

连续进出水-间歇曝气工艺污泥好氧速率研究^{*}

高 旭 龙腾锐

提要 氧的利用速率(OUR)或比污泥耗氧速率(SOUR)是活性污泥工艺生化过程的重要指示参数。在重庆某污水处理厂进行间歇曝气的试验研究中,引入 SOUR 作为间歇曝气工艺可行性的判据,并对不同间歇工况污泥的 SOUR 变化进行了分析和研究。试验表明 SOUR 对污泥性能有较强的指示作用,并能反映间歇曝气运行中污泥的需氧特性。SOUR 的研究为污水厂节能改造提供了一种新的思路。

关键词 间歇曝气 OUR SOUR 污水处理厂 节能

1 背景与研究目的

20 世纪 70 年代初人们开始在实验室内进行活性污泥间歇曝气运行特性的研究^[1~2]。80 年代以来,间歇曝气法在美、日、澳等国得到了广泛研究和迅速推广,并形成了序批式活性污泥法(SBR)、好氧与厌氧交替式活性污泥法(AAA)、循环式活性污泥法(CAST)等工艺类型。间歇法与传统法相比,具有能耗低、容积负荷高、能耐受高浓度的有机废水、能有效控制丝状菌引起的污泥膨胀等优点,对氮、磷的脱除效果也十分显著。但这些方法对系统自控和管理的手段有较高要求,故而较难用于现有处理厂的改造。

间歇曝气在曝气池中形成周期性的好氧、缺氧条件,因而活性污泥在氧不足的情况下的存活能力

(Survival Capacity)和活性污泥中微生物活性(Microbial Activity)的变化较为重要。这两者都可用污泥的 OUR 和 SOUR 来衡量。OUR 是指污泥单位时间的氧吸收率,即氧的利用速率,单位是 $\text{mg}/(\text{L} \cdot \text{h})$ 或 $\text{mg}/(\text{L} \cdot \text{s})$ 。如将该速率与混合液悬浮固体或挥发性悬浮固体的量相联系,则可用比污泥耗氧速率(Specific Oxygen Uptake Rate, SOUR)表示,其单位是 $\text{mgO}_2/(\text{gMLSS} \cdot \text{h})$ 或 $\text{mgO}_2/(\text{gMLVSS} \cdot \text{h})$ 。OUR 或 SOUR 与微生物对底物的利用速率以及微生物的增殖有很好的相关性,这在许多文献中都有报道^[3~5]。在废水处理系统中,存在微生物降解底物的过程,微生物能将有机底物分子内化学键的能量转变为 ATP 中高能磷酸键的能量,以用于微生物细胞生长和增殖。能量的转化过程要通过氧化还原反应来实现,因为只有活性微生物才能利用氧这种最终电子受体,所以 OUR 间接反映了特定的一类微生物消耗底物的强度及进水负荷对其利用效率的

^{*} 国家自然科学基金重点资助项目(59838300)及国家自然科学基金项目(50178069)的部分内容。

理厂投产,但无生物除磷记录。所以,选择该工艺生物除磷时应慎重考虑。

(3) 处理水量过大时,应充分考虑该工艺的复杂性。由于工艺运行、结构受设沉降缝和抗浮等原因的限制,处理池每格的平面尺寸宜控制在 $40 \text{ m} \times 40 \text{ m}$ 范围内。当处理水量增加时,处理单元数也会增加,致使配水、出水、冲洗水和剩余污泥排放等设备随着单元数而增加,大大提高了实际运行的复杂程度。从自动控制方面看, $10 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 处理规模的污水厂,氧化沟工艺的 I/O 数量只需 1 200 点,而该工

艺为 3 000 点以上,随着处理单元数量增加,其控制量也将成倍增加。所以,该工艺在规模较大处理厂应用时,应进行全面考虑。

综上所述,UNITANK 工艺更适用于中小型污水处理厂。在一定的范围内,可以替代其它活性污泥法,有独特的优点,并具有较强的竞争力。

作者通讯处:100045 北京月坛南街乙 2 号

北京市政工程设计研究总院

电话:(010)68013875

收稿日期:2001-10-18

影响。同时,微生物自身的衰减也要消耗氧,故 OUR 也反映了微生物的衰减速率。

可以认为,在活性污泥中,如中断曝气一定时间后,活性污泥的 OUR 或 SOUR 无明显降低,则污泥的活性因停曝所受的影响就不大^[6]。因此,对间歇曝气工艺活性污泥的 OUR 和 SOUR 进行研究,将有助于判定活性污泥的性状,以便调节充氧强度,实现节能和处理水质达标的要求。

2 试验方法和结果讨论

间歇曝气的生产性试验是在重庆某城市生活污水处理厂进行的。该厂建于 1996 年,设计规模 2 万 m^3/d ,采用完全混合活性污泥工艺。二级处理部分采用合建式曝气沉淀池,用 1.5 m 直径的泵型叶轮表面曝气机充氧。曝气机所配电机额定功率为 22 kW,额定转速为 970 r/min。该厂在连续运行中,采用 800~900 r/min 的转速,电耗较高。因此在该厂试验的初衷是试图通过连续进出水、间歇曝气来节省能耗。

2.1 批次试验分析

为掌握间歇曝气运行的氧气需求和微生物活性特点,试验前进行了生产性间歇曝气试验的可行性研究,用实验室的批次试验确定间歇时间。试验时,OUR 的测量采用传统的再曝气法(Reaeration),即从批次试验反应器中取出一定量的待测混合液曝气,使其中的溶解氧达到 5~6 mg/L,将待测液移至锥形瓶中,插入溶解氧探头,注意瓶内不留气泡,用橡胶塞密闭瓶口。在搅拌条件下,用 YSI-52 溶解氧仪记录瓶中 DO 浓度的变化,作 DO~t 曲线,线性回归可得该直线的斜率,此即为待测液污泥的 OUR 值。测定时,如同时测定待测液的 MLSS 和 MLVSS 浓度,可计算得到 SOUR。

批次试验的曝气容器用有机玻璃制作,尺寸为 $L \times B \times H = 300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$ 。有效容积为 18 L。在容器底部和顶盖设 $\varnothing 10$ 的进气管,同时在顶盖还设有电动搅拌器搅拌连杆的插入孔、水样的加入管以及供通气用的进气孔。容器底部设 $\varnothing 10$ 的放空管(见图 1)。

试验步骤如下:

(1) 从运转正常的曝气沉淀池中取出一批次的

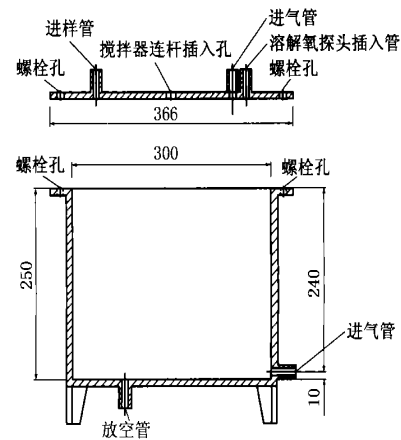


图 1 批次试验装置

混合液,取样测 MLSS、MLVSS 及污泥 OUR。将其加入批次试验的反应器中至 7 L 左右,开动搅拌器,保持污泥的悬浮状态,用增氧泵曝气 4 h,使反应器内污泥进入内源代谢阶段(预备试验证明混合液闷曝 4 h 后 OUR 保持稳定),并从反应器底部放空管取样测污泥的内源呼吸率。

(2) 向反应器中加入约 7 L 初沉池出水,保持搅拌,使污水与反应器内污泥充分混合后,取样测 MLSS、MLVSS 及污泥 OUR。开增氧泵曝气 5~10 min,停止曝气,保持搅拌,开始计时。

(3) 分别在停曝 0.5 h、1 h、2 h、3 h、4 h、6 h、8 h 时,取样测污泥 OUR。

(4) 重复以上试验。

混合液曝气 4 h 后污泥的 OUR 值即为污泥的内源呼吸率,由于此时污水中可生物降解的物质大部分已被去除,污泥处于衰减阶段,活性最低^[7];加入初沉池出水后,可生物降解物质的量不对细菌的增长形成限制,污泥的活性最高,OUR 取得最大值 OUR_{\max} ^[8]。4 次重复试验的数据平均后列于表 1,污泥 SOUR 与停曝时间的关系见图 2。

由图 2 可见,随停曝时间的延长,活性污泥的 SOUR 下降。向处于内源呼吸阶段的污泥中加入新鲜污水后,污泥的 SOUR 增至最高。在停曝后 1 h,污泥 SOUR 迅速下降,但仍高于原曝气池中混合液的 SOUR;此后,SOUR 近似于线性递减。在停曝 4 h 后,污泥的 SOUR 比 SOUR_{\max} 降低了约 50%,并已接近于原曝气池混合液的 SOUR 值。在停曝 8 h 后,污泥的 SOUR 衰减了 70%,缺氧条件已严重抑

表 1 污泥 OUR, SOUR 与停曝时间关系

项 目	OUR / mg/ (L · s)	SOUR / mgO ₂ / (gMLVSS · h)	停曝 时间 / h	SOUR 衰减率 / %
原曝气池混合液 污泥耗氧速率	0.022 5	22.73		
污泥内源呼吸率	0.007	7.02		
加入新鲜污水后 污泥耗氧速率	0.021 8	48.66	0	0
	0.012 9	28.71	0.5	41
	0.011 3	25.19	1	48
	0.010 6	23.74	2	51
	0.009 8	21.79	3	55
	0.009 2	20.45	4	58
	0.007 6	16.87	6	65
	0.006 2	13.85	8	72

注:曝气池混合液污泥浓度和耗氧速率是指从曝气沉淀池取样测得的相应指标;SOUR 衰减率是指停曝后测得的 SOUR 值相对于最大 SOUR 值减少的比例。

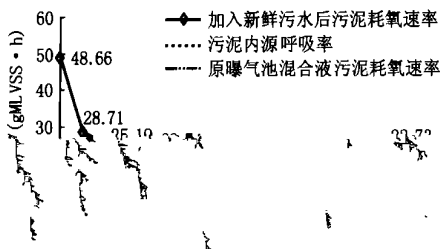


图 2 SOUR 与停曝时间的关系

制了污泥的活性。

可以认为,停曝时间对污泥活性有显著影响,在该污水厂的曝气沉淀池中实施间歇曝气运转方式时,一方面应充分利用活性污泥对缺氧环境的耐受能力,以有效降低系统能耗;另一方面应保证重新曝气后污泥能较快地恢复活性,不致发生出水水质恶化。由图 2 可知,批次试验停曝 4 h,污泥 SOUR 最接近于原曝气池污泥的 SOUR;停曝 5 h 后,污泥 SOUR 已开始低于原污泥的 SOUR,故生产性试验拟选择 4 h 作为最长停曝时间,并在此基础上延长 1 ~ 2 h 以确定可能导致出水水质恶化的停曝时间。

2.2 连续进出水、间歇曝气的生产性试验

结合该污水处理厂的生产条件和管理水平,试验采用了在曝气沉淀系统中连续进出水、间歇曝气的方案。选择 2 格运转正常的曝气沉淀池,维持进

出水连续条件,按照一定的曝气/停曝交替的时间组合运转。在停曝期间,不进行曝气区的搅拌混合;曝气期间,表曝机电机转速控制在 700 r/min。流量范围为 850 ~ 1 400 m³/d, HRT 为 4.47 ~ 7.51 h。沉淀区 HRT 为 1.5 ~ 2.5 h,表面负荷为 1.01 ~ 1.67 m³/(m² · h)。

2.2.1 曝气停曝时间组合与试验安排

为便于生产管理,以 1 h 为变化单位,按表 2 进行了 14 种曝气/停曝时间组合的运行效果研究,考察每种组合在一个运转周期内的进出水水质和污染指标去除率的情况,以选定合适的组合,达到最佳的节能效果。其中 4 - 5 工况(即曝气 4 h,停曝 5 h)是为考察出水水质是否恶化的情况而设置的组合方式。测定的进出水水质指标为 SS, COD, NH₃ - N, NO₃⁻ - N, NO₂⁻ - N, TN, TP, PO₄³⁻。

表 2 试验安排的曝气/停曝时间组合

停曝时间/h	曝气时间/h	1	2	3	4
1		✓	✓	✓	✓
2		—	✓	✓	✓
3		—	✓	✓	✓
4		—	✓	✓	✓
5		—	—	—	✓

对每一工况,除了安排进出水水质的测定外,还安排 1 组曝气期间的曝气池混合液污泥耗氧速率 SOUR 的测定。从开始曝气起至停止曝气止,每 15 ~ 30 min 从曝气区取混合液 1 L,用锥形瓶再曝气法测定混合液污泥的 OUR,同时测定混合液的 SV, MLSS, MLVSS,并计算 SOUR, SVI 值。

在每两种组合期间,由于改变了曝气系统的运转方式,对污泥的性能有一定影响。故各工况稳定运行 3 ~ 5 d 后开始测定。试验期间,曝气沉淀池的污泥浓度(MLSS)控制在 5 000 ~ 7 000 mg/L,污泥龄(SRT)控制在 15 ~ 20 d。试验于 1999 年 6 月至 10 月在该污水厂的 2 格曝气沉淀池中交替进行。

2.2.2 SOUR 测定结果分析

14 个不同工况的出水水质结果表明:在停曝时间相同时,出水 COD 浓度随曝气时间的延长规律性地降低,说明曝气时间对含碳有机物的降解有直接的影响;在曝气时间相同时,出水 COD 随停曝时间的增加而增高,说明停曝时间越长,底物穿透曝气池

随出水带出的可能性增加了。另一方面,各工况的出水 COD 在曝气/停曝交替期间表现得很稳定,这是由于所安排的停曝时间最长不超过 5 h,低于曝气沉淀池曝气区的 HRT,污染质在经由曝气区穿透前,曝气已经重新开始,所以实际效果是使曝气期间和停曝期间的出水“均化”,减小了出水 COD 的波动。各工况出水的 TN 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 随曝气时间增加而降低,随停曝时间延长而增加,出水 $\text{NO}_3\text{-N}$ 随停曝时间的增加而减少。这意味着延长曝气时间使有机氮和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 向 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的转化越彻底;停曝时间增加,一方面导致池中反硝化产物增加而抑制了反硝化菌的活性,另一方面污泥对污染质的吸附能力降低,水质趋向于恶化。可以认为,间歇曝气工艺具备一定的生物硝化和反硝化脱氮的能力。

图 3~图 6 为曝气期间各工况污泥 SOUR 的变化情况。图中时间为 0 的点是停曝期结束,曝气开始的点。这时,可发现一个有趣的现象,除了 1-1 方式如批次试验所表明的,停曝引起污泥活性下降, SOUR 在开始曝气初期时较低,然后逐渐升高外,其他的运行方式在整个曝气期间, SOUR 无一例外都呈逐步降低至稳定的趋势。并且,停曝时间越长,重新开始曝气时测得的 SOUR 越高,最终稳定后的 SOUR 也越高。这似乎说明生产中采用间歇曝气工艺,如停曝时间选择适当,对提高污泥的活性有帮助。试验结果也表明,曝气时间 2 h 以上,停曝时间达到 3 h,仍能维持较好的出水。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 对停曝时间比 COD 敏感,停曝 4 h 的工况, $\text{NH}_3\text{-N}$ 都发生了超标。但相对于原设计标准,间歇曝气工艺有明显提高。批次试验所确定 4 h 的最长停曝时间,也是符合该厂运行特点的,有较好的预见性。

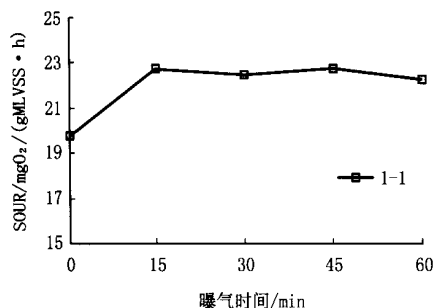


图 3 1-1 方式曝气池 SOUR 变化

批次试验与生产性试验不同之处在于,批次试验

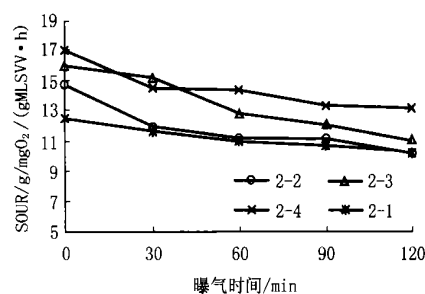


图 4 2-X 方式曝气池 SOUR 变化

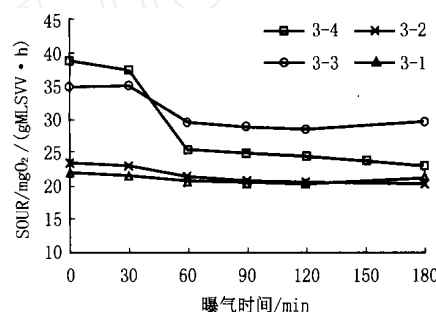


图 5 3-X 方式曝气池 SOUR 变化

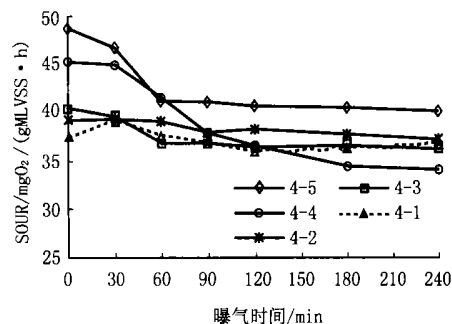


图 6 4-X 方式曝气池 SOUR 变化

加入初沉池出水,曝气一定时间后即停曝,中途未补充底物,停曝时保持搅拌;而生产试验中污水连续进出反应器,停曝时不搅拌。对好氧与缺氧交替的活性污泥系统,已有研究表明,其中的微生物种类、性质都与传统法有差别^[2,9]。传统法的污泥中以好氧性的菌胶团形成菌占优势,而在间歇法中,厌氧和低氧的环境促进了兼性菌的繁殖^[10]。这些兼性菌对停曝期间污染物的降解起着重要的作用。笔者推测:批次试验的活性污泥基本上代表了连续运行条件时的情况,环境中氧含量的多少对污泥代谢能力的高低有决定性影响,故停曝时间越长,污泥中好氧菌活性受抑制的程度就越严重。由于搅拌充分,污泥始终能与污染物接触,不外加底物,污泥可利用的

底物是有限的,所以不存在污泥活性突增的可能。生产中,未进行搅拌,处于污泥絮体外层的微生物能与进水的底物充分接触,随着兼性菌降解能力的发挥,部分污染物被利用,连续的进水又可不断补充底物,因而吸附水解过程也是不断进行的。但兼性菌利用底物的速度显然有限,大量的底物只是附着于污泥絮体外层,并没有完全利用,底物水解后也只是形成小分子有机物,并未彻底分解。因而,从总体上看,停曝时间越长,吸附的污染物越多,重新曝气后兼性菌单位时间内对氧的需求越大,SOUR 值表现得越高;当然,未被吸附的污染物由于量很可观,故表现为出水水质随停曝时间的延长逐渐趋于恶化。曝气开始后,停曝时处于“饥饿”状态、位于污泥絮体内层的好氧微生物才有机会与底物接触,表现为对缺氧时积累的溶解性、易降解物质的迅速去除,此时需消耗更多的氧。随着曝气的进行,这部分溶解性、易降解的有机物已逐渐被利用完毕,微生物所需的碳源和能源必须从进水底物中摄取,底物降解速度下降,对氧的需求就不如开始时那么高。

3 结论

SOUR 作为活性污泥一种重要的状态变量,与所有好氧生物体的活动有关,能较客观地反映出活性污泥微生物对进水底物的利用能力。出于节能研究的需要,将 SOUR 作为一种控制参数引入连续进出水、间歇曝气的工艺过程中,可得到如下基本结论:

(1) SOUR 测定的批次试验可用于间歇曝气最长停曝时间确定,便于采用类似工艺的活性污泥法处理厂进行节能改造的技术研究。

(2) 从 SOUR 指标和出水水质可看出,间歇曝气工艺在曝气池中形成的缺氧-好氧交替环境,一般不会对污泥的活性造成不良影响,一定程度上甚至有利于提高污泥的活性,增强污泥的处理能力。

(3) 停曝/曝气交替的过程中,污泥的 SOUR 较高,曝气区混合液可形成高于常规活性污泥工艺的氧传质梯度,有利于提高氧的转移效率。

(4) SOUR 所反映的间歇曝气需氧特点,值得结合运行进行深入研究。

参考文献



- 1 Palm J C, et al. Relationship between organic loading, dissolved oxygen concentration, and sludge settleability in the completely-mixed

- activated sludge process. J Water Pollut Control Fed, 1980, 52(10): 2484 ~ 2506
- 2 王国生. 间歇活性污泥法述评. 给水排水, 1989, 16(1): 40 ~ 44
- 3 Spanjers H, et al. Respirometry in control of the activated sludge process. Wat Sci Tech, 1996, 34(3 - 4): 117 ~ 126
- 4 Huang J Y C, et al. Measurement and new application of oxygen uptake rates in activated sludge process. J Water Pollut Control Fed, 1984, 56(3): 259 ~ 265
- 5 Huang J Y C, et al. Oxygen uptake rates for determination microbial activity and application. Wat Res, 1985, 19(3): 273 ~ 281
- 6 Neiva M R, et al. Reduction of operation costs by planned interruption of aeration in activated sludge plants. Wat Sci Tech, 1996, 33(3): 17 ~ 27
- 7 Marais G v R, et al. The activated sludge process part I: Steady State Behavior. Water S A, 1976, 2(4): 125 ~ 130
- 8 Dold P L, et al. A general model for the activated sludge process. Prog Wat Tech, 1980, (12): 4 ~ 9
- 9 Gonzalez-Martinez S, et al. Alternating aerobic and anaerobic operation of an activated sludge plant. J Water Pollut Control Fed, 1987, 59(2): 65 ~ 71
- 10 孙慧修, 龙腾锐, 等. 管道回流表面曝气池处理印染废水设计和运行总结. 重庆建筑工程学院学报, 1983, (2): 64 ~ 69

作者通讯处: 400045 重庆大学城市建设与环境工程学院
电话: (023) 65123482, 65120768
收稿日期: 2001-10-26

· 广 告 ·

“虎头牌”
沟槽式机械配管系统

- 安装快捷, 容易和可靠
- 安装费用低, 易于成本核算
- 不须特殊技巧, 易于拆装和维修
- 良好的密封效果, 并能减振和降噪

杭州宁达机械有限公司

地址: 310004 杭州东新路普贤路1号
电话: (0571) 85357167
传真: (0571) 85357386
网址: www.chinapipethreader.com
电子邮件: hptw@mail.hz.zj.cn

销售部地址: 310011 杭州莫干山路525号
电话: (0571) 88192064
传真: (0571) 88030392

ABSTRACTS

Practice on UNITANK Process for Municipal Wastewater Treatment Feng Kai et al (1)

Abstract : The application of UNITANK process in the WTP of the Shijiazhuang High Tech Zone in Hebei Province is presented. The design of tank structure , washing water system , aeration system and sludge discharge system are described , and the advances and attentions in application of this process are reviewed.

Research on Oxygen Uptake Rate of Continuous Inflow Intermittent Aeration Process Gao Xu et al (4)

Abstract : Both the oxygen uptake rate (OUR) and specific oxygen uptake rate (SOUR) of sludge are important parameters in activated sludge process. In the batch aeration experiment conducted in a WTP in Chongqing City , SOUR was applied as a threshold to estimate the feasibility of intermittent aeration process. The SOURs gathered in different operating conditions are compared and discussed. It is concluded that SOUR best indicates the property and the oxygen demand of the sludge in intermittent aeration process. The research of SOUR might be a new way to help the renovation of WTP for power saving.

On Water Source and Drinking Water Quality in Shanghai Gao Naiyun et al (9)

Abstract : The water qualities of the raw water are compared which taken from Huangpu River and Yangtze River and the corresponding output water of waterworks. It is observed that both the raw and purified water of Yangtze are better than that of Huangpu River. So the authors recommend that the water source of Yangtze River might be preferential. The waterworks , which takes raw water from Huangpu River , has to be improved either with raw water pre-treatment or post-treatment of output water by activated carbon filtration at the end of the water purification.

Study on Algae Toxin Pollution and Control in Drinking Water Treatment Yu Guozhong et al (25)

Abstract : Excessive growth of toxic algae in eutrophic water body will caused Algae Toxin (AT) pollution. Its migration and transformation in water environment are influenced by combined actions of factors of light irradiation , temperature , organic content , aquatic creatures and so on. In aerobic condition , AT is degraded by adapted microorganisms more speedily. But it is low order removed by conventional water treatment unit operations as coagulation , sedimentation , sand filtration , chlorination etc and/or their combinations. However AT in water could be removed 100 % by conventional water treatment process + activated carbon filtration or ozonation + conventional treatment processes. Best detoxicating also could be obtained by way of massive removal of AT without breakage of algae cell , which could be realized by combined pretreatment + ozonation + conventional treatment activated carbon process.

Laboratory Study on Ozonation-Biological Activated Carbon Process Zhang Jinsong (29)

Abstract : The surface water sources in this country are polluted. The purification capacities of both the Ozonation-Biological Activated Carbon (OBAC) and Biological Activated Carbon (BAC) processes are investigated by artificial raw water sample at laboratory experiment. The results show that the removals of organic substances and turbidity and decolourizing capacity of OBAC are better than that of BAC. The synergism of ozonation with biological oxidation and activated carbon adsorption has been approved.

Stratagem of Municipal Wastewater Treatment and Reuse in Zhejiang Province Zhou Xingen (32)

Abstract : The municipal wastewater treatment and reuse are discussed under consideration of some actual problems in Zhejiang Province ; such as the water shortage and laggard development in this field. This discussion formulates the target for the sustainable development of social and economic affairs in every time in this province. And further exploration of the measures to promote the construction of wastewater treatment and reuse engineering has been done.

Development and Research on High Ammonia and Sulfide Wastewater Treatment Xia Ping 'an et al (43)

Abstract : Aerated biological fluid technology (ABFT) composed of fixed microorganism and JADS aeration system was adopted to treat high ammonia and high sulfide wastewater. The raw wastewater discharged from refinery aspects COD = 980 mg/L , ammonia nitrogen = 682 mg/L , sulfide = 162 mg/L , volatile phenol = 18 mg/L , SS = 399 mg/L and petroleum = 41 mg/L. By ABFT process , effluent with COD = 137 mg/L , ammonia nitrogen = 0.227 mg/L , sulfide = 0.018 mg/L , volatile phenol = 0.034 mg/L , SS = 64.8 mg/L and petroleum = 8.6 mg/L was obtained. This means that ABFT is reliable and effective. Also this process has advantages of easy management , secondary sludge free and low operating expenses.

Experiment on Degradation of Active Dyestuffs by Fenton Oxidation Li Shaofeng et al (46)