

不同粘土矿物水敏性特征

韩志勇¹, 郑西来¹, 陈继红²

(1. 中国海洋大学环境科学与工程学院, 青岛 266003; 2. 兰州理工大学石油化工学院, 兰州 730050)

摘要: 通过改变砂样中的粘土矿物的种类和含量, 结合咸淡水之间的单一和驱替实验, 研究不同粘土矿物的水敏性特征。在单一的咸水和淡水情况下, 当砂柱中的粘粒含量 1.5 % (重量比) 时, 其渗透系数基本不发生改变, 即使粘粒含量从 1.5 % 增加 10 %, 其渗透系数也仅下降约一个数量级。各种粘土矿物中, 蒙脱石导致含水介质渗透系数的下降最为明显, 高岭土和伊利石约是其影响值的一半。咸淡水驱替实验中, 加入蒙脱石颗粒的砂柱的渗透系数急剧下降, 当蒙脱石含量达 3 ~ 4 % 时, 渗透系数已经下降的极低, 可以看作不透水层, 而加入高岭土和伊利石的砂柱的渗透系数没有急剧变化。对于这种现象的解释是: 不同类型的粘土颗粒吸附不同数量的水分子, 形成数量和大小不同的胶体团, 使得介质渗透系数的变化量不同。

关键词: 粘土矿物; 水敏性; 驱替实验; 渗透系数

中图分类号: X523; P642. 16⁺ 1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665 (2008) 01-0080-03

1 引言

水敏性是指不同盐浓度的溶液在含有粘土矿物或其它胶体颗粒的含水介质中发生相互驱替时, 含水介质渗透性下降的现象。对于滨海地区的含水层, 地下咸淡水界面带的导水特征是对其进行评价的重要指标。前人研究表明, 当淡水和海水流过该含水层时, 可能会影响或改变不同组分砂层的渗透系数 (H. C.)^[1]。同时, 这一现象在灌溉和油气开采过程中引起的一些问题也被深入地研究过^[2~5]。结论是: 当入渗溶液的盐浓度降低时, 砂层的渗透系数就会下降, 即所谓的水敏性。

对于含不同类型粘土矿物的多孔介质, 渗透系数的变化主要取决于粘土组分导致的絮凝和反絮凝过程^[6]。不同的研究者通过大量的试验验证了不同类型和含量的粘土矿物对于含水层 (咸淡水界面) 渗透性影响的重要性。本文就是为了研究咸淡水界面区含水砂层中, 不同类型粘土矿物在不同含量情况下的水敏性, 为在该地区建立低渗透帷幕或人工地下防渗墙, 防治海水入侵提供一定的科学依据。

2 试验材料与方法

2.1 实验材料

收稿日期: 2007-01-04; 修订日期: 2007-04-06

基金项目: 国家自然科学基金 (40572142)

作者简介: 韩志勇 (1976-), 男, 博士, 助教, 水资源与水污染控制。

E-mail: hanzhy_009@sina.com

2.1.1 砂样

本试验所用的砂取自距胶州湾海岸约 18km 处, 咸淡水过渡带边缘的地下砂层。

粒度分析实验表明, 砂样中粒径小于 1mm 的部分占总量的 89.58 %, 小于 0.05mm 的粉粒部分占总量的 7.63 %, 0.001mm 以下的细粘粒仅占 0.79 % (图 1)。

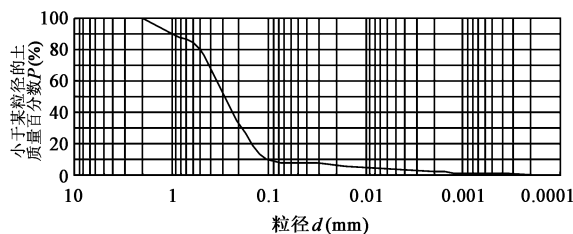


图1 供试砂样粒度分析结果

Fig.1 Grain size analysis of the used sand samples

因为粘土矿物的种类和含量是影响含水介质水敏性的重要因素, 因此对砂样进行 X 射线衍射分析。结果表明, 砂样中所含粘土矿物为伊利石、高岭石、绿泥石和蒙脱石, 其中伊利石约占粘性颗粒总量的 84 %, 高岭石和绿泥石含量约为 15 %, 膨胀性蒙脱石含量约为 1 % (图 2)。

2.1.2 水样

实验用水有: 地下水和海水。地下水取自砂样样点附近, 海水取自青岛石老人海水浴场。试验前, 海水和地下水需用真空抽滤泵进行抽滤, 以去除杂质的影响。其主要化学成分和性质如表 1。

2.2 实验方法

取上述砂样, 按照: 0 %、1.5 %、2 %、3 %、4 %、5 %、

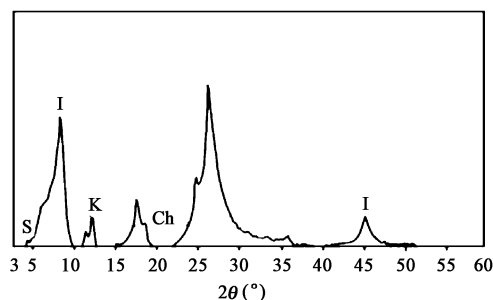


图2 砂样粘粒 X射线衍射图谱

Fig.2 X Ray diffraction patterns of the particles in the sand samples

表1 供试水样化学成分分析结果(单位:mg/L)

Table 1 Chemical compositions of used water samples(mg/L)

项目	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	EC(μs/cm)
海水	8 534.78	418.09	289.30	1 094.98	18 220.7	2 779	165	48 500
地下水	69.40	6.35	56.46	14.34	121.77	131.46	87.69	676

首先向砂柱通入海水,当流出液的流量和电导值稳定之后,改用天然地下淡水淋洗进行驱替试验。实验过程中测定流出液体积、水头损失和电导率变化,并计算渗透系数。

3 结果分析与讨论

3.1 结果分析

不同粘土-砂混合体系在连续饱和的海水和地下淡水淋洗过程中,其渗透系数的变化值如图3所示。

从图中可以看出:

(1)当混合体系中的粘性颗粒的含量(重量)小于1.5%时,通入海水,它们之间的渗透性并没有发生明显的变化。跟蒙脱石土柱渗透性相比,伊利石和高岭土与砂的混合土柱体渗透系数的降低非常微小,约是其前者下降值的一半。当蒙脱石含量从1.5%增加到7.5%时,渗透系数下降了略大于一个数量级。

(2)当用地下淡水驱替砂柱中的海水时,蒙脱石-砂混合体系的渗透系数急剧下降,变化幅度并随着粘土矿物(蒙脱石)含量的升高而升高(图3)。砂柱中蒙脱石矿物含量为5%和7.5%时,其渗透系数分别下降到 1×10^{-7} 和0cm/s。而用淡水进行淋洗伊利石-砂体系和高岭土-砂体系时,渗透系数并没有发生较明显的下降。

(3)在蒙脱石含量为1.5%的砂柱中,在咸淡水相互驱替过程中,其渗透系数的变化值(从0.01到0.002cm/s),相当于含伊利石8%和含高岭土10%的砂

7.5%、10%的比例(重量比)加入高岭土并混合均匀。另取同样砂样按上述比例分别加入蒙脱石和伊利石。然后将砂与单一粘土矿物混合样分别装入长25cm,直径为2.8cm有机玻璃管中,同时用Vortex-Genie振动装置轻轻振摇,到完全混合均匀为止,此时土柱的密度在 1.57g/cm^3 左右。将装好的土柱水平放置,保持砂柱入水口的水头高度为30cm。将所有土柱与供水容器相连(3组平行样,两用一备),要求水流同时流入柱体内以保证试验条件的统一性。实验中,用直径0.5cm,容量10mL和直径1cm,容量25mL的试管收集通过土柱后的流出液。

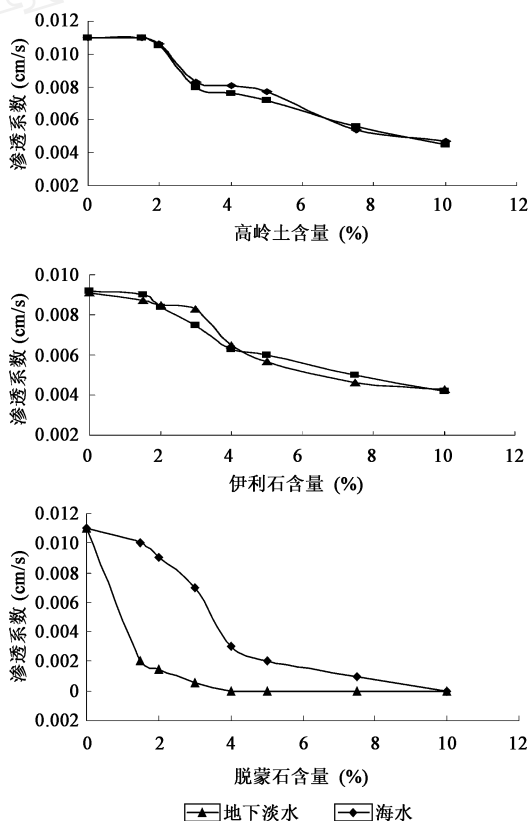


图3 海水和地下淡水淋洗高岭土-砂、伊利石-砂和蒙脱石-砂体系的渗透性变化

Fig.3 Changes of the H.C. in the kaoline-sand, illite-sand and smectite-sand systems filtered by sea water and groundwater

柱渗透系数的变化效果。

3.2 讨论

由实验结果可知,含水砂层中,粘土矿物的类型和数量对其渗透性影响极大。少量的伊利石和高岭土矿物不会对砂层的渗透系数产生大的影响,但是对于蒙脱石来说却不同,即使量很少,也会导致砂层渗透性产生很大变化。当砂层中的蒙脱石含量达到或超过4%时,其渗透系数下降将会更加迅速,当用地下淡水驱替土柱中的海水时,渗透系数将会达到 10^{-6} cm/s,甚至更低。这些数据表明,含水砂层被海水和淡水先后淋洗之后,其渗透性将会大大降低。

导致蒙脱石、高岭土和伊利石对土-水系统渗透系数产生不同影响的根本原因是它们的晶体结构不同^[7]。在试验的第一阶段,粘土矿物的加入减少了砂层的孔隙体积,导致其渗透系数下降,砂层中粘土的成分越多,则渗透系数就越低。研究发现,在一级配良好,含有高岭土、伊利石和伊利石-蒙脱石混合物的砂-石系统中,相对于气体来说,液体在其中的传导性下降比气体更加明显,达到了30%~70%,X光和电镜分析显示,高岭土大都离散开并松散的附着在孔隙壁上,或作为粒间的填充物^[8]。在高岭土-砂混合体系中,直径12 μ m左右的单个粘粒可随水流自由通过并迁移,而20 μ m左右的粘粒则多形成卷状或积聚起来,进入骨架颗粒的连接处的孔隙(架桥作用),成为土体骨架的一部分。以上作用使得实际过水断面面积减小,表现为砂柱渗透性下降,称为动态渗透系数下降。伊利石和伊利石-蒙脱石的混合体则大多成为颗粒连接体,它们紧紧粘附于颗粒壁上,形成一连续和紧密联系的粘粒“外衣”,当水进入这一砂-粘土系统时,每一个粘土颗粒周围会吸附并形成一层水膜,从而产生静态的渗透系数下降^[8]。但是,由于晶体结构不同,蒙脱石和伊利石形成水膜的厚度不同,故蒙脱石导致的静态渗透系数下降效果更明显。同时,对于反应性的粘土颗粒(蒙脱石),在淡水淋洗海水过程会引起晶体膨胀和絮凝作用,导致粘土胶团体积变大,形成了具有宾汉屈服值的大胶团,使得含水介质呈现对数级的动态渗透性下降,这也是蒙脱石-砂体系水敏性大大超过伊利石-砂体系和高岭土-砂体系原因^[9]。

4 结论

- (1) 不同粘土矿物引起咸淡水界面水敏性的强弱不一,从强到弱依次是:蒙脱石、伊利石和高岭土;
- (2) 蒙脱石、伊利石和高岭土引起水敏性的机理有

所不同:蒙脱石和伊利石可同时导致静态和动态的渗透性下降,且蒙脱石引起的静态渗透性下降值比伊利石要高的多,而高岭土仅仅引起动态的渗透性下降;

(3) 不同粘性矿物导致水敏性的主要原因仍然是动态的渗透性下降,由于蒙脱石独特的膨胀性和反应性,其水敏性效果远远大于其它粘性矿物。

(4) 在咸淡水界面含水层中,加入含量3%~4%(重量比)蒙脱石,可产生一个不透水带或低渗透帷幕,从而可有效防止海水入侵。

参考文献:

- [1] L C Goldenberg, M Magaritz. Experimental investigation on irreversible changes of hydraulic conductivity on the seawater-freshwater interface in coastal aquifer[J]. Water Resources Research, 1983, 19(1): 77-85.
- [2] K Mohan, R N Vaidya, M G Reed etc. Water sensitivity of sandstones containing swelling and non swelling clays [J]. Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects, 1993, 73:237-254.
- [3] Mukvi M Sharma, Habib Chamoun, Sita Rama Sama D S H etc. Factors controlling the hydrodynamic detachment of particles from surfaces [J]. Journal of colloid and interface science, 1992, 149(1):31.
- [4] Khilar K C, Fogler H S. Migrations of fines in porous media [M]. The Netherlands: Kluwer Academic publishers, 1998.
- [5] Shainberg I, Pupisky H. Salt Effects on the Hydraulic Conductivity of a Sandy Soil [J]. Soil Science Society of America Journal, 2002, 43:429-433.
- [6] Golimund *et al.* Transport of in situ mobilized colloidal particles in packed soil columns [J]. Environmental Science and Technology, 1998, 32(22):3562-3569.
- [7] Ryan J N, Elimelech M. Colloid mobilization and transport in groundwater [J]. Colloids Surf. A., 1996 (107):1-56.
- [8] Bunn A R. Mobilization of Natural Colloids from an Iron Oxide Coated Sand Aquifer: Effect of pH and Ionic Strength [J]. Environment Science and Technology, 2002, 36:314-322.
- [9] Gomis Yagues V, boluda Botella N, Ruiz Bevia F. Gypsum precipitation/dissolution as an explanation of the decrease of sulphate concentration during seawater intrusion[J]. Journal of Hydrology, 2000, 28(1):48-55.

(下转第89页)

统环境演化及污染敏感性研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004.

- [8] 毕二平, 母海东, 陈宗宇, 等. 人类活动对河北平原地下水水质演化的影响[J]. 地球学报, 2001, 22

(4): 365 - 368.

- [9] 武选民, 文冬光, 吴登定, 等. 我国主要平原盆地地下水资源可持续利用的几点思考[J]. 水文地质工程地质, 2005, 32(6): 96 - 99.

A study of zonality of hydrochemistry of groundwater in unconsolidated sediments in Datong Basin

SU Chun-li, WANG Yan-xin

(Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: By analyzing hydrochemical data of groundwater in the unconsolidated sediments collected in 2004, it is found that hydrochemical features of groundwater are well accordant with the hydrodynamic zones in the Datong Basin. From the mountain area to the basin groundwater flows through the recharge, subsurface runoff area and discharge area, and groundwater is dominated by HCO_3^- type, $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-}$ type, and $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{Cl}^-$ type water, respectively. Compared to groundwater in the medium-deep-seated aquifers, the major constituents groundwater in the shallow aquifers, which is characterized by more complex hydrochemical types to a greater degree because of intensive evapotranspiration owing to high groundwater level and arid climate from the mountain area to the basin area, and contamination induced by human activities. The quality of shallow groundwater tends to be better except the central part of the Datong Basin; while the quality of groundwater in the medium-deep-seated aquifers generally does not changes significantly.

Key words: groundwater in unconsolidated sediments; hydrochemical types; hydrochemical zonality; Datong Basin
责任编辑:王宏

(上接第 82 页)

Water sensitivity characters of different clay minerals

HAN Zhi-yong¹, ZHENG Xi-lai¹, CHEN Ji-hong²

- (1. College of Environmental Science and Engineering, China Ocean University, Qingdao 266003, China;
2. College of Petrochemical Technology, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: By changing the kind and content of clay mineral in the sand, associating with the simplex and replacing experiments for saline and fresh water, the water sensitivity characters of different clay minerals are studied in this paper. For the simplex fluid (saline or fresh water), the hydraulic conductivities of sand columns don't decrease when the content of any clay mineral is under 1.5% (weight ratio), and only decrease by one digital grade even the content increases to 10% (weight ratio). The hydraulic conductivities of the sand columns containing smectite decrease more obviously than others containing kaoline and illite, whose decreasing extent is about 50% of the former's. The result of the replacing experiment indicates that the hydraulic conductivities of the sand columns containing smectite decrease sharply, and the hydraulic conductivity is so low that the sand columns can be regarded as an impenetrable layer, but the other columns' hydraulic conductivity don't decrease greatly. The reason for this phenomenon is that the different clay minerals adsorb different quantity of water molecules and form to different quantity and size colloid agglomerates which bring on different varieties of the hydraulic conductivity.

Key words: clay mineral; water sensitivity; replacing experiment; hydraulic conductivity

责任编辑:王宏