

# 某重型柴油机的预测模型标定及应用

张斌 刘鑫

(潍柴动力股份有限公司)

**摘要:** 本文基于 GT-Power 建立某重型柴油机的预测模型, 并给出 60 个工况点预测值与试验值的误差精度。最后基于该预测模型, 进行了定工况变参数的预测研究。

**关键词:** DIPulse 模型 预测模型 闭环控制

**Abstract** This Paper establish a diesel engine prediction model based on GT-Power software, and predict 60 project points, also compare the predict value and test value of these 60 points. At last we vary engine parameters and fixed speed and torque, and study diesel performance.

**Keyword:** DIPulse Model, Prediction Model, Closed Loop Control

## 0.前言

随着排放法规的日益更新, 越来越严格的排放要求和市场的低油耗期望, 这要求企业快速的更新或推出节油环保高效的发动机。同时, 电控参数越来越多, 这使单纯的依靠试验技术根本无法满足发动机的开发。随着 CAE 软件的发展, 预测精度有了很大的提高, 可以很好的应用于工程, 用于解决这些问题。GT-Power 是一套强大的一维气体流动和热力学仿真模拟工具, 可以在设计阶段预测发动机的稳态和瞬态性能, 也可以对定型发动机进行性能优化, 减少试验量, 指导实验和设计。本文基于 GT-Power 建立了某重型柴油机的预测模型, 预测误差在 3%之内; 同时进行了定工况下变参数研究。

## 1. 预测模型的建立与标定

### 1.1 预测模型的建立

本文建立的某重型柴油机的 GT-Power 预测模型包括了 DIPulse 预燃模型, 提前角自动调节模块, 进气量和增压压力的双闭环控制模块, VNT 增压器模型等。

其中进排气管路采用 GEM3D 离散, 气门部件导入气道吹风实验测得的流量系数, EGR 阀导入部件特性曲线。

测量的提前角与实际值有偏差, 需进行修正。

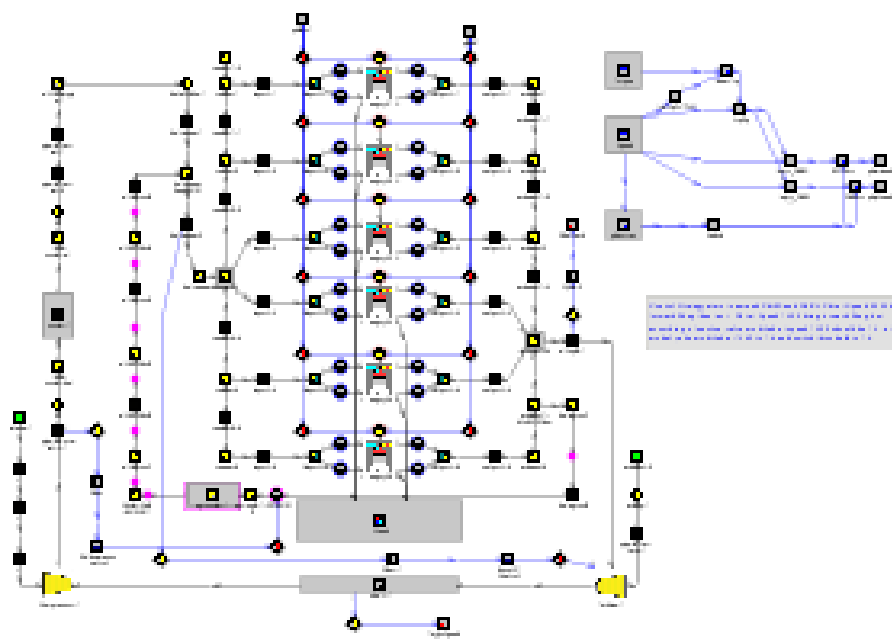


图 1 某重型柴油机的预测模型

## 1.2 预测模型的标定

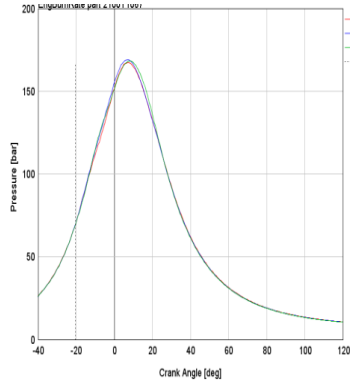
该部分主要包括了 DIPulse 预燃模型标定，增压器脉谱标定，摩擦功的标定等。

### 1.2.1 DIPulse 预燃模型标定

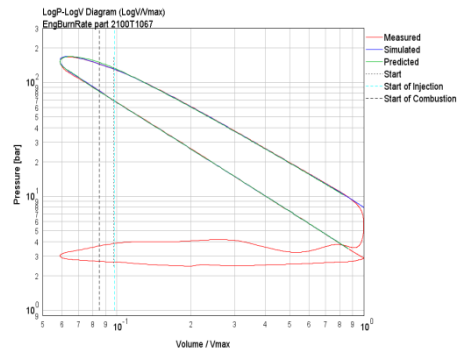
预燃模型标定需要的实验数据有喷油规律，缸压曲线，EGR%及万有数据等。进行预燃模型标定时的选点原则为：在全工况范围内均布的选择 30 点左右，要尽量覆盖全工况区域。

首先需要进行缸压分析，删掉坏点。由于通道效应及漏气的影响，可能需要稍微调小压缩比，得到各工况点的放热率。

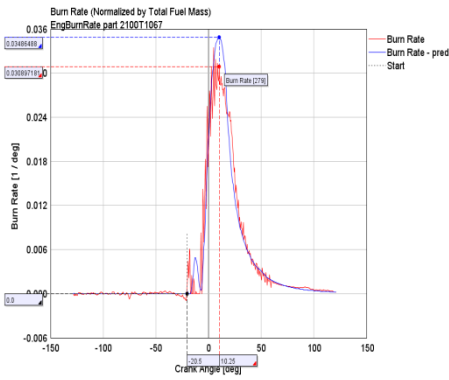
预燃模型标定要通过对卷积/卷吸系数，点火延迟系数，预燃速率系数，扩散速率系数这四个参数选择合适的边界范围进行 DOE 设计。DOE 后处理建模时，优化参数为卷积/卷吸系数，点火延迟系数，预燃速率系数，扩散速率系数这四个参数，采用遗传算法进行求解，得出最优的四个参数组合。多轮反复的逼近获取最佳的 DOE 边界，优化求解，一直到选取的 30 个工况点的缸压曲线吻合都比较满意为止。其中可能需要微调提前角，这是由于 INCA 测量的喷油提前角包含着电力延迟和液力延迟。图 2 是缸压曲线及放热率的预测值和试验值的比较图。可见预燃模型的缸压曲线预测值与试验值非常接近。



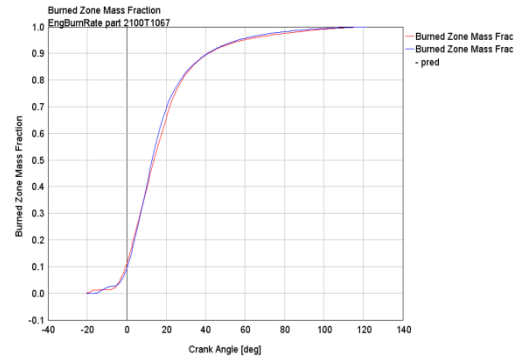
缸压曲线



缸压曲线的 logPV 图



瞬时放热率曲线



累计放热率曲线

图 2 预燃模型的标定点比较

### 1.2.2 增压器脉谱标定

由于厂家提供的增压器脉谱与真实值有或大或小的误差，这就需要对脉谱进行修正。同预燃模型的标定类似，对之前选择好的 30 工况点进行 DOE，选择压气机的质量因子和效率因子及涡轮机的质量因子和效率因子作为 DOE 的参数，范围设为 0.95-1.05，进行优化求解以获取合适的压气机的质量因子和效率因子及涡轮机的质量因子和效率因子。

### 1.2.3 摩擦功标定

摩擦功的标定采用倒托法。计算出泵气损失，将实测得到的倒托功减去泵气损失，即为摩擦损失。由于倒托时的泵气损失很小，为了简化处理，本文直接采用倒托实验测得的摩擦功。

### 1.2.4 双闭环控制

本模型采用 VNT 控制目标增压压力，采用 EGR 阀控制新鲜进气量的双闭环控制模型。这样可有效的避免部件测量值与真实值不一致等问题，同时使模型更为精准。

## 2. 预测模型的预测精度分析

本文采用 30 个点进行标定模型，另外在此基础上又加上 30 个点共计 60 个工况点进行预测。图 3 是 60 个工况点的分布情况，横坐标为工况 Case，纵坐标为每个 Case 下对应的转速和扭矩值。图 4 分别是爆发压力，进气量，扭矩，油耗率，中冷后温度，增压压力，排温和背压的试验值与预测值的比较。观察爆发压力的曲线，可看出在转速在 900rpm 以下或 15%扭矩以下的工况点的爆发压力预测值与试验值吻合的不理想，这也是 GT-Power 中的 DIPulse 预燃模型的局限所在。对于低转速低扭矩的工况，GT 软件目前没法达到满意的预测精度。观察油耗率曲线，可知低扭矩工况点的油耗率预测不理想，原因在于此时的工况波动太大，台架测量的油耗值也不稳定。观察排温曲线，转速大于 1100rpm 且扭矩大于 15%扭矩的工况点的预测值与试验值的绝对误差在 30 度之内，预测精度比较理想。除此之外的其他几个变量预测精度都比较理想。另外，对 NOx 排放的预测不算理想，60 个工况点的平均误差在 15%之内，但是分布不均匀，无法有效的对工程进行定量分析，但是可以进行定向指导。

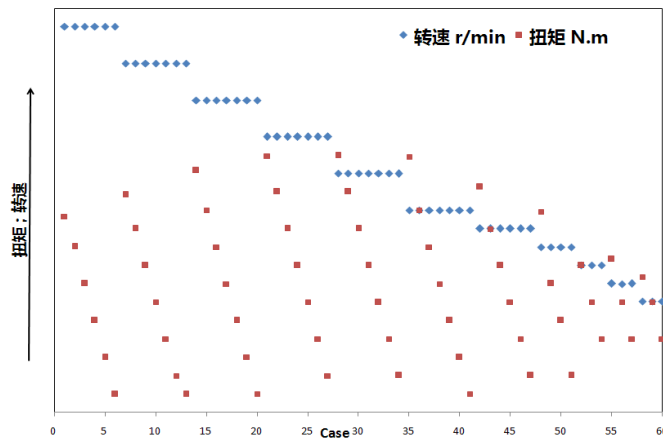
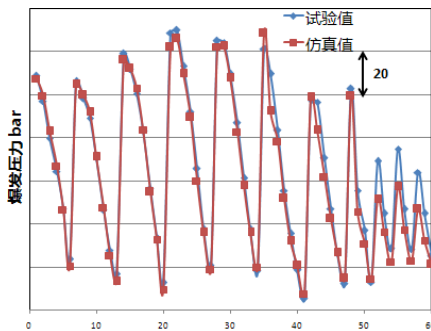
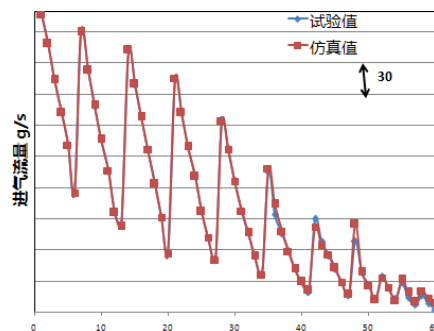


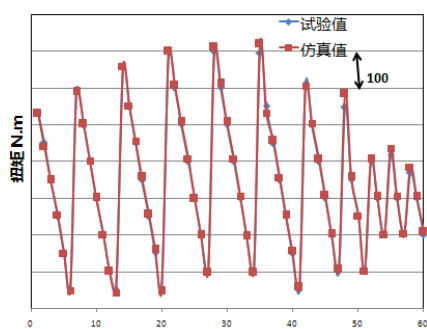
图 3 工况点分布图



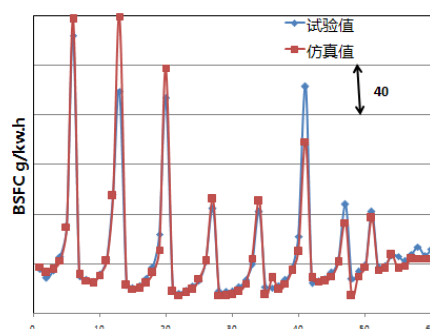
爆发压力的试验值与预测值比较



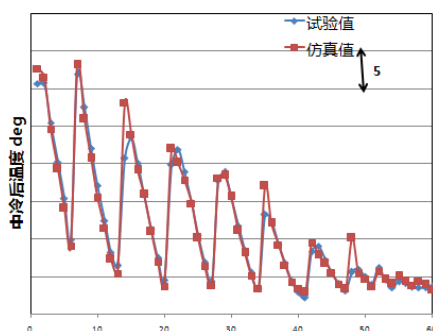
进气量的试验值与预测值比较



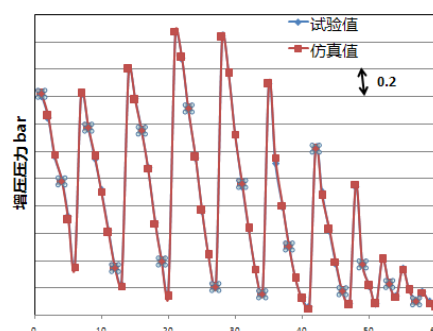
扭矩的试验值与预测值比较



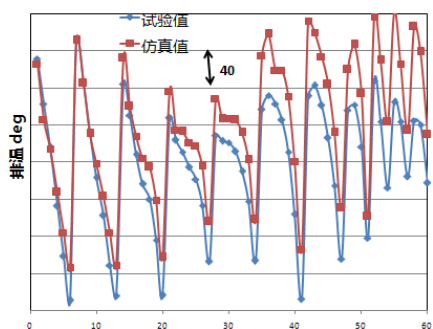
油耗率的试验值与预测值比较



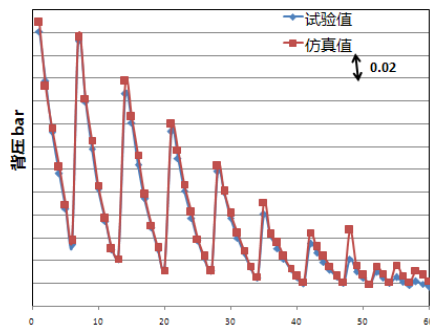
中冷后温度的试验值与预测值比较



增压压力的试验值与预测值比较



排温的试验值与预测值比较



背压的试验值与预测值比较

图 4 试验值与预测值的比较

### 3. 预测模型的应用

#### 3.1 定工况变参数预测

预测模型可以应用在定工况变参数预测，DOE 数据采集，平原及高原虚拟标定等方面，本文仅仅进行定工况变参数预测的具体应用。

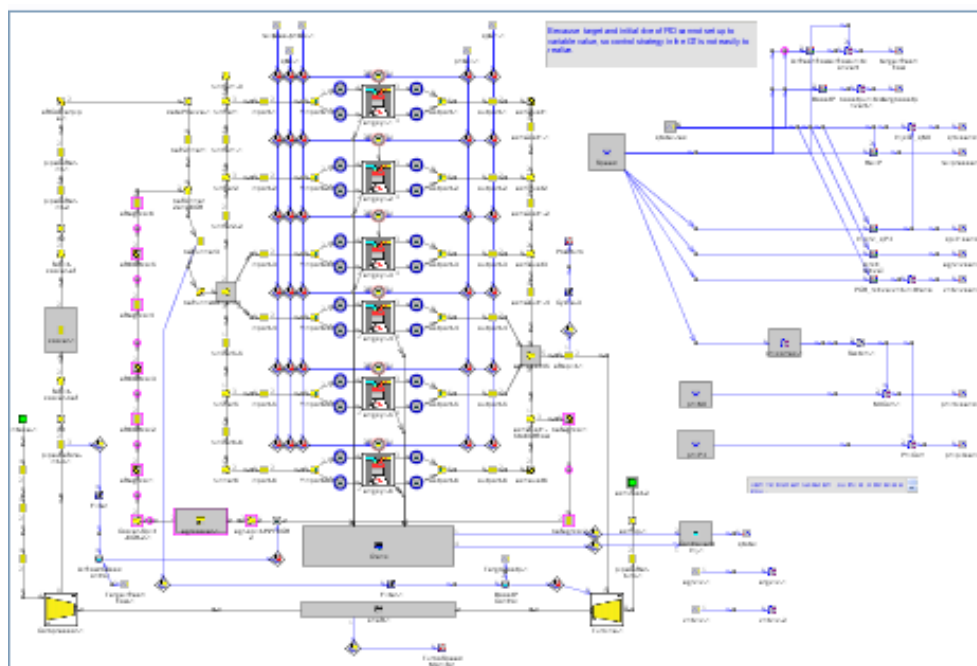


图 5 变工况研究的 GT 预测模型

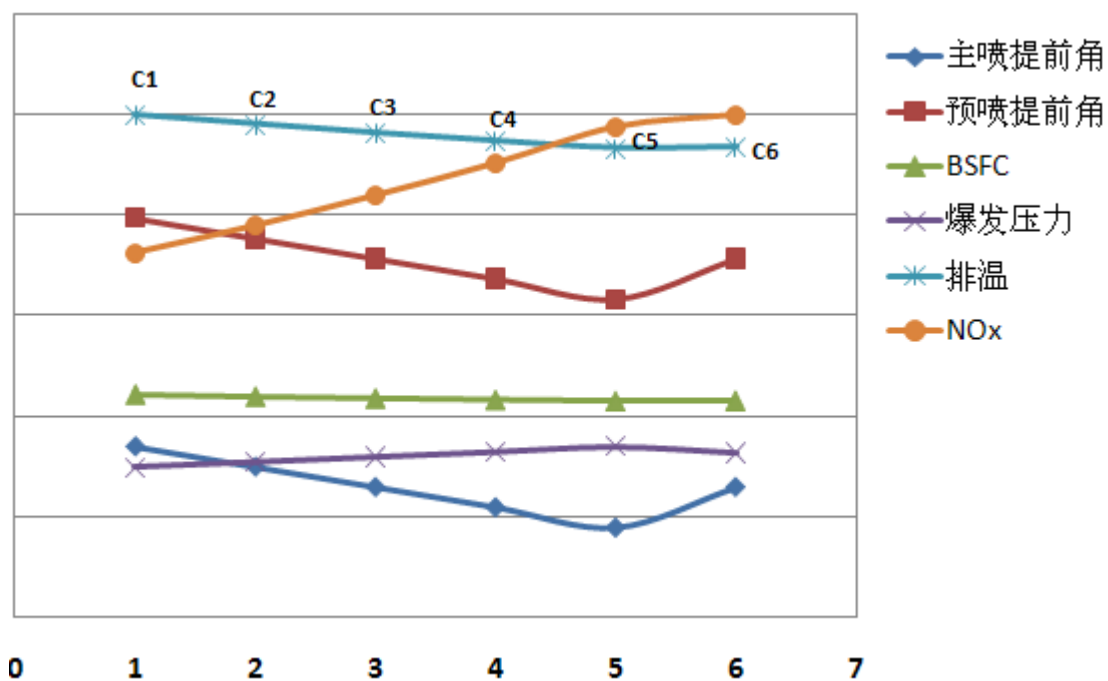


图 6 变工况定参数研究结果

图 5 的预测模型的用途是进行定工况变参数研究,在图 1 模型的基础上对控制策略模块进行了完善和修改。选择某点进行定点研究,即采用转速/扭矩模式,研究喷油提前角对油耗,爆压,排温及 NOx 排放的影响。预测点为 C1, C2, C3,C4,C5; C6 为 C3 点的试验验证点。图 6 为 5 个点的油耗率,循环喷油量,爆压,排温,背压及 NOx 的预测值和 C6 点的试

验值。比较 C3 点和 C6 点可知，油耗率，循环喷油量和爆压的预测误差在 2.5%之内，排温的预测误差在 4.91%，NOx 的预测误差为 22%，也说明预测模型的精度是比较满意的。观察 5 个预测点，可见随着提前角变大，油耗率变小，爆压变大，NOx 变大，这与理论是一致的，也验证了预测模型的准确性。

## 4.总结

本文建立了某重型柴油机的预测模型，且绝大部分性能参数的预测精度都在 3%之内。主要缺陷在于 NOx 排放标定精度不够，平均相对误差在 15%左右。该模型可用来预测该机型柴油机任意工况点的性能以指导实验或标定工作。另外，基于该模型匹配不同的控制策略可应用于变工况预测，DOE 数据采集，平原及高原虚拟标定等方面。

## 参考文献

- [1] 周龙保 《内燃机学》 机械工业出版社 2006
- [2] GT-SUITE 帮助文档