

# 基于路谱的油箱晃动仿真分析

王嘉程, 徐泽源, 赵可, 师占雨, 张晓晓  
东风商用车有限公司

**【摘要】**本文以实车道路测试得到的油箱加速度信号作为流体仿真输入边界, 分析了油箱油液晃动对隔板冲击的压力载荷, 并将得到的压力载荷投影到结构模型上进行强度和疲劳的验证。该方法具有一定的实用性, 对设计有一定的指导意义, 同时进行了一定的验证。

**【关键词】**计算流体力学, 体积分数法, 强度仿真, 疲劳仿真

## Simulation of Fuel Tank Oscillation Based on Road Spectrum

Wang Jiacheng, Xu Zeyuan, Zhao Ke, Shi Zhanyu, Zhang Xiaoxiao  
Dongfeng Commercial Vehicle Co., Ltd.

**Abstract:** In this paper, the acceleration signal of the fuel tank obtained from actual vehicle test is used as input boundary condition, to simulate pressure spectrum of bulkhead impact from shaking of fuel tank, which is projected onto the structural model to carry out strength and fatigue simulations. This method has practicality and guidance to design to some extent, while verifications are also carried out.

**Key words:** CFD, VOF, structural strength simulation, fatigue simulation

## 引言

随着社会的发展, 商用车行业的竞争越来越激烈, 续驶里程是客户重视的因素之一, 为了增加商用车竞争力, 各大商用车主机厂纷纷推出了配备大型油箱的车型, 随着油箱越来越大, 车辆在路况不良的道路上或进行变工况行驶时, 油箱内油液会发生剧烈晃动, 油液冲击油箱隔板导致油箱隔板开裂的问题越来越突出。针对以上问题, 如果简单地采用增加材料厚度的方式进行解决, 将造成整个箱体质量增加、成本增加, 也违背了现代汽车轻量化的设计理念; 如果采用新材料箱体或隔板, 其高昂的成本也很难被市场接受。

金属燃油箱相比于塑料油箱具有较高的强度, 耐高温、低温性好、工艺简单易于批量生产等有诸多优点, 广泛应用在中、重型货车上。燃油箱在承载燃油质量的同时还受到车架的振动以及由此而引起燃油晃动的冲击, 燃油的晃动又会引起结构的变形, 是典型复杂的流固耦合现象。为解决这一问题, 本文提出了一种基于路谱的油箱晃动流固耦合联合仿真方法, 来研究油箱晃动导致隔板断裂的原因, 并指导设计进行优化, 解决这一问题。

## 1 流体仿真计算

### 1.1 流体计算模型

本文研究的油箱主要由箱体、隔板、端盖、托架、箍带、橡胶垫等组成。箱体与隔板通过压筋结构连接, 端盖与箱体焊接在一起, 托架与箍带上端通过销轴连接, 下端通过螺栓连接; 托架与箱体之间、箍带与箱体之间有橡胶垫进行缓冲, 油箱整体结构见图 1。

流体计算时模型需要简化, 只保留可能会接触燃油的部

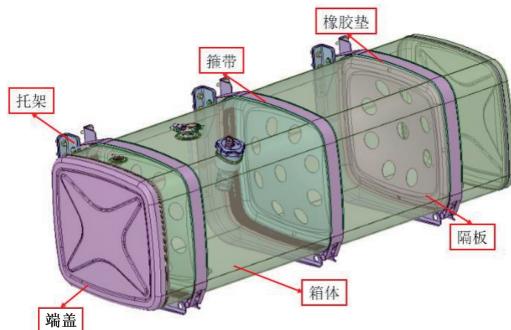


图 1 油箱整体结构

位, 对于细小结构进行了简化处理<sup>[1]</sup>。考虑到流体计算结果要映射到结构网格单元上, 在流体模型简化的同时将隔板、端盖单独划分组件, 便于后期的载荷提取。简化后的油箱整体结构见图 2。

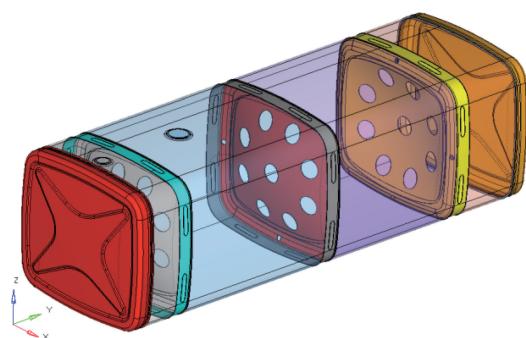


图 2 简化后油箱整体结构图

在简化结构的基础上, 为保证计算精度在流体敏感区域, 如隔板开孔及曲率较大处进行面网格细化, 共划分面网

格单元 83 万, 体网格单元 117 万, 具体见图 3、图 4。

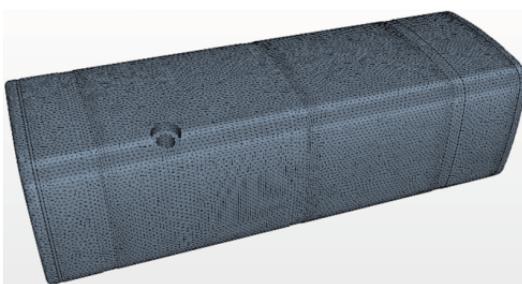


图 3 流体计算表面网格

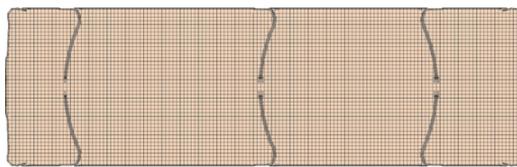


图 4 流体计算体网格截面

## 1.2 路谱载荷提取

油箱隔板开裂问题主要是油箱内油液晃动撞击隔板造成的。油箱与车架连接刚度较大, 可认为油箱与车架之间为刚性连接, 油箱随车架运动速度发生改变时, 油液由于惯性力的作用撞击隔板, 则由动量定理定性分析可知:

$$F_{\text{oil}} t = m v_1 - m v_0 \quad (1)$$

式中,  $F_{\text{oil}}$  为油液在撞击隔板瞬间受到的力;  $m$  为油液质量;  $v_1$  为发生撞击后油液相对油箱的速度;  $v_0$  为发生撞击前油

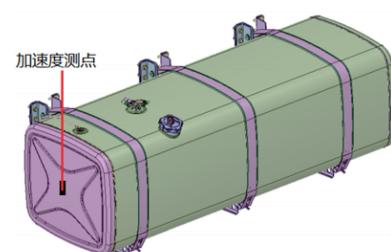


图 5 测点和纵向加速度曲线

液相对与油箱的速度。假设初始时刻油箱与油液速度相同, 则油箱速度变化越快, 油液撞击隔板的力越大, 即油箱的加速度越大, 油液晃动越剧烈。为了获得油液与油箱相对加速度, 本文通过电测获得实车油箱位置的加速度信号, 并以电测加速度最大段为流体计算边界输入。

测试路面为某试车场综合路面, 测点位置为油箱前端中部, 见图 5。

综合路加速度信号分为几段: 卵石路 (车速 25km/h)、丙扭路 (车速 55km/h)、正搓板路 (车速 55km/h), 较大的加速度值出现在正搓板路段。截取其中加速度最大的一段, 对加速度进行积分得到速度曲线, 作为流体计算的边界进行计算, 处理后的数据如图 6 所示。

## 1.3 流体计算边界条件

张恩惠等研究的影响油液晃动较大的因素为充液量、油箱形状、加速度持续时间和加速度<sup>[2-3]</sup>, 本文取危险工况油液高度为油箱高度的 3/4 时, 加速度最大段为分析工况。油箱内包含油液和空气两种流体, 采用流体体积 (VOF) 方法进行隐式非稳态仿真, 其中油液密度为  $0.85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , 动力黏度为  $0.42925 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ; 空气为不可压缩气体, 密度为  $1.18415 \text{ kg/m}^3$ , 动力黏度为  $1.85508 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。将油箱的移动速度设置为随时间变化的参数, 基本速度为 55km/h, 脉动速度为图 6 所示的脉冲速度曲线, 油箱移动速度为两者之和。

## 1.4 流体计算结果

油箱内部载荷最大点发生在压力绝对值最大点, 监测结果如图 7 所示。

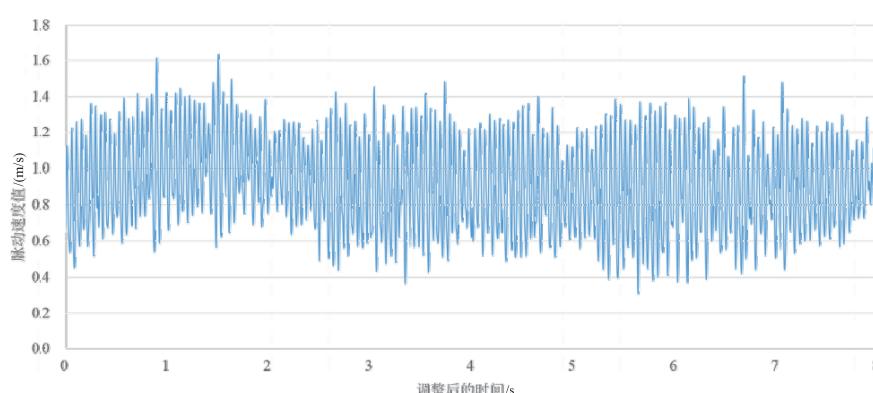
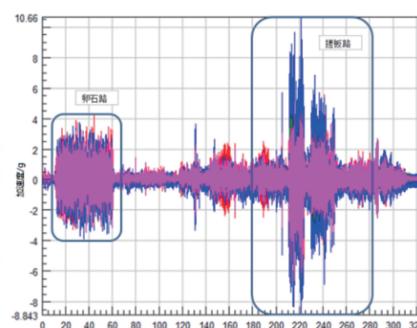


图 6 脉冲速度曲线

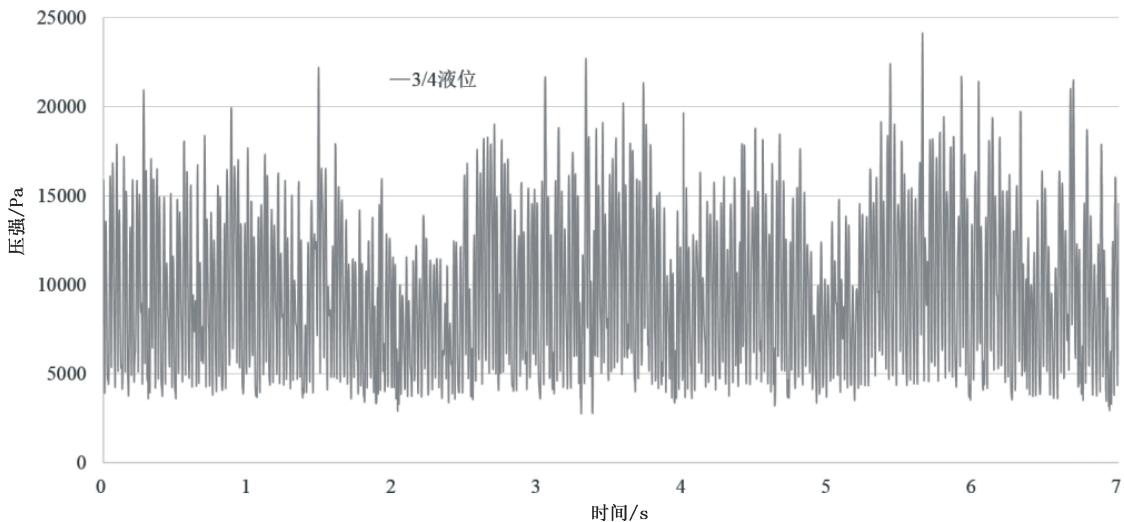
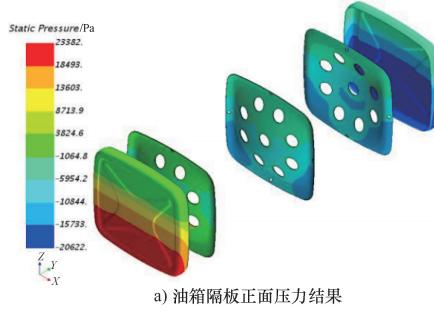
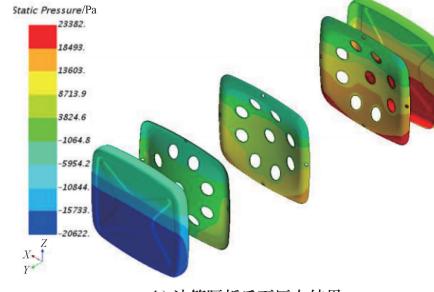


图 7 油箱内压力监测曲线

由以上结果可知，最大压力出现的时刻为 5.646s，油箱隔板压力结果如图 8 所示。



a) 油箱隔板正面压力结果



b) 油箱隔板反面压力结果

图 8 流体计算油箱隔板压力云图

流体计算最大压力时刻的结果投影到结构计算模型中，进行结构强度计算。

## 2 结构仿真计算

### 2.1 强度仿真计算

油箱箱体、隔板、端盖采用壳单元划分，厚度取设计值；橡胶垫采用实体单元进行划分；螺栓连接处采用梁单元进行简化。整个模型单元大小约为 5mm，结构单元数共约 64.9 万。将 CFD 计算得到的压力载荷映射到结构有限元模型中进行加载，油箱整体通过 3 个托架安装于车体上，托架与车体之间通过螺栓连接，对托架端面进行全约束，具体如

图 9 所示。

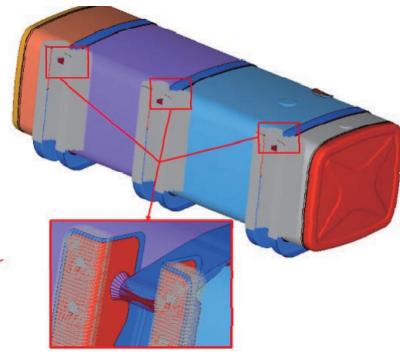


图 9 结构计算模型

结构计算结果如图 10 所示。

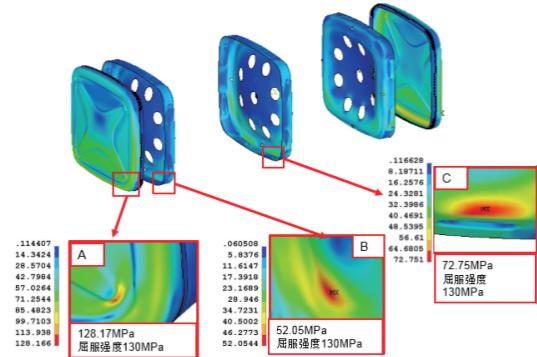


图 10 油箱隔板 Mises 应力云图

由以上结果可知，最大应力发生在油箱端盖下端压筋根部，最大应力为 128.17MPa，小于屈服强度 130MPa。

### 2.2 疲劳寿命仿真计算

本次疲劳计算，取结构计算应力结果作为载荷幅值，提取车辆运行方向的加速度相对垂向的加速度变化率作为载荷谱，因平均应力接近屈服强度，对油箱箱体、隔板及端盖使用 E-N 曲线进行疲劳寿命的计算，计算结果如图 11 所示。



图 11 疲劳计算结果

最恶劣的结果为 92100 次循环，出现在在端盖 2 的位置，约 9849km，超过试验测试里程数 7000km，满足设计要求。

### 3 结论

本文以实车道路测试得到的油箱加速度信号作为流体仿真输入边界，分析了油箱油液晃动对隔板冲击的压力载荷，并将得到的压力载荷投影到结构模型上进行强度和疲劳的验证。这种分析方法同时考虑了纵向加速度产生的油液晃动冲击载荷和重力加速度载荷，该方法可以预测隔板疲劳寿命，能够更精确地对油箱结构进行强度评价，为设计提供参考。

## 参 考 文 献

- [1] 张鹏飞. 某货车燃油箱的结构改进及有限元分析 [D]. 南昌: 华东交通大学, 2017.
- [2] 张恩慧, 何仁. 汽车油箱中油液晃动影响因素的数值分析 [J]. 江苏大学学报 (自然科学版), 2018, 39 (6): 628-633, 670.
- [3] 陈江弥. 多工况下汽车燃油箱内液体晃动特性研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2017.