

唐家山滑坡成因机制与堰塞坝整体稳定性研究

李守定¹, 李 晓¹, 张 军², 赫建明¹, 李世海³, 汪阳春⁴

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所 中国科学院工程地质力学重点实验室, 北京 100029;

2. 重庆市地质环境监测总站, 重庆, 400015; 3 中国科学院 力学研究所, 北京 100190;

4. 中国科学院 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘要: 根据唐家山滑坡的地质背景, 研究滑坡及堰塞体工程地质特征, 分析唐家山滑坡类型及发生的地质成因机制; 基于唐家山堰塞体的岩体结构稳定性分析、宏观现象监控与地表位移监测, 研究堰塞体的整体稳定性。研究得出如下结论与启示: (1) 唐家山滑坡属于基岩顺层滑坡, 是典型的地震诱发高速滑坡, 滑坡滑动带可能发育在层间剪切带, 滑坡区发育的构造背景为复式倒转背斜的一翼。(2) 唐家山堰塞体整体结构以块状岩体为主, 上覆风化松散堆积物, 整体地质稳定性较好; 堰塞体地表位移监测显示, 泄洪对地表位移有影响, 最大位移约 140 mm, 随后位移增量较小, 目前处于稳定状态。(3) 应注重地震诱发滑坡→堰塞湖→溃决→洪水的“多米诺”链式灾变研究; 应注重含层间剪切带斜坡的工程地质调查分析和地震滑坡危险性研究。

关键词: 边坡工程; 唐家山滑坡, 成因机制, 堰塞坝, 稳定性, 汶川地震

中图分类号: P 64

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 6915(2010)增1 - 2908 - 08

STUDY OF GEOLOGICAL ORIGIN MECHANISM OF TANGJIASHAN LANDSLIDE AND ENTIRE STABILITY OF LANDSLIDE DAM

LI Shouding¹, LI Xiao¹, ZHANG Jun², HE Jianming¹, LI Shihai³, WANG Yangchun⁴

(1. Key Laboratory of Engineering Geomechanics, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 2. Chongqing Institute of Geological Environment Monitoring, Chongqing 400015, China;

3. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 4. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract: By geological survey and engineering geological characters analysis of Tangjiashan landslide, the landslide types and geological origin mechanism are studied. On the base of the rock mass structure analysis and surface displacement monitoring, the entire stability of landslide dam is studied. The conclusions are achieved: (1) Tangjiashan landslide is of high speed rock slide triggered by earthquake, and is located in a consequent slope of complex overturned fold. Landslide sliding zone is possibly situated in interbedded shear zone. (2) Landslide dam material is mainly block rock mass overlying with weathered incompact accumulation, and entire stability is good. Flood affected the surface displacement of landslide dam with the maximum displacement of 140 mm. Increment of surface displacement is down after flood, and landslide dam is stable now. (3) The chained hazard study of earthquake landslide→dammed lake→breach→flood with domino effect should be emphasized. Engineering geological survey and seismic risk study of slope are included interbedded shear zone.

Key words: slope engineering; Tangjiashan landslide; geological origin mechanism; landslide dam; stability; Wenchuan earthquake

收稿日期: 2008 - 11 - 21; **修回日期:** 2009 - 02 - 01

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2010CB731501, 2009CB724605); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2 - YW - JS102); 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室开放基金资助项目(GZ2007 - 03)

作者简介: 李守定(1979 -), 男, 博士, 2001年毕业于长安大学水文地质与工程地质专业, 现任副研究员, 主要从事工程地质力学与地质灾害等方面的研究工作。E-mail: lsdllyh@mail.iggcas.ac.cn

1 引言

2008 年 5 月 12 日, 四川汶川发生 8.0 级特大地震, 在地震的诱发下, 距北川县城上游 3.2 km 处唐家山发生了特大型滑坡, 滑坡冲入河谷, 堵塞湔江河道, 形成唐家山堰塞湖, 导致当地居民 84 人死亡。滑坡堰塞体长 803 m, 宽 611 m, 厚约 70 m, 方量约 $2.037 \times 10^7 \text{ m}^3$, 堰塞湖坝顶最低部位 752 m, 堰塞湖最大蓄水量 $3.2 \times 10^6 \text{ m}^3$, 水位差超过 70 m, 严重威胁绵阳及下游 130 万人的生命安全。唐家山滑坡发生后, 唐家山堰塞湖抢险指挥部决定采用开挖泄流明渠的方式进行应急排险, 5 月 17 日至 6 月 1 日, 在堰塞体中部靠右岸位置开挖形成一条长 700 m、宽 50 m、深 8 m 的泄流槽。6 月 10 日, 泄洪槽开始大规模泄洪, 洪峰流量达到 $6\ 260 \text{ m}^3/\text{s}$, 6 月 11 日早 8 点, 堰塞湖水位下降到 720 m 以下安全水位, 6 月 11 日下午 4 点, 绵阳市解除黄色预警警报, 唐家山堰塞湖险情全部顺利排除。

唐家山滑坡是汶川地震诱发的规模较大, 危害最为严重的次生地质灾害, 作为典型的地震诱发特大型滑坡, 如何认识唐家山滑坡类型与成因机制, 如何进行堰塞体应急调查与整体稳定性评价, 如何

最快速最直接获得堰塞体变形情况与趋势, 不仅具有重要的学术意义, 也是唐家山堰塞湖应急处置及后续利用的重要现实问题。本文在唐家山滑坡的工程地质特征分析的基础上, 研究了滑坡类型及发生的地质成因机制, 并通过唐家山堰塞体岩体结构分析与地表位移监测, 对堰塞体的整体稳定性进行了评价。

2 地质背景

唐家山堰塞体位于北川县曲山镇大水村湔江河畔, 属龙门山北段西侧, 属于“V”型中高山峡谷地貌。属四川盆地亚热带湿润季风气候, 多年年均降雨量为 $872.5 \sim 1\ 463 \text{ mm}$, 降雨主要集中于每年的 5~9 月, 占年平均降雨量的 80% 左右^[1~8]。

唐家山滑坡位于四川盆地西部, 处在扬子地台与松潘-甘孜褶皱系交接部位, 龙门山北东向构造带映秀-北川断裂(中央断裂)上盘, 映秀-北川断裂总体倾向北西, 倾角 $50^\circ \sim 70^\circ$ 不等, 断裂破碎带 $300 \sim 1\ 000 \text{ m}$ 不等, 其构造岩为糜棱岩、构造片岩等^[2]。断裂两盘主要为古生界及前寒系杂岩组成^[9~15]。唐家山滑坡位置及区域构造见图 1。

研究区岩性为寒武系下统清平组, 厚 482~

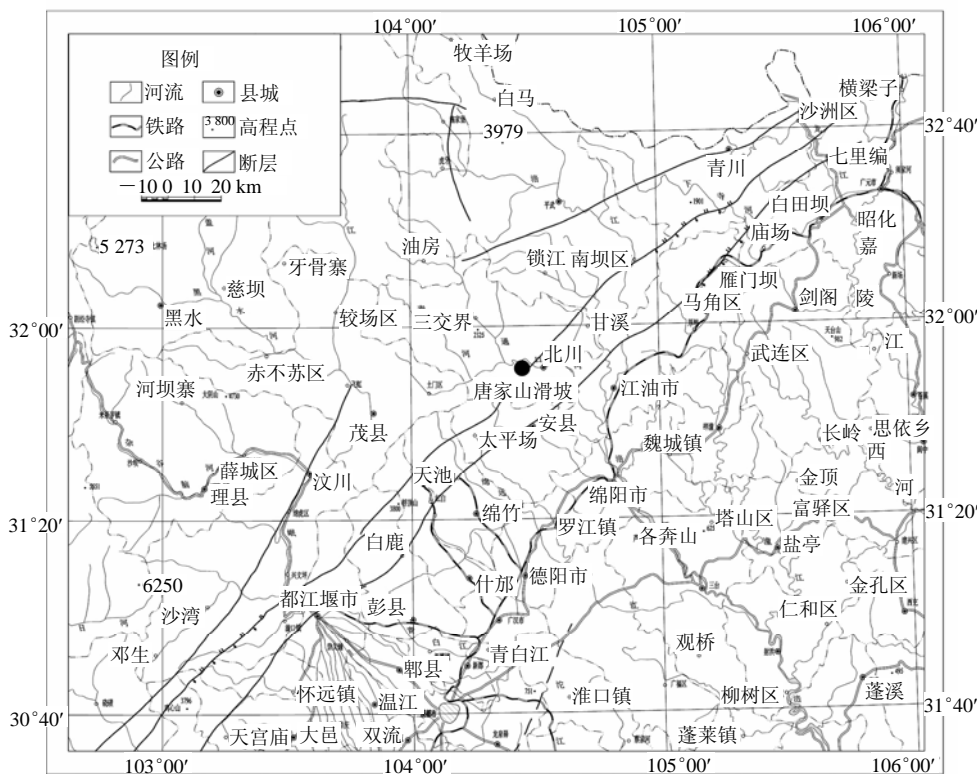


图 1 唐家山滑坡位置及区域构造图

Fig.1 Regional tectonic map in Tangjiashan landslide area

860 m, 上部灰色薄层状长石云母石英粉砂岩及钙质泥质粉砂岩; 中部暗紫、暗灰绿色薄层板状砂质粉砂岩及含钙砂质海绿石砂岩; 下部由灰绿色含绿泥石的细粒状砂岩、灰色含砂泥灰岩、薄层硅质岩及深灰色钙质砂岩与假鲕状砂质灰岩互层, 统称砂岩段, 该地层为绵阳地区特有地层。唐家山滑坡区位于清平组下段, 岩性为薄层砂质灰岩, 地层产状为 $344^{\circ} \angle 45^{\circ}$ 。

研究区地下水类型主要为松散堆积物孔隙潜水与基岩裂隙水, 地表第四纪松散堆积物约 2~5 m, 为孔隙潜水; 下伏强~中风化带, 为 5~25 m, 为孔隙裂隙水过渡带; 其下为薄层砂质灰岩基岩裂隙水。

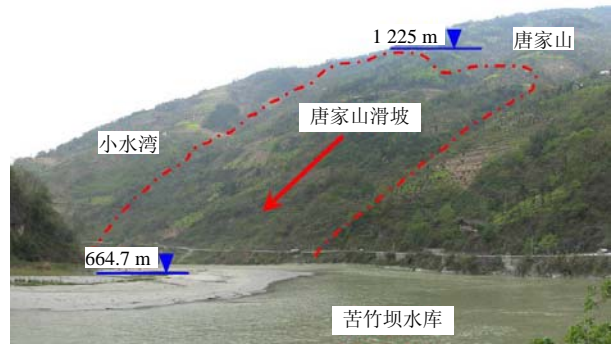
唐家山滑坡原斜坡体位于苦竹坝库区大水村, 山顶高程 1 552 m, 库区水位 664.7m, 斜坡上部坡度为 39.01° , 中部为 34.65° , 下部为 33.94° 。中下部呈鼓丘状。唐家山滑坡滑动前、后照片见图 2。

3 唐家山滑坡工程地质特征

3.1 滑体特征

滑坡堰塞体长 803 m, 宽 611 m, 厚 82.65~124.4 m, 方量约 $2.037 \times 10^7 \text{ m}^3$, 滑坡堰塞体坝顶最低部位 752 m, 最高部位 790 m。滑体呈前缘高, 后缘低; 中部高, 两侧低的几何形态, 滑坡主滑方向 340° , 后缘高程 781.94 m。滑体滑到对岸后呈反翘态势, 前缘反翘倾角达到 59° ; 滑体厚约 70 m。后缘滑距为 696.30 m, 垂直滑距为 444.28 m, 水平滑距为 536.14 m。唐家山滑坡工程地质图见图 3。

滑体结构从上至上至下分别为: 强~中风化灰岩, 厚 4~10 m; 弱风化灰岩, 厚 3~10 m; 新鲜灰岩夹灰绿色含绿泥石的细粒状砂岩、灰色含砂泥灰岩, 厚约 50 m, 间夹层间剪切带和泥化夹层。



(a) 滑动前



(b) 滑动后

图 2 唐家山滑坡照片

Fig.2 Overview of Tangjiashan landslide

从岩体结构上分: 从上到下分别为: 散体、层状裂岩体、块状岩体。滑坡体结构柱状图见图 4。

3.2 滑床特征

唐家山滑坡滑床为寒武系下统清平组块状薄层砂质灰岩, 滑坡后缘地层产状为 $344^{\circ} \angle 38^{\circ}$, 河谷对岸地层产状 $19^{\circ} \angle 29^{\circ}$ 。滑床平直少起伏, 后部陡, 前缘缓, 镜面、擦痕明显, 滑床主要沿层理面, 平均坡度 38.80° 。由于滑坡远程滑动, 滑床大部出露为滑坡后壁, 后壁平直, 上覆坡积土, 高程从 1 225 m 至 781.94 m, 长度为 697.12 m。滑坡侧边界受地形控制, 均为冲沟, 西侧边界为大水湾东侧冲沟, 东侧边界为小水湾西侧冲沟。滑坡剪出口高程约为 669 m, 位于湍江河床位置, 埋深约 120 m。

3.3 滑带特征

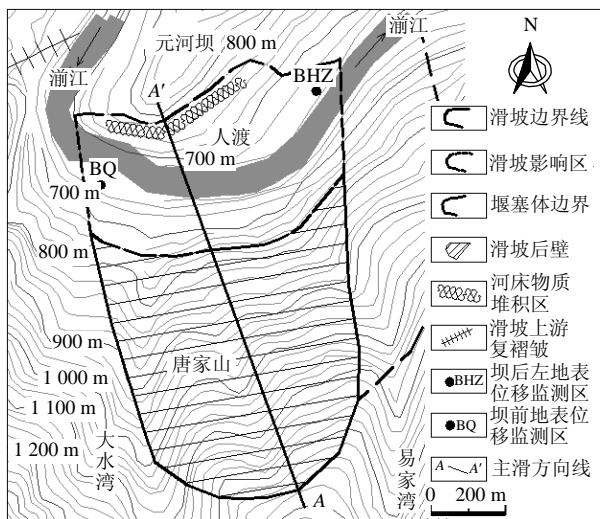
唐家山滑坡滑带在地表没有出露, 根据原斜坡构造背景与滑坡岩体结构特征, 推测滑坡滑带可能位于岩层层间剪切带。唐家山滑坡岩体中存在多层绿色含绿泥石的细粒状砂岩和灰色含砂泥灰岩夹

层, 形成多层层间剪切带, 层间剪切带节理劈理发育(见图 5), 厚约 20 cm, 从下至上分别为薄层状碎裂岩体, 厚度约 10 cm; 高度劈理化岩体, 厚度约 5 cm; 含方解石泥化夹层, 厚度约 5 cm。层间剪切带具有典型的定向性, 擦痕镜面现象明显。多位于岩层夹层的顶部(见图 6)。推测滑带位于层间剪切带,

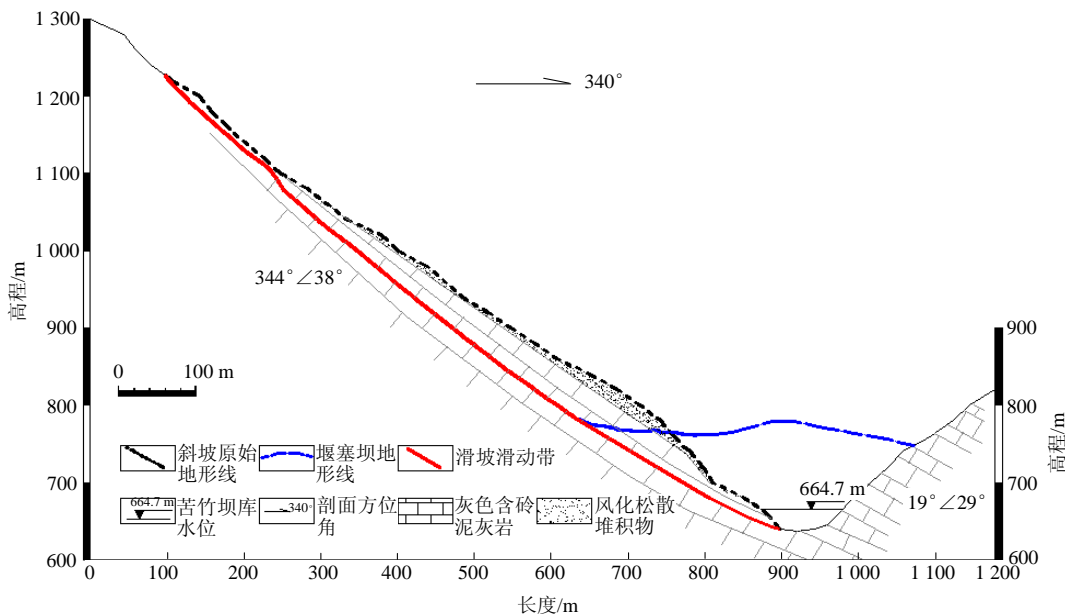
滑带埋深中部厚约 70 m; 上部和下部薄, 平均约 50 m。

4 滑坡类型与成因机制

4.1 滑坡类型



(a) 平面图



(b) A-A'剖面图

图 3 唐家山滑坡工程地质图

Fig.3 Engineering geological map of Tangjiashan landslide

根据唐家山滑坡工程地质特征可知: 唐家山滑坡发生前原始斜坡为顺向坡, 滑坡滑动方向与岩层倾向一致, 滑坡滑动带倾角与岩层倾角基本相同, 滑体主要由块状岩体组成, 滑坡沿着岩层层间剪切带滑入河谷, 唐家山滑坡从湔江右岸河床部位剪出,

河床位置沉积的中粗砂呈带状出露在堰塞体北侧靠近左岸的位置, 中粗砂出露宽度约 3 m, 长度约 400 m。根据这些特征, 可以判定唐家山滑坡为典型的基岩顺层滑坡。

唐家山滑坡发生于 2008 年 5 月 12 日, 据当地

居民描述，滑坡发生在地震后；滑坡区场地地震峰值加速度 0.20 g，地震反应谱特征周期为 0.40 s。唐家山滑坡属典型的地震诱发型滑坡。

唐家山滑体冲入到湔江河谷，被对岸斜坡阻挡，滑体前缘岩层倾向与原地层反向，倾角达 59°，涌浪将对岸元河坝斜坡下部植被一扫而光，残留浪痕明显，涌浪高度约 40 m。根据滑坡体的前缘岩体产状与库水涌浪情况，可判定唐家山滑坡体为高速滑坡。

因此，可以判定唐家山滑坡为特大型基岩顺层滑坡，属地震诱发的高速滑坡滑坡。

4.2 滑坡成因机制

埋深/m	图例	岩性与岩体结构
10		残坡积粉质黏土、强~中风化褐色含砾泥灰岩，结构松散，呈散体结构
10		深灰色薄层状弱风化含砾泥灰岩，结构碎裂，呈层状散体结构
50		新鲜灰色含砾泥灰岩，砾质灰岩，间夹灰绿色含绿泥石的细粒状砂块岩，呈块状结构。层间剪切带发育，泥化严重

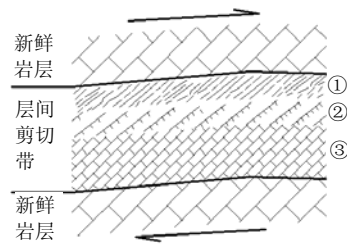
图 4 唐家山滑坡滑体结构柱状图

Fig.4 Geological structure histogram of Tangjiashan landslide



图 5 唐家山滑坡滑体层间剪切带照片

Fig.5 Photo of interbedded shear zone of Tangjiashan landslide



注：①—糜棱化-泥化带，部分方解石充填；②—高度劈理化岩体；③—薄层状碎裂岩体

图 6 唐家山滑坡层间剪切带素描

Fig.6 Geological sketch of interbedded shear zone in Tangjiashan landslide

在唐家山滑坡西侧，湔江呈 90°转折，河流右岸出露倒转复式褶皱(见图 7)，褶皱轴线垂直于唐家山滑坡倾向，将褶皱沿轴线走向向下游延伸，恰好可至唐家山原斜坡体，唐家山上游出露的褶皱纵剖面，揭示了唐家山滑坡发育的构造环境与岩体结构，也就是说，唐家山滑坡发育在倒转褶皱的一翼。这一推断在唐家山滑体中也可印证：在堰塞体泄流槽的中部和滑坡对岸岸坡，均出露有大小不一，角度较缓的原生褶曲，为倒转褶皱的一翼经滑动形成。由此推断，唐家山滑坡区地质历史上曾遭受了强烈的构造运动，褶皱发育，根据周边褶皱产状推延，唐家山滑坡发育在倒转褶皱的一翼(见图 8)。

在唐家山滑体前缘，滑体地层反翘，滑体地层剖面中出露多层层间剪切带，层间剪切带有些发生泥化，厚约 20 cm。层间剪切带从下至上分别为薄层状碎裂岩体，厚度约 10 cm；高度劈理化岩体，厚度约 5 cm；含方解石泥化夹层，厚度约 5 cm。这些层间剪切带沿滑动方向有明显的剪切变形，擦痕镜面现象明显。滑坡滑带也就发育在层间剪切带中，层间剪切带物理力学特性较差，是滑坡发生滑动的软弱层，是基岩顺层滑坡发育的温床。唐家山原始斜坡存在的这些层间剪切带，是唐家山滑坡发生的控制因素。

5 唐家山堰塞体整体稳定性

2008年6月7日晚8时，唐家山堰塞湖蓄水已经达 2.4×10⁶ m³，而泄流槽流量依旧较小，堰塞湖水位仍在上涨，堰塞体的整体稳定性以及在泄洪时的局部稳定性，是应急抢险工作必须搞清的问题。为了监测与评价唐家山堰塞体的稳定性，中国科学

院派遣了联合工作组, 对唐家山堰塞坝稳定性开展工作。唐家山堰塞体稳定性评价与监测分为 3 个方面: 堰塞体结构稳定性分析, 宏观现象监控与地表位移监测。

通过唐家山滑坡及堰塞体地质调查及工程地质与岩体结构分析, 唐家山堰塞体从上至下可分为两部分: 风化松散堆积物, 厚约 20 m; 块状新鲜岩体, 厚约 50 m。堰塞体下部为原河床冲积物与完整岩体。堰塞体平面上宽 611 m, 长 803 m, 原河床坡降

较缓, 从岩体结构定性分析角度, 即使原始河床存在软弱层, 在较缓的河床坡降条件下, 70 m 的水头压力远远不能推动块状新鲜岩体沿河床发生整体运动, 堰塞体整体稳定性较好, 整体溃坝的可能性极小。另外, 在堰塞坝下游左侧靠近对岸部位, 出现的 5 处渗流点, 渗出水流清澈, 不含细粒物质, 为裂隙流。不足以导致堰塞体的渗透变形破坏。



图 7 唐家山滑坡左侧倒转复式褶皱

Fig.7 Complex overturned fold in nearside of Tangjiashan landslide

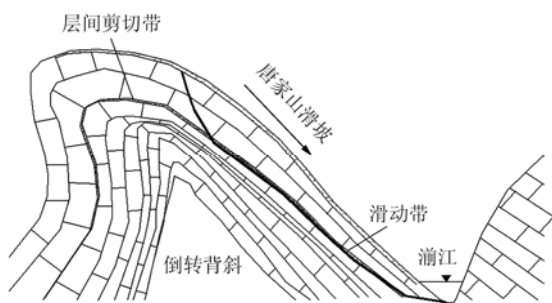


图 8 唐家山滑坡地质发育机制

Fig.8 Geological mechanism of Tangjiashan landslide

堰塞体宏观现象监控通过 MIWAVE 宽带应急通信系统, 堰塞坝上一共有 3 个视频监控点、5 个摄像头, 分布在坝前、坝后左、右位置。坝前主要监测上游来水的情况, 并监测水位变化情况; 坝后右主要监测水通过引导渠的情况; 坝后左主要监测下游去水的水位变化和渗流大小。其中坝前和坝后左同时有日视和夜视两套摄像监控装置。

地表位移监测采用 KLA 拉线式位移遥测系统, 其基本原理是两监测点用高强柔性钢丝连接, 监测点位移发生变化驱动钢丝长度随之发生改变, 系统配备环境标定确保高精度测量。测量精度为 0.1 mm。地表位移监测布置见图 9, 监测位置分为坝前区和坝后区, 坝后左监测点布设时间为 2008 年 6 月 8 日, 坝前区监测点布设时间为 6 月 19 日。图 10 即

为坝后区与坝前区典型监测点地表位移曲线。由图 10 可知, 6 月 10 日导流明渠泄洪时对坝后左影响较大, 最大位移量为 140 mm, 有向河流下游和泄洪槽方向位移的趋势。泄洪后, 坝后左位移稳定, 位移增量较小。坝前区地表位移装置为泄洪后安装, 局部位移较大, 最大位移量达到 300 mm, 有向泄洪槽与堰塞湖方向位移的趋势, 原因是泄洪后堰塞湖水水位骤降导致局部岸坡卸荷产生位移, 但长期位移量保持稳定, 位移增量较小。表 1 为地表位移监测点最大位移值与方向。

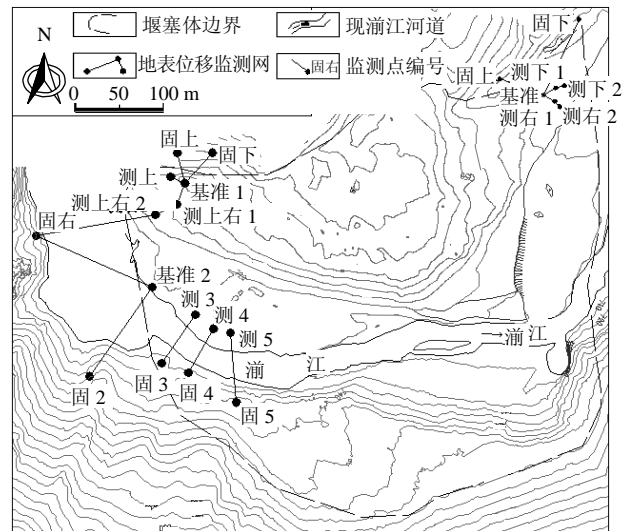


图 9 唐家山堰塞体地表位移监测布置图

Fig.9 Displacement monitoring plan of Tangjiashan landslide

dam

虽然从堰塞体结构稳定性分析, 宏观现象监控与地表位移监测与来看, 唐家山堰塞体整体稳定性较好, 但考虑到唐家山堰塞体危害的严重性, 以及当时地质条件的不确定性, 采用开挖泄流明渠的方式对唐家山堰塞湖进行排险的决策还是必要和正确的。

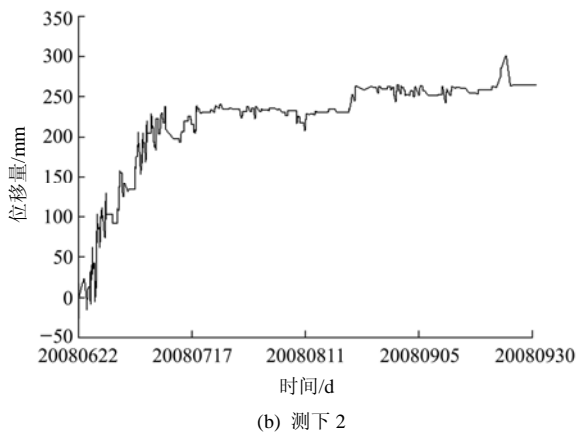
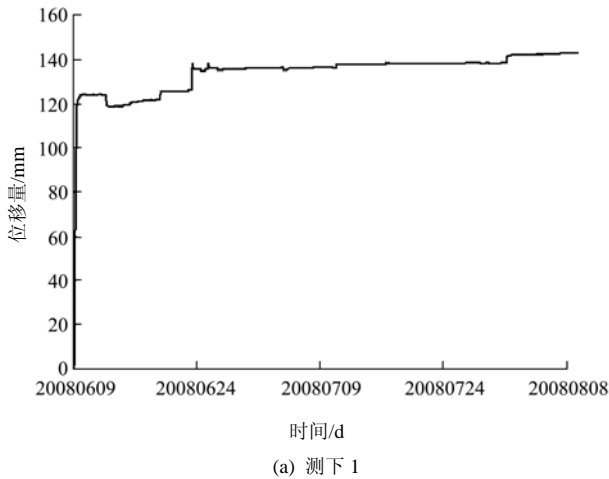


图 10 地表位移监测点时间 - 位移曲线

Fig.10 Time-displacement curve of monitoring site

表 1 唐家山堰塞体地表位移监测点最大位移值与方向
Table 1 Maximum earth surface displacements and directions of Tangjiashan landslide

监测线	仰角/(°)	水平方向/(°)	最大地表位移/mm
基准→固下	-6.5	25	65
测下 1→测下 2	-0.5	75	6
测右 1→测右 2	-0.5	136	10
基准 1→测上	-1.0	294	10
测上右 1→测上右 2	-15.5	245	300
基准 2→固右	-2.5	294	8
固 3→测 3	-4.5	35	15

固 5→测 5	-14.5	355	40
基准→测下 1	-0.5	60	140
基准→测右 1	-0.5	120	8
基准 1→固上	16.5	346	80
基准 1→测上右 1	-7.0	200	25
测上右 2→固右	-7.5	260	250
基准 2→固 2	-4.0	215	70
固 4→测 4	-8.5	30	15

6 结 论

根据唐家山滑坡成因机制及堰塞体稳定性分析, 可以得出如下结论:

(1) 唐家山滑坡属于基岩顺层滑坡, 是典型的地震诱发高速滑坡, 滑坡区发育的构造背景为复式倒转背斜的一翼。滑坡滑动带发育在层间剪切带。

(2) 唐家山堰塞体整体结构以块状岩体为主, 上覆风化松散堆积物, 整体地质稳定性较好, 根据堰塞体坝前与坝后左地表位移监测显示, 唐家山堰塞体泄洪时对地表位移有影响, 最大位移约 140 mm, 随后位移增量较小, 目前处于稳定状态。

(3) 对于唐家山滑坡及堰塞体的应急排险工作已经胜利结束, 但对唐家山滑坡引起的次生链式灾害仍记忆犹新, 应急地质调查+工程地质稳定性分析+应急变形监测, 是进行唐家山堰塞湖应急抢险的一个成功思路。唐家山滑坡与堰塞湖给我们的启示是: 应注重地震诱发滑坡→堰塞湖→溃决→洪水的“多米诺”链式灾变研究; 应注重含层间剪切带斜坡的工程地质调查分析和地震滑坡危险性研究。

致谢 对在唐家山堰塞湖应急抢险工作中并肩战斗的单位与勇士, 中国人民解放军某陆航团、武警水电某部、成都勘测设计研究院、绵阳市相关同志、中国科学院微电子研究所以及微系统与信息科学研究所提供的帮助一并表示感谢!

参考文献(References):

[1] 王 哲, 易发成. 基于层次分析法的绵阳市地质灾害易发性评价[J]. 水文地质工程地质, 2007, 34(3): 93 - 98.(WANG Zhe, YI Facheng. Evaluation of geological hazard probability of occurrence based on analytical hierarchy process in Mianyang City[J]. Hydrogeology and

- Engineering Geology, 2007, 34(3): 93 - 98.(in Chinese))
- [2] 刘太平. 北川水温、断层气异常与绵竹、安县间 5.0 级地震[J]. 四川地震, 2000, (4): 48 - 52.(LIU Taiping. Abnormal change of water temperature and fault gas and the M5.0 1999 Anxian earthquake[J]. Earthquake Research in Sichuan, 2000, (4): 48 - 52.(in Chinese))
- [3] 王永利, 贾疏源, 倪师军, 等. 北川县通口水电工程区岩溶发育特征探讨[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(3): 89 - 92.(WANG Yongli, JIA Shuyuan, NI Shijun, et al. Development of the karsts in the Tongkou hydropower station, Beichuan, Sichuan[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2006, 26(3): 89 - 92.(in Chinese))
- [4] 袁 犁, 童作典. 江油至北川一带石炭系灰岩构造变形分析[J]. 四川建材学院学报, 1993, 8(3): 52 - 57.(YUAN Li, TONG Zuodian. Study of structure deformation of carboniferous system Carbonate rock in Jiangyou-Beichuan area, Northwestern Sichuan[J]. Journal of Sichuan Institute of Building Material, 1993, 8(3): 52 - 57.(in Chinese))
- [5] 张德藩. 绵阳地区中小型水库病害的工程地质因素[J]. 四川水利. 1993, 14(1): 43 - 46.(ZHANG Defang. The engineering geological factors of disease of mid-small reservoir in Mianyang[J]. Sichuan Water Conservancy, 1993, 14(1): 43 - 46.(in Chinese))
- [6] 王文鹤. 绵阳市地貌发育简史[J]. 西南工学院学报, 1998, 13(3): 72 - 76.(WANG Wengu. The summary history of landforms evolution in Mianyang[J]. Journal of Southwest Institute of Technology. 1998, 13(3): 72 - 76.(in Chinese))
- [7] 刘德贵, 王 宁. 绵阳市地区工程地质研究[J]. 山西建筑, 2007, 33(10): 138 - 139.(LIU Degui, WANG Ning. Research on regional engineering geology in Mianyang City[J]. Shanxi Architecture, 2007, 33(10): 138 - 139.(in Chinese))
- [8] 王文鹤. 绵阳市境地貌基本特征[J]. 西南工学院学报, 1998, 13(1): 44 - 48.(WANG Wengu. The general features of Mianyang municipal landforms[J]. Journal of Southwest Institute of Technology, 1998, 13(1): 44 - 48.(in Chinese))
- [9] 金文正, 汤良杰, 杨克明, 等. 川西龙门山褶皱冲断带分带性变形特征[J]. 地质学报, 2007, 81(8): 1 072 - 1 080.(JIN Wenzheng, TANG Liangjie, YANG Keming, et al. Deformation and zonation of the Longmenshan fold and thrust zone in the Western Sichuan basin[J]. Acta Geological Sinica, 2007, 81(8): 1 072 - 1 080.(in Chinese))
- [10] 金文正, 汤良杰, 杨克明, 等. 龙门山冲断带构造特征研究主要进展及存在问题探讨[J]. 地质论评, 2008, 54(1): 37 - 46.(JIN Wenzheng, TANG Liangjie, YANG Keming, et al. Progress and problem of study on characters of the Longmen Mountain thrust belt[J]. Geology Review, 2008, 54(1): 37 - 46.(in Chinese))
- [11] 安其美, 丁立丰, 王海忠, 等. 龙门山断裂带的性质与活动性研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2004, 24(2): 115 - 119.(AN Qimei, DING Lifeng, WANG Haizhong, et al. Research of property and activity of Longmen Mountain fault zone[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2004, 24(2): 115 - 119.(in Chinese))
- [12] 余 团, 何昌荣. 龙门山构造带区域稳定性探讨[J]. 地震研究, 2000, 23(4): 378 - 383.(YU Tuan, HE Changrong. Research on the regional stability along the structural belt in Longman mountains[J]. Journal of Seismological Research, 2000, 23(4): 378 - 383.(in Chinese))
- [13] 黄润秋, 李为乐. “5.12”汶川大地震触发地质灾害发育分布规律研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(12): 2 585 - 2 592.(HUANG Runqiu, LI Weile. Research on development and distribution rules of geohazards induced by Wenchuan earthquake on 12th May, 2008[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(12): 2 585 - 2 592.(in Chinese))
- [14] 林良俊, 方 成, 李小杰, 等. 5.12 汶川地震灾区地质灾害情况初步分析[J]. 水文地质工程地质, 2008, 35(4): 129 - 132.(LIN Liangjun, FANG Cheng, LI Xiaojie, et al. Geohazard triggered by Wenchuan earthquake on 12th May, 2008[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2008, 35(4): 129 - 132.(in Chinese))
- [15] 殷跃平. 汶川八级地震地质灾害研究[J]. 工程地质学报, 2008, 16(4): 433 - 444.(YIN Yueping. Researches on the geo-hazards triggered by Wenchuan earthquake, Sichuan[J]. Journal of Engineering Geology, 2008, 16(4): 433 - 444.(in Chinese))