

德国一段硝化和反硝化活性污泥法曝气池的设计计算 (下)

唐建国

六、供氧量计算

在污水净化中微生物的耗氧量包括碳类物质 BOD₅ 降解的耗氧量和氮氮类物质氧化的耗氧量,这两种耗氧量必须分开计算。供氧量 O_B 是根据两种耗氧量之和及饱和溶解氧的情况来计算的。

BOD₅ 降解的耗氧量 OV_C 按表 8 计算,该耗氧量与水温 and 污泥龄 t_{RS} 有关。氮类物质氧化的耗氧量 OV_N (kgO₂ kgBOD₅) 按下式计算:

$$OV_N = [4.6 (B_{d\ NO_3^- - N_{max}} - B_{d\ NO_3^- - Nd} - B_{d\ NO_3^- - N_0}) + 1.7 B_{d\ NO_3^- - Nd}] B_{d\ BOD_{5max}} \quad (7)$$

式中 B_{d NO₃⁻ - N_{max}} ——曝气池进水 (不包括回流)

中设计凯氏氮负荷 (扣除进入出水中的有机氮和进入剩余污泥中的氮) 和设计硝酸盐氮负荷之和 (kg d);

B_{d NO₃⁻ - Nd} ——平均被反硝化的硝酸盐氮负荷 (kg d);

B_{d NO₃⁻ - N₀} ——曝气池进水 (不包括回流) 中设计硝酸盐氮负荷 (kg d);

B_{d BOD_{5max}} ——曝气池进水 (不包括回流) 中设计最大 BOD₅ 负荷 (kg d)。

OV_C (kgO₂ kgBOD₅) 表 8 国

t _{RS} (d) \ T (°C)	4	6	8	10	15	25
10	0.83	0.96	1.05	1.15	1.32	1.55
12	0.87	1.00	1.10	1.20	1.38	1.60
15	0.94	1.08	1.20	1.30	1.46	1.60
18	1.00	1.17	1.30	1.40	1.54	1.60
20	1.05	1.22	1.35	1.45	1.60	1.60

当有硝化和反硝化要求时,在设计计算时除了要验算在 10 有硝化反应的耗氧量外,还要验算 10 和 20 时有硝化反应和反硝化反应的耗氧量。

要求的最大单位供氧量 O_B (kgO₂ kgBOD₅) 必须满足曝气区所设定的溶解氧 C_X 的要求,按式 (8) 计算:

$$O_B = \frac{C_s}{C_s - C_X} (OV_C f_C + OV_N f_N) \quad (8)$$

式中 C_S ——饱和溶解氧 (与温度有关) (mg L);

C_X ——曝气池设计溶解氧浓度 (mg L), 推荐值为:无硝化反应 C_X = 2mg L;有硝化反应 C_X = 2mg L;同步反硝化的好氧区 C_X = 0.5mg L;

f_C ——碳类物质的冲击负荷系数;

f_N ——氮类物质的冲击负荷系数。

f_C 和 f_N 详见表 9。

冲击负荷系数表 表 9

污泥龄 t _{RS} (d)	4	6	8	10	15	25
f _C	1.30	1.25	1.20	1.20	1.15	1.10
f _N (20000 人口当量)	—	—	—	2.50	2.00	1.50
f _N (100000 人口当量)	—	—	2.0	1.80	1.50	—

要求的最大小时供氧量为:

$$O_B = O_{Bh} B_{h\ BOD_{5max}} \quad (9)$$

式中 B_{h BOD_{5max}} ——曝气池进水 (不包括回流) 中设计最大 BOD₅ 小时负荷 (kg h)。

在设计计算曝气设备时,必须考虑到在实际运转条件下的安全可靠,如果是原污水直接进入曝气池内,所计算的最大供氧量应乘以

1.0~2.0的系数。污水处理厂运行初期,大多数情况下,其实际负荷低于设计负荷,加之由于各种负荷在白天和夜间的变化影响,其耗氧量波动变化有时高达5倍,因而曝气设备应该有能够满足最低负荷要求的性能。例如通过划分供氧单元或者调节供氧量来予以满足。但是为了保证活性污泥在曝气池中不沉淀,在最低供氧量时,也必须满足池底有一定的流速要求。

对于前置反硝化工艺,在回流比达100~300%时,在好氧池的前端的耗氧量可达平均值的两倍以上,但是全池的溶解氧含量不应低于2mg/L。对于矩形好氧池,应该在池长的1/4和3/4两个位置检测溶解氧。供氧量可以根据连续检测曝气池出水中的NH₄⁺-N信号值进行调节,回流污泥量可以根据连续检测反硝化池出水的NO₃⁻-N信号值进行调节。

供氧和搅拌也可分为两套设备,这对于前置反硝化工艺是十分适用的,在反硝化池中也可安装曝气设备,以便使其有转换为硝化反应好氧池的可能。反硝化池的搅拌能量密度取决于池子的大小,一般而言,反硝化池的搅拌能量密度为3~8W/m³池容。

七、碱度计算

曝气池进水的碱度K_s是受污水处理厂所辖流域内饮用水的硬度影响,但更主要取决于进水中氨氮的含量。由于雨水中不含有硬度物质,所以雨水的进入会降低进水的碱度。

曝气池出水中的碱度不应低于1.5mmol/L,污水中的碱度由于硝化反应和化学除磷药剂的投加会降低,而由于反硝化反应又会升高。在不考虑化学除磷时,曝气池出水中的碱度按式(10)计算:

$$K_{Se} = K_{S0} - [0.07(NH_0 - NH_e - NO_0 + NO_e)] \quad (\text{mmol/L}) \quad (10)$$

式中 K_{S0}、K_{Se}——曝气池进、出水的碱度(mmol/L);

NH₀、NH_e——曝气池进、出水中的NH₄⁺-N浓度(mg/L);

NO₀、NO_e——曝气池进、出水中的NO₃⁻-N浓度(mg/L)。

碱度是用mmol/L或者mgHCO₃⁻/L表示的。对于硝化反应消耗的碱度为2mmol碱度/mmolN,相当于8.7mgHCO₃⁻/mgN;反硝化反应产生的碱度为1mmol碱度/mmolN,相当于4.35mgHCO₃⁻/mgN(反硝化)。

在曝气池中,在微生物对氧的利用过程中,由于CO₂的产生,会使水中的pH值下降。当水中的CO₂含量为0.5~1.0mmol/L时,相应的pH值为6.6~6.9。一般要求曝气池中的pH值不低于7.0。pH值与氧利用率及碱度之间的关系见表10。

pH值与氧利用率及碱度之间的关系 表10

pH \ 氧利用率 (%) \ 碱度 (mmol/L)	氧利用率 (%)				
	6	9	12	18	24
1.0	6.9	6.7	6.6	6.5	6.4
1.5	7.1	6.9	6.8	6.7	6.6
2.0	7.2	7.0	6.9	6.8	6.7
2.5	7.3	7.1	7.0	6.9	6.8
3.0	7.4	7.2	7.1	7.0	6.9

对于有硝化反应、有硝化反应和反硝化反应的污水净化,其碱度计算是很重要的,特别是对于水深较深的曝气池,因为其有较高的氧转移效率。

八、计算例题

(一)、进水资料

1. 进水水量

$Q_t = 26000\text{m}^3/\text{d}$; $Q_{t\max} = 1530\text{m}^3/\text{h}$ ($Q_{t\max}$ 值由水量检测资料分析得出), $Q_m = 3000\text{m}^3/\text{h}$ 。

2. 生化需氧量

根据对有关检测资料的分析,最大负荷周的日平均值(用于污泥龄的计算)为5850kg/d,6000kg/d,所有工作日85%的频率分析值(用于供氧量计算)为7000kg/d,即: $B_{d\text{BOD}_5} = 6000\text{kg}/\text{d}$,相当于230mg/L; $B_{h\text{BOD}_5} = 250\text{kg}/\text{h}$; $B_{d\text{BOD}_{5\max}} = 7000\text{kg}/\text{d}$; $B_{h\text{BOD}_{5\max}} = 292\text{kg}/\text{h}$ 。

3. 凯氏氮

根据对有关资料的分析,最大负荷周的TKN日平均值为1192kg/d,考虑污泥处理区来水中的氮负荷160kg/d,计TKN为1192+

160 1350kg/d。扣除进入出水中的有机氮(估算 2mg/L):52kg/d;扣除进入剩余污泥中的氮(按 BOD₅ 的 5% 计):300kg/d,即:
 $B_{d,TKN0} = 1350 - 0.05 \times 6000 - 0.002 \times 26000 = 998 \quad 1000\text{kg/d}$;所有工作日 85% 的频率分析值 1550kg/d;扣除出水中的有机氮(估算 2mg/L):52kg/d;扣除进入剩余污泥中的氮(按 BOD₅ 的 5% 计):350kg/d,即:
 $B_{d,TKNmax} = 1550 - 0.05 \times 7000 - 0.002 \times 26000 = 1148 \quad 1150\text{kg/d}$ 。

4. 硝酸盐氮

所有工作日 85% 的频率分析值, $B_{dNO_3-N0} = 0$, $B_{dNO_3-N} = B_{d,TKN0} + B_{dNO_3-N0} = 1000\text{kg/d}$,相当于 38.4mg/L; $B_{dNO_3-Nmax} = B_{d,TKNmax} + B_{dNO_3-N0} = 1150\text{kg/d}$ 。

5. 氨氮

所有工作日 85% 的频率分析值为 $B_{dNH_4^+-N0} = 1160\text{kg/d}$,相当于 44.6mg/L; $(1550 \times 1000 / 26000 - 15)$ (扣除进水中有机氮) = 44.6mg/L)。

6. 比值 TS_0/BOD_5

所有工作日 50% 的频率分析值为 $TS_0 = 3350\text{mg/L}$; $BOD_5 = 5000\text{mg/L}$; $TS_0/BOD_5 = 0.67$ 。

7. 曝气池进水碱度

$K_{S0} = 7.5\text{mmol/L}$ 。

8. 污泥处理区来水和外来粪便污泥

无外来粪便污泥,污泥处理区来水(175m³/d、160kgTKN/d)24h 均匀投加至进水中。

(二)、旱季和平均条件情况下的曝气池计算

采用前置反硝化工艺。

1. 除氮效率的计算

为了安全起见,在计算温度(10)下,出水中的 $NO_3^- - N$ 含量采用 15mg/L,有机氮含量采用 2mg/L,则在出水中的总氮量为:

$26000 \times 0.015 + 26000 \times 0.002 = 442\text{kg/d}$
 氮的平均去除率为:

$$\frac{1350 - 442}{1350} \times 100\% = 67\%$$

能用于反硝化反应的硝酸盐氮负荷 B_{dNO_3-Nd} 为曝气池进水计算 TKN 负荷 $B_{d,TKN0}$ 加上进水中的 $NO_3^- - N$ 负荷 B_{dNO_3-N0} ,扣除出水中的 $NO_3^- - N$ 负荷 B_{dNe} :

$$B_{dNO_3-Nd} = B_{d,TKN0} + B_{dNO_3-N0} - B_{dNe}$$

$$= 1000 + 0 - 26000 \times 0.015 = 610\text{kg/d}$$

故应向前置反硝化池提供的硝酸盐氮为:

$$\frac{610}{1000} \times 100\% = 61\%$$

根据表 6 可选择出总回流比 R_F (内、外回流之和)至少为 150%。

2. 反硝化容积占曝气池总容积比值 V_D/V_{BB} 的确定

在旱季流量情况下,每提供 1kgBOD₅ 在反硝化池可反硝化的硝酸盐氮量为:

$$\begin{aligned} & (B_{d,TKN0} + B_{dNO_3-N0} - B_{dNe}) / B_{dBOD_5} \\ & = (1000 + 0 - 390) / 6000 \\ & = 0.1\text{kgNO}_3^- - \text{N} / \text{kgBOD}_5 \end{aligned}$$

由表 5 选择: $V_D/V_{BB} = 0.3$ 。

3. 要求的最小污泥龄

对于 $V_D/V_{BB} = 0.30$,根据表 3 选择 $t_{TS} = 11\text{d}$ (大于 100000 人口当量)。

4. 单位剩余污泥产量

在最小污泥龄为 11d、 $TS_0/BOD_5 = 0.67$ 时,根据表 7 得降解 BOD₅ 产生的剩余污泥量为:

$$U_{SB} = U_{SBOD_5} = 0.81\text{kg} / \text{kgBOD}_5$$

5. 曝气池容积计算

(1)BOD₅ 污泥负荷和容积负荷

由公式(4)计算 BOD₅ 污泥负荷:

$$\begin{aligned} B_{TS} &= 1 / (U_{SB} \cdot t_{TS}) = 1 / (0.81 \times 11) \\ &= 0.112\text{kgBOD}_5 / (\text{kg 干物质} \cdot \text{d}) \end{aligned}$$

由表 4 选择固体物浓度: $TS_{BB} = 2.5\text{kg} / \text{m}^3$

由公式(5)计算 BOD₅ 容积负荷:

$$B_R = B_{TS} \cdot TS_{BB} = 0.112 \times 2.5 = 0.28\text{kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$$

(2)曝气池容积

由公式(6) $V_{BB} = B_{dBOD_5} / B_R = 6000 / 0.28$

供氧量计算结果表

表 11

计算情况 分 类	溶解氧(mg/L)		选 择 参 数					计 算 结 果		
	C_s	C_x	t_{rs} (d)	f_c	f_N	进水 BOD ₅ 负 荷(kg/d)	进 水 氮负 荷(kg/d)	OV_c (kgO ₂ /h)	OV_N (kgO ₂ /h)	O_B (kgO ₂ /h)
硝化反应 10	11	2	11	1.0	1.8	6000	1150	1.18	0.76	3.11
	11	2	11	1.2	1.0	7000	1000	1.18	0.66	2.54
硝化、反硝化 反应 10	11	2	11	1.0	1.8	6000	1150	1.18	0.46	2.45
	11	2	11	1.2	1.0	7000	1000	1.18	0.41	2.23
硝化、反硝化 反应 20	09	2	8*	1.0	2.0	6000	1150	1.35	0.46	2.92
	09	2	8*	1.2	1.0	7000	1000	1.35	0.41	2.61

注:在 20 时污泥龄为 6d,为安全起见采用 8d。

$$= 21500\text{m}^3$$

$$V_D = 21500 \times 0.3 = 6450\text{m}^3;$$

$$V_N = V_{BB} - V_D = 15050\text{m}^3$$

6. 要求的供氧量

供氧量是根据在最大负荷情况下,降解 BOD₅ 的耗氧量 OV_c (见表 8)和氮类物质氧化的耗氧量 OV_N (见公式 7)来计算的。由于 BOD₅ 和氮类物质进水的冲击负荷一般不发生在同一时间,故而供氧量 O_B 的计算(见公式 8)应在不同的冲击负荷系数 f_c 和 f_N (见表 9)情况下计算,计算结果见表 11。

从计算结果可以看出在 10 仅有硝化反应时要求的供氧量最大,故供氧设备按此情况选择,最大小时供氧量为:

$$\begin{aligned} O_B &= O_B \cdot B_{h \text{ BOD}_{5\max}} \\ &= 3.11 \times 292 = 908\text{kgO}_2/\text{h} \end{aligned}$$

7. 平均情况下的碱度验算

(1) 硝化反应

$$K_{S0} = 7.5\text{mmol/L}$$

$$NH_0 = 44.6\text{mg/L}$$

$$NH_e = 0\text{mg/L} \text{ (完全硝化反应)}$$

$$NO_0 = 0\text{mg/L}$$

$$NO_e = 38.4\text{mg/L}$$

按公式(10):

$$\begin{aligned} K_{Se} &= K_{S0} - [0.07(NH_0 - NH_e - NO_0 + NO_e)] \\ &= 7.5 - [0.07(44.6 - 0 - 0 + 38.4)] \\ &= 1.69 > 1.5\text{mmol/L} \end{aligned}$$

(2) 硝化反应和反硝化反应

$$K_{S0} = 7.5\text{mmol/L}$$

$$NH_0 = 44.6\text{mg/L}$$

$$NH_e = 0\text{mg/L} \text{ (完全硝化反应)}$$

$$NO_0 = 0\text{mg/L}$$

$$NO_e = 15\text{mg/L}$$

由公式(10):

$$\begin{aligned} K_{Se} &= K_{S0} - [0.07(NH_0 - NH_e - NO_0 + NO_e)] \\ &= 7.5 - [0.07(44.6 - 0 - 0 + 15)] \\ &= 3.3 > 1.5\text{mmol/L} \end{aligned}$$

8. 曝气池中的 pH 值验算

曝气设备的氧利用率为 10%,根据表 10 知曝气池中的 pH 值为:

(1) 有硝化反应时为 7.0;

(2) 有硝化反应和反硝化反应时为 7.3。

满足要求。

参考文献

- [1] "Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen ab 5000 Einwohnerwerten", ATV Arbeitsblatt A131.
- [2] "Abwasserreinigung mit Nitrifikation, Denitrifikation und Phosphorelimination", Korrespondenz Abwasser, Feb. 1991.
- [3] "weitergehende Abwasserreinigung", Oldenbourg Verlag.

作者通讯处:314001 嘉兴市吉安路 23 号

中国市政工程西北设计研究院嘉兴分院

电话:(0573)2062740(O)

收稿日期:1996-10-7