑璐石	郑颖人	(187)
利用神经网络预测岩石或岩石工程的力学性态			
——一种类似经验公式的方法	张 清	宋家容	(192)
适用于采矿工程专家系统的不确定性推理方法		姚建国	(199)
岩基上重力坝深层抗滑稳定安全度分析及其			
模糊数学方法	沈保康	韦津波	彭祖赠 (207)
坝基尾岩的模型分析	李桂英	吴沛寰	(214)
地基动力特性的反分析		黄河清	(221)
椭圆散体元——一种模拟颗粒材料的新方法		魏 群	(224)
放顶煤开采法顶煤破碎规律的数值模拟研究		张顶立	(233)
变基础梁的解及对顶板断裂和压力分布的影响分析	谭云亮	赵卫东	(242)
开挖倾斜煤层引起的地表移动计算		蒋斌松	(248)
高档面 π 型梁对棚的工作特性及使用效果分析	王国际	高 鹏	(256)
按多点支承的连续板确定喷锚支护			
参数的设计计算方法		张 勇	(261)
可压缩瓦斯气体在煤层中渗流规律的数值模拟	梁 冰	章梦涛	梁 栋 (270)
轴向力与横向力共同作用下层状岩体的临			
界荷载问题		肖 远	(276)
油矿地层可钻性统一分级的探讨	尹宏锦	邹德永	(282)
岩层中处置放射性废物的密封问题	杨 达	陈彦岭	(288)
煤层底板岩体导水破坏判据的探讨	李加祥	张文泉	李白英 肖洪天 (294)
回采参数与煤层底板破坏深度关系的研究	张文泉	李加祥	温兴林 (298)
斜结构与地基共同作用的厚板有限元分析		冯卫星	(305)
围岩动态位移监测有效性分析及其洞室稳定性判定		马如坤	(316)
巷道围岩分类	刘夕才	林韵梅	(321)
用多裂隙理论研究多裂隙岩体的破坏特性		张国新	(327)
模糊数学在煤矿直接顶分类中的应用		刘纯贵	(338)
钻头与地层相互作用模型及其应用	高德利	徐秉业	(343)
有限元法研究地形对采动引起的岩层及地表			
移动的影响		戴华阳	(352)
隧洞复合支护受力数值分析	翟恩地	王桐封	(356)
巷道支架荷载反算方法		朱珍德	(373)
具有弹性—永久变形地质材料的本构方程		章根德	(380)
混凝土、岩土、金属材料动—静态统一的			
剪胀屈服准则	胡铸华	倪国荣	(386)
岩石力学数值计算中三级模块式的程序设计方法		王可钧	(394)
矿井突水失稳理论的初步探讨	杨新安	章梦涛	(398)

第三部分 工程应用

论下向胶结充填采矿法的大面积开采	金铭良 (407)
内外应力场理论及其在矿压控制中的应用 ... 宋振琪 宋 扬 刘义学	蒋金泉 (415)
金川矿山地下工程地压特征及维护	宋恕夏 包四根 (423)
采场坚硬顶板来压步距与来压强度的模型计算	贾喜荣 刘国利 徐林生 (432)
金川露天矿东部采场的边坡变形破坏分析	郭树高 (441)
金川龙首矿新 1 号竖井边坡稳定性的分析	卢建全 (449)
三峡工程岩石力学参数选择	田 野 (456)
大同“三硬”条件放顶煤开采及顶煤破碎研究	田利军 (462)
新水村尾矿库深埋回水管道受力分析	戚银生 任宝珍 (472)
大姚铜矿采场围岩破坏时的声发射特征	徐东强 谢 源 周昌达 (478)
伊敏河露天煤矿一露天矿区边坡稳定性 分析及优化设计	祝景忠 高 谦 柴建禄 (485)
充分变形离散单元法及其在采矿中的应用	王泳嘉 邢纪波 (493)
关于冲击地压的类型与治理途径的探讨	王乃鹏 (500)
长壁工作面老顶初次断裂步距及类型	蒋金泉 (509)
大采高工作面矿压显现规律的实验模拟研究	刘先贵 范炜琳 (520)
岩石承载特性的研究	潘立友 (526)
丰宁县牛圈银金矿露采边坡稳定性的 有限元分析	刘唐生 苏伯苓 刘振英 郭春奎 陈华晨 (531)
山东金乡矿区煤层开采覆岩破坏及地表沉陷预测	隋旺华 (541)
唐山陵河土坝在库水位升降时的饱和 ——非饱和渗流数值分析	苏向明 (549)
南京富贵山隧道监控量测	陆林强 罗 琼 (555)
惠州港搬山填海大爆破概述	杨保东 (568)
高应力区不良岩层中深埋巷道的新奥法施工	赵德刚 (577)
黄河小浪底水库工程泄洪、发电引水建筑物 进口高边坡稳定性研究	潘别桐 郑谅臣 刘丰收 曹美华 (589)
二滩水电站弱风化节理岩体灌浆加固后力学性能 参数的变化研究	剡公瑞 周维垣 杨 强 (597)
拉西瓦拱坝三维非线性有限元分析	杨若琼 杨延毅 陆正勇 周维垣 (606)
锚喷支护设计与围岩监测在十三陵抽水蓄能 电站勘探洞中的应用	齐俊修 张 云 (617)
岩石在不同端部结构体中的强度和破坏特征	高京泽 (626)
走向长壁开采时水平移动规律的新研究	连传杰 吴 戈 (631)

钻孔测井在模型与参数

- 识别中的应用 于师建 吴 戈 沈光寒 孙振鹏 庞连姿(637)
- 用模糊综合评判法对大连地区风化板
岩体进行分带 何东辉 易振芝 许劲松 (645)
- 坑道工程中的复合式结构 宋熙太 (653)
- 网状顶梁强度及其受力状况的分析 张希平 (658)
- 论立井地压监测点优化布置 王渭明 (666)
- 岩体屈服准则的基本性质 俞茂宏 刘世煌 安 民 谷 江 (674)
- 蛟潭后山滑坡及其治理 沈洁清 苏伯苓 孙鸣改 (680)
- 水口水电站主围堰塑性混凝土防渗墙有限
元应力应变分析 高传昌 高钟璞 魏 群 迟世春 章美文 (688)
- 庙宫水库大滑坡及其危害 孙德彰 (701)

第四部分 原形量测与模型试验

用地质力学模型试验方法研究断裂构造对东江

- 拱坝变形及坝肩稳定的影响 王 宙 陈兴华 (709)
- 模拟基岩产状、地应力的光测结构试验研究 章美文 魏 群 张镜剑 (718)
- 锚杆支护洞室受力反应与破坏形态比例模型
试验研究 顾金才 沈 俊 (726)
- 用白光散斑法测量小块体地质力学模型
的位移场 孙志恒 王良元 要芝萍 (734)
- 用超硬材料测定岩石研磨性 尹宏锦 闫懿华 (740)
- 混凝土动三轴破裂的试验研究 鞠庆海 吴绵拔 (746)
- 解除有冲击危险煤柱的试验与分析 侯志鹰 (754)
- 地应力测量与煤矿设计关系的浅析 王振安 (762)
- 岩石的低频杨氏模量和衰减系数测量仪 李砚召 (769)
- HP3852S 数据采集和控制系统在岩石力学实验室
高温高压蠕变试验装置中的应用 张金成 张克勤 杜 君 庞广明 (774)
- 鹤壁六矿地应力实测成果及其应用 庞俊勇 黄醒春 吴 忠 (779)
- 岩土应力传感器匹配系数的等效性和真实性 曾 辉 (787)
- 含瓦斯煤特性的实验研究 靳钟铭 赵阳升 贺 军 章梦涛 (795)

第一部分

综述与专题报告

水库岩坡滑坡灾害研究与预测

张镜剑

(华北水利水电学院)

提要 随着大型水库建设的发展, 水库岩坡滑坡灾害已成为国内外水电工程的主要灾害之一, 水库岩坡滑坡研究的主要问题是岩坡稳定分析方法、滑坡体积和由此引起涌浪的估算以及滑坡时间的预测, 并据此采取减灾防灾措施, 这些问题涉及岩石力学, 水力学、预测学等多种学科。

关键词 水库岩坡; 滑坡灾害; 减灾防灾; 预测

I 概 述

在具有 45 亿年地质历史上, 曾经出现过多次全球性生态灾害。重大自然灾害会给人类带来巨大的伤害。地质历史资料证明, 近 2.5 亿年, 每 2600 万年就发生过一次全球性绝灭灾难。按联合国资料, 每年世界范围约发生严重自然灾害 20 起, 平均死亡 8.3 万人, 其直接经济损失约 40 亿美元。近 20 年, 突发性自然灾害在世界范围造成 280 万人死亡, 受影响人口达 8 亿, 直接经济损失约 250—1000 亿美元。日本自认为天灾之国, 仅由于台风每年损失 2150 亿日元。我国是多灾国家, 农业平均每年受灾 4.6 亿亩, 成灾 1.9 亿亩。由于我国人口增长过快, 经济建设迅速发展, 自然条件日益复杂, 以致自然灾害的成灾强度加重, 灾害间隔变短, 本世纪八十年代成灾面积已是 50 年代的两倍还多, 近几年我国自然灾害造成的损失估计每年约 510—620 亿元。1987 年联合国第 42 届大会通过 169 号决议, 决定把 20 世纪最后 10 年定为“国际减轻自然灾害 10 年”(英文缩写: IDNDR)。灾害与减灾已引起了全人类的关注。

灾害是自然界综合系统的物质能量运动的一个表现过程, 它的成因机理和物质构成条件比较复杂, 必须作为多学科的综合性问题来研究。灾害科学就是研究灾害发生机制、发展过程和预测预报模型, 勘察灾害情况, 估计危害程度, 提供减灾防灾措施等, 它是自然科学、社会科学和工程技术的结合点。

我国解放 40 多年来, 修建了水库约 86000 余座, 其中超过 1 亿立方米的大型水库 357 座。水库岩坡滑坡灾害问题, 由于我国大型水库建设的发展, 越来越被引起关注。我国柘溪水电站岩坡滑坡滑移总体积达 165 万立方米, 给工程造成不少的危害。龙羊峡水库、龙滩水电站和乌江渡水电站等大型水电工程都有水库岩坡滑坡问题。这些水库岩坡可能失稳的滑坡体体积达数百万立方米至上千万立方米。有的滑坡体就位于坝趾岸边, 对大坝的安全威胁很

大。国外水库岩坡滑坡最大的事故是意大利的瓦依昂拱坝的水库滑坡，约有 2.0 亿立方米的岩体滑入水库，水位上的浪高达 220 米。约有 3 千万立方米的水越过坝顶，造成 2500 人死亡。坝前 1.8 公里水库段被滑坡岩土填满，致使水库报废。在本世纪 50 年代，日本有 16 座大坝库岸滑坡，其中 6 处使得库区公路与民房受破坏。水库岸坡稳定在 1967 年第 9 届国际大坝会议上被列为四大议题之一。水库岩坡滑坡灾害已成为水电工程的主要灾害之一。

2 水库岩坡滑坡的主要问题与研究方法

从国内外资料可以看出，水库岩坡滑坡通常都是危害很大的。这主要是水库岩坡滑坡量大、落入水库的大量岩土严重减少了有效库容，甚至使水库报废，或者滑坡岩体直接毁坏建筑物，或者巨大滑坡岩体高速滑入水库引起巨大涌浪，使大量水体漫过坝顶，对大坝和下游产生严重危害。

水库岩坡滑坡研究的主要问题是岩坡稳定分析方法、滑坡体积和由此引起涌浪的估算以及滑坡时间的预测。据此以便采取减灾防灾措施。

在国外，奥地利的界帕奇水库岩坡滑坡处理是成功的。1964 年夏，水库开始蓄水，不久发现坝上游左岸边坡开始滑动，距坝仅 200 米，滑坡体积约有 2000 万立方米。为保证大坝安全蓄水，对滑坡体进行监测并补充地质勘探，分析滑坡成因，在理论计算和模型试验基础上，对滑坡体随库水位上升可能滑落量作了预报，最后采用分级控制蓄水的措施，终于在 1966 年 9 月水库安全地蓄水至设计水位。

在国内，龙羊峡水库近坝库岸岩坡通过监测成果资料分析与初期限制水库运行蓄水位，至今已安全运行了 3 年。乌江渡水电站近坝库岸不稳定岩体通过监测、计算和模型试验成果分析，发现不稳定岩体已处于渐进破坏状态，岩体下滑时将产生涌浪，危害建筑物安全。为此，及时对不稳定岩体采取了顶部减载、下部压脚和设置排水洞等综合措施，其实际效果是令人满意的。龙滩水电站坝趾左岸岩坡通过监测资料分析、计算和模型试验，建议采取削坡、压脚和辅以抗滑桩加固等综合措施进行处理。

岩坡的稳定分析常用平面或空间刚体极限平衡方法(乌江渡和龙滩)。赤平投影法也已广泛用于岩坡稳定分析。最近，散体元法已成功地应用于岩坡稳定分析，例如华北水利水电学院对五强溪水电站左岸边坡的稳定进行了散体元法的分析，借助 CAD 技术，演示了岩坡破坏过程、应力场、位移场以及力场的变化，计算值与原型观测值基本一致。

巨大的滑坡往往具有很高滑速，意大利瓦依昂拱坝水库岩坡滑坡最终滑速几乎达到 30 米/秒。较多的专家认为滑床面上抗剪强度的峰值强度与残余强度的差值是滑坡体高速的主要原因，没有这一特征，滑坡是不可能产生高速滑动的。至于触变、液化和自我润滑作用，则因为缺乏足够的初始速度而不可能产生。推算滑坡的滑速公式，只计滑面摩阻力，不计凝聚力。先求出滑速和涌浪可用两种方法：一种是近似方法，把滑体简化为集中质量，按能量守恒定律导出滑速公式，只计滑面摩阻力，不计凝聚力，先求出滑速和下滑历时，再按此计算滑体入水扰动库水引起的涌浪；另一种是从流体动力学的基本方程出发，用有限差分法或有限元法进行计算。

在滑坡涌浪分析中,许多因素不明确,问题复杂,计算很难准确,国内外都与计算相配合,进行滑坡涌浪的模型试验,模型按重力相似设计,试验过程用摄影机或录相机记录下来,以供分析研究。我国龙羊峡和乌江渡等水电站近坝库岸岩坡滑坡涌浪进行了计算分析和模型试验,这些计算与试验为制定防灾或减灾措施提供了有用的成果。

3 岩坡滑坡灾害的预测

在岩坡滑坡灾害的预测上,邓聚龙教授提出的灰色系统理论显示出有相当的潜力。成都地质学院利用国内外大滑坡的数据,用灰色预测模型预测滑坡崩塌时间,精度很高,误差只有数日或数小时。武汉水利电力学院还把灰色系统预测理论推广到非等距时间序列,并应用于岩坡蠕滑位移预测。

一个 n 阶 m 个变量的灰色模型可以记为 $GM(n, m)$ 模型, GM 是 Grey Model 的缩写。不同的 n 与 m 的灰色模型有不同的意义和用途,要求不同的数据,若取 $n = 1$ 和 $m = 1$, 即是一个变量的一阶微分方程,记为 $GM(1, 1)$ 。 $GM(1, 1)$ 模型在岩坡滑坡灾害预测中采用较广泛。 $GM(1, 1)$ 模型代表一个白化形式的微分方程

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \quad (1)$$

式中, a, u 为参数, $x^{(1)}$ 为原始数据 $x^{(0)}$ 的累加值。

灰色系统理论认为一切随机变量都可以看作在某一范围内变化的灰色量,通常要对数据加以处理,以减少数据的随机性,增加数据序列的平滑性,较常用的有效方法是对数据序列进行累加处理。

若原始数据序列为 $x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(i)$, 则一次累加生成的数据序列为 $x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(i-1), x^{(1)}(i)$, 其中 $x^{(1)}(1) = x^{(0)}(1), x^{(1)}(2) = x^{(1)}(1) + x^{(0)}(2), \dots, x^{(1)}(i-1) = x^{(1)}(i-2) + x^{(0)}(i-1), x^{(1)}(i) = x^{(1)}(i-1) + x^{(0)}(i)$

$GM(1, 1)$ 模型的参数 a 和 u 为

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (2)$$

数据矩阵 B 为

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} [x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2} [x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)] & 1 \\ \dots & \dots \\ -\frac{1}{2} [x^{(1)}(i-1) + x^{(1)}(i)] & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

相应的数据向量 Y 为

$$Y = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(i)]^T \quad (4)$$

于是下列时间响应函数即为所求白化微分方程的解

$$\hat{x}^{(1)}(t) = [x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}]e^{-a(t-1)} - \frac{u}{a} \quad (5)$$

其离散响应函数则是

$$\hat{x}^{(1)}(i) = [x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}]e^{-a(i-1)} - \frac{u}{a} \quad (6)$$

求得的 $\hat{x}^{(1)}(i)$ 是预测值的一次累加值, 必须还原为 $\hat{x}^{(0)}(i)$, 还原 $\hat{x}^{(0)}(i)$ 用下式

$$\hat{x}^{(0)}(i) = \hat{x}^{(1)}(i) - \hat{x}^{(1)}(i-1) \quad (7)$$

用式(5)和式(6)可以预测滑坡时间和得到模型拟合的数据, 可用求得的拟合数据判断预测精度。

由于GM(1, 1)模型计算比较简单, 预测值又有一定精度, 因此应用GM(1, 1)模型较广泛。

对预测模型的精度可以用后验差检验, 令原始数据与预测值之残差为 $\varepsilon^{(0)}(i)$, 则有

$$\varepsilon^{(0)}(i) = x^{(0)}(i) - \hat{x}^{(0)}(i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

残差均值为

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon^{(0)}(i) \quad (9)$$

残差方差为

$$S_1^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\varepsilon^{(0)}(i) - \bar{\varepsilon}]^2 \quad (10)$$

原始数据均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^{(0)}(i) \quad (11)$$

原始数据方差为

$$S_2^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [x^{(0)}(i) - \bar{x}]^2 \quad (12)$$

后验差比值C为

$$C = \frac{S_1}{S_2} \quad (13)$$

小误差概率P为

$$P = P\{|\varepsilon^{(0)}(i) - \bar{\varepsilon}| < 0.6745S_2\} \quad (14)$$

由C与P两指标, 可判断精度, 当 $C < 0.35$, $P > 0.95$ 时, 精度好。当 $C < 0.50$, $P > 0.80$ 时, 精度合格。

长江西陵峡新滩大滑坡利用GM(1, 1)模型进行计算, 得到

$$x^{(1)}(t) = 80.1e^{0.169(t-1)} - 67.1 \quad (15)$$

预测与实际滑坡相差3天, 预测结果是令人满意的。

总之, 水库岩坡滑坡灾害问题十分复杂, 涉及岩石力学、水力学、预测学等多种学科。但是, 相信通过各学科间的合作, 水库岩坡滑坡灾害问题终将会得到满意解决的。

岩石力学在煤矿坚硬顶板控制中的应用及展望

宋永津

(中国岩石力学与工程学会大同分会)

提要 本文综合论述了岩石力学紧密结合大同坚硬顶板控制工程实际,采用爆破放顶和注水弱化方法取得的可喜成果,并提出了岩石力学在顶板控制方面的研究课题和应采用的理论及实践方法。

关键词 坚硬顶板控制;岩石力学;爆破放顶;注水弱化;展望

1 概 述

大同煤矿是我国目前最大的煤炭生产基地。煤炭年产量达 3.4Mt,年开采面积 8Mm²,各种巷道年开掘量达 340km,属于特大型地下采矿工程之一。在煤矿生产建设的各项工程中与岩石力学有密切关系,其中最突出的是在坚硬顶板控制下的安全采煤与经济效益。多年来,我们在这方面将岩石力学理论与工程实践紧密结合,进行了大量研究和试验,取得了可喜的成果。

大同煤矿开采煤层顶板主要由砂岩、砾岩等岩层组成。砂岩碎屑成份以石英、长石为主,胶结物多为泥质、钙质。砾岩中砾石间杂基为中粒、粗粒石英长石砂岩,砾岩滚圆度好,砾径 20—300mm,含量最多可达 70%。煤层顶板岩石力学性质见表 1

根据岩体结构和矿压显现规律可将顶板分为三类:

第一类 为砾岩、砾质砂岩及厚层状整体岩顶板。这类顶板层理、节理、裂隙均不发育,致密坚硬、整体性强,生产过程中极难冒落,一旦大面积来压瞬时一次冒落,不仅冒落岩体造成危害,埋压设备及人员,而且产生强大的空气冲击,摧毁矿井、通风系统,使生产中中断。

第二类 为层状砂岩和砂质页岩顶板。岩体坚硬,层理、节理较发育,生产过程中达到一定范围的悬顶面积时能自行冒落。但采用全部陷落法管理顶板的长壁采煤方法开采时,经常在采空区内形成较大面积的悬空不冒的顶板,形成周期压力,一旦瞬时一次冒落,对采场支架产生较大冲击载荷,损坏支架,埋压设备及人员。

第三类 为节理、裂隙极发育的坚硬顶板。虽在生产过程中可随采随冒,但采煤机道顶板难以控制,尤其在地质构造区域经常发生顶板冒漏事故,使生产中中断。