

# 钱塘江航道大型客旅船安全通航适应性研究

韩冰翰, 马晶

(杭州市交通规划设计研究院, 浙江 杭州 310006)

**摘要:** 现有钱塘江的主力游轮为 50 米级, 难以完全满足休闲、旅游等需求, 有必要对钱塘江大型客旅船通航可行性进行研究。分析钱塘江五个主要风险航段, 基于 MMG 思想建立 90-110 米三种客旅船运动数学模型, 开发航段的电子江图和雷达图像, 基于虚拟现实技术搭建航段的三维航行场景, 在此基础上, 通过船舶操纵模拟试验, 验证、分析 90-110m 客旅船在钱塘江航道安全通航的可行性。

**关键词:** 船舶运动数学模型; 电子江图; 三维场景; 客旅船

中图分类号: U698

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2021) 02—0065—03

近期, 杭州市政府顺应时代发展的脉络, 提出了“拥江发展”战略, 到 2035 年, 杭州将规划形成以钱塘江为中轴的市域“拥江发展”格局。目前钱塘江上的主力游轮为 50 米级, 难以适应休闲、旅游等多功能要求, 急需尺度较大的客旅船加入。船舶本身的性能和尺度相当程度上决定了水上旅游的质量, 为了加快打造钱塘江水上旅游项目, 很有必要对钱塘江大型客旅船通航进行可行性研究。

本文选取钱塘江典型航道, 通过船舶操纵模拟试验, 参照维京内河游轮, 验证、分析 90-110m 的客旅船在钱塘江航道安全通航的可行性及通航限制条件。

## 1 技术方案

本文的技术路线如图 1 所示:

(1) 通航环境分析。分析钱塘江水域的地理位置、自然环境、水文环境。

(2) 钱塘江航段通航特征分析。结合航道的基本情况 (包括航道宽度、水深、转弯半径等), 综合分析航道的规划定位、营运船舶特点、过河建筑物通航净空尺度等方面因素。

(3) 模拟试验方案设计。具体包括模拟试验航道、水文、气象条件、船型等。

(4) 模拟船舶数学模型建模。为模拟试验的客旅船建立运动数学模型。

(5) 钱塘江典型航段三维场景建模。建立模拟水域的陆地建筑物、航标、河道等三维模型, 构建模拟试验场景。

(6) 钱塘江典型航段电子江图开发、雷达图像模拟。

(7) 钱塘江水域水文特征模拟。通过数学模型模拟航段的流场。

(8) 模拟试验。请有经验的、熟悉航道水域自然

和地理环境的操船人员进行船舶操纵。

(9) 依托研究资料和模拟试验结果, 对游轮钱塘江大型客旅船通航的可行性进行论证。

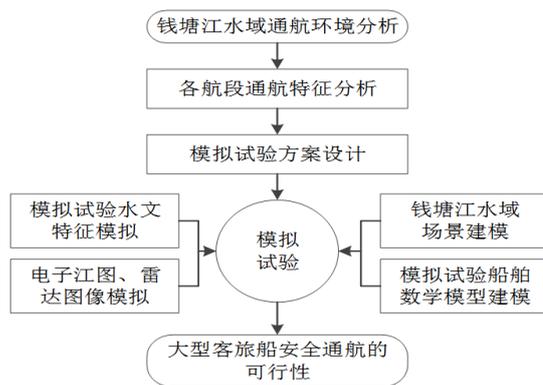


图 1 技术方案

## 2 关键技术

### 2.1 船舶运动数学模型建立

基于分离模型 (MMG) 的思想构建大型客旅船运动数学模型, 模拟船舶的车舵响应、惯性和旋回性等方面的操纵性应与实船应基本一致, 所建立船舶运动数学模型的有关性能参数符合 IMO 的“船舶操纵性标准”的相关要求。如图 2 所示为船舶模型的相关影响因素:

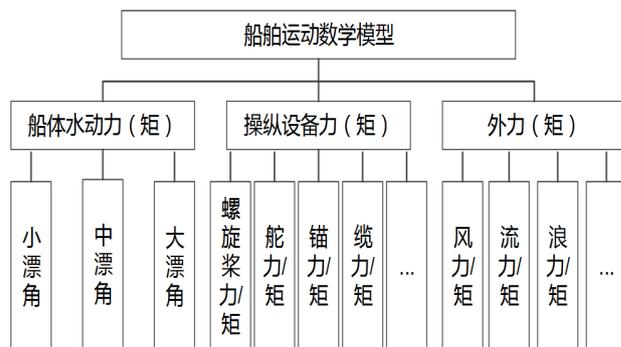


图 2 船舶模型的影响因素

本文参照维京内河游轮，考虑钱塘江航段的航行限制，建立三条客旅船的运动数学模型，这三条船的船长分别为 92m、96m 和 110m、船宽均为 11.2m，最大吃水均为 2.5m，客旅船数学模型开发的部分界面如图 3 所示：

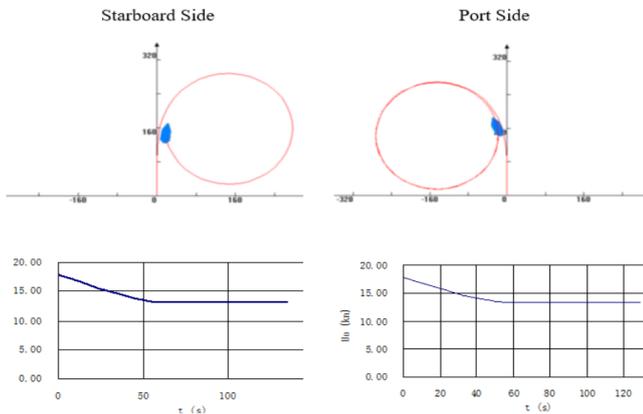


图 3 船舶数学模型部分开发界面

## 2.2 电子江图开发

根据钱塘江水域的河道图、平面布置图及相关航道工程资料，进行数字化后形成电子江图。本文采用了面向对象的方法，参照 S-57 标准，生成和显示电子江图。

在 S-57 模式中，对于真实物体的定义分为描述特征和空间特征两种。前者是对物体除几何信息外的描述，而后者主要是描述物体的几何信息，但也可包括其他信息的描述。理论数据模型见图 4。

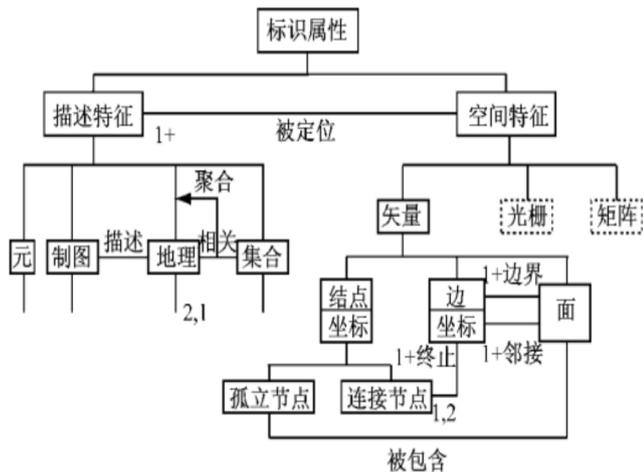


图 4 S-57 理论数据模型

## 2.3 三维航行场景模拟

三维航行场景是用户在模拟试验时获取船舶航行信息的最直接、数量最大的来源，一个好的三维场景可以使用户有身临其境的感觉。

三维场景建模工作主要包括：建模资料搜集、建模数据处理、纹理图片处理、纹理映射、三维地形地貌建模、三维物体建模、细节层次处理、模型整合及结构优化、数据库调试安装等。三维场景数据研制流程参见图 5。

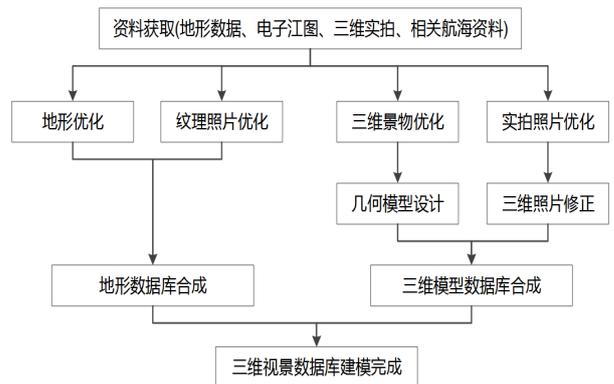


图 5 三维场景开发流程图

场景建模软件采用 Multigen 公司的 Creator，建模的基本原则是：使用尽可能少的三角面片数和纹理量来构建逼真的模型。场景管理软件采用 OpenSceneGraph (OSG)，通过对 OSG 的场景图进行重点分析，利用场景图的强大功能来管理和显示模拟的场景。

## 3 船模试验

本文结合实地考察、调研分析，选取钱塘江的严州大桥—富春江大坝段、富春江船闸、富春江大坝—窄溪段、窄溪—闻家堰段、闻家堰—八堡段等五个主要风险航段进行重点研究。建立三条客旅船运动数学模型，如图 6 所示；开发主要航段的电子江图及雷达图像，如图 7 所示；建立相应航段的三维航行场景，如图 8 所示。在分析各航道水文、气象、等基础上设计模拟试验方案。如表 1 为严州大桥—富春江大坝段的部分模拟试验方案，图 9 为船模试验所用的船舶操纵模拟器。



图 6 参照维京内河游轮的客旅船模型

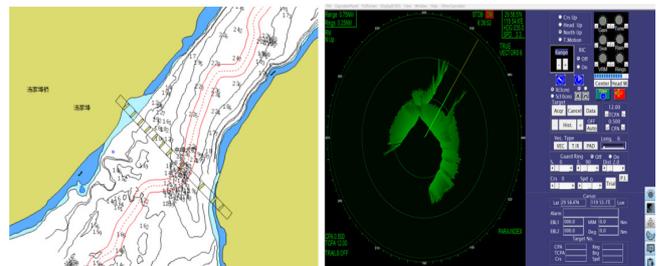
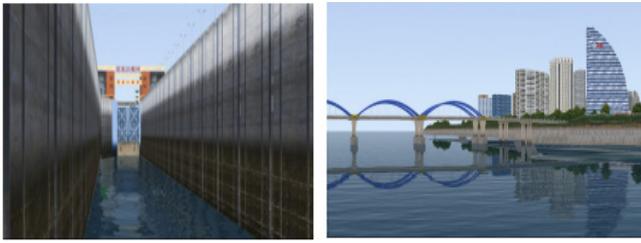
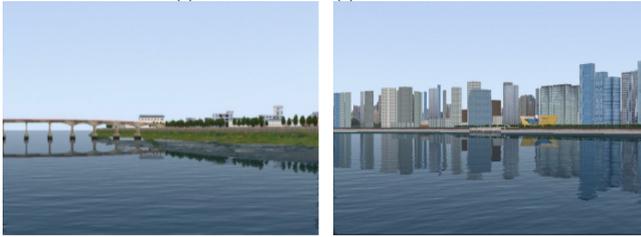


图 7 中埠大桥附近电子江图及雷达图像



(1) 富春江船间 (2) 桐庐迎春大桥



(3) 中埠大桥 (4) 滨江码头  
图8 航段三维航行场景



图9 试验用船舶操纵模拟器

如图10为表1中试验3的航迹截图及相关的数。通过对上述模拟试验进行分析，统计出客旅船在不同通航条件下的航迹带宽度、所需转弯半径等数据，如图10为96米客船通过富春江特大桥区域的航迹带宽度、离桥墩最近距离、偏航距统计。

表1 模拟试验方案

| 序号  | 航段                      | 航行方向 | 潮流  | 风向  | 风速  | 备注                        |
|-----|-------------------------|------|-----|-----|-----|---------------------------|
| 1   | 严州大<br>桥—富<br>春江大<br>坝段 | 上行   | 涨潮  | NNW | 6   | 全程航行，下半段因在水库或无水流动处航行，风流较小 |
| 2   |                         | 上行   | 落潮  | NNW | 6   | 水库到富春江特大桥航行               |
| 3   |                         | 上行   | 落潮  | NNW | 6   | 渡济大桥航行                    |
| 4   |                         | 上行   | 涨潮  | WSW | 6   | 水库到富春江特大桥航行               |
| 5   |                         | 上行   | 涨潮  | WSW | 6   | 渡济大桥航行                    |
| 6   |                         | 上行   | 落潮  | WSW | 6   | 水库到富春江特大桥航行               |
| 7   |                         | 下行   | 落潮  | WSW | 6   | 渡济大桥航行                    |
| 8   |                         | 下行   | 涨潮  | NNW | 6   | 渡济大桥航行                    |
| 9   |                         | 下行   | 涨潮  | NNW | 6   | 水库到富春江特大桥航行               |
| 10  |                         | 下行   | 涨潮  | 0   | 0   | 水库内下行，无风微流                |
| 11  |                         | 下行   | 落潮  | NNW | 6   | 渡济大桥航行                    |
| 12  |                         | 下行   | 落潮  | NNW | 6   | 富春江特大桥航行                  |
| 13  |                         | 下行   | 涨潮  | WSW | 6   | 渡济大桥航行                    |
| 14  |                         | 下行   | 涨潮  | WSW | 6   | 富春江特大桥航行                  |
| 15  |                         | 下行   | 落潮  | WSW | 6   | 渡济大桥航行                    |
| 16  |                         | 下行   | 落潮  | WSW | 6   | 富春江特大桥航行                  |
| 17  |                         | 上行   | 涨潮  | NNW | 6   | 水库到富春江特大桥航行，有目标船          |
| 18  |                         | 下行   | 涨潮  | NNW | 6   | 渡济大桥航行，有目标船               |
| 19  |                         | 上行   | 落潮  | NNW | 6   | 水库到富春江特大桥航行，有目标船          |
| 20  |                         | 上行   | 落潮  | NNW | 6   | 渡济大桥航行，有目标船               |
| 21  |                         | 上行   | 涨潮  | WSW | 6   | 水库到富春江特大桥航行，有目标船          |
| 22  |                         | 上行   | 涨潮  | WSW | 6   | 渡济大桥航行，有目标船               |
| 23  |                         | 上行   | 落潮  | WSW | 6   | 水库到富春江特大桥航行，有目标船          |
| 24  |                         | 上行   | 落潮  | WSW | 6   | 渡济大桥航行，有目标船               |
| 25  |                         | 下行   | 涨潮  | NNW | 6   |                           |
| 26  |                         | 下行   | 落潮  | NNW | 6   | 目标船只在渡济大桥增加，故试验只          |
| 27  |                         | 下行   | 涨潮  | WSW | 6   | 做渡济大桥水域航行                 |
| 28  |                         | 下行   | 落潮  | WSW | 6   |                           |
| ... | ...                     | ...  | ... | ... | ... |                           |

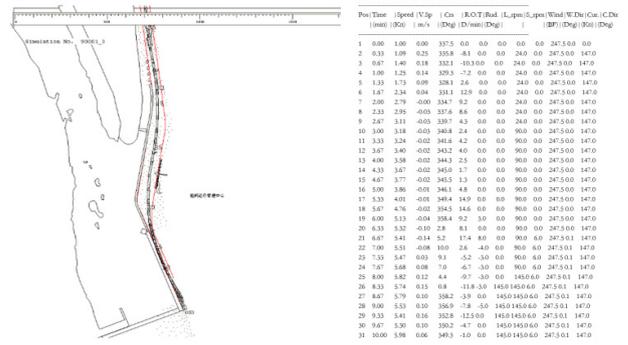


图10 试验3航迹截图及数据

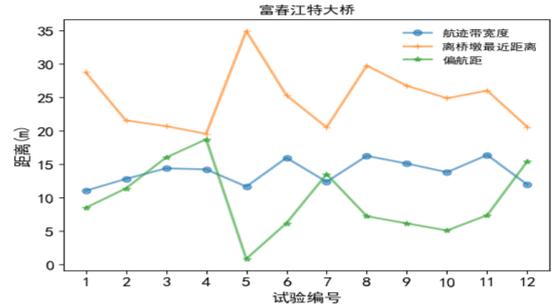


图11 富春江特大桥区域的航迹带宽度、离桥墩最近距离、偏航距等统计

#### 4 结论

通过对钱塘江水域水文气象资料的分析，以及五个典型航段的船舶操纵模拟试验结果分析，综合考虑多方因素，在目前掌握的水文气象条件下，对通航标准做一定的限制，并采取必要的安全管理措施的前提下，模拟试验船型（船长92米、96米）可以在充分使用侧推器的前提下，保证船舶的安全通航。试验船型（船长110米）在该水域航行的难度非常大。同时对各个风险航段，通过模拟试验也给出了具体的通航限制条件和安全保障措施。

#### 参考文献：

- [1] 赵东华, 黄荳荳, 陈虹. 基于“水上巴士”的城市公共交通体系扩展的设想 [J]. 中国水运, 2016(11):20-23.
- [2] 张秀凤, 尹勇, 金一丞. 规则波中船舶运动六自由度数学模型 [J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(3):40-43.
- [3] 孙佳文, 任鸿翔, 肖方兵, 等. 基于虚拟现实的整船仿真训练平台 [J]. 系统仿真学报. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3092.V.20201030.1445.007.html>.

基金项目：浙江省交通运输厅科研计划项目 (2019039)；国家自然科学基金 (52071312)