

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.22.021

# 西咸新区沣西应急给水厂除铁除锰工艺设计

王 俊<sup>1</sup>, 黄宁俊<sup>2</sup>

(1. 西安水务<集团>规划设计研究院有限公司, 陕西 西安 710082; 2. 西安市政设计研究院有限公司, 陕西 西安 710082)

**摘 要:** 为解决陕西省西咸新区沣西新城区域内用水量与现有供水能力之间的矛盾,并建立良好的区域化供水体系,建设了西咸新区沣西应急给水厂,工程规模为 $4.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。针对原水中铁、锰离子微量超标问题,采用高锰酸钾化学辅助氧化+跌水曝气氧化+复合锰砂过滤的处理工艺,该工艺兼具化学氧化和接触氧化除铁、锰工艺的特点。此外,厂区内采用了海绵城市LID设计,实现了雨水的回收利用。该工程总投资约为9 433万元,单位经营成本为1.36元/ $\text{m}^3$ 。实际运行表明,系统运行效果良好,出水水质优于国家标准,具有良好的社会效益和经济效益。

**关键词:** 应急给水厂; 跌水曝气; 除铁除锰

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)22-0121-04

## Design of Iron and Manganese Removal Process in Fengxi Emergency Water Supply Plant in Xixian New District

WANG Jun<sup>1</sup>, HUANG Ning-jun<sup>2</sup>

(1. Xi'an Water Group Planning and Design Research Institute Co. Ltd., Xi'an 710082, China;  
2. Xi'an Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Xi'an 710082, China)

**Abstract:** In order to solve the contradiction between the water consumption and the existing water supply capacity in Fengxi New Town, Xixian New District, Shaanxi Province, and to establish a good regional water supply system, the Fengxi emergency water supply plant in Xixian New District was built. The treatment capacity of the project was  $42\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ . In view of the excessive content of iron and manganese ions in raw water, the treatment process of chemical assisted oxidation with potassium permanganate + drop aeration oxidation + composite manganese sand filtration was adopted. This process has the characteristics of chemical oxidation and contact oxidation to remove iron and manganese. In addition, the LID design of sponge city was adopted in the plant to realize the recycling of rainwater. The total investment of the project was about 94.33 million yuan, and the operating cost was 1.36 yuan/ $\text{m}^3$ . The actual operation showed that the operation performance of the system was good, the effluent quality was better than the national standard, and the project had good social and economic benefits.

**Key words:** emergency water supply plant; drop aeration; iron and manganese removal

### 1 工程概况

#### 1.1 工程背景

陕西省西咸新区沣西新城供水分为南、北两个片区,北区由咸阳市水源供水,南区由西安市水源供给。沣西新城规划区域范围内有西安市第五水厂沣

渭地下水源地和第三水厂沣河地下水源地,咸阳市第五水厂陈阳寨地下水源地和沣西规划地下水源地。近期沣西新城由咸阳第五水厂、西安市第三水厂和西安市西南郊水厂供给,沣西应急给水厂作为备用水源;远期沣西新城由西安市西南郊水厂(引

汉济渭水源)供给,沔西应急给水厂作为备用水源。

近年来随着城市的快速发展,生产和生活用水不断增加,咸阳市第五水厂及西安市第三水厂已处于超负荷运行状态,且引汉济渭工程及西南郊水厂建设存在时间上的滞后性,近期不能满足沔西新城用水要求。为解决沔西新城区域范围内用水量快速增长与有限的城市供水能力之间的矛盾,建立良好的区域化供水体系,沔西新城管委会决定优先启动沔西应急给水厂建设以满足沔西新城当前生产、生活用水,待规划水源水量能够满足沔西新城用水后,再将沔西新城给水厂转为备用水源。沔西应急给水厂规模为  $4.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,该工程建成后可满足沔西新城北区城区内生产、生活用水需求。

## 1.2 水质指标

本工程水源取自地下水,取水层为潜水、浅层承压水、深层承压水,共设计17口取水管井,沿东侧渭河大堤布置。原水主要水质指标见表1。原水菌落总数为2760 CFU/mL,铁含量为0.50 mg/L,锰含量为0.30 mg/L,除这几项超标外,其余指标均满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)。

表1 原水水质指标

Tab. 1 Raw water quality

项目	铁/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	锰/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	浊度/ NTU	菌落总数/ ( $\text{CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	pH 值
数值	0.5	0.3	0.9	2 760	7.9

## 1.3 出厂水压

根据《西咸新区—沔西新城给水工程专项规划》的管网平差结果和《室外给水设计标准》(GB 50013—2018)的规定,给水厂出厂水水压须满足配水管网最不利点水压0.28 MPa,并满足环状供水管网基本要求,以节省运行能耗。因此,确定沔西新城应急给水厂出厂水水压为0.55 MPa。

## 2 净水工艺

### 2.1 净水工艺流程

本工程水源取自地下水,水质清澈、优良,除铁、锰和菌落总数超标外,其他常规指标均符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),因此处理工艺的主要目标是除铁、除锰。地下水中  $\text{Fe}^{2+}$  易于氧化<sup>[1]</sup>, $\text{Fe}^{2+}$  含量较低时,空气自然氧化法就可将水中  $\text{Fe}^{2+}$  去除,而  $\text{Mn}^{2+}$  不易被氧化,须采用强氧化剂、接触氧化或生物固锰法才可去除<sup>[2-3]</sup>,因此,设计时考虑采用高锰酸钾化学辅助氧化+跌水曝气氧化对原

水中  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  进行去除,结合原水  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  含量低的特点,本次采用  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  氧化后直接过滤的方式,减少了絮凝池、沉淀池,节省了用地。同时,在滤池中采用了新型复合锰砂滤料,该滤料兼具石英砂密度小和锰砂除锰的特点,在发挥除锰功能的同时,还能够发挥与石英砂同等的去除浊度和悬浮物的能力,可进一步保障原水中  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  的去除。该工艺可提升除锰工艺启动速度,保障稳定的除铁锰效果。具体工艺流程见图1。

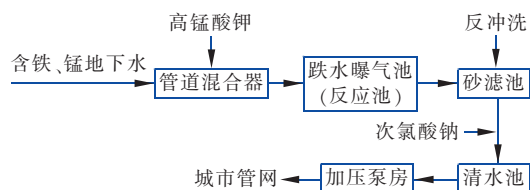
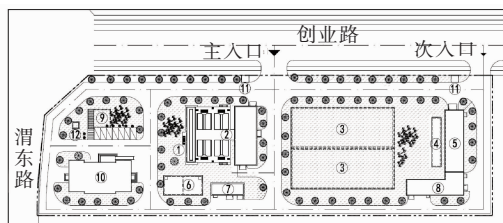


图1 净水工艺流程

Fig. 1 Process flow chart of water treatment

### 2.2 水厂工艺总平面布置

沔西应急给水厂总占地面积为1.55  $\text{hm}^2$ ,地面高程介于390.20~390.70 m,水厂总平面按功能不同,分为生产区和厂前区。生产区按工艺流程由东向西、由高到低布置,水厂总平面布置如图2所示。



1.曝气池 2.V型滤池及反洗泵房 3.清水池 4.吸水井  
5.送水泵房 6.回收水池 7.加氯加药间 8.配电室及机修间  
9.水源热泵机房 10.综合办公楼 11.传达室 12.水质分析间

图2 水厂总平面布置

Fig. 2 General layout of water supply plant

## 3 主要构筑物及工艺参数

### 3.1 管道混合器

水厂总进水管为2条,分别在每条进水管上设置1个管道静态混合器,每条进水管管径为DN600,流速为0.83 m/s。

### 3.2 跌水曝气池

曝气过程是地下水除铁除锰的重要前提,按照原水中铁、锰含量的高低,曝气形式可分为水力曝气和机械曝气。单级或多级水力曝气不能满足溶解氧要求时,可采用机械曝气。本项目原水中的铁、锰含

量较低,故使用单级水力曝气即可。设计跌水曝气池2座,钢筋混凝土结构,单池平面尺寸为13.75 m×3.0 m,池深为2.60 m。跌水高度为0.8~1.0 m,跌水堰单宽流量为20~50 m<sup>3</sup>/(m·h)。通过跌水曝气,将水中的二价铁氧化成几乎不溶于水的三价铁,生成铁沉淀物,从而去除铁离子。

### 3.3 V型滤池

V型滤池为钢筋混凝土结构,滤池及反冲洗设备间总平面尺寸为30.9 m×27.5 m,地下部分深度为1.50 m(局部深3.8 m),地上高度为3.35 m。

V型滤池共设4组,每组2格,双排布置,单格面积为28 m<sup>2</sup>,滤料采用单层复合锰砂滤料,厚度为1.3 m,设计最大过滤水头约20 kPa,设计滤速为7.85 m/h,强制滤速为10.5 m/h。滤池采用长柄滤头小阻力配水系统。滤池反冲洗分三步:第一步,单独气冲,气冲强度为17 L/(m<sup>2</sup>·s),历时2 min;第二步,气水联合反冲,气冲强度为17 L/(m<sup>2</sup>·s),水冲强度为4 L/(m<sup>2</sup>·s),历时4 min;第三步,单独水反冲,水冲强度为5 L/(m<sup>2</sup>·s),历时5 min。反冲洗表面扫洗强度为2.1 L/(m<sup>2</sup>·s),滤池工作周期为48 h。在滤池的进水和反冲洗进水、进气管上均设有气动蝶阀(闸板),滤池出水管上设有电动调节阀,反冲洗排水采用气动阀。在滤池内设有液位计和水头损失仪,滤池运行由PLC控制。反冲洗废水排入回收水池,最终回流至曝气池前。

### 3.4 清水池

清水池有效容积按供水规模为4.2×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d的20%设计,采用地下式钢筋混凝土结构,共2座,单座有效容积为4 200 m<sup>3</sup>,平面尺寸为51.5 m×20.3 m,池深为4.8 m,有效水深为4.5 m,池顶覆土为0.5 m。为避免清水池内发生短流,并满足有效接触时间不少于30 min,池内设导流墙。清水池进、出水管上均设有阀门,每座清水池均设置了一处独立的溢流管,溢流至厂区雨水管道。

### 3.5 送水泵房

送水泵房采用半地下式钢筋混凝土结构,平面尺寸为31.44 m×9.54 m,吸水井平面尺寸为26.0 m×4.8 m。共设置5台(4用1备)水泵,其中2台变频泵,单台流量为683 m<sup>3</sup>/h,扬程为580 kPa。

### 3.6 加氯加药间

加氯加药间为单层钢筋混凝土框架结构,含加氯间、加药间和值班室,平面尺寸为16.5 m×6.0

m,净空高度为3.6 m。

次氯酸钠投加系统设置卸料泵2台(1用1备)。单泵流量为240 L/min,扬程为100 kPa;电磁隔膜计量泵2台(1用1备),单泵流量为40 L/h,扬程为400 kPa;次氯酸钠溶液储罐2座,单座有效容积为3 m<sup>3</sup>,直径为1 500 mm。

高锰酸钾投加系统设置电磁隔膜计量泵2台(1用1备),单泵流量为75 L/h,扬程为200 kPa。

### 3.7 回收水池

回收水池采用地下式钢筋混凝土结构,平面尺寸为9.0 m×9.0 m,池深为8.38 m。上清液泵采用潜水离心泵,共3台(2用1备),水泵流量为50 m<sup>3</sup>/h, $H=160$  kPa,设计单周期运行时长约5 h;底泥泵采用潜水离心泵3台(2用1备),水泵流量为50 m<sup>3</sup>/h, $H=160$  kPa,设计单周期运行时长约0.5 h。

## 4 海绵城市LID设计

按照低影响开发规划,在应急给水厂厂区红线范围内进行海绵城市LID专项设计。

① 厂区内绿化设计采用生态滤沟,面积为4 611.17 m<sup>2</sup>,总绿地面积为6 278.68 m<sup>2</sup>,生态滤沟面积占总绿化面积的73.4%。生态滤沟的调蓄深度为0.05 m,调蓄容积为230.56 m<sup>3</sup>,年径流总量控制率为90.52%。

② 厂区内道路路面设计均采用透水沥青路面,透水铺装率达到79.36%,透水路面结合下沉式绿地的设计最大化实现了雨水的排放、下渗和回用。

③ 厂区内构(建)筑物采用“绿顶”设计,包括曝气池、V型滤池、反冲洗泵房及鼓风机房、加氯加药间、清水池、吸水井及送水泵房、回收水池、综合办公楼、传达室及大门,建筑屋顶总面积为2 736.12 m<sup>2</sup>,绿色屋顶率达到24.3%。

## 5 运行效果

水厂于2018年5月建成通水,运行稳定,出水水质优于国家标准,进、出水水质见表2。

表2 实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality

项 目	进水	出厂水	国家标准
铁/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.5	0.06	0.3
锰/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.3	0.06	0.1
浊度/NTU	0.3	0.1	1
菌落总数/(CFU·mL <sup>-1</sup> )	2 760	—	100
pH值	7.9	8.0	6.5~8.5



## 6 主要经济指标

沅西应急给水厂初步设计概算为9 433万元,其中工程直接费用为6 381万元,其他费用为3 052万元。正常生产年总成本为2 628万元,经营成本为2 087万元,生产总成本为1.71元/m<sup>3</sup>,经营成本为1.36元/m<sup>3</sup>。本工程生产总成本和经营成本较其他同类水厂偏高,主要是由于给水厂厂外电源距离较远,另外水资源费征收标准在本地区亦偏高。

## 7 水厂工艺设计特点

### ① 采用适合水质的除铁除锰工艺

根据原水中铁、锰微量超标的特点,设计采用高锰酸钾化学辅助氧化+跌水曝气氧化+复合锰砂过滤的处理工艺,该工艺兼具化学氧化和接触氧化除铁、锰工艺的特点,在接触氧化前增加前置氧化工艺,可提升除锰工艺启动速度,同时保障稳定的除锰效果。该工艺还具有生产构筑物较少、管理简单、除铁锰效率高、工艺运行可靠性高、抗冲击负荷能力强、出水水质良好、生产经营成本及工程建设投资低的优点。

### ② 滤池采用新型滤料保证出水水质

V型滤池采用复合锰砂新型滤料,进一步保证了出水水质。复合锰砂的氧化物涂层具有较高的等电点,有利于对水中各种杂质颗粒的吸附和过滤去除,在发挥除锰功能的同时,还能够发挥与石英砂同等的去除浊度和悬浮物的能力。

### ③ 优化厂区布置

水处理构(建)筑物尽量合建,节省占地和工程建设投资,本工程V型滤池与反冲洗泵房及鼓风机房、加氯间与加药间等均采用合建。构筑物之间的连接管线尽量采用明渠与构筑物连接或合建,既降低造价,又节约能耗。

### ④ 厂区内采用海绵城市LID设计

厂区内采用下沉式绿地、透水沥青路面、建(构)筑物“绿顶”设计,有效地实现了厂区内雨水的排放、下渗和回用,使厂区内地块雨水控制总量达到230.56 m<sup>3</sup>,年径流总量控制率达到90.52%。同时,提升了厂区内的景观效果。

## 8 结语

西咸新区沅西新城应急给水厂工程设计规模为4.2×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,采用了适合水质特点的除铁除锰工

艺及新型滤料,水厂运行稳定,出水水质良好,有效解决了沅西新城北区城区用水问题,带来了良好的社会效益。

## 参考文献:

- [1] 李继震. 接触氧化除铁除锰机理的探讨[J]. 中国给水排水,2010,26(18):6-8.  
Li Jizhen. Investigation on mechanism of iron and manganese removal by contact oxidation[J]. China Water & Wastewater,2010,26(18):6-8(in Chinese).
- [2] 林鹏飞,张晓健,陈超,等. 净水厂高锰酸钾预处理工艺控制技术研究[J]. 给水排水,2013,39(8):20-24.  
Lin Pengfei,Zhang Xiaojian,Chen Chao,et al. Study on the control technology of potassium permanganate pretreatment process in water treatment plant[J]. Water & Wastewater Engineering,2013,39(8):20-24(in Chinese).
- [3] 熊斌,李星,杨艳玲,等. 接触氧化/超滤除铁除锰组合工艺的净化效能[J]. 中国给水排水,2014,30(1):30-33.  
Xiong Bin,Li Xing,Yang Yanling,et al. Removal of iron and manganese by combined process of contact oxidation and ultrafiltration[J]. China Water & Wastewater,2014,30(1):30-33(in Chinese).



作者简介:王俊(1984-),男,河南南阳人,硕士,高级工程师,注册设备工程师(给水排水),所长,长期从事市政给水排水设计、海绵城市设计及水处理研究工作。

E-mail:286443091@qq.com

收稿日期:2019-09-13