

文章编号:1673-9469(2010)03-0014-04

## 电场作用下水的粘性试验分析

丁凯<sup>1,2</sup>

(1.华南理工大学 土木与交通学院,广东 广州 510641;2.亚热带建筑科学国家重点实验室,广东 广州 510641)

**摘要:**电场作用下极性水分子和离子水化物将有序排列,由此导致水的粘度特性显著变化。文中通过室内试验,研究垂直于水流方向施加的电场对水的粘度特性的影响,在数字直流电源产生的强电场中进行常水头渗流试验,获得了水的粘度与电场强度关系的试验曲线,并观察在电场作用下,水的粘度与所含离子浓度、渗流速度等因素的关系,基于试验结果分析了电场改变水的粘度特性的作用机制。试验结果表明,外加电场对水的粘度有明显的影响,随着电场强度增加,水的粘度呈减小的趋势;在相同的电场强度下,水的粘度与离子浓度成正比关系,与渗流速度成反比关系。

**关键词:**电场强度;粘度;剪切速率;离子浓度

**中图分类号:** TU41

**文献标识码:** A

## Water's viscosity test analysis under the electric field

DING Kai<sup>1,2</sup>

(1. School of Civil Engineering & Transportation, South China Univ. of Tech., Guangdong Guangzhou 510640, China;

2. State Key Laboratory of Subtropical Building Science, Guangdong Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Water molecules and ions will be ordered arrangement hydrates under the electric field polar, which could change the water viscosity features. The effect of perpendicular electric field on the viscosity of the water was studied by laboratory experiment. The relationship curves between the experimental curve of electric field intensity were obtained by using constant head seepage and DC power supply system; the relationship between viscosity of water with ion concentration and flow velocity and other under the electric field was analyzed. The mechanism of water viscosity changing with electric field was detected basing the test results. The results show that the water viscosity is affected obviously by the electric field. The viscosity of water s decrease along with the electric field strength increase; Under the same field strength, the water is proportional to viscosity and ion concentration, and inversely proportional to flow rate.

**Key words:** electric field strength; viscosity; shear rate; ion concentration

土体是由固体颗粒、孔隙液、孔隙气三相组成的多相物质,黏土通常具有孔径小、比表面积大<sup>[1-2]</sup>、表面带电现象非常显著等特点。土颗粒表面附有电荷并产生微电场、电位可达数十至数百mV,在其电场作用下颗粒表面可形成较厚的结合水膜,增加了孔隙水的粘度,同时又影响孔隙水中的离子运动规律而产生渗流离子效应,这两方面的影响将显著改变土体微孔隙的渗流特性<sup>[3]</sup>。

由此可见,电场对水的粘度的影响尤为显著。本文通过室内试验,研究了垂直于水流方向的电场对水的粘度特性的影响,在数字直流电源产生的强电场中进行常水头渗流试验,并观察在电场作用下,水的粘度与所含离子浓度、渗流速度等因素的关系,从而为“粘土水合机制”的进一步研究提供有力的依据。

### 1 微孔隙电场渗流试验

#### 1.1 试样制备及仪器介绍

本次试验是在强电场下直接对水的渗流特性进行试验,属于水的单相渗流试验。试样的渗流特性采用常水头渗流法进行试验,通过改变渗透仪与水箱的相对高度获得不同的试验水头,试验装置如图 1 所示。本试验采用数显直流极化电源提供高电压,仪器型号为 RKS - D5060,本仪器的测试电压通过升压变压器产生交流电压,经整流滤波,产生直流测试电压。电场系统仪器的电压量程是 50kV,可通过电压调螺旋调节电压大小,电流量程是 2A,可通过电流表读出。本试验采用自制的微缝渗流器,密封不漏水,内置电极板,可为渗流试验提供高强电场,场强方向与孔隙水流的方向垂直。

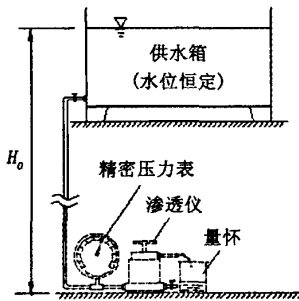


图1 可升降高度的常水头渗流试验装置示意图  
Fig.1 Variable height constant-head seepage apparatus

对于微孔隙渗流试验,渗流量小,试验时间长,微小流量的外泄都会引起可观的试验误差。为此对本试验使用渗透仪进行了防泄漏处理,在进水口接头加装了 O 型密封圈,并缠绕数层防水生料带后将其旋紧在渗透仪底座上,在进水软管与铜管的连接处加设一道套箍,对排气口也作了同样处理,防泄漏处理后能够做到滴水不漏。另外,试验过程中水分的蒸发和温度环境也会对试验结果造成一定的影响,所以试验过程对水分蒸发量进行了严格的补偿,并对不同温度下的渗透系数也进行了修正。

#### 1.2 水的粘度特性与外加电场强度的关系

采用常水头渗流法进行试验,试验操作步骤按照 GB/T 50123 - 1999 中的相关规定进行。在试

验过程中,试验水头始终保持在 1m 不变,并保持各试样的试验条件一致。为了分析外加电场对水的粘度的影响,主要通过水在微缝渗流器中的渗透系数来反映。试验按所加电压为 0kV→5kV→10kV→15kV→20kV→30kV→40kV 的顺序垂直于水流方向施加的电场,对不同时段各试验电压下的渗流量及其历时进行三次测试,将各次试验所得的渗透系数平均值作为该试验电压下的渗透系数,列于表 1 之中。图 2 为水在不同电压下进行渗流试验得到的渗透系数 - 电压关系曲线。

表 1 1m 水头下水在不同电压作用下的渗透系数

Tab.1 Permeability coefficient of water at different voltages under 1m flood peak

电压 /kV	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$\bar{K}/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$
0	1.973E-06	2.026E-06	2.273E-06	2.091E-06
5	1.582E-06	1.625E-06	1.771E-06	1.659E-06
10	1.236E-06	1.235E-06	1.427E-06	1.299E-06
15	1.002E-06	9.922E-07	1.060E-06	1.018E-06
20	8.349E-07	8.150E-07	8.806E-07	8.435E-07
30	6.382E-07	5.928E-07	5.675E-07	5.995E-07
40	4.359E-07	4.590E-07	4.153E-07	4.367E-07

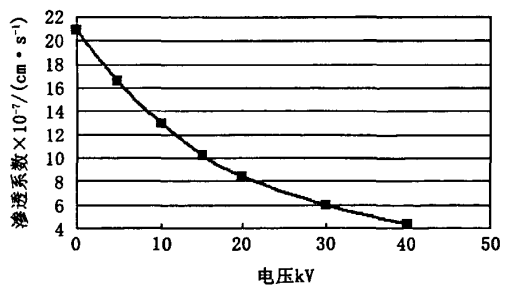


图2 Kd随外加电压变化曲线

Fig.2 Permeability coefficient of the curve with the applied voltage

#### 1.3 水的粘度特性与剪切速率的关系

为了观察在不同的水头作用下,即不同的剪切速率下,电场对水的粘度特性的影响程度,分别在试验水头为 0.5m→1m→3m 下,进行以上试验操作。对各试验水头不同电压下的渗流量及其历时进行三次测试,将各次试验所得的渗透系数平均值作为该试验电压下的渗透系数,列于表 2 表 3 之中。图 3 为在不同的水头作用下水在不同电压

下进行渗流试验得到的渗透系数 - 电压关系曲线。

表 2 H=0.5m 水头下水在不同电压作用下的渗透系数

Tab.2 Permeability coefficient of water at different voltages under 0.5m flood peak

电压 /kV	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$\bar{K}/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$
0	2.068E-06	2.068E-06	1.998E-06	1.786E-06
5	1.835E-06	1.815E-06	1.708E-06	1.369E-06
10	1.378E-06	1.410E-06	1.320E-06	8.723E-07
15	9.034E-07	8.726E-07	8.409E-07	6.234E-07
20	6.339E-07	6.454E-07	5.909E-07	3.247E-07
30	3.214E-07	3.365E-07	3.161E-07	1.902E-07
40	1.962E-07	2.043E-07	1.702E-07	1.221E-07

表 3 H=3m 水头下水在不同电压作用下的渗透系数

Tab.3 Permeability coefficient of water at different voltages under 3m flood peak

电压 /kV	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$\bar{K}/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$
0	3.852E-06	3.961E-06	3.727E-06	3.847E-06
5	3.197E-06	3.257E-06	3.126E-06	3.193E-06
10	2.827E-06	2.845E-06	2.677E-06	2.783E-06
15	2.331E-06	2.331E-06	2.218E-06	2.293E-06
20	2.068E-06	2.068E-06	1.998E-06	2.044E-06
30	1.835E-06	1.815E-06	1.708E-06	1.786E-06
40	1.378E-06	1.410E-06	1.320E-06	1.369E-06

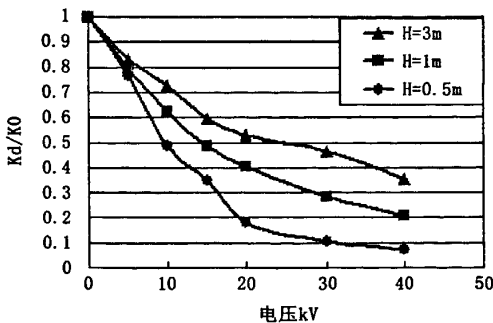


图3 Kd/K0随电压的变化曲线

Fig.3 Permeability coefficient of the curve with the applied voltage

( $K_d$ 表示各电场下渗透系数; $K_0$ 表示无电场下渗透系数)

### 1.4 水的粘度特性与离子浓度的关系

为了观察在不同的离子浓度下,电场对溶液的粘度特性的影响程度,在试验水头为 1m 下,分别在离子浓度为 0 mol/L→8.3E-3mol/L 下进行以上试验操作。将各次试验所得的渗透系数平均值作为该试验电压下的渗透系数,列于表 4 之中。图 4 为在不同的离子浓度下溶液在不同电压下进行渗流试验得到的渗透系数 - 电压关系曲线。

表 4 n=8.3E-3mol/L 下水在不同电压作用下的渗透系数

Tab.4 Permeability coefficient of water at different voltages under n=8.3E-3mol/L

电压 /kV	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$\bar{K}/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$
0	3.547E-06	3.643E-06	3.836E-06	3.675E-06
5	2.299E-06	2.413E-06	2.536E-06	2.416E-06
10	1.034E-06	1.726E-06	1.409E-06	1.723E-06
15	7.339E-07	7.454E-07	6.909E-07	7.234E-07
20	4.214E-07	4.365E-07	4.161E-07	4.247E-07
30	1.962E-07	2.043E-07	1.702E-07	1.902E-07
40	1.211E-07	1.261E-07	1.190E-07	1.221E-07

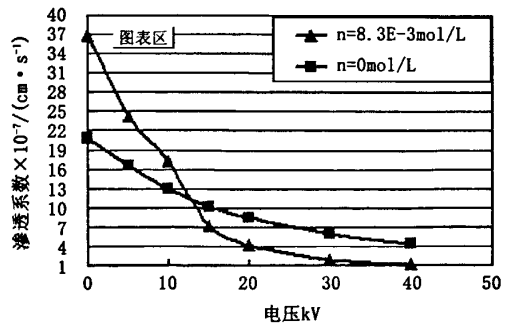


图4 不同离子浓度下Kd随电压的变化曲线

Fig.4 Permeability coefficient of the curve with the applied voltage under different ion concentration

## 2 试验结果分析

本文的试验结果显现了水的粘度特性与外加电场、剪切速率、离子浓度有着密切的联系。如图 2 所示,随着电场强度增加,水的粘度呈减小的趋势。如图 3 所示在相同的电场强度下,水的粘度

与实验水头成反比关系,水头越高,剪切速率越大,对水的粘度的影响越不明显。如图4所示,在不同的离子浓度下,电场对水的粘度影响程度不同,离子浓度越高,对水的粘度影响越明显。

水分子是由两个氢(H)和一个氧(O)组成的,氢原子间彼此成约 $105^\circ$ 存在,这样的排列造成电荷不平衡,正电荷中心在一端,而负电荷中心在另一端,因而水分子是极性分子。就液态水而言,每个水分子周围有四个水分子,只是水分子与水分子之间的结合比较弱、柔软,容易变形,排列得不整齐,它是以四面体相连结的连续体,有一定的流动性,但是,当将其置于电场中,水分子就有一种定向排列的趋势,形成一定的电极偶,使得水的粘性受到改变<sup>[4-5]</sup>。

由于水分子是极性分子,当水溶液中出现离子时,离子与水偶极的局部电荷的相互静电作用,水分子就以配位的形式而云集于离子周围,成为离子的“溶剂化水”,使离子变成水合离子。在电场的作用下,溶液中的水合离子被电场力强烈吸引,向两电极板运动,较内一层A表示水分子吸附区,它含有紧密的、电缩的和活动的水分子,被电场有力地束缚着,没有流动性,具有似固体的性质,具有一定的抗剪强度。在距离离子较远的范围的C区,水的结构是“正常”的。B区被称为结构破坏区,在B区中电场还较强,足以断裂液态水中的“正常结构”,但尚不能重新改变水的取向而形成象A区那样的新构型,所以B区是一个过渡区,水的活动能力较C区弱,但较A区强<sup>[6]</sup>。

因此,在电场的作用下,水的粘度呈减小的趋势,当离子浓度变大时,溶液中离子的含量增多,在电场的作用下活动更加活跃,因此,离子浓度越高,对水的粘度影响越明显。另外,当实验的水头较高时,水的剪切速率比较大,根据以往的研究表明,水虽然被电场力所吸附,但也具备一定的抗剪强度,当水的剪切速率足够大时,超过了水的抗剪

强度,使得水的流动性变大,因此,在高水头下,电场对水的粘性的影响并不十分明显。

### 3 结论

1)外加电场对水的粘度有明显的影响,随着电场强度增加,水的粘度呈减小的趋势,随着外加电场时间的增长,水的渗透性趋于稳定。

2)在电场作用下,水的粘度与剪切速率成反比,水头越高,剪切速率越大,水的流动性也越大,水的粘度减小。

3)其他条件相同的情况下,溶液中离子浓度高,电场对溶液的粘度影响也越明显。这种溶液在电场作用下的离子效应有待进一步的研究,为沿海地区淤泥和淤泥质土地基加固以及污染土的处理等领域提供良好的理论依据。

### 参考文献:

- [1] 杨亚提,张一平,张兴福. 恒电荷土壤胶体表面的电荷特征[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2002, 30(1): 47-51.
- [2] MITCHELL J K. Fundamentals of soil behavior[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1976.
- [3] VAN OLPHEN H. 粘土胶体化学导论[M]. 北京: 农业出版社, 1982.
- [4] 魏宸官. 电流变技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2000.
- [5] SHEAR D L, OLSEN H W, NELSON K R. Effects of desiccation on the hydraulic conductivity versus void ratio relationship for a natural clay[R]. Transportation research record, NRC, National academy press, Washington D C, 1993, 1365-1370.
- [6] 梁健伟, 房营光, 谷任国. 极细颗粒黏土渗流的微电场效应[J]. 长江科学院院报, 2009, 26(6): 47-51.

(责任编辑 刘存英)