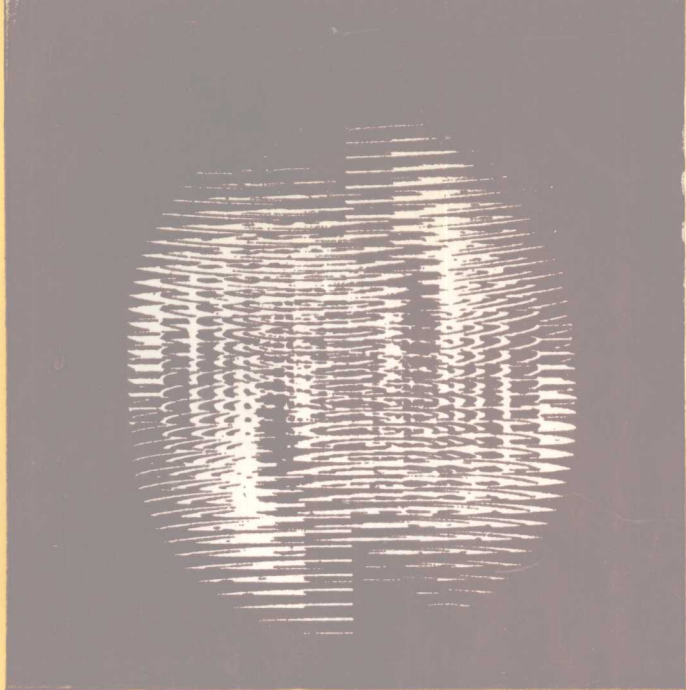




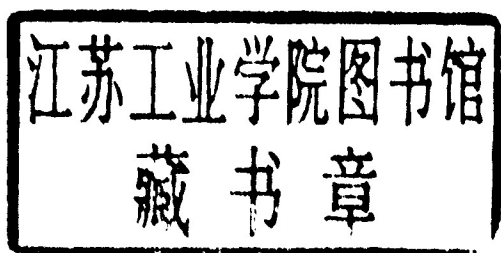
岩土力学与工程论文集

Symposium on Geomechanics and Engineering

陕西科学技术出版社

岩土力学与工程论文集

陕西省岩石力学与工程学会编



陕西科学技术出版社

(陕)新登字第 002 号

岩土力学与工程论文集

陕西省岩石力学与工程学会 编

陕西科学技术出版社出版发行

(西安北大街 131 号)

西安理工大学印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 印张 11 25 万字

1994 年 12 月第 1 版 1994 年 12 月第 1 次印刷

印数: 1—300

ISBN7-5369-2248-5/P·27

定 价: 20.00 元

前 言

岩土力学是一门理论性和实践性较强的学科，它在建筑、交通、水利水电、地质、矿业和国防等部门都有广泛的应用。岩土力学研究与学术交流在国内外一直很活跃，陕西的岩土力学工作者在这方面显示了较强的实力。

为了交流近年来本省岩土力学学术研究及其在工程中应用的成果，陕西省岩石力学与工程学会于1994年12月召开学术交流会议。“岩土力学与工程论文集”是从送交这次会议的稿件中精选的30篇优秀学术论文。论文作者包括生产建设单位、设计院、科学研究院（所）和大专院校的科技工作者，具有较广泛的代表性。

本论文集内容丰富。既有理论研究，又有生产实践的总结，是工程设计与施工、科学研究和教学工作中宝贵的参考资料。

本论文集大体按综合类、岩石力学类、土力学类及工程应用类的内容依次排列，以便参阅。

本论文集的出版得到了论文作者和陕西科技出版社的密切合作，在此表示诚挚的谢意，同时诚恳希望广大读者批评指正。

陕西省岩石力学与工程学会

1994年12月

目 录

工程建设中的岩土工程问题与研究.....	谢定义(1)✓
煤矿软岩巷道支护研究现状与研究.....	何唐镛(5)
我国 45 年来的黄土研究独领风骚	刘祖典✓ 冯忠居(9)
大型沟埋式管道土压力的研究	顾安全(14)✓
岩土工程数值仿真分析	李 宁(19)✓
顺倾基岩山坡滑动的复合机理	胡广韬 林叔中(34)
结构面影响应力波传播的几个特征	张 奇 雒昆利(43)
复杂应力下岩石广义破坏准则	姚仰平 谢定义(47)✓
提高定向爆破筑尾矿坝水平的研究与实践	刘兰亭 李仕胜(52)
岩石损伤特性的 CT 检测	杨根社 谢定义✓ 张长庆(58)
外压对塑料导爆管传爆性能影响的研究	詹建武 马建敏(62)
裂隙岩体中水溶性聚氨酯可灌性试验研究	袁继国✓ 吕岳鹏(69)
地下工程围岩稳定性评价及支护决策有限元软件智能分析	
系统研究	吴群英 任建喜(74)
杨家坝铁矿的岩石力学性质与稳定性评价	贺汇文(80)
石砭峪水库供水隧洞变形机理分析	崔中兴✓ 李 兵 宋克强(86)
非均布初始地应力的弹塑性位移反分析	王芝银 任建喜(92)
缓倾原煤层滑移支架放顶煤矿压显现及合理支护参数的探讨	肖永福 张少春(98)
河子沟灰场工程黄土坝料压实土的湿陷性研究.....	郭增玉 胡再强(103)✓
古滑破的三维拟静力有限元分析.....	胡再强✓ 冉述远 邵生俊(110)
陕西有线广播电视中心大楼沉陷观测与分析.....	罗 汀 陈元顺(115)
土阻尼比实验测定及资料分析方法的简评.....	刘保健(121)
应力路线的变化对砂土变形—强度特性的影响.....	陈存礼(125)
三峡茅坪溪夹砂淤泥土强度变形特性的三轴试验研究.....	周嘉林(130)
岩石与混凝土界面裂缝断裂准则的试验研究.....	李 哲✓ 黄松梅 简 政(133)
湿陷性黄土岸坡加固的锚杆施工技术.....	郭增玉✓ 王景欣 郭兴安(138)
重力坝抗滑稳定性的可靠度分析.....	李守义 梁 柱(142)
砾石集水井在尾矿坝排渗中的应用.....	郭彬峰(149)
某沙漠腹地油井钻前基础工程的勘设与施工.....	邵生俊(153)✓
层状岩体中大跨度洞室的开挖施工.....	韩 琦 吕兴祖 王瑞骏 李德惠(158)
重力坝多软弱夹层坝基处理方法分析.....	王瑞骏 韩 琦(163)

Contents

Researches on geotechnical problems in construction engineering	Xie Dingyi(1)
State of arts in research on support system to coal tunnels in soft rock	He Tangyu(5)
The advances from recent 45 years on loess research in China	Liu Zoudan(9)
Studies of earth pressure on large scale tube in trench	Gu Anquan(14)
Numerical emulation model for geotechnic problems	Li Ning(19)
The mechanism of the rock slope movement along the layer induced by coal mining	Hu Guangtao(34)
The influence of structural faults on wave propagation properties	Zhang Qi(43)
The failure criterion of rock under complex stress states	Yao Niangping(47)
Researches and practices on ash dam construction with directional blasting technique	Liu Lanting(51)
Studies of damage properties of rock samples with CT technique ...	Yang Genshe(58)
Influence of pressure on detonation transmission properties of the blasting fuse in the plastic tube	Zhan Janwu(62)
Experimental studies on the groutability of polyamide resin in jointed rock mass	Yuan Jiguo(69)
Intelligence software design for evaluation of stability of the underground structure and support system with FEM method	Wu Qunying(74)
Stability analysis and mechanic properties of the rock in the Yang jia ba iron mine	He Huewen(80)
The mechanism of the tunnel deformation analysis in Shi bian yu water supply system	Cun Zanxing(86)
Back anslysis for nonuniform initial stress with elastoplastic model	Wang Ziyen(92)
Discussion on parameters of the support system of the coal mining	Xao Yuengfu(98)
Researches on collapsibility of compacted loess	Gou Zengyu(103)
Three dimensional pseudo—static FEM analysis for slope stability	Hu Zaiqiang(110)
Observation and analysis for the settlement of the TV building in Shaanxi	Lue Ding(115)
Experimental studies of the damping ratio of soil	Liu Baojan(121)

Influence of stress path on deformation—strength properties of sand

..... Chen Cunli(125)

Triaxial experiment study on the strength properties of the mud

in Three Gorge area. Zhou Jialin(130)

Experimental studies of the fracture criterion on the interface

of rock and concrete Huang Songmei(133)

The construction method of bolts for strengthening slopes

in collapsable loesses Gou Zengyu(138)

Probability analysis for the sliding stability of gravity dam Li Shouyi(142)

The application of gravel filter well in drainage design of ash dam

..... Gou Binfeng(149)

Survey and construction for foundation engineering of the oil well

in desert area Shao Shengjun(153)

Excavation design for large scale openings in layered rock Hang Yu(158)

Foundation treatment techniques of soft faults under gravity dam

..... Wang Renquen(163)

工程建设中的岩土工程 问题与研究

西安理工大学 谢定义

大家知道,“空中楼阁”在现实中是不存在的,一切工程建设都必须最终安固于岩体或土体之上。岩土工程学科就是综合应用岩石力学、土力学、工程地质学与基础工程学的基本知识和手段来解决工程建设中有关岩体、土体变形及稳定问题的学科。它需要在极其复杂的地质、水文、气象、荷载和应用条件下确保在特性及几何形状上极其复杂的岩体和土体不会因强度不足或变形过大而使岩体本身发生局部或整体的失稳破坏或与岩体密切相依的建筑物失去正常运用的条件。因此,岩土工程工作者需要认识岩土及岩土体的力学特性以及这些力学特性随其成因、成分、结构、构造、内外部条件以及时间等因素的变化而发生相应变化的机理与规律,以便适应于不同的目的,发挥其有利的特性,改变、预防或减少其不利的影响,判断其稳定性的基本趋向,探讨有效的工程措施,在经济与安全之间寻求解决问题的最优途径。

岩和土是人们最常见到的、最多接触的,但却是最少了解的,最难对付的。岩和土作为材料是最古老的,但岩土工程作为一门学科还是非常年轻的。由于岩土变化多端,它不仅是各种自然历史条件错综复杂变化的载体,而且是对当今和未来可能的一切变化具有特殊反应的敏感体。有关岩土工程问题的解决,都必须有自然历史的观点、发展变化的观点、具体分析和综合判断的观点以及抓主要矛盾和安全第一的观点。

岩土工程学科具有广阔的活动天地和丰富的研究内容,但它离自由王国的境界还有相当长的距离。它在经历了一段幼年时期的徘徊之后,60年代以来,测试计算技术与相关学科的发展以及高型、大型、重型、深型、精密型各种建筑工程实施的迫切要求,给岩土工程注入了新的活力,出现了日新月异迅速发展的局面。现代的岩土工程学科正站在现代数学和现代力学的肩膀上,一手伸进高精度的、复杂和自然条件下的室内和原位测试以及长期的大型、原型观测,一手伸进岩土材料非均质、非连续构造特性和非线性、非弹性特性,并同现代计算机和数值模拟计算方法密切结合的建筑物与土的共同作用,围绕着实际岩土介质特性及岩土体稳定性判定方法与改造措施,紧跟时代进步的节拍阔步前进着。

工程中的岩土工程问题主要有五类:岩土地基问题、岩土边坡问题、岩土洞室问题、岩土支挡问题以及岩土环境问题。岩土中水的存在是使这些问题复杂化的重要因素。

1、岩土地基问题

岩质地基一般是强度和渗漏问题。固结灌浆和帷幕灌浆是常用的有效处理方法。土质地基的强度和变形问题比较突出。高压缩性的软粘土,强湿陷性的黄土,可液化的饱和砂土和轻亚粘土,高膨胀性的膨胀土,高寒地区的季节性冻土和新淤积的淤积土都是当前研究的特殊对象。近年来,海洋土、粉煤灰和尾矿料的研究因其自身的特点也引起了研究者的重视。土质地基的处理已经沿置换、夯实、挤密、预压、胶结、深基和加筋等途径发展了一系列新型式和新工艺。以土的加强体和自然体共同承担载荷为特征的复合地基新理论的建立是当前研究的一个新课题。以强度控制理论进行桩基设计的传统方法受到变形控制理论的挑战,使基础的设计正经历着一场新的革命。利用土工织物的排水、隔离、反滤和加强作用是地基问题上的新生事物,具有广阔的前景。在土质地基问题中考虑高应力和动力荷载下土的特殊规律,已日益引起了人们的重视。深基坑内开挖技术的发展为确保邻近建筑物不受沉陷威胁和新建筑的工程质量具有重要意义,是高层建筑发展引起的新课题。以已建建筑物增层纠偏为中心的房屋改造工程对地基的处理和设计提出了新的课题,也是当前岩土地基问题的一个热点。在地基处理中利用矿渣、粉煤灰废料也引起了广泛的兴趣。

2、岩土边坡问题

岩质开挖边坡的深度已经高达百米。节理、裂隙、断层等构造面、开挖爆破和地震等动载荷以及原应力的解除和转移对岩质高边坡的影响问题是当代攻关性的课题。数值分析方法已经成为解决问题的有利武器。由考虑界面单元、结合单元、接触单元、薄层单元和有限单元法到把岩土视为一系列人工或天然非连续结构面切割而成的刚性或柔性块体聚集体,运用基本的力学及几何学原理分析块体的内力及相互作用性态和大变形行为的离散单元法,是一个崭新的进步。研究以损伤力学理论为基础的静、动力损伤本构关系是从另一个角度出发考虑岩体节理裂隙问题的新途径,也吸引着广大研究者的重视。将非线性变形分析(DDA)模型进一步发展以便同时考虑岩土材料本身及非连续结构面的非线性、非弹性性质并模拟系统整体的大变形行为与失稳后的运动性态是当前非连续变形分析的新动向。把岩体的变形稳定与各种来水的入渗特性相耦合,并考虑水对岩体质量的弱化,也是岩质边坡研究的一个重要方面。模拟岩质边坡岩体因素、地质因素和施工因素实际影响而进行的计算机仿真分析,为动态地考虑更为复杂的一些条件注入了新的活力。电镜扫描、CT识别和声发射技术在岩石试验中的应用,是岩石测试技术的新发展。

土质边坡分析的滑楔体条分法仍然得到广泛的应用。近年来的研究工作,使这一途径在理论严密化和工程适应性上得到了新的完善。有限元法同样是土质边坡分析中广泛应用的方法,它推动了不同土类静、动力本构模型研究的发展,由过去的刚塑性模型发展到非线性和弹塑性模型,由过去总应力法分析发展到有效应力法分析。饱和土,尤其是非饱和土的有效应力原理得到了新的应用和研究。在填筑高土质边坡中,由于砂砾石料的应用,推动了粗粒土的研究。高土石坝中细粒土防渗结构与坝壳粗粒土的变形协调问题成了高坝研究的重要课题。以大高度、高湿度和低密度为特征的火电厂灰坝和矿业厂尾矿坝在

地震作用下的反应分析和稳定性判定是近年来提出的新课题,在国内外都得到了迅速的发展。土质边坡的动力永久变形问题是当前一个亟待解决的研究课题,吸引着各国学者的努力。

3、岩土洞室问题

由于水工、交通、煤炭、采矿等建设的需要,在岩土中所开地下洞室的规模日益扩大。地铁地下库等地下建筑的兴建,将岩土洞室问题发展到崭新的阶段。洞室在其开挖过程中的应力和变形,不仅改变着原岩自身的应力和稳定,而且影响到地面建筑物的沉降与安全。在这样大尺寸洞室周围岩体中必然存在的节理裂隙等岩体结构面大大增加了问题的复杂性。目前既能考虑工程地质、水文地质条件,又能考虑地下结构类型尺寸,还能考虑施工开挖、支撑、衬砌等影响的计算机仿真分析也是解决岩土洞室问题的新途径。岩体洞室中的锚固技术也得到了迅速的发展。反演理论(反馈设计)方法,在大型地下洞室领域的应用,取得了很大的社会经济效益。

在各种大型的工程问题尤其是岩土边坡问题中,作为岩土材料所特有的非均质性、各向异性、剪缩剪胀性、硬化软化性和应力历史、应力路径、应水平以及时间相关的流变特性和残余强度、长期强度、有效应力原理等,在系统研究的基础上被引入稳定计算,体现了对岩土材料复杂力学特性研究和认识的新深度。土质洞室中的难题在于高湿度、低强度土中洞室的施工问题,往往需要配合以井点排水设施和合理的支撑和施工顺序和技术。预应力锚固技术在土质洞室中也是一种有效的增稳措施。土质洞室开挖中流砂的干扰也是岩土工程的重要课题。

在岩土问题的解决中,逐步从一些新的理论(优化理论、灰色理论、突变理论、神经网络理论、分形几何理论、混合物理论、可靠度理论、随机过程理论等)和方法(专家系统、人工智能方法等)中寻求更大的帮助与出路也是一个较新的动向。

4、岩土支挡问题

岩土支挡的目的是防止岩土体的下滑失稳,确保支挡结构后岩土体的稳定,或为支挡结构前提供必要的场地以便建筑物的兴建或水流的畅通。各种形式的挡土墙和板桩墙是常用的典型岩土支挡结构。这些结构物上土压力的大小及分布规律为结构设计所必需,一直是研究的重要课题。从岩土稳定分析和结构工程措施两方面来优化挡土墙的设计方案是当前一种方向性的途径。在一定意义上,加筋及锚杆的使用,比土压力理论的研究更加引起人们的注意。当前在防止岩体滑动方面,采用的大直径的抗滑桩,它实质上也是一种支挡结构,其新的理论设计正在形成。作为土力学形成初期标志之一的经典土压力理论正在受到大型支挡结构理论与实际的挑战。

5、岩土环境问题

环境岩土工程是近年来发展的一个新课题。它主要应用岩土工程的观点、技术和方法来治理和保护环境。由于岩土物理、力学、化学性质,会因工业废渣、废液、尾矿、污水、粪便、化肥、生活和建筑垃圾等对土体和水体的侵入和污染而发生劣化引起一系列新的问

题,构成了岩土环境研究的基本对象。工业废渣、尾矿等,作为特殊的岩土材料,需要研究其基本性质,并在堤坝、地基以及桩基等岩土问题中充分利用;对于被堆于山谷、坑地或埋于地下的污染源,必须在它与岩土及水体之间建立防污屏障,由天然粘土层、压实粘土(渗透系数小于 10^{-7}cm/s),地下截水墙或导渗墙,土工合成材料垫和淋滤液集导系统等,相互配合,研究材料与结构的合理方案;不同的化学物质在其生产、运输、贮存和使用过程中逸出渗入基土时,如使组成基土的石灰石、硅砂等被溶,则其上的建筑物将发生较大的沉降;如使高岭石等粘土矿物发生体积膨胀,则低层房屋出现大裂缝,如使基础混凝土受到周围土中硫酸根离子的作用,则水泥中的氢氧化钙反应为硫铝酸钙,体积扩大,基础被腐蚀或发生裂缝,需要研究相应的对策;工业振动的长期作用会影响人们的身心健康,或导致建筑及文物的坍塌破坏,需要研究振源机制和隔振防振措施,建立相应的防振标准;岩土工程施工中常见的噪声和泥浆污染日益得到重视,需要研究新的施工技术。此外,由降水、灌溉、地震、开挖等引起的岩土滑坡,由煤矿、盐矿及油气开采、地下水抽汲、黄土浸湿、疏松土湿化、喀斯特的发展以及振动等引起的地面下沉也是岩土环境问题的中心课题。目前,岩土环境问题的研究正从减灾和环保的角度引起人们的普遍重视,成为岩土工程具有强大生命力的一支,吸引着广大学者的研究。

结 束 语

在岩土工程问题如此广阔的领域中,西安理工大学岩土工程学科的研究已在黄土力学、土动力学和岩石力学与岩土爆破等三个方向上形成了自己的特色和优势,在数值计算和声电勘探测试方面也具有较强的实力。它是地区特点和历史发展的结果。多年来几代人的研究在岩土力学的发展及其工程应用上已作出了公认的成绩。我们将在已有的基础上加强学科建设,使理论研究的成果向两头延伸,加强岩土勘探测试和岩土工程处理方面的实力,为我国岩土工程学科的进步和事业的繁荣发挥自己的力量。

参考文献

1. 钱家欢等 《土工原理与计算》,水利电力出版社,1984.
2. 黄文熙 《土的工程性质》,水利电力出版社,1983.
3. 陈仲颐、叶书麟 《基础工程学》,中国建筑工业出版社,1990.
4. 谢定义 《土动力学》,西安交通大学出版社,1989.
5. 袁建新 “岩土力学研究趋向”,《岩土力学》,No. 3 1987.
6. 沈珠江 “当前土力学研究中的几个问题”,《岩土工程学报》,No. 5 1986.
7. “岩土力学与工程战略讨论会”,《岩土力学》,No. 12 1987.
8. 范镜泓、高芝晖 《非线性连续介质力学》,重庆大学出版社,1987.
9. 朱百里、沈珠江等 《计算土力学》,上海科学技术出版社,1990.
10. 卢世琛等译 《岩土工程数值方法》(中译本),中国建筑工业出版社,1981.

煤矿软岩巷道支护研究 现状与发展方向

西安矿业学院 何唐镛

关于软岩的定义,目前岩石力学与工程界仍沿存在分歧。有些人试图将一切“难支护岩体”(不良工程岩体)或“不稳定围岩”都划归为软岩,即认为软岩是软弱、破碎、松散、膨胀、流变、强风化蚀变、高地应力(高构造应力与深井应力)岩体的统称。但更多的研究者认为软岩主要是指单轴抗压强度小于 20MPa 的泥岩及其他软弱岩层。软岩在地壳表层分布很广,随着世界各国岩石工程量的日益增多,软岩支护问题已引起国际岩石力学与工程界的普遍关注。我国软岩矿区很多,其中以东北、内蒙最突出;内蒙煤矿软岩巷道占岩巷的 90%,东北占 60%,其他各省区煤矿,也都程度不同地存在软岩问题。由于软岩巷道支护速度慢、返修率高、劳动强度大、事故多且成本贵,已成为影响煤矿生产与建设的关键问题之一。我国在“七五”期间,将煤矿软岩巷道支护课题列为国家重点科技攻关项目。

软岩巷道地压的主要特点可归纳为:

(1)围岩自稳时间短、来压快。多数软岩巷道的自稳时间仅为几十分钟到数小时,有时支护不到一日或仅数天,就出现喷层开裂、木棚折断等现象。

(2)围岩四周来压。软岩因具有流变等特性,往往四周来压,此时如不采用闭合式支护结构,很难控制底鼓。某些实测资料表明,闭合式支架顶底和两帮受力,随着安设后时间的增长,逐渐趋向均匀。

(3)巷道变形量大,围岩移动范围很深,变形持续时间长。实测表明,我国煤矿软岩巷道一次支护后,表面变形(包括底鼓)量超过 200mm 者甚多,有的高达 600mm 以上,数值分析与某些实测证明,软岩巷道围岩的明显移动范围,可达十几 m 至几十 m。支护后围岩变形持续时间一般在 1~3 月以上。

(4)水、风化蚀变与动力作用,是影响软岩巷道地压的重要因素。

根据以上特点,软岩巷道支护应遵循以下原则:

(1)须改变单纯提高支护结构强度与刚度的传统观念,让掉围岩的大部变形能,卸除高应力,加固其软弱部分,支撑住围岩整体。

(2)采用二次或多次支护。初次支护要能及时封闭围岩,防止围岩很快风化蚀变;应具有有一定初撑力和较大柔性,以便释放变形能并保持一定的支护抗力。二次支护宜选用闭合式结构,以便控制底鼓并增加结构整体的承载能力。

(3)全面规划,综合治理。支护设计应与巷道层位选择、掘进工艺、水与底板处理、后期注浆加固等一并考虑。

(4)通过现场监测,随时掌握围岩动态,利用反馈信息,指导施工与修改设计。

在国外主要产煤国中,美、澳矿地质条件一般较好,很少遇到软岩问题。俄、波、英、德、比等国,软岩亦不少见。国外的某些经验,是值得我们借鉴与学习的。俄罗斯及其他欧洲各主要产煤国家,由于钢材供给比较充裕,在软岩巷道中,主要采用各种封闭型金属可缩性支架。在很困难条件下,也有采用锚喷与可缩性金属支架联合支护方式。如遇松软破碎岩体,较注重注浆加固,浆液除水泥-水玻璃外,还多用聚胺脂。为适应软岩变形量大的情况,德、俄等国较早地开展了可伸长锚杆与柔性喷层的研究,但多为初步试验,工业性应用很少。比利时在软岩巷道中,采用工厂化预制大型钢筋混凝土弧板支架,他们利用全断面掘进机掘进,并使弧板安装与壁后充填实现了机械化,颇引人注目;这种大型弧板支架的成本不到U型钢可缩性支架的1/2,而其承载能力可比后者高约2倍。70年代新奥法(NATM)的出现,实际上也是对软岩隧道支护设计施工经验与理论的总结。

我国煤矿从50年代末60年代初开始,在辽宁沈北、陕西铜川、青海大通等地软岩巷道中试验了料石圆碇。70年代起,吸收国外新奥法施工经验,在梅河、舒兰、长广、龙口、芙蓉等矿区,对软岩巷道支护进行了较深入的试验研究。鉴于梅河三井(吉林辽源矿务局)软岩巷道中双层花岗岩料石圆碇仍不凑效,煤炭部基建司曾组织过软岩锚喷支护攻关,为软岩巷道应用锚喷支护积累了一定经验;此一时期,还出现了锚喷与料石碇联合支护以及料石条带碇支护方式。进入80年代后,发展了各种金属可缩性支架及锚喷网与金属可缩性支架的联合支护,初步进行了大型钢筋混凝土弧板作二次支护的试验。“七五”期间,国家组织软岩巷道支护工艺攻关,在内蒙古平庄(强膨胀软岩)和淮南(具有深井高应力特点)开展了对软岩巷道支护若干问题进行深入试验研究,取得了一批达到国际水平的重要研究成果。就煤矿软岩巷道支护问题研究的深度与广度、试验规模及整体水平而言,我国已居世界前列。

以下简要介绍我国“七五”软岩巷道支护工艺与设备科技攻关所取得的一些成绩。

关于柔性喷层的研究:喷射混凝土在软岩巷道中既可用作及时封闭围岩的一次支护,也可用于复喷或与金属可缩性支架等联合支护。在软岩巷道中用作一次支护的喷层必须具有柔性,使其刚度和极限变形量与一次支护后围岩变形基本匹配,具有让压、卸压功能。近年来,国内在改善喷射混凝土性能,提高喷层柔性方面,主要采用了下述三途径:

(1)在混凝土中掺入各类纤维。如东北工学院在就多种纤维混凝土优缺点进行对比后,选用高弹模工业用维尼纶纤维混凝土作柔性喷层,先后在平庄、铁法进行过较大规模工业性试验研究。这种混凝土配制时,选用纤维长度 $L=15\sim 25\text{mm}$,掺量占混凝土体积0.7%(约为水泥重1.8%),可供混凝土抗拉强度提高10~40%,抗折强度提高20~30%,而韧度增强2~30倍;当巷道收敛超过200mm时,喷层不出现严重脱落。西安矿院在平庄试验段,采用了纺织棉纶与涤纶废丝,纤维掺量为水泥重量2%,并添有占水泥用量0.5%的树脂类增塑剂(SM型超塑化粉末剂),结果混凝土抗压强度提高15%,抗拉强度提高14~34%,抗弯强度提高50%,弹模降低20%以上,抗冲击韧性提高近一倍。上述两种纤维均可直接同混凝土干料一起搅拌混合,无需另增或修改原有喷射混凝土设备,两

种混凝土极限变形量可达 6~10%，而普通混凝土极限变形一般不超过 0.5%。废纺织纤维的价格十分低廉。马鞍山矿山研究院等单位于 70 年代即开始试验研究钢纤维喷射混凝土，据测定，喷层抗拉强度可提高 118%，抗冲击强度可提高一倍，但因制成混凝土柔性差、成本高，喷射设备与管路磨损大且回弹易伤人，限制了它在煤矿软岩巷道中的推广应用。

(2) 在混凝土中掺入各种树脂型增塑外加剂。如西安矿院研究过掺树脂类 SM 型超塑剂(粉剂)和掺橡胶的混凝土，中科院武汉岩土所试验过聚乙烯醇甲醛缩合物增强增塑混凝土，中国矿业大学研究过以掺丙烯酰胺为主的树脂混凝土。这些混凝土的强度和柔性均较普通混凝土有所改善，但除个别粉末外加剂外，现场应用时，须改造原有喷射设备或新添附加设备，且喷射混凝土成本普遍较高，近期内很难在软岩巷道中大量推广应用。

(3) 在喷层中铺设各种网片，包括各种金属网，双抗塑料网等。学习国外经验，我国煤炭系统目前正在推广菱形铰接柔性金属网，它与普通方格编网相比，网片破断荷载可增加一倍，极限挠度提高 50%。煤科总院北京建井所在淮南进行了于喷层中加抗静电、抗燃烧的矿用聚丙烯塑料网的工业性试验，这种网的整体抗拉强度、抗剪切及冲切破坏，比钢纤维混凝土优越，允许巷道变形量达 50—100mm，而素混凝土喷层允许变形量仅为 20—30mm，但塑料网易引起较大回弹，并宜配合钢筋锚条使用。

关于可伸长锚杆的研究，国内近几年研制了多种型式足能与围岩大变形相匹配的可伸长锚杆。已在实践中较大规模工业性应用的有：西安矿院研制的蛇形(蛇形段在孔内靠近托板)及杆体退火微伸长两种全锚式锚杆，东北工学院(东北大学)的套管滑动伸长式锚杆，长春煤研所的与钢带配合使用的孔外加伸缩弹簧全锚式锚杆，平庄矿务局建设处的杆体中段套塑料管的全锚式微伸长锚杆；煤科总院北京建井所及中科院武汉岩土所研制的两种杆体可伸、孔口可缩端锚式锚杆，中国矿大的杆体材质伸长端锚式锚杆等。这些锚杆大多具有结构较简单，成本较低，可伸长量足够等优点，各软岩矿井可根据本矿岩石松软破碎程度及围岩表面变形量 Δu 的大小等条件择优选定。可伸长锚杆伸长量的设计，应以杆体两端位移差(ΔH)为依据，煤矿常用锚杆杆长多为 1.5~2.0m，现有量测资料统计分析表明， $\Delta H = (0.2 \sim 0.3) \Delta u$ 。80 年代末，西安矿院支护科研组深入地研究了全长锚固锚杆的托板效应，修正了全长锚固锚杆中性点理论(详见《岩石力学与工程学报》1991. 3)，为结构简单、施工方便的孔口伸缩式可伸长锚杆的推广应用，提供了理论依据。中国矿大支护科研组，根据锚喷支护软岩巷道大量观测资料(表面及深部测点位移数据)，提出了锚杆作用的档固机理(详见《岩石力学与工程学报》1991. 2)，认为锚杆“除控制本锚固层小部分位移外，其锚固层挡住了深部围岩所产生的大部分变形”。

关于大型钢筋混凝土弧板支架的研究：我国 80 年代初引进了比利时的大型弧板支护技术，经过改进，使其得到进一步完善与提高。所谓大型钢筋混凝土弧板(简称大型弧板)，基本上将煤矿建井工作者所熟知的竖井预制丘宾块大型化(每截面仅由 4~5 块拼装)，然后应用于软岩圆形巷道中。东北工学院于 80 年代初首先在沈北大桥煤矿软岩巷道中，试验了用锚喷网作一次支护，再用大型弧板二次支护。该试验巷道净直径 3.000m，弧板厚 200mm，宽 400mm，混凝土标号 300#；全圆环由五块组成，底板以下为两块小弧板，弧长 1.588m，重 294kg；底板以上为三块大弧板，弧长 2.250m，重 433kg；每块弧板中央均留有

中心孔,预埋短管,以便安装时通过销子与安装机外伸臂相连接;每块间垫有 20mm 木板,壁后充填低标号混凝土或散沙。“七五”科技攻关时,东北工学院在梅河进一步试验了这种支架。淮南矿院和同济大学于“七五”期间在淮南矿务局的同一条巷道中,试验了两种类型的大型弧板支架。淮南矿院大型弧板的特点是采用了 1000# 高强度混凝土,弧板厚 230mm,宽 320mm,每断面亦由五块弧板拼装,其中四块尺寸相同,重 650kg,每块对应的圆心角为 80°;另一小块重 330kg,对应的圆心角为 40°;两弧板接头平面间亦垫有木板,木板厚 23.5mm,采用以粉煤灰为基料的灰砂袋壁后充填;该试验段由于锚喷一次支护有时不能跟上,形成仅用弧板紧跟迎头的短段掘砌,因工作面端头约束效应,使围岩变形能未充分释放,在结构本身可缩量较小的条件下,部分弧板出现破裂。同济大学研制的大型弧板特点是仅由四块相同弧板拼装成圆形,块与块之间采用直径 180mm 厚 5mm 的无缝钢管铰结,每块厚 250mm,重 780kg,混凝土标号为 600#,壁后充填亦为灰砂袋;由于这种大型弧板支架结构设计合理,每个接头可缩量(无缝钢管直径在高压下缩小)达 30~40mm,加上转动可释放弯矩,较适应淮南井下高应力大变形条件,从而保证了结构后期的完整性。淮南矿院与同济大学的弧板,均由蚌埠水泥预制件厂按设计要求工厂化预制。所用的 HP-1 型弧板安装机械手,为煤科总院上海分院设计,由江苏常熟起重机械厂制造。

在松软破碎的岩(煤)体内,采用水泥浆、水泥——水玻璃或聚胺脂泵压式注浆加固,在我国早有应用,但因工艺较复杂和成本较贵,用量一直不大。

进入“八五”初期,鉴于钢材价格猛涨,煤矿大量应用金属支架受阻,许多单位进一步发展了多次锚喷支护,出现了软岩动压巷道双层锚喷网支护、微伸长全长锚固锚杆挂加梁喷混凝土等支护型式,大多收到较好效果。

我国软岩巷道支护研究工作已取得一批重要成果,但许多方面有待进一步改进与提高,今后应侧重研究以下诸问题:

1. 软岩巷道掘进与支护配套设备的研究,特别是轻型配套设备的研究;
2. 可缩性大型弧板结构型式的进一步研究(可在同济型基础上进一步改进);
3. 学习日本新隧道衬砌(NTL)法经验,研究适合我国煤矿软岩巷道特点的喷射混凝土新技术,以达到基本上无材料回弹和不产生粉尘;
4. 积极开发巷道围岩现场监控、分析、预测预报自动化计算机系统与技术,并使之适用于软岩大变形巷道。

式中 αp_0 为椭圆屈服线的短轴, βp_0 为椭圆屈服线的长轴, p_0 为椭圆与横轴交点座标值相当于硬化函数, $\alpha p_0, \beta p_0, \Gamma$ 和 p_0 都是 w 和 ϵ_s^t 的函数, 通过分级浸水试验确定。

$\alpha p_0, \beta p_0$ 和 r 为湿陷体应变 (ϵ_s^t) 和含水量 (w) 的函数

可根据试验曲线 $p - \epsilon_s^t$ 和 $q - \epsilon_s^t$ 予以确定。

另一方面对黄土动变形强度和振动湿陷研究也取得了开创性成果, 为评定黄土地基振陷稳定性提供出理论依据。例如原状黄土的动应力—应变关系与初始含水量密切相关, 对于不同初始含水量 [干型 ($w < w_s$), 湿型 ($w > w_s$), 饱和型 ($w > w_L$)] 黄土的动应力—应变关系, 动强度和振陷的试验研究取得下列成果:

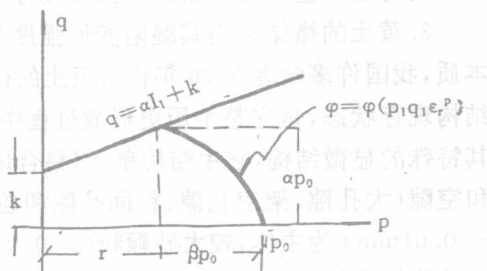


图 3-1 黄土的湿陷屈服函数曲线 ($w = c$)

(1) 动应力—应变关系^[4]

当黄土的天然含水量较低 ($w < w_s$), 结构性强, 动本构关系呈直线型。随着含水量增大, 结构性逐渐变弱, 动本构关系渐变为双曲线型, 反映出黄土结构性对动应力—应变关系的影响, 干型黄土和饱和黄土的动本构模型可分别用下式表示:

$$\sigma_d = c \epsilon_d$$

和

$$\sigma_d = \frac{\epsilon_d}{a + b \epsilon_d}$$

干型黄土的动弹性模量为一常量, 仅随固结比的增大而增大。对于含水量大于缩限的湿型黄土动弹性模量随应变增大而减少。

(2) 动强度

a. 干型黄土的动强度由抗拉强度控制。呈脆性拉断破坏, 其大小受振次影响不明显, 主要随固结应力比的增大而增大。

b. 饱和黄土的动强度由抗剪强度控制, 呈塑性压剪破坏, 破坏标准应以屈服应变确定, 动强度随固结应力比的增大而减小。饱和黄土破坏时发展的孔压水平较低, 振动停止, 虽然会因孔压分布不均而有所上升, 但仍达不到侧压的水平, 而且固结应力比愈大, 达到的孔压水平愈低。

(3) 动变形

a. 黄土的振陷变形随初始含水量和动应力的增大而增大。当初始含水量小于缩限时振幅变形很小, 可以忽略不计, 饱和黄土振陷变形随固结应力比的增加而急剧增大, 故实际工程 必须注意由此而产生的破坏。

b. 黄土的振陷变形系数 δ_d 与湿陷变形系数 δ_s 具有如下的关系:

$$\delta_d = \frac{c_{mo} - D_{mo} \cdot \delta_s}{A_{mo} + B_{mo} \cdot \delta_s}$$

与微观结构,加深认识黄土湿陷本质和规律,取得一系列有价值成果,修订处理深度,提高了类型划级标准水平,考虑了新近堆积黄土湿陷特性等,颁发了我国第二代“78 湿陷性黄土地区建筑规范”,把 70~80 年代湿陷性黄土地区的工业与民用建筑设计与维护水平进一步提高,基本消除了建筑湿陷事故。80~90 年代改革开放,基本建设有突出发展,工业厂房和民用建筑面向大型高层发展,对黄土地基的勘测与设计提出更高要求,如深基处理和机理分析等,于 90 年颁发了“90 湿陷性黄土地区建筑规范”,除对“78 规范”中不适宜条款作适当修改外,特别加强了地基综合处理措施,由浅基转变为深基,为保证高层建筑与构筑物稳定运行奠定基础。总之从 50~90 年代,结合各时期的基本建设的发展,对湿陷性黄土地基的理论研究,勘察设计和处理措施都取得了开创性研究成果和丰富经验,具有深远的理论和实践意义^[2]。近年对黄土湿陷变形的弹塑性本构模型的试验研究也取得了突破性的成果。例如根据黄土湿陷是力与水的共同作用,反映湿陷变形塑性特性的屈服函数 ϕ 不仅是应力(σ_{ij})和应力历史(H)的函数,而且也是含水量(w)的函数,其表达式为

$$\phi = \phi(\sigma_{ij}, H, w) \quad (1)$$

若用广义应力(p, q)表示则为

$$\phi = \phi(p, q, H, w) \quad (2)$$

式中 H 为硬化函数,一般是塑性体应变 ϵ_p^e 的函数,即 $H = H(\epsilon_p^e)$ 则 $dH = \frac{\partial H}{\partial \epsilon_p^e} d\epsilon_p^e$

当含水量 w 保持不变时,对于稳定功硬化材料满足 Drucker 公设,则符合正交流动法则,其广义湿陷体积应变增量 $d\epsilon_v^e$ 和剪应变变量量 $d\epsilon_s^e$ 分别为:

$$d\epsilon_v^e = \frac{\partial \Phi}{\partial p} d\lambda \quad d\epsilon_s^e = \frac{\partial \Phi}{\partial q} d\lambda \quad (3)$$

式中 $d\lambda$ 为比例因子,其表达式为

$$d\lambda = \frac{\frac{\partial \Phi}{\partial p} dp + \frac{\partial \Phi}{\partial q} dq + \frac{\partial \Phi}{\partial w} dw}{-\frac{\partial \Phi}{\partial H} \cdot \frac{\partial H}{\partial \epsilon_p^e} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial p}} = \frac{\frac{\partial \Phi}{\partial p} dp + \frac{\partial \Phi}{\partial q} dq + \frac{\partial \Phi}{\partial w} dw}{A} \quad (4)$$

$A = \text{硬化模量} = -\frac{\partial \Phi}{\partial H} \cdot \frac{\partial H}{\partial \epsilon_p^e} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial p}$

将式(4)中的 $d\lambda$ 代入式(3),则得湿陷塑性应变的本构关系为

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_v^e &= \frac{\partial \Phi}{\partial p} \cdot \frac{\frac{\partial \Phi}{\partial p} dp + \frac{\partial \Phi}{\partial q} dq + \frac{\partial \Phi}{\partial w} dw}{A} \\ \epsilon_s^e &= \frac{\partial \Phi}{\partial q} \cdot \frac{\frac{\partial \Phi}{\partial p} dp + \frac{\partial \Phi}{\partial q} dq + \frac{\partial \Phi}{\partial w} dw}{A} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中 ϕ 为湿陷屈服函数,根据三轴湿陷分级浸水的。

试验曲线, $p - \epsilon_v^e$ 和 $q - \epsilon_s^e$ 曲线可求得椭圆屈服函数模式为:

$$\phi(w) = \frac{q^2}{(\alpha p_0)^2} + \frac{(p - r)^2}{(\beta p_0)^2} - 1 \quad (6)$$