

活性污泥系统二次沉淀池计算理论探讨

王 全 金

(土木工程系)

摘 要 活性污泥系统中二次沉淀池的计算关键是确定活性污泥沉淀速度,本文对现有的计算活性污泥沉淀速度模型进行了分析和比较;论述了 CHO 等人提出的 $u = k \frac{\exp(-n/C)}{C}$ 模型具有适用范围广,与实验数据十分吻合,用极限通量理论计算较方便等优点,是目前比较合理的计算公式,文章将 CHO 模型用于极限通量理论中,导出了二次沉淀池的有关计算公式 (13)

关键词 活性污泥;二次沉淀池;沉淀速度

分类号 X 703

0 引 言

二次沉淀池是活性污泥系统中非常重要的组成部分,整个系统的处理效率与二次沉淀池的设计与运行是否良好密切相关⁽¹³⁾为此,有关二次沉淀池设计计算受到人们广泛的关注⁽¹³⁾二次沉淀池在功能上同时要满足澄清(泥水分离)和污泥浓缩(减小回流污泥体积)两方面的要求⁽¹⁾目前设计大都采用固体通量理论,而活性污泥沉淀速度是采用固体通量理论进行沉淀池设计计算的关键⁽¹³⁾所以,本文首先从讨论活性污泥沉淀速度的计算模型入手,从而建立二次沉淀池的计算公式⁽¹³⁾

1 活性污泥沉淀速度的计算模型

从 1916 年 Coe 和 Cleverger^[1]等开展活性污泥沉淀速度计算模型的研究以来,已有许多研究人员发表了有关文章,提出了各种活性污泥沉淀速度的计算模型⁽¹³⁾人们普遍认为活性污泥具有絮凝功能,在二次沉淀池沉淀过程中大部分时间是属于成层沉淀,其沉淀速度主要取决于固体的浓度⁽¹³⁾到目前为止关于固体浓度和沉淀速度的函数关系式已有十多个⁽¹³⁾其中较有代表性的详见表 1⁽¹³⁾

从表 1 中可见,大部分模型要么是公式过于复杂,要么是含有两个以上的待定常数,不便使用⁽¹³⁾被众多研究人员采用的计算模型有:由 Dick 等人建立的幂函数模型 $u = kC^{-n}$ 和由

Thomas 等人建立的指数函数模型 $u=k\exp(-nC)$, 对上述两个计算模型, 许多研究人员也感到不尽人意, 1980 年 Pitman 曾发表文章指出, 幂函数模型不适合活性污泥固体浓度小于 2 kg/m^3 的情况^[2], 1993 年 S H Cho 发表文章指出, 不论是幂函数模型还是指数函数模型都是经验函数^[3], 而且指数函数模型用极限通量理论计算时很复杂^[13]

表 1 活性污泥沉淀速度的计算模型

序号	计算模型	作 者
1	$u=k\exp(-nC)$	Thomas (1963)
2	$u=k(1-n^1C+n^2C^2+n^3C^3+n^4C^4)$	Shannon (1963)
3	$u=kC^{-n}$	Dick and Young (1972)
4	$u=k(1-nC)^{4.65}$	Richardson and Zaki (1954)
5	$u=k\frac{(1-nC)^3}{C}$	Scott(1966)
6	$u=kC(1-C)$	Scott (1968)
7	$u=k\frac{(1-nC)^4}{C}\exp(-n^2C)$	S H Cho (1993)
8	$u=k(1-nC)^2\exp(-4.19C)$	Steinour (1944)
9	$u=k(1-n^1C)^2\exp\left(\frac{-n^2C}{1-n^3C}\right)$	Vand (1948)
10	$u=k(1-nC)^{n^2}$	Vaerenbergh (1980)
11	$u=k_1(1-nC)^{n^2}+k_2$	Vaerenbergh (1980)
12	$u=k\frac{\exp(-nC)}{C}$	S H Cho (1993)

1993 年 S H Cho 等人在通过大量实验的基础上提出了 $u=k\frac{\exp(-nC)}{C}$ 计算模型^[4], 比较其它计算模型 CHO 的模型具有以下优点:(1) 该模型是从被科研人员广泛接受的 Carman-Kozeng 方程出发, 通过增加污泥粘性项推导的;(2) 模型与实验曲线十分吻合, 其相关系数接近于 1, 见表 2;(3) 该模型不但适合活性污泥固体浓度较高的情况, 也适合较低的情况;(4) 该模型用极限通量理论计算较方便^[13]因此, 可以说 CHO 的模型是目前比较合理的活性污泥沉淀速度计算模型, 用于设计计算二次沉淀池是比较理想的^[13]

如果用 CHO 模型计算沉淀池时, 必须先决定常数 k, n , 它们取决于活性污泥的性质(絮凝性能、沉降性能等) 以及实验的条件, 这一工作应通过实验进行^[13]

表 2 CHO 计算模型与实验数据的拟合

	1	2	3	4	5	6	7	8
k	50.64	43.94	28.20	50.50	41.22	47.96	35.59	40.25
n	0.289	0.296	0.334	0.368	0.361	0.373	0.373	0.324
r^2	0.9990	0.9930	0.9965	0.9978	0.9940	0.9905	0.9992	0.9990
	9	10	11	12	13	14	Average	
k	29.13	35.02	41.88	37.43	32.49	40.10	35.596	(m/h)
n	0.339	0.318	0.327	0.358	0.396	0.360	0.3340	
r^2	0.9974	0.9984	0.9997	0.9978	0.9876	0.9986	0.9967	(相关系数)

2 用 CHO 模型进行二次沉淀池的计算

二次沉淀池计算的主要内容是计算二沉池的面积、预期的排泥浓度。计算方法一般按固体通量法。固体通量的定义为单位时间内通过单位面积的固体的质量,在连续流的活性污泥系统中。二沉池的设计要同时考虑澄清和浓缩的要求。其固体总通量为

$$G_T = G_V + G_B = VC + uC \quad (1)$$

式中 G_T —— 固体总通量, $\text{kg}/(\text{m}^2 \text{d})$;

G_V —— 由底部排泥引起的固体通量, $\text{kg}/(\text{m}^2 \text{d})$;

G_B —— 活性污泥沉降引起的固体通量, $\text{kg}/(\text{m}^2 \text{d})$;

V —— 由于排泥引起的污泥下沉速度, m/d ;

C —— 活性污泥混合液的初始浓度, kg/m^3 ;

u —— 活性污泥初始浓度为 C 时的成层沉降速度, m/d (13)

u 采用 CHO 建立的计算模型:

$$u = k \frac{\exp(-nC)}{C} \quad (2)$$

在一般情况下,下沉速度和悬浮固体浓度在整个沉淀池横截面上接近均匀分布,那么

$$V = \frac{Q_V}{A} = \frac{RQ}{A} \quad (3)$$

式中 Q_V —— 底流流量, m^3/d ;

A —— 沉淀池横截面面积, m^2 ;

R —— 污泥回流比;

Q —— 沉淀池污水最大小时流量, m^3/d (13)

将式 (2)、(3) 代入式 (1) 中得

$$G_T = \frac{RQ}{A} C + k e^{-nC} \quad (4)$$

对 C 取微分

$$\frac{dG_T}{dC} = \frac{RQ}{A} - n k e^{-nC} \quad (5)$$

极限固体通量是产生于 $\frac{dG_T}{dC} = 0$ (14), 令上式等于零, 解上式所得的污泥浓度就是与极限固体通量对应的悬浮固体浓度 C_L ,

$$C_L = -\frac{1}{n} \ln \frac{RQ}{nkA} \quad (6)$$

分别用 C_L 和 G_L 代替公式 (1) 中的 C 和 G_T , 并将公式 (6) 中的 C_L 表达式代入式 (1) 中, 经整理得

$$G_L = \frac{RQ}{A n} \left(1 - \ln \frac{RQ}{nkA} \right) \quad (7)$$

对进入和离开沉淀池的悬浮固体建立如下物料平衡式

$$Q(1+R)C_0 = G_L A = RQ C_u \quad (8)$$

式中 C_v ——曝气池出水中的悬浮固体浓度, kg/m^3 ;

C_u ——二沉池排泥浓度, kg/m^3 .

$$\text{得} \quad C_u = \frac{G_L A}{R Q}, \quad (9)$$

$$G_L = \frac{Q(1+R)C_0}{A} \quad (10)$$

当进入二沉池的固体负荷率 $\frac{Q(1+R)C_0}{A}$ 低于或等于极限固体通量时, 浓缩过程才能顺利完成, 因而

$$\frac{Q(1+R)C_0}{A} = \frac{R Q}{A n} \left(1 - \ln \frac{R Q}{n k A} \right). \quad (11)$$

由上式可得二沉池表面负荷率

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{n k}{R} \exp \left[\frac{R - (1+R) n C_0}{R} \right], \quad (12)$$

完成污泥浓缩所需的沉淀池面积

$$A = \frac{R Q}{n k} \exp \left[\frac{(1+R) n C_0 - R}{R} \right] \quad (13)$$

通过上述推导可见 CHO 公式用于极限通量理论中计算二次沉淀池是简便的⁽¹³⁾由于 CHO 模型是在沉淀柱实验中取得的, 如若应用到具体工程设计中还应考虑由于水流在二沉池中的流量及流速分配是不均匀的, 池子进、出口的影响等外界因素的干扰, 使沉淀池实际处理效果下降⁽¹³⁾因此, 建议在实际运用时, 对表面负荷这一参数乘上 $1/1.25 \sim 1/1.75$ 的系数⁽¹³⁾

3 算 例

某城市污水处理厂采用完全混合活性污泥系统, 处理流量为 $37850 \text{ m}^3/\text{d}$, BOD_5 浓度为 $200 \text{ mg}/\text{L}$, 活性污泥混合液的初始浓度采用 $C_0 = 3000 \text{ mg}/\text{L}$, 污泥回流比采用 $R = 0.3 \sim 0.4$ ⁽¹³⁾利用以下由 CHO 等人得出的实验数据确定二次沉淀池面积(浓缩过程控制)和预期的回流污泥浓度⁽¹³⁾ $n = 0.334$, $k = 35.59 \text{ m}/\text{h}$

解 利用式(12)计算允许采用的负荷

$$C_0 = 3000 \text{ mg}/\text{L} = 3 \text{ kg}/\text{m}^3;$$

$$k = 35.596 \text{ m}/\text{h} = 854.3 \text{ m}/\text{d};$$

$$R = 0.3^{(13)}$$

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{n k}{R} \exp \left[\frac{R - (1+R) n C_0}{R} \right] = \frac{0.334 \times 854.3}{0.3} \exp \left[\frac{0.3 - (1+0.3) \times 0.334 \times 3}{0.3} \right]$$

$$= 33.64 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{d} = 1.40 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{h}^{(13)}$$

目前我国城市污水活性污泥处理法中的二沉池一般采用经验数据 $q = 1.0 \sim 1.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{h}^{[5]}$

$$\text{计算二次沉淀池的面积} \quad A = \frac{Q}{q} = \frac{37850}{33.64} = 1125 \text{ m}^2^{(13)}$$

利用式(10)计算极限固体通量

$$G_L = \frac{Q(1+R)C_0}{A} = q(1+R)C_0 = 33.64 \times (1+0.3) \times 3 = 131.2 \text{ kg}/\text{m}^2 \text{d}^{(13)}$$

利用式(9) 计算回流污泥浓度 $C_u = \frac{G_L A}{R Q} = \frac{G_L}{R_q} = \frac{131.2}{0.3 \times 33.64} = 13 \text{ kg/m}^3$ ¹⁹.

C_0/mgL^{-1}	R	$\frac{Q}{A}/\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$	$G_L/\text{kgm}^{-2}\text{d}^{-1}$	A/m^2	C_u/mgL^{-1}
3000	0.3	1.40	131.2	1125	13000
3000	0.4	2.42	243.9	652	10500

计算结果表明,二沉池的极限面积为 1132 m²,回流污泥浓度为 13000 mg/L,文献[5]中,采用的 Dick 公式计算同样条件下的二沉池的极限面积为 1550 m²¹⁹.

4 结束语

采用 CHO 模型计算活性污泥系统中二次沉淀池是目前比较合理的计算公式,它对于活性污泥混合液浓度的适用范围比较广,用极限通量理论计算比较简便¹⁹.通过上述算例,可见采用 CHO 公式计算的二沉池的表面负荷率与目前我国设计时采用的经验参数值相符,且二沉池的极限面积比目前通常采用的 Dick 公式计算的二沉池的极限面积要小,这样,可在保证处理效果的前提下,缩小二沉池的面积,使设计更经济合理¹⁹.

参 考 文 献

1 Coe H S and Clevenger G H·Methods of determining the capacities of slime - settling tands, Trans, Am· Intl· Min· Engage 1916,55;356~384.

2 Pitman A R·Settling properties of extended aeration sludge· J·Wat· Pollut· Control Fed· 1980,552;524~536

3 Cho S H, Colin F, Sardin M and Prost C ·Settling velocity model of activated sludge· Water Research, 1993,27(7) ;1237~1242

4 哈尔滨建筑工程学院·排水工程·北京:中国建筑工业出版社,1986

5 北京市政设计院·给排水设计手册(第五册) ·北京:中国建筑工业出版社,1986

Exploration of Computational Theory for Secondary Settler of an Activated Sludge System

Wang Quanjing

(Civil Engineering Department)

Abstract The key of calculating secondary settlers of an activated sludge system is to determine setting velocity of activated sludge. In this paper, all kinds of computational settling velocity models for activated sludge developed so far are analyzed and compared. It is shown that the model $u = k \frac{\exp(-nC)}{C}$ deduced by CHO et al. has the advantages of fitting the experimental data best and having higher correlation coefficient, wider suitability and simpler calculation by using the solid flux theory. Thus it is more reasonable computational formula of activated sludge. By using CHO model to the limit flux theory, the associated calculating formula for secondary settlers are derived in the paper.

Key words activated sludge; secondary settler; settling velocity.