

基于 STAR-CCM+的油箱注油 CFD 数值模拟

The Numerical Simulation of fuel tank filling by Software of STAR-CCM+

牟睿敏，梁长裘，朱贞英，门永新，陈勇，赵福全

吉利汽车研究院有限公司

摘要：本文利用 STAR-CCM+软件对油箱注油过程进行数值模拟，得到了不同时刻加油管、入口截面及排气管的油气分布状态。找到了引起提前跳枪或反喷现象发生的原因，为油箱系统优化设计提供依据。

关键词：注油过程、跳枪、气液两相流、数值模拟

Abstract: The numerical simulation is performed in terms of a fuel-tank filling process using STAR-CCM+ software in this paper. The fuel and gas distribution of filling pipe, entry section and exhaust pipe at different time is obtained accordingly. The reason which causes injector advance shut-off or backflow is identified, thus providing a basis for optimization design of a fuel-tank system.

Key words: filling process, injector shut-off, gas-liquid two-phase flow, numerical simulation

1 前言

汽车在加油过程中，由于油箱系统结构设计的不合理，导致油箱还未加满，燃油从加油管反喷回来，增加加油枪口的压力，从而导致提前跳枪，油箱未加满加油中途停止。

本文以某款注油系统为例，利用 STAR-CCM+软件对油箱加油过程进行数值模拟，并找出引起加油过程中产生提前跳枪的原因，为注油系统的设计提供参考。

2 理论模型

在油箱加油过程中，系统内存在两种介质：一种是燃油，一种是空气。因此，

通过两相流模拟油箱加油。

采用 VOF (Volume of Fluid, 气液两相流) 模型模拟两相流情况。其控制方程如下^[1]:

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

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。

初始条件设置相关理论公式如下: $\rho = \sum_{i=1}^{N_c} \alpha_i \rho_i$, $\mu = \sum_{i=1}^{N_c} \alpha_i \mu_i$,

$$C_p = \sum_{i=1}^{N_c} \frac{\alpha_i \rho_i C_{p,i}}{\rho}, \quad k = \sum_{i=1}^{N_c} \alpha_i k_i, \quad \sum_{i=1}^{N_c} \alpha_i = 1.$$

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。

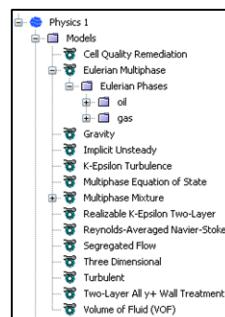


图 1 VOF 物理模型

3 模型假设^[2]

- (1) 燃油和空气为不可压缩介质。
- (2) 注油系统为等温, 液态汽油与油气之间不发生热传递;

- (3) 不考虑液态汽油与油气之间存在的传质问题，即不考虑燃油的蒸发；
- (4) 不考虑气相密度不同而带来的浮力影响；
- (5) 气相在系统内的扩散比较均匀，即气相的粘度和扩散性不因系统内气相体积分数的不同而变化。

4 注油过程三维数值模拟

4.1 模型描述

分析模型主要由油枪、加油管、油箱和排气管四部分组成，模型如图 2 所示。



图 2 注油分析几何模型图 3 网格模型

4.2 边界条件

模型以速度入口和压力出口为边界条件。速度入口处，燃油的体积分数为 1。燃油以 $45\text{L}/\text{min}$ 的流量加入到注油管内，压力出口为一个标准大气压。其他边界条件为无滑移壁面。

5 计算结果分析

5.1 不同时刻加油管油气状态



图 4 不同时刻加油管的油气状态

油管加油过程是燃油与空气相互作用的过程，空气逐步排出的过程，空气容易排出，则注油效率高。如图 4 所示，8.4s 左右油管完全注满燃油，时间较短，加油较顺畅。

5.2 入口处油气状态

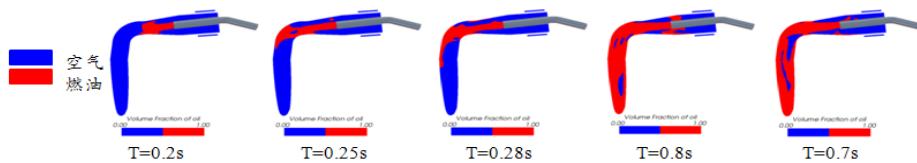


图 5 不同时刻入口处油气状态

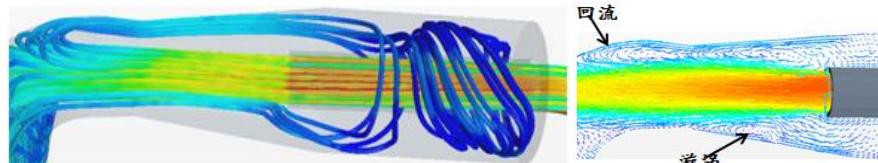


图 6 入口处速度分布图

如图 5 所示，由于注油管较弯曲，从油枪口喷出的燃油打在油管壁上后向油枪口回流（如图 6 速度图所示），这样增加了油枪口的压力，预计产生提前跳枪的可能性较大。由此加油管拐角的设计非常重要，它是引起提前跳枪的主要原因之一。

5.3 排气管油气状态

如图 7 所示，排气管较弯曲，使在加油过程中油箱内的气体无法顺利的排出，增大了油箱内的压力，降低了注油效率。另外，排气管向下弯曲（如图黄色线圈所示），加油结束后，进入到排气管内的燃油无法回流至油箱内，下次加油时，由于压力的作用，排气管内的燃油可能会顺着排气管向加油管流动，引起提前跳枪。因此在设计排气管时不但要减小排气管的弯曲度，还要避免排气管向下弯曲。

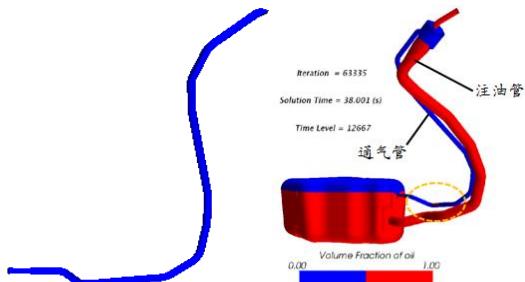


图 7 排气管模型及注油结束时排气管的油气状态

6 结论

- (1) 燃油在经过加油管拐角处发生回流，因此加油管拐角的设计显得非常重要，不合理的结构可能会引起提前跳枪或反喷现象的发生；
- (2) 排气管的弯曲度直接影响注油效率，不合理的结构会引起加油困难，严重的会导致提前跳枪，因此设计时应充分考虑排气管的影响。

参考文献

- [1] 张英朝. 汽车空气动力学数值模拟技术 [M]. 北京大学出版社, 2011
- [2] 张杰山, 蒋春龙. 加油过程的 CFD 分析在汽车油箱系统设计中的应用 [J]. APPLICATION 技术应用, 2010 (1): 51-54