

发动机油底壳机油瞬态晃动仿真研究

CFD Oil-Slosh Analysis for an Engine

王毓琨 裴梅香 陶鸿莹

(泛亚汽车技术中心有限公司)

摘要: 机油被誉为汽车的“血液”，如果发动机没有润滑液就会引发烧瓦拉缸等事故，本文利用 Star CCM+软件对汽车极限行驶条件下某发动机的油底壳系统进行机油晃动模拟，它的目的是正确的选择油底壳、吸油盘及挡油板等的结构和位置，以保证吸油口不会露出机油液面以外而吸入空气从而导致润滑系统失效。

关键词: 汽车、CFD、STAR-CCM+、油底壳、晃动

Abstract: A methodology has been set up to predict the dynamic behavior of the oil inside an engine oil pan (sloshing), in extreme transient driving conditions, using a Star CCM + software. It is aimed at choosing and verifying the right location and structure for the oil suction pipe, oil pan and oil pan baffle, before a prototype is available for testing. In order to ensure that the absorption port is not exposed outside the oil level and intake air resulting in the lubrication system failure.

Key words: Car、CFD、STAR-CCM+、Oil pan、Slosh

1 前言

机油，即发动机润滑油，被誉为汽车的“血液”，能对发动机起到润滑、清洁、冷却、密封、减磨等作用。汽车的行驶是瞬态的随机的，汽车剧烈的加速、减速、转弯、在陡坡上行驶或颠簸等都会引起的机油液面的震荡激溅，如果位于发动机下部油底壳内的吸油盘吸油口由于机油的剧烈晃动而露出机油液面以外而吸入空气，就有可能导致断油而引发烧瓦拉缸等重大事故。

对发动机油底壳机油瞬态晃动进行模拟仿真分析，目的是评判油底壳、吸油盘及挡油板等的结构和位置是否满足设计要求，如果不满足就需要更改设计，直到满足设计要求为止，以保证在汽车剧烈加速、减速、转弯的时候，吸油口不会露出机油液面以外而吸入空气从而导致润滑系统失效。

本文通过对油底壳系统机油瞬态晃动模拟仿真分析，在发动机制造出来之前就对其性能进行分析，提出改进意见，并对更改后的数模进行了新一轮的计算，有效的减少了后期的设计更改，节约制造和试验成本。

2 计算模型及边界条件

2.1 计算模型

发动机油底壳机油晃动瞬态模拟分析的计算模型是非常复杂的，它囊括了油底壳中的机油以及与机油相接触的空气所在的空间，它是由各个零部件装配所组成的空间，这些零部件包括了油底壳、

吸油盘、挡油板、曲轴、连杆、活塞、曲轴箱等等，他们的倒角、倒圆角以及装配间隙等都会导致流体空间的网格奇异，因此需要对一些细小结构进行处理，本文分别对油底壳系统优化前后的两个数模进行了计算分析，图 1 为优化前的数模表面网格，图 2 为为优化后的数模表面网格，图 3 为优化后数模的三维立体网格。

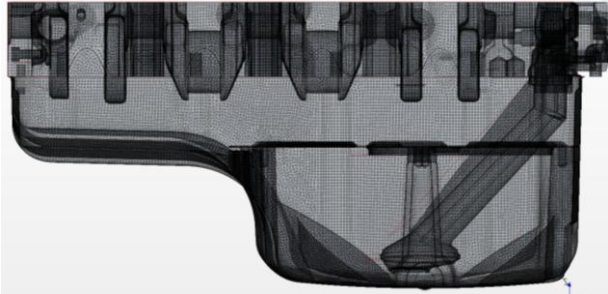


图 1 优化前油底壳系统表面网格透视图

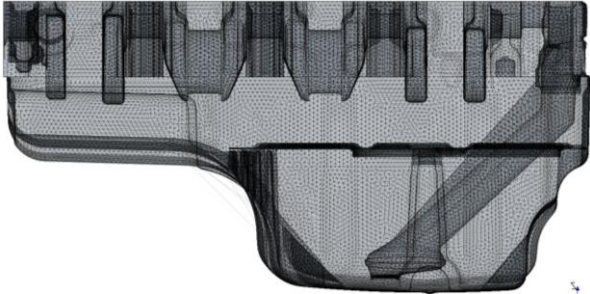


图 2 优化后油底壳系统表面网格透视图



图 3 优化后油底壳系统体网格

2.2 边界条件设定

本文在仿真过程中，进行了四个工况的不同方向瞬态晃动分析，即加速、减速、右转向、左转向，其加速度均为 1.0g，如下表 1 所示，在每个方向的瞬态晃动分析中，在 0s-2s 时间段内，时间步长设定为 0.005s。

表 1

Maneuvering Conditions	G-Loads
Acceleration	9.81m/s^2
Deceleration	9.81m/s^2
Right Turn	9.81m/s^2
Left Turn	9.81m/s^2

仿真分析中采用欧拉多流模型、VOF 模型、激活液体的表面张力影响等，仿真模型上部为空气，下部为机油，它们的物理属性如下表 2 所示，机油的初始化液面高度为发动机工作状态的水平液面高度，采用用户自定义函数对各组分的 Volume Fraction 进行初始化。

表 2

Material	Temperature	Density	Viscosity
5W20 Oil (Heavy Fluid)	100 °C	759.885kg/m ³	0.00589Pa-s
Air (Light Fluid)	Normal	1.225kg/m ³	1.789e-05Pa-s

3 仿真结果分析

3.1 优化前计算结果

在各个方向机油晃动的过程中，任何时刻机油吸油口均不能露出机油液面以上，否则认为设计失败，表 3 和图 4 中的 s 为计算终了时吸油口距机油液面的最小距离，如果 s 为负值，则说明已经有空气被吸入到润滑系统。图 4 中蓝色部分为空气，红色部分为机油，从图中可以看到在右转向（加速度为 1g），在第 2 秒的时刻，蓝色的空气已经充满了机油吸油口，空气被吸入到了润滑系统中，因此设计失败，必须进行进一步优化。

表 3

Maneuvering Conditions	Results - s
Acceleration(1.0g)	21.0 mm
Deceleration(1.0g)	44.0 mm
Right Turn(1.0g)	-13.0* mm
Left Turn(1.0g)	37.0 mm

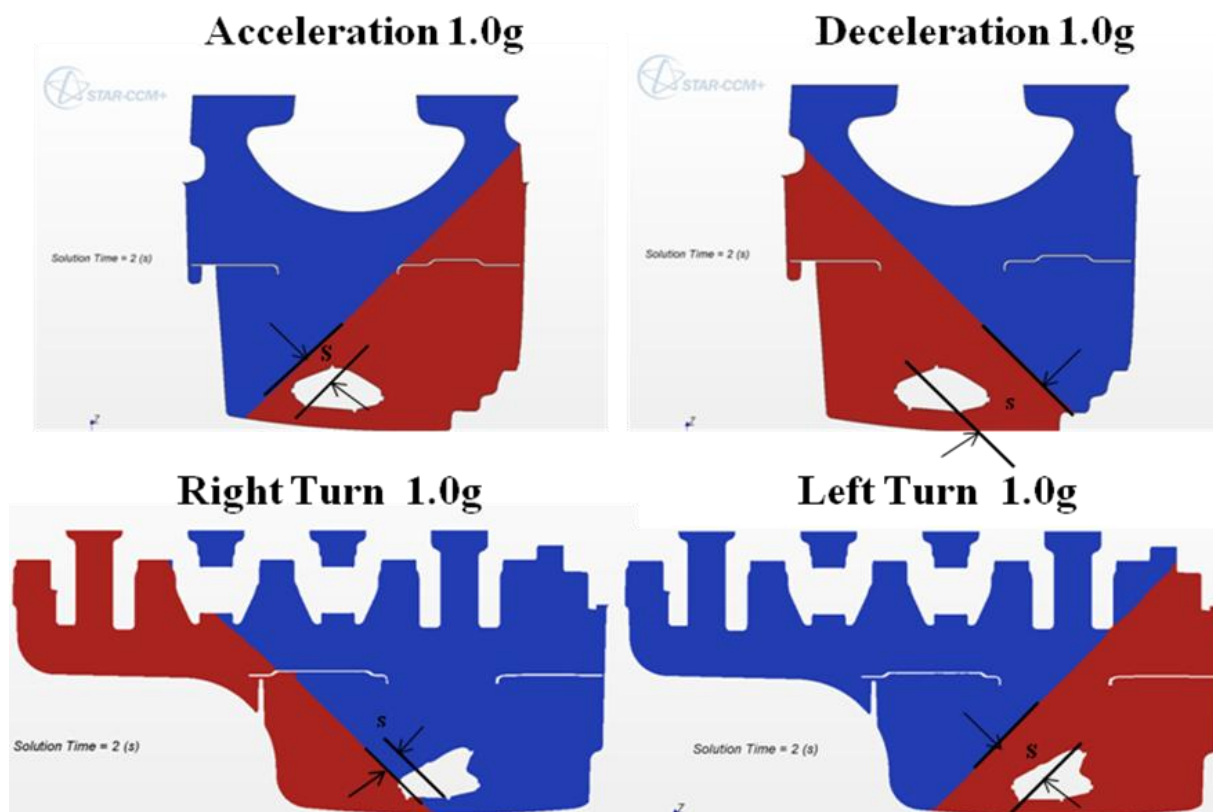


图 4 计算终了 (2s) 各个方向的机油液面位置

3.2 优化及结果分析

根据上面的计算结果对设计进行了优化, 图 5 为油底壳内部结构优化前后的结构对比, 灰色为优化前的油底壳内部结构, 蓝色为优化后的油底壳内部结构, 图 6 中黄色为优化前的吸油管、吸油盘, 粉红色为优化前的吸油管、吸油盘, 从图中可以看出吸油口的形状发生了变化, 在流通面积不变的条件下, 从圆形变成了近似方形, 并且位于吸油盘的左边, 其主要目的是提高右转向时机油液面与吸油口之间的距离。

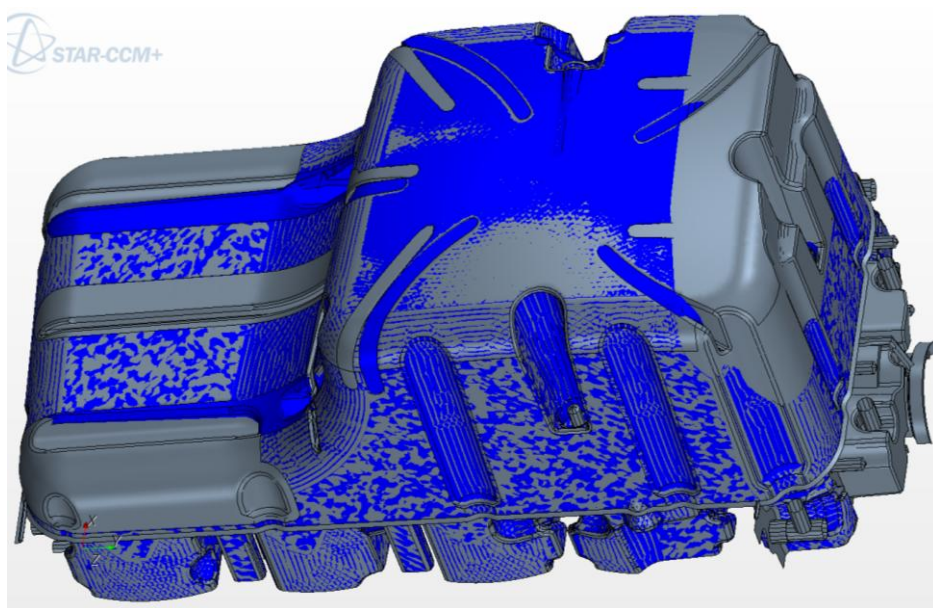


图 5 油底壳优化前后结构对比

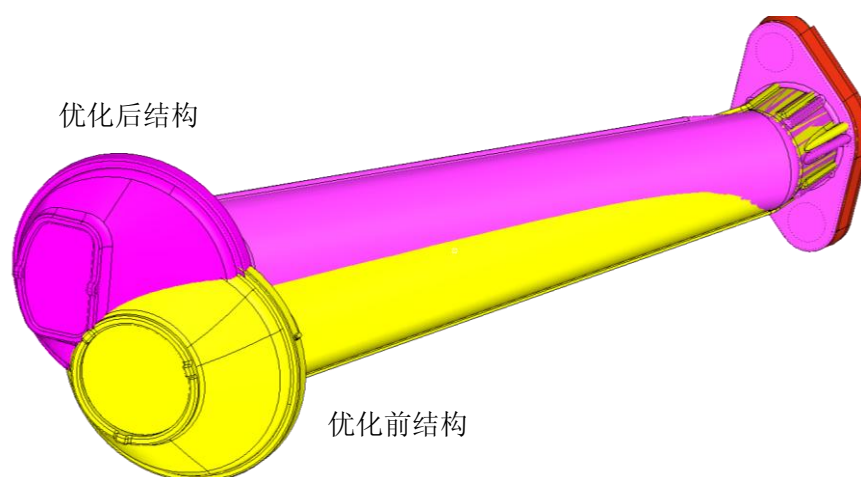


图 6 吸油管、吸油盘优化前后结构对比

结构优化后，重新进行计算，结果如图 7 所示。图中蓝色部分为空气，红色部分为机油，从图中可以看到，虽然右转向还是最弱的环节，但较优化前已经有了很大的改善，在瞬态模拟过程中吸油口始终在机油液面以下。（图 7 中 s 为计算终了时吸油口距机油液面的最小距离）

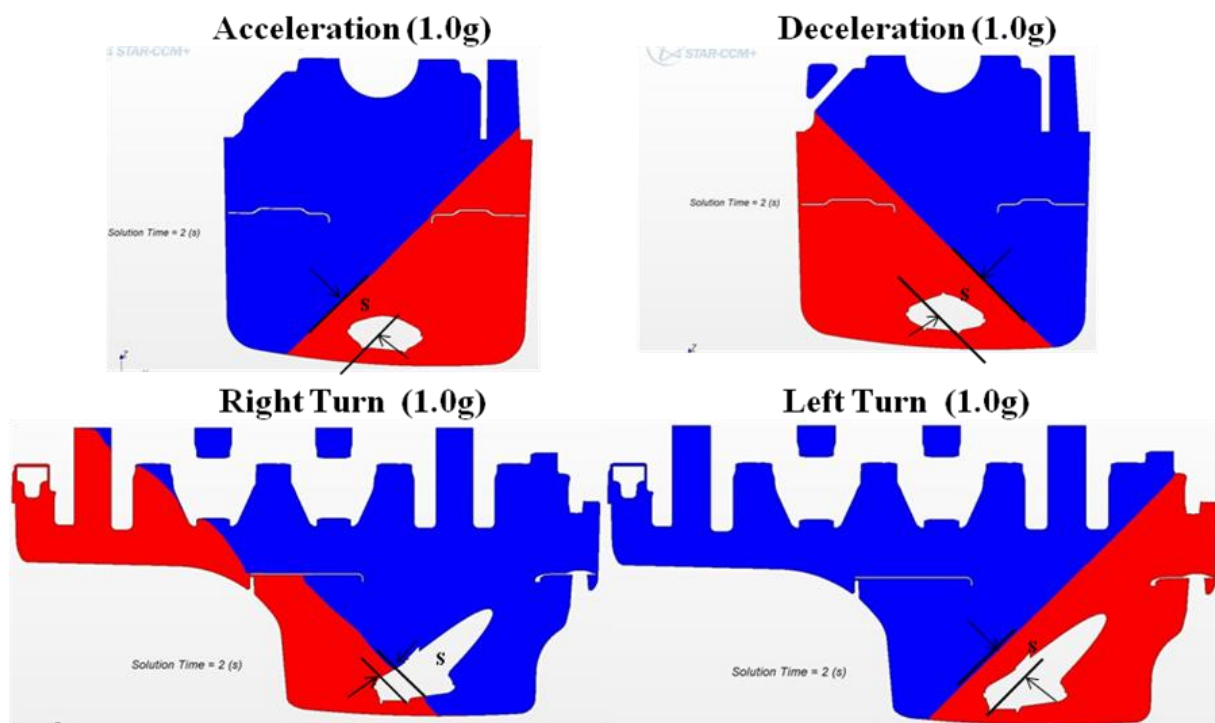


图 7 优化后计算终了（2s）各个方向的机油液面位置

表 4 为优化前后吸油口距机油液面的最小距离,从表 4 中可以看出,由于吸油管位置的变化,吸油口距机油液面的最小距离 s 在各个方向中的分布更加均匀,加速时的 s 值变大,减速时的 s 值变小,右转向时 s 值由原来的负值(不满足设计要求),变为正值,油底壳优化后,满足设计要求。

表 4

Maneuvering Conditions	优化前 s	优化后 s
Acceleration(1.0g)	21.0 mm	30.4mm
Deceleration(1.0g)	44.0 mm	26.3mm
Right Turn(1.0g)	-13.0* mm	10.9mm
Left Turn(1.0g)	37.0 mm	26.0mm

4 结论

在发动机制造出来之前就对其性能进行分析,对不能满足设计要求的方案提出改进意见,并对更改后的数模进行了新一轮的计算分析,确保最终设计方案满足设计要求,有效的减少发动机制造出来以后的设计更改,节约研发和试验成本。

本文对某发动机油底壳系统进行机油瞬态晃动进行了模拟仿真分析,结果表明,在汽车右转向时,润滑系统存在失效风险。通过对油底壳系统进行优化,改变了油底壳、吸油盘等的结构和位置。进一步的仿真分析结果表明,优化后底壳系统能较好的满足设计要求;

5 参考文献

- [1] Luigi Di Matteo, Francesco Fortunato and Paolo Oliva, 'Sloshing Analysis of an Automotive Fuel Tank,' SAE Paper 2006-01-1006, 2006
- [2] G. R. Yan, S. Rakheja and K. Siddiqui, 'Baffle Design Analysis for a Road Tanker: Transient Fluid Slosh Approach,' SAE Paper 2008-01-2670, 2008