

发动机曲轴箱通风系统一维 CFD 分析

1D CFD Analysis of Crankcase Breathing System

王翀 陈小东 欧康 卿辉斌

(长安汽车动力研究院, 重庆, 401120)

摘 要: 本文对曲轴箱通风系统内部气体流动过程进行了仿真分析, 得到了曲轴箱通风系统内部的气体流动规律、压力变化情况和泵气损失大小。通过仿真分析, 可以确定和量化发动机的泵气损失, 加深对曲轴箱通风系统内部复杂现象的理解, 为发动机的优化设计提供有力的支持。

关键词: 曲轴箱通风系统、CFD、泵气损失、GT-POWER

Abstract: This paper has done a simulation analysis of the internal flow in the crankcase breathing system, and the gas flow law, pressure change and pumping gas loss of crankcase breathing system are obtained. Through the simulation, we can identify and quantify the pumping gas loss of engine, deepen the comprehension for the complex pattern of the crankcase breathing system, and provide support for optional design of engine.

Key Words: crankcase breathing system; CFD; pumping gas loss; GT-POWER

1. 前言

面对日益激烈的市场竞争和越趋严格的政策法规, 汽车生产厂商在进行发动机设计开发时更加精细化、专业化、系统化。在这过程中, 对发动机曲轴箱通风系统性能好坏的关注程度也在日益提升。

发动机在运行时, 从活塞环和涡轮增压器浮动轴承处会泄露出一定量的窜气。如果该窜气直接排向大气, 将会造成环境污染, 并且也会降低发动机的燃油经济性。曲轴箱通风系统的主要功能是利用进气系统的负压, 将窜气重新引入燃烧室, 经过尾气处理系统转化后排向大气, 避免直接排放造成环境污染。同时, 曲轴箱通风系统能防止发动机曲轴箱内压力过高, 影响发动机的密封性能, 防止发动机漏油。

曲轴箱通风系统非常复杂, 且需要与发动机的进气系统、燃烧系统等其它系统相互配合工作。在设计时, 大到整机性能与各部位真空度的计算分析, 小到一个回油孔的大小和位置的选择, 都要充分考虑, 保证系统的性能可靠。

因此, 本文对某车用 4 缸汽油发动机的曲轴箱通风系统进行了一维仿真分析, 分析了曲轴箱通风系统内的气体流动规律和压力变化情况, 以及泵气损失大小。

2. 计算模型与模型标定

2.1 计算模型

如图 1, 本文以某直列 4 缸汽油发动机曲轴箱通风系统为研究对象, 利用 GT-POWER 建立了发动机曲轴箱通风系统一维分析模型。分析模型主要由两部分组成, 一部分为发动机性能模型, 另一部分为曲轴箱通风系统模型, 具体如图 2 所示。

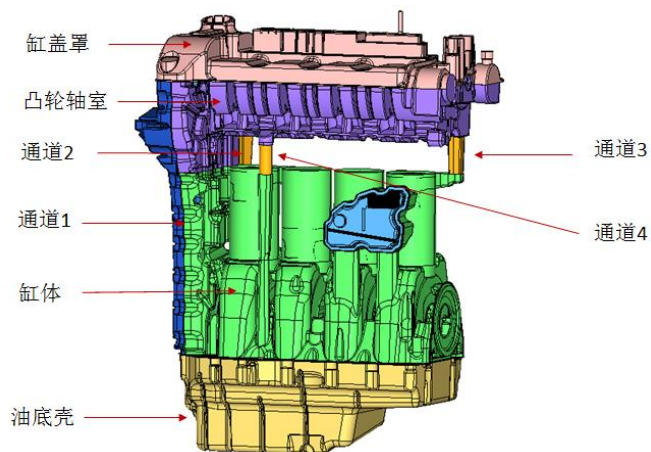


图 1 发动机几何模型

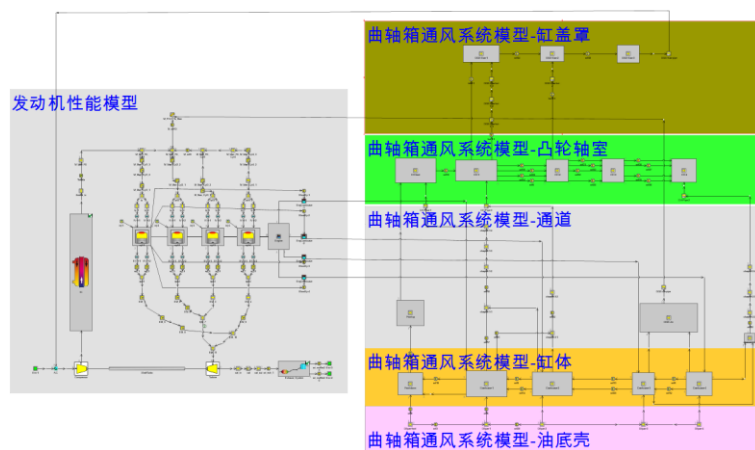


图 2 计算模型

2.2 模型标定

根据试验数据,对发动机的空滤器流动阻力、功率、活塞漏气量、中冷后压力等主要参数进行了标定。仿真计算结果与试验结果的偏差均在 2%之内,说明该计算模型可被用作后期仿真计算。图 3、4、5、6 分别为空滤器流动阻力、发动机功率、活塞漏气量、中冷后压力的标定结果。

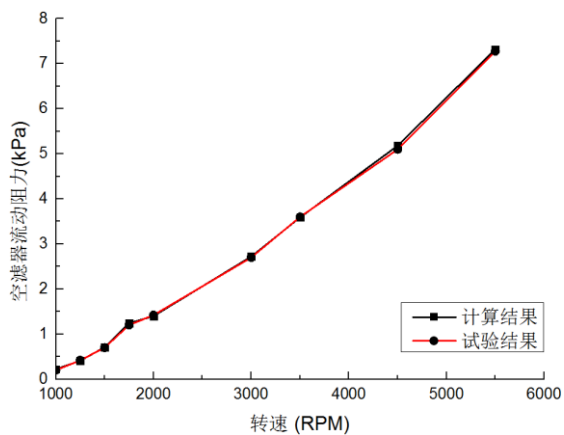


图 3 空滤器流动阻力

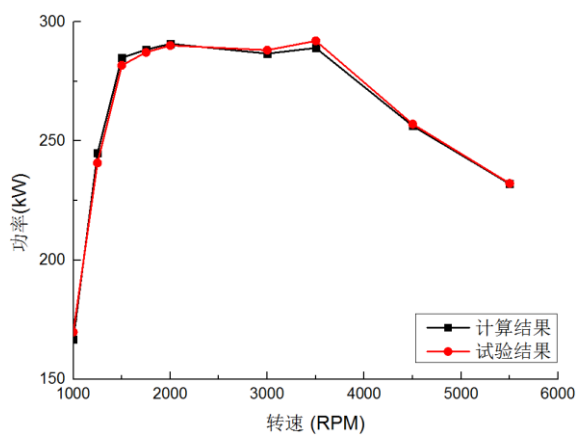


图 4 功率

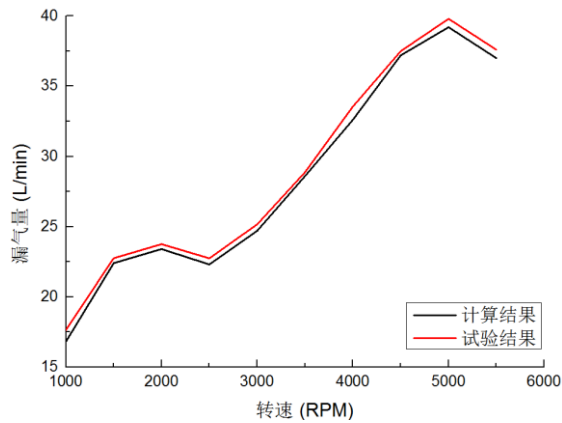


图 5 活塞漏气量

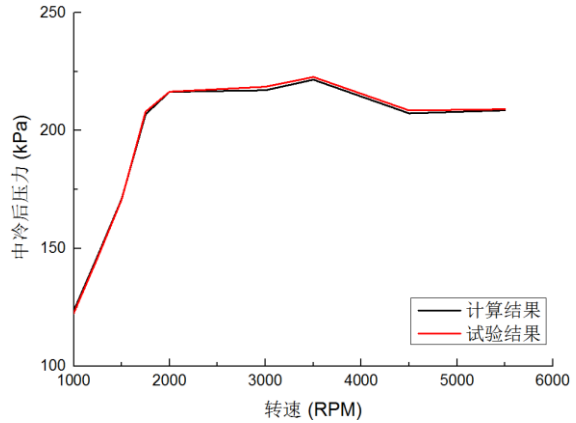


图 6 中冷后压力

3. 计算结果

3.1 曲轴箱压力

曲轴箱压力是曲轴箱通风系统的重点关注指标。如果曲轴箱内压力长时间保持正压，将会降低发动机的密封性能，使曲轴箱内的窜气被直接排向大气，造成环境污染。同时，国家法规要求，整车在怠速和 50km/h 时，发动机曲轴箱压力不得出现正压。图 7 是优化前后曲轴箱压力变化情况。优化前，发动机在低转速高负荷时，曲轴箱压力为正，不满足设计要求。通过调整空滤器出气管上的曲通连接位置和优化曲通管路走向，使得在发动机在全部运行工况下，曲轴箱压力均小于大气压。

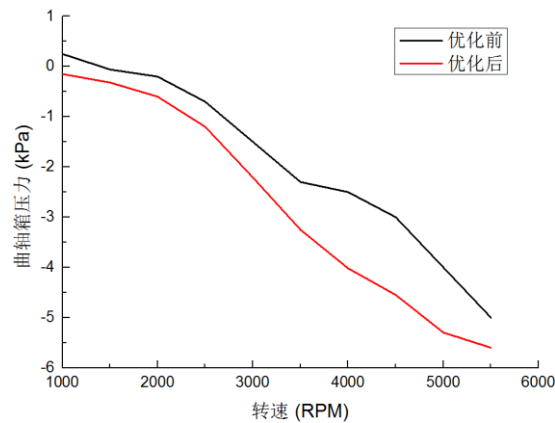


图 7 曲轴箱压力

3.2 流量分配规律

如图 8，本文统计了不同转速下，缸体各油气通道中气体的流量分配比例。从图中可以看出，不同转速下，各通道气体流量比例变化幅度较小。并且，活塞漏气主要通过通道 1 进入凸轮轴室。根据缸体处的主要油气通道必须靠近缸罩油气分离器进口的原则，以及本机型通道 1 靠近缸罩油气分离器进口的结构形式来判断，本机型结构设计合理。

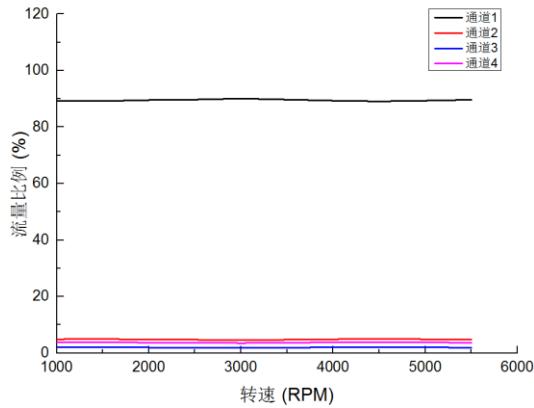


图 8 缸体油气通道气体流量分配比例

3.3 压力波动与泵气损失

图 9 为在一个工作循环过程中，曲轴箱内的压力波动情况。图 10 统计了不同气缸的泵气损失大小。从图中可以看出，一缸和四缸的压力波动幅度小于二缸和三缸；并且一缸的泵气损失最小，三缸的泵气损失最大。产生这个现象的原因是，一缸靠近活塞漏气的主要通道，曲轴箱内压力变化最小，所以由于气动阻力导致的功率损失也最小。

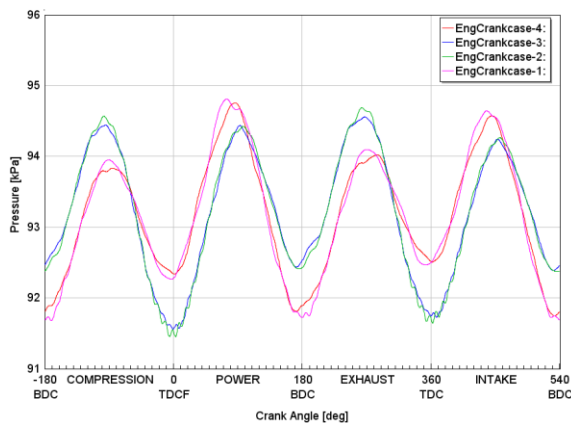


图 9 曲轴箱压力波动

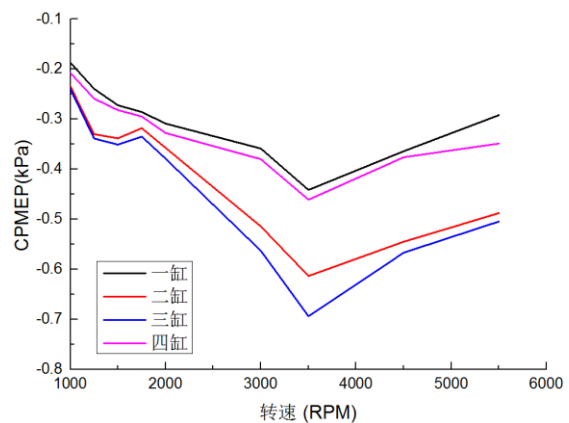


图 10 泵气损失

4. 参数敏感性分析

4.1 曲轴箱压力

图 11 为油气分离器与空滤器的曲通连接管在不同管径情况下曲轴箱压力变化情况。从图中可以看出，增大管径后曲轴箱压力基本不变，但缩小管径后曲轴箱压力明显增大，在 1000RPM 时处于正压状态。该现象表明，曲通连接管管径应与油气分离器出口和空滤器活塞进口的管径大小相匹配。如果曲通连接管管径过小，将导致曲轴箱出现正压；如果曲通连接管管径过大，对改善曲轴箱压力的效果较小，同时会造成生产成本增加。

图 12 显示了油气分离器与空滤器的曲通连接管在空滤器出气管上的不同安装位置情况下的曲轴箱压力变化情况。从图 12 可知，发动机在低转速时，将曲通连接管安装位置往空滤器出气管进口移动 20mm、40mm 和往空滤器出气管出口移动 20mm 均不会对曲轴箱压力产生较大影响；但在高转速时，安装位置的不同将会使曲轴箱压力产生明显的变化。产生上述现象的原因是，发动机在低转速时，

进气量较小，空滤器出气管不同位置的压力差异不大；而随着发动机转速的增加，发动机的进气量增大，空滤器出气管不同位置的压力差异则会变得十分明显。

对比图 11 和图 12 可知，调整曲通连接管在空滤器出气管上的安装位置可明显改变曲轴箱内的压力大小，解决曲轴箱压力异常的问题。

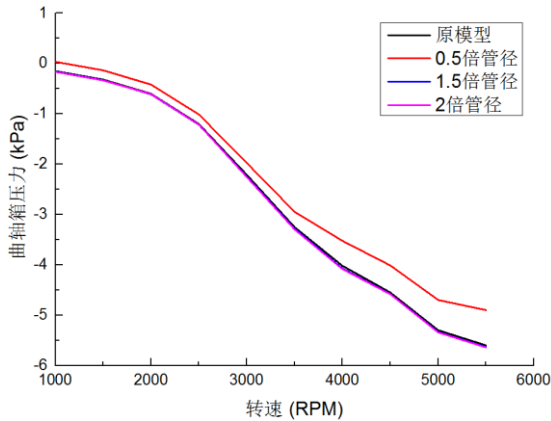


图 11 不同曲通连接管管径
对曲轴箱压力的影响

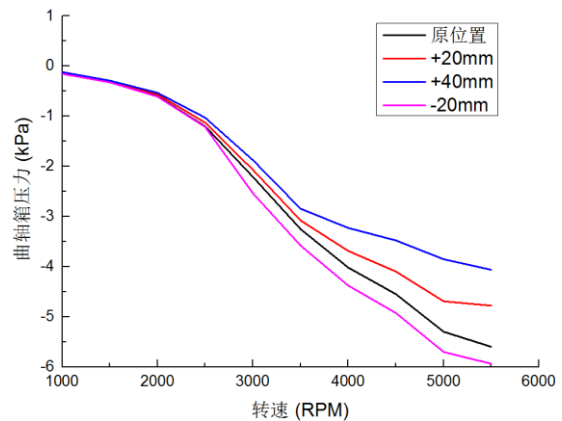


图 12 不同曲通连接管位置
对曲轴箱压力的影响

4.2 泵气损失

影响曲轴箱通风系统泵气损失最主要的因素是曲轴箱容积和曲轴箱连通孔大小。图 13、14 为不同曲轴箱体积和曲轴箱连通孔大小情况下，发动机第三缸的泵气损失变化情况。根据图中数据可知，可通过增大曲轴箱体积和曲轴箱连通孔孔径来减小泵气损失，而减小曲轴箱体积曲轴箱连通孔孔径会造成泵气损失变大。增大曲轴箱体积和曲轴箱连通孔孔径均会减少曲轴箱内气体流动阻力，降低曲轴箱内的压力波动幅度，从而最终降低泵气损失。综合图 13、14 可知，通过调整曲轴箱连通孔大小来降低泵气损失的效果优于调整曲轴箱体积大小。

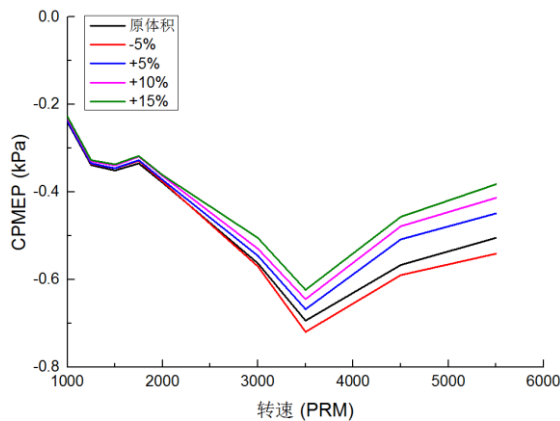


图 13 不同曲轴箱体积大小
对泵气损失的影响

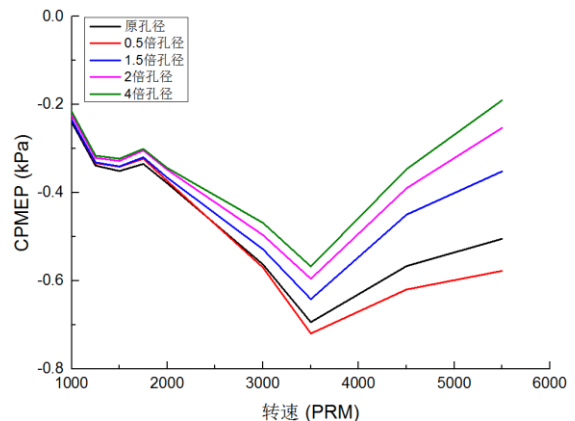


图 14 不同曲轴箱连通孔
大小对泵气损失的影响

5. 结论

本文通过对某直列 4 缸汽油机曲轴箱通风系统进行一维 CFD 分析，发现：

- 1) 可利用 GT-POWER 软件进行曲轴箱通风系统进行一维 CFD 分析，可快速得到曲轴箱压力、活
塞漏气量、泵气损失和流动分配规律等信息。
- 2) 通过仿真分析，可进行曲通管路管径选择、曲通管路连接位置选取、确定合适的发动机几
何尺寸等工作，指导曲轴箱通风系统设计，实现仿真驱动设计的目标。

6. 参考文献

- [1] 陈家瑞，马天飞，汽车构造(第五版)[M]，北京：人民交通出版社，2006
- [2] 王翀，陈小东，朱肃敬 等 发动机曲轴箱通风系统 CFD 分析，内燃机，2016 (3)
- [3] GT-suite 帮助文档