

缸内漏气对柴油机性能影响研究

杨绍卿, 张永峰

(陆军装甲兵学院 车辆工程系, 北京 100072)

摘要: **目的** 研究柴油机缸内漏气状况对柴油机动力输出性能的影响。**方法** 针对 150 mm 缸径单缸柴油机, 采用加装模拟漏气装置以及在 GT-suit 中建立模拟漏气的单缸机工作过程仿真模型的方式, 研究不同漏气面积开度对单缸柴油机缸内最大爆发压力、功率以及有效比油耗的影响。**结果** 在同一工况下, 随着模拟漏气装置开度的增加, 单缸机的最大爆发压力的最大降幅为 7.22%, 功率的最大降幅为 7.02%, 燃油消耗率的最大增幅为 5.70%。**结论** 在同一工况下, 随着模拟漏气装置开度的增加, 单缸柴油机的缸内最大爆发压力和功率随之显著下降, 有效比油耗上升。

关键词: 气缸漏气; 柴油机; 输出性能; 台架试验

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2019.12.020

中图分类号: TK427

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2019)12-0124-06

Influences of Cylinder Leakage on Diesel Engine Performance

YANG Shao-qing, ZHANG Yong-feng

(Department of vehicle engineering, Army Academy of Armored Forces, Beijing 100072, China)

ABSTRACT: Objective To study the influences of air leakage in cylinder on power output performance diesel engine. **Methods** A 150mm cylinder single cylinder diesel engine was studied by adding a simulated air leakage device and establishing a single-cylinder engine simulating working process model with air leakage in GT-suit, to study the influences of different opening area on the maximum in-cylinder burst pressure, output power and effective fuel consumption of a single cylinder diesel engine. **Results** Under the same operating conditions, with the increase of the opening area of the simulated air leakage device, the maximum drop of in-cylinder burst pressure and output power of the single cylinder diesel engine was 7.22% and 7.02%; and the maximum raise of the effective fuel consumption was 5.70%. **Conclusion** Under the same operating conditions, with the increase of the opening area of the simulated air leakage device, the maximum in-cylinder burst pressure and output power of the single cylinder diesel engine drop significantly, while the effective fuel consumption rises.

KEY WORDS: cylinder air leakage; diesel engine; output performance; bench test

柴油机在使用过程中, 由于其负荷强度、工作环境、加工装配方式以及人员操作不当等多方面的原因, 使得缸内缸套-活塞环、气门等部件出现较为严重的磨损, 柴油机气缸密封性下降, 出现缸内漏气现象。柴油机气缸漏气对柴油机的性能具有多方面的负面影响, 具体表现为^[1-4]: 气缸压缩压力减小, 导致

柴油机起动困难; 缸内压力降低, 输出功率下降; 缸内高温气体泄漏, 加剧润滑油消耗和油品劣化; 燃油有效比油耗增加。

针对以上问题, 笔者通过模拟漏气试验和仿真计算的方法, 在 150 mm 缸径单缸柴油机上对不同漏气面积开度对柴油机输出性能的影响进行研究, 对于

提高柴油机性能合理制定维修策略具有十分重要的意义。

1 单缸机模拟漏气试验

1.1 试验设备

试验用单缸机为四冲程柴油机，主要性能参数见表 1。

表 1 单缸柴油机试验台主要参数

型号	150 单缸柴油机
燃烧方式	直喷式
燃烧室类型	浅 ω 型
几何供油提前角	34°±0.5°
缸径	150 mm
行程	180 mm
压缩比	16.5
吸气方式	自然进气
额定功率	30 kW
额定转速	2000 r/min

为实现对柴油机漏气面积的定量控制，文中设计了漏气模拟装置，如图 1 所示。通过调节漏气模拟装置开度的大小，可以实现对气缸漏面积增量的线性控制与测量。缸内压力采用 Optrand H33294 型缸压传感器进行测量；模拟漏气装置外接口连接 Rheonik RHM15 型涡轮质量流量传感器测量漏气率。

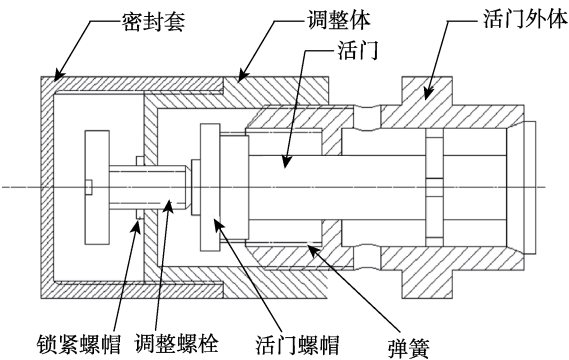


图 1 模拟漏气装置

通过旋转漏气模拟装置的调整螺栓，可以控制调整螺栓与开口间隙的重合度，实现对漏气面积开度的控制。调整螺栓每旋转 360°，装置开口间隙变化 $0.25\times10^{-6}\text{ m}^2$ 。

1.2 试验步骤

试验单缸机负荷选择 100%和 60%，转速选择 1400、1600 r/min，一共四个工况点进行。在每个工况点进行测试时，保持负荷与转速不变，改变模拟漏

气装置的漏气面积开度（见表 2），测量单缸机的缸内最大爆发压力、比油耗及功率。

表 2 模拟漏气试验参数

负荷/%	转速/(r·min ⁻¹)	模拟漏气面积开度/mm ²
60	1400/1600	0.91
		1.01
		1.41
		2.01
		2.81
100	1400/1600	3.81
		0.91
		1.01
		1.41
		2.01

漏气模拟试验的步骤为：

- 1) 预热单缸机，控制水温为 45~60 ℃，机油压力为 0.4~0.6 MPa。
- 2) 调节模拟漏气装置开度，调节负荷至 60%，测量 1400、1600 r/min 条件下的功率、压力和比油耗。
- 3) 停机冷却，改变漏气面积开度，每个开度重复测量 3 次。
- 4) 调节负荷至 100%，每个开度重复 3 次测量，100%负荷工况不再测量油耗。

1.3 试验结果

1.3.1 部分负荷工况试验结果

60%负荷、1400 r/min 工况下，单缸机缸内最大爆发压力、功率及比油耗随模拟漏气装置开度的变化规律如图 2 所示。由图 2 可知，随着模拟漏气装置开度的增加，单缸机的最大爆发压力和功率随之下降，而有效比油耗上升。模拟漏气装置开度从 0.91 mm² 增加至 3.81 mm² 时，缸内最大爆发压力由 7.636 MPa 下降至 7.454 MPa，下降了 2.383%。单缸机功率由 17.28 kW 下降至 15.66 kW，下降了 9.375%。有效比油耗由 243.2 kg/(kW·h)增加至 269.7 kg/(kW·h)，上升了 10.896%。

60%负荷、1600 r/min 工况下，单缸机缸内最大爆发压力、功率及比油耗随模拟漏气装置开度的变化规律如图 3 所示。由图 3 的结果可知，模拟漏气装置开度从 0.91 mm² 增加至 3.81 mm² 时，缸内最大爆发压力由 7.738 MPa 下降至 7.511 MPa，下降了 2.934%。单缸机功率由 19.83 kW 下降至 17.19 kW，下降了 13.313%。有效比油耗由 254.7 kg/(kW·h)增加至 292.9 kg/(kW·h)，上升了 14.998%。

1.3.2 100%负荷工况试验结果

100%负荷时, 1400、1600 r/min 工况下单缸机缸内最大爆发压力和功率随模拟漏气装置开度的变化规律如图 4 和图 5 所示。

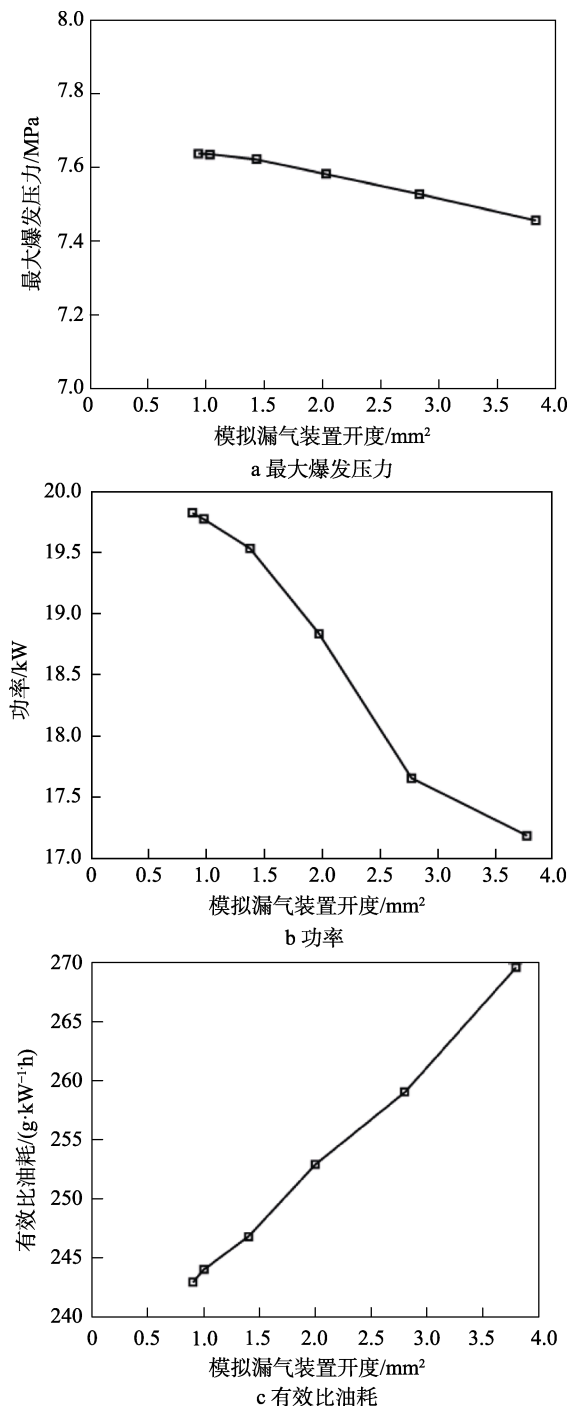


图2 60%负荷、1400 r/min 工况下最大爆发压力、功率及有效比油耗随模拟漏气装置开度的变化

由图 4 的结果可知, 在 100%负荷、1400 r/min 工况下, 随着模拟漏气装置开度由 0.91 mm² 增至 2.01 mm², 单缸机最大爆发压力下降, 有效功率下降。缸内最大爆发压力由 8.018 MPa 降至 7.823 MPa, 下降了 2.431%; 功率从 22.78 kW 降至 21.55 kW, 下降

了 5.399%。

在 100%负荷、1600 r/min 工况下, 单缸机缸内最大爆发压力从 8.038 MPa 降至 7.861 MPa, 下降了 2.202%; 功率从 26.20 kW 降至 24.60 kW, 下降了 6.107%。

单缸机漏气模拟试验的结果表明: 随着模拟漏气装置开度的增大, 气缸漏气面积增大, 导致柴油机缸内最大爆发压力和功率随之减小, 而有效比油耗随之增大。

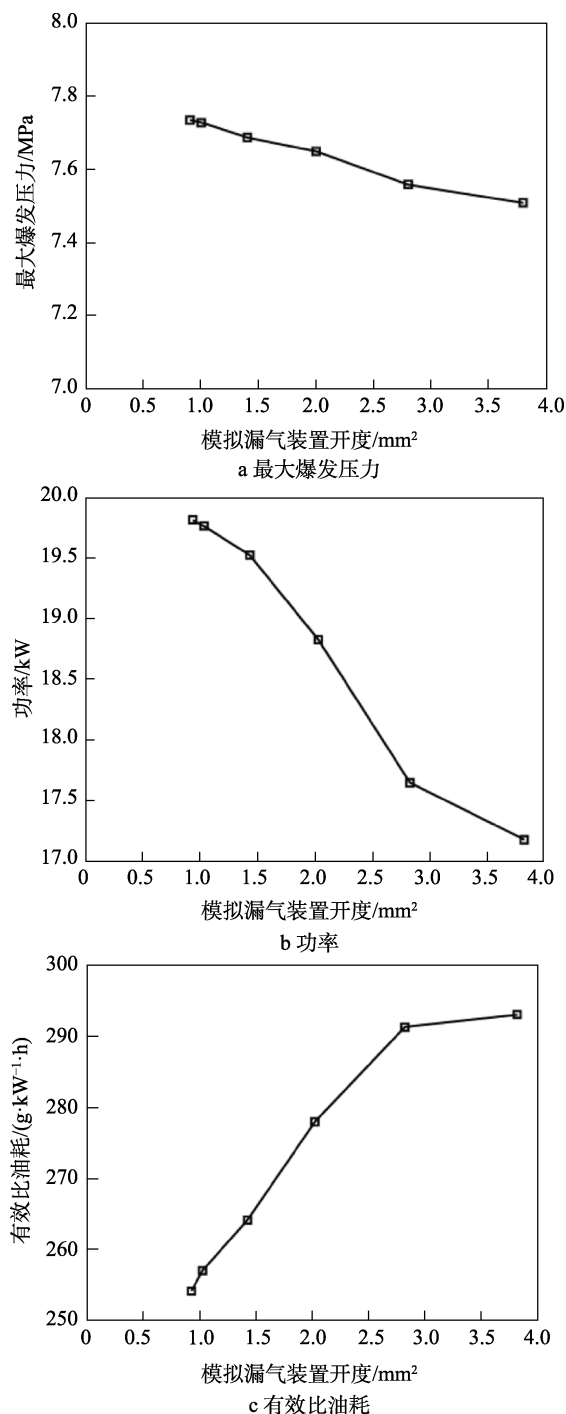


图3 60%负荷、1600 r/min 工况下最大爆发压力、功率及有效比油耗随模拟漏气装置开度的变化

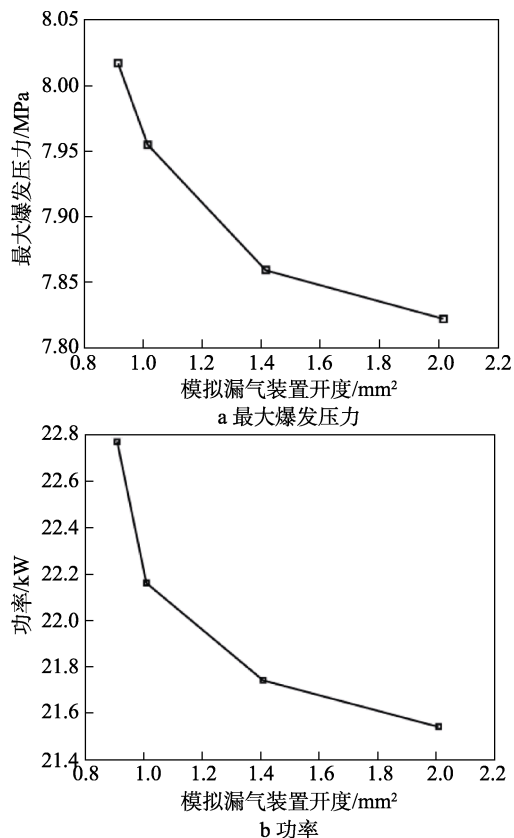


图 4 100%负荷、1400 r/min 工况下最大爆发压力和功率随模拟漏气装置开度的变化

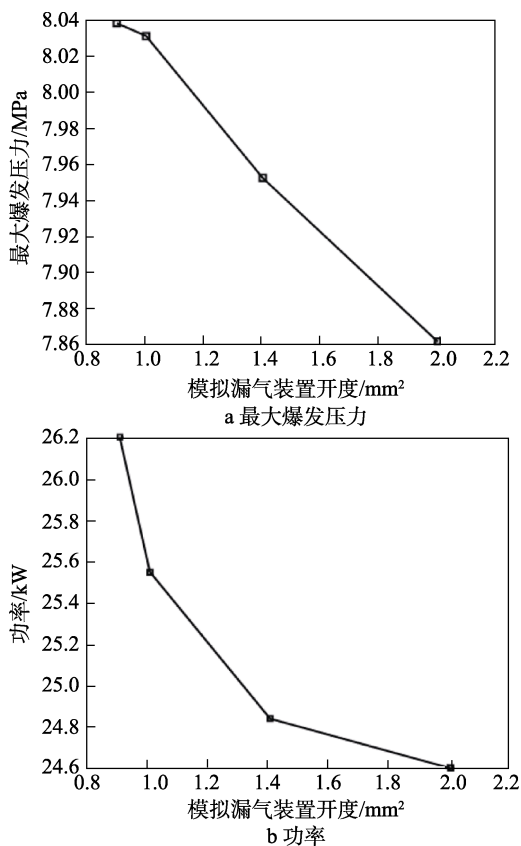


图 5 100%负荷、1600 r/min 工况下最大爆发压力和功率随模拟漏气装置开度的变化

2 单缸机漏气仿真建模

2.1 单缸机漏气仿真模型建立

由于试验所能研究的漏气面积开度和柴油机工况有限,为更全面地分析研究外特性、高转速工况下,更大的漏气面积开度对柴油机性能的影响,在 GT-Power 软件中搭建了漏气条件下的单缸机工作过程仿真模型,分析全工况条件下不同漏气面积对单缸柴油机的性能影响。

采用在气缸模块上添加排气门模块的方式控制单缸机仿真模型的漏气面积开度^[9]。

$$h_q = \frac{\sqrt{(\mu\pi d_v \cos\theta)^2 + 4\mu\pi A_{sd} \sin\theta \cos^2\theta} - \mu\pi d_v \cos\theta}{2\mu\pi \sin\theta \cos^2\theta} \quad (1)$$

式中: h_q 为模拟漏气的气门升程; θ 为曲轴转角; μ 为模拟漏气气门的流量系数; d_v 为气门座喉口直径; A_{sd} 为设定的任一曲轴转角下气缸漏气面积。

在 GT-Power 中搭建模拟漏气的单缸机工作过程仿真模型,如图 6 所示。模拟漏气的单缸机工作过程仿真模型包括单缸机本体、进排气模块、参数检测模块和漏气面积控制模块。

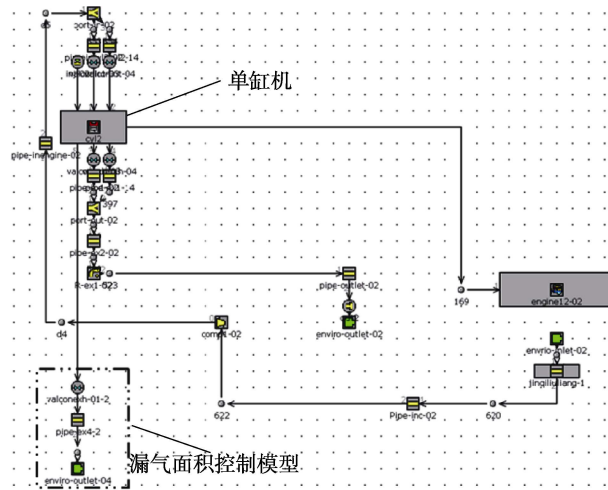


图 6 模拟漏气的单缸机工作过程仿真模型

2.2 单缸机漏气仿真模型验证

利用单缸机台架试验数据对模拟漏气的单缸机工作过程仿真模型进行验证。单缸机试验点工况^[10]见表 3。将工况点输入模拟漏气的单缸机工作过程仿真模型进行计算,得到的结果与单缸机台架实测值进行对比,结果如图 7 所示。

由图 7 可知,在外特性工况条件下,模拟漏气的单缸机工作过程仿真模型功率的计算值与实验实测值最大误差为 4.31%,出现在漏气面积开度 2.01 mm²,转速 1200 r/min 时。仿真模型计算值与实测值吻合程

度较好,计算精度可靠。

表3 漏气模型试验验证测试工况点

组别	转速/(r·min ⁻¹)	负载/%	模拟漏气面积开度/mm ²
1	1200~1800	100	1.01
2	1200~1800	100	1.41
3	1200~1800	100	2.01

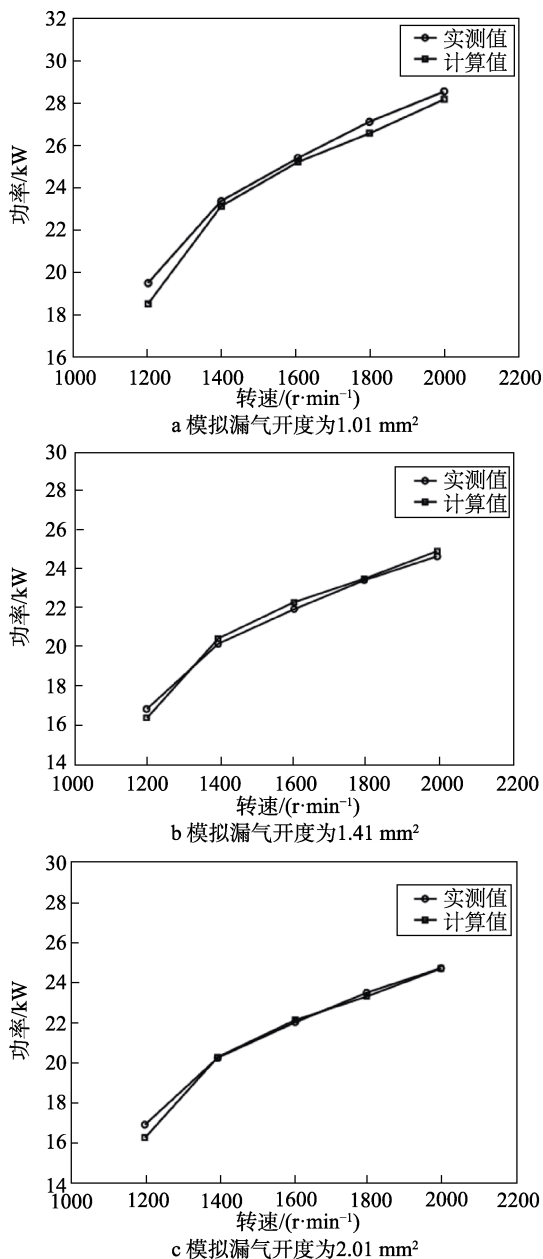


图7 模拟漏气的单缸机工作过程仿真模型验证

3 漏气对柴油机性能影响的仿真分析

利用模拟漏气的单缸机工作过程仿真模型就更大的漏气面积开度对柴油机性能的影响进行仿真分析。分别计算漏气面积开度 2.01、3.01、4.01 mm² 单缸机在外特性、2000 r/min 工况下的缸压,结果如图 8 所示。缸压、功率和燃油消耗率的对比结果见表 4。

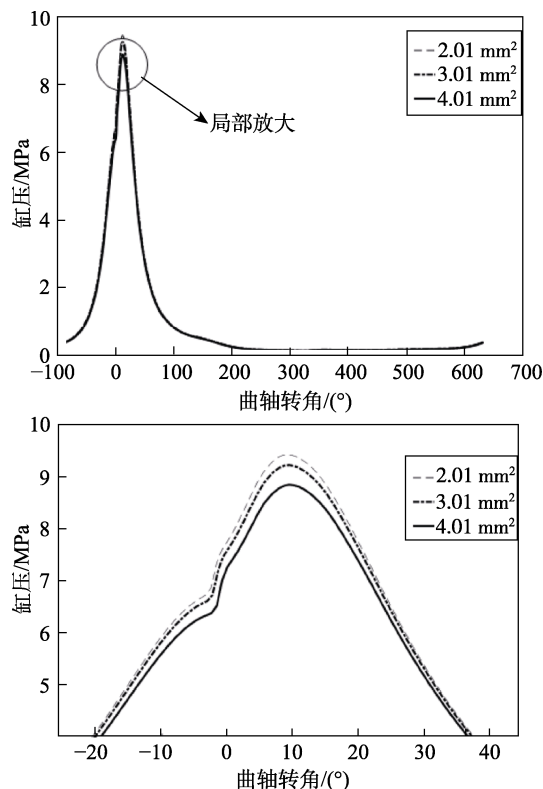


图9 外特性、2000 r/min 工况下不同漏气面积开度缸内压力

表4 功率、扭矩和燃油消耗对比结果

	漏气面积开度/mm ²		
	2.01	3.01	4.01
功率/kW	24.7	23.2	22.5
扭矩/(N·m)	135.1	132.3	128.0
燃油消耗率/(g·kW ⁻¹ ·h ⁻¹)	226.3	234.9	239.2

由图 9 的分析结果可知,随着漏气面积开度的增大,单缸机内最大爆发压力随之减小,最大爆发压力所对应的相位角出现延迟。当漏气面积开度为 3.01 mm² 时,相对于开度 2.01 mm² 最大爆发压力下下降 4.13%,对应相位角延迟 0.247°。当漏气面积开度为 4.01 mm² 时,相对于开度 2.01 mm² 最大爆发压力下下降 7.22%,对应相位角延迟 0.264°。

由表 4 的分析结果可知,随着漏气面积开度由 2.01 mm² 增大至 3.01 mm²,单缸机的功率下降 6.07%,燃油消耗率增加 3.81%。随着漏气面积开度由 3.01 mm² 增大至 4.01 mm²,单缸机的功率下降 7.02%,燃油消耗率增加 5.70%。由于气缸漏气面积的增大,缸内气体泄漏量显著增加,在循环供油量不变的条件下,工质内能降低,导致缸内压力和输出功率下降。

4 结论

文中在 150 mm 缸径单缸机台架上通过加装漏气模拟装置的方法研究了漏气面积开度对柴油缸内最

大爆发压力、功率和有效比油耗的影响,建立了模拟漏气的单缸机工作过程仿真模型,对高负荷高转速工况下漏气面积对单缸机性能的影响进行了仿真研究,得到如下结论。

1) 随着模拟漏气装置开度由 0.91 mm^2 增加至 3.81 mm^2 , 在 60% 负荷 1400、1600 r/min 工况下单缸机最大爆发压力分别下降 2.383% 和 2.934%, 功率分别下降 9.375% 和 13.313%, 有效比油耗分别上升 10.896% 和 14.998%。

2) 随着模拟漏气装置开度由 0.91 mm^2 增加至 2.01 mm^2 , 100% 负荷 1400、1600 r/min 工况下单缸机最大爆发压力分别下降 2.431% 和 2.202%, 功率分别下降 9.375% 和 6.107%, 有效比油耗分别上升 5.399% 和 14.998%。

3) 模拟漏气的单缸机工作过程仿真模型的计算结果表明,漏气面积开度由 2.01 mm^2 增大至 3.01 mm^2 , 单缸机的最大爆发压力下降 4.13%, 对应相位角延迟 0.247° , 功率下降 6.07%, 燃油消耗率增加 3.81%。随着漏气面积开度由 3.01 mm^2 增大至 4.01 mm^2 , 单缸机的最大爆发压力下降 7.22%, 对应相位角延迟 0.264°CA , 功率下降 7.02%, 燃油消耗率增加 5.70%。

参考文献:

[1] 王完成. 上止点的修正与漏气率对柴油机性能影响研

究[D]. 北京: 装甲兵工程学院, 1991.

- [2] 刘卫平, 王明泉. 差压法检测压力气体泄漏的研究[J]. 机械工程与自动化, 2010, 158(1): 133-135.
- [3] 邱宗敏, 金宏卫. 气缸压缩压力的测量在发动机故障诊断中的应用[J]. 装备再制造技术, 2012(4): 73-74.
- [4] 樊新海, 王战军, 安钢, 等. 基于倒拖过程参数测试的汽缸密封性评估[J]. 装甲兵工程学院学报, 2010, 24(4): 29-32.
- [5] MENG F M, WANG J X, XIAO K. A Study of the Influences of Particles in the Gas Flow Passage of a Piston Ring Pack on the Tribological Performances of the Piston Ring[J]. Journal of Mechanical Engineering Science, 2010(224): 201-215.
- [6] 孙宜权, 张英堂, 李志宁, 等. 柴油机气缸密封性检测方法研究[J]. 车用柴油机, 2011(4): 55-57.
- [7] 张晶. 基于数值仿真的装甲车辆发动机环境适应性分析与评价研究[D]. 北京: 装甲兵工程学院, 2010.
- [8] 和穆. 高原坦克动力装置状态检测与寿命预测方法研究[D]. 北京: 装甲兵工程学院, 2012.
- [9] QIAN D X, LIAO R D. A Nonisothermal Fluid-structure Interaction Analysis on the Piston/Cylinder Interface Leakage of High-pressure Fuel Pump[J]. Journal of Tribology, 2014, 136(2): 1-8.
- [10] 任晓, 吴承伟, 周平. 粗糙表面的气体密封性能研究[J]. 机械工程学报, 2010, 46(16): 176-181.