

# 滨海含水介质胶体释放的粒度和动电性质表征

吴锦兰 李海明 王 博 贾晓玉

(天津科技大学海洋科学与工程学院 天津 300457)

**摘要** :为了研究滨海地区含水介质胶体在不同水动力条件下的释放规律 ,在野外调查的基础上 ,采用室内土柱实验研究不同水力梯度下胶体释放的动态特征 ,同时表征了释放胶体的粒径分布、 $\zeta$  电位和电泳淌度。结果表明 随着水力梯度的增大 释放胶体浓度逐渐增大 ,到水力梯度为 10 时突增达到峰值 ,随后浓度逐渐降低 ,变化幅度小 ,胶体累积释放量随着孔隙体积数的增大呈线性增长 ,不同水力梯度下增长幅度不同 ,在低水力梯度下粒径小的胶体优先释放出来 ,胶体的  $\zeta$  电位、电泳淌度大多数为正 ,而在高水力梯度下粒径大的颗粒也会释放出来 ,胶体的  $\zeta$  电位、电泳淌度大多数为负。

**关键词** 滨海地区 胶体释放 粒度 动电性质 水力梯度

中图分类号 :X131.2 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2009)03-0018-04

## Characteristics of particle size and electrokinetic properties of colloid release in coastal water-bearing media

WU Jin-lan , LI Hai-ming , WANG Bo , JIA Xiao-yu

( College of Marine Science and Engineering , Tianjin University of Science and Technology , Tianjin 300457 , China )

**Abstract** :In order to investigate the release law of colloid in coastal water-bearing media under different hydrodynamic conditions , on the basis of field investigation , column experiments were conducted to study the characteristics of colloid release under different hydrodynamic gradients. Moreover , the particle size distribution ,  $\zeta$  potential and electrophoretic mobility of released colloid were discussed. The results show that the concentration of colloid release increased gradually with the increase of hydraulic gradients , and reached a maximum at a hydraulic gradient of 10. Then the concentration decreased gradually with little range of variation. The cumulative capability of colloid release increased linearly with the increase of pore volume number , and the extent of increase was different at different hydraulic gradients. The small size of the colloid particle , for which the  $\zeta$  potential and electrophoretic mobility were mostly positive , was released preferentially at the low hydraulic gradients , while the large size of colloid particles was also released at high hydraulic gradients when the  $\zeta$  potential and electrophoretic mobility were negative.

**Key words** :coastal region ; colloid release ; particle size ; electrokinetic properties ; hydraulic gradient

大多数天然多孔含水介质都含有胶体颗粒。胶体是指一些大分子或粒径范围在 1 ~ 1 000 nm 的颗粒 ,如黏土矿物、金属氧化物、细菌、病毒和有机大分子等<sup>[1-3]</sup>。胶体的产生、运动和随之发生的迁移可以解释地下水中多孔含水介质的结构变化、堵塞、胶体促使下污染物的迁移等现象<sup>[4-5]</sup>。胶体的释放已经存在于天然的多孔含水介质中(表层土壤、含水层和

岩层) ,可以通过改变化学条件如离子强度、pH 值和钠离子的吸附比( SAR )来促使胶体释放<sup>[6]</sup>。Amirtharajah 等<sup>[7]</sup>研究了沉积物中胶体颗粒的分离 ,结果表明 随着水中离子强度的增大 ,胶体释放效率降低。Ryan 等<sup>[8]</sup>研究了赤铁矿-石英系统中胶体的释放 ,结果表明在离子强度较低、流速较大的条件下 ,胶体更容易释放。Blume 等<sup>[9]</sup>研究了均一沙土

和不同种类沉积物中胶体释放的临界盐浓度 (CSC),结果表明沉积物的 CSC 大于沙土的。Grolimund 等<sup>10</sup>的研究结果表明,胶体释放与多孔介质中二价离子的相对饱和度密切相关,当多孔介质完全由单价离子饱和时,胶体释放速率快,但饱和离子为二价时,胶体释放很少,可以忽略不计。

胶体释放是影响污染物在含水介质中迁移的重要因素之一。本文通过室内土柱实验,确定了不同水力条件下滨海含水介质中胶体的释放规律,同时分析了释放胶体颗粒的粒径范围及其动电性质。研究结果对准确描述胶体促使污染物在地下环境中的迁移过程具有重要意义。

1 实验材料和方法

1.1 实验材料

某滨海地区含水介质盐分和胶体含量高,碱性大,以细颗粒为主。实验用土取自该滨海地区具有代表性的天然粉土。土样经风干、压碎、过 60 目筛后备用。用常规方法测得土样的密度为 2.61 g/cm<sup>3</sup>,孔隙度为 0.32,有机质质量分数为 0.5817%,pH 值为 8~9。

1.2 胶体浓度的测定

由于浊度和胶体浓度之间存在一定关系,因此通过测定溶液的浊度可以计算该溶液的胶体浓度。

a. 标准曲线的绘制:分别吸取 2 mL、4 mL、5 mL、6 mL、8 mL 和 10 mL 已知浓度的胶体溶液于 25 mL 比色管中,加水至 10 mL 标线,混匀,测定其浊度。由测得的浊度绘制胶体浓度与浊度的标准曲线(图 1),胶体溶液的浓度通过重量法测定。

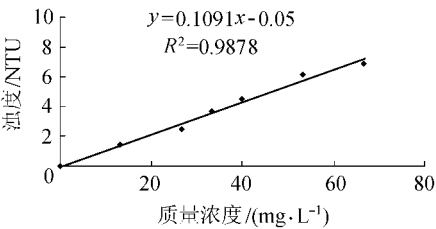


图 1 胶体浓度与浊度的标准曲线

b. 测定实际样品溶液的浊度:根据标准曲线计算胶体浓度。

1.3 胶体粒度和动电性质的测定

本次实验对胶体的粒度特征和动电性质进行了测定。所用仪器为 Brookhaven 仪器公司生产的 90Plus/BI—MAS 激光粒度分析仪 (particle size analyzer),可以自动检测悬浮液中小颗粒物或溶液中的高分子物质和较大的颗粒物。粒度分析仪所测粒径范围为 2 nm~3 μm,精确度为 ±1%,重复性误差为 ±1%,测试时间为每个样品 1~2 min;所测电

位范围为 -150~150 mV,精确度为 ±2%,重复性误差为 ±2%,测试时间为每个样品 1~2 min。

1.4 实验装置及步骤

实验装置采用自己装配的实验仪器,主要由供水瓶、渗流柱和定水头柱等装置组成。渗流柱为内径 3 cm、长 10 cm 的有机玻璃柱,具有进水口和出水口,且进出水口可以交换位置。定水头柱为带有进水口、出水口和泄水口的有机玻璃柱,其上端侧向有一泄水口,起到定水头的作用,使柱内水位一定。定水头柱由铁架台固定,铁架台可以调整水头高度,从而改变水力梯度。由于定水头柱具有一定容积,在供水瓶供水不足时起到缓冲作用,使实验不至于失败。实验装置见图 2。

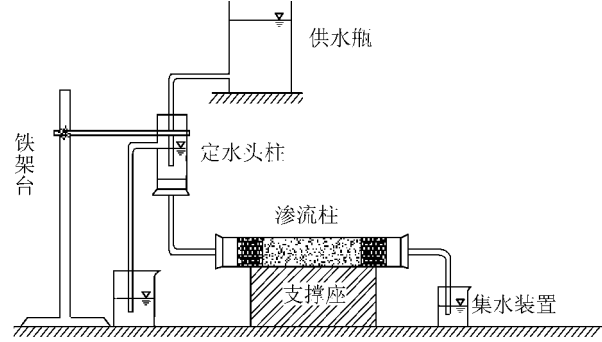


图 2 实验装置

测试土体两端用粗粒石英砂做垫层,石英砂事先用蒸馏水清洗干净,以便消除对出水浊度的影响,测试土体与垫层之间用尼龙网分开。根据土体长度和土样密度计算装填粉土质量,分段装填,并用玻璃棒扎实,使装填后的粉土孔隙度与天然状态保持一致。渗流柱装好后,用胶皮管将渗流柱与定水头缓冲柱连接。考虑到 pH 值和离子强度对胶体释放的影响,实验采用 pH<2、质量浓度为 10 g/L 的 NaCl 溶液,在逐步增大水力梯度时,淋滤渗流柱。实验过程中记录水头差、取样时间及出流体积,并测定浊度和胶体粒度及表面电性。当在高水力梯度下,胶体释放浓度很低、变化幅度很小时,实验停止。

2 实验结果与讨论

2.1 不同水力梯度下含水介质胶体释放的动态特征

图 3 表示水力梯度  $I$  为 2、5、8、10 和 12 时,含水介质胶体释放的动态特征。从图 3 可以看出,水力梯度为 2 时,已经有胶体释放,但释放质量浓度很小,为 0~17 mg/L,平均 11.2 mg/L。当水力梯度增大到 5 和 8 的时候,胶体释放的质量浓度有所增加,范围分别为 7~39 mg/L 和 12~87 mg/L,平均质量浓度分别为 21.8 mg/L 和 32.1 mg/L。这是因为随着水

力梯度的增大,通过渗流柱的渗透流速也变大,使得胶体与固体颗粒之间的剪切力增大,因此含水介质中的胶体颗粒释放出来,胶体浓度增加。当水力梯度增大到 10 时,胶体释放浓度剧增,达到峰值 240.6 mg/L,然后随着孔隙体积数的增加而逐渐减小。当水力梯度继续增大到 12 时,胶体浓度也随孔隙体积数的增加先增高后减小,但增长幅度较小。

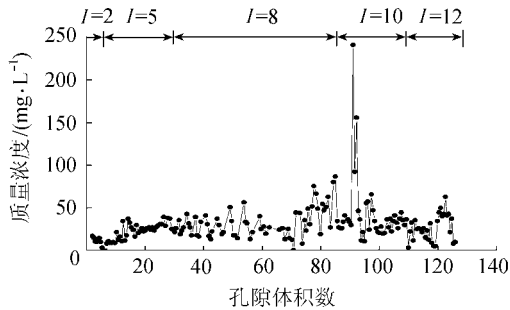


图 3 含水介质胶体释放曲线

2.2 不同水力梯度下含水介质胶体累积释放量

图 4 表示的是在不同水力梯度下,胶体累积释放量随孔隙体积数的变化曲线。表 1 表示不同区间内累积释放量与孔隙体积数拟合方程。由图 4 和表 1 可见,当水力梯度为 2 时,拟合曲线斜率为 0.345 7,表明胶体释放量的增加非常缓慢;当水力梯度达到 5 时增长较快,斜率从 0.250 7 变化到 0.613 2;当水力梯度为 8 时,胶体累积释放量经历了“开始增长—平缓—快速增长”3 个阶段,增长速率越来越快;当水力梯度为 10 时,胶体累积释放量曲线斜率从 0.746 8 变化到 3.653 5,再变到 0.745 7,中间有突变阶段,这是由于胶体释放浓度突增导致;当水力梯度增加到 12 时,胶体累积释放量增长速率也越来越快。

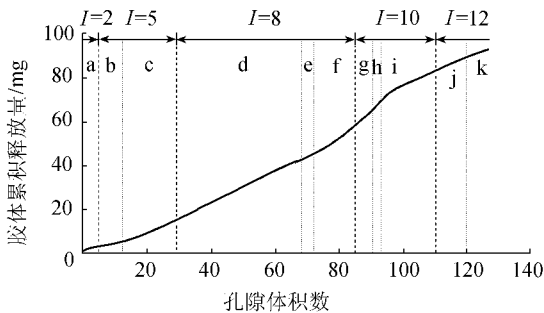


图 4 胶体累积释放量随孔隙体积数的变化曲线

整体来说,随着水力梯度的提高,胶体累积释放量的增长速率加快,呈线性增长,这说明水力梯度对胶体释放的影响很大。

2.3 释放胶体的粒径分布和动电性质

本实验在不同水力梯度下,选取具有代表性的样品进行了胶体粒度、 $\zeta$  电位和电泳淌度的表征,结果见表 2。由表 2 可见,以水力梯度 10 为界,当水力

表 1 不同区间胶体累积释放量曲线方程

水力梯度	区间编号	方程式	相关系数 $R$
2	a	$y = 0.3457x + 1.7037$	0.958
	b	$y = 0.2507x + 1.7277$	0.987
5	c	$y = 0.6132x - 2.7524$	0.997
	d	$y = 0.7325x - 6.0749$	0.999
8	e	$y = 0.4614x + 11.35$	0.899
	f	$y = 1.0769x - 33.49$	0.995
10	g	$y = 0.7468x - 4.3096$	0.998
	h	$y = 3.6535x - 266.32$	0.984
	i	$y = 0.7457x + 1.8621$	0.997
	j	$y = 0.5113x + 27.51$	0.994
	k	$y = 0.8965x - 18.743$	0.988

表 2 不同水力梯度下胶体的粒径及表面电性

水力梯度	胶体溶液质量浓度/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	粒径范围/ nm	平均粒径/ nm	$\zeta$ 电位/ mV	电泳淌度/ ( $\text{cm} \cdot \mu\text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$ )
2	25.2	< 2	1.6	0.72	0.05
	9.6	< 2	0.2	0	0
	3.2	< 2	0	-0.10	-0.01
5	7.8	< 2	0	0	0
	30.7	< 2	0	0.91	0.06
8	21.5	< 2	0	1.51	0.11
	40.8	< 2	0.8	0.76	0.05
	34.4	< 2	0	0.80	0.06
	28.0	< 2	0	0.79	0.06
	44.5	< 2	0.6	0	0
	86.6	< 2	0	0	0
10	240.6	189.8 ~ 3852.9	855.2	-0.17	-0.01
	155.4	17.4 ~ 2304.7	200.3	2.07	0.15
	65.5	554.6 ~ 699.7	622.9	-1.35	-0.10
	36.2	2.3 ~ 80.5	13.6	-0.77	-0.05
12	36.2	162.3 ~ 1870.8	551.0	0.02	0
	32.5	1019.9 ~ 6254.7	2525.7	-1.61	-0.11
	12.4	1208.1 ~ 3773.2	2135.0	0.75	0.05
	62.8	525.5 ~ 3554.4	1366.7	0	0

梯度小于该值时,颗粒小的胶体优先释放出来,胶体粒径范围一般小于 2 nm,平均粒径小于 1 nm,且电位和电泳淌度大多数为正;而当水力梯度为 10 时,释放出来的胶体颗粒较大,其粒径范围为 2.3 ~ 3852.9 nm,平均为 557.4 nm,电位和电泳淌度大多数为负;当水力梯度大于 10 时,释放出来的颗粒粒径为 525.5 ~ 6254.7 nm,平均为 2000 nm,其电位和电泳淌度也大多数为负。

从实验结果可以看出,粒径小的胶体,其电位和电泳淌度大多数为正,较容易被释放,当水力梯度很小时就能释放出来,较大粒径的胶体,其电位和电泳淌度大多数为负,不容易释放,然而当水力梯度增大到一定时,粒径大的胶体也会释放出来。这是因为随着水力梯度的增大,胶体与固体颗粒之间的剪切力增大,此时粒径大的胶体也会释放出来。

3 结 论

a. 不同水力梯度下含水介质胶体释放的规律

表现为 随着水力梯度的加大 ,胶体释放浓度也增大 ,当水力梯度为 10 时 ,胶体释放浓度剧增 ,随后浓度逐渐降低。

b. 随着孔隙体积数的增加 ,胶体累积释放量呈线性增长 ,不同水力梯度增长幅度不同 ,水力梯度为 2 时增长速度最慢 ,在水力梯度大于 10 时增长速度最快。

c. 在低水力梯度下 ,粒径小的胶体优先释放出来 ,胶体粒径普遍小于 2 nm ;而当水力梯度大于 10 时 ,释放出来的颗粒较大 ,其平均粒径范围为几百到几千纳米。

d. 当水力梯度较小时 ,释放出小颗粒胶体 ,其电位和电泳淌度大多数为正 ,而水力梯度增加到 10 时 ,释放出大颗粒胶体 ,其电位和淌度大多数为负。

参考文献 :

[ 1 ] RYAN J N ,ELIMELECH M. Colloid mobilization and transport in groundwater[ J ]. Colloids and Surfaces A :Physicochemical and Engineering Aspects ,1996 ,107 :1-56.  
[ 2 ] 刘庆玲 ,徐绍辉. 地下水中胶体促使下污染物运移研究进展[ J ].土壤 ,2005 ,37( 2 ) :129-135.  
[ 3 ] SEN T K ,SHANBHAG S ,KHILAR K C. Subsurface colloids in groundwater contamination : a mathematical mode[ J ]. Colloids and Surfaces A : Physicochemical and Engineering Aspects , 2004 ,232 :29-38.

[ 4 ] GROLIMUND D ,ELIMELECH M ,BORKOVEC M ,et al. Transport of in situ mobilized colloidal particles in packed soil column[ J ]. Environmental Science and Technology ,1998 ,32 ( 22 ) 3562-3569.  
[ 5 ] SAIERS J E ,HORNBERGER G M. The influence of ionic strength on the facilitated transport of cesium by kaolinite colloid[ J ]. Water Resources Research ,1999 ,35 :713 -727.  
[ 6 ] ROY S B ,DZOMBAK D A. Colloid release and transport process in natural and model porous media[ J ]. Colloids and Surfaces A :Physicochemical and Engineering Aspects ,1996 , 107 245-262.  
[ 7 ] AMIRTHARAJAH A ,RAVEENDRAN P. Detachment of colloids from sediments and sand grains[ J ]. Colloids and Surfaces A : Physicochemical and Engineering Aspects ,1993 , 73 211-227.  
[ 8 ] RYAN J N ,GSCHWEND P M. Effects of ionic strength and flow rate on colloid release :relating kinetics to intersurface potential energy[ J ]. Colloid Interface Science ,1994 ,164 :21-34.  
[ 9 ] BLUME T ,WEISBROD N ,SELKER J S. On the critical salt concentrations for particle detachment in homogeneous sand and heterogeneous Hanford sediments[ J ]. Geoderma ,2005 ,124 : 121-132.  
[ 10 ] GROLIMUND D ,BORKOVEC M. Release of colloidal particles in natural porous media by monovalent and divalent cation[ J ]. Journal of Contaminant Hydrology ,2006 ,87 :155-175.

( 收稿日期 2008-04-14 编辑 徐娟 )

《水资源保护》征订启事

全国中文核心期刊 中国科技核心期刊

《水资源保护》是河海大学和环境水利研究会主办的科学技术期刊 ,创刊于 1985 年 ,双月刊 ,96 页 ,国内外公开发行 ,国内统一连续出版物号 :CN32-1356/TV。现为全国中文核心期刊、中国科技核心期刊和江苏省一级期刊。

《水资源保护》主要刊登与水资源保护有关的基础研究 ,应用技术 ,工程措施 ,综合述评 ,专题讲座 ,国外动态 ,书刊评介 ,科技简讯 ,水资源管理、评价、监测、优化配置 ,节水技术 ,水环境污染控制等方面的文章。近年来 ,重点关注与水有关的生态环境领域中的研究方向 ,新增设相关的基础研究、防治技术、城市水环境治理等内容。

主要读者对象 :全国从事与水资源保护工作有关的工程技术人员、科研人员、管理干部以及大专院校的师生。

《水资源保护》邮发代号 28-298 ,双月刊 ,8 元/期 ,全年 48 元 ,每逢单月 30 日出版。可在全国各地邮局订阅 ,也可直接与编辑部联系。

编辑部地址 210098 南京市西康路 1 号 河海大学《水资源保护》编辑部  
电话 ( 025 )83786642  
传真 ( 025 )83786642  
E-mail :bh@hhu.edu.cn