

城镇给排水工程设计案例专栏

罗凯, 阮鹏程, 郑立安, 等. 山地城市城乡供水一体化与节能设计[J]. 净水技术, 2025, 44(6): 164–171.

LUO K, RUAN P C, ZHENG L A, et al. Design of integrated urban and rural water supply with energy-saving in a mountainous city [J]. Water Purification Technology, 2025, 44(6): 164–171.

山地城市城乡供水一体化与节能设计

罗 凯¹, 阮鹏程¹, 郑立安¹, 杨 涛^{2,*}

(1. 中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北武汉 430010; 2. 武汉市政工程设计研究院有限责任公司, 湖北武汉 430070)

摘 要 【目的】为解决龙南城区,尤其是富康、新圳工业园供水问题,实现城乡供水一体化,依托茶坑水库新建润泉第二水厂,联合现状县水厂和石峡山水厂共同为龙南城区供水。【方法】根据龙南城区水量预测和供水系统布局,润泉第二水厂设计规模为 $6\text{万 m}^3/\text{d}$,供水管网通过东江备用泵站与城区现状供水管网联动。【结果】茶坑水库最低运行水位为273 m,润泉第二水厂厂坪标高为258 m,用水区低区标高为219~225 m,用水区高区标高为230~300 m。为充分利用“水源-厂区-用水区”之间的高差,取水系统采用全重力取水,供水系统采用重力+变频加压联合供水。工程新建原水输送管采用单根DN1200管道,长度为11 km;新建清水输送管采用单根DN1000管道,长度为5 km。另外,中途加压泵站的进水管之间设置超越管和控制阀,可根据水压需求决策来水是否需要二次加压,从而减少耗电。【结论】工程已投入使用近2年,供水量平均为 $4.5\text{万 m}^3/\text{d}$,出水水质全面达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022),供水耗电量仅为 $0.191\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 。润泉第二水厂的取水方式、供水方式、二次加压方式以及与现状供水系统的联动方案充分考虑了工程的节能性、安全性,为城乡供水一体化打下了坚实基础,相关设计理念可为其他工程提供借鉴。

关键词 山地城市 城乡供水一体化 重力取水 重力+变频加压联合供水 节能设计

中图分类号: TU991 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-0177(2025)06-0164-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.06.020

Design of Integrated Urban and Rural Water Supply with Energy-Saving in a Mountainous City

LUO Kai¹, RUAN Pengcheng¹, ZHENG Li'an¹, YANG Tao^{2,*}

(1. Central and Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Wuhan 430010, China;

2. Wuhan Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Wuhan 430070, China)

Abstract [Objective] In order to solve the water supply problem in Longnan Urban Area, especially Fukang and Xinzhen Industrial Park, and realize the integration of urban and rural water supply, Runquan Second Water Treatment Plant (WTP) is built based on Chakeng Reservoir. In the future, Runquan Second WTP supplies water for Longnan Urban Area together with the current Longnan WTP and Shixiashan WTP. [Methods] According to the consumption forecast and layout of Longnan Urban Area's water supply system, Runquan Second WTP is built at the scale of $6\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$. And the water supply network of Runquan Second WTP is linked with the current water supply network through the Dongjiang Emergency Pumping Station. [Results] The minimum operation water level of Chakeng Reservoir is 273 m. The plant elevation of Runquan Second WTP is 258 m. While, elevation of the lower water consuming district fluctuates from 219 m to 225 m, and the higher water consuming district of 230 m to 300 m. So as to make full use

[收稿日期] 2024-10-07

[作者简介] 罗凯(1983—),男,工程师,主要从事市政给排水工程设计与管理工作。

[通信作者] 杨涛(1990—),男,硕士研究生,研究方向为污水资源化及区域低影响开发等,E-mail: cnyangtao@126.com。

of the elevation difference between plant, water source and water consuming area, the raw water is intaked by gravity entirely and the clean water is supplied by the combination of gravity and variable frequency pumping. 11 km pipe with a single section specification of DN1200 is built for the transmission of raw water in this project. And 5 km pipe with a single section specification of DN1000 is built for the transmission of clean water as well. In addition, bypass pipe and control valve are set between the inlet and outlet pipes of the midway pumping station to reduce power consumption. And whether the influent shall be pumped is determined according to the demand of water pressure. [**Conclusion**] The project had been put into use for two years nearly. The average water supply is $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ with a power consumption of just $0.191 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ and the water quality reached the *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749—2022) fully. The water intake mode, water supply mode, secondary pumping mode of Runquan Second WTP and its link scheme with the current water supply system fully consider the energy saving and safety of the project, which lays a solid foundation for the integration of urban and rural water supply. Relevant design concepts can be referred for other projects.

Keywords mountainous city integrated urban and rural water supply water intaking by gravity water supply by gravity combined with variable-frequency pumping energy-saving design

受固有地理条件的影响,山地城市的供水系统大多呈片状布局、枝状拓展、链状延伸,存在鲜明的碎片化特征^[1]。例如,同一城市的供水系统可能存在多个不同的取水水源、独立的配水管网,水厂分布零散、供水规模小;用水区地势起伏大,中途泵站设置多、水压浪费多、供水成本高;水质、水量、水压得不到有效保障,居民享受的供水服务品质较差。但是,在规划得当的条件下,地理条件又可以转变为山地城市的优势,如温州市鹿城区石鼓山水厂通过合理选址实现了全重力取水和供水,大大节约了工程运行成本^[2]。此外,随着城乡供水一体化理念的提出,以中小型山地城市为代表的城区供水分化问题将得到有效改变,“统一管理、同等品质”的供水服务目标将逐步实现^[3-4]。

龙南市(原龙南县)位于江西省南部山区,城区现状有3座水厂,分别是县水厂、石峡山水厂(即润泉水厂)和东江水厂,分布如图1(a)所示。县水厂取水水源为桃江,总设计规模为7万 m^3/d ,高峰供水量为6万 m^3/d ;石峡山水厂取水水源为石峡山水库,设计规模为3万 m^3/d ,高峰供水量为2万 m^3/d ;东江水厂取水水源为山泉水,设计规模为1万 m^3/d ,高峰供水量为0.6万 m^3/d 。可见,现状供水系统无法满足城市发展需求。为积极响应城市发展需求和统筹城区供水管理,《江西省龙南市城乡供水一体化工程》新建润泉第二水厂替代东江水厂,并对取水水源和供水管网进行优化配置。

1 工程概况

根据《江西省龙南城市总体规划(2011—2030年)》,龙南城区2030年总用水量为14万 m^3/d ,润泉第二水厂供水区为现状县水厂和东江水厂的联合供

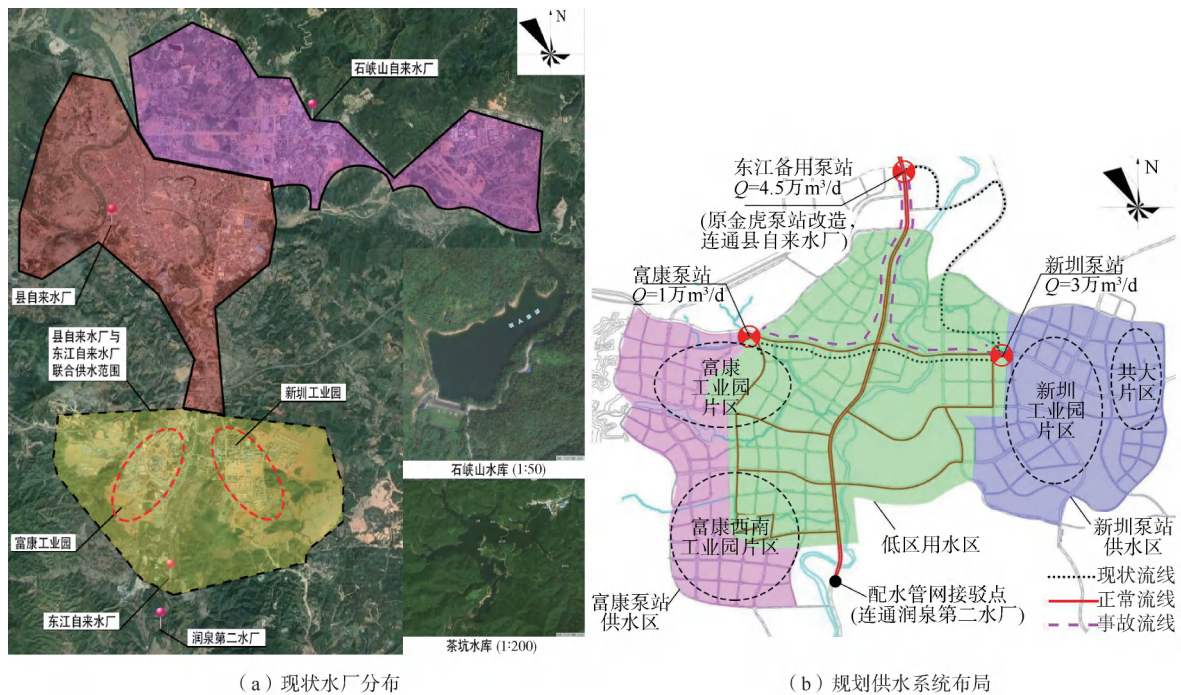
水范围[图1(a)]。受水源污染、原水规模、取水方式等的限制,远期县水厂的供水规模核减为6万 m^3/d 、石峡山水厂的供水规模为2万 m^3/d 、东江水厂废除。因此,2030年龙南城区将出现6万 m^3/d 的供水量缺口。考虑到城区供水系统的统筹调度,润泉第二水厂按6万 m^3/d 的规模一次建成。润泉第二水厂建成后,富康、新圳工业园将形成多个独立水源、多个独立水厂共同供水的格局[图1(b)]。润泉第二水厂清水输送管采用单根DN1000的管道,当水源遭受污染或发生事故时,则由县水厂和石峡山水厂通过东江泵站向用水区联合供水。

由《龙南县渌江流域综合规划》可知,2020年在渌江支流石门河下游新建茶坑水库,作为润泉第二水厂的取水水源和龙南城区的主要供水水源。茶坑水库正常蓄水位为297.50 m,死水位为273.00 m,50年1遇设计洪水位为299.84 m。97%保证率对应供水量为3 544万 m^3 ,其中城市供水量为2 409万 m^3 ,下游生态需水量为1 135万 m^3 (含河道生态用水及沿线灌溉用水、零星生活用水),可满足6万 m^3/d 的城市用水和下游生态用水。茶坑水库水源为石门河地表水,坝址以上流域内无工业企业和其他严重污染源;水质保护类别为《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类水,实测水质满足Ⅲ类水标准。

2 方案论证

2.1 供水方式

根据管辖范围,用水区细分为富康工业园片区、富康西南工业园片区、新圳工业园片区和共大片区[图1(b)],2030年需水量分别为7 500、18 000、20 000 m^3/d 和8 500 m^3/d ,合计为54 000 m^3/d 。



注: Q 为设计规模。

图 1 龙南城区现状水厂分布和规划供水系统布局

Fig. 1 Distribution of Existing WTPs and Layout of Water Supply System in Longnan Urban Area

根据竖向高程,用水区又分为低区和高区,低区标高为 219~225 m,高区标高为 230~300 m。低区用水量约为 $16\,000\text{ m}^3/\text{d}$,高区用水量约为 $44\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 。《龙南城区给水专项规划》要求,正常工况下,居民区用户接管点服务水头不小于 28 m,工业园区用户接管点服务水头不小于 20 m;消防工况下,管网最不利点水头不小于 10 m;对于局部地势较高的地区和高层建筑,水压不能满足要求时,可设置加压

系统。

水厂选址于临江三八水库西北 700 m 处的山地上[图 2(a)],东侧毗邻现状 105 国道,现状地面标高为 238~306 m[图 2(b)]。厂址位于茶坑水库与用水区之间,南距茶坑水库 11 km,北距现状配水管网接驳点 5 km。根据管网平差计算,润泉第二水厂清水管与配水管网接驳点处的压力需求为 273 m,厂区出口压力需求为 276 m。

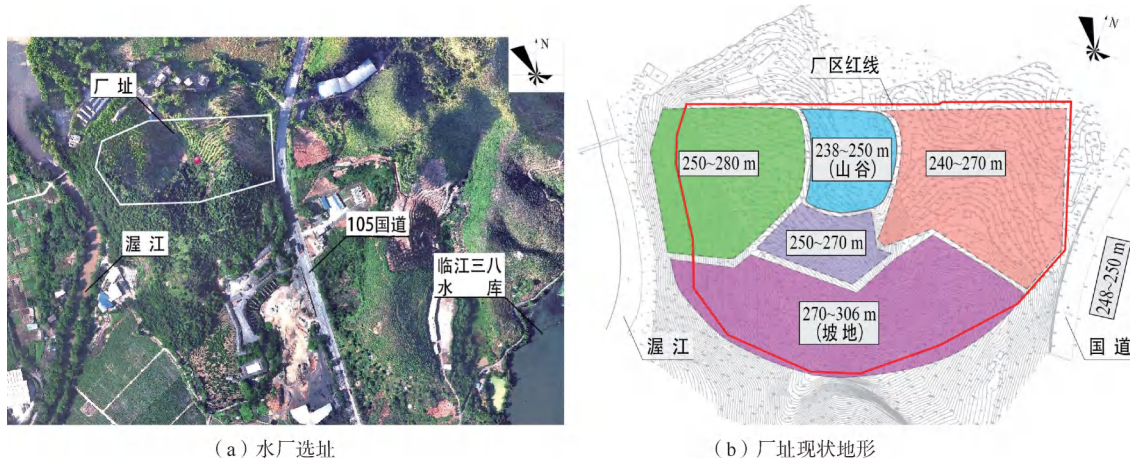


图 2 水厂选址与地形

Fig. 2 Location and Terrain of the WTP

采用重力供水时,净水厂厂坪标高为 280 m。厂平工程挖方量为 24 万 m³,填方量为 11 万 m³;回填范围大,导致部分构筑物位于填方区,需进行地基处理;北侧紧邻山谷,需大范围设置高挡墙;为衔接现状 105 国道,进厂交通需设置盘山路。另外,茶坑水库水位为 273.00~297.50 m,为确保取水安全,需建设 1 座规模为 2 750 m³/h(含原水管道漏损量和净水厂自用水量)的原水加压泵房,扬程为 15 m,原水输送管采用单根 DN1200 管道。

采用加压供水时,为充分利用地形高差、平衡投资,原水重力自流至厂区。原水输送管也采用单根 DN1200 管道,厂坪标高为 258 m,比茶坑水库最低水位低 15 m,比用水区低区高 33 m。厂平工程挖方量为 42 万 m³,填方量为 6 万 m³,大部分构筑物均可落在实地处。厂区清水加压泵房供水规模为 3 500 m³/h,扬程为 25 m。

用水区低区采用重力供水,高区采用富康泵站、新圳泵站加压供水(不同供水方案对应的供水范围和加压压力不同);重力供水方案和加压供水方案的工程投资(不含配水工程)对比如表 1 所示。重力供水方案虽然在运行电费上有一定的优势,但是加压供水方案可节约 1 176 万元工程费,且变频加压供水的灵活性强,更能应对用水区的发展变化。因此,本工程采用重力+变频加压联合供水。

表 1 工程投资对比

Tab. 1 Comparison of the Engineering Investment

项目	重力供水/元	加压供水/元
地基处理	237 万	229 万
挡墙边坡	1 300 万	270 万
挖方量	432 万	804 万
填方量	362 万	101 万
外运量	269 万	932 万
道路工程	140 万	13 万
净水工程	7 320 万	7 804 万
原水工程	6 591 万	5 323 万
工程费合计	16 651 万	15 475 万
年运行电费	57 万	128 万

2.2 净水工艺

取水水源为水库水,冬季极端天气条件下存在短时低温、低浊现象,夏季汛期可能导致浑浊度升高;水流速度小、水动力差,存在富营养化的风险,且不能排除藻类暴发等突发性水质污染的可能。研

究^[5]表明,针对受污染原水,常规的混凝、沉淀和过滤仅能去除水中 20%~30% 的有机物。因此,润泉第二水厂采用“预处理+常规处理+深度处理”的净水工艺。其中,预处理采用二氧化氯预氯化,深度处理预留臭氧-活性炭处理工艺建设用地和衔接条件,应急处理联合投加高锰酸钾和粉末活性炭。工艺流程如图 3 所示。

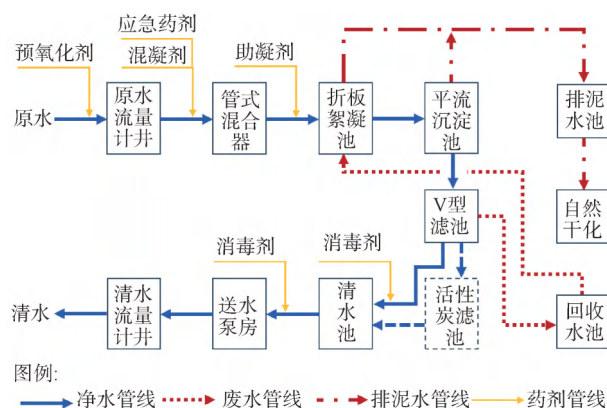


图 3 净水工艺流程

Fig. 3 Process Flow of Water Purification

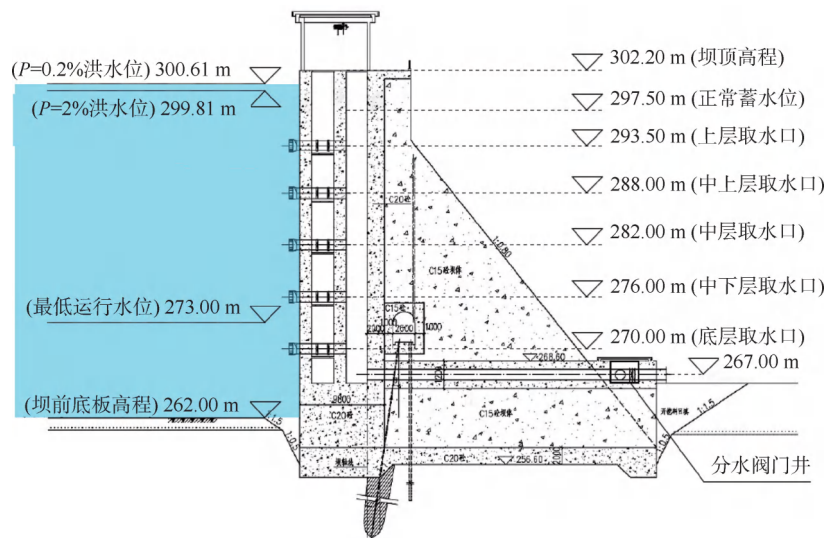
3 主要工程设计

3.1 原水工程

水库枢纽由拦水坝、泄水孔及取水口组成。坝顶高程为 302.20 m,全长为 240 m,从北至南依次为北岸非溢流坝、溢流坝和南岸非溢流坝,取水口布置在北岸非溢流坝段。为确保原水能够完全重力自流至厂区,取水水位依据水库的最低运行水位推算。取水口采用具有分层取水功能的竖井式取水口^[6],由上而下布置 5 层 DN1200 进水管(图 4),中心高程分别为 293.50、288.00、282.00、276.00 m 和 270.00 m。取水管后接汇流竖井,汇流竖井后接 DN1200 出水管,中心高程为 267.00 m。各进水管均采用长臂蝶阀控制,并在坝顶设置控制房。出水管上设置分水三通,分别接原水管和生态需水管。

3.2 净水工程

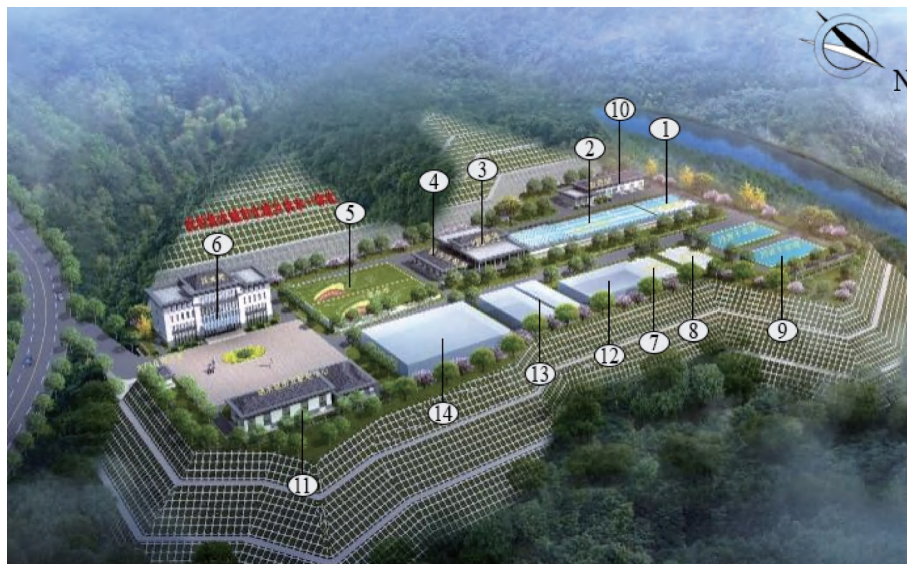
设计规模为 6 万 m³/d,厂区自用水量占比为 5%,净水构筑物采用钢筋混凝土结构,且内部分组(格)数量均不少于 2 组(格)。平面布置如图 5 所示。由图 5 可知,综合楼位于厂区东侧,邻近 105 国道;净水区在厂区南侧按工艺流程自西向东布置,并在厂区北侧预留深度处理用地;泥处理区布置于厂



注: P 为不同水位的保证率。

图 4 取水口断面

Fig. 4 Cross Section of Water Intake Structure



注: ①—折板絮凝池; ②—斜板沉淀池; ③—V型滤池; ④—反冲洗泵房; ⑤—清水池; ⑥—综合楼; ⑦—回收水池; ⑧—排泥池; ⑨—污泥干化场; ⑩—综合加药间; ⑪—送水泵房及配电中心; ⑫—臭氧制备间(预留); ⑬—臭氧接触池及中间提升泵房(预留); ⑭—活性炭滤池(预留)。

图 5 厂区鸟瞰图

Fig. 5 Aerial View of the WTP

区西北角,送水泵房及配电中心布置于厂区东北角。主要处理单元工艺设计如下。

3.2.1 絮凝沉淀单元

絮凝单元采用三段式折板絮凝池:前段为 120° 异波折板,中段为 120° 同波折板,尾段为平行直板,均为竖向布置;前段峰速为 0.31 m/s ,中段流速为 0.22 m/s ,尾段流速为 0.11 m/s 。絮凝池有效水深为 $3.55 \sim 4.00 \text{ m}$,絮凝时间为 20 min 。底部积泥采

用穿孔管排出,并采用气动快开阀自动控制;排泥周期按 $1 \sim 2 \text{ d}$ 考虑,可根据实际需求调整。

沉淀单元采用 1 座平流沉淀池,并与絮凝池合建,进水采用花墙均匀配水,水平流速为 12 mm/s 。出水采用 6 根 22 m 长的指形槽,双面收水,堰上负荷为 $238 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{d})$ 。沉淀池有效水深为 3.5 m ,沉淀时间为 1.9 h 。排泥采用泵吸虹吸式刮泥机,行走速率为 1 m/min 。

3.2.2 过滤单元

过滤单元采用1座恒水位V型滤池,分6格双排对称布置。单格过滤面积为 57.6 m^2 ,总过滤面积为 345.6 m^2 ;设计滤速为 7.6 m/h ,强制滤速为 9.11 m/h 。滤层采用均质石英砂,粒径为 $0.9\sim 1.2\text{ mm}$,均匀系数 $K_{60}=1.40$,厚度为 1.4 m ;承托层采用砾石,粒径为 $4\sim 8\text{ mm}$,厚度为 0.1 m 。滤层以上最大水深为 1.30 m ,最大过滤水头为 2.20 m 。反冲洗过程为:先气冲洗,强度为 $15.0\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,历时 2 min ;再气水同时冲洗,气冲强度为 $15.0\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,水冲强度为 $3.0\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,历时 4 min ;后水冲洗,强度为 $6.0\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,历时 6 min ;全程表面扫洗,强度为 $2.0\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。反冲洗周期为 $24\sim 36\text{ h}$,配水、配气系统采用长柄滤头。

3.2.3 主要附属单元

(1) 清水输送

送水泵房采用半地下式结构,以保证所有水泵均能及时自灌启动。考虑到水泵选型并预留余量,水泵扬程取 30 m 。最大送水规模为 $3\,500\text{ m}^3/\text{h}$,采用4台卧式离心水泵(变频)。其中,大泵2台,单泵流量为 $1\,842\text{ m}^3/\text{h}$;小泵2台,单泵流量为 $821\text{ m}^3/\text{h}$ 。

(2) 排泥水处理

设计进水浑浊度取 10 NTU (对应保证率为 95%),沉淀池出水浑浊度按 5 NTU 设计,V型滤池出水浑浊度按 0.5 NTU 设计。设计干泥量为 1.5 t/d ,干化周期取 5 d ,干泥负荷取 $5.5\text{ kg}/\text{m}^2$,干化场总面积为 $2\,208\text{ m}^2$ 。

(3) 药剂投加

二氧化氯设置3处投加点,分别是:滤前加氯,投加量为 $0.5\sim 1.5\text{ mg/L}$,投加点在原水流量计进口;滤后加氯,投加量为 $0.5\sim 1.5\text{ mg/L}$,投加点在清水池进水管上;清水补氯,投加量为 $0.1\sim 0.5\text{ mg/L}$,投加点在送水泵房吸水井进水管上。二氧化氯制备系统采用4台发生器,3用1备,与投加点一一对应,单台有效氯产量为 4 kg/h 。

混凝剂和助凝剂分别采用聚合氯化铝(PAC)和聚丙烯酰胺(PAM)现场配置,并采用在线稀释投加,前者投加点位于管式混合器进口,后者投加点位于絮凝池进口。PAC投加量为 $10\sim 20\text{ mg/L}$,1 d配制3次,质量分数为 $5\%\sim 8\%$,投加系统采用3台隔膜式计量泵(2备1用)。PAM投加量为 $0.1\sim 0.2$

mg/L ,1 d配制1次,质量分数为 1% ,投加系统采用2台软管泵(1用1备)。

应急处理加药点位于管式混合器进口。高锰酸钾最大投加量为 2.0 mg/L ,质量分数为 2% ,采用2台隔膜式计量泵(1用1备)。粉末活性炭最大投加量为 30 mg/L ,投加质量分数为 3% ,采用2台投加机(1用1备)。

3.3 中途泵站

中途泵站采用现状加压站改造。为充分利用净水厂送水泵房水头、节约运行成本,中途泵站在进水管和出水总管之间设置超越管和控制阀(图6),并和城市供水智能监测调度系统联网。近期,用水区内的城建发展尚不充分,来水水头可满足用水需求,关闭中途泵站吸水井进水阀、开启超越管控制阀,来水直接供给市政配水管。远期,根据不利点压力监测,当来水水头不满足用水需求时,关闭中途泵站超越管控制阀、开启吸水井进水阀,来水经水泵加压后供给市政配水管。

4 经济分析及运行效果

润泉第二水厂工程概算总投资为 $25\,274.95$ 万元,其中工程费用为 $19\,976.64$ 万元, 1 m^3 经营成本为 0.68 元。根据设计工况测算,润泉第二水厂PAC年投加量为 177 t ,净水用PAM年投加量为 0.87 t (年投加时间为 180 d),排泥水处理用PAM年投加量为 1.85 t ;消毒用二氧化氯年投加量为 35.4 t ,预氧化用二氧化氯年投加量为 17.7 t ,共计消耗氯酸钠 34.5 t/a 、盐酸 63.7 t/a ;每年药剂费为 73.41 万元, 1 km^3 制水药耗成本为 33.52 元。另外,工程年用电量为 $419.87\text{ 万 kW}\cdot\text{h}$, 1 m^3 供水耗电量为 $0.192\text{ kW}\cdot\text{h}$,远小于2022年我国城市供水工程的平均水平($0.247\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$)。工程于2023年2月投入使用,供水量平均为 $4.5\text{ 万 m}^3/\text{d}$,耗电量平均为 $0.86\text{ 万 kW}\cdot\text{h}/\text{d}$ 。根据江西省龙南市疾病预防控制中心出具的检测报告,润泉第二水厂出水水质完全达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)的要求,主要指标检验结果如表2所示。

5 结语

城乡供水一体化是保障人民群众生产、生活和经济、社会高质量发展的切实举措,也是城市供水服务的发展趋势。受本底条件的制约,山地城市,尤其是中小型山地城市的供水系统目前基本呈碎片化

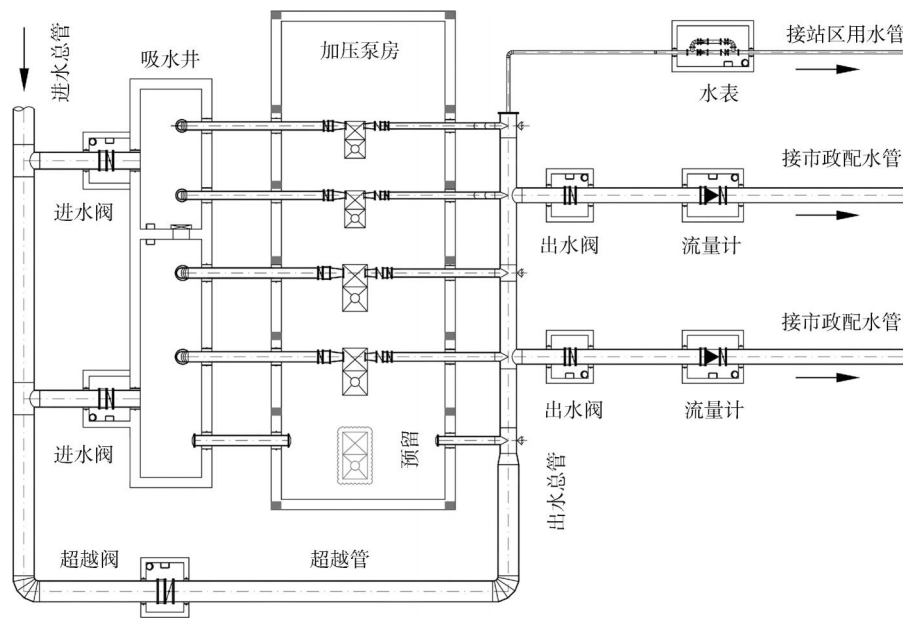


图6 增压泵站平面

Fig. 6 Plan of the Boosting Pump Station

表2 润泉第二水厂出水水质

Tab. 2 Finished Water Quality of Runquan Second WTP

检测指标	标准要求	检验结果
总大肠菌群/[CFU·(100 mL) ⁻¹]	不应检出	未检出
菌落总数/[CFU·(100 mL) ⁻¹]	≤100	<1
色度	≤15.0	13.5
浑浊度/NTU	≤1.0	0.9
pH 值	6.5~8.5	7.2
铁/(mg·L ⁻¹)	≤0.300	0.042
锰/(mg·L ⁻¹)	≤0.100	0.015
溶解性总固体/(mg·L ⁻¹)	≤1 000	77
高锰酸盐指数/(mg·L ⁻¹)	≤3.00	1.09
二氧化氯/(mg·L ⁻¹)	0.1~0.8	0.1

发展,城乡供水一体化工作的推进相对困难。润泉第二水厂是《江西省龙南市城乡供水一体化工程》的重要组成部分,既是解决龙南市富康、新圳工业园用水问题的关键支撑,也是加强龙南市中心城区用水安全的重要保障。为控制工程投资、节约运行成本,该水厂巧妙利用地形高差,采用重力取水和重力+变频加压联合供水方案。同时,通过在中途加压泵站的进水管之间设置超越管和控制阀,城市供水智能监测调度系统可根据不利点水压需求决策从净水厂供入泵站的来水是否需要二次加压。工程运行后,水质、水量、水压均满足使用需求,1 m³ 供

水耗电量仅为 0.192 kW·h/m³,相较于 2022 年我国城市供水工程的平均耗电水平可减少 0.044 kg CO₂ eq/m³。润泉第二水厂工程在节能设计和系统优化等方面的实践,可为同类工程的建设提供参考。但是,城乡供水一体化是一项系统工程,有必要结合智慧水务的理念加快建设以“厂-站-网-端”为核心的新型供水服务体系,包括但不限于厂网系统的数字孪生、事务管理的提档升级、运行风险的预判预警以及运行问题的精准溯源、快速处置。另外,随着“两型社会”和“双碳”政策的推进,供水工程的节能降耗、降本增效也是保障城乡供水一体化顺利实施、提升城乡供水一体化建设质量的伴生命题,仍然有待研究。

参考文献

- [1] 蔡甜,徐凯歆,韩爱钊,等. 典型山区城乡供水一体化规划、设计思路及案例[J]. 中国给水排水, 2023, 39(10): 104-110.
CAI T, XU K X, HAN A Z, et al. Planning, design ideas and cases of integrated urban and rural water supply in typical mountainous area[J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(10): 104-110.
- [2] 张星,周琳. 温州全重力山顶式水厂供水工程设计案例[J]. 中国给水排水, 2023, 39(24): 63-70.
ZHANG X, ZHOU L. Design case of water supply project of gravitational flow water treatment plant on mountaintop in

- Wenzhou[J]. *China Water & Wastewater*, 2023, 39(24): 63–70.
- [3] 郭杨. 江苏省城乡饮用水水质安全保障实践[J]. *中国给水排水*, 2023, 39(4): 36–41.
- GUO Y. Practice of drinking water quality security in urban and rural areas of Jiangsu Province[J]. *China Water & Wastewater*, 2023, 39(4): 36–41.
- [4] 张正德, 张珏靓, 李树平, 等. 城乡一体化供水特点与实践[J]. *给水排水*, 2018, 44(12): 17–20.
- ZHANG Z D, ZHANG J L, LI S P, et al. Characteristics and practices of integrated urban and rural water supply[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2018, 44(12): 17–20.
- [5] 刘宝, 于召强, 孙艺祯, 等. 自来水厂有机物去除规律的研究[J]. *供水技术*, 2019, 13(3): 19–21.
- LIU B, YU Z Q, SUN Y Z, et al. Study on the removal of organic matter in waterworks[J]. *Water Technology*, 2019, 13(3): 19–21.
- [6] 刘羽. 水源型水库分层取水改造工程方案比选研究—以陕西石头河水库为例[D]. 西安: 西安理工大学, 2023.
- LIU Y. Comparison and selection of layered water extraction and renovation engineering schemes for water source type reservoirs—Taking the Shitouhe Reservoir in Shaanxi Province as an example [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2023.
-
- (上接第 131 页)
- [10] 环境保护部. 固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法: HJ 557—2010[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2010.
- Ministry of Environmental Protection. Solid waste-Extraction procedure for leaching toxicity-Horizontal vibration method: HJ 557—2010[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2010.
- [11] 国家环境保护总局. 固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法: HJ/T 299—2007[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- State Environmental Protection Administration. Solid waste-Extraction procedure for leaching toxicity-Sulphuric acid & nitric acid method: HJ/T 299—2007 [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2007.
- [12] 吴健, 方楠, 盛龙, 等. 高温改性铁尾矿对水体中磷的去除性能[J]. *矿产保护与利用*, 2021, 41(4): 124–132.
- WU J, FANG N, SHENG L, et al. Removal performance of phosphorus from water by high temperature modified iron ore tailing[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2021, 41(4): 124–132.
- [13] CHENG H, SHI W, LIU S, et al. Adsorption of phosphate by two-step synthesis of ceramsite from electrolytic manganese residue/dredged sludge[J]. *Materials*, 2024, 17(4): 040939.
- [14] SCOTT C P S I, PENN J C. Effects of redox on the phosphorus removal ability of iron-rich phosphorus sorption materials[J]. *Chemosphere*, 2024, 352: 141416. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.141416.
- [15] LI W L, CAI G G, LUO K, et al. Synthesis of magnesium-modified ceramsite from iron tailings as efficient adsorbent for phosphorus removal[J]. *Separation and Purification Technology*, 2023, 326: 124817. DOI:10.1016/j.seppur.2023.124817.
- [16] CHEN R H, PAN Z L, CHU S Y, et al. Optimize the preparation of novel pyrite tailings based non-sintered ceramsite by plackett-burman design combined with response surface method for phosphorus removal[J]. *Frontiers in Chemistry*, 2022, 10: 850171. DOI:10.3389/fchem.2022.850171.
- [17] 于生慧, 胡小敏, 何嘉宁, 等. 粉煤灰改性制备多金属复合材料及其对磷的去除研究[J]. *现代化工*, 2023, 43(s2): 141–147, 152.
- YU S H, HU X M, HE J N, et al. Preparation of polymetallic composite materials by modification of fly ash and its removal ability to phosphorus[J]. *Modern Chemical Industry*, 2023, 43(s2): 141–147, 152.
- [18] 陈琲琲, 唐远, 何东升, 等. 铜改性粉煤灰合成沸石的磷吸附特征研究[J]. *矿产保护与利用*, 2023, 43(3): 152–159.
- CHEN B B, TANG Y, HE D S, et al. Phosphorus adsorption properties in waste water of La-modified synthetic zeolite from coal fly ash [J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2023, 43(3): 152–159.
- [19] 辛雨瑶, 伍孝平, 刘丹, 等. 铜改性苧麻杆生物炭材料除磷性能的探究[J]. *当代化工*, 2023, 52(5): 1031–1037.
- XIN Y Y, WU X P, LIU D, et al. Study on phosphorus removal performance of lanthanum modified ramie rod biochar material [J]. *Contemporary Chemical Industry*, 2023, 52(5): 1031–1037.
- [20] 刘艳芳, 高玮, 尹思婕, 等. 铁、锆改性生物炭对水中磷的吸附特性及机理研究[J]. *工业水处理*, 2022, 42(11): 153–161.
- LIU Y F, GAO W, YIN S J, et al. Adsorption characteristics and mechanism of phosphate in wastewater by iron-zirconium modified biochar[J]. *Industrial Water Treatment*, 2022, 42(11): 153–161.
- [21] 王凤君. 改性膨润土对水中磷酸盐吸附作用及对底泥磷释放控制作用[D]. 上海: 上海海洋大学, 2023.
- WANG F J. Adsorption of phosphate in water and control of phosphorus release from sediment by modified bentonite [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2023.
- [22] DEBICKA M, MORSHEDIZAD M, LEINWEBER P. The effects of dissolved organic matter derived from agricultural waste materials on phosphorus sorption in sandy soils[J]. *Agriculture*, 2023, 13(11): 2164.