

文章编号:1671-6833(2010)03-0123-06

# 城市污水可处理性试验与评价研究

赵红梅<sup>1,2</sup>, 彭党聪<sup>1</sup>, 王晓昌<sup>1</sup>

(1. 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054)

**摘 要:**采用试验与评价相结合的方法,以城市污水为原水,进行沉淀、混凝沉淀、DE氧化沟系统、移动床生物膜反应器(MBBR)4种工艺试验,并根据试验结果对城市污水的可处理性进行量化评价,为污水处理工艺的合理选择提供可靠的参考。工艺试验和评价结果表明:沉淀1 h能去除49.5%的悬浮态污染物,混凝沉淀对悬浮态污染物去除率可达98%,且处理效率为其他工艺的3.5~32倍;MBBR对溶解态有机物去除率与DE氧化沟相近,处理效率为后者的3~3.4倍;DE氧化沟对各类污染物去除率均在80%以上,但效率较低。

**关键词:**悬浮态;溶解态;分子量分布;去除率;处理效率;

**中图分类号:** X703.1 **文献标识码:** A

## 0 引言

目前国内污水处理厂所采用的主流处理工艺为常规一级处理和各种改良的活性污泥法相结合的工艺<sup>[1-2]</sup>,而在欧洲一些国家,对当地城市污水水质分析后,选用混凝沉淀与好氧活性污泥法相结合的处理方式<sup>[3]</sup>,国内一些学者也提倡对污水进行强化一级处理或采用强化一级处理与生物处理相组合的新型、低耗处理技术<sup>[1-6]</sup>。因此在进行污水处理工艺的选择时,不但应对污水水质有深入的了解,同时需要针对备选工艺进行污水可处理性评价。

作者通过对西安市污水水质的连续监测以及多种工艺试验,并利用试验结果对城市污水的处理效果和效率进行评价。通过对城市污水的可处理性评价研究,为处理工艺选择以及老城镇污水处理厂的改扩建设计提供合理、可靠的方法和依据。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 试验原水

试验用城市原污水,取自西安市北石桥污水净化中心细格栅后,净化中心主要接纳和处理西安南郊和西南郊的居住区、医院生活污水和部分

工业废水,污水pH年平均值7.56,平均水温18℃,污水厂进水水质属典型城市污水。经过连续监测进水水质见表1。监测试验中以0.45 μm滤膜作为原水中悬浮态污染物与溶解态污染物的划分界限,认为透过0.45 μm滤膜的物质均为溶解态。

表1 试验原水水质

Tab. 1 Quality of experimental raw water

污染物 分类	组分	
	溶解态/(mg·L <sup>-1</sup> )	悬浮态/(mg·L <sup>-1</sup> )
SS	—	162.3
COD	93.7 (34.1%)	180.7 (65.9%)
BOD <sub>5</sub>	51.7 (38.6%)	82.4 (61.4%)
TN	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	28.6
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	0.6
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	11.7
	(76.7%)	(23.3%)
	N <sub>有机</sub>	9.4
TP	4.10 (50.2%)	4.06 (49.8%)

注:①表中皆为平均值;②表中括号内数据为溶解态或悬浮态物质占这类污染物总量的百分比。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 沉淀试验

试验采用沉淀装置模拟幅流式沉淀池,通过沉淀试验可测定污水中悬浮物的沉淀性能,检验

收稿日期:2009-12-04;修订日期:2010-01-18

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(50138020)

作者简介:赵红梅(1978-),女,山西太原人,长安大学讲师,硕士,主要从事水处理技术方面的研究,E-mail:zhaohm@chd.edu.cn.

单纯沉淀工艺对污染物的去除情况.取原污水1.5 L,置于沉淀装置中,沉淀1、2 h后对上清液进行水质分析.

### 1.2.2 混凝+沉淀工艺试验

混凝+沉淀工艺试验在杯罐中进行,搅拌装置为JJ-6型电动六连搅拌机,圆筒型有机玻璃杯罐.试验条件:快速搅拌1 min,转速120 r/min;慢速搅拌15 min,转速45 r/min;静沉30 min后取上清液,对水质进行分析,并与反应前原水水质对比.所用的混凝剂为聚合氯化铝(PAC),其中有效Al的含量为23%,经试验确定最佳投药量为 $32.4 \text{ mgAl}(\text{gCOD} \cdot \text{L})^{-1}$ .

### 1.2.3 移动床生物膜反应器(MBBR)

试验在西安市北石桥污水净化中心现场进行,主体反应器外形为长方体,有机玻璃制做,长50 cm,宽和高均为40 cm,有效容积50 L,沉淀区占总容积10%,试验装置见图1.反应器内投加挪威产K1型Kaldnes悬浮填料,圆柱形内有十字支架, $\Phi=1 \text{ cm}$ , $h=1 \text{ cm}$ ,投加体积为反应区容积的50%.反应器为连续运行, $\text{Hrt}=5.5 \text{ h}$ 反应区DO为 $4.1 \sim 4.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,进水温度 $14 \sim 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,生物膜浓度 $1450 \sim 2050 \text{ mgVSS} \cdot \text{L}^{-1}$ ,有机负荷 $0.21 \sim 0.62 \text{ KgCOD} \cdot (\text{KgVSS} \cdot \text{d})^{-1}$ .

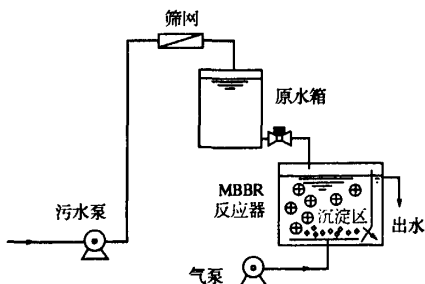


图1 移动床生物膜反应器(MBBR)

Fig. 1 Schematic of moving bed biofilm reactor (MBBR)

### 1.2.4 DE氧化沟二级处理系统

北石桥污水净化中心以DE氧化沟为核心处理工艺<sup>[7]</sup>,处理规模 $15 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ,工艺示意图如图2所示.城市污水在处理厂的总停留时间约18 h,其中主要处理构筑物曝气撇脂沉砂池 $\text{Hrt}=7 \text{ min}$ ,生物选择池 $\text{Hrt}=15 \text{ min}$ ,DE型氧化沟 $\text{Hrt}=11.8 \text{ h}$ ,终沉池 $\text{Hrt}=4.7 \text{ h}$ ,氧化沟活性污泥浓度 $=4500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,污泥负荷为 $0.09 \sim 0.12 \text{ kgBOD}_5 \cdot (\text{kgMLSS} \cdot \text{d})^{-1}$ ,泥龄20 d,标准状态

下充氧能力为 $67 \text{ kgO} \cdot \text{h}^{-1}$ .试验中取终沉池出水为氧化沟系统出水,进行分析,根据连续监测结果对DE型氧化沟二级处理系统进行评价.

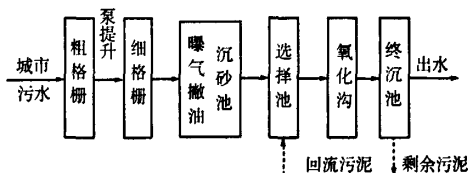


图2 西安市北石桥污水净化中心处理工艺流程

Fig. 2 Treatment progress of Xi'an Beishiqiao Sewage Purification Center

### 1.3 测定项目及方法

SS、COD、 $\text{BOD}_5$ 、TP、TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 均采用国家标准检测方法<sup>[8]</sup>,pH用玻璃电极法测定.溶解态有机物分子量分布采用高效液相色谱法(HPLC),使用LC-9A(Shimadzu Co., Japan)高效液相色谱仪分析.

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 对悬浮物的去除

图3为原污水静置沉淀1 h和2 h后对SS的去除效果,可以看到原污水静沉1 h后,绝大部分可自行沉淀的SS已经基本去除,静沉2 h后去除率,变化不大,因此1 h就可满足沉淀的要求.

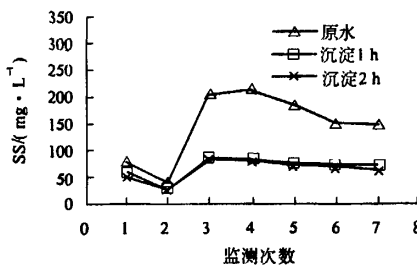


图3 沉淀对SS的效果

Fig. 3 SS removal effect of precipitation

混凝沉淀、MBBR、氧化沟二级处理系统对SS的去除率如图4所示,几乎都在80%以上.混凝沉淀强化了单纯沉淀对原水中SS的去除效果;而MBBR、DE氧化沟工艺均为生物二级处理工艺,出水SS主要取决于悬浮活性污泥的沉降性能,正常运行状况下,2种生物处理工艺出水悬浮物含量均在 $20 \sim 30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,SS平均去除率均在90%以上.

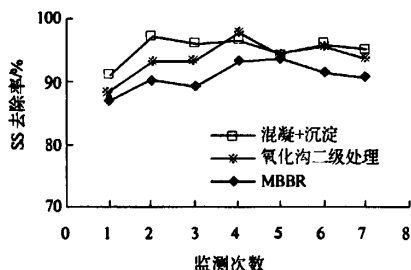


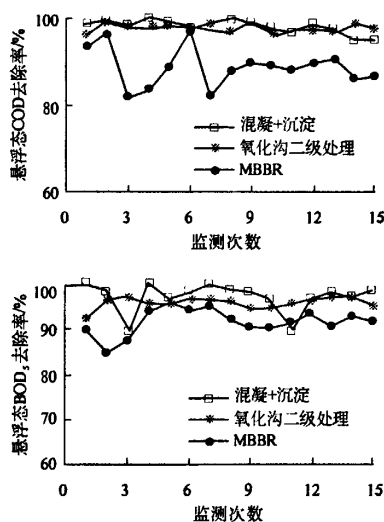
图4 混凝沉淀、MBBR、氧化沟对SS的去除

Fig. 4 SS removal rate of coagulation and precipitation, MBBR, oxygen ditch

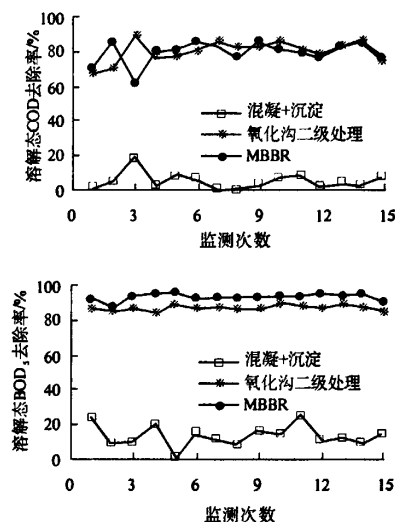
## 2.2 对有机物的去除

对进出水中溶解态和悬浮态 COD、BOD<sub>5</sub> 进行测定,结果显示:4种工艺对有机物都有去除作用,生物处理工艺对有机物的去除效果较好,单纯沉淀对悬浮态 COD、BOD<sub>5</sub> 的平均去除率分别为 26%、19%,由此可知颗粒态有机物沉降性能较差,且悬浮污染物以无机成份为主,城市污水中的大颗粒有机物大部分早在化粪池以及排水管网中消化分解。

混凝沉淀、MBBR、DE 氧化沟二级处理系统



对有机物的去除率见图 5。根据试验结果,3 种工艺对 COD 总量的平均去除率依次为 68%,83% 和 91%,氧化沟最高,混凝沉淀相对较差。它对溶解态 COD 平均去除率仅为 5%,但对悬浮态 COD 去除率平均达 98%。同时由表 1 可见,原水中悬浮态 COD 占总量的 65.9%,这与混凝沉淀对 COD 总量的去除率非常接近,因此混凝沉淀工艺对有机物的去除效果主要由原水中悬浮态有机物的含量决定。MBBR、氧化沟系统对溶解态 COD 的去除率分别为 79.6%,80.3% 相差甚微,对悬浮态 COD 的去除率分别为 89.6%,97.6%,所以 MBBR 的去除率低于氧化沟主要是由于出水中含有少量悬浮态有机物,这与其沉淀区相对较小、停留时间短的结构设计有关。混凝沉淀、MBBR、DE 氧化沟二级处理系统对 BOD<sub>5</sub> 的总去除率分别为 65%、92% 和 92%,混凝沉淀可平均去 96.3% 除悬浮态 BOD<sub>5</sub>;MBBR 和氧化沟二级处理工艺,对可生物降解有机物的总去除率相同,对悬浮态 BOD<sub>5</sub> 的去除率分别为 91.7%、95.6%,对溶解态 BOD<sub>5</sub> 的去除率分别为 91.8%、86.4%,数据显示生物膜对可生物降解溶解态有机物去除效果更好些。

图5 各工艺对 COD、BOD<sub>5</sub> 去除率的比较Fig. 5 Comparison in COD, BOD<sub>5</sub> removal rate of different treatment method

总之,单纯沉淀工艺对有机物的去除效果较差,而混凝沉淀对有机物的去除率与原水中悬浮态有机物的含量有很大关系,如果含量较高,以混凝沉淀为核心的强化一级处理也可作为污水处理工艺备选之一;MBBR 与氧化沟系统处理效果相仿,但 MBBR 更为紧凑、更适合应用于城市污水分散处理的情况。

## 2.3 有机物分子量分布的变化

城市污水原水经过混凝沉淀处理后溶解态有机物的分子量分布会发生一定的变化,经过生物处理之后可能会产生系列新的小分子溶解态有机物,利用 HPLC 对经 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜过滤后的原污水以及各处理工艺出水,进行分子量分布检测,试验结果如下图 6 所示。由图可知,原水中溶解态有

有机物分子量主要在 1 700 ~ 3 200, 占有机物总量的 89%, 分子量在 1 000 ~ 500 的占总量的 9%; 混凝沉淀对分子量大于 3 000 的有机物去除效果较好, 对分子量在 1 800 ~ 2 600 之间的也有一定的削减, 对分子量小于 1 000 的几乎没有作用; 氧化沟二级生物处理系统出水中的有机物分子量均小于 1 500, 大分子有机物均被分解或氧化, 分子量小于 900 的有机物占总量的 50% 左右, 并且在 60 min 后出现了一系列小峰, 与此对应的有机物分子量小于 400, 占总量的 21%。

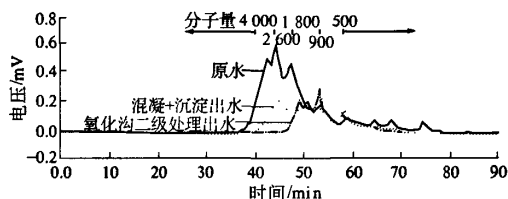


图6 HPLC谱图

Fig. 6 The image of HPLC

## 2.4 对氮的去除

表 1 中显示, 原水中含 N 污染物主要是以  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  为主, 因此单纯沉淀以及混凝沉淀对 TN 的去除率较低(见图 7), 2 种工艺对 TN 的平均去除率分别为 11.9%、15.8%; 而 DE 氧化沟工艺对 TN 的脱除效果很好, 其缺氧、好氧交替运行的方式提供了很好的脱氮条件<sup>[9]</sup>, 对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和 TN 的平均去除率分别为 95%、81.8%。

MBBR 对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的去除率很高, 达到 92%, 但由于反硝化不充分出水中含有大量硝态

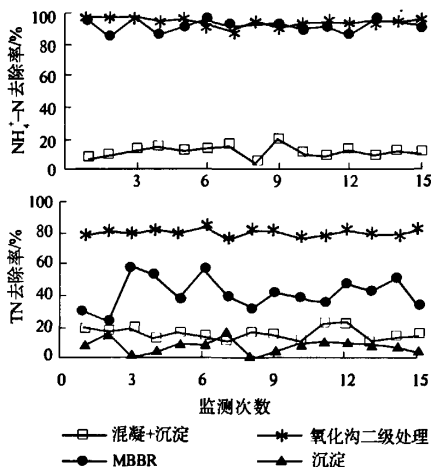


图7 各工艺对 N 去除率的比较

Fig. 7 Comparison in N removal rate of different treatment methods

氮, 因而对 TN 的去除率仅在 43% 左右。一些学者认为在生物膜表面和内层的微环境中存在硝化和反硝化, 且同时发生作用<sup>[10]</sup>, 但是从反应器对 TN 去除的效果来看, 填料内生物膜的微环境中的反硝化作用较弱。有研究表明<sup>[11]</sup>, 在不同的操作条件下, 此类反应器对 TN 的去除率可达 80% ~ 90%。

## 2.5 对总磷的去除

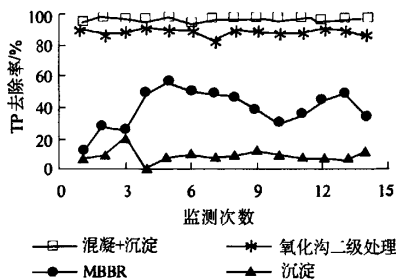


图8 各工艺对 TP 去除率的比较

Fig. 8 Comparison in TP removal rate of different treatment method

从图 8 可以看出, 混凝沉淀对磷的处理效果最好, 均达到 95%, 对溶解态的磷也有 90% 以上的高去除率, 这主要与含铝混凝剂的投加有关; 氧化沟的除磷效果也较好, 平均去除率约为 88.0%; MBBR 对磷的去除率较差, 平均去除率为 41.5%, 磷主要是被微生物的生长所利用, 没有生物强化除磷过程; 单纯沉淀对总磷的去除在 10% 左右, 原因在于污水中的一部分磷固定于微生物体内形成颗粒态的磷<sup>[12]</sup>, 沉降性能较差, 短时间内自然沉降的 SS 大部分属无机物。

## 2.6 城市污水可处理性评价

基于以上 4 种工艺试验结果, 利用矩阵对城市污水的可处理性评价, 评价结果见表 2。表中显示了各工艺的处理效果并添加了效率因数, 处理效果即为各工艺对不同污染物的去除率, 效率因数公式如下:

$$\text{效率因数} = \frac{\text{污染物去除率}(\%)}{\text{总水力停留时间}(\text{h})}$$

效率因数由处理工艺在单位水力停留时间内可去除污染物的百分数得出, 效率因数越大, 处理效率越高。

表 2 显示, 针对城市水中某类污染物, 几种工艺的处理效果相同时, 处理效率却差别较大, 如混凝沉淀与 MBBR 及氧化沟对悬浮态 COD 的处理效果相差不大, 但混凝沉淀的效率为氧化沟的 21.3 倍, 因此相对另 2 种工艺占地更小, 更紧凑。若根据表 2 进行工艺选择, 以去除有机物为目标,

可采用 MBBR 与氧化沟工艺,另外也可选取对悬浮态 COD 和 BOD<sub>5</sub> 去除较好的混凝沉淀,与对溶解态 COD 和 BOD<sub>5</sub> 去除较好的 MBBR 工艺相组合,在达到较好的有机物处理效果的同时,提高了处理效率.

表 2 城市污水可处理性评价  
Tab. 2 Treatability value of domestic wastewater

水质指标		沉淀 1 h	混凝 + 沉淀	MBBR	氧化沟
SS	—	50.5% (50.5)	95.1% (124)	90.7% (16.5)	93.6% (5.2)
	溶解态	—	5.4% (7.0)	80.7% (14.7)	80.3% (4.5)
COD	溶解态	25.3% (25.3)	97.9% (127.7)	89.3% (16.2)	97.6% (5.4)
	悬浮态	—	14.2% (18.5)	95.3% (17.3)	96.6% (5.4)
BOD <sub>5</sub>	溶解态	19.2% (19.2)	96.3% (125.6)	89.9% (16.3)	90.2% (5.0)
	悬浮态	—	91.6% (119.5)	41.7% (7.6)	81.9% (4.6)
TP	溶解态	12.7% (12.7)	98.8% (128.9)	60.1% (10.9)	93.0% (5.2)
	悬浮态	—	1.7% (2.2)	26.5% (4.8)	84.2% (4.7)
TN	溶解态	34.3% (34.3)	74.8% (97.6)	70.9% (12.9)	72.1% (4.0)
	悬浮态	—	—	91.9% (16.7)	94.4% (5.2)
				增加	增加
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N 溶解态				22.8 mg · L <sup>-1</sup>	3.5 mg · L <sup>-1</sup>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N 溶解态				—	—

注:①表中百分数为去除率;②表中括号内为效率因数,单位:(% · h<sup>-1</sup>).

3 结论

(1)单纯沉淀可去除原水中 50% 的 SS,对其它类型污染物处理效果都比较差;混凝沉淀可强化去除原水中的 SS 以及磷酸盐,对有机物、TN 的处理效果主要取决于其中悬浮态、胶体态污染物所占比例,但混凝沉淀相对生物处理工艺处理效率较高、停留时间短、占地小.

(2)DE 氧化沟二级处理系统、MBBR 都能较好地去除 SS 和有机物,经生物处理后原水中大分

子有机物均被分解氧化,出水中出现分子量小于 400 的小分子有机物,氧化沟二级处理系统对氮磷污染物的去除率较高,而本试验中 MBBR 只能部分去除氮磷污染物,但负荷高于 DE 氧化沟工艺.

(3)通过对西安地区城市污水可处理性评价表明,不同处理工艺的处理效果、处理效率都存在差异,在工艺选择和设计的过程中可参考可处理性评价结果,并根据设计条件进行系统的选择.

参考文献:

[1] ODEGAARD H. Advanced compact wastewater treatment based on coagulation and moving bed biofilm processes[J]. Water Science & Technology, 2000, 42(12):33-48.

[2] 王秋阳,李涛,王东升,等. A2/O 污水处理工艺化学强化除磷研究[J]. 环境工程学报,2008,2(11): 1501-1505.

[3] LEVINE, A D, TCHOBANOGLOUS G, AASANO T. Size distribution of particulate contaminants in wastewater an their impact on treatability[J]. Water Research, 1991,25(8):911-922.

[4] 邱慎初. 化学强化一级处理 (CEPT) 技术[J]. 中国给水排水,2000,16(1):26-29.

[5] 汤红妍,李国芝,李铭,等. 化学混凝法强化城市污水一级处理的研究[J]. 安全与环境工程,2008, 15(2):64-68.

[6] 王龙,张真真,张百德,等. 小城镇污水化学强化一级处理试验研究[J]. 中国农村水利水电,2008,5: 44-47.

[7] 胡彬启 王社平. 西安市北石桥污水处理厂设计[J]. 给水排水,1995,11(3):5-7.

[8] 国家环境保护局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,1996.

[9] 袁宏林 王晓昌. DE 型氧化沟的脱氮、除磷过程[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版,2002,34 (1): 34-37.

[10] RUSTEN B. Nitrogen removal from dilute waste - water in cold climate using moving bed biofilm reactor [J]. Water Environment Research, 1995,67(1):65-74.

[11] YOON S H, KIM H S, PARK J K, et al. Influence of important operational parameters on performance of a membrane biological reactor [J]. Water Science & Technology,2000,41(10/11):235-242.

## Experimental and Evaluation Study on Treatability of Domestic Wastewater

ZHAO Hong-mei<sup>1,2</sup>, PENG Dang-cong<sup>1</sup>, WANG Xiao-chang<sup>1</sup>

(1. Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. School of Environmental Science Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Treatment effect and efficiency of sedimentation, coagulation – sedimentation, oxygen ditch and moving bed biofilm reactor (MBBR) which could be given by methods of combination experimental and evaluation, and domestic wastewater was used as raw water in the experiment. The treatment effect and efficiency were used to evaluate quantitatively the treatability of domestic wastewater and which could provide reliable reference for wastewater treatment progress selection. The experiment results indicated that sedimentation 1h could remove 49.5% of SS, coagulation – sedimentation could remove 98% suspended and the efficiency was 3.5 ~ 32 times more than other progresses, treatment effect of coagulation – sedimentation were also decided by quantity of suspended and colloidal in wastewater. MBBR could effectively remove dissolved organic matter and the efficiency was 3 ~ 3.4 times more than that of DE oxygen ditch treatment system which could remove more than 80% contaminates of wastewater, but less efficient.

**Key words:** suspended; soluble; molecular weight distribution; removal rate; treatment efficiency

(上接第 118 页)

## Study on the Influence of Loading Rate on Fracture Characteristic of FGH95 Notched Specimen

CUI Wei-hua<sup>1</sup>, LIU Zhi-hong<sup>2</sup>, LI Xing-zhao<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450052, China; 2. Marine College, Northwestern Poly-technical University, Xi'an 720072, China)

**Abstract:** Experiment was performed to investigate the influence of loading rate and notch effect on FGH95 notched small specimen. The results show that nominal fracture stress  $\sigma_{nom}$  decreases with the increase of the loading rate, and decreases with the increase of nominal stress concentrate factor  $K_t$  increase for the notched specimen with same notch depth. The notch depth plays a more significant role for the nominal fracture stress than notch shape. And the notch would cause notch strengthen if notch depth is up to a certain value. With the loading rate increasing, the coefficient of notch sensitivity  $C_m$  decreases, and notch sensitivity increases with  $K_t$  increase for notch softening specimen. Strengthen of  $\gamma'$  precipitation particle and high-temperature dynamic recovery play a major role in the high temperature deformation process of FGH95.

**Key words:** tensile; notch; loading rate; coefficient of notch sensitivity; fracture