

动态、多手段、全过程滑坡预警预报研究

谭万鹏¹, 郑颖人¹, 陈卫兵²

(1. 后勤工程学院, 重庆 400041)

2. 中科院武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071)

摘要: 总结了传统滑坡预警预报方法的发展历史和特点, 提出了一种动态、多手段、全过程的滑坡预警预报研究新思路, 在动态评估滑坡稳定性评价因子、及时修正计算条件和强度参数指标的前提下, 综合采用宏观评判、监测评判和计算评判的方法, 建立了滑坡预警预报全程评价体系, 提出了滑坡预报具体实施方法。并结合某工程滑坡实例, 验证了该方法的可行性。

关键词: 动态; 多手段; 全过程; 滑坡预报; 流变; 强度折减

中图分类号: TU433 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-1933(2010)01-106-06

Studies on the land-slope forecast and early warning by more means in full dynamic discourse

TAN Wanpeng, ZHENG Yingren, CHEN Weibing

(1. Logistical Engineering University Chongqing 400041 China)

2. Institute of Rock and Soil Mechanics Chinese Academy of Sciences Wuhan 430071 China)

Abstract Based on the summarization of the traditional land-slope forecast and early warning methods' advancement and characteristics presents a new method of the land-slope forecast by more means in full dynamic discourse. Based on the dynamically evaluating the stable factors of the land-slope amending the calculating conditions and strength parameters in time. Synthetically evaluating through macroscopic view, monitor data and calculation. Setup the land-slope forecast and early warning evaluating system in full discourse. Present the particular details for carrying out through some project of the land-slope. Proved the feasibility of the new method.

Key words: dynamic; more means; full discourse; macro trend; the land-slope forecast; rheology; strength reduction technique

0 引言

滑坡是常见的一种地质灾害, 其频发性和严重性都相当惊人。随着研究的不断深入, 人们逐渐认识到滑坡防治应以预防为主, 治理为辅。滑坡预警预报是降低灾害影响、避免人员伤亡、减少经济损失的重要保证^[1-3]。

滑坡的发生与诸多内在因素和环境因素有关, 由于其内在因素的复杂性、多样性, 形成条件、诱发因素的随机性与不确定性, 因而对滑坡的预测成为科学界公认的尖端课题之一。迄今为止, 专家的经验预测仍是预报的主要实用手段。国际上最早是由日本的学者斋藤提出的基于统计学的经验公式, 20世纪 80 年代以后, 随着数理科学中一些新方法的兴起, 基于统计方法或曲线拟合、回归分析、模糊评判等统计预报方法蓬勃兴起。90 年代后, 随着科学的发展, 基于神经网络理论、尖点突变理论等的非线性

预报技术也迅速发展起来。但上述预报方法比较适用于趋势预报, 而且目前也缺乏众多可信的样本, 尤其是在即使有众多监测数据的前提下, 但实际情况下都存在有突变现象, 难以依靠破坏前量测的数据, 对破坏时间进行可靠预测, 所以, 目前的滑坡预报方法的准确性有待提高。

1 滑坡预报新思路

滑坡表面的水平位移能够很好地反映岩土体的变形破坏特征, 是滑坡变形的外在反映, 滑坡变形位移监测作为滑坡稳定性评价的一个主要手段, 在评价滑坡稳定性及其发展趋势、预警预报等方面有着重要的意义^[3]。

传统的预报方法将滑坡变形速度即日位移变形量作为滑坡预报判据, 当其大于某临界值时就会发出滑坡警报, 文献 [4] 基于现有一些滑坡的统计结果, 提出滑坡发生前的临界变形速率在 0.1 ~ 1000 mm/d 不等, 差别很大^[4]。在实际分析中, 监测点的位移—时间曲线经常出现突变、负值或断点的现象。以某工程监测点 JC09 的监测数据为例, 如图 1 所示。

由图 1 可知, 从 2007 年 5 月 9 日到 8 月 31 日,

收稿日期: 2008-07-29

作者简介: 谭万鹏 (1979—), 男, 河南巩义人, 博士研究生, 主要从事岩土工程稳定性分析及数值分析研究。

E-mail: tanwanpeng@163.com

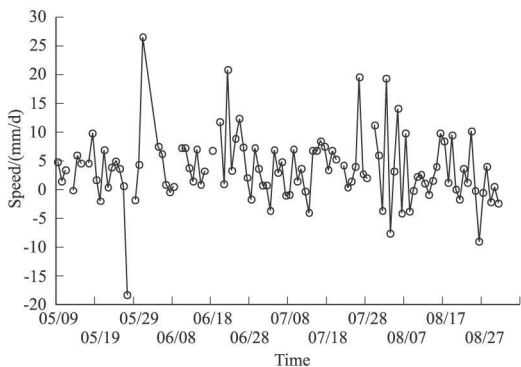


图 1 JC-09(2007年 5月 9日~8月 31日)日位移速率
Fig 1 JC-09 (May 9 th-August 25 th 2007) displacement speed per day

JC-09点日位移速率大于 10 mm/d 的有 10 d 最大 26 mm/d 大于 5 mm/d 更为普遍。如果以 5 mm/d 为预报标准, 就会造成大量误报。同时, 多数日位移速率在 5 mm/d 以下, 3 个月内位移速率时高时低, 不能简单地以某个标准值作为预报的依据, 必须对照动态的天气情况及内、外诱因的变化过程, 进行具体分析。

突变一般发生在连续降雨期间或降雨后, 表明监测点位移速率并非真正很大, 地层并非真正出现了大的位移, 主要是由于连续降雨之后, 土体变软, 弹性模量降低所致。天晴后, 模量回弹, 位移速率变小。

而出现负值的情况, 一般是由于土体的干缩。断点主要是由于天气条件恶劣, 出现强降雨或云雾等不适合量测的天气, 缺少当日数据, 当日的变形累计到了随后的测量中。日位移速率的变化与外因天气、内因、土体干缩等因素有关, 仅看日位移变化量的增大不能判断滑坡产生和发展阶段。如果只是立足于当天的监测数据, 而实际滑坡变形并未达到临界状态就频繁预警, 会造成大量误报, 习以为常, 反而会酿成大灾。

原始的监测数据难以反映滑坡变形的真实规律, 但从监测位移总体趋势上来把握滑坡变形规律, 情况较为好转。

如图 2 3 所示, 监测位移的总体趋势曲线基本

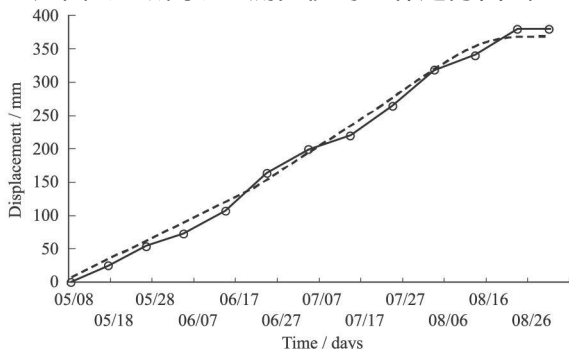


图 2 JC-09 累计位移变形量总体趋势曲线
Fig 2 JC-09 the overall trend curve of accumulated displacement deformation

符合所谓的蠕变三阶段理论。依据不同蠕变阶段的资料可做出相应的滑坡预报, 并进行相应的工程措施。在第二阶段必须进行滑坡的加固治理准备工作, 如勘察设计工作。在蠕变的加速蠕变阶段必须进行应急抢险滑坡加固施工, 并预报滑坡的临滑日期。由于蠕变第二、第三阶段持续时间长短不一, 有的漫长, 有的时间较短, 要进行滑坡加固可能为时已晚。

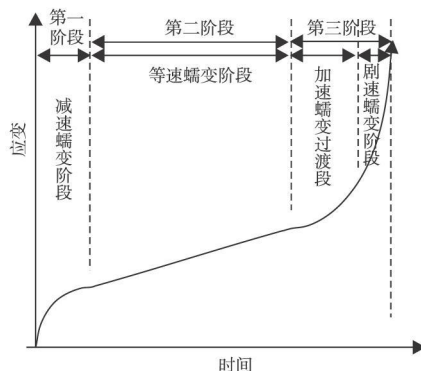


图 3 边(滑)坡时间—蠕变曲线三阶段
Fig 3 Three stages of the land slope time creep curve

为此, 本文以某工程滑坡为例提出了一种动态、多手段、全过程滑坡预警预报新思路。所谓动态是指在研究过程中, 同时考虑滑坡内、外诱发因素变化的影响, 及时修正计算条件和参数指标, 建立动态的全程评价指标体系, 满足适时状况。

多手段, 即分别从定势、定性、定量的角度对位移监测数据、宏观破坏现象和数值分析结果进行相应的趋势分析和综合判断。

全过程是指具体阶段, 具体分析。将滑坡预报分为三个阶段: 中长期预报、短期预报、临滑预报。对应时间—蠕变曲线三个变形阶段。不同的预报阶段采用不同的评价指标、不同的预报方法和不同的工程措施。这种方法属于确定性预报, 当诱发因素的量级明确时, 可给出较为准确的预报结论。

2 工程概况

某工程滑坡始于 2006 年 6 月份, 园区斜坡相继出现多条地面裂缝, 房屋开裂。地面普遍出现下座, 滑坡迹象日趋明显。该滑坡威胁工程园区和长江库岸的安全, 危及游客以及附近村民的安全, 一旦失稳, 经济损失惨重, 必须进行应急抢险和工程处理。

根据勘察报告, 园区位于老滑坡体上, 后缘高程 212 m 前缘高程 158 m 长约 350 m 宽 550 m 土层厚度在 35 m 左右, 体积约 70 万 m³, 为大型横长式滑坡。

3 滑坡稳定性评价因子动态分析

滑坡的产生、孕育和发展, 是一个复杂的地质力学过程。为了准确反映滑坡发展变化的物理机理, 需要对坡体的发展变化过程进行数值模拟。本文所

进行的滑坡预报研究,基于准确的数值计算分析,而现有方法中,监测结果与计算结果存在差异的原因,一般情况下是由于滑坡的实际状况与计算情况存在一定的出入,计算情况一般考虑的是最不利情况;其次是所取参数不当或考虑计算条件不周,以及对未曾考虑到的情况变化估计不周,导致实际强度也会大于设计强度。因此,需要对滑坡稳定性评价因子进行动态的跟踪评估,及时修正计算条件和坡体强度参数。

(1) 滑坡范围与地形(坡高、坡度)。显然该因素对稳定分析结果有影响,但其数据均由实地勘测所得,较为准确。虽然在计算分析中,为了方便计算,无论是用条分法还是有限元法对地形都做一定近似,但其误差影响不大。如果地形有明显起伏,需验算实际与计算的差别,本滑坡 2007 年 7 月以前地形虽有局部削方、填方,对稳定性稍有影响,但总体变动不大,因而对计算不作修正,见表 1。

表 1 某工程滑坡稳定评价因子分析

Table 1 Analysis on the land slope stable evaluating features of some project

内在评价因子	对稳定系数的影响比值/%	外部评价因子	对稳定系数的影响比值/%
滑坡范围、地形(坡高、坡度)	0	长时间强降雨对坡体的渗透、浸泡, c, φ 值降低	2
岩土参数(γ, c, φ)	3	工程开挖与坡脚卸载	0
滑体与滑带的水文地质特性(地下水位、渗透系数)	0	上部堆载与下部压脚	0
滑动面位置与形状	0	河岸的冲刷作用	0
计算方法的可靠性	0	库水位升降高度与速度、地震	0~3.7

(2) 岩土参数。滑体与滑带的 γ, c, φ 值的选取,对稳定分析的影响很大,容重 γ 值一般不易选错,且影响较小,而强度 c, φ 恰好相反。通常,从安全的角度考虑,计算时一般 c, φ 值会稍小于实际情况,考虑水库水位上升到 156 m 后,坡体下部长处于浸泡状态,土体强度降低可使边(滑)坡安全系数降低 3% 左右。

(3) 水文地质特性(地下水位高度,渗透系数)。坡体内地下水位受降雨影响而升高,水位越高,斜坡安全系数越小。

(4) 滑动面位置与形状。滑动面位置与形状对稳定系数有很大的影响,本滑坡计算分析采用有限元强度折减法,通过折减强度参数,自动求得滑面,得到的滑面大部分在老滑带上,部分在滑体上,滑面位置与形状分析是合理的。

(5) 计算方法的可靠性。经过严格的论证,采用严格条分法与有限元强度折减法作稳定分析时,一般都可得到准确的结果。

(6) 长时间降雨与强降雨通常是诱发滑坡的主要外部因素,具体表现在对岩土体上部土体的渗透、

浸泡,导致土体强度显著降低。其次是造成地下水位上升,滑体体重增大,增大了不稳定性。从 2007 年 5~8 月得到的监测数据看,经计算,由于降雨,稳定系数降低 2% 左右。

(7) 工程开挖与坡脚卸载。它一般会引起安全系数的降低,但 2007 年 7 月以前,本滑坡未进行这方面的活动。

(8) 上部堆载与下部压脚。前者使安全系数降低,后者会增加安全系数,但 2007 年 7 月以前,本滑坡未进行这方面的活动。

(9) 库水水位升降的高度与速度。库水水位升降高度大、速度快,动水压力会随之增大,对滑坡稳定性不利^[5]。本滑坡由于目前库水水位变动范围较小,在 145~156 m 之间,虽然产生了一部分不利因素,但影响不大,这也是造成滑坡的原因之一。据计算,对安全系数的影响在 0%~3.7%。

2009 年三峡库水水位将增加至 175 m,库水水位升降范围在 145~175 m 之间,有规则的大幅度升降必将将对边(滑)坡产生严重的不利影响。而滑体绝大部分受到库水浸泡,滑带与滑体强度还会继续降低,因而 2009 年后,滑坡的可能性极大,必须对该工程进行加固。

(10) 地震及其他强烈的地质构造活动。地震可以造成坡体的移动、运动,使土体液化影响坡体的稳定状态。本次计算未涉及此方面活动。

(11) 河岸冲刷作用。河岸冲刷可以侵蚀坡脚,削弱强度,造成稳定系数降低,是诱发新滑坡、复活老滑坡的因素之一。本次计算未涉及。

据表 1 对本滑坡稳定性评价结论如下:2005 年 5 月~10 月库水水位逐渐上升至 156 m,致使部分滑体、滑带被水浸泡,强度降低,加上水位升降影响坡体变形发展。2006 年 5 月,坡体出现开裂,2006 年雨季以后,宏观变形已较为明显,滑坡进入等速蠕变阶段。2007 年 6 月下旬至 8 月初进入雨季,滑坡变形加剧,安全系数进一步降低,滑坡处于加速蠕变过渡段。2007 年 7 月上旬起,工程应急抢险,削方压脚,8 月下旬变形破坏明显减少,滑坡逐渐处于稳定状态。从上述可见,本滑坡稳定性主要受到降雨与库水浸泡及水位升降的影响。

4 多手段滑坡稳定性评判

4.1 宏观分析评判

在滑坡预报时,最可靠、最有效的办法是综合运用宏观观测和现场监测的方法,将斜坡变形破坏的宏观信息与滑坡监测的资料有机地结合起来^[6]。分析该工程宏观破坏现象,并得出结论如下。

2006 年 6 月起,斜坡相继出现多条地面裂缝,房屋开裂。2006 年 10 月以后,出现平行的雁羽状

地面裂缝, 裂缝宽 0.5~20 mm 地面普遍出现下座, 下座高度 1~63 mm 裂缝所经过房屋大多被拉裂。园内厕所后部地面下座达 63 mm 不得不拆除。从 2006年 10月到 2007年 6月, 边(滑)坡由弱变形阶段, 逐步过渡到较强变形阶段。5月 24日夜, 该工程宾馆与变电所之间围墙发生局部倒塌。6月中旬, 坡体库岸中下部, 条石护坡已经出现隆起现象, 肉眼可辨, 该裂缝隆起约 3 mm 且随着时间推移, 隆起日趋明显。民房后 3处出现土溜, 土方量在 20~25 m³。深部位移测斜管被推移破坏。进入 6月下旬, 变形继续增强, 滑坡已经进入强变形阶段, 土溜土方量持续增加, 民房烟囱基本被剪断。库岸隆起部分高度、范围增加。公路外部沉降明显, 水泥垫层遭到破坏。移民房挡墙后部土体出现裂缝, 且与民房位移开展不均匀, 距离日趋接近。土溜次数越来越多, 裂缝宽度与测点变形明显增大, 表明滑坡已进入强变形阶段。直至 8月中旬, 经过削方、压脚等治理, 坡体变形逐渐减小, 趋于稳定。

4.2 监测分析评判

依据断面是否在边(滑)坡主轴断面或与其平行的断面上、测点的多寡, 位移敏感性的强弱, 以及测点变形规律是否明显、监测数据的完整与否, 在详细分析测点的日位移速率、位移加速度的基础上, 同时根据择优、合理的原则, 选取 1-1断面为关键测试断面, 选取 1-1断面的 JC-09点为关键监测点。

由于日位移速率变化幅度大, 只看单个测点的总位移量和日位移量, 难以进行准确预报。而降雨时位移速率的大幅度增长, 不能作为滑坡预报的依据, 这也是当前预报中容易出现错误预报的原因。为了消除断点、突变及负值影响, 真实反映坡体变形总体规律, 在保证位移变形总量不变的情况下, 得到了 JC-09点的日累计位移变形量与时间的关系曲线。单纯的分析该曲线, 并不能得出坡体位移变形规律, 需要从整体趋势上加以把握。因此, 分析了平均 15 d 的累计位移变形量与时间的关系曲线, 如图 4所示。

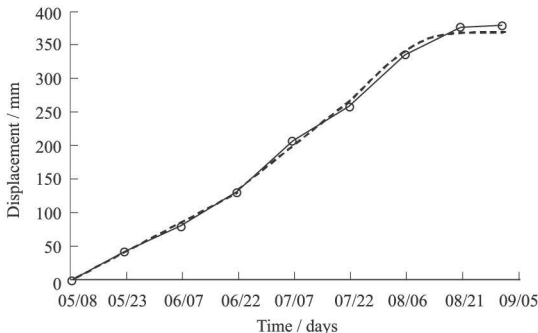


图 4 时间—累计位移关系曲线的总体趋势线 (15 d)
Fig 4 The overall trend (15 days) of the time-accumulated displacement curve

从图 4可知, 监测位移总体趋势线大致分为三段, 6月 14日之前, 坡体处于直线等速蠕变阶段, 6月 23日至 7月 14日, 相对于前一阶段, 坡体处于速度较高的直线等速蠕变阶段, 相当于加速蠕变过渡阶段。7月 14日后, 由于采取了削方、压脚等工程措施, 总体趋势线呈抛物线状, 并于 8月 3日后逐渐平滑, 坡体处于减速蠕变到逐步稳定阶段。

4.3 计算分析评判

依据粘弹塑性力学的岩土体流变理论是滑坡预警预报的基础。以岩土体蠕变理论为基础, 研究滑坡变形过程中应力、强度、应变、位移以及应变(位移)速率等随时间变化的物理规律, 进而预报滑坡滑动时间, 应是滑坡滑动时间预测预报研究的突破口之一^[7]。

因此, 本文选用 FLAC3D软件中的 Burgers模型与 Mohr-Coulomb模型串连而成的复合粘弹塑性模型 CVISC模型, 其一维应力状态下的流变模型如图 5所示。该模型由马克斯韦尔模型、开尔文模型和一个塑性元件串联而成。

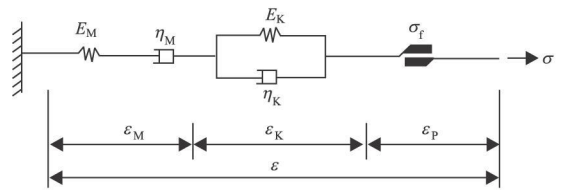


图 5 FLAC3D中 CVISC流变模型
Fig 5 The CVISC rheology model of FLAC3D

图 5中, σ 为岩土体应力; E_M , E_K , η_M 和 η_K 分别为弹性模量、粘弹性模量、马克斯韦尔粘性系数和开尔文粘性系数; σ_f 为岩土体材料的屈服强度; ϵ_M , ϵ_K 和 ϵ_P 分别为马克斯韦尔体、开尔文体的应变和塑性应变。如果上述模型的马克斯韦尔粘性系数 η_M 取为无穷大, 则对应的岩土材料只会出现衰减蠕变。本文所考虑的对象限于仅具有衰减蠕变性质的岩土体, 具体实现在计算中将马克斯韦尔模型粘性系数取为无穷大, 此时 CVISC模型即为广义 Kelvin粘弹塑性模型。对关键监测断面 1-1, 建立计算模型, 划分网格如图 6所示。

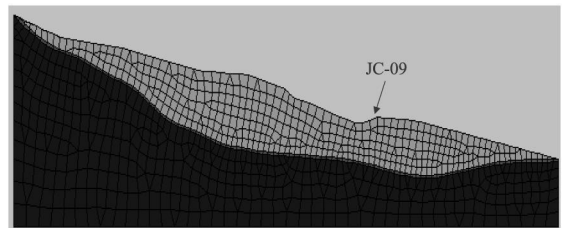


图 6 1-1断面计算网格划分
Fig 6 Computing grid division of the 1-1 section

选用的模型及参数: 上部滑体及下部滑床选用 Mohr-Coulomb模型, 中部的软弱滑带选用 CVISC模

型,相关参数如下:

(1)滑体土:重度 20.6 kN/m³、抗剪强度 c=29.43 kPa φ=11.03°,弹模 E=1.3 MPa泊松比 μ=0.3

(2)滑(面)带土:重度 20.6 kN/m³,瞬时弹模 E_M=1.3 MPa泊松比 μ=0.3,流变弹模 E_M=0.73 MPa抗剪强度 c=20 kPa φ=9.3°

(3)滑床(无孔隙条件,不考虑其渗透性):重度 25.1 kN/m³,弹性模量 E=13.52 MPa泊松比 μ=0.36抗剪强度 c=0.27 MPa φ=27.2°

如图 7所示,采用强度折减法对流变模型分别计算安全系数为 1.08 1.05, 1.03时坡体的监测点 JC-09位移开展及不同的安全系数所对应的日累计

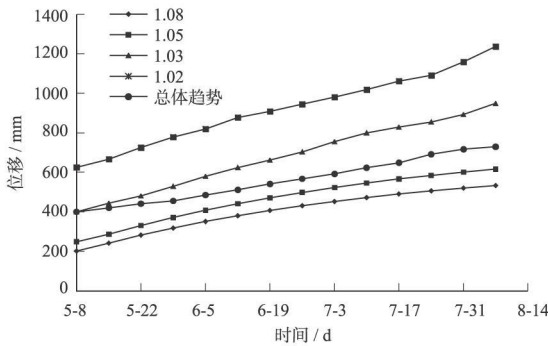


图 7 计算累计位移曲线与监测数据总体趋势曲线

Fig 7 The accumulated numerical displacement curve and the overall trend curve of the monitor data

表 2 滑坡预警预报全程评价指标

Table 2 The landslide forecast and early warning evaluating parameters system in full discourse

变形破坏阶段	稳定状态	弱变形与较强变形状态	强变形状态	临滑状态
安全系数	>1.10	1.10~1.04	1.04~1.01	1.01~1.00
现场观察指标	边(滑)坡体及其上面的建筑物均无明显变形,无地裂缝	主滑带剪应力超过其抗剪强度而发生蠕变,裂缝逐渐扩大并使牵引段发生拉裂;边(滑)坡体无明显变形;边(滑)坡后缘地表或建筑物上出现一条或数条地裂缝,由断续分布而逐渐贯通;滑坡两侧、滑坡前缘均无明显变形或滑坡两侧出现雁羽状裂缝。坡体中上部出现下沉、下错等现象	主滑段和牵引段滑面形成,滑体沿其下滑推挤抗滑段,抗滑段滑带逐渐形成;坡体中、上部下沉并向前移动,下部受挤压而抬升,变松。后缘主拉裂缝贯通,加宽,外侧下错,并向两侧延长;滑坡两侧中、上部有雁羽状裂缝出现并变宽,两侧剪切裂缝向抗滑段延伸;前缘地面有局部隆起,先出现平行滑动方向的放射状裂缝再出现垂直滑动方向的鼓胀裂缝,时有坍塌,泉水增多或减少	滑体开始整体向下滑移,重心逐渐降低,抗滑段滑面贯通,从地面剪出,整个滑动面贯通,滑坡整体滑移。后缘裂缝增多,加宽,地面下降,滑坡壁增高,建筑物倾斜;两侧裂缝与后缘张裂缝及前缘剪出口裂缝完全贯通,两侧壁出现;前缘坍塌明显,泉水增多并混浊,剪出口附近出现鼓丘
监测数据指标	位移不大,速度趋于零,加速度为零	位移逐渐增大,速度时大时小,趋于等速,无明显加速,处于等速蠕变阶段	位移增大较快,由等速逐渐转向加速,中等加速,处于加速蠕变过渡段	位移与速度剧增,持续高速增长,不再出现明显下降,剧烈加速,处于剧速蠕变阶段
数值计算指标	位移速率迅速减少,速度趋于零,位移值趋于常数	位移线性增大,速度近似等速,无明显加速,处于等速蠕变阶段	位移增速较大,速度由等速转向逐渐加速,处在加速蠕变过渡段	位移与速度剧增,位移增大两个数量级,计算失真,计算机已无法计算

位移变形量^[8]。依据日累计位移变形量与时间关系总体趋势曲线,在直线等速蠕变阶段,直线段斜率即平均日位移速率为 3 mm/d 依据滑坡变形机理,初始位移速率较小,因此取平均位移速率为 2.53 mm/d 自 2006年雨季后开始,2006年 10月到 2007年 5月之间,滑坡位移估计为 450 mm。将该初始位移量叠加到 2007年 5月 8日之后的累计位移,对比现场监测数据以及考虑流变情况下,采用有限差分法计算所得的不同安全系数所对应的日累计位移变形量与时间关系曲线。

由图 7可知,从 5月到 6月中旬,坡体安全系数约为 1.04 6月中旬到 7月底,安全系数逐步降低,大约为 1.03左右,8月初安全系数逐渐增大,坡体趋于稳定。同时,综合宏观现象及有限元计算分析结果,建立滑坡预警预报全程评价指标见表 2。对比宏观分析评判、监测位移总趋势分析评判、考虑流变情况的计算分析评判结果,依据稳定性评价指标表 2 综合分析得出如下结论:该工程于 2006年 5月出现滑坡迹象,2006年雨季后至 2007年 6月分别处于等速蠕变阶段与弱变形至较强变形阶段。依据计算,安全系数在 1.04~1.07之间;2007年 6月中旬至 7月中旬,进入加速蠕变过渡段与强变形阶段,安全系数在 1.02~1.04之间,未进入临滑阶段。由于 7 8月的削方压脚滑坡治理,至 8月底,斜坡趋于稳定。

5 滑坡全过程预警预报实施方法

5.1 两类预警预报对象

实施滑坡全过程预警预报,首先应确定预警预报对象。从滑坡预警预报对变形破坏时间的要求出发,可将滑坡形式分为两类:一类是由于坡体受到长

期内外因素的影响,逐渐发展变形而至破坏,这就是通常所指的需要预警预报的滑坡;另一类是指由于某种特殊原因,如坡体堆载、削脚或遇到特大暴雨、连续强降雨、地震等突发因素的影响,坡体变形剧烈发展,从而诱发突然而来的破坏。这类滑坡所对应的坡体,可以是原本处于稳定状态,毫无变形迹象的

安全体,也可以是正处于发展中的变形体。这两类滑坡形式都是滑坡预警预报的对象。

5.2 三级预警预报模式

根据滑坡变形发展速度与出现危险的可能性大小不同,可将预警预报分成三种等级模式:一是注意预警(三级预警)。表示应引起预警预报相关工作人员的高度注意,进行相关的宏观调查,查清位移快速增长的具体原因,并将有关情况汇报与相关领导管理部门;二是警示预警(二级预警)表示滑坡变形发展很快,有出现滑坡的可能性,应及时对当地居民进行警示;三是临滑预警(一级预警)表明滑坡进入临滑阶段,经领导部门同意下令,居民必须及时强制撤离,以减少生命财产的损失。

5.3 三个阶段的具体实施办法

针对上述的两种滑坡类型,分别对三个预警预报阶段提出具体的实施方法。

(1)中长期预报。首先应根据监测数据,明确滑坡变形发展趋势,确定滑坡预报阶段。当处于中长期预报阶段时,对第一类型的滑坡一般只作三级预警,当日位移速率明显增大,增长速率为前期平均速率的2倍以上,或出现前所未有的最大速率,可做出三级预警。同时立即进行宏观观察,检查周边工程扰动情况,对照天气、水文等各种因素,提出位移迅速增长的原因,确定滑坡预警预报类型。如属于第一类滑坡形式,后继位移速率迅速降低,则可取消预报。如果后继位移持续增长,可根据宏观观测、安全系数计算分析、监测数据与预警预报指标,调整预警等级为二级。如属第二类预报类型,除调整预警等级为二级外,尚应立即采取措施,消除其不利因素,如位移继续迅速增长,且坡体内多个测点大幅度增长,在计算分析后,认为已经进入临滑阶段的,经领导批准后,迅速调整为一级预警。

(2)短期预报。短期预报对应二级预警,发生滑坡的可能性大大增加,初估滑坡时间在数月之内,预报工作人员应增加监测次数,适时进行分析,将近期可能发生滑坡的消息及时警示,发挥群测群防的力量,鼓励群众观察滑坡变形变动情况。无论何种类型滑坡,如位移继续迅速增长,且坡体内部多个测点都出现大幅度增长,在计算分析后,认为已经进入临滑阶段的,经领导批准后,迅速调整为一级预警,并按照预定的滑坡预报方案,预报滑坡日期。

(3)临滑预报。进入临滑预报阶段,预警等级应调整为一级。滑坡将在数天内发生,工作人员在密切关注滑坡发展趋势和主要影响因素变动情况的同时,预报滑坡时间,并依据实际情况,对滑坡时间的预报进行及时调整。此外,由政府部门下令,通知当地居民及时撤离,以减少生命财产的损失。工作人员也应撤至安全区域,运用其他多种手段进行继

续监测,尽可能地收集各种相关资料,以便作出准确预报。

结合该工程实例,由图1~4可知,进入2006年6月份,坡体变形明显,位移平均速率持续增长,经调查分析,该滑坡属于第二类型预报形式,主要受库水水位升降和降雨的影响。6月下旬开始,受连续降雨的影响坡体位移速率加速增长,根据计算分析,安全系数约为1.04,已进入短期预报阶段,预警等级应调整为二级,7月中旬开始,由于采取了削坡、压脚等工程干预措施,坡体位移增长速率逐渐趋于平缓,但累计位移持续增长,至8月初,坡体日趋稳定。

6 结 论

(1)由于突变、断点、负值的存在,原始的监测位移一时间曲线难以反映滑坡变形的真实规律。

(2)简单地把滑坡日位移变形量即位移速率作为滑坡预报的判据是不科学的,必须在考虑工程实际的基础上,对影响滑坡变形发展的稳定性评价因子进行动态的评估,及时修正计算条件和坡体的强度参数指标。

(3)运用监测位移总体趋势分析、宏观破坏现象经验分析、考虑流变的数值计算分析,来综合判定滑坡发展阶段、进而对滑坡进行时间预报的动态、多手段、全过程滑坡预警预报方法是可行的。

如何提高预报的准确度,还有待于提高监测的精度和运算时参数选择的准确性,根据现有的监测数据通过位移反分析来确定FLAC计算模型参数,可为综合判断提供有力的判据,具体细节将在另文中加以论述。

参 考 文 献:

- [1] 郑颖人,陈祖煜,王恭先,等.边坡预滑坡工程治理[M].北京:人民交通出版社,2007.
- [2] 王恭先,马惠民.我国滑坡防治综述[A].第十届土力学及岩土工程学术会议论文集[C].重庆:重庆大学出版社,2007:69-70.
- [3] 王恭先.滑坡学与滑坡防治技术[M].北京:中国铁道出版社,2004.
- [4] 李秀珍,许强,黄润秋,等.滑坡预报判据研究[J].中国地质灾害与防治学报,2003,14(4).
- [5] 郑颖人,唐晓松.库水作用下的边(滑)坡稳定性分析[J].岩土工程学报,2007,27(8):1115-1121.
- [6] 许强,黄润秋,李秀珍.滑坡时间预测预报研究进展[J].地球科学进展,2004,19(3).
- [7] 黄润秋.论滑坡预报[J].国土资源科技管理,2004,(6):15-16.
- [8] 陈卫兵,郑颖人,冯夏庭,赵尚毅.考虑岩土流变特性的强度折减法研究[J].岩土力学,2008,29(1).