

# 长沙市第二水厂迁建工程设计与调试

罗惠云<sup>1</sup> 邱振华<sup>2</sup> 周健<sup>1</sup> 柏光明<sup>2</sup>

(1 湖南省建筑设计院,长沙 410011; 2 长沙水业投资管理有限公司,长沙 410015)

**摘要** 受供水能力、原水水质影响和为了满足规划用水需要,实施了长沙市第二水厂迁建工程。工程设计总规模 30 万 m<sup>3</sup>/d,分为三期,其中一期工程 10 万 m<sup>3</sup>/d。包括新建取水工程、原水输水管道、净水处理、排泥水处理及输配水管网工程。调试过程中解决了取水泵房设备冷却水水源、提升泵站设备配套、活性炭吸附池反冲洗废水回收等主要问题。该项目的竣工投产在解决湘江原水微污染和锰超标、进一步提高出厂水水质及节能降耗等方面具有示范作用。

**关键词** 给水厂 迁建 设计 调试

长沙市第二水厂位于长沙市河西区,始建于 1954 年 8 月,水源为湘江。最初供水能力 9 000 m<sup>3</sup>/d,后经多次扩建改造,设计供水能力达到 5 万 m<sup>3</sup>/d。第二水厂迁建指取水点由阜埠河迁建至黑石铺下游水流深槽,净水厂由渔湾市迁建至沈家老屋。工程设计总规模 30 万 m<sup>3</sup>/d,分三期实施,其中一期工程 10 万 m<sup>3</sup>/d;项目总占地面积 199 460 m<sup>2</sup>(合 299.19 亩);工程投资 3.02 亿元。工程于 2002 年启动,2005 年 11 月正式动工,2007 年 7 月 1 日一期工程投产运行。

## 1 项目实施缘由与方案比选

实施第二水厂迁建工程基于三个方面:随着城市发展和人口增加,供水能力已不能满足用水需求;原净水厂的原水水质污染严重,不能保证供水水质安全;根据城市总体规划,需要新建水厂。项目前期对水厂迁建、改建、东水西调等三个方案进行了技术经济比较(见表 1),择优选用迁建工程方案。

## 2 设计指导思想

第二水厂迁建工程具有复杂程度高、相关权益多、施工周期长等特点,工程设计指导思想如下:

自养型的生物脱氮技术,反应效率很高,是渗滤液技术中最具有发展前景的脱氮技术。随着该技术研究的不深入,必将得到越来越多的应用。

## 参考文献

- 1 Cheung K C, Chu L M, Wong M H. Striping as a pretreatment for landfill leachate. *Water air and soil pollution*, 1997, 49 (1): 209 ~ 221
- 2 Wiesmann U. Biological nitrogen removal from wastewater. In: *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 51. Ed. Fiechter, A., Springer-Verlag, Berlin, 1994. 113 ~ 144
- 3 Hellinga C, Schellen A A J C, Mulder J W, et al. The Sharon process: An innovative method for nitrogen removal from ammonium-rich waste water. *Wat Sci Tech*, 1997, 37 (9): 135 ~ 142
- 4 Wyffels S, Boeckx P, Pynaert K, et al. Nitrogen removal from sludge reject water by a two-stage oxygen-limited autotrophic nitrification denitrification process. *Wat Sci Tech*, 2004, 49 (5-6): 57 ~ 64
- 5 Anthonisen A C, Loehr R C, Prakasam T B S, et al. Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 1976, 48: 835 ~ 852
- 6 孟了, 陈石, 谭俊伟, 等. MBR 处理垃圾渗滤液的亚硝酸盐型硝化反硝化研究. *中国给水排水*, 2007, 23 (21): 6 ~ 9
- 7 Mulder A, Vande Graaf A A, Robertson L A, et al. Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying fluidized bed reactor. *FEMS Microbiology Ecology*, 1995, 16: 177 ~ 184
- 8 Abma W R, Schultz C E, Mulder J W, et al. Full-scale granular sludge Anammox process *Water Science & Technology*, 2007, 55 (8-9): 27 ~ 33

& 通讯处: 100089 北京市海淀区长春桥路 11 号万柳亿城中心 C2 座 1705 室

电话: (010) 58815188-857

E-mail: marilon@126.com

收稿日期: 2007-07-12

修回日期: 2007-12-14

表1 长沙市第二水厂迁建工程方案比较

项目	水厂迁建 (迁建水厂,与规划水厂合建)	水厂改建 (水厂在原址改造扩建)	东水西调 (通过过江管道调配河东区水至河西区)
取水点	迁建至黑石铺下游水流深槽	移建至猴子石水流深槽	不考虑新建取水设施
原水水质	位于城市上游,原水水质最好	原水水质好	原水水质好
设计规模	总规模 30 万 m <sup>3</sup> /d,一期工程 10 万 m <sup>3</sup> /d	总规模 20 万 m <sup>3</sup> /d,一期工程 10 万 m <sup>3</sup> /d	总规模 10 万 m <sup>3</sup> /d
能耗	南、北双向供水,能耗小	维持原供水模式,能耗较大	原水厂改建成加压站,能耗大
征地费用	新征土地面积较大、单价低,征地费高	原址周围土地紧张,新征土地单价高,征地费高	不需新征土地
供水安全	有利于河西区供水安全	可提高原水厂供水安全	有利于全市供水安全
规划发展	充分保障河西区中、南部地区规划用水需要	保障河西区中部地区规划用水需要	2012 年以后河东区无成品水调配至河西区
水厂设施	未利用原水厂设施	利用原水厂部分设施	利用河东区水厂设施
供水水质	有利于进一步提高供水水质	提高供水水质较难	提高供水水质较难
输水管线	南、北双向供水,管线短	原水输水管线长	过江管道施工难度大

(1) 随着城市发展和人民生活水平提高,饮用水标准越来越高,新建水厂供水水质应高起点规划;供水范围内输配水管道几乎全部新建,具备提高水质的可能;净水处理设施和输配水管道工程同时设计和施工,可达到出水水质高标准的要求;第二水厂迁建工程设计水质达到《饮用净水水质标准》(CJ 94—1999)。

(2) 工程地处湘江风光带,要求建筑构思遵循原状地形、工艺流程及功能,建筑风格力求创新,有别于已建水厂,体现湖湘文化风格。

(3) 节能降耗贯穿整个工程设计,一是要求选择合适的输配水管网供水系统,既保证最大用水时管网供水压力,又避免需满足局部地势较高处水压要求而提高整个管网压力;二是要求根据湘江水位变化幅度大的状况(1%洪水位 37.95 m,99%枯水位 23.645 m,相差 14.305 m),泵房采用节能降耗措施。

(4) 生产排泥水上清液回收利用,处理后的泥饼含水率低,便于运输。

### 3 工程设计

#### 3.1 设计规模

坚持“总体规划、分期实施、近远期结合”原则确定工程规模,按 2020 年服务人口 50 万人、服务区域 60 km<sup>2</sup> 的规划确定总规模为 30 万 m<sup>3</sup>/d,考虑原二水厂供水范围和迁建位置用水量之和已经接近 8 万 m<sup>3</sup>/d,一期工程设计规模为 10 万 m<sup>3</sup>/d,但取水、送水、变配电、加药间等土建工程按总规模建设,设备分期安装。

#### 3.2 取水工程

包括取水头部、原水自流管道、取水泵房等单体。取水头部为菱形整体预制钢筋混凝土结构,侧面进水,距离取水泵房中心约 150 m。原水自流管道采用 2 根 D 1 420 mm × 12 钢管。取水泵房为岸边固定式,泵房筒体为圆形,内径 20 m,进水端设置吸水井,泵房内安装 4 台设备机组。

#### 3.3 原水输水管道

取水泵房至净水厂格栅井输水管道,管径 D 1 220 mm × 10,2 根,管长 405 m/根,一期工程敷设 1 根。

#### 3.4 厂区工程

##### 3.4.1 总体布局及工艺流程

净水厂分为水质净化、生产废水处理、厂前办公等三大功能区。厂区设置生产和办公两个出入口,三组净水处理构筑物南北向平行布置,中间布置宽 4 m 的环状道路,一期工程建设一组净水处理构筑物。

工程平面布置及流程示意图 1。

##### 3.4.2 净水处理系统

湘江水源受到有机物微污染,锰超出《生活饮用水水源水质》(CJ 3020—93)二级标准 0.1 mg/L 两倍多,经比较,净水处理采用常规净化+臭氧—活性炭工艺,流程为原水—预臭氧—常规处理—主臭氧—活性炭吸附。

净水处理系统设计规模 10 万 m<sup>3</sup>/d。常规净水处理系统包括格栅井、120 °C 水平折板絮凝池(有效容积 494 m<sup>3</sup>,分相对折板、平行折板、平行直板三个阶

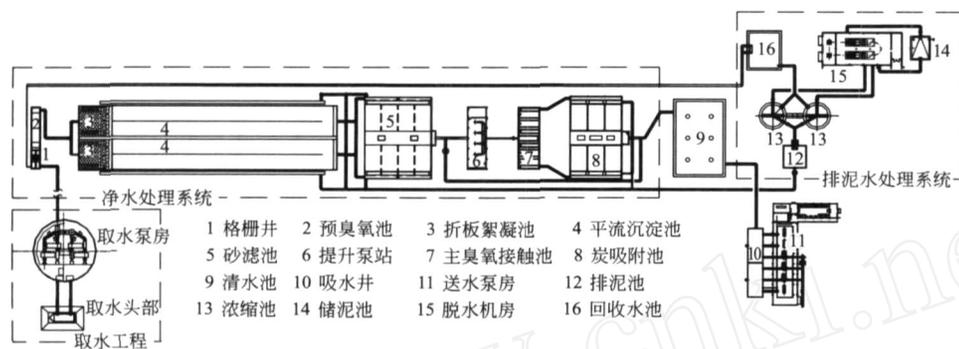


图1 平面布置及流程示意

段)、平流沉淀池(池长 100 m,有效水深 3 m,有效容积 8 400 m<sup>3</sup>)、砂滤池(8 格,两排并列布置,过滤面积 72 m<sup>2</sup>/格,水深 4.55 m)、清水池(容积 10 200 m<sup>3</sup>)、吸水井和送水泵房(装机总容量 5 250 kW)、加药间、反冲洗泵房、鼓风机房等单体。

臭氧—活性炭处理系统包括预臭氧池(有效容积 395 m<sup>3</sup>)、提升泵房(泵站下面建造集水井,安装 4 台设备机组)、主臭氧池(有效容积 1 707 m<sup>3</sup>)、活性炭吸附池、臭氧制作间等单体。技术要点如下:

(1) 臭氧制作气源选用液态纯氧,氧气含量大于 99.5%,但系统没有配置氮气添加系统。

(2) 预臭氧投加量 1.5 mg/L,主臭氧投加量 2.5 mg/L,臭氧总投加量 18.3 kg/h,可以根据湘江原水水质情况适当调整。

(3) 预臭氧池采用水射器通过射流布气器投加,臭氧转移效率大于 95%。主臭氧池分为中间进水渠、两侧出水渠等三个反应室,安装曝气盘均匀布气,投加量分别为 40%、30%、30%,能在 45~200 m<sup>3</sup>/h 调节,有效水深 6 m 时 O<sub>3</sub> 吸收效率大于 96%。

(4) 臭氧发生器配置 2 套。当 O<sub>3</sub> 质量分数 10%、冷却水入口温度 30℃ 时,每套发生器生产臭氧量 18 kg/h。臭氧发生器耗电量 <10.5 kW·h/kgO<sub>3</sub> (O<sub>3</sub> 质量分数 10%、冷却水入口温度 25℃),主电源功率因数 >0.92。为降低运行成本,臭氧生产量可以在 10%~100% 调节,臭氧质量分数可以在 6%~13% 调节,入口氧气量也可调节。

(5) 剩余臭氧尾气破坏装置采用热催化媒处理方式;尾气破坏器尾气进口臭氧质量分数 2%,出口臭氧浓度小于 0.1 mg/L;设备分别安装在预臭氧池和主臭氧池池顶,各 2 套。

(6) 活性炭吸附池 6 格,布置 2 排,单格面积 72 m<sup>2</sup>,总面积 432 m<sup>2</sup>,按《净化水用煤质颗粒活性炭》(GB/T 7701.4—1997)和《煤质颗粒活性炭试验方法》(GB/T 7702.1—770)选用滤料。

### 3.4.3 排泥水处理系统

为了回收利用排泥水上清液,必须降低排泥水悬浮物含量。排泥水处理系统包括排泥池(有效容积 520 m<sup>3</sup>)、浓缩池、储泥池(有效容积 404 m<sup>3</sup>)、脱水机房(安装 2 台滤布行走式板框压滤机)、回收水池(有效容积 864 m<sup>3</sup>)等单体。浓缩池上清液达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)一级标准后进入回收水池,提升后进入格栅井,整个厂区不向外界排放生产废水;浓缩池污泥脱水后外运。

污泥脱水设备采用滤布行走式板框压滤机,具有出泥含固率高、不需投加药剂可使污泥含固率达到 45%以上、自动化程度高、污泥截留率高等特点。压滤机按照滤板闭合、过滤、压榨脱水、开板、泥饼剥落、滤布清洗的步骤完成一个运行周期。储泥池内液位仪发出的高(低)位信号,用于启动(停止)脱水机,系统自动投入工作(待机);以此往复,完成脱水系统全自动运行。

### 3.5 输配水管网

输配水管网按总规模 30 万 m<sup>3</sup>/d 最大用水时设计,按最大用水时加消防和最大转输时两种工况校核,时变化系数 1.3。经平差计算优化设计后,共需敷设 DN 300~1 200 输配水管道 128 220 m,其中一期工程管道 37 920 m,在望江路与学士路交界处新建一座高位水池,调节容积 4 250 m<sup>3</sup>。

### 3.6 主体设备

第二水厂迁建工程一期工程主体设备见表 2。

### 3.7 生产自用水

水厂生产自用水具有点多、面广、量大的特点,为了节能降耗,根据用水点使用要求不同,分别采用砂滤池出水、活性炭吸附池出水、送水泵房出水及生产排泥水的回收水等不同水源: 取水泵房功率最

表 2 长沙市第二水厂迁建工程一期工程主体设备

使用场所	设备名称	型号及性能指标	数量	使用情况
取水泵房	水泵	SFWP40-500, $Q=2\ 000\sim 4\ 500\ \text{m}^3/\text{h}$ , $H=32\sim 8\ \text{m}$	2套	2套 SFWP40-500 与 1套 SFWP40-700 互为备用
	电机	YKS450-6, $N=250\ \text{kW}$ , 10 kV		
	水泵	SFWP40-700, $Q=3\ 250\sim 7\ 500\ \text{m}^3/\text{h}$ , $H=31\sim 10\ \text{m}$	1套	
	电机	YKS500-8, $N=450\ \text{kW}$ , 10 kV		
送水泵房	水泵	SFWP80-600, $Q=2\ 500\sim 6\ 500\ \text{m}^3/\text{h}$ , $H=30\sim 65\ \text{m}$	3套	2用1备
加药间	电机	YKS560-6, $N=630\ \text{kW}$ , 10 kV		
	加氯机	V2000系列, 2~40 kg/h	2套	1用1备
	加氯机	V2000系列, 2~40 kg/h	3套	2用1备
	臭氧发生器	PDO1000, 卧式, 臭氧发生量 18 kg/h 调节范围 10%~100%, 臭氧质量分数 10%	2台	1用1备
预臭氧池顶部	尾气破坏器	COD-73, 气体流量 73 Nm <sup>3</sup> /h, 入口温度 12~32, 风机功率 0.88 kW	2台	1用1备
主臭氧池顶部	尾气破坏器	COD-115, 气体流量 115 Nm <sup>3</sup> /h, 入口温度 12~32, 风机功率 1.3 kW	2台	1用1备
脱水机房	滤布行走式板框压滤机	V1010/1477, 板框 1 500 × 1 500, 滤腔数量 26 个, 滤腔容积 1 010 L	2台	1用1备

大机组电机、水泵轴承冷却需水量 610 m<sup>3</sup>/d, 以砂滤池出水为水源, 设置 4 台水泵机组与取水泵房机组一一对应; 预臭氧投加水射器需水量 65 m<sup>3</sup>/h, 以砂滤池出水为水源, 设置单台水泵机组; 臭氧发生器冷却水闭环运行, 流量为 100 m<sup>3</sup>/h, 以活性炭吸附池出水为水源, 设置 1 台冷却水水泵机组; 加氯、加氨投加水射器每个投加点需水量 10~20 m<sup>3</sup>/h, 利用送水泵房压力水; 送水泵房电机冷却利用送水泵房压力水, 闭环运行; 厂区道路、绿化浇洒用水采用生产排泥水的回收水。

### 3.8 水质检测

水质检测是控制净水过程、正确评价水质、及时发现问题、采取相应措施并衡量措施实施效果的重要手段。第二水厂迁建工程水质检测实行值班专检、化验室检测和水质中心全分析检测三个层次, 每个层次检测的项目及频率不同: 设置专门检测岗位, 24 h 在线检测包括原水、沉淀池出水、砂滤池出水、活性炭吸附池出水、出厂水等的浊度、色度、pH 及出厂水的臭和味、肉眼可见物、余氯等; 化验室每天取三次水样检测专检已进行的项目及细菌总数、总大肠菌群、耐热大肠菌群和 COD<sub>Mn</sub>, 每周检测一次包括铁、锰等全分析指标; 水质中心每月至少检测一次原水、出厂水、用水点等城市供水水质要求检测的所有项目。

### 4 调试过程解决的主要问题

第二水厂迁建工程正式投产前进行了半个月调试, 发现并解决了三个主要问题, 进一步完善了设计。

#### 4.1 取水泵房设备冷却水应急水源

湘江原水浊度高, 存在塑料袋等污染物隐患, 不适合作为取水泵房水泵电机冷却水; 送水泵房出水经过提升泵站和送水泵房两级提升, 作为设备冷却水不经济; 在满足水质要求下, 选用砂滤池出水能耗最省; 同时以送水泵房出水为备用水源。取水泵房最大功率电机冷却需水量 7 L/s, 扬程 0.05~0.2 MPa, 水泵轴承冷却需水量 3.5 L/min, 扬程 0.05~0.1 MPa, 设置 4 台冷却水水泵机组与取水泵房一一对应, 联动运行; 投产后, 该系统运行正常。但是, 调试之初净水构筑物没有生产, 砂滤池无水, 而取水泵房只要开机必须同时冷却水泵轴承和电机, 因此采用 2 台洒水车运水作为应急水源。

新建水厂供水调试存在类似问题可借鉴此法。

#### 4.2 提升泵站设备配套

提升泵站按设计规模 10 万 m<sup>3</sup>/d 与自用水系数 1.05 乘积的平均时流量 4 375 m<sup>3</sup>/h 配套设置 4 台机组, 单台水泵流量 1 400~1 530 m<sup>3</sup>/h, 扬程 0.065~0.085 MPa (6.5~8.5 mH<sub>2</sub>O), 功率 55 kW, 提升泵站下面建造集水井, 调节水深 2.2 m, 调节容积 513 m<sup>3</sup>; 调试过程中发现在 8:00~18:00 时段, 提升泵站 3 台

机组运行,集水井溢水;若4台机组全部投入使用,集水井不溢水,但没有备用机组,与设计工况不符。究其原因,一是净水构筑物并非24h均匀生产,工作流量常为4600 m<sup>3</sup>/h,大于4375 m<sup>3</sup>/h;二是集水井调节容积小,按照流量4375 m<sup>3</sup>/h核算,停留时间7.06 min。后来,更换水泵导叶体,增大单台水泵流量,保证3台机组同时工作流量达到5000 m<sup>3</sup>/h,增加2台变频调速装置,保证流量可以在5000~3700 m<sup>3</sup>/h范围内调节。

为了与取水泵房运行流量配套,保证净水系统正常工作,建议按设计规模的最大时流量配置提升泵站设备,即考虑时变化系数  $K_h = 1.1 \sim 1.2$  为宜。

#### 4.3 直接回收活性炭吸附池反冲洗废水

活性炭吸附池进水浊度小于1 NTU,出水浊度约为0.2 NTU,截留的悬浮固体不多。活性炭吸附池采用气、水反冲洗加表面扫洗的反冲洗方式,反冲洗水为活性炭吸附池出水,单格冲洗周期3~6 d,气冲强度15 L/(s·m<sup>2</sup>),排水量计算如下:

$$P = 60 \times (q_1 + q_2) \times S \times T \times N \times 10^{-3}$$

式中  $P$ ——总排水量, m<sup>3</sup>/d;

$q_1$ ——水冲洗强度,取12 L/(s·m<sup>2</sup>);

$q_2$ ——水扫洗强度,取1.8 L/(s·m<sup>2</sup>);

$S$ ——单格滤池冲洗面积,为72 m<sup>2</sup>;

$T$ ——反冲洗时间,取12 min;

$N$ ——平均每天冲洗数量,2格/d。

经计算,总排水量  $P = 1431 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

由于活性炭吸附池反冲洗废水悬浮物浓度低、水量大,进入厂区排泥水处理系统,导致浓缩池污泥含固率不高。后将活性炭吸附池反冲洗废水直接进入回收水池,厂区排泥水处理效果明显好转。

#### 5 运行效果

投产以来,各单项构筑物和机电设备一直处于正常工作状态,运行5个多月,其供水量及水质见表3。最大供水量113801 m<sup>3</sup>/d,为设计规模的113.8%。出厂水最高浊度0.35 NTU,最低浊度0.08 NTU,平均浊度0.16 NTU;多次水质检测表明出厂水各项指标完全符合《饮用净水水质标准》(CJ 94—1999)。经过预臭氧和常规净水处理后,锰去除率可以达到80%~90%。第二水厂迁建工程运行效果良好,水量和水质都达到了设计目标。

表3 供水量及出水浊度情况一览

月份	月供水量 / m <sup>3</sup>	最大日供水量 / m <sup>3</sup> /d	平均日供水量 / m <sup>3</sup> /d	最高浊度 / NTU	最低浊度 / NTU	平均浊度 / NTU
7	3 058 150	101 120	98 650	0.25	0.09	0.13
8	3 077 401	113 801	99 271	0.27	0.09	0.19
9	3 034 590	108 473	97 890	0.35	0.08	0.20
10	2 873 235	99 687	92 685	0.34	0.11	0.15
11	2 904 638	103 362	93 698	0.30	0.10	0.12

#### 6 工程特点

第二水厂迁建工程关键技术和创新点为实用性技术,该工程特点如下:

(1) 针对湘江原水有机物微污染和锰含量超标的情况,结合出厂水水质标准,第一次在湖南省采用常规净水处理和臭氧—活性炭处理工艺,投产后运行稳定,出水水质符合《饮用净水水质标准》(CJ 94—1999)。

(2) 厂区生产自来水根据用水点使用要求不同,分别采用砂滤池出水、活性炭吸附池出水、送水泵房压力水及回收水等不同水源,有别于全部采用送水泵房压力水,节省能耗。

(3) 厂区生产排泥水采用不加药处理工艺,上清液达标后回用,与原水混合絮凝沉淀效果理想,达到节能减排的环保要求。

(4) 采用集散测控自动化控制管理系统,可分散控制水厂各生产过程,又可集中管理全厂,便于调节臭氧生产量、发生浓度和入口氧气,根据进水量、浊度、温度、pH、絮凝效果等调节加药量。

(5) 在取水泵房、提升泵站、送水泵房采用变频调速装置,根据水位、流量改变水泵转速和工况,设备机组动态工作在高效区内,节能效果显著。

(6) 单独设置反冲洗泵房、鼓风机房,为砂滤池和活性炭吸附池提供反冲洗水和气,设备按一期工程配置,但通过电脑排序,可满足远期规模需要。

#### 参考文献

- 1 罗惠云,周健,胡国云,等.长沙市第八水厂排泥水脱水工艺设计.给水排水,2005,31(6):27~31
- 2 戚盛豪.给水排水设计手册——城镇给水.北京:中国建筑工业出版社,2004

☎电话:(0731)5167542

E-mail:liuhy981@yahoo.com.cn

收稿日期:2007-11-12

盛回日期:2008-01-20