

文章编号: 1008-2786-(2015)1-58-07

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000008

大渡河双家坪古平推式滑坡堆积特征及形成机制

赵勇 许模* 郭健康 康小兵 汪亚莉

(成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室 四川 成都 610059)

摘 要: 大渡河沿岸分布的大量古滑坡堆积体,是流域内水电能源开发及山区城镇建设的重大隐患。双家坪古滑坡堆积体就是其中的典型案例。2010 年 8 月以来,随着瀑布沟电站库区水位升高淹没堆积体前缘,堆积体西侧区域地面及房屋出现了较大规模的变形迹象。调查表明,出现变形的区域仅是一个古老滑坡堆积体的一部分。根据现场调查和钻探手段,从地貌、物质结构特征查明了该古滑坡堆积体的边界条件、各分区的堆积特征,认为该滑坡堆积体可分为 4 个区,其中 A、C 区为主要崩落堆积区,以大块石堆积为主,块石直径 1~3 m,甚至更大;B 区为残留岩体堆积区,岩层保留原岩层序;D 区为细颗粒物质堆积区。初步认为古滑坡堆积体为平推式滑动→推出悬空→重力折断→散落堆积→表生改造等过程的形成机制。

关键词: 大渡河; 滑坡堆积体; 堆积特征; 平推式滑动

中图分类号: P642.22

文献标志码: A

大渡河是我国长江一条重要的支流,亦是我国重要的水电能源基地^[1]。调查表明,大渡河沿岸分布有大量的滑坡堆积体^[2-3]。它们的存在是流域水电能源开发以及山区城镇规划建设的巨大隐患,因此,开展对大渡河沿岸堆积体的识别发现、堆积特征研究、稳定性评价工作是十分重要的。

位于石棉县城下游约 10 km 的双家坪滑坡堆积体就是一个古滑坡堆积体的典型案例。该滑坡堆积体位于瀑布沟电站库尾左岸,2010 年 8 月以来,由于瀑布沟库区蓄水水位上升,造成了堆积体上西侧区域出现剧烈的变形现象,如国道 108 线双家坪段 >100 m 的路面出现开裂下沉,靠近库水面的造地工程护堤出现大量裂缝等。因此,作者跟随团队对该滑坡堆积体进行了工程地质测绘及进一步的勘探研究工作。

随着调查研究工作的深入,发现了一些需要深入回答的问题:1. 变形坡体是一般的残坡积堆积体还是古滑坡或崩塌事件后形成的堆积体斜坡? 2. 除

了已经发生变形的区域,该古滑坡堆积体的堆积边界特征和物质结构特征是什么情况? 3. 调查发现,坡体中有大量直径 2~4 m 甚至更大的巨型块石,在平缓岩层地区,该堆积体是如何形成的,堆积体的物源在什么地方? 4. 堆积体后缘有一独立的条状山包,岩层平缓,这个独立的条状山包又是怎样形成的? 等等。

由于笔者的认识水平有限和研究对象的复杂性,有些问题暂时难以回答,但作者仍然十分愿意向广大研究者讲述这样一个特殊的滑坡堆积体,期望能为后续研究工作提供基础认识和得到更多的启示。

1 地质背景

双家坪滑坡堆积体位于大渡河左岸的四川省石棉县迎政乡。滑坡区在大地构造部位上,属上扬子台褶带范畴,位于川滇南北构造带与北西向鲜水河

收稿日期(Received date): 2013-11-23; 改回日期(Accepted): 2014-06-17。

作者简介(Biography): 赵勇(1986-),男,四川遂宁人,博士研究生,主要从事工程地质研究。[Zhao Yong (1986), male, born in Suining of Sichuan, PH. D, mainly engaged in research of engineering geology.] E-mail: dorzy_2012@163.com

* 通信作者(Corresponding author): 许模(1963-),男,重庆涪陵人,教授,博士,主要从事工程地质和工程水文地质等的教学与研究。[Xu Mo (1963), male, born in Fuling of Chongqing, professor, PH. D, mainly engaged in teaching and research work of engineering geology and hydrogeology.] E-mail: xm@cdut.edu.cn

断裂带复合部位。区内构造行迹主要以 SN 向、NW 向的断裂为主。滑坡区附近有 NW 向美罗断裂及其次级断裂、近 EW 向的永和断裂通过。

滑坡区出露基岩为三叠系上统白果湾群 (T_3bg) 黄灰色砂岩、泥质粉砂岩、泥灰岩夹页岩和石膏,厚层状,层面产状 $N70^\circ E/SE \angle 5 \sim 10^\circ$,主要发育两组垂直节理。第四系主要包括残崩坡积层 (Q^{col+dl})、滑坡堆积层 (Q^{del}) 以及冲洪积物质 (Q^{al+pl})。

双家坪滑坡位于大渡河左岸,处于川西高原与四川盆地过渡带,属中高山峡谷型地貌,两岸谷坡陡峻,基岩裸露。滑坡区山体走向 NE-SW,地势总体上北高南低,最高点为后缘凉台山峰顶,高程 1 287 m,最低处为瀑布沟电站库区正常蓄水水面,高程 850 m。

2 堆积体已有变形特征

2010 年 8 月以来,随着瀑布沟库区蓄水水位逐渐上升,堆积体上西侧区域出现了强烈的变形现象,包括国道 G108 线双家坪段路面出现长度 > 100 m 开裂下沉,公路外侧多家单位厂房及职工宿舍墙面开裂、倾倒(图 1),靠近库水面的造地工程护堤出现大量裂缝,并致使该区域 37 户村民的房屋不同程度开裂、变形。

据现场调查,出现变形的斜坡区域其实为双家坪古滑坡堆积体的西侧区域,已经历了多期变形而发展成为现在的规模,可以分为两部分:以 G108 为界,上部为变形较弱的 I 区,下部为变形强烈的 II 区,且两区的变形历史是不一致的。

I 区经历变形时间长,自国道 G108 线修建开

始出现变形现象,产生裂缝,2008 年“5·12”汶川地震作用加大了变形规模,至 2010 年 8 月瀑布沟电站蓄水至高水位后,变形突然加剧;II 区的变形则是在地震作用下少量出现,而到 2010 年 8 月,瀑布沟电站蓄水至高水位,尤其是进入 9 月后,变形急剧增加。图 2 为 I 区、II 区两个区域,产生的裂缝数量、规模随时间的变化趋势图。

3 堆积特征

3.1 边界特征

调查发现,该滑坡堆积体规模巨大,前缘至大渡河河水面,后缘以砖厂平台-孤立山包后缘拉陷槽一线基岩出露部位为界,西侧边界到完整基岩出露部位,东侧以无名小沟为边界。整体而言,滑坡体平面上呈不规则形态,似“蘑菇”状,纵长(垂直大渡河方向)约 750 m,横宽(平行大渡河方向)约 1 050 m,面积约为 $50.4 \times 10^4 m^2$ 。古滑坡堆积体前缘高程约 840 m,后缘高程约 1 060 m,前后缘高差达 220 m,堆积体体积约为 $956 \times 10^4 m^3$ 。

根据各部位的地形、坡度、坡体物质结构特征和变形特征,双家坪古滑坡堆积体可以分为 A、B、C、D4 个区,各区具体范围见图 3。

3.2 各亚区堆积特征

3.2.1 堆积 A 区

堆积 A 区位于滑坡体上游侧,在地形上表现为一向北凹陷的河湾,地势低洼,是前述发生变形的主要区域。A 区前缘高程约 840 m(已没于水下,2010 年 10 月),后缘高程约 990 m,前后缘高差达 150 m,滑坡纵长(垂直大渡河方向)约 550 m,横宽(平行大渡河方向)约 350 m,堆积体平均厚度约 16 m,面积



图 1 国道 G108 线外侧出现的地面沉陷和房屋倾倒现象

Fig. 1 Tilted buildings and subsidence of ground surface outside the G108

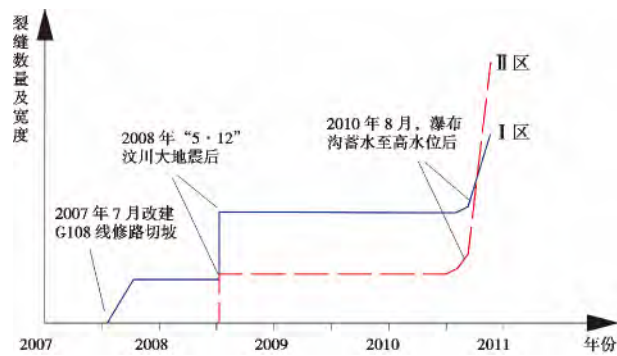


图2 变形区域裂缝数量及规模随时间变化趋势图

Fig.2 Tendency chart of tensions and scales in deformation zone

约为 $20.3 \times 10^4 \text{ m}^2$,滑坡体积约为 $324.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。其中 ,西部边界与古滑坡堆积体重合 ,东部边界为双

家坪村与古滑坡中部砖厂平台交界处 ,后方边界为上部砖厂平台 ,与滑坡体后缘重合 ,前缘至河水面 ,平面上表现为一个不规则的圈椅状 ,是面积最大的一个区。

从地形上讲 ,古滑坡 A 区在地形上表现为折线坡 ,整体呈“缓—陡—缓”的地形 ,斜坡坡度 $10^\circ \sim 50^\circ$ 。第一个“缓”地形为砖厂平台—农田及村民聚集地 ,“陡”地形为国道 G108 以下至平整农田 ,包括选矿厂厂址及职工宿舍 ,第二个“缓”地形为前缘平整农田至库水面。

从物质结构来讲 ,A 区滑坡堆积体为松散堆积层 ,堆积层厚度不均匀 ,钻孔揭示该区覆盖层厚度一般为 $20 \sim 30 \text{ m}$,中部国道 G108 附近由于道路开挖 ,覆盖层厚度一般为 $10 \sim 15 \text{ m}$,如剖面图 4 所示。钻

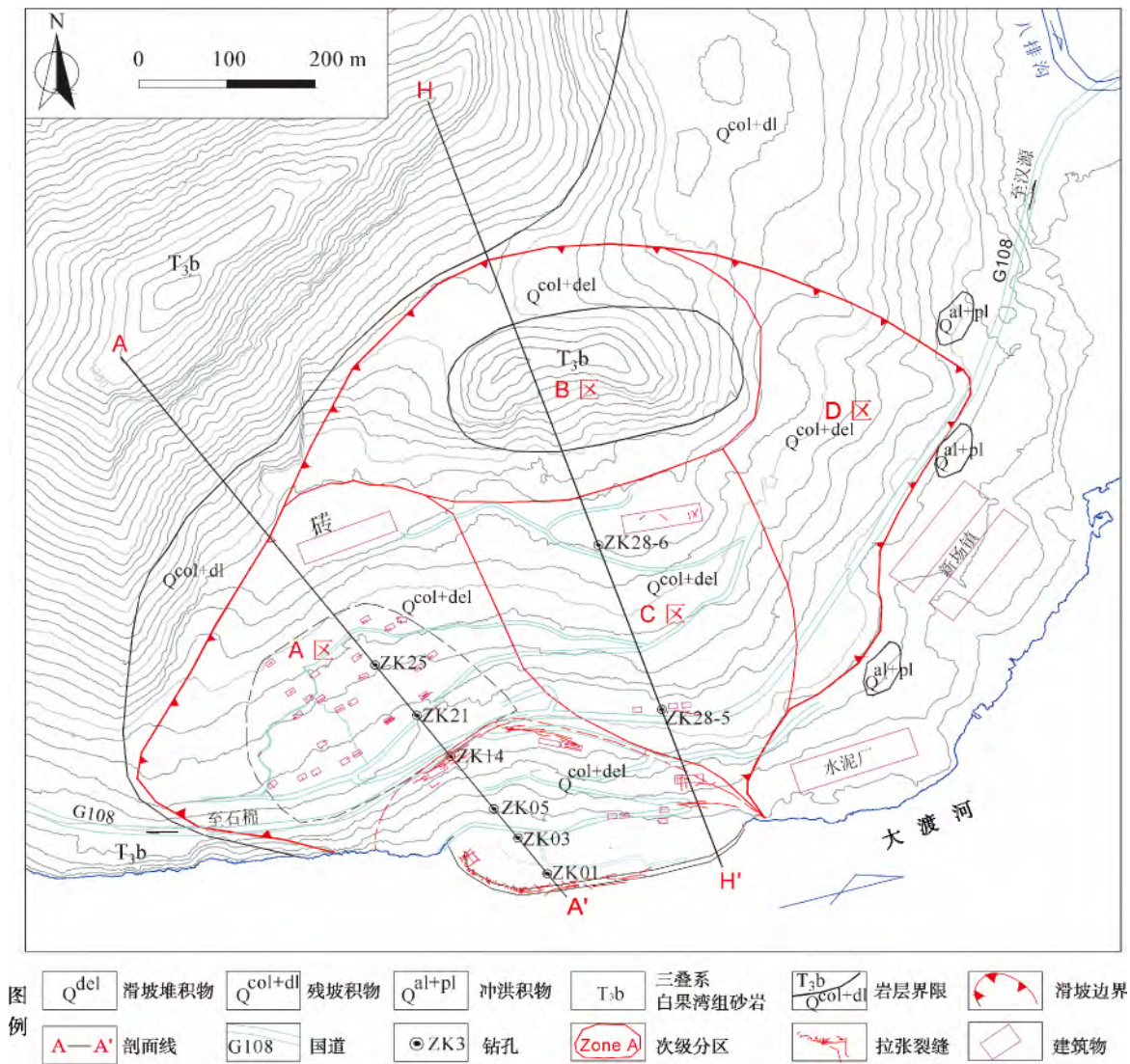


图3 双家坪古滑坡堆积体平面图及分区

Fig.3 The scope and secondary zones of Shuangjiaping ancient landslide accumulation

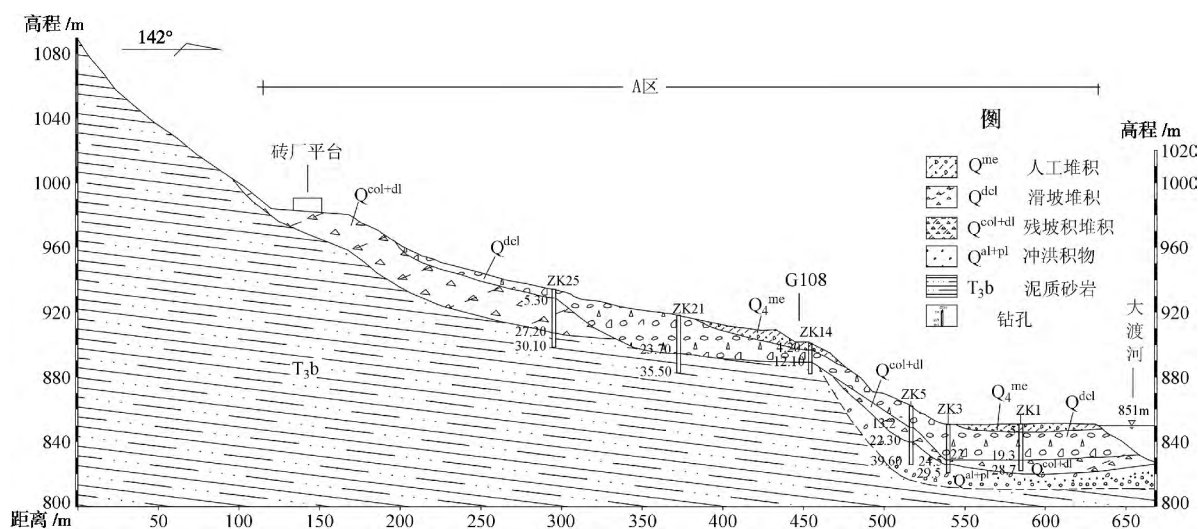


图4 A-A'剖面。A区主剖面图,上部为一层细颗粒物,中部为含巨型块石的滑坡堆积层

Fig.4 Profile A-A'. A thin layer of particulate particles on the top and the medium is a layer containing abundant giant rocky blocks

孔揭示表明,堆积体最上部为一层较薄的碎石、角砾及砂等细颗粒物;中部的滑坡堆积物主要以大块石为主,直径一般1~3 m(图5),局部甚至更大,块石之间夹碎块石土,架空现象显著;下部残坡积物由褐黄色、灰黄色粉质粘土含碎石组成,碎石含量20%~30%,棱角状~次棱角状,粒径2~7 cm。滑坡堆积物和残坡积物所含岩石岩性为黄灰色砂岩、泥质粉砂岩。同时,钻孔未揭示滑动迹象。



图5 滑坡堆积体A区前缘水渠内侧出露的巨型块石堆积

Fig.5 Giant rocky blocks exposed in the front edge of zone A

3.2.2 堆积B区

堆积B区位于古滑坡堆积体最上侧,为古滑坡停滞破坏后的残留岩体,地形上表现为孤立的条形山包,平面上似一颗倒卧的“花生”,长轴近EW向。B区范围纵向(垂直大渡河方向)长约300 m,横向(平行大渡河方向)宽约500 m,面积约为 12×10^4

m^2 ,总体积约 $216 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

残留山包岩层保持了原岩层序,产状为 $N70^\circ E/SE \angle 5 \sim 10^\circ$,呈“假基岩”状态,岩层平缓,与北西侧原始山体岩层产状一致。“假基岩”风化裂隙发育,主要发育两组近直立结构面,产状分别为 $N83^\circ W/SW \angle 85^\circ \sim 90^\circ$, $N3^\circ W/NE \angle 89^\circ$ 。

“假基岩”周围有较厚的残坡积物堆积,以细颗粒的角砾、砂及粘土为主。后缘拉陷槽呈“U”型槽谷,两端低中间高,宽度约70~90 m。拉陷槽内已被残坡积物充填,厚度达到60~70 m,以角砾、粘土等细颗粒粉质为主,偶夹碎石,堆积松散(图6)。现场调查发现,残坡积物堆积呈层状,呈层理构造,各层上部细下部粗,韵律显著。

3.2.3 堆积C区

堆积体C区位于B区前缘,古滑坡堆积体中下部。与A区凹地形相比,C区为凸出山脊,似盾牌形。横向(平行大渡河方向)长320 m,纵向(垂直大渡河方向)长400 m,面积约为 $10 \times 10^4 \text{ m}^2$,体积约为 $300 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

该区堆积厚度较大,钻孔揭示为30~60 m。覆盖层物质与A区相似,以巨型块石为主,粒径达数米,岩性为黄灰色砂岩粉砂岩,该区中部出露的巨大块石甚至保持了原岩层序(图7b)。钻孔未揭示堆积体有滑动面存在。C区堆积体在瀑布沟电站库区蓄水后,无变形现象出现。

钻孔和现场调查发现,堆积体C区前缘下部有连续分布的砂层等冲积物,说明C区堆积体上覆于阶地之上,此阶地拔河高程约50 m,对比大渡河区域



B 区东侧,镜向 W
East side of zone B

B 区西侧,镜向 E
West side of zone B

图 6 古滑坡堆积体 B 区“假基岩”及山体周边残坡积物堆积特征
Fig. 6 Fake bedrock of zone B and residual deposits around it

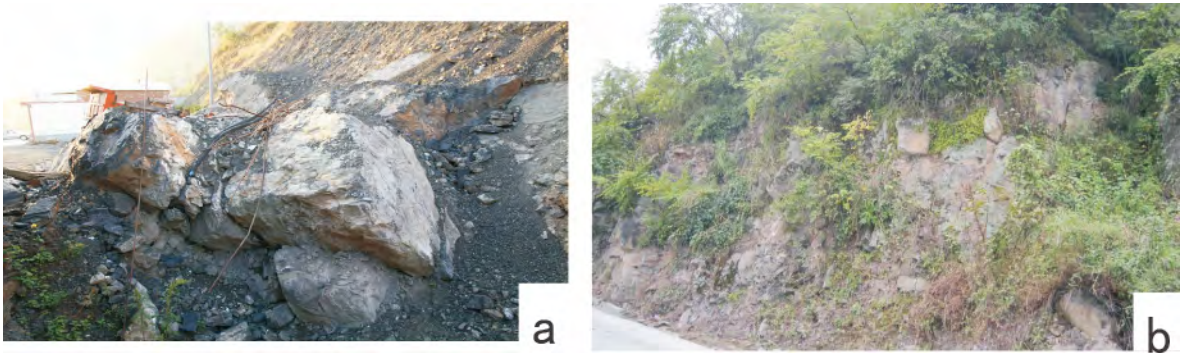


图 7 古滑坡堆积体 C 区堆积特征

(a. 国道 G108 内侧出露的大块石; b. 中部出露的巨型块石,仍然保持原岩层序)

Fig. 7 Characteristics of zone C

(a big blocks at the inner side of G108 , b Giant rocky blocks exposed in the medium part , retaining original order)

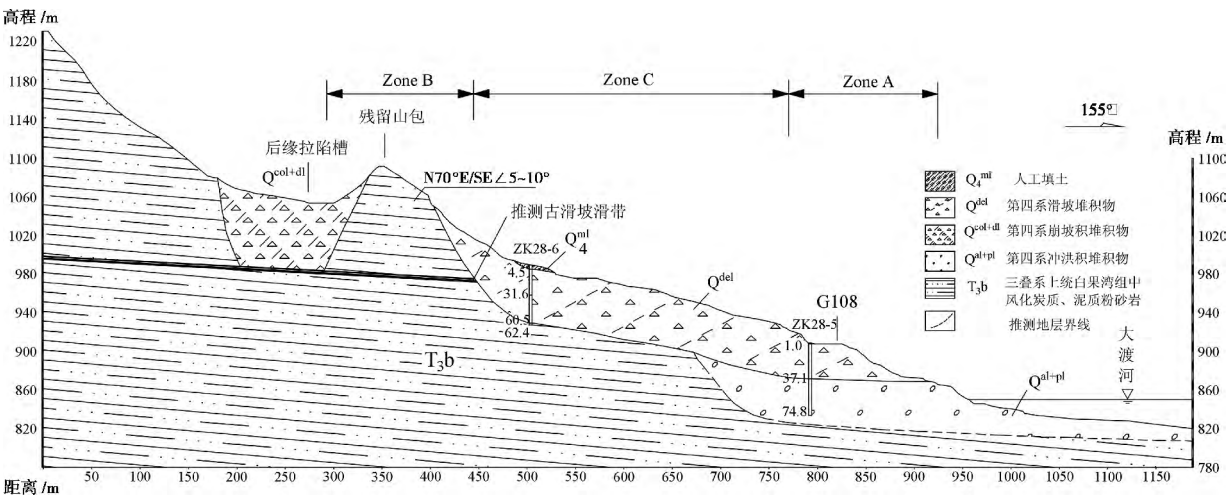


图 8 H - H' 剖面 残留山包 - “假基岩”和后缘拉陷槽均清晰可见。

Fig. 8 Profile H - H' , principal section of this accumulation
(Zone A , zone B and zone C are all could be seen)

的阶地发育高程特征^[4],为二级阶地,如图8剖面H-H'所示。另外,图8还很好地显示了原岩山体-拉陷槽-残留山体的地形变化关系。

3.2.4 堆积D区

堆积体D区位于古滑坡东侧(下游),呈不规则形状,横向(平行大渡河方向)长280 m,纵向(垂直大渡河方向)长360 m,面积约为 $8.2 \times 10^4 \text{ m}^2$,体积约为 $115.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

调查显示,堆积体D区堆积厚度较薄,物质以细颗粒物为主,无大块石出现,下伏砂等冲洪积物。D区东侧为一小型无名浅切冲沟,亦是整个滑坡堆积体的东侧边界。

4 堆积体形成机制及过程

经调查研究,笔者初步认为双家坪滑坡堆积体由一古老的平推式基岩滑坡演化而来,其是经历了被推出悬空→重力折断→散落堆积→河谷改造等过程而形成的巨大堆积体。

平推式滑坡是一种特殊的滑坡类型,主要发生在近水平砂、泥岩互层的岩体中,如有大量红层出露的四川盆地、三峡库区等地区。比较典型的案例是:1981年四川暴雨过程中,发生在川东红层地区的大量滑坡事件^[5];三峡库区存在的大量滑坡体,如重庆万州滑坡群^[6]、秭归千将坪滑坡^[7];2004年9月,发生在四川宣汉县的天台乡滑坡更是近年平推式滑坡的典型代表,规模巨大,破坏性极强^[8]。

该滑坡区内出露的三叠系白果湾群(T_3bg)岩性主要为黄灰色砂岩、泥质粉砂岩、泥灰岩间夹页岩和石膏条带,岩层平缓,倾向SE(坡外)。一般认为,具这样结构的岩体内是难以发生自重作用下的滑坡灾害的,但是,一旦有水的作用参与,产生滑坡破坏就变得可能了^[9-10]。水是主要的启动动力,包括拉裂缝中的静水压力和软弱滑面的扬压力。

结合上述堆积体的特征描述和钻探手段,笔者认为双家坪滑坡堆积体的形成经历了如下演化过程:

I:原始斜坡岩体岩层平缓,产状 $N70^\circ E/SE \angle 5^\circ \sim 10^\circ$,并发育一软弱夹层(页岩或者石膏条带),岩体中含大量垂直的构造或风化节理,走向NE。B区后缘近NE向长条形低洼槽谷北侧边界,即是这组裂隙。

II:在某一次历史强降雨事件中,雨水沿垂直节

理下渗汇聚,至软弱夹层后将该层软化、泥化,导致该软弱层向临空面挤出或流出,发生滑移-压致拉裂式的变形,并在软弱滑面某处使上部垂直裂隙连接贯通至该软化夹层。

III:持续的水流在该软弱层形成巨大的扬压力,并在垂直贯通裂隙中形成强大的静水压力,拉裂缝内水头持续升高。

IV:当拉裂缝内水头高于临界水头 h_{cr} 时,巨大的扬压力和静水压力共同作用,成为平推式滑坡的启动动力,使软弱面的上覆岩体向临空面发生“坐船式”的滑动,垂直裂隙中的水头伴随滑动而逐渐降低。

V:当后缘静水压力消散后,被推出岩体在摩阻力作用下停滞。滑动过程中,前缘部分岩体破碎并沿斜坡滚落堆积,而大部分岩体仍悬空停留于斜坡之上。滑坡后缘形成巨大的拉裂槽谷。B区残留的巨型条状山体和其北侧的长大槽谷就是该过程的残留地貌,其中后缘拉陷槽谷已被残坡积物充填,如图6所示。

VI:由于滑动面较河面出露较高,被推出的山体悬停于山坡上。受地形的影响,A区凹陷于岸坡之内,造成被推出的山体底部无支撑,在自重作用下发生弯折破坏,大致以C区山脊为界,“分崩离析”,崩落堆积于斜坡之上,且A、C区为主堆积区。如前所述,A、C区出露大量大块石,有的甚至保持原岩层序,而D区则堆积小粒径物质。

而后,随着大渡河河谷的下切,原有斜坡的面貌经历长期的地质营力和现代人类工程活动改造,而呈现出现今的面貌。

5 结论及启示

通过现场调查和钻探等研究工作,本文对双家坪滑坡堆积体取得了如下初步结论和启示:

1. 根据地貌、物质结构特征的差异,双家坪滑坡堆积体可以分为A、B、C、D等4个堆积区。

2. A区和C区为主要的堆积区,以巨型块石堆积为主,块石直径1~3 m,甚至更大;B区为残留山体堆积区,岩层保持原岩层序;D区为细颗粒物堆积区。推测堆积特征受到原始地形的显著控制。

3. 双家坪古滑坡堆积体是由一个古老的平推式基岩滑坡演化而来的,为经历了被推出悬空→重力折断→散落堆积→改造过程而形成的堆积体。

4. 双家坪古滑坡堆积体的堆积特征和形成机制

是独特的,尤其是其地貌、堆积物质、成分、结构和运动特征的差异,是在野外对其进行识别的强力证据。同时,本文也为深切河谷地区类似古滑坡堆积体的野外识别和认识提供了一些经验。

参考文献(References)

- [1] Fu Xingyou. Discussion of the leading role of hydropower exploration in Dadu River [J]. *Sichuan Water Power*, 2013, 32(1): 88–95 [付兴友. 试论大渡河流域水电开发的龙头地位及作用 [J]. *四川水力发电*, 2013, 32(1): 88–95]
- [2] State Key Laboratory of Geohazards Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology. Review research of geohazards after the Wenchuan Earthquake along the Dadu River exploited by the Dadu River hydropower company [R]. Chengdu: State Key Laboratory of Geohazards Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology 2010. [成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室. 大渡河沿岸大渡河公司水电开发河段汶川地震震后地质灾害复核调查研究[R]. 成都: 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室 2010.]
- [3] Wu Junfeng. Research on development characteristics and genetic mechanism of the seismic landslides in Daduhe River [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology 2013. [吴俊峰. 大渡河流域重大地震滑坡发育特征与成因机理研究[D]. 成都: 成都理工大学 2013.]
- [4] Xiong Fahui, Xiao Yuanfu, Zhang Lin. An approach to development history of the Luding–Shimian sector of the Dadu river valley [J]. *Acta Geologic Sichuan (China)*, 2009, 29(4): 379–383 [熊发辉, 肖远甫, 张林. 大渡河中游泸定–石棉段阶地特征及河谷发育史探讨[J]. *四川地质学报*, 2009, 29(4): 379–383]
- [5] Lansheng Wang, Yueguo Li, Zheng Zhan. The characteristics of the rock landslides of Sichuan basin in 1981 [J]. *Chengdu: Discovery of Nature*, 1982, 1: 41–45 [王兰生, 李曰国, 詹铮. 1981 年暴雨期四川盆地岩质滑坡的发育特征[J]. *大自然探索*, 1982, 1: 41–45]
- [6] Siming Wu, Yueguo Li. Study on numerical simulation of landslide groups in Wanxian County [J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 1994, 6: 14–17 [伍四明, 李曰国. 万县滑坡群形成机制的数值模拟研究[J]. *水文地质工程地质*, 1994, 6: 14–17]
- [7] F C Dai, J H Deng, L G Tham, et al. A large landslide in Zigui County, Three Gorges Area [J]. *Can. Geotech. J*, 2004, 41: 1233–1240
- [8] X M Fan, Q Xu, Z Y Zhang, et al. The genetic mechanism of a translational landslide [J]. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2009, 68(2), 231–244
- [9] Xuanmei Fan, Qiang Xu, et al. Study on genetic mechanism of translational landslide [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2008, 27(2): 3753–3759 [范宣梅, 许强, 张倬元, 等. 平推式滑坡成因机制研究[J]. *岩土力学与工程学报*, 2008, 27(2): 3753–3759]
- [10] Zhao Yong, Xu Mo, Zhao Hong mei. Study on the critical water head in the trailing edge of translational landslide [J]. *Yangtze River* 2011, 42(17): 32–36 [赵勇, 许模, 赵红梅, 等. 平推式滑坡后缘启动水头探讨[J]. *人民长江*, 2011, 42(17): 32–36]

Characteristics of Accumulation and Mechanism of Shuangjiaping Ancient Translational Landslide in the Dadu River, China

ZHAO Yong, XU Mo, GUO Jian, KANG Xiaobing, WANG Yali

(State Key Laboratory of Geohazards Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: There are a lot of ancient landslide accumulations along the Dadu River, which are the potential threat to hydraulic schemes and construction of towns in mountain areas. Shuangjiaping ancient landslide is one typical case. Since August 2010, the ground and houses appeared abundant deformations in the west part of accumulation body, as the reservoir impounding of the Pubugou reservoir, covering the frontal edge of accumulation body. The investigation showed that the deformation area is just a part of an ancient landslide accumulation. This paper is based on field investigation and drilling work. Boundary conditions and deposits characteristics of landslide accumulation are determined, which could be divided into four zones, including zone A and zone C, avalanche accumulation area, 1~3 m in diameter (some even 5~10 m); zone B, residual rock mass accumulation area, “fake bedrock”, keeping the original order of bedrock; zone D, fine material accumulation area. Meanwhile, it is concluded that the mechanism of this ancient landslide, which including the processes of translational sliding, stopping and hanging in the air, avalanche accumulating, transformed etc.

Key words: Dadu River; landslide accumulation body; accumulation characteristics; translational sliding