

大渡河松坪滑坡形成机制及稳定性分析

吴亚子¹, 傅荣华², 王 健², 张元才², 杨人凡², 蔡 明²

(1. 西南石油大学 资源与环境学院, 成都 610500; 2. 成都理工大学 环境与土木工程学院, 成都 610059)

摘 要: 松坪滑坡变形主要表现为滑坡后部蠕变拉裂和滑坡前缘的蠕滑, 目前坡体局部已处于不稳定状态, 因此对该坡体进行稳定性分析尤为重要。根据坡体的结构及形态特征详细分析了滑坡的形成机制, 判定松坪滑坡的破坏模式为蠕滑拉裂。同时采用地质分析及量化评价方法对该滑坡的稳定性进行了分析。结果表明: 在天然状态下稳定性良好; 但在天然+暴雨的条件下, 滑坡体处于不稳定状态。最后, 根据以上分析提出合理的防治措施。

关键词: 滑坡; 形成机制; 稳定性; 蠕滑拉裂

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)02-0062-04

Analysis on Formation Mechanism and Stability for the Landslide in Songping beside Daduhe River

WU Ya-zi¹, FU Rong-hua², WANG Jian², ZHANG Yuan-cai², YANG Ren-fan², CAI Ming²

(1. Resources and Environment Institute, Southwest Petroleum, Chengdu 610500, China;

2. College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Deformation of Songping landslide is mainly creep-cracking at back and creeping in the front of landslide. Part of the slope is unstable. Therefore, analysis on the slope stability becomes very important. This article analyzed the formation mechanism of the landslide according to its structure and morphological character, and determined that the failure pattern of the landslide is creep-cracking. The stability was calculated by methods of geologic analysis and quantitative evaluation. The result is obtained that the stability is well in natural situation. But when it comes to natural storm, the landslide is instability. Finally, reasonable control suggestions are given based on the above analysis.

Key words: landslide; formation mechanism; stability; creep-cracking

松坪滑坡位于金川水电站坝址下游侧新扎沟与大渡河的交汇处松坪斜坡上, 距坝址直线距离约 700 m, 滑坡下部为新扎沟口倾倒变形岩体, 新扎沟口紧邻金川水电站右岸导流洞等泄水建筑物出口, 下部河水位高程 2 150 m, 滑坡剪出口高出泄水建筑物出水口 600~650 m。该滑坡自 20 世纪 90 年代以来, 其后缘、中部出现拉裂变形, 滑坡上的居民房屋出现严重开裂, 滑坡目前以浅表层蠕滑变形为主, 且变形有逐年增长趋势, 威胁到当地居民的生命财产。研究松坪滑坡的地质特征、形成机理和评价其稳定性, 防治地质灾害的发生, 对松坪村居民的安全有重要意义, 且对金川水电站工程的环境评价与工程安全也有实际意义。

1 滑坡区地质环境概况

1.1 地形地貌

该区属中高山地区, 地形高差大, 沟谷深切, 山势

陡峻。松坪斜坡位于三面临空的高陡斜坡上, 相对高差在 1 000 m 以上, 斜坡自低往高坡度变缓。高处高程 2 750~3 020 m, 为松坪滑坡地带, 地形坡度 20°~30°。在滑坡周边斜坡有多条冲沟发育, 左侧有永忠沟, 前部有张家沟、磨房沟, 右侧有蒋家沟, 滑坡正面为新扎沟河, 右前部为大渡河。

1.2 地层岩性

滑坡区堆积层较复杂, 主要为滑坡堆积、崩塌堆积及残坡积碎石土。滑坡堆积主要分布在松坪滑坡区; 崩塌堆积主要分布于坡脚; 残坡积斜坡表部覆盖面大, 但厚度较小。滑坡体下部为上三叠统杂谷脑组和侏倭组砂岩夹板岩(或千枚岩), 岩层层理发育, 具中层、互层、薄层状结构。砂岩岩性坚硬, 板岩千枚岩岩性较软。岩层产状: 300~340°SW∠48~56°, 走向与新扎沟方向大致相同, 倾向新扎沟右岸, 走向与大渡河呈大角度相交。

1.3 地质构造与地震

金川水电站库坝区内及外围构造较简单,主要为一系列大致平行规模不一的 NW 向、局部 EW 向线状紧密复式褶曲。滑坡区位于金川倒转复背斜南西翼,次级褶皱及揉皱发育,形态复杂。工程区新构造运动主要表现为大面积间歇性整体抬升。外围强震带强震对工程场地波及影响较小,工程场地历史地震活动水平相对较低,处于构造活动相对稳定区。金川坝址区 50 a 超越概率 10% 的基岩地震动峰值加速度为 0.097 g,相应地震基本烈度为Ⅶ度。

1.4 地应力场特征

中国西部青藏高原及环高原地带的地应力场受印度板块向北俯冲的强大力源控制,区域应力场最大主应力方向在川西、云南区域,大致为 NW、SE 向。新扎沟口地应力场最大主应力方向为 NW 向,方位为 NW310°~320°,与新扎沟的流向基本一致,即最小主应力垂直新扎沟方位。

2 滑坡特征

2.1 滑坡规模、形态

松坪滑坡位于新扎沟与大渡河交汇处松坪斜坡上(图 1),分布高程 2 750~3 020 m,长度 500 m,宽度 400~500 m,滑体厚度 50~75 m,滑坡体积约 1 200 万 m³,属大型土质滑坡。

滑坡区地形呈圈椅状,前部地形较平缓,中部地形呈椅状,滑坡后部地形较陡,由于滑坡差异性滑动形成多级平台以及滑坡陡坎,平台宽度 20~50 m,长度 100~200 m。

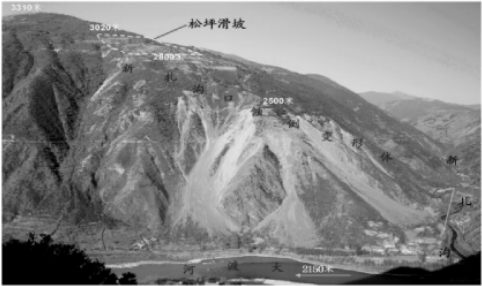


图 1 松坪滑坡及新扎沟口倾倒变形体

2.2 滑坡的结构特征

(1)松坪滑坡物质组成基本上为第四系松散堆积物,分区特征明显,其后部与中下部物质组成有所不同。滑坡后部地形坡度稍缓,物质组成主要为淡黄色粉土夹少量碎石。滑坡中下部物质成分主要为碎石、碎块石,浅表部多以碎石为主,浅部及深部块石增多,结构较为松散,局部地段有架空现象。

(2)滑坡附近的天然剖面观察表明:滑坡物质组成具有一定的分带性,表部为土层,往下为碎石、块

石,底部为变形拉裂破碎基岩,基岩与碎块石间呈弧形的界面。

(3)滑坡中下部碎块石的形成与松坪斜坡倾倒变形岩体有关,变形拉裂岩体破坏界面为拉裂面或组合拉裂面,碎块石沿某一弱面蠕滑破坏形成弧形滑动面,蠕滑推移物成为滑坡堆积物。

(4)勘察资料显示(图 2),覆盖层下厚上薄,前缘厚度最大达 75 m,平均厚度约 65 m。

(5)滑坡勘探过程中未发现大规模贯通性的蠕滑破坏面,前缘的平硐勘探揭露滑坡底面不存在贯通性的滑动带,说明目前滑坡变形主要为表层蠕变调整,覆盖层内尚未有贯通性的深部滑面存在。

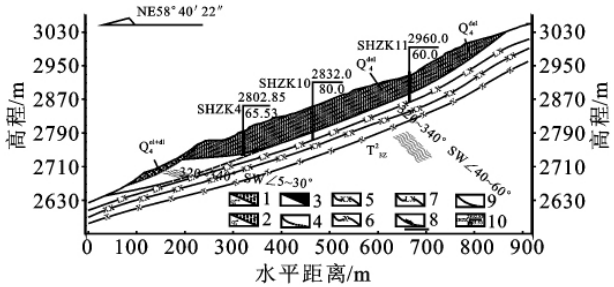


图 2 松坪滑坡工程地质纵剖面图

- 1. 残坡积碎石土;2. 滑坡堆积块碎石土;3. 薄—中厚层状变质细砂岩;
- 4. 地层不整合界线(虚线为推测);5. 推测弱风化上段下限;6. 推测弱风化下段下限;7. 推测卸荷下限;8. 滑坡体界线及其滑动方向;9. 倾倒变形体界线;10. 钻孔编号

2.3 滑坡的变形特征

1992 年持续一个月的暴雨,诱发了松坪滑坡,此后每年雨季滑坡都有不同程度的变形。坡体拉裂变形主要表现在滑坡后缘和中部。滑坡后缘拉裂缝的走向为 NE12°~42°,宽度 20~40 cm,深度 40~50 cm,最深达 60 cm 以上。拉裂缝的存在表明滑坡现阶段浅表部的活动频繁。后缘滑体拉裂、错落形成台阶状的陡坎地形,陡坎的高度在 1.5~2.5 m,延伸长 20~100 m 不等,走向为 NE38°。滑坡中部松坪村房屋自在 20 世纪 90 年代开始出现规模不等的拉裂缝,2000 年后拉裂缝大量出现,宽度从几厘米到几十厘米不等,延伸长度 1~5 m,在墙壁和地面均有分布。另外,滑坡前缘上游侧醉汉林和滑坡后缘马刀树,树木直径粗达 20~30 cm,主要为坡体发生蠕滑导致表部树木的倾倒。

3 滑坡形成机制

松坪滑坡的成因机制为蠕滑—拉裂模式,最早由孔隙水压力诱发,为第四纪堆积物滑坡。滑坡的形成既取决于特定的地形、结构条件,又与斜坡反倾层状岩体的倾倒变形有一定关系,更与暴雨的激发有关。

3.1 滑坡形成条件

(1)有利于滑坡发育的地形地貌和地质构造条件。松坪滑坡位于三面临空的高陡斜坡上,相对高差在 1 000 m 以上,在滑坡周边斜坡有多条冲沟发育,这种三面临空的单薄斜坡其稳定性必然受到其所处的地质环境的限制,在重力作用下引起斜坡局部应力集中,出现剪切变形。区域地质构造位于金川倒转复背斜翼部,新构造运动表现为大面积间歇性整体抬升,河谷强烈下切,形成高陡的河谷岸坡。新扎沟口地应力场最小主应力方向与新扎沟方位垂直,这将导致新扎沟形成过程中,斜坡底部应力不会出现集中现象,而是出现量值较低的环带,为新扎沟口层状岩体的倾倒提供了较为典型的应力场环境。加上松坪斜坡的三向临空状态,为应力卸荷、岩体松弛创造了条件。

(2)坡体结构及物质组成是滑坡孕育的基础。松坪斜坡上部是层状岩体最早发生弯曲拉裂—倾倒变形的部位,谷坡下部应力呈现降低趋势,岸坡岩体处于低应力状态而易于松弛,在斜坡二次应力作用下,层状岩体发生弯曲拉裂变形,斜坡表部的弯曲碎裂岩体因风化、卸荷以至逐渐松弛、解体堆积在斜坡上,随着厚度的加大,当满足一定内外动力条件时便会孕育、蠕滑拉裂以至潜在剪切面剪断贯通滑动而形成滑坡。堆积体平均厚 65 m 左右,厚大的堆积物中工程地质条件的差异性 是滑坡形成的物质基础。滑坡体下部岩性主要为砂岩夹板岩或千枚岩,这种软弱互层的岩体在卸荷作用和上部滑坡推力作用下易发生倾倒变形,并且变形幅度较大。作为滑坡的基座,其发生变形对于滑坡的稳定造成不利影响。

(3)人类工程活动。斜坡上地面建筑的切坡、农田开垦、公路的修建,破坏了原岩土体平衡,使滑坡向不利方向发展,可促使滑坡发育。

(4)水的作用。地表水及降雨入渗,特别是连续降雨或暴雨,水渗入地下使岩土体软化,降低软弱带岩土体抗剪强度,从而诱发滑坡初始蠕滑后,孕育了潜在的滑面和中、后部的拉裂缝,为以后每年暴雨时形成孔隙水压力提供了条件。

3.2 松坪滑坡主控因素

(1)未贯通的潜在滑面。滑面贯通与否,直接控制滑坡体由蠕滑向滑动灾变过程的转化。滑坡变形主要表现为滑坡后部蠕变拉裂和滑坡前缘的蠕滑,堆积层内尚未有贯通性的深部滑面存在,滑带全面贯通是整个滑体是否发生大规模滑动的关键。

(2)水是诱发滑坡的主导因素。现场调查表明,滑坡区内出现的拉裂缝、房屋开裂等现象多发生在暴

雨过后,说明水对滑坡变形起着直接影响。特别是大暴雨的降水渗入岩土体使其抗剪强度降低,加之斜坡的卸荷作用和前缘的临空条件不利因素,在孔隙水压力作用下,土体沿滑带蠕滑变形。所以降水对滑坡的诱发控制作用是不容忽视的。

4 稳定性分析

4.1 地质分析

从坡体裂缝的发生、发展及分布规律来看,松坪滑坡目前以浅表层蠕滑变形为主,变形有逐年增长趋势,变形幅度或速率主要受大气降雨所控制。滑坡变形过程中的解体迹象明显,影响范围具明显的浅层及局部特征。因此,松坪滑坡整体一次性失稳的可能性不大,滑坡在天然状态下整体尚处于基本稳定状态。由于因中部及后缘拉裂缝至今仍在继续发展,在自然条件下坡体局部处于临界不稳定状态。随着前缘抗滑段的削弱,后部蠕滑变形进一步加剧,整体稳定性会逐渐减弱。尤其是持续暴雨后,滑坡整体稳定性将会降低。

4.2 量化评价

在工程地质类比法与反分析法基础上,结合已有的现场岩土体物理力学性质试验结果,提出天然状态下滑带土的强度指标采用 $\varphi=27.2^{\circ}$, $c=12$ kPa,饱和情况下 $\varphi=21.4$, $c=10$ kPa,计算剖面如图 2 所示,选用正常、暴雨(孔压系数 0.2)、地震工况条件按照条分法理论及方法进行计算,计算结果见表 1。

表 1 松坪滑坡潜在深部滑动稳定性计算

计算工况	强度参数		稳定性系数 F_s		
	$\varphi/(^{\circ})$	c/kPa	毕肖	简布	摩根斯
			普法	法	坦法
天然	27.2	12	1.337	1.267	1.318
暴雨(孔压水压力系数 0.2)	21.4	10	0.899	0.851	0.887
地震	27.2	12	1.252	1.186	1.235

注: φ ——内摩擦角; c ——内聚力。

计算结果反映:①在天然状态下,滑坡体处于稳定状态,而考虑地震作用时,滑坡体的稳定性降低;②在特大暴雨条件下,无地震作用时,滑坡体处于不稳定状态。由此表明,降水对于松坪滑坡的稳定性影响较大。

5 结论与建议

松坪滑坡为土质滑坡,其变形模式是一种蠕滑拉裂。稳定性计算表明:在天然+暴雨作用条件下,滑坡体处于不稳定状态,有失稳的可能,影响坡体稳定

性的主导因素为暴雨。滑坡破坏形式为解体式蠕滑,整体一次性失稳的可能性不大;即使局部失稳下滑,对电站的正常运营影响不大。鉴于滑坡区居民房屋严重开裂,雨季时危险性很大,建议采取以下措施:

- (1)加强松坪滑坡的监测,为进一步分析滑坡稳定性和预警预报以及防范决策提供科学依据。
- (2)建立防灾减灾预案,防止滑坡失稳造成人员伤亡,降低滑坡造成的经济损失。
- (3)在坡体后缘及坡面加强排水、防渗,控制诱滑因素,以及必要的抗滑支护措施。

(上接第 56 页)

[6] 刘纪远,张增祥. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. 地理研究,2003, 22(1):1-12.

[7] 史培军,陈晋,潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析[J]. 地理学报,2000,55(2):151-160.

[8] 谭少华,倪绍祥. 区域土地利用变化驱动力的成因分析[J]. 地理与地理信息科学,2005,21(3):47-50.

[9] 宋开山,刘殿伟,王宗明,等. 1954 年以来三江平原土地利用变化及驱动力[J]. 地理学报,2008,63(1):93-104.

[10] 朱会义,李秀彬. 环渤海地区土地利用的时空变化分析[J]. 地理学报,2001,56(3):253-260.

[11] 任宗萍,杨勤科,胡志瑞,等. 基于项目驱动的藉河流域土地利用时空变化动态分析[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(3):239-244.

[12] 赵东波,梁伟,杨勤科,等. 陕北黄土丘陵区近 30 年来

(上接第 61 页)

[8] Rango A. A assessment of remote sensing input to hydrological models [J]. Water resources bulletin, 1985 (3):423-432.

[9] Arnold J G, Srinivasan R, Muttiah R S, et al. Large area hydrologic modeling and assessment. Part I, Model development[J]. Journal of American Water Resources Association, 1998,34:73-89.

[10] Saleh A, Arnold J G, Gassman P W, et al. Application of SWAT for the Upper North Bosque watershed[J]. Transactions of the ASAE, 2000(5):1077-1087.

[11] Fontaine T A, Cruickshank T S, Aronld J G, et al. Development of a snowfall-snowmelt routine for mountains terrain for the soil water assessment tool (SWAT) [J]. Journal of Hydrology, 2002,262:208-223.

[12] Eckhandt K, Haverkamp S, Fohrer N, et al. SWAT-G, a version of SWAT99.2 modified for application to low mountain range catchment[J]. Physics and Chemistry of Earth, 2002,27:641-644.

[13] 王中根,刘昌明,黄友波. SWAT 模型的原理、结构及应

参考文献:

[1] 张伟元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理 [M]. 2 版. 北京:地质出版社,1994.

[2] 张永兴,文海家,欧敏. 滑坡灾变智能预测理论及其应用 [M]. 北京:科学出版社,2005.

[3] 乔建平. 滑坡减灾理论与实践[M]. 北京:科学出版社,1997.

[4] 吕生弟,陆栋梁,李树武,等. 四川大渡河金川水电站工程松坪斜坡稳定性专题研究[R]. 西安:中国水电顾问集团西北勘测设计研究院,2008.

土地利用动态变化分析[J]. 水土保持通报,2008,28 (2):22-26.

[13] 王思远,王光谦,陈志祥. 黄河流域土地利用与土壤侵蚀的耦合关系[J]. 自然灾害学报,2005,14(1):32-37.

[14] 梁音,张斌,潘贤章,等. 南方红壤区水土流失动态演变趋势分析[J]. 土壤,2009(4):534-539.

[15] 史德明,史学正,梁音,等. 我国亚热带的水土流失与水土保持问题[J]. 亚热带水土保持,2005,17(3):1-5.

[16] 梁音,潘贤章,孙波. 42 年来兴国县土壤侵蚀时空变化规律研究[J]. 水土保持通报,2006,26(6):24-27.

[17] 唐玉英. 赣州年鉴(2008)[Z]. 2008.

[18] 王思远,刘纪远. 中国土地利用时空特征分析[J]. 地理学报,2001,56(6):631-639.

[19] 王思远,张增祥,周全斌,等. 中国土地利用格局及其影响因子分析[J]. 生态学报,2003,23(4):649-656.

用研究[J]. 地理科学进展,2003,22(1):79-86.

[14] 黄清华,张万昌. SWAT 分布式水文模型在黑河干流山区流域的改进与应用[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2004,40(2):22-26

[15] 杨桂莲,郝芳华,刘昌明,等. 基于 SWAT 模型的基流估算及评价[J]. 地理科学进展,2003,22(5):463-471.

[16] 陈军峰,陈秀万. SWAT 模型的水量平衡及其在梭磨河流域的应用[J]. 北京大学学报:自然科学版,2004,40(2):265-270.

[17] 张东,张万昌,朱利,等. SWAT 分布式水文物理模型的改进及应用研究[J]. 地理科学,2005,20(4):434-440.

[18] 史培军,袁艺,陈晋. 深圳市土地利用变化对流域径流的影响[J]. 生态学报,2001,21(7):1042-1049.

[19] 索安宁,李金朝,王天明,等. 黄土高原流域土地利用变化的水土流失效应[J]. 水利学报,2008,39(7):767-772.

[20] 索安宁,王兮之,林勇,等. 基于遥感的黄土高原典型区植被退化分析:以泾河流域为例[J]. 遥感学报,2009,13(2):291-299.