

# 成都市自来水六厂五期水处理工艺的选择

王南威, 马林伟, 郭 韵, 白玉华  
(中国市政工程西南设计研究总院, 四川 成都 610081)

**摘要:** 根据原水水质、出厂水水质要求并在前四期运行的基础上, 充分考虑城市供水的安全性, 经过总结、筛选、论证确定了成都市自来水六厂五期工程的工艺流程。为了预防水源水库运行可能带来的藻类、浮游生物的增加以及突发性有机污染等事故, 处理流程中仍保留两级沉淀处理, 并增加混凝剂、助凝剂、氧化剂、吸附剂投加, 以及折点加氯等技术措施, 以保证水厂供水水质安全。

**关键词:** 水处理; 工艺选择; 供水安全; 折点加氯

**中图分类号:** TU991.2 **文献标志码:** B **文章编号:** 1673-9353(2010)02-0035-04  
doi 10.3969/j.issn.1673-9353.2010.02.011

## Selection of water treatment process of the 5<sup>th</sup> phase project of No 6 Waterworks of Chengdu

W ang Nanwei Ma Linwei Guo Yun Baiyuhua

(Southwest Municipal Engineering Design & Research Institute of China, Chengdu 610081, China)

**Abstract** According to the raw water quality, quality of treated water and operation of phase one to four of the waterworks, the process of the 5<sup>th</sup> phase project of No 6 Waterworks was determined after summarization, selection, demonstration and consideration on the safety of urban water supply. In order to prevent the potential increment of algae, plankton and emergent organic pollution, two-stage sedimentation was still reserved, meanwhile some technical measures such as dosing coagulant, coagulant aid, oxidant and adsorbent, and breakpoint chlorination, were applied to guarantee safe water quality.

**Key words** water treatment process selection; safe water supply; breakpoint chlorination

成都市自来水六厂(以下简称“水六厂”)为一座大型的城市给水厂, 已建成的前四期工程总规模为  $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。由于近年来成都市用水量持续增加, 水六厂需新建五期工程, 设计规模为  $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

水六厂五期工程的原水为紫坪铺水库水, 原水浊度变化较大, 加之地震的影响, 洪水期浊度高、浊度瞬时变化大, 高达 10 000 NTU 以上, 持续时间短; 枯水期浊度低、温度低, 持续时间长, 属低温低浊原水; 同时原水有时会受到突发性污染。

### 1 优化工程技术措施

#### 1.1 采用两级絮凝沉淀

自紫坪铺水库运行以来, 原水浊度降低, 根据水六厂一、二、三、四期运行经验, 采用一级絮凝沉淀工艺可以满足浊度去除要求。但汶川地震发生后, 岷江上游大面积山体塌方, 破坏了原生植被, 余震和大雨使山体滑坡依然存在, 地质灾害发生时泥沙大量进入水体, 岷江浊度骤然升高。2008年7月19日的一场暴雨使水六厂取水口处原水浊度超过 1 000 NTU, 已经超过了紫坪铺水库运行后至地震前的任

何一次原水浊度。2009年7月17日,水六厂取水口处原水浊度超过20 000 NTU,这反映了地震后岷江流域沿岸山体的脆弱和水质的不稳定。上游暴雨、塌方、泥石流等自然灾害均可能引起原水浊度急剧升高。由于生态恢复需要一个漫长的过程,预计还会反复出现水质恶化的情况。从工程安全以及城市的供水安全性考虑,为应对突发性的浊度情况,采用设置预沉池的两级絮凝沉淀工艺。

#### ① 能适应原水高浊及浊度瞬时变化

通过一级沉淀处理,一方面去除原水中 $d \geq 0.05$  mm的砂粒,另一方面降低浊度,将上万 NTU 浊度降到1 000 NTU 及以下。由于一级沉淀的出水浊度只需低于二级沉淀所要求的进水浊度,这样不但削减了高浊的峰值,而且大大降低了浊度瞬时变化对二级沉淀的冲击,确保了二级沉淀的处理效果。

#### ② 沉淀过程易于控制、管理方便

高浊期去浊分两个阶段,一级沉淀阶段的去浊要求、控制精度不高,而二级沉淀由于高浊期的进水浊度小于1 000 NTU,处理到2 NTU 就比较容易控制。在絮凝剂投加精度不变的情况下,二次絮凝沉淀因凝聚控制误差产生的沉淀水浊度波动的绝对值也比一次絮凝沉淀要小得多。另外,沉淀过程分成两级后,每级都可单独控制,且每一级校正处理效果的滞后时间都大大缩短,并可在第二级继续进行修正,因此对实现沉淀处理过程的自动化更为有利,也给运行管理带来极大的方便。

结合水六厂目前的运行情况和经验,配合工程措施,可有效地将原水浊度从上万 NTU 降到2 NTU,然后再经滤池过滤达到0.2 NTU,从而保证了出厂水浊度目标。

### 1.2 洪水期浊度高时投加PAM

当原水浊度大于1 000 NTU 时,在一级沉淀的混合池中投加PAM,以保证出水浊度不大于1 000 NTU。当原水浊度小于1 000 NTU 时,则无需投加絮凝剂,而是利用超越渠道超越预沉池,直接进入絮凝沉淀池。

投加助凝剂的目的是改善絮凝效果,使沉淀池出水浊度更低,有利于滤池改善滤后水浊度。

### 1.3 针对枯水期低温低浊原水投加PAM

根据水六厂运行经验,当原水浊度较低时,特别是低温低浊期间,絮凝、沉淀效果并不理想,出厂水浊度有时也大于0.2 NTU。在五期初步方案设计中

采用了微絮凝直接过滤工艺,以适应低温低浊的原水水质并节约絮凝剂。成都市自来水总公司水质管理处进行了微絮凝直接过滤试验研究,结果并不理想:微絮凝直接过滤出水浊度只达到1.0 NTU,远大于出水浊度0.2 NTU 的要求;过滤周期短(约6 h),反冲洗用水量大(大于9%);未能达到深层截污的要求。根据试验情况,在初步设计和施工图设计中取消了微絮凝直接过滤工艺。

对低温低浊水,投加助凝剂是改善沉淀效果的另一措施,成都市自来水总公司水质管理处对此做了大量试验,得出以下结论。

① 活化硅酸作为助凝剂投加后,出水浊度反而有上升的趋势,故不考虑使用活化硅酸。

② PAM 作为助凝剂,在降低聚合氯化铝(PAC)耗率方面表现为:阳离子型 > 阴离子型 > 非离子型。在低温低浊下,与单独投加PAC相比,投加PAM能降低PAC投加量20%~40%。

根据该试验成果,在五期工艺流程中增加PAM助凝剂投加系统,可改善低浊期间的絮凝效果,提高出水水质。

由于助凝剂投加系统与高浊期的PAM投加系统可以兼用,不需增加投资,因此增加助凝剂投加系统是合理的,可以根据水质情况灵活改变运行方式。

### 1.4 投加氧化剂

根据水六厂的具体情况,可根据需要投加高锰酸钾和预氯两种氧化剂。

一般希望高锰酸钾尽早投入水中,使氧化过程充分进行,最大程度地去除铁、锰、藻类、异嗅异味、有机物等。工程取水口距离水厂2 km,且具有在取水口投加的场地条件,因此,结合水六厂一期到四期的需要,五期工程在取水口设投加间,将高锰酸钾投加在各期工程的进水渠道内。

设两处预氯投加点。一处设在预沉池进水管(当原水超越预沉池时,原水仍然通过该管道),在斜管上滋生青苔和原水氨氮污染期间启用,该处为预留主投加点。另一处设在二级沉淀出水渠,可补充投氯,抑制在滤池壁生长青苔。

投加粉末活性炭或高锰酸钾期间停止预氯的投加。

### 1.5 投加粉末活性炭

设置粉末活性炭投加系统,吸附原水中酚、有机物等污染物质,协同折点加氯去除氨氮。

通常认为粉末活性炭投加入水中后,前 30 min 吸附能力最大,吸附也比较充分。如果选择在水厂内混合池前投加,可能存在与后续工艺竞争去除有机物的问题。如果选择在絮凝池投加则需要有精确的选点,否则可能出现絮体包裹粉末活性炭,使除浊效率降低,从而增加活性炭投加量。滤池前投加则活性炭吸附时间不够,而且会堵塞滤料使滤池冲洗周期缩短,影响滤池效率<sup>[1]</sup>。因此有条件时,应尽早将粉末活性炭投入原水,且保证到达处理系统前有一定的吸附时间。所以,工程选择在距离水厂 2 km 的上游取水口设置粉末活性炭投加点。

根据设在取水连接井处的酚连续测定仪的监测数据控制粉末活性炭投加量。超过标准值(根据出厂水水质要求,该工程为 0.002 mg/L),启动投加系统。除了酚污染以外,设置粉末活性炭投加系统还可以应对短期及突发性的农药和其他有机物的水质污染。

另外,考虑采用投加粉末活性炭尚有以下因素。

① 酚连续测定仪的精度可达到 0.001 mg/L,满足了检测原水酚含量 0.002 mg/L 的要求。

② 实际运行中曾启用过粉末活性炭投加。汶川地震突发后,上游山体塌方、滑坡,部分工厂污水进入岷江。由于地震期间,监测和报警系统不能正常工作,为确保供水安全,水六厂立即在取水口向原水中投加了粉末活性炭,保证了出厂水水质,收到明显效果。

③ 粉末活性炭属于短期投加,对年平均运行费用影响较小。

## 1.6 折点加氯

折点加氯是去除原水氨氮污染的有效方法。成都市自来水总公司针对水六厂水源采用实验室实验和模拟工艺实验进行了大量的工作,研究结果表明:在给水处理中较为广泛使用的  $H_2O_2$ 、 $Cl_2$ 、 $KMnO_4$ 、 $Cl_2$  药剂虽然都能不同程度地降低 TOC、 $COD_{Mn}$  等污染物浓度,但除  $Cl_2$  外,都不能在滤后水中去除对成都自来水影响最大的污染指标——氨氮,从而不能从根本上解决水源出现氨氮污染时,水厂因氨氮超标而减产,甚至停产这一问题。研究结果还表明,粉末活性炭与折点加氯联合使用,可以充分发挥粉末活性炭的吸附作用,在去除有机物的同时减少折点加氯量,也减少氯仿生成量<sup>[2]</sup>。

水司对预氯点、折点加氯和滤后折点加氯进行

实验分析得出,加氯量需要达到氯氮比 9:1~11:1 时出现折点,由于滤后水洁净度高,消耗氯气的物质浓度低,滤后水折点加氯比滤前折点加氯减少耗氯量约 20%。但无论是滤前或滤后折点加氯,总氯均需要经历 1.5 h 左右的迅速下降过程,剩余的氯基本为余氯,并且稳定。

如果选择在絮凝沉淀池前预氯点折点加氯,具有以下优点:①经过絮凝沉淀池、滤池后停留时间接近 3 h 余氯已经稳定,在滤后消毒加氯中,可以根据余氯量精确控制后加氯量,从而精确控制出厂水余氯;②预加氯和折点加氯控制方式为比例投加(预加氯根据流量比例,折点加氯根据流量和氨氮浓度比例),加氯机控制方式一致,从而可以合并加氯机。但也具有缺点:①比滤后折点加氯多耗氯气;②按照原水最大氨氮 1.5 mg/L、氯氮比 13:1 配置加氯机,一般情况下预加氯量只有加氯机能力的 10%~20%,加氯机投加精度减小。

如果选择在滤池后折点加氯,则滤后水洁净度高,折点加氯耗氯量较前加氯点少。但缺点为:①滤池后至清水池出水经历时间为 1.8 h(清水池满水)~0.6 h(清水池 1 m 水深),停留时间小于 1.5 h 的这段时间,总氯和余氯处于变化的不稳定状态,不易控制加氯量以保证出厂水余氯稳定;②通常情况下,消毒加氯采用流量比例和余氯反馈信号复合环控制,折点加氯控制方式根据流量和氨氮浓度比例投加,加氯机不宜合并,应该分别设置,且折点加氯机使用时投氯量太大,余氯反馈信号指导小流量的复合环控制加氯机工作没有实际意义。

因此,将折点加氯点设置在前点,加氯系统较简单,出厂水余氯也容易控制,缺点是耗氯量较多,但一年中采用折点加氯的情况不多,增加的费用也有限。因此,工程将按折点加氯点设置在前点考虑。

## 2 净水工艺流程

经过反复论证后,确定水六厂五期工程工艺流程见图 1。

### 2.1 活性炭投加系统

#### 2.1.1 主要设计参数

设计规模为  $140 \times 10^4 m^3/d$  投加量为 8~30 mg/L(自动投加设备投加量变化范围为 25%~100%),最大日投加总量为 42 t 即 1.75 t/h。

投加浓度:由干粉投加机给料至溶液罐,同时加注清水在线配制,炭浆质量分数小于 7%,通常情况

下投加质量分数为 5%。

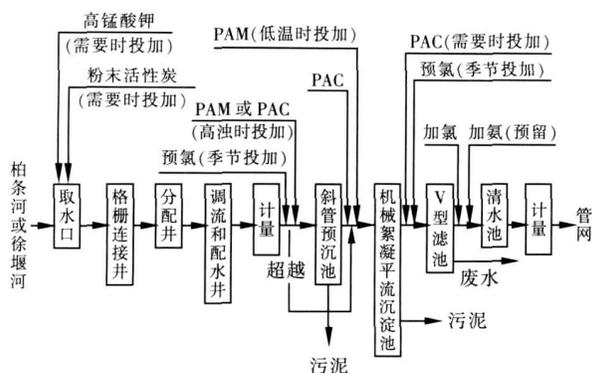


图 1 水厂五期工艺流程

Fig 1 Flow chart of 5<sup>th</sup> phase project of No. 6 Waterworks

### 2.1.2 投加点

一至五期工程各设 1 个投加点, 分别投入取水口各自的渠道中。

## 2.2 高锰酸钾投加系统

### 2.2.1 主要设计参数

设计规模为  $140 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  投加量为  $2 \text{ mg/L}$  (自动投加设备投加量变化范围为 25% ~ 100%), 最大日投加总量为  $2.8 \text{ t}$  即  $0.12 \text{ t/h}$ 。

投加浓度: 由干粉投加机给料至溶液罐, 同时加注清水在线配制, 高锰酸钾溶液质量分数小于 4%。

### 2.2.2 投加点

一至五期工程各设 1 个投加点, 分别投入取水口各自的渠道中。

## 2.3 PAC 投加系统

### 2.3.1 主要设计参数

设计规模为  $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  最大投加量 (商品量含  $\text{Al}_2\text{O}_3$  10% 以上) 为  $100 \text{ mg/L}$ , 平均投加量为  $23.5 \text{ mg/L}$ 。

投加浓度:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  3.3% (质量分数), 当投加量特大时, 可改用原液投加。

### 2.3.2 投加点

通常情况投加点设两处: ①沉淀池混合井, 为主投加点; ②沉淀池出水总渠, 为需要时补充投加点。需要时增加 1 处投加点, 利用 PAM 投加系统计量泵, 可以在预沉池混合井内投加 PAC。

## 2.4 PAM 投加系统

### ① 主要设计参数

设计规模为  $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  投加量: 高浊度时  $0.5 \text{ mg/L}$ , 低浊度时  $0.03 \sim 0.20 \text{ mg/L}$  (助凝剂)。投加浓

度: 配置 PAM 质量分数为 0.2% 的溶液, 经过计量泵后在线稀释投加, 投加质量分数为 0.02%。

### ② 投加点

设两处: 预沉混合井、二级沉淀混合井。

## 2.5 前加氯 (折点加氯) 系统

### ① 主要设计参数

设计规模为  $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  预加氯量为  $0.5 \sim 2 \text{ mg/L}$ , 折点加氯量为 (氯氮比 13:1, 氨氮最大  $1.5 \text{ mg/L}$ )  $19.5 \text{ mg/L}$ 。

### ② 投加点

设两处: 预沉池混合井 (折点投加点) 进水总渠、二级沉淀出水总渠。

## 2.6 后加氯系统

### ① 主要设计参数

设计规模为  $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  后加氯量为  $0.5 \sim 2.0 \text{ mg/L}$ 。

### ② 投加点

在滤池出水管, 反冲水泵房总吸水管后。

### ③ 控制方式

流量及滤后水中化合氯复合环控制, 并根据出厂水余氯调整。

## 3 结语

近年来, 随着水源水质的变化、突发性污染事故的频繁发生, 以及生活饮用水水质标准的提高, 水厂的运行经验证明, 在水处理工艺流程中单独投加一种混凝剂难以达到预期的水质目标。为了应对原水水质突发性的污染事故、水源特大洪灾以及区域性气象变化等情况的发生, 供水企业必须采取多种措施。在工艺流程中投加更有效的混凝剂、助凝剂、氧化剂或吸附剂就是十分必要的措施之一。这些措施在工程的设计阶段就应该予以充分的研究、试验和论证, 而不宜于在事故发生后, 再频于应付, 特别是大型城市给水更有必要。

## 参考文献:

- [1] 上海市政工程设计研究院. 给水排水设计手册 (第 3 册) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [2] 成都市自来水总公司水质管理处. 原水污染预处理研究技术报告 [R]. 2003.

E-mail nanweil229@163.com

收稿日期: 2010-01-16