

供排水企业运行及管理成果专栏

黄志超, 韩银传, 李辰, 等. 虹吸滤池气水反冲洗工艺技术改造及工程实践[J]. 净水技术, 2026, 45(6): 187-194, 202.

Huang Z C, Han Y C, Li C, et al. Reconstruction and engineering practice of air-water backwashing technological process in siphon filters [J]. Water Purification Technology, 2026, 45(6): 187-194, 202.

虹吸滤池气水反冲洗工艺技术改造及工程实践

黄志超¹, 韩银传^{2,*}, 李辰², 郑景行³, 岳璞初¹, 杨永杰²

(1. 天津水务集团华森规划勘测设计研究院有限公司, 天津 300220; 2. 天津融泰水务有限公司, 天津 300381; 3. 天津津港水务有限公司, 天津 300450)

摘要 【目的】 本文结合天津市某水厂虹吸滤池的改造工程, 在已完成气洗改造的基础上, 进行全面技术挖潜, 提出切实可行的设计、研究方案, 为今后类似虹吸滤池改造工程提供参考。【方法】 虹吸滤池在现有主体土建结构不变的基础上, 采取调整原有气冲管路的配气, 增加气冲强度电动调节阀、水冲强度控制阀、电动拉杆调节堰板, 更换长柄滤头, 调整 U 型排水槽, 提高滤层厚度并更新级配滤料等措施, 通过对虹吸滤池气、水反冲洗强度、反冲洗水头的调节, 实现精准可控的反冲洗过程, 确保滤料层形成稳定微膨胀状态, 从多个角度提升滤池的综合过滤效率。【结果】 本文的虹吸滤池经过系统技术改造后, 提高了过滤能力和出水水质, 解决了反洗跑砂的问题, 同时缩短了单次反冲洗时间, 提高了冲洗效率, 延长整体反冲洗周期, 降低了反冲洗水量。滤池出水浑浊度由 0.5~1.0 NTU 降低至 0.2~0.3 NTU、全厂自用水量较改造前降低了 41.5%、全年排水水量减少 13.3 万 m³、运行电费和水资源费用降低约 17 万元/a。【结论】 通过对虹吸滤池气水反冲洗系统全面改造, 实际运行效果良好, 技术方案切实可行, 施工操作性高, 工程投资少, 既保证供水安全, 亦具有可观的经济效益和环保效益, 可为不具备拆除重建条件的中小型水厂虹吸滤池改造提供借鉴。

关键词 虹吸滤池; 气水反冲洗; 控制阀; 调节堰板; 级配滤料

中图分类号: TU991 文献标志码: A 文章编号: 1009-0177(2026)06-0187-09

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.06.022

Reconstruction and Engineering Practice of Air-Water Backwashing Technological Process in Siphon Filters

Huang Zhichao¹, Han Yinchuan^{2,*}, Li Chen², Zheng Jingxing³, Yue Puchu¹, Yang Yongjie²

(1. Tianjin Water Group Huamiao Design & Research Institute of Planning & Surveying Co., Ltd., Tianjin 300220, China;

2. Tianjin Rongtai Water Co., Ltd., Tianjin 300381, China;

3. Tianjin Jingang Water Co., Ltd., Tianjin 300450, China)

Abstract [Objective] This paper focuses on the reconstruction project of siphon filters at a water treatment plant (WTP) in Tianjin City. Building upon the completed air-scour modification, this paper aims to maximize technical potential by proposing a scientifically sound and practical design scheme, thereby providing a reference for similar siphon filter renovation projects in the future.

[Methods] Without altering the main civil structure of the existing siphon filter cells, the following measures were implemented: adjusting the air distribution in the original air-scour pipelines, installing electric regulating valves for air-scour intensity and water-wash intensity control, reconstruction electric lever-regulated weir plates, replacing long-stem filter nozzles, optimizing U-shaped drainage troughs, increasing filter bed thickness, and upgrading graded filter media. By precisely regulating air-water backwashing

[收稿日期] 2025-05-26

[作者简介] 黄志超(1986—), 男, 高级工程师, 主要从事净水厂、污水厂、泵站及管道工艺设计与研究等工作, E-mail: 526790182@qq.com。

[通信作者] 韩银传(1991—), 女, 工程师, 主要从事给水厂、污水厂等水处理相关技术研究等工作, E-mail: 15822116747@163.com。

intensity and backwash head, a controllable backwashing process was achieved, ensuring the formation of a stable micro-expansion state in the filter media layer, thereby enhancing the comprehensive filtration efficiency from multiple perspectives. [**Results**] After systematic technical reconstruction, the siphon filter exhibited significant improvements: filtration capacity and outflow quality were enhanced, with turbidity decreasing from 0.5–1.0 NTU to 0.2–0.3 NTU; sand leakage during backwashing was effectively mitigated; the duration of individual backwashing cycles was reduced, improving operational efficiency; the overall backwashing interval was extended while backwashing water consumption decreased; the WTP's self-water consumption rate decreased by 41.5%, reducing annual drainage volume by 133 000 m³; operational costs (electricity and water resources) were reduced by approximately 170 000 per year. [**Conclusion**] The comprehensive reconstruction of the air-water backwashing system in the siphon filter demonstrates excellent operational performance. The proposed technical solution is scientifically rigorous, highly implementable, and cost-effective. It not only ensures water supply safety but also delivers substantial economic and environmental benefits, making it a viable reference for the reconstruction of siphon filters in small and medium-size WTPs that do not have the conditions for demolition and reconstruction.

Keywords siphon filter; air-water backwashing; control valve; adjustable weir plate; graded filter media

天津市某水厂建于1995年,设计规模为2万m³/d,采用“原水-进水泵房-加药系统-机械澄清池-虹吸滤池-消毒系统-供水泵房-管网”的净水处理工艺,目前,虹吸滤池已运行接近30年,期间由于工艺系统老旧进行了气洗设施提升改造,随着运行时间加长,反冲洗周期缩短至12~16h,出水浑浊度为0.5~0.9NTU,滤料级配不均,年均跑砂量超过10%等一系列问题,现阶段为了进一步解决工艺局限性,实现企业内控标准(出水浑浊度上限值由1.0NTU提高至0.3NTU)、降低滤池跑砂率、提高过滤产能、保障供水安全,对虹吸滤池进行深层次技术挖潜。

虹吸滤池是利用滤池本身的出水水头进行反冲洗的滤池,进水及排水均采用虹吸管控制,不需要大型阀门以及辅助设备,可以实现水力自动运行和反冲洗过程,无需复杂的自控系统^[1],故在许多小型水厂以及90年代的水厂中广泛使用,随着V型滤池、翻板滤池等新型滤池的使用,传统虹吸滤池出现的反冲洗不理想、运行效果差、跑砂严重等问题越来越明显,因此许多虹吸滤池逐步增加了气水反洗功能。气水反冲洗是改善虹吸滤池反冲洗效果的有力措施,可以大大节约反冲洗用水,而且由于气泡的“擦洗”作用可以使滤料洗得更干净,延长滤料的寿命^[2]。但反冲洗仍然受本身池型的限制,导致反冲洗强度无法精准控制,从而带来水量的浪费以及反洗效果不佳的难题。

本文针对该水厂虹吸滤池改造中的困难和水质需求,提出一种基于气水反冲洗强度及反洗水头可控的改造方案,同时更换滤头、级配滤料及反洗排水槽,提高过滤能力和出水水质,通过对改造前后实际运行数据的分析,为国内存在同样问题或即将实施

改造的虹吸滤池提供设计思路和技术借鉴。

1 虹吸滤池现状分析及改造思路

1.1 虹吸滤池现状情况

该水厂原水在冬季时采用滦河水,水质较差,属于典型的低温低浊水质,进水通过管道混合器、机械澄清池处理后,进入虹吸滤池。设置滤池1座,分2组,每组为8格,共计16格,其中单格过滤面积为6m²,设计水量为2万m³/d。

虹吸滤池设计过滤水头为1.5m;冲洗水头为1.2m;水冲强度为15L/(s·m²);排水槽高度为0.6m;采用短柄滤池安装。承托层厚度约为300mm,滤料层厚度约为600mm,石英砂滤料粒径为2~3mm,部分滤料流失,截污能力变差^[3]。

1.2 第一次改造及存在问题

强化反冲洗强度,将单水反冲方式改为气水反冲结合的方式,可有效解决老旧水厂单水反冲导致滤池过滤效果差、滤料板结堵塞的情况^[4]。因此,2016年对该虹吸滤池进行了气水反冲洗改造,增加气冲设备和管道。采用罗茨鼓风机2台,单台流量为2.7m³/min,经核算,理论气冲强度为15L/(s·m²),每格滤池设置气冲管道1根,深入滤板下层,池体标高结构以及滤板高度均未做调整。此次改造形成“气冲+气水双冲+水冲”的反冲洗运行模式,运行初期反洗效果改善明显,反洗周期维持24h,出水浑浊度有所降低,可达到1NTU的国家水质标准。

在气水双冲的过程中,污泥受水流、空气剪切和摩擦作用从滤料颗粒剥离脱落效果显著,但受池型的限制联合冲洗时水冲强度偏大,无法调节,滤池滤料微膨胀状态形成受限,导致污染物排走的同时,滤料也随之流失。多年运行以来,第一次改造的虹吸

滤池逐步呈现出以下问题。

(1) 滤池滤料再次泥球附着, 出现板结; 滤层粒径不均、厚度减少导致出水浑浊度升高, 无法满足企业更为严格的内控标准要求;

(2) 气冲过程布气不均, 气洗不均衡, 反洗不彻底; 水洗水量大, 自用水系数高;

(3) 反洗过程滤料膨胀率过大, 出现局部雍砂及不同程度跑砂现象, 每年需补充 100~300 mm 的滤料。

1.3 原因分析

该虹吸滤池第一次改造虽增加了气、水反冲洗, 但气冲管路存在缺陷, 其他设施改造不彻底, 导致运行以来再次出现过滤能力下降、出水水质不稳定等问题, 经分析主要原因有以下几点。

(1) 滤料从未全部更换, 级配条件差。现状滤料粒径为 1.0~1.5 mm, 常年滤料跑失, 厚度减少严重, 导致产水能力降低。

(2) 气冲管路布置不合理, 气冲无气垫层形成过程。滤池采用短柄滤头未做更换, 气管单一配气不均, 且气冲强度无法控制, 导致布水布气不均、气冲不均衡、反洗效果差。

(3) 水洗强度不能调节, 气水冲洗时滤层无稳定微膨胀状态。滤池产水能力的下降降低了水冲水头, 无法实现水流对滤料的全面搓洗, 水冲结束后漂浮污泥再次附着在滤料表层, 导致泥饼、泥球产生; 气水联合冲洗时, 水冲强度过大不仅增加水耗, 还导致跑砂等问题。

因此, 需要对现状问题进行针对性分析, 形成系统性挖潜改造方案, 保障虹吸滤池的产水能力, 提高出水水质, 降低运行能耗。

1.4 深层技术挖潜思路

针对虹吸滤池第一次改造及运行后遗留问题的分析, 应维持滤池的主体土建结构不变, 在少动或不动主体结构的原则下进行, 确保改造工作简单、施工方便^[5]。因此, 结合现场实际情况及水质需求, 提出本次深层技术挖潜改造的思路。

(1) 调整滤池水力流态, 减少跑砂率, 提高滤层截污能力。主要措施为调整排水槽样式和高度, 增大滤料安装厚度, 更换均质石英砂滤料。

(2) 通过气冲强度控制, 提高反冲洗气水剪切效果。保留现状气冲装置, 调整气冲管道的布置, 实现主管路均匀配气; 气管增加电动调节蝶阀, 实现气

冲强度的精准控制; 更换滤头型式, 形成稳定气垫层, 保证布气均匀。

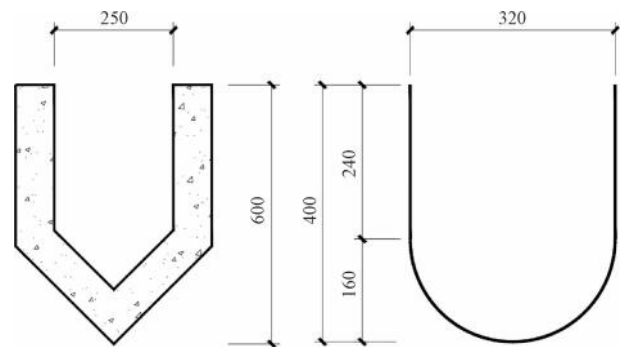
(3) 通过水冲强度和水压精准调节, 实现滤层微膨胀状态, 提高反洗清洁度。单格出水孔设置水冲强度控制阀, 清水出水渠设置电动拉杆出水堰, 通过对水冲强度和冲洗水压的控制, 提高冲洗效果、平衡清洗效果与滤料的稳定性、降低冲洗排水量。

2 技术改造措施

2.1 过滤水力流态改造

为提高滤池截污能力, 首先对现状滤料进行更换, “粒径比(L/D)”常用来作为评价滤池过滤性能的一个重要指标, 理论上滤料层的 L/D 越大, 过滤性能越好^[6]。本次改造粒径比 L/D 定为 900, 滤头每条缝隙宽度只有 0.30 mm, 因此滤料下层承托层厚度可从 300 mm 减为 50 mm, 从而均质石英砂滤料厚度可调为 1 050 mm, 较原池滤层厚度增加 450 mm, 粒径(d_{10})=0.9~1.0 mm, 均匀系数(K_{60})<1.6; 滤料层总高度为 1 100 mm, 并将滤池四周进行拉毛处理, 有效提高整体滤层的截污能力, 延长滤池冲洗周期, 阻止悬浮颗粒穿透滤层。

为实现滤料厚度的提高, 减少反洗时的跑砂, 对现状排水槽进行改造。滤池现状采用混凝土排水槽, 高度为 600 mm, 制约滤料安装高度, 反洗滤料容易沿槽壁流失。本次更换为不锈钢排水槽, 由原锥形排水断面调成为半圆形马鞍排水断面, 如图 1 所示, 提高排水能力的同时, 减少排水槽高度, 降低跑砂风险。



注: 图中数值单位为 mm。

图 1 排水槽 V 形改 U 形示意图

Fig. 1 Diagram of V-to-U Type Drainage Channel Reconstruction

排水槽计算如式(1)。

$$Q = qL_0 a_0 \quad (1)$$

其中: Q ——流量, L/s;

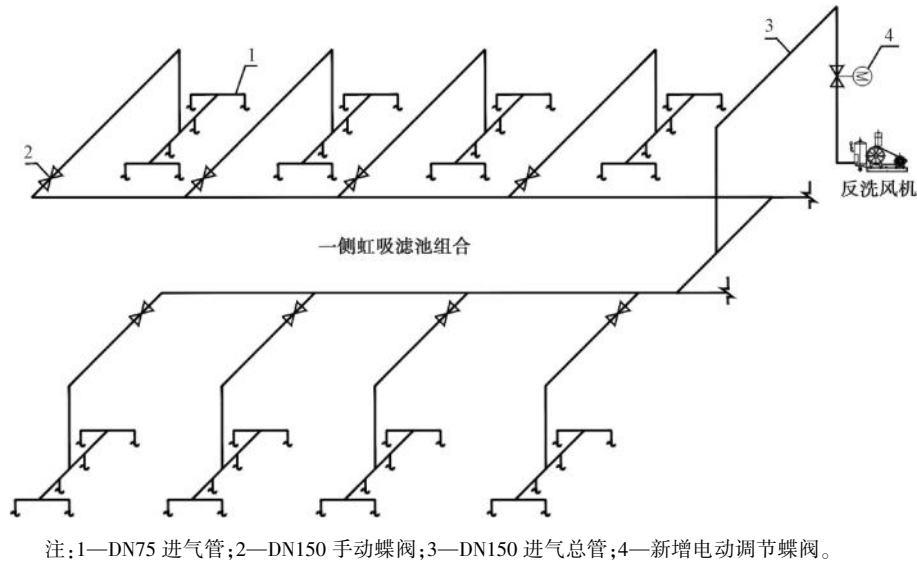
q ——冲洗强度, $L/(s \cdot m^2)$;
 a_0 ——两槽间距, m;
 L_0 ——槽长, m。

经计算排水槽宽度为 320 mm, 高度为 385 mm, 长度为 2 500 mm, 槽底安装高度提高 200 mm, 为增加滤料厚度创造有利条件。

2.2 气洗系统改造

气洗系统为第一次改造中安装, 现场调研后发

现气管只有一路埋于滤板下部, 严重导致气冲过程配气不均, 因此本次改造将气管分散布置到滤板底部, 利用现状滤头底座螺纹, 分为 6 个进气点, 实现均匀进气, 进气管的出气口标高误差不得超过 ± 5 mm。另一方面在气管主管路增加 DN150 电动调节阀门, 实现气冲强度调节, 实现可调气冲强度为 $10 \sim 15 L/(s \cdot m^2)$, 气冲管道及设施排布如图 2 所示。



注: 1—DN75 进气管; 2—DN150 手动蝶阀; 3—DN150 进气总管; 4—新增电动调节蝶阀。

图 2 气冲系统管道及主要设施布置

Fig. 2 Plan of Air Scour System and Main Facilities Configuration

进一步提高滤池的气冲效果需将滤头更换为中长柄滤头。现状滤板平整度较好, 维持不变, 配气室有效高度仅为 300 mm。本次将原短柄滤头(长度为 120 mm), 更换为新型定制滤头(长度为 180 mm), 保证气冲初期可形成一定气垫层, 达到稳定后进行整体气冲, 实现布气均匀。新型滤头要求缝隙宽度为 (0.30 ± 0.05) mm、缝隙长度为 (32.0 ± 1.0) mm、滤杆长度为 (180 ± 2) mm、内径为 (25.0 ± 0.5) mm、采用改性聚丙烯材质、滤头为可调式、可调螺纹长度为 70 mm、调节值为 $0 \sim 50$ mm, 预留 20 mm, 以便出现不均匀沉降时进行调节。

2.3 水冲系统改造

虹吸滤池反冲洗依靠自身出水水位差实现, 原理为利用水位差使清水渠内清水倒流回滤池以完成水冲过程^[7]。受池型限制, 单格滤池出水口过流能力大于标准水洗强度, 而清水渠出水堰为固定堰板, 冲洗水头偏低, 最终导致滤料跑砂、冲洗不净以及反冲洗水浪费。

为控制滤池出水口过流能力, 在单格出水孔设置 DN500 水冲强度控制阀, 如图 3(a) 所示, 正常过滤时阀体全开, 反冲洗时开启角度可调。通过调试, 确定反洗强度与开启角度的关系, 设置自动控制系统, 实现水冲强度 $2 \sim 4 L/(s \cdot m^2)$ 的范围可调, 可在气水联合冲洗时降低水冲强度, 形成流态化微膨胀状态, 增强滤层内污染物的剥离。该控制阀亦可实现单池闭水, 为后期检修运行管理提供便捷条件。

为保证在降低水冲强度的过程中, 仍具有足够的冲洗水头, 在清水渠出水堰增加电动拉杆调节堰板(规格为 $1\ 000\ \text{mm} \times 500\ \text{mm}$), 如图 3(b) 所示。反冲洗时通过控制总出水堰板的高度, 调节清水渠过滤水位 ($200 \sim 500$ mm), 增大水冲洗水头; 正常过滤时调节拉杆角度, 降低清水渠总出水水位, 减少过滤水头。

电动拉杆调节堰板配合水冲洗强度控制阀, 经过调试后确定开启角度和控制参数, 实现气水联合冲洗和单水冲洗时强度的精准调节, 减少反洗水排放, 省去反洗水泵系统的安装、运行, 从而节省投资、

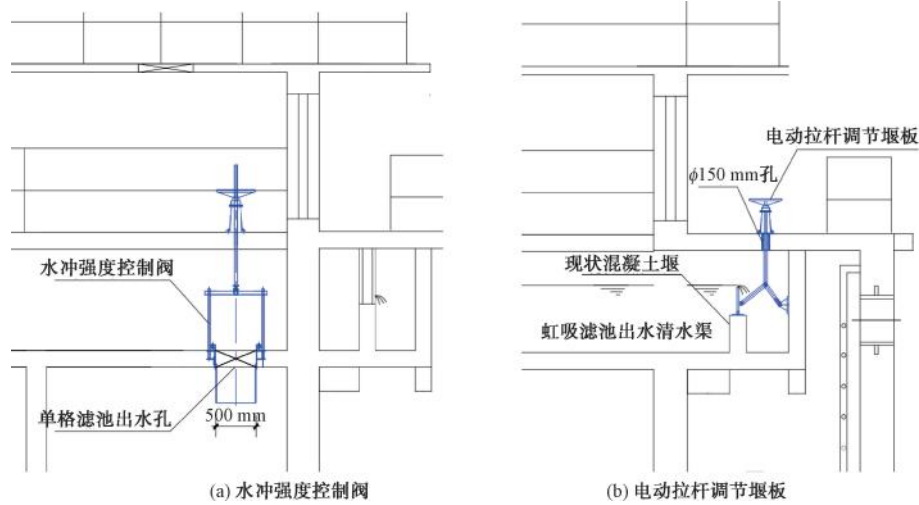
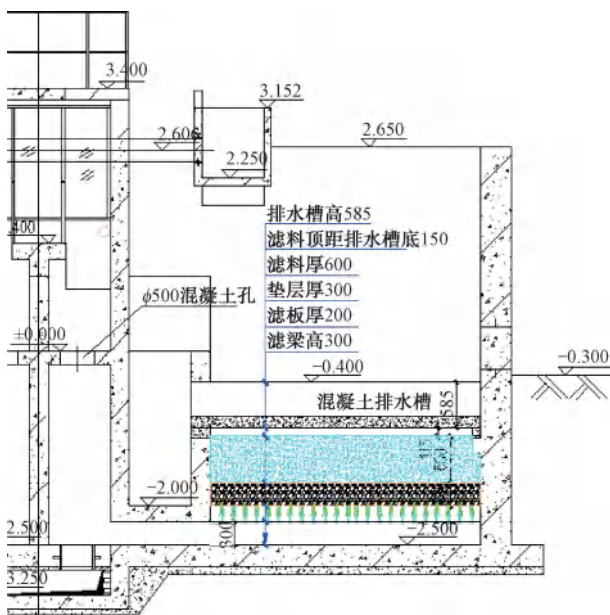


图3 水冲强度和水头控制装置设计及安装图

Fig. 3 Design of Water Scour and Head Control System Configuration

降低运行电耗,滤池整体技术改造前后布置图如图4、图5所示。



注:图中数值为 mm。

图4 虹吸滤池改造前现状分层布置图

Fig. 4 Existing Stratified Layout of Siphon Filter Tank

3 运行参数确定

3.1 反冲洗运行过程

虹吸滤池改造后采用均质滤料常规的三段式冲洗,包含气冲、气水联合冲、水冲,冲洗时间由原来的 16 min 缩短至 11 min。反冲洗历时:气洗 1~2 min、气水联合冲洗 3~4 min、再水洗 4~5 min,实际反冲洗历时由原来的 16 min 缩短至 8~11 min。冲洗强度理论控制在联合冲洗水洗强度为 3~4 L/(s·m²),单独

水冲洗强度为 6~8 L/(s·m²),气冲洗强度为 12~15 L/(s·m²)。

3.2 水冲强度的控制

本次改造水冲强度控制阀在正常过滤过程中为全开,反冲洗时水冲强度控制阀通过开启角度进行流量及冲洗强度的调节,开启角度通过可编程控制器(PLC)控制与 4~20 mA 信号控制,调试时对开启角度、流量及冲洗强度进行计算值的校核和修订,当滤池面积固定,过水流量与冲洗强度为线性关系,同时在不同冲洗强度下观察滤料微膨胀状态和反洗效果,如表 1~表 2 所示。

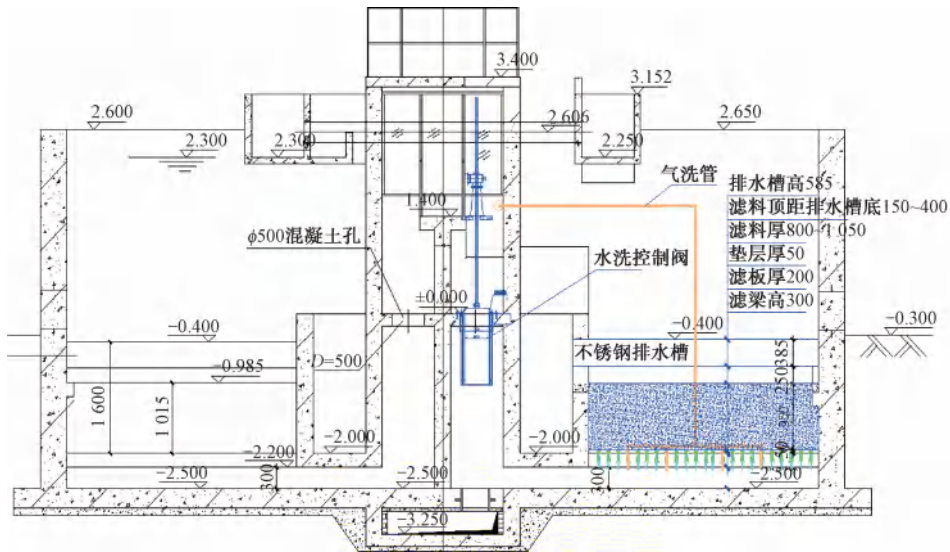
可以看出气水联合冲洗时宜采用的阀门角度为 21~24°,满足联合冲洗时水冲强度 3~4 L/(s·m²),实际运行推荐阀门角度为 22°;在单水冲洗时宜采用的阀门角度为 31~32°,满足单独水洗时水冲强度为 6~8 L/(s·m²),实际运行推荐阀门角度为 31.5°。通过不同阶段的过滤效果观察,滤料水冲状态良好,处于微膨胀状态,且滤料冲洗干净。

3.3 膨胀率检测

整体改造之前对单格滤池滤料厚度和级配情况进行膨胀率检测,滤料膨胀高度检测需在滤池反冲洗的过程中选取均匀分布的两点作为测定,将滤料高度测定尺垂直置于池内,测尺底部需插至滤板层。冲洗完毕后检查小斗内遗留的沙粒,从发现滤料的最高小斗到冲洗之前滤料顶层的距离。

为掌握不同冲洗阶段的运行状态,需对气冲、气水混合冲和水冲阶段的膨胀率进行测定,最终测定

值为 2 个测试点所测的平均值,每次冲洗后检测 5 组出水浑浊度进行校对,如表 3 所示。



注:图中数值为 mm。

图 5 虹吸滤池技术改造后整体示意图

Fig. 5 Overall Schematic Diagram of the Siphon Filter Pool after Technical Reconstruction

表 1 强度调节阀开启角度与滤池气水反冲洗强度之间对应关系

Tab. 1 Corresponding Relationship between Opening Angle of Intensity Regulating Valve and Air-Water Backwashing Intensity of the Filter

项目	反洗控制阀开启角度										
	10°	15°	17°	19°	21°	22°	23°	24°	25°	26°	
气水冲洗强度 3~4 L/(s·m ²)	1.54	1.73	2.32	2.46	3.05	3.21	3.35	3.62	3.91	4.21	

表 2 强度调节阀开启角度与滤池水反冲洗强度之间对应关系

Tab. 2 Corresponding Relationship between Opening Angle of Intensity Regulating Valve and Water Backwashing Intensity of the Filter

项目	反洗控制阀开启角度										
	30°	31°	32°	35°	37°	39°	40°	42°	45°	50°	
水冲强度 6~8 L/(s·m ²)	5.80	6.72	8.32	11.82	12.32	14.72	15.83	17.91	20.82	22.10	

表 3 试验数据汇总

Tab. 3 Summary of Experimental Data

冲洗阶段	滤料膨胀高度/cm			滤料高度 1 050 cm 膨胀率	冲洗后正常出水浑浊度/NTU
	1#测定点	2#测定点	平均值		
气冲	14	13	13.50	14.21	0.12/0.13/0.14/0.10/0.09
气水冲洗	10	8	9.00	9.47	0.10/0.09/0.09/0.08/0.09
水冲	2	3	2.50	2.63	0.15/0.14/0.12/0.13/0.12

综合上表,滤层取消砾石层,将滤料厚度最高增加至 1 050 mm,此时膨胀高度为 13.5 cm,滤层顶未达到排水槽底部,排水不存在跑砂现象;单格滤池滤后浑浊度为 0.1~0.2 NTU,出水效果明显。

3.4 滤料清洁度检测

目前,国内水厂对滤料含泥量的检测多限于个

别滤层深度,极少对不同滤层深度的反冲洗效果作出整体评价。滤池冲洗后滤料的截污能力与反冲洗强度和滤料粒径有关,其滤料表面无法被常规反冲洗剥离的絮体量,可以用来衡量滤池的反冲洗效果^[8]。

本次滤池改造后进行反冲洗效果测定,其滤料

非常干净,感官上无泥球出现,因此,通过反洗后滤池表面滤料的含泥量检验反冲洗后的效果,滤料含泥量的测定通过取滤料表面以下 10 cm 内的滤砂检测得出,可平均选取 4 个点,取样品 500 g,烘干至恒重,经过酸洗、清洗、称重后经过含泥量计算公式得出滤料的含泥量,如表 4 所示。

表 4 虹吸滤池滤料含泥量测定结果

Tab. 4 Filter Media Sludge Contents in Siphon Filter Tank

测定次数	含泥量
1	0.43%
2	0.35%
3	0.42%
4	0.46%
5	0.51%
6	0.39%
7	0.42%
8	0.43%
9	0.48%
10	0.47%

注:滤层含泥量通过取滤料表面以下 10 cm 内的滤砂检测得出。

经过测定,反冲洗过程后,滤料洁净度达到工艺标准要求,因杂质聚集形成的球状结块问题得以彻底解决。检测数据显示,滤层表面滤料的含泥量只有 0.35%~0.51%,反洗效果良好。

4 改造效果及效益分析

4.1 有效形成微膨胀,整体工艺出水水质提升

改造后滤池通过安装在线浊度仪和颗粒物计数仪,对水质进行监测和记录。产水总浊度由平均值 0.50 NTU 降到 0.25 NTU 左右,最大出水浊度达到天津市供水水质标准 0.3 NTU 以下,降低了 55%~60%,如图 6 所示;考虑到砂滤工艺对大于 5 μm 颗粒物截留作用明显,该粒径范围内的颗粒物减少可达 80% 以上,其对于 2~5 μm 的微小颗粒物去除略低,约为 60%^[9],因此通过对大于 2 μm 颗粒物的检测,改造后滤池颗粒物平均去除率由 75% 提升至 91%,增加了 16 个百分点,如图 7 所示。通过精准的气洗、气水洗、水洗强度的控制,增强滤料冲洗的剪切力和摩擦碰撞的效果,从而提高反冲洗的效率,实现滤料深层孔隙的机械-水力协同清洗,滤料截污能力提高;改造后,更彻底地将滤料吸附的污染物去除,进一步提高滤料

洁净度,使滤料能更好地吸附微粒物质,降低浊度^[10],整体过滤效率提升。

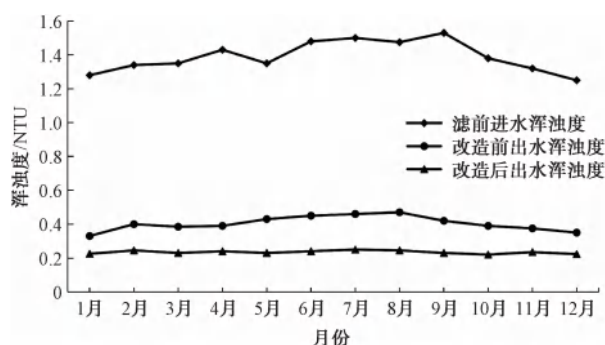


图 6 改造前后滤后出水浊度对比

Fig. 6 Comparison of Turbidity before and after Reconstruction

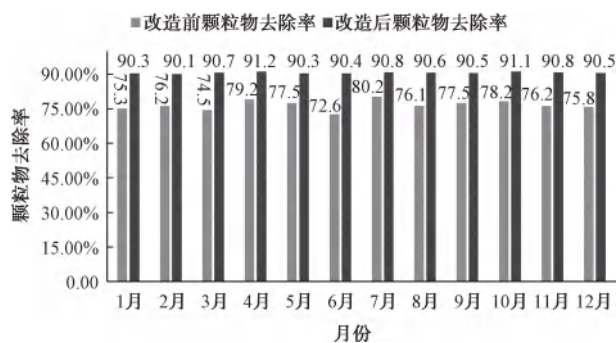


图 7 改造前后滤后颗粒物去除率对比

Fig. 7 Comparison of Particulates Removal Rates before and after Reconstruction

4.2 冲洗效率提高,反洗周期延长

通过滤料更换和排水槽的改造,增加滤料厚度,增强滤层的截污能力;通过实现水洗强度以及冲洗水头的精准控制,提高冲洗效率,令滤池反洗气冲和水冲更均衡、彻底,从而延长单格滤池冲洗间隔时间,将冲洗总时长控制在 11 min,较上次改造缩短 5 min,冲洗周期由 24 h 延长到 48 h。

5 效益分析

虹吸滤池深层技术改造后,反冲洗水量降低,全厂自用水率减小,通过反冲洗强度控制阀和电动堰板的设置,实现冲洗水量和冲洗强度的精准控制,避免了反洗水泵及阀门设备的安装投入以及滤料的补充。

改造前单格滤池每次补充滤料厚度约为 300 mm,合计 28.8 m³,通过滤池空间改造、优化设备、降低反洗水量等措施,每年将为水厂节省一笔可

观的水资源费和运行费用。

本文水厂整体改造后出水水质更稳定,实现了服务区域的供水安全和民生保障,具有显著效益,如表 5 所示。

表 5 整体效益评价

Tab. 5 Overall Benefit Evaluation

效益类型	内容
资源效益	改造前滤池自用水率为 4.53%,改造后为 2.65%,降低了 1.88 百分点; 避免了反洗水泵及阀门设备的安装、无需再每年补充滤料; 冲洗水量和冲洗强度的精准控制,实现全年排水水量减少 13.3 万 m ³
经济效益	运行电费和水资源费用降低 17 万元/年; 减少每年滤料补充及设备维修费用 3.0 万元; 整体技术挖潜改造投资约为 60 万元,运行 3 年即可全部回收
社会效益	出水浑浊度降低,水质提高; 反冲洗更稳定,节约水资源; 保障供水安全性

6 结论

本文技术适用于滤料老化、反洗不均、自动化程度低的虹吸滤池,尤其适合空间受限、预算有限的老旧水厂改造。针对现状给水厂虹吸滤池布局受限、设备设施老旧带来的产水量降低、水质不达标等问题,提出全面的改造方案,通过对运行参数、出水水质、产水能力的对比以及经济效益的分析,得出以下结论。

(1)虹吸滤池在不改动现状土建结构基础上,应选择合理的滤料层厚度和滤料参数,可有效提高过滤效率。

(2)通过设置气路电动调节阀、水冲强度控制阀、电动拉杆调节堰板,精准控制气、水冲强度,增大冲洗水头,可优化传统虹吸滤池的运行规律,有效实现滤层稳定微膨胀,减少过滤水量的浪费,降低反洗跑砂的风险,同时创造单池检修的操作条件。

(3)气水反冲洗改造有效缩短了冲洗时间,由原来冲洗时间 16 min,调整为 11 min,其中单独气洗 1~2 min、气水同时洗 3~4 min、单独水洗时间为 4~5 min。

(4)经过挖潜改造后,虹吸滤池出水浑浊度最高不超过 0.25 NTU,满足企业内控标准 (≤ 0.3 NTU)的要求。

本次虹吸滤池深层技术改造的实施,有效地利用现有池体,投资少,施工周期短,可操作性高,为空间受限、不具备拆除重建条件的中小型水厂老旧虹吸滤池技术改造提供思路,具有切实可靠的工程经验以及良好的经济和社会效益。

参考文献

- [1] 周芳,伍新政. 虹吸滤池的技术改造[J]. 净水技术, 2005, 24(3): 61-63.
Zhou F, Wu X Z. Technical renovation of siphon filters[J]. Water Purification Technology, 2005, 24(3): 61-63.
- [2] 李茜,华世新,赵晓凤. 虹吸滤池改造为气水反冲滤池实践[J]. 给水排水, 2018, 44(8): 21-24.
Li Q, Hua S X, Zhao Z F. Practice of transforming siphon filter into gas-water backwashing filter[J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(8): 21-24.
- [3] 陈凯,李荣光,郑景行,等. 天津市某常规工艺水厂升级改造实例[J]. 中国给水排水, 2024, 40(14): 75-80.
Chen K, Li R G, Zheng J X, et al. Upgrading case of a conventional waterworks in Tianjin[J]. China Water & Wastewater, 2024, 40(14): 75-80.
- [4] 陈虹,李婷,林春敬,等. 老旧水厂滤池滤料堵塞问题的处理对策[J]. 净水技术, 2022, 41(3): 173-177.
Chen H, Li T, Lin C J, et al. Solution and countermeasure of filter-material blocking problem for old WTP[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(3): 173-177.
- [5] 董志锋,刘倩,薛文,等. 虹吸滤池改造为翻板滤池的应用[J]. 净水技术, 2020, 39(10): 24-28.
Dong Z F, Liu Q, Xue W, et al. Application of siphon filter renovation in shuttle filter[J]. Water Purification Technology, 2020, 39(10): 24-28.
- [6] 张建锋,王磊波. 滤池气水反冲洗强度控制指标的建立与分析[J]. 给水排水, 2008, 34(2): 15-18.
Zhang J F, Wang L B. Development and analysis of intensity control criteria for air-water backwash in filtration systems[J]. Water & Wastewater Engineering, 2008, 34(2): 15-18.
- [7] 赵颖伟,李婷,邱密雄. 基于气动拉板阀的虹吸滤池改造及工程实践[J]. 城镇供水, 2021(3): 40-45.
Zhao Y W, Li T, Qiu M X. Transformation and engineering practice of siphon filter based on pneumatic pull-plate valve[J]. City and Town Water Supply, 2021(3): 40-45.
- [8] 周超,张建锋,何华,等. 砂滤池对水中颗粒物截留效果及反冲洗效果的分析[J]. 给水排水, 2013, 39(9): 33-38.
Zhou C, Zhang J F, He H, et al. Analysis of particle retention

(下转第 202 页)

- (3): 327-333.
- [6] 王方亮, 史志昂, 王武国. 浅析桩基围护施工中的循环水利用[J]. 居业, 2021(7): 58-60.
Wang F L, Shi Z A, Wang W G. Analysis of the utilization of circulating water in pile foundation enclosure construction [J]. Juye, 2021(7): 58-60.
- [7] 孙美, 王爽, 王腾. 服务业用水定额差异现状、成因及对策[J]. 水利发展研究, 2021, 21(5): 61-65.
Sun M, Wang S, Wang T. Variations in water quotas for the service industry: Current situation, causes, and countermeasures [J]. Water Resources Development Research, 2021, 21(5): 61-65.
- [8] 毕婉, 张坤, 赵晓晴, 等. 太湖流域用水定额管理实践与思考[J]. 中国水利, 2021(11): 47-49.
Bi W, Zhang K, Zhao X Q, et al. Practices and consideration of water quota management in the Taihu Basin [J]. China Water Resources, 2021(11): 47-49.
- [9] 罗贤伟, 庞子山, 谭松柏, 等. 基于云计算的水务大数据平台系统设计与实践[J]. 给水排水, 2022, 48(1): 144-150.
Luo X W, Pang Z S, Tan S B, et al. Design and practice of water big data platform system based on cloud computing [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(1): 144-150.
- [10] 赵玉欣. 上海市用水定额管理制度实施现状研究[J]. 水利水电快报, 2024, 45(11): 40-43.
Zhao Y X. Study on current status of implementation of water quota management system in Shanghai [J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 2024, 45(11): 40-43.
- [11] 汪莹. 全国水权交易试点改革对上海的经验借鉴[J]. 广东经济, 2023(1): 58-62.
Wang Y. Experience of national water rights trading pilot reform for Shanghai [J]. Guangdong Economy, 2023(1): 58-62.
- [12] 桂轶, 吴耀民, 金声, 等. 上海市智慧节水与节水降碳协同机制构建及优化研究[J]. 中国资源综合利用, 2025, 43(5): 250-253.
Gui Y, Wu Y M, Jin S, et al. Study on the construction and optimization of the collaborative mechanism for smart water-saving and water-saving carbon reduction in Shanghai City [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2025, 43(5): 250-253.

(上接第 194 页)

- efficiency and backwash effectiveness in sand filters [J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(9): 33-38.
- [9] 谢若激, 邹放, 徐岩, 等. 颗粒物在净水工艺中的分布及迁移变化规律[J]. 净水技术, 2024, 43(7): 83-91.
Xie R W, Zou F, Xu Y. et al. Distribution and migration change law of particles in water purification process [J]. Water Purification Technology, 2024, 43(7): 83-91.
- [10] 魏琪, 刘保超. 超负荷运行普通快滤池的升级改造实践[J]. 净水技术, 2022, 41(7): 184-190.
Wei Q, Li B C. Upgrading and reconstruction practice of conventional fast filter under overload operation [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(7): 184-190.