

高锰酸钾的氧化助凝效能研究

马军^①；李圭白(哈尔滨建筑工程学院)；范萃苓；贾永新(大庆市供水公司)

摘要：通过烧杯搅拌试验及大型生产性试验，探讨了高锰酸钾对地表水的氧化助凝效能。研究结果表明，高锰酸钾对地表水有显著的助凝效果，沉淀后浊度明显降低，具有较大的经济效益。

1 概述

地表水的特征之一是水中含有一定色度，溶解性天然有机物浓度相对较高，一般为几~十几 mg/L。其主要成份为腐植物质、丹宁、木质素、藻类及一些臭味物质。近来很多研究结果表明，天然有机物的存在大大地增加了水中胶体浊质的稳定性〔1〕，例如，据报道如果水中溶解性天然有机物浓度增加 3mg/L(以 TOC 计)，则硫酸铝混凝的有效剂量增加 5.3 倍；若溶解性天然有机物浓度增加 7mg/L，则硫酸铝混凝的有效剂量增加 10.2 倍〔2〕。O'melia 等人报道〔3〕，在溶解性天然有机物存在下，水中无机浊质的凝聚动力学过程，一般不取决于其本身的性质，而主要取决于水中溶解性天然有机物的浓度与性质。一些学者认为〔4〕，胶体稳定性的增加是由于腐植酸等溶解性天然有机物，在无机胶体浊质表面形成一有机涂层(organiccoating)，造成胶体颗粒间的空间阻碍或双电层排斥作用，从而使其保持分散、难于聚结。因此，对于地表水，特别是当水中溶解性天然有机物浓度较高时，要取得良好的混凝效果、保证良好的出水水质，不得不加大混凝剂投量〔5〕，这势必会大大地增加制水成本。

氧化助凝是解决上述问题的常用措施。以往使用的氧化剂主要有氯和臭氧。氯多被用于地表水的预处理，但由于氯化过程中会产生一系列有害的卤代有机物，近来人们纷纷对预氯化助凝提出质疑；臭氧在一定投量下对地表水有助凝作用〔6〕，可使水中有机物电荷密度降至最低，但臭氧投量过高会导致混凝效果下降〔7〕，由于臭氧设备投资较大，一般水厂难于采用。笔者提出采用高锰酸钾对地表水进行氧化助凝，并以几种不同的地表水为研究对象，对其氧化助凝效果进行了探讨。

2 试验过程

2.1 烧杯搅拌试验

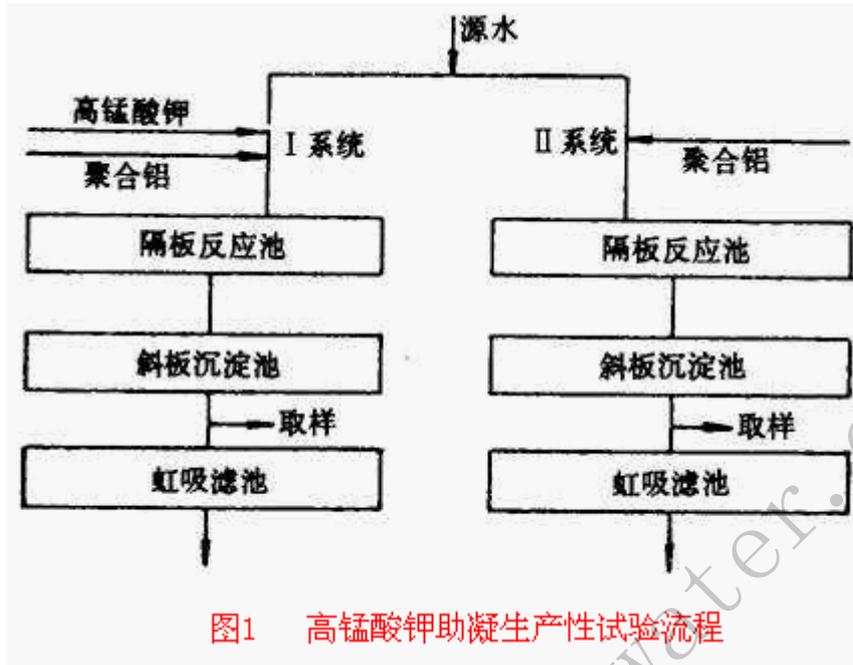
取地表水，静置 2h 后用虹吸法抽取上部水样，移至 1000mL 玻璃烧杯中，用 DBJ-621 六联定时变速搅拌机在室温条件下进行烧杯搅拌试验。投加一定量高锰酸钾和混凝剂后，首先以 300r/min 快速搅 0.5min，再以 35r/min 慢速搅 5min，静置 15min 后用真空法在液面下 2cm 处吸取上部清液测定剩余浊度。必要时用慢速定性滤纸或玻璃砂蕊漏斗作进一步分离手段，考察滤后水质。

2.2 生产性试验

选用大庆市水库水厂进行生产性试验。大庆水库为大庆市的主要饮用水源，水库水由嫩江引入。据试验期间测定，水中耗氧量与总有机碳分别达 10.5mg/L 和 8.0mg/L，pH 为 7.80，总硬度 100mg/L。

水厂采用传统的给水处理工艺，以液体聚合铝作混凝剂，通过静态混合器，经隔板反应池、斜板沉淀池、虹吸滤池，最后进行氯化消毒。

水厂工艺流程有平行的两套系统，如图 1。这两套系统的设计参数及构筑物结构完全相同，每个系统的进水流量均为 1512m³/h，因此可用来进行高锰酸钾助凝效果的对比试验。



3 试验结果

3.1 烧杯搅拌试验

首先考察了高锰酸钾对松花江水的助凝效果。试验用水取自春季，浊度 200 度左右，色度约 20 度，COD Mn 9~13mg/L，试验结果如图 2。高锰酸钾氧化对松花江水有明显的助凝作用，在所试验的任何混凝剂投量下，沉淀后水的剩余浊度与单纯硫酸铝混凝相比普遍下降几度，而且高锰酸钾投量仅为 0.5mg/L，就可取得明显的助凝效果。从图中还可看出，用高锰酸钾助凝，硫酸铝的最佳投量没有改变，沉后余浊曲线向下发生平移。

值得注意的是，高锰酸钾处理对滤后水水质改善更为明显。图 3 为上述混凝、沉淀后上清液经滤纸进一步过滤后的浊度变化情况。可见，当高锰酸钾投量仅为 0.5mg/L，滤后水的浊度即可明显下降。随着高锰酸钾投量增加，滤后水浊度进一步降低。

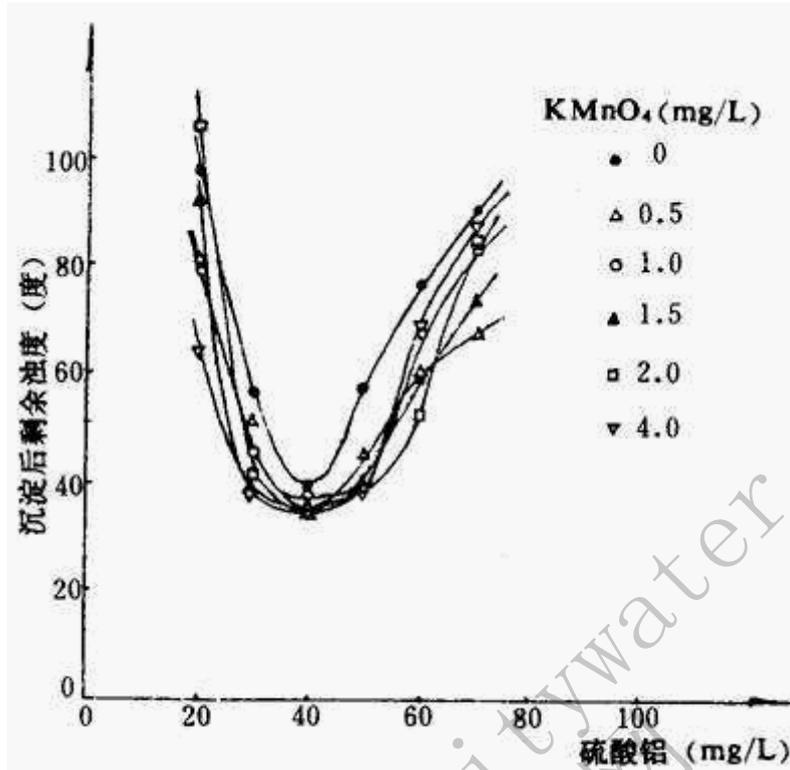


图2 高锰酸钾对松花江水的助凝效果

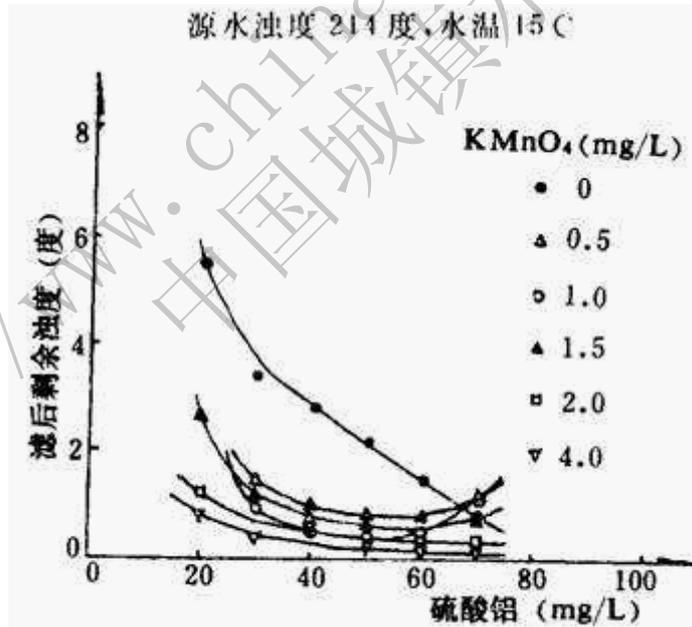
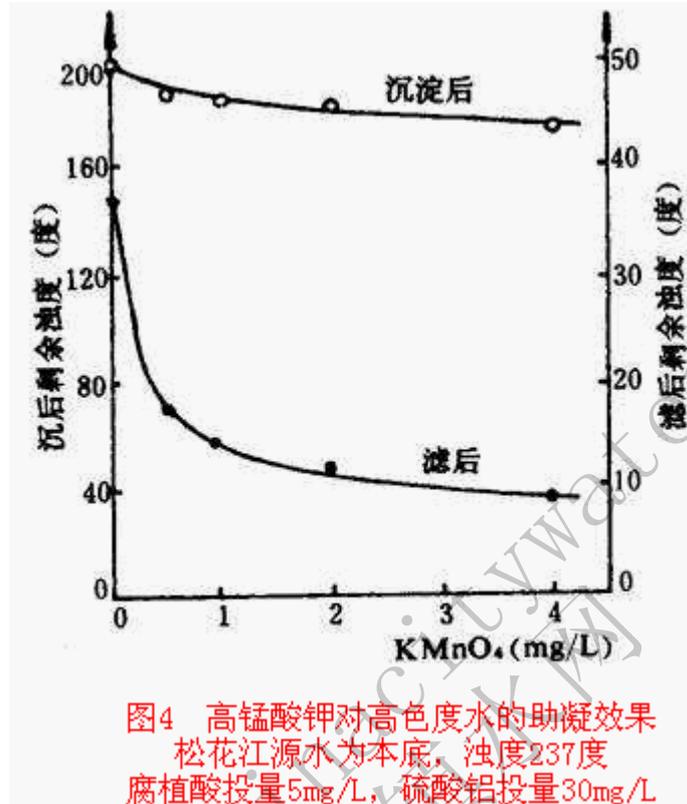


图3 高锰酸钾处理对滤后浊度的影响

考虑到一般随着水中溶解性天然有机物浓度升高，对胶体浊质的保护作用增强，在此条件下为考察高锰酸钾的助凝效果，向松花江源水中投加 5mg/L 腐植酸溶液进行试验，结果如图 4 所示。腐植酸的投入大大地增加了松花江水中胶体的稳定性，单纯硫酸铝混凝后浊度下降幅度很小。用高锰酸钾助凝，随着高锰酸钾投量增加，浊度有所下降，滤后浊度下降幅度更为显著。如高锰酸钾投量仅为 0.5mg/L，滤后水浊度

比单纯用硫酸铝时下降约 50%，若高锰酸钾投量增至 4mg/L，滤后水浊度下降约 70%。由此可见，随着水中溶解性天然有机物浓度增加，高锰酸钾的助凝作用更加显著。



对大庆市八百垅水库水进行了高锰酸钾助凝试验，该水库水色度高达 30~50 度，而浊度仅为几十度，是一种不易处理的地表水。试验结果表明，高锰酸钾对该水库水助凝效果很显著，见表 1。

表1 对八百垅水库水助凝试验沉后余浊度

混凝剂投量 ^① (mg/L)	高锰酸钾投量 (mg/L)			
	0	1.0	1.5	2.0
500	4.9	2.5		0
100	35.2	29.5	24.6	
50	54.9		37.7	

① 以每 L 水中投加的液体聚合铝计

高锰酸钾投加量是其助凝过程的重要参数，高锰酸钾投量过高，有可能造成其剩余浓度过大。为探讨高锰酸钾投加量与其剩余浓度的关系，进行了下述试验：

向松花江源水中加入 5mg/L 的腐植酸以模拟高色度地表水，然后改变高锰酸钾投量进行助凝试验，硫酸铝投量为 90mg/L，高锰酸钾与水中腐植酸的接触反应时间为 20min。混凝、沉淀后，将上清液分别在 420、530、680nm 波长下测定吸光度变化。其中，530nm 波长为高锰酸钾的特征吸收波长，该波长下的吸光度可以反映高锰酸钾剩余浓度的变化情况；420 和 680nm 波长可分别反映出水中腐植酸浓度与浊度的相对变化情况，结果如图 5 所示。高锰酸钾投量为 2mg/L 时，在 530nm 波长下的吸光度略高于不投加高锰酸钾的对照水样，说明混凝后水中残留有微量的高锰酸钾。但随着高锰酸钾投量继续增加，在该波长下的吸光度逐

渐下降，并低于对照水样，表明水中高锰酸钾没有剩余；当高锰酸钾投量高于 8mg/L 以后吸光度开始上升，即高锰酸钾剩余浓度升高。该现象表明，高锰酸钾投量较低时与腐植酸反应缓慢，水中残留有微量的高锰酸钾；随着高锰酸钾投量增加，初期产生的水合二氧化锰可能对反应起催化作用，使之反应速度加快，导致高锰酸钾耗竭。此外，由 420 和 680nm 波长下吸光度变化可知，高锰酸钾投量 < 8mg/L，助凝效果均随高锰酸钾投量升高而增强；当高锰酸钾投量 > 8mg/L，随高锰酸钾剩余浓度上升，其助凝效果也开始下降。由此可见，对于特定水质而言，高锰酸钾助凝存在着最佳投量。

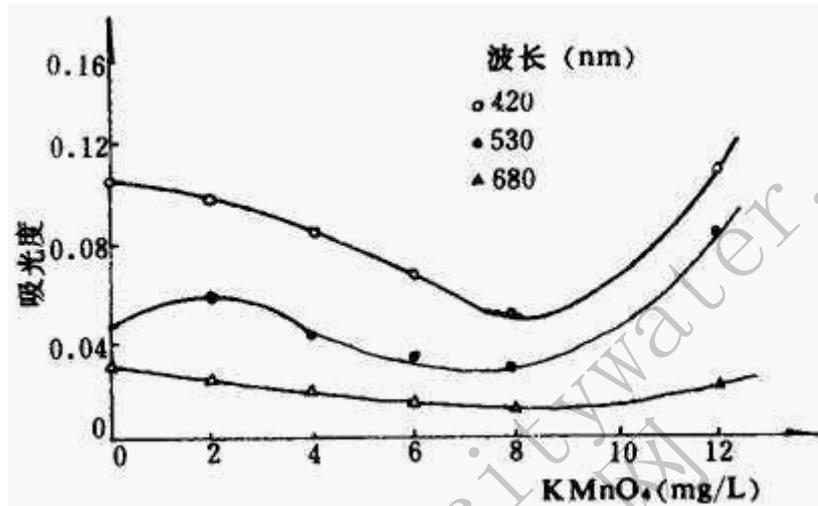


图 5 高锰酸钾投加量与其残余量的关系

松花江源水吸光度 E 420 0.195, E 680 0.070 加入 5mg/L 腐植酸后吸光度 E 420 0.650, E 680 0.245

3.2 生产性试验

分别在夏、秋季进行了两次生产性试验。

图 6 为 1991 年 6 月 22 日~25 日所做的生产性试验结果。I、II 两套试验系统的聚合铝投加量均为 34.7mg/L，沉淀后水的浊度基本相等，两条曲线重叠。当向 I 系统中投加 0.96mg/L 高锰酸钾后，两套系统的沉后水浊度很快出现明显差别，I 系统比对照系统的沉后浊度低 5.0~11.0mg/L。同时还观察到，在投加高锰酸钾的 I 系统中，反应池絮体尺寸明显增大。

图 7 为 1991 年 8 月 31 日~9 月 2 日所做的生产性试验结果。同样，两套系统的聚合铝投量控制在 34.7mg/L，待两套系统沉后浊度相同后，向 I 系统中投加 1.9mg/L 的高锰酸钾，再继续稳定工作 8h，分别测定两套系统的沉后浊度，结果 I 系统比 II 系统下降了约 4~8 度。

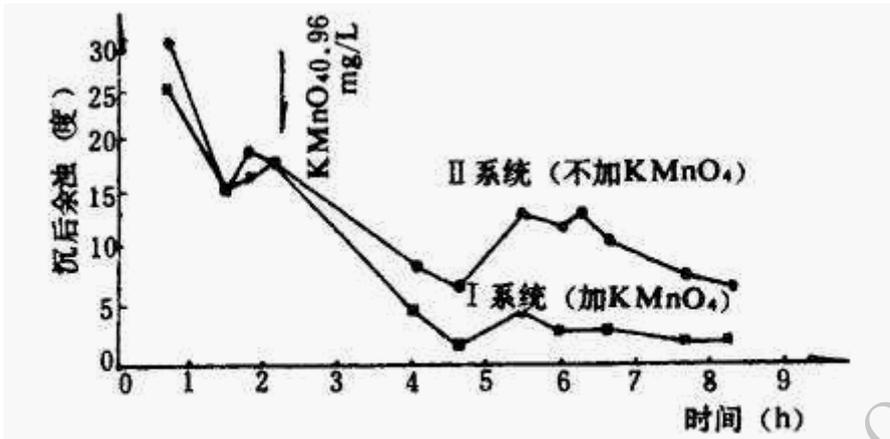


图6 夏季高锰酸钾助凝生产性试验结果

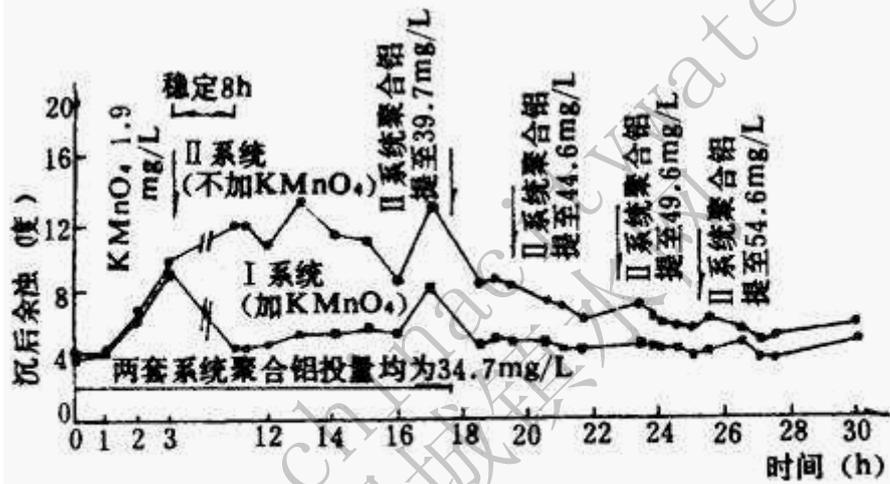


图7 秋季高锰酸钾助凝生产性试验结果

由上可见，高锰酸钾助凝能够使沉后余浊下降、提高出厂水水质。如果保持相同的出厂水水质，则有可能减少混凝剂用量、降低制水成本。为探讨高锰酸钾助凝所产生的经济效果，进一步做了下述试验：

I系统的混凝剂及高锰酸钾投量不变，然后逐步地提高II系统的混凝剂投量，同时连续观测两套系统的沉后余浊，如图7所示。I系统的沉后余浊基本没发生变化，而II系统的沉后余浊则随着混凝剂投量的增加逐渐下降。值得注意的是，浊度降得越低，所需混凝剂的投量就越大，即浊度下降到一定程度后，单靠提高混凝剂投量再进一步降低浊度、提高出水水质便很困难，所需的混凝剂的量也很高。当II系统的聚合铝投量增加到54.6mg/L，两套系统的沉后余浊接近，但I系统的出水浊度仍比II系统低约1度。据此，由于高锰酸钾的助凝作用，I系统至少可以比II系统节省聚合铝20mg/L。聚合铝的使用溶液浓度为15%，每套系统的处理水量为1512m³/h，则可节省20kg/km³的液体聚合铝。一个产水量为10万m³/d的水厂，可节省2t/d液体聚合铝，如果1000元/t计算，每年可节省价值73万元的聚合铝；高锰酸钾投量为1.9mg/L，一个产水量为10万m³/d的水厂需投加190kg/d的高锰酸钾，如果按6500元/t计算，则每年需消耗价值45万元的高锰酸钾。由此可见，高锰酸钾对地表水的助凝作用具有显著的经济效益。

4 结语

烧杯搅拌试验及生产性试验结果均表明，以高锰酸钾为助凝剂能够提高出厂水水质、节省混凝剂用量、降低制水成本。该工艺运行操作简便，易于在给水处理中推广应用。



5 参考文献

- 1 Jekel, M. R. , "The Stabilization of Dispersed Mineral Partices by Adsorption of Humic Substance", Water Research, Vol. 12,1543,1986.
 - 2 姚重华等,“硫酸铝的除浊除色性能”,上海给水排水,1989年第1期
 - 3 Or melia,C. R. , "Particle--Particle Interaction", Aquatic Surface Chemistry, Wiley-- Interscience, New York, ! 987.
 - 4 Gibbs, R. J. , "Effect of Natural Qrganic Coatings on the Coagulation of Particles", Envir. Sci. and Technol. , Vol. 17,237,1983.
 - 5 N. Narkis and M. Rebhum, "The Mechanism of Flocculation Processes in the Presence of Humic Substances", J. Am. Water Works Assoc. ,Vol. 67,No. 2,101,1975.
 - 6 Mohamad R. Farvardin, "Preozonation as an Aid in the coagulation of Humic Substances--Optimum Preozonation Dose",Water Research,Vol. 23. No. 3,307,1989.
 - 7 Rechhow, D. et al. , "Ozone as a Coagulant Aid", Am. Water works Annual Conference,Denver colo, 1986.
- ① 现在同济大学环境工程学院博士后流动站工作

http://www.chinacitywater.org
中国城镇水网