

基于 STAR-CCM+的油底壳机油晃动 CFD 分析

CFD Simulation of the lubricating oil sloshing in Engine Oilpan based on STAR-CCM+

王莹臻 陈明 张小矛

上海汽车乘用车技术中心

摘要: 应用 STAR-CCM+软件, 采用 VOF 数值方法对油底壳机油晃动进行 CFD 非定常计算。分别计算加速、减速、左转和右转四个工况, 来模拟实际情况中使得油底壳中机油产生晃动的情况。以油面浸没吸油盘超过一定高度为评价标准, 通过改变吸油盘位置来满足设计要求。

关键词: 机油晃动、VOF、CFD、STAR-CCM+

Abstract: This paper describes a simulation of the lubricating oil sloshing in engine oil pan using an unsteady CFD technique, VOF, based on STAR-CCM+. In order to simulate the real situation which can make the oil in the oilpan slosh, four cases is modeled. That is acceleration, deceleration, left turn and right turn. The criterion of the design is the suction of the oil pump should be immersed by the oil and moving the position of the suction can satisfy it.

Key Words: Oil sloshing, VOF, CFD, STAR-CCM+

1. 前言

润滑系统的功用就是在发动机工作时连续不断地把数量足够的清洁机油输送到全部传动件的摩擦表面, 并在摩擦表面之间形成油膜, 实现液体摩擦, 从而减小摩擦阻力、减低功率消耗、减轻机件磨损, 以达到提高发动机工作可靠性和耐久性的目的^[1]。要达到这一功用, 机油泵需要连续不断地将油底壳中储存的机油以足够高的压力向润滑部位输送。而油底壳中的机油在车辆加速、减速以及转弯过程中会前后晃动。当加速度较大时, 油面晃动会非常激烈, 机油泵的吸油盘有可能露出油面之上, 这样机油泵将吸不到机油, 并有部分空气被吸入到润滑油路中。此时, 运动部件将得不到足够的机油。为了避免此种情况的发生, 应当对油底壳形状、挡油板形状以及吸油盘位置进行合理设计。

针对油底壳内机油晃动情况, 对油底壳形状、挡油板形状以及吸油盘位置进行设计, 需要了解油面运动的详细情况及特征。最有效的方法是将其可视化。而这一点在实际试验中是相当困难的, 只能通过不同设计方案的反复试验来判断是否能够满足机油输送要求。因此, 采用 CFD 数值模拟方法可以省去反复试验的时间和开模费用, 并且能够将油面运动可视化, 对设计方案的改进给出具有指导意义的方向。

在本文中由于所针对发动机的油底壳设计状态锁定，挡油板与机体群架集成在一起，不方便改动，故仅对吸油盘位置进行改变，最终满足在加速、减速、左转、右转四个工况下，机油油面浸没吸油盘超过一定高度。

2. 设计计算流程

本文的设计计算流程图如下所示：

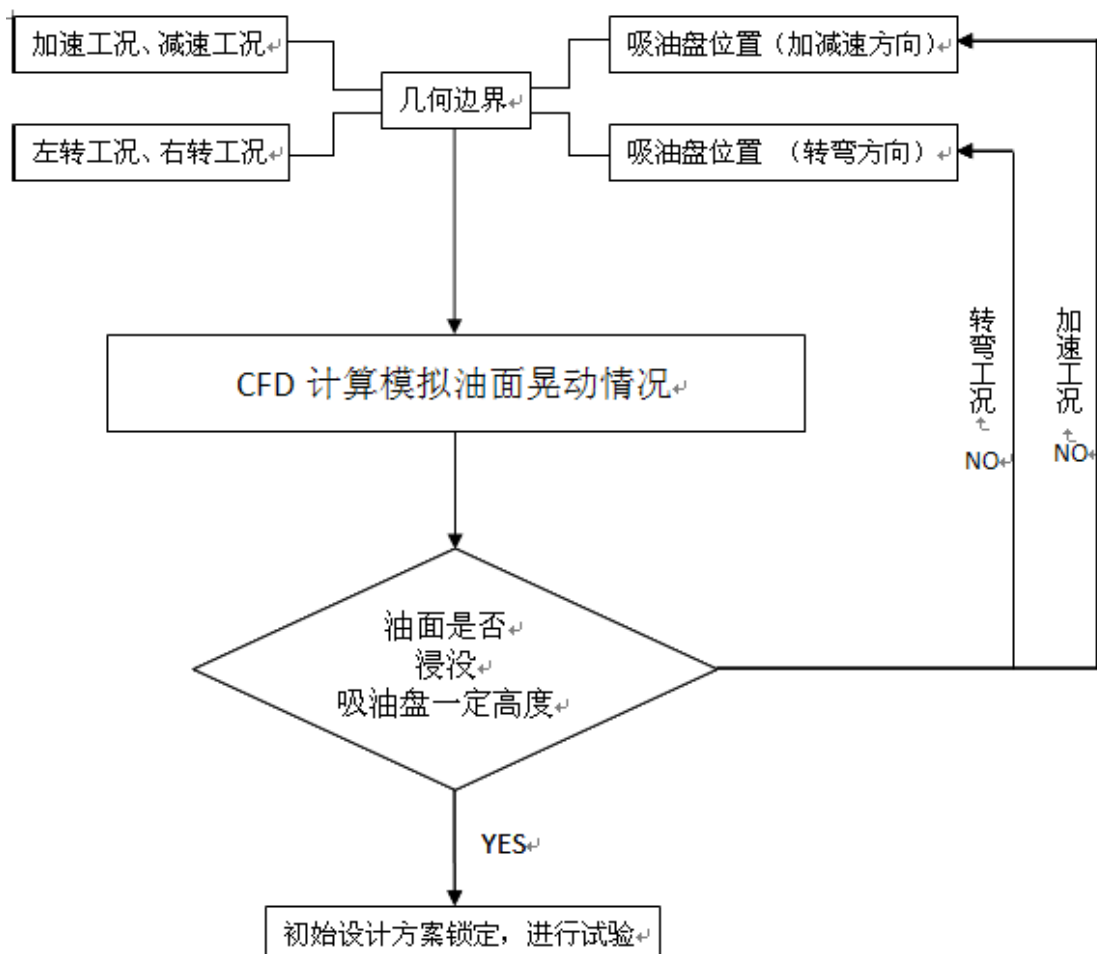


图 1 设计计算流程

3. 理论基础及数值模型

机油在油底壳中晃动会形成较为复杂的油面形状，产生流动分离现象。在 CFD 仿真计算中，对于这种复杂的油面运动，在每一个时间步长中的数值稳定性及精度都很重要。VOF (Volume of Fraction) 方法具有较好的数值稳定性及较小的数值误差，故选用该方法^[2]。

VOF 方法的这种数值稳定性主要是由它对自由液面，即两相流交界面的处理方法决定的。当自

由液面移动时，计算网格并未移动，而是通过 VOF 函数，即单元中指定相流体的体积分数 F 来确定自由液面，追踪流动变化的。若 $F=1$ ，则说明该单元全部为指定相流体所占据；若 $F=0$ ，则该单元无指定相流体；若 $0<F<1$ ，则该单元为交界面单元。这样，复杂的液面形状变化就简化为各个网格中的体积分数分布^[3]。因此，壁面动网格计算的不稳定性就可以避免了。

4. 计算模型建立及方案更改

4.1 几何模型建立及网格划分

该计算的几何模型应当包括油底壳中机油在晃动过程中可能到达的所有空间区域。因此该区域应该是油底壳、群架、机体及前端罩盖围成的空间，再除去吸油盘、机油泵、曲轴等占据的空间。

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。由于几何模型体积较大，且形状复杂，故本次计算采用 STAR-CCM+特有的多面体网格。该网格具有较高的精度，且与四面体网格相比，网格数目较少，网格生成简便。由于比较关注吸油盘附近的液面情况，故此处网格需进行适当细化。最终网格数目为 51 万左右，如图 2 所示。



图 2 网格

4.2 计算工况及初始化

针对以下四个工况进行计算。另外加速减速工况也可代表爬坡状态时油底壳内机油液面情况。

表 1 计算工况

工况	加速	减速	左转	右转
加速度	1g	1g	1g	1g

根据油底壳内初始油量及发动机运行过程中润滑系统内的存留油量对液面进行初始化。

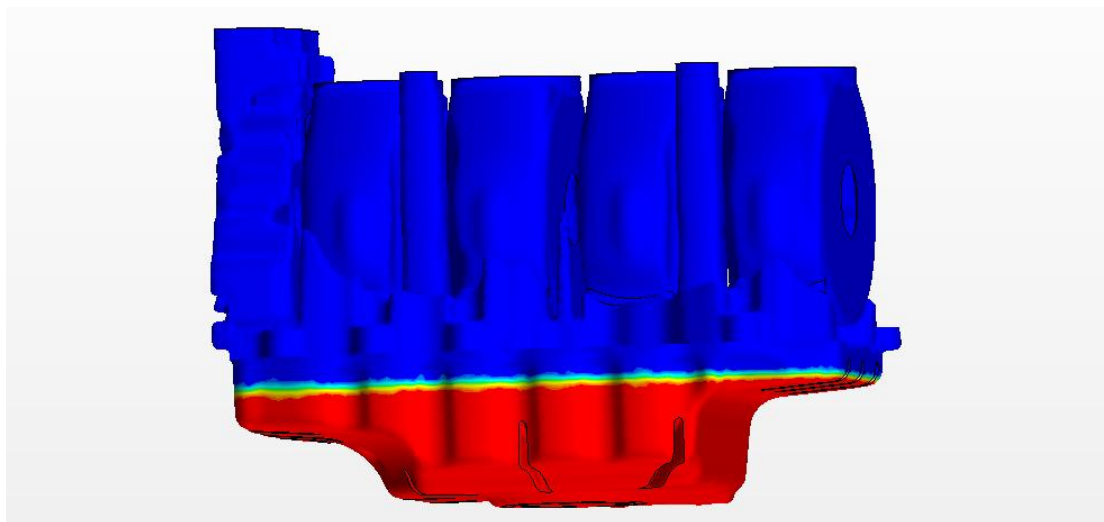


图 3 模型初始化

4.3 结果分析及设计方案更改

经过分析，可以得到在四个工况下达到稳态时，机油液面分布情况。分别沿加减速方向和转弯方向吸油盘最大直径处剖开得到截面。初始设计方案情况如下图所示。

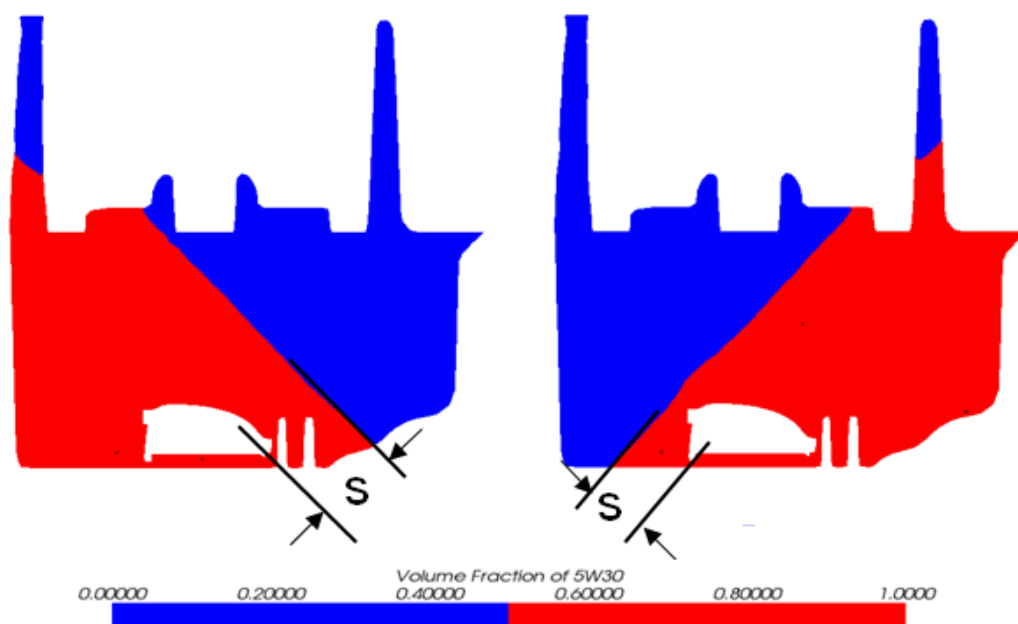


图 4 初始设计方案下加速、减速时液面分布

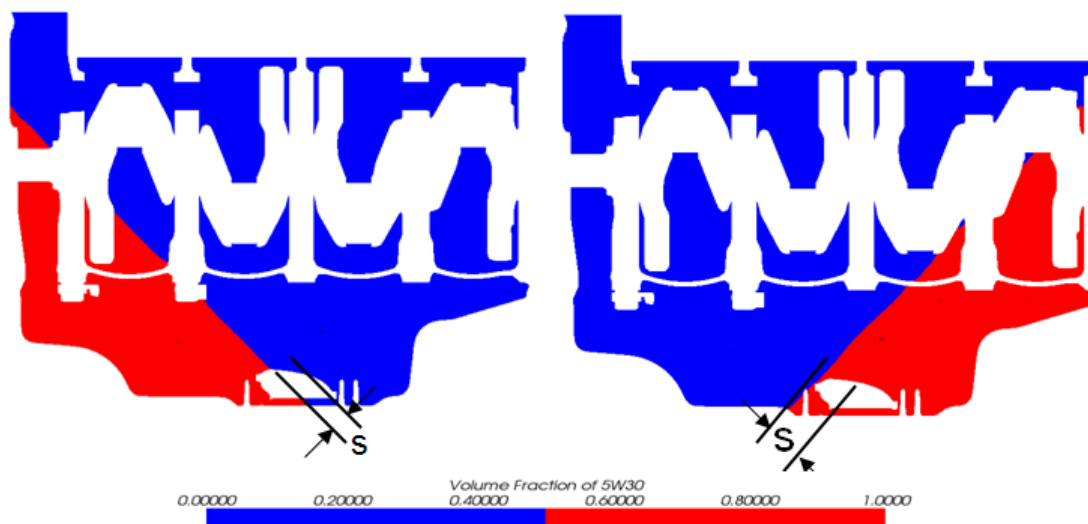


图 5 初始设计方案下左转、右转时液面分布

S 为油面与吸油盘口间的最小距离。可以看到，左转工况时， $S < 0$ ，吸油盘盘口有部分没有被油面浸没，会有空气被吸进润滑系统中，不利于润滑。右转工况下 S 较大，有一些余量，故建议将吸油盘像左移动，使得左转工况达到设计要求。

吸油盘设计更改后，对加速减速工况下情况影响不大，故只对左转右转工况进行计算。结果如下图所示。可以看到，这两个工况下，吸油盘口均被液面浸没，且有一定高度，满足设计要求。

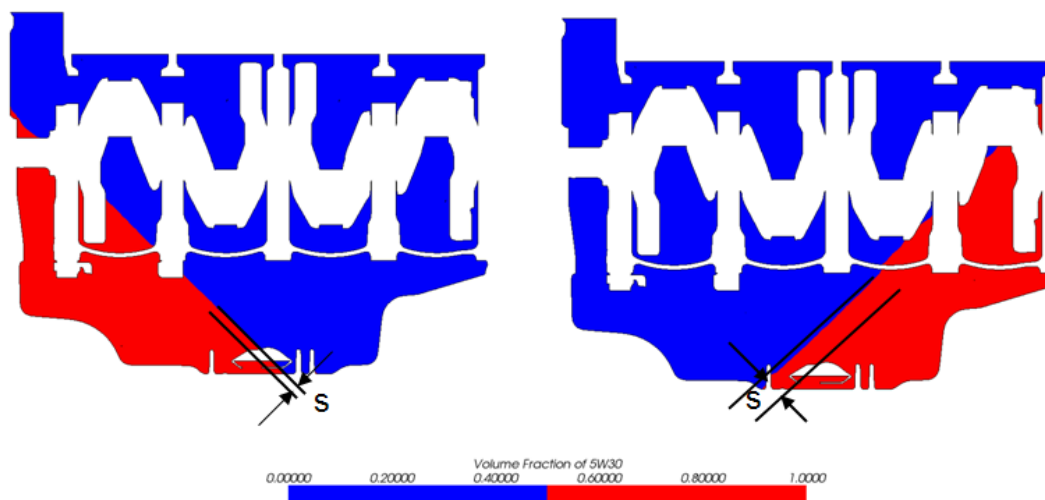


图 6 更改设计方案后左转、右转时液面分布

5. 结论

(1) 针对油底壳内机油晃动情况，对油底壳形状、挡油板形状以及吸油盘位置进行设计时，采用 CFD 方法，可以大大缩短开发周期，节省开发费用，而且分析结果对设计方案确定具有重要参考

价值。

(2) 采用 VOF 方法模拟追踪两相流自由液面变化情况, 在油底壳机油晃动仿真中可以得到较好应用, 计算稳定性及计算效率较高。

6. 参考文献

- [1] 陈家瑞. 《汽车构造上册》. 机械工业出版社. 2006. 01
- [2] Hidenori Arisawa, Katsuya Umemoto, Atsushi Ueshima and Yuichi Kawamoto. CFD Simulation of the Lubricating Oil Flow in Motorcycle Oilpan. SAE TECHNICAL PAPER SERIES. 2003-32-0080 / 20034380
- [3] 张健, 方杰, 范波芹. VOF 方法理论与应用综述. 水利水电科技进展. 2005. 04