

论述与研究

城市给水厂排泥水的减量化试验研究

孙 敏¹, 周 华^{1,2}, 袁 哲¹, 付永华¹, 陈 卫¹

(1 河海大学 环境学院, 江苏 南京 210098 2 华东勘测设计研究院, 浙江 杭州 310014)

摘 要: 为发展城市给水厂排泥水节水技术, 在示范水厂开展了排泥水的减量化试验研究。通过对示范水厂排泥水水质的分析和排泥水的减量化生产性试验, 提出了水厂各构筑物的节水排泥工况: 折板絮凝池 1[#]、2[#]排泥管的排泥时间为 20 s/次, 3[#]、4[#]的为 40 s/次, 5[#]~8[#]的为 60 s/次; 平流沉淀池前 20 m 的排泥周期为 24 h 采用双程排泥, 后 70 m 的排泥周期为 48 h 为单程排泥; V 型砂滤池的反冲洗周期为 48 h 采用气冲 (3 min) 汽水冲 (3 min) 水冲 (5 min) / 全程表扫的反冲洗方式。运行表明, 节水排泥工况对各构筑物的出水水质基本无影响, 并可使絮凝池、沉淀池、砂滤池分别节水约 25%、37.5%、39.7%, 水厂的总排泥耗水率可从原来的 3.07% 降至 1.9%。采用节水排泥工况后, 水厂可减少排泥水量近 $43 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 同时节约生产成本约 42 万元 /a 环境、经济效益可观。

关键词: 水厂排泥水; 减量化; 耗水率; 节水排泥工况

中图分类号: TU 991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2010)09-0001-05

Study on Reduction of Sludge Water in Urban Water Treatment Plants

SUN Min¹, ZHOU Hua^{1,2}, YUAN Zhe¹, FU Yong-hua¹, CHEN Wei¹

(1. College of Environment Hohai University, Nanjing 210098 China; 2. East China Institute of Investigation, Hangzhou 310014, China)

Abstract The reduction of sludge water in urban water treatment plants was studied with a focus of developing water-saving technologies. By analyzing sludge water quality and conducting sludge reduction tests in a demonstration water treatment plant, water-saving sludge discharge conditions of plant structures are brought up: the sludge discharge time of folded plate flocculator is 20 seconds each time for pipes No. 1 and No. 2, 40 seconds each time for pipes No. 3 and No. 4, and 60 seconds each time for pipes No. 5 to No. 8. In the horizontal-flow sedimentation tank, the sludge discharge cycle for the first 20 meters is 24 hours, and the sludge discharge is two-pass at a time; the sludge discharge cycle for the backward 70 meters is 48 hours, and the sludge discharge is one-pass at a time; the backwash cycle of the V-shaped filter is 48 h, and the backwash procedure is air washing for 3 minutes, air-water washing for 3 minutes, water washing for 5 minutes and surface sweep washing for 11 minutes. The operation shows that the water-saving sludge discharge conditions do not affect the status of water quality and allow the flocculator, the sedimentation tank and the filter to save water by 25%, 37.5% and 39.7% respectively. The total water consumption rate for sludge discharge is reduced from 3.07% to 1.9%. The wa-

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2006BAB17B02)

ter-saving sludge discharge conditions can reduce sludge water of nearly 430 000 m³ /a and save production cost of 420 000 RMB annually. The environmental and economic benefits are all considerable.

Key words sludge water in water treatment plant; reduction; water consumption rate; water-saving sludge discharge conditions

城市给水厂在制水过程中也消耗了很大一部分水量(称为水厂自用水量)。水厂自用水量主要包括沉淀池(澄清池)排泥水和滤池反冲洗水,一般占水厂总制水量的 4% ~ 7%。随着我国水资源短缺问题的日益突出,发展水厂排泥水节水技术、减少水厂自用水量显得尤为重要。

笔者选择珠三角地区的 N 水厂作为示范工程水厂,开展了排泥水减量化试验研究,并提出了相应的节水排泥工况,以期为城市水厂节水技术的发展和推广提供参考。

1 水厂概况

N 水厂的设计规模为 20×10⁴ m³ /d 实际处理量约为 10×10⁴ m³ /d。共设两组制水构筑物,每组设计规模为 10×10⁴ m³ /d 采用混凝、沉淀、过滤常规处理工艺(见图 1),主要排泥构筑物为折板絮凝池、平流沉淀池和 V 型砂滤池。水厂原水、沉后水、滤后水及出厂水的浊度分别为(5~10)、(0.5~0.6)、(0.06~0.08)、(0.05~0.08) NTU。

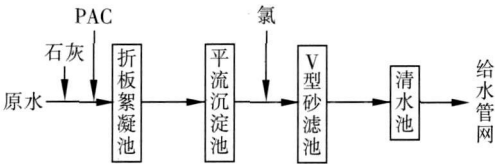


图 1 水厂制水工艺流程

Fig 1 Flow chart of treatment processes

目前,水厂自用水量约占实际制水总量的 3.2%,其中排泥耗水量约为 3.07%,占自用水量的 95% 以上。

2 结果与讨论

2.1 絮凝池排泥现状及节水排泥工况

N 水厂的折板絮凝池采用穿孔管排泥,每组絮凝池设 16 根排泥管,两侧各 8 根,在池底沿池长方向均匀布置(见图 2)。絮凝池现行排泥周期为 24 h 排泥时每根排泥管对应的排泥阀开启 1 min,相邻两个排泥阀同时开启。对南侧絮凝区的排泥管沿池长方向编号为 1#~8#,检测各排泥管的排泥水含固率、浊度及其所处廊道的积泥高度,结果见表 1。

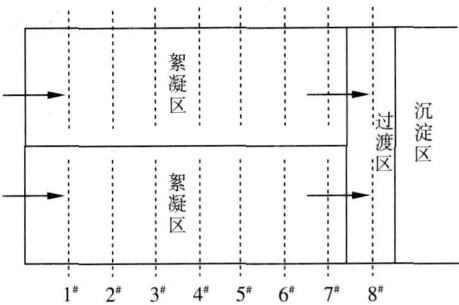


图 2 折板絮凝池排泥管布置示意

Fig 2 Layout of sludge discharge pipes in flocculation tank

表 1 絮凝池现行排泥工况

Tah 1 Current sludge discharge condition in flocculation tank

排泥管	平均含固率 /%	平均浊度 / NTU	排泥水量 / (m ³ ·d ⁻¹)	排泥前积泥高度 / cm
1 [#] 和 2 [#]	0.08	224	12	0
3 [#] 和 4 [#]	0.26	824	12	0
5 [#] 和 6 [#]	0.43	1 383	12	2.5
7 [#] 和 8 [#]	0.44	1 542	12	2.5

注: 排泥后的积泥高度均为零,下同。

由表 1 可知,1#、2#排泥管的排泥水平平均含固率和浊度均较低,且所在廊道无积泥,现场观察发现 1#、2#排泥管排泥 15 s 左右后排泥水已变清,故考虑将 1#、2#排泥管的排泥时间缩短至 20 s;3#、4#排泥管在排泥至 40 s 时排泥水已较清澈,因此考虑将其排泥时间缩短至 40 s;5#~8#排泥管所在廊道有少量积泥,表明现行排泥时间较为合理,可维持现状。

采用节水排泥工况后的节水效果见表 2。

表 2 絮凝池节水排泥工况

Tah 2 Water-saving sludge discharge conditions in flocculation tank

排泥管	平均含固率 /%	平均浊度 / NTU	排泥时间 / s	排泥水量 / (m ³ ·d ⁻¹)	节水率 /%	排泥前积泥高度 / cm
1 [#] 和 2 [#]	0.19	495	20	4	67	0
3 [#] 和 4 [#]	0.31	1 068	40	8	33	0
5 [#] 和 6 [#]	0.39	1 475	60	12	0	2.5
7 [#] 和 8 [#]	0.41	1 627	60	12	0	2.5

采用节水排泥工况后,1#~4#排泥管的排泥水

平均含固率和浊度明显提高。与原工况相比,新工况可节水约 25% (排泥水量从 192 m³/d 降至 144 m³/d),排泥耗水率从 0.19% 降至 0.14%。

2.2 沉淀池排泥现状及节水排泥工况

该厂的平流沉淀池采用虹吸机械排泥,排泥周期为 24 h 排泥水量约为 933 m³/d。平流沉淀池长为 90 m,考虑到沉淀池前段积泥较多,排泥时桁车先从距池首 30 m 处排泥至池首,再反向折回排泥至池尾,最后从池尾空车返回至距池首 30 m 处 (见图 3)。

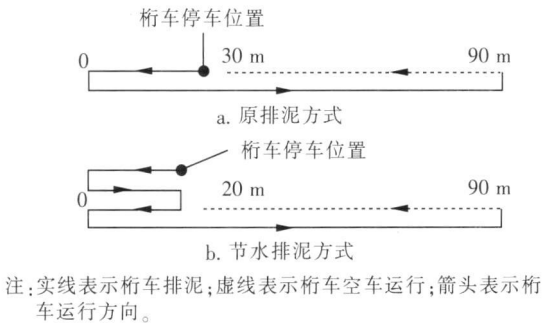


图 3 平流沉淀池两种排泥方式的对比

Fig 3 Comparison between two sludge discharge ways in settling tank

现有排泥工况虽考虑了平流沉淀池的积泥特点,但它的合理性还需进一步研究。为此,对排泥水的含固率和排泥前后池底积泥高度的沿程变化规律进行了监测,结果见图 4。

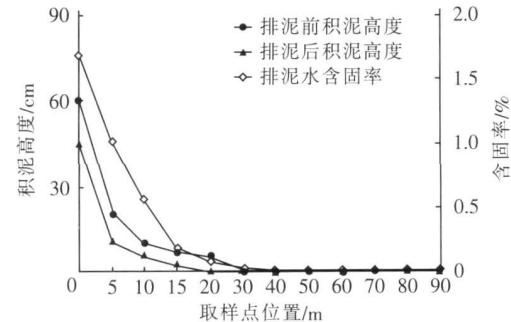


Fig 4 Sludge deposition height and solid content in sludge water along settling tank

图 4 显示,平流沉淀池的积泥集中在前 20 m,20 m 以后的积泥高度几乎都为零。这也导致了前 20 m 的排泥水含固率较高 (0.08% ~ 1.68%),而后 70 m 的排泥水含固率均在 0.03% 以下,平均值仅为 0.014%。针对上述现象,并结合现有研究成果^[1,2],提出如下排泥方案:前 20 m 的排泥周期仍

为 24 h 每次双程排泥;后 70 m 的排泥周期延长至 48 h 每次单程排泥。

采用节水排泥工况后,沉淀池后 70 m 的排泥水平平均含固率从原来的 0.014% 提高到了 0.019%;排泥水量减少了 37.5%,从原来的 933 m³/d 降至 583 m³/d。排泥耗水率从 0.93% 降至 0.58%。对浊度的在线监测结果显示,新排泥工况没有造成沉淀池出水浊度的上升。

就排泥水的含固率而言,在将沉淀池后 70 m 的排泥周期延长至 48 h 后,其值仍远低于前 20 m 的,存在继续延长排泥周期的潜力。但考虑到珠三角地区常年高温高湿,排泥周期过长极易导致红虫等水生动物在沉淀池中的孳生^[3,4],进而影响出水水质,所以沉淀池后 70 m 的排泥周期不宜再作延长。

2.3 砂滤池排泥现状及节水排泥工况

N 水厂的 V 型砂滤池共设 8 格,由于实际处理负荷较小,砂滤池实际只运行 6 格。砂滤池的反冲洗周期为 36 h,6 格错开冲洗,每天反冲洗 4 格。单格反冲洗方式:排水 (2 m in)/气冲 (3 m in)/气水冲 (6 m in)/水冲 (5 m in)/全程表面扫洗。反冲洗强度:气冲强度为 15 L/(s·m²);气水冲阶段的水冲强度为 3 L/(s·m²),单独水冲阶段的水冲强度为 6 L/(s·m²);表面扫洗强度为 1.4~2 L/(s·m²)。单格反冲洗排水量约为 488 m³/次,反冲洗总排水量约为 1 952 m³/d。现行反冲洗工况下,1[#]和 2[#]砂滤池的反冲洗排水浊度随时间的变化见图 5。

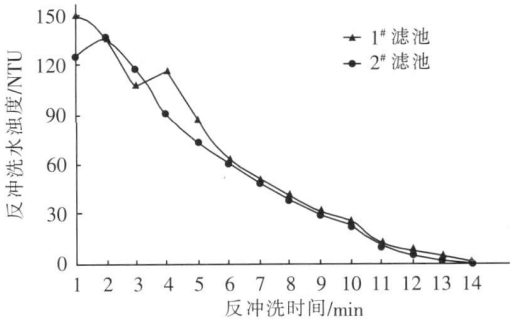


Fig 5 Turbidity variation of backwash water with time

从图 5 可见,1[#]和 2[#]滤池的反冲洗水浊度随时间的变化规律十分接近:气冲阶段的反冲洗水浊度较高,平均值在 100 NTU 以上;气水冲阶段的反冲洗水浊度呈快速下降趋势,平均值降至 60 NTU 左右;水冲阶段的反冲洗水浊度已处于较低水平,下降幅度也趋于缓慢,至水冲 3 m in 时反冲洗水浊度 <

10 NTU, 已满足砂滤池反冲洗结束时排水浊度 < 10 NTU 的要求。因此, 现行反冲洗工况存在对水资源的浪费, 还有一定的节水潜力可控。

影响滤池反冲洗水浊度的因素主要有: 反冲洗时间、反冲洗周期和反冲洗强度。由于控制反冲洗强度的气泵和水泵流量固定, 冲洗强度不易改变, 所以选择反冲洗时间和反冲洗周期作为控制因素来研究砂滤池的节水反冲洗工况。根据目前反冲洗排水浊度随时间的变化情况, 初步判断砂滤池现行反冲洗周期过短或者反冲洗时间过长。结合现有滤池气水反冲洗工况优化的研究成果^[5 6], 并考虑新工况应便于实施操作, 最终确定反冲洗周期的研究水平为 36 h 和 48 h; 反冲洗时间的研究水平为气冲 2 min 和 3 min 气水冲 3 min 和 4 min 水冲时间视水冲阶段的反冲洗水浊度而定。试验一共分为 8 组, 不同反冲洗工况的耗水量对比结果见表 3。

表 3 砂滤池不同反冲洗工况对比

Tab 3 Comparison of different backwash ways in filter

项目	反冲洗周期 /h	气冲时间 /min	气水冲时间 /min	水冲时间 /min	表扫时间 /min	反冲洗水平均浊度 /NTU	反冲洗耗水量 /m ³	反冲洗耗水率 /%
原工况	36	3	6	5	14	40.1	488 325	
节水工况	1	36	2	3	5	10	45.4	380 253 22.2
	2	36	2	4	4	10	48.9	360 240 26.2
	3	36	3	3	4	10	51.7	340 227 30.2
	4	36	3	4	3	10	53.8	320 213 34.5
	5	48	2	3	6	11	54.3	432 216 33.5
	6	48	2	4	5	11	55.2	412 206 36.6
	7	48	3	3	5	11	55.6	392 196 39.7
	8	48	3	4	5	12	53.1	424 212 34.8
注: 节水工况的水冲时间取反冲洗水浊度恰好满足冲洗要求(即浊度 < 10 NTU)的时间点; 节水率 = (节水工况耗水量 - 原工况耗水量) / 原工况耗水量。								

从表 3 可见, 当采用第 7 组反冲洗工况时, 反冲洗水的平均浊度最大, 而耗水量最少, 所以确定其为最优节水工况。与原工况相比, 该最优工况可节水 39.7%, 使反冲洗水量从原来的 1 952 m³ /d 降至 1 176 m³ /d 反冲洗耗水率从原来的 1.95% 降至 1.18%, 节水效果十分显著。同时对浊度的在线监测结果显示, 节水反冲洗工况并没有造成砂滤池出水浊度的升高。

3 经济效益分析

N 水厂采用节水排泥工况后, 絮凝池、沉淀池、

砂滤池分别可节水约 25%、37.5%、39.7%。全年水厂可节约絮凝池排泥水为 1.75 × 10⁴ m³、沉淀池排泥水为 12.78 × 10⁴ m³、砂滤池反冲洗水约 28.32 × 10⁴ m³, 合计为 42.85 × 10⁴ m³。

水厂絮凝池、沉淀池排泥水和滤池反冲洗水使用的是已经过一定处理的过程水, 其成本主要包括原水费、提升电费及投加的各类药剂费用。经核算, 节水排泥工况总计可节约生产成本为 41.9 万元 /a (见表 4)。此外, 由于排泥水量减少而节省的后续排泥水处理费用也十分可观。

表 4 节水排泥工况的经济效益分析

Tab 4 Economic benefit analysis of water-saving sludge discharge conditions

项 目	排泥水成本 /(元 · m ⁻³)						节省费用 /(万元 · a ⁻¹)
	原水费	提升电费	PAC	石灰	氯	合计	
絮凝池排泥水	0.78	0.158	0.02	0.002		0.960	1.68
沉淀池排泥水	0.78	0.158	0.02	0.002		0.960	12.27
砂滤池反冲洗水	0.78	0.179	0.02	0.002	0.006	0.987	27.95

4 结论

① 城市水厂应根据自身的排泥水水质特点, 确定相应的节水排泥工况。N 水厂的节水排泥工况为: 折板絮凝池 1[#]、2[#]排泥管的排泥时间为 20 s/次, 3[#]、4[#]的为 40 s/次, 5[#] ~ 8[#]的为 60 s/次; 平流沉淀池前 20 m 的排泥周期为 24 h, 采用双程排泥, 后 70 m 的排泥周期为 48 h, 以单程排泥; V 型砂滤池的反冲洗周期为 48 h, 采用气冲 (3 min) 气水冲 (3 min) / 水冲 (5 min) / 全程表扫的反冲洗方式。

② 实施节水排泥工况后, 在不影响出水水质的前提下, 絮凝池的排泥耗水率可从原来的 0.19% 减少到 0.14%, 沉淀池的排泥耗水率可从原来的 0.93% 减少到 0.58%, 砂滤池的反冲洗耗水率可从原来的 1.95% 减少到 1.18%, 水厂总排泥耗水率可从原来的 3.07% 降至 1.9%, 可节水约 38%。

③ 节水排泥工况可为水厂减少排泥水量近 43 × 10⁴ m³ /a 同时节约生产成本达 41.9 万元 /a 环境和经济效益可观。

参考文献:

[1] 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

(下转第 12 页)

参考文献:

- [1] 郝晓地, 朱向东, 马文瑾, 等. 模拟评价、优化北京某大型污水处理厂升级改造方案 [J]. 中国给水排水, 2009, 25(17): 14–19
- [2] van Veldhuizen H M, van Loosdrecht M C M, Heijnen J J *et al*. Modelling biological phosphorus and nitrogen removal in a full scale activated sludge process [J]. Water Res, 1999, 33(16): 3459–3468
- [3] Hao X D, Heijnen J J van Loosdrecht M C M, *et al*. Sensitivity analysis of a biofilm model describing a one-stage completely autotrophic nitrogen removal (CANON) process [J]. Biotechnol Bioeng, 2002, 77(3): 266–277.
- [4] Hao X D. Model-based optimization of sustainable biological nutrient removal processes [D]. Delft the Netherlands Delft University of Technology, 2001.
- [5] Hao X D, van Loosdrecht M C M, Meijer S C F, *et al*. Model-based evaluation of two BNR processes—UCT and A_2N [J]. Water Res, 2001, 35(12): 2851–2860
- [6] Sin G, Gemaey K V, Neumann M, *et al*. Uncertainty analysis in WWTP model applications: A critical discussion using an example from design [J]. Water Res, 2009, 43(11): 2894–2906
- [7] Moussa M S, Hooijmans C M, Lubberding H J *et al*. Modelling nitrification, heterotrophic growth and predation in activated sludge [J]. Water Res, 2005, 39(20): 5080–5098
- [8] Meijer S C F, van Loosdrecht M C M, Heijnen J J *et al*. Metabolic modelling of full scale biological nitrogen and phosphorus removing WWTPs [J]. Water Res, 2001, 35(11): 2711–2723
- [9] Nuhoglu A, Keskinler B, Yildiz E, *et al*. Mathematical modeling of the activated sludge process—the Erzincan case [J]. Process Biochem, 2005, 40(7): 2467–2473
- [10] Wichem M, Obenaus F, Wulff P, *et al*. Modelling of full-scale wastewater treatment plants with different treatment processes using the Activated Sludge Model no. 3 [J]. Water Sci Technol, 2001, 44(1): 49–56
- [11] Ni B J, Yu H Q, Sun Y J, *et al*. Modeling simultaneous autotrophic and heterotrophic growth in aerobic granules [J]. Water Res, 2008, 42(6–7): 1583–1594
- [12] 郝晓地, 甘一萍, 周军, 等. 数学模拟技术在污水处理工艺设计、优化、研发中的应用 (上) [J]. 给水排水, 2004, 30(5): 33–36
- [13] 郝晓地, 宋虹苇, 胡沅胜, 等. 数学模拟技术应用中的污水水质 (COD) 特征化方法 [J]. 中国给水排水, 2007, 23(13): 7–10
- [14] 郝晓地, 宋虹苇, 胡沅胜, 等. 采用 TUD 模型动态模拟倒置 A^2/O 工艺运行工况 [J]. 中国给水排水, 2007, 23(16): 85–89
- [15] 郝晓地, 宋虹苇, 胡沅胜, 等. 数学模拟技术用于污水处理工艺的运行诊断与优化 [J]. 中国给水排水, 2007, 23(14): 94–99
- [16] 郝晓地, 宋虹苇, 胡沅胜, 等. 采用 TUD 联合模型模拟倒置 A^2/O 工艺的运行工况 [J]. 中国给水排水, 2007, 23(5): 1–4
- [17] 郝晓地, 仇富国, 张璐平, 等. 应用数学模拟技术升级改造二级污水处理工艺 [J]. 中国给水排水, 2007, 23(16): 25–29

作者简介: 郝晓地 (1960–), 男, 山西柳林人, 博士, 教授, 研究方向为污水脱氮除磷技术、污水处理数学模拟技术及可持续环境生物技术。

电话: (010) 68322128

E-mail: haoxiaod@bucea.edu.cn

收稿日期: 2009–10–25

(上接第 4 页)

- [2] 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): 14–17
- [3] 周令, 张金松, 雷萍, 等. 净水工艺中红虫污染治理的研究动态 [J]. 给水排水, 2003, 29(1): 25–28
- [4] 陈朝湘, 陆平. 深度处理水厂对摇蚊及其幼虫的防治 [J]. 中国给水排水, 2008, 24(6): 95–98
- [5] 陈冬毅, 施志强. 气水反冲洗滤池的优化运行 [J]. 中国给水排水, 2001, 17(4): 55–58
- [6] 曹相生, 孟雪征, 张杰, 等. 正交试验确定好气滤池气水反冲洗参数的研究 [J]. 水处理技术, 2004, 30(5): 279–281

作者简介: 孙敏 (1969–), 女, 河南郑州人, 副教授, 研究方向为水处理技术。

E-mail: sunm@hhu.edu.cn

收稿日期: 2009–12–18