

清江隔河岩水库杨家槽滑坡 稳定性工程地质研究

徐瑞春 徐同海

摘要：杨家槽滑坡现已成为一个现代化的新型城镇，基建费用已花掉数千万元，在滑体上居民上千人。新镇址是未经正规地质勘察而定下来的，后经清江地质大队勘测认定为滑坡时，地方政府和市民极为关注。为安定民心，长江水利委员会清江地质大队进行滑坡治理前的地质详勘工作。经过一年多的详查勘探与科学研究，基本查清了滑坡形成的年代(2.2—2.4万年前)、形成机制、滑坡的物质组成与结构以及滑带的特性等，并在滑体内发现一个规模较大的地下岩溶洞穴系统。洞穴沉积物齐全、完整。这个洞穴系统常年过水，成为天然的地下排水通道，对滑坡的长期稳定起着重要作用。结合模拟计算分析，探讨滑坡形成演化模式与过程，进而评价滑坡现今稳定性较好，只须进行局部治理，消除了不良社会影响，使当地人民生活秩序恢复正常，并节省了大量的治理费用。

关键词：杨家槽滑坡； 滑坡稳定性； 滑坡治理

分类号：P642.22

文献标识码：A

STUDY OF STABILITY OF YANGJIACAO SLIDE MASS IN THE GEHEYAN RESERVOIR ON QINGJIANG RIVER

XU Ruichun, XU Tongha

Survay Institute of Three Gorges, the Yangtze River Conservancy Commision, Yichang Hubei 443003

Abstract: A modern newly built town is found to be located on an old slide mass after the resettlement. The local government and the residents are much concerned about the stability of the town. So a detailed geological investigation has been carried out. The slide is dated as being of an age of 22 000—24 000a B P. An analysis of the sliding mechanism the constitution and structure of the slide mass and the properties of the sliding zones brings to light that the old slide mass will be stable over a considerably long time. Moreover, a large cave system was revealed in the slide mass with an underground river which empties into the Qingjiang river forming a natural underground drainage conducive to reducing a landslide. Some countermeasures are suggested to be immediately taken to ease the anxiety of the local people to resume their normal life.

Key words: Yangjiacao landslide; future of slide mass; measures of the landslide

0 引言

杨家槽滑坡是一个大型基岩滑坡，位于清江隔河岩水库左岸，下距隔河岩大坝23km，现为鸭子口新镇所在地，是一个人口稠密的山区城镇，故滑体稳定性关系重大。为此，清江地质大队曾进行了详细地质勘察，完成了0.8km²的1:500万地面及库水下地形测量，进行了同等深度的工程地质测绘；完成8个直径为2m、总进尺224.3m的竖井；小口径勘探孔24个、总进尺1593.97m；1个进尺262.3m的勘探平洞。同时，还进行了滑带土的物理力学试验；测定滑带中的炭化木年龄；对滑坡体的稳定进行三维有限元分析计算。由于勘测手段齐全，成因分析合理，对滑体所作的稳定性综合分析的结论可信，使滑坡防治经费大为降低，取得了明显的经济效益和社会效益。

1 滑坡成因分析

杨家槽滑坡前缘高程130m，后缘高程570m，滑坡面积0.26km²，体积880 × 10⁴m³(图1)。

杨家槽滑坡所在的岸坡地段为逆向坡，地层倾向山里，倾角30°—50°，岩性组合为上硬下软，即岸坡上段由石炭—二叠系的坚硬灰岩、白云岩等组成；岸坡中、下段由相对软弱的泥盆—志留系砂页岩组成。岸坡地

形呈上陡下缓的特点。

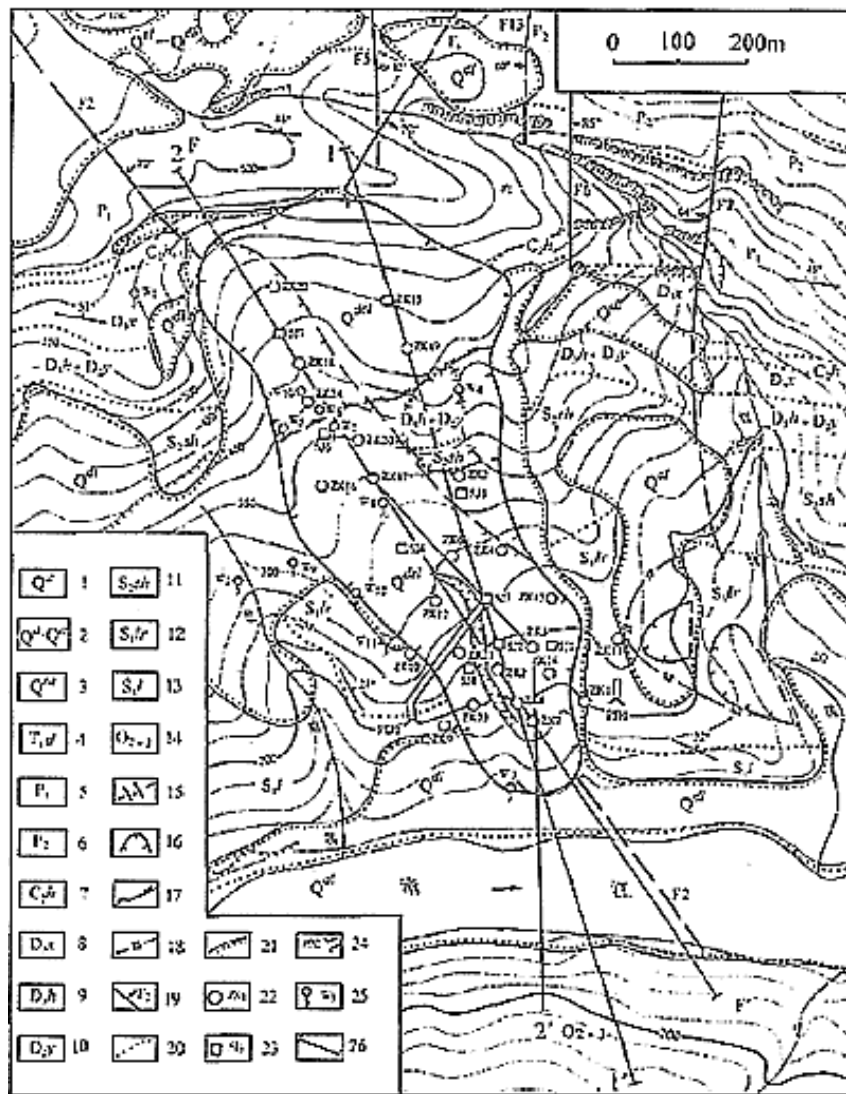


图1 杨家槽滑坡地质图

Fig.1 Geological map of the Yangjiacao landslide

- 1.冲积堆积；2.残、坡积堆积；3.滑坡堆积；4.三叠系大冶组；5.二叠系上统；6.二叠系下统；7.石炭系中统黄龙群；8.泥盆系上统写经寺组；9.泥盆系上统黄家碛组；10.泥盆系中统云台观组；11.志留系中统纱帽组；12.志留系下统罗惹坪组；13.志留系下统龙马溪组；14.奥陶系中、上统；15.基岩隔离体；16.滑坡体边界；17.剪出口；18.红岩溪边坡变形范围；19.断层与编号；20.地层界线；21.地层不整合界线；22.钻孔与编号；23.竖井与编号；24.平硐与编号；25.泉水点与编号；26.剖面线

在清江河谷下切岸坡再造过程中，大都受缓慢的冲刷、侵蚀、风化等缓慢而有序的边坡造形(图2a—c)。在软、硬岩层的结合处，即地形上陡缓相接部位，易于产生应力集中，软岩受压变形，导致硬岩应力调整和局部崩塌坠落(图2d—e)。

距今2.4万年左右，早期上硬下软的坡型已不适应稳定的要求，终于发生了一次大规模的崩塌滑坡事件，杨家槽滑坡形成(图2f)。杨家槽滑坡事件的发生，由于受到局部的地形地质条件的控制与制约，大约在2.4万年前，该地段的河谷边坡形态较陡(图2c)。河谷边坡的头部开始下坠(图2d)，其东侧大部因受下伏岩块的阻挡未能全部坠下，而残留下来，成为上滑体的组成部分(即基岩已经脱离母体并有相当的位移，有明显的变形，但未完全摔碎，仍然保持了原岩的基本结构)。但在滑体的西侧发育有一条断层沟，使岩体不断下坠崩塌，成为杨家槽滑坡的物源之地。在下冲时，下部的泥盆系砂岩页被压在下面，上部灰岩成了现今滑坡上部的块石碎石层。

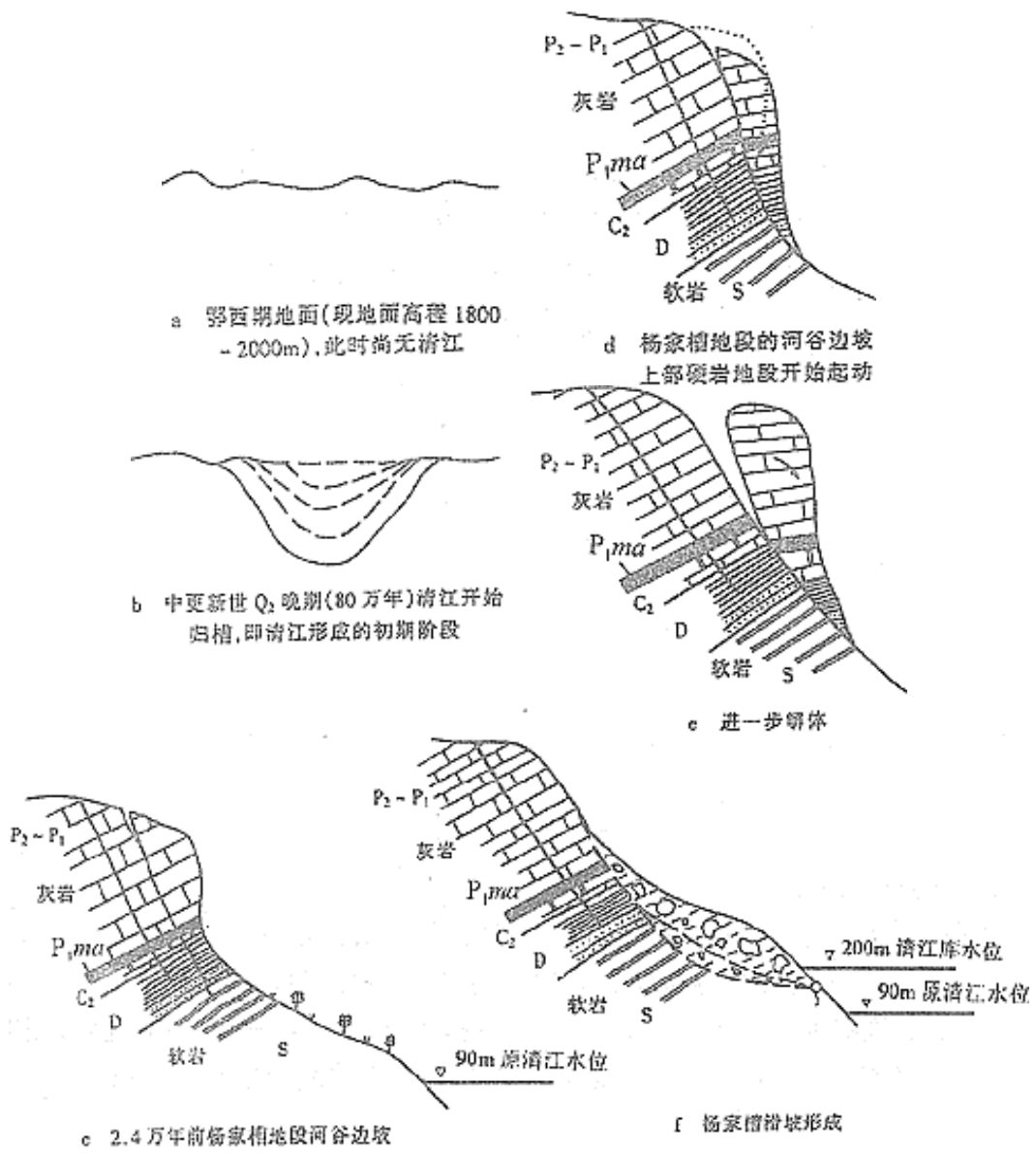


图2 杨家槽滑坡形成模式图

Fig.2 Conceptual model of mechanism of the Yangjiacao landslide

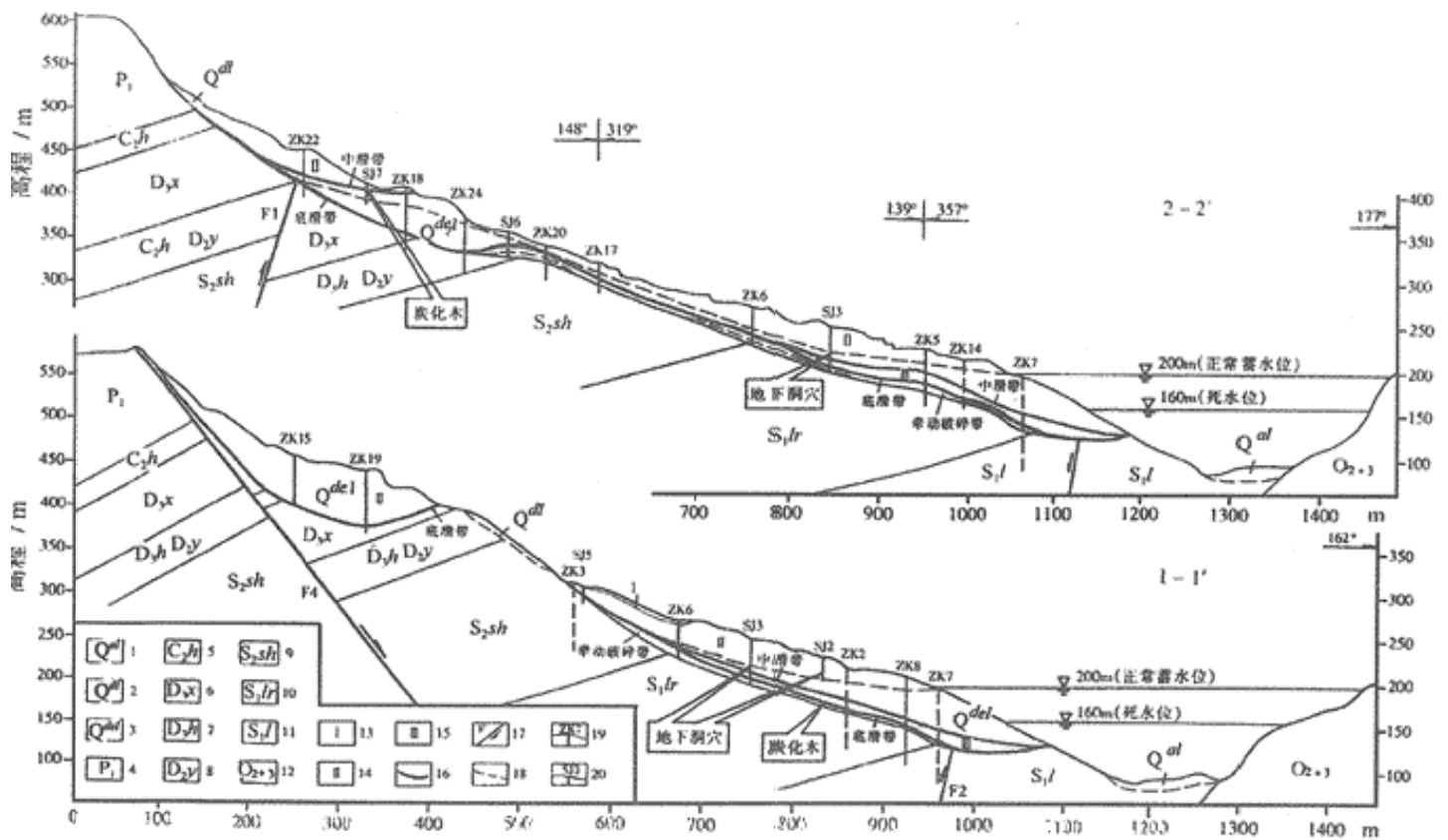


图3 杨家槽滑坡地质剖面图

Fig.3 Geological profile of Yangjiancao landslide

1.冲积;2.坡积;3.滑坡堆积;4.二叠系下统;5.石炭系中统黄龙群;6.泥盆系上统写经寺组;7.泥盆系上统黄家碛组;8.泥盆系中统云观组;9.志留系中统纱帽组;10.志留系下统罗惹坪组;11.志留系下统龙马溪组;12.奥陶系中、上统;13.第一层;14.第二层;15.第三层;16.滑动带;17.断层;18.地下水位线;19.钻孔及编号;20.竖井及编号

2 滑体基本地质结构

滑体的物质组成有明显的成层性和物质成分上的差异,自上而下可分三层(图3):

第一层:粘土夹碎石层,不连续分布于滑体地面局部地段,厚度一般为1—3m。该层多为黄色粘土,含有少量的灰岩或砂岩的碎石和碎屑。

第二层:灰岩块石碎石层,一般厚30—40m。该层多为灰岩块石碎石,部分夹有结构较松散的灰岩碎屑或碎屑土。

据2号和3号竖井揭示,在该层下部有较大的岩溶洞穴发育,如3号竖井在井深29m处,发现有洞径为0.4—0.7m的洞穴系统;2号竖井在井深14—17.3m处见一个洞径达3.3m,深39.5m的大洞穴系统,并与3号井的洞穴连通。洞内钟乳石发育,长者高达3—4m。

第三层:碎石碎屑土层,分布连续,主要为泥盆系砂页岩破碎碾磨而成,一般厚3—15m。物质形成以土为主,夹有砂页岩碎石碎屑,并含有少量块石,结构较密实。该层岩性软弱,而下层位相对坚硬,在滑动过程中,必然在软层的顶、底部位形成滑带,即中滑带和底滑带。中滑带为紫红色土夹碎屑,一般厚1—2m,土的含量稍多,夹有碎屑,结构较密实;底滑带为灰色或灰黄色土夹碎石碎屑,一般厚1—3m,土的含量稍多,夹有碎石碎屑,并含有少量块石,结构较密实。该层透水性很差,为相对隔水层(据1号竖井揭露,其底部有较多的炭化木,经 C^{14} 测龄为2.4万年)。

第三层下伏志留系页岩,受滑体滑动时冲击,在原地面表层往往形成4—10m牵动破碎影响带。该层岩性单一,均为灰绿色页岩碎石碎屑。

3 滑体稳定性分析评价

隔河岩水库校核洪水位204.70m,设计洪水位202.80m,正常水位和死水位分别为200m和160m,防洪限制水位192.20m。隔河岩水库1993年4月开始蓄水运行,至今最高库水位曾达到201.99m。滑体被库水淹没的最大深度为72m。

3.1 从监测资料分析稳定性

共有4个钻孔埋设有倾斜仪和渗压计，其中有3个钻孔是在滑坡体内(2孔、5孔、7孔)。监测结果显示，位于滑体前缘的7孔，1993年11月观测时，在孔深37.5m处A向(垂直清江方向)的水平位移大于10mm，探头卡在孔内，后改成固定式倾斜仪，测得相对水平位移年均约0.8mm，变形量微小；2孔和5孔测得合成年均位移量分别为1.5mm和3.2mm，变形量也很小。

在杨家槽滑坡下滑体上共有6个监测点：AJ7、AJ8、AJ9、AJ10、AJ11、AJ12。杨家槽滑坡1992年10月首次值—1998年3月累计位移量见表1。

表1的数据是经过5年观测而得，可以认为杨家槽滑坡位移量很小，基本上处于稳定状态。

从上述的观测结果看，滑坡的稳定性较好。

表1 杨家槽滑坡位移监测数据

Table 1 Observational values of the displacement of the Yangjiacao landslide

位置	监测点	x方向(滑坡主滑向) 水平位移/mm	y方向 水平位移/mm	垂直位移 mm
下 滑 体	AJ7(航运站楼房顶，滑坡前缘)	-4.0	1.5	-0.3
	AJ8(派出所楼房顶)	-0.3	4.2	1.2
	AJ9(民房顶，滑坡中部)	0.9	3.2	2.4
	AJ10(信用社楼房顶，滑坡中部)	0.3	-0.8	1.2
	AJ11(建行楼房顶，滑坡中部)	2.63	1.59	1.78
	AJ12(商场楼房顶，滑坡中部)	2.68	3.01	1.00
隔离带	AJ13(滑坡中部坡地基岩上)	1.8	-3.4	
上滑体	AJ14(上滑体平缓台面)	4.6	-3.5	
	AJ15(滑坡后缘公路旁)	18.3	-7.0	

1.x方向水平位移(主滑方向)向下滑为正，y方向水平位移向下游为正；2.垂直位移下沉为正；3.AJ11为1992年10月首次值—1994年10月累计位移量，AJ12为1992年10月首次值—1994年3月累计位移量，其余测点为1992年10月首次值—1998年3月累计位移量

3.2 从地质宏观性状看稳定性

通过大量的勘探获得了一系列重要的滑体特性。

3.2.1 滑带 共有两个滑带和一个牵动带即中滑带、底滑带与牵动带。从宏观性状看，这两个滑带剪切作用并不强烈，仅仅表现为一个1—3m厚的剪磨碎裂带，其中粉砂-粗砂-砾石约占总成分的50%—60%，土的颗粒占40%—50%，更重要的是滑带尚未形成主剪切面。因此，各滑带均具有较高的强度(表2)。另据滑带矿物鉴定，其成分以活动性较弱的水云母、高岭石等粘土矿物为主。

3.2.2 滑体中的洞穴系统 3号竖井在井深29m处见0.4—0.7m的洞穴；2号竖井在井深14—17.3m处揭示出一个洞径3.3m、洞深39.5m(人可以进去的深度)的大地下洞穴系统(图4)。

在滑体中揭示出这样大的洞穴系统有3个方面的意义：

(1)这种现象是很少揭示的，它对碳酸盐岩区滑坡研究有一定的指导意义；

(2)滑体地下排水条件较好；

(3)岩溶洞穴完整，洞穴沉积物发育，说明这个洞穴形成时间较长，滑体形成后没有经过大的变动。

总之，从以上论述可以看出，杨家槽滑坡总体稳定性较好。

3.3 滑体三维稳定性计算分析

对滑体三维稳定性研究，采用三维极限平衡计算，设定滑动方向后用平行于滑动方向的平面和垂直于滑动方向的平面将滑体切割成长、宽均为10m的棱柱体，其顶面为坡面，底面为滑带(图5)。然后单独分析每个柱体的受力状态，根据不同方向上力和力矩平衡方程即可求出稳定安全系数。

三维极限平衡分析时，选取1-1、F-F(图1)和这两剖面的夹角平分线为3个代表性的方向。

表2 滑带土物理力学试验成果统计表

Table 2 Test results of the slip zones

所	直剪反复抗剪强度指标	三轴抗剪强度指标

滑体	属层位	土样·(组·)	试样状态	含水量·(%)	峰值		残余值		土样·(组·)	试样状态	含水量·(%)	总应力		有效应力		
					Cd (kPa)	φ_d (°)	Cr (kPa)	φ_d (°)				Ccu (kPa)	φ_{cu} (°)	Ccu (kPa)	φ_{cu} (°)	
上滑体	中滑带	2	扰	33.3	10.7	29.4	11.0	27.6	1	扰	29.9	84.5	16.4	15.9	39.0	
				/	/	/	/									
	60.2	1.0	22.0	8.1	14.5											
底滑带	3	扰	44.4	8.4	24.6	15.3	17.5									
			/	/	/	/	/									
		1	原	13.3	34.8	21.4	9.9	8.8								
下滑体	中滑带	6	扰	47.9	10.4	26.6	18.2	22.5	3	扰	14.3	78.8	23.8	14.0	34.0	
				/	/	/	/	/								
					26.7	3.0	19.4	3.4	9.2		9.4	23.4	12.8	10.9	24.2	
										3	原	35.4	67.2	14.4	61.9	18.6
											9.6	50.6	9.0	43.3	12.0	
底滑带	7	扰	33.3	10.1	34.9	10.7	31.8	3	扰	12.3	91.4	17.6	63.2	24.1		
			/	/	/	/	/									
				22.5	1.8	20.2	4.9	18.9			11.4	26.6	12.0	31.0	17.0	
牵动带	6	扰	30.3	13.4	32.6	14.0	30.1	6	扰	18.4	119	24.5	97.0	32.3		
			/	/	/	/	/									
				21.9	4.0	22.6	4.8	20.0			8.1	9.4	14.7	5.4	23.7	

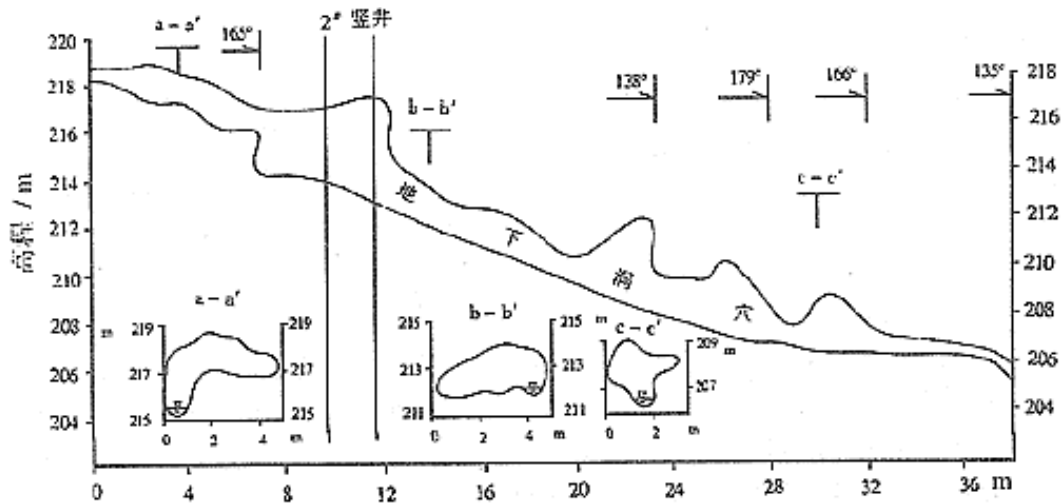


图4 2号竖井揭露的地下洞穴示意图
Fig.4 A sketch of the underground cave system revealed in shaft No.2

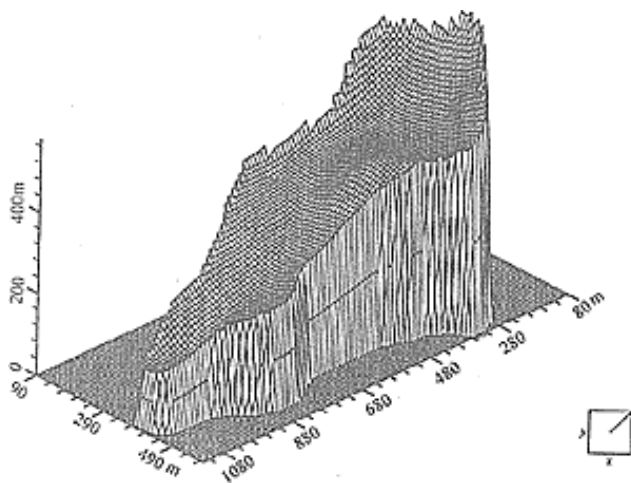


图5 杨家槽滑坡三维网分底滑带图
Fig.5 Base slip zone divided by three-D net

在综合研究滑带土的力学性能和试验资料基础上确定了在滑体稳定性计算中的强度参数(表3)。作用力以自重和水压力及地震()的组合为主。

三维极限平衡计算结果(表4)表明,库水位165m滑坡的稳定性高于库水位200m时的稳定性,且同一滑动方向以底滑带为界的滑体的稳定性高于以中滑带为界的滑体的稳定性。同种情况下,三维计算结果比二维推力传递系数法计算的结果稳定系数要高。这正体现了三维作用的效果。计算结果也再次表明了杨家槽滑坡稳定性较好的结论是有科学依据的。地质宏观评价的结论在三维计算结果中得到了较好的印证。三维计算的稳定系数高于二维计算的结果,其主要原因在于地形的约束作用。

表3 滑体稳定性计算强度参数表
Table 3 Selected mechanical parameters for computation

部 位	C/kPa		$\varphi/(\text{ }^\circ)$	
	饱水	非饱水	饱水	非饱水
中滑带	15	20	20	23
底滑带	15	20	23	25
牵动带	15	20	23	25

当滑带处于地下水位以下时,采用饱水参数,否则采用非饱水参数

4 结论

通过对杨家槽滑坡的深入研究,挖了8个竖井、1个平硐和24个钻孔的勘探以及大比例尺的地形地质测绘与填图,不仅全面准确的查明了滑坡的几何形态及物质组成,并取得了滑带大量的物理力学参数,为稳定性分析计算提供了必要的参数。特别是揭示了杨家槽滑坡滑体中的完整岩溶洞穴系统成了天然的地下排水通道,这是石灰岩区滑体所具有的特殊条件,使滑坡的稳定性较其它物质组成的滑坡稳定性要好。但是这并不表明灰岩块石形成的滑坡体都有这种条件,即都具有岩溶洞穴系统并成为地下通道,应因情况而定,在勘探时务必注意这一特点。

综合多年来的监测结果、地质宏观分析和本区具体的地形地质条件,以及三维稳定性计算结果分析,杨家槽滑坡总体稳定性较好,但相比较而言滑体的前缘稳定性稍差,可能发生局部的变形滑动,故建议对滑体前缘应采取适当的防护措施。

表4 杨家槽滑坡三维极限平衡分析成果表
Table 4 Three-D computation results (FS)

库水位/m	滑动方向	以中滑带为界的滑体		以底滑带为界的滑体	
		FS	FS	FS	FS
165	SE	1.25	1.15	1.35	1.25
200	SE	1.15	1.05	1.25	1.15

		零度地震	度地震	零度地震	度地震
200	1-1 线	1.407	1.341	1.444	1.377
	1-1 与F-F 夹角平分线	1.497	1.424	1.743	1.649
	F-F 线	1.382	1.318	1.460	1.391
165	1-1 线	1.492	1.426	1.516	1.449
	1-1 与F-F 夹角平分线	1.571	1.499	1.683	1.603
	F-F 线	1.532	1.464	1.577	1.506

作者简介：徐瑞春(1937—)，男，水利部长江水利委员会综合勘测局副总工程师，教授级高级工程师，主要从事工程地质勘查研究。

作者单位：水利部长江水利委员会三峡勘测研究院，湖北 宜昌 443003

参考文献

- [1] 鄢毅.宝成铁路滑坡与降雨关系探讨 [J] .水文地质工程地质, 1993, 20(4) : 14—16.
- [2] 张喜发.岩土工程勘察与评价 [M] .吉林:吉林科学技术出版社, 1995.
- [3] 邹成杰.水利水电岩溶工程地质 [M] .北京:水利电力出版社, 1994.
- [4] 汪小刚,等.超径颗粒粒度效应对基底材料力学特性的影响 [J] .岩土工程学报, 1993, 15(5) : 1—10.

收稿日期：1998-09-10