山地小城镇污水自然跌水曝气下水道沟渠处理技术研究

何 强[1,2] 秦梓荃[1] 周 健[1,2] 杨 志[1] 李晓品[1] 陈 浬[1] 谢光建[2]

(1 重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆 400045; 2 广东省水环境污染控制重点实验室,广州 510400)

摘要 针对山地小城镇地形特点,开发了一种集污水收集、输送和处理为一体的自然跌水曝气下水道沟渠处理技术,在重庆武隆仙女山镇建立了总长 1.83 km、处理规模 1 200 m^3/d 的示范工程,并结合示范工程对处理系统的效能开展了生产性试验研究。研究结果表明:在 2 年运行期间,水温为 2.9～22.7 ℃,渠道进水 COD 为 88～653 mg/L,出水能够达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准,COD 去除率为 61%～92%;同时,系统对于 NH_3—N 和 TN 有一定的去除效能,NH_3—N 去除率为 26%～64%, TN 去除率为 30%～45%。

关键词 山地小城镇 污水处理 自然跌水曝气 下水道沟渠

0 前言

目前,研发适合小城镇污水处理的高效简易、低成本处理技术成为热点[1～5]。

针对山地小城镇地势高差大的地形特点,利用下水道空间以及山地地形自然高差跌水曝气充氧,本研究提出了一种自然跌水曝气下水道沟渠处理技术,结合在重庆武隆仙女山镇的示范工程建设和运行,开展生产性试验研究,拟为山地小城镇污水处理开辟新途径。

1 示范工程概况

重庆市武隆县仙女山镇地处东经 107°13′～108°05′、北纬 29°02′～29°40′之间,属亚热带季风气候区,海拔为 1 650～2 033 m,年平均气温约 10 ℃,冬季气温<0 ℃,年积雪时间为 90 d 左右。在武隆仙女山镇建设的示范工程规模 1 200 m^3/d,A 渠道和 B 渠道总长 1.83 km,A 渠道由南向东敷设,B 渠道由东北向南敷设,两条渠道最终交汇于污水处理厂,A 渠道长度为 1 351 m,沿程跌落总高度为 87.6 m,有效容积为 342.3 m^3;B 渠道长度为 475 m,沿程跌落总高度为 88.4 m,有效容积为 93.2 m^3。

2 跌水曝气处理渠道构造设计

跌水曝气处理渠道主要由渠道主体、填料和开孔盖板 3 部分组成。渠道主体作为收集和处理城镇污水的下水道,内置隔墙,将渠道主体沿水流方向分为多个处理单元,形成水流汇集的滞留区,隔墙上开有过水口连通相邻的处理单元,各污水处理单元渠底沿水流方向依次降低;在水流汇集的滞留区沿程分别设置球形弹性立体填料、球形悬浮填料和球形组合填料,用于固定微生物,形成污水的生物降解区,并按有效容积的 20%～30%进行填装,在整个渠道空间上构成多级生物膜系统。本工程渠道内宽为 0.7 m,每一格长度根据地形差异分别为 3 m、5 m、10 m 等,见图 1。



图 1 渠道示意

3 跌水曝气处理渠道效能研究

3.1 跌水曝气处理系统对 COD 处理效能

系统 COD 处理效果见表 1 和图 2,COD 沿程去除情况分别见如图 3～图 6。

由表 1 可知,处理系统在全年运行过程中,出水 COD 达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准,COD 去除率为 61%～92%。当温度为 11.6～22.7 ℃时,COD 去除率为 85%～87%;当温度为 2.9～8.9 ℃时,COD 的去除率也能达到 61%以上。该处理系统进水 COD 为 88～653 mg/L,同时季节温度变化为 2.9～22.7 ℃,波动较大,但运行期间处理系统表现出较强的抗冲击负荷能力,系统 COD 处理效能稳定。

国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07315-005)。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　跌水曝气处理系统对 COD 的处理效能

季节	月份	温度/℃	COD/mg/L		去除率%
			进水	出水	
冬	12	5.0～7.4	115～215	44～56	62～74
	1	2.9～6.6	98～179	31～59	61～67
	2	6.1～8.9	152～261	58～60	61～77
春	3	7.0～9.6	88～107	28～34	65～68
	4	11.6～14.1	122～168	13～38	72～92
	5	12.0～14.6	232～285	24～44	84～91
夏	6	15.9～22.4	308～653	38～60	80～91
	7	18.4～22.7	342～417	43～49	82～89
	8	18.7～22.4	411～535	47～49	85～90
秋	9	20.5～21.4	329～590	56～59	83～90
	10	15.7～18.2	465～519	57～60	79～88
	11	9.4～11.4	245～454	50～59	78～87

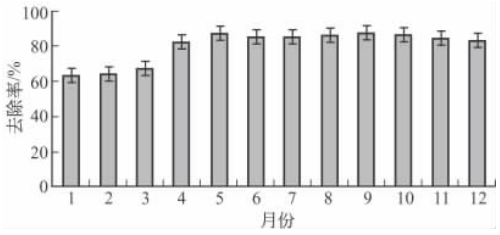


图 2　系统逐月 COD 平均去除率

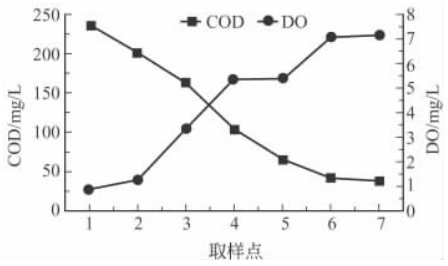


图 3　夏季系统 COD 和 DO 沿程变化情况

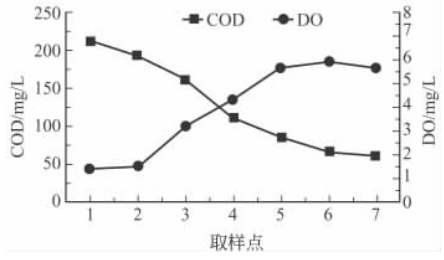


图 4　冬季系统 COD 和 DO 沿程变化情况

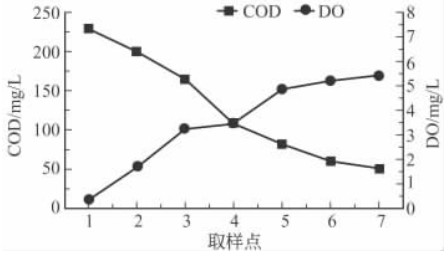


图 5　春秋季系统 COD 和 DO 沿程变化情况

图 3～图 5，沿程取样点 1～7 的确定主要根据渠道长度和坡度变化布置，渠道 1～2 段长300 m，坡度为 3%～4%；2～3 段长 200 m，坡度为 10%～15%；3～4 段长 200 m，坡度为 20%～25%；4～5、5～6、6～7 段长均为 200 m，坡度为 10%～15%。

由图 3～图 5 可知，渠道运行期间，处理系统起始 1～2 段处，1 点由于有机物浓度较高，耗氧速率高，DO 为 0.34 ～0.92 mg/L；随着渠道沿程有机物的降解和跌水曝气的持续充氧，到达渠道 2 点处时，由于污水中有机物浓度仍然较高，且坡度为 3%～4%较缓，跌水充氧能力较差，DO 仅增加至 1.27～1.68 mg/L；至渠道 3～4 段，由于坡度为 20%～25%较陡，跌水充氧能力较强，4 点处 DO 增加至3.47～5.34 mg/L；至渠道末端 6～7 段，随着有机物的降解以及持续的充氧，DO 达到 5.4～7.14 mg/L。

由图 6 可知，夏季系统运行 COD 沿程降解速率为 0.02～0.30 mg COD/(L· m)，春秋季为 0.05～0.28 mg COD/(L·m)，冬季为 0.02～0.27 mg COD/(L·m)。夏季由于系统运行温度较高，微生物活性好，系统 COD 降解速率高于其他季节。

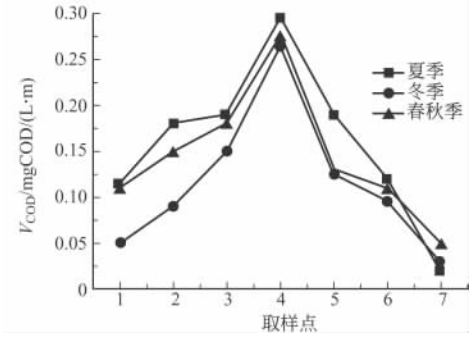


图 6　各季节系统 COD 沿程降解速率

3.2　跌水曝气处理系统对 NH_3—N 的处理效能

系统 NH_3—N 处理效果见表 2，NH_3—N 沿程去除情况分别见图 7～图 10。

由表 2 可知，跌水曝气处理系统 NH_3—N 去除率为 26%～64%，呈现出较大的波动。这主要由于该系统进水 NH_3—N 为 14.5～101.4 mg/L，变化幅度大；同时受季节温度变化影响。在进水 NH_3—N 为 14.5～21.3 mg/L 时，其出水为7.0～8.8 mg/L，能够达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准。当夏季水

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2　跌水曝气处理系统对 NH_3—N 处理效能

季节	月份	T/℃	NH_3—N/mg/L		去除率/%
			进水	出水	
冬	12	5.0～7.4	44.9～101.4	17.2～70.4	31～64
	1	2.9～6.6	14.5～21.3	7.0～8.8	51～58
	2	6.1～8.9	18.0～28.2	8.1～12.2	55～57
春	3	7.0～9.6	16.9～43.8	10.0～29.3	41～52
	4	11.6～14.1	23.7～33.4	13.4～20.1	34～44
	5	12.0～14.6	53.8～62.1	25.7～31.7	48～52
夏	6	15.9～22.4	45.9～89.3	23.6～47.4	30～51
	7	18.4～22.7	51.7～54.7	23.6～31.6	39～57
	8	18.7～22.4	54.1～61.3	22.3～27.6	54～58
秋	9	20.5～21.4	68.3～80.7	40.2～61.7	33～41
	10	15.7～18.2	65.8～78.5	31.7～47.3	39～51
	11	9.4～11.4	60.3～83.7	44.5～62.3	26～31

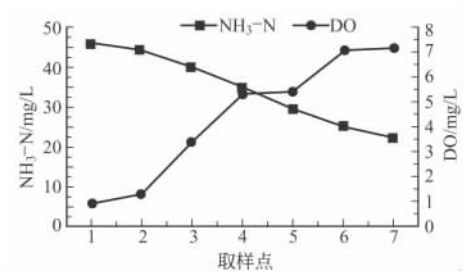


图 7　夏季系统 NH_3—N 和 DO 沿程变化情况

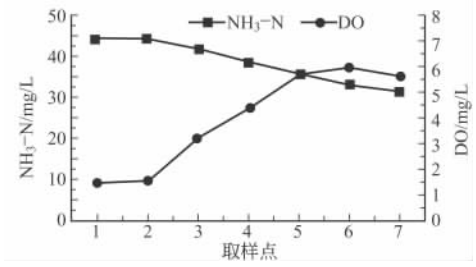


图 8　冬季系统 NH_3—N 和 DO 沿程变化情况

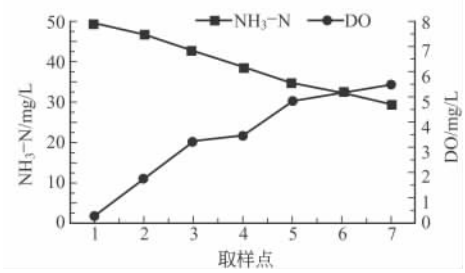


图 9　春秋季系统 NH_3—N 和 DO 沿程变化情况

温达到 22 ℃以上时，该系统 NH_3—N 去除率能够达到 50%以上。

由图 10 可知，运行期间各季节系统 NH_3—N 沿程降解速率在渠道起始段较低，中间段较高，末段较低。这是由于渠道起始段有机物浓度高，耗氧速率较高，渠道中 DO 处于较低水平，硝化菌不能成为优势，导致硝化速率较低；而渠道中间段随着处理系统对有机物的降解，渠中 DO 逐渐升高，硝化菌逐渐占优势，NH_3—N 的降解速率逐步升高；处理渠道末端段，则随着渠道 NH_3—N 的降低，降解速率也随之降低。夏季、春秋季、冬季运行时系统最高降解速率分别为 0.028 mgNH_3—N/(L·m)、0.023 mgNH_3—N/(L·m)和 0.016 mgNH_3—N/(L·m)；夏季由于系统运行温度较高，微生物活性好，系统 NH_3—N 降解速率高于其他季节。

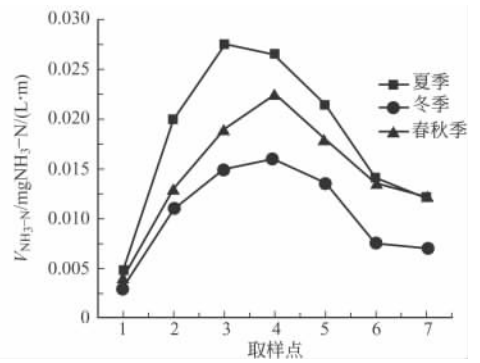


图 10　各季节系统 NH_3—N 沿程降解速率

3.3　跌水曝气处理系统对 TN 的处理效能

系统 TN 处理效果见表 3。TN 不同季节沿程去除情况如图 11～图 14 所示。

表 3　跌水曝气处理系统对 TN 处理效能

季节	月份	T/℃	TN/mg/L		去除率/%
			进水	出水	
冬	12	5.0～7.4	55.4～105.9	40.2～70.4	27～34
	1	2.9～6.6	16.4～23.3	10.9～15.0	33～35
	2	6.1～8.9	18.0～28.2	11.8～16.9	34～40
春	3	7.0～9.6	29.2～51.3	18.6～29.3	36～42
	4	11.6～14.1	27.7～40.4	20.4～29.2	33～44
	5	12.0～14.6	56.6～69.2	35.7～41.7	36～42
夏	6	15.9～22.4	51.5～93.4	46.6～60.4	32～42
	7	18.4～22.7	52.7～60.4	37.6～33.4	33～45
	8	18.7～22.4	64.7～67.7	42.2～41.6	34～41
秋	9	20.5～21.4	60.3～88.4	40.3～65.7	33～35
	10	15.7～18.2	70.5～84.2	47.2～50.7	35～41
	11	9.4～11.4	66.3～92.2	51.5～75.5	30～35

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

由表 3 可知，处理系统 TN 去除率为 30%～45%，呈现出较大的波动。这主要由于该系统进水 TN 为 16.4～105.9 mg/L，变化幅度大；同时受季节温度变化影响。

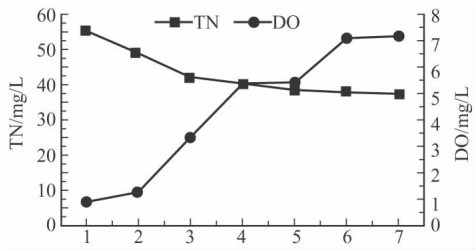


图 11　夏季系统 TN 和 DO 沿程变化情况

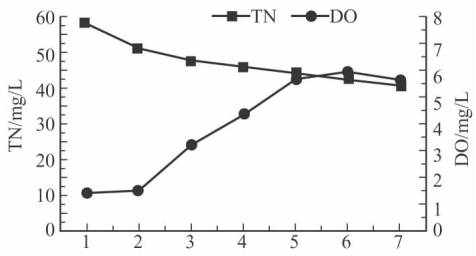


图 12　冬季系统 TN 和 DO 沿程变化情况

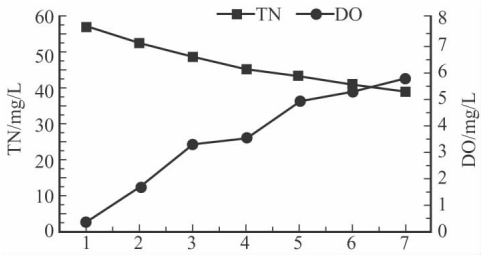


图 13　春秋季系统 TN 和 DO 沿程变化情况

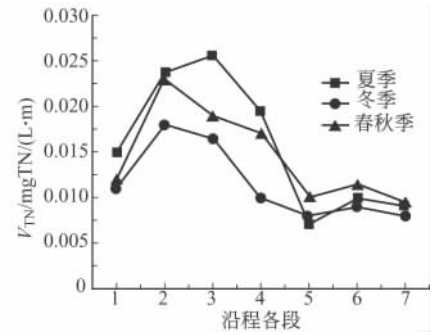


图 14　各季节系统 TN 沿程降解速率

由图 14 可知，各季节系统 TN 沿程降解速率在渠道起始段较低，中间段较高，末段较低。这是由于渠道起始段虽然 DO 处于较低水平，可利用碳源充足，有利于反硝化脱氮，但由于在渠道起始段硝化菌不能成为优势菌种，硝化速率较低，成为渠道中生物膜系统同步硝化反硝化的瓶颈；而渠道中间段随着渠中 DO 逐渐升高，硝化菌逐渐成为优势，NH_3—N 的硝化速率逐步升高，同时可利用碳源较充足，有利于反硝化脱氮，渠道中生物膜系统同步脱氮速率提高；而处理渠道末端段，随着硝化速率降低，特别是随着有机质的降解，反硝化碳源缺乏成为脱氮的瓶颈，系统同步脱氮速率下降。夏季、春秋季、冬季运行时最高降解速率分别为 0.026 mgTN/(L·m)、0.023 mgTN/(L·m)和 0.018 mgTN/(L·m)；夏季由于系统运行温度较高，微生物活性好，系统 TN 降解速率高于其他季节。

4　结论

（1）跌水曝气下水道沟渠处理系统对 COD 的去除效能稳定，出水满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准，COD 去除率为 61%～92%；对于 NH_3—N 和 TN 也有一定的去除效能，NH_3—N 去除率为 26%～64%，TN 去除率为 30%～45%。

（2）研发的集污水收集、输送和处理为一体的自然跌水曝气下水道沟渠处理系统构造合理，具有良好的跌水充氧能力和净化能力，维护管理简单，处理成本低，是适合在山地小城镇的处理技术。

参考文献

1　葛静茹，李霄宇，李建清，等. 北京周边地区小城镇水污染及处理现状. 环境保护，2011，(18)：46～48

2　伍培. 三峡库区小城镇污水处理工艺现状调查. 环境工程，2011，29(3)：40～43

3　何强. 西部小城镇污水处理经济适用技术. 给水排水，2011，37(3)：1～3

4　张可方，李淑更. 小城镇污水处理技术. 北京：中国建筑工业出版社，2008

5　李亚峰，夏怡，曹文平. 小城镇污水处理设计及工程实例. 北京：化学工业出版社，2011

& 通讯处：400045 重庆大学 B 区城市建设与环境工程学院

电话：(023)65120980

E-mail：hq0980@126.com

收稿日期：2012－03－19

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net