

6

36-42

PS 滤料材性的研究

姚雨霖 张 智

(城建系)

Tu pp 1.24

摘 要 本文为PS滤料过滤技术研究之一,对我国上海塑料七厂产聚苯乙烯发泡塑料沫(简称PS滤料)进行了物理特性和水力特性的研究,并对有关化学特性作了介绍,可供有关过滤技术研究人员及工程界参考。

关键词 过滤, PS滤料, 材性 水力特性

在德、美、乌克兰、俄罗斯等国较早地使用了聚苯乙烯发泡塑料珠(PS滤料)组装不同型式的漂浮滤料滤池,用于生活饮用水,生产用水,喷灌用水,除藻除铁,生活污水的深度过滤处理,以及轻工、电镀、化工、冶金、采矿等工业废水的过滤处理,我国北京市政设计院,中国船舶工业总公司第九设计研究院等单位,从六十年代开始对PS滤料过滤进行了探讨,并生产有一体化净水装置用于生活饮用水和游泳池循环水等的过滤处理。PS滤料在过滤过程中磨损率低,抗生物稳定,不溶于酸(硝酸除外)和强碱。用亚甲基兰吸附测定的比表面积达 $65\text{m}^2/\text{g}$ 以上。因而对水中的絮体具有很强的吸附能力。由于PS滤料堆积容重 $\gamma_{PS} < \gamma_{水}$,因而采用该滤料代替重质滤料,从根本上改变了过滤工艺,能提高原水中的允许悬浮物浓度或适当提高滤速,并且周期水头损失小,具有提高滤池工效和节能的特点。

近年来,PS滤料被用于移动床滤池,滤料的冲洗再生在体外专门的设备中进行,冲洗干净的滤料随原水进入滤池的底部,滤料自行上浮至工作区,滤池正常工作时即可不断地冲洗再生。应用这种滤池可提高滤速,降低滤池的水头损失,操作管理方便,是一种应用PS滤料较为新型过滤装置。鉴于我国对PS滤料过滤技术的研究资料甚少,特别是近几年缺乏研究。为了系统地掌握PS滤料过滤技术的特性,我们对我国生产的PS滤料材性,PS滤料固定床(上向流和下向流)过滤及其冲洗特性,以及PS滤料移动床过滤新技术,分别进行了较全面的研究。本文首先介绍PS滤料材性的研究。

1 PS滤料的物理特性

PS是聚苯乙烯(Polystrene)的英文缩写,PS滤料是一种有机聚合物,是由石油的副产品苯和乙烯相聚合,加入石油提炼的成烷或异成烷作发泡剂,使用蒸汽加热发泡而成。发泡后

本文1992年2月18日收到。

多为闭孔(图1), 外观呈乳白色球状, 表面具有细小微孔, 它作为滤料具有一些独自的特点, 研究所用材料系上海塑料七厂产品。



图1 PS滤料剖面显微照片放大28倍

1.1 松散容重

松散容重 γ (kg/m^3)是指自然状态(堆积)下单位体积滤料的重量, 它主要取决于PS滤料粒径的大小。松散容重反映了滤料的一个很重要的物理特性, γ 的大小对过滤方式的选择具有重要的意义, 如果 γ 大, 且 $\gamma > 1 \text{ kg}/\text{L}$, 则选择常规的过滤方式是适宜的, 反之, 则会遇到一些困难, 因此应因势利导利用质轻的特点, 选择或确定适宜的新的过滤方式。

通过对试验数据的回归分析得其经验公式为:

$$\begin{cases} \gamma_1 = 236.796 - 111.764 \cdot d & (d = 0.8 - 1.32 \text{ mm}) \\ \gamma_2 = 85.549 - 1.031 \cdot d & (d > 1.32 \text{ mm}) \end{cases} \quad (1)$$

式中 γ_1 、 γ_2 ——PS滤料的松散容重(kg/m^3)

d ——PS滤料粒径(mm)

对(1)式的回归检验结果见表1表2。

表1

r_1	F_1	$F'_{0.90}$	S_1	备注
0.989	46.42	39.2	0.32	$F_1 > F'_{1-\alpha}$

表2

r_2	F_2	$F''_{0.99}$	S_2	备注
0.999	713.58	405	0.073	$F_2 > F''_{1-\alpha}$

表中, r ——相关系数, 反映了试验数据与回归分析曲线的吻合程度, r 越近, 其相关性越好。

$F_{1-\alpha}(1, n-2)$ ——置信水平为 $1-\alpha$ 时, 自由度分别为1和 $n-2$ 的 F 分布值, 若 $F > F_{1-\alpha}$ 则回归显著, 其可信度为 $(1-\alpha)$ 。

S ——残差平方和, 此值越小越好。

1.2 视容重

对于形态不规则且非密实材料, 颗粒的视容重 γ_v 是指单位体积颗粒的重量, 试验所得的

经验公式为:

$$\gamma_s = 350.797 - 138.014 \cdot d \quad (\text{kg/m}^3) \quad (2)$$

对(2)式的回归检验结果见表3, 回归的线性性是令人满意的。

此项指标在过滤中具有重要的实际意义, 由于PS滤料的视容重小 ($d=0.8\sim 1.20\text{mm}$, $\gamma_s = 219.95\text{kg/m}^3$), 它在水中的状态是漂浮在水面上, 因而该滤料清洗一般为从上而下的水流清洗, 此时, 滤料的浮力就成为冲洗时的阻力, 浮力越大, 阻力越大, 冲洗时要达到适度的膨胀度, 所需的冲洗强度就越大, 能耗及冲洗水量亦越大, 我们希望PS滤料的视容重小于水而接近于水, 这样所需的能耗及冲洗水量最少。

表3

r	F	$F_{0.99}$	S	备注
0.985	202.48	34.1	0.62	$F > F_{1-\alpha}$

表4

r	F	$F_{0.99}$	S	备注
0.995	325.03	10.1	0.73	$F > F_{1-\alpha}$

1.3 孔隙率 m

通过对PS滤料的试验数据的回归分析, 得到其孔隙率 m 和粒径 d 的经验关系式为:

$$m = 4.213 + 34.669 \cdot d \quad (3)$$

(3)式的回归检验结果见表4。

由于该种滤料呈球状表面缺少棱角, 其孔隙率不太高。这样, 在常规的过滤方式下, 滤料表面的接触吸附能力尚未能充分发挥, 就因滤料的储泥能力趋于饱和, 杂质穿透, 因而恶化水质, 从而使工作周期缩短。鉴于此, 应研究适合于PS滤料的新的过滤工艺。它必须能充分发挥滤料的吸附能力, 而对储泥要求不高, 这就是另文所研究的逆流式移动床连续过滤体外再生新技术。

2 PS滤料的水力特性

2.1 筛分测定

筛分曲线的测定可得出粒径的分布状况, 如图2所示曲线为累积重量-粒径关系曲线, 直线为双对数坐标下的累积重量-粒径曲线, 据Douglas Feben定义, 该直线的斜率的物理意义是平均粒径, 其纵轴上的截距为不均匀系数, 其直线回归方程为:

$$\ln P = 2.898 + 1.403 \ln d \quad (4)$$

式中 $\ln P$ ——累积重量的对数

$\ln d$ ——PS滤料的粒径

(4)式的回归检验结果见表5。

2.2 渗透系数 k_f

渗透系数 k_f 决定于多孔介质的性质: 多孔介质的粒径及形状和孔隙率, 它代表了多孔介质通过水流的能力。 k_f 大, 其过

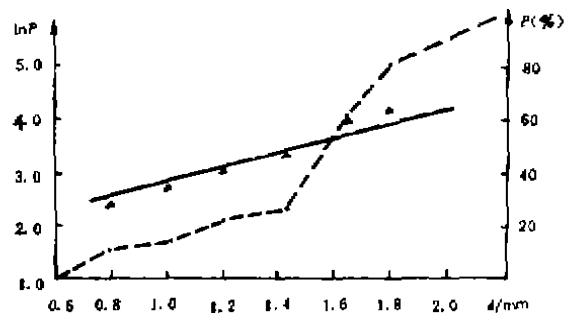


图2 累积重量-粒径

水能力强, 在定滤速下产生的水头损失小, 能耗低, 在当今能源紧张的情况下, 把渗透系数 k_d 作为评价滤料的指标具有现实意义。

对渗透系数测定的数据回归分析得PS滤料渗透系数 k_d 和粒径 d 的关系式为:

$$k_d = 1.176d^{1.072} \quad (5)$$

表5

r	F	$F_{0.99}$	S	备注
0.956	42.51	21.2	2.12	$F > F_{1.0}$

表6

r	F	$F_{0.90}$	s	备注
0.71	2.97	2.93	1.21	$F > F_{0.90}$

对(5)式的回归检验结果见表6。

2.3 FM值

FM是(Floating-movement) 漂移值的英文缩写。我们把它定义为: 静水中, 轻滤料在浮力的作用下, 上浮移动的速度, 量纲是速度的量纲, FM值与粒径的回归经验公式为

$$FM = 2.98 + 6.962 \cdot d \quad (6)$$

式(6)的回归检验结果见表7。

PS滤料粒径大其重力和所受的摩擦力大, 但是, 粒径大, 体积亦大, 且内部多为闭孔, 故所受浮力亦大, 其总合力仍向上, 颗粒上浮, FM与粒径呈正比。这对逆流式移动床滤池具有特殊意义。其一, 从滤柱看, 清洁滤料进入滤柱后, 滤料即自行上浮至工作区, 由于FM与

表7

r	F	$F_{0.95}$	s	备注
0.934	230.5	10.1	0.40	$F > F_{0.95}$

粒径呈正比, 所以, 大的颗粒在上, 小的颗粒在下, 形成逆水流方的自然的反粒度分布, 由于清洗是连续的所以形成了无数的反粒度层, 使杂质的分布趋于均匀, 充分发挥滤层的截留杂质的能力, 又能有效地保护滤后水质。其二, 在清洗过程中, 滤料可自行上浮至出口, 降低了输送清洁滤料所需的能耗, 我们在设计逆流式体外清洗连续过滤装置时, 就充分地利用了PS滤料的这些特点。

2.4 形状系数 α

形状系数 α 反映了滤料表面的棱角, 粗糙不平的程度, 是评价滤料过滤水力特性指标之一, 一般通过间接计算的方法得出, 据有关文献, 在层流范围内过滤, 其渗透系数 k_d 可由下式表示:

$$k_d = 5.35 \frac{d_s^2 m^3}{\alpha^2 \cdot \mu \cdot (1-m)} \quad (7)$$

故有:

$$\alpha = \sqrt{5.35 \frac{d_s^2 m^3}{k_d \cdot \mu \cdot (1-m)}} \quad (8)$$

式中 d_s ——球体的等值直径, $1/d_s = \Sigma(P_i/d)$

P_i ——粒径为 d_i 的颗粒的百分数

μ ——水的动力粘度

其余量同前。

由(8)式计算的 α 值与 d 回归得其关系式为:

$$\alpha = 1.0177d^{1.0788} \quad (9)$$

式(9)的回归检验结果见表8。

从式(9)可知, PS滤料并非完全球体, 由于生产的原因, 粒径小的其成球性好, 其孔隙降低。

2.5 截留杂质质量 W

截留杂质质量 W 是在过滤周期内单位体积滤粒所截留杂质的重量, 可由下式求得:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n (c_{0i} - c_i)qt}{V} \quad (10)$$

式中 W ——截留杂质质量, kg/m^3 ;

q ——过滤水量, ml/s ;

c_0 、 c_i ——分别为进、出水浊度, mg/l ;

V ——小滤柱内滤料的体积, ml ;

i ——测试次数;

n ——总的测试次数;

t ——两次测试的时间间隔。

表8

r	F	$F_{0.99}$	s	备注
0.965	40.62	34.1	0.02	$F > F_{0.99}$

表9

r	F	$F_{0.90}$	s	备注
0.94	14.89	8.53	0.16	$F > F_{0.90}$

该指标是衡量滤料去除水中悬浮物的能力和储泥能力的一个重要指标, 它亦直接影响过滤周期的长短。通过对测试数据的回归分析得截留杂质质量与粒径之间的关系为:

$$W = 7.033d^{-0.3809} \quad (11)$$

(11)式表明: 随着粒径增加, 截留杂质质量降低。这是因为粒径增大, 颗粒间的孔隙空间增大, 悬浮物易于穿透, 在限定出水浊度时, 其截留杂质质量降低。式(11)检验结果见表9。

2.6 雷诺数 Re

雷诺数 $Re = v d/\gamma$ 可看成惯性力与粘滞力之比, 雷诺数小则粘滞力对流体运动的影响占优势, 利用这点可把雷诺数作滤池工作条件的一个判别准数。近几十年来, 对过滤机理的研究表明, 粒状材料去除水中悬浮物的机理主要是迁移机理及附着机理。迁移机理是在滤料孔隙中, 随水流动的悬浮颗粒迁移到静止的滤料颗粒上面或已经附着于滤料颗粒表面的悬浮物上。主要包括截留、扩散、惯性、沉淀及水力等作用。附着机理包括电动效应, 范德华力, 化学作用和相互吸附等, 使贴近静止颗粒的杂质被截留、吸附而去除。这些研究成果都是在低雷诺数的条件得到的。在低雷诺数的水力条件下, 球状杂质在均匀剪力场中发生旋转, 从而受到一种侧向力的作用而作跨流线的运动, 如果剪力场不均匀, 上述现象更为明显。如果不是球状杂质颗粒, 则由于缺乏对称性而发生附加旋转和侧向运动, 贴近静止颗粒的表面, 在表面附近, 由于粘滞性, 流速很小, 易于使颗粒被吸附而去除, 所以雷诺数成了滤池工作条件的一个判别准数。

PS 滤料的粒径—滤速—雷诺数的关系曲线如图 3 所示，用敏茨式计算：

$$Re = \frac{\rho v d_k}{6\alpha\mu(1-m)} \quad (12)$$

式中 Re ——雷诺数

其余量同前。

通过图 2 可求出在 $t = 25^\circ\text{C}$ 时，由雷诺数 $Re \leq 2$ 的条件得出由各种粒径组装的 PS 滤料滤池的临界滤速。

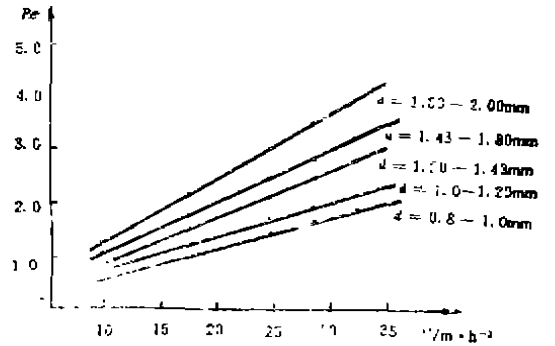


图 3 雷诺数—滤速 ($t = 25^\circ\text{C}$)

3 结论

本文对 PS 滤料的物理特性及水力特性进行了较为系统的研究，见 PS 滤料性质一览表。它与重质矿物滤料相比具有自己的特点，在采用 PS 滤料组装滤池时，应充分考虑和利用它的特点，提高其工效。

表 10 PS 滤料性质一览表

名 称		经 验 公 式	备 注
物理性质	松散容量	$\gamma_1 = 236.796 - 111.764d$	$d = 0.8 \sim 1.32\text{mm}$ $d > 1.32$
	固容重 孔隙率	$\gamma_2 = 85.549 - 1.031d$ $\gamma_s = 350.797 - 138.014d$ $m = 4.213 + 34.669d$	
水力特性	筛分测定	$\ln P = 2.898 + 1.403 \ln d$	敏茨(Π.M) 公式
	渗透系数	$K_s = 1.176d^{1.072}$	
	FM 值	$FM = 2.980 + 6.962d$	
	形状系数	$\alpha = 1.0177d^{1.0795}$	
	截留杂质质量	$w = 7.033d^{-0.3609}$	
	雷诺数	$Re = \frac{\rho v d_k}{6\alpha\mu(1-m)}$	

参 考 文 献

- 1 姚雨霖等。人工新型轻质陶粒滤料过滤技术的研究。重庆科技，1986
- 2 同济大学主编。给水工程。北京：建工出版社，1980
- 3 夏永明。炼油污水过滤技术概述。北京：建工出版社，1980
- 4 [美]戈登·卡尔普等著。张自杰等译。水的净化新概念。北京：建工出版社，1982
- 5 浮浮滤料接触滤池。原载苏联《给水工程与卫生技术》，824
- 6 Theory of Flow in Filter Media Douglas Feber, JAWWA, July, 1961
- 7 Π.M.敏茨。粒状材料水力学。水利出版社
- 8 王业俊译。Water Supply and Pollution, [美]

- 9 K.J.Ives, International Water Supply Association General Reports and Papers on Special Subjects Eighth Congress, 1959, 1

(编辑: 刘家凯)

A STUDY ON MATERIAL PROPERTIES OF PS FILTER-MEDIA

Yao Yulin *Zhang Zhi*

(Dept. of Urban Constuction Engineering)

ABSTRACT This paper studies physical and hydraulic perperties of PS filter-media and introduces it's chemical property. It is a reference for researchers and engineers in the filtration technique.

KEY WORDS filtration, PS filter-media, material property