

污泥回流对平流式沉淀池去除率的影响分析

邹志红¹, 张薇¹, 隋军²

(1. 北京航空航天大学经济管理学院, 北京 100083; 2. 广州市市政工程设计研究院, 广州 510060)

摘要: 针对目前的沉淀理论没有考虑回流污泥量将影响颗粒去除效率这一问题, 在深向混合沉淀理论的基础上, 得出了考虑回流比的非理想沉淀模型. 根据所得模型分析了在平流沉淀池中吸泥机带走的污泥回流量对颗粒沉降的影响. 并以某污水悬浮物的剩余量与沉速关系曲线为例进行分析. 结果表明, 在不考虑污泥回流的情况下, 颗粒的去除率为 72.8%; 考虑污泥回流时, 当回流比由 0.5 变化到 3.0 时, 颗粒的去除率则由 71.1% 递减到 50.9%, 均小于不考虑污泥回流时的去除率, 且回流比为 3.0 时, 颗粒的去除率为 50.9%, 相对于未考虑回流污泥时的去除率降低了 30%. 由此可见, 污泥回流量使悬浮颗粒的去除率小于无回流量时的去除率, 且随着回流比的增大颗粒沉降效率将显著减小.

关键词: 沉淀理论; 非理想沉淀; 深向混合沉淀; 颗粒沉降; 污泥回流

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)05-1016-04

Analysis of Effect of Sludge Recirculation on Setting Efficiency in Horizontal Sedimentation Tank

ZOU Zhi-hong¹, ZHANG Wei¹, SUI Jun²

(1. School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100083, China; 2. Guangzhou Municipal Engineering Design & Research Institute, Guangzhou 510060, China)

Abstract: The problem that the present sediment theory does not consider sludge recirculation effect on the efficiency of particle settling is studied. Based on the longitudinal mixing settling theory, an imperfect sediment model that takes reflux ratio in consideration is built. According to the established model, the study analyzes the effect of sludge recirculation taken by suction dredge on particle setting, in horizontal sedimentation tank. Specifically, the relation between overplus of sewerage suspension and sedimentation rate was chosen as an example. Shown as a result, when sludge recirculation is not taken in consideration, efficiency of particle settling is 72.8%. However, when sludge recirculation increases from 0.5 to 3.0, efficiency of particle settling decreases from 71.1% to 50.9%, which is smaller than efficiency of particle settling without recirculation; and when sludge recirculation is 3.0, efficiency of particle settling is 50.9%, which is approximately 30% less than efficiency of particle settling without recirculation. So, sludge recirculation make efficiency of particle settling is smaller than efficiency of particle settling without recirculation, and the efficiency of particle settling reduces with the increase of reflux ratio.

Key words: settling theory; imperfect sediment; longitudinal mixing settling; particle setting; sludge recirculation

一般沉淀池都是根据理想沉淀池的沉淀理论和污水悬浮物沉淀试验资料来设计, 当没有试验资料时, 参照相似沉淀池的运行情况和经验参数, 根据沉淀理论来确定沉淀池的设计参数^[1~7]. 但是实际沉淀池中存在着各种有害流态^[8~11], 因此悬浮物的沉降是属于不同程度的非理想沉淀, 且传统的沉淀理论没有考虑污泥回流 RQ 对颗粒沉淀的影响^[12~14], 导致设计存在一定的误差. 本研究分析了存在污泥回流时的非理想沉淀理论, 对完善沉淀池的设计理论具有重要意义^[15].

1 深向混合沉淀

半混合沉淀(深向混合沉淀)是处于理想沉淀与完全混合沉淀这 2 种极端水流流态的中间状态, 是一种非理想沉淀^[16]. 深向混合沉淀假设池中水流在深向的浓度均匀, 水流在纵向的浓度自进口至出口

由浓至稀递减, 图 1 为深向混合沉淀示意.

单位时间流入 ab 断面的 u_s (表示颗粒的沉降速度为 u_s) 颗粒量为 Qc (其中, Q 表示流量, c 表示浓度), 从 cd 断面流出的 u_s 颗粒量为 $Q(c + dc)$, 单位时间沉到池底 bc 上 u_s 的颗粒量为 $u_s c B dx$ (沉到池底即被认为去除), 其中 B 是沉淀池的宽度. 在平衡状态下, $abcd$ 内的 u_s 颗粒量:

$$Qc - Q(c + dc) = u_s c B dx \quad (1)$$

$$\int_{c_{u_s}}^{c_L} \frac{dc}{c} = \int_0^L - \frac{u_s B}{Q} dx$$

收稿日期: 2006-05-17; 修订日期: 2006-11-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(50378008)

作者简介: 邹志红(1958~), 女, 副教授, 博士, 主要研究方向为水质模型与水质评价方法及应用, E-mail: zouzhihong@buaa.edu.cn

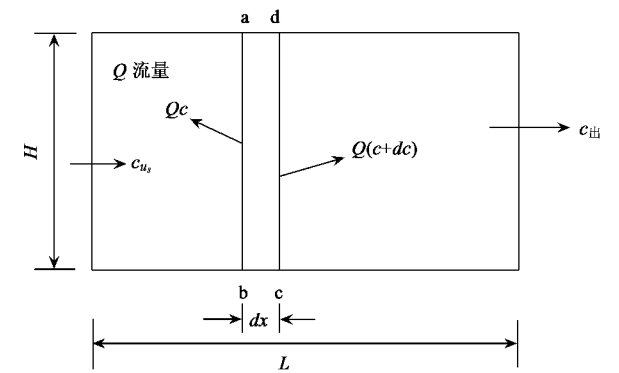


图 1 深向混合沉淀示意
Fig.1 Longitudinal mixing settling

$$c_L = c_{u_s} e^{-\frac{u_s BL}{Q}} \quad (2)$$

式中, c_{u_s} 表示进入沉淀池的水中沉速为 u_s 颗粒的浓度, c_L 表示距离进水口 L 处的沉速为 u_s 颗粒的浓度.

显然, c_L 与沉速为 u_s 颗粒的出水浓度相等, 设 $c_{出}$ 表示沉速为 u_s 颗粒的出水浓度, 则有 $c_L = c_{出}$. 故可由(2)式得 u_s 颗粒的去除率^[17]:

$$\eta_{u_s} = 1 - \frac{c_{出}}{c_{u_s}} = 1 - e^{-\frac{u_s BL}{Q}} \quad (3)$$

在去除率确定的情况下, 将颗粒去除率公式与悬浮物的沉速分配公式相组合, 可得到平流沉淀池的悬浮物去除率模型.

此模型没有考虑污泥回流量对颗粒沉降的影响, 考虑回流污泥时, 在进水端至吸刮泥机位置处的沉淀区, 污水的水平流速加大, 则悬浮颗粒沿水流方向的分速加大, 最终导致悬浮颗粒的去除率将小于未考虑回流量时颗粒的去除率. 因此, 考虑回流污泥影响的模型将更接近实际沉淀池.

2 考虑污泥回流时的沉淀池去除率模型

以平流式沉淀池纵向吸刮泥机为例, 分析污泥回流量对颗粒沉淀效率的影响. 假设沉淀池中水流在深向的浓度均匀, 水流在纵向的浓度自进口至出口由浓至稀递减, 则应用深向混合沉淀理论可得考虑污泥回流时的沉淀池去除率模型. 沉淀池进水量为 $Q + RQ$, 其中 R 为回流比, 出水量为 Q , 吸泥机排泥量为 RQ , 吸泥机距沉淀区起始端与终端的位置分别为 L_1 、 L_2 , 沉淀池长 L , 池深 H , 池宽 B , 如图 2 所示. 此部分先考虑某固定颗粒的去除率, 然后结合沉速分配公式, 得悬浮物的去除率模型. 固定颗粒

的沉速设为 u_s .

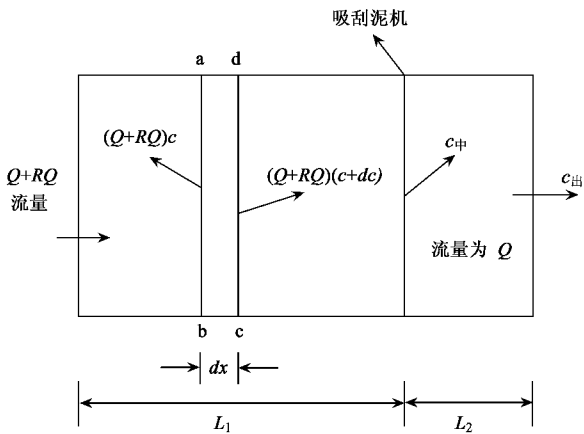


图 2 考虑排泥量的深向混合沉淀示意
Fig.2 Longitudinal mixing settling considering sludge recirculation

2.1 吸刮泥机固定不动时的去除率

2.1.1 进水端至吸刮泥机位置处

单位时间流入 ab 断面的 u_s 颗粒量为 $(Q + RQ)c$, 从 cd 断面流出的 u_s 颗粒量为 $(Q + RQ)(c + dc)$, 单位时间沉到池底 bc 上的 u_s 颗粒量为 $u_s c B dx$. 在平衡状态下, $abcd$ 内的 u_s 颗粒量:

$$(1 + R)Qc - (1 + R)Q(c + dc) = u_s c B dx \quad (4)$$

$$\int_{c_{u_s}}^{c_{中}} \frac{dc}{c} = \int_0^{L_1} -\frac{u_s B}{(1 + R)Q} dx$$
$$c_{中} = c_{u_s} e^{-\frac{u_s BL_1}{(1 + R)Q}} \quad (5)$$

式中, c_{u_s} 表示进入沉淀池的水中沉速为 u_s 颗粒的浓度, $c_{中}$ 表示在吸刮泥机处的颗粒浓度.

2.1.2 吸刮泥机位置处至出水端

用同样方法列出吸泥机之后的物料平衡方程^[18], 由于吸刮泥机的作用, 此时的流量为 Q :

$$Qc - Q(c + dc) = u_s c B dx \quad (6)$$

$$\int_{c_{u_s}}^{c_{中}} \frac{dc}{c} = \int_0^{L_2} -\frac{u_s B}{Q} dx$$
$$c_{出} = c_{中} e^{-\frac{u_s BL_2}{Q}} \quad (7)$$

式中, $c_{出}$ 表示颗粒的出水浓度.

2.1.3 颗粒去除率

沉淀区进水端与吸刮泥机的终端浓度等于吸刮泥机与沉淀区出水端的初始浓度, 于是将式(5)代入式(7)即可得到吸刮泥机固定不动时单个颗粒出水浓度:

$$c_{出} = c_{u_s} e^{-\frac{u_s B}{Q} \left(\frac{L + RL_2}{1 + R} \right)} \quad (8)$$

式中, $L = L_1 + L_2$

由(8)式可以求出吸泥机固定时沉速为 u_s 的颗粒去除率:

$$\eta_{u_s \text{ 固定}} = 1 - \frac{c_{\text{出}}}{c_{u_s}} = 1 - e^{-\frac{u_s B}{Q} \left(\frac{L + RL_2}{1 + R} \right)} \tag{9}$$

2.2 吸刮泥机行走时的去除率

由式(9)可知, 单个颗粒的沉淀效率与吸刮泥机距出水端的位置有关, 考虑污泥回流时沉速为 u_s 的颗粒的平均去除效率为:

$$\begin{aligned} \eta_{u_s} &= \frac{1}{L} \int_0^L \left[1 - e^{-\frac{u_s B}{Q} \left(\frac{L + Rx}{1 + R} \right)} \right] dx \\ &= 1 + \frac{(1 + R)Q}{Ru_s A} \left(e^{-\frac{u_s A}{Q}} - e^{-\frac{u_s A}{Q(1 + R)}} \right) \end{aligned} \tag{10}$$

2.3 悬浮物总去除率

将颗粒去除率公式与悬浮物的沉速分配公式相组合, 可解得平流沉淀池考虑回流量时的悬浮物去除率模型^[19].

根据悬浮液的沉速分配公式 $p_s = ku_s^n$ 可得颗粒沉速的特性如下:

当 $p_s = 1$ 时: $u_s = u_{\max} = k^{-\frac{1}{n}}$

当 $p_s = 0$ 时: $u_s = u_{\min} = 0$

以 $dp_s = knu_s^{n-1} du_s$ 结合颗粒去除率公式(10)可得总的去除率模型:

$$\eta = \int \eta_{u_s} dp_s \tag{11}$$

将式(10)代入式(11)

$$\begin{aligned} \eta &= \int_0^{u_{\max}} \left[1 + \frac{(1 + R)Q}{RAu_s} \left(e^{-\frac{u_s A}{Q}} - e^{-\frac{u_s A}{Q(1 + R)}} \right) \right] knu_s^{n-1} du_s \\ &= \int_0^{k^{-\frac{1}{n}}} knu_s^{n-1} du_s + \int_0^{k^{-\frac{1}{n}}} \frac{(1 + R)Q}{RAu_s} \left(e^{-\frac{u_s A}{Q}} - e^{-\frac{u_s A}{Q(1 + R)}} \right) knu_s^{n-1} du_s \\ &= \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m!} \left[\left(\frac{u_s A}{Q} \right)^m - \left(\frac{u_s A}{Q(1 + R)} \right)^m \right] knu_s^{n-1} du_s \end{aligned} \tag{12}$$

由式(10)可知, 当 $u_s \geq 6u_0$ 时, $\eta > 0.95$, 故可简化计算如下:

$$\begin{aligned} \eta &= \int_{6u_0}^{u_{\max}} knu_s^{n-1} du_s + \int_0^{6u_0} \left[1 + \frac{(1 + R)Q}{RAu_s} \left(e^{-\frac{u_s A}{Q}} - e^{-\frac{u_s A}{Q(1 + R)}} \right) \right] knu_s^{n-1} du_s \\ &= 1 + \frac{Q(1 + R)kn}{RA} \int_0^{6u_0} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m!} \left[\left(\frac{u_s A}{Q} \right)^m - \left(\frac{u_s A}{Q(1 + R)} \right)^m \right] u_s^{n-2} du_s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 1 + \frac{6^{n-1} u_0^n (1 + R)kn}{RA} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m!} \times \\ &\quad \frac{6^m}{m + n - 1} \left[1 - \frac{1}{(1 + R)^m} \right] \end{aligned} \tag{13}$$

式中, k 与 n 表示水质沉降特性系数;

u_0 表示设计颗粒沉速, $u_0 = \frac{H}{t}$;

$\frac{Q}{A}$ 表示表面负荷, 也表示设计颗粒沉速.

3 算法与实例分析

3.1 算法

利用曲线 $p_s = ku_s^n$ 拟合自由沉淀试验所得试验数据^[20], 以求解 k 、 n 值. 依已知条件计算设计沉速 u_0 , 将 k 、 n 、 u_0 与已知参数代入去除率的计算式(13)中, 即可求得设计沉速为 u_0 时悬浮物的去除率 η .

3.2 实例分析

以某污水悬浮物的剩余量与沉速关系曲线为例, 设计表面负荷 1 m/h, 即 $u_0 = 1$ m/h, 按上述方法计算得到无污泥回流时的去除率为 72.8%. 令回流比 $R = 1$ 计算得去除率为 62.9%, 则考虑污泥回流量 RQ 时总的去除率将降低. 变化回流比为 0.5、1.5、2、2.5、3 (一般回流比在 0.5 到 3 之间变化), 求解回流污泥量对悬浮颗粒沉速的影响, 绘制沉淀效率曲线和回流比的关系图, 见图 3.

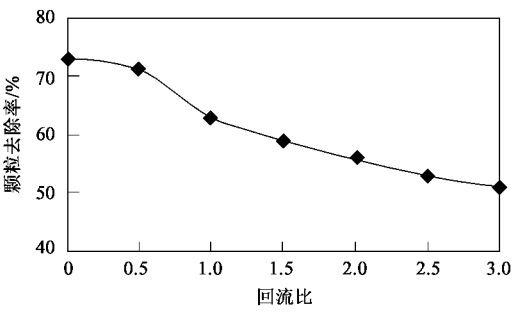


图 3 去除效率和回流比的关系

Fig.3 Relationship between efficiency of particle settling and reflux ratio

图 3 显示随着回流比的增大, 颗粒沉降效果将不断降低, 当回流比为 3 时, 颗粒去除率近似为 50%, 相对于未考虑回流污泥时的去除率降低了 30%, 可见颗粒的沉降效果下降得非常明显. 由此可知, 污泥回流将显著减少颗粒的沉淀效率, 这和前面分析的由于回流污泥量的影响, 在进水端至吸泥机位置处的沉淀区, 污水的流速加大, 导致悬浮颗粒的去除率将小于未考虑回流量时的颗粒去除率的计算

值一致.

4 结论

在假设沉淀池中水流深向浓度均匀的情况下,得到了考虑污泥回流量时的沉淀池去除率模型,该模型更接近于实际情况.研究表明污泥回流量使悬浮颗粒的去除率小于无回流量时的去除率,且随着回流比的增大颗粒沉降效率显著减小.关于实际沉淀池中水流深向浓度并非均匀分布的情况,还有待于进一步研究.

参考文献:

[1] 周建华,隋军. 污泥回流对矩形二沉池颗粒沉速的影响分析 [A]. 见:全国有机废水生化处理研讨会[C].2004. 18~23.

[2] 孙力平. 污水处理新工艺与设计计算实例[M]. 北京:科学出版社,2001. 35~37.

[3] 娄金生. 水污染治理新工艺与设计[M]. 北京:海洋出版社, 1991. 68~71.

[4] 陈万金. 环保设备——原理·设计·应用[M]. 北京:化学工业出版社,2001. 20~26.

[5] 沈煌,邓彪,段岩. 上海竹园污水一厂混合反应沉淀池设计 [J]. 中国给水排水,2005,21(7):65~67.

[6] 曾光明,葛卫华,秦肖生,等. 数值模拟方法在二维沉淀池优化设计中的应用[J].环境工程,2002,20(2):10~12.

[7] 张凯红,林海源,黄敏. 对沉淀池设计参数及产水量的讨论 [J]. 包钢科技,2001,27(4):78~81.

[8] 张自杰. 排水工程[M]. (第三版). 北京:中国建筑工程出版社,1990. 70~72.

[9] 邹亮. 二次沉淀池的数值模拟与优化[D]. 长沙:湖南大学, 2004. 1~4.

[10] 美国梅特卡夫和埃迪公司著,秦裕珩,麦玉筠,李浦修,等译. 废水工程处理、处置及回用[M]. (第二版). 北京:化学工业出版社,1986. 135~149.

[11] 唐受印,汪大. 废水处理工程[M]. 北京:化学工业出版社, 1999. 36~55.

[12] 邹亮,曾光明,黄国和,等. 活性污泥系统的回流污泥量控制策略[J]. 中国给水排水,2004, 20(1):1~6.

[13] 尤作亮,蒋展鹏,师绍琪,等. 回流污泥强化城市一级处理的研究[J]. 给水排水,1999,25(4):12~14.

[14] 孙树海,孙光跃. 处理水回流法在活性污泥处理系统中的应用[J]. 北方环境,2001, (4):50~51.

[15] 蔡金傍,段祥宝,朱亮. 沉淀池水流数值模拟[J]. 重庆建筑大学学报,2003,25(4):64~69.

[16] 邓培德. 沉淀池非理想沉淀的计算方法[J]. 中国给水排水, 1985,1(2):9~14.

[17] 张庄. 沉沙池沉淀效果的数值分析[J]. 清华大学学报(自然科学版),1998,38(1):96~99.

[18] 许保玖,龙腾锐. 当代给水与废水处理原理[M]. (第二版). 北京:高等教育出版社,2000. 51~52.

[19] 南国英. 自由沉淀平流式沉淀池设计参数的求解[J]. 中国给水排水,1997,13(3):30~31.

[20] 南国英. 自由静沉试验数据处理方法[A]. 见:给水与废水处理国际会议论文集[C]. 1994. 156~161.