

表面物化性质对均质滤料过滤性能的影响

李冬梅^{1,3}, 金伟如², 金同轨³

(1. 广东工业大学 建设学院, 广东 广州 510643;

2. 深圳市水务(集团)有限公司 福田分公司, 广东 深圳 518031;

3. 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 悬浮颗粒和滤料表面 ζ 电位的变化能使悬浮颗粒和滤料表面的物化性质得到改变, 显著改善了滤料过滤性能. 实验表明, 各种水处理药剂对颗粒表面的 ζ 电位值的改变存在最佳值, 过高或过低的 ζ 电位, 滤料的过滤性能差; 当 ζ 电位值达某一值时, 滤池的除浊效果最理想. 当投加阳离子高分子电解质作主混凝剂或助凝剂, 颗粒及滤料表面 ζ 电位将发生逆转或降低, 从而改善了滤池的过滤性能.

关键词: 悬浮颗粒和滤料表面的物化性质; ζ 电位; 均质滤料; 过滤性能

中图分类号: TU991.2

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2004)01-0074-05

均质滤料滤池直接过滤过程是水的混凝与过滤过程的组合. 混凝过程对悬浮颗粒和滤料表面的物化性质起着很重要的作用. 而悬浮颗粒和滤料表面的物化性质的改变对颗粒间的混凝、颗粒在滤床中的沉积、滤床的吸附截留功能有着不可忽略的影响. 表面物化性质包括物理与化学两个方面, O'Melia & Stumm 是这样定义的: 物理方面包括滤料粒径, 滤速, 颗粒粒径, 水温等; 化学方面包括 pH 值, 离子类型, 离子强度, 悬浮颗粒与滤料的表面特性(如表面电荷与表面力, ζ 电位). 投加无机混凝剂与阳离子聚合物对改变悬浮颗粒和滤料表面的物理性质以及表面物理性质对过滤性能的影响已有许多理论与实验研究^[1~4], 而水处理药剂对悬浊质和滤料表面化学性质的改变以及表面化学性质对过滤性能的影响的研究还很不够. 化学性质主要由颗粒及滤料的表面特性(ζ 电位)来表示, 本文从研究悬浮颗粒和滤料表面的 ζ 电位的变化来讨论表面物化性质的改变对均质滤料滤池直接过滤性能的影响, 为改善与提高均质滤料滤池直接过滤性能提供了理论依据.

1 实验装置

实验装置的工艺流程见图 1. 直接过滤工艺滤池前未设沉淀池, 滤池的缓冲能力受到限制, 对水质水量波动的适应性差, 必须仔细监测和控制混凝—过滤过程. 在模型滤池前, 设有美国 Milton Roy 公司产的流动电流仪(SCD), 对这种波动变化情况作出迅速反应, 滤池后设有连续检测散射光浊度仪, 对出水水质作出连续的监测, 能间接反映滤池的过滤行为特征.

2 实验方法

采用微絮凝过滤方法. 原水由自吸式清水泵吸至微絮凝槽, 加药后, 经过 4~8 min 的混合—

收稿日期: 2003-02-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(59778022)

作者简介: 李冬梅(1972-), 女, 讲师, 西安建筑科技大学博士研究生, 主要研究方向为水处理理论与技术.

絮凝后直接送入滤柱入口.原水为高岭土悬浊液和自来水混合人工配制而成.选择的混凝剂及絮凝剂有:无机混凝剂 AS [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$]、PAC [$\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$]、无机混凝剂与阳离子高分子絮凝剂相结合 AS+CP、高分子絮凝剂 CP. CP 包括有: $F_{04240sh} = \text{CP}_1$ (中阳离子型,相对分子质量为 1200×10^4)、 $T_{3010} = \text{CP}_2$ (弱阳离子型,相对分子质量为 $300 \times 10^4 \sim 400 \times 10^4$)、石英砂均质滤料粒径 d_{50} 分别为 0.93 mm、1.35 mm,以下分别称“细砂”和“粗砂”.滤池的水头损失最大值设定为 150 cm,出水浊度穿透标准设定为低于 1NTU,与国内的新规范一致.采用下向流等速变水头过滤,滤速为 6.5~8.5 m/h.

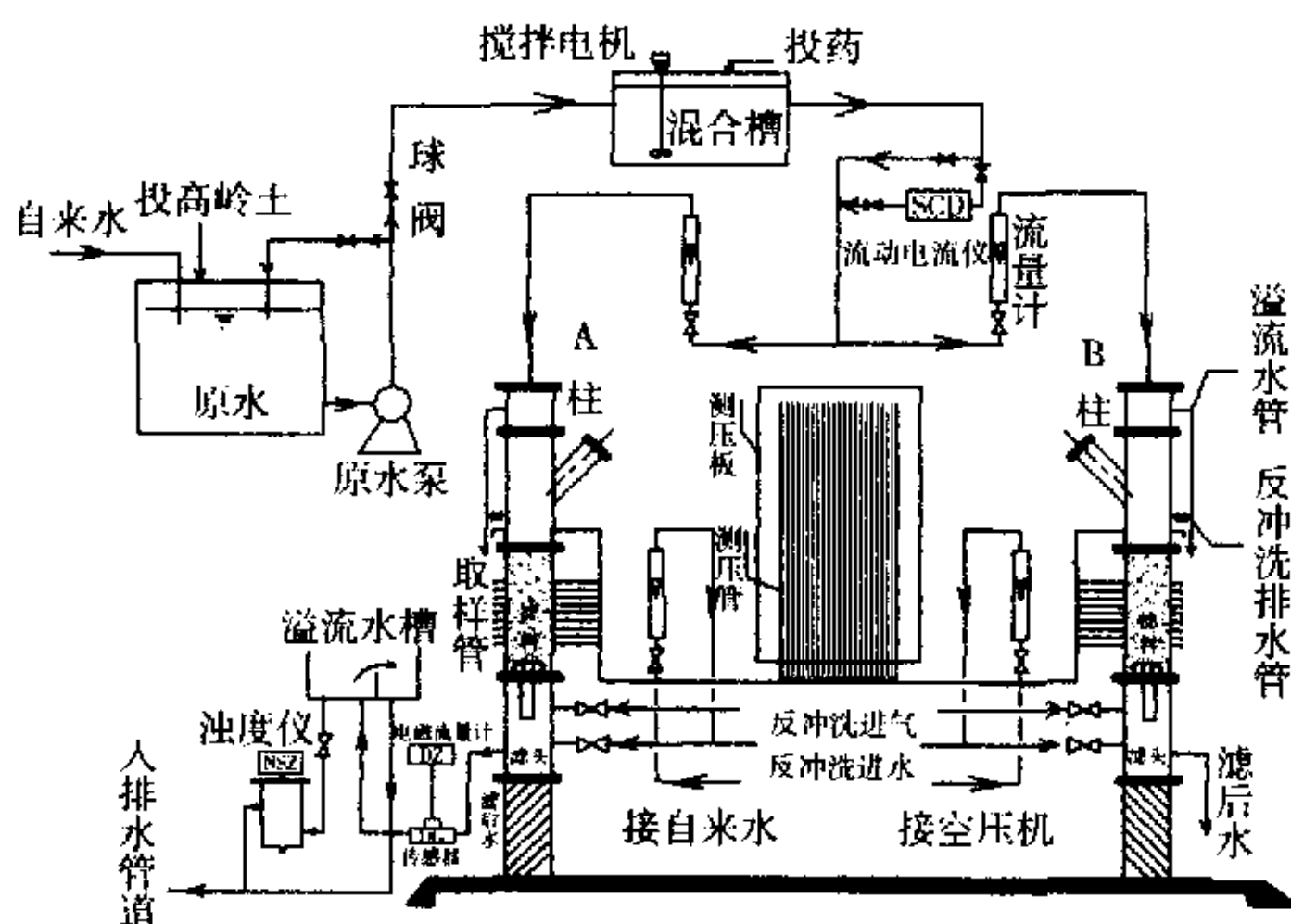


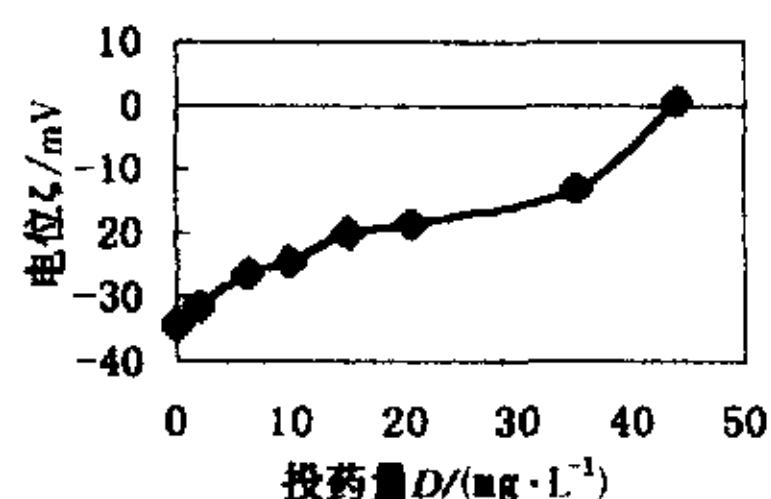
图1 实验装置的工艺流程

3 实验结果及分析

3.1 AS、PAC 对颗粒表面物化性质的改变对过滤性能的影响

由于过滤过程存在着过滤锋^[5,6],过滤锋与降流式固定床吸附塔中前进的“吸附带”^[7]很类似.随着过滤的进行,过滤锋不断下移,直到滤池出水浊度与水头损失达极限值.这里选取最上一个过滤锋来研究悬浮颗粒和滤料表面的 ζ 电位的变化,讨论表面物化性质的变化对均质滤料滤池直接过滤性能的影响.因此,第一阶段主要是薄层实验,采用 15 cm 厚石英砂滤层为实验滤床.

投加 AS 后,AS 的水解带正电荷金属氢氧化物聚合体对原始颗粒的表面特性的影响见图 2.由图 2 可看到,当原水浊度 $C_0 = 20\text{NTU}$ 时,悬浮颗粒表面的 ζ 电位值随 AS 投加量的变化呈现的规律:未投药时,颗粒表面的 ζ 电位值为 -32mV ,逐渐增加 AS 的投加量,悬浮颗粒表面的 ζ 电位值由负变为正.低剂量时, ζ 电位值的上升速度缓慢;当投加量达一定值时, ζ 电位值上升速度加快.因为低剂量时,AS 的水解金属氢氧化物聚合体只是在颗粒表面发生沉积—覆盖作用,不溶性的氢氧化铝聚合体覆盖在高岭土颗粒表面,形成一层明显的粘膜.通过架桥絮凝,表面附有氢氧化铝膜的絮体逐渐长大,原始颗粒表面逐渐被氢氧化铝膜封住,改变了原始颗粒的表面特性.在这个阶段,许多高岭土颗粒仍未发生混凝,已发生混凝的絮粒与未发生混凝的原始颗粒共存,颗粒表面的 ζ 电位值只有微小降低.再增加 AS 投加量,AS 的水解带正电荷金属氢氧化物聚合体浓度增加,只有当增至超过金属氢氧化物聚合体的溶解度极限时,带负电荷的高岭土颗粒表面才会发生电性中和, ζ 电位值降低速度加快,直至颗粒表面所带电荷发生逆转.



$C_0 = 20\text{NTU}$, $\theta = 23.8^\circ\text{C}$, AS

图2 悬浮颗粒表面 ζ 电位随投药量的变化曲线

但随着 ζ 电位值降低,滤池对浊质粒子的最大去除率并非一直增大.较高或较低的 ζ 电位值,滤池的过滤性能均较差,只有当 ζ 电位值降至某一值时,均质滤料滤层具有最佳的除浊效果(见表1).这表明,颗粒表面的 ζ 电位值直接影响着过滤性能.当 ζ 电位值较高时,许多悬浮高

表1 悬浮颗粒表面 ζ 电位值与最大去除率 $E_{\max}$ 间的关系

混凝剂 种类	原水浊度 C_0/NTU	ζ 电位/ mV	平均滤速 $v/(\text{m}\cdot\text{h}^{-1})$	最大去除率 $E_{\max}/\%$	层厚/粒径 $L(\text{mm})/d_m(\text{mm})$
AS	10~11	-26.9	5.0	57.5	150/0.93
AS	10~11	-18.1	5.0	73.7	150/0.93
AS	10~11	-13.6	5.0	72.2	150/0.93
AS	10~11	-10.7	5.0	70.4	150/0.93
PAC	20~21	-19.7	5.0	68.1	150/0.93
PAC	20~21	-10.7	5.0	87.6	150/0.93
PAC	20~21	-9.4	5.0	78.9	150/0.93
CP ₁	50~51	-18.8	10.0	98.2	150/0.93
CP ₁	50~51	-13.7	10.0	98.9	150/0.93

岭土颗粒仍未发生混凝,处于稳定悬浮的状态,仅依靠 AS、PAC 的水解金属氢氧化物聚合体在胶体表面发生沉积—覆盖.这时形成的絮体颗粒粒径小,密度低,易于穿透滤池,电性中和占次要地位.当 ζ 电位值降低至某一值时,原水的药剂投量达最佳. AS、PAC 的水解金属氢氧化物聚合体会迅速被吸附并大量附着在颗粒表面,改变了颗粒的表面特性.此时,形成的絮体颗粒不仅结构密实,而且吸附活性强,易于被均质滤料滤池吸附截留,滤层的截污过滤性能最好.继续降低颗粒表面的 ζ 电位值,脱稳颗粒不断长大,絮体结构变松散,滤池的截污机理以机械筛除为主.随着过滤的进行,滤层孔隙率不断降低,水流剪切力逐渐增大,当密度小且结构松散的絮体进入滤池过滤时,已截留浊质会较快发生剥离而进入滤层下部流出滤池.如果再进一步降低颗粒表面的 ζ 电位值至发生逆转,就有部分或全部胶体再次稳定,颗粒之间的斥力增加,不能互相碰撞聚合.滤层的去除率下降,滤池的过滤性能很差.

3.2 CP 对颗粒及滤料的表面物化性质的改变于过滤性能的影响

投加 CP,既能改变颗粒的表面性质,使悬浊质更易被均质石英砂滤料滤床去除;又能改变石英砂滤料表面的物化性质,使硅砂表面电荷由负转正^[9],即使胶体粒子在低电泳状态也能被砂滤料很好地截留与吸附.在相同条件下做实验,投加适量 CP 作主混凝剂或助凝剂,其除浊效果均优于 AS、PAC(见表2).因为 CP 作为絮凝剂,由于分子链带正电,同性电荷的相互排斥作用使其在水中能较好伸展,利于架桥作用的进行.同时分子链的正电性亦可中和悬浮物和胶体的表面电荷.如先投加 AS、PAC 为主混凝剂,胶体颗粒表面电荷被中和掉一部分,形成的原絮粒与砂粒之间的斥力减弱.再投加 CP 作助凝剂,微粒与砂粒之间由相斥达到相吸,更有利于吸附架桥,微粒更趋于被表面去除.当 CP 投加量合适时,胶体颗粒的正电性会较高,截留后砂粒的表面电荷也要发生变化,会随 CP 投量的增大由负到零再到正变化.此时,高岭土颗粒和石英砂表面电荷均为正,其作用力又变为斥力,水中絮体颗粒易于渗入滤床内部.由于滤床下部石英砂表面电荷仍为负电荷,可继续捕捉高岭土絮体颗粒,滤床的截污能力得到充分发挥.当投加微量 CP 作助凝剂时,过滤后出水浊度可连续九十多小时处于 1NTU 以下.粗砂过滤时,水头损失增长速度合适,

表2 投加 CP 时,悬浮颗粒及滤料表面的物化性质的改变对过滤性能的影响

混凝剂 种类	原水浊度 C_0/NTU	原水水温 $\theta/^\circ\text{C}$	投药量 $D/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	平均滤速 $v/(\text{m}\cdot\text{h}^{-1})$	出水浊度 C_e/NTU		初期水头 损失 h_0/cm	终期水头损 失 h_1/cm	过滤周期 T/min	层厚/粒径 $L(\text{mm})/d_{10}(\text{mm})$
					最小值	均值				
AS	3.9~4.5	6.8~8.5	7.3	8.0	0.35	0.76	28.7	64.6	1160	930/0.93
AS	3.9~4.5	6.8~4.5	7.3	8.0	0.58	0.91	19.7	42.3	480	1350/1.35
PAC	2.9~3.5	6.8~8.5	4.2	8.0	0.1	0.47	69.8	128.8	2520	1350/1.35
PAC	2.9~3.5	6.8~8.5	8.6	8.0	0.03	0.34	73.0	158.7	3750	1350/1.35
PAC+CP ₁	2.3~2.6	5.9~7.8	2.2+0.012	8.0	0.17	0.36	48.7	152.7	3750	930/1.35
PAC+CP ₁	2.3~2.6	5.9~7.8	4.2+0.012	8.0	0.07	0.39	53.0	156.0	5420	1350/1.35
AS+CP ₁	5.8~6.2	8.1~9.9	7.63+0.011	7.8	0.11	0.49	3.98	139.7	2120	930/0.93
AS+CP ₁	5.8~6.2	8.1~9.9	7.47+0.047	8.1	0.13	0.58	48.8	155.2	3680	1350/1.35
CP ₁	4.0~4.4	6.8~9.2	0.17	8.0	0.05	0.34	43.2	145.2	3120	1350/1.35
CP ₂	4.0~4.4	6.8~9.2	0.21	7.9	0.08	0.42	36.8	148.5	3562	1350/1.35

出水浊度与水头损失几乎同时达极限值,截留的浊质量(常用“比沉积量 σ ”表示,比沉积量即单位体积滤层截留的浊质量)能深入滤层过滤,滤池表现出良好的过滤性能(见图3)。但当 CP 的分子量较高(如 CP₁)时,形成的絮体粘附性能很强,滤床不易冲洗干净,因此 CP 的投量必须恰当或选用分子量较低的高分子聚合物 CP₂。

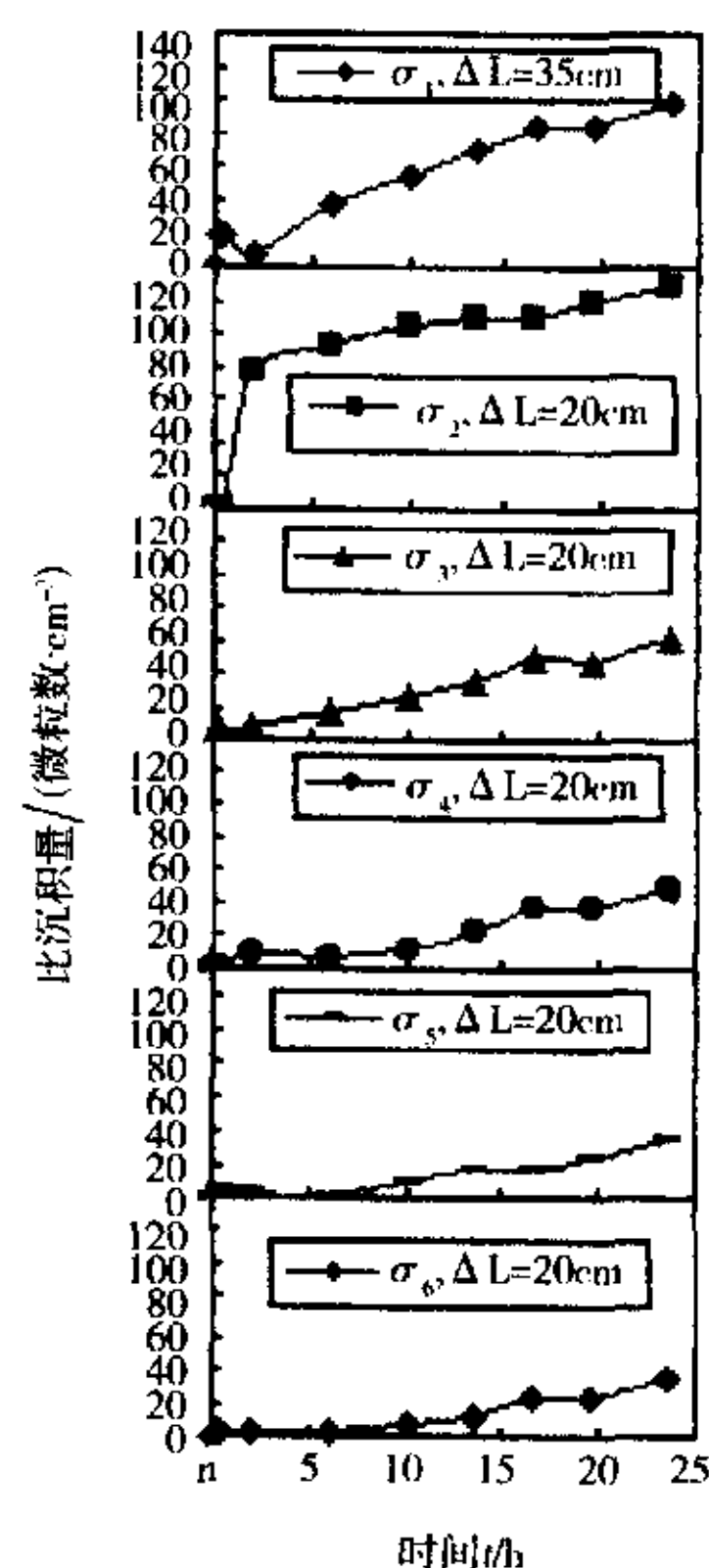
3.3 低温低浊水质对直接过滤性能的影响

低温低浊水难净化的问题一直是水处理界关注的问题,其中难净化的主要原因之一就是悬浮颗粒表面 ζ 电位的变化。实验测得:冬季胶体颗粒的 ζ 电位是夏季的1.5~1.6倍,平均在-40 mV左右。这较高的 ζ 电位值导致胶体颗粒之间的排斥势能较大,而且此时颗粒布朗运动动能减小,水的粘滞系数增大,混凝颗粒表面水化作用增强,更不利于颗粒碰撞而使胶体颗粒脱稳困难。因此,低温低浊水的处理需要加大混凝剂的投药量,使胶体颗粒表面的 ζ 电位值降低或投加 CP 助凝剂来改变颗粒及滤料的表面物化性质,以使均质滤料滤池的低温低浊水处理效果大为改善。

4 结论

(1) AS、PAC 能改变颗粒表面的 ζ 电位值。过高或过低的 ζ 电位值,均质滤料滤池的过滤性能差;当 ζ 电位值达某一值时,滤池的除浊效果最佳。

(2) 投加 CP 作主混凝剂或助凝剂,它能使颗粒及滤料表面 ζ 电位发生逆转或降低 ζ 电位值,从而改善了滤池的过滤性能。粗砂过滤时,滤层的截污能力能得到充分发挥。



$C_0=4.12\text{NTU}$, $\theta=4.8^\circ\text{C}$, $L=135\text{cm}$,
 $d_c=1.35\text{mm}$, $v=8\text{m/h}$, 投加PAC+CP.

图3 比沉积量沿滤层深度随时间的变化规律

(3)测试颗粒表面的 ζ 电位值,为通过增加投药量可改善低温低浊水的处理效果提供了理论依据.

参考文献:

- [1] Susumu Kawamura. Design and Operation Of High-rate Filters[J]. JAWWA, 1999, 91(12): 77.
- [2] S M kAU, D, F Lawler. Dynamics Of Deep - Bed Filtration, Velocity, Depth and Media[J]. JEE, ASCE, 1995, 121(12): 350.
- [3] 栾兆坤, 李桂平, 王曙光. 微絮凝-深床直接过滤及工艺参数研究[J]. 中国给水排水, 2002, 18(4): 14.
- [4] 李冬梅, 金同轨. 直接过滤技术中混凝剂的最佳选择[J]. 广东工业大学学报, 2002, 19(2): 48-54.
- [5] 许保玖. 给水处理理论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. 346-348.
- [6] A Adin, D Sc. Prediction Of Granular Water Filter Performance for Optimum Design[J]. Filtration&Separation, 1978, 12(2): 55-60.
- [7] 张自杰, 林荣忱, 金儒霖. 排水工程下册(第四版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. 492-494.
- [8] N Narkis, B Ghattas, M Rebhun, A j Rubin. The mechanism of flocculation with aluminium salts in combination with polymeric flocculants as flocculant aids[J]. Water Supply, 1991, 9(5): 37-44.
- [9] Hunter R J, Alexander A E. Surface Properties and Flow Behavior Of kaolinite - Part: Flow of kaolinite Sols Through a Sinica Column[J]. Journal Colloid Sci, 1963, 18(3): 846.

Effects of Changing Physicochemical Property of Suspensible Particles and Filter Medium on Filtration Characteristics of Uniform Filter Medium

LI Dong-mei^{1,3}, JIN Wei-ru², JIN Tong-gui³

(1. Faculty of Construction, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510643, China;

2. Futian Branch, Shenzhen Water Affairs(Group)CO., LTD, Shenzhen 518031

3. School of Environmental & Municipal Engineering Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: Physicochemical characters of suspensible particles and filter medium impact on coagulations between particles and deposit of particles inside filter bed, and abilities of adsorption and interception of filter medium layers. The paper studies variation of Zeta potential on the surface suspensible particles and filter medium and discusses effects of changing physicochemical property of suspensible particles and filter medium on direct filtration characteristics.

Key words: Physicochemical property of suspendible and filter medium; Zeta potential; uniform filter medium; filtration characteristics