



构建江西五河尾闾高等级航道网的探讨*

杨礼生¹, 肖洋^{2,3,4}, 李开杰², 汪迎春², 张九鼎², 唐洪武^{2,3,4}

(1.江西省港航管理局, 江西南昌 330008; 2.河海大学水文水资源与水利工程科学
国家重点实验室, 江苏南京 210098; 3.河海大学水利水电学院, 江苏南京 210098;
4.河海大学水资源高效利用与工程安全国家工程研究中心, 江苏南京 210098)

摘要: 基于江西五河尾闾航道现状分析, 探讨了鄱阳湖水利枢纽工程建设对改善五河尾闾航道及构建高等级航道网的可能性。利用鄱阳湖航道网水动力数学模型, 分析研究了鄱阳湖水利枢纽枯期不同调控水位对航道水面线、航道里程和回水范围的影响, 从建立五河尾闾高等级航道网的角度, 提出合理的枢纽枯期最低控制水位, 即枯期调控水位15 m及以上方案为可行的。

关键词: 鄱阳湖水利枢纽; 航道网水动力数学模型; 枯期调控水位; 高等级航道; 最低控制水位

中图分类号: U 612.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)09-0126-06

Building of high-grade channel network in five rivers tail of Jiangxi province

YANG Li-sheng¹, XIAO Yang^{2,3,4}, LI Kai-jie², WANG Ying-chun², ZHANG Jiu-ding², TANG Hong-wu^{2,3,4}

(1. Jiangxi Port and Shipping Authority, Nanchang 330008, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210098, China; 3. College of Water Conservancy & Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 4. National Engineering Research Center of Water Resources Efficient Utilization and Engineering Safety, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the analysis of the navigation channel situation in five rivers tail of Jiangxi province, this paper probes into the possibility of building the high-grade channel network due to the construction of the Poyang lake hydraulic engineering (PLHE). The hydro-dynamic numerical model of the river network is used to study the effect of navigation water level, navigation mileage and backwater area on different regulating water levels of the PLHE. For building the high-grade channel, the lowest regulating water level of the PLHE should be larger than 15 m.

Key words: Poyang lake hydraulic engineering; hydro-dynamic numerical model of river network; regulating water level; high-grade channel network; the lowest regulating water level

江西省内河航道发展条件十分优越, 全省以赣江、信江为水运主通道, 联通抚、饶、修等101条通航河流, 通航总里程为5 716 km, 占全国内河航道里程的4.6%, 位居全国第8位, 其中Ⅲ级航道343 km, Ⅳ级航道87 km, 等级航道所占比重为42.46%。2011年1月, 国务院《关于加快长江

等内河水运发展的意见》出台, 内河水运发展上升为国家战略, 为江西内河航道发展带来重大战略机遇。同时, 2012年2月, 《鄱阳湖水利枢纽项目建议书》通过行业审查, 标志着鄱阳湖水利枢纽工程进入决策阶段, 为江西内河航道的发展和高等级航道网的建立创造了有利条件。

收稿日期: 2012-06-12

*基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51125034, 51179055), 水利部公益性行业科研专项经费项目(200901005), 国家重点实验室专项经费资助项目(2010585512)

作者简介: 杨礼生(1957—), 男, 高级工程师, 主要从事港口航道方面的研究。

鄱阳湖水利枢纽工程是一项以综合开发利用水资源、保护鄱阳湖水生态环境、保护湖区人民健康安全等为主要开发目标的大型水利枢纽工程。根据工程“调枯不控洪”的运用方式, 工程建成后, 将使枯水季节航道水深和航道宽度增加, 水面比降减缓, 航道条件将得到显著改善, 在较大程度上提升鄱阳湖区及“五河”尾间河段航道的通航能力。

根据鄱阳湖水利枢纽运行调度方案^[1], 9月至次年3月, 结合三峡水库调度方案, 按动态水位、补偿调节、适应性调度的原则运行, 枯期湖区控制高水位16.0、15.0和14.0 m, 相应湖区调控低水位14.0、13.0、12.0 m, 枯期枢纽不同控制水位对赣、信、抚、饶、修河等尾间航道有何影响, 能否建立高等级航道网, 是工程迫切需要回答的问题。本文通过建立一维河网数学模型, 研究了枯期不同调控水位变动回水区范围对五河尾间航道的影响, 结合江西省航道十二五发展规划, 从建立五河尾间高等级航道的角度, 提出合理的枢纽枯期最低控制水位。

1 鄱阳湖航道网水动力模型的建立

1.1 控制方程

平底、棱柱形明渠中一维非恒定水流运动用圣维南方程组描述:

连续方程

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_L \quad (1)$$

动力方程

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gA \frac{|Q|Q}{K^2} = q_L v_x \quad (2)$$

式中: x 为距离(m); t 为时间(s); A 为过水面积(m^2); Q 为断面流量(m^3/s); Z 为水位(m); α 为动量修正系数; K 为流量模数; q_L 为旁侧入流(m^2/s), 入流为正, 出流为负; v_x 为入流沿水流方向的速度(m/s)。

1.2 数值方法

基本方程的离散采用四点线性隐式差分(图1):

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = \frac{\xi_i^{j+1} + \xi_{i+1}^{j+1} - \xi_i^j - \xi_{i+1}^j}{2\Delta t} \quad (3)$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial x} = \frac{\theta(\xi_{i+1}^{j+1} - \xi_i^{j+1}) + (1-\theta)(\xi_{i+1}^j - \xi_i^j)}{\Delta x} \quad (4)$$

$$\xi = \frac{1}{2}(\xi_i^j + \xi_{i+1}^j) = \xi_{i+1/2}^j \quad (5)$$

式中: ξ 为变量, 可以代表流量、水位、流速、河宽等; θ 为权重系数, $0 \leq \theta \leq 1$ 。

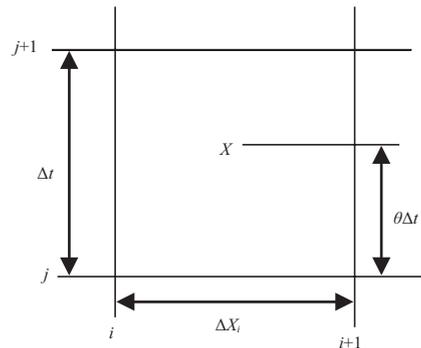


图1 差分格式

1.2.1 河道断面流量与水位的关系

任一条概化河道, 首、末两端为节点 N_1, N_2 , 河段用 N 个断面划分成 $N-1$ 个河段, 如图2所示。

$$Q_i = \alpha_i + \beta_i Z_i + \zeta_i Z_{N_2} \quad (6)$$

$$Q_i = \theta_i + \eta_i Z_i + v_i Z_{N_1} \quad (7)$$

$$Z_i = (\theta_i - \alpha_i + v_i Z_{N_1} - \zeta_i Z_{N_2}) / (\beta_i - \eta_i) \quad (8)$$

式中: $\alpha, \beta, \zeta, \theta, \eta, v$ 为系数; Z_{N_1}, Z_{N_2} 分别为节点 N_1, N_2 的水位。一条河道, 不论断面多少, 最终总可以将首、末断面流量表达成首、末节点水位的线性函数。



图2 河道、节点及断面

1.2.2 汉口连接条件及河网水动力求解方法

在网状河系中, 河道相互关联。河道汇合处, 如图3所示。

$$Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_4 = Z_N \quad (9)$$

$$Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4 = 0 \quad (10)$$

式中: Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 为汇合处各河道水位(m); Z_N 为汇合处水位(m), 又称节点水位; Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 为各河道进入(取正号)或流出(取负

号) 汇合区流量 (m^3/s)。汇合区面积很小, 可忽略不计, 则有

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0 \quad (11)$$

根据方程 (4) ~ (8) 可建立所有节点的水量流量平衡方程, 且方程变量均为各节点水位。方程组求解采用迭代法, 求得节点水位水位后再回代方程 (4) ~ (6), 计算河道断面水位和流量。

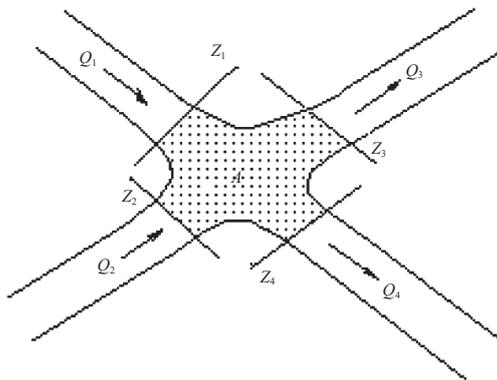


图3 汉口汇合区

1.3 鄱阳湖航道网水动力模型的建立

鄱阳湖航道网包括: 赣江西河、信江东大河、赣江东河、信江西大河、抚河、修河、昌江、饶河、博阳河及鄱阳湖入江航道, 见图4。共包括河段数: 27, 节点数: 27。计算河网总长度 986.106 km, 河道地形见图5。

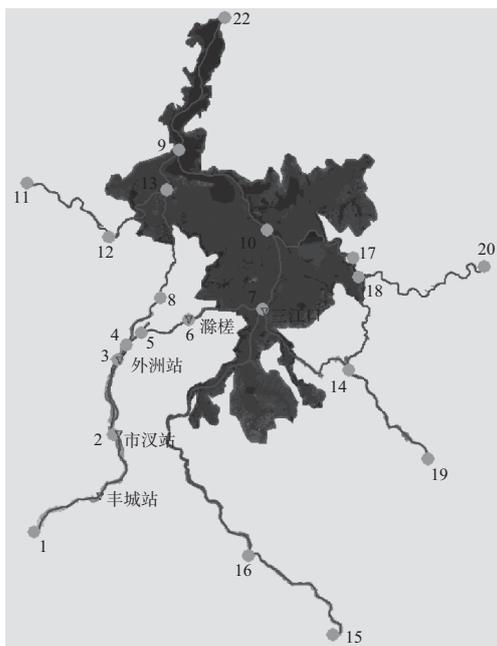


图4 鄱阳湖河网模型编码

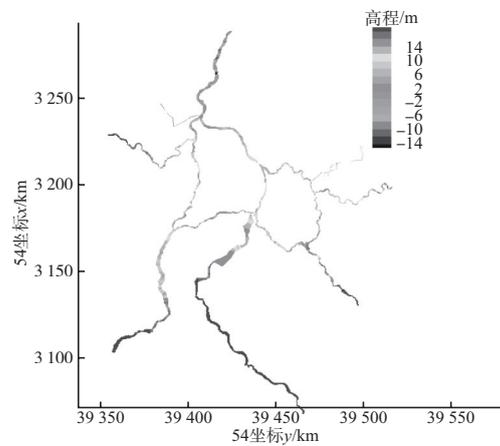


图5 河网地形

1.4 模型的率定

选用2006年10月13日模型范围内主要水文站点实测水位过程进行模型的率定。2006年10月13日, 外洲水文站日平均水位为12.78 m (黄海高程), 日平均流量为463 m^3/s ; 湖口水文站日平均水位为6.51 m (黄海高程), 日平均流量为1 560 m^3/s 。

通过率定, 湖区河网糙率在0.15 ~ 0.40, 多数为0.25 ~ 0.30。率定结果见表1。率定结果显示, 水位模拟值和实测值吻合较好。模型精度高, 结果可信, 率定的模型可以作为工程的论证与分析工具。

表1 主要水文站点实测水位与模型计算水位比较

断面位置	计算值(黄海)/m	实测值(黄海)/m	误差/m
樟树	21.28	20.936	0.341
市汊	12.91	12.866	0.044
外洲	12.71	12.775	-0.065
吴城	8.54	8.586	-0.046
滁槎	12.69	12.700	-0.008
波阳	11.98	11.596	0.383
星子	6.68	6.696	-0.016
丰城	17.50	17.526	-0.028
永修	12.72	12.786	-0.068
平均			0.060

2 不同枯期调控水位对五河尾闾航道的影响研究^[2]

2.1 计算水文条件

按GB 50139—2004《内河通航标准》^[3]的要求, 采用综合历时曲线法对赣江、信江、抚河、修河、昌江、饶河、博阳河航道整治的最小设计流量进行水文分析。

其中外洲站按Ⅱ级航道整治要求, 采用98%的通航保证率, 设计流量采用《赣江(南昌—湖口)Ⅱ级航道整治工程初步设计》中的计算值(426.0 m³/s), 湖口水文站设计水位为5.33 m(黄海高程), 对应的流量为740.0 m³/s。设计条件水文分析结果见表2。

表2 最小设计流量

航道	控制水文站点	资料年限	多年历时保证率/%	设计流量/(m ³ ·s ⁻¹)
赣江	外洲	1990—2008	98	426.0
信江	梅港	1988—2008	95	22.66
抚河	李家渡	1977—2008	95	2.21
修河	永修	2005—2008	95	58.95
昌江	渡峰坑	1997—2008	95	10.92
饶河	虎山	1988—2008	95	21.98
博阳河	梓坊	1988—2008	95	1.56

2.2 不同调控水位对航道水面线的影响分析

不同调控水位对航道水面线的影响有所不同, 以赣江干流、赣江西河水面线及东河水面线为例, 如图6和7所示, 控制水位为12~14 m, 多数站点水位抬升幅度较小; 而控制水位为15~16 m, 多数站点水位抬升幅度较大, 表明控制水位为15 m和16 m时, 航道水位的提高效果较为明显。

2.3 不同枯期控制水位对航道里程及回水范围的影响分析

根据枯季动态水位调度原则, 选择枯控水位

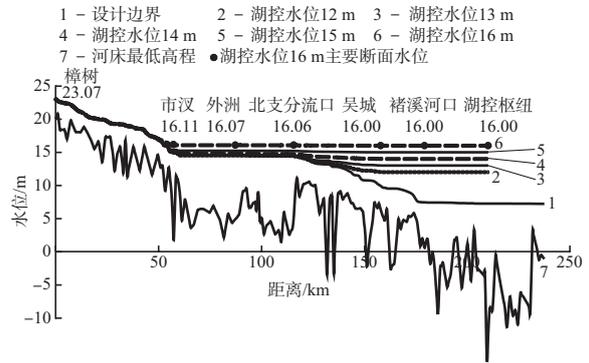


图6 赣江干流及赣江西河水面线

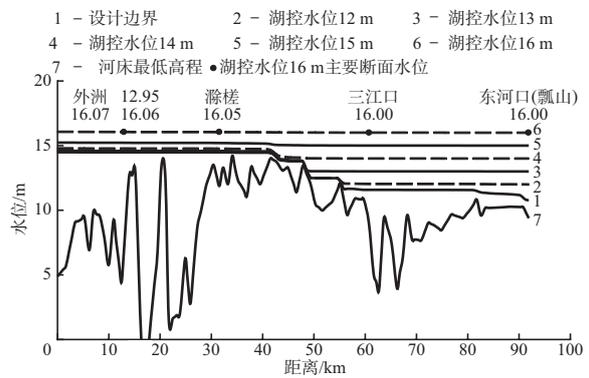


图7 赣江东河水面线

12~13 m, 14~16 m, 16 m和15~16 m方案, 分析不同枯期控制水位对航道里程及回水范围的影响。枯期不同调控水位方案下枢纽上游各入汇航道的回水范围见图8, 枯期不同调控水位对枢纽上游航道影响里程见表3。

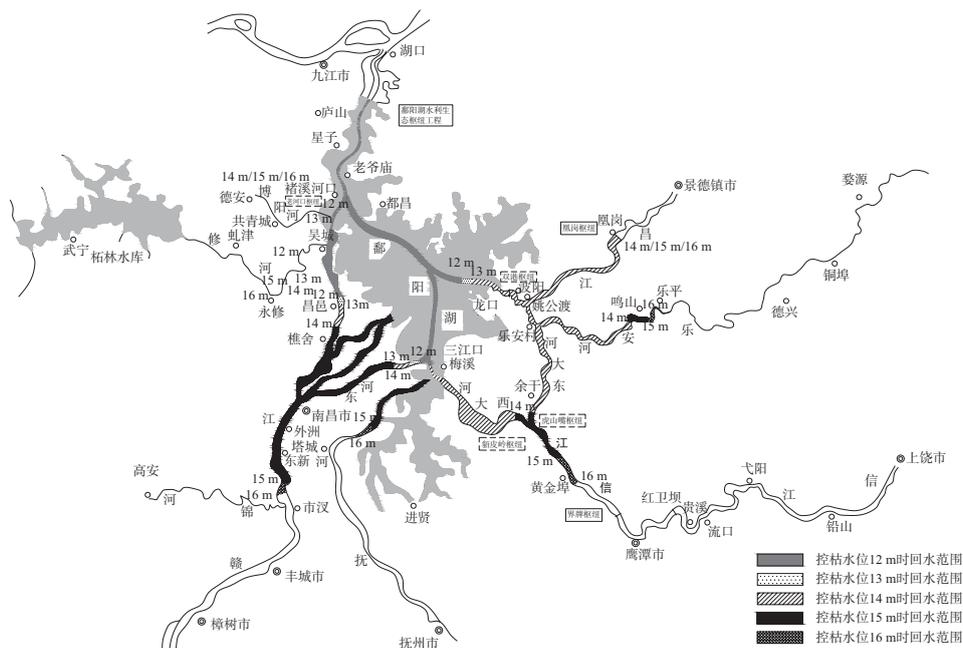


图8 鄱阳湖水利枢纽工程枯期控制水位各河流回水范围

表3 不同枯期控制水位方案对枢纽上游航道影响里程

河段	枯控水位12~13 m			枯控水位14~16 m			枯控水位16 m		枯控水位15~16 m		
	回水末端 至枢纽距 离/km	提高航道 至Ⅲ级 里程/km	回水变 动区 范围/km	回水末端 至枢纽距 离/km	提高航道 至Ⅲ级 里程/km	回水变 动区 范围/km	回水末端 至枢纽距 离/km	提高航道 至Ⅲ级 里程/km	回水末端 至枢纽距 离/km	提高航道 至Ⅲ级 里程/km	回水 变动区 范围/km
赣江干流及赣江西河 (市汊—南昌—吴城—枢纽)	67	67 [*]	10	90	90 [*]	65	155	155 [*]	150	150 [*]	5
赣江东河 (南昌—瓢山)	121		6	134	36	51	赣江干流	87	赣江干流	87	
赣江中支(礁矶头—朱港)							赣江干流	43	赣江干流	43	
赣江北支(鹭洲头—朱港)							赣江干流	28	赣江干流	28	
抚河(一三江口)	122		1	125	8	32	157	42	156	9	1
饶河(接渡镇—乐安村 —褚溪河口)	87	54	3	183	148	20	203	154	188	148	15
昌江(凰岗枢纽—姚公渡)				凰岗枢纽	51		凰岗枢纽	51	凰岗枢纽	51	
信江干流及东大河 (界牌—新渡万家—乐安村)				182		33	215	38	198	38	17
信江西大河 (新渡万家—三江口)				158	43	12	信江干流	55	信江干流	55	
修河(永修—吴城)	68	10	8	83	20	13	93	37	88	35	8
博阳河	43	4	6		45			45		45	

1) 枯控水位12~13 m方案。

该调控水位方案12 m回水末端分别至赣江西河的昌邑水位站下游约10 km处,抚河、赣江东河及信江西大河的交汇口—三江口的上游,饶河的瓢山上游,修河的河口上游15 km处,博阳河的河口上游6 km处。

该方案可改善赣江西河通航条件里程76 km,提高航道等级至Ⅲ级里程总数为68 km(饶河干流54 km、修河10 km、博阳河4 km)。

2) 枯控水位14~16 m方案。

该调控水位方案14 m回水末端能够到达所有入汇河流,其中,赣江西河到达樵舍下游,赣江东河到达独洲,抚河到达金溪湖,乐安河到达鸣山下游,昌江到达凰岗枢纽,信江东大河到达马背嘴上游,信江西大河到达江埠镇,修河到达永修县城,博阳河到达德安县城。

该方案可改善赣江西河通航条件里程90 km,提高其它河流通航等级至Ⅲ级航道的里程共351 km(赣江东河36 km,抚河8 km,饶河148 km,昌江51 km,信江西大河43 km,修河20 km,博阳河45 km)。

3) 枯控水位16 m方案。

该调控水位方案回水末端能够到达所有入汇

河流。其中,赣江干流至南昌,南昌以下分东西两河共4支注入鄱阳湖,赣江回水到达赣江干流的龙王庙大桥,赣江东河、西河全程渠化,抚河到达太平渡,乐安河到达乐平大桥,昌江到达凰岗枢纽,信江到达干流的黄金埠上游,修河到达永修县城以上,博阳河到达德安县城以上。方案可改善赣江干流及赣江西河155 km航道的通航条件,提高其它河流通航等级至Ⅲ级航道的里程共580 km(赣江东河87 km,赣江中支43 km,赣江北支28 km,抚河42 km,饶河154 km,昌江51 km,信江干流及东大河38 km,信江西大河55 km,修河37 km,博阳河45 km)。

4) 枯控水位15~16 m方案。

该调控水位方案回水末端亦能够到达所有入汇河流,其中,赣江到达干流的三洲,赣江东河、西河全程渠化,抚河到达太平渡,乐安河到达鸣山,昌江到达凰岗枢纽,信江到达干流的黄金埠下游,修河到达永修县城以上,博阳河到达德安县城以上。

方案可改善赣江干流及赣江西河150 km航道的通航条件,提高其它河流通航等级至Ⅲ级航道的里程共539 km(赣江东河87 km,赣江中支43 km,赣江北支28 km,抚河9 km、饶河148 km,昌江

51 km, 信江干流及东大河38 km, 信江西大河55 km, 修河35 km, 博阳河45 km)。

枢纽枯期调控水位方案比较及优缺点总结如

表4所示。综合4个枯期调控水位方案对航道里程及回水范围来看, 枯控水位15 m及以上方案为可接受方案。

表4 枯水期不同方案优缺点

方案	优点	缺点
枯控水位12~13 m	1. 改善了部分航道的通航条件 2. 对信江主通道虽可提高其下游54 km航道等级	1. 不能提高其航道通航等级 2. 回水末端仍未能衔接规划的双港枢纽 3. 该方案对上游航道无明显有利意义
枯控水位14~16 m	1. 对赣江可改善部分航道的通航条件 2. 规划的双港枢纽工程及湖区航道整治工程可以取消	1. 整个南昌港港区将处于长达65 km的水位变动区范围内 2. 但该方案回水末端未能与规划的八字嘴梯级的两个枢纽(虎山嘴枢纽和豹皮岭枢纽)衔接 3. 故该方案下不能形成环鄱阳湖千吨级(Ⅲ级)以上标准的高等级航道网
枯控水位16 m	1. 对赣江而言其回水末端超出南昌港港区范围, 避免了港区淤积的担忧 2. 对信江主通道而言, 回水可以超过八字嘴梯级, 到达黄金埠上游 3. 对枢纽上游航道将形成环鄱阳湖千吨级(Ⅲ级)以上标准的高等级航道网 4. 可改善赣江干流及赣江西河155 km航道的通航条件, 提高其它河流通航等级至Ⅲ级航道的里程共580 km	
枯控水位15~16 m	1. 对赣江而言其回水末端超出南昌港港区范围, 避免了港区淤积的担忧 2. 对信江主通道而言, 回水可以超过八字嘴梯级, 到达黄金埠下游 3. 对枢纽上游航道将形成环鄱阳湖千吨级(Ⅲ级)以上标准的高等级航道网 4. 可改善赣江干流及赣江西河150 km航道的通航条件, 提高其它河流通航等级至Ⅲ级航道的里程共539 km	八字嘴梯级的两个枢纽(虎山嘴枢纽和豹皮岭枢纽)不能合二为一, 且八字嘴梯级的两个枢纽下游尚存在水深不能完全衔接, 需辅以一定的工程措施

3 结论

1) 枯期调控水位为15~16 m时, 航道水位的提高效果较为明显, 枢纽上游航道将形成环鄱阳湖千吨级(Ⅲ级)以上标准的高等级航道网, 可改善赣江干流及赣江西河150 km航道的通航条件, 提高其它河流通航等级至Ⅲ级航道的里程共539 km。

2) 从建立五河尾间高等级航道的角度, 综合4

个枯期调控水位方案对航道里程及回水范围来看, 枯期调控水位15 m及以上是能达到预期效果的。

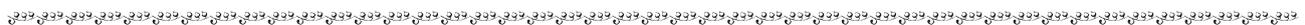
参考文献:

[1] 水利部长江水利委员会. 鄱阳湖区综合规划报告(送审稿)[R]. 武汉: 水利部长江水利委员会, 2010.

[2] 河海大学, 江西省港航管理局. 鄱阳湖水力枢纽工程对水运的影响研究[R]. 南京: 河海大学, 2010.

[3] GB 50139—2004 内河通航标准[S].

(本文编辑 武亚庆)



(上接第125页)

[3] 宋向群, 胡学文, 唐国磊, 等. 沿海港区复式航道等级组合优化研究[J]. 水道港口, 2011, 32 (2) : 149-152.

[4] 刘敬贤, 张涛, 刘文. 船舶交通流组合预测方法研究[J]. 中国航海, 2009, 32(3) : 80-84.

[5] 李子强. 基于交通流分析的航道通过能力研究[J]. 山东交通学院学报, 2009, 17(4) : 32-35.

[6] 中华人民共和国海事局. 中国沿海内河水域航行规则[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.

[7] 郭子坚, 王文渊, 唐国磊, 等. 基于港口服务水平的沿海港口航道通过能力[J]. 中国港湾建设, 2010 (S1) : 46-48.

[8] 杨兴晏. 海港船舶到港规律浅析[J]. 港工技术, 1986(1) : 6-13.

[9] 宋向群, 张静, 郭子坚, 等. 通航历时对沿海散货港区航道通过能力的影响分析[J]. 港工技术, 2010, 47(2) : 18-20.

(本文编辑 郭雪珍)