

压力过滤器理论反冲洗时间的确定

于忠臣¹, 王松², 吴国忠¹, 吕炳南³

(1 大庆石油学院 土木建筑工程学院, 黑龙江 大庆 163318, E-mail: yuzi7777@163.com, 2 哈尔滨工业大学
应用化学系, 哈尔滨 150001, 3 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 哈尔滨 150090)

摘 要: 基于水力和机械搅拌作用下的过滤器反冲洗, 以反应区中污染物浓度为研究对象, 分析了污染物浓度随时间的变化规律, 建立了反冲洗过程的数学模型, 推导出反冲洗方程, 确定了理论的反冲洗时间, 最后通过理论和实验结果的对比分析, 证明了理论反冲洗时间 18~20 min 的合理性。

关键词: 过滤; 理论反冲洗时间; 数学模型

中图分类号: X172

文献标识码: A

文章编号: 0367-6234(2006)08-1267-03

Determination of theoretical backwashing time in pressure filter

YU Zhong-chen¹, WANG Song², WU Guo-zhong¹, LU Bing-nan³

(1. School of Civil Architecture Engineering, Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318 China, 2 Dept of Applied Chemistry, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001 China, 3 School of Municipal and Environment Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090 China)

Abstract: The paper bases filter backwashing on mechanical stir and hydraulic effect, and studies effluent concentration of reaction zone, the relation between effluent concentration and backwashing time are also analyzed. A mathematical model of backwashing progress and the equation of backwashing are set up and the theoretical backwashing time is obtained. At last the accuracy of 18~20 min theoretical backwashing time is discussed by comparing experimental result with theoretical result.

Key words: filter; theoretical backwashing time; mathematic model

近年来新型过滤介质的应用,对滤料的反冲洗提出了新的要求.核桃壳作为一种轻质、高强的颗粒材料,具有优良的过滤性能,以核桃壳为过滤介质的压力过滤器被广泛地应用于含油污水的处理,但核桃壳对污染物(特别是油)有相对较大的黏附性,采用机械搅拌辅以水力反冲可对滤料有效再生,但反冲洗时间多采用经验值,导致压力过滤器的运行工况千差万别,因此过滤器的理论的反冲洗时间的推求更具有实践意义。

文献[1]都曾建立数学模型对石英砂滤料理论的反冲洗时间作了分析,他们主要以滤料颗粒直径作为研究对象,并以此建立了数学模型,但因滤料粒径本身的不规则性和不均一

性,以及检测手法过于微观,难以在实际中形成指导意义.本文从另一个视角基于过滤器在反冲洗时存在机械搅动和水力反冲的双重作用,以反冲洗出水浓度为研究对象,建立反冲洗的数学模型,对压力过滤器所必需的理论反冲洗时间进行了分析和探讨。

1 核桃壳的理化性质

核桃壳为果壳类过滤材料,属于轻质的过滤介质,多用于处理含油污水的过滤介质,国内最早于 20 世纪 80 年代应用于海洋油田,脱脂核桃壳呈深褐色,色泽新鲜,表面粗糙,其理化指标为:粒径 0.8~1.2 mm;真密度 1.24 g/cm³;堆积密度 0.55 g/cm³;孔隙率 77.45%;浸水体积变化率 29%。

2 反冲洗数学模型的建立

在反冲洗时,滤料颗粒发生碰撞摩擦作用力

收稿日期: 2005-03-07.

作者简介: 于忠臣(1975—),男,硕士;

吕炳南(1940—),男,教授,博士生导师.

主要与滤层的有效应力有关,且颗粒间将相互传递这种力的作用,并在滤层中产生正压力和剪切力^[3].

2.1 假设条件

- 1)反洗再生时,在搅拌器的作用下反冲洗水进入主反应区后立即与污染物达到完全混合.
- 2)在 t 时刻,污染物在主反应区内的浓度分布均一、稳定,并与出流浓度相同.
- 3)在主反应区内,不存在短路的现象.

2.2 模型的建立

2.2.1 过滤器反冲洗控制过程

反冲洗被两个参数所控制,分别是反冲洗强度和反冲洗历时.第 1 个过程在机械搅拌的条件下容易实现,那么第 2 个过程就成为整个反冲洗的控制过程.

2.2.2 主反应区的确定

核桃壳的密度与水接近,在搅拌和上升水流的作用下滤料可产生较大的膨胀率,并使污染物和滤料在过滤器内形成一个上下翻腾的主反应区,在反应区内水和污染物可达到完全混合.而在主反应区外由于反冲洗水上升流速和排水出流速度,使反冲洗水、污染物和滤料不断地进入主反应区(图 1 中虚线所圈部分),在主反应区内完成传质的过程,最后污染物经主反应区随出水排出体外.主反应区体积 V 是通过实验和理论分析而得到,实验发现搅拌器的作用使滤料在主反应区内上下翻腾,从而完成了颗粒滤料和污染物的分离.主反应区是以搅拌叶片为形心的类似圆柱体,观察到搅拌器服务区可以达到叶片上部和下部的 0.8 m 处,因此主反应区体积 V 的数学表达式为 $V = \frac{\pi D^2}{4} \times (0.8 + 0.8) = 0.4\pi D^2$.

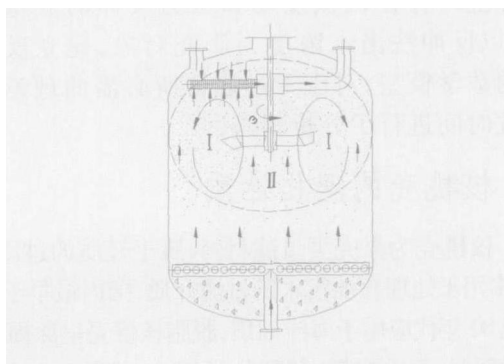


图 1 主反应区位置示意图

2.2.3 建模

已知反冲洗开始时过滤器的含污量为 m_1/g ,反冲洗水含污染物质量浓度为 $C_0/\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,主反应区的体积为 V/m^3 ,反冲洗时间为 t/s ,反冲洗强

度 $q/\text{L}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$,反冲洗水量 $Q/\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,过滤器的直径 D/m .

设在反冲洗经历时间 t 时,主反应区内的污染物的含量为 m ,则在时间间隔 $[t, t + dt]$ 内,进入主反应区的污染物的量为 $C_0 Q dt$,此时主反应区污染物的浓度为 $\frac{m + C_0 Q dt}{V}$,流出主反应区的污染量为 $\frac{m + C_0 Q dt}{V} Q dt$,则在时间间隔 dt 内主反应区系统的物料平衡图如图 2 所示:

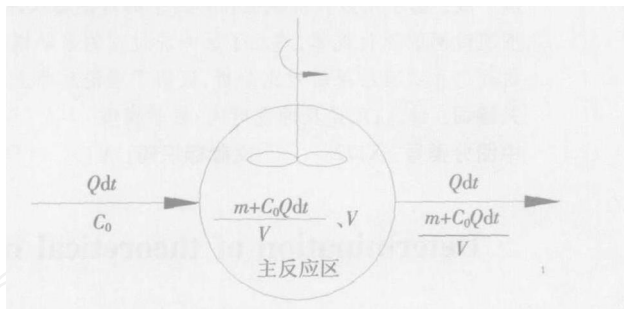


图 2 在 dt 时间间隔内主反应区系统的物料平衡建立物料平衡方程为:

污染物的改变量 dm = 流入主反应区污染物的量 - 流出主反应区污染物的量

$$\text{因此有: } dm = C_0 Q dt - \frac{m + C_0 Q dt}{V} Q dt$$

$$\text{即: } dm = C_0 Q dt - Q \frac{m}{V} dt - C_0 \frac{Q^2}{V} (dt)^2.$$

在微小的时间间隔 dt 内, $C_0 \frac{Q^2}{V} (dt)^2$ 是 Q

$\frac{m}{V} dt$ 关于 dt 的高阶无穷小,舍去高阶无穷小量,

$$\text{则有微分方程: } \frac{dm}{dt} + \frac{Q}{V} m = C_0 Q.$$

$$\text{解一阶线性微分方程有: } m = e^{-\frac{Q}{V}t} \left(\int C_0 Q e^{\frac{Q}{V}t} dt + \text{const} \right).$$

记,

$$m = e^{-\frac{Q}{V}t} \left(C_0 V e^{\frac{Q}{V}t} + \text{const} \right). \quad (1)$$

当 $t = 0$, $m = m_1$,得常数 $\text{const} = m_1 - C_0 V$. 故式 (1) 为

$$m = C_0 V + (m_1 - C_0 V) e^{-\frac{Q}{V}t}, \quad (2)$$

式 (2) 的两边同时除以主反应区的体积 V , 有

$$C = C_0 + \left(\frac{m_1}{V} - C_0 \right) e^{-\frac{Q}{V}t}. \quad (3)$$

把 $V = 0.4\pi D^2$ 、 $Q = \frac{\pi D^2 q}{4000}$ 和 $t = 60T$ 代入式 (3), 得理论的反冲洗方程为

$$C = C_0 + \left(\frac{m_1}{0.4\pi D^2} - C_0 \right) e^{-\frac{\pi D^2 \times 60}{4000 \times 0.4\pi D^2} qT} =$$
$$C_0 + \left(\frac{m_1}{0.4\pi D^2} - C_0 \right) e^{-\frac{3}{80} qT} \quad (4)$$

式中： C 为反冲洗经历时间 T 时主反应区内污染物的浓度， $g \cdot m^{-3}$ ； m_1 为反冲洗开始时过滤器内污染物质， g ； C_0 为反冲洗水含污染物的浓度， $g \cdot m^{-3}$ ； T 为反冲洗时间， min ； D 为过滤器的直径 m ； q 为反冲洗强度， $L \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$ 。

因此,反冲洗时出水污染物质量浓度 C 和时间 T 的变化关系式为： $C = C_0 + \left(\frac{m_1}{0.4\pi D^2} - C_0 \right) e^{-\frac{3}{80} qT}$ ，

3 参数的确定

过滤器的理论反冲洗时间是污染物浓度和反冲洗强度的函数,求解的关键是,首先确定核桃壳过滤器的反冲洗强度,并分析反冲洗过程中污染物浓度的变化过程及规律。

3.1 过滤器反冲洗强度 q 的确定

对于核桃壳这种轻质的过滤介质,过滤器的反冲洗强度 q 值为 $8 L s^{-1} m^{-2}$ 左右。

3.2 理论反冲洗时间 T 的确定

根据式 (4) 排出水污染物浓度的变化规律,推求出排除 99% 污染物质质量所需要的时间 T 作为反冲洗时间^[4-5]。

定义 η 为污染物的去除率,是污染物的去除量与污染物总量之比。显然有, $\eta = \frac{m_1 - C \times V}{m_1}$ 。

把式 (4) 代入上式得到,污染物的去除率 η 随时间 T 的变化规律为

$$\eta = 1 - \frac{0.4 \times \pi \times D^2 \times C_0}{m_1} -$$
$$\left(1 - \frac{0.4 \times \pi \times D^2 \times C_0}{m_1} \right) e^{-\frac{3}{80} qT} \quad (5)$$

4 对比结果及讨论

以大庆采油二厂某联合站直径 $\phi 3.0 m$ 的核桃壳过滤器为例,对理论反冲洗时间和实际反冲洗时间进行对比。在反冲洗开始时过滤器内的理论含油量 m_1 为 $360\ 315 g$, C_0 为 $15\ g \cdot m^{-3}$, q 为 $8\ L s^{-1} m^{-2}$, 代入式 (4) 得出反冲洗时出水 C 和 T 变化的函数关系式为 $C = 15 + 31\ 860 e^{-0.37T}$ 。同理,代入式 (5) 得出污染物的理论去除率 η 和时间 T 变化的函数关系式为 $\eta = 0.999\ 53 - 0.999\ 53 e^{-0.37T}$ 。把 C 和 T 的变化关系,以及 η 和 T 的变化关系,见图 3

从图 3 可看出,时间在 $0 \sim 11\ min$ 的时间内,理论

去除率比实际去除率略高。分析其原因,主要是模型假设每一瞬间污染物和反冲洗水达到完全混合,实际上不可避免反冲洗过程中过滤器内存在死角,因此导致反冲洗开始时实际的去除率偏低。但在反冲洗后期不论是污染物浓度变化曲线,还是污染物去除率变化曲线,其理论值和实验值吻合得都较好,主要是随着反冲洗过程地进行,过滤器内污染物质大大降低,弱化了混合不均一所带来的影响。

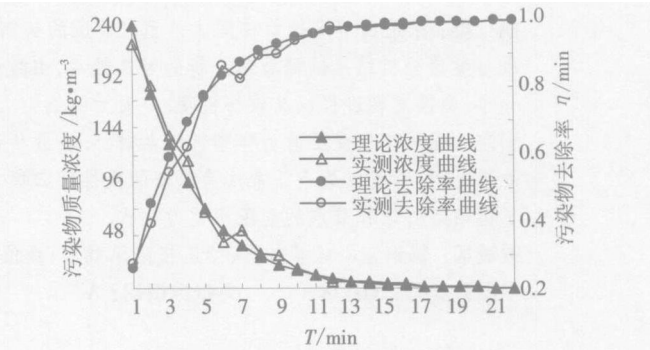


图 3 理论值和实验值的比较图

反冲洗时间达到 $14\ min$ 时,污染物的去除率可达 $98.5\% \sim 99\%$,考虑到反冲洗过程中可能的影响因素,把反冲洗过程中污染物的去除率为 99.5% 的时间确定为反冲洗时间^[6],从图上理论污染物去除率曲线可看出反冲洗时间为 $18 \sim 20\ min$ 。另外从实测污染物去除率曲线分析知,模型计算结果是正确的,反冲洗时间为 $18 \sim 20\ min$ 也是符合实际的。

5 结 论

反冲洗时间 $18 \sim 20\ min$ 从理论和实际结果进行了对比分析看是合理的,模型是正确的,可以用来描述整个反冲洗过程。

参考文献:

[1] BHARGAVA D S, OJHA C S Theoretical analysis of backwash time in rapid sand filter [J]. Waster Research, 1989, 23 (5): 581 - 587.

[2] AM RITHARAJAH A. The interface between filtration and backwashing[J]. Waster Research, 1985, 19 (5): 581 - 588

[3] 王利平,金同轨,金伟如,等. 石英砂均质滤料气水反冲洗强度数学模型的建立 [J]. 给水排水, 2002, 28 (8): 26 - 32

[4] AD N A, DEAN L, NASSER A, et al Characterization and destabilization of spent filter backwash water particles[J]. Wat Sci Tech: Water Supply, 2002, 45 (2): 115 - 122

[5] 刘俊新,李圭白. 滤池气水反冲洗时排水浊度变化的数学模式 [J]. 哈尔滨建筑工程学院学报, 1989, 22 (4) 60 - 67.

(编辑 姚向红)