# 浮沉池技术在大庆石化总厂给水处理中的应用

孟凡良[1] , 崔福义[1] , 许占祥[2]

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院 ,黑龙江 哈尔滨 150090 ;
2. 大庆石化总厂水气厂 ,黑龙江 大庆 163000)

**摘　要** :东北地区低温低浊地表水难以净化处理. 地表水体的水质在一年中变化很大 ,常规的沉淀净化工艺很难适应. 大庆水气厂生活水厂采用综合了气浮和沉淀二者长处的侧向流浮沉池工艺对原有的部分沉淀处理工艺进行了改造 ,2001 年全年的运行数据表明采用浮沉池工艺可以有效地处理低温低浊地表水 ,工艺灵活性强 ,能够适应不同时期的水质 ,运行效果要优于沉淀工艺.

**关键词** :低温低浊 ;地表水 ;浮沉池 ;沉淀池

**中图分类号** : X703. 1　　**文献标识码** :B　　**文章编号** :1672 - 0946(2003) 05 - 0553 - 04

## Study on application of flotation - sedimentation process on drinking water treatment in Daqing petroleum & chemistry work

MENG Fan-liang[1] , CUI Fu-yi[1] ,XU Zhan-xiang[2]

(1. School of Municipal and Environmental Engineering , Harbin Institute of Technology , Harbin 150090 , China ; 2. Water & Coal - air Plant , Daqing Petroleum & Chemistry Work ,Daqing 163000 , China)

**Abstract** : Surface water at low temperature and low turbidity in northeast areas is difficult to treat. In addition , the significant variations of water quality in different seasons made it difficult to suit with a fixed conventional treatment process. Flotation - sedimentation process , which combined both advantages of air flotation and sedimentation , was applied to treat part surface water at Daqinq water & coal - air plant. Through the analysis of operational data for more than one year , it was indicated that flotation - sedimentation process had a strong flexibility and could effectively treat surface water at low temperature and low turbidity , meantime , a better operational performance than that of sedimentation process was obtained.

**Key words** : low temperature and low turbidity ; surface water ; flotation - sedimentation tank ; sedimentation tank

## 1　水厂水质特点

大庆石化总厂水气厂生活水厂担负着乙烯地区生活用水和乙烯厂区部分工业用水供给任务. 设计处理能力 1 450 $m^3/h$ ,源水取自红旗泡水库 ,水质特点为 :每年 11 月份至次年 4 月份期间具有低温低浊特点 ;每年 5～6 月期间水库融冰后嫩江水首次进入水库冲击库底和每年雨季因洪水影响产生的水库水质高浊度现象[1] .

水库水由于水流状态特点而表现出不同于江河水质的特性. 水库水近似于静止状态 ,水体中各部位因不易掺混而表现出水质成份分布的不均匀

**收稿日期** :2003 - 07 - 09.
**作者简介** :孟凡良(1970 - ) ,男 ,哈尔滨工业大学硕士 ,研究方向 :市政工程.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

性. 水库水中的藻类大量繁殖不但妨碍水处理构筑物的正常运行,而且藻腥味很重,影响水质;水中含有大量的植物腐烂所形成的腐殖质不仅提高了水库水的色度,而且会对水中黏土形成的胶体、硅酸溶胶、铝和铁的氢氧化物起到保护作用[2]. 这些都增加了水库水的净化难度.

在原水水温低时,水的动力黏度系数提高,减弱了水中胶体的颗粒运动,降低了它们之间相互碰撞的机率;水中胶体的溶剂化作用增强,颗粒周围的水化膜加厚,妨碍颗粒凝聚;同时,通过混凝所形成的絮体较轻,不易下沉,难以通过沉淀从水中分离出去.

## 2 改进方案的提出与工艺流程

斜管或平流沉淀池,处理浊度的范围从几十度到一、二千度都是可行的,但是对于去除藻类、色度以及低温低浊水,效果却很差. 而采用气浮法则可以取得较为满意的效果[3,4]. 运用气浮和沉淀的不同功能,采用浮沉池来适应水质的变化. 当处理低温低浊江河水和藻类生长期的低浊度水库水时,浮沉池以气浮的方式运行;而在夏季原水浊度提高时,可采用沉淀的方式运行. 这样使浮沉池与滤池有机结合,对原水的水质变化有较大的适应性,可以收到理想的技术经济效果.

浮沉池是在斜管(板)沉淀池的基础上加以改进而成的新池型. 絮体无论是下沉还是上浮,水流都要经过斜管(板),以改善水力条件. 上浮或下沉运行的水力负荷是一致的,均为 7.2～9 $m^3/(m^2 \cdot h)$,颗粒的分离速度都适用于斯托克斯公式.

$$u = \frac{1}{18}\left[\frac{\rho_p - \rho_l}{\mu}\right] g d^2. \tag{1}$$

式中:$\rho_p$ 为沉降颗粒的比重;

$\rho_l$ 为水的比重;

$\mu$ 为水的动力黏度系数;

g 为重力加速度;

$d$ 为沉降颗粒的粒径.

一般絮体的密度为 1.002～1.030,而空气的密度只有水的 1/775. 气浮运行时,絮体黏附了微气泡,组合粒径增大,从斯托克斯公式可知颗粒的上升速度与组合粒径的平方成正比,从而使颗粒上升速度加大而易被浮至水面.

浮沉池以气浮方式运行处理低温低浊水或用于除藻的合理性在于:(1)因为水中悬浮杂质量少,气浮的气固比低,用气量小,可节省加压回流水的能耗;(2)水温低,空气在水中的饱和溶解度提高,使得低温时空气更容易溶解于水中;(3)原水在加压提升的过程中会溶入一些空气,而且当混凝剂水解时,所产生的 $CO_2$ 微气泡也容易与絮体接触黏附在一起,强化絮体的上浮.

另外,浮沉池采用气浮方式运行,对于前序混凝反应的要求也并不像沉淀法那样高. 因为沉淀法是依靠颗粒絮凝长成大而重的絮粒而下沉的,而絮粒的成长过程则需要足够的时间(一般为 20～30 min). 气浮则可借助于微气泡的作用,因此,只需要絮粒成长到足以被上升的微气泡黏附住就可以了. 实践表明将气浮方式运行前的反应时间缩短到 10 min 是可行的[5]. 也就是说,浮沉池按气浮方式设计反应池,可以减少反应池体积的 1/3～1/2,降低了工程造价;如果考虑浮沉池增加的气浮设备投资,则总造价与沉淀池相当. 至于日常运行费用,虽然增加了冬季气浮运行的电费,但是可以用节省混凝剂的用量和排泥的水量来予以补偿. 这样,浮沉池能够适应原水水质的变化而灵活运行,并保证出水水质的优越性就显而易见了.

水气厂生活水厂原设计采用两个处理系列,均采用反应、沉淀、过滤常规处理工艺,由于在原水低温低浊期处理效果不理想,1996 年由中国市政工程东北设计研究院负责设计,将其中一个系列的沉淀池改为浮沉池,1997 年又增加了臭氧 - 活性炭深度处理工艺.

目前,水厂工艺流程如下:

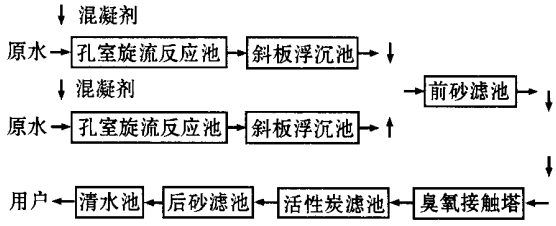


**图 1 水气厂生活水厂工艺流程**

**Figure 1 Technique process of drinking water production in water air plant**

水厂现有两种处理流程,二者的区别在于固液分离步骤上,第一条流程采用斜板浮沉池,处理水量为 850 $m^3/h$,设计水平流速为 9.87 mm/s,斜板区长度为 13 m,设计负荷 7.10 $m^3/(m^2 \cdot h)$;气浮回流水回流比为 7%,安装三层斜板,每层板斜长 1 m,安装角度 60°,总高 2.60 m,斜板间距为 80 mm. 另一条流程则使用斜管沉淀池工艺,处理水量为 600 $m^3/h$,表面负荷为 7.9 $m^3/(m^2 \cdot h)$,斜管的内切圆直径为 36 mm,长度为 1 000 mm,水平倾角为 60°.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

## 3　应用效果

### 3.1　原水水质及投药情况

2001 年 12 个月原水水质特征见表 1.

表 1　2001 年原水水质特征

Table 1 Characteristic of original water in 2001

| 月份 | 水温 /℃ | pH | 浊度 /ntu | $COD_{Mn}$ /(mg·L$^{-1}$) | 色度 /度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.5 | 7.72 | 5.59 | 5.44 | 8 |
| 2 | 2 | 7.90 | 6.27 | 5.47 | 10 |
| 3 | 4 | 7.86 | 5.83 | 5.54 | 10 |
| 4 | 5～12 | 7.66 | 7.12 | 4.18 | 10 |
| 5 | 13 | 7.66 | 68.45 | 5.96 | 15 |
| 6 | 18 | 7.65 | 60.45 | 5.67 | 15 |
| 7 | 25 | 7.60 | 57.39 | 5.56 | 20 |
| 8 | 24.5 | 7.47 | 41.05 | 5.19 | 20 |
| 9 | 19 | 7.55 | 23.47 | 5.05 | 35 |
| 10 | 5～13 | 7.66 | 17.92 | 4.84 | 25 |
| 11 | 4.5 | 7.87 | 6.09 | 4.57 | 10 |
| 12 | 2 | 7.85 | 3.82 | 4.83 | 8 |

斜板浮沉池在 1～4 和 11～12 月份以气浮方式运行,其余时间以沉淀方式运行,两套流程的混凝剂均采用碱式氯化铝铁,投量情况见表 2 所示.

表 2　2001 年两套工艺投药量

Table 2 Quantity of flocculent in 2001

| 月份 | 平均投药量/(mg·L$^{-1}$) | |
|---|---|---|
| | 斜板浮沉池 | 斜管沉淀池 |
| 1 | 19.69 | 23.14 |
| 2 | 13.22 | 16.47 |
| 3 | 11.13 | 13.09 |
| 4 | 10.82 | 12.88 |
| 5 | 17.22 | 17.56 |
| 6 | 19.78 | 20.55 |
| 7 | 22.10 | 22.10 |
| 8 | 21.14 | 21.25 |
| 9 | 20.58 | 21.05 |
| 10 | 19.18 | 19.29 |
| 11 | 20.74 | 23.84 |
| 12 | 18.74 | 21.77 |

### 3.2 对浊度的去除

从图 2 看出,1～4 月份和 11～12 月份期间,水温在 5 ℃以下,浊度低于 10 ntu;在此期间,斜管沉淀池对浊度的去除率较低,平均为 32.93 %;斜板浮沉池在低温低浊期间以气浮池方式运行,对浊度的平均去除率为 68.9 %,出水浊度均在 4 ntu 以下.二者处理效果的差异是由于气浮工艺对于前序的反应过程要求并不象沉淀法那么高,因为沉淀法是依靠絮凝不断地成长为大而重的絮粒而下沉的,絮凝体的成长过程则需要有足够的时间.气浮借助于微气泡的作用可以上浮至液面,据资料介绍,絮粒成长到 300～400 μm 已足够被气泡黏附,而沉淀所

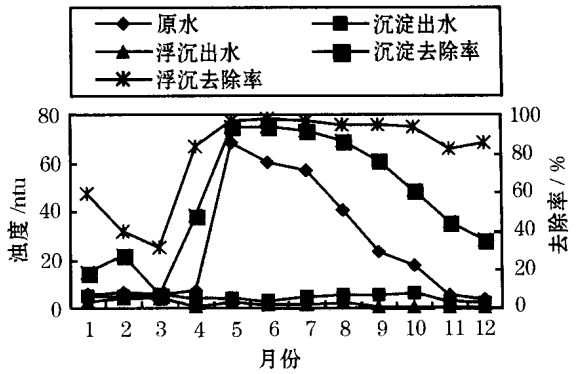


图 2　斜管沉淀池和斜板浮沉池对浊度的去除

Figure 2 Removal of turbidity in slope-pipe setllement tank and slope-board flotation sedimentation tank

需的絮粒,常常在 1 mm 以上,甚至更大[5].在低温低浊期间,胶体颗粒与混凝剂之间的有效碰撞机率较低,颗粒絮凝长大的速率缓慢,所以沉淀效率较低,而气浮则在低温低浊情况下显示出了较大的优势.在 5～10 月份,原水的水温和浊度均有较大幅度的升高,此时工艺对原水的浊度去除效率有所提高,斜管沉淀池对浊度的平均去除率为 84.18 %;斜板浮沉池以沉淀方式运行,对浊度的平均去除率为 95.95 %.分析此期间两者的处理差异,除了由于二者的表面负荷稍有不同外,沉淀池中的不同水力条件也是造成这种差异的重要因素.在斜管沉淀池中,Re 数经计算为 146,Fr 数为 $4.89\times10^{-4}$;在斜板浮沉池中,Re 数为 227,Fr 数为 $4.23\times10^{-4}$;从上述数据看出,斜管沉淀池的水流稳定性要略优于斜板浮沉池[6].但是,由于斜管沉淀池采用的流向为异向流,即絮凝体下沉的方向与水流上升的方向相反,两者相互干扰,从而影响了沉泥效果;而斜板浮沉池中水流形式为侧向流,水的流向与沉泥的方向垂直,没有对沉淀效果造成负面影响;两相综合,总体表现形式上为侧向流斜板沉淀效果要略优于异向流斜管沉淀池.

另外,从表 2 投药量方面来看,气浮方式由于对混凝过程要求较低,故在药耗方面要低于斜管沉淀池,平均投药量约为斜管沉淀工艺的 82 %.当浮沉池以沉淀方式运行时,二者投药量基本相当.

### 3.3　对高锰酸盐指数的去除

原水有机物含量在全年期间都比较稳定,高锰酸盐指数在 5 mg/L 左右波动,从两种工艺的出水水质来看,斜板浮沉池对高锰酸盐指数的去除效果要稍微好一些,二者的去除率分别为 43.22 %和 45.59 %;考虑到它们出水浊度之间存在着差异,采用离心机对水样进行离心分离以排除浊度对高锰酸盐指数测定的影响,从实验结果看出经过离心分

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

离处理的水样具有大致相当的有机物含量,此时两种工艺对高锰酸盐指数的去除率变化至 49.89 % 和 49.49 %. 故认为两种工艺的出水高锰酸盐含量的差值是由于对于浊度去除的差异造成的. 由此也可以看出,对有机物的去除效果不仅取决于混凝过程,固液分离步骤也影响着系统对有机物的去除效率.

表 3 斜管沉淀池和斜板浮沉池对高锰酸盐指数的去除

Table 3 Removal of $COD_{Mn}$ in slope-pipe settlement tank and slopeboard flotation sedimentation tank

| 月份 | $COD_{Mn}$/(mg·L$^{-1}$) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 原水 | 1 出水 | 2 出水 | 离心分离 1 出水 | 离心分离 2 出水 | 工艺出水 |
| 1 | 5.44 | 3.16 | 3.12 | 3.01 | 3.04 | 1.74 |
| 2 | 5.47 | 3.22 | 3.14 | 3.04 | 3.06 | 2.07 |
| 3 | 5.54 | 3.64 | 3.57 | 3.27 | 3.28 | 2.43 |
| 4 | 4.18 | 3.10 | 2.88 | 2.68 | 2.71 | 1.76 |
| 5 | 5.96 | 2.89 | 2.78 | 2.60 | 2.61 | 1.70 |
| 6 | 5.67 | 2.68 | 2.64 | 2.51 | 2.48 | 1.59 |
| 7 | 5.56 | 2.74 | 2.47 | 2.21 | 2.25 | 1.49 |
| 8 | 5.19 | 2.64 | 2.62 | 2.34 | 2.35 | 1.51 |
| 9 | 5.05 | 3.11 | 2.94 | 2.69 | 2.72 | 1.68 |
| 10 | 4.84 | 2.69 | 2.48 | 2.29 | 2.31 | 1.83 |
| 11 | 4.57 | 2.75 | 2.64 | 2.23 | 2.27 | 2.02 |
| 12 | 4.83 | 2.48 | 2.39 | 2.18 | 2.21 | 2.02 |

注:1 指代斜管沉淀池,2 指代斜板浮沉池

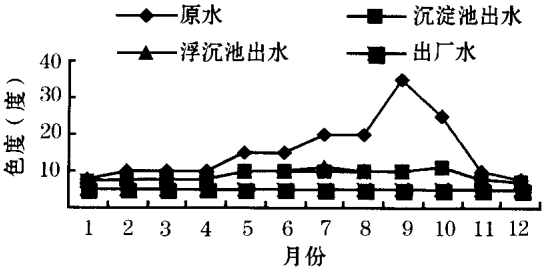


图 3 斜管沉淀池和斜板浮沉池对色度的去除

Figure 3 Removal of Chroma in slope-pipe settlement tank and slope-board flotation-sedimentation tank

### 3.4 对色度的去除

两套工艺对于原水的色度也表现出了一定的去除率,引起色度的发色基团因为混凝作用而部分的得以去除. 从数据结果来看,固液分离步骤对色度的去除基本上没有影响,混凝效果基本上决定了对色度的去除效果. 斜管沉淀池和斜板浮沉池的出水色度基本上相同,对色度的平均去除率分别为 32.84 %和 32.75 %. 二者的混合出水在后续强氧化剂臭氧的作用下,发色基团被进一步氧化分解,在一年中出厂水色度均维持在 5 度左右.

## 4 结语

低温低浊地表水的处理是较为困难的,一方面由于原水水温低,影响处理效果;另一方面由于东北地区不同季节原水水质变化大,给处理构筑物的设计选型和处理工艺的确定造成了困难. 对于地表水的处理,既要考虑原水的低温低浊特征,又要考虑工艺对雨季高浊度原水的适应性;常规的混凝、沉淀和过滤工艺难以满足上述要求. 通过对大庆水气厂生活水厂 2001 年一年运行数据的分析,证实斜板浮沉池工艺兼容了沉淀和气浮两种工艺的优点,在处理东北地区地表水时具有一定的优势. 建议具有类似水体特征的地区在新建或改扩建给水厂时,可优先考虑采用浮沉池工艺.

**参考文献:**

[1] 关继海, 徐景颖, 韩 超. 侧向流斜板浮沉池的设计[J]. 给水排水, 1999, 25(5): 32 - 34.

[2] 严煦世,范瑾初. 给水工程(第 3 版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1995.

[3] JAMES P, MALLEY Jr, JAMNES K, *et al*. Laboratory Comparison of DAF With Conventional Treatment[J]. J AWWA, 1991, 83(6): 56 - 61.

[4] SCHOFIELD T. Dissolved Air Flotation in Drinking Water Production [J]. Wat. Sci. Tech., 2001, 43(8): 9 - 18.

[5] 陈翼孙,胡 斌. 气浮净水技术的研究与应用[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1983.

[6] 刘洪海,时文歆,于水利,等. 哈尔滨炼油厂污水回用工艺改造技术研究[J],哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2003,19(4):405 - 407.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net