

三缸非道路用柴油机整机系统建模研究

Integrated System Modeling of a Three-cylinder Non-road Diesel Engine

罗马吉, 于佳, 刘高飞

LUO Ma-ji, YU Jia, LIU Gao-Fei

(武汉理工大学汽车工程学院)

(School of Automobile Engineering, Wuhan University of Technology)

摘要: 采用发动机循环模拟计算方法对发动机工作过程进行仿真时, 模型中给定的参数影响计算结果准确度。本文采用发动机性能仿真分析软件 GT-Power 对某三缸非道路用柴油机进行整机系统建模仿真。为了提高模型预测准确度, 详细探讨了进气管壁温度、进气管长度、传热系数、管道摩擦系数、压力损失系数、外接管长度和直径、进气管流量系数等参数对计算结果的影响程度。计算结果表明, 除了管道摩擦系数和压力损失系数对充气效率影响较小外, 其它参数如进气管温度、传热系数等对充气效率的影响较显著。

关键词: 非道路用柴油机、整机系统建模、充气效率、GT-Power

Abstract: The parameters in the model will affect accuracy of the calculation result when working process is computed by means of engine cycle simulation. In this paper, a non-road diesel engine model is built based on software GT-Power. In order to improve the prediction accuracy, the sensitivities of some parameters are investigated, such as intake pipe's wall temperature, length, heat transfer coefficient, friction coefficient, pressure loss coefficient, discharge coefficient and so on. The results show that the parameters have obvious effects on volumetric efficiency except for friction coefficient and pressure loss coefficient.

Key words: Non-road Diesel Engine、Integrated System Modeling、Volumetric Efficiency、GT-Power

发动机研发采用传统的试验研究方法不但周期长、费用高、适应性差, 而且往往不能得到有关的详细信息。随着计算机技术的发展, 预测模型的不断完善, 采用商业软件(如 GT-Power)进行发动机整机系统仿真在发动机研制和开发中得到了广泛的应用, 不仅解除了设计者的繁重劳动, 还可以大幅度缩短研制周期, 因此发动机整机系统仿真已经受到国内外的高度重视^[1]。国内用于拖拉机和中小型工程机械配套动力的非道路用柴油机由于价格较低, 非常有必要降低研发成本, 采用包括发动机整机系统仿真在内的 CAE 技术可以发挥其作用。

发动机整机系统仿真的准确性取决于所建仿真模型的准确性, 故如何建模成为数值模拟

的关键。本文采用发动机性能仿真分析软件 GT-Power 对某三缸非道路用柴油机进行建模仿真,重点探讨了部分参数如进气管壁温度、传热系数、外接管长度等对计算结果的影响程度,有助于把握建模型精度。

1 模型的建立

本文研究的样机为三缸非道路用柴油机,其基本参数如表 1 所示。

表 1 柴油机基本参数

发动机型式	直列三缸
缸径	100mm
行程	105mm
冲程	4
压缩比	22.1
吸气方式	自然吸气
额定功率	29.4kW(2300r/min)
最大扭矩	141.2N·m(1700r/min)

柴油机整机分析模型包括进气系统、排气系统、气缸、曲轴箱、喷油器等。其中进排气管三维空间结构比较复杂,用简单的一维手动划分网格方法难以精确表达其结构,因此应用 GT-Power 软件的 Discretizer 功能,把进排气管三维 STL 模型自动转化为计算需要的一维管路模型;燃烧模型采用韦伯函数;传热模型采用 woschni 公式。

GT-Power 采用模块结构建立发动机工作过程计算模型。发动机的元件(如气缸、空滤器、催化器、管接头和管道等)模块用方形图框表示,而元件之间必须用圆形图框的连接件连接。发动机的所有结构参数和特性参数在相应的元件模块和连接件模块中定义,连接件可以有具体的物理定义(如气阀连接件和喷嘴连接件等),也可以只具有象征意义(如发动机与气缸连接件、管道之间的连接件等)。所建仿真模型如图 1 所示。

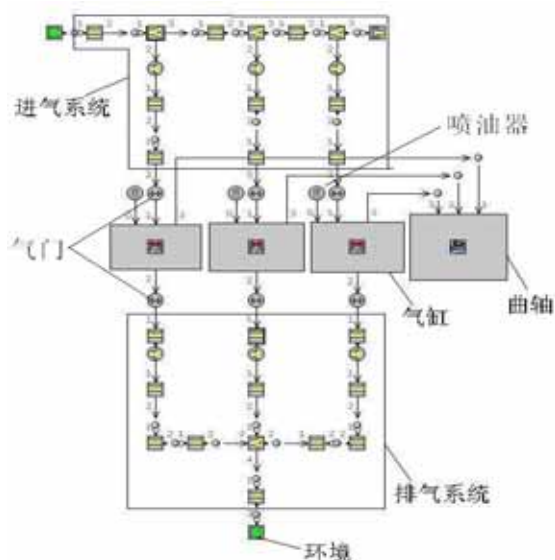


图 1 某三缸柴油机仿真模型

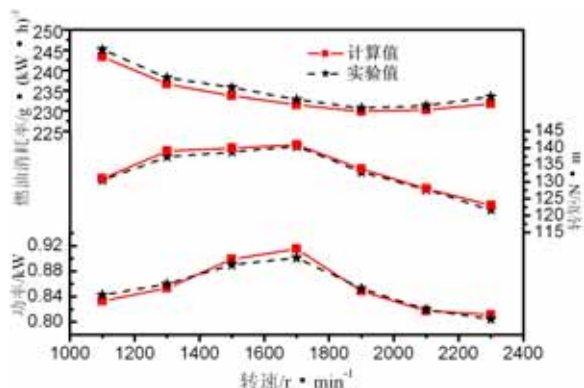


图 2 柴油机仿真模型的校准结果

通常在进行数值模拟计算时,在模型建立以后,必须通过校准才可能确定其准确性,然后才能进行模拟计算。为了评价所建模型的计算精度和可靠性,将模拟结果与实验结果进行了对比。图 2 列出了部分校准后的模型计算结果与实验结果(其他结果对比图不再列出),由结果对比可知,模型是可靠的,故可将计算值作为分析和研究的依据。

2 建模过程中部分参数对发动机性能影响的研究

为了提高所建模型的准确性,利用所建模型研究了一些建模过程中难以把握的参数对计算结果的影响。

2.1 外接管属性设定对进气性能的影响

本文外接管是指稳压箱与进气管之间的连接管道,由于实验原因,整个连接管道由不同长度和直径的短管道组成,建模时为简化起见采用了当量长度和直径,因此需要确定其建模属性,故在此进行特别讨论。

(1) 外接管长度

本文分别计算外接管长度为 1000mm, 1200mm 和 1400mm 时的充气效率,对比结果如图 3 所示。由图可知随着外接管长度增大,充气效率峰值向低转速方向移动,当外接管长度为 1200mm 时,充气效率在 1700r/min 出现峰值;当外接管增长到 1400mm 时,充气效率在 1500r/min 出现峰值。由此可知当进气管长度一定时,可以改变外接管长度来调整充气效率随转速的关系。

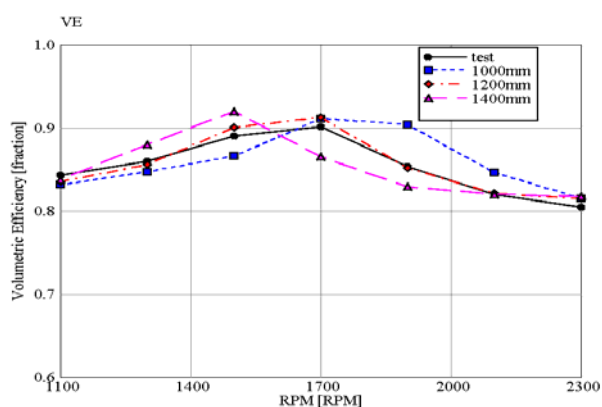


图 3 外接管长度对充气效率的影响

(2) 外接管直径

本文分别计算外接管直径为 50mm、58mm、70mm 时的充气效率,并与实验值进行对比,计算结果如图 4 所示。当外接管直径从 58mm 增大到 70mm 时,充气效率有较大变化:外接管管径增大,充气效率的峰值向高转速方向移动,故外接管管径对发动机进气流量的影响是非常明显的。

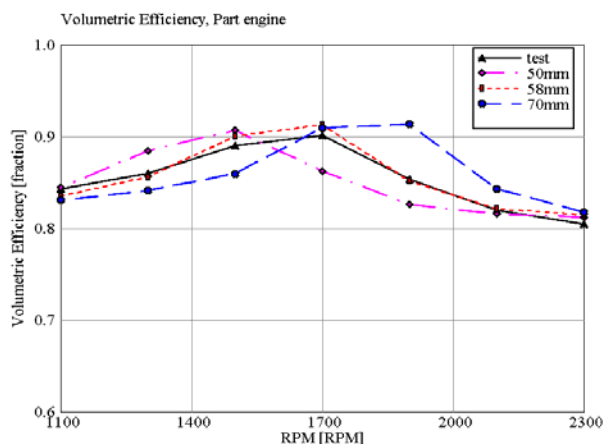


图 4 外接管直径对充气效率的影响

2.2 气道参数对进气性能的影响

(1) 进气管壁温度

发动机气道的温度主要是由于发动机冷却系统决定的, 流体流动对壁面温度的影响较小。进排气道建模一般不考虑管壁传热的影响, ENGICYWALL 模块推荐设定进气管道温度 450K, 排气管道温度 550K, 高温主要是来自于气门的传热^[2]。为了分析气道温度的设定对发动机性能的影响, 本文计算了进气管道温度分别为 400K、450K 时的充气效率, 并与实验值对比, 如图 5 所示。由图可知, 进气管道壁温度的设定对进气流量有明显影响, 当进气管道壁温度降低时, 气道内气体密度增大, 进气流量增加。故气道建模过程中应充分考虑壁面温度这个属性。

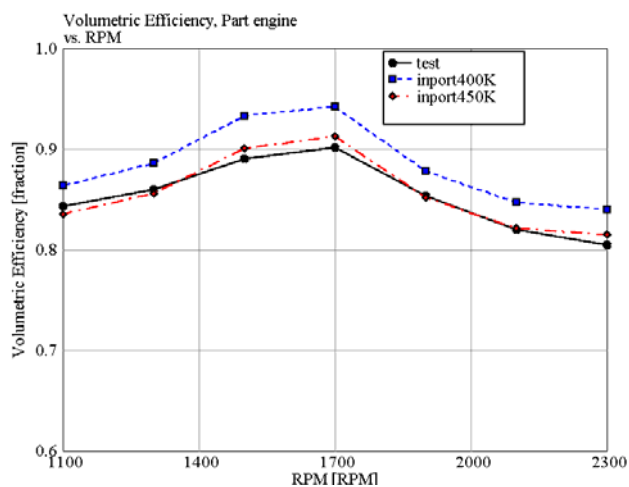


图 5 气道管壁温度的设定对充气效率的影响

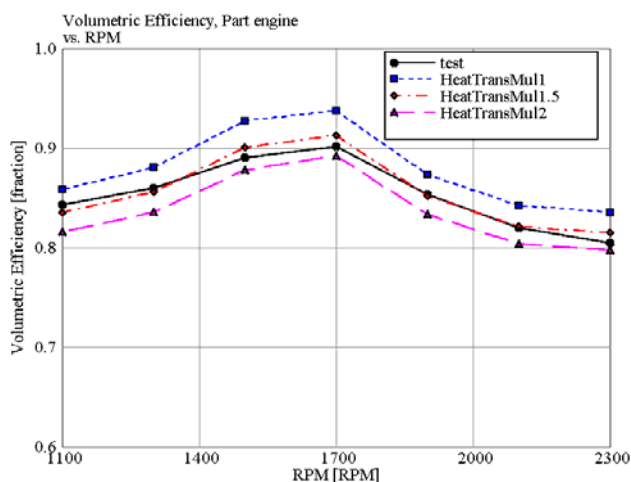


图 6 传热系数设定对充气效率的影响

(2) 传热系数

为了体现气道弯度、喷油嘴和气门杆的多余面积、气门和气门杆形成的紊流对传热的影响, 在进气管道建模过程中, 传热系数设定值应大于 1, 而不能采用缺省值“1”, 一般取值范围为 1.5~2^[2]。为了说明此参数的重要性, 本文计算了传热系数分别为 1, 1.5, 2 时的充气效率, 并与实验值进行对比, 如图 6 所示。

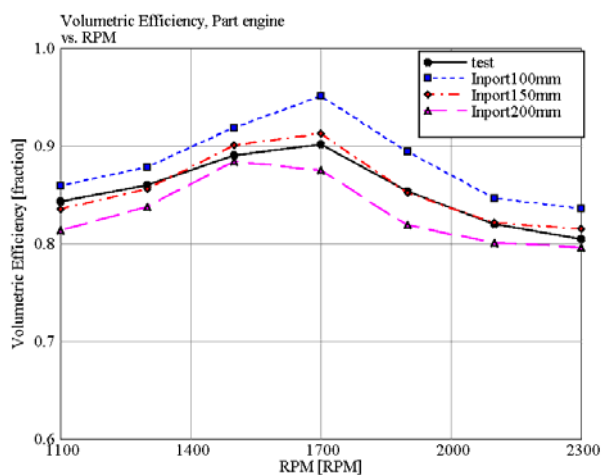


图 7 进气管道长度的设定对充气效率的影响

(3) 进气管道长度

该柴油机进气管道为螺旋气道, 结构复杂, 因此将螺旋气道简化为一维管路模型必须注意管道长度的选取。气道长度一般选取螺旋气道中心线的长度。为

了说明此参数的重要性, 本文计算了进气道长度分别为 100mm、150mm、200mm 时的充气效率, 并与实验值进行对比, 如图 7 所示。由图 7 可知, 气道长度对进气流量有较大影响。管道越长, 流动阻力越大, 进气流量减小, 并在一定程度上可以改变充气效率峰值随转速的关系。

(4) 摩擦系数和压力损失系数

因气门流量系数的计算已经包含了气道压力损失的影响, 故在对气道进行建模时, 为了防止计算过程中气道的损失被计算两次, 一般设定摩擦系数和压力损失系数为“0”^[2]。本文分别计算了摩擦系数为 0、1、2 以及压力损失系数为 0、1、2 时的充气效率, 如图 8、图 9 所示。

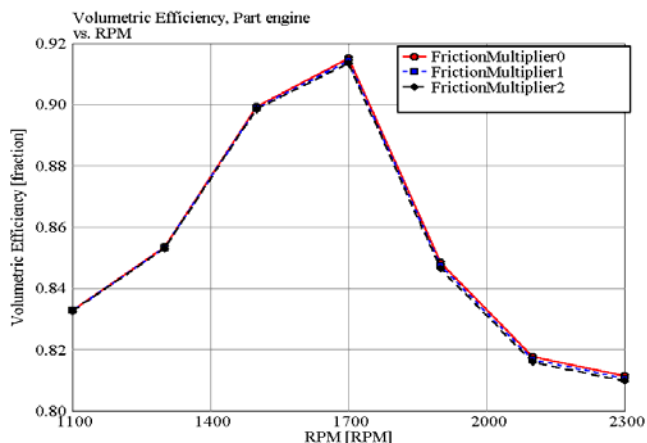


图 8 摩擦损失系数对充气效率的影响

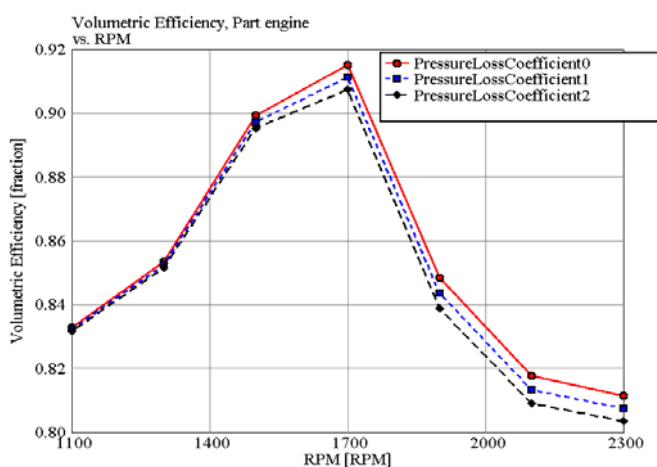


图 9 压力损失系数对充气效率的影响

由图 8 可知, 在整个转速范围内, 摩擦损失系数对充气效率的影响都不太显著。压力损失系数对充气效率的影响程度。压力损失系数对充气效率的影响在高速下大于低转速, 在 2300r/min, 随着压力损失系数的减小, 充气效率从 0.803 增大到 0.811, 增幅 1%。故无论在高低转速, 压力损失系数的改变对充气效率的影响都不太显著^[3]。

2.3 进气道流量系数

流量系数可用来评价气道的流通能力, 对发动机的进气流量有重要影响。为了研究其对计算结果的敏感性, 在实验数据的基础上进气道流量系数整体每增加 0.1 计算其对发动机进气流量的影响。结果如图 10 所示。由此可知, 在中低转速随着流量系数的增加, 充气效率有所降低。转速为 1500r/min 为转折点, 随着转速的升高, 流量系数越大, 充气效率越高, 只是增幅有限。这表明对于某一工况来讲流量系数并不是越大越好, 应该根据发动机工况、燃烧室形状选取合适的流量系数及涡流比。

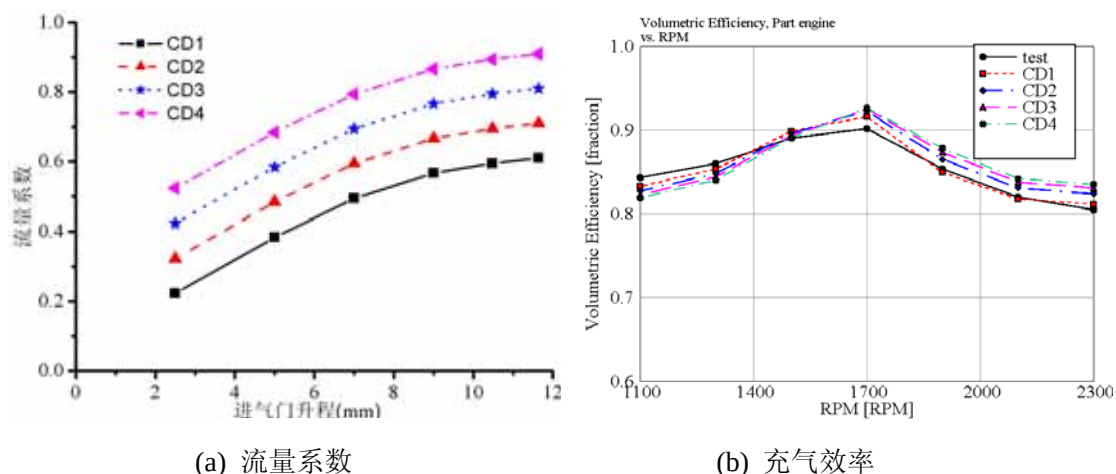


图 10 流量系数对充气效率的影响

3 结论

本文重点探讨了建模时部分参数对计算结果的影响：(1)外接管长度和直径均可以影响充气效率随转速的关系：外接管长度增大，充气效率峰值向低转速方向移动；外接管管径增大，充气效率的峰值向高转速方向移动。(2)进气道的摩擦系数和压力损失系数对充气效率的影响不显著。进气道壁温，传热系数对充气效率影响明显。(3)流量系数是影响充气效率的关键因素：在中低转速随着流量系数的增加，充气效率有所降低；在高转速下充气效率随流量系数增加而有所增大。因此，正确设定以上参数是模型准确性的基础。

4 参考文献

- [1] 韩爱民, 蔺鑫峰, 孙柏刚, 等. 基于 GT-Power 的 BN6V87QE 汽油机性能优化仿真. 北京工业大学学报, 2007, 33(6): 617-621
- [2] GT-POWER User's Manual. Version 6.2, 2006
- [3] 邓康耀. 发动机循环模拟中有关参数对充气效率的影响度. 上海交通大学学报, 1998, 32(7): 121-124