

# 筒形三体铝合金艇有限元强度分析

李雨辰<sup>1</sup>, 唐昌德<sup>2</sup>

(1. 南通中远川崎船舶工程有限公司 采购部, 江苏 南通 226001;

2. 南通中远船务工程有限公司 技术部, 江苏 南通 226006)

**摘 要:**文章基于某筒形三体铝合金观光艇, 利用结构有限元软件 GeniE, 采用经验公式加载总纵弯矩, 并通过等效手段施加总横及扭转弯矩, 对其总纵、总横及扭转强度进行了全船有限元分析, 为该类型船舶强度校核提供有益参考。

**关键词:**三体船; 铝合金船; 有限元分析

中图分类号: U661.43

文献标识码: A

文章编号: 1671-9891(2016)01-0039-05

## 0 引言

近年来, 内河及湖泊观光艇在旅游业的大力推动下得到了长足发展。观光艇在追求快速性的同时, 安全性、轻便性、稳定性和大装载量是其必须考虑的关键效益因素。铝合金材料重量相对碳钢而言轻了许多(密度仅为碳钢 1/3), 在相同的排水量下能实现更多的载客量, 得到更高的推进效率。<sup>[1-3]</sup>而三体船属于小水面船舶, 在保证快速性的同时还能提高艇体的稳定性, 有效提高观光艇的舒适性。然而, 三体船(艇)由于结构相对单体船复杂, 其在航行过程中所受到波浪等的作用产生的结构响应也不易通过简单方式计算得出, 因此比较好的方式是通过有限元软件对全船进行建模计算, 综合分析其在特定载荷作用下的总纵、总横及扭转强度, 以确保运营过程中的人命财产安全。本文根据某圆筒形筒体的三体铝合金观光艇, 参照 CCS“内河高速船入级与建造规范(2012)”(以下简称“规范”)规定的载荷, 采用通用结构计算软件 GeniE 对其进行全船有限元建模, 并分析相应的结构载荷响应。<sup>[4]</sup>

## 1 有限元模型

### 1.1 观光艇结构特点

该观光艇总长为 10.8 m, 型宽 3.2 m, 型深 0.77 m, 设计吃水 0.3 m。观光艇为左右对称结构, 包括三个直径为  $\varnothing 610$  mm 的圆形浮体, 片体间距为 1.245 m, 浮体与甲板通过 T 型材连接, 如图 1 所示。艇体结构材料为铝合金 5083, 其弹性模量为  $E = 6.9 \times 10^{10}$  Pa, 泊松比为  $\nu = 0.33$ , 密度为  $\rho = 2.8$  t/m<sup>3</sup>。

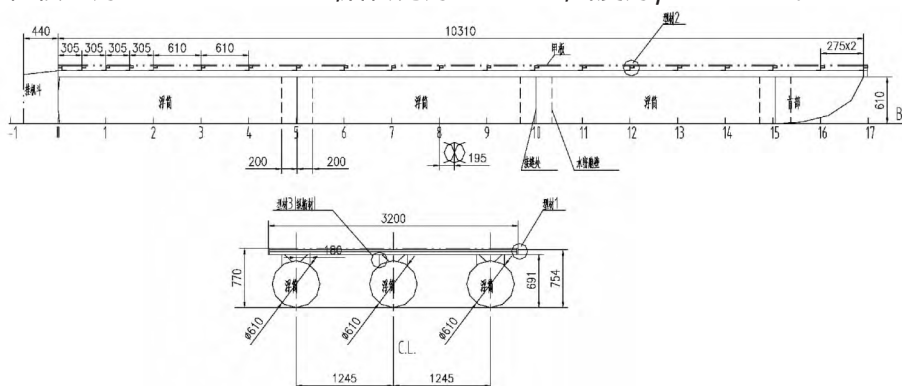


图 1 筒形三体铝合金艇基本结构

收稿日期: 2015-10-13

作者简介: 李雨辰(1988—), 男, 江苏南通人, 南通中远川崎船舶工程有限公司采购部助理工程师。

## 1.2 有限元模型

根据“规范”要求,对船舶进行全船模型有限元分析。其中筒体、舱壁、桁材腹板等平板结构用板单元模拟,桁材面板其它小的骨材用杆单元模拟。有限元模型全局网格大小为 50 mm,有节点 35 222 个,单元 37 326 个,如图 2、3 所示。

12 Nov 2015 21:39  
10.8m\_rev01

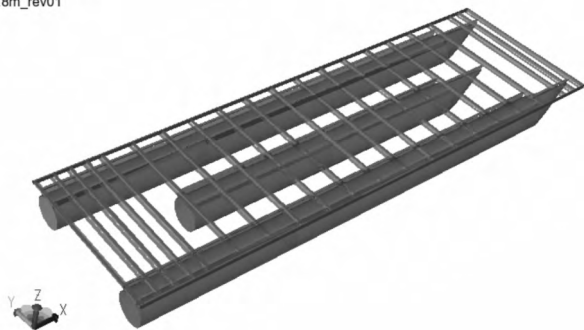


图 2 有限元结构模型

10.8m\_rev01

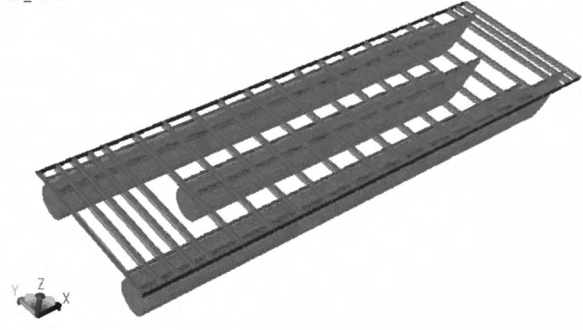


图 3 有限元离散网格

## 2 计算工况及计算方法

如前文所述,需要对该三体铝合金艇进行总纵、总横及扭转强度分析。根据“规范”要求,高速航行状态下艇体总纵强度主要承受波浪冲击在船重心附近区域引起的波浪垂向弯矩,分为中拱和中垂两种情况:

$$M_{Hog} = \frac{\Delta}{2} [l_x - 0.15C_b L(1 + 0.2\eta)](1 + \eta)g \quad (1)$$

$$M_{Sag} = \frac{\Delta}{2} \left[ \frac{L}{2} - l_x - 0.15C_b L(1 + 0.2\eta) \right] (1 + \eta)g \quad (2)$$

总横强度及扭转强度需考虑以下载荷:

总横弯矩:

$$M_t = C_1 \Delta \alpha_{cg} b \quad (3)$$

中纵剖面处的垂向剪力:

$$Q_t = C_2 \Delta \alpha_{cg} \quad (4)$$

对横向 Y 轴的扭矩:

$$M_p = 0.125 \Delta \alpha_{cg} L \quad (5)$$

其中  $C_1$ 、 $C_2$  为航区系数  $b$  为片体间距。目前对全船总纵强度有限元分析尚无具体的规范对载荷施加方式及对应的边界条件进行详细的说明,本文为了模拟整船在总纵弯矩下结构中拱中垂的受力情况,采用如下经验公式将总纵弯矩转化为分布力施加到船体中纵线上:

$$q_x = q_0 \left( \sin \frac{\pi x}{L} - 0.637 \right) \quad (6)$$

式中  $q_0 = \frac{46}{L^2} M_{BY}$   $M_{BY}$  分别对应波浪冲击在船重心附近区域引起的波浪垂向弯矩  $M_{Hog}$  (中拱)、 $M_{Sag}$  (中垂),载荷施加情况如图 4 所示。同时,在船尾及船首处约束  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三个方向的线位移作为边界条件,如图 5 所示。

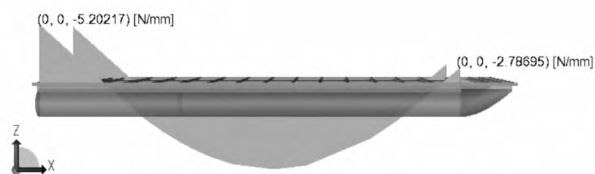
总横弯矩通过弯矩和力的线性关系转化为作用在左右浮体上的分布力,同时约束甲板左右舷边 3 个方向的线位移,同理扭转弯矩也可以转化为作用在首尾对角线上的作用力,并约束另一对角线端点的 6 个自由度与之对应,如图 6 所示。

## 3 有限元结果分析

### 3.1 许用应力

本船船身材料为铝合金 5083,其弹性模量  $E = 6.9 \times 10^{10}$  Pa,泊松比  $\nu = 0.33$ ,屈服强度为  $\sigma_{sw} = 305$  MPa。根据“规范”规定,铝质船体的许用应力如下:

15 Mar 2016 21:38  
10.8m\_triyatch  
Analysis2  
LC2\_hog  
FEM Loadcase = 2  
Force: [N], Length: [m]



(a) 中拱工况波浪弯矩

15 Mar 2016 21:40  
10.8m\_triyatch  
Analysis2  
LC3\_sag  
FEM Loadcase = 3  
Force: [N], Length: [m]



(b) 中垂工况波浪弯矩

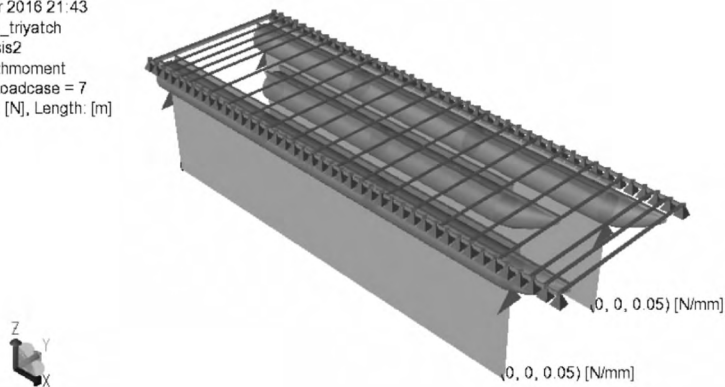
图 4 总纵波浪弯矩施加作用图

14 Nov 2015 14:09  
10.8m\_rev01  
Analysis3



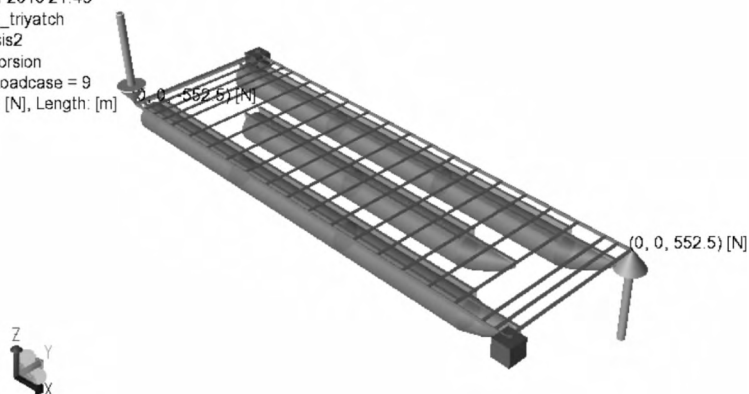
图 5 总纵强度边界条件施加示意图

15 Mar 2016 21:43  
10.8m\_triyatch  
Analysis2  
LC7\_zhmoment  
FEM Loadcase = 7  
Force: [N], Length: [m]



(a) 总横强度工况载荷及工况

15 Mar 2016 21:45  
10.8m\_triyatch  
Analysis2  
LC9\_torsion  
FEM Loadcase = 9  
Force: [N], Length: [m]



(b) 扭转工况载荷及边界条件

图 6 总横、扭转强度载荷及边界条件

拉伸许用应力 $[\sigma] = 0.67\sigma_{st} = 0.67 \times 305 = 204 \text{ MPa}$  ;

剪切许用应力 $[\tau] = 0.38\sigma_{st} = 0.38 \times 305 = 116 \text{ MPa}$  ;

等效应力许用值 $[\sigma_c] = 0.75\sigma_{st} = 0.75 \times 305 = 229 \text{ MPa}$ 。

### 3.2 有限元计算结果

经过计算,总纵强度(中拱和中垂)、纵横强度及扭转强度应力结果分布汇总如表 1、2 所示,典型应力云图如图 7-9 所示。

表 1 总纵强度应力(MPa)汇总

结构分类	等效应力 $\sigma_s$			剪切应力 $\tau$		
	许用	中拱	中垂	许用	中拱	中垂
筒体	229	88.8	114.2	116	12.8	24.4
纵向构件	229	70.8	100.4	116	21.5	31.9
横向构件	229	110.6	206.1	116	31.9	52.8

表 2 总横及扭转强度应力(MPa)汇总

结构分类	等效应力 $\sigma_s$			剪切应力 $\tau$		
	许用	总横强度	扭转强度	许用	总横强度	扭转强度
筒体	229	2.4	57.6	116	0.87	57.6
纵向构件	229	5.15	67.4	116	1.17	67.4
横向构件	229	11.8	190.4	116	2.55	32.2

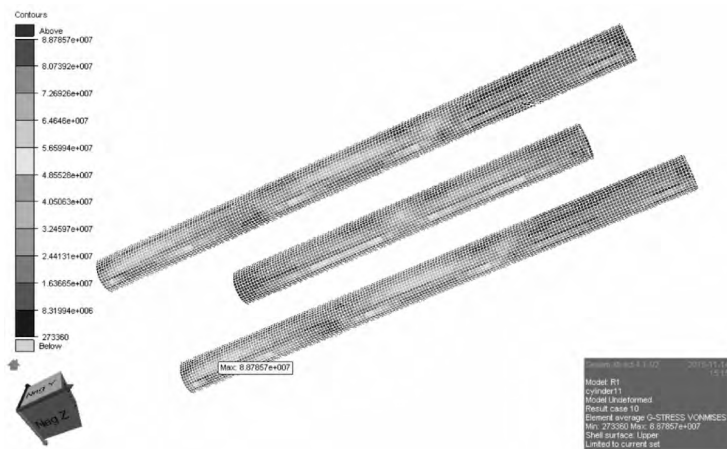


图 7 筒体结构总纵强度等效应力云图

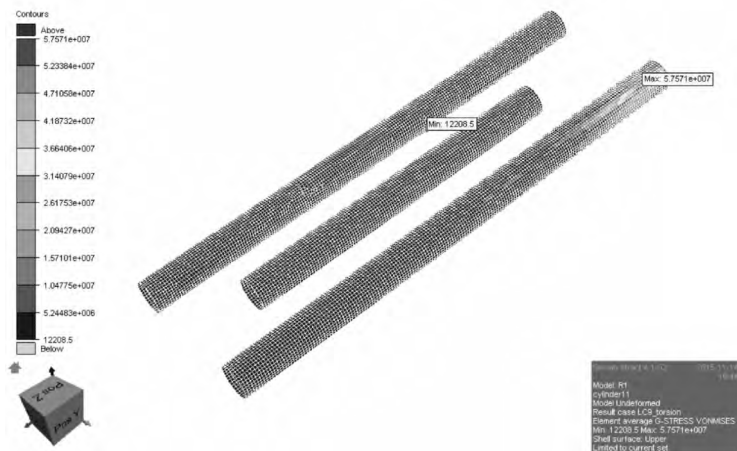


图 8 筒体结构扭转强度等效应力云图



图 9 筒体结构总横强度等效应力云图

#### 4 结束语

本文采用有限元手段,选取典型工况对筒形三体铝合金艇的结构强度进行了计算,通过应力结果分析,可以得出如下结论,为该类船舶的设计和校核提供参考:

(1)从应力云图可以看出,运用有限元软件结合经验公式及等效边界的方法,能够较为真实地反映三体船的总纵、总横及总扭弯曲,得到符合变形规律的应力值;

(2)受结构形式的影响,中垂弯矩更容易造成圆筒形浮体的三体船总纵强度失效;

(3)在设计载荷作用下,结构总横应力普遍较小,说明采用圆筒形浮体的三体船有较好的抵抗总横弯矩的能力;

(4)连接各个浮体的横向构件(即连接桥)在总纵和扭转弯矩作用的工况下,容易产生较高的应力,在设计时要着重考虑其强度问题。

#### 参考文献:

- [1]李永正,尹群,刘琰,等.双体船连接桥强度有限元分析[J].造船技术,2004(6):18-21.
- [2]韩纯强,孙剑,伏辉,等.46.8m 采石船的强度有限元分析[J].江苏船舶,2012(6):15-18.
- [3]冯坚,谷家扬.11.9m 双体交通艇总强度有限元分析[J].江苏船舶,2010(3):5-7.
- [4]中国船级社.内河高速船入级与建造规范[M].北京:人民交通出版社,2012.

## FEM Analysis of Cylindrical Aluminum Alloy Trimaran

LI Yu-chen<sup>1</sup>, TANG Chang-de<sup>2</sup>

(1.Dept. of Procurement, Nantong COSCO KHI Ship Engineering CO., Ltd., Nantong 226001, China;

2.Dept. of Technology, Nantong COSCO Ship Engineering Co. Ltd., Nantong 226006, China)

**Abstract:** This article applies GeniE, a structural FEM software, experience formula combined with longitudinal bending moment and equivalent means combined with transversal and torsional moment to the FEM analysis of the longitudinal, transversal and torsional strength, which is expected to serve as a reference for this field.

**Key words:** Trimaran; Aluminum alloy ship; FEM analysis