

泵型叶轮表面曝气机的性能评价新方法

龙腾锐, 高 旭

(重庆建筑大学城市建设学院, 四川 重庆 400045)

摘 要: 本文提出了一种更新的污水传氧系数 K_{La_w} 的现场测定方法, 并应用于重庆某污水处理厂曝气设备的能效研究中。该方法稳妥可靠, 易于实现。

关键词: 传氧系数; 泵型叶轮表面曝气机; 能效

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 1000-3770(2001)05-0277-04

1 概 述

曝气设备最主要的功能是在曝气池混合液不断消耗氧气的条件下, 供给足够的氧气以保持水中溶解氧浓度不变, 同时维持池中主体液体的有效混合。曝气设备的充氧能力, 与总传氧系数 $K_L\alpha$ 密切相关。 $K_L\alpha$ 值是氧气由气相向液相主体传递过程中, 液膜氧分子的传质系数与单位体积中起传氧作用的气、液界面面积的综合反映。基于 Lewis 和 Witeman 双膜理论, 传氧过程中氧转移速率可用以下一阶传质模式表示:

$$dC/dt = K_{La}(C_s - C_t) \quad (1)$$

式中 dC/dt - 液相主体中溶解氧浓度变化速率, $\text{kg O}_2/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$; K_{La} - 总传氧系数, $1/\text{h}$; C_s - 该液体的饱和溶解氧值, mg/L ; C_t - 液相主体的溶解氧浓度, mg/L ; 显然, 曝气设备的充氧能力决定了其能量利用效率。

为便于进行性能比较和设计选型, 一般规定, 在 20、1 标准大气压下, 用溶解氧浓度为 0 的自来水进行试验, 这样求得的 K_{La} 值称为标准传氧系数, 并把这种试验条件称为标准条件。 K_{La} 要受到曝气设备本身的结构、尺寸以及运行条件、水质和温度变化、饱和溶解氧浓度的影响。在污水处理厂运行中, 曝气设备在特定生产环境和污水水质条件下充氧, 此时的传氧系数是运行条件下污水的 K_{La_w} , 它与 K_{La} 的关系可用以下三式来反映:

$$K_{La_w} = \alpha \cdot K_{La} \quad (2)$$

$$C_{sw} = \beta \cdot C_s \quad (3)$$

$$(K_{La_w})_T = (K_{La_w})_{20} \cdot \theta^{(T-20)} \quad (4)$$

式中, $(K_{La_w})_T$ - 温度 T 时的传氧系数, $1/\text{h}$;
 $(K_{La_w})_{20}$ - 20 时的传氧系数, $1/\text{h}$; K_{La_w} - 污水中的传氧系数, $1/\text{h}$; C_s - 清水的饱和溶解氧值, mg/L ;
 C_{sw} - 污水的饱和溶解氧值, mg/L ; α β - 修正系数;
 θ - 温度修正系数, 1.008~1.047, 常用 1.024。

式(2)所体现的饱和溶解氧浓度的差异, 与水质和测量地点的气压、温度都有关系; 式(3)反映了水质对氧转移的影响, 同一设备在污水中的 K_{La_w} 比清水中的 K_{La} 要小; 而式(4)反映了温度对污水传氧能力的影响。

测定曝气设备在生产条件下的充氧效率一般在曝气池混合液中进行, 这时存在活性污泥中微生物耗氧引起溶解氧浓度的变化, 对式(1)进行修正可得:

$$dC/dt = K_{La_w}(C_{sw} - C_t) - R \quad (5)$$

式中, R - 活性污泥的耗氧速率或氧吸收率 (Oxygen Uptake Rate, OUR), $\text{mg/L} \cdot \text{h}$ 。

式(5)是污水中 K_{La_w} 测定的理论依据。目前可采用的方法有两类:

(1) 稳态法

稳态条件下, 传氧速率等于活性污泥的耗氧速率, 混合液溶解氧浓度保持平衡, 测定活性污泥的耗氧速率 R 即可求得 K_{La_w} 。由于进水的水质、水量不

断变动, 污泥负荷处于动态变化中, 欲维持测定所要求的曝气池稳定的溶解氧浓度, 较为困难, 污水 C_{sv} 值必须实测, 由于污水中存在耗氧物质, 要使混合液充氧达到饱和, 需时较长, 故该法不常采用。

(2) 非稳态法

非稳态法通过再曝气充氧测定池中溶解氧随时间上升变化的过程, 式(5)移项整理为:

$$C_t = C_{sv} - 1/K_L a_w (dc/dt + R) \quad (6)$$

利用 $c \sim t$ 曲线求出 C_t 及相应的 dc/dt , 进行一元线性回归, 所得直线斜率即为 $1/K_L a_w$ 。该法仍需准确测定 C_{sv} , 而且由于将 $c \sim t$ 曲线分为数段, 得出数个 dc/dt 与 C_t 相对应的点, 用简单的代数运算 c/t 替换微分关系, 回归所得数据的线性关系不好, 甚至得不到所需直线。

2 试验方法

鉴于上述两种方法的不足, 本文提出了一种新的非稳态测定法, 并在重庆城南污水处理厂进行了实地测定。重庆城南污水处理厂设计规模 20000 m^3/d , 采用合建式完全混合活性污泥工艺。曝气沉淀池采用泵型叶轮表面曝气机充氧, 直径 1.5m。曝气机所配电机额定功率为 22kW, 额定转速为 970 r/min。试验时, 关闭曝气池进出水, 开启表曝机, 闷曝混合液 4h, 测定此时曝气区混合液的溶解氧浓度 C_e , 这时微生物已消耗尽进水带入的 BOD, 进入内源呼吸状态, 下式成立:

$$R_e = K_L a_w (C_{sv} - C_e) \quad (7)$$

式中, R_e - 活性污泥的内源呼吸率, $mg/L \cdot h$ 。

将电机转速减至 250~300r/min, 维持池中的混合状态, 不使污泥沉降。此时池内溶解氧浓度开始

下降。待池中溶解氧浓度降至 1.0mg/L 以下后重新曝气, 此时设定时间 $t=0$, 以后每隔 15s 记录一次溶解氧值, 直至其上升至稳定值为止。用电流电压表测定输入输出电机的电源电压。因内源呼吸期, 污泥的耗氧速率 R_e 可看作常量, 这时有:

$$dc/dt = K_L a_w (C_{sv} - C_t) - R_e \quad (8)$$

将式(7)代入(8):

$$dc/dt = K_L a_w (C_{sv} - C_t) - K_L a_w (C_{sv} - C_e) dc/dt = K_L a_w (C_e - C_t) \quad (9)$$

积分后得:

$$\ln(C_e - C_t) = \ln(C_e - C_0) - K_L a_w \cdot t \quad (10)$$

改写为:

$$-\ln(C_e - C_t)/(C_e - C_0) = K_L a_w \cdot t \quad (11)$$

式(11)为一通过原点的直线, 可作一元线性回归得到。

(7)~(11)各式中, C_e - 闷曝 4h 后曝气池混合液的溶解氧浓度, mg/L ; C_0 - 重新开始曝气后 $t=0$ 时的溶解氧浓度, mg/L ;

试验时, C_e 取以 2min 为间隔的 5 次测定值的平均值。改变重新曝气时的电机转速, 以 50r/min 为间隔递减, 测定电机转速为 600、650、700、750、800、850r/min 时曝气机的传氧系数 $K_L \alpha$ 和电机运转功率。每次试验都取混合液样曝气 24~30h, 测混合液的饱和溶解氧浓度 C_{sv} 。

3 试验结果与讨论

试验结果汇总于表 1。限于篇幅, 只给出了转速为 650r/min 和 700r/min 的 $K_L \alpha$ 试验结果的图示, 如图 1 和图 2, 图中 $K_L a_w$ 单位为 $1/s$ 。

表 1 $K_L \alpha$ 试验结果汇总

电机转速 (r/min)	曝气叶轮转速 (r/min)	水温 ()	$K_L a_w (T)$ (1/h)	$K_L a_w (20)$ (1/h)	该转速下混合液溶解氧浓度 (mg/L)	电机输入功率 (kW)
600	35.3	25.20	3.60	3.18	1.10	4.095
650	38.2	25.40	4.68	4.12	1.23	5.04
700	41.2	25.40	5.04	4.43	1.76	5.79
750	44.1	25.10	6.12	5.42	2.09	6.84
800	47.1	24.60	7.92	7.10	2.70	8.38
850	50.0	25.00	10.8	9.59	3.80	9.92

由图中可看出, 以式(9)进行回归分析, 所得直线的相关性很好, 证明 $K_L \alpha$ 的测定是成功的, 并有较高的可信度。

数据处理时, 对高、低数据端均作了数据剔除。

对低数据端, 由于曝气叶轮逐渐加速的过程中, 接近叶轮的混合液首先得到充氧, 在转速未稳定前, 池中混合液存在较大的溶解氧浓度梯度, 因此, 记录开始时的 1~6 个点比较离散, 故作了适当的剔除, 此时

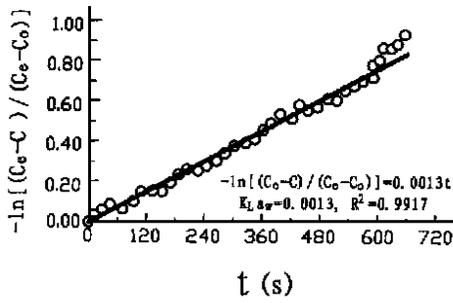


图1 K_{La_w} 计算曲线(650r/m in)

耗氧低点小于一般的 1.5~ 2 0mg/L 的范围, 增加了数据处理的灵活性。由于闷曝时间较长, 能准确地

测定 C_e , 所以接近 C_e 的溶解氧值也作了剔除。国外部分厂商曝气测试数据点截断的范围可见表 2。

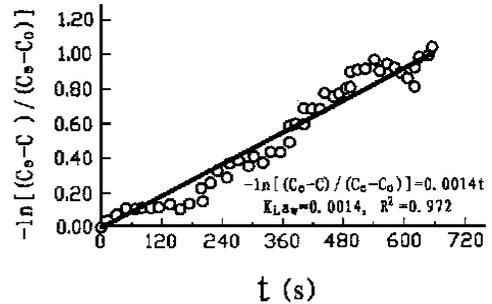


图2 K_{La_w} 计算曲线(700r/m in)

表2 国外部分厂商曝气测试数据点的截断范围

组 织	剔除的数据 相当于 C_{sw} 的%		组 织	剔除的数据 相当于 C_{sw} 的%		组 织	剔除的数据 相当于 C_{sw} 的%	
	低端	高端		低端	高端		低端	高端
耶曼斯 (Yeomans)	10	70	艾姆科(Eimco)	10	80	韦尔斯(Welles)	-	75
雷克斯诺特 (Rexnord)	20	90	混合设备公司	20	90	美国机械工程师 学会(A S M E)	20	90
PEMA	10	80	美国水污染控制 联合会(WPCF)	10	70	本次试验	20	80

4 表面曝气设备性能评价

4.1 表曝机动力密度与传氧系数的关系

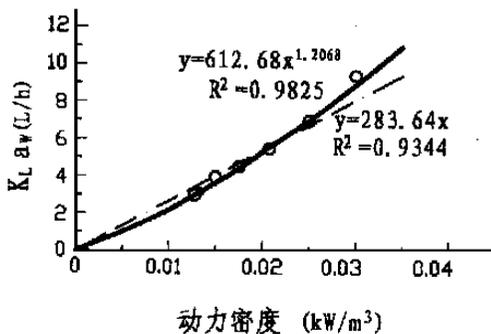


图3 动力密度与传氧系数的关系

动力密度定义为输入单位池容的功率。由于表曝机轴功率难于测定, 因此通过电机输入功率折算。城南厂曝气系统所配异步电机效率按铭牌为 90.2%, 摆线针轮减速机一般效率为 90%, 按表 1 的电机实测输入功率值计算, 求得轴功率, 计算结果列于表 3 中。20 的 K_{La_w} 据式(4)统一校正。二者关系可见图 3。

可发现, 动力密度与曝气机的污水传氧系数 K_{La_w} 近似于正比关系。图中拟合了两条曲线, 乘幂

形式的回归相关性略好于线性回归, 但两种拟合曲线都在工程误差容许的范围内, 应实用而言, 线性形式更为方便。这一结果与 Munz 和 Roberts 的研究很相似。

4.2 表曝机充氧能力

充氧能力(Oxygenation Capacity, OC), 或称吸氧量, 是指曝气设备在试验容积内单位时间的充氧量, 单位为 $\text{kg O}_2/\text{h}$ 。充氧能力是反映表曝机性能的重要指标, 其计算公式如下:

$$OC = (K_{La_w})_T \cdot (C_{sw} - C) \cdot V \quad (12)$$

式中, OC - 充氧能力, $\text{kg O}_2/\text{h}$; C - 温度 T 时液相主体的溶解氧浓度, mg/L , 按表 1 的值; C_{sw} - 温度 T 时污水的饱和溶解氧浓度, mg/L , 计算时, 为减小试验时的误差, 采用各次测定值的平均, 为 6.65mg/L 。 V - 曝气区池容, m^3 。

4.3 表曝机动力效率

在评价曝气机性能时, 往往更关心曝气机能效, 动力效率, 即单位用电的充氧能力, 以下式表示:

$$E_{fw} = OC / W_p \quad (13)$$

式中, E_{fw} - 曝气机在污水中的充氧动力效率, $\text{kg O}_2/\text{kW h}$; W_p - 曝气机轴功率, kW 。

表曝机不同转速的充氧能力和动力效率见

表 3。

4.4 分析与小结

表 3 中各转速下测定 K_{L,a_w} 时的水温在 25 左右, 数据间有一定的可比性。可由图 4 看出充氧能力和动力效率随转速变化的趋势。

曝气机的充氧能力总体而言随转速提高而升

高, 700r/min 和 850r/min 时稍有降低, 估计是由于测量误差所致。而曝气机的动力效率明显随转速提高下降, 说明转速提高, 曝气机的能效反而降低。高转速时曝气机能耗增加, 此时曝气池混合液溶解氧浓度大大超过常规的 2mg/L , 造成了电能不必要的浪费。

表 3 表曝机性能指标汇总

电机转速 (r/min)	曝气叶轮转速 (r/min)	水温 (°C)	K_{L,a_w} (1/h)	电机输入功率 (kW)	表曝机轴功率 (kW)	充氧能力 OC (kgO_2/h)	动力效率 E_{fw} (kgO_2/kWh)	动力密度 (W/m^3)
600	35.3	25.20	3.60	4.095	3.32	5.33	1.61	12.44
650	38.2	25.40	4.68	5.04	4.09	6.77	1.66	15.33
700	41.2	25.40	5.04	5.79	4.70	6.58	1.40	17.62
750	44.1	25.10	6.12	6.84	5.55	7.45	1.34	20.80
800	47.1	24.60	7.92	8.38	6.80	8.35	1.23	25.49
850	50.0	25.00	10.8	9.92	8.05	8.21	1.02	30.17

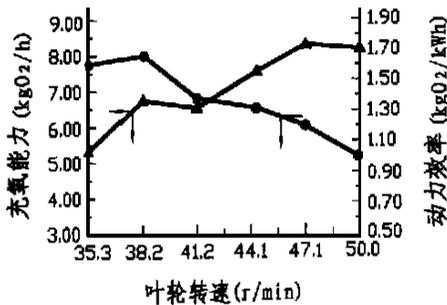


图 4 充氧能力、动力效率与叶轮转速的关系

对泵型叶轮, 运行时应保持一定的浸深 (50mm 以内), 浸水太浅会产生脱水现象而形不成水跃。因

而通过调节转速来调节充氧量比通过改变浸没深度来调节充氧量更合理和适当。针对城南厂以往曝气沉淀系统运转能耗过高的情况, 本研究提出: 在满足充氧混合要求及污泥回流要求的前提下, 控制曝气机转速为 700r/min, 这时池中溶解氧浓度在 $1.5\sim 2.5\text{mg/L}$ 范围内, 输入每 m^3 池容的搅拌功率为 17.6W, 均能满足一般运行要求。相对原来采用 800~900r/min 的电机转速, 节省电耗近 30%。1999 年 4 月以来的运行情况表明, 出水水质都能达到污水综合排放标准的要求。

A NEW METHOD TO EVALUATE THE PERFORMANCE OF PUMP-TYPE IMPELLER AERATOR

LONG Ten-rui, GAO Xu

(Urban Construction College, Chongqing Architectural University, Chongqing 400045, China)

Abstract Pump-type impeller aerator is generally used for aerating and mixing device in traditional activated sludge process. Non-mature and operable means are insufficient at present to evaluate its performance in practical application. A new testing measure on oxygen transfer coefficient- K_{L,a_w} in wastewater was suggested and applied to an energy efficiency research on a wastewater treatment plant located in Chongqing. Through the measure, relationship between K_{L,a_w} and aeration power density, as well as relationship between oxygen capacity, energy efficiency and rotating velocity of impeller were studied, and an operation scheme for energy saving was suggested and adopted.

Key words: oxygen transfer coefficient; pump-type impeller aerator; energy efficiency