

# 周期循环静止沉淀工艺处理矿井水

刘彦飞

(黑龙江科技学院资源与环境工程学院, 哈尔滨 150027)

**摘要** 已有的实验和实践表明,周期循环静止沉淀工艺与常规连续进、出水的单一沉淀工艺相比,其沉淀效率明显提高,其出水水质显著改善。为了进一步研究周期循环静止沉淀工艺的性能,进行了工业性试验研究。结果表明,周期循环静止沉淀池与常规沉淀池相比具有较高的处理能力和水质澄清效果,是常规沉淀池处理能力的1.2倍;在两池循环的周期循环静止沉淀工艺中,当反应池与静止沉淀池总处理能力比为1:1时,周期循环的静止沉淀池清水层高度为2 m、周期内清水层形成速度为1.67 mm/s、体积负荷和表面负荷较常规沉淀池均提高了20%;受反应池进水流量的冲击影响,周期循环静止沉淀工艺的静止沉淀池设置数以2~3个为最佳;周期循环静止沉淀工艺中反应-静止沉淀系统不会对后续过滤单元产生水力影响。

**关键词** 周期循环 静止沉淀 水处理 反应池 矿井水

**中图分类号** TU991.23 **文献标识码** A **文章编号** 1673-9108(2009)06-1044-05

## Treatment of mine water with a cycled still settlement process

Liu Yanfei

(School of Resources and Environmental Engineering, Heilongjiang Institute of Science and Technology, Harbin 150027, China)

**Abstract** Former experimental and practical results showed that settling efficiency and effluent quality of the cycled still settlement process were improved evidently, compared with the traditional single-settling pond with continuous influent and effluent. In order to give further study on the performance of the cycled still settlement process, an industrial test was conducted. The results indicated that the treating capacity of the cycled still settling pond was 1.2 times to that of the traditional settling pond. And its effluent quality was better. In the process of a two-pond-cycle cycled still settlement, when the total treating capacity of reaction tank to still settling pond was 1:1, the cycled still settling pond clear water layer height of 2 m, within cycle period clear water layer forming speed was 1.67 mm/s, both volume load and surface area load increased 20% than that of the conventional settling pond. Two to three still settling ponds were optimum choice in cycled still settlement process, because the input flow of action tanks made an impact on still settling ponds. The effect of acting-settling units on the subsequent filter units in the cycled still settlement process was not observed.

**Key words** cycle; still settlement; water treatment; reaction tank; mine water

原水经混凝反应后,一般可采用沉淀池去除水中絮凝体。为了提高沉淀池的沉淀效率,提高沉淀池的体积负荷或表面积负荷和处理能力,作者提出了“周期循环静止沉淀工艺”<sup>[1,2]</sup>。所谓“周期循环静止沉淀工艺”,是采用多个沉淀池依次进水、静止沉淀并周期循环的沉淀工艺。与常规连续进、出水的单一沉淀工艺相比,其沉淀效率明显提高,其出水水质显著改善。

实验和实践表明,新工艺充分发挥絮体自由沉降速度快、没有水流干扰的特点,采用多个小池周期循环运行,达到了提高沉淀池处理效率和改善出水水质的目的。为了进一步探讨周期循环静止沉淀工艺的性能,针对煤矿矿井水进行了工业性试验研究,

初步弄清了静止沉淀的处理能力及反应-静止沉淀-过滤工艺系统的配置特点。

## 1 周期循环静止沉淀工艺

### 1.1 反应-周期循环静止沉淀-过滤处理工艺系统

反应-周期循环静止沉淀-过滤工艺的水处理工艺系统见图1,图1中虚线部分为反应沉淀系统。

图1系统中,设3个静止沉淀池,每个静止沉淀池依次按照进水→静止沉淀→进水(滗水)→再静

收稿日期:2008-12-18; 修订日期:2009-02-17

作者简介:刘彦飞(1968~),男,副教授,主要从事大气污染及水处理和技术研究与实践。E-mail:usthcn@163.com

止沉淀的循环方式对絮凝反应水进行沉淀处理,其结构及工作过程可参考文献[1]。

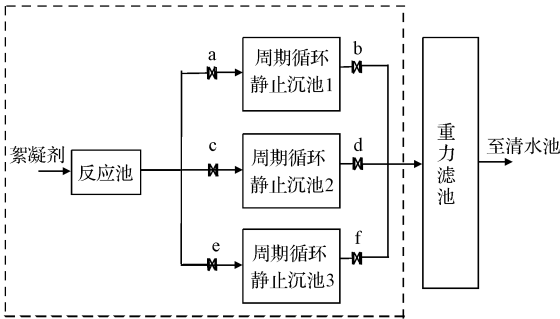


图 1 周期循环静止沉淀工艺  
Fig.1 Periodical cycling still settlement

1.2 研究主要问题及目标

(1)在工业性试验条件下,周期循环静止沉淀池的处理能力。

表 1 七台河矿业集团某矿井水厂主要工艺处理单元设计和实际运行参数

Table 1 Design and actual operation parameters of the main technical treatment units in a mine water plant of Qitaihe Mining Group Company

| 单元名称                  | 外形尺寸<br>(m)  | 有效尺寸<br>(m)  | 有效容积<br>(m <sup>3</sup> ) | 水力停留时间<br>(min) |      | 表面负荷<br>(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ) |     | 体积负荷<br>(m <sup>3</sup> /hm <sup>3</sup> ) |      | 上升流速<br>(mm/s) |      |
|-----------------------|--------------|--------------|---------------------------|-----------------|------|--------------------------------------------|-----|--------------------------------------------|------|----------------|------|
|                       |              |              |                           | 设计              | 实际   | 设计                                         | 实际  | 设计                                         | 实际   | 设计             | 实际   |
| 穿孔旋流反应池               | 5.9×6.8×5.07 | 5.3×6.2×5.07 | 61.5                      | 24.6            | 36.9 | -                                          | -   | -                                          | -    | -              | -    |
| 斜管沉淀池                 | 4.9×6.8×5.07 | 4.5×6.2×5.07 | 121.5                     | 48.6            | 72.9 | 5.4                                        | 3.6 | 1.23                                       | 0.82 | 1.49           | 0.99 |
| 15 m <sup>2</sup> 砂滤池 | 1.3×6.8×5.07 | -            | -                         | -               | -    | -                                          | -   | -                                          | -    | -              | -    |

该水厂原水取自该矿矿井 1<sup>#</sup>层,水质相对较好,后由于 1<sup>#</sup>层涌水量变小,改为 2<sup>#</sup>层。2<sup>#</sup>层开采方式为综采,生产过程中液压支柱和综采机组排放的乳化液污染矿井水,并使矿井水呈现出明显的碱性和石油类污染特征,影响了处理设备的处理效果,表现为沉淀池絮凝体大量上浮流入滤池,致使沉后水质严重超标,并严重影响砂滤池的处理能力和效果。通过调节、减少设备进水量,水质又逐渐提高,但最终使设备处理能力减至 100 m<sup>3</sup>/h,即处理能力减少了 1/3,实际运行参数见表 1。

周期循环静止沉淀工艺试验中,采用不同的静止沉淀池数和循环时间,所需配置的反应池的处理能力应是不同的<sup>[1]</sup>。因此,在静止沉淀池处理能力一定的条件下,需要反应池处理能力能够可调,但所采用的反应池和过滤单元的处理能力又已经形成,是不能改变的。为了达到上述研究目标,对其 2 套设备进行周期循环静止沉淀工艺改造试验:

(2)反应-周期循环静止沉淀-过滤工艺系统的适用性,即试验研究周期循环静止沉淀工艺系统中一定处理能力的静止沉淀池与相匹配的反应池和过滤单元的处理能力及其合理性。

2 实践研究内容

2.1 实践研究工艺流程

本实践研究是利用七台河矿业集团某矿井水处理厂现有设备,对其进行的周期循环静止沉淀工艺工业性试验研究。该矿井水处理厂现有 2 套矿井水处理设备,每套系统的设计处理能力为 150 m<sup>3</sup>/h,采用常规反应-斜管沉淀-过滤工艺,处理单元设计参数如表 1 所示,处理工艺如图 2 所示。为了表述方便,将第 1 套系统称为系统 1(1 部),第 2 套系统称为系统 2(2 部)。

(1)假设过滤单元具有无限大的处理能力,实际中可以通过溢流阀门和反冲洗阀门及时将溢出的清水排掉,在这种情况下,不会对滤水操作产生水力影响。

(2)利用系统 1 做为周期循环的主反应系统。试验时将系统 1 的沉淀池做为周期循环静止沉淀,通过调整系统 1 的沉淀池的不同进水量,并进行周期循环静止沉淀。试验中,要达到静止沉淀的周期循环工作模式,需要对该沉淀池的工作过程进行组织,即按照进水(反应后水)→静止沉淀→再进水→再静止沉淀顺序进行试验。这样的试验过程与周期循环静止沉淀工艺单池的工作过程是一致的,只不过在本试验中,是在工况状态下使用单池模拟多池进行周期循环静止沉降试验,所以在沉淀池进行静止沉淀时,反应池是停止工作的,停止工作时间与沉淀池静止沉淀时间相等。这里需说明的是,若为多池循环静止沉淀,则在一池静沉时,反应池仍在工

作,并为另一池供水。为了测量清水层方便,并和常规沉淀池进行对比,拆去沉淀池内斜管。

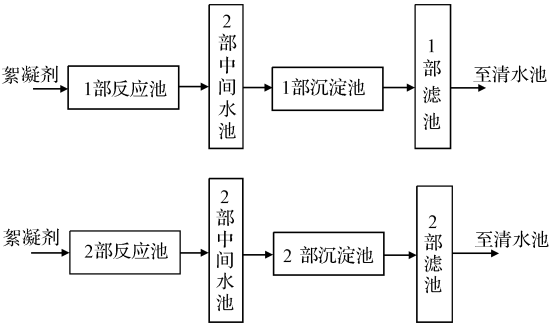


图2 七台河精煤集团某矿井水厂工艺流程图  
Fig.2 Process sketch of a mine water plant  
of Qitaihe Mining Group Company

(3)调节系统1反应池处理能力。用DN200钢管将系统2的反应池后的中间水池放空管B与系统1中间水池放空管A相连接,安置闸阀和流量表C以控制反应后水流量;同时在实验中,保持系统2反应池后中间水池水位高于第1套系统反应池后中间水池水位在150~200 mm之间(这可通过调整系统2快滤池水位标高完成),以保持系统2反应后水能够根据按照实验要求的流量补充给第1套系统,从而确定系统1静止沉淀池的实际处理能力。经试验改造后的工艺系统如图3所示,图3中虚线内的设备和构筑物即为试验的设备和构筑物。

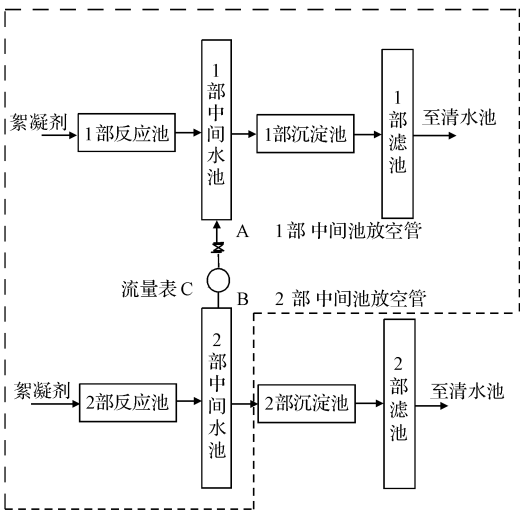


图3 周期循环静止沉淀工艺工业性试验工艺流程图  
Fig.3 Process sketch of the industrial test of  
cycled still settlement process

2.2 试验仪器设备

仪器设备:CY-1型深水采样器、HACH: Pocket Turbidimeter 浊度计、钢板尺。

2.3 试验方法

(1) 试验前调整2套系统的絮凝剂加入量,使2套系统的反应池达到最佳工作状态。

(2)通过调整2系统的中间水池连接管的水流量,控制系统1沉淀池的进水流量,计算静止沉淀池上升清水层形成速度和周期内清水层形成综合速度;用钢板尺确定清水层高度,采取不同高度上的清水层水样,用Turbidimeter 浊度计测量水样浊度。

(3)根据实验结果计算周期沉淀池的处理负荷。

(4)表2中,清水层是指浊度小于10 NTU的水层,而清水层高度是指距液面一定深度的清水层的高度,表1中1~15次试验中的清水层高度为2 m,16~17次试验的清水层高度为1.8 m;为了保证滗水水质,滗水高度应小于等于沉淀池在静沉后所形成的清水层高度;进水时间和滗水时间为同一时间,这是由于滗水过程是依靠沉淀池进水的抬升作用完成的;静沉速度是清水层高度与静沉时间之比,即静沉速度(mm/s)=清水层高度(mm)/静沉时间(s),反映的是在静沉时絮凝体绝对沉降速度;周期内清水层形成综合速度是清水层高度与静沉时间、进水时间之和之比,即周期内清水层形成综合速度(mm/s)=清水层高度(mm)/[静沉时间(s)+进水时间(s)],反映的是在一个进水、静沉周期内絮凝体的沉降速度,与常规沉淀池上升速度相比较,能反映静止沉淀处理效果的优劣。

(5)试验时,沉淀池采取连续排泥形式排除池底拥挤絮体,以消除在多次静止沉淀时,底部污泥絮体拥挤造成泥水混合层过高、导致清水层高度减小而影响静止沉淀池的产水率。本次试验的沉淀池底部设有3道断面为锥形的污泥斗沟,分别设有穿孔排泥管一根,根据多次试验结果,通过调整电动调节阀门的启闭度控制排泥量,3根排泥管每小时泄泥水量为约6~10 m<sup>3</sup>,折合降低上升流速0.05~0.1 mm/s,由于数值较小,在进行上升流速计算时,忽略其对上升流速的影响。

2.4 试验结果

初次进水流量为180 m<sup>3</sup>/h,静止沉降15 min,在距液面0.5、1、1.5、1.8和2 m各采1个水样,测量其浊度;之后,调整进水流量、进水时间和静沉时间,测出不同清水层高度上的浊度,共20次试验,其

中 18~20 次试验清水层出现明显的混浊现象,已不 汇于表 2。  
满足出清水的要求。前 17 次试验所测和计算数据

表 2 周期静止沉降工业性试验结果  
Table 2 Industrial test results of cycled still settlement process

| 进水<br>序次 | 进水流量(m <sup>3</sup> /h) |     | 进水时间<br>(min) | 滗水高度<br>(m) | 静沉时间<br>(min) | 清水层形成平均速度<br>(mm/s) |         | 距液面不同高度<br>清水层浊度(NTU) |       |       |       | 清水层高度<br>(m) |
|----------|-------------------------|-----|---------------|-------------|---------------|---------------------|---------|-----------------------|-------|-------|-------|--------------|
|          | 倍数×150                  | 流量  |               |             |               | 静沉速度                | 周期内综合速度 | 0.5 m                 | 1.0 m | 1.5 m | 2.0 m |              |
|          |                         |     |               |             |               |                     |         |                       |       |       |       |              |
| 1        | 1.2×150                 | 180 | —             | —           | 15            | 2.22                | —       | 3.7                   | 4.8   | 5.9   | 6.8   | 2            |
| 2        | 1.2×150                 | 180 | 14            | 1.5         | 15            | 2.22                | 1.13    | 3.5                   | 4.5   | 5.2   | 5.9   | 2            |
| 3        | 1.2×150                 | 180 | 14            | 1.5         | 15            | 2.22                | 1.13    | 3.5                   | 4.3   | 5.0   | 6.0   | 2            |
| 4        | 1.2×150                 | 180 | 14            | 1.5         | 15            | 2.22                | 1.13    | 4.4                   | 5.0   | 6.0   | 7.0   | 2            |
| 5        | 1.4×150                 | 210 | 12            | 1.5         | 15            | 2.22                | 1.23    | 5.8                   | 6.2   | 7.5   | 8.8   | 2            |
| 6        | 1.4×150                 | 210 | 12            | 1.5         | 15            | 2.22                | 1.23    | 5.6                   | 6.1   | 7.5   | 8.7   | 2            |
| 7        | 1.4×150                 | 210 | 12            | 1.5         | 15            | 2.22                | 1.23    | 5.6                   | 6.0   | 7.2   | 8.6   | 2            |
| 8        | 1.6×150                 | 240 | 10            | 1.5         | 15            | 2.22                | 1.33    | 5.2                   | 6.3   | 7.2   | 8.7   | 2            |
| 9        | 1.6×150                 | 240 | 10            | 1.5         | 15            | 2.22                | 1.33    | 5.0                   | 5.6   | 7.8   | 8.4   | 2            |
| 10       | 1.6×150                 | 240 | 10            | 1.5         | 15            | 2.22                | 1.33    | 5.0                   | 5.5   | 7.9   | 8.5   | 2            |
| 11       | 1.6×150                 | 240 | 10            | 1.5         | 10            | 3.33                | 1.67    | 5.2                   | 6.0   | 7.2   | 8.9   | 2            |
| 12       | 1.6×150                 | 240 | 10            | 1.5         | 10            | 3.33                | 1.67    | 5.8                   | 6.3   | 7.2   | 8.6   | 2            |
| 13       | 1.6×150                 | 240 | 10            | 1.5         | 10            | 3.33                | 1.67    | 5.5                   | 6.3   | 6.8   | 9.2   | 2            |
| 14       | 1.8×150                 | 270 | 11            | 1.8         | 10            | 3.33                | 1.59    | 6.5                   | 7.3   | 7.8   | 9.0   | 2            |
| 15       | 1.8×150                 | 270 | 11            | 1.8         | 10            | 3.33                | 1.59    | 6.4                   | 7.7   | 8.8   | 9.2   | 2            |
| 16       | 1.8×150                 | 270 | 9             | 1.5         | 10            | 2.5                 | 1.32    | 6.5                   | 8.0   | 9.0   | 10.2  | 1.8          |
| 17       | 1.8×150                 | 270 | 9             | 1.5         | 10            | 2.5                 | 1.32    | 6.4                   | 8.2   | 9.0   | 10.2  | 1.8          |

2.5 试验结果及分析

2.5.1 周期循环静止沉淀池沉淀效果与沉淀机理

表 2 中,周期内清水层形成的综合速度在 2~4、5~7、8~10、11~13、14~15、16~17 次试验中分别为 1.13、1.23、1.33、1.67、1.59、1.32 mm/s,而其周期循环静止沉淀时间分别为 29、27、25、20、21、19 min,而以 11~13 次试验清水层形成的综合速度为最高,达到了 1.67 mm/s,这个数值比原沉淀池实际上升流速 0.99 mm/s 大大提高,与常规沉淀池上升流速的最大设计值 1.3 mm/s<sup>[3]</sup>相比,也高出许多;同时,清水层水质与原常规沉淀池出水水质相比有了显著的提高;原常规沉淀池出水浊度严重超标,而在周期循环静止沉淀工艺试验过程,除了 16、17 次试验外,其他各次试验的清水层浊度均在 10 NTU 以下,达到了给水处理设计规范要求。

在常规沉淀池中,絮凝体颗粒在下沉过程中,在铅直方向受到受 3 个力的作用:阻力、浮力和重力。为了简化计算,以当量直径代替絮体颗粒直径,可以推导出絮凝体颗粒的沉降速度公式:

$$V = \left[ \frac{4 d_p g (\rho_p - \rho)}{3 c_d \rho} \right]^{\frac{1}{2}} - V_0 \tag{1}$$

其中:

- $V$ ——絮凝体颗粒的沉降速度;
- $V_0$ ——沉淀池中水流上升流速;
- $d_p$ ——絮凝体颗粒的当量直径;
- $\rho_p$ ——絮凝体颗粒的真密度;
- $\rho$ ——水的密度;
- $g$ ——重力加速度;
- $c_d$ ——阻力系数,是颗粒雷诺数  $Re_p$  的函数。

从公式(1)中可看出,对于一定密度、粒径的絮凝体,在常规沉淀池中,絮凝体颗粒的沉降速度为  $\left[ \frac{4 d_p g (\rho_p - \rho)}{3 c_d \rho} \right]^{\frac{1}{2}}$  与  $V_0$  之差,水流上升流速越大,絮凝体颗粒的沉降速度越小。

而在静止沉淀中,静沉时间内水流上升流速为  $V_0 = 0$ 。因而,絮凝体颗粒的沉降速度  $V'$  为:

$$V' = \left[ \frac{4 d_p g (\rho_p - \rho)}{3 c_d \rho} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{2}$$

从公式(1)和(2)可知, $V' > V$ ,这是静止沉淀池中絮凝体的沉降速度高于常规沉淀池絮凝体的沉降速度的原因。

### 2.5.2 周期循环静止沉淀工艺处理效果分析

从表2中11~13次试验中可以看出,试验的进水时间和静沉时间各为10 min时的沉淀效果最好,表现为清水层比较稳定,出水流量也较高,此时1个工作周期为20 min。

按照这种情况计算,反应池的处理能力为 $240 \text{ m}^3/\text{h}$ ,沉淀池的处理能力为 $240 \text{ m}^3/\text{h} \times 10 \text{ min}/60 \text{ min} \times 60 \text{ min}/20 \text{ min} = 120 \text{ m}^3/\text{h}$ ,即反应池的处理能力与沉淀池的处理能力之比为2:1。这个比值非常符合由1个反应池和2个静止沉淀池构成的周期循环静止沉淀工艺,即在试验工艺中,若再设1个与第1套系统相同处理能力的静止沉淀池,所构成的2池周期循环静止沉淀工艺中,反应池的处理能力与沉淀池的处理能力之比刚好为1:1;由于原工艺中沉淀池的处理能力为 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ ,因此,改为2池周期循环静止沉淀试验工艺后,则沉淀池处理能力为原沉淀池处理能力的1.2倍,也可以说成在此种情况下,沉淀池改成静止沉淀池后,其体积负荷和表面负荷都提高了20%。

周期内清水层形成的综合速度与进水流量、滗水高度、进水时间、静沉时间有关。根据周期内清水层形成综合速度 $(\text{mm}/\text{s}) = \text{清水层高度}(\text{mm})/[\text{静沉时间}(\text{s}) + \text{进水时间}(\text{s})]$ ,进水时间较长、滗水高度大、静沉时间长都使循环周期时间加大,并导致周期内清水层形成的综合速度下降;通常情况下,进水量增大、进水(滗水)时间减少,周期内清水层形成的综合速度也随之提高,但大流量进水所造成的混合作用还可导致清水层高度减小和清水层浊度升高,反而使周期内清水层形成的综合速度降低,16~17试验即反映出这种情况。在试验中,进水和静沉时间均为10 min时产生了最佳的处理效果,是由于进水时间(在一定的处理能力下其决定了进水量)、进水量比较合理、并且混合层对清水层混合作用较小,从而使整个工艺处理效果处于较佳的状态。

### 2.5.3 周期循环静止沉淀工艺中静止沉淀池最佳数量分析

周期循环静止沉淀工艺中,采用的静止沉淀池的池数不同,静止沉淀池的进水(滗水)时间和静沉时间可能不相等。在2池循环的情况下,进水(滗水)时间与静沉时间相等;在3池以上循环的情况下,进水时间小于静沉时间,这是因为在周期工作过

程中,反应池只能给1个静止沉淀池进水。池子数增多,单池的静沉时间将增加,这有利于沉淀;但池子数增多,单池的容积和表面积将减小,受到的水力冲击将增强,混水层中泥水上涌污染清水层的作用也将增强。因此,并不是池子越多越好,一般选用2~3个静止池子为最佳。

### 2.5.4 周期循环静止沉淀工艺各处理单元关系分析

在过滤单元与反应池、静止沉淀池的关系上,由于周期循环静止沉淀工艺中反应池的工作是连续的,而且多个静止沉淀中必有1个池处于滗水状态,所以,静止沉淀池组也是连续地为后续的过滤单元供水,不会对过滤单元产生水力影响。

## 3 结 论

(1)周期循环静止沉淀处理工艺中,按照常规沉淀池设计参数设计周期循环静止沉淀,在相同的容积和表面积下,其处理能力可提高20%,即容积负荷和表面负荷均提高20%。

(2)2池循环的周期循环静止沉淀工艺,若按照常规处理工艺设计参数设计周期循环的静止沉淀池,则反应池与两静止沉淀池总处理能力比为1:1时,处理效果比较稳定。

(3)周期循环静止沉淀工艺中,反应-沉淀系统对后续的过滤单元供水是连续的,不会对过滤单元产生水力冲击影响。

(4)周期循环静止沉淀工艺用数个小沉淀池来代替常规沉淀池,需考虑静止沉淀池进水布水均匀问题和局部泥水混合层上涌污染清水层问题,一般静止沉淀池的设置数以2~3个为最佳。

(致谢:本试验得到了哈尔滨四海环保公司和七台河矿业集团的协助和配合,并提供了试验材料,在此一并致谢!)

## 参 考 文 献

- [1] 刘彦飞,邵龙义. 周期循环静止沉淀工艺实验研究与实践. 环境工程学报, 2007, 1(12): 63~66
- [2] Zhang Bo, Chen Jin-long, *et al.* Evaluation of the correlation between ammonia nitrogen and P-toluidine using sequencing batch reactor treating synthetic P-toluidine wastewater. Journal of Environmental Sciences, 2006, 18(2): 1~5
- [3] 上海市政工程设计研究院. 给水排水设计手册(第3册). 北京:中国建筑工业出版社, 2004. 566