

莫莱石——堇青石(MJC)滤料滤层反冲洗理论

王 圃** 姚雨霖 程民权

(城市建设学院)

摘 要 本文以理论推导和实验研究为基础,提出了多微孔莫-堇滤料滤层反冲洗计算公式和防止双层莫-堇-煤滤层发生混杂必须满足的条件。所得公式计算精度较高,不仅可用来指导莫-堇滤池的设计,而且可作为其它多微孔滤料反冲洗计算的参考。

关键词 莫-堇滤层,反冲洗计算公式,反冲洗流速

中图法分类号 TU991.24

1 莫-堇滤层反冲洗水头损失计算公式

莫-堇滤料与石英砂滤料不同,它是一种多微孔、高孔隙率的介质,因此其反冲洗水头损失计算公式与石英砂不同。

莫-堇滤池反冲洗时,滤层悬浮于上升水流中,对厚为 L_0 的单位面积莫-堇滤层,滤层未反冲洗时总孔隙率为 m_2 ,闭孔孔隙率为 m_1 ,开孔孔隙率为 m_0 。反冲洗时,进入滤层水头为 H_1 ,流出水头为 H_2 ,则作用在单位面积滤层上的压力为:

$$P = \rho g(H_1 - H_2) \quad (1)$$

滤料层重量为:

$$\omega = (1 - m_2)L_0\rho_s g \quad (2)$$

式中 P ——单位面积滤层上的压力, g/cm^2 ;

ρ, ρ_s ——分别为水、莫-堇滤料密度, g/cm^3 ;

H_1 ——反冲洗时,进入滤层水头, cm 水柱;

H_2 ——反冲洗时,流出滤层水头, cm 水柱;

L_0 ——未膨胀时,滤料层厚度, cm ;

g ——重力加速度, cm/s^2 ;

m_2 ——莫-堇滤料层总孔隙率;

ω ——滤料层重量, g 。

单位面积滤层的体积 V 等于下列三部分体积之和。

(1) 滤层开孔孔隙体积 $V_1 = m_0 L_0 \times 1$

(2) 密实滤料体积 $V_2 = (1 - m_2)L_0 \times 1$

* 收稿日期:1994-06-09

** 王 圃, 1965年生, 讲师, 重庆建筑大学城市建设学院(630045)

(3) 闭孔孔隙体积 $V_3 = m_1 L_0 \times 1$

因 V_2, V_3 两部分体积不进水, 因此, 反冲洗水流对滤层的浮力 F 等于 V_2, V_3 两部分体积排开水的重量, 即:

$$\begin{aligned} F &= (V_2 + V_3) \times \rho g \\ F &= (1 - m_2 + m_1) L_0 \rho g \\ \text{得} \quad F &= (1 - m_0) L_0 \rho g \end{aligned} \quad (3)$$

当滤层完全膨胀时, 反冲洗水头损失近似为一恒定值, 则有:

$$P = \omega - F \quad (4)$$

把(1), (2), (3)式代入(4)式则有:

$$\rho g (H_1 - H_2) = (1 - m_2) L_0 \rho g - (1 - m_0) L_0 \rho g$$

整理得:

$$h = H_1 - H_2 = \left[\frac{\rho_s}{\rho} (1 - m_2) + m_0 - 1 \right] L_0 \quad (5)$$

式中 h ——莫-堇滤层反冲洗水头损失, cm。

(5)式即为莫-堇滤层反冲洗水头损失计算公式, 对其它多微孔滤料(5)式仍适用。对表面光滑的石英砂滤料滤层, 总孔隙率 m_2 与开孔孔隙率 m_0 相等, 则(5)式可变为:

$$h = \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) (1 - m_0) L_0 \quad (6)$$

(6)式即为众所周知的石英砂反冲洗水头损失计算公式, 因此, 所推求的公式(5)无论对多孔滤料滤层, 还是对表面光滑的石英砂滤料滤层均适用。通过(5)式计算的莫-堇滤层反冲洗水头损失值与实测值相对误差在5%范围以内, 精度较高。

2 莫-堇滤层反冲洗强度计算公式

在反冲洗水流作用下, 滤层厚度由 L_0 膨胀到 L , 则滤层膨胀率 e 为:

$$\begin{aligned} e &= \frac{L - L_0}{L_0} \\ L &= L_0 (1 + e) \end{aligned} \quad (7)$$

滤层未膨胀时, 开孔孔隙率为 m_0 , 膨胀后为 m , 由于滤层膨胀前后, 滤料实际固体部分体积不变, 则有:

$$(1 - m_0) L_0 = (1 - m) L \quad (8)$$

由(7), (8)两式得

$$m = \frac{e + m_0}{1 + e} \quad (9)$$

冲洗时, 上升水流的阻力为 $\eta \frac{\rho u^2}{l}$, η 为阻力系数, 是雷诺数 Re 的函数

$$\begin{aligned} \eta &= f(Re) \\ Re &= \frac{\rho u l}{\mu} \end{aligned} \quad (10)$$

$$u = \frac{v}{m} \quad (11)$$

$$l = \frac{m}{s} \quad (12)$$

$$s = \frac{6\alpha(1 - m_0)}{d} \quad (13)$$

式中 μ ——水的动力粘滞系数, $\text{g}/\text{cm} \cdot \text{s}$;
 u ——特征速度, cm/s ;
 l ——特征长度, cm ;
 v ——反冲洗流速, cm/s ;
 s ——单位体积滤层内颗粒总表面积, cm^2/cm^3 ;
 α ——滤料形状系数。

当滤层完全膨胀后, 滤层单位厚度、单位面积上动水压力降应等于阻力, 即:

$$\frac{\rho gh}{L} = \eta \frac{\rho u^2}{l} \quad (14)$$

把(7)、(11)、(12)、(13)代入(14)式得:

$$\eta = \frac{hg}{L_0} \cdot \frac{d}{6\alpha} \cdot \frac{e + m_0}{(1 + e)^3(1 - m_0)} \cdot \frac{1}{V^2} \quad (15)$$

把(11)、(12)、(13)代入(10)式得:

$$Re = \frac{d}{6\alpha} \cdot \frac{\rho}{\mu} \cdot \frac{1 + e}{(1 - m_0)} V \quad (16)$$

(15)、(16)式中右端各值均由实验测定, 根据实验数据, 在 $Re = 0.5 \sim 25$ 范围内, 过实验点群作 $\ln \eta - \ln Re$ 关系曲线(见图 1), 从中得出 $\eta - Re$ 关系为:

$$\eta = \frac{10.772}{Re^{0.9}} \quad (17)$$

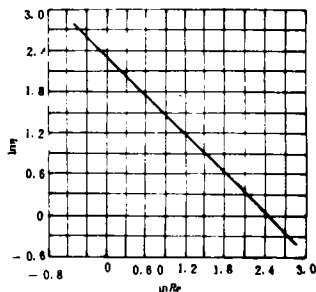


图 1 $\ln \eta - \ln Re$ 关系曲线

把(5)、(15)、(16)三式代入(17)式得莫 - 董滤层反冲洗流速计算公式为:

$$V = \frac{2.733}{\mu^{0.818}} \left(\frac{d}{\alpha} \right)^{1.727} \frac{(e + m_0)^{2.727}}{(1 + e)^{1.909} (1 - m_0)^{1.727}} \left[\frac{\rho_2}{\rho} (1 - m_2) + m_0 - 1 \right]^{0.909} \quad (18)$$

令

$$F(e, m_0, m_2) = \frac{(e + m_0)^{2.727}}{(1 + e)^{1.909} (1 - m_0)^{1.727}} \left[\frac{\rho_2}{\rho} (1 - m_2) + m_0 - 1 \right]^{0.909}$$

则(18)式可变为:

$$V = \frac{2.733}{\mu^{0.818}} \left(\frac{d}{a} \right)^{1.727} F(e, m_0, m_2) \tag{19}$$

用反冲洗强度 $q(l/s \cdot m^2)$ 可表示为:

$$q = \frac{27.33}{\mu^{0.818}} \left(\frac{d}{a} \right)^{1.727} F(e, m_0, m_2) \tag{20}$$

级配滤料,在进行反冲洗时,只有达到一定的临界冲洗强度后,滤层才全部流化和膨胀。如果滤层中一个具有代表性的最大滤料粒径 d_{max} 在冲洗时恰好处于临界状态,则比 d_{max} 粒径小的滤料一定会膨胀起来,冲洗强度按此条件定出,同时取 1.3 倍的安全系数,则有:

$$V = 1.3V_{max} \quad \text{或} \quad q = 13V_{max} \tag{21}$$

$$V_{max} = \frac{2.733}{\mu^{0.818}} \left(\frac{d_{max}}{a} \right)^{2.727} \frac{m_0^{1.727}}{(1 - m_0)^{1.727}} \left[\frac{\rho_2}{\rho} (1 - m_2) + m_0 - 1 \right]^{0.909} \tag{22}$$

由(19)式和(22)式得:

$$F(e, m_0, m_2) = 1.3V_{max} \frac{\mu^{0.818}}{2.733} \left(\frac{d_{max}}{a} \right)^{-1.727} \tag{23}$$

(21)、(22)式即为所求的反冲洗强度计算公式。莫-堇滤层的反冲洗膨胀率 e 可由(23)式和表 1 求出。表 1 为莫-堇滤层膨胀率 e 与 $F(e, m_0, m_2)$ 对应表,它是通过一系列实验得出的。

表 1 莫-堇滤层膨胀率 e 与 $F(e, m_0, m_2)$ 对应表(水温 20℃)

e	0.00	0.20	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.80	1.00
$f(e, m_0, m_2)$												
$m_0 = 0.60$	0.834	1.291	1.528	1.648	1.768	1.889	2.010	2.131	2.253	2.375	2.739	3.224
$m_2 = 0.63$												

3 双层莫-堇-煤滤层反冲洗水头损失计算公式

3.1 防止双层莫-堇-煤滤层混杂必须满足的条件

双层滤层首先应考虑的是如何防止混杂问题,对莫-堇滤料、煤滤料材性研究和实验研究表明,只要莫-堇滤料、煤滤料粒径选择合理,双层莫-堇-煤滤层混杂问题是可以防止的。

表 2 三种滤料水力粗度值比较(cm/s)(水温 20℃)

粒径(mm)	0.55	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.8
石英砂	11.45	12.48	15.82	16.28	18.80	21.32	23.36
莫-堇滤料	11.50	12.05	13.81	15.27	17.33	18.42	20.66
无烟煤	4.64	5.45	6.94	8.35	8.95	9.93	11.07

表 2 是三种不同滤料水力粗度值,即滤料颗粒在静水中单位时间的自由沉降值。它是研究滤料反冲洗后自然水力筛分情况的重要数据,也是研究双层滤层防止混杂的重要依据。

从表 2 知,0.55~1.3 mm 粒径莫-菟滤料水力粗度值与对应粒径石英砂滤料水力粗度值近似相同,而且莫-菟滤料、石英砂滤料最小粒径 0.55 mm 的水力粗度值比无烟煤波料最大粒径 1.8 mm 的水力粗度值还大。如同石英砂滤料与无烟煤波料可组成双层滤池一样,莫-菟滤料与无烟煤滤料也可组成双层滤池。由大量的过滤和反冲洗实验可知,莫-菟-无烟煤双层滤层只要满足(24)式,反冲洗时,就可防止两种滤料发生混杂,并得到良好的过滤效果。

$$\frac{d_{\max}'}{d_{\min}'} = 0.75 \times \frac{2.88 - 1}{r - 1} \quad (24)$$

式中 d_{\max}' ——无烟煤颗粒最大粒径,mm;
 d_{\min}' ——莫-菟滤料颗粒最小粒径,mm;
 2.88——莫-菟滤料比重,g/cm³
 r ——无烟煤比重,g/cm³。

由(24)知,无烟煤比重对 $\frac{d_{\max}'}{d_{\min}'}$ 影响很大,由实验得:

$$\text{无烟煤比重在 } 1.47 \sim 1.60 \text{ 时,要求 } \frac{d_{\max}'}{d_{\min}'} < 3$$

$$\text{无烟煤比重在 } 1.60 \sim 1.88 \text{ 时,要求 } \frac{d_{\max}'}{d_{\min}'} < 2$$

实验证明,在冲洗强度为 12~16 l/s·m² 时,只要满足上述条件,双层莫-菟-无烟煤滤层反冲洗后,分层效果良好,与石英砂-无烟煤双层滤池分层效果相当。

3.2 双层莫-菟-煤滤层反冲洗水头损失计算公式

滤层反冲洗时水头损失,等于单位面积上滤料层在水中的重量。当滤料完全膨胀后,水头损失近似为恒定值。

经推导得双层莫-菟-煤波层反冲洗水头损失计算公式为:

$$h = \left[\frac{\rho_s}{\rho} (1 - m_2) + m_0 - 1 \right] L_0 + \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) (1 - m'_0) L'_0 \quad (25)$$

式中 ρ_s ——无烟煤的密度,g/cm³;
 m'_0 ——无烟煤滤层的孔隙率;
 L'_0 ——无烟煤滤层未膨胀时的厚度,cm;
 其余符号同前。

(25) 式计算与实测值进行比较,相对误差在 6% 内,公式计算精度较高。

4 结 论

1) 多微孔莫-菟滤料反冲洗水头损失计算公式为: $h = \left[\frac{\rho_s}{\rho} (1 - m_2) + m_0 - 1 \right] L_0$, 该式对其它多微孔滤料亦适用。

2) 多微孔莫-菟滤料反冲洗流速和强度计算公式为:

$$V = \frac{2.733}{\mu^{0.818}} \left(\frac{d}{\alpha} \right)^{1.727} F(e, m_0, m_2)$$

$$q = \frac{27.33}{\mu^{0.818}} \left(\frac{d}{\alpha} \right)^{1.727} F(e, m_0, m_2)$$

$$F(e, m_0, m_2) = \frac{(e + m_0)^{2.727}}{(1 + e)^{1.909} (1 - m_0)^{1.727}} \left[\frac{\rho_s}{\rho} (1 - m_2) + m_0 - 1 \right]^{0.909}$$

3) 防止双层莫-堇-煤滤层反冲洗时发生混杂必须满足的条件为:

$$\frac{d'_{\max}}{d'_{\min}} = 0.75 \times \frac{2.88 - 1}{r - 1}$$

无烟煤比重在 1.47 ~ 1.60 时, 要求 $\frac{d'_{\max}}{d'_{\min}} < 3$

无烟煤比重在 1.60 ~ 1.88 时, 要求 $\frac{d'_{\max}}{d'_{\min}} < 2$

4) 双层莫-堇-煤反冲洗水头损失计算公式为:

$$h = \left[\frac{\rho_s}{\rho} (1 - m_2) + m_0 - 1 \right] L_0 + \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) (1 - m_0) L'_0$$

参 考 文 献

- 1 Cleasby J. L. et al. J. Am. water works Assoc. 1977, 115(69)
- 2 Clark, J. W. et al. water supply and pollution control. Harper and Row, 3rd ed, 397
- 3 Schroder E. D. water and wastewater treatment McGraw-Hill. Inc. 1977

(编辑:胡 玲)

THE BACKWASHING THEORY OF MJC MEDIA BED

Wang Pu Yao Yulin Cheng Minquan

(Faculty of Urban construction)

ABSTRACT On the basis of the theoretical deduction and experimental research, this paper introduces the backwashing calculation formulas of microporous MJC filter bed and necessary conditions of preventing dual MJC-anthracite media bed from mixing. The formulas are more accurate in calculation. They are not only used in guiding the design of MJC filter, but also used in giving the references of backwashing calculation of other microporous media bed.

KEY WORDS MJC filter bed, backwashing calculation formula, backwashing velocity