

呼吸速率测定研究进展

卢少勇 宋英豪 申立贤 王凯军

(北京市环境保护科学研究院, 北京 100037)

X7 A

摘 要 本文简述了三类测定呼吸速率的方法, 并就最常用的仪器法介绍了呼吸速率测定仪的分类。总结了近四十年来国内外呼吸速率测定方法与装置的研究进展状况, 并对该技术的未来发展作出预测。

关键词 呼吸速率 呼吸速率测定

The research development of the respiration rate measurement

Lu Shaoyong Song Yinghao Shen Lixian Wang kaijun

(Beijing Municipal Institute of Environmental Protection, Beijing 100037)

Abstract This paper is a review of three kinds of respiration rate measurement methods. It introduces the instrumental method area about the classification of the respiration rate measurement meter, and summarizes the research development of the respiration rate measurement method and device in the recent 40 years. At last, it forecasts the future development of the respiration rate measurement technique.

Key words respiration rate; respiration rate measurement

1 呼吸速率概述

好氧呼吸速率(r)也称耗氧速率或氧利用速率, 指单位时间单位体积混合液中微生物的耗氧量; 是活性污泥的主要指标。单位重量 MLVSS 的呼吸速率即比呼吸速率(r_s)。在基质降解和微生物生存过程中只有活性生物量耗氧, 故测定呼吸速率能反映污泥的活性生物量浓度。Henri^[1]认为呼吸速率是最敏感的变量之一, 以它为基础有助于监控活性污泥工艺。比呼吸速率是表征活性污泥处理过程和物质降解过程的关键变量, 是反映基质浓度变化和微生物活性变化的间接指标。当基质浓度较高时, 新陈代谢旺盛, 微生物活性高, 呼吸速率较大^[2,16]。

呼吸速率受多种因素(如基质组成、毒物、负荷、氧气浓度、絮体颗粒大小、固体浓度、温度、pH 值等)影响。数十年来, 对活性污泥呼吸速率的测定除了对活性污泥活性进行测定外, 人们还进行了许多研究。20 世纪 60 年代即开始进行呼吸速率与 BOD 的相关性研究, 70 年代开始了毒性处理能力测试和工艺控制研究。

2 呼吸速率测定技术的发展与展望

2.1 呼吸速率的测定方法

测定呼吸速率的方法主要有三类: 估计法、耗气

法和仪器法。

估计法以完全混合式曝气池中溶解氧(DO)动力学模型为基础, 利用在线测定的 DO 浓度和空气流速算出呼吸速率。耗气法同时测定进、出曝气池的空气中的氧气浓度, 其差值乘以空气流量, 除以曝气池体积, 即为污泥的呼吸速率, 再除以反应器中总的污泥量, 即为污泥的比呼吸速率。但此法的测定装置复杂, 目前少用。仪器法由作为氧吸收场所的呼吸室(指在测定呼吸速率过程中所使用的与曝气池相连的封闭小室)和测定氧消耗的设备组成。由于快速准确的 DO 测定仪的出现, 仪器法测定简单快速, 目前广为采用。

2.2 呼吸速率测定仪的分类与描述

活性污泥的呼吸速率测定基于系统中 DO 浓度变化导致其他因子如活性污泥的呼吸(内源氧吸收速率)和基质废水的利用(外源氧吸收速率)的变化。

长期以来, 污水处理研究者们已尝试研究多种呼吸速率测定设施。呼吸速率仪的广泛应用体现在下列方面: 控制活性污泥工艺^[3]; 决定生长动力学参数^[4]; 研究 BOD 随时间变化, 决定 BOD_{ST}^[5]; 测定进水的 SS 浓度^[6]; 测定和分析挥发性有机化合物和取代苯酚的生物降解动力学; 毒性早期报警和检验监控器^[7]; 探测硝化和反硝化终点^[8]; 检验微溶

有机化合物生物降解性^[9];建立结构-生物降解关系模型^[10];研究活性污泥习性^[11];测定生物固体混合肥料稳定性^[12];估计土壤呼吸作用^[13];研究土壤中烃类生物降解^[14]等等。

呼吸速率测定仪的分类方法有多种,如从混合液流态、测定系统是否有 DO 探头、呼吸室是否密闭等角度分类,本文只介绍两种主要分类法。

2.2.1 从测定系统中有无溶解氧探头分类

分为测压式呼吸仪和带溶解氧仪的呼吸仪两类(见表 1)。

1) 测压技术测定微生物耗氧体积。有一种特殊的呼吸仪,能向呼吸室内补充氧气供微生物消耗。氧气可由电解作用或其他作用产生。测压式呼吸仪主要用于确定污水或其他基质的生化需氧量。

表 1 呼吸仪分类表

呼吸仪	测压式呼吸仪		
	带溶解氧仪的呼吸仪	连续流式呼吸仪	
		间歇式呼吸仪	开式呼吸仪
			闭式呼吸仪

2) 现在,多数呼吸仪采用 DO 探针测定 DO 浓度,从 DO 浓度的变化计算呼吸速率。采用 DO 探针的呼吸仪可分间歇式和连续流通式呼吸仪。

(1) 间歇式呼吸仪:有闭式和开式之分。

闭式呼吸仪的操作步骤:装待测混合液(例如来自曝气池的活性污泥试样)于带 DO 探头(与分析仪相连)的完全封闭小室(最初采用 BOD 瓶)。先曝气至 DO 浓度接近饱和,再停曝,DO 仪记录小室中 DO 浓度变化。此变化曲线的斜率即为呼吸速率。在测定过程中用磁力搅拌器混合搅拌。此法曾被认为是标准法,但后续研究发现此法测定值低于实际值。因在取样时刻与实际测定时刻之间的时间差内呼吸速率会迅速下降。

有些开式呼吸仪也如此操作,但要注意周围空气中氧气的影响。而多数开式呼吸仪均连续曝气;优点在于连续输入氧气,适应于高污泥浓度情况。用此法计算呼吸速率时须知操作条件下的氧转移系数和饱和 DO 浓度。1992 年 Ciaccio 提出的开式间歇呼吸仪也采用此法。

间歇式测定仪也能以半连续方式自动运行。

(2) 连续流通式呼吸仪:连续交替测定闭式呼吸室进、出口处的 DO 浓度。污泥连续泵入呼吸室。以此两个 DO 浓度的差值和停留时间计算出呼吸速

率。1978 年,Edeline 等报道了由一个盘管和两个 DO 探针(分别位于管两端)组成的呼吸仪:泵活性污泥入管中;从 DO 的差值算出呼吸速率。此法实际上是上述闭式间歇呼吸仪的推流型。其他测定仪均采用有污泥连续泵入的完全混合呼吸室。在这些测定仪中曝气池中和呼吸室出口各有一个 DO 探针。在计算呼吸速率时均假设 DO 浓度稳定。Heckershoff 和 Wiesmann(1986)提出在封闭的曝气系统中,同一曝气池的污泥投加到分别加污水和自来水的两个并联呼吸室。可从呼吸室中氧气的物料平衡算出呼吸速率,再求废水的 BOD。

2.2.2 从测定过程中呼吸室是否密闭分类

从此角度,呼吸仪常可分为两类,如表 2 所示:

表 2 呼吸仪分类表(续)

呼吸仪	封闭式呼吸仪	压力表式呼吸仪
		容量式呼吸仪
		组合式呼吸仪
	敞开式呼吸仪	非连续流式呼吸仪
		连续流式呼吸仪

连续流式呼吸仪和非连续流式呼吸仪前文已述。

压力表式呼吸仪测定在恒容系统中系统中氧消耗(细菌生命活动耗氧)而导致的压力差。例如 WARBUGE(即瓦勃仪)。

容量式呼吸仪测定是在恒压系统中进行,且用电解电池来计算氧消耗。例如 Spromat(由 Voith 制造)。

组合式呼吸仪是在体积和压力均变化的系统中测定氧消耗。例如 HACH 呼吸仪(由 Voith 制造)。

2.2.3 不同呼吸仪的描述

1) WINKLER'S 瓶

用 DO 仪测定在一容积已知容器中混合液的 DO 浓度。取活性污泥悬浮液到瓶中且用磁力搅拌器搅拌(图 1);由 DO 仪测定 DO 浓度随时间的变化。

图 1 中,含 MLSS 的 Winkler's 瓶即呼吸室,和 DO 仪统称呼吸仪。本装置恒温密闭,排除了气流波动和温度变化等外界因素对 DO 测定的影响,适于实验室与现场测定。

2) WARBUGE(瓦勃仪)

Warbuge 方法测定耗氧量的原理:恒温、定容条件下气体量的任何变化均可反映在检压计上的压力

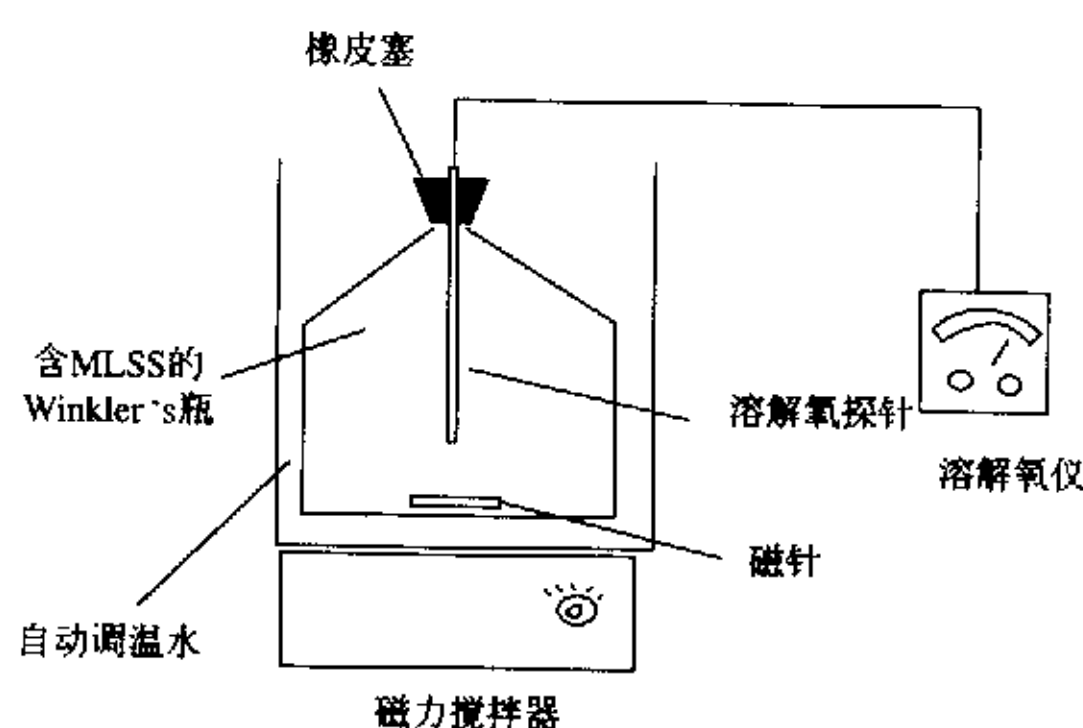


图1 WINKLER'S 瓶式呼吸仪

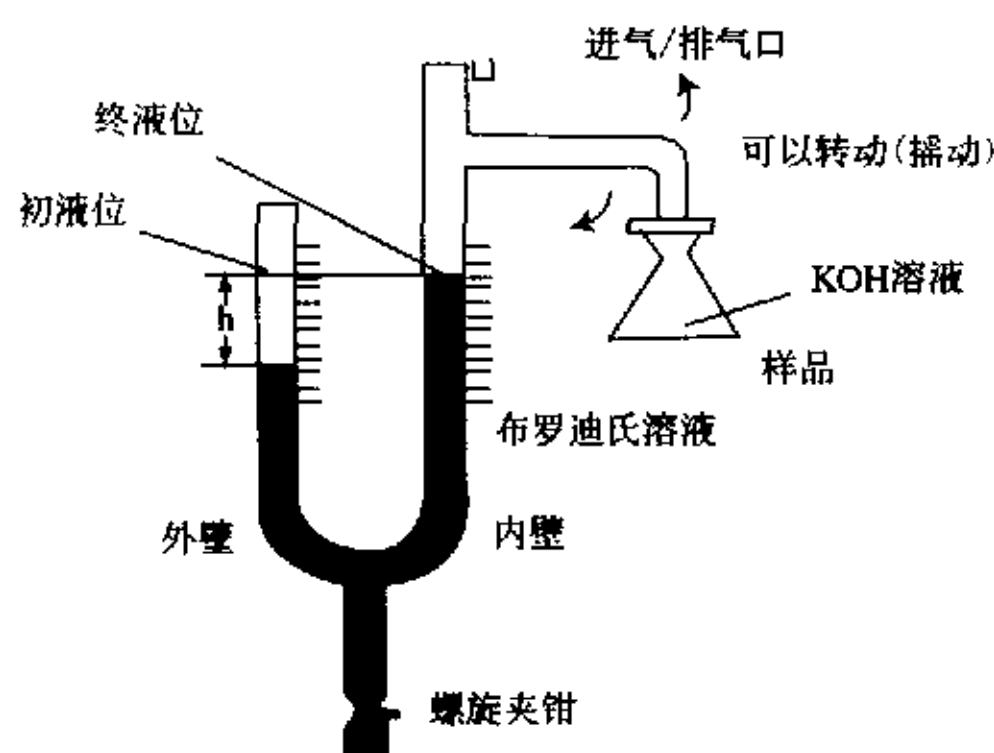


图2 瓦勃仪简图

改变。在恒温和连续搅动条件下,一定量菌种与污水在定容反应瓶里反应,测定由于微生物耗氧导致的反应瓶氧分压降低(用碱液吸收所产生的 CO_2),即可推算耗氧量。样品容积为几 mL 到 30 mL。气压计中含 Brodie(布罗迪氏)液体(其在 5°C — 50°C 之间恒容)。

此法缺点:样品体积小,取样要求精细,若操作技术欠熟练,误差较大。且试验污泥要离心、生理盐水(或蒸馏水)洗涤3次后方可测定,过程较繁琐。

3) 敞开式呼吸仪

前述均是封闭式呼吸仪。文献中也报道过敞开式呼吸仪。敞开式呼吸仪装有活性污泥悬浮固体,恒温容器,备有DO仪(带探头),记录仪和用于采样与计算的计算机(图3)。连续流开式呼吸仪如图4所示。

研究者和厂商提出多种呼吸仪:ROD TOX 设备(Herricks et al., 1991);

N-CON COMPUT-OX 废水呼吸仪, WB-1000 模式(N-CON System Company, Inc., 2410 Boston Post Road, Larchmont, New York 10538, USA); O_2/CO_2 呼吸仪(Columbus Instruments Inter-

national Corp., Dept. CN, P. O. Box 44049, 950N. Hague Ave., Columbus, Ohio 43204, USA); Polumat (Veits, 1979); VITUKI 呼吸仪(Fleps, 1975); 电解式呼吸仪(Clark, 1960); Gilson 呼吸仪(Hisset et al., 1975); BOD- M_3 呼吸仪(Reiegler, 1984 and Koehne et al., 1986)等。

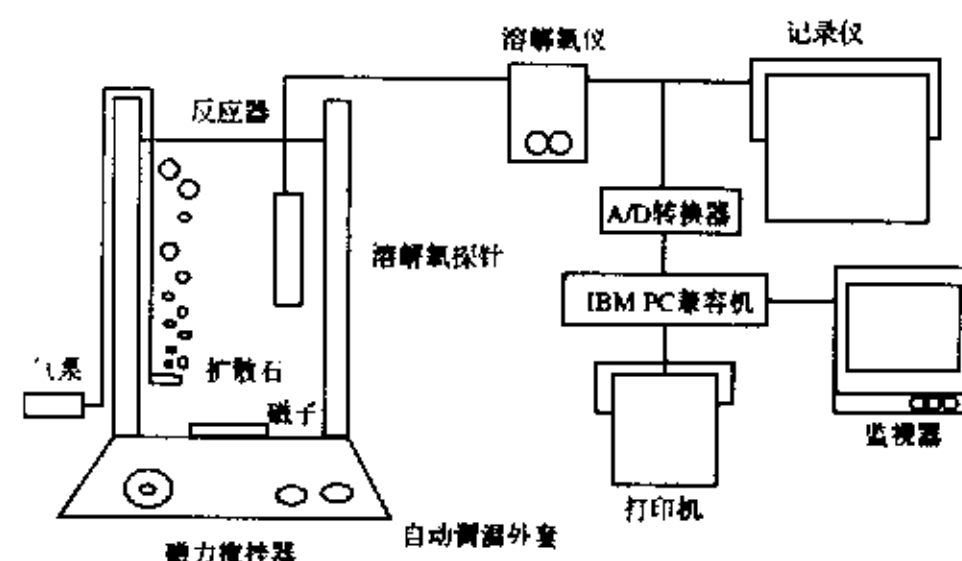


图3 非连续开式呼吸仪

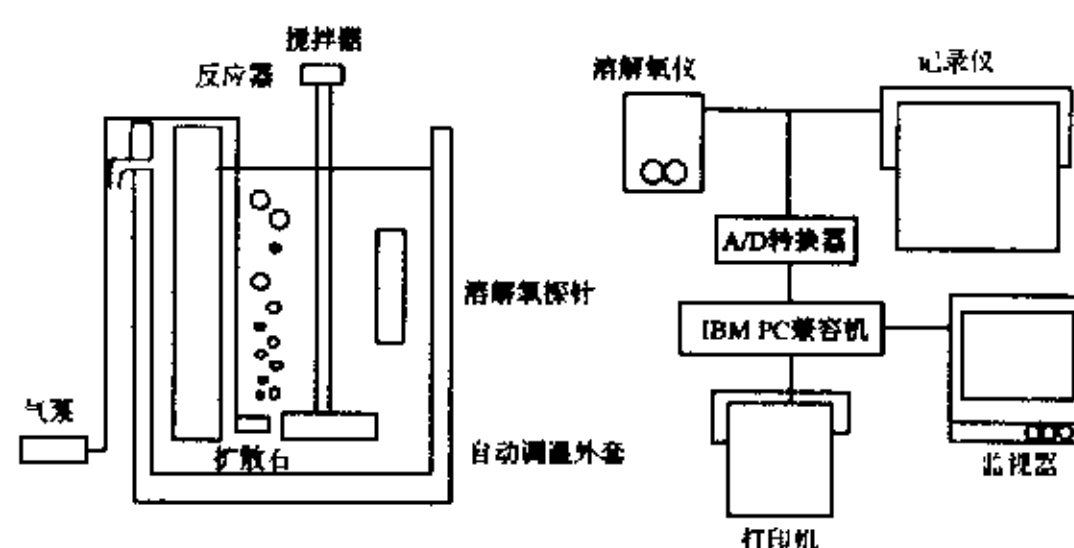


图4 连续开式呼吸仪

3 展 望

理论上,几乎所有呼吸仪均可用来测定活性污泥悬浮物中的基质或废水的生物降解活性;在这些测定中,呼吸仪体积只要足以容纳活性污泥悬浮物(足够用于均化的MLSS)和基质或废水样品的加入供呼吸速率测定法。

相关文献表明^[2,16],只有连续流通式呼吸仪才可用于实时监测曝气池中活性污泥的呼吸速率和活性污泥处理工艺的过程控制。

未来呼吸速率测定技术在国内的应用应该着眼于污水处理厂的实际应用。国外已经有这方面的成功实例。Brouwer. H等报道 6400 m^3 卡罗塞氧化沟中采用呼吸速率测定的曝气器日/夜控制系统与仅仅采用DO探针的策略相比,可节能11%—21%^[15]。这相当可观,具有广阔的应用前景和很大的推广价值。

参 考 文 献

- [1] Henri Spanjers. *Respirometry in activated sludge*. Doctoral Thesis, 1990
- [2] S. J. Arceivala et. al. *Wastewater treatment and disposal: Engineering and ecology in pollution control*. New York: Marcel Dekker, Inc. 1984
- [3] Watts. J. B. and Garber. W. F. On line respirometry: A powerful tool for activated sludge plant operation and design. *Water Science and Technology*, 1993, 28(11—12): 389—399,
- [4] Ros. M. and Dular. M. Determination of some kinetic parameters by respirometry. *Water Science and Technology*, 1992, 26(9—11): 2535—2538
- [5] Spanjers. Henri, Olsson. Gustaf and Klapwijk. Abraham. Determining short - term biochemical oxygen demand and respiration rate in an aeration tank by using respirometry and estimation. *Water Research*, 1994, 28(7): 1571—1583
- [6] Witteborg. A., van der. Last. A., Hamming. R. and Hemmers. I. Respirometry for determination of the influent SS - concentration. *Water Science and Technology*, 1996, 33(1): 311—323
- [7] de Bel. M.; Stokes. L., Upton, J. and Watts. J. Applications of a respirometry based toxicity monitor. *Water Science and Technology*, 1996, 33(1): 289—296
- [8] Klapwijk. A., Brouwer. H., Vrolijk. E. and Kujawa. K. Control of intermittently aerated nitrogen removal plants by detection endpoints of nitrification and denitrification using respirometry only. *Water Research*, 1998, 32(5): 1700—1703
- [9] Aichinger. Georg, Grady. C. P. Leslie Jr. and Tabak. Henry H. Application of respirometric biodegradability testing protocol to slightly soluble organic compounds. *Water Environment Research*, 1992, 64(7): 890—900
- [10] Tabak. H. H., Gao. C., Desai. S. and Govind. R.. Development of predictive structure - biodegradation relationship models with the use of respirometrically generated biokinetic data. *Water Science and Technology*, 1992, 26(3—4): 763—772
- [11] Iannotti. D. A., Grebus. M. E., Toth, B. L., Madden, L. V. and Houtink. H. A. J. Oxygen respirometry to assess stability and maturity of composted municipal solid waste. *Journal of Environmental Quality*, 1994, 23(6): 1177—1183
- [12] Young. James C. and Paletsky. William T. Stability measurement of biosolids compost by aerobic respirometry. *Compost Science and Utilization*, 1995, 3(2): 16
- [13] Hickey. W. J. In situ respirometry: field methods and implications for hydrocarbon biodegradation in subsurface soils. *Journal of Environmental Quality*, 1995, 24(4): 583—588
- [14] Zimakowska - Gnoinska. Danuta and Bech. Jaume. Estimation of the soil respiration using the constant pressure volumetric respirometer and the flow - through respirometer UNI - RES10. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2000, 64(3): 583—590
- [15] Brouwer. H., Klapwijk. A. and Keesman. K. J. Modelling and control of activated sludge plants on the basis of respirometry. *Water Science and Technology*, 1994, 30(4): 265—274
- [16] 卢少勇,呼吸速率测定及其应用研究,北京市环境保护科学研究院,硕士论文,2001.7

(责任编辑:郑晓梅)