



港湾游艇泊位容量建模与计算

石京, 肖遥, 汤岩楠

(清华大学交通研究所, 北京 100084)

摘要: 在保证航行安全和服务水平的前提下, 分析确定海湾地区一定海域内可设置的最大游艇泊位数量, 即游艇泊位容量。首先建立相关模型, 得到一定海域内可容纳同时行驶的游艇数量, 即游艇海域容量; 进而根据游艇的出行比例, 得到可设置的游艇泊位数量。建立了两种模型来计算游艇海域容量: 1) 基于安全考虑, 通过数学分析建立了安全距离模型; 2) 基于服务水平分析, 建立了计算机仿真模型。以惠州大亚湾海域为例, 获得安全距离模型和计算机仿真模型下大亚湾内可设置的游艇泊位数量, 为游艇港湾的规划和设计提供了必要的参考。

关键词: 游艇; 泊位容量; 安全距离模型; 计算机仿真

中图分类号: U 651.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)09-0078-05

Modeling and calculation of capacity of yacht docks

SHI Jing, XIAO Yao, TANG Yan-nan

(Institute of Transportation Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The aim of this study is to determine the maximum number of berths in some sea area under the condition of ensuring navigation safety and service level, namely the capacity of yacht docks. Firstly, the number of yacht that some sea area can simultaneously accommodate, namely the capacity of sea area, is calculated by establishing mathematical models. Then the capacity of yacht docks is calculated according to the proportion of trip of yachts. This study establishes two models to calculate the capacity of sea area: 1) safety distance model based on navigation safety, which is proposed by mathematical analysis; 2) computer simulation model based on analysis of service level. The capacity of yacht docks at Daya bay, in the city of Huizhou, is calculated as a case, based on both safety distance model and computer simulation model. This study proposes theoretical model to analyze capacity of yacht docks and provides guidance for the planning and design of yacht harbor.

Keywords: yacht; capacity of berths; safety distance model; computer simulation

从 20 世纪 90 年代末起, 私人游艇活动开始逐步进入中国大陆消费市场, 大型、正规的游艇俱乐部近几年也开始陆续出现^[1]。游艇是一种高级消费品, 集航海、休闲、娱乐等功能为一体^[2], 不同于一般船只, 其出行时间和运行轨迹具有很强的随意性和自主性, 因此游艇行驶的安全需进一步研究。在一定面积的海域内, 可以容纳多少游艇进行自由行驶, 同时能够保障安全, 是本研

究的重点。

在世界范围内, 游艇已经十分普及。世界平均每 171 人就拥有一艘游艇^[3]。同时, 游艇的销售量也以每年 6% ~ 7% 的速度增长^[4]。在欧美等经济发达的国家, 游艇已经成为较普遍的家庭和个人消费品^[5]。根据 2004 年的数据, 在美国平均每 14 人就拥有一艘游艇^[6], 而参与游艇娱乐活动的人数则达到美国总人口的 1/3 左右^[7]。据相关研

收稿日期: 2014-01-10

作者简介: 石京 (1962—), 男, 博士, 教授, 主要研究道路与铁道工程、交通运输规划与管理、交通安全与驾驶行为。

究预测,未来20年内,我国游艇市场将出现井喷式的发展趋势^[8]。目前,我国香港地区的游艇旅游业已经比较成熟,平均每330人就拥有一艘游艇^[9]。

大亚湾既有丰富的旅游资源,同时又是一个货运港口,每天有大量的各种型号货轮在湾内航行。需要通过控制泊位数量来有效地控制湾内出游的游艇数量,以降低事故风险。在综合考虑可利用水域面积、可设置游艇泊位空间等因素的条件下,大亚湾中能容纳游艇泊位的数量需要进一步分析研究。本研究通过建立安全距离模型和服务水平仿真模型,分析计算在保证湾内海域航运安全条件下,一定海域内可设置的游艇泊位数量,即游艇泊位容量。并由此确定可修建的游艇泊位数,同时以大亚湾为例进行了参数标定和计算,为游艇事业的规划和发展提供了参考。

1 模型建立

1.1 安全距离模型

湾内一定海域面积所能够容纳的游艇数量,是在保证游艇出行安全的前提下,海域上所能容纳的游艇数量上限。而该海域内同时出行的游艇数量,是由游艇的泊位数量和出行比例共同决定的,同时假定所有的泊位都停满了游艇。取大亚湾湾内设置游艇泊位容量为 C ,则有:

$$C = \frac{N}{R} \quad (1)$$

式中: N 为海域可同时容纳出行的游艇数量,即游艇海域容量; R 为游艇设计出行比例。偏于保守,需考虑在游艇出行比例最大的情况下,海域内游艇数量不超过游艇海域容量。因此取游艇的设计出行比例为高峰时段的出行比例:

$$R = \eta \bar{R} \quad (2)$$

式中: η 为高峰出行系数; $\bar{R}$ 为游艇平均出行比例。游艇海域容量 N 为:

$$N = N_0 \lambda \theta \quad (3)$$

式中: N_0 为标准游艇容量; λ 为风速影响系数; θ 为不均匀系数。标准游艇容量 N_0 指在标准条件(无风平静海面、天气情况良好)下,海域可容纳

的标准大小游艇数量;风速影响系数 λ ,则是考虑不同大小风速对游艇海域容量的影响;不均匀系数 θ ,是为了调整由于游艇在海域上的分布不均匀,导致实际游艇海域容量会较小的影响。

在实际情况中,游艇有各种型号、尺寸,为了便于建模计算,需要将不同大小的游艇换算成标准大小游艇。其换算方法为:

$$N_0 = \sum k_i N_i \quad (4)$$

式中: N_i 为某种类型游艇的数量; k_i 为将该种类型游艇换算成标准大小游艇的换算系数。

在本研究中采取安全距离模型进行分析。为了保证游艇行驶的安全,需要考虑一艘游艇的动态占用面积 S_0 ,即游艇在行驶时,为了确保安全所平均占有的海域面积。则标准游艇容量为:

$$N_0 = S/S_0 \quad (5)$$

式中: S 为可供游艇行驶的总海域面积。

1.2 动态占用面积

借用交通流理论研究中车域的概念,将其简化为安全圆模型,考虑每一艘游艇所占有的面积是以游艇为中心的一个圆形区域,而该圆的半径则为游艇从现有速度减速到静止的距离。这是一种最保守的假设,即在最不利的情况出现时,游艇仍然有足够的安全空间保障它能够减速到静止,而避免两艘游艇可能发生的碰撞和危险。因此,游艇的安全距离 R 的计算方法为:

$$R = \frac{1}{2} a t^2 = \frac{v^2}{2a} \quad (6)$$

式中: v 为游艇设计行驶速度; a 为游艇航行中的安全加速度。在实际情况中,还需要考虑到游艇的长度 l ,故可以得到加上游艇长度的安全距离 R_l 为:

$$R_l = R + l \quad (7)$$

考虑游艇的动态占用面积为一个圆形区域,偏于保守地假设所有的圆形区域均不交叉,得到极限情况下海域内能够容纳游艇的分布状态(图1)。

在此种极限条件下,游艇的动态占用面积 S_0 为:

$$S_0 = 2 \sqrt{3} R^2 \quad (8)$$

式中: R 可以使用 R_l 代替。

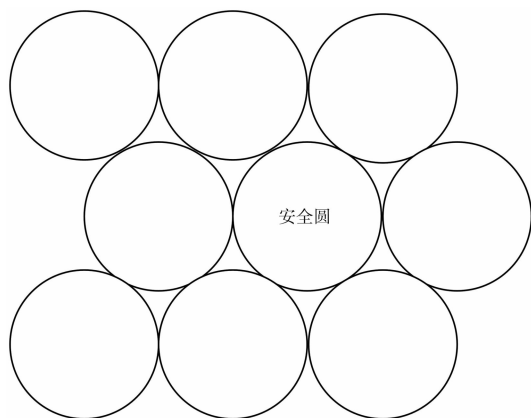


图1 游艇动态占用面积分布

2 参数标定

为了获取关于游艇使用的相关参数,本研究选取了新浪尚品频道作为调查的平台,进行了一次网络问卷调查,调查对象为游艇业主或潜在游艇用户,收集到1 102份有效问卷。

1) 标准艇参数。

根据长度,游艇可分为12 m以下、12~21 m、21~30 m和30 m以上游艇,我国国内游艇主要仍在20 m以下^[10]。同时,根据问卷调查的结果,目前我国国内绝大多数游艇业主也都选择中型和小型游艇。因此本研究采用中型艇为标准大小游艇,中型游艇的长度一般在12~21 m^[11],为了便于研究,取其中间值16.5 m作为标准游艇的尺寸大小。中型艇的设计航速范围一般为18~26 kn,取其平均值22 kn(40.70 km/h)为游艇设计速度。

2) 加速度。

对于游艇航行中的加速度,考虑到游艇加减速时,需要保证乘客的舒适性和安全性,因为游艇行驶时,乘客很可能是处于站立状态的。一般人在加速度超过1 m/s²时,身体会产生明显不适,常见的电梯、地铁等的加减速度也不超过1 m/s²,因此游艇行驶过程中的加(减)速度值一般应不超过1 m/s²。根据文献[12]的研究,当加速度在0.6 m/s²,受试者普遍表示舒适,而当加速度达到最大值1 m/s²时,受试者普遍产生不舒适感,其临界值加速度应该在0.6~1 m/s²。在本研究中,取其中间值,即0.8 m/s²为设计值。

3) 海域面积。

根据大亚湾的总体规划,大亚湾可供游艇行驶的海域面积现有约450 km²,同时减去锚地、岛屿、作业区等不适于游艇行驶的区域之后,在大亚湾湾内可供游艇航行的总面积为160.16 km²。

4) 风速影响系数。

在实际情况下,当风速较大时,将禁止船只出海。一般的游艇出海时的风速不应该超过6级,因此大多数情况下,风速对游艇的影响都是较小的。风速的方向与船只航行的方向可以有不同的夹角,考虑最不利的情况,即风速与游艇行驶方向垂直。其主要影响是在侧风作用下,导致游艇行驶向一侧偏移。根据游艇一般行驶的环境,偏航角不得超过5°^[11],按最大偏航角计算游艇在侧风作用下行驶的情况。

$$R_l^F = R_l / \cos 5^\circ = 1.003\ 82 R_l \quad (9)$$

$$\lambda = \frac{S_0}{S_0^F} = \left(\frac{R_l}{R_l^F} \right)^2 = 0.992\ 4 \quad (10)$$

式中: R_l^F 为考虑风速影响情况下的安全距离; S_0^F 为考虑风速影响下的动态占用面积; λ 为风速影响系数。根据计算结果,风速对游艇行驶的影响是较小的,但考虑到游艇行驶时还有水流和波浪的侧向影响,故偏保守地取风速影响系数为0.95。

5) 平均出行比例及高峰出行系数。

由问卷调查的结果,拥有游艇的被调查者,平均使用游艇出行的比例约为17.1%,而在高峰时段(6—8月的周末)的出行比例可达39.4%,故得到高峰出行系数为2.3。

6) 不均匀系数。

不均匀系数指的是由于在实际情况下,游艇在海域内的分布是不均匀的,会出现某些海域密度较高的情况,导致游艇实际容纳量会偏小的情况(根据本文3.2进行仿真的结果,得到不均匀系数为0.48)。

7) 游艇容量估算。

根据以上讨论的参数取值,可以计算得到大亚湾游艇泊位容量为:

$$C_1 = \frac{N_1}{R} = \frac{N_{01} \lambda \theta}{\eta R} = 4\ 997 \text{ 艘 (标准大小游艇)}$$

根据现有研究统计,一般每一个游艇基地的泊位在 300 ~ 1 000 个,仅有少数游艇基地泊位数超过 1 000 个^[13]。对于游艇海域容量可达数千游艇的大亚湾,可以选择将海域分区,建设多个游艇基地。

3 仿真模拟

前文提出的安全距离模型仅仅是在保证安全的前提下的简化估计,为了考虑游艇复杂的运动轨迹的影响,得到更为接近真实的游艇运动情况,故使用计算机软件进行进一步的仿真分析。本研究选择 NetLogo 作为仿真软件。NetLogo 是一个可以用来对自然和社会现象进行仿真,适合对随时间演化的复杂系统进行建模,并且可以探究微观层面上的个体行为与宏观模式之间的联系的开源软件。

3.1 基于服务水平分析的仿真模型

1) 海域设定。

在软件中采取按一定比例缩小的海域面积,令“游艇”在“海域”“航行”。在海域边缘,令接近的“游艇”进行镜面反射,保持原来的速度“弹”回去。

2) 航行方式定义。

鉴于游艇是人们海上娱乐的一种方式,那么一般游艇在海域中的轨迹应为无定向的随机航行。这种航行特性在仿真中应反映为随机方向和随机速度。经过对游艇的调研,中型艇的设计航速范围一般为 18 ~ 26 kn,最高航速约 40 kn,即 75 km/h,故取该值为随机航速的最大值。游艇航行速度的分布为 5 个随机数的叠加,每一个随机数服从 0 ~ 15 km/h 的均匀分布,叠加后的速度分布接近于正态分布。行驶方向的选取以 1 s 为周期,先选择左转 20° 以内的随机数,并以相应速度航行 0.5 s,再选择右转 20° 以内的随机数,并以相应速度航行 0.5 s。

3) 减速。

考虑游艇在互相接近时应有减速行为,所以

在本次仿真中应有相应的减速程序设计。在游艇距离较为接近时(40 m 之内)进行减速,变更速度为原速度的一半。

4) 服务水平指标。

为了衡量不同游艇数量下,海域内游艇行驶的状况,选取某指标来表征其服务水平。在海域内,最主要的行为是两艘游艇的相遇,这将成为影响游艇的行驶自由和安全的重要因素。因此,在本研究中将两艘游艇的每一次接触进行计数,得到每艘游艇在单位时间内与其他游艇的平均接触次数。该参数将直接体现游艇航行的服务水平——该数值越高则服务水平越低。本研究中将“海域”按照每个网格分为 15 m × 15 m 的方格,每两艘“游艇”在程序运行周期(1 s)间进入同一方格视为一次接触。

3.2 仿真结果

1) 不均匀系数。

对第 2 节中的不均匀系数进行仿真计算。设定海域为 50 km²,将海域等分为 50 部分,每个区域 1 km × 1 km。令 600 艘游艇随机分布于海域中,平均区域游艇数量应为 12 艘。运行程序一段时间后,统计每个区域的游艇数量,得出其最大值,则不均匀系数等于区域游艇数量最大值与平均值的比值。经过大量的程序运行,游艇在海域中最大密度的值约为 25,可以计算得不均匀系数为 0.48。

2) 服务水平。

服务水平的计算公式如下:

$$L = 1 - \frac{\Delta t \cdot n}{T} \times 100\% \quad (11)$$

式中: L 为自由行驶时间比例; Δt 为平均每次接触时间; n 为平均每艘游艇的接触次数; T 为仿真运行时间。

平均每艘游艇的接触次数,可以通过仿真软件统计得到,是一艘游艇在仿真时间 T 中,会“接触”到其他游艇的次数。平均每次接触时间,则表征两艘游艇每一次相遇时,会互相影响到对方行驶方向、速度等的时间长度,粗略设定为 30 s。则自由行驶时间比例 L ,反映的是游艇在

行驶过程中,可以随意航行,没有其它游艇干扰的时间比例,反映了海域上游艇行驶的服务水平。在仿真海域内设定不同数量的游艇数,得到的服务水平见表1。

表1 不同数量游艇下的服务水平

模拟海域 游艇数/艘	换算为实际游艇 泊位容量/艘	2 h 内平均接触 次数/次	自由行驶时间 比例 $L/\%$
200	1 162	11.03	95.4
300	1 747	18.10	92.4
400	2 326	22.77	90.5
500	2 909	26.17	89.1
600	3 491	30.47	87.3
700	4 071	37.00	84.5
800	4 655	43.10	82.0

结合安全模型的计算结果,根据自由行驶时间比例的不同,可以将服务水平划分为3个等级:1)等级A。高服务水平,自由行驶时间比例大于95%,游艇可以很自由地进行行驶。2)等级B。中等服务水平,自由行驶时间比例在85%~95%之间,游艇可以比较自由地进行行驶。3)等级C。基本服务水平,自由行驶时间比例在80%~85%,游艇之间会频繁地相遇,但还能保障基本的安全。4)等级D。低服务水平,即当自由行驶时间比例小于80%时,所对应的游艇容量已经大于安全距离模型中的游艇容量,游艇的行驶空间受到极大的压缩,存在安全的隐患。根据以上分析,并对表1中的数据进行线性拟合,可以得到不同服务水平下,游艇泊位容量的大小(表2)。

表2 不同服务水平下的游艇泊位容量

服务水平	自由行使时间比例/ $\%$	游艇泊位容量
A	95 ~ 100	1 204
B	85 ~ 95	1 204 ~ <3 928
C	80 ~ 85	3 928 ~ <5 290
D	0 ~ 80	$\geq 5 290$

4 结论

本研究提出了一定海域内游艇泊位容量的规划方法,在保障游艇行驶安全和驾驶舒适度的前提下,对海域内的游艇容量进行了分析计算,为

游艇的规划设计提供了参考依据。

1) 提出了安全距离模型,基于游艇动态占用面积的假设,建立简化的数学模型。游艇泊位容量同时受到游艇速度、加速度、风速等多因素的综合影响,其中游艇出行比例的不确定性较大,对结果有明显的影晌。

2) 考虑游艇的行驶特性,对游艇进行了计算机仿真,并建立了服务水平指标,得到不同服务水平下的游艇泊位容量。作为休闲旅游活动,游艇行驶的舒适度相当重要,通过服务水平指标可以对游艇行驶状态进行更准确的划分。

参考文献:

- [1] 曹惠芬.我国游艇工业发展现状分析[J].船舶,2006(13):48-55.
- [2] 华承昌.国内外游艇产业发展简况[J].船舶工业技术经济信息,2004(10):4-8.
- [3] 程爵浩.我国游艇经济发展的多维解析[J].船舶工业技术经济信息,2005(7):92-98.
- [4] 何洁,孙瑶,李雪芳.中国长三角地区游艇产业发展前景[J].世界海运,2007(5):11-13.
- [5] 曹明法.世界各国及中国游艇工业概述[J].船舶,2002(1):11-14.
- [6] 武邦涛.关于上海加快游艇经济发展的战略思考[J].上海管理科学,2007(2):73-75.
- [7] 王晓,冯学钢.美国游艇业的发展及其借鉴意义[J].上海造船,2005(2):71-74.
- [8] 陈云飞,丁敏,闫哲彬.我国游艇消费需求分析及游艇码头建设展望[J].水运工程,2011(9):42-46.
- [9] 王晓,冯学钢.中国游艇旅游的发展研究——以上海市为例[J].桂林旅游高等专科学校学报,2005(6):86-89.
- [10] 王葳,张文玉,滕明清.游艇码头平面布置[J].水运工程,2009(5):67-71.
- [11] 何守慧.中小型游艇码头水域尺度计算方法及安全保障研究[D].武汉:武汉理工大学,2011.
- [12] 应乐安,王成焘.电梯加速度舒适性评价的生理心理学研究[J].机械设计与研究,2008(1):106-111.
- [13] 何文钦.游艇码头设计[J].水运工程,2004(3):61-64.

(本文编辑 武亚庆)