

油箱注油仿真分析研究

Research of oiling simulation

昃强 刘鹏 刘二宝 周丹丹 朱志峰

(长城汽车股份有限公司技术研究院 CAE 部 071000)

摘要：应用 STAR-CD 软件对长城汽车某款轿车油箱注油困难现象进行了仿真分析，分析结果显示在注油口附近存在速度、压力较大区域，且有油液从回气管进入，影响正常回气，从而导致注油困难。通过改变注油管的内径和回气管口的位置，注油困难现象得以解决，并验证了该方案的有效性和可行性。

关键词：瞬态，自由表面，湍流，STAR-CD

Abstract： This paper presents the simulation of difficult oiling for a GreatWall's car by using STAR-CD. The analyzing result shows that there are some areas of large velocity and pressure near the grease gunpoint, also some oil come into from the return pipe, so these result in the difficulty of oiling. This problem can be solved by changing the radius of entering vitta and the position of return pipe, and this method is effective and feasible by test.

Key words： Transient, Free Surface, Turbulence, STAR-CD

1 引言

现阶段整车开发过程中，在设计前期关注油箱注油仿真分析的很少，在出现问题后再去解决问题，不仅会延长整车的开发周期，还会造成成本上的浪费。

长城某轿车在注油时出现注油困难现象，注油枪刚开启时就出现“跳枪”和喷油现象，强行加注的过程中，也多次出现跳枪现象。针对该问题，我们运用 STAR-CD 软件，通过瞬态自由表面模拟，分析在注油过程中，油枪注油口附近的压力和速度分布，以寻求解决问题的根源。

2 模型建立

本次分析建立的模型采用多面体网格的方式，因多面体网格的生成过程无需建立模版，故生成的网格质量和细画区域完全由面网格控制，因此需要控制好面网格的质量和细画区域。

2.1 理论基础

描述自由表面的关键是捕捉到不同流体间的交界面，是通过VOF传递方程和质量守恒方程共同求解来实现的。描述VOF的传递方程通过CSF（Continuum Surface Force）方法表示如下：

$$s_\sigma = -\sigma \nabla \cdot \left(\frac{\nabla \alpha_1}{|\nabla \alpha_1|} \right) \quad (1)$$

描述质量守恒方程表示如下：

$$\frac{\partial \alpha_i}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_i u) = s_{\alpha_i} \quad (2)$$

式中： $\alpha_i = \frac{V_i}{V}$ 表示第 i 种流体占总体积的体积分数； u 表示流速； σ 表示表面张力系数。

作为初始条件，我们还可以得到 $\rho = \sum_{i=1}^{N_c} \alpha_i \rho_i$ ， $\mu = \sum_{i=1}^{N_c} \alpha_i \mu_i$ ， $C_p = \sum_{i=1}^{N_c} \frac{\alpha_i \rho_i C_{p,i}}{\rho}$ ， $k = \sum_{i=1}^{N_c} \alpha_i k_i$ ，

$$\sum_{i=1}^{N_c} \alpha_i = 1。$$

式中： N_c 表示模型中存在 N_c 种流体； ρ 表示密度； μ 表示分子粘性； C_p 表示比热； k 表示热传导系数。

2.2 注油原理

我公司使用的注油机注油速度分为三个档位，本次模拟以最慢速度45L/min将油液从进油管注入油箱中，在注油枪前端的金属部分有一个感应器，包在前面橡皮套里面，在加油的同时，加油枪回收从油箱回吐的油气，当软管中集满了油气之后，扣环会跳起来停止供油，产生“跳枪”，这时候油箱已经加满到一个安全的程度了，大约为总体积的95%。

关于注油枪与加注机之间软管结构，切开软管，会发现它有两根管构成。一条是油管；另一条是导气管，加油时将赶出的空气导回油池。

2.3 计算模型及边界设定^[1]

由于油管内径尺寸相对较小，油枪进油口与进油管配合间隙也相对较小，故油管及油枪进油口附近网格较密。模型采用多面体网格（polyhedra）进行划分，油箱总成网格数目为 489,982 个，进油口附近体网格如图 1 所示。

模型边界主要由加油处的速度进口和压力出口组成。速度进口处，油液以 2.5m/s（约 45L/min）的速度加注到油管中，压力出口处恒定一个标准大气压，其他边界均为无滑移壁面。

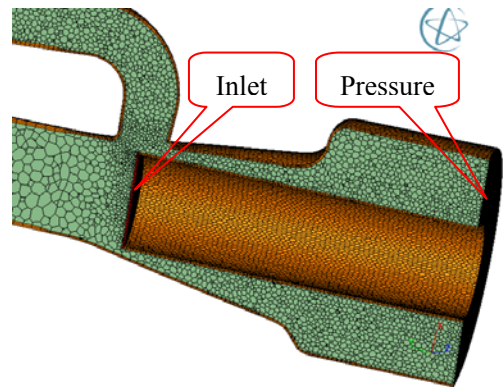


图 1 进油口附近体网格

由于要模拟油管中各时刻速度和压力的分布，故采用瞬态模拟；油箱注油是个特殊的算例，应采用 VOF 算法，模拟油箱中油液的自由表面流动和晃动；为了保证模型计算时良好的收敛性、准确性和适当的计算量，根据普朗特数 $Cou = \Delta T \cdot v / L$ (ΔT 为时间步长， v 为流速， L 为最小网格长度) 确定计算时间步长，保证普朗特数小于 1；为了保证合适的计算量和准确度，还需根据网格数量、时间步长确定子迭代数；差分格式选择要根据模型的网格尺寸和计算的精度要求来选择；湍流模型选择标准的 $k-\varepsilon$ 高雷诺数模型；共模拟注油时间 1s。

3 结果分析

模型迭代计算 4000 步后结束。

3.1 速度分析

观察油枪进油口附近速度分布，如图 2 所示，在压力出口处和注油枪进油口周围产生速度较大的区域（红圈标出），局部的速度超过 100m/s。

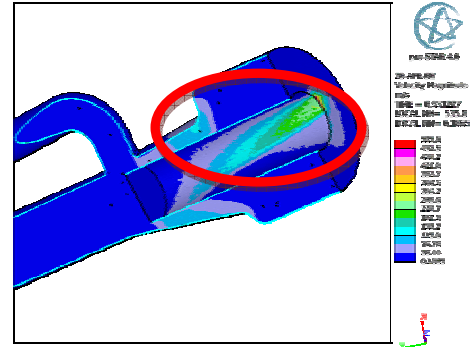


图 2 进油口附近速度分布

3.2 压力分析

观察油枪进油口附近压力分布，如图 3 所示，由于进油口附近存在较大的速度分布，故引起较大的压力分布（红圈标出），最大压力区域比大气压高出 $0.136 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

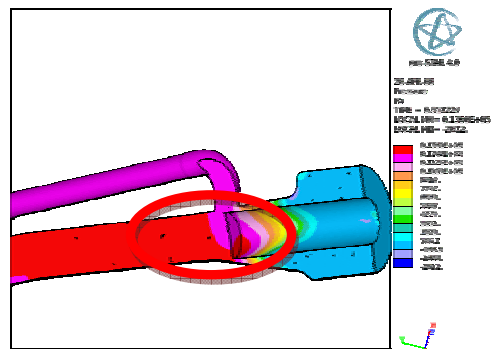


图 3 进油口附近压力分布

3.3 VOF 值分析

VOF (Volume Of Fluid) 值---本次分析是油液和空气的两相流动，定义油液为重流体，空气为轻流体，VOF 值就是单位体积内重流体的体积分数。VOF 值为 1，表示单位体积内全部为油液；VOF 值为 0，表示单位体积内全部为空气；VOF 值在 0~1 之间，表示油液空气混合状态。

如图 4 所示，油管进油口附近切面的 VOF 值分布，可以看出在回气管口有油液进入（红圈标出）。

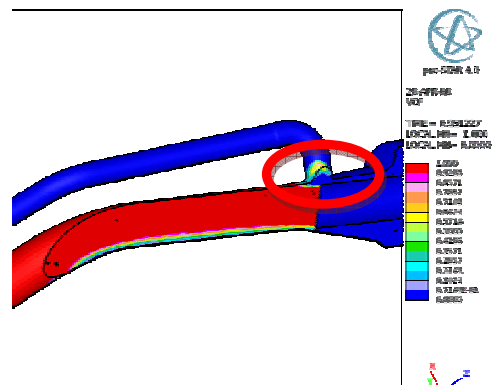


图 4 进油口附近 VOF 值分布

如图 5 所示，进油管整体 VOF 值分布，可以看到在进油管中存在大量的空气，油液的分布不均匀。

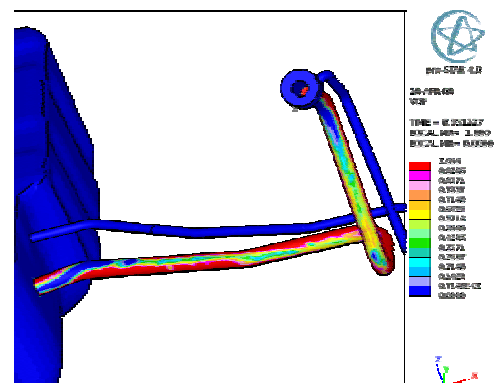


图 5 进油管整体 VOF 值分布

3.4 结果分析

由于回气管口的高度与油枪进油口高度相当,在注油的过程中有油液进入回气管,从而影响了正常的回气,使得部分空气从进油管中排出,但油枪进油口与进油管间隙很小,进油管回流的空气也不能正常排出,从而导致油管内部速度、压力剧增,在进油口附近形成了高速、高压区域,在实际的注油过程中就产生了“跳枪”。

4 结构优化

4.1 优化方案

从上述结果分析得出回气管口的位置和油枪进油口与进油管的间隙应该会是速度、压力过大,回气不畅的主要原因,故将回气管口的位置提高至油管进油口之上,并加大油枪进油口与进油管的间隙,进行计算验证。

4.2 结果分析

改进后油管进油口附近速度分布,如图 6 所示,最大速度 12.94 m/s ; 压力分布,如图 7 所示,最大压力比大气压高 92.77 pa ; 进油口和整体 VOF 值分布,如图 8、9 所示,油液进入油箱 VOF 值分布,如图 10 所示。

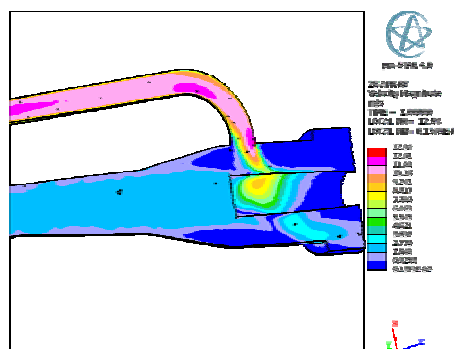


图 6 改进后油管进口速度分布

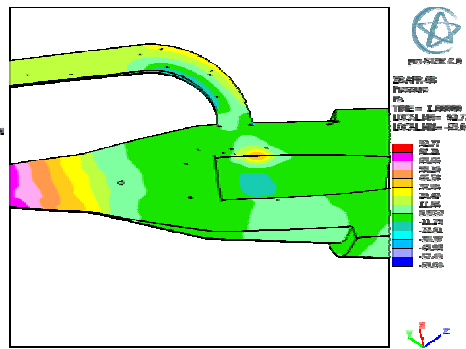


图 7 改进后油管进口压力分布

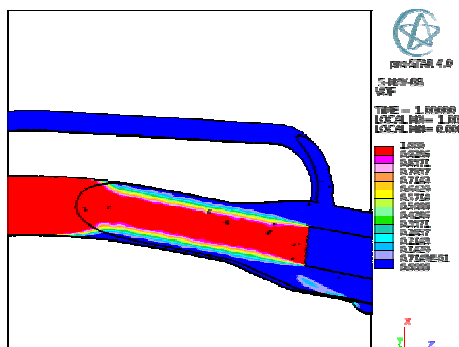


图 8 改进后油管进口 VOF 值分布

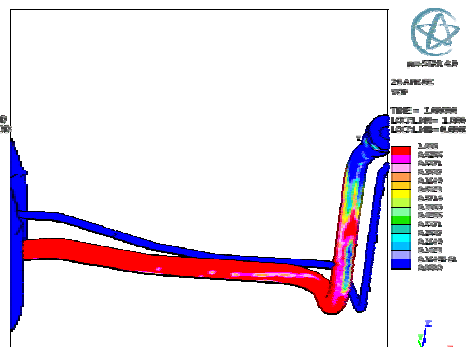


图 9 改进后油管整体 VOF 值分布

改进后的回气管高度高于油枪进油口,油液不会从回气管口进入,回流的空气由于油枪进油口与进油管间隙较大,故回气顺畅,压力维持在一个大气压左右,也没有出现速度过大的现象,油液进入油箱后流动顺畅。在对改进后的样件进行实验的过程中,注油困难的问题得以解决,验证了计算的有效性和可行性。

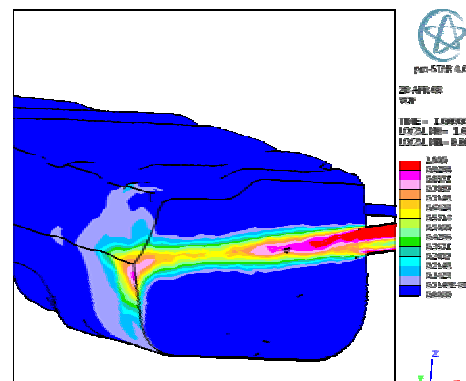


图 10 油箱内部 VOF 值分布

5 结论

从分析结果和改进后样件试用结果表明,运用流体分析软件 STAR-CD 的自由表面算法进行注油过程油管内部流场的模拟,模拟结果是准确的,同时可以运用模拟结果对油管进行优化,使其拥有最优的注油效果。

油枪进油口与进油管的配合间隙,回气管口位置对注油效果产生直接的主要影响,合理的配合间隙可以使油液注入时产生高压、高速区域;合适的回气管口高度避免了油液从回气管进入,从而堵塞回气。

6 参考文献

- [1] STAR-CD V4.02 help 文档.