

# 成都市自来水六厂 BOT 水厂设计技术介绍(上)

万玉成 丁伟

**摘要** 介绍了成都市水六厂 BOT 水厂在技术谈判时的主要争议点、主要设计参数、设计特点、运行状况及设计变动。

**关键词** BOT 特许权协议 一挡机械絮凝 设计参数 高液面负荷 高滤速 设计特点

TL991 B

## 0 概论

成都市自来水六厂分 A、B、C 三个厂。A 厂供水规模为 60 万 m<sup>3</sup>/d, 分一、二、三期建设, 最终于 1996 年建成投产。B 厂即 BOT 项目, 供水规模为 40 万 m<sup>3</sup>/d, 现已建成投产。C 厂为计划建设中的水厂, 供水规模为 40 万 m<sup>3</sup>/d, 水六厂最终供水规模将达到 140 万 m<sup>3</sup>/d。

成都市自来水六厂 B 厂 BOT 项目于 1997 年 1 月获国家计委批准, 成为我国第一个城市供水 BOT 试点项目, 经国际招投标, 由法国通用水务集团 - 日本丸红株式会社投标联合体中标, 并于 1999 年 8 月 11 日国家正式批准由成都市政府与成都通用水务 - 丸红供水有限公司签订的特许权协议。BOT 项目于 2000 年 1 月开工建设, 2002 年 2 月 12 日进入商业运营, 并经一年运行考验, 证明 BOT 项目的运作是成功

的。BOT 项目可总结的内容很多, 现仅就有关取水净水厂设计技术方面作一些介绍。

BOT 项目由取水规模为 80 万 m<sup>3</sup>/d 的取水工程、供水规模为 40 万 m<sup>3</sup>/d 净水厂、A 厂、B 厂、C 厂三个厂的生产废水排水暗渠及长 27 km, 管径为 DN 2400 mm 钢管的输水工程(为 BT 项目)组成, 总投资为 1 亿 6 百万美元, 特许期为 18 年, 其中经营期为 15 年。

## 1 工艺流程

取水及净水厂的工艺由法国 OTV 公司分包的。该公司根据成都政府提供的水源水质及出水水质要求达到欧共体生活饮用水的水质标准, 提出了二次沉淀、过滤消毒的工艺流程, 这个流程与已建水六厂 A 厂的工艺流程是一致的, 工艺流程见图 1。

水六厂水源为岷江分流的徐堰河、柏条河。其

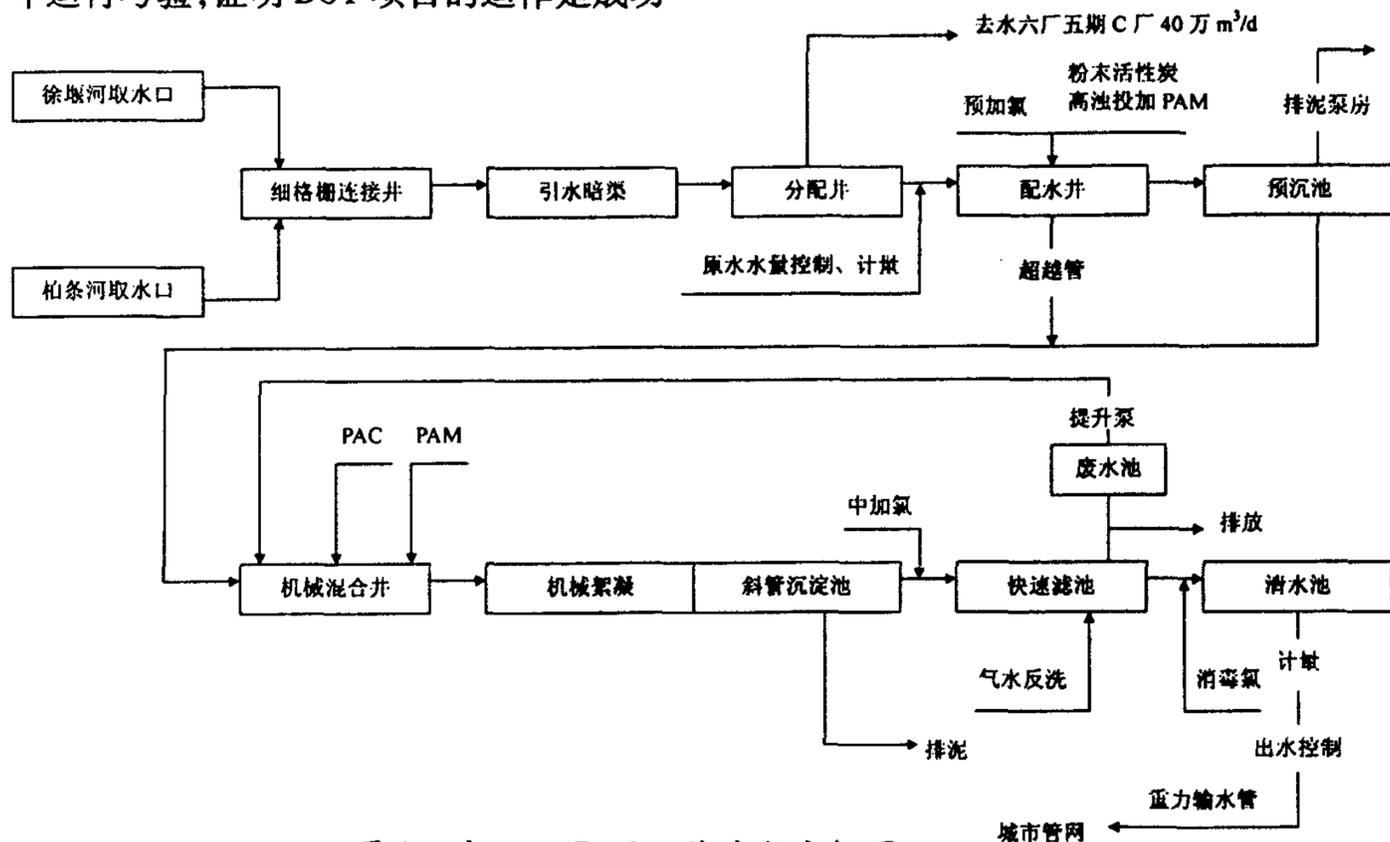


图 1 水六厂 B 厂工艺流程方框图

原水水质具有洪水期浊度高、瞬时变化大;枯水期浊度、温度低;泥砂含量大;原水有时受到突发性污染四大特点。工艺流程针对上述特点,采取了不同措施。采用预沉及投加 PAM 去掉高浊,而当浊度低于 1000 NTU 时,通过超越管直接进入絮凝沉淀。絮凝沉淀除投加 PAC 外,还投加 PAM 助凝剂,以减少 PAC 用量,降低制水成本,特别是低温低浊期间,可确保沉淀池出水水质。预沉池采用中心传动机械刮泥,用泵抽吸并设专管直接排到总排水口,沉淀池采用斗式排泥以克服原水含泥量大、自用水高的问题。设置粉末活性炭投加系统,解决突发性酚的污染问题;用折点加氯法,解决氨氮,化学需氧量等超标而带来的突发性有机污染问题。通过一年运行证明,上述技术措施是恰当的。

2002 年原水最高浊度发生在 7 月 18 日-19 日的洪水历程中,分别检测到的浊度为 1200、2000 NTU,历时不到一小时,但 800~900 NTU 的浊度有数小时之久;枯水期浊度一般为 5~10 NTU。水温约 8~10℃。PAC 原液投加量为 10~20 mg/L, PAM 投加量为 0.05~0.15 mg/L,沉淀池出水浊度控制在 2~3 NTU,滤后水浊度为 0.05~0.1 NTU,冬季浊度略高,为 0.2 NTU。

2002 年度未出现酚的污染,但氨氮含量达到 1.2 mg/L,采用折点加氯去除,此时加氯量达到 14 mg/L,同时,三次启动了粉末活性炭投加系统,投加量为 20 mg/L,每次约 2 小时,以确保出水水质。通过测试,供水能力、净水水质都达到了《特许权协议》中的相关要求。

## 2 取水工程

B 厂水源仍以徐堰河为主,岁修时改用柏条河。取水工程由取水口,引水连通渠,连接井及引水暗渠组成。取水工程的设计规模为 80 万 m<sup>3</sup>/d(未含厂自用水),B、C 厂各 40 万 m<sup>3</sup>/d。

### 2.1 取水口

取水口系由拦河闸、进水格栅、冲砂设施及进水控制闸四部分组成。徐堰河取水口利用了 A 厂已建拦河闸、进水格栅及冲砂设施,仅新建进水控制闸。柏条河取水口利用了 A 厂已建拦河闸、冲砂设施、新建 10 m 长进水格栅及进水控制闸。

### 2.2 引水连通渠、连接井及输水暗渠

引水连通渠、连接井的作用为连接二个取水口,并转换柏条河部分来水量(使用柏条河取水口时)去

A 厂。在每条渠道进入连接井的入口处,均设有叠梁闸,以适应各种工况要求。四台自动除渣机设在连接井下游方向的格栅室内。输水暗渠的进口设有反向压力功能的手、电两用控制闸板。长 1830 m 输水暗渠为现浇钢筋混凝土结构,双孔,每孔尺寸(B×H)为 3.0×2.0 m。B、C 厂各用一孔,能独立使用。原水通过输水暗渠重力输送进入净水厂分配井。

### 2.3 连接井内设置在线测定仪表

为控制原水突发性污染及予警,在连接井内设置酚、氨、锰及水位、pH、浊度、电导率等在线测定仪表。其中酚测定仪精度要求达到 0.002 mg/L。根据特许权协议,应将上述测定数据同时传送至水六厂 A 厂中控室。

## 3 净水厂设计

### 3.1 水量、水质

出厂水的水量、水质应符合《特许权协议》相关内容的要求,其中水量为每日 40 万 m<sup>3</sup>,均匀供水,出厂水浊度小于 0.5 NTU。

### 3.2 净水厂主要构建筑物

#### 3.2.1 分配井

分配井的作用是将原水分别转送至 B 厂、C 厂且又能互相联系。由于井内未设溢流设施及采用了不能调节的闸板阀门,在调试阶段,大量原水从井顶溢流,之后,加高池顶及溢流排水渠。

#### 3.2.2 原水计量与控制

分配井与配水井之间设有 DN2400 mm 超声波原水计量及控制阀。

由于水六厂属重力流水厂,取水靠重力流入水厂。当河水位超过拦河闸前的设计水位时,进水量随着河水位的升降而增减。A 厂采用溢流井、配水井二次溢流,供水量达到运行要求,但存在操作不便,不易控制的缺点。B 厂采用 DN1800 mm 气动控制阀,根据流量计信号进行自动控制。

#### 3.2.3 配水井

配水井的作用是将分配井来水,通过溢流堰均匀分配到一、二线的预沉池或混合井。多槽溢流堰是配水井设计的最大特点。井内共设六条、各长 5.0 m、断面(B×H)为 1.1×2.04 m 钢筋混凝土溢流槽,槽顶设厚 5 mm、高 120 mm 可调铝质堰板。溢流堰槽又分单、双数二组,分别流入二侧集水槽,通过闸板切换,原水分别进入一、二线预沉池或通过超越管进入混合井。多槽溢流堰出水属非堰没式出流,除

可确保分配均匀外,可降低堰上水头(溢流堰总长达60 m),减少水头损失。配水井内有效停留时间为3.0分钟。高浊度时投加的PAM、粉末活性炭及预加氯投入配水井。

### 3.2.4 预沉池

处理小于10000 NTU高浊度原水,出水浊度小于1000 NTU。

采用二座辐流式预沉池,其内径为 $\phi 36$  m,有效水深周边为2.957m,池中心为4.187 m,底坡 $I=0.083$ 。池底中心设内底 $\phi 5.0$  m、深1.2 m的集泥斗,通过中心传动桁架式刮泥机,将泥刮至中心集泥斗,通过DN600排泥管,用泵抽吸及 $2 \times$  DN500专管送至总排水渠出口。设计排泥浓度为5%。另在吸水管处设有高压反冲洗管,防止吸泥管的堵塞。

OTV根据摩洛哥、马来西亚的经验,认为河水在汛期的颗粒直径都大于60~70微米,根据颗粒沉降曲线确定预沉池最大设计负荷为 $10 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ,停留时间约20分钟。为增加预沉效果,原水投加PAM药剂。

由于2002年出现的最高浊度不到2000 NTU,故预沉池及其刮泥设备尚未受到高浊考验。平时仅作短暂维护性运行。

### 3.2.5 混合池

采用机械混合,设二池,每池有效容积 $180 \text{ m}^3$ ,停留时间约1.24分钟,水力搅拌速度梯度 $255 \text{ S}^{-1}$ 。池内安装一台变频悬臂式混合搅拌机。混合搅拌流量为设计流量的3倍。悬臂长4.6 m,轴径141 mm,叶轮直径2.3 m,转速41转/分,电机功率11千瓦。

PAC、PAM及反冲废水回用管均投入混合池内。

### 3.2.6 机械絮凝斜管沉淀池

机械絮凝斜管沉淀池分一、二线,每线设五格,共10格,二条线合建成一整体,布置紧凑。每格正常处理水量约 $1740 \text{ m}^3/\text{h}$ ,最大处理水量约 $1980 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

#### 3.2.6.1 机械絮凝

池型近方形,平面尺寸为 $8.74 \times 8.70 \text{ m}$ ,有效水深7.63 m,有效容积 $580 \text{ m}^3$ ,正常絮凝时间20分钟。

水经机械混合后,通过变截面渠道,经进水叠梁闸孔(每格池设一孔),进入分配渠,翻过8.74 m宽的溢流堰,均匀分配到每一格絮凝池前的进水渠道,水从进水渠底部尺寸为 $8.74 \times 0.50 \text{ m}$ 的长条形孔进入絮凝池,经搅拌后,水从上部进入沉淀池。每格池内装有一台变频慢速搅拌器,见图2。

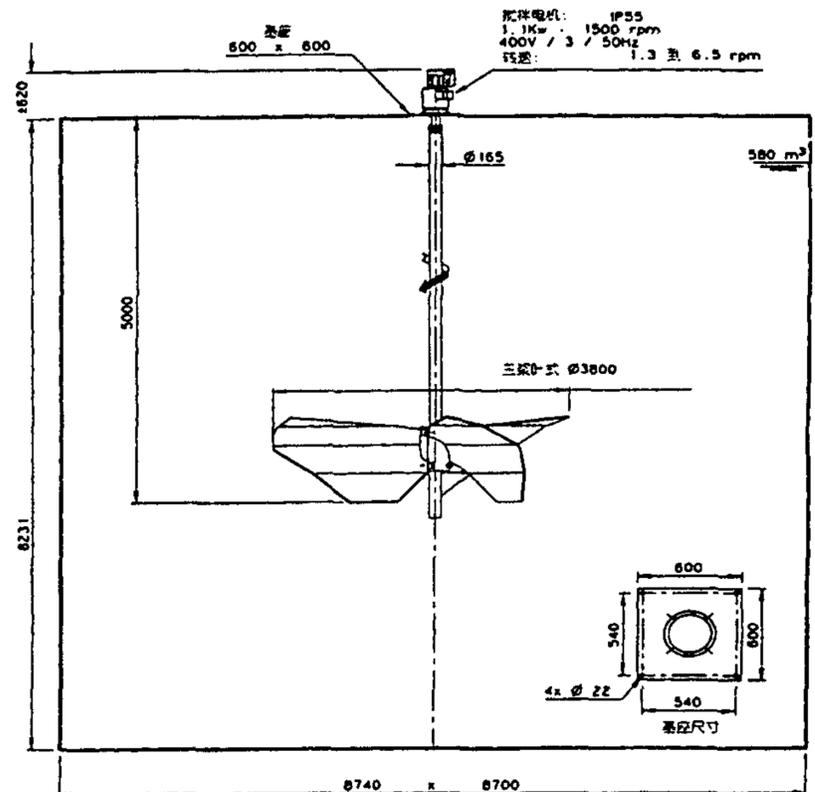


图2 变频慢速搅拌器

其主要设计参数如下:

- 搅拌叶轮直径:3.8 m;
- 叶轮直径与池边长比:0.437;
- 转速:1.3~6.5转/分;
- 叶轮外缘速度:1.27 m/S;
- 最大搅拌流量: $30340 \text{ m}^3/\text{h}$ ;
- 雷诺数:1540000;
- 轴功率:0.962 kW;
- 配套电机功率:1.10 kW;
- 轴悬臂长:5.0 m;
- 轴径: $\phi 165 \text{ mm}$ 。

供水量为 $40 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 时,水力搅拌速度梯度 $G$ 值为 $53.7 \text{ S}^{-1}$ ( $20^\circ\text{C}$ 时), $48 \text{ S}^{-1}$ ( $5^\circ\text{C}$ 时), $GT$ 值分别为 $6.444 \times 10^4$ 及 $5.76 \times 10^4$ 。

机械絮凝池的设计在技术谈判时双方有较大的分歧。

中方专家认为机械絮凝只设一档,不符合中国室外给水设计规范要求设3~4档搅拌机及外缘线速自第一档 $0.5 \text{ m/S}$ 逐渐变小至末档 $0.2 \text{ m/S}$ 的规定。一档机械絮凝不符合絮粒有小到大的絮凝规律,故怀疑其絮凝效果。

OTV/CGE认为一档机械絮凝的 $GT$ 值在 $10^4$ 至 $10^5$ 间,有利于大絮花形成,其他重要因素为搅拌机形状(见图1)和在池中的水流条件。设计采用的搅拌机具有回流10余倍设计流量的性能,这种水流条件是OTV和法国MIXEL大量试验得出的,又经实际

应用验证了的,可以形成大颗粒絮花。只有当水温低于 $1\sim 4^{\circ}\text{C}$ 或水中含有表面活性剂时需要设多台串联搅拌器,使GT值逐渐下降,利于絮花形成。

经一年运行,机械絮凝效果良好。从水流情况看,除一些水流向沉淀池,大部分又回流到搅拌机,有时在搅拌机附近可以看到小的旋涡;从形成絮花看,絮花大且均匀分布在池面。絮凝池内未设排泥设施,仅在四角有些积泥,但对絮凝无影响。

笔者曾于2002年12月11日(原水浊度约10 NTU)先后观察对比了A厂、B厂机械絮凝池絮花形成情况。A厂三期设有三档卧式机械搅拌,在第三档出口处才有细小的絮花出现,而B厂絮凝池的絮花大而均匀。这种情况,与B厂除投加PAC外,还投加PAM,改善了絮凝条件有关。但新型的搅拌机叶轮,能使水流循环回流,增加了颗粒碰撞机率,是改善絮凝效果的重要因素。一档机械絮凝的运行成功将促进国内机械絮凝的改革。

### 3.2.6.2 斜管沉淀池

OTV称斜管沉淀为MULTIFLO沉淀。进沉淀池的最高浊度为1000 NTU,其出水浊度控制在3.0 NTU以下。

#### (1)斜管沉淀池主要设计参数

数目:10池;

每池斜管沉淀区面积: $8.74 \times 12.432 = 108.66 \text{ m}^2$ ;

正常设计流量时液面负荷: $16 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ;

最大设计流量时液面负荷: $18.2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ;

清水区保护高度:0.686 m;

斜管高(斜长1.4 m,倾角 $60^{\circ}$ ):1.21 m;

底部配水区高:2.10 m;

排泥漏斗高度:3.57 m;

总高:8.163 m。

(2)清水区保护高度偏小,斜管沉淀区液面负荷偏大是双方技术谈判又一个重大分歧点。

中方专家认为根据室外给水设计规范,清水区保护高度一般不宜小于1.0 m,液面负荷一般为 $9.0\sim 11.0 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ ,OTV采用的设计参数与国内规范相差较大,难以适应原水水质剧变及低温低浊的特点,故担心沉淀池出水水质。OTV/CGE认为设计关键参数是沉淀速度(HAZEN),OTV经验表明HAZEN速度最大可达 $0.8 \text{ m/h}$ ,(1997年在土耳其建成的PURSAKLAR水厂采用 $0.8 \text{ m/h}$ ),根据成都

原水水质,取 $V_{\text{HAZEN}} = 0.63 \text{ m/h}$ 是可行的,也是其公司20年来一直被采用的数据。然后由斜板总投影面积可求得液面负荷为 $16 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ 。OTV认为高液面负荷有下列技术经济为依据:a、投加PAM;b、斜管斜长由国内1.0 m增至1.4 m;c、由于预沉池的设置,可确保MULTIFLO沉淀池的进水浊度不大于1000 NTU;d、采用了由OTV与厂商共同开发絮凝性能良好的搅拌器。

### 3.2.6.3 其他特点

#### (1)设置了排渣槽

OTV认为当水中充满了溶解氧后,在池内会有一些气浮效应,一部分泥渣上浮。故在进水管上设置横向排渣槽,并用阀门控制。正常运行时,槽浸没在水里;阀门打开时,浮渣被排除。

#### (2)采用棱形斜管孔

#### (3)采用小漏斗及静压差排泥(见图3)

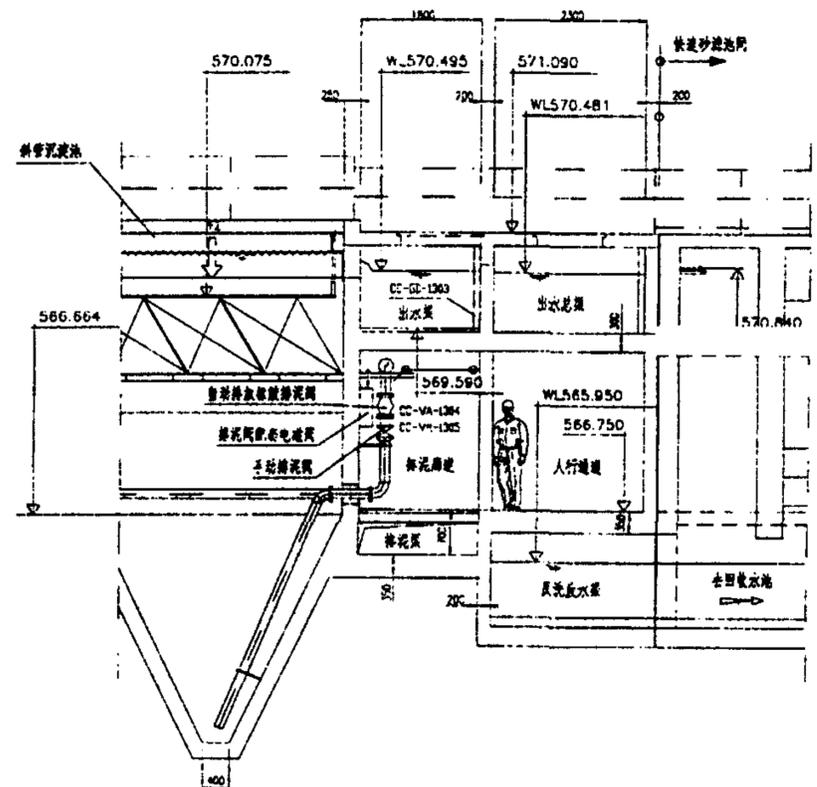


图3 漏斗排泥及排泥廊道剖面图

为增加浓缩时间,减少排泥水量,采用小漏斗排泥。在每格斜管沉淀区 $8.74 \times 12.432 \text{ m}$ 面积内分成 $3 \times 3 = 9$ 个排泥漏斗,总共为90个。每个漏斗尺寸为 $3.78 \times 2.78 \text{ m}$ ,倾角 $= 66^{\circ}$ 。

每个漏斗设一根 $D133 \times 4$ 排泥管,引至排水管廊,每9根排泥管为一组,共10组,每组设排泥总管,排入排泥渠内。排泥管上设有反冲设施。每组排泥总管上设有移动式泵抽排空措施。

为减少排泥管埋深,采用静压差排泥:即排泥管从小漏斗底部(留有100 mm间隙)沿漏斗壁至斜管

# 四川省芦山县沫东黎明水厂供水工程设计介绍

任 丽

摘 要 介绍了四川省芦山县沫东黎明水厂的工艺流程、构筑物设计及运行情况。

关键词 水厂 工艺 构筑物 设计 运行

TU991 B

## 0 引言

芦山县位于川西盆地西部山区,水厂总设计规模  $1 \text{万 m}^3/\text{d}$ ,1999 年建成通水。根据设计委托单位的要求,拟建  $1 \text{万 m}^3/\text{d}$  沫东黎明水厂,分两期建成。其一期工程引水自钻山堰羊圈门,取水头部取水能力按  $6000 \text{m}^3/\text{d}$  设计;一期净水构筑物处理能力按  $5000 \text{m}^3/\text{d}$  设计;加药及消毒间按  $1 \text{万 m}^3/\text{d}$  规模设计,土建一次建成,设备分两期安装;清水池按  $1 \text{万 m}^3/\text{d}$  规模设计,一期建成。水厂总平设计中为二期工程预留足够场地,并适当留有发展余地。

## 1 设计思路

(1) 根据芦山县城市总体规划,结合近年来芦山

配水区引入排泥廊道。泥管最高点至吸泥入口相距  $5.86 \text{m}$ ,泥管排、吸入口相差约  $3.4 \text{m}$ ,池内水位至排出口的水位差,即静压差为  $4.18 \text{m}$ 。

在给水排泥系统设计中很少采用静压差的排泥方式,故在技术谈判时,中方专家表示静压差排泥不可靠,建议采用池底阀排泥。

OTV/CGE 确认这种静压差排泥效果是好的。

### (4) 气动橡胶排泥阀

直径  $\text{DN}125$ ,每条排泥管上安装一个,总共 90 个。每一池 9 个排泥阀组成一组,共 10 组。每组设 9 个  $\text{DN}8$  电磁阀控制气源。该阀系铸铁阀体,内衬天然橡胶,气动控制,空气压力:6 个大气压。通气时,胶袋充气,堵塞排泥孔,排泥阀关闭。断气时,胶袋内气体排出而收缩,排泥阀门打开,排泥形成。

所有的管路均布置在长约  $93 \text{m}$  排泥管廊的侧墙上。

### (5) 独特的排水管廊布置(见图 3)

排水管廊布置在沉淀池出水渠的下方,总长约  $93 \text{m}$ 。管廊左侧布满了排泥系统各种管路及电缆架,其底部为排泥渠,上设栅条盖板。可清楚观察各

县城现状及发展情况对县城及沫东镇供水作统一考虑,并注意远、中、近期结合考虑。

(2) 保护水源和水厂的环境卫生,工艺流程、构筑物形式及工艺参数的确定应结合山溪水源水质特性,稳妥可靠,具有一定的抗冲击能力,经净化处理后的水质符合国家现行生活饮用水卫生标准 ( $\text{GB}5750-85$ )。

(3) 方便运行管理,讲究实效,推广和采用国内外经实践证明经济有效的新工艺、新技术、新材料、新设备。运行费用低,节约能源。

## 2 给水系统选择

设计施工图出图之前做了大量前期工作,以“可

池排泥情况;管廊右侧为巡视、维护通道,其底部为滤池反冲洗水通向回收水池的排水暗渠。紧临管廊的右侧为快速滤池。管廊两端设有轴流风机,进入管廊感觉良好。

### 3.2.6.4 运行情况

沉淀池出水浊度一般在  $2 \sim 3 \text{NTU}$ ,由于高负荷,带出的絮花积存在斜管表面,需定期清除表面上的积泥。

斜管沉淀池的排泥系统运行良好,设计是成功的,漏斗壁虽然还有些积泥,但不妨碍排泥效果。排泥阀是排泥系统中最关键的设备,亦是获得静压差排泥成功的关键。气动排泥控制阀符合勤排快排的要求,现场观察,切断气源,几秒内就开始排泥,通气源,排泥阀关闭严密,排出口基本无漏水现象。

气动排泥阀的质量也令人满意,更换率为  $1 \sim 2\%$ 。

(续下期)

△作者通讯处: 610081 成都市星辉中路 11 号 中国市政工程西南设计研究院