

船舶住人舱室模块化设计及建造研究

吴 巍

江南造船（集团）有限责任公司 上海 201913

摘 要：模块化舱室设计方案将通过舱室独立骨架设计、舱室轻量化设计和内部集成化设计，同时对舱室环境进行精细化设计，并以此基础通过模块化舱室装船方案的应用，能够实现降低舾装建造周期，提高建造质量等优点。模块化舱室建造方案实传传统内舾装施工相比具有施工周期短、整体重量轻、施工环境友好、易于管理等优势。

关键词：独立骨架；强度校核；模块化；轻量化；集成化；环境友好化

引言

随着近年来世界局势的变化和我国战略中心的转移，我国造船企业承接的高附加值新型船舶日渐增多。船舶住人舱室作为生活保障系统的重要组成部分，如何能够实现快速化、便捷化的居舱建造、装船方案，是造船企业的重点研究方向。早在20世纪二三十年代，美国就提出了模块化设计和建造船舶的设想，经过多年的发展，德、美、法、俄罗斯、日本、挪威、丹麦、芬兰等众多工业公家在模块化造船方面都取得了很高的成就。

在国内方面，对模块化舱室和预制模块化舱室单元技术的研究和引进一直由各大船舶配套、建造、设计单位陆续进行着，如华南建材（深圳）有限公司、厦门船舶重工股份有限公司、海陆科技股份有限公司等，但国内的市场份额远不及国外厂家。

一、舱室模块化舱室设计

模块化舱室方案是将整个舱室作为独立的建造模块，包括围壁板、天花板、地板、电气系统、空冷系统、家具和门（暂不包含卫生单元）。模块化舱室的设计、建造共分为3个阶段，在设计阶段上，首先基于船体和舾装专业的放样结果进行舱室独立骨架设计，包含独立骨架的承重、船体结构的连接和有限元分析等。其次电缆布置和通风管路布置进行设计，预留舱室电气系统、通风系统接口。最后按照舱室净空间和定位需求对家具进行布置和选型。

在预组装阶段，首先进行独立骨架搭建，骨架由铝

质型材、不锈钢加强筋和钢质角部连接座组成，在骨架上进行电缆、风口预布，围壁板、天花板预装和舱室家具的预装工作，所有舱内部件安装并确认完毕后，对包含骨架在内的所有组件进行编号、拆解打包工作，再通过运输、吊装至船上对应舱室进行安装。

在实船安装阶段，首先安装独立骨架，独立骨架通过弹性连接与船体结构相连。骨架安装完毕后进行敷设新型轻量化地板取代原有的轻质甲板敷料。随后安装围壁板、天花板和电缆通风管路，最后进行电气开关、灯具和家具等其他设备的安装。由于增加了预组装阶段，大幅缩短了实船安装周期，也显著改善了实船作业环境。

二、模块化舱室设计方案

（一）独立骨架设计方案

模块化舱室采用独立骨架、墙板、顶板、地板插接而成。其中独立骨架采用4~6mm厚的Q235钢构件、50*50*4mm的6063-T5铝型材、1.5mm厚的不锈钢加强筋，通过螺栓连接。

1. 强度计算方案

采用静强度校核的方法评估舱室骨架在指定工况下的结构强度。工况按照船体实际摆动角度左右20~-22.5°、前后角度20~-22.5°，摆动周期10s，纵向加速度为 $\pm 1g$ 。（ g =标准重力加速度）

依据中国船级社《钢制海船入级规范2015》，上述工况条件等效为三个方向的惯性加速度，分别是 $X=Y=\pm 0.5g$ ， $Z=\pm 1g$ 。考虑到自重的影响，最终的计算工况是 $X=Y=\pm 0.5g$ ， $Z=0\sim-2g$ 。

坐标系设定如下：

X：船舶纵向，向船首方向为+X

作者简介：吴巍（1988.7-），男，汉族，江苏，本科学历，船舶工程师。

Y: 船舶横向, 向左舷为+Y
Z: 船舶垂向, 向下为-Z

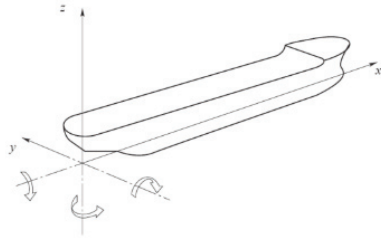


图1 坐标系示意图

在设计载荷工况下, 为保证整体或者任何零件没有永久变形和破坏, 材料的许用应力与计算得到的等效应力比值不应小于 S_1 ($=1.15$)、 S_2 ($=1.5$)

$$\frac{R}{\sigma_c} \geq S_1 \text{ 和 } \frac{R_m}{\sigma_c} \geq S_2$$

式中

S_1 屈服强度的安全系数;

S_2 强度极限的安全系数;

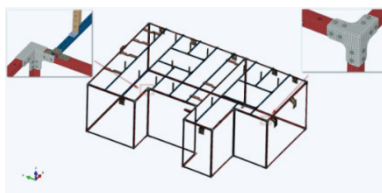
σ_c 计算得到的等效应力 (Von-Mises 应力);

R 材料的屈服强度 (R_{eH}) 或0.2%变形的应力 ($R_{p0.2}$);

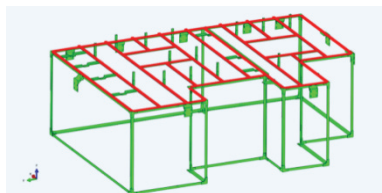
R_m 强度极限 (抗拉强度)。

2.有限元计算模型

为便于分析, 去掉结构中的小圆角和倒角。有限元模型共有316799个节点、291124个单元 (1008个Beam单元、其余为S4R和S3单元)。单元尺寸控制在5~10mm左右。



骨架局部网格示意图



等效加载区域示意图

图2

计算模型与周围船体的连接用三组固定支撑模拟: 骨架底部与地板之间、侧支撑与船体之间、顶部吊装结

构与船体之间。

顶板结构总质量=顶板 (103Kg)+天轨 (19Kg)+线槽 (33Kg)=155Kg对顶板结构进行简化处理, 改用等效质量来模拟, 均布于顶部横梁的上表面。根据实际结构的限制, 安装14组顶部吊装部件。

为了校核舱室骨架的强度, 共计算两组工况: 一是只考虑自身重力的作用, 二是在自重基础上叠加三个方向的惯性力载荷。载荷清单如下所示:

表1 工况列表

工况	载荷 [m/s^2]	方向	备注
自重	9.81	-Z	自重的影响
惯性	9.81	-Z	自重的影响
	4.91	+X	X向惯性力
	4.91	+Y	Y向惯性力
	9.81	-Z	Z向惯性力

各工况计算结果列表如下:

表2 计算结果

工况	部件	计算应力 [MPa]	屈服强度 [MPa]	安全系数 S	加载变形 [mm]
自重	整体	138.5	-	-	13.8
	铝型材	93.6	96	2.18	13.2
	不锈钢件	136.2	178	2.51	13.5
	Q235钢制部件	53.7	204	4.38	1.1
惯性	整体	305.3	-	-	27.3
	铝型材	186.3	96	1.59	26.6
	不锈钢件	281.8	178	1.73	27.3
	Q235钢制部件	108.2	204	2.17	2.1

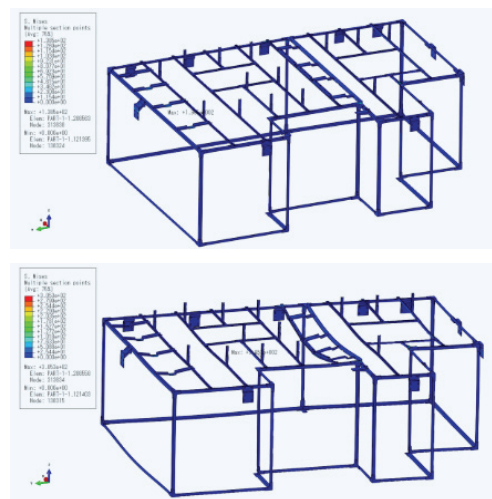


图3 自重 (上)、惯性 (下) 工况下应力图

注1: 计算应力是零部件在当前工况下的最大等效应力。

注2: 安全系数 S =屈服强度/计算应力。安全系

数 >1 ,表示零部件在当前工况下不会产生永久(塑性)变形。安全系数 >1.15 表示零部件强度满足EN 12663:2010静强度校核标准。

注3:加载变形是指当前工况下加载后最大变形(位移)。

自重工况下,各部件安全系数均 >1.15 ,说明整个结构的骨架满足EN 12663:2010静强度校核标准,不会产生永久变形。最大变形量为13.8mm。

惯性工况下,在很小的部位存在应力集中现象。各部件主体安全系数均 >1.15 ,说明整个结构的主体满足EN 12663:2010静强度校核标准。由于应力集中范围很小而且只限于少数螺栓孔附近,可忽略不计。最大变形量27.3mm。

三、传统舱室施工与模块化舱室建造

(一)传统舱室施工的现状

传统舱室施工模式通常由多工种交叉协作完成,需要生产管理部门统筹管理和协调各工种之间作业。船舶舱室内装施工一般在船舶下水后开始,施工周期较长。

就施工作业类型而言,舱室施工一般包括:甲板敷料敷设、绝缘敷设、围壁板安装、天花板安装、电缆和系统管路布置、风管和布风器布置安装、围壁板插座开关布置、天花板灯具及附件安装、地板敷设、踢脚线顶角线安装、家具等设备安装等。当前随着船东方交船周期,建造施工质量要求越来越高,传统施工模式存在诸多问题和不确定因素:

- a、施工周期长、项目多,管理混乱;
- b、作业交叉、施工冲突,影响工程质量,易造成返工;
- c、限于工程建造管理要求和施工人员熟练程度,施工过程浪费严重;
- d、材料现场切割产生粉尘和金属屑,施工环境恶劣;
- e、施工质量受施工管理、环境和施工人员熟练程度影响较大。

(二)模块化舱室建造方案

模块化舱室建造方案是以舱室实船快速安装技术为最终研究目标的一次探索性研究,主要是以简化舱室建造流程,缩短舱室施工周期并提高建造质量为目的。模

块化舱室建造方案的主要设计、施工内容有:舱室独立骨架设计,舱内电缆、通风管路布置和预留接口设计,舱室家具布置和设计选型,零部件和家具等的制造,工厂预组装,零部件、家具等的编号、拆解和打包,预埋件实船焊接,零部件、家具等的运输和吊装,实船安装。在实际施工过程中体现出明显的优势。

a、实船作业转化为内场施工,减少交叉作业的产生同时便于生产管理,减少实船施工周期;

b、实船作业工作简化,降低对施工人员的技能要求,提高了整体建造质量;

c、轻量化地板及围壁板的应用,有效减轻上层建筑重量,提高船舶稳性;

d、大量使用螺栓连接,减少实船切割、焊接和打磨等作业,减少粉尘和有毒有害气体的产生,施工环境友好。

结束语

本文介绍的模块化舱室建造方案是对传统舱室施工的一次革新,并成功地进行了实船应用。应用验证方案具有以下优点:a、减少实船施工周期;b、改善实船作业环境;c、大量采用内厂预制件,提升建造质量;d、采用轻量化设计,降低舱室重量,提高了船舶稳性;

模块化舱室建造方案舱室快速化建造方案的成功探索,但仍有诸多不足,如舱室独立骨架的设计,舱室和部分家具的标准化设计,内厂预组装、实船安装工艺的优化,建造管理和配套的提升等。随着在后续船型的进一步研究和探索,模块化舱室安装技术将得到进一步完善,从而实现船舶住人舱室快速安装的要求。

参考文献

- [1]杨素枚.浅谈船舶舾装创新设计思路[J].中国新技术新产品,2017,(16):48-49.
- [2]吴昱,余小成.基于现代造船模式的船舶舾装模块化设计应用研究[J].山东工业技术,2015,(22):41.
- [3]杨王峰,郑子龙,杨斌,王直欢,施柳玲.现代船舶舾装设计与制造效率提高方法研究[J].中国水运(下半月),2014,14(03):4-6.