

某高压燃油共轨系统压力波动分析及优化

Simulation on pressure pulsation and optimization of a high pressure fuel common rail system

(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)

邢小伟 李世伟 郭凯 张小矛 陈明 徐政

摘要: 为降低高压燃油共轨系统噪声, 需要降低系统油压波动幅度, 本文通过模拟的方法, 计算得到系统油压波动过程, 并将其进行傅里叶变换, 得到油压波动较大幅值的频率值。基于原方案, 设计了不同的节流孔孔径、节流孔位置、油管管径、油轨管径、谐振腔大小、可变容腔大小及位置, 分别计算了各参数下系统油压波动情况, 通过对比分析, 研究了各参数对降低油压波动的影响。

关键词: 噪声、油压波动

Abstract: The pressure pulsation amplitude of a high pressure fuel common rail system needs to be decreased for noise reduction. The pressure pulsation of the high fuel common rail system was calculated through 1D simulation. Compared different orifice diameter, orifice location, oil pipe diameter, fuel common rail diameter, cavity resonator, variable vessel cases for optimization of system with base case, the influence of design parameter to decrease pressure pulsation amplitude is evaluated.

Key Words: Engine noise, Pressure pulsation

1. 前言

怠速时, 发动机噪声为整车主要噪声源。怠速工况下, 发动机噪声主要来自于曲轴/凸轮轴系统、燃烧系统及高压燃油喷射系统^[1-4]。对高压燃油喷射系统, 由于高压油泵和喷油器的周期性开启关闭, 使得系统油压产生周期性波动及油泵阀、喷油器阀落座的撞击。为降低高压燃油喷射系统噪声, 需要降低系统燃油压力波动, 以减小激励幅值, 然而试验中难以测得系统压力波动, 故需要通过建立高压燃油喷射系统模型来进行系统优化。

本文基于GT软件, 搭建了某发动机高压燃油喷射系统模型, 针对多种设计参数进行分析, 研究了各参数对压力波动的影响及如何有效降低系统油压波动, 以达到降低系统噪声目的。

2. 高压燃油共轨模型建立

建立了空调系统一维仿真模型, 模型中包含高压燃油泵、油管、油轨、喷油器和相关控制元件, 如图1所示。

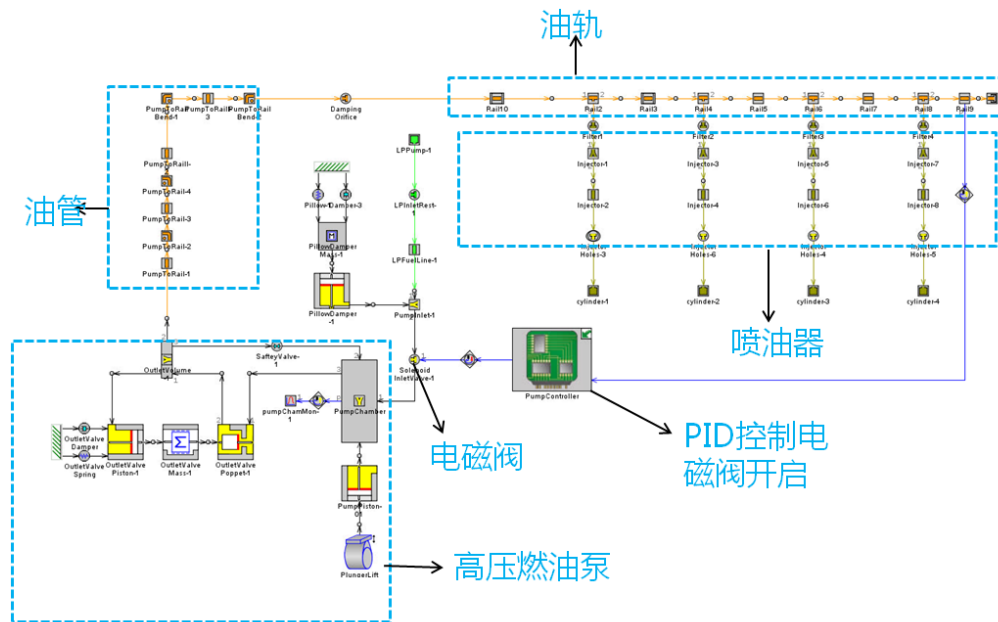


图 1 高压燃油共轨系统一维模型

高压油泵为柱塞泵，工作过程主要分为以下三段：

- 1 吸油：柱塞从上至点下行，泵内容积增大，进口电磁阀开启；
- 2 溢流：柱塞从下至点上行，泵内容积减小，燃油被压缩，进口电磁阀仍旧开启，部分燃油回流，油泵出口阀还未开启；
- 3 泵油：柱塞继续上行，进口电磁阀关闭，泵内容积减小，压力迅速增大，压开油泵出口阀，开始向燃油系统泵油。

一个工作循环内，喷油器按照 1-3-4-2 缸的顺序，依次完成喷射。

3. 计算结果

对高压燃油喷射系统，怠速工况下的喷油过程进行模拟，提取油轨处压力波动变化，并对其进行傅里叶变换。

从图 2 可以看出，高压燃油共轨系统油轨内压力产生波动，振动幅度为 1.8bar，波谷出现于喷油器开启时刻，波峰出现于柱塞泵压缩上止点附近。由于高压燃油共轨系统产生的噪声主要处于 1000HZ~10000HZ^[5]，图 3 为对油轨内压力波动的傅里叶变换，频率选取 1000HZ~12000HZ。从图 3 中可以看出，压力波动波峰主要出现在 1027HZ、2415HZ、3307HZ、4573HZ、10826HZ。

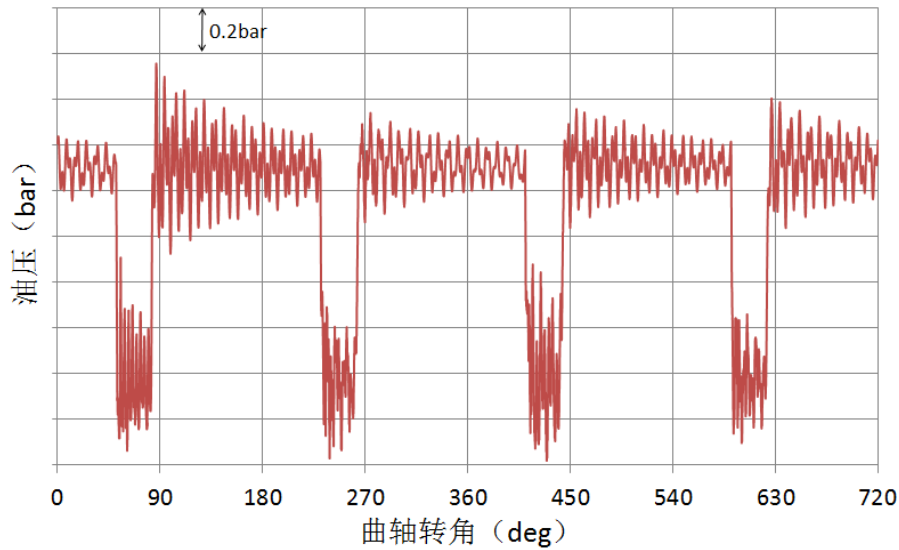


图 2 高压燃油共轨系统油轨内压力波动

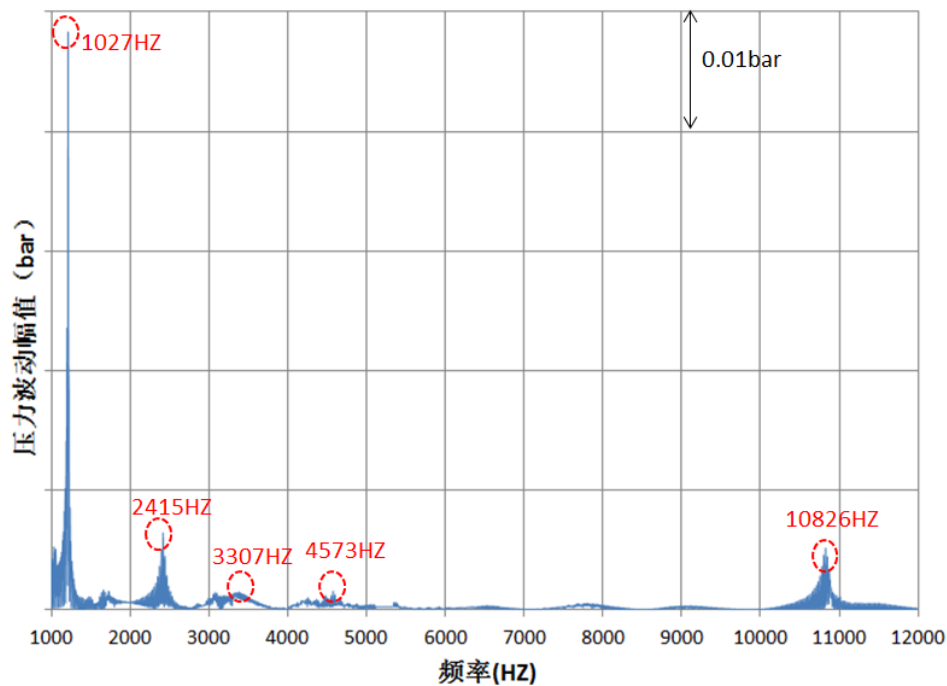


图 3 高压燃油共轨系统油轨内压力波动傅里叶变换

4. 各参数对高压燃油系统压力波动的影响

4.1 节流孔对系统压力波动的影响

4.1.1 不同节流孔孔径（位于油轨最前端）对压力波动的影响

对于原高压燃油喷射系统，本身在油管与油轨交接处有节流孔，在原方案上，更改节流孔管径，分析节流孔孔径对压力波动的影响。图4显示了节流孔孔径对振幅较大频率下油压波动幅值的影响。从图4中可以看出，节流孔位于油轨最前端时，对油轨内压力波动影响较小。

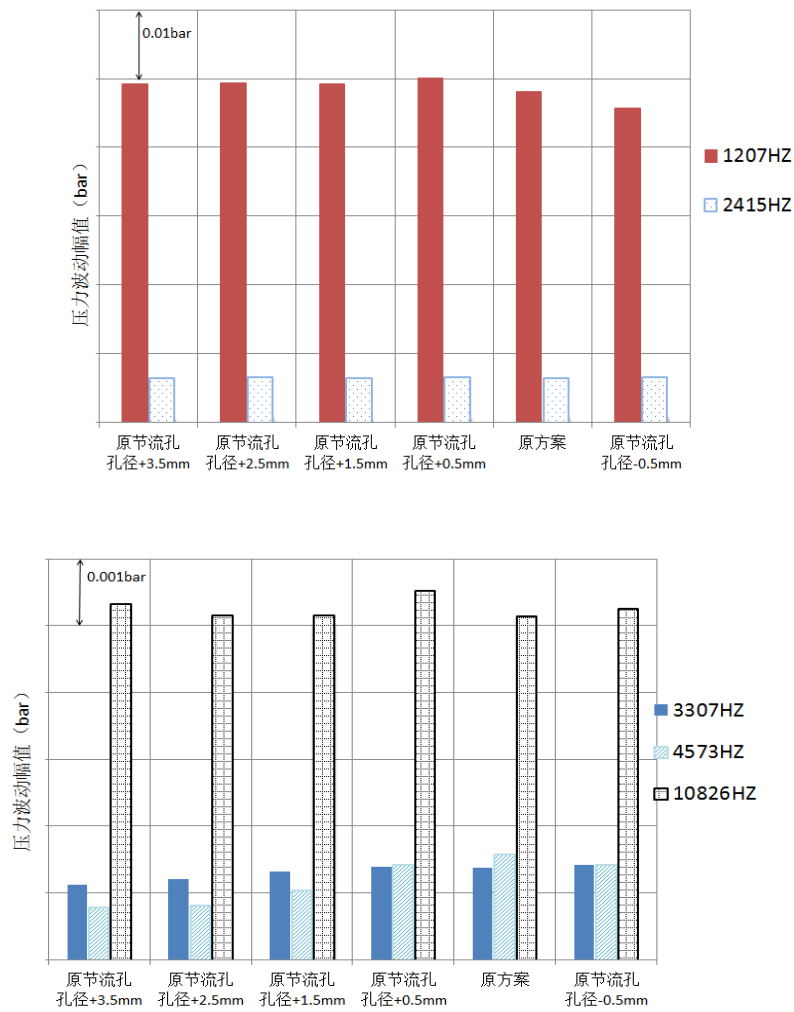
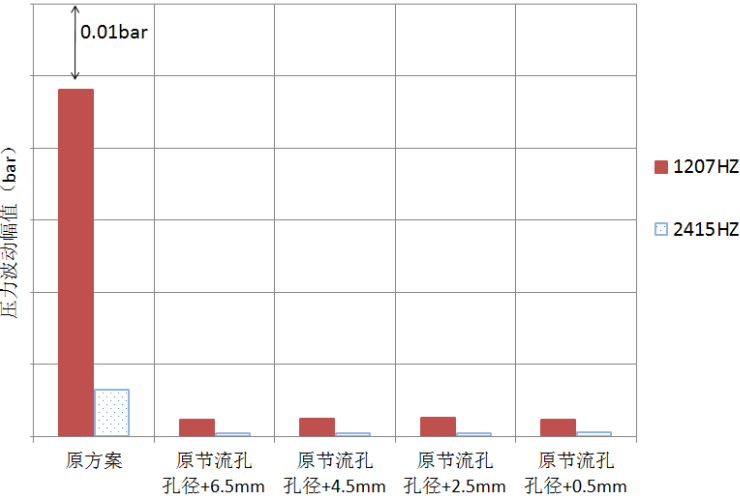


图 4 不同节流孔孔径对压力波动幅值的影响_节流孔位于油轨最前端

4.1.2 不同节流孔孔径（位于油轨中部位置）对压力波动的影响

将节流孔置于高压油轨中部位置，即 2 缸、3 缸间油轨处。从图 5 中可以看出，节流孔位于油轨中部位置时，能有效降低各主要频率下压力波动幅值；设计的几种节流孔孔径对降低压力波动效果相当。



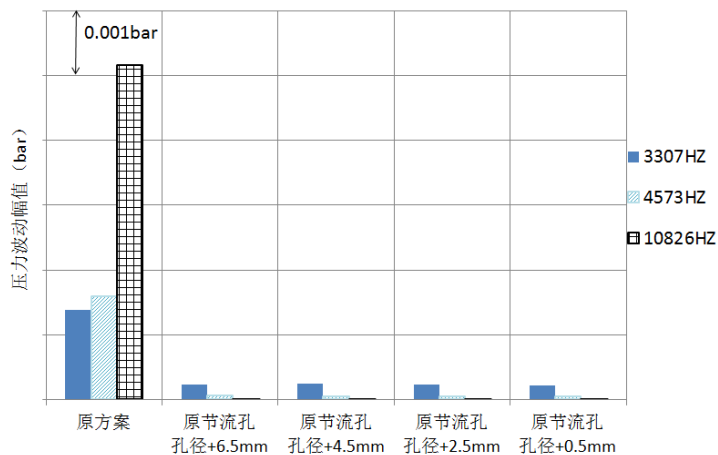


图 5 不同节流孔孔径对压力波动幅值的影响_节流孔位于油轨中部位置

图 6 为不同位置节流孔对压力波动幅值的影响，从图中可以看出，由于管路管径变化原因，对于此高压燃油喷射系统，节流孔位于油轨中部位置时，能有效降低系统压力波动。综上可得，对于此系统，节流孔孔径位于油轨中部位置时节流效果更好，能有效降低系统油压波动；设计的几种节流孔孔径大小，对降低油压波动效果相当。

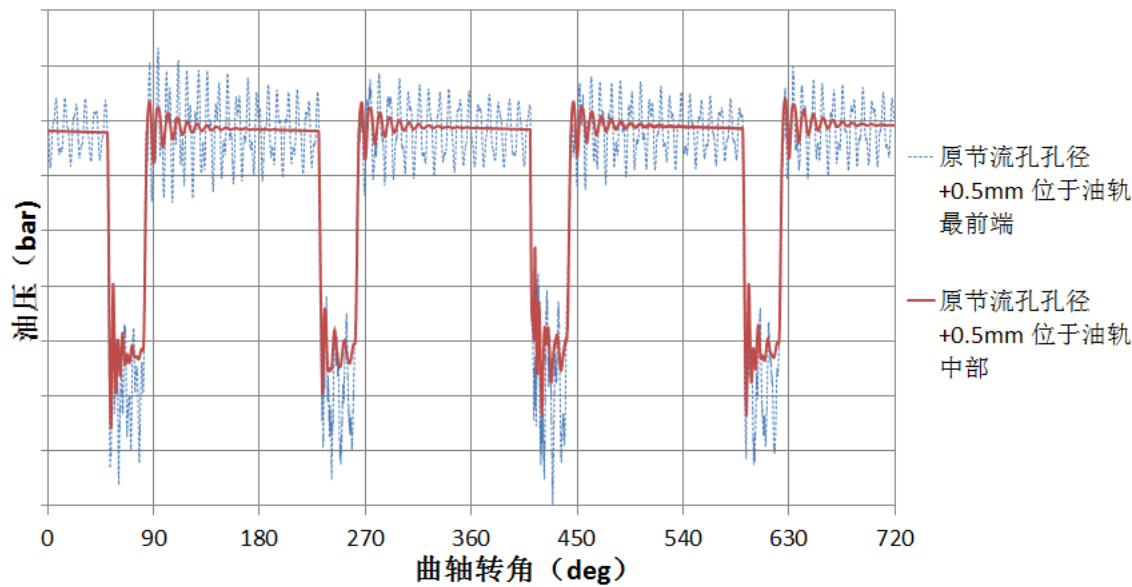


图 6 不同位置节流孔对压力波动幅值的影响

4.2 不同油管直径对系统压力波动的影响

图 7 为不同油管直径对系统压力波动幅值的影响。从图中可以看出，增大油管直径，对 1027HZ 的压力波动幅值减小效果较明显，对 2415HZ、3307HZ、4573HZ 及 10826HZ 的压力波动幅值减小效果不明显。

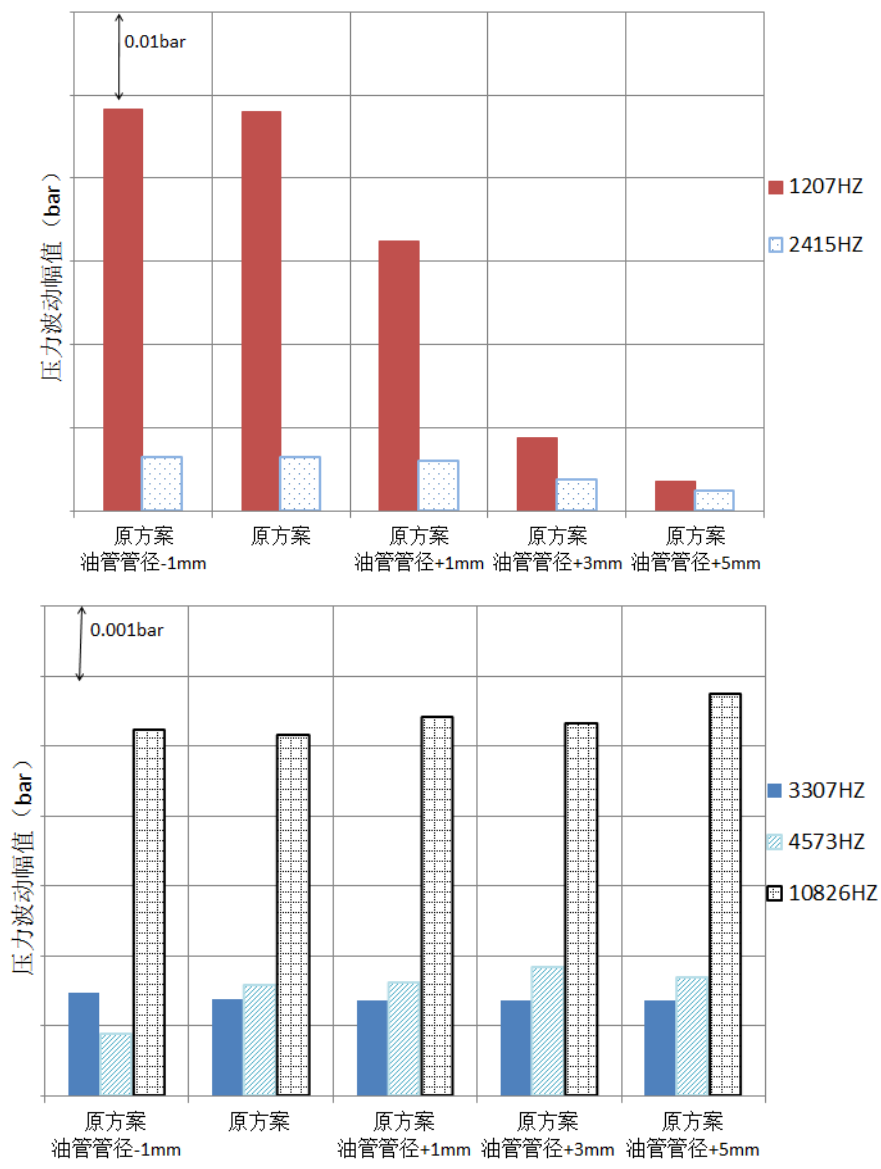


图 7 不同油管直径对压力波动幅值的影响

4.3 不同油轨直径对系统压力波动的影响

图 8 为不同油管直径对系统压力波动幅值的影响。从图中可以看出，增大油轨直径，对 1027HZ 及 2415HZ 的压力波动幅值影响规律不明显，但随着油轨管径的增大，3307HZ、4573HZ 及 10826HZ 下的波动幅值逐渐减小。

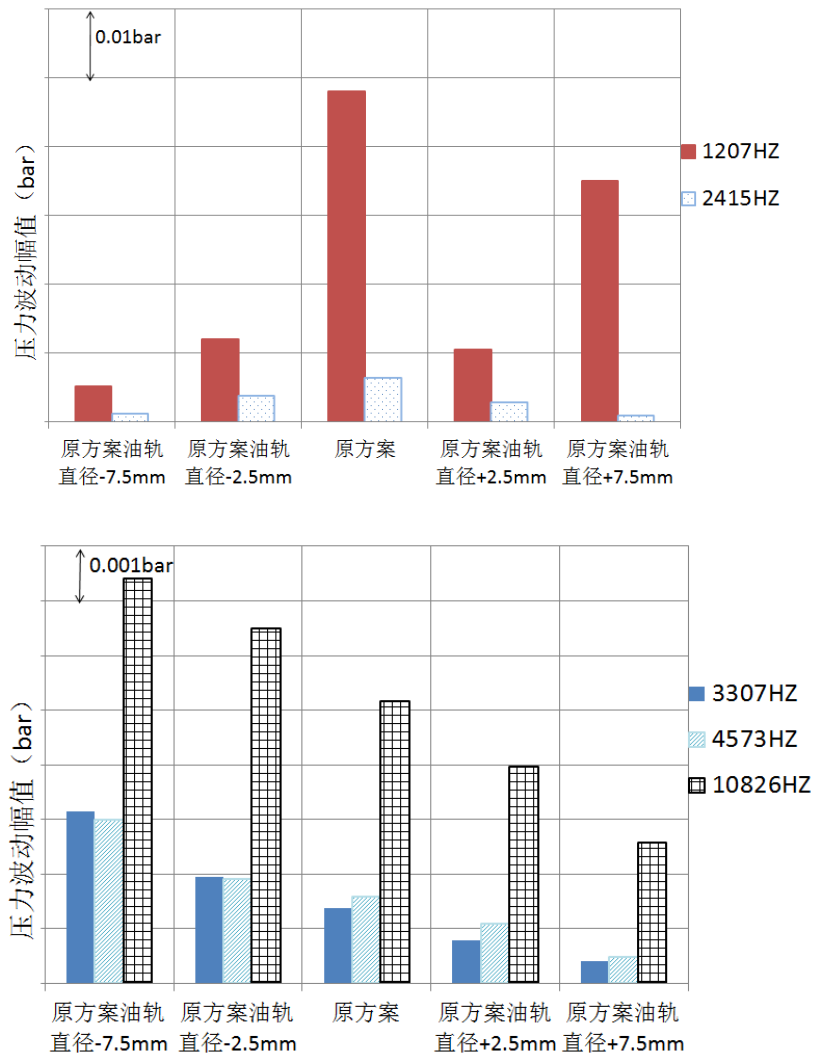


图 8 不同油轨直径对压力波动幅值的影响

4.4 不同大小谐振腔对系统压力波动的影响

为降低系统压力波动，设计了直径 $D=20\text{mm}$ 、 30mm 、 40mm 、 50mm 的谐振腔，位于油轨末端。

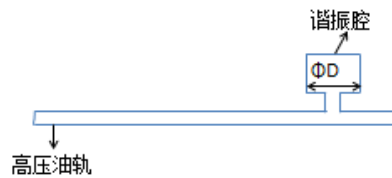


图 9 高压油轨末端加谐振腔示意图

图 10 为不同谐振腔大小对压力波动幅值的影响。从图中可以看出，油轨后端加上谐振腔后，1027HZ 的波动幅值下降幅度最大，其次为 10826HZ，对 2415HZ 及 3307HZ 下的压力波动幅值影响较小。

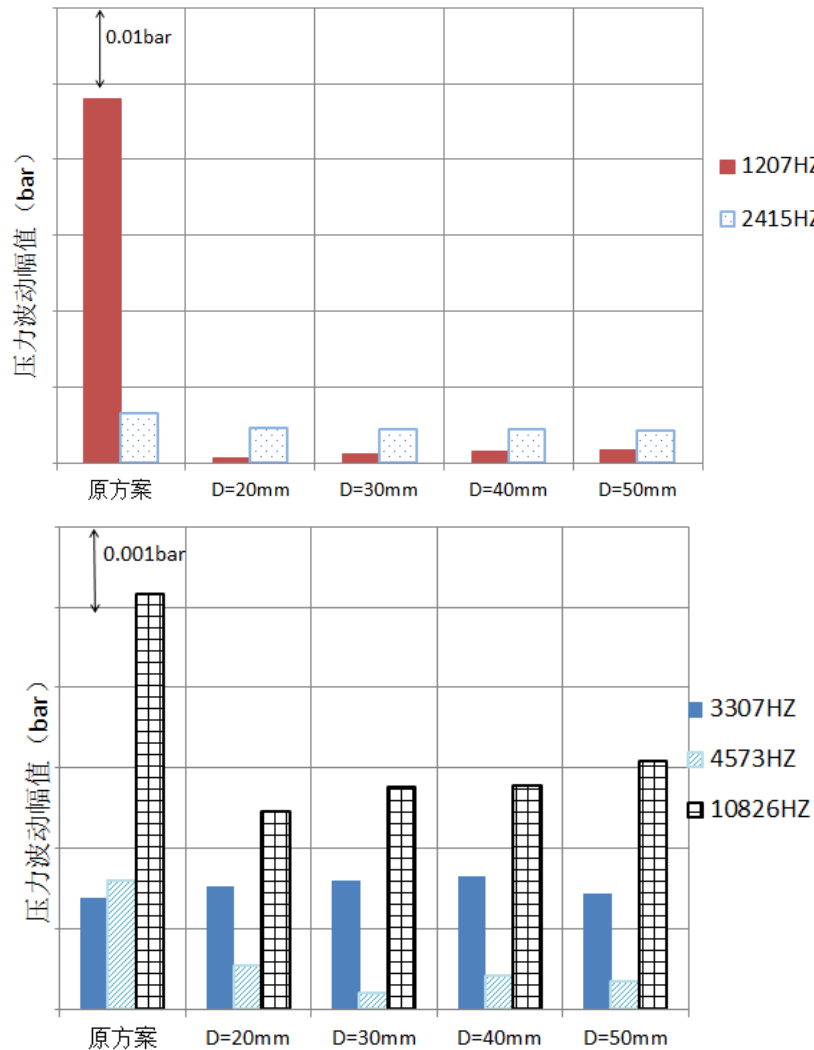


图 10 不同谐振腔大小对压力波动幅值的影响

4.5 不同大小可变容腔对系统压力波动的影响

为降低系统压力波动，设计了直径 $D=10\text{mm}$ 、 20mm 、 30mm 、 40mm 的可变容腔，位于油轨管路中。

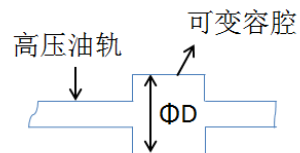


图 11 可变容腔示意图

4.5.1 可变容腔位于油轨最前端对系统压力波动的影响

图 12 为可变容腔位于油轨最前端对系统压力波动的影响。从图中可以看出，可变容腔对于各频率下压力波动幅度降低都有显著效果。

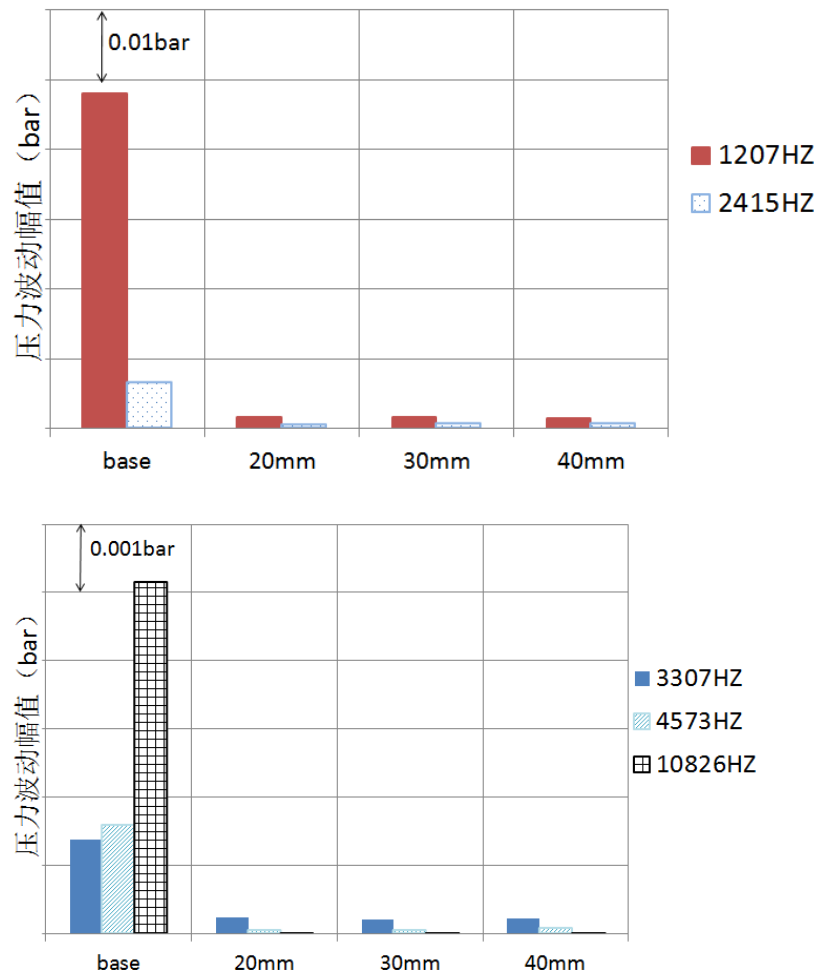
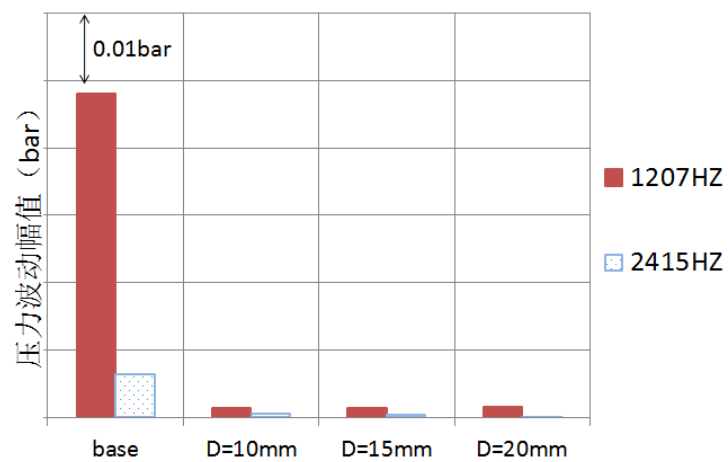


图 12 可变容腔位于油轨最前端对系统压力波动的影响

4.5.2 可变容腔位于油轨末端对系统压力波动的影响

图 13 为可变容腔位于油轨末端对系统压力波动的影响。从图中可以看出，可变容腔位于油轨末端时，对于各频率下压力波动幅度降低都有显著效果。



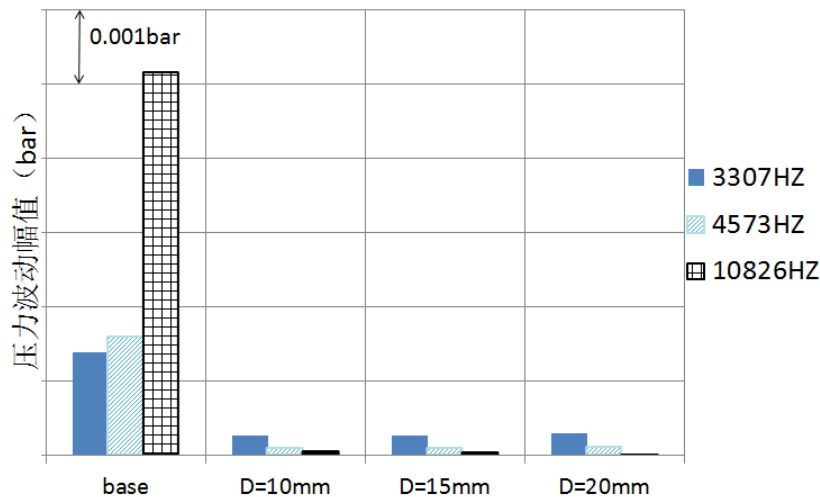


图 13 可变容腔位于油轨最末端对系统压力波动的影响

图 14 为可变容腔位于油轨最前端和末端对系统压力波动的影响。从图中可以看出，可变容腔可有效降低一个工作循环中油压的波动幅度，相对而言，可变容腔在油轨末端，降低油压波动效果更佳。

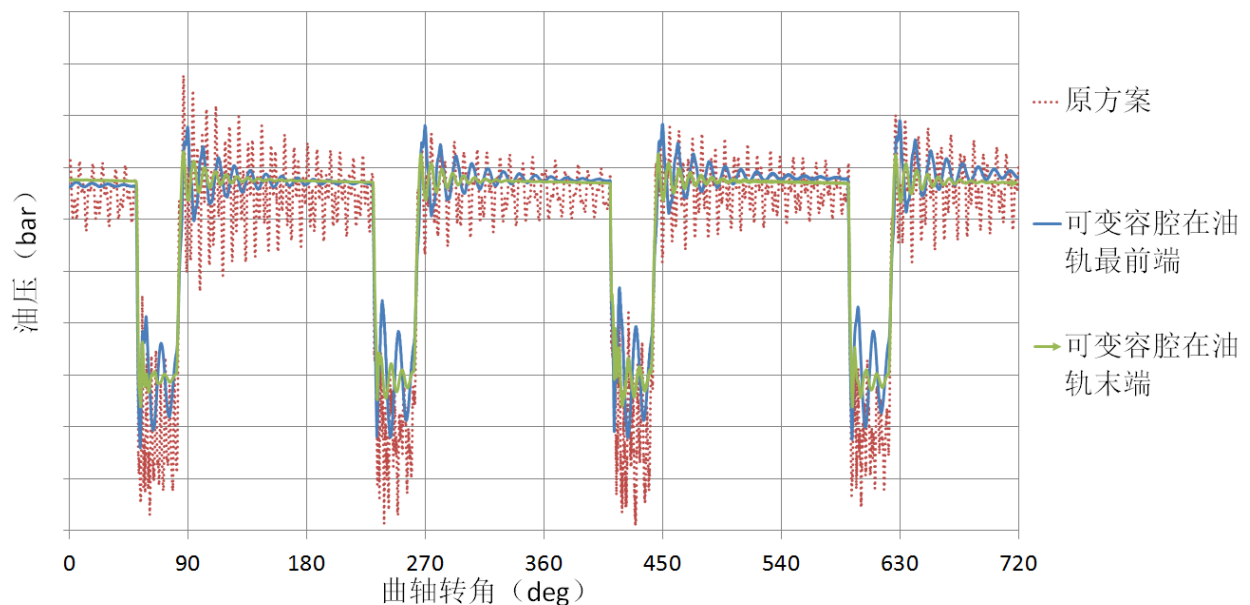


图 14 可变容腔位于不同位置时对系统压力波动的影响

5. 结论

(1) 模拟了某高压燃油喷射系统的燃油喷射过程，计算得到了系统在怠速工况下的油压变化，并将其进行傅里叶变换，得到油压变动较大幅值的频率值，通过降低在波峰频率处的压力波动幅值来进行系统优化。

(2) 对于此高压燃油喷射系统，节流孔位于油轨最前端时，并不能有效降低系统油压波动；增大油管直径、增大油轨直径或增加谐振腔，只对部分频率下压力波动幅值降低有效果。

(3) 对于此高压燃油喷射系统, 节流孔位于油轨中部位置时, 节流效果更好, 能有效降低系统油压波动; 设计的几种节流孔孔径大小, 都可有效降低油压波动且效果相差不多; 增加可变容腔后, 可变容腔可有效降低一个工作循环中油压的波动幅度, 相对而言, 可变容腔在油轨末端, 降低油压波动幅值效果更佳。

6. 参考文献

- [1] Atsushi Hohkita, Masahiro Soma, Hiroaki Saeki, et al. Noise reduction in Gasoline DI Engines[C]. SAE Paper 2011-01-0930.
- [2] Yan Tan, Zeguang Tao, Steve Gravante. Vibration Reduction in Diesel Fuel System Using 1D Simulation[C]. SAE Paper 2012-01-1971.
- [3] Ho Teng, James C. McCandless. Performance analysis of rail-pressure supply pumps of common-rail fuel systems for diesel engines. SAE Paper 2005-01-0909
- [4] Borislav Klarin, Mario Jelovic. Simulation methodology for consideration of injection system on engine noise contribution. SAE Paper 2010-01-1410.
- [5] 饶思梁, 李凤琴等. 某直喷发动机高压燃油系统 NVH 性能优化[J]. AMSim 年会论文.