

# 基于仿真计算的船用柴油机性能优化研究

陈颖<sup>1</sup>, 黄立<sup>2</sup>, 苏丹丹<sup>2</sup>

(1. 海军驻温州地区军事代表室, 浙江 温州 325000; 2. 七一一研究所, 上海 201108)

**摘要:** 以某船用大功率高增压柴油机为研究对象, 采用一维工作过程软件进行仿真计算, 研究不同排气管方案和不同米勒正时方案对柴油机性能的影响规律。结论是: 通过匹配柴油机排气能量利用率更高的排气管和适当强度的米勒正时, 可以在满足排放法规的前提下, 降低柴油机热负荷和燃油消耗率, 有利于提高柴油机的可靠性和经济性。

**关键词:** 船用高增压柴油机; 米勒循环; 排气管; 仿真

中图分类号: TK421+.8 文献标识码: A 文章编号: 1001-4357(2016)03-0022-04

## Research on Performance Optimization of Marine Diesel Engine Based on Simulation

Chen Ying<sup>1</sup>, Huang Li<sup>2</sup>, Su Dandan<sup>2</sup>

(1. Naval Deputy Office of Wenzhou District, Zhejiang Wenzhou 325000;

2. Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108)

**Abstract:** Taking a marine high power and high turbocharged diesel engine as the research object, the influence of different scheme of exhaust pipe and different Miller timing on diesel engine performance had been studied through simulation method. The results showed that under the premise of meeting the emission regulations, the thermal load and fuel consumption rate could be reduced by matching exhaust pipe with higher diesel engine exhaust energy utilization ratio and Miller timing with appropriate intensity, which was beneficial to improve the reliability and economy of diesel engine.

**Key words:** marine high turbocharged diesel engine; Miller cycle; exhaust pipe; simulation

## 0 引言

增压技术是提高柴油机功率最为有效的技术之一, 柴油机功率随着增压压力的提高而成比例的增长<sup>[1]</sup>。随着柴油机强化程度的不断提高以及排放法规的日益严格, 为提高柴油机经济性和降低其有害排放, 高增压技术得到越来越广泛的应用<sup>[2][3]</sup>。而高增压压力对增压系统的设计提出了更为严格的要求。

本文以某船用大功率高增压柴油机为研究对象, 采用仿真手段研究不同排气管方案和米勒正时

方案对柴油机性能的影响规律<sup>[4][5]</sup>。

## 1 仿真模型的建立与验证

### 1.1 BOOST 仿真模型的建立

本文采用一维仿真软件建立船用中速柴油机仿真模型, 以气缸流动方向为序, 依次建立柴油机进气管、中冷器、气缸、排气管、废气涡轮增压器等仿真模块, 并根据柴油机结构和仿真数据对各模块参数进行标定。其中: 废气涡轮增压器计算采用全模型, 缸内燃烧计算采用准维燃烧模型。

本文研究对象为某高增压柴油机, 该柴油机采

用单级高压比增压器，压比可达5以上。柴油机排气系统采用MPC脉冲增压方式，排气总管由6段单管MPC排气管组成；燃油系统采用高压共轨燃油系统，供油正时和共轨压力可调。表1为该高增压柴油机的主要技术参数。

表1 某型船用大功率高增压柴油机主要技术参数

气缸数	6缸，直列
额定功率/kW	1 320
额定转速/( $r \cdot \min^{-1}$ )	1 000
缸径/mm	210
冲程/mm	320

## 1.2 仿真模型验证

仿真模型建立后还需要根据试验数据验证模型的准确性。本文计算工况点按照船用恒速辅机运行循环确定：转速为额定转速1 000 ( $r \cdot \min^{-1}$ )，工况为10%、25%、50%、75%和100%负荷。

图1~3为柴油机性能参数计算和试验结果的比较。可以得出：功率、燃油消耗率和额定工况最高燃烧压力的最大误差均在3%以内；额定工况示功图计算和试验结果基本吻合。说明本文建立的仿真模型准确度较高，可以用来进行柴油机性能仿真计算。

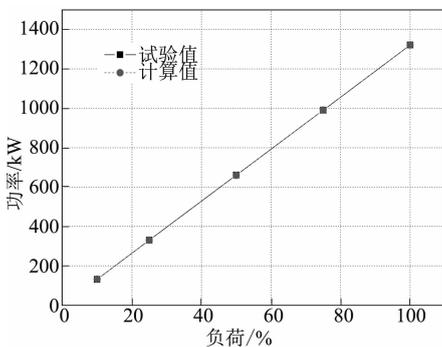


图1 柴油机功率计算和试验结果对比

## 1.3 计算方案

本文主要比较不同特征参数MPC排气管和不同米勒正时对柴油机性能的影响。计算方案包括两种不同特征参数的MPC管和二种不同米勒正时。

MPC管主要特征参数包括：总管缩口率、支管缩口率和入射冲击角。改变MPC排气管的特征参数，可以改变排气管流量系数和扰流损失。代号MPC1方案的三个特征参数的值较MPC0方案小，其中MPC1方案总管缩口率比MPC0方案减小9%，支管缩口率降低46%，入射冲击角减小26°。

不同米勒正时方案代号分别为：Miller0和Miller1。其中Miller0的IVC（进气门关）时刻为

下止点前33°CA，代号Miller1的IVC较Miller0的推迟10°CA。具体计算方案如表2所示。

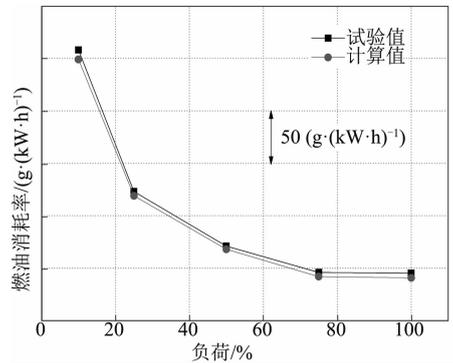


图2 柴油机燃油消耗率计算和试验结果对比

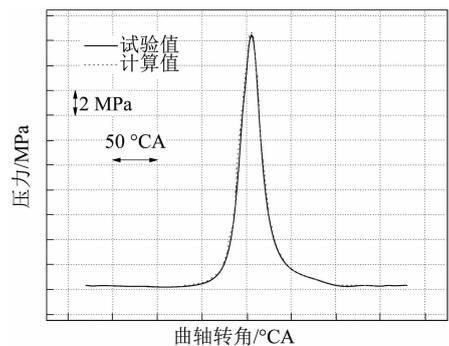


图3 额定工况示功图计算和试验结果对比

表2 计算方案

序号	仿真优化计算方案
1	MPC0 + Miller0
2	MPC1 + Miller0
3	MPC1 + Miller1

## 2 仿真结果及分析

### 2.1 不同排气管仿真结果及分析

不同结构的MPC排气管由于其排气管内废气的流动损失不同，导致增压系统排气能量利用率不同，进而对柴油机性能影响的规律也不同。图4~8为不同结构排气管对柴油机性能的影响。

从图4、5可以看出：与MPC0排气管相比，采用MPC1排气管时，全工况增压压力变化不大；10%负荷燃油消耗率降低9 ( $g \cdot (kW \cdot h^{-1})$ )，其他工况基本不变，加权燃油消耗率降低了0.24 ( $g \cdot (kW \cdot h^{-1})$ )，降幅不大。说明MPC1排气管对燃油消耗率的改善主要体现在低工况。

从图6~8可以看出，与MPC0排气管相比，采用MPC1时，由于特征参数不同，尤其是支管缩口率的降低，使得各缸排气引射作用更为明显，排气更加顺畅，排气能量传递效率有所提高，可以改

善涡前排温,部分工况(10%、25%负荷)时涡前排温平均降低 15 °C,中高工况(50%、75%及 100%负荷)时涡前排温基本不变;全工况 NO<sub>x</sub> 排放略有降低;碳烟排放的变化幅度不大。

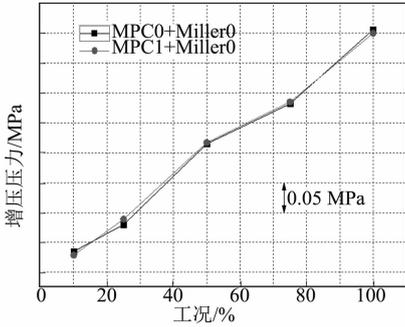


图 4 不同排气管对增压压力的影响

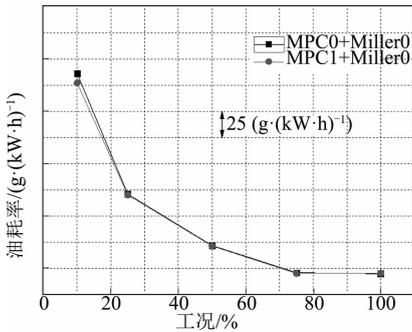


图 5 不同排气管对油耗率的影响

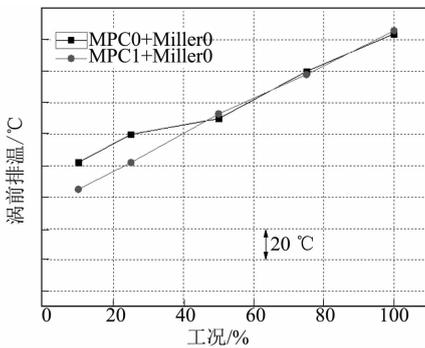


图 6 不同排气管对涡前排温的影响

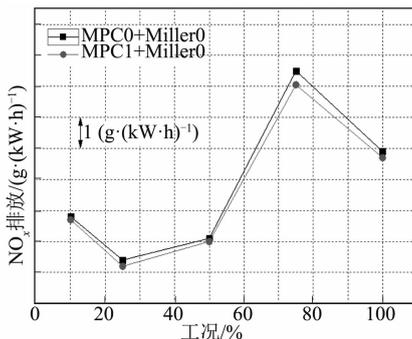


图 7 不同排气管对 NO<sub>x</sub> 排放的影响

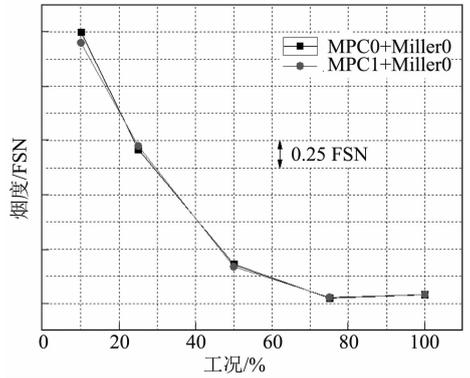


图 8 不同排气管对烟度的影响

### 2.2 不同米勒正时仿真结果及分析

不同米勒正时由于其进气门关闭时刻不同,导致充气效率不同,缸内燃烧也就不同,进而对柴油机性能影响的规律也不同。另外,为了优化不同米勒正时方案的 NO<sub>x</sub> 排放和柴油机机械负荷,本文还对喷油正时进行了优化。图 9~13 为不同米勒正时仿真研究结果。

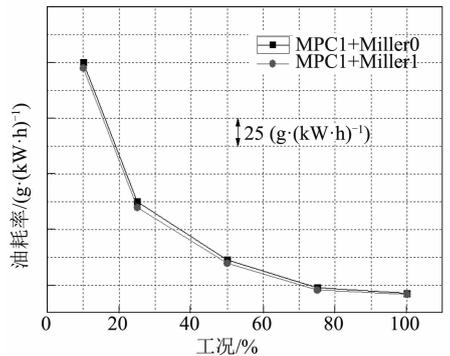


图 9 不同米勒正时对增压压力的影响

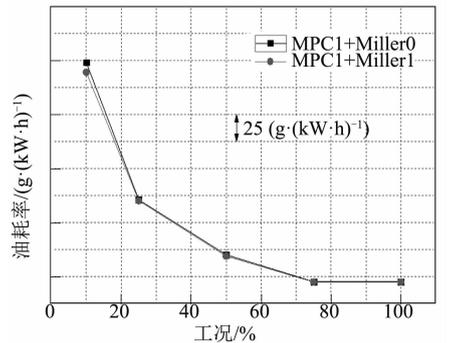


图 10 不同米勒正时对油耗率的影响

从图 9~11 可以看出:采用不同米勒正时,增压压力变化不大;与 Miller0 方案相比,采用 Miller1 方案时油耗率略有降低;Miller1 方案在全工况范围内都可降低涡前排温,且其对涡前排温的改善在低工况时比高工况时显著,全工况平均降低了 22.4 °C,有利于降低热负荷,提高涡轮寿命和柴

油机可靠性。

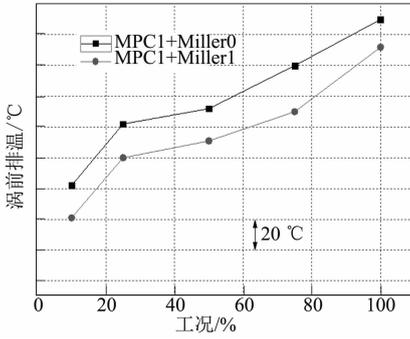


图 11 不同米勒正时对涡前排温的影响

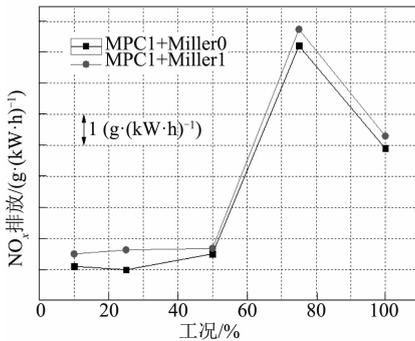


图 12 不同米勒正时对 NO<sub>x</sub> 排放的影响

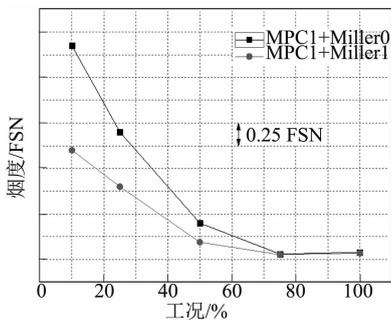


图 13 不同米勒正时对烟度的影响

从图 12、13 可以看出：采用 Miller1 方案可以显著改善碳烟排放，尤其是在 10%、25%、50% 中低负荷时，降幅分别达 45%、47% 和 53%；但是采用 Miller1 方案会使 NO<sub>x</sub> 排放升高，平均升高 0.43 (g·(kW·h<sup>-1</sup>))。因此，在实际使用时，应该考

虑米勒正时对 NO<sub>x</sub> 排放的影响，在改善其他性能参数的同时，保证 NO<sub>x</sub> 排放满足排放法规的要求。

### 3 结论

(1) 采用 MPC1 排气管可以小幅度降低柴油机综合燃油消耗率，并且涡前排温也有一定程度的降低。在低负荷时燃油消耗率降低更为明显，10% 负荷时降低了约 9 (g·(kW·h<sup>-1</sup>))；涡前排温在高工况时降幅不大，低工况时涡前排温降低更为明显。仿真结果表明，MPC1 排气管可以改善该大功率柴油机的性能，且对低负荷性能的改变尤为明显。

(2) 采用 Miller1 正时方案，结合对喷油正时的优化，可以降低全工况涡前排温和碳烟排放。全工况涡前排温平均降低了 22.4 °C，有利于降低热负荷，提高涡轮寿命和柴油机可靠性；碳烟排放降幅在低负荷时更大，但会使 NO<sub>x</sub> 排放增加。仿真结果表明：采用 Miller1 正时方案并同时优化喷油正时，对燃油消耗率和增压压力的影响不大，但可以显著降低柴油机涡前排温和碳烟排放。

### 参考文献

- [1] 钱耀南. 船舶柴油机 [M]. 大连：大连海事大学出版社，2003.
- [2] Christer Wik, Bjorn Hallback. Utilization of 2-stage turbo charging as an emission reduction mean on a Wartsila 4-stroke medium-speed diesel engine [C]. CIMAC 25, 2007, Vienna, paper No. 101.
- [3] Tero Raikio, Bjorn Hallback, Andreas Hjort. Design and first application of a 2-stage turbocharging system for a medium-speed diesel engine [C]. CIMAC Congress 2010, Bergen, Paper No. 82.
- [4] 李翔, 任自中, 王新权, 等. 中速大功率柴油机应用米勒循环的仿真与仿真研究 [J]. 柴油机, 2010, 32 (2): 21-24.
- [5] 崔毅, 邓康耀. 涡轮增压柴油机米勒循环及优化 [J]. 铁道机车车辆, 2011, 31 (B10): 188-191.