

林思远,王健,路佳,等. 基于供水安全保障的南宁市多水源系统规划与设计[J]. 净水技术, 2025, 44(5): 78-85.

LIN S Y, WANG J, LU J, et al. Planning and design of Nanning's multi-water sources system based on water supply security[J]. Water Purification Technology, 2025, 44(5): 78-85.

基于供水安全保障的南宁市多水源系统规划与设计

林思远¹,王 健^{2,*},路 佳³,李 冰³,韦秋梅⁴,曾从杰²

(1. 广西绿城水务股份有限公司, 广西南宁 530029;2. 上海市政工程设计研究总院<集团>有限公司,上海 200092;3. 南宁建宁水务投资集团有限责任公司, 广西南宁 530029;4. 上海千年城市规划工程设计股份有限公司,上海 201108)

摘要 【目的】随着南宁市近年来供水事业迅速发展,城市面临的水源系统安全、水环境保护和需水量增长等问题愈发明显。为改善南宁市原有水源地较为单一的局面,解决主力水厂取水口环境保护难度大、原水取水规模受限和应急取水保障能力薄弱等影响大型城市供水安全保障的问题,【方法】通过学习和借鉴国内大型城市水源地规划建设经验,系统性研究南宁市域的水源地水文特征和城市供水系统规划发展特点,工程规划设计了基于供水安全保障和供水水量发展需求的原水和应急供水系统。系统以“两江共举、互为备用”为特点,具有完善的多个水源地连通调度运行、长距离节能调蓄原水、多水厂分压输配原水等的功能。【结果】工程分为两期建设,一期工程先行解决中心城区5座水厂水源地保护区矛盾问题,二期工程解决城市水量发展和多水源应急保障等多种要求。【结论】一期工程巧妙地利用既有的老口水库有利的水文条件和17 km大断面重力流隧洞输水系统,降低了工程建设对中心城区地下空间的影响,同时还实现了短期、低投资、低能耗输水的功能。二期工程基于“双水源等规模等距离联合和运行”的安全保障设计方案,提高取水能力的同时进一步避免库尾水源地藻类繁殖威胁和突发水源事故的风险,从源头提高城市原水的水质,解决了城市水源地保护和城市建设开发的矛盾。

关键词 水源地 双水源 饮用水水源保护区 原水 隧洞引水 泵站联合运行 应急取水

中图分类号: TU991 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-0177(2025)05-0078-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.05.009

Planning and Design of Nanning's Multi-Water Sources System Based on Water Supply Security

LIN Siyuan¹, WANG Jian^{2,*}, LU Jia³, LI Bing³, WEI Qiumei⁴, ZENG Congjie²

(1. Guangxi Nanning Water Co., Ltd., Nanning 530029, China;

2. Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co., Ltd., Shanghai 200092, China;

3. Nanning Jianning Water Investment Group., Ltd., Nanning 530029, China;

4. Shanghai Qiannian Urban Planning Design Institute Co., Ltd., Shanghai 201108, China)

Abstract [Objective] With the rapid development of the water supply industry in Nanning City in recent years, problems such as the safety of water source system, water environmental protection and growth of water demand faced by the city have become increasingly obvious. To improve the relatively single situation of the original water sources in Nanning City and solve the problems that affect the water supply security of large cities, such as the difficulty in environmental protection of the water intake points of the main water treatment plants (WTPs), the limited scale of raw water intake, and the weak emergency water intake guarantee capacity. [Methods] By studying from and drawing on experience of water source planning and construction in large cities at home, a systematic study was conducted on the hydrological characteristics of water sources in Nanning City and the planning and development features of the urban water supply system. The engineering planning and design were based on the requirements of water supply security guarantee and water supply volume development for raw water and emergency water supply systems. The system was characterized by "

[收稿日期] 2024-03-27

[基金项目] 国家重点研发计划(2023YFC3208203)

[作者简介] 林思远(1991—),女,主要从事给排水工程的工作,E-mail:1205960361@qq.com。

[通信作者] 王健(1978—),男,正高级工程师,主要从事市政给水工程、水处理工程设计、规划和研究的工作,E-mail:wangjian5@smedi.com。

two rivers working together and serving as backups for each other", and it had complete functions such as the connection and dispatching operation of multiple water sources, long-distance energy-saving storage and regulation of raw water, and the pressure distribution of raw water by multiple WTPs. [Results] The project was divided into two phases. The first phase first addressed the conflicts in the water source protection areas of five WTPs in the central urban area. The second phase addressed various requirements such as urban water volume development and emergency support for multiple water sources. [Conclusion] The first phase of the project ingeniously utilize the favorable hydrological conditions of the existing Laokou Reservoir and the 17-kilometer large-section gravity flow tunnel water conveyance system, reducing the impact of the project construction on the underground space of the central urban area. At the same time, it also achieves the functions of short-term, low investment and low energy consumption water conveyance. The second phase of the project is based on a safety guarantee design plan of "equal scale and equal distance joint operation of dual water sources", which not only enhances the water intake capacity but also further avoids the threat of algae growth and the risk of sudden water source accidents at the tail end of the reservoir. It improves the water quality of urban raw water from the source and resolves the contradiction between the protection of urban water sources and urban construction and development.

Keywords water source dual water sources protection area for drinking water source raw water tunnel water diversion joint operation of diversion pumping stations emergency water intake

我国大部分城市的水厂建设选址时优先沿河而建,利用丰沛的水资源为城市工业和居民生活提供了优质的水源。以南宁市为例,城市6座主力水厂合计设计供水能力为170万 m^3/d ,6座主要水厂共有5个取水口,分别为三津水厂取水口、陈村水厂取水口、西郊水厂取水口、中尧水厂取水口和河南水厂取水口,凌铁水厂由河南水厂取水口取水。取水泵房均位于邕江两岸沿线,以邕江作为城市的主要水源,水源结构较为单一。与此同时,南宁市在城市中心下游约20 km处建设了邕宁梯级水利工程,城区水源地呈现河流型水库的水文特点。其特点为流速变缓,水深增加,城市水源水质总磷、总氮等多项指标存在变差的风险^[1]。

邕江多年平均年径流量为418亿 m^3 ,年平均流量为1325 m^3/s ,最大流量为20600 m^3/s ,枯水流量为95.6 m^3/s ^[2]。为了科学地保护水源地环境,2014年广西壮族自治区人民代表大会批准了《南宁市饮用水水源地保护条例》。2018年3月,我国生态环境部发布了《饮用水水源保护区划分技术规范》(HJ 338—2018),保护区范围划分限制建设的项目更加规范,保护区范围内对南宁市沿江两岸的多项生产和经济活动产生了较为明显的限制作用。据统计,南宁市水源地一级和二级保护区内土地面积为25668亩(1亩 \approx 666.67 m^2),保护范围内的人口约为18.5万人。

结合2015年《国务院印发关于水污染防治行动计划》的通知关于2020年前建设完成备用水源或应急水源建设,南宁市随即开展了城市水源地的战略调整研究,调研国内外先进城市在多个水源地

系统性建设的经验^[3],系统性地解决水量发展、水源单一、保护区限制经济发展、河流型水库水质变差风险等多个突出问题。文章将从供水安全保障角度出发,通过水源选择、输水系统统筹规划等方面介绍水源地选择与工程设计特点。

1 水源的选择

1.1 水系水文特点

南宁市区范围内河道属邕江水系,其北源的右江为正源,发源于云南省广南县境内,南源的左江发源于越南境内。左、右两江在南宁市以西的宋村汇合后称郁江。根据南宁市水功能区划^[4]:左江为扶绥南宁交界至左右江汇合口段为左江南宁杨美饮用、景观用水区,水质目标为Ⅱ类水,区间长度为28 km;右江为金陵镇岗德村至左右江汇合口段为南宁金陵饮用、农业用水区,水质目标为Ⅱ~Ⅲ类水,区间长度为30 km;邕江为左右江汇合口至城区二坑口为南宁市饮用水源区,水质目标为Ⅱ~Ⅲ类水,区间长度为37.8 km。

依据以上水功能区划分,南宁市左右江汇合口以上30 km左右江河段至下游二坑口可作为饮用水源,其中左江水质目标为Ⅱ类水,右江水质目标为Ⅲ类水,邕江水质目标为Ⅱ~Ⅲ类水。左江、右江的水文条件如图1和图2所示。

除此之外,南宁市还有较多的山区水库,除大王滩水库为大(二)型以外,其余均为中小型水库,主要承担了农业和村镇的供水。

通过对不同水源的水量、水质、时空分布等方面的分析,可以看出:邕江及左江、右江水系是作为

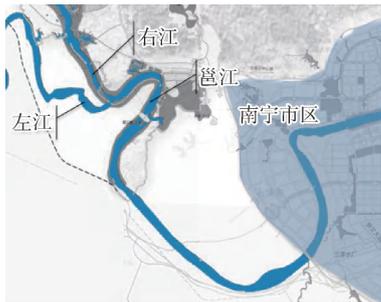


图 1 左江、右江与邕江的水系关系

Fig. 1 Water System Relationship among Zuojiang River, Youjiang River and Yongjiang River



图 2 左江、右江、邕江交汇口

Fig. 2 Confluence of Zuojiang River, Youjiang River and Yongjiang River

城市供水的主要水源的首选水源,可用于饮用水水源水资源量约为 330 万 m^3/d ;大王滩大型水库兴利库容略小,该水源地的最大用于饮用水水源的水资源规模约为 90 万 m^3/d ,可作为城市南部片区的中型水厂的水源;小型水库库容有限,用于城市供水规模较小^[2],作为城市规划边界村镇水厂就近水源,但是从水文条件来看,年可供水量呈现季节性和疯枯年份波动变化较大的情况,供水安全保障能力低。

1.2 水源的确定

水源地的建设考虑在邕江水系上游的左江、右江 2 个相对独立的流域选择城市水源。左江、右江流域在南宁市区西部汇合进入邕江。规划选择汇合口上游设 2 处独立的取水口,分别自左江、右江建设引水工程,平时可同时取水。一旦左(右)江发生突发水质污染事故时或者遇到洪水期间浑浊度异常偏高时,可以关闭左(右)江取水头部而从右(左)江取水,实现“两江共举,互为备用”的原水供水系统,提高供水安全性的同时,还能参考国内特大城市的水源规划特点,提高优质水源的取水能力^[3]。水源系统规划的布置如图 3 所示。

远期随着城市建设开发需求,规划凤亭河-大

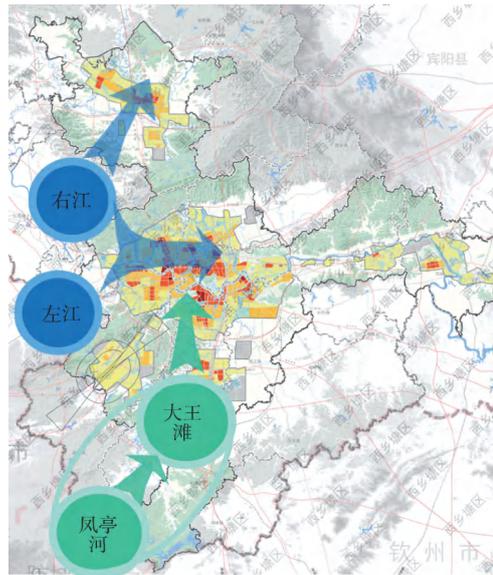


图 3 南宁市水源地规划及原水供水方向

Fig. 3 Water Source Planning and Raw Water Supply Direction in Nanning City

王滩联合水库水源地,可保障城市南部片区和东南片区的供水需求。在城市中心区可以进一步实现多水源的清水互连互通,提升供水安全保障能力。

2 多水源引水系统规划

根据前节对南宁市城市多水源的规划目标,将现有取水口上移至上游水源地可以考虑如下 2 个方案进行比选。

(1) 方案一:一次性上移

一次性上移考虑在左江、右江一次性建成远期规模的取水口及泵站、输水管线(隧洞)工程,实现左江、右江联合取水(或事故及水质调度时分别取水),出水管线接至江北干渠,利用干渠输水至各受水水厂。该方案预计 2023 年建成通水。

(2) 方案二:分期上移

分期上移是根据工程难度、建设进度、工程关键问题分一期、二期工程同步开展设计和建设。一期工程为老口水库取水,利用干渠工程,建设泵站向各水厂输水,该方案可在 2018 年末率先建成通水。二期工程同步开展上游远期规模泵站和输水管线工程设计和建设。2 个方案的优缺点比较如表 1 所示。

通过对上述的 2 个方案的优缺点进行比较,不难发现左江、右江水源地取水口具体的选择涉及国土、规划、水文、环保等多方面的技术经济平衡因素,选址和建设的周期较长。为了能够适应水源地环境保护要求和释放城市土地建设资源的迫切需求,推荐

表 1 系统建设方案比较

Tab. 1 Comparison of System Construction Schemes

优/缺点	方案一	方案二
优点	一次性完成上游引水工程的目标;水源地保护区数量少;原水可实现多源互补,互为备用的格局,有利于城市供水安全	可以对取水点、系统线路等重点问题展开专题研究,有利于科学决策;可以于 2018 年通水,避免年内邕宁梯级和内河泄洪对原水水质的不利影响;工程投资较低,投资资金压力小
缺点	国土空间规划等还处于修编期间,水源地的选择需要大量基础调研工作;工程建设周期长,一次性投资高;2018 年后无法建成通水,邕宁梯级蓄水对原水影响难以避免	一期需要划定老口水源地及设定保护区,需要协调解决航运主管部门;二期投产前期间为单一水源,水量规模不满足远期规划要求,且不能实现左江、右江联合供水的目标

按照方案二分期建设,有利于缓解一次性投资压力,尽快实现水源地上移和切换的工程效益。

工程设计将引水工程分为一期(2020 年)和二期(2025 年)实施,一期工程先将取水口设于非邕宁梯级影响段,即左右江汇合口下游 6 km 处的内河生态补水取水口处。该处可利用城市已有内河生态补水引水口作为取水口,利用已建成长度约为 17 km 的大型重力式引水涵洞作为输水通道^[5],实现水源地原水向中心城区快速调整,并实现工程效益。南宁市水源地一期、二期建设规划如表 2 所示。

态补水取水口处。该处可利用城市已有内河生态补水引水口作为取水口,利用已建成长度约为 17 km 的大型重力式引水涵洞作为输水通道^[5],实现水源地原水向中心城区快速调整,并实现工程效益。南宁市水源地一期、二期建设规划如表 2 所示。

表 2 南宁市邕江上游引水工程一期、二期水源地规划

Tab. 2 Water Source Planning of Phase I and Phase II Projects in Nanning

项目	一期(2020 年)	二期(2025 年后)
水源地	老口水源地	左江+右江水源地+大王滩水源
水环境功能规划	II 类水体,饮用水源地	左江、右江为 II 类水体,大王滩为 III 类水体,均是饮用水源地
应急水源地		现状各水厂取水点及龙潭水库、天雹水库
水源系统运行		近期避免邕宁梯级蓄水产生水质下降风险,远期可根据水源地水质调度运行,灵活互补

3 工程设计

3.1 一期工程水源地

一期工程水源地处库区中段,水源地保护区范围内无排污口和其他点源、面源污染源,无排污内河,周边开发建设强度不大。常年老口水库的溶解氧(DO)、高锰酸盐指数、氨等表征主要污染物水平的指标均为 II 类水体标准,其中 DO 平均质量浓度为 6.6 mg/L;高锰酸盐指数平均质量浓度为

1.71 mg/L,氨平均质量浓度为 0.15 mg/L,是比较理想的 II 类水源。

3.2 一期工程输水系统

一期工程输水系统布置如图 4 所示,包括以下几个工程子项。

(1) 老口泵站工程

老口渠首设置 1 座规模为 285 万 m³/d 取水泵站,一期按 228 万 m³/d 的规模取水,原水由设于江



图 4 邕江引水一期工程系统布置

Fig. 4 System Layout of Yongjiang Water Diversion Project Phase I

心近岸的箱式取水头部经 $4 \times \text{DN}3000$ 钢管接至泵站前池。为充分利用原水水位重力输水能力,泵站设有超越管,水库在高水位时可以超越泵站直接至干渠渠首,低水位时启动水泵补水。

(2) 可利江泵站

相思湖公园内绿化带内设置 1 座规模为 $60 \text{万 m}^3/\text{d}$ 增压泵站,原水由江北干渠分水井经 $\text{DN}2000$ 钢管接至调蓄水池,水池有效容积约为 $10\,000 \text{m}^3$,主要用于调蓄江北干渠水位波动及可利江泵站补水需要,出水接增压泵站吸水井,泵站出水直接接入相思湖东路的陈村水厂应急供水管道。

(3) 心圩江泵站

心圩江公园内绿化带内设置 1 座规模为 $90 \text{万 m}^3/\text{d}$ 分压供水增压泵站,原水由江北干渠分水井经 $\text{DN}2\,600$ 管接至调蓄水池,水池有效容积约为 $15\,000 \text{m}^3$,出水后进入泵站吸水井,分压增压,其中 $22 \text{万 m}^3/\text{d}$ 规模由 $\text{DN}1600$ 专管输送至江北的西郊水厂和中尧水厂; $68 \text{万 m}^3/\text{d}$ 规模由 $\text{DN}2600$ 专管输送至江南的河南水厂和凌铁水厂。

(4) 管线工程

可利江泵站泵站出站后由 $\text{DN}2400$ 钢管接入正在实施的天雹水库至陈村水厂应急供水管道工程,接管点为相思湖东路,管道长度为 0.4km 。

心圩江泵站管线从心圩江泵站出水后管线 $\text{DN}1600 + \text{DN}2600$ 原水管线向南沿心圩江西岸滨河路绿化带内埋设。 $\text{DN}1600$ 原水管线至江北大道开挖埋管敷设至西郊水厂取水泵站出站总管和中尧水

厂取水泵站总管。 $\text{DN}2600$ 原水管线至江北大道后采用深槽特大口径有压管一次性沉管设计穿越邕江,穿越点选择心圩江东岸向南延伸处,沉管长度约为 450m 。管线至江南大道后向东至河南水厂、凌铁水厂取水泵站出厂管。

3.3 二期工程水源地

大型城市的水源地选择需要综合考虑水源地保护区及影响范围内的环境条件,水质污染风险影响因素和保护管理能力等多种因素^[6]。一期工程的水源地为集中式水源地,受到老口航运枢纽配套码头、锚地的影响较为显著,其水质好坏取决于水动力特征。随着进入库区后流速降低,颗粒污染物沉降后水体透明度增加,光照深度使得水生动植物繁殖迅速,但长期沉积的污染物水平也会影响水质的变化^[7]。大型城市的水源地需要在上游左江、右江相对独立的水系建设水源泵站。

城市大型水源地的选择需要综合考虑以下 6 个主要因素,经过综合比选判断最终确定。

(1) 水源功能区规划。依据水功能区划分^[4],南宁市左右江汇合口以上 28km 左江 30km 右江河段可作为饮用水源,其中左江水质目标为 II 类水,右江水质目标 III 类水,邕江水质目标为 II ~ III 类水。

(2) 水源地土地规划条件。需要考虑水源地附近的国土规划,生态红线、林地、基本农田等影响系统选址的条件。

(3) 水文水利条件。取水点选择需要避让地质不稳定的冲刷和淤积区域,同时还要结合水下地形

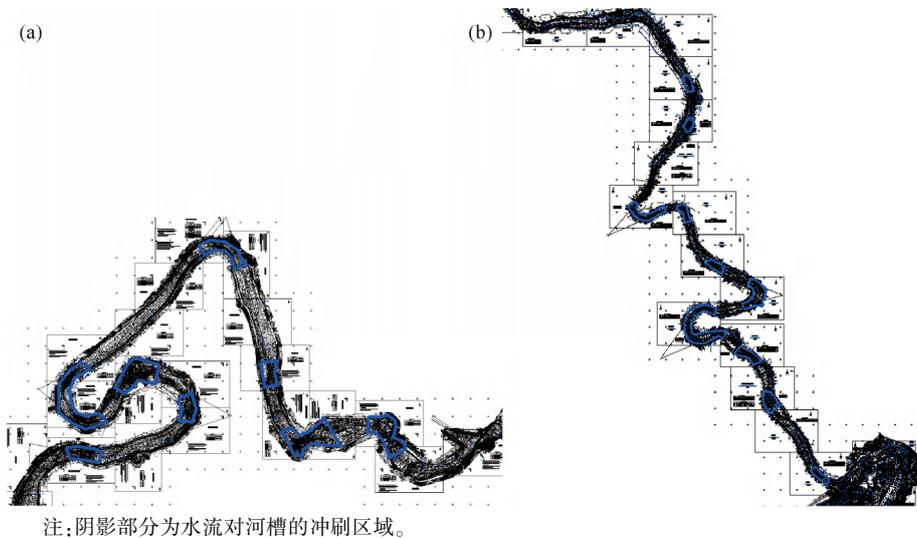


图 5 (a) 左江;(b) 右江水下水文地形图
Fig. 5 (a) Underwater Topographic Map of Zuojiang River; (b) Youjiang River

条件选择合理的取水点,水文地形条件如图 5 所示。

(4)水质条件。综合比较多个拟考虑取水点的多项水质指标,判断水质的优劣情况。为了能够客观反映取水点的水质变化特点,取样时分别对 11 个取水点的不同水深进行水质多年连续取样(图 6)。取样点涵盖了右江上游 28 km 的江段、左江上游 20 km 范围内以及一期工程老口取水口附近的水样。连续 5 年以上逐月水质分析的结论发现,水质整体均为 II 类水质,其中色度、DO 指标和高锰酸盐指数在左 1 点及以上、右 1 点及以上均呈现较为稳定的特点,各取水点连续监测水质差别不大。

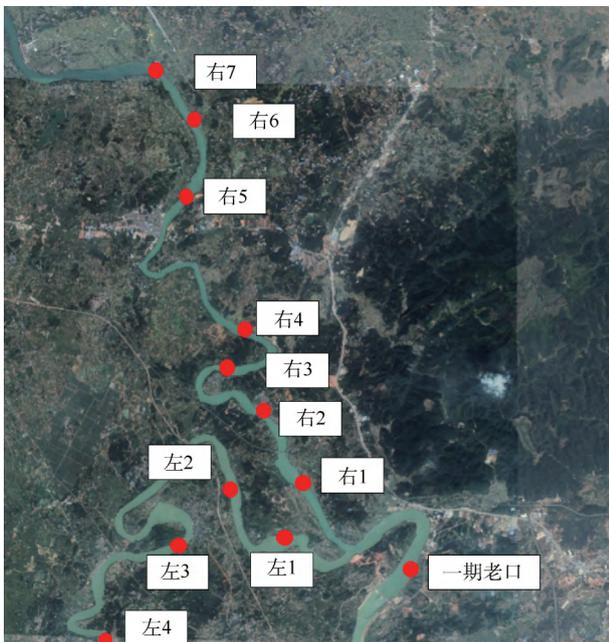


图 6 上游引水拟考虑水源地水质取样点布置

Fig. 6 Sampling Points Layout of Upstream Raw Water Quality

(5)水源地保护区社会经济影响。按照水源地保护范围划分规范,划定保护区方案,综合判断 I 级和 II 级保护区范围内对社会经济的影响。

(6)工程环境影响评价。对保护区范围内外可能存在的环境影响评价纳入工程决策评价。

从水利调度政策、水源地保护区范围、国土空间规划、水文水质、工程建设投资等多个方面比选水源地的制约因素进行考虑。决策时通过专家打分法和经济技术比较,认为左 2 和右 4 的 2 个取水点常年水质监测数据较为理想,所需要解决的政策和工程难题较少,工程投资和常年运行费用适中,工程效益、环境效益和社会效益较为均衡,作为工程双源取水的水源地,可以有效地体现城市

韧性保障的功能。

3.4 二期工程输水系统

二期工程设计引水规模为 268 万 m^3/d ,建设内容包含左江取水泵站(规模为 134 万 m^3/d)、右江取水泵站(规模为 134 万 m^3/d)、石埠泵站(规模为 30 万 m^3/d)、老口泵站改建及原水输水管隧系统。工程建设输水隧洞有效洞径为 DN4000~DN4600,输水管线口径为 DN2000~DN3000,全线长度合计为 28.2 km。除了与一期工程衔接后,还满足了石埠水厂水源供应、三津水厂扩建后水源地迁移的功能,取水规模扩大到 268 万 m^3/d ,参考上海的实践成果^[3],实现了城市水源“两江并举、互为备用”的原水战略保障格局。二期工程需要穿越的障碍物包括不规则溶洞、右江、邕江、山体、高速公路、国道、堤防和村庄住宅等。为了减少输水能耗,设计采用了有压隧洞双层衬砌的输水方式,隧洞最深处埋深为 150 m,保障安全供水的同时在输水节能方面有较好的效果^[6]。一期工程和二期工程的布置如图 7 所示。

4 工程运行效果

原水系统在厂内实现 2 种水源的切换接管后,上游引水一期工程于 2018 年开工建设,2019 年 4 月进入试运行。二期工程于 2024 年 2 月开工建设,预计于 2027 年建成通水。

4.1 节能效果

由于工程可以利用老口枢纽的重力水头,通过长距离重力流输水实现了 228 万 m^3/d 的原水输水 17 km 能耗为 0 的节能效果^[6]。与原取水泵房平均提升扬程 22 m 相比,泵站系统性大管径输水平均扬程约为 17 m,节能效果十分明显。

4.2 水质安全

随着 2019 年初邕宁梯级落闸蓄水后,南宁市区原有水源地的水质产生了新的变化。一期工程通水切换水源后各水厂各项生产正常,一期工程老口水库水源的水质并未受到邕宁梯级蓄水影响,各水厂制水工艺得到了良好的保障。邕宁梯级落闸前后原各水厂水源地水质变化主要体现在以下 2 个方面。

(1)水库型水源地藻类生长特征

2018 年底开始,邕宁梯级开始落闸蓄水,水位抬升约 6 m 后城区段的邕江水面变宽,水体流速放缓,水体呈现湖泊型水库特征^[8]。蓄水前各水厂取

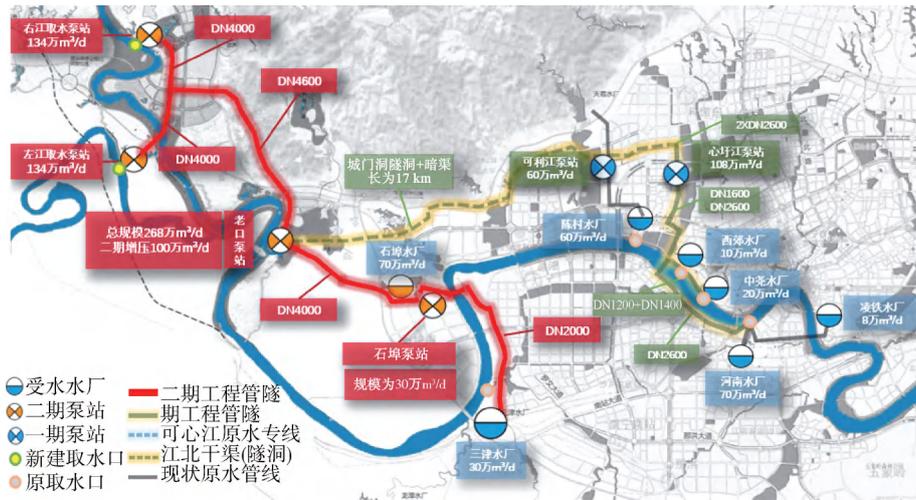


图 7 邕江引水二期工程系统布置

Fig. 7 System Layout of Yongjiang Water Diversion Project Phase II

水口藻类数量多年平均数量维持在 100 万个/L。蓄水后逐渐呈现了富营养化的特征,藻类密度逐渐升高,2021 年 3 月份最高达到了 1 200 万个/L [图 8(a)]。因此,对于尚未实施取水口迁移的三津水厂生产运行产生了较大的影响,滤池反冲洗的频次明显增加。

(2)微生物污染现象较为明显

水源切换前,原有沿江取水口的粪大肠杆菌 II 类超标天数每个月约为 26.4 d,部分月份全部超标。一期工程通水后,老口水库水源粪大肠杆菌超标日明显降低,平均超标天数不足 5 d [图 8(b)],可见原水水质已不易受到市区排污污染的影响。

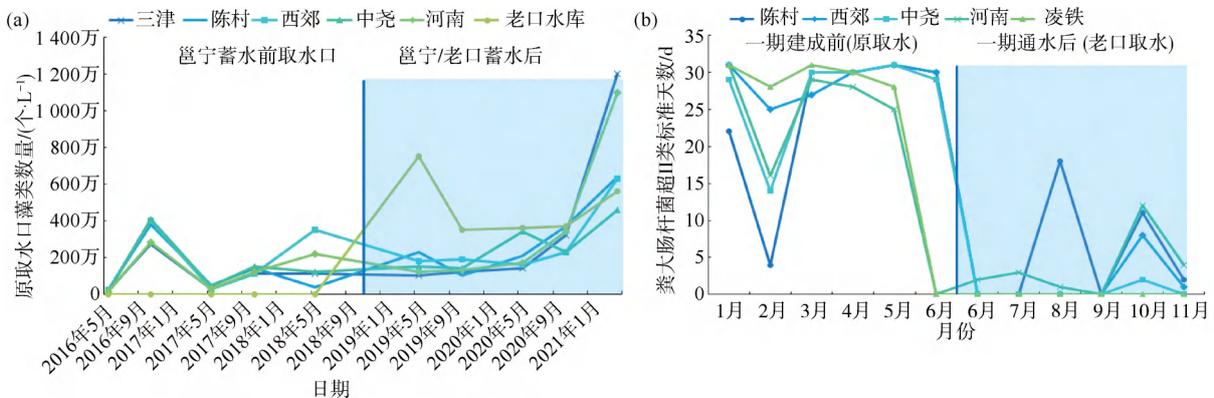


图 8 一期工程切换前后水源地原水水质变化

Fig. 8 Change of Raw Water Quality of Water Sources before and after phase I project

因此,相关水利工程的建设对城区水源地的环境不利影响是较为明显的^[9],相关环境评价的预测结论基本准确。一期工程选择的老口水源地的水质条件,优质的原水对水厂的安全供水和生产降耗有直接的影响,工程建成通水产生了明显的社会效益。但是,由于一期的水源地取水规模尚不满足 2035 年城市发展原水需求,且在原水安全保障、水质风险防控方面仍存在单一水源、易受到航运枢纽运行影响等问题,为提高城市的安全韧性水平,提

高取水能力并降低水源系统性风险,二期工程仍需要加快建设。

5 总结

通过合理规划,研究选择兼顾环境保护和经济发展的多水源系统,对于保障城市供水安全,提高水源地集中环境保护能力,实现多水源互备具有十分重要的作用。总结本项目的主要特点有。

(1)可持续发展理念作为指导,融合城市生态与供水安全目标。创新地把城市生态用水与优质原

水引水相融合作为城市建设可持续发展的创新理念的突破口,充分利用邕江上游左江、右江两处非同源河流取水的水文、水质条件,高效实施结合既有水利输水设施供水安全保障的改造技术,更高程度上实现了城市生态保护和可持续发展的水资源配置多重目标。

(2)全面系统的低碳设计,实现引水的节能高标准。规划和设计优化低水头、大断面重力流隧洞、矩形渠道引水输水给水系统,成功实现了 17 km 大流量输水“零能耗”的工程实践。

(3)统筹规划,分期建设。南宁市的水源地建设通过统筹多个水源特征,分期规划和建设,既可以缩短城市重大工程建设工期要求,又可以为大型工程充分研究论证提供必要的时间,对于同类型的城市具有一定的参考意义。

参考文献

- [1] 南宁交通投资集团有限公司. 广西南宁市邕宁水力枢纽工程环境影响报告书[R]. 广东:珠江水资源保护科学研究所, 2013.
Nanning Communications Investment Group Co., Ltd. Environmental impact report of Yongning hydropower project in Nanning [R]. Guangdong; Pearl River Water Resources Protection Research Institute, 2013.
- [2] 南宁市水利局. 南宁市 2022 年水资源公报 [R]. 广西:南宁市水资源公报, 2023.
Nanning Water Resources Bureau. Nanning Water Resources Bulletin 2022 [R]. Guangxi; Nanning Water Resources Bulletin, 2023.
- [3] 于大海. 上海原水系统现状及发展规划[J]. 水资源开发与管理, 2022, 8(4): 15-23.
YU D H. Present situation and development planning of raw water system in Shanghai [J]. Water Resources Development and Management, 2022, 8(4): 15-23.
- [4] 南宁市人民政府. 关于同意南宁市水功能区划的批复:南府复[2012]107号[EB/OL]. (2012-10-22) [2024-03-27]. <https://s1.nanning.gov.cn/zwgk/fdzdgnr/zcfg/t196048.html>.
The People's Government of Nanning City. Approval on agreeing to the water function zoning of Nanning City: Nanfu Fu [2012] No. 107 [EB/OL]. (2012 - 10 - 22) [2024 - 03 - 27]. <https://s1.nanning.gov.cn/zngk/fdzdgnr/zcfg/t196048.html>.
- [5] 王健,黄东海,梁侠津. 河道补水与城市原水系统集成设计[J]. 给水排水, 2018, 44(6): 106-110.
WANG J, HUANG D H, LIANG X J. Systematic application of in raw water and river supplement [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(6): 106-110.
- [6] 王健,龙文波,韦永平. 大型输水干渠的多功能系统性利用研究[J]. 中国给水排水, 2018, 34(22): 41-46.
WANG J, LONG W B, WEI Y P. Multifunction research of large water transfer tunnel [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(22): 41-46.
- [7] 焦琰. 我国饮用水水源保护地方立法的目标优化、模式创新与制度完善[J]. 环境保护, 2021, 49(9): 48-51.
JIAO Y. Objective optimization, mode innovation and system improvement of local legislation for drinking water source protection [J]. Environment Protection, 2021, 49(9): 48-51.
- [8] 范丽霞. 集中式饮用水水源地环境治理研究[D]. 南宁:广西大学, 2019.
FAN L X, Study on environmental treatment of centralized drinking water source [D]. Nanning: Guangxi University, 2019.
- [9] 陈蓓. 南宁市水源地的生态系统水涵养功能研究与污染预测[D]. 南宁:广西大学, 2016.
CHEN B. Water conservation function and pollution prediction of ecosystem in water source area of Nanning City [D]. Nanning: Guangxi University, 2016.
- [48] HONG Y Z, LI C S, MENG Y D, et al. *In situ* synthesis of a nanoplate-like Bi-based heterojunction for photocatalytic degradation of ciprofloxacin [J]. Materials Science and Engineering: B, 2017, 224: 69-77. DOI: 10.1016/j.mseb.2017.07.010.
- [49] GUO F, SHI W L, WANG H B, et al. Study on highly enhanced photocatalytic tetracycline degradation of type II AgI/CuBi₂O₄ and Z-scheme AgBr/CuBi₂O₄ heterojunction photocatalysts [J]. Journal of Hazardous Materials, 2018, 349: 111-118. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2018.01.042.
- [50] ZHANG Q, YU P, DENG F, et al. Porous Z-scheme MnO₂/Mn-modified alkalized g-C₃N₄ heterojunction with excellent Fenton-like photocatalytic activity for efficient degradation of pharmaceutical pollutants [J]. Separation and Purification Technology, 2020, 246: 116890. DOI: 10.1016/j.seppur.2020.116890.

(上接第 22 页)