



“十三五”国家重点图书出版规划项目



深远海工程装备与高技术丛书

YOUTING SHUSHIDU
YUANLI YU SHEJI

游艇舒适度 原理与设计

蔡薇 吴卫国 · 著



上海科学技术出版社



深远海工程装备与高技术

游艇舒适度原理与设计

蔡 薇 吴卫国 著

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

游艇舒适度原理与设计 / 蔡薇, 吴卫国著. —上海:
上海科学技术出版社, 2019. 1

(深远海工程装备与高技术丛书)

ISBN 978-7-5478-4257-7

I. ①游… II. ①蔡… ②吴… III. ①游艇—舒适性—设计 IV. ①U674.910.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 270775 号

游艇舒适度原理与设计

蔡薇 吴卫国 著

技术编辑 张志建 陈美生

美术编辑 赵军

上海世纪出版(集团)有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235 www.sstp.cn)

苏州望电印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 17.25 插页 4

字数 400 千字

2019 年 1 月第 1 版 2019 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-4257-7/U·75

定价: 150.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题, 请向工厂联系调换

内 容 提 要

舒适度设计是游艇总体设计中的重要方面,游艇作为水上娱乐用高级消费品,不仅集航海、运动、娱乐、休闲等功能于一体,而且更需满足客户的个性化需求,故对舒适度有极高的要求。舒适度是衡量游艇性能优劣评级的重要依据,在融合船东个性化需求之外也体现了船东对其游艇的满意度。

本书在收集国内外游艇舒适度设计经验的基础上,通过对游艇舒适度机理的研究,阐述了游艇舒适度的理论及控制技术,即从外观造型舒适度、游艇舱室空间环境舒适度、游艇运动舒适度、游艇振动舒适度、游艇噪声舒适度、游艇环保材料舒适度等几个方面来进行舒适度机理的剖析,通过对相关游艇及船艇规范的技术分析,找到影响舒适度的各项相关因素,探索建立了游艇舒适度的指标体系,并提出了针对游艇各舒适度的设计方法。

本书是在国家工信部高技术船舶专项的支撑下,通过国家外专局、教育部支持的与荷兰丹尔福特理工大学、英国南安普顿大学联合开展的“高性能船舶学科创新引智基地”活动,融合国内外研究院所和设计制造厂家的多年科研和工作的基础上撰写而成。

本书内容可供从事游艇研制和游艇舒适度研究的工程技术人员参考,也可以作为船舶工程和海洋工程领域设计、研发、管理人员和高等院校相关专业师生的参考用书。

学术顾问

- 潘镜芙 中国工程院院士、中国船舶重工集团公司第七〇一研究所研究员
- 闻雪友 中国工程院院士、中国船舶重工集团公司第七〇三研究所研究员
- 顾心悻 中国工程院院士、胜利石油管理局资深首席高级专家
- 方书甲 中国造船工程学会原副理事长、研究员
- 童小川 中国船舶重工集团公司第七〇四研究所科技委主任、研究员
- 俞宝均 中国船舶设计大师、中国船舶工业集团公司第七〇八研究所研究员
- 杨葆和 中国船舶设计大师、中国船舶工业集团公司第七〇八研究所研究员
- 赵耕贤 中国船舶设计大师、中国船舶工业集团公司第七〇八研究所研究员
- 徐绍衡 中国船舶设计大师、江苏省舰船及海洋自动化工程研究中心首席科学家

丛书编委会

- 主 编 潘镜芙 童小川
- 常务副主编 闻雪友
- 副 主 编 方书甲 王自力 刘志刚 沈余生 桂文彬
黄 震 王文涛
- 编 委 (按姓氏笔画排序)
- 尤 熙 冯志敏 刘建峰 李林焯 杨葆和
何可耕 张 云 张锦岚 陈福正 林宪东
周国平 赵耕贤 俞宝均 翁一武 崔维成
焦 依
- 编委办公室 刘 震 田立群 周海锋 施 璟 杨文英
方思敏 赵宝祥 李 慧 蒋明迪
- 主 编 单 位 中国造船工程学会《船舶工程》编辑部

目 录

第 1 章 游艇设计与游艇舒适度概述	1
1.1 游艇船型	3
1.1.1 游艇的分类	3
1.1.2 游艇的船体	10
1.1.3 游艇的动力	11
1.2 游艇设计规范	12
1.2.1 国外规范	12
1.2.2 国内规范	15
1.3 游艇舒适度内涵	16
1.3.1 外观造型舒适度	16
1.3.2 舱室空间环境舒适度	16
1.3.3 运动舒适度	16
1.3.4 振动舒适度	17
1.3.5 噪声舒适度	17
1.3.6 环保材料舒适度	17
1.4 国内外游艇舒适度的研究及设计进展	17
1.5 本章小结	18
参考文献	18
第 2 章 游艇外观造型舒适度	21
2.1 游艇外观风格与游艇上层建筑的外观造型	23
2.1.1 游艇的外观风格	23
2.1.2 上层建筑的外观形式	24
2.1.3 上层建筑的首尾端处理	25
2.2 大型游艇造型美学中的一般数学规律与几何表达	26
2.2.1 设计美学的启示	26
2.2.2 各层甲板长度之间的比例关系	27
2.2.3 游艇甲板长尺度比的美学与功能解释	28
2.2.4 造型三角形的概念与内容	30

2.2.5	造型三角形的几何与美学特点	31
2.2.6	前窗角度规律	33
2.2.7	形心坐标规律	34
2.3	造型评价模型的构建与实例验证	37
2.3.1	单个子函数的处理	37
2.3.2	权值的计算和造型目标函数的建立	39
2.3.3	实例验证	41
2.4	游艇造型美学及最小风阻上层建筑	42
2.4.1	游艇造型美	42
2.4.2	基于CFD软件的最小风阻上层建筑研究	43
2.5	游艇造型及线型协调性设计方法	44
2.5.1	协调性原理	44
2.5.2	大型游艇的总布置	45
2.5.3	大型游艇的重量及重心位置	47
2.5.4	浮心纵向位置及调整	53
2.6	基于差分进化算法的大型游艇外形优化设计	54
2.6.1	差分进化算法的基本理论	54
2.6.2	基本差分进化算法对大型游艇优化问题的求解	55
2.6.3	大游艇优化问题的求解	58
2.6.4	差分进化算法的改进	60
2.6.5	改进后算法的应用	62
2.7	本章小结	64
	参考文献	64
第3章	游艇舱室空间环境舒适度	67
3.1	基于人机工程学的游艇舱室空间环境舒适度	69
3.1.1	游艇舱室空间设计与空间环境舒适度	69
3.1.2	舱室设计中的人机工程学原理及应用	73
3.1.3	舱室环境舒适度评估专家系统的构建	78
3.2	采光舒适度与游艇舷窗设计	80
3.2.1	游艇舷窗概述	80
3.2.2	游艇类型风格与舷窗造型之间的联系	82
3.2.3	游艇采光计算研究方法	84
3.2.4	采光舒适度评价方法	90
3.2.5	游艇采光舒适度评价分析选择实例	93
3.3	舱室空气舒适度及其通风设计	99
3.3.1	舱室空气环境影响因素	99

3.3.2	舱室空气控制现状	99
3.3.3	通风系统	100
3.3.4	气流组织的形式	100
3.3.5	气流组织的评价指标	101
3.4	船东偏好的内装风格与舱室舒适度设计	104
3.4.1	船东偏好	104
3.4.2	各式室内设计风格	108
3.4.3	应用美学与内装舒适度设计	112
3.5	本章小结	113
	参考文献	113
第4章	游艇运动舒适度	115
4.1	风浪对海洋航行游艇的影响	117
4.1.1	风浪对游艇快速性的影响	117
4.1.2	风浪对游艇结构和设备的影响	117
4.1.3	风浪对游艇舒适度的影响	118
4.2	基于 MATLAB 的超级游艇运动响应仿真	118
4.2.1	基于 MATLAB 的海浪特性模拟仿真	118
4.2.2	基于 MATLAB 的超级游艇横摇运动仿真	121
4.2.3	基于 MATLAB 的超级游艇纵向和垂向运动仿真	127
4.3	游艇运动舒适度提升方法	138
4.3.1	艇型设计	139
4.3.2	减摇装置	139
4.4	超级游艇联合减摇装置选型设计	143
4.4.1	减摇装置选型设计原则	143
4.4.2	联合减摇装置选型设计和布置	144
4.5	评估基于模糊模式识别的超级游艇运动舒适度综合评估	146
4.5.1	模糊模式识别的基本思想	146
4.5.2	超级游艇运动舒适度衡准指标模糊化分析	150
4.5.3	超级游艇运动舒适度综合评估模糊化分析	155
4.6	本章小结	156
	参考文献	157
第5章	游艇振动舒适度	159
5.1	游艇振动源分析	161
5.1.1	游艇振动的基本特征	161
5.1.2	主要激励及相关预报公式	162

5.1.3	游艇振动响应与振源分析	169
5.1.4	强迫振动分析	170
5.2	振动对人体的危害和相关标准	173
5.2.1	振动的危害	174
5.2.2	振动的评价方法	176
5.2.3	振动的规范衡准	177
5.3	游艇振动控制	179
5.3.1	振动控制基本方法	179
5.3.2	隔振技术	180
5.3.3	阻尼减振	182
5.3.4	游艇振动舒适性标准	183
5.4	本章小结	185
	参考文献	186
第6章	游艇噪声舒适度	187
6.1	游艇的噪声源	189
6.1.1	声学的基本概念	190
6.1.2	感觉噪声级和噪声指数	192
6.1.3	各种统计声级	194
6.1.4	游艇噪声源及传播	194
6.2	噪声对舒适性的影响及相关标准(ISO 及各主要船级社的标准)	195
6.2.1	噪声的危害	195
6.2.2	噪声的评价方法	196
6.2.3	游艇噪声衡量标准	197
6.3	游艇噪声控制技术	198
6.3.1	噪声控制的一般方法	198
6.3.2	吸声技术	201
6.3.3	隔声技术	202
6.3.4	消声技术	203
6.3.5	游艇噪声的综合控制及治理	204
6.3.6	游艇舱室噪声级的估算	207
6.4	本章小结	208
	参考文献	209
第7章	游艇环保材料舒适度	211
7.1	基于绿色设计的船体材料选择	213
7.1.1	绿色材料概述	213

7.1.2	船体材料选择方法	214
7.2	面向船体材料选择的绿色度评价	215
7.2.1	绿色度评价体系的必要性	216
7.2.2	绿色度评价指标的选取原则	216
7.2.3	绿色度评价指标体系的建立	217
7.2.4	基于模糊层次分析法的多指标评价算法	220
7.2.5	大型游艇船体材料选择实例	225
7.3	游艇装备产品分类选型	229
7.3.1	船体材料的选择	230
7.3.2	轮机设备的选择	230
7.3.3	电气设备的选择	231
7.3.4	锚泊设备的选择	232
7.3.5	救生与消防设备的选择	232
7.3.6	舾装设备的选择	233
7.3.7	通信设备的选择	234
7.4	游艇装备绿色选配	234
7.4.1	游艇装备绿色选配系统开发平台与工具	234
7.4.2	选配系统基本框架及主要功能	235
7.4.3	游艇装备选择配置与分析评估软件系统运行界面	236
7.5	基于生命周期评价理论的游艇环保材料舒适度	237
7.5.1	船体材料生命周期评价理论实施框架	237
7.5.2	目的和范围的确定	237
7.5.3	清单分析	239
7.5.4	影响评价	249
7.5.5	大型游艇船体材料生命周期评价实例	251
7.6	本章小结	259
	参考文献	259

游艇舒适度原理与设计

第 1 章 游艇设计与游艇舒适度概述

游艇作为一种水上娱乐用高级耐用消费品,要求集航海、运动、娱乐、休闲等功能于一体,满足个人及家庭享受生活的需要。游艇与其他船舶的区别在于它既是实用的物质产品,又是体现人类审美需求的精神产品^[1]。

目前世界上游艇业发展较快的国家是意大利、美国、英国、挪威、德国、澳大利亚等。游艇服务较为发达的地点是具备良好天然条件的地区,如地中海及周边沿岸、加勒比海沿岸和澳大利亚的大堡礁等。英国、意大利、挪威、荷兰、澳大利亚等国家依靠自己独特的设计理念、合理的设计方法、多年的生产经验和先进的材料,船舶生产技术一直领先于世界上的其他国家与地区^[2,3]。在国内,近些年也新兴了一股游艇产业潮,企业、研发人员都瞄准了中国游艇市场。就研发能力而言,我国还无法与国外相竞争。国外企业凭借其创新的设计与技术、卓越的质量和优质的售后服务来抢占中国市场。

随着国际游艇业的发展,游艇的设计开始逐渐深入游艇舒适性的研究。舒适是指个体在其空间中保持一种平和和从容的精神状态,是身心健康、没有痛楚、没有恐惧的怡然自得自我感受^[4]。舒适度是指人们从生理与心理上对客观环境所感受到的满意程度的综合评价。为了使人处于完全舒适的状态,就需要人、机、环境三大要素间的相互作用达到最佳,以满足人们舒适性的需要。

1.1 游 艇 船 型

在选择游艇船型时,需要综合考虑游艇的航区、用途、航速、续航力、稳性、适航性、动力装置、船员定额和舱室布置等因素。从不同角度对游艇进行分类,可以从游艇的船体和动力等方面确定游艇船型。

1.1.1 游艇的分类

游艇的种类繁多,分类方式也迥然不同。

1) 按游艇尺度分类

依国际惯例,游艇尺度规格通常是以英尺为量度的,按照游艇长度可以将游艇分为四类。

(1) 小型游艇:尺度在 60 ft(约 18 m)以下。

小型游艇船艏多采用弯曲线,这样可以使船壳舱室面积扩大,同时使乘客在视觉上更能享受前进感、速度感和力量感。这类游艇最为普及,价格一般低于 100 万美元,可以放在游艇拖车上运输。小型游艇的优点是结构简单,使用材料经济,室内装潢由厂商决定,批量生产。美国“Chris Craft Launch 28”是全天候万能家用小型游艇,如图 1.1 所示。



图 1.1 美国“Chris Craft Launch 28”



图 1.2 “华昊”号游艇

(2) 中型游艇：尺度为 60~80 ft(约 18~24 m)。

中型游艇多半是由船厂批量设计、生产的,品质不一,一般拥有 1~2 个客房。“华昊”号游艇是由广东大飞洋游艇设备有限公司建造的首艘 60 ft 豪华游艇,如图 1.2 所示。“华昊”号游艇水线长度为 14.83 m,型宽 4.96 m,吃水 0.97 m,续航能力达 200 n mile,巡航速度可达 18 kn。

(3) 大型豪华游艇：尺度为 80~120 ft(约 24~36 m)。

大型豪华游艇船艏多采用直立型和飞剪型。其中,飞剪型有较大的艏外飘,不易上浪,劈浪效果更好,显得优雅轻巧。全世界新建游艇花费绝大部分用于 100 ft(约 30 m)以上的大型豪华游艇。这一类游艇的活动区域一般是离岸 8 h 以内的范围,其船体材料一般为铝合金或钢,有两层以上的甲板,拥有 3 个以上的客房。内饰设计完全根据客户个人爱好及品味修改。国内万达集团于 2010 年购买了一艘圣汐 108 ft 特别版豪华游艇“Sunseeker Predator 108 Special Edition”,如图 1.3 所示。



图 1.3 豪华游艇“Sunseeker Predator 108 Special Edition”



图 1.4 超级游艇“Turama”

(4) 超级游艇：120 ft(约 36 m)以上。

超级豪华游艇的活动区域是离岸三个昼夜以内的范围。2004 年,由芬兰劳马

(Rauma)造船厂出品的“Turama”号游艇长 117 m,除了动力强劲之外,这艘游艇最大的特点在于丰富的细节设计,如大面积的柚木甲板,使这艘钢铁巨轮突然令人有一种宾至如归之感,如图 1.4 所示。

2) 按游艇航速分类

游艇按相对速度可分为低速艇、中速艇、高速艇和超高速艇。为此,引入弗劳德数:

$$F_n = \frac{v}{\sqrt{gL}}$$

式中, F_n 为弗劳德数, v 为船舶航速, g 为重力加速度, L 为船长。

弗劳德数在 0.4 以下的艇称为低速艇;弗劳德数高于 0.4 低于 0.7 的艇称为中速艇;弗劳德数大于 0.7 的艇称为高速艇。高速艇的艇体会被抬离出水面,形成滑行状态。当艇的弗劳德数大于 1 时,艇体几乎会被全部抬出水面,形成全滑行状态,称之为“超高速艇”。

当艇处于低速时,艇体满足“阿基米德原理”,即艇排开水的重量等于艇体重量,此时的艇体称为排水型艇。

当艇的速度达到中速时,剩余阻力会迅速增长。为此,艇体形状应该要求更狭长一些。随着航速的增加,艇底下的动举力也开始起作用,支持艇的小部分重量,但大部分还是需要由排水量来支持,此时的艇称为过渡型艇或半排水型艇。

当艇超过中速艇的速度范畴后,艇底下的动举力逐渐开始起主要作用,能将艇体逐渐抬出水面。艇体抬升后,由于艇体接触水的面积逐渐减少,摩擦阻力和剩余阻力都相应骤减,艇体的总阻力不增反降,形成一个低谷。在同样的功率条件下,艇的航速显著提高。此时的艇开始进入滑行状态,艇体重量几乎全部由动举力支撑,排水量显得微不足道。图 1.5 所示为 52 kn 航速的高速艇“Spectre”。



图 1.5 高速艇 Spectre



图 1.6 动感型游艇“法拉帝 108 Vardar”

3) 按游艇风格分类

游艇的风格类型与游艇设计所选取的要素有关,为了分析自变量对因变量的影响力

程度,所以引入标准化系数 β 。标准化系数越大,则影响力程度越大。标准化系数的正、负值分别代表正向的影响和负向的影响。系数绝对值大于等于0.7的影响程度最大;介于0.5~0.7的,影响很重要;介于0.3~0.5的,影响较重要;低于0.3的,基本没什么影响。

将游艇按风格分成四类:动感型游艇、奢华型游艇、品质型游艇、大众型游艇。

(1) 动感型游艇。

动感型游艇会为人们带来运动感,一般为人们娱乐所用。“法拉帝 108 Vardar”就是一艘动感十足的游艇,如图 1.6 所示。

动感型游艇的设计要素与外观造型要求如表 1.1 所示。

表 1.1 动感型游艇设计要素与外形设计要素的要求

游艇外观造型	设计要素	代码	标准化系数 β
船室-船长比	$L_{\text{house}}/L_{\text{OA}}$	X1	-0.448
船室-船长高	H_{house}/H	X2	0.064
艏侧线夹角	θ_1	X3	0.186
艉侧线夹角	θ_2	X4	-0.353
船室前窗夹角	θ_3	X5	0.126
船室侧支柱夹角	θ_4	X6	-0.558
船室纵向中心位置	$L_{\text{hc}}/L_{\text{OA}}$	X7	-0.261
雷达架纵向位置	$L_{\text{ant}}/L_{\text{OA}}$	X8	-0.269
上层甲板末端位置	$L_{\text{up}}/L_{\text{OA}}$	X9	-0.562
舷侧线形状	上弧	X10	0.603
	直线	X11	0.328
	下弧	X12	-0.104
船室窗户形状	曲线	X13	0.851
	直线	X14	0.000
	混合	X15	0.191
下层舷窗形状	大窗	X16	0.174
	小窗	X17	0.068
	解释能力	R^2	0.892

(2) 奢华型游艇。

奢华型游艇建造成本昂贵、奢侈,并且极具观赏性。一名马来西亚的神秘大亨曾斥资 30 亿英镑,动用了 100 t 黄金和白金等贵金属,请英国利物浦著名珠宝商斯图尔特·休斯花费 3 年时间,在意大利为其打造了一条名为“史上最牛”的纯金游艇,如图 1.7 所示。

奢华型游艇的设计要素与外观造型要求如表 1.2 所示。