

· 水业导航 ·

# 西部小城镇污水处理经济适用技术

重庆大学城市建设与环境工程学院副院长/教授 何 强

## 1 西部小城镇污水处理现状与技术要求

中国西部地区包括西北、西南的 12 个省(直辖市、自治区),有 46 个少数民族。全国 87% 的少数民族自治州(盟)、自治县(旗)分布在西部。西部小城镇共有 7 500 余个,约占全国小城镇总数的 1/3;西部小城镇人口总数约 5 500 万,占全国小城镇人口总数的 26%。受经济技术等条件限制,西部地区污水处理设施建设水平低于全国平均水平约 30%。在节能减排、西部大开发和发展小城镇等国家战略背景下,发展西部小城镇污水处理事业势在必行。

根据中国西部地区特殊的自然环境和社会经济状况,以及少数民族聚居区特殊的文化背景和生活习惯,西部小城镇污水处理技术应具备“经济适用”的特点,具体包括:①投资省。受西部小城镇经济水平的限制,要求小城镇污水处理设施建设工程投资较低;②运行费用低。随着市场化运行机制的建立和实施,各地居民已逐渐开始缴纳排污费,但是西部地区特别是小城镇居民的经济承受能力有限,需选择运行费用较低的污水处理工艺。③占地小。中国西部小城镇约 70% 位于山区,污水处理设施用地条件受到了很大的限制。④适合当地的自然环境条件。西部小城镇多处于高山高寒地区,年平均气温为 5℃,有些地区的最低气温达到 -20℃,而且多属于高海拔地区,污水处理供氧条件受到限制。⑤管理方便,操作简单。西部小城镇污水处理的管理能力和技术操作水平相对较低,不适合选择管理操作复杂的技术。

## 2 西部小城镇污水处理经济适用技术

在吸收荷兰、日本、美国等发达国家和我国东部小城镇污水处理技术的基础上,结合西部特殊的自然环境、社会经济和文化特点,开展了技术需求分析、技术市场调研、技术分析和评估、技术信息库构建、技术集成、试验和优化、技术工程化、示范工程监

控调试和完善等活动,推荐了 8 项适合中国西部小城镇污水处理的经济适用技术,其中前 4 项技术适合于新建的污水处理厂,后 4 项技术适用于已建传统工艺的改造。

### 2.1 折流式曝气生物滤池

通过合理设置溶解氧分区和填料粒径分布,并配备富铁除磷填料,降低进水预处理要求,延长反冲洗周期,提高除磷效率。折流式曝气生物滤池由 3 级曝气生物滤池组成。第 I 级为厌氧生物滤池,主要起厌氧水解和反硝化脱氮的作用;第 II 级为好氧曝气生物滤池,主要起氧化碳源有机物的作用;第 III 级为好氧曝气生物滤池,主要起氨氮硝化和除磷作用。折流式曝气生物滤池系统具有以下优点:将多级竖向流生物滤池有机组合在一个处理单元中,并根据功能划分成厌氧区、除碳区、硝化区;在滤池中装填了好氧酶促生物填料,有效提高微生物活性,提高了处理效率;在滤池的硝化区装填了部分富铁除磷填料,省去了化学除磷系统,降低了运行成本。

该技术已在重庆等地的小城镇污水处理厂示范应用,设计规模 2 000~4 000  $m^3/d$ ,出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准,占地指标为:1.2  $m^2/m^3$ ,工程投资 2 000~2 400 元/( $m^3/d$ ),运行成本约 0.25 元/ $m^3$ 。

### 2.2 折流湿地滤池—侧向潜流湿地床

通过设计处于厌氧环境的竖向折流湿地滤池和处于兼(好)氧环境的侧向潜流湿地床组合,设置内回流系统(高浓度进水时选用)、自然复氧区和不同级配碎石填料,达到系统内溶解氧的合理分区。该技术的特点是:合理设置了溶解氧分区,提高了填料及根区内的微生物量;优化了流态,消除了传统湿地的死水区,增加了污水在湿地中的流行距离和容积利用率;自然复氧区提高了湿地床内溶解氧,促进了硝化;内回流系统的设置可根

据进水的污染物浓度和处理目标选择;湿地床内填料的配置采用了依次缩小粒径的填料级配,尤其重视提高第一级湿地的截留纳污能力,最大程度保证后续潜流床的正常运行,防止淤塞并利于运行、维护管理。

该技术已在四川、重庆等地的 20 余座小城镇污水处理厂进行示范应用,设计规模  $200 \sim 3\,000\text{ m}^3/\text{d}$ ,出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 或一级 B 标准,占地指标为: $3 \sim 5\text{ m}^2/\text{m}^3$ ,工程投资  $800 \sim 1\,000\text{ 元}/(\text{m}^3/\text{d})$ ,运行成本约  $0.12\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

### 2.3 污水下水道处理技术及其组合系统

污水下水道处理技术及其组合系统特别适用于坡度较大的管渠系统。利用现有下水道的空间及管渠中的微生物,并利用流动过程中的自然充氧能力,净化处理污水。其主要技术特点为:不需人工充氧,依靠跌水和管道内水的流动充氧,可提供足够微生物降解有机物所需的溶解氧,山地陡坡管渠内溶解氧可以达到  $2\text{ mg}/\text{L}$  以上;通过投加高效悬浮生物填料,在空间上构建成多级生物膜系统,提高管渠系统中的生物量。研究表明:当下水道系统中污水溶解氧  $> 1.5\text{ mg}/\text{L}$ ,有机物的降解将不会受到溶解氧浓度的影响;在相同的停留时间内,不同的水流速度对处理效果无显著影响。

该技术已在重庆等地小城镇污水处理厂进行示范应用,设计规模  $500\text{ m}^3/\text{d}$ ,出水水质稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准,工程投资低于  $500\text{ 元}/(\text{m}^3/\text{d})$ ,运行成本约  $0.08\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

### 2.4 活性污泥—生物膜复合一体化技术

活性污泥—生物膜复合一体化反应器由三部分构成:缺氧区,活性污泥—生物膜复合式曝气区,沉淀区。该反应器依次包括内筒、中间筒、外筒、污泥斗和出水槽,污泥斗接外筒底部,出水槽设于外筒外壁上,内筒、中间筒通过支撑定位辐条与外筒固定;内筒空腔为缺氧区,缺氧区设有搅拌器;内筒和中间筒之间的空腔为曝气区,曝气区挂有填料,底部设曝气管;中间筒和外筒之间的空腔为沉淀区;污泥斗底部分别接混合液污泥回流管和排泥管,其中混合液污泥回流管伸至缺氧区底部。其主要技术特点

是:通过在曝气区前增设缺氧区,在曝气区中安装屑型填料,把传统活性污泥法和生物膜法结合起来,充分发挥各自优势,扬长避短,使聚磷菌、反硝化菌和硝化菌各自有最适宜的生长环境,提高了该反应器的脱氮除磷效果。

该技术已在四川等地的小城镇污水处理厂进行示范应用,设计规模  $400\text{ m}^3/\text{d}$ ,出水水质稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准,占地指标为: $0.5\text{ m}^2/\text{m}^3$ ,工程投资  $2\,500\text{ 元}/(\text{m}^3/\text{d})$ ,运行成本约  $0.35\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

### 2.5 改良型 Orbal 氧化沟工艺

针对高原性气候区冬季寒冷的特点,对传统 Orbal 氧化沟进行了改良。改良型 Orbal 氧化沟污水处理工艺利用圆弧形隔墙将厌氧区和好氧区分开,减少了 Orbal 氧化沟中心岛的占地,侧沟式固液分离器实现高效固液分离作用,节省二沉池的占地,实现了污泥的无泵自动回流功能,厌氧区的设置可提高系统的除磷效率,分段进水的方式可保证外沟和厌氧区的碳源供给。该工艺将倒置  $A^2/O$  工艺和 Orbal 氧化沟三环串联方式、一体化氧化沟工艺相结合,以环流反应器为基本池型,采用分区进水,厌氧区进水分分配比为  $0.1$ 。系统特点体现在:池内空间分区形成多级串联构型,保持了 Orbal 氧化沟的基本特征,实现了各区之间的全部水力自动回流,在运行方式上综合分段进水;结合了倒置  $A^2/O$ 、Orbal 氧化沟和一体化氧化沟等多种工艺优势;采用深沟微孔曝气系统提高供氧效率;系统中存在的好氧、缺氧交替环境,有利于同步硝化和反硝化过程的进行。

该技术已在四川的小城镇污水处理厂进行示范应用,设计规模  $10\,000\text{ m}^3/\text{d}$ ,出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准,占地指标为: $0.65\text{ m}^2/\text{m}^3$ ,工程投资  $2\,380\text{ 元}/(\text{m}^3/\text{d})$ ,运行成本约  $0.31\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

### 2.6 改良型 ICEAS 工艺

改良型 ICEAS 工艺是  $A^2/O$  工艺和 ICEAS 工艺相结合的一种工艺。预反应区由选择区和兼氧区组成,生物选择区设置在改良型 ICEAS 池前端的小容积区,通常在厌氧或兼氧条件下运行;兼氧区不仅具有辅助生物选择区对进水水质、水量变化起

到缓冲的作用,而且同时还具有促进磷的进一步释放和强化反硝化作用;主反应区是最终去除有机物的场所,按照“曝气、闲置(搅拌)、沉淀和滗水”的程序周期性运行,使污水在交替厌氧/好氧的条件下完成脱氮和除磷过程。与原工艺相比,改良后的工艺具有以下优点:设置了厌氧区以及进行了污泥回流,而且生物选择区通常在厌氧或兼氧的条件下运行,它的反硝化和磷的释放较充分,其脱氮除磷功能得到了有效改善;设置厌氧区以及采取污泥回流的改造措施,可以更好地保证活性污泥在选择器中不断经历一个高絮体负荷阶段,从而有利于系统中絮凝体细菌的生长,抑制了丝状细菌的生长和繁殖,有效避免污泥膨胀。

该技术已在云南的小城镇污水处理厂进行示范应用,设计规模  $10\,000\text{ m}^3/\text{d}$ ,出水水质达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准,占地指标约  $0.85\text{ m}^2/\text{m}^3$ ,工程投资约  $1\,750\text{ 元}/(\text{m}^3/\text{d})$ ,运行成本约  $0.33\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

### 2.7 高原低温下复合型 CASS 工艺

复合型 CASS 反应池由生物选择区和主反应区组成。污水首先进入反应池的生物选择区,设置在反应池的进水处,是一容积较小的污水污泥接触区。进入反应池的污水和从主反应区内回流的活性污泥在此相互混合接触。在生物选择区内,充分利用活性污泥的快速吸附作用,加速对溶解性底物的去除并对难降解有机物起到良好的水解作用,同时可使污泥中的磷在厌氧条件下得到有效释放。生物选择区还可有效地抑制丝状菌的大量繁殖,克服污泥膨胀,提高系统的稳定性。在生物选择器中,污泥回流液中存在的少量硝酸盐氮可得到反硝化。在主反应区内,按照“曝气、闲置、沉淀、滗水”的程序周期性运行,使污水在交替的厌氧/好氧的条件下完成脱氮和除磷作用。该技术的主要特点是:考虑到高原低温的影响,在低有机物浓度条件下,投加生物填料至 CASS 池中,稳定了生物量;生物膜污泥龄长,膜结构为硝化细菌的潜在附着提供了有利条件。由于大部分微生物附着生长,即使丝状菌大量繁殖,也不会导致污泥膨胀,相反还可以利用丝状菌较强的氧化分解能力,提高处理效果。

该技术已在云南的小城镇污水处理厂进行示范

应用,设计规模  $5\,000\text{ m}^3/\text{d}$ ,出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准,占地指标约  $1.2\text{ m}^2/\text{m}^3$ ,工程投资约  $2\,850\text{ 元}/(\text{m}^3/\text{d})$ ,运行成本约  $0.46\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

### 2.8 低温低浓度进水下 $A^2/O$ 工艺优化运行调控技术

低温低浓度进水条件下  $A^2/O$  工艺示范工程优化运行调试结果表明,在该条件下可采取以下调控技术措施:提高污泥负荷,由于营养物缺乏,活性污泥浓度会降低,每日产生的剩余污泥量减少。所以在排除剩余污泥时应根据处理水质调整排出量,来水浓度低时,系统污泥浓度应控制在较低水平,通过控制污泥浓度,能有效地提高污泥负荷,使系统 F/M 在  $0.1\text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLVSS}\cdot\text{d})$  左右;降低溶解氧,由于进水负荷较低,生物耗氧速率也随之下降,按正常负荷设计的曝气系统会导致反应池溶解氧过高,同时剧烈的搅动会影响菌胶团的形成;取消初沉池,使原污水经沉砂池后直接进入厌氧段,以便保持厌氧段中较高的 C/N,有利于脱氮除磷;投加混凝剂,在  $A^2/O$  反应池中投加混凝剂(如聚铁类混凝剂),以增大菌胶团絮体,改善污泥沉降性能,提高处理效率。

该技术已在四川省的小城镇污水处理厂进行了示范应用,设计规模  $5\,000\text{ m}^3/\text{d}$ ,出水水质达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准,占地指标约  $1.53\text{ m}^2/\text{m}^3$ ,工程投资约  $2\,900\text{ 元}/(\text{m}^3/\text{d})$ ,运行成本约  $0.48\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

## 3 结语

对于小城镇污水处理工程建设,西部地区自然环境条件恶劣,建设用地条件差:多为高山峡谷、丘陵、高原荒漠、气候随季节变化大、昼夜温差大、海拔高、干旱、高寒严寒地区多、基础设施建设地质条件差;而且西部小城镇的社会经济和发展水平相对较低。因此,在西部小城镇选择污水处理技术时,应结合这些特点,以适当地当地自然环境条件、工程投资省、运行费用低、管理简单、操作方便、占地面积小为重要目标,使之“建得起、用得起”,实现西部小城镇污水处理事业的可持续发展。