

不同米勒正时对某型柴油机性能影响仿真研究

Simulation Study on The Influence of Different Miller Timing on Marine Diesel Engine Performance

王先锋 陈晓轩 胡志龙 杨颀

(中国船舶重工集团公司第七一一研究所, 上海 201108)

摘要: 本文搭建了某船用柴油机的工作过程模型, 依据单缸机试验结果对模型进行标定。基于该标定模型分析研究了不同米勒正时对柴油机性能的影响规律。仿真结果表明: 当米勒正时提前, 增压压力略有增加, 过量空气系数会随之降低, 同时燃油消耗率会随之上升; 当米勒正时提前时爆压呈现降低趋势, 而涡前排温、气缸散热量呈现升高趋势; 因此合理的米勒正时可以改善船用柴油机的性能。

关键词: 米勒正时; 仿真研究; 船用柴油机

Abstract: In this paper, it was constructed that the working process simulation model of a marine diesel engine, calibrate the model according to the test results of single cylinder engine. Research on the influence of different Miller timing on the performance of marine diesel engine based on calibration model. The simulation results show that: With the advance of Miller timing, the supercharged pressure increases slightly, the excess air coefficient decreases, and the fuel consumption rate increases. With Miller timing, the detonation pressure decreases in advance, while the temperature in front of the vortex and the heat transfer of the cylinder increase, Therefore, Reasonable Miller timing can improve the performance of marine diesel engines.

Key words: Miller Time ; Simulation Study; Diesel Engine

1. 概述

船用柴油机技术经过几十年的努力, 得到了突飞猛进的发展, 其中两相继增压技术、米勒循环等得到成熟应用, 实现了船用柴油机总体技术水平的跨越。米勒循环技术因实现简单且成本低而被广泛的研究和应用船用柴油机。米勒循环理论是基于进气门提前关闭方式, 以通过缩短压缩冲程来对缸内混合气温度进行内部冷却, 降低缸内最高燃烧温度, 降低柴油机热负荷, 同时合理优化柴油机的配气正时可以改善柴油机燃烧性能的。

本文针对某型船用相继增压柴油机, 探究不同米勒正时对船用柴油机性能的影响规律, 为优化船用柴油机性能, 提高经济性、改善热负荷提供依据支撑。

2. 仿真模型的建立及验证

2.1 仿真研究对象

某型船用柴油机采用 2 台增压器构成的相继增压系统时, 其结构示意图如图 1 所示, 其中, A、B 两列排气管通过三通管连接, 进排气管通过旁通管连接, 空气阀安装于受控增压器压气机后进气管上, 燃气阀安装于受控增压器涡轮前排气管上。空气阀与燃气阀均采用气动蝶阀, 通过空气阀、燃气阀的开启和关闭控制受控增压器的切入和切出。

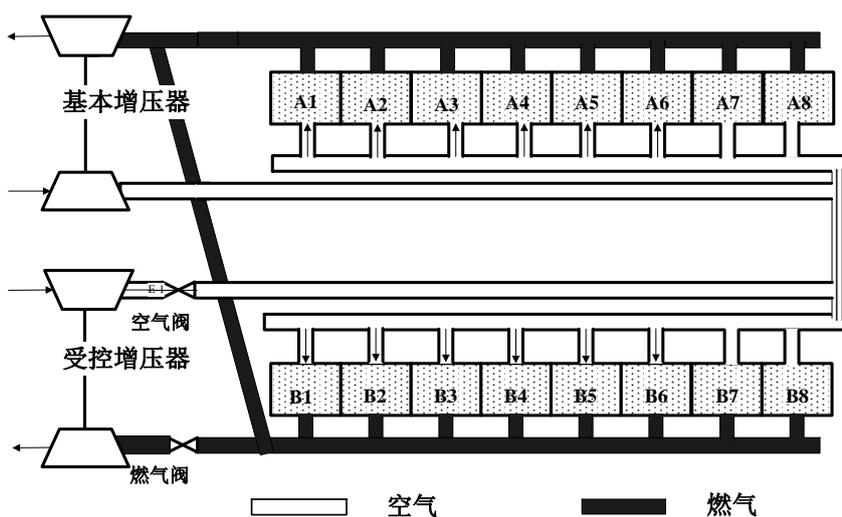


图 1 相继增压结构示意图

2.2 模型建立与标定

根据柴油机相继增压结构示意图，本文利用 GT-power 软件建立了采用相继增压时柴油机的仿真模型，其仿真模型如图 2 所示。基于建立的模型，对 100% 工况下柴油机的性能进行了仿真计算，其计算结果与单缸机试验结果对比如图 3 和图 4 所示。

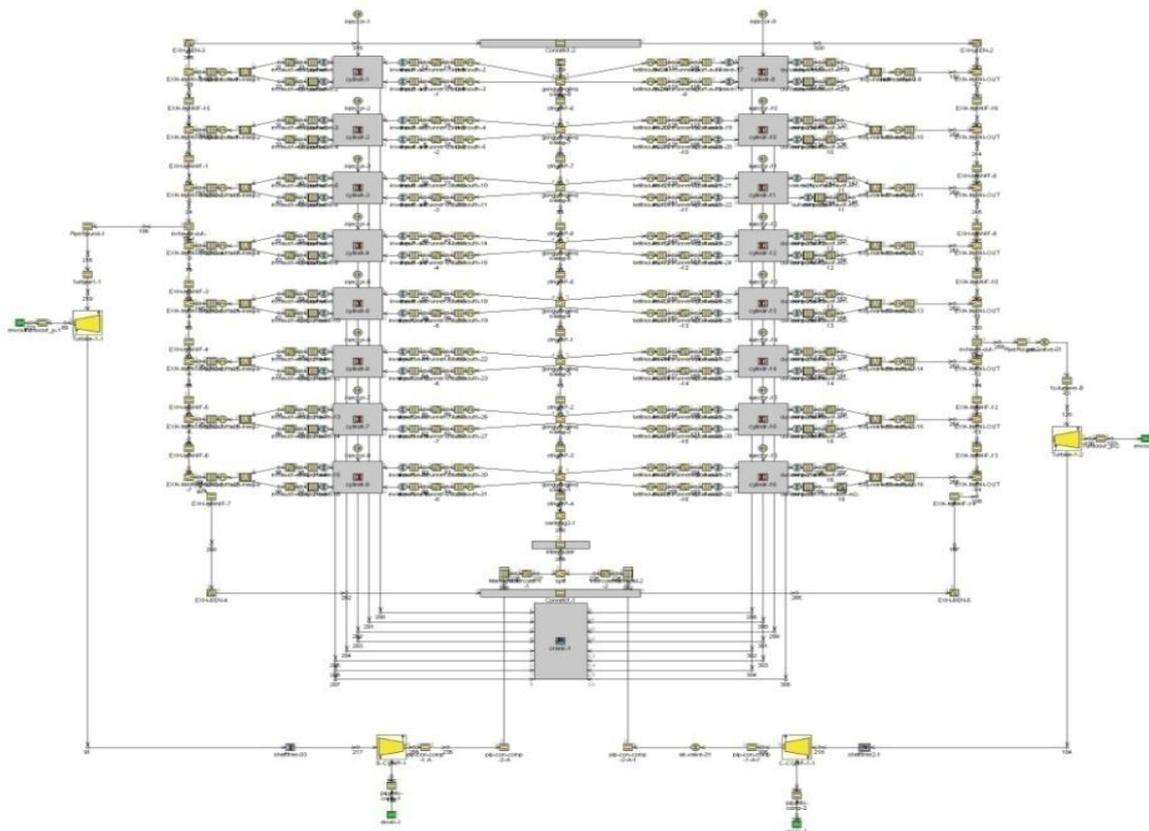


图 2 柴油机相继增压系统仿真模型

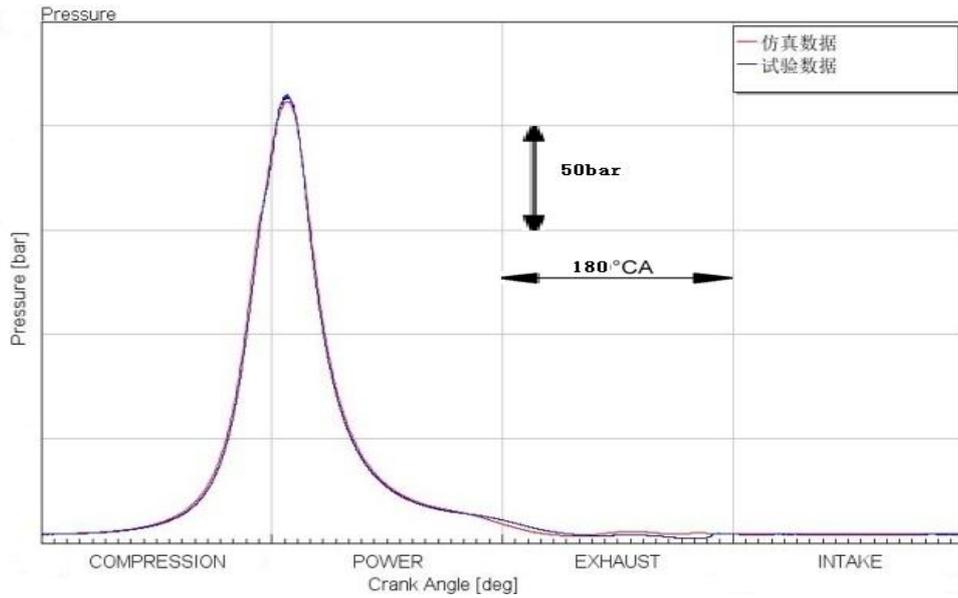


图3 缸压曲线对比图

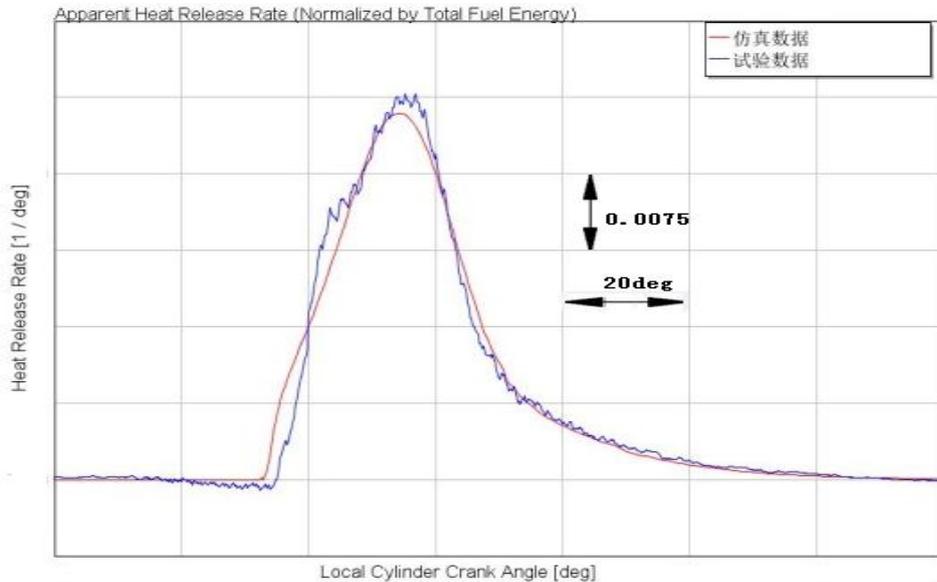


图4 燃烧放热规律曲线对比

对比计算结果与单缸机试验结果可知：

- 1) 计算结果与试验结果的爆发压力与爆压转角基本吻合。
- 2) 计算结果与试验结果的燃烧始点与燃烧持续期均吻合度较高，预混燃烧和扩散燃烧双峰特性模拟较好。

由以上分析可知，仿真计算结果与试验结果基本吻合，验证了仿真模型搭建较为准确，可进行柴油机性能仿真计算。

2.3 仿真计算方案

某型船用柴油机工作过程采用米勒循环，本文拟通过调节进气门关闭角度（IVC，下称米勒正时），探究米勒正时对柴油机性能的影响规律，为优化柴油机经济性和热负荷提供依据支撑。进气阀升程曲线计算方案如图1所示，本文以 Case1 为柴油机原始进气阀升程曲

线，在原始进气阀升程曲线基础上进气阀关闭时刻分别提早 5 °CA、10 °CA、15 °CA 形成 Case2、Case3、Case4。

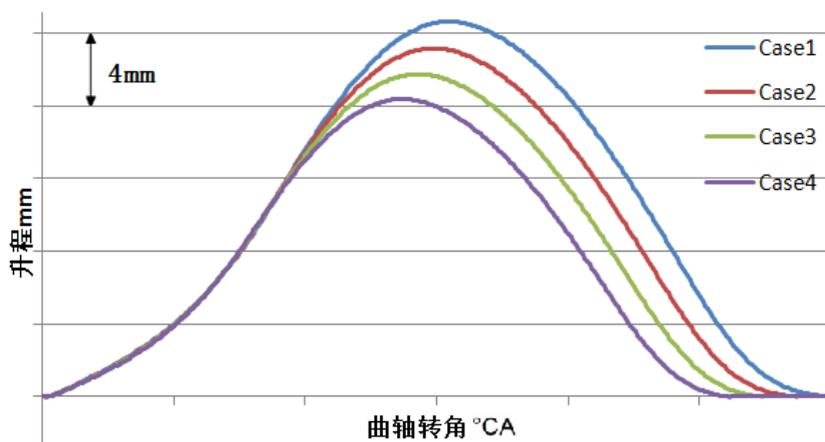


图 5 进气阀升程曲线计算方案

3. 仿真结果及分析

基于船用柴油机仿真计算模型，分析柴油机的增压压力、过量空气系数、充气效率、燃油消耗率、爆压、涡前排温以及气缸散热量等性能参数随米勒正时的变化规律，仿真计算结果如图 6-图 12 所示。

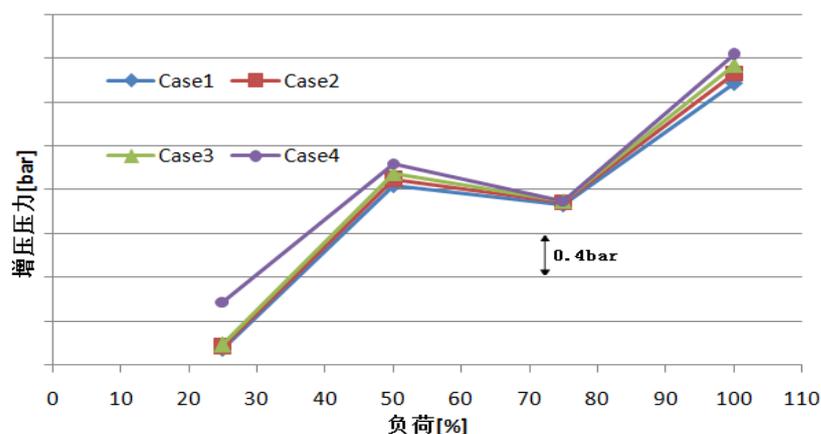


图 6 增压压力计算结果

图 6 为不同米勒正时增压压力计算结果，从图中可以看出，全工况范围内随着米勒正时的提前柴油机增压压力变化趋势略有增加，但增加幅度变化有所不同，主要是由于不同工况下喷油正时优化所致。图中表明 50% 负荷的增压压力高于 75% 负荷的增压压力，主要是由于柴油机相继增压系统所致。

考虑单因素变量分析，本文以 50% 负荷、100% 负荷分析不同米勒正时的影响规律，从图 6 可以得出，随着米勒正时的提前，增压压力略有增加；仿真计算中 Case4 米勒正时较 Case1 提前 15 °CA，相应的 50% 负荷时增压压力增加 0.2bar，100% 负荷时增加压力增加 0.26bar。

图 7 为不同米勒正时过量空气系数计算结果，从图 7 中可以看出，随着米勒正时的提前柴油机缸内过量空气系数降低。图 8 为不同米勒正时充气效率计算结果，从图 8 中可以看出，随着米勒正时的提前柴油机充气效率降低。柴油机米勒正时越提前，米勒程度越强，实际上

米勒正时的提前降低了缸内实际压缩比,使得同等增压压力情况下缸内充气量下降,充气效率下降,进而导致柴油机缸内过量空气系数下降。

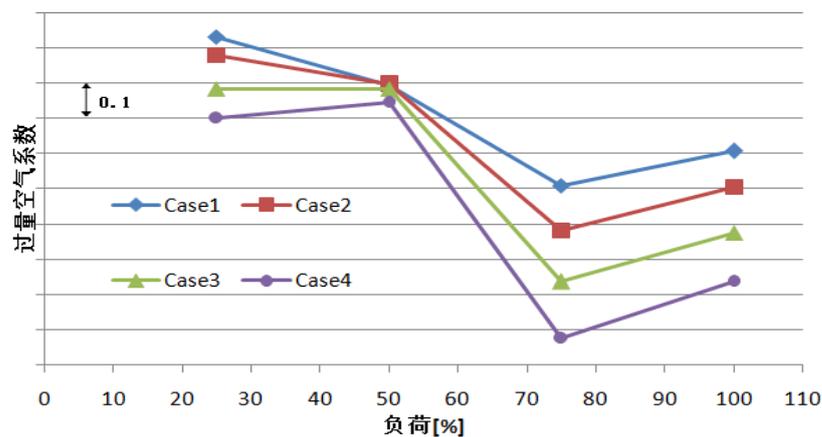


图7 过量空气系数计算结果

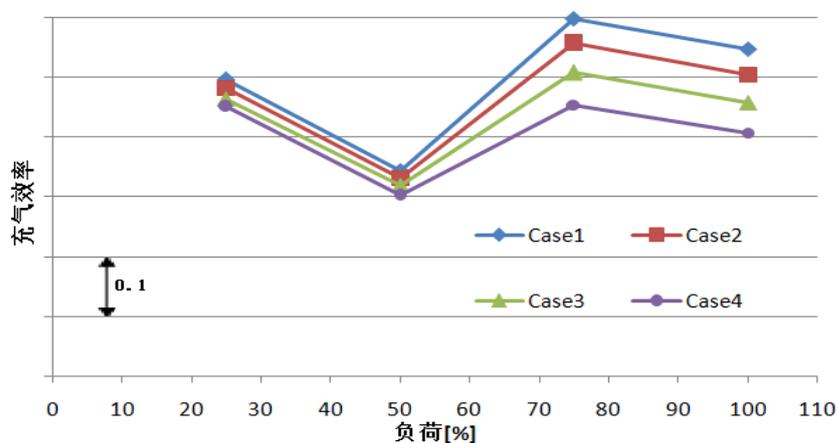


图8 充气效率计算结果

图9为不同米勒正时燃油消耗率计算结果,从图中可以看出,燃油消耗率随着米勒正时的提前总体呈现上升趋势。对于25%负荷燃油消耗率随着米勒正时提前变化不显著,Case4较Case1燃油消耗率上升0.3g/kW h;对于75%负荷随着米勒正时提前燃油消耗率明显,Case4较Case1燃油消耗率上升5.82g/kW h。从四种方案及全工况范围内可以看出,高负荷时米勒正时对油耗影响较大。

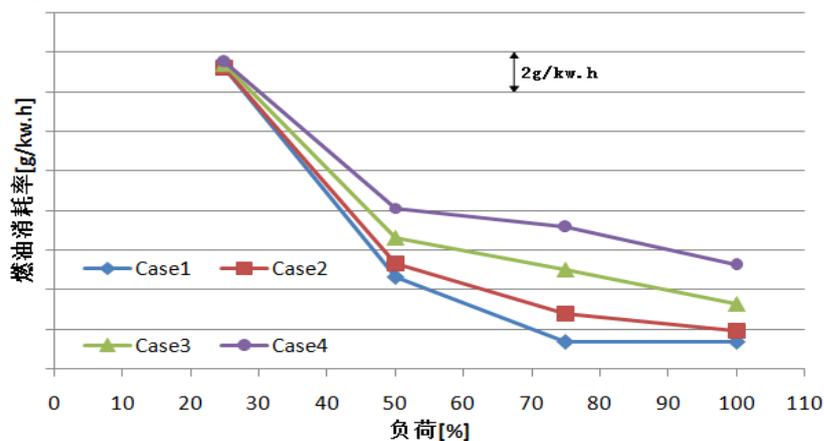


图 9 燃油消耗率计算结果

图 10 为不同米勒正时爆压计算结果，从图中可以看出，爆压随着米勒正时的提前呈现降低趋势，主要是因为进气门在活塞运行至上止点前关闭，致使实际压缩比小于膨胀比，压缩始点缸内初始压力，从而使活塞运行到上止点时缸内的压力是降低的，这就使得米勒正时越提前，爆压越低。

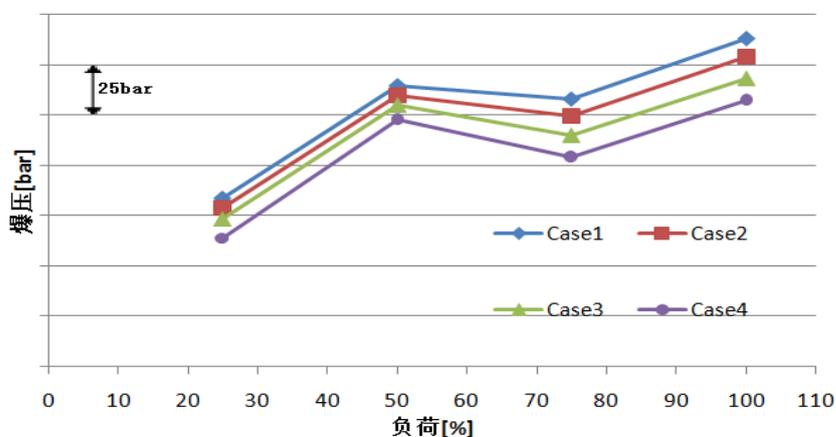


图 10 爆压计算结果

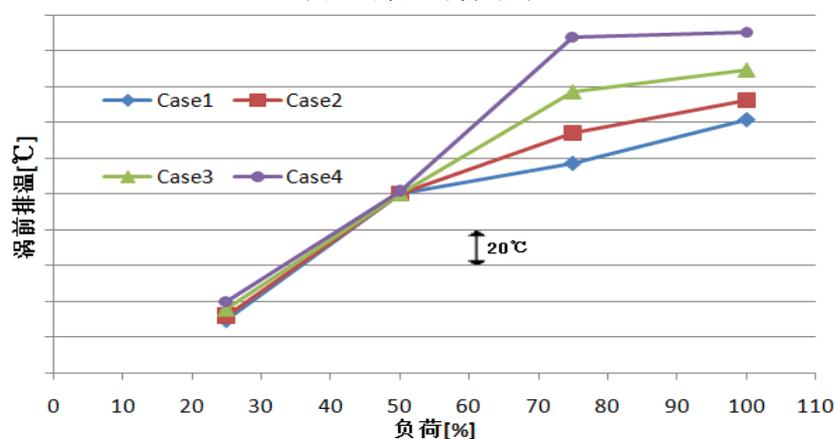


图 11 涡前排温计算结果

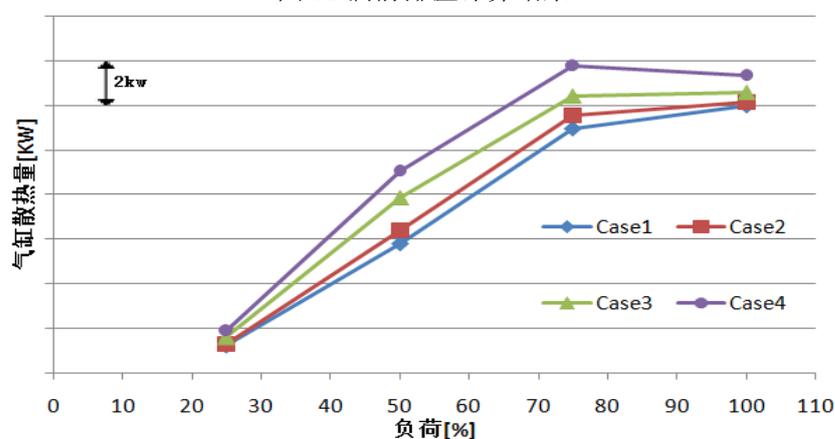


图 12 气缸散热量计算结果

图 11 为不同米勒正时涡前排温计算结果。从图中可以看出，高负荷工况时随着米勒正时的提前，涡前排温大幅度升高；图 12 为不同米勒正时气缸散热量计算结果。从图中可以看出，气缸散热量随着米勒正时的提前而升高；柴油机 75% 负荷 Case4 较 Case1 涡前排温最大升高 70.6℃、气缸散热量升高 2.77kw。由于米勒正时的提前，进气门关闭角提前，进气过程中的气流惯性未得到充分利用，不能实现向气缸过后充气，降低了缸内充量，降低 λ 值，从而使得缸内热负荷及气缸散热量升高。

4. 总结

本文以某船用相继增压柴油机为研究对象，分析了目标船用柴油机在不同米勒正时，柴油机的性能参数随米勒正时变化规律，为提高经济性、改善热负荷提供支撑。

(1) 计算结果表明，随着米勒正时的提前，增压压力略有增加，但增加幅度较小；过量空气系数、充气效率随之降低，同时燃油消耗率随之上升。因此推迟米勒正时可优化柴油机的经济性。

(2) 随着柴油机米勒正时的提前爆压呈现降低趋势，而涡前排温、气缸散热量呈现升高趋势，根据仿真结果表明为兼顾柴油机的机械负荷和热负荷需求，应合理的选择米勒正时。

5. 参考文献

- [1] 韩志强、战强等. 进气门晚关机构与增压系统在中等负荷的优化匹配[J]. 农业机械学报. 2013 (03)
- [2] 鄢斌杨、朴有哲等. 基于两级增压与进气门晚关协同作用对柴油机热效率和排放的影响[J]. 内燃机学报. 2013 (06)
- [3] 李翔，任自中等. 中速大功率柴油机应用米勒循环的仿真与试验研究, 柴油机, pp21-24, 2011.2
- [4] Millo, Federico, Bernardi, Marco, Diego. Computational Analysis of internal and External EGR Strategies Combined with Miller Cycle Concept for a Two Stage Turbocharged Medium Speed Marine Diesel Engine. SAE international Journal of Engines. 2011