

氧化沟水平轴曝气机充氧性能 测试数据的处理方法研究

陈吕军 钱 易

(清华大学环境工程系, 北京)

随着氧化沟工艺在我国的推广应用, 国内开发研制水平轴曝气机的单位日益增多, 因此建立较为统一、合理的水平轴曝气机性能指标、测试程序以及数据处理方法显得极为重要。本文就充氧性能测试数据的处理方法进行了详细的研究和讨论, 论述了在计算过程中需要注意的几个问题, 同时对处理数据的计算机软件系统进行了讨论说明。这些内容对国内开发研制氧化沟水平轴曝气机有较大的实用价值。

Study on the Data Processing Method of Oxygenation Performance Test of Horizontal Axis Aerators in Oxidation Ditch

Chen Lujun Qian Yi

(Dept. of Environmental Engineering, Tsinghua University, Beijing)

Abstract

With the application and dissemination of oxidation ditch technology, more and more domestic manufacturing enterprises are very interested in developing and studying the horizontal axis aerators (HAA). Therefore, it is necessary to establish unified and rational performance index systems, measurement and test procedures and data processing methods of HAA. In this paper, data processing methods of oxygenation performance test are studied and discussed in detail, a few problems that should be noticed in the calculation process are discussed and a computer software system used in the data processing is studied. All these are of higher value applicable to develop the domestic HAA used in oxidation ditch technology.

曝气设备是氧化沟污水处理系统中最主要的机械设备, 它兼有充氧、推进、混合等功能。氧化沟曝气设备可按图1进行分类。其中水平轴曝气机是一种研究最多、应用最广的氧化沟充氧设备, 它包括转刷曝气机和盘式曝气机。随着氧化沟工艺在我国的推广应用, 国内开发研制水平轴曝气机的单位日

益增多, 因此建立较为统一、合理的水平轴曝气机性能指标和测试方法就显得极为重要。作者在文献[1]中已详细论述了性能指标的确定以及性能指标的测试方法, 本文主要就最主要的充氧性能测试数据的处理方法进行研究和讨论。

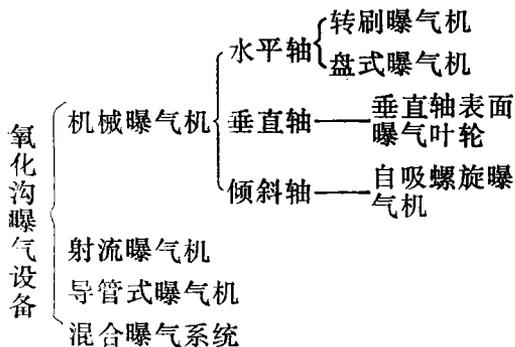


图 1 氧化沟曝气设备分类

一、概述

数据处理的内容包括处理水平轴曝气机在不同转速、浸水深度下清水充氧试验的数据和计算确定性能参数。处理充氧试验数据的目的是求取氧总转移系数 $K_{L,a}$ 。对于水中无氧消耗非稳态的充氧试验，氧在水中的溶解速度为一级传质模式，用下式表示^[2]：

$$\frac{dc}{dt} = K_{L,a}(C_s' - C) \quad (1)$$

其中：

$\frac{dc}{dt}$ 为溶解氧随时间的变化速率
(mg/L·min)

$K_{L,a}$ ——氧总转移系数， min^{-1} ；
 C_s' ——饱和溶解氧值，mg/L；
 C ——时间 t 时的溶解氧值，mg/L。

而温度与 $K_{L,a}$ 之间存在以下关系：

$$K_{L,a}(T) = K_{L,a}(20) \cdot 1.024^{T-20} \quad (2)$$

其中： $K_{L,a}(T)$ 为温度 $T^\circ\text{C}$ 时的氧总转移系数 (min^{-1})

$K_{L,a}(20)$ 为温度 20°C 时的氧总转移系数 (min^{-1})

饱和溶解氧与大气压强之间有以下关系：

$$C_s' = \rho C_s = \frac{p'}{p} C \quad (3)$$

其中： C_s' ——试验条件下的饱和溶解氧值

mg/L；

C_s ——标准大气压下的饱和溶解氧值，mg/L；

p' ——试验条件下的大气压力；

p ——标准大气压力；

ρ ——系数， $\rho = p'/p$ 。

则式 (1) 可变为下面的微分形式：

$$\frac{dc}{dt} = K_{L,a}(\rho C_s - C) \quad (4)$$

代入边界条件 $t_0 = 0, C = C_0$ ，积分得到下面的积分形式：

$$\ln(\rho C_s - C) = -K_{L,a}t + \ln(\rho C_s - C_0) \quad (5)$$

式 (4) 也可转化为下面的指数形式：

$$C = C_s - (C_s - C_0)e^{-K_{L,a}t} \quad (6)$$

$K_{L,a}$ 就是利用式 (4)(5)(6) 三种不同形式通过手算或电算分别求得的，求出 $K_{L,a}$ 值后就可以根据式 (7)(8) 计算出不同转速、浸水深度下的标准充氧能力 (SOTR) 和动力效率 (SAE) (20°C ， 0.1MPa 下清水条件)。

$$\begin{aligned} \text{SOTR} &= K_{L,a}(T) \cdot 1.024^{20-T} C_{s(20)} V/L \\ &\text{或 } n \times \frac{60}{1000} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{SAE} &= K_{L,a}(T) \cdot 1.024^{20-T} C_{s(20)} V/N \\ &\times \frac{60}{1000} \end{aligned} \quad (8)$$

式中：

SOTR——标准状态 (0.1MPa ， 20°C 清水) 下的充氧能力， $\text{kgO}_2/\text{m}(\text{盘}) \cdot \text{h}$ ；

SAE——动力效率， kgO_2/kWh ；

$C_{s(20)}$ —— 20°C 时水中饱和溶解氧，mg/L；

V ——试验用氧化沟容积， m^3 ；

L ——试验用转刷有效长度， m ；

n ——试验用曝气盘片数，盘；

N ——轴功率， kW 。

(一) 饱和溶解氧 C_s 值

饱和溶解氧 C_s 值随温度、压力、水中盐浓

度的变化而变化, 因此确定正确的 C_s 值对于计算准确的 $K_{L,a}$ 值是非常重要的。用于计算 $K_{L,a}$ 值的 C_s 目前国内外有四种选用方法:

(1) 采用查表法 根据水质、水温、气压, 查有关资料确定 C_s 。这是一种既方便又准确的方法。(2) 计算法 这是一种基于查表法的方法, 在忽略盐浓度对 C_s 的影响或水中盐浓度较低的情况下, 将表中 C_s 与温度拟合成下列关系式:

$$C_s = 14.652 - 0.410222T + 7.99 \times 10^{-3}T^2 - 7.777 \times 10^{-5}T^3 \quad (9)$$

只要知道水的温度即可求得 C_s 值。(3) 采用现场实测值, 即充氧试验时的实测饱和值。因水中溶解氧饱和浓度与试验条件有很大关系, 所以每次测定的饱和值均不相同。这就要求每次测定时均使溶解氧达到饱和为止,

而要想达到真正的饱和需要较长的时间, 所以此法不甚方便, 也不易准确。(4) 试算法。选用几个 C_s 值代入上面(4)(5)(6)各式, 使其线性相关最好时的 C_s 值作为饱和溶解氧值, 这种方法若采用手算极为不便, 所以也不常采用。

(二) 计算 $K_{L,a}$ 时, 数据点的取值范围

在计算 $K_{L,a}$ 时, 究竟取从零至达到饱和溶解氧时的所有不同时间的全部溶解氧实测数据, 还是取部分数据作为依据, 国内外做法不一。国内大都取实测饱和值的 10%~85% 之间的数据。国外一些厂商常取 20%~80% 的 C_s 作为计算 $K_{L,a}$ 的依据。但许多专家反对这种做法。表 1 为国外部分厂商和专业组织计算 $K_{L,a}$ 时溶解氧的取值范围^[3]。

舍去溶解氧饱和值两端数据的目的是取

表 1 国外某些厂商充氧测试对溶解氧的取值范围

组织或厂商	DO 的取值范围 % C_s	组织或厂商	DO 的取值范围 % C_s
Yeomans	10~70	混和设备公司	20~90
Eimco	10~80	美国机械工程师学会(ASME)	20~90
Welles	~75	PFEMA	10~80
Rexnord	20~90	WPCF	10~70

线性好的那一段, 以求得准确的 $K_{L,a}$ 值。舍去的百分数常由测试者根据点子的拟合情况而定。这种做法在实际工作中会带来很大误差。作者认为不应将两头数据舍去, 只要充氧试验做得成功, 求 $K_{L,a}$ 时的线性相关性依然可以很好。

二、数据处理方法

数据处理方法分手算法和电算法。手算法一般包括作图法和线性回归法。

(一) 作图法

1. 将式(4)的微分形式改为下式:

$$C = \rho C_s - \frac{1}{K_{L,a}} \frac{dc}{dt} \quad (10)$$

在普通坐标纸上以 C 为纵坐标, 时间 t 为横坐标, 可画一条溶解氧随时间上升的曲线; 又以 C 为纵坐标, $\frac{dc}{dt}$ 为横坐标, 画一条直线,

直线斜率即为 $-\frac{1}{K_{L,a}}$ 值^[4]。如图 2 所示,

具体步骤为在 $C-t$ 曲线上任一点 C_1, C_2, C_3, \dots 作曲线的切线, 求得对应的 $\left(\frac{dc}{dt}\right)_1,$

$\left(\frac{dc}{dt}\right)_2, \left(\frac{dc}{dt}\right)_3, \dots$ 。以 $\frac{dc}{dt}$ 为横坐标与对

应的 C_1, C_2, C_3, \dots 点绘成直线, 直线斜率即为 $-\frac{1}{K_{L,a}}$ 。

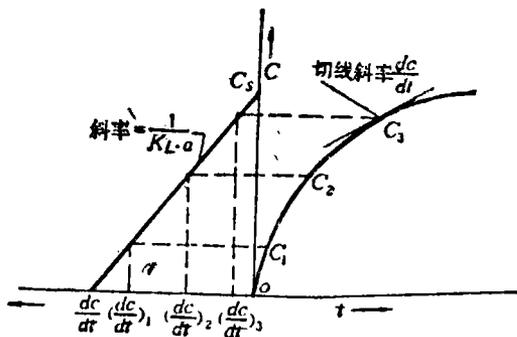


图 2 作图法计算 $K_{L,a}$ 值

2. 采用积分形式(5),在半对数坐标纸上,以 t 为横坐标,以 $(\rho C_s - C)$ 为纵坐标,点画成一直线,直线斜率即为 $-K_{L,a}$ 。具体做法为在 t_1, t_2, t_3, \dots 不同时间,计算 $(\rho C_s - C)$ 值,在半对数坐标纸上,画 $\ln(\rho C_s - C) \sim t$ 一条直线即可。

(二) 线性回归法

由积分式(5)可知, $\ln(\rho C_s - C)$ 与时间 t 成线性关系,由一元线性回归公式得:

$$K_{L,a} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \sum_{i=1}^n [\ln(\rho C_s - C)]_i - n}{\left(\sum_{i=1}^n t_i\right)^2 - n \sum_{i=1}^n t_i^2}$$

表2 氧化沟曝气机性能测试数据格式示例

曝气机型: 盘式曝气机

实验日期: 1990年11月17日

实验条件: 转速 $n=50\text{rpm}$; 浸深 $I=20\text{cm}$; 流速 $V=0.200\text{m/s}$; 水容积 $V=11.42\text{m}^3$; 水温度 $T=13.85^\circ\text{C}$; 轴功率 $N=0.101\text{kW}$; 盘片数 $X=3$ 片。

溶解氧值:

时间(min)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
浓度(mg/L)	0.25	0.33	0.39	0.60	0.79	1.18	1.43	1.65	1.96	2.22
时间(min)	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
浓度(mg/L)	2.53	2.76	3.00	3.27	3.52	3.75	4.03	4.18	4.38	4.59
时间(min)	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5
浓度(mg/L)	4.76	4.98	5.15	5.29	5.49	5.62	5.92	6.18	6.43	6.70
时间(min)	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	22.5	23.5	24.5	25.5	
浓度(mg/L)	6.89	7.06	7.28	7.43	7.60	7.74	7.87	8.01	8.11	

实验结果: 总传质系数 $K_{L,a}=3.722\text{ L/h}$; 线性相关系数 $R=0.999$; 充氧能力 $SOTR(0.1\text{MPa}, 20^\circ\text{C清水})=0.151\text{ kgO}_2/\text{片}\cdot\text{h}$; 动力效率 $SAE=4.479\text{ kgO}_2/\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

$$-\frac{\sum_{i=1}^n t_i [\ln(\rho C_s - C)]_i}{\left(\sum_{i=1}^n t_i\right)^2 - n \sum_{i=1}^n t_i^2} \quad (11)$$

以上两种方法是比较规范的方法,在工作量较少的情况下用起来较为方便,结果也较为准确,但在曝气设备的性能测试时,要处理大量数据,用上述方法无论作图或计算,工作量将非常繁重,因此在计算机高度发展的今天,研究应用计算机处理数据具有十分重要的推广价值和实际意义。

三、处理数据的计算机软性系统研究

作者曾利用式(6)的指数形式,采用最优化方法,一阶梯度法和二阶梯度法来直计算各种转速、浸水深度下的充氧能力和动力效率,由于用指数形式的非线性间接归模型计算时,选定不同的 $K_{L,a}$ 、 C_s 初值时,计算结果出现某些漂移,说明用非线性模型进行数据处理,结果是不稳定的。而程序本身所用语言的限制,不能进行连续运行、统计结果、制表输出等,是一种一般的计算程序。

本文采用对数形式的线性模型,应用式

(11) 通过一元线性回归, 运用 C 语言在 UC DOS 高级汉字操作系统下, 建立了氧化沟水平轴曝气设备性能测试数据计算机处理通用软件系统。这一系统可成功地处理转刷曝气机和盘式曝气机的性能测试数据, 不懂

计算机语言或不熟悉计算机的用户均可根据系统中的中文菜单提示而应用自如。图 3 是程序设计框图。表 2、表 3 即为数据处理后打印输出的格式例子。系统操作方法详见文献。

表3 氧化沟曝气机性能测试统计格式示例

转速 n=50rpm				
浸深 I (cm)	充氧能力 SOTR (kgO ₂ /片·h)	动力效率 SAE (kgO ₂ /kW·h)	流速 V (m/s)	单位轴功率 W (kW/片)
20	0.151	4.479	0.200	0.034
25	0.157	2.434	0.210	0.065
30	0.190	2.328	0.233	0.082
转速 n=55rpm				
浸深 I (cm)	充氧能力 SOTR (kgO ₂ /片·h)	动力效率 SAE (kgO ₂ /kW·h)	流速 V (m/s)	单位轴功率 W (kW/片)
20	0.154	1.685	0.267	0.092
25	0.208	1.747	0.320	0.119
30	0.222	1.441	0.352	0.154
转速 n=75rpm				
浸深 I (cm)	充氧能力 SOTR (kgO ₂ /片·h)	动力效率 SAE (kgO ₂ /kW·h)	流速 V (m/s)	单位轴功率 W (kW/片)
20	0.302	2.011	0.255	0.150
25	0.401	1.643	0.395	0.244
30	0.526	1.658	0.648	0.317

四、结语

由于能源的日趋紧张, 不少国家都在研究开发充氧能力更高、动力消耗更省、推动力更大的曝气设备。每一种新的曝气设备的开发, 意味着新一代氧化沟工艺的诞生。日本有十几个社团和民间企业独立为氧化沟转刷曝气机的开发和改良进行着研究工作。1983年, 日本建设省开展了“用于氧化沟的机械式曝气装置的开发”评价课题, 有 8 家公司参加〔5〕。日本土木研究所还建有 200m³ 的水池, 用于测定各种曝气设备的性能。

美国在曝气设备的开发上作了很多工作。许多公司都有专利产品, 并建有试验基地, 例如在密执安州的 Ironwood、堪萨斯州的 Lansing 均建有 Orbal 氧化沟转盘曝气机性能测试点, 用于测定曝气设备的充氧能力、动力效率和混合效率。

我国许多单位和厂家正日益加紧对氧化沟转刷曝气机和转盘曝气机的开发, 因此, 除建立统一合理的性能指标体系、实际试验程序和采用先进的技术手段外, 对性能测试过程中原始数据的处理就显得极为重要, 建立正确的数据处理方法也就具有很重要的应用和推广意义。

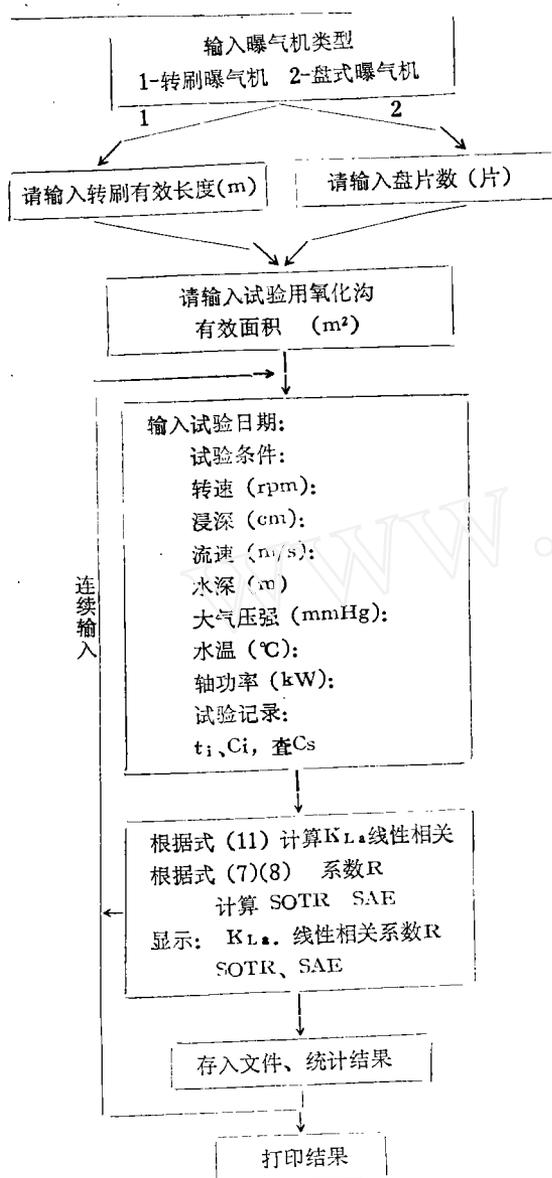


图 3 程序设计框图

参考文献

1. 陈吕军、钱易。“氧化沟水平轴曝气机性能指标研究”，中国给水排水, 1993.5.
2. 顾夏声等。“水处理工程”，清华大学出版社, 1985.
3. 任锋等。“曝气设备充氧试验数据的推求方法及在设计中的应用”，建筑技术通讯, 给水排水, 1985. 3
4. 羊寿生。“曝气的理论与实践”，中国建筑工业出版社, 1980
5. 星隈保夫。“各种氧化沟特征和维护管理要点”，《公害と对策》临时增刊总第228期, 李平泽, 国外环境科学技术, 1987. 2

(上接第11页)

是可以生物氧化法处理的，生物处理过程中的生物相类同于一般污水生物处理过程中的生物相。

2. 生物塔既可处理海水、淡水混合污水，也可处理普通的有机废水，并且可以在比较高的有机负荷和水力负荷条件下正常运行。

3. 脱除率高，COD、石油类的脱除率约为90%，挥发酚、硫化物脱除率大于99%。

4. 转动设备少，能耗低，耐冲击，对水质变化的适应性强，操作管理方便。冲击负荷过去后一般2~3d可以恢复正常运行。

5. 不外排过剩的活性污泥，不需要建设相应的沉淀池和污泥处理设施。生物塔处理污水的基建投资约为1万元/t，运行费用约为0.10元。

6. 受气温影响小，在高寒地区同样可以应用。

(上接第44页)

Mn的分析而得的评价〔5〕。

参 考 文 献

1. Greco, Edward C., "Gasoline plant corrosion" Gas, 1956, Vol.32 P144-148.
2. Uhlig, Herbert H., ed The Corrosion Handbook, 1948 P127-130.
3. De Waard C., and Williams, D.E "Prediction of carbonic Acid corrosion in Natural Gas pipelines" Industrial Finishing and surface Coatings, Vol28 1976 P24-28.
4. Graves, John W., and Sullivan, E. H., "Internal corrosion in Gas Gathering systems and Transmission Lines", Materials protection, Vol5, No6, 1966 P33-37.
5. Warren E. Berry. Oil & Gas Journal Vol 81. No12 1983, P160-163.
6. 石声泰。“防蚀金属保护层” 腐蚀与防腐。1985, No5 P4.
7. 赖春晓。“近海石油管道的防蚀” 腐蚀与防腐。1985, No5 P12-14.
8. 吴民达。“麻省理工学院腐蚀研究工作概况” 腐蚀与防腐。1985, No1 P7-9.