

# 柴油机高压油管残余压力波动性研究

杨连松 柴 超

沪东重机有限公司 上海 201314

**摘 要:**电动喷油系统作为柴油机的关键部件,对实现柴油机的燃烧与排放控制具有重要意义。电控制高压共轨式喷油系统具有柔性可控的喷油时刻、稳定独立的喷射压力,已成为当今柴油机燃油喷射系统的主流。随著排放法规的不断升级,对燃油喷射系统的要求也越来越高。增大喷油压力,实现柴油机燃油超高压喷射,对改善发动机燃烧、减少污染物排放、提高经济性有积极的促进作用。

**关键词:**柴油机;高压油管;压力

## 一、前言

能源短缺、环境污染是当前全世界正在面对并且亟待解决的难题,应对和解决能源危机和环境污染是关乎人类生存与发展的大计。中国的经济快速发展,对能源的需求量巨大,同时存在着很多高耗能、高污染的行业,各行业所面临的节能、减排任务更加迫切。动力机械行业作为经济产值、能源消耗和排放污染的重点关注行业,其对节能减排的贡献潜力是巨大的,对整个国民经济和社会发展有着举足轻重的作用。

## 二、高压油管压力波动特性研究现状

燃料系统的稳定喷射对发动机的燃烧、排放、动力输出等各项性能指标有很大影响。但是,在燃油供给和喷射过程中,由于柴油的可压缩性,喷油器针阀的开启与关闭都会引起喷油系统压力波动,供油系统中燃油压力的波动,燃油在系统内的流动,燃油的喷射雾化以及燃烧后的排放都会受到影响。燃油在系统中的压力波动过程是一种能量转换过程,即燃油的动能与压力能之间的相互转换。当工作压力超过 2000 bar 的超高压共轨系统时,系统的动能和压力能大大增加,将使压力波动的影响进一步增大,针对高压状态下压力波动的产生机理及抑制方法进行试验研究,具有十分重要的意义。

燃料为可压缩液体,在出油阀打开的瞬间,燃油喷向高压油管内,并不会使整个高压油管内的燃油受到压缩,只是高压油管附近的出油阀处的一层燃油被压缩,压力增加,压力增加。而且燃油在出油阀较远时仍保持原有的密度和压力。该油层位于出油阀处,然后压紧邻近的燃油。通过喷油泵不断向高压油管输入,不断压缩邻近出油阀处的燃油,使其密度再增大,这层燃油再继续压缩相邻油层。如此一层层地压缩过去,形成一个幅度逐渐增大的压力波沿油管传播。直至柱塞套回油孔打开前压力波达到最高峰值,以后才逐渐下降。这样,燃油在高压油管中的运动就很小,而压力是以波的形式产生和传播的。

## 三、喷油过程高压油管压力波动过程分析

在高压共轨燃油系统工作的过程中,燃油压力会随着工作过程的推进发生相应的变化,以发出喷油器控制电信号为起点,描述整个喷油阶段的压力波动现象。当喷油器开始喷油时,针阀动作抬起,喷油器内部的高压燃油进入燃烧室,当喷油器关闭时,针阀下落,在短时间内截断正在喷射的燃油流动,喷油器的开启和关闭动作使得高压油管内的压力和高压燃油的流动状态发生剧烈变化。

### (一) 喷油初始期的压力突变阶段

在喷油开始的初期阶段,在两测量点处的压力波动曲线上,首先在近喷油器端的测量点处观测到压力下降,此时近共轨端的测量点压力曲线仍然处于平稳,保持轨压(2000 bar),经过一定的时间后,测量点压力曲线出现下降。在喷油初始阶段,两测量点的燃油下降过程分为两个阶段,该下降特点由喷油器工作原理所决定,在控制系统发出喷油信号后,控制阀首先接收到信号,控制阀打开时即产生第一次压力下降,之后针阀会抬起,即产生第二次压力下降阶段。喷油初始压力突变阶段的特征参量为压力波传递时间。压力突变阶段过后,燃油压力出现更大幅度的下降,进入主要的喷油过程阶段。

### (二) 喷油主过程的压力下降阶段

针阀抬起后,高压燃油进入燃烧室,喷嘴界面处的燃油压力骤然减小,体积变大,形成膨胀波,该膨胀波沿着燃油管路向高压油管和共轨端传递,形成管路内燃油压力波动,进而影响喷油过程中的喷油压力稳定。在波动衰减,喷油压力稳定后,喷油持续期的喷射压力仍然低于目标喷油压力(即喷油前期轨压),这种现象会影响喷油持续期喷油压力不稳定,同时低于目标喷油压力造成喷油量不准。而随着设定轨压值和喷油脉宽的不同,喷油初期压力下降最大幅度和喷油稳定期的压力下降幅值因也会发生相应的变化。

### (三) 喷油结束时的压力波动阶段

在喷油结束后,针阀的快速关闭,使高压油管内的燃油的流动状态骤然改变,燃油流速和管内燃油压力发生剧烈变化,针阀落座造成的水击压力波在共轨管和喷油器

之间反复传播之后,其燃油状态恢复到针阀落座时的初始状态,呈现周期性的波动。在高压油管内,压力波在传播过程中,由于流体存在粘性,管道也存在变形,因此压力波在传播过程中,其能量也在不断消耗,波动幅值处于不断衰减的过程中,压力逐渐处于稳定中。

#### (四) 喷油结束后的压力恢复阶段

在喷油结束,针阀落座造成的水击压力波衰减后,高压油管内的压力会保持一个相对稳定的压力值。高压油泵会向共轨管稳定供油,轨压进行调节的同时,高压油管内的压力也在稳定提高,使得油管内的压力稳定在目标轨压附近,为下次喷射做准备。在燃油喷射过程中,高压油管中的压力不是均匀的,而是随着时间不同、截面位置不同差异很大。如在高压油管的两端各装一个压力传感器,该阶段高压油管内的燃油压力相对比较稳定,主要受控制系统的调压影响,受喷射过程的影响较小。当柴油机工作时,无论在燃油喷射期间或喷射结束之后,高压油管中的压力都处于波动状态,而不是保持定值。

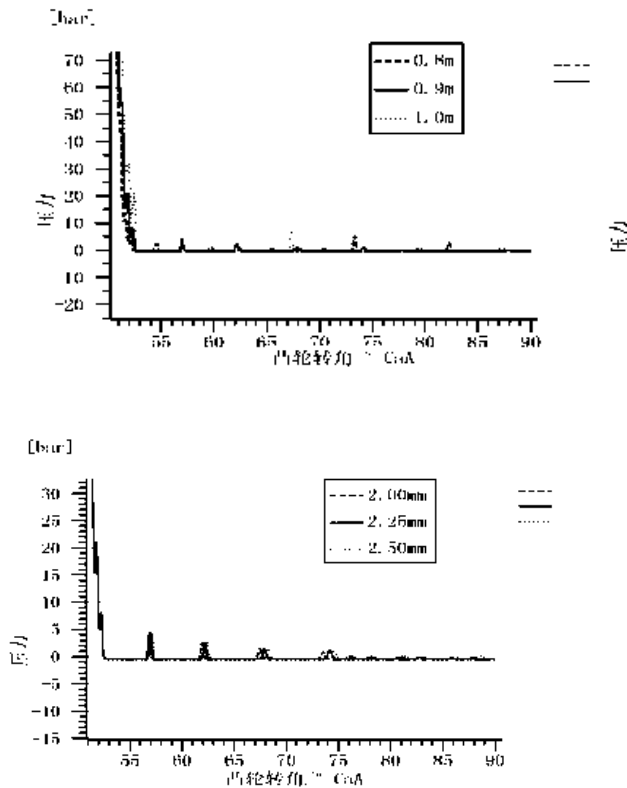


图 2.1 不同厚度高压油管对比图

### 三、压力波动及传播特性研究

#### (一) 压力波传播速度分析

在由于喷油器的启闭而产生的压力波动过程中,压力波的传播速度和管道压强的变化是至关重要的参量,当管道的直径在一定范围内,管内流体处于流动状态时,随着管路直径的增加,压力波传播速度增加。随着管路直径的变化,流体的运动状态不同,其压力波传播速度变化也存在差异,

即当流体处于非流动状态时,管道直径增加,压力波速度降低;当流体处于流动状态时,管道直径增加,一定范围内压力波传播速度也增加。

#### (二) 共轨管压力对压力波动特征参量的影响

高压油管内的燃油压力波动特性及传播一方面受到系统结构参数的影响,特别是管路的长度、管路直径、壁厚等,另一方面也受到燃油的物性条件影响,如燃油密度、粘度、弹性模量等,而燃油的物性主要受工作压力和工作温度的影响。同时,在工作过程中,喷射条件(喷油频率、喷油脉宽等)的改变也会对高压油管内燃油压力有很重要的影响。在本节,工作压力和喷油脉宽两个变量对各个阶段高压油管燃油压力波动的特征参量的影响规律。

喷油主过程的压力下降阶段 在针阀打开后,高压燃油会快速喷入气缸,造成高压油管压力急剧下降,下降到最大幅度后,若此时针阀没有落座,喷油器仍处于喷油持续阶段,则压力会上升,形成压力波,此压力波是由于针阀打开,针阀出口内外压差,燃油流动速度瞬间变大,压力下降,此过程中形成膨胀波,该膨胀波沿着高压油管从喷油器端向共轨管端传递,出现压力波动现象。

#### (三) 喷油脉宽对压力波动的影响

在其他条件不变的情况下,仅改变喷油脉宽,测量点燃油压力波动幅度整体上呈先增大后减小的趋势。喷油脉宽为 0.3 ms 时的压力波动幅度最小,0.7 ms 时的压力波动幅度最大,当喷油脉宽大于 0.1 ms 后各工况点的压力波动状态趋于一致。喷油脉宽的长短影响喷油器开始关闭的时刻,由于喷油器开启时针阀抬起,燃油压力会出现快速的下降,并形成一个压力膨胀波沿高压油管传递,油管内压力出现波动,而喷油器关闭时刻在上述压力波动曲线上所处位置的不同会导致喷油器关闭后,高压油管内燃油压力波动的幅度出现不同。

当喷油脉宽小于 1.0 ms 时,其喷油结束,针阀落座位置处于喷油开始时引起的燃油压力波动波形上,在该波形不同的位置时,针阀落座形成的水击压力波动会叠加出不同的压力波动,继而引起不同的压力波动幅度变化,从而形成不同的压力波形。

结束语:

喷油初期,针阀的开压值随油压的升高而逐渐增大,下降幅度随压力的增加而增大,随着工作轨压的升高,油压下降值也随之增大。喷油结束时,针阀落座产生水击现象,形成高压油管内的压力波动现象,随着工作轨压的升高,水击压力波动的周期变小,波动频率增大,相对波动幅度增大,同时随着工作轨压的提高,针阀落座的波动频率增大,其振幅增大,相对波幅减小;同时,随着工作轨压的提高,针阀落座的振幅从开始发生到衰减至没有波动。喷油脉宽对压力波动的影响主要表现在喷油结束时,气门下落时间与喷油开始时形成的膨胀压力波的相位关系,不同的脉宽对应不同的

针阀落座时间, 针阀落座所处的由喷油开始形成的膨胀压力波形的相位关系。

参考文献

[1] 石磊, 董晓露, 王作群, 郭鑫, 刘帅帅. 船用柴油机共轨系统高压油管压力波动优化改进研究 [J]. 柴油机, 2020,42(06):18-22+28.

[2] 杨城. 柴油机高压油管残余压力波动性研究 [J]. 山东

工业技术, 2017(17):236.

[3] 李丕茂, 张幽彤, 谢立哲. 喷射参数对共轨系统高压油管压力波动幅度的影响 [J]. 内燃机学报, 2013,31(06):550-556.

通讯作者: 杨连松 男 汉族 1992年06月 河北辛集 本科, 助理工程师 武汉理工大学 柴油机技术研究 84067758@qq.com