

复合材料在游艇设计与建造 中的运用实例

**Case Study of Composite Materials in the Design
and Construction of Boats**

太阳鸟游艇股份有限公司
Sunbird Yacht Co., Ltd.

目 录

一、太阳鸟公司简介

二、复合材料在公司的运用

三、公司具有代表性的复合材料船艇

四、案例分析：扬帆之星

1、结构设计

2、铺层设计

3、建造工艺

太阳鸟游艇股份有限公司企业简介

太阳鸟游艇股份有限公司创立于2003年，是一家从事高性能复合材料船艇设计、研发、生产、销售及服务，为客户提供从方案设计、产品制造到维修服务等全方位的个性化解决方案的企业。

公司拥有湖南沅江和广东佛山、珠海太阳鸟、珠海雄达四个生产基地，长沙拉斐尔、上海兰波湾、香港普兰帝、美国普兰帝、意大利马可波罗五家子公司，公司总占地面积42.5万m²（湖南31万m²，珠海太阳鸟6万m²，佛山3万m²，珠海雄达2.5万m²），员工人数1500多人，其中研发与技术人员300余人。

太阳鸟游艇秉持“做最优秀的游艇制造商”，专注于高性能复合材料船艇研发、生产、推广，是国内最大的复合材料船艇制造企业之一。公司产品销售覆盖全国三十二个省、直辖市、自治区。其中金茂集团、华为集团、中信集团、万达集团等知名企业已成为公司客户，为海关总署、国家海洋局、公安部边防局、农业部渔政指挥中心、总参兵种部、交通部海事局、国家防总生产上千艘高速执法艇，为北京奥运会、广州亚运会、大连达沃斯论坛生产安保艇。公司的自主品牌产品已成功进入国际市场，出口至美国、英国、西班牙、东南亚、非洲与美洲等国家和地区。

太阳鸟游艇股份有限公司企业简介

太阳鸟游艇秉承“传递感动，创造美好”的理念，经过多年发展，公司系国内规模最大、设计和研发**技术水平最高**、**品种结构最齐**的复合材料船艇企业之一，连续多年公司复合材料船艇产量位列**行业第一名**。公司现为高新技术企业，公司研发中心——湖南现代游艇技术与工业设计中心是**国内唯一**的游艇设计中心。公司共拥有和使用专利**107**项，其中实用新型专利**31**项、外观设计专利**75**项，发明专利**1**项，另有**121**项专利受理权。公司游艇产品多次荣获各类设计大奖，公司设计生产的**80英尺游艇2008**年荣获“省长杯”广东工业设计奖，**2009**年荣获中国创新设计红星奖。**2010**年公司联合国防科大、华中科大通过公司最新开发的“多混设计、多混材料和多混工艺”技术，设计建造的海鸟系列**42M**“绿色”豪华双体游览船，再一次打破了由公司保持的**40M**复合材料双体船的**亚洲建造记录**。

2010年**9**月**28**日，太阳鸟游艇成功登陆创业板A股（**SZ.300123**），以登陆创业板为新起点，太阳鸟的产能将进一步扩大，研发与销售能力进一步增强，公司综合实力将全面提升。

太阳鸟游艇股份有限公司企业简介

2011年5月，太阳鸟商标及图被国家工商总局商标局认定为国家驰名商标。

2011年8月，太阳鸟申报2011年度新增湖南省认定企业技术中心获得批准。

2012年1月，太阳鸟与华中科技大学联合建立船舶与海洋工程博士后工作站。

2012年3月，太阳鸟申报国家工信部高技术船舶研究项目获得批准

太阳鸟游艇现为中国船艇协会副会长单位、中国船舶工业协会会员单位、中国复合材料协会理事单位、中国小艇标准化委员会委员单位、美国游艇协会会员单位、湖南省名牌产品与著名商标企业、国防科大新材料船艇试验基地、国家小型船艇装备动员中心。

太阳鸟游艇股份有限公司

呼叫中心：400-8888-355 邮箱：sunbird@cnsunbird.com

网址：www.cnsunbird.com

太阳鸟游艇股份有限公司企业简介

湖南总部:



珠海生产基地:



佛山宝达生产基地:



太阳鸟游艇股份有限公司企业简介

船舶生产企业生产条件认可证



船舶设计单位资格认可证



目 录

一、太阳鸟公司简介

二、复合材料在公司的运用

三、公司具有代表性的复合材料船艇

四、案例分析：扬帆之星

公司涉及的复合材料原料

■ 基材:

- 不饱和聚酯树脂
- 乙烯基树脂
- 环氧树脂

三种树脂的对比

	固化时间	收缩率	性能	二次固化	价格
不饱和聚酯树脂 Polyester	短	高	较差	不需要	低
乙烯基树脂 Vinyl Ester	中	中	较好	不需要	高
环氧树脂 Epoxy	长	低	最好	需要	最高

公司涉及的复合材料原料

■增强材:

-玻璃纤维

-芳纶纤维

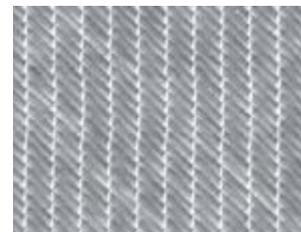
-碳纤维



短切毡



方格布



多轴向布



碳纤方格布



强芯毡

公司涉及的复合材料原料

■ 芯材:

-PVC 泡沫塑料

-SAN泡沫塑料

-Balsa轻木

- 塑料蜂窝板

- 防水胶合板

蜂窝板



高分子泡沫芯材



轻木（巴沙木）



公司常用的成型工艺

■ 手积成型

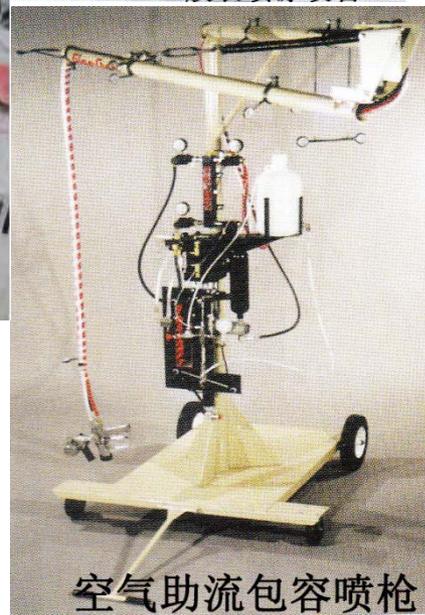
在室温低压或无压下用树脂将纤维或织物粘接成型的方法。都是人工操作完成，也称手糊。

■ 真空灌注成型

在真空状态下排除纤维中的气体，利用树脂的流动、渗透，实现对纤维及其织物的浸渍，并在室温下进行固化，从而形成一定树脂 / 纤维比例。

	优点	缺点
手积层	<ul style="list-style-type: none">• 易施工• 对模具要求低	<ul style="list-style-type: none">• 质量不稳定• 树脂含量高• 耗费人工
真空灌注	<ul style="list-style-type: none">• 成品性能好• 质量稳定• 纤维/树脂比例较好• 健康、环保	<ul style="list-style-type: none">• 技术工艺复杂• 耗材成本高• 对模具要求高

公司拥有的成型配套设施



目 录

一、太阳鸟公司简介

二、复合材料在公司的运用

三、公司具有代表性的复合材料船艇

四、案例分析：扬帆之星

成功产品范例-80英尺

- 80尺游艇产品获得了中国创新设计红星奖委员会颁布的“2009年中国创新设计红星奖”。



成功产品范例-3000商务艇

- 3000商务艇产品南省人民政府颁发的首届“芙蓉杯”国际工业设计创新大赛企业组创新金奖。



成功产品范例-2300商务艇

- 2300商务艇产品获广东省经济贸易委员会颁发的2008年“省长杯”广东工业设计奖。



目 录

- 一、太阳鸟公司简介
 - 二、复合材料在公司的运用
 - 三、公司具有代表性的复合材料船艇
 - 四、案例分析：扬帆之星
-

中国最大的复合材料双体游览船-扬帆之星



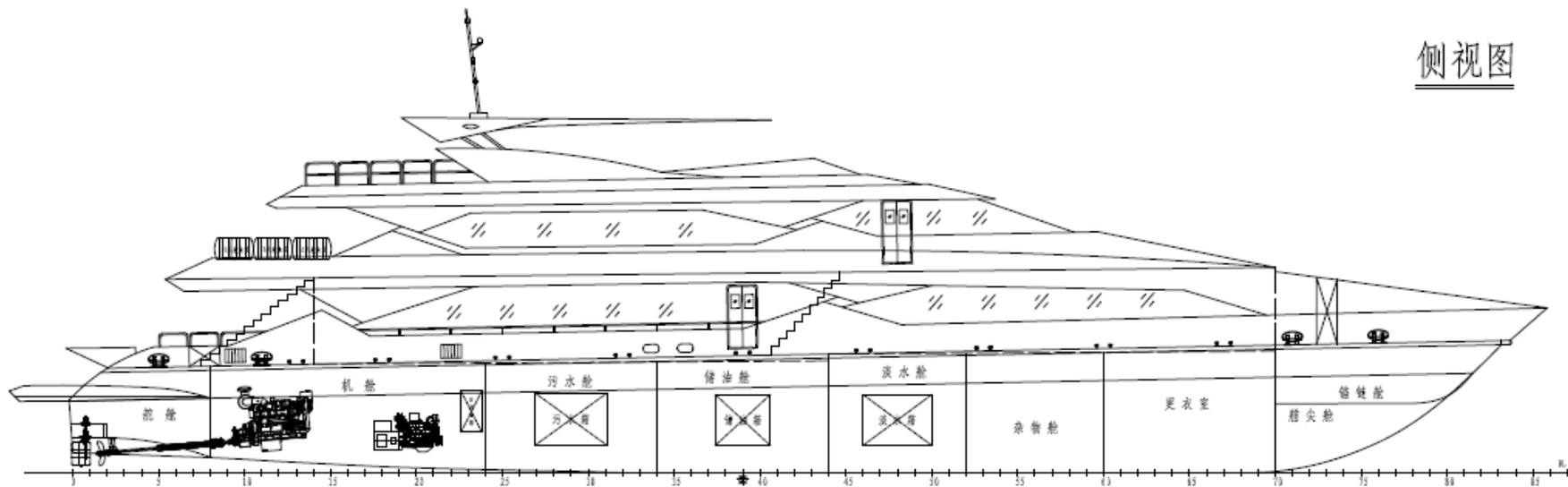
扬帆之星-主要参数

主要参数

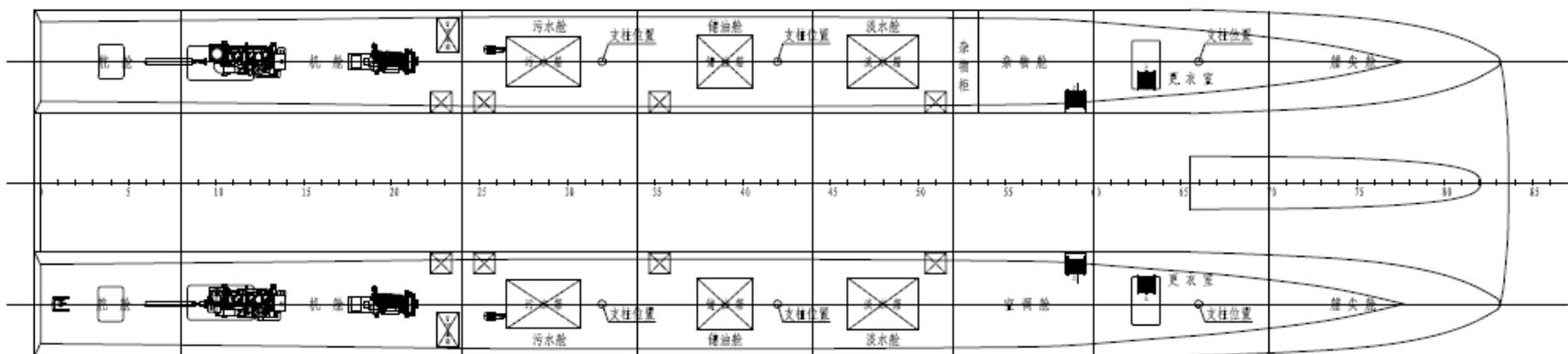
总 长	42.00m	排 水 量	209.00t
水 线 长	38.861m	主 机 功 率	2×500HP
甲 板 宽	10.00m	航 速	12.0kn
片 体 宽	3.00m	续 航 力	20.0h
片 体 中 心 距	7.00m	船 员	10人
型 深	3.452m	乘 员	288人
吃 水	1.484m	航 区	沿海航区

扬帆之星-总布置图

侧视图

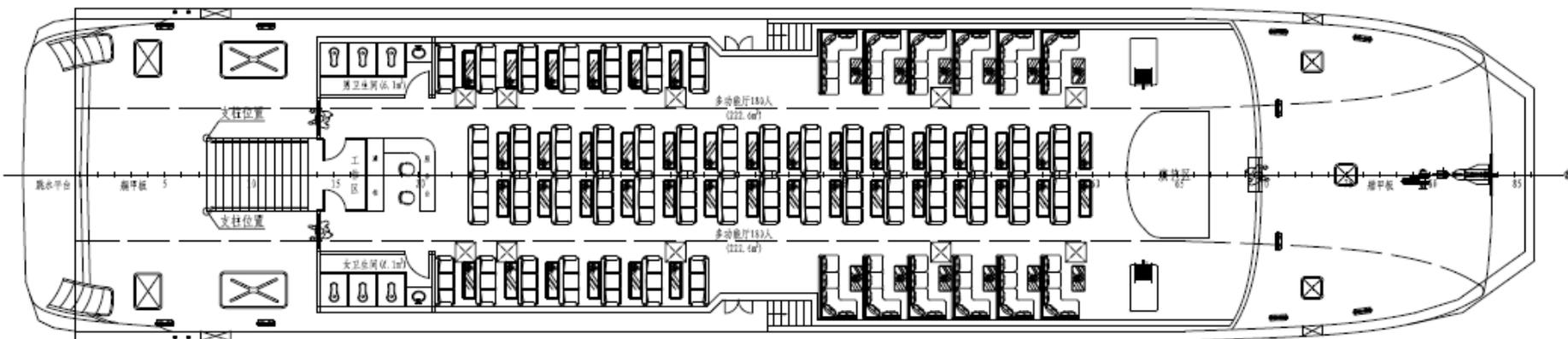


舱底布置图

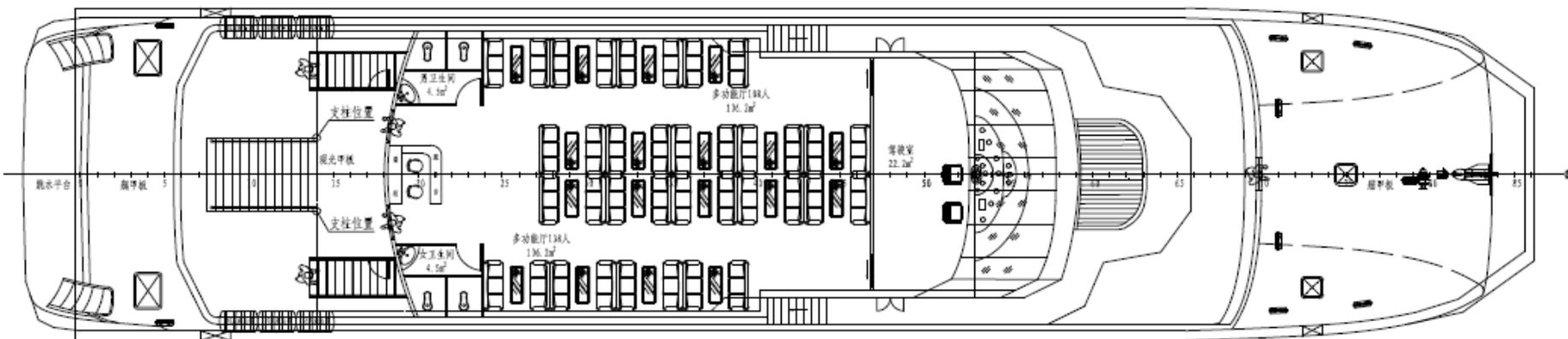


扬帆之星-总布置图

主甲板布置图



上甲板布置图



1、结构设计

规范：中国船级社《海上高速船入级与建造规范》（2005）

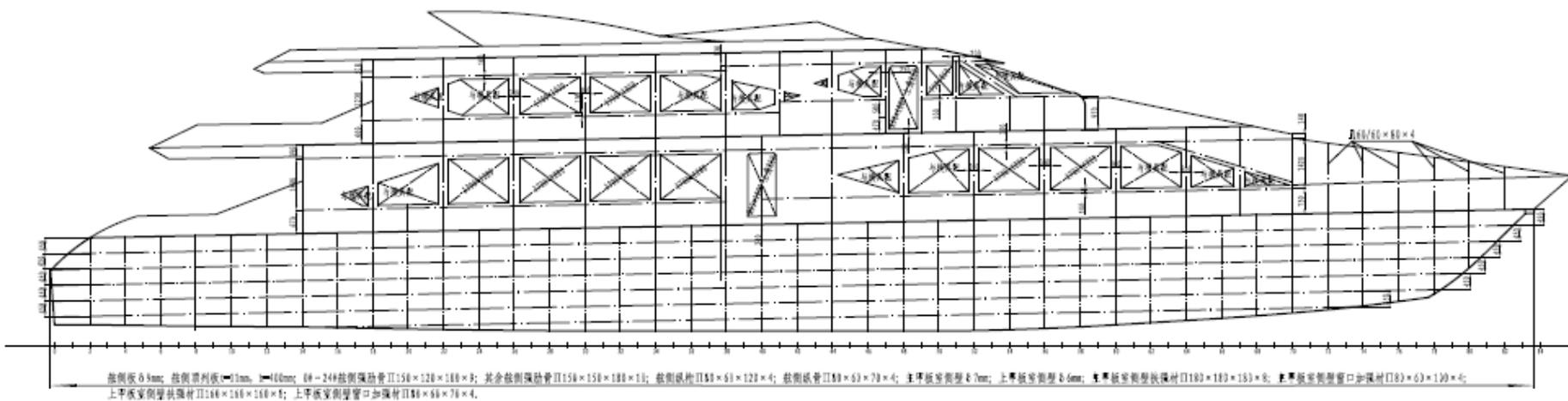
航区：沿海航区

结构形式：片体采用纵骨架式
连接桥采用横骨架式

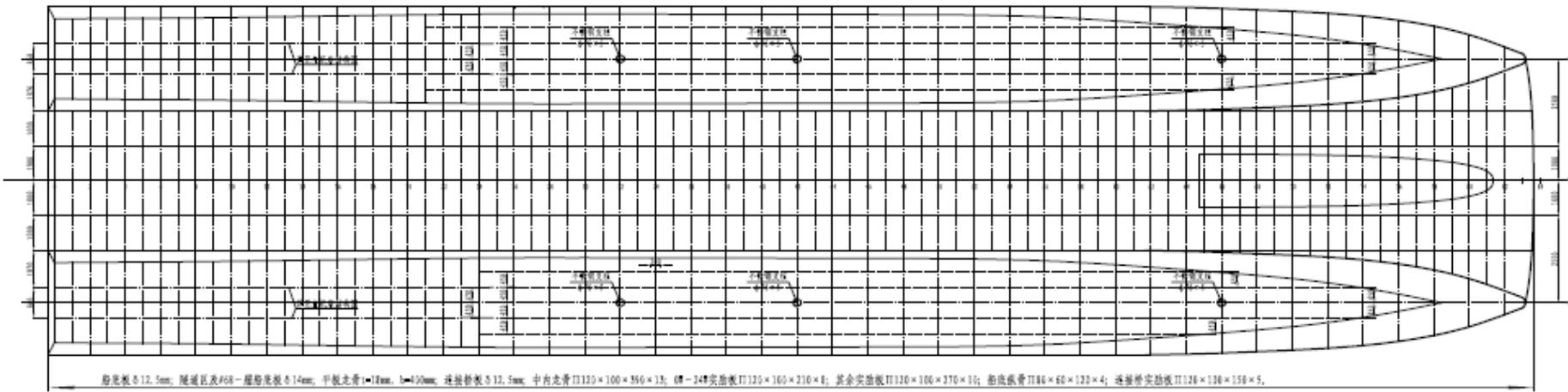
计算方法：I、规范核算法
II、有限元分析法

扬帆之星-基本结构图

侧视图

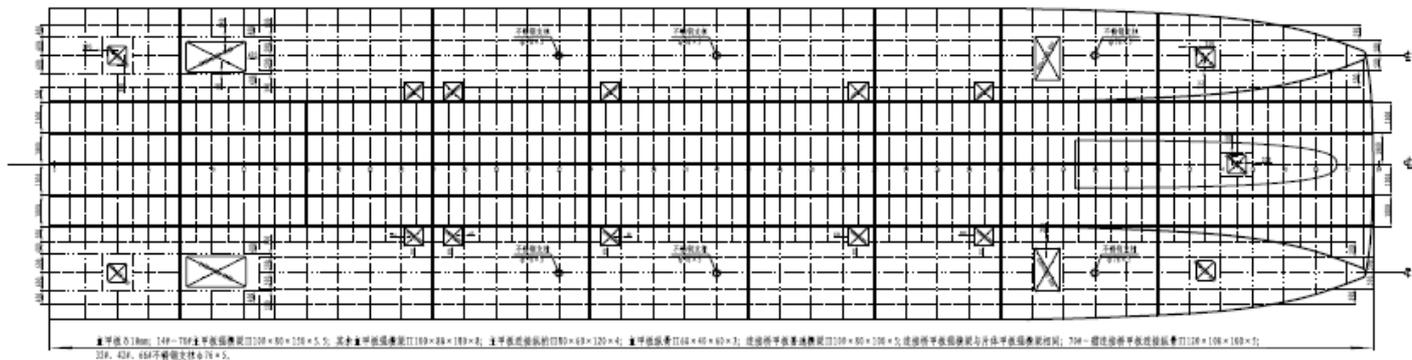


船底及连接桥底结构图

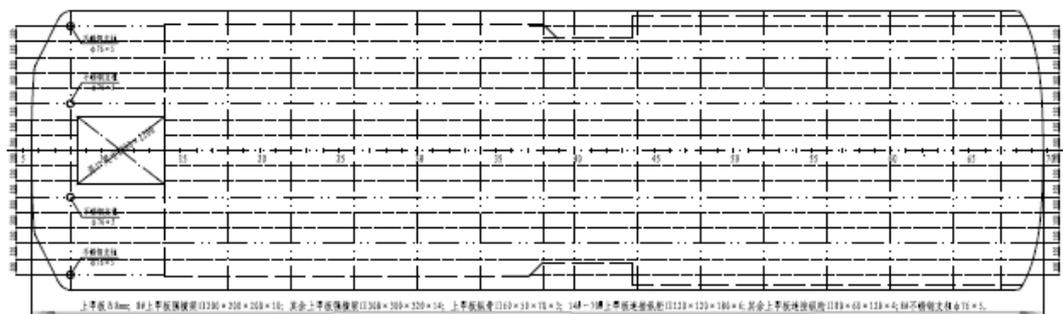


扬帆之星-基本结构图

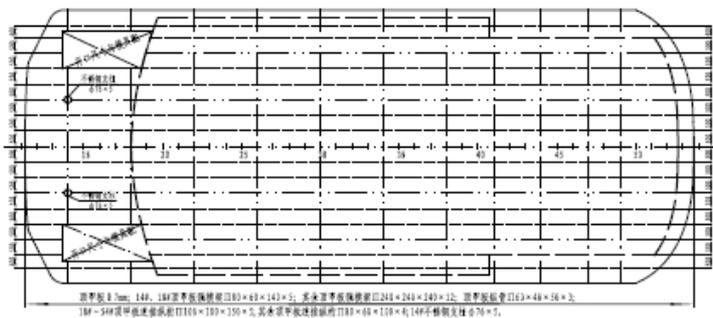
主甲板结构图



上甲板结构图

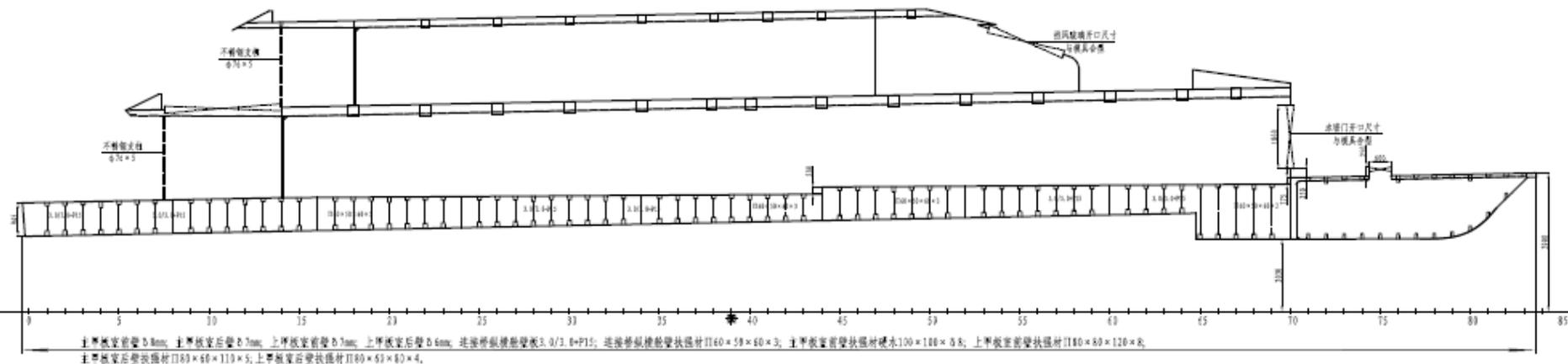


顶甲板结构图

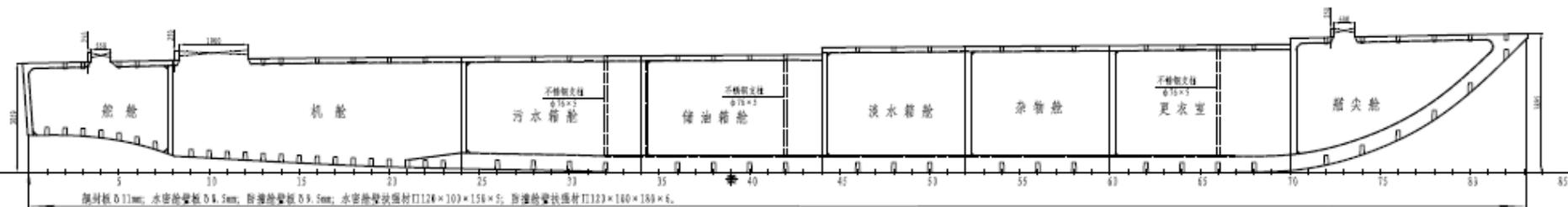


扬帆之星-纵中剖面图

纵中剖面图

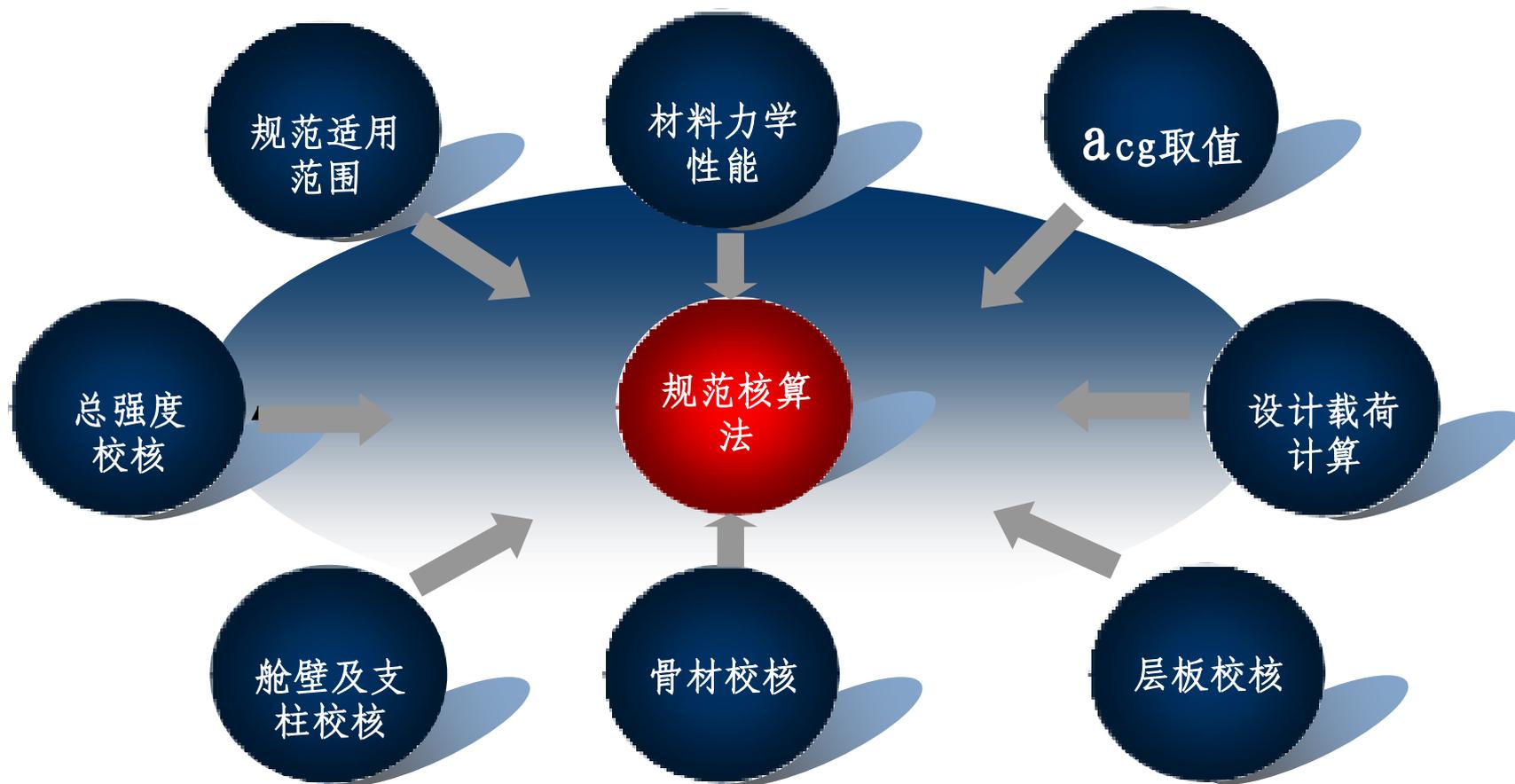


片体纵中剖面图



1、结构设计

1) 规范核算法:



1、结构设计

玻璃钢层板的力学性能指标

拉伸强度 σ_{ut} (MPa)	拉伸模量 E_{ut} (MPa)	弯曲强度 σ_{uf} (MPa)	弯曲模量 E_{uf} (MPa)
220	11000	280	11000
剪切强度 τ_u (MPa)	剪切模量 G_{ut} (MPa)	巴氏硬度	含胶量
86	3000	≥ 50	$\leq 50\%$

1、结构设计

试验结果

试 验 报 告

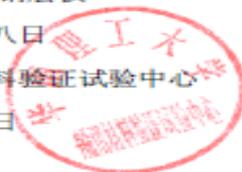
送检单位：太阳鸟游艇股份有限公司

送检材料：6808、6810 系列玻璃钢层板

送检日期：二〇一一年三月二十八日

试验单位：华南理工大学船用材料验证试验中心

报告日期：二〇一一年四月十二日



试验项目及结果

编号: 11059

序号	项目内容	试验结果	试验方法
1	拉伸强度 (Mpa)	293.76	GB/T1447-2005
2	拉伸弹性模量 (Mpa)	15985	GB/T1447-2005
3	压缩强度 (Mpa)	294	GB/T1448-2005
4	弯曲强度 (Mpa)	310	GB/T1449-2005
5	弯曲弹性模量 (Mpa)	16958	GB/T1449-2005
6	剪切强度 (Mpa)	157	GB/T3355-2005
7	树脂重量含量 (%)	47.3	GB/T2577-2005
8	巴氏硬度 (Ba)	52	GB/T3854-2005

说明：(1)本试验报告仅对来样负责；(2)材料名称是由送检单位提供。

试验：邓鸿

校对：王日明

负责：黄华

1、结构设计

重心处垂向加速度 a_{cg} 的取值:

$$a_{cg} = 1 * g = 9.81m/s^2$$

有义波高与限定航速:

有义波高 $H_{1/3}(m)$	4.00	3.98	3.96	3.94	3.92	3.90
限制航速 $V_H(kn)$	17.66	17.72	17.78	17.84	17.89	17.95
垂向加速度 $a_{cg}(m/s^2)$	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81

1、结构设计

设计载荷

$$P_{S11} = 1.16K_{11} (\Delta / nA)^{0.3} [(50 - \beta_x) / (50 - \beta)] a_{cg} d_v \quad \text{KN/m}^2 \quad \text{其中双体船 } n=2$$

构件名称	K_{11}	Δ (t)	a_{cg} (m/s ²)	d (m)	承载宽度 (m)	跨距 (m)	压力 P_{s1} (KN/m ²)
艇底板	1.0	217.354	9.81	1.50	$A = 2.5 \times 0.50^2 = 0.625\text{m}^2$		80.22
#0 ~ #24 实肋板	1.0	217.354	9.81	1.50	0.50	2.54	64.85
其余实肋板	1.0	217.354	9.81	1.50	1.00	2.64	52.07
艇底纵骨	1.0	217.354	9.81	1.50	0.45	1.00	88.53
中内龙骨	1.0	217.354	9.81	1.50	1.30	4.00	42.48

$$P_{S12} = K_{12} (\Delta / A)^{0.3} a_{cg} [1 - H_{tx} / (CL)] \quad \text{KN/m}^2$$

$$C = 0.066 - 0.000175L = 0.066 - 0.000175 \times 39.116 = 0.059$$

构件名称	K_{12}	Δ (t)	a_{cg} (m/s ²)	H_{tx} (m)	C	承载宽度 (m)	跨距 (m)	压力 P_{s1} (KN/m ²)
连接桥底板	2.6	217.354	9.81	0.993	0.059	$A = 2.5 \times 0.50^2 = 0.625\text{m}^2$		84.08
连接桥底肋骨	2.6	217.354	9.81	0.993	0.059	0.50	1.00	89.90

1、结构设计

设计载荷

舷侧板 $P_s=34.40 \text{ KN/m}^2$

舷侧强肋骨 $P_s= (1.575\text{m} \times 9.81) + 0.15 \times 80.22=27.48 \text{ KN/m}^2$

2.6 露天甲板计算压力 (§ 4.4.4.2)

$$P_{d1}= K_{13} (0.2L+C) = 1.0 \times (0.2 \times 39.116+7.6) = 15.42 \quad \text{KN/m}^2$$

2.7 非露天甲板计算压力 (§ 4.4.4.3)

$$P_{d2}=0.1L+4.6=0.1 \times 39.116+4.6=8.51 \quad \text{KN/m}^2$$

2.8 上层建筑和甲板室的计算压力 (§ 4.4.4.6)

$$P_{sd}=15.6K_1K_2(CL+0.8-0.3h) \quad \text{KN/m}^2$$

构件名称	K_1	K_2	C	L (m)	H (m)	P_{sd} (KN/m^2)	实取 P_{sd} (KN/m^2)
主甲板室前壁	1.0	1.0	0.047	39.116	2.26	30.58	30.58
主甲板室前壁扶强材	1.0	1.0	0.047	39.116	3.53	24.64	24.64
主甲板室侧、后壁	0.5	1.0	0.047	39.116	1.96	15.99	15.99
主甲板室侧、后壁扶强材	0.5	1.0	0.047	39.116	3.24	13.00	13.00
上甲板室前壁	0.75	1.0	0.047	39.116	4.68	14.44	14.44
上甲板室前壁扶强材	0.75	1.0	0.047	39.116	5.63	11.11	11.11
上甲板室侧、后壁	0.5	1.0	0.047	39.116	4.48	10.10	10.10
上甲板室侧、后壁扶强材	0.5	1.0	0.047	39.116	5.71	7.22	7.22

1、结构设计

设计载荷

上甲板计算压力: $P_{sd}=6.60\text{KN/m}^2$

顶甲板计算压力: $P_{sd}=4.00\text{KN/m}^2$

2.10 舱壁的计算压力 (§ 4.4.4.7)

2.10.1 片体内舱壁的计算压力

水密舱壁 $P=10h=10 \times 3.68=36.80$ KN/m²

水密舱壁扶强材 $P=10h=10 \times 3.68/2=18.40$ KN/m²

防撞舱壁 $P=12.5h=12.5 \times 3.74=46.75$ KN/m²

防撞舱壁扶强材 $P=12.5h=12.5 \times 3.74/2=23.37$ KN/m²

2.10.2 连接桥纵、横舱壁及其扶强材的计算压力

$P=10h=10 \times 0.95=9.50$ KN/m²

1、结构设计

构件尺寸-板材

$$t=44.8S\sqrt{P/\sigma_{fun}}$$

$$\text{式中: } S=0.50\text{m}$$

$$\sigma_{fun}=280\text{N/mm}^2$$

部位	舢底板	连接桥板	舷侧板	主甲板	上甲板	上层建筑				
						主甲板室前端壁	主甲板室侧后壁	上甲板室前端壁	上甲板室侧后壁	顶甲板
P (KN/mm ²)	80.22	84.08	34.40	15.52	6.60	30.58	15.99	14.44	10.10	4.00
t (mm)	11.98	12.27	7.85	5.28	3.44	7.40	5.35	5.08	4.25	2.68
t _{min} (mm)	9.06	9.06	7.82	6.88	6.88	6.88	5.94	6.88	5.94	5.62
实取板厚 (mm)	12.5	12.5	9.0	10.0	8.0	8.0	7.0	7.0	6.0	8.0

3.3 按 § 4.6.3.2 平板龙骨厚 $t=1.5$ 底厚 $=1.5 \times 11.98=17.97\text{mm}$

平板龙骨宽度 $b=0.1B=0.1 \times 3.0=0.30\text{m}=300\text{mm}$

实取: $t=18.0\text{mm}$ $b=400\text{mm}$ 平板龙骨在整个船长内保持不变。

1、结构设计

构件尺寸-骨材

构件名称	计 算 值								实 取 构 件		
	P	K	l	S	σ_{fun}	τ_c	W	A_{emin}	构件尺寸	W	A_e
#0~#24 实肋板	64.85	480	2.54	0.50	280	86	358.62	24.1	Π120×100×210×8	374.48	25.2
其余实肋板	52.07	480	2.64	1.00	280	86	622.13	24.9	Π120×100×270×10	645.75	64.0
中内龙骨	42.48	480	4.00	1.30	280	86	1514.7	—	Π120×100×390×13	1539.3	—
机舱旁龙骨	旁内龙骨的剖面模数与实肋板剖面模数相同						358.62	—	硬木加强	满足要求	
艇底纵骨	88.53	400	1.00	0.45	280	86	56.91	—	Π80×60×120×4	64.72	—
#0~#24 舷侧强肋骨	27.48	480	2.58	1.00	280	86	313.57	20.8	Π150×120×180×9	334.67	43.3
其余舷侧强肋骨	27.48	480	2.90	1.00	280	86	396.18	23.4	Π150×150×180×10	410.85	51.0
舷侧纵桁	—	—	—	—	—	—	—	—	Π80×60×120×4	附加加强	
舷侧纵骨	34.40	400	1.00	0.50	280	86	24.57	—	Π80×60×70×4	28.55	—
#14~#70 主甲板强横梁	8.51	480	3.00	1.00	280	86	131.30	4.48	Π100×80×150×5.5	134.03	20.9
其余主甲板强横梁	15.42	480	3.00	1.00	280	86	237.91	8.03	Π100×80×180×8	245.32	35.2
主甲板连接纵桁	—	—	—	—	—	—	—	—	Π80×60×120×4	附加加强	
主甲板纵骨	15.42	400	1.00	0.50	280	86	11.01	—	Π60×40×60×3	14.04	—

1、结构设计

构件尺寸-骨材

#8、#11上甲板强横梁	11.57	480	3.00	3.00	280	86	535.53	30.5	Π200×200×200×10	561.51	60
其余上甲板强横梁	6.60	480	8.90	2.00	280	86	1792.41	34.4	Π300×300×320×14	1803.10	131.6
上甲板纵骨	6.60	400	2.00	0.50	280	86	18.86	—	Π60×50×70×3	19.49	—
#14~#70上甲板连接纵	—	—	—	—	—	—	—	—	Π120×120×180×6	附加加强	
其余上甲板连接纵桁	—	—	—	—	—	—	—	—	Π80×60×120×4	附加加强	
#14、#18顶甲板强横梁	4.00	480	2.50	2.00	280	86	85.71	5.86	Π80×60×140×5	95.78	17.0
其余顶甲板强横梁	4.00	480	8.14	2.00	280	86	908.70	19.1	Π240×240×240×12	918.64	86.4
#18~#54顶甲板连接纵	—	—	—	—	—	—	—	—	Π100×100×150×5	附加加强	
其余顶甲板连接纵桁	—	—	—	—	—	—	—	—	Π80×60×100×4	附加加强	
顶甲板纵骨	4.00	400	1.50	0.50	280	86	6.43	—	Π60×40×50×3	10.55	—
主甲板室前端壁扶强材	24.64	400	2.55	1.25	280	86	286.11	—	硬木100×100×810	314.03	—
主甲板室侧壁扶强材	13.00	400	2.55	2.00	280	86	241.52	—	Π180×180×180×8	366.97	—
主甲板室后壁扶强材	13.00	400	2.55	0.50	280	86	60.38	—	Π80×60×110×5	65.73	—
上甲板室前端壁扶强材	11.11	400	2.45	1.30	280	86	123.85	—	Π80×80×120×8	130.38	—
上甲板室侧壁扶强材	7.22	400	2.45	2.00	280	86	123.82	—	Π160×160×160×8	291.78	—
上甲板室后壁扶强材	7.22	400	2.45	0.50	280	86	30.96	—	Π80×60×80×4	33.73	—
连接桥实肋板	89.90	480	1.00	0.50	280	86	77.06	13.2	Π120×100×150×5	142.06	20.0
连接桥甲板普通横梁	15.42	400	2.00	0.50	280	86	44.06	—	Π100×80×100×5	79.25	—

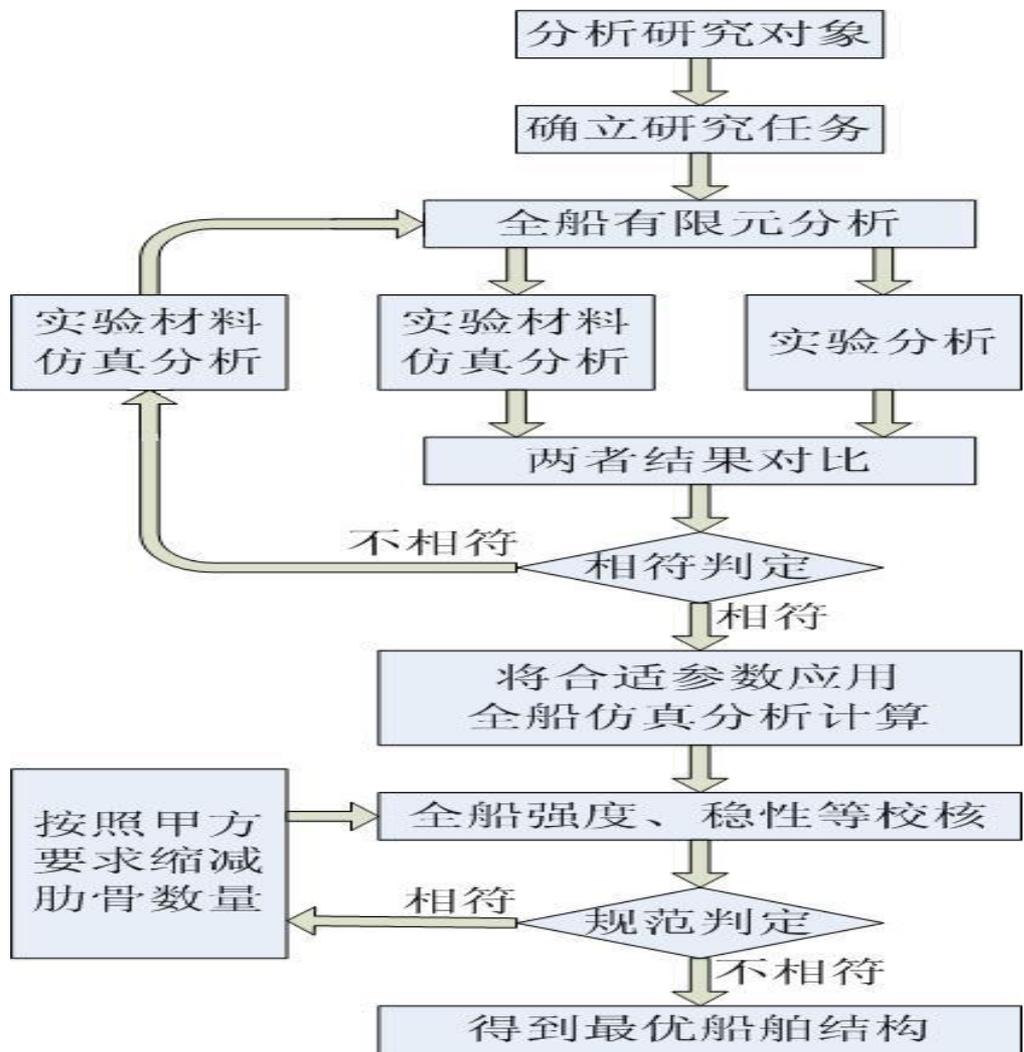
1、结构设计

总强度校核

- 总纵强度
- 连接桥横向强度

1、结构设计

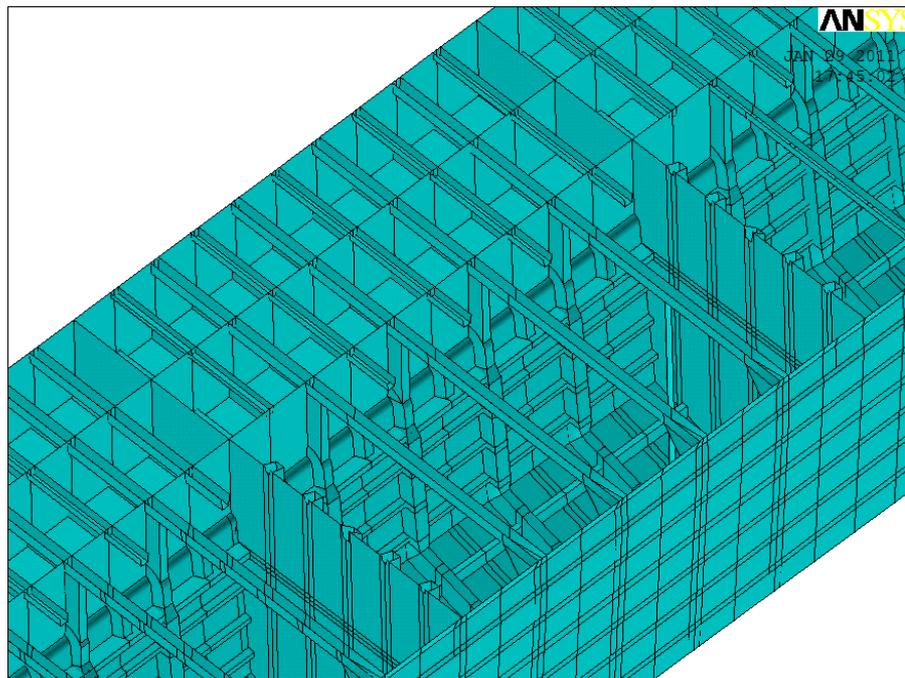
2) 有限元分析法:



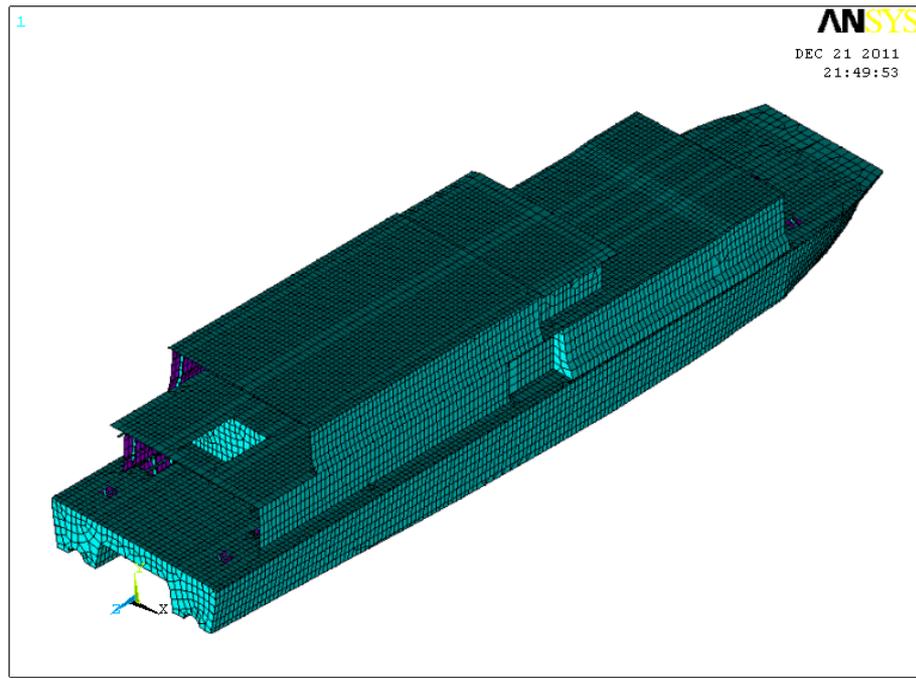
1、结构设计

建立有限元模型

船体结构局部图:



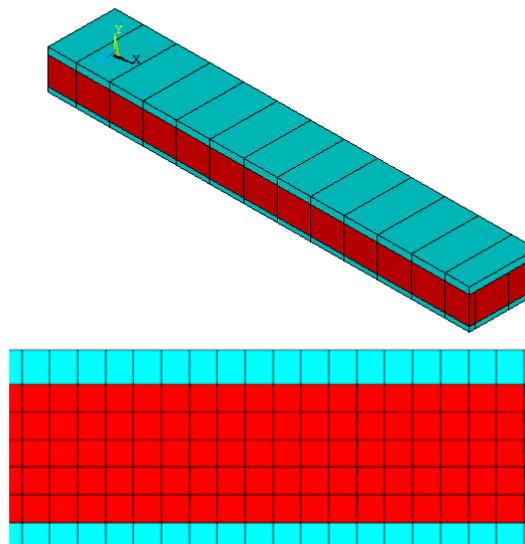
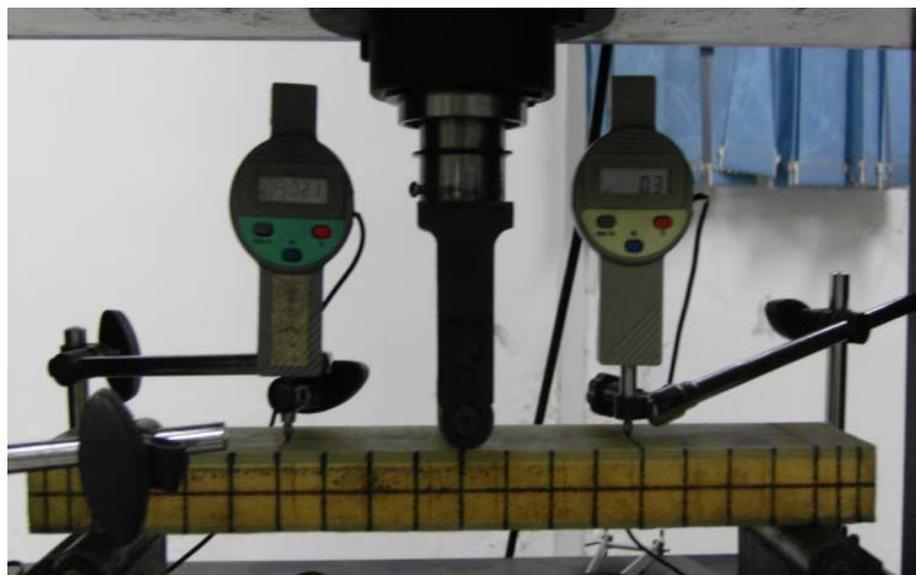
整船模型示意图:



1、结构设计

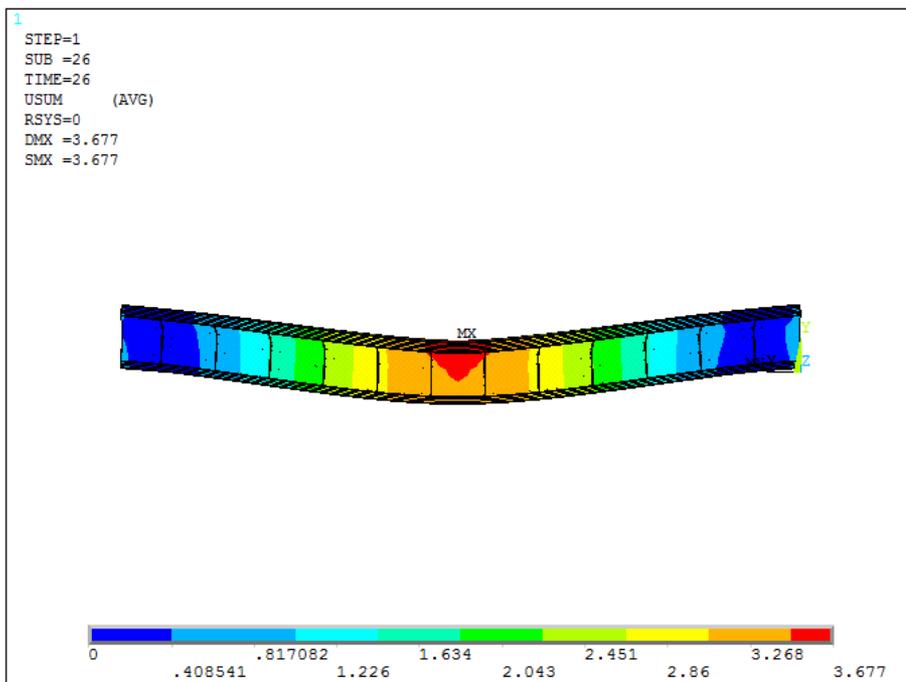
试板试验

对五块试件分别进行三点弯曲试验并根据实验结果建立的有限元模型



1、结构设计

试验与仿真计算结果变形形状对比



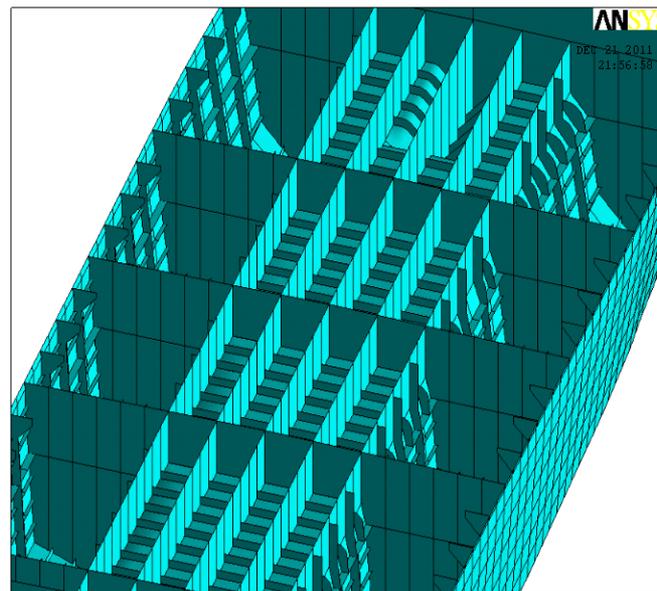
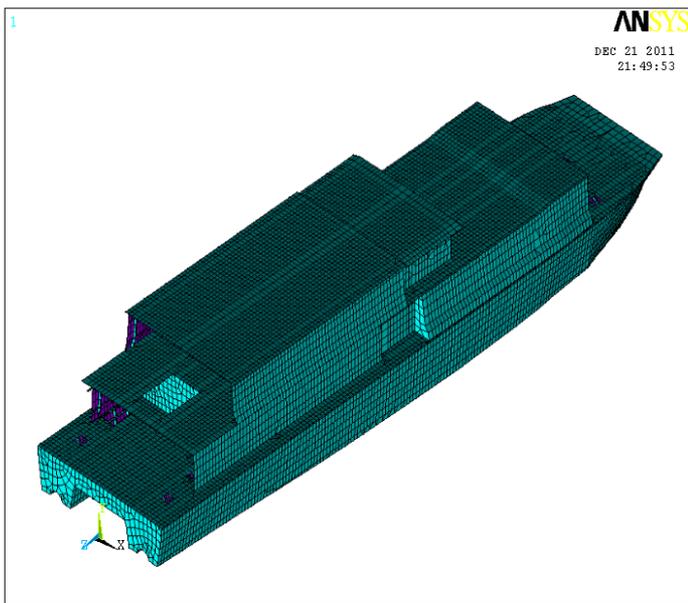
1、结构设计

结构失效载荷对比结果

试件	仿真/实验	极限载荷 (N)	相对误差	平均误差
A	仿真	5200	9%	11.7% (除去试件B后的平均误差为 7.6%)
	实验	4750		
B	仿真	5000	28%	
	实验	3900		
C	仿真	5240	6.9%	
	实验	4900		
D	仿真	5100	5.2%	
	实验	4850		
E	仿真	5360	9.4%	
	实验	4900		

1、结构设计

简化后的模型及数据对比



元素类型	原始模型	等效模型	减少比例
单元数	50979	21815	57.21%
节点数	125905	63400	49.64%
关键点数	23379	7738	66.90%
线段数	48300	13124	72.83%
面数	24505	5307	78.34%

1、结构设计

载荷

总纵弯矩 M_B

中拱 $M_h = M_B$ 中垂 $M_s = -M_B$

$$M_B = C_1 C_2 (1+n) \left(l_x - 0.175 \frac{\Delta}{B_s d} (1+0.2n) \right) \Delta g \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

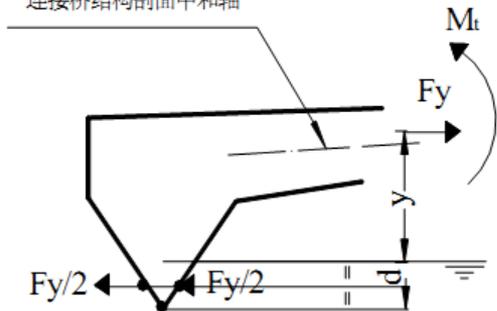
计算得: $M_B = 7971.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$

横向力 F_y

$$F_y = \frac{M_t}{y + \frac{d}{\lambda}} \quad \text{kN}$$

计算得: $F_y = 1469.3 \text{ kN}$

连接桥结构剖面中和轴



总横弯矩 M_t

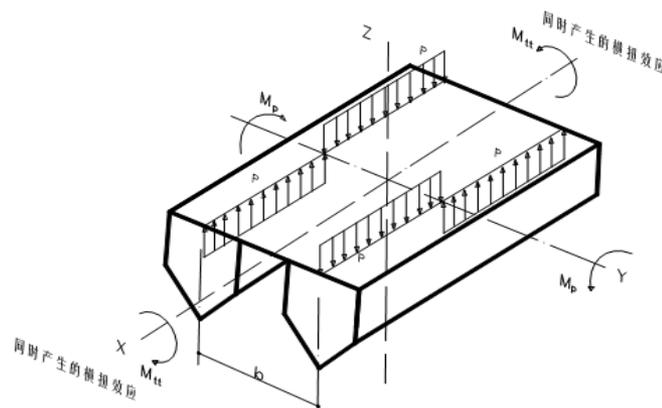
$$M_t = C_1 \Delta a_{cg} b \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

计算得: $M_t = 2313.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$

片体不同步纵摇扭矩 M_p

$$M_p = M_{ty} = 0.125 \Delta a_{cg} L \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

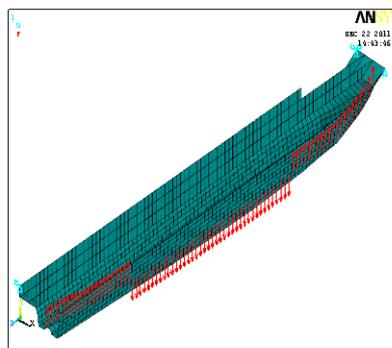
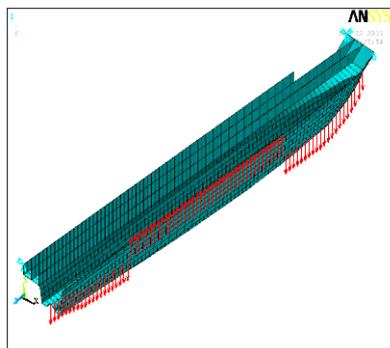
计算得: $M_p = 10794.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$



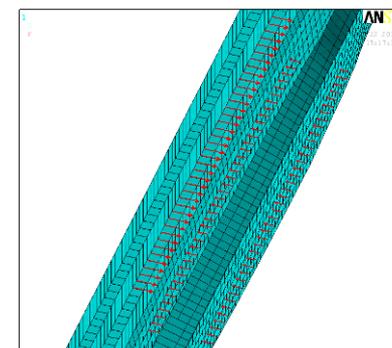
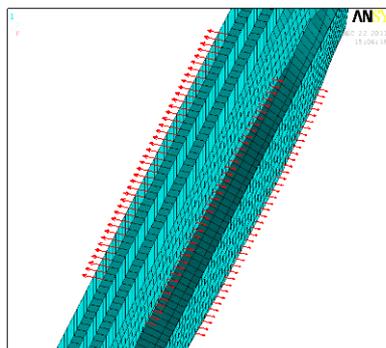
1、结构设计

组合载荷

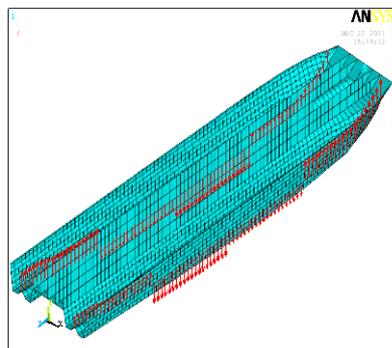
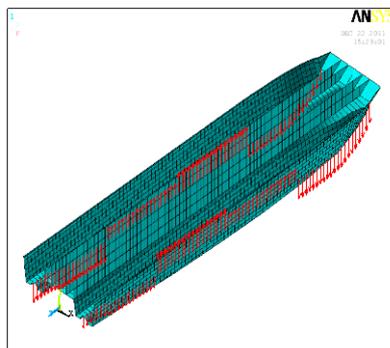
(1) M_h 与 M_s



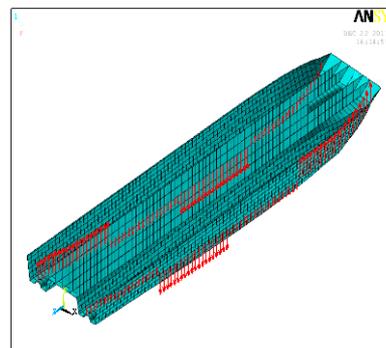
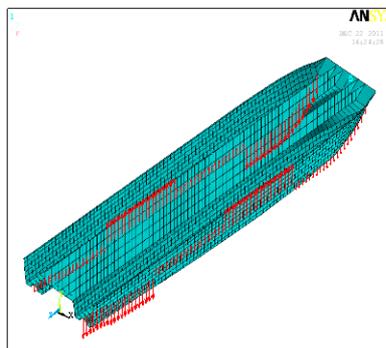
(2) F_y (向外)与 F_y (向内)



(3) $0.8M_h+0.6M_p$ 与 $0.8M_s+0.6M_p$



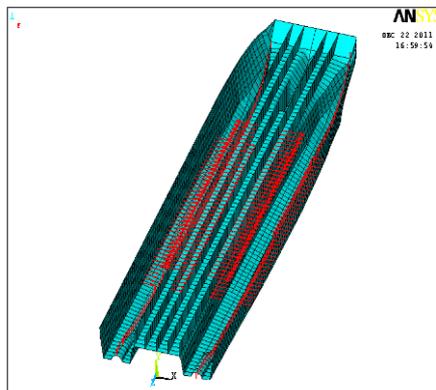
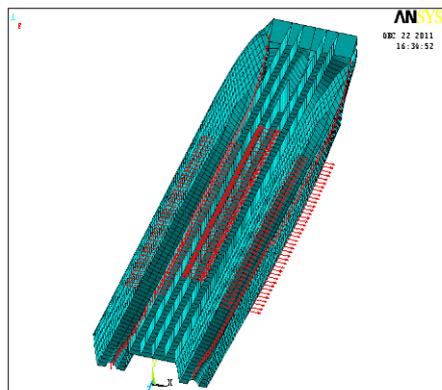
(4) $0.6M_h+0.8M_p$ 与 $0.6M_s+0.8M_p$



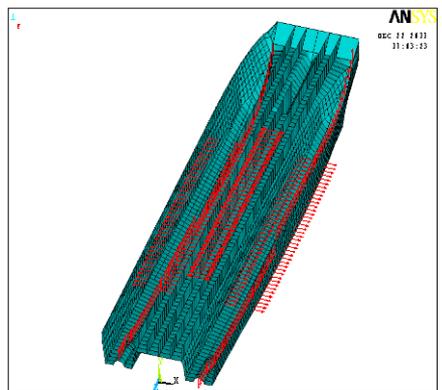
1、结构设计

组合载荷

(5) $0.8F_y$ (向外) + $0.6M_p$ 与 $0.8F_y$ (向内) + $0.6M_p$



(6) $0.6F_y$ (向外) + $0.8M_p$ 与 $0.6F_y$ (向内) + $0.8M_p$



1、结构设计

整船仿真计算结果

整船刚度要求：剖面惯性矩 $I > 4.0W_0L \text{ cm}^4 = 1.86 \times 10^{11} \text{ cm}^4$

本船的船中剖面惯性矩 $I = 1.0396 \times 10^{15} \text{ cm}^4$ ，满足规范要求。

整船强度校核：共分12个工况进行校核，分布对应整船的纵向强度、横向强度及扭转强度。

举例：工况（9） $0.8F_y$ （向外）+ $0.6M_p$

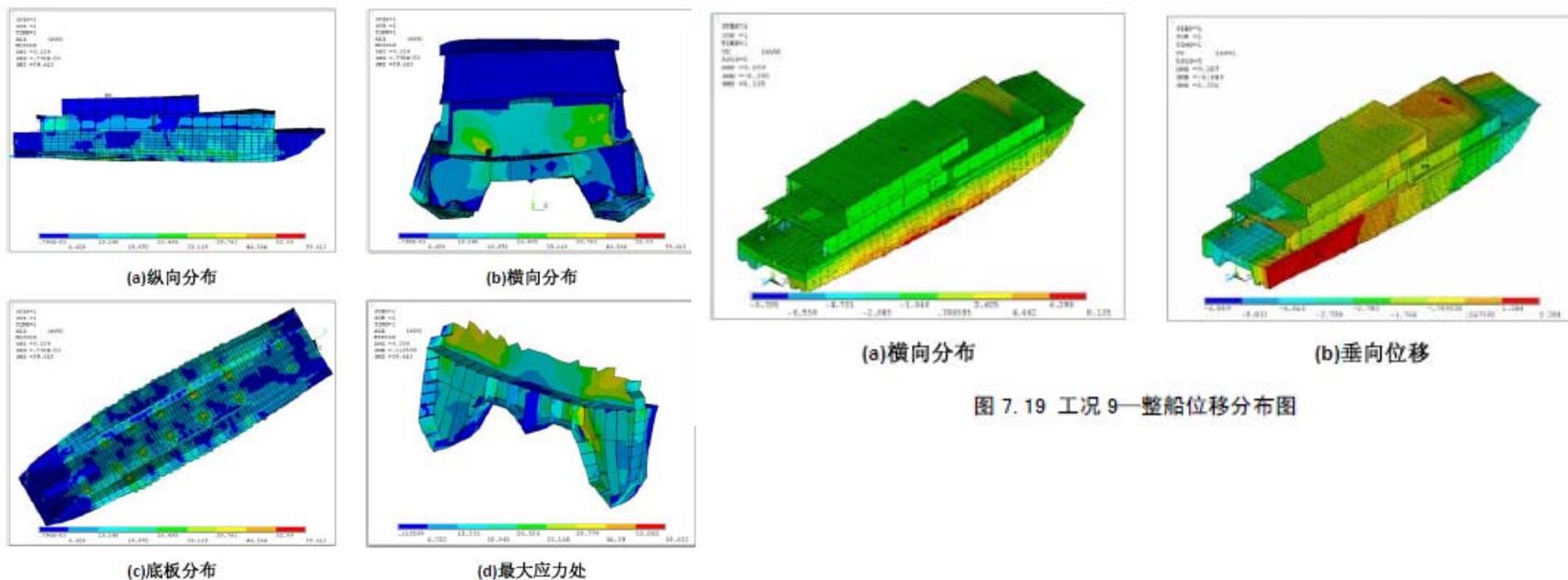


图 7.18 工况 9—整船应力分布图

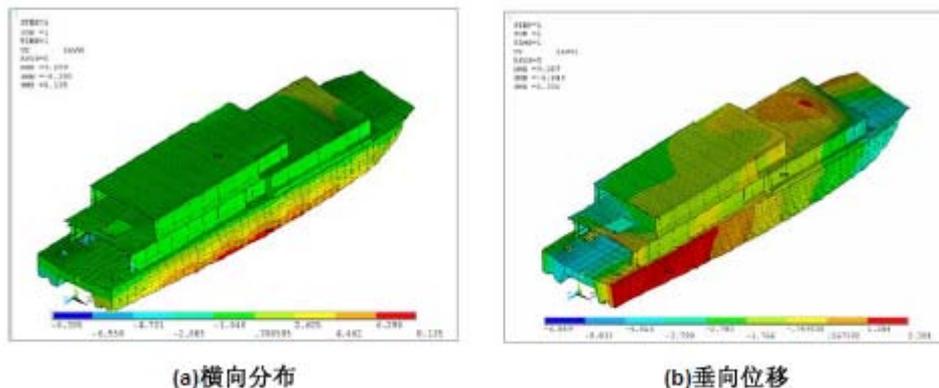


图 7.19 工况 9—整船位移分布图

1、结构设计

整船仿真计算结果

表 7.11 工况 9 整船仿真结果分析

项目	分析
应力云图说明	整船应力变化范围在 33MPa 之内，片体舭部区域较大，上层建筑与甲板有少量局部应力集中现象
最大应力位置	片体舭部靠船首舱壁处
产生原因分析	舱壁与连桥连接处有尖角，不圆滑
解决方法	圆滑尖角处理，并适当增加板厚
最大应力值	70.354MPa
设定[σ]值	55MPa
位移云图说明	整船大部分位移变化在-8mm~7mm（横向），-6mm~2mm（垂向）之间，片体舭部区域位移值较大
最大位移位置	片体舭部
最大位移值	9.387mm

1、结构设计

整船强度校核总结

7.4 原船强度校核总结

工况（1）（2）（5）（6）（7）（8）主要校核船体的纵向强度，以 55MPa 作为许用应力校核全船，除极少部分区域由于应力集中的影响达到 55MPa 以上，全船结构强度绝大部分区域应力强度在 55MPa 以下，基本满足要求。但纵向构件肋距不可再放宽。

工况（3）（4）（9）（10）（11）（12）主要校核船体的横向强度和船体的扭转强度，以 55MPa 作为许用应力校核全船，除极少部分区域由于应力集中的影响达到 55MPa 以上，但全船结构强度绝大部分区域应力强度在 45MPa 以下，基本满足要求。可以考虑适量放宽结构的横向肋距。

2、铺层设计

1. 艇底板: $t=12.5\text{mm}$ (隧道区及 68# ~ 艏艇底板加一层 R800 布及一层 R400 布)

GC+ (SM30+M300) (第一次积层)

M450+R600+R800 \times 2 (第二次积层)

M450+R600+R800 \times 2+R600 (第三次积层)

M450+R800 \times 2+M300 (第四次积层)

2. 连接桥板: $t=12.5\text{mm}$

GC+ (SM30+M300) (第一次积层)

M450+R600+R800 \times 2 (第二次积层)

M450+R600+R800 \times 2+R600 (第三次积层)

M450+R800 \times 2+M300 (第四次积层)

3. 平板龙骨: $t=18.0\text{mm}$ $b=400\text{mm}$

GC+ (SM30+M300) (第一次积层)

M450+R600+R800 \times 2 (第二次积层)

M450+R600+R800 \times 3+R400 (第三次积层)

M450+R800 \times 3+R600 (第四次积层)

M450+R800 \times 2+M300 (第五次积层)

2、铺层设计

4. 艏封板: $t=11.0\text{mm}$

在舷侧板的基础上第二、三次积层时各加 R800 布一层, 积层完毕后加一块 800×9 的耐水胶合板, 并积层为: M450+R400, 以便安装压水板。

5. 舷侧板: $t=9.0\text{mm}$

GC+ (SM30+M300) (第一次积层)

M450+R600+R800 \times 2 (第二次积层)

M450+R800 \times 3+M300 (第三次积层)

6. 舷侧顶列板: $t=11.0\text{mm}$ $h=400\text{mm}$

在舷侧板的基础上第二、三次积层时各加 R800 布一层。

7. 主甲板: $t=10.0\text{mm}$

GC+ (SM30+M300) (第一次积层)

M450+R600+R800 \times 3 (第二次积层)

M450+R800 \times 3+M300 (第三次积层)

8. 上甲板: $t=8.0\text{mm}$

GC+ (SM30+M300) (第一次积层)

M450+R600+R800 \times 2 (第二次积层)

M450+R800 \times 2+M300 (第三次积层)

9. 顶甲板: $t=7.0\text{mm}$

GC+ (SM30+M300) (第一次积层)

M450+R600+R800 \times 2 (第二次积层)

M450+R800+M300 (第三次积层)

2、铺层设计

10. 主甲板室前端壁: $t=8.0\text{mm}$
GC+ (SM30+M300) (第一次积层)
M450+R600+R800 \times 2 (第二次积层)
M450+R800 \times 2+M300 (第三次积层)
11. 上甲板室前端壁: $t=7.0\text{mm}$
GC+ (SM30+M300) (第一次积层)
M450+R600+R800 \times 2 (第二次积层)
M450+R800+M300 (第三次积层)
12. 主甲板室侧后壁: $t=7.0\text{mm}$
GC+ (SM30+M300) (第一次积层)
M450+R600+R800 \times 2 (第二次积层)
M450+R800+M300 (第三次积层)
13. 上甲板室侧后壁: $t=6.0\text{mm}$
GC+ (SM30+M300) (第一次积层)
M450+R600+R800 (第二次积层)
M450+R800+M300 (第三次积层)
14. 舷墙: $t=4.0\text{mm}$
GC+ (SM30+M300) + (M450+R600+R800+M300)
15. 楼梯及尾翼: $t=6.0\text{mm}+P5$
GC+ (SM30+M300) (第一次积层)
M450+R400+R800 (第二次积层)
M450+P5+R800+M300 (第三次积层)

2、铺层设计

16. 压水板: $t=18.0\text{mm}$

GC+ (SM30+M300) (第一次积层)

M450+R400+R600+R800 \times 3+R400 (第二次积层)

M450+R400+R800 \times 4 (第三次积层)

M450+R400+R800 \times 4+M300 (第四次积层)

17. 水密舱壁: $t=8.5\text{mm}$

(SM30+M300) (第一次积层)

M450+R600+R800 \times 2+R400 (第二次积层)

M450+R800 \times 2+R400 (第三次积层)

18. 防撞舱壁: $t=9.5\text{mm}$

(SM30+M300) (第一次积层)

M450+R600+R800 \times 2+R400 (第二次积层)

M450+R800 \times 3+R400 (第三次积层)

19. 连接桥纵横舱壁: 3.0/3.0+P15

(M450+R800+M450) +P15+ (M450 +R800+M450)

2、铺层设计

20. 主机座: $t=10.0\text{mm}$

$$(M450 + (R600 + R800) \times 2) + (M450 + R800 \times 4 + R400)$$

21. 结构

$$\delta 3: M450 + R400 + R800 + R400$$

$$\delta 4: M450 + R400 + R800 \times 2 + R400$$

$$\delta 5: M450 + (R600 + R800) \times 2 + R400$$

$$\delta 6: (M450 + R600 + R800) + (M450 + R600 + R800 + R400)$$

$$\delta 5.5: M450 + R600 + R800 \times 3 + R600$$

$$\delta 6: M450 + (R600 + R800) \times 2 + R800 + R400$$

$$\delta 6.5: M450 + R400 + (R600 + R800) \times 2 + R800 + R400$$

$$\delta 8: (M450 + R600 + R800 \times 3) + (M450 + R600 + R800 + R400)$$

$$\delta 9: (M450 + (R600 + R800) \times 2) + (M450 + R800 \times 3 + R400)$$

$$\delta 10: (M450 + (R600 + R800) \times 2) + (M450 + R800 \times 4 + R400)$$

$$\delta 12: (M450 + R600 + R800 \times 2) + (M450 + R800 \times 3 + R600) + (M450 + R800 \times 2 + R400)$$

$$\delta 14: (M450 + R600 + R800 \times 3) + (M450 + R800 \times 3 + R600) + (M450 + R800 \times 3 + R400)$$

3、建造工艺

公司的工艺标准文件

Q/NWSB

湖南太阳鸟游艇股份有限公司企业标准

Q/NWSB001—2006

玻璃钢船体建造原则工艺

2006—05—18 发布

2006—06—18 实施

湖南太阳鸟游艇股份有限公司 发布

3、建造工艺

Q/NWSB001—2006

玻璃钢船体建造原则工艺

1 范围

本标准规定了以手糊成型的纤维增强塑料船艇建造工艺原则。
本标准适用于船长小于 40m 的沿海和内河民用船艇。
本标准适用于采用模具，以手糊成型的纤维增强塑料船艇。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励就基本标准达成协议的所有各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

海法规 [2005] 499 号文公布	内河船舶法定检验技术规则(2004)
海法规 [2005] 499 号文公布	国内航行海船法定检验技术规则(2004)
海法规 [2006] 1 号文公布	国内航行海船法定检验技术规则(2006 年修改通报)
内河高速船入级与建造规范(2002)	
海上高速船入级与建造规范(2005)	
沿海小船入级与建造规范(2005)	
内河小型船舶建造规范(2005)	
Q/NWSB005-2006	玻璃钢船体的检验与公差
Q/NWSB010-2006	玻璃钢材料工艺性试验
Q/NWSB016-2006	节点图册

3 生产条件

3.1 一般要求

- 3.1.1 质量管理体系健全
- 3.1.2 质量管理人员应具有评价纤维增强塑料船艇建造工艺和结构质量的能力。

3.2 原材料贮存

- 3.2.1 原材料的贮存应符合原材料生产厂的有关规定外，还应符合下列规定：
 - 3.2.1.1 树脂和添加剂应置于低温、干燥和避光的化学品仓库中。
 - 3.2.1.2 纤维增强材料应储存在干燥、无尘和温度变化不太大的场所，不可堆放在温度会聚变的场所。
 - 3.2.1.3 引发剂与促进剂应分开贮存，并置于水浴中。
- 3.2.2 车间环境
- 3.2.3 建造船体和主要构件的成型车间应确保成型时温度和湿度的基本稳定。
- 3.2.4 成型车间的温度在 10℃—32℃ 之间，空气的相对湿度在 40%—65% 之间，并保持平衡、避免结露和凝雾。
- 3.2.5 成型车间应有良好的照明，并具有通风设备，但应避免阳光和人工照明而影响树脂的正常固化。
- 3.2.6 通风调节设备和温度计在整个树脂固化期均应处于良好状态。

4 施工准备

- 4.1 玻璃钢船艇施工必须取得施工通知单，限额材料计划单，施工图纸以及用户特殊要求任务书等。
- 4.2 材料
 - 4.2.1 查明各种原材料的种类、类型（如树脂主要成份，织物编织型式等）生产厂、技术参数和制造日期等，并作好记载
 - 4.2.2 所用的原材料应符合工艺规程的要求，禁止使用无制造厂家，无产品合格证，无商标或无标签，无保质期或超过保质期等原辅料。如发现原材料超过贮存期，应重新试验，证实不影响使用性能方可使用。
- 4.3 成型放样
 - 4.3.1 在主管工程技术人员指导下进行，尽量保持原型值三向光隙物符合建造公差要求。

Q/NWSB001—2006

4.4 模具制作

- 4.4.1 模具设计应能保证使船体或构件形状完整，尺寸准确，表面质量优良且脱模容易。
- 4.4.2 模具的结构应牢固，以便在整个成型和固化期间内保证不产生影响产品性能及外观的变形。
- 4.4.3 模具公差要求
 - a) 总长 $\pm 0.1\%$ (L < 10 米时 = $\pm 0.05 \sim 0.05\%$ (L ≥ 10 米))
 - b) 型宽 $\pm 0.5 \sim 1.0\%$
 - c) 型深 $\pm 0.5 \sim 1.0\%$
 - d) 基线不平整度 $\pm 0.2\text{mm}$
 - e) 表面不平整度 $\pm 0.2\text{mm/m}$
 - f) 左右水平偏差 $\pm 0.2\text{mm}$

5 各项试验工艺

5.1 试验项目

- 5.1.1 胶衣树脂凝胶试验
- 5.1.2 聚酯树脂凝胶试验
- 5.1.3 试板制作
- 5.2 试验目的
 - 5.2.1 凝胶试验通过不同配比的凝胶时间，考虑施工时的湿度，温度，操作时间等因素，以确定合适的树脂量最佳配比。
 - 5.2.2 试板制作将试板进行物理机械性能的试验，以确定最佳铺层设计。
- 5.3 试验内容
 - 5.3.1 胶衣树脂凝胶试验按以下配方进行。

	胶衣	过氧化甲乙酮	钴盐
a	100g	1g	0.2g
b	100g	2g	0.2g
c	100g	2g	0.2g

5.3.2 聚酯树脂凝胶试验按以下配方进行

	聚酯树脂	过氧化甲乙酮	钴盐
a	100g	1g	0.2g
b	100g	2g	0.2g
c	100g	2g	0.2g

- 5.3.3 记录以上试验时的温、湿度、凝胶时间等
- 5.3.4 试板制作
 - 5.3.4.1 试板尺寸 500 × 500mm
 - 5.3.4.2 试板数量 5 块
 - 5.3.4.3 试板铺层

- a) Gc+G250+M500+2 × T240+T400+4 × T500
- b) Gc+G250+M500+2 × T240+T400+M500+4 × T500
- c) Gc+G250+M500+2 × T400+5 × T500

6 船体成型工艺

6.1 模具准备

- 6.1.1 用湿抹布将模具表面清洗干净，不得有污垢，灰尘等，然后用干抹布将其擦干。
- 6.1.2 让清洗后的模具放置 6 小时以上，待模具表面的水份充分干燥后方可上脱模蜡（或脱模剂）。
- 6.1.3 用口罩或抹布将脱模蜡均匀地涂在模具上，严禁遗漏和堆积，然后用口罩或抹布擦净。
- 6.1.4 新模必须打蜡 6 度，后续船打蜡 2 度。每度蜡的间隔必须在 2 小时以上，最后一度与喷涂胶衣的间隔小于 4 小时。
- 6.2 材料准备
 - 6.2.1 按图纸要求及工艺要求裁剪毡和布，每层毡（布）必须作称重记录（或尺寸记录），裁剪玻璃布时两边的织边应剪去。

3、建造工艺

Q/NWSB001—2006

- 6.2.2 胶水的凝胶试验，并作好记录。
- 6.2.5 根据施工现场情况，制作脚手架使得糊制人员能安全操作，检验人员能方便安全地行走。
- 6.3 喷涂胶衣树脂
- 6.3.1 喷枪距模具面为 350~400mm，一般来说船体垂直面喷 5 度，船体平面喷 2 度。
- 6.3.2 喷涂时，自上而下，以左到右各喷一遍，注意喷涂时的均匀性，避免遗漏或堵塞，其厚度控制在 0.4~0.6mm 之间。
- 6.3.5 喷涂完后需经检验人员严格检查，必须达到“指干”后方可开始糊制。
- 6.4 层板糊制
- 6.4.1 根据现场情况进行凝胶试验，确定配比，并作好记录。
- 6.4.2 按确定的配比进行配胶，配胶时，树脂中加入引发剂和促进剂应严格控制，且搅拌均匀，一次配胶量不宜过大。
- 6.4.3 工程技术人员根据玻璃纤维称重记录和确定的含胶量计算出每层玻璃纤维的树脂用量，并通知糊制人员和检验人员。糊制人员必须按规定的树脂用量进行糊制，不得超量。检验人员严格检验用胶量。如果树脂用量出现超量必须预先通知工程技术人员或车间主任，采取补救措施，有必要需对树脂用量称重上船。
- 6.4.4 采用一次间隔成型法，工序如下：
喷涂胶衣→指干→表面毡糊制→短切毡糊制→检查并修补→布层糊制
- 6.4.6 糊制层板的每层增强材料时，应使树脂渗透均匀并充分浸透增强材料以获的预定树脂含量。
- 6.4.6 含胶量 布层 50±5%；毡层 70±5%
- 6.4.7 各铺层之间的树脂含量应均匀，以保证层板的厚度和质量，层板的厚度偏差不得大于 5%。
- 6.4.8 铺制纤维材料层时应尽量减少接缝的数目，同一层纤维材料片边缘可采用搭接或对接的方法连接，相邻层间搭接应至少错开 100mm，五层之内搭接应不重叠，若采用搭接时，搭接的宽度应不小于 50mm，纤维增强材料层少于五层的层板应采用对接方法。
- 6.4.9 糊制过程中，应清除气泡，避免增强材料片滑移。如果发现纤维裸露，缺胶和积胶，流胶等妨碍使用缺陷，应在糊制下一层增强纤维前修补完好。
- 6.4.10 分次成型
- 6.4.10.1 大型船舶的船体或构件可采用分次成型的方法。
- 6.4.10.2 分次成型时，每次成型必须在凝胶时间内施工完毕，各次之间的界面的两层树脂应选择无蜡树脂。如果采用有蜡树脂，则成型前需要进行打毛处理。
- 6.4.10.3 分次成型隔天进行时，应先清渣和处理表面，使层间粘接良好。
- 6.4.11 表面毡的糊制必须严格检查，如发现有漏胶或空泡等缺陷必须及时修补。
- 6.4.12 玻璃纤维的铺数必须按提供的铺层设计的布层进行糊制。
- 6.4.13 糊毡时必须用滚筒滚压，糊布时必须用刮板刮紧，同时将剩余树脂刮掉。
- 6.4.14 全部糊制完后应仔细检查，如有漏胶、空泡、起皱、积胶等缺陷应消除。

7. 构件制作

- 7.1 划线。所有划线均为理论线，其原则为：
 - 7.1.1 船壳板用模具成型的船体以模具表面为理论线，即阴模以船壳板外表面为理论线，阳模以船壳板内表面为理论线。
 - 7.1.2 甲板、平台、座板和浮力箱等水平板以其上表面为理论线。
 - 7.1.5 对称剖面（如锥形、矩形和半圆形）骨材以其剖面的中心线为理论线。
 - 7.1.4 非对称剖面（如角材）骨材以其高度侧边的背缘为理论线。
 - 7.1.6 带有扶强材的单板结构纵横壁以无扶强材的一侧为理论线。
 - 7.1.6 夹层结构的纵横壁以其板厚中心线为理论线。
- 7.2 构件制作工艺
- 7.2.1 构件芯材的种类
 - 硬质泡沫塑料芯材 (PVC)；轻木芯材 (B)；胶合板芯材 (F)；木材芯材 (W)；蜂窝芯材 (H)。
 - 7.2.2 芯材应保证在 60℃ 温度下使用不发生变化，并对树脂的固化不产生影响。
 - 7.2.3 构件芯材的接头之间的间隙不应大于 5mm，其错位应不大于 3mm。
 - 7.2.4 当骨材交叉时，应在大骨材上开孔，使小骨材连续通过。当骨材尺寸接近时，一般应使纵向骨材

Q/NWSB001—2006

- 保持连续。骨材相交处应选用毡布交替铺层连接。
- 7.2.6 构件糊制与壳板连接处必须清洗干净，不得有水份、油污、垃圾等。
- 7.2.6 构件芯材胶粘后，应检查其位置尺寸的正确性，其位置与所划线条之偏差为 ±2mm，构件芯材的第一层包敷 M500 或 M450 短切毡，再依次包敷玻纤布（按铺层设计进行）玻纤布每层应依次增宽，增宽的宽度两边分别为 50mm 以上，转角、交叉点应尽量少剪开，非剪开不可应作补强处理。
- 7.2.7 二次胶接间隔超过 24 小时者须进行除蜡处理，可采用撕去表层的方法，但一般采用磨光或拉毛，拉毛的最小间隔为 25mm。
- 7.2.8 糊制构件必须用刮板刮紧。构件与壳板之间应紧密胶粘，不能产生任何形式的气泡或剥离现象，一经发现必须修整。
- 7.2.9 成型后的构件尺寸与图纸要求偏差为 ±3mm，厚度偏差为 ±0.5mm。

8 脱模

8.1 脱模条件

- 8.1.1 用模具制成的船体和构件在未达到树脂生产厂推荐的巴氏硬度值之前，不应改变其受控环境。
- 8.1.2 层板必须在达到一定固化程度（通常为巴氏硬度 40 以上）后才能脱模。

8.2 脱模程序

- 8.2.1 在适当处设置二根脱模枋（具体位置现场确定）
- 8.2.2 脱模时应首先用木楔将产品的边沿与模具分离，其转角尤为重要，用橡胶榔头轻轻敲击产品并逐步将顶柱加力，提升吊架滑轮（行吊或葫芦）船底可用注水采用浮力脱模。
- 8.2.3 脱模后应立即支撑其主要表面，放置平稳，以不产生永久变形，直到充分固化。

9 船舶合拢

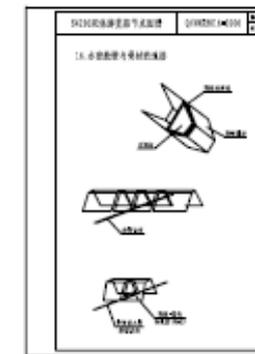
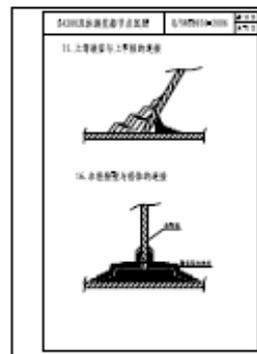
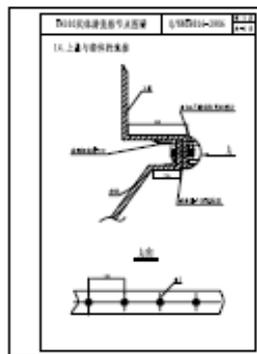
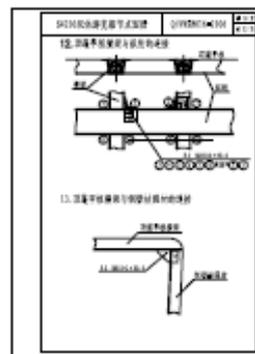
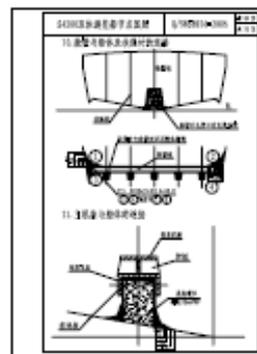
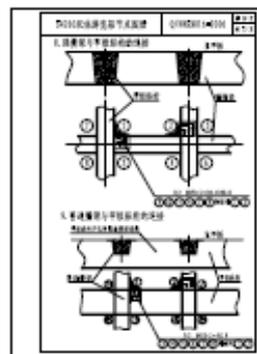
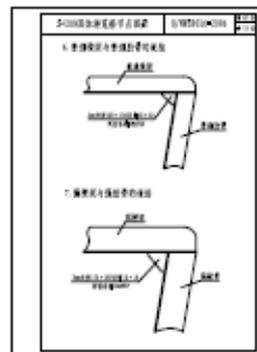
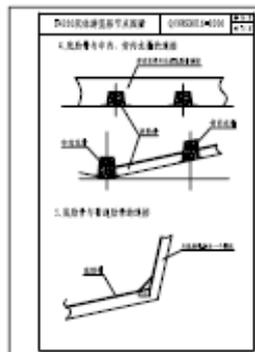
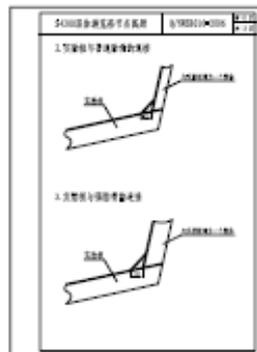
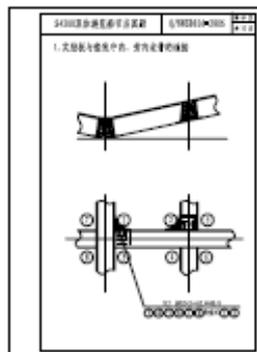
- 9.1 产品脱模后应进行全面检验，发现缺陷应及时修复。
- 9.2 产品脱模后应将毛边切除，切除毛边时需进行画线，切口要顺直，禁止在切除毛边时切伤产品，毛边切除后其装配边运用细砂纸打磨。
- 9.3 船艇上下壳体的连接采用粘接与机械连接方法进行。粘接时采用高强度密封胶，并应使用与层板相同的树脂。机械连接时为防止螺栓或铆钉头压入层板而引起层板破坏，应选用足够大的垫圈，连接孔的距离均匀，其间距一般为 10~20d (d 为连接孔的直径)。
- 9.4 上下壳体连接处应保证水密

10. 产品公差要求

1) 总长	<±0.1%
2) 总宽	<±0.05%
3) 总高	<±0.05%
4) 壳板表面不平整	<±2mm/4m
5) 骨架中心线	<±5mm
6) 舱壁中心线	<±5mm
7) 围壁中心线	<±5mm
8) 左右水平	<±5mm

3、建造工艺

节点图册



4、结构防火

耐火试验



4、结构防火

耐火试验



4、结构防火

耐火试验

三、试验结果说明

应太阳鸟游艇股份有限公司的要求，我中心向其提供对这次试验结果的说明，供参考。

试验结果以下：

隔热性： 36 min.（平均温度小于 105℃）

完整性： 36 min.（背火面无火焰）

承载能力：

变形量： 33 min. $\left(\frac{L^2}{400d}\right)$ ，L 跨度，d 为剖面最大拉压应力点的距离）

变形速率： 31 min. $\left(\frac{L^2}{9000d}\right)$ ，L、d 意义同上）

试样的耐火性能为隔热性、完整性和承载能力三项性能分别达到的耐火时间的最小者，综合以上结果，试样的耐火性能为 31min.

谢谢各位！