

基于 GT-SUITE 的相位器动态调相速度仿真分析

方 平 严清梅 丁万龙

杰锋汽车动力系统股份有限公司 芜湖 241009

摘 要: 本文以某款相位器系统开发为例, 阐述了 GT-SUITE 在相位器系统开发中的应用, 在相位器开发初期, 根据主机厂提供的发动机配气机构的边界条件, 建立配气机构仿真分析模型, 计算凸轮轴的输出扭矩, 再将凸轮轴的输出扭矩与相位器油路压力损失作为输入边界, 利用 GT-SUITE 搭建相位器动态调相速度控制模型, 分析相位器系统的动态响应速度以及动态响应过程, 并在发动机台架上用 mototron 控制系统对仿真分析结果进行了验证。

关键词: 相位器系统、GT-SUITE、mototron 控制系统、仿真分析

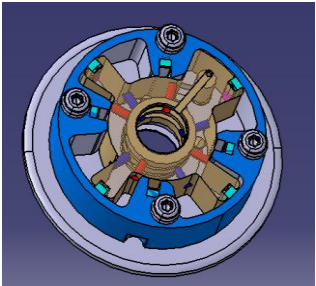
前言

汽车发动机相位器系统, 即可变气门正时系统 VVT 在当今高性能发动机已经普遍配备, 该系统可以依据发动机工况要求, 改变配气相位, 即改变进、排气门开闭的时间。传统发动机进、排气门的开闭时间都是固定的, 发动机只能根据某一工况选择最优化的配气相位, 使此工况发动机性能达到最好, 而可变气门正时系统可同时兼顾多个工况点, 使发动机在每个工况都能输出最佳性能, 得到更低的油耗值, 而相位器的动态调相速度直接影响发动机的输出性能和油耗值, 相位器在对应的油压和温度下动态调相速度越快, 发动机缸内的充气效率越高, 发动机的输出功率扭矩越大且燃油燃烧越充分。

本文利用 GT-SUITE 软件对相位器的动态调相性能进行了仿真分析, 并将仿真分析结果与实测结果进行了对比分析, 验证了仿真分析结果的可靠性。

仿真分析工况及边界

某款相位器开发技术中要求, 发动机在机油温度为 100°C , 机油压力 1.5bar, 相位器开环调相速度 (相位器从 0 度调到最大角度的速度) 大于 $70^{\circ}/\text{s}$, 所以选定发动机机油温度为 100°C , 油压为 1.5bar 作为仿真试验工况, 假定此工况下发动机转速为 1000rpm。并将相位器自身的性能参数及数模设计参数作为仿真分析输入边界。



相位器性能参数名称	具体参数
相位器可调节角度	25° (凸轮轴转角)
发动机机油成分	5W-30-oil
凸轮轴前端扭矩值	$4.2\text{N}\cdot\text{m}/150\text{KPa}, 100^{\circ}\text{C}$
VCT摩擦扭矩	$1.5\text{N}\cdot\text{m Max}$
转子的转动惯量	$0.48\text{kg}\cdot\text{cm}^2$
A腔初始体积	897mm^3
B腔初始体积	5290mm^3
有效液压面积	360mm^2
转子油孔直径	3.5mm

由于相位器开发初期, 缺少发动机凸轮轴输出扭矩参数, 需利用 GT-power 软件现有模型搭建发动机凸轮轴系统模型, 计算出 1000rpm 转速下的凸轮轴输出扭矩, 并将该转速下扭矩的平均值作为相位器系统模型的输入边界。

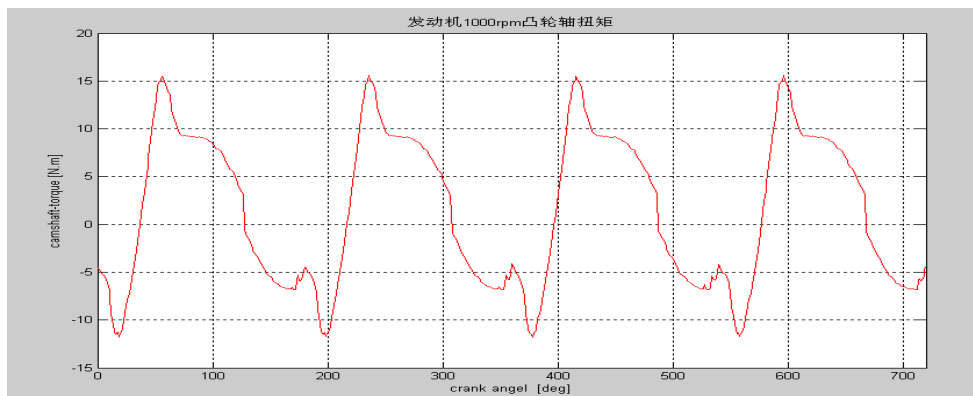
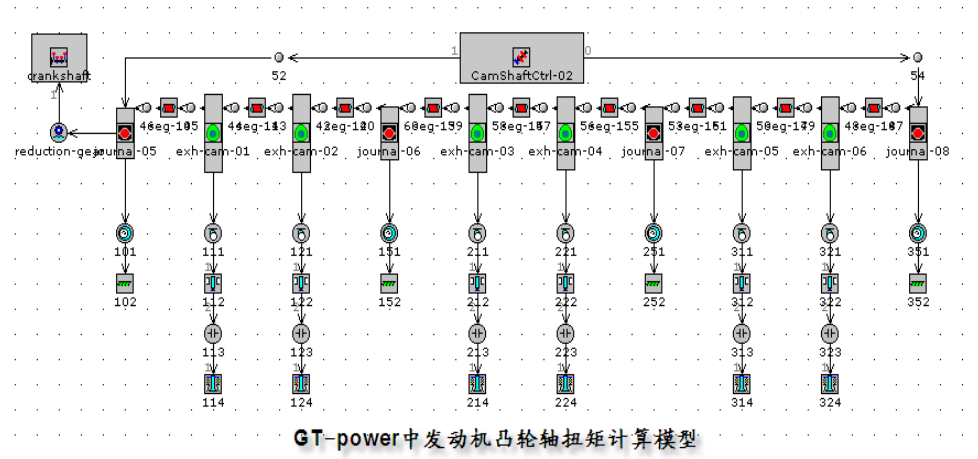


图 1、发动机在 1000rpm 转速下，凸轮轴的输出扭矩

仿真分析模型建立

根据图 2 中相位器调相速度仿真分析的原理图，将相位器自身的性能参数、数模设计参数、以及凸轮轴平均扭矩输入到 GT-SUITE 搭建的相位器模型中，同时将 fluent 计算出的油路压力损失特性数据输入到供油油路中，建立包括相位器供油油路油路、相位器本体以及相位器调相速度监测的仿真模型，详细分析模型如下图 4 所示：

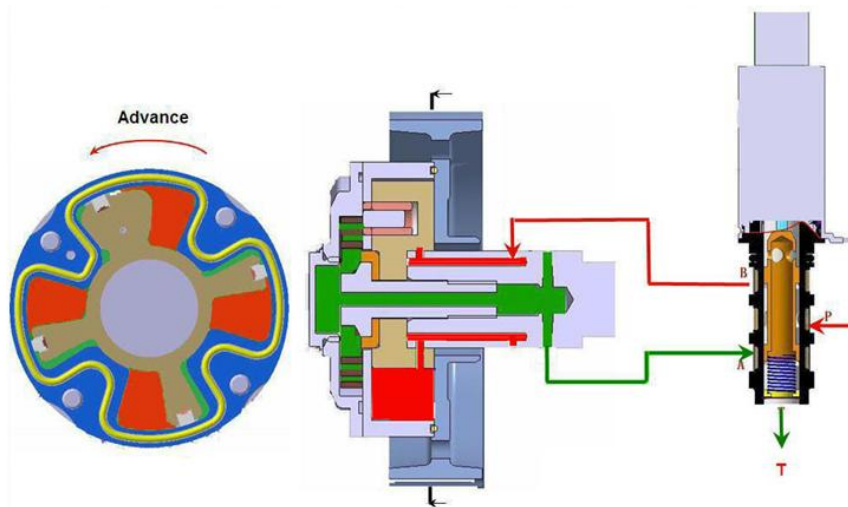


图 2、相位器调相速度仿真分析模型原理图

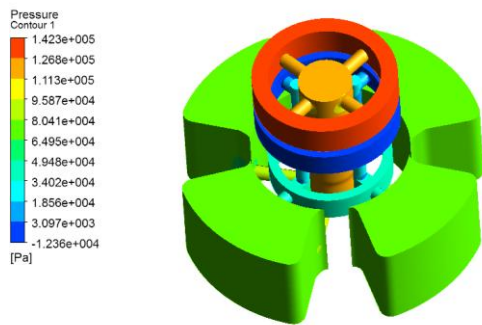


图 3、相位器油路压力损失分析结果

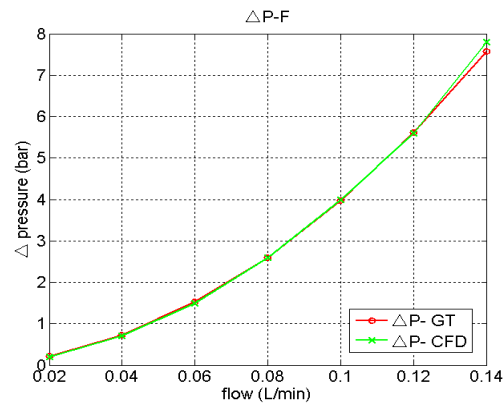


图 4、VVT 机油压力损失修正

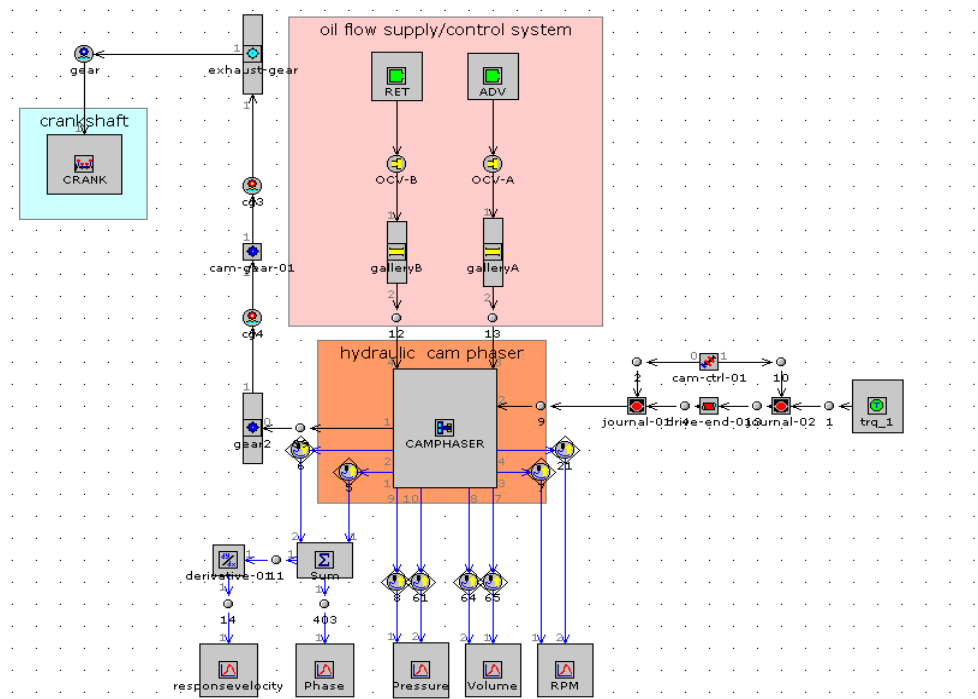
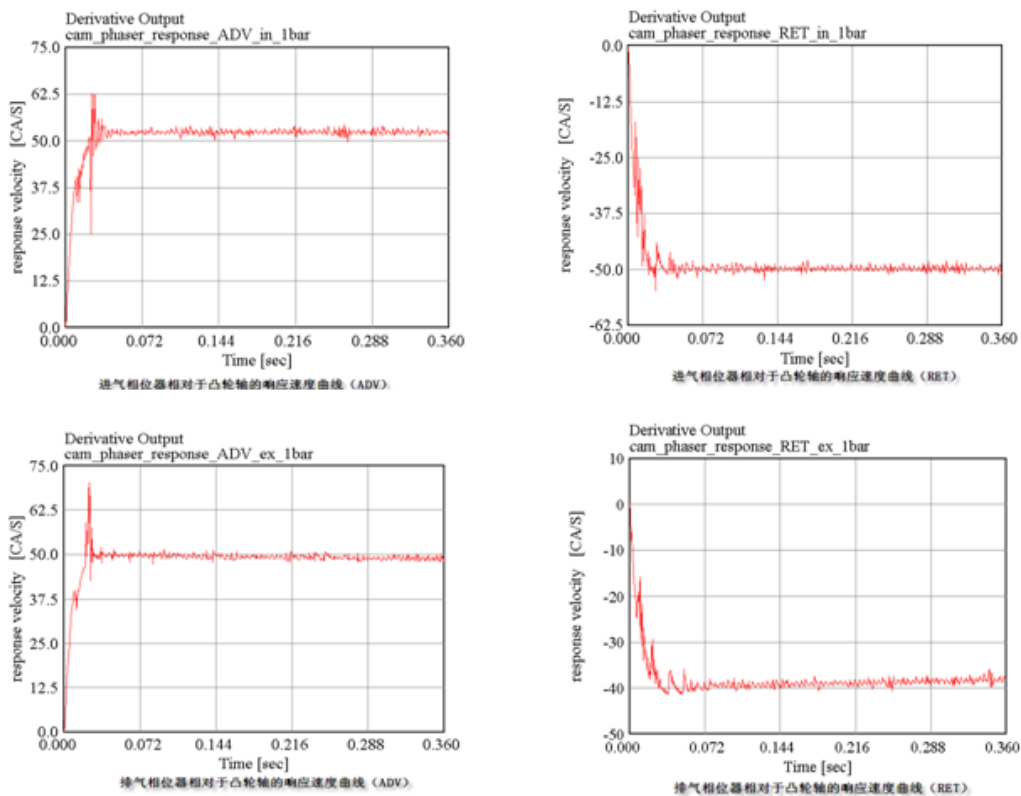


图 5、GT-SUITE 中搭建的相位器调相速度仿真分析模型

仿真分析结果

下面四幅曲线图分别表示的是进排气相位器转子向前和向后调节的响应速度。通过表 1 将进排气相位器在转速 1000rpm, 油压为 1.5bar, 油温为 100° C 工况下的响应速度与目标值进行对比分析可知: 此工况下相位器进排气向前调节的响应速度满足设计要求, 进气向后调节的响应速度也均大于目标值 70CA/S, 但排气向后调节的响应速度 63.52CA/S 与目标值有一定差距, 无法满足调相速度的设计要求。



unit(CA/S)	in-advance	in-retard	ex-advance	ex-retard	adv-target	ret-target
response velocity	104.6	-99.74	98.04	-63.52	70	70

表 1、相对于曲轴转速的调相速度

由于上述试验工况无法满足设计要求，通过调整试验工况中的机油压力继续分析，经过多次仿真分析，发现只有当机油压力达到 1.75bar 时，才能满足调相速度为 70CA/s 的设计要求，其仿真分析结果见下图。

unit(CA/S)	in-advance	in-retard	ex-advance	ex-retard	adv-target	ret-target
response velocity	113.24	-108.7	106.74	-70.35	70	70

表 2、相对于曲轴转速的调相速度

仿真分析结果验证

在发动机试验台架上，搭建由 Mototron 系统控制组成的可变气门正时系统的响应特性测试台架，Mototron 系统是一个独立的 ECU 控制系统，根据曲轴转速信号、凸轮轴相位信号实时计算处理出配气相位角度，并通过控制机油控制阀控制相位器的动作。通过此套控制单元即可测出可变气门正时

系统的响应速度及动态响应过程，通过表 3 对比分析可以看出，仿真分析结果与实测结果相近，误差较小，仿真分析结果可以很好地预测相位器实际工作中的动态调相速度。

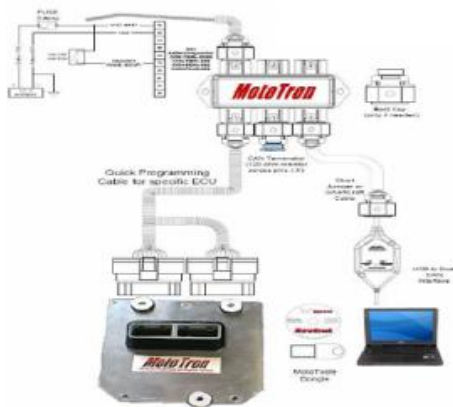


图 6、mototron 测试控制系统



图 7、发动机测试台架

unit(CA/S)	in-advance	in-retard	ex-advance	ex-retard
Simulation result	104.6	-99.74	98.04	-63.52
Test result	102.5	-93.40	95.70	-60.46

表 3、仿真分析结果与实测结果对比

结束语

本文通过某型号相位器动态调相速度的仿真分析，阐述了 GT-SUITE 在发动机配气机构开发中的应用。

相位器开发初期，可以根据主机厂提供的配气机构参数，在 GT-SUITE 中搭建相应相位器系统模型，校核公司设计开发的产品是否能够满足主机厂的性能要求，降低 DV 样件阶段发现产品性能无法满足要求的风险，同时可以给相位器设计开发人员提供设计输入边界。也可以对相位器动态调相速度进行敏感性分析，找出影响相位器调相速度的关键性因素，让生产工艺可以更好地控制相位器产品性能的一致性。

参考文献

- [1] 甄子源 丁万龙, GT-vtrain 在可变气门正时系统中的应用, 2012 年 IDAJ 年会论文集
- [2] 肖生发, 赵数朋 发动机配气机构, 汽车构造 2006, 8
- [3] GT-POWER User' s manual and Tutorial, September 2006
- [4] GT-VTRAIN User' s manual, September 2006