

地面岩体处理及加固 研究新进展

姚宝魁 孙广忠 主编

中国科学技术出版社



内 容 简 介

本书中的论文选自“地面岩体工程处理及加固技术岩石力学学术讨论会”，集中反映了我国在地面岩体工程处理及稳定性研究方面的新进展。

本书内容涉及水电站坝基、建筑物地基、露天边坡和自然边坡等各类地面岩体工程。集中介绍了典型地面岩体工程的加固处理方法，其中大型钢筋混凝土井桩、水泥灌浆和化学灌浆、预应力长锚索、水平深钻孔疏排水等均为我国地面岩体稳定性加固提供了新的经验。对地面岩体工程的岩体力学试验，稳定性分析与评价等方面亦进行了深入的研究。

本书内容丰富，对各类地面岩体工程的加固处理及稳定分析、评价具有一定的参考价值，可供从事水利水电、矿山、城建、交通和国防工程建设的广大工程技术人员及高等学校有关专业师生参考。

**“地面岩体工程处理及加固技术岩石力学
学术讨论会”组织单位**

中国岩石力学与工程学会地面岩体工程专
业委员会

中国科学院地质研究所

中国科学院地质研究所岩体工程地质力学
开放研究实验室

**“地面岩体工程处理及加固技术岩
石力学学术讨论会”组织委员会**

主 任:孙广忠

委 员:孙广忠 付冰骏 姚宝魁 许兵 林仁惠 卢世宗

蒋爵光 廖国华

秘书长:姚宝魁

编 委:姚宝魁 孙广忠 傅冰骏 廖国华 许 兵 林仁惠

蒋爵光 卢世宗 马兰英 陈祖安

责任编辑:沈国峰

封面设计:元 元

前 言

中国岩石力学与工程学会地面岩石工程专业委员会第二届会议暨地面岩体工程处理及加固技术岩石力学学术讨论会于1990年10月30日至11月2日在北京召开。

本次学术会议讨论和交流的主要内容是各类地面岩体工程的处理加固技术;以及地面岩体工程中薄弱岩体在设计中的考虑,有关计算和稳定性评价;岩体力学试验研究及岩体性质改造;典型的加固处理工程实例;监测技术及防治措施等。会议共收到和交流了论文60余篇,反映了我国各类地面工程近年来在加固处理、稳定性分析与评价、岩体力学试验研究及防治措施等方面的新进展。涉及的地面岩体工程包括水电坝基、建筑物地基、露天边坡及自然边坡等各方面。

随着建设事业的不断发展,地面岩体工程的规模亦愈来愈大,我国在建的二滩水电站的坝高达245米,露天矿的采深特别是一些老露天矿的采深大多达400—500米左右,且逐渐向更大的深度发展,地面亦已出现50层以上的高层建筑物,这些都对坝基、边坡岩体及地基提出了更高的要求,以便保证地面岩体工程的稳定条件。众所周知,岩体是地质历史作用的产物,在其中存在着各种类型及不同规模的地质结构面,使之形成特定的结构类型,控制或决定着岩体的稳定条件,即便是非常完整的岩体亦并非天衣无缝,仅是控制或决定岩体稳定性的程度不同而已。显然,地面岩体工程对岩体稳定性的要求是客观存在的一对矛盾,工程师的任务是尽量勘测选择完整或较完整的岩体作为坝基、边坡及地基,以保证地面(岩体)工程稳定性的要求。大量的工程实践表明,即使是完整或比较完整的岩体,其中亦会经常存在一些局部不稳定的区段及潜在不稳定的因素,从而需要对其进行局部的处理,加之若干工程条件及客观因素的制约,限制了对地面岩体客观条件的选择,因而工程实践中一般都要对地面岩体进行适当的加固和处理。事实上岩体的加固和处理是地面岩体工程设计、施工的主要内容之一,研究及评价的目的在于结合工程稳定性的需要,寻求较小的加固和处理工作量,以便获得较好的技术经济效益。

地面岩体加固处理及方案选择的主要依据是对岩体稳定性评价的结果,而岩体的力学参数是直接影响评价结果的主要因素。基于岩体的复杂性及岩体力学试验特别是现场岩体力学试验的困难性,要获得比较切合实际的力学参数非常困难,而根据地面岩体工程失稳的典型实例,反分析求得的相应力学参数往往更符合实际情况,从而将传统的工程地质类比法从定性评价提高到定量评价阶段。当然,岩体力学试验方法和技术的不断改进和完善亦十分重要,且在试验过程中保

ABA41/09

证与工程岩体类似的边界条件,特别是比较真实地反映岩体所处的应力状态,是获得比较可靠岩体力学参数及强度参数的可靠保证。这个问题往往不太引起注意,今后应该予以重视。

随着计算机的推广应用,使地面岩体工程的稳定性评价提高到一个新阶段,在边坡工程中的应用更具成效,显然,地面岩体工程稳定性评价微型计算机化,应用计算机辅助设计方法与技术是今后地面岩体工程设计、研究和稳定性评价的重点发展方向。

地面岩体工程是地质工程的重要方面,而地面岩体工程的稳定性是一个非常复杂的系统工程问题,且随着工程规模的不断增大,日益显示其复杂性。由于技术的发展,研究的不断深化,对其稳定性评价亦更趋可靠。

编者

1991.10

目 录

1. 地面岩体工程处理加固及稳定性评价新进展.....	姚宝魁 盛祝平(1)
2. 阳泉市某底商住宅楼地基稳定性评价	姚宝魁 盛祝平 刘竹华(14)
3. 攀枝花昔格达层滑坡	曲永新(22)
4. 安康坝基缓倾角断层物理力学特性及其加固处理	黄一和 齐俊修(27)
5. 李家峡水电站水库滑坡形态预报	黄家然 黄水波(31)
6. 抚顺西露天矿北帮E-800滑坡综合整治	李文山(36)
7. 边坡变形监测与新滩滑坡变形监测资料的 分析和应用	李铁汉 骆培云(40)
8. 露天矿边坡稳定性研究CAD软件研制 与应用	梁兆华 常福馨 李 凯 史贤芳(45)
9. 某露天矿边坡稳定性研究与工程实践	卢世宗 竺 孟(50)
10. 大坝最优化建基岩面的选择.....	熊家富(54)
11. 链子崖危岩体变形破坏的数值模拟.....	刘 钧 徐卫亚(60)
12. 半坚硬岩体上高坝岩基变形研究.....	郭 志(66)
13. 葛洲坝平缓红层坝基主要工程地质问题及其处理.....	孔庆沾(71)
14. 黄河上游岸坡变形体及其工程处理.....	曹树祥(77)
15. 本溪市转山民建2 ² 楼前滑坡加固	贾联锐(85)
16. 成昆铁路小河子、老虎嘴隧道接长棚洞 地基加固.....	李忠孝 金煥东 李勇蓬(88)
17. 新邱露天煤矿西区内排土场的稳定性.....	周昌寿 舒继森(92)
18. 岩体的节理网络模拟与岩体等效渗透特性.....	马 光 朱文彬(96)
19. 二滩坝基弱风化岩体灌浆加固及其效果	张承娟 姚宝魁(101)
20. 链子崖危岩体防治工程措施地震动力 数值模拟研究	徐卫亚 孙广忠 刘 钧(106)
21. 链子崖危岩体变形机理与加固处理地质 力学模拟试验研究	吴玉庚 刘竹华 杜永廉(111)
22. 链子崖危岩体结构特征及对整治决策的建议	杨顺安(119)
23. 不均质夹层滑动面综合抗剪参数的取值问题	张晋云(124)
24. 三峡库区安坪地段顺层高边坡地质 力学模拟试验研究	刘竹华 陈月斌(128)
25. 张坊水库坝址区软弱夹层抗剪试验研究	齐俊修(138)
26. 老滑坡复活与岸坡防护	盛祝平 孙广忠 张年学(143)

27. 天生桥二级水电站厂房区下山包滑坡整治	庞声宽(150)
28. 二滩坝基灌浆处理试验研究	杨晓东(155)
29. 复杂结构边坡破坏的多元强度反算方法	王建国 陈天敏(159)
30. 石人沟铁矿1#滑坡稳定性评价与工程处理	方义厚 刘立人(163)
31. 应用垂直边坡技术整治厂房外围高边坡	何光同(167)
32. 三峡工程库区山地灾害分析	盛祝平 张年学 孙广忠(170)
33. 抗剪断强度试验的单点分析新方法	张年学(177)
34. 龙头石水电站坝址岩体应力声发射凯萨尔 效应应力研究	刘竹华 张承娟 姚宝魁(184)
35. 钢筋混凝土抗滑桩在海州矿边坡加固中的 应用	项永杰 许炳麟 王起新(189)
36. 二滩电站坝址岩体初始应力场特性的研究	刘竹华 姚宝魁 古 迅(193)
37. 白灰厂滑坡滑面粘土岩的矿物成分及其 物理力学性质	姚宝魁 刘竹华(203)
38. 岩体试件面形态对混凝土与岩体抗剪强度的影响	齐俊修(209)
39. 大口径钻孔灌注桩的施工	张志良(213)

Table of Contents

Recent advance in surface engineering of rock masses	Yao Baokui, Sheng Zhuping(1)
Stability assessment of foundation of a building at	
Yanguan city	Yao Baokui, Sheng Zhuping, Liu Zhuhua(14)
Landslides on the Xigeda layer at Panzhihua city	Qu Yongxin(22)
Physical and mechanical properties of the faults with lower dipangle	
at Ankang damsite and their reinforcement	Huang Yihe, Qi Junxiu(27)
Prediction of landsliding formation at the reservoir area of Lijiaxia	
hydroelectric power station	Huang Jiaran, Huang Shuibao(31)
Comprehensive treatment of E-800 landslide on the north side of	
Fushun openpit mine	Li Wenshan(36)
Monitoring of slope deformation and analysis as well as application of	
monitoring data of Xintan landslide	Li Tiehan, Luo peiyun(40)
CAD software for stability analysis of open pit slope and its	
application	Liang Zhaohua, Chang Fuxin, Li Kai, Shi Xianfang(45)
Appraisal of an open pit slope and engineering practice	Lu Shizong, Da Ke(50)
Selection of optimal base rock surface for a damsite	Xiong Jiafu(54)
Numerical simulation of deformation and failure of dangerous rock masses	
on Lianziya cliff	Liu Jun, Xu Weiya(60)
Investigation of deformation behavior rock base of a high dam on	
semihard rock masses	Guo Zhi(66)
Principal engineering geological problems of Gezhouba base of dam on the	
gently layered red beds and their treatment	Kong Qingzhan(71)
Deformed masses on the banks of upstream Yellow River and their	
engineering treatment	Cao Shuxiang(77)
Reinforcement of landslide masses in front of Building No. 2 at Benxi	
city	Jia Lianrui(85)
Stabilization of surrounding rock masses (foundation) of long shed adit at XiaohezhiLaohuzui	
tunnel along ChengduKuming railroad	Li Zhongxiao, Jin Huandong, Li Junpeng(88)
The stability of spoil bank at the west area of Xinqiu open pit coal	
mine	Zhou Changshou, Shu Jisen(92)
Modelling of joint networks in jointed rock masses and equivalent	
permeability characteristics	Ma Guang, Zhu Wenbin(96)
Effect examination of grouting reinforcement of weakly weathered rock masses	

at Ertan dam site	Zhang Chengjuan, Yao Baokui(101)
Numerical simulation of seismic dynamics in engineering treatment of dangerous rock masses on Lianziya cliff	Xu Weiya, Sun Guangzhong(106)
Geomechanical modelling of deformation of dangerous rock masses on Lianziya cliff and their reinforcement	Wu Yugeng, Liu Zhuhua, Du Yonglian(111)
The structural characteristics of dangerous rock masses on Lianziya cliff and suggestion to their treatment	Yang Shunan(119)
The determination of comprehensive shear strength parameters of heterogeneous intercalated sliding surface	Zhang Jinyun(124)
Geomechanical modelling of stability of high dip slopes at Anping town of Three Gorges' reservoir area	Liu Zhuhua, Chen Yue-e(128)
Shear test of intercalated soft layer at dam site of Zhangfang reservoir	Qi Junxiu(138)
Stability of landsliding bodies and prevention of bank slopes	Sheng Zhuping, Sun Guangzhong, Zhang Nianxue(143)
Treatment of Xiashanbao landslide at Tianshengqiao hydroelectric power station	Pang Shengkuan(150)
Experimental investigation of grouting treatment for the base of Ertan dam	Yang Xiaodong(155)
Back calculation of multivariate strength for failure of slopes with complex structures	Wang Jianguo, Chen Tianmin(159)
Stability evaluation of landslide No. 1 at Shirengou iron mine and its engineering treatment	Fang Yihou, Liu Liren(163)
To treat the high slopes around a workshop by applying vertical slope technique	He Guangtong(167)
Analysis of mountain disasters along the Three Gorges' reservoir	Sheng Zhuping, Zhang Nianxue, Sun Guangzhong(170)
New analysis method of shearing strength for the single sample	Zhang Nianxue(177)
Determination of the ground stress at the damsite of Longtoushi hydroelectric power station with Kaiser Acoustic Emission effect	Liu Zhuhua, Zhang Chengjuan, Yao Baokui(184)
Application of reinforced concrete slidingresisting piles in slope improvement of Haizhou mine	Xiang Yongcheng, Xu Binglin, Wang Qixin(189)
Investigation of initial ground stresses at Ertan damsite	Liu Zhuhua, Yao Baokui, Gu Xun(193)
Composition and physiomechanics property of the clay rock on the sliding surface for the Baihuichang landslide	Yao Baokui, Liu Zhuhua(203)
Effect of form of the rock surface on the dam face to shear strength between concrete and the rock surface	Qi Junxiu(209)
Construction of concreting pile foundation for the large diameter drill hole.....	Zhang Zhiliang(213)

地面岩体工程处理加固及稳定性评价新进展

姚宝魁 盛祝平

(中国科学院地质研究所)

一、前言

地面岩体工程广泛涉及人类活动的各个领域,且随着人类活动范围的不断扩大,各类地面岩体工程的规模亦愈来愈大,相应对其稳定性或稳定性评价可靠程度的要求亦愈来愈高,这就促使人们对地面岩体的稳定性引起广泛的注意,并进行了长期的研究。水力发电站坝址、露天矿边坡及高层建筑基础都属典型的地面岩体工程,它们是人工开挖,或者本身便是地面岩体工程,或者为各类地面工程的基础或组成部分,这些是地面岩体工程稳定性研究的主要对象或主要方面。另一类地面岩体“工程”虽然未经人工开挖,但在天然营力长期作用及人类活动的直接或间接作用下,其稳定性亦可能发生变化而直接威胁各类地面建筑物的安全,因此从广义的角度来看,它们亦应属于地面岩体工程的范畴,各种自然边坡滑动或岸坡崩坍变形体、地面岩溶坍陷、乃至泥石流等是其主要方面。显然,对地面岩体工程稳定性的研究,不但要研究地面的人工开挖工程,诸如坝基、露天边坡及地基,而且要研究广义范围内与人类及工程建筑物的安全密切相关的自然边坡、地面岩溶坍陷及泥石流灾害等。

随着科学技术及开挖施工技术的进步,我国地面岩体工程的规模愈来愈大。目前我国正在建设的四川雅砻江二滩水电站的坝高达 245m,对相应坝基岩体的稳定性提出了很高的要求,一旦失稳溃坝将产生灾害性的后果,不但整个水电站毁于一旦,且毁灭距水电站下游约 30Km 左右的攀枝花市,其经济损失及生命财产的损失是无法估量的。露天矿的开挖深度亦愈来愈大,建国初期的露天矿多为山坡露天或浅层露天开采,开挖深度一般不超过 100m,而目前我国的露天矿最大开挖深度已达 500m 左右,且随矿山的不断开采具有继续延伸发展的趋势。这就产生了更多、更为严重的边坡稳定性问题。例如,抚顺西露天矿自建矿至 1990 年的七十多年间共发生滑坡近 70 次,为了处理滑坡,共削坡减载剥离岩石近一亿方,1959 年发生的底板凝灰岩顺层滑坡毁坏矿山西大卷主要提升运输系统,工程处理历时三年,耗资 2000 余万元。1979 年露天矿西端帮发生大滑坡,掩埋西大卷提升运输系统,再度使矿山停产,这些都严重地威胁着矿山的安全生产及技术经济效益的有效发挥,成为矿山开采过程中存在的重大难题。建筑物地基亦随建筑物高度的增加而对其提出更高的要求。近 10 年来高层建筑如雨后春笋,北京国际饭店高达 30 余层,为保证其稳定,必须对地基进行相应的工程处理,山城重庆及攀枝花市的不少高层建筑建在边坡岩基上,对这些边坡岩基的稳定性需作出可靠的评价并采取必要的加固处理措施。

由于人类活动领域及范围的不断扩大,自然边坡失稳、地面岩溶坍陷等地面工程问题亦愈来愈突出,其规模亦非常巨大。甘肃酒勒山滑坡总体积达 $4 \times 10^7 \text{m}^3$,滑坡复盖面积约 2Km^2 ,滑距达 1500m 左右,滑坡发生仅数十秒钟,使三个自然村庄荡然无存,冲毁农田 3000 余亩。云南禄劝滑坡沿烂泥沟谷地发育,滑体范围长 6—7Km,宽 1.8—2.7Km,面积约 12Km^2 左右,滑体落差达 1000m 左右。1982 年四川万县地区普降大暴雨,诱发大量的滑坡,云阳县发生两万多

处滑坡,忠县发生的滑坡及崩塌则多达三万余处,其中大、中型滑坡便有30余处。地面岩溶塌陷在我国南方某些矿区相当严重,湖南恩口煤矿发生岩溶塌陷坑达5800余个,斗笠山矿2000余个,煤炭坝矿1000余个,凡口铅锌矿1个,广东石碌铜矿3171个,马口矿3000个左右。凡口铅锌矿地面岩溶塌陷坑的分布面积为 $2.4 \times 3.5 \text{ km}^2$,石碌铜矿则达 $2.9 \times 4.3 \text{ km}^2$,远远超过地下开采区。地面岩溶塌陷的直接原因是地下开采引起矿区水文地质条件的变化及地表水降落漏斗的形成,地表水入渗的潜蚀作用及真空吸蚀作用是其动力因素,而浅层溶蚀现象发育的灰岩分布是其必要的地质条件,且上复第四纪厚度一般不超过40m。山东泰安市因地下水的超量开采而引起的地面浅层岩溶塌陷亦具有类似的性质。上述均直接影响和威胁地面的安全。

基于上述原因,人们对地面岩体工程的稳定性进行了长期的研究,且不断取得新的进展;为了保证地面岩体工程的稳定条件,其加固处理技术不断创新,取得新的突破;岩体的强度及变形指标是评价其稳定性的重要力学参数,其取值大小直接影响到对岩体的稳定性评价,为了使对地面岩体稳定性评价的结果既充分可靠又经济合理,这就要求所选用的岩体力学指标尽可能符合岩体的实际情况,为此应保证类似现场实际情况的岩体力学试验的条件,在这方面近年来亦取得不少新的成果,且在工程实践中得到了应用。为了交流地面岩体工程方面近年来在上述各方面的新的进展,新的方法和技术。1990年10月30至11月2日由中国岩石力学与工程学会地面岩石工程专业委员会在北京召开了地面岩体工程处理及加固技术学术讨论会。本文是这次学术交流会交流内容的综述,且亦吸收了有关的最近成果。

二、地面岩体工程稳定性评价程序

岩体是漫长地质发展历史的产物,是地质体的组成部分,显然,要正确地评价岩体及地面岩体工程的稳定特性,必须充分地认识所研究对象岩体的各种特性。岩体的特性是多方面的,主要包括岩体的结构特性及物理力学特性两方面,而岩体的结构特性是决定岩体的力学特性及岩体的稳定条件的物质基础。一般来说,岩体的结构特性往往决定了岩体及地面岩体工程的变形破坏特征及其失稳方式,且是确定岩体工程加固处理方案及岩体力学试验方案的依据。近20年来对岩体结构特性的研究,特别是岩体结构理论的创立及在工程中的普遍推广应用,使岩体及地面岩体工程稳定性评价和研究进入了一个新阶段。

地面岩体工程稳定性评价是一个复杂的岩体工程地质力学问题,涉及到工程地质及岩体力学两大方面,并需根据地面岩体工程的具体情况对其进行详细研究。一般来说工程地质条件是岩体稳定性评价的物质基础及地质背景,而岩体力学特性则是决定岩体稳定状态的力学条件。根据地面岩体工程稳定性评价的大量工程实践,可以概括出进行地面岩体工程稳定性评价的一般程序(图1)。由图1可知,工程地质研究的主任务是在详细工程地质测绘的基础上进行岩体结构分类,结合构造应力场特征分析,确定地面岩体工程稳定性分析的地质模型,且岩体结构分类亦为评价岩体的力学特性及进行岩体力学试验提供了地质背景或依据。岩体力学研究的目的是提供岩体工程稳定性分析需要的,符合实际情况的相应岩体力学参数。工程地质及岩体力学研究的结果在于确定岩体工程稳定性评价的力学模型,据此进行稳定性评价的因素对比或类比分析、块体稳定性分析、数值模拟分析及地质力学模拟分析,据此进行稳定性综合评价。综合评价如果稳定则稳定性评价工作便结束,否则应采取各种方法进行岩体工程的

加固及处理,并将加固处理的结果反馈到力学模型重新进行各种相应的分析及进行综合评价,直至其稳定性符合要求。

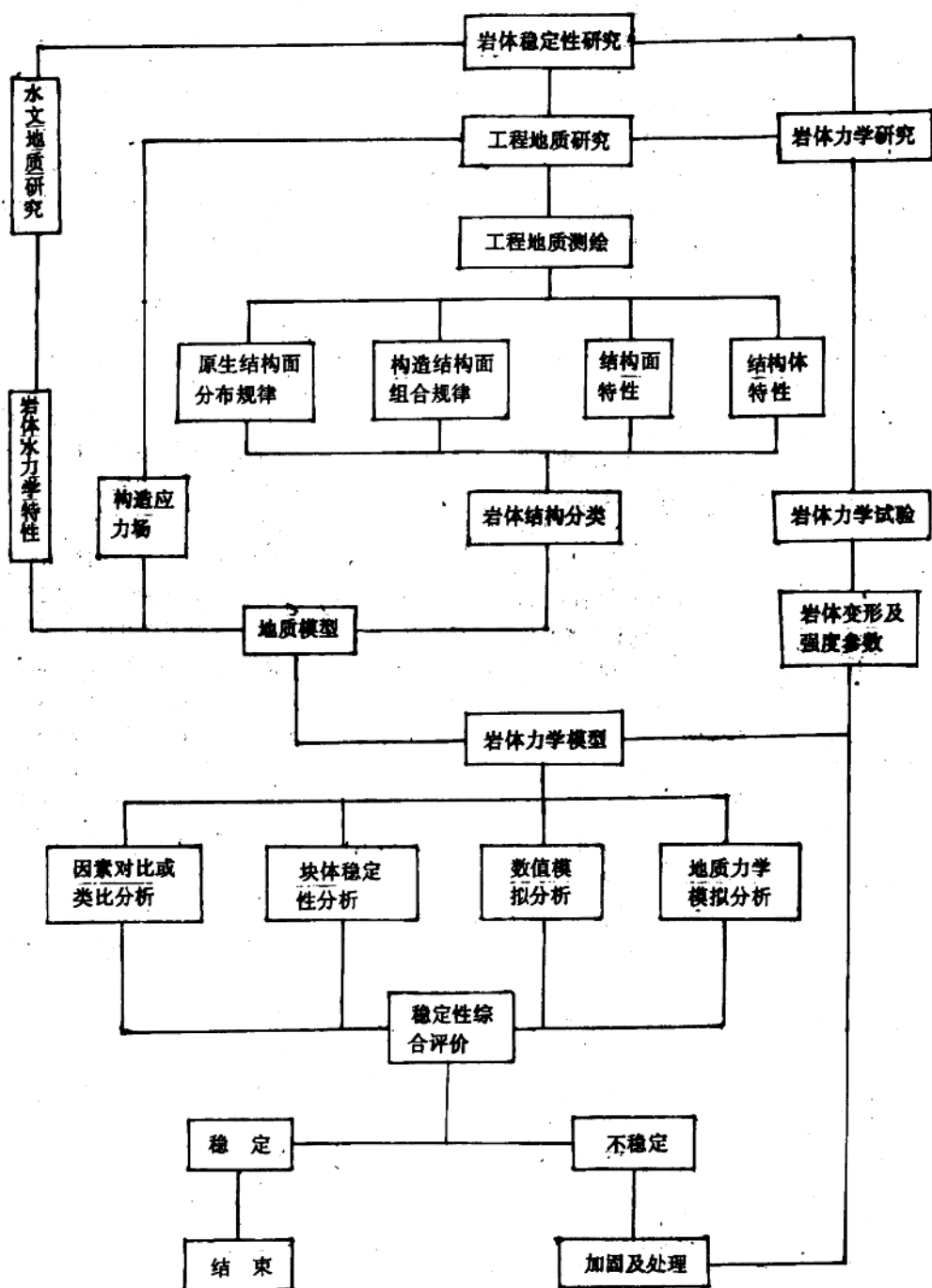
应该强调指出的是,对岩体工程的稳定性需要根据因素对比分析或类比分析、块体稳定性分析、数值模拟分析及地质力学模拟分析的结果等进行综合评价,因为影响岩体工程稳定性的因素非常复杂,且这些因素在某种程度均具有一定的不确定性或模糊些,基于这种情况,在地面岩体工程稳定性评价过程中,无论是因素对比分析或类比分析和块体稳定性分析,还是数值模拟分析和地质力学模拟分析,其分析的结果都不是唯一可靠的,而根据上述分析的结果进行综合评价可以更符合实际情况。

三、地面岩体工程处理与加固

工程实践表明,岩体的稳固与处理是地面岩体工程设计及施工的组成部分,特别是对于那些大型地面岩体工程来说,因其地质条件的复杂性及不均一性,即便具有良好的甚至很好的工程地质条件,但对局部不良地段的局部工程处理及加固亦在所难免。例如四川雅砻江二滩水电站坝址的工程地质条件非常好,整个坝址座落在具整体块状结构或块状结构的二迭系峨眉山玄武岩及后期侵入的正长岩上,但因其右岸坝肩部位局部存在相对软弱的呈碎裂结构的闪辉石化玄武岩条带,影响右岸坝肩的变形,且使左右岸坝肩的变形不对称,因而必须对其进行局部加固处理。另一方面,从技术经济的角度综合考虑,为了减少坝基的开挖工程量,尽可能利用弱偏微风化岩体,提高大坝的建基岩面,亦必须对所利用的弱偏微风化岩体进行必要的加固处理。水电站坝址一般是从众多的坝址方案中进行筛选及确定,而对于那些无法对其进行人为选择的地面岩体工程则更不会完美无缺,局部甚至较大范围的工程处理与加固则更是在所难免。例如露天矿体存在于既定的工程地质条件,人类的开采活动不可能从本质上改造原有的工程地质条件,而只能使开采活动适应特定的工程地质环境,或者对其进行适当的改造,以满足矿山开采的正常进行。我国的大多数露天矿山特别是那些大型露天矿山,其边坡的不稳定区段或具潜在滑动危险性的区段一般占露天矿边坡总长度的20%左右,个别矿山甚至高达30%左右。显然,对其进行局部加固处理在所难免,且贯穿于露天矿开采的始终。

在地面岩体工程的工程实践中,长期以来创造及采用了各种的加固处理技术和方法,以露天边坡工程为例,其加固处理方法可以分成直接加固、间接加固及特殊加固三类。

直接加固	挡墙及护坡
	抗滑桩
	滑动面钢筋混凝土栓塞
	锚杆及锚索
	压力灌浆
间接加固	巷道及钻孔疏干
	防渗墙或防渗帷幕
	地面排水及地面铺盖防渗
	削坡减载卸荷
特殊加固	麻面爆破



上述加固处理方法大多数亦用于其它各种地面岩体工程,且坝基及地基的工程加固处理还采用了一些适合其工程特点的加固处理技术。

抗滑桩是地面岩体工程中常用的一种加固处理方法,在大型露天矿边坡加固及大型滑坡加固时更为常用,特别是近年来大型钢筋混凝土抗滑桩的推广应用为地面岩体稳定性加固处理提供了一条有效的手段。辽宁阜新海州露天矿在矿山开采的过程中,先后采用了钢轨单桩、组合钢轨桩、混凝土钢轨桩及钢筋混凝土桩,由于钢轨桩抗滑能力小,1977年该矿 $\nabla 86$ 站至 $\nabla 36$ 站滑坡同时切断了100根左右的钢轨抗滑桩,使矿山的运输系统一度中断。为适应边坡稳定的需要,该矿自1986年以来,对9.3滑坡、 $\nabla 14$ 站上部滑坡等六处大型或较大型的滑坡采用了钢筋混凝土抗滑桩进行了系统的加固处理,收到了比较理想的效果。钢筋混凝土抗滑桩所承受的滑坡推力高达254T/m,最大桩体的尺寸为 2.5×3.5 m,最大桩深为22m,深入滑面以下锚固段的深度一般为5m左右。目前该矿已累计施工钢筋混凝土抗滑桩111根,总长1033.6m。随着露天矿向深部的延伸开采,露天边坡的稳定条件将不断恶化,滑坡或潜在滑坡的规模愈来愈大,且相对要求边坡长期稳定,而钢筋混凝土抗滑桩为此提供了一种比较理想的加固处理手段。图2为海州露天矿边坡用抗滑桩加固处理后的变形情况,抗滑桩前方边坡滑落,而抗滑桩后的边坡仍然保持良好的稳定状态,保证了矿山的正常生产。



图2 抗滑桩前滑落桩后边坡保持稳定

陕西韩城电厂曾用大型钢筋混凝土抗滑桩群加固滑坡体,有效地保护了电厂的安全。滑坡位于电厂东侧,使电厂的地基及建筑物出现进行性变形和破坏,为此在电厂东侧的滑坡体前缘采用了大规模抗滑桩加固处理,数十根抗滑桩沿滑坡前缘布置,其尺寸为 3×3.5 m,加固处理费用达数千万元。为整治天生桥水电站下山包滑坡,采用了钢筋混凝土抗滑桩,共计施工了18根抗滑桩,桩深24—43m不等,总长593m,桩体尺寸为 3×4 m,共计使用混凝土量 $1.1 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

钢筋混凝土桩在水电工程中亦广泛采用,除用于边坡加固处理外,主要用作软基坝基的承载柱。水电部基础处理公司在援建阿拉伯平原某船闸工程时,曾使用大口径灌注的钢筋混凝土桩。船闸地基上部3m为低塑性粉质粘土,粘土层以下为含泥量较小的密实粉砂及纯砂层。桩体进入砂层约10m。船闸所有结构物均采用大直径钻孔灌注的钢筋混凝土桩作为承载基础,总计施工了546根钻孔桩,钻孔桩直径为1.7m及2m,钻孔桩深25—30m,桩间距4m。钻孔施工

基础,总计施工了 546 根钻孔桩,钻孔桩直径为 1.7m 及 2m,钻孔桩深 25—30m,桩间距 4m。钻孔施工采用意大利 RT3—S 钻机,最大钻孔直径可达 2.2m,最大施工深度 42m,配扩底钻头后其扩孔最大直径可达 4.85m(图 3)。显然大口径钻孔灌注的钢筋混凝土桩是处理软弱土基基础的有效方法。

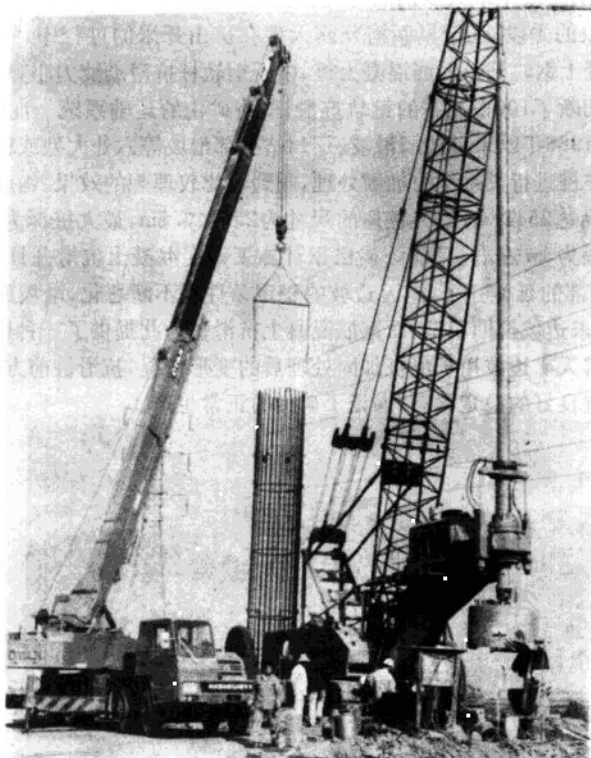


图 3. 大型钻孔桩施工

辽宁省接官厅防潮闸基础施工则应用旋喷、定喷技术加固处理第四纪基础,旋喷桩使闸基下形成直径为 0.8—1.0m 的不规则桩群,借以承受闸室及翼墙的荷载及作为定喷板桩间的联系桩,定喷混凝土板桩则形成防止地基液化的帷幕结构墙。

混凝土板桩加固技术在矿山亦得到应用,山东仓上露天金矿成功地应用混凝土板桩墙治理了第四纪水向露天坑渗入的问题,不但改善了露天边坡的稳定条件,且保护了露天矿周围的地质环境及农田的地下水资源。为了在露天矿周围形成一道防渗效果较好的混凝土板桩墙,综合旋喷、定喷技术,采用了定向摆喷新方法,摆喷角度为 25° 左右,摆喷孔深约 20m 左右,一般深入第四纪以下基岩 5m 左右,孔间距 2m。经过摆喷处理,在露天坑开采境界及其影响范围外缘形成了一道约 600m 长的连续防渗墙,露天坑的渗水从处理前的 3800T/日降低为 500T/日,工程处理的效果非常明显。旋喷加固不但应用于土基,且在铁路碎石路基加固中亦常使用,成昆铁路小河子及老虎咀隧道接长棚洞碎石地基经旋喷后,其性状得到明显的改善,且其使用效果比在土基中应用效果更明显,其声波速度及地基承载能力分别增加 25 倍及 3 倍左右。

混凝土塞及钢筋混凝土塞

混凝土塞及钢筋混凝土塞在大型滑坡及大型水电坝址加固处理工程中亦常用,主要用于滑动面及具潜在滑动危险性的断层面。陕西安康水电站坝基 f_{101} 缓倾角断层中夹泥,其中粘土矿物以伊利石为主,且蒙脱石含量可达18—38%,力学强度低,水理性质差,可能构成滑动面,给大坝的安全带来潜在的威胁,为此采用系统的大型混凝土塞对其进行了加固预处理。根据设计要求,在 f_{101} 断层面上共设置了5条平行的各宽4m,高5m的混凝土洞塞,其方向垂直于断层可能的滑动方向,且在上述主混凝土抗剪洞塞两侧施工了尺寸为 $2 \times 3\text{m}$ 的辅助洞塞,使洞塞群体将 f_{101} 断层封闭。

龙羊峡水电站坝基亦采用混凝土洞塞对断层带进行加固处理。坝址为印支期花岗岩,有断层32条,其中影响大坝安全的主要断层有8条,为此对其特别是坝肩中的断层进行了系统的混凝土洞塞加固处理。加固混凝土洞塞采用与断层正交或接近正交的横向处理方案,避免大范围顺断层掏挖回填置换混凝土可能带来的不利影响。洞塞沿高程自上而下最多布置达7层,其尺寸随断层及其影响带的宽度而变化,最小尺寸为 $3 \times 4\text{m}$,最大尺寸 $5 \times 8\text{m}$ 及 $6 \times 6.5\text{m}$ 。为了保证回填混凝土洞塞的加固处理效果,对混凝土洞塞与周围岩体间进行了补充灌浆,不但保证混凝土洞塞与围岩间密贴,同时亦充填因洞塞开挖而引起的松动裂隙。大坝坝基共开挖洞塞2200m,回填混凝土量达 $7.5 \times 10^4\text{m}^3$,其工程量属世界之首位,超过国外加固处理量最大的日本黑部第四拱坝,其回填混凝土量为 $5.5 \times 10^4\text{m}^3$ 。经过混凝土洞塞加固后,坝基主要断层的处理程度达65%左右,沿断层高程间加固处理范围大致为50%左右,已经过百米水位的考虑,效果良好。其它水电站,如太平湾电站及陈村水库坝基岩体,对其局部断层的处理亦都采用了混凝土塞加固处理。混凝土塞虽是水电工程中处理断层的一种常用的有效方法,但其工作量大,施工复杂,因此加固处理方法的选择应该进行综合的技术经济比较。

长锚索

锚杆在地面岩体加固工程中早已应用,而长锚索目前在我国亦逐渐得到推广,对地面岩体工程来说,它是比锚杆更为有效的一种加固处理手段,特别是对于那些大型岩体工程更能显示其优越性。意大利瓦依昂水电站1963年在近坝库区产生方量达2.5亿方的巨大滑坡,因其越坝涌浪冲向下游而产生了世界水电史上最大灾难性后果,但是大坝本身却完好无损,安全无恙,主要是因为大坝坝基特别是坝肩岩体采用长达55m的锚索进行了系统的加固处理,从而安全地承受了高达 $400 \times 10^4\text{T}$ 以上的大坝推力。这是成功利用长锚索加固地面岩体工程的典型实例。

天生桥水电站下山包滑坡整治除使用了抗滑桩外还采用了预应力锚索,共计施工了长锚索246根,其排距为3.5m,锚索间距3m,深度为22—32m,锚索累计长度达7041m。锚索的设计锚固力为120T,采用 $10 \times 7\Phi 5$ 钢绞线组成,为防锈蚀,锚索涂有防锈剂并用塑料包裹。为加强锚索的加固效果,在预应力长锚索间辅以30T的预应力锚杆。宝成线观音山边坡开裂变形体为不稳定的高路堑边坡(图4),严重威胁铁路的行车安全,应用长锚索进行加固处理同样受到良好的技术经济效果。为加固岸坡开裂变形体,对近似平行的多条变形裂缝,共设计施工了72根长度为7—33m的预应力锚索(图5),锚索累计长度1511m,锚索间距为3.5m,且在其间布置了系统的短锚杆。锚索均接近水平方向布置,与变形开裂裂缝保持近似直交的大角度相交,以便充分发挥锚索的锚固效果,而最佳锚固角的选择取决于滑动面倾角及其抗剪摩擦角的大小,可以通过岩体力学分析计算确定。

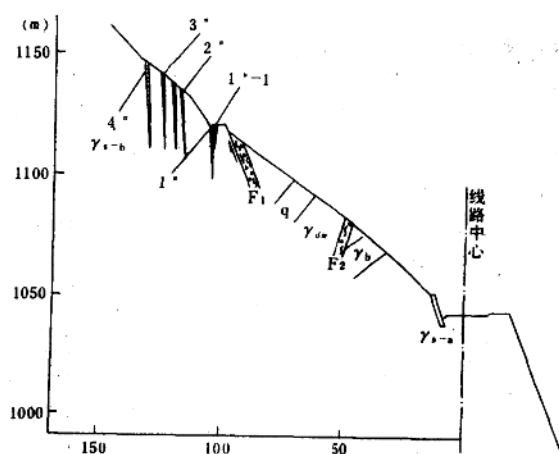


图4. 观音山路边坡剖面示意图

r_1-a : 中、粗粒花岗岩; r_2-a : 闪长岩; r_3-a : 混合岩; q : 石英岩脉; r_4-a : 中、细粒花岗岩;
 F_1 : 断层带宽 6—16m; F_2 : 断层带宽 10—12m; 1#, 2#... 裂缝编号。

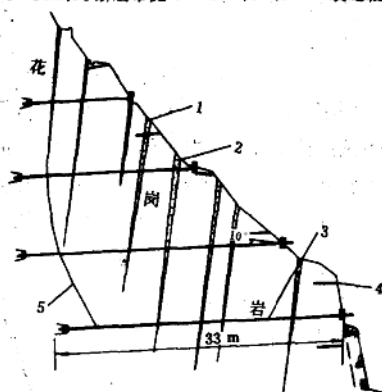


图5. 观音山边坡变形体锚索加固

1. 裂缝; 2. 灌注混凝土; 3. 预应力锚索;
 4. 短锚杆; 5. 岩体松动边界。

灌浆加固及处理

在地面岩体工程中灌浆加固亦是常用的一种岩体加固方法。河北省张河湾抽水蓄能电站下库大坝坝基混凝土防渗墙与围岩间进行压力灌浆, 且对 F_{23} 、 F_{34} 断层与坝基的交汇部位进行了帷幕灌浆处理。二滩水电站坝址为了加固弱偏微风化的岩体, 以便使其满足建坝的需要, 对其进行了压力灌浆处理试验, 且对右岸坝肩部位的纤闪石化碎裂结构玄武岩进行了高压水泥灌浆及化学灌浆试验, 其效果良好。一般来说经过灌浆处理后岩体的声波传播速度可提高 30% 左右, 相应的力学指标如岩体的弹性模量或变形模量, 抗剪强度参数等亦有不同程度的提高, 使这些岩体的力学参数及稳定性条件满足了大坝设计的要求, 并已在工程实际中采用。应该指出的是化学灌浆有其明显的优点, 可以灌注进入岩体中细至 0.006mm 的微小裂隙, 且使