

巢湖北山碳酸盐岩溶蚀机理实验研究^{*}

周 鑫^{1,2},王心源^{1,2,3}

(1. 安徽师范大学 环境科学学院;安徽 芜湖 241000;2. 安徽师范大学 安徽省遥感考古工作站,
安徽 芜湖 241000;3. 中国科学技术大学 地球与空间科学系,合肥 230026)

摘 要:采用室内实验模拟的方法,根据岩溶发育的影响因素,研究了碳酸盐岩的溶蚀机理,研究认为,巢湖北山地区碳酸盐岩的岩溶发育受岩性、结构的控制;在溶蚀后期外界的机械破坏和生物破坏对岩溶起主导作用,且在不同的 CO₂分压条件下,混合溶蚀机理不同。

关键词:碳酸盐岩岩溶;实验模拟;溶蚀机理;巢湖北山

中图分类号: P642. 25

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)04-0194-03

Study on the Carbonate Karst's Corrosion Mechanism in North Mountain of Chaohu

ZHOU Xin^{1,2},WANG Xin-yuan^{1,2,3}

(1. College of Environmental Science, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000, China;

2. College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000, China;

3. Department of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract :The carbonate karst's mechanism and its influence factors were studied using laboratory simulation method. The results suggest that the lithologic characteristic and rock structure are the main factors which control the karst development in North Mountain of Chaohu. However, the mechanical damage and biological destruction play a dominant role in late corrosion, and the development mechanism of carbonate rock is different at various pressures of CO₂.

Key words :carbonate karst;experiments simulate;corrosion mechanism;north mountain of Chaohu

研究岩溶不仅要研究该地区的地貌特征,关注 CO₂ - H₂O - 碳酸盐岩体系内发生的溶蚀作用;考虑到研究区域的酸性降雨因素,还应研究与硫有关的岩溶,即碳酸盐岩与硫酸发生反应的岩溶机理。由于岩溶作用受许多因素的影响,本文在探讨巢湖北山碳酸盐岩结构和化学成分对溶蚀作用影响的基础上,就酸雨对碳酸盐岩的侵蚀作用进行室内模拟实验研究,并建立其反应平衡模型作理论计算来显示降雨酸化后碳酸盐岩的侵蚀性变化情况,揭示了该地区碳酸盐岩岩溶的发育机理。

1 实验对象及主要化学成分分析

本项研究所用岩石样品采自巢湖市北山,岩石纹理清晰、易碎,敲击时有臭鸡蛋味,参照地址出版社《岩石矿物分析》中碳酸盐岩石分析方法,随机取经切割打磨的样品 4 块,分成两组,分别粉碎缩分、研磨后过 200 目筛,碳酸钙、碳酸镁的测定用 EDTA 容量法,二氧化硅、氧化铝的测定用碱熔分光光度法,氧化铁的测定用原子吸收法,总酸不溶物的测定用重量法。测量仪器为日本岛津公司产的紫外可见

^{*} 收稿日期:2007-03-15

基金项目:国家自然科学基金(40571162);安徽省自然科学基金项目(04045406);安徽省教育厅自然科学基金重点项目(2004kj165zd);安徽师范大学自然地理校级重点学科经费资助

作者简介:周鑫(1982-),男,安徽安庆人,硕士研究生,研究方向:遥感技术与生态环境分析。

分光光度计和北京第二光学仪器厂产的原子吸收光谱仪,具体数据见表 1。从中可见岩石以碳酸钙为主成分,与酸性水体能较好反应,岩性和结构是该区岩溶反应的主导因素。

表 1 岩石主要化学成分分析结果

溶蚀类别	检验项目	1 号样	2 号样
酸可溶物	碳酸钙(CaCO ₃)	95.02	97.04
	碳酸镁(MgCO ₃)	3.25	1.52
酸不溶物	二氧化硅(SiO ₂)	0.025	0.015
	氧化铁(Fe ₂ O ₃)	0.013	0.0042
	氧化铝(Al ₂ O ₃)	0.54	0.48
	其他酸不溶物	1.06	0.84

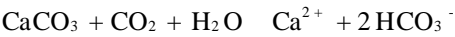
2 实验方法

2.1 试样准备

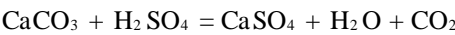
任意取不规则岩样 2 个,用蒸馏水冲净后,置干燥箱内 100 ℃下烘干,称重,然后在常温下用蒸馏水浸泡一段时间后(一般为 7 d)进行溶蚀试验。

2.2 实验原理

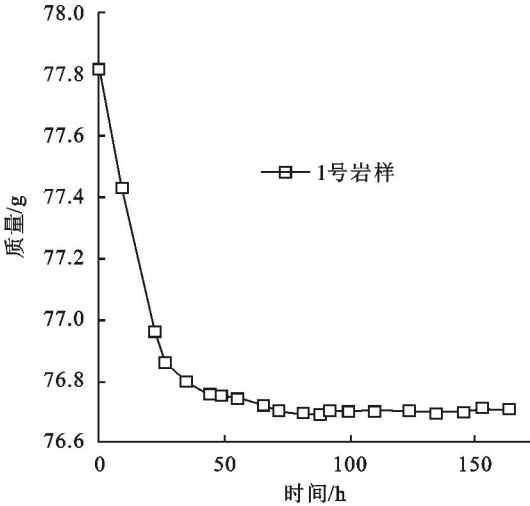
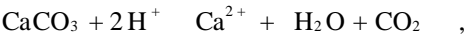
天然条件下,在地表和地下发生的碳酸盐岩溶解主要是由于如下化学反应所致:



当有酸性降雨(以硫酸为主要成分)参与反应时会使该方程式向右边加速反应,化学反应方程式为:



离子方程式为



从该反应式我们能看出,每消耗 2 mol 的 H⁺,可溶蚀 1 mol 的 CaCO₃,释放出 1 mol 的 CO₂,在理论上可以分别建立起硫酸参与加速反应的 H⁺ 与时间 t 变化曲线和 Ca²⁺ 与时间 t 的变化曲线,在实验室中则可通过仪器测量分别得到岩样质量与时间变化曲线图与溶蚀液 pH 值与时间变化曲线,比较后可得出溶蚀液的 pH 值与岩样溶蚀量的关系模型,从而可以探讨出研究区域的岩溶机理。

2.3 实验过程和内容

将制备的岩样编号后用铜丝悬挂在配制好的硫酸溶液中溶蚀,不定时取出岩样,记录时间,使用精密 pH 计测量溶蚀液的 pH 值(精度达到 0.01),同时在装有干燥剂的密封干燥皿中悬空干燥 2 h,使用精密天平测出岩样的质量(精度达到 0.000 1)。由于干燥过程中岩样没有发生溶蚀反应,可近似的认为该实验是连续反应的。经过处理得出两组实验数据。

3 结果与讨论

3.1 岩样质量随时间变化的关系

从图 1 中我们能看出从岩石放入后 25 h 内,溶蚀反应急剧,曲线近乎直线,在 25 ~ 90 h 期间,曲线光滑下降,在 90 h 左右曲线发生轻微上扬,可能是溶蚀液中 Ca²⁺ 和 CaSO₄ 及 MgSO₄ 富集在岩石表面导致;图 2 反映了溶蚀液的 pH 值与时间的变化关系曲线,pH 值变化至 5.5 之前,曲线光滑凹向上扬,然后凸向上扬至平衡状态,溶蚀液的 pH 值在 7.81 ~ 8.12 之间。

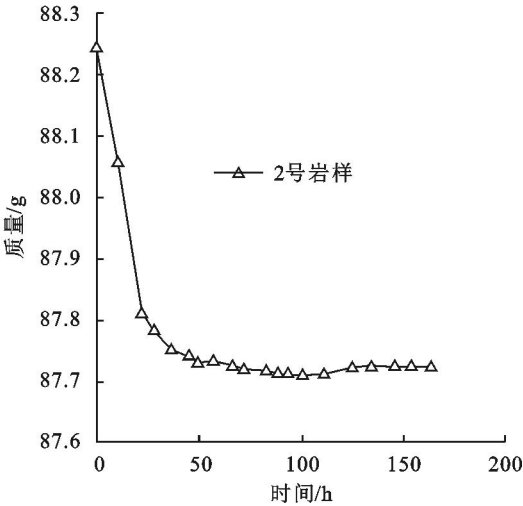


图 1 岩样质量与时间变化曲线图

3.2 两组溶蚀液的 pH 值与时间变化曲线分析

由图 2 看出,在 pH 值 5.5 左右,以及 pH 值 6.5 左右,pH 值上升速率出现明显的变化,两个拐点将曲线分为 3 段。在 pH 值小于 5.5 时,pH 值上升速率

最快,曲线斜率最大,在 5.5 ~ 6.5 之间,pH 值上升速率明显降低,当 pH 值上升到 6.5 以后,速率再次加快,但比 pH = 5.5 以前的速率要低。这说明了在 pH = 5.5 ~ 6.5 之间,岩溶侵蚀作用最强烈。由此可见,

巢湖市北山的岩石混合溶蚀作用在不同的 P_{CO_2} 条件下的溶蚀机理不同,这同 Berner 和 Morse 及刘再华

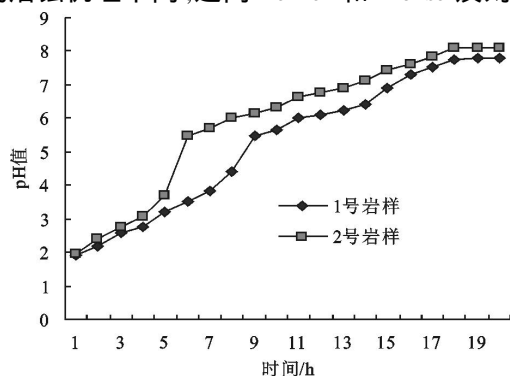


图2 岩样溶蚀液 pH 值与时间变化曲线图

3.3 溶解速率与 pH 值的相关分析

Berner & Morse 曾利用稳定 pH 值方法进行了在 25 和不同分压条件下的细颗粒状方解石溶解实验,其结果被表示为溶解速率对 pH 的函数曲线(图 3)。图中,曲线可明显地分为 3 段,反映出 3 个不同的速率控制机理。区域 1 代表溶液为低 pH 值或远离平衡条件,溶解速率随 pH 显著增加,反映了 H^+ 的传输对溶解速率的控制;区域 2 代表溶液为中等 pH 值条件,溶解速率虽随 pH 增加,但曲线的斜率显著降低,反映出溶解速率控制机理的改变,即由传输控制为主转入以化学反应控制为主;区域 3 代表溶液在高 pH 值或近平衡条件下,溶解速率随着平衡的接近显著降低,他们将此归于方解石表面 PO_4^{3-} 等的阻滞机理。图 1、图 2 反映的特征和意义与图 3 是一致的:即不同的曲线段,反映了不同的速率控制机理。分析认为,图 1、图 2 中各曲线段也与图 3 中各段相对应。

4 结 论

(1) 巢湖北山岩溶区岩溶发育受岩性、结构的控

得出的结论是一致的。

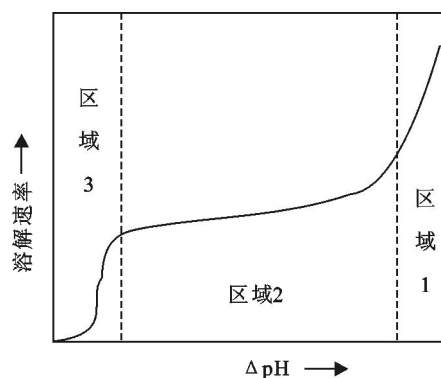


图3 溶解速率与 pH 关系示意图

(据刘再华,1990)

制。岩性不同,混合溶蚀速率不同。

(2) 溶蚀后期溶蚀液中 Ca^{2+} 和 $CaSO_4$ 及 $MgSO_4$ 富集在岩石表面,导致溶蚀速度的降低,但岩石孔隙变大,此时外界水体流动力等的机械破坏和生物破坏对岩溶起主导作用。

(3) 在不同的 CO_2 分压条件下,巢湖北山岩溶区内碳酸盐岩的混合溶蚀机理不同。即:低 CO_2 分压或远离平衡条件时,以 H^+ 的传输对溶解速率的控制为主;中等 CO_2 分压条件下,由传输控制为主转入以化学反应控制为主;高 CO_2 分压或近平衡条件时,主要表现为碳酸盐岩表面等的阻滞机理。

参考文献:

- [1] 任美镔,刘振中,等.岩溶学概论[M].北京:商务印书馆出版社,1983.
- [2] 袁道先,蔡桂鸿.岩溶环境学[M].重庆:重庆出版社,1988.
- [3] 刘再华.流动 CO_2 - H_2O 系统中方解石溶解、沉积的速率控制机理[M].桂林:广西师范大学出版社,1997.
- [4] 钱会,胡建刚. Bogli 混合溶蚀理论及其在实际应用中所存在的问题[J].中国岩溶,1996,(4):367 - 375.

(上接第 193 页)

参考文献:

- [1] 黎四龙,蔡强国,吴淑安,等.坡长对径流及侵蚀的影响[J].干旱区资源与环境,1988,12(1):29 - 35.
- [2] 姚治君,廖俊国,陈传友.云南玉龙山东南坡降雨因子与土壤流失关系的研究[J],自然资源学报,1991,(6):45 - 53.
- [3] 蔡强国.坡长在坡面侵蚀产沙过程中的作用[J].泥沙研究,1989,12(4):84 - 91.
- [4] 万朝廷.黄丘五副区降雨和地形因素与坡面水土流失关系研究[J].中国水土保持,1996,(12):26 - 29.
- [5] 吴发启,赵晓光,刘秉正,等.黄土高原南部缓坡耕地降雨与侵蚀的关系[J].水土保持研究,1999,(2):53 - 60.