水处理工程

第十三讲 活性污泥动力学

微生物增长和底物降解的基本关系式

产率系数

反应器中微生物浓度

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_g = Y\left(\frac{dS}{dt}\right)_u - K_d \cdot X$$

微生物净增长速度

底物利用（或降解）速度

内源呼吸（或衰减）系数

进一步得出

$$\frac{(dX/dt)_g}{X} = Y\frac{(dS/dt)}{X} - K_d$$

计为 $$\mu = Y \cdot q - K_d$$

定义： $$q = \frac{(dS/dt)}{X}$$ $$\mu = \frac{dX/dt}{X} t^{-1}$$

或者 $$\left(\frac{dX}{dt}\right)_g = Y_{obs}\left(\frac{dS}{dt}\right)_u$$

表观产率系数

因此 $$\mu = Y_{obs} \cdot q$$

又根据 $$\mu = Y_L \cdot q - K_d$$

可推出 $$\frac{\mu + K_d}{Y_L} = \frac{\mu}{Y_{obs}}$$

进而 $$Y_{obs} = \frac{\mu}{\mu + K_d} Y_L = \frac{1}{1 + \dfrac{K_d}{\mu}} Y_L = \frac{Y_L}{1 + \theta_c K_d}$$

Monod基本表达式

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_s + S}$$

K_s半（增长）速度常数

μ_m最大比增长速率

当 $\mu = \frac{1}{2}\mu_{\max}$　　$K_s=S$

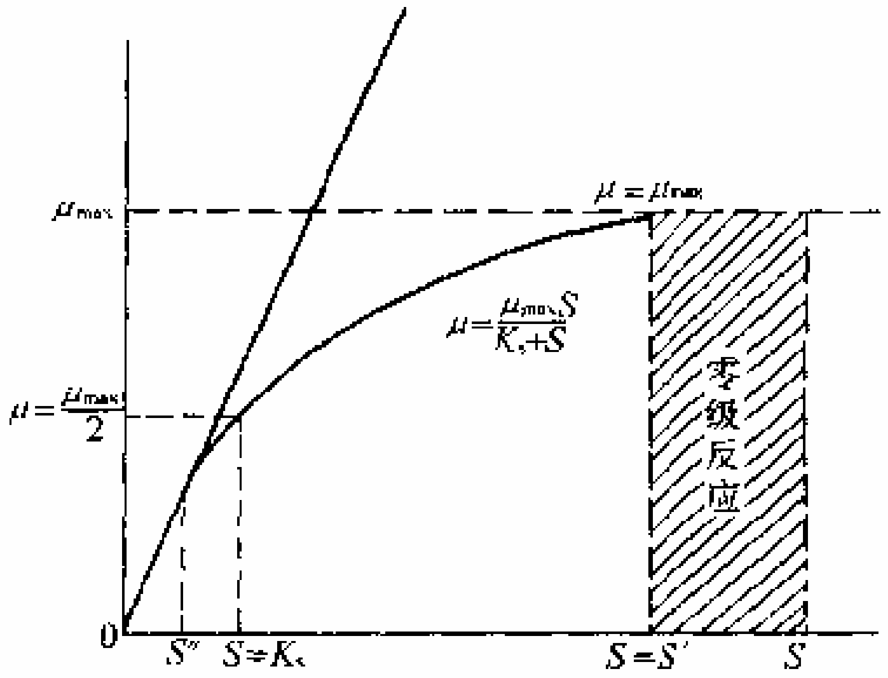


图 4-11　莫诺方程式与其 $\mu = f(S)$关系曲线

根据 $\mu = Y \cdot q$ $\mu_{\max} = Y \cdot q_{\max}$

得 $$q = q_{\max} \frac{S}{K_s + S}$$

在高底物情况下（S>>K_s） $$-\frac{dS}{dt} = q_{\max} \cdot X = k_1 \cdot X$$

一般当 $F/M > 2.1 \sim 2.5 kgBOD_5 / kgVSS \cdot d$

微生物的生长处于生长率上升阶段，属于高负荷生物处理系统

当在低底物情况下（S<<Ks）

$$-\frac{dS}{dt}=\frac{q_{\max}\cdot S\cdot X}{K_s}=k_2\cdot S\cdot X$$

一般适用于入流BOD5小于300mg/L的情况,F／M合适的值为0.3～0.6kgBOD/kgVSS.d条件

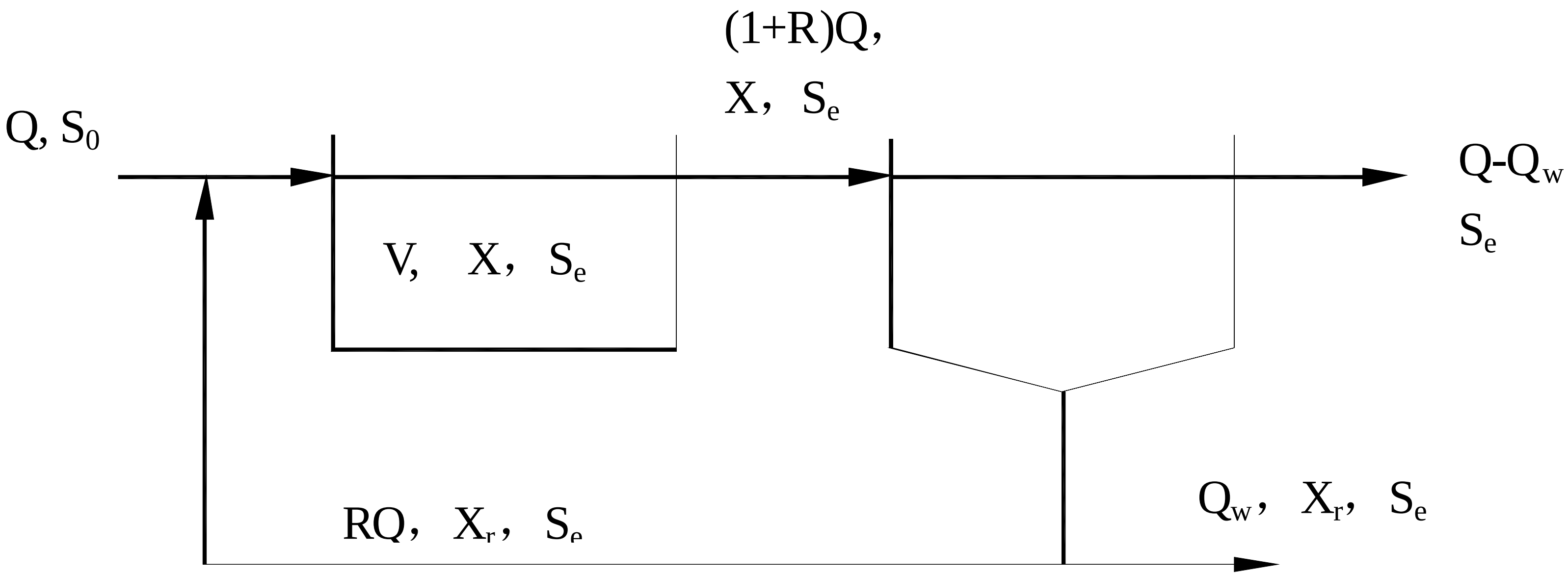
内源代谢阶段

$$F/M<0.1kgBOD_5/kgVSS\cdot d$$

在此阶段食料奇缺，微生物逐渐减少

内源代谢的产物是无机物和一些难降解的残留物，如细胞壁的某些组分和壁外的粘液层，主要是多糖，也有一些脂蛋白

劳伦斯(Lawronce)和麦卡蒂(McCharty)法



劳伦斯(Lawronce)和麦卡蒂(McCharty)法

几点假定

- 整个处理系统处于稳定状态

$$\frac{dX}{dt}=0 \qquad -\frac{dS}{dt}=0$$

- 反应器中的物质按完全混合即均布的情况考虑

$$\frac{dX}{dl}=0 \qquad -\frac{dS}{dl}=0$$

- 整个反应过程中，氧的供应是充分的（对于好氧处理）

以曝气池为对象对底物进行物料平衡得

$$V\left(\frac{dS}{dt}\right)_n = QS_0 + RQS_e + V\frac{dS}{dt} - (Q + RQ)S_e$$

在稳定状态下 $V\left(\frac{dS}{dt}\right)_n = 0$ 所以 $-\frac{dS}{dt} = \frac{Q(S_0 - S_e)}{V}$

即

$$q = -\frac{dS}{dt} \cdot \frac{1}{X} = \frac{Q(S_0 - S_e)}{V \cdot X}$$

根据 $q = q_{\max}\frac{S}{K_s + S}$ 以及在低底物情况下 $q = k_2 \cdot S$

所以

$$\frac{S_0 - S_e}{X_v t} = K_2 S_e$$

讨论

- 从设计上讲，在保持负荷不变的情况下，提高曝气池中的污泥浓度，就可减少曝气时间，从而降低了曝气池的造价；
- 从运行角度看，若入流底物浓度有所提高，只要提高曝气池中的活性污泥浓度或增加曝气时间，使污泥负荷保持不变，就可使出流水质保持不变。

根据污泥负荷

$$F_{wV}=\frac{QS_0}{X_vV}=\frac{QS_0(S_0-S_e)}{X_vV(S_0-S_e)}=\frac{Q(S_0-S_e)}{X_vV\dfrac{S_0-S_e}{S_0}}$$

因此

$$F_{wV}=K_2\cdot S_e/\eta$$

因为

$$f=\frac{MLVSS}{MLSS}$$

故得

$$F=\frac{Qs_0}{xV}=K_2S_ef/\eta$$

对于一个确定的活性污泥系统，采用某一BOD负荷时，就应有相应的去除效率与出水水质。

对整个系统的生物量进行物料衡算

$$V\frac{dX}{dt}=\left[Y_T\left(\frac{dS}{dt}\right)_u-K_d\cdot X\right]V-\left[Q_w\cdot X+\left(Q-Q_w\right)\cdot X_e\right]$$

在稳态条件下 $dX/dt=0$

整理得

$$\frac{Q_w\cdot X+\left(Q-Q_w\right)\cdot X_e}{V\cdot X}=Y_T\frac{\left(\frac{dS}{dt}\right)_u}{X}-K_d$$

泥龄为

$$\theta_c=\frac{VX}{Q_w\cdot X+\left(Q-Q_w\right)X_e}$$

所以

$$\frac{1}{\theta_c}=Y_T\frac{\left(dS/dt\right)_u}{X}-K_d=Y_T\cdot q-K_d$$

讨论（1）

系统不排泥 $\theta_c \to \infty$ $\dfrac{1}{\theta_c} = 0$

所以 $$\frac{dS}{dt} = \frac{K_d \cdot X}{Y} = kX$$

即内源呼吸阶段底物降解速率与S呈零级反应，而与X呈一级反应

讨论（2）

将 $q = q_{\max}\dfrac{S}{K_s + S}$ 代入得到

$$S_e = \frac{K_s\left(\dfrac{1}{\theta} + K_d\right)}{Yq_{\max} - \left(\dfrac{1}{\theta} + K_d\right)} = \frac{K_s}{\dfrac{Yq_{\max}}{\dfrac{1}{\theta} + K_d} - 1}$$

θ_c 和Se的关系

讨论（3）

以 $q = -\frac{dS}{dt} \cdot \frac{1}{X} = \frac{Q(S_0 - S)}{V \cdot X}$ 代入整理得

$$V = \frac{\theta_c \cdot Q \cdot y(S_0 - S)}{X(1 + K_d \theta_c)}$$

或 $$X = \frac{\theta_c \cdot Q \cdot y(S_0 - S)}{V(1 + K_d \theta_c)} = \frac{Y(S_0 - S_e)}{t\left(\frac{1}{\theta} + K_d\right)}$$

θ_c 升高，X增大。

曝气池生物量的物料平衡

回流比 R 与 θ_c 的关系式

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)V = RQX_r + \left[Y_T\left(\frac{dS}{dt}\right)_u - K_d \cdot X\right]V - Q(1+R)X$$

将 $\frac{1}{\theta_c} = Y_T \cdot q - K_d = Y_T \cdot K \cdot S_e - K_d$ 代入

$$R \cdot Q \cdot X_r + \frac{1}{\theta_c} V \cdot X - Q(1+R)X = 0$$

整理得 $\frac{1}{\theta_c} = \frac{Q}{V}\left(1 + R - R\frac{X_r}{X}\right)$

或 $\frac{1}{SV} = \frac{X_r}{X} = \frac{\theta - t}{\theta} \cdot \frac{1}{R} + 1 = \left(1 - \frac{t}{\theta}\right) \cdot \frac{1}{R} + 1$

讨论

根据 $$\left(1+R-R\frac{X_r}{X}\right)>0$$

所以 $$SV=\frac{X}{X_r}>\frac{R}{1+R} \qquad R<\frac{SV}{1-SV}$$

例如：SV=0.3，则需R<3/7

若二次沉淀池运行正常，生物固体在池中的沉淀效率应接近100%。故污泥回流线中固体的最高浓度可由下式估算

$$(X_r)_{\max}=\frac{10^6}{SVI}$$

另外，可以根据物料衡算式

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)V = RQX_r + \Delta X - Q(1+R)X$$

得到

$$R = \frac{QX - \Delta X}{Q(X_r - X)} \approx \frac{X}{X_r - X}$$

常数的确定

$$\frac{1}{\theta_c} = YN_{rs} - K_d$$

$$\frac{S_0 - S_e}{X_v t} = K_2 S_e$$

$$\frac{X_v t}{S_0 - S_e} = \left(\frac{K_s}{v_{max}}\right)\left(\frac{1}{S_e}\right) + \frac{1}{v_{max}}$$

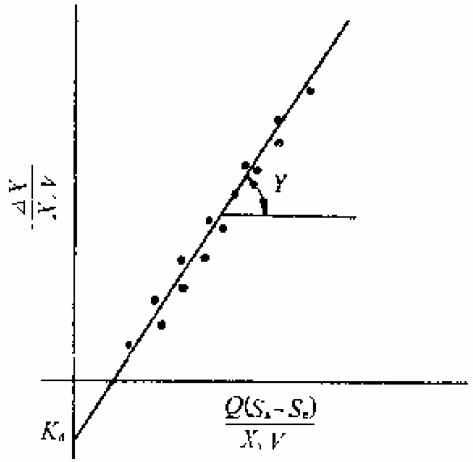


图 4-9　Y、K_d 值确定图解法

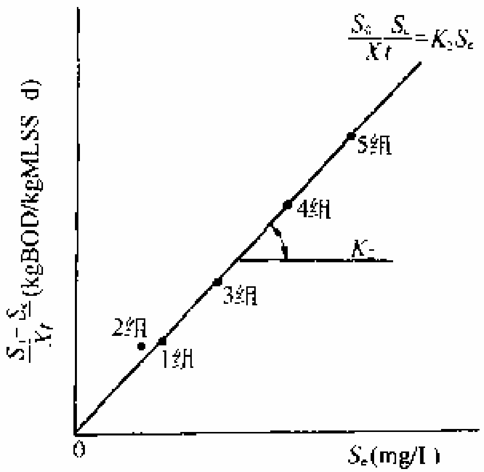


图 4-14　图解法确定 K_2 值

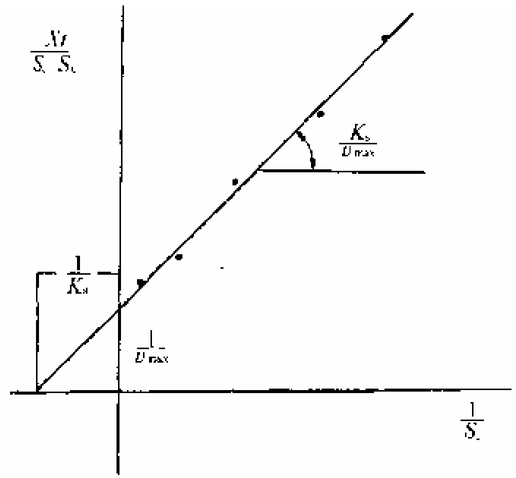


图 4-15　确定常数值 $v_{max}K_s$ 的图解法

思考题

- 写出Monod模式的表达式，分析其在不同底物浓度下的动力学特征。
- 通过物料衡算推导劳伦斯－麦卡蒂方程中去除负荷与出水浓度的关系、泥龄与去除负荷的关系以及泥龄和回流比的关系。

谢 谢！