

基于 GT-SUITE 的发动机润滑系统 机油压力低问题仿真分析

何伟 徐开凡

（上汽集团创新研究开发总院）

[摘要] 润滑系统是发动机降摩擦损耗的关键系统，本文介绍了使用 GT-SUITE 软件分析实际工程中机油压力低问题的仿真分析，重点分析了机油含气量对机油压力的影响。以某机型发动机为例，通过 CAE 计算得到了不同影响因素对机油含气量的影响，指导设计开发早期需评价系统的机油含气量对润滑系统的影响。

关键词：机油含气量；机油压力低；润滑系统；GT-SUITE

[Abstract] The lubrication system is a key system for reducing friction losses in engines. This article introduced the research of low oil pressure problem in practical engineering using GT-SUITE software. This article focused on analyzing the impact of oil gas content on engine oil pressure. Taking a certain engine model as an example, the influence of different influencing factors on the gas content of engine oil was obtained through CAE calculation. The impact of oil gas content on the lubrication system needs to be evaluated in the early stages of design.

Key words: Oil Gas Content; Low oil pressure; Lubrication System; GT-SUITE

1 概述

为了满足日益严苛的排放法规和油耗法规，节能减排技术成为整车厂的重点研究内容。动力电池技术、高效率发动机技术、整车低摩擦技术等都是节能减排的主要技术方向。而整车低摩擦技术可以降低机械损耗以提高发动机的效率，具有很高的性价比。热损耗、机械摩擦损耗、泵气损耗是发动机主要的能量损耗。与润滑系统相关的损耗占发动机摩擦损耗的首位，故对润滑系统的特性研究具有重要的意义。

润滑系统作为发动机最重要的系统之一，在为发动机减少运动副之间的摩擦和磨损的同时，也增强了活塞和缸套间的密封能力、减小轴承与其他部件的冲击载荷。发动机的高功率燃烧导致部分零部件高温工作，润滑系统在一定程度上也起到了降温的作用。随着 CAE 技术的逐渐成熟，一维流体分析软件 GT-SUITE 可以对流体系统快速建模，明显提高了流体系统的计算精度，同时缩短了项目开发的时间周期。

本文介绍了利用 GT-SUITE 软件进行机油压力偏低问题的仿真分析。

2 润滑系统模型建立

2.1 CAE 模型建立

利用 GT-SUITE 搭建了发动机润滑系统模型，包含了机油泵、机油冷却器、机油滤清器、高压油泵、平衡轴、进排气凸轮轴、VVT、活塞冷却喷嘴等模型，如图 1 所示。

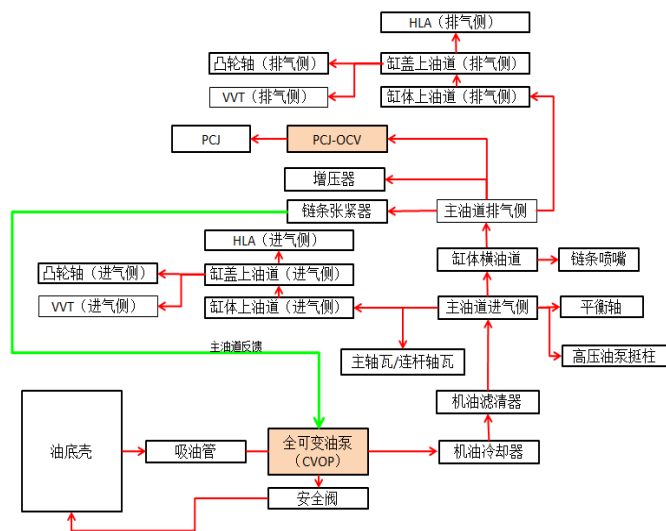


图 1 某机型润滑系统模型

在 GEM3D 中将某机型润滑系统流道模型根据气体流动方向进行一维离散化处理，图 2 为一个典型的润滑系统 CAE 模型。

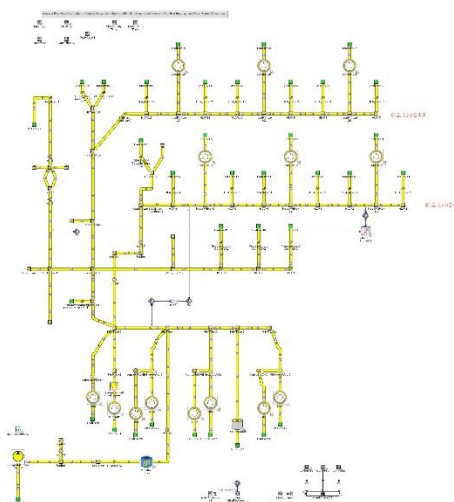


图 2 冷却系统 CAE 模型

2.2 边界条件

主轴承、连杆大头轴承、凸轮轴轴承、机油粘度、活塞冷却喷嘴、机油冷却器、机油泵，高压油泵挺柱、平衡轴等参数按实际提供参数输入。模型中发动机的部分参数如表 1 所示：

表 1 某发动机基本参数

参数	单位	数值
发动机工况点	—	外特性工况点
机油温度	℃	100
机油牌号	—	0W20
机油泵类型	—	全可变排量机油泵
机油泵容积效率	%	75

2.3 计算公式

主轴瓦机油压力计算公式如下：

$$P = \frac{3\mu Q(L-\omega)}{(1+1.5e^2)\pi DC^3} \quad (1)$$

式中：Q——机油流量，L/min；
μ——机油动态粘度，Pa·s；
L——轴承宽度，mm；
ω——凹槽宽度，mm；
e——离心率，无量纲；
C——径向间隙，mm；
D——直径，mm。

3 机油压力低问题分析

发动机转速 1200-2500rpm 下，采用 0W20 机油，油温 100 度，机油泵容积效率 75%，计算结果显示容积效率 75%仿真结果比实测数据高 50-150kPa，如图 3 所示。

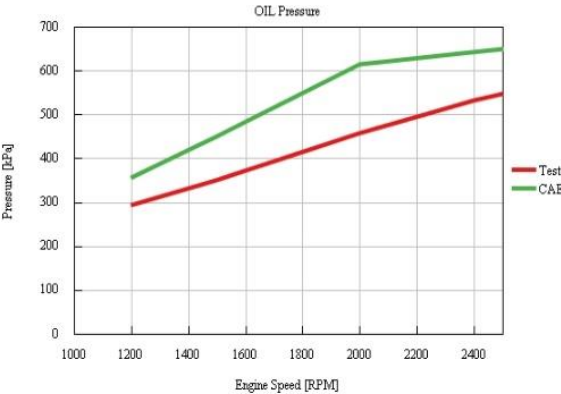


图 3 机油压力对比

对比试验数据及仿真数据发现：随着发动机负荷、转速、温度的上升，试验的机油压力损失明显大于仿真压损。

通过测量发动机试验前后零部件尺寸及装配间隙，未发现实际装机中存在较大漏点。更换主要零部件，未能有效提升系统机油压力。

根据主油道的机油压力计算基本公式（1），试验与仿真存在差异导致机油压力降低的影响因素分解为摩擦副间隙及机油品质。

3.1 摩擦副间隙的影响

供油量一定的情况下，轴瓦间隙的减小可以有效的提高机油压力。原 DHE 主轴瓦间隙、连杆轴瓦间隙均处在上偏差，在 GT-SUITE 中增加轴承间隙，机油压力有所降低，如表 3 所示。

表 2 不同轴承间隙机油压力对比-CAE 计算

发动机转速 rpm	Base 状态		主轴承直径间隙分别增加 5 μ m, 10 μ m、20um、30um			
	test	CAE	+5 μ m	+10 μ m	+20 μ m	+30 μ m
1000		183.8	175	165.5	145.8	126.6
1200	189	249.1	236.4	223.2	196.3	169.3

1500	241	339.5	323.4	296.6	265.6	228.7
2000	352	483.5	458.4	430.5	373.1	318.3
主轴瓦		0.028	0.0305	0.03295	0.038	0.04295
连杆瓦		0.0261	0.0261			

在试验中，减小主轴瓦间隙至中偏差，确实有效提高了机油压力 20-30kPa，如表 3 所示。但由于轴瓦间隙过小，对摩擦副的影响较大，故该措施不能够大幅度提升机油压力，影响效果有限。

表 3 不同轴承间隙机油压力对比-TEST

方案	初始	小间隙
主轴瓦间隙	0.046	0.029
连杆瓦间隙	0.050	0.040
发动机转速	机油压力	
r/min	kPa	kPa
1200	189	205
1500	241	277
2000	352	385
2400	442	464

3.2 机油品质的影响

黏度较高的润滑油流体表面张力较大，一般会夹带或溶解有较多的气体，在压力变化较大的条件下成为双组元气液两相流系统。一定温度下的流体在压力降低的过程中会产生气泡。

机油含气量随着发动机的转速、机油泵转速的上升而增加，故在仿真中应考虑含气量对其影响。

3.3 仿真结果与试验结果对标

根据某机型主油道机油含气量实测值，模型中纯机油改为机油与空气的混合物，比例参考发动机实测值，计算结果与实测结果对比如图 4 所示，仿真结果与试验结果拟合的较好。

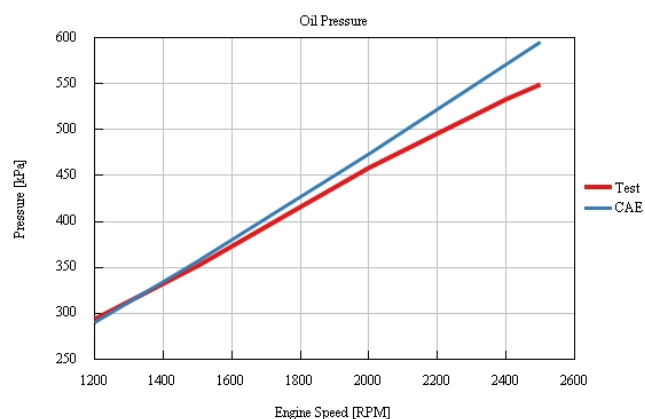


图 4 机油压力对比—增加机油含气量后

4 机油含气量影响因子分析

发动机机油含气后，主要影响有：降低机油润滑性能；影响机油冷却效果；增加机油泵工作负荷；加剧机油氧化老化；造成机油乳化；增加发动机关键部件的磨损。机油含气严重时，会明显降低发动机的润滑性能、冷却性能、使用寿命，故在润滑系统设计开发早期应考虑系统机油含气量对发动机的影响。以下将重点分析影响发动机机油含气量的主要因子。

4.1 机油温度&机油粘度的影响

以某机型发动机为例，发动机转速 1500rpm，分别对比不同机油温度、机油粘度下机油的含气量，如图 5 所示。机油含气量随着温度升高而升高，机油粘度的降低也会使得含气量加大。

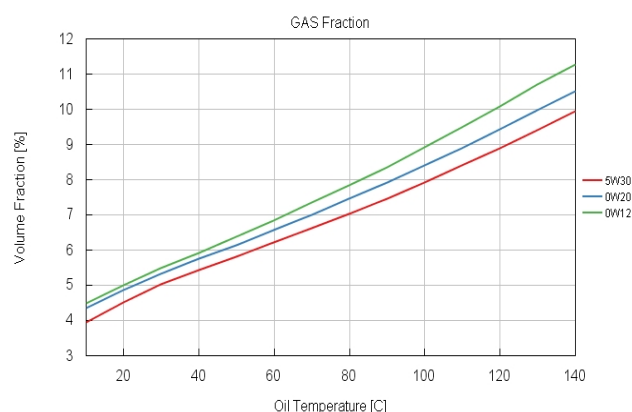


图 5 机油温度&机油粘度对含气量的影响

4.2 发动机结构的影响

某机型发动机使用湿式油底壳与使用干式油底壳，含气量结果如图 6 所示，干式油底壳的含气量明显高于常规油底壳。

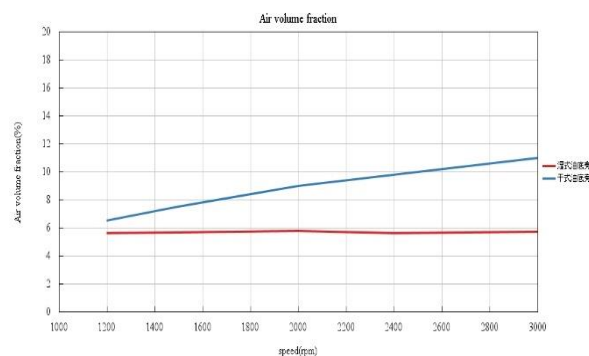


图 6 湿式&干式油底壳机油含气量对比

4.3 润滑系统结构设计的影响

对比三种不同结构设计的润滑油道，机油含气量结果如图 7 所示。不同的设计结构，机油含气量存在明显的差异，故在发动机设计早期，对润滑系统的设计应考虑机油含气量，尽量减少含气量对润滑系统的影响。

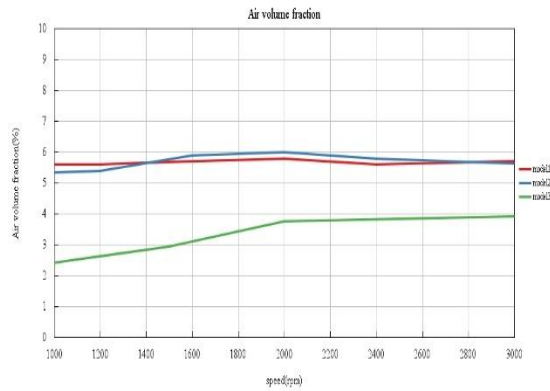


图 7 不同润滑结构机油含气量对比

5 结论

(1) 针对实际工程中机油压力偏低问题利用 GT-SUITE 搭建了发动机润滑系统模型，通过仿真分析轴瓦间隙、机油含气量对机油压力的影响，机油含气量对机油压力的影响较大。

(2) 分析机油温度、机油粘度、润滑系统结构以及发动机结构对机油含气量的影响，在润滑系统设计早期，应重点考虑机油含气对系统的影响。

6 参考文献

- [1] 周宝龙, 高宗英. 内燃机学. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [2] 陈家瑞, 汽车构造. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [3] 胡云萍, 唐娟, 石秀勇等. 某汽油机用可变排量机油泵空化研究, 2017.
- [4] 孙昊, 滑动轴承润滑油物性影响因素及油膜流场特性分析研究, 2021.
- [5] Gamma Technologies. GT-Suite. Vehicle Driveline and HEV Tutorials, 2017