

---

# 奥贝尔氧化沟的工艺特点及工艺设计

温汝青

(中国市政工程华北设计研究院, 天津, 300074)

起源于南非, 发展于美国的奥贝尔氧化沟是具有除磷脱氮功能的新工艺之一, 因其在技术和经济上具有独特的优势, 在国外得到广泛的应用。我国在八十年代就引进了这门技术, 但真正被广泛使用是在近几年。在我国最早采用奥贝尔氧化沟处理工艺的污水处理厂为北京燕山石化公司牛口峪污水处理厂, 设计规模  $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 主要处理乙烯生产过程所排放的废水和居民区排放的生活污水, 其全套技术由美国引进, 部分配套产品为国内产品。于 1994 年 12 月建成投产。随着我国给排水工作者对其技术和设备的深入研究以及关键设备的国产化, 使其近几年在国内得到广泛的应用。青岛莱西市污水处理厂是国内最早独立完成工程设计、设备完全国产化的奥贝尔氧化沟工艺污水处理厂之一, 设计规模  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 主要处理市政污水, 于 1998 年 12 月建成投产。据不完全统计, 截止目前全世界采用奥贝尔氧化沟工艺的污水处理厂达 600 多座。

## 1 奥贝尔氧化沟的工艺特点

- ① 处理流程简单, 构筑物少;
- ② 特有的外、中、内沟道 0—1—2 溶解氧分布形式创造了一个极好的脱氮条件。能达到较高的脱氮效果, 总氮的去除率高达 90% 以上;
- ③ 对高浓度污染物耐冲击负荷性能强;
- ④ 处理效果好而且稳定, 不但对一般污染物有较高的去除率, 而且具有良好、稳定的硝化/反硝化脱氮功能;
- ⑤ 采用的设备种类和数量少, 建设投资省, 运行管理简单。

## 2 工艺方案的选择及工艺设计

以青岛莱西市污水处理厂为例, 介绍奥贝尔氧化沟工艺的工程设计。莱西市是青岛市的卫星城市, 青岛市 70% 的水源地来自莱西市。由于莱西市污水的直接排放造成青岛市的水源地受到严重污染, 其中  $\text{NH}_3\text{-N}$  超标 15 倍。为解决水污染问题, 青岛市政府和莱西市政府决定自筹资金建设莱西市污水处理厂。本工程 1998 年 3 月立项, 1998 年 12 月建成投产, 创造了国内当年立项当年建成通水的先河。

### 2.1 设计规模

根据莱西市环保局对主要排放口的水质、水量的检测报告进行分析和预测确定莱西市污水处理厂的近期设计规模  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。为节省建设投资, 采用分期实施的工程方案, 一期工程  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 二期工程增至  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

### 2.2 进、出水水质

根据莱西市环保局对主要排放口的水质、水量的检测报告进行分析和预测, 及青岛市环保局对排放水体大沽河的水质规划以及《污水综合排放标准》(GB8978-1996) 的要求, 确定莱西市污水处理厂的进、出水水质, 见表 1。

表 1 进、出水水质一览表

| 项目               | 进水水质<br>(mg/L) | 出水水质<br>(mg/L) | 项目                 | 进水水质<br>(mg/L) | 出水水质<br>(mg/L) |
|------------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|
| BOD <sub>5</sub> | 180            | 30             | TKN                | 42             |                |
| COD              | 400            | 100            | NH <sub>3</sub> -N | 30             | 15             |
| SS               | 300            | 30             | TP                 | 3              | 1              |

## 2.3 工艺方案的选择

根据莱西市污水处理厂的进水水质和出水所要达到的环境目标，要求必须采用带有脱氮功能的二级生物处理。目前带有脱氮功能的二级生物处理工艺有很多，如 A/O 脱氮工艺、氧化沟工艺及 SBR 工艺等。而传统的 A/O 脱氮工艺设备多，运行管理水平要求高，一般适合大型污水处理厂，对于莱西污水处理厂来说其规模小，要求管理上尽量简单，采用 A/O 工艺并不适合。通过选择比较适合本工程的工艺最终选择了奥贝尔氧化沟、卡罗塞尔氧化沟和 SBR 工艺进行比较。

### ① 奥贝尔氧化沟和卡罗塞尔氧化沟的比较

近几年来，奥贝尔氧化沟和卡罗塞尔氧化沟已在许多污水处理厂得到使用，虽然两个系统都是环状反应器氧化沟，但至少在四个方面有重大不同：

#### (1) 多级反应器与单级反应器的比较

奥贝尔氧化沟是多级反应器（三沟串联）系统，卡罗塞尔氧化沟是单一反应器。多沟道的设计在工艺上有更多的灵活性，工艺的灵活性在运行管理方面是非常重要的。污水处理厂的主要目的是要始终达到或超过性能标准，如果工艺不出问题投入相当大的投资而发现其工艺缺乏灵活性不符合性能标准，则是很遗憾的。奥贝尔氧化沟系统具有很大的灵活性，可以保证始终达到或超过性能标准。另外，多级反应器在正常的生物负荷情况下具有良好的工艺特性，在体积相同的系统中，多级反应器的 BOD<sub>5</sub> 去除率高于单一反应器。这主要是由于多级串联反应器更具有推流式的特点，其生物反应效率高。

在多级反应器系统中，除氨性能很好，在多沟道的奥贝尔氧化沟系统中，大部分的氨氮已在第一和第二沟道内硝化，在第三沟留有很低负荷的氨，奥贝尔氧化沟出水的氨含量基本接近零。

在反硝化方面，奥贝尔氧化沟有三个沟，其反硝化率始终是很高的，平均在 80% 以上；而卡罗塞尔氧化沟的反硝化率则反复无常，平均低于 50%，在卡罗塞尔氧化沟系统中所有的反硝化都发生在各曝气器之间，这就要求曝气器之间的距离足以形成缺氧条件，如果用混合来控制以及过量曝气，不能形成缺氧条件，则无反硝化可言，如果总的 DO 浓度太低，则硝化性能将受到抑制。而奥贝尔氧化沟系统所有的反硝化反应都在的外沟道内进行的，外沟道有约 90% 的容积内的 DO 都保持在接近零的状态，因而得以保持稳定的缺氧条件，从第一沟道的缺氧区到第三沟道的高浓度 DO 区相隔数小时，稳定性能好。卡罗塞尔氧化沟的高浓度 DO 区和低浓度 DO 区之间仅相隔几分钟，因而很容易随进水的变化而波动，稳定性能差。

因而奥贝尔氧化沟系统具有优越的反硝化作用，这就意味着它的电耗较低，以及具有良好的出水水质。

#### (2) 奥贝尔氧化沟转碟曝气器与卡罗塞尔氧化沟立式曝气器的比较

奥贝尔氧化沟采用的是独特的塑料（玻璃钢）圆盘进行氧的传递和混合，而卡罗塞尔氧化沟采用的是低速立轴曝气器，它的径向混合能力较高。

从机械观点看，奥贝尔氧化沟采用的转盘曝气器具有吸引力，转盘浸入混合液的深度是任何曝

---

气装置所不及的，低速水平轴曝气器的液体剪切脉冲不复存在，絮状颗粒未被剪切，因而能更好的去除 SS。而卡罗塞尔氧化沟采用的低速立轴曝气器，充氧点位少，维修方便。

### (3) 奥贝尔氧化沟转碟曝气器与卡罗塞尔氧化沟立式曝气器混合的比较

就混合而言，水平转盘曝气器优于低速立轴曝气器，国内采用低速立轴曝气器的污水处理厂普遍存在着混合效果差，出现污泥局部沉淀问题。低速立轴曝气器混合效果差的原因是由于总体混合较差，有一部分能量被浪费掉，约有一半的能量浪费在与水流不一致的方向上。

### (4) 氧的传递强度

奥贝尔氧化沟采用的转盘曝气器的传氧强度低，而立轴曝气器的传氧强度则高的多；在奥贝尔氧化沟系统中，大部分氧的传递在第一沟道内进行，曝气器前后的 DO 浓度都接近零，这使得氧的传递有一个较高的现场校正系数，降低了标准需氧量。因而奥贝尔氧化沟由于其氧的传递低以及三沟内 0—1—2 mg/L 的 DO 梯度分布可节约不少电费。

总之，奥贝尔氧化沟工艺具有更多的灵活性、工艺特性好、抗冲击能力强、在混合、曝气上有独特之处，且不易剪切污泥絮体、0—1—2 mg/L 的 DO 梯度分布可节约动力费用。

### ② 奥贝尔氧化沟和 SBR 的比较

SBR 即序批式活性污泥法，曝气池与沉淀池合二为一，即生化反应与泥水分离在同一反应池中进行，污水分批次进入反应池，然后按顺序进行反应、沉淀，排出上清液和闲置过程，完成一个操作周期。

近几年来，随着监控与测试技术的飞速发展，大量新设备被研制出来，特别是计算机自动控制系统的应用，使监控手段趋于自动化，序批式活性污泥法由于本身具有许多独特之处，被引起广泛重视。其工艺特点为：(1) 结构简单，运行灵活，自动化水平高；(2) 投资省，运行费用低；(3) 系统通过好氧/厌氧的交替运行，能够在去除有机物的同时达到较好的除磷脱氮效果；(4) 系统处理构筑物少、布置紧凑、节省占地。

到目前为止，有五种 SBR 工艺和设备可以使出水 TN 小于 5 mg/L，分别为间歇式循环延时曝气活性污泥法（ICEAS）、间歇进水周期循环式活性污泥法（CAST）、连续进水分离式周期循环延时曝气活性污泥法（IDEA）、连续进水周期循环曝气活性污泥法（CASS）。

ICEAS 是 20 世纪 80 年代在澳大利亚发展起来的，属第二代 SBR 工艺。1976 年建成世界第一座 ICEAS 污水处理厂，随后在日本、美国、加拿大、澳大利亚等地得到推广应用。1986 年美国国家环保局正式批准 ICEAS 为革新代应用技术（I/A）。该工艺最大的特点是在 SBR 前部增加一个生物选择器，以促进菌胶团微生物的繁殖，并抑制丝状菌的生长，该工艺由曝气、沉淀、排出三个阶段组成，在三个阶段内保持连续进水。但该工艺强调延时曝气，污泥负荷很低（0.04 ~ 0.05 kgBOD<sub>5</sub>/kgMLSS·d），这样使 ICEAS 工艺投资低（无初次沉淀池、二次沉淀池、污泥回流设备等）的优点在实际工程中没有得到充分体现，影响了该工艺在我国的广泛应用。

CAST 是在 ICEAS 工艺的基础上发展起来的第三代 SBR 工艺。该工艺由美国 Goronszy 教授开发，其核心为间歇式反应器，在此反应器中按曝气和不曝气交替运行，将生物反应过程和泥水分离过程集中在一个池子中完成。该工艺分别于 1984 和 1989 年在美国和加拿大取得专利。CAST 不同于 ICEAS 和 SBR 在于在沉淀阶段不进水，并增加了污泥回流系统，污泥回流至生物选择器，保证了活性污泥在生物选择器中经历一个高负荷阶段，有利于絮凝性细菌的生长，有效抑制丝状菌的生长。在沉淀阶段不进水，即在静止环境中进行，泥水分离效果好。系统较 ICEAS 系统复杂，但除磷

脱氮效果好。近几年来,在我国得到了应用。

IDEA 工艺保持了 CAST 工艺的优点,并且采用了连续进水、间歇排水的运行方式与 CAST 相比,生物选择器改为与 SBR 主体构筑物分离的预混合池,部分污泥回流到预混合池,在反应池中部进水,预混合池的设立可使污水在高负荷下有较长的停留时间,保证高絮凝性细菌的生长。

CASS 工艺是间歇式活性污泥法的一种变革,与 ICEAS 工艺差别不大,主要是污泥负荷不同。主要由预反应区和主反应区组成,预反应区控制在缺氧状态,主反应区为好氧状态。CASS 比 CAST 系统简单,但除磷脱氮效果不如 CAST。

上述对奥贝尔氧化沟、卡罗塞尔氧化沟、SBR 处理工艺特点进行了比较,虽然从理论上讲 SBR 工艺在投资、运行费用及占地面积等均略低于奥贝尔氧化沟工艺,但 SBR 工艺在系统的稳定性和除磷脱氮效果及管理简单方面比奥贝尔氧化沟略差,考虑到莱西市污水的进水水质变化大(工业水约占 70%)和出水水质的要求最终选择奥贝尔氧化沟为莱西市污水处理厂处理工艺。

## 2.4 工艺设计

### ① 机械处理段

污水由城区污水管网经重力流至污水处理厂,机械处理段设粗格栅间、提升泵房、细格栅间、曝气沉砂池各一座,土建工程按二期规模  $40\,000\text{ m}^3/\text{d}$  一次建成,设备按一期工程规模  $20\,000\text{ m}^3/\text{d}$  安装。

### ② 生物处理段

奥贝尔氧化沟两座,考虑到两期工程建设年限较近(四年),为节省投资,一期建一座,二期再增加一座。污泥龄 12d,污泥负荷  $0.083\text{ kgBOD}_5/\text{kgMLSS}\cdot\text{d}$ ,容积负荷  $0.3735\text{ kgBOD}_5/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ ,混合液浓度  $4500\text{ mg/L}$ ,剩余污泥产率为  $1.0\text{ kgDS/kgBOD}_5\cdot\text{d}$ ,反硝化/硝化体积比为 25%,反硝化率为 75%,池子总池容为  $9160\text{ m}^3$ ,内、中、外沟道的容积分别为 18%、32%、50%。标准需氧量  $394\text{ kg/h}$ ,外、中、内沟溶解氧分配比例分别为 50%、30%、20%。

二次沉淀池两座,考虑到两期工程建设年限较近(四年),为节省投资一期建一座,二期再增加一座。水力负荷  $0.80\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,有效水深 4.0 m,水力停留时间 4.5 h,剩余污泥浓度  $7\text{ mg/L}$ ,污泥回流比 100%。

### ③ 污泥处理段

污泥处理采用污泥浓缩后直接脱水,污泥浓缩采用重力式浓缩池,考虑到两期工程建设年限较近(四年),为节省投资,一期建一座,二期再增加一座。污泥浓缩池固体负荷为  $35\text{ kg}/(\text{m}^3\cdot\text{h})$ ,有效水深 3.5 m,停留时间 13 h。

污泥脱水机房土建按两期规模  $40\,000\text{ m}^3/\text{d}$ ,一次建成,设备按一期工程规模  $20\,000\text{ m}^3/\text{d}$  安装。

## 3 运行效果及需要探讨的几个问题

### 3.1 污水处理厂的运行效果

莱西市污水处理厂自 1998 年 12 月运行至今已取得良好的环境效益和社会效益,对保护青岛市的水源起着非常重要的作用。近几年莱西市污水处理厂(年平均)进、出水水质如表 2。

从表 2 可以看出,进水中 COD、 $\text{BOD}_5$ 、SS、TP 的指标均大于原设计时所采用的指标,但出水水质均满足出水水质要求,而且非常稳定。因此奥贝尔氧化沟不仅对有机物有很好的处理效果,而且还具有很好的除磷脱氮功能。

表 2 莱西市污水处理厂进、出水水质汇总表

mg/L

| 时间   | COD |      | BOD <sub>5</sub> |       | SS  |       | NH <sub>3</sub> -N |      | TP   |      |
|------|-----|------|------------------|-------|-----|-------|--------------------|------|------|------|
|      | 进水  | 出水   | 进水               | 出水    | 进水  | 出水    | 进水                 | 出水   | 进水   | 出水   |
| 2001 | 877 | 27.8 | 308              | 12.68 | 460 | 13.20 | 18.5               | 0.95 | 8.88 | 0.51 |
| 2002 | 941 | 29.5 | 247              | 13.05 | 520 | 15.8  | 24.5               | 3.68 | 9.87 | 0.69 |
| 2003 | 863 | 24.9 | 255              | 10.16 | 402 | 12.5  | 30.4               | 7.55 | 7.47 | 0.44 |

### 3.2 需要探讨的几个问题

目前以奥贝尔氧化沟为处理工艺的污水处理厂遍布全国的大江南北，本人通过十几年的工程设计也积累了一些经验和教训，在此提出供同行讨论及参考。

每种处理工艺都有其优、缺点。选择工艺方案要从多方面进行考虑。如工程规模、进水水质、出水要求、当地管理水平、占地要求、投资状况等，最后选出最适合本工程的方案。从莱西市污水处理厂通过 6 年的运行情况看，所选择的处理工艺是合适的。不仅抵御了工业污水波动大的水质特点，而且取得了满意的处理效果。

就奥贝尔氧化沟污水处理工艺而言，为节省运行费用，应在外沟道内适当位置增加潜水搅拌器。在外沟道溶解氧满足要求时，可以停掉潜水搅拌器处的转碟机组，开启潜水搅拌器用于推流，达到节能的目的。

在奥贝尔氧化沟进水前增加厌氧选择池，使进水和回流污泥首先进入厌氧选择池，有利于系统中絮凝性细菌的生长，有效抑制了丝状菌的生长和繁殖。但为了工程操作管理的灵活性，必须留有超越管道。

为工程操作管理方便，污泥回流系统的回流泵应采用变频调速装置，按照工艺要求通过调速对回流污泥进行精确控制。相应的回流管（渠）上应增加流量计。