

清水充氧实验中饱和溶解氧值确定方法的探讨

袁金华,王有乐

(兰州大学资源环境学院,甘肃 兰州 730000)

摘要 结合具体实验情况,对目前国内外 5 种确定饱和溶解氧值的方法进行了研究和探讨。在同一实验条件下对这 5 种方法的计算结果进行了对比,根据对比结果提出了一种确定饱和溶解氧值的新方法,并进一步论证了所提出方法的合理性和准确性,以期对清水充氧实验起到改进作用,从而获得较为准确的计算结果。

关键词 清水充氧实验 饱和溶解氧值 表面曝气 实验方法

中图分类号 X703.1 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2008)02-0079-03

Saturation values of dissolved oxygen in oxygenated clean water experiments

YUAN Jin-hua, WANG You-le

(College of Resources and Environment, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Five methods used to measure dissolved oxygen in experiments at home and abroad were analyzed and discussed. Through comparison of the results of those methods under the same experimental conditions, a new method for measuring saturated dissolved oxygen was presented. With proven rationality and validity, the method is expected to improve oxygenated clean water experiments and obtain more accurate results.

Key words: oxygenated clean water experiment; saturation values of dissolved oxygen; surface aeration; experimental method

曝气是在水处理领域中经常使用的一种单元操作,尤其在城市生活污水的活性污泥法处理中使用最为广泛。曝气设备是污水处理系统中最主要的机械设备,对于废水好氧生物处理来说是必不可少的,兼有充氧、混合等功能。而曝气设备的性能指标则是选择曝气设备的依据。氧总传质系数 K_{La} 是评价曝气设备供氧能力的重要指标。准确测定计算曝气设备曝气过程中的 K_{La} 至关重要。在实际中,测定 K_{La} 的方法大多采用清水充氧实验(即清水条件下无氧消耗不稳定状态实验)测定。根据 HJ/T 252—2006《中华人民共和国环境保护行业标准》附录 A (规范性附录)曝气器清水充氧性能的计算的要求,曝气器清水充氧性能测试中的数据处理,使用以下计算公式。

液膜内氧传递微分方程式:

$$dC/dt = K_{La}(C_s - C) \tag{1}$$

其积分形式为

$$\ln(C_s - C) = \ln C_s - K_{La}t \tag{2}$$

式中: C_s 为水中饱和溶解氧质量浓度,mg/L; C 为与曝气时间相应的水中溶解氧质量浓度,mg/L; t 为曝气时间,min; K_{La} 为曝气器在测试条件下的氧总传质系数,min⁻¹。

根据式(2)对所得数据用作图法进行处理,从而得到 K_{La} 值。

1 水中饱和溶解氧浓度

水中饱和溶解氧浓度 C_s 受到水质、水温、气压、水中盐浓度以及水流的稳定状态等条件影响,并随着它们的变化而变化,因此确定正确的 C_s 值对于计算准确的 K_{La} 值是非常重要的。确定 C_s 值目前国内外有 5 种方法:查表法、计算法、实测法、试算法和根据亨利定律确定。本文结合具体的实验情况,主

要就这几种方法进行了研究和讨论,提出了确定 C_s 值的新方法,以期对清水充氧实验起到改进作用,从而能获得较为准确的 K_{La} 值。

2 实验装置及实验方法

2.1 实验装置

曝气池尺寸:72.3 cm × 50 cm × 29.3 cm;平桨叶轮表面曝气机 叶轮 2 片,每片长 10 cm,宽 5 cm。

实验仪器:意大利哈纳 HI9141 型溶解氧测定仪、压力表、温度计、秒表及流速仪。

2.2 实验原理及实验方法

首先进行仪器的校正。所用仪器是意大利哈纳 HI9141 型便携式溶解氧测定仪,对其校正按照《水和废水监测分析方法》中便携式溶解氧仪法(B)^[1]和哈纳仪器说明书中的操作步骤进行。

实验原理及方法采用清水条件下无氧消耗不稳定状态法进行清水充氧实验。实验时向池内注满所需水后,先用脱氧剂无水亚硫酸钠和催化剂氯化钴进行脱氧,然后在溶解氧浓度等于零的状态下曝气。在充氧过程中,水中溶解氧浓度 C 是曝气时间 t 的函数,测定水中溶解氧浓度是每隔 30 s 记录下溶解氧测定仪显示的浓度值,记录到 45.5 min 停止,这样共得到 92 个数据。

3 确定 C_s 值的 5 种方法

3.1 查表法

查表法一般根据水质、水温和气压,查有关资料,确定 C_s 值。

实验条件下大气压力为 85.0 kPa,温度为 15.0℃,由 GB 11913—89《水质溶解氧的测定 电化学探头法》附录 A 的表 A3 中查出此压力和温度条件下的饱和溶解氧质量浓度为 8.42 mg/L。

3.2 计算法

根据 HJ/T2.3—93《环境影响评价技术导则地面水环境》中

$$\rho(\text{DO}) = \frac{468}{31.6 + t}$$

求得实验条件下水中饱和溶解氧质量浓度为 10.04 mg/L。由于实验条件下大气压力为 85.0 kPa,与标准大气压 101.325 kPa 相差很大,应该加以修正,即

$$\rho(\text{DO}) = \frac{P}{P_0} \times \frac{468}{31.6 + t}$$

求得实验条件下水中饱和溶解氧质量浓度为 8.42 mg/L 而根据张朝能^[2]推出的公式

$$\rho(\text{DO}) = \frac{P}{P_0} \times \frac{477.8}{t + 32.26}$$

求得实验条件下水中饱和溶解氧质量浓度为 8.48 mg/L。 P 为实验条件下大气压力, kPa; P_0 为标准大气压, kPa。

3.3 试算法

试算法一般选用几个 C_s 值代入式(1)和式(2),使其线性相关最好时的 C_s 值作为饱和溶解氧值,此方法比较麻烦,准确度又低,所以不常采用。

3.4 亨利定律法

当总压不高(譬如不超过 $5 \times 10^5 \text{ Pa}$)时,在恒定的温度下,稀溶液上方的气体溶质平衡分压与该溶质在液相中的浓度之间存在着如下关系^[3]:

$$p^* = Ex \tag{3}$$

式中: p^* 为溶质在气相中的平衡分压, kPa; x 为溶质在液相中的摩尔分率; E 为亨利系数,其数值随物系的特性及温度而异。

式(3)即为亨利定律的数学表达式。当在本实验条件下大气压力为 85.0 kPa,温度为 15.0℃时,查表求得亨利系数 E 为 $3.69 \times 10^6 \text{ kPa}$ 。计算求得实验条件下水中饱和溶解氧质量浓度为 8.61 mg/L。

3.5 实测法

实测法一般指实际测定实验条件下的水中饱和溶解氧值。

关于具体的实测过程,概念都比较模糊,主要有下面几种观点:①认为 C_s 值应取测量中的最大 C 值,而不是理论计算饱和值^[4];②从溶解氧测定仪为零启动开始直至溶液中溶解氧浓度稳定(即饱和)为止^[5-6];③用空气曝气,测氧仪的读数随即上升,至不再上升时的浓度值即为氧气在溶液中的饱和浓度值^[7-8];④HCRJ 023—1998《中国环境保护产品认定技术条件 机械表面曝气机》中的 A4.1.4 条文:当溶解氧浓度达到饱和后,测定仪读数不再上升,稳定 3 min,测定饱和溶解氧值 C_s 。图 1 是本实验过程中一组测试数据,由图 1 中的实验数据可以看出,采用上面的几种观点对 C_s 值进行确定都有一些不合理的地方。据此,本文结合具体的实测数据提出了一种确定 C_s 值的新方法。

从图 1 中可以看出,随着曝气时间的增加,水中的溶解氧质量浓度也逐渐增大,但增加的速率越来越

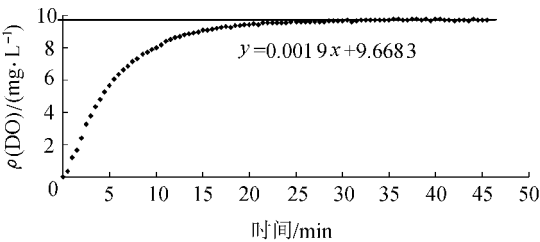


图 1 溶解氧浓度与时间关系

越小,溶解氧浓度并没有稳定在一个固定的数值上,而是在出现最大值之后在此最大值附近波动。最大溶解氧质量浓度值 9.79 mg/L 出现了 3 次,此后溶解氧浓度值就在此最大值附近波动,可以认为此时水中的溶解氧已达到饱和状态,这些点的变化比较平缓,作过这些点的直线交于 y 轴,此交点的纵坐标值即为实验条件下的饱和溶解氧浓度值,由直线方程可知此实验条件下的饱和溶解氧质量浓度约为 9.67 mg/L_o。笔者认为通过这样的方法确定饱和溶解氧浓度值更加准确。

4 分析与结论

以上讨论了 5 种确定饱和溶解氧值的方法,除了第 4 种方法,各种方法在实验条件下得出的结果分别为:查表法为 8.42 mg/L ;计算法为 8.42 mg/L , 8.48 mg/L ;亨利定律法为 8.61 mg/L ;新方法为 9.67 mg/L_o

由上面结果可以看出,采用新方法测得的 C_s 值要比其他方法得出的值高出很多,下面对此现象进行了探讨,以进一步论证所提出方法的合理性和准确性。

气体在液体中的饱和溶解度是指气体和液体在一定条件下进行接触达到平衡状态时的溶解度。根据传质过程可以知道在相际传质过程进行时,其传质的极限都是以达到相际平衡为度量的。而要达到相际平衡,两相的接触需要经过很长时间后才能建立。同样,在清水充氧实验过程中,如果长期进行曝气,总会达到氧的饱和溶解度。但在连续曝气的情况下出现的是氧的过饱和状态下的浓度即氧的过饱

和浓度。根据对上面各种方法下得出的饱和溶解氧值的结果比较可以发现,实验水体用新方法得到的饱和溶解氧浓度与其他方法得出的饱和值相差很大,这是因为在曝气过程中,空气是以气泡形式吸入的,实际上曝气池内的饱和溶解氧浓度高于在液面与大气平衡时的氧的饱和浓度,因此实际实验过程中测得的是氧的过饱和浓度。考虑到在实验过程中曝气是一连续过程,而溶解氧值也是在此连续的状态下进行测定得到的,所以笔者认为 C_s 值应该用文中提出的新方法进行确定。这样确定出的 C_s 值更加合理准确,也更符合实际情况。推荐在清水充氧实验中使用这一方法。

参考文献：

[1] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002,209-210.
[2] 张朝能.水体中饱和溶解氧的求算方法探讨[J].环境科学研究,1999,12(2):54-55.
[3] 姚玉英.化工原理(下)[M].天津:天津科学技术出版社,1992:77.
[4] 丁志强,曹瑞钰.非线性回归法计算曝气设备清水氧传递系数[J].环境污染与防治,2004,26(1):63-64,71.
[5] 彭党聪.水污染控制工程实践教程[M].北京:化学工业出版社,2004:55.
[6] 王鹤立,王绍文,吕炳南.均匀受限曝气机理及清水充氧试验研究[J].中国给水排水,2001,17(1):15-18.
[7] 高廷耀,顾国维.水污染控制工程(下)[M].2版.北京:高等教育出版社,1999:142.
[8] 张希衡.水污染控制工程[M].修订版.北京:冶金工业出版社,1993:106.

(收稿日期 2006-12-29 编辑 高渭文)

(上接第 78 页)

最佳水力负荷为 $1.0 \sim 2.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的平均去除率分别可达 82% 和 74%。

b. 曝气生物滤池具有一定的抗有机冲击负荷的能力,当进水 COD 负荷为 $1.69 \sim 6.47 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时,COD 去除率与进水 COD 负荷成正相关,但当 COD 负荷增高至 $7.61 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 后,COD 去除率明显下降。BAF 的硝化性能与进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD 负荷成负相关。

c. 有机物的生物氧化主要发生在滤柱的底部,而 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的硝化则主要发生在滤柱的中上部,这一差别与滤柱高度上好氧异养菌和自养硝化菌的空间分布有关。

参考文献：

[1] 崔福义,张兵,唐丽.曝气生物滤池技术研究与应用进展[J].环境污染治理技术与设备,2005,6(10):1-7.
[2] 郭天朋,汪诚文,陈吕军,等.升流式曝气生物滤池深度处理城市污水的工艺特性[J].环境科学,2002,23(1):58-61.
[3] 郑俊,吴浩汀,陈寒飞.曝气生物滤池污水处理新技术及工程实例[M].北京:化学工业出版社 2002:76-77.
[4] 雷国元,吴克明,齐兵强,等.曝气生物滤池的工作性能与高度的关系[J].环境污染与防治,2002,24(1):26-28.
[5] 曹文平,张永明,钱鲁泓.两段曝气生物滤池废水处理的研究[J].水处理技术,2006,32(3):62-65.

(收稿日期 2006-12-09 编辑 徐娟)