

深层均质滤料气水反冲洗运行参数的试验研究

蔡升高 姜乃昌

[摘要] 本文根据佛山市供水总公司沙口水厂的净水工艺,进行了深层均质滤层气水反冲洗试验研究。通过试验,提出了最佳的气水反冲洗运行参数,即气强度为 $15\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,水强度为 $5\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,单独气冲洗 1min ,气水同时冲洗 6min ,清水漂洗 4min 。

[关键词] 深层均质滤料 气水反冲洗 运行参数

深层均质滤料在装入滤池后的运行过程中,未受反冲洗所产生的水力分级的影响,一直保持原来装入的状态,沿均质滤层厚度上的任一点滤料的筛分曲线不变。因此沿滤层厚度上的每一点,滤料颗粒所形成空隙大小的分布也一样,它实现了深层截污,具有截污含量大、杂质分布较均匀及水头损失增长缓慢等特点。

目前,传统的高速水流反冲洗是我国滤池采用的主要冲洗方式。该法耗水耗能较大,剪切、碰撞及摩擦作用较弱,实践证明是一种弱反冲洗方式,它不能完全消除滤料上的泥球及结块现象。同时,滤床的膨胀,造成反冲洗后滤料的水力分级,给过滤带来许多弊端。气水反冲洗由于空气的加入,滤料相互之间碰撞摩擦作用和水流的剪切作用加强,因而可以破坏滤料中泥球结构,使泥球无法形成,达到优良的反冲洗效果。这种方式反冲洗时滤床不膨胀,反冲洗水强度低,具有节水节能的优点。

在实际工程中,由于设计施工及运行管理等原因,气水反冲洗存在着运行参数不尽合理、气水同时反冲洗时滤料流失较严重、布气布水不均匀等问题。解决好这些问题,对深层均质滤料气水反冲洗技术的应用具有重大意义。

本文针对佛山市供水总公司沙口水厂的深层均质滤料滤池进行了模型试验和生产性试验,确定了指导生产滤池运行的气水反冲洗最佳运行参数。

一、试验装置

模型滤柱用透明有机玻璃制作,在高度上与生产滤池按 1:1 设计,工艺结构上基本上做

到了与生产滤池相似。

滤柱内径 280mm ,高 3.35m ,内装 QS 型长柄滤头 3 只,相当于 $49\text{只}/\text{m}^2$,开孔率为 0.88% 。深层均质滤料采用优质石英砂,有效粒径为 $0.95 \sim 1.35\text{mm}$,厚 1.25m ,不均匀系数 $K_{80} = 1.32$ 。承托层粒径 $4 \sim 8\text{mm}$,厚 50mm 。砂面上水深,过滤时为 1.20m ,反冲洗时为 0.5m 。

反冲洗供气系统与生产滤池共用,反冲洗水由厂区供水管网提供。气的强度由 LZB-15 型玻璃转子流量计控制,量程为 $0.4 \sim 4\text{m}^3/\text{h}$,水的强度采用容积法测定,试验装置见图 1。

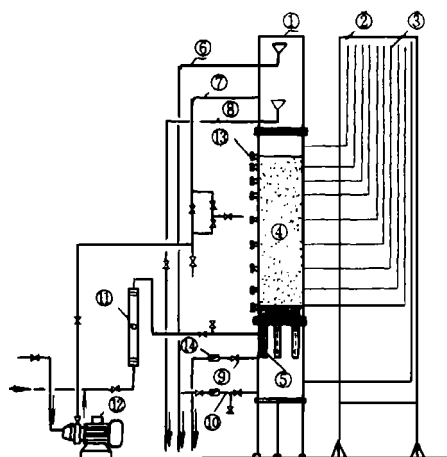


图1 试验装置图

1. 滤柱 2. 测压板 3. 测压管 4. 砂滤层
5. 长柄滤头 6. 溢流管 7. 待滤水进水管 8. 排水管
9. 滤后水管 10. 反冲洗水管 11. 转子流量计
12. 水泵机组 13. 取样口 14. 水表

二、试验条件与方法

模型滤柱安装在佛山市供水总公司沙口水厂平流式沉淀池后二期滤池的管廊内。试验期

间,水温为 8~20℃,待滤水浊度为 0.86~10NTU,平均 3.74NTU,pH 值平均 7.05,出厂水余氯平均 0.75mg/L,控制滤后水浊度在 0.5NTU 以下。

沙口水厂的深层均质滤料滤池(生产滤池)按恒水位、恒流量运行。为了模仿生产滤池,滤柱除了工艺结构与其相似外,其运行过程也应相似。为此,过滤时,每当滤柱的滤速比设定滤速下降约 2%时,采用人工开大滤后水阀门的方法,调整滤速至设定滤速的 1.02 倍左右,保证滤柱也基本做到恒水位、恒流量运行。

三、气水反冲洗运行参数的确定

气水反冲洗运行参数有气和水的反冲洗强度、气水同时冲洗时间、气预冲时间和清水漂洗时间,滤层含泥量降低的关键在于气水同时反冲洗阶段。因此,前三个参数是气水反冲洗的关键参数。

1. 水洗强度的控制范围

为了确定水洗强度的控制范围,模型滤池进行了单独水洗对滤层膨胀大小的试验,滤层膨胀大小与滤料密度、粒径、水洗强度及水温等有关。根据推导,砂层反冲洗强度与砂层膨胀度之间的关系式为:

$$q = 12260 \frac{d^{1.31} (e + 0)^{2.31}}{\mu^{0.54} (1 - 0)^{0.54} (1 + e)^{1.77}} \quad (1)$$

式中 q ——水反冲洗强度(L/(s·m²));

μ ——水的动力粘滞系数(N/(s·m²));

d ——砂粒直径(m);

——砂粒形状系数;

0 ——孔隙率;

e ——滤层膨胀度。

令 $e = 0$,得最小流化反冲洗强度

$$q_{mf} = 12260 \frac{d^{1.31} 0^{2.31}}{\mu^{0.54} (1 - 0)^{0.54}} \quad (2)$$

以 $d_{\min} = 0.95\text{mm}$, $\mu = 1.1$, $0 = 0.40$,
 $\mu = 0.001568\text{N}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ (4 时) 或
 $\mu = 0.001010\text{N}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ (20 时) 代入式(2)

得: 4 时, $q_{mf} = 6.17\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$; 20 时, $q_{mf} = 7.82\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 。此时计算所得出的反冲洗强度是在 4 和 20 时,使最小颗粒处于临界流化状态,其它颗粒处于静止状态,整个滤床不膨胀的强度。

试验观察证明,这两个计算结果与试验结果基本一致。

如果以水温为 20 时的最小流化反冲洗强度作为水反冲洗强度的上限,虽在 20 时滤床不膨胀,但在 4 时滤床却会膨胀,此时,由下式:

$$\frac{(e + 0.40)^{2.31}}{(1 + e)^{1.77}} = 0.129, \text{得 } e = 1.8\%。$$

对深层均质滤料,水反冲洗时滤层不允许发生膨胀。因此,水反冲洗强度控制范围上限宜为 $6\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 。

试验发现,如果冲洗水强度小于 $4\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,则反冲洗水的输泥能力不够,冲洗不彻底,到反冲洗结束时,排水浊度很难达到 10NTU 以下的规定,这将影响反冲洗效果。因此,水洗强度控制范围的下限宜为 $4\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 。

2. 气洗强度的控制范围

为了确定气洗强度的控制范围,在滤柱内进行了两个试验:一是单独气洗对滤层的影响;二是不同水洗强度和气洗强度相组合下冲洗对滤层的影响。

第一个试验中,观察发现,单独气冲洗,滤层并不膨胀,滤料间摩擦阻力较大,在滤层内小气泡合成大气泡的机会较少。气泡通过滤料表层时,表层滤料强烈翻卷,气泡冲入水层后,尾迹内有较多的滤料颗粒。

表 1 为不同气强度单独冲洗对滤层影响的试验结果。

第二个试验时,固定一个水洗强度,对不同的气洗强度进行试验观察。然后,换一个水洗强度,继续进行。

单独气冲洗试验结果

表 1

气冲洗强度(L/(s·m ²))	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
滤头条缝露出水面长度(cm)	2.98	3.10	3.27	3.45	3.65	3.90	4.10	1.28	4.48	4.68	4.90
滤层运动情况	静止不动				蠕 动				轻微搅动		

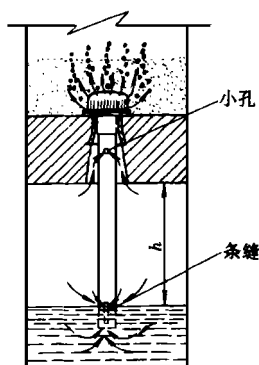


图2 气水混合分配室

气量的分配是经滤柱底部设有长柄滤头的气水分配室供给的,见图2。

随着气冲强度的增大,分配室中气垫层厚度 h 在增大,由进气孔的条缝进入滤层的空气量就会增加,当通过进气孔和条缝进入滤层的气量与经过转子流量计进入分配室的反冲洗气量相等时,气垫层厚度不再变化。

在水洗强度固定的条件下,当气洗强度为 $9 \sim 12 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 时,反冲洗空气首先在滤层底部分散成许多小气泡,气泡沿滤层的通道迅速上升,此时滤层中下部滤料发生蠕动,有碰撞摩擦现象。当气泡上升到滤层表面时,一方面由于水压力减小,气泡直径开始变大,另一方面表层滤料的有效应力几乎为零,气泡推动滤料,使滤料发生翻卷滚动,产生碰撞摩擦作用。

当气洗强度增大到 $13 \sim 16 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 时,在滤层底部形成较大气泡,气泡推动滤料沿表层下移。在滤层中上部的滤料有明显的碰撞摩擦,表层滤料强烈翻卷搅动,表层以下 5 cm 处滤料有轻微膨胀现象发生。

当气洗强度达 $17 \sim 18 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 时,滤层底部形成大气泡,并以不连续的跳跃方式上

升。整个滤层碰撞摩擦作用剧烈,表层以下 30 cm 左右处滤料有膨胀现象发生。表2为气水同时反冲洗试验结果。

经过以上试验观察及分析,在水洗强度为 $4 \sim 6 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,气冲强度控制范围宜为 $13 \sim 16 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 。

3. 冲洗时间

控制水洗强度为 $5 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,采用不同的气洗强度,改变气单独冲洗、气水同时冲洗及清水漂洗三个阶段的时间,每隔 1 min 化验一次排水浊度。表3为反冲洗排水浊度随时间变化结果。

试验表明,水洗强度为 $5 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 时,控制气冲强度为 $12 \sim 17 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,冲洗时间达 11 min 时,反冲洗排水浊度均可达 10 NTU 以下。因此,冲洗时间为 11 min 已足够。

4. 最佳气水反冲洗运行参数

气水反冲洗时,以滤料含泥量来衡量气反冲洗效果,以反冲洗结束时排水浊度来衡量水反冲洗效果。只有含泥量和排水浊度均达到要求,气水反冲洗运行参数才是合适的。然后,在这些合适的气水反冲洗运行参数中,进行经济比较,根据水耗和电耗最少的原则,确定最佳气水反冲洗运行参数。

滤料含泥量的评判参照美国芝加哥水厂的标准。芝加哥水厂的滤池采用气水反冲洗工艺,表4为芝加哥水厂取滤层表面以下 15 cm 处砂样分类。根据表中分类情况并结合我国水厂的特点分析,滤料含泥量以 0.2% 作为评判标准较合适。滤料含泥量不高于 0.2% 就认为冲洗再生得当,若高于此数就需考虑改善冲洗条件或进水质,至于反冲洗期末的排水浊度,

气水同时反冲洗试验结果

表2

气冲强度 $(\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2))$	10			11			12			13		
水洗强度 $(\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2))$	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
滤头条缝露出水面长度 (cm)	1.40	1.04	0.90	1.45	1.18	1.00	1.53	1.23	1.08	1.62	1.43	1.24
滤层运动情况	蠕动			蠕动			蠕动			轻微搅动		
气冲强度 $(\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2))$	14			15			16			17		
水洗强度 $(\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2))$	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
滤头条缝露出水面长度 (cm)	1.80	1.53	1.36	1.92	1.64	1.49	2.04	1.78	1.60	2.14	1.94	1.73
滤层运动情况	轻微搅动			搅动、轻微膨胀			搅动、轻微膨胀			搅动、明显膨胀		

反冲洗排水浊度随时间变化结果 表 3

反应气排水温度随时间变化结果 表 5												
时间 气/水		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	5	1381	981	533	296	157	92.7	57.8	48.1	25.5	7.72	4.09
14	5	1722	1302	852	461	253	153	97.8	78.2	34.0	15.4	5.70
15	5	1480	1070	626	331	202	132	87.9	70.0	23.5	10.5	4.91
16	5	1805	1380	951	465	263	155	98.2	79.2	40.1	16.4	8.52
17	5	1955	1450	1080	756	404	224	143	97.5	48.9	17.8	9.80

表中单位:时间为 min,气、水强度为 $L/(s \cdot m^2)$,浊度为 NTU)

芝加哥水厂取滤层表面 15cm 处砂样分类 表 4

分 级	砂样含泥量 (%)	滤层状况
1	0.0 ~ 0.1	最优
2	0.1 ~ 0.2	优
3	0.2 ~ 0.5	佳
4	0.5 ~ 1.0	良
5	1.0 ~ 2.5	次
6	2.5 ~ 5.0	差
7	> 5.0	极差

以规范中的 10NTU 作为评判标准。

根据以上分析,对不同气、水反冲洗强度和反冲洗时间相组合进行反冲洗试验,表 5 为其试验结果。

从表 5 反冲洗试验结果来看,滤层含泥量和排水浊度两者均达到要求的有 5、6、10、11 三组,对这三组反冲洗运行参数经过经济比较并结合滤料流失试验分析可知,最佳的气水反冲洗运行参数为:气强度 $15L/(s \cdot m^2)$,水强度 $5L/(s \cdot m^2)$,气单独冲洗 1min,气水同时冲洗 6min,清水漂洗 4min。

5. 对运行参数的检验

模型试验得出的最佳气水反冲洗运行参数在生产滤池上运行效果如何呢?为此,随后进行了生产性试验,生产性试验仍在佛山沙口水厂进行。生产性试验期间,待滤水水质条件与模型试验期间基本相同。

试验过程如下:每次反冲洗时,化验反冲洗排水结束时浊度。然后,放空滤池,从滤池四个角、H 槽角和池中心取砂样化验其含泥量。

经过两个月时间试验,对沙口水厂的 24 格生产滤池均取得了排水浊度和砂样含泥量数据。从中可知,各格滤池反冲洗末排水浊度均小于 10NTU,浊度平均值为 5.62NTU;砂样含泥量均小于 0.2%,平均值为 0.19%。

图 3 为生产滤池滤砂取样点平面分布示意

不同气水强度和时间组合下反冲洗试验结果 表 5

组号	强度 $L/(s \cdot m^2)$		冲洗时间 (min)			砂面下 15cm 处含泥量 (%)	反冲洗末排水浊度 (NTU)
	气	水	气预冲	气水同时冲	清水漂洗		
1	10	4.1	1	6	4	0.28	11.6
2	11	4.1	1	6	4	0.26	12.90
3	12	5	1	6	4	0.26	4.07
4	14	4.9	1	6	4	0.23	5.70
5	15	5	1	6	4	0.20	4.91
6	16	5	1	6	4	0.19	8.52
7	15	4.1	1	6	4	0.20	10.8
8	16	4	1	6	4	0.20	18.3
9	15	5	1	5	5	0.21	6.23
10	16	5	1	5	5	0.20	9.5
11	15	6	1	6	4	0.20	6.78
12	17	5	1	6	4	0.18	9.8

图。

可见,模型试验确定的最佳气水反冲洗运行参数在生产滤池上是合适的。

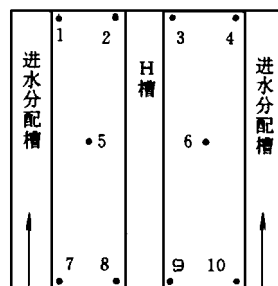


图 3 生产滤池滤砂取样点平面分布示意图

四、结论

1. 对气水反冲洗方式,气洗强度控制范围为 $13 \sim 16L/(s \cdot m^2)$,水洗强度控制范围为 $4 \sim 6L/(s \cdot m^2)$,冲洗时间 11min。

2. 最佳气水反冲洗运行参数为气洗强度 $15L/(s \cdot m^2)$,水洗强度 $5L/(s \cdot m^2)$,气单独冲洗 1min,气水同时冲洗 6min,清水漂洗 4min。

作者通讯处:528300 广东顺德市自来水总公司

姜乃昌 410082 湖南大学土木工程系

收稿日期:1997-2-3

EFFECT OF THE GRANULE SIZE OF FILTRATING MEDIA

ON THE FILTRATION PROCESS *Ruan Ruxin* (15)

Abstract : In the recent years there was a trend that the coarse filtrating media and deep filtering layer have being adopted widely in the newly constructed waterworks in this country. The effect of granule size of the filtrating media on the capacity and operation of the filtration process was described on the basis of experiments and practice. A new concept about the ratio of the depth of filtration layer L to granule size d (L/d) was conducted. In design of a rapid filter L/d ratio might be a key factor to guarantee the efficiency and the quality of output water of filtration.

EXPERIMENTAL STUDY ON THE AIR-WATER BACKWASHING OF DEEP UNIFORM

GRAIN DIAMETER FILTRATING MEDIA *Cai Shenggao et al* (18)

Abstract : Experiments and research on the air-water backwashing of filter with deep and uniform filtrating media have been carried out according to the water purification process of Shakou Waterworks, Foshan Water Supply Company in Guangdong Province. Through the experiments and research, the best operation parameters of air-water backwashing process have been presented, i. e. an air intensity and water flowrate of 15 and 5 l/s per square meters of filtrating area respectively and duration times of 1 minute for air backwashing, of 6 minutes for combined air-water backwashing, and of 4 minutes for water rinsing respectively.

ON ALGAE REMOVAL OF MEILIANG LAKE *Zhou Jianping et al* (22)

Abstract : Several methods of algae removal from the raw water of Meiliang Lake were studied and evaluated, then a feasible algae removing scheme combining the biological and air-flotation process has suggested. Further researches needed are also proposed in this paper.

COMBINED DYNAMIC ALGORITHM OF DAILY URBAN WATER CONSUMPTION

..... *Lu Mou et al* (25)

Abstract : In accordance with the influence factors and characteristics of the urban water consumption a combined dynamic algorithm model of daily urban water consumption has been established based on the statistic and predict theories. The sequential regression analysis was adopted to screen off the secondary factors, and the Kalman filtering technique was used to estimate innovation coefficients of the model dynamically. By the experiments at the Shenyang city, it was proved that the forecasting errors of the algorithm was little and can meet the practical requirement of water-supply dispatch system.

DESIGN OF HYDRAULIC ASH TRENCH SYSTEM FOR BOILER HOUSE *Shen Jian* (28)

Abstract : For the aim of water saving the water circulating system will be taken into
