

重庆龙王坪滑坡地质特征及稳定性评价

瓮纪昌^{1,2},涂良权²,胡继华²

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 河南省地质矿产勘查开发局第二地质勘查院, 河南 许昌 461000)

摘 要:龙王坪滑坡位于长江二级支流东河右岸。通过野外勘查,运用探槽、探井、钻探等工程控制,查明该滑坡的主要影响因素除地形地貌、地层岩性、物质结构外,还有暴雨、地震、人类活动等外在因素;查明该滑坡已发生过局部滑移,目前正处于蠕滑拉裂变形阶段。通过对滑坡的稳定性评价,认为该区应采用以支挡工程为主、排水为辅的防治方案。

关键词:龙王坪滑坡;滑坡特征;影响因素;稳定性

中图分类号:P642. 22 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-4135(2006)02-0124-06

龙王坪滑坡位于重庆市开县县城东北约 4 km 附近的长江二级支流东河右岸岸坡,滑坡处于开县向斜北西翼,由侏罗系中统沙溪庙组(J_{2s})紫红色泥岩和灰色砂岩组成,两种岩层呈互层状,区域内厚度 100 ~ 350 m;岩层呈单斜产出,倾向 161°~ 207°,倾角 7°~ 17°;滑坡轴向与向斜轴向斜交,为 168°~ 210°。滑坡区内发育两组裂隙,一组走向 60°~ 80°,倾角近直立,裂面平直,多呈张开状,少量泥质、砂(泥)岩碎屑充填,长度一般 7 ~ 15 m,线密度近 1 条/m;另一组走向 340°~ 350°,倾角近直立,裂面平直,呈闭合状,无充填,长度一般小于 10 m,线密度近 0.5 条/m。区内未见断裂构造,地震强度为Ⅵ度^[1~3]。

1 滑坡的基本特征

1.1 滑坡体外形特征

滑坡体由上、下两个滑体组成(图 1)。上滑体平面形态呈“舌状”,北东—南西向展布,坡向 190 ~ 220°,后缘高程 300 ~ 306 m,前缘高程 269 ~ 275 m,相对高差 25 ~ 37 m,平均坡度 6.2°,主滑方向 210°。滑体南北长约 340 m,东西宽约 220 ~ 240 m,滑坡面积约 7.82 × 10⁴ m²。下滑体平面形态不规则,近南北向展布,坡向约 160 ~ 200°,后缘高程 269 ~ 275 m,前缘

高程 191 ~ 245 m,相对高差 24 ~ 84 m,平均坡度 10.8°,主滑方向 168°,滑体南北长约 230 m,东西宽约 270 m,滑坡面积约 6.38 × 10⁴ m²。滑坡上、下滑体平均厚度 11.6 m,总面积 14.2 × 10⁴ m²,总体积 165 × 10⁴ m³。

1.2 滑体特征

据钻探、探井、探槽、物探资料显示(图 2、3),上滑体在纵向上具有中、后部厚,前缘薄的特点,中、后部一般厚度在 15 ~ 20 m 之间,最厚达 22.70 m;前部一般厚度在 4.0 ~ 13.7 m 之间,在横向上具有中间厚、边缘薄的特点;滑坡下滑体在纵向上亦具有中、后部厚,前缘薄的特点,中、后部一般厚度在 15 ~ 25 m 之间,最厚达 25.10 m;前部一般厚度在 5 ~ 15 m 之间,在横向上亦具有中部厚、边缘薄的特点。

上、下滑体主要为残坡积的粉质粘土加碎、块石组成,在垂向上的变化特征为:从滑体上部到底部,粘粒含量由高变低,由粉质粘土→含砾粉质粘土→含碎(块)石粉质粘土→碎(块)石土渐变过度;在平面上的变化特征为:前、后缘碎(块)石含量较高,土石比小,中部碎(块)石含量相对较低,土石比大。其中粉质粘土呈褐色,褐红色,质粘,可塑,碎、块石成分主要为源于 J_{2s} 的青灰色砂岩,块径一般 0.2 ~ 3 m,最大可达 5 m,分选差,磨圆度低,呈次棱角—棱角状;碎

石粒径 2 ~ 20 cm 不等,块石块径 0.5 ~ 2 m,少量达 5 m,且具有中部碎块石含量少,前后缘碎块石含量多的特点。土石比约 6 : 4 ~ 7 : 3。滑体中上部,以粉质粘土为主,夹少量碎(块)石,并含一定数量的角砾,角砾含量占 10 ~ 15 %,角砾成分为源于 J₂s 的粉砂质泥岩和砂岩。

其物理力学性质特征为:天然含水量 19.8 %,天然密度 2.00 g/cm³,饱和密度 2.10 g/cm³,土粒比重 2.70,天然孔隙比 0.600,塑限 16.7 %,液限 28.0 %,塑性指数 11.3,天然快剪 C = 29.9 kPa、Φ = 12.5°,饱和快剪 C = 15.4 kPa、Φ = 9.1°,垂直渗透系数 3.9 × 10⁻⁷。

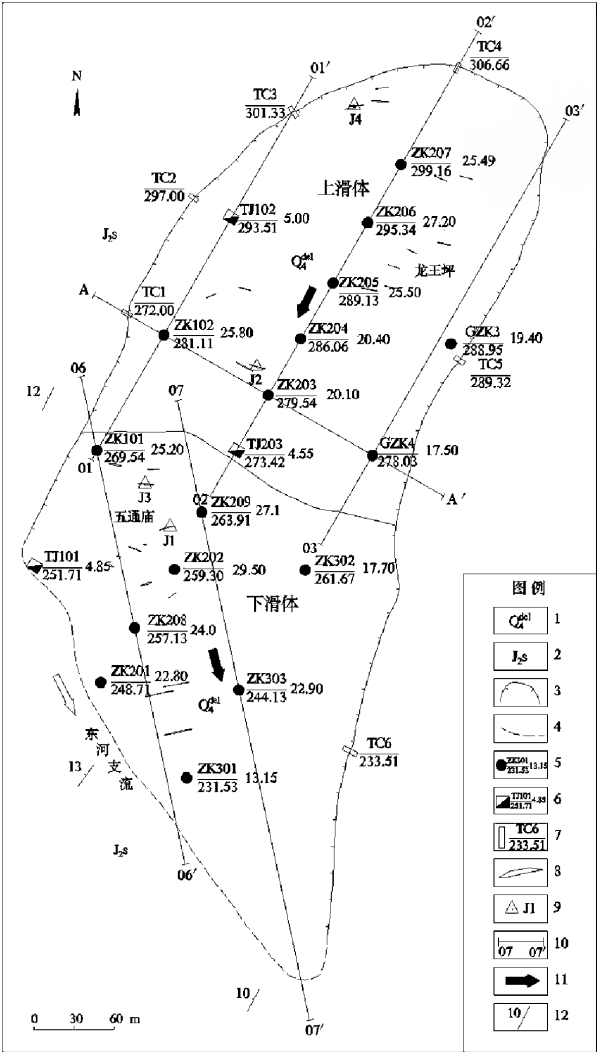


图 1 龙王坪滑坡工程地质平面示意图

Fig. 1 The sketch map of engineering geology of Longwangping landslide

1. 第四系全新统滑体堆积物;2. 侏罗系中统沙溪庙组;3. 滑坡体周界;4. 滑坡体前缘界线;
5. 钻孔位置及编号;6. 探井位置及编号;7. 探槽位置及编号;8. 地表裂缝;9. 变形监测点及编号;
10. 勘探线位置及编号;11. 主滑方向;12. 地层产状

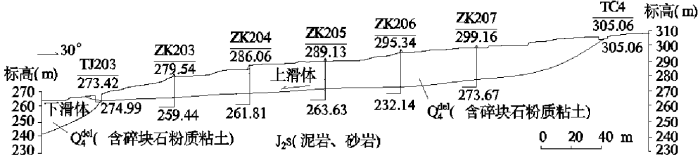


图 2 2—2'工程地质剖面图

Fig. 2 Engineering geological section of 2—2' landslide

ZK 类标号为钻孔和施工深度

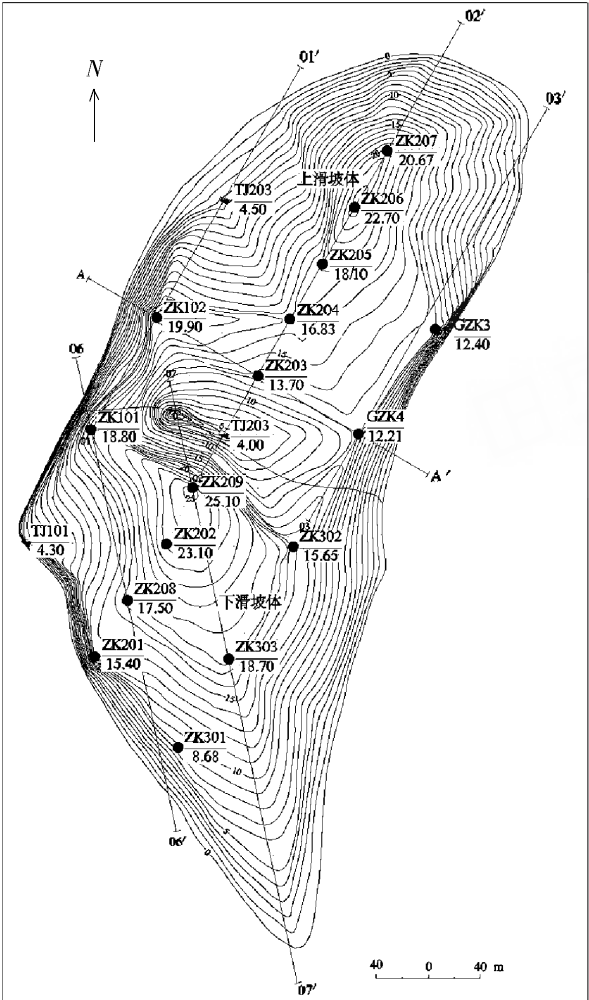


图 3 龙王坪滑坡滑体等厚线图

Fig. 3 The isopach map of the sliding mass in Longwangping landslide
ZK 类标号为钻孔和施工深度

1.3 滑带特征

滑坡滑带特征在中前部表现明显,后部滑带特征不明显。滑带物质主要为含水量高、呈可塑-软塑状的含碎石粉质粘土,多呈灰绿色,少量褐红色,含较多粘土质矿物,粘手,手搓光滑感较强;碎石含量较少,局部含量可达 45%左右,碎石粒径较小、且磨圆度较好;在剖面形态上,自下而上砾、角砾含量逐渐增高,颗粒逐渐变粗;滑带土的矿物成分主要为蒙脱石、伊/蒙混层矿物+伊利石及石英;在滑带土中由于剪切形成与滑面平行的波纹状纹理,在砾、角砾表面可见磨光及线形擦痕;滑带土厚 0.1~0.3 m,局部可达 1.80 m。滑带土与下伏岩体之间形成滑面,滑面与岩体层面近似平行,在滑面上可以清晰地看到磨光面、擦痕,擦痕方向 170°~

190°,总体与滑坡主滑方向一致。滑带土物理力学性质特征为:天然含水量 22.6%,天然密度 2.00 g/cm³,饱和密度 2.02 g/cm³,土粒比重 2.71,天然孔隙比 0.659,塑限 17.6%,液限 28.9%,塑性指数 11.3,天然快剪峰值强度 $C = 15.8 \text{ kPa}$ 、 $\Phi = 13.3^\circ$,天然快剪残余强度 $C = 12.7 \text{ kPa}$ 、 $\Phi = 9.4^\circ$,饱和快剪峰值强度 $C = 11.5 \text{ kPa}$ 、 $\Phi = 9.4^\circ$,饱和快剪残余强度 $C = 8 \text{ kPa}$ 、 $\Phi = 6.4^\circ$,垂直渗透系数 1.4×10^{-7} 。

1.4 滑床形态及下伏岩体特征

滑坡体滑床面形态以 ZK205 为界,其上较陡,滑床坡角为 6~20°左右,其下平缓,滑床坡角平均 3°左右。滑床总体形态为略向下凹的平面。滑床为沙溪庙组紫红色泥岩及黄褐色长石英砂岩,岩体具强风化或中等风化,靠近滑带

的砂岩呈碎裂状,泥岩易软化,裂隙面上形成铁锰质薄膜。据钻孔、探井揭露情况可看出,滑床的大部分以泥岩为主,少量为砂岩;泥岩性状极差,岩质软,其物理力学性质特征为:天然密度 2.60 g/cm^3 ,含水量 3.20% ,泊松比 0.30 ,弹性模量 $0.3 \times 10^4 \text{ MPa}$,单轴抗压强度:天然 14.6 MPa ;饱和 9.8 MPa ,抗拉强度 1.1 MPa ,三轴抗压强度:天然 $C = 2.3 \sim 2.7 \text{ MPa}$, $\Phi = 37.5^\circ$;砂岩抗风化能力较强,产状稳定,其物理力学性质特征为:天然密度 2.60 g/cm^3 ,含水量 3.20% ,泊松比 0.20 ,弹性模量 $0.7 \times 10^4 \text{ MPa}$,单轴抗压强度:天然 30.1 MPa ;饱和 22.3 MPa ,抗拉强度 2.0 MPa ,三轴抗压强度: $C = 4.8 \sim 7.7 \text{ MPa}$, $\Phi = 33.1 \sim 33.3^\circ$ 。

1.5 滑坡变形特征

滑坡体自前缘到后缘均能见到变形现象。滑坡体 2000 年以前处于相对稳定状态,滑坡变形迹象不明显。2000 年以来,随着库区移民迁建工程的不断建设,地质环境条件遭到一定程度破坏,并且随着气候条件的变化滑坡体的稳定状态发生变化,特别是 2004 年 9 月 4、5 日的特大暴雨进一步破坏了滑坡体的稳定状态,滑坡体蠕滑、变形加速,特别是暴雨及沟谷水流的冲刷使得滑坡体前缘临空面土体的坍塌、卸荷,更是随着降雨的发生而不断发展,滑坡体前缘拉裂缝进一步扩展。而拉裂缝的生长更促进降雨的入渗,使得滑坡体的结构条件进一步恶化。

据调查,滑坡体以拉裂变形为主,地面不均匀沉降、拉裂、错断及房屋变形现象明显,并密集成带分布,裂缝长 $8 \sim 15 \text{ m}$,宽 $0.5 \sim 10.0 \text{ cm}$,最深达 3 m 以上,裂缝呈不规则的锯齿状展布,总体走向 $50^\circ \sim 100^\circ$ 之间。

2 滑坡影响因素分析

2.1 滑体成因机制分析

滑坡体由第四系崩坡积或残坡积含碎块石粘性土组成,下伏基岩为侏罗系中统沙溪庙组泥岩夹砂岩,覆盖层与基岩呈角度不整合接触,覆盖层是滑坡的主体,而沿不整合面形成滑移面是滑坡形成的基础。从地貌形态上,滑坡区为单向斜坡^[4,5],前缘具临空面,地表水和后缘地下水的补给使得岩体层面上的土体软化而强

度降低。在自重、暴雨和人为因素的影响下,土体沿基岩面形成牵引式的松散堆积层滑坡^[6]。自 2003 年以来,变形有加剧现象。

2.2 滑坡形成条件和触发因素

龙王坪滑坡的形成是各种自然地质因素和人为活动因素综合作用的结果。如在暴雨条件下,降水的大量渗入,使得不整合面上的土体强度降低,形成滑面,在有利的地形条件下(顺走向发育的单斜斜坡),产生滑动;暴雨及沟谷水流的冲刷使得滑坡体前缘土体的坍塌、卸荷,形成临空面,或由于人类工程活动而在潜在滑体前缘开挖形成临空面,使得土体的稳定状态发生变化而产生滑动。

由于开县属亚热带季风性湿润气候,雨量充沛。据开县气象资料:多年平均降雨量 1189.0 mm ,且降雨多集中在 $5 \sim 9$ 月份,约占全年降雨的 60% ,最大日降雨量 237.1 mm ,年 24 小时最大暴雨量 288.5 mm ,小时最大暴雨量 58.6 mm 。降雨强度达到或超过了不少国家和地区触发滑坡的暴雨强度临界值。而暴雨和持续降雨,为滑坡的形成提供了有利条件^[7]。特别是 2004 年 9 月 4、5 日开县遭遇 200 年一遇特大暴雨洪灾,24 小时降雨量达 330.8 mm ,最高洪水水位 172 m 。洪灾引起滑坡变形加速。

总之,在上述各种自然、人为因素的影响下,滑坡的稳定性必将进一步降低,继而产生破坏。

3 滑坡稳定性评价

3.1 滑坡变形形迹及特征评价

据现场地质调查表明,龙王坪滑坡近年来地表地物、地形变化明显。从滑坡的后缘至前缘均可见到卸荷裂隙、拉裂缝等变形迹象,并可见明显的滑带及滑面,滑移方向清晰可辨;在滑坡的剪出口部位,每年的雨季均有土体剪出,近年有加剧的现象。上述表明该滑坡处于蠕滑拉裂变形阶段。

3.2 地下水观测评价

据钻孔和探井观测,滑坡体内孔隙潜水普遍存在。在滑体中形成静水及孔隙水压力,加之滑体前部滑带的形成及滑带土(含碎石粉质粘土)隔水作用,使地下水在滑体内富集^[8]。所以,在天然状态下,滑坡是稳定的,但在雨季是

欠稳定的。

3.3 稳定性计算结果评价

滑坡稳定性计算方法采用不平衡推力传递系数法^[9],计算公式如下:

$$k_f = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} ((\omega_i(1-r_u)\cos\alpha_i) - R_{Di})\text{tg}\varphi_i + C_iL_i\prod_{j=i}^{n-1}\psi_j + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} ((W_i(\sin\alpha_i + A\cos\alpha_i) + T_{Di}\prod_{j=i}^{n-1}\psi_j) + T_n)}$$

式中: $R_n = (W_n((1-r_u)\cos\alpha_n - A\sin\alpha_n) - R_{Dn})\text{tg}\phi_n C_n L_n$

$T_n = (W_n(\sin\alpha_n + A\cos\alpha_n) + T_{Dn})\prod_{j=i}^{n-1}\psi_j = \psi_i\psi_{i+1}\cdots\psi_{n-1}$

式中: $\Psi 1$ —第 i 块段的剩余下滑力传递至 $i+1$ 块段时的传递系数 ($j=i$), 即:

- $\psi_j = \cos(\alpha_i - \alpha_{i+1}) - \sin(\alpha_i - \alpha_{i+1})\text{tg}\varphi_{i+1}$
- W_i —第 i 条块的重量 (KN/m);
- C_i —第 i 条块内聚力 (KPa);
- Φ_i —第 i 条块内摩擦角 ($^\circ$);
- L_i —第 i 条块滑面长度 (m);
- a_i —第 i 条块滑面倾角 ($^\circ$);
- β_i —第 i 条块地下水流向 ($^\circ$);

表 1 滑坡稳定系数计算结果表

Table 1 Result about stability coefficient of the landslide

滑体编号	剖面编号	计算工况	稳定性系数计算结果	稳定状态	安全系数
上滑体	2——2'	7	1.10	基本稳定	1.20
		8	0.91	不稳定	1.15
下滑体	7——7'	7	1.12	基本稳定	1.20
		8	0.91	不稳定	1.15

4 结论

龙王坪滑坡的形成条件一是具有较厚的第四系堆积物与下伏基岩呈不整合接触,基岩面上的含碎石粉质粘土构成构造滑动面(带),二是顺走向发育的单斜斜坡,也有利于斜坡土体的滑移、变形,其长期发展的结果即形成滑坡。自然和人为因素的破坏是使滑坡滑移的条件,雨季形成的地下水大量补给,使得滑体特别是滑动面形成较高的孔隙水压力,是滑坡滑移的触发因素。龙王坪滑坡性质属于牵引式土质滑坡,其在自然状态下处于基本稳定状态,暴雨状态下处于不稳定状态。龙王坪滑坡近几

A —地震加速度(重力加速度 g);

K_j —稳定系数;

渗透压力产生的平行滑面分力;

$T_{Di} = r_w h_{iw} L_i \text{tg}\beta_i \sin(a_i - \beta_i)$

渗透压力产生的垂直滑向分力

$R_{Di} = r_w h_{iw} L_i \text{tg}\beta_i \cos(a_i - \beta_i)$

由于龙王坪滑坡均为不涉水滑坡,且开县属于地震 6 度区,故利用上公式计算时,仅考虑自重天然状态、20 年一遇暴雨两种工况:

工况 7:自重+地面荷载;

工况 8:自重+地面荷载+20 年一遇暴雨。

由于该滑坡防治工程等级为 II 级^[10],抗滑稳定性安全系数取 1.15~1.20。据 2-2'、7-7'剖面的不平衡推力传递系数法计算结果(表 1)表明,滑坡上滑体在天然状态下,稳定系数为 1.10,滑体处于基本稳定状态;在暴雨态状稳定系数为 0.91,滑体处于不稳定状态。滑坡下滑体在天然状态下,滑体的稳定系数为 1.12,滑体处于基本稳定状态;在暴雨状态稳定系数为 0.91,滑体处于不稳定状态。

年来一直处于缓慢的蠕滑变形状态,地表地物变形明显,特别是前、后缘拉张裂缝现象明显,地表及建筑物变形拉裂现象普遍存在,充分说明了滑坡体一直处于蠕滑拉裂变形阶段。滑坡下滑体前缘为东河的一条支流,随着前缘滑坡体堆积物不断被沟谷及坡面水流冲刷、淘蚀,形成新的临空面,同时降雨的入渗,使滑体、潜在滑带土体强度降低,其稳定性明显下降,从而可能产生大规模的滑动变形。因此,建议采用支挡、排水工程为主,护坡工程为辅的综合治理方案,既可以从根本上解决因滑坡造成的灾害,不但确保滑坡体上和移民迁建区人民群众的生命财产安全,及渝巫复建公路的建设实施,又可

以减少水土流失,合理有效的保护利用土地,保持库区库岸的稳定,具有良好的环境效应。

参考文献:

[1]张倬元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社,1994.
[2]地质矿产部成都水文地质工程地质中心,成都地质学院,水利部长江水利委员会勘测总队. 长江三峡工程库岸稳定性[M]. 北京:中国科学技术出版社,1992.
[3]潘懋,李铁锋. 灾害地质学[M]. 北京:北京大学出版社,2002.
[4]张年学,盛祝平,孔广忠,等. 长江三峡工程库区顺层岸坡研究[M]. 北京:地震出版社,1993.

[5]殷跃平. 三峡库区地下水渗透压力对滑坡稳定性影响研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003,14 (3): 1-8.
[6]孔红月,尚岳金. 顺斜向坡变形破坏特征研究[J]. 工程地质学报, 1999,7(2):141-146.
[7]马力,曾详平,向波. 重庆市山体滑坡发生的降水条件分析[J]. 山地学报, 2005,25(1):105-109.
[8]胡克定. 浅论重庆地区滑坡的分布规律[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1995, 6(3): 20-22.
[9]时卫民,郑颖人,唐伯明. 滑坡稳定性评价方法的探讨[J]. 岩石力学,2003, 24 (4):545-548.
[10]李长安. 三峡地区滑坡与构造运动、气候变化的关系[J]. 地质科技情报,1997, 16(3): 88-91.

Evaluation of the Features and Stability of Longwangping Landslide in Chongqing City

WENG Ji-chang^{1,2}, TU Liang-quan², HU Ji-hua²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. No. 2 Geoexploration Party of Henan Bureau of Geoexploration and Development, Henan Xuchang 461000, China)

Abstract: Longwangping landslide body is located in the right bank of Donghe River, second-grade tributary of Yangtz River. Based on the geological survey, trenching, shallow bored welling and triling, it is suggested that the main factors of the landslide are the topographty, physiognomy, stratum characters and structure, heavy rain, earthquake, and human activity. And the landslide has slipped partly already, and now is in the creeping, pulling-apart deformation state. According to the study on the stability of the landslide, it is proposed that the project of mainly support and drainage should be used to control the geological hazard happening.

Key words: Longwangping landslide; landslide features; influence factor; stability