

文章编号:1000-582X(2004)10-0121-04

三峡库区地质灾害防治工作中的几个关键问题*

许江,鲜学福,王维忠,刘喜

(重庆大学西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室,重庆 400030)

摘要:针对三峡库区严重的地质灾害,提出了目前地质灾害防治工作中亟待解决的几个关键问题:一是重视开发能够模拟结构接触面力学特性的试验设备和相关测试技术,以有效确定崩滑体抗剪强度参数;二是要针对三峡库区库水涨落实际情况,规范适合于库区岸坡崩滑体稳定性分析评价的计算工况,为确定岸坡崩滑体整治工程措施提供理论依据;三是崩滑体监测工作发展的方向是开发具备无线传输,自动遥测功能的崩滑体监测系统,不仅要求自动化程度高,可长期连续观测,有利于及时捕捉崩塌、滑坡等地质灾害预警信号,而且其监测预报效果要好;四是运用现代非线性科学理论研究三峡库区地质灾害发生机制以及预测与控制是具有很大前途的。

关键词:地质灾害;防治;监测;三峡库区

中图分类号:P642

文献标识码:A

长江三峡地区山高谷深,水流湍急,沿江常有大规模地质灾害发生。据不完全统计,自1982年以来,库区两岸共发生滑坡、崩塌或泥石流多达70余处,其中规模较大的也有40余处,致死400余人,损失严重^[1]。另一方面,由于三峡库区近年来实施的大量移民迁建工程不同程度地改变了库岸岩土体边坡条件,加之自2003年6月水库蓄水至139 m后形成的新的绵长库岸必定还要经历一个库岸改造——再造过程等,这些都将成为可能引发新的地质灾害。因此,积极探索库区地质灾害发生机制、深入研究库区崩滑灾害形成与空间分布的规律、密切监视崩滑作用在自然与人类活动交互影响下的发生发展趋势、主动注意防治和减轻库区规划建设中诱导的崩滑灾害、加强突发事件的监测预警等工作已经成为三峡库区建设以及相关学术研究领域的一件大事。

1 库区地质灾害概况^[1]

库区地质灾害的主要类型有滑坡、崩塌和泥石流。其中库区的滑坡按岩石类型又划分为松散堆积层滑坡和岩质滑坡两大类,岩质滑坡按滑面形态可进一步分为顺层滑坡和切层滑坡2个亚类,诱发滑坡的主要因素是降雨和库水位的涨落作用等,人类工程活动如边坡开挖和加载也是诱发滑坡的重要因素之一;库区内

的崩塌主要为岩崩,按其变形破坏方式又可分为倾倒式崩塌、滑移式崩塌、膨胀式崩塌、拉裂式崩塌、错断式崩塌和陷落挤出式崩塌等,其中以倾倒式崩塌和滑移式崩塌为主,诱发崩塌的主要因素为冲蚀、人工开挖、采矿、降雨和库水位等;库区的泥石流按产出可分为坡面型泥石流和沟谷型泥石流,库区内发育的泥石流以沟谷型泥石流为主,按其成因可分为自然型泥石流和人工弃渣堵塞型泥石流,诱发泥石流的主要因素为暴雨、崩滑堆积失稳、人工弃渣堵沟等多种因素的叠加。

据库区20个县(市、区)政府在2001年10月前三次上报的辖区内地质灾害基本情况的汇总统计,在库区范围(指淹没影响区和移民迁建区,面积约1.5万km²)内,共发现地质灾害点2548个,其中崩滑体2490个(崩滑体总体积约44.85亿m³)、泥石流47条、塌陷6个、地裂缝5个。2490处崩滑体在地域上又进一步分为2部分,一部分是前缘分布在175米回水线以下、受水库蓄水影响的共1627处,总体积38.86亿m³,其中湖北419处,总体积约10.95亿m³,重庆1208处,总体积约27.91亿m³;另一部分是前缘分布在175米回水线以上,主要分布在移民迁建区内,共863处,总体积约5.99亿m³。其中湖北126处,总体积约1.73亿m³,重庆737处,总体积约4.26亿m³。

* 收稿日期:2004-06-08

基金项目:教育部优秀青年教师资助计划;教育部“春晖计划”资助项目;重庆市院士基金资助项目

作者简介:许江(1960-),男,湖南永兴人,重庆大学教授,博导,主要从事工程岩体稳定性分析的研究。

2 滑坡体抗剪强度参数的确定

大量工程实践表明,影响滑坡体稳定性的因素很多,如岩体(石)类型、组成成分、组成结构、围压、温度、应变速度、含水率、载荷作用时间及作用性质等等,作为其重要组成单元之一的滑坡体滑移面在滑坡体稳定性分析中就扮演着十分重要的作用,其抗剪性能对滑坡体稳定性的影响十分显著^[2]。所以,在岩石力学与工程研究领域中,就滑坡体的稳定性分析计算而言,其滑移面抗剪强度参数(内摩擦角 φ 和粘聚力 C)是其中最关键的计算参数,合理确定滑坡体滑移面抗剪强度参数在工程上具有十分重要的意义。

目前确定滑坡体滑移面抗剪强度参数最常用的方法有经验估算法、实验室测试方法以及现场原位测试方法等^[3],经验估算法即根据 Barton 的 JRC - JCS 模型来求解,实验室测试方法包括直接剪切实验和三轴压缩实验等,现场原位测试方法包括大型直接剪切实验和用于软土层的十字板剪切实验等。

但经验估算法中的滑移面粗糙度系数 JRC 由于要全凭个人的观察与判断,其随意性太大,而实验室测试和现场大型抗剪试验又存在投资大、周期长等缺点。因此,开发能够模拟结构面力学特性的试验设备和相关测试技术日益受到重视。Desai^[4]等研制了多自由度循环剪切仪(CYMDOF);Fakharian 和 Evgin^[5]研制了循环三维接触面剪切仪(C3DSSI),可进行直剪和单剪两类试验,并能够在平面上进行剪切;高俊合等^[6]研制了可进行接触面试验的大型单剪仪等;张嘎等^[7]设计和研制了可以施加 200 kN 的切向和法向力的大型循环加载剪切仪(CSASSI),该设备实现了加载和测量的自动化,并开发了与之配套的宏观和细观测试技术,可较好地模拟和再现单调和循环加载作用条件下结构面的物理力学特性以及变化;李克钢等^[8]也利用自制的压剪实验装置分析测试了处于天然状态和饱水状态的云阳寨坝滑坡滑移面的抗剪强度参数。不过现有这些试验设备大多是在静动力学特性试验设备基础上改进的,没有充分考虑结构面本身的一些特点,如法向应力一般是通过岩土体再施加在结构面上而不是直接施加于结构面本身;又如目前有关结构面的剪切试验大都局限于观察其剪切特性方面的现象,忽略了对有关结构面法向变形方面的观察与分析,而已有的试验研究已经发现结构面确实存在着不可忽略的法向变形以及法向应力应变关系与切向应力应变关系之间的耦合特性;再如已有的结构面抗剪试验设备的尺寸一般都较小,难以模拟粗颗粒岩土体与结构面在单调加载或者循环加载作用条件下的实际力学行为,这些问题都还有待于作进一步深入的研究。

3 崩滑体稳定性分析的计算工况

众所周知,三峡水利枢纽工程建成蓄水后,库区内长江水位将由蓄水前的几十米海拔高度提高到 175 m,且库水水位每年还将在 145 m 和 175 m 之间进行周期性调节,岸坡中的大量古滑坡体及外载荷、库水等环境因素作用下产生的新滑坡体将受到潜水和长期周期性的流水冲刷、浮力减重、静动水压力、浸泡软化以及年复一年的高、低库水水位动态变化所产生的变动载荷等的作用和影响,因此,如何针对三峡库区库水涨落实际情况,探索适合于库区岸坡崩滑体稳定性分析评价的计算工况,为确定岸坡崩滑体整治工程提供理论依据,仍是一个亟待解决的问题^[9-10]。

当滑体处于旱季(天然状态)、雨季(暴雨或长期降雨状态)、175 m 库水位、地震以及库水位由 175 m 下降至 145 m 等不同的情况下,作用在其上的荷载是截然不同的,应加以区别对待。因此,对于岸坡滑体稳定性的分析评价,应充分考虑各种不同情况对崩滑体稳定性的影响,陈萍等^[11]针对库区的实际情况,以丰都名山滑坡为例,系统提出了旱季(天然状态)、雨季(暴雨或长期降雨状态)、旱季 + 175 m 库水位、雨季 + 175 m 库水位、旱季 + 地震、雨季 + 地震、旱季 + 175 m 库水位 + 地震、雨季 + 175 m 库水位 + 地震、旱季 + 库水位由 175 m 下降至 145 m、雨季 + 库水位由 175 m 下降至 145 m 等 10 种典型计算工况,并具体给出了这 10 种典型计算工况的作用荷载体系和相应稳定性分析计算方法。

4 崩滑体的监测预警

目前国际上在地质灾害监测方面的进步主要表现为 2 点,一是在对传统测量仪器上的改进方面,有的采用了新型传感器,提高了测量精度,有的进行智能化改造,增强了功能;二是引进了包括 GPS 卫星定位系统、全站仪等新技术和计算机数据实时采集与分析系统。

对库区重点地段的崩滑体的位移、地下水、声发射等相关参量的长期不懈的现场监测是对崩滑体进行研究与预测的基础,鉴于短时间内大量地表降水(如暴雨、排洪)、地下水位急剧下降等是诱发崩、滑体类地质灾害的重要原因之一,在暴雨这样的恶劣气候条件下要求监测人员始终坚守在现场第一线恐怕是很困难的,而国内地质灾害监测仪器对地质灾害体变形的监测目前还基本上不能实现自动连续观测,数据也不够完整,监测效率低,同时也存在一定的安全问题,不能适应建立三峡库区地质灾害监测及预警系统的要求,因此,开发研究在不接近崩滑体现场的条件下能够长期自动记录并传输诸如位移、地下水、声发射等监测数据的技术也是十分重要的。开发具备自动采集和无线

传输功能的监测监控系统,不仅自动化程度高,可长期连续观测,有利于及时捕捉崩塌、滑坡等地质灾害预警信号,而且其监测预报效果好,无疑是今后滑坡监测工作发展的方向。

在地质灾害模型预报和预警系统方面,英国剑桥大学、美国地质调查所等大学和科研机构,已广泛运用GPS、GIS和RS技术进行地质灾害空间分析、制图、数据处理、模型预报和预警系统研究。也有些学者运用神经网络方法进行滑坡稳定性空间预测,运用统计分析方法研究滑坡与降水的关系,以此为基础做出了滑坡的大降水预报模型。近年来在我国一些地区,如长江上游、黄河中上游、云南、陕西也相继从多方面开展了滑坡、泥石流的预警研究,总结了一系列运用地球物理方法、3S技术、数据库技术的成功经验和监测预报方法。但从整体上看,我国在这个领域与国际先进水平仍有较大差距。主要表现在技术手段上落后,理论创见较少,不能满足防灾减灾工作的需要。今后应大力加强3S技术的应用和理论创新的探索。

5 现代非线性科学理论的应用

众所周知,天然状态的地质体并非简单的弹性体,物质组成非常复杂,周围的地质环境因素(如环境温度、受力方向大小、应变速率及边界条件等)也千变万化,其变形既可以是弹性或弹塑性的变形,也可以是粘弹性的变形,这也决定了结构面运动性质和方式的复杂性及结构面的蠕滑成分与粘滑分量级关系的复杂性。无论是有关岩体的实验分析,还是自然界岩体的研究,其结果都表明,岩体中结构面活动具有不同的方式,只有某种特定的活动方式才有可能导致相应的地质灾害。因此,不仅需要研究结构面是否活动,还需要研究结构面的活动方式。人们通过实验已经发现,岩块间或结构面的滑动方式有两种基本模式,一种是稳定滑动,即滑动过程中没有应力降,有关专家把这种平稳、缓慢的滑移方式称之为称为蠕滑;另一种是不稳定滑动,即滑动过程中伴有周期性的应力降,有关专家把这种产生快速应力降的运动方式称之为称为粘滑。实际情况也正是如此,即当断裂两侧岩层受到应力作用并达到一定程度后,断裂就会发生相对滑动^[12-13]。理论研究和大量实际资料还表明,岩体中任何一个结构面上、下盘岩体的相对运动过程都不可能表现为纯粘滑的运动,或是长期连续的蠕滑运动,由于任一结构面都不可能是完全光滑的,它都是由凹凸不平的地质体组成的,亦即结构面上的摩擦力是不均匀的,当岩体沿着结构面相对于另一盘运动时,在摩擦力小于运动力时,结构面将表现为蠕滑运动;当摩擦力大于运动力时,结构面则表现为粘滑运动,亦即粘滑运动和蠕滑运动应该是交替出现的。

另外,胡道功等^[14-15]通过对断层泥粒度分维值分析发现,断层泥具有自相似特征,其断层泥的分维反映了断层——结构面的运动性质,分维值高的断层泥($D > 2.8$),剪切变形强烈,断层泥组成趋于均匀,且细粒级含量高,由断层长时间缓慢反复研磨而成,相应断层以蠕滑运动为主,而分维值低的断层泥($D < \pm 2.7$),剪切变形较弱,断层泥粒度组成不均匀,粗粒级含量高,断层快速运动形成,反映相应断层以粘滑运动为主。可见结构面断层泥分维值的大小在一定程度上也反映了结构面运动的性质和方式。

大量的研究成果都表明,可能或已经发生地质灾害的地质体是一个具有复杂结构和行为特征的开放和耗散体系,其显著特征就是具有高度的复杂性、非线性和不可逆性,这使得人们采用传统的理论、研究思路和方法手段来进行地质灾害的评价预测时遇到了较大的困难。近年来发展起来的非线性科学理论,因其一系列的新思想,新观点和新方法,已引起了世界各国的科技工作者和各学科领域的广泛关注,自然也给地质灾害的研究注入了新的活力。鉴于三峡库区地质灾害产生的主要原因是含有不连续面的岩土体在水和力等外界因素的扰动下发生滑移失稳所致,是一种与时间因素密切相关联的具有明显粘弹塑性特性的不连续面滑移现象,因此,运用现代非线性科学理论体研究三峡库区地质灾害发生机制以及预测与控制是具有很大前途的^[16]。

6 结 语

基于上述讨论,目前三峡库区地质灾害防治工作中亟待解决的几个关键问题是:1)应重视开发能够测试结构面力学特性的试验设备和相关测试技术,以有效确定地质灾害体的抗剪强度参数;2)要针对三峡库区库水涨落实际情况,规范适合于库区岸坡崩滑体稳定性分析评价的计算工况,为确定岸坡崩滑体整治工程措施提供理论依据;3)崩滑体监测工作发展的方向是开发具备自动采集和无线传输功能的监测监控系统,不仅要求自动化程度高,可长期连续观测,有利于及时捕捉崩塌、滑坡等地质灾害预警信号,而且其监测预报效果要好;4)运用现代非线性科学理论研究三峡库区地质灾害发生机制以及预测与控制是很有前途的。

参考文献:

- [1] 国土资源部. 长江三峡库区地质灾害防治总体规划[Z]. 2001. 10.
- [2] 李建林,孙志宏. 节理岩体压剪断裂及其强度研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(4): 444-448.
- [3] 李瑞源. 岩体抗剪参数的确定[J]. 南昌水专学报, 1992,

- 15(1):19-25.
- [4] DESAI C S, DRUMM E C, ZAMAN M M. Cyc-lictesting and modeling of interfaces [J]. JGeotech Engng, 1985, 111(6):793-815.
- [5] FAKHARIAN K, EVBIN E. Cyclic simple shear behavior of sand stewarter faces under constant normal stiffness condition[J]. Jgeotech & Geoenv Engng, 1997, 123(12):1 096 - 1 105.
- [6] 高俊合,于海学,赵维炳. 土与混凝土接触面特性的大型单剪试验研究及数值模拟[J]. 土木工程学报, 2000, 33(4):42-46.
- [7] 张嘎,张建民. 大型土与结构接触面循环加载剪切仪的研制及应用[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(2):149-153.
- [8] 李克钢,许江,李华,等. 云阳寨坝滑坡滑移面剪切变形特性的实验研究[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2003, 26(7):113-115.
- [9] 范文,俞茂宏,李同录,等. 层状岩体边坡变形破坏模式及滑坡稳定性数值分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(增刊):983-986.
- [10] 乔建平,赵宇. 滑坡危险度区划研究述评[J]. 山地学报, 2001, 19(2):157-160.
- [11] 陈萍,许江,刘玉洪,等. 三峡库区名山滑坡稳定性的计算分析[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2002, 25(12):134-136.
- [12] 侯康明. 利用滑动速率、古地震资料估算走滑断裂的粘滑及蠕滑量的方法[J]. 内陆地震, 1999, 13(3):215-220.
- [13] 邓广哲,朱维申. 岩体裂隙非线性蠕变过程特性与应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(4):358-365.
- [14] 胡道功,吴树仁,殷秀兰. 仙女山断裂带断层泥分维值与断裂活动研究[J]. 地球学报, 1999, 20(2):137-141.
- [15] 易顺民,唐辉明. 活动断裂的分形结构特征[J]. 地球科学, 1995, 20(1):58-62.
- [16] 许江,鲜学福,唐建新. 论三峡库区地质灾害的非线性科学理论与控制[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2002, 25(5):119-123.

Key Problems Controlling the Geological Hazards in the Three-Gorges Reservoir Area

XU Jiang, XIAN Xue-fu, WANG Wei-zhong, LIU Xi

(Key Laboratory for the Exploitation of Southwestern Resources & the Environmental Disaster Control Engineering Under the State, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The geological hazards poses a serious challenge to the ecological system in the region of the Three-Gorge Reservoir area, including landslides, rockfalls, debris flow and water quality control. This paper presents a systematic analysis of the key problems in controlling the geological hazards in the Three-Gorge reservoir area with focus on problems of landslides and rockfalls, and proposes solution measures in four main aspects: 1) development of reliable laboratory testing and field monitoring equipment and technology which can measure the hydro-mechanical properties of potential sliding surfaces, so to determinate the shear strength of a sliding landmass and its controlling parameters, especially over long periods of time and varying hydraulic conditions; 2) development of reliable methods of characterization of the water-level fluctuations of the reservoir as well as the vulnerable landmasses on its banks, and to standardize the methods for stability assessment of rockfalls and landslides with site specific geological and climatic conditions, and to provide the theoretic al foundations for predicting landmass movements and engineering measures for their prevention; 3) development of reliable in situ long-term monitoring technologies which can automatically and continuously collect the varied changes of key physical parameters controlling the evolution of moving landmasses, so to prepare the pre-sliding warning alarm information in time; 4) development of theoretical analysis tools based on the modern theory of nonlinear and irreversible processes, which is used to study the failure mechanism of rockfalls and landslides and their control methods.

Key words: geological hazards; control problems; solution measures; the three gorges reservoir area