

蚀变岩水-岩相互作用试验研究

徐德敏, 黄润秋, 虞修竟, 于 静, 林 峰

(成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059)

摘 要:对疏松易碎的蚀变软弱岩块进行了水-岩化学作用的试验研究。为缩短浸泡时间, 加速水-岩相互作用, 采用一种极端的方法, 把岩块敲碎经筛分取小于 10 mm 粒径岩屑, 利用电磁式空气泵从岩屑底部连续吹气的方式进行浸泡试验(其中一组考虑了酸碱度的变化), 期间按不同时段取水样分析。试验结果发现: 浸泡溶液的离子浓度变化不大。在常压条件下, 水-岩化学作用对蚀变岩体的渗透性及力学性质影响均较小。但在酸性条件下会加剧水-岩化学反应。

关键词:水-岩化学作用; 蚀变岩; 吹气浸泡试验; 离子浓度; 酸、碱条件; 岩屑

中图分类号: P592

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)02-0117-03

Experimental Study on the Alter-Rocks and Water Interaction

XU De-min, HUANG Run-qi, YU Xiu-jing, YU Jing, LIN Feng

(State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: In order to shorten the soaking time and accelerate water and rock interaction, an especial method is used for the loose and frangible soft alter-rocks. This method is that, breaking the rock mass into pieces and the diameter less than 10 mm rock debris have been selected to soak in water for a long time. In the same time, the electromagnetism air pump was introduced to continually blowing air under the rock debris, and the water samples have been taken to do chemical analysis in different period. The test results conclude that the ions concentration of the testing solution changed a little. Therefore, at atmospheric pressure, the permeability and mechanics characteristics have been little affected by water and rock interaction except under acidic conditions.

Key words: water and rock interaction; alter-rock; blowing soak test; ions concentration; acidic or alkali conditions; rock debris

1 引 言

水-岩化学作用在自然界广泛存在, 作为地质环境中最为活跃因素的地下水, 它是一种成分复杂的化学溶液^[1], 它与岩体之间的相互作用除了物理作用, 也还有化学作用。水-岩化学作用不仅导致化学元素在岩石与水之间重新分配, 而且导致岩石细观结构的改变^[1-4], 这 2 者的变化都将导致岩石的渗透性、力学性质的改变。尽管这种反应的时间可能会很漫长, 但对一些永久性的工程结构或承载地质体, 探讨这种反应的结果仍然是有意义的。

文献[1]采用静止水浸泡的方法, 研究了不同类型软岩与水作用过程中水溶液离子浓度的变化规律, 得出 3 个月的饱水时间是水-岩化学作用的临界点。3 个月之前, 离子的化学交换与吸附作用反应中溶液的离子浓度是下降的; 3 个月作用逐渐减弱, 离子浓度呈现回升渐趋稳定或稳趋势。文献[2]则采用在常温常压、不同循环流速条件下, 对不同化学性质的水化学溶液作用下的花岗岩、红砂岩和灰岩进行了单轴抗压强度试验, 取得了时效性的定量结果。提出了影响

岩石化学损伤的主要因素有: 岩石的物理性质和矿物成分、水溶液的化学性质、岩石的结构或物质成分空间分布的非均匀性、水溶液通过岩石的流动速率和岩石的成因及演化历史等 5 个因素。

西南某水电工程大坝坝肩抗力体中发育有 5 条规模较大的蚀变岩带, 它是由变质岩在低温热液作用下, 沿热液活动通道附近产生的次生蚀变, 呈灰白色夹灰黄色团块, 疏松多孔, 易破碎, 岩体力学强度较低。肉眼鉴定碎斑矿物主要为长石, 约占 70%。蚀变最主要形式是钠长石化、高岭石化, 岩性主要为含孔洞状不等粒钠长石岩。考虑蚀变岩带所处的特殊位置, 研究其与库水之间的水化学作用具有重要意义。试验结果还将为后续的高地应力、高孔隙水压力条件下的渗流试验奠定基础。

2 试验方法

试验以强蚀变岩(含孔洞状不等粒钠长石岩)为主, 按 9 个不同取样位置共分 11 组, 每组两个做平行试验, 并选其中一组试样进行酸、碱滴定, 保持在一定的 pH 值下进行浸泡

收稿日期: 2007-05-14

基金项目: 国家自然科学基金雅砻江水电开发联合研究基金重点资助项目(50539050)

作者简介: 徐德敏(1971-), 男, 博士研究生, 主要从事岩土工程方面研究。E-mail: xudem2004@163.com

对比试验。具体取样点编号及位置见表 1。为了缩短试验时间,加快水-岩相互作用,试验采用极端方法,将岩块敲碎经筛分取小于 10 mm 的岩屑 1 000 g,在装有 3 000 ml 小湾江水的试验水桶(共 22 桶)中进行浸泡。在浸泡过程中,为确保水-岩充分接触,使水在岩屑间缓慢运移,利用电磁式空气泵从岩屑底部连续吹气,并定时用玻璃棒对每桶试样进行均匀搅拌。试验过程中尽量防止水分蒸发,并保持每个试

验桶内吹气均匀。期间按 32,16,32,31,60 d 间隔(Sy15—Sy21 号样滞后 15 d 浸泡,第一次取样时间间隔为 17 d)取水样做水质分析。

考虑蚀变岩体中石英含量较多,在常规水化学分析的基础上,加做了 H_2SiO_3 浓度测定。试验借鉴文献[1]3 个月水-岩化学作用的临界点,根据实测各离子浓度的变化规律,调整浸泡时间的长短。

表 1 取样编号及位置

编号	Sy1	Sy3	Sy5	Sy7	Sy9	Sy11	Sy13	Sy15	Sy17	Sy19	Sy21
高程/m	1210	1210	1210	1130	1216	1127	1245	1150	1070	1050	1124
位置	PD99	PD99	PD99	PD7 上 4 支	PD85	PD7 下 2 支	电梯井	左岸 排水洞	置换洞	排水洞	PD17 下 2 支

注:Sy1—Sy13 号样浸泡 171 d, Sy15—Sy21 号样浸泡 156 d。其中 Sy17 为中等强度蚀变岩。

为研究库水长期作用下对蚀变岩体的力学性质的影响,选取 Sy9 取样点蚀变岩制成标准岩块(分 50 mm×50 mm×100 mm 和 50 mm×50 mm×50 mm 2 种规格),采用呈弱碱性湖水进行缓慢水流作用下的浸泡试验。按 2 个月间隔取样做相应的力学性质测试。总的浸泡时间长达 8 个月。

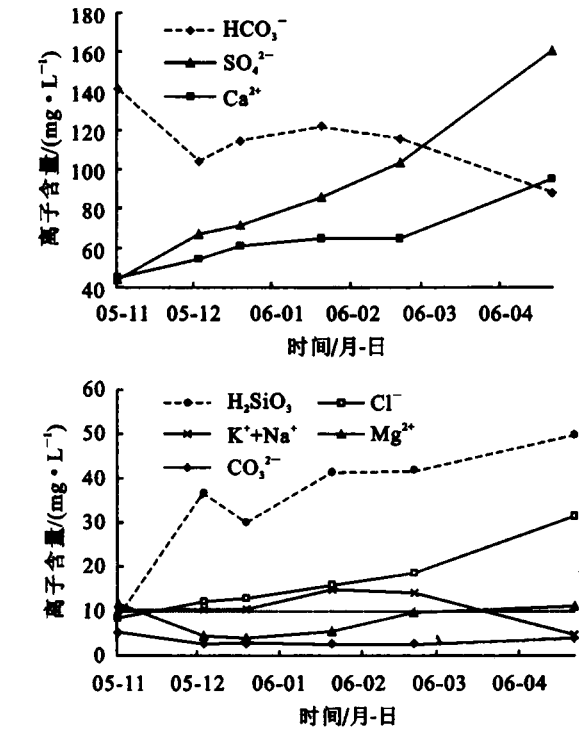


图 1 SY5 各离子浓度随浸泡时间变化

3 试验结果分析

3.1 常规条件下测试结果分析

从 5 次取样测试结果看,各取样点离子浓度变化趋势相似。现以 1 210 m 高程 E5(室内编号 SY5)试样的各离子浓度测试结果加以说明(如图 1 所示)。从图中可看出,水中 Cl^- 和 SO_4^{2-} 具有随着浸泡时间的增长其浓度有的增大趋势,但增幅不大,171 d 平均增幅分别为 0.13, 0.68 mg/(L·d)。 H_2SiO_3 , Ca^{2+} 浓度稍有波动,总体呈增大趋势,而 HCO_3^- 浓度总体呈下降趋势,但变化量均很小。其他各离子浓度及浸泡溶液的酸碱度(呈弱碱性)均与浸泡时间长短关系不大,基本处于动态平衡状态。

从试验最终的测试结果看(表 2), Cl^- 和 SO_4^{2-} 浓度最终测试结果最大值分别为 40.87, 160.74 mg/L, 5 个多月内最大增加量为 32.32, 116.74 mg/L。相对最初浓度虽然变化较大,但考虑到取样及水分蒸发因素,溶剂总体积是不断减少的,即便溶液中各离子含量保持不变,其浓度应呈增大趋势,所以总体浓度变化量并不大。钢筋、混凝土中 Cl^- 和 SO_4^{2-} 浓度含量过高,会对其产生腐蚀性影响。当 Cl^- 的浓度在混凝土中达到 0.2%~0.4% 时,钢筋的钝态就会被破坏发生腐蚀[5];当侵蚀溶液中硫酸根离子浓度在 1 000 mg/L 时产生的是硫铝酸钙型侵蚀,当溶液中硫酸根离子在 1 500 mg/L 时,则发生石膏—硫铝酸钙复合型侵蚀[6]。从 Cl^- 和 SO_4^{2-} 浓度最终测得的量值来看,不会对钢筋、混凝土产生腐蚀性影响。中等蚀变岩屑(Sy17)浸泡后,溶液各离子

表 2 最终不同点位化学溶液分析结果

野外编号	pH	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	H_2SiO_3
SY5	8.11	3.92	87.80	31.55	95.39	10.21	160.74	4.74	49.81
SY7	8.21	3.92	97.11	26.07	74.55	8.75	118.90	11.34	44.91
SY9	8.00	2.62	101.10	40.87	86.57	13.61	150.79	13.72	25.39
SY11	8.25	5.23	102.43	18.86	52.10	11.18	78.65	11.56	22.27
SY13	8.20	5.23	91.79	27.02	69.74	11.18	109.46	7.36	26.53
SY15	8.20	6.54	98.44	17.12	52.10	8.75	73.50	12.06	20.31
SY17	8.35	13.08	142.34	26.95	60.92	23.34	119.68	24.40	21.49
SY19	8.25	6.54	107.75	24.57	49.70	17.31	104.16	21.65	26.25
SY21	8.25	7.85	135.68	22.85	60.92	17.99	103.52	17.60	21.82
平均值	8.20	6.11	107.16	26.21	66.89	13.59	113.27	13.82	28.75

注:前 5 点浸泡 171 d,后 4 点 156 d。

浓度相对其强蚀变岩(除 H_2SiO_3 浓度)稍有增大,由此说明蚀变强弱可能对水-岩化学作用产生一定影响。

因各离子浓度的变化量很小,常压下浸泡结果说明,水-岩间化学作用并不强烈,对蚀变岩体的渗透性及其力学性质影响较小。

3.2 酸碱度条件下测试结果分析

由于受充气及水-岩相互作用影响,酸碱度总是在一定幅度内变化,需要每天进行滴定调试,因此,受加酸、加碱的影响,酸性条件下 Cl^- 浓度人为增加, CO_3^{2-} , HCO_3^- 浓度人为减小;碱性条件下 CO_3^{2-} , HCO_3^- , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 浓度人为增加。在酸性条件下,除了 SO_4^{2-} 浓度外,各离子浓度较常规条件下均有所增大,并且增幅较大(见表 3)。其中 Ca^{2+} 的浓度有明显的随浸泡时间有继续增大的趋势(如图 2 所示)。而在碱性条件下,除 Ca^{2+} 浓度较常规浸泡下明显降低外,其他各离子浓度几乎不受碱性条件的影响。由此说明,碱性条件有利于水-岩化学作用的稳定,而酸性条件则会使水-岩化学作用加剧,从而对蚀变岩体产生溶滤作用,这将会增大岩体的渗透性,并使其力学强度降低。

表 3 浸泡 171 d 后各离子浓度统计 mg/L

	游离 CO_2	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	H_2SiO_3
碱性条件	—	28.98	9.62	8.75	152.42	—	53.71
酸性条件	262.24	—	3591.17	116.69	175.25	98.83	87.59
常规	0.00	31.55	95.39	10.21	160.74	4.74	49.81

注:“—”表示没有测试的指标。

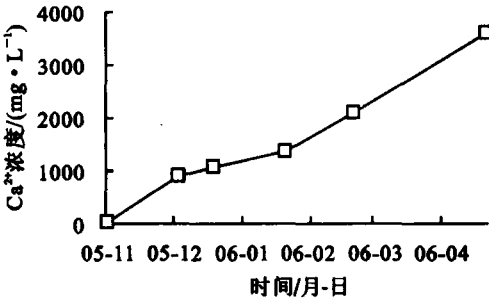


图 2 Ca^{2+} 浓度随浸泡时间变化
表 4 各时段浸泡试样力学强度统计

浸泡时间/月	2	4	6	8
抗压强度/MPa	12.44	10.78	16.38	14.98
内聚力 C/MPa	4.97	4.20	4.38	5.54
摩擦角 $\varphi/(^\circ)$	28.51	27.56	34.56	28.00

3.3 岩块浸泡结果分析

试样浸泡后分做 2 种试验:抗压及抗剪试验。岩石抗压强度试验采用伺服控制刚性试验机,针对 $50\text{ mm} \times 50\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 规格试样进行单轴压缩试验;剪切试验采用便携式多功能剪切仪,对 $50\text{ mm} \times 50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 试样进行剪切试验。从不同浸泡时段试样力学测试结果数据(表 4)来看,岩

块的力学特性与浸泡时间长短没有明显的相关关系。从浸泡溶液浓度前后对比来看,各离子浓度变化量很小(见表 5),说明水-岩间化学作用微弱,对岩石的力学性质影响不大。这是由于岩石经蚀变后,产生的矿物颗粒(以钠长石为主)不易与水溶液发生水化学反应的结果。

表 5 浸泡岩块溶液各离子浓度统计 mg/L

	HCO_3^-	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	H_2SiO_3
初 值	130.36	3.73	49.70	0.97	19.12	1.83	6.53
最终值	133.02	3.38	41.68	7.78	22.16	0.39	9.20
增加量	2.66	-0.36	-8.02	6.81	3.05	-1.45	2.67

4 结论与建议

- (1)对水-岩化学作用研究提出了一种新的试验手段,为类似问题的试验研究提出了一种新的思路。
- (2)试验结果表明,常压条件下,蚀变岩与库水的水化学反应微弱,对其自身岩体的渗透性及力学性质影响均较小。
- (3)碱性条件更有利于水-岩化学作用的稳定性,而酸性条件则会使水-岩相互作用加剧,从而加剧蚀变岩体的溶滤作用,增大岩体的渗透性,并使其力学强度降低。
- (4)因为水化学试验的敏感性,取样质量应精确到 0.01 g ,试验应在同一规格下进行(同一型号的试验器具和吹气均匀)。浸泡过程需用玻璃棒对每组岩屑采用同一种方式进行均匀搅拌,并在搅拌前需对玻璃棒用蒸馏水清洗。
- (5)岩屑浸泡前两次取样做水质分析的时间间隔可适当缩短,根据试验结果再适当延长每次取样测试时间。这样可及早发现水-岩化学变化的规律,缩短浸泡试验时间。
- (6)试验是常温常压下的测试结果,在高地应力条件下,蚀变岩的水-岩相互作用有待进一步试验研究。

参考文献:

[1] 周翠英,邓毅梅. 软岩在饱水过程中水溶液化学成分变化规律研究[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(22): 3813-3817.

[2] 汤连生,张鹏程,王思敬. 水-岩化学作用的岩石宏观力学效应的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(4):526-531.

[3] 黄伟,周文斌,陈鹏. 岩化学作用对岩石的力学效应的研究[J]. 西部探矿工程,2006(1):122-125.

[4] Swoboda — solberg N G, Driver Mineral dissolution rates in plot scale field and laboratory experiments[J]. Chemical Geology,1993,105:51-69.

[5] 张志军. 钢筋混凝土的腐蚀与防护[J]. 彭城职业大学学报,2002,17(4):60-61.

[6] 王军强,沈德建,曹小玉. 水工混凝土结构钢筋锈蚀机理及其检测评定[J]. 江苏煤炭,2003(4):51-53.