

回水变动段顶推船船型设计及营运经济性分析

丁明泽, 雷林, 冀楠, 杨春, 赵星

(重庆交通大学, 重庆 400074)

摘要: 贵州省拥有良好的水运发展环境, 乌江水运历史悠久, 沿线建设大量水电枢纽, 形成约 84 公里回水变动段。为解决回水变动段船舶通航问题, 本文针对水电枢纽回水变动段进行水域特征分析及现行船舶分析, 研发设计具有“小尺度、大拖力”特点的新型助航顶推船, 并对其进行营运经济性分析。最终确定新型顶推船主要船型要素, 即船长为 45m、船宽为 10.8m、吃水为 2.0m、干舷为 0.9m、航速为 14km/h、船舶造价为 129.382 万元, 并根据成本分析及敏感性分析为其运营提出相应建议, 为针对水电枢纽回水变动段船舶通航问题的进一步研究奠定理论基础。

关键词: 回水变动段; 顶推船; 船型论证

中图分类号: U674.2

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2021) 09—0112—04

1 概述

贵州省境内河流众多, 具备较好的水运发展条件, 而其中乌江水运历史悠久, 为沿江国民经济的发展和沿岸人员的交往发挥了重要作用。而乌江水运航段已建大量水电枢纽, 使得航道枢纽内河段水深增加、流速减小, 水流输沙能力减弱^[1], 形成累计 84 公里回水变动段, 通航环境日益复杂, 而顶推船提供动力, 可连续作业, 工作环境适应性强^[2], 再配以无动力驳船, 具有结构简单、吃水浅、载货量大等优点^[3], 能够有效应对水电枢纽回水变动段船舶通航问题。本文主要针对贵州乌江水运航段水电枢纽所形成的回水变动段进行水域特征分析, 并研发设计具有“小尺度、大拖力”特点新型顶推船船型, 从而开展营运经济性分析, 有效解决贵州航运发展与乌江航段水电枢纽回水变动段限制的矛盾, 为回水变动段复杂水域通航问题的进一步研究奠定理论基础。

2 水域特征及现行船舶分析

2.1 水域特征分析



图 1 乌江至龚滩航道图

乌江航道管理局境内 802km 乌江干流航道随着国家“西电东送”工程的建设 and 贵州乌江航道建设, 目前已达到Ⅳ级航道尺度, 其余均为天然航道。乌江渡至龚滩航段航道共计 431 公里, 如图 1 所示, 其中目前乌江航段现行大规模梯级水电站包括构皮滩、思林、沙沱等, 电站库区回水变动段航道共计 84 公里^[4], 乌江水电枢纽回水变动段助航顶推船船型优化升级迫在眉睫。

2.2 现行船舶分析

现阶段乌江货运的主要运输方式是机动驳, 拖驳船队或机动驳船组运输方式极少。为适应山区河流的特点, 船型多为尖瘦型, 船舶主要的船型为 100t 级货船、140t 级货船、200t 级货船、500t 级货船、乌江 500t 级多用途集装箱船和 800t 级货船^[4]。根据交通运输部的总体部署, 结合长江、珠江两大水系运输船舶发展趋势, 预计贵州省货运船舶将逐渐向标准化、大型化和节能环保方向发展, 预计在 2020 年前包括重庆河段在内的乌江干流乌江渡以下河段将全线梯级渠化, 达到通航 1000 吨级船舶的三级航道标准。因此, 乌江需要过坝的中长途货船规划采用 1000 吨级的机动船运输。客运以短途客运和旅游客运为主, 规划采用 50 ~ 100 客位普通客船和 80 客位以下旅游船。

3 船型主尺度及参数论证范围确定

3.1 允许最大船长及船宽

基于船舶操纵性和船舶安全性的要求, 本船型的船长应不大于航道最小弯曲半径的 1/5, 乌江航道构皮滩至重庆, 最大弯曲半径为 480m, 乌江航道现状如表 1

所示。

表1 乌江航道现状表

航道分段起讫点	通航里程/km	现状等级	航道尺度/m		
			航深	航宽	弯曲半径
东风~乌江渡	110	IV	1.0	30	105
乌江渡~龚滩	406	V	1.3	40	270

本文论证驳船船型的允许最大船长范围为45~58m。根据乌江各电站过闸设施限制，顶推船最大船宽可取11.5m。

3.2 吃水及干舷

根据流域航道规划图 and 实际考察，水电枢纽蓄水时库区内水面宽阔、水深较大，以及考虑航道未来规划，宽度必须满足III级航道，即水深为2.0~2.4m，本文取水深为2.4m。但在枯水期或水电枢纽放水时，坝前水位较低，为保证航行安全，船舶必须具有一定的富裕水深，以防止发生触底或吸底现象，富裕水深值如表2所示。因此综合上述影响因素，本船型吃水范围取2.0m~2.1m。

表2 富裕水深值/m

航道等级	I	II	III	IV	V	VI	VII
富裕水深/m	0.4~0.5	0.3~0.4	0.3~0.4	0.2~0.3	0.2~0.3	0.2	0.2

船舶最小干舷计算公式如式(1)所示^[5]，其中F为船舶基本干舷，f1为型深对干舷的修正，f2为舷弧对干舷的修正，f3为舱口围板高度及舱室门槛高度对干舷的修正。

$$F=F_0+f_1+f_2+f_3+f_4 \quad (1)$$

内河C、J2级航区的有义波高范围如表3所示，综合干舷计算结果及航区等级，同时考虑到风速的影响，为了安全起见，将干舷高度取为0.9m~1.2m。

表3 不同航区的有义波高范围

航区级别	有义波高范围 H_s/m
A	$1.25 < H_s \leq 2.0$
B	$0.5 < H_s \leq 1.25$
C	$H_s \leq 0.5$

3.3 参考船型的主尺度范围

贵州省主要通航河流规划船型表中库区500t级驳船船长为45m，船宽为10.8m，吃水为1.6m；货船及船组中配套的普通驳船标准船型主尺度系列^[6]如表4所示。

表4 配套的普通顶推船标准船型主尺度系列

参考载货吨级/t	总长/m	总宽/m	参考设计吃水/m
300.0	35.0~37.0	9.2	1.2~1.4
500.0	45.0~47.0	11.0	1.4~1.6

川江及三峡库区驳船标准船型主尺度系列^[7]如表5所示。

表5 川江及三峡库区顶推船标准船型主尺度系列

船型(载货吨级)	L_{OA}/m	B_{OA}/m	设计吃水/m	设计载货量/t
500	45~47	10.8	2.0~2.2	600~700

3.4 本文论证船型主尺度范围

根据上述论证并参考相关水域的推荐船型，同时考虑到升船机船厢尺度、闸门尺度等乌江通航设施的限制，因此初步确定本文顶推船设计主尺度范围如表6所示。

表6 顶推船船型设计主尺度范围

型号/t	总长/m	型宽/m	吃水/m	干舷/m
500	45~58	10.8~11.5	2.0~2.4	0.9~1.2

根据统计资料，驳船方形系数Cb的合理范围为0.7~0.8。根据驳船船队的实用性和经济性以及航道限制，最终确定通航船舶载重吨位为500t。

4 船型技术经济参数确定

4.1 营运率、负载率、贷款利率及还款年限

确定本船型的营运时间取为全年246天，即营运率为67.4%，负载率取为75%，贷款利率定为4.9%，根据船舶运行时间及可靠性，综合考虑船企效益，还款年限取18年。

4.2 船舶造价

$$P = \left(\frac{LBD}{L_0 B_0 D_0} \right)^{2/3} P_0 \quad (2)$$

本文设计顶推船船舶造价选取母型船换算法，母型船换算如公式(2)所示，其中P₀为母型船造价，本文设计顶推船所取母型船造价105万元，母型船主要要素如表7所示。

表7 顶推船母型船主要要素

吨位/t	L_{OA}/m	B_{OA}/m	型深/m	设计吃水/m
500	46.0	8.0	2.8	2.2

4.3 年运输成本

年运输成本包括折旧费、年度修理费用、保险费、年税金和其他费用。折旧费按18年折旧，残值为3%；修理费一般按折旧费的80%计算；本文论证船型的船身保险为全损险，保额上限为900万元，保费为0.8%/年；航运企业增值税为收入的3%，城市建设附加费、教育附加费和地方教育附加费，税率分别为增值税的7%、

3% 和 2%，综合可得年税金占年收入 3.36%；其他不可预见费用为年收入的 2%。

4.4 必要运费率和运输效率

必要运费率 $RFR = (A + Y) / Q$ ，其中 A 为年回收额，Y 为年运营费，Q 为年运量，而年回收额如式 (3) 所示，其中 P 为船舶的造价，i 为贷款利率，n 为还款年限，(A/P, I, N) 为资金回收因数；运输效率 $YSXL = n * V / ZBHP$ ，其中 n 为载重吨，V 为航速，ZBHP 为主机总功率。

$$A = P * (A / P, I, N) = P * \left[\frac{i * (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right] \quad (3)$$

5 船型论证计算及营运经济性分析

5.1 船型论证计算

本文顶推船船型论证计算首先采用网格法，在计算过程当中，垂线间长以 1m 为步长，型宽以 0.2m 为步长，吃水以 0.1m 为步长，干舷以 0.1m 为步长，航速以 1km/h 为步长。船型主尺度论证计算界面如图 2 所示，船型营运经济性论证计算界面如图 3 所示。



图 2 船型主尺度论证计算界面



图 3 船型营运经济性论证计算界面

最优船型主尺度组合的详细论证方法为将必要运费率、船舶造价作为限制条件，淘汰未满足条件的船型主尺度组合；对船型主尺度组合进行排序，分别挑出其中的排名前 12 的船型主尺度组合。经系统计算，按必要运费率 RFR 由低到高排序，船型主尺度组合如表 8 所示，排名第一则为最优船型主尺度组合，最终确定本文设计顶推船船型要素船长为 45m，船宽为 10.8m，吃

水为 2.0m，干舷为 0.9m，航速为 14km/h，船舶造价为 129.382 万元。

表 8 顶推船船型论证结果

船舶造价 (万元)	干舷 /m	垂线间 长/m	型宽 /m	吃水 /m	速度 (km/h)	方形系数	排水量 /t	必要运 费率	单位排水量造 价(万元/吨)
129.382	0.9	45	10.8	2	14	0.768889	754.834	14.9352	0.171405
132.34	1	45	10.8	2	14	0.768889	754.834	15.1918	0.175323
135.265	1.1	45	10.8	2	14	0.768889	754.834	15.4455	0.179198
138.158	1.2	45	10.8	2	14	0.768889	754.834	15.6965	0.183031
135.946	0.9	46	11	2.1	15	0.75031	805.252	15.5046	0.168824
138.951	1	46	11	2.1	15	0.75031	805.252	15.7653	0.172555
141.923	1.1	46	11	2.1	15	0.75031	805.252	16.0231	0.176247
144.864	1.2	46	11	2.1	15	0.75031	805.252	16.2783	0.179899
142.661	0.9	47	11.2	2.2	16	0.732092	856.299	16.0871	0.166601
145.712	1	47	11.2	2.2	16	0.732092	856.299	16.3518	0.170165
148.732	1.1	47	11.2	2.2	16	0.732092	856.299	16.6138	0.173692
151.722	1.2	47	11.2	2.2	16	0.732092	856.299	16.8732	0.177183

5.2 成本分析

衡量船舶经济性的指标有很多，通常情况下，船东为了提高竞争能力和企业的经济效益，希望降低船舶的运输成本，同时提高船舶利用率和缩短投资回收期。船舶经济性论证的三个主要经济指标包括必要运费率、净现值和内部收益率。

表 9 成本构成表

	总成本	折旧费	年度修理费用	保险费	增值税	其他费用
数值(万元)	22.496	6.97227	5.57782	8.1	1.15737	0.688914
比例%	100	31	25	36	5	3

本文经济性论证是对特定船型的运营经济性进行讨论，因此应以船型在整个运营期间收支平衡为最低保证，根据上述运输成本构成对优选船型方案进行成本分析，得出成本构成份额，如表 9 所示，可见其中顶推船的折旧费、年度修理费用及保险费的占比较大。

5.3 敏感性分析

为进一步探讨市场变化对船舶技术经济性的影响，论证中分析了船价、负载率、营运率、利率变化、燃油价格和负载 / 营运率四个经济参数变化对最优方案的影响。以上述最优船型方案为基准，将各参数上下浮动 10%，计算最优船型必要运费率的变化情况。

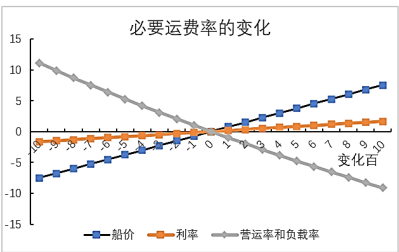


图 4 参数变化对必要运费率的影响曲线

从图 4 可见，必要运费率对营运 / 负载率最为敏感，

起重船船体结构强度有限元分析

刘健中

(中国船级社质量认证公司南京分公司, 江苏 南京 210000)

摘要: 起重船作为一种工程船舶, 由于其起重作业要求, 船体结构局部区域受力集中且分布不均匀, 因此对船体结构强度的要求比较高。本文针对某 58m 沿海航区起重船, 运用 MSC.Patran/Nastran 有限元计算软件, 计算其起重作业工况下的局部结构强度, 分析应力分布规律, 对该类型船舶的结构设计具有参考意义。

关键词: 局部强度; 起重船; 有限元分析

中图分类号: U674.35

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2021) 09—0115—03

起重船作为一种常见的工程船舶, 承载着吊装、打捞沉船、装卸货物等水上工程任务。起重船按照航行方式可以分为自航式与非自航式。非自航式起重船常以驳船的形式出现。按船体数可以分为单体与双体起重船两种。双体起重船是由两个单船体通过连接桥连接, 相较于单体船具有稳定性好、横摇周期短、操纵灵活、起重量大等优点。按照起重机的作业特点可以分为固定式、半回转式、全回转式。固定式起重船的起重臂不能水平旋

转。全回转式起重船的起重臂能够通过起重机底座进行 360° 旋转, 作业方式更加灵活。起重臂由钢结构组成, 通常可在垂直方向进行起升、变幅。可见全回转式起重船在作业工况上会更加复杂。其总体受力大, 局部区域受力集中, 对船体结构、起重机回转底座的强度储备要求很高^[1]。

近几十年来随着海洋工程技术的进步, 起重船有了很大发展, 首先起重船的用途逐渐向海洋工程服务发展。

其次是船舶造价和利率。因此, 在船舶建造期间, 应控制好造价; 在船舶营运期间, 应合理设计航线, 采用经济航速等措施, 降低必要运费率。

6 结论

本文针对水电枢纽回水变动段进行水域特征分析及现行船舶分析, 以此为基础研发设计具有“小尺度、大拖力”特点的新型助航顶推船, 最终确定新型顶推船主要船型要素, 船长为 45m, 船宽为 10.8m, 吃水为 2.0m, 干舷为 0.9m, 航速为 14km/h, 船舶造价为 129.382 万元, 并对其进行成本分析及敏感性分析, 根据分析结果为其运营提出相应建议, 为解决回水变动段船舶通航问题及提升船舶航行经济性的进一步研究奠定理论基础。

参考文献:

- [1] 唐荣婕, 陈立, 杨阳, 等. 三峡水库变动回水区三角碛浅滩冲淤与碍航特性分析 [J]. 水运工程, 2015, 2(1): 109-113.
- [2] 董明玉, 张立, 邢磊. ATB 顶推驳船的快速性研究 [J].

船舶物资与市场, 2019, 6(10): 34-36.

[3] 张培超. 整体连接顶推驳船在几内亚 Fataha 河的应用 [J]. 航海技术, 2020, 11(6): 4-5.

[4] 贵州省交通运输厅. 贵州省水运发展规划 (2012-2030 年) [Z]. 贵州省: 贵州省交通运输厅, 2012.

[5] 中华人民共和国海事局. 内河船舶法定检验技术规则 [Z]. 北京: 中华人民共和国海事局, 2018.

[6] DB5/T811-013, 贵州省乌江货运船舶 (队) 标准船型主尺度系列 [S]. 贵州省: 贵州省质量技术监督局, 2013.

[7] 中华人民共和国交通运输部. 川江及三峡库区运输船舶标准船型主尺度系列 [Z]. 北京: 中华人民共和国交通运输部, 2010.

基金项目: 重庆市研究生科研创新项目 (CYS19222)。