

单体泵控制阀区域在阀开启过程中的动态特性研究

吴 哲, 陈永艳

(内蒙古工业大学能源与动力工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010051)

摘 要: 对单体泵控制阀区域在阀打开过程中的特性进行试验研究。在泵体上设计光学透视窗口, 采用高速摄像仪器获得阀开启过程中不同开度下控制阀出口端的流场图片; 对图片进行处理, 量化空化强度, 获得空化相对亮度值 RB 。通过分析压差与 RB 的关系, 发现: 相同开度下, 随压差的增大, RB 增大。与稳定开度结果不同的是, 阀打开过程中, 虽然压差随开度降低, 但空化随开度的增大一直增强, 即便在大开度时压差已经很小, 依然有较大的空化强度。

关键词: 控制阀; 流场; 空化; 动态特性

中图分类号: TK421⁺.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2017)01-0026-03

Research on Dynamic Characteristics of Control Valve Area of Unit Pump During the Valve Opening Process

Wu Zhe, Chen Yongyan

(College of Energy and Power Engineering, Inner Mongolia University of Technology,
Inner Mongolia Hohhot 010051)

Abstract: The experimental study on the characteristics of control valve inner area of unit pump during the valve opening process was carried out. Optical perspective window was designed on the pump body, and a high-speed camera recorded the image of the inner valve outlet flow under the conditions of different needle lifts during the opening process of the valve. The images were post processed, and the cavitation intensity was quantified to get the cavitation relative brightness RB . By analyzing the relationship between pressure differential and RB , the conclusion that when the needle lift remains constant, RB increases with the increase in the pressure differential can be drawn. Different from the situation that the needle lift remains constant, during the opening process of the valve, although the pressure differential decreases as the needle lift decreases, the cavitation intensity has been continually enhanced with the increase of the needle lift. Even when the needle lift is large and the pressure differential is very low, there is still great cavitation intensity.

Key words: control valve; flow field; cavitation; dynamic characteristic

0 引 言

柴油机的喷油系统通过电磁阀控制实现对喷油量、喷油压力、喷油速率和喷油定时等的灵活控制^[1]。燃油系统中的高速电磁阀具有运动速度快、阀口尺寸小、流速高和压差大等特点, 阀区域流场

十分复杂, 存在高度湍流并导致空化现象。当气泡在固体边界附近溃灭时, 产生的高温高压及高速射流会对材料表面产生侵蚀, 使材料表面逐步形成麻点、蚀坑, 损坏零件, 缩短管道的机械寿命; 同时空化还会降低容积效率, 使系统压力和流量受到影响; 还会产生液压冲击、振动及噪声, 使液压系统

收稿日期: 2016-06-08

作者简介: 吴哲(1988-), 男, 主要研究方向为内燃机排放控制, E-mail: 18847167541@163.com。

的工作性能恶化^[2]。

对燃油系统中控制阀区域的流动的研究越来越得到关注。高红等研究发现：在进、出口压力一定的条件下，气穴区域和气体体积比随阀口开度的增加而减小^[3]。夏少华等的仿真结果表明：共轨喷油器的电磁球阀处会发生空穴现象，空穴区域从密封线上边缘区域和球座入口开始，延伸一段距离直到锥面上；球阀底部存在压力较大的滞止区域，说明气穴对喷油器电磁阀的控制不利^[4]。仇滔等通过测试单体泵控制阀低压出口端的流场和控制阀运动规律，证明：控制阀区域的流动是气液两相流动，其中燃油高速流动导致局部低压，形成空化^[5]；控制阀锥面是产生空化的主要区域^[6]；控制阀的受力和空化流动紧密相关，液动力可导致控制阀难以快速打开^[7]。但是，针对燃油系统中阀快速打开过程的出口空化规律还缺乏系统的研究。本文对阀在不同压差条件下的流动特性进行测试，研究阀在打开过程中其出口端的空化动态规律。

1 试验工况及数据

试验对象结构及原理具体参见文献 [6]。试验时保持电机转速为 1 000 (r · min⁻¹)，通过改变喷油持续期以获得不同的高压初始压力。试验中所涉及到的高压初始压力如表 1 所示。拍摄用高速摄像机的拍摄间隔设置为 0.1 ms。测试时预先通过如图 1 (a) 所示的位移传感器获得控制阀位移；然后如图 1 (b) 所示将止推挡板和位移传感器换成有机玻璃挡板和定位柱体，用高速摄像机对针阀运动过程中的空化现象进行拍摄，并在高、低压测量点分别采用 Kistler 传感器测量进、出口瞬态压力。

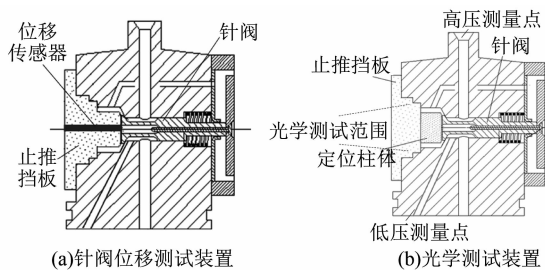


图 1 试验测试系统示意图

表 1 试验工况

油泵转速/ (r · min ⁻¹)	1 000
提前角度/ (°)	35
高压初始压力/MPa	28、83、101
低压段初始压力/MPa	0.3

2 试验结果处理方法

由于空化作用所产生的气泡对拍摄照片的亮度有影响，一般来说，空化越强烈，亮度也会随之加强；因此获得的照片每一个像素点都会对应一个亮度值，亮度值越大，亮度越高。为了从试验照片中获得定量的空化强度，须要对试验中拍摄到的照片进行灰度处理。空化照片的亮度须和没有空化的基准图片的亮度相比较，因此须选定基准照片。本文选择阀刚要打开前出口还没有空化的照片为基准照片。为了对空化强度进行量化比较，定义一个相对亮度值 RB 来表示每张图片亮度的变化，其定义为：

$$RB = \frac{Gi}{Gr}$$
 (1)

式中： Gi 为空化图片灰度值， Gr 为基准图片灰度值。

RB 值在一定程度上可以反映空化程度的强弱，一般来说， RB 值越大，表示空化强度越大。

图 2 为照片灰度处理流程。在处理照片时，由于试验主要是聚焦在阀上端区域，因此主要处理照片上端 1/4 的部分，如图 3 所示。

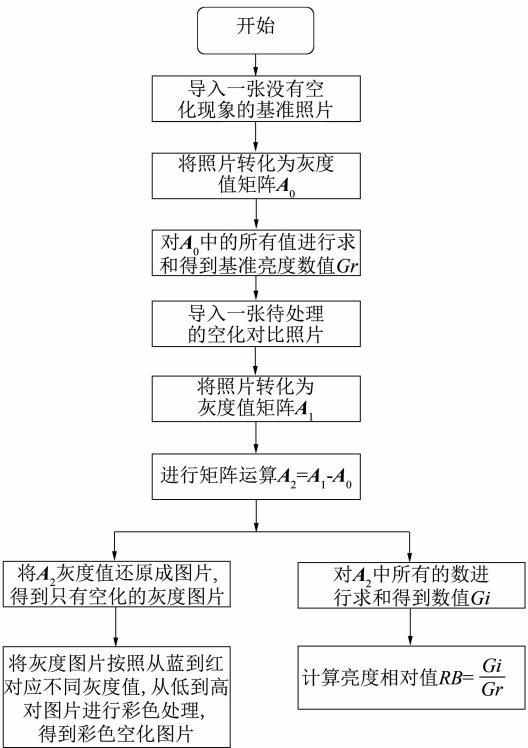


图 2 照片处理流程图

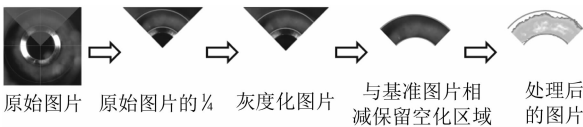


图 3 光学测试原始图片及处理后图片

3 试验结果分析

3.1 阀打开过程的分析

图4为初始喷射压力为83 MPa时拍摄到的针阀从开启到撞到定位柱体的连续照片,图5为对应整个打开过程的高、低压力曲线以及针阀升程。从图5可以看出,随着控制阀打开,入口压力降低,同时出口压力有所升高,但是整个压差不断减小。

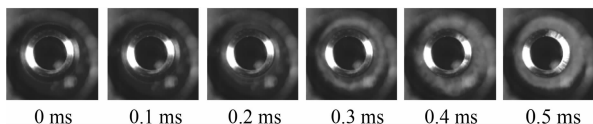
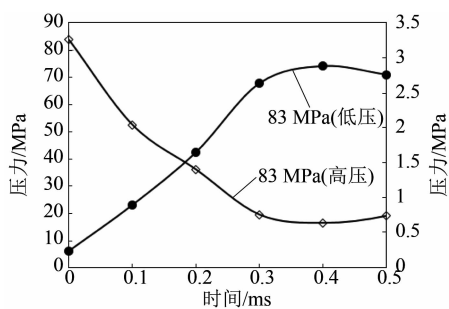
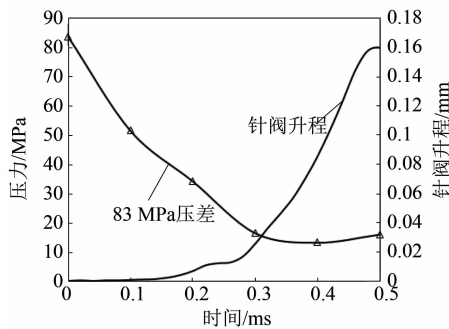


图4 电磁阀区域空化过程照片



(a) 高压与低压关系曲线



(b) 压差与针阀升程关系曲线

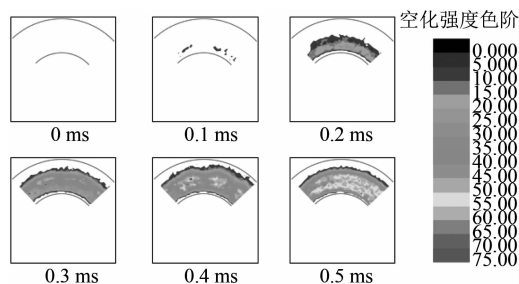
图5 高低压力、压差及升程曲线

图6(a)所示为整个过程的出口照片处理结果,图6(b)所示为对应阀打开过程的空化强度变化规律。从图6(a)的空化云图可以看出:从0~0.3 ms空化变化比较明显,空化面积有明显的增大,对应到图6(b)中可以看到这一阶段空化亮度增强速度很快;但到0.3~0.5 ms之间,空化的发展则主要集中在亮度增强上,面积变化不大。

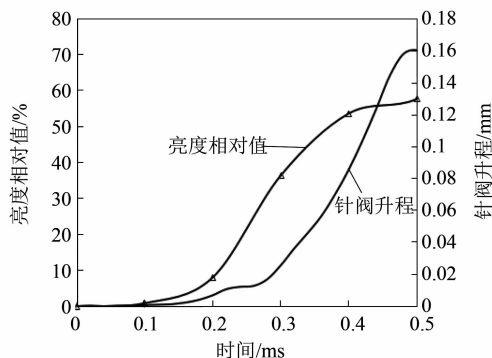
3.2 不同压差下的相对亮度对比

图7所示为不同压差下相对亮度与压差的关系。从图7中可以看出:在同一时刻,压差越大,RB值也越大。这说明压差越大,越容易空化。同时从图7中还可以发现:在0.5 ms时,即开度全开时,阀的压差即便很小,如A点,这时候压差只有0.69 MPa,但是空化强度依然较大。而文献

[3]的研究表明:在稳态条件下,阀在开度较大且压差较小时,空化应该很弱,这与本文试验结论不一致。这说明在阀打开过程,阀出口的空化是一个动态过程,其变化规律与稳态时的不同。



(a) 空化变化云图



(b) 空化亮度与针阀升程关系

图6 空化过程图

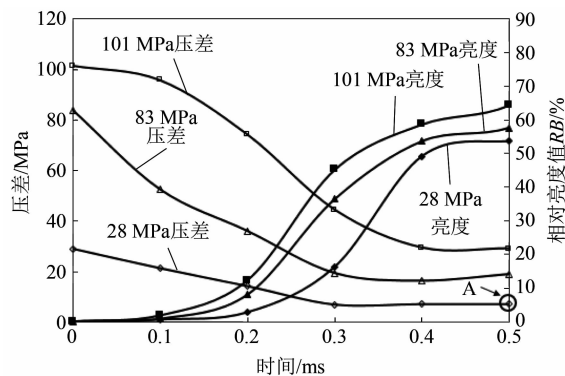


图7 不同初始压差下相对亮度变化规律

4 结论

通过测量控制阀打开过程的压力特性和出口空化照片,获得了燃油系统控制阀打开过程中出口空化变化的过程云图、空化相对亮度值。通过分析多工况试验结果,得到以下规律:

(1) 阀打开过程中,阀出口的空化是一个动态过程,与稳态结果不同;

(2) 同一开度情况下,随着压差的增大,RB也会相应的不断增大,即空化增强;

(下转第41页)

同时, 由上述表 1、表 2 实测数据可看出: 主机起动过程中, 主机转速由零到达 $400 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1})$ 的过程中, 主要受起动 PID 参数的影响, 当转速到达 $400 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1})$ 后正常运行时, 负荷突变时主机转速主要受调速 PID 的影响。

3 结 论

实船数据分析表明: 本文所述的 PID 调节方法得当, 实现了柴油机实际运行中的有效调节。该型船舶已在海上运行一年多时间, 主机监控系统一直保持良好状态, 验证了该动态参数设置的正确性。该 PID 调节方法对类似动力系统调试过程中的参数设定具有参考价值, 可有效提高船舶的建造质量和速度。

参考文献

- [1] 王斌斌. 船舶柴油机转速控制仿真研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2009.

- [2] REGULATEURS EUROPA. Viking Vision 3. 5 User Guide. Publication 3629. 2010.
- [3] 李斌. 现代船用电子调速器及其特点 [J]. 世界航运, 1994 (4): 21-23.
- [4] Manual Software J007 Issue 009. Pub. No. 3629. 2011.
- [5] 刘玲玲. PID 参数整定技术的研究及应用 [D]. 郑州: 郑州大学, 2010.
- [6] 姚寿广, 许江涛, 段巧玉. 16PA6STCV280 柴油机配气机构虚拟样机技术研究 [J]. 江苏科技大学报 (自然科学版), 2009, 23 (2): 129-132.
- [7] 徐进. 自适应 PID 在柴油机电子调速中的应用研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2011.
- [8] 边丽华. PID 控制器参数自整定方法的研究与实现 [D]. 大连: 大连理工大学, 2007.
- [9] 徐建明. PID 控制器及其设计方法研究 [D]. 浙江: 浙江工业大学, 2002.
- [10] 温进超, 李宝强. 基于 PID 控制方法的电子调速器在柴油机上的应用 [J]. 广东造船, 2013 (6): 44-46.

(上接第 28 页)

(3) 阀打开过程中, 压差随着流通面积增大不断减小, 但是空化强度却不断增强。

参考文献

- [1] 梁凤标, 潘剑锋, 李德桃. 高压共轨喷油系统中的电磁阀 [J]. 江苏大学学报 (自然科学版), 2006, 27 (2): 133-135.
- [2] 龙正. 液压节流阀内部空化流动特性的研究 [D]. 中国矿业大学, 2014.
- [3] 高红, 傅新. 球阀阀口气穴流场的数值模拟与实验研究 [J]. 中国机械工程, 2003, 14 (4): 338-340.

- [4] 夏少华, 郑金保, 缪雪龙, 等. 电磁喷油器球阀流动分析 [J]. 内燃机学报, 2012, 30 (4): 354-358.
- [5] 仇滔, 雷艳, 彭璟, 等. 高压燃油系统电磁控制阀区域流动特性试验 [J]. 农业机械学报, 2012, 43 (11): 7-10.
- [6] 仇滔, 雷艳, 彭璟, 等. 单体泵断油过程中控制阀区域流场特性 [J]. 内燃机学报, 2013, 31 (4): 367-372.
- [7] 仇滔, 彭璟, 雷艳, 等. 电控单体泵控制阀开启过程的受力分析 [J]. 兵工学报, 2013, 34 (11): 1387-1391.