

5

滤池 优化设计 莫菜石 董青石

50-55

莫菜石-董青石滤池优化设计计算*

王 圃 姚雨霖 程民权
(城市建设学院) Tu 981.24

摘 要 通过试验给出了莫菜石-董青石(莫-董)滤池总水头损失计算公式,探讨出了一系列设计计算参数。最后提出了莫-董滤池的优化设计计算方法和程序框图,此方法对指导莫-董滤池设计具有很大的实用性。

关键词 总水头损失, 莫-董滤池, 优化设计计算
中图法分类号 TU991.24

滤池的设计,一直沿用过去积累的经验,考虑平均的偏于安全的方面,来选择滤料粒径、厚度、滤速、周期等设计数据,这就很难充分利用滤池的资用水头和截污能力。本研究是在过滤澄清基本方程式的基础上,通过试验来进行莫-董滤池优化设计的。

1 过滤澄清基本方程式和滤池出水浊度表达式

加混凝剂后的悬浊液通过滤层时,由于过滤作用,悬浊液浓度随其过滤层的深度而减少,减少速度可由岩崎方程表达:

$$-\frac{\partial c}{\partial x} = \lambda c \quad (1)$$

根据(1)式可推出悬浊液过滤澄清基本方程式:

$$\frac{\partial c}{\partial x \partial t} + \lambda_0 \frac{A}{m_0} V c \frac{\partial c}{\partial x} - \frac{1}{r} \frac{\partial c}{\partial x} \frac{\partial c}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

(2)式的解即为滤池出水浊度 c 的表达式:

$$c = c_0 e^{\lambda_0 A m_0^{-1} V_0 t} (e^{\lambda_0 A m_0^{-1} V_0 t} + e^{\lambda_0 x} - 1)^{-1} \quad (3)$$

- 式中 c_0, c ——分别为滤池进水和出水浊度, mg/l;
 x ——滤床厚度(自滤层表面计起), m;
 t ——过滤时间, hr;
 λ_0 ——初始过滤截留系数;
 A ——参数;
 m_0 ——MJC 滤料清洁滤床孔隙率。

* 收稿日期:1994-10-17
王圃,1965年生,讲师,重庆建筑大学城市建设学院(630045)

2 初始过滤截留系数 λ_0 和参数 A

2.1 初始过滤截留系数 λ_0

λ_0 主要与滤料粒径、水温、滤速、过滤原水水质等有关。

$$\lambda_0 = \frac{a}{v^\alpha d_e^\beta \mu^\gamma} \quad (4)$$

式中 d_e ——滤料当量粒径, cm;

v ——滤速, m/hr;

μ ——水的动力粘滞系数, g/cm·s。

a, α, β, γ 均为常数, 由试验确定。把 MJC 滤料滤池的试验数据进行回归处理, 得出: $a = 0.55; \alpha = 0.32; \beta = 0.62; \gamma = 0.29$ 。代入(4)式得

$$\lambda_0 = 0.55v^{-0.32}d_e^{-0.62}\mu^{-0.29} \quad (5)$$

2.2 参数 A

A 值受滤速的影响很大, 滤速越大, A 值越小; 反之, A 值就大。通过试验研究得出 MJC 滤料滤池 A 值表达式为:

$$A = 3.5 \times 10^{-6}v^{-0.1} \quad (6)$$

3 MJC 滤池总水头损失计算公式

在过滤过程中, 滤池总水头损失由清洁滤床水头损失和滤床截留杂质水头损失两部分组成。

3.1 MJC 清洁滤床水头损失计算公式

对 MJC 滤料试验数据进行回归处理得出 MJC 清洁滤床水头损失计算公式为:

$$h_0 = 0.168\mu \left(\frac{a}{d_e} \right)^2 \frac{(1 - m_0)^2}{m_0^3} x \left(\frac{v}{36} \right) \quad (7)$$

式中 h_0 ——MJC 清洁滤床水头损失, m;

a ——MJC 滤料形状系数;

其余符号意义同前。

3.2 MJC 滤池总水头损失计算公式

随着过滤的进行, 滤床中截留杂质质量增多, 比沉积量增大, 孔隙率减小, 引起水头损失增长, 滤床的水力坡降 i 与比沉积量之间存在着如下关系:

$$i = i_0 + kv \quad (8)$$

式中 i_0 ——清洁滤床的水力坡降;

k ——水头损失增长系数。

(8) 式两端对 x 积分得:

$$h = h_0 + k \int_0^x v dx \quad (9)$$

(9) 式对 t 微分, 并代入连续性方程, 则有:

$$\frac{\partial h}{\partial x} = k \int_0^z \frac{\partial \sigma}{\partial x} dx$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = k \int_0^z \left(1 - v \frac{\partial c}{\partial x} \right) dx$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = kv(c_0 - c)$$

因 c_0 远大于 c , 可取 $c_0 - c \approx c_0$, 则有:

$$\frac{\partial h}{\partial x} = kvc_0$$

上式两端对 t 积分得:

$$\begin{aligned} h - h_0 &= kvc_0 t \\ h &= h_0 + kvc_0 t \end{aligned} \quad (10)$$

$kvc_0 t$ 是滤层截留杂质后所引起的截留杂质水头损失, h_0 是清洁滤床水头损失, h 是总水头损失。

(10) 式中的参数 K 主要与滤料粒径有关, 由试验确定, 对 MJC 滤料, 其值见表 1。

粒径(cm)	0.065	0.075	0.080	0.099	0.110
K	3.16×10^{-4}	3.00×10^{-4}	2.90×10^{-4}	2.65×10^{-4}	2.50×10^{-4}

经回归得出 K 与 MJC 滤料当量粒径的关系为:

$$K = (4.098 - 14.550de) \times 10^{-4} \quad (11)$$

所以 MJC 滤池总水头损失计算公式为:

$$h = h_0 + (4.098 - 14.550de) \times 10^{-4} v c_0 t \quad (12)$$

4 MJC 滤池优化设计计算

滤池过滤终止通常由两指标控制, 即(3)式中的滤后水水质允许极限值 C_{Lm} 和(12)式中的水头损失允许极限值 h_{Lm} , 二者中任一指标达到, 滤池即停止过滤。

用 t_c 表示(3)式中达到出水水质允许极限值 C_{Lm} 的时间, 用 t_h 表示(12)式中达到水头损失允许极限值 h_{Lm} 的时间。

若 $t_c > t_h$, 说明滤池水头损失允许极限值先达到, 引起过滤终止, 而滤池的截污能力未得到充分发挥。

若 $t_c < t_h$, 说明滤池出水水质先达到允许极极限值, 引起过滤终止, 而滤池的资用水头未得到充分发挥。

若 $t_c = t_h$, 说明滤池出水水质允许极限值与水头损失允许极限值同时到达, 引起过滤终止, 滤池截留杂质能力和滤池的资用水头都得到了充分发挥, 这是最佳情况, 但在实际中考虑到滤池出水有一定的卫生安全性, 通常可使:

$$\frac{t_c}{t_h} = 1.1 \sim 1.2 \quad (13)$$

合理选择 MJC 滤料滤床的特性参数和运行条件,使滤池同时满足(3)式,(12)式和(13)式,这就是 MJC 滤池的优化设计计算,具体作法如下:

(1) 浓度为 c_0 的过滤原水,在选定 t_b, h_{Lm}, c_{Lm} 和滤床厚度后,根据(12)式,选取不同的滤料当量粒径,则可求出相应的不同滤速 v 。采用试算法进行计算。

由(12)式知

$$h_0 = h_{Lm} + kc_0 t_b$$

将 $h_0 = 0.168\mu \left(\frac{\alpha}{de}\right)^2 \frac{(1-m_0)^2}{m_0^3} \frac{v}{36}$ 代入上式并令:

$$1/k_0 = 0.168\mu \left(\frac{\alpha}{de}\right)^2 \frac{(1-m_0)^2}{m_0^3} = \frac{v}{36}$$

化简整理得:

$$v = \frac{h_{Lm}}{1/k_0 + kc_0 t_b}$$

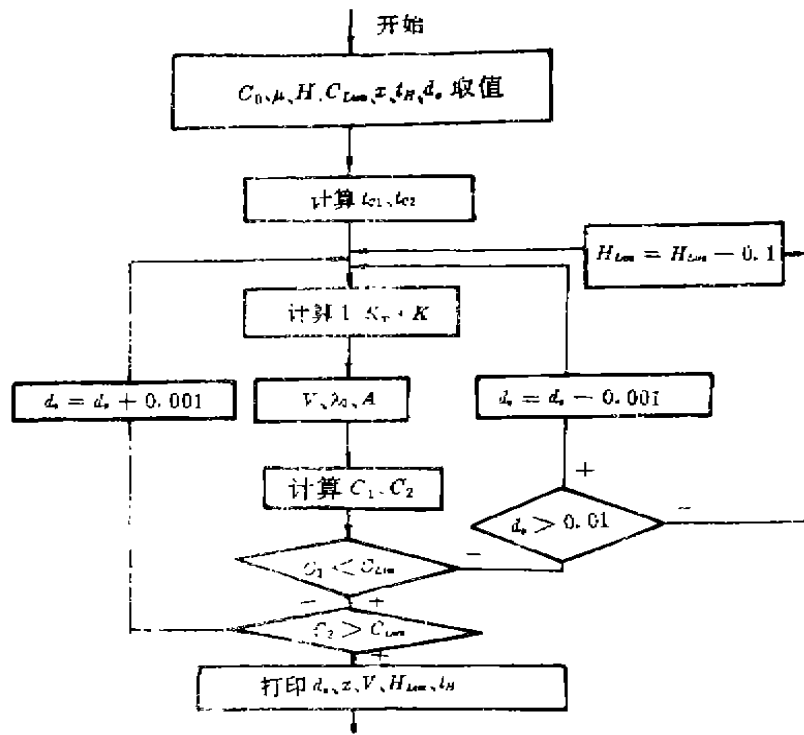


图 1 程序框图

(2) 将算出的滤速 v 和 $t_1 = 1.1t_b, t_2 = 1.2t_b$ 值分别代入(3)式,即可求出 t_1 时的出水浓度 c_1 和 t_2 时出水浓度 c_2 。若计算出的 $c_1 > c_{Lm}$,水质超标,则应减小滤床当量粒径 de ,重新计算;若计算出的 $c_2 < c_{Lm}$,则应增大滤床的当量粒径 de ,重新计算,直到算出出水浓度满足下式: $c_1 < c_{Lm} < c_2$ 为止。

(3) 根据 MJC 滤料模型试验和生产性试验研究, MJC 滤料的当量粒径不小于 0.075 cm。如试算中得出 d_e 值小于 0.075 cm, 则重新调整 h_{Lm} 值, 使满足 $c_1 < c_{Lm} < c_2$ 条件。

(4) 计算中采用的边界条件为: $t_{Lm} = 12 \sim 24$ hr; $h_{Lm} = 1.5 \sim 2.0$ m; $c_{Lm} = 3$ mg/l。上述计算过程亦可根据编制的计算程序, 在微机上进行计算, 程序框图如图 1。

5 计算实例

例: 水温 $t = 20^\circ\text{C}$, 过滤原水浊度 $c_0 = 15$ mg/l, 试进行单层 MJC 滤料滤床设计。

解: 设计选取 $h_{Lm} = 2.0$ m; $c_{Lm} = 3$ mg/l; 滤层厚 0.7 m; $t_b = 24$ hr。

1. 求 t_{c1}, t_{c2}

$$t_{c1} = 1.1t_b = 1.1 \times 24 = 26.4 \text{ hr}$$

$$t_{c2} = 1.2t_b = 1.2 \times 24 = 28.8 \text{ hr}$$

2. 确定滤料当量粒径 d_e

选 MJC 滤料当量粒径 $d_e = 0.08$ cm 进行试算。孔隙率 $m_0 = 0.60$, 形状系数 $\alpha = 1.71$ 。

3. 求 $1/K_\varphi$ 值

$$1/K_\varphi = 0.168\mu \left(\frac{\alpha}{d_e} \right)^2 \frac{(1-m_0)^2}{m_0^3} \times \frac{v}{36}$$

$$1/K_\varphi = 0.168 \times 0.0167 \times \left(\frac{1.71}{0.08} \right)^2 \frac{(1-0.60)^2}{0.60^3} \times \frac{0.7}{36} = 0.019$$

4. 求 K 值

$$K = (4.098 - 14.550d_e) \times 10^{-4} = 2.93 \times 10^{-4}$$

5. 求滤速 v

$$v = \frac{h_{Lm}}{1/K_\varphi + kv_0 t_b} = \frac{2.0}{0.019 + 2.93 \times 10^{-4} \times 15 \times 24} = 16 \text{ m/hr}$$

6. 求初始过滤截留系数 λ_0

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= 0.55v^{-0.32} d_e^{-0.62} \mu^{-0.29} \\ &= 0.55 \times 16^{-0.32} \times 0.08^{-0.62} \times 0.0167^{-0.29} \\ &= 3.552 \end{aligned}$$

7. 求 A 值

$$A = 3.5 \times 10^{-5} v^{-0.1} = 3.5 \times 10^{-5} \times 16^{-0.1} = 2.652 \times 10^{-5}$$

8. 求 c_1, c_2 值

$$c = c_0 e^{\lambda_0 A m_0^{-1} v_0 t} (e^{\lambda_0 A m_0^{-1} v_0 t} + e^{\lambda_0 t} - 1)^{-1}$$

所以当 $t = t_{c1}$ 时有:

$$\begin{aligned} c_1 &= 15 \times \frac{e^{3.552 \times 2.652 \times 10^{-5} \times 0.6^{-1} \times 16 \times 15 \times 26.4}}{(e^{3.552 \times 2.652 \times 10^{-5} \times 0.6^{-1} \times 16 \times 15 \times 26.4} + e^{3.552 \times 26.4} - 1)} \\ &= 2.95 < c_{Lm} = 3 \text{ (mg/l)} \end{aligned}$$

当 $t = t_{c2}$ 时有

$$\begin{aligned}
 c_2 &= 15 \times e^{3.552/2.652 \times 10^{-5} \times 0.6^{-1} \times 16 \times 15 \times 28.8} \\
 &\quad \times (e^{3.552 \times 2.652 \times 10^{-6} \times 0.6^{-1} \times 16 \times 15 \times 28.8} + e^{3.552 \times 0.7 - 1})^{-1} \\
 &= 3.18 > C_{Lim} = 3 \text{ (mg/l)}
 \end{aligned}$$

满足 $c_1 < C_{Lim} < c_2$, 所以设计 MJC 滤料滤床结果为: 滤床厚度 0.7 m, $d_e = 0.08$ cm, $m_0 = 0.60$, $\alpha = 1.71$, h_{Lim} , $v = 16$ m/h, $t_s = 24$ h。这种规格的 MJC 滤料滤床已用于水厂滤池, 在运行的几年里已取得了显著的经济效益和节能效益。

6 结束语

① MJC 滤料总水头损失计算公式为:

$$\begin{aligned}
 h &= h_0 + (4.098 - 14.550d_e) \times 10^{-4}vc_0t \\
 h_0 &= 0.158\mu \left(\frac{\alpha}{d_e} \right)^2 \frac{(1 - m_0)^2}{m_0^3} x \left(\frac{v}{36} \right)
 \end{aligned}$$

② MJC 滤料设计计算参数

$$\begin{aligned}
 \lambda_0 &= 0.55v^{-0.32}d_e^{0.62}\mu^{0.28} \\
 A &= 3.5 \times 10^{-5}v^{-0.1} \\
 K &= (4.098 - 14.550d_e) \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

③ 提出了 MJC 滤料优化设计计算方法及其程序框图, 计算实例。

参 考 文 献

- 1 姚雨霖等. 人工轻质陶粒滤料及全陶粒滤料滤池. 经水排水新技术, 中国建筑工业出版社, 1988, 9
- 2 T. R. camp. theory of water filtration. J. San. Eng. Div. Amer

THE OPTIMAL DESIGN CALCULATION OF MULLITE-CORDIERITE (MC) MEDIA FILTER

Wang Pu Yao Yulin Cheng Mingquan

(Faculty of Urban Construction)

ABSTRACT This paper introduces the formula of total water headloss of MC media filter and discusses the parameters of design calculation of MC media filter through the experiment. In the end, the optimal design calculation method and its program diagram are given. The method is important to guide the design of MC media filter.

KEY WORDS total water headloss, cordierite-mullite (MC) media filter, optimal design calculation