

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

张加桂^{1,2} 陈庆宣² 蔡秀华³

(1. 中国地质环境监测院, 北京 100081; 2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;
3. 中国地质科学院研究生部, 北京 100083)

提 要:三峡地区泥灰质岩石中表生构造形成于特殊的地质、地貌和气候条件, 具有不同于内动力构造的特殊成因, 当与内动力构造相叠加时, 会使地质问题变得非常复杂。表生构造可分为连续构造型式、非连续构造型式和过渡构造型式, 其中连续构造型式包括飞雁状褶皱和倾向弯曲构造, 非连续构造型式包括密集节理带和溶蚀正断层, 过渡构造型式包括石香肠构造和块体翻转构造, 它们在三峡地区广泛发育, 是泥灰质岩石遭受溶蚀作用形成的。表生构造的发育过程也是地基变形、破坏的过程, 三峡地区大量的地质灾害便与表生构造的发育有关。因此, 防治地质灾害最有效的措施是防止水向地基入渗。

关 键 词:泥灰质岩石; 表生构造; 岩溶; 地质灾害; 三峡地区

中图分类号: P642.25; P542. **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2003)03-06-0320-05

以往的岩溶研究多针对灰岩^[1-3], 泥灰质岩石岩溶研究是一个薄弱环节, 而且对灰岩的研究重点放在岩溶地貌学和岩溶水文学方面^[3-6]。可溶性岩石在外动力作用下可形成表生构造^[7], 这些表生构造是岩石新近变形的反映。对于工程建设来说, 表生构造的发育过程是地基变形、破坏的过程。

三峡移民迁建工程中地质问题的复杂性引起了工程地质界极大的关注, 特别是三叠系巴东组泥灰质岩石的岩溶^[8-9]等问题已成为学术界争议的焦点。笔者 7 年来的研究初步提出了该类岩石岩溶、破坏的过程^[10-11], 其中应特别引起重视的是溶蚀形成的表生构造, 它与早期构造相叠加, 使构造形态变得非常复杂, 也使地质灾害变得隐蔽。这里对其中表生构造作一些探讨, 以供三峡库区地质灾害调查和防治参考。

1 泥灰质岩石中表生构造发育的条件

1.1 地质和地貌条件

岩石的可溶性和构造破碎有利于表生构造的发育。巴东组(T₂b)泥灰质岩石在三峡地区分 4 段, 第一段(T₂b¹)和第三

段(T₂b³)为泥质灰岩和泥灰岩, 其中 CaCO₃ 含量为 56.11%~91.0%^[11], 第二段(T₂b²)和第四段(T₂b⁴)为紫红色含钙质泥岩和粉砂质泥岩, 其中 CaCO₃ 含量为 15%左右。由于泥质含量高, 当其中的 CaCO₃ 成分被溶蚀后, 泥质成分仍能保持以前岩层的连续形态。三峡地区构造作用强烈, 尤其是燕山晚期的构造运动, 使岩体非常破碎。

长江深切割使岩体临空、卸荷、松动, 有利于水流的渗透。江岸斜坡有利于水的运移。

1.2 气候条件

三峡地区属亚热带湿润季风气候, 雨量充沛, 多年平均降雨量为 1 040 mm, 且多雷雨, 雨水呈酸性, 测得^[12]其 pH 值为 6.17。这些都有利于泥灰质岩石的溶蚀。

2 泥灰质岩石中几种表生构造型式及成因探讨

2.1 连续构造型式

2.1.1 飞雁状褶皱

飞雁状褶皱一般发育在两沟夹一梁的地貌部位, 山梁中

收稿日期: 2002-11-20; 改回日期: 2003-03-16

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, 教授, 主要从事构造地质和岩溶灾害研究; E-mail: zhangjg@mail.cigem.gov.cn。

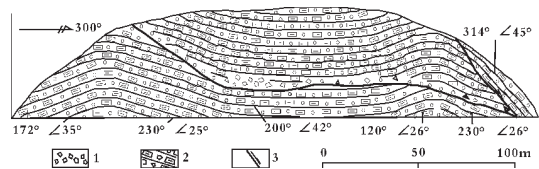


图 1 奉节县宝塔坪沿江路变电站段褶皱构造剖面图

1—溶蚀角砾化带；2—碎裂泥质灰岩；3—滑坡滑动面

Fig. 1 Section of folds in the Transformer Station sector of the

Bank Road at Baotaping, Fengjie County

1—Solution brecciation zone; 2—Fractured argillaceous limestone;

3—Slide surface of landslide

间部位的地形较为平缓。褶皱型式是：靠两侧冲沟的坡肩部分别有不对称的小背斜，背斜的沟坡翼倾角陡，往往有小滑坡；中央部位为宽缓的向斜，向斜顶部往往发育角砾层或棕红壤。这种构造型式在三峡地区普遍存在，如奉节县宝塔坪沿江路变电站剖面（图 1）；宝塔坪道沟与熊家沟间的沿江大道剖面和主干道剖面^[12-13]；巫山县新城王家屋场净坛路剖面^[14]均有这种飞雁状褶皱型式。不仅泥灰质岩石，而且灰岩的溶蚀形态也与这种型式有关。

跨沟剖面也为飞雁状褶皱形态，大量的跨沟地震勘探剖面揭示较深部位也存在飞雁状褶皱形态^[15]。

飞雁状褶皱的成因机制是，在沟谷底部和紧靠沟谷的沟坡部位，雨水汇集量大，溶蚀作用强烈，岩层变薄并向谷底弯曲或发生局部滑坡；沟坡的坡肩部地形陡，水流速度快，水的下渗量小，溶蚀作用较弱，岩层界面相对两侧向上隆起而形成小背斜；山梁中部地形平坦，水的排泄速度慢，水岩作用充分，溶蚀作用较强，因此岩层变薄，层面下拗弯曲，从而形成中部宽缓的向斜形态。

飞雁状褶皱有 2 种变异形态，即溶蚀背斜和连续褶皱。

当两沟之间的山梁较窄小时，中间宽缓向斜不发育，会形成溶蚀背斜形态。如巫山县四大家地基剖面、信息中心背后二道沟分岔处、秀峰寺水井沟分岔处和奉节县宝塔坪羊叉

沟分岔处。

在两沟之间的山梁较宽阔的情况下，中间宽缓向斜会因水流分岔形成连续褶皱。如巫山县新城大块子（图 2）剖面上部为巴东组一段（T₂b¹）浅灰黄色泥灰岩形成的滑坡体^[16]，有 3 个背斜与 3 个向斜组成的连续褶皱。连续的沟—梁地形也会出现连续褶皱。

2.1.2 倾倒弯曲构造

可分为 3 类。第一类是岩层下端顺坡弯曲倾倒，第二类是岩层上端弯曲倾倒，第三类是岩层切坡弯曲倾倒。

岩层顺坡弯曲倾倒型式为，顺坡倾岩层越向坡下倾角越陡。在巴东县新城址普遍存在，而且规模巨大，其中以白岩沟东坡弯曲岩体最为典型（图 3）；在巫山新城翠屏路、奉节县三马山也不同程度地发育有这类倾倒弯曲。它是由于越向坡下岩溶作用越强，岩层遭受泥化变薄越强，在重力作用下产生的塑性弯曲变形。

岩层上端倾倒弯曲型式为：顺坡倾岩层顶部倾角变陡，甚至变得倾向相反；或者是逆坡倾岩层顶部倾角变缓。在巫山新城址较多见，在巴东组二段含钙质泥岩和三段泥质灰岩中均有发育。其成因机制为：岩层顶部遭受溶蚀、泥化，塑性增强，在重力及顶部泥石流作用下发生向坡外的弯曲。

岩层切坡弯曲倾倒型式为：陡倾岩层走向与斜坡走向不一致，岩层上端遭溶蚀、泥化发生局部脱落、弯曲。巫山县新城官家溪水库边巴东组一段泥灰岩和希望中学前沿边坡巴东组二段紫红色泥岩具有这种溶蚀弯曲^[16]。

2.2 非连续构造型式

包括密集节理和溶蚀正断层。

2.2.1 密集节理

密集节理的间距一般在 10 cm 左右，与层面呈大角度相交，并以某一层面为下界一齐消失。密集节理带大都呈帚状形态，即节理带上部撒开，下部收敛，单条节理向坡外倾倒弯曲。

密集节理主要发育在 3 种部位。第一种是边缘卸荷部位，这种节理在三峡库区较发育，如巴东县新城大坪加油站背后（图 3）、岩弯沟巴东一桥东端、巫山财政局剖面^[16]、四方井对面剖面、牌楼西侧剖面和电力局剖面等；其成因机制是，

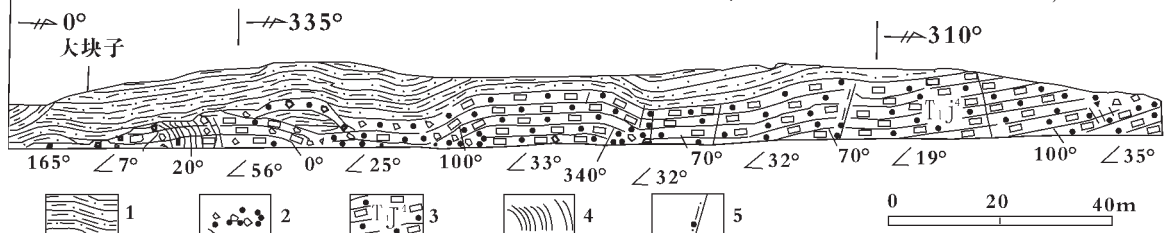


图 2 巫山县平湖西路大块子—平湖桥段连续褶皱剖面图

1—浅灰黄色钙质泥岩；2—溶蚀角砾岩；3—三叠系嘉陵江组四段灰岩；4—帚状密集节理；5—断裂带

Fig. 2 Section of continuous folds in the Dakuaizi-Pinghu Bridge sector along the West Pinghu Road in Wushan County

1—Light lark calcareous mudstone; 2—Limestone of the 4th Member of the Triassic Jialingjiang Formation;

4—Close-spaced brush joints; 5—Fault zone

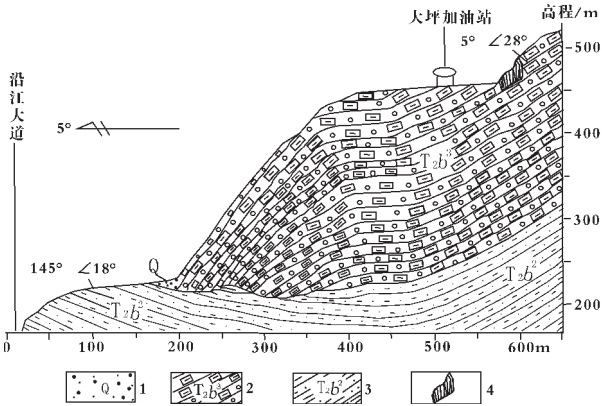


图3 巴东县新城址白岩沟东坡倾倒弯曲构造剖面图

- 1—第四系坡积; 2—三叠系巴东组三段泥质灰岩;
- 3—巴东组二段含钙质泥岩; 4—密集节理带

Fig. 3 Section of the bending layers along the east slope of the Baiyan Gully in the newly built seat of Badong County

- 1—Quaternary slope wash; 2—Fractured argillaceous limestone of the 3rd Member of the Triassic Badong Formation;
- 3—Calcareous mudstone of the 2nd Member of the Badong Formation; 4—Close-spaced joint zone

上部岩体遭受溶蚀、泥化,在重力及顶部泥石流作用下向坡外运动,下部保持原位,从而产生近垂直方向的剪切破裂,形成密集节理带。第二种是顺层溶蚀作用形成了层间泥化层,上部岩体顺泥化层滑动产生剪切作用,形成层间密集节理带,如巫山苟家坪干干岭剖面,层间滑动形成S型弯曲密集节理带^[1]。第三种是溶蚀作用形成了岩溶洞穴,洞穴一侧的岩体向洞穴空间卸荷,由于上部岩体容易卸荷,下部岩体卸荷受限,从而产生剪切作用,形成密集节理带,如巫山官家溪砖厂背后剖面(图4),洞穴底部与密集节理带根部相齐,密集节理带根部有剪切形成的半圆柱体。

密集节理与劈理有相似性,被视为强烈构造运动的产物^[7]。但三峡库区碳酸盐岩中发育的密集节理大都位于浅表部位,特别是边缘地带,只有岩体被水浸透、溶蚀、软化后,在重力及顶部泥石流作用下才会产生密集节理。

2.2.2 溶蚀正断层

溶蚀正断层受地形控制,在地形陡变带附近特别发育,延伸不远,随陡变地形的消失而消失,在正断层上盘有角砾岩发育。在三峡地区发育广泛,典型的如奉节县宝塔坪明镇背后(图5)、赵家梁子前端、陈家沟、黄果树、巫山县王家屋场、牛蹄窝和石滚槽等地。沟坡地带也往往发育溶蚀正断层,如飞雁状褶皱中小背斜靠沟的一翼(图1)。

溶蚀正断层是节理附近遭受溶蚀作用而形成的。由于上盘遭受的溶蚀作用比下盘强烈,岩层的厚度缩减量大,从

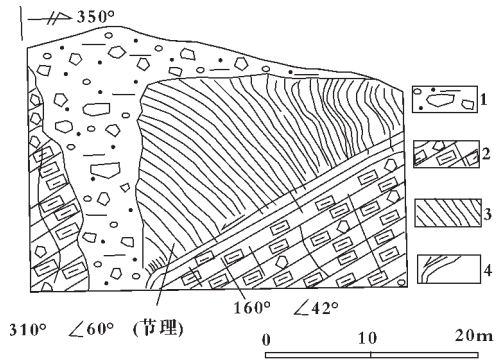


图4 巫山县官家溪砖厂背后采石场密集节理剖面图

- 1—岩溶塌陷堆积体; 2—深灰色泥质灰岩; 3—密集节理带; 4—滑动面及其前端半圆柱体

Fig. 4 Section of close-spaced joints in the quarry in the rear of the Guanjiayi Brickfield, Wushan County

- 1—Karst collapse deposit; 2—Dark gray argillaceous limestone; 3—Close-spaced joint zone; 4—Slide surface and its head half-cylinder

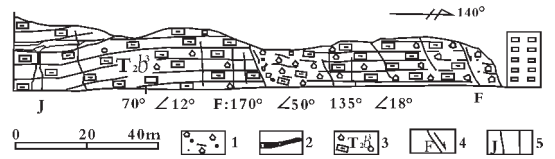


图5 奉节县宝塔坪主干道羊叉沟东坡溶蚀正断层剖面图

- 1—溶蚀角砾岩; 2—黄绿色泥化条带;
- 3—三叠系巴东组三段泥质灰岩; 4—溶蚀正断层; 5—节理

Fig. 5 Section of a normal fault by dissolution along the east slope of the Yangcha Gully at Baotaping, Fengjie County

- 1—Solution breccia; 2—Yellowish green argillic zone; 3—Fractured argillaceous limestone of the 3rd Member of the Triassic Badong

- Formation; 4—Normal fault by dissolution; 5—Joint

而导致节理上盘下降形成正断层。

2.3 过渡构造型式

2.3.1 石香肠构造

在奉节县头道河小区东部边坡有发育,为巴东组二段含钙质泥岩遭受不均匀溶蚀后,发生流变形成,其中强烈溶蚀的软弱层位发生塑性连续变形,弱溶蚀的坚硬层位被拉断,从而形成石香肠构造。

2.3.2 块体翻转构造

在三峡库区广泛发育,多见于巴东组三段(T₃b³)泥质灰岩、泥灰岩中,为岩石遭受不均匀溶蚀形成软硬相间的岩层,在重力作用下,软层发生塑性流动,硬层则以块体为单位发生向坡外的转动,倾角变陡。

3 表生构造与地质灾害的关系

表生构造的发育过程也是岩石可溶性成分流失、泥质成分富集的过程,可溶性成分的减少导致岩石强度的降低、岩体结构的变化,轻则使地基的质量降低,重则使地基发生变形、破坏。

褶皱的发育会导致地面不均匀沉降,因为褶皱中的向斜部位是遭受溶蚀较强的部位,沉降幅度较大,背斜部位的沉降幅度小;向斜的中央往往会因强烈溶蚀而在重力作用下发生滑坡或泥石流,1997年奉节宝塔坪小区大坪发生的泥石流便是一例。岩体倾倒弯曲过程也是地面不均匀沉降、地基开裂过程。密集节理发育会导致岩体松动、地基裂缝、地基软化而强度降低,严重的会产生滑坡或崩塌;正断层的发育会导致地基开裂、滑坡或崩塌。石香肠构造和块体转动构造形成均会使边坡变形、破坏,库区开挖边坡大量的垮塌便与其有关^[17-18]。

特别应该指出的是,飞雁状褶皱的形成说明沟谷地带溶蚀作用强烈,溶蚀作用的深度大,这对桥梁的建设不利。巴东一桥在1999年已发生沉降、开裂,这无疑与沟谷地带的溶蚀作用有关。

为防止地质灾害的发生,最有效的措施是防止水向地基入渗,这是笔者反复强调的,再有就是在弄清包括表生构造发育规律的基础上,采取针对性措施防治地质灾害。

4 结论

(1)泥灰质岩石中表生构造形成于特殊的地质、地貌和气候条件。

(2)表生构造型式繁多,可分为连续构造型式、非连续构造型式和过渡构造型式,其中连续构造型式包括飞雁状褶皱和倾倒弯曲构造,非连续构造型式包括密集节理带和溶蚀正断层,过渡构造型式包括石香肠构造和块体翻转构造,它们在三峡地区广泛发育,是泥灰质岩石遭受溶蚀作用形成的。

(3)表生构造的发育过程也是地基变形、破坏的过程,三峡地区大量的地质灾害便与表生构造的发育有关。为防止地质灾害的发生,最有效的措施是防止水向地基入渗。

在撰文中得到了中国科学院地质与地球物理研究所曲永新研究员和中国地质调查局殷跃平研究员等的帮助,在此表示衷心的感谢!

参考文献(References):

- [1] 中国科学院地质研究所岩溶研究组.中国岩溶研究[M].北京:科学出版社,1979.
Karst Research Group of Institute of Geology, Chinese Academy of Science. Research on Chinese karst[M]. Beijing: Science Press, 1979 (in Chinese).
- [2] 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 China with English abstract).
- [5] Ford D, Williams W P. Karst Geomorphology and Hydrology[M]. Unwin Hyman Ltd London, 1989. 601.
- [6] 杨明德,谭明,梁虹.喀斯特流域水文地貌系统[M].北京:地质出版社,1998.1~23,94~99.
Yang Mingde, Tan Ming, Liang Hong. Hydrogeomorphological System in Karst Drainage Basins[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1998. 1~23, 94~99(in Chinese).
- [7] 武汉地质学院,等.构造地质学[M].北京:地质出版社,1979.160~161,237~238.
Wuhan College of Geology, et al. Structural Geology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1979. 160~161, 237~238(in Chinese).
- [8] 胡海涛,欧正东,袁志梅.移民迁建与国土整治的地质环境问题——以长江三峡工程重点库段为例[A].见:中国水文地质工程地质勘察院.环境地质研究(四集)[C].北京:地震出版社,1999.7~12.
Hu Haitao, Ou Zhengdong, Yuan Zhimei. Reconstruction of the resettled towns and land use in the Reservoir area of Three Gorges dam[A]. In: China Institute of Hydrogeology and Engineering Geology Exploration(ed.). Research on Environmental Geology (Series 4)[C]. Beijing: Seismological Press, 1999. 7~12(in Chinese with English abstract).
- [9] 张加桂.三峡库区奉节县宝塔坪移民小区岩溶地质研究[J].工程地质学报,2000,8(增刊):126~129.
Zhang Jiagui. Research on the karst in Baotaping, the newly built Fengjie county, Three-gorges Reservoir region[J]. Journal of Engineering Geology, 2000, 8(supp.): 126~129(in Chinese).
- [10] 张加桂.三峡库区巫山县新城址泥质岩斜坡带大型复杂地质体成因机制及整体稳定性研究[博士学位论文][D].北京:中国科学院地质与地球物理研究所,1999.
Zhang Jiagui. Research on the Genesis of Larger-scale Complex Geological Mass within Argillite Slope Zone in the newly Built Wushan County, the Three Gorges Reservoir region, China[Ph.D. Degree Thesis][D]. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, 1999(in Chinese with English abstract).
- [11] 张加桂.三峡库区灰质泥质岩岩溶及岩溶地质灾害研究[博士后研究报告][R].北京:中国地质科学院,2001.
Zhang Jiagui. Karst and karst hazards within lime mudstone in the Three-Gorges Reservoir region[Postal Doctor Thesis][R]. Chinese Academy of Geological Sciences, 2001(in Chinese with English abstract).
- [12] 张加桂.三峡库区奉节县宝塔坪小区大型复杂滑坡特征及成因机制[J].地质论评,2000,46(4):431~436.
Zhang Jiagui. Features and occurrence mechanism of the large complex landslides in Baotaping, Fengjie county in the Three-Gorges reservoir region[J]. Geological Review, 2000, 46(4): 431~436(in Chinese with English abstract).

- [13] 张加桂.三峡库区奉节宝塔坪移民小区横磨子—大坪滑坡研究[J].中国地质灾害与防治学报,1999,10(3):102~108.
Zhang Jiagui. Research on Hengmozi—Daping landslide in Baotaping area, Fengjie County, Three Gorges reservoir area[J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1999, 10(3): 102~108(in Chinese with English abstract).
- [14] 张加桂.对三峡库区巫山县新城址王家屋场滑坡的研究[J].地质力学学报,1999.5(2):21~28.
Zhang Jiagui. Research on Wangjiawuchang landslide in the newly built Wushan county, the Three-gorges Reservoir region[J]. Journal of Geomechanics, 1999, 5(2): 21~28(in Chinese with English abstract).
- [15] 张加桂,陈宝荪,殷跃平,等.三峡库区隐伏岩溶特性的地球物理探测[J].工程勘察,2003,(1):64~66.
Zhang Jiagui, Chen Baosun, Yin Yueping, et al. Features of covered karst disclosed by geophysical exploration in Three-Gorge Reservoir region[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2003, (1): 64~66(in Chinese with English abstract).
- [16] 张加桂.对三峡库区巫山县新城址中段滑坡的研究[J].工程地质学报,2000,8(4):433~437.
Zhang Jiagui. Research on landslide in the middle sector of the newly built Wushan County on the Three-Gorge Reservoir region[J]. Journal of Engineering Geology, 2000, 8(4): 433~437(in Chinese with English abstract).
- [17] 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):237~242.
Zhang Jiagui. Occurrence mechanism of landslide in the industrial zone of new town of Wushan county, the Three-Gorge Reservoir region[J]. Journal of Engineering Geology, 1999, 7(3): 237~242(in Chinese with English abstract).
- [18] 张加桂.三峡库区巫山县新城址大型复杂滑坡的成因机制研究[J].地球学报,2001,22(2):145~148.
Zhang Jiagui. Features and genesis of larger complex landslide developed from 3rd member of Badong formation in the newly built Wushan county seat, Three Gorges reservoir region[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 22(2): 145~148(in Chinese with English abstract).

Some supergene deformation structures in marly limestone in the Three-Gorges region and their relation to geohazards

ZHANG Jia-gui^{1,2}, CHEN Qing-xuan², CHAI Xiu-hua³

(1. China Institute of Geo-Environmental Monitoring, Beijing 100081, China;

2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

3. Department of Graduate Students, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Supergene deformation structure, whose mechanism is different from that of the endokinetic deformation structure, in marly limestone in the Three-Gorges region forms by karst dissolution in special geological, geomorphological and climatic conditions, and while endokinetic deformation is superimposed by supergene deformation, the structure would become very complex. Supergene deformation structure may fall into the continuous deformation structure type, discontinuous deformation structure type and transitional deformation structure type, of which the first type includes flying goose-shaped folds and bending layers, the second type includes the close-spaced joint zone and normal fault by dissolution, and the third type includes boudin structure by dissolution and turning-around blocks. They are widespread in the Three-Gorges region and form by dissolution of marly limestone. The process of supergene deformation is also the process of ground deformation and destruction. Many geohazards occurred frequently in the Three-Gorges region are related to the development of supergene deformation structure. Therefore the most effective measure to control geohazards is to keep water from infiltrating into the ground.

Key words: marly limestone; supergene deformation structure; karst; geohazard; Three-Gorges region