

红外反射技术在中小水厂排泥系统改造中的应用

赵颖伟, 李 婷, 黄婷婷, 张祥社, 陈海松
(深水龙岗水务集团有限公司, 广东 深圳 518055)

摘 要: 平流沉淀池是净水工艺中常见的工艺单元,其排泥设施主要包括桁架式刮吸泥机和穿孔排泥管,因刮泥机和排泥管独立运行,常导致平流沉淀池排泥不彻底、积泥等问题。针对该问题,提出了一种基于红外反射技术的平流沉淀池排泥系统改造方案,可实现桁架式刮吸泥机与排泥角阀联动控制,使刮泥和排泥过程精准关联,改善排泥效果。排泥系统经改造后,沉淀池出水水质提升,浊度降低53%~60%;排泥水量减少,自用水率降低约16%;排泥系统电耗大幅缩减,同比降低47%~53%。该改造方案投资仅2.8万元,在提升工艺出水水质的同时实现节能降耗,可为存在类似问题的水厂提供借鉴。

关键词: 平流沉淀池; 红外反射技术; 积泥; 浊度; 节能降耗

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)06-0102-05

Application of Infrared Reflection Technology in the Reform of Sludge Discharge System in Medium and Small Waterworks

ZHAO Ying-wei, LI Ting, HUANG Ting-ting, ZHANG Xiang-she, CHEN Hai-song
(Shenshui Longgang Water Group Co. Ltd., Shenzhen 518055, China)

Abstract: Horizontal flow sedimentation tank is a common unit in water purification process, and its sludge discharge facilities mainly include truss-type sludge scraper and perforated sludge discharge pipe. The independent operation of sludge scraper and discharge pipe often causes problems in the horizontal flow sedimentation tank such as incomplete sludge discharge and sludge accumulation. To solve this problem, a retrofit scheme of horizontal flow sedimentation tank sludge discharge system was proposed, based on infrared reflection technology. The truss-type sludge scraper and sludge discharge angle valve could be controlled jointly to accurately correlate the scraping and discharge process and improve the sludge discharge effect. After the reform, the effluent quality of the sedimentation tank was improved, and the turbidity was reduced by 53% to 60%. The sludge discharge was reduced and the rate of self-use water was reduced by about 16%. The power consumption of the sludge discharge system had been greatly reduced, with a year-on-year decrease of 47% to 53%. The total investment of the renovation plan was only 28 000 yuan, which improved the effluent quality and reduced energy consumption. This provided a technical reference for waterworks with the same problem.

Key words: horizontal flow sedimentation tank; infrared reflection technology; sludge accumulation; turbidity; saving energy and reducing consumption

基金项目: 深圳市龙岗区区级重点实验室认定扶持项目(ZSYS2017001); 国家人因工程重点实验室项目(SYFD170051 808K)

通信作者: 李婷 E-mail: litinghit@foxmail.com

深圳某水厂于2006年建成投产,设计供水能力为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用混凝/沉淀/过滤/消毒的常规处理工艺,共有2套4组平流沉淀池。改造前,排泥系统为半自动控制,桁架式刮吸泥机定时运行,排泥角阀手动控制。桁架式刮吸泥机和排泥角阀独立运行,常出现沉淀池底部积泥、出水水质变差、行车故障频发等问题。为解决上述问题,保障出水水质,需对平流沉淀池排泥系统进行改造。

目前,国内外平流沉淀池的排泥方式可分为穿孔管排泥、多斗重力排泥和机械排泥^[1-3],前述水厂采用穿孔排泥管和机械排泥相结合的排泥方式。要解决排泥不彻底、池底积泥的问题,主要有两种方法:一是改变工艺现状,但该方法投入大,实施难度高,且需停产施工;二是在现有基础上优化排泥过程,对排泥设备进行技术改造,该方法投入小,可操作性强。

对排泥设备技术改造的着力点是实现桁架式刮吸泥机与穿孔排泥角阀智能联动控制,当前,这种改造常用的方法是利用PLC搭建控制系统,PLC以其拓展性强、灵活方便的特点,在自动控制领域也得到了广泛应用,但搭建PLC控制系统前期投入成本高,后期维护成本也高,且需要专业技术人员维护,这对于改造资金受限的水厂有一定的现实困难。

红外反射技术^[4-5]是一种基于光电信号转换的技术,红外感应开关通过检测接收反射后的红外光,实现开关状态的转换,从而达到控制排泥设备的目的。该方案与PLC控制系统相比,具有价格低廉、稳定可靠、安装方便的优势,因此,提出一种基于红外反射技术的平流沉淀池自动排泥系统改造方案,利用红外感应开关搭建排泥角阀的控制电路,实现沉淀池排泥过程精准自动控制,该方案可在中小规模水厂推广复制。

1 问题与方法

1.1 潜在问题分析

① 存在问题

改造前,水厂平流沉淀池存在排泥不彻底、池底积泥等一系列问题,主要表现:a. 沉淀池底部积泥深度达0.5~0.8 m,沉淀池水力停留时间变短、水平流速加快,出水平均浊度达2.3 NTU;b. 长期积泥导致污泥板结,无法通过排泥设备清除,只能放空沉淀池人工清除,自用水率达4.5%~6.2%;c. 单次排泥不彻底造成行车运行周期缩短至12 h,排泥系统

电耗增加80%~100%;d. 沉淀池积泥导致桁架式刮吸泥机运行阻力大、受力不均,经常出现行车脱轨或翻车的现象,维修频率达1~2次/月,运行维护成本高且影响水厂正常生产。

② 原因分析

通过对运行现场的反复观察及分析,发现造成沉淀池排泥不彻底的原因,主要有以下几点:a. 桁架式刮吸泥机与排泥角阀独立运行,运行过程没有联动配合,导致桁架式刮吸泥机将泥刮至排泥角阀附近时,沉淀污泥无法及时通过角阀排出而在角阀附近堆积;b. 排泥角阀人工控制,排泥时间过短则排泥不彻底,排泥时间过长则会造成水量浪费;c. 池底污泥长期堆积,行车运行过程中刮板受力不均,造成行车脱轨或翻车,影响排泥作业。

1.2 积泥规律探究

为准确设计排泥方案,需首先对沉淀池底部的积泥厚度及分布规律进行测量及分析。沉淀池池底积泥的测量过程包括布点和深度测量两步,池底具体布点情况:单组平流沉淀池长72 m,沿平流沉淀池纵向截面从配水花墙端每隔6 m设置一个取样组,则纵向共计13个取样组;沉淀池宽11 m,共3个配水廊道,在每个配水廊道中间位置设置1个测量点,单位横向面积共设置3个取样点,整个池底共设置39个取样点。底部污泥厚度的测量采用E+H超声波泥位计进行^[6],每个点反复测量3次,每次测量记录数值为3次测量平均值;每天测量3次(09:00、14:00和20:00各测量一次),每天测量记录数值为3次平均值;连续测量30 d。通过对测量结果的分析发现,整个沉淀池池底横向积泥量变化不大,但纵向积泥量变化显著,因此对每个横断面的数值进行平均处理后,对沉淀池池底整体纵向的积泥规律进行分析,结果如图1所示。

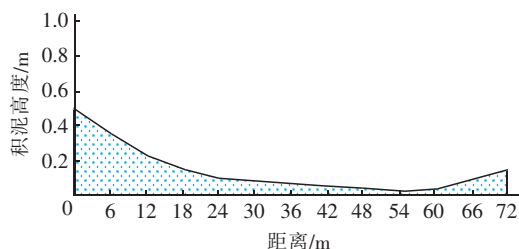


图1 平流沉淀池积泥高度曲线

Fig. 1 Sludge height curve of horizontal flow sedimentation tank

由图1可以看出,沉淀池底部积泥纵向呈现一个“倒三角”趋势,自花墙向清水区方向,沉淀池的积泥高度可分为三段:前段0~24 m,积泥高度最高且呈下降趋势,由0.49 m降至0.1 m;中段24~60 m,积泥高度较低且较为平缓,平均积泥高度为0.05 m;尾段60~72 m,积泥高度略有回升,积泥高度为0.03~0.08 m。产生该现象的主要原因:前段原水经絮凝反应后进入平流沉淀池,大量絮凝物由于流速降低,逐渐沉降,随着矾花量的逐渐减少,积泥量也逐渐减少,形成了“倒三角”状的积泥区;经前段沉降后剩余的少部分矾花在水流的作用下,碰撞、沉降,形成中段缓平区域;尾段水流由平流变为上向流,在水流的带动下,少量积泥向尾端集聚,积泥高度略有上升。为使沉淀池排泥彻底、无积泥,需根据积泥规律,精准设置排泥角阀的适配排泥时间,达到精准排泥的目的。

1.3 改造方案设计

红外感应光电开关根据红外反射的原理,将接收到的红外反射信号转换成电信号,实现红外感应开关导通,当未接收到红外反射信号时,开关保持断开。基于这一原理,自行设计红外信号反射装置,搭建基于红外反射原理的自动排泥控制系统。

① 红外排泥系统设计

单组平流沉淀池的红外排泥系统安装如图2所示。由图2可知,每组红外排泥系统包含4个红外信号感应开关、4个红外信号反射装置、1台控制柜;其中红外感应光电开关安装于排泥角阀正上方,红外信号反射装置固定于桁架式刮吸泥机外侧中轴处,长为4 m,用于准确接收和反射红外信号。

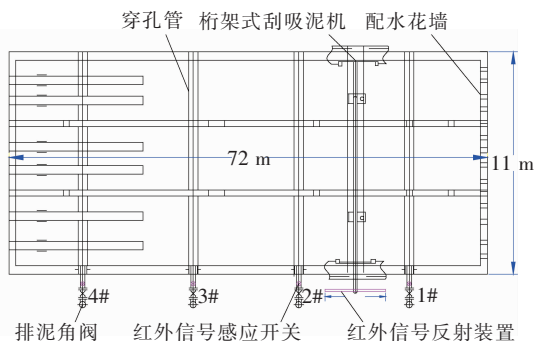


图2 红外排泥系统安装示意图

Fig. 2 Sketch of installation of infrared sludge discharge system

排泥作业期间,当桁架式刮吸泥机运行到距离

排泥角阀一定位置时(该位置可通过时间继电器进行调节),排泥角阀开启;当桁架式刮吸泥机行走至角阀上方时,角阀关闭。

② 角阀排泥时间计算

由于不同排泥角阀的电气控制原理图相同,因此仅以1#排泥角阀的红外控制系统电气原理图为例进行说明(见图3)。

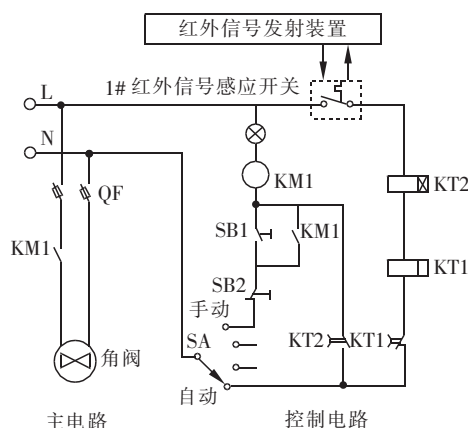


图3 1#排泥角阀电气控制原理

Fig. 3 Electrical control principle of 1# sludge discharge angle valve

由图3可以看出,控制电路主要由1套红外信号感应装置、1个万能转换开关SA、2个时间继电器(KT1计时控制、KT2延时控制)、1个角阀控制接触器KM1组成。

控制原理:a. 当万能转换开关SA选择“手动”模式时,合上SB1,回路导通KM1得电,排泥角阀打开,按下SB2,回路断开,KM1失电,排泥角阀关闭;b. 当SA选择“自动”模式时,红外信号反射装置随桁架式刮吸泥机行走,当行走至红外信号感应开关正上方时,开关导通,KT1开始计时,KT2开始延时,延时结束KT2的常开触点闭合,KM1得电,排泥角阀打开,KT1计时结束,KT1的常闭触点断开,KM1失电,排泥角阀关闭。

排泥系统运行效率的高低取决于继电器的时间设置是否合理,根据所测得的积泥曲线,结合生产运行经验,设置每个排泥角阀对应的继电器时间,进而计算出1#、2#、3#、4#排泥角阀的排泥时间分别为 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 。

桁架式刮吸泥机行走速度 $v=0.02$ m/s,红外信号反射装置长4 m(桁架式刮吸泥机中线前后各2 m),桁架式刮吸泥机在行走过程中,当红外感应光

电开关接收到被反射装置反射的红外光,开关接通,KT1 开始计时;刮吸泥机继续行走,根据生产运行经验,当行走至 1#排泥角阀正上方时,刮板后续所刮积泥无法通过 1#角阀有效排出,为降低排泥水量,此时 1#角阀停止排泥,KT1 计时结束,该过程行车行走距离为 $L/2$,则 KT1 计时时间 $T = L/2v = 100\text{ s}$ 。

由积泥曲线可知,沉淀池前段泥量较大,积泥全部排出所需时间长,设置 1#角阀对应的延时继电器 KT2 延时时间 $t_{01} = 20\text{ s}$,1#排泥角阀的排泥时间 $t_1 = T - t_{01} = 100 - 20 = 80\text{ s}$ 。

同理,对于 2#排泥角阀,泥量逐步减少,设置对应延时继电器延时时间 $t_{02} = 40\text{ s}$,则 2#排泥角阀排泥时间 $t_2 = T - t_{02} = 100 - 40 = 60\text{ s}$ 。

由此类推,可计算得出 3#排泥角阀排泥时间 $t_3 = 40\text{ s}$ 。由于沉淀池出水端水流由水平流改为上向流,积泥高度增加,4#角阀的排泥时间设为 $t_4 = 50\text{ s}$ 。

当原水水质发生较大波动时,沉淀池积泥深度会随之变化,可通过调整角阀对应延时继电器的延

时时间改变排泥阀排泥时间,保证沉淀池排泥彻底。

2 改造效果

2.1 出水水质

沉淀池出水浊度是表征沉淀池运行状况的一个重要指标。改造后,沉淀池出水水质明显改善,平均出水浊度由改造前的 2.3 NTU 降至 1.0 NTU,降低了 53% ~ 60%。浊度降低的原因主要有两个:一是排泥过程中桁架式刮吸泥机运行平稳,大部分积泥通过穿孔管排除,水质扰动小,出水水质稳定;二是改造前排泥效果不佳,长期存在积泥,积泥发酵产生的气体带动池底的积泥上浮,影响水质;改造后,排泥干净彻底,避免了此类现象的发生。

排泥系统改造后,水厂各项出厂水指标如表 1 所示。由表 1 可知,改造后出厂水各项水质指标稳定,满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)。其中,出厂水浊度显著下降,由改造前的 0.17 NTU 降至 0.09 NTU,减少了 47%,提升了出水水质。该结果进一步表明,提高平流沉淀池排泥系统运行效率,对改善出厂水水质具有重要作用和意义。

表 1 改造前、后出厂水水质对比

Tab. 1 Comparison of effluent quality before and after transformation

项 目	色度/ 度	浊度/ NTU	pH 值	余氯/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总氯/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	铁/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	锰/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	铝/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
改造前	<5	0.17	7.46	0.66	0.75	<0.05	<0.05	0.052
改造后	<5	0.09	7.50	0.65	0.76	<0.05	<0.05	0.050
内控指标	≤ 10	≤ 0.3	7.2 ~ 8.0	0.4 ~ 1.0	0.6 ~ 1.4	≤ 0.2	≤ 0.1	≤ 0.15
国家标准	≤ 15	≤ 1.0	6.5 ~ 8.5	0.3 ~ 4.0	0.5 ~ 3.0	≤ 0.3	≤ 0.1	≤ 0.2

2.2 排泥水量

对改造前后排泥时间和排泥水量进行对比,改造前每组沉淀池排泥水量为 $380\text{ m}^3/\text{d}$,改造后排泥水量减至 $210\text{ m}^3/\text{d}$,减少了 45%。

排泥水量减少的主要原因:①改造后,桁架式刮吸泥机运行时间由 120 min 缩短至 60 min,每日泵吸泥量减少 50%。②改造前,排泥角阀手动控制,且与桁架式刮吸泥机没有联动配合,为尽可能将积泥排出,角阀排泥时间长,造成排泥水量增加;改造后排泥水量的减少一方面使自用水率降低约 16%,减少了生产成本;另一方面为生产废水回收及后期污泥处理工艺环节降低了负担。

2.3 排泥系统电耗

对改造前后行车运行时间和电耗进行对比,经过改造,桁架式刮吸泥机每日运行时间由 120 min 缩减至 60 min,排泥周期由 24 h 延长至 48 h(桁架

式刮吸泥机往返一次为一个排泥周期)。每日平均耗电量由 $10.5\text{ kW} \cdot \text{h}$ 降至 $5.2\text{ kW} \cdot \text{h}$,降低 47% ~ 53%,水厂排泥系统节约电量为 $7\,680\text{ kW} \cdot \text{h}/\text{a}$ 。电耗降低的原因:改造前完成排泥作业桁架式刮吸泥机需往返一次;改造后排泥效率提高,桁架式刮吸泥机只需单程就可完成排泥作业,运行时间减少 50%,电耗也随之降低。

2.4 投资成本及节约费用

改造完成后,排泥系统节约电费为 5 070 元/a,排泥水量减少 $24.8 \times 10^4\text{ m}^3/\text{a}$,年节约水资源费为 26.3 万元/a,而投资改造成本总计 2.8 万元,是常规 PLC 改造方案所需费用的 $1/3^{[7-8]}$ 。以上数据表明,该改造项目节能降耗效果显著,用较少投资实现了较大的经济价值。

3 结论

针对平流沉淀池排泥效率低的问题,提出了一

种基于红外反射原理的排泥系统改造方案,通过对比分析方案实施前后的水质、电耗、排泥水量变化情况以及成本分析,得出以下结论:

① 平流沉淀池底部积泥呈“倒三角”趋势,最高积泥位置出现在沉淀池起始端,随后积泥高度逐渐降低,趋于平缓,尾段积泥高度会略有增加。

② 按照积泥分布规律,精确计算并设置排泥角阀的排泥时间,排泥更加彻底,桁架式刮吸泥机运行时间由 120 min/d 缩短至 60 min/d,工作负荷降低,运行更加稳定,故障频率由原来的 2~3 次/月降至 1~2 次/a。

③ 改造后沉淀池运行效果显著改善,出水水质稳定,平均出水浊度由改造前的 2.3 NTU 降至 1.0 NTU。

④ 节水节电效果显著,排泥系统节约电费 5 070 元/a,节约水资源费 26.3 万元/a,自用水率降低约 16%,减少了水厂生产运行成本,经济效益显著。该改造方案投入成本低、经济高效、简单适用,可在类似的中小水厂推广使用。

参考文献:

- [1] 朱勇. 平流沉淀池水质提升改造与探讨[J]. 供水技术, 2017, 11(5): 40-41.
Zhu Yong. Discussion on the improvement of the outlet water quality of horizontal flow sedimentation tank[J]. Water Technology, 2017, 11(5): 40-41 (in Chinese).
- [2] 伍新政. 平流沉淀池排泥系统的优化改造[J]. 给水排水, 2011, 37(2): 19-21.
Wu Xinzhen. Optimal modification of horizontal settling tank sludge drainage system[J]. Water & Wastewater Engineering, 2011, 37(2): 19-21 (in Chinese).
- [3] 袁卓异, 张静. 水厂平流沉淀池排泥桁车控制系统的设计[J]. 中国给水排水, 2008, 24(6): 41-43.
Yuan Zhuoyi, Zhang Jing. Design of control system for mud scraper in horizontal flow sedimentation basin of waterworks[J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(6): 41-43 (in Chinese).
- [4] 雷丽, 张升义. 红外反射式光电传感器弱光检测系统[J]. 激光杂志, 2019, 40(2): 54-58.
Lei Li, Zhang Shengyi. Infrared reflective photoelectric sensor low light detection system[J]. Laser Journal, 2019, 40(2): 54-58 (in Chinese).
- [5] 朱春华, 顾雪亮. 基于红外反射式传感器 TCRT5000 的循迹小车设计[J]. 现代电子技术, 2018, 41(18): 143-146.
Zhu Chunhua, Gu Xueliang. Design of tracking car based on infrared reflective sensor TCRT5000 [J]. Modern Electronics Technique, 2018, 41(18): 143-146 (in Chinese).
- [6] 雷晓玲, 方小桃, 刘贤斌, 等. 给水厂高密度沉淀池沉淀区流态模拟及优化设计[J]. 中国给水排水, 2011, 27(3): 52-55.
Lei Xiaoling, Fang Xiaotao, Liu Xianbin, et al. Simulation and optimization of flow pattern in high-density settler of water treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(3): 52-55 (in Chinese).
- [7] 姚广东, 赵恒彦, 赵颖然. 排泥机同步运行自动化控制系统设计[J]. 中国给水排水, 2004, 20(6): 55-57.
Yao Guangdong, Zhao Hengyan, Zhao Yingran. Design of auto-control system for synchronous operation of sludge discharge machine [J]. China Water & Wastewater, 2004, 20(6): 55-57 (in Chinese).
- [8] 强昌林, 孙玉华. 自来水厂节能降耗优化运行策略[J]. 中国给水排水, 2011, 27(3): 41-43.
Qiang Changlin, Sun Yuhua. Optimization operation strategy for energy saving and consumption reduction in waterworks [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(3): 41-43 (in Chinese).



作者简介:赵颖伟(1986-),男,河南漯河人,硕士,工程师,主要从事智慧水务及水处理相关技术研究。

E-mail: zhaoyingweily@126.com

收稿日期: 2019-06-25