

三峡库区万州区山湾堰塘沉积物特征及演化历史

刘雪梅,殷坤龙,李远耀,柴波,汤罗圣

中国地质大学工程学院,湖北武汉 430074

摘要: 万州特有的阶梯状地貌特征是万州地区河流地貌演化及水平地层特殊地质环境共同作用的结果,通过系统的野外地质调查、勘探和资料收集,结合2008年堰塘的湖中钻探,对该堰塘沉积物进行系统取样与分析,并进行了沉积物年龄与成分的测定。结果表明山湾陡崖的崩塌与阶地抬升及区域构造运动一致,绘制了山湾滑坡崩塌堆积物各期次沉积剖面,共分为10个崩塌旋回。结合沉积物测年,研究了山湾滑坡体沉积物沉积速率,得出了山湾危岩陡崖后退速率为0.31~0.37 m/ka。

关键词: 近水平地层;沉积速率;陡崖;后退速率;沉积物;工程地质。

中图分类号: P642

文章编号: 1000-2383(2010)06-1069-06

收稿日期: 2010-04-25

Shanwan Pond Sediment Characteristics and Evolutionary History at Wanzhou City in the Three Gorges Reservoir

LIU Xue-mei, YIN Kun-long, LI Yuan-yao, CHAI Bo, TANG Luo-sheng

Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The interaction of fluvial geomorphology evolution and special geological environment in horizontal formation in Wanzhou district resulted in its unique stepladder geomorphic feature. Based on a systematic field investigation, exploration and data collection, combining with the drilling at Shanwan pond in 2008, we conducted a comprehensive study of its sediment for the first time, systematically collecting sediment samples, doing analysis to determine its age and composition. It shows the consistency of Shanwan cliff collapse and the regional tectonism. The sediment profile of Shanwan landslide collapse deposit at each stage is presented and it is divided into 10 cycles of failure. Combining with the sediment dating, the deposition rate of Shanwan landslide sediment is researched, and the recession rate of Shanwan cliff is proposed as 0.31–0.37 m/ka.

Key words: nearly horizontal formation; deposition rate; cliff; recession rate; sediments; engineering geology.

0 引言

万州区地处重庆市东大门,位于三峡库区腹心地带,是三峡工程移民迁建的重点城市。由于特定的自然地质环境,万州是国内有名的受滑坡等地质灾害威胁严重的城市。位于万州城区太白岩地段的山湾滑坡、危岩给该片区的移民迁建和人民群众的正常生活等带来了严重影响。本文从钻孔的沉积物特征及沉积物演化年代序列,分析古滑坡及危岩的演化历史,为进一步研究万州古滑坡系统稳定性提供依据。

1 地质环境和山湾古滑坡特征

万州地处川东褶皱束万县复向斜北东段近轴部,向斜轴向为NE60°。万州区内出露的地层主要为侏罗系沙溪庙组和遂宁组,地层平缓。长江三峡地区在新构造期呈阶段性隆升,地貌形态是高山峡谷兼多级夷平面和阶地。万州区可见四级阶地出露,同时城区可见多级侵蚀平台,阶地面平台与侵蚀平台构成了万州特有的阶梯状地貌特征(田陵君等,1996; Li *et al.*, 2001; 杨达源,2006)。另外还可见陡崖,分布于300~400 m高程,呈条带状分布,多与河道方向一致。陡崖前端和许多大型滑坡体后缘分布有中

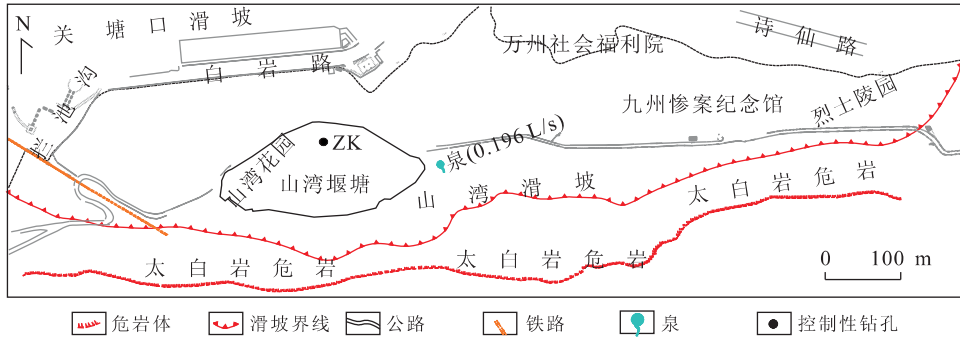


图 1 山湾滑坡平面

Fig. 1 Shanwan landslide plan



图 2 蓄水时山湾堰塘

Fig. 2 Shanwan pool impounded

间低四周高的封闭或半封闭洼地,有些已蓄水成塘,其中位于万州城区的山湾堰塘是最具有代表性的。

山湾滑坡位于关塘口滑坡后缘,其后为太白岩陡崖,前缘为沙龙路,东连太白岩中段滑坡,西为拦池沟。滑坡纵向长 200~300 m,横向宽约 1 300 m,前缘沙龙路高程约 212 m;后缘最高点高程约 300 m,滑体厚 30~108 m,平面分布面积为 0.26 km²,总体积为 1 300 × 10⁴ m³,主滑方向为 NE12°。后缘斜坡上陡下缓,上部坡度为 70°~90°,以陡崖为主,崖顶(V 级阶地夷平面)高程约 406 m。以西为两级陡崖,以东为一级陡崖,崖高 80~120 m。滑坡后缘为一条近东西走向的拉裂槽,地表高程 250~264 m 左右。滑坡中部为鼓丘等微地貌特征,和拉裂槽一样,为东西走向分布,呈串珠状,最高点高程 290 m 左右,高出后缘拉裂槽近 30 m(图 1,图 2)。

山湾危岩滑坡体地层为中侏罗统上沙溪庙组第三段(J₂s³),陡崖部分由第三段第九岩性层(J₂s³-9)构成:由浅灰、灰白色中粒巨厚层状长石石英砂岩、

长石砂岩夹暗紫红色砂质泥岩组成,厚 100~200 m。以下的斜坡地带为第三段第八岩性层(J₂s³-8):由紫红色、紫褐色砂质泥岩夹同色砂质泥岩、长石砂岩组成。

山湾堰塘面积达 23 725 m²,常年积水,最大水深约 4 m。几十年来,关于该堰塘的成因,以及与太白岩古滑坡的关系一直存在着学术争议(殷坤龙等, 2007)。本文通过系统的野外地质调查、勘探和资料收集,结合 2008 年堰塘的湖中钻探,首次针对该堰塘沉积物进行取样与分析,系统采集了沉积物样品,并进行了沉积物年龄与成分的测定。

2 山湾堰塘沉积物特征

前人对手湾堰塘沉积物特征作了大量的工作,重庆南江水文地质工程地质队于 2003 年对该滑坡进行了勘查,殷坤龙等(2007)就万州水平地层滑坡成因机制进行了系统的研究。但山湾堰塘常年蓄水,很难进行详细的勘探研究,已有的钻孔资料均分布在山湾堰塘水体附近。2008 年因人工原因,山湾堰塘水体排空,为堰塘的勘探研究工作提供了短暂的便利条件。2008 年 8 月,我们在山湾堰塘湖的中心一带,根据原有周边沉积物厚度资料分析,选择了沉积物厚度可能最大的点位进行钻探取样。钻孔位于山湾堰塘,孔口高程 248.5 m,孔深 63.37 m,揭露至完整基岩,表 1 为钻孔沉积物具体分层及描述。

从表中可以看出,钻孔揭露山湾滑坡沉积物共 32 层,根据钻孔岩心的组合关系,大体可将山湾滑坡钻孔沉积物分为 4 段,自下而上依次为:完整基岩、破碎岩、碎石土(块石)和粉质粘土(淤泥)。(1)完整基岩:对应第 32 层,岩性为紫红色夹青灰色厚层泥质细砂岩,岩心弱风化,岩质坚硬,基岩泥质含

表 1 山湾滑坡沉积物分层
Table 1 Sediment layer of Shanwan landslide

分段描述	沉积物分层序号及说明	深度(m)	厚度(m)	备注	
粉质粘土(淤泥)	1. 人工填土:主要为碎石和粉质粘土,碎石成分为砂质泥岩	0.00~0.50	0.50		
	2. 粉质粘土:褐色,软塑状,含植物根系及腐殖质,有腥臭味	0.50~1.00	0.50		
	3. 淤泥:褐色,软塑状,粘粒含量高,含植物根系及腐殖质,有腥臭味	1.00~4.65	3.65		
	4. 粉质粘土:褐色,由浅到深,由软塑状逐渐过渡为可塑、硬塑状,4.65~9.20 m 为软塑状态	4.65~11.20	6.55	测年	
碎石土块	5. 砂岩块石:13.00~16.40 m 为紫红色泥质粉砂岩块石,锤击可碎,块径 0.5~24.0 cm,可见层面倾角为 42°	11.20~16.40	5.20		
	6. 碎石土:红褐色,密实饱和,碎石成分主要为泥岩、砂质泥岩	16.40~18.10	1.70		
	7. 块石:暗红色细砂岩,柱长 0.5~19.0 cm	18.10~19.70	1.60		
	8. 碎石土:红褐色,密实饱和,碎石成分主要为暗红色细砂岩	19.70~20.30	0.60		
	9. 块石:成分主要为暗红色细砂岩,层面倾角为 21°,块径 0.9~21.5 cm	20.30~22.30	2.00		
	10. 细砂—粉质粘土:红褐色,含中—细砂约 60%,另含灰白色砂质团块	22.30~23.60	1.30	测年	
	11. 碎石土:紫红色,稍密,碎石成分主要为棕褐色砂岩,含量约 30%~40%	23.60~25.50	1.90		
	12. 块石:为紫红色泥质粉砂岩,弱风化,块状构造,可见层面倾角 45°	25.50~26.99	1.49		
	13. 碎石土:褐色,稍密—密实,碎石为灰色、青灰色泥质粉砂岩	26.99~28.15	1.16		
	14. 粉砂岩:灰褐色粉砂岩,泥质含量较低,不均匀风化	28.15~29.20	1.05		
	15. 碎石土:灰褐色,较密实,饱和,碎石成分主要为粉砂质泥岩	29.20~29.85	0.65		
	16. 块石:29.85~30.90 m 主要为紫红色泥质粉砂岩,块状构造	29.85~32.55	2.70		
	17. 泥质粉砂岩:紫红色,夹少许青灰色砂质泥岩,块状构造,柱长 39 cm	32.55~32.94	0.39		
	18. 碎石土:紫红色,密实,碎石主要为青灰夹紫红色砂质泥岩	32.94~35.30	2.36		
	19. 泥质砂岩:为紫红色泥质粉砂岩,夹少量青灰色砂质泥岩	35.30~37.35	2.05		
	20. 碎石土:灰褐色,密实,碎石主要为强风化的细砂岩、泥质粉砂岩	37.35~39.45	2.10	测年	
	21. 砂质泥岩:紫红色,可见层理倾角 57°、65°,节理倾角 80°	39.45~40.00	0.55		
	22. 碎石土:灰褐色,夹少许青灰色,较密实,蒙脱石含量较高	40.00~40.35	0.35		
	破碎岩	23. 细砂岩:青灰色夹紫红色,弱风化,轻度破碎	40.35~43.02	2.67	
		24. 泥质砂岩:紫红色,中—弱风化,柱长 30 cm,下部泥质含量较低	43.02~44.22	1.20	
		25. 泥岩:紫红色,弱风化,较坚硬,柱长 13 cm	44.22~45.11	0.99	
		26. 细砂岩:青灰色夹紫红色,弱—微风化,坚硬,柱长 9~62 cm	45.11~48.86	3.75	
27. 泥质砂岩:紫红色,中—弱风化,较坚硬		48.86~49.63	0.77		
28. 细砂岩:青灰色,较破碎,坚硬,柱长 6 cm		49.63~51.98	2.35		
29. 粉砂质泥岩:紫红色夹青灰色,弱风化,柱长 3~30 cm		51.98~54.05	2.07		
30. 粉砂岩:青灰色夹紫红色,强—弱风化,坚硬,柱长为 14 cm,可见节理,倾角为 36°,其中 54.95~55.82 m 为碎石土		54.05~57.44	3.39		
31. 泥质细砂岩:紫红色夹青灰色,弱风化,坚硬		57.44~61.47	4.03		
完整基岩		32. 泥质细砂岩:紫红色夹少许青灰色,弱风化,坚硬,柱长为 80 cm,十分完整,泥质含量高,层面近水平	61.47~63.37	1.90	

量高,钻孔揭露岩层面近水平,与区域岩层产出状态一致。钻孔处完整基岩埋深 61.47 m。(2)破碎岩:钻孔揭露 23 至 31 层为破碎岩段,埋深 40.35~61.47 m,破碎岩主要由细砂岩、泥质砂岩、泥岩组成。钻孔揭露岩心岩性组合与原岩结构相近,表现为砂质和泥质互层,具有软弱相间、岩心破碎的特点。钻孔内揭露的岩石层面倾角大多为 40°~45°,与原岩近水平的产出状态不一致,说明原岩经历了扰动,改变了原始层面的产出状态。(3)碎石土(块石):钻孔揭露 5 至 22 层为碎石土和块石沉积物,埋深 11.20~40.35 m,具有明显的旋回性特征,自下而上总体上可见 8 个旋回,每一旋回均由碎石土和块石

组成。该层自下而上块石成分分别为砂岩泥质、泥质砂岩、泥质粉砂岩和细砂岩,从沉积物组合特征看,该段的沉积旋回属于崩塌作用形成。(4)粉质粘土(淤泥):钻孔揭露 2 至 4 层为粉质粘土和淤泥沉积物,埋深 0.50~11.20 m,该段沉积物粘粒含量较高,以软塑—可塑状为主,含有少量泥岩颗粒,局部夹有细砂层。浅部沉积物根系发育,含有腐殖质。

3 松散堆积物分布及厚度

根据重庆市地勘总公司南江水文地质工程地质队对山湾滑坡、危岩勘察资料,松散堆积体分布在滑

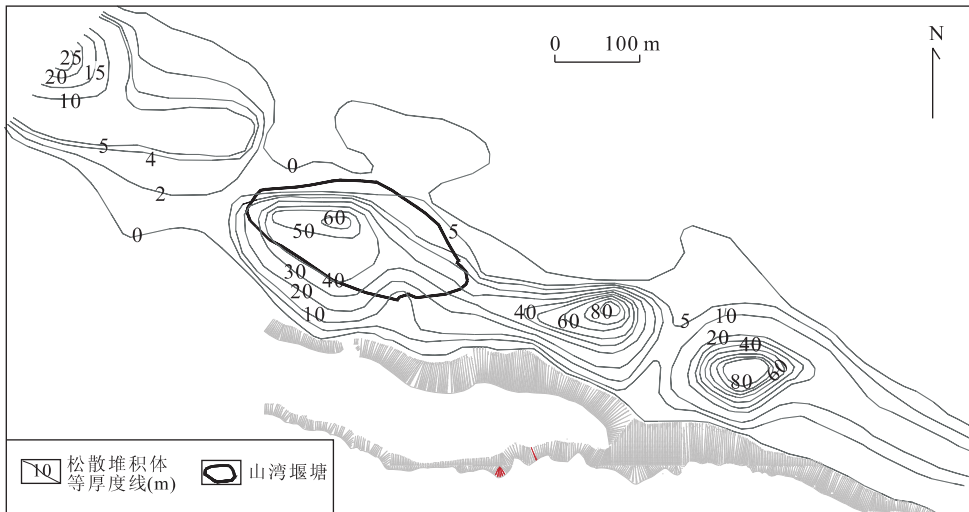


图 3 松散堆积体厚度等值线

Fig. 3 Thickness isoline of loose deposits

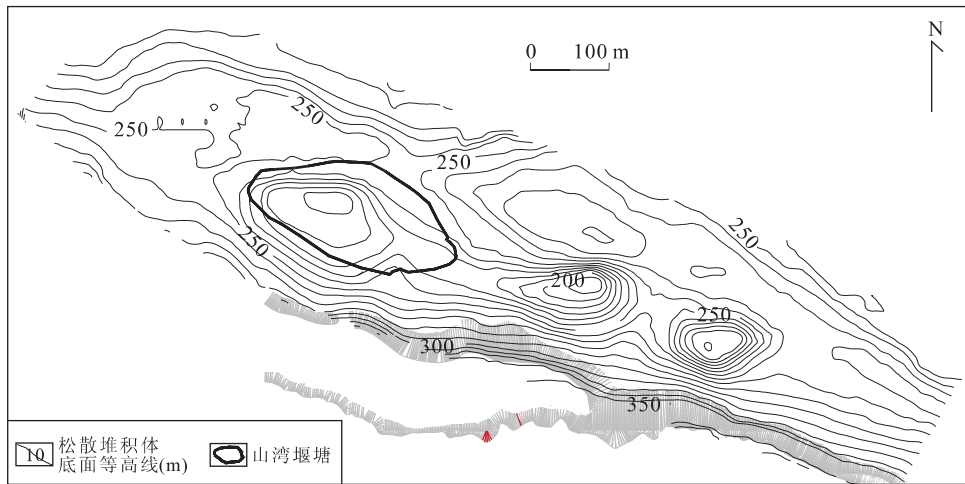


图 4 松散堆积体底面高程

Fig. 4 Ground elevation of loose deposits

坡后缘,且厚度变化较大。由图 3 可看出,山湾滑坡松散堆积层分布在陡崖之前、滑坡体后缘,沿陡崖延伸方向分布有 4 个厚度等值线中心,中心部位松散堆积体厚度大者达 84 m。山湾堰塘也位于一个松散堆积体厚度等值线中心,中心处松散堆积体厚度 60 余米。

通过现有地形高程和松散堆积体厚度的差值计算得到山湾滑坡松散堆积体底板的高程(图 4),其底板也是古滑坡碎裂岩体的顶板,基本上可以代表古滑坡发生后的滑坡地貌。图中显示,松散堆积体底板高程变化较大,与其厚度相反,存在 3 个高程负增长中心,分布在山湾滑坡后缘。根据已有学者对万州近水平地层古滑坡的分析,古滑坡在形成时后缘普遍发育拉裂槽,拉裂槽深度可达古滑坡滑面。从图中可以判断,古滑坡的拉裂槽并非完全连续贯通,具有

断续的特点,总体展布方向与滑坡后缘陡崖走向基本一致,3 个中心位置对应于拉裂缝较发育的部分。

4 山湾滑坡沉积物测年研究

山湾滑坡沉积物具有明显的分段和旋回特征,为了研究沉积物形成时期,系统采集了钻孔岩心进行地质测年。山湾滑坡沉积物测年的样本主要来自于以上所归纳的第 3、4 段内,为了兼顾沉积物的时间性和类型,取样时综合考虑了取样点的深度和岩心岩土性质。

受钻孔取样限制,所取样品大部分无法进行测年,仅获得了 3 个样本的实验结果。山湾滑坡沉积物

表 2 山湾滑坡钻孔沉积物测年结果

Table 2 Age-dating results of drilling sediments in Shanwan landslide

样品编号	NL-05	NL-08	NL-10
取样深度(m)	9.07~9.14	23.36~23.45	39.29~39.39
对应高程(m)	239.4	225.1	209.2
测年结果(ka)	32	85	126

测年结果见表 2, NL-05 样测年结果显示, 其沉积年代为 32 ka, 对应于第二级阶地形成时期; NL-08 测年结果显示, 其沉积年代为 85 ka, 对应于第三级阶地形成时期; NL-10 测年结果显示, 对应的测年结果为 126 ka, 与万州地区三级阶地形成的时间相一致, 山湾古滑坡深部滑动面的高程也和三级阶地的高程一致, 说明滑坡形成于此时期。

测年的结果直接反映了山湾陡崖崩塌与构造和区域滑坡活动性有直接的关系, 也反映陡崖的崩坍有一定的周期性, 3 个测年结果与阶地形成年龄一致, 说明阶地沉积形成的年代也是崩塌间歇期, 相反阶地构造抬升期也是崩塌活跃期。

根据以往的研究, 万州区古滑坡形成时期多对应于第三、第四级阶地形成时间, 其中太白岩古滑坡形成于 251~367 ka 前(殷坤龙等, 2007; 韩志勇等, 2006; 陈宝冲, 1996)。我们对万州安乐寺古滑坡滑带土进行测年, 结果显示滑坡大体形成于 144 ka 前, 同样对应于第三、第四级阶地形成时间。但滑动面高程为 186 m, 对应于 III 级阶地分布高程, 与万州古滑坡形成时期相比, 山湾滑坡沉积物所测年龄均晚于

古滑坡形成时期, 与安乐寺古滑坡形成时间对比表明, 滑坡形成后即伴随有崩塌堆积物沉积。

5 山湾滑坡沉积物堆积速率及危岩陡崖后退速率

山湾滑坡滑体物质主要由破碎岩、崩塌堆积物和山湾堰塘沉积物组成, 成因依次为滑坡堆积、崩塌堆积和堰塘沉积, 自下至上沉积年代逐渐变新。滑坡堆积的破碎岩对应古滑坡形成时期, 为滑坡滑动时岩体受牵引、挤压等动力作用破碎形成。崩塌堆积物由几个崩塌堆积旋回组成, 堆积物形成时期晚于古滑坡, 目前接受崩塌堆积。堰塘沉积晚于崩塌, 由于堰塘属于封闭型水体, 无河流与外界相通, 其沉积物主要来源于后缘坡面径流等携带的物质。通过对沉积物测年可用于分析山湾滑坡体沉积物堆积速率及危岩陡崖后退速率。

山湾滑坡堆积物具有明显的沉积旋回特征, 根据我们布设钻孔的位置以及松散堆积体的厚度中心, 选择典型剖面分析沉积物的堆积速率。

山湾滑坡内崩塌堆积体在滑坡后缘拉裂缝存在后形成, 崩塌堆积体应同时接受两部分的崩塌沉积, 一部分来源于滑坡后缘陡壁, 另一部分来源于滑坡体内破碎岩, 崩塌堆积体均沉积于滑坡后缘拉裂槽之内。对于山湾滑坡崩塌堆积体而言, 经历了多期的崩塌, 崩塌旋回现象明显, 每个旋回以碎石土层为标志。我们根据前述所讨论崩塌堆积体形成过程, 绘制

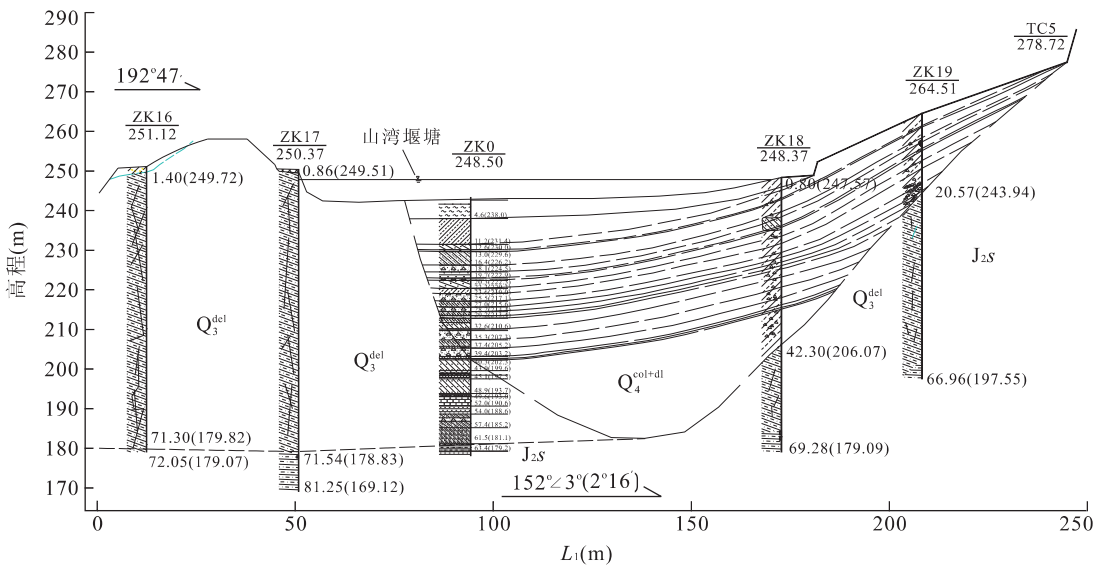


图 5 山湾滑坡典型沉积剖面

Fig. 5 Typical sedimentary sections of Shanwan landslide

表 3 山湾滑坡典型剖面崩塌堆积物统计

Table 3 Statistics of colluvial deposits in the typical profile of Shanwan landslide

旋回期	钻孔深度(m)	测年结果(ka)	V ₁	V ₂
1	40.00	126	1 381.1	
2	37.35		1 631.3	250.2
3	32.94		2 048.0	416.7
4	29.20		2 401.2	353.2
5	26.99		2 687.4	286.2
6	23.60	85	3 202.8	515.4
7	19.70		3 814.7	611.9
8	16.40		4 278.3	463.6
9	12.60		4 821.8	543.5
10	11.20	32	5 160.0	338.2

注: V₁. 典型剖面崩塌堆积物单位总体积(m³); V₂. 崩塌旋回期沉积单位体积(m³).

了山湾滑坡崩塌堆积物各期次沉积剖面(图 5).

根据山湾滑坡崩塌堆积层沉积物测年结果, 沉积物深度和典型剖面沉积期次分布, 分别计算崩塌堆积物堆积单位体积(表 3). 根据典型剖面崩塌堆积物的总体积(1 m 单宽), 崩塌旋回 6 以前的平均崩塌堆积速率大致为 44.43 m³/ka, 崩塌旋回 7~10 的平均崩塌堆积速率为 36.92 m³/ka. 从每次崩塌旋回期间的堆积速率看, 单次崩塌旋回堆积物厚度平均值为 3.2 m, 堆积体积平均为 420 m³.

假设堆积物全部来源于后缘陡崖, 且崩塌后体积无变化, 以此推测陡崖的后退速度, 并且与以往学者研究三峡坡地侵蚀速率的变化相对比. 图 4 中典型剖面后缘陡崖高度约 120 m, 由此推断后退速率约 0.31~0.37 m/ka.

6 结论

(1) 根据钻孔岩心的组合关系, 将山湾滑坡钻孔沉积物分为 4 段 32 层, 自下而上依次为: 完整基岩、破碎岩、碎石土(块石)和粉质粘土(淤泥). (2) 山湾堰塘钻孔热释光测年结果表明山湾堰塘三层风化碎石土沉积物年代与万州地区 T₂、T₃ 和 T₄ 阶地形成年代吻合甚好, 说明山湾陡崖的崩塌与阶地抬升及区域构造运动具有一致性. (3) 山湾危岩经历了多期的崩塌, 崩塌旋回现象明显, 以碎石土层作为每个旋

回的标志层, 绘制了山湾滑坡崩塌堆积物各期次沉积剖面, 共分为 10 个崩塌旋回. (4) 通过沉积物崩塌旋回特征分析, 结合沉积物测年, 研究了山湾滑坡体沉积物沉积速率, 得出了山湾危岩陡崖后退速率为 0.31~0.37 m/ka.

References

- Chen, B. C., 1996. An analysis of the crustal movement along the Three Gorges of the Yangtze River by the terrace longitudinal profile lines. *Science and Technology Review*, 11: 12-13 (in Chinese with English abstract).
- Han, Z. Y., Li, X. S., Ren, X. M., et al., 2006. Dating of river terraces in the Three Gorges reservoir area. *Acta Geographica Sinica*, 61(11): 1200-1207 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. J., Xie, S. Y., Kuang, M. S., 2001. Geomorphic evolution of the Yangtze Gorges and the time of their formation. *Geomorphology*, 41(2-3): 125-135. doi: 10.1016/S0169-555x(01)00110-6
- Tian, L. J., Li, P. Z., Luo, Y., 1996. The Yangtze gorges valley history. Southwest Jiaotong University Press, Chengdu (in Chinese).
- Yang, D. Y., 2006. Changjiang geomorphologic processes. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Yin, K. L., Jian, W. X., Wang, Y., et al., 2007. The research to the mechanism and control engineering of nearly horizontal layers landslide in Wanzhou city of the Three Gorges reservoir area. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).

附中文参考文献

- 陈宝冲, 1996. 试用阶地纵剖面线图分析长江三峡地区的地壳运动. *科学导报*, 11: 12-13.
- 韩志勇, 李徐生, 任雪梅, 等, 2006. 三峡库区长江阶地冲积物的年代测定. *地理学报*, 61(11): 1200-1207.
- 田陵君, 李平忠, 罗雁, 1996. 长江三峡河谷发育史. 成都: 西南交通大学出版社.
- 杨达源, 2006. 长江地貌过程. 北京: 地质出版社.
- 殷坤龙, 简文星, 汪洋, 等, 2007. 三峡库区万州区近水平地层滑坡成因机制与防治工程研究. 武汉: 中国地质大学出版社.