

# GT-Power 在 OPOC 发动机性能仿真中的应用

## Performance simulation for OPOC engine by GT-Power

何建祥、李传友、左朝凤

(优华劳斯汽车系统(上海)有限公司)

**摘要:** 本文基于 GT-Power, 采用等效容积转换方式对非传统 OPOC 二冲程柴油发动机进行了性能仿真, 并取得了与实验值较好的吻合, 表明采用等效气缸容积方式开展此类非传统发动机性能仿真是可行的, 通过仿真为该类发动机后续开发提供了指导及边界条件。

**关键词:** OPOC 发动机 性能仿真 GT-Power

**Abstract:** Based on GT-Power, the performance simulation of OPOC (Opposed Piston Opposed Cylinder) two-stroke diesel engines is executed by means of the equivalent volume conversion and the simulation results agree with the experimental value very well. This indicates that the way of equivalent cylinder volume is effective for such a non-traditional engine performance simulation. The simulation will provide guidance and boundary conditions for the subsequent development of the similar engine.

**Key words:** OPOC; engine; performance simulation; GT-Power

### 1 前言

近年, 随着排放法规的日趋严格, 发动机的研发越来越聚焦于高燃效、低能耗、低排放, 而对四冲程发动机的研究几乎到了顶点, 再想大幅度提高其性能将很困难。所以, 设计师们又想到了二冲程发动机。因为二冲程发动机的活塞每次上行到上止点时均点火做功, 而不像四冲程发动机那样每隔一次点火一次。也就是说二冲程发动机的做功行程比四冲程发动机整整多一倍, 故同排量的二冲程发动机只需一半的气缸压力, 就可以产生与四冲程发动机一样的输出功率和转数。气缸工作压力的减小, 则意味着可大幅度地降低氮氧化合物的排放含量, 以及热负荷的降低和发动机的设计尺寸更轻小。做功行程多一倍的收益可被用在很多方面, 例如: 输出功率与四冲程发动机一样功率的新型二冲程发动机, 其体积和重量只有四冲程发动机的一半; 或者换句话说, 如果功率和扭矩是设计时追求的目标, 那么与四冲程发动机等重量体积的新型二冲程发动机, 将有更强劲的动力。

本文所述的 OPOC 发动机就是一种新型的二冲程柴油机, OPOC (Opposed Piston Opposed Cylinder) 是对置活塞对置气缸发动机的简称, 它有两个水平对置气缸, 每个气缸中有两个活塞, 工作时两个活塞向相反的方向运动。曲轴安放在两个气缸中间, 曲轴上 6 根传动杆分别与 4 个活塞相连。其结构如图 1 所示。与普通二冲程及四冲程发动机相比, OPOC 发动机由于没有气缸盖和配气机构, 使得 OPOC 发动机重量轻、结构紧凑; 采用直流扫气, 扫气效率可达到 90% 以上; 取消配气机

构, 采用内外连杆设计, 曲轴主轴承几乎不受力, 机械摩擦有效降低; 采用对置活塞对置气缸实现自平衡等优点。

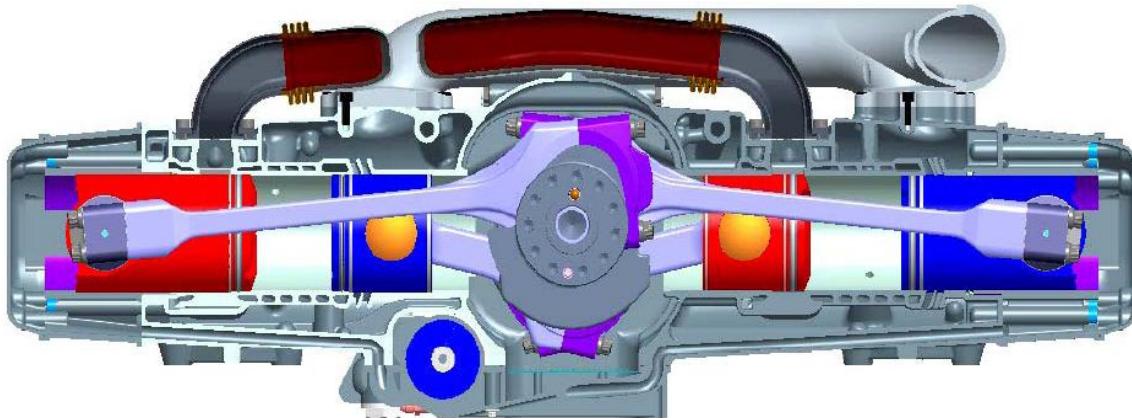


图 1 OPOC 发动机结构

## 2 OPOC 发动机性能仿真模型的搭建

本文利用一维热力学仿真软件 GT-Power 对 OPOC 发动机进行性能仿真, 由于 OPOC 发动机结构的特殊性, 注定了其建模方式区别于传统发动机, 常规的建模方式将不适用于此类发动机, 下文将对其特殊的建模方式进行研讨。OPOC 发动机基本性能参数见表 1。

表 1 发动机基本性能参数

排量 (L)	2.5
缸径 (mm)	100
冲程 (mm)	$2 \times 80$
压缩比	19

图 2 是根据 OPOC 发动机结构搭建的 GT-Power 性能仿真模型, 为实现高的扫气效率, OPOC 发动机采用了两级增压及两级中冷, 第一级为废气涡轮增压, 第二级为机械增压, 模型不包括排气后处理部分, 下面将就 OPOC 发动机非传统发动机建模的特殊性进行介绍。

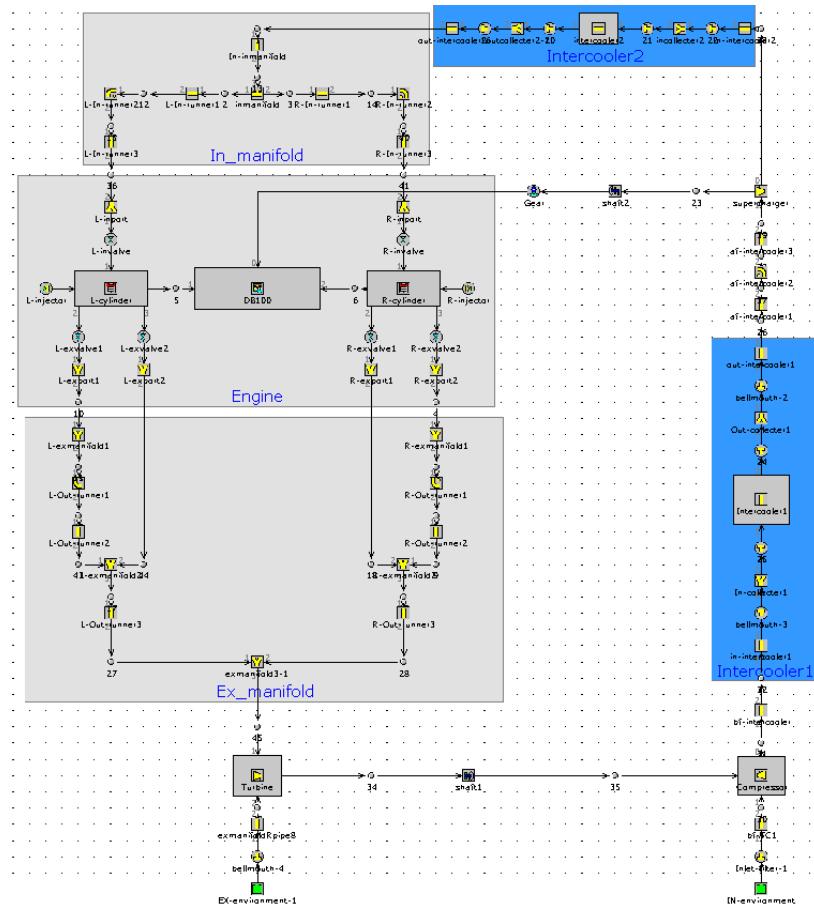


图 2 GT-Power 计算模型

## 2.1 气缸容积变化的等效处理

对于传统发动机，气缸容积随曲轴转角的变化规律是通过 GT-Power 内置的曲柄连杆函数计算得到（通过给定曲柄半径、连杆长度、偏心距等），而对于 OPOC 发动机，由于一个气缸有两个活塞在同时运动，GT-Power 内置的曲柄连杆函数已经不能真实模拟气缸容积的变化规律。为此，本文采用等效容积变化处理方式，即以其中一个活塞为运动参考系，另一个活塞相对此运动参考系的位移作为仿真中活塞的等效位移，如图 3 所示。经过等效处理后，就可以采用 GT-Power 的自定义气缸几何模版来描述 OPOC 发动机的气缸容积变化规律。

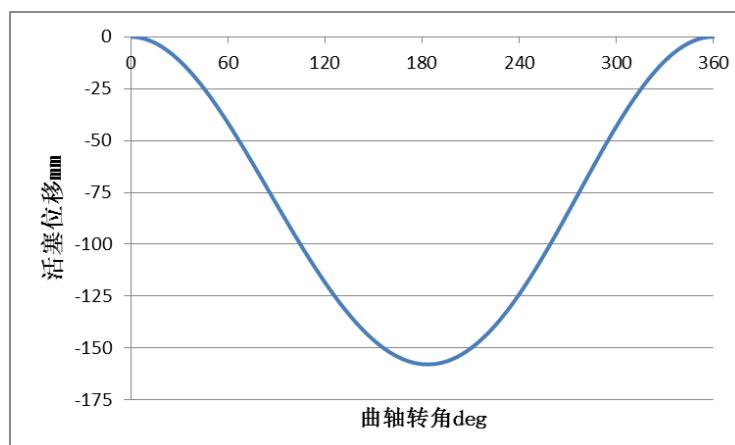


图 3 等效活塞位移

## 2.2 扫气模型处理

为解决两冲程发动机扫气效率低的问题, OPOC 发动机采用了 360 度直流扫气, 其扫气口沿气缸周向布置。在 GT-Power 中, 为准确模拟两冲程发动机的扫气过程, 需要输入自定义的扫气曲线, 如图 4 所示。该扫气曲线是运用三维 CFD 软件计算得到, 横坐标表示实时的缸内残余废气比例, 纵坐标表示与之对应的排气中实时的废气比例。

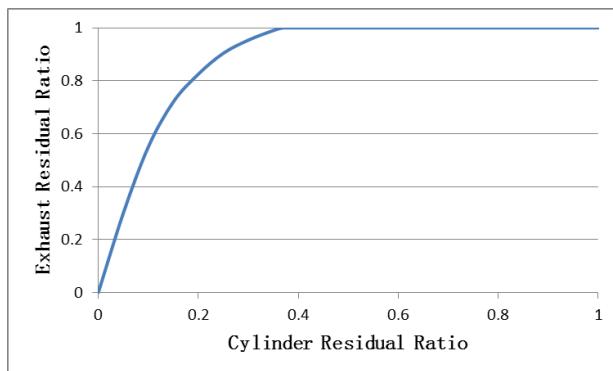


图 4 扫气模型曲线

## 2.3 进排气正时处理

气缸壁上进排气口的开闭是通过内外活塞的运动来控制的, 所以进排气正时就取决于内外活塞与进排气口的相对位置。图 5 是进排气口开启面积与曲轴转角的关系曲线, 与传统发动机中的气门升程曲线类似。为描述进排气口不同开启面积时的流通性, 本文采用三维 CFD 计算了不同开启面积对应的流量系数, 见图 6 所示。

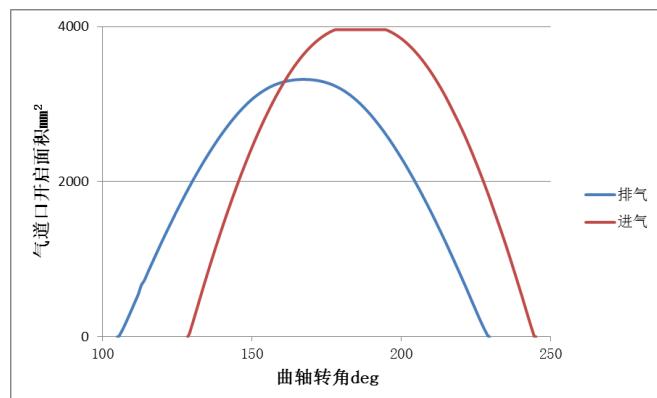


图 5 进排气正时曲线

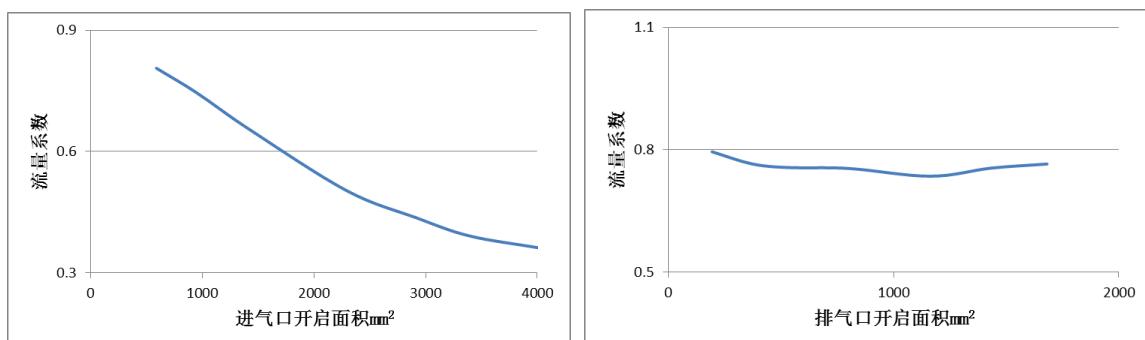


图 6 进排气口流量系数

## 2.4 燃烧模型处理

因 OPOC 发动机特殊的结构, 决定了其放热率也不同与传统发动机, 为能够准确反映缸内的燃烧放热, 采用实测的缸压曲线换算燃烧放热率, 其结果见图 7。

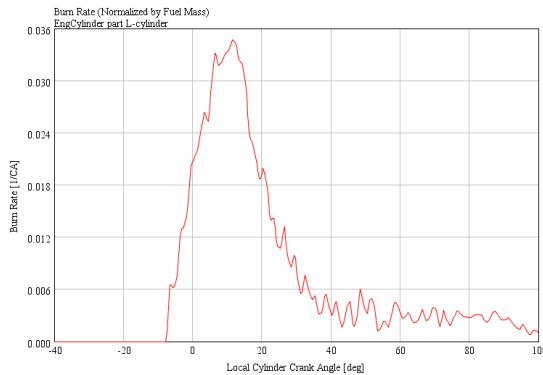


图 7 放热率曲线

## 3 计算结果及分析

为方便与已有试验数据对比, 本文选取了与试验相对应的几个转速点来进行仿真计算, 图 8~图 10 分别是功率、扭矩与油耗的计算值与试验值对比, 从结果看, 计算值与试验值吻合得较好。

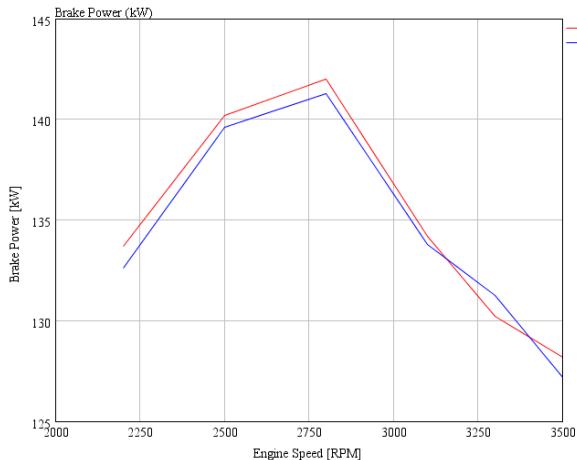


图 8 功率对比

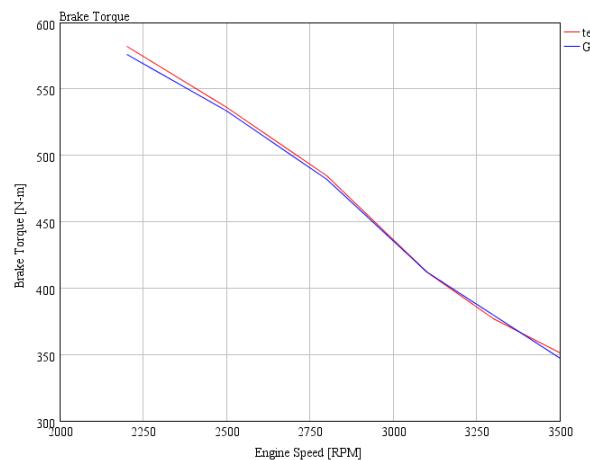


图 9 扭矩对比

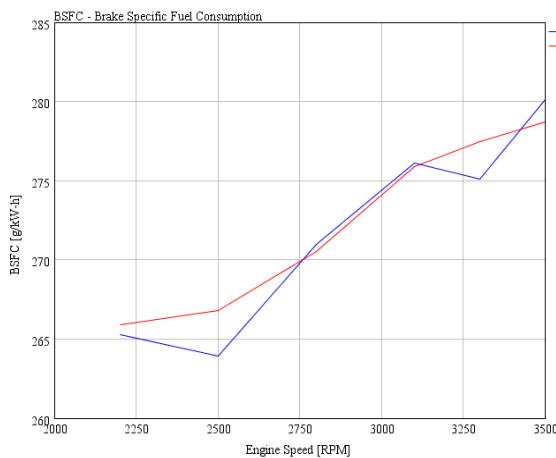


图 10 油耗对比

## 4 结论

- (1) 基于 GT-Power, 通过等效气缸容积处理对 OPOC 非传统发动机进行性能仿真是可行的。
- (2) 由于采用等效容积变化处理, 而实际中是两个活塞在同时运动, 这就会导致仿真中活塞平均速度是实际活塞平均速度的两倍, 因此在使用 Woschni 传热模型时其传热因子应调小, 因为 Woschni 表达式中含有活塞平均速度项; 而在使用 Chen-Flynn 摩擦模型时也存在此问题, OPOC 发动机较常规发动机多了一倍的活塞环和轴承, 但因仿真中活塞平均速度放大了一倍, 正负抵消 ( $2 \times 1/2 = 1$ ), 所以活塞平均速度因子可以不变, 但活塞平均速度平方因子需减半 ( $2 \times (1/2)^2 = 1/2$ )。
- (3) 通过 OPOC 发动机性能仿真, 为后续的进排气系统开发、增压器匹配等提供指导, 以及为后续同类机型的研发提供了平台。

## 参考文献

- [1] GT-suite user manuals
- [2] Peter Hofbauer. Opposed piston opposed cylinder engine for military ground vehicles [C]. 2005-01-1548, SAE World Congress, Detroit, Michigan. April 11 - 14, 2005
- [3] 周龙保 . 内燃机学 . 机械工业出版社 机械工业出版社 . 2005