

# 张溪滑坡——台风诱发滑坡成因分析

彭社琴<sup>1</sup>, 陈明东<sup>2</sup>

(1 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室, 四川 成都 610059;

2 浙江省第 11 地质大队地质灾害防治研究所, 浙江 温州 325000)

**摘 要:** 14 号台风“云娜”造成我国东部沿海地区发生多处滑坡地质灾害, 张溪滑坡便是其中个案。通过对张溪滑坡成因进行分析, 得出了张溪滑坡是在一定厚度覆盖层、特定地形条件、植被条件下, 台风风力加载作用及暴雨的淘蚀、软化、增重等一系列过程共同作用下滑动失稳的滑坡。它与暴雨型滑坡的形成机理有显著不同, 这一分析成果对类似滑坡的研究和防治具有一定的意义。

**关键词:** 滑坡形成机理; 台风诱发滑坡; 张溪滑坡

**中图分类号:** P64.222

**文献标识码:** A

我国从东到西、从南到北, 气候多变、地势复杂, 各地经济发展亦不平衡。西南地区山高谷深, 地质灾害容易发生, 且规模一般较大; 传统上认为东部一般地势较低, 地质灾害不易发生, 即使发生, 规模亦较小<sup>[1]</sup>。然而, 当温州市乐清市北部山区 2004—08—13 凌晨发生特大泥石流灾害, 造成约 39 人死亡, 冲毁房屋 52 间的重大损失后, 促使人们对东部地质灾害发生机理、表现特征开始重视。

2004—08—12 登陆我国台州的 14 号台风“云娜”是 1956 年以来登陆我国大陆强度最大的台风, 它先后穿过乐清和永嘉, 伴随 12 级大风及高强度降雨造成温州永嘉、乐清等地发生多处山体滑坡、泥石流等灾害, 张溪滑坡便是该台风引发的众多滑坡地质灾害中的一个。

## 1 滑坡概貌

张溪滑坡位于温州市永嘉县张溪乡张溪村公路内侧相对高程 50m 处, 由 1 号滑坡体和 2 号滑坡体两个灾害点 (其中 1 号滑动体又分为主滑动区和次滑动区) 组成。1 号滑坡前缘及下部为较密集的村镇居民居住区。2 号滑坡体前缘有零散住户。

1 号滑坡呈舌状 (图 1), 主滑体长 39 m, 平均宽度约 18 m, 平均厚度约 4~5 m, 滑动方量约 3 000 m<sup>3</sup>。该滑坡后缘较陡, 坡度为 67°, 从中部向前缘坡度逐渐变缓, 到前缘坡度约为 20°。滑动过程中滑坡前缘冲毁两层房屋的底层角部, 对下部较为密集的居民区产生直接威胁。次滑动区位于 1 号滑坡体右上方, 整体坡度约 42°, 形成局部坍塌, 多条张开裂缝。

2 号滑坡体临近张溪河 (图 2), 翻越山脊与 1 号滑坡相距约 200 m。该滑坡体呈凹形, 长约 34 m, 宽 43 m, 平均厚度大约 3 m, 滑动方量约 4 000 m<sup>3</sup>。在该滑坡的右翼靠中部, 为一民房, 民房靠滑坡体一侧的边墙已经被下滑的大块石砸破。该滑坡后缘较陡, 坡度 60°, 前缘较缓, 坡度为 23°。

据野外调查和勘查资料, 1 号、2 号滑坡体的物质成分自上至下为: 残坡积土 (块碎石土)、全风化花岗岩、强风化花岗岩、中风化的花岗岩。滑动面基本为残坡积层与全风化基岩或全风化土层与强风化花岗岩接触面。滑坡区内基岩产状为 98°∠41° (1 号滑坡体)、104°∠38° (2 号滑坡体), 因此张溪滑坡体为一中~陡倾坡外坡体。

滑坡体的表层植被较茂盛, 有 3~10 a 生的乔

收稿日期 (Received date): 2005—06—15; 改回日期 (Accepted): 2005—09—20.

作者简介 (Biography): 彭社琴 (1966—), 女, 河南灵宝人, 在职博士研究生, 副教授, 主要从事地质工程、岩土工程方面的教学、研究工作。 [Peng Sheqin (1966—), female, born in Lingbao city, Henan Province, doctoral student, associate professor, major in geotechnical engineering work. E-mail: psq306@163.com]

木和灌木。滑体由块碎石土组成，其中块石含量较多，碎石次之。块石的最大粒径可达 1.5 m，多数在 0.3~0.8 m 间，块碎石成分多为花岗岩，含量占 65%~85%。

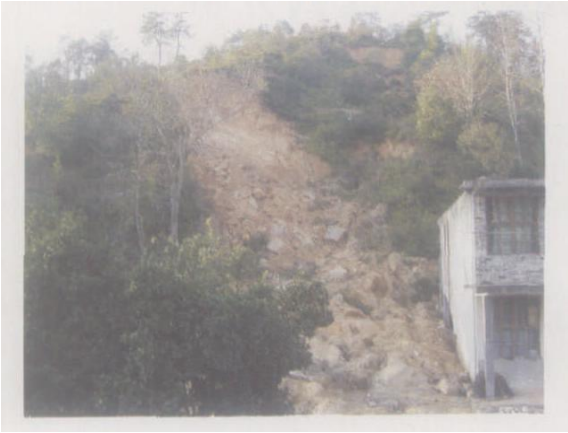


图 1 1 #滑坡全貌  
Fig. 1 1 #landslide



图 2 2 #滑坡全貌  
Fig. 2 2 #landslide

2 滑坡成因分析

张溪滑坡的形成与其本身所具备的地质环境条件等内在因素密切相关，同时更是由台风强烈作用所致。

2.1 滑坡形成的基本条件

张溪滑坡原始天然斜坡坡度较陡，并且具有一定厚度的残坡积覆盖层，这无疑是该滑坡滑动所具备的基本条件。

1. 张溪滑坡覆盖层物质特点

张溪滑坡所在的山体由花岗岩组成，该地气候湿润，岩体风化强烈，岩体表层多被厚约 1 m~8 m 的土黄色全风化土层（残积土）所覆盖。全风化土层主要由砂土组成，透水性较好。而山坡前缘

除了全风化土层外，还有较厚的崩坡积层，崩坡积层块度较大，块体之间空隙较大。崩坡积层与全风化土层之间虽有交错，但基本仍保持呈层性。因此该覆盖层具有非均匀性、级配不良及密实度较差等特性，这些为雨水下渗，促使该滑坡滑动奠定了物质基础。

2. 张溪滑坡的地形条件

如图 3 所示，从地形上推断张溪滑坡的原始斜坡坡度约在 38°左右，对于该覆盖层来讲，此坡度相对较陡，基本趋近于边坡的最大稳定坡角。据温州市及其附近区域 158 个滑坡点统计结果<sup>[2]</sup>，当斜坡坡度>25°时，滑坡发生的频数急剧增大，当坡度为 35°时，频数达极大值。易发生滑坡的地形坡度在 25°~45°之间。从微地形上看，滑动区分布在山脊（小分水岭）两侧，为相对汇水区。再加上该两处滑坡坡脚均有住户，住户扩充院坝，对坡脚有局部切挖，虽在坡脚修有简易堡坎，但当滑坡滑动时仍难抵挡较大的滑动推力作用。



图 3 张溪滑坡平面图  
Fig. 3 Plane diagram of landslide in Zhangxi

2.2 台风在滑坡形成过程中的作用

台风指在北太平洋西部洋面上发生的、中心附近最大持续风力达到 12 级及以上的热带气旋。它蕴含巨大的能量（动能）和雨量。依据它对建筑、树木以及室外设施所造成的破坏程度不同而被划分为不同等级。目前影响我国的台风主要“出生”在西太平洋上，其常见路径有：西移路径、西北移路径、转向路径、特殊路径等。

台风在滑坡形成过程中的主要作用包括风的动力作用和暴雨的冲蚀、软化作用等。

### 1. 风的动力作用

据资料, 2004 年 14 号台风“云娜”具有风力特强的特点:

该台风登陆时, 中心气压 950 hPa, 风力达 12 级以上大风。风速最大达 58.7 m/s, 相当于 17 级大风。温州市风速普遍达 30 m/s。杀伤力之强, 是历史上罕见的。

据现场调查, 张溪滑坡原始斜坡上植被较为发育, 不仅有灌木, 还有多年生乔木。当台风施虐时, 狂风吹动树木, 坡体上的树木剧烈摇曳会使根部松动, 产生坡面裂缝, 为雨水下渗提供有利条件。另外, 当风向与坡向相同或近似相同时, 由风洞试验可知风会对坡面及其上的树木产生推力(或吸力), 这一作用力对坡面覆盖层土体产生间歇性的瞬时下滑推动作用, 从而对坡体的稳定性产生不利影响。

### 2 台风携带的暴雨作用

“云娜”同时带来了倾盆大雨。据记载, 从 08—11T8:00 至 14T8:00, 浙江降雨量超过 100 mm 的水文测报站点 275 个, 降雨量超过 200 mm 的站点 79 个, 降雨量超过 300 mm 的站点 36 个。最大降雨量为温州乐清的矾头, 达 916 mm, 其中, 12 h 降雨量 661.8 mm, 24 h 降雨量 874.7 mm, 均突破浙江省历史实测最高记录。永嘉张溪的降雨量也超过 600 mm, 远远超出人们对一般暴雨的想象。

暴雨时, 一方面可对坡体覆盖层产生增重作用。因为雨水入渗使得原来干燥的坡体覆盖层饱和, 重度增加。在潜在滑动面较陡时下滑力有增大的趋势; 另一方面, 当雨水下渗至覆盖层与较为完整基岩接触面时, 受其阻隔, 雨水沿该面向下排泄, 潜在滑动面软化, 抗剪强度降低, 从而使坡体稳定性降低。

### 2.3 台风滑坡形成机制

张溪滑坡的发生与其本身具备的内在条件有关, 即一定厚度的松散覆盖层、较陡基覆面、较陡的坡面形态。更重要的是受在 14 号“云娜”台风的动力作用和暴雨作用影响下而发生。

首先, 台风的风力和吸力使树木剧烈摇曳摆动从而使根部土体疏松、产生裂缝、甚至连根拔起, 为雨水汇集及渗入提供了条件。

接踵而至的大暴雨从大风作用产生的坡面裂缝迅速下渗, 进入原本级配不良、渗透性较好的坡体覆盖层中, 雨水的作用一方面对岩土接触面有软化作用, 使得该面的抗剪能力降低, 另一方面充填空隙, 饱和的土体重力加大, 这样会增大下滑力; 特大暴雨情况时, 汇入坡体的水流排泄不畅, 还会产生超空隙水压力及动水压力, 对坡体进行淘蚀, 高水头的作用对接触面上的全风化花岗岩产生动水压力以及扬压力, 使得边坡的稳定性进一步降低。

与此同时, 主导风向的风力通过坡体植被或表土对坡体产生顺坡向的推动加载作用, 使坡体的下滑力增大。当坡向与风向一致时, 这种作用最明显。这种作用直接降低了坡体的稳定性。从张溪滑坡平面图可以看出, 1 # 滑坡的主滑方向为南东向, 2 # 滑坡的主滑方向接近于向南, 而 14 号台风前进的主要方向为向南偏西, 风向与滑坡的滑动方向具有很大程度上的一致性。因此风力加载促滑应该是张溪滑坡失稳的重要原因之一。

特定的内在条件及一系列的外部作用作用促使斜坡一直向蠕滑临界状态发展。当坡体向下蠕滑, 坡体后缘产生拉张裂缝, 随着雨水的进一步下渗, 拉裂缝张开, 并且向深处发展, 使得侵蚀加剧, 滑面强度进一步降低, 最终滑坡发生。

### 2.4 张溪滑坡的危害

滑坡的危害性应从风险性评价的角度进行认识, 即滑坡所造成的直接损失、间接损失及引起的环境问题等方面<sup>[3]</sup>进行探讨。

张溪滑坡规模不大, 滑坡发生后冲毁民房约 4 间, 幸无人员伤亡。两家村民居无定所, 造成直接经济损失约 10 万元。

然而张溪滑坡所造成的间接损失和环境问题却更为严重。

张溪 1 # 和 2 # 滑坡的滑动均在后缘造成较陡的坡势, 现状条件下其已处于稳定临界状态, 如果暴雨或台风再次来临, 后退式的坡体失稳破坏不可避免, 那时较高位的势能必然产生较大的动能, 会直接冲向非常密集的居民房屋, 破坏力会更强, 产生的损失会更大。目前该滑坡已列入治理规划中, 治理方案费用估计在 200 万元左右。

另外, 滑坡发生后, 滑坡块碎石土堆积体中的大块石成为村民的较好建材, 现场可见村民用压力水流冲刷滑坡堆积物, 块碎石土在水流淘蚀下块石裸露, 此过程中人造泥石(浆)流不断污染河流造

成了一定的环境问题, 因此应注意对滑坡体的保护利用。

### 3 主要结论与认识

1. 张溪滑坡的发生是以下多种原因共同起作用的结果:

(1) 14 号台风的大风及特强暴雨是张溪村滑坡灾害发生的主要原因。其中台风的松动效应及顺坡上的推力作用是张溪滑坡有别于一般暴雨滑坡的明显特征;

(2) 坡体上残坡积物和全风化土层是滑坡的物质基础;

(3) 较陡的斜坡地形以及滑坡两侧边界均为山脊, 这种微地貌呈“簸箕状”形态, 有利于地下水的汇集, 是滑坡发生必备的地形条件;

(4) 一般认为坡向影响到水热条件的差异, 使自然地理诸要素有规律性分异从而导致滑坡发育存在一定的坡向性<sup>[4]</sup>。张溪滑坡原坡向与台风推进方向有很好的一致性, 可能是其滑动原因之一。

(5) 另外切脚建房是滑坡发生的人为影响因素。

2 我国沿海地区较易遭受台风袭击, 在台风诱发滑坡时, 风力及暴雨共同作用, 这显然比内陆地区单独暴雨作用更易产生滑坡地质灾害。

3. 本文从概念上提出了台风中大风对滑坡下滑具有推力作用, 而在滑坡防治中如何考虑大风等级与推力大小的对应关系是台风滑坡需要进一步探讨的重要课题之一。

4. 与我国其他地区, 如西南、西北地区相比, 张溪滑坡的规模不大, 但在经济发展较快、人口密集、土地资源紧缺的东部沿海, 却会因为小灾酿成大害。

#### 参考文献:

- [1] Wang Shenfa, Wang Yuangao, Hu Zhenzhen. Actuality of Hill Sliding and its Cause in the Mountainous Region of Zhejiang Province [J]. *Journal of Mountain science*, 2000, **18** (4): 373 ~ 376. [王深法, 王原高, 胡珍珍. 浙江山地滑坡现状及其成因 [J]. 山地学报, 2000, **18** (4): 373 ~ 376.]
- [2] Gong Xinfu, Yuan Minhao. Geology investigation information of Wenzhou City for geological hazard special [R]. 2004. [龚新法, 袁民豪. 温州市城市地质调查灾害地质专题报告 [R], 2004]
- [3] Zhao Qihua, Peng Sheqin, Sun Jun. Risk Analysis of He2Ping2 Landslide. [J]. *Journal of Mountain science*, 2002, **20** (5): 611 ~ 615. [赵其华, 彭社琴, 孙钧. 和平沟滑坡风险性评价 [J]. 山地学报, 2002, **20** (5): 611 ~ 615.]
- [4] Fan Xiaoyi, Qiao Jianping. Topography Discriminance of the Assessment of Landslide Hazard Degree. [J]. *Journal of Mountain science*, 2004, **22** (6): 730 ~ 734. [樊晓一, 乔建平. 滑坡危险度评价的地形判别法. [J]. 山地学报, 2004, **22** (6): 730 ~ 734.]

## Mechanism Analysis of Landslide in Zhangxi Which Was Mainly Caused by Typhoon

PENG Sheqin<sup>1</sup>, CHENG Mingdong<sup>2</sup>

(1. Institute of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, 610059, China;

2. Institute of Geologic Hazard Prevention, 11th Geologic Brigade, Wenzhou, Zhejiang Provinc, 325000, China)

**Abstract:** Typhoon, NO. 14, named “Yunna” caused many landslides in the east inshore area of our country. The landslide in Zhangxi is one case of all. By deformation cause analysis of that Landslide, we can come to the fact that Zhangxi landslide occur are not only because a definite depth of Q<sub>4</sub> lay, suitable terrain, vegetation etc., but also especially because wind force push the tree and soil, heave rain made the soil more weight, shear zone soften etc.. Typhoon's Wind push the trees and soil mass on the slope accelerate the slope sliding which is the very characteristic of Zhangxi landslide. It would be very different from the landslide caused only by rain. This will be helpful for landslide study and its prevention.

**Key words:** Mechanism of landslide deformation deep; landslide caused by typhoon; Zhangxi Landslide