

基于STAR-CCM+的油箱注油CFD分析

The Oiling CFD Simulation Based on STAR-CCM+

张建立

(华晨汽车工程研究院, 辽宁 沈阳 110141)

摘要: 现在在汽车油箱的设计开发中越来越多的应用 CFD 分析的方法, STAR-CCM+可以对油箱注油的过程进行很好的模拟, 油箱注油的 CFD 分析需要计算 VOF 模型的非定常问题。

关键词: 注油; STAR-CCM+; VOF; 多相流; 速度; 压力; CFD

Abstract: Now the CFD simulation is used in gasoline tank design more and more. STAR-CCM+ software can analyze the oiling process. Implicit unsteady of VOF model is needed in oiling simulation.

Keywords: Oiling; STAR-CCM+; Volume of Fluid; Multi-Phase; Velocity; Pressure; CFD

1 前言

在汽车开发中, 油箱也是一个重要部件, 由于受到位置和空间的限制, 汽车油箱和加油口距离比较远, 这就对油箱注油带来了困难。汽车加油过程中, 往往加油速度比较快, 如果油箱设计不合理的话, 油箱中的空气不能及时排出, 油箱内压力会快速增大, 就会出现所谓的“跳枪”现象^[2]。以往在油箱设计中我们常常使用试验方法, 这样不但费时费力, 而且开发周期长, 随着CFD理论和CFD软件的发展, 我们现在越来越多地使用CFD方法来辅助汽车油箱的设计。

本文主要介绍了我们使用著名 CFD 软件 STAR-CCM+模拟汽车油箱注油的过程, 事实证明了在汽车油箱开发中使用 CFD 方法, 对产品设计具有重要帮助。根据 CFD 分析结果, 辅助进行油箱的设计, 不但减少了试验次数, 节省了人力物力, 而且能够缩短开发周期, 设计结果完全可以满足要求。

2. 理论基础及数学模型

在油箱注油分析中, 油箱中存在两种流体, 一种是燃油, 一种是空气, 且两种流体均不可压缩, 液面随时间变化, 因此分析为两相流, 需要计算VOF模型的非定常问题。模型设置如图1所示:

VOF的主要问题就是运动界面的追踪, 对自由面的处理一直是两相、多相流中数值模拟的重点和难点。两相流、多相流流场中相和相之间交接边界上各种条件的设定对整个非定时流场的数值模拟结果有着直接的影响。VOF方法的基本原理是通过研究网格单元中流体和网格体积比函数F来确定自

由面，追踪流体的变化，VOF方法根据体积比函数F来构造和追踪自由面，针对两种和多种不相容流体的计算模型，假设各形态物质在容积内所占体积的比例为 α_q ，如果 $\alpha_q=0$ ，则表示该物质所占体积为零； $\alpha_q=1$ ，则表示该物质充满全部空间。不同物质间的界面变化是由连续量方程来计算完成^[4]：

$$\frac{\partial \alpha_q}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla \alpha_q = \frac{S_{\alpha_q}}{\rho_q}$$

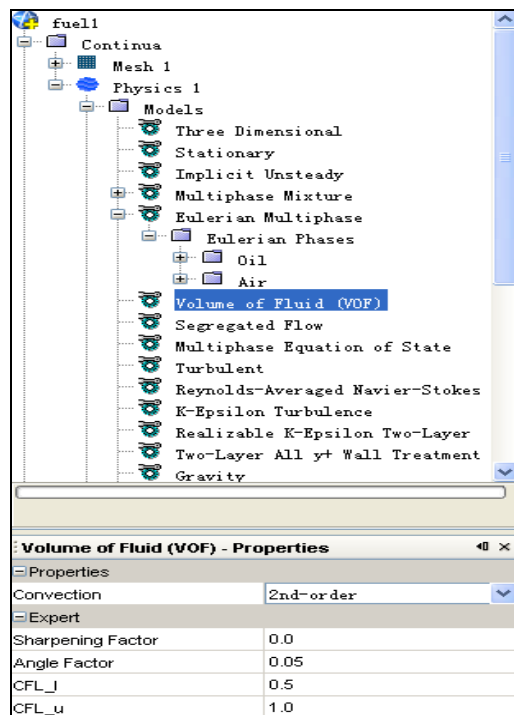


图 1：VOF 计算模型

3. 计算模型及方案确定

3.1 表面模型建立

根据油箱的三维 CAD 实体模型，包括油箱和油管，选择其内表面生成模拟空间。首先把表面数据导入到 Hypermesh 中划分表面网格，并生成一个封闭的空间，然后输出为 Nastran 格式，再导入到 STAR-CCM+软件里，细化后生成表面网格，如图 2 所示：

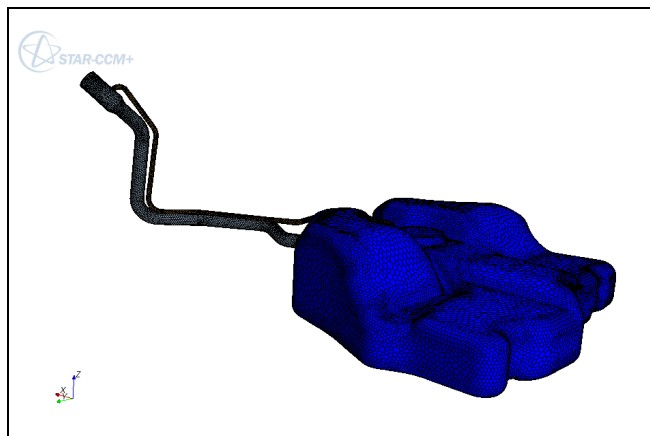


图 2 油箱表面模型

3.2 体网格生成

流体网格是数值模拟的基础，网格质量对计算的精度和收敛性都有着重要的影响。本次分析中体网格采用多面体（polyhedral）网格划分，多面体是 STAR-CCM+的一种特有网格，其对模型的适应性和计算精度都非常高。油箱模型中体网格总数为 205686，边界层为 3 层，在油管处适当细化。如图 3 所示：

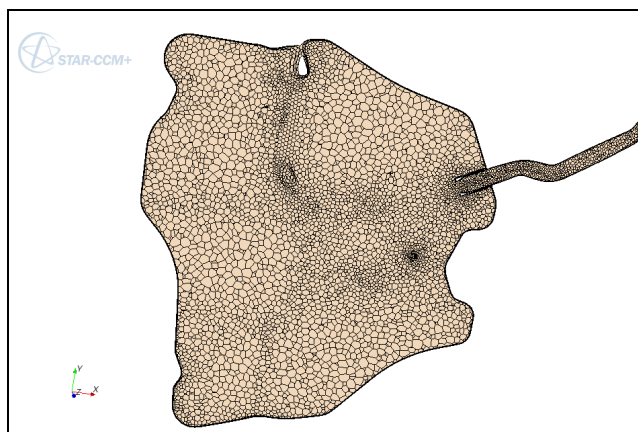


图 3：体网格剖面图

3.3 边界条件

本次算例在加油口的入口采用速度入口边界条件，速度为 3m/s，出口处采用压力边界条件，相对压力为零，如图 4 所示：

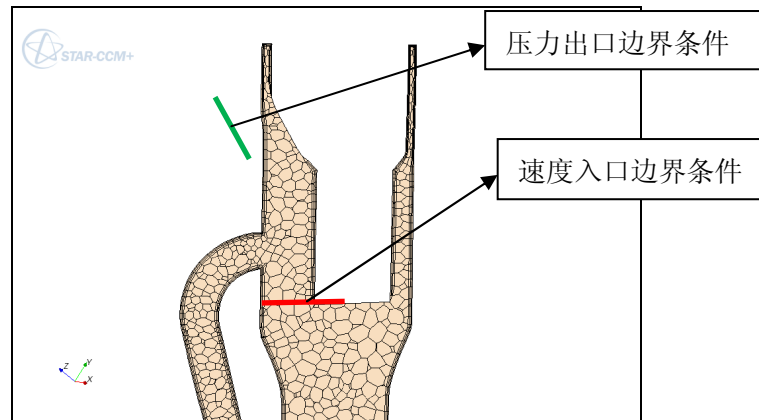


图 4：边界条件设置

3.4 计算过程

由于分析过程是随时间变化的，故采用 VOF 模型的瞬态模拟，VOF 方法可以模拟两项流的交界面的运动变化。本次模拟的物理时间为 5s，采用 2 阶差分格式。为了提高稳定性，VOF 模型的计算时间步长应设置的尽量小一些，这里的时间步长取为 0.005s。

4. 计算结果分析

经过分析，我们可以得到油箱内的 VOF 面分布及流体的速度和压力数值等。可以看到在注油过程中空气会从回油管排出，由于回油管口径较小，气体流速比较快，甚至可以达到 18m/s 以上，如果不能尽快地排出气体，或者有油液进入回油管，油箱内压力就会急剧升高，就会出现“跳枪”，这也是设计中需要特别注意的地方。

4.1 VOF 分布结果

如图 5 所示，为油箱内的 VOF 值分布图，从结果可以清楚的看到汽油在油箱底部四处扩散的过程。

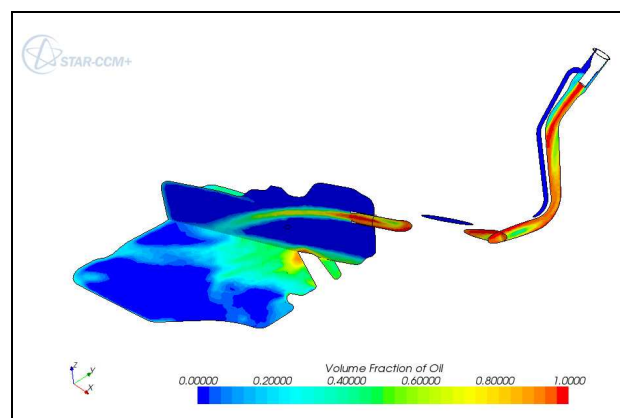


图 5：油箱内 VOF 值分布图

4.2 压力和速度结果

如图 6、图 7 所示，为加油口附近的压力和速度结果，加油管内的压力较大，而回油管内的流速比较高。

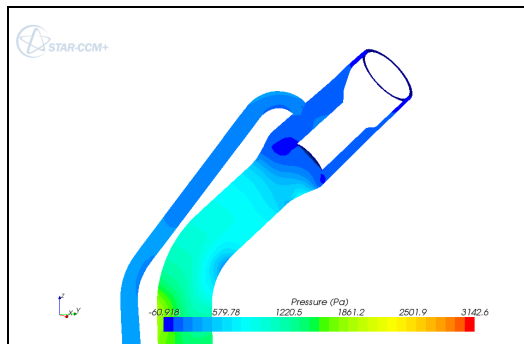


图 6：油管内压力示意图

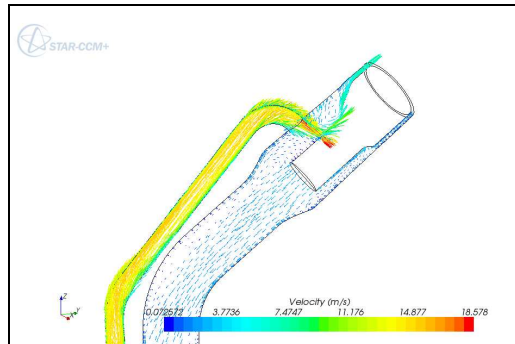


图 7：油管内速度示意图

5 结论

(1) 在油箱设计中应用 CFD 方法，可以大大缩短开发周期，节省开发费用，分析结果对于设计人员具有重要参考价值。

(2) 在分析两相流中采用 VOF 方法模拟交界面运动的变化是 CFD 分析得一个重要方法，VOF 方法在两相和多相流的数值模拟中将会有更加广泛的应用。

(3) 如果想要得到更加精确的结果，还需对网格进行细化。

参考文献：

- [1] STAR-CCM+帮助文档.
- [2] 晨强、刘鹏. 油箱注油仿真分析研究
- [3] 张健、方杰. VOF方法理论与应用综述
- [4] 安世亚太. 油箱晃动及传感器强度的分析研究
- [5] 陶文铨. 数值传热学. 西安: 西安交通大学出版社