

# 深层均质滤料气水反冲洗运行参数研究

蔡升高 姜乃昌

(湖南大学)

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。

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。

## 1 试验装置

模型滤柱用透明有机玻璃制作,高度与生产滤池按 1:1 设计,工艺结构上基本作到与生产滤池相似。

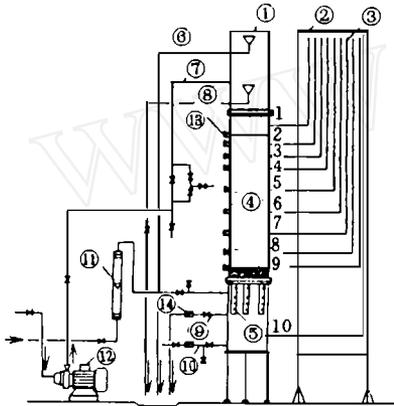


图1 试验装置

1. 滤柱 2. 测压板 3. 测压管 4. 滤砂层  
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  
滤柱内径 280mm、高 3.35m,内装 Q S 型长柄滤头 3 只,相当于 49 只/m<sup>2</sup>,开孔率为 0.88%。滤料采用优质石英砂,有效粒径 0.95~ 1.35mm,厚 1.25m,不均匀系数 K<sub>80</sub> = 1.32。承托层粒径 4~ 8mm,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~ 4m<sup>3</sup>/h;水的强度采用容积法测定。试验装置见图 1。

## 2 试验条件及方法

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~ 100 TU、平均 3.74 NTU, pH 值平均 7.05。出厂水余氯平均 0.75 mg/L,控制滤后水浊度在 0.5 NTU 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 1.03 倍左右,保证滤柱也基本做到恒水位、恒流量运行。

## 3 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。

### 3.1 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为

$$q = 12260 \frac{d^{1.31} (\epsilon + \epsilon_0)^{2.31}}{\alpha^{1.31} \mu^{0.54} (1 - \epsilon_0)^{0.54} (1 + e)^{1.77}} \quad (1)$$

式中  $q$ ——水反冲洗强度, L/s·m<sup>2</sup>

$d$ ——砂粒直径, mm

$\gamma$ ——砂粒形状系数

$\epsilon_0$ ——孔隙率

$e$ ——滤层膨胀度

令  $e = 0$ , 得最小流化反冲洗强度  $q_{mf}$

$$q_{mf} = 12260 \frac{d^{1.31} \epsilon_0^{2.31}}{\alpha^{1.31} \mu^{0.54} (1 - \epsilon_0)^{0.54}} \quad (2)$$

以  $d_{min} = 0.95\text{mm}$ ,  $\alpha = 1.1$ ,  $\epsilon_0 = 0.40$ ,  $\mu = 0.001568\text{N/s} \cdot \text{m}^2$  (4 时) 或  $\mu = 0.001010\text{N/s} \cdot \text{m}^2$  (20 时) 代入式 (2), 得

$$4 \text{ 时}, q_{mf} = 6.17 \text{ L/s} \cdot \text{m}^2$$

$$20 \text{ 时}, q_{mf} = 7.82 \text{ L/s} \cdot \text{m}^2$$

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。这两个计算结果与试验结果基本相一致。

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:

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

对深层均质滤料不允许发生膨胀,水反冲洗强度控制范围上限宜为  $6L/s \cdot m^2$ 。试验观察发现,如果冲洗水强度  $< 4L/s \cdot m^2$ ,则反冲洗水的输泥能力不够,冲洗不彻底,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  $4L/s \cdot m^2$ 。

### 3.2 气洗强度的控制范围

在滤柱内进行了两个试验:

第一个试验观察发现,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。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。

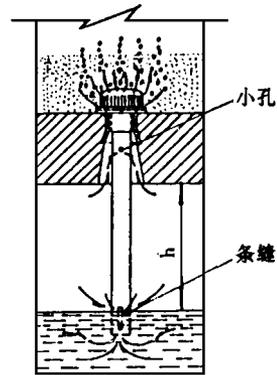


图 2 气水混合分配室

随着气洗强度的增大,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,当增加到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  $9 \sim 12L/s \cdot m^2$  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、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压力几乎为零,气泡推动滤料发生翻卷滚动,产生碰撞摩擦作用。

表 1 单独气洗试验结果

气洗强度( $L/s \cdot m^2$ )	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	4.28	4.48	4.68	4.90	
滤层运动情况	静止不动				蠕 动				轻微搅动			

当气洗强度增大到  $13 \sim 16L/s \cdot m^2$  时,在滤层底部形成较大气泡,气泡推动滤料沿表层下移,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 5cm 处滤料有轻微膨胀现象发生。

当气洗强度达  $17 \sim 18L/s \cdot m^2$  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 30cm 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。

经过以上试验及分析,在水洗强度为  $4 \sim 6L/s \cdot m^2$ ,气洗强度控制范围宜为  $13 \sim 16L/s \cdot m^2$ 。

表 2 气水同时反冲洗试验结果

气洗强度( $L/s \cdot m^2$ )	10			11			12			13		
水洗强度( $L/s \cdot m^2$ )	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		
气洗强度( $L/s \cdot m^2$ )	14			15			16			17		
水洗强度( $L/s \cdot m^2$ )	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		

3.3 冲洗时间

控制水洗强度  $5L/s \cdot m^2$ , 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 1min 化验一次排水浊度。

试验表明, 水洗强度为  $5L/s \cdot m^2$  时, 控制气洗强度为  $12 \sim 17L/s \cdot m^2$ , 冲洗时间 1min 时, 反冲洗排水浊度均可达 10NTU 以下。因此, 冲洗时间定为 1min。

3.4 最佳气水反冲洗运行参数

气水反冲洗时, 气反冲的主要作用是把滤料表面的一次污泥剥落液化于水中, 气洗强度越大, 冲洗时间越长, 则滤料表面的含泥量越小。水冲洗的主要作用是排除滤料缝隙中的二次污泥和因气冲而脱落的一次污泥。因此, 以滤料含泥量来衡量气反冲洗效果, 只有含泥量和排水浊度均达要求, 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。

滤料含泥量的评判标准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, 滤层表面以下 15cm 处砂样分类如表 3, 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水质。至于反冲洗期末的排水浊度, 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, 其试验结果见表 4。滤层含泥量和排水浊度均达到要求的有 5、10、11 三组, 对这三组运行参数的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。

3.5 对运行参数的检验

在佛山沙口水厂进行生产言试验, 待滤水水质条件与模型试验期间基本相同。试验过程: 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。图 3 为生产滤池滤砂取样点平面分布示意图。

经过两个月的试验, 对沙口水厂的 24 格生产滤池取得数据, 各格滤池反冲洗未排水浊度均 < 10NTU, 浊度平均值为 5.62NTU; 砂样含泥量均 < 0.2%, 平均值为 0.19%。

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。

表 3 美国芝加哥水厂取滤层表面 15cm 处砂样分类

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	>5.1	极差

表 4 不同气水强度和组合下反冲洗试验结果

组号	强度 ( $L/s \cdot m^2$ )		冲洗时间 (min)			砂面下 15cm 处含泥量 (%)	反冲洗未排水浊度 (NTU)
	气	水	预冲	同时冲	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

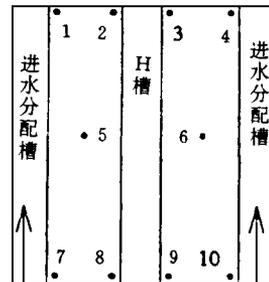


图 3 生产滤池滤砂取样点平面分布示意图

4 结论

通过对深层均质滤料气水反冲洗的模型试验和生产性试验, 确定了气水反冲洗运行参数。

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 1min。

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。

上述运行参数可供气水反冲洗的同类型滤池设计运行作参考。

通讯处: 413000 湖南益阳市 省城建高等专科学校  
(收稿日期 1997- 01- 23)