下水道活性污泥系统处理城镇污水的试验研究

周 健， 王国冬， 龙腾锐
(重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室，重庆 400045)

摘 要： 采用下水道活性污泥模拟系统处理低、中、高浓度的城镇污水，结果表明：当进水COD分别为 200、400及 600 mg/L左右，MLSS为 3.0 g/L，HRT分别为 0.5、3和 6 h，污水流速为 0.5～2 m/s时，为使出水 COD < 60 mg/L、BOD_5 < 20 mg/L、SS < 20 mg/L，则所需管道长度分别为 (0.9～3.6)、(5.4～21.4)、(10.8～43.2) km。此外，对于 COD约 600 mg/L的高浓度城镇污水，当采用下水道活性污泥系统、生物絮凝系统联合处理时，可有效减少下水道处理系统的长度，当下水道系统的 MLSS为 1.5 g/L、HRT为 2 h，生物絮凝段负荷为 2.5 kgBOD_5/(kgMLSS·d)、MLSS为 2.4 g/L、HRT为 25 min时，可使出水 COD < 60 mg/L、BOD_5 < 20 mg/L、SS < 20 mg/L。

关键词： 城镇污水； 下水道； 活性污泥； 生物絮凝
中图分类号： X703.1 **文献标识码**： A **文章编号**： 1000-4602(2006)03-0020-04

Experimental Research on Treatment of Town Sewage by Activated Sludge System in Sewer Lines and Ditches

ZHOU Jian, WANG Guo-dong, LONG Teng-rui
(Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Enviroment < Ministry of Education >, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: An experimental research was carried out to simulate the operating condition of low, middle and high concentration town sewage treatment by activated sludge system in sewer lines and ditches. The results show that under the condition of the influent COD of about 200, 400 and 600 mg/L respectively, MLSS of 3.0 g/L, HRT of 0.5, 3 and 6 h respectively, and sewage flow velocity of 0.5 - 2 m/s, the requisite length of sewer lines and ditches is 0.9 - 3.6, 5.4 - 21.4 and 10.8 - 43.2 km respectively to achieve the effluent COD < 60 mg/L, BOD_5 < 20 mg/L and SS < 20 mg/L. Moreover, when the COD of high concentration town sewage reaches to about 600 mg/L, the length of sewer lines and ditches treatment system can be reduced effectively by using activated sludge system in sewer lines and ditches and biological flocculation treatment system. When MLSS is 1.5 g/L and HRT is 2 h in sewer lines and ditches treatment system, and the loading of biological flocculation system is 2.5 kgBOD_5/(kgMLSS·d), with MLSS of 2.4 g/L and HRT of 25 min, the effluent COD, BOD_5 and SS can be less than 60 mg/L, 20 mg/L and 20 mg/L respectively.

Key words: town sewage; sewer; activated sludge; biological flocculation

基金项目：“十五”国家科技攻关课题 (2003BA80815-2-3)； 重庆市应用基础研究项目 (7279)； 重庆大学骨干教师基金资助项目 (713411001)

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

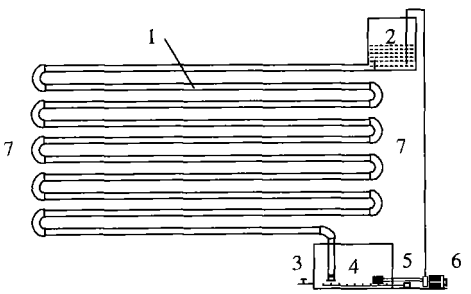
下水道空间巨大,管渠中微生物丰富,特别是山地城镇排水系统,其地形落差大,有利于管道内的通风充氧,通过采取措施强化下水道内的生物化学反应过程,可使污水在流动过程中得到较好的净化。近年来,美国、日本等发达国家对重力式下水道污水处理工艺的研究非常重视,Raunkjaer等[1]就生活污水在传输过程中发生的生化反应及动力学进行了研究;以色列的 M. Green等针对 DAN REGION污水收集系统(整体呈 U形,管径为 600～2 100 mm,主干管长为 37 km,服务人口为 100万,污水流量为 30 × 10^4 m^3/d,平均流速为 1.0 m/s,总停留时间 >10 h,计划增加一条长为 8 km的压力管进行活性污泥回流,从而保证下水管道系统内有足够的生物量,并在管道系统的适当位置进行曝气,这样整个环状管网系统就成为了有污泥回流的分段进水推流式好氧反应系统)的研究结果表明,对 COD的去除率为 79%～80.8%,对 BOD_5 的去除率达到了 85%～93%,最终出水 BOD_5 <25 mg/L。经济比较显示,其基建投资比普通活性污泥法节省 50%以上(不含污泥处理)。

为开发简易、高效和低能耗的城镇污水下水道处理技术,针对不同浓度的城镇污水,进行了下水道活性污泥处理系统运行工况及组合技术的研究。

1　试验方法

1.1　试验装置

采用 UPVC排水管模拟实际下水道,排水管道内径为 100 mm,总长度为 36 m,装置总容积为 0.28 m^3,平均充满度为 0.54,总有效容积为 0.15 m^3。此外还包括循环水泵及沉淀池(兼作循环水箱)等附属设备。试验中通过水泵使污水在管道内循环流动,以保证一定的流速和停留时间。装置见图 1。



1.管道　2.高位水箱　3.出水阀　4.曝气头
5.曝气机　6.循环水泵　7.跌水

图 1　下水道活性污泥系统试验装置

Fig 1　Schematic diagram of experimental set-up

生物絮凝反应器采用曝气—沉淀一体式反应器,其 $L \times B \times H$ = 33.4 cm ×15 cm ×55 cm,曝气区的 $V_{有效}$ = 15 L。

1.2　下水道活性污泥处理系统的运行工况

该试验的主要目的是考察下水道处理系统的污泥浓度和停留时间对不同浓度城市污水处理效果的影响,其流程见图 2。

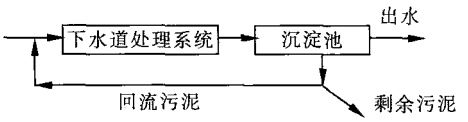


图 2　下水道活性污泥处理系统流程

Fig 2　Flow chart of sewer activated sludge process

试验分阶段进行,原水采用校区附近的高浓度城市污水,并通过稀释得中、低浓度(COD分别为 400、200 mg/L)的城镇污水,其运行工况的试验安排见表 1,试验水温为 21～25 ℃。试验期间测试出水 COD、SS及 SVI等指标。

表 1　各试验阶段的运行工况

Tab.1　Operating conditions of different stages

参数		MLSS/(g·L^{-1})	HRT/min
$COD_{进水}$ = 200 mg/L	试验 1	3.0	120
	试验 2	2.0	120
	试验 3	1.5	120
	试验 4	1.0	120
$COD_{进水}$ = 400 mg/L	试验 1	3.0	180
	试验 2	2.0	180
	试验 3	1.5	180
	试验 4	1.0	180
$COD_{进水}$ = 600 mg/L	试验 1	4.0	360
	试验 2	3.0	360
	试验 3	2.0	360
	试验 4	1.0	360

1.3　组合系统的运行工况

针对某些小城镇下水道长度短(污水在其中停留时间较短)的情况,对浓度较高的城镇污水拟采用下水道活性污泥 +生物絮凝处理系统。试验流程见图 3。

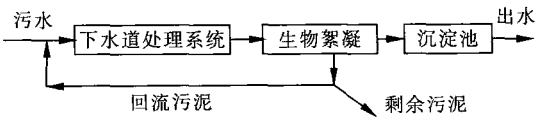


图 3　组合系统流程

Fig 3　Flow chart of combined process

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

下水道:MLSS = 1.5 g/L, HRT = 2 h, N_s = 2.4 kgBOD$_5$/(kgMLSS·d);生物絮凝段的运行工况见表 2,控制各阶段的 DO为 1.7～2.5 mg/L、水温在 20 ℃左右。试验期间测试进、出水 COD、SS及 SVI等指标。

表 2　生物絮凝段各阶段的运行工况

Tab. 2　Operating conditions of biological flocculation process

参数	阶段 1	阶段 2	阶段 3	阶段 4
Q/(mL·min^{-1})	250	375	500	625
HRT/min	60	40	30	25
MLSS/(g·L^{-1})	2.4	2.4	2.4	2.4

2　试验结果及分析

2.1　下水道活性污泥系统的运行工况

试验结果表明,对于低浓度城镇污水,随着 MLSS由 1.0 g/L增加到 3.0 g/L,当 HRT为 30 min时,出水 COD由 87 mg/L下降到 57 mg/L, COD去除率由 56.5%提高至 71.4%;而当 HRT增加至 120 min时,出水 COD由 59 mg/L下降到 43 mg/L, COD去除率由 70.5%提高至 78.5%。

对于 COD约为 400 mg/L的中浓度城镇污水,随着 MLSS由 1.0 g/L增加到 3.0 g/L,当 HRT为 180 min时出水 COD由 79 mg/L下降到 56 mg/L, COD去除率由 80.3%提高至 86.1%。

对于 COD为 600 mg/L左右的高浓度城镇污水,随着 MLSS由 1 g/L增加到 4.0 g/L,当 HRT为 120 min时,出水 COD由 214 mg/L降至 180 mg/L, COD去除率由 64%上升到 71.1%;而延长 HRT至 360 min时,出水 COD由 112 mg/L降至 56 mg/L, COD去除率则由 82.2%上升到 91% (见图 4)。

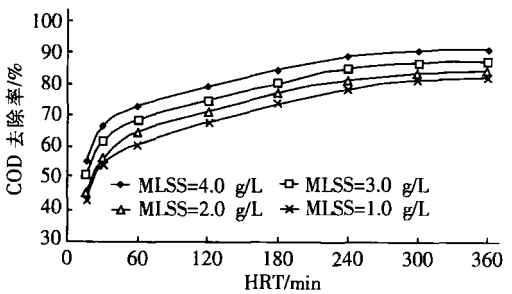


图 4　HRT和 MLSS对高浓度污水 COD去除率的影响

Fig. 4　Effect of HRT and MLSS on COD removal

综上所述,采用下水道活性污泥系统处理不同浓度的城镇污水,在达到相同的排放标准时,随着污泥浓度的增加则所需停留时间缩短。如果以污水在管道内的平均流速为 0.5～2 m/s及出水 COD、BOD$_5$、SS达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 B标准计算,不同停留时间和流速时所需的管道长度见表 3。

表 3　不同流速和停留时间下所需下水道的长度

Tab. 3　Length of sewer lines and ditches in different flow rates and HRT

流速/(m·s^{-1})		0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
下水道长度/km	HRT = 1 h	1.8	2.7	3.6	5.4	7.2
	HRT = 2 h	3.6	5.4	7.2	10.8	14.4
	HRT = 3 h	5.4	8.1	10.8	16.2	21.6
	HRT = 4 h	7.2	10.8	14.4	21.6	28.8
	HRT = 5 h	9.0	13.5	18.0	27.0	36.0
	HRT = 6 h	10.8	16.2	21.6	32.4	43.2

由表 3并结合前面的研究成果可知,处理高浓度污水需要更长的 HRT和下水道长度;当下水道活性污泥系统的 MLSS为 3.0 g/L时,要使出水水质达到一级 B标准,对于低浓度城镇污水,当 HRT = 0.5 h时所需下水道长度为 0.9～3.6 km;对于中浓度城镇污水,当 HRT = 3 h时所需下水道长度为 5.4～21.6 km;而对于高浓度城镇污水,当 MLSS = 4.0 g/L、HRT = 6 h时,所需下水道长度为 10.8～43.2 km。

2.2　组合系统的运行工况

对于下水道处理段,当 HRT为 2 h、MLSS由 1.5 g/L提高到 3.0 g/L、负荷由 2.4 kgBOD$_5$/(kgMLSS·d)降低到 1.2 kgBOD$_5$/(kgMLSS·d)时,其出水 COD由 204 mg/L降低到 181 mg/L, COD去除率由 67.4%提高到 72.3%,仅增加了 5%。污泥浓度越高则所需的回流污泥越多,因而从降低运行费用考虑,下水道处理段的 MLSS取 1.5 g/L较为适宜。对于生物絮凝段,当负荷(N_s)为 1.0～2.5 kgBOD$_5$/(kgMLSS·d)、HRT为 25～60 min时,出水 COD < 60 mg/L,对其去除率为 71.2%～74.5%;出水 BOD$_5$ < 20 mg/L,对其去除率为 76.4%～81.3%;出水 SS < 20 mg/L,对其去除率为 69.4%～77.0%,出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 B标准。

上述结果表明,当生物絮凝段的 N_s = 1.0～2.5 kgBOD$_5$/(kgMLSS·d)时出水 COD值无显著差异,说明该系统具有较好的抗冲击负荷能力。由于以高负荷运行时的停留时间短,可减少生物絮凝池的容积(降低了投资),且当生物絮凝段的 N_s = 2.5 kgBOD$_5$/(kgMLSS·d)时出水 BOD$_5$和 SS均较稳定,故取生物絮凝段负荷为 2.5 kgBOD$_5$/(kgMLSS·d)。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

当组合系统在较高负荷下运行时,对 COD、BOD_5 和 SS均取得了较好的去除效果,经分析其原因为:污泥中含有大量的高活性微生物,而且随着负荷的增加,污泥脱氢酶的量也在增加,污泥代谢能力增强[2,3]。同时,由于系统中基质充足,有利于絮凝菌生长,能够高效、快速地吸附和氧化分解污水中的有机物,使系统出水水质好、抗冲击负荷能力强。

在整个试验期间,下水道系统的 SVI为 72～84 mL/g,生物絮凝段的 SVI为 39～63 mL/g,说明活性污泥的沉降性能稳定、良好。经分析原因是:系统的泥龄较短,以原核细菌为优势菌种,丝状菌无法占优;未设置初沉池,污水中大量的 SS被活性污泥吸附、凝聚,增大了污泥絮体密度,改善了活性污泥的沉降性能。

与单独利用下水道处理高浓度污水相比,下水道与生物絮凝的组合处理系统,可有效、灵活地调节下水道处理系统的停留时间及所需的下水道长度,具有高效、经济、出水水质稳定的特点。

3　结论

① 采用下水道活性污泥系统处理城镇污水,当进水 COD分别为 200、400及 600 mg/L左右,MLSS为 3.0 g/L,HRT分别为 0.5、3和 6 h,污水流速为 0.5～2 m/s,管道长度分别为 (0.9～3.6)、(5.4～21.4)、(10.8～43.2) km时,可使出水 COD <60 mg/L、BOD_5 <20 mg/L、SS <20 mg/L。

② 对于 COD为 600 mg/L左右的高浓度城镇污水,采用下水道活性污泥系统 +生物絮凝系统处理,可有效减少所需下水管道的长度。当下水道活性污泥系统的 N_s 为 2.4 kgBOD_5/(kgMLSS·d)、HRT为 2 h、MLSS为 1.5 g/L,生物絮凝段的 MLSS为 2.4 g/L、HRT为 25 min、N_s 为 2.5 kgBOD_5/(kgMLSS·d)时,可使出水 COD <60 mg/L、BOD_5 <20 mg/L、SS <20 mg/L。

参考文献:

[1] Raunkjaer K, Hvitved Jacobsen T, Nielsen P H. Transformation of organic matter in a gravity sewer[J]. Wat Env & Res, 1995, 67(2): 251 - 262.

[2] Kaijun W, Zeeman G, Lettinga G. Alteration of sewage characteristics upon aging[J]. Wat Sci & Tech, 1995, 31(7): 191 - 200.

[3] 周健,龙腾锐,苗利利. AB法 A段处理低浓度城市污水试验研究[J]. 中国给水排水, 2003, 19(5): 41 - 44.

作者简介:周健 (1964 -), 女, 江苏常州人, 博士、副教授, 研究方向为水污染控制工程。

电话: (023) 66357572

E - mail: zhoujiantt@126.com

收稿日期: 2005 - 08 - 30

(上接第 19页)

低,其中臭氧生物活性炭对微量有机物的去除效果更显著,有效提高了供水水质的安全性。

参考文献:

[1] Woo Hang Kim, Wataru Nishijima, Eiji Shoto, *et al*. Pilot plant study on ozonation and biological activated carbon process for drinking water treatment[J]. Wat Sci Tech, 1997, 35(8): 21 - 28.

[2] 李伟光,谭立国,何文杰,等. 臭氧—活性炭深度处理滦河水的试验研究[J]. 给水排水, 2005, 30(1): 47 - 50.

[3] 查人光,徐冰. 低浊度控制与饮用水安全浅议[J]. 给水排水, 2005, 30(1): 11 - 14.

[4] Scholz M, Martin R J. Ecological equilibrium on biological activated carbon[J]. Wat Sci Tech, 1997, 31(12): 2959 - 2968.

作者简介:韩宏大 (1967 -), 男, 辽宁朝阳人, 博士研究生, 教授级高工, 研究方向为给水深度处理。

E - mail: hanhongda@126.com

收稿日期: 2005 - 10 - 28

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net