

三峡库区巫山县新城址王家屋场滑坡研究

张加桂

摘要：巫山县新城址的地质问题是当前工程地质界关注和争议的焦点，也是库区具有普遍性的问题。王家屋场滑坡是一个具有独特性的滑坡，它的发育具有特殊的区域地质构造和地貌环境。文中详细阐述了滑坡本身的地貌和岩体结构特点，分析得出滑坡经历了先期滑动和后期改造的复杂过程，先期滑动具有多次滑动性，后期改造作用不亚于先期滑坡作用，岩溶溶蚀作用自始至终是滑坡的主导作用，构造破碎为溶蚀作用提供了条件。目前滑坡在整体上是稳定的，但后期改造过程仍在继续，移民工程也严重影响着滑坡的稳定性，尤其应防止水向滑体渗漏。

关键词：滑坡；三峡库区

分类号：P642.22

文献标识码：A

RESEARCH ON WANGJIAWUCHANG LANDSLIDE IN THE NEWLY BUILT WUSHAN COUNTY, THE THREE-GORGES RESERVOIR REGION

ZHANG Jiagui^{1,2}

1 *Institute of Environmental Geology, MLR, Beijing 100081;*

2 *Engineering Geomechanics Laboratory, Institute of Geology, CAS, Beijing 100029.*

Abstract: The resettlement project is the key part of the Three Gorges Project on the Yangtze River. The geology of the new Wushan County site is the focus of current public concern a problem common in the Three-gorges Reservoir region. The geomorphology and structure of the slide mass is analysed in detail. The results reveal that the landslide has gone through two stages of development; in the earlier stage there having been repeated small slides, while in the later stage, restructuring of the slidemass becoming dominant.

Karstification was well developed especially where the rocks were structurally fragmented, leading to undermining the mass from depth. Although the slidemass now remains relatively stable, precautions should be taken to prevent the mass from saturation.

Key words: landslide; the Three-gorges Reservoir region

新城址主要位于四道桥沟与石板沟之间，亦即旧城背后海拔高180—500m的范围。新城址的地质问题极其复杂，当前工程地质界对此十分关注，大批专家学者在此进行了详细研究并给出了颇有见地的论述 [1—3]。但是，目前这些地质问题还远未弄

清。

王家屋场滑坡是一个大型古滑坡。它位于新城址西南部四道桥沟与二道沟之间的王家屋场。由于新城址是在劣中选优，是别无它法的选择，因此开发利用该滑坡体势在必行。目前已落成了两栋高层移民新居、南峰小学和部分政府机关办公大楼等。这就需要弄清滑坡的结构、成因机制及稳定性，以便采取正确的防治措施。而且这类滑坡在库区具有普遍性，因此研究该滑坡也为解决三峡库区众多疑难地质问题提供了开端。

1 滑坡周围的地质地貌特征

1.1 地层

滑坡发育在巴东组(T_2b)地层之中，滑床为第二段(T_2b^2)紫红色泥岩夹灰黄色粉细砂岩。紫红色泥岩具有隔水和富水作用，含蒙脱石，具有膨胀性，当上部岩溶孔隙水渗至泥岩顶部时，水流受阻而转化为顺层流动，水流溶蚀泥岩中的钙质，使之泥化、变软、易滑。

滑体原岩为第三段(T_2b^3)深灰色中厚层至厚层泥质灰岩，白云质灰岩。溶蚀、风化后变成灰色、灰绿色等。研究认为，它在新城区已全部发生了滑坡。

滑坡附近还发育第四系，成因类型包括坡积(dl)、洪积(pl)、崩塌堆积等。

1.2 构造

巫山县新城址位于川鄂湘黔隆褶带北西缘及川东褶皱带东缘的接界部位，构造复杂，褶皱及断裂发育，形成时代主要为燕山运动晚期。新城址主要受NEE向巫山向斜所控制。

巫山向斜轴向 $N70^\circ E$ ，宽3—4km，呈箱状。陡倾部分倾角 60° ，中部缓倾部位倾角 $10^\circ—20^\circ$ 。向斜轴线以倾伏角 $4^\circ—8^\circ$ 向SWW倾伏，核部出露地层为 T_2b^2 。在巫山向斜南翼，发育有大致与轴向平行的宽大的张性断裂带——巫山断裂，该断裂带自长江北岸斜穿长江向SW延伸。

王家屋场滑坡位于巫山向斜核部，滑体走向与向斜轴向近垂直，滑坡源区则位于向斜北翼，因此该滑坡具有顺向坡滑动的性质。

1.3 地貌

巫山县新城址位于长江三峡中巫峡北岸，城址上、下游均为峡谷地貌，城址地貌则具有相对平缓而又复杂的特点，位于长江与大宁河相交汇的部位，为褶皱剥蚀侵蚀中低山区。本次研究认为：城址附近发育有三级阶地、两级洪积台地、两级剥蚀台地和一级夷平面(表1)，其中 级阶地与 级洪积台地为相变关系。这与前人认为的六级阶地和一级夷平面^[3]，或五级阶地^[4,5]有所不同。王家屋场滑坡大多处于 级剥蚀台地所在位置(高程为330—380m)，前缘处于 级洪积台地所在位置。

表1 巫山新城址及附近地貌特征(据何满潮等，1998年资料修改)

Table 1 Features of the geomorphology around the newly built Wushan County

序次	分布地点	高程/m	地貌类型	形成时代

7	石留山至炮台岭(区外)	660—730	山原期第二亚期夷平面	Q_1^1
6	苟家坪-牌楼-变电站	430—520	级剥蚀台地	Q_2^2
5	王家屋场、村支部	330—380	级剥蚀台地	Q_3^3
4	下西坪、高塘观、巫师	220—260	级洪积台地	Q_2
3	巫峡宾馆、技校、粮库 江东嘴(区外)	190—220 175—190	级洪积台地 级(基座)阶地	Q_3^3
2	旧城巫山中学	145—162	级(堆积)阶地	Q_3^3
1	长江北岸及(区外)大宁河岸	110—131	级(堆积)阶地	$Q_4(4\ 760—5\ 775a)$

新城址冲沟发育，切割深，呈V型谷，南倾长江的山坡坡角为 $20^\circ—30^\circ$ ，王家屋场滑坡介于两条冲沟之间，王家屋场背后为滑坡源区，坡角为 30° 。

2 滑坡地貌及岩体结构特征

滑坡呈SE走向，长600m，宽350m，最大厚度70m，面积约 $20 \times 10^4 m^2$ ，体积约 $700 \times 10^4 m^3$ ，为一大型古滑坡。

2.1 地貌特征

滑坡背后有完整的圈椅状地形，坡度达 30° 。滑坡体呈塬状地貌，中部地形较平坦，以 10° 的倾角向SE倾斜(图1，图2)，两侧为逐渐变陡的斜坡，整个横切剖面为宽缓的倒抛物线型。前缘部分被后期洪积泥石流堆积体覆盖。

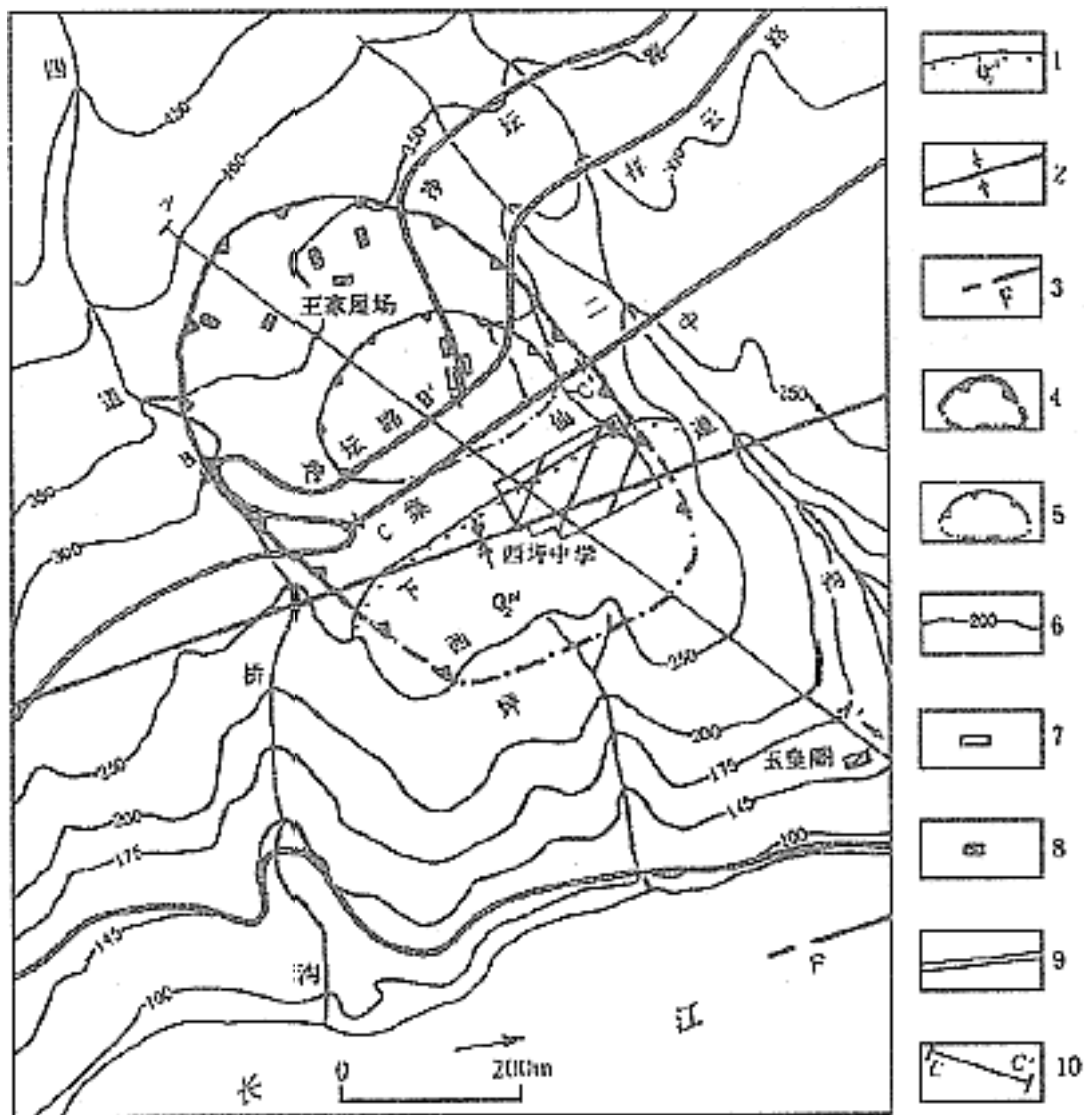


图1 巫山县新城址王家屋场滑坡地质简图

Fig.1 Geological sketch of Wangjiawuchang landslide in the newly built Wushan County

1.中更新世洪积物及界线; 2.巫山向斜; 3.巫山断裂; 4.王家屋场滑坡界线(虚线为隐伏, 点线为前缘); 5.次生滑坡界线; 6.等高线; 7.新楼; 8.旧房; 9.公路; 10.剖面线及其编号

注: 145—175m为水库蓄水后水位变动范围

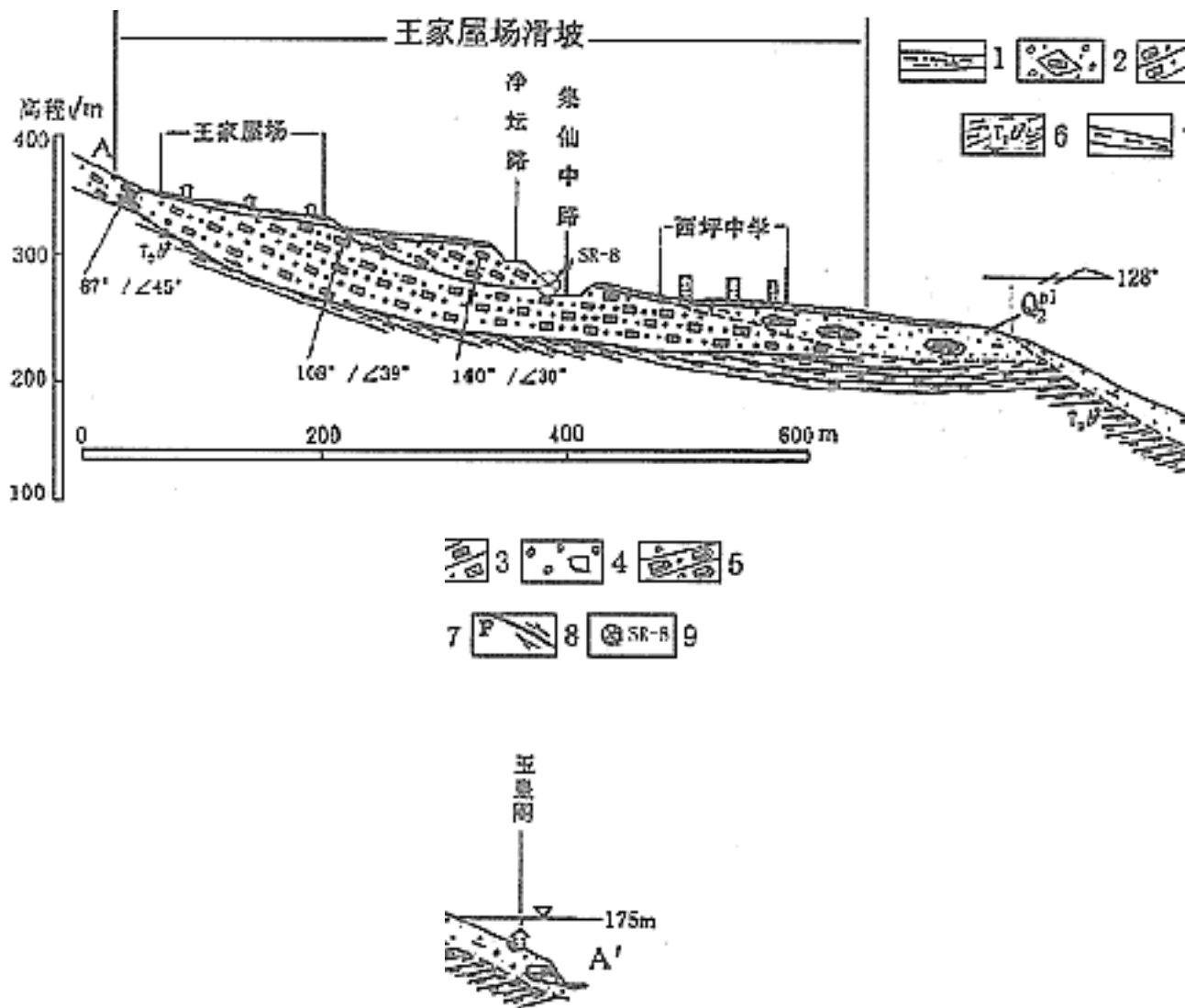


图2 巫山悬新城址王家屋场滑坡纵剖面图(A—A)

Fig.2 Cross-section(A—A) of Wangjiawuchang landslide

1.褐黄色膨胀性粘土层(“巫山黄土”); 2.泥砾层含泥质灰岩块体; 3.灰色碎裂泥质灰岩; 4.角砾岩; 5.顺坡倾泥质灰岩; 6.紫红色泥岩; 7.杏黄色泥质条带; 8.断裂; 9.样点及其编号

2.2 滑坡岩体结构特征

王家屋场滑坡为双层滑体结构, 其中下层滑体(一层滑体)为主滑体, 规模大; 上层滑体(二层滑体)为次生滑体, 规模小。滑坡体原岩均为 T_2b^3 深灰色泥质灰岩, 溶蚀风化后变为灰色、灰绿色, 钙质成分减少, 泥质含量增高。

下层滑体岩体结构较复杂。SW侧中部岩体较完整(图3), 可见3—5m的大块体, 岩层产状清晰可辨, 以向SE倾为主, 倾角大的 39° , 小的 20° 左右, 岩石中碳酸盐含量高(表2), 上部岩体变为灰色、灰紫色, 泥质含量增高, 顶部有褐黄色膨胀性粘土层(“巫山黄土”)覆盖。在横切滑体的集仙路中壁上(图4), 即滑体前部, SW侧岩体非常破碎, 层理基本消失, 局部可见岩层反倾或岩块转动现象, 在地形凹陷部位(挡墙处), 岩体松动垮塌, 特别是在与上层滑体交界处, 岩体碎裂; 向NE(剖面下部)则岩体相对完整, 虽破碎成1—2m或更小的块体, 但仍成层状, 层面倾角较小, 倾向SE。滑

体前缘SW侧因溶蚀而强烈泥化，变为褐色泥质层。

表2 巫山县新城址区岩土体样品测试结果表

Table 2 Data of the rock and soil samples of landslides in the newly built Wushan County

编号	地点	岩性	CaCO ₃ /%	FeO/%	Fe ₂ O ₃ /%	蒙脱石/%	比表面积/m ² ·g ⁻¹	pH值
SR-6	王家屋场净坛路	深灰色泥质灰岩	91.0	0.27	0.34	2.50	16.66	8.3
SR-8	王家屋场集仙中路	杏绿色泥质条带	84.1	0.06	1.97	6.51	33.36	8.5
SR-12	牛蹄窝	紫红色泥质条带				10.20	123.11	7.95

表中前3项由国家地质实验测试中心测试，后3项由中国科学院地质所测试。

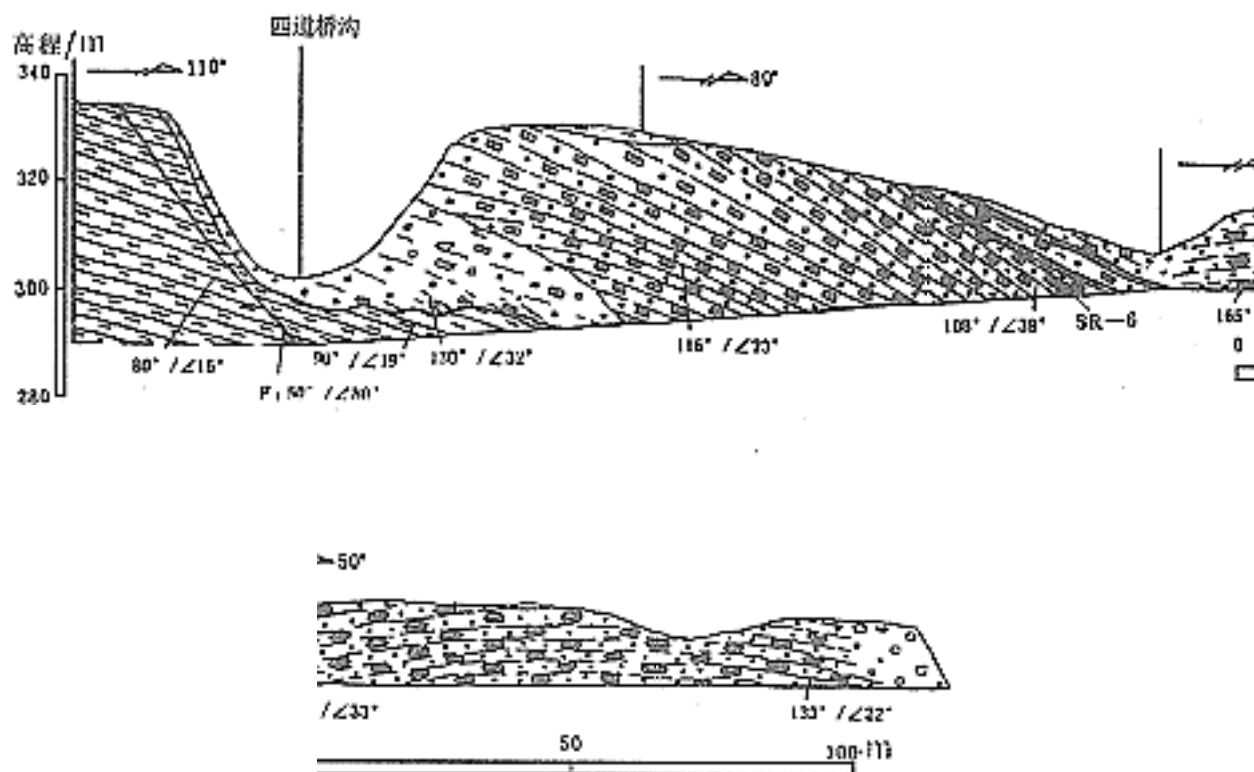


图3 王家屋场滑坡净坛路(B—B)剖面图(图例同图2)

Fig.3 Section (B—B) of Wangjiawuchang landslide along the Jintan Road

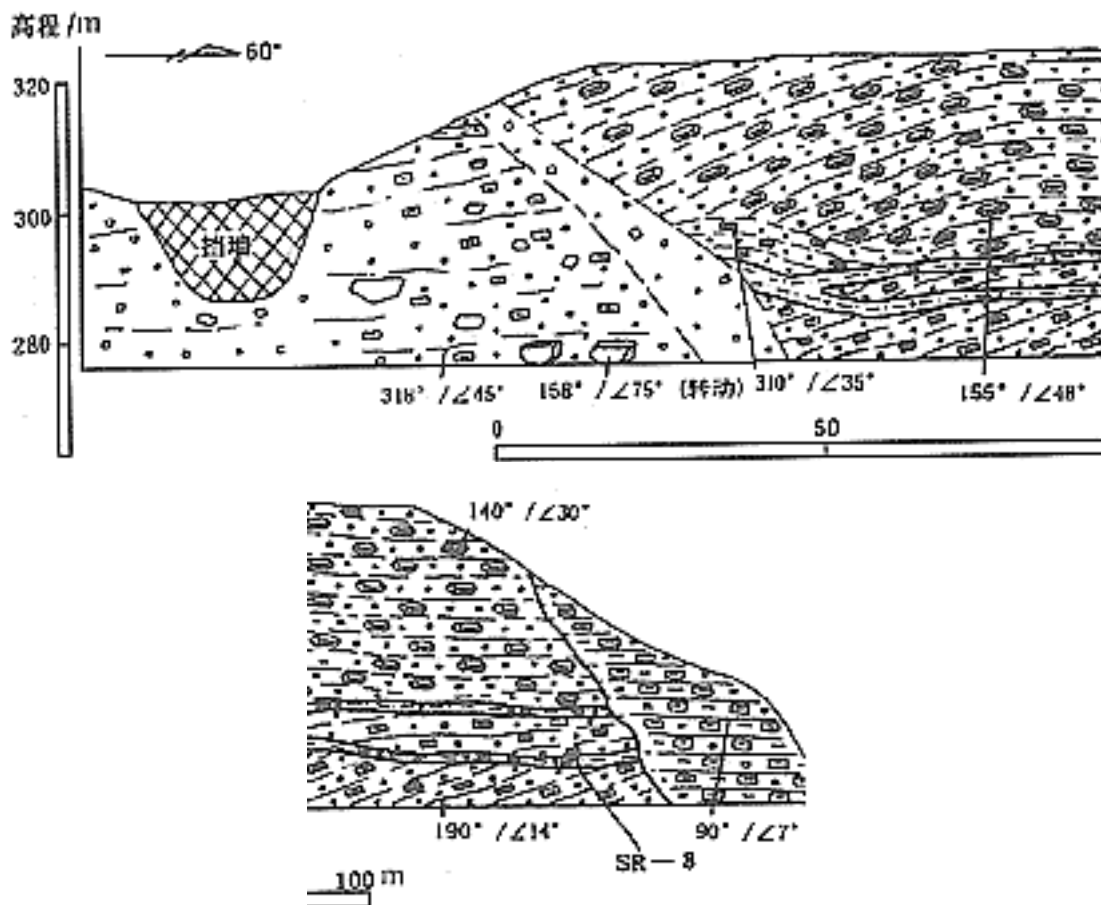


图4 王家屋场滑坡集仙中路(C—C)剖面图(图例同图2)

Fig.4 Section (C—C) of Wangjiawuchang landslide along the Jixianzhong Road

在集仙路拐向净坛路的拐弯处(回头弯),即四道沟出口,可见滑坡界面呈铲形延伸(图3),局部波状起伏,铲形界面下部产状大致为向SE倾 15° 。王家屋场滑坡基本以四道沟为界,滑床为 T_2b^2 紫红色泥岩,此处显示下层滑体厚35m。在界面以上一楔形体范围内,岩体非常破碎。滑带附近,紫红色泥岩泥化变软易滑,在附近取类似滑带土样品测得蒙脱石含量达10.20%,比表面积大(表2)。

上层滑体叠置于下层之上,面积较小,厚度30m左右。滑体较破碎,块体一般在2m以下,但仍可辨别其中的层理,以中等倾角向前缘坡外倾斜,并在横剖面上呈一与地形相关的背形形态,岩石遭溶蚀后泥化变为灰色和灰绿色,遇敲击时迅速崩解。在南东侧检察院新址,滑体岩层产状明显与地形相关,向东倾,倾角 50° 。滑体边缘岩体破碎,由于松动垮塌而层理消失。

上层滑坡后缘有一陡壁与下层滑体分隔,滑带为两层杏黄色泥质条带,各厚1.5m,产状为SE倾 25° 左右,其中有滑动形成的与条带平行的片理。在横切滑体的NEE向集仙中路路壁仍可见两层杏黄色泥质条带,两层不平行,有分有合,两层间为强烈破碎的土红色角砾层。这两层杏黄色泥质条带是泥质灰岩遭受长期溶蚀的残积物,取样测得其中碳酸盐含量大为降低(表2),除自身和其间物质破碎外,上、下层位产状不一,下层倾向SW,上层大部向SE倾,并见局部切层现象。

滑坡边缘还附有次级小滑坡(图4),滑坡界面向东倾向二道沟,滑带为厚5m的土红色角砾层,角砾具定向性,并见上、下层位受滑动牵引;滑体表层溶蚀风化后呈土红

色，内部为灰色泥质灰岩，产状平缓，东倾 7° ，岩体破碎。

3 滑坡的成因机制

由滑坡的地貌及结构特征可知，王家屋场滑坡是相当复杂的，因此必须从岩体结构入手，对各种现象进行深入分析^[6—8]。研究得出，该滑坡应该是先期滑动和后期次生滑动改造共同形成的。

3.1 滑坡的先期滑动

先期滑动具有较漫长的过程，王家屋场滑坡是巫山县新城址中大量滑坡中的一个。该滑坡是在更古老滑坡中产生的^[2, 8]，其形成过程可概括如下：

(1)印支运动期和燕山运动期，特别是燕山运动晚期，近SN向的挤压形成巫山箱状向斜，并使 T_2b^3 泥质灰岩强烈破碎。

(2)山原期第二亚期夷平面形成以后，在距今2Ma长江开始发育^[4]，发育的位置与目前长江的位置基本一致，即巫山向斜南翼地层产状陡变处。当河流切穿 T_2b^3 泥质灰岩，下切至 T_2b^2 泥岩后，泥质灰岩卸荷，岩溶溶蚀作用增强。由于 T_2b^2 泥岩顶部隔水，发生泥化，泥化层在上部载荷的作用下向边界(即长江)流出，于是 T_2b^2 泥岩顶面便整体向长江倾斜。

(3)由于 T_2b^2 泥岩中蒙脱石含量高，比表面积大，加上强烈泥化流出作用，因此顶部便是易滑层位。 T_2b^2 泥质灰岩在自重作用下，特别是北部陡倾翼的自重作用下，发生向南(即向长江)的滑动，形成最古老的特大型整体滑坡。目前最古老的滑坡在工业区(400—520m高程)有残留，被称为工业区滑坡^[8]。这种滑动是缓慢的和长期的，滑动的时代在早更新世中期(Q_2^1)，即一级剥蚀台地形成时期。

(4)由于长江进一步下切和江边冲沟的发育，使沿江一带 T_2b^2 泥岩顶部泥化流出速度加快，这样便形成了王家屋场背后的陡坡(相当于河流向源侵蚀的裂点)，于是最古老的特大型整体滑坡便以陡坡上沿为界发生分裂。

(5)陡坡地带及以下部分滑体发生较快速的滑动，当陡坡地带的滑体滑至较平坦的王家屋场，由于能量的耗散而停积，即形成王家屋场滑坡。滑动中，泥质灰岩滑体对紫红色泥岩顶部具有强烈的切割作用，这便是四道桥沟口铲形界面的成因(图3)，切割厚度达30m。滑动的时代在早更新世晚期(Q_3^1)，即一级剥蚀台地形成时期。

以上多次滑动均是相对慢速的整体滑动，因此滑坡岩体基本保持了原岩的结构形态。

3.2 后期改造

如果滑坡仅仅是先期滑动形成，问题就不会如此复杂，对其认识也就不会有那么多的分歧。笔者认为，滑坡的后期改造作用不亚于前期滑坡作用。滑坡的后期改造包括次生滑坡、溶蚀背形和边坡松动垮塌等。具体如下：

3.2.1 次生滑坡 包括上层滑坡和NE边缘次级小滑坡等。上层滑坡以杏黄色泥质条带为滑带。杏黄色泥质条带在巫山和奉节等地滑坡中普遍存在^[9]，为泥质灰岩遭受长期溶蚀的残积物，由于钙质流失，泥质富集，蒙脱石含量增高，比表面积增大，使其

成为易滑带，其中往往片理发育。在王家屋场滑坡仅见带中有片理存在，可能说明上层滑坡的滑动不太强烈。

NE边缘次级小滑坡也是由于边坡长期遭受溶蚀作用而发生的向二道沟的局部滑动，从其岩体已变成土红色(红壤化)，说明其遭受的溶蚀作用是相当强烈的。这种小滑坡在巫山和奉节等地也是普遍存在的。

3.2.2 溶蚀背形 即滑坡中的岩层具有与地形相一致的鼻状背斜形态，特别是越靠近沟边，岩层倾角越大。溶蚀背形的形成主要是因为雨水中含有 CO_2 成分，对碳酸盐岩具有强烈的溶蚀性。溶蚀作用与滑坡形成后地貌的演变有着密切的关系。这是由于滑体顶部接受雨水的量少，岩体遭受雨水的溶蚀作用弱，而向周缘，汇水面积增大，岩体遭受雨水的溶蚀作用增强，岩层变薄，这样便形成了鼻状背形。与此同时，钙质溶蚀、泥质富集，蒙脱石含量增高^[8,9]，致使滑体的岩性发生变化，变为灰色、灰绿色或土红色泥岩，岩石强度降低，敲击时迅速崩裂。

3.2.3 边坡松动垮塌 在地形低洼处，由于雨水汇集，溶蚀作用使岩体结构松散破碎(如挡墙处)。在周边地带，不仅雨水的汇集量大，而且临空条件好，岩体在雨水的溶蚀作用下，形成土红色泥砾层(如检察院门口滑坡北东缘)和褐色泥砾层(如滑坡南西缘)。

由上可知，无论是先期滑动还是后期改造，岩溶溶蚀作用始终是滑坡的主导作用。溶蚀作用又是在构造破碎的基础上进行的。因此，可将下层滑体的成因机制概括为“构造破碎—溶蚀— T_2b^2 紫红色粉砂质泥岩顶层泥化—滑坡”，而将上层滑体的成因机制概括为“碎裂—溶蚀—杏黄色泥质条带发育—滑坡”。

4 滑坡稳定性分析

经定性、定量研究，得出滑坡在整体上是稳定的结论，笔者赞成这种看法。从滑坡发育的地形条件来看，滑坡体处在较平坦的位置，而且后期的改造又大大削减了滑体的重量，使滑体势能降低。但是，滑坡的后期改造过程仍在继续，特别是路基的开挖带来的人工高陡边坡将上层滑坡拦腰斩断，使滑坡的稳定系数 K 降低10%，建筑物的增多也对滑坡起了人工加载的作用；另外，将来库水位的提高会对岩坡的稳定性产生重大影响，进而影响该滑坡的稳定性。与整个新城址相比，王家屋场滑坡的稳定性是较好的，是建筑的重要场地。避免不稳定因素发展的最好办法是防水，包括防止雨水和城市用水向地基渗漏，再便是迅速开展岸坡防护治理。

5 结论

王家屋场滑坡为一大型古滑坡。滑坡处在特殊的地质构造和地貌位置。王家屋场滑坡发育在巴东组(T_2b)易溶、易滑地层中，构造上位于巫山向斜核部，滑体走向与向斜轴向近垂直；滑坡源区位于向斜北翼。新城址位于峡谷地貌中相对平缓而又地形复杂的地段，长江、四道桥沟和二道沟将王家屋场滑坡切割成三面临空状态。

滑坡地貌呈塬状，以 10° 的倾角向SE倾斜，背后有圈椅状地形。滑体原岩为 T_2b^3 泥质灰岩，滑动后结构破碎，具双层结构，有鼻状背形形态，有次级滑坡，周边溶蚀

垮塌。下层滑坡的滑床为 T_2b^2 紫红色钙质泥岩，滑体与滑床为切层关系。滑带为 T_2b^2 紫红色钙质泥岩顶部泥化带，含蒙脱石，具膨胀性和易滑性。上层滑坡的滑带为杏黄色泥质条带，也具易滑性。

滑坡经历了先期滑动和后期改造的过程。先期滑动又具有多期性，王家屋场滑动格局的形成时代在早更新世晚期(Q_3^1)，总体经历了“构造破碎—溶蚀— T_2b^2 紫红色粉砂质泥岩顶层泥化—滑坡”的过程。滑坡的后期改造作用不亚于前期滑坡作用，包括次生滑坡、溶蚀背形和边坡松动垮塌等，后期改造与地貌的发育有着密切关系。

滑坡在整体上是稳定的，但滑坡的后期改造过程仍在继续，特别是路基的开挖带来的人工高陡边坡将上层滑坡拦腰斩断、建筑物的增多影响滑坡的稳定性；将来库水位的提高也会影响滑坡的稳定性。应防止水向滑体的渗漏，并迅速开展岸坡防护治理。

研究工作得到了中国水文勘查院殷跃平副总工程师和作者导师曲永新教授等的指导和帮助，在此一并表示感谢！

基金项目：国务院三峡工程建设委员会移民开发局

作者简介：张加桂(1962—)，男，国土资源部环境地质研究所高级工程师，中国科学院地质研究所工程地质力学开放研究实验室在读博士。长期从事构造地质、工程地质和环境地质研究。

长江水利委员会综合勘测局.长江三峡水利枢纽库区巫山县迁建城镇新址地质论证报告(勘查阶段：详勘第一稿)，1995.22—23。

地质矿产部环境地质研究所.长江三峡工程库存区拟迁城市新址环境地质研究“七·五”攻关项目：(75-16-02-05-01)科研报告.1990。

中国水文工程地质勘查院.三峡库存区迁建城镇压新址滑崩堆积体(坠覆体)开发利用研究(三峡库区移民工程科技研究课程),科研报告,1998。

作者单位：国土资源部环境地质研究所，北京 100081；

中国科学院地质研究所工程地质力学开放研究实验室，北京 100029。

参考文献

- [1] 胡海涛.对三峡移民迁建的地质环境问题的新认识——胡海涛院士大会报告旁记[J].岩土工程界,1998,(6):43—45.
- [2] 何满潮,崔政权,陈鸿汉,等.三峡库区巫山古滑坡系统构造变形场研究[J].工程地质学报,1998,6(2):97—102.
- [3] 崔政权,何满潮,陈鸿汉,等.三峡库区巫山县新城西区岸坡系统变形机制研究[A].见:地面岩石工程锚固与注浆技术学术研讨会论文集[C].北京:地质出版社,1997.3—9.
- [4] 杨达源.长江三峡的起源与演化[J].南京大学学报,1988,3(3):466—474.
- [5] 田陵君,李平忠,罗雁.长江三峡河谷发育史[M].成都:西南交通大学出版社,1996.19—20.
- [6] 谷德振,王思敬.论工程地质力学的基本问题[A].见:谷德振文集[C].北京:地震出版社,1994.240—252.
- [7] 谷德振,曲永新.土体的结构效应与土体的变形破坏[A].见:谷德振文集

[C] .北京：地震出版社，1994.253—261.

[8] 张加桂.三峡库区巫山县新城址工业区滑坡的成因机制研究 [J] .工程地质学报，1999，7(3).

[9] 张加桂.对三峡库区奉节县新城宝塔坪小区横磨子—大坪滑坡的论证 [J] .中国地质灾害与防治学报，1999，10(3).

[10] 蔡鹤生，唐朝晖，周爱国.三峡水利枢纽库区巫山县新城址地质环境质量预断评价 [J] .工程地质学报，1998，6(3)：269—274.

收稿日期：1999-01-06