

石英砂均质滤料气水反冲洗强度数学模型的建立

王利平 金同轨 金伟如 殷震育

提要 根据石英砂均质滤料层气水反冲洗时不允许出现水力分级现象的特点,应用滤料层有效应力的概念和微小孔口注入液体压缩空气压力与空气流量的关系,推导建立了石英砂均质滤料层气水同时反冲洗时气洗强度与水洗强度关系的数学模型。

关键词 均质滤料层 气洗强度 水洗强度 数学模型

0 引言

石英砂均质滤料是上个世纪末在我国水处理行业中大量应用的一种高性能过滤填料。当石英砂新装入滤池时,这种滤层称为均质滤层,滤料则称为均质滤料^[1]。

Ives K. J. 说过:“过滤中最显著的不合理是使用了级配的滤料。”均质滤料的特点之一在于反冲洗时不允许滤料层出现水力分级现象,实际上要求整个滤料层自上至下的物理、化学条件都基本相同,这就为我们借用某些理论来研究建立石英砂均质滤料气水反冲洗强度数学模型创造了条件。

通过对均质滤料气水反冲洗试验现象观察分析可知^[2],在气水反冲洗时,滤料颗粒发生碰撞摩擦作用主要与滤层的有效应力、空气流量和水流速度有关。气水反冲洗的计算问题实质上就是建立滤料发生碰撞摩擦时气洗强度与水洗强度之间的关系。

1 滤层有效应力的概念

滤层的构成类似于土壤,由固体颗粒和颗粒间空隙构成。滤料颗粒相互接触,当滤层受到外力作用时,颗粒间将相互传递力的作用,在滤层中产生正压力和剪切力。在单位面积滤层上,颗粒所承受的总压力与孔隙水压力之差称为有效应力^[3]。

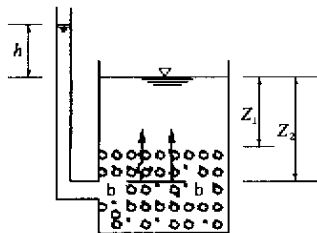


图1 向上流的饱和滤层

对于向上流滤层某断面 b-b 上的有效应力应等于 b-b 断面上的压应力与 b-b 断面的孔隙水压力之差(见图1)。

$$N = [\rho Z_1 + \rho_m (Z_2 - Z_1)] g \quad (1)$$

$$P = \rho (Z_2 + h) g \quad (2)$$

式中 N ——压应力,方向向下, N/m^2 ;

P ——孔隙水压力,方向向上, N/m^2 ;

ρ ——水的密度, kg/m^3 ;

ρ_m ——滤料饱和密度, kg/m^3 ;

h ——水流从下至上通过滤料层时的水头损失, m ;

Z_1 ——滤池水面至滤层表面高度, m ;

Z_2 ——滤池水面至滤层 b-b 断面高度, m 。

ρ_m 可近似按(3)式计算:

$$\rho_m = \rho \epsilon_0 + \rho_s (1 - \epsilon_0) \quad (3)$$

式中 ρ_s ——滤料颗粒的密度, kg/m^3 ;

ϵ_0 ——清洁滤料层孔隙率;

其余符号同前。

将(3)式代入(1)式得:

$$N = \rho Z_1 g + [\rho \epsilon_0 + \rho_s (1 - \epsilon_0)] (Z_2 - Z_1) g \quad (4)$$

则 b-b 断面的有效应力为:

$$\sigma = N - P = (\rho_s - \rho) (1 - \epsilon_0) (Z_2 - Z_1) g - \rho g h \quad (5)$$

2 气水反冲洗强度数学模型的建立

2.1 微孔压缩空气压力公式

Davidson 和 Schuler 在研究气体从微小孔口注入液体的问题时给出如下关系式^[4]:

$$P = KQ^2 + \rho g H + 2T/r \quad (6)$$

式中 P ——压缩空气压力；

Q ——压缩空气流量(即气冲强度)；

$\rho g H$ ——静水压力；

T ——气泡的表面张力；

r ——气泡的半径；

K ——试验常数。

(6)式的适用条件是：①恒定的空气压力；②恒定的空气流量。上式表明空气压力与空气流量、静水压力和气泡的表面张力有关。

2.2 气泡半径的确定

设滤料颗粒的直径为 d_s ，气泡在滤层孔隙中的直径为 d ，则滤层中气泡的半径可由几何作图法近似推导求得。由图2中几何关系得：

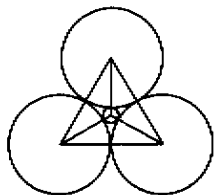


图2 气泡半径与滤料直径的几何关系

$$\cos 30^\circ = \frac{d_s/2}{d_s/2 + d/2} \quad (7)$$

则可求得气泡半径与滤料颗粒直径的关系为：

$$r = \frac{2 - \sqrt{3}}{\sqrt{3}} \times \frac{d_s}{2} \quad (8)$$

2.3 气泡表面张力

气泡表面张力与气泡的浮力存在下列平衡关系式^[5]：

$$2\pi r_0 T = 4/3 \times \pi r^3 (\rho - \rho_g) g \quad (9)$$

式中 r ——气泡半径；

ρ ——水体密度；

ρ_g ——从半径 r_0 的孔口冒出来的气体密度；

g ——重力加速度。

将(8)式代入(9)式中，得到气泡表面张力与滤料颗粒直径的关系式：

$$T = \frac{1}{12} \left[\frac{2 - \sqrt{3}}{\sqrt{3}} \right]^3 (\rho - \rho_g) \frac{g}{r_0} d_s^3 \quad (10)$$

2.4 气水同时冲洗时气洗与水洗强度的关系

将(8)式和(10)式代入(6)式，化简得：

$$P = KQ^2 + \rho g H + \frac{1}{9} (2 - \sqrt{3})^2 (\rho - \rho_g) \frac{g}{r_0} d_s^2 \quad (11)$$

在气水反冲洗时，欲使滤层的滤料发生碰撞摩擦的必要条件是空气的压力除了克服静水压力外，还需提供反抗滤层垂直有效应力的上推力，即应满足(12)式：

$$P = \sigma + \rho g H \quad (12)$$

将(11)式和(5)式代入(12)式得：

$$KQ^2 + \rho g H + \frac{1}{9} (2 - \sqrt{3})^2 (\rho - \rho_g) \frac{g}{r_0} d_s^2 = (\rho_s - \rho) (1 - \epsilon_0) (Z_2 - Z_1) g - \rho g h + \rho g H \quad (13)$$

在气水同时冲洗时，冲洗水流速较低(一般为 $13 \sim 15 \text{ m/h}$)，且滤层处于未流化态，因此，滤层中水头损失 h 可采用层流条件下 Mintz 的反冲洗水头损失公式计算：

$$h = 0.188 \mu^2 \frac{(1 - \epsilon_0)^2}{\epsilon_0^3} \times \frac{v}{d_m^2} Z_0 \quad (14)$$

式中 μ ——水的动力粘度；

——滤料颗粒形状系数；

v ——通过滤层水流速度；

d_m ——滤料颗粒当量直径；

Z_0 ——滤层厚度；

其余符号同前。

将(14)式代入(13)式，得到石英砂均质滤料层在气水同时反冲洗时的气洗强度和水洗强度的数学模型为：

$$KQ^2 = (\rho_s - \rho) (1 - \epsilon_0) Z_0 g - \frac{1}{9} (2 - \sqrt{3})^2 \times (\rho - \rho_g) \frac{g}{r_0} d_s^2 - 0.188 \mu^2 \times \frac{(1 - \epsilon_0)^2}{\epsilon_0^3} \times \frac{\rho g v}{d_m^2} Z_0 \quad (15)$$

3 结论

从(15)式可以看出，反冲洗气洗强度受滤料特性、粒径、滤层厚度因素影响外，与水洗强度成抛物线变化。较小的水洗强度需要较大的气洗强度；反之，需要较小的气洗强度。这与石英砂均质滤料层

复杂供水管网简化计算的研究

高金良 赵洪宾

提要 提出了一种用于管网简化的新算法,其具有可适应各种管网拓扑结构,计算结果准确,可任意确定管网简化程度的特点。经比较管网简化前后的模型,简化精度能够满足管网计算的要求。该算法的实现,为供水系统实时优化调度奠定了基础。

关键词 复杂管网 供水管网 简化 线性模型 非线性模型

1 管网简化的目的、意义

我国城市配水管网随着城市的发展逐渐形成庞大的网络系统。密如蛛网的配水管网使管网的计算分析极度困难。为此提出对复杂庞大的配水管网进行简化。管网简化主要有 3 个用途 ①加速管网分析计算 ②求出宏观管网图形 ③实现管网优化调度计算。

对于管网优化调度这一重要课题,由于大规模混合离散非线性模型求解十分困难,复杂管网模型优化的数学问题远比管网简化更困难。用简化后的管网模型,实现优化调度的计算是重要途径。目前,国内供水系统优化技术中单纯采用宏观、微观模型都有一定的问题,尚缺少有效的管网简化方法。

2 管网简化的常用方法

2.1 管线省略

管线省略的原则是,通常情况下,管径的大小与管线在供配水中的作用和水力条件的影响成正比。在管网计算允许的范围内,逐步去掉小管径的管线,同时对省略管线附近的管线的水力参数进行处理。但需要人为地判断管线对管网工作的影响程度(如干线间的小连通管等),且不可避免地产生计算误差,尤其对于构成环的小管径的管线很难省略^[1]。

2.2 管线合并

并联、串联管线的合并在理论上可以得到精确的计算结果,在大中城市的给水管网中,有 30% 的管线可以做此简化处理。此外平行管线合并和管线省略需要考虑对其四周管线的处理。

2.3 管线分解

管线分解是指一个供水区域仅由少数几条管线供水,与其他管网相连时,可以将连接的管线断开,将一个管网分解为两个独立的管网,对两个管网分别单独计算。在连接管线的流向、压力和流量易于确定时可以分解,而我国大多数管网成环布置,一个供水区域与外部管网多处连接,此方法一般亦难以实现。

3 管网简化的理论

对于给水管网,节点和管段之间关联可以由关联矩阵 Δ 来表示。矩阵的每行对应着每一个节点 $n=1,2,\dots,N$;每列对应着每一条管段 $j=1,2,\dots,J$ 。在矩阵 Δ 中,每一列仅有两个非零元 1, -1, 分别对应于该管段的起始节点和终止节点,其余元素为 0。每一行有 1, -1, 分别对应于流入和流出该节点的管段。则给水管网的水头损失方程,连续性方程和能量方程可表示为

气水反冲洗实际运行操作相一致。

参考文献

- 1 许保玖,安鼎年. 给水处理理论与设计. 北京:中国建筑工业出版社,1992
- 2 王利平,金同轨,等. 石英砂均质滤料气水反冲洗试验研究. 给水排水,1996,22(1):16~18
- 3 陈希哲. 土力学地基基础. 北京:清华大学出版社,1989
- 4 Amirtkarajak A. Fundamentals and Theory of Air Scour. ASCE, 1984, (3)

- 5 施宁光,等译. 二相流动. 北京:国防工业出版社,1985

○作者通讯处 014010 包头市昆区阿尔丁大街 7 号
包头钢铁学院环境工程系

电话:(0472)5951567

金同轨 710055 西安建筑科技大学
环境与市政工程学院

金伟如 518046 深圳市自来水公司

收稿日期 2002-1-18