

防治技术

# 城市污水处理厂应用纯氧曝气技术的探讨

徐冰清<sup>1</sup>, 詹超<sup>2</sup>, 程建光<sup>1</sup>

(1. 山东科技大学 化学与环境工程学院, 山东青岛 266510; 2. 济南市市政工程设计研究院  
有限责任公司, 山东济南 250101)

**摘要:**近年来随着我国国民经济迅猛发展,对生活污水处理的要求也越来越高,运用纯氧曝气活性污泥工艺处理生活污水不失为一个良策。通过对青岛市即墨市污水处理厂扩建项目的分析,阐释了纯氧曝气的理论、工艺的选择以及纯氧曝气的经济性分析,论述了纯氧曝气技术在我国中小城市污水处理厂应用的可行性。随着国家新标准对污水脱氮除磷要求的增加,纯氧曝气在城市污水处理厂老厂的改造和新厂的建设中显示出很好的应用前景。

**关键词:**纯氧曝气;生活污水;城市污水处理厂

中图分类号:X703.1 文献标识码:B 文章编号:1006-8759(2010)06-0035-04

## INVESTIGATION OF THE APPLICATION OF PURE OXYGEN AERATION TECHNIQUE IN SEWAGE TREATMENT

XU Bing-qing<sup>1</sup>, Zhan Chao<sup>2</sup>, CHENG Jian-guang<sup>1</sup>

(1. College of Chemical and Environmental Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China; 2. Jinan Municipal Engineering Design & Research Institute CO., LTD., Jinan, Shandong 250101, China)

**Abstract:** The requirements for wastewater treatment is getting higher and higher, as the national economy in China is developing rapidly. It would be a good method to use pure oxygen aeration technique in sewage treatment. By the analysis of the expansion project of Jimo sewage treatment plant, the paper discussed the theories of pure oxygen aeration technique, the selection of the technology and the economic analysis of pure oxygen aeration technique, discussed the feasibility of the use of pure oxygen aeration technique in sewage treatment. As the new national standards improved the requirement of nitrogen and phosphorus removal, pure oxygen aeration shows great prospects in the construction of sewage treatment plant.

**Keywords:** pure oxygen aeration; sewage treatment; urban sewage treatment plant

水资源的缺乏是 21 世纪人类面临的最大挑战之一<sup>[1]</sup>。我国是一个水资源匮乏的国家,人均水资源占有量仅为世界人均占有量的四分之一,而且在时空分布上极不均匀。20 世纪 80 年代以来,人口膨胀、工业的迅猛发展使水体受到严重污染,这就加剧了水资源的短缺。为此,要改善水环境被污染的状况,保护我国紧缺的水资源,必须加大水

污染环境治理的力度。

即墨市污水处理厂位于山东省即墨市城区南部,一、二期工程分别于 2005 年、2008 年竣工投产运行,采用 Carrousel 氧化沟工艺,目前设计总规模为 12 万 m<sup>3</sup>/d。随着城市规模和城市人口的不断增长以及工业的不断发展,居民生活污水量和工业废水量也显著增加,现在即墨污水处理厂的实际进水量已超出一、二期设计规模,达到 15 万 m<sup>3</sup>/d,亟需扩建。即墨市污水处理厂扩建工程,拟采用分点进水倒置 A/A/O 工艺,并在 A/A/O 工艺

的好氧部分采用纯氧曝气技术。

## 1 纯氧曝气与空气曝气在理论上的比较

纯氧曝气活性污泥法是在 19 世纪 60 年代由西方国家在传统活性污泥法基础上发展起来的一种高效污水处理方法。在美国和欧洲,纯氧技术已成功用于城市和工业污水处理中,建立新厂和旧厂的改造共达 500 多个项目<sup>[2]</sup>。在提高污水排放水质、增加处理能力、提高灵活性、降低能耗和减少剩余污泥量方面,这些项目均取得了良好的效果。

### 1.1 氧气在水中的传质过程

常温常压下,空气中氧的含量仅为 21% 左右,而纯氧中的含氧量为 90%~100%,纯氧的氧分压比空气高 4.4~4.7 倍,用纯氧进行曝气能够提高氧向混合液中的传递能力,为微生物好氧降解有机物提供更有力的保障和支持。

氧气溶解过程中的扩散速度  $dc/dt$  可以由传质速率方程式表达<sup>[3]</sup>:

$$dc/dt = K_L(C_s - C) \quad K \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

式中,  $C_s$  是饱和溶解氧浓度,  $C$  为氧气在水中的实际浓度  $K \text{ mol}/\text{m}^3$ ,  $K_L$  为传质总系数  $\text{h}^{-1}$ , 它是温度、水质及气液混合强度的函数。

由方程式可以看出,当温度、水质及气液混合强度不变时,氧气在水中传质速率随着溶解度的增大而升高。显然,与空气曝气相比,纯氧曝气的氧气传质速率可有很大程度的提高。

由传质速率导出曝气装置供氧负荷  $Q$  的方程:

$$Q = dc/dt \times a \times V \quad \text{Kmol/s}$$

式中,  $a$  为单位曝气器容积的气液接触面积 ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ ), 它与曝气强度有关,  $V$  为曝气器容积 ( $\text{m}^3$ )。

由此可知,纯氧代替空气,可获得较大的传质速率,因而可减小曝气设备体积,或提高设备的供氧负荷。

### 1.2 纯氧曝气的优势

在活性污泥工艺中应用纯氧曝气,不应简单地被看作只是替代常规的空气曝气装置,更重要的是由于纯氧的应用可导致活性污泥工艺中许多重要技术参数发生显著的改变。与空气曝气系统相比,纯氧曝气系统有以下显著优点:

(1) 氧的利用率很高,可达 80%~90%,而空气曝气系统仅为 10%~25% 左右;

(2) 抗有机物冲击性能高。由于纯氧曝气系统可维持较高的混合液污泥浓度,曝气池内混合液

的 MLSS 值可达 4 000~8 000  $\text{mg}/\text{L}$ ,纯氧曝气可以保持较高的生物氧化速率<sup>[7]</sup>。

(3) 高效、快速的传氧能力,可使好氧区污泥负荷  $F/M$  比空气曝气系统高 1 倍以上。

(4) 曝气池混合液的 SVI 值较低,一般都低于 100,污泥膨胀现象发生较少;产生的剩余污泥量较少,可以减少高达 25% 的剩余污泥<sup>[5,6]</sup>。

(5) 与空气曝气系统相比较,曝气池的体积较小,占地面积相应减少,土建投资省,曝气系统设备投资少。

(6) 采用了纯氧曝气,曝气池排放的挥发性有机化合物 VOC 与空气曝气系统比较减少 99% 以上,从而大大减少曝气池臭味对周围环境的影响,且不会造成二次污染,无需对曝气池进行加盖除臭。

## 2 纯氧曝气工艺的选择

### 2.1 NUOX 工艺

美国联碳公司开发的 NUOX 纯氧曝气活性污泥工艺,用加盖密闭式曝气池和叶轮式氧气表曝机曝气,池体分 3~4 段,每段设 1 台表曝机。此技术使用表面曝气,曝气能耗较高,且曝气池加盖造价较高。

### 2.2 Biox-N 工艺

德国 MESSER 公司开发的 Biox-N 工艺<sup>[8]</sup>,称为敞开式微气泡纯氧曝气活性污泥工艺,该工艺使用敞开式曝气池,工艺核心是一种应用纯氧的微气泡软管曝气垫,软管壁上均匀分布微细的小孔。这种曝气垫由多根微气泡曝气软管平行铺设于长方形钢质框架中所构成。当进气压力大于要求的开启压力 0.05 MPa 时,小孔开启而产生微气泡;当进气压力低于 0.05 MPa 或停止供气时,小孔自动关闭。软管中氧气的供气压力通常为 0.2~0.4 MPa。采用较高供气压力的优点:保证软管内沿整个长度存在稳定均匀的气流;在池底铺设软管时对水平度不存在苛刻的要求,使施工安装大为简便;可在一定范围内调节氧气流量,从而获得不同的曝气强度。

### 2.3 I-SOTM 系统

美国 PRAXAIR 公司的 I-SO™ 系统。I-SO™ 是一个机械增氧系统,由电动机,变速箱,浮筒,导流筒和双螺旋推进器组成。氧气在浮筒顶部注入,随叶轮转动吸入导流桶,从而使氧气在低电耗的

状态下溶解。浮筒像一个罩板,使未溶解的氧气再次随叶轮转动引入导流桶,从而提高氧气的使用效率。I-SO™系统能够溶解90%的氧气,并且具有很高的氧气转移速率(4.3 kgO<sub>2</sub>/kwh)。

## 2.4 GWQ射流曝气器

我国成都绿水科技推出的GWQ射流曝气器<sup>[9]</sup>主要由水泵、文丘里射流器、增效喷嘴及二次射流导流筒组成。混合液(污水+污泥)通过水泵吸入后与空气/氧气在文丘里射流器经射流混合后,超饱和氧混合液再通过一套增效喷嘴在二次射流导流筒中进行射流,增效喷嘴的二次射流回收了水泵能量、在导流筒中形成了相当于水泵流量5倍的引流作用,从而形成水池中水力循环加氧的过程。

## 3 氧气的来源

氧气来源一般有以下3种:

- (1)就地制氧;
- (2)管道输送外购氧气;
- (3)车运外购液氧。

就地制氧,污水厂掌握氧源,比较主动,但制氧设施必须自行管理,也可委托专业厂代为管理。如果管理不善,不如外购氧气方案可靠。

专业制氧厂生产技术较高,氧气质量、保证率、价格均较自制理想,污水厂可摆脱自己管理制氧设施的负担。

当制氧厂距离污水厂较近时,氧价低于自制成本时,尤其是污水厂处理氧气需求量较大时,一般采用管道输送外购氧气较为经济合理。

## 4 纯氧曝气工艺在即墨市污水处理厂扩建项目中的应用

### 4.1 即墨市污水厂扩建项目的工艺方案

由于即墨市污水处理厂扩建项目用地较紧张,若采用空气曝气,A/A/O反应池停留时间在14.5 h左右,需采用10 m水深方能满足用地要求,这样水深的反应池在工程实际中运用较少,而且埋深较大对已建构筑物的影响也大,基坑围护费用较高;而且还需新建鼓风机房,鼓风机功率较大,需对原有变压器进行改造。因此,纯氧曝气比空气曝气更适用于本工程占地面积小的情况。

纯氧曝气段的概念设计如图1。

### 4.2 纯氧曝气技术经济性分析

一般国内城市生活污水处理厂曝气池采用空气曝气的形式,而国外有相当一部分比例的污水处理厂采用纯氧曝气系统。在美国,污水处理领域

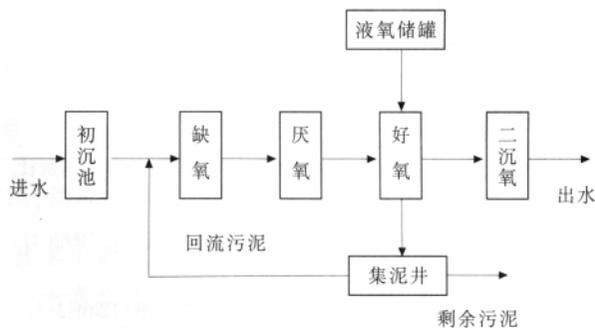


图1 纯氧曝气段设置方案示意图

18.9%采用纯氧曝气系统。迄今为止世界范围内采用纯氧曝气系统的污水厂已逾千座。

在经济方面与空气曝气系统相比较:

(1)纯氧曝气系统因氧利用率高,从而使好氧微生物的浓度和活性都得到很大程度的提高,处理效率大幅提高。由于水力停留时间较空气曝气系统大大缩短,曝气池体积缩小,土建投资和基坑维护费用随之减少。

(2)曝气部分在污水处理厂的能耗约占50%~60%<sup>[10]</sup>。曝气部分采用纯氧曝气工艺节能效果是相当可观的。而且污水处理厂排水达标率也会大大提高。采用I-SO™系统,无需配置鼓风机,故设备投资和电耗较空气曝气系统低,设备维护也较为简单。

相关数据显示,按照目前全国多数污水处理厂的处理标准,污水处理平均成本为1.1元/m<sup>3</sup>,而即墨市污水处理厂扩建后,采用纯氧曝气技术的单位处理成本仅为0.908元/m<sup>3</sup>,低于全国平均水平。

## 5 结论

即墨市污水处理厂扩建项目现已投入使用,污水厂运行稳定处理效果良好,污染物均达标排放。近期,污水厂氧源采用车运外购。远期本厂升级改造实施后,拟采用臭氧发生器尾气作为本工程生物反应池好氧区的氧源,可大幅降低运行费用,经初步估算每年可节省运行费100万元以上。

纯氧曝气活性污泥法是一种高效污水处理方法,由于相比普通空气曝气所显示出来的在技术

及经济上的优越性,使得纯氧曝气在中小城市污水处理厂老厂的改造和新厂的建设中具有很好的前景。同时随着纯氧曝气技术的成熟及制氧成本的下降,纯氧曝气将会在我国城市污水处理中有越来越广泛的应用。

### 参考文献

[1] 世界银行. 中国空气、土地和水[M].北京:中国环境科学出版社, 2001.

[2] 张中和. 氧气曝气国内外发展概况[J].上海市政工程, 1999( 1): 44-51, 55.

[3] 焦泽伟. 浅谈纯氧曝气水处理[J].工业水处理, 1992,12(6):3~5.

[4] 凌晖等. 纯氧曝气在污水处理和河道复氧中的应用[J]. 中国给水排水. 1993,15(8):49~51.

[5] 姜汉元等. 富氧曝气污泥性能及生化机理的研究[J]. 北京建筑工程学院学报. 1990(2):36~44.

[6] 姚郡, 何苗. 焦化废水中有机污染物经厌氧酸化对好氧生物降解性能的影响[J]. 中国环境科学. 1998 18(3).

[7] 郑兴灿, 李亚新. 污水除磷脱氮技术[M]. 北京: 中国建筑出版社, 1998:77~78.

[8] 陈致泰, 李世刚, 韩光瑶等. 采用微气泡纯氧曝气技术处理工业废水[J]. 工业水处理, 2008, 28(10): 13~16.

[9] 王莉敏. 焦化废水处理系统纯氧曝气技术研究与应用[D]. 四川: 重庆大学化学化工学院, 2007.

[10] 卓明. 污水处理中的经济分析[J]. 给水排水, 2005, 31(12): 34~36.

(上接第 34 页)

### 参考文献

[1] 陶雷行, 吕敬友, 陈洪涛. 烟气脱硫的工艺选择及因素分析[J]. 上海电力. 2006,5: 452~458.

[2] 葛能强, 邵永春. 湿式氨法脱硫工艺及应用 [J]. 硫酸工业. 2006,6:10~15.

[3] 田文平, 齐国江, 周彦. 氨法脱硫工艺应用小结 [J]. 中氮肥. 2010,1:29~30.

[4] 石在玉. 火电厂脱硫存在的问题及工艺选择方法探讨[J]. 上海电力. 2008,3:238~241.

[5] 石灰石/石膏法脱硫方法对环境的主要影响分析[J]. 大学时代·论坛. 2006.3

[6] 刘德友, 褚才全, 徐长春. 烟气氨法脱硫技术在石化热电厂的应用[J]. 中国环保产业. 2008,11:28~31.

[7] 王文宝, 顾晓霞, 张存军. 苏中热电厂环保氨法脱硫实力分析[J]. 污染防治技术. 2007,20(2):97~99.

[8] 梁高. 氨法脱硫在热电厂中的应用[J]. 能源环境保护. 2004,18(4):34~37.

## 欢迎订阅 2011 年《能源环境保护》杂志

《能源环境保护》杂志是由煤炭科学研究总院杭州环保研究院主管与主办的国内外公开发行的环保综合性科技期刊(2003年前名为《煤矿环境保护》)。1987年创刊,系中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊,中国期刊全文数据库及中文科技期刊数据库全文收录期刊,万方数据数字化期刊群及中国期刊网全文入网期刊,曾获全国环境期刊二等奖。杂志主要报道煤炭、电力、石油等能源行业水污染防治与资源化,大气污染防治,固体废物的处置和利用,噪声控制,土地复垦,节能技术及环境监测与评价,环境管理经验等。面向从事能源环保工作的科研、设计、教学、生产、管理等单位的专业技术与管理人

员。  
《能源环境保护》杂志兼营广告业务,宣传报道环保及能源工业方面的新技术、新工艺、新产

品、新设备,竭诚为广大客户服务。

《能源环境保护》杂志统一刊号: CN 33—1264/X, I S SN 1006—8759, 双月刊, 大 16K, 64 页, 每册定价 9.50 元, 全年订价 57 元(含邮费)。本刊自办发行, 请订户直接向编辑部办理订阅手续。

订阅方法:

银行汇款: 工商银行萧山支行

帐号: 1202090109008921574

户名: 煤炭科学研究总院杭州环保研究院

邮局汇款: 浙江省杭州市萧山区拱秀路 288 号  
《能源环境保护》编辑部(邮编: 311201)(汇款时请注明杂志订款、份数及收刊人详细通信地址)

编辑部联系电话: 0571—82724077 82731270

传真: 0571—82723716 E-mail: nyhjbh@163.com