

黄莲树滑坡破坏变形机理浅析

李长明¹, 唐波²

(1. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 610081; 2. 重庆市地勘局南江水文地质工程地质队, 重庆 401121)

摘要:以三峡库区奉节县黄莲树滑坡的破坏变形为例,以地表位移、降雨、地下水、库水位的监测为依据,综合分析研究了监测参数的变动和致灾因子相互作用对滑坡稳定性的影响关系,开展破坏变形机理探讨研究,总结形成了初步的研究成果。该研究成果对滑坡的监测预警预报技术具有重要的理论意义,并且对其它以库水位涨落和降雨为主要致滑因子的滑坡的监测临滑预报具有重要的参考价值和指导意义。

关键词:滑坡;破坏变形机理;监测;库水位;降雨量;黄莲树滑坡

中图分类号:P642.22 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)07-0045-04

Study on Deformation and Failure Mechanism of the Landslide in Huanglianshu/LI Chang-ming¹, TANG Bo² (1. Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 610081, China; 2. Nanjiang Hydrogeological & Engineering Geology Brigade, Chongqing 401121, China)

Abstract: Take the example of deformation and failure of landslide in Huanglianshu of Three Gauge and according to the monitoring on ground displacement, rainfall, underground water and the reservoir water level, the effects by the interactions between the changes of monitoring parameters and of hazard factors are analyzed and the deformation and failure mechanism are studied. The paper summed up the preliminary study results which not only has important theoretical significance for monitoring and early warning for landslide, but also has reference value and guiding significance for forecasting just before sliding caused by reservoir water level and rainfall.

Key words: landslide; deformation and failure mechanism; monitoring; reservoir water level; rainfall; landslide of Huanglianshu

0 引言

滑坡是人类面临的最广泛、受害最重和时间最长的地质灾害^[1]。我国是一个崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害发生十分频繁和灾害损失极为严重的国家之一,尤其是西部地区,每年由此造成的直接经济损失约200亿人民币^[2]。随着经济建设的发展,交通、水利及资源开发等工程项目的大量实施以及自然环境变化影响,滑坡等自然灾害呈高发态势,对人民生命财产和国民经济造成巨大损失^[3]。

滑坡是长期地壳运动和地质作用的结果,其形成受多种条件的限制,如地质条件、地形地貌、动力作用、人类活动等^[4]。由于知识和认识的局限,以及滑坡自身的多样性和复杂性,使得人们对滑坡的认识还比较肤浅,现今对滑坡机理及发展规律的研究还有待进一步深入,依靠现有的地学知识及建立的各种数学模型还难以准确定量地判断滑坡的稳定状态。很难准确预报滑坡发生的时间、地点和强度,是滑坡造成重大损害的主要原因^[2]。因此,在目前的情况下,笔者认为,在对滑坡等地质灾害深刻研究

的基础上,以科学的方法进行实时监测来实现对滑坡稳定性的趋势研判和早期预警仍然是当前滑坡灾害防治方法中最简单直接、成本最低、最可靠和可信的科学方法,这一结论已被大量的事实所证明。

1 滑坡监测方案

滑坡监测目的是为了了解和掌握滑坡体的演变过程,及时捕捉崩滑灾害的特征信息,为崩塌滑坡的正确分析、评价、预测、预报及工程治理等提供可靠的资料和科学依据。同时,监测结果也是检验滑坡分析评价及滑坡防治工程效果的尺度。因此,监测既是滑坡调查、研究和防治工程的重要组成部分,又是崩塌滑坡灾害预测预报信息获取的一种有效手段^[4]。现今滑坡监测指标主要包括地质宏观形迹监测指标、地面位移监测指标、深部位移监测指标、诱发因素监测指标(如地表水、气象、人类工程活动等)、地下水动态监测指标和地球物理场监测指标等。

三峡库区奉节县黄莲树滑坡是中国地质科学院

收稿日期:2013-06-15

作者简介:李长明(1969-),男(汉族),山东人,中国地质科学院探矿工艺研究所教授级高级工程师,探矿工程专业,从事地质灾害监测技术科研工作,四川省成都市金牛区一环路北二段1号,cdlcm@126.com。

探矿工艺研究所承担实施专业监测的滑坡灾害点。监测至今已有十年时间,积累了大量的监测资料,这些数据对滑坡灾害监测的理论研究具有重要的意义。

1.1 滑坡概况

黄莲树滑坡位于奉节县安坪乡大保村,长江干流右岸,前缘分布高程 95 m,后缘高程 315 m。纵长约 600 m,横宽 550~700 m,滑体平均厚约 15 m,面积 $37.7 \times 10^4 \text{ m}^2$,体积 $754 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。滑坡平面形态呈圈椅形。大地构造处于故陵向斜南翼。滑坡发育于侏罗系珍珠冲组的砂岩、泥岩中,滑体物质主要为砂岩及泥岩碎块石土,滑体表面多为松散土层,下部碎块石土结构密实。

1.2 监测工作概况

根据三峡库区地质灾害监测预警工程设计,黄莲树滑坡的监测内容为 GPS 地表位移监测和宏观巡查监测。滑坡按四横三纵布设地表位移监测点 12 个(监测设施布置见图 1、图 2);监测周期为每月一次,紧急情况加密监测。监测仪器为 Trimble 5700 双频 GPS 接收机。

2007 年 5 月 31 日对该滑坡进行首次险情通报。当时位于滑坡体东部的房屋开裂明显,滑体西部出现大量裂缝和沉降变形,滑坡中部出现多条裂缝;2009 年 5~6 月,滑坡再次出现明显变形;2010 年 2~3 月,黄莲树滑坡前缘出现较大变形,沿江形成贯通式裂缝,宽约 5~15 cm,下挫约 10 cm,变形区域高程在 180~190 m,整体变形情况与 2009 年类似(退水时前缘出现大量拉裂缝)。另外,滑坡左侧临江地段出现较严重变形,变形方量约 $5 \times 10^4 \text{ m}^3$,属于局部变形,未对滑坡整体造成破坏性影响。

由黄莲树滑坡 2012 年 5 月份监测数据分析可知,位于变形区域内的 FJ004 和 FJ005 监测点为变形最大的点。FJ004 点月变形量为 35.8 mm,累计总变形量为 8897.7 mm;FJ005 点月变形量为 32.8 mm,累计总变形量为 3490.1 mm。由图 3 监测时间位移曲线图上可以很明显看出,这 2 个监测点一直持续变形中。

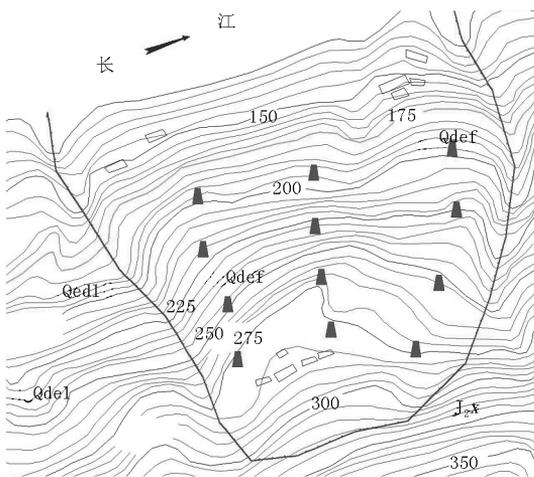


图 1 黄莲树滑体监测预警平面布置图

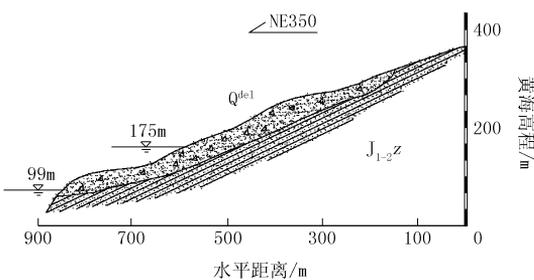


图 2 黄莲树滑体监测剖面图

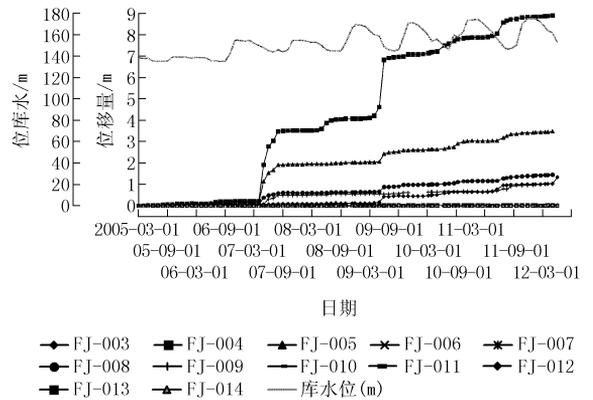


图 3 黄莲树滑坡 GPS 监测点矢量位移时间曲线图

根据 GPS 监测点时间位移数据,结合宏观地质调查表明,由此可以判断黄莲树滑坡仍在持续变形,如遇连日暴雨或库水位骤降等不利因素,滑坡险情有进一步发展的可能性。

2012 年 5 月 28~29 日,奉节县境内连续强降雨,24 h 内累计降雨量达到 85 mm。2012 年 6 月 1 日,黄莲树滑坡发生大规模滑塌。

综合监测取得的 GPS 时间位移数据,绘制了位移矢量时间曲线(图 3),分析研究可得出如下结论:

- (1) 强降雨是导致此次滑坡发生的主要因素,也再次印证了库区 80 mm 降雨量这一警戒值;
- (2) 在每年的雨季(5~10 月份),滑坡的变形位移一般都有一个比较明显的上升台阶,而这段时间也是库水位变化比较大的时段;
- (3) 滑坡的位移变形随时间推移不断增加,但位移变化速率最快的时段,一般是库水位下降的时

2 监测数据分析

黄莲树滑坡的监测从 2003 年 7 月份开始。

候(退水);

(4)库水位的变化对黄莲树滑坡变形位移的影响较大,滑坡位移的变化与库水位的变化呈现负相关的关系,滑坡矢量位移上升时对应库水位下降,当库水位保持相对稳定时滑坡的位移也相对稳定;

(5)滑坡的位移变化量与库水位的变化量呈正相关的关系,即库水位波动比较大时,对应的滑坡位移变化量也较大。

3 降雨量影响滑坡变形关系分析

黄莲树滑坡为顺层滑坡,滑床为侏罗系珍珠冲组砂泥岩互层,倾向 345° ,与主滑动坡向一致,倾角 $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$,在降雨、库水位波动及地震作用下易于滑动。本次滑动变形体范围波及整个滑坡的西部滑体,宽230 m(测),长度约350 m(估),总体积约100万 m^3 。

据勘察资料揭示,滑体物质为粉质粘土夹碎块石组成,碎块石粒径从1~20 cm,本次滑动部分中间滑体相对较厚,两侧滑体相对较薄,滑体表层结构松散,易接受降水入渗。从岩土体组成及渗透系数来看,滑坡大体可以分为3段:第一段滑坡中上部,标高在190 m以上,滑坡体的渗透性相对较好(渗透系数为 0.2×10^{-4});第二段位标高180~190 m滑坡体,此段滑坡体粉质粘土含量较高,碎石含量较少,渗透性较差(0.3×10^{-6});第三段为标高180 m以下至江边剪出口,此段滑坡体在库水多次冲刷及浸泡软化,在多次降雨入渗作用下及库水位下降共同作用下出现了多处裂缝,在强降雨过程中降雨继续入渗,裂缝逐渐增大,裂缝的存在增大了此段滑坡体的渗透性,本段渗透性相对较大(渗透系数为 0.1×10^{-2}),渗透系数远远大于第一段渗透系数。滑坡体上部排水设施相对较差,上部山体及居住点来水大部分排泄进入滑坡体顶部,滑坡体顶部存在多条裂缝,裂缝成因为滑坡体长期的滑动及降雨的不断入渗,裂缝在强降雨时有加大趋势,成为上部降雨入渗至滑带的主要通道。滑带埋深在7~20 m,滑带厚度约为0.8~3 m,滑带土颜色为淡黄色,主要成分为粘土、粉质粘土及碎石组成,渗透性较差,可视作隔水层。

2012年5月28~29日,滑坡区突降暴雨,据雨量计监测数据,28日16时~29日13时,累计降雨量达83.6 mm,其中最大雨强为29日5~6时,最大小时降雨量达152 mm。30日上午巡查发现,西侧滑体中部简易公路处出现一处下坐台坎,最大处约

0.3 m,其周边未发现其它明显宏观形迹。30日夜间变形突然增大,至31日上午6时,滑坡后缘下坐约15 m左右,两侧边界明显出现并和后缘贯通,其右侧缘中部公路最大下坐量达5 m,坡体两侧缘剪张裂缝、中上部横张裂缝和前缘鼓张裂缝纵横发育,坡体内人工堆砌台坎多处倒塌,滑坡进入临滑警戒状态。

经现场调查,变形体范围波及整个西部滑体,宽约230 m,长度约350 m,据已施工的深部测斜管探测,变形体厚度8~12 m,总体积约100万 m^3 。

滑坡启动后,变形一直持续发展。据简易观测,5月31日9~14时,滑坡滑动约5 m,平均1 m/h,其后变形有所减小,至18时,滑动量达7 m,至6月1日上午8时,滑动量达9 m。滑坡体内各类裂缝持续增大增宽,滑坡地表呈解体状。

降雨开始到滑坡体开始发生滑动时间为60 h左右,5月30日上午出现的变形迹象至下午18时并没有出现增大趋势,31日凌晨4时左右滑坡体开始滑动,根据滑坡体渗透系数推算,雨水入渗至滑带的时间与降雨至滑坡体滑动时间略长,说明滑带土存在一个渗透软化的过程,两者在时间上来说是较一致的。

滑坡体后缘在上部来水的作用下通过已有的裂缝入渗到滑坡体内,顺着裂缝下渗,逐渐渗透到滑带部位,并沿着相对隔水的滑带在水力梯度作用下向滑坡体下部渗透,此部分渗透在滑坡体上部的第一段滑体中渗透,渗透系数相对较大,局部存在一定的动水压力,但由于渗透性相对较好,不会对滑坡变形造成巨大影响。随着上游地下水和坡体表面降雨入渗,地下水继续沿着滑带下渗至滑坡体第二段,此段粉质粘土含量很高为相对隔水层,当上游地下水下渗到此段时无法继续下渗就会形成局部的动水压力。随着地下水汇集的逐渐增大,动水压力也逐渐增大,动水压力的增大致使滑坡体变形加剧,同时上部一段的滑体在地下水渗透过程中重力加大,滑带部位在地下水渗透过程中岩土体的物理力学性质(c 、 φ 值减小)变差,同时第三段滑坡体在降雨过程中雨水顺着已有裂缝入渗到滑坡体并逐渐渗透到滑带并继续沿着滑带下渗。此时第一段土体重力增大,滑带岩土体物理力学性质降低,所有的影响因素都向着滑坡体不稳定方向发展。经过一段时间的慢慢积累,当下滑力大于抗滑力时,滑坡达到临滑状态。随着地下水继续汇集,局部的动水压力继续增强,滑坡体开始滑动。第一段滑坡体向下滑动挤压

了第二段滑体,致使第二段滑体出现了多处膨胀变形。第一段挤压第二段滑体膨胀的同时向下移动,此时随着第二段滑体的移动渗流场出现了贯通,此时第一段滑体与第二段滑体的接触带的聚集地下水继续下渗,局部的动水压力得到释放,滑坡此时整体继续下滑。随着地下水的不断下渗进入水库中,形成了地下水贯通通道,滑坡体滑动速度减缓。雨停后上游没有地下水继续补给来源,滑带土的岩土体随着地下水的疏干,岩土体物理力学性质增强,随着岩土体物理力学性质的不断增强,抗滑力开始等于下滑力,此时出现第二次临界状态,抗滑力继续增大,滑坡停止滑动。

滑坡体特殊的三段岩土体组成结构及成分,在大暴雨条件下,地下水不断入渗,造成孔隙水压力急剧增大。滑动面底板为隔水层,粘土质堆积物透水性差,易形成较大的动水压力,可能是本次滑坡变形的主要原因。总体上,暴雨是本次滑坡发生的直接诱发因素。

据统计,降雨诱发的滑坡约占滑坡总数的65%以上,降雨与滑坡的关系在国内外滑坡研究中得到重视。降雨量的监测有时成为预警的直接指标。降雨量监测现阶段一般采用遥测自动雨量计进行监测,技术已较成熟。

4 结论

随着三峡水电站的运行,库区地质环境受到了一定程度的影响。地质灾害隐患增多,地质灾害险情发生频繁,对三峡工程和库区人民生命财产的安全影响日益增加。因此,有效监测、预警及防治库区地质灾害已成为当务之急^[10]。通过对三峡库区奉节县黄莲树滑坡地质概况研究及监测数据的分析研究,可以得出以下结论。

(1) 涉水滑坡的位移变形及稳定性受库水位变化的影响比较大。

(2) 降雨是触发滑坡的重要因素,而在库区,降雨会改变库水位,进而影响滑坡的稳定状态。因此,降雨因素对于库区滑坡的作用既有直接的,又有间接的。

(3) 滑坡位移的变化与库水位的变化呈现负相关的关系。库水位下降段即是滑坡位移变化的上升段,而库水位稳定段也是滑坡位移相对稳定的时段。

(4) 黄莲树滑坡发生大规模滑塌前出现过一次较强的降雨过程,因此,滑坡的失稳是降雨和退水2个关键因子的叠加引起的。

(5) 退水和降雨引发滑坡失稳,在时间上有一定的滞后效应,主要取决于岩性、退水速度和降雨强度;

(6) 黄莲树滑坡发育于侏罗系珍珠冲组砂岩、泥岩中,滑体物质主要为第四系崩坡积物。所以滑坡的发生与岩性也有很大的关系。

三峡水库每年定期的规律性库水位变动和汛期的降雨是对库区周边涉水滑坡等地质灾害的严峻考验。滑坡入江后不但易造成很难准确预料的涌浪等次生灾害,而且较易形成堰塞湖,堵塞河道,并对长江航运产生影响,同时沿岸的居民和建筑物将受到严重的危害。因此,三峡库区滑坡的稳定对于三峡水利工程的安全运营以及长江航道的安全具有重要意义,同时,开展水库型滑坡破坏机理及其关键致灾因子的研究也是十分必要和重要的。

参考文献:

- [1] 文海家,张永兴,柳源. 滑坡预报国内外研究动态及发展趋势[J]. 中国地质灾害与防治学报,2004,15(1):1-2.
- [2] 全达伟,张平之,等. 滑坡监测研究及其最新进展[J]. 传感器世界,2005,(6):10-14.
- [3] 过静,杨久龙,丁志刚,等. GPS在滑坡监测中的应用研究——以四川雅安峡口滑坡为例[J]. 地质力学学报,2004,10(1):65-70.
- [4] 周平根. 滑坡监测的指标体系与技术方法[J]. 地质力学学报,2004,10(1):19-26.
- [5] Enkida M, Ichikawa H, Ouya K. Study on the characteristics in the landslide movement and the analysis model based on the relation between ground water level and landslide movement[J]. Journal of Japan Landslide Society, 1994, 31(2):1-8.
- [6] Iverson R M, Major J J. Rainfall, ground water flow and seasonal movement at Minor Creek landslide, Northwestern California: physical interpretation of empirical relations[J]. Bulletin of Geological Society of American, 1987, (99):579-594.
- [7] 金培杰,曹玉立. 滑坡地区水文地质概念模型的研究[A]. 滑坡文集(十一)[C]. 北京:中国铁道出版社,1994.98-104.
- [8] 季伟峰. 地质灾害防治工程中监测新技术的开发应用与展望[A]. 中国地质调查局. 地质灾害调查与监测技术方法论文集[C]. 北京:中国大地出版社,2005.53-57.
- [9] 唐亚明,张茂省,薛强,等. 滑坡监测预警国内外研究现状及评述[J]. 地质论评,2012,58(3):533-541.
- [10] 王朝阳. 滑坡监测预报效果评估方法研究——以三峡工程库区为例[D]. 四川成都:成都理工大学,2012.