

GT-Power 在 PCV 系统仿真中的应用

PCV System simulation by GT-Power

上海汽车集团股份有限公司技术中心/上海市汽车动力总成重点实验室

王莹臻 郭凯 张小矛 陈明 徐政

摘要: 曲轴箱强制通风(PCV)系统是现代发动机的重要组成部分,其设计会影响发动机的经济性和排放。本文采用 GT-Power 软件对某自然吸气发动机的 PCV 系统进行建模分析,得到不同转速和负荷工况点下的活塞窜气量、曲轴箱压力波动及全负荷呼吸管和部分负荷呼吸管的流量分配等结果,验证了曲轴箱强制通风系统满足设计要求。

关键词: 曲轴箱强制通风系统、窜气、GT-Power 模拟

Abstract: The PCV system is the important part of the modern engine. Its design will impact the fuel economy and the emission of the engine. In this paper, GT-Power software is used to model and analyze a naturally aspirated engine. And the results include the blow by flow rate, the crankcase pressure and the mass flow rate distribution of the full load and part load vent pipe. These results show that the design of the PCV system meets the requirements.

Key Words: PCV System, Blow by, GT-Power Simulation

1. 前言

在发动机运转时,会有部分可燃混合气和已燃气体通过活塞组与气缸之间的间隙进入曲轴箱,造成窜气。一般在技术状态正常的情况下,窜气量为发动机总排气量的 0.5%~1.0%^[1]。窜气的成分为大量未燃 HC 及其不完全燃烧产物、少量的 CO、NOX、水蒸气等,这会稀释机油,降低机油的使用性能,加速机油氧化、变质。水气凝结在机油中,还会形成油泥,阻塞油路;窜气中的酸性成分混入润滑系统,会导致发动机零件的腐蚀,并急速磨损;窜气还会使曲轴箱的压力过高而破坏密封,使机油渗漏流失。

为了防止曲轴箱压力过高,减小机油消耗量,减小零件磨损和腐蚀,必须实行曲轴箱通风。此外,国家排放法规规定,曲轴箱窜气不可排入大气,以免造成大气污染,因此需要采用强制通风方式,把曲轴箱排放物吸入进气管,进而在气缸内烧掉。

曲轴箱强制通风系统,又称 PCV 系统(Positive Crankcase Ventilation,缩写 PCV),通常包括油气分离器、曲轴箱压力控制系统、回油腔、通风腔及呼吸管五部分。回油腔和通风腔一般布置在发动机本体中,贯穿缸盖、缸体和曲轴箱。

本文基于某 1.5L 自然吸气发动机,进行曲轴箱强制通风系统一维仿真。该仿真可以得到不同转速和负荷工况点下的活塞窜气量、曲轴箱压力及呼吸管流量分配情况等结果,最终验证 PCV 系统的设计合理性,通过优化结构参数还可以降低由于活塞窜气引起的泵气损失,提升发动机经济性。

2. PCV 系统结构及原理

如下图所示,部分负荷工况下,节气门后真空度较高,油气分离器分离后的废气经过 PCV 阀、部分负荷呼吸管被吸入进气管中,最终与新鲜空气一起进入气缸,参与燃烧。低速低负荷下,进

气歧管负压较高，通过 PCV 阀进行压力控制，避免曲轴箱压力过低。另外，此时全负荷呼吸管内也会有少量新鲜空气通过，进行补气。全负荷时，由于全负荷呼吸管管径较大，阻力较小，油气分离器分离后的废气大部分经由全负荷呼吸管进入空滤前进气管，与新鲜空气汇合，较少量的废气经由部分负荷呼吸管进入进气歧管与新鲜空气汇合。

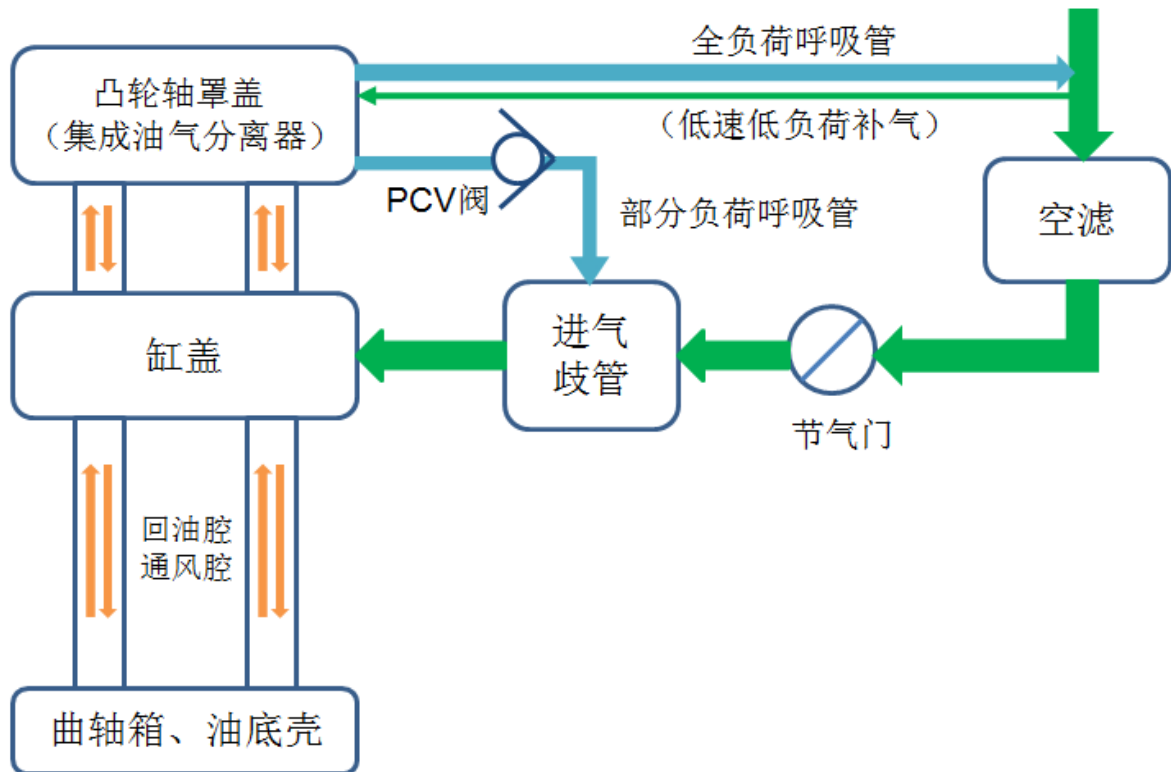


图1 PCV 系统机构及原理示意图

3. 计算模型建立

本文采用 Hypermesh 软件将 PCV 系统从发动机 CAD 模型中抽取出来，在 star-ccm+ 中封闭几何空间并划分面网格，最终以 stl 格式导出，然后导入 GEM3D 中进行离散化。

如图 2 所示，几何模型外部结构包括全负荷及部分负荷呼吸管、凸轮轴罩盖、缸盖、缸体内部回油腔和通风腔、部分气缸、前端罩盖、曲轴箱和油底壳等。内部结构包括油气分离器内部隔板，凸轮轴及轴承、曲轴及轴承、曲轴箱挡油板、吸油盘及油泵等。另外还需将油底壳内部体积减去机油体积。

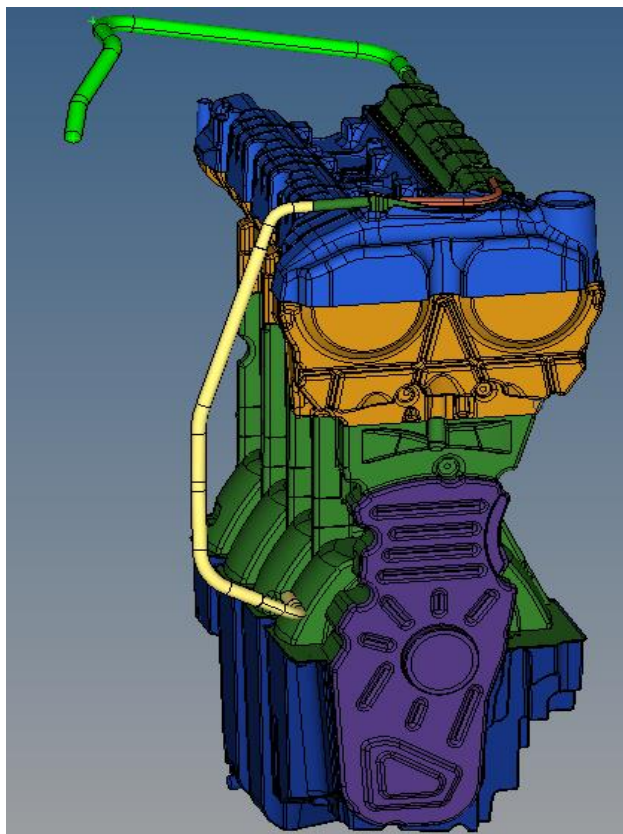


图 2 几何模型

GEM 离散后导出的 GT-Power 模型见图 4。曲轴旋转过程中平衡重会遮挡 2、3 缸之间以及 1 缸与前端链条箱之间的通风孔，该两处的孔径需要设置随曲轴转角变化的情况，如图 3 所示。

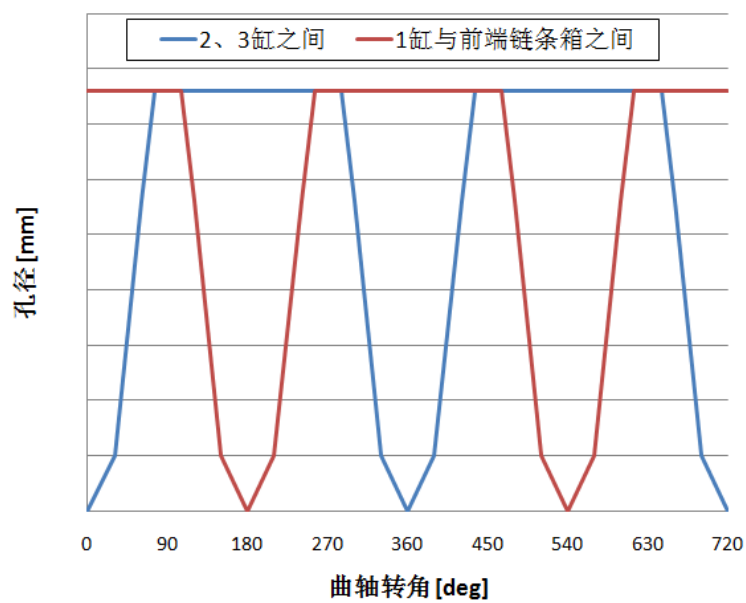
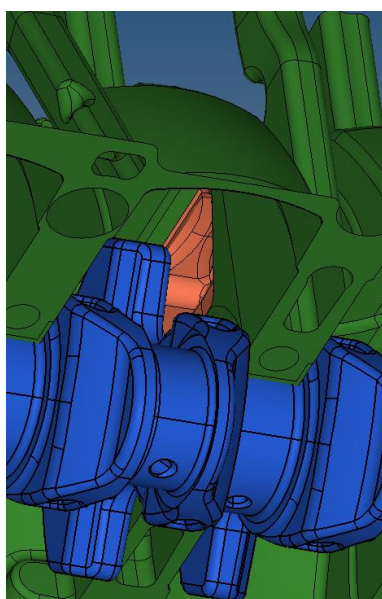


图 3 平衡重遮挡通风孔情况

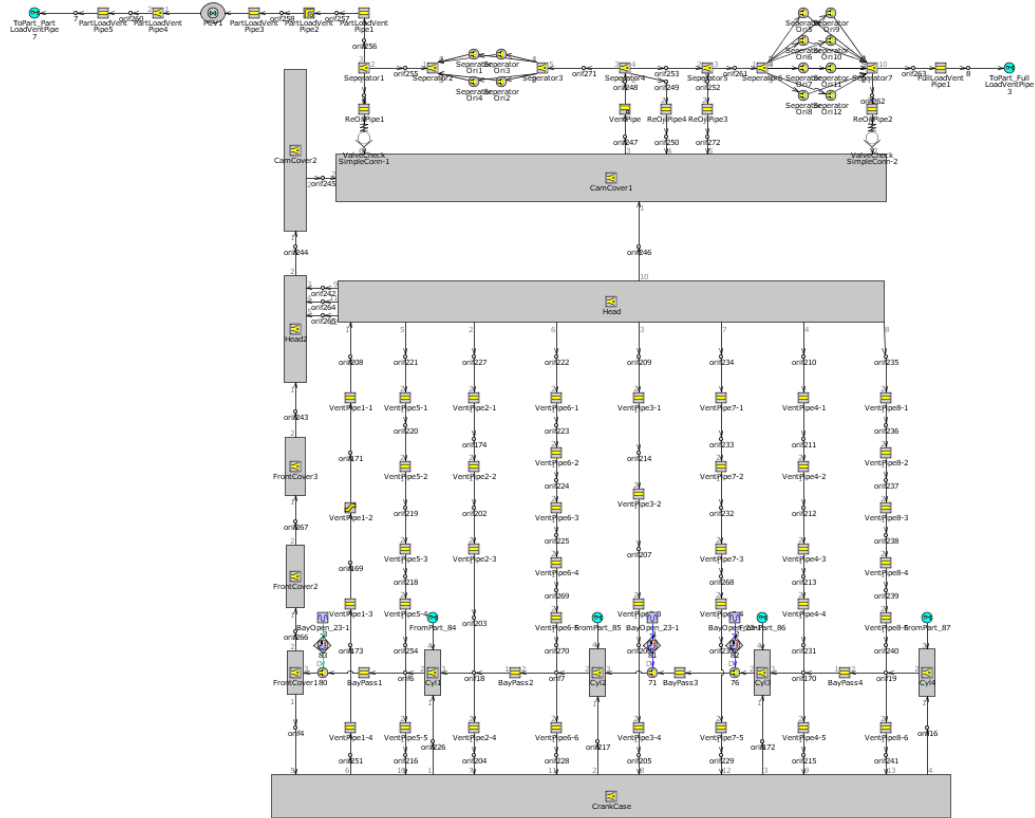


图 4 GT-Power 曲轴箱通风系统子模型

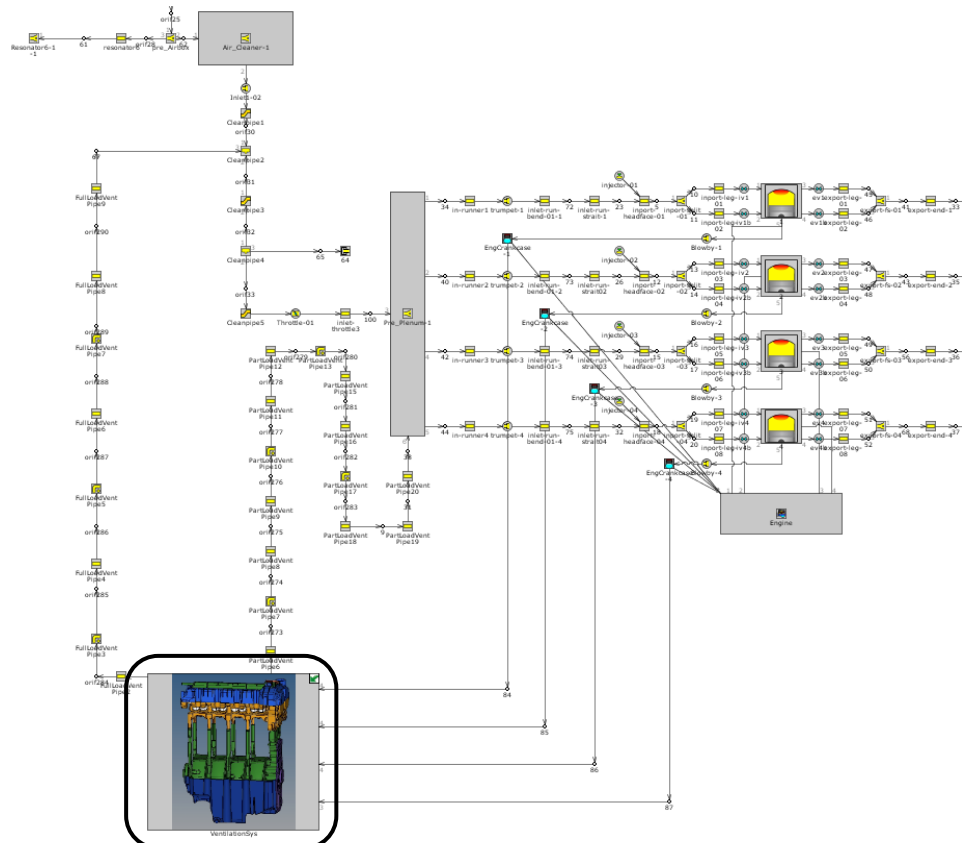


图 5 GT-Power 全模型

如图 5 所示，将 PCV 模型与发动机模型联合起来，可以计算不同发动机工况下，PCV 系统内的各处的压力和流量分布情况。

4. 计算结果分析

4.1 2000rpm 不同负荷计算

分别在 2000rpm 不同负荷工况点下进行计算，得到活塞漏气量 (blow by) 与试验值对比如图 6 所示。随着负荷增大，窜气量增大，计算值与试验值吻合较好。如图 7 所示，部分负荷下，油气分离器后气体经过部分负荷呼吸管流向进气歧管，新鲜空气经由全负荷呼吸管对曲轴箱进行补气；全负荷下，油气分离器后大部分气体经过全负荷呼吸管流向空滤前进气管，另有小部分气体经由部分负荷呼吸管流向进气歧管。一个循环内的曲轴箱压力情况如图 8 所示，可以看到，三个不同负荷工况下，曲轴箱内都有一定的负压且波动较小。

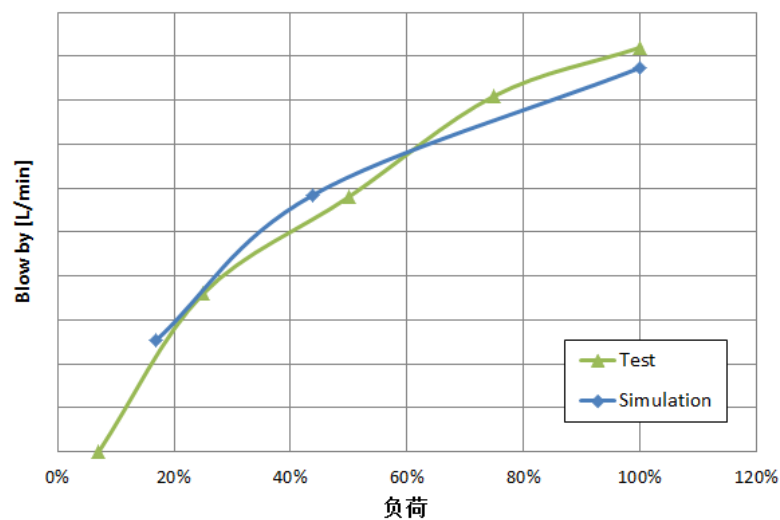


图 6 2000rpm 不同负荷活塞窜气量

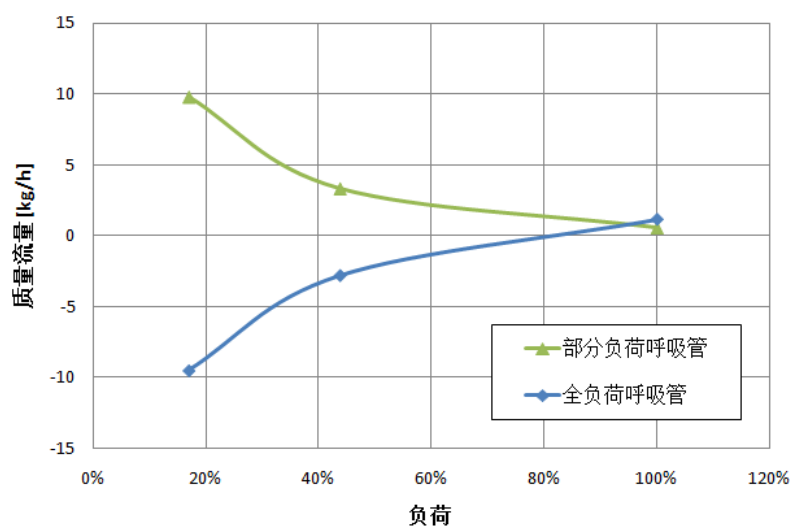


图 7 2000rpm 不同负荷呼吸管流量

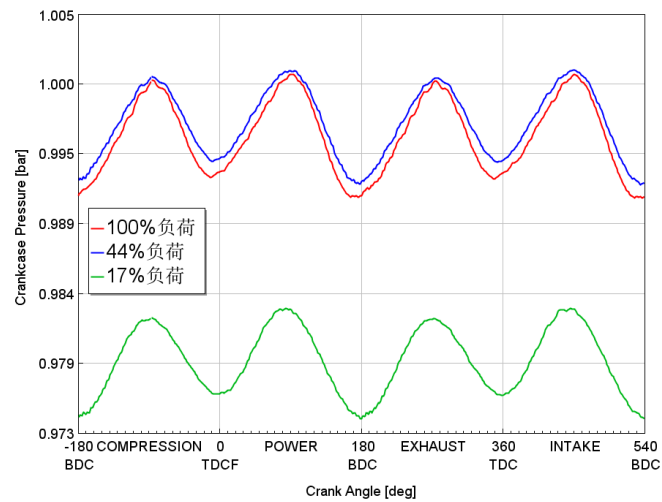


图 8 2000rpm 不同负荷曲轴箱压力

4.2 全负荷计算

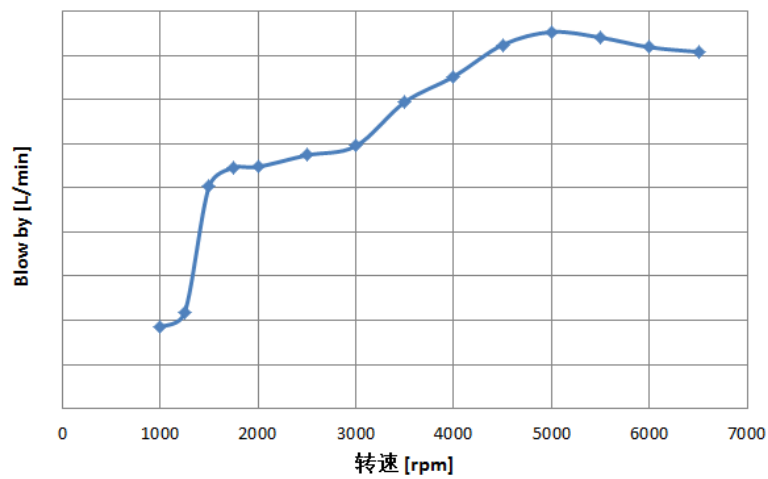


图 9 全负荷活塞漏气量

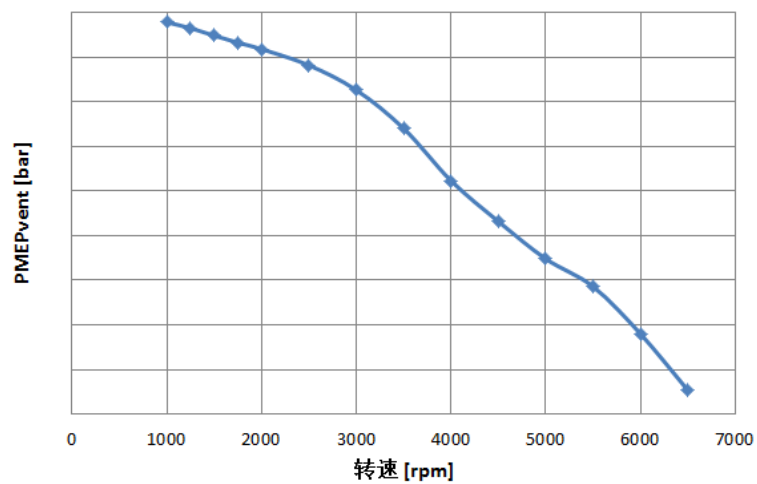


图 10 活塞窜气造成的泵气损失

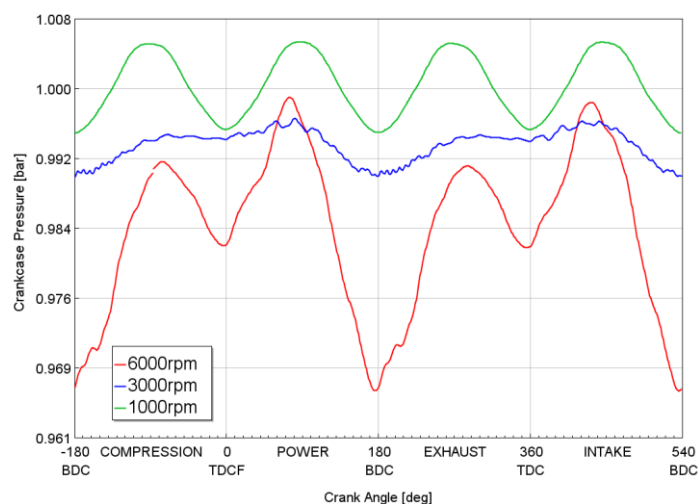


图 11 全负荷不同转速曲轴箱压力

全负荷工况点活塞漏气量计算结果如图 9 所示, 随着转速增大, 窜气量增大, 由此造成的泵气损失如图 10 所示。一个循环内不同转速的曲轴箱压力如图 11 所示, 转速越高, 曲轴箱内负压越大, 总体来说, 曲轴箱内压力波动较小。

5. 结论

建立了采用 GT-Power 软件对 PCV 系统进行一维仿真计算的能力, 可用于分析计算不同转速和负荷工况点下的 PCV 系统运转情况, 为 PCV 系统参数设计和优化打好基础。

本文分析的自然吸气发动机 PCV 系统, 各工况下活塞漏气量较小, 曲轴箱有一定负压且波动较小, 满足设计要求。

6. 参考文献

- [1] 周龙宝 主编. 《内燃机学》. 机械工业出版社. 2006.01
- [2] 柳国立, 刘正勇, 韩俊楠, 张蒙, 吴贵荣 现代发动机曲轴箱通风系统设计研究 内燃机与配件 2014. 12
- [3] 马步伟, 胡明江 汽油机曲轴箱通风系统的设计策略 中国农机化学报 2015. 03
- [4] 王翀, 陈小东, 朱肃敬, 蒋文萍, 詹樟松, 卿辉斌 发动机曲轴箱通风系统 CFD 分析 内燃机 2016. 06

本项研究工作得到了上海市科学技术委员会的资助, 资助课题编号为 14DZ2260600, 课题名称为上海市汽车动力总成重点实验室。