

罐体外附件对防波板的影响分析

朱健

(靖江市亚泰物流装备有限公司, 江苏 靖江 214500)

摘要: 为保证罐箱运输安全, 通常在罐体内设置防波板。然而在设计防波板的时候通常只考虑罐体内货物对防波板的影响。对防波板采用静态和动态分析的方法, 分别评估罐体外附件对防波板的影响。在静态分析中设计 5 种方案, 比较不同附件对防波板的影响; 基于静态分析的结果, 采用流固耦合的方法对设计的 2 种方案进行分析比较。通过仿真分析得出: 罐体外附件可能对防波板局部造成影响, 设计时需要具体分析, 必要时需要对防波板进行局部加强。

关键词: 罐箱; 防波板; 流固耦合; 有限元分析

中图分类号: TH122 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2023)03-0156-03

Influence Analysis of External Accessories of Tank on Baffle

ZHU Jian

(Jingjiang Asian-Pacific Logistics Equipment Co., Ltd., Jingjiang 214500, China)

Abstract: Despite that a baffle is usually installed in tank to ensure the safety of container transportation, the consideration usually is merely given to the impact of cargo on the baffle in the design. Static and dynamic analysis methods are used to evaluate the influence of external accessories of tank on baffle respectively. Five schemes are designed in the static analysis, and the influences of different accessories on baffle are compared. Based on the static analysis results, the fluid-structure coupling method is applied to analyze and compare the two methods. Through the simulation analysis, it is concluded that the external accessories of the tank probably have a local impact on baffle, which needs specific analysis in the design and local strengthening of baffle when necessary.

Keywords: tank; baffle; fluid-structure coupling; FEA

0 引言

移动式压力容器通常用于运输液态货物, 而且运输的货物很大一部分是危化品。在运输过程中由于突发情况紧急刹车或者速度较快急转弯时, 质心发生变化。罐内货物的晃动, 容易导致发生事故。为了保护人民群众的生命财产安全, 各个国家都通过法规对移动式压力容器设置防波板提出了要求。防波板设置在罐体内部, 将罐体内的空间分割成若干个小隔舱。防波板主要用来阻隔、偏转或者调整液体货物的流向。设置防波板后, 在急刹车的时候罐体内部的液体压强分布更加均匀, 减少了事故的发生, 降低了罐体受到液体货物的冲击力^[1]。

标准中通常对防波板的防波面积、隔舱容积等做出了一般性的规定, 如《NB/T 47064 液体危险货物罐式集装箱》中规定, 相邻防波板所在罐体横截面之间的罐体几何容积不超过 7.5 m^3 等^[2]。国内外都对防波板进行了很多研究, 如 ROHINI D 等研究了在飞机油箱晃动的时候挡板对连接结构的影响^[3]。李凯峰等用数值模拟罐体内液体晃动, 得到罐车行驶方向的受力情况, 并比较了防波板面积、数量、安装位置对货物晃动的影响^[4]。王伟军等建立多相流模型, 其中考虑不同布置形式和数量的防波板, 并

建立三维随机路面模型, 分析防波板布置形式和数量以及三向加速度和充液比对液体动力学特性的影响^[5]。王国庆等对刹车工况下的罐内货物晃动进行流固耦合分析, 得到曲面和直面防波板在刹车过程中气液两相分布图等, 比较了不同形状防波板的防止液涌效果^[6]。张瀚月等利用欧拉模型建立罐内晃动的三维模型, 模拟了货物的晃动, 研究在晃动的过程中液体货物状态变化, 比较有、无防波板罐体受力随时间的变化规律^[7]。丁昌等分析了带有弓型和圆孔型防波板的罐箱在刹车时罐箱内货物的晃动特性, 通过对比压强的变化得出弓型防波板防波效果较好^[8]。罗永欣等建立有不同防波板的有限元模型, 分析在 50% 装载率、 $2g$ 加速度工况下的液体晃动, 得到不同时刻封头的压强, 选出较好的防波板方案^[9]。

可见针对防波板的分析, 常规都是考虑罐体内货物对防波板的冲击力。然而实际上移动式压力容器形式多样, 防波板设置的位置在罐体外部经常有其他附件, 如罐式集装箱常见的加热管、加强圈等。由于这些附件的存在, 在局部和防波板交界的地方, 很有可能对防波板产生不利的影 响。本文针对罐式集装箱中常见的 V 形焊接式防波板进行分析, 通过静态和动态模拟来分析罐体附件对防波板受力状态的影响, 并且给出防波板设计时的合理建议。

作者简介: 朱健(1987—), 男, 江苏扬州人, 工程师, 硕士, 研究方向为有限元仿真。

1 静态计算模型

考虑到流固耦合分析需要的时间较长,本文首先采用静态分析的方法。选取常见的 26 m³ 的罐式集装箱进行研究。

首先进行静态分析,为了便于比较,在罐体中间设置 1 道防波板,由于焊接式防波板可以代替 1 道加强圈,因此罐体中间不再设置加强圈。在罐体的两端各设置 1 道加强圈,罐体的下部设置加热管。为了分析比较加热管和加强圈对防波板的影响,建立 5 个模型,见图 1。

模型 A:只有 1 道防波板在筒体中间。

模型 B:1 道防波板在筒体中间,2 道加强圈,加热管。

模型 C:1 道防波板靠近加强圈,2 道加强圈,加热管。

模型 D:1 道防波板在筒体中间,加热管。

模型 E:1 道防波板在筒体中间,2 道加强圈。

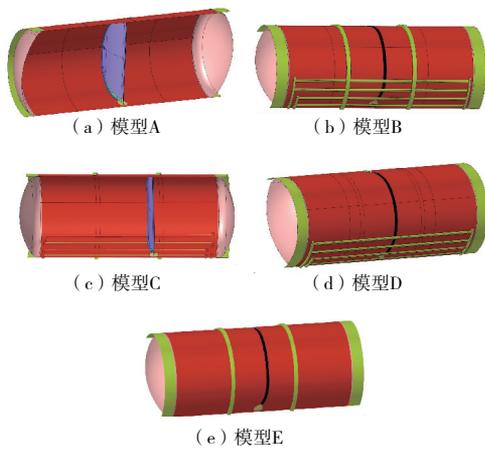


图 1 静态分析几何模型

2 静态计算结果

根据建立的几何模型创建有限元分析模型,罐箱有限元模型采用 Shell181 单元划分网格,根据《IMDG Code 国际海运危险货物规则》^[10] 货物对防波板的轴向冲击力为 2 倍的重力加速度,以等效力的形式施加在防波板上,等效货物的密度计算如下:

$$\rho = (R - T) / (V \cdot L_t) \quad (1)$$

式中:总质量 R 为 36 t;自身质量 T 为 4 t;根据《IMDG Code 国际海运危险货物规则》装载率为 95%^[10]。

罐体和防波板的材质都为 sans1.4402,弹性模量为 195 GPa,密度为 7.85 g/cm³,泊松比为 0.3。固定罐体两端的连接圈,施加惯性力,计算结果见图 2。

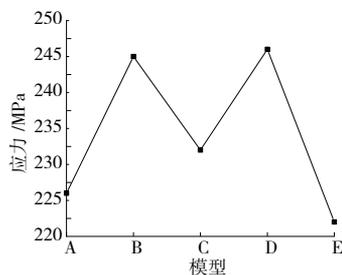


图 2 静态计算结果

分析图 2 中的结果可知:

1) 有没有加强圈对防波板上的应力影响不大,模型 E 和模型 A 相比,应力差不多,由于焊接式防波板可以代替加强圈,防波板起码离开加强圈有一段距离,模型 B 和模型 D 相比,应力差不多;

2) 有没有加热管对防波板局部应力影响较大,模型 D 和模型 A 相比,应力约增大 10%;

3) 防波板靠近加强圈后,加强圈对防波板有一定的加强作用,模型 C 和模型 B 相比,防波板上的应力约降低 5%。

3 动态计算模型

基于静态分析的结果,动态分析按照实际情况设置 2 个分析模型,见图 3。

模型 1:罐箱设置 3 道防波板。

模型 2:罐箱设置 3 道防波板以及加热管。

设置罐体轴线位于 y 轴并且车辆行驶的方向为 y 轴正方向,罐体的竖直方向位于 z 轴且向上方向为 z 轴正方向,平行于地面的方向为 x 方向并且向左为正方向。动态分析模型采用实体建立。

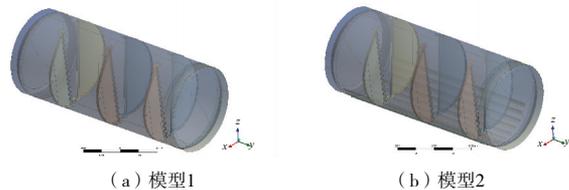


图 3 动态分析几何模型

4 动态计算结果

流固耦合分析需要将模型划分成流体域以及固体域网格。在流体域网格使用流体单元,在固体域网格使用结构单元。固体域包括前后封头、连接圈、防波板以及加热管。

因为罐内装载率为 95%,罐内是液态货物和空气共存,所以采用 VOF 多相流模型来模拟液态货物流动。VOF 多相流模型可以精确地模拟空气和液体货物的分界面变化以及液态货物晃动的过程。VOF 多相流模型包括动量守恒方程以及质量守恒方程。

动量守恒方程:

$$\frac{\partial(\rho \mathbf{u})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u} - \boldsymbol{\tau}^t) = \mathbf{f}_f \quad (2)$$

质量守恒方程:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (3)$$

式中: \mathbf{u} 为流体的矢量速度; t 为时间; \mathbf{f}_f 为矢量体积力; ρ 为流体密度; $\boldsymbol{\tau}^t$ 为剪切力张力。

设置主项为空气,第二项为等效液体货物。由于罐箱不指定货物,因此除货物密度采用等效密度外,液体货物的其他特性参考水来设置。流体的湍流模型选择标准

$k-\varepsilon$ 模型。根据《危险货物道路运输安全管理办法》中规定,运输危险货物的车辆在高速公路上的速度不高于80 km/h,因此考虑模型的初始速度为80 km/h。根据《IMDG Code 国际海运危险货物规则》,刹车时的加速度为2倍的重力加速度。

由于本文选用的罐体和防波板材料为不锈钢,罐体内装载的是等效货物,在模型进行模拟刹车时,筒体等受到货物冲击产生的变形很小。为了简化分析,在进行流固耦合分析时,不考虑筒体等的变形对等效货物流动的影响,只考虑将流体的计算结果经过耦合面传递给筒体和防波板等,从而得到防波板的受力情况。

模型1防波板上最大应力随时间变化曲线如图4所示。由图4可知,在0.2 s时防波板上应力达到最大值。图5给出了防波板0.2 s时的Mises应力云图,由图5可知,最大当量应力165.73 MPa。

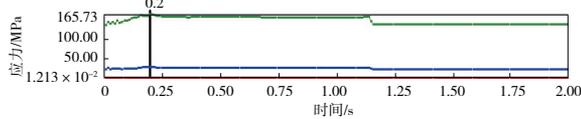


图4 模型1最大应力随时间变化历程

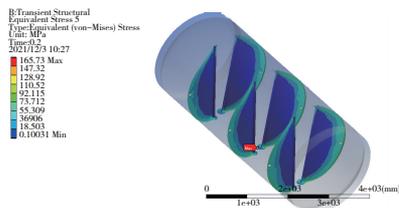


图5 模型1防波板应力云图

模型2防波板上最大应力随时间变化曲线如图6所示。由图6可知,在0.07 s时防波板上应力达到最大值。图7给出了防波板0.07 s时的Mises应力云图,最大当量应力383.63 MPa。

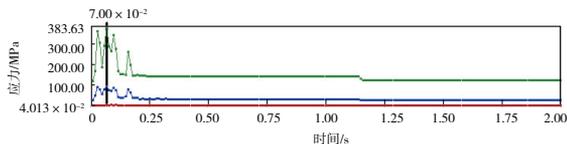


图6 模型2最大应力随时间变化历程

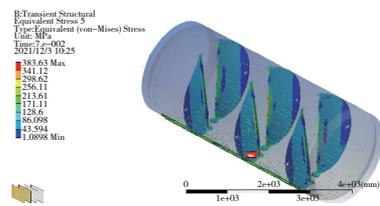


图7 模型2防波板应力云图

根据模型1和模型2的计算结果可知:防波板上的最大应力都发生在防波板的底部区域。

在动态分析中,有没有加热管对防波板上的局部最大应力影响非常大。相对于没有加热管,有加热管时防波板

上的最大局部应力已经翻倍,而且相对于没有加热管模型,有加热管的防波板上的最大应力出现的时间也会更早。

考虑到疲劳因素,在刹车过程中,没有加热管时,防波板上的最大应力几乎可以看成变大然后变小的一次循环。而有加热管时,防波板上最大应力变大然后变小,再变大到峰值应力再变小,经历了几个较明显的应力循环周期,而且在这几个应力循环周期中应力的变化范围都比没有加热管时应力变化范围大。

5 结语

在对防波板的设计中,设计人员通常只考虑罐内货物对防波板的影响,却忽略了罐体外附件可能对防波板局部产生明显的影响。为此本文首先设计了5种静态分析方案,基于静态分析的结果,设计了2个流固耦合分析模型,分别对比了罐体外附件对防波板的影响程度,得到以下结论和设计意见:

1) 根据圣维南原理,离防波板较远的附件对防波板的影响较小;

2) 由于防波板基本都是垂直于罐体轴线设置,因此沿罐体轴向设置的附件特别需要注意是否经过防波板,经过的可能对防波板局部影响较大;

3) 由于加热管的存在,防波板上最大局部应力出现的时间会更早,而且会经历几个应力变化范围较大的应力循环,可能对防波板的疲劳性能有一定影响;

4) 设置防波板时,要尽量避开罐体外各种开口或者附件,特别是沿轴线设置的附件需要特别考虑,对于不能避开的防波板和附件交叉的局部区域需要考虑进行局部补强。

参考文献:

- [1] 滕俊华,姬茹一. 国内外移动容器防波板设置要求对比分析[J]. 压力容器,2019,36(11):44-50,64.
- [2] NB/T 47064—2017 液体危险货物罐式集装箱[S].
- [3] ROHINI D, ABINAYA R, LOKESHARUN D, et al. Impact of baffle on liquid structure connection in fuel tank sloshing[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 995(1):012044.
- [4] 李凯峰,柯坚,邓斌,等. 基于CFD的防波板对移动罐体液体晃动的影响[J]. 现代机械,2016(1):27-31.
- [5] 王伟军,冯静安,宋宝,等. 随机激励下防波板数量及组合形式对药箱液体晃动的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2021,39(6):680-687.
- [6] 王国庆,戴汝泉,张竹林,等. 液体运输车罐内不同型式防波板防晃效果有限元分析[J]. 专用汽车,2018(5):84-87.
- [7] 张瀚月,陈建业,李军,等. 液氧罐晃动时防波板对罐体受力的影响[J]. 真空与低温,2022,28(2):147-156.
- [8] 丁昌,李占彬,付延唐,等. 移动式LNG罐箱内防波板性能研究[J]. 低温与超导,2017,45(11):17-21.
- [9] 罗永欣,施建荣,孟庆国,等. 基于液体晃动的罐式集装箱防波板仿真分析[J]. 机械制造与自动化,2015,44(6):119-121.
- [10] IMDG—2022 International maritime dangerous goods code[S].

收稿日期:2021-12-07