

Zn(NO₃)₂作用下改良膨润土渗透特性研究

冯 珍¹, 郝世雄¹, 孙新坡²

¹四川轻化工大学化学工程学院, 四川 自贡

²四川轻化工大学土木工程学院, 四川 自贡

收稿日期: 2022年10月31日; 录用日期: 2022年11月30日; 发布日期: 2022年12月8日

摘 要

膨润土的化学相容性是影响竖向阻隔墙防渗性能的关键因素。本研究采用不同掺量的羧甲基纤维素钠(CMC)与钠化膨润土(B)直接拌合, 制备一种聚合物改良膨润土(CB), 通过在自来水、Zn(NO₃)₂溶液中进行自由膨胀试验、滤失试验, 探究改良膨润土的化学相容性。结果表明, 经CMC改良后的膨润土在重金属溶液作用下膨胀性能较未改良膨润土好, 渗透系数下降1~2个数量级, CMC的最佳掺量为2%。

关键词

防渗, 羧甲基纤维素钠, 膨润土, 化学相容性, 重金属

Study on Permeability Characteristics of Modified Bentonite under Zn(NO₃)₂ Action

Zhen Feng¹, Shixiong Hao¹, Xinpo Sun²

¹School of Chemical Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong Sichuan

²School of Civil Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong Sichuan

Received: Oct. 31st, 2022; accepted: Nov. 30th, 2022; published: Dec. 8th, 2022

Abstract

The chemical compatibility of bentonite is the key factor affecting the anti-seepage performance of vertical barrier walls. A polymer modified bentonite (CB) was prepared by directly mixing sodium carboxymethylcellulose (CMC) with sodium bentonite (B) with different dosages. A series of tests were carried out in tap water and Zn(NO₃)₂ solution, such as free expansion index, filtration loss and permeability, to explore the chemical compatibility of the modified bentonite. The results show that the swelling property of bentonite modified by CMC under the action of heavy metal solution is better than that of unmodified bentonite, the permeability coefficient decreases by 1-2

orders of magnitude, and the optimum content of CMC is 2%.

Keywords

Seepage Prevention, Sodium Carboxymethyl Cellulose, Bentonite, Chemical Compatibility, Heavy Metal

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国当前尾矿库 8000 余座, 总量仍排世界首位[1], 其中 17%是危库、险库和病库[2]。根据我国国家环保总局、中国地质调查局等单位的专项调查[3], 发现浅层地下水污染严重, 高浓度污染深度可达 40 米。其中矿区污染尤为严重, 无机污染物以铅、锌、镉和砷等为代表, 具有残留期长、不可逆性、毒性大、化学性质复杂、生态响应强等特点, 它可以通过地下水或地表径流渗入周围土壤、地表水和地下水系统, 污染土壤和水体, 不仅造成严重的污染问题还危害人类的身体健康[3] [4] [5]。

竖向阻隔技术是防止污染物迁移扩散的技术之一, 我国更是将其列入《污染场地修复技术目录(第一批)》。目前国际上广泛运用土-膨润土(SB)竖向阻隔墙、水泥-膨润土(CB)竖向阻隔墙、土-水泥-膨润土(SCB)竖向阻隔墙等竖向阻隔墙限制污染物的横向迁移[6] [7]。其中, 膨润土的质量也是控制竖向阻隔墙渗透系数的关键因素。我国的膨润土生产多以钙基膨润土为主, 而钠基膨润土生产数量甚少, 工程中常用钙基膨润土和钠化改性膨润土, 但钙基膨润土膨胀性和防渗性均较钠基膨润土差[8]。因此, 改性膨润土得到了国内外学者的广泛关注与研究。Landis 等[9]发明含聚阴离子纤维素改性膨润土的土工合成衬垫, 通过柔性壁渗透试验证明 1%聚阴离子纤维素改性膨润土在粉煤灰渗滤液、石膏渗滤液和粉煤灰、底灰+石膏混合渗滤液中较素土表现出极好的低渗透性保持能力。刘学贵等[10]通过改性聚丙烯酰胺对膨润土进行直接插层改性, 制备了一种新型聚丙烯酰胺改性膨润土防渗材料。沈胜强等[11]通过 2%的聚阴离子纤维素(PAC)与钠化膨润土(CB)直接拌合, 制备一种聚合物改良膨润土(PB), 表明采用 PAC 对膨润土进行改良, 可有效提高盐溶液作用下膨润土滤饼的防渗性能。

本试验利用阴离子型的线形聚合物羧甲基纤维素钠对膨润土进行改良, 通过自由膨胀试验、改进滤失试验, 开展膨润土在重金属作用下的化学相容性研究, 探明羧甲基纤维素钠的最优掺量。

2. 实验

2.1. 原料及试剂

膨润土为四川省射洪的商用钠化改良钙基膨润土(记为 B), 为高液限黏土(CH), 膨胀指数为 15 mL/2g, pH 为 10.22, 密度为 2.79 g/cm³; 羧甲基纤维素钠(CMC), 天津市大茂化学试剂厂提供, 分析纯, 粘度 1000~1500 cs; 硝酸锌(Zn(NO₃)₂), 成都市科龙化工试剂厂提供, 分析纯。

2.2. 羧甲基纤维素钠改良膨润土及膨润土泥浆制备

本研究中羧甲基纤维素钠改良膨润土制备方法: 1) 称取适量的钠化改性膨润土, 并将其置于烘箱中烘干, 并冷却至室温; 2) 称取 CMC (掺量为 0.5%、1%、2%、4%, 与膨润土干土质量比)、烘干后的膨

润土，置于 PE 瓶中，置于翻转振荡仪中，翻转振荡 24 h，即完成聚合物与膨润土的混合。文中 CMC 改良膨润土用 CB 表示。

本研究中膨润土泥浆制备方法：1) 称取适量烘干后的 B/CB、自来水(本研究中膨润土掺量取 10%)；2) 使用电动搅拌器对自来水进行高速搅拌，将 B 或 CB 少量多次投入，搅拌时间至少 30 min，直至泥浆搅拌均匀，无膨润土块，静置 24 h，即完成泥浆制备。

2.3. 自由膨胀试验

根据 ASTM D5890 [12]规范进行自由膨胀试验，定量分析在不同浓度的 $Zn(NO_3)_2$ 溶液作用下改良膨润土与未改良膨润土的膨胀性能差异。依次称量 2 g 烘干的 B/CB，然后分次均匀铺撒于含有约 90 mL 自来水、不同浓度的 $Zn(NO_3)_2$ 溶液的量筒水面上，每次加入量少于 0.1 g，且相邻两次加入时间间隔不小于 10 min，然后添加溶液至量筒内水位 100 mL 刻度，并密封静置 24 h 后，读取并记录数据。

2.4. 滤失试验

参照 ASTM D 5891 规范[13]的要求，采用 API 标准滤失仪和慢速定量滤纸进行滤失试验，分析不同浓度的 $Zn(NO_3)_2$ 溶液对滤饼渗透系数的影响规律。气压值设定为 690 kPa。以自来水、 $Zn(NO_3)_2$ 溶液作为滤失试验溶液，评价改良膨润土的渗透特性。

3. 结果与讨论

3.1. 自由膨胀试验

图 1 为在自来水、不同浓度 $Zn(NO_3)_2$ 溶液下膨润土及不同 CMC 掺量的改良膨润土的膨胀指数变化情况。无论是膨润土或改良膨润土的膨胀指数均随着 $Zn(NO_3)_2$ 溶液浓度增加而逐渐降低，说明对锌离子对膨润土的膨胀性能有一定抑制作用。在相同溶液浓度下，改良膨润土的自由膨胀指数大于未改良膨润土，且改良膨润土的膨胀指数随 CMC 掺量增加而增加。在重金属溶液作用下，改良膨润土的膨胀性能相比于未改良膨润土更优良。

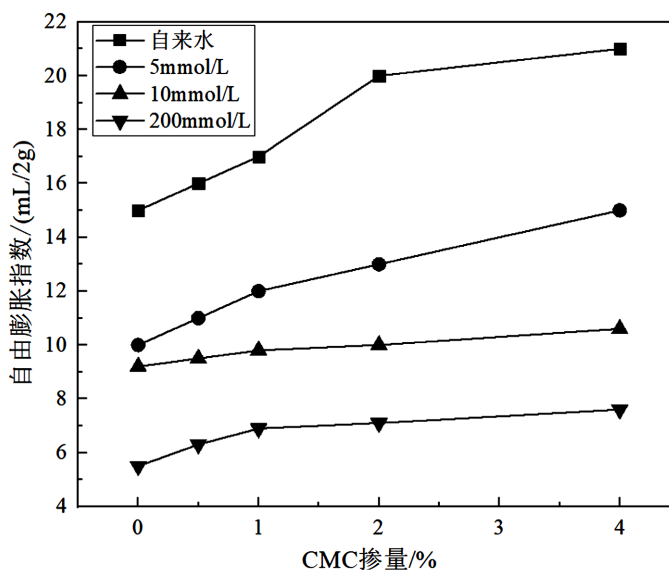


Figure 1. Influence of CMC content on free expansion index

图 1. CMC 掺量对自由膨胀指数的影响

3.2. 滤失试验

图 2 为膨润土滤饼滤失体积与不同 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 溶液浓度的关系, 由图可知, 滤失体积均随着 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 溶液浓度的升高而逐渐升高, 当 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 溶液浓度为 20 mmol/L 时, 未改良膨润土静置后泥水分离明显, 无法形成滤饼, 故不进行滤失试验。相同 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 浓度下, CMC 改良膨润土浆液的滤失量低于未改良膨润土。在 10 mmol/L 的 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 溶液作用下时, 未改良膨润土浆液滤失量 $V = 78 \text{ mL}$, 远大于施工要求 ($< 25 \text{ mL}$), 而不同 CMC 掺量的改良膨润土浆液滤失量分别为 15.42、11.2、8.2、7.95 mL, 均低于 25 mL, 符合要求。

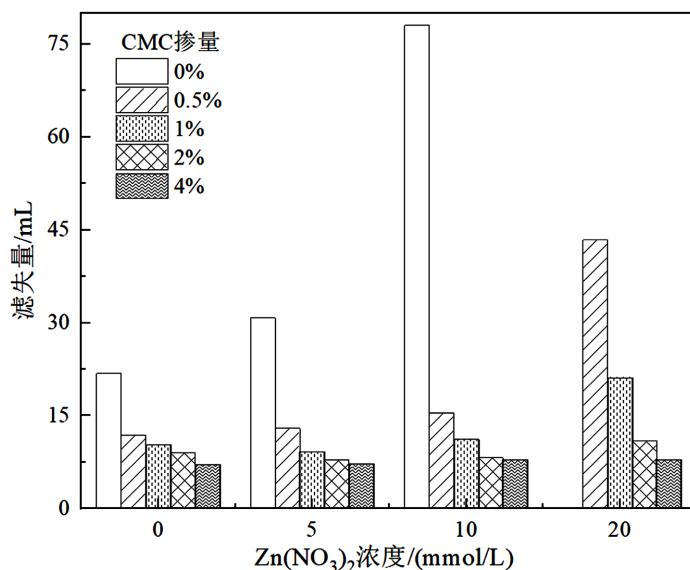


Figure 2. Filtration loss of modified bentonite slurry under $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ solution

图 2. $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 溶液作用下改良膨润土浆液滤失量

图 3 为 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 溶液与改良膨润土滤饼的渗透系数的关系。总体上, 改良与未改良膨润土浆液均不同程度地受锌离子作用影响。当在自来水条件下时, 未改良膨润土渗透系数为 $2.15 \times 10^{-10} \text{ m/s}$, 而改良膨润土渗透系数达到 10^{-11} 数量级, 随着 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 溶液浓度增加, 其渗透系数增加, 但改良膨润土渗透系数增幅远小于未改良膨润土, 在 10 mmol/L 的 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 溶液作用下时, 未改良膨润土渗透系数为 $3.38 \times 10^{-9} \text{ m/s}$, 不满足防渗要求, 而不同 CMC 掺量的改良膨润土渗透系数分别增加 270.99%、131.88%、1.23%、24.66%, 仍保持较低的渗透系数, 由图 2 可知, 渗透系数与自由膨胀指数之间存在负相关的关系, 随着膨胀指数降低, 而渗透系数增大。结合成本及渗透效果来看, CMC 最优掺量为 2%。

4. 结论

本文采用 CMC 改良膨润土, 测试了在不同浓度的 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 溶液作用下 CB 的性能。主要结论如下:

1) 通过自由膨胀试验可知, 改良膨润土的膨胀性能较未改良膨润土好, 且在 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 溶液作用下, 改良膨润土表现出良好的膨胀性能。

2) 通过滤失试验可知, 在 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 溶液作用下, 当未改良膨润土失去防渗性能时, 而改良膨润土渗透系数保持在 10^{-11} 数量级, 在 CMC 掺量为 2%、4% 时, 有良好的化学相容性。综合试验结果及成本因素, CMC 的最佳掺量为 2%。

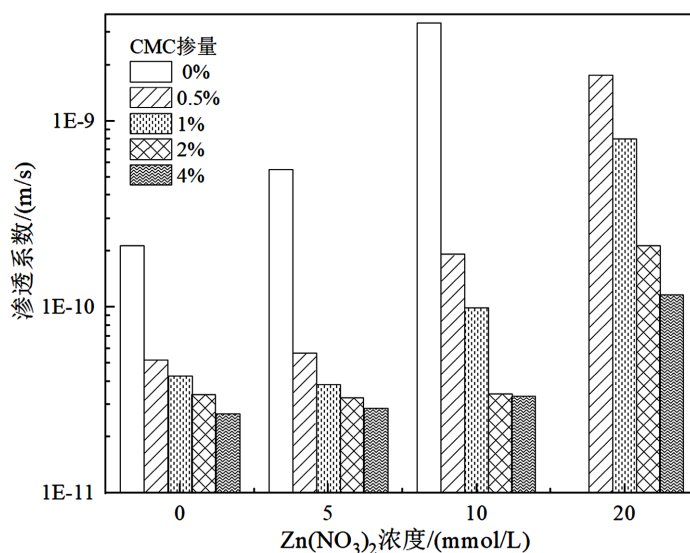


Figure 3. Filter cake permeability coefficient of modified bentonite under Zn(NO₃)₂ solution

图 3. Zn(NO₃)₂ 溶液作用下改良膨润土滤饼渗透系数

参考文献

- [1] 岑建, 郑学鑫, 宋会彬. GB 39496——2020《尾矿库安全规程》解读[J]. 劳动保护, 2021(8): 72-73.
- [2] 王娟. 尾矿库环境风险的防控现状及措施[J]. 节能与环保, 2020(7): 47-48.
- [3] Fei, J.C., Min, X.B., Wang, Z.X., *et al.* (2017) Health and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals Pollution in an Antimony Mining Region: A Case Study from South China. *Environmental Science and Pollution Research*, **24**, 27573-27586. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0310-x>
- [4] Dhaliwal, S.S., Singh, J., Taneja, P.K., *et al.* (2020) Remediation Techniques for Removal of Heavy Metals from the Soil Contaminated Through Different Sources: A Review. *Environmental Science and Pollution Research*, **27**, 1319-1333. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06967-1>
- [5] Xu, Y., *et al.* (2019) Buffering Distance between Hazardous Waste Landfill and Water Supply Wells in a Shallow Aquifer. *Journal of Cleaner Production*, **211**, 1180-1189. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.161>
- [6] Chen, Y.M., Xie, H.J. and Zhang, C.H. (2016) Review on Penetration of Barriers by Contaminants and Technologies for Groundwater and Soil Contamination Control. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, **36**, 1-10.
- [7] 刘松玉, 詹良通, 胡黎明, 等. 环境岩土工程研究进展[J]. 土木工程学报, 2016, 49(3): 6-30.
- [8] Spooner, P.A., Wetzell, R.S., Spooner, C.E., *et al.* (1984) Slurry Trench Construction for Pollution Migration Control. Final Report 15 Apr 82-20 Jul 83. Technical Report, JRB Associates, Inc., McLean.
- [9] Landis, C.R., Youngblood, J.G., Liao, W.A., *et al.* (2017) Methods of Using Improved Bentonite Barrier Compositions and Related Geosynthetic Clay Liners. United States Patent: 9758432.
- [10] 刘学贵, 王跃冲, 邵红, 宋天阳, 张金路. 改性膨润土作为垃圾渗透液防渗层的实验研究[J]. 环境工程学报, 2013, 7(11): 4513-4518.
- [11] 沈胜强, 杜延军, 魏明俐, 薛强, 杨玉玲. CaCl₂ 作用下 PAC 改良膨润土滤饼的渗透特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 36(11): 2810-2817.
- [12] ASTM (2019) Test Method for Swell Index of Clay Mineral Component of Geosynthetic Clay Liners. ASTM International, West Conshohocken.
- [13] ASTM (2009) Standard Test Method for Fluid Loss of Clay Component of Geosynthetic Clay Liners. ASTM International, West Conshohocken.