DOI:10.20040/j.cnki.1000-7709.2026.20250201

赣粤运河航运用水保障方案研究

杨 靓[1],李 翀[2]

(1. 交通运输部规划研究院 综合交通规划数字化实验室,北京 100028;
2. 中水珠江规划勘测设计有限公司,广东 广州 510610)

摘要:赣粤运河是《国家综合立体交通网规划纲要》所规划的国家高等级航道网"四纵四横两网"中的纵三——浙赣粤通道的重要组成部分。运河航运用水能否有保障是必须回答清楚的重要问题之一。从赣粤运河涉及的赣江、北江流域区域概况及水资源开发利用基本情况入手,根据赣粤运河过闸次数预测及船闸布置方案,开展运河各梯级枢纽船闸日平均理论耗水计算,从而测算赣粤运河航运用水量和缺水量。结合《江西水网建设规划》,推荐逐级循环提水的常态化日常供水+极富水库(崇仙坝址)的应急保通供水的组合方案,认为通过采取船闸节水技术、逐级提水、水库补水等措施的方案能够满足缺水枢纽梯级的补水需求,解决赣粤运河工程航运水资源不足问题,并提出了航运用水保障方案可深化研究方向。

关键词:赣粤运河;水资源;航运用水;船闸日均耗水量;方案研究

中图分类号:TV213.9 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-7709(2026)01-0048-04

Study on Shipping Water Quarantee Scheme of Gan-Yue Canal

YANG Jing[1], LI Chong[2]

(1. Digital Laboratory for Comprehensive Transportation Planning, Transport Planning and Research Institute Ministry of Transport, Beijing 100028, China; 2. China Water Resources Pearl River Planning Surveying and Designing Co., Ltd., Guangzhou 510610, China)

Abstract: The Gan-Yue Canal is an important component of the third vertical Zhejiang-Jiangxi-Guangzhou channel in the national high-level waterway network "four vertical-four horizontal-two networks" planned by the National Comprehensive Three-dimensional Transportation Network Planning Outline. Whether the canal shipping water can be guaranteed is one of the important questions that must be answered clearly. Starting from the general situation of the Ganjiang River and Beijiang River basins involved in the Gan-Yue Canal and the basic situation of water resources development and utilization, according to the prediction of the number of gates passing through the Gan-Yue Canal and the layout scheme of the ship lock, the daily average theoretical water consumption calculation of the ship locks of each cascade hub of the canal was carried out so as to calculate the shipping water consumption and water shortage of the Gan-Yue Canal. Combined with the "Jiangxi Water Network Construction Plan", the combination scheme of normalized daily water supply of step-by-step cyclic water lifting + emergency water supply of Jifu Reservoir (Chongxian Dam Site) was recommended. This paper holds that the scheme of taking corresponding measures, such as water-saving technology for locks, step-by-step water lifting, and water replenishment for reservoirs, can meet the water supply demand of the cascade of water shortage hubs and solve the problem of insufficient shipping water resources in Gan-yue Canal Project. Finally, the research directions for deepening the water supply guarantee plan of shipping have been proposed.

Key words: Gan-Yue Canal; water resources; shipping water; average daily water consumption of ship lock; scheme research

1 引言

赣粤运河自赣州储潭至韶关塔台,全长约316 km,是《国家综合立体交通网规划纲要》所规划的国家高等级航道网"四纵四横两网"中的纵三——浙赣粤通道的重要组成部分[1]。赣粤运河联通长江和珠江水系,涵盖江西、广东两省,涉及赣江流域和北江流域[2]。现有研究主要聚焦运河工程的线路、梯级、航道等级、运量预测等,为落实

收稿日期:2025-02-20,**修回日期**:2025-03-20,**接受日期**:2025-03-27

作者简介:杨靓(1983-),女,硕士、高级工程师,研究方向为水运规划,E-mail:9798908@qq.com

中国知网 https://www.cnki.net

国家重大部署,做好运河开发总体方案的顶层设计,运河航运用水能否有保障是必须回答清楚的重要问题之一。鉴此,本文通过计算运河各梯级枢纽船闸日平均理论耗水,测算赣粤运河航运用水量、缺水量,最终提出航运用水保障方案。

2　运河航运用水量

赣江流域和北江流域集水面积分别为 8.28×10^4、4.67×10^4 km^2,属于集水面积较大的河流。赣粤运河全长 316 km,拟利用天然河流长约 291 km,其中利用赣江、贡江、桃江、西河、浈江长分别约为 11、21、85、30、144 km。贡江(峡山站)多年平均流量为 430 m^3/s,河道面宽约 400～500 m。桃江(居龙滩站)多年平均流量为 191 m^3/s,河道宽 70～200 m,河道平均比降 7.3‰。浈江(长坝站)多年平均流量为 193 m^3/s,河道宽 60～200 m,河道平均比降 6.1‰。西河为桃江支流,多年平均流量为 8.82 m^3/s,多年平均径流量 2.78×10^8 m^3,河道宽约 20 m,河道平均比降 2.56‰。该线路除西河外,拟利用的贡江、桃江、浈江等河流自然条件较优,河道的水资源量相对较多,运河开发条件较好。

根据《船闸总体设计规范》(JTJ305-2001)[3],结合赣粤运河过闸次数预测及船闸布置方案,开展运河各梯级枢纽船闸日平均理论耗水计算,船闸一天内平均耗水量 $\bar{Q}$ 计算公式为:

$$\bar{Q}=nV/86\ 400+q \tag{1}$$

$$q=eu \tag{2}$$

式中,n 为日平均过闸次数(参考表 1 参数,单次过闸时间不超过 70 min,理论日最大过闸次数 21 闸次);V 为一次过闸耗水量,m^3;q 为闸阀门的漏水损失,m^3/s;e 为止水线上每米上的渗漏损失,m^3/(m·s),当水头小于 10 m 时取 0.001 5～0.002 0;u 为闸、阀门止水线长度,m。

根据赣粤运河过闸次数预测及船闸布置方案,各梯级船闸日平均理论耗水计算参数见表 1。

为保障水资源匮乏的运河越岭段船闸的正常运行,赣粤运河拟采用省水船闸技术破解运河越岭段航运用水资源紧缺难题[4]。结合国外部分省水船闸工程案例的水力参数分析,省水船闸的省水率主要取决于省水池的级数和面积,省水率随省水池级数和面积比的增大而增大,当省水池级数>3 时,随着省水池级数的增多,省水率仅略有增长;而与省水池面积等于闸室面积的省水率相比,面积比>1时省水率增幅有限。从已建工程方案看,2 级省水池方案节水效率接近 50%,3 级省水池方案节水效率接近 60%,5 级省水池方案节水效率接近 70%,基本接近理论分析计算的省水效率。根据专项研究结论,赣粤运河沿线各梯级均采用双线船闸方案[5],各梯级的省水船闸理论日均耗水量(即航运用水量)暂按 5 级省水池方案测算,结合各梯级用水、船闸来水情况及最大补水流量计算,经优化后实际采用省水池级数方案计算,详见表 2。

表 1　赣粤运河各梯级船闸日平均耗水计算参数表

Tab. 1　Calculation parameters of daily average water consumption in each ship locks of the Gan-Yue Canal

序号	枢纽	正常蓄水位/m	n 泄水次数	L'_c 闸长/m	B_c 闸宽/m	H_0 梯级水头/m	e	u/m
1	储潭	96.11	21	476	34.2	11.00	0.002	83.00
2	茅店	104.11	21	476	34.2	9.00	0.002	79.00
3	居龙滩	122.00	21	476	34.2	18.89	0.002	98.78
4	高良亢	131.00	21	476	34.2	10.00	0.002	81.00
5	五洋	141.00	21	476	34.2	11.00	0.002	83.00
6	梨坑	168.00	21	476	34.2	28.00	0.002	117.00
7	乌迳上	168.00	21	476	34.2	17.00	0.002	95.00
8	黄坑	152.00	21	476	34.2	23.00	0.002	107.00
9	佛岭头	130.00	21	476	34.2	26.00	0.002	113.00
10	黄江	105.00	21	476	34.2	21.96	0.002	104.92
11	新庄	84.04	21	476	34.2	12.22	0.002	85.44
12	周田	72.82	21	476	34.2	8.00	0.002	77.00
13	湾头	65.82	21	476	34.2	13.50	0.002	88.00

注:表中 n 泄水次数、e 单位分别为闸次/d、m^3/(m·s)。

表 2　赣粤运河各梯级枢纽船闸日平均耗水量计算表

Tab. 2　Calculation table of daily average water consumption in each ship locks of the Gan-Yue Canal

序号	梯级名称	正常蓄水位/m	船闸日均耗水量/(m^3·s^{-1})	理论计算的省水池级数	省水船闸理论日均耗水量/(m^3·s^{-1})
1	储潭	96.1	21.9	不设	
2	茅店	104.1	18.0	不设	
3	居龙滩	122	37.6	2	19.3
4	高良亢	131	19.9	1	14.2
5	五洋	141	21.9	1	15.5
6	梨坑	168	55.6	5	16.1
7	乌迳上	168	33.8	5	10.0
8	黄坑	152	45.7	5	13.3
9	佛岭头	130	51.7	5	15.0
10	黄江	105	43.7	5	12.7
11	新庄	84	24.3	5	7.3
12	周田	72.8	16.0	不设	
13	湾头	65.8	26.9	不设	

注:各梯级枢纽均按双线船闸耗水量估算。

3　运河航运缺水量

按水量平衡原理,根据推求的各梯级来水量系列和航运用水预测成果,测算不同梯级的缺水量,研究提出赣粤运河不满足 98%航运用水保证

中国知网　https://www.cnki.net

率的航运梯级集中于越岭段的 5 座梯级，其中江西段 1 座（梨坑）、广东段 4 座（乌迳上、黄坑、佛岭头、黄江），各梯级来水量、航运缺（补）水量、航运缺（补）水天数见表 3、图 1～3。经测算，推荐方案最大补水流量 26.1 m^3/s，多年平均缺水量 $6.64\times10^8 m^3$，主要缺水梯级为梨坑梯级和乌迳上梯级[6]。

表 3 各梯级航运缺（补）水量计算成果（5 级省水）

Tab. 3 Calculation results of water shortage (replenishment) in each cascade shipping (Level 5 water saving)

梯级	天然来水量/$10^4 m^3$		缺（补）水量/$10^4 m^3$		缺（补）水天数/d	
	多年平均	$P=98\%$	多年平均	$P=98\%$	多年平均	$P=98\%$
梨坑	13 857	6 826	37 787	43 640	344	354
乌迳上	2 298	1 092	28 651	29 979	357	364
黄坑	31 417	14 933	21 409	28 544	289	327
佛头岭	82 398	39 166	12 337	21 207	202	281
黄江	176 749	84 013	2 055	6 176	66	153

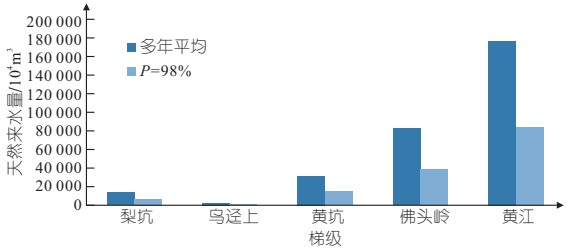

图 1 各梯级天然来水量示意图

Fig. 1 Schematic diagram of natural water flow in each cascade shipping

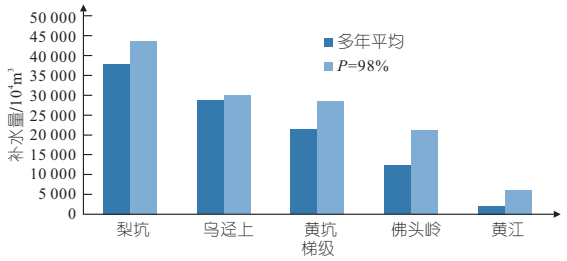

图 2 各梯级航运缺（补）水量示意图

Fig. 2 Schematic diagram of water shortage (replenishment) in each cascade shipping

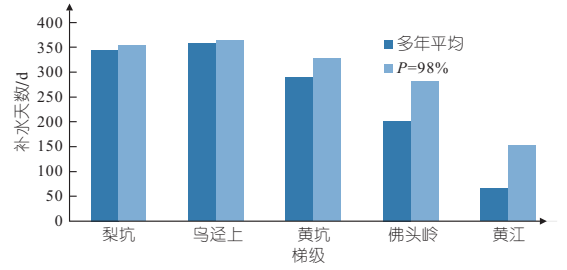

图 3 各梯级航运缺（补）水天数示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the number of days of water shortage (replenishment) in each cascade shipping

4 航运用水保障方案研究

根据赣粤运河推荐线路及航运梯级规划布置方案，以控制性补水高程即梨坑与乌迳上水库正常蓄水位 168 m，以及最大补水流量 26.1 m^3/s，多年平均缺水量 $6.64\times10^8 m^3$ 为研究条件，以优先满足自流补水要求，结合周边各水库地形高程条件及航运供水能力计算成果，初步拟定逐级循环提水和新建极富水库方案。

（1）逐级循环提水方案。逐级循环提水方案需在运河段天然来水不能满足航运用水需求的梯级坝址处兴建提水泵站，从航运梯级坝下提水到坝上航道内，以保障运河航道水深和相应梯级船闸用水需求。此方案无需兴建水源水库，只需从能满足自身航运需水的梯级开始，自下游往上游逐级提水，满足运河航道内的水资源循环利用。逐级循环提水方案具体布置如下：江西段提水方案为 1 级提水，即从五洋水库库尾（正常蓄水位 141 m）抽到梨坑枢纽库区（正常蓄水位 168 m）。共设 1 座提水泵站，为梨坑提水泵站（装机 6 100 kW），提水扬程 28.03 m。广东段提水方案为 4 级提水，依次从新庄梯级（正常蓄水位 84.04 m）→黄江梯级（正常蓄水位 105 m）→佛岭头梯级（正常蓄水位 130 m）→黄坑梯级（正常蓄水位 152 m）→乌迳上水库（正常蓄水位 168 m）。共设 4 座提水泵站，分别为黄江提水泵站（装机 3 800 kW）、佛头岭提水泵站（装机 5 200 kW）、黄坑提水泵站（装机 4 100 kW）、乌迳上提水泵站（装机 2 300 kW），装机规模 15 400 kW，提水扬程 87.96 m，各梯级提水泵站规模见表 4。

表 4 赣粤运河各梯级提水泵站规模指标（双线）

Tab. 4 Scale indicators of each cascade water pumping station in the Gan-Yue Canal (double line)

梯级泵站	提水水头/m	泵站规模/kW	投资/万元	电量/(10^4kW·h)	电费/万元
梨坑	28.03	6 100	18 300	3 978	2 586
乌迳上	17.00	2 300	6 900	1 834	1 192
黄坑	23.00	4 100	12 300	1 832	1 191
佛岭头	26.00	5 200	15 600	1 190	774
黄江	21.96	3 800	11 400	170	111
合计		21 500	64 500	9 005	5 853

工程总投资匡算约 6.45 亿元，泵站提水年运行电费约 0.585 亿元。该方案只要各梯级天然来水能够满足梯级水库成库需要的水量以及河道基本生态流量即可，根据计算成果，各梯级来水量是大于水库成库及生态需水量要求的，逐级循环提水方案能够满足航运用水可靠性要求。

（2）新建极富水库。新建极富水库（崇仙坝址）的全自流补水方案，以最大规模进行开发（不影响上游龙南县城的最高水位需控制在 196 m 以下），该方案有综合效益（单库可满足全部航运

中国知网 https://www.cnki.net

用水 $6.64\times10^8\ m^3$),考虑水库在满足航运用水需求条件下,能兼顾灌溉、供水等综合利用功能。极富水库位于桃江干流中游,集水面积 3 505 km^2,多年平均径流量为 $27.4\times10^8\ m^3$,按照开发利用率 40%控制,水资源可利用量为 $10.96\times10^8\ m^3$,可满足航运用水可靠性要求。极富水库总投资为 111.39 亿元,航运分摊后总投资为 91.6 亿元,运行费约 0.67 亿元/年。

从投资角度分析,逐级循环提水方案优势较为明显,但考虑到逐级循环提水方案建设运行存在以下不足:①提水泵站长年运行必然带来机组损耗,需要常态化的机电设备检修维护时间,运河梯级航运用水保障程度将降低;②越岭段各梯级水库建成后形成多个类人工湖,这些类人工湖水体长期得不到充分交换,可能面临长期运行水质恶化趋势,存在水生态水环境安全风险,推荐逐级循环提水方案同步建设极富水库,为越岭段河道水生态环境安全及航运用水补充保障进行适当补水。初步测算,极富水库为赣粤运河年补水量为 $2.27\times10^8\ m^3$,往广东调水量为 $1.02\times10^8\ m^3$,航运分摊投资约 47.6 亿元。赣粤运河推荐航运用水方案费用表见表 5。

表 5　赣粤运河推荐航运用水方案费用

Tab. 5　Recommended shipping water plan cost for the Gan-Yue Canal　　单位:亿元

项目	日常供水(逐级循环提水)	应急保通供水(极富水库崇仙坝址,航运分摊投资后)	合计
总投资	6.45	47.61	54.06
枢纽部分投资		6.13	6.13
移民投资		20.41	20.41
输水管线		21.06	21.06
提水泵站投资	6.45		6.45
运行费合计	0.71	0.51	1.22

5　结论

a. 根据已有的长期水文观测资料及运河涉及区域的水资源开发利用条件分析,虽然赣粤运河越岭段天然水量有限,但通过使用船闸节水技术、逐级提水、水库补水等措施,可以解决航运水资源不足问题。

b. 赣粤运河全线最高梯级渠化水位是分水岭段的梨坑、乌迳上 2 座梯级,渠化水位均为 168 m,运河南向(广东段)、北向(江西段)的梯级渠化总水头差较小,分别为 115.2、84.9 m。因此,选取兴建桃江干线上的极富水库(正常蓄水位 196 m)+全自流输水管线的补水工程方案,能够满足分水岭北侧的梨坑和南侧的乌迳上、黄坑、佛岭头、黄江共 5 座梯级的航运补水(船闸耗水)需求。

c. 通过运河航运用水量、缺水量测算,结合初步投资匡算及应对问题考虑,推荐逐级循环提水的常态化日常供水+极富水库(崇仙坝址)的应急保通供水的组合方案,其中逐级循环提水为运河航运常态化供水提供日常水源,极富水库及输入管线为特枯水文年运河航运应急供水和航运提水设施设备维修检修提供备用水源。

参考文献:

[1] 中华人民共和国国务院. 国家综合立体交通网规划纲要 [R]. 北京:国务院,2020. (The State Council. The national comprehensive three-dimensional transportation network planning outline [R]. Beijing : The State Council, 2020. (in Chinese))

[2] 交通运输部规划研究院. 主要水系间运河沟通规划方案研究报告[R]. 北京:交通运输部规划研究院, 2013. Transport Planning and Research Institute Ministry of Transport. Research report on planning scheme of canal communication between main river systems [R]. Beijing : Transport Planning and Research Institute Ministry of Transport, 2013. (in Chinese))

[3] 中华人民共和国交通部. 船闸总体设计规范: JTJ 305-2001[S]. 北京: 人民交通出版社, 2002. (Ministry of Transport of The People's Republic of China. Code for master design of shiplocks: JTJ 305-2001[S]. Beijing: China Communications Press, 2002. (in Chinese))

[4] 杨靓, 李歌清, 黄力,等. 湘桂赣粤运河开发重点问题亟待研究[J]. 综合运输, 2022, 44(1): 25-27. (YANG J, LI G Q, HUANG L, et al. The key issues of Hunan, Guangxi, Jiangxi and Guangdong canals development [J]. China transportation review, 2022, 44(1): 25-27. (in Chinese))

[5] 交通运输部规划研究院. 赣粤运河重点问题专项研究总报告[R]. 北京:交通运输部规划研究院,2023. (Transport Planning and Research Institute Ministry of Transport. General report on special research on key issues of Ganyue Canal [R]. Beijing : Transport Planning and Research Institute Ministry of Transport, 2023. (in Chinese))

[6] 中水珠江规划勘测设计有限公司. 赣粤运河水资源综合利用研究及航运用水保障[R]. 广州: 中水珠江规划勘测设计有限公司, 2022. (China Water Pearl River Planning Survey and Design Co., Ltd.. Research on comprehensive utilization of water resources and shipping water guarantee of Gan-yue Canal [R]. Guangzhou : China Water Pearl River Planning Survey and Design Co., Ltd., 2022. (in Chinese))

中国知网　https://www.cnki.net