

# 合流制排水系统溢流污染就地调蓄处理控制技术研究

张 力<sup>1,2</sup> 张善发<sup>1,2</sup> 周 琪<sup>2#</sup>

(1. 上海市城市排水有限公司, 上海 200070; 2. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

**摘要** 在对高效混合絮凝斜板沉淀工艺进行现场中试的基础上,将化学强化处理工艺与调蓄池相结合,针对上海市某合流制排水系统,进行调蓄/沉淀池的概念设计,提出主要设计参数,利用计算流体力学(CFD)模型对调蓄/沉淀池进行优化设计。试验和模拟结果表明,调蓄/沉淀池与单纯的调蓄池相比具有更好的溢流污染控制效果和效益/造价比。

**关键词** 化学强化一级处理工艺 合流制排水系统溢流 计算流体力学 高效沉淀池 调蓄池

**Study of on-site treatment technology for combined sewer overflows pollution** Zhang Li<sup>1,2</sup>, Zhang Shanfa<sup>1,2</sup>, Zhou Qi<sup>2</sup>. (1. Shanghai Municipal Sewerage Company, Shanghai 200070; 2. School of Environment Science & Engineering, Tongji University, Shanghai 200092)

**Abstract:** A chemical primary enhanced process was integrated into storage tank based on a new pilot equipment with high-rate mixing/flocculation and lamella process for combined sewer overflows pollution control. A concept design for a storage/settling tank had been performed for a combined drainage system, in which some key design parameters were selected. Then clarifier prototype of optimized design was simulated by CFD based Process/Clarifier Model. The results of pilot and simulation indicated that a storage/settling tank compared with a storage tank had better effect for CSOs pollution control and lower cost performance.

**Keywords:** Chemical primary enhanced process Combined sewer overflows (CSOs) Computational fluid dynamic High-rate clarifier Storage tank

近二三十年来,发达国家对城市合流制排水系统溢流(CSOs)的污染控制与管理方面已经开展了大量的工作,有较完备的适合本国的技术和法规体系。目前,CSOs是上海市及其他南方多雨城市地表水体污染的主要因素之一。在雨天,合流制排水系统中的水量超过系统过流能力和输送能力,合流污水直接排入受纳水体,导致水体环境质量下降<sup>[1-3]</sup>。

上海市在苏州河水环境综合整治过程中,针对CSOs污染问题,采取了提高截流倍数、建设地下调蓄池和提高运行调度管理水平等对策。鉴于目前采取的措施不能完全杜绝CSOs污染,本研究通过现场中试试验、调蓄/沉淀池概念设计和计算机模拟,提出CSOs污染就地调蓄处理技术,以期降低CSOs污染对苏州河的影响,提高效益/造价比<sup>[4,5]</sup>。

## 1 试验材料与方法

针对CSOs的水量水质特点,中试试验采用化学强化一级处理工艺,并采用了优化的混凝沉淀方法。

### 1.1 试验装置

根据上海市溢流雨水中悬浮物的性质和浓度,

结合选择的水处理药剂性能,开发了具有知识产权的高效净化装置,包括混合池、反应池和沉淀池3个处理单元。混合池单元平均速度梯度较大,约为 $700\text{ s}^{-1}$ ,停留时间约为10 s;反应池单元平均速度梯度较小,约为 $100\text{ s}^{-1}$ ,且具有可控速度梯度、强化反应的功能,停留时间约为10 min;沉淀池单元有较强的稳流措施,停留时间短,约为5 min,水力负荷大。3池组合为一体,通过混凝剂与助凝剂的投加方式的优化,强化了混凝沉淀效果。中试为连续流试验,其规模为 $30\sim 76\text{ m}^3/\text{h}$ ,斜板沉淀池表面水力负荷为 $22\sim 56\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

### 1.2 试验流程与方法

中试试验流程见图1。中试试验分为两个阶段:第一阶段试验于2003年9月至2004年1月进行,由于目前城市分流制排水系统普遍存在雨污混接的现象,分流制排水系统的雨天溢流已经成为城市水体的主要污染源,因此第一阶段试验研究了雨天分流制雨水和污水的处理效果和工艺设计参数;第二阶段试验于2004年3月至2004年7月进行,该阶段试验研究了合流制排水系统3种合流污水的

第一作者:张 力,男,1974年生,博士研究生,主要从事污水处理工艺的研究。# 通讯作者。

处理效果和工艺设计参数。

原水直接从泵站进水井抽取,经计量进入混合池。混合池停留时间 8~20 s;反应池停留时间 7~19 min;斜板沉淀池安装高度为 0.86 m,斜管倾斜角为 60°,有效水深 4.20 m。

第一阶段试验采用无机混凝剂聚合氯化铝(PAC)和有机高分子絮凝剂聚丙烯酰胺(PAM)。第二阶段试验采用经过实验室优选的无机混凝剂聚合双酸铝铁(PAFCS)和 PAM,在溶药箱中配制成为一定浓度后,用计量泵定量投加,混凝剂投加在混合池,絮凝剂投加在反应池搅拌桨上方。

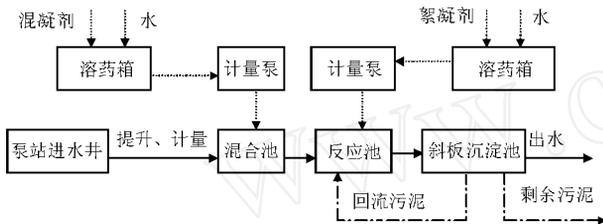


图 1 现场中试试验工艺流程

Fig. 1 The flow scheme of field pilot-scale experiment

## 2 结果与讨论

### 2.1 中试实验

表 1 和表 2 是两阶段试验数据的汇总表。研究结果表明,对于分流制排水系统的雨天溢流,当表面水力负荷为 22~35 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)时,混合污水 SS 平均去除率约 80%、COD 平均去除率约 60%,出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)二级排放标准;暴雨期间,采用表面水力负荷 22~56 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)时,暴雨合流污水 SS、

COD 和 TP 的平均去除率分别达到 95%、89% 和 88%,出水水质达到 GB 18918—2002 二级排放标准。

试验装置达到稳定的时间较快,工艺处理过程可与降雨产流过程相适应,从溢流堰开始出水到出水的水质达到稳定状态,所需要的时间大约为 20 min 左右,出水水质较为恒定。工艺对短时间的水质冲击有较好的缓冲能力。

### 2.2 调蓄/沉淀池设计

在中试研究基础上,以苏州河沿岸某合流制泵站溢流控制为对象进行调蓄/沉淀池的概念设计。该泵站规划修建 1 座 15 300 m<sup>3</sup> 的调蓄池,概念设计中将调蓄池改为调蓄/沉淀池。调蓄/沉淀池总容积仍为 15 300 m<sup>3</sup>,调蓄部分容积 10 680 m<sup>3</sup>,其余为沉淀部分容积。设计斜板沉淀池表面水力负荷为 20~25 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)(实际混凝效果、沉淀池进水配水、沉淀池水力特性和出水稳定性与物理模型的中试试验存在较大差别,设计表面水力负荷时考虑到安全因素,采用中试试验中的较低负荷)。设计加药量暂以 PAFCS 80 mg/L、PAM 0.8 mg/L 计。设计进出水水质如下:进水 COD 为 450 mg/L,出水 COD 为 180 mg/L,COD 去除率达 60%;进水 SS 为 650 mg/L,出水 SS 为 195 mg/L,SS 去除率达 70%。沉淀污泥及处理初期出水由泵站截流管道截流,溢流水质得到大大改善。

### 2.3 投资与效益分析

#### (1) 调蓄/沉淀池与调蓄池投资估算比较

调蓄/沉淀池工程(包括泵站)总投资 4 410.28 万元,其中工程费用 3 732.48 万元,其他费用 467.79 万元,预备费 210.01 万元。

表 1 第一阶段试验数据

Table 1 Summary of the experiment data for the first stage

指标	进水/(mg·L <sup>-1</sup> )	出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	平均去除率/%	沉淀池表面水力负荷/(m <sup>3</sup> ·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )	混凝剂投加量/(mg·L <sup>-1</sup> )	
					PAC	PAM
SS	100~150	20~30	80	22~35	40~100	0.6~0.8
COD	60~90	20~40	60			

表 2 第二阶段试验数据

Table 2 Summary of the experiment data for the second stage

指标	进水/(mg·L <sup>-1</sup> )		平均出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	平均去除率/%	沉淀池表面水力负荷/(m <sup>3</sup> ·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )	混凝剂投加量/(mg·L <sup>-1</sup> )	
	范围	平均值				PAFCS	PAM
旱流污水	SS	90~150	106	25	22~56	60~120	0.6~1.0
	COD	150~250	208	96			
	TP	1.10~2.50	1.84	0.87			
小中雨合流污水	SS	180~220	196	50			
	COD	180~220	208	90			
暴雨合流污水	TP	0.70~1.60	1.14	0.37			
	SS	570~780	687	33			
	COD	370~540	433	47			
	TP	2.80~4.10	3.66	0.44	88		

调蓄池工程(包括泵站)总投资 3 880.96 万元,其中工程费用 3 284.51 万元,其他费用 411.65 万元,预备费 184.80 万元。

调蓄/沉淀池工程相比调蓄池工程而言,投资费用增加 529.32 万元,约 14%。

## (2) 环境效益预测

该合流制泵站 1996—2001 年排河水量年平均为 172 万  $m^3$ ,占苏州河沿岸所有泵站排河水量的 6.6%。增加 1 座体积为 15 300  $m^3$  的调蓄池后,按照上海小时降雨统计资料计算,泵站排河水量由年平均 172 万  $m^3$  减少至年平均 102 万  $m^3$ 。增加相同体积调蓄/沉淀池后,泵站排河水量减少至年平均 115 万  $m^3$ ,SS 由 650 mg/L 减少为 195 mg/L,排河 SS 削减 79.9%;COD 由 450 mg/L 减少为 180 mg/L,排河 COD 削减 73.3%。调蓄池与调蓄/沉淀池的排河水量和污染物总量比较见表 3。

表 3 调蓄池与调蓄/沉淀池排河水量和污染物总量比较  
Table 3 Comparison of the total mass of pollutant and capacity of river water between the storage tank and the storage-sedimentation tank

项目	排河水量 削减率/%	SS 削减率 /%	COD 削减率 /%
调蓄池	40.7	40.7	40.7
调蓄/沉淀池	33.1	79.9	73.3

## 2.4 计算机模型优化设计与效果预测

在对调蓄/沉淀池进行中试试验研究和概念设计的基础上,通过使用计算流体力学(CFD)模型模拟技术,优化调蓄/沉淀池处理工艺,预测其处理

能力和出水水质,提出优化的运行条件,并与调蓄池方案进行经济技术比较,论证调蓄/沉淀池应用于雨水处理的可行性,并为工程设计提供基本工艺参数。

### (1) 沉淀池设计优化

CFD 模型中采用概念设计相同的沉淀池尺寸,为提高沉淀池水力效率,优化后的设计主要对沉淀池的进水区、出水堰、污泥收集与排泥装置进行了改进。

### (2) CFD 模拟验证的运行条件

在不同运行条件下,对改进前后的工艺进行模拟(见表 4),分析水力特性和预测处理能力。模型验证的表面水力负荷为 4~40  $m^3/(m^2 \cdot h)$ 。

运行条件包括在进水 ISS 为 500 mg/L 情况下的 4 种不同颗粒沉降性能( $V_0$  分别为 8.4、12.4、16.4、20.4 m/h)。每种  $V_0$  采用几种不同流量条件进行模拟验证。

### (3) 沉淀池各方面性能评估

泵站沉淀池性能评估主要包括沉淀池处理能力和沉淀池出水水质两个方面。模型研究中,沉淀池处理能力采用沉淀池所能承受的水力负荷来衡量,出水水质以平均出水 SS 浓度来评价。

另外,污泥浓缩与排除、池中贮泥量和沉淀池水力特性也作为沉淀池性能的评估指标。污泥浓缩通过测定污泥层厚度和排放污泥浓度指标来评价。沉淀池水力特性通过以下方面分析:沉淀池内的水力

表 4 上海某泵站调蓄/沉淀池 CFD 模拟结果<sup>1)</sup>

Table 4 The CFD simulation results for the storage-sedimentation tank at a pumping station of Shanghai city

流量 / $(m^3 \cdot h^{-1})$ / $(m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1})$ / $(mg \cdot L^{-1})$	运行条件			原设计运行效果			优化设计运行效果				
	SOR	ISS	$V_0$	ESSB	LST	ESSA	SDC	ESSB	LST	ESSA	SDC
12 000	40	500	20.4	195.3	0.50	265.3	8 126.8	86.3	2.00	143.6	12 997.3
10 500	35	500	20.4	176.4	0.75	212.4	9 433.7	68.2	2.00	112.3	13 583.2
9 000	30	500	20.4	154.2	1.00	183.2	10 532.4	55.6	2.50	83.2	14 235.9
7 500	25	500	20.4	122.4	1.00	145.4	11 808.2	43.2	2.50	74.6	14 918.4
5 100	17	500	20.4	89.1	1.00	127.3	12 724.8	36.7	3.00	52.4	15 256.0
4 800	16	500	20.4	74.6	1.00	106.5	13 300.5	13.2	5.00	43.9	15 526.0
4 500	15	500	20.4	60.6	1.00	86.5	13 867.7	11.2	6.00	37.4	15 720.0
4 200	14	500	20.4	48.0	1.50	68.5	14 342.1	10.0	6.00	32.4	15 854.0
3 900	13	500	16.4	69.9	1.00	99.9	13 221.7	13.3	3.00	44.2	15 420.0
3 600	12	500	16.4	52.4	1.50	74.9	13 897.1	11.1	5.00	36.9	15 593.0
3 300	11	500	16.4	38.2	3.00	54.5	14 396.3	10.0	6.00	31.6	15 686.0
3 000	10	500	16.4	12.2	5.00	40.7	14 789.7	10.0	6.00	27.4	15 742.0
3 000	10	500	12.4					14.2	3.00	47.3	14 836.0
2 700	9	500	12.4					11.6	5.00	38.7	15 059.0
2 400	8	500	12.4					10.0	6.00	31.5	15 137.0
2 100	7	500	12.4					10.0	6.00	26.2	15 055.0
2 100	7	500	8.4					14.7	3.00	49.0	12 636.0
1 500	5	500	8.4					10.0	6.00	28.0	14 015.0
1 200	4	500	8.4					10.0	6.00	22.3	14 186.0

注:<sup>1)</sup>SOR 为表面水力负荷;ISS 为沉淀池进水悬浮物; $V_0$  为颗粒沉降速度;ESSB 为斜板饱和和前出水悬浮物;LST 为斜板饱和时间;ESSA 为斜板饱和和后出水悬浮物;SDC 为污泥质量浓度。

状况,沉淀池表面水力负荷对出水浓度、排放污泥浓度、污泥层和污泥贮量的影响,污泥层厚度和出水悬浮物的关系,水流流态随污泥层的变化,池内颗粒分布状况<sup>[6]</sup>。

由表 4 可见,在相同运行条件下,优化设计比原设计出水水质显著提高,斜板有效运行时间延长。经优化后的沉淀池,有较好的沉淀池水力特性、出水稳定性和污泥浓缩特性,在沉淀池表面水力负荷达到  $25 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$  时,出水水质仍能达到 GB 18918 - 2002 二级排放标准。

### 3 讨论

(1) 对于分流制和合流制排水系统,在暴雨初期阶段排入苏州河的排水水质非常差,这是由于收集系统内沉积物的冲刷和地面径流污染引起。

(2) 采用调蓄/沉淀池比单独采用调蓄池可以更好地控制 CSOs 对水体的污染,获得更高的效益/造价比。

(3) 在化学强化处理工艺中,沉淀池表面水力负荷应根据进水水质情况选定。通常情况下,对于进水 SS 较高、非溶解性有机物比重较大的初期雨水或合流溢流污水,可采用较高值;对于 SS 较低、溶解性有机物为主的污水,宜采用较低值。同时有效的混合/絮凝工艺可提高颗粒的沉降性能,对高水力负荷下,保证良好的处理效率有着重要作用。

(4) 在化学强化处理工艺中,有效的混合/絮凝工艺、良好的沉淀池水力效率和足够的化学药剂投加量是控制斜板入流 SS 浓度的关键,这也是防止斜板积泥饱和的关键因素。

(5) 在高水力负荷条件下长时间运行的斜板沉淀池,斜板上积泥达到饱和将不利于出水 SS 的降低。斜板的设计需要重视积泥的自重排除和稳流作用的发挥。

(6) 优化沉淀池进口流态、保证上流布水均匀、防止沉淀池进水和出水堰之间的短流、减少沉淀池表面回流的设计可以改善沉淀池的效果。

### 参考文献

[1] 车伍,刘燕,李俊奇. 国内外城市雨水水质及污染控制[J]. 给水排水,2003,29(10):38-42.  
 [2] 车武,李俊奇. 21 世纪中国城镇雨水利用与雨水污染控制[J]. 机械给排水,2004(1):26-28.  
 [3] 麦穗海,黄翔峰,汪正亮,等. 合流制排水系统污水溢流污染控制技术进展[J]. 四川环境,2004,23(3):18-21,53.  
 [4] COCK DE W, BLOM P, VAES G, et al. The feasibility of flocculation in a storage sedimentation basin[J]. Water Science and

Technology,1999,39(2):75-83.

[5] AVERILL D, MACK-MUMFORD D, MARSALEK J, et al. Field facility for research and demonstration of CSO treatment technologies[J]. Water Science and Technology,1997,36(8/9):391-396.  
 [6] STOVIN V R, SAUL A J. Computational fluid dynamics (CFD) particle tracking approach to efficiency prediction[J]. Water Science and Technology,1998,37:285-293.

责任编辑:陈泽军 (修改稿收到日期:2007-03-23)

### (上接第 540 页)

[19] 孙晓棠,姚青,刘琼光,等. 利用 DGGE 评价不同培养基回收番茄根际细菌类群的能力[J]. 微生物学报,2006,46(3):482-486.  
 [20] 郑雪松,李道棠,杨虹. 不同破壁方法对活性污泥总 DNA 提取效果的影响[J]. 上海交通大学学报,2003,8(5).  
 [21] BURGMANN H, PESARO M, WIDMER F, et al. Extraction of DNA from soil[J]. Journal of Soil Biology,2003,39:183-190.  
 [22] 宫强,关道明,王耀兵,等. 大肠杆菌总 DNA 快速提取方法的比较研究[J]. 海洋环境科学,2005,24(4):63-66.  
 [23] 孙栋,唐莉丽,王倩倩. 高盐极端环境土壤基因组 DNA 的分离纯化方法研究及基因文库的构建[J]. 广西农业生物科学,2006,25(1):24-29.  
 [24] WECHTER P, WILLIAMSON J, ROBERTSON A, et al. A rapid, cost-effective procedure for the extraction of microbial DNA from soil[J]. World Journal of Microbiology & Biotechnology,2003,19:85-91.  
 [25] 陈敏. 土壤样品中 DNA 提取方法的比较[J]. 微生物学杂志,2005,25(3):101-104.  
 [26] 范圣第,权春善. 环境 DNA 的提取和纯化方法的研究[J]. 大连民族学院学报,2005,7(5):1-4.  
 [27] 邵继海,何邵江,冯新梅. 四种土壤微生物总 DNA 的纯化方法比较[J]. 微生物学杂志,2005,25(3):1-4.

责任编辑:贺锋萍 (修改稿收到日期:2007-03-05)

## 国土资源部:

### 严格控制耗能污染“双高”用地

2007 年 7 月 10 日,国土资源部表示,将严把土地审批关,控制高耗能、高污染行业过快增长。严格执行《限制用地项目目录》和《禁止用地项目目录》,对新建、扩建和改建的建设项目严格土地市场准入条件。严格执行项目开工建设“六项必要条件”,把好建设项目用地预审关。对不符合国家产业政策的项目,不批准用地。清理和纠正各地在地价、税费等方面对高耗能、高污染行业的优惠政策。

与此同时,国土资源部还将研究制订《关于促进各项建设节约集约用地若干意见》,强化节约集约用地“倒逼机制”,完善节能集约用地激励政策,健全土地要素市场,加强土地节约集约用地管理能力建设,狠抓节约集约用地责任落实和执法检查,深入推进节约集约用地。

除对土地资源强化调控之外,国土资源部还表示,需加大矿产资源开发利用管理力度,提高矿产资源综合利用效率。