

文章编号:1005-0523(2017)03-0014-05

不同温湿环境下泥岩吸水及膨胀特性的试验研究

刁心宏,杨守兴,冒小波

(华东交通大学土木建筑学院,江西 南昌 330013)

摘要:现场取南昌市轨道交通二号线龙岗站泥岩,试验室内对其切割、打磨,将泥岩置于不同温度梯度环境下(相对湿度 RH>95%):常温,35,40,45℃,研究不同温湿度条件下,泥岩吸水特性及膨胀特性的规律。试验结果表明:泥岩在不同的温湿环境下吸水曲线可分为3个阶段:剧烈吸水阶段、减速吸水阶段、吸水平衡阶段;吸水量、吸水速率均与温度呈线性相关。泥岩在不同温湿环境下膨胀曲线也可分为3个阶段:应变加速阶段、应变减速阶段、应变稳定阶段;随着温度的升高,轴向膨胀率随之增加,膨胀速率随之加快,达到膨胀稳定的时间随之延长。轴向膨胀率、膨胀变形速率均与温度呈线性相关。

关键词:温湿环境;泥岩;吸水特性;膨胀特性

中图分类号:TU458.4

文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2017.03.003

在采矿工程中,随着现代化技术的不断发展,矿山开采的深度呈逐年递增的趋势,这将不可避免的在矿井内出现高温高湿环境。软岩在长期高温高湿环境的水理作用特性、水分迁移机理及膨胀特性是当前亟待研究的关键问题。目前关于水岩相互作用的研究主要在于岩石的抗压强度、抗拉强度、抗剪强度、长期强度等在水的作用下,随时间的变化规律。国内外对岩石与水相互作用的相关研究中,包括对含水岩石力学特性^[1-6]、岩石遇水后的微观结构特征与软化机理^[7-9]、深部泥岩吸水随时间的变化规律的研究^[10-11]、软岩吸水特性及其孔隙结构变化研究^[12]、高温高湿环境下水分在膨胀岩中的迁移规律的研究^[13]。从上述文献的调研中发现,对于深井软岩在温湿环境中其水岩相互作用的研究尚存在不足,对于不同温湿度条件下软岩吸水及膨胀的规律的研究基本处于空白状态。

本文采用现场泥岩取样,通过室内试验模拟软岩在不同温湿环境中吸水特性及膨胀特性的试验研究。

1 试验方法

岩样取自南昌轨道交通二号线龙岗站,岩性为泥岩,试样均取自同一块泥岩,尺寸为Φ50 mm×100 mm,共20个试件。在试验室内进行加工打磨成Φ50 mm×50 mm,共18个岩样,编号分别为NY-1~NY-18,用于不同温度条件下泥岩吸水特性的研究;Φ50 mm×20 mm共12个岩样,编号分别为PNY-1~PNY-12,用于不同温湿度条件下泥岩膨胀特性的试验研究,具体试验设计见表1和表2。

表1 不同温湿度条件下泥岩吸水试验设计表

Tab.1 Water absorption test of mudstones under different temperature and humidity conditions

岩样编号	温度/℃	湿度/%
NY1~NY3	常温(25℃)	RH>95
NY4~NY8	35	RH>95
NY9~NY-13	40	RH>95
NY14~NY-18	45	RH>95

收稿日期:2017-01-14

基金项目:国家自然科学基金项目(51564010)

作者简介:刁心宏(1961—),男,教授,博士,研究方向为岩土工程、道路与铁道工程。

表2 不同温度条件下泥岩膨胀试验设计表
Tab.2 Mudstone expansion test under different temperature conditions

岩样编号	温度/°C	湿度/%
PNY1~NY3	常温(25 °C)	RH>95
PNY4~NY6	35	RH>95
PNY7~NY-9	40	RH>95
PNY10~NY-12	45	RH>95

1.1 不同温湿环境下泥岩吸水特性试验方法

取18块泥岩,编号为NY-1~NY-18,岩样加工为 $\Phi 50\text{ mm}\times 50\text{ mm}$ 用于吸水测试。试样在烘箱中(105~110 °C)烘干48 h,称重并记录数据。为了模拟深井中原岩温度,将岩样用隔水塑料袋包装好,然后放置于试验所需温度的恒温水域箱中浸泡2 h,以保证岩样受热均匀。2 h以后,将各组岩样置于设定好温度和湿度的恒温水域箱中。恒温水域箱中的水没过加热棒,岩样的放置刚好与水面接触。开始试验,按时间间隔(2,4,6,8,10,12,24,36,48 h,……)称量试样的质量。

1.2 不同温湿环境下泥岩膨胀特性试验方法

取12块天然含水状态下的泥岩,编号为PNY-1~PNY-12,岩样加工成 $\Phi 50\text{ mm}\times 20\text{ mm}$ 用于膨胀测试试验。将PNY-1~PNY-12放置于瓦氏膨胀仪中,千分表安装好之后,用保鲜膜包住千分表,防止试验时,温湿环境对千分表的锈蚀。然后将膨胀仪置于设定好温度的恒温水浴箱中,使水面没过岩样,读取千分表初始读数,期间保证液面不下降。开始试验,按时间间隔(2,4,6,8,10,12,24,36,48 h,……)读取千分表的读数,试验结束后对数据进行处理。

2 试验结果与分析

2.1 不同温湿条件下吸水特征曲线

不同温度条件下泥岩吸水平均值曲线如图1所示。由上述吸湿曲线可知,常温条件下,35,40,45 °C条件下泥岩最终吸湿量分别为13.49,14.17,15.24,16.02 g,由此可知随着温度的升高,泥岩的最终吸湿量越大,但涨幅不是很大。由图1可以看出随着吸水温度的升高,不同阶段的吸水速率愈快,最终吸水量越大,达到吸水稳定阶段所用时间愈短。

2.2 不同温湿条件下膨胀特征曲线

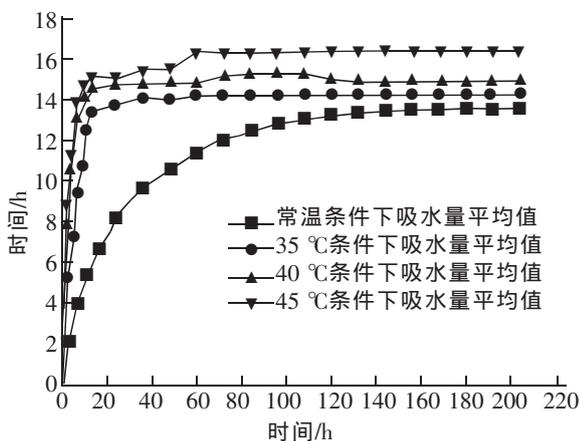


图1 泥岩吸湿量平均值曲线(RH>95%)

Fig.1 Average value of moisture absorption of mudstone(RH>95%)

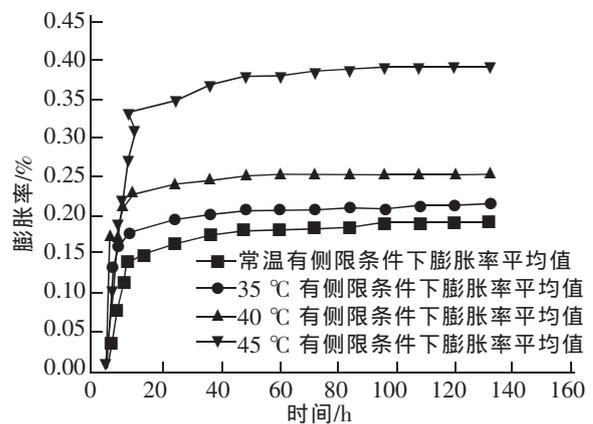


图2 不同温度条件下泥岩膨胀平均值曲线

Fig.2 Average value curve of mudstone expansion under different temperature conditions

图2为不同温度条件下,泥岩有侧限条件下的膨胀特征曲线的平均值。由图可知常温,35,40,45℃条件下,泥岩平均膨胀率最大值分别为0.189%,0.212%,0.251%,0.388%。由此可知随着吸水温度的升高,泥岩的膨胀速率加快,膨胀持续的时间越长,最终轴向膨胀率越大,达到膨胀稳定阶段所用时间愈长。

2.3 温度对吸水特性影响

将温度与吸湿量的关系绘制成曲线图,如图3所示,由图可知泥岩达到吸水平衡后,吸水量与温度呈线性关系。为了更直观分析温湿度对吸湿速率的影响将泥岩吸水过程概化为理想模型,如图4所示。由图4可知,不同温湿度条件下泥岩吸湿曲线均可分为3个阶段即剧烈吸湿阶段、减速吸湿阶段、吸湿稳定阶段。吸湿理想模型的表达式可用分段函数表示为:

$$Q_t = \begin{cases} t \cdot \tan\theta & t < t_0 \\ t \cdot \tan\theta_1 + b & t_0 < t < t_1 \\ Q_0 & t \geq t_1 \end{cases} \quad (1)$$

式中: Q_t 为不同时间段的吸湿量, g; t 为时间, h; t_0 为剧烈吸湿阶段的时间, h; t_1 为减速吸湿阶段的时间, h; Q_0 为最终吸湿量, g; $\tan\theta$ 为剧烈吸湿阶段吸水速率, g/h; $\tan\theta_1$ 为缓和吸水阶段吸湿速率, g/h; b 为缓和吸湿阶段截距。在深部采矿工程中,如遇到软岩,围岩具有原始温度,那么温度效应对泥岩吸湿的过程是不可忽略的。研究温湿度对软岩吸湿量随时间的变化规律,对围岩湿度场分布规律及次生应力场的研究是十分必要的。

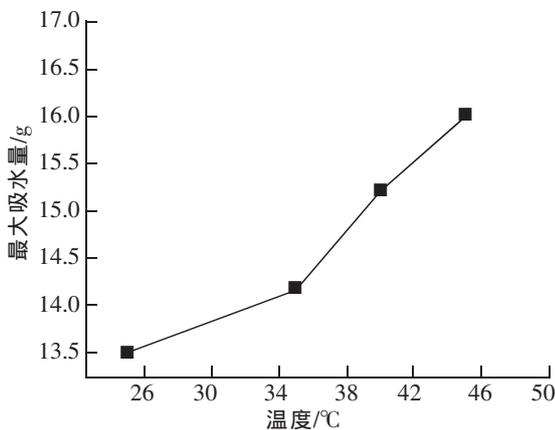


图3 温度对泥岩吸湿量的影响

Fig.3 Effects of temperature on moisture absorption of mudstone

将不同温湿度对泥岩吸湿速率的影响绘制成曲线,如图5所示。由图可知吸湿速率与温度呈线性相关,吸湿速率随温度的递增而加快。

2.4 温度对膨胀特性影响

为了弄清温湿度对轴向膨胀率的影响,将泥岩轴向膨胀率最大值与温度的关系绘制成曲线,如图6所示。由图可知膨胀率与温度的关系大致呈正相关,温湿度对泥岩膨胀特性影响不可忽略。

为了更直观分析温湿度对膨胀速率的影响将泥岩吸水膨胀过程概化为理想模型,如图7所示。

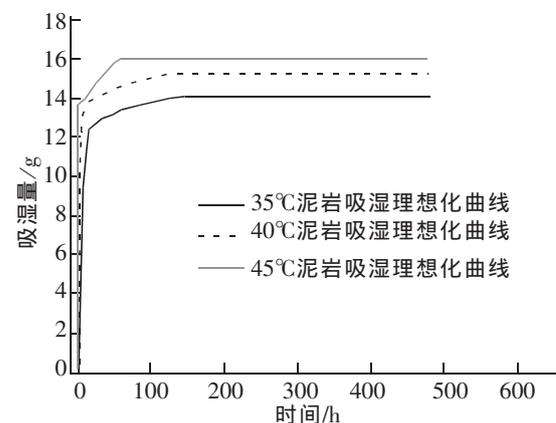


图4 泥岩吸湿理想化曲线

Fig.4 Idealized curve of mudstone moisture absorption

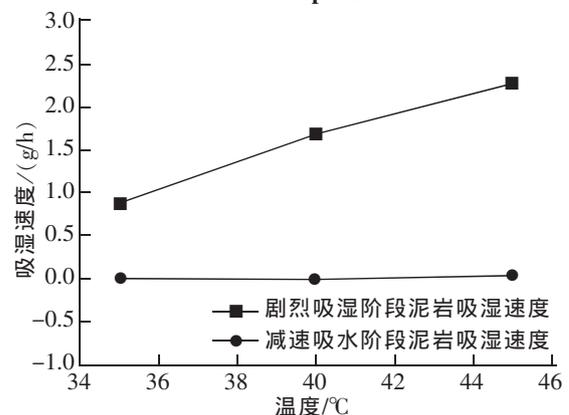


图5 温度对泥岩吸湿速率的影响

Fig.5 Effects of temperature on the moisture absorption rate of mudstone

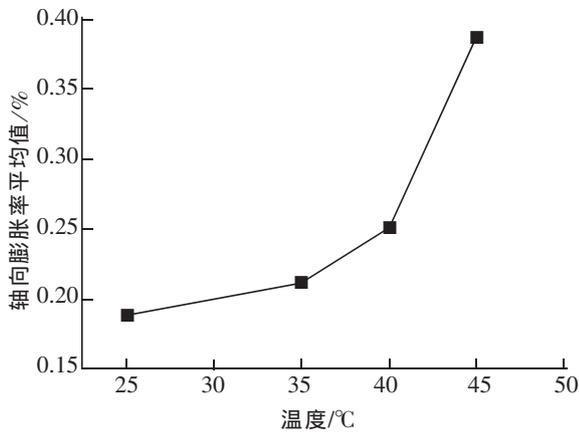


图 6 不同温湿环境下泥岩轴向膨胀率平均值
Fig.6 Average values of axial expansion of mudstone under different temperature and humidity conditions

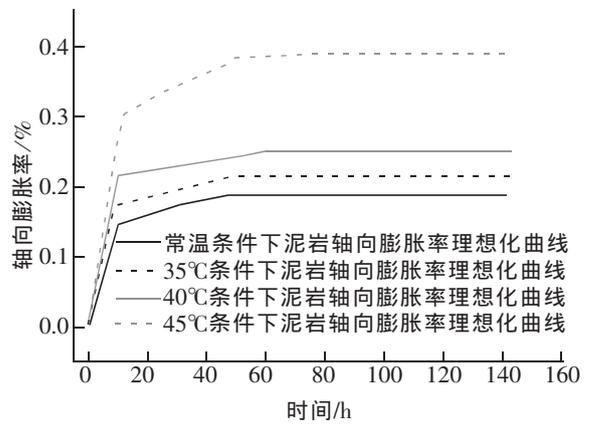


图 7 不同温度下泥岩轴向膨胀理想化曲线
Fig.7 Idealized axial expansion curves of mudstone under different temperature conditions

由图 7 可知,不同温湿度条件下泥岩膨胀特征曲线均可分为 3 个阶段即应变加速阶段、应变减缓阶段、应变稳定阶段。不同温湿度条件下,泥岩膨胀特征理想模型的表达式可用分段函数表示为

$$\varepsilon_t = \begin{cases} t \cdot \tan\theta & t < t_0 \\ t \cdot \tan\theta_1 + b & t_1 < t < t_0 \\ \varepsilon_0 & t \geq t_1 \end{cases} \quad (2)$$

式中: ε_t 为泥岩吸水膨胀随时间的变化关系; t 为时间, h; t_0 为应变加速阶段的时间, h; t_1 为应变减速阶段的时间, h; b 为应变减速阶段的截距; ε_0 为轴向最终膨胀变形量, %, 为常量; $\tan\theta$ 为轴向膨胀变形速率 %/h, 可用 $v(t)$ 表示。膨胀变形速率 $v(t)$ 不仅与温度有关, 还受泥岩矿物成分、含水率、岩体微观结构影响。不同类型的泥岩膨胀速率 $v(t)$ 可通过室内试验获得。研究泥岩膨胀变形随温度的变化, 对深部矿井工程的安全监测和灾害预测预报十分必要。

将不同温湿度对泥岩轴向膨胀速率的影响绘制成曲线, 如图 8 所示。由图可知轴向膨胀速率与温度呈线性相关, 膨胀变形速率随温度的递增而加快。

3 结论

1) 泥岩在不同的温湿度环境下吸湿曲线可分为 3 个阶段: 剧烈吸湿阶段、减速吸湿阶段、吸湿平衡阶段。吸湿量、吸湿速率均与温度呈线性相关, 即随温度的升高, 吸湿量有所增加, 吸湿速率随之加快, 吸水平衡时间缩短。

2) 泥岩在不同温湿度环境下膨胀特征曲线也可分为 3 个阶段: 应变加速阶段、应变减速阶段、应变稳定阶段。随着温度的升高, 轴向膨胀率随之增加, 膨胀速率随之加快, 达到膨胀稳定的时间随着延长。轴向膨胀率、膨胀速率与温度均呈线性相关。

3) 根据吸水特征曲线及膨胀应变与时间的关系曲线, 分别提出了吸水随时间的理想化模型及膨胀应变与时间的理想化模型, 对受地温影响的相关工程的安全监测和灾害预测十分重要。

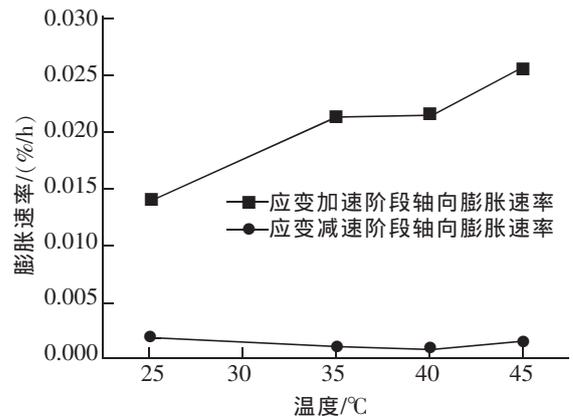


图 8 温度对泥岩吸湿速率的影响
Fig.8 Effects of temperature on moisture absorption rate of mudstone

参考文献:

- [1] YOGINDER P CHUGH, ROGER A MISSAVAGE. Effects of moisture on strata coal mines[J]. Engineering Geology, 1981, 17(4): 241-255.
- [2] DYKE C G, DOBEREINER L. Evaluating the strength and deformability of sandstone[J]. Quarterly, Journal of Engineering Geology, 1991(24): 123-134.
- [3] 陈钢林, 周仁德. 水对受力岩石变形破坏宏观力学效应的实验研究[J]. 地球物理学报, 1991, 34(3): 335-342.
- [4] 孟召平, 彭苏萍. 含煤岩系岩石力学性质控制因素探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(1): 102-106.
- [5] 朱珍德, 邢福东, 张勇, 等. 红山窑膨胀红砂岩湿化特性试验研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(7): 1014-1018.
- [6] 刘新荣, 姜德义, 余海龙. 水对岩石力学特性影响的研究[J]. 化工矿物与加工, 2000, 5(6): 17-20.
- [7] 周翠英, 谭祥韶, 邓毅梅, 等. 特殊软岩软化的微观机制研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(3): 394-400.
- [8] 吴恩江, 韩宝平, 王佳梁. 红层中水-岩微观信息特征及对空隙演变化的影响——以兖州矿区为例[J]. 中国矿业大学学报, 2005, 34(1): 123-128.
- [9] 杨春和, 冒海军, 王学潮, 等. 板岩软化的微观结构及力学特性研究[J]. 岩土力学, 2006, 27(12): 2090-2098.
- [10] 何满潮, 周莉, 李德建, 等. 深井泥岩吸水特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(6): 1113-1120.
- [11] 陈栋. 温湿环境下深井软岩强度软化试验研究[D]. 哈尔滨: 黑龙江科技学院, 2014.
- [12] HAWKINS A B, MC CONNELL B J. Sensitivity of sandstone strength and deformability to changes in moisture content[J]. Quarterly Journal of Engineering Geology, 1992(25): 115-130.
- [13] 刁心宏, 张新等. 高温高湿环境下膨胀岩巷道湿度场相似材料模型试验研究[J]. 华东交通大学学报, 2015, 32(6): 33-37.

Experimental Study on Water Absorption and Expansion Characteristics of Mudstone under Conditions of Different Temperature and Humidity

Diao Xinhong, Yang Shouxing, Mao Xiaobo

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

Abstract: Mudstones were sampled from Longgang station of Nanchang Metro Line 2 and were cut as well as ground in the laboratory in this study. Then it explored the water absorption and expansion regularity of mudstones under different temperature and humidity conditions (relative humidity $RH > 95\%$), namely the normal temperature, $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, and $45\text{ }^{\circ}\text{C}$. The test results showed that the water absorption curve of the mudstones can be divided into three stages under different temperature and humidity conditions: severe water absorption phase, the deceleration phase of water absorption and water absorption equilibrium phase; water absorption and water absorption rate were linearly correlated with temperature. The expansion curves of mudstones under different hygrothermal conditions can be divided into three stages: the strain acceleration stage, the strain deceleration stage, and the strain stabilization stage. With the increase of temperature, the axial expansion rate and the acceleration rate of expansion increased and the time of reaching the steady expansion was prolonged. It maintains that the temperature is linearly correlated with the axial expansion rate and expansion deformation rate.

Key words: temperature and humidity condition; mudstone; water absorption; expansion characteristic

(责任编辑 王建华)