

汽柴油发动机瞬态响应仿真研究

Simulation Study of the Transient Response Performances for Gasoline and Diesel Engine

田文凯 高芬芬 刘小平 陈虎

(宝沃汽车集团)

摘要: 首先, 使用 GT-Power 对汽油机和柴油机的瞬态响应进行仿真研究。针对汽、柴油发动机的特点, 制定各自的分析思路, 建立相应的模型。其次, 对比分析计算结果与试验数据, 评估瞬态响应分析的准确性和可行性。最后, 通过分析瞬态响应过程, 确定瞬态响应由三个阶段组成, 每个阶段的主要影响因素不同。确定瞬态响应速度主要由增压器的转动惯量决定, 改善瞬态响应应着重关注增压器的转动惯量。

关键词: 瞬态响应、增压器转动惯量、加速迟滞、GT-Power

Abstract: Firstly, the transient response of gasoline engine and diesel engine were simulated by GT-Power. According to the characteristics of gasoline and diesel engines, the corresponding analysis methods were developed and models were established. Secondly, the accuracy and feasibility of transient response analysis were evaluated by comparing the calculated results with the experimental data. Finally, by analyzing the transient response process, the transient response is determined to be composed of three stages, each of which has different main influencing factors. The determination of transient response velocity is mainly determined by the inertia of the turbo charger. Inertia of turbo charger should be focused on to improve the transient response.

Key words: Transient response、Inertia of turbo charger、Acceleration hysteresis、GT-Power

1. 前言

汽车在实际道路运行过程时, 发动机的工作过程非常复杂, 多为瞬态工况, 其加速瞬态响应特性是整车动力性能的重要评价指标。发动机的动力性能直接影响整车加速性能, 增压器迟滞是发动机加速迟滞最大影响因素。迟滞主要由增压器的机械惯性和气体流动惯性造成的, 是不可消除的。

本文采用 GT-Power 软件研究汽、柴油发动机的瞬态响应性能, 并对瞬态过程中主要参数的变化进行了分析。其中, 将固定转速下, BMEP 从 2bar 增 90% 负荷的加速时间作为评价发动机瞬态响应的主要指标。

本文分别对汽柴油发动机的瞬态响应进行仿真分析。从计算的仿真思路、瞬态响应的模型搭建和计算结果的分析角度, 对汽、柴油机的瞬态响应仿真分析方法进行研究。

2. 计算模型搭建

2.1 发动机参数

本文分析的汽油机和柴油机的排量都为 2.0L, 其中汽油机的基本参数如表 1 所示。

表 1. 发动机基本参数

主要参数		
缸径	mm	-
冲程	mm	-
发动机排量	L	2L
缸数	-	4
发火顺序	-	1-3-4-2
供油形式	-	直喷

2.2 汽油机模型搭建

汽油机瞬态响应计算思路：

(1) 从 0-20s 控制发动机在设定转速下负荷为 2bar 的稳定状态，根据 BMEP 需求由 PID 调节节气门开度，涡轮增压器完全关闭。

(2) 从 20s 开始加负荷，节气门从 2bar@2000rpm 时的开度在 0.2s 内达到最大开度 90°，根据 BMEP 的需求由 PID 控制涡轮增压器废气旁通阀的开度。

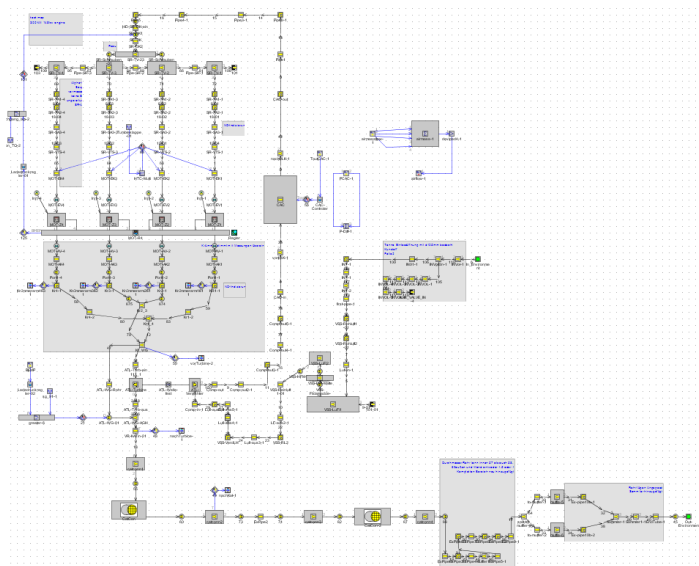


图 1. 汽油机瞬态响应计算模型

在稳态计算模型基础上搭建瞬态计算模型需要修改两方面：

1. 控制方面：添加时间逻辑判断模块，由此模块确定节气门和涡轮增压器废气旁通阀的控制状态。

2. 发动机参数：应用 GT-Power 提供的三维表格形式输入发动机万有特性上的运行参数，三维表格以发动机转速为横坐标，平均有效压力为纵坐标，未给定的工况由相邻点插值得到。需要表格输入的运行参数有进排气 VVT、燃烧模型中的 50% 燃烧曲轴转角和 10~90% 的燃烧持续期等。另外，FMEP 的三维表格横坐标为发动机转速，纵坐标为缸内最大爆发压力，模型如图 1 所示。

2.3 柴油机模型搭建

柴油机瞬态响应计算思路：

(1) 从 0-20s 控制发动机在设定转速下负荷为 2bar 的稳定状态，根据 BMEP 需求由 PID

调节燃油喷射量，VGT 的 RACK 位置设定为 1。

(2) 从 20s 开始加负荷，根据 AFR 需求的最低值由 PID 调节燃油喷射量，VGT 的 RACK 位置在 0.2s 内增加至此转速全负荷状态下的位置。

在稳态计算模型基础上搭建瞬态计算模型需要修改两方面，

1.控制方面：添加时间逻辑判断模块，由此模块确定 PID 调节燃油喷射量的目标变量（BMEP 和 AFR）和 VGT 的 RACK 位置。

2.发动机参数：应用 GT-Power 提供的三维表格形式输入发动机的 FMEP 万有特性，三维表格以发动机转速为横坐标，缸内最大爆发压力为纵坐标。

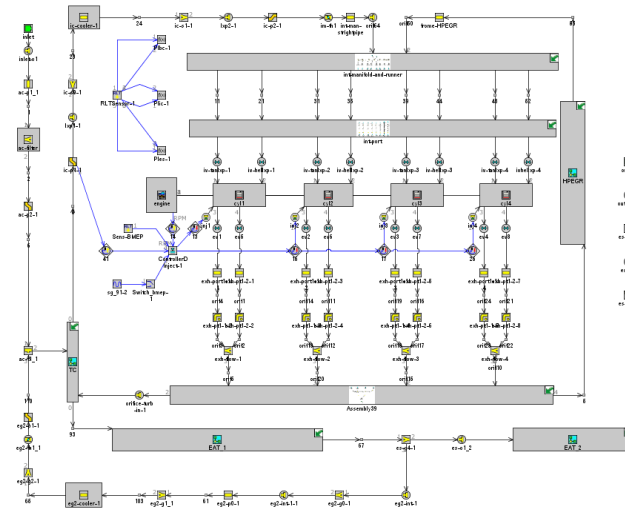


图 2.柴油机瞬态响应计算模型

3. 计算结果分析

3.1 汽油机的仿真结果与试验值对比分析

为验证模型的准确性，将 2000rpm 计算结果与发动机台架 2000rpm 的瞬态响应特性试验数据进行对比分析。由于试验和仿真计算的起始时间不同，以下的为调整时间轴后使其处于同一响应起始时间的对比图。图 3 为扭矩响应时间图，图 4 为进气歧管压力响应时间图。由图中可以看出仿真计算结果和试验数据基本吻合。

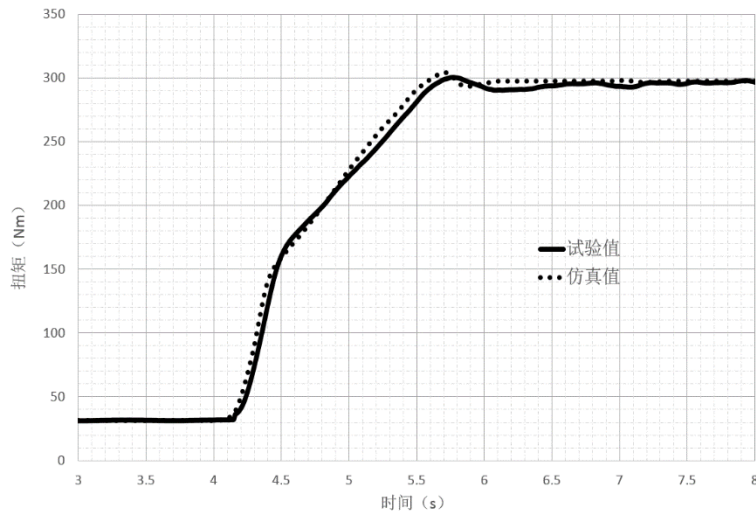


图 3.发动机扭矩响应时间曲线

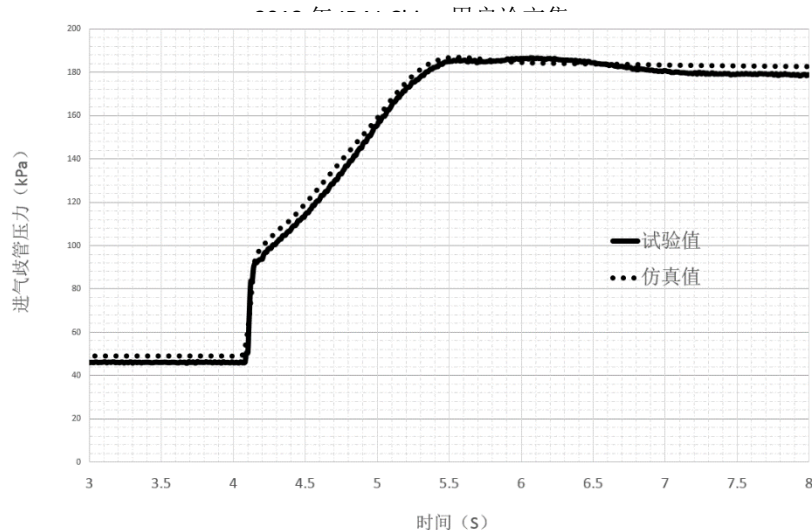


图 4 进气歧管压力响应时间曲线

仿真计算结果和试验数据对比分析可得，瞬态响应分为三个阶段：

第一阶段：节气门影响阶段，此阶段节气门迅速打开，由于节气门前后压差大，进气歧管压力迅速升高，扭矩提升速度快，此阶段发动机动力响应速度主要由节气门开启速度决定；

第二阶段：增压器转动惯量影响阶段，此阶段随着涡轮机的膨胀比增加，增压器转速升高，压气机出口压力升高，进气歧管压力升高，扭矩提升，此阶段发动机响应速度主要由增压器的转动惯量决定；

第三阶段：增压器放气阀影响阶段，此阶段在瞬态响应末端，试验时根据发动机放气阀开启策略的标定，决定是否在扭矩达到全负荷前提前开启，仿真模型中采用 PID 控制，策略为扭矩最大值不超过目标扭矩的 5%，一般评判瞬态响应为 2bar 平均有效压力加载至 90% 负荷时间，而放气阀开启时已加载至 80% 负荷，所以，此阶段对结算结果影响较小。

3.2 柴油机仿真计算结果分析

柴油机瞬态响应的扭矩和空燃比如图 5 和图 6 所示。扭矩时间响应曲线和汽油机类似，分为三个阶段，但其第一阶段和第三阶段机理有所不同。

第一阶段：空燃比迅速降低阶段，此阶段由于发动机运行在 2bar@2000rpm 时，空燃比很高，在得到加负荷指令后，迅速通过增加喷油量提高扭矩，直至空燃比降低至最低限值，此阶段的响应速度较汽油机慢，主要原因为 VGT 增压器的 RACK 位置在加负荷指令下达后迅速增加至全负荷位置，导致增压压力增加速度较慢；

第二阶段：增压器转动惯量影响阶段，与汽油机相似；

第三阶段：空燃比恢复阶段，此阶段在瞬态响应末端，扭矩达到全负荷扭矩值，空燃比恢复到全负荷标定值，通过 PID 微调 RACK 位置使发动机稳定在全负荷工况。

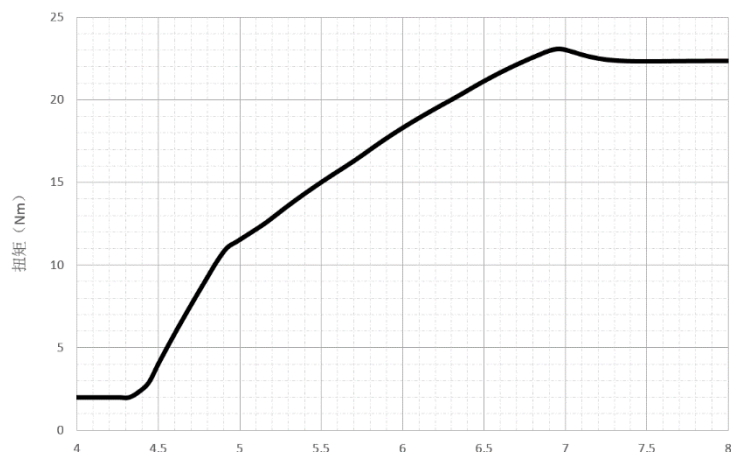


图 5.发动机扭矩响应时间曲线

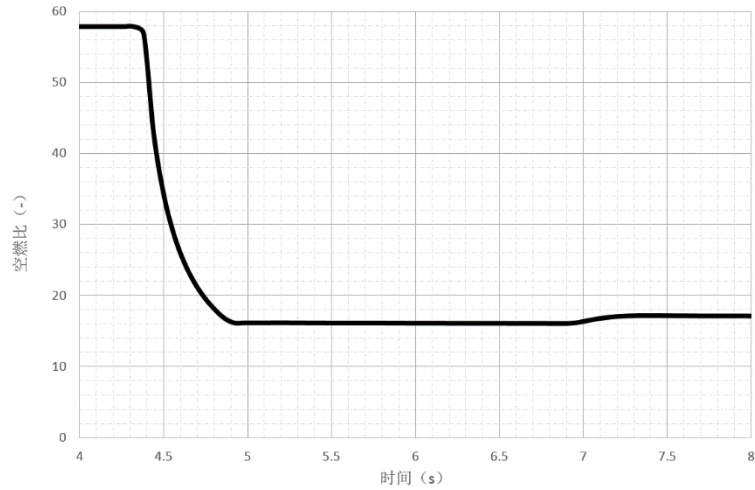


图 6.空燃比响应时间曲线

3.3 对比分析

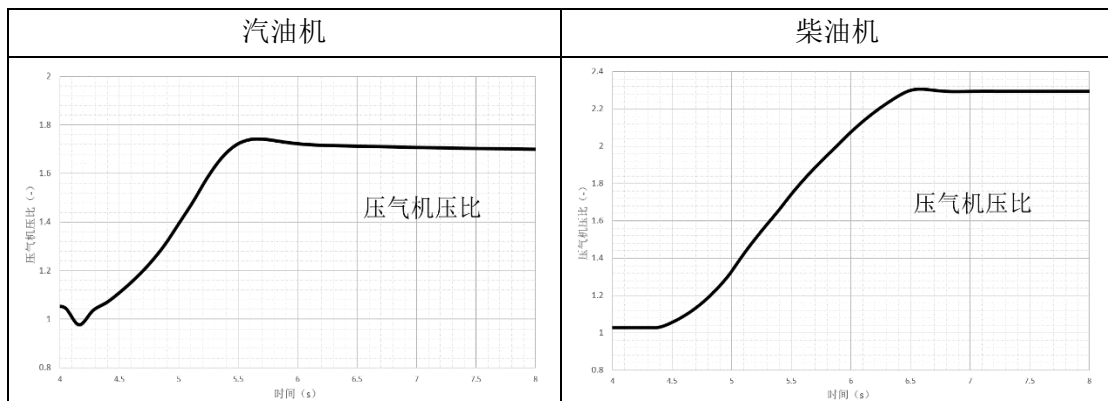
表 2 为汽柴油机增压器的压气机压比、涡轮机膨胀比和增压器转速的仿真计算结果，对比可知：

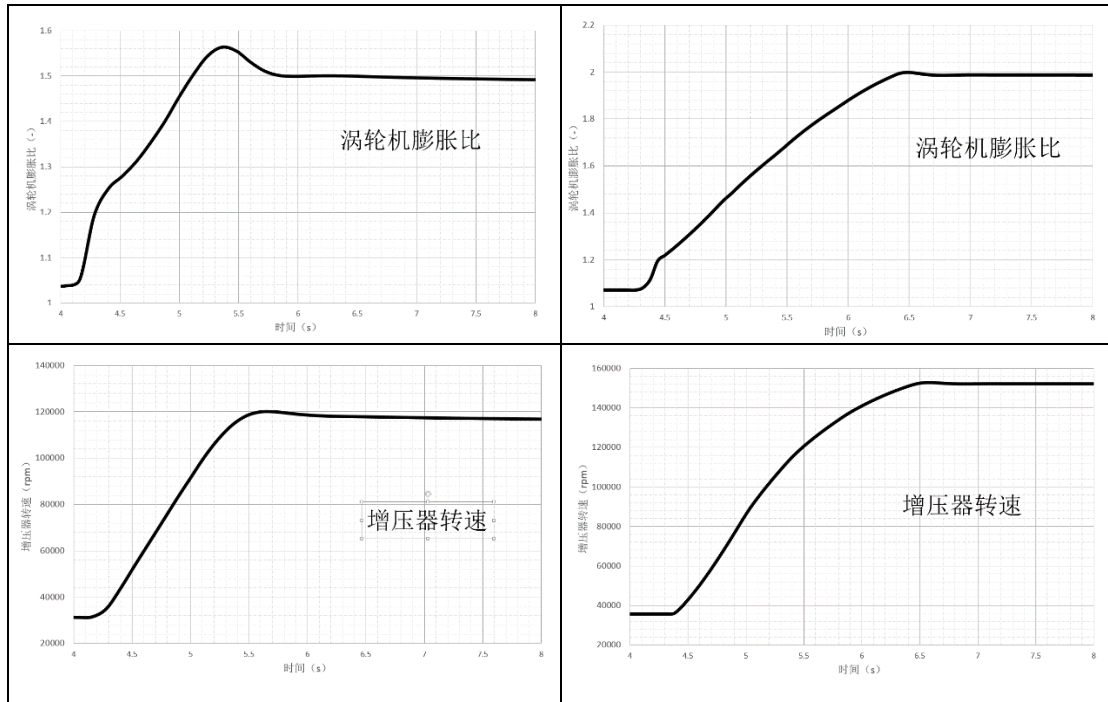
1) 汽油机压气机压比在瞬态响应开始时先降低再升高，其原因是节气门快速开启至完全打开，导致压气机后压力降低，柴油机无此现象。

2) 汽油机涡轮机的膨胀比在初期提升速度较后期快，其由扭矩提升速度决定，扭矩提升快，提供的废气能量提升快，导致膨胀比提升较快。

3) 增压器转速在整个过程中提升速度较平滑，因为增压器转速提升受增压器转动惯量影响大，转动惯量不变，导致速度提升平滑。

表 2 增压器瞬态响应结果





4. 结论

1) 通过对比发动机瞬态响应仿真计算结果和试验数据, 验证了瞬态响应仿真模型的准确性, 确定瞬态响应仿真计算分析的可行性。

2) 增压器转动惯量对发动机动力响应速度起主要作用, 所以, 应从降低增压器转动惯量方面着手, 改善增压发动机的迟滞现象。

5. 参考文献

[1] Engine Performance Application Manual