

深圳笔架山水厂优化节水的实验研究

徐勇鹏¹ 姜金鑫¹ 崔福义^{1*} 宋 晖²

(1. 哈尔滨工业大学城市水资源与水环境国家重点实验室, 哈尔滨 150090;
2. 哈尔滨中石油昆仑车用天然气有限公司, 哈尔滨 150090)

摘 要 针对目前我国城镇需水量大、原水费用高的问题,大多数水厂通过降低自用水量的方式节约水资源。经过在笔架山水厂进行的生产性实验,优化耗水工艺的运行条件,挖潜了该水厂的节水空间,自用水量降低。优化后,全处理系统可节约水资源 76.83 万 m^3/a ,耗水率由原来的 2.08% 下降到 1.49%,同时水厂的经济效益也得到了显著提高,优化后可在原来的基础上节约运行成本近 60 万元/a。

关键词 耗水率 节水 优化 效益

中图分类号 X703 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2012)04-1103-05

Experimental study on optimization of water-saving processes in Bijiaoshan Water Supply Plant in Shenzhen

Xu Yongpeng¹ Jiang Jinxin¹ Cui Fuyi¹ Song Hui²

(1. State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China;
2. Harbin PetroChina Kunlun Vehicle Natural Gas Company Limited, Harbin 150090, China)

Abstract For the problems of large water demand and the high cost of raw water in most cities of our country, most of the water plants began to study how to reduce the water consumption in water supply systems. The full-scale experiment study on optimization of water-saving processes in water supply plant was conducted at the Bijiaoshan Water Plant in Shenzhen. The water consumption of each process unit has achieved a significant decline by optimizing the water plant sludge conditions, adjusting the discharge time and discharging period exactly. The entire treatment system can save raw water nearly $7.683 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{a}$. The total water consumption rate can be reduced from 2.08% to 1.49%. Moreover, the economic benefits were considerable as well as that of the environment. It can save nearly 6×10^5 yuan/a.

Key words water consumption rate; water saving; optimization; benefit

我国水资源短缺,据对 149 个国家和地区的统计结果,中国人均水资源量已退居世界第 110 位^[1],与此相矛盾的是随着经济的发展,城市对水资源的需求越来越大导致水资源费用较高。作为制水企业,对水资源短缺的体会更加深刻,更加了解节水的重要性,因此供水厂开始研究在制水过程中节约自用水^[2,3]。

笔者对深圳笔架山水厂主要耗水单元的自用水现状进行了调查和评价,并对各单元在优化节水潜力方面进行了研究,提出优化各工艺单元排泥工况、回用水处理工况,以降低水厂的自用水,达到节省水资源和降低运行成本的目的^[4]。同时,对各单元的优化进行了效益评估。

1 笔架山水厂简介

深圳地区笔架山水厂于 2006 年完成水厂改扩建工程,分新旧 2 套系统。实验在新系统进行,建设规模 20 万 m^3/d ,目前运行规模为 14 万 m^3/d ,分为两套平行工艺。供水水源水质随季节变化很小,常年浊度为 5~7 NTU, pH 6.8~7.4,水温常年在 20~29℃,混凝剂采用聚合硫酸铝,投药量 20 mg/L。水

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2011ZX07408-001);黑龙江省科技攻关项目(GB07C20202)

收稿日期:2010-10-22; 修订日期:2010-12-01

作者简介:徐勇鹏(1976~),女,工学博士,副教授,主要从事安全饮用水保障技术研究。E-mail: xuyongpeng123@163.com

* 通讯联系人, E-mail: cuifuyi@hit.edu.cn

厂采用网格絮凝—平流沉淀—V型滤池—臭氧活性炭—消毒工艺,设置废水回收处理工艺,调节—浓缩—脱水,见图1。

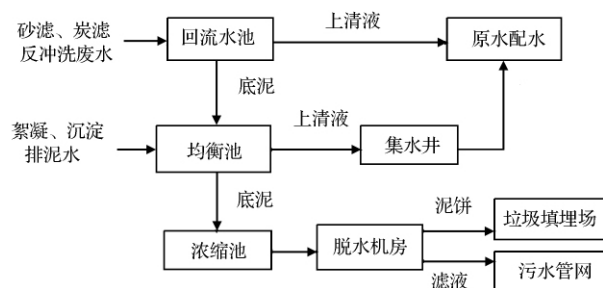


图1 笔架山水厂回收利用工艺图

Fig.1 Recycling process of Bijiaoshan Water Plant

回流水池接纳砂滤、炭滤的反冲洗排泥水,上清液回流至原水配水井,底泥进入均衡池。均衡池同时接纳絮凝池、沉淀池排泥水,上清液经泵提升至原水配水井。

2 自用水现状综合评价

2.1 主要耗水单元自用水现状调查

2.1.1 絮凝池

水厂的网格絮凝池分2组,采用穿孔管排泥,每组分4段和1个过渡区。每24 h排泥1次,每次排泥时间1.5 min。2组絮凝池1次排泥水量约为180 m³,絮凝池耗水率为0.12%。

2.1.2 沉淀池

水厂设有平流沉淀池2组,池长132 m,吸泥机匀速运行,排泥1次运行时间为2 h,排泥周期为24 h。单池每次排泥水量为985 m³,耗水率为1.41%。

2.1.3 滤池

水厂建有V型砂滤池和深度处理翻板炭滤池。

V型砂滤池,共8格,滤料反冲洗采用气水三阶段反冲洗,反洗历时11 min,反冲洗周期为36 h。经计算得单格反洗排水量约为400 m³/次(包括反冲洗排空水),耗水率为1.6%。

翻板炭滤池,共8格,单格过滤面积为137.75 m²,反冲洗历时10 min,反冲洗周期为48 h。经计算得单格反洗排水量约为510 m³/次,耗水率为1.45%。该水厂深度处理炭滤池作为最后一道工艺,保障直饮水的水质,并且炭滤池采用先进的翻板滤池,自身耗水量小,故目前不考虑炭滤池运行参数的改变。

2.1.4 回用系统

水厂每天回收水量为3 500 m³,回用率为2.5%。

2.2 主要耗水单元自用水现状评价

通过上述耗水现状数据计算可知,水厂处理系统自用水量为237.66万m³/a。在笔架山水厂的自用水量组成中,砂滤池反冲洗水量最大,为80.3万m³/a,占33.7%,炭滤池为74.46万m³/a,占31.3%;沉淀池排泥水量,为71.9万m³/a,占30.2%;絮凝池排泥水量所占比例最小,为6.5万m³/a,占2.7%;供水厂其他用水仅为4.5万m³/a,占1.8%。水厂回用水量为127.75万m³/a,占处理系统自用量的53.7%。水厂处理系统自用水量为237.66万m³/a,各主要耗水单元耗水率总和为4.58%;水厂回用水处理系统回用率为2.5%,所以水厂处理系统耗水率为2.08%。

笔架山因其建设了自用水回收处理系统,2.5%的自用水得以回收,属于比较节约水资源的水厂。如果优化各主要耗水工艺单元的运行参数,将进一步挖掘节水潜力,降低自用水的耗水率。

2.3 主要工艺单元优化节水

2.3.1 絮凝池优化节水

排泥时间的确定:在1次排泥过程中,分别取排泥管排泥水,共6个样,排泥时间控制1.5 min,静沉,测量絮凝池积泥曲线,和测定絮凝池排泥水含固率曲线。变化系统絮凝池排泥周期,将系统絮凝池的排泥周期逐步延长至24、36和48 h,每延长1次排泥周期,系统均稳定运行一段时间。在原水相同的条件,测定2组排泥水的含固率,对比2组絮凝池的积泥量,确定排泥周期。结果见图2。

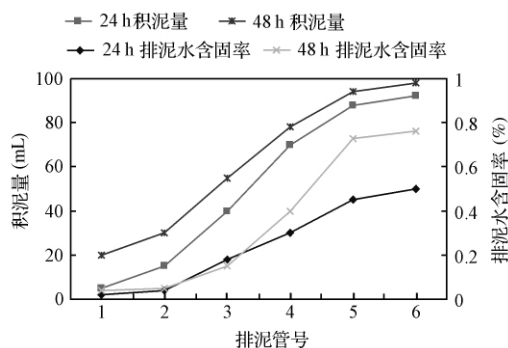


图2 不同排泥周期的絮凝池积泥曲线和排泥水含固率曲线

Fig.2 Curves of discharge sludge and solid rate in water from coagulation tank

1~2 段,排泥水含固率小于 0.1%;3~5 段,含固率大于 0.2%。由絮凝积泥量趋势和排泥水含固率可知,第 1~2 段积泥量少含固率低,排泥时间可以缩短为 1 min;第 3~5 段积泥量逐渐变大,含固率也相应升高,排泥时间 1.5 min 不动。逐步延长系统 2 絮凝池排泥周期直至 48 h,沉淀池出水也未受到明显影响。但絮凝池排泥周期延长至 48 h 后,1~2 段的积泥量较周期为 24 h 时明显上升;4~5 段排泥水含固率最高可达 0.8%,排泥水有些许臭味,排泥水中有少量絮体结成块,絮凝池后段存在积泥,为防止排泥不畅,综合以上各方面从而将排泥周期确定为 24 h 不变。

2.3.2 沉淀工艺优化节水

排泥时间的确定:沿沉淀池长度一定距离布置 10 个取样点,其距沉淀池起端的距离分别为 5、10、15、20、30、40、60、80、100 和 120 m,在各取样点取样,静沉测量沉淀池积泥曲线。并测量沉淀池排泥水含固率。

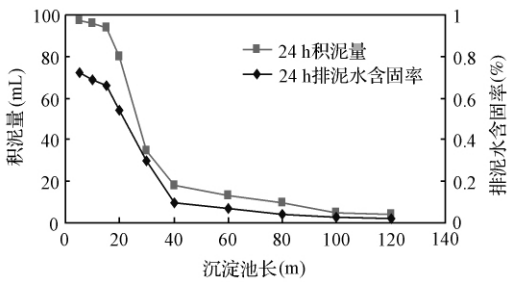


图 3 沉淀池积泥曲线和排泥水含固率曲线
Fig. 3 Curves of discharge sludge and solid rate in water from sedimentation tank

如图 3 所示,沿沉淀池长的方向排泥水含固率及积泥量降低。沉淀池前段(0~40 m)排泥水含固率远远高于沉淀池后段(40~135 m)的排泥水含固率,为此,建议吸泥机变速运行方式:沉淀池前段(0~40 m)运行速度相对应该较慢,为 1.1 m/min,沉淀池后段(40~135 m)运行速度可适时提高,为 2.5 m/min。

排泥周期的确定:设定对比实验,2 组沉淀池平行运行,保持系统 1 沉淀池排泥周期为原固定值 24 h。将系统 2 沉淀的排泥周期逐步延长至 36 h、48 h,测定 2 组沉后水的出水浊度,对比排泥周期对沉后水出水浊度的影响。结果见图 4。从实验结果可以看出,排泥周期延长到 48 h 时,其对沉淀池出水水质并无不良影响。但在现场做实验时发现,沉淀池前段(0~40 m)当排泥周期延长至 48 h 时,排

泥水有臭味,为保证水质安全,确定排泥周期不超过 48 h。而中后段排泥周期从现行 24 h 延长至 48 h,稳定运行 1 周后沉后水浊度未见升高。因此建议平流沉淀池前段(0~40 m)排泥周期为 24 h 不变,平流沉淀池中后段(40~135 m)排泥周期延长至 48 h。即设定洗泥机为分段运行,在对前段(0~40 m)的吸泥往返一个行程后,再沿整个沉淀池长度全程运行排泥 1 次。

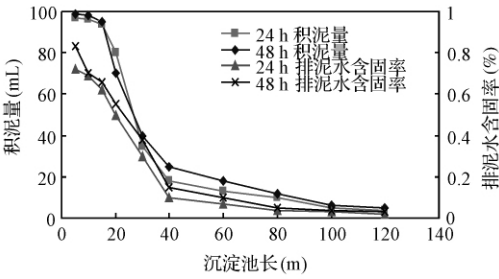


图 4 不同排泥周期的沉淀池积泥量和排泥水含固率

Fig. 4 Discharge sludge and solid rate in water from sedimentation tank in different discharge periods

2.3.3 过滤工艺优化节水

选取供水厂一个典型砂滤池,针对反冲洗时间、周期进行多组不同的调节测定实验。按其原来周期 36 h 运行,反冲洗时每 1 min 取其反冲洗排泥水。测定其一次反冲洗过程中反冲洗水的浊度。

如图 5 所示,反冲洗开始后排泥水浊度急剧升高,在气冲结束第 4 分钟前出现最大值(峰值),随后排泥水浊度迅速减小,在第 9 分钟时基本降至 50 NTU 左右,以后反冲洗排放水浊度降低逐渐变缓,在第 10 分钟以后,反冲洗排泥水浊度降至 10 NTU 以下,之后排泥水浊度基本不再变化,此时的排泥水浊度维持在 10 NTU 以下。所以,水厂的反冲洗时间为 11 min。

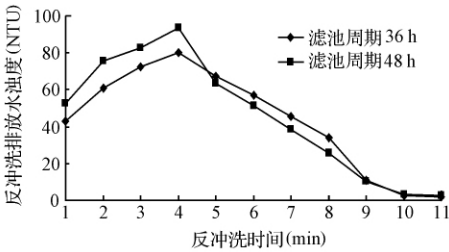


图 5 反冲洗排放水浊度随时间的变化

Fig. 5 Change of backwash water turbidity with time

对滤后水浊度进行监测实验,发现滤池运行周期结束时,水质仍然较好,没有充分发挥滤池的截污

能力^[8]。在滤池运行至 60 h 时,出水浊度依然很低,并且砂滤池后面还有炭滤池作为保障,但是考虑到如果砂滤池出水浊度过高会增加炭滤池工作负荷,所以将水厂砂滤池运行周期延长到 48 h,可以达到节水的效果^[9]。

2.3.4 回用工艺优化运行

现阶段水厂排泥水回收处理系统每天运行一班,具体运行参数为,回流水池的液位在 1.1~5.25 m 之间,上清液泵由液位来自动控制,污泥泵为每天 2 h 连续出泥,底泥大概为 280 m³/d。均衡池共 2 格,接受的污泥含水率 99.5%~99.7%,悬臂式中心驱动刮泥机全天运行。浓缩池浓缩时间为 8 h,浓缩池固体负荷为 1 kg/(m²·h);上清液的情况可重力排到污泥提升泵房内的集水池后提升至配水井或直接排到污水系统。进脱水机污泥含水率>98%,处理干泥量 15.6 t/d,泥饼含水率为<70%,板框压滤机每天工作 2~3 h。

由于实验对絮凝沉淀池、滤池进行节水优化,生产废水有所降低,特别是絮凝沉淀池的排泥水,减少为原来的一半^[8],所以可以视排泥情况运行其中一

格均衡池。浓缩池浓缩时间可以延长到 16 h,使得池体的有效容积得到充分利用。板框压滤机可以 2 d 运行一次,集中处理污泥,节约了运行成本。

2.4 优化后效益指标评定

2.4.1 环境效益评定

笔架山供水厂经过优化节水后,如表 1 所示,整个处理系统节约水资源 76.83 万 m³/a,与原来比较节约率达 49.4%,耗水率由 2.08% 下降到 1.49%,取得了明显的环境效益。

2.4.2 经济效益评定

按近年生产水平,根据当地单位水耗、电耗、药耗的费用,计算水厂经过优化节水优化后,节省的运行成本的情况见表 2。因此,经过优化改造后,不仅实现了节约水资源,水厂的经济效益也得到了提高,优化后可在原来的基础上节约运行成本 59.49 万元/a。回用处理系统总投资 1 644 万元。折旧费按 10 年计算,残值为 5%,每年的折旧费为 156.18 万元,优化后水厂每年回收的水量为 94.9 万 m³,回用单元每年节省水资源费 74.02 万,但是运行费用约为 8.61 万,每年的折旧费用降低至 90.77 万元。

表 1 改造前后节水效益对比

Table 1 Comparison of benefits between before with after reconstruction

	自用水量 (万 m ³ /a)	优化后自用水量 (万 m ³ /a)	节约自用水量 (万 m ³ /a)	减少率 (%)	耗水率变化 (%)
絮凝池	6.5	5.97	0.53	8.1	0.12~0.1
沉淀池	71.9	32.85	39.05	54.3	1.41~0.64
砂滤池	80.3	60.2	20.1	25.03	1.6~1.1
炭滤池	74.46	74.46	0	0	1.45~1.45
回用系统	-127.75	-94.9	-32.58		-2.5~1.8
全系统	155.41	78.58	76.83	49.4	2.08~1.49

表 2 优化后节约费用

Table 2 Saving cost after optimization

(万元)

消耗方式	水资源费	电费	药剂费	总计
排泥水	30.87	5.28	0.11	36.26
反冲洗水	15.67	2.68	0.06	18.41
回用水	/	2.05	2.77	4.82
总计				59.49

3 结 论

(1) 笔架山水厂主要耗水单元的耗水率为 4.58%,虽然因其建有废水回收利用工艺,可以回收 2.58% 的生产废水,仍具有挖潜的空间。

(2) 实施优化工况后,在保障供水安全的前提

下,絮凝池排泥耗水率可从原来的 0.12% 降低到 0.10%,沉淀池排泥耗水率可从原来的 1.41% 降低到 0.64%,砂滤池反冲洗耗水率可从原来的 1.6% 降低到 1.1%,水厂排泥耗水率可从原来的 4.58% 降至 3.29%,扣掉回收的水量,耗水率可以由原来的 2.08% 降低到 1.49%。

(3) 实施优化节水排泥工况后,笔架山水厂减少排泥水量近 $76.83 \text{ 万 m}^3/\text{a}$,同时节约生产成本约 59.49 万元/a 。

(4) 由于深圳地区原水费用较高,所以建议原水费用较高,长距离引水地区的水厂根据情况进行生产工艺的优化。

参考文献

- [1] 夏军. 中国水资源问题与对策建议. 中国科学院院刊, 2008, 23(2): 116-120
Xia Jun. Water resource problems and countermeasures in China. Journal of Chinese Academy of Sciences, 2008, 23(2): 116-120 (in Chinese)
- [2] 陈燕波. 深圳市宝安区朱坳水厂设计. 给水排水, 1999, 25(1): 15-18
Chen Yanbo. Design of Zhuao water treatment plant in Shenzhen. Water and Wasterwater Engineering, 1999, 25(1): 15-18 (in Chinese)
- [3] 周华, 陈卫, 孙敏, 等. 南京城市给水厂排泥水节水潜力分析. 给水排水, 2009, 35(11): 18-21
Zhou Hua, Chen Wei, Sun Min, et al. Analysis of water saving potential of Nanjin water treatment plant. Water and Wasterwater Engineering, 2009, 35(11): 18-21 (in Chinese)
- [4] 陶辉, 王毅, 韩伟, 等. 城镇给水厂节水策略及效益分析. 给水排水, 2007, 33(12): 9-12
Tao Hui, Wang Yi, Han Wei, et al. Strategy and benefit analysis of water saving of water treatment plant. Water and Wasterwater Engineering, 2007, 33(12): 9-12 (in Chinese)
- [5] Caroline S. B. Fitzpatrick obserbations of particle detachment during filter backwashing. Water Science and Technology, 1993, 27(2): 213-221
- [6] 叶昌明, 戴文权. 新疆石墩子水厂的技术改造. 中国给水排水, 2006, 22(4): 26-30
Ye Changming, Dai Wenquan. Technology renovation of Shidunzishan water works in Xinjiang. China Water and Wasterwater, 2006, 22(4): 26-30 (in Chinese)
- [7] 徐勇鹏, 崔福义, 姜金鑫. 东北地区城市净水厂耗水率现状调查与特征分析. 给水排水, 2010, 36(9): 15-19
Xu Yongpeng, Cui Fuyi, Jiang Jinxin. Investigation of water consumption rate in northeast of China. Water and Wasterwater Engineering, 2010, 36(9): 15-19 (in Chinese)
- [8] 王颖, 扈敏扬. 长桥水厂减少自用水量的途径. 城市公用事业, 2003, 17(1): 20-21
Wang Ying, Hu Minyang. Pathways of reducing water consumption in Changqiao water treatment plant. City Public Utilities, 2003, 17(1): 20-21 (in Chinese)