

中国青年学者
岩土工程力学及其应用讨论会
论文集

主 编 朱维申

副主编 余诗刚 杨春和 汪 稔

科学出版社

中国青年学者岩土工程力学及其应用 讨论会论文集

主 编 朱维申

副主编 余诗刚 杨春和 汪 稔

科学出版社

1994

(京) 新登字 092 号

内 容 提 要

1994 年 12 月中国青年学者岩土工程力学及其应用讨论会在武汉召开。本文集共收编了该会议的 7 篇特邀报告和 132 篇论文。这些论文主要讨论 4 个主题:(1)岩土基本力学特性及本构模型;(2)岩土工程计算分析方法;(3)岩土工程实例与测试技术;(4)我国留学人员的研究报告。这些论文基本上反映了近几年来国内外岩土力学与岩土工程方面的动态和主要成就。

本书可供从事岩土力学、地基基础和岩土工程专业的科研、设计、施工的科技人员,以及相关专业的专科院校师生参考。

中国青年学者岩土工程力学及其应用 讨论会论文集

主 编 朱维申

副 主 编 余诗刚 杨春和 汪 稔

责任编辑 杨家福 余诗刚

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

中国科学院武汉分院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1994 年 12 月第一版 开本:787-1092 1/16

1994 年 12 月第一次印刷 印张:53 5/8 插页:5

印数:1-1000 字数:1 255 200

ISBN 7-03-004586-6/TB·126

定价:90.00 元

中国青年学者岩土工程力学及其应用 讨 论 会

顾问委员会

主 席	白世伟				
副主席	李廷芥	石庭俊			
成 员	李云玲	许厚泽	孙 钧	刘天泉	哈秋龄
	袁新建	葛修润	吴玉山	徐志华	王靖涛
	包承纲	刘祖德	谢和平		

组织委员会

主 席	朱维申				
副主席	杨春和	吕晓澎			
成 员	余诗刚	王海琳	颜永平	朱又德	孙殿义
	陈 冬	汪 稔	刘明贵	王 宏	郭爱清
	刘泉生	林卓英	贺怀建	杨志强	邱一平
	徐卫亚	唐文生	周 敏		

秘 书 长	杨春和		
副秘书长	余诗刚	王海琳	杨志强

编审委员会

主 编	朱维申				
副主编	余诗刚	杨春和	汪 稔		
成 员	白世伟	李廷芥	陈守义	谭罗荣	杨家福
	杨家岭	冯树仁	陈丛新	郑 宏	朱长歧
	郭爱清	王 宏			

主办单位 中国科学院武汉岩土力学研究所

序

青年是国家的希望和未来。今天的青年学者将是 21 世纪科研工作的中坚。要掌握岩土力学与工程科学,既要有坚实的理论基础,又要有丰富的经验,因此社会各界理应对我们的青年科技工作者给予比以往更多的关心与培养。近年来我国召开过多次以青年科技工作者为主体的学术讨论会。为了加强国内外中国青年学者的相互了解,交流较新的学术思想和工程技术,共同探讨 21 世纪本学科的发展方向,受中国科学院委托,我所主持召开了含部分中国留学生在内的岩土工程力学及其应用的青年学者讨论会,这对进一步促进我国青年学者之间的交流将起重要作用。

本次会议自征文以来,受到国内外中国青年学者的热烈响应,共收到征文 200 多篇。经评审,收入本论文集的论文为 139 篇。这些文章几乎涉及岩土力学与工程应用的各个领域,充分展示了我国青年一代岩土力学与岩土工程学者的雄厚的实力和蓬勃生机。

风雨送春归,飞雪迎春到。在 1995 年新年到来的前夕,我们举办了这次岩土工程青年学术研讨会并出版了这本论文集。我们相信,我国岩土力学及其工程应用领域的一个百花争妍,万紫千红的春天即将到来。让我们相互学习,相互勉励,为我国科学技术事业的发展作出更大贡献。

中国科学院武汉岩土力学研究所

所长 研究员



一九九四年十二月

目 录

序	白世伟
---------	-----

一、特邀报告

矿山岩体采动响应及控制工程学的新进展	刘天泉(1)
浅论当前工民建岩土工程的几个热点问题	刘祖德(7)
离心模拟技术在三峡等工程中的应用	包承纲(14)
分形损伤力学	谢和平(23)
岩体动态施工力学与人工智能方法在洞群施工优化中的应用	
..... 朱维申 徐靖南 王 平(35)	
论岩石应力-应变全过程	吴玉山 林卓英(41)
正确的物理概念是岩土工程数值分析的前提	白世伟(51)

二、岩土基本力学特性及本构模型

岩土力学中非连续变形分析方法的有限元理论解释	
..... 栾茂田 林 皋 W.F. Cheng 等(57)	
深覆盖层心墙堆石坝的抗震特性分析研究	沈凤生 潘 恕 杨宗茂 耿 晔(66)
具有弯曲变形的层状岩体的屈服准则	余成学 熊文林 陈胜宏(73)
泥岩峰后区蠕变特性的实验研究	李 晓 何亚男(80)
砂土材料弹塑性本构模型的数值计算实施	徐干成(87)
红土胶结问题的讨论	孔令伟 罗鸿禧 谭罗荣(95)
岩体节理网络分形的不均匀性研究	陈乃明 王如路 刘宝琛(100)
软粘土粘弹-粘塑性模型及参数确定	赵维炳 詹美礼 顾 吉(104)
岩石类材料的一些力学特性	卢应发(110)
岩石杨氏模量的应变率效应研究	郑永来 席道瑛(119)
岩石(岩体)强度尺寸效应的分形研究	郭培军(124)
渗流、温度、应力耦合问题的数学模型	周 江(131)
CPT WR- I A 静力触探系统中的土分类模型	朱长歧 汪 稔(136)
挡灰坝中土工织物加筋的离心模型试验研究	侯瑜京 李岷华(143)
岩石三轴损伤本构模型	李庆斌 郝军保(149)
散体介质的力学模型及应力计算方法初探	毛坚强(156)
岩盐溶腔稳定性试验研究	余海龙 谭学术 李通林 刘元雪(163)
大采深岩盐溶腔稳定性的简化模型试验研究	余海龙 谭学术 鲜学福 刘欣荣(169)
土类的模糊聚类分析	陈忠达(176)
膨胀土地基的三向变化规律研究	王 圆 刘祖德(181)
岩体水力学的研究现状及应用前景	杨太华 孙 钧(186)
本构模型在天津软土地区的应用	周玉明 杨洪斌(191)
岩石动态粉碎特性的研究	邢 军 宋守志 徐小荷(196)
煤岩体裂隙条数分布的分形特征研究	赵阳升 康天合(201)
测定 S 波波速研究土的弹性性质的理论与实验研究	宋纳新 李造鼎(207)

一个改进的节理岩体强度破坏准则·····	陈桂林(213)
节理力学和渗流性质及其耦合的表面形貌效应·····	夏才初 赖允瑾(219)
粉土地液化势判别的能量法及其应用·····	郭莹(225)
岩石闭合裂缝在压剪断裂过程中的开位·····	周翠云 李大庆 余泳琼(231)
三峡工程左岸厂房坝段坝基岩体破坏机理的研究·····	丁秀丽(235)
煤层瓦斯流动特征的研究·····	胡耀华 李通林 张广洋(243)
饱和砂初始液化势的应变法研究·····	罗书学(247)
高坝洲坝区层间剪切带及其形成机制分析·····	王世梅(252)
岩体力学性质尺寸效应研究——现状、进展及方向·····	徐卫亚 陈丹妮(256)
岩石闭合裂缝压剪试验的裂缝预制·····	刘振洪 王良之 龙湘桂(263)
人工冻土波速试验与分析·····	马芹永 陶永生(267)
软岩动、静力学特性的试验研究·····	邱一平 卢应发(273)
节理岩体的各向异性损伤特性研究·····	李新平 朱瑞赓 夏元友 朱维申(280)
高应变速率对岩石力学特性影响实验研究及其损伤本构关系的探讨·····	杨春和 曾祥国(286)
理想弹粘塑性模型的特征根关系·····	朱国甫(291)

三、岩土工程计算分析方法

非均质土坝静力问题的多重网格法求解·····	周健 黄自萍(296)
矩阵连分式理论在岩土工程中的应用前景·····	陆桂玖 武建勋(301)
姚桥煤矿大采高综采工作面矿压规律的有限元模拟研究·····	阳军生 王万宏(306)
三维块体不连续变形分析及在岩石力学中的应用·····	王如路(311)
隧道施工引起地面沉陷的几何非线性分析·····	冯卫星 侯学渊 夏明耀(315)
南沙某岛礁工程地质问题初探·····	汪稔 张利军(323)
软岩巷道锚喷支护机理的离散元法数值分析·····	林崇德(328)
Coodman 节理单元切向刚度 K_t 的计算方法·····	杜守继 职洪涛 张秋生(334)
深埋软岩巷道变形围岩压力计算·····	胡玉银(338)
乐善村隧道抗震结构有限元分析·····	尤荣(344)
坝基缓倾角裂隙的动力接触元模型·····	蔡德所 刘浩吾 哈秋龄(350)
堆石坝三维弹塑性地震反应与永久变形分析·····	李俊杰 韩国城(354)
侧向受荷桩的有限元——弹性理论分析法·····	肖明然 吴广珊 高大力(362)
三峡工程永久船闸高边坡最优坡角研究·····	李建林 哈秋龄(367)
长江三峡水利枢纽库区重力侵蚀分布分维特征·····	丁多文 刘泉声(374)
边坡工程稳定性判别的灰色聚类法·····	刘沐宇 池秀文(380)
双隧道开挖引起岩层移动的计算模拟研究·····	刘欣荣 谭学术 张广洋等(386)
土、墙、隧道共同作用的一个简单分析方法·····	杨光华(391)
时间序列分析方法在矿山巷道围岩稳定性分类中的应用·····	李术才(396)
三维地表移动基本参数的反分析确定·····	张家生 刘宝琛(402)
桓仁大坝坝顶水平位移分析·····	李中镇(408)
顶板断裂机理的离散元数值方法研究·····	齐庆新 康立军 宁宇(412)
岩体真复合型断裂判据及其边坡稳定性分析应用·····	刘大安 王思敬(418)
桐子林水电站软基建坝方案的计算分析·····	朱岳明 陈振雷 吴音 艾永平 赫健(424)

挡土墙允许稳定系数取值方法的探讨·····	陈忠达(432)
重力式挡土墙稳定性增强措施与可靠度的关系·····	刘昌清(438)
水力压裂提高煤层瓦斯抽放效果的力学分析及应用·····	张延松(442)
滑坡时间预报方法·····	谢守益 许 兵 徐卫亚(448)
不同类型冲击地压失稳理论及其数值模拟预报·····	王拉才(453)
边界应力求解技术及其在自适应有限元分析中的应用 ·····	邓建辉 郑 宏 熊文林 葛修润(458)
滑坡孕育过程的混沌特征与防治·····	夏元友 李新平 朱瑞庚 胡春林(466)
压剪应力作用下含共面闭合节理岩石材料的剪切破坏准则探讨·····	梁作元 朱维申(470)
关于厚壁圆筒弹塑性应力场解答·····	李 铤(475)

四、岩土工程实例与测试技术

土工织物和砂垫层共同作用处理软土地基的试验研究·····	姬美秀 陆士强(479)
静压桩载荷-沉降曲线的能量拟合法 ·····	袁 群 杨宗茂 王爱萍(485)
城市浅埋地道式公路隧道半明挖复合衬砌的设计方法·····	王少敏(491)
AE法三维地应力测量计算及误差分析 ·····	王红才 丁原辰 汪西海(495)
土工织物软体排护岸工程施工技术·····	王殿武(502)
软土地基中预制桩合理桩长评析·····	周方明 周力成(509)
收敛量测技术在富尔江引水隧洞新奥法施工中的应用的研究 ·····	陈希富 贺清录(513)
三山岛金矿的采场稳定性研究·····	付洪岭(523)
近景摄影测量在隧道监控量测中的应用·····	孔 建 何 川 余 建(529)
岩土开挖与熵变·····	周顺华 周文杰(534)
钻孔倾斜仪在岩土工程原位监测中的应用·····	史永胜 许东俊(538)
华南沿海港湾码头水泥类化学灌浆加固的初探·····	程鉴基(547)
考虑应变软化的围岩特性曲线·····	申京涛 李光煜(556)
桥隧结合越江渡海工程·····	潘国庆 黄锦源(562)
抗滑桩离心模型试验分析·····	刘昌清(566)
三车道公路隧道支护结构和施工优化方案研究·····	王明年(570)
天然建筑材料石场的工程地质勘查与综合利用·····	程鉴基(577)
端夯扩灌注桩在软弱地基中的应用·····	张锦军(585)
故顶煤工作面来压监测预报研究·····	黄庆享 赵朔柱(590)
地下洞室开挖的变形预报·····	丁 琳 孙家国(597)
工地层冻结法在岩土工程中的应用·····	陈湘生(603)
土中孔隙水压力——圆锥触探试验结果的解释及应用·····	吴京平 王淑云(609)
合地基理论概述及施工质量监测·····	曹建春 朱大富 茅贵文(615)
林电站声发射粗估法地应力测量·····	汪西海 丁原辰(620)
阿岩水电站1号引水洞塌方预报及其成因分析·····	叶 勇(626)
电厂冷却塔碎石垫层地基试验研究·····	张培学 郑晓冬(633)
利振冲法加固沿海新近吹填土地基·····	刘俊卫 周玉明(639)
重荷载作用下路堤软基变形试验研究·····	陈剑洲 朱向荣 谢新宇 潘秋元(644)
搅桩-土复合地基承载的二维有限元分析 ·····	周建民 丰定祥(649)
青屯铁工程岩体风化规律探讨·····	贾永刚 单红仙(652)
土胶结本质研究之新方法·····	周良忠 程昌炳 陈 琼(657)

应力波原位测试方法的研究及应用.....	黄秀云	黄建设(663)
煤体裂隙扩展中分岔的分形特征.....	申 晋	赵阳升(669)
巷道围岩稳定性分类.....	陈卫忠	蒋金泉(673)
边坡稳定性监测与分析.....	王昌明	(680)
地下圆形洞室锚固区按环向各向异性体计算的弹性解.....	张玉军	(686)
钙质沉积——一种新的岩土工程介质.....	杨志强	汪 稔(690)
核电站厂址评价工作中的几个问题.....	李愿军	丁美英(696)

五、我国留学人员的研究报告

建立在微观断裂力学基础上的岩石本构模型.....	李春林	(701)
复合型裂纹在应变软化材料中扩展的数值模拟	李义军	Th. Zimmermann(710)
地钉技术用于公路边坡长期加固的一个实例	Dr.-Ing. Gangliang He	(718)
喷射混凝土及其在地下工程中的应用——现状及展望.....	常燕庭	(726)
Investigation of Bonding Between Asphalt Layers on Road Constructions		
..... Q. Shao, E. K. Tschegg, D. M. Tan, G. Kroyer and S. Stanzl-Tschegg		(737)
A Liquefaction Model Based on Energy Approach	Qiang Song and K. Tim Law	(743)
Experimental Studies of Wellbore Instability in Soft Rock	B. Wu	(749)
Density, Connectivity and Permeability of Fractured Rock Masses		
..... Xing Zhang and D. J. Sanderson		(758)
The Role of a Sudden Increase of Local Pore Water Pressure in Fissuring Associated with Groundwater Withdrawal	Zhuping Sheng	(764)
Constitutive Law For Saturated Soils With Non-Newtonian Behavior	Jiang Li	(770)
A Method for Determining Hydraulic Conductivity of Layered Soils or Rocks		
..... Jiannan Xiang		(776)
Discontinuous Modeling for Rock Mass Stability Problem ...	D. Lin and J-C Roegiers	(782)
Stochastic Characterization of Rock Mass Properties for Rock Engineering Design ...		
..... Hang Gao		(795)
Applications of the Volterra Series to Non-Linear Mechanical Systems		
..... Hui Liu, Behrooz Bazargan-Sabet and Serge Chanchole		(801)
Analysis of Stress in Flowing Particulate Material Using Discrete Element Method	G. H. Rong, S. C. Negi, and J. C. Jofriet	(807)
Effectiveness Comparison of Different Rock Bolting as Tunnel Support in Soft Surrounding Rock	Hong-Ci Wu	(813)
Numerical Simulation of Excavations in Jointed Rocks-With a Case Study		
..... B. Xiao		(819)
An Elastoplastic Damage Model for Geomaterials and It's Application to Arch Dams	Yang Qiang, G. Swoboda	(825)
Heat Stresses and Surface Settlement Caused by Thermal Consolidation in Hollow Cylinders	Xiaoxiong Zhong	(832)
Continuum Representation of Elastic Deformation for Jointed Rock Mass		
..... Caizhao Zhan		(840)
Interfacial and Subinterfacial Fracture in Concrete: an Experimental and Numerical Study	D. M. Tan and E. K. Tschegg	(846)

矿山岩体采动响应及控制工程学的进展

刘天泉

(煤炭科学研究总院, 北京, 100001)

文 摘 简要介绍作者在矿山采动岩体破坏、地表变形、岩体变形影响因素、岩体性质评价等方面的最新理论研究成果, 矿山采动响应控制技术的发展水平, 以及研究矿山岩体采动响应与控制技术对国民经济建设和人民生活的实际意义。

矿山生产建设主要在地下岩体深处进行。它需要建立一套由井、巷及采场构成的复杂的地下岩体空间系统。这些地下岩体工程结构物尤其是采场, 在其形成过程中会在其周围岩体中(包括地下和地面)产生所谓的采动响应, 使岩体本身, 岩体内的地下工程结构物、含水岩层、地面地形、地貌、耕种地、农作物、建(构)筑物、水体以及自然和人工边坡、陡崖等发生变形和损害, 影响工农业生产和人民生活。为了减少和避免这种矿山开采损害, 人们早就开展了这方面的实测、试验和研究。我国从50年代开始, 经科研和生产单位的一批科技人员努力, 在获得大量成功与失败事例的基础上, 形成了以岩体采动响应规律及其控制为目标的矿山岩体采动响应与控制工程学, 从而在国民经济建设中发挥了重要作用。

1 矿山岩体采动响应与控制工程学的特征

矿山岩体采动响应与控制工程学, 同矿山岩石力学一样, 虽然也是以岩石、岩体和岩体工程作为主要研究对象, 但从其研究内容、采动损害特征及采动响应控制原理等方面看, 它与矿山岩石力学是有所不同的。首先, 它的研究对象所涉及的范围是从地层深处的采场和井巷开始, 直至其所波及的周围和地面的整个岩体; 其次, 它不仅研究受采动岩体的应力应变及其与原始状态的变化差异, 而且更主要研究采动岩体屈服后的大面积大变形和大位移; 再次, 采动响应在岩体中所造成的损害, 既具有不可逆性损害, 又具有可逆性损害; 第四, 它的控制技术不仅着眼于控制岩体本身的变形与位移, 而且着眼于控制受保护对象的变形与位移。

矿山岩体采动响应与控制工程学研究方法的特点是: 注重实地观测与研究, 强调采动区的地质采矿条件, 分析宏观现象与变形历史, 从而得出不同地质采矿条件下的采动响应规律和控制措施, 以达到实现安全采动, 充分利用矿产资源以及保护矿山环境的目的。

2 矿山岩体采动响应理论研究的新进展

近年来,我国煤矿通过研究试验在矿山岩体采动响应的理论方面取得了新的进展。

(1)在岩体采动破坏方面,提出了岩体变形的空间分带论。观测研究发现,在长壁垮落法开采的条件下,煤(矿)层周围岩体变形的最普遍形式为“三带”型,即上覆岩层(直至地表)受采动所形成的垮落带、裂缝带(或导水裂缝带)和弯曲带,简称顶三带;下伏岩层受采动所形成的胀裂带、微裂隙带和应力变化带,简称底三带,以及采空区周边矿(岩)体受采动所形成的片落带、塑性变形带及弹性变形带,简称侧三带。岩体的上述变形分带,深刻地阐明了矿层大面积回采后围岩(地面)的大面积变形机理及变形程度分布规律,同时也揭示和提出顶三带是解决水体下、建筑物下、铁路下采煤(矿)及地面与井巷环境保护的理论和依据;底三带是解决承压含水层上安全采煤(矿)的理论和依据;侧三带是合理布置巷道和控制岩体与地面变形形态的理论和依据。

(2)在地表采动变形方面,提出了地表变形的空间形态论。研究发现,采动引起的地表变形,从量值上及分布形态上都取决于采动岩体的垮落空间形态。近年的研究表明,在岩体不同的赋存状态下,采动岩体垮落空间形态可概化为倒梯形、偏三角形和倒三角形等不同空间形态。利用等价转换原理,可以得出计算水平、缓斜、急斜、有地质构造煤层及露天矿边坡附近等条件下地表移动与变形的统一的采动空间模型及计算公式。据此得出的地表沉陷范围形态有盆形(盘形)、瓢形和兜形等,与实测结果一致。此外,由于垮落空间形态的不同,地表沉陷盆地的变形性质在平面上可划分为沉降—平移—沉降带(属瞬时变形)、沉降—平移带(属主要、永久变形)及平移—沉降带(属次要、永久变形)。地表沉陷盆地的平面分带是评价地面保护的理论和依据。

(3)在岩体变形影响因素方面,提出了岩体和地表变形的地层结构论。新近的研究表明,采动岩体和地表变形,与地层的结构有密切关系。地层结构论的实质是,对地层的地质、岩性、层次、水文地质及力学结构等进行了科学分类,并解释了它们各自与采动响应机理的内在联系,进一步解决了多种复杂地质采矿条件下岩体和地表的变形预测问题,使其有可能由过去的定性解释上升为定量、半定量解释。地质结构主要是松散层结构及松散层—基岩结构;岩性结构主要是极软弱、软弱、中硬、坚硬及极坚硬结构;层次结构主要是薄层结构及厚层结构;水文地质结构主要是单一、复合、封闭—半封闭、覆岩结构;力学结构主要是坚硬—坚硬;软弱—软弱;坚硬—软弱;软弱—坚硬结构等。

(4)在岩体性质评价方面,提出了岩体和地表变形的地层质量评价论。采动岩体和地表的变形,不仅取决于其原生物理力学及水理性质,而且取决于其受采动影响后的再生物理、力学及水理性质。在研究采动岩体原生和再生物理、力学和水理性质的基础上,制定了衡量采动岩体原生和再生抗采动变形能力、隔水性和含水性的一系列指标和准则,有效地解决了建筑物下、水体下、铁路下和承压含水层上采煤的安全性和可靠性评价问题。这些指标和准则是:含、隔水层,按单位涌水量、渗透系数、含粘量、干燥饱和吸水率、液塑限及厚度评定;水体采动影响程度按采动等级评定;

抗采动变形能力按力学结构及岩性结构评定;保护层按采高、煤层倾角及松散层底部隔水层厚度评定等。

3 矿山岩体采动响应控制技术的发展水平

为了减轻矿山开采损害的程度,近年来在以现场为主的研究试验工作中,始终注重研究制定采动响应的控制技术。根据采动响应学的研究成果,针对不同的采矿地质条件和保护对象要求,提出了采动响应的七种控制类型与途径,即下沉、变形、水平移动、垂直变形、顶板破坏高度、底板破坏深度和集中应力强度。

下沉控制的方法和原理主要是:一是充填采空区。有随采随充方式;也有在一个工作面全部采完或部分采完后一次充填方式。二是在采动引起的离层裂缝带内充填方式。我国抚顺等矿区试验成功的离层带粉煤灰注浆充填技术,对减少地表和建筑物沉陷起到显著作用。三是在采空区内保留部分煤柱支撑顶板,包括使用房式和条带式等开采方式。近年来据研究试验提出的大中小条带开采技术,分别适用于水体下、建筑物下采煤时采深的大中小等条件;正规和非正规条带开采技术,则分别适用于水体和建筑物下采煤时煤层厚度稳定和不稳定以及地质构造简单和地质构造复杂等条件。

变形控制的方法和原理主要是,在保护区内不残留可能使地表变形叠加的煤柱,以及采用可能使地表变形互相抵消的开采方式。全柱式开采技术,即在建筑物下的煤柱全长(宽)内,用一个或多个工作面组成的回采线同时推进的开采技术,是一种控制岩体和地表变形的有效方法。据实测,在推进中的工作面上方地表的变形值为动态变形值,停采工作面上方地表的变形值为静态变形值,前者小于后者,二者的比值一般为0.4~0.7。因此,全柱式开采技术能使建筑物下面不出现停采边界,地表只出现小于静态变形值的动态变形值,有利于保护地表面建(构)筑物。多个邻近煤层和分层工作面错开一定距离协调推进,或同一煤层合理布置工作面进行协调开采的开采技术,也都是控制变形的有效方法。

水平位移控制的方法和原理主要是,防止采动影响集中在保护对象的一侧出现(对称开采技术)或是使位移形成不连续(隔离墙技术),或是使两种位移不叠加(在有滑坡倾向的山区开采时,将工作面推进方向设计成与山体滑坡方向相反的方向,以消除滑坡的产生倾向或减少滑移量)。

垂直变形控制的方法与原理主要是采用能使拉伸和压缩变形抵消的开采方法,以及采用能减少压缩变形的结构措施。在开采立井矿柱时,可先采立井处的“小方块”煤柱,然后开采全煤柱,或工作面一前一后的开采方式,以抵消立井井壁及其围岩内的垂直拉、压变形,或在井壁内设可缩层来消除压缩变形。

顶板破坏高度控制的方法和原理主要是先采薄煤层(分层)或先采较深部煤层,使其上覆岩

层的整体强度降低,以达到再采厚煤层(分层)和较深部煤层时顶板破坏总高度降低的目的。试验研究得出的开采缓倾斜厚煤层和急倾斜煤层时的分小层或分小阶段间歇开采技术,对减少整体采动影响的效果十分明显。

底板破坏深度控制的方法和原理主要是采用小面开采和快速推进方法开采,以减少底板中剪应力的强度和底三带的深度。

集中应力强度控制的方法和原理主要是在采空区周边矿层及其上下方矿层和岩体内卸压,一般有打钻孔卸压和采解放层卸压等方法。

4 研究岩体采动响应与控制的重大意义和作用

进行采掘工程是出于矿业生产的需要,但又对工程本身及其周围岩体直至地面产生损害。它涉及矿业及矿区工农业、交通运输业及人民生活等各个方面,影响到城镇和农村广大地区,是一个重大的社会和环境问题。运用矿山岩体采动响应与控制工程学,可以实现减少和控制开采损害的目标,对我国国民经济建设和人民生活具有重大的实际意义。实践证明,它已在以下几方面发挥了重要作用。

4.1 矿山资源开发及其充分利用

随着勘探技术的进步及工农业和交通运输业的发展,江河湖海、城镇村庄及交通运输线路下不断发现新煤田,在已经发现的煤田范围内,又不断建房屋、修道路及其它工农业设施。过去,对这种特殊条件下的矿产资源难以开发利用,或是弃而不采,或是生产安全不能保证。岩体采动响应与控制工程学的发展,不仅为建筑物下、水体下和铁路下的矿产开采找到了理论依据,而且提供了开采技术途径与措施。我国的淮河下、微山湖下、渤海湾地区水域下、华东华北东北地区巨厚流砂层下、建筑物下、铁路下及石灰岩承压含水层上进行了广泛开采,使过去不能开采的煤炭资源得以开采利用,减少了煤炭资源损失,取得了巨大的社会和经济效益。

4.2 矿区环境保护与生态重建

矿山开采沉陷对矿区生产和生活环境造成重大影响,诸如地面塌陷及城乡公用民用建筑、交通道路和地面地下水系破坏,农作物、森林植被损害等,如能按照岩体采动响应学原理,或进行控制开采,可使开采损害限制在最小范围内,实现建筑物下、水体下及铁路下采煤,或在沉陷区进行生态重建,使生态环境得到恢复。我国淮南矿区在淮河及河堤下采煤已进行了30多年,河床及河堤受影响长度累计达6公里多,由于进行了控制开采及采取了相应维护工程措施,已在河下及堤下采煤数千万吨,并经受了多年洪水考验,安全渡汛。

4.3 矿区水资源与保护

从水资源保护的观点看,岩体采动响应有破坏性与非破坏性之分。受到破坏性影响的含水岩

层和地面水体会发生渗漏,水体被疏降和疏干,而受到非破坏性影响的含水岩层和地面水体的水量和水位基本上不会发生变化。我国华东、华北、东北、西北广大地区的矿区内分布有巨厚的松散含水地层,受到不同程度的采动影响,有的矿区在离松散含水层很近的地方进行采煤,但由于实现了控制开采技术,上述含水层水位和水量也未遭到破坏。

4.4 矿区山体稳定与安全

山区岩体的采动响应扩展到地表后,与平原区的不同之处在于,除了采动位移与变形外,增加了地形因素引起的位移与变形,因而有时形成滑坡、陡崖崩塌和滚石等灾害,对山区村镇建筑、交通道路、农田水利设施等造成重大破坏。我国南方及西南地区矿山多处于山区,这类问题十分普遍。因此,掌握和运用岩体采动响应与控制工程学的规律具有重要的社会意义。湖北盐池河磷矿因采场矿柱失稳引发的山体陡崖开裂崩落,造成山崖滑落体积达 100 余万立方米的重大人员伤亡与财产损失事故,就是对岩体采动响应与控制缺乏分析的惨痛教训。

4.5 矿区采动沉陷地利用

矿山开采引起地面沉陷,对土地及生态系统造成影响与破坏。掌握和运用地面沉陷规律,不仅可以采取相应措施,减轻地面沉陷的损害,而且可以对沉陷地加以合理利用,为社会创造财富与效益。

国内外的长期实践表明,在采动沉陷地的利用方面,目前已取得以下成果:在采取控制开采的条件下,实现了土地的均匀沉降和缓慢沉降,对土地及建筑物不产生破坏性影响,保持了原有的使用功能;在没有采取控制开采的条件下,对沉陷地采取造地复田、蓄水放养、种植及改造公园等;我国近年的实践证明,在采动沉陷地造地建房,不仅可以充分利用沉陷地,而且节约搬迁建筑用地;此外,在沉陷区开凿矿山竖井、修建公路铁路及水利工程等也取得许多经验。

4.6 矿井采掘安全与矿柱设计

为了预防采掘工程对矿井生产的破坏,有时需要根据岩体采动响应规律设计出各类保护矿柱和安全矿柱,以使矿柱尺寸既能满足采掘生产安全要求,又能最大限度地减少煤产资源损失。保护矿柱有井筒、工业场地、建(构)筑物、村庄、铁路及高压输电线路等。对于水体安全矿柱而言,既有保护水体作为水源的情况,又有不使水体向井下渗漏的情况。为此,我国煤矿将水体安全煤柱分为防水、防砂及防塌三种矿柱类型,已在煤矿大量应用,不仅保证了水体下采煤的安全,而且由于煤柱尺寸设计合理,减少了煤炭资源损失,为国家创造了巨大财富。

4.7 矿山开采损害预测与治理规划

矿山开采及开采损害的一个显著特点是,二者所涉及和影响的范围大(小则数平方公里,大则数十平方公里)、延续时间长(短则数年,长则数十年)。因此,开采损害的预测与治理规划十分必要。按现有发展水平,矿山开采损害预测有短期(对工作面和采区而言)、中期(对矿井部分区域而言)和长期(对全矿井、全工厂、全矿区或全城市而言)三类,预测精度短期较高,中期、长期较低,

但都能满足制定治理规划的要求。目前,我国煤矿中、短期预测和规划较多,长期预测和规划较少。抚顺西露天矿北面抚顺石油一厂地基变形的预测及治理规划是属于中、长期规划类型。该方案已经国家计委及国家经贸委审查批准,其中部分内容已付诸实施,显示了初步的治理效果。

Mining Response of Rock Mass and the New Advance of Control Engineering

Liu Tianquan

(Chinese Academy of Coal Sciences, Beijing, 100001)

Abstract This paper presents the recent fruits of theoretical research of the author in rockmass failure, ground surface deformation, influential factors of rockmass deformation and the evaluation of rockmass properties. The development of technique for controlling the mining response, and the significance of this technique in national economy are also discussed.

浅论当前工民建岩土工程的几个热点问题

刘祖德

(武汉水利电力大学, 武汉, 430072)

文 摘 我国宏伟的四化建设进程中, 工程界时刻面临着许多新的岩土工程难题的挑战, 它们的解决也必然推动着岩土工程学科的发展。当前, 桩基工程、深基坑支护与隔渗或降水排水、危房改造、加固和纠偏、复合地基设计、土工合成材料加筋土、基础隔振、岩土高边坡、软基上建堤筑坝、围海造陆、海洋工程岩土问题等等都是“热点”问题。本文仅就其中若干普遍性问题, 着重在一些基本概念、机理、存在问题 and 解决途径方面进行粗浅的讨论。

1 桩基问题

众所周知, 用静力公式计算法确定单桩的极限承载力和容许承载力虽然是设计部门共同遵循沿用的主要方法之一, 但恰恰这一方法存在着一系列致命的缺点和不可逾越的应用障碍。首先, 它不能真实反映桩向土荷载传递的实际情况。桩的侧阻与端阻的异步发挥问题(尤其是对于超长桩), 使两者安全系数或安全度分项系数的选取差别很大。即使使用了分项安全系数, 仍然不能解决荷载—沉降($P-S$)关系曲线特征对单桩承载力确定的影响问题。目前各种规范中所建议的侧阻和端阻设计参数的数值较多的仍带有明显的经验性质色彩, 其中部分地反映了分项安全系数, 但又不明说。其次, 企图用静力公式法来确定单桩打入或压入持力层的深度, 常导致打桩锤击数超过 2000 次而仍然拒打的现象发生, 以至于大量桩产生破坏, 反而降低承载力。各地“桩森林”事件屡见不鲜。这种设计方法根本上违背了土力学基本原理: 持力层砂土的密度和硬粘土的稠度决定了不同直径的桩可能进入该层深度的根本关键。静力触探比贯入阻力 P_s 与桩端阻力 P_p 是可比的, 它达到某值, 企图将桩打入任意深度是不可能的。通过沉重的教训, 付出高昂的代价之后, 国内外有关规程已经提供了相应的设计表格, 指明了可能的人持力层深度。但这一点思想要成为共识, 看来还要经历一段较长的时间。

预制桩沉桩施工技术仍有待大力发展提高。桩身混凝土在上千次反复锤击下, 动力冲击疲劳损伤问题十分复杂。打桩过程中应力波的传递所引起的拉压应力反复交替出现, 导致混凝土粗骨

架和钢筋周围界面上水泥砂浆凝固体的微裂隙不断开展、延伸和加密。这一损伤过程被揭示得还十分肤浅,微观研究还远远赶不上宏观弹模与强度大幅度下降的实测资料分析的需要。不同材料具有多大极限锤击数有待试验验证。钢纤维高强度混凝土在桩基中的应用尚刚刚起步。打桩的顺序、桩机种类及其行进方式和方向、锤重选择等不仅与地质条件有关,而且还取决于周围环境因素。群桩施工完成后残余地应力和高残余孔隙水压力的消散、周围挖沟挖基坑引起桩的被动变位和桩身内力变化、密集群桩中软土层下部桩端“吊脚”现象的防止和消除,都是共同关注的问题。桩施工受环境影响和对环境产生影响两方面都同样重要。锤垫和桩帽的选型和设计优化对桩贯入能力至关重要。碟簧桩帽对桩身应力没有明显的“消峰填谷”和延长作用时间的效应,既可保护桩体,又能有效增大贯入能力。振动沉桩、脉冲沉桩技术还可进一步提高和拓宽。异型桩的研制和复合桩的研究仍有发展前途。

钻孔灌注桩当前的通病是桩侧泥皮与桩端沉渣软层严重削弱了桩的承载能力,而桩身混凝土的强度却未能充分发挥。施工质量若再不严格控制,桩身内部存在大量缺陷导致单方混凝土提供的承载能力严重偏低。目前,国内外工程界都在努力探讨去掉“软套子”的途径,同时希望兼收消除缺陷的效果。如长螺旋钻钻孔压浆成桩法、传统钻孔灌注桩后施二次压浆法等,其目的都是为了发挥压密、渗透、扩孔和劈裂四大注浆效应,达到提高桩身强度和侧阻、端阻的最终结果。也有采用套管(打入或反复旋转磨入)护壁来消除“软套子”,但沉管挤土效应过大,容易使邻桩受损,桩间土残余应力和孔隙水压力过高。为了减少挤土的不良效应,也可发展边掏边下管,先引孔再沉管等技术。为了加大端阻的份额,Fundex带螺旋式桩靴的套管灌注桩(拔管与不拔管均可)应运而生。近年来我国还发展了多支节和承力盘灌注桩技术,在合适的地质条件下它们均可收到积极效果。“新建桩”是在弗兰基桩的基础上发展起来的一种新桩型。夯扩桩尺寸规模也在逐步扩大,其承载能力最大已接近200t(破坏荷载几近400t)。其它小直径灌注桩不仅自身在发展新变种,而且更趋向于组成复合桩,例如复打式桩改进为复打更长的预制桩或小径钢管桩等等。

测桩技术是当前一项热门课题,桩的静载荷试验正在向二三千吨级的大吨位方向发展,发展过程中遇到了一系列重大困难。堆载和锚桩反力两大系列中都存在着试桩与反力点之间距离不足的问题,导致所测资料中出现各种反常现象。混合法反力系统也不见得轻松多少,但反力结构稳定性好些,至于动测法、小应变机械阻抗法,成果与大型桩极限承载力之间究竟有多少联系仍然有争论。即使采用了大应变法测桩技术,但在模拟桩将来在静载作用下 $P-S$ 曲线的能力方面仍有不足之处。土质因素和桩身质量因素两种影响各占份额的明确判断仍有困难。采用某些著名分析程序和软件包,桩身缺陷存在的位置一般来说尚可精确确定,但其性质特点的误判仍很普遍。大信息量的测桩技术有待开发。70年代国外就开发研制了24通道的拾波器系统,能测出钻孔灌注桩内的缺陷空间位置、范围和性质。多种测定成果的综合分析法也有成功的经验,测桩工作者的科学态度和职业道德在保证成果的可靠性方面举足轻重。

桩基设计中一个普遍受人关注的问题就是桩-土-承台(或筏基)三者共同作用的设计理论