



平陆运河水资源论证*

高成岩¹, 程建中², 蔡翠苏¹, 袁和平¹

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 广西珠委南宁勘测设计院有限公司, 广西南宁 530007)

摘要: 平陆运河采用多级省水船闸节水技术, 控制断面马道枢纽船闸布置三级省水池, 航运用水量可节省60%以上。考虑货运量发展周期及船舶过闸效率等因素, 近期需从郁江引调水约24 m³/s。根据水资源论证分析, 平陆运河在与引郁入钦调水工程相结合的基础上, 以不影响现状贵港枢纽最小下泄流量保证率为前提, 通过调整百色水库发电调度, 结合西津、邕宁等水库统一调度, 可保障平陆运河近期航运用水需求。

关键词: 平陆运河; 船闸下泄流量; 航运水资源

中图分类号: U612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)11-0008-05

Water resources assessment for Pinglu Canal

GAO Chengyan¹, CHENG Jianzhong², CAI Cuisu¹, YUAN Heping¹

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

2. Guangxi Nanning Survey & Design Institute Co., Ltd. of the Pearl River Water Resources Commission, Nanning 530007, China)

Abstract: The Pinglu Canal adopts multi-stage water-saving navigation lock technology, with a three-stage water-saving pond arranged at the Madao Junction lock, enabling a reduction of more than 60% in water consumption for navigation. Taking into account factors such as the development cycle of freight volume and the efficiency of ships passing through the locks, it is necessary to divert approximately 24 m³/s of water from the Yujiang River in the near term. Based on water resources assessment analysis, the Pinglu Canal, in conjunction with the water diversion project from Yujiang River to Qinzhou, and without compromising the current guaranteed minimum discharge rate of the Guigang Junction, can meet the near-term water demand for navigation by adjusting the power generation scheduling of the Baise Reservoir and unifying the scheduling of reservoirs such as Xijin and Yongning.

Keywords: Pinglu Canal; discharge volume of lock; water resources of waterway transportation

平陆运河始于西江干流西津库区南宁横州市平塘江口, 跨沙坪河与钦江支流旧州江分水岭, 经钦州市灵山县陆屋镇沿钦江干流南下进入北部湾钦州港海域, 全长约135 km, 是一条通江达海的水运通道^[1-2]。

平陆运河以航运为主, 结合供水、灌溉、防洪、改善水生态环境等^[3]。工程开发的重大制约

因素之一在于航运水资源能否得到有效保障。根据平陆运河功能定位, 为发挥运河水资源综合效益, 采取建设省水船闸、结合调水工程、适当调整郁江水库调度方式等方案, 在不影响下游生态用水、压咸用水前提下, 解决运河工程航运用水需求, 保障平陆运河航运用水, 兼顾灌溉、供水任务。通过与调水工程相结合, 实现水资源综合利

收稿日期: 2024-02-26

*基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFC3200166); 广西科技重大专项资助(桂科AA23023009)

作者简介: 高成岩(1991—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事水运工程水文水资源分析、规划设计工作。

用, 据测算, 平陆运河建设产生的灌溉、供水效益预计 2035、2050 年将分别达到 1.2、1.4 亿元。

1 区域水资源条件

平陆运河工程涉及水系众多, 主要涉及郁江流域及其支流沙坪河、钦江流域及其支流旧州江^[4], 流域水系见图 1。

郁江是珠江流域西江水系的最大支流, 位于广西的西南部, 在 E104° 41'—E110° 22', N21° 30'—N24° 38' 之间。流域总面积为 8.935 7 万 km², 广西境内干流全长 1 145 km, 天然落差 690.5 m, 河道平均比降 0.605‰。郁江干流共建有 24 个梯级, 从下游至上游为桂平、贵港、西津、邕宁、老口、金鸡滩、鱼梁、那吉、东笋、百色、瓦村、那读、那拉、渭密、八新、弄南、那沙、那宾、那劳、那维、斗皇、者甲、母湖、威后等, 目前均已建成, 大多数为低水头径流式水电站, 只有百色水利枢纽和老口航运枢纽承担防洪任务。郁江流域径流由降水形成, 多年平均降水量一般为支流明江上游较多, 右江较少, 径流时空变化特性与降水时空变化基本对应。郁江干流年径流模数从上游向中下游递增, 支流左江地处山区丘陵, 多年平均降水量较大, 相应径流模数较干流大。径流年内分配也不均匀, 每年 5—10 月为汛期, 11—翌年 4 月为枯水期, 汛期径流量占全年 81.3%~90.2%; 枯水期径流量占全年 9.8%~18.7%, 最枯月平均流量常出现在每年 2—3 月, 其中尤以 2 月最枯。

沙坪河(又称平塘江)为郁江右岸的一级支

流, 集水面积 528.42 km²(其中邕宁区 48 km²、灵山县 316 km²、钦北区 4.42 km²、横州市 160 km²), 干流长度 81.52 km(其中邕宁区 10 km, 邕宁区、灵山县界河 1 km, 灵山县 43 km, 灵山县、横州市界河 4 km, 横州市 23.52 km), 坡降 0.79‰。

钦江属桂南沿海独立入海诸小河之一, 发源于灵山县平山镇白牛岭, 流域面积 2 391 km², 干流长 195 km, 平均坡降 0.32‰。钦江集水面积 50 km² 以上的支流共有 12 条, 其中集水面积 100 km² 以上的为那隆水、旧州江、太平水、新坪水。钦江流域每年 4—9 月为汛期, 10—3 月为非汛期, 年平均流量 61.5 m³/s, 径流量 22.11 亿 m³, 年径流深 925 mm, 径流量年内变化较大, 汛期 4—9 月约占全年的 83%。

旧州江为钦江右岸支流, 旧州江流域总面积约 190 km², 河道干流全长 36.2 km, 年径流量 1.1 亿 m³, 多年平均流量 4.6 m³/s。

平陆运河从西津库区内引水, 采用南宁水文站径流加西津水库南宁水文站区间来水推求西津水库天然来水, 区间来水按西津水库南宁水文站的区间面积占贵港站南宁水文站的区间面积比, 按照面积比的一次方移植贵港站—南宁站的区间来水到西津水库—南宁站区间^[5], 由此计算西津坝址多年平均流量为 1 320 m³/s, 各频率设计年平均流量见表 1。西津坝址典型年月平均径流量见表 2。

表 1 西津坝址各频率设计年平均流量

频率 P/%	10	25	50	75	90
年平均流量/(m ³ ·s ⁻¹)	1 847	1 586	1 327	1 098	916

表 2 西津坝址典型年月平均径流量

保证率/%	月平均径流量/(m ³ ·s ⁻¹)												全年
	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	
10	2 043	1 631	4 427	5 595	2 684	2 373	957	506	440	411	342	562	1 847
25	869	2 737	3 127	5 367	1 596	900	883	668	1 186	592	467	529	1 586
50	1 246	2 770	4 313	1 961	976	1 424	1 211	504	373	329	315	409	1 327
75	1 006	1 588	2 010	3 418	1 470	1 053	809	427	367	325	256	364	1 098
90	725	1 062	3 347	2 012	1 446	580	375	364	286	228	242	237	916

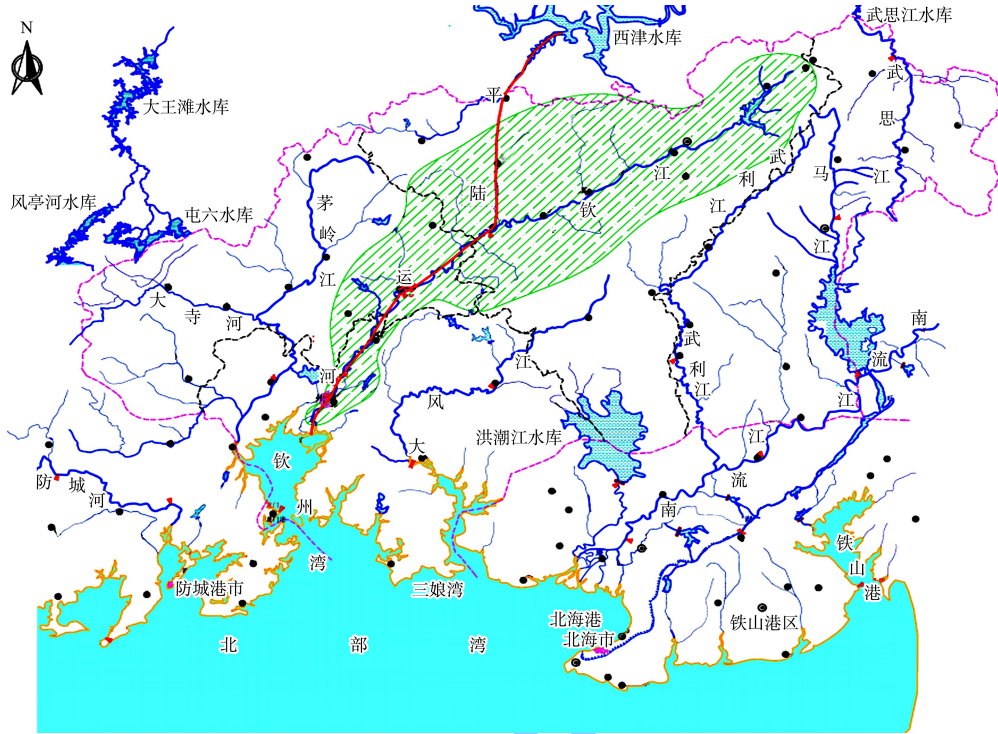


图1 区域水系

2 航运用水量

船闸一天内平均下泄水量^[6]:

$$Q = n_1 V / 86\,400 + q \quad (1)$$

其中: $q = eu$ (2)

式中: Q 为一天内平均下泄水量, m^3/s ; n_1 为日平均过闸次数, 次; V 为一次过闸用水量, m^3 ; q 为闸、阀门渗漏损失, m^3/s ; e 为止水线每米上的渗漏损失, $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$, 当水头小于 10 m 时取 0.001 5 ~ 0.002 0, 当水头大于 10 m 时取 0.002 ~ 0.003; u 为闸门、阀门止水线总长度, m。

日过闸次数根据经济运量预测和通过能力计算得到, 不考虑建设省水船闸情况下, 根据公式计算得日均下泄流量 $64.8 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3 水资源保障措施

3.1 船闸节水技术

马道双线船闸采用三级组合式省水池布置方案, 即将第一级和第三级省水池重叠布置, 将第二级省水池单独布置的形式, 见图 2。

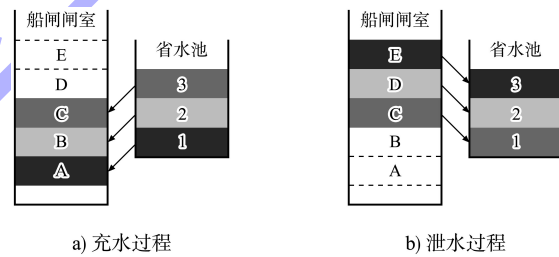


图2 省水船闸运行原理

根据带省水池船闸工作原理^[7-8], 可得闸室在 1 个灌泄水循环过程的用水高度 t_F :

$$t_F = H_c - n_2 t \quad (3)$$

$$t = \chi h \quad (4)$$

$$h = \frac{H_c - 2e_2}{1 + \chi(n_2 + 1)} \quad (5)$$

式中: H_c 为闸室分担的水头差; n_2 为省水池级数; χ 为省水池与闸室水平面积之比, 一般取 $\chi = 1.0 \sim 2.5$; e_2 为省水池灌水、或泄水结束时与闸室的剩余水头; t 为省水池的省水高度; h 为省水池的储水高度。

闸室耗水率 F_b 、省水率 η 为:

$$F_b = \frac{1 + \chi(1 + 2n_2 e_2 / H_c)}{1 + \chi(n_2 + 1)} \quad (6)$$

$$\eta = 1 - F_b \quad (7)$$

马道枢纽每个省水池水域面积与闸室水域面积比为 1.4:1, 代入公式(3)~(7), 省水率为 63.60%, 考虑省水船闸情况下, 根据公式计算得日均下泄流量为 $24 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3.2 调水工程

广西水安全保障“十四五”规划^[9]提出构建以“两横八纵、六河连通”为骨干的广西水网布局, 见图 3。以西江干流(含红水河、黔浔江)、郁江干流(含左江、右江), 柳江(含龙江)、桂江、贺江、北流河、南流江、钦江、防城河、湘江等“两横八纵”主要天然河流为基础, 以西部陆海新通道(平陆)运河工程、湘桂运河工程等“六河连通”人工水系通道为补充, 以控制性枢纽和调蓄工程为节点, 以水系沿线防洪、供水和水生态等工程为网络, 以智慧化调控为方法, 推进河湖水系互联互通, 构建形成现代化的广西水网布局, 全面增强广西水资源统筹调配能力、供水保障能力和战略储备能力。在完善水资源优化配置体系方面, 推进环北部湾广西水资源配置工程等重大工程, 做好西

部陆海新通道(平陆)运河工程水资源配置, 连通郁江、钦江、南流江等河流, 加快形成沟通南北的战略输水通道, 构建广西水网骨架, 还提出进一步开展平陆灌区等大型灌区工程研究论证。

为解决钦州市本地水资源短缺的问题, 钦州市实施了郁江—钦州调水工程(即引郁入钦工程)。引郁入钦工程从郁江贵港河段西津水库库区支流沙坪河沙坪镇企石河段取水, 将郁江水引至钦江, 解决钦江沿途人畜饮水、灌溉用水以及钦州城区用水, 再从钦江引水至大风江, 然后提引至金窝水库, 作为钦州港区和沿海工业园区供水水源。引郁入钦工程取水保证率为 97%, 年调水量 3.229 亿 m^3 , 最大调水流量为 $20 \text{ m}^3/\text{s}$, 多年平均水量 2.23 亿 m^3 。

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, 特别是枯水期^[10]水量可兼顾其他行业用水。平陆运河线路与引郁入钦调水线路重合, 航运用水可结合调水流量, 平陆运河 2035 年用水需求为 $24 \text{ m}^3/\text{s}$, 年均需水量 7.05 亿 m^3 , 考虑引郁入钦工程多年平均水量 2.23 亿 m^3 , 平陆运河工程实际年均外调水量 4.82 亿 m^3 。

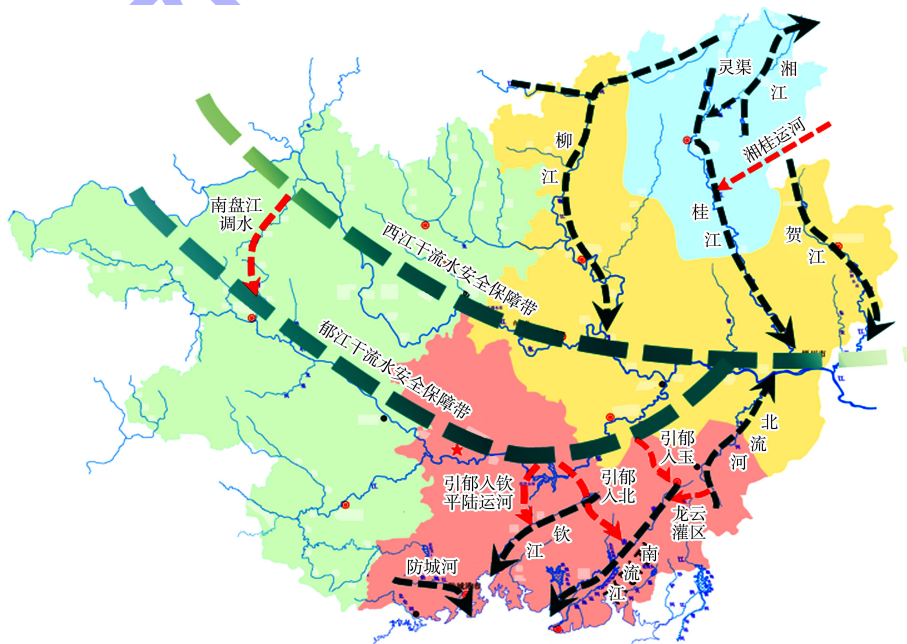


图 3 广西水网布局

3.3 郁江水库调节

百色水库现状调度方式为5—6月为过渡期(前汛期),控制水位从5月1日逐步平稳下降至214.0 m,5月20日开始按214.0 m汛限水位运行,为下游防洪安全起见,当下游发生防洪洪水时应按防洪蓄泄规划运行,洪水过后,水库应降至汛限水位214.0 m。主汛期(7—8月):水库在汛限水位214.0 m运行,水库按防洪蓄泄规则运行。蓄水期(9—11月):水库尽量蓄水,9月逐步平稳回蓄,此间水库只放航运保证流量100 m³/s(即电站发保证出力83.5 MW),10—11月在228.0 m以下运行,根据发电调度发电。供水期(12—4月):电站尽量发电,以增加系统及下游梯

级枯水期电能。供水期保证出力123.0 MW,加大出力区分190.0、230.0和300.0 MW 3个分区;降低出力区分83.5 MW(保证航运最小流量区)和50.0 MW(破坏航运流量区)2个小区。

考虑对百色水库发电调度进行调整^[11],百色水库10—11月发电调度进行调整,10—11月不考虑加大出力,按83.5 MW保证出力发电,12月—次年4月加大下泄,可调蓄水量保障平陆运河供水。

调整后,百色水库2020和2035年多年平均调蓄水量分别为1.95和1.86亿m³,年最大调蓄水量分别为4.16和4.08亿m³。调整后的百色水库调度见图4。

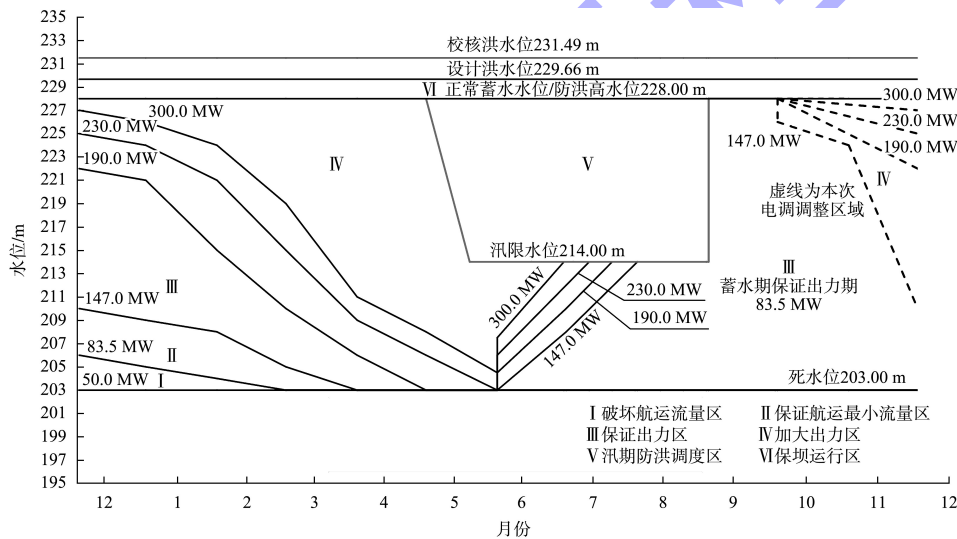


图4 调整后的百色水库调度

遇特枯年份,结合西津水库调节及特枯年邕宁枢纽加大下泄水量后,按供需平衡计算原理对西津水库断面计算供需平衡,长系列调节供需平衡分析计算得2035年引水流量24 m³/s,月历时保证率可达98.1%,满足通航保证率98.0%要求。

4 结论

- 1) 采用船闸节水技术可大幅降低航运需水量。
- 2) 由于航运自身并不耗水,结合调水工程可

实现水资源综合利用,发挥运河综合效益。

3) 平陆运河采取建设省水船闸、结合调水工程、适当调整郁江水库调度方式等方案,可以解决水资源不足问题,兼顾灌溉、供水任务。

4) 现代运河的开发应以航运为主,且更加注重多目标、多功能的综合开发,通过跨流域调水,解决水资源分布不均的问题,在不影响生态用水前提下,保障沿线地区的航运、灌溉、供水需求,实现综合效益的和谐统一。