

文章编号:1005-0523(2015)04-0033-05

高温高湿环境下膨胀岩巷道围岩湿度场相似材料模型试验研究

刁心宏¹,张新^{1,2},陈力¹,章坤¹,陈志亮¹

(1. 华东交通大学土木建筑学院,江西 南昌 330013; 2. 江西嘉园房地产开发有限责任公司,江西 南昌 330006)

摘要:通过相似材料模型试验,对高温高湿环境作用下巷道围岩在不同密度、不同初始含水量时的含水量及其分布情况进行了研究。试验结果表明,水分在巷道围岩中呈类层状向围岩内部迁移;围岩密度越小,含水量增量越大,水分迁移范围越大;初始含水量越小,含水量增量越大,但水分迁移范围越小;巷道上部围岩水分迁移范围比下部小。

关键词:膨胀岩;湿度场;相似材料模型试验;高温高湿环境

中图分类号:TD3 **文献标志码:**A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2015.06.006

在矿业资源开采过程中,常常会遇到膨胀岩此类特殊的软岩,由于井下巷道作业往往处于高温高湿环境中,膨胀岩遇水易膨胀变形,其产生的膨胀力会对巷道围岩及巷道支护结构产生破坏作用,因此对该类围岩支护提出了更高的要求。针对此类软岩设计更合理的支护结构,需要对膨胀岩吸湿膨胀引起的膨胀力进行计算分析,而膨胀力的大小又与膨胀岩的湿度变化息息相关,故有必要对巷道围岩在高温高湿环境中湿度的分布情况进行探讨。近年来,相关学者对膨胀岩吸湿膨胀特性进行了一些研究,在缪协兴等^[1-2]提出湿度应力场理论的基础上,李康全、卢爱红等^[3-4]都在膨胀岩增湿变形研究方面取得了一定的进展。其中卢义玉等^[5]对煤矿中膨胀岩的钻孔缩颈分析中指出,湿度场的影响度远大于地应力场。由此可见,湿度场的研究有着重要的意义。而在目前湿度场的研究成果中,只考虑对煤层巷道围岩进行的水力掏槽^[6]、钻孔等施工用水的影响所引发的软化和变形问题^[7-8],却忽略了巷道空间高温高湿的环境因素,研究该环境中在不同的围岩初始含水量和密度情况下,水分向围岩四周迁移及围岩湿度分布规律,对于完善膨胀岩巷道湿度场理论具有重要意义。

1 相似材料模型试验设计

1.1 相似材料配制

试验以江西省地区的膨胀性岩石为研究对象,相似材料采用细沙和胶结材料配制,砂胶比为1:1,胶结材料由石膏、膨润土、高岭石和淀粉组成,石膏:膨润土:高岭土的比例为2:1:1,淀粉按相似材料总重量的1.5%添加^[9]。结合刘礼成、曲永新等国内学者提出的膨胀判别标准^[10]进行试验指标的验证,其满足膨胀岩相似材料的要求,见表1。

需要说明的是,本文是研究水分在膨胀岩中的迁移规律,根据相似材料模型试验的原则,原型中膨胀岩的吸水性与模型中相似材料的吸水性应当满足相似性。但由于实际的膨胀岩取样、制样非常困难,要检测实际膨胀岩吸水性指标则更加困难;因此,本次试验暂不考虑原型和模型吸水性的相似性。实际上,两者吸水性相似比的不同,仅仅会影响水分在围岩中的扩散深度,对水分的分布特征和含水量等值线形状没有明显影响。

收稿日期:2015-09-15

基金项目:国家自然科学基金项目(51168014);江西省自然科学基金项目(2010GZC0023)

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 1 相似材料基本指标
Tab.1 Basic indexes of the similar material

试验材料	自由膨胀率/%	干燥饱和吸水率/%	极限膨胀量/%	单轴抗压强度/MPa
膨胀岩相似材料	103.3	52.3	31.2	0.535

1.2 试验仪器仪表

试验采用空气加湿器释放气态水以调节巷道内的湿度,用加热片调节巷道内的温度,设备的运行通过温湿度控制器控制,以满足试验中开挖工作面所需湿度和温度的要求。

围岩湿度采集传感器采用湿敏电阻 HR202,该传感器利用其中的黑色电阻导体上涂抹的一层均匀高分子材料吸收水分,通过电阻的变化来反应含水量的大小,在湿敏电阻的两端用焊接线连接到测试设备上即可使用,其中测试设备选用土壤含水量传感器阻抗测量仪^[1]。

1.3 相似材料模型尺寸

试验模型尺寸为长×宽×高=90 cm×30 cm×90 cm,模拟巷道形状为三心拱形,拱半径 $R=6$ m,断面形式如图 1 所示。其几何相似比为 1:20,容重相似比为 1:1,时间相似比为 1:1,强度相似比为 1:20。本试验主要研究围岩含水量与围岩密度及初始含水量的关系,不施加外荷载,即忽略原岩应力的影响。

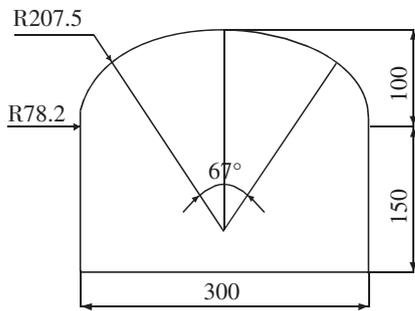


图 1 巷道尺寸 (mm)

Fig.1 Roadway size (mm)

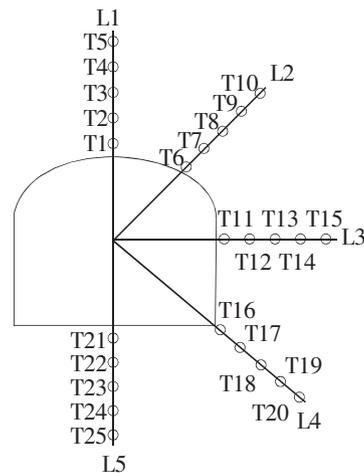


图 2 测点布置示意图

Fig.2 Test points arrangement

1.4 测点布置

鉴于巷道的对称性,巷道围岩湿度量测传感器探头只需布置在巷道一侧即可。传感器探头分别布置在巷道的正上方(L1)、斜上方 45°(L2)、侧墙中部(L3)、斜下方 45°(L4)和正下方(L5),共计 5 条测线,其中每条测线各布置 5 个测点,其间距均为 4 cm(如图 2)。

1.5 试验方案

拟进行了 3 组试验,将巷道内温度控制在 32~35℃^[2],相对湿度(RH)则控制在 94%~97%。围岩初始含水量分别考虑 12%和 18%两种情况;密度分别为高低两种情况即 1.53 g·cm⁻³和 1.8 g·cm⁻³。试验方案详见表 2。

表 2 模型试验方案
Tab.2 Model test schemes

方案编号	相对湿度/%	温度/℃	初始含水量/%	密度/(g·cm ⁻³)
	94~97	32~35	12	1.53
	94~97	32~35	18	1.80
	94~97	32~35	12	1.80

2 模型试验

1) 模型架组装:首先将模型架组装固定,安装模板(表面覆盖有塑料薄膜),模型的正面一侧为巷道开挖洞口,背面一侧为带探头测孔的测量区域(见图3)。正面的模板分两次安装,第一次安装30 cm高度,方便填筑材料。组装完毕后,在模型架你安装的地面铺设2 cm厚的细沙,再将模型放置到铺设好的细沙上使其平稳。

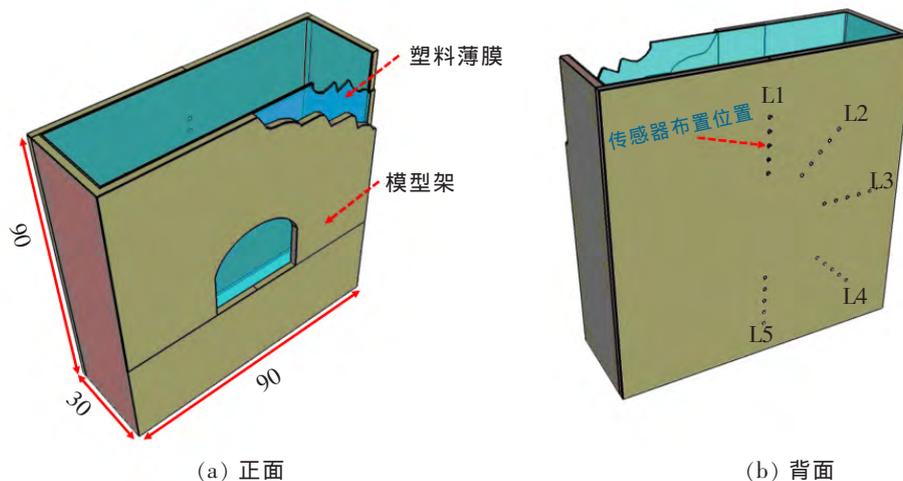


图3 模型试验架(mm)
Fig.3 Model frame(mm)

2) 材料拌合:严格按照配比清单准备每次填筑的材料各组分重量,混合后进行充分拌合,相似材料分6次拌合,每次20.66 kg。

3) 模型填筑:为防止出现压实不均匀现象,每次拌合好的材料分3次进行填筑,按既定的密度压实后方可进行下一次填筑。

4) 量测传感器安装:当填筑到探头的布置位置时,及时安装含水量探头,线圈感应面朝巷道方向。

5) 静置养护:对模型进行保湿养护,以使模型材料含水量均匀,同时要防止水分蒸发。

6) 巷道开挖:严格按照试验设计尺寸进行巷道开挖,防止超挖。

7) 数据采集:按照试验方案严格控制巷道内的温度与湿度,每10 min采集一次数据,连续进行14 h^[13]量测,即完成一个模型试验。试验模型开挖前及环境模拟测试装置见图4。

3 试验结果分析

按照试验方案,开挖并保持开挖工作面空间湿度、温度,14 h后,采集各测点的含水量。表3为巷道上部(L1)和下部(L5)含水量的最终结果。将采集数据通过Surfer 8.0软件绘制出巷道围岩最终湿度场云图,如图5~图7所示。

表3 含水量测试结果
Tab.3 Test results of moisture content

方案编号	L1 测线					L5 测线					%
	T1	T2	T3	T4	T5	T21	T22	T23	T24	T25	
	15.96	15.41	14.58	13.41	12.04	16.91	16.20	15.13	14.65	13.29	
	20.32	19.89	19.54	18.97	18.06	20.21	19.69	19.12	18.73	18.46	
	15.31	14.46	13.77	13.04	12.06	15.98	14.71	14.13	13.33	12.37	



(a)



(b)

图4 填充后的试验模型
Fig.4 Filled test model

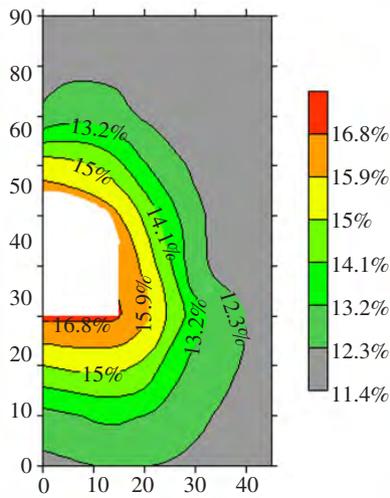


图5 方案1湿度场分布

Fig.5 Humidity field of test scheme 1

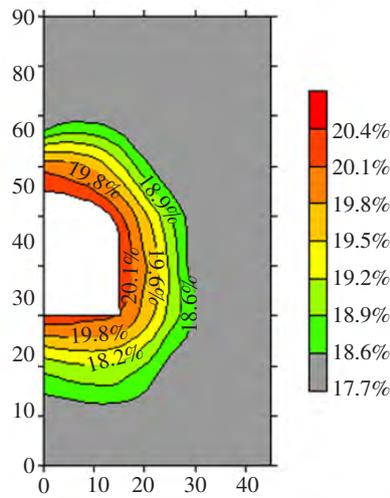


图6 方案2湿度场分布

Fig.6 Humidity field of test scheme 2

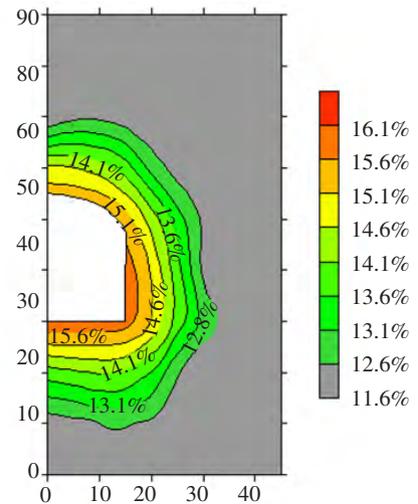


图7 方案3湿度场分布

Fig.7 Humidity field of test scheme 3

在试验方案 中,巷道拱顶部含水量达 16.0%,相对初始值 12%增加了 4.0 个百分点,而底部的含水量达到 16.9%,增加了近 4.9 个百分点。在试验方案 中,巷道拱顶部含水量达 20.3%,相对初始值 18%增加了 2.3 个百分点,而巷道底部的含水量达 20.2%,增加了 2.2 个百分点,两者相差不大。在试验方案 中,巷道拱顶部含水量达 15.3%,相对初始值 12%增加了 3.3 个百分点,而底部的含水量达 16.0%,增加了 4.0 个百分点。

根据 3 个试验所得湿度场结果可见,高温高湿环境下产生的围岩湿度(增量)呈现类层状向外扩展的特征,巷道上部迁移范围小于巷道下部。巷道上部迁移范围小于巷道下部,是由于水蒸气凝结成小水珠滴落在巷道底部,接受的水分更多,同时水分也受到重力影响。此外,湿度场数据显示,监测 14 h 后,巷道周边部位的含水量均未达到饱和状态。

方案 与方案 对比可见,当初始含水量一定时,位于巷道围岩表层的含水量增量前者大于后者,表明低密度围岩在高温高湿环境下所受影响比高密度围岩大,即围岩密度越小,含水量增量越大。对比方案 与方案 可知,当密度一定时,位于对巷道围岩表层的含水量增量,前者小于后者,表明在高温高湿环境下初始含水量小的围岩比初始含水量大的围岩所受影响更大,即初始含水量越小,含水量增量越大。

4 结论

通过模型试验,详细研究了不同初始含水量以及不同密度两种情况下,高温高湿环境引起的膨胀性围岩含水量变化情况,表明膨胀岩巷道围岩含水量受高温高湿环境影响明显,在膨胀岩巷道围岩周边的膨胀力计算时应该予以考虑。

高温高湿环境引起的围岩含水量变化规律是:

- 1) 水分在巷道围岩呈类层状向外迁移;
- 2) 围岩密度越小,含水量增量越大,水分迁移范围越大;
- 3) 初始含水量越小,含水量增量越大,水分迁移范围越大;
- 4) 巷道上部围岩水分迁移范围小于下部围岩水分迁移范围。

用相似模型试验方法研究高温高湿环境下膨胀岩湿度场,在国内外尚无研究报道,需要不断摸索和试验,本文即是在此方面进行的一次探索性研究。本试验研究暂未考虑原型与模型吸水性的相似性,其结果会对巷道围岩因高温高湿环境引起的围岩湿度变化的深度产生一定影响,但对围岩中水分的分布特征和含水量等值线形状不会有显著影响。

下一步的试验研究,拟重点研究考虑实际膨胀岩与相似材料吸水性相似(即两者吸水强度相似)情况下,由于高温高湿环境引起的膨胀性围岩湿度变化的规律,从而可根据相似材料模型试验结果推测实际围岩湿度场分布规律。

参考文献:

- [1] 缪协兴,茅献彪,卢爱红.湿度应力场理论在软岩巷道围岩稳定性控制中的应用[J].矿山压力与顶板管理,2002,19(3):1-5.
- [2] 缪协兴.用湿度应力场理论分析膨胀岩巷道围岩变形[J].中国矿业大学学报,1995,24(1):58-63.
- [3] 李康全,周志刚.基于湿度应力场理论的膨胀土增湿变形分析[J].长沙理工大学学报,2005,2(4):1-6.
- [4] 卢爱红,茅献彪.湿度应力场的数值模拟[J].岩石力学与工程学报,2002(S1):2470-2473.
- [5] 卢义玉,侯吉峰,等.湿度应力场作用下煤矿穿膨胀岩钻孔缩径规律研究[J].采矿与安全工程学报,2014,31(3):470-475.
- [6] 朱万成,魏晨慧,张福壮,等.流固耦合模型用于陷落柱突水的数值模拟研究[J].地下空间与工程学报,2009,5(5):928-933.
- [7] 朱珍德,张爱军,邢福东.红山窑膨胀岩的膨胀和软化特性及模型研究[J].岩石力学与工程学报,2005,24(3):389-393.
- [8] BUZZI O. On the use of dimensional analysis to predict swelling strain[J]. Engineering Geology,2010,116(2):149-156.
- [9] 赖建英,刁心宏.基于正交设计的膨胀岩相似材料试验研究[J].兰州理工大学学报,2014,40(4):131-135.
- [10] 范秋雁.膨胀岩与工程[M].北京:科学出版社,2008:18-64.
- [11] 伍群芳,赖建英,刁心宏.基于STM32的土壤含水量传感器阻抗测量仪的研制[J].华东交通大学学报,2013,30(2):52-57.
- [12] 徐文.巷道水分蒸发处理及风流温度湿度计算[D].河南:河南理工大学,2010:11-26.
- [13] 陈峰宾.隧道初期支护与软弱围岩作用机理及应用[D].北京:北京交通大学,2012:113-131.

Research on Humidity Field in Swelling Wall-rock of Roadway in Hot and Humid Environment by Similar Material Model Test

Diao Xinhong¹, Zhang Xin^{1,2}, Chen Li¹, Zhang Kun¹, Chen Zhiliang¹

(1. School of Civil and Architectural Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 2. Jiangxi Jiayuan Real-estate Development CO., LTD., Nanchang 330006, China)

Abstract: By the similar material model test, the moisture content and its distribution in swelling rock of a roadway in hot and humid environment is respectively discussed under different densities and different initial moisture situations. The following are the test results: the water migration in the surrounding rock presents lamellar structure; the smaller of the initial density is, the greater the moisture increment and the migration range will be; the smaller the initial moisture content is, the greater the increasing moisture will be, while the smaller the migration range will be at the same time; the maximum range of water migration in the top of roadway is lesser than that the bottom.

Key words: swelling rock; humidity field; similar material model test; high temperature and humidity environment

(责任编辑 王建华)