

底曝氧化沟工艺在污水处理工程中的设计应用

任向锋 杭世珺

(北京市市政工程设计研究总院, 北京 100082)

摘要 针对我国南方部分地区污水处理厂进水水质浓度变化较大, 为保证出水水质稳定达标, 提出了采用水下推进器和鼓风曝气相结合的底曝氧化沟处理工艺, 不仅可以根据进水水质灵活地调节曝气量, 满足出水水质标准, 而且可以节省能耗。结合具体工程实践, 提出了工艺设计要点和需要注意的问题。

关键词 氧化沟 底部曝气 推流曝气 水下推进器

0 前言

近几年来, 我国的污水处理从直接引进发达国家各种成熟工艺, 到现在根据我国国情进行消化吸收和自主改进, 技术水平得到了很大提高。其中底曝氧化沟工艺就是在实际工程中根据我国污水的特点摸索出来的一种变形工艺, 并逐渐在近几年的大中型污水处理厂工程中得到了广泛应用, 该工艺适应我国新兴城市污水管网不完善、污水处理厂进水水质变化大、建成初期水质浓度较低的特点。

东莞市市区污水处理厂工程是国内城市污水处理厂最先采用底曝氧化沟工艺的工程之一。该工程在总结了多个类似城市污水处理厂运行经验的基础上, 充分考虑了南方新建城市污水的水质特点, 提出了底曝氧化沟工艺的工程设计方案。一期工程于2002年建设完成, 规模 $10 \text{万 m}^3/\text{d}$ 二期工程于2004年建成通水, 建成后工程总规模 $20 \text{万 m}^3/\text{d}$ 。本文根据工程的实际运行情况, 以东莞市市区污水处理厂为主要案例, 总结了底曝氧化沟工艺的工程设计和运行经验, 并对该处理工艺的适应性及工程设计中需要注意的问题进行分析和论述。

1 底曝氧化沟工艺的特点及适应性

对于排水体制和排水管网比较完善的大中型城市污水处理厂来说, 选择推流式活性污泥法工艺便于管理且节省能耗已经成为共识。而对于小型污水处理厂, 表面曝气氧化沟工艺因为管理方便而被广泛运用。但是对于新建城市、发展迅速的大中城市, 以及我国南方地区, 由于城市管网的建设和管理不能与城市发展的速度同步, 使得污水处理厂在运行

初期相当长的时间, 进水水质浓度偏低, 不能达到设计水质。无论采用推流式活性污泥法还是表曝氧化沟工艺, 均很难满足实际运行中水质变化比较大的实际要求。

底曝氧化沟是氧化沟工艺和推流曝气工艺结合的产物, 有以下几个鲜明的特点:

(1) 底曝氧化沟工艺充分吸取了氧化沟工艺循环水流对水质水量适应性强的优点, 在沟内设置推流器推动混合液在高于进水量 30 倍左右的水量在氧化沟内循环流动, 使曝气系统与推流系统彼此相对独立。水下推流器推动沟内水流以不沉流速流动, 确保任何水质条件、任何曝气状态下, 污水均在沟内以不沉流速循环流动, 保证污泥在生物池内处于悬浮状态, 提高污水处理的效率, 生物池内混合力不完全依赖生物池对溶解氧的要求, 保证生物池内混合液的混合效果。

(2) 水下曝气氧化沟工艺充分吸取了水下微孔曝气方式传氧效率高的优点, 能够有效降低供电的电耗水平; 运行中实际的曝气量由生物池内的溶解氧浓度确定, 可以在时间上间断曝气, 也可以在空间上分区域曝气, 曝气方式能够根据来水情况灵活调节, 以有效去除污水中 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 等污染物, 节省能耗, 同时最大限度地保证生物池内生物增长的需氧量。在空间上间断设置曝气器, 在生物池内同时就会形成溶解氧的浓度差, 还能提高氧的传递效率, 节电效果明显。东莞市市区污水处理厂一、二期工程原设计各设 4 台鼓风机, 3 用 1 备, 单台风机供气量 $6\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 设计总供气量 $18\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 设计

气水比 4.32: 1。实际运行中由于水质指标低, 氧传递效率高, 多年运行数据显示, 在夏季, 实际运行 1 台鼓风机, 运行供气量在 $6\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 以下, 气水比 1.43: 1。冬季进水污染物浓度比较高时, 运行 2 台鼓风机, 其中 1 台调节到 45% 出风效率运行即可, 供气量 $8\,700\text{ m}^3/\text{h}$ 气水比 2.06: 1。

(3) 采用了水下曝气的方式, 氧化沟工艺池深不再受限制。彻底摆脱传统氧化沟工艺占地面积大、能耗高的限制。

(4) 工艺组合灵活, 生物处理系统稳定性好, 且具备有一定脱氮的能力, 在沟前设厌氧池, 能实现生物除磷的效果。

根据该工艺的特点, 东莞市市区污水处理厂工程设计的在工艺选择时, 总结了类似城市污水处理厂实际工程运行的经验和教训, 既要考虑远期进水水质的要求, 又要适应近期污水水质的现状。设计水质考虑城市污水远期发展的要求, 但工艺选择上又要能使污水处理厂在近期低进水水质工况下平稳运行。

推流曝气池和表曝氧化沟工艺均是通过向生物池提供氧气来输入搅拌动力, 然而需氧量与进水水质水量有关, 而混合力的需求则与池容有关, 因此, 在工艺选择中应考虑采用充氧和混合力传递相对独立的方式。底曝氧化沟工艺就是在此基础上, 吸取了氧化沟工艺和推流曝气生物池的特点提出的一种水处理工艺。对于进水水质比较稳定的污水处理厂来说, 该工艺要求通过设置水下搅拌器来单独提供混合力, 并非是最经济的方式; 但对城市污水水质不稳定, 进水水质在运行初期长期不能达到设计要求的条件下, 选择底曝氧化沟可以节省需氧量, 节省能耗, 是一种非常经济和运行稳定的污水处理工艺。

东莞污水处理厂一期工程运行了 6 年, 二期工程运行了 4 年, 通过对多年运行参数进行均值分析, 其水质情况见表 1。

表 1 东莞污水处理厂实际进出水水质与设计值的对比

项目	进水	出水
$\text{COD}_{\text{Cr}}/\text{mg/L}$	300(137.29)	60(23.12)
$\text{BOD}_5/\text{mg/L}$	120(56.83)	20(6.85)
$\text{SS}/\text{mg/L}$	100(62.50)	20(10.74)
$\text{TP}/\text{mg/L}$	2(2.74)	1(1.26)
$\text{NH}_3\text{-N}/\text{mg/L}$	25(20.42)	15(1.61)

注: 括号外为设计值, 括号内为实际值。

从表 1 可以看出, 来水水质较设计值严重偏低。采用底曝氧化沟工艺, 污水处理的生物系统在进水水质指标偏低的条件下运行良好, 出水水质稳定, 全年经营成本远低于一般污水处理厂的运行成本, 实际运行成本约为初步设计文件设计核算成本的 54%, 节电效果非常明显。

2 底曝氧化沟在工程设计中应注意的问题

2.1 底曝氧化沟无明显的缺氧脱氮效果

一般认为, 氧化沟工艺水力停留时间长, 空间间断曝气, 具有好氧硝化和缺氧反硝化的功能。但底曝氧化沟不同于传统氧化沟工艺, 其曝气区域在沟内分布面积较大, 一般占到生物池总面积的 1/2 左右。由于混合液在曝气区域溶解氧高, 而混合液在沟内的水平流速又较快, 所以在非曝气区域实际也在进行好氧反应, 难以形成缺氧段, 因此设计中不能将非曝气区域考虑为缺氧脱氮区。东莞市市区污水处理厂实测曝气区域的末端 DO 为 1.5~2 mg/L, 在非曝气区域末端的 DO 一般大于 1 mg/L, 难以满足反硝化工况要求, 因而在设计过程中整个底曝氧化沟的生物计算应参照好氧池的计算参数进行设计, 如果工艺中要考虑生物除磷和脱氮功能, 应另外配置缺氧池和厌氧池后进行组合。

2.2 设计中要充分考虑混合力的输入均匀性

无论推流曝气还是表曝氧化沟工艺, 生物池内混合力均是通过供氧设备同步完成, 现行的《室外排水设计规范》(GB 50014-2006) 只对完全混合的厌氧池和缺氧池给出了搅拌功率 ($2\sim 8\text{ W/m}^3$), 但对有水下曝气的氧化沟循环动力尚无明确的规定。

目前底曝氧化沟工艺的设计, 多参照表曝氧化沟混合液 0.3 m/s 的流速来配置推流设备。但是, 表曝氧化沟设计深度一般要求小于 4.5 m。单台设备输入功率大, 能耗也高, 出于曝气要求, 曝气设备一般从斜向下方强制推动水流, 从而在远端产生上向流, 搅拌动力输入大, 流道内外的速度差也小。而对底曝氧化沟, 水下推流器产生的混合液是水平流动, 推流设备厂家提供设备的推流距离及等流速曲线均按照直流道配置设备, 且很少考虑池内曝气产生的阻力对推流流速的影响, 由于搅拌器产生的混合力输入动力不足而在非曝气区域和氧化沟转弯区域内内侧形成污泥淤积。因此, 氧化沟在设计中, 一方

面要注意推流器的安放位置,同时一定要设置转弯处的导流墙,解决沟道转弯处由于离心力作用形成内外沟速度差,保证沟道内输入搅拌率的均匀性,从而保证沟道断面速度尽量保持均匀,避免死角污泥的淤积。

东莞污水处理厂一、二期工程采用的厌氧—好氧工艺,厌氧池采用高速搅拌机,设计输入功率为 5 W/m^3 ;底曝氧化沟采用低速推流器,设计输入功率为 1.47 kW 。二期工程低速推流设计输入功率 2.2 kW ,将沟内理论平均流速提高到 0.35 m/s 。从实际运行来看,二期工程污泥淤积现象要明显好于一期工程。

因此在底曝氧化沟设计过程中,动力输入要充分考虑循环流的特点和水下曝气产生的阻力对水平流的影响,设计选择沟内平均流速不宜低于 0.35 m/s 。单方池容积输入功率 $2\sim 3 \text{ W/m}^3$ 。

2.3 设计中要充分考虑水流速度对推流设备的影响

根据底曝氧化沟的设计要求,沟道内足够高的水平流速是保证混合液污泥不沉降的基本条件。沟道内混合液的水平流速由推流器推动产生,但其前端水流速度的均匀性对推流器的安全运行也有重要的作用。东莞市市区污水处理厂一期工程根据国外某公司推荐生物池内推流器和曝气区布置方式,四个推流器均布置在沟道转弯后的直道上,距离转弯处 5 m 。通水运行 2 个月后,低速推流器均出现了轴断裂的现象。根据测量的沟道流速,氧化沟内水平断面流速分布示意图 1。

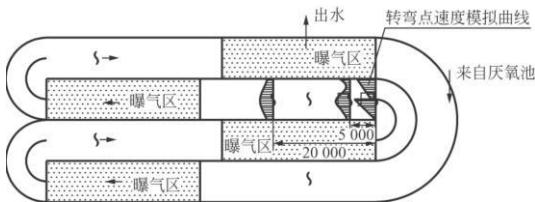


图 1 底曝氧化沟流速分布示意

水下低速推流设备是底曝氧化沟工艺的关键设备,在设计中必须考虑弯道断面水流流速均匀性的影响。根据工程运行的经验,距离太长,影响曝气头的布置。因此初步建议在设计中推流器的设置在水平上远离弯道的距离应该大于推进器叶轮直径的 5

倍以上。东莞工程采用的推进器叶轮直径为 2.5 m ,因此一期改造和二期工程设计中设置推流器距离弯道均大于 13 m ,在分析原因后对一期工程的推流器位置进行改动,目前已运行 5 年再未出现类似现象。二期工程设计中总结了以上教训,目前运行情况良好。

2.4 积极探索弯道设置水下曝气设备

目前国内完成的采用底曝氧化沟工艺的工程,包括东莞市市区污水处理厂一、二期工程,水下曝气器均设置在直道上,因此直道上既要布置曝气头,又要设置推流器,给设计造成难度,同时无法避免在弯道产生的水流流速梯度的问题,在氧化沟转弯处的内道形成了污泥淤积。为解决这个问题,在东莞市市区污水处理厂和深圳市上洋污水处理厂等工程设计中,在氧化沟的弯道均设置了水下曝气器,弯道曝气产生的气墙一方面可以对弯道水流进行整流,降低速度梯度同时可以节省直道空间,为推流器安装预留足够的位置。

3 结论

(1) 底曝氧化沟工艺是推流曝气池和传统氧化沟的一种结合工艺,工艺特点适应于城市排水系统刚刚起步建设的新兴城市,投产初期运行灵活,节省能耗,对水质适应性强。

(2) 底曝氧化沟工艺的运行实际表明,该工艺在设计计算中不能参照传统长时曝气氧化沟工艺进行设计,沟内均为好氧环境。虽然存在非曝气区域,但不能计算为缺氧池。

(3) 底曝氧化沟工艺在设计过程中要充分关注混合动力的均匀输入、低速推流器的位置等问题,在设计中考虑污泥淤积以及流速不均对设备的损坏问题。

(4) 对于生物池内溶解氧浓度存在差异对氧传递效率的影响需要进一步在生产和实验室进行探讨。

& 通讯处: 100082 北京市西直门北大街 32 号

E-mail: rx@hmedi.cn

收稿日期: 2009-08-23

修回日期: 2009-12-23