

# 非饱和黄土水分迁移规律及迁移量的试验研究

刘小军, 闫玉闯, 罗 扬

(西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055)

**摘 要:** 选取西安地区的黄土作为研究对象, 在等温条件下对非饱和黄土进行了气态水迁移规律和气、液水混合迁移规律与迁移量的试验研究。基于试验结果, 探讨影响水分迁移的因素, 对比分析气态水迁移和气、液水混合迁移情况, 进而揭示两者的关系。试验结果表明: 含水量梯度对气态水迁移的影响程度较含水量水平高, 迁移时间越长, 迁移量越大, 但是迁移速率会逐渐降低; 存在一个含水量界限, 当黄土的含水量低于该含水量时, 黄土中只存在气态水迁移, 液态水迁移可忽略不计; 当黄土的含水量大于该含水量时, 黄土中同时具有气态水和液态水的混合迁移; 同时发现, 黄土中气态水迁移量在含水量梯度一定的情况下, 随含水量水平的提高而增加, 但当含水量水平达到一定程度后, 气态水迁移量反而减小。

**关键词:** 非饱和黄土; 气态水迁移; 混合迁移; 含水量

**中图分类号:** TU444

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2015)01-0056-05

## Experimental research on the transfer' law of water and transferring quantity in unsaturated loess

LIU Xiaojun, YAN Yuchuang, LUO Yang

(School of Civil Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

**Abstract:** The loess of Xi'an area as is selected research object, and an experimental research on the vaporous water transfer law, vaporous and liquid water mixed transfer law as well as transferring quantity of unsaturated loess was carried out under isothermal condition. Based upon the experiment results, the essay discusses the factors affecting water transfer, analyzes comparatively the conditions of vaporous water transfer and vaporous and liquid water mixed transfer. Furthermore, the paper reveals the relationship of them. The results show that the water content gradient produces a greater effect on vaporous water transfer than water content value, and the longer the transfer time, the larger the transferring quantity, but the slower the transfer rate; that there exists a water content limit and when it is higher that the water content of loess, vaporous water transfer is the only one in the loess (liquid water transfer can be neglected); and that when the water content of loess is higher than the limit, mixed water transfer of vaporous and liquid water can happen simultaneously. Under the condition of water content gradient being certain, vaporous water transfer quantity in the loess increases as the water content value. However when the water content value reaches a certain degree, vaporous water transfer quantity decreases instead.

**Key words:** unsaturated loess; vaporous water transfer; mixed water transfer; water content

处于地表的土体大都为非饱和状态, 非饱和土体中含水量的变化常常会导致一些病理的产生, 例如路基工程出现沉陷、纵裂、水沟失稳等病害; 水利工程出现冻胀、塌岸、砌体开裂等病害; 市政工程出现沉陷、网裂等病害。从而引发工程事故的发生。对土体中含水量变化的研究不仅对保证工程稳定性有重要意义, 同时, 也可预测土层含水状况, 这对促进农业生产、促进黄土高原绿化事业也有重要意义。而土体中含水量的变化主要是水分迁移的结果, 非饱和土中水分迁移的形式主要为液态水迁移和气态水迁移, 通常情况下, 非饱和土中液态水迁移和气态水迁移是同时存在的。许多学者已进行了很多关于液态水迁移<sup>[1-5]</sup>的研究, 对于非饱和土气态水也进行了一定的研究。文献[6-10]中多位学者进行了温度梯度作用和含水量梯度作用的实验

研究, 实验揭示出, 温度梯度、干密度以及含水量梯度对非饱和土体中气态水迁移的影响, 但目前对不同含水量水平、梯度对水分迁移的影响程度, 以及气态水迁移在总水分迁移中所占的比重; 气态水迁移与气、液态水混合迁移的相互转化关系等尚未探明。

本文拟以西安地区的黄土为例, 通过室内试验, 定量分析等温情况下气态水迁移与气、液态水混合迁移规律, 探讨含水量梯度、含水量水平、迁移时间等因素对气态水迁移量和气、液态水混合迁移量的影响; 进而研究不同情况下, 气态水迁移与气、液态水混合迁移规律以及相互转化关系。

### 1 试验方案

试验所用黄土呈褐黄色, 为黄土状土, 其基本

指标见表 1.

表 1 黄土基本指标  
Tab.1 Basic physical properties of loess

土样定名	天然比重	液限	塑限	塑性指数
粉质粘土	2.70	28.6	17.8	10.8

实验所采用的装置为长方体铁盒, 其长、宽、高如图1所示(单位: cm). 为了防止水与铁盒发生反应影响实验结果, 装置内壁四周涂有防锈防水材料. 用于气态水迁移实验的铁盒沿长度方向从中间处断开, 使装置分为左右两部分, 图1中试验装置(a)所示. 若取下密封接头, 将装置的左右两部分对接到一起, 此时装置不存在空气带, 如图1(b)所示.

为使土样含水量在长度方向上呈递增状态, 首先在装置中装入均匀含水量的黄土, 该含水量与试验所要制做的土样最低端的含水量接近. 在控制干密度不变的情况下, 将土样沿长度方向上分为20等份, 计算每份土体需加入的水量, 然后利用水膜转移法将所需水量注入到对应的每份土体中, 从而制做设定的含水量梯度试样, 静置一段时间后测定初始含水量分布. 然后将装置左右两部分断开, 左右两部分中间隔开一个0.5 cm的空气带, 同时在断开处放入带有小孔的铁丝网, 防止断开剖面土体发生塌落并能保证在断开处仅有气态水通过. 将土样密封静置, 设定迁移时间分别开启装置进行不同位置的含水量测试, 最终得到气态水迁移试验结果.

制作气、液态水混合迁移的土样时, 取图 1 中的试验装置(b), 其装入土样的过程与制作气态水迁移土样的过程相同, 所不同的是在测定初始含水量分布后无需对装置进行断开.

试验所做土样的实测初始含水量梯度(试样含水量最低端与最高端的差值)为 5%的有 1.8%~6.9%、5.2%~10.3%、9.9%~15.2%、21.2%~27.6%、12.7%~18.5%, ; 含水量梯度为 10%的有 1.5%~10.5%、10.4%~20.1%、14.5%~24.7%, 同一含水量梯度下的土样又分为不同的含水量水平,反映试样整体含水量的高低,如: 初始含水量梯度分布为 5%的 5.2%~10.3%和 9.9%~15.2%这两组土样即为具有同一梯度、不同含水量水平的土样, 且两组土样中 9.9%~15.2%的含水水平较高. 所做相同的多个土样中, 一部分土样用于进行气态水迁移试验; 另一部分土样用于气、液态水混合迁移试验. 迁移时间考虑 10 d 和 20 d 两种情况.

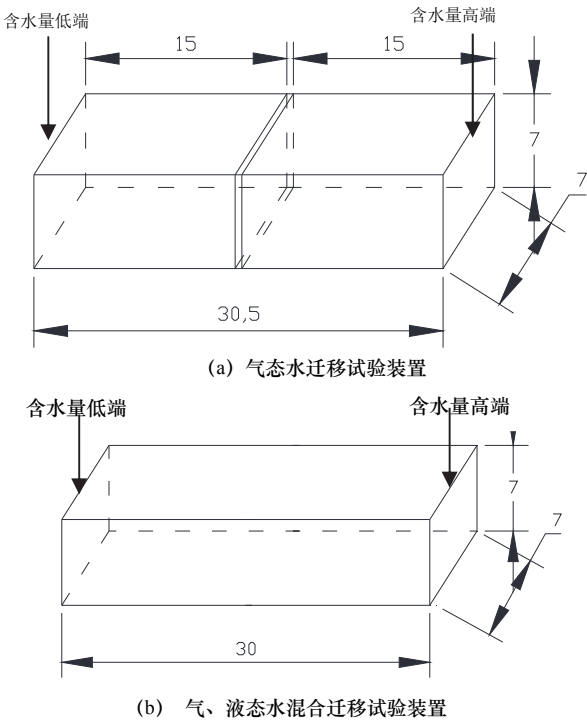


图1 试验装置  
Fig.1 The test device

## 2 试验结果分析

### 2.1 气态水迁移分析

气态水迁移是水分迁移的重要组成部分, 而水分迁移的影响因素主要为含水量梯度、含水量水平及迁移时间等. 随着含水量水平、含水量梯度和迁移时间的变化, 气态水的迁移情况存在很大差异. 对于加空气带的土样来说, 土样中水的总量是不变的, 所以空气带左端含水量较低部分的水分增加量与右端含水量较高部分的水分减小量相等. 由于右端含水量较高部分中的水只能以气态水形式传到左端含水量较低部分, 所以右端的减小或左端的增加量即为气态水迁移量. 要进一步分析气态水迁移量与混合(气态水和液态水迁移同时存在)迁移量的关系, 需要提出气态水迁移量的算法.

对于每个加空气带的土样来说, 含水量低端部分的总水分增加量即为气态水通过空气带的气态水迁移量. 假设通过空气带的气态水迁移量为 $S$ , 计算水平坐标上方的增量曲线与两坐标轴所组成图形的面积为 $A$ , 水平坐标轴下方的增量曲线与水平坐标轴所组成的面积为 $B$ , 则 $S=A-B$ .

当对气态水迁移量进行研究时, 可只取装置中左半部分的土样进行分析. 下图2为不同含水量水平下加空气带的土样10 d后的含水量增量分布.

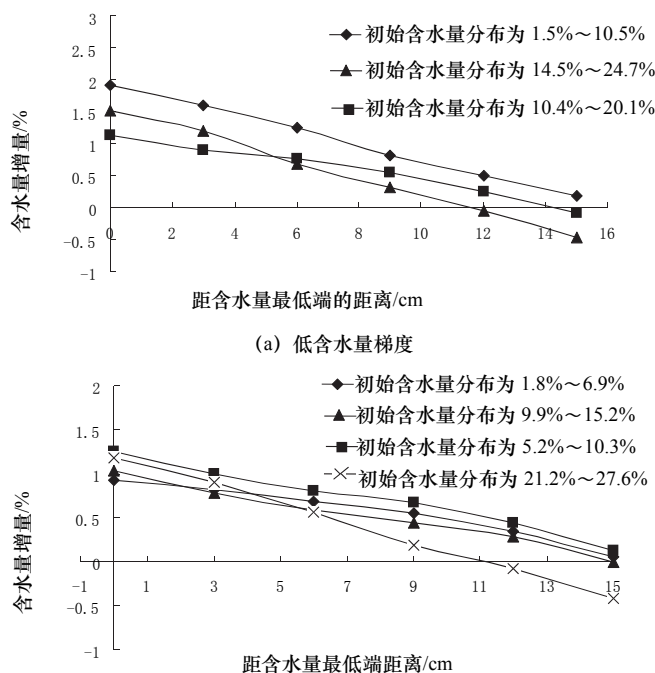


图2 不同水平加空气带土样10 d后含水增量分布

Fig.2 The increment distribution of soil sample added air belt with different water content level after 10 days

由图2(a)中可看出, 初始含水分布为1.5%~10.5%的土样, 经过10天后的气态水迁移量较相同时间后10.4%~20.1%的土样和14.5%~24.7%的土样都要多; 由图2(b)中可看出, 初始含水分布为1.8%~6.9%的土样, 经过10 d后的气态水迁移量较相同时间后5.2%~10.3%的土样要少, 但比9.9%~15.2%的土样和21.2%~27.6%的土样气态水迁移量要多, 土样气态水迁移量如表2所示:

表2 气态水迁移量对比

Tab.2 Contrast of vaporous water transfer's quantity

初始含水量/%	1.8-6.9	5.2-10.3	9.9-15.2	21.2-27.6
迁移量	16.6	22.5	15.7	13.8

由试验结果可以得知, 含水量水平不同, 气态水的迁移量区别明显, 因此含水量水平是气态水迁移的重要因素. 随着含水量水平的提高, 气态水迁移量呈先增加后减小的趋势, 即保持含水量梯度不变的情况下, 在含水量水平提高的过程中存在一个含水量, 低于此含水量时, 气态水迁移量呈增加趋势; 高于此含水量时, 气态水迁移量将会呈减少趋势.

考虑含水量梯度对气态水迁移量的影响, 同样可取含水量低端部分(装置中左半部分)土样进行分析, 图3为不同梯度下加空气带土样10 d后的含水量增量分布.

由图3(a)、(b)可看出, 不同的含水量梯度, 气态水水分迁移量相差很大, 并且随着含水量梯度的

提高, 迁移量也随之增大. 如图3(a)中, 初始含水量为1.8%~6.9%的加空气带土样, 其气态水迁移量要低于1.5%~10.5%的土样; 初始含水量为9.9%~15.2%的加空气带土样, 其气态水迁移量要低于10.4%~20.1%的土样. 因此含水量梯度也是影响气态水迁移的重要因素之一.

为了分析含水量梯度与含水量水平对气态水迁移的影响程度, 将加空气带的初始含水量分布为1.8%~6.9%、5.2~10.3%以及1.5%~10.5%的土样气态水迁移结果进行对比分析, 绘制下图4加空气带土样10 d后含水量增量分布.

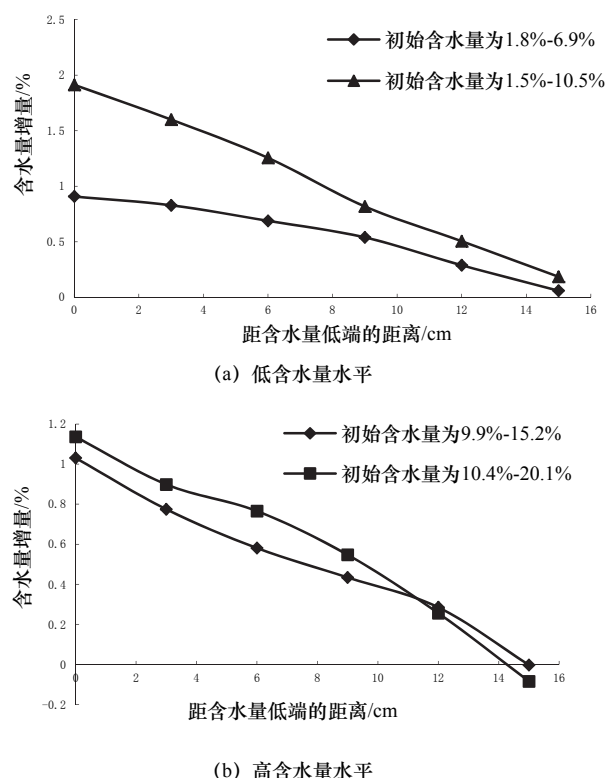


图3 不同梯度加空气带土样10 d后含水增量分布

Fig.3 The increment distribution of soil sample added air belt with different water content gradient after 10 days

由图4可看出, 初始含水量分布为1.8%~6.9%的土样10天后的气态水迁移量分别约为初始含水量为5.2~10.3%、1.5%~10.5%土样的85%和55%, 说明含水量梯度对气态水迁移的影响程度要高于含水量水平.

图5为初始含水量分布为5.2%~10.3%的加空气带土样不同时间后的含水量分布情况, 由图5可看出, 在含水量梯度作用下, 黄土的含水量分布随着时间的变化而不断变化, 气态水由高端部分向低端部分的迁移量随着时间的增长而增长. 由于水分的移动使得含水量梯度变小, 从而随着时间的增长水分迁移的速率变慢, 所以后10 d的气态水迁移量

占总水分迁移量的比例较小。

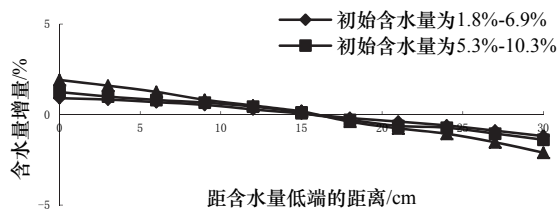


图4 加空气带土样 10 d 后含水量增量分布

Fig.4 The increment distribution of soil sample added air belt after 10 days

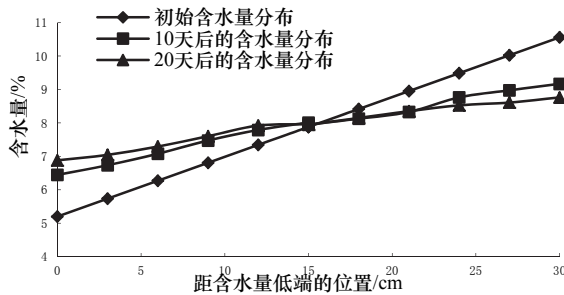


图5 不同迁移时间后土样含水量分布

Fig.5 The water content distribution of soil sample with different transfer time

通过上述分析可以得知,对于影响水分迁移的主要因素而言,含水量梯度对气态水迁移的影响程度较含水量水平高,而对于迁移时间而言,时间越长,迁移量越大,但是迁移速率会逐渐降低。

## 2.2 气、液态水混合迁移分析

对于本文而言,气、液态水混合迁移指的是土样中未加空气带的水分迁移。根据试验结果揭示含水量梯度及含水量水平等因素对未加空气带土样水分迁移规律的影响。

图6为在不同的含水量水平下,未加空气带的土样10 d后的含水量增量分布;图7为在不同含水量梯度下,未加空气带的土样10 d后的含水量增量分布;图8为初始含水量分布为12.7%~18.5%的未加空气带土样不同时间后迁移结果。

由图6可看出,相同时间内初始含水量为1.8%~6.9%的土样比5.2~10.3%的土样的气、液态水混合迁移量小;而初始含水量为5.2~10.3%的土样比12.7%~18.5%的气、液态水混合迁移量小。由图7可看出,初始含水量为1.8%~6.9%的土样比1.5%~10.5%的土样的气、液态水混合迁移要小。因此,含水量水平和含水量梯度对气、液态水混合迁移的影响存在一致关系,即含水量水平的提高或含水量梯度的提高都会使得混合迁移量增加。

由图8可以看出,对于气、液态水混合迁移而言,迁移量也会随着迁移时间的增加而增加,而迁移速率也会逐渐降低。

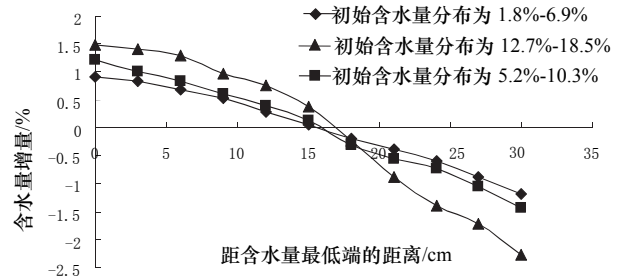


图6 不同含水量水平的土样混合迁移增量

Fig.6 The mixed water transfer increment of soil sample with different water content value

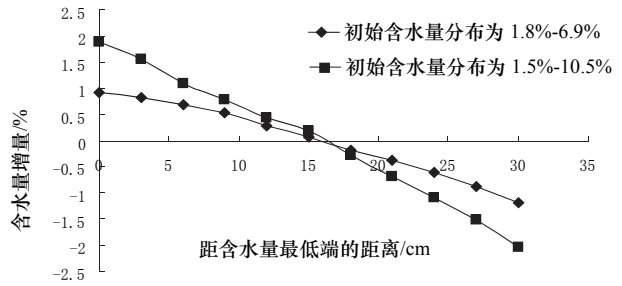


图7 不同含水量梯度的土样混合迁移增量

Fig.7 The mixed water transfer increment of soil sample with different water content gradient

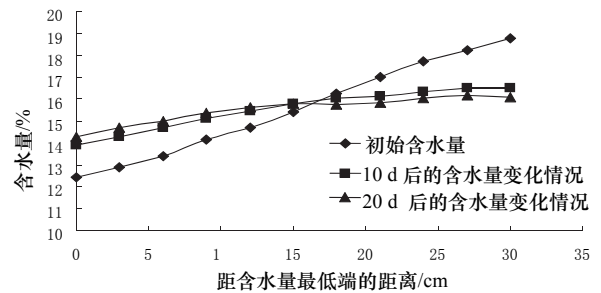


图8 含水量分布12.7%~18.5%的土样混合迁移结果

Fig.8 The mixed water transfer result of soil sample with water content from 12.7% to 18.5%

通过对气、液态水混合迁移分析可以得知,含水量水平和含水量梯度对气、液态水混合迁移的影响存在一致关系,即含水量水平和含水量梯度的提高都会使得混合迁移量增加。混合迁移量也会随着迁移时间的增加而增加,而迁移速率会逐渐降低。

## 2.3 气态水迁移和气、液态水混合迁移的关系

非饱和土中水分迁移主要有气态水迁移和液态水迁移两种形式,二者是否始终同时存在,以及各自在水分迁移中所占的比重等问题尚不清楚。为了解决上述问题,仍取装置中左半部分的土样作为研究对象,通过对比分析来了解二者的迁移规律及相互关系。图9-13分别为初始含水量为1.8%~6.9%、5.2%~10.3%、9.9%~15.2%、10.4%~20.1%、14.5%~24.7%加空气带与未加空气带的土样10 d后的试验结果对比。

由图9和图10可以看出,加空气带土样与未加空气带土样相同时间内的迁移变化曲线基本一



致. 说明在含水量较低时, 只存在气态水迁移, 气态水迁移即为总水分迁移. 其主要原因是当含水量低于一定水平时, 黄土中的液态水以结合水为主, 而自由水所占比例较小, 由于土矿物颗粒作用力, 使得结合水吸附于土颗粒表面, 很难发生移动, 此时水分迁移主要是气态水迁移, 气态水迁移量占主导地位, 液态水迁移可忽略不计.

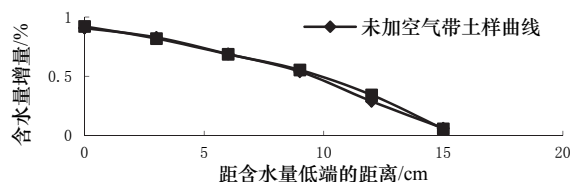


图9含水量分布1.8%~6.9%10 d后的水分迁移结果  
Fig.9 The water transfer result of soil sample with 1.8% to 6.9% after 10 days

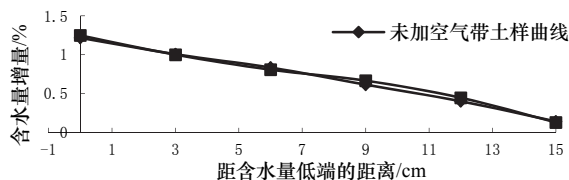


图10含水量分布5.2%~10.3%10 d后的水分迁移结果  
Fig.10 The water transfer result of soil sample with water content from 5.2% to 10.3% after 10 days content gradient

而图11和图12加空气带与未加空气带土样迁移曲线出现差异, 说明总水分迁移既包括气态水迁移, 同时还有液态水迁移. 由此分析可以得知, 存在某个含水量, 当土样的含水量低于该含水量时, 黄土中只存在气态水迁移, 液态水迁移可忽略不计; 当土样的含水量高于该含水量时, 黄土开始出现液态水迁移, 水分迁移由只存在气态水迁移转变为气态水迁移和液态水迁移两种方式同时进行.

而图11和图12加空气带与未加空气带土样迁移曲线出现差异, 说明总水分迁移既包括气态水迁移, 同时还有液态水迁移. 由此分析可以得知, 存在某个含水量, 当土样的含水量低于该含水量时, 黄土中只存在气态水迁移, 液态水迁移可忽略不计; 当土样的含水量高于该含水量时, 黄土开始出现液态水迁移, 水分迁移由只存在气态水迁移转变为气态水迁移和液态水迁移两种方式同时进行. 而图11和图12加空气带与未加空气带土样迁移曲线出现差异, 说明总水分迁移既包括气态水迁移, 同时还有液态水迁移. 由此分析可以得知, 存在某个含水量, 当土样的含水量低于该含水量时, 黄土中只存在气态水迁移, 液态水迁移可忽略不计; 当土样的含水量高于该含水量时, 黄土开始出现液态水

迁移, 水分迁移由只存在气态水迁移转变为气态水迁移和液态水迁移两种方式同时进行.

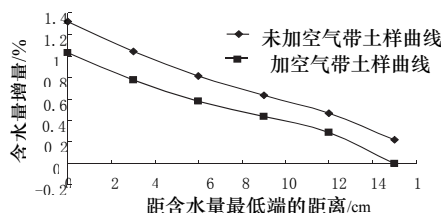


图11含水量分布9.9%~15.2% 10 d后的水分迁移结果  
Fig.11 The water transfer result of soil sample with water content from 9.9% to 15.2% after 10 days

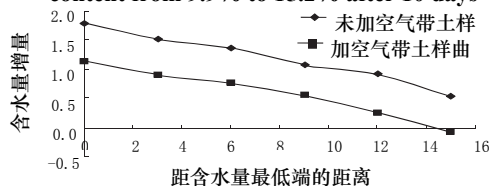


图12含水量分布为10.4%~20.1% 10 d后的水分迁移结果  
Fig.12 The water transfer result of soil sample with water content from 10.4% to 20.1% after 10 day

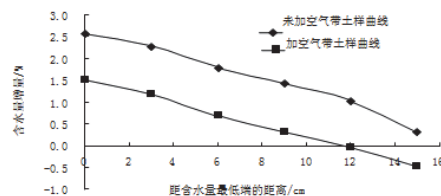


图13含水量分布为14.5%~24.7% 10 d后的水分迁移结果  
Fig.13 The water transfer result of soil sample with water content from 14.5% to 24.7% after 10 days

此外, 对比分析图11、12及13可得知初始含水量为9.9%~15.2%的土样10 d后气态水迁移量约为气、液水混合迁移量的75%; 初始含水量为10.4%~20.1%的土样10 d后气态水的迁移量约为气、液水混合迁移量的50%; 初始含水量为14.5%~24.7%的土样10 d后气态水的迁移量约为气、液水混合迁移量的40%. 说明随着含水量梯度和含水量水平的提高, 气态水迁移量占总迁移量的比例均会下降. 这主要是因为无论含水量水平的提高还时含水量梯度的提高, 都会使土样中自由水增多, 从而导致液态水迁移量占总迁移量的比例增加, 气态水迁移量占总迁移的比例减小.

### 3 结语

通过上述非饱和黄土土样的水分迁移试验研究结果表明: 含水量梯度对气态水迁移的影响程度较含水量水平高, 而对于迁移时间而言, 时间越长, 迁移量越大, 但是迁移速率会逐渐降低. 含水量水平的提高和含水量梯度的提高均会使气、液态水混合迁移量增大. 存在一个含水量, 当土样的含水量低于该含水量时黄土中只存在气态水迁移; 高于该

含水量时黄土开始出现液态水迁移,土体中水分迁移形式由只存在气态水迁移转变为气、液态水混合迁移,并且随着含水量的增加,气态水迁移的比重在总迁移中所占的比重逐渐降低。

## 参考文献 References

- [1] LAM L, FREDLUND D G, BARBOUR S L. Transient seepage model for saturated-unsaturated soil system: A geotechnical engineering approach[J]. Can.Geot.Jour., 1988, 24(4): 565-580
- [2] FREDLUND D G, RAHARDJO H. 非饱和土土力学[M]. 陈仲颐, 张在明, 陈愈炯, 等译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.  
FREDLUND D G, RAHARDJO H. Soil Mechanics for Unsaturated Soil[M]. Translated by CHEN Zhongyi, ZHANG Zaiming, CHEN Yujiong, et al. Beijing: China Architecture and Building Press, 1997.
- [3] 李述训, 程国栋, 刘继民. 兰州黄土在冻融过程中水热输运实验研究[J]. 冰川冻土, 1996, 18(4): 319-324  
LI Shuxun, CHENG Guodong, LIU Jimin. Experimental study of Lanzhou loess during freezing and thawing of water in the heat transport [J]. glacier permafrost, 1996, 18(4): 319-324.
- [4] 李兆平, 张弥. 考虑降雨入渗影响的非饱和土边坡瞬态安全系数研究[J]. 土木工程学报, 2001, 34(5): 57-61.  
LI Zhaoping, ZHANG Mi. Effects of rain infiltration on transient safety of unsaturated soil slope[J]. China Civil Engineering Journal, 2001, 34(5): 57-61.
- [5] 王铁行, 陆海红. 温度影响下的非饱和黄土水分迁移问题探讨[J]. 岩土力学, 2004, 25(7): 1081-1084

WANG Tiehang, LU Haihong. Discussion of moisture migration in unsaturated loess in Temperature under the influence[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 07: 1081-1084.

- [6] GUO L, JURY W A. Coupled production and transport of selenium vapor in unsaturated soil: evaluation by experiments and numerical simulation[J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2001, 49(1/2): 67-85.
- [7] 李述训, 程国栋. 冻融土中的水热输运问题[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1995.  
LI Shuxun, CHENG Guodong. Issue of Water and Thermal Transfer of Frozen and Thaw Soil[M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1995.
- [8] STEWART B W. Water transfer from soil to seed: the role of vapor transport[J]. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66(6): 1760-1763.
- [9] 王铁行, 赵树德. 非饱和土气态水迁移引起的含水量变化方程[J]. 中国公路学报, 2003, 16(2): 18-21.  
WANG Tiehang, ZHAO Shude. Equation for vaporous waterous transfer in unsaturated soil[J]. China Journal of Highway and Transport, 2003, 16(2): 18-21.
- [10] 王铁行, 贺再球, 赵树德. 非饱和土体气态水迁移试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(18): 3271-3275  
WANG Tiehang, HE Zaiqiu, ZHAO Shude Vaporous Water Transfer of experimental study in unsaturated soil[J]. Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(18): 3271-3275.

(本文编辑 吴海西)

(上接第50页)

- [4] 郭秉山, 庄晓勇. K型偏心支撑钢框架耗能梁段长度探讨[J]. 工业建筑, 2007, 37(3): 81-85.  
GUO Bingshan, ZHUANG Xiaoyong. Discussion on length of link beam of K shape eccentrically braced steel frames[J]. Industrial Construction, 2007, 37(3): 81-85.
- [5] 于安林, 赵宝成, 李仁达, 等. K形和Y形偏心支撑钢框架滞回性能试验研究[J]. 建筑结构, 2010, 40(4): 9-12.  
YU Anlin, ZHAO Baocheng, LI Renda, et al. Experimental study on hysteretic behavior of K and Y-eccentrically braced steel frames[J]. Building Structure, 2010, 40(4): 9-12.
- [6] KASAI K, POPOV E P. General behavior of WF steel shear link beams[J]. Journal of Structural Engineering, 1986, 112(2): 362-382.
- [7] ANSI/AISC341-10. Seismic provision for structure steel buildings[S]. Chicago: American institute of steel construction, 2010.
- [8] GB50011-2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.  
GB 50011-2001 Code for seismic design of buildings[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.
- [9] 陈绍蕃, 王先铁. 单角钢压杆的肢件宽厚比限值和超限杆的承载力[J]. 建筑结构学报, 2010, 31(9): 70-77.  
CHEN Shaofan, WANG Xiantie. Limiting width-thickness ratio and strength of beyond-limit members for single angle struts[J]. Journal of Building Structures, 2010, 31(9):

70-77.

- [10] 施刚, 王元清, 石永久. 高强度钢材轴心受压构件的受力性能[J]. 建筑结构学报, 2009, 30(2): 92-97.  
SHI Gang, WANG Yuanqing, SHI Yongjiu. Behavior of high strength steel columns under axial compression[J]. Journal of Building Structures, 2009, 30(2): 92-97.
- [11] DUBINA D, STRATAN A, DINU F. Dual high-strength steel eccentrically braced frames with removable links[J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2008, 37(15): 1703-1720.
- [12] DUSICKA P, ITANI A, BUCKLE I. Cyclic behavior of shear links of various grades of plate steel[J]. Journal of Structural Engineering, 2010, 136(4): 370-378.
- [13] RICHARDS P W, UANG C M. Testing protocol for short links in eccentrically braced frames[J]. Journal of Structural Engineering, 2006, 132(8): 1183-1191.
- [14] 姚谦峰. 土木工程结构试验[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.  
YAO Qianfeng. Civil engineering structure experimentation[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008.
- [15] Park R. Ductility evaluation from laboratory and analytical testing[C]//Proceedings of the 9th world conference on earthquake engineering, Tokyo-Kyoto, Japan, 1988: 605-616.

(本文编辑 桂智刚)