

# PDM 复合混凝剂处理春季嘉陵江水的应用研究

向平<sup>1,2</sup> 蒋绍阶<sup>1,2</sup> 张智<sup>1,2</sup> 张南<sup>3</sup> 赖莉<sup>4</sup>

(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 重庆大学城市建设与环境工程学院,重庆 400045;  
3 重庆中法供水有限公司,重庆 400021; 中国市政工程西南设计研究总院,成都 610081)

**摘要** 通过小试考察了聚二甲基二烯丙基氯化铵(PDM)复配硫酸铝(AS)、氯化高铁(FC)、聚氯化铝(PAC)和聚硫酸铁(PFS)以及单独采用PAC处理某水厂春季嘉陵江水源水的效果,选择了复配比例为1:100的PAC-PDM复合混凝剂处理该时期原水。通过对矾花与沉降性能的研究,发现复配比例越低,投药量越少,矾花粒径越小。当矾花粒径达到0.5 mm以上时,矾花的沉降性能较好,且矾花的沉降性能还与矾花的密实程度有很大关系。通过对PAC和PAC-PDM连续生产对比试验研究,在出厂水满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)要求的情况下,PAC-PDM和PAC的平均投药量分别约为8 mg/L和14.3 mg/L,在春季该水厂采用PAC-PDM处理嘉陵江原水较单独采用PAC约节省30%混凝剂费用。

**关键词** 混凝 聚氯化铝(PAC) 聚二甲基二烯丙基氯化铵(PDM) 矾花

## Application study on Jialing River raw water treatment using poly - dimethyldiallylammoniu chloride (PDM) in spring

Xiang Ping<sup>1,2</sup>, Jiang Shaojie<sup>1,2</sup>, Zhang Zhi<sup>1,2</sup>, Zhang Nan<sup>3</sup>, Lai Li<sup>4</sup>

(1. Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco - Environment, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 2. Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 3. Chongqing Sino French Water Supply Co., Ltd., Chongqing 400021, China; 4. Southwest Municipal Engineering Design & Research Institute of China, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** Jar tests were used to study the effects of poly - dimethyldiallylammonium chloride (PDM), aluminum sulfate (AS), ferric chloride (FC), polyaluminum chloride (PAC) and polymeric ferric sulfate (PFS), and PAC on the treatment of raw water from Jialing River in spring, and the PAC - PDM with mass ratio of 1 : 100 was selected as the coagulant for the treatment of raw water in this period. Through the performance study on flocculate and sedimentation, it was found that the lower ratio and the less dosage, the smaller the flocculate. When the flocculate diameter was above 0.5 mm, the sedimentation performance was good, and the flocculate sedimentation performance also had close relationship with the flocculate compaction rate. Through the continuous production comparative study on PAC and PAC - PDM, on the premise of meeting the *Standards for drinking water quality* (GB 5749—2006), PAC - PDM and PAC average dosage were 8 mg/L and 14.3 mg/L respectively, which saved 30% dosage cost compared with solo PAC for this water plant in the treatment of Jialing River raw water in spring.

**Keywords:** Coagulation; Polyaluminum chloride (PAC); Poly - dimethyldiallylammonium chloride (PDM); Flocculate

国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07424 - 004);“十一五”国家科技支撑重点项目(2007BAB21B01)。

长江上游地区某水厂以嘉陵江水为水源,在每年3~5月,由于初春时期气温升高,冰雪融化及南方谷雨时节雨水丰富,原水浊度和有机物含量较冬季高,同时也会呈现低温高色度等较复杂的水质现象。在此期间,水厂为保证出水水质,投加混凝剂(聚合氯化铝PAC)的量为平时的一倍以上,这使得一方面增加了制水成本,另一方面也增加了出水残余铝超标的风险,因此考虑筛选新的适合于处理该时期原水的混凝剂。

聚二甲基二烯丙基氯化铵(PDM),由于有较高的电荷密度,具有较优的除浊和除有机物能力<sup>[1~3]</sup>。PDM与铁盐或铝盐复配,可提高电中和和架桥能力,从而提高混凝能力,减少药剂用量<sup>[4~6]</sup>。笔者通过研究PDM与不同混凝剂复配后的处理效果,寻求适合嘉陵江春季较复杂水质的复合混凝剂及配比,以有效去除原水中的浊度和有机物,节约投药量,降低运行成本。

## 1 材料与试验方法

### 1.1 仪器与试剂

主要仪器:DC-506型六联搅拌机,ZBX-4型便携式浊度仪,DR5000型紫外可见分光光度计。

药剂:聚合氯化铝(PAC),有效成分 $Al_2O_3$ 含量为29.4%,盐基度为88.3%;聚二甲基二烯丙基氯化铵(PDM),固体含量为38%,特征粘度为80~140 mL/g;聚硫酸铁(PFS),全铁含量为11%,盐基度为8%~16%,以上三种药剂均为市售工业品。氯化高铁(FC),相对分子质量为270.29;硫酸铝(AS),相对分子质量为666.42,以上两种药剂均为分析纯。

### 1.2 试验方法

采用混凝烧杯试验,在一组烧杯中分别加入1 L水样置于六联搅拌机下,快搅(200 r/min)3 min慢搅(50 r/min)13 min;静置40 min后取上层2 cm处上清液分别测量浊度和 $UV_{254}$ ,观察矾花大小及其沉降性能。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 各种复合混凝剂混凝效果

#### 2.1.1 复合混凝剂配置

PDM配置成质量浓度为10 g/L的母液,然后再分别与PAC、PFS、FC和AS四种混凝剂复配,形成复合混凝剂。试验时,各种复合混凝剂中PDM浓度均为0.1 mg/mL,四种混凝剂浓度分别为

10 mg/mL, PDM与其他四种混凝剂的质量比为1:100。四种复合混凝剂以与PDM复配的混凝剂的投加量作为加药量。

#### 2.1.2 复合混凝剂混凝效果分析

对复配的四中混凝剂分别进行烧杯混凝试验,原水取自水厂嘉陵江水源水,水样一次性取足。试验水样主要水质指标为:浊度8.80 NTU, pH7.86,  $UV_{254}$ 0.068  $cm^{-1}$ 。试验结果见图1和图2。

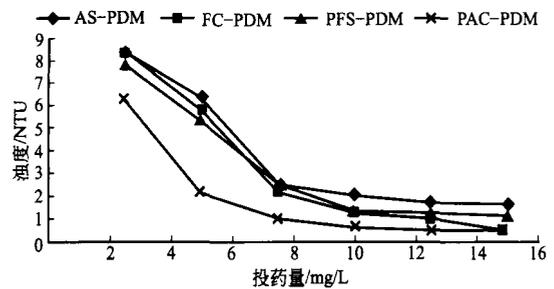


图1 PDM复配不同混凝剂去除浊度效果

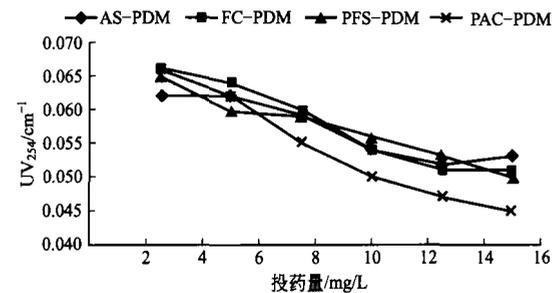


图2 PDM复配不同混凝剂去除有机物效果

由图1和图2可知,在1:100的复配比例和相同投药量下,PAC-PDM复合混凝剂的处理效果均优于其他复合混凝剂。对应于水厂内控沉淀水浊度不大于3 NTU的要求,复合混凝剂AS-PDM、FC-PDM和PFS-PDM的较优投药量约为7.5 mg/L(分别以AS、FC、PFS计);PAC-PDM较优投药量约为5 mg/L(以PAC计)。因此在满足相同处理效果的情况下,PDM-PAC较其他复合混凝剂节约加药量。

### 2.2 PAC和PAC-PDM混凝效果比较

#### 2.2.1 药剂配置方法

PDM配置成质量浓度为10 g/L的母液,然后再与PAC复配。以 $m(PDM):m(PAC)$ 作为复合混凝剂的复配比例,以PAC的投加量作为投药量。分别选择1:10,1:20,1:100,1:125,3:500,1:250,1:500作为复合混凝剂的复配比例,并与单独投加PAC作比较,选择PAC-PDM复合混凝

剂处理该时期嘉陵江原水的较优配比。

### 2.2.2 混凝效果分析

采用烧杯混凝试验,试验原水取自水厂嘉陵江水源水,水样一次性取足。试验水样主要水质指标为:浊度 8.80 NTU, pH7.68,  $UV_{254}$  0.111  $cm^{-1}$ 。单独投加 PAC 和不同复配比例 PAC-PDM 的混凝效果见表 1、图 3 和图 4。

表 1 投加 PAC 的混凝效果

投药量/mg/L	沉后水浊度/NTU	$UV_{254}/cm^{-1}$
10	8.81	0.095
12	7.75	0.093
14	4.92	0.094
16	3.95	0.089
18	2.38	0.09
20	1.73	0.088

由表 1、图 3 和图 4 对比可知,在相同投药量下,PAC-PDM 复合混凝剂在除浊和除有机物方面均优于单独投加 PAC 的混凝效果。

由图 3 可知在相同投药量下,沉后水浊度随复合混凝剂的复配比例减少出现先减后增的趋势;在同一配比下,混凝剂投药量越多,除浊效果越好。由图 4 可知,在相同投药量下,复合混凝剂复配比例越低,沉后水有机物含量呈现总体升高的趋势;在相同配比下,混凝剂投药量越多,除有机物效果越好。

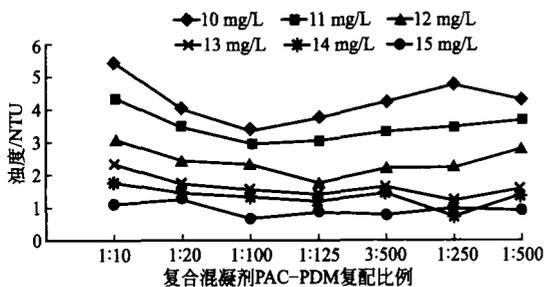


图 3 不同配比及投药量混凝剂去除浊度效果

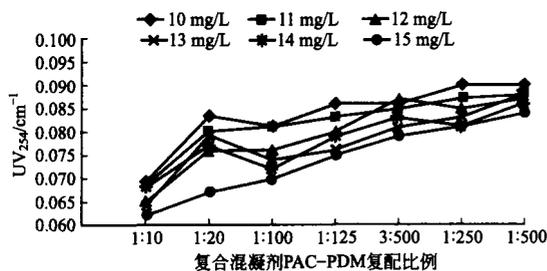


图 4 不同配比及投药量混凝剂去除有机物效果

这是因为,PAC-PDM 去除有机物或浊度的机理不单有高分子物质的吸附架桥和网捕作用而且还有较强的吸附电中和作用。在复合混凝剂中 PDM 的含量如果太少(如配比为 1:500),那 PDM 有较高的正电性的特点就不能体现,它的电中和作用也不能充分发挥,因此除浊或有机物的效果较差;而随着 PDM 含量增加,复合混凝剂正电性也增加,由于电中和作用,原水中的胶体杂质  $\zeta$  电位逐渐降低,胶体物质互相聚集而沉降,沉水中浊度或有机物含量降低。在图 3 中,出现沉水浊度达到最低后又升高的再稳现象,例如在投加量为 11 mg/L 配比为 1:100 时,沉水浊度已为 2.96 NTU,当配比为 1:20 时,沉水浊度已升至 3.47 NTU,这是因为此时复合混凝剂对浊度的去除机理可能主要是吸附-电中和作用,随着配比由 1:100 增加到 1:20,带负电的胶体杂质吸附了过多的带正电荷的混凝剂,因此胶体重新趋于稳定,沉水浊度增加。而对于本试验中有机物的去除率随 PDM 含量的增加而加大现象,那是因为试验尚未做到有机物出现再稳现象所需的 PDM 的投加量。

对比 PAC-PDM 的除浊和除有机物效果,由于对应较优除有机物效果的 PDM 含量远高于较优除浊效果时的含量,而且如果复合混凝剂中 PDM 的含量过高一方面会增加混凝剂净水成本,另一方面也会降低浊度的去除,增大滤池工作周期缩短的风险。因此在复合混凝剂较优配比及投加量选择时重点考虑复合混凝剂对浊度的去除,兼顾有机物的去除效果。

该水厂内控沉淀池出水浊度为不大于 3 NTU,基于本试验条件,要既满足出水水质且投药量较省的要求,对应于单独投加 PAC 的较优投药量为 18 mg/L;投加 PAC-PDM 的较优复配比例为 1:100,投药量为 12 mg/L。因此在满足水厂沉淀水浊度要求的情况下,PAC 复配 PDM 后,每升水可以节约投药量约 6 mg。

### 2.3 复合混凝剂 PAC-PDM 矾花沉降性能

在春季,该水厂原水有机物含量较高,有机物对胶体具有保护作用,会在胶体表面形成一层保护膜,使胶体颗粒不易凝聚。采用不同复配比例和投药量的 PAC-PDM 处理该水厂原水,形成不同大小的矾花及其沉降性能见表 2。

由表 2 可知,复配比例越低,PDM 含量越少,矾

花粒径越小。加大混凝剂投药量,矾花粒径增大,是因为投药量增加可加大压缩双电层及电中和作用,破坏有机物的水化壳,消除有机物对无机胶体的保护作用,使得胶体脱稳凝聚。

表 2 不同配比及投药量下的矾花大小

投药量 /mg/L	1:10	1:20	1:100	1:125	3:500	1:250	1:500
6	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1
8	2-	2-	2-	2-	1	1	1
9	2-	2-	2-	2-	1	1	1
10	2+	2+	2+	2+	2-	2-	2-
11	3+	3	3	3-	3-	2+	2+
12	4	3+	3	3	3	3	3-
13	4+	4+	4+	4	4+	4+	4+
14	4+	4+	4+	4	4+	4+	4+
15	5	4+	4+	4+	4+	4+	4+

注:①表中矾花大小对应的沉淀水浊度见图 3,6~9 mg/L 时的浊度去除效果不佳,图中没有列出;②表中矾花 1、2、3、4、5 分别对应的矾花尺寸为几乎看不见矾花、0.3~0.5 mm、0.5~0.75 mm、0.75~1.0 mm、1.0~1.5 mm。

由表 2 和图 3 可知,当矾花颗粒粒径达到 3 (0.5~0.75 mm) 以上时,混凝的沉淀水浊度较低,符合水厂沉后水浊度≤3 NTU 的内控指标。同时,由于不同复配比例的复合混凝剂,其高分子有机物 PDM 的含量不同,复配混凝剂混凝形成的矾花密度不一样,导致其沉淀性能也不同。因此,虽然是相同大小的矾花,但其对应的沉淀水浊度并不一致。

### 3 生产试验效果分析

由于春季嘉陵江水量稳定,流量变化不大,根据烧杯试验结果,适当增加投药量,进行相应的生产调试,考察投加复合混凝剂 PAC-PDM 和单独投加 PAC 的生产运行效果。在该水厂的一期构筑物投加复合混凝剂,复配比例为 1:100;二期构筑物单独投加 PAC 进行水厂生产试验。生产性试验连续进行 1 个月,试验期间原水水温为 12~18 °C,浊度为 4.93~19.5 NTU, COD<sub>Mn</sub> 为 1.7~5.6 mg/L。一期处理水量为 13.2 万~16.5 万 m<sup>3</sup>/d,二期处理水量为 19.7 万~23.2 万 m<sup>3</sup>/d。

#### 3.1 生产连续运行投药量确定

水厂连续运行投药量试验结果见图 5。经过 1 个月生产连续投药量试验,复合混凝剂投药量明显低于单独投加 PAC 的投药量。PAC-PDM 日平均投药量约为 8 mg/L, PAC 约为 14.3 mg/L。投药量相差

约为 6 mg/L。因此,处理相同的原水,在保证出厂水质达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006) 要求的条件下,使用复合混凝剂可以节约投药量。

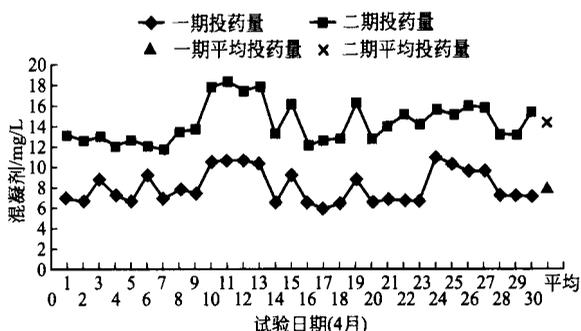


图 5 水厂连续运行混凝剂投药量

#### 3.2 生产连续运行处理效果分析

PAC-PDM 和单独投加 PAC 连续生产运行对浊度的处理效果见图 6。

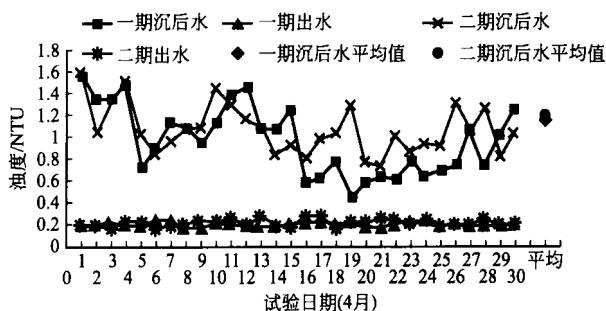


图 6 水厂连续运行对浊度的处理效果

由图 5 和图 6 可知在同样的原水条件下,为满足出厂水达到浊度低于 1 NTU 的要求,不同投药量下的 PAC-PDM 和 PAC,其出厂水浊度相差较小。一期(使用 PAC-PDM)出厂水浊度为 0.17~0.26 NTU,二期(使用 PAC)出厂水浊度为 0.15~0.28 NTU;投加 PAC-PDM 的沉后水浊度为 0.5~1.6 NTU,投加 PAC 的沉后水浊度为 0.8~1.8 NTU。一期沉后水浊度平均为 1.15 NTU,二期沉后水浊度平均为 1.19 NTU。

因此,对于同样的原水水质,PAC-PDM 复配混凝剂较少的投药量可以达到接近 2 倍投药量的 PAC 混凝效果。

#### 3.3 经济效益分析

试验所采用混凝剂 PAC 单价为 2 200 元/t, PDM 单价为 16 000 元/t。生产试验期间,复合混凝剂药剂费用平均约为 0.02 元/m<sup>3</sup>; PAC 药剂费用平均约为 0.03 元/m<sup>3</sup>。在春季该水厂采用 PAC-PDM 处理

# 马头岗污水处理厂一期工程升级改造工艺选择与分析

李国金<sup>1</sup> 王小玲<sup>2</sup> 刘琳<sup>1</sup> 郭淑琴<sup>1</sup>

(1 天津市市政工程设计研究院, 天津 300051; 2 郑州市污水净化有限公司, 郑州 450044)

**摘要** 随着污染物排放标准的逐年提高,很多污水处理厂亟待升级改造,选择工艺是升级改造工作中最重要的问题。以郑州马头岗污水处理厂一期工程升级改造为例,详细介绍了如何根据现状进水水质及现状工艺的处理效果来确定改造工程处理工艺,并分析了升级改造工作中的难点及改造后的运行效果。

**关键词** 污水处理厂 升级改造 工艺选择 A<sup>2</sup>/O 脱氮除磷 改造效果

## 0 引言

郑州市马头岗污水处理厂总处理水量 60 万 m<sup>3</sup>/d,一、二期工程各 30 万 m<sup>3</sup>/d,主要收集处理郑州市马头岗排水系统的生活污水和工业废水,服务面积 92.3 km<sup>2</sup>。

随着环保压力的增大及排放标准的提高,马头岗污水处理厂一期工程亟待进行升级改造,在处理规模不变的条件下使出水提标至《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级 B 标准的要求。

本文简要介绍了马头岗污水处理厂一期工程的设计及运行情况,并通过对一期工程的运行情况进行分析,合理地确定改造工程的关键问题,从而科学地确定改造方案。

## 1 一期工程设计及运行情况

### 1.1 一期工程设计水质及工艺流程

嘉陵江原水较单独采用 PAC 约节省 30% 混凝剂费用。以水厂每天处理水量为 40 万 m<sup>3</sup> 计,一月可以节约药剂费用约 12 万元。

## 4 结论

(1) 通过 PDM 复配 AS、FC、PFS、PAC 和单独投加 PAC 处理春季某水厂嘉陵江水源水的烧杯试验,发现 PAC - PDM 复合混凝剂混凝效果明显优于其他种类复合混凝剂,具有较优混凝效果的 PAC - PDM 复配混凝剂的复配比例为 1 : 100。

(2) PAC - PDM 复配比例越低,投药量越少,矾花粒径越小。当矾花颗粒粒径达到 3(0.5~0.75

一期工程于 2006 年下半年开工建设,2007 年 9 月污水处理区建成通水,至今运行状态稳定,实际处理污水量达 28 万~29 万 m<sup>3</sup>/d,污水处理达标合格率 100%<sup>[1]</sup>。其设计进、出水水质见表 1,工艺流程见图 1<sup>[2]</sup>。

表 1 一期工程设计进、出水水质

项目	COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TP
进水/mg/L	480	220	350	55	7
出水/mg/L	80	20	30	20	3
去除率/%	83	91	91	64	57

### 1.2 一期工程生物反应池设计参数

全厂设 4 组反应池,总池容为 229 480 m<sup>3</sup>,其中:厌氧段总池容 36 480 m<sup>3</sup>,缺氧段总池容 39 600 m<sup>3</sup>(分 2 格,缺氧 1 段为 15 850 m<sup>3</sup>,缺氧 2 段为 23 750 m<sup>3</sup>),机动段总池容 28 950 m<sup>3</sup>,好氧段总池容 124 450 m<sup>3</sup>。厌氧段、缺氧 1 段、缺氧 2 段、机动段、好氧

mm)以上时,矾花的沉降性能较好。同时,不同复配比例的复合混凝剂,尽管混凝形成的矾花大小相同,但矾花密实度不一样,其沉淀性能也不一。

(3) 采用 PAC - PDM 和 PAC 进行 1 个月连续性生产试验,出厂水水质均满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)要求。生产期间 PAC - PDM 复配比例为 1 : 100,平均投药量约为 8 mg/L;单独投加 PAC 的平均投药量约为 14.3 mg/L。采用 PAC - PDM 较 PAC 处理春季嘉陵江原水每 m<sup>3</sup> 水可节约混凝剂费用约 0.01 元,该水厂 1 个月可以节约药剂费用约 12 万元。

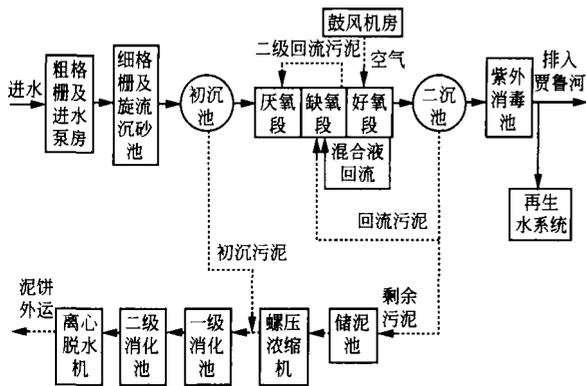


图1 一期工程污水处理工艺流程

段池容比例约为 15.9% : 6.9% : 10.3% : 12.5% : 54.4%。

设计产泥系数 0.91 kgDS/kgBOD<sub>5</sub>, 反应池 MLSS 为 3 g/L, 泥龄 12 d, 其中缺氧段泥龄为 2.5 d, 好氧段泥龄为 9.5 d, 污泥负荷 0.09 kgBOD<sub>5</sub> / (kgMLSS · d), 设计水温 12 °C, 有效水深 6 m。二沉污泥回流比 50%~100%, 缺氧段到厌氧段的回流比为 150%, 好氧段到缺氧段的回流比为 150%。气水比 7.6 : 1。

反应池可根据水质水量的变化、季节的不同调整为常规 UCT、改造 UCT、普通 A<sup>2</sup>/O、倒置 A<sup>2</sup>/O 4 种工艺。反应池的布置形式及调整方法请参阅参考文献[2]。

## 2 改造工程工艺选择与分析

一期工程设计进水水质是依据其收水范围内的主要污水提升泵站的污染物实测资料、主要排污企业监测资料, 并参考已建王新庄污水处理厂运行资料统计结果确定的。随着社会经济的发展及收水范

因此在春季, 采用复合混凝剂 PAC - PDM 处理水厂嘉陵江水源水, 不仅可以得到较好的处理效果, 同时还可以有效地节约药剂费用。

### 参考文献

- 1 Chang E E, Chiang P C, Chao S H, et al. Effects of polydiallyldimethyl ammonium chloride coagulant on formation of chlorinated by products in drinking water. *Chemosphere*, 1999, 39(8): 1333~1346
- 2 Yan M Q, Wang D S, Qu J H, et al. Enhanced coagulation for high alkalinity and micro-polluted water: The third way through coagulant optimization. *Water Research*, 2008, 42(8-9): 2278~2286
- 3 Wei J C, Gao B Y, Qin Y Y, et al. Comparison of coagulation be-

围内产业结构的调整, 污染物排放情况也在逐年变化。

为了选择最优的改造工程工艺方案, 改造工程在统计一期工程实际进水水质的基础上, 应用保证率分析法确定改造工程进水水质设计值; 并通过实测出水情况评价一期工程工艺的处理效果, 从而指导改造工程工艺方案的选择。

### 2.1 一期工程进水水质分析及改造工程进水水质的确定

一期工程 2007 年 9 月至 2010 年 6 月实际进水水质情况见图 2、图 3。

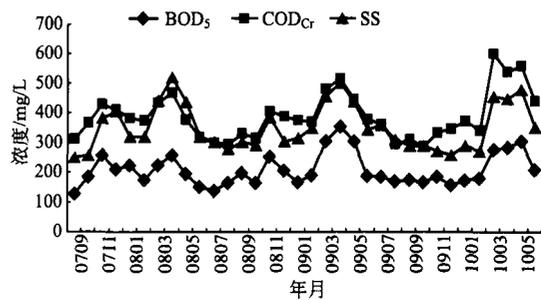


图2 一期工程实际进水 BOD<sub>5</sub>、COD<sub>Cr</sub>、SS 分析

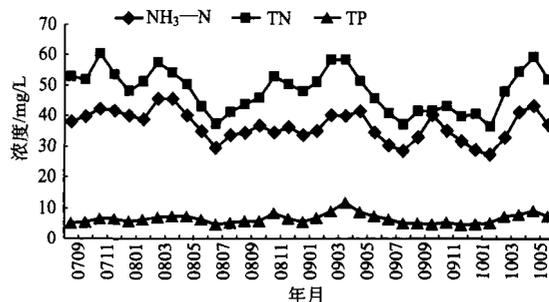


图3 一期工程实际进水氮、磷分析

havior and floc structure characteristic of different polyferric - cationic polymer dual-coagulants in humic acid solution. *Water Research*, 2009, 43(3): 724~732

- 4 高宝玉, 王燕, 岳钦艳, 等. 聚合铝基复合絮凝剂的电荷特性及絮凝作用. *环境科学*, 2003, 24(1): 103~106
- 5 张跃军, 李潇潇, 赵晓蕾, 等. PAC/PDM 复合混凝剂用于夏季太湖水混凝脱浊研究. *环境科学*, 2008, 29(8): 2195~2200

○ 通讯处: 400045 重庆大学 B 区城市建设与环境工程学院  
电话: (023)65120759

E-mail: xhzp@tom.com

收稿日期: 2011-03-24