

增压式电控喷油器仿真分析

王 辉¹, 刘振明¹, 周 磊¹, 王洪生²

(1. 海军工程大学动力工程学院, 湖北 武汉 430033; 2. 海军 91878 部队, 广东 湛江 524000)

摘 要: 基于 AMEsim 软件建立了增压式电控喷油器仿真模型, 在对模型进行试验验证的基础上, 仿真分析了喷油器的关键参数, 如控制腔容积、进出油孔孔径和针阀弹簧预紧力对喷油速率和针阀升程的影响规律。结果表明: 当控制腔容积较小时, 针阀落座快, 但轨压波动大, 喷射压力不稳定, 当控制腔容积较大时, 针阀反应速度下降, 导致落座延后; 进出油孔孔径主要影响喷油起始和结束阶段的喷油率和针阀升程; 在保证针阀正时开启和足够喷油量的情况下, 针阀弹簧预紧力应取较大值。

关键词: 高压共轨; 增压电控喷油器; 结构参数; 仿真

中图分类号: TK423.8⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2017)06-0020-05

Simulation Analysis of Booster Electronic Control Injectors

Wang Hui¹, Liu Zhenming¹, Zhou Lei¹, Wang Hongsheng²(1. College of Power Engineering, Naval University of Engineering, Hubei Wuhan 430033;
2. No. 91878 Unit of Navy, Guangdong Zhanjiang 524000)

Abstract: Based on AMEsim software, a simulation model of booster electronic injector was established. The model was verified by test and used to analyze the influence of key parameters of injector, such as control chamber volume, inlet and outlet oil hole diameter and needle valve spring preload on injection rate and needle valve lift. The results show that when the volume of the control chamber is small, the needle valve seat quickly, but the rail pressure fluctuates greatly and the injection pressure is unstable; when the volume of the control chamber is large, the response rate of needle valve declines and seat slowly; the diameter of the oil inlet and oil outlet mainly affect the injection rate and the needle valve lift at the beginning and the end of the fuel injection; the needle valve spring preload should be set at a relatively large value, with the precondition of ensuring the needle valve lift timing and the fuel injection amount is enough.

Key words: high pressure common rail; booster injector; structure parameter; simulation

0 引 言

更高的喷射压力和更灵活的喷油速率控制是高压共轨系统的发展趋势^[1]。喷油速率对柴油机的燃烧过程有很大影响^[2]。喷油速率控制被认为是改善柴油机排放最具吸引力的技术^[3-4]。喷油速率与喷孔

两侧的喷油压力和喷孔有效流通截面积有关。对于结构确定的喷油器, 改变其喷射过程中的流通截面积较为困难, 只能通过控制喷射压力来改变喷油速率^[5]。而基于比例活塞增压装置的电控喷油器, 通过控制燃油增压时序可增加喷油压力并可改变喷油速率形状。陈海龙^[6-8]等设计了一种增压装置并研究

收稿日期: 2017-04-24; 修回日期: 2017-06-06

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51379212); 国防预研项目 (3020401030303)。

作者简介: 王辉(1988-), 男, 硕士, 主要研究方向为高压共轨电控柴油机技术, E-mail: superwang0516@sina.com。

了增压装置响应特性；常远^[9]等针对燃油增压装置研究了时序控制对增压效果的影响。

本文针对增压式电控喷油器，利用 AMESim^[10] 软件建立了燃油增压装置和喷油器模型，重点研究喷油器结构参数^[11] 对增压式喷油器喷油速率的影响。

1 增压式电控喷油器工作原理

图 1 为燃油增压式电控喷油器结构示意图，其主要由燃油增压器和电控喷油器组成。燃油增压器是变喷油速率喷射系统中的关键部件，如图中虚线包围的部分所示。

燃油增压器采用液力增压的原理将来自共轨腔的高压燃油放大至超高压共轨状态并提供给喷油器。增压过程由两位三通滑阀式电磁阀控制，其工作原理如下：初始状态电磁阀断电，电磁阀弹簧使衔铁及阀芯向远离线圈方向运动，阀芯头部与阀座形成锥阀密封，防止高压燃油流回油箱；同时，高压燃油可经过进油节流孔流至控制室，经过单向阀流向增压室，使增压活塞达到平衡态。当电磁阀通电后，阀芯向线圈方向运动，关闭进油节流孔的同时阀芯头部与阀座脱离，高压燃油从控制室流回油箱，增压活塞向增压室方向运动，增压室压力随即升高。当电磁阀关闭时，来自共轨管的高压燃油通过进油节流孔流入控制室，同时在复位弹簧的作用下，增压活塞向基压室方向运动，最终达到平衡态。电磁阀关闭时燃油增压器相当于单向阀，可实现常规的喷油器喷射。

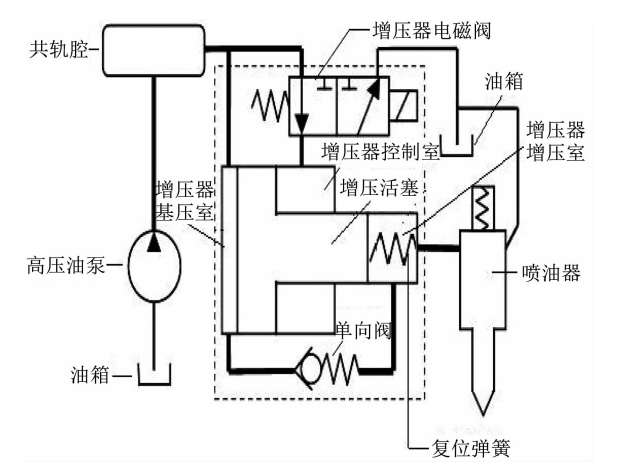


图 1 增压式电控喷油器示意图

2 增压式电控喷油器模型建立及验证

2.1 模型建立

增压式电控喷油器的 AMESim 模型如图 2 所示。该模型主要由燃油增压器和电控喷油器组成。

表 1 和表 2 分别是燃油增压器和电控喷油器的主要结构参数数据。与常规电控喷油器相比，增压式喷油器可实现不同时序下的变喷油速率喷射。图 3 是轨腔压力 100 MPa，喷油脉宽 1.5 ms，增压开始时刻滞后喷油开始时刻 0.4 ms、0.6 ms 及 0.8 ms 的喷油速率仿真曲线。从图 3 可看出：初始阶段喷油器的喷油速率在两种喷射条件下保持一致；当燃油增压器电磁阀打开后，相比常规电控喷油器，喷油速率急速升高，并最终随着喷油器电磁阀的关闭而结束。比较不同增压时序的三条曲线，还可以看出：增压式电控喷油器可以实现变喷油速率喷射。

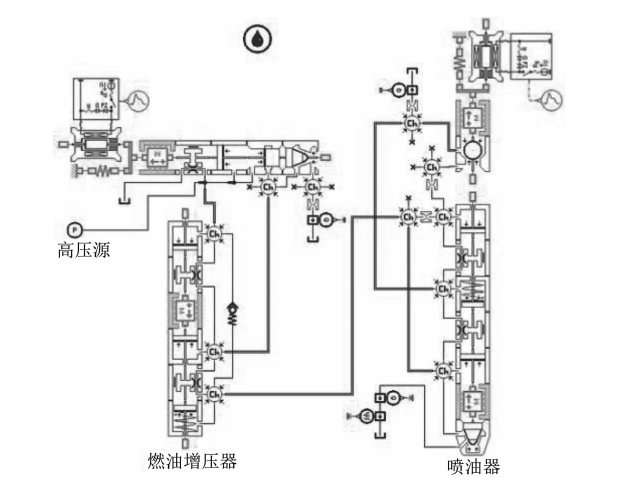


图 2 增压式电控喷油器仿真模型

表 1 燃油增压器的主要结构参数

增压活塞质量/g	5
增压活塞大端直径/mm	12
增压活塞小端直径/mm	8
电磁阀阀芯质量/g	10
电磁阀阀芯直径/mm	5
控制室容积/mm ³	620
增压室容积/mm ³	400
增压活塞弹簧刚度/(N·mm ⁻¹)	70
电磁阀环槽开口长度/mm	0.2
出油孔直径/mm	0.8

表 2 电控喷油器的主要结构参数

控制活塞和针阀质量/g	27
控制活塞直径/mm	4.3
针阀直径/mm	4.5
针阀头部直径/mm	3
针阀弹簧刚度/(N·mm ⁻¹)	85
控制腔容积/mm ³	15
压力室容积/mm ³	13
电磁阀弹簧刚度/(N·mm ⁻¹)	70
进油孔直径/mm	0.28
出油孔直径/mm	0.31

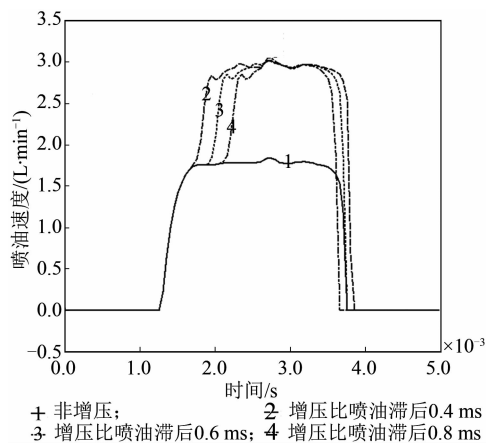


图 3 不同喷射状态下喷油速率对比

2.2 模型验证

在共轨系统喷油规律试验台上, 用法国 EFS 公司的 EMI 2 瞬时喷油规律测试仪对电控喷油器进行喷油规律测量; 用 Tektronix TDS024 示波器记录喷油规律测试仪输出的电压信号, 如图 4 所示。试验中, 喷射频率为 12.5 Hz, 模拟柴油机在 1 500 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$) 下的喷油频率。图 5 所示为轨压为 100 MPa, 喷油脉宽为 1.5 ms 时的喷油规律实测值与计算值对比。可见, 喷油器仿真模型具有较高的精度。

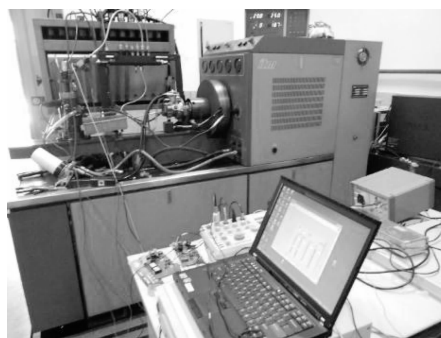


图 4 试验台架

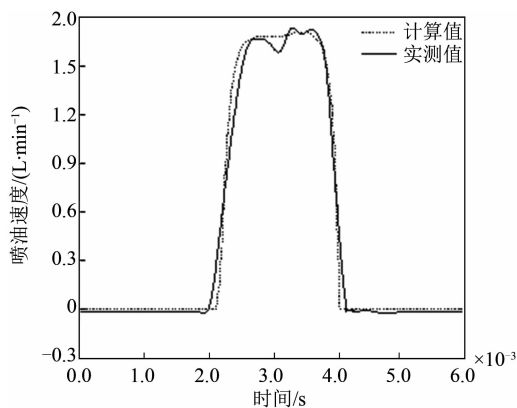


图 5 轨压为 100 MPa, 脉宽为 1.5 ms 时的喷油速率计算值与实测值对比

3 喷油器关键结构参数仿真分析

设置初始条件: 轨压为 100 MPa, 喷油控制脉宽的有效范围为 1 ~ 2.5 ms, 增压控制信号有效范围为 1.8 ~ 4.3 ms, 增压器比喷油器延时 0.8 ms, 计算时间为 6 ms。

3.1 控制腔容积对喷油过程的影响

分别计算控制腔容积为 10、30、50 mm^3 对喷油速率和针阀升程的影响, 结果如图 6 所示。由图可知: 电磁阀开启时, 随着控制腔体积的增大, 控制腔压力和轨压的下降速度降低, 控制腔泄压速度也降低, 从而针阀的开启出现延时, 对喷油速率基本没影响。当电磁阀关闭时, 由于此时出油孔关闭, 大体积的控制腔建立压力的速度较慢, 所以针阀关闭缓慢。

上述仿真分析表明: 控制腔容积较小时, 针阀落座快, 断油干脆。当控制腔容积较大时, 针阀反应速度下降, 导致落座延后。所以要选择适中的控制腔体积。

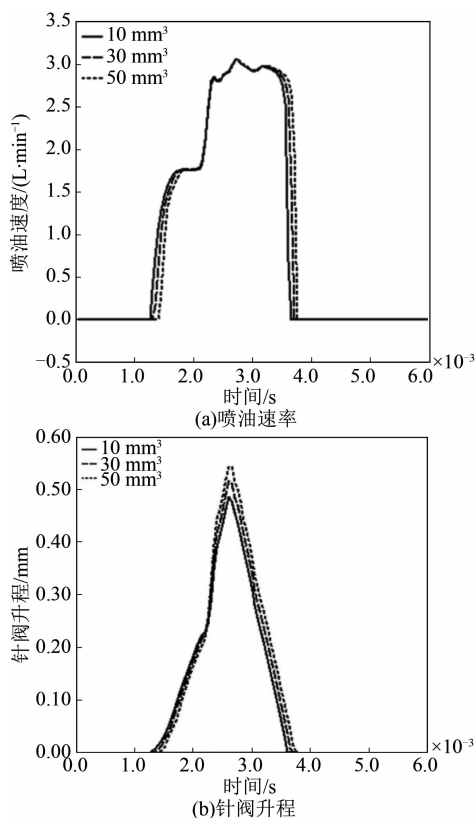


图 6 控制腔容积对喷油速率和针阀升程的影响

3.2 进油孔孔径对喷油过程的影响

分别计算进油孔孔径为 0.27、0.28、0.29 mm 对喷油速率和针阀升程的影响, 结果如图 7 所示。由图可知: 控制阀开启后, 随着进油孔孔径的增大, 控制腔出油量与进油量的差值减小, 控制腔压

力下降变缓, 针阀开启出现延迟, 喷油率上升缓慢; 反之, 电磁阀关闭后, 随着进油孔孔径的增大, 由于此时控制腔不出油, 所以控制腔压力上升速度较快, 使针阀关闭提前。

上述仿真分析表明: 进油孔孔径越小 (出油孔孔径不变时), 针阀上升速度越快, 但如果出油孔孔径与进油孔孔径差距过大, 会使针阀上升速度过快, 导致初始喷油速率过高, 影响柴油机的噪声和排放性能; 相反如果出油孔孔径与进油孔孔径差距过小, 针阀上升速度又会过慢, 造成初始喷油速率过低, 也会影响柴油机的性能。因此要得到理想的喷油规律, 须设计合适的进油孔孔径。

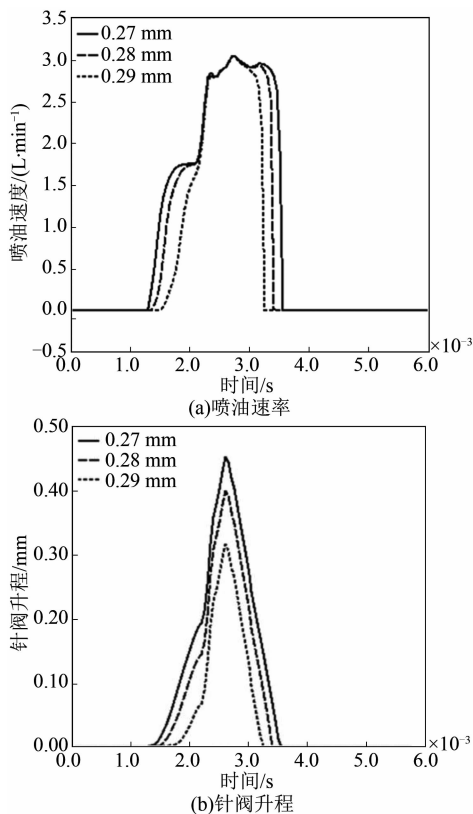


图 7 进油孔孔径对喷油速率和针阀升程的影响

3.3 出油孔孔径对喷油过程的影响

分别计算出油孔孔径为 0.29、0.31、0.33 mm 对喷油速率和针阀升程的影响, 结果如图 8 所示。由图可知: 在控制阀开启后, 随着出油孔孔径的增大, 由于出油量和进油量的差值增大, 控制腔油压下降速度加快, 针阀开启提前并且抬起速度加快, 喷油率也迅速上升; 在控制阀关闭时, 控制腔油压的恢复只与通过进油孔的油量相关, 由于前期控制腔泄压较大, 所以油压建立缓慢, 以至于针阀关闭速度缓慢, 关闭时刻延时。

仿真结果表明: 在喷油脉宽不变的情况下, 当出油孔孔径过大时, 虽然针阀开启会提前, 但由于

针阀关闭延时过大, 会出现相邻喷油干涉的现象, 造成针阀无法关闭。所以在保证喷油量和针阀开启的前提下, 应尽量选择较小的出油孔孔径。

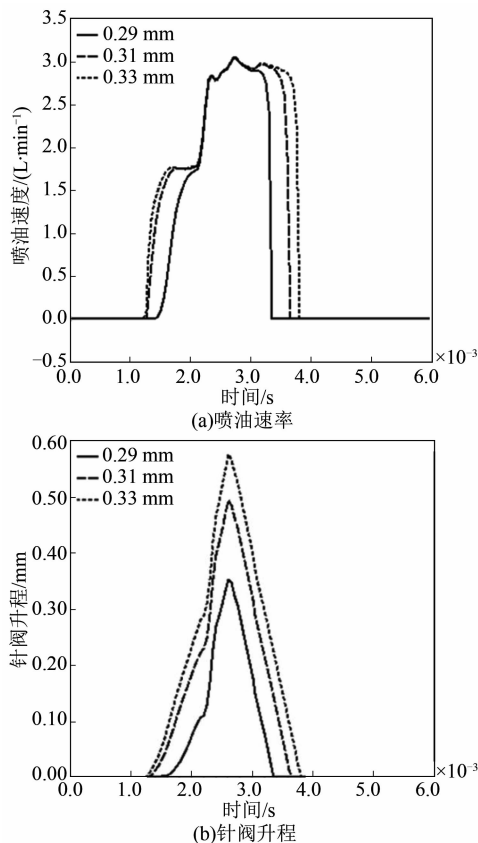


图 8 出油孔孔径对喷油速率和针阀升程的影响

3.4 针阀弹簧预紧力对喷油过程的影响

分别计算针阀弹簧预紧力为 50、70、90 N 对喷油速率和针阀升程的影响, 如图 9 所示。由图可知: 随着针阀弹簧预紧力的增大, 针阀抬起速度和针阀升程减小, 相应喷油时间也延迟, 但喷油率最大值基本一致。在针阀关闭时, 由于预紧力增大使得针阀落座速度加快, 关闭提前, 喷油提前结束。当预紧力为 90 N 时, 针阀升程明显下降, 由此可以推断: 如果预紧力再增加针阀可能就无法开启。

上述仿真分析表明: 针阀弹簧预紧力不能太小, 太小会有针阀提前开启和串气的现象发生; 而过大又会使针阀无法开启。所以在保证针阀正时开启和足够喷油量的情况下, 针阀预紧力应取较大值。

4 结 论

本文基于 AMEsim 软件建立了增压式电控喷油器仿真模型, 利用该模型分析了喷油器的关键参数对喷油速率和针阀升程的影响, 得出以下结论:

(1) 喷油速率试验结果与仿真结果具有较好

的一致性,说明利用 AMESim 建立的增压式电控喷油器仿真模型正确,可用于仿真研究。

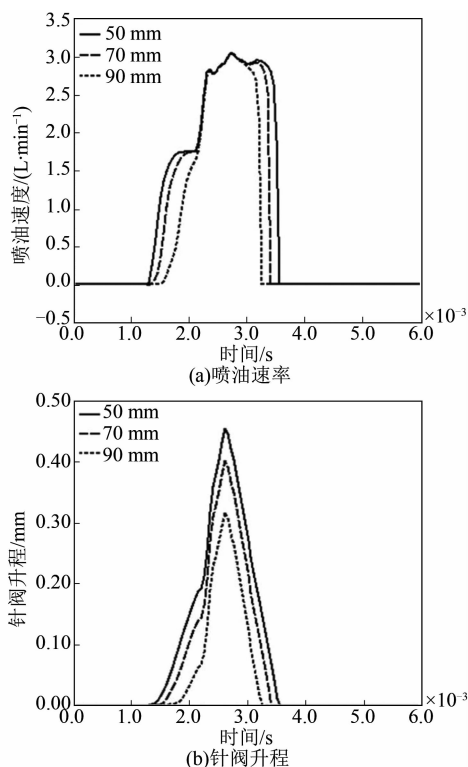


图 9 针阀弹簧预紧力对喷油速率和针阀升程的影响

(2) 在单独改变控制腔容积时,针阀的响应速度随着控制腔容积的增大而降低。控制腔容积较小时,针阀落座快,断油干脆,但是轨压波动大,喷射压力不稳定。当控制腔容积较大时,针阀反应速度下降,导致落座延后。所以要选择适中的控制腔体积。

(3) 进出油孔孔径主要影响喷油起始和结束阶段的喷油率和针阀升程,两者作用相反,所以在保证喷油量和针阀开启的前提下,选择较小的出油孔孔径的同时,也要选择合适的进油孔孔径。为了保证针阀升起能连续进行,要求控制腔的油出得快、进得慢,因此出油孔孔径一般要大于进油孔孔径。

(4) 针阀弹簧预紧力不能太小,太小会有针阀提前开启和串气的现象发生,而过大会使针阀无法开启。所以在保证针阀正时开启和足够喷油量的情况下,针阀弹簧预紧力应取较大值。

参考文献

- [1] 胡林峰. 柴油喷射系统的发展现状及潜力 (上) [J]. 现代车用动力, 2004 (3): 4-6.
- [2] 文华, 陆金华, 邹金红. 高压共轨喷射系统喷油规律仿真分析 [J]. 小型内燃机与摩托车, 2010 (6): 4-7.
- [3] LINO P, MAIONE B, RIZZO A. A control-oriented model of a common rail injection system for diesel engines [C]. Proceedings of the 10th IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation 1 (2005), pp. 557-563. Doi: 10.1109/ETFA.2005.1612572.
- [4] BALLUCHI A, BICCHI A, MAZZI E, et al. Hybrid modelling and control of the common rail injection system [J]. Int. J. control 80 (2007), pp. 1780-1795. Doi: 10.1080/00207170701481675.
- [5] 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 (6): 550-556.
- [6] 陈海龙, 欧阳光耀, 张静秋, 等. 增压式高压共轨系统性能试验研究 [J]. 内燃机工程, 2012, 40 (1): 27-31.
- [7] 陈海龙, 欧阳光耀, 王明鹤, 等. 增压式高压共轨系统建模研究 [J]. 车用发动机, 2011 (1): 9-13.
- [8] 陈海龙, 欧阳光耀, 张静秋, 等. 增压式共轨喷射系统结构改进研究 [J]. 车用发动机, 2010 (2): 42-45.
- [9] 刘振明, 欧阳光耀, 常远. 超高压共轨系统时序控制研究 [J]. 柴油机, 2016, 38 (1): 1-4, 14.
- [10] 蔡珍辉, 杨海青, 杭勇, 等. 基于 AMESim 的高压共轨喷油器的建模及分析 [J]. 柴油机设计与制造, 2008 (1): 3-6.
- [11] 金海勇. 高压共轨喷油器的仿真研究 [D]. 武汉大学, 2012.