

文章编号:1001-4810(2008)04-0377-05

实验室5% HCl 条件下泥灰岩溶蚀形态特征分析 ——以四川奉节地区三叠系中统巴东组泥灰岩为例

刘海燕^{1,2}, 李增学¹, 房庆华¹, 胡秀宏³, 吕大炜¹

(1. 山东科技大学地质科学与工程学院, 山东 青岛 266510;

2. 山东省高校沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室(山东科技大学), 山东 青岛 266510;

3. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要:为了研究岩溶作用过程中泥灰岩溶蚀形态的特征, 采用试验分析和室内镜像观察的方法, 研究了四川奉节地区三叠系中统巴东组泥灰岩的溶蚀过程及微观溶蚀形态变化。结果表明: 泥灰岩的溶蚀作用受不同因素的影响, 特别是受节理裂隙发育的影响, 形成多种不同的溶蚀形态, 包括树枝状、环状及放射状、串珠状、分散状和生物壳状。泥灰岩在溶蚀过程中, 可溶物质不断被溶解, 大量的泥质物逐渐脱落并被水流动带走, 致使泥灰岩的物质成分发生变化的同时, 岩石结构也不断弱化。

关键词: 泥灰岩; 溶蚀形态; 镜像观察; 岩石结构; 四川奉节地区

中图分类号: P642. 251 **文献标识码:** A

0 前言

泥灰岩是介于粘土岩与碳酸盐岩之间的过渡类型沉积岩。在以往的岩溶研究中, 泥灰岩的溶蚀问题一直得不到足够的重视, 但在三峡库区巴东组泥灰岩中却发育有各种岩溶形态, 包括岩溶塌陷、溶洞、溶蚀裂隙、溶痕、岩溶角砾岩等等^[1~3], 另外泥灰岩在遭受溶蚀、风化过程中, 由于岩石物质组分、结构的改变, 以及残余物的聚积而逐渐发生土壤化^[4], 对工程建设构成一定的危害。本文以四川奉节地区三叠系中统巴东组泥灰岩为研究对象, 采用试验分析和镜像观察的方法, 研究泥灰岩所表现出来的各种溶蚀特征。在此基础上, 重点分析泥灰岩的溶蚀机制问题, 探讨形成各种溶蚀形态的影响因素, 以期对岩溶地质灾害的防治提供依据。

1 基本的地质概况

四川奉节地区中三叠纪早期(巴东期)曾发生海

水进退两次, 海进时为近浅海相泥灰岩、灰岩夹页岩建造, 局部泻湖沉积; 海退时为滨海相紫红色砂质泥岩夹浅海相泥灰岩及灰岩建造。此后, 全区隆起, 遭受风化剥蚀。

巴东期地层亦即巴东组在区内广泛出露并整合于嘉陵江组之上。根据岩性特征可分4段^[5~6]: 一、三段为灰、深灰色泥岩、白云质灰岩、灰岩夹页岩, 二、四段为紫红色、黄绿色泥页岩、粉砂岩夹泥灰岩、灰岩, 底部为水云母粘土岩(绿豆岩), 厚度335~690m, 总厚可达1 145m。区内泥灰岩边坡岩体, 特别在长江河谷两岸出露的泥灰岩边坡岩体碎裂和松动强烈^[7]。在奉节一带泥灰岩边坡的溶蚀深度一般为5~8m, 野外泥灰岩岩体溶蚀形态主要以小型岩溶地貌为主体, 包括小型溶沟及溶槽, 微观下则多表现为网状的微型溶孔。这些小型岩溶地貌破坏了岩石的完整结构, 大大降低了岩石的力学强度。

新鲜泥质灰岩岩体, 呈青灰—深灰色, 完整性较好, 岩体致密坚硬, 沿层理方向发育大小不等的小型

基金项目: 山东省高校沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室(山东科技大学)开放基金项目(编号: DMSM200801)

第一作者简介: 刘海燕(1978—), 女, 2007年毕业于中科院地质与地球物理研究所, 工程地质专业, 现为山东科技大学地质学院矿产地质系

副教授, 主要从事工程地质方面教学与研究工作。E-mail: lhyisj@163.com, Tel: 13792843689。

收稿日期: 2008-05-07

溶蚀孔洞,直径为0.2~1cm(图1a),出露地表的泥灰岩边坡,坡面岩体裂隙较发育,由于受水流冲刷溶蚀作用,岩层表面见许多规模不等的溶蚀现象,溶蚀强烈时多形成峰窝状溶孔,溶孔表面直径3~10cm(图

1b),部分溶蚀孔隙在水流长期作用下逐渐连通,构成溶隙(图1c)。因此泥灰岩岩溶发育的形态主要有溶孔、溶隙和溶洞3种,孔、洞直径一般为0.5~8cm,溶隙宽一般为0.2~1cm^[8]。

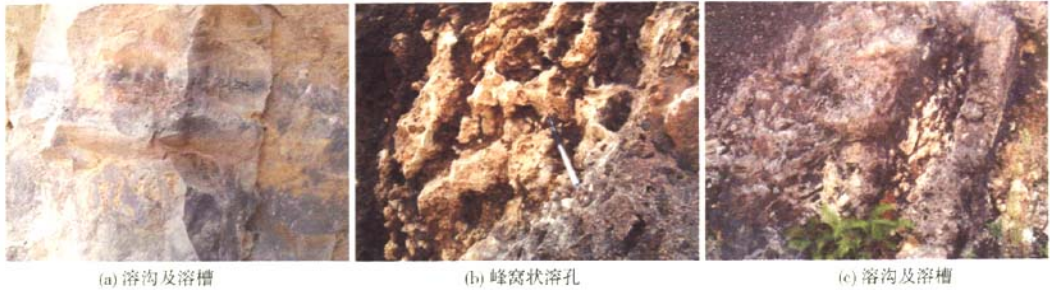


图1 野外泥灰的溶蚀特征
Fig.1 Solution characters of marlite in the field

2 泥灰岩的室内溶蚀试验

2.1 试验方法与要求

泥灰岩在成分上主要由粘土和碳酸盐微粒组成,呈微粒状或泥状结构,一般粒径小于0.01mm。泥灰岩与粘土岩的区别是滴稀盐酸后产生气泡,与石灰岩的区别是气泡处有暗色泥质物出现,野外受风化的泥灰岩具有遇水软化的特点^[9]。为了在短时间内能更好的模拟野外现场实际的溶蚀情况,故在室内溶蚀试验过程中,配制盐酸水溶液浓度为0.5%,pH值约为1,溶液酸度比现场实测雨水(pH=6~7)^[10]酸性强10⁵倍。

试样均采自奉节宝塔坪抚军桥北侧开挖边坡的新鲜岩体。根据样品成分及颜色特征分深灰色泥质灰

岩、灰黄色泥灰岩及泥黄色泥灰岩3组(表1)。溶蚀试验在常温下进行,观察时间为120h。具体的试验要求和步骤如下:

- ①首先对野外原岩样品进行加工,尺寸为50mm×25mm圆柱试样,每组各15个。
- ②测量试样尺寸,称质量,均置于相同烧杯中(图2)。
- ③配置浓度0.5%稀盐酸140mL倒入烧杯中,观察杯底岩样的溶蚀变化情况。
- ④溶蚀作用进行24h后,更换酸液,重新配置浓度为0.5%稀盐酸140mL倒入烧杯中。同时,清洗岩样,称质量,测量尺寸,观察表面变化情况,记录、拍照,并进行详细描述。
- ⑤重复④过程,直到实验进行120h后停止试验。

表1 化学成分含量测试 results 表
Tab.1 Chemical components

组号	岩石名称	CaCO ₃ /%	化学成分/%											
			CO ₂	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
1	深灰色泥质灰岩	81.08	39.52	46.64	1.42	7.22	2.85	0.62	0.56	0.19	0.26	0.15	0.06	0.18
2	灰黄色泥灰岩	73.32	36.34	44.3	0.9	9.02	3.85	1.27	1.1	0.58	2.01	0.4	0.09	0.08
3	泥黄色泥灰岩	63.18	32.1	41.3	1.4	13.15	4.2	3.4	2.1	1.24	0.36	0.5	0.01	0.09

2.2 试验结果及其分析

实验过程中观察到3组不同试样在浓度相同、溶液体积相同的烧杯中所表现的不同特征。随着溶蚀作用的进行,溶液变浑浊,岩样表面有酸不溶物逐渐脱落,沉淀于杯底,岩样质量减轻。其中第1组试样中酸液比较清澈,沉淀的泥质不溶物很少,岩样表面汽泡

比较均匀;第2组试样中酸液略显浑浊,呈淡黄色,不溶物悬浮于液体中;第3组试样中酸液由清澈变为泥黄色,大量不溶物沉淀于杯底(图3)。

溶蚀实验结束后对溶蚀试样进行显微镜观察,可见岩石内部顺结构面发生溶蚀作用比较强烈,泥质含量偏低的泥质灰岩(第1组试样)中均匀溶蚀作用比

较突出,试样表面溶蚀强烈,试样整体均匀变小。泥质含量偏高(第2、3组试样)的泥灰岩发生选择性溶蚀作用更加明显, CaCO_3 溶解后,镜下观察可见溶孔附近伊利石/蒙脱石(I/S)混层粘土矿物相对富集。顺试样表面发育的裂隙控制了溶蚀作用的进行,溶蚀沿表面裂隙向岩石内部扩张,在裂隙两侧形成小溶孔和溶隙,其溶蚀形态大致可以分为下面几种:

(1)树枝状溶蚀形态

溶蚀通道貌似树杆结构,包括一条主要通道(长度 $>5\text{mm}$,宽度 $0.5\sim 1\text{mm}$),向两侧分散展布次级孔洞,宽度 $0.1\sim 0.5\text{mm}$ 。这类特征主要受岩石内的微裂隙形态及裂隙组合形式控制。通过正交偏光镜下成像分析,原始形状为构造裂隙,后期经强烈溶蚀作用,



图2 溶蚀试验装置

Fig. 2 Test equipment of karstification

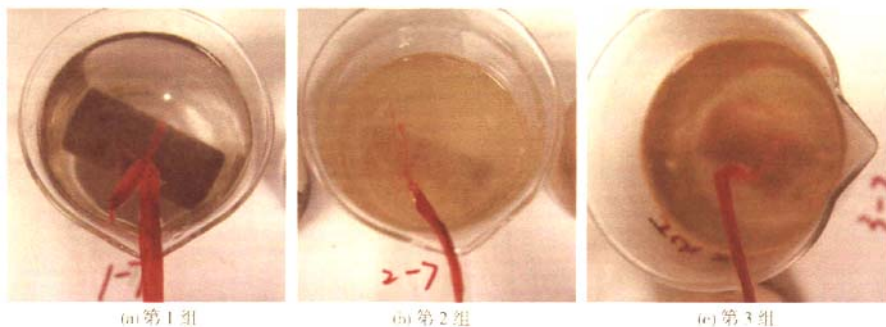


图3 试验过程中酸液对不同岩性试样的响应

Fig. 3 The response of dilute hydrochloric acid to different samples during the tests

裂隙宽度增加,并在原始主裂隙两侧发展次级裂隙,沿裂隙壁发生溶蚀作用,逐渐形成连续的宽大通道(图4a)。

(2)环状和放射状溶蚀形态

溶蚀孔洞特点是主要围绕角砾边缘发育,并向四周呈放射状,与其它周围孔洞构成连通的结构。正交偏光镜下溶孔沿圆形角砾(粒径 $1\sim 3\text{mm}$)边缘发育,单个角砾边缘形成一条宽度约 0.1mm 的环形溶蚀通道(图4b)。如果多组角砾边缘均有溶蚀孔洞发育,随着溶蚀作用的逐渐增强,环形溶蚀通道之间会发生相互交叉、连通,形成沿角砾边缘呈放射状的溶蚀形态(图4c)。这种溶蚀形态孔洞边壁较圆滑,与构造成因形成的裂隙有明显的不同。

(3)串珠状溶蚀形态

溶蚀孔洞的特点是形态像一串珠子,多组孔洞之间呈线状不连续排列,溶蚀孔洞大小在 $0.1\sim 0.5\text{mm}$ 之间。该类型溶孔的发育主要受单组裂隙控制,在裂隙发育较宽大的部位,溶蚀作用强烈,更促进缝隙的扩展,在裂隙张开度较小的部位,水流不畅通,而且矿物中不溶组分易在此处堆积,阻碍了溶蚀作用的发

生。久而久之,溶蚀孔洞发育形态类似一串珠子形态(图4d)。

(4)分散状溶蚀形态

分散状溶孔指那些没有规律性、散布在岩石内部的小型溶孔,孔径大小为 $0.1\sim 1\text{mm}$ 不等。水流顺岩层面或构造裂隙,在 CaCO_3 含量高的地方易发生溶蚀作用,带走易溶组分,而不溶组分残留富集,但在水流畅通条件下,不溶组分也可以被迁移带走。分散状溶蚀孔洞形态各异,一般孔洞边缘比较圆滑,延伸长轴方向常追踪微裂隙的延展方向(图4e)。

(5)生物溶孔

溶蚀形态的发育特点主要受生物壳体形态控制,大小由生物壳体规模决定,一般构成生物壳体的 CaCO_3 被溶解后,壳体形态保留下来,形成生物溶孔(图4f)。

上述5种类型的溶蚀形态在3组试样中均有存在,但由于试样的成分和结构等方面的差异,不同试样具有不同的优势溶蚀样式。其中泥质含量偏低的泥灰岩(第1组试样)中环状和放射状溶蚀形态以及生物溶孔较为发育,而在泥质含量偏高的泥灰岩(第

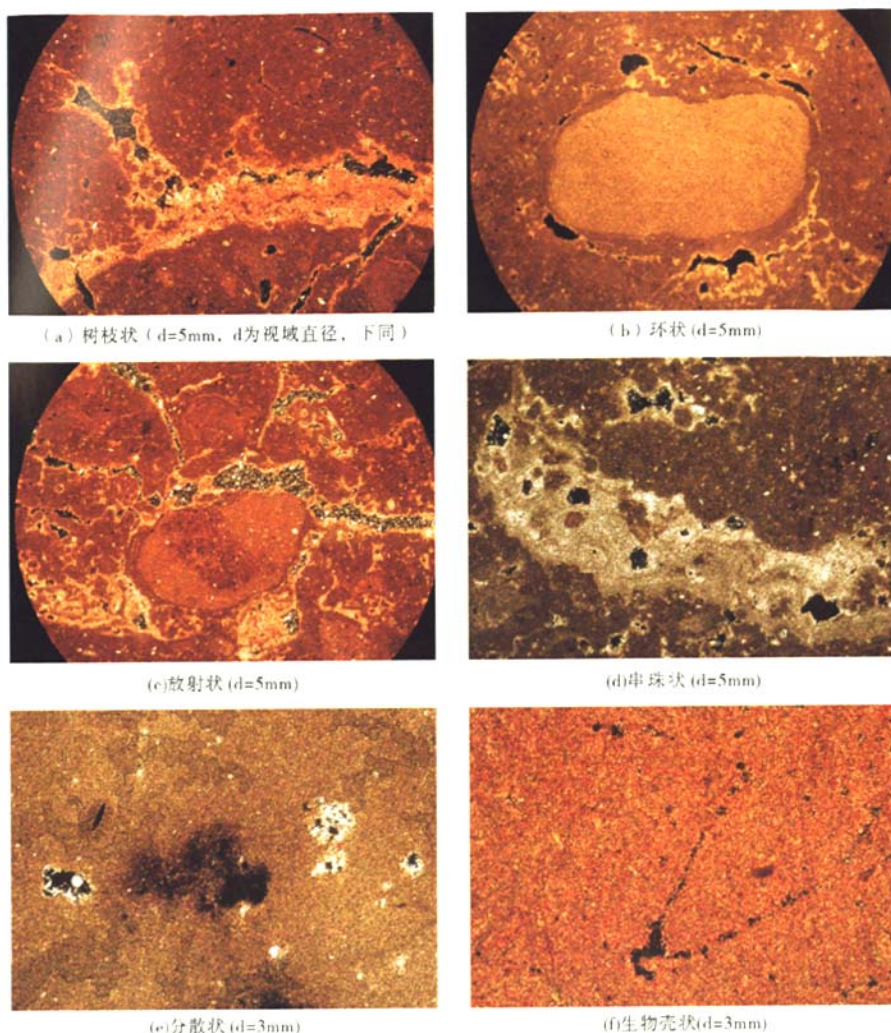


图4 显微镜下泥灰岩溶蚀形态

Fig. 4 Karst morphs of marlite under microscope

2、3 组试样)中更易形成树枝状以及串珠状溶蚀形态,这主要是由于泥灰岩中泥质含量的增多,岩石内部存在更多微小裂隙的原因所致。

3 结论与讨论

通过泥灰岩的溶蚀试验过程以及溶蚀结果的镜下观察得出以下几点认识:

(1)与纯灰岩相比,泥灰岩结构弱化特点更加突出,主要表现在内部节理和层理小构造的密集发育上,这也正是泥灰岩容易发生溶蚀作用的根本原因;

(2)泥灰岩的溶蚀作用受不同因素的影响,如水溶液的酸碱性、物质成分的变化、以及岩石本身的结

构特征等,由此形成多种不同的溶蚀形态,如树枝状、环状、放射状、串珠状、分散状以及生物壳状等类型;

(3)泥灰岩溶蚀的作用主要表现为可溶物质不断被酸性溶液溶解,而大量的不溶泥质物则残留富集于试样表面,但如果在水流动特别是水流活动较强烈的条件下,由于受到机械冲刷,泥质物将从岩石表面脱落并逐渐被水流带走。此外,由于溶蚀作用还导致岩石结构弱化,溶蚀初期岩石中先是有微小裂隙的出现,而后伴随溶蚀作用的持续进行,裂隙逐渐向四周和内部扩展,进而破坏泥灰岩整体结构。

本文主要以四川奉节地区三叠系中统巴东组泥灰岩为研究对象,在泥灰岩溶蚀机理方面得出了一些具体认识,对三峡地区泥灰岩边坡发生岩溶地质灾害

问题的认识有一定的参考意义。但由于试验工作受试样和实验条件的限制,数据结果具有一定的局限性。另外室内试验条件与复杂的现场实际情况还存在一定差别,今后尚需进一步研究完善。

参考文献

- [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: 7—13.
- [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: 197.
- [3] 刘海燕, 伍法权, 祁生文, 等. 三峡库区泥质灰岩溶蚀作用与边坡岩体破坏[J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34 (4): 37—41.
- [4] 刘功余, 张美良, 邓自强, 等. 桂林晚白垩世红色岩溶建造中溶积钙质泥岩的成因及地质意义[J]. 中国岩溶, 1992, 11(2): 162—172.
- [5] 刘海燕, 伍法权, 祁生文, 等. 白衣庵滑坡的新认识[J]. 工程地质学报, 2006, 14(6): 782—786.
- [6] 张加桂, 曲永新. 库区泥灰质岩石溶蚀作用的微观研究[J]. 工程地质学报, 2005, 13(1): 12—17.
- [7] 祁生文, 伍法权, 常中华, 等. 三峡地区奉节县城缓倾层状岸坡变形破坏模式及成因机制[J]. 岩土工程学报, 2006, (01): 88—91.
- [8] 卢积堂, 代云凯, 刘新建, 等. 河南第四纪泥灰岩岩溶发育特征及供水意义[J]. 中国岩溶, 1993, 12(4): 319—327.
- [9] 吴亚顺, 林明成. 大连地区风化泥灰岩的工程特征[J]. 岩土工程界, 2003, (4): 70—71.
- [10] 张加桂. 三峡移民安置区泥灰质岩岩溶风化灾变性分析[J]. 中国岩溶, 2005, 24(3): 239—244.

Analysis on the features of marlite's solution morphs under 5% HCl condition —A case study from the Badong Group marlite of the Middle Triassic in Fengjie, Sichuan province

LIU Hai-yan^{1,2}, LI Zeng-xue¹, FANG Qing-hua¹, HU Xiu-hong³, Lü Da-wei¹

(1. College of Geology Science and Engineering, SDUST, Qingdao, Shandong 266510, China;
2. Key Laboratory of Depositional Mineralization & Sedimentary Mineral (SDUST), Shandong Province,
Qingdao, Shandong 266510, China; 3. Institute of Geology and Geophysics,
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: Karst erosion test and microscopic observation are adopted to analyze the features of marlite's solution morphs in the karst process in this paper, and the karst process and karst morphs of the Badong Group marlite in Fengjie, Sichuan province is studied. The results show that the karstification of marlite is influenced by many different factors. Joints and fissures are the most important factors. Different karst morphs come into being during the karst process, including twig-like, ring-shaped, radial pattern, beading-shaped, dispersed and biologic shell shaped ones. The soluble minerals are dissolved progressively during the process and large amount of argillaceous components fallen off the marlite and then taken away by running water, which lead to the rock structure getting weakening accompanying the variation of the marlite's composition.
Key words: marlite; karst morph; microscopic observation; rock structure; Fengjie, Sichuan province