

# 东北地区水厂沉淀池排泥控制模式探讨<sup>\*</sup>

崔福义 徐勇鹏 赵志伟 张海龙 石明岩 车振启

**提要** 沉淀池的排泥对其运行效果有着直接、重要的影响。沉淀池排泥有多种控制技术。通过水厂运行记录数据和生产性试验结果,从水处理系统运行优化角度进行技术经济分析,探讨了给水厂沉淀池排泥的控制模式。指出受东北地区水质特点影响,在给水处理厂主要可变费用中,排泥水费所占的比例只有4%,而且沉淀池排泥水水质是有规律变化的。排泥历时主要受原水浊度的影响,在同一原水条件下排泥过程曲线变化趋势是相同的。因此,推荐建立原水浊度~排泥历时关系曲线,以此确定一种简单直观的时间模式控制沉淀池排泥。

**关键词** 沉淀池 排泥控制模式 排泥历时 运行优化

自动化系统提高了城市供水水质安全保障能力,推动了供水企业的技术进步。但是在水厂建设中,自动化系统投资占工程总投资的比例很高,实现自动化要投入大量的资金与技术力量。因此,从我国水厂的实际情况出发,选择合理的自动化系统模式,从而以较小的投入取得较高的效益,是水厂自动化系统建设中应考虑的重要问题。

沉淀是水处理工艺中的重要环节。沉淀池的自动控制主要是对排泥的控制,包括自动确定排泥的开始和结束。合理的排泥在技术上有助于保证沉淀池的正常工作,即保证沉淀水水质合格;在经济上可节约排泥水消耗,降低运行费用<sup>[1]</sup>。沉淀池排泥控制有多种技术。如何选择适宜的排泥控制模式,既能有效保证排泥效果,又能降低系统建设与运行的投资,是本文将要探讨的问题。拟以我国东北地区的水厂为例,从水处理系统运行优化的角度进行技术经济分析,提出相应的沉淀池排泥控制模式。

## 1 沉淀池排泥对运行费用的影响

### 1.1 给水处理系统的运行费用构成及其优化

按费用与运行条件的关系,可以将给水处理系统的运行费分为两大部分。一部分是与运行条件基本无关的,如固定资产折旧、人员费等;另一部分与运行条件关系密切,称为可变费用。常规水处理系统的主要可变费用包括混凝剂等药剂费、沉淀池排泥水费和滤池反冲洗水费等,即

$$F = f_1 + f_2 + f_3 \quad (1)$$

式中  $F$ ——主要可变费用;

$f_1$ ——混凝剂等药剂费用;

$f_2$ ——沉淀池排泥水费;

$f_3$ ——滤池反冲洗水费。

改变运行工况,可以使主要可变费用发生变化,从而影响到水处理的成本。研究认为<sup>[2]</sup>,存在使运行费用最低的沉淀水浊度,即最经济沉淀水浊度。对于一个已建成的水处理系统,改变运行参数,以最经济沉淀水浊度运行,既能实现以最低的运行费用生产饮用水,并使饮用水水质达到水质标准的要求,这是优化运行的基本内涵。优化运行对保证水质,节约运行费用,有着重要的意义。

### 1.2 排泥工况对优化运行的影响

沉淀是常规水处理工艺的重要环节,其运行费用在主要可变费用中所占有的比例以及排泥水量在水厂主要自用水量中的比重,将影响到相应控制模式的选择。在此分别选择东北地区不同规模的两座水厂的数据,进行典型分析。

#### 1.2.1 主要可变费用构成

宾县水厂以二龙山水库水为水源,供水量约为7 000 m<sup>3</sup>/d,采用常规工艺流程。在生产系统上,通过调节投药量来改变沉淀水浊度,实现不同的运行工况。

根据优化运行生产性试验数据,得到图1的结果:在主要可变费用中,混凝剂费所占比例最大,

<sup>\*</sup>国家自然科学基金项目(59778023)。

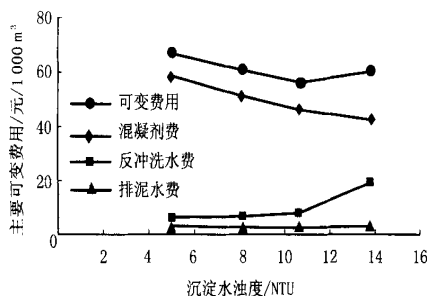


图1 沉淀水浊度与费用关系(宾县水厂)

在80%以上,起控制作用,设法降低混凝剂费是降低可变费用的关键;沉淀池排泥水费所占比例最小,只占约4%左右,而且随不同沉淀水浊度的变化幅度也较小。

哈尔滨绍和水厂是产水量为24万 $\text{m}^3/\text{d}$ 的大型水厂,以松花江水为水源,采用常规工艺流程。对该厂的生产运行记录数据进行分析(以1997年数据为例),得到主要可变费用构成曲线,见图2。

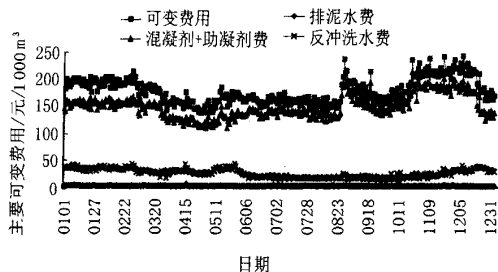


图2 1997年绍和水厂主要可变费用构成

从图2中可以看出:在主要可变费用中,仍然是药剂费最高,滤池反冲洗水费其次,沉淀池排泥水费最少。混凝剂费所占的比例在70%以上,起控制作用,可变费用的变化趋势主要取决于混凝剂费的变化情况。沉淀池排泥水费所占比例最小,在4%上下,且随季节变化的幅度很小,对合成费用的影响较小。

以上实例分别代表我国东北地区大、小两种规模的水厂,说明在给水处理系统中,混凝不仅是影响水处理效果的重要环节,也是影响运行经济性的主要环节。这一现象的产生主要是由东北地区的水源水质特点决定的。

以松花江水为例(见图3),冬季冰封期长达4~5个月,水温基本处于0,而且浊度很低,大都在20 NTU以下。夏季虽然水温上升了,但汛期来临

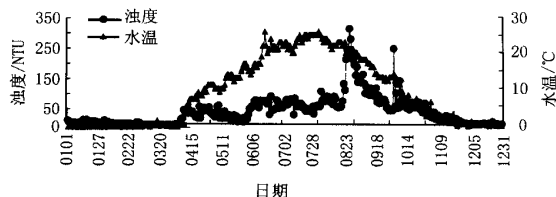


图3 1997年松花江全年水温及浊度变化

时浊度较高,一般可达到300 NTU左右,有时汛期最高可达到1800 NTU,而且变化幅度又较大。

我国东北地区的气候条件导致冬季水低温低浊难于处理,要投加大量的混凝剂,有时还要投加助凝剂;在夏季,为了应对较高的水源水浊度,也需要大量投加混凝剂。由于这一原因,东北地区成为我国混凝剂投加量较高的地区。从全国混凝剂投加情况调查(见图4)得知,东北地区混凝剂的平均投量高达70~100 mg/L,是其他地区平均投量的2~4倍。混凝剂投量大,是东北地区水厂的普遍特点,它决定了混凝剂的费用在水厂的运行费用中占主导地位。

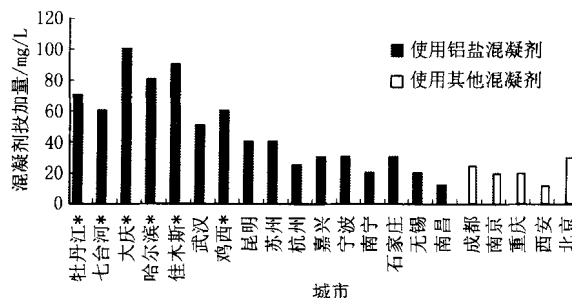


图4 我国部分城市混凝剂的平均投加情况(\*指东北地区城市)

### 1.2.2 主要自用水量构成

水厂的自用水量主要包括沉淀池排泥水量和滤池反冲洗水量,是水处理系统运行的另一部分主要可变费用。哈尔滨绍和水厂的生产数据表明(见表1),只是在夏季短时期内,反冲洗水量不超过自用量的70%;其他大部分时段内,反冲洗水量占水厂主要自用量的70%以上,而沉淀池排泥水量仅占主要自用量的30%以下。考虑到两种自用水成本上的差异,排泥水费相对的比例就更低,进一步降低了排泥水费用在主要可变费用中的比例。

在宾县水厂也有类似的情况(见表2),由于宾县水厂的滤池采用高速水流反冲洗,反冲洗耗水量

表 1 1997 年绍和水厂主要自用水量构成

项目	反冲洗耗水量		排泥耗水量	
	日平均消耗水量/1 000 m <sup>3</sup>	占主要自用水量的比例/%	日平均消耗水量/1 000 m <sup>3</sup>	占主要自用水量的比例/%
1	4.95	77	1.47	23
2	5.22	78	1.46	22
3	4.25	76	1.36	24
4	4.24	76	1.32	24
5	4.87	78	1.36	22
6	3.05	70	1.32	30
7	3.94	74	1.36	26
8	2.45	64	1.37	36
9	2.66	67	1.28	33
10	2.92	70	1.28	30
11	3.55	73	1.32	27
12	4.80	78	1.33	22

表 2 宾县水厂主要自用水量构成

项 目	反冲洗耗水量		排泥耗水量	
	日平均消耗水量/m <sup>3</sup>	占主要自用水量的比例 / %	日平均消耗水量/m <sup>3</sup>	占主要自用水量的比例 / %
原水浊度 / NTU				
< 20	425	87.0	63.4	13.0
20 ~ 40	405	86.6	62.4	13.4
40 ~ 60	435	87.8	60.3	12.2
60 ~ 80	435	87.7	60.7	12.3
80 ~ 100	435	87.3	62.8	12.7
100 ~ 150	415	86.8	63.5	13.2
> 150	430	87.1	63.4	12.9

占水厂主要自用水量的比例更大一些,超过 86 %,排泥水量占的比例更小,一般都在 14 % 以下。排泥水费的相对比例就更低了。

以上分析表明,从经济因素出发,东北地区水厂提高运行效益应以改进混凝为核心,而沉淀池排泥仅起着相对次要的作用。

## 2 沉淀池排泥水水质变化规律

下面再从排泥过程的变化特点来进行分析。

在宾县水厂生产性试验中得到的典型排泥水浊度变化曲线见图 5 和图 6。从中可看出,所有曲线显示的沉淀池整个排泥过程的变化趋势都是相同的:自排泥开始,排泥水浊度迅速增加,不到 1 min 的时间内出现最大值(峰值);紧接着以相反的趋势和同

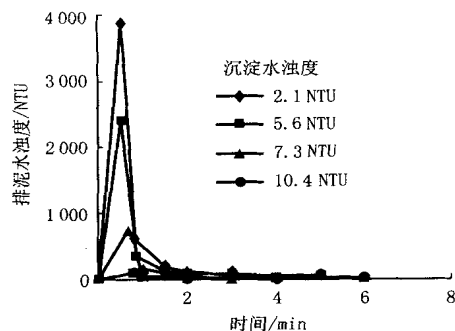


图 5 宾县水厂排泥水浊度变化曲线(原水浊度 17.7 NTU)

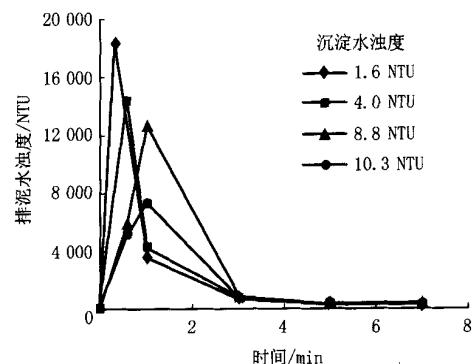


图 6 宾县水厂排泥水浊度变化曲线(原水浊度 98.8 NTU)

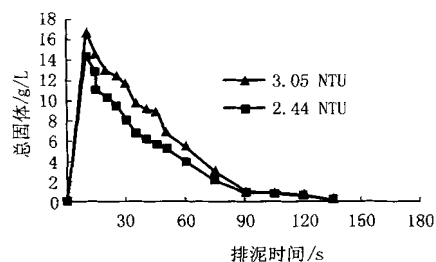


图 7 绍和水厂排泥水总固体变化曲线(原水浊度 64 NTU)

样的速度迅速降低;在 2 ~ 3 min 的时间内降到 300 NTU 以下;此后变化趋势趋向平稳,浊度变化不再明显。原水浊度的高低影响排泥水的峰值浊度大小和排泥水高浊度期的长短;同一原水浊度下,沉淀水浊度的高低主要影响排泥水的最大浊度,而与排泥水高浊度期的持续时间基本无关。

在绍和水厂得到类似的结果(见图 7)。

上述基本规律说明,以排泥水浊度由迅速变化到较为平稳的转折点作为排泥结束点是经济的(实际运行中考虑安全因素适当加安全余量),可以建立原水浊度 ~ 排泥历时关系曲线,根据不同的原水浊

度按相应的排泥历时控制排泥。这是一种简便易行的排泥控制技术。

### 3 排泥过程控制模式的比较与讨论

目前,沉淀池排泥过程控制模式主要可归为如下4种。

(1)按数学模型计算积泥量排泥。根据原水和沉淀水浊度、混凝剂特性以及其他参数,建立积泥量和排泥过程数学模型,确定排泥历时,进行排泥过程控制<sup>[3]</sup>。这种方式系统复杂,要求对所涉参数进行准确的在线测量,并能建立可靠的数学模型。检测控制系统投资大,运行维护费用高。适用于自动化程度高的水厂。

(2)泥面控制。在沉淀池中安装泥面检测仪,根据积泥的高度控制排泥历时<sup>[4]</sup>。这种模式能准确地确定积泥排出程度,前提是泥面的检测是可靠的。传统的浸入式泥面检测仪表易受泥水干扰,产生错误的信号;非接触式的检测仪表可能价格较高或受沉淀池构造影响而不便检测。无论何种形式都需要设置专用的检测仪表,增加投资与维护费用。

(3)排泥水浊度控制。在排泥过程中,对排泥水的浊度进行在线检测,当该浊度降到要求的值后,停止排泥<sup>[5]</sup>。此方法控制准确,但是同样要设置专用的检测仪表,增加投资与维护费用。

(4)时间控制。根据经验确定的排泥历时控制排泥。此方法是许多水厂传统上采用的排泥控制方式,除了时间外不需要检测任何其他参数,具有系统简单,投资小,维护费用低等优点。缺点是排泥控制的准确程度较低。

选择排泥控制模式不仅要考虑技术性能,还应考虑实际的需求以及所能产生的效益。上述几种排泥控制方式在技术上都是可行的,主要差别是对排泥控制的准确性与投资和维护费用高低。前3种方法都需要较大的投资与维护费用、较高的运行管理水平;时间控制法虽然准确性略差,但不需要专门的投资,是简便易行的。

综合前面的论述,对于我国东北地区水厂而言,原水具有冬季低温低浊、夏季浊度变化大的特点,混凝剂投量大。在水厂主要可变运行费用中,起决定作用的是混凝剂费,而沉淀池排泥水费所占的比例很小,对运行优化的影响不大,精确控制排泥在节

水、节约运行费用方面的贡献很小,因此选择复杂的排泥控制方式缺乏必要性。另一方面,从排泥过程中的泥水浊度变化特点来看,虽然受各种因素影响,每次排泥所需要的准确时间会略有变化,但是这种变化不会很大。排泥需要的时间主要受原水浊度的影响,完全可以通过建立特定水厂的原水浊度~排泥历时(考虑必要的余量)曲线来确定排泥的历时。因此,采用简单的时间控制模式排泥,可以节约沉淀池控制系统的设备投资,减少对运行维护的要求,尽管在控制的准确性上会有所降低,但不对高效经济运行产生显著的影响。

### 4 结论

本文针对东北地区的水厂,从水处理运行优化的角度探讨了沉淀池排泥的控制模式,得到以下结论:在主要可变运行费用中,混凝剂费用的比例最大,排泥费用所占比例很小,只有4%左右;在主要自用水量中,多数情况下排泥的水量只占不到30%,排泥工况对水处理系统的运行优化影响较小;

排泥过程的排泥水浊度变化主要受原水浊度影响,可以建立原水浊度~排泥历时(考虑必要的余量)关系曲线,作为确定排泥历时的依据;综合考虑技术经济因素,时间控制模式是适宜东北地区水厂采用的比较简单、易行、经济的排泥控制模式。

### 参考文献

- 1 G Mazzolani, F Pirozzi, G d'Antoni. A generalized settling approach in the numerical modeling of sedimentation tanks. *Water science and technology*, 1998, 28(3): 95 ~ 102
- 2 石明岩,赵天慧,崔福义. 给水处理系统高效经济运行研究之二——相关关系的试验研究. *哈尔滨建筑大学学报*, 1999, 32(6): 9 ~ 11
- 3 David A White, Nicola Verdone. Numerical modeling of sedimentation processes. *Chemical Engineering Science*, 2000, 55: 2213 ~ 2222
- 4 叶辉,乐林生,鲍士荣,等. 自来水厂排泥水处理污泥量的确定方法. *给水排水*, 2002, 28(4): 1 ~ 5
- 5 贺海生. 株洲市第四水厂自动化控制系统. *给水排水*, 2000, 26(3): 97 ~ 99

作者通讯处:150090 哈尔滨工业大学市政环境工程学院  
电话:(0451)6282098  
E-mail:cuifuyi@public.hr.hl.cn  
收稿日期:2002-12-31

## ABSTRACTS

**Study on Fouling and Cleaning of Membrane in PAC Combined MBR** ..... Dilber Sultan et al (1)

**Abstract:** Membrane fouling and cleaning methods in the PAC (powdered activated carbon) combined MBR (membrane bioreactor) applied to purify slightly-polluted raw water were investigated. By SEM (Scanning Electronic Microscope) observation, it was found that the membrane fouling on the exterior surface was mainly attributive to the gel layer consisted of PAC, activated sludge and so on, while the inner membrane surface has been little fouled. Combined cleaning including extended aeration, ultrasonic cleaning, rinses by 0.3 % NaClO solution and 2 % HCl solution could recover membrane permeability over 95 %. Especially ultrasonic cleaning and NaClO rinse were found to be effective for recovering membrane permeability by 54 % and 38 % respectively. From the measurement of molecular weight distributions of extracted liquid in each cleaning step, it was found that the aerated liquid had 70 % organics whose molecular weight exceeded 20 000, and ultrasonic cleaning mainly removed the organics with molecular weight lower than 4 000. Organic matters were presumed to be mainly responsible for the membrane fouling.

**Brief on German Sewage System** ..... Tang Jianguo et al (4)

**Abstract:** On the basis of special investigation on urban sewerage facilities, the comprehensive presentation on the recent status of Germany sewage system is presented in this paper. A great deal of problems will be included, from general information to failure avoidance related to the structure damages of sewerage lines. The German experiences on rainwater diverting into natural rivers in case when the flux in the combined sewer exceeded the preset intercepting threshold, is very suggested, for this rainwater retardant reservoirs have to be constructed to reduce the initial stormy-runoff, these are very important to protect the natural water ways. Also we paid attentions to pressured flushing, it has been widely used for sewer line purging and seems very high effective.

**Study on Sludge Discharge Control Modes of Waterworks Sedimentation Tank in Northeast China** ..... Cui Fuyi et al (10)

**Abstract:** There are many ways to control the sludge extracting and removing from sedimentation tank, undoubtedly these play important role in performance of waterworks. This study on sludge discharge control modes is conducted on the basis of technical and economical investigation of practical operating records of two waterworks in Northeast China and on-site full-scale experiment, and aimed to optimize the systematic performance of the waterworks. We observed, the cost of sludge discharge was approximate 4 % to the alterable operation cost of the waterworks and the characteristic rule of the discharged water from the sedimentation tank might be influenced by the local raw water quality. The duration of sludge discharge will be determined by the turbidity of the raw water. Consequently it is proposed to establish a model of sludge discharge duration to turbidity of raw water, and by this way the sludge removal operation will be controlled under a simple and very visualized pattern.

**Rain Water Utilization and Ecological Residential Quarter** ..... Li Junqi et al (14)

**Abstract:** Development of so-called green ecological residential sub-districts might be one of the most important efforts to improve the environmental and ecological quality in urban area, therefore the higher level demands to rainwater system will be needed. The strategy, critical technology and approach of this system are put forward in this paper. Some key problems, such as the water balance analysis, calculation methods for storage and infiltration facilities etc, are discussed. Also a case study was illustrated.

**New Rain Water Drainage System: a New Field of Perfect Urban Hydrographic and Ecological System**

..... Wang Ziwen et al (17)

**Abstract:** The existing municipal water and wastewater system is becoming weak more and more for the increasing hydrological, ecological and environmental problems such as flood, land subsidence, water pollution and water resource shortage. Numerous new developments in water and wastewater field have been proposed domestically and abroad for perfect, especially on dealing with stormy water drainage. As successful examples wide used in developed states the MS system in Germany and the permeable run-off reservoir system in U K are remarkable. These new systems can reduce the storm-water runoff, which has been increased by urbanization, slow down the peak flow and have great contribution to the urban disaster abatement. At the same time the groundwater is refilled and the further land subsiding is avoided. By infiltration through the soil layer, water quality of the run-off is improved, and the enhanced water might be reused. Thus, both the problems of water pollution and water shortage have been solved in certain level. New water supply and drainage systems provide wide market for the geo-synthetics.

**Technological Design and Operation of Large Booster Pump Station** ..... Yuan Yongqin (21)

**Abstract:** The high-capacity booster pump station for water conveyance used to be designed as in-line relay to keep on the water head. By this way it will be smaller space requirement and low investment. To design a large pump station of this kind is not easy, because the working status seems determined by various factors. A pumping station working in wide spheres of discharge and delivery lift has been designed with just allocation of technological performance and equipment. Now it is serving for the water diverting engineering to Guangzhou City satisfactorily.