

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.01.008

改善V型滤池跑砂的工程装置设计研究与实践

肖帆, 于宏静, 刘小东, 杜世杨, 高旭辉, 贾志超
(深圳市深水光明水务有限公司, 广东 深圳 518107)

摘要: 通过模型滤柱实验,研究滤料气水反冲洗过程中滤料流失量 G 与气冲强度 L 、水冲强度 M 和排水槽高度 H 之间的定量关系,由此确定设计参数设计出一种改善滤池跑砂的装置,并安装在V型滤池排水槽的两侧。生产实践应用结果表明,该装置能够起到改善V型滤池跑砂的效果,单次滤料流失量的减少率最高可达35.1%。按照定量关系确定的理论排水槽高度进行装置安装,不仅可以有效改善跑砂效果,反冲洗过程中的排水浊度也最低,反冲洗末期达到冲洗效果的时间也最短。通过经济性评估,该装置投资较省,安装简单,不需要停水施工,对生产无影响,对V型滤池具有普遍适用性。

关键词: V型滤池; 反冲洗; 跑砂; 模型滤柱实验

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)01-0053-07

Design and Practice of an Engineering Device for Improving Sand Loss in V-type Filters

XIAO Fan, YU Hong-jing, LIU Xiao-dong, DU Shi-yang, GAO Xu-hui,
JIA Zhi-chao

(Shenzhen Shenshui Guangming Water Co. Ltd., Shenzhen 518107, China)

Abstract: The quantitative relationship between the filter medium loss G and the air flushing strength L , the water flushing strength M and the drainage tank height H in the process of gas/water backwashing of filter media was explored through using model filter column test. Based on this, the design parameters were determined and a device for improving sand loss in the V-type filter was designed, which was installed on both sides of the drainage tank of the V-type filter. The actual application showed that the device could improve the sand loss of the V-type filter, and the reduction rate of sand loss reached 35.1%. The installation of the device according to the theoretical drainage tank height determined by the quantitative relationship not only effectively controlled the sand loss, but also had the lowest effluent turbidity in the backwashing process and the shortest time to achieve the flushing performance at the end of backwashing. The economic evaluation showed that the device had the advantages of low investment, simple installation, on-line construction, no impact on production and universal applicability to V-type filters.

Key words: V-type filter; backwashing; sand loss; model filter column test

近些年来,V型滤池因其高自动化程度和稳定的处理效果,在净水工艺中广泛应用。然而在实际生产运行过程中,由于设计施工及运行管理等原

因,滤池的气水反冲洗过程存在运行参数及操作程序不合理、反冲洗时不同程度滤料流失(跑砂)等问题^[1-2]。目前应对滤料流失问题的主要措施集中在

对现状反冲洗设备更新改造以调整反冲洗强度、更换滤头滤板、对滤板进行重新密封、重新布置扫洗孔、对滤砂全面翻新等方面^[3-8],普遍投资较高,甚至需要水厂停产以实施相应的改造,适用性较低。因此,寻找一种简便、经济、有效的方式来解决生产实际问题尤为必要,更有助于水厂节能降耗,降低生产运行成本,减少水的浪费。

某给水厂三期7# V型滤池(运行有20余年),单格过滤面积为90.7 m²,采用均质石英砂滤料(0.9~1.2 mm),滤砂设计厚度为1.2 m,设计排水槽到砂面的高度为0.6 m,实际排水槽到砂面的高度为0.5 m。滤池反冲洗方式为气冲—气水反冲—水冲,设计冲洗强度参数如下:气冲强度为15.27 L/(m²·s),水冲强度为4.38 L/(m²·s),气水联合反冲洗阶段气冲强度为15.27 L/(m²·s)、水冲强度为4.38 L/(m²·s),设计冲洗时间按照水厂实际运行经验设定为3 min+5 min+5 min(以上冲洗时间为季节性设置,可优化)。按水厂实际选型安装设备,反冲洗水泵流量为1480 m³/h,可变频,最大水冲强度为4.5 L/(m²·s),鼓风机流量为75.8 m³/min,定速,气冲强度为14 L/(m²·s)。滤池实际反冲洗气冲强度为14 L/(m²·s),水冲强度经测试为3.7 L/(m²·s)。根据水厂实际生产情况反馈,滤池反冲洗过程中由于部分滤头堵塞,反冲洗不均匀和排水不均匀情况明显,滤池出现不同程度的跑砂现象。

本研究通过研制一套不锈钢挡板装置,安装在滤池排水槽的两侧,滤池反冲洗时通过挡板的挡流作用将冲洗出的滤料阻挡在内,防止滤料随着反冲洗排水进入排水槽,旨在改善水厂滤池跑砂现象和出水水质。通过比较不同的技术参数,明确其最优安装条件。

1 实验思路及方法

1.1 实验思路

通过模型滤柱系列对比实验,分析气冲强度、水冲强度及排水槽高度对“滤料流失量”的影响,明确各因素之间的定量关系,通过定量关系式,利用工具软件确定在特定气冲强度范围[9~20 L/(m²·s)]和水冲强度范围[1~8 L/(m²·s)]下,滤料流失量为0 g时排水槽高度的取值范围,并开展验证性实验,最终通过验证性实验的排水槽高度范围作为挡板的设计高度依据,开展挡板设计施工图的绘制工

作,为装置的参数设计提供依据。

装置设计安装后,通过比较分析安装和未安装挡板的滤池反冲洗后滤料流失量,评估挡板装置对跑砂情况的改善效果。明确挡板装置改善了跑砂效果后,在不同安装参数(上挡板高度和下挡板高度的组合实验)下,通过测定滤料流失量,优化挡板安装参数。在不同的挡板安装参数下,通过测定滤料流失量和滤池反冲洗排水浊度的变化,研究反冲洗时跑砂与反冲洗排水浊度的平衡关系。

1.2 模型滤柱实验装置

实验所需主要仪器和设备包括滤柱、LZB-10型玻璃转子流量计、LZS-15型塑料管浮子流量计、增压泵(最大反冲洗水流量为1440 L/h)、空压机(最大空气流量为170 L/min)。模型滤柱实验装置如图1所示。

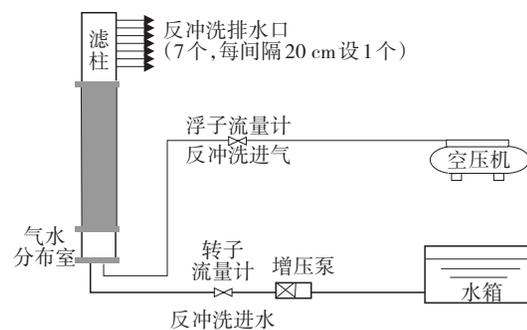


图1 模型滤柱实验装置

Fig.1 Schematic diagram of model filter column test device

模型滤柱采用有机玻璃加工制成,高为2.8 m,滤柱内径为150 mm(截面积 $S=0.018 \text{ m}^2$),在滤层底板中央位置设长柄滤头进行配水配气,滤柱每隔20 cm设排水口1个,共7个。实验选用水厂三期7#滤池生产用均质石英砂滤料,滤料参数实测值如下:滤层厚度为1.1 m、滤料粒径范围为0.9~1.2 mm、滤料密度为2361.5 kg/m³、不均匀系数 K_{60} 为1.55、有效粒径 d_{10} 为0.95 mm。

反冲洗水取自实验室自来水,反冲洗气源由空气压缩机提供,分别由增压泵和空压机提供压力将反冲洗水和反冲洗气打入模型滤柱底部的气水分布室,再由长柄滤头均匀分配后进入承托层和滤料层。在反冲洗进水管道上设置玻璃转子流量计和调控阀门,反冲洗进气管道上设置浮子流量计和调控阀门。

1.3 模型滤柱实验因素设计

此次实验主要选择气水同时反冲洗阶段的不同气冲强度 L 、水冲强度 M 、排水槽高度 H ,进行批次实验,测定气水反冲洗过程(本次设定5 min)中滤料的流失量 G ,通过工具软件确定滤料流失量与气冲强度、水冲强度、排水槽高度的关系式。

在将典型气水反冲洗工况值纳入实验因素的前提下,确定的实验条件如下:气冲强度为9.3、10.8、12.3、13.9、15.4、17.0、18.5、20.1 $L/(m^2 \cdot s)$,换算成气冲流量为600、700、800、900、1 000、1 100、1 200、1 300 L/h;水冲强度为2.8、3.4、4.0、4.6、5.2、5.9、6.5、7.1、7.7、8.3 $L/(m^2 \cdot s)$,换算成水冲流量为180、220、260、300、340、380、420、460、500、540 L/h;排水槽高度分别为40、60、80 cm。

1.4 模型滤柱实验过程

气水同时冲洗过程,调整气冲强度对应气冲流量为600 L/h,水冲强度对应水冲流量为180 L/h,历时5 min,取不同排水槽高度出口处积累的跑砂,烘干称重。其他组合依次进行实验。在此过程中,反冲洗出水进入水箱,经增压泵增压后再次进入反冲洗系统,可节约用水。

1.5 生产性实验过程

测定现状滤池反冲洗气冲强度和水冲强度。在现状反冲洗工况下,测定未安装挡板情况下滤池滤料流失量(空白对照);根据测得的反冲洗参数(气冲强度和水冲强度)计算确定对应的理论排水槽高度。选取理论值上下范围内几组上挡板高度作为不同实验工况,并选取几组下挡板高度进行组合实验,将挡板安装参数调至对应工况,在1个滤池反冲洗周期后,测定该工况下滤池的滤料流失量和排水浊度。

2 结果与分析

2.1 模型滤柱实验及结果分析

针对实验数据结果,采用R语言进行曲线拟合,得到滤料流失量 G 与气冲强度 L 、水冲强度 M 和排水槽高度 H 的关系式。

$$G = 19.6285407 - 1.1631777L + 0.0876951L^2 - 0.0018014L^3 + 3.8552298M - 0.9133460M^2 + 0.0695988M^3 - 0.5974993H + 0.0040770H^2 \quad (1)$$

利用Matlab软件,在水冲强度 L 取值范围为1~

8 $L/(m^2 \cdot s)$ 、气冲强度 M 取值范围为9~20 $L/(m^2 \cdot s)$ 条件下,当滤料流失量 G 为0 g时,求解得到排水槽高度 H 的取值范围为 $H_1=73.277 \sim 104.340$ cm、 $H_2=42.210 \sim 73.277$ cm。

选择气冲强度 $L=9 \sim 20$ $L/(m^2 \cdot s)$ 、水冲强度 $M=1 \sim 8$ $L/(m^2 \cdot s)$ 范围内且不在1.3节批次实验内的几组工况进行验证,观察气水反冲洗时实际滤砂膨胀情况,滤砂向上至最大高度即为滤料流失量为0 g时的高度,并记录此高度范围,与根据Matlab软件求解的 H_1 、 H_2 数据进行对比,结果见表1。

表1 验证性实验结果

Tab.1 Verification experimental results

气冲强度/ ($L \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	水冲强度/ ($L \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	H_1/cm	H_2/cm	实际滤料流失量为 0 g时的高度/cm
10.0	1.5	100.240	46.315	40~50
10.0	3.1	93.571	52.982	55~60
10.0	4.6	93.962	52.592	55~70
10.0	6.2	92.749	53.805	55~75
14.7	6.2	86.867	59.687	65~75

由表1可知,当气冲强度 $L=9 \sim 20$ $L/(m^2 \cdot s)$ 、水冲强度 $M=1 \sim 8$ $L/(m^2 \cdot s)$ 、滤料流失量 G 为0 g时,排水槽高度 H 的范围应选择 H_2 ,即排水槽高度 H 的理论值为42.210~73.277 cm。因此排水槽最大理论高度为73.277 cm。鉴于此次安装位置为水厂三期7#滤池,经现场复核,该滤池实际排水槽高度为50 cm(排水槽顶面到滤池砂面之间的距离),则此次不锈钢挡板设计的最大调整高度理论值为23.277 cm。以上理论值作为挡板的设计高度依据,并开展挡板设计安装工作。

2.2 装置设计及现场安装

不锈钢挡板装置设计如图2所示。

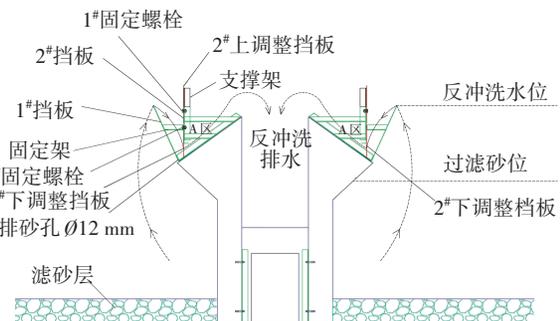


图2 装置设计及工作原理示意

Fig.2 Working principle of device for improving sand loss

气水反冲洗过程中反冲洗水 and 气通过滤池底部滤头向上进入滤砂层中,反向冲洗滤砂层,滤砂在水流和气流的作用力下向上膨胀并进行搓洗。滤砂上附着的污染物质在向上的水流和气流的带动下进入排水槽,排水槽左右两侧完全对称,且中间为排水渠,滤砂上附着的污染物质通过排水槽向排水渠通过排水闸板阀排走。向上的反冲洗水流因1#挡板的挡流作用,流向1#挡板和2#挡板的间隙,部分滤砂会随着水流一同流向1#挡板和2#挡板之间,在重力的作用下,通过1#挡板下部排砂孔重新回到滤砂层。

当2#上调整挡板(简称上挡板)的调整高度为0 cm时,即实际排水槽高度与原未安装挡板排水槽高度保持一致,无防跑砂功能;2#上挡板调整高度逐渐增加,可实现增加现有排水槽高度的目的,达到防跑砂功能,2#下调整挡板(简称下挡板)调整高度逐渐增加,可改变反冲洗水流流态。上挡板和下挡板参数组合调整,实现装置防跑砂功能。图3为装置现场安装效果。



图3 装置现场安装效果

Fig.3 Installation of device for improving sand loss

2.3 滤池跑砂现象改善效果

测定现状滤池反冲洗强度,即气冲强度为 $14\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 、水冲强度为 $3.7\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。在该工况下,未安装挡板情况时测得滤池滤料流失量(空白对照)为 $5\,668.96\text{ g}$;根据测得的现状气冲强度和水冲强度求解对应的理论排水槽高度为 7.49 cm ,并以此作为理论上挡板高度,选取理论值 7.49 cm 上下范围内几组上挡板高度(5.5 、 7.5 、 9.5 、 15.0 cm),并设置下挡板高度分别为 1 、 3 、 5 cm (由于装置设计限制,下挡板最大可调至 5 cm ,装置设计可进一步优化),进行组合实验,观察反冲洗过程中水流状态,测定

反冲洗过程中的滤料流失量。

将各批次实验得到的滤料流失量与空白值进行比较,滤料流失量的减少程度如表2所示。可以看出,下挡板高度为 3 、 5 cm ,上挡板高度为 5.5 、 7.5 cm 时,与未装挡板时相比,单次滤料流失量不同程度降低,最高可达 35.1% ,说明安装挡板以适当提高排水槽高度能够起到改善滤池跑砂的效果。

表2 各批次实验滤料流失率降低率

Tab.2 Reduction rate of sand loss in each batch

项目		下挡板高度/cm		
		1	3	5
上挡板 高度/cm	5.5	-74.3	13.1	30.4
	7.5	-58.2	24.9	35.1
	9.5	-203.6	-80.2	-22.7
	15.0	-239.8	-101.6	-32.7

2.4 不同安装参数下滤料流失量对比

安装挡板装置后,反冲洗过程中理想的反冲洗水流态如图2中虚线所示。可以看出,反冲洗水并未从2#上挡板处溢流,而是通过2#下挡板与排水槽斜面之间的空隙流出,2#上挡板起到挡流作用。

图4反映了不同2#上挡板高度和下挡板高度组合批次实验下的滤料流失量曲线。可以看出,2#下挡板高度为 1 cm 时,滤料流失量数据普遍高于2#下挡板高度为 3 、 5 cm 时的。根据现场批次实验,当2#下挡板高度为 1 cm 时,不论2#上挡板高度为多少,反冲洗过程中2#上挡板均溢流严重,滤砂被反冲洗水携裹,从2#下挡板与斜面之间的空隙流出,但因2#下挡板与斜面之间的空隙过小(1 cm),导致过流阻力较大,且在2#上挡板溢流翻越的水流作用下使得图2中A区水流处于剧烈扰动状态,2#下挡板与斜面之间过流经过搅动冲刷,滤料流失量普遍偏高。

由图4还可知,当2#下挡板高度一定时,2#上挡板高度为 7.5 cm 时滤料流失量出现了极小值,此时的2#上挡板高度(7.5 cm)与模型滤柱实验得到的理论高度(7.49 cm)一致。由此说明,在实际生产中,按照式(1)确定的理论排水槽高度进行2#上挡板安装的方法可行,反冲洗过程中的滤料流失量最小。此外,当2#上挡板高度一定时,随着2#下挡板高度的增加,滤料流失量呈现降低趋势。观察现场反冲洗过程可知,当2#下挡板高度为 3 、 5 cm 时,2#上挡板未发生溢流状态,水流从2#下挡板与排水槽斜面之间

的空隙流出,进而从原排水槽斜面流入排水渠。现场观察发现,图2中A区并未出现漫水状态导致的水平液位,不适用于孔口淹没出流状态,而适用于孔口自由出流。

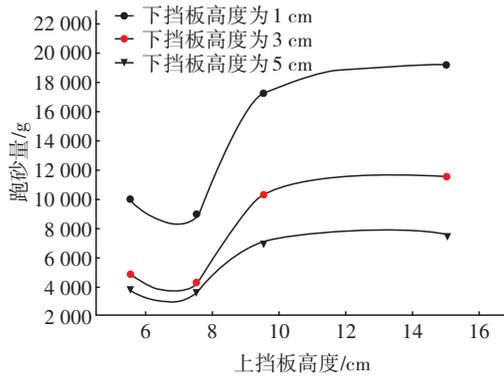


图4 不同挡板安装参数下滤料流失量曲线

Fig.4 Sand loss curve under different baffle installation parameters

根据孔口自由出流的定义可知,液体从各个方向涌向孔口,由于惯性作用,流线只能逐渐弯曲,在孔口断面上仍然继续弯曲且向中心收缩,直至出流流股距孔口 $d/2$ 处,过流断面收缩达到最小,此断面即为收缩断面 $c-c$ 断面。自收缩断面后,液体质点受重力作用而下落。观察现场反冲洗过程可知,当2#下挡板高度为1 cm时,不论2#上挡板高度为多少,反冲洗过程中2#上挡板溢流严重,不适用于孔口出流。当2#下挡板高度为3、5 cm时,不论2#上挡板高度为多少,反冲洗水均从2#下挡板与排水槽斜面的空隙中流出,2#上挡板无溢流,2#下挡板处反冲洗水流态符合孔口自由出流状态。

按照孔口自由出流流量公式简化为:

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot (h - 0.5d)} \quad (2)$$

式中: h 是液面到排水槽斜面底部的距离; d 是2#下挡板的高度(即2#下挡板下边缘与排水槽斜面之间的空隙高度); μ 为流量系数; A 为孔口断面截面积。

当2#上挡板高度一定时,液面到排水槽斜面最低端的高度 h 一定,随着2#下挡板高度 d 增加,出流流量 Q 呈减少趋势,与图4中滤料流失量减少趋势一致,由此解释了2#上挡板高度一定时,2#下挡板高度越大而滤料流失量越低的现象。本实验工况下,2#上挡板高度为7.5 cm、下挡板高度为5 cm时,滤料流失量最小,即为最优上、下挡板安装参数。

2.5 不同安装参数下排水浊度

选择2#上挡板高度理论值7.49 cm上下的参数(5.5、7.5、9.5、15.0 cm)和最优2#下挡板高度5 cm设置交叉实验,测定反冲洗过程中的排水浊度。每组实验过滤周期均相同,滤池进水浊度基本保持一致。图5显示了2#下挡板高度为5 cm时,不同2#上挡板高度条件下反冲洗过程中排水浊度变化。

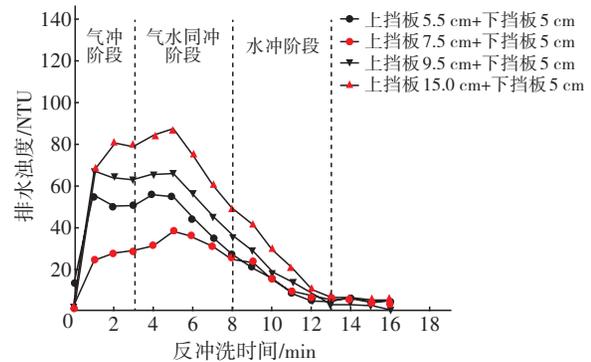


图5 不同工况下反冲洗阶段排水浊度变化

Fig.5 Change of drainage turbidity in backwashing stage under different working conditions

由图5可知,2#上挡板高度分别为5.5、7.5 cm的水冲阶段排水浊度曲线基本重叠,冲洗末期排水浊度达到10 NTU^[9](反冲洗周期终点判断依据)的时间均为10 min,即实际反冲洗周期历时10 min即达到反冲洗效果。而2#上挡板高度分别为9.5、15.0 cm时,冲洗末期排水浊度达到10 NTU的时间分别为11.5、13 min,即实际反冲洗周期历时11.5、13 min才达到反冲洗效果。

针对不同上挡板高度,反冲洗滤料流失量和到达冲洗末期实际反冲洗周期等数据见表3。

表3 不同工况对应的滤料流失量及反冲洗周期

Tab.3 Sand loss and backwashing cycle under different working conditions

2#上挡板高度/cm	实际反冲洗周期/min	滤料流失量/g
5.5	10	3 948.03
7.5	10	3 678.74
9.5	11.5	6 955.78
15.0	13	7 520.21

从表3可以看出,随着2#上挡板高度增加,单次反冲洗滤料流失量增加,反冲洗周期延长。2#上挡板高度按照理论排水槽高度7.5 cm安装、下挡板高度按2.4节中最优高度5 cm安装,不仅滤料流失量

最小,反冲洗周期也最短。

2.6 装置经济性评估

针对水厂滤池跑砂现象,从反冲洗能耗、投资成本、操作适用性、是否对生产造成影响等方面,对安装挡板与采用常规滤池防跑砂措施进行对比分析,结果见表4、5。

由表4可知,按照排水槽高度为7.5 cm现场安装挡板装置,全年节省水费约184 948元,节省电费约8 256元,总计节省水电费约193 204元。按生产规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 计,综合成本可降低约 $0.0053 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。由表5可知,安装滤池挡板装置可有效降低滤池跑砂率,且投资较省,每格滤池材料费约5万元,并且挡板安装较简单,对水厂生产影响较小;若采用其他常规方法,如滤池内部系统更换、反冲系统改造,不仅投资较高,且对施工安装要求较高,工

程量较大,需停水施工,影响水厂的正常生产。

表4 反冲洗能耗对比

Tab.4 Comparison of backwashing energy consumption

项目	气冲时长/min	气水同冲时长/min	单水冲时长/min	单次反冲电量/ $\text{kW} \cdot \text{h}$	单次反冲水量/ m^3	全年反冲水费/元	全年反冲电费/元
空白对照	3	5	5	16.3	199.18	616 493	35 777
上挡板高度为7.5 cm	3	5	2	12.5	139.42	431 545	27 521

注: 按生产规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、反冲洗周期为24 h、8个滤池计;电费平均单价按 $0.754 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 计、水费按原水单价 $1.06 \text{ 元}/\text{m}^3$ 计。

表5 常规措施与防跑砂装置经济性比较

Tab.5 Economic comparison of conventional measures and sand control devices

项目	具体措施	投资	操作适用性
安装挡板装置	在排水槽两侧安装适当高度挡板	投资40万元,投资较低(每格材料费约5万元,共8格)	挡板制作简单,安装较简便;对生产影响较小
调整反冲洗强度	对反冲洗水泵、风机进行改造,如机组改造、变频调节等	投资149.67万元,投资较高(单台水泵 $Q=1\ 650 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=12 \text{ m}$ 、 $N=75 \text{ kW}$,两用一备,单台价格为49.89万元),设备折旧取20年	改造时间较长;对生产有一定影响,虽然可以逐台改造,但改造期间滤池反冲洗受影响
补充滤砂	定期补砂	投资26.4万元,投资较低(每年补砂投入1.4万元,按20年计,本研究结果的单格滤池单次反冲洗跑砂为 5.67 kg ,反冲周期为24 h,年补砂量约17 t,滤砂单价为 $800 \text{ 元}/\text{t}$)	补充或者更换滤砂需停池进行,增加水厂运行维护工作量;未能从根本上有效改善跑砂问题
改善反冲洗不均匀或因滤板设计、滤头安装精度导致的较严重的跑砂情况	拧紧松动的滤头,更换堵塞和破损的滤头,重新对泄漏的滤板进行密封、铺平砂面、修整排水堰顶平整度、重新布置扫洗孔等	按工程项目实施,投资较高	需停水施工,影响水厂正常生产;工程量较大,改造时间较长;对安装要求较高

注: 投资按生产规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 计,设备折旧按20年计。

3 结论

① 滤料气水反冲洗过程中,滤料流失量 G 与气冲强度 L 、水冲强度 M 和排水槽高度 H 之间具有定量关系。根据定量关系式,在气冲强度 L 为 $9 \sim 20 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、水冲强度 M 为 $1 \sim 8 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,当滤料流失量 G 为 0 g 时,理论最高排水槽高度为 73.277 cm ,以上理论值可作为装置的设计依据。

② 按理论排水槽高度设计防跑砂装置,并安装在V型滤池排水槽两侧,能够很好地改善滤池跑砂效果,滤池单次滤料流失量最高可减少35.1%。

③ 在V型滤池排水槽两侧安装挡板装置,按水厂生产规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 计,综合成本可降低约 $0.0053 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。该装置投资较省,安装简单,不需要停水施工,对生产无影响,对V型滤池具有普遍适用性。

参考文献:

[1] 杨华仙. 大型老旧水厂V型滤池改造实践[J]. 中国给水排水, 2020, 36(20): 143-147.

YANG Huaxian. Reconstruction practice of V-type filter

- in a large-scale old water treatment plant [J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36 (20) : 143-147 (in Chinese).
- [2] 肖帆,于宏静,刘小东,等. 给水厂V型滤池阀门严密性对滤池运行效果的影响[J]. *中国给水排水*, 2020, 36(15):41-45.
XIAO Fan, YU Hongjing, LIU Xiaodong, *et al.* Influence of valve tightness on operation of V-type filters in waterworks [J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36 (15):41-45(in Chinese).
- [3] 张建锋,张娟,王峰慧,等. V型滤池气水反冲洗过程滤料流失影响因素分析[J]. *给水排水*, 2009, 35(10): 25-27.
ZHANG Jianfeng, ZHANG Juan, WANG Fenghui, *et al.* Study on influencing factors on filtering media loss of V-filter during simultaneous air-water backwashing [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2009, 35 (10) : 25-27(in Chinese).
- [4] 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).
- [5] 许保玖. 给水处理理论[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2000.
XU Baojiu. *Water Treatment Theory* [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2000 (in Chinese).
- [6] 王伟,宋铁南,于在升,等. 滤池反冲洗滤料流失的防治[J]. *中国给水排水*, 1997, 13(4):43-44.
WANG Wei, SONG Tienan, YU Zaisheng, *et al.* Prevention and control of filter loss during filter backwashing [J]. *China Water & Wastewater*, 1997, 13 (4) : 43-44(in Chinese).
- [7] 李双陆,张传贵. V型滤池反冲洗中存在的问题及解决方法[J]. *城镇供水*, 2002(1):10-11.
LI Shuanglu, ZHANG Chuangui. Existing problems and solution method of flush in V type filter [J]. *City and Town Water Supply*, 2002(1):10-11(in Chinese).
- [8] 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 Jianfeng, WANG Leibo. Establishment and discussion on control of air/water backwash intensity of filter [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2008, 34 (2) : 15-18(in Chinese).
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城镇供水厂运行、维护及安全技术规程:CJJ 58—2009[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2009.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. *Technical Specification for Operation, Maintenance and Safety of City and Town Waterworks: CJJ 58-2009* [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009(in Chinese).

作者简介:肖帆(1990-),女,湖北黄石人,硕士,工程师,主要从事水厂工艺优化以及生产管理工作。

E-mail: xiaofan_1210@126.com

收稿日期:2020-04-16

修回日期:2020-11-07

(编辑:任莹莹)

加强湖泊管理保护

改善湖泊生态环境

维护湖泊健康生命