



平陆运河航道等级论证

吕小龙, 吴 澎, 刘晓玲

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 航道等级的确定是航道工程建设前须重点关注并解决的问题, 常规项目主要考虑腹地水运发展现状及需求趋势并依据上位规划确定, 但新开发的运河航道通常规划依据较少且缺乏理论分析支撑。考虑运河与天然河流具有明显不同的特点, 基于运河衔接水系的通航条件, 采用保证率分析法分析航道、通航建筑物及跨河桥梁对通航的限制影响。根据运输组织方式及大型船舶变吃水运输的经济性分析, 综合考虑工程技术经济性、船舶大型化发展趋势、运输通达性等因素, 得出运河推荐航道等级, 为运河航道项目的开发建设提供参考。结果表明, 平陆运河应采用 I 级航道标准建设, 通航 5 000 吨级船舶。

关键词: 平陆运河; 航道等级; 通航保证率; 变吃水运输

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)10-0266-05

Demonstration on waterway classification of Pinglu Canal

LYU Xiao-long, WU Peng, LIU Xiao-ling

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

Abstract: The classification of waterway grade is a problem that needs to be paid attention to and solved before construction. Conventional projects mainly consider the current situation and trend of water transport development in hinterland, and the classification of conventional projects is determined by superior planning. However, the newly developed canal is usually lacking in planning basis and theoretical analysis. Considering that the canal and natural rivers have obvious different characteristics, we analyze the influence of channel, navigation structure and river-crossing bridges on navigation by guarantee rate method based on the navigable conditions of connecting water system. We accord to the analysis of transportation organization mode and economic variable draft transportation, technical economy, development trend of large-scale ship, transport accessibility, and obtain the classification of canal, which can provide reference for the development of the canal channel project. The results show that the classification of the Pinglu Canal should be I-class and be navigable for 5,000-ton ships.

Keywords: the Pinglu Canal; waterway classification; navigable guarantee rate; variable draft transportation

航道等级的确定是航道工程建设前须重点关注并解决的问题之一。常规项目主要考虑腹地水运发展现状及需求趋势并依据上位规划确定, 但新开发的运河航道通常规划依据较少且缺乏理论分析支撑, 需要具体问题具体分析, 核心原则是采用适宜的航道等级, 追求工程技术经济性最优。

我国内河航道的等级通常按照《内河通航标

准》^[1]的相关规定确定, 即按照最低通航水位时的航道水深可满足满载或基本满载的通航船舶载质量确定, 最低通航水位的保证率按照航道等级取 90%~98% 的标准。实际上, 航道水深在大部分时间里均大于设计水深, 特别是流量较大的天然河流, 在中洪水期时可保证良好的水深条件, 年平均水深高于最低通航水深 1~2 m, 常有利用天然

河流的水位变幅采用比现状航道等级高 1~2 级的船舶进行变吃水运输的情况, 即在中洪水期满载运输, 在枯水期减载运输, 充分挖掘了航道资源, 达到运输经济性的最优。

新开发航道的等级通常宜与其相衔接的水系协调一致, 而运河主要通过人工开挖形成, 来流量小, 梯级渠化后水位稳定, 若与相衔接的天然河流采用相同的航道标准, 中洪水期时将成为水系间的通航瓶颈。因此, 运河航道与衔接水系航道等级相协调的本质是通航条件相协调, 人工运

河航道等级的确定应重点关注衔接水系中洪水期时的通航条件。

1 运河概况

平陆运河是连接西江流域和北部湾海港的运河工程, 其上游与西江航运干线相连, 向西直通南宁、百色并达云南, 向东连接粤港澳大湾区, 向北直达柳州、来宾并通贵州, 向南由北部湾出海, 是广西乃至广大中西部地区便捷的出海新通道^[2]。平陆运河与衔接航道及腹地的位置关系见图 1。



图 1 平陆运河地理位置及经济腹地分布

2 运输组织方式

平陆运河上游与西江航运干线相连, 进而沟通西南、中南的广大腹地。受西江航运干线和直线通航条件的影响, 能够通行于平陆运河的船舶并非全部可以在西江航运干线特别是支线达到较高的通航保证率, 中转运输是衔接不同运输条件的有效途径。中转运输相对直达运输虽增加了中转换装的费用, 但中转后采用大型船舶运输又可降低运输成本, 因此需要对两种运输方式的经济

性进行对比分析。

结合平陆运河主要货源地分布, 选取西江航运干线、左右江流域、红水河、都柳江流域、湘桂运河流域与钦州港的货运交流为典型航线, 对运费进行计算对比; 中转换装节点主要考虑平陆运河与西江航运干线交汇处西津库区和西江航运干线与各支线交汇处 2 种方案, 运输船舶主要考虑干支流航道船舶现状及远期航道规划情况。计算结果见表 1。

表 1 主要货源地典型航线不同方案运费计算结果

典型航线	组织方式	运费/(元·t ⁻¹)			
南宁—钦州港	西津库区中转	21.00(3 000 t 转 5 000 t)		20.35(3 000 t 转 8 000 t)	
	直达	12.04(3 000 t 直达)		9.80(5 000 t 直达)	
左、右江流域—钦州港	西津库区中转	46.95	46.30	37.50	36.85
		(1 000 t 转 5 000 t)	(1 000 t 转 8 000 t)	(2 000 t 转 5 000 t)	(2 000 t 转 8 000 t)
	南宁港中转	41.4(1 000 t 转 5 000 t)		35.1(2 000 t 转 5 000 t)	
	直达	41.76(1 000 t 直达)		29.58(2 000 t 直达)	

续表1

典型航线	组织方式	运费/(元·t ⁻¹)			
红水河、都柳江 流域—钦州港	西津库区中转	73.59 (1 000 t 转 5 000 t)	72.94 (1 000 t 转 8 000 t)	56.37 (2 000 t 转 5 000 t)	55.72 (2 000 t 转 8 000 t)
	来宾港、柳州港中转	54.35(1 000 t 转 5 000 t)		48.05(2 000 t 转 5 000 t)	
	直达	68.40(1 000 t 直达)		48.45(2 000 t 直达)	
来宾、柳州—钦 州港	西津库区中转	36.91(3 000 t 转 5 000 t)		36.26(3 000 t 转 8 000 t)	
	直达	27.95(3 000 t 直达)		22.75(5 000 t 直达)	
湘桂运河流域— 钦州港	西津库区中转	85.83 (1 000 t 转 5 000 t)	85.18 (1 000 t 转 8 000 t)	65.04 (2 000 t 转 5 000 t)	64.39 (2 000 t 转 8 000 t)
	桂江江口中转	69.55(1 000 t 转 5 000 t)		58.00(2 000 t 转 5 000 t)	
	直达	80.64(1 000 t 直达)		57.12(2 000 t 直达)	
梧州—钦州港	西津库区中转	33.47(3 000 t 转 5 000 t)		32.82(3 000 t 转 8 000 t)	
	直达	24.51(3 000 t 直达)		19.95(5 000 t 直达)	

由表 1 可知，各典型航线直达运输均比在西津库区中转的运费更低，即西江航运干线与平陆运河组成的干线航道采用直达运输是更经济的，平陆运河航道等级及通航条件应与西江航运干线相协调。

对于左江、右江、红水河和都柳江等支线航道，1 000 吨级船舶在干支线交汇处中转 5 000 吨级船舶相比于 1 000 吨级直达运输经济性更优。随着各支流航道通航条件进一步改善，2 000 吨级船舶直达运输的经济性将逐步体现，但考虑各货类运输组织、市场等因素，预计直达和中转都将占有一定份额，因此平陆运河建成后，5 000 吨级船舶将占有一定比例。

3 航道等级确定

3.1 船舶大型化发展

近年来西江水运量增长迅猛，船舶大型化趋势明显，根据近 6 年贵港船闸的过闸记录，1 000 吨级船舶占比呈下降趋势，但仍占很大比例；2 000 及以上吨级船舶占比均有增长，其中 4 000 吨级船舶数量增长约 24 倍，5 000 吨级船舶虽然数量增长较少，但近两年来在各吨级船舶中其增幅最大，约为 13 倍。广西最大的造船厂目前为满负荷生产状态，3 000 吨级以上船舶占比 80%，其中 4 000 吨级船舶占比 50%、5 000 吨级船舶占比 20%、6 000 吨级船舶占比 10%。西江航运干线航道南宁—梧州段现状为 II 级航道，规划为 I 级航道，目

前贵港—梧州段正在实施 3 000 吨级航道整治工程，西津二线船闸正在施工，上述工程完成后西江通航条件将得到进一步改善，可以预见未来 3 000~5 000 吨级船舶占比将继续增长，船舶将进一步向大型化发展。

3.2 运输通达性

西江航运干线河流径流量大、年内分配不均，天然情况下年平均流量是保证率为 98% 流量的 7.3 倍，中洪水期水深条件良好，现状 II 级航道在中洪水期可满足 5 000 吨级船舶航行要求。而平陆运河涉及的河流径流量小，各梯级间水位运行稳定。根据以上分析，干线航道采用大型船舶直达运输是最经济的，为保证西江航运干线中洪水期时，平陆运河具备与经济腹地间直达运输的航行条件，其航道标准应重点考虑与西江航运干线中洪水期通航条件相匹配。

4 通航保证率

西江航运干线规划航道等级为 I 级(3 000 吨级)，航道及通航建筑物均按照船队标准设计，平面尺度可满足 8 000 吨级及以下机动单船的通航要求，通航限制影响主要体现在水深以及桥梁通航净高方面。以下将根据水位资料，分析西江航运干线达到规划标准后 5 000、8 000 吨级船舶的通航保证率。根据船型分析^[3-4]，两种船型吃水分别为 5.0、5.8 m，压载水线以上高度分别为 12.8、15.8 m。根据主要货物生成地的流量和流向^[5]，

选取南宁—梧州段作为典型航线进行分析。

4.1 航道

由于各枢纽上游为库区, 因此选取枢纽下游航道作为典型航段, 1 级天然河流航道考虑 0.5 m 的富余水深, 5 000 与 8 000 吨级船舶满载航行所需最小航道水深分别为 5.5 和 6.3 m, 各段航道通航保证率见表 2。

表 2 典型航段的航道通航保证率

航道	保证率/%	
	5 000 吨级	8 000 吨级
西津下游	50.86	31.90
贵港下游	96.98	79.76
桂平下游	93.51	79.03

由表 2 可知, 西津枢纽下游为控制性航段, 5 000吨级船舶的通航保证率为 50.86%, 8 000 吨级船舶为 31.90%, 其余航段两种船型的通航保证率可分别达到 90%和 79%以上。

4.2 通航建筑物

航道尺度条件可随着货运量发展不断提升, 但通航建筑物的建设和改造的代价是巨大的, 50%和 75%水位保证率下 5 000 吨级及 8 000 吨级船舶过闸水深与吃水之比见表 3。

表 3 各枢纽船舶过闸水深与吃水之比

航道	过闸水深与吃水之比			
	5 000 吨级		8 000 吨级	
	50%	75%	50%	75%
西津枢纽上游	1.92	1.80	1.66	1.56
西津枢纽下游	1.46	1.29	1.26	1.11
贵港枢纽上游	1.52	1.49	1.31	1.28
贵港枢纽下游	1.76	1.62	1.51	1.40
桂平枢纽上游	1.53	1.46	1.32	1.26
桂平枢纽下游	1.84	1.59	1.59	1.37

结合相关工程运行经验, 对于 5 000 吨级及以上大型船舶, 进出闸时吃水比 ≥ 1.3 即满足要求。由表 3 可知, 西津枢纽下游门槛为控制断面, 5 000吨级船舶过闸水深与吃水之比为 1.29, 通航保证率基本达到 75%; 8 000 吨级船舶过闸水深与吃水之比为 1.28, 通航保证率基本达到 50%。综上, 西江航运干线通航建筑物对大型船舶的限制作用较小。

4.3 跨河桥梁

西江航运干线沿线桥梁建设时期不同, 设计标准也存在差异, 选取重要性较高且建造标准较低的节点桥梁进行相关统计分析, 通航保证率见表 4。

表 4 典型航段节点桥梁船舶通航保证率

航段	桥梁	设计通航净高/m	通航保证率/%	
			5 000 吨级	8 000 吨级
邕宁—沙坪河口	峦城大桥	10.00	97.70	1.13
	黎钦铁路桥	10.00	71.16	0.41
沙坪河口—贵港	香江郁江特大桥	10.00	100.00	99.62
贵港—桂平	贵港铁路桥	6.33	97.45	91.02
	南广铁路桥	13.00	100.00	100.00
桂平—梧州	洛湛铁路桥	10.00	99.85	24.46

由表 4 可知, 5 000 吨级船舶不利航段为邕宁下游段, 通航保证率为 71.16%, 其余航段均达到 97%以上。8 000 吨级船舶不利航段为邕宁下游段及梧州上游段, 通航保证率分别为 0.41%及 24.46%, 但沙坪河口—桂平段基本不受限制, 保证率可达 91%以上。虽然上述节点桥梁建设标准较低, 但由于西江水系上游的龙滩、百色等水利枢纽具有较大库容, 调节洪峰能力较强, 建成后降低了下游沿江的洪水位, 从而相对提高了西江航运干线上跨河桥梁设计最高通航水位的洪水重现期, 降低对航运的影响, 部分航段具备通航大型船舶的条件。

5 运输经济性

根据通航保证率分析, 西江航运干线 5 000 吨级船舶满载通航保证率可达 50%以上, 枯水期可采用减载运输。以下对 5 000 吨级船舶变吃水运输与直接采用 3 000 吨级船舶承运货物产生的运输费用进行比较, 进而得到 5 000 吨级航道与 3 000 吨级航道在运输经济性上的差异。

以散货船为例, 5 000 吨级代表船舶不同吃水下的通航保证率及载货量见表 5。选取部分典型航线计算得到的 5 000 与 3 000 吨级船舶综合运费见表 6。

表 5 5 000 吨级船舶不同吃水下的通航保证率

载货量/t	吃水/m	所需通航水深/m	保证率/%	通航时间/d
3 480	3. 6	4. 1	100	95
4 430	4. 3	4. 8	74	84
5 350	5. 0	5. 5	51	186

表 6 不同通航水深下 5 000、3 000 吨级船舶
典型航线综合运费

典型航线	船舶 吨级	综合运费/(元·t ⁻¹)			加权综合运 费/(元·t ⁻¹)
		通航水深 4. 1 m	通航水深 4. 8 m	通航水深 5. 5 m	
柳州—钦州港	5 000	30. 36	24. 04	20. 06	23. 89
	3 000	27. 76	27. 76	27. 76	27. 76
贵港—钦州港	5 000	14. 90	11. 90	10. 01	11. 84
	3 000	13. 46	13. 46	13. 46	13. 46

由表 6 可知，2 条典型航线的 5 000 吨级船舶运输方案综合运费均小于 3 000 吨级船舶运输方案，经济性较优，结合 2050 年预测货运量需求，平陆运河采用 5 000 吨级船舶变吃水运输相对于直接采用 3 000 吨级船舶运输的可节约运输费用约 3. 9 亿元/a。

6 工程技术经济性

平陆运河是广西大部分地区最优的出海通道，货运量需求较大，采用较高的航道等级可满足更大船舶的航行要求，有利于提高船闸通过能力，可在货运需求较大时有效减少船闸线数，进而减少工程投资及土地等资源占用，达到工程技术经济性的最优。根据通过能力与工程投资分析，当采用 5 000吨级航道标准建设时，建设双线 5 000 吨级船闸可满足远期货运量发展需求并留有一定富余。当采用 3 000 吨级航道标准建设时，建设双线 3 000吨级船闸可节省投资约 70 亿元，但需要在 2036 年前启动建设第三线船闸，总工程投资相比 5 000 吨级标准增加约 75 亿元。经计算，两种方案的差额内部收益率为 9. 44%，大于基准收益率 8%，说明 5 000 吨级标准建设方案具有良好的经济效益。

7 结语

1) 西江航运干线与平陆运河组成的干线航道

采用直达运输更为经济，为保证西江航运干线中洪水期时，平陆运河具备与经济腹地间直达运输的航行条件，其航道标准应重点考虑与西江航运干线中洪水期通航条件相匹配。

2) 左江、右江、红水河和都柳江等支线航道，1 000 吨级船舶在干支线交汇处中转 5 000 吨级船舶相比于 1 000 吨级船舶直达运输经济性更优。随着各支线航道通航条件进一步改善，2 000 吨级船舶直达运输的经济性将逐步体现，但考虑各货类运输组织、市场等因素，预计直达和中转都将占有一定份额，5 000 吨级船舶将占有一定比例。

3) 西江航运干线中洪水期可满足 5 000 吨级船舶通航要求，通航保证率可达 50%以上，8 000 吨级船舶受部分航段的航道水深以及节点桥梁通航净高的限制，通航保证率较低。若远期西江航运干线碍航节点的通航条件得到进一步改善，则 8 000吨级船舶也将得到发展。

4) 平陆运河 5 000 吨级建设标准相比于 3 000 吨级建设标准，运输经济性及工程技术经济性均较优，应采用 I 级航道标准建设，通航 5 000 吨级船舶。

参考文献：

[1] 长江航道局.内河通航标准: GB 50139—2014[S].北京:中国计划出版社, 2014.

[2] 中交水运规划设计院有限公司.西部陆海新通道(平陆)运河总体线路及梯级布置方案研究[R].北京:中交水运规划设计院有限公司, 2020.

[3] 武汉长江船舶设计院有限公司, 交通运输部珠江航务管理局.内河过闸运输船舶标准船型主尺度系列 第 3 部分: 西江航运干线: GB 38030. 3—2019[S].北京:中国质检出版社, 2019.

[4] 武汉理工大学.西部陆海新通道(平陆)运河通航船型研究报告[R].武汉:武汉理工大学, 2020.

[5] 国家发展和改革委员会综合运输研究所, 中交水运规划设计院有限公司.西部陆海新通道(平陆)运河航运规划运量预测专题报告[R].北京:中交水运规划设计院有限公司, 2020.

(本文编辑 王璁)