靠椅状土质滑坡形成条件及时空演化特征

李卓骏[1,2,3], 邓茂林[1,2,3], 周 剑[1,2,3], 张富灵[1,2,3], 林 琰[1,2,3]

(1. 三峡大学 三峡库区地质灾害教育部重点实验室 湖北 宜昌 443002; 2. 三峡大学 防灾减灾湖北省重点实验室, 湖北 宜昌 443002; 3. 三峡大学 湖北长江三峡滑坡国家野外科学观测研究站 湖北 宜昌 443002)

摘 要: [目的] 对三峡库区靠椅状土质滑坡的形成条件和时空演化进行研究,为滑坡的监测预警提供理论基础支撑。[方法] 以三峡库区典型靠椅状土质滑坡——白家包、八字门滑坡为例,通过与三峡库区典型滑坡的比较,从此类滑坡的特点入手,分析其形成条件;并结合香溪河流域的地形地貌特征分析此类滑坡时空演化过程。[结果] 靠椅状土质滑坡形成条件与三峡库区其他典型滑坡有明显差异,香溪河流域的此类滑坡形成受河谷地貌影响明显。[结论] 靠椅状土质滑坡的形成受岩性条件、滑面形态、地层状态等因素决定,香溪河流域的靠椅状土质滑坡是随着河谷的演化而逐渐形成的。

关键词: 靠椅状滑坡; 土质滑坡; 形成条件; 时空演化; 三峡库区

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2019)03-0065-05 **中图分类号**: P642.22

文献参数: 李卓骏, 邓茂林, 周剑, 等. 靠椅状土质滑坡形成条件及时空演化特征[J]. 水土保持通报, 2019,39(3):65-69. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2019.03.011; Li Zhuojun, Deng Maolin, Zhou Jian, et al. Formation condition and characteristics of spatial-temporal evolution of chair shaped soil landslide[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019,39(3):65-69.

Formation Condition and Characteristics of Spatial-temporal Evolution of Chair Shaped Soil Landslide

Li Zhuojun[1,2,3], Deng Maolin[1,2,3], Zhou Jian[1,2,3], Zhang Fuling[1,2,3], Lin Yan[1,2,3]

(1. *Key Laboratory of Geological Hazards on Three Gorges Reservoir Area of Ministry of Education, China Three Gorges University, Yichang, Hubei* 443002, *China*; 2. *Hubei Key Laboratory of Disaster Prevention and Mitigation, China Three Gorges University, Yichang, Hubei* 443002, *China*; 3. *National Field Observation and Research Station of Landslides in Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River, China Three Gorges University, Yichang, Hubei* 443002, *China*)

Abstract: [Objective] The formation conditions and spatial-temporal evolution of chair shaped soil landslide in the Three Gorges reservoir region were studied in order to provide the theoretical support for landslide monitoring and warning. [Methods] Taking Baijiabao and Bazimen landslides, the typical chair shaped soil landslide in the Three Gorges Reservoir area as examples, the formation conditions of these landslides were analyzed and compared with typical landslides in the Three Gorges Reservoir area. The spatial and temporal evolution of the landslides were analyzed based on the topographic and geomorphic characteristics of Xiangxi river basin. [Results] The formation conditions of chair shaped soil landslides were obviously different from other typical landslides in the Three Gorges reservoir region, and the formation of such landslides in Xiangxi river basin was obviously affected by valley topography. [Conclusion] The formation of chair shaped soil landslide is influenced by factors such as lithological conditions, sliding surface morphology and stratigraphic state. The chair shaped soil landslide in Xiangxi river basin is gradually formed with the evolution of the valley.

Keywords: **chair landslide; soil landslide; formation condition; spatiotemporal evolution; the Three Gorges reervoir region**

收稿日期:2018-11-26 **修回日期**:2018-12-10

资助项目:国家青年科学基金项目"坡体多期次滑移条件下滑带软岩特性变化规律研究"(41502291); 三峡库区地质灾害教育部重点实验室基金(2017KDZ07); 湖北省自然科学基金面上项目(2018CFB654); 防灾减灾湖北省重点实验室(三峡大学)项目(2018KJZ03)

第一作者:李卓骏(1993—),男(汉族),甘肃省兰州市人,硕士研究生,研究方向为工程地质及地质灾害形成机理。E-mail:1822556564@qq.com。

通讯作者:邓茂林(1980—),男(汉族),四川省达州市人,博士,讲师,硕士生导师,主要从事地质灾害预测与防治方面的教学与研究工作。E-mail:dmltop@163.com。

靠椅状滑坡一般指滑面为靠椅状的顺层岩质滑坡，滑面形态主要受地质构造影响，比如意大利瓦伊昂滑坡、三峡库区千将坪滑坡等[1-3]。近年来，作者通过对三峡秭归白家包滑坡和八字门滑坡的调查研究中发现，无论从滑坡产生的地质条件和触发因素，还是滑后地貌形态和成因机制来看，两者都极为相似。

白家包和八字门滑坡等这类土质滑坡的变形特征明显受滑面形态控制，滑面为前缓后陡状，形似靠椅，提出靠椅状土质滑坡。国内有众多学者针对水库滑坡的发育机理、演化过程进行了研究，陈剑等[4]提出滑坡前缘高程分布特征表明三峡地区地史期的滑坡发育具有明显的多期性和时段性；王孔伟等[5]提出香溪河流域受秭归向斜沉降幅度及东西向构造与南北向构造复合影响，形成八字门—向家店滑坡聚集区等。

本文拟在前人研究的成果上，通过与三峡库区典型滑坡的比较得到靠椅状土质滑坡的特点，分析此类滑坡发育的主控条件，并进一步研究此类滑坡时空演化过程，以期为这类滑坡的监测预警提供理论基础支撑。

1 靠椅状土质滑坡典型实例

1.1 白家包滑坡

白家包滑坡位于湖北省秭归县归州镇香溪村，地理位置处于香溪河（长江一级支流）右岸，据香溪河入江口约 2.5 km，地理坐标为东经 110°45′59″，北纬 30°59′19″。滑坡纵向（滑动方向）长约 600 m，滑体面积约 2.50×10^5 m^2。滑坡深层滑体前缘厚 20～30 m，中部厚 47 m，后缘厚 10～40 m，体积约 840×10^4 m^3，滑坡主滑方向约 NW75°[6]。滑坡坡面坡度 10°～15°，滑体前缘临江段坡度 20°，中部平缓，坡度 10°～12°，后部较陡。

白家包滑坡为一山前斜坡，并且有明显的古（老）滑坡特点：后缘为圈椅状地形、有多级错落平台、两侧双沟同源、边界两侧有顺坡向擦痕等。白家包滑坡的多级错落平台为滑坡阶地（见图 1），其主要为谷坡上不稳定的岩石在重力作用及地表水与地下水的作用下发生大块的滑动并凸出在谷坡上，形似河流阶地，但阶地的物质全为谷坡上部物质。

白家包滑坡与八字门滑坡处于同一流域，两者所处地层也基本相同。白家包滑坡物质为黏土和碎石，堆积物与下伏基岩接触带即为滑坡滑带，滑床为下伏基岩，成分为长石石英砂岩，及泥岩，产状 285°∠30°，为逆向岩层。



图 1 白家包滑坡 155 m 水位时中部情况

1.2 八字门滑坡

八字门滑坡位于湖北省秭归县归州镇香溪村，地理位置处于香溪河右岸，据香溪河入江口约 0.8 km，地理坐标为东经 110°45′52″，北纬 30°58′03″。滑体平面形态呈“簸箕”状，其纵向（滑动方向）长约 550 m，滑坡横向上部较窄，宽约 80～120 m，下部较宽，约 350～500 m 滑体面积约 1.35×10^5 m^2[7]。滑坡坡体平均厚度约 30 m，总体积约 7.10×10^6 m^3，滑坡主滑方向约 NW126°[8]。滑坡的坡度为 5°～30°，斜坡后部山体较陡，斜坡坡度达 40°～60°（见图 2）。

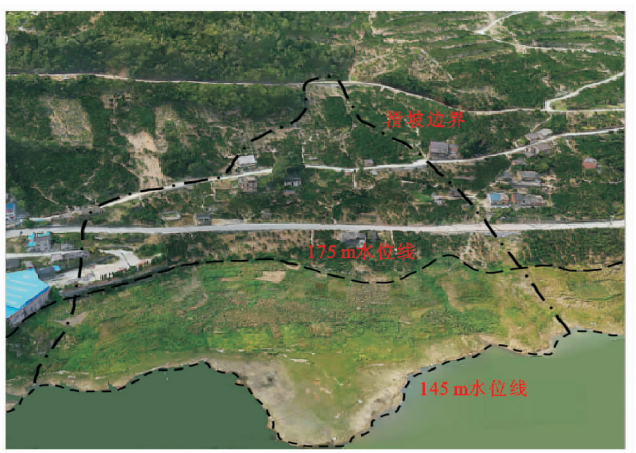


图 2 八字门滑坡全貌

八字门滑坡地层岩性由新到老分别为上覆新生界第四系（Q）松散堆积层，中生界侏罗系（J_1）层状碎屑岩及三叠系中统（T_2）层状碎屑岩。第四系（Q）松散堆积层主要为崩坡积堆积层，其岩性为粉质粘土夹碎石块，结构较松散，透水性较差，局部透水性较好，为滑坡的主要物质组成。侏罗系（J_1）层状碎屑岩主要为下统香溪组地层，其岩性为含砾石英砂岩与中粗粒石英砂岩、中厚层的灰绿色粉砂岩、灰色泥质粉砂

岩、泥岩夹煤层;三叠系中统(T_2)层状碎屑岩是与侏罗系(J_1)过渡段,为石英砂岩和粉砂岩,二者为靠椅状土质滑坡的下部基岩,岩层产状为 292°∠29°。

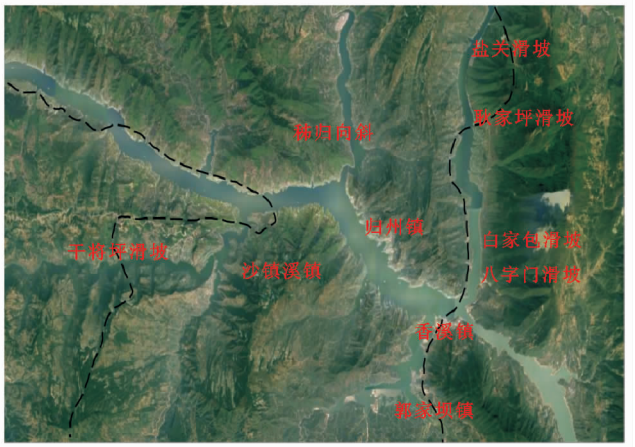
2　靠椅状土质滑坡形成条件

2.1　三峡库区典型滑坡比较

通过三峡库区典型滑坡特点的比较,得到靠椅状土质滑坡的特点,并进一步分析此类滑坡的发育条件。由于不同时代地层沉积方式不同,使得地层的性质有较大差异,并且不同的地质构造条件对滑坡的发育有较大影响[9]。为了更细致的分析靠椅状土质滑坡的发育条件,选取秭归盆地边缘地带的滑坡进行比较,各个滑坡及其具体位置见图 3。

首先对典型靠椅状滑坡——千将坪、白家包、八字门滑坡从滑坡所处地质构造的特点进行比较,以分析靠椅状土质滑坡的靠椅状滑面形成条件等,见表 1。其次对靠椅状土质滑坡同一流域的盐关、耿家坪滑坡的坡体物质组成及其成因进行比较,得到滑坡坡体物质处于同一地层不同位置时的差异,以分析靠椅状土质滑坡所处的地层的位置对滑坡发育的影响(见表 2)。

通过表 1 的比较可知:千将坪滑坡靠椅状滑面的形成主要受滑坡所处的地质构造、地层性质影响,使得滑坡以层间错动泥化带为滑带发生失稳破坏,这与靠椅状土质滑坡在滑面的成因上有明显不同。



注:虚线部分为三叠系地层与侏罗系地层的分界。

图 3　典型滑坡位置 GoogleEarth 卫星图

表 1　三峡库区典型靠椅状滑坡比较

滑坡名称	特 点
千将坪滑坡	处于谢家包背斜的靠近核部附近的南翼,受枢纽倾伏影响较大,为一褶皱转折端附近形成的局部顺向坡[8]
白家包滑坡 八字门滑坡	滑带上陡下缓,并且平缓段占有滑坡纵向长度较大比例

表 2　香溪河右岸典型滑坡比较

滑坡名称	所处地层位置	滑坡体的主要组成物质	滑体物质成因
八字门滑坡	侏罗系与三叠系地层边界	黏土含碎石	滑坡堆积
白家包滑坡			
耿家坪滑坡[10]		碎石、块石为主	崩塌堆积
盐关滑坡[11](滑坡群组合体)	侏罗系地层	松散块石土	残坡积

由于滑坡物质的组成间接反映了滑坡是如何发育的,所以通过图 3,表 2 的比较可知:①盐关滑坡完全处于侏罗系地层,滑坡物质主要是地表岩石风化后残留在原地的堆积物,所以盐关滑坡的发育主要受岩土类型为抗剪强度和抗风化能力较低的岩层影响。②耿家坪滑坡虽然与靠椅状土质滑坡都位于侏罗系和三叠系地层的边界部位,但是由于耿家坪滑坡所处的地层连续性较差(见图 3)等原因,也使得耿家坪滑坡的坡体物质与靠椅状土质滑坡不同。

2.2　靠椅状土质滑坡的形成条件

通过靠椅状土质滑坡实例的描述可知此类滑坡为古(老)滑坡,并且为多期次堆积。结合三峡库区典型滑坡之间的比较可以得出靠椅状土质滑坡形成的条件有:

(1) 岩性条件。斜坡主体一般为抗风化能力较弱的岩石。比如白家包、八字门滑坡,所处地层主要为侏罗系下统香溪组和三叠系上统沙镇溪组的砂岩、泥岩等抗风化能力弱的岩石。

(2) 滑面形状。滑坡的滑面为上陡下缓,并且平缓段应占有滑坡纵向长度较大比例。比如白家包、八字门滑坡的平缓段滑面占有滑坡纵向长度的 1/3 以上。

(3) 地层状态。滑坡所处的地层应当是连续性比较好的地层,地层一般为反倾。上述几点是靠椅状土质滑坡形成的必要条件,缺一不可。由于每个滑坡体都具有很强的个性特征,比如白家包滑坡的中前部左侧就有部分的“基岩”出露(见图 4),岩层产状 245°∠34°(由于没有此处位置的详细钻孔资料,所以这里的基岩是属于“假基岩”还是原有基岩风化不完全还没有定论)。所以此类滑坡受横向坡体物质均匀性的影响,滑坡向临空方向的变形量、变形方式会有差异。



图 4 白家包滑坡中前部“基岩”出露

3 靠椅状土质滑坡的时空演化

根据分析可知靠椅状土质滑坡平缓段占滑坡纵向长度的比例很大，认为香溪河流域滑坡的这种现象主要是受河谷地貌的影响。首先，分析香溪河流域河谷时空演化过程，其次，分析靠椅状土质滑坡时空演化过程。河谷和滑坡的时空演化过程见图 5—6。

3.1 香溪河流域河谷时空演化

香溪河流域河谷的演化过程主要分为以下 3 个阶段：

（1）阶段①：是香溪河形成的初期，下伏基岩为侏罗系地层，并且河谷形态基本上是左右对称的。

（2）阶段②：由于香溪河由北向南流动（受地球偏转力影响），水流有向西岸（右岸）偏转的趋势[12]，又由于香溪河此时完全处于侏罗系地层，所以河流就有冲刷西岸使之变陡的趋势。

（3）阶段③：区域主应力场的变化，使得香溪河流域变得西高东底，导致河流向左岸不断的下切。当河流下切到三叠系灰岩时，由于灰岩不易被侵蚀，使得河谷左岸变得越来越陡，成为我们现在所看到的河谷形态。

通过分析可知香溪河流域河谷的演化过程主要受地球偏转力、区域地质和地层岩性的影响。

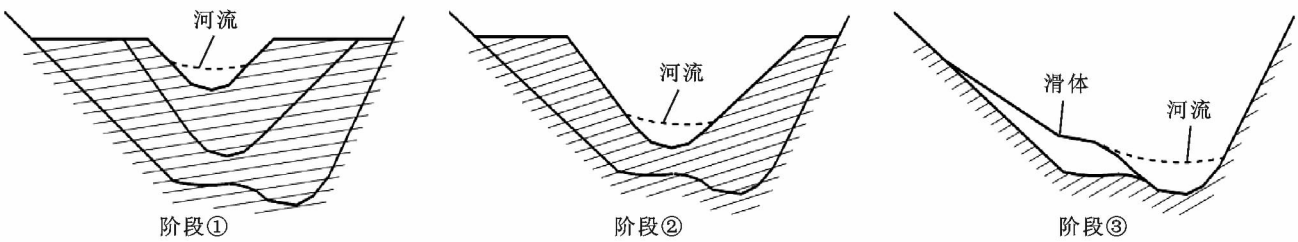


图 5 香溪河流域河谷时空演化示意图

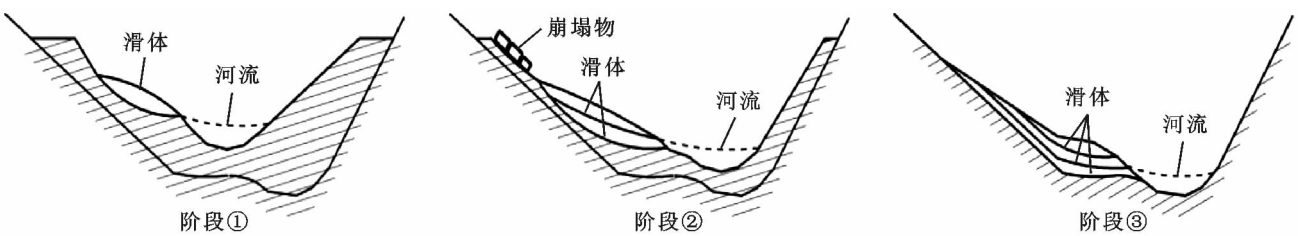


图 6 靠椅状土质滑坡时空演化过程示意图

3.2 靠椅状土质滑坡时空演化

通过河谷的时空演化过程的分析，可知河谷演化阶段②到③是靠椅状土质滑坡形成的主要时间段，进一步分析此类滑坡的时空演化过程见图 6。图中分为 3 个阶段：

（1）阶段①：此时由于香溪河右岸较陡且临空面较大，斜坡岩体发生卸荷回弹，引起应力重分布和应力集中效应，并且由于侏罗系地层抗风化能力弱，使得岸坡经蠕滑—拉裂变形发展为滑坡[12-15]。

（2）阶段②：此时主要是由于河流向左岸侵蚀加强（区域主应力场的变化，香溪河流域西高东底），并叠加了河流竖向的下切作用。这两种侵蚀方式的叠加使得香溪河右岸的滑坡体堆叠的空间变大，使得不同期次的滑坡物质得以保存。此时斜坡还是以蠕滑—拉裂变形发展的滑坡为主，由于滑坡上部的地层出露后被风化剥蚀，会有部分破碎岩土体以崩塌的形式向下堆积。

（3）阶段③：为目前香溪河流域靠椅状土质滑坡的状态。由于库区蓄水使得滑坡的中前部在水位以下，滑坡中后部的变形以蠕滑—拉裂为主。

通过以上分析可知靠椅状土质滑坡的时空演化是随着河谷的演化而逐渐形成的。靠椅状土质滑坡的上陡下缓的滑面形状,主要是受区域地质发生自东向西的掀斜运动影响,河流逐渐向左下方侵蚀下切使得滑坡有足够的空间堆积各种物质,从而形成这类滑坡。

4　结 论

(1) 靠椅状土质滑坡主要表现为多期次堆积的古(老)滑坡,通过分析可知此类滑坡的形成应具备 3 个条件:①岩性条件:斜坡主体一般为抗风化能力较弱的岩石。②滑面形状:滑坡的滑面为上陡下缓,并且平缓段应占有滑坡纵向长度较大比例。③所处地层位置:滑坡所处的地层应当是连续性比较好的地层,地层一般为反倾。

(2) 香溪河流域河谷的演化过程主要受地球偏转力、区域地质和地层岩性的影响。香溪河流域的靠椅状土质滑坡是随着河谷的演化而逐渐形成的。受区域构造发生自东向西的掀斜运动的影响,河流逐渐向左下方侵蚀下切使得滑坡有足够的空间堆积各种物质,从而形成这种靠椅状土质滑坡。

当然,对靠椅状土质滑坡时空演化过程的研究在以下方面还有待深入:①这类滑坡的形成、发育是否都是受河谷演化过程的影响而产生;②河流向左下方侵蚀河谷只是一个模糊的方向,河流向左侵蚀的速度和向下侵蚀的速度哪个更快,这会不会影响右岸靠椅状土质滑坡滑面的形状。在这些问题上还需要更健全的技术手段进行更深层次的研究。

[参 考 文 献]

[1] 肖诗荣,刘德富,姜福兴,等.三峡库区千将坪滑坡地质力学模型试验研究[J].岩石力学与工程学报,2010,29(5):1023-1030.

[2] 李松林,许强,汤明高,等.库水位升降作用下不同滑面形态老滑坡响应规律[J].工程地质学报,2017,25(3):841-852.

[3] 管宏飞.靠椅状顺层岩质水库滑坡机理及稳定性预测评价[D].湖北 宜昌:三峡大学, 2013.

[4] 陈剑,李晓,杨志法.三峡库区滑坡的时空分布特征与成因探讨[J].工程地质学报,2005,13(3):305-309.

[5] 王孔伟,张帆,邱殿明.三峡库区黄陵背斜形成机理及与滑坡群关系[J].吉林大学学报(地),2015,45(4):1142-1154.

[6] 卢书强,张国栋,易庆林,等.三峡库区白家包阶跃型滑坡动态变形特征与机理[J].南水北调与水利科技,2016,14(3):144-149.

[7] 张桂荣,程伟.降雨及库水位联合作用下秭归八字门滑坡稳定性预测[J].岩土力学,2011(S1):476-482.

[8] 王孔伟,李建林.三峡库区构造与地质灾害关系研究[M].北京:地质出版社,2012.

[9] 许强.滑坡时空演化规律及预警预报研究[J].岩石力学与工程学报,2008,27(6):1104-1112.

[10] 黄波林,许模.三峡水库水位上升对香溪河流域典型滑坡的影响分析[J].防灾减灾工程学报, 2006,26(3):290-295.

[11] 李明生,徐卫亚,林肖荣,等.秭归盐关滑坡形成机制及稳定性评价[C]//中国典型滑坡,1986.

[12] 沈玉昌,龚国元.河流地貌学概论[M].北京:科学出版社,1986.

[13] 范大波.三峡库区香溪河段滑坡发育特征及水库蓄水对岸坡稳定性的影响研究[D].成都:成都理工大学,2011.

[14] 许强,范宣梅,李园,等.板梁状滑坡形成条件、成因机制与防治措施[J].岩石力学与工程学报,2010,29(2):242-250.

[15] 张倬元,王士天,王兰生,等. 工程地质分析原理 [M].3 版,北京:地质出版社, 2009.