

· 航道及通航建筑物 ·



湘桂运河越岭段航运水资源分析^{*}

蔡翠苏¹, 高成岩¹, 李晓楠², 钟小彦¹, 王忠华³

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007;

2. 青岛市交通运输综合行政执法支队, 山东 青岛 266071;

3. 济宁市运河水运工程规划设计院, 山东 济宁 272000)

摘要: 针对湘桂运河越岭段航运水资源不足的问题, 开展了水资源配置方案研究, 基于流域水系特点, 采用定性分析和定量计算的方法, 提出泵站提水翻坝、建设补水水库、建设省水船闸等方案解决运河工程航运用水需求的保障措施。该成果为解决湘桂运河越岭段航运水资源不足问题提供了思路, 可为浙赣运河等类似运河工程提供借鉴和参考。

关键词: 湘桂运河; 船闸下泄流量; 航运水资源

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)S1-0115-04

Analysis of water resources for shipping in watershed section of Hunan-Guangxi Canal

CAI Cui-su¹, GAO Cheng-yan¹, LI Xiao-nan², ZHONG Xiao-yan¹, WANG Zhong-hua³

(1. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China;

2. Comprehensive Administrative Law Enforcement Detachment of Qingdao Transport, Qingdao 266071, China;

3. Jining Canal Water Transport Engineering Planning and Design Institute, Jining 272000, China)

Abstract: As the water resources in the watershed section of Hunan-Guangxi Canal are insufficient, the scheme for water resource allocation is studied. On the basis of the characteristics of the river system in the basin, several measures are put forward to satisfy the water demand of canal shipping by means of qualitative analysis and quantitative calculation. These measures include lifting water over the dam, building a water replenishing reservoir for shipping, and adopting a water-saving lock. The results provide ideas for solving the problems of insufficient water resources for shipping in the watershed section of Hunan-Guangxi Canal and provide references for similar canal projects such as the Zhejiang-Jiangxi Canal.

Keywords: Hunan-Guangxi Canal; discharge of a lock; water resources for shipping

湘桂运河是连接长江水系与珠江水系的运河连通工程, 是国家级跨省纵向高等级大通道。随着“珠江—西江经济带”、粤港澳大湾区等国家重大战略的实施, 湘桂运河的开发将推动湖南、广西两省区经济社会高质量发展, 加速融入粤港澳大湾区, 形成中南地区开发开放的南北向绿色战略通道。湘桂运河地理位置及线路走向见图 1。

湘桂运河工程开发的重大制约因素之一在于越岭段航运水资源能否得到有效保障。针对运河水资源问题, 结合现状水资源条件, 本文根据流域水系特点采取泵站提水翻坝、建设补水水库、建设省水船闸等方案解决运河工程航运用水需求, 为湘桂运河工程规划建设提供开发思路和技术支撑。

收稿日期: 2021-12-23

*基金项目: 中交集团重大科技项目(2019-ZJKJ-06)

作者简介: 蔡翠苏(1982—), 男, 高级工程师, 从事港航咨询设计及项目管理工作。

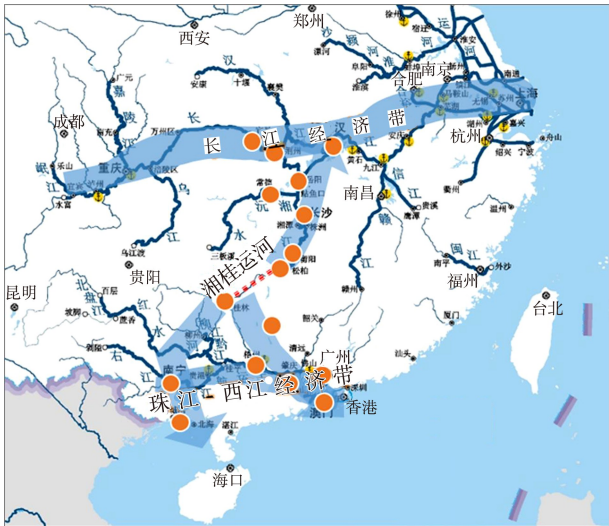


图 1 湘桂运河地理位置

1 线路规划

湘桂古运河即 2 000 多年前在广西壮族自治区兴安县境内开凿的灵渠，也称兴安运河，是中国和世界最古老的人工运河之一，有着“世界古代水利建筑明珠”的美誉^[1]。新中国成立后，交通运输部 and 湘桂两省区的交通、水利等部门多次对湘桂运河进行了勘查和规划，2020 年《湘桂运河航运规划》^[2] 推荐湘桂运河线路为东 1 线方案，北端起自永州萍岛，沿潇水向南，经道县进入永明河，于江永县城关附近的白岭岗开挖 40.5 km 人工运河跨越分水岭至桃川县螺丝岭入桂江支流恭城河，沿恭城河至平乐入桂江，南端到达梧州与西江干线相接，全长 535.8 km，沿线需新建 14 座梯级、改扩建 16 座梯级。

江永县白岭岗至桃川县螺丝岭为湘桂运河越岭段，线路长度约 40.5 km。分水岭两侧峰峦起伏，北侧为高大完整的山体，海拔在 600~1 200 m；南侧山体较小，海拔在 300~500 m；中间为狭长谷地，地势相对平坦。越岭段由北向南高程变化依次为 220、270、220 m，选择在该处谷地穿越分水岭，开挖技术难度和工程投资相对较小。本段航道需要开挖人工运河，并规划建设白岭岗、允山、上届头、上甘棠、棠下、桃川 6 座梯级枢纽进行连续渠化，航道基本无天然河道可以利用，且位于永明河和恭城河的上游末端，航运水资源难以保障。

2 区域可供水量分析

湘桂运河越岭段上下游河流自湖南至广西依次途径潇水、永明河、恭城河、桂江等河流。

2.1 潇水

潇水是湘江的一级支流，全长 354 km，流域面积 1.2 万 km²。道县水文站多年平均径流量 52.99 亿 m³，平均流量 177.67 m³/s，历年最大流量 6 180 m³/s，历年最小流量 6.1 m³/s。

2.2 永明河

永明河全长 82 km，流域面积 1 215 km²，干流江永以下至两河口长 44 km，落差 45 m，坡降 1.04‰。江永水文站多年平均径流量 5.83 亿 m³，平均流量 18.44 m³/s，历年最大流量 1 390 m³/s，最小流量 0.3 m³/s；白岭岗断面多年平均流量 19.45 m³/s，多年平均枯水流量 6.9 m³/s；永明河出口段多年平均流量 42.6 m³/s。

2.3 恭城河

恭城河全长 147 km，流域面积 7 323 km²，总落差 677 m，坡降 4.6‰。恭城河属山区性河流，干流螺丝岭至平乐河口长 100 km，落差 126 m，坡降 1.2‰，上游龙虎关处多年平均流量 31.52 m³/s，多年平均径流量 9.8 亿 m³。恭城水文站多年平均径流量 27.96 亿 m³，流量 88.66 m³/s，历年最大流量 4 954 m³/s，最小流量 4.79 m³/s，保证率流量见表 1。

表 1 恭城水文站流量保证率

保证率/%	50	60	70	80	90	95	98
流量/(m ³ ·s ⁻¹)	45.2	32.9	23.4	17.1	10.5	8.7	7.0

3 航运用水分析

根据 JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》，船闸一天内平均下泄水量和日过闸次数、一次过闸用水量、闸阀门渗漏损失密切相关。

日过闸次数根据经济运量预测和通过能力计算得到^[3]。永明河、越岭段、恭城河段由于缺少水资源，考虑建设三级省水池进行节水，省水率 60%，船闸下泄流量见表 2。船舶在过闸过程中，水量自上游下泄至下游梯级，实际运行中水资源并未消失，只是在空间上发生了转移^[4]。湘桂运

河只需补充分水岭两枢纽船闸下泄流量, 其余枢纽可利用上游枢纽来水量。

表 2 东 1 线规划梯级船闸下泄流量

河段	梯级名称	梯级水头 /m	日均过闸 次数/次	日平均下泄 量/(m ³ ·s ⁻¹)
永明河	赤竹	7	25.7	4.1
	桐溪尾	14	25.7	8.1
	兴福	16	25.7	8.9
	白岭岗	8	25.7	4.7
越岭段	允山	12	25.7	6.9
	上界头	23	25.7	12.9
	上甘棠	23	25.7	12.9
	棠下	18	25.7	10.2
恭城河	桃川	16	25.7	9.1
	槐木	10	25.7	5.8
	龙虎关	17	25.7	9.6
	夹心洲	9	25.7	5.2
	嘉会	12	25.7	6.9
	白羊	7	25.7	4.1
	回龙洲	8	25.7	4.7
	恭城	5	25.7	3.1
	斑山尾	10	25.7	5.5
	白虎头	13	25.7	7.2
	协中	7	25.7	4.0
	虎豹	4	25.7	2.2

4 水资源保障措施

4.1 船闸节水技术

目前, 国内外船闸节水的方式主要有 3 种:

1)对于水头较高的船闸, 采用连续多级船闸布置方式。在降低水力指标、减小输水系统技术难度的同时, 因每级船闸的运行水头降低, 可减

少船闸运行耗水量, 节省航运用水量^[5]。

2)在船闸侧面布置省水池。通过省水池储存部分水体, 船闸充泄水过程中通过闸室与省水池之间的水体运输实现部分水体的重复利用, 从而减少船闸运行一次用水量, 节约水资源^[6]。

3)对于双线并列布置的船闸, 在进行输水系统设计时可考虑双线船闸相互充泄水运行的省水运行方式, 并通过船闸及船舶调度运行方式的协调实现两船闸互充互泄, 达到节省船闸运行用水量的目的^[7]。

第 1 种连续布置多级船闸的省水方式比单级船闸的调度运行复杂, 船舶过闸时间较长, 只有在枢纽上下游水位差很大、难以建设单级船闸时才考虑采用。对于第 2 种设置省水池的省水方式, 可通过调整省水池数量和面积达到不同的省水率, 应用相对灵活, 国外建造的省水船闸绝大多数均为带省水池的省水布置形式。对于第 3 种采用双线并列布置的船闸的节水方式, 双线船闸之间的互灌互泄运行必须在双线船闸并列布置、同时设计、同时使用的条件下才能实现。综合考虑过闸效率、工程投资与水资源制约, 湘桂运河越岭段梯级布置方案推荐采用 3 级省水池布置方案, 节水率达 60%。

4.2 航运补水水库

向分水岭段补水的措施大致可分为两类: 一是利用已建水库或新建水库, 向分水岭段自流供水; 二是从下一梯级向上一梯级逐级提水。两方案优劣势比较见表 3。

表 3 两方案优劣势对比

方案	优势	劣势
自流	1)充分利用地形特点将势能转化为动能, 节能环保, 运行成本低; 2)建设水库存储水资源, 便于水资源综合利用	1)对地形条件、气象条件依赖度高, 使用范围受限; 2)兴建水库、供水渠道工程代价较大
提水	不受地形条件限制, 使用灵活, 适用范围广	消耗电能转化为势能, 运营成本高

4.2.1 涔天河水库补水方案

涔天河水库大坝位于江华县东田乡潇水支流涔天河口, 是以防洪、灌溉为主兼顾发电等综合效益的大型水利水电工程。坝址控制流域面积 2 466 km², 多年平均流量 81.3 m³/s, 多年平均产水量 26 亿 m³。正常蓄水位 317 m, 调节库容

9.74 亿 m³。

涔天河水库正常蓄水位 317 m, 东 1 线越岭段最高蓄水位 255 m, 涔天河水库可通过输水管线自流至东 1 线越岭段。自流引水到越岭段梯级线路总长约 50 km, 每年需引水量为 7.6 亿 m³, 约占涔天河水库多年平均产水量的 30%。涔天河水库

原设计并没有考虑航运用水，蓄水主要解决生态和灌溉用水。如果从涔天河水库调水，需重新协调其他功能用水或者增大库容。补水水库方案减少了涔天河下游沱江的来流量，增加了东 1 线永明河、恭城河的来流量，势必会影响原有水资源分配格局，并且改变了广西、湖南两省的水资源分配总量，影响面较大。

4.2.2 越岭段兴建补水水库方案

位于东 1 线越岭段南侧约 20 km 处已建较大的源口水库，流域面积 222 km²，总库容 4 060 万 m³，兴利库容 3 840 万 m³。水库东西两侧约 10 km 处各有一山凹，封闭后可形成小型水库作为流量调蓄池，流域面积约 10 km²。根据降雨及流域面积计算，3 座水库年均径流量约 2 亿 m³，占航运需水量的 26%。降雨年间分配不均，越岭段水库调节库容有限，单独建设越岭段补水水库不能满足航运用水。

4.3 泵站提水翻坝

自水资源不足梯级起，从下一梯级向上一梯级逐级提水可实现本梯级内水资源循环利用。潇水、桂江水量充沛可以满足航运用水，永明河需枯水期提水，越岭段、恭城河恭城以上需全年提水。根据能量守恒公式，各梯级耗电量见表 4，其中能力损失率按照水轮机做功平均损失 15% 计算。若不考虑其余补水措施，每年泵站提水翻坝耗电量约 1.5 亿 kW·h，工程运行费较高，可结合补水水库同步建设，在枯水期进行应急提水翻坝。

表 4 提水翻坝耗电量计算

河段	梯级	流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	水头/ m	年耗电量 (万 kW·h)
永明河	赤竹	4.1	7	143
	桐溪尾	8.1	14	577
	兴福	8.9	16	696
	白岭岗	4.7	8	187
越岭段	允山	6.9	12	779
	上界头	12.9	23	2 791
	上甘棠	12.9	23	2 791
	棠下	10.2	18	1 727
	桃川	9.1	16	1 370

续表4

河段	梯级	流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	水头/ m	年耗电量 (万 kW·h)
恭城河	槐木	5.8	10	546
	龙虎关	9.6	17	1 535
	夹心洲	5.2	9	440
	嘉会	6.9	12	779
	白羊	4.1	7	270
	回龙洲	4.7	8	354
总计				14 985

5 结 论

- 1) 向分水岭段补水的方案可分为自流和提水两类。在雨量充沛、地形适宜的情况下，建设水库或供水渠道向运河供水，有利于水资源综合利用、降低运行期成本。在不具备自流条件的情况下，采用逐级提水方案可解决分水岭段缺水的问题。
- 2) 采用船闸节水技术可大大降低航运需水量，为推进运河工程枯水期通航工作，开展省水船闸关键技术研究是非常必要的。
- 3) 湘桂运河建成后，将形成长江与珠江水系连通通道，为跨流域调水提供基础条件。建议下一步根据运河两侧经济及产业带布局规划，从水资源综合利用的角度进一步研究水资源保障措施。

参考文献：

[1] 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.

[2] 杨晓彤,姜兴良,吕小龙.湘桂运河航运规划[R].北京:中交水运规划设计院有限公司,2020.

[3] 穆森,吕小龙.平陆运河船闸通过能力研究[J].水运工程,2021(3):145-150.

[4] 张颖.河南省航运开发与水资源优化配置研究[D].郑州:郑州大学,2009.

[5] SPENGLER R, IMEDIO J, PÉREZ R, et al. Panama Canal expansion project: description third set of locks project[J]. labse symposium report, 2014(32): 783-790.

[6] 董思远,王乔,张楠,等.多级船闸省水率计算方法[J].中国水运,2020(12):87-89.

[7] 随娟娟.相互灌泄水船闸水力学特性研究[D].重庆:重庆交通大学,2015.

(本文编辑 王传瑜)