

发动机进气 VVT 调节速度超标的解决方法

张大晴,王兆远,董南南,李彬,彭玉龙,徐丽君

(江淮汽车集团股份有限公司,安徽 合肥 230601)

摘 要:发动机 VVT 能够对发动机的进排气门开启、关闭时间及进气量进行连续调节,从而提高发动机功率,优化转矩曲线。解锁特性、调节速度以及控制稳定性是 VVT 三大关键特性,如过程出现超标会直接影响发动机的动力性、经济性以及排放指标。以某四缸直喷汽油发动机进气 VVT 超标为例,利用故障树分析法建立 VVT 超标故障的 FTA,逐步进行分析验证,寻找故障原因。通过对凸轮轴转矩重新进行 CAE 数据分析,对 VVT 系统液压转矩重新进行计算匹配验证,解决了进气 VVT 调节速度超标的问题。

关键词:汽油发动机;VVT;调节速度;凸轮轴转矩;液压转矩

中图分类号:TP277.3 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2021)01-0198-04

Solution of VVT Regulating Speed Exceeding Standard in Intake of a Direct Injection Gasoline Engine

ZHANG Daqing, WANG Zhaoyuan, DONG Nannan, LI Bin, PENG Yulong, XU Lijun

(Anhui Jianghuai Automobile Group Co., Ltd., Hefei 230601, China)

Abstract: Engine VVT can continuously adjust the intake and exhaust valve opening, closing time and intake volume of the engine, thus increasing the engine power and optimizing the torque curve. Unlocking characteristics, adjusting speed and control stability are the three key characteristics of VVT, with which, for instance, the process exceeding the standard may directly affect the engine power, economy and emission. To overcome this fault, with the intake VVT of a four-cylinder direct injection gasoline engine as an example, the FTA of VVT exceeding the standard was established by adopting the fault tree analysis method to analyze and verify the cause of the fault step by step. Through the re-analysis of CAE data of camshaft torque, the hydraulic torque of VVT system was re-calculated and matched for verification, and the problem of the regulating speed of intake VVT exceeding the standard was solved.

Keywords: gasoline engine; VVT; regulating speed; camshaft torque; hydraulic torque

0 引言

目前发动机 VVT 系统的运用较为广泛,VVT 技术主要是通过调节进气门开启角度的提前和延迟调节进气量的大小,以此来增大发动机的进气量和进气效率,同时可以调节发动机缸内的爆发压力及残余废气量^[1],由此获得发动机更高的动力性及经济性。

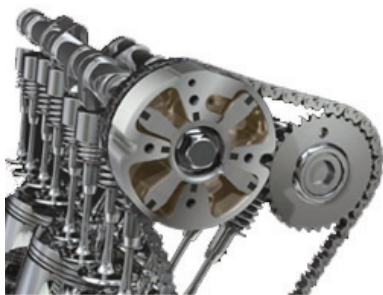


图1 单 VVT 系统结构示意图

发动机一般有单 VVT 系统和双 VVT 系统,这两种系

统可单独使用也可组合使用,组合使用效果最佳,但是成本相对较高。VVT 系统通常由内转子、外转子、OCV 阀以及阀片组成(图1)。本文结合某款直喷增压+双 VVT 技术汽油发动机论述 VVT 系统在发动机台架上出现调节速度超标时,如何进行调查分析并提出解决方法,主要是以进气 VVT 为例^[2]。

1 故障分析

1.1 故障现象及工况

以某款产品为例,某汽油直喷发动机其排放要求须满足国六 b 要求,在整机试验开发过程中其进气 VVT 在调节速度测试时,当转速在 1 500~3 000 r/min 之间调节速度不能满足要求,排气侧 VVT 调节速度均满足试验要求,其中进气 VVT 在转速 1 500 r/min 时调节速度只有 71 CrA/s,根据企业标准要求进气 VVT 系统的调节速度须 ≥ 100 CrA/s^[3],测试结果无法满足试验要求,此问题对产品性能及排放产生严重影响(图2)。

本次只介绍 VVT 调节速度测试方法,解锁特性及控

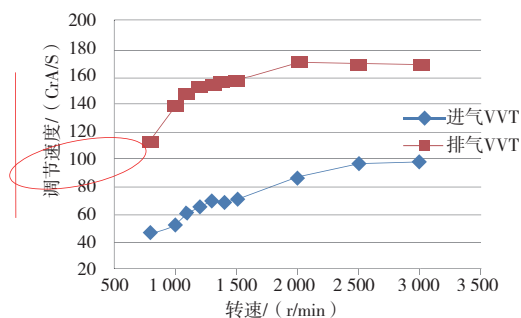


图2 VVT 调节速度测试结果

制稳定性测试不作说明,具体试验方法如下:

首先恒定发动机转速,通过 INCA 调整 VVT 开启角度(由 0° 调整到最大开度,4 s 后回到 0° ,循环 10 次),这样就得到了在这个转动点调节速度曲线(图 3)。

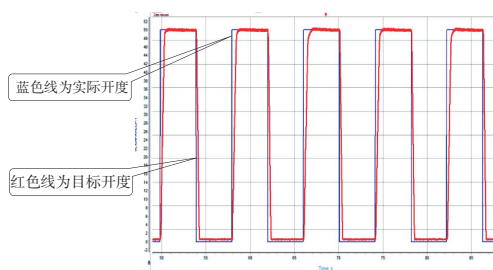


图3 VVT 调节速度测试过程图

VVT 调节速度计算方法:以第一个循环为例,由于刚开始时调节不稳定,调节前后各去掉 3 CrA,提取出 VVT 由 $C1$ 调节到 $C2$,调节角度除以时间 $\Delta T(T_2-T_1)$,然后计算出该循环的调节速度 ω_1 (图 4)^[1]。

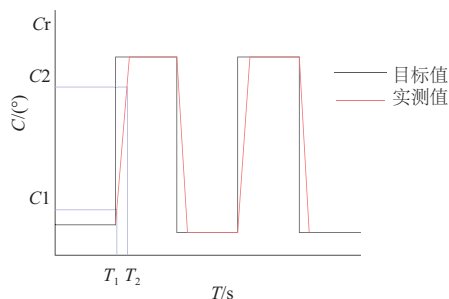


图4 VVT 调节速度计算方法

1.2 故障分析

根据 VVT 测试的故障现象,从发动机本身和 VVT 系统两个方面利用 FTA 工具进行原因分析排查(图 5)。经过系统排查共得到 14 个潜在因子,分别为机油压力小、机油温度过高、曲轴位置传感器不良、凸轮轴位置传感器不良、凸轮轴转矩不良、占空比不良、线束接触不良、控制阀卡滞、电磁阀流量小、滑片卡滞、系统压力不足、液压转矩不合格、摩擦转矩大、泄漏量大^[4]。

通过对可能导致故障的原因逐项进行排查(表 1),首

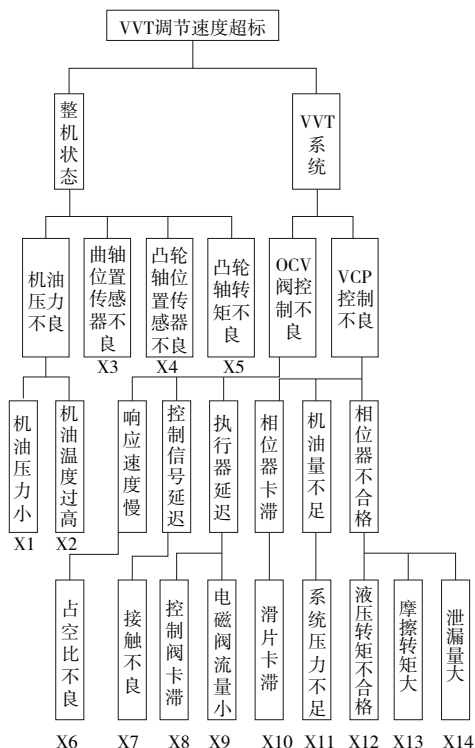


图5 窜油量超标故障 FTA 分析

先针对发动机进行机油压力分布图测试排查,机油压力大小会直接影响 VVT 调节速度的快慢。

表1 故障排查检测表

因子	分析方法	判断标准	结果
机油压力小	测量主油道压力分布图	对标 AVL	合格
机油温度高	测量主油道压力分布图	对标 AVL	合格
曲轴位置传感器不良	确认传感器电压信号	图样	合格
凸轮轴位置传感器不良	确认传感器电压信号	图样	合格
凸轮轴转矩小	发动机拆解	对比分析	不合格
占空比不良	调整 VVT 开度	占空变化曲线	合格
机油控制阀线束不良	确认传感器电压信号	图样	合格
OCV 卡滞	拆解分析	确认是否卡滞	合格
电磁阀最大流量小	单体流量测试	最大流量>4 L/min	合格
VCP 执行器滑片卡滞	拆解分析	确认是否卡滞	合格
VCP 执行器系统机油压力小	测量主油道压力分布图	对标 AVL	合格
液压转矩不合格	单体转矩测试	图样	不合格
摩擦转矩大	单体摩擦转矩测试	摩擦转矩<1 Nm	合格
泄漏量大	单体泄漏量测试	泄漏量<0.6 L/min	合格

经测试样机,机油压力分布符合机油泵控制策略,满足试验要求(图 6~图 8),同时试验时发动机机油温度最大值为 106℃,满足 90℃~125℃ 试验要求。

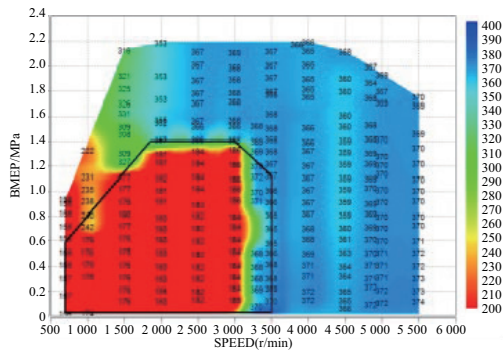


图 6 发动机实测机油压力分布图

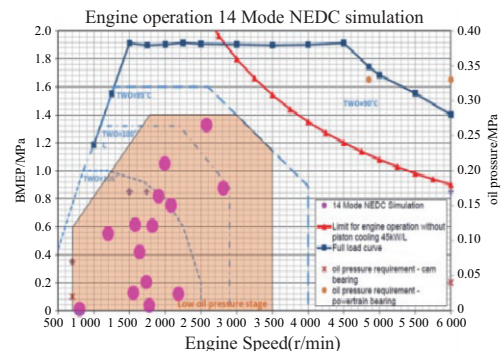


图 7 发动机控制策略机油压力分布

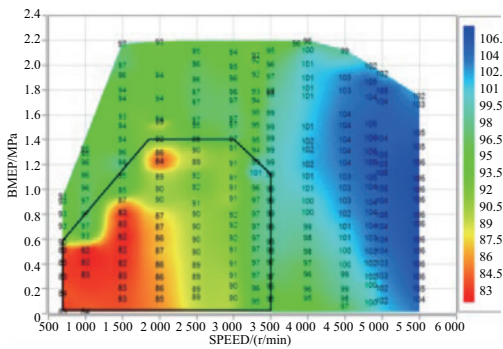


图 8 发动机测试机油温度分布图

对机油控制阀占空比进行验证,在 ECU 中设置 VVT 角度由 0°直接开到最大 50°,关注占空比变化曲线是否与 VVT 开度一致。经测试 VVT 角度变化与占空比变化是一致的,因此满足试验要求,结果是合格的(图 9)。

经过系统排查排除了其中 12 项,最终确定为 X5 凸轮轴转矩不合格和 X12 液压转矩不合格因子导致,具体分析如下:

1) 凸轮轴转矩确认:经现场与设计人员及厂家进行研讨分析,发现厂家未考虑到进气侧多一个高压油泵负载的问题^[5]。由于负载不同导致进、排气凸轮轴的转矩不同,因此在相同条件下 VVT 调节速度存在差异性(图 10)。

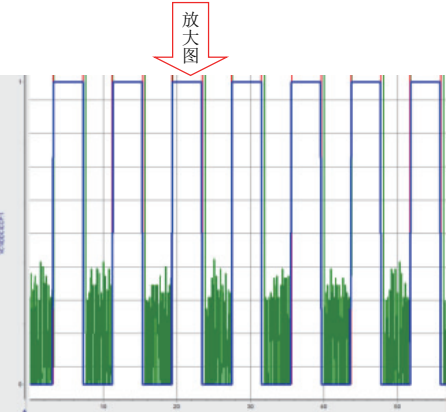
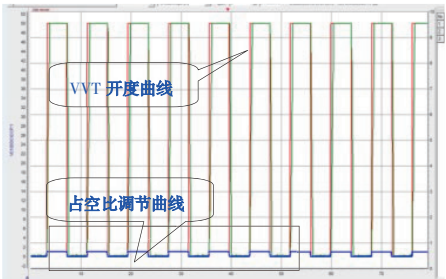


图 9 发动机 VVT 占空比曲线图

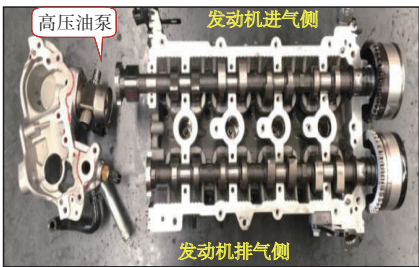


图 10 发动机 VVT 装配实物图

2) 液压转矩确认:由于进排凸轮轴转矩的不同,因此 VVT 系统的液压转矩也不同,经查询图样进、排气侧的液压转矩相同,均为 0.417 Nm/MPa,因此,液压转矩需要重新计算分析^[6](图 11)。

VVT 技术参数		
调相范围/(°)	25.75±1	凸轮轴转角
锁止间隙/(°)	0.6±0.25	凸轮轴转角
锁止位置	最大滞后	
名义压比/(Nm/MPa)	0.417	
名义机油容积/(mL/°)	0.72	凸轮轴转角

图 11 VVT 系统技术参数

综上所述,最终导致进气 VVT 系统调节速度不合格的原因主要是凸轮轴转矩不合格和液压转矩不合格两个因子所导致。

2 试验验证

由分析结论,提出优化方案,并策划相应试验进行验证:

1) 针对凸轮轴转矩不合格的问题,首先对进、排气侧凸轮轴的转矩进行 CAE 模拟分析^[7],从数据可看出进气侧凸轮轴转矩明显比排气侧大,主要原因是由于进气侧多了一个高压油泵负载(图 12)。

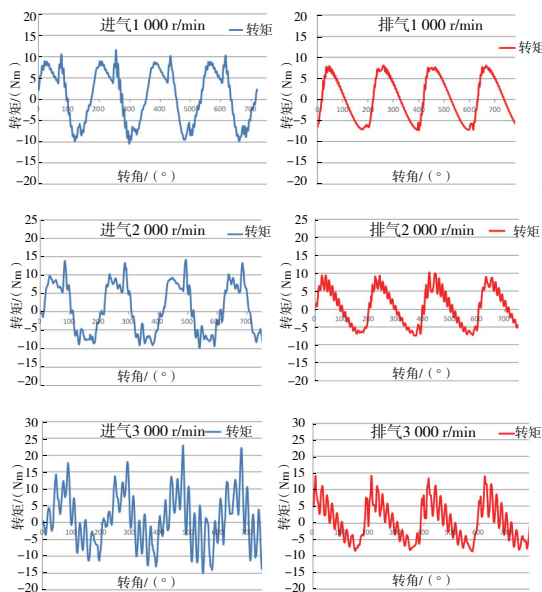


图 12 进、排气侧 VVT 凸轮轴转矩对比数据

2) 液压转矩不合格,将发动机试验边界条件(转速、转矩、油压等)输入至软件,软件根据目标设定,计算出需要液压转矩值,最终计算结果液压转矩为 0.439 Nm/MPa (整改前为 0.417 Nm/MPa);液压转矩为 0.439 Nm/MPa。VVT 系统,整改后较整改前定子的内腔直径尺寸大了 1.4 mm^[8](图 13)。



图 13 整改前后定子变化对比图

3 效果检查

1) 通过整改进,排气侧 VVT 调节速度均 >100 CrA/s,

满足试验要求,整改措施有效(图 14)。

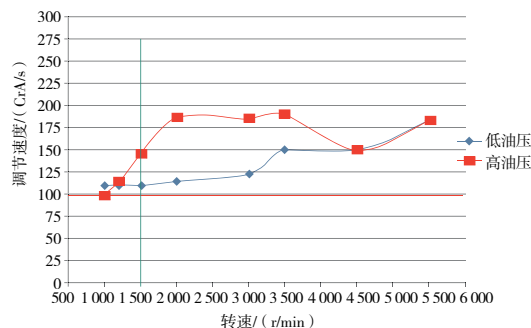


图 14 整改后 VVT 调节速度曲线图

2) 发动机最大转矩 265 Nm/2000 (r/min),最大功率 119.1 kW/5500 (r/min),燃油消耗率为 353.2 g/(kW · h);发动机动力性及经济性均符合设计要求,通过验收。

3) 针对发动机排放摸底测试,此发动机能够满足国六 b 排放指标要求,通过最终验收^[9]。

4) 将优化后的 VVT 系统图样进行更改并输入 PLM 进行固化,同时对问题反馈单进行闭环并形成项目总结分析报告。

4 结语

VVT 技术的运用较为普及,因此故障也较为突出,同时市场维修及更换成本较高,因此在试验开发过程中对 VVT 系统充分验证其性能的稳定性及可靠性尤其重要。本文结合实际案例,针对 VVT 调节速度不合格为切入点,利用质量工具深入调查故障发生的原因,并针对潜在因子进行确认排查,最终锁定关键因子,制定整改方案,从根本上消除故障,为后续的相似故障调查提供解决思路。

参考文献:

- [1] 张大晴,宋长青,李英涛.浅析 VVT 技术在台架上的试验方法及数据分析[J].山东工业技术,2016(15):200-202.
- [2] 李红,唐健.汽车发动机 VVT 技术探讨[J].成都纺织高等专科学校学报,2009,26(1):29-30,48.
- [3] 李林斌,关力,尹建东,等.VVT 对发动机性能影响的研究[M].小型内燃机与车辆技术,2017(4):22-26,38.
- [4] 左洪卫,张永亮.汽油发动机 VVT 标定研究[J].轻型汽车技术,2013(增刊):12-15.
- [5] 姬腾飞.一种全新的发动机 VVT 及 VVL 装置设计研究[J].内燃机,2011(6):18-22.
- [6] 钟凯弦,熊锐,吴坚,等.车用发动机 VVT 系统双积分自调节 PID 控制的研究[J].小型内燃机与摩托车,2014,43(1):9-13.
- [7] 李光耀,曾参.发动机 VVT 测试不合格的原因分析[J].装备制造技术,2016(3):114-116.
- [8] 王冰,艾曦峰,李德才.VTEC 发动机与 VVT-i 发动机工作原理对比研究[J].黑龙江交通科技,2007,30(8):90,92.
- [9] 张美娟,史定洪.丰田卡罗拉发动机双 VVT-i 系统检测[J].淮海工学院学报,2011(6):39-41.

收稿日期:2019-09-16