

观音岩地区钙质砂(砾)岩溶蚀试验模拟研究

漆继红, 许 模, 钱 玲, 马 莹

(成都理工大学环境与土木工程学院, 610059)

摘 要: 岩石的溶蚀对岩溶的产生至关重要, 溶蚀机理及其影响因素的研究对于溶蚀现象解释必不可少。针对研究较少的钙质砂(砾)岩, 采用试验模拟的方法, 考虑了影响岩溶发育的影响因素去研究钙质砂(砾)岩的溶蚀特点。研究认为: 钙质砂(砾)岩溶蚀速度缓慢; 岩石样品的固有特性对岩溶发育有重要影响; 岩样的状态因素不是溶蚀的控制性因素, 钙质砂(砾)岩的溶蚀速率慢于同等条件下的碳酸盐岩。

关键词: 钙质砂(砾)岩; 岩溶; 试验模拟; 胶结方式

中图分类号: P642.25

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)03-0064-03

Experimental Simulation of Dissolution for Cal-gritstone and Cal-conglomerate from Guanyingyan

QI Ji-hong, XU Mo, QIAN Ling, MA Ying

(College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The corrosion plays an important role on karst formation. The mechanism of corrosion and its influence factors must be taken into account when explaining the effects of the karst. According to the cal-gritstone or cal-conglomerate with few information, the purpose of present work is to study the characteristic of corrosion considering its influence factors. The result shows that the rate of corrosion is very slow, the intrinsic characteristics have much effect on the development of the karst and the form of the sample is not the decisive factor and the velocity is slower than carbonate rocks.

Key words: cal-gritstone and cal-conglomerate; karst; experimental simulation; cementation style

我国西南地区岩溶广泛分布^[1]。岩溶地貌发育影响建筑物基础、天然洞室的稳定性; 基坑、坑道涌水量; 枢纽和水库的渗漏。同时是土地的利用, 岩溶地下水资源的评价及利用, 矿产开发时必须研究的问题。云南省丽江市华坪县与四川省攀枝花市交接的塘坝河口附近是观音岩水电站拟定坝区, 坝址基岩为侏罗系中、下统, 中统蛇店组(J_{2s})。蛇店组按工程地质特性分为三段: 下段(J_{2s}^1), 中段(J_{2s}^2), 上段(J_{2s}^3)。其中 J_{2s}^2 及 J_{2s}^3 下部铁质钙质的砾岩、细砂岩、含砾细砂岩在地下水作用下, 沿层理方向或陡倾角裂隙产生溶蚀现象, 局部形成小型溶洞, 勘探揭露最大直径约 2 m, 最大深度约 150 m, 对坝基、洞室稳定不利。因此有必要对坝址钙质砂(砾)岩的溶蚀发育特点, 影响岩溶发育的因素进行研究^[2]。

半个多世纪以来, 尤其是最近二三十年来, 由于石油和天然气资源的开发, 对岩溶的研究也得到了长足的发展。但绝大多数研究的对象是针对碳酸岩盐、砾屑石灰岩溶蚀所形成的岩溶。钙质或含钙质砂(砾)岩由于碳酸盐成分的含量相对低, 分布地区也相对狭窄, 对其溶蚀研究资料较少。

资料显示^[3,5,6]:

(1) 碳酸盐岩的矿物成分和化学成分是影响溶蚀的重要因素, 而其结构对溶蚀的作用, 尤其是物理破坏作用有关, 但是意义不及前述因素。

(2) 溶蚀的温度、压力和溶蚀的介质的不同会影响碳酸盐岩的溶蚀速率。对于某个溶蚀介质而言, 存在最佳的溶蚀温度和压力条件。资料显示^[5], 路南石林碳酸盐岩在年平均温度 15.5℃, 平均降水量 948 mm 的情况下溶蚀率变化范围从 32 mm/10³ a 至 73 mm/10³ a。

(3) 在近地表的条件下, 碳酸盐岩石的溶解速度随岩石中方解石的含量增加而加快; 随着白云石的含量的增加而降低; 试验进一步显示在环境温度范围为 40~60℃, 方解石的溶蚀速率远大于白云石。

同碳酸盐岩、砾屑石灰岩一样, 钙质砂(砾)岩的溶蚀受到多种环境因素的影响。本文模拟影响岩溶发育的水动力条件, 采用不同的岩石样品进行了溶蚀试验研究。提出岩石成分、结构、环境因素对钙质砂(砾)岩的溶蚀影响特点。

1 试验对象

本次试验研究的对象取自观音岩水电枢纽拟建坝区不同勘测坪洞内。

钙质砂(砾)岩的主要矿物成分为石英、长石和方解石, 白云岩含量很低。其中含有的可溶性钙质成分($CaCO_3$)的含量在一般来说在 20% 左右, 主要以孔隙胶结物和灰岩岩屑的方式存在。岩石由于含铁质色泽一般呈现砖红-紫红。

* 收稿日期: 2006-03-13

作者简介: 漆继红(1975-), 女, 现于成都理工大学环工学院就读博士, 研究方向: 环境地质。

试验装置^[3,4]如图1示。将加工好待用的试样放入溶蚀瓶中,浸泡一定时间后开始溶蚀试验。保持高位槽水位恒定,CO₂气体以恒定的流量送入高位槽中进行溶解吸收,将混合均匀的具有一定CO₂浓度的水溶液以恒定流量供给溶蚀瓶。同时保持溶蚀瓶中渗滤液以相同大小的流量排出,以一定的时间间隔取出渗滤液分析。试验时水溶液温度保持基本恒定,为当时的平均室温15~16.7℃。

溶蚀中钙质成分的溶解和析出是溶蚀实验中存在的一对矛盾。若溶蚀试验采用浸泡的方式,溶解速度将受到溶质析出的较大影响^[4]。本次实验模拟天然情况,采用了流动的液体进行溶蚀试验,可以将析出的影响降低,比单纯的浸泡岩样样品的溶蚀速率要快。

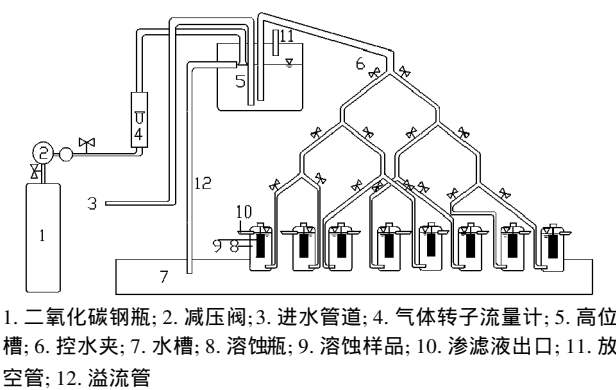


图1 试验流程及设备简图

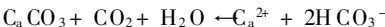
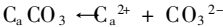
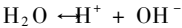
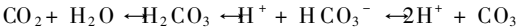
表1 样品岩石特征表

样号	鉴定名称	特征	胶结方式	可溶物含量/ %
S ₁	砂岩	紫红色色泽,长石、灰岩碎屑为主,局部见石英脉,粗粒钙质砂岩	胶结为细晶方解石,局部是硅质胶结	18
S ₂	砂岩	砖红色夹杂灰白色色泽,石英、长石碎屑为主,中粒钙质砂岩	铁质,泥晶方解石,白云石胶结	22
S ₃	砾岩	紫红色色泽灰岩砾石,含燧石,石英、长石碎屑,钙质中粒砾岩	方解石胶结	20
S ₄	砂岩	砖红夹杂着灰白色,碎屑以石英、长石为主,含燧石,粗粒钙质砂岩	细晶方解石为主	18
S ₅	砂岩	紫红- 砖红色色泽,长石、石英碎屑为主,具有方解石石脉,细粒钙质砂岩	铁质、泥晶方解石,中晶白云石、方解石细脉	23
S ₆	砂岩	砖红- 紫红色色泽,长石、石英碎屑为主,中粒钙质砂岩	铁质,泥晶方解石,白云石胶结	22
S ₇	砂岩	砖红色色泽,石英碎屑为主,中粒钙质砂岩	泥晶方解石	20
S ₈	砂岩	紫红- 砖红色色泽 长石碎屑为主,细粒钙质砂岩	铁质、泥晶方解石,中晶白云石	23

2 试验结果及讨论

2.1 溶蚀过程

天然状态下,钙质砂(砾)岩的中碳酸钙组分溶蚀过程可以表示如下的^[3]:



其中氢离子的产生部分来源于水的离解。从溶蚀过程

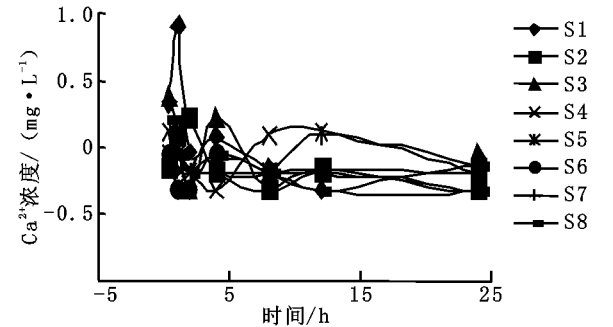


图2 块状样品溶蚀渗滤液中Ca²⁺浓度随时间变化

将渗滤液体中Ca²⁺浓度随取样时间的变化规律示于上图2(块状样品)和图3(散状样品)。

在溶蚀试验时间内,块状样品在前面较短时间内Ca²⁺浓度较高,但有明显的波动变化,在试验后期Ca²⁺浓度变化较小,且处于较低的水平,很多时刻按照试验测定的精度无法测得渗滤液体中有Ca²⁺的存在。同样的,散状态样品具备的相似的变化规律。

2.2.2 两种样品溶蚀率比较

将Ca²⁺的浓度换算为CaCO₃浓度(mg/L),在划分的时间段内换算成溶蚀掉的CaCO₃的质量,将各段溶蚀量加和之后成为CaCO₃的总的溶蚀量W;溶蚀率计算如下所示。

来看,溶液中CO₂的浓度的增加会促进溶蚀的发生。根据钙质砂(砾)岩含可溶蚀成分含量较碳酸盐岩低的特性,试验采用了通入CO₂气体来提高溶解于水的CO₂的浓度以促进反应的进行。

2.2 不同岩样在相同条件下的溶蚀

2.2.1 两种不同形态样品渗滤液比较

在岩样特征表中,S₁~S₈号样品被加工成为长方柱状和被粉碎成粒度接近的散样两种状态。溶蚀试验温度保持为恒定温度(室温),CO₂以恒定压力充入水中。分析测定送入溶蚀瓶中的CO₂浓度可达到1100mg/L。

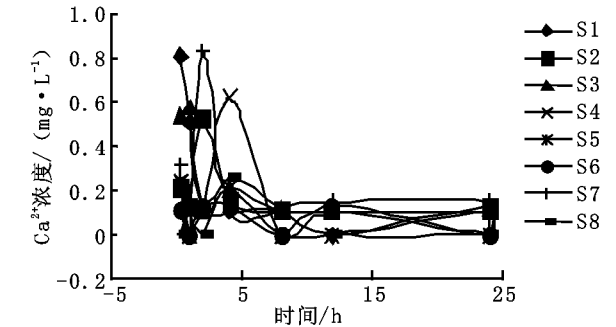


图3 散状样品溶蚀渗滤液中Ca²⁺浓度

其中W₀是样品的原重,W是试验前后的质量变化,S是柱状样的表面积,t是溶蚀总时间。

$$(\text{溶蚀率}) S_r = \frac{W}{W_0} \times 1\,000$$

$$(\text{平均溶蚀速率}) \bar{v} = \frac{\Delta W}{t \cdot S}$$

上述方法定义的溶蚀率及溶蚀速率是通过溶蚀渗滤液中离子浓度的变化换算所获得,忽略了溶蚀过程中的物理破坏。由于化学溶蚀占总溶蚀比例大于70%^[3],而模拟试验中物理溶蚀影响比天然状态更低,因此该忽略对溶蚀规律是合理的。

两种情况下样品的溶蚀率对比如下图4所示:

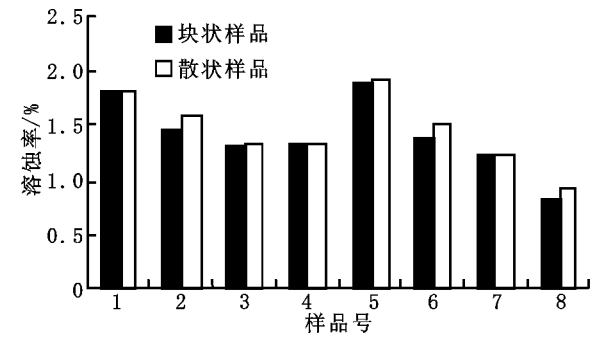


图 4 两种样品溶蚀率大小的比较

对两种样品在溶蚀试验阶段的溶蚀率进行比较。结果显示样品粉碎后,所有的样品在同样的溶蚀时间段溶蚀率都有微弱的增长。2号、6号、8号样品溶蚀速率的增长明显,比例分别达到 1.09、1.10、1.12。其余的 5 个样品的溶蚀速率增长均在 1.1 以下,1、4 号品增长最少。样品的溶蚀速率数量级别在 $10^{-8} \text{ mg}/(\text{h} \cdot \text{dm}^2)$ 。

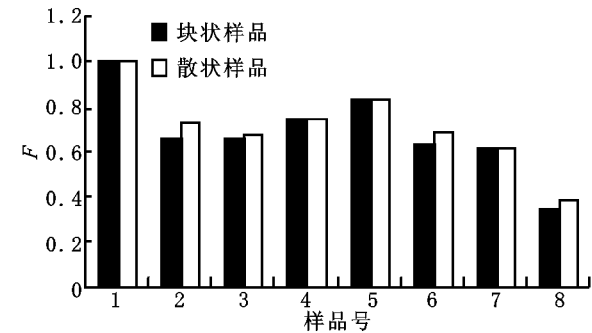


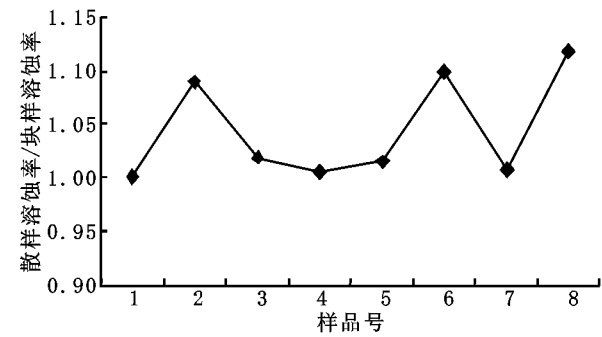
图 5 不同样品 F 值的比较

结果显示, F 值的变化规律几乎和溶蚀率的变化规律一致。

3 结 论

在实验室中,要保持 CO₂ 的持续供应以及温度基本恒定是比较困难的,因此实验没有维持更长的时间。本次实验有如下结论:

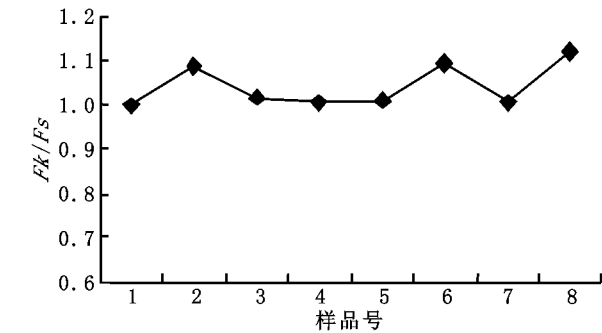
(1) 从渗滤液中 Ca²⁺ 浓度变化来看,实验前期浓度较高,并且有明显的波动。这是因为加工好的样品刚刚暴露出新鲜表面,未达到平稳溶蚀阶段所致。实验结束后计算得到溶蚀率(化学溶蚀率)远低于可溶解物质的含量,这说明溶蚀在实验结束后并没有停止,但是速率很慢(数量级别在 $10^{-8} \text{ mg}/(\text{h} \cdot \text{dm}^2)$),某些时刻取得的溶蚀渗滤液中甚至测不到的 Ca²⁺ 的存在。(2) 与资料^[5,6] 对比显示,在较高的 CO₂ 水溶液中,钙质砂(砾)岩的溶蚀较相近条件下的碳酸盐岩溶蚀要慢(数量级相差达到 1~2)。因此,与碳酸盐岩中可溶 CaCO₃ 含量在 60% 左右相比,试验显示的溶蚀速率随可溶解参考文献:



定义 F 为溶蚀率与样品可溶解物之比, m 是样品中可溶物的含量(F_c 针对块状样品; F_s 针对散装样品)

$$F = \frac{S_c}{m}$$

F 值的比较结果显示于图 5 中:



物质含量的变化并不呈现线性关系。(3) 相同位置的岩石样品粉碎后,溶蚀率得到了增加,但是幅度微小。而从渗滤液中 Ca²⁺ 浓度变化分析结果来看,散样状态样品与块状样品具有相似的变化特点:实验前期浓度较高,波动明显;在实验后期浓度都很低,且两种情况大小接近。显然,岩样的粉碎对溶蚀的促进作用很弱,没有使溶蚀速度得到较大的改善。(4) 溶蚀率增加相对明显(1.09~ 1.13)的岩石样品从胶结方式来看都是铁质、泥晶方解石、白云石胶结。这可能是由于泥晶碎屑颗粒细小,块状岩石样品方解石胶结物的空隙率低于细、中晶等方式。岩石的粉碎对该岩样和溶液接触面积增长幅度较大,因此出现了该种胶结方式的样品在粉碎成为散装后溶蚀率增长稍显明显的结果。(5) 实验的溶蚀率的快慢与 F 值大小的变化大体相同,说明本次试验样品在溶蚀的外界条件相同的情况下,可溶解物质的含量多少是溶蚀快慢的控制性因素;但是溶蚀率的大小变化并不和可溶物质的含量大小完全一致,因此溶蚀的快慢还受到例如碎屑胶结方式,碎屑颗粒大小,可溶物是否有杂质等因素的综合影响。

[1] 中国地质科学研岩溶研究所. 桂林岩溶研究[M]. 重庆:重庆出版社, 1987. 17- 91.

[2] 许模,等. 观音岩溶蚀机理中间报告[R]. 成都理工大学地质灾害防治与环境保护国家专业实验室, 2005. 1- 3.

[3] 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- 71.

[4] 张凤娥,等. 硫酸盐岩溶机理试验研究[J]. 水文地质工程地质, 2001, (5): 12- 17.

[5] 刘宏,吴文青. 路南石林现代喀斯特溶蚀速率研究[J]. 云南地理环境研究. 1998, 10(增刊): 114- 121.

[6] 杨俊杰,等. 埋藏温压条件下的,白云岩溶解过程的实验模拟研究[J]. 沉积学报, 1995, 13(3): 84- 88.

[7] 刘尚仁. 广东的红层岩溶及其机制[J]. 中国岩溶, 1994, 13(4): 395- 403.

[8] 郭春清,等. 砂岩储层中有机酸对主要矿物的溶蚀作用及机理研究综述[J]. 地质地球化学, 2003, 31(3): 53- 58.

[9] 杨晓宁,等. 碎屑岩次生孔隙形成机理[J]. 大气石油学院学报, 2004, 28(1): 4- 8.