

# 深圳供水厂生产废水优化节水的试验研究

徐勇鹏<sup>1,2</sup>, 姜金鑫<sup>2</sup>, 崔福义<sup>1</sup>

(1. 城市水资源开发利用<北方>国家工程研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150090 2 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

**摘要:** 为了降低水厂自用水量, 节约水资源, 在深圳 S 供水厂进行了生产废水优化节水的试验研究。通过提出水厂各排泥构筑物的优化节水排泥工况, S 水厂的耗水率由原来的 3.5% 降到了 2.1%, 水厂节约用水量为  $42.42 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  同时每年节省生产成本为 49.19 万元。S 水厂回用工艺每年可以为水厂节省生产成本为 48.66 万元, 节省制水成本为 0.013 元/ $\text{m}^3$ 。因此, 建议在深圳等水资源费较高的地区的供水厂内增建生产废水的回收处理工艺。

**关键词:** 生产废水; 节水; 回用; 耗水率

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2011)03-0044-04

## Experimental Study on Optimization of Treatment Residual Stream Saving at Waterworks in Shenzhen

XU Yong-peng<sup>2</sup>, JIANG Jin-xin<sup>2</sup>, CUI Fu-yi<sup>1</sup>

(1. National Engineering Research Center of Urban Water Resources, Harbin 150090, China;  
2. School of Municipal and Environment Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

**Abstract** In order to reduce the water consumption at waterworks and save water resources, the experimental study on optimization of treatment residual stream saving was conducted at the SWaterworks in Shenzhen. By optimizing the sludge water conditions, the total water consumption rate of the SWaterworks can be reduced from 3.5% to 2.1%, saving water of  $42.42 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  and production cost of 491.9 thousands Yuan per Year. The treatment residual stream reuse process can save the production cost of 486.6 thousands Yuan per Year, and the production cost per ton water is saved by 0.013 Yuan. As a result, it is suggested that the treatment residual stream reuse process is added at waterworks located in areas like Shenzhen with high water resource fees.

**Key words:** treatment residual stream; water saving; reuse; water consumption rate

在缺水地区, 由于长距离引水投入费用的增加, 导致水资源费较高, 所以供水厂中 5%~8% 的自用水量显得更加宝贵, 因此开展供水厂生产废水的优化节水研究非常重要。深圳供水厂的水源大部分为水库水, 水资源费用较高, 大约为 0.83 元/ $\text{m}^3$ , 深圳

也是较早研究生产废水优化减排、建设回用工艺的地区。笔者对深圳 S 水厂排放的生产废水的水量、水质进行研究, 评价其主要处理构筑物的节水现状及潜力, 并提出相应的排泥、反冲洗节水工况, 以期能降低水厂的自用水量, 达到节省水资源和降低运

基金项目: 国家科技支撑项目(2006BAB17B02); 哈尔滨市科技创新人才研究专项资金资助项目(2007RFXXS020)

行成本的目的;同时对其生产废水回用工艺进行生产效益评估。

### 1 S水厂概况

S供水厂一期建设规模为  $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  目前实际运行规模为  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  水源水质较好,常年平均浊度为  $5 \sim 7 \text{ NTU}$  PH值为  $6.8 \sim 7.4$  但是夏季藻类较多,水质参数见表 1。

表 1 水源水质

Tab 1 Quality of source water

项目	1季度	2季度	3季度	4季度	年均
水温 / $^{\circ}\text{C}$	20.7	25.2	29.2	22.7	24.4
PH	7.18	7.22	7.22	7.34	7.24
浊度 / $\text{NTU}$	7.87	6.54	5.79	7.57	6.94
$\text{COD}_{\text{Mn}} / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	1.39	1.65	1.80	1.41	1.56

水厂采用常规处理工艺,处理流程为混凝 $\rightarrow$ 沉淀 $\rightarrow$ 过滤 $\rightarrow$ 消毒;设置生产废水的回用处理系统(见图 1),滤池反冲洗水和排泥水分开处理。

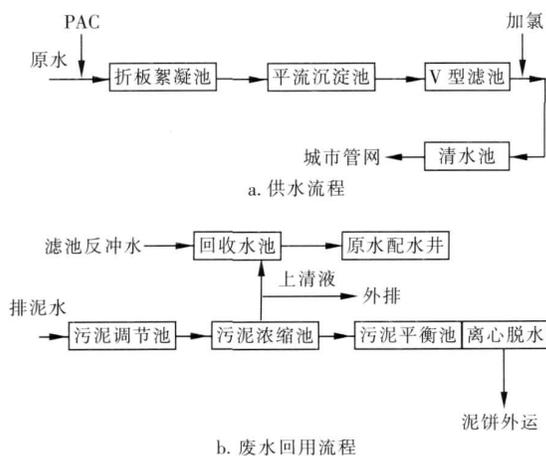


图 1 S水厂工艺流程

Fig 1 Flow chart of SW aierworks

据统计,目前 S供水厂处理系统的自用水量为  $127.59 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  占水厂供水量的  $3.4\%$ ,主要是絮凝、沉淀的排泥水和滤池反冲洗水。在 S供水厂的自用水量组成中,滤池反冲洗水量最大,为  $67.69 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  占自用量的  $53.05\%$ ;沉淀池排泥水量次之,为  $51.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  占自用量的  $40.05\%$ ;絮凝池排泥水量为  $7.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  占自用量的  $4.83\%$ ;由水厂提供的其他自用水消耗数据累加得到其他用水量仅为  $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  占自用量的  $1.179\%$ 。就目前水厂回用工艺的运行情况而言,回用水量为  $80.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  占自用量的  $62.9\%$ 。

## 2 生产废水现状及优化节水研究

### 2.1 絮凝池排泥水现状及优化节水排泥工况

S供水厂设有 2组折板絮凝池,总长为  $11.7 \text{ m}$  一组絮凝池分 3段,每段分 2格,过渡段也有 2格,共 8格,每格的两侧分别设 1根  $\text{DN}200$  的穿孔排泥管,共 16根。絮凝池现行排泥周期为  $24 \text{ h}$  排泥管采用快开式排泥阀,排泥时从 1格到 8格依次开启排泥阀,每根排泥管对应的排泥阀开启  $1.5 \text{ min}$ 。

为优化絮凝池排泥工况、减少絮凝池排泥水量,寻找合适的排泥时间及排泥周期尤为重要。在一次排泥过程中依次对 8个排泥管进行取样,检测排泥管内积泥量;同时分别对排泥周期为  $24 \text{ h}$  和  $48 \text{ h}$  进行了试验,检测排泥管出水的含固率,结果见图 2。

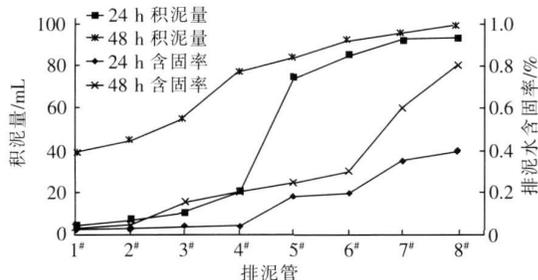


图 2 不同排泥周期的絮凝池积泥量和排泥水含固率

Fig 2 Sludge volume of flocculation tank and solid content of drainage water at different cycles

由图 2可知, 1#~4#排泥管的排泥水含固率  $< 0.2\%$ ,絮凝池的积泥量小; 5#~8#排泥管的积泥量较大,含固率  $> 0.2\%$ 。根据已有研究<sup>[1]</sup>及絮凝池积泥量趋势、排泥水含固率以及考虑现场操作的可行性,建议 1#~4#排泥管的排泥时间缩短为  $1 \text{ min}$  5#~8#排泥管的排泥时间保持不变。试验发现,当延长周期到  $48 \text{ h}$  时,虽然沉淀池的出水浊度没有明显改变,但 5#~8#管的排泥水含固率增长明显,最高可达  $0.8\%$ ,排泥水中有少量絮体结成块,为防止排泥不畅,絮凝池的排泥周期保持为  $24 \text{ h}$ 。

与原工况相比,优化后的排泥工况使絮凝池的排泥水量从  $7.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  降至  $6.08 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  减少了  $16.7\%$ 。按生产水量为  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  计,排泥耗水率从  $0.2\%$  降到了  $0.16\%$ 。

### 2.2 沉淀池排泥水现状及优化节水排泥工况

S供水厂设有平流沉淀池 2组,池长为  $90 \text{ m}$  采用桁架式虹吸刮吸泥机排泥,吸泥机匀速运行,速度为  $1.5 \text{ m}/\text{min}$  排泥一次运行时间为  $1 \text{ h}$  排泥周期

为 24 h。为了测定排泥水含固率随时间的变化, 确定合理的排泥时间, 在一次排泥过程中, 沿沉淀池的不同位置设置取样点取排泥水进行检测, 并且分别对排泥周期为 24 和 48 h 进行试验, 结果如图 3 所示。可以看出, 沿沉淀池长增加的方向排泥水含固率及积泥量快速降低。沉淀池前段 (0~20 m) 的排泥水含固率远高于沉淀池后段 (20~90 m) 的。陶辉等<sup>[2]</sup>研究发现, 平流沉淀池后段的排泥水含固率对沉淀池运行周期变化不敏感, 并且沉淀池后段的积泥量和排泥水含固率都很低。试验证明适当延长排泥周期可减少排泥水量且不影响沉后水水质, 并且排泥水含固率变化不大。因此, 将中后段排泥周期从 24 h 延长至 48 h 稳定运行一周后沉后水浊度未见升高。但现场发现, 当沉淀池前段 (0~20 m) 的排泥周期延长至 48 h 时, 排泥水有明显的鱼腥味, 故建议平流沉淀池前段 (0~20 m) 的排泥周期保持在 24 h 不变, 平流沉淀池中后段 (20~90 m) 的排泥周期延长至 48 h 后段的桁车运行速度也可以适当加快, 由原来的 1.5 m/m<sup>2</sup>h 提高到 2.5 m/m<sup>2</sup>h。

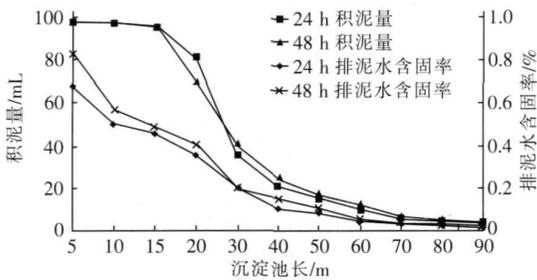


图 3 不同排泥周期的沉淀池积泥量和排泥水含固率  
Fig 3 Sludge volume of sedimentation tank and solid content of drainage water at different cycles

沉淀池排泥工况优化后, 其排泥水量从原来的  $51.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  降至  $23.28 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  排泥水比原来减少了 54.4%。按生产水量为  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  计算, 排泥耗水率从 1.4% 降至 0.63%。

### 2.3 滤池反冲洗现状及优化节水反冲洗工况

供水厂采用 V 型滤池, 两组共 8 个, 交错运行 6 个, 单格过滤面积为  $135.8 \text{ m}^2$ 。滤料反冲洗采用气水三阶段反冲洗, 气冲: 强度为  $15.3 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 历时 3 m<sup>2</sup>h 气水冲: 气冲强度为  $15.3 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 水冲强度为  $3 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 历时 6 m<sup>2</sup>h 单独水冲: 强度为  $6 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 历时 5 m<sup>2</sup>h 整个过程伴随表面扫洗, 扫洗强度为  $1.5 \sim 2 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。单格反洗历

时 14 m<sup>2</sup>h 反冲洗周期为 48 h。为了测定反冲洗水的水质随反冲时间的变化, 在一次反冲洗过程中取不同时间的反冲洗水测定其浊度, 并延长滤池工作周期到 60 h 与 48 h 时作对比。可知, 反冲洗开始后排放水浊度急剧升高, 在气冲结束 3 m<sup>2</sup>h 左右出现最大值 (峰值), 随后排放水浊度迅速减小, 在 9 m<sup>2</sup>h 时基本降至 50 NTU 左右, 以后反冲洗排放水浊度降低逐渐变缓, 在 11 m<sup>2</sup>h 以后, 排放水浊度基本不再变化, 此时的排放水浊度维持在 10 NTU 以下。因此, 建议供水厂的反冲洗时间为 11 m<sup>2</sup>h。

根据文献 [3] 的方法, 测定滤料表面下 15 cm 的含泥量, 结果见表 2 可知, 当各组的反冲洗时间都为 11 m<sup>2</sup>h 时, 第 3 组运行条件下冲洗后的滤料含泥量最低而且排泥水浊度最低。因此, 建议常规水质期间采用第 3 组运行参数, 即气洗 3 m<sup>2</sup>h 气水混合洗 5 m<sup>2</sup>h 水洗 3 m<sup>2</sup>h。

表 2 滤料含泥量和排水浊度与气水反冲洗时间的关系  
Tab 2 Relationship of sludge content on filtering media and effluent turbidity to backwash time

项目	冲洗时间 / m <sup>2</sup> h			滤料表面下 15 cm 的含泥量 / %	反冲结束时排放水浊度 / NTU
	气	气水	水		
1	3	3	5	0.35	7.35
2	3	4	4	0.26	6.50
3	3	5	3	0.06	2.95
4	3	6	2	0.10	6.83

在滤池运行至后期 60 h 时, 出水浊度依然很低, 但考虑到过滤为供水厂处理系统最后的工艺单元, 为保障水质安全, 滤池过滤周期仍为 48 h。当运行周期为 48 h 排泥历时 11 m<sup>2</sup>h 时, 反冲洗水量将为  $54.31 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  比原来的  $67.69 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  减少了近 20%。反冲洗耗水率从 2.5% 降至 2.0%, 反冲洗水量比原来减少了 15.4%。

### 2.4 回用工艺现状节水研究

水厂滤池反冲洗水进入回收水池, 经调节、静沉后, 上清液由回收水泵提升进入原水混合井, 底泥定时由吸泥机排入污泥调节池。絮凝、沉淀池排泥水及回收水池排泥水进入污泥调节池, 池内设有潜水搅拌机, 经均质、均量后, 由污泥提升泵提升进入污泥浓缩池。污泥浓缩池的上清液回流入回收水池回收利用或外排, 底泥进入脱水泵房进行脱水干化。

由于水厂于 2009 年底建成投产, 目前正在调试阶段, 污泥浓缩池没有稳定运行, 每天的浓缩池上清液只有一部分回收, 没有达到设计要求。具体运行

参数如图4所示,排泥水经污泥调节池后含水率为99.8%,浓缩池浓缩时间为8h,浓缩池进泥量为 $1\,654\text{ m}^3/\text{d}$ 经浓缩后污泥含水率为97%,浓缩后污泥量为 $110.3\text{ m}^3/\text{d}$ 由泵提升至污泥脱水系统的平衡池进行离心脱水处理。据现场统计,回用水量为 $2\,200\text{ m}^3/\text{d}$ 占水厂自用量的62.9%,待浓缩池稳定运行后,回收水量还有进一步提高的空间。

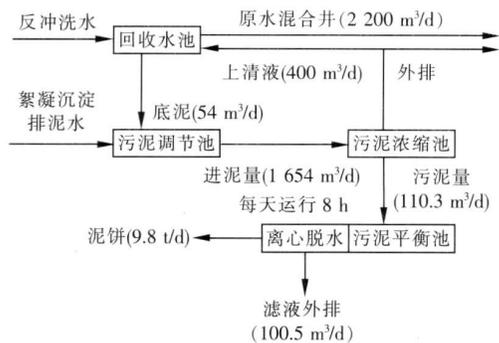


图4 SW水厂运行参数

Fig.4 Operation parameters of SW waterworks

### 3 效益分析

#### 3.1 改造后的效益分析

S供水厂经过优化节水改造后,各工艺单元的自用水量都实现了大幅度的下降,其生产废水量由原来的 $126.09 \times 10^4\text{ m}^3/\text{a}$ 降低到 $83.67 \times 10^4\text{ m}^3/\text{a}$ ,节约用水量为 $42.42 \times 10^4\text{ m}^3/\text{a}$ ,耗水率则由原来的3.5%下降到2.1%,取得了重大的环境效益。

由于深圳地区水资源费用较高,生产废水的减排不仅节省了排泥水、反冲洗水运行费用以及后续处理回用单元的处理费用,更重要的是节约了大量的原水资源费用。按近年生产水平,PAC用量为 $0.0016\text{ kg}/\text{m}^3$ ,根据当地单位水耗、电耗、药耗的费用,计算S供水厂经过优化节水改造后,节省的运行成本如表3所示。由于深圳地区原水费用较高,运行工况优化后水厂每年节省的水资源费为35.2万元,占节约总费用(49.19万元)的71.5%。

表3 改造后节约的费用

Tab.3 Cost after reconstruction 万元/a

项目	水资源费	运行费用		总计
		电费	药剂费用	
排泥水	24.1	1.3	0.06	25.46
反冲洗水	11.1	1.54	0.02	12.66
回用水		3.77	7.3	11.07
总计		49.19		

#### 3.2 回用工艺效益分析

就目前S水厂回用工艺运行情况来说,每年可回收水量为 $80.3 \times 10^4\text{ m}^3$ ,仅占水厂自用水量的62.9%。但是该地区水资源费用较高,所以水厂建有回用单元后每年可以节省48.66万元,节约制水成本为0.013元/ $\text{m}^3$ 。回用处理单元的建筑工程费用为750万元、设备费用为800万元,即回用处理系统共投资1550万元。按目前运行情况计算,水厂的投资回收期为31.8年,回收期后的节省费用即可视为净利润。计算可得,运行投入产出比RD为3.1%。

### 4 结论

① S水厂的优化排泥工况:絮凝池排泥周期为24h前4格排泥时间为1min后4格排泥时间为1.5min,平流沉淀池前20m的排泥周期为24h,桁车速度为1.5m/min,后70m的排泥周期为48h,桁车速度为2.5m/min,V型砂滤池的反冲洗周期为48h,采用气冲3min,气水混合冲5min,水冲3min,全程表扫的反冲洗方式。

② 实施优化排泥工况后,在保障供水安全的前提下,絮凝池排泥耗水率可从原来的0.2%降到0.16%,沉淀池排泥耗水率可从原来的1.4%降到0.63%,砂滤池反冲洗耗水率可从原来的2.5%降到2.0%,水厂总排泥耗水率可从原来的3.5%降至2.1%。

实施优化节水排泥工况后,S水厂减少排泥水量近 $42.42 \times 10^4\text{ m}^3/\text{a}$ ,同时每年节约生产成本约49.19万元。由于深圳地区原水费用较高,S水厂采用生产废水回用工艺后每年为水厂节省48.66万元,所以建议原水费用较高、长距离引水地区的水厂采用回用工艺。

#### 参考文献:

[1] 周华,陈卫,孙敏,等.南京城市给水厂排泥水节水潜力分析[J].给水排水,2009,35(11):18-21

[2] 陶辉,王毅,韩伟,等.城镇给水厂节水策略及效益分析[J].给水排水,2007,33(12):9-12

[3] Fitzpatrick C S B. Observations of Particle detachment during filter backwashing[J]. Water Sci Technol, 1993, 27(10): 213-221.

E-mail: xuyongpeng123@163.com

收稿日期:2010-10-29