

# 东莞市东江原水高锰酸钾预氧化除锰技术及应用

张建锋 王晓昌

(西安建筑科技大学,西安 710055)

**摘要** 通过分析东江东莞段的水质特征,并结合沿东江各水厂的实际情况,确定使用高锰酸钾预氧化技术去除水中的锰。在系统进行静态试验的基础上,进行了生产试运行。水厂近一年的实际运行结果表明,高锰酸钾预氧化技术可以有效去除东江东莞段水体中的锰,同时还可以强化现有常规处理流程对有机物的去除效果。

**关键词** 除锰 预氧化 高锰酸钾 东江

东莞市位于广东省中南部,市域内水体 96% 属东江水系,截至 2004 年底供水能力为 430 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,其中大约 90% 取自东江。近年来,随着东江流域经济发展和人口的急剧增长,东江东莞段的水质呈现逐年下降的趋势,目前比较突出的问题是原水和出厂水二价锰离子超标,已经影响到水厂的正常生产和市民的日常生活,因此有必要进行除锰技术的研究。本文在分析东江东莞段原水水质特征的基础上,重点探讨高锰酸钾预氧化除锰技术的适用性和实际处理的效果。

## 1 东莞市东江原水中锰的含量及其影响

### 1.1 原水中锰浓度的变化情况

近年来,东江东莞段江水中二价锰离子浓度呈逐年上升的趋势(见图 1),某些时段超出《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中锰浓度限值(0.1 mg/L)。

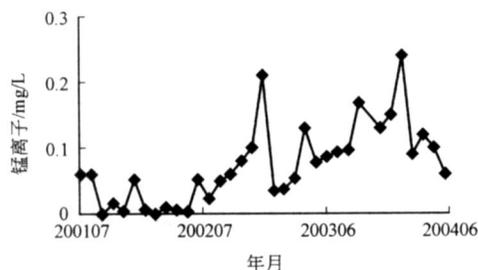


图 1 东江第四水厂原水锰离子含量变化

### 1.2 原水中锰的影响及分析

从目前的检测 results 和沿江各水厂的 actual 生产来看,原水中锰离子浓度增加所造成的影响主要表现在以下两个方面:

(1) 出厂水个别情况下锰离子  $> 0.1 \text{ mg/L}$ ,管网水质恶化,“着色”问题对市民的日常生活已经造成影响。

(2) 固态的  $\text{MnO}_2$  阻塞滤池下部滤头的缝隙,影响滤池的正常运行。

造成这种情况的主要原因在于以下几个方面:

(1) 东江原水锰浓度逐渐增大,常规的接触氧化除锰的方法难以保证出水水质。

(2) 受到供水量不足的压力,许多水厂采用高滤速运行,滤层中接触氧化时间缩短,催化氧化反应进行得不彻底,影响除锰效果。

(3) 滤料上不断积累的固态  $\text{MnO}_2$  使得滤层空隙中水流速加大,一方面引起新生成的固态  $\text{MnO}_2$  下移,进入集水系统,并堵塞滤头空隙,另一方面进一步缩短接触反应时间。

(4) 目前普遍使用气水反冲洗系统,由于排气不彻底,在滤头顶部形成“气栓”,促使二价锰在滤头空隙处接触氧化,加剧滤头堵塞。

(5) 锰进入管网后,在管内壁形成一层被覆物。在管网检修或冲管时,被覆物脱落,造成管网出水中黑色沉淀,影响供水水质。

## 2 除锰的技术思路

### 2.1 东莞东江原水的有机污染特征

近年来东江水源的水质监测结果表明:东江原水的化学类型为重碳酸盐钠型,水质呈酸性、含锰、偏软的特点。原水的氨氮逐年升高,在表示水体有机污染程度的指标中,耗氧量  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  (高锰酸盐指数)和生化需氧量  $\text{BOD}_5$  呈上升趋势,对供水水质的

安全性已构成威胁。

分别于 2003 年 10 月和 2004 年 4 月提取东江原水,采用气相色谱进行水中有机物分子量分布分析,结果显示:在相对分子质量 < 500、500 ~ 3 000、3 000 ~ 6 000 的范围内,有机物基本上平均分布,大致各占总量的 30 % 左右,500 ~ 3 000 范围的有机物量稍占优势。在这样的水质特征下,要提高水中有机物的去除效果,必须依靠生物氧化、吸附和强化混凝等多种处理工艺的综合作用<sup>[1,2]</sup>。

## 2.2 东莞东江原水除锰技术方案的确定

国内外关于除锰的技术和理论非常丰富,其理论及应用先后经历了自然氧化法、接触氧化法、药剂氧化法和生物法几个发展阶段。近年来,国内在高锰酸钾助凝及处理微污染原水方面的研究取得了丰硕成果,高锰酸钾预氧化可以显著提高水中有机物、藻类的去除效果<sup>[3]</sup>。

作为强氧化剂,高锰酸钾也可以用来去除水中的二价锰。在中性和微酸性条件下,高锰酸钾能够迅速将水中二价锰氧化为四价锰:



根据东莞市东江沿岸水厂的实际情况,并结合水中有机污染物相对分子质量分布的特征,确定采用高锰酸钾预氧化的技术来去除水中的二价锰。

投加低剂量的高锰酸钾,水中溶解态的二价锰离子在高锰酸钾的强氧化性作用下,转化为固态的二氧化锰,依靠现有的常规处理工艺流程,去除固态的二氧化锰,同时积极发挥新生态水合二氧化锰的吸附助凝作用,强化常规处理工艺对水中悬浮胶体和溶解态有机物的去除效果。由于高锰酸钾的强氧化性,可以作为消毒剂替代预加氯,从而降低出厂水中的三卤甲烷含量,提高供水水质安全性。

## 3 实验室静态研究结果

采用混凝烧杯试验,研究高锰酸钾除锰的效果,确定反应条件和影响因素。系统的静态试验结果表明:

东江原水中锰浓度在 0.2 ~ 0.3 mg/L 时,投加 0.3 mg/L 的高锰酸钾对锰的去除率达到 58.9 % ~ 83.7 %。

根据除锰、强化混凝的综合效果,合理的投药顺序是先进行高锰酸钾预氧化,15 min 以后投加聚氯

化铝。

投加 0.3 ~ 0.5 mg/L 的高锰酸钾,可以将 TOC 的去除率提高 5 % ~ 8 %,将 UV<sub>254</sub> 的平均去除率提高 3 % ~ 9 %。

## 4 生产性试验运行结果

根据静态试验结果,2004 年 8 月 31 日 ~ 11 月 8 日,在东江水务有限公司第四水厂开展生产性试验。高锰酸钾投加点示意图见图 2。

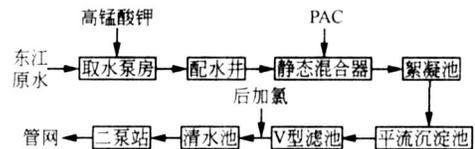


图 2 第四水厂高锰酸钾投加点示意

试验规模为 30 万 m<sup>3</sup>/d,高锰酸钾实际投量为 0.22 mg/L,投加点距离混凝剂投加点约 400 m,高锰酸钾反应时间为 5 min 左右。生产性试验运行期间除锰效果稳定,在原水锰浓度 0.003 7 ~ 0.26 mg/L、平均 0.100 4 mg/L 的条件下,出厂水锰浓度为 0.000 3 ~ 0.1 mg/L,平均 0.01 mg/L。

采用高锰酸钾预氧化工艺前后第四水厂除锰情况对比结果见图 3。

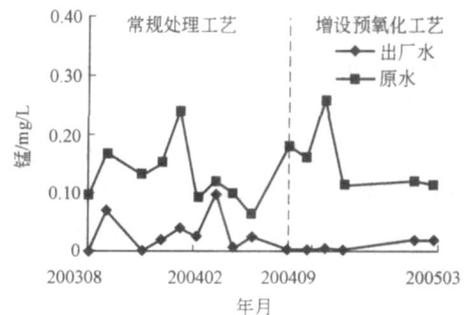


图 3 常规处理工艺及增设高锰酸钾预氧化工艺后除锰效果

针对原有滤池中滤头缝隙堵塞的问题,在生产性试验中,对比测定了待滤水中的锰浓度,结果见表 1。表 1 中,常规处理工艺中待滤水锰含量与原水相比基本不变,锰的截留主要集中在滤层中。在高锰酸钾预氧化处理系统中,原水中的锰加上高锰酸钾带入的锰,总锰的含量约为 0.334 mg/L,但待滤水总锰的量为 0.075 mg/L,即经过沉淀作用后,原水中的二价锰降低了 34 %。因此,在高锰酸钾预氧化系统中,进入滤池的锰有所降低,减轻了滤池截留锰的负担。

表1 常规处理与高锰酸钾预处理效果对比

处理工艺	原水二价锰 / mg/L	待滤水总锰 / mg/L	滤后水总锰 / mg/L
常规处理	0.180	0.175	0.002
高锰酸钾预氧化	0.114	0.075	0.002

注:高锰酸钾投加量 0.22 mg/L。常规处理工艺中各点锰离子浓度为投加前一周平均值,高锰酸钾预氧化为生产性试验期间平均值。

另一方面,对两种工艺条件下滤池反冲水中的总锰浓度进行了检测,结果表明高锰酸钾预处理系统中滤池的反冲水中总锰含量大约为 9.5 mg/L (反冲水澄清液总锰 0.196 mg/L),高于常规处理工艺中 3.4 mg/L 的浓度水平,原因可能在于两种工艺条件下滤池中截留锰的组织形态有所差异,即在高锰酸钾系统中进入滤池的锰有一部分以固态二氧化锰存在,其与滤料表面的结合能力较差,在反冲洗过程中易于脱落。

通过以上两方面的分析,可以认为高锰酸钾预处理工艺可以有效缓解滤头缝隙的阻塞,从高锰酸钾系统运行至今的生产运行情况也印证了这一结果。

常规处理、高锰酸钾预氧化工艺对水中有机污染指标的去除效果见表 2。

表2 常规处理、高锰酸钾预氧化工艺对水中有机污染指标的去除效果

项目	常规处理			高锰酸钾预处理		
	原水	出厂水	去除率 / %	原水	出厂水	去除率 / %
COD <sub>Mn</sub> / mg/L	1.10 ~ 4.08	0.56 ~ 2.24	15.3 ~ 73.2	1.18 ~ 3.88	0.28 ~ 2.14	34.43 ~ 76.27
	(2.07)	(1.01)	(48.9)	(2.68)	(1.22)	(54.6)
UV <sub>254</sub> / cm <sup>-1</sup>	0.161 ~ 0.181	0.064 ~ 0.071	55.9 ~ 64.6	0.252 ~ 0.403	0.036 ~ 0.091	77.4 ~ 87.2
	(0.165)	(0.04)	(70.1)	(0.313)	(0.05)	(84.2)
TOC / mg/L	1.71 ~ 5.39	0.98 ~ 3.90	27.3 ~ 42.8	1.88 ~ 4.77	0.82 ~ 2.19	23.8 ~ 68.2
	(2.88)	(1.88)	(37.8)	(3.61)	(1.42)	(59.8)
氨氮 / mg/L	0.06 ~ 2.96	0.02 ~ 0.53	53.3 ~ 97.0	0.05 ~ 2.80	0.05 ~ 1.09	16.7 ~ 98.2
	(0.84)	(0.12)	(80.8)	(0.64)	(0.11)	(77.1)
氯仿 / μg/L		1.0 ~ 7.2			1.0 ~ 1.2	

注:括号内为平均值。

生产性运行结果表明,与一般常规处理相比,高锰酸钾预氧化工艺对 TOC 的去除效率提高了 22%,对 UV<sub>254</sub> 的去除效率提高了 14.1%,对 COD<sub>Mn</sub> 的去除效率提高了 5.7%,但对氨氮的去除没有明显的改善。低剂量的高锰酸钾可以取代预加氯,从而显著降低出厂水中三卤甲烷的生成量,提高

出厂水的卫生安全性。

生产性试验过程中,投加高锰酸钾后对于沉水的浊度没有明显降低,反映出低剂量高锰酸钾的助凝作用不甚明显。

### 5 投加成本及应用

在系统的具体实施中,考虑到与第四水厂现有控制系统的整合,采用了先进的自控系统。处理规模为 30 万 m<sup>3</sup>/d,设备投资 21.2713 万元(土建及设备安装调试费用未计入),运行费用见表 3。

表3 高锰酸钾预氧化除锰系统运行费用

项目	耗量	单价	费用/元/d	成本/元/m <sup>3</sup>
高锰酸钾药剂费	0.22 mg/L	16 元/kg	1 056	0.003 52
动力费	0.8 kW/h	0.8 元 /kW·h	15.36	0.000 05
人工费	2 人	1 500 元 / (人·月)	100	0.000 3
合计			1 171.36	0.003 87

注:高锰酸钾市场价波动较大。

### 6 结语

在生产性试验完成以后,系统移交第四水厂投入日常生产,除锰效果稳定。根据第四水厂的实践经验,从 2004 年 12 月开始,陆续在东莞市东江沿岸水厂推广。近一年多的运行结果表明:低剂量的高锰酸钾预氧化除锰效果稳定,有效地缓解了生产过程中滤池滤头堵塞的问题,同时强化了对水中有机污染物的去除效果,改善了供水水质。

### 参考文献

- 王占生,刘文君. 微污染源饮用水处理. 北京:中国建筑工业出版社,1999
- 李爽,张晓健,范晓军,等. 水源水中不同分子量区间有机物的分布及控制对策. 环境科学学报,2003,23(3):327~331
- 张锦,李圭白,马军. 高锰酸钾复剂对给水处理中混凝的强化效应. 工业用水与废水,2003,34(3):12~14
- 王晓昌,金鹏康,何文杰,等. 高锰酸钾和预臭氧强化常规处理工艺. 中国给水排水,2005,21(6):8~11

通讯处:710055 西安市雁塔路 13 号 西安建筑科技大学环境与市政工程学院

E-mail: zhangjianfeng @xauat.edu.cn

收稿日期:2006-05-30

修回日期:2006-08-03