

低能耗污水处理技术的应用

杨根权

(煤炭工业合肥设计研究院, 安徽合肥 230041)

摘要:以蚌埠市第三污水处理厂为例,详细介绍工程中所应用的一体化技术、低溶氧技术、同时硝化/反硝化技术、微孔软管曝气技术、新型推流技术等低能耗污水处理技术,并从反应机理、处理效果、节能效果等方面加以分析和比较,为相关技术人员选择污水处理工艺提供了新的思路。

关键词:低能耗;一体化;低溶氧;同时硝化/反硝化;微孔软管;推流

中图分类号:X703 文献标识码:B 文章编号:1006-8759(2010)02-0022-05

APPLICATION OF LOW ENERGY CONSUMPTION SEWAGE TREATMENT TECHNIQUE

YANG Gen-quan

(Hefei Design and Research Institute of Ministry of Coal Industry, Hefei 230041, China)

Abstract: For the example of the Third Sewage Treatment Factory of Bengbu, this paper gives a detailed discuss on the low energy consumption technique which was used in the project, such as the integration technique, the low dissolved oxygen technique, the simultaneous nitrification-denitrification technique, the micro-hose-aeration technique, the plug flow aeration technology and so on. Also, the paper gives a analysis and comparison on the respect of the reaction mechanism, treatment effect, energy conservation and ect, with a new way of thinking provided for the related technical personnel to select the process of sewage treatment.

Keywords: low energy consumption; integration technique; low dissolved oxygen; simultaneous nitrification-denitrification; micro-hose-aeration; plug flow .

运行费用高是目前大多污水处理厂普遍面临的难题,直接影响水污染治理的成效,因此污水处理工艺的节能降耗是当前亟待解决的问题,这也是我国“十一五”规划和十七大落实科学发展观的要求。

在蚌埠市第三污水处理厂(以下简称“蚌埠三污”)设计中,设计人员汇同建设单位多次进行方

案比选,在认真研究并充分调研的基础上,与德国恩格拜公司(Engelbart Biologische Verfahren GmbH)合作,吸收德国生物倍增工艺(BioDopp)优点,在国内推出改良型一体化氧化沟工艺,该工艺综合应用了多项低能耗污水处理技术,可以大大减少污水处理厂的运行费用,并保证良好的出水水质,具有投资省、占地面积小、运行费用低、维护管理方便等优点。结合工程实例,对相关技术逐一进行介绍。

1 工程概况

蚌埠三污项目为世界银行贷款项目,项目内

收稿日期:2009-11-20

作者简介:杨根权(1971-),男,1993年毕业于河北工程大学热能与环境工程系给水排水专业,高级工程师,安徽省土木建筑学会给排水专业学术委员会委员,长期从事水处理及环境工程设计,发表论文多篇。

容包括污水处理厂 1 座(一期规模 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$), 配套管网 40.93 km, 以及中途提升泵站 1 座, 工程总投资 10 290.66 万元, 其中厂区投资 3 704.35 万元。

污水处理厂尾水排放执行《城镇污水厂污染物排放标准》(GB19918-2002) 一级标准的 B 标准, 设计进、出水水质及要求处理程度见表 1。

表 1 污水处理厂进、出水水质及处理程度

水质	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
设计进水水质/(mg·L ⁻¹)	400	200	250	30	40	4.0
设计出水水质/(mg·L ⁻¹)	60	20	20	8(15)	20	1.5
处理程度/%	85	90	92	73(50)	50	62.5

污水处理工艺采用改良型一体化氧化沟工艺, 工艺流程见图 1。

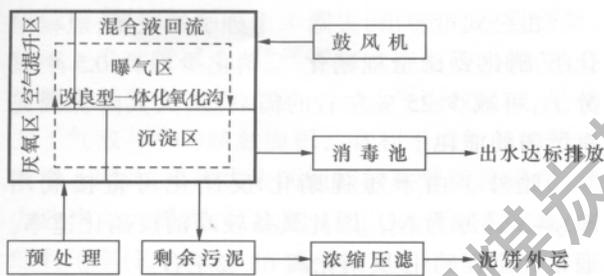


图 1 蚌埠三污污水处理工艺流程图

2 低能耗污水处理技术的应用

为贯彻节能理念并保证出水水质, 工程中主要应用了一体化技术、低溶氧技术、同时硝化/反硝化技术、微孔软管曝气技术、新型推流技术等低能耗污水处理技术。

2.1 一体化技术

一体化氧化沟技术源于上世纪 50 年代的荷兰(沃绍登 Voorschoten), 其特点是用合建的生物反应池取代传统氧化沟工艺中的氧化沟、二沉池、污泥回流泵房等处理构筑物, 将初沉池、水解酸化池、厌氧池、曝气池以及二沉池的功能集于一身, 使传统工艺的多个池体简化为一个综合池体, 在其中高效完成碳源氧化、硝化、反硝化、磷的去除以及处理水的固液分离, 前段的预处理及后段的消毒和污泥处置与传统工艺基本一致。国内于上世纪 90 年代初引进该技术, 目前运行厂已超过 10 余座。

一体化技术最显著的特征是不设独立的污泥

回流系统。按功能需要, 蚌埠三污项目的一体化生物反应池共划分为 4 个分区(如图 1 所示), 按水的流向分别为厌氧区、空气提升区、主反应(曝气)区、沉淀区。在沉淀区, 用快速澄清装置(斜管)取代了传统的二沉池, 斜管沉淀具有高效分离的特点, 表面负荷一般为 $50 \sim 65 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 该值是传统二沉池设计的 1.5~4 倍。沉淀污泥直接落于斜管下方, 通过混合液回流, 将斜管下方污泥带回氧化沟进水端, 实现了污泥无泵自动回流, 省去机械回流, 从而降低运行能耗, 比设独立污泥回流系统的传统氧化沟法可节能 15% 左右。蚌埠三污规模 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 如采用泵回流系统, 需设置回流泵 2 台, 运行功率 30 kW, 电耗增加约 $0.05 \text{ kWh}/\text{m}^3$ 。

混合液在斜管下方的通道通过时, 流速控制在 $0.3 \sim 0.4 \text{ m/s}$, 可以形成抽吸作用, 保证了分离沉淀的污泥不会在通道底部积累, 另一方面也加速了污泥的沉降, 同时, 由于抽吸作用形成独特的水力条件, 在斜管下部的水处于旋流状态, 这样可以有效避免斜管内部积泥。而斜管上部处于异向流状态, 水流较为平缓, 比重大的污泥颗粒先行分离, 随着上升过程中的阻力影响, 水流趋于平稳缓缓上升, 比重小的污泥颗粒也能够重力沉降, 在此过程中水质不断改善, 最终通过斜管, 保证出水水质。事实上, 在改良型一体化氧化沟工艺中, 形成的活性污泥絮体主要是微量好氧的微生物和兼性厌氧微生物, 这些微生物菌种生长速度较慢, 不会在菌群团表面形成水膜, 这样的污泥易于分离, SVI 仅在 60~100 之间; 此外, 由工艺本身控制的短程同时硝化/反硝化, 决定了在水体进入沉淀区之前, NO_2^- 或 NO_3^- 及可溶性 BOD 几乎为零, 沉淀区即使是缺氧条件下也几乎不会发生反硝化和产生氮气, 也不会出现传统活性污泥法中的二沉池翻泥现象。

2.2 低溶氧技术

低溶氧技术是降低污水厂运行能耗的一项重要措施, 低溶氧不代表有机物氧化、氨氮硝化供氧量不足, 而是通过曝气系统的改进, 使供氧量和需氧量之间的富余值控制在科学经济的范围内, 从而避免能耗的浪费。实践证明, 改良型一体化氧化沟工艺中溶解氧仅需 $0.1 \sim 0.3 \text{ mg/L}$ 就够了, 这与奥贝尔氧化沟外沟的运行十分相似, 因此氧的传递作用是在氧亏条件下进行的, 传递效率大大提高, 鼓风系统的供氧量随之降低。

低溶氧环境也决定了微生物种类和所发生的生化反应类型,经过驯化形成的活性污泥絮体中,主要保留的是微量好氧的微生物和兼性厌氧微生物,这些微生物菌种生长速度较慢,在吸附 COD 后不会在菌群团表面形成水膜,活性污泥絮体则通过接触微小气泡而直接摄取氧气进行代谢,即使在溶解氧浓度较低的情况下也可以正常地摄取有机物进行代谢,从而使得微生物获得氧的效率大大提高。只要反应池中有溶解氧富余出来(控制出水端的溶解氧浓度在 0.1~0.3 mg/L),就说明池中微生物已经不再需要更多的溶解氧,这比传统好氧工艺专性好氧菌种对氧浓度的需求要低得多。

传统好氧工艺中,活性污泥絮体以专性好氧菌种为主,污泥絮体较大且外表有水膜,绝大多数细菌是被“包埋”在污泥絮体内,水体中的溶解氧必须克服絮体表面水膜阻力后才能被微生物摄取和利用,因此扩散进去的溶氧极为有限,即使水体中溶氧较高(2 mg/L 或以上),但真正被微生物利用的也只有 0.1~0.3 mg/L。

工程中设有高精度的溶解氧检测仪,如果氧浓度超过 0.3 mg/L,通过变频装置,降低鼓风机的输出功率;相反,如果氧含量低于 0.1 mg/L,则增加鼓风机的鼓风量。这种控制可轻易实现自动化调节,操作简便、运行可靠又可节省运营成本。

2.3 同时硝化/反硝化技术

上节提到的低溶氧环境,决定了蚌埠三污项目的另一项低能耗污水处理技术——短程同时硝化/反硝化。目前研究表明,在奥贝尔氧化沟、卡鲁塞尔氧化沟、SBR、曝气生物滤池等工艺中都不同程度地存在短程同时硝化/反硝化现象,而在蚌埠三污项目中短程同时硝化/反硝化的特征十分明显,由于生物池中溶解氧较低,氨氮在硝化过程中大部分生成亚硝酸盐,而不是硝酸盐,反硝化菌群利用 NO_2^- -N 作电子受体进行反硝化脱氮,在 NH_4^+ -N 被降解的同时,没有 NO_2^- -N 的积累及 NO_3^- -N 的产生,整个生物脱氮过程比一般的全程好氧硝化/厌氧反硝化历时要短得多,为好氧短程同时硝化/反硝化(Aerobic short cut simultaneous nitrification-denitrification)过程,即在好氧条件下亚硝化微生物将 NH_4^+ -N 转化为 NO_2^- -N,随即由反硝化微生物直接进行反硝化反应,将 NO_2^- -N 还原为 N_2 释放。全程硝化/反硝化和短程同时硝化/

反硝化过程如图 2 所示:

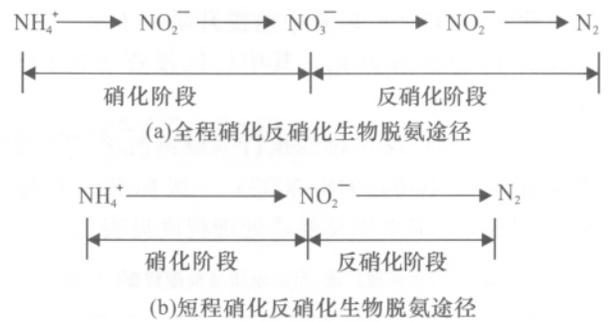
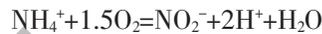


图 2 全程硝化/反硝化与短程硝化/反硝化

全程反硝化主要反应为:



短程同时硝化/反硝化主要反应为:



由公式可看出,去除一个分子的氨氮,短程硝化/反硝化要比全程硝化/反硝化少消耗 0.5 个氧分子,可减少 25% 左右的需氧量,大大降低因充氧所需的能耗。

此外,由于短程硝化/反硝化可直接利用 NO_2^- -N 还原为 N_2 ,因此具备较高的反硝化速率,通常比全程硝化/反硝化高 63% 左右。

2.4 微孔软管曝气技术

改良型一体化氧化沟运行的一个重要特征是低溶氧,仅 0.1~0.3 mg/L,要保证这一参数,除了设置高精度的溶解氧检测仪外,运用先进的曝气技术也是关键。蚌埠三污项目采用的是新型节能微孔软管曝气技术,在曝气区下方,沿长向密集地布置多道细长曝气软管,间隔只有 20~30cm,每米软管上开有数千个微气孔,曝气时能产生均匀的细小气泡。由于曝气软管沿曝气区通长布置,这样在整个曝气区池底面积上,可以进行大表面面积的细小气泡曝气作业,保证区域内水体 100% 得以有效曝气。这种曝气方式主要有 3 方面优点:

(1) 避免传统曝气的曝气不均匀。传统盘式、管式曝气的曝气装置在池底是分散布置的,其直接曝气区域极为有限,仅在 5% 左右或稍高,其它区域氧的供应则依靠气体或水体流动形成的扩散来完成,这种曝气方式在分布上是不均匀的,也就难以保证微生物体对氧气需求的均匀。不同曝气方式的工况见图 3 所示。

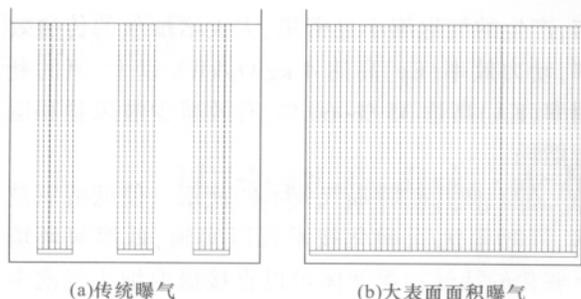


图3 不同曝气方式的工况

(2) 提高充氧效率。传统曝气方式是局部曝气,曝气相对集中,局部强度过大,会导致垂直水波,以非常高的速度传播气泡,加之气泡粒径较大,气泡上升速度相对较大,气泡与水的接触时间短,充氧效率低,仅能达到 $2.5 \text{ kg O}_2/\text{kWh}$ 左右。

而工程中采用的大表面面积曝气,在池底表面产生的气泡是均匀的,这样可以降低单位面积的池中曝气量,同时由于产生的气泡细小且密集,气泡上升速度减小,延长了与水接触的时间(约是传统曝气的3~4倍),另一方面,气泡粒径减小,增大了气泡与水的接触面积,有利于增加氧的传递效率。因此,采用大表面面积的软管微孔曝气,动力效率大大提高,可达到 $4 \text{ kg O}_2/\text{kWh}$ 或更高,氧的利用率(EA)高达35%~60%。

(3) 加速氧的直接利用。采用曝气软管曝气时产生的气泡极其细小,气泡直径仅为 $10\sim 30 \mu\text{m}$,这些气泡绝大多数直接附着在活性污泥上,实现了泥、水之间良好有效的微混合,加速了微生物对气泡中氧气的直接利用。

曝气软管的安装也非常简单,通过活结头与主空气管连接,在池底的敷设则通过特殊设计的拉环和牵引绳来完成,这种安装方式可以在不停车的情况下对运行中出现问题的曝气管进行更换。

2.5 新型推流技术

蚌埠三污项目采用的推流技术也具有高效节能的特点,在一体化氧化沟空气提升区的底部设有空气提升装置(如图4所示),通过鼓入空气形成提升区内外液体密度差和液位差,导致空气提升区液位的抬高,从而实现氧化沟的推流。

采用空气提升形成氧化沟推流的动能消耗较小,通常不到氧化沟动能消耗的5%,以蚌埠三污项目为例,规模 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,如回流比为20,每秒的推流水量约 6 m^3 ,采用空气提升形成推流的

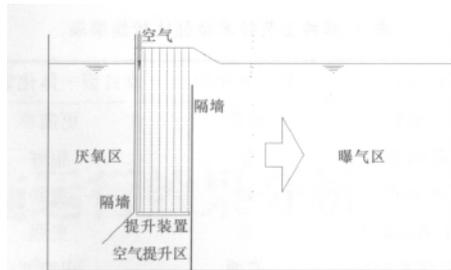


图4 空气提升示意图

能消耗不到 7.5 kW ,而传统氧化沟工艺要形成推流,动能消耗至少在 45 kW 以上。主要原因在于改良型一体化氧化沟和传统氧化沟工艺的工况不同,在传统氧化沟工艺中,推流的动能消耗主要用于保持沟内活性污泥的悬浮,避免污泥在沟底沉积,而改良型一体化氧化沟,由于其独特的曝气方式,活性污泥始终能保持悬浮状态,除澄清装置下方要求一定的流速外,其它地方对流速并无要求,其推流的作用是保证混合液回流,通过调节回流比对进水进行稀释,使曝气池进水端的负荷降低,整个曝气池的有机物浓度梯度差保持在较小范围,COD负荷也几乎平均一致,使得微生物生长的环境稳定,有利于微生物的生长及有机物的降解。

3 主要经济技术指标

上述多项低能耗污水处理技术的综合应用,决定蚌埠三污项目显著的节能效果。在项目的设计阶段,曾对改良型一体化氧化沟工艺和传统A²/C氧化沟工艺作过详细的经济技术比较,两种工艺经济技术指标及技术特征比较结果分别见表2和表3。

表2 两种工艺经济技术指标比较结果表

序号	项目	A ² /C氧化沟	改良型一体化氧化沟
1	厂区土建费用/万元	2 079.21	1 925.94
2	厂区设备及安装/万元	1 765.08	1 778.41
3	厂区工程投资/万元	3 844.29	3 704.35
4	吨水投资/(元·m ³)	1 537.72	1 481.74
5	厂区占地面积/ha	6.10(近期3.22)	4.80(近期2.91)
6	厂区装机容量/kW	1 044.70	795.00
7	工程总投资(含管网)/万元	10 502.77	10 290.66
8	电费(不含管网)/(万元·a ⁻¹)	192.26	132.04
9	人员工资(不含管网)/(万元·a ⁻¹)	39.60	39.60
10	药剂费(不含管网)/(万元·a ⁻¹)	11.40	11.40
11	管理费及其它支出/(万元·a ⁻¹)	59.40	59.40
12	维修(不含管网)/(万元·a ⁻¹)	96.11	92.61
13	折旧及摊销(不含管网)/(万元·a ⁻¹)	184.53	177.81
14	年经营费用(不含管网)/(万元·a ⁻¹)	583.30	512.86
15	经营成本(含折旧)/(元·m ³)	0.65	0.57
16	处理成本(不含折旧)/(元·m ³)	0.44	0.37

表 3 两种工艺技术特征比较结果表

项目内容	A ² /C 氧化沟	改良型一体化氧化沟
工艺流程	简单	更简单
脱氮除磷效果	好	很好
出水水质	好	更好
耐冲击负荷能力	强	更强
维护管理及控制	简便	很简便
设备数量	少	少
节约能耗效果	很好	非常好
装机容量	一般	小

通过经济技术比较可以看出,改良型一体化氧化沟工艺相比传统 A²/C 氧化沟工艺,更具有出水水质好、管理简便、节省能耗等优点。尤其在节省能耗方面,每年节省运行电费 60.22 万元,节省能耗 30%,效益显著。如果除去前段的预处理、后段的消毒工序以及污泥处理单元,单就生物处理单元而言,蚌埠三污的改良型一体化氧化沟运行能耗仅在 0.09 kWh/m³ 左右,而传统 A²/C 氧化沟运行能耗则在 0.22 kWh/m³ 左右,生物处理单元的能耗降低可高达 60%,节能效果明显。

4 结语

从前面的分析比较可以总结蚌埠三污项目的节能特点:

(1)工程采用新型微孔软管曝气技术,为大表面面积微孔曝气,可以保证气泡在池体的均匀分

布,产生的气泡细小且密集,大大增加氧的传递效率,动力效率(E_p)高达 4 kg O₂/kWh 以上,氧的利用率(EA)高达 35%~60%,有效减少鼓风量和运行能耗;

(2)微孔软管曝气技术的使用,使低溶氧技术、同时硝化/反硝化技术得以实施,低溶氧环境下驯化的活性污泥絮体可以直接摄取细小气泡中的氧气进行代谢,对氧浓度的需求较其它活性污泥法要低得多,可以降低单位面积的池中曝气量,另一方面,氧传递作用是在氧亏条件下进行的,可以提高氧的传递效率。同时,由于生物池中溶解氧较低,氨氮在硝化过程中大部分生成亚硝酸盐,可以被反硝化菌群直接利用进行反硝化脱氮,提高反硝化速率和脱氮效率;

(3)工程中应用一体化技术,在沉淀区用快速澄清装置(斜管)取代二沉池,实现了污泥无泵自动回流,省去机械回流,从而降低运行能耗。此外,工程利用空气提升装置来实现沟内大比例混合液回流,大大降低用于推流的动力消耗。

参考文献:

[1]邓荣森,俞天明,王涛,肖海文.新型一体化氧化沟工艺的节能特点[J].中国给水排水,2001,17(10)16~18.
 [2]张自杰,等,排水工程(下册)[M],北京:中国建筑工业出版社,1996,64~69.
 [3]张自杰,等,环境工程手册水污染防治卷[M],北京:高等教育出版社,1996,251~258.

(上接第 21 页)

补充了反硝化反应所需的碳源,促进了系统的脱氮作用,对 COD 和氨氮有很好的去除效果,但对磷的去除效果不佳。

(3)在投加硫酸亚铁的同步沉析及絮凝作用下,经两次进水 SBR 处理后出水 COD_{Cr}、氨氮和总磷分别降至 150.98~331.69 mg/L、24.88~77.52 mg/L 和 5.00~7.90 mg/L,各项指标均达到了排放标准。

参考文献

[1]雷英春.国内外规模化猪场废水处理工艺技术新进展[J].城市环境与城市生态,2003.16(6):218~220.
 [2]崔理华.国内外规模化猪场废水处理组合工艺进展[J].农业环境保护,2000.19(3):188~191.

[3]陈乐荣,吴雪莉,陈粉珠.城市污水处理厂化学法辅助除磷的试验研究[J].环境技术,2004,(4):35~38.
 [4]唐建国,林洁梅.化学除磷的设计计算[J].给水排水,2000,26(9):17~22.
 [5]邓良伟.水解-SBR 工艺处理规模化猪场粪污研究[J].中国给水排水,2001.17(3):8~11.
 [6]Bortone G, Gemelli S, Rambaldi A, et al. Nitrification, denitrification and biological phosphate removal in sequencing batch reactors treatment piggery wastewater. [J].Wat Sci Tech,1992,26 (5-6):977~985.
 [7]赵晨红. ASBR-SBR 工艺处理养猪场废水 [J]. 重庆环境科学, 2003,25(4):36~39.
 [8]D. Obaja Biological nutrient removal by a sequencing batch reactor(SBR) using an internal organic carbon source in digested piggery wastewater[J]. Bioresource Technology.96(2005):7~14.
 [9]孙力平.污水处理新工艺与设计计算实例[M].科学出版社,2001:160~163.