

重金属对膨润土膨胀性的影响

郭争争, 管俊芳, 陈菲, 贺贤举, 王飞, 钱玉鹏

(武汉理工大学资源与环境工程学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 针对膨润土在重金属离子溶液中膨胀性能的变化, 导致膨润土防水毯失效问题, 论文以新疆某地膨润土为研究对象, 选择 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Pb^{2+} 三种离子进行系统试验。结果表明: 膨润土用量 5g, Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Pb^{2+} 初始溶液浓度为 3.55 mmol/L, pH 值为 6.5, 搅拌时间分别为 20 min、30 min 和 30 min, 膨胀容分别为 7.6 mL/g、8.0 mL/g、9.0 mL/g, 膨胀指数分别为 3.5 mL/g、4.0 mL/g、4.6 mL/g, 和原矿膨胀容 21 mL/g, 膨胀指数 15 mL/g 相比, 膨润土膨胀性发生显著降低; XRD 和 FTIR 分析揭示 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Pb^{2+} 与膨润土中蒙脱石矿物的层间离子发生交换, 金属离子进入蒙脱石层, 增大了蒙脱石的层面间距, 破坏了蒙脱石层间水分子与蒙脱石层的键连作用, 从而导致膨润土对水的吸附能力减弱, 膨润土膨胀性降低, 但是没有改变膨润土的结构。

关键词: 水力旋流器; 计算流体力学; 中心插入物结构; 分离性能

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2020.01.041

中图分类号: TD951 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2020) 01-0203-06

蒙脱石是膨润土的主要矿物, 因为蒙脱石是一种两层硅氧四面体夹着一层铝氧八面体的三层片状结构的硅铝酸盐, 类似于“三明治”结构。在蒙脱石层间会含有层间水分子和可交换阳离子, 具有很高的吸水膨胀能力^[1]。膨润土防水毯就是利用膨润土遇水膨胀这一原理而制造的。膨润土防水毯首次在美国伊利诺斯州得到应用, 并取得了良好的经济效益^[2]。上世纪九十年代, 膨润土防水毯传入我国, 因为其有着保护环境、耐久性高、自愈能力强、施工简便、综合造价低等优势^[3], 因此被广泛用于垃圾填埋场、地下车库、人工湖泊等众多民建工程的防水防渗^[4-8]。工程应用表明, 膨润土防水毯在我国已得到较广泛的应用^[9]。

近年来, 膨润土防水毯也逐渐在一些金属矿山的尾矿库或者含大量重金属离子的排污系统应用。这些重金属离子会危害到环境和人体健康。因此对这些工程作防渗更为重要。用膨润土来吸附去除水中重金属离子在我国研究有很多, 并且取得了显著的应用成果^[10-12]。然而对于重金属对膨润土防水毯的性能影响还未有相关研究。因此

研究重金属离子对膨润土防水毯的实效性研究对于工程应用显得尤为重要。由于膨润土中的蒙脱石会与这些重金属离子发生离子交换^[13], 重金属离子与膨润土层间阳离子交换后进入到膨润土层中, 改变了膨润土的层面间距^[14], 影响膨润土对水的吸附, 从而导致膨润土膨胀性变低, 使得膨润土防水毯的性能降低。固离子交换是影响膨润土膨胀性的主要因素。文章就是在这一背景下, 研究重金属离子 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Pb^{2+} 对膨润土膨胀性能变化的影响, 进而为膨润土防水毯在含有重金属离子的工程应用提供理论依据。

1 试验部分

1.1 试验原料

原料取自新疆某地 A 类膨润土, 主要的化学成分有 Na_2O (2.312%)、 MgO (2.454%)、 SiO_2 (64.883%)、 K_2O (2.061%)、 CaO (1.046%)、 Fe_2O_3 (3.321%), 烧失量为 4.963%。主要矿物组成是钠蒙脱石, 石英、伊利石和长石等; 原矿膨胀容和膨胀指数分别是 21 mL/g 和 15 mL/g。

收稿日期: 2018-11-01; 改回日期: 2019-02-05

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFB0310902-01)

作者简介: 郭争争 (1993-), 男, 硕士生, 研究方向是非金属矿。

通讯作者: 管俊芳 (1965-), 女, 博士, 副教授。

1.2 试验药剂

硫酸锌,分析纯,天津博迪化工股份有限公司;五水硫酸铜,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;硝酸铅,分析纯,国药集团化学试剂有限公司。药剂存在不同的酸根,对于重金属离子与膨润土的反应影响很小^[15]。

1.3 试验方法

分别测定膨润土的膨胀指数^[16]和膨胀容^[17],单位均为 mL/g。

1.4 表征与分析

XRD:日本 RIGAKU 公司 D/MAX-YB X 射线衍射仪;XRF 荷兰 PANalytical.B.V Axios advanced 波长色散型 X 射线荧光光谱仪;FTIR 美国 Nicolet 仪器公司 IS-10 傅里叶变换红外光谱仪。

2 结果与讨论

论文进行了搅拌时间、pH 值、初始金属离子浓度和膨润土添加量 4 个因素试验,对试验后的膨润土烘干,磨至 -74 μm,通过膨胀容和膨胀指数 2 个指标来分析 Cu²⁺、Zn²⁺ 和 Pb²⁺ 三种重金属离子对膨润土膨胀性的影响。通过 XRD 和 FTIR 对其反应机理进行探讨。

2.1 Cu²⁺、Zn²⁺ 和 Pb²⁺ 对膨润土膨胀性的影响

2.1.1 搅拌时间

在室温下,Cu²⁺、Zn²⁺ 和 Pb²⁺ 溶液浓度为 3.55 mmol/L,膨润土 5 g,pH 值为 6.5,磁力搅拌时间分别取 10 min、20 min、30 min、40 min、50 min、60 min,试验后的膨润土测得膨胀容和膨胀指数见图 1 和图 2。

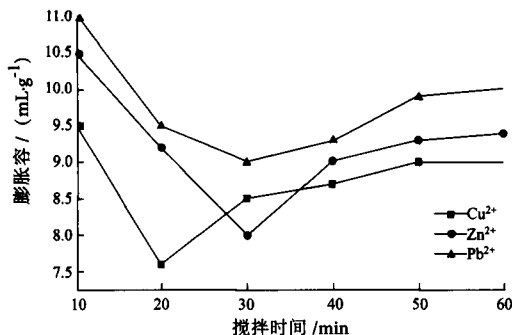


图 1 搅拌时间对膨润土膨胀容的影响

Fig.1 Effect of stirring time on expansion capacity of bentonite

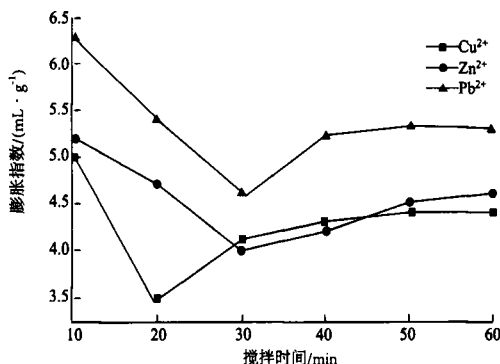


图 2 搅拌时间对膨润土膨胀指数的影响

Fig.2 Effect of stirring time on the inflation index of bentonite

由图 1 和图 2 可知,Cu²⁺、Zn²⁺ 和 Pb²⁺ 三种离子对膨润土膨胀性能都有影响,其膨胀容与膨胀指数的变化趋势类似,都是随搅拌时间的延长,膨胀容和膨胀指数逐渐减少,然后又变大,对 Cu²⁺,搅拌 20 min 时,膨润土膨胀容和膨胀指数最小,分别为 7.6 mL/g 和 3.5 mL/g;对 Zn²⁺ 和 Pb²⁺,在搅拌 30 min 时,膨润土膨胀容和膨胀指数分别为 8.0 mL/g、9.0 mL/g 和 4.0 mL/g、4.6 mL/g。说明这个时间点为饱和点,膨润土与 Cu²⁺ 发生离子交换的速率比与 Zn²⁺ 和 Pb²⁺ 发生离子交换的速率更快。达到饱和点后,Cu²⁺ 溶液中的膨润土膨胀性上升最快,说明膨润土与 Cu²⁺ 发生离子交换的速率最快^[18],在搅拌条件下失去 Cu²⁺ 的速度也最快。重金属对膨润土影响程度从轻到重依次为:Pb²⁺、Zn²⁺、Cu²⁺。

膨润土与重金属离子的离子交换和时间一般呈正相关关系^[12]。因此膨润土与 Cu²⁺、Zn²⁺ 和 Pb²⁺ 发生离子交换后导致膨润土膨胀性降低,呈负相关。但在 20 min、30 min 时,膨胀容和膨胀指数都达到最小,表示在该时间点,膨润土与 Cu²⁺、Zn²⁺ 和 Pb²⁺ 的离子交换达到最大值。随着时间增大,膨润土在搅拌情况下,已发生离子交换的重金属离子在离心力作用下又“离开”膨润土,又使得膨润土膨胀性能有所上升^[19]。

2.1.2 pH 值

在室温下,Cu²⁺、Zn²⁺ 和 Pb²⁺ 溶液的初始离子浓度为 3.55 mmol/L,5g 膨润土,Cu²⁺ 溶液搅拌 20 min、Zn²⁺ 和 Pb²⁺ 溶液搅拌 30 min,pH 值为 4.5、

5.5、6.5、7.5、8.5、9.5，试验后测得膨胀容见图3和图4。

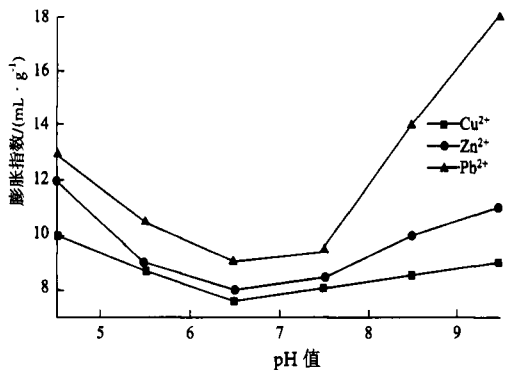


图3 pH对膨润土膨胀容的影响
Fig.3 Effect of pH on expansion capacity of bentonite

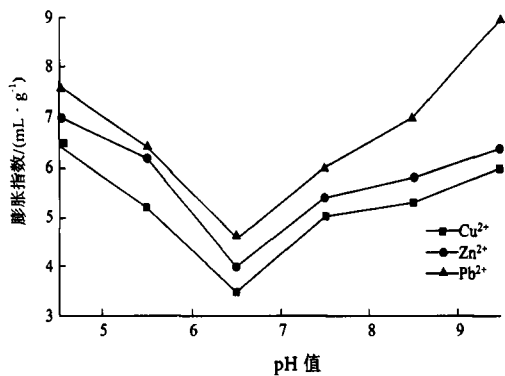


图4 pH对膨润土膨胀指数的影响
Fig.4 Effect of pH on expansion index of bentonite

由图3和图4可知，三种离子作用后，膨润土的膨胀容和膨胀指数都随着pH值的增大呈先减少后增大的变化趋势，在pH值为6.5时，膨胀容和膨胀指数都是最小值，膨胀容分别为7.6 mL/g、8.0 mL/g、9.0 mL/g，膨胀指数分别为3.5 mL/g、4.0 mL/g、4.6 mL/g，也就是说在中性条件下，Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺对膨润土的膨胀性影响最大。当溶液环境变为碱性时，Pb²⁺溶液中的膨润土无论是膨胀容还是膨胀指数相对于Cu²⁺和Zn²⁺都上升较快。

当pH值小于7时，溶液中会存在大量的H⁺，在重金属离子与膨润土层间的阳离子发生离子交换过程中，H⁺会与这些重金属离子存在竞争作用^[16]，即H⁺、Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺都会与膨润土发生离子交换，会影响Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺与膨润土的反应，导致Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺进入膨润土中蒙脱石层间的数量减少，膨润土的膨胀性随着H⁺的含量呈正相关。在中性条件下，H⁺浓度降低，

所以膨润土膨胀容和膨胀指数最小。在碱性条件下，溶液中会存在OH⁻，OH⁻能与重金属离子发生反应生成沉淀^[14]，也会导致Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺进入膨润土的数量减少，使得膨润土膨胀性有所增大。

由图4可知，在相同pH值条件下，Cu²⁺和Zn²⁺的膨胀指数比Pb²⁺的要小，是因为Pb²⁺在pH值较低时比Cu²⁺和Zn²⁺更容易发生沉淀^[20]，使得Pb²⁺相较于Cu²⁺和Zn²⁺发生离子交换的数量更少，因此Pb²⁺溶液中的膨润土的膨胀性更高。

2.1.3 初始金属离子浓度

在室温下，膨润土5 g，pH为6.5，Cu²⁺溶液搅拌20 min、Zn²⁺和Pb²⁺溶液搅拌30 min，离子浓度为2.05 mmol/L、2.55 mmol/L、3.05 mmol/L、3.55 mmol/L、4.05 mmol/L、4.55 mmol/L。试验后的膨润土测得膨胀容和膨胀指数见图5和图6。

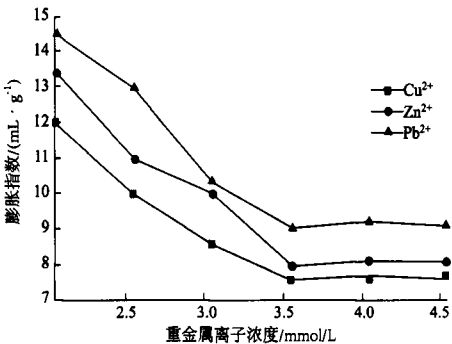


图5 重金属离子浓度对膨润土膨胀容的影响
Fig.5 Effect of heavy metal ion concentration on expansion capacity of bentonite

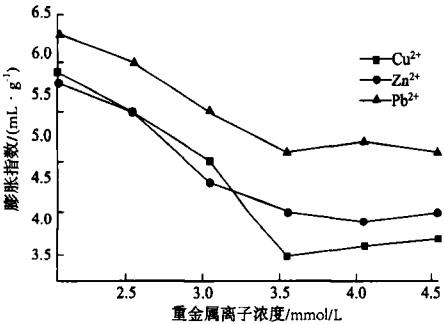


图6 重金属离子浓度对膨润土膨胀指数的影响
Fig.6 Effect of heavy metal ion concentration on expansion index of bentonite

由图5、6可知，膨胀容和膨胀指数随着重金属离子浓度的增大呈减少趋势，后又趋于平衡，最低膨胀容分别为7.6 mL/g、8.0 mL/g、9.0 mL/g，膨

胀指数分别为 3.5 mL/g、4.0 mL/g、4.6 mL/g。膨润土对于 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Pb^{2+} 的单位质量离子交换量不变,因此加入膨润土的量一定,交换位数量也一定,当溶液离子浓度太低时,膨润土中蒙脱石会与这些离子全部发生离子交换,随着浓度的升高,膨润土不能够完全与 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Pb^{2+} 发生离子交换,也就是膨润土对于这些重金属的离子交换达到饱和,浓度再增大,膨润土也不再发生交换,因此膨润土的膨胀性先降低后平衡。

2.1.4 膨润土添加量

Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Pb^{2+} 溶液浓度为 3.55 mol/L, pH 值 =5.5, 调节至适宜转速, Cu^{2+} 溶液搅拌 20 min、 Zn^{2+} 和 Pb^{2+} 溶液搅拌 30 min, 膨润土加入量对膨胀容和膨胀指数的影响见图 7、图 8。

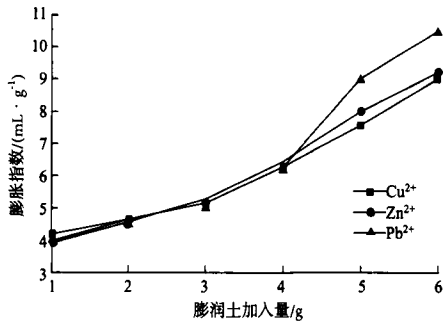


图 7 膨润土加入量对膨润土膨胀容的影响
Fig. 7 Effect of bentonite content on expansion capacity of bentonite

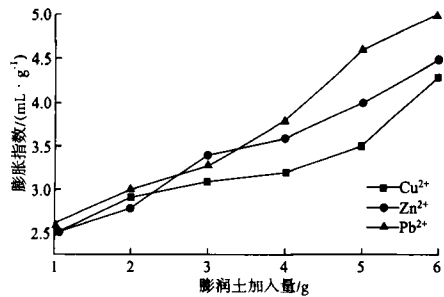


图 8 膨润土加入量对膨润土膨胀指数的影响
Fig. 8 Effect of bentonite content on the expansion index of bentonite

由图 7 和 8 可知,膨润土用量从 1g 增大到 6 g 过程中,膨胀容和膨胀指数都随之增大,大致呈线性比例关系。因为在膨润土加入很少时,溶液中大量的金属离子与膨润土发生离子交换,此时膨润土因为层间含有大量的金属离子而使得膨润土的膨胀性非常低,随着膨润土加入量的增多,

发生离子交换的概率也增多,发生离子交换的重金属离子也会增多,因此膨胀容和膨胀指数会逐渐增加,最后会出现吸附饱和点,但此时再加入膨润土, Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Pb^{2+} 离子交换的数量不会改变,但膨润土膨胀容和膨胀指数仍会增大,所以随着膨润土加入量的增多,膨胀容和膨胀指数稳步增大。在膨润土用量 4 g 增加到 5 g 时,膨胀容和膨胀指数的增加趋势更大,认为膨润土在用量为 5 g 时,此时溶液中离子交换过程已达到饱和,此时膨胀容分别为 7.6 mL/g、8.0 mL/g、9.0 mL/g,膨胀指数分别为 3.5 mL/g、4.0 mL/g、4.6 mL/g。

2.2 膨润土膨胀性变化机理分析

2.2.1 XRD 分析

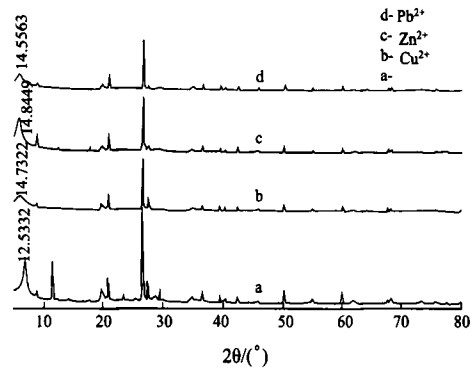


图 9 经重金属离子处理前后的膨润土 XRD 分析 (a. 原矿 b. Cu^{2+} c. Zn^{2+} d. Pb^{2+})
Fig. 9 XRD analysis of bentonite before and after heavy metal ion treatment (a. raw ore b. Cu^{2+} c. Zn^{2+} d. Pb^{2+})

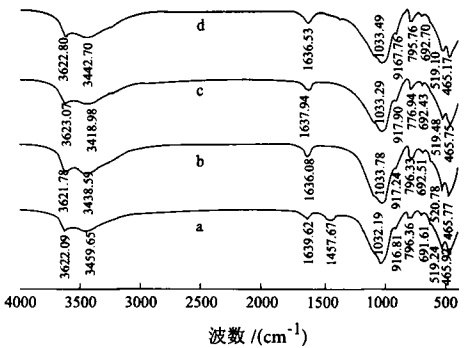


图 10 经重金属离子处理前润土的 FTIR 光谱 (a. 原矿 b. Cu^{2+} c. Zn^{2+} d. Pb^{2+})
Fig. 10 FTIR spectra of bentonite before and after heavy metal ion treatment (a. raw ore b. Cu^{2+} c. Zn^{2+} d. Pb^{2+})

由图 10 可知,膨润土经 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Pb^{2+} 处理后 XRD 发生了明显变化。原矿中蒙脱石 $d_{001}=1.25332$ nm,说明膨润土比表面积比较大,

蒙脱石层与层之间紧密排列在一起^[21]。Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺处理后,其中d001由1.25332 nm分别增大到1.47322 nm、1.48449 nm和1.45563 nm,认为Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺与膨润土发生离子交换,并且进入到蒙脱石层间,由于Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺的离子半径比蒙脱石层间可交换阳离子离子半径小,可能以水合阳离子的形式存在,增大了蒙脱石的层面间距。而且也佐证了上述试验结果的合理性。

2.2.2 FTIR 分析

膨润土及经Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺处理后的红外光谱见图10所示,在图谱中的高频区有两个较大的振动峰,分别在3622 cm⁻¹附近和3448 cm⁻¹附近,是蒙脱石层上的两个羟基振动峰^[22];3622 cm⁻¹为Al-O-H的羟基伸缩振动,3448 cm⁻¹为H-O-H的羟基伸缩振动;在中频区1639 cm⁻¹和1457 cm⁻¹为水分子H-O-H的弯曲振动,1032 cm⁻¹附近的峰为Si-O-Si的不对称伸缩振动;796 cm⁻¹处是Mg Al-OH吸收振动峰^[23],与Al的含量有关。

经Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺处理后与原土对比发现,几乎所有的特征峰均没有发生变化,说明经Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺处理膨润土没有改变膨润土官能团的变化,对其层状结构没有影响。在图谱可知,原矿中的1457 cm⁻¹层间水的H-O-H的弯曲振动峰消失不见了,这是由于Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺与钠基膨润土发生离子交换所致,进入蒙脱石层后,破坏了蒙脱石层间水分子与蒙脱石层的键连作用,使得水分子无法进入到膨润土层间结构;Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺处理的膨润土相较于原矿在3459 cm⁻¹和1639 cm⁻¹峰值有所减弱,这是由于膨润土层间结构水和吸附水被脱去,说明Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺在与膨润土发生离子交换过程会去除膨润土中的吸附水及层间水。发应后Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺对膨润土的结构没有发生显著影响,仅仅改变了蒙脱石的晶面间距,使膨润土吸收水分子的能力减弱,丧失了钠基膨润土的吸水膨胀性。

3 结 论

(1) 原矿为新疆某地A类膨润土,矿石主要成分是蒙脱石、伊利石、石英和长石。原矿为钠基膨润土。

(2) Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺对膨润土膨胀性影响的单因素试验中得出结论为:Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺离子浓度为3.55 mmol/L, pH值6.5,膨润土用量为5 g, Cu²⁺溶液搅拌时间为20 min、Zn²⁺和Pb²⁺搅拌时间为30 min,此时膨润土的膨胀性最小,膨胀容分别为7.6 mL/g、8.0 mL/g、9.0 mL/g,膨胀指数分别为3.5 mL/g、4.0 mL/g、4.6 mL/g,与原矿的膨胀容和膨胀指数相比,均有显著下降。说明Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺与膨润土发生了离子交换,进入了膨润土层间,使得膨润土膨胀性降低。

(3) 经Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺处理后的膨润土d001由原来的1.25332 nm变化至1.47322 nm、1.48449 nm和1.45563 nm,说明Cu²⁺、Zn²⁺和Pb²⁺与蒙脱石层之间的离子发生了离子交换,并以水合阳离子的形式存在,增大了层面间距,减弱了膨润土的吸附水能力,但没有改变膨润土晶体结构。

参考文献:

- [1] Shackelford C D, Benson C H, Katsumi T, et al. Evaluating the hydraulic conductivity of GCLs permeated with non-standard liquids[J]. Geotextiles & Geomembranes, 2000, 18(2): 133-161.
- [2] Schubert W R. Bentonite Matting in Composite Lining Systems[C]. Geotechnical Practice for Waste Disposal. ASCE, 2015. 784-796.
- [3] Liners S O G C, Mackey R, Maubeuge K V. Advances in geosynthetic clay liner technology: 2nd symposium[M]. ASTM International, 2004.
- [4] Hsin-Yu Shan, Jenn-Tien Yao. Measurement of air permeability of geosynthetic clay liners[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2000, 18, 251-261.
- [5] Fatemeh Parastar, Sayyed Mahdi Hejazi, et al. A parametric study on hydraulic conductivity and self-healing properties of geotextile clay liners used in landfills[J]. Journal of Environmental Management, 2017, 202, 29-37.

- [6]Touze-Foltz N,Bannour H,Barral C,et al.A review of the performance of geosynthetics for environmental protection [J]. *Geotextiles & Geomembranes*,2016,44(5):656-672.
- [7]Guyonnet D,Touze-Foltz N,Norotte V,et al.Performance-based indicators for controlling geosynthetic clay liners in landfill applications[J].*Geotextiles & Geomembranes*,2009,27(5):321-331.
- [8]Lange K,Rowe R K,Jamieson H.The potential role of geosynthetic clay liners in mine water treatment systems[J]. *Geotextiles & Geomembranes*,2010,28(2):199-205.
- [9]Kong D J,Wu H N,Chai J C,et al.State-Of-The-Art Review of Geosynthetic Clay Liners[J].*Sustainability*,2017,9(11):2110.
- [10]Wang L,Xu Y,Sun Y,et al. Immobilization of cadmium contaminated soils using sepiolite and its compound materials[J].*Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2010, 4(9):2093-2098.
- [11]Gupta S S,Bhattacharyya K G.Removal of Cd(II) from aqueous solution by kaolinite, montmorillonite and their poly(oxo zirconium) and tetrabutylammonium derivatives.[J]. *Journal of Hazardous Materials*,2006,128(2-3):247.
- [12]Malferrari D,Brigatti M F,Laurora A,et al.Sorption kinetics and chemical forms of Cd(II) sorbed by thiol-functionalized 2:1 clay minerals.[J].*Journal of Hazardous Materials*,2007,143(1-2):73.
- [13]马玉龙,郭彤,许梓,等.载铜蒙脱石的制备与表征 [J]. *硅酸盐学报*,2005,33(8):1041-1044.
- [14]余丽秀,孙亚光,张志湘.蒙脱石离子交换和吸附效应及在水处理中的应用 [J]. *中国非金属矿工业导刊*,2004(2):31-33, 36.
- [15]曹晓强,陈亚男,张燕,等.膨润吸附废水中重金属的研究进展 [J]. *金属矿山*,2015,44(11):137-142.
- [16]JG/T193-2006, 中华人民共和国建筑工业行业标准 [S].
- [17]姜桂兰,张培萍.膨润土加工与应用 [M]. 化学工业出版社材料科学与工程出版中心,2005.
- [18]杨秀敏,钟子楠,潘宇,等.重金属离子在钠基膨润土中的吸附特征与机理 [J]. *环境工程学报*, 2013, 7(7):2775-2780.
- [19]施惠生,刘艳红.膨润土对重金属离子 Pb^{2+} , Zn^{2+} , $Cr(VI)$, Cd^{2+} 的吸附性能 [J]. *建筑材料学报*, 2006, 9(5):507-510.
- [20]Dutta J,Mishra A K.Influence of the presence of heavy metals on the behaviour of bentonites[J].*Environmental Earth Sciences*, 2016,75(11):1-10.
- [21]庞婷雯,杨志军,黄逸聪,等.疏基化、钠化和酸化膨润土对 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 和 Zn^{2+} 的吸附性能研究 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2018(4):1203-1208.
- [22]王抚抚,陈泉水,罗太安,等.膨润土的改性研究进展 [J]. *应用化工*, 2017, 46(4):775-779.
- [23]周秀艳,薛向欣,刘鸥,等.钠化蒙脱石吸附 Cu、Pb、Zn、Cd 的试验研究 [J]. *矿物学报*,2012(s1):125-126.

Effect of Heavy Metal Ions on Swelling Property of Bentonite

Guo Zhengzheng, Guan Junfang, Chen Fei, He Xianju, Wang Fei, QianYupeng

(School of Resources and Environment Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan, Hubei, China)

Abstract: Aiming at the change of swelling property of bentonite in heavy metal ion solution, the failure issue of geosynthetic clay liner was caused, this paper takes bentonite from a certain area in Xinjiang as the research object, three kinds of ions, Cu^{2+} , Zn^{2+} and Pb^{2+} , were selected for system experiments. The results show that: the bentonite addition is 5g, initial solution concentration of Cu^{2+} , Zn^{2+} and Pb^{2+} is 3.55 mmol/L, pH is 6.5, stirring time is 20 min, 30 min and 30 min, respectively. the swelling volume of bentonite is 7.6 mL/g, 8.0 mL/g, 9.0 mL/g, respectively. the swelling index of bentonite is 3.5 mL/g, 4.0 mL/g and 4.6 mL/g, respectively. Compared with the swelling volume and swelling index of raw ore is 21 mL/g and 15 mL/g, respectively. the swelling property of bentonite decreased significantly. XRD and FTIR analysis revealed that Cu^{2+} , Zn^{2+} and Pb^{2+} exchanged with the interlayer ions of montmorillonite minerals in bentonite, and the metal ions entered the montmorillonite layer, which increased the interlayer spacing of montmorillonite, destroyed the bonding between water molecules and montmorillonite layer, resulting in the adsorption capacity of bentonite to water is weakened, and the swelling property of bentonite is reduced, but the structure of bentonite is not changed.

Keywords: Heavy metal ion; Bentonite; Swelling volume; Swelling index.