

文章编号: 1007-4929(2006)06-0027-04

水质对膨润土防水毯防渗效果影响研究

周春生¹, 柴建华², 史海滨¹, 于健², 赵培清²

(1. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2. 内蒙古水利科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要: 针对我国西北干旱寒冷盐渍化地区渠道防渗存在的问题, 对拟引进使用的膨润土防水毯的膨胀性能及防渗效果进行研究, 提出推广应用一种新型土工合成材料(膨润土防水毯)。选择3种膨润土防水毯产品, 采取室内试验, 分析了不同浓度及离子溶液对膨润土防水毯防渗效果的影响。试验表明溶液浓度膨润土膨胀性能影响较大, 当矿化度大于5 g/L时膨胀量明显减小。离子及浓度对韩国1号(两层聚丙烯薄膜防护)防渗性能影响最小, 除与膨润土成分及含量有关外, 两层聚丙烯薄膜防护层结构对防渗性能也有较大的影响。

关键词: 膨润土防水毯; 渠道防渗; 膨胀量; 渗透系数

中图分类号: TV441 **文献标识码:** A

Study on the Influence of Water Quality on Anti-seepage Effect of Geosynthetic Clay Liners

ZHOU Chun-sheng¹, CHAI Jian-hua², SHI Hai-bin¹, YU Jian², ZHAO Pei-qing²

(1. College of water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agriculture University, Huhhot 010018, China;

2. Water Conservancy Research Institute of Inner Mongolia, Huhhot 010020, China)

Abstract: Aiming at the existing problems of canal anti-seepage in the northwest draught cold saline regions, this paper studied the swelling performance and anti-seepage effect of GCL (geosynthetic clay liners) which is preparing to be introduced to use. Choosing three types of GCL products, this paper analyzed the influence of different concentrations and ion solution on the anti-seepage effects of GCL through indoors experiment. The result indicated that the solution concentrations had greater influence on the swelling performance of GCL, and the swelling quantity would reduce obviously when the mineralization degree was more than 5 g/L. Ion and concentration had the smallest influence on the anti-seepage performance of the Korea 1st product, which had two-layer protective polypropylene membrane. Besides the composition and content of the GCL, the structure of two-layer protective polypropylene membrane had biggish influence on the anti-seepage effect.

Key words: GCL; anti-seepage; swelling quantity; seepage coefficient

0 引言

渠道防渗的重要性日益为人们所认识, 要节约用水, 应抓住用水量最大的用户。农业用水量占我国总用水量的73%^[1], 因此必须从农业用水抓起。节水可分为: 工程节水、灌水技术

节水、管理节水。而发展节水型农业行之有效的节水技术有: 渠道防渗、低压管道输水、改进地面灌溉技术、实行节水灌溉制度等。这些无疑均是重要的和必需的, 但节水效益最大的技术则是渠道防渗。常用的渠道防渗材料有土料、水泥石、砌石、膜料、混凝土防渗等。因土料防渗允许流速低, 水泥石、砌石混凝

收稿日期: 2006-04-24

基金项目: 内蒙古水利厅重点项目资助。

作者简介: 周春生(1977-), 男, 硕士研究生, 从事节水灌溉新技术方面的研究。

通讯作者: 史海滨(1961-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事节水灌溉理论及应用研究。

土抗冻融循环性能差,膜料使用寿命短等缺点。在干旱寒冷、土壤盐渍化严重的西北干旱半干旱地区用于渠道防渗都有一定的局限性。所以对西北干旱寒冷盐渍化严重地区用于渠道防渗新材料的研究有重要的意义。本研究对内蒙古河套灌区渠道防渗拟引进的膨润土防水毯的防渗效果及不同类型盐分组成对防水毯的影响进行探讨。

膨润土防水毯是在2层土工合成材料(土工织物或土工膜)之间夹封膨润土粉末(或膨润土粒),通过针刺、缝合或粘合而成的一种复合材料,膨润土防水毯之所以有极低的透水性,主要是因为夹层中膨润土的存在。膨润土是一种层状含水硅酸盐,膨润土的矿物学名称为蒙脱石^[2],具有优良的吸湿膨胀性、低渗性任何影响膨润土水力渗透性的因素均影响膨润土防水毯的水力渗透性。膨润土防水毯用于渠道防渗有着特殊的优势^[3],具体表现在:柔性极好,具有极强的自我愈合功能,抗张应变能力强,抗干湿循环能力强,抗冻融循环能力强,搭接方便,安装简单,施工速度快。国外自20世纪50年代起就开始了有机膨润土的研制开发,70年代膨润土被制成多种形式的产品^[4],80年代,人们发现只要将膨润土粘结或缝织在2层纸或塑料膜中就可制成防渗卷材,稍加改进即可用作填埋场衬层材料^[5]。1995年,美国材料实验室研究协会(ASTM)开始出台膨润土防水毯试验标准,至1999年,膨润土防水毯的产品试验标准已基本完善^[6]。近年来膨润土防渗在国内工程中已广泛应用,但用在渠道防渗工程中还不多,特别是在西北干旱寒冷盐渍化较严重的地区的适应性研究尚属空白,所以研究水质对膨润土防水毯防渗效果影响有重要的意义。

1 试验材料与方法

1.1 所选材料的结构类型

所选膨润土防水毯结构主要有2种类型,产品的基本结构为2层有机材料夹1层膨润土,4层有机材料夹1层膨润土,有机材料与膨润土间用粘合剂粘合或针刺缝合。见图1。

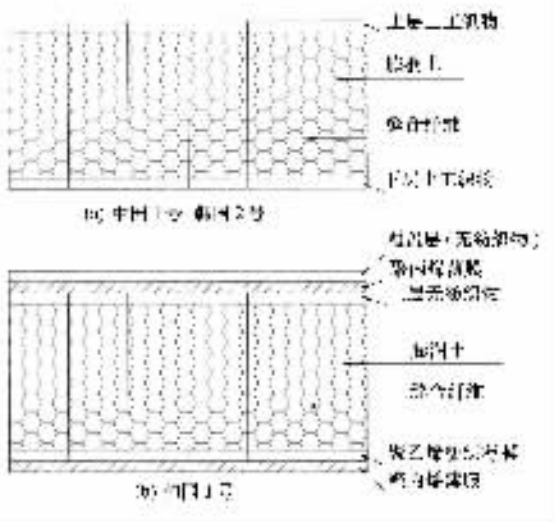


图1 两种膨润土防水毯产品结构类型示意图

1.2 膨润土防水毯的膨胀机理

膨润土防水毯中起主要作用的是夹层中的膨润土。膨润

土遇水会产生膨胀扩散而相互挤压填满土壤中的孔隙使得膨润土中的输水通道减小,从而防止水分渗入达到防渗效果。而膨润土中真正起膨胀防渗作用的是蒙脱土,占膨润土的60%~90%。化学成分是含水硅酸盐成层状结构其分子式是 $Al_2(Si_4O_{10})(OH)_2 \cdot nH_2O$,由2层硅氧四面体夹封1层氢氧八面体构成,系Si—Al—Si结构体系^[7,8]。蒙脱土的2个相邻晶层之间有氧原子层和氧原子层相接,没有氢键,故单位晶层之间结合力微弱,水与其他极性分子能进入单位晶层之间,引起晶格沿垂直晶层方向膨胀。

蒙脱土的外表面和部分内表面离子间松散的静电引力使它们易于与溶液中的阳离子发生离子交换。描述这种离子交换理论较为理想的模型是双电层离子交换理论。即固体与液体接触时,固体在溶液中荷电因电离、离子交换、离子吸附作用而构成双电层^[9]。即固体在溶液荷电后,由于静电引力会吸引溶液中带相反电荷的离子,它向固体表面靠拢而集积在距固液二相面一定距离的溶液一侧界面区内,以补偿其电荷平衡。双电层的厚度对其水力渗透性有着决定性的影响。双电层越厚,可供自由水自由进出的渗流通道口径就越小,它的水力渗透性就越差,防渗性能就越好。双电层厚度可由下式确定。

$$\lambda = \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon_0 R T}{2 \nu^2 F^2 \eta}} \quad (1)$$

式中: λ 为德拜长度,m; ϵ 为滤液的相对介电常数(无因次); ϵ_0 为真空中的介电常数, $8.854 \times 10^{-12} C^2/(J \cdot m)$;R为波尔兹曼常数, $8.314 J/(mol \cdot K)$;F为法拉第常数($9.6487 \times 10^4 C/mol$);T为绝对温度,K; ν 为阳离子的价位数(无因次); η 为电解液浓度, mol/m^3 。

1.3 试验设计

由于渗流流速很小,因而其动能可以忽略不计,故渗流的机械能就等于它的势能。液体是在均质土中做均匀流的情况,本试验渗流主要是垂直渗流,由于横向渗流很小可忽略不计,故属于层流渗流,渗流过程主要遵循Darcy定律。

$$Q = K A \Delta h / \delta \quad (2)$$

式中:Q为单位时间内的渗流量;K为渗透系数;A为渗流断面面积; Δh 为渗流水头损失; δ 膨润毯厚度。

本文渗透系数的测定采用式(2)。选取3种不同类型,有韩国1号、韩国2号、中国1号(结构如图1)膨润土防水毯材料,人工配制不同矿化度(0.5 g/L、1 g/L、3 g/L、5 g/L)、不同离子(Na^+ ; K^+ ; Ca^{2+} ; Mg^{2+})滤液,测定滤液对膨润土防水毯防渗效果(渗透系数)的影响。

取样及测定方法:

选择没有破损穿孔的膨润土防水毯产品,用专用工具将其剪成60 cm×60 cm的方块,放入矿化度为0.3 g/L的溶液中充分膨胀24 h。将试件平放在光滑的平板上,用切割刀切为50 cm×50 cm的方块。把试件放入渗透仪中密封加入人工配制的滤液,计时测定不同滤液下的渗透流量,由式(2)计算渗透系数。将试件放入硬壁渗透仪时,试件与渗透仪间进行密封,防止从试件与渗透仪壁间漏水。自由膨胀量测试根据美国

ASTM 标准进行,将膨润土研碎,100%通过 100 目(0.154 mm)的美国标准筛,200 目(0.076 mm)美国标准筛通过率不小于 65%。称量 2.00 g 烘干的膨润土试样(用微波炉烘干,不可用烘箱以避免某些物质成分发生化学反应),慢慢加入盛有 100 mL 蒸馏水的量筒内水化,静止放置 18 h 后,量测试样水化后体积。

2 结果与分析

不同离子及矿化度对渗透系数的影响如图 2 所示。由图 2 可以看出对照情况下膨润土防水毯 K 值较低(中国 1 号、韩国 1 号、韩国 2 号 K 值为 0.56×10^{-8} cm/s、 1.4×10^{-10} cm/s、

2.32×10^{-8} cm/s),矿化度对膨润土防水毯的防渗性能有一定的影响。随着矿化度的增加,渗透系数增大,防渗性能降低。离子及浓度对韩国 1 号膨润土防水毯渗透系数的影响较小,即韩国 1 号产品的防渗性能较好,相同的离子及浓度组成的滤液下该产品的渗透系数最低($\alpha \times 10^{-10}$ cm/s)。这与蒙脱土成分及含量有关外,与其结构也有很大的关系。中国 1 号与韩国 2 号的防渗性能相当($\alpha \times 10^{-8}$ cm/s)。此外还可以看出,高价阳离子对渗透系数的影响较低价阳离子影响大。钙离子对膨润土防水毯渗透系数影响较明显。随着溶液中钙离子浓度的增加,渗透系数增长幅度较大。

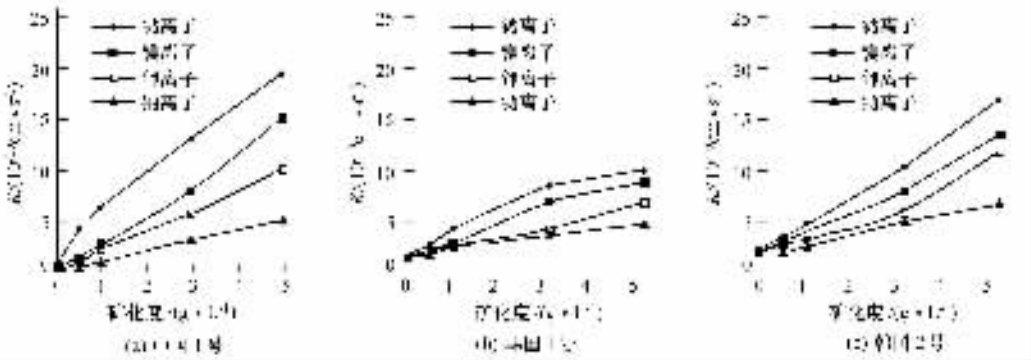


图 2 不同处理下矿化度与渗透系数关系

图 2 结果与式(1)结论相一致。即固液面之间存在的双电层厚度对膨润土防水毯的防渗性能有很大的影响,双电层厚度越大渗透系数越小防渗性能越好。而影响双电层厚度的因素除滤液阳离子浓度、化合价影响外,温度、介电常数、水化次序对双电层厚度也有较大的影响。另外孔隙比也会对膨润土防水毯的渗透系数产生影响。

2.1 离子对膨润土防水毯渗透系数的影响

滤液中的阳离子对膨润土防水毯渗透系数有一定影响。如图 2 所示,随着滤液中阳离子浓度的增加渗透系数逐渐增大,防渗性能则逐渐降低。高价阳离子较低价阳离子对渗透性能的影响大。钙离子对 3 种膨润土防水毯的渗透系数影响都比较大(5 g/L 钙离子使中国 1 号 K 增加了 34%、韩国 1 号增加了 6%、韩国 2 号增加了 7%)。此结果也与式(1)的结论相一致,表明阳离子化合价对双电层厚度有较大影响,离子价位越高双电层厚度越薄。由图 2 可以看出,低价阳离子对其影响较小(5 g/L 钠离子使中国 1 号增加了 8%、韩国 1 号增加了 2%、韩国 2 号增加了 4.7%),钾离子对中国 1 号渗透系数的影响最小,而镁离子对中国 1 号防渗性能的影响较韩国 1 号大。总体上离子组成及浓度对韩国 1 号防水毯的影响不大,除产品成分组成和蒙脱土含量外,产品的结构特性对防渗性能有较大的影响。本产品有 2 层聚丙烯薄膜,阻碍了滤液中的离子与蒙脱土的阳离子发生充分离子交换反应,从而离子对本产品的防渗性能的影响就显著降低;这种结构对防渗性能的影响较离子对膨润土防水毯防渗性能的影响大的多。

由式(1)可知,阳离子的化合价对双电层厚度的影响为:

$$\lambda \propto \frac{1}{v}$$

滤液中的高价阳离子含量越多,双电层厚度越小,防渗性能越低。低价阳离子对双电层厚度的影响要小,所以本试验中钙离子较其他阳离子的影响大,而钾离子对膨润土防水毯防渗性能的影响要小的多。滤液介质中的高价阳离子与带电粘粒间的吸引力比低价阳离子大,这使得高价阳离子更易被带电粘粒吸附使双电层变薄,渗透系数增大。而镁离子对其影响较钙离子小,是因为水化次序的影响,钙离子较镁离子活泼易发生离子交换反应。另外离子的带电量决定离子的电场强度,也和双电层的形成厚度有很大关系。

2.2 滤液浓度对膨润土防水毯防渗性能的影响

膨润土防水毯的渗透系数随滤液中阳离子的浓度发生变化。由图 2 可以看出,渗透系数随滤液中阳离子浓度的增加而变大。离子浓度越大,膨润土防水毯的渗透系数越大,防渗性能降低。在高浓度(5 g/L)条件下钙离子使中国 1 号 K 值增加了 34 倍、韩国 1 号 K 值增加了 6 倍、韩国 2 号增加了 7 倍。3 种产品比较看来,离子浓度对韩国 1 号产品的防渗性能影响相对较小,对中国 1 号产品的影响相对大些。除膨润土性能外,产品的结构及生产工艺对其也有关系。

此结果与式(1)结论相吻合,由 $\lambda \propto 1/\sqrt{\eta}$ 随着滤液中阳离子浓度的增高,双电层厚度变薄,防渗性能降低,渗透系数增大。因为随着滤液中阳离子浓度的增大,自由阳离子对同号离子的排斥力会越来越大,结果使双电层中部分的阳离子进入固定层,而导致双电层变薄。

2.3 离子对膨润土膨胀量的影响

离子及浓度对膨润土自由膨胀量的影响如图3所示。由图3可以看出离子浓度对膨润土的自由膨胀量有明显的影。随着矿化度的增加,自由膨胀量逐渐减小。在高浓度(10 g/L)条件下,钙离子可使中国1号膨润土自由膨胀量减小了75%、韩国1号减小了60%、韩国2号减小了67%。而镁离子对膨

胀量的影响则相对较小,因水化次序影响。镁离子较稳定,较钙离子不易发生离子交换反应。在高浓度(10 g/L)条件下,钠离子使中国1号膨润土自由膨胀量减小了46%、韩国1号减小了23%、韩国2号减小了5%。而钾离子也因水化次序影响对膨胀量的影响相对较小。

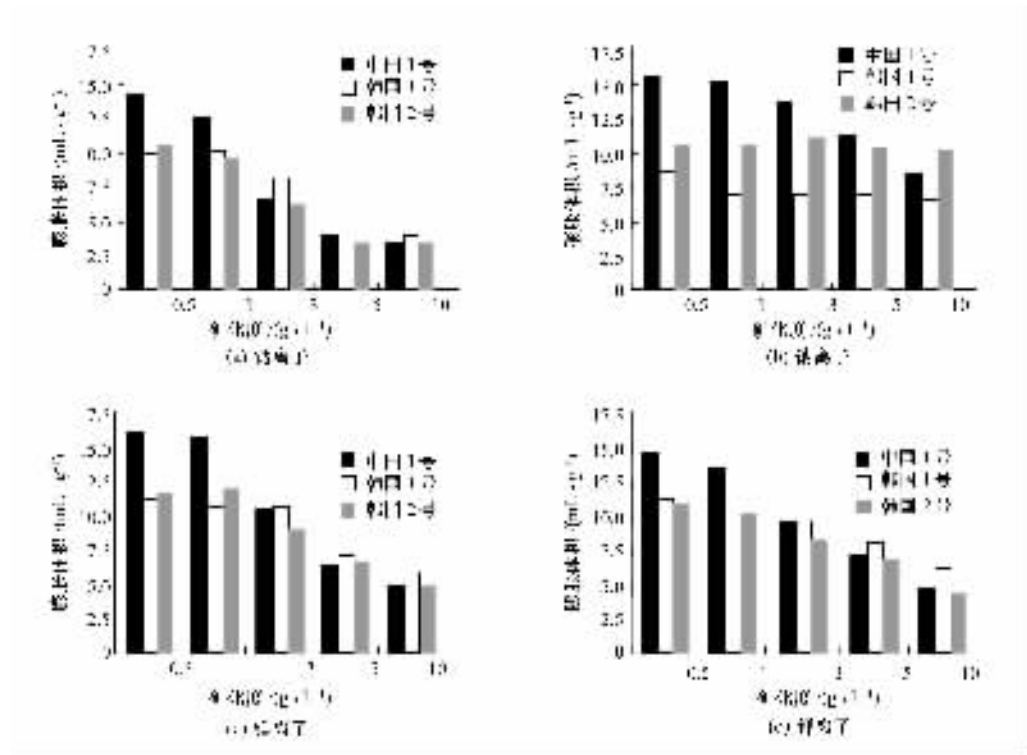


图3 膨润土在不同离子溶液中自由膨胀体积

3 结 语

(1)离子对膨润土防水毯防渗性能的影响因膨润土的成分而异。离子浓度对膨润土防水毯的防渗性能影响较明显。由图2可以看出随着离子浓度的增加,渗透系数虽增大,但渗透系数 K 仍较小(溶液浓度最高时最大的 K 值韩国1号为 1.02×10^{-9} cm/s,中国、韩国2号分别为 1.32×10^{-7} cm/s和 1.79×10^{-7} cm/s),防渗性能较好。韩国1号防渗性能最好,除蒙脱土含量及成分外,结构及生产工艺对防渗性能也有很大的影响。韩国1号产品除膨润土中蒙脱土含量较高外,其产品中的两层聚丙烯塑料薄膜,阻碍了滤液与蒙脱土发生充分的离子交换反应。由图3可以看出随着浓度的增加自由膨胀量逐渐降低(10 g/L钙离子使中国1号、韩国1号、韩国2号自由膨胀量降低了75.4%、60.0%、67.4%;10 g/L;镁离子使其膨胀量分别降低了69.7%、47.8%、58.3%;10 g/L钠离子使其膨胀量降低了46.0%、23.5%、4.8%;10 g/L钾离子使其膨胀量降低了67.7%、36.6%、60.8%)。此结论与随着浓度的增加膨润土防水毯 K 值逐渐增大相吻合。

(2)通过研究发现离子浓度对膨润土的膨胀性能影响较明显,在矿化度大于5 g/L时膨润土的自由膨胀量明显减小,渗透系数增大,防渗性能降低。推荐在钙离子及高价阳离子浓度

较大条件下,使用韩国1号膨润土防水毯,防渗效果较好。在矿化度小于5 g/L时使用韩国2号及中国1号膨润土防水毯较经济。

参考文献:

- [1] 李安国. 渠道防渗工程技术[M]. 北京:中国水利水电出版社, 1998.
- [2] 周正兵,王 钊. GCL——一种新型的复合土工合成材料的特性及应用综述[J]. 长江科学院院报, 2002, 19(1): 35—38.
- [3] 周正兵,王 钊. GCL在渠道防渗工程中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2002, (9): 24—25.
- [4] 白庆中. 新型人工合成膨润土防渗卷材的研制及其渗透性能[J]. 环境科学, 2000, 21(6): 56—59.
- [5] Leslie A Craw Ford. Moisture Impervient Barrier and Method for Making Same[J]. US Patent, PN4565468, 1986, 21(1).
- [6] 刘继武,祝和权,李海燕,等. 膨润土系列防水材料及其应用[J]. 中国建筑防水, 2003, (5): 9—11.
- [7] 鞠建英. 防渗膨润土的研究及其在工程中的应用[J]. 水利水电科技进展, 2000, 20(5): 27—29.
- [8] 祝和权,刘继武,李海燕,等. 膨润土防水毯的研制及其在垃圾填埋场中的应用[J]. 防水材料施工, 2004, (1).
- [9] 程传焯. 表面物理化学[M]. 北京:科学技术文献出版社, 1995.