

工程实例

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.20.025

大型老旧水厂 V 型滤池改造实践

杨华仙

(中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610081)

摘 要: 针对大型老旧水厂 V 型滤池因设计年代早而存在的滤头堵塞、滤帽破裂、滤板错台、池壁结垢、反洗不匀、滤料磨损、跑砂、浊度超标等问题,对 V 型滤池进行了改造。结合水质新标准、设计新规范的技术要求,给出技术改造思路和诊断分析。改造后的运行结果表明,V 型滤池出水浊度长期稳定在 0.3 NTU 以下,水质满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),反冲洗周期由 24 h 延长至 36 h,反洗水量节约 56%,节省反洗水量 $23.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。运行实践表明,在未增设初滤水排放设施的情况下,采取控制滤速、更换滤料、调平滤板、清通滤头、调整反洗工况等措施,仍可显著提升老旧 V 型滤池的运行效果。

关键词: V 型滤池; 技术改造; 初滤水; 滤速; 反冲洗

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)20-0143-05

Reconstruction Practice of V-type Filter in a Large-scale Old Water Treatment Plant

YANG Hua-xian

(Southwest Municipal Engineering Design and Research Institute of China, Chengdu 610081, China)

Abstract: The V-type filter was reconstructed in a large-scale old water treatment plant, in view of the problems due to obsolete design such as filter head blockage, filter cap rupture, filter plate dislocation, tank wall scaling, backwash unevenness, filter material wear, sand loss, and high turbidity, etc. The technical reconstruction ideas and diagnosing analysis were provided according to the requirements of new water quality standards and filter design codes. The operation results showed that the turbidity of V-type filter effluent was stably below 0.3 NTU and met the *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749-2006). The backwashing cycle was extended from 24 h to 36 h and the backwashing water volume was saved by 56%. Hence, the annual backwashing water was saved by $23.5 \times 10^4 \text{ m}^3$. The operation practice indicated that the operation effect of the old V-type filter could be significantly improved by controlling the filtration rate, changing the filter material, leveling the filter plate, clearing the filter head, and adjusting the backwashing condition without adding the initial filter water discharge.

Key words: V-type filter; technical reconstruction; initial filter water; filtration velocity; backwashing

1 改造背景

南充市二水厂二期 V 型滤池设计规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,以嘉陵江为原水,采用单层均匀级配石英

砂滤料,分 5 格单排布置,单格尺寸 $13 \text{ m} \times 7.5 \text{ m}$,采用气水反冲洗。该工程为 2001 年设计,2002 年建成投用,运行至今。

滤池运行期间,出厂水水质执行标准已由《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—85)升级至 GB 5749—2006,滤池设计所遵循的主要规范亦由《室外给水设计规范》(GBJ 13—86)升级至《室外给水设计标准》(GB 50013—2018)。原水虽然属于常规水源,但近年来已呈现出微污染的趋势,且多年来作为主供水厂,而未曾有过短时停水条件对滤池进行检修维护和滤板滤头疏通,其中跑砂、池壁结垢、滤头堵塞、滤帽破裂、螺栓松动、滤板错台、反洗不匀、滤料磨损等现象严重,滤池的实际出水浊度已不太理想(2019年10月—11月,供水超载、产能为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 时,滤后水浊度为 $1.2 \sim 2.5 \text{ NTU}$,已超标),亟需进行改造。

2 改造思路

随着当地另一座大型主力水厂($30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)的投产和并网,二水厂二期V型滤池产能可以逐步退减下来,并且具备了在供水波谷时段单格停水(时间不超过5 d)、轮换作业的改造条件。

根据水质新标准、设计新规范的一系列技术要求,并结合水厂的保供要求和厂内的实际情况,V型滤池系统升级改造的主要思路包括:①增设初滤水排放;②复核滤速;③更换滤料及承托层;④疏通滤头(更换损件);⑤校核反冲洗工况。

3 诊断分析

3.1 初滤水排放

初滤水排放既可以降低滤后水浊度,又能够提高滤后水卫生安全性。该厂当年尚不具备设置初滤水排放设施条件,本次改造考虑增设。

要解决初滤水排放问题,首先需要研究排放方式和排放时间。由于初滤水排放量占水厂水量的 $1\% \sim 2\%$ ^[1],从节水降耗角度,一般采用初滤水排放管将初滤水直接外排至厂内生产废水管,继而进入回收水池。排放时间越长,水质越稳定,但排放废水量增加使得工程经济性变差;反之,排放时间过短,不能充分排除残存滤层之间的反冲洗废水,从而影响滤后水水质。根据笔者多年工程实践经验,初滤水排放最佳控制时间为5 min,与徐晓丽等^[2]报道的 $2 \sim 5 \text{ min}$ 基本一致。

滤池管廊间的实际布置见图1。绿色管道为DN500出水管及DN400反洗水管,黄色管道为DN300反洗气管,控制阀门采用气动阀门,池壁安装水位传感器和水头损失控制仪。经测量,现场具

备在DN600 \times 500出水异径三通处切孔增设DN300初滤水短管及气动蝶阀的安装条件。因受排水压差限制,初滤水管顶标高不能高过出水井设计液面,中间3格滤池的初滤水管无法翻越出水井顶标高引至室外,巡检走道板下方因悬吊有反冲洗水总管和取样管而无法再添装初滤水管,因此中间3格滤池的初滤水只能通过短管散排到管廊间地坪,漫流至端部集水坑后自流排入雨水井。由于管廊间出水管横亘贴地,会阻碍初滤水散排走水,地坪漫流壅水,还会淹没电缆及阀门执行头部,从而影响管廊间正常运行。经与厂方多次商讨利弊,放弃了增设初滤水管方案。



图1 滤池管廊间实景

Fig. 1 V-type filter pipe gallery scene

3.2 滤速

滤速是影响滤池过滤效果的重要因素。周文明等^[3]认为常规水源滤速宜取 $7 \sim 10 \text{ m/h}$,非常规水源滤速宜取 $6 \sim 8 \text{ m/h}$ 。

针对滤池在实际生产中为满足特定时期供水需要而超载运行时出现的浊度超标现象,对分格、滤速等参数进行了复核(见表1),发现滤速过高是导致出水浊度超标的主要原因。

表1 滤速复核分析

Tab. 1 Rechecking and analysis of filtration velocity

项目	现状	现行设计标准 (GB 50013—2018)	对标结果
滤池分格/格	5	不得少于4	满足
正常滤速/ $(\text{m} \cdot \text{h}^{-1})$	11.11	$6 \sim 10$	不满足
强制滤速/ $(\text{m} \cdot \text{h}^{-1})$	13.88	$10 \sim 13$	不满足

因允许停水的时间较短,在明确不改造土建、不新增过滤面积的前提下,本次改造提出滤池滤速的控制策略:减产运行,降低滤速,进水流量控制在

3 750 m³/h 以下(即产能不超过 9×10^4 m³/d),则可以保证正常滤速和强制滤速均在合理范围内,从而能够有效控制滤后水浊度。

3.3 滤料及构造

滤料层是滤池的核心组成部分,其结构特性对滤后水水质和过滤水头损失有重要影响。粗滤料的水头损失增长缓慢,而细滤料水头损失增长快速。杨长生^[4]认为,滤料有效粒径宜为 0.95 ~ 1.05 mm,均匀系数宜为 1.2 ~ 1.4,与现行设计标准基本吻合。

现场调研发现,滤料细圆、褐暗色且夹杂塑料破碎物,据此判断滤池已发生典型的滤料磨损和滤帽破裂,推荐采用粒径较粗大的均质石英砂滤料,以实现滤床深度截污,提高过滤效率。同时针对老旧水厂普遍存在的池壁结垢、污渍残留问题,采用钢刷及草酸搓洗,以提升观感。

对滤料、构造等参数进行了分析(见表2),发现:进水槽底配水孔口至中央排水槽边缘的水平距离、冲洗排水槽顶高出滤料层表面高度、滤层表面水深等满足要求,而滤料粒径、滤料厚度、承托层粒径均不满足要求。故本次改造提出了滤料及构造的处置策略:更换滤料和承托层。

表2 滤料及构造分析

Tab. 2 Analysis of filter material and structure

项目	现状	现设计标准 (GB 50013—2018)	对标 结果
滤料有效粒径 d_{10} / mm	1.0 ~ 1.25	0.9 ~ 1.2	不满足
滤料均匀系数	$K_{80} < 1.25$	$K_{60} < 1.6$	满足
滤料层厚度 L /mm	1 100	1 200 ~ 1 500	不满足
滤层厚与粒径之比 (L/d_{10})	1 000	$> 1\ 250$	不满足
承托层粒径/mm	2 ~ 8	2 ~ 4	不满足
承托层厚度/mm	100	≥ 100	满足
冲洗排水槽顶高出 滤料层表面高度/ mm	500	宜 500	满足
滤层表面水深/m	1.2	不应小于 1.2	满足
两侧进水槽底配水 孔口至中央排水槽 边缘的水平距离/m	3.0	宜在 3.5 以内, 不得 > 5	满足

根据伯努利方程,降低滤速、提高滤后出水口标高、增加砂面水深均是防范出现负水头的重要措施。研究和生产实践表明^[5],满足滤料粒径、滤层厚度及二者间的特定比例关系,才能保证过滤效果的一致。本次改造受原工艺设计限制,砂面水深和滤层

厚度不能兼顾,因滤后出水堰口标高较高,出现负水头的风险低,为保证过滤效果,砂面水深只取 1.1 m,滤层厚度设为 1.2 m。

具体工程方案:更换石英砂滤料,有效粒径 $d_{10} = 0.9$ mm,不均匀系数 $K_{60} = 1.4$,厚度 1.2 m;更换承托层为粒径 2 ~ 4 mm 粗砂,厚度 100 mm。新旧石英砂滤料实物对比见图2。

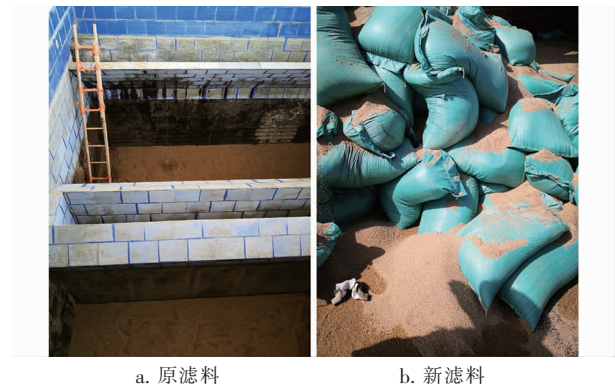


图2 池内老旧滤料与新购滤料实物对照

Fig. 2 Comparison of old and new filter materials in V-type filter

3.4 滤板及滤头

滤板和滤头对反冲洗配水配气均匀性起着至关重要的作用。陈金荣等^[6]认为滤头的个数越多越好,建议每平米过滤面积不少于 49 个,有条件时首选带可调式滤头的整体滤板,滤头的布置以正方形为宜。

原滤池采用成品钢筋混凝土小块滤板,单块滤板尺寸($L \times B \times H$)为 976 mm \times 974 mm \times 100 mm。滤头布置在滤板上,呈矩阵式分布,间距 140 mm \times 120 mm,折合滤头数为 58 个/m²。采用长柄可调式半球形滤头(帽),直径 $\varnothing 20$ mm,丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)材质。单格滤池滤头共计 4 368 个。

针对滤池反洗不匀现象,对原滤池的滤头和滤板进行分析和检测。原有滤头密度满足《滤池气水冲洗设计规程》(CECS 50:93)规定的 1 m² 约 50 个的要求,且其布置已趋近于正方形,无需调整。原有半球形滤帽缝隙宽 0.3 mm,缝长 27 mm,折算开孔比为 1.7%,满足《室外给水设计标准》(GB 50013—2018)规定的 1.25% ~ 2.0% 的要求,参数无需调整。因改造允许停水时间仅有 5 d,原有滤池采取整体浇筑滤板,不满足混凝土强度龄期,且原有滤板和

滤梁质量好、无弯曲变形,可继续使用。因此,本次改造提出了滤板滤头处置策略:调平滤板,疏通滤头,对损坏滤头(帽)进行更换。

具体工程方案:采用专用胶泥对错台滤板进行嵌缝找平。对滤头逐个进行拆除和清洗,通过分拣对损坏的滤头(帽)进行换新(更换率为 20%),再重新安装、调平。松动的 Q235 碳钢材质的螺栓、垫片全部换成 316 L 不锈钢,并重新拧紧。同格滤池内,滤板平整精度控制在 ± 2 mm,滤帽水平精度控制在 ± 5 mm,采用红外线进行精度检测。

3.5 反洗工况

滤池反冲洗是通过利用反向水流,在水流剪切力和滤料颗粒间碰撞摩擦的双重作用下,使滤料表面附着物剥离脱落下来,随水流冲出带走的过程。良好的反冲洗不仅可以清除截留在滤料层中的杂质,而且还能适度蓬松滤料,对于恢复滤池过滤能力、提升滤池出水水质有着十分重要的意义。

原滤池采用气水联合反冲洗,一个周期的冲洗实况见图 3。反洗设备配置:三叶罗茨鼓风机 2 台, $Q = 65.8 \text{ m}^3/\text{min}$, $P = 0.04 \text{ MPa}$;反冲洗离心式水泵 3 台, $Q = 684 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 100 \text{ kPa}$ 。

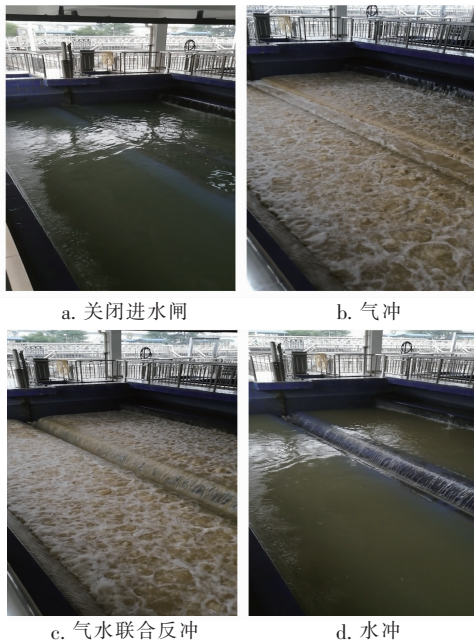


图 3 滤池反冲洗实况

Fig. 3 Actual condition of filter backwashing

针对滤池反洗跑砂现象,对原有的反冲洗工况进行了分析(见表 3),发现原设定的 PLC 程序中气冲历时过长、反冲洗强度过大是造成跑砂的主要原

因^[7]。本次改造提出了反冲洗的调控策略:重新编程,调整风机、水泵工作台数,按规范标准严控冲洗强度和冲洗历时。

表 3 反冲洗工况对标分析

Tab. 3 Benchmarking analysis of backwashing conditions

工况	现状	现行设计标准 (GB 50013—2018)	对标结果
表洗强度/ ($\text{L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)	1.8	1.4 ~ 2.3	满足
表洗历时	全程	全程	满足
气冲流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	131.6 (2 台全开)	—	—
水冲流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	1 368 (开 2 台)	—	—
先气冲强度/ ($\text{L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)	28.12	13 ~ 17	不满足
先气冲历时/min	4	1 ~ 2	不满足
气水联合反冲时气冲 强度/($\text{L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)	28.12	13 ~ 17	不满足
气水联合反冲时水冲 强度/($\text{L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)	4.87	1.5 ~ 2	不满足
气水联合反冲历时/min	4	5 ~ 4	满足
后水冲强度/ ($\text{L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)	4.87	3.5 ~ 4.5	不满足
后水冲历时/min	6	8 ~ 5	满足

具体工程方案:气冲和气水联合反冲洗阶段,罗茨风机开启数量由 2 台调整为 1 台;气冲历时由 4 min 调整为 2 min;对水泵加设变频器,单泵最大出流量调整为 $560 \text{ m}^3/\text{h}$,在气水联合反冲洗阶段,水泵开启台数由 2 台调整为 1 台,后水冲阶段水泵保持 2 台全开。

4 运行效果

技术改造完成后,滤池产水量控制在 $9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 以下,跑砂、反洗不均等现象消失,出水效果明显改善,滤后水浊度长期稳定在 0.3 NTU 以下,水质满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),反冲洗周期由 24 h 延长至 36 h,反洗水量由 $41.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 降为 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,反洗水量节约 56%。

5 结语

大型老旧水厂 V 型滤池在改造时往往受到诸如允许停水时间短、原有水力流程及池体构造不能改动等条件制约,部分技术要求不能完全满足设计规范及标准,需要综合诊断、具体分析,因地制宜地制定解决方案。

南充市二水厂二期V型滤池改造实践表明,未增设初滤水排放的情况下,采取控制滤速、更换滤料、调平滤板、疏通滤头、调整反洗工况等措施,仍可显著提升老旧V型滤池的运行效果。

参考文献:

- [1] 何纯提,路琦. 初滤水回用途径探索[J]. 给水排水, 2007,33(8):43-45.
He Chunti, Lu Qi. Study on reuse of initial filter outlet water[J]. Water & Wastewater Engineering, 2007, 33 (8):43-45 (in Chinese).
- [2] 徐晓丽,何莲,郑全兴. 某水厂V型滤池初滤水排放控制技术研究[J]. 中国给水排水,2019,35(7):40-44.
Xu Xiaoli, He Lian, Zheng Quanxing. Study on controlled discharge of initial filtrated water of V-type filter in a waterworks[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35 (7):40-44 (in Chinese).
- [3] 周文明,胡亮亮,徐世伟,等. 气水冲洗滤池工艺设计有关问题探讨[J]. 中国给水排水,2013,29(10):28-30.
Zhou Wenming, Hu Liangliang, Xu Shiwei, et al. Discussion on design problems of air-water washing filter [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29 (10):28-30 (in Chinese).
- [4] 杨长生. V型滤池设计总结[J]. 工业水处理,2011, 31(6):90-92.
Yang Changsheng. Design summary of V-type filter[J]. Industrial Water Treatment, 2011, 31 (6): 90-92 (in Chinese).
- [5] 张宇. 均质滤料过滤技术研究——滤料粒径和滤层厚度对过滤特性的影响关系研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2004.
- Zhang Yu. Study on Filtration with Uniform Media—the Influence of Media's Diameter and Depth on Filtration Performance [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2004 (in Chinese).
- [6] 陈金荣,王洪云. V型滤池反冲洗配水配气系统的设计研究[J]. 中国给水排水,2014,30(6):38-41.
Chen Jinrong, Wang Hongyun. Design of backwash air and water distribution system in V-type filter[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(6):38-41 (in Chinese).
- [7] 陈金荣,王洪云. V型滤池反冲洗跑砂原因分析及解决方法[J]. 中国给水排水,2014,30(10):42-44.
Chen Jinrong, Wang Hongyun. Cause analysis and solution for sand loss during V-type filter backwashing [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(10):42-44 (in Chinese).



作者简介:杨华仙(1982-),男,四川雅安人,硕士,高级工程师,副总工程师,主要从事市政给排水、市政水处理技术的设计与研究。

E-mail:huaxiancq@163.com

收稿日期:2020-07-06

落实绿色发展理念,全面推行河长制