

35-40

PS 滤料固定床过滤技术的研究^{*}

姚雨霖

张智

Tu 991.24

(城建系)

摘 要 本文对 PS 滤料固定床过滤技术进行了较系统的研究,并分别对固定床(上向流、下向流)过滤的影响因素进行了探讨,进而确定其最佳运行条件。

关键词 固定床, PS 滤料, 过滤

PS 滤料的视比重比水小,它在水中的状态是漂浮在水面上,在组装的 PS 滤料固定床滤池中,滤料是在池的上部,为防止滤料的流失,必须有围栏措施,因而其配水系统与集水系统都发生了变化,且 PS 滤料固定床的清洗只能由上而下进行,这些都是 PS 滤料固定床滤池不同于重质矿物滤料固定床滤池的地方。因此,它的过滤特性和重质矿物滤料固定床相比也有所不同,为了探讨 PS 滤料固定床(上、下向流)过滤技术的特点,进行滤池的优化设计和确定最佳的运行条件,我们对 PS 滤料固定床的过滤技术进行较为深入和系统的研究,对最佳运行条件的确定进行了探讨,可供从事过滤技术研究及应用的有关人员参考。

1 试验装置和试验条件

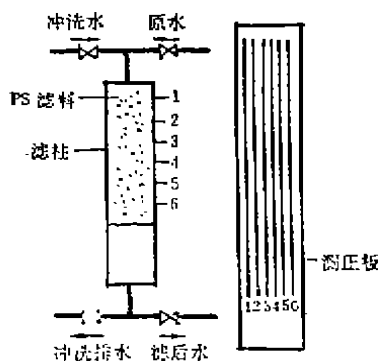


图 1 下向流过滤试验模型示意图

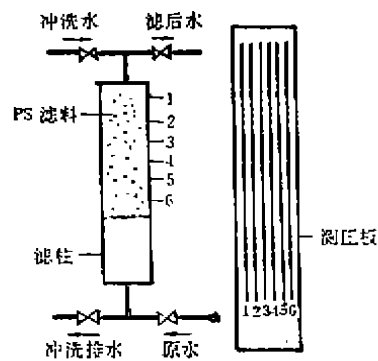


图 2 上向流过滤试验模型示意图

PS 滤料固定床(上、下向流)过滤技术的研究在重庆钢铁公司生活水厂进行,采用长江水系大渡口段的长江水,原水浊度在 15—1200 度之间,长江原水在生活水厂配水井前加混凝

* 本文 1992 年 2 月 28 日收到。

剂碱式氯化铝,进入配水池后,旋流混合,通过虹吸管虹吸到试验的原水配水恒位水箱,配制或试验所需的原水浊度,试验的工艺流程为:

原水→混合→恒位水箱→计量→滤池→恒位水箱→出水

↑

加药

试验的装置简图如图1,2所示。过滤时,冲洗水、冲洗排水阀关闭,原水,滤后水阀开启;冲洗时,阀的启闭和过滤过程相反,PS滤料固定床滤柱过滤性能基本数据见表1。

表1 PS滤料固定床滤柱过滤性能基本数据

指标	单位	滤速 (m/hr)					
		下向流				上向流	
		25	20	15	10	25	15
滤前水	mg/L	19.6	20.6	15.5	18.7	14.6	14.8
滤后水	mg/L	1.7	1.5	1.2	1.1	1.4	0.9
截留杂质量	kg/m ³	4.14	6.47	7.27	12.62	5.56	13.35
一个周期产水量	m ³ /m ²	325	374	445.4	484.4	588.2	847.9
终止水头	cm	78	60.8	45.6	43.6	89.3	67
水头损失增长	cm/hr	3.87	1.88	0.754	0.624	2.51	0.703
工作周期	hr	13	12.7	29.7	42.00	24.5	59.3
实验周期数	个	2	2	3	2	1	2

2 过滤的影响因素

2.1 过滤时间

从图3可见,PS滤料固定床(上、下向流)过滤,其过滤时间对出水水质的影响可近似地看成幂函数型增长关系。但其影响程度不一样,下向流的 c/c_0 增长速度更快,因而在相同的 c/c_0 条件下,上向流过滤比下向流过滤周期更长,当进水悬浮物浓度 $c_0 = 20$ mg/l,出水悬浮物浓度为3 mg/l时(滤速为10 m/hr,滤层厚0.90 m,粒径1.10 mm)上向流过滤周期 $t_{\pm}$ 为63.9 hr,而下向流过滤周期为42.1 hr,其比值 $t_{\pm}/t_{\text{下}} = 1.5$,即上向流的过滤周期是下向流过滤周期的1.5倍,换句话说,在相同的过滤时间里,上向流的过滤水质比下向流更好,在相同的时间点上,两曲线纵坐标之差即为两种过滤方式的水质差,上向流的出、进水浊度比增长速度比下向流缓慢得多。

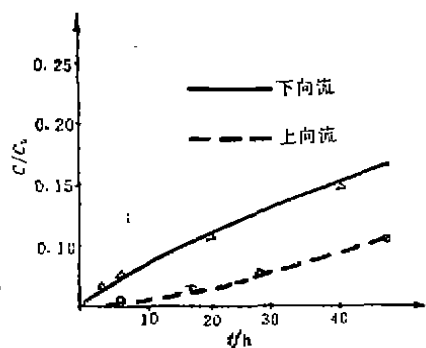


图3

2.2 滤速

图4中的曲线I、II分别是PS滤料固定床(上、下向流)过滤滤速与出水浊度之间的关系曲线,可以近似地看成幂函数型曲线,从图4可见,滤速对出水水质的影响,下向流过滤比上向流更大,这是因为PS滤料质轻浮于水面,上向流过滤速度愈大,滤料层愈压实,其孔隙空间愈小,水中杂质与滤料碰撞接触吸附的机率愈大,杂质不易穿透滤层,其过滤水质好,但滤

速大,单位时间进入滤层的杂质亦多,其综合结果是滤速增加,出水浊度亦增加。而对于下向流来说,滤速增加除了单位时间进入杂质量大以外,还可能造成滤层的松动而使存于滤料孔隙之中的杂质又回到水中,因而增加了出水中的杂质含量,其滤后水质比上向流过滤要差,换句话说,PS 滤料固定床上向流过滤比下向流过滤在同样的条件下,可以允许更大的运行速度。通过研究,建议上向流过滤最大运行速度为20 m/h,下向流过滤最大运行速度为15 m/h。

2.3 水头损失

2.3.1 清洁滤层水头损失

PS 滤料固定床(上、下向流)清洁滤层水头损失与重质矿物滤料固定床相似,水头损失与滤层厚度的关系仍服从于 Black-Kozeny 公式:

$$h_0 = \frac{k}{g} \cdot \gamma \cdot L \cdot \frac{(1-m)^2}{m^3} \cdot \left(\frac{6}{\phi d}\right)^2 \cdot v \quad (1)$$

通过对试验数据的回归分析得: 上向流, $k = 0.7466$;

下向流, $k = 0.6911$ 。

则得 PS 滤料固定床清洁滤层水头损失的经验公式为:

$$h_{0上} = \frac{0.7466}{g} \cdot \gamma \cdot L \cdot \frac{(1-m)^2}{m^3} \cdot \left(\frac{6}{\phi d}\right)^2 \cdot v \quad (2)$$

$$h_{0下} = \frac{0.6911}{g} \cdot \gamma \cdot L \cdot \frac{(1-m)^2}{m^3} \cdot \left(\frac{6}{\phi d}\right)^2 \cdot v \quad (3)$$

其关系曲线见图5。

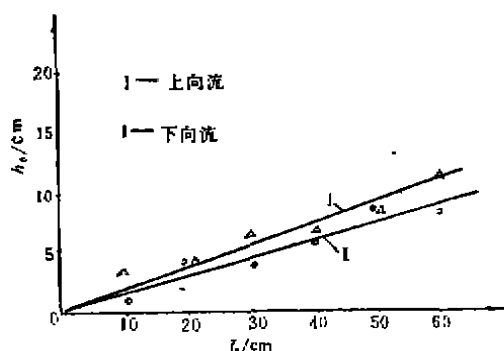


图 5

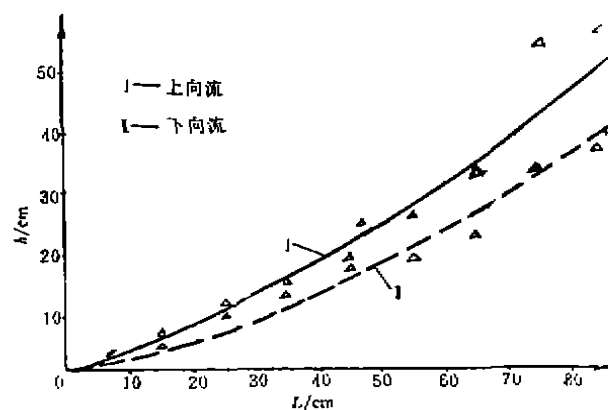


图 6

2.3.2 过滤水头损失

过滤是一个不断截留悬浮颗粒的过程,其间悬浮颗粒不断地沉积于滤料的表面或孔隙之中,这就改变了滤料的表面性质和滤床内部孔隙的几何尺度和构造,使得在过滤过程中水头损失不再服从于 Black-Kozeny 公式。Mintz 研究了由于悬浮物在滤料表面的沉积而导致滤

层内孔隙率之变化,进而改变了滤床的水力坡度。K. J. Ives 研究了此沉积引起的渗透系数的变化。PS 滤料固定床过滤水头损失亦有类似的变化。图6为 PS 滤料固定床过滤水头损失和滤层厚度的关系曲线。过滤水头损失与滤层厚度的关系不再呈线性增长,而是呈幂函数型增长。这是因截留悬浮物,导致滤床比阻的增加,上向流过滤比下向流增长更快。这是由于上向流比下向流截留杂质更多、孔隙流速更大所致。

3 最佳运行条件的研究

表 2 PS 滤料固定床(上、下向流)过滤试验结果

过滤方式	序号	试验日期	滤速 (m/hr)	进水悬浮物浓度 (mg/l)	过滤时间 (hr)	悬浮物在滤层中的分布 (mg/l)				试验条件	备注
						0.60 m	0.70 m	0.80 m	0.90 m		
上 向 流	1	12.28	25.0	13.0	4.0	2.4	2.3	1.6	1.1	滤层厚 $L=0.90$ m 粒径 $\bar{d}=0.94$ mm 温度 $T=10-14^{\circ}\text{C}$ $\psi=1.0$ $v=1.24 \times 10^{-2}$ cm ² /s	
	2	12.28	25.0	10.2	9.0	6.0	2.4	2.1	1.6		
	3	12.29	25.0	18.0	17.0	6.3	3.1	3.1	1.8		
	4	1.6	15.0	14.5	4.5	2.6	1.2	0.7	0.4		
	5	1.14	15.0	11	9.0	2.3	1.9	0.6	0.5		
	6	1.14	15.0	13.50	13.0	3.2	1.7	1.4	0.6		
	7	12.22	20.0	19.0	16.0	2.9	2.3	1.1	0.7		
	8	1.6	15.0	13.0	14.0	3.2	1.8	1.1	0.6		
	9	1.4	14.0	26.0	6.0	4.6	3.2	2.1	0.8		
	10	1.14	15.0	11.5	7.5	3.0	2.0	0.7	0.6		
下 向 流	1	12.16	11.37	16	4	2.8	1.6	0.6	0.2	滤层厚 $L=0.90$ m 粒径 $\bar{d}=0.94$ mm 温度 $T=10-14^{\circ}\text{C}$ $\psi=1.0$ $v=1.24 \times 10^{-2}$ cm ² /s	
	2	12.16	11.37	36	6	6.0	2.0	1.0	0.4		
	3	12.17	11.37	20	12	4.2	2.2	0.9	0.78		
	4	12.17	11.37	19	20	7.0	2.9	-	1.6		
	5	12.1	25.0	10.4	12	5.4	5.2	3.4	1.1		
	6	12.5	20.0	15.0	2	1.4	-	0.5	0.2		
	7	12.5	20.0	15.5	6	1.9	1.8	0.9	0.5		
	8	12.2	25.0	19.0	4	3.6	2	1.5	0.6		
	9	12.2	25.0	21.0	6	4.2	2.2	1.5	0.8		
	10	12.8	15.0	22	18	1.3	0.9	0.8	0.7		

过滤机理的研究表明:滤池工作能力(或截留杂质的能力),取决于两方面的条件,一是滤池的构造特性参数如滤料粒径、孔隙率、形状系数和滤层厚度,它决定了滤床本身所具有

的截留杂质的能力;二是滤池的工作条件如滤速、进水浊度、出水水质和过滤持续时间,它决定了滤后水质的好坏,工作周期的长短。一般地,滤池的构造参数在滤池设计时就已确定,大量的问题是如何确定适应于该滤池构造的工作条件即确定最佳的运行参数,使之能充分利用滤池的截留杂质的能力,保证滤后水质,提高过滤效率、延长过滤周期。滤料粒径太小,易形成表层截留,缩短过滤周期;粒径太大,易造成杂质穿透。滤层厚度主要要考虑滤料层必须具备一定的截留和储存杂质的能力,使之在保证滤后水质的前提下,有一定的工作周期,对 PS 滤料固定床下向流而言,滤层厚度还具有稳定滤床的作用。由 PS 滤料固定床(上、下向流)过滤的影响因素的研究表明,PS 滤料适宜的粒径为 0.6~1.10 mm,滤层厚度不宜小于 0.9 m。

对表2的试验数据回归分析得 PS 滤料固定床(上、下向流)的半理论过滤方程式:

$$\text{上向流} \quad c/c_0 = 1.2 \times 10^{-8} \cdot \frac{p}{\mu} \cdot \left(\frac{4d}{1-m} \cdot \frac{1}{L} \right)^{1.447} \cdot v^{1.497} t^{1.429} \quad (4)$$

$$\text{下向流} \quad c/c_0 = 4.5 \times 10^{-8} \cdot \frac{p}{\mu} \cdot \left(\frac{4d}{1-m} \cdot \frac{1}{L} \right)^{1.259} \cdot v^{1.279} \cdot t^{0.568} \quad (5)$$

当 PS 滤料固定床(上、下向流)特性参数确定后,就可使用式(4)、(5)计算出 PS 滤料固定床最佳的运行条件,如最大滤速、最大允许进水浊度和过滤周期。

例1: 已知 PS 滤料固定床滤层厚 0.9 m, 滤料粒径为 0.94 mm, 进水浊度 20 mg/l, 温度 12℃, 滤速为 15 m/h, 当出水浊度为 3 mg/l 时, 试求过滤周期?

解: 据有关资料形状系数 $\psi=1.0$, 运动粘滞系数

$$v = 1.24 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}, \text{孔隙率 } m \text{ 为 } 36.8\%。$$

将已知值代入式(4)得:

$$t = 52.6 \text{ h}, \text{即过滤周期为 } 52.6 \text{ 小时。}$$

例2: PS 滤料固定床构造参数与上题相同, 当过滤周期为 48 h, 求允许最大滤速。

解: 将已知值代入(4)式得:

$$v = 16.36 \text{ m/h} \quad (\text{最大允许滤速})$$

例3 PS 滤料固定床构造参数与例1同, 采用下向流过滤, 过滤时间为 30 h, 滤速为 15 m/h, 求滤后水质。

解: 将已知值代入式(5)得:

$$c = 3.03 \text{ mg/l} \text{ 即滤后水浊度为 } 3.03 \text{ mg/l}。$$

4 结论

- 1) PS 滤料固定床(上、下向流)适宜的粒径范围为 0.6~0.94 mm, 滤层厚度宜大于 0.9 m。
- 2) PS 滤料固定床(上、下向流)的半理论过滤方程式, 可用于确定最佳运行条件和预测过滤周期及滤后水质。
- 3) PS 滤料固定床的冲洗研究将另文讨论。

参 考 文 献

- 1 陈昌禄译. 漂浮滤料接触滤池. 原载苏联《给水工程与卫生技术》, 1982, 4
- 2 天津市自来水公司. 水过滤实践中漂浮滤料滤池的研究应用. 原载苏联《给水工程与卫生》, 75, 5
- 3 Rudolph W. Oeben, Howard P. Haines and Kemeth. Comparison of Normal and Reverse-Graded Filtration J. Ives, (JAWWA) Apr. 1968
- 4 K. J. Ives. Effluent water treat. Jour. Specification for Granular Filter Media, 1975

(编辑: 刘家凯)

THE STUDY ON FIXED-BED FILTRATION TECHNIQUE OF
THE PS FILTER-MEDIA*Yao Yulin**Zhang Zhi*

(Dept. of Urban Construction Engineering)

ABSTRACT This paper discusses the filtration technique of PS filter-media. It is more systematic study on the fixed-bed filtration technique of PS filter-media, and researching influential factors on the filtration of fixed-bed (upflow and downflow).

KEY WORDS fixed-bed, filtration, PS filter-media