

液化气体船 C 型独立液货舱载荷分析

彭勇飞, 马网扣

(中国船舶及海洋工程设计研究院, 上海 200011)

摘要: 通过对 3 500 m³ 液化气 C (LPG) 运输船单圆筒形液罐的载荷分析, 介绍一种简便的利用 MSC Patran/Nastran 来确定液罐内部载荷以及载荷施加的方法, 同时提出两种计算三维状态下液罐内部载荷和施加载荷的方法。

关键词: 局部坐标系; 载荷施加; 液化气体船; MSC Patran; MSC Nastran

中图分类号: U674.133.3; U661.41 **文献标志码:** A

Loads Analysis on Independent Tanks Type C of LPG

PENG Yongfei, MA Wangkou

(Marine Design and Research Institute of China, Shanghai 200011, China)

Abstract: Through the loads analysis on the independent tank type C of the 3500 m³ 1iquidified petroleum gas(LPG) carrier, a more convenient method to calculate the loads and also to apply the loads calculated to the independent tanks type C is introduced when general finite element analysis program MSC Patran/Nastran are employed. Two different methods to calculate the loads and also to apply the loads to the independent tanks type C is presented in the case that the carrier is in the condition of roll, pitch and heave at the same time.

Keywords: reference coordinate; loads applying; liquefied petroleum gas carrier(LPG); MSC Patran; MSC Nastran

0 引言

液化气(Liquidified Petroleum Gas, LPG)船是一种新型高附加值船舶,具有广阔的市场发展前景。C 型独立液货舱 LPG 船在结构上具有与一般船舶不同的特点,其所载的液化气罐在船舱中占有很大空间,而且这类船舶的结构安全性能要求较高。为保证液舱和支承结构的强度,对其独立液货舱结构进行有限元分析很有必要,这就需要对独立液货舱内部压力分布进行讨论。

在以往的载荷处理方法中,通常先将 C 型独立液货舱的筒体及封头划分为若干个区域,然后分别计算这些区域在不同 b 时的最大压头,再将压头分别施加在对应区域上。这种处理方法是一种较

为近似的处理方法,往往需要进行大量的人工计算,在施加载荷的过程中也往往会因为有限元网格与所划分区域的不匹配而出现误差;而且该方法仅限于二维平面内的载荷处理,不能考虑液货舱的真实三维状况。鉴于常用方法的缺陷,本文提出一种新方法,既能省去繁杂的人工计算,又能真实反映 C 型独立液货舱的筒体和封头在某一特定 b 时的受压情况,同时也对三维状况下的载荷处理方法提出几种不同的处理方法。

计算 C 型独立液货舱的载荷分布需要考虑如下 3 种船体运动状态:(1) 横摇+垂荡;(2) 纵摇+垂荡;(3) 横摇+纵摇+垂荡。运动状态(1)(2)的加速度是二维的(横向平面或纵向平面),加载方式较为简单,而运动状态(3)的加速度则是三维的,与(1)(2)差别较大,将重点进行讨论。

1 载荷计算

单圆筒罐 C 型独立液货舱内部压头 h_{eq} 由蒸汽压力 P_0 和由重力与动加速度联合作用引起的内部压头 h_{gd} (忽略液体晃动的影响) 两部分组成, 即: $h_{eq} = P_0 + h_{gd}$

(1) P_0 的确定

对常温压力式 C 型独立液货舱, P_0 应为货品在 45℃ 时的蒸汽压力. 不同的货品在 45℃ 时的蒸汽压力是不同的.

(2) h_{gd} 的确定

h_{eq} 确定式中的 h_{gd} 计算公式:

$$h_{gd} = a_b Z_b r / 1.02 \times 10^5$$

式中 a_β 为由重力和动力载荷在任意方向 β 上引起的无因次加速度 (相对于重力加速度); Z_β 为按纵向平面 (XZ 平面) 和横向平面 (XY 平面) 分别决定的最大液柱高度 (m), 在 β 方向上量至液货舱壳体; ρ 为设计温度下货物最大密度 (kg/m^3).

加速度分量 a_x, a_y, a_z 可按下式决定, 此加速度相应于北大西洋海况概率水平为 10^{-8} 时的船舶运动, 适用于超过 50 m 长的船舶.

$$a_x = \pm a_0 \sqrt{0.06 + A^2 - 0.25A}$$

$$a_y = \pm a_0 \sqrt{0.6 + 2.5(X/L + 0.05)^2 + K(1 + 0.6KZ/B)^2}$$

$$a_z = \pm a_0 \sqrt{1 + (5.3 - 45/L)^2 (X/L + 0.05)^2 (0.6/C_B)^{1.5}}$$

a_x, a_y, a_z 分别为纵向加速度, 横向加速度和垂向加速度, 具体计算方法可参见《船舶设计实用手册 (结构分册)》.

2 载荷施加

三维状况 (即横摇+纵摇+垂荡工况) 下, 可以用以下两种方法来确定载荷:

其一, 对于横摇+纵摇+垂荡工况, 需先设定纵向平面内的 β 值以确定 a_z , 然后根据 a_z 确定横向平面内对应的 a_y , 同时也可以确定横向平面内的 β 值, 这样就可以确定横摇+纵摇+垂荡下 a_β 之值. 需要注意的是, 横摇+纵摇+垂荡下, a_x, a_y, a_z 都存在一定的修正系数. CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》中 a_x, a_y, a_z 的修正系数分别为 0.8, 0.8, 0.9. 然后, 建立横摇+纵摇+垂荡工况下的局部坐标系, 让有限元计算程序自动计算 β 时液货舱筒体及封头任意点处的 Z_β 之值.

当在纵向平面内确定某一 β_{pitch} 时, 即可以确定该 β_{pitch} 时的 a_z , 该 a_z 所对应的横向平面内的 a_y 及 β_{roll} 亦可以同时得出. 则液罐内部所受到的总的压头为: $a_\beta, pitch_{roll}, Z_\beta, pitch_{roll}$, 其中 $Z_\beta, pitch_{roll}$

相对于局部坐标系 3 (参见实例), 取所考查点沿 Z 坐标的绝对值.

其二: 在横摇+纵摇+垂荡时, 需先分别确定某一 a_z 时横向平面 (修正过后的) 和纵向平面 (修正过后的) 内的 $\beta_{roll}, \beta_{pitch}$ 分别在横向平面内和纵向平面内计算出 $\beta_{roll}, \beta_{pitch}$ 下的压头, 将两者之值进行线叠加, 然后减去由液货重力加速度和 a_z (修正过后的) 引起的压头即可.

对横摇+纵摇+垂荡而言, 则其所受到的总的压头为: $a_{b,pitch} Z_{b,pitch} + a_{b,roll} Z_{b,roll} - P_{g+a_z}$.

其中, P_{g+a_z} 为“横摇+纵摇+垂荡”工况下, 重力和 a_z 产生的压头.

$$P_{g+a_z} = r \times (g + a_z) \cos b_{pitch} \cos b_{roll} \times Z_b,$$

其中, $g + a_z$ 需要根据 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》进行修正, Z_β 相对于局部坐标系 3 (参见实例), 取所考查点沿 Z 坐标的绝对值.

3 实例分析

以 3 500 m^3 LPG 为例, 3 500 m^3 LPG 主要参数如下,

总长	99.00 m
垂线间长	92.00 m
型宽	16.40 m
型深	7.20 m
结构吃水	4.60 m

选择靠近艏部的液货舱进行计算, 该液货舱距离船舫较远, 其中: $a_x = 0.305$, $a_y = 0.806$, $a_z = 0.888$. 其纵向平面和横向平面加速度椭圆如图 1 所示:

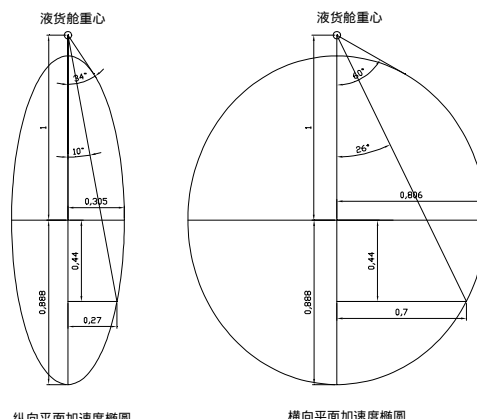


图 1 纵向平面和横向平面加速度椭圆

有限元分析所用到的软件为 MSC Patran/Nastran, 液罐有限元模型如图 2 所示:

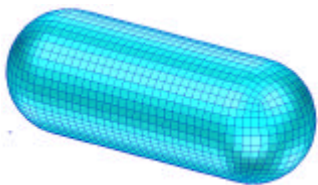


图 2 圆筒形液罐有限元模型

图 2 中, 先考虑二维平面椭圆内的液货运动所产生的加速度, 在纵向平面内和横向平面内分别取 $b_{pitch} = 10^\circ$, $b_{roll} = 26^\circ$. 纵向平面内 $\beta_{pitch}=10^\circ$ 时的 a_z 对应的横向平面内 $b_{roll} = 26^\circ$.

利用 AutoCAD 在图上即可以得到 $b_{pitch} = 10^\circ$, $b_{roll} = 26^\circ$ 时的 $a_{b,pitch}$, $a_{b,roll}$ 分别为:

$$a_{b,roll} = \sqrt{(1+a_z)^2 + a_y^2} g = 15.696 \text{ m/s}^2,$$

$$a_{b,pitch} = \sqrt{(1+a_z)^2 + a_x^2} g = 14.352 \text{ m/s}^2$$

所以根据 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》可以得出,

$$a_{b,pitch,roll} = \sqrt{(1+0.9a_z)^2 + (0.8a_x)^2 + (0.8a_y)^2} g = 14.911 \text{ m/s}^2$$

要确定液罐内任意一点的压力, 则只需要确定纵向平面和横向平面最大液柱高度. 纵向和横向最大液柱高度的确定可以通过建立局部坐标系由程序来自动完成.

在纵向平面椭圆内, 当 $b_{pitch} = 10^\circ$ 时, 对应横向平面椭圆内的 $b_{roll} = 26^\circ$, 分别建立如图 3、图 4、图 5 所示的局部坐标系,

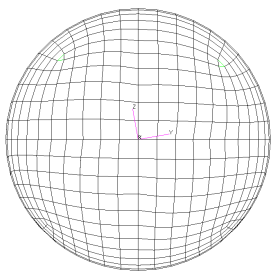


图 3 局部坐标系 1

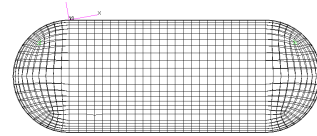


图 4 局部坐标系 2

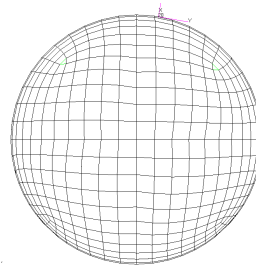


图 5 局部坐标系 3

利用有限元计算软件 MSC Patran/Nastran 中的 field 对液罐内部压力进行描述, 液罐内部压力计算公式在横摇+纵摇+垂荡工况下为 $557 \times 9.81 \times 1.520 \times \sqrt{Z^2 + 1} 715 000$

在计算横摇+纵摇+垂荡时液罐内部载荷时, 使用的是第一种方法. 也可以利用第二种方法进行叠加计算. 采用第二种方法进行计算时, 只需算出横摇+纵摇+垂荡下修正后的重力加速度和垂向动力加速度所确定的载荷, 在横摇+垂荡(修正后)纵摇+垂荡(修正后)载荷叠加基础上减去修正后的重力加速度和垂向动力加速度所确定的载荷即可.

4 小结分析

对于双圆筒形液罐, 同样也可用类似方法, 建立局部坐标系来让有限元程序自动计算最大液柱高度, 并计算其内部压头. 所不同的是对双圆筒形液罐, 需要将双圆筒沿液罐中纵平面分为两部分, 分别建立局部坐标系, 计算载荷并加载.

不过, 对液罐内部压力而言, 占主导地位的始终是液货蒸汽压力, 液罐强度校核主要考虑蒸汽压力的作用.

参考文献:

- [1] 陈庆强、朱胜昌、江南、等. 22 000 m³ 液化气体船整船和舱段三维有限元强度分析[J]. 船舶工程, 2000, (2).
- [2] 戴传斌, 严俊. 液化石油气船罐体内压力及板厚计算程序设计[J]. 管理与技术, 1997(1).
- [3] 中国船舶工业总公司. 船舶设计实用手册(结构分册)[K]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [4] 中国船级社. 散装运输液化气体船舶构造与设备规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2005.

(编辑 吴彦生)