

某 87m 石油沥青船液货舱温度应力分析

李 金¹, 镇婷婷²

(1. 南通航运职业技术学院 船舶与海洋工程系, 江苏 南通 226010; 2. 上海江南长兴造船有限公司, 上海 201913)

摘 要:以某 87 m 整体式沥青船液货舱为研究对象,采用有限元软件 MSC 创建货舱段的有限元模型,对模型定义属性并加载相应的约束条件,分别对满载、半载和压载三种状态进行船体结构传热分析计算,得到其相应的温度场。

关键词:石油沥青船;液货舱;温度应力;有限元分析

中图分类号:U674.13

文献标识码:A

文章编号:1671-9891(2017)04-0038-03

0 引言

石油沥青船是专门运输高温后熔化沥青的一种化学品船,属于高附加值船,其科技含量较高,制造难度也较大。由于沥青在液态下运输,沥青船液货舱温度常在 120℃~180℃之间。^[1]由于温度应力存在,高温液货对船体构件有较大影响。因此,沥青船的结构有别于其他化学品船,其液货舱分为独立式和整体式两种。整体式液货舱沥青船的优势是货舱舱容利用率高和便于清理。^[2]但整体式液货舱沥青船也有其劣势,即液态沥青的高温易波及船体结构,而且钢材在高温作用下屈服强度随温度升高而降低,所以高温沥青很可能危及到船体结构的安全,故而需要对沥青船进行热应力分析。^[3-4]本文以某 87 m 整体式沥青船为例进行研究,对其进行船体结构传热分析计算,为同类船舶的强度校核提供依据。

1 某 87 m 沥青船的结构概述

某 87 m 整体式液货舱沥青船由重庆市西海船舶技术咨询有限公司设计,其主尺度及主要参数为:总长为 87.00 m,设计水线长为 84.19 m,设计吃水为 4.10 m,型宽为 14.80 m,型深为 5.10 m,方形系数为 0.848,肋距为 0.50 m。该船设置 3 根双层底纵桁,3 根甲板纵桁,液货舱区域设一道总舱壁和两道横舱壁,船体为双壳结构。该船采用整体式液货舱形式,类似于油船结构,肋骨间距为 500 mm,纵骨间距为 450 mm,双层底高为 800 mm,强框架间距为 2000 mm,液货舱区域从 FR27-FR146(肋位号 27-肋位号 146),由槽型中纵舱壁、槽型横舱壁(分别在 FR46、FR66、FR86、FR106、FR126),FR27 为最后面平面横舱壁,FR146 为最前面平面横舱壁,全船总共有 12 个液货舱,在液货舱区域无顶凳和底凳的结构。

2 舱段有限元模型

据中国船级社《油船结构强度直接计算分析指南》(2003)规范第 5 章“结构模型”的规定,采用三维有限元模型进行沥青船主要构件的强度直接计算,模型范围为船中货舱区的 1/2 个货舱+1 个货舱+1/2 个货舱(“1/2+1+1/2”舱段模型)。舱段模型的纵向范围从肋位 FR56 到 FR96,建模符合模型长度要求;在 FR66、FR86 处设置横向槽形舱壁,船中纵剖面处设置纵向槽形舱壁,采用全宽模型,纵向范围为船体型深;货舱区内的岩棉材料采用三维体单元建模,其余各船体构件采用板、梁单元。温度场计算有限元模型如图 1 所示。

2.1 坐标系与边界条件

坐标系选取直角坐标系,坐标原点位于船体中心线 FR56 处,X 轴沿船长方向船首为正,Y 轴沿船宽方向且左舷为正,Z 轴沿型深方向向上为正。

收稿日期:2017-06-12

作者简介:李金(1983—),女,湖北孝感人,南通航运职业技术学院船舶与海洋工程系讲师,硕士。

边界条件: 第一, 对位于吃水线以下与水接触的外壳板的表面温度定义为拟航行中的最低水中温度, 取 0°C (可能结冰)。第二, 对位于吃水线以上与环境大气接触的各构件的表面温度定义为拟航行中的大气环境可能达到的最低温度, 本船取 -20°C 。第三, 液货舱隔热材料表面以及纵、横舱壁直接接触货油的部分温度定义为表面温度, 其是液货运输过程中温度达到稳定时的最高温度, 本船取 180°C 。

2.2 温度场分析

该船液货舱的隔热材料使用 KPB-3 型矿物棉, 其具有容量小、体轻、导热系数小、耐高温、不燃、低毒、吸音性能好、防震、材料无异味、保温性能长期不变、使用寿命长等特点。隔热材料的主要参数为: 含水率 $\leq 2\%$, 憎水率 $\geq 98\%$, 弹性恢复率 $\geq 98\%$ 。温度场计算局部有限元模型(内部隔热材料)如图 2 所示。

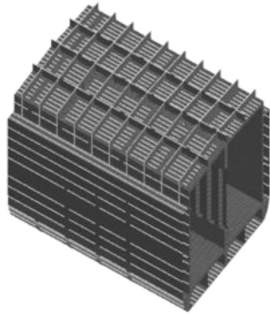


图1 温度场计算有限元模型

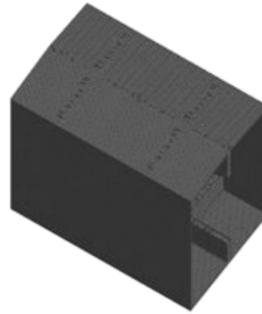


图2 温度场计算局部有限元模型(内部隔热材料)

2.3 计算工况

本船计算了 6 种工况: 满载出港、满载到港、半载出港、半载到港、压载出港和压载到港温度分布。本船计算中, 假定船体各构件之间的热传递的方式主要是热传导, 空气的自然对流方式仅仅考虑与所接触的船体构件进行对流热交换, 忽略空气的热传导, 忽略结构构件的热辐射。

2.4 温度场分析结果

满载出港和满载到港由于其沥青的装载量一样, 因而温度场是一样的。半载出港和半载到港的温度场一样, 压载出港和压载到港的温度场一样。由于满载、半载、压载三种装载情况下, 液舱内沥青的装载量各不相同, 因此需要对三种工况进行分析。本文采用 Nastran 对满载、半载和压载三种状态进行了传热计算, 得到了船体结构及保温隔热材料的各构件中温度分布, 如表 1 所示。

表1 船体各构件的温度分布表/ $^{\circ}\text{C}$

构件名称	满载出港 满载到港	半载出港 半载到港	压载出港 压载到港
船底板	0.327	0.321	-0.214
横舱壁	180.000	180.000	180.000
舷侧外板	-20.000	-20.000	-20.000
甲板板	-19.000	-19.000	-20.000
内底板	69.500	69.500	69.500
纵舱壁	180.000	180.000	180.000
船底纵桁	66.000	66.000	66.000

船体部分结构温度分布也可以通过 Nastran 分析得到, 其中, 舱段整体温度场云图(压载)如图 3 所示; 内部隔热材料温度场云图(半载)如图 4 所示; 船底板温度场云图(半载)如图 5 所示; 甲板温度场云图(满载)如图 6 所示。从温度场云图以及船体构件温度分布表可以得出: 第一, 热传导是热传递的主要方式, 但热传递对于船体结构的影响较小, 可以忽略不计。三种装载状态下的温度场无明显的区别。第二, 横舱壁、纵舱壁的温度应力较大, 其次是内底板与纵、横舱壁相交处的温度值高于其他处。横舱壁、纵舱壁与高温液货直接接触, 将大部分热传递给相接触的构件, 这是热传导的主要途径。第三, 在液舱内铺设矿物棉有效阻止了热传递, 大大减小热应力的产生, 这种温度属于正常温度范围, 表明本船中液货舱内的隔热材料起到了该有

的作用。第四,对于模型中各个构件,横舱壁和纵舱壁上的横向温度梯度变化较大,纵向上的温度变化梯度较小,不明显。第五,三种不同装载状态下的温度场,各个构件的温度梯度变化基本相同,最大温度也相同。

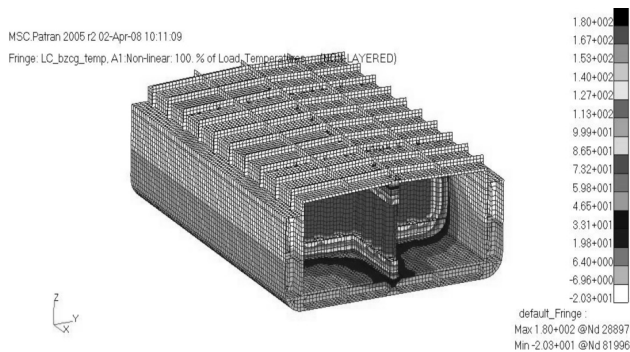


图3 舱段整体温度场云图(满载)

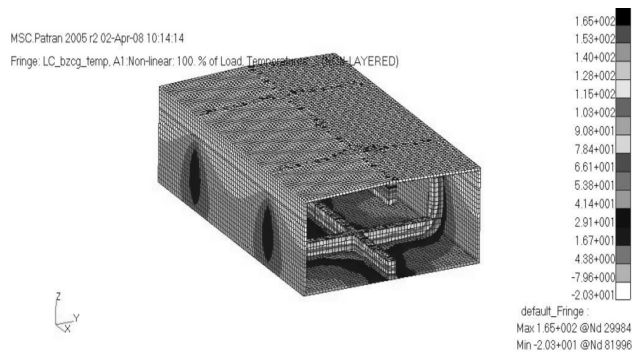


图4 内部隔热材料温度场云图(半载)

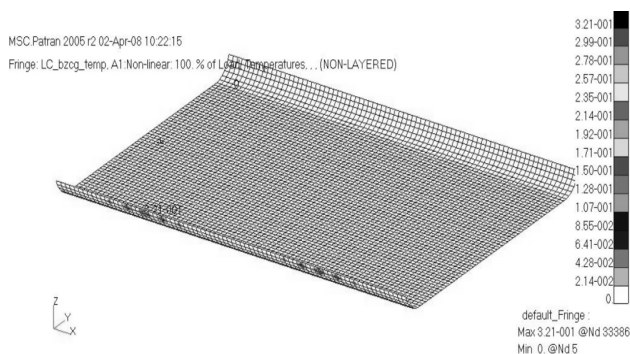


图5 船底板温度场云图(半载)

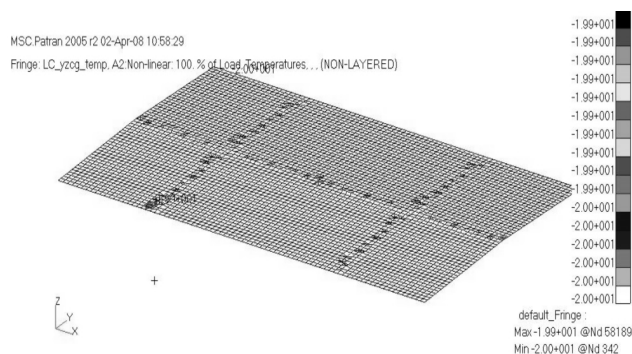


图6 甲板温度场云图(满载)

3 结束语

以某 87 m 整体式液舱沥青船为例,采用“1/2+1+1/2”舱段模型对该船结构进行了热应力分析。通过合理简化计算模型,正确定义材料参数和温度边界条件,利用 MSC 软件可以较准确地模拟 87 m 沥青船液货舱在高温液货作用下的温度场分布,进而计算出温度应力,计算结果可以作为同类船舶强度校核的依据。需要指出的是,在创建有限元模型时,船体构件的简化将降低计算结果的精度。因而,如何创建可行性高的简化模型并且保证计算结果的高精度尚有待进一步地研究。

参考文献:

- [1]李俊来,张吉萍.基于温度应力场下的沥青船货舱结构强度分析[J].浙江海洋学院学报:自然科学版,2008(1):5-8.
- [2]黄旋.计及温度应力的船体结构直接计算[D].武汉:武汉理工大学,2007.
- [3]李俊来,王伟.基于热变形下的沥青船货舱结构温度应力分析[J].浙江海洋学院学报(自然科学版),2014(3):180-184.
- [4]顾俊,王凡超.液化气运输船温度场分布研究及钢材匹配[J].船舶与海洋工程,2012(4):1-5.

Temperature Stress Analysis of Liquid Cargo Tank on an 87m Asphalt Carrier

LI Jin¹, ZHEN Ting-ting²

(1.Dept. of Ship and Ocean Engineering, Nantong Vocational & Technical Shipping College, Nantong 226010, China; 2. Shanghai Jiangnan Changxing Shipyard Co., Ltd., Shanghai 201913, China)

Abstract: Taking an 87m asphalt carrier with monolithic cargo tank as a research object, the finite element group software MSC is used to create the finite element model of the cargo hold section. Define the property of the model and apply on constraint conditions, based on which the hull structure heat transfer is analyzed and calculated on three states of full-load, half-load and ballast, and corresponding temperature field is drawn.

Key words: Asphalt carrier; Liquid cargo tank; Temperature stress; Finite element analysis