

述评与讨论

DOI: 10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.24.001

珠江三角洲水资源配置工程技术方案思考

黄祥荣, 黄 鹄, 宁天竹

(中国市政工程西北设计研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 珠江三角洲水资源配置工程自西江取水,经加压输送至广州南沙区、东莞和深圳,是优化配置珠江三角洲东、西部水资源的大型跨区域调水工程。主要对珠江三角洲水资源配置工程输水和交水方式,受水区原水和给水系统现状与规划、用水需求分布、水质污染风险,以及咸水线上溯对区域取水的影响等方面进行分析,从给水工程角度对输水线路和输水方式进行思考,并提出基于东、西江联供的深层隧洞自流输水方案。在保障工程目标的前提下,可更好地与受水区城市原水及给水系统衔接,且可缓解因西江干流取水导致盐水线进一步上移对下游城市取水的影响。

关键词: 珠江三角洲; 水资源配置; 输水方式

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)24-0001-07

Introspects on the Engineering Technology Scheme of Water Resources Allocation in the Pearl River Delta

HUANG Xiang-rong, HUANG Gu, NING Tian-zhu
(CSCEC AECOM Consultants Co. Ltd., Lanzhou 730000, China)

Abstract: The Pearl River Delta water resources allocation project draws water from the Xijiang River and transports it to Nansha District of Guangzhou, Dongguan and Shenzhen under pressure, which is a large-scale cross-regional water transfer project to optimize the allocation of water resources in the east and west of the Pearl River Delta. For the project of the allocation of water resources in the Pearl River Delta, we analyzed the following aspects: the current situation and planning of the raw water supply system in the water-affected area, the distribution of water demand, the risk of water pollution, and the impact of the salt water line on regional water collection. On this basis, from the perspective of water supply engineering, this paper introspected the water supply line and water transmission mode, and proposed the scheme of gravity water transmission in deep tunnel, which is based on the combined supply of East and West rivers. While ensuring the project objectives, the scheme can better connect the urban raw water in the water receiving area with the water supply system. The scheme can prevent the movement of salt water line, which is caused by water intake in the main stream of West River, and can also reduce the negative impacts on water intake in downstream cities.

Key words: Pearl River Delta; allocation of water resources; water transmission mode

1 工程背景

自改革开放以来,珠江三角洲一直是全国经济最活跃的地区之一。“十九大”后,在中央部署和推

动下,珠三角九市携手港、澳打造的粤港澳大湾区上升为国家战略。持续、快速的经济发展和城市建设,须由土地、水资源、环境等作为承载。粤港澳大

湾区东、西部区域的自然条件与发展很不均衡,其中水资源尤甚(见图1)。珠江三角洲水资源配置工程是国务院批准的《珠江流域综合规划(2012—2030年)》提出的重要水资源配置工程,也是国务院要求加快建设的全国172项节水、供水重大水利工程之一。工程从珠江三角洲河网区西部的西江水系向东引水至珠江三角洲东部,主要目标是解决粤港澳大湾区东海岸城市经济发展的缺水问题,改变广州南沙区及深圳、东莞的单一供水格局,同时为顺德、番禺、香港提供应急备用水源。

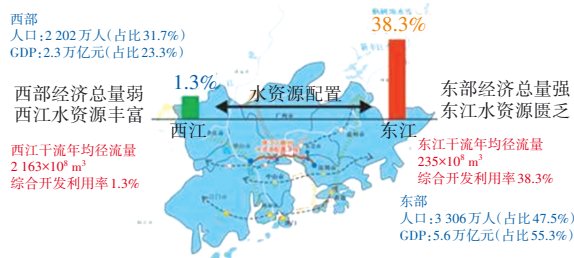


图1 粤港澳大湾区东西部对比

Fig.1 Comparison of east and west of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

工程项目建议书和可行性研究报告分别于2016年9月14日、2018年8月2日获得国家发展和改革委员会批复,初步设计于2019年2月1日获水利部批复,总投资354亿元。工程于2019年5月6日全面开工,计划2022年完工。

2 工程方案概况

根据项目工程可行性研究批复,珠江三角洲水资源配置工程设计近期水平年为2030年,远期水平

年为2040年,按远期总调水规模一次性建成。设计取水规模为80 m³/s,年均取水量为17.87×10⁸ m³/a。各市、区配水规模见表1。

表1 珠江三角洲水资源配置工程引水规模

Tab.1 Scale of water diversion in the water resources allocation project of the Pearl River Delta

项 目	供水量/ (10⁸ m³·a⁻¹)	引水量/ (10⁸ m³·a⁻¹)	引水流量/ (m³·s⁻¹)
广州南沙新区	5.31	5.47	20
东莞	3.30	3.48	20
深圳	8.47	8.92	40
合计	17.08	17.87	80

珠江三角洲水资源配置工程主体由一条干线、两条分干线、一条支线、三座泵站和一座新建调蓄水库组成。干线全长为90.3 km,取水点位于西江干流佛山市顺德区境内的鲤鱼洲岛,通过泵站提升由双线隧洞输水至广州南沙区高新沙水库,在此向南沙区分水;然后经高新沙泵站加压以单线隧洞形式输水至东莞沙溪高位水池,在此设东莞沙溪分水口;最后干线以单线隧洞自流方式输水至深圳罗田水库。深圳分干线由罗田水库取水,经泵站加压后通过隧洞输水至公明水库;东莞分干线由罗田水库取水,以隧洞和顶管形式自流输水至东莞松木山水库。南沙支线平行于干线布置,由高新沙水库取水,以隧洞形式自流输水至南沙区黄阁水厂。鲤鱼洲泵站、高新沙泵站和罗田泵站的设计扬程分别为49、59、39.5 m,装机容量分别为6.4×10⁴、6.0×10⁴、2.0×10⁴ kW。

工程总体布置见图2。



图2 珠江三角洲水资源配置工程总体布置

Fig.2 Overall layout of the Pearl River Delta water resources allocation project

思贤滘来水量不小于2 500 m³/s时,工程按需引水,最大引水量为80 m³/s。思贤滘来水量小于2 500

m³/s时,工程停止向深圳和东莞供水,仅取水20 m³/s供南沙。深圳和东莞的工程设施检修期为30 d,设

在枯水期,由受水区调蓄水库供水。南沙的工程设施检修期维持单管连续供水。

3 对技术方案的一些思考

3.1 输水线路

项目规划阶段设计了四个输水线路方案,项目建议书阶段设计了北线、南线和南北结合线三个输

水线路方案(见表2、图3)。可研阶段舍弃了南线,总体沿用项建阶段的北线和南北结合线两个方案,并从取水口水量、水质和环境制约因素、线路长度、地质条件、穿越障碍物及交叉建筑物情况、施工难度及工期、征地及建筑物保护等方面进行综合比较(见表3),最终确定实施方案为北线方案。

表2 输水线路各段断面类型及长度

Tab.2 Section type and length of water transmission line

项 目	行政区	境内长度/km	断面类型	长度/m
输水干线 (鲤鱼洲高位水池—高新沙水库)	佛山市顺德区	27.6	2D6 000 mm盾构隧洞	27 626
	广州市南沙区	13.4	2D6 000 mm盾构隧洞	12 989
			双孔 4.5 m×4 m箱涵	381
输水干线 (高新沙水库—沙溪高位水池)	广州市南沙区	11.8	D8 500 mm盾构隧洞	11 842
	广州市番禺区	5.2	D8 500 mm盾构隧洞	5 164
	东莞市	11.1	D8 500 mm盾构隧洞	11 134
输水干线 (沙溪高位水池—罗田水库)	东莞市	18.7	单孔 4.5 m×4 m箱涵	160
			5.6 m×3.8 m城门洞隧洞	7 698
			双孔 4 m×4 m箱涵	571
			D8 200 mm隧洞(TBM法)	10 239
深圳分干线 (罗田水库—公明水库)	深圳市	11.9	DN4 800隧洞	5 832
			D6 000 mm盾构隧洞	6 052
东莞分干线 (罗田水库—松木山水库)	东莞市	3.4	DN3 000隧洞	1 398
			D4 000 mm盾构隧洞	1 870
			DN2 600钢管	164
南沙支线(高新沙水库—黄阁水厂)	广州市南沙区	7.4	D6 000 mm盾构隧洞	7 353
南沙应急分水管(输水干管—黄阁水厂)		2.0	DN2 000钢管外包混凝土	1 964



图3 珠江三角洲水资源配置工程线路方案(项目建议书阶段)与区域水厂分布

Fig.3 Route scheme of the Pearl River Delta water resources allocation(project proposal stage)and the distribution of regional water plants

项目在输水线路选择时,很大程度上受到高新沙水库限制。北线和南北结合线控制点在高新沙

水库,水库以西段线路方案不同,以东段相同。高新沙水库是广州南沙区规划的一座平原小(二)型

水库(区内现状无蓄水工程),主要功能是调蓄珠江三角洲水资源配置工程供给南沙的西江水,同时作为南沙应急备用水源水库。考虑到东莞和深圳有东江水源,南沙现状水源为沙湾水道和陈村水道

(取水风险不断增大),无其他应急水源,故线路设计时优先考虑南沙供水,取水点至高新沙水库段采用双洞供水,往后为单洞供水,在上游来水量小于设计值及检修时,只保障南沙供水。

表3 输水线路比较(取水口—高新沙水库)

Tab.3 Comparison of water transmission lines (from water intake to Gaoxinsha reservoir)

方案	路由及长度	取水口水量、水质及环境	交叉建筑物	征地移民	综合评价
北线	鲤鱼洲取水,向东经佛山顺德区和广州南沙区,全长40.9 km	位于西江干流,水量较南北结合线优;地表水Ⅱ类水质,但取水口上游有2个油码头,存在水质风险;位于海心沙上游10 km,离咸潮影响线更远	管廊核心区内房屋119座;穿高速7处,其他公路5处,地铁2处;穿越通航河道及堤防8处	涉及永久占地、临时用地及临时搬迁人口数量与南北结合线差别不大	无环境限制因素,除水质风险外,其他方面均较南北结合线优
南北结合线	海心沙取水,向东经佛山顺德区、中山市和广州南沙区,全长46.0 km	位于东海水道(西江分汊),地表水Ⅱ类水质,水质风险较北线小	管廊核心区内房屋175座,穿高速4处,其他公路14处,铁路和地铁3处;穿越通航河道及堤防8处	涉及的临时停产企业数量比北线方案多,停产损失补偿费用较高,对地方社会和经济影响较大	无环境限制因素,线路长度、交叉建筑物及征地移民等比北线方案稍差

在高新沙水库确定的前提下,北线方案在线路长度、征(占)地、工程量及投资等方面具有一定优势。但若高新沙水库不作为控制点,从给水工程角度来看,总体南线方案相对会更合理,理由如下:

① 对置供水

对置供水是水源、水厂规划的重要原则之一。分析南沙、东莞和深圳三区市的水源和水厂布局,北线方案整体维持了南沙和东莞由北向南、深圳由东向西的现状供水格局。而若采用南线方案,则可很好地实现对置供水目标:南沙主要交水于规划万顷沙水厂(或调整为南沙水厂),与现状黄阁水厂南北对置供水;东莞交水于沿海南部的五点梅、马尾、芦花坑水库群,就近接入东江与水库联网工程,与北面东江一线形成对置供水,而无需输水至最远的、联网工程最东端的松木山水库(北线东莞支线方案),再向东南方向反向调水;深圳交水于西部沿海的大空港,在此规划大型水厂,与沿海片区东部线性布置的朱坳水厂、长流陂水厂、五指耙水厂等对置供水,而北线方案输水至罗田水库,会进一步强化由东向西单向供水的不利布局。

② 受水区取用水需求与条件

南沙区面积相对不大,且现状无水库等水源调蓄设施,域内只有两座水厂(黄阁和万顷沙水厂),输水线路对其取用水影响较小。北线方案对线路北部的番禺区比较有利。根据规划,南沙2020年用

水量为 $105 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,黄阁水厂(规划 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,现状 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)和万顷沙水厂($20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)供水不足部分由番禺区各水厂供给。规划水源为东海(容桂)水道或珠三角西水东调工程,但该项目实施后,考虑到东海(容桂)水道位于项目取水点下游,水源必定是本项目调水。现状番禺区各水厂和黄阁水厂取水点主要在顺德水道、沙湾水道和陈村水道,取水受项目影响小,可维持供水现状,关键是对现状水体水质的保护。万顷沙水厂远离北线,若通过北线输水至万顷沙水厂则工程量较大,而自洪奇沥水道取水水质较差,相比而言,南线方案更有利于万顷沙水厂取水。

东莞主要受水区是西南片区的长安、虎门和厚街三镇,三镇未来的主力供水厂分别是长安水厂($30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)、虎门水厂($30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)和厚街水厂($30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)。前两者水源是五点梅、芦花坑水库群(已与马尾三库连通),后者水源是横岗水库,均属于九座联网水库范畴。南线方案交水于五点梅、马尾、芦花坑水库群,超过1/3的引水量直供水厂,无需二次转输,松木山水库东江调水常态下也无需向东线转输,近水近用。

深圳未来的用水增量主要集中在西部滨海片区的大空港、福永、沙井。南线方案可在大空港就近分水,就近设厂(规划 $90 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$),就近供水。北线方案对东莞和深圳影响类似,引水穿越过主要

受水区,再反向二次调、输水至受水区供水。

③ 咸潮上溯影响

西江和北江三角洲是广州、佛山、江门、中山、珠海、澳门的主要水源地,现状取水规模 $2\ 087\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ($242\text{ m}^3/\text{s}$),规划取水规模 $2\ 597\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ($300\text{ m}^3/\text{s}$)。按工程调度设计,当思贤滘来水量小于 $2\ 500\text{ m}^3/\text{s}$ 时,工程停止向深圳和东莞供水,仅取水 $20\text{ m}^3/\text{s}$ 供南沙。故以思贤滘来水量 $2\ 500\text{ m}^3/\text{s}$ 、工程取水 $80\text{ m}^3/\text{s}$ 为取水最不利条件,对频率(P)分别为 10%、50%、90%、97% 的不同典型年工况进行模拟分析:在现状取水规模下,磨刀门、横门、洪奇沥水道咸界线上移最大距离分别为 437、162、118 m,枯水季下游联石湾、平岗、竹洲头、大丰、全禄和沙湾取水口的平均取淡率分别减小 2.81%、2.81%、2.40%、2.24%、0%、0%;规划取水规模下,磨刀门、横门、洪奇沥水道咸界线上移最大距离分别为 759、281、205 m,枯水季下游联石湾、平岗、竹洲头、大丰、全禄和沙湾取水口的平均取淡率分别减小 4.88%、4.88%、4.28%、3.89%、0%、0%^[1]。可见,本项目实施对上游的佛山和广州,以及取水口下游西海水道段沿线的江门和中山西部片区(古镇、横栏、大涌)基本没有影响,对中山北部的小榄和鸡鸦水道沿线、南部三镇(坦洲、三乡、神湾),以及珠海和澳门的影响较大。北线方案经顺德和广州,在基本无影响的顺德、番禺设应急分水口,而对受影响较大的下游区域却无法应急供水,需通过新建配套工程来保障,比如扩建珠海广昌和竹洲头泵站、将中山南部三镇取水口上移(正实施,总投资 14.43 亿元)等。南线方案中山段穿越五乡、大南联围,设分水口可就近将取水对中山影响较大的小榄、东风、南头、黄圃、东升、新涌、大丰 7 座水厂纳入应急供水范围,可覆盖中山市 62.5% 的供水量,最大程度地保障下游受影响较大的中山的供水安全。

④ 与现状水源及管网布局的衔接

北线方案穿越狮子洋,在东莞沙溪水库南侧进入沙溪高位水池,自流进入罗田水库后再通过分干线分别交水于东莞松木山水库和深圳公明水库。在沙溪高位水池向东莞主要受水的西南片区分水 $10\text{ m}^3/\text{s}$,在罗田水库分水 $20\text{ m}^3/\text{s}$ 为深圳主要受水的西部滨海分区供水。

根据规划,东莞东部片区水源为东深供水,水乡、沿江片区和沿海、中部片区的中北部水源为东

江水,沿海、中部片区的南部(项目主要受水区)水源为联网水库。项目在沙溪高位水池分水,需再配套建设原水管将调水输送至联网水库,与联网水库原规划西线连通方案存在矛盾,因此,还需要对江库连通规划做较大调整,才能与现状和规划水源及水厂布局相衔接。

深圳总体已构建连通东深和东部供水工程的全市原水管网系统。项目分水点在罗田水库,为适应该输水线路,深圳取消了适应南线的在大空港提水和设厂方案,规划在罗田水库新建罗田水厂($90\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$)。该方案需要对西部滨海的西北部片区供水干管做整体扩容,工程量巨大。而若采用南线方案,南北对置供水,基本可维持现状供水干管不变。

3.2 输水方式

项目前期方案中,规划报告主干线采用四级提升(杏坛、顺峰、南沙、五点梅),除穿越狮子洋等局部采用盾构隧洞外,其余均采用开挖埋管;项目建设和可研主干线采用二级提升(鲤鱼洲、高新沙),输水方式已经整体调整为深层隧洞。针对项目输水线路沿线地面建(构)筑物密度和交通量大及以软土地质为主等特点,与明挖和浅埋管道相比,暗挖技术在减少拆迁和征(租)地、交通影响、软基处理、施工成本和进度、防止水质二次污染、对环境的影响等方面都有明显优势,理应在项目中重点采用。

实施方案总体采用深层隧洞输水,主干线二级提升末端分别设置高新沙和罗田水库交水,主要有以下几个方面值得思考:

① 起点高位水池停留时间有限,主干线隧洞呈多段“U”型结构,并采用往复坡度(见图 2),易加剧淤积,且不利于清淤。珠江三角洲河流输沙主要以悬移质为主,各主要控制站输沙量多年平均值为 $0.11\sim 0.31\text{ kg}/\text{m}^3$,西江马口站最大为 $0.31\text{ kg}/\text{m}^3$ 。项目输水量 $17.87\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$,相应输砂量 $55.40\times 10^4\text{ t}/\text{a}$,实施方案在没有前置沉砂池的情况下不可低估隧洞沉砂量。根据引黄济青等调水工程的运行经验^[2],沉砂淤积既会降低输水能力,也会缩短工程使用寿命。设计每年一个月的检修期,既降低了供水的保障率,也削弱了工程效益。

② 交水水库库容小,调蓄能力有限,交水水库后再分水,水质易污染。高新沙水库规划总库容 $2\ 500\times 10^4\text{ m}^3$,但受用地和拆迁等条件限制,设计实施总库容调整为 $469.5\times 10^4\text{ m}^3$,兴利库容 $356.4\times$

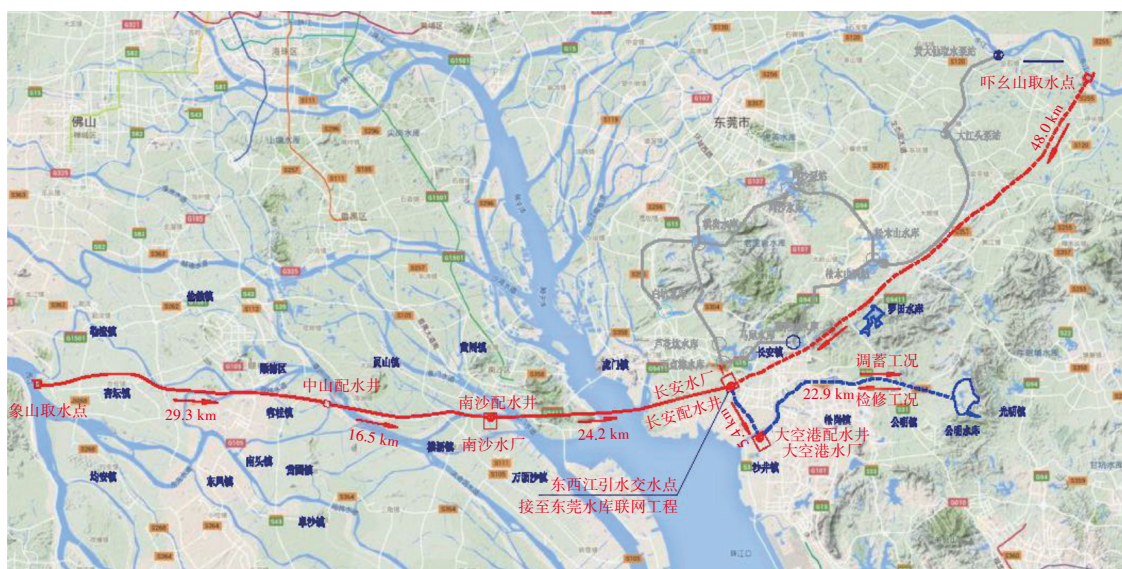
10^4 m^3 。南沙区规划2020年用水量 $55.79 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,可见该水库作为应急水源的功能较弱。正因如此,取水点至高新沙水库段采用双隧洞输水,以提高南沙供水安全保障。罗田水库总库容 $2\,913.5 \times 10^4 \text{ m}^3$,兴利库容 $1\,980.0 \times 10^4 \text{ m}^3$,相比其 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ 的分流以及 $172.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的供水要求,库容仍较小。

珠三角开发强度大,水库水质污染风险高。高新沙水库为平原水库,选址东西两侧临河,南侧贴黄榄快速路,北侧邻近规划路,上游有规划工业用地,且南沙区区域整体是一个以造船、石化和钢铁为主,兼顾汽车、塑料、电子、食品加工的产业基地。通过对水库所在区域的土壤监测,重金属Cd、Zn、As等指标超过《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018)二级标准,与黄

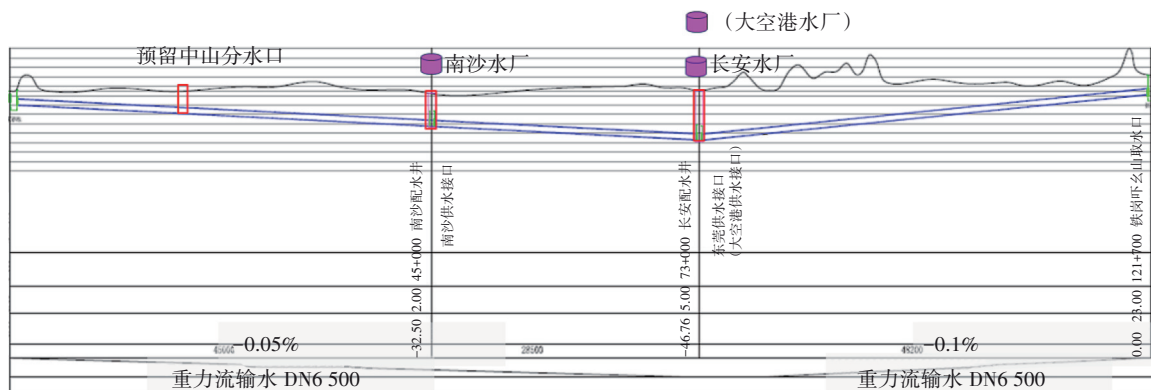
思宇等^[3]对南沙区土壤中重金属Zn、Pb、Cr、Ni、Cu、Cd等含量的检测和分析成果基本相符。罗田水库集雨面积 20.0 km^2 ,根据2017年底的调查,集雨范围内分布企业32家,有废水排放的企业3家。西南向距离深圳市最大的生活垃圾焚烧厂——宝安生态能源园(规模 $8\,000 \text{ t/d}$)约 2 km ,因夏季盛行西南风,环境风险较大。由上述可见,交水水库再分水,周边及区域环境造成水质潜在变差或污染的风险不小。

3.3 总体技术方案优化思考

由于对珠三角引水调水的长期参与和关注,笔者单位团队曾在项目项建阶段,提出基于珠江三角洲水资源配置工程南线方案的东江、西江连通深层隧洞自流输水方案(见图4)。



a. 平面示意



b. 剖面示意

图4 对比方案平剖面

Fig.4 Plan drawing and section plane drawing of comparison scheme

西江段由佛山杏坛镇象山西江干流取水,向东 北穿农田至顺德支流水道;后向东南至容桂水道,

沿容桂水道向东穿南方医科大学顺德校区一罗孝公园—容桂马岗森林公园进入大岗;后继续向东穿洪奇沥水道进入南沙区潭洲镇,沿潭洲沥—上横沥向东至横沥镇;继而往东穿蕉门水道及南沙区黄山鲁山区南部,再横穿珠江口进入东莞长安镇。沿线在容桂镇预留中山分水口,作为中山市备用水源;在横沥镇设南沙分水口及南沙水厂,主要向南沙区南部供水,预留向南沙北部和番禺区应急分水口;在长安镇设分水井,分别向东莞长安水厂和深圳大空港水厂供水,余量分别提升进入东莞五点梅水库和深圳公明水库,接入两市原水系统。西江段干线全长72.0 km,洞径DN6 500,坡度0.05%,最深埋深51.75 m;大空港支线长5.4 km,洞径DN5 000,埋深55.75 m。

东江段整体位于东莞境内,自企石镇铁岗吓么山东江干流取水,穿吓么山后沿桥头林场丘陵地带向西南延伸,在黄泥塘南进入常平,沿横江夏南部丘陵马头山—羊台山—太和山—牛古岭进入大朗南部丘陵,继续向西南至长安镇西线分水井与西线贯通。东线洞径DN6 500,坡度0.1%,全长48.2 km。

该方案优点包括:①东西江联供,通过闸门控制分段检修,除深圳和东莞外,南沙也可实现双水源供水,且无需新建平原水库,可进一步提升供水安全性;②全线隧洞重力输水,末端集中提水,沿线无水质二次污染风险,同时节省能耗,运行管理和电费分摊边界清晰;③东江、西江取水口利用天然水塘改造为沉砂池,减少管道淤积及运管成本;④与受水区现状及规划原水、供水系统衔接较好,厂、网改造小;⑤可较好地缓解因西江干流取水沿线进一步上移对下游城市取水的影响。

4 结语

水资源是城市社会经济发展的主要承载力之一,跨区域调水既是民生水,也是经济水和政治水。珠三角水资源配置工程连通粤港澳大湾区东、西岸,优化了东、西江水资源利用,进一步完善了区域供水布局并强化了区域供水安全,是助推粤港澳大湾区实现国际一流湾区和世界级城市群目标的重要基础设施项目。

针对珠三角水资源配置工程的技术方案,笔者结合对方案内容和受水区情况的分析,从给水工程的角度对输水线路和输水方式两方面提出一些自己的思考供探讨。调水工程是一个复杂的多专业系统工程,一般由水利工程专业主导,给排水工程专业参与不足。水利工程视角与给水工程视角有差异,水利工程一般是解决水资源配置问题,给水工程是解决原水到给水全流程问题。珠三角水资源配置工程在城市群范围内调水,调水与沿线城市原水和给水系统很难分开,考虑及限制因素更多,水利工程与给水工程应进行更有机的衔接,且衔接宜前置在主体工程上,尽量减少“下游”配套工程,以给水、用水为目标导向,回归调水的本源。

参考文献:

- [1] 郑悦华,秦蓓蕾.广州市西江引水工程对珠三角网河区的影响分析[J].水利规划与设计,2013(5):9-13.
ZHENG Yuehua, QIN Beilei. Analysis of the impact of the Xijiang water diversion project on the Pearl River delta river area in Guangzhou [J]. Water Resources Planning and Design, 2013(5): 9-13(in Chinese).
- [2] 高鲁燕.引黄调水工程渠首沉沙建筑物对比选择分析[D].济南:山东大学,2012.
GAO Luyan. Comparative Selection Analysis of Sediment Settlement Structures at the Head of Canal of the Project of Transferring Water from Yellow River [D]. Jinan: Shandong University, 2012(in Chinese).
- [3] 黄思宇,彭晓春,陈志良,等.广州市南沙经济区土壤重金属形态分布研究[J].广东农业科学,2013(10):58-61.
HUANG Siyu, PENG Xiaochun, CHEN Zhiliang, et al. Species distribution of heavy metals in soil of Nansha economic zone of Guangzhou City [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013(10):58-61(in Chinese).

作者简介:黄祥荣(1983—),男,江西上犹人,硕士,高级工程师,主要从事市政给排水、水环境及固废工程的咨询、规划与设计工作。

E-mail:9559720@qq.com

收稿日期:2021-02-26

修回日期:2021-03-17

(编辑:丁彩娟)