维普资讯 http://www.cqvip.com

第34卷第4期 中 国 地 质 Vol.34,No.4
2007年8月 GEOLOGY IN CHINA Aug.,2007

三峡库区巫山县城二郎庙小区岩溶引起的地质灾害危险性研究

张加桂[1,3] 殷跃平[2] 蔡秀华[4] 陈 波[5]

(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;
5.四川省蜀通岩土工程公司,四川 成都 610041)

提要: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。巫山县新城二郎庙小区是地质灾害监测预警示范区,那里的三叠系嘉陵江组灰岩在特殊的气候、水文和地质环境下遭受了强烈的岩溶作用,岩体结构变得非常复杂,完整的灰岩变为层状碎裂岩体、岩溶角砾岩、泥质条带和残坡积角砾层。不同的地貌部位具有不同的岩溶特点和强度,总体规律性是由西向东、剖面下部至上部岩溶作用增强,其中陡坡下地形由陡变缓的转折地带和冲沟下部是岩溶作用最强烈的地带。岩溶作用形成了各种微地貌和特殊的岩体组合格局。岩溶导致岩体的力学强度和稳定性不断降低,加上其他自然因素和人为因素作用可能产生地面不均匀沉降、地裂缝、滑坡、崩塌、泥石流和地面塌陷地质灾害,这些问题必须在移民迁建以及将来城镇运行过程中引起高度重视。

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 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-3657(2007)04-0702-08

岩溶研究在中国水文地质和工程地质工作中有着极其重要的作用,随着工程建设的迅速发展,岩溶地区的工程地质研究显得越来越重要[1-2]。由于工程建设质量的首要性和岩溶地区地质问题的复杂性,岩溶地区工程地质问题往往是具有挑战性的问题。

二郎庙小区位于巫山县新城东北部,介于大宁河与石板沟(又名龙潭沟)之间,是重要的居住区。小区地基由三叠系嘉陵江组(T_1j)灰岩构成。以前没有认识到嘉陵江组灰岩的工程地质问题。随着地基和公路边坡开挖,小区的工程地质问题逐渐显现,引起了各方面的担忧。2003年在该区的中部向家沟两侧布设了10个地质灾害监测点[3],以进行地质灾害监测预警示范研究。但据反映,目前对该区地质体的变形机理仍不清楚。1999年,笔者对小区开展了地质调查,对小区的开挖剖面进行了全面测绘,分析认为该区具有非常突出的岩溶问题,地质体的变形与岩溶有关,它严重威胁着建筑工程的安全。笔者对该区岩溶引起的地质灾害危险性作一些探讨,以供地质灾害监测预警和小区地质灾害防治参考。

1 小区气候、地貌和地质环境

1.1 区域气候特征

三峡地区属于亚热带湿润季风气候,雨水丰沛。据当地气象台资料,多年平均降雨量为1 049.3 mm。据测定[4],雨水呈酸性,pH值为6.17,方解石的饱和指数(SI)为-3.54,雨水处于强烈的方解石非饱和状态,具有强烈的溶蚀性。

1.2 小区地貌环境

小区位于长江北岸,距离长江2 km,长江的支流大宁河从东侧通过,大宁河的支流石板沟(又名龙潭沟)从南侧通过,中间NW向的向家沟将小区分成两部分(图1)。河沟的切割作用使岩体多面临空,有利于岩体的卸荷和松动。

小区发育三级台地。最高的一级位于西北部石榴山,海拔高610~660 m;第二级位于四马草坪和土地庙村北边,海拔高360 m;最低的一级位于向家沟两侧,海拔高250 m。前人[5]认为三级台地是区域夷平面或阶地,笔者认为它们是溶蚀台地。

收稿日期:2006-10-25;**改回日期**:2007-01-17

基金项目:三峡移民开发局基金项目(9707,9904)资助。

作者简介:张加桂,男,1962年生,博士,研究员,从事构造和地质灾害研究;E-mail:jiagui62@sina.com。

维普资讯 http://www.cqvip.com

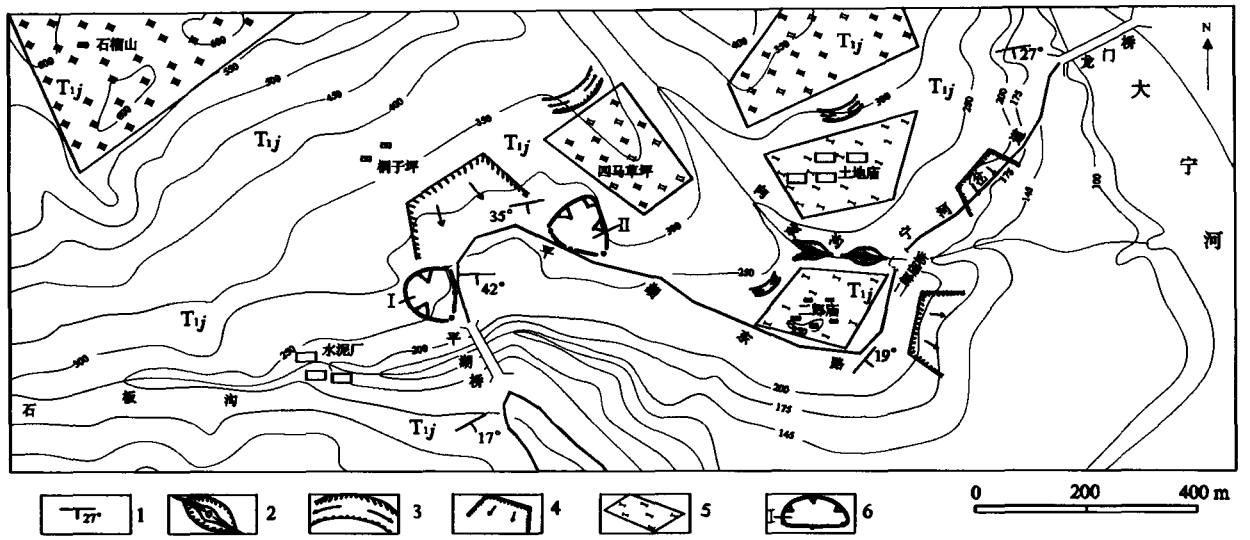


图 1 三峡库区巫山县新城二郎庙小区地层、地貌及滑坡分布图

T_1j—三叠系嘉陵江组灰岩;1—产状;2—漏斗状溶蚀凹地;3—脖颈状溶蚀槽地;4—两沟之间槽状谷地;5—溶蚀台地(罗马数字表示级数);6—滑坡及编号

Fig.1 Distribution of strata, geomorphologic features and landslides in the Erlangmiao area, Wushan County, Three Gorges reservoir region.

T_1j–Limestone of the Triassic Jialingjiang Formation; 1–Attitude; 2–Funnel-shaped karst depression; 3–Neck-shaped karst trough; 4–Uvala between two gullies; 5–Dissolution tableland (the Roman numerals indicate the orders of tablelands); 6–Landslide and its number

1.3 区域构造环境

在区域构造上，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期，由一系列 NNE-NE 向褶曲组成，褶曲构造为长轴状、梳状、箱状背斜和向斜，巫山县城主要位于 NEE 向巫山箱状向斜内，县城北侧为 NEE 向罗门背斜。二郎庙小区位于巫山向斜内，靠近罗门背斜的转折部位，岩石所遭受的构造破碎强烈。

1.4 嘉陵江组灰岩的原岩特性

嘉陵江组（T_1j）灰岩是该区的主要地层岩性，灰岩的 $CaCO_3$ 含量达 95%以上，坚硬致密，在构造作用下断裂发育，岩石破碎，加上后期卸荷、松动，岩溶通道发育。

2 溶蚀灰岩的岩体结构特征

溶蚀是岩溶作用的一种表现形式。二郎庙小区灰岩遭受溶蚀后，岩体结构发生了普遍的变化，但不同的部位具有不同的结构特征。

2.1 山地及其陡坡地带岩体结构

山地高处汇水面积小，岩溶作用较弱，而且周围有陡坡，一旦产生松散物质，坡上面流就会将松散物质带走，因此山地和陡坡地带的岩体遭受的溶蚀较弱，岩体结构较完整。

笔者对巫山县龙井乡石榴二组作了调查。调查表明，石榴山顶部平坦，表面残留有岩溶形成的灰色、黄褐色角砾层，岩溶作用导致岩体中裂缝发育，据山民介绍，山顶蓄水池无法蓄水，这可能与岩体裂缝有关。靠近山顶的山坡坡度较陡，36°左右，冲沟不发育，岩体结构较完整。以 400 m 高度为界，其下岩溶作用增强，岩体变得破碎，松散堆积物增多，而且地形变得复杂，显凹凸不平状，突出部分呈峰丛状。分界处出现陡崖，崖壁上有溶洞出露，有钙华层。

石榴山下 360 m 高度是第二级台地所处的高程，局部有较平坦的地形，如四马草坪、桐子坪和土地庙村北边。在四马草坪北坡的开挖剖面表明，岩体较破碎，并风化成为黄绿色，顶部有厚 1~2 m 的残坡积灰白色、棕褐色角砾层。桐子坪则主要由松散的坡积物构成。土地庙村北边边坡岩体呈块状，块体 1~1.5 m，表皮风化为褐黄色，松动、架空、泥质充填，顶部有薄层棕红壤，有宽达 5 m 的溶洞，洞中有小型石钟乳

2.2 公路边坡的岩体结构

从平湖桥北头向东，在 250 m 高程开挖有平湖东路环绕沟边、连接宁河岔道、通向龙门大桥、在宁河岔道高程降低。公路边坡的地质剖面测绘是本文所作分析的主要着眼点。边坡岩体结构具有分段性，具体如下。

2.2.1 平湖桥头段

位于石榴山南坡下部，是公路大拐弯段，开挖范围大，边坡高陡，岩体结构在横向上具有分段性，纵向上具有分层性（图 2）。

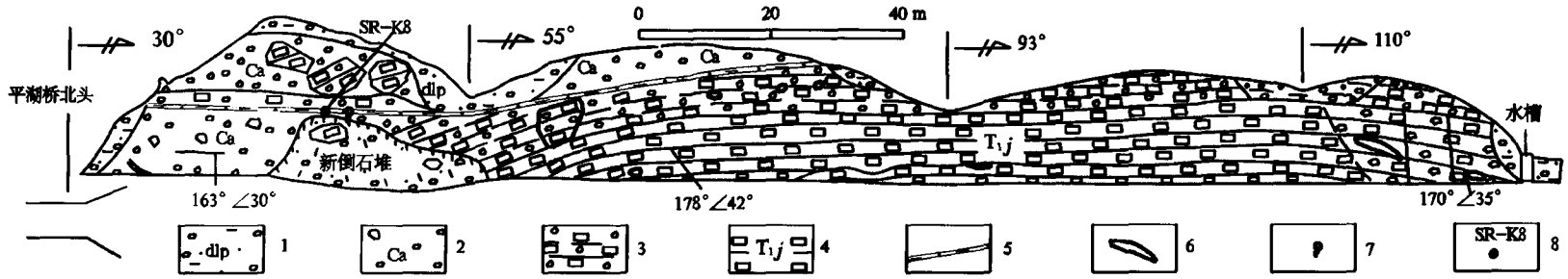


图 2 巫山县平湖东路平湖桥北头—四马草坪段开挖剖面图

1—含泥质角砾层(dlp 表示坡洪积成因);2—岩溶角砾岩(Ca 表示钙质胶结);3—三叠系嘉陵江组破碎灰岩;4—三叠系嘉陵江组完整灰岩;5—含砾泥质条带;6—透水点分布区;7—泉水点;8—取样点及其编号

Fig.2 Geological profile from the north head of the Pinghu bridge to Simacaoping along the Pinghudong Road, Wushan County

1-Argillaceous rubble layer (dlp means eluvial-diluvial origin);2-Karst breccia(Ca means calcareous cementation);3-Fractured limestone of Triassic Jialingjiang Formation;4-Massive limestone of Triassic Jialingjiang formation;5-Argillized zone with gravel;6-Water outlet area;7-Spring spot;8-Sampling site and its number

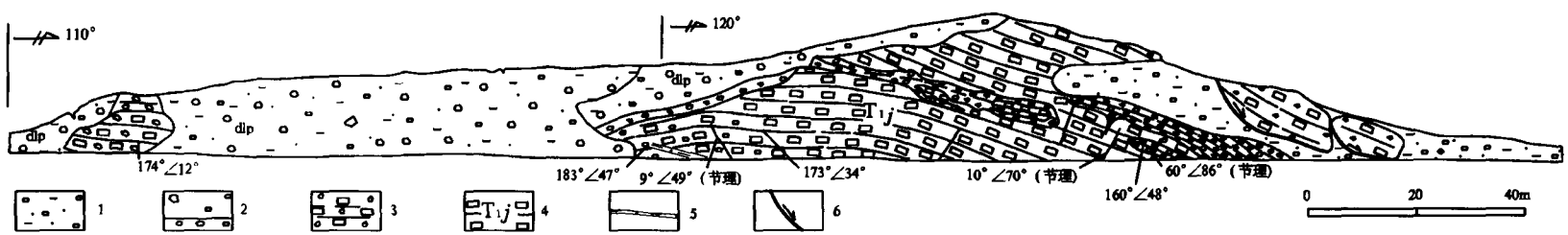


图 3 巫山县平湖东路四马草坪—二郎庙西头段开挖剖面图

1—含泥质角砾层(dlp 表示坡洪积成因);2—岩溶角砾岩;3—三叠系嘉陵江组破碎灰岩;4—三叠系嘉陵江组完整灰岩;5—含砾泥质条带;6—滑动面

Fig 3 Geological profile from Simacaoping to Erlangmiao West along the Pinghudong Road, Wushan County town

1-Argillaceous rubble layer (dlp means eluvial-diluvial origin);2-Karst breccia;3-Fractured limestone of Triassic Jialingjiang formation;4-Massive limestone of Triassic Jialingjiang Formation;5-Argillized zone with gravel;6-Sliding plane

维普资讯 http://www.cqvip.com

维普资讯 http://www.cqvip.com

在横向上,剖面两头靠近开挖前的自然边坡,岩溶作用强烈,岩体破碎、角砾岩化,平湖桥头岩溶作用最强,角砾岩化宽度达 40 m。另外,在平湖桥桥基开挖中发现沟谷底部有小型溶洞,说明越向沟底岩溶作用越强烈。剖面中部灰岩呈宽缓的背斜形态。

在纵向上,从下至上岩溶作用增强,具体如下。

下部岩体完整,为深灰色厚层状灰岩,节理不发育,仅局部溶蚀导致灰岩破碎,有的地方有零散的透水孔。

中部为薄层状灰岩,层理因溶蚀而显现,同一层位在某些段为厚层状,在某些段为薄层状,薄层中又有细微层理显现,风化后为浅灰色,向上局部变为棕红色,破碎程度增高,并有零散的透水孔。

上部遭受的岩溶作用最强。西段上部是滑坡,滑体是反复溶蚀-胶结形成的黄绿色、肉红色岩溶角砾岩。滑带是黄绿色、灰绿色夹黄褐色含砾泥质条带,条带中有次圆状燧石砾石,从带中取泥样 SR-K8 分析表明,泥质中 1.0 mm 以下的颗粒占 76.60%,在 0.9 mm 以下的颗粒中,液限、塑限和塑性指数均较低(塑性指数为 10%~17%,属于粉质粘土类),X-射线衍射方法测得粘土矿物中滑石(Ta)和伊利石(I)含量高,蒙脱石(S)含量较低,且有少量蒙脱石与绿泥石混层矿物,比表面积较小(66.06 m^2/g),因此其易滑性不强,但滑带之上有厚 2 m 的透水带,水对滑带的浸泡使滑带抗滑强度降低。

2.2.2 四马草坪边坡段

可分为三小段(图 3)。

中段有一采石场,岩体完整,灰岩呈背斜形态,岩溶作用也有从下至上增强的特点,下部为深灰色厚层状灰岩,向上部灰岩层理变得模糊,裂隙、洞孔、钙华层发育,局部有顺层的棕红色角砾岩透镜体。

东段是四马草坪的东坡,岩溶作用增强,有局部小滑坡,以杏黄色泥化条带为滑带。

西段发育有灰岩溶蚀后经流水搬运沉积的坡洪积物,岩性为褐红色角砾层,厚度大于 16 m,具有透水性,雨季有泉水出露,由于角砾层中泥质具有膨胀性和易滑性,在 1998 年雨季发生变形,在坡洪积层后缘出现裂缝,因此前人认为它是滑坡。

2.2.3 二郎庙村所在边坡段

岩体结构可分为上、中、下 3 层(图 4)。

上层普遍发育褐红色角砾层,厚度 2~3 m。中层溶蚀程度相对较轻,岩体相对完整,为薄层状破碎灰岩,层厚 3~15 cm,节理发育,将岩体切割成 10 cm 以下的块体,表皮风化成黄褐色,裂隙中有红土充填,层中有揉皱,产状不稳定,以缓倾角为主,不均匀溶蚀形成了局部透水点和杏黄色泥质条带。下层溶蚀程度增强,为褐红色、黄绿色角砾岩,透水性强,透水处岩石呈褐红色,岩溶作用导致岩石破碎、泥质含量增高。

这种 3 层结构反映了雨水的运移和岩溶特征,即雨水除了产生浅部岩溶作用外,还向深部下渗,并以一定的水力坡度向周边流动,溶蚀深部灰岩。这便是下层岩溶作用增强的原因。

2.2.4 宁河岔道段

位于土地庙村东南边缘,是顺大宁河岸坡开挖的剖面(图 5)。剖面大部分是 1999 年 2 月至 11 月开挖的,是岩溶作用非常强烈、岩体结构非常复杂的地段,1999 年 5 月有滚石下落造成财产损失。剖面中部有一条冲沟,它是两级溶蚀台地之间的脖颈状槽地,沟两边岩体结构有所不同。

冲沟南西边地形低且平坦,遭受的岩溶作用强烈。可进一步分为 3 小段:靠近南西的向家沟沟坡肩部,岩溶作用稍弱,但也形成了强烈破碎岩体,剖面上层为褐黄色含角砾钙华层;下层为灰色岩溶角砾岩,是多次反复溶蚀-胶结形成的,其中孔洞多,胶结较好,表皮褐黄色,有钟乳石广泛发育,有后期溶蚀、垮塌形成的石柱。中间小段岩溶作用最强,发育最普遍的是褐色角砾层,上部局部有角砾岩块体,下部有黄绿色泥质条带。北东小段岩溶作用稍弱,局部已出露灰岩露头。

冲沟北东边,岩溶作用比西南边稍弱,溶蚀不均匀,表现为两沟中间段溶蚀强烈、坡肩部位溶蚀较弱的飞雁状溶蚀形态。两沟中间段下部为黄色、褐黄色角砾层,冲沟的坡肩地带出露基岩,为灰绿色碎裂灰岩,有钙质重胶结,局部有砂质充填的溶洞。整个北东段顶层为绿黄色、黄色、土红色角砾层,具有坡积性质,层厚在沟间中部增大,剖面顶部有水流洗刷后残留的白色方解石粉末(当地人称"白山土")。

2.2.5 龙门桥南头段

龙门桥位于龙门峡口,由于有大宁河及时疏干峡谷两岸的流水,峡谷区灰岩遭受的溶蚀作用较弱,那里灰岩完整(图 6),仅局部有溶孔和灰岩破碎现象;只是在小冲沟底部岩溶作用增强,有深灰色泥化泥质灰岩,有的冲沟底部发育有基本顺层的泥化条带;剖面顶部岩溶作用较强,形成钙质胶结角砾化灰岩。

2.3 向家沟两侧岩体结构

向家沟是小区内地形最低的地带,也是岩溶作用最强烈的地带,沟长超过 2 km,在小区外的沟头有地下河出口。小区内向家沟两侧是地质灾害监测预警示范区[4],前人将这里作为滑坡,并做了许多勘探工作。笔者认为这里不存在整体滑坡,而是岩溶作用产生了复杂的岩体变形。各处的岩体结构和岩性特征如下:

位于向家沟上游北边的土地庙村北西地形转折处,有厚度大于 10 m 的褐黄色、棕红色角砾层,并夹杏黄色泥质条带。村中部居民楼地基为碎裂岩体,其中有近水平的杏黄色泥质条带。

有关单位在向家沟底及两侧做了勘探[4],所布 18 个钻孔位于距离二郎庙桥 150~300 m 的上游段。钻孔资料显示,沟底及沟坡有松散角砾层,厚度极不均匀,在靠近上游的山口部位厚 10 m 左右,靠近二郎庙桥厚 20~30 m,最厚为 31.30 m,在短距离内变化大,而且有溶洞发育。钻孔揭示沟底深部有白色泥质滑动层,其中的滑动面有磨光和擦痕,但这种白色泥质层应是岩溶形成的钙华层,因岩体局部滑动产生擦痕,不

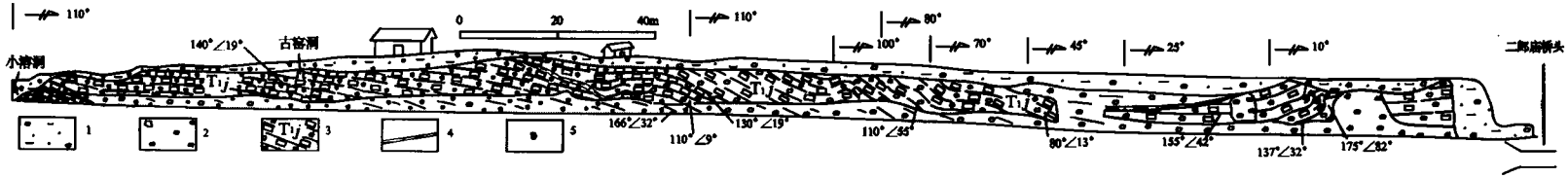


图 4 巫山县平湖东路二郎庙段路壁剖面图

1—角砾层;2—岩溶角砾岩;3—三叠系嘉陵江组破碎灰岩;4—泥质条带;5—小溶洞

Fig.4 Geological profile of the road wall along the Erlangmiao sector of the Pinghudong Road, Wushan County town

1-Rubble layer;2-Karst breccia;3-Fractured limestone of Triassic Jialingjiang formation;4-Argillized zone;5-Small karst cave

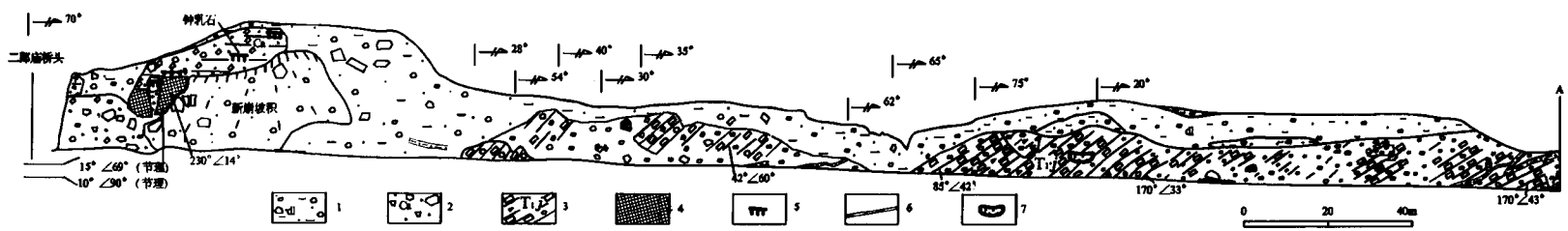


图 5 巫山县宁河岔道东段路壁剖面图

1—角砾层(dl 表示坡积成因);2—岩溶角砾岩(Ca 表示钙质胶结);3—三叠系嘉陵江组破碎灰岩;4—节理切割细块角砾岩;5—石钟乳;6—杏黄色泥质条带;7—砂质充填小溶洞

Fig.5 Geological profile of the road wall along the east sector of the Ninghecha Road, Wushan County town

1-Rubble layer (dl means slope wash);2-Karst breccia(Ca means calcareous cementation);3-Fractured limestone of Triassic Jialingjiang Formation;4-Small-block breccia shaped by joints;5-Stalactite;6-Apricot argillized zone;7- Small karst cave filled by sands

维普资讯 http://www.cqvip.com

维普资讯 http://www.cqvip.com

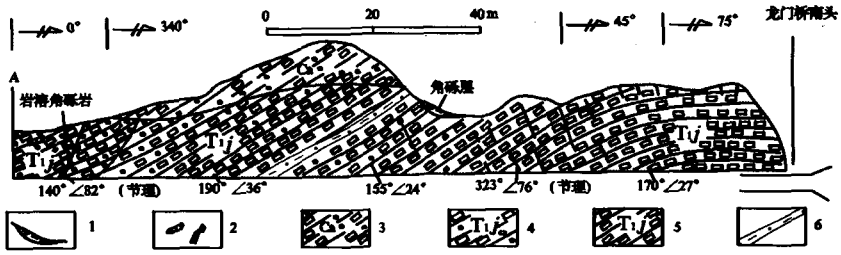


图 6　巫山县宁河岔道龙门桥南头段路壁剖面图

1—角砾层;2—岩溶角砾岩;3—角砾化灰岩(Ca 表示钙质胶结);4—三叠系嘉陵江组破碎灰岩;5—三叠系嘉陵江组完整灰岩;6—泥化条带

Fig.6　Geological profile along the sector near the Longmen Bridge of the Ninghecha Road, Wushan County town

1-Rubble layer;2-Karst breccia;3-Brecciated limestone(Ca means calcareous cementation);4-Fractured limestone of Triassic Jialingjiang Formation;5-Massive limestone of Triassic Jialingjiang Formation;6-Argillized zone

是大滑坡的滑带。

另外,在向家沟北坡二郎庙桥西 200 m 左右,有四川省 909 水文地质工程地质队施工的路基开挖剖面及勘探钻孔。开挖边坡为褐色角砾层,有泥包砾现象,厚大于 8 m。钻孔深 12 m,在 4 m 以下出现 2 m 厚的褐黄色角砾层,说明局部层位岩溶作用强烈。在靠近二郎庙桥的上游沟底挖有勘探浅井,井深 20 m,底部仍是角砾层。

3　岩溶作用规律性

由以上岩体结构分析可知,小区的岩溶作用是强烈而复杂的,但有其规律性。

从大局上看, 如从石榴山至四马草坪至二郎庙至向家沟,即从高向低(从山地向长江),总体趋势是岩溶作用增强。从开挖剖面上看,总体趋势是从下至上岩溶作用逐渐增强。

局部地,小区发育有笔者以前总结的 4 种岩溶地貌[7](图 1)。其中,漏斗状溶蚀凹地位于向家沟,有 2 处,一处靠近二郎庙桥,另一处是上游两条冲沟汇合处;脖颈状溶蚀槽地有 3 处,分别位于四马草坪北西、二郎庙村北西和土地庙村北边,那里是来自山坡的水流在地形转折的平缓部位汇集停滞的地方,岩溶作用强烈;两沟之间槽状谷地至少有 3 处,分别位于平湖桥北头、二郎庙村东和宁河岔道边坡地带,那里也都是汇水区;溶蚀台地有 3 级,第一级是低台地,有 2 处,分别位于二郎庙村和土地庙村,第二级也有 2 处,分别位于四马草坪和土地庙村北边,第三级是高台地,位于石榴山,由于台地顶部水流坡度小,水流缓慢,水对岩石有长时间的岩溶作用,其中低台地遭受的岩溶作用最强,不仅有表层岩溶作用,而且有一定深度地下水的岩溶作用,高台地最弱。

岩溶作用在不同地貌部位具有不同强度,导致岩体结构随微地貌变化。沟梁地貌是该区最普遍的地貌形态,其中冲沟汇水,是岩溶作用强烈的地带(如向家沟),即使是汇水量小的冲沟,在沟底也会产生泥质条带(如龙门桥附近);对于两条冲沟之间的山梁来说,山梁中间部位的岩溶作用也较强烈,但沟坡肩部岩溶作用最弱,成为隆起的小背斜,因此两沟之间的岩层呈现"飞雁状"褶皱形态,即靠近两侧冲沟是小背斜,像飞雁张开的翅膀,中间是宽阔的向斜[8],前面展示的剖面大都具有"飞雁状"褶皱形态。

岩溶作用导致岩性发生一系列的变化。顺层面溶蚀不仅使岩层变薄,而且使微细层理显现,从而使厚层灰岩变为薄层灰岩。进一步溶蚀便导致灰岩破碎、角砾岩化,在重力作用下发生垮塌和塌陷,形成角砾堆积体,经流水搬运便形成角砾层甚至褐色膨胀土[9],对角砾堆积体的反复溶蚀胶结便形成岩溶角砾岩。在洗刷作用较强的剖面顶部则残留下白色粉末层(又名"白山土")。岩溶过程中 FeO 变为 Fe_2O_3,岩石的颜色变为红色。深部还原环境下的溶蚀作用往往形成黄绿色、杏黄色泥质条带,沿条带往往发生沉降甚至滑坡。

4　岩溶引起的地质灾害危险性

嘉陵江组(T_{1j})灰岩区是三峡移民安置的重要场所,岩溶作用不仅会引起灰岩结构发生不良变化,而且在其他自然因素(如重力)和人为因素共同作用下,可能产生地面不均匀沉降、地裂缝、滑坡、崩塌、泥石流及地面塌陷地质灾害。这些问题必须在移民迁建以及将来城镇运行中给予高度重视。

4.1　地面不均匀沉降和地裂缝

由于灰岩中 $CaCO_3$ 的溶蚀,导致缝隙、孔洞出现,在灰岩自身重力和建筑物载荷作用下,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。岩溶形成的各种地貌和与地貌相关的岩体结构变化便是地质历史时期不均匀沉降的显示。由于小区岩溶作用的普遍性,地面不均匀沉降也会普遍存在,包括前面所述的三级溶蚀台地,特别是台地深部有地下水的不均匀溶蚀作用,可能导致源于深部的台地不均匀沉降。

强烈的不均匀沉降会引起地裂缝,特别是岩溶作用由弱变强的转折地带是最容易产生地裂缝的地带,如脖颈状溶蚀槽地。滑坡和岩溶塌陷初期往往表现为地裂缝发育。

维普资讯 http://www.cqvip.com

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。

4.2 滑坡、崩塌和泥石流

岩溶作用形成了深部泥质条带，条带的抗剪强度低，上部岩体可能沿条带发生滑坡。岩溶作用还形成了大量松散堆积体，松散体遇水极易沿基岩面发生滑坡。小区可能发生滑坡的地带有平湖桥北头和四马草坪西侧，平湖桥北头滑坡对桥的稳定性有威胁。另外，在漏斗状溶蚀凹地和两沟之间槽状谷地等的高陡边坡地带可能发生局部滑坡。

构造控制下的岩溶作用使边坡岩体大都呈松散的块体，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。1999 年 5 月在宁河岔道发生崩塌落石，砸坏坡下库房，造成经济损失。平湖桥北头也曾发生崩塌(图 2)。将来可能发生崩塌的地带有宁河岔道、平湖桥北头以及漏斗状溶蚀凹地、两沟之间槽状谷地等的高陡边坡地带。

岩溶作用在地表形成了大量的松散物质，如岩溶角砾堆积体，在水流作用下易产生泥石流，特别是边坡开挖破坏了松散层的稳定性，在雨季，泥石流顺坡而下将会破坏公路和桥梁等。可能发生泥石流的地带有四马草坪西侧滑坡区、向家沟二郎庙桥附近，大量的开挖边坡也可能发生局部小型泥石流。

4.3 地面塌陷

地面塌陷是地面不均匀沉降的特例，即构造控制下的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，上部岩体在自重和高大建筑物的重力作用下发生地面塌陷。地面塌陷可能性较大的地带是向家沟内的两个漏斗状溶蚀凹地。

5 防治措施简述

对于这种有强烈岩溶作用的地区，必须深刻认识岩溶作用的规律性，特别是认识岩溶堆积物的性质，采取针对性措施防治地质灾害。其中首要措施是防止水向地基的入渗，包括建筑区外山顶的水。另外，应注意对开挖边坡的及时支护；合理规划和布局，尽量避免修建高层建筑，特别是避免在沟坡地带和沟内修建高层建筑；采用圈梁结构抵制不均匀沉降和地裂缝可能引起的建筑物破坏。

参考文献(References)：

[1] 袁道先，朱德浩，翁金桃，等. 中国岩溶学[M]. 北京：地质出版社，1993.

Yuan Daoxian, Zhu Dehao, Weng Jintao, et al. Karst of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993 (in Chinese with English abstract).

[2] 光耀华. 岩溶地区工程地质研究的若干新进展概述[J]. 中国岩溶，1998, 17(4)：378-384.

Guang Yaohua. An introduction to the progress of the geological engineering researches in karst regions [J]. Carsologica Sinaca, 1998, 17(4)：378-384(in Chinese with English abstract).

[3] 中国地质调查局水文地质工程地质技术方法研究所，等. 巫山县地质灾害监测预警示范站整体部署情况 [EB/OL]. http://www.wss.org.cn/sfzgk/ztbs1-ztbs3.aspx, 2003.

Institute of Hydrogeology and Engineering Geology Techniques of CGS, et al. The general layout situation on the Wushan County Normal Station of Geohazard Monitoring and Warning [EB/OL]. http://www.wss.org.cn/sfzgk/ztbs1-ztbs3.aspx, 2003(in Chinese).

[4] 张加桂. 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，2005.

Zhang Jiagui. The Deformation Mechanism and Geohazard Danger within Marly Stones in Three Gorges Reservoir Region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005 (in Chinese with English abstract).

[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.

Tian Lingjun, Li Pingzhong, Luo Yan. Developmental History of Yangtze Gorges [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Publishing House, 1996(in Chinese).

[6] 重庆南江岩土工程勘察设计院. 巫山县新城二郎庙小区秀峰中学工程地质勘察报告[R]. 1999.

Nanjiang Institute of Geo-Technical Exploration and Design, Chongqing. Report on Engineering Geological Exploration Around Xiufeng High School, Erlangmiao Area, Newly Built Wushan County[R]. 1999(in Chinese).

[7] 张加桂. 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，2002, 37(3)：42-49.

Zhang Jiagui. Types of karst landform in mud limestone terrain and their genesis-a case study from Three Gorge region [J]. Chinese Journal of Geology, 2002, 37 (3)：42-49 (in Chinese with English abstract).

[8] 张加桂，陈庆宣，蔡秀华. 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，2003, 30(3)：320-324.

Zhang Jiagui, Chen Qingxuan, Cai Xiuhua. Some supergene deformation structures in marly limestone in the Three-Gorges region and their relation to geohazards [J]. Geology in China, 2003, 30(3)：320-324(in Chinese with English abstract).

[9] 张加桂，曲永新. 三峡库区膨胀土的发现和研究 [J]. 岩土工程学报，2001, 23(6)：724-727.

Zhang Jiagui, Qu Yongxin. Research on expansive soils in Three-Gorge Reservoir region [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001, 23(6)：724-727(in Chinese with English abstract).

维普资讯 http://www.cqvip.com

Risk of geohazards caused by karst processes in the Erlangmiao area, Wushan County, Three Gorges reservoir region

ZHANG Jia-gui[1,3], YIN Yue-ping[2], CAI Xiu-hua[4], CHEN Bo[5]

(1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100081, *China*;
2. *China Geological Survey, Beijing* 100011, *China*;3. *China Institute of Geo-environmental Monitoring, Beijing 100081, China*;
4. *China Geological Library, Beijing* 100083, *China*;5. *Sichuan Shutong Geo-Technical Co. Ltd., Chengdu* 610041, *Sichuan, China*)

Abstract:Karst recently discovered during relocation of migrants in the Three Gorges reservoir region is an important engineering geological problem. The Erlangmiao area in the new city of Wushan County is a geohazard monitoring and early-warning demonstration area. In the area, limestone of the Triassic Jialingjiang Formation underwent strong karstification due to the special climatic, hydrological and geological conditions, so the rock mass structure becomes very complex and massive limestone has been turned into layered, fractured rock masses, karst breccia, argillaceous bands and eluvial breccia layers. There are different features and intensities of karstification in different geomorphological zones. Generally, karstification increases from west to east and from the bottom of the section upward. Among other things, the zones of transition from the steep to gentle topography and the lower part of gullies are the strongest karstification zones. Karstification gave rise to an assemblage framework of various microlandforms and special rock masses. With karstification, the mechanical intensity and stability of rock masses decrease progressively, which, together with other natural processes and human activities, may cause geohazards such as uneven subsidence, ground cracks, landslides, avalanches, mudflows and ground collapses. Great attention must be paid to these problems in the process of migrants resettlement and future town construction.

Key words:karst;geohazard;Triassic Jialingjiang Formation (T_{1j});Wushan County;Three Gorges Reservoir region

---

About the first author:ZHANG Jia-gui, male, born in 1962, Ph.D and professor, specialized in tectonics and geohazards;E-mail:jiagui62@sina.com.