

文章编号: 1000-7598(2010)10-3058-05

砂浆受腐蚀锚固体的锚固特性试验研究

张永兴¹, 徐洪^{1,2,3}

(1.重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045; 2.重庆地质矿产研究院 煤炭资源与安全开采国家重点实验室重庆研究中心, 重庆 400042;
3.重庆市国土资源和房屋管理局 矿产地质与环境地质重点实验室, 重庆 400042)

摘要: 采用室内加速腐蚀试验方法, 研究了砂浆受腐蚀后砂浆锚杆锚固体的锚固特性变化情况。通过对不同腐蚀阶段砂浆锚杆锚固体中锚杆-砂浆界面以及砂浆-基体界面的黏结强度及荷载-位移关系的测试及分析, 得到了界面黏结特性随砂浆腐蚀时间的变化关系。结果表明: 随着砂浆受腐蚀程度的增加, 锚杆-砂浆-基体三者界面间的黏结强度均呈线性下降, 锚杆-砂浆界面间剪切刚度随着腐蚀时间的增加而减小, 而砂浆-基体界面间的剪切刚度受砂浆腐蚀程度的影响不大, 但界面间的化学胶着力会随砂浆腐蚀程度的增加而降低。

关键词: 砂浆锚杆锚固体; 黏结强度; 锚杆-砂浆界面; 砂浆-基体界面; 荷载-位移关系

中图分类号: TU 411

文献标识码: A

Test research on bond characteristics of mortar corroded anchoring body

ZHANG Yong-xing¹, XU Hong^{1,2,3}

(1. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 2. Chongqing Research Center of State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, Chongqing Institute of Geology & Mineral Resources, Chongqing 400042, China; 3. Key Laboratory of Geology for Mineral Resources & Environment, Chongqing Administration of Land, Resources and Housing, Chongqing 400042, China)

Abstract: The interior accelerated corrosion experiment is adopted to study the bond characteristics in mortar bolt anchoring body after mortar corroded. The relationship of interface bond behavior changing with the mortar corrosion level is achieved by means of testing the bond characteristics of bolt-mortar interface and mortar-matrix interface in mortar corroded anchoring body. The results show that: with the development of mortar corrosion, the bond strength of bolt-mortar interface and mortar-matrix interface decrease linearly; the shear stiffness in bolt-mortar interfaces reduces with the increasing of corrosion time; otherwise the corrosion time has little influence on the shear stiffness in mortar-matrix interface, but the chemical adhesion in mortar-matrix interfaces decreases with the rising of corrosion level.

Key words: mortar bolt anchoring body; bond strength; bolt-mortar interface; mortar-matrix interface; relationship between load and displacement

1 引言

在砂浆锚杆锚固体系中, 砂浆是连接锚杆-基体的重要介质, 也是工作中荷载传递的重要媒介。以往的工程实例表明, 砂浆锚杆锚固体的破坏形式主要有3种, 即锚杆的断裂、锚杆-砂浆界面破坏、砂浆-基体界面破坏, 可见3种破坏形式中有两种均与砂浆的特性密切相关, 因而砂浆性能的好坏将直接关系到整个锚固体的工作性能。在以往对于腐蚀导致黏结特性退化的研究中, 人们以钢筋混凝土为研究对象往往仅考虑由于钢筋腐蚀导致的黏结性能的

变化^[1-3], 文献[4]虽对腐蚀混凝土与钢筋的黏结特性进行了试验研究, 但未考虑水灰比的影响, 同时该试验也未能涉及锚固系统中的砂浆-基体界面。徐波^[5]在其博士论文中对砂浆-基体界面间的黏结强度进行了研究, 但该研究未考虑腐蚀及砂浆水灰比的影响。此外, 很多研究者对砂浆、混凝土或类似材料在腐蚀介质中的腐蚀性能变化情况以及影响因素进行了研究^[6-8], 但未能与界面黏结强度结合起来。可见, 以往的研究中, 研究者从自身需要的角度出发, 对腐蚀的某一个或几个方面进行了研究分析, 而专门针对锚杆锚固体中砂浆受腐蚀后的整体

收稿日期: 2009-05-07

基金项目: 国家杰出青年基金“岩土工程减灾”(No. 50625824); 重庆市建设科技项目“地质灾害防治工程耐久性技术”(No. 城科字 2006 第 62 号)。
第一作者简介: 张永兴, 1961年生, 男, 博士, 教授, 博导, 主要从事岩土工程及桥梁隧道方面的研究工作。Email: cqyxzhang@163.com;

锚固性能的变化尚无系统的研究。为此, 本文通过砂浆锚固体的腐蚀性能试验, 分析不同配合比的砂浆在硫酸盐腐蚀环境中的力学性能变化情况, 同时建立砂浆不同腐蚀程度与锚固性能的对应关系, 为分析处于硫酸盐腐蚀环境中的锚杆锚固体的耐久性状况提供依据。

2 试验过程

2.1 试验基本思路

本试验的目的是研究砂浆锚杆锚固体中砂浆受腐蚀后其与锚杆及基体间黏结性能的变化。为了实现砂浆的腐蚀, 试验首先制备无基体的砂浆锚杆试件, 并将其放入腐蚀液中进行腐蚀, 待腐蚀完成后将试件重新锚固于基体中, 以此来模拟工程实际中锚杆、砂浆、基体三者在拔出过程中的相互作用关系。

2.2 砂浆锚杆试件的制备及腐蚀

试验试件在制备中采用重庆拉法基水泥厂生产的 42.5R 级普通水泥, 砂采用岳阳产中砂, 其细度模数为 3.0, 水泥:砂:水配合比为 1:1:0.40 (0.45、0.50)。为了使黏结段内的黏结应力尽量平均, 采用较短的黏结长度 (100 mm), 成型以后的砂浆锚固体试件及尺寸如图 1 所示。

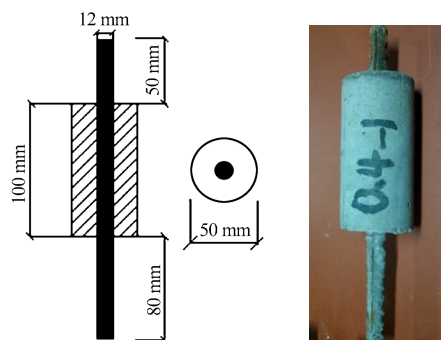


图 1 砂浆锚杆试件

Fig.1 Sample of mortar anchored body

试件成型后按标准养护 28 d, 然后将其放入 Na_2SO_4 溶液进行腐蚀, 其浓度为 15%。腐蚀过程采用干湿循环方式, 其循环制度为: 首先将试件放入腐蚀溶液中浸泡 16 h, 再放入 70℃ 的烘干箱中烘 8 h 为一个循环。每循环 10 次为一个阶段, 每一阶段结束后, 分别从 3 种配比的锚固体试件取出一个, 放入室内停止腐蚀, 其余试件继续进行干湿循环。同时, 为了保证腐蚀过程中溶液浓度不发生大的变化, 每隔 10 d 置换一次溶液, 总共分 9 次将试件取完, 最后一批取出试件的腐蚀时间为 90 d。

试验同时制备了相同配比的立方体试件, 并与砂浆锚杆试件同步腐蚀, 测试其强度, 以此来衡量砂浆受腐蚀的程度。不同腐蚀时间下, 3 种水灰比标准试件腐蚀后的强度变化如表 1 所示。

表 1 不同腐蚀时间下的砂浆强度(单位: MPa)
Table 1 Mortar strength in different corrosion times (unit: MPa)

腐蚀时间 / d	水灰比		
	0.40	0.45	0.50
0	62.75	50.13	50.49
10	59.02	48.31	49.78
20	59.56	53.24	48.09
30	63.47	52.0	43.02
40	54.67	50.67	42.31
50	49.07	48.89	37.60
60	51.82	46.08	32.44
70	43.63	34.72	34.67
80	35.09	34.27	26.29
90	25.32	21.76	17.16

从表中可以看出, 随着试件腐蚀时间的增加, 其强度有一个先增大后变小的过程, 且水灰比越大达到强度峰值的时间就越短。

2.3 试件二次成型

在所有的试件腐蚀完成后, 将其重新锚固于混凝土中, 并以砂浆混凝土间黏结特性的变化来模拟岩石与砂浆间的黏结情况。外围混凝土试件采用普通硅酸盐水泥, 粗骨料采用碎石, 最大粒径不超过 40 mm, 细骨料为中砂, 砂率为 0.35, 水泥:砂:石子:水配合比为 1:1.40:3.20:0.45。二次成型后的锚固体试件长×宽×高 = 150 mm×150 mm×100 mm, 其实物如图 2 所示。

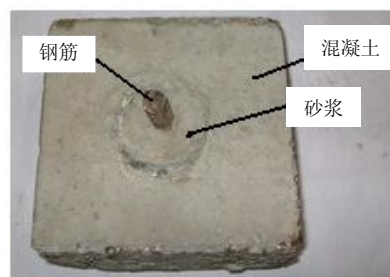


图 2 二次成型后的锚固体试件

Fig.2 Anchored body of second molding

2.4 试验加载及数据采集

试件二次成型后再进行标准养护 28 d, 然后进行黏结特性试验。试验在重庆大学土木工程学院结构试验室的万能试验机上进行, 由于条件的限制,

采用将锚杆或砂浆体从试件中压出的方法进行了黏结性能测试。试验中首先将每组试件分成两部分,一部分进行锚杆-砂浆界面的黏结特性测试,另一部分进行砂浆-基体界面的黏结特性测试。在锚杆被压出过程中同时测量加载端锚杆与砂浆的相对位移,在砂浆被压出中测量自由端与基体的相对滑移量。

3 锚杆-砂浆接触界面试验结果分析

3.1 锚杆-砂浆界面黏结强度变化

由于本试验中锚杆与砂浆的黏结长度较短(100 mm),因而可认为在整个黏结段内锚杆与砂浆界面的黏结应力不随长度的变化而发生变化,因此,锚杆砂浆界面黏结强度可表示为

$$\tau = \frac{P}{\pi d L} \quad (1)$$

式中: P 为加载过程中的极限荷载; d 为锚杆直径; L 为锚固段长度。3 种水灰比条件下锚杆与砂浆的黏结强度随腐蚀时间的变化关系如图 3 所示。

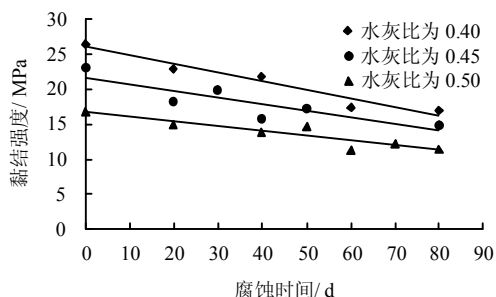


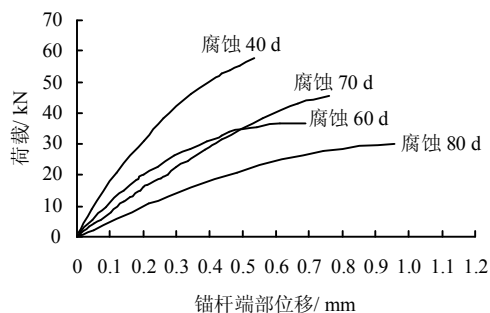
图 3 锚杆-砂浆界面黏结强度变化

Fig.3 Variation of bond strength of bolt-mortar interface

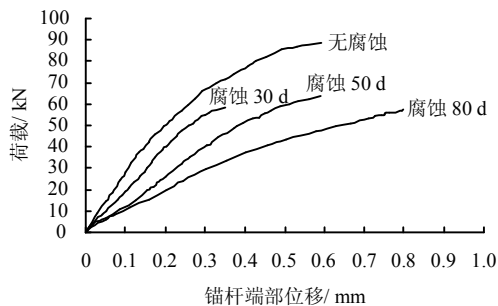
图中离散点为实测不同腐蚀时间下砂浆与锚杆接触界面的黏结强度,实线为直线拟合结果。从图中可以看出:① 3 种水灰比试件中锚杆与砂浆的黏结强度随腐蚀时间的变化趋势相同,即随着腐蚀时间的增加,砂浆与锚杆界面黏结强度以近似线性的规律下降;② 不同水灰比试件初始黏结强度以及黏结强度降低量均不相同,水灰比越小,砂浆与锚杆界面的黏结强度越大,这与砂浆试件的强度规律是一致的。在腐蚀时间均为 80 d 的条件下,水灰比为 0.50 时,试件黏结强度从 16.8 MPa 降低到 11.5 MPa,降低了 5.3 MPa;水灰比为 0.45 时,试件黏结强度从 23.1 MPa 降低到 14.9 MPa,降低了 8.2 MPa;水灰比为 0.40 时,试件黏结强度从 26.5 MPa 降低到 16.9 MPa,降低了 9.6 MPa。可见在相同的腐蚀时间内,砂浆水灰比越小,其与锚杆的黏结强度下降的绝对值就越大。

3.2 锚杆-砂浆界面荷载位移关系变化

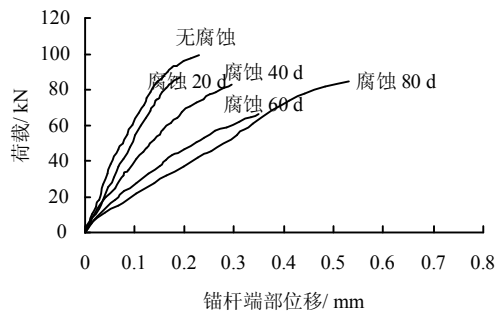
砂浆的腐蚀不仅对锚杆-砂浆界面的黏结强度造成影响,同时也影响了锚杆拔出过程中的荷载-位移关系。将试验测得的不同砂浆水灰比、不同腐蚀时间内的锚杆在压出过程中的荷载-位移关系绘制在同一坐标系下。以端部位移为横坐标,拔出过程中的荷载为纵坐标,3 种水灰比条件下锚杆拔出过程中典型的荷载-位移曲线如图 4 所示。



(a) 水灰比为 0.50



(b) 水灰比为 0.45



(c) 水灰比为 0.40

图 4 锚杆-砂浆界面荷载-位移关系

Fig.4 Relationships between load and displacement in bolt-mortar interface

由于试验装置的局限性,试验所测得的曲线关系为锚杆在压出过程中极限荷载以前的情况,而极限荷载以后的位移-荷载关系未能获得。从图 4 的分析可以发现,锚杆在压出过程中,荷载与端部位移曲线的变化过程大致可分为 2 个阶段,首先在荷载较小的情况下,锚杆端部位移量随荷载的增加,以

近似线性的关系增大。在荷载接近压出的极限荷载时, 位移与荷载偏离线性关系, 曲线凸起表明位移的增加速度加快。在同一水灰比试件中, 随着试件腐蚀时间的增加, 锚杆在压出过程中的荷载-位移曲线越来越平缓, 表明随着砂浆腐蚀程度的增加, 其与锚杆接触界面的剪切刚度会逐渐的降低。对比以上 3 种水灰比情况还可以发现, 随着砂浆水灰比的降低, 锚杆在拔出过程中的荷载会有所增加, 而锚杆端部的位移量却有减小的趋势。

4 砂浆-基体界面试验结果分析

4.1 砂浆-基体界面黏结强度变化

砂浆与基体的黏结强度计算采用式(1)相同的形式, 其中的 d 取砂浆体的直径, 为 50 mm。其余各参数相同, 将不同腐蚀时间下的黏结强度绘制在同一坐标系下, 以横坐标表示腐蚀时间, 纵坐标表示强度值, 则 3 种水灰比下砂浆与混凝土界面的测试结果如图 5 所示。

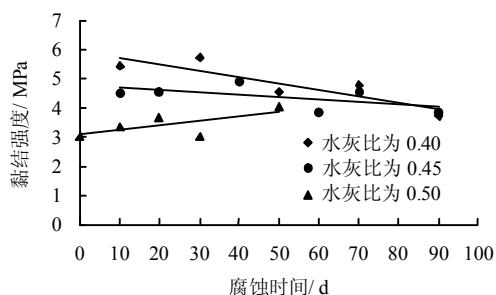


图 5 砂浆-基体界面强度变化

Fig.5 Bond strength of mortar-matrix interface

首先, 分析在无腐蚀或腐蚀时间不长的情况下砂浆与基体界面黏结强度情况, 由于水灰比为 0.45 和 0.40 两组试件未测得无腐蚀情况下的黏结强度, 这里取腐蚀 10 d 的数据作比较。3 组试件腐蚀 10 d 黏结强度值如表 2 所示。

表 2 不同水灰比试件腐蚀 10 d 黏结强度
Table 2 Bond strength of 10 d corrosion
in different values of w/c

水灰比	黏结界面	腐蚀时间 / d	黏结强度 / MPa
0.50	砂浆-基体	10	3.34
0.45	砂浆-基体	10	4.51
0.40	砂浆-基体	10	5.44

通过以上数据, 并进一步往前推广可以认为, 在砂浆未发生腐蚀的条件下, 其与基体界面的黏结强度仍然符合表 2 所示的规律, 即砂浆的水灰比越

小, 其与基体界面的黏结强度越大; 另一方面, 图 5 也显示了砂浆-基体界面黏结强度随砂浆腐蚀时间的变化关系。首先对于水灰比为 0.45 和 0.40 两组试件而言, 随着砂浆腐蚀时间的增加, 砂浆与基体界面间的黏结强度有下降的趋势, 且其下降可近似以线性关系加以表示, 且图中水灰比为 0.40 的拟合直线斜率明显小于水灰比为 0.45 中拟合直线的斜率, 从而表明砂浆水灰比越小, 其与基体界面黏结强度随腐蚀时间而减小的速度反而越大。对于图中砂浆水灰比为 0.50 的试件, 其黏结强度随腐蚀时间的增加未见明显的下降趋势, 这似乎与后两组试件所反映的规律有些不符。分析原因认为, 可能有以下几个方面: 其一, 由后面两组试件所反映出来的规律, 水灰比越大, 黏结强度随腐蚀时间下降的速率越小, 因而其变化的趋势不明显; 其二, 该组试件中用于测试砂浆-基体界面黏结强度试件腐蚀时间与后两组相比均较短, 在该段时间内砂浆自身腐蚀程度不十分明显, 因而其与砂浆界面的黏结强度变化也不大。

4.2 砂浆-基体界面的荷载-位移关系

在实际的测试过程中, 由于试验装置的局限性, 同时由于垫板并非绝对平整, 加之试件与垫板接触面的平整性也存在一定的差异, 从而导致位移测试结果存在一定的误差, 甚至个别试件未测得明显的位移量。试验得到的荷载-位移关系见图 6。

以上 3 图显示了砂浆在不同水灰比条件下其与基体界面荷载-位移关系随腐蚀时间的变化关系。分析图 6 所示的关系, 看出以下规律:

(1) 图中曲线的起点并不在荷载的 0 点, 即只有在荷载达到一定值时, 砂浆与基体间才有相对位移, 从而表明荷载从加载端传递到砂浆的自由端需要有一个过程, 即需要克服界面间的化学胶着力。

(2) 随着砂浆自由端位移的增大, 加载端的荷载也近似以线性关系增大, 图中每组试件不同腐蚀时间的曲线近似保持平行, 表明砂浆的腐蚀对砂浆-基体界面的黏结刚度影响不大。

(3) 在同一水灰比条件下砂浆腐蚀时间越长, 曲线越向下方移动, 砂浆-基体界面开始产生位移所需的荷载就越小, 说明砂浆体腐蚀越严重, 砂浆-基体界面间的胶着力就越小。

(4) 在相同的腐蚀时间内, 水灰比越小, 黏结界面开始产生相对位移所需的荷载就越大, 表明水灰比越小, 砂浆-基体界面间的胶着力就越大。

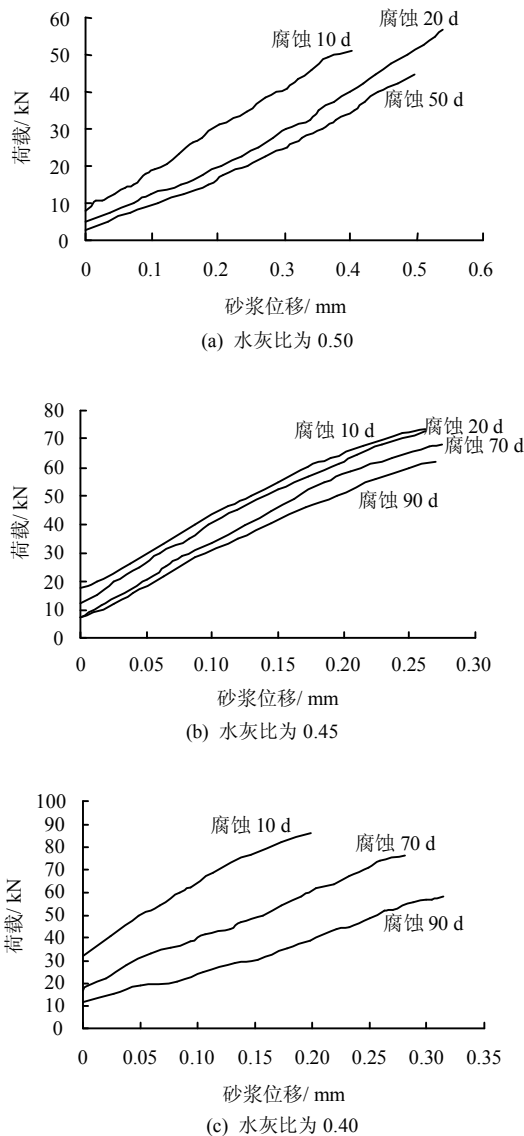


图 6 砂浆-基体界面荷载位移曲线

Fig.6 Relationships between load and displacement in mortar-matrix interface

5 结 论

(1) 在砂浆锚杆锚固体中,随着砂浆受腐蚀程度的增加,锚杆-砂浆界面与砂浆-基体界面的黏结强度均发生退化,其退化速度与腐蚀时间大致呈线性关系。锚杆-砂浆界面黏结强度退化速度大于砂浆基体界面黏结强度。

(2) 水灰比对界面黏结强度有一定影响,水灰比越大,界面黏结强度反而越小,但在相同的腐蚀时间内,水灰比越大,其黏结强度的下降量也越小。

(3) 对于锚杆-砂浆界面,随着砂浆腐蚀时间的增加,界面的剪切刚度会相应的下降。

(4) 对于砂浆-基体界面,砂浆的腐蚀对界面剪切刚度的影响不大,但随着砂浆腐蚀程度的增加,砂浆-基体界面间的化学胶着力会有所降低。

参 考 文 献

- [1] FANG CONGQI, KARIN LUNDGREN, MARIO PLOS, et al. Bond behavior of corroded reinforcing steel bars in concrete[J]. **Cement and Concrete Research**, 2006, 36: 1931—1938.
- [2] 卫军, 徐港, 王青. 锈蚀钢筋与混凝土黏结应力模型研究[J]. 建筑结构学报, 2008, 29(1): 112—116.
WEI Jun, XU Gang, WANG Qing. Bond strength modeling for corroded reinforcing bar in concrete[J]. **Journal of Building Structures**, 2008, 29(1): 112—116.
- [3] 徐有邻, 刘立新, 管品武. 螺旋肋钢丝黏结锚固性能的试验研究[J]. 水泥混凝土制品, 1998, (4): 24—29.
XU You-lin, LIU Li-xin, GUAN Pin-wu. Test research on anchorage performance of spiral rib steel wire[J]. **China Concrete and Cement Products**, 1998, (4): 24—29.
- [4] 梁咏宁, 袁迎曙. 受硫酸盐腐蚀混凝土与钢筋黏结性能的研究[J]. 混凝土, 2008, (2): 20—24.
LIANG Yong-ning, YUAN Ying-shu. Test study on bond behavior of corroded concrete and steel bars[J]. **Concrete**, 2008, (2): 20—24.
- [5] 徐波. 黏结型锚杆锚固理论与试验研究[博士学位论文 D]. 大连: 大连理工大学, 2006.
- [6] 王琴, 杨鼎宜. 干湿循环对混凝土硫酸盐侵蚀的影响[J]. 混凝土, 2008, (3): 22—24.
WANG Qing, YANG Ding-yi. Influence of the dry-wet circulation on the concrete sulfate attack[J]. **Concrete**, 2008, (3): 22—24.
- [7] 刘亚辉, 申春妮, 方祥位等. 溶液浓度和温度对混凝土硫酸盐侵蚀速度的影响[J]. 重庆建筑大学学报, 2008, 30(1): 129—135.
LIU Ya-hui, SHEN Chun-ni, FANG Xiang-wei et al. Investigations on effect of solution concentration and temperature on rate of concrete sulfate attack[J]. **Journal of Chongqing Jianzhu University**, 2008, 30(1): 129—135.
- [8] 霍润科, 李宁, 张浩博. 酸性环境下类砂岩材料物理性质的试验研究[J]. 岩土力学, 2006, 25(9): 1541—1544.
HUO Run-ke, LI Ning, ZHANG Hao-bo. Experimental study on physical characteristics of mortar subjected to hydrochloric acid attack[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2006, 25(9): 1541—1544.