

化学腐蚀作用下深部巷道围岩的细观力学性能研究

刘永胜

(华东交通大学土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 随着地下工程建设的发展, 深部围岩力学性能及其稳定性研究显得尤为必要。取岩芯于某煤矿深部巷道, 根据该矿巷道地下水的化学成份配制了化学溶液, 以模拟深部地下工程的地下环境, 将岩石试件置于上述化学溶液中养护 60 d 然后开展细观试验。试验结果表明深部地下水的化学腐蚀将降低岩石的强度, 尤其对于层理发育的损伤岩体; 高强岩石破坏过程非常短暂, 破坏形式具有岩爆的倾向性。

关键词: 深部工程; 化学腐蚀; 围岩; 细观机理

中图分类号: TU542

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2013)S1-0350-04

作者简介: 刘永胜(1974-), 江西余干人, 副教授, 主要从事岩石动力学研究。E-mail: yshliu07@126.com。

Micromechanical properties of surrounding rock in deep roadways under chemical corrosion

LIU Yong-sheng

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: With the development of the deep underground engineering, the researches on the properties and stability of deep surrounding rock are very necessary. The specimens are come from the deep roadway of a coal, and the chemical solution is prepared to simulate the deep environment. Then the specimens are cured in the solution for 60 days and testing. The experimental results show that the strength of the surrounding rock decreases under chemical corrosion, especially for damage fractured rock mass. The failure process of the specimens is very short, and the failure mode has rock burst tendency.

Key words: deep engineering; chemical corrosion; surrounding rock; micromechanical property

0 引言

目前, 世界内深部地下空间建设正方兴未艾, 向地球深部寻求发发展和生存空间已经成为世界范围内岩土工程建设和开发的共同趋势。如锦屏电站, 最大埋深2600 m, 南水北调工程, 输水隧道最大埋深1150 m, 阿尔卑斯山勃公路隧道, 最大埋深2500 m, 核核废料的深层地质处理深度已达数百米至千米; 矿山工程深度已达3~4 km; 能源贮存工程深度超过1 km; 核心防护工程, 如北美防空司令部达700 m, 有的将达1 km, 甚至更深。矿业开采工程, 近年很多矿的开采深部已超过1000 m, 如淮南的潘集煤矿, 江西曲江矿最大开采深度达900 m、新汶孙村矿开采深度为1100 m、淮南望峰岗矿井开采深度已达1200 m。河南灵宝鑫鑫金矿的开采深度已超过1500 m^[1-2]。

深部工程中, 地下水的化学成份将影响着围岩的力学性能及其稳定性^[3-5]。为了研究深部工程巷道围岩的力学性能, 本文配制了多种化学溶液来模拟地下工程环境腐蚀, 并开展化学腐蚀下岩石的细观力学性能。通过本文的研究进一步掌握深部地下工程围岩力学性

能及破坏规律, 为深部工程巷道的支护服务。

1 试件及试验方案设计

试件取芯于江西某煤矿-800 m的工作面。岩体呈灰黑色, 其中主要由石英、斜长石以及岩屑组成, 其显微图像如图1所示。经矿物成分鉴定, 该岩样的矿物为石英 71%, 斜长石 5%, 岩屑(主要为石英岩和黏土岩) 23%, 白云母 0.2%, 电气石 0.1%, 水云母 0.4%及方解石 0.2%, 其他矿物小于 0.1%。

岩体取芯后, 经过精心切割打磨, 制作成 8 mm × 15 mm × 30 mm 的完整长方体, 为了研究初始损伤对试验结果的影响, 在一部分试件的中部制作了直径为 3 mm 的小孔。试件设计如图2所示。

根据资料及对工程地下水化学分析, 发现深部地下水的水质呈酸性, 且 K^+ 和 SO_4^{2-} 的含量较高, 为了

基金项目: 国家自然科学基金项目(51074076, 51274101); 江西省科技支撑计划项目(20121BBG70064)

收稿日期: 2013-03-01

模拟深部地下工程的环境，本文配置了如表 1 所示的化学溶液。试件打磨后进行抽真空并作干燥处理（温度 105℃ 条件下烘干 24 h），然后放置在上述溶液中养护，养护期为 60 d。试件的养护情况如图 3 所示。

表 1 化学溶液的配制

Table 1 Preparation of chemical solution		
化学溶液	溶液浓度/(mol·L ⁻¹)	pH
蒸馏水	0	7
KHSO ₄	0.02	4
K ₂ SO ₄	0.02	7

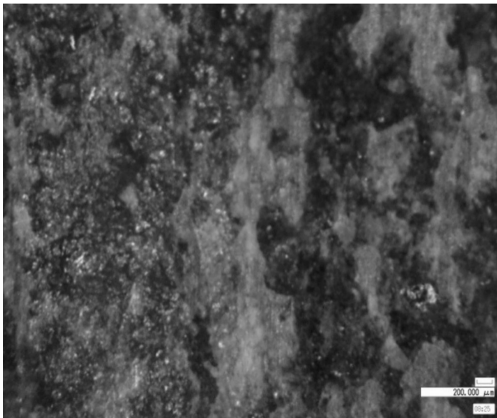


图 1 试样显微图像（放大 100 倍）

Fig. 1 Specimen microscopic image (100 times)

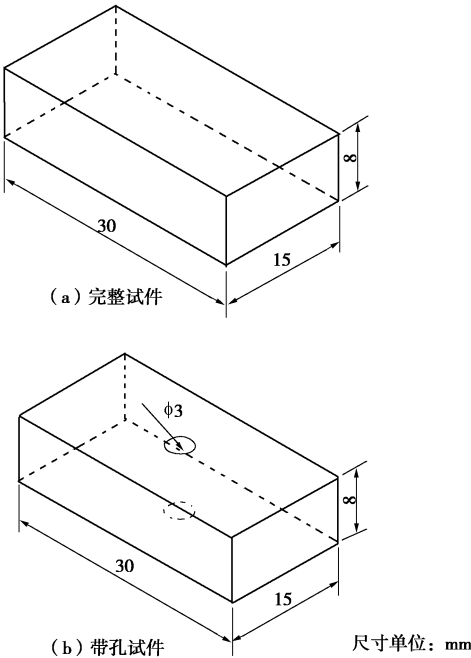


图 2 试件设计图

Fig. 2 Design images of specimens

试验总共设计制作了 15 个试件，其分组情况如表 2 所示。

2 试验结果及分析

2.1 试验结果

试验在中国科学院武汉岩土力学研究所试验室进行，试验设备采用应力 - 水流 - 化学耦合过程中岩石全破裂过程的细观力学试验装置^[6-9]。试验得到各试件的力学参数如表 3 所示。

表 2 试件的分组情况

Table 2 Situations of specimens			
试件编号	养护情况	加载速率 /(mm·min ⁻¹)	损伤情况
01	自然状态	0.002	完整
02	自然状态	0.002	完整
03	自然状态	0.002	完整
04	蒸馏水浸泡	0.002	完整
05	蒸馏水浸泡	0.002	完整
06	蒸馏水浸泡	0.002	损伤
07	蒸馏水浸泡	0.002	完整
08	KHSO ₄ 浸泡	0.002	完整
09	KHSO ₄ 浸泡	0.002	完整
10	KHSO ₄ 浸泡	0.002	损伤
11	KHSO ₄ 浸泡	0.002	完整
12	K ₂ SO ₄ 浸泡	0.002	完整
13	K ₂ SO ₄ 浸泡	0.002	完整
14	K ₂ SO ₄ 浸泡	0.002	完整
15	K ₂ SO ₄ 浸泡	0.002	损伤

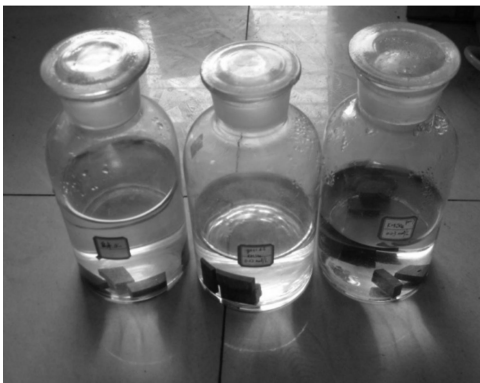


图 3 试件养护

Fig. 3 Curing of specimens

表 3 试件力学参数

Table 3 Mechanical parameters of specimens					
试件 编号	加载面面积/mm ²	峰值位 移/mm	极限载 荷/kN	强度 /MPa	弹性模 量/GPa
01	118.52	0.253	27.40	231.2	27.43
02	116.37	0.154	13.79	118.5	23.00
03	118.80	0.291	26.70	224.7	23.16
04	118.65	0.279	14.60	123.0	13.20
05	116.67	0.210	29.90	256.3	36.50
06	117.00	0.255	23.90	204.3	23.95
07	116.53	0.280	27.80	238.6	25.57
08	117.41	0.290	26.00	221.4	22.90
09	117.41	0.360	30.12	256.5	21.25
10	117.30	0.260	20.60	175.6	20.25
11	116.53	0.233	28.92	248.2	31.78
12	116.83	0.158	14.12	120.9	22.90
13	117.90	0.331	31.15	264.2	23.87
14	117.27	0.221	19.90	169.7	23.00
15	117.14	0.243	23.10	197.2	24.35

2.2 试验载荷 - 位移曲线分析

试验得到各试件典型的荷载 - 位移曲线如图 4 所

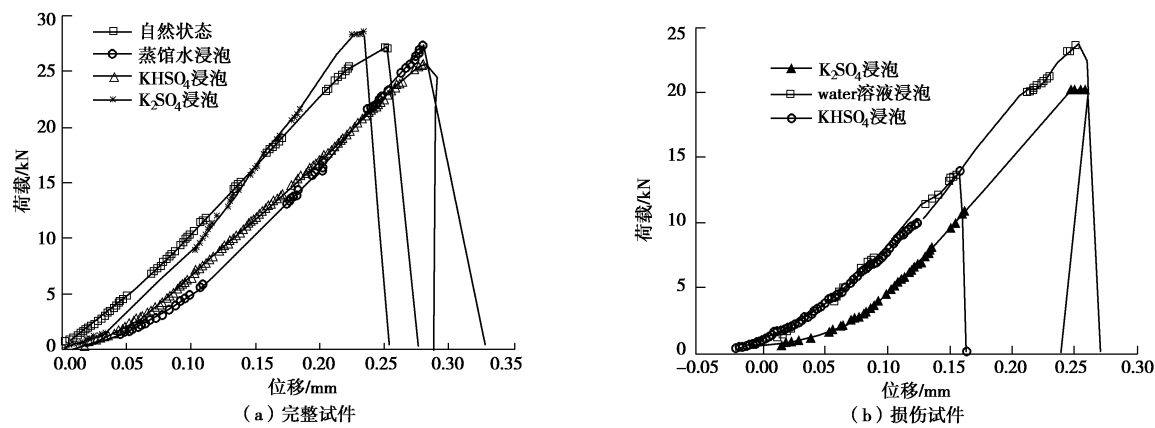


图 4 荷载 - 位移曲线

Fig. 4 Load-displacement curves

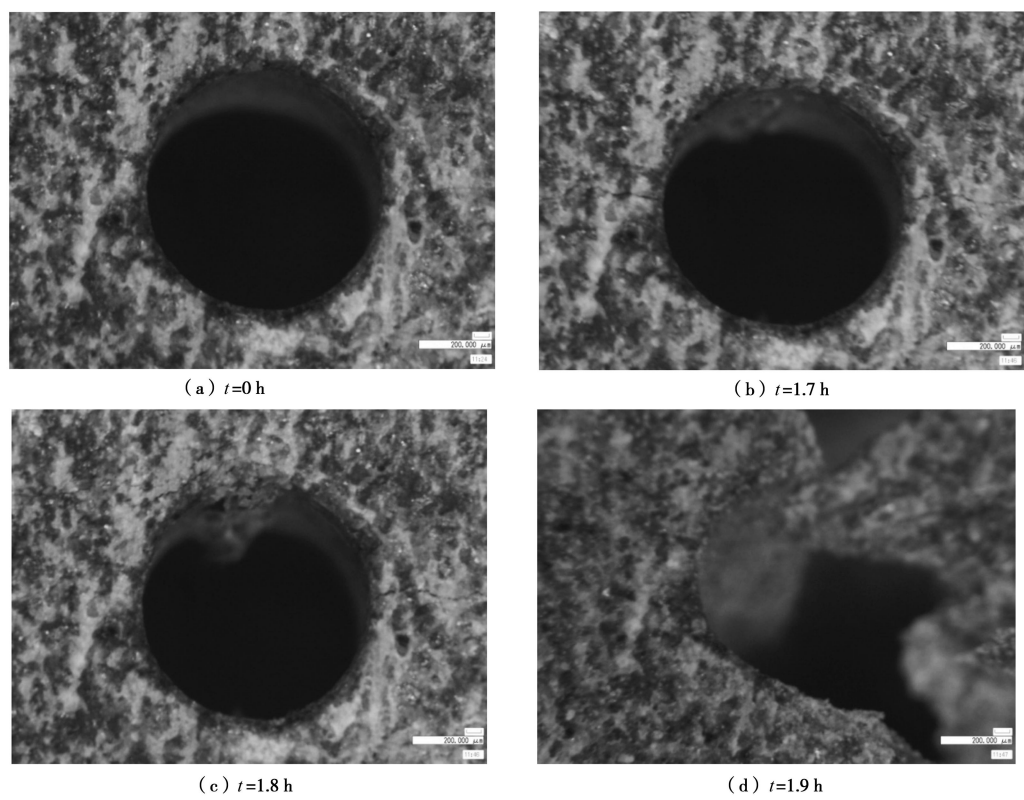


图 5 试件裂纹扩展过程

Fig. 5 Crack propagation process of specimens

示。

通过对不同条件下岩石试件载荷 - 位移曲线的比较可以看到：在 KHSO_4 浸泡 60 d 后的试件，其峰值载荷对比其它试件有一定程度的降低，并且其峰值位移也有一定的增加。这表明从细观层面上，酸性化学溶液对砂岩的力学性质产生了一定的影响。

从图形整体来看，损伤试件相比于完整试件的曲线，载荷峰值有一定程度的降低，这与损伤对岩石试件强度产生影响是对应的。另外，对于损伤试件，经过 $\text{PH}=4$ 的 KHSO_4 酸性溶液浸泡的试件承载力下降明显。其次是经过中性离子溶液浸泡的试件，其承载力相对于蒸馏水的也下降了。这说明酸性和离子均对

岩石的力学性能有较大的影响。由图 4 可以看到，当养护条件相同时，完整试件和损伤试件的力学性质对比曲线中，岩石试件的强度有了明显的差别，这表明工程中，对于存在节理及损伤的岩体，应当充分考虑到其影响，以避免安全事故的发生。

2.3 试件裂纹发展分析

试验发现岩石试件的强度非常高，破坏过程非常短暂。对于完整试件，试件的裂纹产生扩展直至试件破坏过程时间非常短，一旦裂纹出现，试件很快就破坏。而损伤试件的裂纹发展过程稍微明显一些，本文选取损伤试件的实时显微图片来说明裂纹的萌生—扩展—贯通、直至试件完全破坏的过程。图 5 为蒸馏水

浸泡试件的裂纹扩展过程。

由试件的裂纹扩展过程可以看到, 裂纹首先在孔洞的周围产生, 随着载荷的增加, 出现了长细裂纹, 进而长细裂纹继续发展, 变长加粗, 而当荷载到达接近峰值时, 突然在孔洞上下产生大裂纹, 使试件有相对错动的迹象, 载荷继续增加, 到达峰值时, 试件前后面错动, 试件被破坏。通过孔洞内壁颗粒的变化, 也能够清楚地观察到试件随荷载加大而产生的相对改变。

由于试验岩石的强度非常高, 脆性较大。试件破坏过程的变形较小, 破坏具有突然性, 破坏时还伴有较大的响声, 呈现出岩爆的倾向性。

3 结 论

本文通过化学腐蚀下砂岩单轴细观压缩试验, 得到了黑色砂岩的载荷 - 位移曲线, 以及不同养护条件下, 砂岩的力学性能差别。试验结果表明:

(1) 对于完整试件, 化学溶液对岩石的力学性能影响较小。酸性溶液能稍微降低试件的强度, 缩短试件承载的时间; 盐溶液和蒸馏水对完整岩石的力学性能几乎没有效应。对于损伤试件, 酸性对于试件的强度影响更为明显。

(2) 化学腐蚀对岩石位移的影响方面, 经过蒸馏水浸泡或化学溶液浸泡的试件其位移有增大的趋势。

(3) 试件岩石强度较高, 破坏过程非常短暂。裂纹生成后, 试件很快破坏, 破坏时伴有强裂的劈裂声。通过分析试件破坏形态以及裂纹扩展过程, 表明深部硬岩具有岩爆的危险性, 且强度越高岩爆的风险性越大。酸性或盐溶液浸泡, 能降低岩体的承载能力, 同时也能降低岩爆的风险。

参考文献:

- [1] 何满潮. 深部的概念体系及工程评价指标[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, **24**(16): 2854 - 2858. (HE Man-chao. Conception system and evaluation indexes for deep engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, **24** (16): 2854 - 2858. (in Chinese))
- [2] 钱七虎. 深部地下工空间开发中的关键科学问题[C]// 第230次香山科学会议——深部地下空间开发中的基础研究关键技术问题, 北京. 2004. (QIAN Qi-hu. The key problems of underground space development in deep[C]// The Key Technical Problems of Base Research in Underground Space Development in Deep—the 230th Xiangshan Science Conference. Beijing, 2004. (in Chinese))
- [3] 汪亦显, 曹平. 水化学腐蚀下岩石损伤力学效应研究[J]. 南华大学学报(自然科学版). 2009, **23**(1): 27 - 30. (WANG Y-i xian, CAO Ping. Study on mechanical damage effect for rock under hydro chemical erosion[J]. Journal of University of South China (Science and Technology), 2009, **23**(1): 27 - 30. (in Chinese))
- [4] KAISER P K, CA M. Design of rock support system under rockburst condition[J]. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2012, **4** (3): 215 - 227.
- [5] 王永岩, 吕宜美, 肖志娟. 化学腐蚀下砂岩蠕变模型的研究[J]. 煤炭学报, 2010, **35**(7): 1095 - 1098. (WANG Yong-yan, LÜ Yi-mei, XIAO Zhi-juan. Research on sandstone creep models under chemical corrosion[J]. Journal of China Coal Society, 2010, **35**(7): 1095 - 1098. (in Chinese))
- [6] 丁梧秀, 冯夏庭. 化学腐蚀下灰岩力学效应的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, **23**(21): 3571 - 3576. (DING Wu-xiu, FENG Xia-ting. Testing study on mechanical effect for limestone under chemical erosion[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, **23**(21): 3571 - 3576. (in Chinese))
- [7] 陈四利, 冯夏庭, 周辉. 化学腐蚀下砂岩三轴细观损伤机理及损伤变量分析[J]. 岩土力学, 2004, **25**(9): 1363 - 1367. (CHEN Si-li, FENG Xia-ting, ZHOU Hui. Study on triaxial meso-failure mechanism and damage variables of sandstone under chemical erosion[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, **25**(9): 1363 - 1367. (in Chinese))
- [8] 丁梧秀, 冯夏庭. 化学腐蚀下裂隙岩石的损伤效应及断裂准则研究[J]. 岩土工程学报, 2009, **31**(6): 899 - 904. (DING Wu-xiu, FENG Xia-ting. Damage effect and fracture criterion of rock with multi-preexisting cracks under chemical erosion[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009, **31**(6): 899 - 904. (in Chinese))
- [9] 姚华彦, 冯夏庭, 崔强. 化学侵蚀下硬脆性灰岩变形和强度特性的试验研究[J]. 岩土力学, 2009, **30**(2): 338 - 344. (YAO Hua-yan, FENG Xia-ting, CUI Qiang. Experimental study of effect of chemical corrosion on strength and deformation of hard brittle limestone[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, **30**(2): 338 - 344. (in Chinese))

(本文责编 孙振远)