

涵盖取、输、净、配系统的兰州市水源地建设工程

王海梅, 王 斌

(中国市政工程西北设计研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 兰州市水源地建设工程涵盖给水处理系统全流程, 包括取水、输水、净水和配水工程, 建设有百万吨级特大型水厂、32 km 有压输水隧道、25 km 管径为 1 400~1 800 mm 的大型输配水管道、智慧工程等。对该工程内容进行了全面介绍, 并对整个工程特点做了详细总结。

关键词: 给水处理系统全流程; 特大型水厂; 智慧工程; 兰州水源地建设工程

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2018)06-0016-06

Construction Project of Lanzhou Water Source Covering the System of Intake, Diversion, Purification, Distribution

WANG Hai-mei, WANG Bin

(CSCEC AECOM Consultants Co. Ltd., Lanzhou 730000, China)

Abstract: The water source project of Lanzhou covered the entire process of water treatment system, from intake work, diversion work, purification work to distribution work. This construction included a million-ton super large waterworks, 32 km pressurized water tunnel and 25 km large-scale water distribution pipelines with diameter 1 400-1 800 mm and intelligent engineering system. This paper gives a comprehensive introduction and the characteristics of the whole project in detail.

Key words: entire process of water treatment system; super waterworks; intelligent engineering; water source construction of Lanzhou

1 项目背景

兰州市是只有单一水源的省会城市。目前, 兰州市中心城区的供水构成中, 地表水占 95% 以上, 地表水供水水源以直取黄河水为主。现状供水系统如图 1 所示, 一水厂主要为二水厂输水和西固区工业供水(未过滤水), 二水厂主要提供城市生活用水。现状取水口位于西固区西柳沟黄河干流附近, 毗邻一水厂, 湟水河和庄浪河是取水口上游主要支流, 其中湟水河是最大的一条支流, 经监测确认水质长年劣 V 类标准, 特别是冬季黄河水量较小时, 水厂取水口水质较差, 难以保证出厂水水质达到国家标准。另一方面, 随着社会、经济发展, 水厂取水口上游城市境内化工厂增多, 致使兰州段黄河水受到较大污染。目前二水厂所处位置已被数十家工业企业包围, 近两年已多次出现突发水污染事件, 存在严

重的供水安全隐患。因此寻找清洁、优质的水源势在必行。

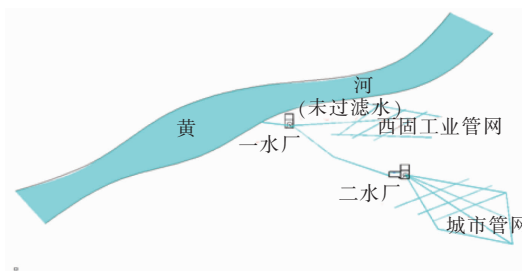


图 1 现状供水系统示意

Fig. 1 Schematic diagram of the current water supply system

二水厂现有第 1 系列处理构筑物建于 20 世纪 50 年代末, 已运行近 60 年; 第 2 系列处理构筑物建于 20 世纪 80 年代初, 已使用 30 多年。早期建设的构筑物因年代久远, 多次出现设备故障和构筑物结

构裂缝等安全问题。二水厂原设计处理能力为 $85 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 实际产水能力只有 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

为有效防止和应对突发性水污染事件,保障城区供水安全能力,提高供水安全、质量,改善供水结构,确保人民群众生命健康,兰州市委市政府于2014年5月启动了兰州市水源地建设工程,本工程事关兰州四百多万市民的饮水安全,被甘肃省、兰州市两级政府确定为重大民生工程,也被列为兰州市的“一号工程”。

2 水源

为兰州市寻找黄河上游水源,环顾兰州市周边可作为水源地的水库,无论从水量还是水质来说,刘家峡水库是最优选择。刘家峡水库位于兰州以上约100 km的黄河干流上,与兰州市的直线距离为40 km,于1968年建成投运。库水位变幅为35 m,正常蓄水位为1 735 m,原设计死水位为1 694 m。正常蓄水位以下库容为 $57 \times 10^8 \text{ m}^3$,死库容为 $15.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,兴利库容为 $41.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,水资源非常丰富,满足城市日益增长的用水需求。

经多年水质监测分析,刘家峡库区水质除个别指标外,其余各项均满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅰ类水体的要求,水质十分优良,是城乡供水的优质地表水水源。因此,最终确定水质优良、水量充足的刘家峡水库作为兰州市的供水水源。

刘家峡水库水质好、水量充沛,具有极高的供水保证率(年供水保证率 $>97\%$),根据现有资料推测供水保证率约为99.7%。该工程区域位置见图2。



图2 工程区域位置

Fig. 2 The location of the project area

3 供水系统

兰州市2020年总需水量为 $2.77 \times 10^8 \text{ m}^3$;2030年总需水量为 $4.56 \times 10^8 \text{ m}^3$;2040年总需水量为

$6.12 \times 10^8 \text{ m}^3$,新区应急用水量为 $0.96 \times 10^8 \text{ m}^3$,按最高日平均供水量确定2040年兰州水源地取水工程日供水规模为 $227.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ (含新区应急用水),合 $26.3 \text{ m}^3/\text{s}$ (全天供水),年引水能力为 $8.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

兰州市水厂位置及供水范围如图3所示。现状供水主要由二水厂供给,二水厂原水取自黄河西固段,由建设在黄河边的一水厂取水泵房提升并经预沉淀后,一次沉淀水部分通过自流沟重力流至二水厂,部分由一水厂原水泵房直接提升经南线原水管至二水厂处理构筑物。进入二水厂的一次沉淀水部分直接供给工业用户,部分经混凝沉淀过滤后由二级泵房加压进入生活给水管网。



图3 水厂位置及供水范围

Fig. 3 Location of waterworks and the range of water supply

本次建设刘家峡至兰州市原水输水隧洞为单线单通道隧洞,为了在隧洞检修及其他紧急情况时确保市区基本生活用水,现有二水厂供水系统还需作为应急备用水源保留,即在今后供水的各个时期,二水厂都需运转并供水,具体供水量根据系统调度、运行工况确定。

兰州市水源地建设工程实施后将形成由彭家坪净水厂、芦家坪净水厂及第二水厂3座水厂同时供水的格局,供水范围将扩大至河口新城(国际港务区)、定远及规划沙中组团,高坪地区将实现24 h供水。

4 工程内容

兰州市水源地建设工程主要由取水、输水、分水、净水和配水工程五个部分组成,包括取水口、输水隧洞主洞、分水井、芦家坪输水支线、彭家坪输水支线及其调流调压站、芦家坪净水厂、彭家坪净水厂、配水管线等,其项目主要组成及分布情况如图4所示。

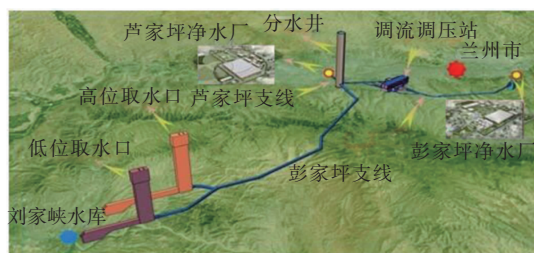


图4 项目组成及分布

Fig. 4 Composition and distribution of the project

4.1 取水工程

选择刘家峡水库库区东乡县祁家村祁家渡大桥下游约380 m处作为水源取水口,为保证一年内任何时刻均能取到足够的需水量,取水洞口设置在库区水位之下10~38 m处。取水口采用岩塞爆破方式形成,闸室为竖井式。

4.2 输水工程

刘家峡库区的优质水源被引取后,将通过一条地下有压输水隧洞向兰州输送。输水隧洞起始于临夏州东乡县祁家村,沿洮河左岸延伸4.8 km后下穿洮河进入永靖县境内,穿越永靖县三条岷和徐顶乡,并在徐顶乡两次穿过213国道,一路前行到达兰州市西固区境内。输水隧洞全长约32 km,地下埋深100~900 m,横断面为圆形,洞径为4.6 m,近期和中期输水量分别为 $17 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $26 \text{ m}^3/\text{s}$ 。有压输水隧洞施工以双护盾TBM为主,辅以钻爆法,现浇钢筋混凝土和预制管片两种衬砌形式衬砌。

两台双护盾硬岩TBM机新水源1号、新水源2号(见图5)都是国内自主研发的。该设备的研制成功填补了我国双护盾硬岩TBM研制的空白,标志着国产大型高端装备制造领域取得新的重大突破。施工期间6月份即创1 002.589 m的月进尺,期间更有单班安装管片19环、日进54.16 m、周进277.623 m的目前国产双护盾TBM最好成绩和纪录。



图5 双护盾硬岩TBM机

Fig. 5 Double shield universal compact TBM (tunnel boring machine)

4.3 分水工程

主隧洞进入西固区寺儿沟境内后,需要将水量分流至两个水厂。分水由布置在主隧洞末端的分水井和彭家坪、芦家坪两条分水支线隧洞来实现。彭家坪支线隧洞长约9.74 km,在分水井下游约300 m处,彭家坪输水支线上设调流调压站,根据运行情况,通过水轮发电机组或调流调压阀将上游水位削减至约1 637.00 m,使水流平稳进入彭家坪输水支线明流洞。调流调压站内装设3台单机容量为3.50 MW的卧轴混流式水轮发电机组,并布置了2台DN1 600的消能阀及4台检修阀。

4.4 净水工程

净水工程包括芦家坪净水厂和彭家坪净水厂两座水厂。芦家坪净水厂供水规模为 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,近期建设规模为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;服务范围是西固区、沙中组团和河口南组团;厂址位于西固区柳泉乡芦家坪,厂区北侧山脚下有南山路通过、厂区南侧紧邻南绕城、西侧邻近柳泉村、东侧邻近寺儿沟。彭家坪净水厂供水规模为 $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,近期建设规模为 $75 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;服务范围是城关区、安宁七里河区、彭家坪、盐场九州组团、和平和定远组团;厂址位于七里河区彭家坪小金沟西侧,南山湖南侧,330 kV变电站北面,西北角毗邻宝兰客专场站。

4.5 配水工程

彭家坪水厂出厂输水管双管敷设,接至西津西路和南滨河路主供水管道。输水管总长度约13 km,管径DN1 400~DN1 800,管材为K9级球墨铸铁管和复合钢管。

芦家坪水厂出厂输水管双管敷设,接至二水厂现有出厂给水管网。输水管总长度约10 km,管径DN1 400,管材为K9级球墨铸铁管和复合钢管。

另有一根原水输水管道。由于取水点位置不同,二水厂原水水质不及刘家峡水库水优质,从居民用水安全出发,应确保每一位居民都能喝到最优质的饮用水,因此本工程拟建设芦家坪净水厂至二水厂原水联络管,将刘家峡原水引入二水厂,在输水隧洞正常运行时,二水厂也采用刘家峡水库原水,在应急工况时自黄河西固段取水。

原水联络管起点自芦家坪水厂进水管,终点接入敷设于西固西路二水厂南线原水管,管道采用DN1 400球墨铸铁管和复合钢管,长度约2.7 km,最大设计输水量为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。同时还可通过二水

厂南线原水管输水至一水厂工业供水自流沟,并与二水厂内工业用水管网系统连接供给工业用水,实现分质供水目标,也可作为一水厂取水口故障时的工业水备用水源。

5 水厂设计(彭家坪水厂)

5.1 水质

刘家峡水库原水水质除个别指标外,其余均满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) I类水体的要求,原水水质十分优良,是城乡供水的优质地表水水源。出水水质要求满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2005),出厂水浊度不大于 0.5 NTU。

5.2 工艺流程

根据原水冬季为低温低浊水、夏季有短时高浊度的特点,水处理工艺推荐采用机械混合+折板絮凝+复合沉淀池(平流+斜管沉淀池)+气水反冲洗滤池,再经 UV+次氯酸钠消毒后供给用户^[1]。本工艺具有“工艺先进、出水水质好;设备节能、运行成本低;科学管理、自动化程度高”的特点。机械混合可调整混合强度达到最佳效果,复合沉淀池适应原水浊度变化性强,气水反冲洗滤池运行稳定、水质良好,工艺自动化运行程度高、管理维护简便^[2]。

彭家坪水厂近期分两个系列,其中一个系列处理量为 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,另一个为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,远期预留一个 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 系列。主要构筑物包括格栅及配水井 1 座、水处理设施间 2 座、清水池 4 座、加氯及加药间 1 座、浓缩池及污泥投配泵房 1 座、泥水调节池及脱水机房 1 座、UV 消毒间 1 座、送水泵房及吸水井 1 座^[3]。送水泵房为彭家坪高坪区供水。

$50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 水处理设施间设计见图 6。

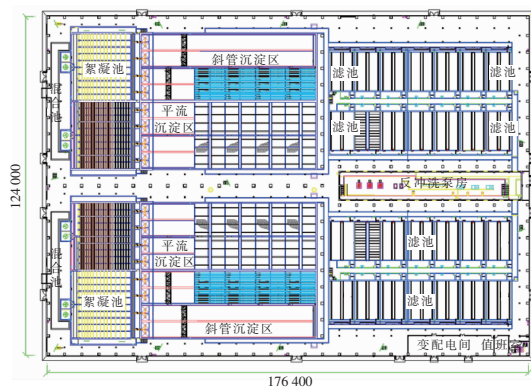


图 6 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 水处理设施间

Fig. 6 Water treatment facilities of $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$

水处理设施间是净水厂的核心处理构筑物,集混合、絮凝、沉淀、过滤工艺流程于一体,且包含反冲洗设备间等附属设施间^[4]。采用集成一体化的主要优点在于工艺集成化,设备运行维护简单方便,占地面积小,工程投资省。

6 工程投资

兰州市发改委批复的工程概算总投资为 59.67 亿元,其中输水工程投资为 29.22 亿元,净水厂及净水输水管线工程投资为 23.14 亿元。

7 工程特点

① 项目建设意义重大。本工程事关兰州市四百多万市民的饮水安全,被甘肃省、兰州市两级政府确定为重大民生工程,也被列为兰州市的“一号工程”。

② 水源水量充沛、水质优良。根据现有资料推测刘家峡水库水量保证率约为 99.7%,大于规范要求年供水保证率 97%,具有极高的供水保证率。

③ 特大型供水工程,总规模达到 $150 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。一次投入建设特大规模($75 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d} + 25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)的净水厂名列全国前茅。输水主隧洞全长 32 km,采用 2 台双护盾硬岩 TBM 同时施工也是全国首例。

④ 涵盖给水处理系统全流程。包括取水工程、输水工程、净水工程和配水工程。

⑤ 水厂选址合理,优化了供水系统,全程重力供水,节约能耗。水厂重力供水系统如图 7 所示,新建净水厂的厂址地势均较高,可以重力自流入现状管网,通过管网平差,使新建输水管线和现状管道压力匹配,最大限度地利用现有管网,减少主城区管网改造量;并取消现状二水厂提升泵房和几座中途加压泵站,大大节约了电耗,经济效益十分可观。

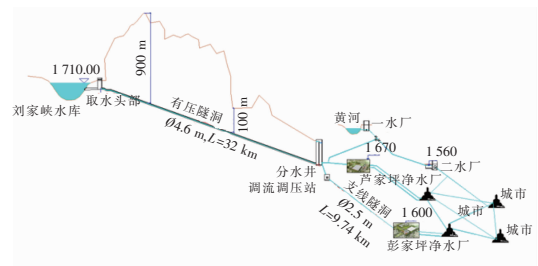


图 7 全程重力供水系统

Fig. 7 Full gravity water supply system

⑥ 采用先进、实用、经济的水处理工艺。取水头部设置水质在线实时监测系统,并设置高锰酸

钾投加和活性炭应急投加系统,以应对突发水源污染事件。强化混凝运行调整灵活可靠,对水质、温度变化有较强的适应性,药剂添加可根据水质和水量变化进行调节;复合沉淀池具有适应原水冬季低温低浊、夏季短时高浊的特点。复合沉淀池是笔者公司的实用新型专利技术,是集平流沉淀池和斜管沉淀池优点于一体的新型复合沉淀池,具有占地面积小、工程投资省、运行费用低、抗冲击负荷能力强的特点^[2]。

⑦ 采用 UV + 次氯酸钠复合方式消毒,安全可靠。在线电解食盐水制备次氯酸钠系统,是目前市政行业国内规模最大的在线制备设备。一次建成 UV 消毒的规模也是国内最大的。紫外消毒方式可以很好地满足现阶段和将来的各种法规要求的消毒指标,并可确保净水厂的用户免受各种微生物包括耐氯性微生物如隐孢子虫和贾第虫的危害。与其他消毒技术相比,紫外线消毒效果好,且无副产物。

采用电解法在线制备投加次氯酸钠可以随时制备随时投加,不存在商品次氯酸钠溶液降解的问题,没有长途运输、存储和管理的问题,消毒中不产生三卤甲烷类等对人体有害的副产物,比投加液氯更方便、安全。最初设计选用液氯消毒方式,经与专家及相关部门讨论最终将投加液氯消毒变更为电解食盐在线制备投加次氯酸钠消毒。本工程设次氯酸钠发生器系统 4 套,单机有效氯产量为 45 kg/h,要求有效氯浓度为 0.8%。

⑧ 配水管线线路复杂、管径大、实施难度大。净水输水管线管径大(DN1 400 ~ DN1 800),部分路段双线并行敷设。工程区域地形复杂,最大地形高差达 130 m。沿线跨小金沟洪道,管桥最大单跨跨度为 51 m。道路下管网复杂,并多处穿越兰新铁路和动车铁路,实施难度非常大。工程区多为Ⅲ、Ⅳ级自重湿陷性黄土区,并穿越冲沟,地质条件较差,局部需采取架空管桥方式。部分管道为水压控制段,埋深较大,选用了顶管施工。

⑨ 采用新设备、新技术、新能源的智慧工程。UV 紫外消毒 + 在线电解食盐水制备次氯酸钠消毒;取水口采用发光细菌综合毒性检测技术;加药系统实现全自动无人操作;供水管网采用 AQUIS 水力建模工具,自动整合模型与 SCADA 系统信息,提供最佳管网压力优化决策,快速应对管网泄漏和爆管。管道还设置漏损噪声监测,在线沉降监测,地基设置

沉降监测等;厂区设置光伏发电系统;调流调压站设置发电机组;引入德国工业 4.0 理念和物联网技术,最终建成覆盖全过程高度智能化的智慧工程。

⑩ 基础设施艺术化(见图 8)。打造花园式净水厂及取水头部,将水厂综合楼设计成地标式建筑。以文化符号演绎水厂建筑,创造建筑文化语汇,用一脉相承的设计语言营造整体的空间意向,同时将艺术化的造型与水厂功能相结合,将艺术意涵、视觉造型、使用功能三位合一。



图8 基础设施艺术化

Fig. 8 Art of infrastructure

⑪ BIM 设计细化智慧工程并指导施工。用 BIM 进行施工图后设计,进一步细化智慧工程,同时指导施工,有效控制施工安排,减少返工,控制成本,为创造绿色环保以及低碳施工等提供了有力的支持。BIM 与数码设备相结合,实现数字化的监控模式,更有效地管理施工现场,监控施工质量。

⑫ 以百年惠民工程为建设目标。该工程以精品工程、绿色工程、智慧工程、惠民工程和百年工程为建设目标,处处体现了现代科技和可持续发展的新理念。

8 结语

为了给兰州市人民提供安全放心的高品质生活饮用水,提高兰州市人民的生活质量,该工程将打造国际一流、国内领先的现代化净水厂,将兰州市水源地工程建成百年精品工程。

参考文献:

- [1] CECS 110:2000, 低温低浊水给水处理设计规程[S]. 北京:中国工程建设标准化协会, 2000.
CECS 110:2000, Specification for Design of Water Supply Treatment of Low Temperature and Turbidity Water[S]. Beijing: China Association for Engineering Construction

Standardization,2000(in Chinese).

- [2] 史春海,马小蕾,王海梅,等. 前置平流段全断面配水斜管沉淀工艺在曲江水厂技改工程中的应用[J]. 给水排水,2010,36(12):22-24.
Shi Chunhai, Ma Xiaolei, Wang Haimei, *et al.* Inclined-tube sedimentation tank process with prepositioned horizontal flow stage and full-section water distribution and its application in Qujiang Water Plant Renovation Project of Xi'an City[J]. Water & Wastewater Engineering,2010,36(12):22-24(in Chinese).
- [3] GB 50013—2006,室外给水设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2006.
GB 50013-2006, Code for Design of Outdoor Water Supply Engineering[S]. Beijing: China Planning Press,2006(in Chinese).
- [4] 严煦世,范瑾初. 给水工程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
Yan Xushi, Fan Jinchu. Water Supply Engineering[M]. Beijing: China Architecture & Building Press,1999(in

Chinese).



作者简介:王海梅(1970-),女,陕西眉县人,大学本科,教授级高级工程师,注册公用设备工程师(给水排水),主要从事市政给排水工程的设计与研究工作。

E-mail: whmgxm1208@126.com

收稿日期:2017-12-08

(上接第15页)

- [7] 徐竟成,王宇,傅婷,等. 大气干湿沉降对城市景观水体水质影响的评价[J]. 四川环境,2011,30(3):49-54.
Xu Jingcheng, Wang Yu, Fu Ting, *et al.* Effect of atmospheric dry/wet deposition on urban landscape water quality[J]. Sichuan Environment,2011,30(3):49-54(in Chinese).
- [8] Ballo S, Liu M, Hou L, *et al.* Pollutants in stormwater runoff in Shanghai (China): Implications for management of urban runoff pollution[J]. Prog Nat Sci,2009,19(7):873-880.
- [9] Yang Y Y, Toor G S. $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ reveal the sources of nitrate-nitrogen in urban residential stormwater runoff[J]. Environ Sci Technol,2016,50(6):2881-2889.
- [10] Yang Y Y, Toor G S. Sources and mechanisms of nitrate and orthophosphate transport in urban stormwater runoff from residential catchments[J]. Water Res,2017,112:176-184.
- [11] Vicars W C, Sickman J O, Ziemann P J. Atmospheric phosphorus deposition at a montane site: Size distribution, effects of wildfire, and ecological implications[J]. Atmos Environ,2010,44:2813-2821.
- [12] Anderson K A, Downing J A. Dry and wet atmospheric

deposition of nitrogen, phosphorus and silicon in an agricultural region[J]. Water, Air, Soil Pollut, 2006, 176(1):351-374.



作者简介:郝晓地(1960-),男,山西柳林人,教授,从事市政与环境工程专业教学与科研工作,主要研究方向为污水生物脱氮除磷技术、污水处理数学模拟技术、可持续环境生物技术。现为国际水协期刊《Water Research》区域主编(Editor)。

E-mail: haoxiaodi@bucea.edu.cn

收稿日期:2017-06-19