

# 三峡库区巫山县翠屏小区岩溶引起的地质 灾害危险性研究

张加桂<sup>1,3)</sup> 殷跃平<sup>2)</sup> 蔡秀华<sup>4)</sup> 李洪涛<sup>5)</sup> 孙党生<sup>5)</sup>

- 1) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2) 中国地质调查局, 北京 100011;  
3) 中国地质环境监测院, 北京 100081; 4) 中国地质图书馆, 北京 100083;  
5) 中国地质调查局水文地质工程地质技术方法研究所, 河北保定 071051

**摘要** 三峡库区移民迁建中发现的岩溶问题是一个重大工程地质问题。巫山县城翠屏小区是较早发现有确切岩溶证据的地方, 研究证实小区三叠系嘉陵江组灰岩普遍遭受了强烈的岩溶作用。不同部位具有不同的岩溶特点和强度, 在纵向上, 从山顶到坡脚岩溶作用有增强的趋势; 从地表向深部, 有局部强烈岩溶层位。岩溶作用在小区产生了顺坡或顺层延伸的溶洞和深部蜂窝状溶孔。岩溶作用在小区形成了脖颈状溶蚀槽地、槽状谷地、溶蚀台地和与地貌相关的“飞雁状”褶皱、岩溶正断层及帚状密集节理带。岩溶过程中伴随着其他外营力作用, 它们的相互耦合形成各种次生岩土体。岩溶轻则引起岩体质量降低, 重则可能导致地面不均匀沉降、地裂缝、滑坡、崩塌、泥石流及地面塌陷地质灾害。

**关键词** 岩溶; 地质灾害; 三叠系嘉陵江组; 巫山县; 三峡库区

中图分类号: P512.1; P694

文献标识码: A

文章编号: 1006-3021(2008)04-495-07

## The Catastrophic Karstification of the Foundation Limestone in Cuiping Area, Wushan County, Three Gorges Reservoir Region

ZHANG Jiagui<sup>1,3)</sup> YIN Yueping<sup>2)</sup> CAI Xiuhua<sup>4)</sup> LI Hongtao<sup>5)</sup> SUN Dangsheng<sup>5)</sup>

1) Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081; 2) China Geological Survey, Beijing 100011;

3) China Institute of Geo-Environmental Monitoring, Beijing 100081; 4) China Geological Library, Beijing 100083;

5) Institute of Hydrogeology and Engineering Geology Techniques, CCS, Baoding, Hebei 071051

**Abstract** Karstification recently discovered in the Three Gorges Reservoir region is a vital engineering geological problem. The reliable karst evidence was discovered early in Cuiping area, Wushan County, and the authors' investigation has revealed that the limestone of Triassic Jialingjiang Formation ( $T_{1j}$ ) in the area generally has suffered strong karstification. There are different features and intensities of karstification in different parts. Longitudinally, there exists intensifying tendency of karstification from the hill top to bottom, and from surface to the depth, there exists local strong karst layer. Many slope-parallel or layer-parallel caves near the surface and beehive-like dissolved holes in depth were generated by karstification in the area. Some karst landforms like neck-shaped karst trough, uvala between two gullies and dissolution tableland, and some structures in connection with the landform such as flying-geese-shaping folds, normal karst faults and brush-shaped close-spaced joint zones were also produced by karstification. The karstification accompanied other exogenous processes, and many types of secondary rockmasses and soils were generated together with the processes. Due to karstification, the quality of rockmass will drop gradually and, what is more, there might occur geo-hazards such as uneven subsidence, fissure, landslide, collapse, mud flow and cave-in.

**Key words** karst; geo-hazard; Triassic Jialingjiang formation ( $T_{1j}$ ); Wushan county; Three Gorges Reservoir region

本文由三峡移民开发局基金项目(编号:9707,9904)资助。

收稿日期:2007-07-13;改回日期:2008-05-08。责任编辑:刘志强。

第一作者简介:张加桂,男,1962年生,博士,研究员,从事构造和岩溶灾害研究;通讯地址:100081,北京市海淀区民族大学南路11号;电话:010-68482752;E-mail:jiagui62@sina.com。

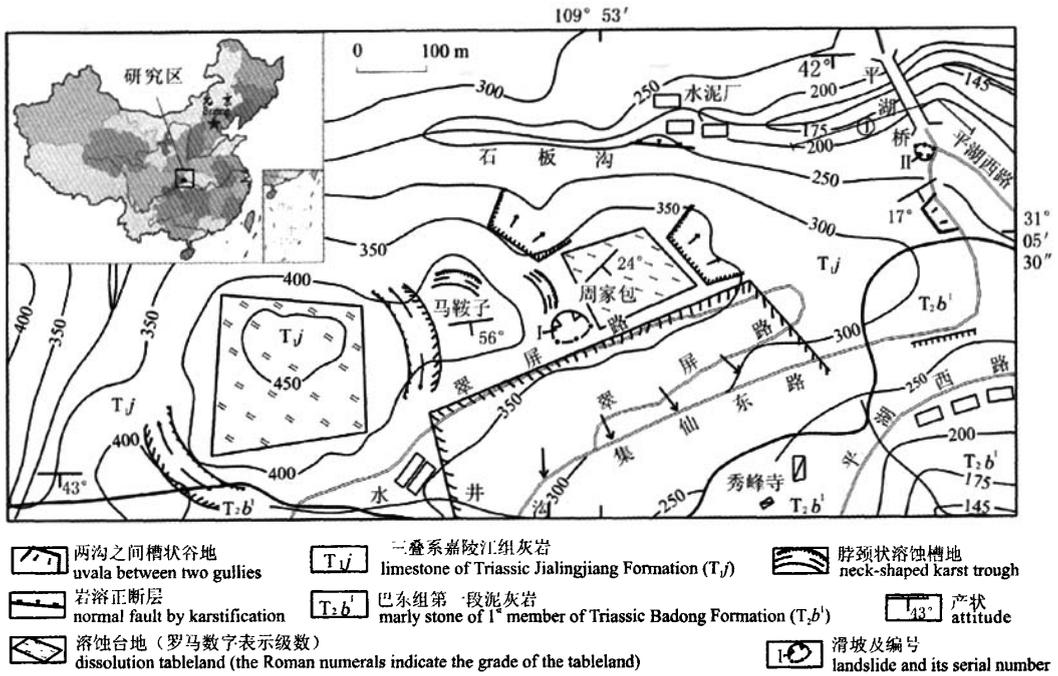


图1 三峡库区巫山县新城翠屏小区地质、地貌及滑坡分布图

Fig. 1 Plan of geology, geomorphology and landslide in Cuiping area, Wushan County town, Three Gorges Reservoir region

岩溶水文地质研究在我国已取得多方面进展(袁道先等, 1993), 岩溶工程地质研究也在工程实践中得到迅速发展(光耀华, 1998)。以前涉及的岩溶地质灾害问题主要是地面塌陷和沉陷(骆银辉等, 2005), 而对岩溶与其他地质灾害的联系研究较少。随着大规模工程建设的开展, 岩溶问题越来越多, 也越来越复杂, 需要我们开展岩溶与地质灾害关系的深入研究。

三峡库区滑坡等地质灾害成因机理研究一直是学术界关注的难点问题(吴树仁等, 2005), 但以前对库区岩溶与滑坡等地质灾害的关系还未引起足够的重视。翠屏小区位于三峡库区巫山县城东北部, 介于水井沟与石板沟(又名龙潭沟)之间, 是重要的居民居住区, 地基由三叠系嘉陵江组(T<sub>j</sub>)灰岩构成。小区是较早发现有确凿岩溶证据的地方, 1998年在小区北部周家包开挖新城管理委员会大楼地基时挖出了溶洞, 工程被迫停止, 补做勘探工作。我们以岩溶问题为着眼点, 开展了全面深入的研究, 取得了岩溶与地质灾害存在密切联系的认识。本文对这些认识做出总结, 以供小区和类似地区防治地质灾害参考。

### 1 地貌和地质环境

#### 1.1 地貌环境

小区位于长江北岸、县城西区北部, 距离长江约1.5 km, 距离东边的大宁河约1 km, 大宁河的支流石板沟(又名龙潭沟)从北侧通过(图1), 另有次级冲沟发育。河沟使小区岩体多面临空, 有利于岩体的卸荷和松动。

小区的山峰显示出岩溶的峰丛地貌特征, 最高峰海拔高464.3 m, 相当于区域内的第Ⅵ级地貌(田陵君等, 1996)。包括周家包在内的建筑区主要位于峰下斜坡地带和局部平坦台地区。

#### 1.2 区域构造环境

巫山县位于川鄂湘黔隆褶带北西缘, 川鄂湘黔隆褶带形成于燕山运动时期, 由一系列NNE-NE向褶曲组成, 巫山县城主要位于NEE向巫山箱状向斜内, 翠屏小区位于巫山向斜北西翼, 地层向南东倾斜, 倾角50°左右。

#### 1.3 嘉陵江组灰岩的原岩特性

小区地层岩性为三叠系嘉陵江组(T<sub>j</sub>)深灰色致密结晶灰岩, 取SR-K65样测得灰岩中CaCO<sub>3</sub>含量高达95.35%。灰岩坚硬致密, 在构造作用下断裂、破碎, 为岩溶作用提供了通道。小区南部边缘有三叠系巴东组一段(T<sub>2b</sub><sup>1</sup>)泥灰岩或泥灰岩产生的滑坡。

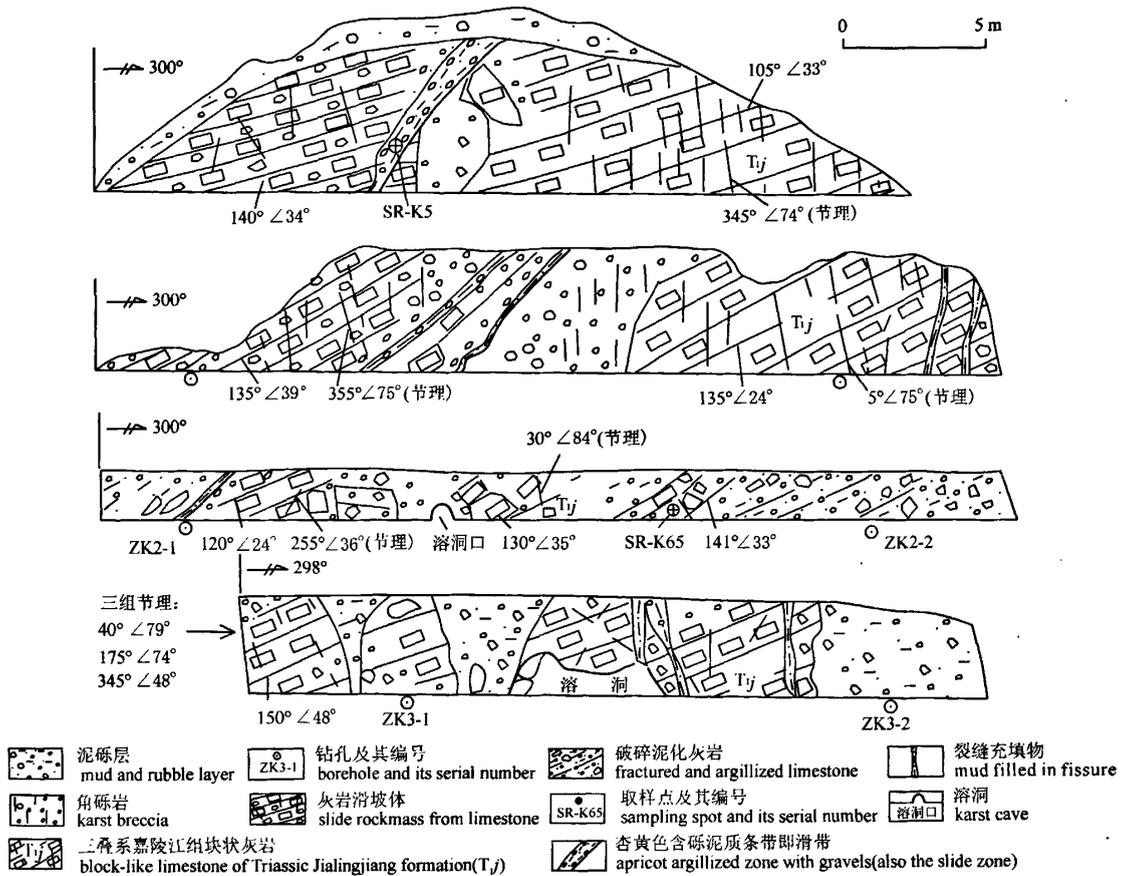


图2 巫山县翠屏小区周家包地基开挖剖面图

Fig. 2 Geological sections unveiled in Zhoujiabao foundation of Cuiping area, Wushan County town

## 2 岩溶空间特征

嘉陵江组(T<sub>j</sub>)灰岩遭受的岩溶作用普遍而强烈,岩溶格局复杂,不同的地貌部位具有不同的岩溶特征。

### 2.1 山峰地带岩溶特征

在山顶观察到的主要是地表岩溶,为灰岩溶蚀后留下的孔隙岩体,质地坚硬,溶蚀裂缝非常发育,透水性好。稍低处的陡坡地带槽谷内有岩溶水中CaCO<sub>3</sub>成分结晶形成的钙华层,取样测得CaCO<sub>3</sub>含量为90.35%,并见顺坡倾的灰岩遭受顺层水流溶蚀作用形成层间溶洞,这种溶蚀作用顺坡增强,因此低处溶洞渐宽,溶洞上部岩层在重力作用下发生弯曲。局部有钙质沉淀结晶形成顺层方解石脉。

### 2.2 斜坡地带岩溶特征

总体来说,斜坡地带的岩溶作用比山峰的强烈,面积比山峰大,可分为不同方位。翠屏小区主要占

用了斜坡地带的东北部和东南部。

#### 2.2.1 东北坡周家包周围岩溶特征

东北坡上部坡角较缓,顺坡有多个槽状谷地。其中新城管理委员会周家包地基位于东北坡较高处,1998年地基开挖发现溶洞。

周家包地基海拔高程在360m左右,相当于区域内的第V级地貌。地基灰岩产状与山顶有所不同,比山顶缓。

地基发育多处溶洞,其中最大的一处在地基第二级平台上(紧邻钻孔2线剖面),溶洞走向为80°,长6m,宽4m,最大高度1.5m,体积约35m<sup>3</sup>(包括洞口)。洞内有石钟乳、石幔、石瀑布、石笋和石柱。溶洞是受与坡面近于平行的地下水流层的岩溶作用产生的。

地基开挖出了4层剖面(图2)。其中,顶部剖面位于西边最高处,另外3条剖面分别紧邻3条钻孔剖面线,从上至下分别称为钻孔1线、2线和3线

剖面。

4 条剖面的岩体结构表现为越向边坡岩溶越强烈,岩体越破碎。在钻孔 3 线剖面有岩溶塌陷形成的楔形堆积体。靠 SE 侧边坡有小滑坡,滑体原岩是灰岩,所遭受的岩溶作用比下部滑床强烈,特别是靠顶部的灰岩风化后呈褐红色;滑带为角砾岩和杏黄色、黄绿色泥质条带,角砾岩呈透镜状分布,经历了多次溶蚀胶结,杏黄色泥质条带有片理化、擦痕,在条带中取 SR-K5 样进行了测试分析。

长江水利委员会第九工程勘测院(2000)在此施钻了 6 个勘探孔,深孔为 40 m,我们对岩芯进行了研究。岩芯普遍较破碎,普遍存在蜂窝状溶孔(图 3)。岩溶蚀作用随深度具有不均匀性,在地下 9~13 m 左右有一强岩溶层位。在 4 个深孔中进行了孔间地震 CT 测试。测试表明,岩体的声波速度在 0.71~3.40 km/s 之间,声波速度小于 3.0 km/s 的岩体占 95%,小于 2.0 km/s 的岩体占 70%,小于 1.0 km/s 的岩体约占 20%。声波图像复杂,相邻剖面的图像不一致,说明岩体中孔隙和小溶洞非常发育。

周家包 NW 侧和 NE 侧灰岩岩溶更为强烈。NW 侧是槽状谷地,谷地中有岩溶产生的褐红色泥砾层。NE 侧是泥砾层和白色钙华层。

### 2.2.2 东南坡岩溶特征

东南坡呈一倾向 SSE 的宽阔槽状谷地形态,为顺向坡。在纵向上,坡地高处岩溶作用稍弱,低处岩溶作用增强导致岩体松散、破碎;在横向上,槽状谷地中部岩溶作用强烈,两侧稍弱。在此开挖出了翠屏路和集仙东路两条 3 层公路,形成 3 条剖面。

剖面中部槽状谷地出露黄绿色角砾层、黄绿色含角砾砂土层,具有残坡积性质(张加桂,2005a),局部有灰岩反复溶蚀胶结形成的强烈破碎岩溶角砾岩或灰岩溶蚀后垮塌形成的“悬浮状”巨型碎屑块体,块体中夹有方解石结晶形成的石帘。剖面顶部有坡积的暗褐色膨胀土(张加桂等,2001)。残坡积松散层主要是上部灰岩发生岩溶后受雨水的搬运堆积于坡下的,其中泥质含量高,遇水易泥化,1998 年夏季在雨水冲刷下普遍发生泥石流。

### 2.3 坡脚平湖桥南头周围岩溶特征

平湖桥横跨石板沟,南头是周家包地基向下的延伸部分。1998 年桥基开挖出小溶洞后,对桥基开展了详细勘查。我们结合勘查工作对桥周围做了详细研究。

#### 2.3.1 桥面以上岩溶特征

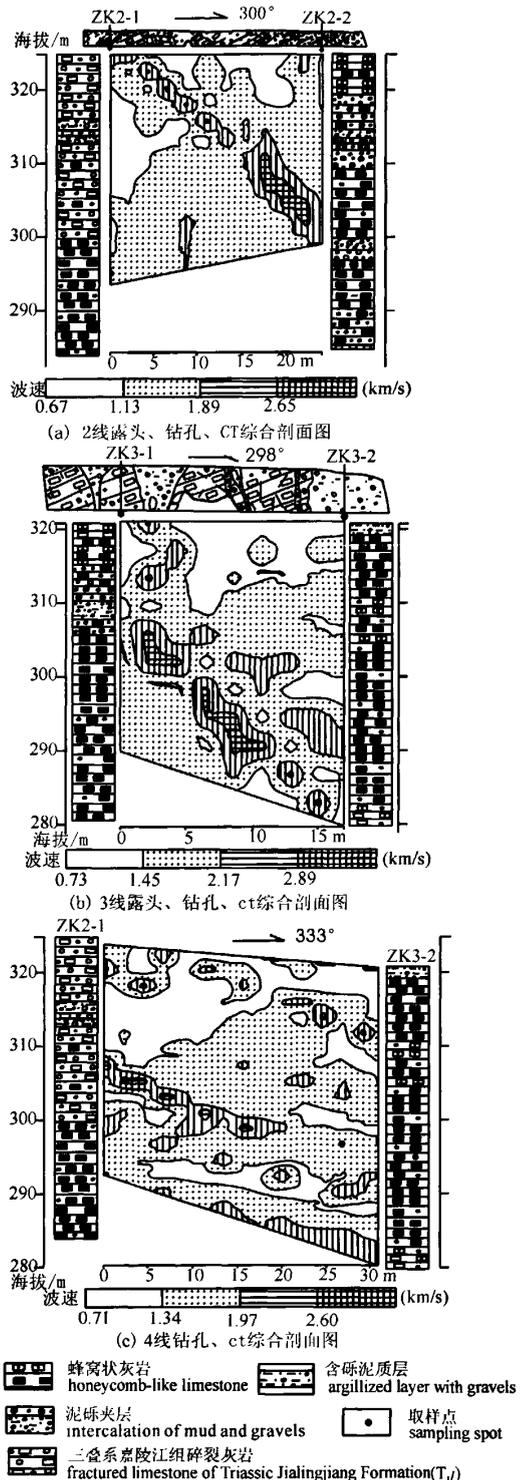


图 3 巫山县翠屏小区周家包地基钻孔与 CT 综合剖面图  
Fig. 3 Comprehensive sections of bore holes and topography in Zhoujiabao foundation of Cuiping area, Wushan County town

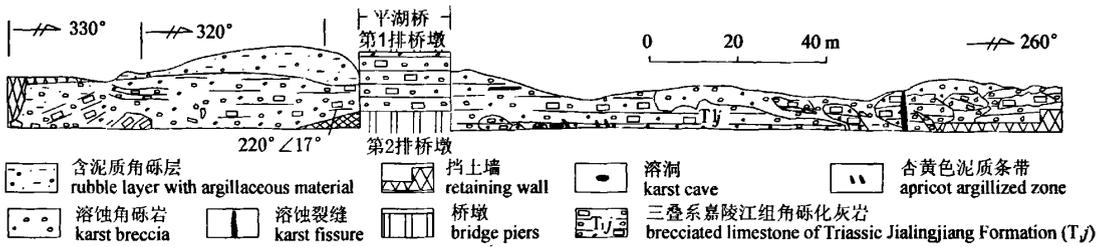


图4 巫山县平湖桥基及两侧剖面图(剖面位置见图1①)

Fig. 4 Section of geology on the foundation of Pinghu bridge and its two sides, Wushan county(for section line see Fig. 1①)

平湖桥桥面高程250 m。与斜坡地带相比,这里的坡度陡,对雨水的排泄迅速,加上SE段顶部有泥灰岩覆盖,总体岩溶程度稍低。岩体以破碎、角砾岩化为特征(张加桂,2005a),

局部有黄绿色泥质条带呈背斜形态,由于条带具有隔水作用,其下岩体较完整。在岩溶作用强烈的部位发育槽状谷地和与其相关帚状密集节理。在靠近桥头的边坡,发育有浅黄色、桔黄色角砾层,并有局部小滑坡。

### 2.3.2 桥面以下岩溶特征

桥面以下具有复杂的岩溶格局。跨桥基的开挖剖面显示(图4),桥基位于石板沟由宽变窄的峡谷口。峡谷口外(即桥基以东)地形相对开阔,汇水量大,因此岩溶作用使灰岩强烈破碎、泥化,剖面出露强烈角砾化岩体,剖面底部是黄褐色角砾岩。平湖桥建基面为黄色、褐黄色角砾化岩体。桥基以西岩体相对完整,为胶结较好的角砾化灰岩,其中节理、裂隙发育,沿节理、裂隙面形成小溶洞或短小的泥质条带。

在距离剖面东端不远处挡墙下部有泉水点(张加桂,2005b),说明越向低处地下水汇集量越大。在距离剖面西端不远处的水泥厂南边,沿冲沟方向有断层发育,断面呈弧形,上有凹坑、擦痕、阶步,指示断层具正断性质,沿断层方向向两边追溯均未见断层迹象,它可能是溶蚀沉降形成的局部断层。

冲沟下部是地下水最丰富的地带,即岩溶作用最强烈的地带,平湖桥基开挖出的溶洞和上述的断层便是佐证,另外钻孔资料也说明了这一点。平湖桥南头第三排墩脚下打有深40 m的钻孔,从上到下岩芯破碎,遭受的岩溶作用比周家包岩芯的强烈,泥质含量高,蜂窝状溶孔发育。

## 3 岩溶作用规律性

由上可知,小区灰岩岩溶强烈,岩体结构复杂多

变,但仍有其规律性。

小区岩溶具有广泛性,地表、开挖剖面和钻孔中均存在,地表以下40 m也有强烈的岩溶作用。岩溶的总体趋势是,从山顶到坡下,由于地下水不断汇集,相同埋藏深度的灰岩岩溶程度逐渐增强。从地表向深处,岩溶的总体趋势是由强变弱,但由于地下水流的不均匀性,有局部强烈岩溶层位。

小区发育有3种微型岩溶地貌(张加桂,2002)(图1)。其中脖颈状岩溶地貌位于翠屏小区高处山头与山头之间。两沟之间槽状谷地在翠屏小区普遍发育,最宽的谷地位于翠屏路与集仙东路一带。溶蚀台地有两级,低台地位于周家包,它是在地表和地下岩溶的共同作用下形成的;高台地位于西南部顶峰。这3种地貌存在着密切联系,3种地貌发育处都是强烈岩溶区。

岩溶作用还形成了表生构造(张加桂等,2003),如“飞雁状”褶皱、溶蚀断层和帚状密集节理带。“飞雁状”褶皱与两沟之间槽状谷地相辅相成,即槽谷部位是向斜,两边是背斜。岩溶作用使CaCO<sub>3</sub>成分流失,形成架空层位,上部岩层在重力作用下下沉产生断层,这在冲沟边缘很常见,说明冲沟下部有强烈岩溶作用。若岩溶形成了松动区,旁侧岩体受到牵引向松动区推移,则形成帚状密集节理带。

岩溶作用产生溶洞,小区的溶洞具有顺坡性和顺层性。在深部,岩溶作用产生蜂窝状溶孔,这是因为翠屏小区山体四面临空,潜水面低,潜水面之上岩体中仅存分散的裂隙水和孔隙水,它们的岩溶作用便产生蜂窝状溶孔。

在灰岩溶蚀过程中伴随着风化作用,最普遍的风化是灰岩中FeO变为Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,使岩石的颜色发生复杂的变化。岩溶、风化、重力和水流搬运作用相互耦合作用形成各种次生岩土体。

## 4 岩溶引起的地质灾害危险性

对于翠屏小区而言,灰岩岩溶过程也是地基变形破坏的过程,即地质灾害发育的过程。岩溶轻则引起岩体强度降低,重则导致地面不均匀沉降、地裂缝、滑坡、崩塌、泥石流及地面塌陷地质灾害。

### 4.1 岩溶引起的岩体强度降低

随着岩溶作用引起的灰岩  $\text{CaCO}_3$  含量降低,泥质成分的富集,岩体结构和质量会发生不断变化,岩体会由块状结构变为层状碎裂结构直至散体结构,岩体质量会由好变坏,岩石的力学强度也随之降低。

在周家包取有深灰色灰岩 SR-K65 样,其中  $\text{CaCO}_3$  含量高达 95.35%,岩石力学强度高,弹性模量( $E = 18 \text{ GPa}$ )、声波速度( $V_p = 5.720 \text{ km/s}$ 、 $V_s = 3.107 \text{ km/s}$ )、动弹性模量( $E_d = 68.2 \text{ GPa}$ )和动剪切模量( $G_d = 26.2 \text{ GPa}$ )均居所有测试结果之首,单轴抗压强度( $P = 91.7 \text{ MPa}$ )也很高,内聚力( $C = 6.4 \text{ MPa}$ )和内摩擦角( $\varphi = 45.9^\circ$ )均很大,因此深灰色灰岩在未遭受岩溶时是高强度的岩石。而遭受了岩溶的蜂窝状浅灰色灰岩的强度却大大降低,在 ZK3-2 中取 SR-K72 样测试表明,岩石单轴抗压强度( $P = 18.1 \text{ MPa}$ )仅原岩的 1/5,弹性模量( $E = 6.80 \text{ GPa}$ )只有原岩的 1/3,在 ZK3-2 中取 SR-K64 样测试表明,声波速度( $V_p = 3.550 \text{ km/s}$ 、 $V_s = 1.874 \text{ km/s}$ )明显降低,动弹性模量( $E_d = 20.1 \text{ GPa}$ )和动剪切模量( $G_d = 7.7 \text{ GPa}$ )均只有原岩的 1/3。孔间地震 CT 测试表明,岩体的声波速度在  $0.71 \sim 3.40 \text{ km/s}$  之间,对比 SR-K65 样的声波速度  $V_p = 5.720 \text{ km/s}$ ,其速度大为降低,从而可以推测岩体的强度也大大降低。

### 4.2 地面不均匀沉降和地裂缝

由于灰岩中  $\text{CaCO}_3$  的溶蚀,导致软弱层、裂缝、溶孔和溶洞发育,在重力作用下,岩体会发生变形,这种变形是不均匀的,它会导致地面不均匀沉降。岩溶形成的脖颈状岩溶地貌、溶蚀台地、槽状谷地和与槽状谷地相关的“飞雁状”褶皱、岩层弯曲倾倒是地质时期不均匀沉降的显示。

强烈的不均匀沉降会引起地裂缝,特别是岩溶由强变弱的转折地带(包括冲沟边缘)是最容易产生地裂缝的地带,滑坡和岩溶塌陷初期往往表现为地裂缝发育。

地面不均匀沉降和地裂缝会带来地下和地表建筑设施的变形破坏,特别是桥路连接处易发生变形。

### 4.3 滑坡、崩塌和泥石流

岩溶作用产生深部泥质条带,上部岩体可能沿

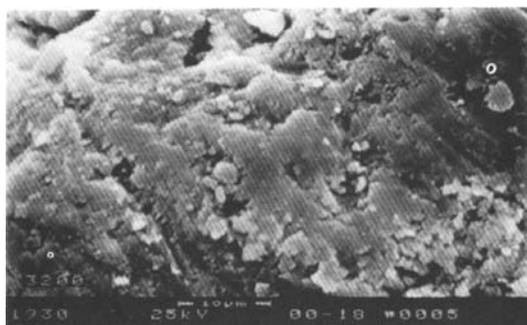


图5 巫山县周家包杏黄色泥质条带扫描电镜照片  
Fig. 5 SEM photo of apricot argillized zone in Zhoujiabao, Wushan county

条带发生滑坡。以周家包发育的杏黄色泥质条带为例,它是滑坡的滑带,取有 SR-K5 样,扫描电镜下见其中有剪切面存在(图5),剪切面上有阶步、微细擦痕,样品中的粘土矿物受挤压后平行于剪切面排列,剪切面上有非晶质的游离氧化物薄膜,并有分散高岭石,测试得出  $\text{CaCO}_3$  含量仅 6.66%,蒙脱石含量高(19.41%),比表面积大( $183.83 \text{ m}^2/\text{g}$ ),残余摩擦系数小( $\phi_r = 12.7^\circ$ )。

岩溶作用与其他外力相耦合还形成了大量松散堆积层,松散层极易沿基岩面发生滑坡,特别是膨胀土更易发生滑坡。小区可能发生滑坡的地带有周家包西侧边坡,翠屏路上层膨胀土分布区。

构造控制下的岩溶作用使边坡岩体成为松散块体,崩塌地质灾害易于发生。随着高切坡的大量产生,崩塌灾害日趋严重。将来可能发生崩塌的地带有翠屏路上层、平湖桥南头高切坡以及其它高切坡地带。

大量的松散角砾层在水流作用下易发生泥石流,特别是边坡开挖破坏了松散层的稳定性,如在 1998 年雨季,翠屏路下层和集仙东路路壁发生泥石流,掩埋排水沟和公路等。可能发生泥石流的地带主要是翠屏路和集仙东路所在的东南山坡槽状谷地内。

### 4.4 地面塌陷

地面塌陷是因为岩溶作用在某些部位非常强烈,使岩体架空或形成地下溶洞、孔穴,上部岩体在重力作用下发生地面塌陷。虽然周家包溶洞已经堵塞,但不排除小区有小型塌陷发生。

## 5 防治措施探讨

与三峡库区的其他易滑地层相比,虽然嘉陵江

组(T<sub>j</sub>)灰岩遭受的岩溶作用强烈,但由于灰岩的抗风化能力较强,又不易形成连续的软弱滑动面,因此滑坡等地质灾害体的规模相对较小,而且翠屏小区临空条件较好,水流排泄较通畅,因此不存在大规模的滑坡等地质灾害体。但我们决不能放松对普遍发育的小规模地质灾害体的防治。

由以上地质灾害危险性分析可知,防治小区地质灾害的首要措施应该是防止水向地基的入渗,包括建筑区外山顶水的入渗。要经常查看供水管线是否有破裂漏水情况,下水道是否有泄漏和堵塞情况,边坡和地基是否有涌水情况,对这些情况应及时分析处理。要经常查看建筑物是否有变形或开裂,遇到这种情况应请熟悉情况的地质人员来布置处理工作。开展小区的地质灾害监测,控制小区的建设规模、限制高层建筑,加强对平湖桥通行的管理,设定超载限行重量。

### 参考文献

- 长江水利委员会第九工程勘测院. 2000. 巫山新城翠屏小区周家包统建房岩土工程勘察报告[R].
- 光耀华. 1998. 岩溶地区工程地质研究的若干新进展概述[J]. 中国岩溶, 17(4): 378~384.
- 骆银辉, 张成亚. 2005. 浅析岩溶地质危害及其勘察方法[J]. 地球与环境, 33(增刊): 535~537.
- 田陵君, 李平忠, 罗雁. 1996. 长江三峡河谷发育史[M]. 成都: 西南交通大学出版社.
- 吴树仁, 韩金良, 石菊松, 张永双, 何锋, 董诚. 2005. 三峡库区巴东县城附近主要滑坡边界轨迹分形分维特征与滑坡稳定性关系[J]. 地球学报, 26(5): 455~460.
- 袁道先, 朱德浩, 翁金桃, 朱学稳, 韩行瑞, 汪训一, 蔡桂鸿, 朱远峰, 崔光中, 邓自强. 1993. 中国岩溶学[M]. 北京: 地质出版社.
- 张加桂, 曲永新. 2001. 三峡库区膨胀土的发展和研究[J]. 岩土工程学报, 23(6): 724~727.
- 张加桂. 2002. 泥灰质岩石区几种岩溶地貌形态及成因探讨——以三峡地区为例[J]. 地质科学, 37(3): 42~49.
- 张加桂, 陈庆宣, 蔡秀华. 2003. 三峡地区泥灰质岩石中几种表生构造及其与地质灾害的关系[J]. 中国地质, 30(3): 320~324.
- 张加桂. 2005a. 三峡库区泥灰质岩石的变形机理及地质灾害危险性研究[M]. 北京: 地质出版社, 58~64.
- 张加桂. 2005b. 三峡地区泥灰质岩石斜坡带岩溶作用及其对工程稳定性的影响[J]. 地球学报, 26(6): 565~569.
- 9th Team of Engineering Exploration of Hydro Conservancy Committee of Yangtze. 2000. Report on geo technical exploration to the foundation of gathering buildings in Zhoujiabao, Cuiping area, newly built Wushan county (in Chinese) [R].
- GUANG Yaohua. 1998. An introduction to the progress of the geological engineering researches in karst regions [J]. Carsologica Sinica, 17(4): 378~384 (in Chinese with English abstract).
- LUO Yinhui; ZHANG Chengya. 2005. Discussion on karst endangerment and the investigation [J]. Earth and Environment, 33 (Supp.): 535~537 (in Chinese with English abstract).
- TIAN Lingjun, LI Pingzhong, LUO Yan. 1996. Developmental history of Yangtze Gorges [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Publishing House (in Chinese).
- WU Shuren, HAN Jinliang, SHI Jusong, ZHANG Yongshuang, HE Feng, DONG Cheng. 2005. A study of the relationship between landslide stability and fractal dimension of the major landslide trace pattern near Badong in the Reservoir Region of the Yangtze Gorge Project [J]. Acta Geoscientia Sinica, 26(5): 455~460 (in Chinese with English abstract).
- YUAN Daoxian, ZHU Dehao, WENG Jintao, ZHU Xuewen, HAN Xingrui, WANG Xunyi, CAI Guihong, ZHU Yuanfeng, CUI Guangzhong, DENG Ziqiang. 1993. Karst of China [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- ZHANG Jiagui, QU Yongxin. 2001. Research on expansive soils in Three-Gorge Reservoir region [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 23(6): 724~727 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Jiagui. 2002. Types of karst landform in mud limestone terrain and their genesis—a case study from Three Gorge region [J]. Chinese Journal of Geology, 37(3): 42~49 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Jiagui, CHEN Qingxuan, CAI Xiuhua. 2003. Some supergene deformation structures in marly limestone in the Three-Gorges region and their relation to geohazards [J]. Geology in China, 30(3): 320~324 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Jiagui. 2005a. The deformation mechanism and geohazard danger within marly stones in Three Gorges Reservoir region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 58~64 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Jiagui. 2005b. Karst process and its impact on construction stability of the slope terrain within muddy limestone in the Three Gorges region [J]. Acta Geoscientia Sinica, 26(6): 565~569 (in Chinese with English abstract).